วิทยานิพนธ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังกับโฟมพอลิสไตรีน

LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR ENVIRONMENTAL PERFORMANCE COMPARISON OF CASSAVA-BASED AND POLYSTYRENE FOAM PACKAGES

นายอัครเดช จวงถาวร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๑

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)

ปริญญา

วิศวกรรมเคมี	วิศวกรรมเคมี
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังกับโฟมพอลิสไตรีน

Life Cycle Assessment for Environmental Performance Comparison of Cassava-Based and Polystyrene Foam Packages

นามผู้วิจัย นายอัครเดช จวงถาวร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์งามทิพย์ ภู่วโรดม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์รัตนาวรรณ มั่งคั่ง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์ไพศาล คงคาฉุยฉาย, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังกับโฟมพอลิสไตรีน

Life Cycle Assessment for Environmental Performance Comparison of Cassava-Based and Polystyrene Foam Packages

โดย

นายอัครเดช จวงถาวร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)

พ.ศ. 2551

อัครเดช จวงถาวร 2551: การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังกับโฟมพอลิสไตรีน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, Ph.D. 221 หน้า

งานวิจัยนี้มุ่งใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังกับโฟมพอลิสไตรีน โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 และวิธี CML 2 Baseline 2000 กำหนดหน่วยหน้าที่ คือ กล่องอาหารกลางวัน แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ขนาด 5×7×1.5 นิ้ว จำนวน 10,000 ใบ ขอบเขตการศึกษาเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งาน โดยไม่นำขั้นตอนการใช้งานภาชนะบรรจุมาพิจารณาร่วมด้วย ผลการศึกษาพบว่าในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังมีภาพรวมของผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน 5.78 เท่า โดยขั้นตอนที่ก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ การผลิตภาชนะบรรจุ (ร้อยละ 78.68) มีรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ การก่อความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การลดลงของทรัพยากร และภาวะโลกร้อน ตามลำดับ และปัจจัยหลักในการก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม คือ การใช้กระแสไฟฟ้าในการผลิต ส่วนภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน ขั้นตอนที่ก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ การผลิตภาชนะบรรจุเช่นเดียวกัน (ร้อยละ 63.39) มีรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ การก่อความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล ความเป็นพิษต่อมนุษย์ และภาวะโลกร้อน ตามลำดับ และปัจจัยหลักในการก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม คือ การใช้กระแสไฟฟ้าในการผลิต ในช่วงการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งาน พบว่าวิธีการกำจัดภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลังที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมากไปหาน้อย คือ การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล การเผาในเตาเผา และการคอมโพสท์ ตามลำดับ โดยวัสดุปรับปรุงดินที่ได้จากการคอมโพสท์ ช่วยหมุนเวียนคาร์บอนและทดแทนการผลิตปุ๋ยเคมี ส่วนวิธีการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมากไปหาน้อย คือ การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล การเผาในเตาเผา และการนำกลับมาใช้ใหม่ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต พบว่าภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์ ก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีเผาในเตาเผา และฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล แต่ก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีนำกลับมาใช้ใหม่

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Akadate Juangthaworn 2008: Life Cycle Assessment for Environmental Performance Comparison of Cassava-Based and Polystyrene Foam Packages. Master of Engineering (Chemical Engineering), Major Field: Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Thumrongrut Mungcharoen, Ph.D. 221 pages.

This research is aimed to use life cycle assessment technique to compare environmental performance of cassava starch based and polystyrene foam package using the SimaPro 7.0's software, with the CML 2 Baseline 2000 method for environmental impact assessment. Functional unit was specified as 10,000 single-use lunchboxes; size: 5x7x1.5 inches. System boundary was considered from raw material extraction to disposal phases but excluded the package use phase. It is found that during the lunchboxes production and transportation to consumers, the environmental impact of cassava starch lunchboxes is 5.78 times more than the polystyrene foam lunchboxes. 78.68 percent of the total environmental impact from cassava starch lunchboxes occurred during the package production. The main environmental impacts are marine aquatic ecotoxicity, abiotic depletion and global warming, respectively. An essential factor which caused these impacts is the usage of electricity during production process. For polystyrene foam lunchboxes, 63.39 percent of the total environmental impact also occurred during the package production. The main environmental impacts are marine aquatic ecotoxicity, human toxicity and global warming, respectively. Also, the essential factor is the usage of the electricity during production process. For final disposal method of the cassava starch lunchboxes, the highest environmental impact is sanitary landfill followed by incineration and composting, respectively. Soil conditioner obtained from composting can help circulate carbon and replaced chemical fertilizer production. For the polystyrene foam lunchboxes, the highest environmental impact is sanitary landfill followed by incineration and recycling, respectively. Considering a whole life cycle, the environmental impact of cassava starch lunchboxes disposed by composting is less than the polystyrene foam lunchboxes disposed by incineration or sanitary landfill but it is higher than the polystyrene foam lunchboxes disposed by recycling.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณา และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.งามทิพย์ ภู่วโรดม และดร.รัตนาวรรณ มั่งคั่ง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมทั้งรองศาสตราจารย์ ดร.เมตตา เจริญพานิช ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และรองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยมาโดยตลอด และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนตรวจทานรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนเสร็จสิ้น

ข้าพเจ้าขอรำลึกถึงพระคุณและกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ได้ให้การสนับสนุนในการศึกษา ให้กำลังใจและเข้าใจ ตลอดจนแนะนำสั่งสอนด้วยความรักและเมตตาด้วยดีเสมอมา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณพี่น้อง และเพื่อนนิสิตภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำงานวิจัย

ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ที่ได้ให้ทุนในการศึกษาและวิจัย

ข้าพเจ้าขอบขอบคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องให้ความช่วยเหลือเกื้อกูล และอบรมสั่งสอนทั้งที่ได้เอ่ยนามและไม่ได้เอ่ยนาม ทั้งในอดีตและปัจจุบัน

อัครเดช จวงถาวร

เมษายน 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	5
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	78
อุปกรณ์	78
วิธีการ	81
ผลและวิจารณ์	95
สรุปและข้อเสนอแนะ	176
สรุป	176
ข้อเสนอแนะ	177
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	178
ภาคผนวก	194
ภาคผนวก ก เกณฑ์ในการประเมินพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	195
ภาคผนวก ข เกณฑ์มาตรฐานของปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในคอมโพสท์	198
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ปัจจัยกำหนดต่างๆ	200
ภาคผนวก ง การคำนวณสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	205
ภาคผนวก จ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส และความชื้นคอมโพสท์	207
ภาคผนวก ฉ รายการพันธุ์พืชที่แนะนำในการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ	214
ภาคผนวก ช มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548	217
ภาคผนวก ซ ระดับนัยสำคัญในการทำ LCA ของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	219
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	210

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบคุณลักษณะของเครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม	8
2	รูปแบบของการประยุกต์ใช้งานการประเมินวัฏจักรชีวิต	18
3	การเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต	19
4	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินวิธีต่างๆ	23
5	ความสัมพันธ์ของรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสสารที่เป็นปัจจัยก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม	31
6	ระยะเวลาในการย่อยสลายของขยะแต่ละชนิด	37
7	พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์และการผลิตพอลิเอทิลีนเปรียบเทียบกับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพชนิดต่างๆ	45
8	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพอลิเอทิลีนเปรียบเทียบกับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพชนิดต่างๆ	46
9	ปริมาณการใช้วัตถุดิบในการผลิตพอลิสไตรีนและ PHA	65
10	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตพอลิสไตรีนและ PHA	65
11	ปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพอลิเมอร์จากแป้งแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	66
12	สรุปผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของพลาสติกจากปิโตรเคมีและพลาสติกชีวภาพ	73
13	ปริมาณการใช้วัตถุดิบและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์แต่ละชนิด	75
14	รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตัวประกอบการเทียบหน่วย และตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญที่ใช้ในการศึกษานี้	83
15	ที่มาของข้อมูลทุติยภูมิในแต่ละขั้นตอนที่ใช้ในการศึกษานี้	87
16	รายชื่อและที่ตั้งของโรงงานที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล	93
17	สถานที่ในการทำปฏิบัติการวิเคราะห์และคอมโพสท์	94
18	บัญชีรายการของการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบของการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป	98
20	ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบของการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง	98
21	ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป	101
22	ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง	102
23	ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน	103
24	ข้อมูลบัญชีรายการของเศษโฟมพอลิสไตรีน	104
25	ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีน	107
26	ข้อมูลบัญชีรายการของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง	109
27	ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	112
28	ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	113
29	ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลัง	116
30	ข้อมูลการขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค	117
31	ปริมาณ ราคาเฉลี่ย และตัวประกอบของการปันส่วนของเศษโฟมพอลิสไตรีน	118
32	ปริมาณ ราคาเฉลี่ย และตัวประกอบของการปันส่วนของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง	119
33	ปริมาณ ราคาเฉลี่ย และตัวประกอบของการปันส่วนของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	119
34	ปริมาณโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆในภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	123
35	ลักษณะสมบัติทางเคมีของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	123
36	ปริมาณและคุณลักษณะของขยะชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง	124
37	คุณสมบัติเริ่มต้นของขยะชีวภาพผสมในการทดลอง	125
38	คุณลักษณะของน้ำชะมูลฝอยของคอมโพสท์	132
39	ระดับของการแยกสลายของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	133
40	คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของคอมโพสท์	133

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
41	จำนวนของเมล็ดงอกและชีวมวลของพืชในการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ	135
42	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการคอมโพสท์	136
43	บัญชีรายการของการกำจัดขยะภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีคอมโพสท์	137
44	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการผลกระทบในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน	139
45	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการผลกระทบในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	143
46	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีต่างๆ	150
47	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีต่างๆ	154
48	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด	159
49	การเปรียบเทียบค่าการปันส่วนโดยน้ำหนักและราคาของการเพาะปลูกมันสำปะหลังและผลิตแป้งมันสำปะหลัง	166
50	การเปรียบเทียบตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญทั้ง 3 แบบ	168
51	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบน้ำหนักความสำคัญทั้ง 3 แบบ	168

ตารางผนวกที่

ก1	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆ ที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	192
ข1	ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในคอมโพสท์ทั่วไปและคอมโพสท์	193

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ1	อุณหภูมิเฉลี่ยของกองคอมโพสท์ตลอดระยะเวลาคอมโพสท์	209
จ2	ความเป็นกรด-เบสของกองคอมโพสท์ตลอดระยะเวลาคอมโพสท์	213
จ3	ปริมาณความชื้นของกองคอมโพสท์ตลอดระยะเวลาคอมโพสท์	214
ฉ1	รายการพันธุ์พืชที่แนะนำในการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ	216
ช1	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์พ.ศ.2548	219
ซ1	ระดับที่มีนัยสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	221

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนการทำงานของการประเมินวัฏจักรชีวิต	16
2	ส่วนการวิเคราะห์และจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมและส่วนเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	17
3	กระบวนการผลิตพอลิสไตรีนจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ	34
4	การรวมตัวของสไตรีนโมโนเมอร์เป็นสายโซ่พอลิเมอร์	35
5	กระบวนการผลิตพอลิสไตรีนแบบ STYRON	35
6	ส่วนแบ่งการตลาดโฟมพอลิสไตรีนชนิดขยายตัวในประเทศไทย	36
7	แผนภาพแสดงขั้นตอนการย่อยสลายทางชีวภาพ	38
8	วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	41
9	กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชได้แป้งและออกซิเจนเป็นผลผลิต	41
10	สูตรโครงสร้างทางเคมีของแป้ง	42
11	พลังงานที่ต้องการใช้ในการผลิต PHB HDPE และ PS	64
12	การพัฒนาการใช้พลังงานในการผลิต PHA ด้วยวิธีการหมัก	64
13	การเปรียบเทียบแผ่นกันกระแทกที่ผลิตจากวัสดุย่อยสลายได้ (Mater-Bi) และพอลิสไตรีนชนิดขยายตัว	67
14	กล่องบรรจุอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน	82
15	ขอบเขตของการศึกษา	84
16	แบบจำลองการจัดการขยะภาชนะบรรจุ	85
17	การเตรียมถังคอมโพสท์ โดยเว้นที่ว่างสำหรับระบายน้ำชะมูลฝอย	90
18	กระบวนการผลิตพอลิสไตรีน	96
19	กระบวนการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป	99
20	กระบวนการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง	100
21	กระบวนการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีน	106
22	ลำดับและขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง	108
23	กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดการคอมโพสท์ของชุดควบคุมการทดลอง	126
25	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดการคอมโพสท์ของชุดทดสอบการแยกสลายและวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสท์	126
26	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดการคอมโพสท์ของชุดทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ	127
27	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของคอมโพสท์ชุดควบคุมการทดลอง	128
28	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของคอมโพสท์ชุดทดสอบการแยกสลายและวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสท์	129
29	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของคอมโพสท์ชุดทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ	129
30	การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน	140
31	การจำแนกรายการผลกระทบในแต่ละขั้นตอนในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	144
32	การเปรียบเทียบแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมในส่วนการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด	148
33	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในส่วนการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด	148
34	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีต่างๆ	150
35	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีต่างๆ	154
36	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุทั้งสองชนิดด้วยวิธีต่างๆ	157

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	การจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน	160
38	การจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	160
39	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด	161
40	การเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผ้าอ้อมที่ผลิตจาก PLA และ PP&PE	163
41	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งใช้การปันส่วนโดยน้ำหนักและราคา	167
42	การเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ในกรณีที่เกิดก๊าซมีเทนขึ้นในการกำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์	170
43	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์แบบใช้ปุ๋ยยูเรียและไม่ใช้ยูเรีย	171
44	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์แบบมีและไม่มีน้ำชะมูลฝอยปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม	172
45	การปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	174
46	การปรับปรุงโดยลดน้ำหนักภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง	175

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BOD	=	ความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ
COD	=	ความต้องการออกซิเจนทางเคมี
DB	=	ไดคลอโรเบนซีน
ELU	=	หน่วยภาระด้านสิ่งแวดล้อม
eq.	=	เทียบเท่า
GPPS	=	พอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป
HDPE	=	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
HIPS	=	พอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง
LCA	=	การประเมินวัฏจักรชีวิต
LDPE	=	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
m^2	=	ตารางเมตร
PAH	=	พอลิไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน
PLA	=	กรดพอลิแล็กติก หรือพอลิแล็กไทด์
Sb	=	พลวง
yr	=	ปี

การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังกับโฟมพอลิสไตรีน

Life Cycle Assessment for Environmental Performance Comparison of Cassava-Based and Polystyrene Foam Packages

คำนำ

สินค้าส่วนมากที่ผู้บริโภคซื้อหามาบริโภคในชีวิตประจำวัน มักมาพร้อมกับภาชนะบรรจุเสมอ เพื่อทำหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง เช่น ป้องกันคุ้มครองสินค้า แสดงข้อมูลสินค้า ทำให้เหมาะสมกับการขนส่งและจัดเก็บ อำนวยความสะดวกและปลอดภัยของผู้บริโภค เป็นต้น (Waite, 1995) เมื่ออัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรเป็นไปอย่างรวดเร็ว รวมทั้งพฤติกรรมการบริโภคของประชาชนในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไปตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยี จึงมีแนวโน้มก่อให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยจากภาชนะบรรจุเพิ่มสูงขึ้นตามมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะมูลฝอยภาชนะบรรจุประเภทพลาสติกและโฟม ซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ที่นำมาใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติ เช่น กระดาษ โลหะ และแก้ว ในรูปแบบของภาชนะบรรจุต่างๆ และมีสัดส่วนการใช้งานในรูปแบบภาชนะบรรจุสูงถึงร้อยละ 32-35 (สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2545) ทั้งนี้เพราะพลาสติกและโฟมช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค ทั้งในเรื่องรูปแบบของผลิตภัณฑ์ การตอบสนองด้านการใช้งาน ตลอดจนราคาที่เหมาะสม เนื่องจากพลาสติกและโฟมมีคุณสมบัติเด่นเหนือวัสดุอื่นตรงที่มีน้ำหนักเบา ทนทาน ความยืดหยุ่นสูง สามารถไปผลิตเป็นภาชนะบรรจุที่มีความคงทน แข็งแรง รวมทั้งสามารถขึ้นรูปให้เป็นรูปทรงต่างๆ ได้ง่ายและหลากหลายรูปแบบ (จิราภา, 2549) นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนสินค้าอีกด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้มีการใช้พลาสติกและโฟมเพิ่มขึ้นจากประมาณ 1.12 ล้านตัน และเพิ่มเป็น 2.93 ล้านตัน หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า ในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา (ตั้งแต่พ.ศ.2535–2544) และมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีกในอนาคต (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ข)

แม้ว่าภาชนะบรรจุจากพลาสติกและโฟมจะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่กลับมีอายุการใช้งานสั้น มักถูกใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง กลายเป็นขยะมูลฝอยทันทีหลังการใช้งาน จึงเป็นภาระในการจัดการขยะมูลฝอย และในการจัดการขยะมูลฝอยเหล่านี้ได้สร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก โดยในการฝังกลบจะสิ้นเปลืองพื้นที่ในการฝังกลบ เพราะมูลฝอยประเภทพลาสติกและโฟม มี

ปริมาตรสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักและมีความสามารถทนต่อแรงอัดได้สูง ไม่เกิดการเสื่อมสภาพแต่อย่างใด และไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2548) จึงทำให้การย่อยสลายตามธรรมชาติเป็นไปได้ยาก นอกจากนี้ยังอาจเกิดการรั่วไหลของน้ำชะมูลฝอย (Leachate) ที่มีสารอันตราย เช่น เอทิลีน ไดคลอไรด์ ไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น หากนำไปเผาทำลายที่อุณหภูมิไม่สูงพอ ก็จะก่อให้เกิดมลสารอันตรายประเภทคลอรีเนทไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated hydrocarbons: CHCs) หรือไดออกซิน (Dioxin) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งแพร่ออกมา (Butte Environmental Council, 2002) รวมทั้งมักก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนและฝนกรดตามมาด้วย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของประชาชน ในการเผาทำลายขยะพลาสติกและโฟมจึงจำเป็นต้องใช้เตาเผาชนิดพิเศษและใช้อุณหภูมิสูง พร้อมทั้งมีระบบดักจับไอระเหยอย่างถูกต้องเหมาะสม ดังนั้นมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจึงสูง นอกจากนี้การทิ้งขว้างพลาสติกและโฟมกระจัดกระจายไปทั่ว มักก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันตามท่อระบายน้ำในเมือง ทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมเมื่อฝนตกหนักอีกด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ข)

หลายประเทศแถบสหภาพยุโรป เกาหลี ไต้หวัน และญี่ปุ่น ต่างก็ตระหนักถึงพิษภัยและความจำเป็นในการรณรงค์ให้ประชาชนลดการใช้บรรจุภัณฑ์จากโฟมและพลาสติก จึงได้ออกกฎหมายเกี่ยวกับภาชนะบรรจุ เช่น กฎหมายภาชนะบรรจุและขยะภาชนะบรรจุ (Directive 94/62/EC on Packaging and Packaging Waste หรือ PPWD) ของสหภาพยุโรป กฎหมายเกี่ยวกับการจัดการของเสียของประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น รวมทั้งยังมีมาตรการจัดเก็บภาษี สำหรับผู้นำเข้า ผู้ผลิต ภาชนะบรรจุที่ทำจากโฟมและพลาสติกเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว เพื่อเป็นงบประมาณในการกำจัดขยะที่ก่อมลพิษเหล่านี้ และเพื่อกระตุ้นให้ผู้บริโภค ผู้ผลิต ผู้นำเข้าต่างๆ เร่งหาภาชนะบรรจุทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ตลอดจนมาตรการอื่นๆ ที่รัฐบาลใช้ได้แก่ ค่าบริการ ค่าธรรมเนียม และใบอนุญาต เพื่อยกระดับมาตรฐานการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการจัดการและลดขยะมูลฝอยที่เกิดจากภาชนะบรรจุพลาสติกและโฟมอย่างมีประสิทธิภาพ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2545) สำหรับประเทศไทย แม้ว่ายังไม่มีกฎหมายหลักที่ใช้ในการจัดการกับภาชนะบรรจุและขยะมูลฝอยภาชนะบรรจุแบบบูรณาการ แต่ก็ได้ริเริ่มหาแนวทางและมาตรการที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการลดปริมาณการใช้ภาชนะบรรจุพลาสติกและโฟมในอนาคต (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ก)

หากพิจารณาปัจจัยด้านวัตถุดิบ อันได้แก่ทรัพยากรน้ำมันปิโตรเลียมหรือเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่มีปริมาณจำกัด และประมาณการว่าจะหมดไปในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า ดังนั้นผลิตภัณฑ์พลาสติก

ที่แปรรูปมาจากปิโตรเลียม ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 5 ของการใช้งานปิโตรเลียมทั้งหมด (Phylipsen *et al.*, 2002) นอกจากจะมีแนวโน้มของราคาสูงขึ้นตามราคาน้ำมันหรือปิโตรเลียมแล้ว ยังอาจเกิดวิกฤตด้านการขาดแคลนวัตถุดิบในอนาคตอีกด้วย (สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพไทย, ม.ป.ป.)

จากแรงกดดันด้านปัญหาสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะมูลฝอยพลาสติกและโฟมและปัจจัยด้านวัตถุดิบดังกล่าวข้างต้น ก่อให้เกิดความตื่นตัวและความสนใจในการจัดหาวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นวัตถุดิบที่ยั่งยืน เพื่อนำมาใช้ทดแทนวัสดุดั้งเดิม ในช่วงระยะที่ผ่านมาประเทศไทยได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่จะนำแป้งจากพืชชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุสำหรับบรรจุอาหาร โดยมีข้อดีคือสามารถพองตัวขึ้นแผ่นฟิล์มได้ รวมทั้งมีลักษณะที่เปลี่ยนรูปง่าย นำมาขึ้นรูปในแม่พิมพ์ได้ ราคาถูก และมีความบริสุทธิ์สูง (กล้า ณรงค์ และเกื้อกูล, 2550) จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำมาเป็นวัตถุดิบใช้ทดแทนพลาสติกในบางส่วนของการใช้งาน อันจะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่ายในการกำจัดมูลฝอยหลังสิ้นสุดการใช้งาน ตลอดจนลดความเสี่ยงด้านสุขภาพอนามัยของประชาชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแป้งมันสำปะหลัง ในฐานะเป็นหนึ่งในสินค้าเกษตรแปรรูปที่ประเทศไทยมีศักยภาพสูงในการผลิตและส่งออก ด้วยปริมาณการผลิตราว 700,000 ตันต่อปี โดยกว่าร้อยละ 90 เป็นการผลิตเพื่อส่งออก ยังผลให้ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกแป้งมันสำปะหลังแปรรูปรายใหญ่อันดับ 2 ของโลก ด้วยส่วนแบ่งตลาดโลกร้อยละ 14.7 (ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย, 2550)

การใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เป็นที่แน่ใจได้ว่าไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการหลังสิ้นสุดการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตาม หากมีการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถย่อยสลายได้โดยพิจารณาเพียงขั้นตอนหลังสิ้นสุดการใช้งานเพียงอย่างเดียว อาจให้ข้อมูลที่ไม่ครบถ้วน เนื่องจากยังขาดข้อมูลตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การใช้วัตถุดิบผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ จนกระทั่งถึงการผลิตได้เป็นภาชนะบรรจุและขนส่งไปยังผู้ใช้ ซึ่งในการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมองให้ครอบคลุมตลอดอายุของผลิตภัณฑ์ (สุรศักดิ์, 2547) มิเช่นนั้นอาจก่อให้เกิดข้อเคลือบแคลงสงสัย หรือเป็นที่ถกเถียงทั้งในแวดวงวิชาการและภาคธุรกิจ ถึงประโยชน์และโทษของการใช้ภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Morgan, 2007) รวมทั้งข้อมูลเชิงเปรียบเทียบด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุทั้งสองประเภท ยังไม่ได้มีการนำเสนอเพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับ

กลุ่มผู้บริโภคที่มีจิตสำนึกในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งการให้ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมที่ถูกต้องและครบถ้วนแก่ผู้บริโภคถือเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง (Sonneveld , 2000)

โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษา เพื่อวิเคราะห์ ประเมินค่าและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจากภาชนะบรรจุที่ผลิตจากวัสดุสองชนิด ได้แก่ มันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน ในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ตลอดไปจนถึงการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งาน โดยอาศัยเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่งเป็นมาตรฐานสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศ ว่าด้วยการจัดการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์และบริการ และเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ ที่ใช้ในการจำแนกและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ และพิจารณาคลอบคลุมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (International Organization for Standardization: ISO, 2006a) เข้ามาช่วยในการดำเนินการ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมที่ถูกต้องและครบถ้วน โดยมุ่งหวังนำผลสรุปที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการเพิ่มทางเลือกในการผลิตของภาคอุตสาหกรรม และใช้เป็นข้อมูลทางเลือกเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ ในการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่มีจิตสำนึกรักษ์สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นและช่วยให้การใช้ทรัพยากรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา และการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมอย่างถูกต้องและตรงประเด็น และช่วยเพิ่มแรงผลักดันด้านสังคมให้นำไปสู่ความยั่งยืนในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อรวบรวมข้อมูลการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงาน รวมทั้งของเสียหรือมลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตและการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน

2. เพื่อจำแนก วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต และเพื่อให้ได้ข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจ ในการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากรธรรมชาติ และพลังงาน รวมถึงของเสียหรือต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ตลอดจนถึงการกำจัดในขั้นตอนสุดท้ายของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน

2. ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิต การขนส่ง ตลอดจนถึงการกำจัดในหลังสิ้นสุดการใช้งานของภาชนะบรรจุบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลีสไตรีน

3. กำหนดหน่วยหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Functional unit) คือ กล่องบรรจุอาหารกลางวัน (Lunch box) แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง (Single use) ขนาด 5×7×1.5 นิ้ว จำนวน 10,000 ใบ

4. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการศึกษานี้ ใช้โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 ช่วยในการประเมินและเป็นฐานข้อมูล และใช้รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามวิธี CML 2 Baseline 2000 เวอร์ชั่น 2.03

5. การกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังใช้วิธีการเผาในเตาเผา (Incineration) การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ส่วนการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนใช้วิธีการเผาในเตาเผา การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และการคอมโพสท์ (Composting)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลบัญชีรายการพื้นฐานการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากรธรรมชาติ และพลังงาน รวมทั้งของเสียหรือมลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตและกำจัดของภาชนะบรรจุภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน

2. ทราบถึงชนิดและปริมาณของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมโพลีสไตรีน และสามารถเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต

3. ได้ข้อมูลสนับสนุนในการตัดสินใจ สำหรับผู้บริโภคที่มีจิตสำนึกรักษ์สิ่งแวดล้อม ในการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

การตรวจเอกสาร

1. เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมเริ่มเด่นชัดขึ้น 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 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของเครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อมแสดงดังตารางที่ 1

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตมีความแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่มีอยู่ กล่าวคือ การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โดยเน้นผลเชิงปริมาณอย่างชัดเจน จึงทำให้การประเมินวัฏจักรชีวิตมีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนกระทั่งถึงขั้นตอนการกำจัดผลิตภัณฑหลังสิ้นสุดการใช้งาน โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น รวมถึงการใช้ทรัพยากรและสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นการมองถึงผลกระทบในภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากมลสารที่ปล่อยออกมา มากกว่าที่จะมองเฉพาะผลกระทบของมลสารนั้น ดังนั้น การประเมินวัฏจักรชีวิตจึงเป็นเพียงเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ได้แทนที่เครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชนิดอื่นๆ ที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของเครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

เครื่องมือ	Life Cycle Assessment (LCA)	Risk Assessment (RA)	Environmental Impact Assessment (EIA)	Environmental Performance Evaluation (EPE)
วัตถุประสงค์	-เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างทางสิ่งแวดล้อมของระบบ -เพื่อระบุลำดับในการปรับปรุง	เพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	เพื่อประเมินผลกระทบด้านบวกและลบต่อสิ่งแวดล้อมของแผนโครงการในอนาคต	เพื่อจัดหาข้อมูลที่เชื่อถือและพิสูจน์ได้เกี่ยวกับสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมขององค์กร
ข้อดี	-พิจารณาผลกระทบทั้งระดับโลกและภูมิภาค -พิจารณาผลกระทบคลอบคลุมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต	ประเมินผลกระทบระดับพื้นที่และภูมิภาคต่อเป้าหมายเฉพาะ	-ประเมินผลกระทบทั้งด้านบวกและลบ -พิจารณาผลกระทบของโครงการในระดับพื้นที่	มีการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์โดยตรงกับนโยบายและเป้าหมาย
ข้อเสีย	ไม่ได้พิจารณาถึงเรื่องเวลา	-ไม่ได้พิจารณาตลอดวงจรชีวิตและไม่พิจารณาถึงปริมาณการใช้ทรัพยากร	ยากต่อการวิเคราะห์ผลกระทบระดับโลก ภูมิภาคและตลอดวงจรชีวิต	ให้ความสัมพันธ์ที่ไม่สมบูรณ์ในการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อม
เป้าหมายของการวิเคราะห์	ผลิตภัณฑ์ หรือ การบริการ	สถานการณ์ความเป็นพิษ	แผนสร้างโครงการโดยทั่วไปเป็นโครงการก่อสร้าง	กิจกรรมต่างๆ ขององค์กร

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เครื่องมือ	Life Cycle Assessment (LCA)	Risk Assessment (RA)	Environmental Impact Assessment (EIA)	Environmental Performance Evaluation (EPE)
การจำกัดพื้นที่	ไม่จำกัด	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดกิจกรรมในองค์กร
พิจารณาผลกระทบทางด้านใด	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมจากการใช้ทรัพยากรและของเสียที่เกิดขึ้น	ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม	ผลกระทบทั้งหมดของโครงการต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่	ผลกระทบที่สัมพันธ์กับกิจกรรมขององค์กร
การแปลผล	การประเมินผลกระทบ	เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ยอมรับได้	ต้นทุนและกำไรทางสิ่งแวดล้อม	ระบุการชี้วัดที่ตรงกับปัญหาของสมรรถนะ
ฐานการเปรียบเทียบ	หน่วยหน้าที่	สถานการณ์ที่ต้องการการเปรียบเทียบ	โครงการ	หน่วยการทำงาน

ที่มา: SETAC-Europe Working Group (2003)

อย่างไรก็ดีการประเมินวัฏจักรชีวิต ทำให้ทราบถึงข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาประกอบกับข้อมูลในประเด็นอื่นๆ เช่น ต้นทุน ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้บริโภค เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจ หรือการกำหนดแนวทางดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคต เช่น การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงนโยบายของภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบทั้งต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค และการกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น จุดเด่นที่สำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิต คือ ความสามารถในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นระหว่างผลิตภัณฑ์หรือบริการมากกว่าหนึ่งชนิดได้ (International Organization for Standardization: ISO, 2006a)

2. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2.1 ความเป็นมาและความหมายความของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นผลสืบเนื่องมาจากวิกฤตการณ์ด้านพลังงานในช่วงปี ค.ศ.1970 รัฐบาลหลายประเทศในขณะนั้นได้วางแนวนโยบายการประหยัดพลังงานต่างๆ ออกมาบังคับใช้ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อแนวคิดหลักในการปลูกจิตสำนึกด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม กอปรกับความสำเร็จของบริษัทเครื่องดื่มยี่ห้อโคคาโคลาที่ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุน้ำดื่ม จึงได้มีการริเริ่มคิดค้นวิธีการศึกษาเรื่องการใช้พลังงาน การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และการควบคุมหรือลดปริมาณของเสีย ซึ่งเป็นพื้นฐานที่จะนำไปสู่การประเมินวัฏจักรชีวิต โดยในตอนแรกเรียกวิธีการนี้ว่า การวิเคราะห์ข้อมูลด้านทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม (Resource and Environmental Profile Analysis: REPA) แต่หลังจากนั้นความสนใจศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตได้ลดลง แต่ยังคงมีการศึกษาวิธีการและโครงร่างอยู่ในระดับเล็ก จนกระทั่งปีค.ศ.1990 การประเมินวัฏจักรชีวิตได้กลับมาเป็นที่สนใจอย่างแพร่หลายขึ้นมาอีกครั้ง โดยแนวทางในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตได้ถูกพัฒนาขนานไปกับแนวคิดที่ต้องการค้นหาและวิเคราะห์ความต้องการในการใช้พลังงาน สำหรับแต่ละภาคอุตสาหกรรมอย่างละเอียด ซึ่งหลังจากนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตได้ขยายขอบเขตเพิ่มเติมไปถึงการประเมินการใช้ทรัพยากรชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากการวิเคราะห์ด้านการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ การที่ภาครัฐของประเทศต่างๆ เริ่มนำผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ในด้านการค้าและการส่งเสริมจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมของสังคม และ

การนำการประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่สนใจทางด้านสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตยังมีข้อถกเถียง อันมีสาเหตุมาจากเทคนิคที่ใช้ โดยผลของการประเมินขึ้นอยู่กับแนวคิดและวิธีการ ข้อมูล การตีความ รวมถึงการเลือกใช้ฐานข้อมูลในการนำมาคำนวณผลจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน ด้วยสาเหตุดังกล่าวข้างต้นทำให้การกำหนดมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตได้ถูกจัดตั้งขึ้นมาอย่างเป็นสากล จากการประชุมวิชาการในระดับนานาชาติ เกี่ยวกับวิธีการและหลักเกณฑ์ในการการปฏิบัติสำหรับการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิต ภายใต้การกำกับดูแลของสมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry: SETAC) เพื่อสร้างบรรทัดฐานงานด้านสิ่งแวดล้อมบนพื้นฐานการพิจารณาเชิงวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ

ปัจจุบันความรู้เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต ได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เป็นที่รู้จักและยอมรับอย่างแพร่หลายมากขึ้น สังเกตได้จากการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญทั้งในระดับโลก ระดับประเทศหรือระดับองค์กร ตลอดจนการที่องค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Standards Organization: ISO, 2006) ได้ออกอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ชุด ISO 14040 เพื่อกำหนดรูปแบบวิธีการและขั้นตอนการการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อเป็นมาตรฐานในการทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตได้ถูกนำเข้ามาในประเทศไทยปีพ.ศ. 2540 เมื่อเครือข่ายการประเมินวัฏจักรชีวิตแห่งประเทศไทย (Thai LCA Network) ตั้งขึ้นที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรวบรวมบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม เริ่มต้นครั้งแรกโดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (Thailand Environment Institute: TEI) ในปีพ.ศ. 2543 เพื่อที่จะพัฒนาฐานข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้า (Electricity Grid Mixes) โครงการด้าน LCA และ LCI จัดทำโดยกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology Advancement Program: CTAP) ภายใต้ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (National Metal and Materials Technology Center: MTEC) โดยได้รับความร่วมมือจากมหาวิทยาลัย และ TEI ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2543 และในปีพ.ศ. 2548 ได้จัดตั้งโครงการฐานข้อมูลบัญชีรายการของประเทศไทย (Thai National LCI Database) ขึ้น โดยได้รับการสนับสนุนทางด้านเทคนิคจากรัฐบาลญี่ปุ่นผ่านโครงการ Green Partnership Plan

MTEC เป็นแม่งานโดยความร่วมมือของหน่วยงานต่างๆ คือ กระทรวงอุตสาหกรรม โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

2.2 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมีได้ให้นิยามของ การประเมินวัฏจักรชีวิตว่า “กระบวนการที่ประเมินผลกระ ทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดโดยยึดหลักของระบบนิเวศสุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก” (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 ว่า “การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออกรวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต” (สถาบันสิ่งแวด ล้อมไทย, 2547)

2.3 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่ถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14000 โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA แต่เดิมมีทั้งหมด 7 ฉบับ ได้แก่

• ISO 14040–Life cycle assessment–Principles and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

• ISO 14041–Life cycle assessment–Goal and scope definition and Life Cycle Inventory analysis เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)

• ISO 14042–Life cycle assessment–Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

• ISO 14043–Life Cycle Assessment–Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA

• ISO/TR 14047–Life Cycle Assessment–Illustrative examples on how to apply ISO 14042–Life cycle impact assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

• ISO/TR 14048–Life Cycle Assessment–LCA Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA

• ISO/TR 14049–Life Cycle Assessment–Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

ในปัจจุบันองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐานได้ทำการปรับปรุงและรวบรวมขั้นตอนและวิธีการในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เข้าไว้ด้วยกัน ดังนี้

• ISO 14040:2006-Environmental management–Life cycle assessment–Principles and framework กล่าวถึงภาพรวมของวิธีดำเนินการ การประยุกต์ใช้งาน และข้อจำกัดของการประเมินวัฏจักรชีวิต ที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้งานที่หลากหลาย และผู้ถือผลประโยชน์ร่วม (stakeholder) ซึ่งอาจมีความรู้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตที่จำกัด

• ISO 14044:2006-Environmental management–Life cycle assessment–Requirements and guidelines เป็นการเตรียมตัวสำหรับการวิเคราะห์และเกณฑ์ในการทบทวน LCI โดยกำหนดแนวทางในการประเมินผลกระทบและการแปลผลข้อมูลของรายงานผลที่ได้

อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040:2006 และ ISO 14044:2006 นำมาใช้แทนอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040:1997, ISO 14041:1999, ISO 14042:2000 และ ISO 14043:2000 โดยอนุกรมมาตรฐานใหม่ ได้ทำการปรับปรุงให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น ตัดส่วนที่ไม่จำเป็น ข้อผิดพลาด และความไม่สอดคล้องกันออก

2.4 ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตจะดำเนินงานตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งมี 4 ขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 1 และมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์และระบุขอบเขตของการศึกษารวมถึงกำหนดหน่วยหน้าที่ เพื่อเป็นการกำหนดหน่วยพื้นฐานในการศึกษา โดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เป้าหมายของการศึกษามีความชัดเจน และการวิเคราะห์สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

2.4.2 การจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

การทำบัญชีรายการ โดยการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เช่น พลังงานที่ใช้ แหล่งทรัพยากรที่ใช้ และปริมาณการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยการจัดหาข้อมูลนั้น เป็นปัญหาที่สำคัญของการทำ LCA เนื่องจากการทำ LCA นั้นจะจำเป็นที่ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งมีความยุ่งยากในการจัดหาและรวบรวมข้อมูลและใช้เวลานานในการศึกษา

2.4.3 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 อาจก่อให้เกิดผลกระทบสภาวะโลกร้อน หรือก๊าซมีเทนอาจก่อให้เกิดผลกระทบสภาวะโลกร้อน และการเกิดมลสารขั้นทุติยภูมิจากปฏิกริยาแสงเคมี (Photochemical oxidation) เป็นต้น

- การกำหนดบทบาท (Characterization)

ขั้นตอนนี้ทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลสารที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน เช่น ภาวะโลกร้อน สารต่างๆ ที่จัดว่าเป็นสาเหตุของปัญหานี้จะถูกประเมินเป็นหน่วยกิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO_2 eq.) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

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

เมื่อ EP_j คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบ j (กิโลกรัม, เทียบเท่าสารอ้างอิงของผลกระทบ j)

Q_i คือ ปริมาณมลสาร i ที่ปล่อยออกมา (กิโลกรัมของสาร i)

EF_{ij} คือ ค่าเทียบเท่าของมลสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (กิโลกรัม, เทียบเท่าสารอ้างอิงของผลกระทบ j ต่อกิโลกรัมของสาร i)

- การเทียบหน่วย (Normalization)

ขั้นตอนนี้ทำโดยการหาความสำคัญของแต่ละผลกระทบ โดยทำการเปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งาน และต่อค่าการให้ขนาดของผลกระทบทางสิ่ง แวดล้อมนั้นๆ โดยคำนวณจากสมการที่ (2)

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

เมื่อ NP_j คือ ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ของผลิตภัณฑ์ (คน)

T คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (ปี)

ER_j คือ ค่าการให้ขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (กิโลกรัมเทียบเท่าสารอ้างอิงของผลกระทบ j ต่อคนต่อปี)

- การให้น้ำหนัก (Weighting)

ขั้นตอนนี้ทำการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยนำค่า NP_j ที่ได้ที่ได้มาคูณด้วยค่าการให้น้ำหนักที่มีค่าระดับความสำคัญของแต่ละผลกระทบที่แตกต่างกัน เช่น สภาวะโลกร้อนอาจพิจารณาว่ามีค่าสำคัญมากกว่าสภาวะฝนกรด โดยให้ค่าน้ำหนักที่อัตราส่วน 1:2 โดยค่าน้ำหนักที่คำนวณได้นี้เป็นค่าสุดท้ายที่ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวด ล้อมที่วิเคราะห์ หรือคำนวณได้จากสมการที่ (3)

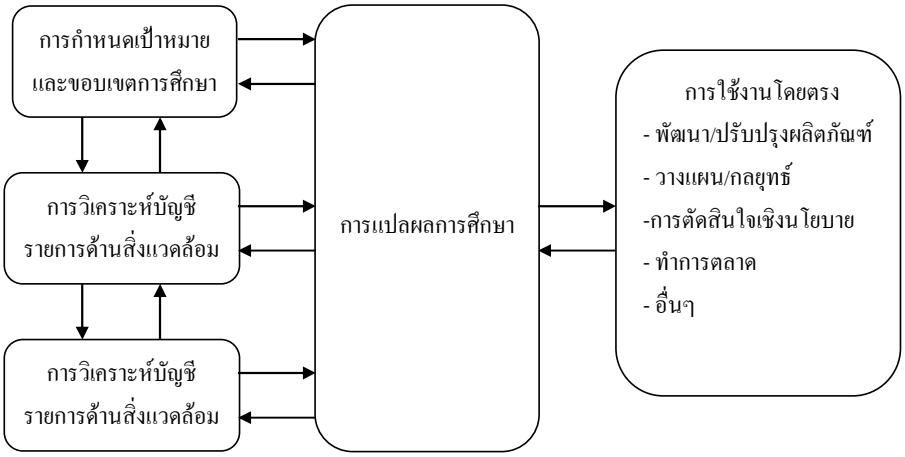
$$WP_j = WF_j \times NP_j \qquad (3)$$

เมื่อ WP_j คือค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Person for target year; Pt.)

WF_j คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

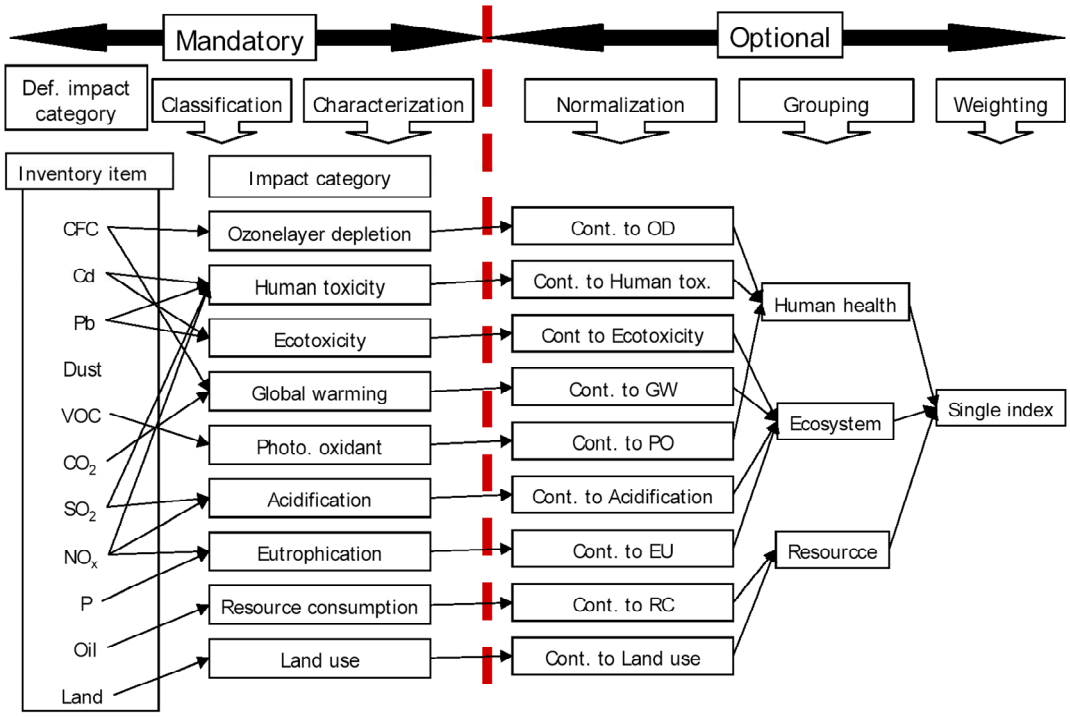
2.4.4 การแปลผลการศึกษา (Interpretation)

การแปลผลและการตีความโดยการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ร่วมกับการทำบัญชีรายการ เพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามวัตถุประสงค์และเป้าหมาย และเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการศึกษาและวัตถุประสงค์การศึกษา



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ที่มา : International Organization for Standardization (2006a)



ภาพที่ 2 ส่วนการวิเคราะห์และจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมและส่วนเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ที่มา : International Organization for Standardization (2006a)

2.5 การประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตทำให้ทราบถึงข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาประกอบกับข้อมูลในประเด็นอื่นๆ เช่น ต้นทุน ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้บริโภค เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจหรือการกำหนดแนวทางดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคต

การประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมหรืองานวิจัยได้ อย่างหลากหลาย โดยกลุ่มของผู้นำไปใช้งานอาจจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ภาคอุตสาหกรรม/บริษัทเอกชน ภาครัฐองค์กรเอกชน (NGOs) และผู้บริโภค โดยมีรูปแบบของการนำไปใช้งานของกลุ่มผู้ใช้งานแสดงอยู่ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบของการประยุกต์ใช้งานการประเมินวัฏจักรชีวิต

กลุ่มผู้นำไปใช้งาน	รูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน
ภาคอุตสาหกรรม บริษัทเอกชน	- ใช้สื่อสารให้ทราบถึงข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ - ใช้ต่อรองกับผู้จัดหาวัตถุดิบ (Supplier) ให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น - พัฒนากลยุทธ์ด้านการตลาด กลยุทธ์ด้านธุรกิจ และแผนการลงทุน - การจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นข้อมูลให้กับผู้บริโภคใช้ตัดสินใจเลือกซื้อสินค้า -ออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม - เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ
ภาครัฐ	- เป็นเกณฑ์ในการจัดทำข้อกำหนดของฉลากสิ่งแวดล้อม - ใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อสนับสนุนเงินทุน หรือการจัดทำโครง - พัฒนานโยบายทั่วไปของภาครัฐ
องค์กรเอกชน	- เป็นข้อมูลเพื่อเผยแพร่ต่อผู้บริโภค - เป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการประชุม/สัมมนาในเวทีสาธารณะ - ใช้ข้อมูลเพื่อกดดันภาคเอกชนและรัฐบาลในการพัฒนาสิ่งแวดล้อม
ผู้บริโภค	- ใช้ข้อมูลเพื่อประกอบการการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์

3. โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA software)

ปัญหาที่มักพบในการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการและการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม คือ การจัดการข้อมูลที่มีจำนวนมากและมีความซับซ้อน ปัจจุบันหน่วยงานและองค์กรต่างๆ จึงได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อแก้ปัญหาการจัดการกับข้อมูล และการประเมินผลของบางโปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้น สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตอย่างสมบูรณ์ ประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาในการเลือกโปรแกรมสำหรับใช้งาน ได้แก่ ฐานข้อมูล การคำนวณบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบ และการแปลผลข้อมูล การเปรียบเทียบคุณสมบัติของโปรแกรมสำเร็จรูป ที่นิยมใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต แต่ละโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต

หัวข้อ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design System	GaBi 3	SimaPro 4.0	TEAM	Umberto 3.5
ประเทศ	Germanny	Holland	Denmark	Sweden	Germanny	Holland	France	Germanny
จำนวนลิขสิทธิ์ที่ขายได้	62	70	100	>200	250	>600	>200	>350
ราคา (ปี 2000)	$6,000	$215	$700	$3,200	$2,500-8,000	$2,540	$3,000	$1,000-20,000
เวลาที่ใช้ในการศึกษา	1 วัน	<2 ชั่วโมง	<1สัปดาห์	<1สัปดาห์	<1เดือน	<1วัน	<1วัน	<1สัปดาห์
วิธีในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	Several	All single score method	EDIP, environmetal method	EPS	EI + create your own method	EI95,EI99,EP97,CML,EDIP, EPS	CML, EPA, IPCC, CVCH	EI, Swiss eco-point
เป็นไปตามมาตรฐานISO 14040	x	-	x	x	x	x	x	x
แสดงผลในรูปตาราง	x	x	x	x	x	x	x	x
แสดงผลในรูปแผนภาพ	x	x	x	x	x	x	x	x
การปรับปรุงข้อมูล	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ช่วงเวลาอื่น	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ทุก 2 ปี	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หัวข้อ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design System	GaBi 3	SimaPro 4.0	TEAM	Umberto 3.5
แสดงค่าทางสิ่งแวดล้อมในหน่วย Pt.	-	x	x	x	x	x	x	x
แสดงผลในแต่ละรายการของผลกระทบ	x	-	x	x	x	x	x	x
สามารถแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ได้	x	-	x	x	x	x	x	x
สามารถดึงผลการประเมินออกจากโปรแกรมได้	x	x	x	x	x	x	x	x
ตรงตามเป้าหมายสำหรับ วิศวกรออกแบบ	x	x	x	x	-	x	-	x
ตรงตามเป้าหมายสำหรับ วิศวกรสิ่งแวดล้อม	x	-	x	x	x	x	x	x
ตรงตามเป้าหมายสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้าน LCA	-	-	-	x	x	x	x	x

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หัวข้อ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design System	GaBi 3	SimaPro 4.0	TEAM	Umberto 3.5
หน่วยการใช้งานสอดคล้องกับหลักการของ LCA	-	-	x	-	x	x	x	x
บัญชีรายการแสดงในรูปมวลสารเข้าและมวลสารออก	x	-	x	x	x	x	x	x
สามารถใช้วิธีการที่แตกต่างในการประเมินผล LCA	x	-	x	x	x	x	x	x
มีฐานข้อมูล	x	x	x	x	x	x	x	x
สามารถเพิ่มข้อมูลเข้าไปได้	x	x	x	x	x	x	x	x
มีคู่มือการใช้งาน	x	x	x	x	x	x	x	x

X หมายถึง มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม

\- หมายถึง ไม่มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม

ที่มา: ปรับปรุงจาก Jönbrink *et al.* (2000)

4. โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

แม้ว่าการเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตที่แสดงในตารางที่ 3 จะไม่ใช่โปรแกรมในเวอร์ชั่นปัจจุบัน แต่ผลการเปรียบเทียบนี้ยังสามารถนำมาวิเคราะห์ เพื่อคัดเลือกโปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับใช้งาน การเปรียบเทียบข้างต้นจะเห็นได้ว่าโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มีการวิเคราะห์ผลกระทบตามมาตรฐาน ISO มีการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งได้ มีการแสดงผลที่เข้าใจง่ายในรูปตารางหรือแผนภาพ เหมาะสมสำหรับการใช้งานของวิศวกรสิ่งแวดล้อมและวิศวกรออกแบบ มีฐานข้อมูลให้เลือกนำมาประยุกต์ใช้ และมีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่และการปรับปรุงฐานข้อมูล นอกจากนี้ราคาก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผู้ใช้งานมักเลือกโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เมื่อเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน รวมทั้งการเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งสังเกตุได้จากปริมาณลิขสิทธิ์ที่ขายได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ในการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน

Pre' Consultants (2001) กล่าวว่า โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจากบริษัท Pre' Consultants ประเทศเนเธแลนด์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ซึ่งเป็นการนำขั้นตอนต่างๆ ของการทำประเมินวัฏจักรชีวิต มาจัดการอย่างเป็นระบบ โดยจัดข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรม เพื่อที่ผู้ใช้สามารถเลือกนำไปประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมหรือกระบวนการผลิตทั่วไปอย่างเหมาะสม ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีดังนี้

1) กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

2) การรวบรวมข้อมูล ทำการรวบรวมข้อมูล โดยอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการที่ทำการศึกษา

3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม: เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยอ้างอิงวิธีการประเมินมาตรฐานในโปรแกรม เช่น Eco-indicator 99, EPS 2000, CML 2 baseline 2000 เป็นต้น รายละเอียดของโปรแกรมที่มีผู้ทำการศึกษาไว้ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินวิธีต่างๆ

วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ขั้นตอน			
	การกำหนดบทบาท	การประเมินความเป็นอันตราย	การเทียบหน่วย	การให้น้ำหนักความสำคัญ
Eco-indicator 95	/		/	/
Eco-indicator 99	/	/	/	/
CML 92	/		/	
CML 2 baseline 2000	/		/	
Ecopoints 97	/			/
EDIP 96	/		/	/
EPS 2000	/	/		/

ที่มา: Chomkumsri (2003)

ขั้นตอนในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโปรแกรมนี้ มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) การกำหนดบทบาท เป็นนำข้อมูลปริมาณสารต่างๆ ได้แก่ วัตถุดิบ ทรัพยากร พลังงาน รวมทั้งมลสารต่างๆ ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูล มาจำแนกตามกลุ่มของผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยทำการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2) การประเมินความเป็นอันตราย (Damage assessment) เป็นการแปลข้อมูลที่ได้จากการกำหนดบทบาทแล้ว ให้อยู่ในรูปของกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลัก 3 ทาง ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ (Human health) ผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Ecosystem quality) และ การเสื่อมสลายของทรัพยากร (Resources depletion) ซึ่งจัดเป็นผลกระทบปลายทางที่เห็นชัดและบุคคลทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่าย

3) การเทียบหน่วย เป็นการหาความสำคัญของศักยภาพของแต่ละผลกระทบ ว่าผลกระทบแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ จะมีความสัมพันธ์กับผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม ทั้งระดับโลก ระดับทวีป หรือระดับประเทศอย่างไร

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

5) การแปลความหมายข้อมูล เป็นการนำผลของการรวบรวมบัญชีรายการข้อมูล และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม มาวิเคราะห์และสรุปผลลัพธ์ที่ได้ และเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง พัฒนาตามขอบเขตและเป้าหมายที่กำหนดไว้

5. วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบ CML 2 Baseline 2000

วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมนี้ พัฒนาโดย CML หรือ Centre of Environmental Sciences มหาวิทยาลัยไลเดน (Leiden) ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยมีหลักการสำคัญ คือ การคำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยมลสารสู่สิ่งแวดล้อม (Problem-oriented approach) ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint) ที่คำนวนจากการมีส่วนทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของมลสารต่างๆ แล้วนำมารวมกันเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต รายการผลกระทบที่นำมาพิจารณา ได้แก่

การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ (Abiotic Depletion) เป็นรายการที่พิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงทรัพยากรด้านพลังงาน โดยเป็นกลุ่มทรัพยากรที่สามารถเกิดมีขึ้นใหม่ในช่วงชีวิตของมนุษย์ เช่น น้ำใต้ดิน กลุ่มทรัพยากรที่ไม่สามารถเกิดมีขึ้นใหม่ในช่วงชีวิตของมนุษย์ เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล และทรัพยากรที่ไม่มีวันหมดไป เช่น แสงอาทิตย์ ผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติจะพิจารณาถึงปริมาณทรัพยากรสำรองและอัตราในการสกัดทรัพยากรมาใช้ ในทางปฏิบัติของโปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro รายการผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติจะมีความสัมพันธ์กับการใช้สินแร่ (Mineral) และการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) ดังนั้น ตัวประกอบของการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ (Abiotic Depletion Factor: ADF) จะขึ้นอยู่กับอัตราการสกัดทรัพยากรไปใช้

และปริมาณสำรองของทรัพยากรนั้นๆ ทรัพยากรอ้างอิงของรายการผลกระทบนี้ คือ พลวง (Antimony) ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (4)

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

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

ADP_i คือ ศักยภาพในการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ

m_i คือ ปริมาณของทรัพยากร i ที่ถูกสกัดมาใช้ (กิโลกรัม)

R_i คือ ปริมาณทรัพยากรสำรอง (กิโลกรัม)

DR_i คือ อัตราการสกัดทรัพยากร (กิโลกรัมต่อปี)

R_{ref} คือ ปริมาณทรัพยากรอ้างอิงสำรอง (กิโลกรัม, พลวง)

DR_{ref} คือ อัตราการสกัดทรัพยากรอ้างอิง (กิโลกรัมต่อปี)

ภาวะโลกร้อน เป็นรายการที่พิจารณาผลกระทบจากสารที่ปล่อยสู่บรรยากาศ แล้วก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารอ้างอิง ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (5)

$$\text{Climate Change} = \sum_I \text{GWP}_i \times m_i \quad (5)$$

เมื่อ m_i คือ ปริมาณสาร i ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

GWP_i คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของสาร i (กิโลกรัม, เทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)

และ $GWP_{T,i} = \{\int_i^T a_i c_i(t)\,dt\}/\{\int_i^T a_{CO2} c_{CO2}(t)\,dt\}$

a_i คือ แรงจากรังสีต่อหน่วยความเข้มข้น ที่เพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก i (เวเบอร์ต่อตารางเมตรต่อกิโลกรัม)

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

T คือ เวลา (ปี)

การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Stratospheric Ozone Depletion) เป็นรายการผลกระทบที่ประเมินการลดลงของสาร ที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน โดยใช้สารซีเอฟซี-11

(CFC-11) เป็นสารอ้างอิง ศักยภาพในการก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Depletion Potential: ODP) ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (6)

$$\text{Ozone Depletion} = \sum_i \text{ODP}_i \times m_i \quad (6)$$

เมื่อ m_i คือ ปริมาณสาร i ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

ODP_i คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของสาร i (กิโลกรัม, เทียบเท่าซีเอฟซี-11)

และ $\text{ODP}_i = \delta[O_3]_i / \delta[O_3]_{\text{CFC-11}}$

$\delta[O_3]_i$ คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณโอโซน อันเนื่องมาจากการปล่อยสาร i (กิโลกรัมต่อปี)

$\delta[O_3]_{\text{CFC-11}}$ คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณโอโซน อันเนื่องมาจากการปล่อยซีเอฟซี-11 (กิโลกรัมต่อปี)

การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) เป็นรายการผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เนื่องจากสารพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ศักยภาพของความเป็นพิษต่อมนุษย์คำนวนโดยอ้างอิงจากแบบจำลองของการแพร่กระจาย (Fate model) ซึ่งอธิบายถึงการแพร่กระจาย การเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ (Exposure) และผลของอันตรายที่เกิดจากสารพิษในระยะเวลาหนึ่ง และนำการประเมินค่าความเสี่ยงเข้ามาพิจารณาร่วมด้วย ความเป็นพิษต่อมนุษย์ใช้ 1,4ไดคลอโรเบนซีน (1,4-dichlorobenzene) เป็นสารอ้างอิง ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (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 ecomp

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

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

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

E_i คือ ตัวประกอบผลกระทบจากความพิษต่อมนุษย์ เนื่องจากสาร i ที่ได้รับในแต่ละวัน

$PDI_{air,1,4\text{-}dichlorobenzene}$ คือ ปริมาณคาดคะเนการได้รับ 1,4ไดคลอโรเบนซีน ที่ปล่อยสู่อากาศในแต่ละวัน

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

การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) ในรายการผลกระทบนี้ รวมทั้งสารพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ บนบก และระบบนิเวศ แยกเป็นระบบสิ่งแวดล้อม 3 ส่วน ได้แก่ แหล่งน้ำจืด แหล่งน้ำทะเล และระบบนิเวศพื้นดิน ความเป็นพิษอ้างอิงจากแบบจำลองของการแพร่กระจายและผลกระทบจากสารพิษ โดยใช้ไดคลอโรเบนซีนเป็นสารอ้างอิง ตัวประกอบการกำหนดบทบาท (Characterization factor) เป็นค่าความเข้มข้นมากที่สุดที่ระบบนิเวศน้ำและดินสามารถทนได้ ซึ่งเป็นข้อมูลจากการทดสอบความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตหลายสปีชี (Muti-species test) รวมถึงอธิบายการแพร่กระจายและการสลายตัวของสารพิษ ทั้งที่เป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute effect) และเรื้อรัง (Chronic effect) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (8)

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

เมื่อ $m_{i,ecomp}$ คือ ปริมาณสาร i ที่ปล่อยสู่ระบบ ecomp

$HTP_{i,ecomp}$ คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศของสาร i 1,000 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อปล่อยสู่ระบบ ecomp (ecomp พิจารณาถึงความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางน้ำและระบบนิเวศทางบก)

โดย $ETP_{i,ecomp} = [\sum_{fcomp} F_{i,ecomp,fcomp} \times E_{i,fcomp}]/[\sum_{fcomj} F_{refi,refcomp,fcomp} \times E_{irefi,fcomp}]$

และ $F_{i,ecomp,fcomp}$ คือ ตัวประกอบความเป็นอันตรายของสาร i ที่ปล่อยสู่ระบบ ecomp ไปยังระบบ ecomp สุดท้าย

$E_{i,fcomp}$ คือ ตัวประกอบผลกระทบต่อความเป็นพิษของระบบนิเวศของสาร i ในระบบ ecomp สุดท้าย

$F_{refi,refcomp,fcomp}$ คือ ตัวประกอบความเป็นอันตรายของ 1,4ไดคลอโรเบนซีน ที่ปล่อยสู่ระบบ ecomp ไปยังระบบ ecomp สุดท้าย

$E_{irefi,fcomp}$ คือ ตัวประกอบผลกระทบต่อความเป็นพิษของระบบนิเวศของ 1,4 ไดคลอโรเบนซีน ในระบบ ecomp สุดท้าย

การเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี (Photochemical oxidant formation) เป็นการเกิดมลสารทางอากาศจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากแสงเคมี (Photochemical Oxidation) ซึ่งมีมลสารตัวอื่นเป็นสารตั้งต้นและมีรังสีอุลตราไวโอเลตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โอโซน ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เพอรอกซี อะซีติล ไนเตรท (Peroxy Acetyl Nitrate: PAN) มลสารที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และระบบนิเวศ การประเมินการเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี ใช้ศักยภาพการก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมีของโอโซน (Photochemical Ozone Creation Potential: POCPs) เป็นตัวประกอบการกำหนดบทบาท และใช้เอทิลีน (Ethylene) เป็นสารอ้างอิง การเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิ ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (9)

$$\text{Photo-oxidant Formation} = \sum_i POCP_i \times m_i \quad (9)$$

เมื่อ m_i คือ ปริมาณสาร i ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

$POCP_i$ คือ ศักยภาพการก่อให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันแสงเคมีของโอโซนของสาร i (กิโลกรัม, เทียบเท่าเอทิลีน)

โดย $POCP_i = [a_i/b_i]/[a_{C2H4}/b_{C2H4}]$

และ a_i คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซน อันเนื่องมาจากการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยได้(Volatile Organic Compound: VOC) i

b_i คือ ปริมาณการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยได้ i ในเวลาหนึ่งที่กำหนด

a_{C2H4} คือ คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซน อันเนื่องมาจากการปล่อยเอทิลีน

b_{C2H4} คือ ปริมาณการปล่อยเอทิลีนในเวลาหนึ่งที่กำหนด

ภาวะความเป็นกรด (Acidification) เกิดขึ้นจากมลสารที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นกรด เช่น ออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_x) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ศักยภาพความเป็นกรด (Acidification Potential: AP) ประเมินจากความเป็นกรดของสาร โดยใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

เป็นสารอ้างอิง ระดับความรุนแรงของความเป็นกรดขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ดังนั้น ในการพิจารณาผลกระทบในด้านนี้จึงควรใช้ตัวประกอบน้ำหนักความสำคัญ (Weighting factor) มาพิจารณาร่วมด้วย ภาวะความเป็นกรด ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (10)

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

เมื่อ m_i คือ ปริมาณสาร i ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

AP_i คือ ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นกรดของสาร i (กิโลกรัม, เทียบเท่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์)

โดย $AP_i = \eta_i / \eta_{SO2}$

และ η_i คือ ปริมาณไฮโดนเจนไอออน (H^+) ที่สามารถเกิดขึ้นจากการปล่อยสาร i

η_{SO2} คือ ปริมาณไฮโดนเจนไอออน (H^+) ที่สามารถเกิดขึ้นจากการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล (Eutrophication) เกิดขึ้นจากความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำมีสูง โดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ภาวะดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสิ่งมีชีวิตและชีวมวลในแหล่งน้ำและระบบนิเวศ ระดับออกซิเจนในน้ำจึงลดลงอย่างรวดเร็ว การก่อภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลใช้ฟอสเฟต (Phosphate: PO_4^{3-}) เป็นสารอ้างอิงและในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (11)

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

เมื่อ m_i คือ ปริมาณสาร i ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

EP_i คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลของสาร i (กิโลกรัม, เทียบเท่าฟอสเฟต)

โดย $EP_i = [\nu_i / M_i] / [\nu_{ref} / M_{ref}]$

และ ν_i คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลของสาร i จำนวนหนึ่งโมล

M_i คือ น้ำหนักของสาร i (กิโลกรัมต่อโมล)

ν_{ref} คือ ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลของฟอสเฟตจำนวนหนึ่งโมล

M_{ref} คือ น้ำหนักของฟอสเฟต (กิโลกรัมต่อโมล)

การใช้พื้นที่ดิน (Land use) ลักษณะของผลกระทบด้านการใช้พื้นที่มี 2 ลักษณะคือ Conversion to continuous urban โดยจะเป็นการพิจารณากิจกรรมทางด้านการทำเหมืองแร่ คือเป็นการนำพื้นที่ที่อยู่ในสภาวะ ธรรมชาติมาทำเป็นแหมืองแร่ ซึ่งในแต่ละตันของโลหะที่สกัดได้เป็นการทำให้เกิดหลุมแร่ถือว่าเป็นการทำลายสภาวะของธรรมชาติ Occupation as industrial area เป็นการปรับเปลี่ยนพื้นที่ทางเกษตรกรรมมาเป็นพื้นที่ทางอุตสาหกรรม โดยทั้งสองกรณีจะคิดว่าเป็นสาเหตุให้ความหลากหลายของพืชและสัตว์ลดลงเป็นการทำลายระบบนิเวศวิทยา สำหรับวิธี CML 2 Baseline 2000 กำหนดตัวประกอบการกำหนดบทบาท มีค่าเท่ากับ 1 ในทุกแบบการใช้พื้นที่ (Institute of Environmental Science, 2001) ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (12)

$$\text{Land use} = a \times t \qquad (12)$$

เมื่อ a คือ ปริมาณพื้นที่ที่ใช้งาน (ตารางเมตร)

t คือ ระยะเวลาในการครอบครองหรือใช้พื้นที่ (ปี)

ตัวอย่างของสสารที่เป็นปัจจัยก่อให้เกิดผลกระทบ ในแต่ละรายการผลกระทบแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ของรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสสารที่เป็นปัจจัยก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

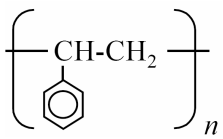
รายการผลกระทบ	หน่วย	สสารที่เป็นปัจจัยก่อให้เกิดผลกระทบ
Abiotic depletion	kg Sb eq.	Zinc, Uranium, Curd oil, Coal, Talc
Global warming	kg CO_2 eq.	Carbon dioxide, Methane, CFCs
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	CFCs, HFCs
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	Cadmium, Benzene, PAH, Particulates
Ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	Dioxins, Endosulfan, Heavy metal
Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq.	Formaldehyde, Sulfur oxides, Hexane
Acidification	kg SO_2 eq.	Ammonia, Nitrogen oxide, Sulfur oxides
Eutrophication	kg PO_4^{3-} eq.	Ammonia, COD, Nitrate, Phosphate
Land use	$m^2 \times yr$	Land occupation, Land transformation

6. พอลิสไตรีน

6.1 ข้อมูลทั่วไป

พอลิสไตรีนเป็นเรซินพอลิเมอร์อเนกประสงค์ ที่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ พอลิเมอร์ชนิดนี้ได้มีการเตรียมขึ้นมาเป็นเวลานานตั้งแต่ทศวรรษที่ 1930 เริ่มผลิตในเชิงการค้าโดยบริษัท I.E.Farbenindustrie (ประเทศเยอรมนี) และบริษัท Dow Chemical (ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในปัจจุบันนี้พอลิสไตรีนนับเป็นพอลิเมอร์พลาสติกที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยรูปแบบของพอลิสไตรีนที่มีจำหน่ายในเชิงพานิชย์มีอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ชนิดใช้งานทั่วไป (Crystal or general purpose polystyrene: GPPS) เป็นพอลิสไตรีนบริสุทธิ์ผสมกับสารเติมแต่งเพียงเล็กน้อย มีคุณสมบัติใสแต่เปราะ 2) ชนิดทนแรงอัดสูง (High impact polystyrene: HIPS) มีคุณสมบัติกึ่งโปร่งแสงหรือทึบแสง เนื่องเพราะมีการเติมยางลงไปผสมกับเรซิน เพื่อลดความเปราะ 3) ชนิดขยายตัว (Expandable polystyrene: EPS) มีคุณสมบัติคล้าย GPPS แต่ใช้สารขยายตัว (Blowing agent) ผสมในเรซิน เพื่อให้เกิดการขยายตัวเป็นเม็ดโฟม

ชื่อเรียกของพอลิสไตรีนในระบบ IUPAC คือ Poly-(1-phenylethylene) และสูตรโครงสร้างคือ



6.2 คุณสมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

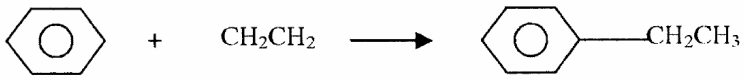
พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก มีความหนาแน่นประมาณ 1.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงแบบอะเท็กติกและเป็นแบบอสัณฐาน (Amorphous) มีสมบัติโปร่งแสงและใส แข็ง แต่ความยืดหยุ่นน้อย จึงเปราะและแตกหักง่าย สามารถใส่สีและลวดลายได้ ไม่มีกลิ่น ดูดความชื้นได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก เฉื่อยต่อปฏิกิริยา คุณสมบัติเชิงกลจะเสื่อมลงหากต้องสัมผัสกับแสงแดดหรืออุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำเข้าเตาไมโครเวฟหรือผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรคได้ด้วยไอน้ำได้ สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งที่ทำให้พอลิสไตรีนได้รับความสนใจในเชิงอุตสาหกรรม คือความง่ายต่อการนำไปแปรรูป ดังนั้นพอลิสไตรีน จึงสามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์มากมาย

6.3 กระบวนการผลิตพอลิสไตรีน

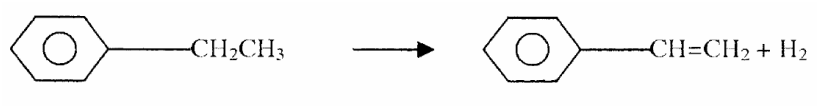
1) การเตรียมสไตรีนมอนอเมอร์ (Preparation of styrene monomer)

การเตรียมสไตรีนมอนอเมอร์ในอุตสาหกรรมสามารถเตรียมได้จากปฏิกริยาของเบนซีนกับเอทิลีน (Ethylene) โดยเป็นการแทนที่อะตอมของไฮโดรเจนหนึ่ง อะตอมในโมเลกุลของเอทิลีนด้วยวงเบนซีน ปฏิกริยาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1.1) การเกิดเอทิลเบนซีน (Formation of ethylbenzene) เป็นการรวมตัวของเบนซีนและเอทิลีนที่อุณหภูมิประมาณ 90–100 องศาเซลเซียส และตัวเร่งที่ใช้ คือ $AlCl_3$ หรือซีโอไลท์ (Zeolite)



1.2) การดึงไฮโดรเจนจากเอทิลเบนซีน (Dehydrogenation of ethylbenzene) เป็นการเปลี่ยนเอทิลเบนซีนไปเป็นสไตรีน ที่อุณหภูมิประมาณ 550–680 องศาเซลเซียส และตัวเร่งที่ใช้อาจเป็นออกไซด์ของโลหะ เช่น CrO_3 Cu_2O และK_2O เป็นต้น

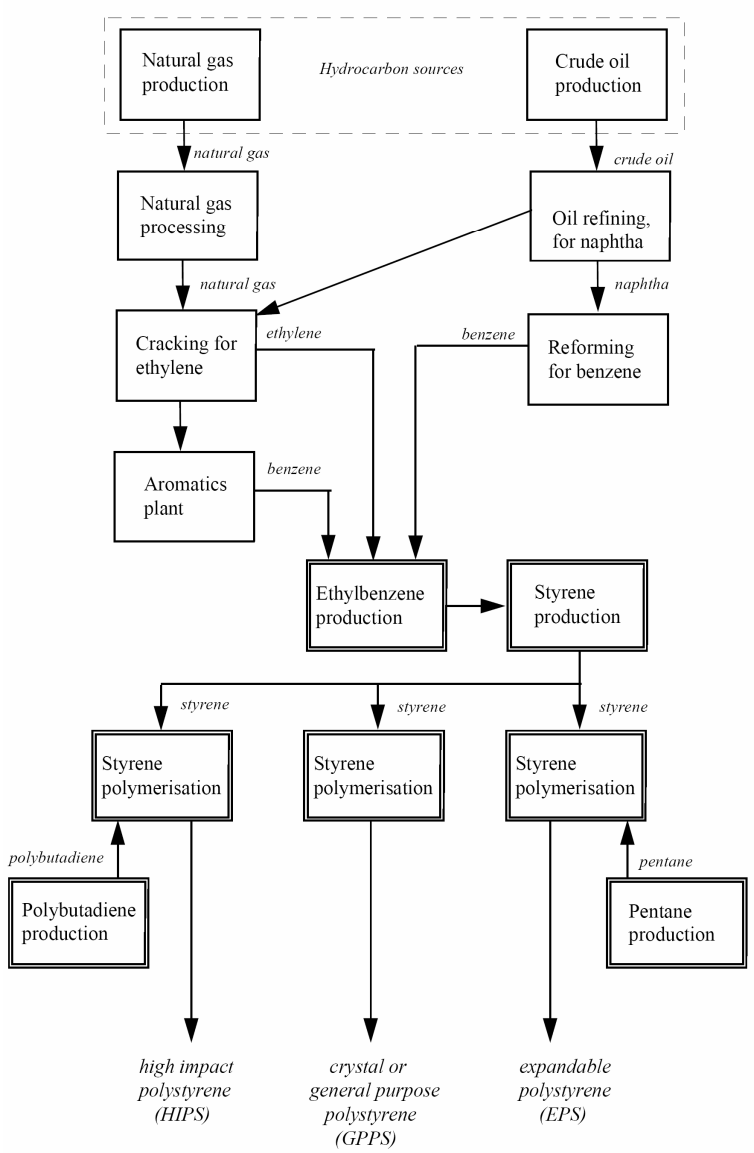


สไตรีนที่ได้สามารถแยกออกจากเอทิลเบนซีนและทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นแบบลำดับส่วนและลดความดัน

เอทิลีนและเบนซีนที่ใช้ในการเตรียมสไตรีนมอนอเมอร์มาจากแหล่งไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ โดยน้ำมันดิบเมื่อนำไปผ่านกระบวนการกลั่นจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ แนฟทา (Naphtha) จากนั้นนำมาแยกด้วยกระบวนการแตกสลาย (Cracking process) ที่อุณหภูมิสูงและในภาวะไร้อากาศ จะได้เป็นกลุ่มของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว เช่น เอทิลีน (C_2H_4) โพรพีลีน (C_3H_6) บิวเทน (C_4H_8) เป็นต้น ส่วนก๊าซธรรมชาติสามารถเปลี่ยนเป็นเอทิลีน โพรพีลีน บิวเทน และสารอื่นๆ ได้ด้วยการแตกสลาย

เบนซีนสามารถผลิตได้โดยตรงจากแนฟทา โดยผ่านกระบวนการ Catalytic reforming (Pt–Al catalyst) ซึ่งแนฟทาจะเปลี่ยนไปเป็นสารผสมของเบนซีน โทลูอีน และไซลีน เบนซีนและสารอะโรมาติกอื่นๆ สามารถแยกออกจากกันโดยการเปลี่ยนรูป (Reforming) ด้วยการใช้สารละลายสกัด (Solvent extraction) และการกลั่นบางส่วน (Fraction distillation)

แม้ว่าเบนซีนสามารถผลิตได้โดยตรงจากน้ำมันดิบ แต่ได้เพียงปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น จึงค่อนข้างไม่มีความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้น จึงมักนำผลิตภัณฑ์ร่วม ที่ได้จากกระบวนการแตกสลายของก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นของเหลวพวกอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่มีความไม่อิ่มตัวสูง สามารถนำไปกลั่นซ้ำได้เป็นเบนซีน วิธีการนี้เป็นที่นิยมในแถบยุโรป กระบวนการผลิตพอลิสไตรีนจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบแสดงดังภาพที่ 3



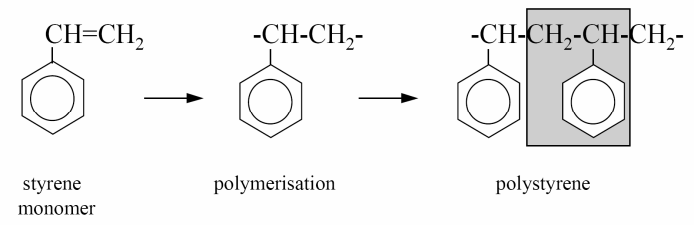
ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตพอลิสไตรีนจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ

ที่มา: Plastics Europe Association (1994)

2) กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)

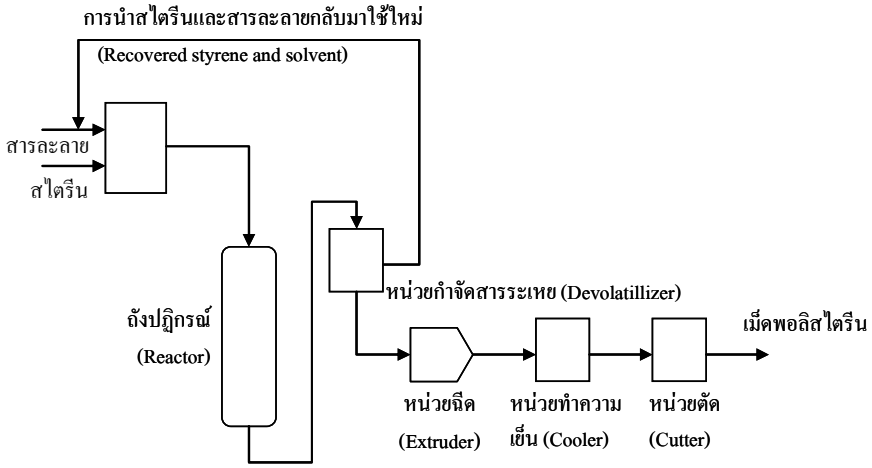
พอลิสไตรีนถูกเตรียมขึ้นจากสไตรีนมอนอเมอร์ ผ่านกลไกการรวมตัวแบบลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ โดยการสลายโครงสร้างพันธะคู่ของสไตรีนมอนอเมอร์ให้กลายเป็นอนุมูลอิสระหรือกลุ่มอะตอมที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (Free radical) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างปฏิกริยา ตัวกลางเหล่านี้มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกริยาการเพิ่ม (Additional reaction) ทำให้เกิดการรวมตัว

กับโมเลกุลสไตรีนมอนอเมอร์โมเลกุลอื่นๆ เป็นสายโซ่ จะได้พอลิเมอร์ของสไตรีนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 จนกระทั่งถึงขั้นยุติปฏิกริยา (Termination) ที่อาจจะยุติเองเมื่อมอนอเมอร์ถูกใช้จนหมด หรือด้วยการเติมสารอื่นลงไปเพื่อยุติปฏิกริยา เมื่อปฏิกริยาเสร็จสิ้นพอลิสไตรีนจะถูกนำไปแยกออกจากตัวกลางในการทำปฏิกริยาด้วยวิธีการกรอง ตามด้วยการล้างด้วยน้ำแล้วทำให้แห้ง จากนั้นจึงนำออกจำหน่ายในรูปเม็ดหรืออัดให้เป็นก้อนใหญ่ เพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป



ภาพที่ 4 การรวมตัวของสไตรีนโมโนเมอร์เป็นสายโซ่พอลิเมอร์
ที่มา: Plastics Europe Association (1994)

กระบวนการการผลิตพอลิสไตรีนจากน้ำมันดิบเชิงพานิชย์ที่เป็นที่นิยม คือ กระบวนการ STYRON และ STYRON A-TECH ของบริษัท Dow chemical ซึ่งมีขั้นตอนสำคัญ 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การพอลิเมอไรเซชั่น การกำจัดสารระเหย (Devolatilization) และการอัดรีดและตกแต่ง (Extrusion and finishing) แสดงดังภาพที่ 5

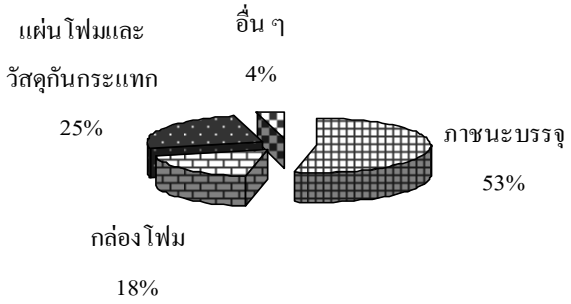


ภาพที่ 5 กระบวนการผลิตพอลิสไตรีนแบบ STYRON
ที่มา: Dow Chemical Company (2003)

6.4 โฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene foam)

พอลิสไตรีนโฟมหรือสไตโรโฟม (Styrofoam) ทำมาจากพลาสติกชนิดพอลิสไตรีน โดยนำเม็ดเรซินพอลิสไตรีนแบบ GPPS ผสมกับสารขยายตัว ซึ่งเป็นสารพวกอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น เพนเทนหรือไอโซเพนเทน เอสเทอร์ แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ เป็นต้น จากนั้นนำไปนึ่งให้พองด้วยไอน้ำร้อนอุณหภูมิ 90–115 องศาเซลเซียส หรืออาจใช้ความร้อนจากแหล่งอื่นๆ ก็ได้ ซึ่งความร้อนจะทำให้สารขยายตัวระเหยจนเกิดความดันภายใน แล้วดันให้เม็ดเรซินขยายตัวออกไปเป็นเม็ดโฟม จนมีขนาดใหญ่กว่าเดิมประมาณ 40 เท่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้เรียกว่าโฟมชนิดขยายตัว ซึ่งสามารถนำไปผ่านกระบวนการฉีดเข้าเบ้า (Injection moulding) และการอัดรีด ในการฉีดเข้าเบ้า เม็ดโฟมจะถูกหลอม แล้วฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ภายใต้ความดัน เพื่อขึ้นรูปตามแบบที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ที่มักใช้การผลิตวิธีการนี้ เช่น ตุ๊กตา กล่องใส่เครื่องประดับ เป็นต้น ส่วนการนำไปอัดรีดจะได้เป็นโฟมชนิดแผ่น (Polystyrene Paper: PSP) มีความหนาแน่นประมาณ 0.05–0.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นอาจนำไปขึ้นรูปแบบร้อนต่อไป วิธีการนี้เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดใช้แล้วทิ้ง เช่น ภาชนะบรรจุอาหาร ถ้วยไอศกรีม เป็นต้น

การนำโฟมพอลิสไตรีนไปใช้งานในประเทศไทย มีการนำไปใช้งานผลิตเป็นภาชนะบรรจุ มากที่สุด เป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 53 นอกจากนั้นมีการนำไปใช้งานในลักษณะแผ่นโฟมและวัสดุกันกระแทก กล่องโฟม และอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ส่วนแบ่งการตลาดโฟมพอลิสไตรีนชนิดขยายตัวในประเทศไทย
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2547ข)

6.5 ปัญหาในการจัดการขยะโฟมพอลิสไตรีน

การใช้งานโฟมพอลิสไตรีนได้ก่อปัญหาในการกำจัดหลังจากสิ้นสุดการใช้งาน เนื่องจากใช้ระยะเวลานานมากในการย่อยสลาย การเปรียบเทียบระยะเวลาในการย่อยสลายของโฟมกับวัสดุอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 6 ประกอบกับโฟมพอลิสไตรีนมีราคาถูก และช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้งาน จึงมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยมีการนำมาใช้งานแทนวัสดุอื่นๆ ทั้ง โลหะ ไม้ หรือแม้แต่วัสดุธรรมชาติ เช่น ใบตอง ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

ตารางที่ 6 ระยะเวลาในการย่อยสลายของขยะแต่ละชนิด

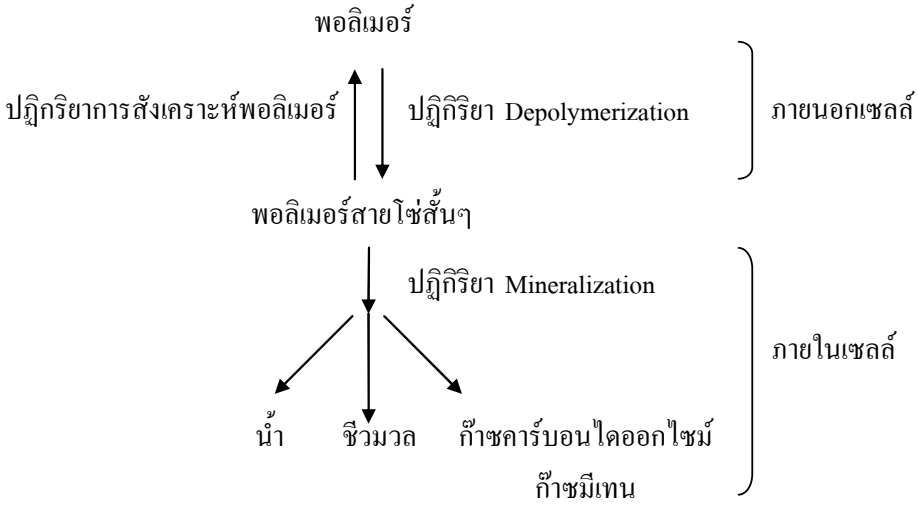
ชนิดของขยะ	ระยะเวลา
เศษกระดาษ	2-5 เดือน
เปลือกส้ม	6 เดือน
ถ้วยกระดาษเคลือบ	5 ปี
ก้นบุหรี่	12 ปี
รองเท้าหนัง	25-40 ปี
กระป๋องอะลูมิเนียม	80-100 ปี
ถุงพลาสติก	450 ปี
ผ้าอ้อมเด็กชนิดสำเร็จรูป	500 ปี
โฟม	ใช้เวลานานมากในการย่อยสลาย

ที่มา: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2548)

แม้โฟมพอลิสไตรีนจะเป็นที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายก็ตาม แต่กลับมีอายุการใช้งานสั้นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้งานภาชนะบรรจุ เช่น ถ้วย ขวด กล่องอาหาร เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะถูกทิ้งเป็นขยะด้วยปริมาณและสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีขยะโฟมพอลิสไตรีน ซึ่งไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ย่อมก่อให้เกิดปัญหาการจัดการขยะ โดยเฉพาะในสังคมเมืองใหญ่ที่มีพื้นที่จำกัด

7. พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หมายถึง พลาสติกที่สามารถย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้ โดยเอนไซม์จากสิ่งมีชีวิต ทั้งในสภาวะที่มีอากาศหรือไร้อากาศ สารประกอบคาร์บอนที่ได้จะกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อม พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้จะต้องมีโครงสร้างทางโมเลกุลที่เอื้ออำนวยให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ ขั้นตอนในการย่อยสลายแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นแรกจะเป็นการย่อยสลายสายโมเลกุลให้แตกออก (Depolymerization) ซึ่งจะเกิดขึ้นภายนอกเซลล์หรือร่างกายของสิ่งมีชีวิต (ปกติมักเป็นแบคทีเรียหรือรา) โดยเอนไซม์จะถูกขับออกมาเพื่อตัดพันธะของพอลิเมอร์ จนได้สารประกอบที่มีขนาดเล็กลง จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นที่สอง คือ Mineralization สารประกอบที่ได้จากการย่อยในขั้นตอนแรกจะเข้าสู่เซลล์ของสิ่งมีชีวิต แล้วถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูป ATP ก๊าซชนิดต่างๆ (เช่น CO_2 CH_4 N_2) เกลือชนิดต่างๆ และชีวมวล (Biomass) แผนภาพขั้นตอนการย่อยสลายทางชีวภาพ แสดงดังภาพที่ 7 ประสิทธิภาพในการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลาย ชนิดของจุลินทรีย์ และสภาวะแวดล้อมในการย่อยสลาย ได้แก่ ออกซิเจน ความชื้น อุณหภูมิ สภาพความเป็นกรด-เบส



ภาพที่ 7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการย่อยสลายทางชีวภาพ

ที่มา: Kaplan *et al.* (1993)

7.1 การจำแนกกลไกการย่อยสลายของพลาสติกที่ย่อยสลายได้

สามารถพิจารณาได้จากกลไกในการย่อยสลาย ได้แก่

1. ความสามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable) คือ ความสามารถในการย่อยสลายแล้วได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน น้ำ และสารประกอบอนินทรีย์ หรือชีวมวล โดยอาศัยกลไกการทำงานของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของวัสดุนั้นๆ และพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะต้องแตกออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ จนหมด ในช่วงระยะเวลาและสภาวะที่กำหนด ซึ่งอัตราในการย่อยสลายทางชีวภาพขึ้นอยู่กับความหนาและโครงสร้างทางเรขาคณิต (Geometry) ของวัสดุ หากวัสดุมีความหนามากจะใช้เวลาในการย่อยสลายค่อนข้างนาน

2. ความสามารถถูกย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้ (Compostable) คือ ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยการหมักในระบบหมักแล้วได้ผลิตภัณฑ์ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารประกอบอนินทรีย์ และชีวมวล ภายใต้สภาวะที่กำหนด การหมักจะมีการตรวจสอบปริมาณโลหะหนัก ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศและต้องไม่พบชิ้นส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายของวัสดุนั้นๆ ซึ่งพลาสติกที่สามารถหมักได้สามารถจัดเป็นส่วนหนึ่งของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

3. ความสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยน้ำและแสง (Hydro-biodegradable and Photo-biodegradable) คือ ความสามารถในการย่อยสลาย ภายใต้ขั้นตอนการย่อยสลายด้วยน้ำ (Hydrolysis) หรือการย่อยสลายด้วยแสง (Photo-degradation) แล้วตามด้วยการย่อยสลายทางชีวภาพ หากมีเพียงขั้นตอนการละลายในน้ำ (Water-soluble) หรือการย่อยสลายด้วยแสง (Photo-degradation) เพียงอย่างเดียว วัสดุจะยังย่อยสลายได้ไม่หมด

4. ความสามารถกัดกร่อนทางชีวภาพ (Bio-erodable) คือ ความสามารถในการย่อยสลายตามธรรมชาติโดยไม่มีจุลินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้อง รวมไปถึงการละลายในน้ำ การสลายด้วยความร้อนหรือแสง

7.2 การจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

เนื่องจากพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คำนึงถึงกระบวนการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์เป็นหลัก ดังนั้นวัสดุพอลิเมอร์เหล่านี้อาจผลิตได้ทั้งจากสารตั้งต้นจากปิโตรเลียมหรือทรัพยากรที่ทดแทนใหม่ได้ สำหรับพอลิเมอร์ที่ได้จากชีวภาพนั้น เป็นพอลิเมอร์ที่บางส่วนหรือทั้งหมดผลิตมา

จากกระบวนการทางชีวภาพ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถจำแนกประเภทตามแหล่งกำเนิดได้เป็นสองประเภท ได้แก่

1) มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ แบ่งเป็น

1.1) พอลิเมอร์ที่แยกได้โดยตรงจากพืชและสัตว์ ได้แก่ พอลิแซคคาไรด์ เช่น แป้ง เซลลูโลส ลิกนิน ไคติน เป็นต้น โปรตีน เช่น เจลลาติน เคซีน กลูเทน ไหม ขนสัตว์ เป็นต้นรวมทั้งน้ำมันจากพืชและสัตว์ด้วย

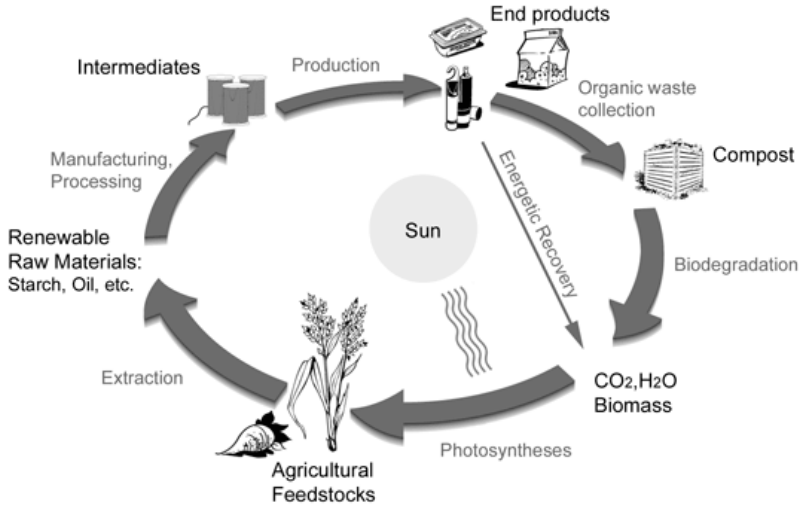
1.2) พอลิเอสเทอร์ผลิตโดยจุลินทรีย์หรือพืชที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์ เช่น พอลิไฮดรอกซิลอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalcanoates: PHAs)

1.3) พอลิเอสเทอร์สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ที่ผลิตจากกระบวนการทางชีวภาพ เช่น พอลิแลกติกแอซิด (Polylactic acid: PLA)

2) มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี เช่น กรดพอลิไกลโคลิก (Polyglycolic acid: PGA) พอลิบิวทิลีน พอลิคาโปรแลกโทน (Polycaprolactone, PCL) พอลิบิวทิลีน ซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) พอลิไวนิลแอลกอฮอลล์ (Polyvinylalcohols, PVOH) เป็นต้น

7.3 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

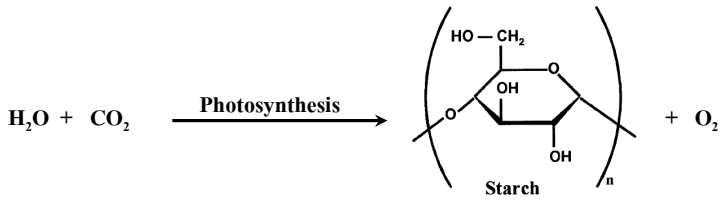
พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้ในสภาวะที่เหมาะสม โดยเริ่มจากชีวมวลถูกผลิตขึ้นผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งชีวมวลในจำนวนที่เท่ากันนี้ จะถูกย่อยสลายกลับคืนสู่ธรรมชาติ กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ รวมทั้งมวลชีวภาพและแร่ธาตุ โดยจุลินทรีย์ วัฏจักรนี้มีเกิดขึ้นและย่อยสลายไปอย่างครบวงจร โดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนกำจัดขยะเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงไม่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและไม่มีค่าใช้จ่ายสูง วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพแสดงในภาพที่ 8 หลังจากผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพถูกนำไปใช้งานโดยผู้บริโภค และถูกนำไปกำจัดโดยการย่อยเป็นปุ๋ยเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและชีวมวล ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมานั้นจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 8 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
ที่มา: European Bioplastics (2007)

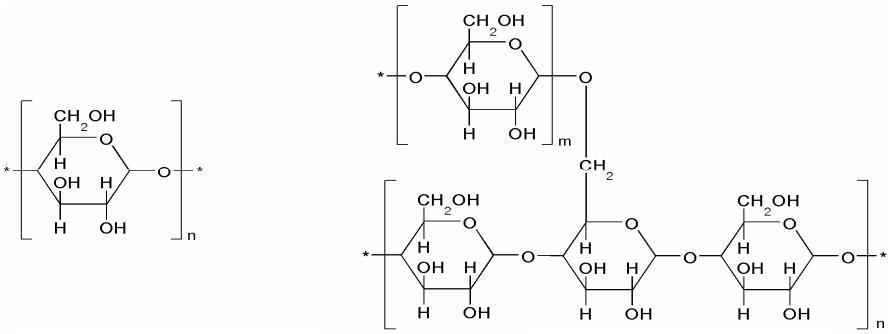
7.4 แป้ง (Starch) และการใช้งานด้านวัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

แป้งเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติในกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) เกิดจากกลูโคสจำนวน 500–2,000 โมเลกุลมาต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkages) มีโครงสร้างเป็นทั้งแบบสายยาวและกิ่งก้านสาขา พบมากในพืชประเภทเมล็ดและหัว เช่น มัน ข้าวโพด ข้าว เป็นต้น โดยแป้งเป็นผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ของพืช ซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นสารตั้งต้น ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชได้แป้งและออกซิเจนเป็นผลผลิต

สูตรโมเลกุลโดยทั่วไปของแป้ง คือ $(C_2H_{12}O_6)_n$ ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ แอมิโลส (Amylose) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น และแอมิโลเพคติน (Amylopectin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง ซึ่งมีโครงสร้างดังภาพที่ 10 พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่ประกอบอยู่ในแป้งจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ของพืช



ก) แอมิโลส ข) แอมิโลเพคติน

ภาพที่ 10 สูตรโครงสร้างทางเคมีของแป้ง

ที่มา: Crop and Food Research (2004)

แป้งส่วนใหญ่มีอะมิโลสประมาณร้อยละ 25 แต่แป้งบางชนิดอาจมีอะมิโลสสูงถึงร้อยละ 80 ในธรรมชาติจะพบแป้งในลักษณะที่เป็นเม็ดแป้งขนาดเล็กที่มีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยมีส่วนที่เป็นผลึกค่อนข้างสูงกว่าส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) อยู่มาก โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ค่อนข้างสูง จึงมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำหรือความชื้นได้ดี แป้งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 160–200 องศาเซลเซียส หากมีปริมาณน้ำมากขึ้น แป้งจะมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำลงและสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 250–260 องศาเซลเซียส

แป้งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตวัสดุย่อยสลาย เนื่องจากราคาถูก หาได้ง่ายจากการเกษตรกรรม ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ และมีความสามารถในการทนความร้อนสูงจากเครื่องมือและเครื่องจักรได้ การผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้ง จะมีเนื้อแป้งเป็นส่วนประกอบตั้งแต่ร้อยละ 10 ไปจนถึงมากกว่าร้อยละ 90 และสามารถใช้ได้กับแป้งเกือบทุกชนิด เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี หรือแป้งมันสำปะหลัง

7.5 รูปแบบของการใช้แป้งในการผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ในปัจจุบันพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีการผลิตและศึกษาอยู่ 2 วิธี คือ การเติมหรือผสมสารเติมแต่งที่ย่อยสลายได้ลงในพอลิเมอร์ที่จะผลิตเป็นพลาสติก และการสังเคราะห์พลาสติกที่มีโครงสร้างและองค์ประกอบที่สามารถย่อยสลายได้ (หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปร

รูปมันสำปะหลังและแป้ง, 2540) พอลิเมอร์ในธรรมชาติที่นำมาใช้ในการเติมแต่ง ได้แก่ แป้ง เซลลูโลส ไคทิน ไคโตซาน คอลลาเจน เจลาติน ลิกนิน เป็นต้น (Kaplan *et al*., 1993)

การผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้ง มีการนำแป้งสามารถทำได้ 4 รูปแบบ ดังนี้

1. การใช้แป้งทั้งหมด คือ การใช้แป้งทั้งหมด หรือมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ โดยทำให้แป้งเกิดการพองตัว (Direct expansion) ด้วยการอัดด้วยเครื่องอัดแรงสูง แป้งที่มีลักษณะเป็นแป้งเปียก (Dough) จะถูกอัดผ่านแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิสูง เกิดการพองตัวของแป้งเนื่องจากสูญเสียความชื้น และแรงดัน จากนั้นทำให้เย็นตัวลง จะเกิดโครงสร้างแข็งและมีรูพรุน

2. การใช้แป้งเป็นสารตัวเติมหรือผสมกับพลาสติกทั่วไป โดยนำมาผสมกับพอลิโอเลฟิน เช่น พอลิเอทิลีนตั้งแต่ร้อยละ 10–15 ไปจนถึงร้อยละ 85–95 เพื่อเพิ่มคุณสมบัติความคงทนต่อความชื้นให้กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้ง พลาสติกที่ได้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแป้งสามารถย่อยสลายได้ และส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ของอนุพันธ์จากปิโตรเคมี

3. การใช้ในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จะมีปริมาณของเนื้อแป้งมากกว่าร้อยละ 70 ขึ้นไป โดยในการเตรียมพลาสติกจะต้องทำให้แป้งมีน้ำเพียงพอที่จะหลอมละลายภายใต้ความดัน แป้งจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง จนทำให้โครงสร้างในโมเลกุลของแป้งเกิดการแตกแยกออก เสียโครงสร้างไป เรียกแป้งที่อยู่ในรูปนี้ว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช หรือแป้งที่สูญเสียโครงสร้าง (Destructurized starch) แป้งที่ได้สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปเช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไป เช่น การฉีด การอัดรีด

4. การทำกราฟท์โคพอลิเมอไรเซชัน กราฟท์โคพอลิเมอร์จะประกอบไปด้วยกิ่งของเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเตรียมได้จากการทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนแป้ง โดยใช้การฉายรังสีหรือวิธีทางเคมี อนุมูลอิสระเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นสารเริ่มต้น ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับ ไวนิลแอลกอฮอล์ หรืออะคริลิกมอนอเมอร์

8. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

8.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงบวกของการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงบวกของการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเปรียบเทียบกับพลาสติกจากปิโตรเคมี มีดังต่อไปนี้

1) ปุ๋ยหมัก (Compost)

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการย่อยสลายพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ร่วมกับขยะอินทรีย์อื่นๆ สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยช่วยเพิ่มสารอินทรีย์ คาร์บอน ความชื้น และสารอาหารให้แก่ดิน พร้อมทั้งช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและลดการเกิดโรคในพืช นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นการหมักพลาสติกย่อยสลายได้จึงทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุ

2) การย่อยสลายโดยการฝังกลบ

การใช้ภาชนะบรรจุจากพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เมื่อนำไปกำจัดโดยการฝังกลบจะไปช่วยเพิ่มศักยภาพในการย่อยสลายของเศษอาหารหรือขยะอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ จึงเป็นการลดเนื้อที่การใช้งานของบ่อฝังกลบขยะ และเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในกรณีที่หลุมฝังกลบถูกออกแบบมาให้ผลิต และใช้ประโยชน์จากก๊าซมีเทนได้ นอกจากนี้การใช้ฟิล์มของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เพื่อปกคลุมด้านบนของหลุมฝังกลบ แทนวิธีใช้ดินคลุมแบบเดิม ซึ่งต้องใช้พื้นที่ประมาณร้อยละ 25 ของเนื้อที่การฝังกลบทั้งหมด จะช่วยเพิ่มวงจรชีวิตและพื้นที่ใช้งานของหลุมฝังกลบ

3) การใช้พลังงาน

ในการสังเคราะห์และการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จะมีความต้องการพลังงานน้อยกว่าการสังเคราะห์และการผลิตพลาสติกจากปิโตรเคมี ปริมาณการใช้พลังงานในการสังเคราะห์และการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เปรียบเทียบกับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพแสดงดังตารางที่ 7 จากการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิต HDPE และ LDPE พบว่า พลังงานที่ใช้ในการผลิต

PHA มีค่าเท่ากับกับการผลิต PE ในขณะที่พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพชนิดอื่นใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่า

ตารางที่ 7 พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์และการผลิตพอลิเอทิลีนเปรียบเทียบกับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพชนิดต่างๆ

ชนิดของพอลิเมอร์	พลังงานที่ต้องการ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
Low density polyethylene (LDPE)	81
Polyhydroxyalkanoates (PHA)	81
High density polyethylene (HDPE)	80
Polycaprolactone (PCL)	77
Starch-Polyvinyl alcohol (PVOH)	58
Polylactide (PLA)	57
Thermoplastic starch + 60 % PCL	52
Thermoplastic starch + 52.5 % PCL	48
Thermoplastic starch	25
Thermoplastic starch + 15 % PVOH	25

ที่มา: Patel (2001)

4) การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของการใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas: GHG) สู่สิ่งแวดล้อมในขณะที่เกิดย่อยสลายทางชีวภาพ คาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกตรึงไปใช้ เพื่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกขึ้นมาใหม่ เกิดเป็นวัฏจักรของคาร์บอน ทำให้เกิดการหมุนเวียนและสมดุลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ แต่สำหรับการผลิตพอลิเมอร์จากปิโตรเคมี ซึ่งประกอบไปด้วยสารไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ คาร์บอนจะถูกเปลี่ยนจากคาร์บอนในปิโตรเลียมไปเป็นคาร์บอนในพลาสติกทั้งหมด นอกจากคาร์บอนที่ปล่อยออกมาในระหว่างกระบวนการผลิตแล้ว คาร์บอนในพลาสติกจะถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศอีกครั้งเมื่อพลาสติกถูกกำจัด นั่นคือการเปลี่ยนรูปของคาร์บอนและแพร่กระจายออกไปในรูปของก๊าซเรือน

กระจกของพลาสติกจากปิโตรเลียมจะมีมากกว่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตไปจนถึงการกำจัดในขั้นสุดท้ายของ HDPE และ LDPE เปรียบเทียบกับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพอลิเอทิลีนเปรียบเทียบกับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพชนิดต่างๆ

ชนิดของพอลิเมอร์	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ×10 (กก.เทียบเท่า CO2 ต่อกก.พอลิเมอร์)
Polycaprolactone (PCL)	53
Low density polyethylene (LDPE)	50
High density polyethylene (HDPE)	49
Starch-Polyvinyl alcohol (PVOH)	42
Thermoplastic starch + 60 % PCL	36
Thermoplastic starch + 52.5 % PCL	33
Thermoplastic starch + 15 % PVOH	17
Thermoplastic starch	11
Polylactide (PLA)	na
Polyhydroxyalkanoates (PHA)	na

ที่มา: Patel (2001)

8.2 ผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเปรียบเทียบกับพลาสติกจากปิโตรเคมี มีดังต่อไปนี้

1) มลภาวะทางน้ำ

มลภาวะทางน้ำที่เกิดขึ้นสามารถตรวจวัดได้จากค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ที่เพิ่มขึ้น หากมีการทิ้งพลาสติกที่

ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ รวมทั้งวัตถุดิบทางการเกษตรที่เหลือจากการผลิตมอนอเมอร์ หรือพอลิเมอร์ที่มีแป้งและน้ำตาลปนอยู่ลงในแหล่งน้ำธรรมชาติ จะกลายเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ที่ดึงออกซิเจนมาใช้ในการดำรงชีพ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศทางน้ำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และพืชน้ำ และการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบจะมีผลไปเพิ่มค่า BOD เมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ระดับธาตุอาหารที่มีสูงในแป้งและน้ำตาล ยังก่อให้เกิดภาวะธาตุอาหารในน้ำสูง ทำให้จำนวนสาหร่ายเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Algal blooms) อีกด้วย

2) มลภาวะทางดิน

พืชผลทางการเกษตรที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะเป็นพืชจำพวกที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง เช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง อ้อย หัวบีท ข้าว มันสำปะหลัง เป็นต้น พืชบางชนิด เช่น มันสำปะหลัง เป็นพืชประเภทหัวที่ต้องการสารอาหารในดินจำนวนมากในการเจริญเติบโต จึงทำให้ดินเสื่อมโทรมเร็ว ดังนั้นการเพาะปลูกมันสำปะหลังจำนวนมากมีผลต่อคุณภาพดิน สารอาหาร และองค์ประกอบในดิน ทำให้ขาดสมดุล และเสื่อมโทรม เนื่องจากแร่ธาตุอาหารบางประเภทถูกนำไปใช้ในปริมาณมาก

3) สิ่งปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ในกระบวนการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีการใช้สารเคมี รวมทั้งการใช้จุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก หรือมีการเติมสารเติมแต่งและสารดัดแปร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ เพิ่มสมรรถนะในการใช้งาน เช่น สีย้อม สารเคลือบ ตัวประสาน พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เมื่อพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพถูกย่อยสลาย สารเติมแต่งและสารดัดแปลงเหล่านี้จะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งสารบางประเภทอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ นอกจากนี้หากนำไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบหรือทำปุ๋ยหมัก ยังมีสารอันตรายบางส่วนที่สามารถไหลแทรกซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินได้ จากการกัดเซาะ (Run-off) และการชะล้าง (Leaching) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษสะสมในแหล่งน้ำและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

4) ขยะมูลฝอย

ความเชื่อที่ผิดของผู้บริโภคที่คิดว่าพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถถูกย่อยสลายหมดไปอย่างรวดเร็วในธรรมชาติ แต่ในความเป็นจริง การย่อยสลาย

จำเป็นต้องอาศัยระยะเวลาพอสมควร ดังนั้น การทิ้งพลาสติกเหล่านี้อย่างไม่ถูกวิธี โดยเฉพาะขยะจำพวกถุงหรือฟิล์ม ที่สามารถถูกลมพัดไปติดตามที่ต่างๆ เช่น พุ่มไม้ กิ่งไม้ ทำให้ขยะพวกนี้ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กทั่วไป ผลที่ตามมาก็คือต้องใช้เวลานานหลายปีกว่าพลาสติกพวกนี้จะถูกย่อยสลาย ก่อให้เกิดผลกระทบต่อทัศนะวิสัย รวมทั้งเศษชิ้นส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพอาจตกค้างและสะสมอยู่ในดิน ทำให้เม็ดดินถูกปิดคลุม การระบายน้ำในดินเป็นไปอย่างยากลำบาก ปัญหานี้ยังรวมถึงความเป็นไปได้ที่ปริมาณขยะที่เป็นพลาสติกจะสูงขึ้นเพราะผู้บริโภคคิดว่าขยะพวกนี้สามารถย่อยสลายได้รวดเร็วในสิ่งแวดล้อมและสะดวกต่อการใช้งาน

5) การเสียสมดุลในระบบนิเวศ

การปรับเปลี่ยนพันธุกรรมในพืชเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชให้ทนต่อสภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ วัชพืช และศัตรูพืช หรือการตกแต่งสารพันธุกรรม (ยีน) ที่เกี่ยวข้องในการสร้างพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากจุลินทรีย์ โดยนำไปใส่ในพืชเป้าหมาย เพื่อให้พืชเหล่านั้นสามารถผลิตพอลิเมอร์ที่ต้องการได้โดยตรง ซึ่งการปรับเปลี่ยนพันธุกรรมนี้อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศน์ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตในวัฏจักรห่วงโซ่อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงตามพืชที่ผ่านการปรับปรุงสายพันธุ์ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสมดุลในระบบนิเวศได้

นอกจากนี้การปลูกมันสำปะหลังหรืออ้อยเป็นจำนวนมาก ทดแทนพืชพื้นเมืองที่ปลูกในท้องถิ่น อาจส่งผลต่อระบบนิเวศได้เช่นกัน เนื่องจากแมลงศัตรูพืช วัชพืช ในวัฏจักรห่วงโซ่อาหารที่ไม่สมดุลและถูกรบกวน รวมไปถึงแหล่งวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มาจากการเกษตรกรรม จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในช่วงของการผลิตวัตถุดิบด้วย

9. ระเบียบและนโยบายที่นำไปสู่การใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ปัญหาในการจัดการของเสียภาชนะบรรจุพลาสติกและโฟม ไม่เพียงก่อให้เกิดปัญหาการจัดการขยะภายในประเทศเท่านั้น แต่ยังมีแรงผลักดันจากภายนอกอีกด้วย โดยเฉพาะในด้านการค้าต่างประเทศ เพราะเงื่อนไขในการกำจัดของเสียภาชนะบรรจุได้กลายเป็นอุปสรรคที่ไม่ใช่ภาษี (Non tariff barrier) ในทางการค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกฎระเบียบเกี่ยวกับภาชนะบรรจุของสหภาพยุโรป ที่ส่งผลต่อการส่งออกสินค้าที่ใช้ภาชนะบรรจุ

9.1 กฎระเบียบขององค์การการค้าโลก (World Trade Organization: WTO) ที่เอื้อต่อการกำหนดมาตรการการจัดการของเสียภาชนะบรรจุของสหภาพยุโรป

แม้ว่ากฎระเบียบขององค์การการค้าโลกจะไม่มีข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมและกรรมวิธีการผลิตเป็นการเฉพาะอย่างไรก็ตาม องค์การค้าโลกได้มีข้อตกลงด้านสิ่งแวดล้อมดังนี้

1) ในคำนำของความตกลงว่าด้วยการจัดตั้งองค์การการค้าโลก: ให้นำการอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน มาเป็นวัตถุประสงค์สำคัญขององค์การการค้าโลก

2) ความตกลงสินค้าเกษตร: ให้มีการอุดหนุนการผลิตที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ภายใต้เงื่อนไขบางประการ

3) ความตกลงว่าด้วยอุปสรรคทางเทคนิคต่อการค้า และความตกลงว่าด้วยการใช้มาตรการสุขอนามัยและสุขอนามัยพืช: ให้ประเทศต่างๆ กำหนดมาตรการที่จำเป็นต่อการคุ้มครองชีวิตมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อมได้ ภายใต้กรอบของความพอเหมาะพอควร สมเหตุผล และไม่กีดกันทางการค้า

4) ความตกลงว่าด้วยการอุดหนุน: อนุญาตให้ความช่วยเหลือเพื่อปรับปรุงเครื่องมือ/โรงงานให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อม จัดเป็นมาตรการที่ไม่ถูกตอบโต้

5) ความตกลงว่าด้วยการค้าบริการ (General Agreement on Trade in Services: GATS) และความตกลงว่าด้วยภาษีศุลกากรและการค้า (General Agreement on Trade and Tariffs: GATT): มีข้อยกเว้นทั่วไปให้จำกัดการนำเข้าได้ หากเข้าข่ายยกเว้นในมาตรา 14(b) และมาตรา 20(b) ของทั้งสองความตกลงตามลำดับ กล่าวคือ หากจำเป็นต้องพิทักษ์ชีวิต ความปลอดภัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ โดยไม่ต้องเป็นการกีดกัน และไม่เป็นการเลือกปฏิบัติ

ดังนั้นประเด็นสิ่งแวดล้อมจึงได้ขยายตัวคลอบคลุม เรื่องสุขอนามัยของมนุษย์ และใช้เป็นข้อกำหนดในการนำเข้าสินค้ามากขึ้น จนข้อกำหนดต่างๆ เหล่านั้นได้กลายเป็นอุปสรรคที่แอบแฝง นำไปสู่การกีดกันทางการค้า โดยมาตรการทางการค้ามีทั้งที่เป็นมาตรการบังคับ และมาตรการสมัครใจ ซึ่งได้แก่ การห้ามนำเข้า การออกใบอนุญาต การจำกัดปริมาณ การปิดฉลากที่เรียกว่าฉลากสิ่งแวดล้อม (Eco-labeling) การเก็บภาษีสิ่งแวดล้อม และการกำหนดมาตรฐานของสินค้าภาชนะบรรจุ และสิ่งเหลือค้าง/ของเสียที่เกิดขึ้น เป็นต้น มาตรการดังกล่าวข้างต้น สามารถดำเนินการได้หากเข้าข่ายข้อยกเว้นของ GATT/WTO และไม่เป็นการเลือกปฏิบัติ

9.2 กฎระเบียบเกี่ยวกับภาชนะบรรจุของสหภาพยุโรป

สหภาพยุโรปได้จัดทำแผนด้านการจัดการขยะ (EU Waste Management Strategy (COM(96x 399)) เพื่อช่วยลดปัญหาด้านสภาวะแวดล้อมอันเนื่องมาจากของเสียหรือขยะ โดยกำหนดให้มีการปรับสภาพของเสีย เพื่อลดการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมีข้อกำหนดต่างๆ เป็นเครื่องมือสำหรับควบคุมปริมาณและจัดการของเสีย เช่น Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC, Landfill Directive 999, Sewage Sludge Directive 86/278/EEC, The Organic Farming Regulation (EEC) No.2092/91 และ The eco-label for soil improvers and growing media (Commission Decision 2001/688/EC) เป็นต้น โดยได้กำหนดแนวทางสำหรับการกำจัดขยะที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เพื่อลดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

9.2.1 European Parliament and Council Directive 94/62/EC of December 1994 on Packaging and Packaging Waste: PPWD) มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 31 ธันวาคม ค.ศ. 1994 ประเทศสมาชิกสหภาพยุโรปทั้งหมด ต้องนำระเบียบกลางดังกล่าวนี้ไปพิจารณาตราเป็นกฎหมายภาชนะบรรจุ เพื่อบังคับใช้ในแต่ละประเทศของตน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ค.ศ. 1996 โดยมีวัตถุประสงค์ให้ประเทศสมาชิกของสหภาพยุโรปใช้เป็นแนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับภาชนะบรรจุ และของเสียจากภาชนะบรรจุ โดยแต่ละประเทศจะออกกฎหมายให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน เพื่อป้องกันและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้การค้ามีเอกภาพและลดปัญหาและอุปสรรคทางการค้า ตลอดจนกำจัดการแข่งขันในสหภาพฯ และ ลดปริมาณของเสียด้วยการหลีกเลี่ยง หรือลดการใช้งานภาชนะบรรจุ การนำภาชนะบรรจุมาใช้ซ้ำ (Reuse) หรือการนำกลับมาใช้ใหม่ และฟื้นสภาพของเสียจากภาชนะบรรจุให้เป็นประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อลดปริมาณการทิ้งของเสียในขั้นสุดท้ายให้น้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งจะช่วยลดพื้นที่ในการการฝังกลบของเสีย

กฎหมายภาชนะบรรจุของสหภาพยุโรปนี้ส่งผลต่อภาชนะบรรจุทุกชนิดที่ซื้อขายในตลาดสหภาพยุโรป และคลอบคลุมไปถึงภาชนะบรรจุที่ส่งมาจากประเทศนอกกลุ่มสหภาพฯ เข้าไปในตลาดสหภาพฯ ด้วย ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบต่อของเสียจากภาชนะบรรจุ คือ ผู้ที่ทำให้เกิดภาชนะบรรจุของสินค้าที่ซื้อขายในตลาด ได้แก่ ผู้ผลิตสินค้า ผู้นำเข้าสินค้า ผู้จัดจำหน่าย ผู้ค้าปลีก ร้านค้า ผู้ผลิตภาชนะบรรจุ และผู้ที่ผลิตวัสดุสำหรับผลิตภาชนะบรรจุ ทั้งนี้ตามกฎหมายที่แต่ละประเทศกำหนด และประเทศสมาชิกจะต้องกำหนดระบบเรียกคืนและ/หรือการเก็บรวบรวมภาชนะบรรจุที่ใช้แล้วให้เป็นไปตามเป้าหมาย

9.2.2 Landfill Directive 99/31/EC แนวทางเพื่อการหลีกเลี่ยงและลดปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเป็นผลจากการฝังกลบขยะ ซึ่งมีผลบังคับใช้ทันทีที่ถูกตีพิมพ์ลงในวารสาร Official Journal of the European Communities ในวันที่ 17 กรกฎาคม ค.ศ. 1999 และระบุให้ประเทศสมาชิกจะต้องกำหนดแผนแม่บทแห่งชาติ และนำกฎหมาย ระเบียบ และบทบัญญัติเกี่ยวกับการบริหาร ที่มีความจำเป็นต่อการปฏิบัติตามแนวทางของแนวทางนี้มาบังคับใช้ในระยะเวลาไม่เกิน 2 ปี หลังจากที่แนวทางนี้มีผลบังคับใช้ โดยได้แบ่งประเภทของหลุมฝังกลบขยะไว้ 3 ประเภท คือ หลุมฝังกลบขยะเป็นพิษ หลุมฝังกลบขยะไม่เป็นพิษ และหลุมฝังกลบขยะเฉื่อย และให้ดำเนินการลดปริมาณของเสียที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่จะเข้าสู่หลุมฝังกลบ โดยอาศัยวิธีการต่างๆ เช่น การนำกลับมาใช้ใหม่ใช้ใหม่ การหมัก การผลิตก๊าซชีวภาพ หรือการนำวัสดุ/พลังงานกลับมาใช้ใหม่

9.3 มาตรการหรือกฎข้อบังคับที่มุ่งลดปริมาณการบริโภคภาชนะบรรจุและด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในต่างประเทศ

ตัวอย่างนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและมาตรการของประเทศต่างๆ ที่มุ่งลดปริมาณการใช้ภาชนะบรรจุ ซึ่งรวบรวมโดยสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพไทย (ม.ป.ป.) มีดังต่อไปนี้

<u>กลุ่มประเทศยุโรป</u>

- ประเทศเยอรมนี

กฎข้อบังคับภายใต้คำสั่งเกี่ยวกับภาชนะบรรจุของเยอรมนี มีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ค.ศ. 2005 ภายใต้กฎข้อบังคับนี้ ภาชนะบรรจุที่ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้จะได้รับยกเว้นจากข้อกำหนดในคำสั่ง และเปิดทางให้ไม่ต้องรับผิดชอบทำเอกสารรับรองการนำกลับมาใช้ใหม่ได้

- ประเทศฝรั่งเศส

กฎข้อบังคับภายใต้กฎหมายสำหรับการสนับสนุนเกษตรกรรมของฝรั่งเศสมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ต้นปี ค.ศ. 2006 โดยกำหนดให้ถุงใส่ของทิ้งต้องย่อยสลายได้ทางชีวภาพภายในปี ค.ศ. 2010

- ประเทศอิตาลี

เมืองฟลอเรนซ์มีการห้ามซื้อขายภาชนะบรรจุอาหารที่ผลิตจากพลาสติกที่ไม่ย่อยสลาย

- ประเทศเดนมาร์ก

ประกาศห้ามใช้ภาชนะบรรจุเครื่องดื่มที่ทำจากพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

- ประเทศนอร์เวย์

มีแนวทางการลดการบริโภคถุงพลาสติกจากปิโตรเคมีโดยให้ร้านค้าเก็บเงินค่าถุงพลาสติกจากผู้บริโภค

- สาธารณรัฐไอร์แลนด์

จัดให้มีการเรียกเก็บภาษี 15 เซนต์ต่อถุง 1 ใบ เริ่มใช้เดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งทำให้เกิดการลดปริมาณการใช้ถุงลงถึงร้อยละ 95

- สหราชอาณาจักร

มีการดำเนินการจัดเก็บภาษีถุงพลาสติกครั้งแรกที่แขวงเดอร์แรม (County Durham) เมื่อเดือนมีนาคม ค.ศ. 2003 โดยการทำประชาพิจารณ์และสภาเมืองเดอร์แรมได้ข้อสรุปว่าร้อยละ 70 ของประชาชนยินดีที่จะจ่ายค่าถุงพลาสติก และจะใช้ถุงพลาสติกที่ใช้แล้วนำไปบรรจุของหลายครั้ง

เมืองแคลตัน ได้มีการจัด “เดือนปลอดถุงพลาสติก (Plastic bag free month)” ขึ้นเพื่อลดปริมาณพลาสติกในสหกรณ์ร้านค้า โดยให้ร้านค้าสอบถามลูกค้าสองครั้งว่าต้องการถุงพลาสติกหรือไม่ (ให้ลูกค้าคิดสองครั้งก่อนที่จะตอบว่าต้องการถุงใส่ของประเภทใด)

ร้านสหกรณ์ (Co-op supermarket) และผู้ค้าปลีก ร้านสหกรณ์ในอังกฤษมีการนำพลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพใช้ใส่ของให้ลูกค้า โดยเป็นถุงพลาสติกที่ย่อยสลายได้ร้อยละ 100 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Symphony Environmental มีคุณสมบัติของพลาสติกที่ย่อยสลายได้เป็นไปตามมาตรฐานพลาสติกที่ย่อยสลายได้ของสหภาพยุโรป

<u>กลุ่มประเทศสหรัฐอเมริกาและคานาดา</u>

- ประเทศสหรัฐอเมริกา

มีการเคลื่อนไหวในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมจำนวนมากใน ตัวอย่างเช่น รัฐ 11 รัฐ ได้ออกกฎหมายในการสนับสนุนตลาดผลิตภัณฑ์รักษาสิ่งแวดล้อมและหลายรัฐได้ออก Green Report I และ II ซึ่งเป็นข้อแนะนำในการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์สิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีสนธิสัญญา MARPOL (ห้ามไม่ให้ทิ้งพลาสติกลงในทะเล) ทั้งนี้การเคลื่อนไหวส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับพลาสติกย่อยสลายได้ในธรรมชาติ และเริ่มมีค่าธรรมเนียม 17 เซนต์สำหรับถุงใส่ของ ทั้งนี้สหรัฐอเมริกาได้ตั้งเป้าที่จะให้มีการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวมวลจากปริมาณร้อยละ 5 ในปี ค.ศ. 2002 เพิ่มเป็นร้อยละ 12 ในปี ค.ศ. 2010 และถึงร้อยละ 20 ในปี ค.ศ. 2030 ในที่สุด

- ประเทศแคนาดา

มีการจัด “โครงการถือถุงมาเองที่ร้านค้า” เป็นต้น

<u>กลุ่มประเทศเอเชียและอื่นๆ</u>

- ประเทศญี่ปุ่น

1. Green procurement policies

เมษายน ค.ศ. 2001 ญี่ปุ่นออกพระราชบัญญัติกฎหมายส่งเสริมการใช้สินค้าและบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนามของกฎหมายส่งเสริมการซื้อสีเขียว (Law on Promoting Green Purchasing)

2. Revised recycling laws

เมษายน ค.ศ. 2001 ญี่ปุ่นออกพระราชบัญญัติกฎหมายการนำกลับมาใช้อีก ฉบับแก้ไข (Revised recycling laws) เพื่อต้องการให้บริษัทนำผลิตภัณฑ์ของตนกลับมาใช้อีก ลดวัสดุที่ใช้และเพิ่มอายุผลิตภัณฑ์เพื่อลดปริมาณของเสีย และใช้ซ้ำบางชิ้นส่วนจากผลิตภัณฑ์ที่นำกลับมาใช้อีก

3. Pollution controls

มีนาคม ค.ศ. 2003 ญี่ปุ่นออกพระราชบัญญัติกฎหมาย The Pollutant Release and Transfer Register (PRTR) ซึ่งกำหนดให้บริษัทรายงานปริมาณสารเคมีและของเสียที่ปล่อยออกมาต่อรัฐบาล ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกเผยแพร่และนำไปเป็นเป้าหมายสำหรับการลดความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมจากสารเคมีที่ได้จากกระบวนการและสารมลพิษ

- ประเทศแอฟริกาใต้

ภายใต้กฎหมายใหม่ ถุงที่นำมาใช้จะต้องมีความหนา 24 ไมครอน โดยรัฐบาลตั้งใจให้ถุงมีความทนทานมากขึ้น และยังกำหนดให้ต้องนำไปรีไซเคิลให้มากขึ้นด้วย ขณะที่ผู้บริโภคจะต้องจ่ายเงินซื้อถุงพลาสติกในราคา 40 เซ็นต์ต่อหนึ่งใบ

- ประเทศอินเดีย

เมือง Ladakh กำหนดวันที่ 1 พฤษภาคมของทุกปี เป็นวันห้ามใช้พลาสติก (Plastic Ban Day)

เมืองบอมเบย์และรัฐหิมาชัลประเทศอินเดีย (Himachal Pradesh) มีมาตรการควบคุมการผลิตและการใช้ถุงพลาสติกและโฟม

- ประเทศออสเตรเลีย

โอลิมปิกเกมส์ที่เมืองซิดนีย์ ในปี ค.ศ. 2000 ได้ใช้ภาชนะและถุงที่ทำจากพลาสติกย่อยสลายได้ และทำการเก็บรวบรวมขยะอินทรีย์ได้ร้อยละ 75 ของขยะเศษอาหารที่เกิดขึ้นในสถานที่แข่งขันและที่พักนักกีฬาทั้งหมด เพื่อนำมาหมักปุ๋ย ทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการคัดแยกขยะที่เป็นบรรจุภัณฑ์ออกก่อนทิ้งและประกาศใช้มาตรการจัดการขยะพลาสติกประกอบด้วย ความร่วมมือ

ของผู้บริโภค มาตรการขอความร่วมมือและออกกฎหมาย เพื่อใช้ในการปรับคนที่ทิ้งขยะไม่ถูกที่ เป็นจำนวนเงิน 60–4,000 เหรียญออสเตรเลีย นอกจากนี้ร้านค้าต่างๆ เช่น บริษัท IKEA และบริษัท ALDI เริ่มเก็บเงินเพิ่ม (10–15 เซนต์) สำหรับลูกค้าที่ต้องการใช้ถุงพลาสติกของทางร้าน

เมืองชายฝั่งออสเตรเลียร่วมลงนาม "ห้ามใช้ถุงพลาสติก" เมืองฮัสคิสสัน (Huskisson) ซึ่งเป็นเมืองเล็กๆ ที่มีประชากรเพียง 750 คน อยู่ห่างจากทางตอนใต้ของซิดนีย์ไป 180 กิโลเมตร ปัจจุบันเป็นแหล่งดำน้ำและชมโลมา เป็นอีกเมืองหนึ่งในออสเตรเลียที่ไม่ใช้ถุงพลาสติก

- ประเทศจีน (ไต้หวัน)

มีการควบคุมการใช้ถุงพลาสติกชนิด LDPE ด้วยนโยบายจำกัดการใช้ถุงพลาสติกใส่ของ “Plastic Shopping Bag Use Restriction Policy” ห้ามร้านค้าแจกจ่ายถุงพลาสติกและกล่องโฟมโดยไม่คิดราคา โดยให้ปรับผู้ไม่ปฏิบัติตามกฎหมายในอัตรา 66,000–300,000 ดอลลาร์ไต้หวัน

- ประเทศบังคลาเทศ

มีการประกาศห้ามใช้ถุงพลาสติกทุกชนิดทั่วประเทศเมื่อเดือนมีนาคม ค.ศ. 2002 ซึ่งปัจจุบันรัฐบาลบังคลาเทศได้ให้ความเห็นชอบให้ผลิตถุงพลาสติก (Polythene bags) ที่มีความหนาเกิน 100 ไมครอน เพื่อการนำมาผลิตใช้ใหม่ได้แล้ว และกำหนดให้การผลิตถุงพลาสติกที่มีความหนาต่ำกว่านี้เป็นไปเพื่อการส่งออกเท่านั้น

9.4 มาตรการหรือกฎข้อบังคับที่มุ่งลดปริมาณการบริโภคภาชนะบรรจุและด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในประเทศไทย

ประเทศไทยได้มีมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2546 มอบหมายให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พิจารณากำหนดแนวทางและมาตรการที่เหมาะสมในการลดการใช้พลาสติกและโฟม โดยมุ่งเน้นการลดและนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ให้มากที่สุดก่อนการบำบัดหรือกำจัดในขั้นสุดท้าย ซึ่งกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยกรมควบคุมมลพิษ ได้รายงานความก้าวหน้าของผลการดำเนินการตามมติคณะรัฐมนตรีดังกล่าว ดังนี้

9.4.1 มาตรการระยะสั้น

1) มาตรการจัดการพลาสติกและโฟมในอุทยานแห่งชาติและแหล่งท่องเที่ยวตามธรรมชาติ โดยกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช ได้ออกประกาศกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546 เรื่อง การนำภาชนะบรรจุเข้าไปในบริเวณพื้นที่

ควบคุมพิเศษในอุทยานแห่งชาติ โดยให้อุทยานแห่งชาติทุกแห่งดำเนินการประกาศกำหนดพื้นที่ที่ต้องการควบคุมพิเศษในการนำภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก แก้ว อลูมิเนียม หรือวัสดุที่มีผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทุกประเภทเข้าไป และดำเนินการจัดซื้อผลิตภัณฑ์ KU-GREEN เพื่อนำไปใช้ในอุทยานแห่งชาติต่างๆ

2) มาตรการด้านการรณรงค์ประชาสัมพันธ์ หน่วยงานที่รับผิดชอบ ได้แก่ กระทรวงมหาดไทย กระทรวงสาธารณสุข กระทรวงศึกษาธิการ และกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้ร่วมกันรณรงค์ประชาสัมพันธ์การลดการใช้พลาสติกและโฟม โดยจัดทำแผ่นพับ ป้ายผ้า ป้ายประกาศ และดำเนินการประชาสัมพันธ์เสียงตามสายหอกระจายข่าวประจำหมู่บ้าน ห้างสรรพสินค้า สถาบันการศึกษา โรงแรม ที่พักอาศัย และในชุมชนต่างๆ ส่งเสริมการรณรงค์ประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับประโยชน์และโทษของพลาสติกและโฟม สำหรับนักเรียน นักศึกษา ออกประกาศเทศบาลเรื่อง การลดการใช้พลาสติกและโฟม ฝึกอบรมและจัดกิจกรรมรณรงค์การคัดแยกมูลฝอยให้กับนักเรียน นักศึกษา เพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการรักษาสิ่งแวดล้อม จัดนิทรรศการส่งเสริมเผยแพร่ความรู้ด้านการลดและคัดแยกมูลฝอย ในงานนิทรรศการต่างๆ รวมทั้งการแจ้งมติคณะรัฐมนตรี เรื่อง การลดการใช้พลาสติกและโฟม เพื่อให้ประชาชนทราบและ ร่วมมือในการดำเนินงานของภาครัฐ

3) มาตรการด้านเทคโนโลยี คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนได้มีการส่งเสริมการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุธรรมชาติทดแทนการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกและโฟม โดยจัดให้อยู่ในกิจการผลิตภัณฑ์จากผลพลอยได้หรือเศษวัสดุทางการเกษตร และกิจการผลิตวัสดุภาชนะบรรจุสำหรับอาหารซึ่งกิจการทั้ง 2 ประเภท จัดเป็นกิจการที่ให้ความสำคัญเป็นพิเศษ และยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเป็นเวลา 8 ปี ไม่ว่าจะตั้งในเขตใด

4) มาตรการด้านกฎหมาย กรมควบคุมมลพิษได้มอบหมายให้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการยกร่างกฎหมายการจัดการของเสียภาชนะบรรจุ ได้นำเสนอสภาพปัญหาและแนวทางการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์และของเสียภาชนะบรรจุ ซึ่งรวมของเสียประเภทพลาสติกและโฟม รวมทั้งแนวทางการกำหนดแผนยุทธศาสตร์ด้าน การจัดการภาชนะบรรจุและของเสียภาชนะบรรจุ และขณะนี้โครงการความร่วมมือไทย–เยอรมนี โดย German Technical Cooperation (GIZ) ได้จัดส่งผู้เชี่ยวชาญมาให้คำแนะนำปรึกษาด้านการจัดการทั้งระบบตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบการผลิต การบริโภค และการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น

9.4.2 มาตรการระยะยาว ได้แก่ มาตรการจัดการภาชนะบรรจุพลาสติกและโฟมในห้างสรรพสินค้าและร้านสะดวกซื้อ มาตรการข้อกำหนดผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปทำจากพลาสติกใช้แล้ว และมาตรการด้านเศรษฐศาสตร์นั้น มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการของกรมควบคุมมลพิษได้นำเสนอผลการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์สภาพการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกในปัจจุบัน รวมทั้งกำหนดกรอบแนวทางการดำเนินงานเบื้องต้น ซึ่งเป็นประเด็นการพิจารณาความเป็นไปได้ในการบังคับใช้ และผลกระทบที่เกิดจากการนำมาตรการดังกล่าวไปใช้ในทางปฏิบัติ และจะจัดให้มีการประชุมพิจารณากับผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้ประกอบการ และประชาชนทั่วไป ก่อนนำแนวทางและมาตรการต่างๆ ไปใช้ได้อย่างเหมาะสมและเป็นรูปธรรมต่อไป

นอกจากนี้ ยังมีแผนปฏิบัติการเพื่อการจัดการขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกที่ผลิตจากโฟมพอลิสไตรีน ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นระหว่างการศึกษา “โครงการศึกษาการจัดทำแผนยุทธศาสตร์การบริหารจัดการขยะมูลฝอยชุมชนและขยะมูลฝอยอันตรายชุมชนระดับประเทศ ” โดยมีโครงการย่อยในการดำเนินการ 4 โครงการได้แก่ โครงการสนับสนุนการลงทุนผู้ประกอบการที่นำโฟมพอลิสไตรีนกลับมาใช้ใหม่ โครงการสนับสนุนการลงทุนผู้ประกอบการผลิตภาชนะบรรจุทดแทนโฟมพอลิสไตรีน โครงการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาวัสดุทดแทนโฟมพอลิสไตรีนในรูปแบบการใช้เป็นภาชนะบรรจุ และโครงการจัดทำระบบคัดแยกโฟมพอลิสไตรีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่อย่างเป็นระบบ

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

10.1 การศึกษาภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพในประเทศไทย

การสำรวจข้อมูลทุติยภูมิ พบว่าประเทศไทยยังมีการวิจัยและพัฒนาภาชนะบรรจุย่อยสลายอยู่ค่อนข้างน้อย โดยเริ่มมีการศึกษาจาก

อรวรรณ (2529) ทำการศึกษาสมบัติของแป้งชนิดต่างๆ ในการนำมาใช้ประโยชน์ พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 24.0–26.3 โดยปนัดดา (2540) ศึกษาการเตรียมฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ พบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะจะนำไปใช้ประโยชน์ เตรียมจากน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 5 แล้วเติมสารซอร์บิทอล ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแป้ง แผ่นฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะใส ผิวเรียบ มีสมบัติเชิงกลที่ดี ให้สมบัติเด่น คือ สามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ 120 วัน และย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ

งามทิพย์ และ สายสนม (2540) ได้จัดทำเครื่องต้นแบบพร้อมแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง และพัฒนาสูตรแป้งที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโดยวิธีอัดร้อน เครื่องขึ้นรูปต้นแบบทำงานด้วยระบบไฮดรอลิก มีแม่พิมพ์พร้อมแผ่นความร้อนฝังในแม่พิมพ์ ปรับอุณหภูมิได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียสและสามารถปรับตั้งเวลาได้เป็นหน่วยวินาที แม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้เป็นทรงถ้วยกลม ขนาดมิติภายนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 11.5 เซนติเมตร ด้านล่าง 6.5 เซนติเมตร ความสูง 5 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมีย 3 มิลลิเมตร มีช่องระบายอากาศขนาด 3 มิลลิเมตรทั้งหมดรวม 8 ช่องทาง เมื่อทำการขึ้นรูปแป้งผสมสูตรต่างๆ ทั้งหมด 18 สูตร พบว่ามี 3 สูตรที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ดังกล่าว โดยสามารถขึ้นรูปได้โดยใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ตัวผู้ 180 องศาเซลเซียสและแม่พิมพ์ตัวเมีย 200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2 นาที เมื่อทำการศึกษาถึงคุณสมบัติทางการบรรจุและสมรรถนะการใช้งานของภาชนะบรรจุจากแป้งทั้ง 3 สูตรเปรียบเทียบกับโฟมพอลิสไตรีนที่ขยายตัว ที่ใช้ผลิตกล่องใส่อาหาร พบว่ามีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.15–0.176 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนโฟมมีค่าความหนาแน่นประมาณ 0.034 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นั่นคือภาชนะบรรจุจากแป้งจะมีความหนาแน่นสูงกว่าโฟมประมาณ 5 เท่าหรือภาชนะบรรจุจากแป้งจะหนักกว่าภาชะบรรจุจากโฟมประมาณ 5 เท่า ค่า Tensile impact energy อยู่ในช่วง 0.01–0.02 จูล ส่วนโฟมจะมี Tensile impact

energy เท่ากับ 0.03 จูล นั่นคือภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังทนทานต่อแรงกระแทกได้น้อยกว่าโฟม สำหรับความต้านทานการซึมผ่านของไขมันของภาชนะบรรจุจากแป้ง สามารถต้านทานการซึมผ่านของไขมันได้มากกว่า 1800 วินาที และภาชนะบรรจุที่ได้จากการขึ้นรูปยังมีทนทานต่อน้ำไม่คงที่ เนื่องจากคุณภาพของตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งต้องมีการปรับปรุง เพื่อแก้ไขความบกพร่องที่เกิดขึ้นระหว่างการขึ้นรูปต่อไป

วงศ์ผกา และ ปาริชาติ (2542) ศึกษาการนำเยื่อผักตบชวามาขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุในรูปถาดบรรจุผลไม้ เพื่อใช้แทนวัสดุสังเคราะห์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ในขั้นแรกได้ทำการศึกษาสัดส่วนของตัวประสาน ซึ่งใช้แป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำ ที่ทำให้เกิดการหดตัวน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเนื้อเยื่อ จากนั้นจึงสร้างแม่พิมพ์รูปถาดผลไม้ขึ้นมา โดยใช้พลาสติก ABS ทำแม่พิมพ์ และทดลองนำน้ำผักตบชวามาขึ้นรูป แล้วทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถาดผลไม้ที่ขึ้นรูปได้จากอัตราส่วนระหว่างแป้งและน้ำที่แตกต่างกัน จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1 ทำให้ถาดผลไม้เกิดการหดตัวน้อยที่สุด และมีความแข็งแรงมากที่สุด หลังจากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติของถาดผลไม้จากเยื่อผักตบชวาเทียบกับวัสดุอื่นๆ ซึ่งคุณสมบัติที่ทำการทดสอบได้แก่ ความต้านทานแรงทิ่มทะลุ (Puncture test) และการทดสอบการดัด (3 point bending test) ผลการทดสอบพบว่า แผ่นเยื่อตบชวาที่ไม่ได้ผสมตัวประสานมีคุณสมบัติความต้านทานแรงทิ่มทะลุและการทดสอบการดัดต่ำที่สุด และกระดาษลูกฟูกมีมีคุณสมบัติความต้านทานแรงทิ่มทะลุและการทดสอบการดัดสูงที่สุด

สินชัย (2543) ทำการผลิตต้นแบบภาชนะบรรจุอาหารจากเยื่อตะไคร้หอม มีการเตรียมเยื่อตะไคร้หอมโดยการนำตะไคร้หอมมาต้มละลายกับโซดาไฟร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง เพื่อสกัดเยื่อตะไคร้ออกมา แล้วนำเยื่อมาผสมกับแป้งเปียกที่มีอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นตัวประสานผสมกับเยื่อในปริมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อ โดยทำการเปรียบเทียบการใช้พลาสติกไซเซอร์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมดเป็นส่วนผสมกับไม่ใช้ นวดส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันจนมีลักษณะเป็นโด แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์อะลูมิเนียมที่ทาน้ำมันพืชไว้ ให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ด้วยเครื่องทำความร้อนและอัดด้วยเครื่องอัดแบบนิวมาติก (Pneumatic) ที่ระดับอุณหภูมิ 2 (90 องศาเซลเซียส) และ ระดับอุณหภูมิ 3 (150 องศาเซลเซียส) ผลการทดลองพบว่าการขึ้นรูปถาดเยื่อตะไคร้หอมที่ใช้พลาสติกไซเซอร์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมดเป็นส่วนผสม ขึ้นรูปเป็นภาชนะ โดยให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ที่ระดับ 3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำการอัดที่ความดัน 2 บาร์ เป็นถาดที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด เมื่อนำถาดที่

ได้ไปทดสอบความต้านทานแรงทิ่มทะลุ และการทดสอบการดัด โดยเปรียบเทียบกับถาดโฟมที่มีพื้นที่และความหนาเท่ากัน ผลที่ได้คือ ถาดเยื่อตะไคร้หอมสามารถรับแรงดัดและแรงทิ่มทะลุได้มากกว่าภาชนะโฟม แต่จะมีระยะการเสียรูป (Defoamation maximum load) น้อยกว่าภาชนะโฟม และการเปรียบเทียบการซึมผ่านของไขมันและน้ำ พบว่า น้ำมันพืชสามารถซึมผ่านถาดเยื่อตะไคร้หอมได้เร็วกว่า

วรภัทร (2545) ศึกษาการขึ้นรูปภาชนะบรรจุที่มีลักษณะคล้ายถาดโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อบรรจุผักผลไม้สดที่ตกแต่งพร้อมบริโภค การทดสอบคุณสมบัติของภาชนะ พบว่าภาชนะถาดบรรจุที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งข้าวเหนียว อัตราส่วน 80 ต่อ 20 สามารถทนทานต่อน้ำเย็นและน้ำร้อนได้นาน 3.51 และ 3.22 ชั่วโมงตามลำดับ แป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเขียว อัตราส่วน 90 ต่อ 10 สามารถทนทานต่อน้ำเย็นและน้ำร้อนได้นาน 3.21 และ 4.13 ชั่วโมงตามลำดับ และแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งท้าวยายม่อมอัตราส่วน 80 ต่อ 20 สามารถทนทานต่อน้ำเย็นและน้ำร้อนได้นาน 4.21 และ 4.24 ชั่วโมงตามลำดับ

วรภัทร (2546) รายงานว่าสามารถขึ้นรูปภาชนะถาดบรรจุจากแป้ง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นหลัก ผสมกับแป้งท้าวยายม่อม อัตราส่วน 80 ต่อ 20 แป้งข้าวเหนียว อัตราส่วน 80 ต่อ 20 และแป้งถั่วเขียวอัตราส่วน 90 ต่อ 10 ตามลำดับ และพบว่าภาชนะถาดบรรจุที่ได้ มีความสามารถต้านทานแรงกดทับ (Compression resistance of shipping container, component and unit load, ASTM D 642–00) มากกว่าถาดโฟมที่ทำมาจากพอลิสไตรีนที่ขยายตัว ประมาณ 3 เท่า เมื่อทดสอบการใช้งาน ในการบรรจุผักและผลไม้สดตกแต่งพร้อมบริโภค พบว่า ยังมีอายุการใช้งานที่สั้น ต้องปรับปรุงให้มีคุณสมบัติทนทานต่อการซึมผ่านของน้ำและความชื้น

ในการพัฒนาภาชนะบรรจุที่สามารย่อยสลายได้ทางชีวภาพดังได้กล่าวมาข้างต้น ในปัจจุบันมีเพียงภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง (งามทิพย์ และ สายสนม, 2540) เท่านั้นที่ได้ผลิตออกจำหน่ายในเชิงพานิชย์ ภายใต้ชื่อทางการค้า KU-GREEN

10.2 การประยุกต์ใช้การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับพอลิเมอร์และภาชนะบรรจุ

Van Dam (1996) ศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคชาวเนเธอแลนด์ที่มีต่อภาชนะบรรจุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับความตระหนักถึง

ปัญหาสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภค ผลการศึกษาพบว่าผู้บริโภคตัดสินผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากวัตถุดิบของภาชนะบรรจุนั้นๆ และการนำส่งกลับคืนได้ของภาชนะบรรจุ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามความเข้าใจของผู้บริโภคเกี่ยวกับการผลิตอยู่ที่ของเสียที่เกิดขึ้นในการผลิต ไม่สนใจเกี่ยวกับกระบวนการผลิต จากความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคดังกล่าวจะนำไปสู่การวางนโยบายด้านภาชนะบรรจุและสิ่งแวดล้อมต่อไป

Oki and Sasaki (2000) ศึกษาหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้ในการประเมินในเชิงสังคมและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุ พบว่าหน้าที่ของภาชนะบรรจุมีหลากหลาย เช่น ป้องกันการปนเปื้อนของอาหาร ป้องกันการบูดเน่าของอาหาร และถ่ายทอดข้อมูลและคำแนะนำของอาหารหรือโรงงานผู้ผลิตสู่ผู้บริโภค หน้าที่ของภาชนะบรรจุบางอย่างไม่ง่ายที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แต่ความพยายามที่จะนำหลักการมาประยุกต์ใช้เป็นทางนำไปสู่การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Sonneveld (2000) ศึกษาการนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการพัฒนายุทธศาสตร์ด้านเศรษฐกิจของภาชนะบรรจุ ทั้งด้านการผลิตและกระบวนการผลิต เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ตลาดโลกในปัจจุบัน ที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เหมาะที่จะนำไปใช้กับการปฏิบัติจริง และในอนาคตควรที่จะนำการประเมินด้านสังคมและเศรษฐศาสตร์มาผนวกเพิ่มเติมด้วย

McDonough and Braungart (2002) ได้รายงานว่าข้อมูลที่ได้รับจากงานวิจัยสามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งข้อมูลสารสนเทศที่มีศักยภาพอย่างยิ่งในการช่วยเหลือผู้บริโภคในการตัดสินใจจะต้องเป็นข้อมูลที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อนและมีการเปรียบเทียบให้เห็นภาพอย่างชัดเจนโดยผลิตภัณฑ์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงจะไม่ได้รับการยอมรับ หรือยอมใช้งานไปก่อนจนกว่าจะมีผลิตภัณฑ์ใหม่ให้เลือกใช้แทน ผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบปานกลางจะได้รับการปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น และผู้บริโภคจะเลือกใช้งานผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเต็มใจทันที

Narayan (2002) ได้รายงานว่าความยั่งยืน นิเวศวิทยาอุตสาหกรรม (Industrial ecology) ประสิทธิภาพเชิงนิเวศ (Ecoefficiency) และสารเคมีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green chemistry)

คือ หลักการใหม่ที่จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสำหรับผลิตภัณฑ์และกระบวนการที่จะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่จะออกใหม่จำเป็นต้องออกแบบและจัดการโดยอาศัยแนวคิดเรื่องวัฏจักรชีวิต (Life cycle Thinking) ในปัจจุบันการออกแบบผลิตภัณฑ์ประเภทกระดาษและพลาสติกสำหรับใช้เป็นภาชนะบรรจุหรือห่อหุ้ม ซึ่งมักมาพร้อมกับสินค้า ได้คำนึงถึงความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำจัดในขั้นสุดท้ายหลังสิ้นสุดการใช้งาน การออกแบบให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ให้สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และทำให้แน่ใจว่าถูกกำจัดด้วยวิธีการที่เหมาะสมย่อมจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ

Lee and Xu (2005) ได้รายงานว่าแรงกดดันด้านสิ่งแวดล้อมในช่วงระยะสองทศวรรษที่ผ่านมา ได้กระตุ้นให้เกิดการพัฒนาเครื่องมือสมัยใหม่ในการประเมินค่าประเด็นและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ การประเมินวัฏจักรชีวิตได้ถูกนำใช้ตั้งแต่ 30 ปีที่ผ่านมา และพัฒนาไปสู่เครื่องมือสำหรับธุรกิจ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับพัฒนาภาชนะบรรจุและการใช้งานผลิตภัณฑ์

Narayan (2005a) ได้รายงานว่าผลิตภัณฑ์จากพลาสติกและพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่มักผลิตจากวัสดุทดแทนจากการเกษตรกรรมหรือชีวมวล สามารถนำไปสู่ความยั่งยืนได้ เนื่องจากความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การสกัดวัตถุดิบจากชีวมวลจะได้พอลิเมอร์จากธรรมชาติ เช่น เซลลูโลส แป้ง โปรตีน รวมทั้งเส้นใย และน้ำมันพืช วัตถุดิบจากชีวมวลเหล่านี้จะถูกนำมาปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปของมอนอเมอร์ชีวภาพ ด้วยวิธีการหมักหรือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จากนั้นจึงใช้ปฏิกริยาทางเคมีเปลี่ยนมอนอเมอร์ให้กลายเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น กรดพอลิแล็กติก (Polylctic acid) หรือใช้การเปลี่ยนรูปทางชีวภาพในการเปลี่ยนมอนอเมอร์ เช่น พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (Polyhydroxyalkanoates) โดยอาจเติมสารลดแรงตึงผิว สารเพิ่มการเกาะตัวลงไปด้วย เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้ให้ดีขึ้น ในการศึกษาพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ การชี้บ่งประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมเชิงบวกและความยั่งยืนของการใช้ผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งที่สำคัญ โดยสามารถชี้บ่งได้ด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต

Paoluglam (2005) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด ได้แก่ พอลิสไตรีน และพอลิยูรีเทนโฟม (Polyurethane foam) สำหรับพอลิสไตรีนศึกษาผลิตภัณฑ์สองชนิด คือ GPPS และ HIPS โดยใช้ซอฟท์แวร์ SimaPro เวอร์ชั่น 5.1 และวิธี Eco-

Indicator 95 กับ Eco-Indicator 99 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ขอบเขตของการศึกษารวมตลอดการผลิต การขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ การใช้งานในโรงงานและการกำจัด จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีทั้งสองประเภทผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาจากขั้นตอนการผลิตและการใช้ สำหรับพอลิสไตรีนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มาจากสไตรีน มอนอเมอร์ (ทั้ง GPPS และ HIPS) และ ยางพอลิบิวทาไดอีน (เฉพาะ HIPS) ในการผลิต และการใช้ไฟฟ้าในขั้นการใช้งาน ซึ่งก่อให้เกิดการลดลงของเชื้อเพลิง (Depletion of fossil fuels) ภาวะความเป็นกรด และหมอกควันหน้าร้อน (summer smog) สำหรับโพลียูรีเทนโฟมผลกระทบที่สำคัญมาจากวัตถุดิบสองชนิด คือ Isocyanate และ polyetherpolyol ซึ่งก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากร ผลกระทบจากโลหะหนัก (Heavy metal effect) และภาวะความเป็นกรด จากการประเมินพอลิสไตรีนก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าพอลิยูรีเทนประมาณ 1.5 เท่า

10.3 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของพลาสติกกับวัสดุย่อยสลายได้

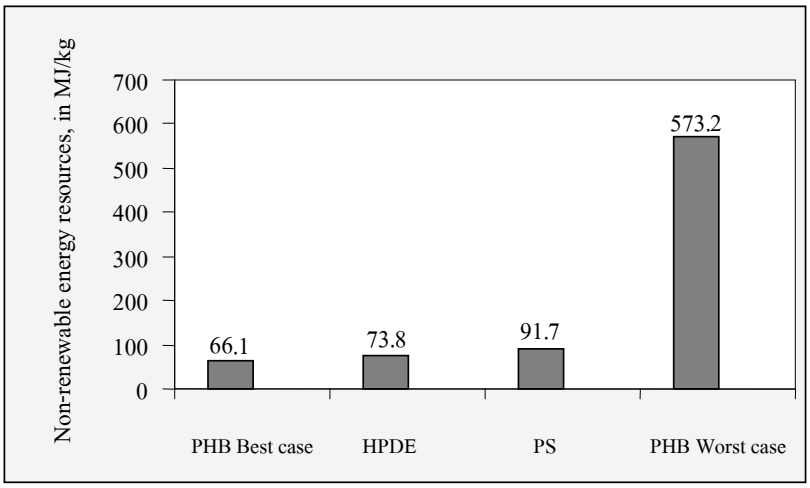
Jolliet *et al.* (1994) ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงาน และการปล่อยมลสารสู่อากาศ น้ำและดิน ในการผลิตวัสดุสำหรับนำไปทำภาชนะบรรจุ (Packaging material) ซึ่งได้มาจากข้าวโพด เปรียบเทียบกับพอลิสไตรีน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตวัสดุจากข้าวโพดน้อยกว่าพอลิสไตรีน 2.0–3.3 เท่า และก่อให้เกิดมลภาวะอากาศน้อยกว่า 2.6–4.7 เท่า ต่อกิโลกรัมพอลิเมอร์ หากกำจัดภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการเผา แต่ถ้ากำจัดด้วยวิธีการคอมโพสท์ จะก่อให้เกิดมลภาวะอากาศมากกว่าพอลิสไตรีนประมาณ 4.6 เท่า เนื่องจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนในระหว่างการย่อยสลายทางชีวภาพ การก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำและดินของการผลิตวัสดุจากข้าวโพดมากกว่าพอลิสไตรีน เพราะในการเพาะปลูกข้าวโพด มีการใช้ปุ๋ยไนเตรทและฟอสเฟท รวมทั้งสารปราบศัตรูพืช ซึ่งสามารถถูกชะละลายลงสู่ดินและแหล่งน้ำใต้ดินได้

Dinkel *et al.* (1996) ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของพลาสติกจากแป้ง (Thermoplastic starch) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยในการกำจัดพลาสติกหลังสิ้นสุดการใช้งานได้ตั้งสมมุติฐานเป็นการเผาร้อยละ 80 และการฝังกลบร้อยละ 20 ผลการศึกษาพบว่าพลาสติกจากแป้งมีภาพรวมของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยเฉพาะด้านการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ความเป็นพิษต่อมนุษย์ และภาวะความเป็นเกลือ (Salinization) ยกเว้นผลกระทบ

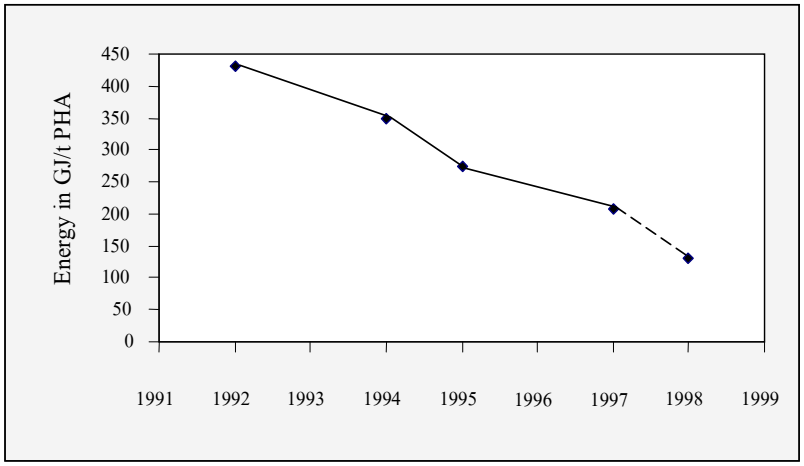
ด้านธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล และหากกำจัดขยะพลาสติกจากแป้งด้วยวิธีการคอมโพสท์ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจะลดลงจากการกำจัดดังสมมุติฐานเดิม อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ไม่ได้นำผลกระทบด้านความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) และคุณภาพของดินมาร่วมพิจารณาด้วย ซึ่งหากนำมาพิจารณาจะทำให้ผละกระทบสิ่งแวดล้อมของการใช้พลาสติกจากแป้งเพิ่มขึ้นจากเดิม

Hakala *et al.* (1997) ทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผ้าอ้อมที่ผลิตจากพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนกับกรดพอลิแล็กติก โดยในการกำจัดขยะผ้าอ้อมหลังสิ้นสุดการใช้งาน ใช้แบบจำลองการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) การเผา และการฝังกลบ และพิจารณาผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากร ผลกระทบต่อระบบนิเวศ และสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ผลการศึกษาพบว่าความแตกต่างของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในภาพรวมที่เกิดขึ้นจากผ้าอ้อมที่ผลิตจากวัสดุทั้งสองแบบมีน้อยมาก โดยผ้าอ้อมจากพลาสติกปิโตรเคมีมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่าเล็กน้อยดีกว่า ขั้นตอนที่เกิดผลกระทบมากที่สุดในการผลิตผ้าอ้อมจากกรดพอลิแล็กติก คือ การเพาะปลูกพืช และการผลิตกรดแล็กติก ในการกำจัดผ้าอ้อมจากกรดพอลิแล็กติกได้คอมโพสท์เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพของดิน และทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี ส่วนสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดในการผลิตผ้าอ้อมจากพลาสติกปิโตรเคมี คือ ในการผลิตมีการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนออกมาสู่สิ่งแวดล้อม และวิธีการกำจัดผ้าอ้อมจากพลาสติกปิโตรเคมีด้วยวิธีการเผาเหมาะสมกว่าการฝังกลบ

Hyde (1998) ทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตพอลิไฮดรอกซิลบิวทิเรท (Polyhydroxybutyrate: PHB) ด้วยวิธีการหมักของจุลินทรีย์ โดยใช้หัวบีท แป้ง มีเทน และเมทานอลเป็นวัตถุดิบ กับการผลิตพอลิเอทิลีนและพอลิสไตรีน ภาพที่ 11 แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้ในการผลิต PHB HDPE และ PS ซึ่งพบว่าในการผลิต PHB ใช้พลังงานมากกว่าการผลิตพอลิเมอร์จากปิโตรเคมีอย่างชัดเจน (Worst case) แต่อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีจะสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานในการผลิต PHB ลงได้ภายในเวลาไม่นานนัก (Best case) โดยอ้างอิงจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการใช้พลังงานในการผลิต PHA ของมอนซานโต้ (Monsanta) ด้วยวิธีเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมพืช ซึ่งพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานในการผลิตลงได้ในระยะเวลาไม่กี่ปี ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 11 พลังงานที่ต้องการใช้ในการผลิต PHB HDPE และ PS



ภาพที่ 12 การพัฒนาการใช้พลังงานในการผลิต PHA ด้วยวิธีการหมัก

Gerngross (1999) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตพอลิสไตรีนกับพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates: PHA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากการหมักข้าวโพด ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการผลิตพอลิสไตรีนใช้เกลืออนินทรีย์ น้ำ และเชื้อเพลิงฟอสซิลน้อยกว่าการผลิต PHA ปริมาณการใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิงฟอสซิล ในการผลิตพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด แสดงดังตารางที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ปริมาณการใช้วัตถุดิบในการผลิตพอลิสไตรีนและ PHA

รายการ	ปริมาณวัตถุดิบที่ต้องการ (ต่อกิโลกรัมพอลิเมอร์)	
	พอลิสไตรีน	PHA
กลูโคส	-	3.33 กิโลกรัม
ปิโตรเลียม	1.78 กิโลกรัม	-
เกลืออนินทรีย์	20 กรัม	149 กรัม
น้ำ	4 ลิตร	26 ลิตร

ตารางที่ 10 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตพอลิสไตรีนและ PHA

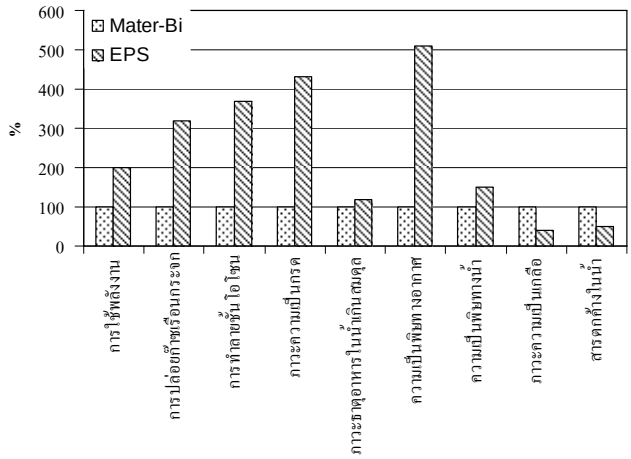
รายการ	ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ต้องการ (ต่อกิโลกรัมพอลิเมอร์)	
	พอลิสไตรีน	PHA
ผลิตวัตถุดิบ	1.78 กิโลกรัม	0.8 กิโลกรัม
ผลิตไอน้ำ	0.4 กิโลกรัม	0.14 กิโลกรัม
ผลิตกระแสไฟฟ้า	0.08 กิโลกรัม	1.45 กิโลกรัม
รวม	2.26 กิโลกรัม	2.39 กิโลกรัม

Patel *et al.* (1999) ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตเม็ดพอลิเมอร์จากแป้ง พอลิเอทิลีน (Polyetylene: PE) และแป้งผสมกับพลาสติกจากปิโตรเคมี และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดวัฏจักรชีวิต (การผลิตและการกำจัดด้วยวิธีการเผา) ผลของการศึกษาแสดงดังตารางที่ 11 สรุปผลการเปรียบเทียบพบว่าพอลิเมอร์จากแป้งมีการใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าพอลิเอทิลีนประมาณ 28-55 จิกกะจูลต่อตันของพอลิเมอร์ และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดวัฏจักรชีวิตต่ำกว่าประมาณ 1.4-3.9 ตันของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันของพอลิเมอร์ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของพลาสติกจากปิโตรเคมีที่ผสมเข้าไป

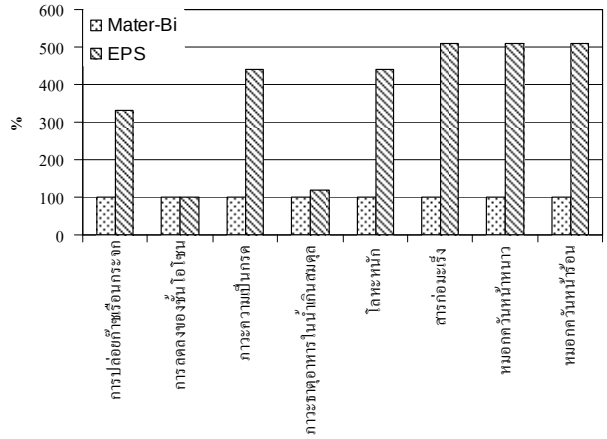
ตารางที่ 11 ปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพอลิเมอร์จากแป้งแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

ชนิดของพลาสติก	สัดส่วนขององค์ประกอบปิโตรเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	การใช้พลังงานในการผลิต (จิกกะจูลต่อตันพอลิเมอร์)	ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดวัฏจักรชีวิต (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันพอลิเมอร์)
พลาสติกจากแป้ง	0	25.4	1,140
พลาสติกจากแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	15	24.9	1,730
พลาสติกจากแป้ง/พอลิคาโปรแล็กโตน	52.5	48.3	3,360
พลาสติกจากแป้ง/พอลิคาโปรแล็กโตน	60	52.3	3,600
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	100	80.6	4,840

Estermann *et al.* (2000) ทำการศึกษาวัฏจักรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบวัสดุในการผลิตแผ่นกันกระแทก (Loose fill packaging) 2 ชนิด ได้แก่ แป้งผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) ร้อยละ 15 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Mater-Bi เปรียบเทียบกับแผ่นโฟมพอลิสไตรีน แผ่นกันกระแทกของ Mater-Bi มีความหนาแน่นมากกว่าแผ่นโฟมกันกระแทก 2 เท่า ในการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานของแผ่นกันกระแทกของ Mater-Biใช้วิธีการคอมโพสท์ ส่วนแผ่นโฟมกันกระแทกจะกำจัดด้วยวิธีการเผา ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมใช้รายการผลกระทบที่ Heijungs *et al.* (1992) และ Dinkel *et al.* (1996) ได้เคยศึกษาไว้ เปรียบเทียบกับวิธี Eco-indicator 99 (Goedkoop, 1995) ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 13 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแผ่นกันกระแทก ที่ผลิตจากแป้งผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าพอลิสไตรีนชนิดขยายตัวเกือบทุกรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะด้านการก่อให้เกิดหมอกควัน ความเป็นพิษทางอากาศ และสารก่อมะเร็ง มีเพียงด้านภาวะความเป็นเกลือและสารตกค้างในน้ำเท่านั้น ที่แผ่นกันกระแทก Mater-Bi มีผลกระทบมากกว่า จึงสรุปได้ว่าแผ่นกันกระแทกที่ผลิตจากแป้งผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำลายสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าพอลิสไตรีนชนิดขยายตัว



ก)



ข)

ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบแผ่นกันกระแทกที่ผลิตจากวัสดุย่อยสลายได้ (Mater-Bi) และพอลิสไตรีนชนิดขยายตัว ก) Heijungs *et al*. (1992) และDinkel *et al*. (1996) ข) (Goedkoop, 19951)

Wurdinger *et al.* (2001) ได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากแผ่นกันกระแทกที่ผลิตจากแป้งจากพืช 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด วีท และมันฝรั่ง กับพอลิสไตรีนชนิดขยายตัวที่ใช้เม็ดพอลิสไตรีนใหม่ และเม็ดพอลิสไตรีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ ในการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานใช้วิธีการเผาร้อยละ 30 และการฝังกลบร้อยละ 70 ผลการศึกษาพบว่าแผ่นกันกระแทกที่ผลิตจากแป้งจากพืชมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมใกล้เคียง กับแผ่นกันกระแทกที่ผลิตจากพอลิสไตรีนชนิด

ขยายตัว ที่ใช้เม็ดพอลิสไตรีนบริสุทธิ์ แต่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงกว่าแผ่นกันกระแทกที่ผลิตจากพอลิสไตรีนชนิดขยายตัว ที่ใช้เม็ดพอลิสไตรีนที่นำกลับมาใช้ใหม่

Zabaniotou and Kassidi (2002) ได้ประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบภาชนะบรรจุสำหรับใส่ไข่สองชนิด ซึ่งทำมาจากโพลีสไตรีนและกระดาษรีไซเคิล ทำการศึกษาและวิเคราะห์มวลสารและพลังงานขาเข้าและขาออกจากระบบ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิด โดยใช้วิธี Ecoindicator 95 ผลการศึกษาพบว่าภาชนะบรรจุจากพอลิสไตรีนมีศักยภาพก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด หมอกควันหน้าหนาว (Winter smog) และหมอกควันหน้าร้อนที่มากกว่า ในขณะที่ภาชนะบรรจุจากกระดาษรีไซเคิลก่อให้เกิดการผลกระทบจากของโลหะหนักและสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) อย่างไรก็ตาม ผลสรุปโดยรวมของผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental index) พบว่าภาชนะบรรจุจากกระดาษรีไซเคิลมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าพอลิสไตรีน

Vink *et al.* (2003) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของพอลิแล็กไทด์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากข้าวโพด เพื่อศึกษาปริมาณการใช้พลังงานฟอสซิลทั้งหมด (Gross Fossil Energy Use: GFEU) ในการผลิต และเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับพอลิเมอร์จากปิโตรเคมี 11 ชนิด โดยรายการผลกระทบที่เลือกทำการศึกษามี 3 รายการ ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ภาวะโลกร้อน และการใช้น้ำ ผลจากการศึกษา พบว่าปริมาณ GFEU ในการผลิต PLA เท่ากับ 54.1 เมกะจูลต่อกิโลกรัม PLA และขั้นตอนที่ต้องการใช้พลังงานฟอสซิลมากที่สุด คือ ขั้นตอนการผลิตกรดแล็กติก ซึ่งใช้พลังงานถึง 26.3 เมกะจูลต่อกิโลกรัม PLA คิดเป็นร้อยละ 49 ของปริมาณ GFEU ส่วนผลเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับพอลิเมอร์จากปิโตรเคมี พบว่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการผลิต PLA ต่ำกว่าการผลิตพอลิเมอร์จากปิโตรเคมี และการใช้น้ำในการผลิต PLA ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการผลิตพอลิเมอร์จากปิโตรเลียมส่วนใหญ่ แต่มากกว่าการผลิต PET AM ชนิดเดียวเท่านั้น การประเมินความเป็นไปได้ในการลดการใช้พลังงาน โดยเพิ่มการใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และปรับปรุงเทคโนโลยีการสังเคราะห์กรดแล็กติก พบว่าสามารถช่วยลดปริมาณ GFEU ลงเหลือเพียง 7.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม PLA และยังช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อีกทางหนึ่งด้วย

Bohlmann (2004) ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานในการผลิต และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตและการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบของถ้วยขนาด 8 ออนซ์ สำหรับบรรจุโยเกิร์ตน้ำหนัก 1,000 กิโลกรัม ที่ผลิตจากพอลิแล็กไทด์ ซึ่งใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ กับพอลิโพรพีลีน (Polypropylene: PP) ซึ่งได้จากก๊าซธรรมชาติ โดยถ้วยจากพอลิแล็กไทด์หนัก 8.91 กรัม และถ้วยจากพอลิโพรพีลีนหนัก 7.90 กรัม ผลการศึกษาพบว่าถ้วยจากพอลิแล็กไทด์ใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าถ้วยจากพอลิโพรพีลีน โดยถ้วยจากพอลิแล็กไทด์ใช้พลังงานเท่ากับ 56.7 เมกะจูลต่อกิโลกรัมพอลิเมอร์ หรือ 2,225 เมกะจูลต่อตันโยเกิร์ต และถ้วยจากพอลิโพรพีลีนใช้พลังงานเท่ากับ 93.7 เมกะจูลพอลิเมอร์ หรือ 3,261 เมกะจูลต่อตันโยเกิร์ต แต่ถ้าในการผลิตกรดแล็กติก ใช้วิธีการต้มระเหยแบบ 2 ขั้น (Double-effect evaporation) ซึ่งสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการต้มระเหยแบบ 3 ขั้น (Triple-effect evaporation) จะทำให้การใช้พลังงานในการผลิตถ้วยจากพอลิแล็กไทด์เพิ่มขึ้นเป็น 75.3 เมกะจูลต่อกิโลกรัมพอลิเมอร์ ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตและการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ หากตั้งสมมุติฐานว่าพอลิแล็กไทด์ไม่เกิดการย่อยสลายในหลุมฝังกลบเหมือนกับพอลิโพรพีลีน จะพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของถ้วยจากพอลิแล็กไทด์และพอลิโพรพีลีนมีค่าเท่ากับ 0.029 และ 0.026 MTCE (Metric tons of carbon equivalent) ต่อตันโยเกิร์ตตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่อย่างไรก็ตาม หากตั้งสมมุติฐานว่าพอลิแล็กไทด์ในหลุมฝังกลบเกิดการย่อยสลายได้ก๊าซมีเทน ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของถ้วยจากพอลิแล็กไทด์จะเพิ่มขึ้นเป็น 0.091 MTCE ต่อตันโยเกิร์ต

Chien-Chung and Hwong (2004) ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัสดุผลิตภาชนะบรรจุที่เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรม เช่น พลาสติก โลหะ แก้ว กระดาษ เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการตัดสินใจเลือกวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้การประเมิน 3 วิธี ได้แก่ LCA ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงปริมาณ AHP (Analytic Hierachy Process) ซึ่งให้ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงคุณภาพ และ Cluster analysis ซึ่งเป็นการรายงานผลที่ประยุกต์ใช้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ผลการศึกษาที่ได้พบว่า ข้อมูลผลกระทบที่ได้จากการประเมินเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก และเมื่อนำมาจัดการประยุกต์ทั้งสองด้านเข้าด้วยกัน จะได้ผลการเปรียบเทียบวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าพลาสติก เช่น PET PS และ HDPE มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าโลหะกับแก้ว

Murphy and Bartle (2004) ทบทวนบทความ รายงาน มาตรฐาน และเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพประมาณ 100 เรื่อง สรุปผลการทบทวนดังนี้

การเปรียบเทียบผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษามีความหลายหลาย รวมทั้งขอบเขตของการศึกษาและรายการผลกระทบที่นำมาพิจารณาก็แตกต่างกัน โดยเกือบทั้งหมดพิจารณาเพียงบางส่วนของวัฏจักรชีวิต ขอบเขตไม่ได้คลอบคลุมตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle-to-gate) และบางส่วนเลือกพิจารณารายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมเพียงรายการเดียว เช่น พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่านั้น ในจำนวนบทความ รายงาน มาตรฐาน และเอกสารอื่นๆ ที่ทบทวนนี้ มีเพียง 4 เรื่องเท่านั้นที่ศึกษาคลอบคลุมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต

รายงานผลการประเมินวัฏจักรชีวิตส่วนใหญ่ มักแสดงให้เห็นว่าพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าพลาสติกจากปิโตรเคมี แต่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล การลดลงของชั้นโอโซน และภาวะความเป็นกรดมากกว่า ซึ่งเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นตามปกติในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ที่ผลิตจากวัสดุต่างชนิดกัน การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะแสดงให้เห็นทั้งข้อดีและข้อด้อยของวัสดุแต่ละชนิด ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึง คือ การให้น้ำหนักที่เหมาะสมแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผลรายงานมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ชี้บ่งว่าพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับหรือสูงกว่าพลาสติกจากปิโตรเคมี ซึ่งมักเป็นเพราะกระบวนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ หรือการปล่อยก๊าซมีเทนขณะย่อยสลายในหลุมฝังกลบ และขั้นตอนที่สำคัญที่สุดที่จะชี้ชัดว่าพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพดีกว่าพลาสติกจากปิโตรเคมี คือ ขั้นตอนการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งาน

หลายงานวิจัยที่ได้เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง และพัฒนาพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังนี้

- การผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพยังเป็นขนาดเล็ก (Small-scale) เมื่อเทียบกับพลาสติกจากปิโตรเคมี ควรดำเนินการปรับปรุงเทคโนโลยีและทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเพิ่มขนาดของธุรกิจในอนาคต

- การผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ยังมีข้อจำกัดในการนำกลับมาใช้ซ้ำหรือนำกลับมาใช้ในรูปของพอลิเมอร์ใหม่ ควรมีการพัฒนาให้มีความคงทน เหมาะสมต่อการนำกลับมาใช้ต่อได้อีก
- งานวิจัยในอนาคต ควรเพิ่มสมรรถนะทางเทคนิคของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนลดลง ในขณะกำจัดด้วยวิธีการคอมโพสท์ รวมทั้งเพิ่มศักยภาพของโรงคอมโพสท์ให้สามารถรองรับปริมาณขยะเหล่านี้ และดำเนินการกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพ
- การให้การรับรองฉลากสิ่งแวดล้อม (Certified eco-labeling) และการยืนยันถึงความเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental product declaration) เป็นวิถีทางที่ดีในการประชาสัมพันธ์ ให้ผู้บริโภคและหน่วยงานธุรกิจมีความสนใจและตอบรับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพมากยิ่งขึ้น

Narayan and Patel (2004) ทำการรวบรวมรายงานการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบความต้องการพลังงานที่ต้องการในการผลิตพอลิเมอร์ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของพลาสติกจากปิโตรเคมีและพลาสติกชีวภาพ รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การปล่อยสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน ภาวะความเป็นกรด และภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล สรุปผลการรวบรวมรายงานการศึกษาพบว่าความต้องการใช้พลังงานของการผลิตพอลิเมอร์จากปิโตรเคมีมีมากกว่าการผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพ และผลกระผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของพลาสติกจากปิโตรเคมีมีมากกว่าพลาสติกชีวภาพ แต่อย่างไรก็ตาม รายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ทำการศึกษา ส่วนใหญ่ยังมีข้อมูลไม่ครบถ้วน จึงอาจยังไม่สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้อย่างชัดเจนมากนัก สรุปผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของพลาสติกจากปิโตรเคมีและพลาสติกชีวภาพ แสดงดังตารางที่ 12

James and Grant (2005) ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุสินค้าจากห้างสรรพสินค้าในแต่ละสัปดาห์ เป็นเวลา 1 ปี (52 สัปดาห์) ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและพอลิเมอร์ดั้งเดิม (Conventional bags) ซึ่งถุงจากพอลิเมอร์ดั้งเดิมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ถุงที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง (ได้แก่ ถุงที่ผลิตจาก HDPE และ Kraft paper) และ ถุงที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ (ได้แก่ ถุงที่ผลิตจาก PP fibre, Woven HDPE, Calico

และ LDPE) เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต โดยรายการผลกระทบที่ทำการศึกษา ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การลดลงของทรัพยากร ภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล ความหลากหลายทางชีวภาพทางทะเล (Litter marine biodiversity) และสุนทรียภาพ (Litter aesthetics) ปริมาณการใช้วัตถุดิบและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์แต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 13 ผลการศึกษาพบว่า ถุงพลาสติกจากพอลิเมอร์ดั้งเดิมประเภทที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ มีผลกระทบน้อยกว่าถุงพลาสติกจากพอลิเมอร์ดั้งเดิมประเภทใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ส่วนพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีผลกระทบด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลเท่ากับถุง HDPE แต่ถ้าถุงที่ผลิตจากพอลิเมอร์ชีวภาพนำไปกำจัดด้วยวิธีการคอมโพสท์แทนการฝังกลบ จะสามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ พอลิเมอร์จากปิโตรเคมีมีผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรมาก ผลกระทบด้านความหลากหลายทางชีวภาพทางทะเลและสุนทรียภาพของการใช้ถุงพลาสติก มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และถุงพลาสติกจากพอลิเมอร์ดั้งเดิมประเภทที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้มีผลกระทบทั้งสองด้านดังกล่าวนี้น้อยที่สุด

Tan and Khoo (2005) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของ EPS และกระดาษลูกฟูก ที่ใช้เป็นตัวหุ้มสินค้าเพื่อกันกระแทก เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดแบบเดิมเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดที่ออกแบบใหม่ ส่วนที่สองเป็นการศึกษา EPS ของผลิตภัณฑ์ที่จุดสิ้นสุดวัฏจักรชีวิต (End of life) โดยศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดด้วยวิธีการเผา และฝังกลบ ในการทำการศึกษาใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro และวิธี EcoIndicator 99 และใช้ดัชนีชี้วัดกลุ่มผลกระทบ 5 ตัว ส่วนแรกของการศึกษาพบว่าการผลิตผลิตภัณฑ์จาก EPS มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่า แต่การขนส่งผลิตภัณฑ์จาก EPS มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผลิตภัณฑ์จากกระดาษลูกฟูก และผลิตภัณฑ์ทั้งสองที่ออกแบบใหม่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าแบบเดิม การศึกษาส่วนที่สองพบว่าการกำจัดด้วยวิธีการเผาให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการฝังกลบ

ตารางที่ 12 สรุปผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของพลาสติกจากปิโตรเคมีและพลาสติกชีวภาพ

Type of plastics	Functional unit	Cradle-to-gate non renewable energy use (MJ)	Type of waste treatment assumed for calculation of emissions	GHG emissions (kg CO2 eq.)	Ozone precursors (g ethylene eq.)	Acidification (g SO2 eq.)	Eutrophication (g PO4 eq.)
Petrochemical polymers							
HDPE	1 kg	80	Incineration	4.84	n/a	n/a	n/a
LLDPE	1 kg	72.3	Incineration	4.54	n/a	n/a	n/a
LDPE	1 kg	80.6	Incineration	5.04	n/a	n/a	n/a
LDPE	1 kg	91.7	80%incin.+20%landfilling	5.2	13	17.4	1
Nylon 6	1 kg	120	Incineration	7.64	n/a	n/a	n/a
PET (bottel grade)	1 kg	77	Incineration	4.93	n/a	n/a	n/a
PS (general popose)	1 kg	87	Incineration	5.88	n/a	n/a	n/a
EPS	1 kg	84	Incineration	5.88	n/a	n/a	n/a
EPS	1 kg	88	None (cradle-to-gate)	2.8	43	170	6
EPS (PS+2%SBR +Pentane+Butane)	1 kg	87	None (cradle-to-gate)	2.72	1.2	18.5	2

ตารางที่ 12 (ต่อ)

Type of plastics	Functional unit	Cradle-to-gate non renewable energy use (MJ)	Type of waste treatment assumed for calculation of emissions	GHG emissions (kg CO2 eq.)	Ozone precursors (g ethylene eq.)	Acidification (g SO2 eq.)	Eutrophication (g PO4 eq.)
Bio-based plastics (pellets)							
TPS	1 kg	25.4	Incineration	1.14	n/a	n/a	n/a
TPS	1 kg	25.5	80%incin.+20%compost	1.2	4.7	10.9	5
TPS	1 kg	25.4	100%compost	1.14	5	10.6	5
TPS	1 kg	18.9	Incineration	1.1	0.2	4.6	1
TPS+15%PVOH	1 kg	24.9	Incineration	1.13	n/a	n/a	n/a
TPS+52.5%PCL	1 kg	48.3	Incineration	3.36	n/a	n/a	n/a
TPS+60%PCL	1 kg	52.3	Incineration	3.6	n/a	n/a	n/a
Starch polymer foam	1 kg	32.4	Composting	0.89	5.5	20.8	3
Starch polymer foam	1 kg	36.6	Wastewater treatment plant	1.43	5.8	20.7	3
Starch polyester film	1 kg	53.5	Composting	1.21	5.3	10.4	1
PLA	1 kg	57	Incineration	3.64	n/a	n/a	n/a
PHA by fermentation	1 kg	81	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
PHB various process	1 kg	66-573	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

ที่มา: Narayan and Patel (2004)

ตารางที่ 13 ปริมาณการใช้วัตถุดิบและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของถุงพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์แต่ละชนิด

	Material consumption (kg)	Greenhouse gas (kg CO_2 eq.)	Abiotic depletion (kg Sb eq.)	Eutrophication (kg PO4 eq.)	Litter marine biodiversity (kg.yr)	Litter aesthetics ($m^2 \times yr$)
Degradable polymer						
Starch-PBS/A	3.12	2.5	0.00487	0.00273	4.26E-05	0.078
Starch-PBAT	3.12	2.88	0.023	0.00406	4.26E-05	0.078
Starch-polyester	4.21	4.96	0.0409	0.00494	5.75E-05	0.078
Starch-PE	3.12	4.74	0.0694	0.00258	0.0078	0.078
Oxo-biodegradable	3.12	6.31	0.101	0.00236	0.0039	0.078
PLA	4.212	16.7	0.0776	0.00911	5.75E-05	0.078
Conventional bags						
HDPE singlet	3.12	6.13	0.102	0.00246	0.0078	0.312
Kraft paper	22.152	30.2	0.285	0.0266	0.000302	0.078
PP fibre "green bag"	0.209	1.95	0.023	0.00126	0.000241	0.00187
Woven HDPE "swag bag"	0.216	0.631	0.00934	0.000231	0.000107	0.00148
Calico	1.141	6.42	0.0177	0.00795	3.09E-06	0.00164
LDPE "bag of life"	1.04	2.76	0.0422	0.00114	0.00257	0.00746

ที่มา: James and Grant (2005)

Johansson (2005) ทำการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกล่องบรรจุอาหารที่ผลิตจากพอลิอีเทนเทอฟลาเทต (Polyetheneterflatate: PET) กับกรดพอลิแล็กติก โดยใช้โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro และวิธี CML 2 Baseline 2000 การกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานกล่องบรรจุอาหารที่ผลิตจากพอลิอีเทนเทอฟลาเทตใช้วิธีการฝังกลบ ส่วนกล่องบรรจุอาหารที่ผลิตจากกรดพอลิแล็กติกใช้วิธีฝังกลบและการคอมโพสท์ โดยใช้ข้อมูลการฝังกลบและการคอมโพสท์ของกระดาษเป็นตัวแทนของวัสดุย่อยสลายได้ ผลการศึกษาพบว่ากล่องบรรจุอาหารที่ผลิตจากพอลิอีเทนเทอฟลาเทตมีผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำทะเลและระบบนิเวศทางบก และภาวะความเป็นกรดมากกว่ากรดพอลิแล็กติก ส่วนกล่องบรรจุอาหารที่ผลิตจากกรดพอลิแล็กติกมีผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรที่ไม่สามารถทดแทนได้ ภาวะโลกร้อน การลดลงของชั้นโอโซน ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำทะเล การเกิดมลสารขั้นทุติยภูมิ และภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลมากกว่า และวิธีการฝังกลบกรดพอลิแล็กติกมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการคอมโพสท์

Horikoshi *et al.* (2005) ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของหีบห่อสำหรับบรรจุม้วนเทป ซึ่งผลิตจากวัสดุสองประเภท ได้แก่ พอลิเมอร์ชีวภาพจากข้าวโพดและพอลิสไตรีน เพื่อประเมินประโยชน์เชิงสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนวัสดุในการผลิตหีบห่อสำหรับบรรจุม้วนเทปจากพอลิสไตรีนมาเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพจากข้าวโพด ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากขั้นตอนการผลิตพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด พบว่าพอลิเมอร์ชีวภาพปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสูงกว่าพอลิสไตรีน อย่างไรก็ตามเมื่อหักลบด้วยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ข้าวโพดดูดดึงไปใช้ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงระหว่างช่วงการเจริญเติบโต ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาในระหว่างขั้นตอนดังกล่าวของพอลิเมอร์ชีวภาพจากข้าวโพดและพอลิสไตรีนจะใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต โดยรวมขั้นตอนการผลิตหีบห่อสำหรับบรรจุม้วนเทป การขนส่งและการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการเผา พบว่าระหว่างการผลิตหีบห่อสำหรับบรรจุม้วนเทปของพอลิเมอร์ชีวภาพ มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมามากกว่าพอลิสไตรีนเล็กน้อย แต่ในช่วงการเผาทำลายพอลิสไตรีนจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มามากกว่าพอลิเมอร์ชีวภาพ และผลรวมการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่าการใช้พอลิเมอร์ชีวภาพจากข้าวโพดแทนพอลิสไตรีนในการผลิตหีบห่อสำหรับบรรจุม้วนเทป สามารถลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่สิ่งแวดล้อมจากเดิมลงได้ถึงร้อยละ 11 อย่างไรก็ตาม การจะทำให้

หีบห่อบรรจุม้วนเทปจากพอลิเมอร์ชีวภาพเพิ่มปริมาณการใช้ให้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น ยังต้องอาศัยการพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงและความต้านทานความร้อนของผลิตภัณฑ์

Garrain *et al.* (2007) ทำเปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตแผ่นฟิล์มหลายชั้น (Multilayer film) แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง สำหรับห่อหุ้มเส้นพาสตา ระหว่างแผ่นฟิล์มหลายชั้นที่ผลิตจากพอลิเมอร์ชีวภาพกับพลาสติก โดยแผ่นฟิล์มหลายชั้นที่ทำการศึกษาประกอบไปด้วยชั้นฟิล์ม 3 ชั้น แผ่นฟิล์มหลายชั้นที่ผลิตจากพอลิเมอร์ชีวภาพ ชั้นด้านนอกทั้ง 2 ชั้นผลิตจากกรดพอลิแล็กติก และชั้นด้านในผลิตจากพอลิคาโปรแล็กโตน ซึ่งพอลิเมอร์ชีวภาพทั้งสองชนิดนี้ผลิตจากข้าวโพดและมันฝรั่ง ส่วนแผ่นฟิล์มหลายชั้นที่ผลิตจากพลาสติก ชั้นด้านนอกและชั้นด้านในสุดผลิตจากพอลิโพรพิลีน และชั้นกลางผลิตจากพอลิเอไมด์ไนลอน 6 (Polyamide nylon 6: PA6) ประเภทของผลกระกระทบสิ่งแวดล้อมที่พิจารณาได้แก่ การทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นกรด ภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล ผลการประเมินสรุปว่า การผลิตแผ่นฟิล์มหลายชั้นที่ผลิตจากพลาสติกก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงกว่าพอลิเมอร์ชีวภาพ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุด คือ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยมีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ชีวภาพถึงร้อยละ 90 เพราะปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมของการผลิตแผ่นฟิล์มหลายชั้นจากพอลิเมอร์ชีวภาพ สามารถถูกดูดดึงกลับไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืชได้อีก เมื่อพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการกำจัดแผ่นฟิล์มหลายชั้น หลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการเผา ฝังกลบ และคอมโพสท์ พบว่าการกำจัดแผ่นฟิล์มหลายชั้นจากพลาสติกด้วยการเผาก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด การฝังกลบก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเพียงเล็กน้อย และการคอมโพสท์ไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ส่วนการกำจัดแผ่นฟิล์มหลายชั้นจากพอลิเมอร์ชีวภาพด้วยการฝังกลบจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุด รองลงมาคือการคอมโพสท์และการเผาตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ ฮาร์ดแวร์ Pentium III และระบบปฏิบัติการ Microsoft XP 1 ชุด

2. โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 1 ชุด

3. เครื่องมือวิเคราะห์และเครื่องมือวัด
   - 3.1 เครื่องย่อยโปรตีน (Kjeldatherm digestion block) รุ่น Gerhardt KB8S
   - 3.2 เครื่องกลั่นไนโตรเจนแบบกึ่งอัตโนมัติ รุ่น Gerhardt: Vapodest 20
   - 3.3 ตู้อบ (Oven)
   - 3.4 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)
   - 3.5 เครื่องชั่งขนาด 30 กิโลกรัม
   - 3.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple Thermometer) รุ่น Digi-Sense: Cole parmer
   - 3.7 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter)

4. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ
   - 4.1 หลอดสำหรับกลั่นย่อย (Kjeldahl digestion flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
   - 4.2 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
   - 4.3 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 1000 มิลลิลิตร
   - 4.4 บิวเรต (Burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร
   - 4.5 กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร
   - 4.6 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร
   - 4.7 ปิเปต (Pipette) ขนาด 10 มิลลิลิตร
   - 4.8 ขวดสีชา
   - 4.9 หลอดหยด
   - 4.10 แท่งแก้วคน
   - 4.11 ขวดใส่น้ำกลั่น

4.12 ลูกยาง

4.13 พาราฟิล์ม

4.14 กระดาษพีเอช

4.15 ชามเผา

4.16 ปากคีบ

4.17 แผ่นฟลอยด์

4.18 เตาไฟฟ้า

5. สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

5.1 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

5.2 กรดบอริก (H_3BO_3)

5.3 กรดไนตริก (HNO_3)

5.4 กรดฟอสฟอริก (H_2PO_4)

5.5 กรดแอสคอร์บิค

5.6 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

5.7 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

5.8 เมทิลเรด (Methyl red)

5.9 บรอมครีซอล กรีน (Bromcresol green)

5.10 โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)

5.11 น้ำกลั่น

6. เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์สำหรับทำคอมโพสท์

6.1 ถังทรงสูงสีดำ

6.2 ตาข่าย

6.3 ตะแกรงร่อน ขนาด 2 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Retsch รุ่นD-42159HAAN

6.4 อ่างผสม

6.5 ผ้าใบ

6.6 ถังน้ำ

6.7 กระเช้าไม้

6.8 มีดหั่น

6.9 เขียงไม้

6.10 กระบวยรดน้ำ

6.11 จอบ

6.12 พลั่ว

6.13 ปุ๋ยยูเรีย

6.14 ถุงมือ

6.15 ถุงดำใส่ขยะ

6.16 น้ำยาล้างมือ

6.17 เข็มเย็บผ้า

6.18 ผักกะหล่ำ

6.19 ขี้เลื่อย

6.20 กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย

6.21 กระบะเพาะ

6.22 เม็ดพันธุ์ผักกาดหอม และกะหล่ำปลี

6.23 ถุงพลาสติกและยางรัดถุง

6.24 รถเข็น

6.25 หน้ากากกันฝุ่น

6.26 ตะกร้าพลาสติก

6.27 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน (Auger)

วิธีการ

วิธีการในการประเมินวัฏจักรชีวิตการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังกับโฟมพอลิสไตรีน ดำเนินการตามวิธีการที่กำหนดไว้ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 (ISO 14040: Environmental management–Life Cycle Assessment–Principle and framework) ซึ่งแบ่งขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition)

1.1 วัตถุประสงค์และเป้าหมายของการศึกษา

1.1.1 เพื่อรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ที่ใช้เป็นในการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน ได้แก่ ข้อมูลการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ พลังงาน และของเสียที่ปล่อยออกมาจากการผลิตภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด

1.1.2 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการกำจัดภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งาน โดยเลือกวิธีการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังในการศึกษา คือ การเผาในเตาเผา การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และการคอมโพสท์ และวิธีการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนในการศึกษา คือ การเผา การฝังกลบ และการนำกลับมาใช้ใหม่

1.1.3 เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน และเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด โดยในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 ช่วยในการคำนวน

1.1.4 เพื่อเสนอแนะวิธีการพัฒนาและปรับปรุงการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน ให้การใช้ทรัพยากรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

1.1.5 เพื่อให้ได้ข้อมูลทางเลือกที่ใช้สนับสนุนในการตัดสินใจ เลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับผู้บริโภคที่มีจิตสำนึกรักษ์สิ่งแวดล้อม

1.2 หน่วยหน้าที่

ในการศึกษานี้ได้กำหนดหน่วยหน้าที่การใช้งาน คือ กล่องบรรจุอาหารกลางวัน แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ขนาด 5×7×1.5 นิ้ว จำนวน 10,000 ใบ โดยกล่องบรรจุอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นชิ้นฝาบนและฝาล่างประกบกัน น้ำหนักรวมเฉลี่ยใบละ 56.5 กรัม และกล่องบรรจุอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีน มีลักษณะเป็นชิ้นเดียว สามารถพับมาประกบกันได้ น้ำหนักเฉลี่ยใบละ 4.2 กรัม ลักษณะกล่องบรรจุอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลัง และโฟมพอลิสไตรีน แสดงดังภาพที่ 14

ภาพที่ 15 กล่องบรรจุอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา (Scope and system boundary)

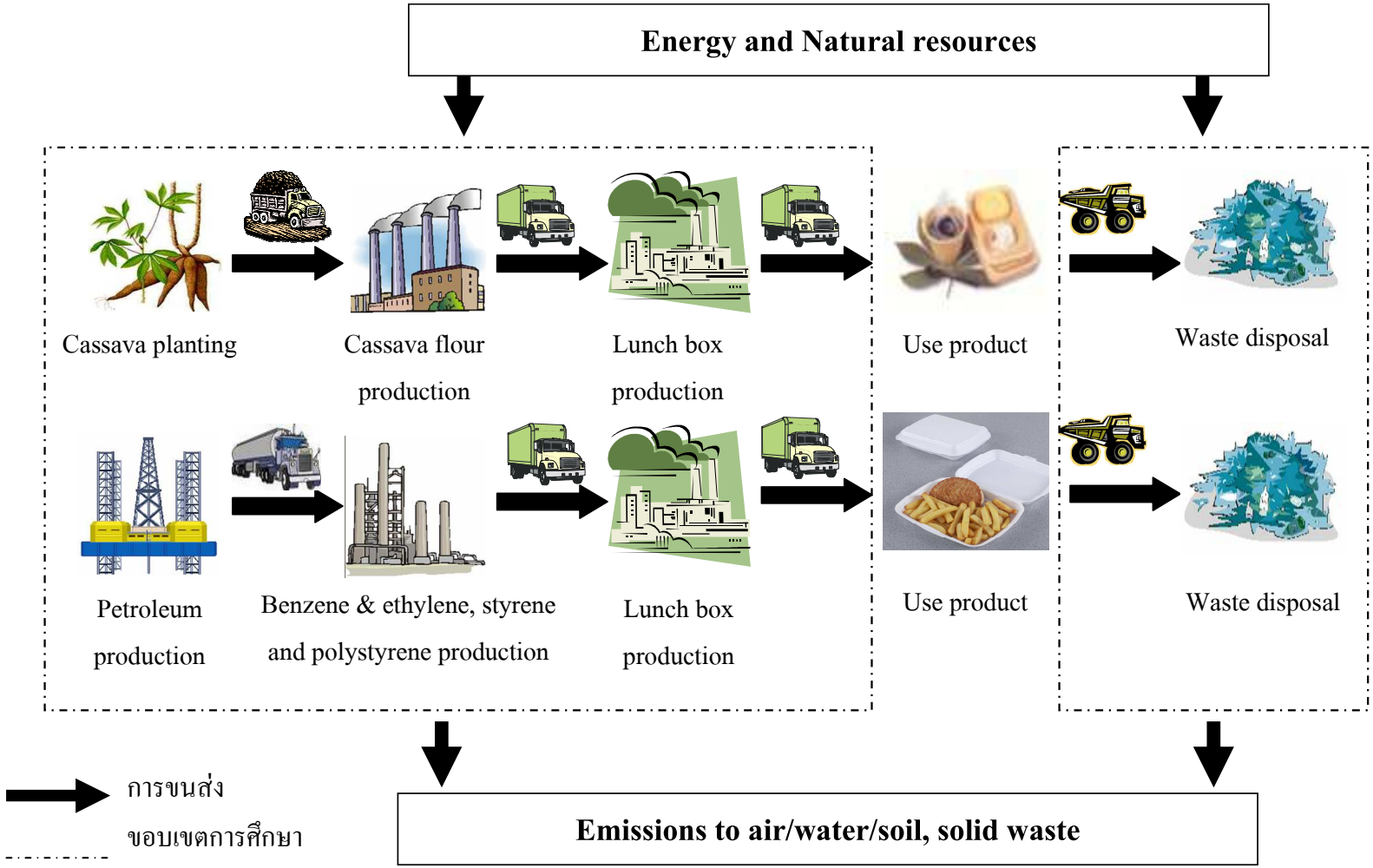
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการศึกษานี้ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 ช่วยคำนวณในขั้นตอนการประเมินผลกระทบและเป็นแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ และใช้รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามวิธี CML 2 Baseline 2002 เวอร์ชั่น 2.03 โดยใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยในระดับโลก (ปี 1995) (Institute of Environmental Science, 2001) และตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญซึ่งกำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์ อุตสาหกรรมและพลังงานของประเทศเกาหลีใต้ (Kim and Hur, 1999) เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดค่าของตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ เพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต และการให้น้ำหนักความสำคัญดังกล่าวมีรายการผลกระทบที่พิจารณาเหมือนกับรายการผลกระทบในวิธี CML 2 Baseline 2002 เวอร์ชั่น 2.03 รวมทั้งเกาหลีใต้เป็นประเทศที่อยู่ในบริเวณภูมิภาคและเขตเศรษฐกิจเดียวกัน จึงน่าจะมีมุมมองด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมคล้ายคลึงกัน รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตัวประกอบการเทียบหน่วย และตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญในการศึกษานี้แสดงดังตารางที่ 14

ขอบเขตของการศึกษา เริ่มทำการศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิต การขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานผลิตภาชนะบรรจุ การผลิตภาชนะบรรจุ การขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค การขนส่งขยะภาชนะบรรจุไปยังแหล่งกำจัด และการกำจัด ดังแสดงในภาพที่ 15

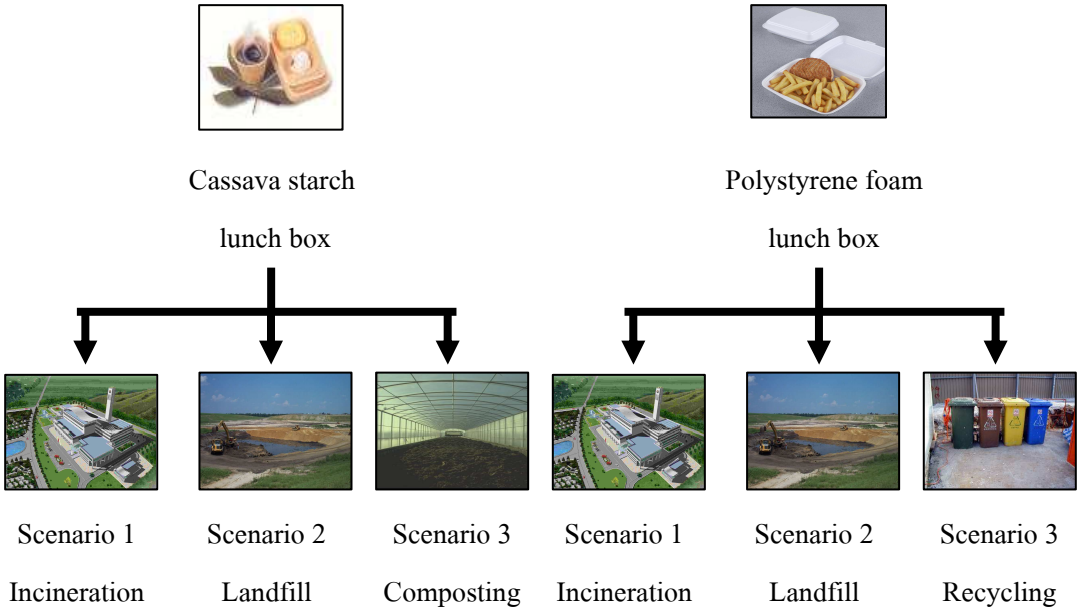
ในการศึกษานี้ไม่นำขั้นตอนการใช้งานภาชนะบรรจุมาพิจารณาด้วย เนื่องจากการใช้งานภาชนะบรรจุทั้งจากแป้งมันสำปะหลังและจากโฟมพอลิสไตรีนไม่มีความแตกต่างกัน และในขั้นตอนการกำจัดใช้แบบจำลองของการกำจัด (Disposal scenarios) โดยเลือกวิธีการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังในการศึกษา คือ การเผาในเตาเผา การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และการคอมโพสท์ และวิธีการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนในการศึกษา คือ การเผาในเตาเผา การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และการนำกลับมาใช้ใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 16

ตารางที่ 14 รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตัวประกอบการเทียบหน่วย และตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญที่ใช้ในการศึกษานี้

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ตัวประกอบการเทียบหน่วย (kg/person eq./year)	ตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ
Abiotic depletion	6.39E-12	0.3
Global warming	2.41E-14	0.21
Ozone layer depletion	1.94E-09	0.17
Human toxicity	1.75E-14	0.11
Fresh water aquatic ecotoxicity	4.9E-13	0.1
Marine aquatic ecotoxicity	1.95E-15	0.1
Terrestrial ecotoxicity	3.72E-12	0.1
Photochemical oxidation	1.04E-11	0.05
Acidification	3.11E-12	0.06
Eutrophication	7.56E-12	0.06
Land use	8.06E-15	0.1



ภาพที่ 15 ขอบเขตของการศึกษา



ภาพที่ 16 แบบจำลองการจัดการขยะภาชนะบรรจุ

1.4 การตั้งสมมุติฐานและข้อจำกัดในงานวิจัย (Assumption and Limitation)

ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลทั้งที่เก็บรวบรวมเอง (Primary data) และจากข้อมูลที่ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้าแล้ว (Secondary data) เนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของประเทศไทยยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น ทำให้ข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมีอยู่ค่อนข้างน้อย และยังขาดการรวบรวมอย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ได้มีการนำฐานข้อมูลของประเทศไทยมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด โดยข้อมูลในประเทศที่ได้นำมาใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่รวบรวมโดย Liamsanguan and Gheewala (2006) ข้อมูลการเพาะปลูกมันสำปะหลังและการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2547) เป็นผู้รวบรวมไว้ ข้อมูลการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป และเม็ดพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมโดย Paoluglum (2005) รายละเอียดที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 15

การเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน เป็นข้อมูลของการผลิตภาชนะบรรจุภายในประเทศไทยเท่านั้น ไม่ได้คลอบคลุมไปถึงการผลิต

ภาชนะบรรจุของต่างประเทศด้วย โดยข้อมูลการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังเป็นของโรงงานต้นแบบ KU-GREEN และข้อมูลการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนเป็นข้อมูลของบริษัทเอเชียพลัส แพค

ขั้นตอนการใช้งานภาชนะบรรจุจะไม่นำมาพิจารณาร่วมด้วย และไม่นำผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเผาวัสดุเหลือจากการเพาะปลูกมันสำปะหลังมาพิจารณาด้วย ส่วนวัสดุที่นำมาใช้ในกระบวนการต่างๆ หากเป็นเศษวัสดุเหลือใช้หรือเป็นของสียจากกระบวนการอื่นๆ จะถือว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตวัสดุนั้นเท่ากับศูนย์ หรือไม่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การกำจัดภาชนะบรรจุหลังการใช้งาน เลือกใช้วิธีการกำจัดที่เป็นที่นิยม 3 วิธี โดยการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน เลือกใช้วิธีกำจัดด้วยการเผาในเตาเผา การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และการนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง เลือกใช้วิธีกำจัดด้วยการเผาในเตาเผา การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล และการคอมโพสท์ วิธีการทำคอมโพสท์อ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกภายใต้สภาวะการคอมโพสท์ในระดับการทดสอบ (ISO/DIS 16929: Plastics-Determination of the disintegration of plastic materials under defined composting conditions in a pilot-scale test) และวิธีการทดสอบวัสดุย่อยสลายได้ตามธรรมชาติอ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบภาชนะบรรจุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (BS EN 13432: Packaging-Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation, Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging) และในการคอมโพสท์เป็นการย่อยสลายแบบใช้อากาศ จึงได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์เท่านั้น

ตารางที่ 15 ที่มาของข้อมูลทุติยภูมิในแต่ละขั้นตอนที่ใช้ในการศึกษานี้

ขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต	เก็บข้อมูล/ศึกษาเอง	สอบถามผู้ที่เกี่ยวข้อง	งานวิจัย/เอกสารอ้างอิง	ฐานข้อมูลจากโปรแกรม
การผลิตวัตถุดิบ				
- การเพาะปลูกมันสำปะหลัง			♦ (MTEC, 2547)	
- การผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ (รวมการขุดเจาะปิโตรเลียม)				♦ (ETH-ESU, 1996)
การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิต				
- การผลิตแป้งมันสำปะหลัง			♦ (MTEC, 2547)	
- การผลิตเม็ดพอลิสไตรีน			♦ (Paoluglum, 2005)	
การผลิตภาชนะบรรจุ				
- การผลิตภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลัง	♦			
- การผลิตภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีน	♦			
การขนส่ง				
- การผลิตและใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง				♦ (Ecoinvent, 2004)
- ระยะทางเฉลี่ยในการขนส่ง		♦		
การจัดการหลังสิ้นสุดการใช้งาน				
- การเผาในเตาเผา				♦ (Ecoinvent, 2003)
- การฝังกลบที่ถูกหลักสุขาภิบาล				♦ (Ecoinvent, 2003)
- การนำกลับมาใช้ใหม่				♦ (Buwal 250, 1996)
- การคอมโพสท์	♦			

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life cycle inventory analysis)

หลังจากที่กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาแล้ว ขั้นตอนถัดมา คือ การจัดทำบัญชีรายการ ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา โดยการดำเนินการประกอบด้วยการสร้างผังการไหลของกระบวนการผลิต (Process flow diagram) และระบุชนิดคำนวณเพื่อหาปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) ซึ่งสารขาเข้าและสารขาออกเหล่านี้หมายรวมถึงวัตถุดิบ ทรัพยากร และมลสารที่ปล่อยสู่อากาศ น้ำ และดิน รวมทั้งของเสียหรือขยะมูลฝอย

การกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการคอมโพสท์ ได้ทำปฏิบัติการ เพื่อศึกษาและทดสอบการย่อยสลาย รวมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก รายละเอียดของวิธีการทำคอมโพสท์และการทดสอบการย่อยสลายจะแสดงในหัวข้อที่ 5

3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle impact assessment)

ในงานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 เป็นเครื่องมือช่วยคำนวนสำหรับประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน โดยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมใช้วิธี CML 2 Baseline 2000 เวอร์ชั่น 2.03 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลบัญชีรายการที่รวบรวมได้ แล้วทำการแปลผลบัญชีรายการหรือข้อมูลไปสู่ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในประเภทต่างๆ สำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะมีวิธีดำเนินการ 4 ขั้นตอน ได้แก่

1) การจำแนกประเภท
2) การกำหนดบทบาท
3) การหาขนาดของผลกระทบ
4) การให้น้ำหนักความสำคัญ

4. การแปลผล (Interpretation)

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ อธิบายข้อจำกัด และสรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิต รวมทั้งชี้บ่งประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ (Significant aspect) ที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์และแหล่งที่มาของประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมนั้น ซึ่งได้มาจากผลลัพธ์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อจัดเตรียมข้อเสนอแนะและประเมินโอกาสความเป็นไปได้ในการปรับปรุง พัฒนาให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงทำรายงานสรุปผลการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และสอดคล้องกับเป้าหมายละขอบเขตของการศึกษาที่กำหนด รวมถึงสรุปข้อเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง/พัฒนาด้วย

5. การทำคอมโพสท์

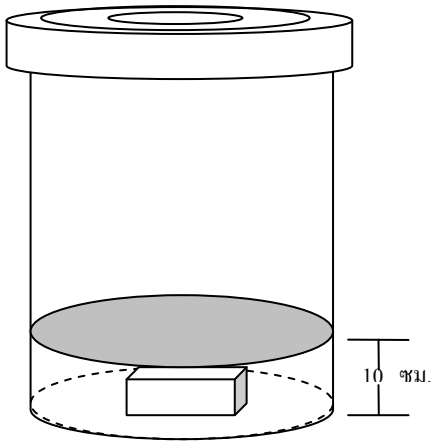
ในการทำคอมโพสท์ เพื่อทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง และรวบรวมข้อมูลการใช้ทรัพยากรและปริมาณของมลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมตลอดจนวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจากการกำจัดภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ ได้อ้างอิงวิธีการทำคอมโพสท์ตามมาตรฐานการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกภายใต้สภาวะการคอมโพสท์ในระดับการทดสอบ (ISO/DIS 16929) และอ้างอิงวิธีการทดสอบวัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพตามมาตรฐานการทดสอบภาชนะบรรจุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (BS EN 13432) ซึ่งมีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี (Chemical characteristics) ของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่

ก. ปริมาณโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆ ได้แก่ สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) นิเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) โมลิบดีนัม (Mo) ซีลีเนียม (Se) สารหนู (As) และฟลูออรีน (F)

ข. ปริมาณความชื้น (Moisture content) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ปริมาณของแข็งแห้งทั้งหมด (Total dry solids) ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile solids)

2) การเตรียมถังคอมโพสท์ ใช้ถังพลาสติกที่มีความแข็งแรง ทนทานต่อความร้อน ทำจากวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของคอมโพสต์ ขนาด 170 ลิตรพร้อมฝาปิด ทั้งหมดจำนวน 9 ใบ รองก้นถังด้วยโครงไม้ เพื่อเว้นที่ว่างไว้สำหรับระบายน้ำชะมูลฝอย ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระหว่างการย่อยสลายทางชีวภาพประมาณ 10 เซนติเมตรจากก้นถัง ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การเตรียมถังคอมโพสท์ โดยเว้นที่ว่างสำหรับระบายน้ำชะมูลฝอย

3) การเตรียมวัสดุในการคอมโพสท์

ก. การเตรียมขยะชีวภาพ (Bio-waste) ขยะชีวภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นของเสียจากการเกษตรกรรม ได้แก่ ขี้เลื่อย ซึ่งรวบรวมจากโรงเลื่อยภัทรอิมปอร์ท เศษผักกะหล่ำปลี ซึ่งรวบรวมจากร้านค้าในปากคลองตลาด และกากตะกอน จากโรงบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง จากโรงงานยาคูลท์ (ประเทศไทย) จำกัด ขยะชีวภาพเหล่านี้จะถูกนำมาคัดแยกเศษวัสดุที่ไม่สามารถหมักได้ เช่น พลาสติก แก้ว โลหะ ออกจากกองขยะด้วยแรงงานคน จากนั้นย่อยขยะชีวภาพให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบด (Hammer mill) โดยให้มีขนาดใหญ่ไม่เกิน 50×50 มิลลิเมตร และทำการสุ่มตัวอย่างขยะชีวภาพ เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

ข. การเตรียมตัวอย่างภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลัง สำหรับการทดสอบการแยกสลาย (Determination of disintegration) และการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ (Determination of

quality of the final compost) ใช้ตัวอย่างภาชนะบรรจุที่ย่อยเป็นชิ้นขนาดประมาณ 5×5 เซนติเมตร ส่วนการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Determination of eco-toxicity test) ใช้ตัวอย่างภาชนะบรรจุที่ย่อยเป็นผงละเอียดหรือเม็ดเล็กๆ

4) การผสมวัสดุหมัก ทำการคำนวณหาปริมาณของขยะชีวภาพที่ต้องใช้ในการคอมโพสท์เพื่อให้ได้อัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสม (ประมาณ 20–30 ต่อ 1) และความชื้นของขยะชีวภาพผสมที่เหมาะสมประมาณร้อยละ 50 โดยแบ่งขยะชีวภาพผสมออกเป็น 3 ชุดการทดสอบ ดังนี้

ก. ชุดควบคุม (ไม่ผสมตัวอย่างกับขยะชีวภาพ) จำนวน 3 ถัง
ข. ชุดทดสอบการแยกสลาย และการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสท์ จำนวน 3 ถัง
ค. ชุดทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ จำนวน 3 ถัง

จากนั้นทำการผสมขี้เลื่อย เศษผักกะหล่ำ กากตะกอน และเติมปุ๋ยยูเรียลงไป เพื่อช่วยปรับสัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้เหมาะสม น้ำหนักรวมของขยะชีวภาพแต่ละชุดทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 60 กิโลกรัม คลุกเคล้าขยะชีวภาพให้เข้ากันดี จากนั้นผสมตัวอย่างภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลัง และขยะชีวภาพเข้าด้วยกัน ในชุดการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ ผสมตัวอย่างภาชนะบรรจุลงไปร้อยละ 1 ของน้ำหนักรวมของขยะชีวภาพ และการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศผสมตัวอย่างภาชนะบรรจุลงไปร้อยละ 10 ของน้ำหนักรวมของขยะชีวภาพ จากนั้นนำวัสดุที่ผสมเสร็จแล้วใส่ลงในถังคอมโพสท์ โดยมีตาข่ายรองรับอยู่ภายในถังอีกชั้นหนึ่ง ตั้งถังหมักวางทิ้งไว้ในที่อากาศถ่ายเทสะดวก มีระยะเวลาในการคอมโพสท์จนเสร็จสมบูรณ์ประมาณ 12 สัปดาห์

5) การดูแลรักษา ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลและจดบันทึกทุกวัน ดูแลให้ถังคอมโพสท์ปราศจากสิ่งรบกวน เช่น สัตว์เลี้ยง แมลง หนู หมั่นสังเกตคอมโพสท์ในถังเป็นระยะ ถ้าหากผิวหน้าแห้งเกินไป ควรรดน้ำประมาณ 300–500 มิลลิลิตร (อาจจะมากหรือน้อยกว่านี้แล้วแต่กรณี) เพื่อปรับความชื้นให้เหมาะสม โดยควบคุมให้อยู่ในช่วงร้อยละ 60 และนำคอมโพสท์ในถังออกมาผสมใหม่หรือกลับกองคอมโพสท์ทุกๆ สัปดาห์ ในช่วง 4 สัปดาห์แรกของการคอมโพสท์ และทุกๆ 2 สัปดาห์หลังจากนั้นจนกระทั่งสิ้นสุดการคอมโพสท์ เพื่อเพิ่มการสัมผัสอากาศของกองคอมโพสท์ทำให้การย่อยสลายดียิ่งขึ้น

6) การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง สำหรับการเก็บตัวอย่างจะใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างที่บริเวณกึ่งกลางถัง ระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร โดยเก็บตัวอย่างประมาณ 5-6 จุดต่อหนึ่งถัง นำตัวอย่างที่ได้ใส่ถุงพลาสติก รัดปากถุงให้แน่น เพื่อนำไปวิเคราะห์ปัจจัยกำหนด (Parameter) ต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ความเป็นกรด-เบส ทุกครั้งที่มีการนำคอมโพสท์ออกมาผสมใหม่

เก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย ในช่วง 2 สัปดาห์แรก เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณบีโอดี ซีโอดี แอมโมเนียม (Ammonium) ไนเตรท ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย (Total suspended solid)

7) การทดสอบและวิเคราะห์หลังจากการคอมโพสท์เสร็จสิ้น

ก. การทดสอบการแยกสลาย สำหรับการหมักคอมโพสต์แบบใช้อากาศ (Aerobic composting) ภายหลังจากหมักเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ทดสอบการสลายแยกออกเป็นส่วนๆ โดยร่อนกรองผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

ข. การวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ วัดค่าความเป็นกรด-เบส ความหนาแน่น (Density) วิเคราะห์ปริมาณของแข็งแห้งทั้งหมด ของแข็งที่ระเหยได้ วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโนเนียมไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณแมกนีเซียม และปริมาณโพแทสเซียม

ค. ทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ

เตรียมดินเพาะในการทดสอบ โดยผสมกับคอมโพสท์ ซึ่งผ่านการทดสอบการย่อยสลายแล้ว ในอัตราส่วนคอมโพสท์ร้อยละ 25 และร้อยละ 50 (มวลต่อมวล) กับดิน โดยทำชุดควบคุม ซึ่งไม่ผสมคอมโพสท์กับดินควบคู่ไปด้วย ทำการเลือกพันธุ์พืชอย่างน้อย 2 ชนิดจากรายการชนิดพืชที่กำหนดให้ใช้สำหรับการทดสอบความเป็นพิษของสารเคมี (Organization for Economic Co-operation and Development: OECD, 2003) เพื่อใช้ในการทดสอบ นำดินเพาะที่เตรียมไว้ประมาณ 500 กรัม ใส่ในถาดเพาะ หยอดเมล็ดพันธุ์จำนวนอย่างน้อย 100 เมล็ดลงบนผิวหน้าของวัสดุผสม แล้วปิดคลุมด้วยวัสดุปิดคลุม ทำการทดสอบ 3 ซ้ำในแต่ละอัตราส่วนผสมของคอมโพสท์ และรดน้ำให้ชุ่ม เมื่อเมล็ดพืชงอก ทำการนับจำนวนเมล็ดงอก และชั่งน้ำหนักพืช

เปรียบเทียบผลการศึกษาในแต่ละส่วนผสมของวัสดุผสม คำนวณร้อยละของปริมาณการงอกเทียบกับชุดควบคุม

สถานที่และระยะเวลาในการดำเนินการ

1. สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

1.1 สถานที่ในการเก็บข้อมูล

ในการศึกษานี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟม พอลิสไตรีน การรวบรวมข้อมูลได้ติดต่อขอความร่วมมือไปยังโรงงานผู้ผลิต เข้าไปเยี่ยมชมโรงงาน เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการผลิตของโรงงาน และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องจะเป็นผู้เก็บรวบรวม และให้ข้อมูลตามที่ต้องการ รายชื่อของโรงงานที่เข้าเยี่ยมชมและทำการเก็บรวบรวมข้อมูลมีดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 รายชื่อและที่ตั้งของโรงงานที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

ชื่อบริษัท	ผลิตภัณฑ์	ที่ตั้ง
1. โรงงานต้นแบบ KU-GREEN	ภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลัง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุรจักร กรุงเทพฯ
2. บริษัทเอเชีย พลัส แพค	ภาชนะบรรจุโฟม พอลิสไตรีน	เลขที่ 278/8 ซ.บางพลีซิตี้ ถ.เทพารักษ์-บางพลี อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ

1.2 สถานที่ทำปฏิบัติการวิเคราะห์และคอมโพสท์

ในการทำคอมโพสท์ เพื่อทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลัง นอกจากขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์และการหมักคอมโพสท์แล้ว ยังจำเป็นต้องมีปฏิบัติการวิเคราะห์ปัจจัยกำหนดต่างๆ เพื่อนำไปคำนวณปริมาณองค์ประกอบของขยะชีวภาพ ที่ต้องใช้ในการคอมโพสท์อีกด้วย สถานที่ที่ใช้ในการทำปฏิบัติการวิเคราะห์ จัดเตรียมอุปกรณ์และทำคอมโพสท์ มีดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 สถานที่ในการทำปฏิบัติการวิเคราะห์และคอมโพสท์

การดำเนินการ	สถานที่
1. วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน	ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและความชื้น	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. การเตรียมอุปกรณ์และทำคอมโพสต์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 สถานที่ในการวิเคราะห์ผล

เนื่องด้วยโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 เป็นโปรแกรมที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เป็นผู้ซื้อลิขสิทธิ์ และมีการใช้งานแบบผู้ใช้หลายคน (Multi-user) โดยทำการติดตั้งโปรแกรมลงในเครื่องบริการ (Server) ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี จึงได้ดำเนินการวิเคราะห์ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (เลขที่ 50 ถ. พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุรจักร กรุงเทพฯ)

2. ระยะเวลาในการดำเนินการ

ตั้งแต่มกราคม 2550 ถึง มีนาคม 2551

ผลและวิจารณ์

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Inventory Analysis)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม เป็นขั้นตอนที่ทำการรวบรวมข้อมูลสำคัญต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งข้อมูลเหล่านั้นประกอบด้วย

- แผนผังการไหลของกระบวนการผลิต
- ชนิดและปริมาณการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากร และพลังงาน
- ชนิดและปริมาณของมลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งทางดิน น้ำ และอากาศ
- ข้อมูลพิเศษหรือข้อคิดเห็น ที่ได้จากการเก็บข้อมูล

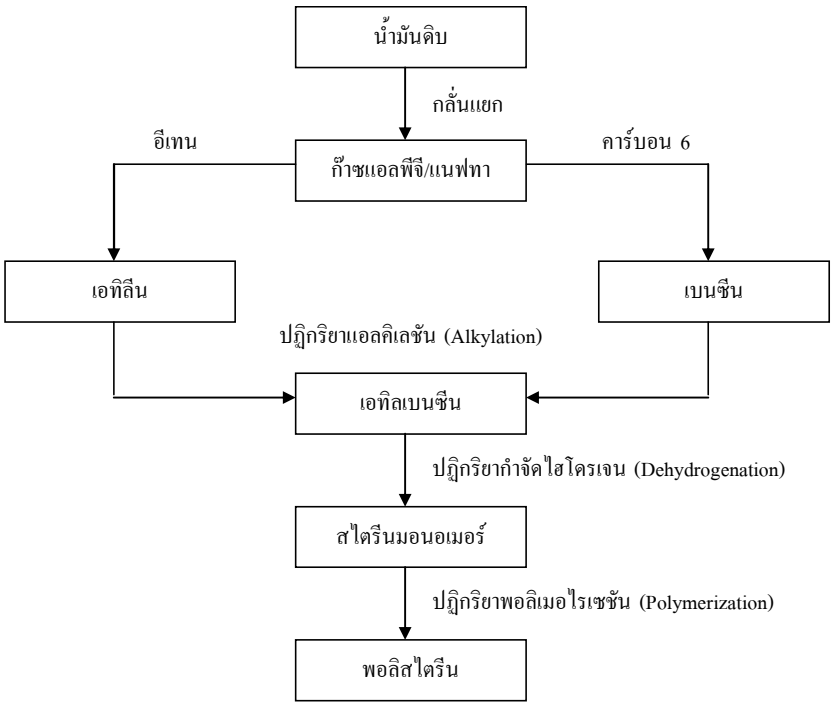
ในงานวิจัยนี้อธิบายลำดับวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุ โดยแบ่งเป็นส่วนการผลิตภาชนะบรรจุ การขนส่งไปยังผู้บริโภค และการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งาน ดังแสดงต่อไปนี้

1. การผลิตภาชนะบรรจุ

1.1 การผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน

1.1.1 การผลิตสไตรีนมอนอเมอร์

กระบวนการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ ใช้เบนซีนและเอทิลีนเป็นวัตถุดิบ โดยนำวัตถุดิบทั้งสองชนิดมาทำปฏิกริยาแอลคิเลชั่น (Alkylation) ได้เอทิลเบนซีนเป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำเอทิลเบนซีนมาผ่านการกำจัดไฮโดรเจน (Dehydrogenation) แล้วจึงได้สไตรีนมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิสไตรีน ในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน กระบวนการผลิตสไตรีนและพอลิสไตรีนจากน้ำมันดิบแสดงดังภาพที่ 18 ข้อมูลมวลสารเข้าและมวลสารออกในการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ ในการศึกษานี้ใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลบัญชีรายการการผลิตสไตรีน มอนอเมอร์สำหรับประเทศไทย ข้อมูลบัญชีรายการในการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์แสดงดังตารางที่ 18



ภาพที่ 18 กระบวนการผลิตพอลิสไตรีน

ที่มา : Dow Chemical Company (2003)

ตารางที่ 18 บัญชีรายการของการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์

(หน่วยต่อกล่องอาหารโฟม 10,000 ใบ)

สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
<u>วัตถุดิบ/วัสดุ</u>			<u>ผลิตภัณฑ์</u>		
เอทิลีน	3.49	กิโลกรัม	สไตรีนมอนอเมอร์	12.3	กิโลกรัม
พาราไซลีน	9.59	กิโลกรัม	<u>มลพิษทางอากาศ</u>		
<u>ไฟฟ้า/เชื้อเพลิง</u>			เบนซีน	1.18E-02	กิโลกรัม
น้ำมันเตา	1.35	กิโลกรัม	เอทิลเบนซีน	2.46E-05	กิโลกรัม
ก๊าซเชื้อเพลิง	2.09	กิโลกรัม	ไนโตรเจนออกไซด์	1.97E-03	กิโลกรัม
ไฟฟ้า	5.54E-06	เทระจูล	สไตรีน	8.61E-05	กิโลกรัม
			โทลูอีน	4.92E-06	กิโลกรัม
			ความร้อนสูญเสีย	5.54E-06	เทระจูล

ตารางที่ 18 (ต่อ)

(หน่วย: หน่วยต่อกล่องอาหารโฟม 10,000 ใบ)

สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
			<u>มลพิษทางน้ำ</u>		
			อะซีแนฟทิลีน	9.10E-10	กิโลกรัม
			เบนซีน	1.23E-04	กิโลกรัม
			ไดคลอโรอีเทน	9.10E-10	กิโลกรัม
			ไดคลอโรมีเทน	1.85E-09	กิโลกรัม
			เตตระคลอโรมีเทน	9.10E-10	กิโลกรัม
			คลอโรฟอร์ม	9.10E-10	กิโลกรัม
			เอทิลเบนซีน	7.01E-08	กิโลกรัม
			อะลูมินั่ม	7.38E-03	กิโลกรัม
			ไอออนของทองแดง	5.54E-09	กิโลกรัม
			ไอออนของสังกะสี	5.54E-09	กิโลกรัม
			พาห์ (PAH)	3.44E-09	กิโลกรัม
			ฟีนอล	1.06E-05	กิโลกรัม
			สไตรีน	4.92E-05	กิโลกรัม
			โทลูอีน	1.85E-09	กิโลกรัม

ที่มา : (ETH-ESU, 1996)

1.1.2 การขนส่งสไตรีนมอนอเมอร์และวัตถุดิบอื่นๆ ในการผลิตพอลิสไตรีน

การผลิตพอลิสไตรีน มีการขนส่งวัตถุดิบทั้งจากการขนส่งทางบกและทางน้ำ รวมถึงมีการขนส่งผ่านท่ออีกด้วย การขนส่งวัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไปและพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูงในหน่วยตันกิโลเมตรแสดงดังตารางที่ 19 และ 20

ตารางที่ 19 ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบของการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป

(หน่วยต่อกล่องอาหารโฟม 10,000 ใบ)

วัตถุดิบ	ชนิดของพาหนะ	ปริมาณ (ตันกิโลเมตร)
สไตรีนมอโนเมอร์	ท่อขนส่ง	2.07E-02
เอทิลเบนซีน	ท่อขนส่ง	2.12E-03
แนฟทา	เรือเดินทะเล	1.01E+00
เพอร์ออกไซด์	เรือเดินทะเล	1.08E+01
ถุงพอลิเอทิลลีน	รถบรรทุก 10 ล้อ	1.41E-02

ที่มา: Paoluglam (2005)

ตารางที่ 20 ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบของการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง

(หน่วยต่อกล่องอาหารโฟม 10,000 ใบ)

วัตถุดิบ	ชนิดของพาหนะ	ปริมาณ (ตันกิโลเมตร)
สไตรีนมอโนเมอร์	ท่อขนส่ง	2.07E-02
เอทิลเบนซีน	ท่อขนส่ง	7.38E-04
ยางพอลิบิวทาไดอีน	เรือเดินทะเล	2.34E+01
แนฟทา	เรือเดินทะเล	9.31E-01
เพอร์ออกไซด์	เรือเดินทะเล	1.13E+01
ถุงพอลิเอทิลลีน	รถบรรทุก 10 ล้อ	1.89E-02

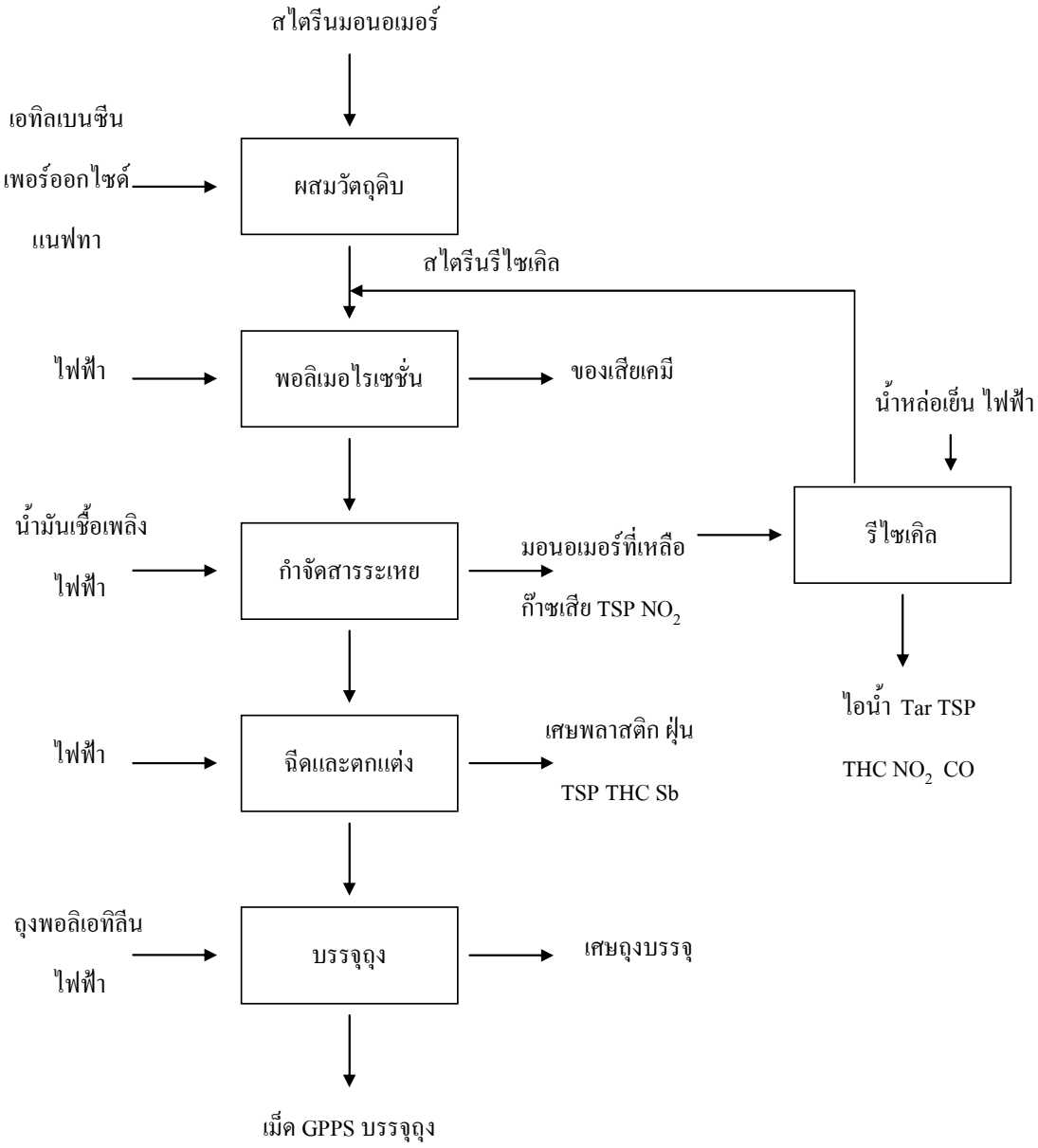
ที่มา: Paoluglam (2005)

1.1.3 การผลิตพอลิสไตรีน

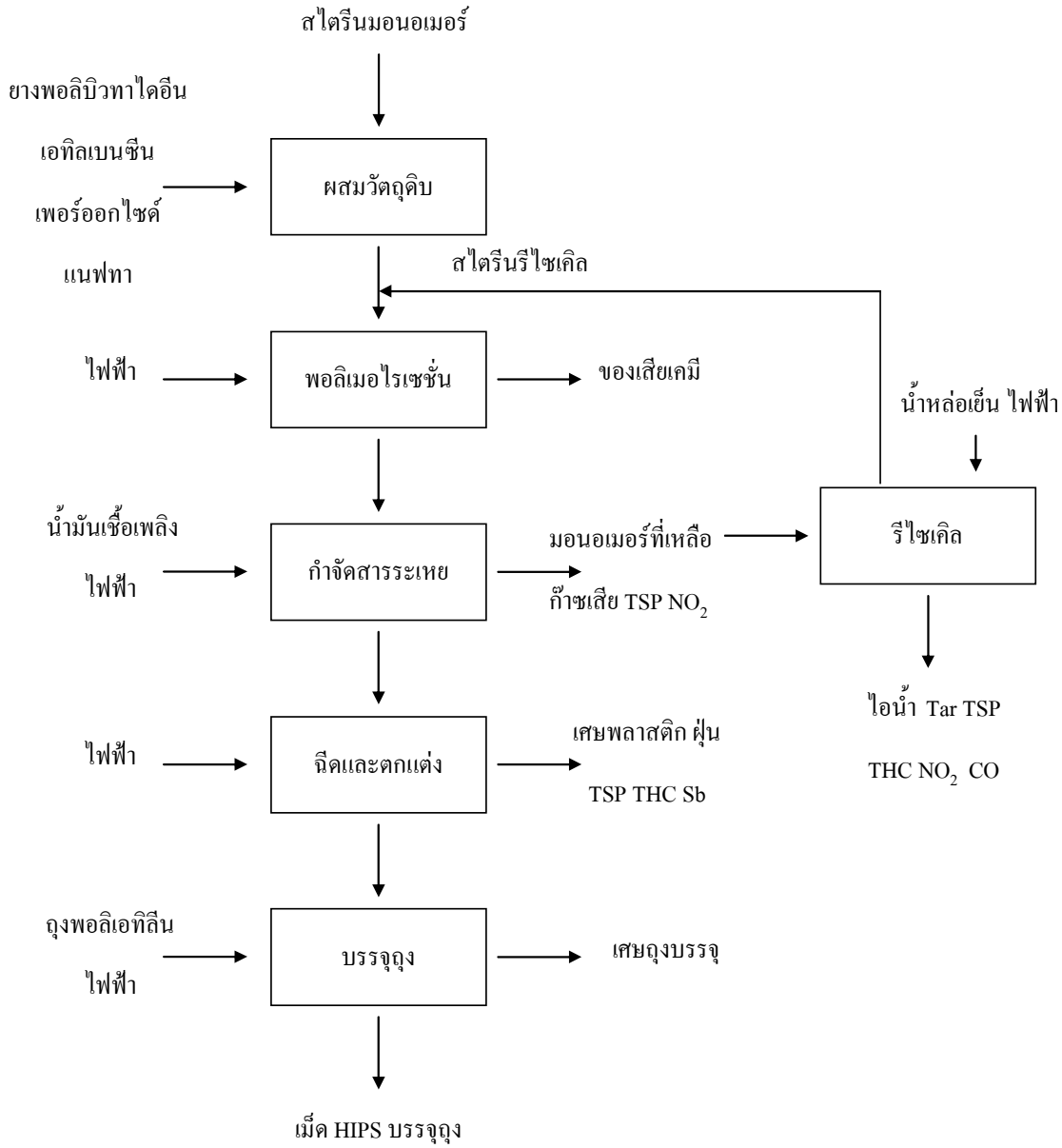
ในการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน ใช้พอลิสไตรีน 2 ชนิด ได้แก่ พอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไปและพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง ขั้นตอนของกระบวนการและวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเม็ดพอลิสไตรีนทั้งสองชนิดนี้มีความคล้ายคลึงกัน โดยแตกต่างที่ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ และในการผลิตพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง จะเพิ่มยางพอลิบิวทาไดอีนผสมลงไปด้วย เพื่อ

ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของพอลิสไตรีน ให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สามารถทนแรงกระแทกได้ดียิ่งขึ้น

แผนภาพกระบวนการผลิตพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไปและพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง แสดงดังภาพที่ 19 และ 20 ตามลำดับ



ภาพที่ 19 กระบวนการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป



ภาพที่ 20 กระบวนการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง

ข้อมูลบัญชีรายการในการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนทั้งสองชนิดนี้ ใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่ Paoluglam (2005) ได้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้าแล้ว ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากกระบวนการผลิตของบริษัทดาว เคมิคอล ประเทศไทย จำกัด ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป และพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดแสดงดังตารางที่ 21 และ 22 ตามลำดับ

ตารางที่ 21 ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไป

(หน่วยต่อกล่องอาหารโฟม 10,000 ใบ)

สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
<u>วัตถุดิบ/วัสดุ</u>			<u>ผลิตภัณฑ์</u>		
สไตรีนมอนอเมอร์	7.94	กิโลกรัม	พอลิสไตรีน (GPPS)	9.46	กิโลกรัม
เอทิลเบนซีน	0.81	กิโลกรัม	<u>ขยะมูลฝอย</u>		
แนฟทา	0.29	กิโลกรัม	เศษเม็ดพอลิสไตรีน	0.04	กิโลกรัม
เพอร์ออกไซด์	0.53	กิโลกรัม	ของเสียเคมี	0.04	กิโลกรัม
น้ำหล่อเย็น	56.28	กิโลกรัม	เศษถุงพอลิเอทิลีน	0.02	กิโลกรัม
ถุงพอลิเอทิลีน	0.06	กิโลกรัม	<u>มลพิษทางอากาศ</u>		
<u>ไฟฟ้า/ความร้อน</u>			ทาร์	0.02	กิโลกรัม
น้ำมัน	54.49	บีทียู	อนุภาคแขวนลอย	797.76	มิลลิกรัม
ไฟฟ้า	3.69	กิโลวัตต์	คาร์บอนมอนอกไซด์	8.42	มิลลิกรัม
		-ชั่วโมง	ไนโตรเจนไดออกไซด์	70.57	มิลลิกรัม
			สารไฮโดรคาร์บอน	8.80	มิลลิกรัม
			พลวง	0.01	มิลลิกรัม
			ไอน้ำ	56.28	กิโลกรัม

ที่มา : Paoluglam (2005)

ตารางที่ 22 ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง

(หน่วยต่อกล่องอาหารโฟม 10,000 ใบ)

สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ/วัสดุ			ผลิตภัณฑ์		
สไตรีนมอนอเมอร์	4.36	กิโลกรัม	พอลิสไตรีน (HIPS)	5.19	กิโลกรัม
ยางพอลิบิวทาไดอีน	0.62	กิโลกรัม	ขยะมูลฝอย		
เอทิลเบนซีน	0.16	กิโลกรัม	เศษเม็ดพอลิสไตรีน	0.03	กิโลกรัม
แนฟทา	0.15	กรัม	ยางเหลว	0.15	กิโลกรัม
เพอร์ออกไซด์	0.30	กรัม	ของเสียเคมี	0.20	กิโลกรัม
น้ำหล่อเย็น	30.88	กิโลกรัม	เศษถุงพอลิเอทิลีน	0.01	กิโลกรัม
ถุงพอลิเอทิลีน	0.03	กรัม	มลพิษทางอากาศ		
ไฟฟ้า/ความร้อน			ทาร์	0.01	กรัม
น้ำมัน	10.68	บีทียู	อนุภาคแขวนลอย	1.27	กรัม
ไฟฟ้า	11.14	กิโลวัตต์	คาร์บอนมอนอกไซด์	12.99	มิลลิกรัม
		-ชั่วโมง	ไนโตรเจนไดออกไซด์	66.73	มิลลิกรัม
			สารไฮโดรคาร์บอน	13.59	มิลลิกรัม
			พลวง	0.01	มิลลิกรัม
			ไอน้ำ	30.88	กิโลกรัม

ที่มา : Paoluglam (2005)

1.1.4 การขนส่งวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน

การขนส่งเม็ดพอลิสไตรีนและวัตถุดิบอื่นๆ จากแหล่งผลิต ไปยังโรงงานผลิตภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีนที่อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ใช้วิธีการขนส่งทางรถยนต์ทั้งหมด โดยเม็ดพอลิสไตรีนมีแหล่งผลิตอยู่ที่บริษัทดาว เคมิคัล ประเทศไทย จำกัด ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุต ใช้รถบรรทุกขนาด 6 ล้อในการขนส่ง ส่วนแคลเซียมและแป้งทาวคัมมีแหล่งผลิตอยู่ที่จังหวัดสระบุรี ใช้รถกระบะ 4 ล้อในการขนส่ง และก๊าซบิวเทน ก๊าซไนโตรเจน และถุงพอลิเอทิลีน มีแหล่งโรงงานผลิตอยู่ใกล้เคียงในบริเวณจังหวัดสมุทรปราการ ใช้รถกระบะ 4 ล้อ

ในการขนส่งเช่นเดียวกัน ระยะทางในการขนส่งอ้างอิงจากข้อมูลระยะทางระหว่างจังหวัดหรืออำเภอของกรมทางหลวง ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบของการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน

(หน่วยต่อกล่องอาหารโฟม 10,000 ใบ)

วัตถุดิบ	แหล่งที่มา	ชนิดของพาหนะ	ปริมาณ (ตันกิโลเมตร)
เม็ด GPPS	มาบตาพุต, ระยอง	รถบรรทุก 6 ล้อ	1500
เม็ด HIPS	มาบตาพุต, ระยอง	รถบรรทุก 6 ล้อ	0.74
แคลเซียม	สระบุรี	รถกระบะ 4 ล้อ	2.34E-03
แป้งทาวคัม	สระบุรี	รถกระบะ 4 ล้อ	2.11E-02
ก๊าซบิวเทน	สมุทรปราการ	รถกระบะ 4 ล้อ	2.31E-02
ก๊าซไนโตรเจน	สมุทรปราการ	รถกระบะ 4 ล้อ	0.22
ถุงพอลิเอทิลีน	สมุทรปราการ	รถกระบะ 4 ล้อ	2.70E-02

1.1.5 การผลิตกล่องบรรจุอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีน

เนื่องจากกล่องอาหารโฟมพอลิสไตรีนมีการแข่งขันด้านราคาสูง ในการผลิตกล่องอาหารจากโฟมพอลิสไตรีน ทางโรงงานผู้ผลิตจะใช้เม็ดโฟมพอลิสไตรีนผ่านกระบวนการรีไซเคิลแทนการใช้เม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไปใหม่ (Vergin GPPS) ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนในการผลิตลง ทำให้มีศักยภาพในการแข่งขันกับบริษัทผู้ค้าภาชนะบรรจุโฟมอื่นได้ ซึ่งโรงงานเอเชีย พลัสแพคได้ใช้เม็ดโฟมพอลิสไตรีนรีไซเคิลร้อยละ 100 ในการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีน โดยเม็ดพอลิสไตรีนรีไซเคิลนี้ ได้จากการนำเศษเหลือจากการตัด (Scarp) และแผ่นโฟมที่ไม่ได้ขนาดตามความต้องการหรือภาชนะบรรจุที่ขึ้นรูปเสีย มาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล ข้อมูลบัญชีรายการของเศษเหลือโฟมพอลิสไตรีน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากการผลิตภาชนะบรรจุในรูปแบบอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ข้อมูลบัญชีรายการของเศษโฟมพอลิสไตรีน

(หน่วยต่อกล่องอาหารโฟม 10,000 ใบ)

สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ/วัสดุ			ผลิตภัณฑ์		
แป้งทาวคัม	0.44	กิโลกรัม	ภาชนะบรรจุโฟม	286.4	กิโลกรัม
แคลเซียม	0.05	กิโลกรัม	ผลิตภัณฑ์ร่วม		
เม็ดGPPS	339	กิโลกรัม	เศษโฟมพอลิสไตรีน	69.9	กิโลกรัม
เม็ดHIPS	10.5	กิโลกรัม	ขยะมูลฝอย		
ก๊าซบิวเทน	19.5	กิโลกรัม	เศษสี	15	กรัม
ก๊าซไนโตรเจน	275.5	กิโลกรัม	มลพิษทางน้ำ		
น้ำ	2	ลิตร	น้ำเสีย	2	ลิตร
ไฟฟ้า/ความร้อน			มลพิษทางอากาศ		
ไฟฟ้า	554.7	กิโลวัตต์	ก๊าซไนโตรเจน	275.5	กิโลกรัม
		-ชั่วโมง	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	1.7	กิโลกรัม
			ไนโตรเจนไดออกไซด์	1.3	กิโลกรัม
			คาร์บอนไดออกไซด์	2.1	กิโลกรัม

เศษโฟมพอลิสไตรีนที่ได้นี้จะนำไปผ่านกระบวนการรีไซเคิล เพื่อให้ได้เม็ดโฟมรีไซเคิลกลับมาใช้ในการผลิตกล่องบรรจุอาหารโฟมพอลิสไตรีนต่อไป โดยกระบวนการรีไซเคิลพอลิสไตรีนมีขั้นตอน 4 ขั้น ดังนี้

1) การตัดและบด เป็นการนำเศษโฟมพอลิสไตรีนจากกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุแบบต่างๆ มาย่อยให้เป็นชิ้นที่มีขนาดเล็ก พร้อมทั้งบดให้ละเอียด

2) การหลอมด้วยความร้อน เป็นการนำเศษโฟมพอลิสไตรีนที่ตัดและบดแล้ว มาหลอมให้อ่อนตัว กลายเป็นพอลิสไตรีนเหลว ซึ่งความร้อนจะไล่ก๊าซบิวเทนที่อยู่ในเนื้อโฟมออกไป

3) การรีดและหล่อเย็น เป็นการนำพอลิสไตรีนเหลวมาอัดรีดให้กลายเป็นเส้น โดยใช้น้ำหล่อให้พอลิสไตรีนเหลวแข็งตัว ซึ่งในขั้นตอนนี้จะได้พอลิสไตรีนที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว

4) การตัด เป็นการนำเส้นพอลิสไตรีนมาตัดทอนให้เป็นพอลิสไตรีนท่อนสั้นๆ ความยาวประมาณท่อนละ 0.5 เซนติเมตร พร้อมที่จะนำกลับไปใช้งานผลิตกล่องบรรจุอาหารกลางวันต่อไป

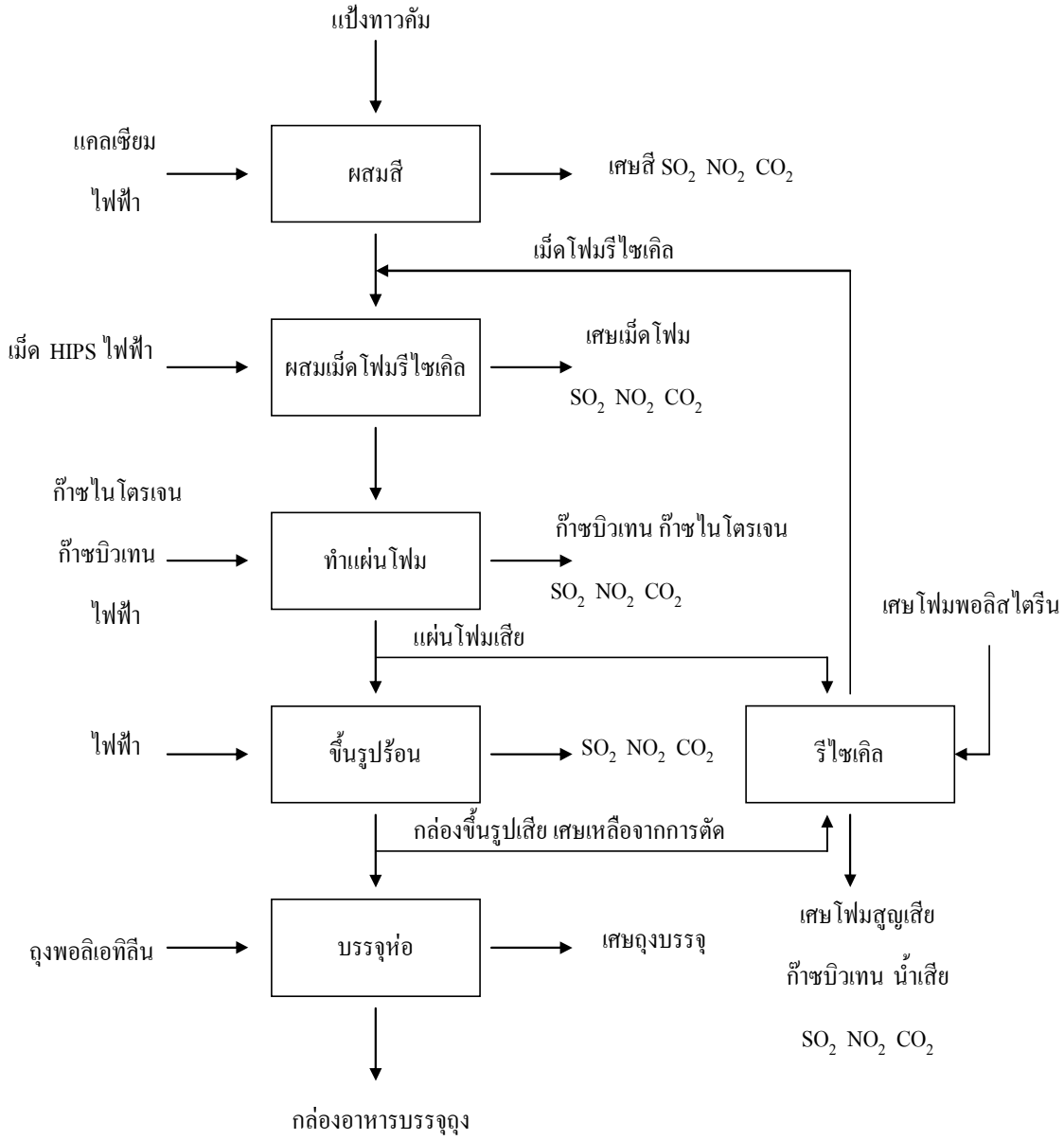
เม็ดโฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลมาแล้ว จะได้เป็นเม็ดพอลิสไตรีนรีไซเคิลสีขาวขุ่น นำไปใช้ในการผลิตกล่องบรรจุอาหารกลางวันต่อ โดยกระบวนการผลิตกล่องบรรจุอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีน มีขั้นตอน 4 ขั้น ได้แก่

1) การผสมเม็ดโฟมรีไซเคิล ซึ่งเม็ดโฟมที่ใช้ คือ เม็ดโฟมพอลิสไตรีน ซึ่งได้จากการรีไซเคิลเศษที่เหลือจากการตัด ชิ้นงานขึ้นรูปเสีย และแผ่นโฟมที่ไม่ได้ขนาดหรือความหนาตามที่ต้องการจากกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุอาหารในรูปแบบอื่นๆ นำมาผสมกับเม็ดพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูงใหม่ (Virgin HIPS) เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นโฟมให้มากขึ้น โดยมีการเติมแคลเซียมและแป้งทาวคัมเพื่อเพิ่มสีขาวแก่โฟม

2) การทำแผ่นโฟม เป็นการนำเม็ดพอลิสไตรีนรีไซเคิลที่ผสมเสร็จ มาฉีดแล้วอัดรีดเป็นแผ่นโฟมขนาด 1×20 เมตร โดยในระหว่างให้ความร้อนแก่เม็ด มีการเติมก๊าซบิวเทน ซึ่งใช้ก๊าซไนโตรเจนช่วยอัดให้มีความดันสูง ลงไปผสม เพื่อให้เนื้อโฟมขยายตัว ขึ้นฟู จากนั้นนำแผ่นโฟมที่ได้มาม้วนเก็บพักไว้

3) การขึ้นรูปกล่องอาหารด้วยความร้อนแบบสูญญากาศ (Vacuum Thermoforming) ซึ่งเป็นวิธีการนำแผ่นโฟมมารนหรือให้ความร้อนจนอ่อนตัว จากนั้นจึงกดแผ่นโฟมให้แนบกับแม่แบบ และมีการดูดอากาศออกจากช่องว่างระหว่างแผ่นพลาสติกกับแม่แบบ ช่วยให้แผ่นโฟมที่อ่อนตัวแนบสนิทกับกับแม่แบบมากขึ้น ทิ้งไว้ให้เย็นจนแข็งตัวแล้วถอดแม่แบบออก หลังจากที่ขึ้นรูปเสร็จสิ้นจะกดตัดชิ้นงานตามแบบที่ขึ้นรูปไว้ ได้เป็นชิ้นกล่องอาหารกลางวัน

4) นำกล่องอาหารมาบรรจุใส่ถุงพอลิเอทิลีนเป็นหีบห่อ โดยหนึ่งห่อมีกล่องอาหาร 500 ใบ เตรียมพร้อมนำออกจำหน่าย ส่วนเศษที่เหลือจากการตัดหรือชิ้นงานขึ้นรูปเสียในการขึ้นรูปกล่องอาหารจะนำไปรีไซเคิล เพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการซ้ำอีก แผนภาพกระบวนการผลิตกล่องบรรจุอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีนแสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 กระบวนการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีน

ข้อมูลบัญชีรายการในการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีนจำนวน 10,000 ใบ แสดงดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากโฟมพอลิสไตรีน

(หน่วยต่อกล่องอาหารโฟม 10,000 ใบ)

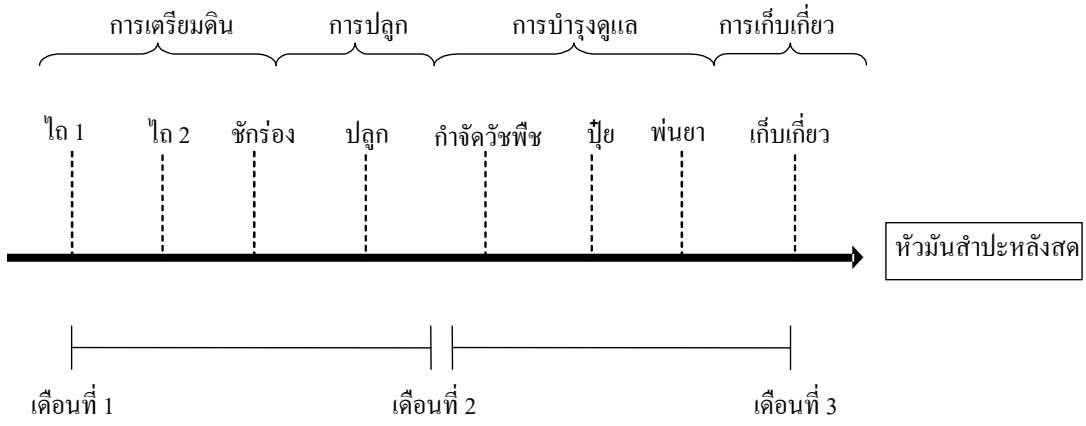
สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ/วัสดุ			ผลิตภัณฑ์		
แป้งทาวคัม	0.18	กิโลกรัม	กล่องอาหารกลางวัน	10,000	กล่อง
แคลเซียม	0.02	กิโลกรัม	ขยะมูลฝอย		
เศษโฟมพอลิสไตรีน	69.9	กิโลกรัม	เศษสี	6	กรัม
เม็ด HIPS	4.9	กิโลกรัม	เศษเม็ดโฟม	2.2	กิโลกรัม
ก๊าซบิวเทน	4.2	กิโลกรัม	เศษถุงพอลิเอทิลีน	น้อยมาก	กิโลกรัม
ก๊าซไนโตรเจน	40.4	กิโลกรัม	เศษโฟมสูญเสีย	4.9	กิโลกรัม
ถุงพอลิเอทิลีน	2.7	กิโลกรัม	มลพิษทางน้ำ		
น้ำ	0.3	ลิตร	น้ำเสีย	0.3	ลิตร
ไฟฟ้า/ความร้อน			มลพิษทางอากาศ		
ไฟฟ้า	153.14	กิโลวัตต์	ก๊าซบิวเทน	4.2	กิโลกรัม
		-ชั่วโมง	ก๊าซไนโตรเจน	40.4	กิโลกรัม
			ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.5	กิโลกรัม
			ไนโตรเจนไดออกไซด์	0.4	กิโลกรัม
			คาร์บอนไดออกไซด์	71.9	กิโลกรัม

วัตถุดิบและทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตที่มีการใช้มากในการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน ได้แก่ เศษโฟมพอลิสไตรีน ก๊าซไนโตรเจน และไฟฟ้า มลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน ส่วนเศษถุงบรรจุที่เกิดขึ้นในระหว่างผลิตถือว่ามีน้อยมาก

1.2. การผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

1.2.1 การเพาะปลูกมันสำปะหลัง

ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีขั้นตอน ได้แก่ 1) การเตรียมดินก่อนการเพาะปลูก โดยการไถพรวนดิน เพื่อกำจัดวัชพืช และทำแนวร่องเพาะปลูก เพื่อความสะดวกในการเพาะปลูก 2) การเตรียมพันธุ์และการเพาะปลูก เริ่มตั้งแต่การรวบรวมท่อนพันธุ์ แล้วนำท่อนพันธุ์มาสับให้ได้ขนาดพอเหมาะ แล้ววางรายตามแนวร่อง 3) การบำรุง/ดูแลรักษา ประกอบไปด้วยกิจกรรมที่สำคัญ คือ การกำจัดวัชพืช โดยการไถพรวนและใช้สารเคมี และการใส่ปุ๋ยบำรุงพืช ซึ่งเกษตรกรมักใช้ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี 4) การเก็บเกี่ยวผลผลิต สามารถทำได้โดยใช้เครื่องกลเก็บเกี่ยว หรือแรงงานคนขุดหัวมันสำปะหลังโดยตรง ซึ่งเกษตรกรมักใช้แรงงานคนในการเก็บเกี่ยวเป็นส่วนใหญ่ ลำดับและขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังแสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ลำดับและขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง
ที่มา : วรยุทธ (2551)

ข้อมูลของการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากร และพลังงาน ตลอดจนมลสารต่างๆ ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมเพาะปลูกมันสำปะหลัง ได้ใช้ฐานข้อมูลการเพาะปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทยจากรายงานเรื่อง “การสร้างฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิต พลังงาน และวัสดุพื้นฐานของประเทศ” ซึ่งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2547) ข้อมูลบัญชีรายการของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ข้อมูลบัญชีรายการของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง

(หน่วยต่อกล่องอาหารแป้งมันสำปะหลัง 10,000 ใบ)

สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
<u>วัตถุดิบ/วัสดุ</u>			<u>ผลิตภัณฑ์</u>		
ท่อนพันธุ์	525	ลำ	หัวมันสำปะหลัง	2,332	กิโลกรัม
เปลือกมัน	3.3	ตัน	<u>ผลิตภัณฑ์ร่วม</u>		
มูลไก่	0.66	ตัน	ลำต้น	1,617	ลำ
ปุ๋ยไนโตรเจน	5.8	กิโลกรัม	<u>มลพิษทางอากาศ</u>		
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	4.1	กิโลกรัม	คาร์บอนไดออกไซด์	19.1	กิโลกรัม
ปุ๋ยโพแทสเซียม	4.2	กิโลกรัม	ไนโตรเจนออกไซด์	0.39	กิโลกรัม
อลาคลอร์	0.4	กิโลกรัม	ซัลเฟอร์ออกไซด์	0.02	กิโลกรัม
พาราควอท	0.4	กิโลกรัม			
ไกลโฟเสท	1.1	กิโลกรัม			
สังกะสี	0.3	กิโลกรัม			
<u>เชื้อเพลิง</u>					
ดีเซล	6	กิโลกรัม			

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2547)

การใช้พื้นที่ดินของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง คำนวณจากปริมาณพื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูกให้ได้ผลผลิตจำนวน 2,332 กิโลกรัมมันสำปะหลัง (หน่วยตารางเมตร) คูณด้วยช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะปลูก (หน่วยปี) ซึ่งระยะเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นเตรียมดินจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 3 เดือน และปริมาณผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย (ใช้ปี 2550 เป็นปีฐาน) เท่ากับ 3,668 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) นั่นคือ ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังให้ได้ผลผลิต 2,332 กิโลกรัม มีการใช้พื้นที่ดินเท่ากับ 254.3 ตารางเมตร-ปี นอกจากนี้ ในขณะที่มันสำปะหลังเจริญเติบโต จะมีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 146.6 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อผลผลิตมันสำปะหลัง 2,332 กิโลกรัม (Leng *et al*., 2008)

1.2.2 การขนส่งหัวมันสำปะหลังสดไปยังโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังจะจำหน่ายหัวมันสำปะหลังให้กับโรงงานแป้งมันสำปะหลัง และลานมันเส้นที่อยู่ใกล้แหล่งเพาะปลูก ทั้งภายในจังหวัดเดียวกันและจังหวัดใกล้เคียง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคาที่เสนอซื้อและระยะทางจากแหล่งผลิตถึงสถานที่รับซื้อ (ศูนย์ข้อมูลเศรษฐกิจการค้าจังหวัด, 2545) ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดระยะทางจากไร่มันสำปะหลังไปยังโรงงานแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 10 กิโลเมตร โดยใช้รถบรรทุก 6 ล้อเป็นพาหนะในการขนส่ง

1.2.3 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่โรงงานโดยทั่วไปใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ แบบสลัดแห้ง ดังแสดงในภาพ 23 ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตสำคัญ 5 ขั้นตอน ดังนี้

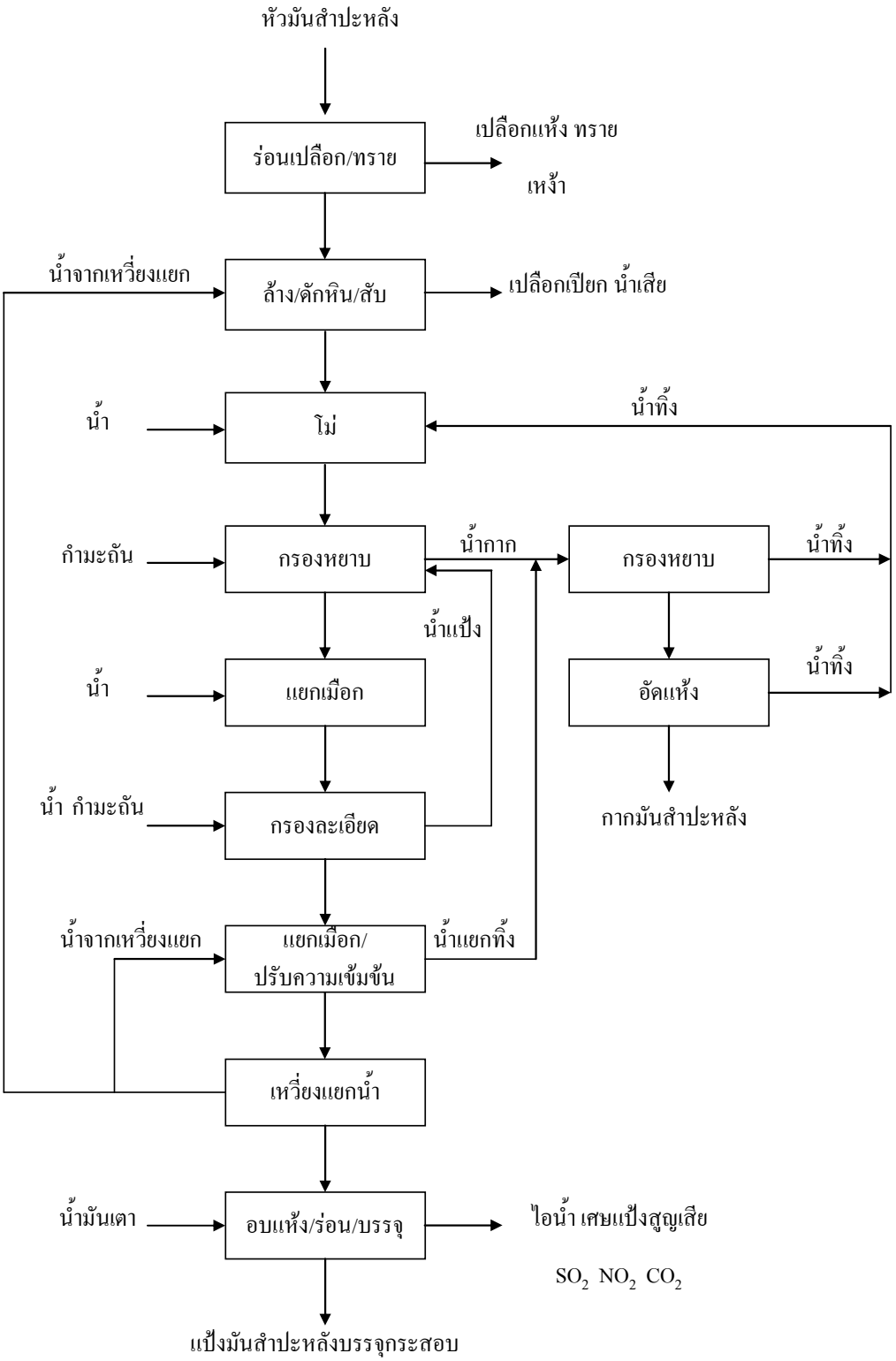
1) การเตรียมวัตถุดิบ หัวมันสำปะหลังจะถูกล้างให้สะอาดโดยผ่านเครื่องล้างหัวมัน เพื่อล้างเอาเศษดินที่ยังติดอยู่กับหัวมันออกไปกับน้ำ

2) การโม่หัวมันสำปะหลัง โดยลำเลียงหัวมันเข้าสู่เครื่องสับหัวมันให้มีขนาดเล็กลงก่อน แล้วนำไปโม่ ในระหว่างการโม่มีการเติมน้ำ เพื่อให้สามารถโม่หัวมันได้ง่าย ในขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวข้นที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่างๆ

3) การสกัดแป้ง ของเหลวข้นจากเครื่องโม่จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง แล้วน้ำแป้งที่ได้จะเข้าสู่หน่วยสกัดแป้ง โดยจะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องสกัดแป้งซึ่งเป็นเครื่องแยกน้ำแป้งออกจากเส้นใยและกาก โดยเครื่องนี้จะแบ่งหน้าที่ตามการกรองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสกัดหยาบ และชุดสกัดละเอียด ซึ่งน้ำแป้งจะผ่านชุดสกัดหยาบก่อนเพื่อแยกกากหยาบออก แล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียดเพื่อทำให้บริสุทธิ์ขึ้น โดยผ่านผ้ากรองที่มีขนาดเล็กลงของเครื่องสกัดละเอียด จากนั้นน้ำแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูงจะถูกสูบจากถังพักมายังเครื่องสลัดแห้ง ซึ่งจะเหวี่ยงแยกน้ำออกจากน้ำแป้งทำให้ได้แป้งหมาดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 35-40

4) การอบแห้ง แป้งหมาดจะถูกเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส จากเตาเผาขึ้นไปบนปล่องอบแห้ง แล้วตกลงมาเข้าสู่ไซโคลนความร้อนทำให้ความชื้นหายไปบางส่วน

5) การบรรจุ และเก็บรักษา ทำได้โดยการบรรจุแป้งที่ได้ในกระสอบ แล้วเรียงกระสอบบนที่รองรับเป็นชั้นๆ



ภาพที่ 23 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2547)

ข้อมูลบัญชีรายการการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ใช้ฐานข้อมูลผลิตแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทย จากรายงานเรื่อง “การสร้างฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตพลังงาน และวัสดุพื้นฐานของประเทศ” ซึ่งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2547) ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

(หน่วยต่อกล่องอาหารแป้งมันสำปะหลัง 10,000 ใบ)

สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
<u>วัตถุดิบ/วัสดุ</u>			<u>ผลิตภัณฑ์</u>		
หัวมันสำปะหลัง	2,332	กิโลกรัม	แป้งมันสำปะหลัง	419.4	กิโลกรัม
กำมะถัน	1.1	กิโลกรัม	<u>ผลิตภัณฑ์ร่วม</u>		
น้ำ	8,460.5	กิโลกรัม	เปลือกแห้ง	34.3	กิโลกรัม
<u>เชื้อเพลิง/ไฟฟ้า</u>			เหง้า	2.6	กิโลกรัม
น้ำมันเตา	14.2	ลิตร	เปลือกเปียก	52.6	กิโลกรัม
ไฟฟ้า	108.2	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	กากมันสำปะหลัง	500	กิโลกรัม
			<u>ขยะมูลฝอย</u>		
			เศษแป้งสูญเสีย	29.70	กิโลกรัม
			<u>มลพิษทางน้ำ</u>		
			น้ำเสีย	4,595	กิโลกรัม
			บีโอดี	193	กรัม
			ซีโอดี	772	กรัม
			<u>มลพิษทางอากาศ</u>		
			คาร์บอนไดออกไซด์	61.53	กิโลกรัม
			ไนโตรเจนออกไซด์	252.27	กรัม
			ซัลเฟอร์ออกไซด์	330.96	กรัม
			ไอน้ำ	103.10	กิโลกรัม

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2547)

1.2.4 การขนส่งวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

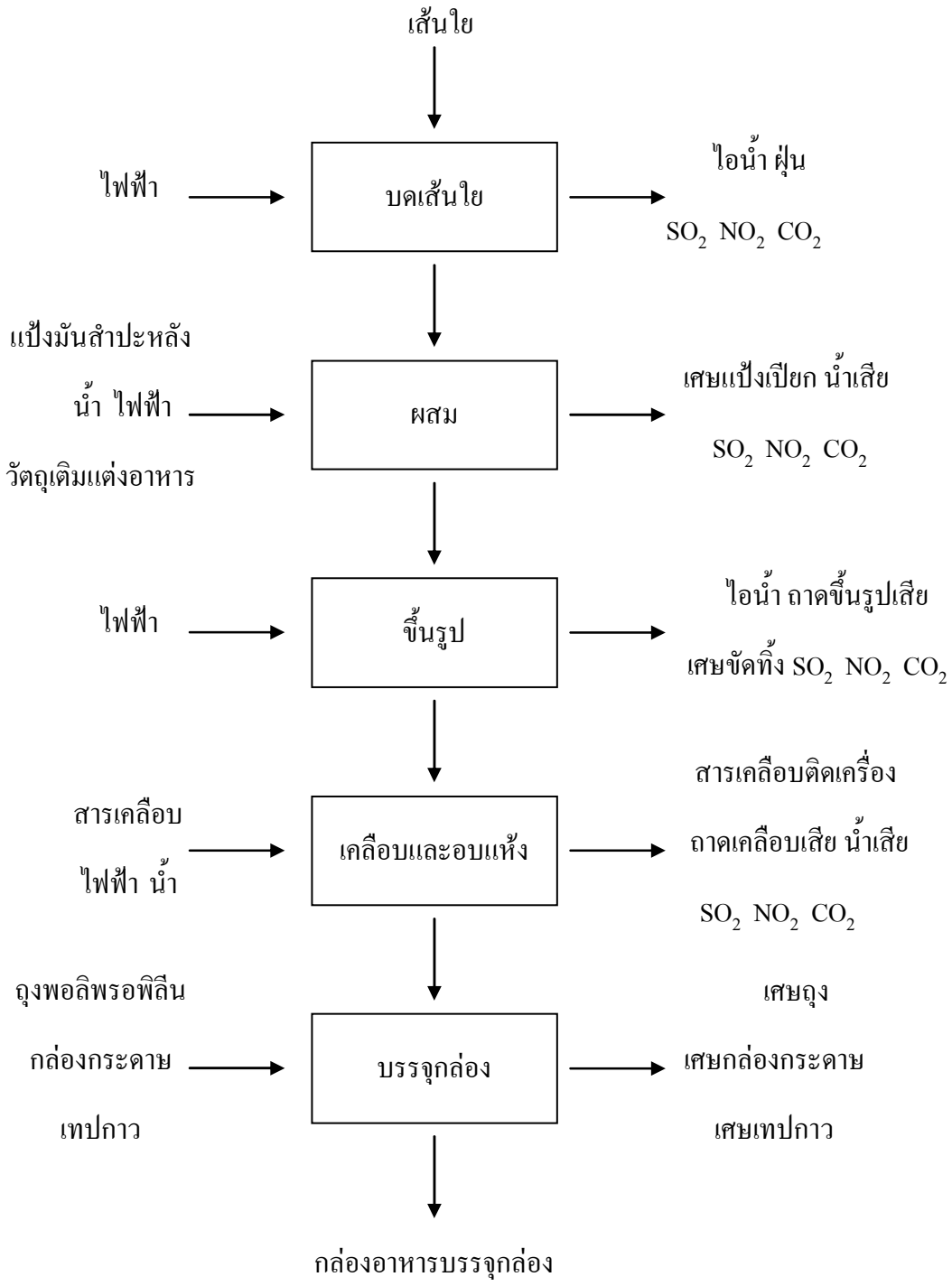
การขนส่งแป้งมันสำปะหลังและวัตถุดิบอื่นๆ จากแหล่งผลิต ไปยังโรงงานผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กรุงเทพฯ ใช้วิธีการขนส่งทางรถยนต์ทั้งหมด โดยแป้งมันสำปะหลังมีแหล่งผลิตอยู่ที่จังหวัดนครราชสีมา ใช้รถบรรทุกขนาด 6 ล้อในการขนส่ง เส้นใยเป็นของเสียที่ได้จากโรงงานในจังหวัดนครสวรรค์ ใช้รถกระบะ 4 ล้อในการขนส่ง ส่วนวัตถุเติมแต่งอาหาร สารเคลือบ และถุงพอลิพรอพิลีน มีแหล่งโรงงานผลิตอยู่ในเขตใกล้เคียงในบริเวณกรุงเทพฯ ใช้รถกระบะ 4 ล้อในการขนส่งเช่นเดียวกัน และกล่องกระดาษขนส่งมาจากจังหวัดสมุทรปราการ โดยใช้รถกระบะ 4 ล้อ ระยะทางในการขนส่งอ้างอิงจากข้อมูลระยะทางระหว่างจังหวัดหรืออำเภอของกรมทางหลวง ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบของการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

วัตถุดิบ	แหล่งที่มา	ชนิดของพาหนะ	ปริมาณ (ตันกิโลเมตร)
แป้งมันสำปะหลัง	นครราชสีมา	รถบรรทุก	104.86
เส้นใย	นครสวรรค์	รถกระบะ	33.15
วัตถุเติมแต่งอาหาร	กรุงเทพ	รถกระบะ 4 ล้อ	2.71
สารเคลือบ	กรุงเทพ	รถกระบะ 4 ล้อ	1.86
ถุงพอลิพรอพิลีน	กรุงเทพ	รถกระบะ 4 ล้อ	0.48
กล่องกระดาษ	สมุทรปราการ	รถกระบะ 4 ล้อ	5.56

1.2.5 การผลิตกล่องบรรจุอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการผลิตกล่องบรรจุอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลัง ประกอบไปด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การผสม 2) การขึ้นรูปภาชนะบรรจุ 3) การเคลือบผิวภาชนะบรรจุและอบแห้ง และ 4) การบรรจุกล่อง โดยมีหน่วยบดเส้นใยเป็นหน่วยสนับสนุนการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กระบวนการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลัง

รายละเอียดของขั้นตอนการผลิตกล่องบรรจุอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลังทั้ง 4 ขั้น มีดังต่อไปนี้

1) การผสมวัตถุดิบ เป็นการผสมวัตถุดิบต่างๆ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง เส้นใย วัตถุเติมแต่งอาหาร และน้ำ ในเครื่องผสม จนได้เป็นแป้งเปียก (Dough) ซึ่งมีลักษณะเหนียวข้น

2) การขึ้นรูปภาชนะบรรจุ เป็นการนำแป้งที่ผสมเสร็จแล้วมาขึ้นรูป ด้วยวิธีการอัดเข้าแม่แบบที่อุณหภูมิสูง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นตัว

3) การเคลือบผิวภาชนะบรรจุด้วยสารเคลือบ ซึ่งจะเคลือบผิวบริเวณด้านที่สัมผัสกับอาหาร เพื่อเพิ่มคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของน้ำและไขมัน ให้เหมาะกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น จากนั้นอบให้แห้งด้วยความร้อน

4) การบรรจุกล่อง เป็นการนำกล่องอาหารที่ผลิตเสร็จ มาบรรจุใส่ถุงพอลิพรอพิลีน แล้วนำมาใส่กล่องกระดาษลูกฟูก หนึ่งกล่องกระดาษลูกฟูกบรรจุกล่องอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลัง จำนวน 180 ใบ

ข้อมูลบัญชีรายการในการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 29 โดยวัตถุดิบและทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตที่มีปริมาณการใช้มาก ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง น้ำ และไฟฟ้า มลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และซีโอดี ส่วนเศษถุงบรรจุที่เกิดขึ้นในระหว่างผลิตถือว่ามีน้อยมาก

ตารางที่ 29 ข้อมูลบัญชีรายการของการผลิตกล่องอาหารกลางวันจากแป้งมันสำปะหลัง

(หน่วยต่อกล่องอาหารแป้งมันสำปะหลัง 10,000 ใบ)

สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
<u>วัตถุดิบ/วัสดุ</u>			<u>ผลิตภัณฑ์</u>		
เส้นใย	165.7	กิโลกรัม	กล่องอาหารกลางวัน	10,000	กล่อง
แป้งมันสำปะหลัง	419.4	กิโลกรัม	<u>ขยะมูลฝอย</u>		
วัตถุแต่งเติมอาหาร	54.1	กิโลกรัม	เศษแป้งเปียก	13.5	กิโลกรัม
น้ำ	545.5	กิโลกรัม	กล่องขึ้นรูปเสีย	17.5	กิโลกรัม
สารเคลือบ	37.3	กิโลกรัม	เศษกล่องขัดทิ้ง	83.3	กิโลกรัม
ถุงพอลิพรอพิลีน	9.5	กิโลกรัม	เศษสารเคลือบ	7.3	กิโลกรัม
กล่องกระดาษ	55.6	กิโลกรัม	เศษถุงพอลิพรอพิลีน	น้อยมาก	
เทปกาว	5.56E-02	กิโลกรัม	เศษกล่องกระดาษ	น้อยมาก	
<u>ไฟฟ้า/ความร้อน</u>			เศษเทปกาว	น้อยมาก	
ไฟฟ้า	1,784	กิโลวัตต์	<u>มลพิษทางน้ำ</u>		
		-ชั่วโมง	น้ำเสีย	100.7	ลิตร
			บีโอดี	58.6	กรัม
			ซีโอดี	202.3	กรัม
			ของแข็งแขวนลอย	224	กรัม
			ของแข็งละลายได้	84.7	กรัม
			ไนโตรเจนทั้งหมด	56.1	กรัม
			<u>มลพิษทางอากาศ</u>		
			ไอน้ำ	444.3	กิโลกรัม
			ซัลเฟอร์ออกไซด์	5.44	กิโลกรัม
			ไนโตรเจนออกไซด์	4.16	กิโลกรัม
			คาร์บอนไดออกไซด์	1.01E+03	กิโลกรัม
			ฝุ่น	น้อยมาก	

2. การขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค

ในการขนส่งจากโรงงานผลิตภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค ตั้งสมมุติฐานให้มีระยะทางที่เท่ากัน โดยกำหนดให้มีระยะทางเท่ากับ 10 กิโลกรัม ในการขนส่งภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนใช้รถบรรทุก 6 ล้อ และมีน้ำหนักบรรทุกประมาณ 50 กิโลกรัม เนื่องจากภาชนะบรรจุจากโฟมมีน้ำหนักเบาและมีความฟูของเนื้อภาชนะค่อนข้างมาก ส่วนภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังใช้รถกระบะ 4 ล้อ และมีน้ำหนักบรรทุกประมาณ 200 กิโลกรัม ข้อมูลการขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภคแสดงดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ข้อมูลการขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค

ชนิดของภาชนะบรรจุ	ชนิดของพาหนะ	ปริมาณ (ตันกิโลกรัม)
โฟมพอลิสไตรีน	รถบรรทุก 6 ล้อ	0.42
แป้งมันสำปะหลัง	รถกระบะ 4 ล้อ	5.65

3. การปันส่วน (Allocation)

หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตที่กำหนดในมาตรฐาน ISO 14040 กล่าวว่าการประเมินวัฏจักรควรหลีกเลี่ยงการปันส่วน แต่ในหลายๆ กรณีเราไม่สามารถเก็บข้อมูลเฉพาะ ที่มีลักษณะตามที่ต้องการได้ ข้อมูลที่ได้ถ้าเป็นข้อมูลสำหรับผลิตภัณฑ์หลายประเภท จึงจำเป็นต้องต้องทำการปันส่วนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทที่ชัดเจน หรือกระจายภาระทางสิ่งแวดล้อมไปยังแต่ละผลิตภัณฑ์ วิธีการปันส่วนที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธี ได้แก่ การปันส่วนโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานทางด้านเทคนิค การปันส่วนโดยใช้น้ำหนัก ปริมาตร หรือคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ และการปันส่วนโดยใช้ข้อมูลราคา ซึ่งวิธีการปันส่วนตามราคาเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก ในบางประเทศการปันส่วนด้วยวิธีนี้ได้รับความนิยมมากกว่าการใช้สัดส่วนน้ำหนักอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากราคาผลิตภัณฑ์จะเป็นตัวแปรในการกำหนดความต้องการในการผลิตสินค้าของโรงงาน ดังนั้นจึงควรให้สัดส่วนน้ำหนักสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูงในการคำนวนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงกว่าผลิตภัณฑ์ราคาที่มีราคาต่ำกว่า (สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 2549) ในการศึกษานี้จึงใช้วิธีการปันส่วนโดยใช้ข้อมูลราคาในการพิจารณากระจายภาระทางสิ่งแวดล้อม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การใช้เศษโฟมพอลิสไตรีนเพื่อผลิตเม็ดโฟมรีไซเคิล

เศษพอลิสไตรีนเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากการผลิตภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีน ซึ่งการผลิตภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีนน้ำหนัก 286.37 กิโลกรัม ได้เศษพอลิสไตรีนเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมเท่ากับ 69.9 กิโลกรัม โดยราคาเฉลี่ยของภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีนเท่ากับ 85 บาทต่อกิโลกรัมของภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีน และราคาเฉลี่ยของเศษโฟมพอลิสไตรีนเท่ากับ 10 บาทต่อกิโลกรัม (สภาอุตสาหกรรมพลาสติกไทย, 2551) ข้อมูลปริมาณ ราคาเฉลี่ย และตัวประกอบของการปันส่วน (Allocation factor) ของการเพาะปลูกมันสำปะหลังแสดงดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ปริมาณ ราคาเฉลี่ย และตัวประกอบของการปันส่วนของเศษโฟมพอลิสไตรีน

ผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัม)	ปริมาณ	ราคาเฉลี่ย (บาท/หน่วย)	ราคา (บาท)	ตัวประกอบการปันส่วน (ร้อยละ)
ภาชนะบรรจุโฟม	286	85	24,341	97.21
เศษโฟมพอลิสไตรีน	69.9	10	699	2.79
		รวม	25,040	100

3.2 การเพาะปลูกมันสำปะหลัง

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการ พบว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อให้ได้หัวมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์ 1,000 กิโลกรัม ได้ลำต้นเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม 693.4 ลำ ซึ่งลำต้นสามารถนำมาทอนเป็นท่อนพันธุ์ได้ประมาณ 4 ท่อน ท่อนพันธุ์ดังกล่าวนี้เป็นที่ต้องการของเกษตรกรในการนำไปใช้เพาะปลูกมันสำปะหลังในครั้งถัดๆ ไป โดยราคามันสำปะหลังเฉลี่ยกิโลกรัมละ 1 บาท(ข้อมูลปี 2550) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550ข) ส่วนราคาท่อนพันธุ์เฉลี่ยท่อนละ 1.5 บาท (ข้อมูลปี 2550) (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2550) ข้อมูลปริมาณ ราคาเฉลี่ย และตัวประกอบของการปันส่วนของการเพาะปลูกมันสำปะหลังแสดงดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ปริมาณ ราคาเฉลี่ย และตัวประกอบของการปันส่วนของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	ราคาเฉลี่ย (บาท/หน่วย)	ราคา (บาท)	ตัวประกอบการปันส่วน (ร้อยละ)
มันสำปะหลัง (กิโลกรัม)	2,332	1	2,332	19.39
ท่อนพันธุ์ (ท่อน)	6,466	1.5	9,700	80.61
		รวม	12,032	100

3.3 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

การผลิตแป้งมันสำปะหลังได้เปลือกแห้ง เปลือกเปียก เหง้า และกากมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ราคาของแป้งมันสำปะหลังเฉลี่ยเท่ากับ 9.94 บาทต่อกิโลกรัม (ใช้ข้อมูลปี 2550 เป็นปีฐาน) (สมาคมแป้งมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2551) ราคาของกากมันสำปะหลังและเปลือกกับเหง้ามันสำปะหลังเฉลี่ยเท่ากับ 2.47 บาทต่อกิโลกรัมและ 0.075 บาทต่อกิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550ข) ข้อมูลปริมาณ ราคาเฉลี่ย และตัวประกอบของการปันส่วนของการผลิตแป้งมันสำปะหลังแสดงดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ปริมาณ ราคาเฉลี่ย และตัวประกอบของการปันส่วนของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัม)	ปริมาณ	ราคาเฉลี่ย (บาท/หน่วย)	ราคา (บาท)	ตัวประกอบการปันส่วน (ร้อยละ)
แป้งมันสำปะหลัง	419.4	9.94	4,169.1	76.69
เปลือกกับเหง้า	89.5	0.08	6.7	0.12
กากมันสำปะหลัง	500.9	2.52	1,260.4	23.19
		รวม	5,436.2	100

4. การกำจัดภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งาน

การกำจัดขยะมูลฝอยมีวิธีกำจัดได้หลายวิธี เช่น การกองทิ้งบนพื้นดิน (Dumping on land) การนำไปทิ้งลงทะเล (Dumping at sea) การนำไปเป็นอาหารสัตว์ (Animal feeding) การคอมโพสท์ การเผากลางแจ้ง (Open burning) การเผาในเตาเผาหรือการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล อย่างไรก็ตามวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่ถูกสุขลักษณะ และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 วิธี ได้แก่ การเผาในเตาเผา การคอมโพสท์ และการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (พัสรินณ์, ม.ป.ป) การจัดการขยะมูลฝอยของประเทศไทย แบ่งการจัดการเป็น 3ส่วน คือ 1) การจัดการขยะในเขตกรุงเทพ 2) การจัดการขยะในเขตเทศบาลต่างๆ และเมืองพัทยา และ3) การจัดการขยะนอกเขตเมือง โดยทุกพื้นที่จะมองการจัดการของกรุงเทพเป็นต้นแบบในการดำเนินงาน (โครงการส่งเสริมเครือข่ายในการจัดการทรัพยากรชายฝั่ง, 2550) เนื่องจากเป็นเมืองใหญ่ที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น และมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นจำนวนมาก

สถานการณ์การจัดการขยะและของเสียของประเทศไทย (ข้อมูลปี 2545) ที่ขวัญฤดี (ม.ป.ป) ได้รวบรวมไว้ รายงานว่าขยะมูลฝอยในเขตกรุงเทพฯ ซึ่งมีปริมาณขยะร้อยละ 24 ของขยะมูลฝอยทั้งประเทศ จัดการด้วยวิธีฝังกลบทั้งหมด โดยมีแหล่งฝังกลบ 2 แห่ง ได้แก่ 1) อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยนำขยะจากสถานีขนถ่ายขยะท่าแร้งและหนองแขมไปฝังกลบประมาณ 5,563 ตันต่อวัน และ 2) ตำบลราชาเทวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ประมาณ 3,578 ตันต่อวัน ส่วนการจัดการขยะในเขตเทศบาลต่างๆ และเมืองพัทยา ซึ่งรับผิดชอบโดยองค์กรปกครองท้องถิ่นในเขตเมืองและมีปริมาณขยะร้อยละ 31 ของขยะมูลฝอยทั้งประเทศ มีสถานที่ฝังกลบที่เปิดดำเนินการแล้วจำนวน 58 แห่ง และกำลังก่อสร้าง 30 แห่ง มีเตาเผาขยะ 3 แห่ง คือ เทศบาลเมืองภูเก็ต เทศบาลตำบลเกาะสมุย และเทศบาลเมืองลำพูน และการจัดการขยะนอกเขตเมือง ซึ่งมีปริมาณขยะร้อยละ 45 ของขยะมูลฝอยทั้งประเทศและรับผิดชอบโดยองค์การบริหารส่วนจังหวัดหรือองค์การบริหารส่วนตำบล ทำหน้าที่รวบรวมและกำจัด แต่เนื่องจากพื้นที่กว้าง การบริการจึงไม่ทั่วถึง ประชาชนส่วนใหญ่จึงดำเนินการเอง โดยใช้วิธีเผากลางแจ้ง ขุดหลุมฝัง และกองทิ้งในพื้นที่ว่าง ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการกำจัดขยะที่ไม่ถูกต้อง จึงจะเห็นว่าการจัดการขยะเกือบทั้งหมดของประเทศไทยเป็นการฝังกลบ และมีการกำจัดด้วยวิธีอื่นๆ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ในการศึกษานี้จึงได้เลือกพิจารณาแบบจำลองของวิธีการกำจัดขยะภาชนะบรรจุร้อยละ 100 ด้วยวิธีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล การเผาในเตาเผา และการ

คอมโพสท์ ส่วนขยะภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน ได้เพิ่มการพิจารณาแบบจำลองวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่แทนการคอมโพสท์ เนื่องจากขยะภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และเป็นทางเลือกในการจัดการปัญหาขยะพลาสติกและโฟมที่ให้ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทางหนึ่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ข) และในการจัดการขยะภาชนะบรรจุจะยึดแนวทางการดำเนินการของกรุงเทพฯ เป็นหลัก เนื่องจากมีความเป็นระบบและมีข้อมูลที่ชัดเจนมากที่สุด

4.1 การขนส่งขยะไปยังสถานที่กำจัด

การขนส่งขยะไปยังแหล่งฝังกลบของกรุงเทพฯ จะขนส่งไปฝังกลบยังอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 5,563 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 60.86 ของขยะทั้งหมดที่นำไปฝังกลบ และตำบลราชาเทวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 3,578 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 39.14 ของขยะทั้งหมดที่นำไปฝังกลบ ระยะทางในการขนส่งขยะอ้างอิงจากข้อมูลระยะทางระหว่างจังหวัดหรืออำเภอของกรมทางหลวง โดยระยะทางระหว่างกรุงเทพ-บางพลี และกรุงเทพ-กำแพงแสน เท่ากับ 25.85 และ 88.26 กิโลเมตร ตามลำดับ ดังนั้นระยะทางเฉลี่ยในการนำขยะทั้งหมดไปฝังกลบเท่ากับ 63.84 กิโลเมตร

การขนส่งขยะไปยังสถานที่กำจัดวิธีเผาในเตาเผา และคอมโพสท์ กรุงเทพมหานครยังไม่มีการจัดการขยะด้วยสองวิธีนี้ จึงตั้งสมมุติฐานให้ระยะทางในการขนส่งขยะไปยังสถานที่กำจัดวิธีเผาในเตาเผา และคอมโพสท์เท่ากับระยะทางในการนำไปฝังกลบ นั่นคือ เท่ากับ 63.84 กิโลเมตร ส่วนการนำกลับโฟมมาใช้ใหม่ มีโรงงานรีไซเคิลโฟมทั้งสิ้น 22 แห่ง อยู่ในกรุงเทพฯ 10 แห่ง สมุทรปราการ 9 แห่ง และจังหวัดอื่นๆ อีก 3 แห่ง (ข้อมูลปี 2546) (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ข) ดังนั้นสถานที่ในการรีไซเคิลโฟม จึงน่าจะมีระยะทางในการขนส่งใกล้เคียงกับการจัดการด้วยวิธีฝังกลบเช่นเดียวกัน สำหรับพาหนะในการขนส่งขยะภาชนะบรรจุ คือ รถขนขยะ 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุก 21 ตัน โดยน้ำหนักของขยะภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนและแป้งมันสำปะหลังจำนวน 10,000 ใบ เท่ากับ 42 และ 565 กิโลกรัม ตามลำดับ ข้อมูลบัญชีรายการในการขนส่งขยะภาชนะบรรจุไปยังสถานที่กำจัดใช้ข้อมูลจาก Ecoinvent (2004)

4.2 การกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน

การกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนพิจารณาแบบจำลองการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล การเผาในเตาเผา และการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยข้อมูลบัญชีรายการของการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนทั้ง 3 วิธีจะใช้ข้อมูลจาก Ecoinvent (2003)

4.3 การกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

การกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนพิจารณาแบบจำลองการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล การเผาในเตาเผา และการคอมโพสท์ โดยข้อมูลบัญชีรายการของการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลและการเผาในเตาเผาใช้ข้อมูลจาก Ecoinvent (2003) โดยข้อมูลที่ใช้เป็นการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลและการเผาในเตาเผาของกระดาษ เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลบัญชีรายการของการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลและการเผาในเตาเผาของแป้งมันสำปะหลัง รวมทั้งกระดาษเป็นตัวแทนของวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ที่ง่ายที่สุด และเหมาะสมในการนำมาใช้ในการพิจารณาถึงกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งาน (Johansson, 2005) ส่วนการจัดการด้วยวิธีคอมโพสท์ได้ทำการทดลองและเก็บรวมรวมข้อมูล ดังจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

5. การคอมโพสท์ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

การคอมโพสท์เป็นการศึกษาการย่อยสลายและรวบรวมข้อมูลการใช้ทรัพยากรและมลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธี ดังกล่าวนี้

5.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังประกอบไปด้วยการวิเคราะห์โลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆ และคุณลักษณะทางเคมี ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 34 และ 35 ตามลำดับ

ตารางที่ 34 ปริมาณโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆในภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลัง	มาตรฐาน EN 13432		ภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลัง	มาตรฐาน EN 13432
สังกะสี	1.62	150	โครเมียม	< 0.5	50
ทองแดง	1.53	50	โมลิบดีนัม	< 1	1
นิเกิล	0.57	25	ซีลีเนียม	< 0.05	0.75
แคดเมียม	0.1	0.5	สารหนู	< 0.13	5
ตะกั่ว	0.67	50	ฟลูออรีน	40.94	100
ปรอท	0.102	0.5			

ตารางที่ 35 คุณลักษณะทางเคมีของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

ลักษณะสมบัติทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (%)	4.61
ของแข็งแห้งทั้งหมด (%)	95.39
ของแข็งที่ระเหยได้ (%)	94.17
อินทรีย์คาร์บอน (%)	52.32

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆ และคุณลักษณะทางเคมีของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน EN 13432: พบว่าปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆ มีค่าน้อยกว่า ค่าที่กำหนดให้มีได้มากที่สุดในพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งแสดงว่าภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังมีความเป็นพิษจากโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆ ต่อผู้บริโภคน้อยมาก และในการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานจะมีโลหะหนักปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมน้อยมากเช่นเดียวกัน ส่วนปริมาณร้อยละของของแข็งที่ระเหยได้ จะแสดงถึงปริมาณของอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) (Environment Protection Department: EPD, 2007) จากผลการวิเคราะห์ที่พบว่าภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณของแข็งที่

ระเหยได้ถึงร้อยละ 94.17 นั่นแสดงว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง จึงสามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ง่าย เหมาะที่จะนำมากำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์

5.2 การเตรียมวัตถุดิบในการคอมโพสท์

ขยะชีวภาพที่นำมาใช้ในการคอมโพสท์ ได้แก่ ขี้เลื่อย เศษผักกะหล่ำ และกากตะกอน โดยมีปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 สำหรับใช้ในการปรับสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ให้เหมาะสม ต่อการนำไปใช้งานของจุลินทรีย์ในการหมัก ขยะชีวภาพเหล่านี้จะถูกนำมาย่อยจนมีขนาดไม่เกินประมาณ 10×10 เซนติเมตรและสุ่มตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะ เมื่อทราบถึงคุณลักษณะของขยะชีวภาพที่เตรียมสำหรับการคอมโพสท์แล้ว จึงคำนวนหาปริมาณของขยะชีวภาพแต่ละชนิดที่จะต้องนำมาผสมกัน เพื่อให้ได้สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะชีวภาพผสมอยู่ในช่วง 20-30 ต่อ 1 ปริมาณและคุณลักษณะของขยะชีวภาพที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ปริมาณและคุณลักษณะของขยะชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง

ขยะชีวภาพ	ความชื้น (%)	ของแข็งที่ระเหยได้ (%)	คาร์บอน (%)	ไนโตรเจน (%)	น้ำหนัก (กิโลกรัมต่อถัง)
ขี้เลื่อย	12.50	86.19	47.88	0.09	17.5
เศษผักกะหล่ำปลี	93.58	5.53	3.07	0.5	12.5
กากตะกอน	89.75	6.46	3.59	0.91	0.55
ปุ๋ยยูเรีย	0.22	99.58	55.32	46	0.45
				รวม	31

หลังทำการผสมจะได้ขยะชีวภาพผสม ซึ่งมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 31 กิโลกรัมต่อถัง คุณสมบัติเริ่มต้นของขยะชีวภาพผสมในการทดลองแสดงดังตารางที่ 37 โดยร้อยละความชื้นเริ่มต้นของขยะชีวภาพผสมเท่ากับ 59.5 เมื่อเติมน้ำปริมาตร 10 ลิตรลงไป ร้อยละความชื้นของขยะชีวภาพผสมจะเปลี่ยนเป็น 69.4 จากนั้นแบ่งขยะชีวภาพที่ผสมเรียบร้อยแล้วเป็น 3 ชุด ชุดละ 3 ถัง โดยในชุดที่ 1 เป็นการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสท์ จะทำการเติมตัวอย่างภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังชิ้นขนาด 5×5 เซนติเมตร ปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักรวมของขยะชีวภาพ ซึ่งเท่ากับ 0.31 กิโลกรัมลงไปผสมกับขยะชีวภาพผสม แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน

สำหรับชุดที่ 2 เป็นการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ ทำการผสมตัวอย่างภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่บดแล้ว ปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักรวมของขยะชีวภาพ ซึ่งเท่ากับ 3.1 กิโลกรัมลงไปคลุกเคล้าให้เข้ากัน และชุดที่ 3 เป็นชุดควบคุมการทดลอง ไม่เติมตัวอย่างภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

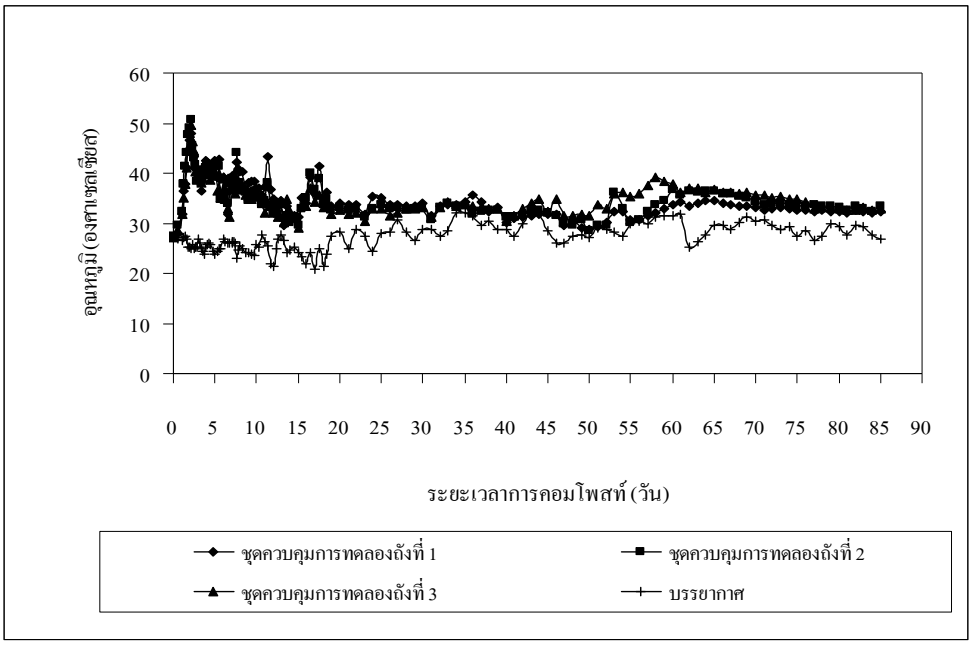
ตารางที่ 37 คุณสมบัติเริ่มต้นของขยะชีวภาพผสมในการทดลอง

คุณลักษณะ	ค่าเริ่มต้น
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	24.8
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.8
ความเป็นกรด-เบส	6.9
ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละ)	59.3
ปริมาณความชื้นหลังปรับด้วยน้ำ (ร้อยละ)	69.2

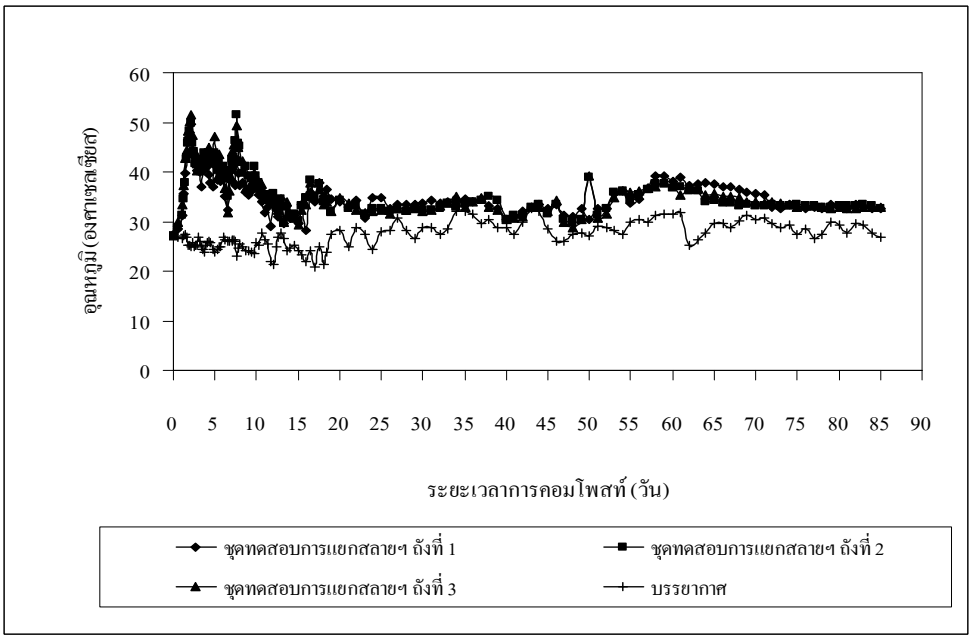
5.3. การคอมโพสท์

5.3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอมโพสท์

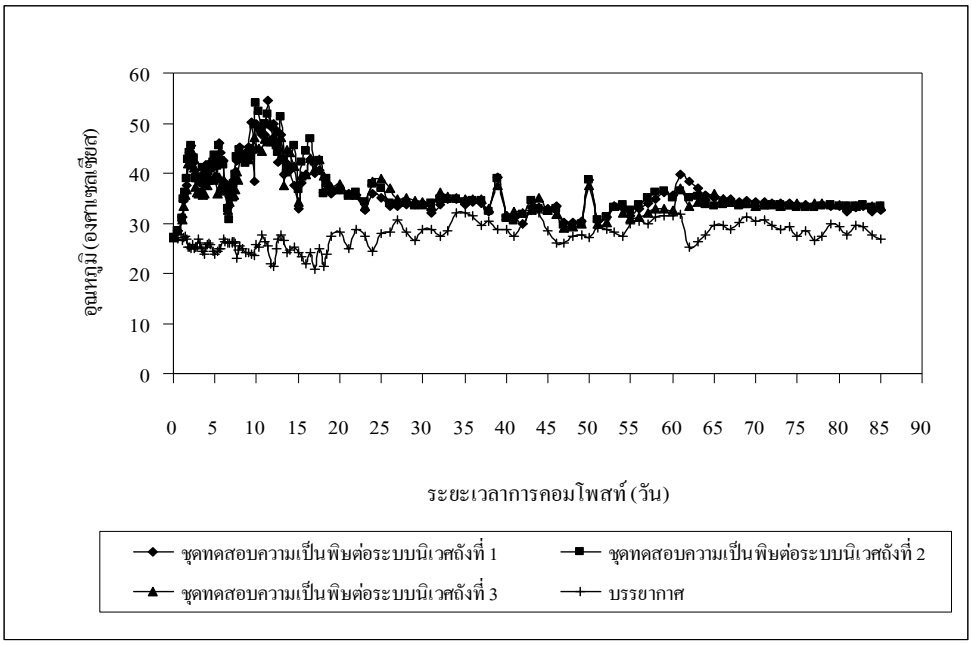
การเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของคอมโพสท์ของชุดควบคุมการทดลอง ชุดการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ และชุดการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ ตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ แสดงดังภาพที่ 24, 25 และ26 ตามลำดับ



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดการคอมโพสท์ของชุดควบคุมการทดลอง



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดการคอมโพสท์ของชุดทดสอบการแยกสลายและวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสท์



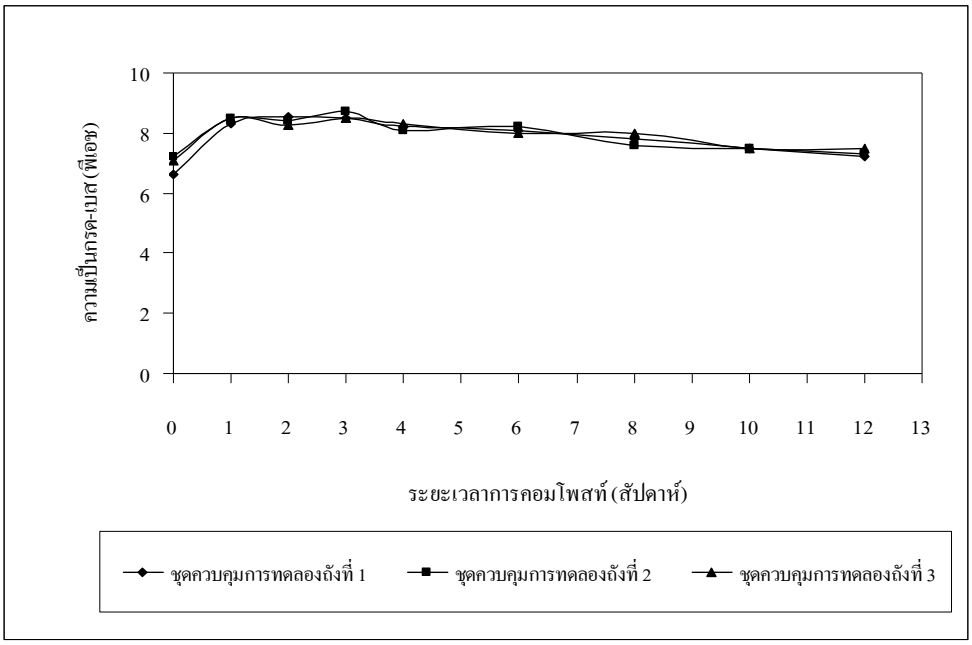
ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดการคอมโพสท์ของชุดทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ

อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยของชุดควบคุมการทดลอง ชุดการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ และชุดการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ เท่ากับ 27.3, 27.1 และ 27.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองคอมโพสท์ของชุดควบคุมการทดลอง และชุดการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-4 วันแรก เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาระหว่างการย่อยสลายอย่างต่อเนื่องของจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายอินทรียสารในคอมโพสท์ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 49.4 และ 50.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนชุดการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศอุณหภูมิจะสูงขึ้นในช่วง 2-4 วันแรกเช่นเดียวกัน แต่หลังจากนั้นก็เริ่มลดลงแล้วเพิ่มสูงขึ้นอีกในช่วงที่มีการกลับกองคอมโพสท์ เหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากในชุดการทดลองดังกล่าวนี้ผสมตัวอย่างภาชนะบรรจุจากแป้งที่บดเป็นผงละเอียด ผงแป้งจึงไปเคลือบคลุมบนผิวของขยะชีวภาพ ทำให้การสัมผัสกับกับออกซิเจนของขยะชีวภาพไม่ค่อยดี การทำงานของจุลินทรีย์จึงเป็นไปได้ยากกว่าอีก 2 ชุดการทดลองและการย่อยสลายส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณผิวหน้าของขยะชีวภาพ เมื่อมีการกลับกองคอมโพสท์ จะช่วยเติมอากาศให้กับกองคอมโพสท์ การทำงานของจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจึงกลับสูงขึ้นตามมา หลังจากนั้นเมื่อผงแป้งที่ผิวถูกย่อยสลายลงไปจนเกือบหมด การย่อยสลายของขยะชีวภาพจึงเริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้ง

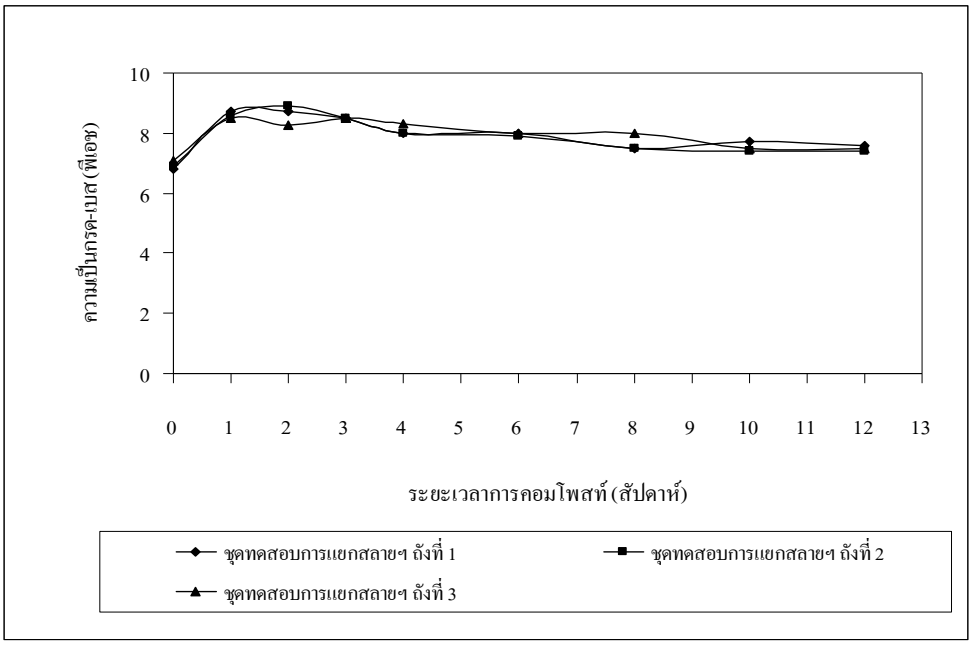
เมื่อผ่านพ้นช่วงที่อุณหภูมิสูง (Thermophilic) ไปแล้วอุณหภูมิของกองคอมโพสท์จะค่อยๆ ลดลงเข้าสู่ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic) อุณหภูมิในกองคอมโพสท์จะร้อนระอุอยู่เป็นเวลา 15-20 วัน (ธงชัย, 2550) หลังจากนั้น อุณหภูมิจะลดลงเข้าใกล้อุณหภูมิบรรยากาศ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสุดท้ายของชุดควบคุมการทดลอง ชุดการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ และชุดการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ เท่ากับ 32.8, 32.7 และ33.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของคอมโพสท์ในการทดลองนี้ มีความสอดคล้องกับการทดลองทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกรของชนกพร (2544) และองอาจ (2542)

5.3.2 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของคอมโพสท์

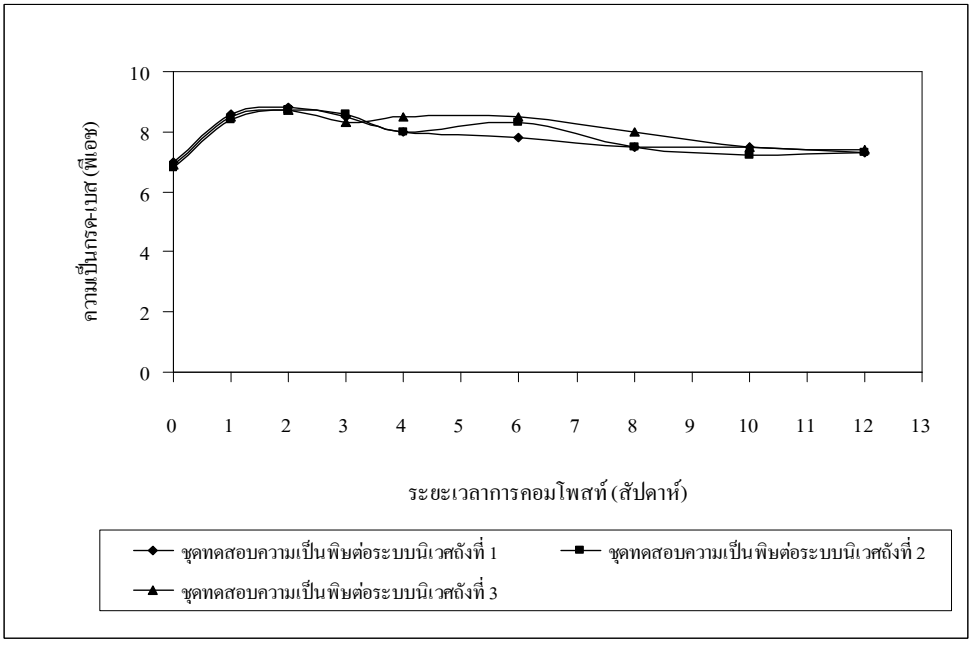
การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของคอมโพสท์ชุดควบคุมการทดลอง ชุดการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ และชุดการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศจากการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ ณ วันที่ 1, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 70 และ 84 แสดงดังภาพที่ 27, 28 และ29 ตามลำดับ



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของคอมโพสท์ชุดควบคุมการทดลอง



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของคอมโพสท์ชุดทดสอบการแยกสลายและวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสท์



ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของคอมโพสท์ชุดทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ

ความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นเฉลี่ยของชุดควบคุมการทดลอง ชุดการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ และชุดการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศเท่ากับ 7.03, 6.9 และ 6.9 ตามลำดับ จากนั้นความเป็นกรด-เบสจะเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8-9 ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ในช่วงสุดท้ายความเป็นกรด-เบสจะลดลงจนใกล้เป็นกลาง ค่าความเป็นกรด-เบสสุดท้ายของคอมโพสท์เฉลี่ยของชุดควบคุมการทดลอง ชุดการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ และชุดการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศเท่ากับ 7.33, 7.5 และ 7.33 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสในการคอมโพสท์ของทั้ง 3 ชุดการทดลอง สอดคล้องกับรายงานของ Gray *et al*. (1971) และ Rynk (1992) ที่พบว่าการย่อยสลายส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5.5-9.0 ในระยะเริ่มต้นของการคอมโพสท์ความเป็นกรด-เบสในกองคอมโพสท์จะลดลงโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7-8.5 (Stuetzenberger *et al*., 1970) ทั้งนี้เนื่องจากเกิดมีการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้จะมีกรดอินทรีย์บางชนิดเกิดขึ้น (Gua, 1980) แต่หลังจากนั้นความเป็นกรด-เบสจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างช้าๆ จนอยู่ในช่วง 7-8.5 (Stuetzenberger *et al*., 1970., Gua, 1980) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออินทรียสารถูกย่อยสลายจะมีลักษณะเป็นสารที่ต้านทานการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-เบสที่ดี และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดซับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไว้ได้มาก และมีสารประกอบบางชนิดที่มีฤทธิ์เป็นเบส เช่น แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เกิดขึ้นระหว่างการย่อยสลาย (มุกดา, 2545)

5.3.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของคอมโพสท์

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองคอมโพสท์ มีความสำคัญต่อการดำรงชีพและการเจริญของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรียสาร ซึ่งระดับความชื้นที่มีความเหมาะสมต่อการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 50-60 โดยน้ำหนัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) ในการศึกษานี้ร้อยละของความชื้นเริ่มต้นของคอมโพสท์ทั้ง 3 ชุดการทดลอง เท่ากับ 69.2 หลังจากนั้นความชื้นของคอมโพสท์จะเริ่มลดลง เนื่องจากน้ำในคอมโพสท์ระเหยไป อันเนื่องมาจากอุณหภูมิในกองคอมโพสท์สูงขึ้น แม้ว่าระบบถังคอมโพสท์เป็นระบบปิด ไอน้ำที่ระเหยขึ้นมาจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจับอยู่ที่บริเวณฝาถังคอมโพสท์ แล้วหยดกลับคืนสู่กองคอมโพสท์อีกครั้งก็ตาม ในการดูแลรักษายังจำเป็นต้องมีการพรมน้ำกองคอมโพสท์ เพื่อรักษาระดับความชื้นให้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50-60 ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการเพิ่มความชื้นแก่คอมโพสท์ตลอดระยะเวลา

12 สัปดาห์เท่ากับ 40 ลิตร เมื่อเสร็จสิ้นการคอมโพสท์ความชื้นของกองคอมโพสท์ในชุดควบคุมการทดลอง ชุดการทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์ และชุดการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศเหลือร้อยละ 56.39, 58.99 และ 57.10 ตามลำดับ

5.3.4 คุณลักษณะของน้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอย คือ ของเหลวที่ไหลชะล้างผ่านหรือออกมาจากขยะมูลฝอย ซึ่งอาจประกอบด้วย สารละลาย สารแขวนลอยผสมอยู่ (กรมควบคุมพิษ, 2550) โดยคุณลักษณะที่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ของน้ำชะมูลฝอยจากคอมโพสท์ ได้แก่ บีโอดี ซีโอดี ซัลเฟต ไนเตรท แอมโมเนียม และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Christensen and Nielsen, 1983a., Christensen, 1983b., Christensen, 1984a และ Christensen and Tjell, 1984b) ส่วนโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยจะไม่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ เนื่องเพราะผลการวิเคราะห์โลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆ ของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง พบว่ามีปริมาณน้อยมาก (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 34) และหากเทียบกับปริมาณโลหะหนักมากที่สุดที่ยอมให้มีได้ในคอมโพสท์ทั่วไป (British Standards Institution, 2002) และคอมโพสท์จากวัสดุขยะครัวเรือน (United Kingdom Register of Organic Food Standards, 2001) ซึ่งแสดงในภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำชะมูลฝอย จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยจากชุดทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสท์ โดยเก็บในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการคอมโพสท์ เนื่องจากมีปริมาณของน้ำชะมูลฝอยเกิดขึ้นมากที่สุด จากกิจกรรมการย่อยสลายอินทรียสารของจุลินทรีย์ หลังจากนั้นปริมาณของน้ำชะมูลฝอยจะลดลงจนเหลือเพียงเล็กน้อย โดยปริมาตรน้ำชะมูลฝอยเฉลี่ยรวมของทั้งสองสัปดาห์เท่ากับ 14.1 ลิตร ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำชะมูลฝอยและผลการคำนวณปริมาณมลสารรวมในน้ำชะมูลฝอยแสดงดังตารางที่ 38 จากผลวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำชะมูลฝอย พบว่ามีความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียสูงมาก แม้ว่ามาตรฐานดัชนีคุณภาพน้ำชะมูลฝอยจะยังไม่มีก็ตาม แต่หากเทียบกับคุณลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน ซึ่งมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 1,800 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีโอดีเฉลี่ย 6,450 มิลลิกรัมต่อลิตร (ธิดารัตน์, 2543) และจากหลุมฝังกลบเทศบาลเมืองร้อยเอ็ด ซึ่งมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 3,021 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชาญ และคณะ, 2549) จะพบว่าน้ำชะมูลฝอยจากการคอมโพสท์มีความเข้มข้นของมลสารสูงกว่ามาก อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่าปริมาตรเฉลี่ยรวมของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีไม่มากนัก คือ มีเพียง 14.1 ลิตร จึงยังก่อภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental loading) ที่ไม่สูงมากจนเกินไป เมื่อเทียบกับน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

ตารางที่ 38 คุณลักษณะของน้ำชะมูลฝอยของคอมโพสท์

คุณลักษณะ	ตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย: สัปดาห์ที่ 1 (มก./ลิตร)	ตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย: สัปดาห์ที่ 2 (มก./ลิตร)	มลสารรวม (กรัม)
บีโอดี	4,705	4,000	61.5
ซีโอดี	12,351	8,178	145.04
ซัลเฟต	508.5	444	6.73
ไนเตรท	0.3	0.2	0.0035
แอมโมเนียม	3630	2300	33
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	2370	2300	61.5

5.4. การทดสอบการแยกสลายและการวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสต์

5.4.1 การทดสอบการแยกสลาย

การทดสอบการแยกสลาย เป็นการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ในการแยกสลายออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ โดยนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำมาคำนวนระดับของการแยกสลาย (Degree of disintegration) โดยวัสดุที่ถือว่าสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จะต้องมีระดับของการแยกสลายไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ระดับการแยกสลายสามารถคำนวณได้จากสมการ (13)

$$D_i = \frac{\left(m_i - m_f\right)}{m_i} \times 100 \qquad (13)$$

เมื่อ D_i คือ ระดับของการแยกสลายของวัสดุทดสอบ (ร้อยละ)
m_i คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุทดสอบเริ่มต้น (กรัม)
m_f คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุทดสอบที่ผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร (กรัม)

ระดับของการแยกสลายของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ด้วยวิธีการคอมโพสท์ แสดงดังตารางที่ 39 พบว่าระดับของการแยกสลายเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดการทดสอบเท่ากับร้อย

ละ 99.55 นั่นคือ หลังจากนำไปกำจัดด้วยวิธีการคอมโพสท์ ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังสามารถแยกสลายได้เกือบทั้งหมด จึงเหลือชิ้นส่วนตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมน้อยมาก

ตารางที่ 39 ระดับของการแยกสลายของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

ชุดการทดลอง	น้ำหนักแห้งเริ่มต้น (กรัม) (m_i)	น้ำหนักแห้งสุดท้าย(กรัม) (m_f)	ระดับของการแยกสลาย (%) (D_i)
ทดสอบการแยกสลายที่ถัง 1	295.49	1.7510	99.41
ทดสอบการแยกสลายถังที่ 2	295.80	0.9234	99.69
ทดสอบการแยกสลายถังที่ 3	295.90	1.3528	99.54
		เฉลี่ย	99.55

5.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสท์

เมื่อนำคอมโพสท์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพ พบว่าคอมโพสท์มีคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของคอมโพสท์

คุณลักษณะ	ปริมาณ	คุณลักษณะ	ปริมาณ
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลิตร)	0.22	ไนโตรเจน (ร้อยละ)	1.79
ความเป็นกรด-เบส	7.5	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	29.46
ความชื้น (ร้อยละ)	58.99	ฟอสฟอรัส (P_2O_5) (ร้อยละ)	0.11
ของแข็งแห้งทั้งหมด (ร้อยละ)	46.89	โพแทสเซียม (K_2O) (ร้อยละ)	0.23
ของแข็งที่ระเหยได้ (ร้อยละ)	94.93	แมกนีเซียม (MgO) (ร้อยละ)	0.22
คาร์บอน (ร้อยละ)	52.73	แคลเซียม (CaO) (ร้อยละ)	1.16

คุณลักษณะของคอมโพสท์เมื่อเทียบกับมาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติของกรมวิชาการเกษตร (2544) พบว่ามีความกรด-เบสอยู่ในช่วง 5.5-8.5 ตามที่มาตรฐานกำหนด แต่มีปริมาณคาร์บอนมากกว่าร้อยละ 25-50 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเกินร้อยละ 20 ต่อ 1 และมีความชื้นและของแข็งที่ระเหยได้เกินร้อยละ 35 นั่นคือ คอมโพสท์ที่ได้ยังมีการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ สามารถเกิดการย่อยสลายต่อไปได้อีก (เมธี, 2541) และหากมีการนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน ควรจะต้องใส่ลงไปก่อนปลูกพืชหรือหว่านเมล็ดประมาณ 2-3 สัปดาห์ และจะต้องไม่ใช้ในดินที่มีการระบายน้ำไม่ดี เนื่องจากอาจทำให้เกิกการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ ทำให้เกิดกรดอินทรีย์หรือก๊าซบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช (มุกดา, 2545)

ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในคอมโพสท์ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และ โพแทสเซียม (K_2O) ตามมาตรฐานต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ แต่คอมโพสท์ที่ได้มีปริมาณไนโตรเจนเท่านั้นที่มากกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด นั่นคือ ในการนำคอมโพสท์ไปใช้งานปรับปรุงดินจะต้องใช้ในปริมาณที่มาก เพื่อให้ได้ธาตุอาหารเพียงพอกับความต้องการของพืช หรืออาจเพิ่มเติมธาตุอาหารจากแหล่งอื่นๆ ลงไปด้วย

5.5 การทดสอบความเป็นพิษของคอมโพสท์ต่อระบบนิเวศ

การทดสอบความเป็นพิษของคอมโพสท์ต่อระบบนิเวศ ทำโดยนำคอมโพสท์สุดท้ายที่ได้ไปผสมดินเพาะเมล็ดพืชในอัตราส่วนร้อยละดินต่อคอมโพสท์ เท่ากับ 50 ต่อ 50 และ 75 ต่อ 25 แล้วสังเกตการงอกของเมล็ดพืชเทียบกับชุดควบคุมการทดลอง โดยจากตามมาตรฐานการทดสอบหากพบว่าอัตราการงอกของเมล็ดพืชในดินที่ผสมคอมโพสท์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับชุดควบคุมการทดลอง ให้ถือว่าคอมโพสท์นั้นไม่มีพิษต่อระบบนิเวศ ในการเพาะพืชใช้พืช 2 ชนิด โดยเลือกชนิดของพืชจากรายการแนะนำชนิดของพืช ที่ควรใช้ในการทดสอบสารเคมีอันตรายของ Organization for Economic Co-operation and Development: OECD (2003) ซึ่งเมล็ดพืชที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ ผักกาดหอม (Lactuca sativa Lettuce) และกะหล่ำปลี (Brassica oleracea var. capitata) และจำนวนเมล็ดพืชเริ่มต้นในการเพาะเท่ากับ 208 เมล็ด จำนวนของเมล็ดงอกและชีวมวลของพืชแสดงดังตารางที่ 41

ตารางที่ 41 จำนวนของเมล็ดงอกและชีวมวลของพืชในการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ

ชุดการทดลอง	ชนิดของพืช	จำนวนเมล็ดงอก (ต้น)	ร้อยละของการงอก	ชีวมวลรวม (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น (กรัม)
ชุดควบคุม	ผักกาดหอม	98	100	0.3185	0.0033
	กะหล่ำปลี	73	100	0.5103	0.0070
ผสมดิน 50 : คอมโพสท์ 50	ผักกาดหอม	100	102.0	0.3690	0.0037
	กะหล่ำปลี	95	130.1	0.6650	0.0070
ผสมดิน75 : คอมโพสท์ 25	ผักกาดหอม	103	105.1	0.4161	0.0040
	กะหล่ำปลี	97	132.9	0.7440	0.0077

ผลการศึกษาพบว่าจำนวนการงอกของเมล็ดพืชในชุดการทดลองที่มีการผสมดินกับคอมโพสท์ จะมีมากกว่าชุดควบคุมการทดลอง ซึ่งใช้ดินเพียงอย่างเดียว นั่นคือ คอมโพสท์ที่ได้จากการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ และช่วยเพิ่มร้อยละของการงอกของพืชอีกด้วย เนื่องจากคอมโพสท์ที่ผสมเข้าไปนั้น จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และปรับปรุงสภาพหรือลักษณะของดินให้มีสภาพร่วนซุยมากขึ้น ไม่อัดตัวกันแน่นทึบ เพิ่มการระบายน้ำ ระบายอากาศให้ดีขึ้น จึงทำให้การงอกของเมล็ดในดินสะดวกขึ้น และช่วยให้รากพืชเจริญเติบโตได้รวดเร็ว แข็งแรง แตกแขนงได้มาก มีระบบรากที่สมบูรณ์ จึงดูดซับแร่ธาตุอาหารหรือน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ชวลิต, 2551) ซึ่งสามารถสังเกตุได้จากน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นของพืชที่มากกว่า ผลการศึกษาที่ได้นี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Klauss and Bidlingmaier (2004) ซึ่งพบว่าการใช้คอมโพสท์ผสมกับดินในการปลูกพืช สามารถช่วยเพิ่มอัตราผลผลิตของผักกาดหอมได้ร้อยละ 48.9 เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ได้ผสมคอมโพสท์หรือปุ๋ยอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม การที่เมล็ดพืชที่เพาะในดินที่ผสมกับคอมโพสท์ที่สัดส่วนเท่ากับ 75 ต่อ 25 มีจำนวนต้นงอกมากกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 50 ต่อ 50 อยู่เล็กน้อย นั่นแสดงให้เห็นว่าการใส่คอมโพสท์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มธาตุอาหารแก่พืช ควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสม การเพิ่มธาตุอาหารแก่พืชมากเกินไปอาจเป็นอันตรายแก่พืชได้ (นิพนธ์, 2551)

5.6 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในระหว่างการคอมโพสท์

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทางทฤษฎี (Theoretical amount of CO_2: Th_{CO2}) ของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบสามารถคำนวนได้จากองค์ประกอบทางเคมี (Pagga *et al*., 1995; Deutsches Institut fNur Normung, 1998) ดังสมการ (14)

$$Th_{CO2} = M_t \times C_t \times (44/12) \quad (14)$$

เมื่อ M_t คือ ปริมาณของแข็งแห้งทั้งหมด

C_t คือ ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละ)

44 คือ มวลโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์

และ 12 คือ น้ำหนักอะตอมของคาร์บอน

การคอมโพสท์เป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้อากาศ (Aerobic biodegradation) ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ (Davis and Song, 2006) โดยปริมาณคาร์บอนในคอมโพสท์จะเปลี่ยนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างคอมโพสท์หนึ่งถังของชุดการทดสอบการแยกสลายและวิเคราะห์คุณภาพของคอมโพสท์ สามารถคำนวนจากผลต่างปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นในคอมโพสท์กับคาร์บอนสุดท้ายที่เหลืออยู่หลังเสร็จสิ้นการคอมโพสท์ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการคอมโพสท์แสดงดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการคอมโพสท์

ชุดการทดลอง	C เริ่มต้น (กิโลโมล)	C สุดท้าย (กิโลโมล)	ผลต่าง C (กิโลโมล)	CO_2 (กิโลโมล)	CO_2 (กิโลกรัม)
ทดสอบการแยกสลายฯถังที่1	0.6468	0.4104	0.2364	0.2364	10.4
ทดสอบการแยกสลายฯถังที่2	0.6468	0.4066	0.2402	0.2402	10.57
ทดสอบการแยกสลายฯถังที่3	0.6468	0.4178	0.229	0.229	10.08
				เฉลี่ย	10.35

5.7 บัญชีข้อมูลรายการสิ่งแวดล้อมของการคอมโพสท์ขยะภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการคอมโพสท์ขยะภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง สามารถจัดทำบัญชีรายการของการกำจัดขยะภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังจำนวน 10,000 ใบ ด้วยวิธีคอมโพสท์ ได้ ดังแสดงในตารางที่ 43

ตารางที่ 44 บัญชีรายการของการกำจัดขยะภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีคอมโพสท์ (หน่วย: หน่วยต่อภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลัง 10,000 ใบ)

สารขาเข้า			สารขาออก		
ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ชนิด	ปริมาณ	หน่วย
<u>วัตถุดิบ/วัสดุ</u>			<u>ผลิตภัณฑ์</u>		
ขี้เลื่อย	31.9	ตัน	คอมโพสท์	16.6	ตัน
เศษผักกะหล่ำปลี	22.8	ตัน	<u>มลพิษทางอากาศ</u>		
กากตะกอน	10	ตัน	คาร์บอนไดออกไซด์	19.1	ตัน
ปุ๋ยยูเรีย	0.8	ตัน	<u>มลพิษทางน้ำ</u>		
น้ำ	91.1	ลูกบาศก์	บีโอดี	112.1	กรัม
		-เมตร	ซีโอดี	264.4	กรัม
			ซัลเฟต	12.3	กรัม
			ไนเตรท	6.4	กรัม
			ของแข็งแขวนลอย	60.2	กรัม
			แอมโมเนียม	112.1	กรัม

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในหัวข้อที่ผ่านมา เป็นการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการต่างๆ ตามเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้ แล้วนำมาคำนวนหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าระบบผลิตภัณฑ์มีการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากร และปล่อยมลสารและของเสียสู่สิ่งแวดล้อมมากเท่าใด ในขั้นถัดไป คือ การจำแนกข้อมูลเหล่านั้นตามรายการผลกระทบ แล้วจึงแปลงค่าข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือการกำหนดบทบาท โดยเทียบกับศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสารอ้างอิง หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนการหาขนาดผลกระทบ โดยเทียบกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระดับต่างๆ เช่น ระดับประเทศ ระดับทวีป หรือระดับโลก และขั้นตอนการให้น้ำหนัก สุดท้ายจะได้คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงเดี่ยว (Single score) ซึ่งคะแนนเชิงดี่ยวสามารถเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างผลิตภัณฑ์ได้ เรียกขั้นตอนการดำเนินการทั้งหมดนี้ว่า การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

ในการศึกษานี้ ใช้วิธี CML 2 Baseline 200 เวอร์ชั่น 2.03 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยแยกพิจารณาเป็น 2 ช่วง คือ 1) การผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค และ 2) การจัดการหลังสิ้นสุดการใช้งาน การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุ (กล่องอาหารกลางวัน) จำนวน 10,000 ใบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค

ในส่วนนี้จะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การเพาะปลูกหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งไปยังโรงงานผลิตวัตถุดิบ การผลิตวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานผลิตภาชนะบรรจุ การผลิตภาชนะบรรจุ และการขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค

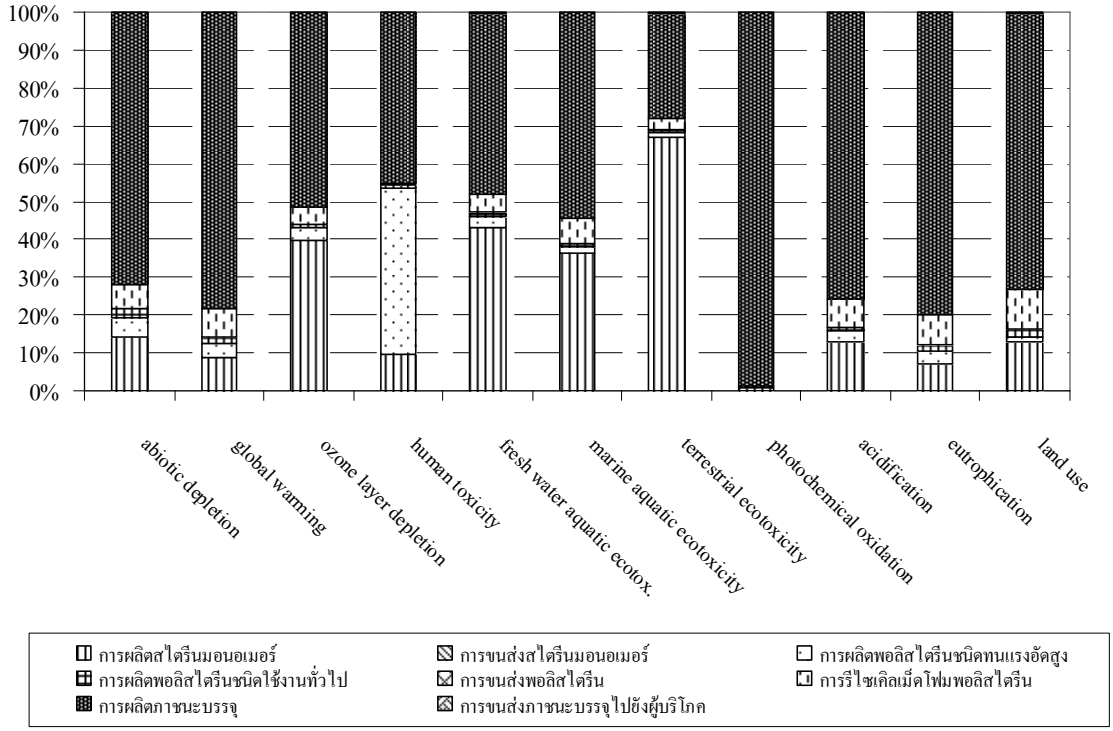
1.1 ภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการผลกระทบในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน และการจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน แสดงดังตารางที่ 44

และภาพที่ 30 พบว่าการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค มีรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ และการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการเกิดจากขั้นตอนการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนมากที่สุด ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับร้อยละ 62.39 และขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบรองลงมา คือ ขั้นตอนการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับร้อยละ 24.51

ตารางที่ 44 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการผลกระทบในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	ปริมาณ
Abiotic depletion	kg Sb eq.	2.9
Global warming	kg CO_2 eq.	319
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	2.28E-04
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	428
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	9.78
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	5.28E+04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	0.498
Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq.	2.25
Acidification	kg SO_2 eq.	1.83
Eutrophication	kg PO_4^{2-} eq.	0.16
Land use	$m^2 \times yr$	1.99



ภาพที่ 30 การจำแนกข้อมูลตามรายการผลกระทบในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน

ปัจจัยที่ก่อให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนและการขนส่งไปยังผู้บริโภคในแต่ละรายการผลกระทบ ซึ่งแสดงในรูปแบบของร้อยละ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ สาเหตุหลักที่ก่อให้เกิด คือ การนำน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินมาใช้งาน โดยแบ่งเป็นใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 31.5) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการผลิตภาชนะบรรจุ ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้ามาก และการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ (ร้อยละ 27.7) นอกจากนี้ในการผลิตก๊าซไนโตรเจน (ร้อยละ 16.5) ก็มีการใช้พลังงานมากด้วยเช่นกัน

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไดไนโตรเจนมอนนอกไซด์ (N_2O) คาร์บอนมอนอกไซด์ โบรโมไตรฟลูออโรมีเทน (Bromotrifluoromethane: halon 1301) และซีเอฟซี (CFCs) จากการผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 52.5) รวมทั้งการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตและการปล่อยมลสารสู่อากาศในการรีไซเคิลเม็ดโฟมพอลิสไตรีน (ร้อยละ 17.4) การผลิตพอลิสไตรีน (ร้อยละ 16) และผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ (ร้อยละ10.2)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ เนื่องจากสาเหตุหลัก คือ เกิดขึ้นการปล่อยโบรโมไตรฟลูออโรมีเทน โบรโมไดฟลูออโรมีเทน (Chlorodifluoromethane: halon 1211) ซีเอฟซี คลอโรไดฟลูออโรมีเทน (HCFC-22) และมอนอคลอโรมีเทน (R-40) จากการผลิตน้ำมันดีเซล เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 49.5) และจากการการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ (ร้อยละ 44.3)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ มีสาเหตุมาจากการปล่อยบิวทาไดอีน (Butadiene) เบนซีน สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbon: PAH) แบไรท์ นิเกิล แบเรียม วาเนเดียม ซีลีเนียม สารหนูจากการผลิตพอลิสไตรีนชนิดทนแรงอัดสูง (ร้อยละ 81) การผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ (ร้อยละ 17)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด เกิดจากการปล่อยแบไรท์ แบเรียม พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน วาเนเดียม นิเกิล ซีลีเนียม ทองแดง โคบอลท์จากการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ (ร้อยละ47.1) การผลิตน้ำมันดีเซล (ร้อยละ 20.2) และก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ18.9) เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และการผลิตก๊าซไนโตรเจน (ร้อยละ9.19) เพื่อนำมาใช้เพิ่มความดันแก่สารขยายตัวในการผลิตแผ่นโฟม

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เกิดจากการผลิตน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีการขุดเจาะจากทะเล นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ (ร้อยละ 40.4) น้ำมันดีเซล (ร้อยละ 10.7) และก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ 13.3) รวมทั้งการปล่อยมลสารจากการผลิตก๊าซไนโตรเจน (ร้อยละ 16.5) อีกด้วย

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก เกิดจากการปล่อยมลสาร เช่น วาเนเดียม ปรอท นิเกิล โลหะ สารหนู โครเมียม สังกะสี โคบอลท์จากกระบวนการผลิตสไตรีน มอนอเมอร์ (ร้อยละ 69.8) รวมทั้งจากการผลิตพอลิสไตรีน (ร้อยละ25.7) และรีไซเคิลเม็ดโฟมพอลิสไตรีน (ร้อยละ 5) อีกด้วย

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี มีสาเหตุจากการปล่อยก๊าซบิวเทน สไตรีน ซัลเฟอร์ออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เบนซีน มีเทน คาร์บอนมอนนอกไซด์ อีเทน จากการผลิตภาชนะบรรจุเกือบทั้งหมด (ร้อยละ99.4)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด เกิดจากการปล่อยสารประเภทซัลเฟอร์ออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไฮโดรเจนคลอไรด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์จากการผลิตกระแสไฟฟ้า(ร้อยละ31.3) การผลิตน้ำมันดีเซล (ร้อยละ 9.25) และการใช้ไฟฟ้าในการผลิตภาชนะบรรจุ (ร้อยละ29.1) และรีไซเคิลเม็ดโฟมพอลิสไตรีน (ร้อยละ 8.6)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล เกิดจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์สู่อากาศ รวมทั้งมลสารประเภทไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ฟอสเฟต ซีโอดี ในน้ำเสียจากการผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 48.1) และการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ (ร้อยละ 8.1)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พื้นที่ดินมาจากการครอบครองพื้นที่ ในการตั้งโรงงานและทำเหมืองแร่ในการผลิตก๊าซไนโตรเจน (ร้อยละ56) ตลอดจนการใช้พื้นที่ในการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ (ร้อยละ 13.1)

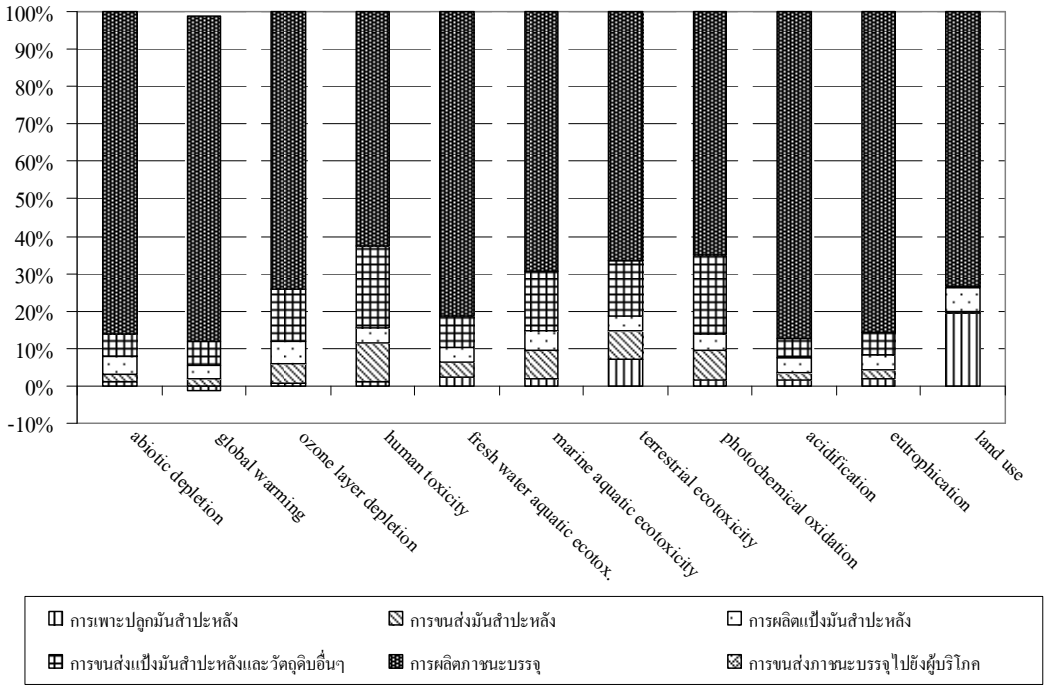
จากการกำหนดบทบาทในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน และการขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค พบว่ามลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ และการใช้กระแสไฟฟ้าในกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุ เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

1.2 ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการผลกระทบในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง และการจำแนกรายการผลกระทบในแต่ละขั้นตอนในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังดังตารางที่ 45 และภาพที่ 31 พบว่า การผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค มีรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน การใช้พื้นที่ดิน และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการเกิดจากขั้นตอนการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังมากที่สุด ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับร้อยละ 78.68

ตารางที่ 45 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการผลกระทบในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	ปริมาณ
Abiotic depletion	kg Sb eq.	22.9
Global warming	kg CO_2 eq.	3.24E+03
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	0.0014
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	398
Fresh water aquatic ecotoxity	kg 1,4-DB eq.	101
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	2.38E+05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	2.64
Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq.	0.67
Acidification	kg SO_2 eq.	16.9
Eutrophication	kg PO_4^{2-} eq.	1.97
Land use	$m^2 \times yr$	490



ภาพที่ 31 การจำแนกรายการผลกระทบในแต่ละขั้นตอนในช่วงการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

ปัจจัยที่ก่อให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและการขนส่งไปยังผู้บริโภคในแต่ละรายการผลกระทบ ซึ่งแสดงในรูปแบบของร้อยละ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงลงของทรัพยากรธรรมชาติ ประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ สาเหตุหลักที่ก่อให้เกิด คือ การนำน้ำมันดิบ (ร้อยละ 37.2) ก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ34.1) และถ่านหิน (ร้อยละ 11.4) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณมาก

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไดไนโตรเจนมอนนอกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ จากการผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 52.6) และการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต (ร้อยละ 28.87) แม้ว่าจะมี

การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช เช่น มันสำปะหลัง ไปใช้ในการสังเคราะห์แสงต่สามารถช่วยลดการเกิดภาวะโลกร้อนลงได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ร้อยละ 0.407)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ เนื่องจากสาเหตุหลัก คือ เกิดขึ้นการปล่อยโบรโมไตรฟลูออโรมีเทน จากกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซล (ร้อยละ 82) เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมาจากการปล่อยโบรโมไดฟลูออโรมีเทน และซีเอฟซี ในการผลิตน้ำมันเครื่องยนต์ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขนส่ง และการผลิตน้ำมันเตา เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วย

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ มีสาเหตุมาจากการปล่อยสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน แบไรท์ แบเรียม นิเกิล เบนซีน โครเมียม (Chromium VI) จากการผลิตน้ำมันดีเซล (ร้อยละ 38.2) เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และการผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 19.2) ตลอดจนมลสารที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในการขนส่ง (ร้อยละ 16.2) การผลิตกรดไขมัน (Fatty acid) จากพืช (ร้อยละ 8.82) เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุเติมแต่งอาหาร สำหรับเป็นส่วนผสมในการผลิตภาชนะบรรจุ และการผลิตแป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ7.28)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด เกิดจากการปล่อยสารเมโทลาคลอ (Metolachlor) แบไรท์ แบเรียม นิเกิล โครเมียม เบนซีน พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน จากการผลิตกรดไขมันจากพืช (ร้อยละ 29.1) การผลิตน้ำมันดีเซล (ร้อยละ 20) และก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ18.7) เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก (ร้อยละ 14) เพื่อนำมาใช้เป็นกล่องบรรจุกล่องอาหารกลางวันสำหรับส่งจำหน่าย

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล เกิดจากการผลิตน้ำมันดิบ (ร้อยละ 24.3) และก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ 30) ซึ่งมีการขุดเจาะจากทะเล ตลอดจนกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซล การผลิตกระแสไฟฟ้า และการขนส่ง ซึ่งมีการปล่อยสารอันตราย เช่น ไอออนของโลหะ แบไรท์ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ แบเรียม วาเนเดียม นิเกิล แบริลเลียม แคดเมียม โคบอลท์ออกมา

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก เกิดจากการปล่อยมลสาร เช่น ปรอท วาเนเดียม โครเมียม โลหะ นิเกิล ไดโนเซบ (Dinoseb) จากกระบวนการผลิตโรซิน (Rosin) (ร้อยละ 22.2) เพื่อนำมาใช้ทำสารเคลือบภาชนะบรรจุ การผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 20.9) การผลิตกรดไขมัน (ร้อยละ 17.5) การผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก (ร้อยละ 14.1) และการขนส่ง (ร้อยละ 12.71)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี มีสาเหตุจากการปล่อยมลสารประเภท ซัลเฟอร์ออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ มีเทน อีเทน โทลูอีน จากการใช้ไฟฟ้าในการผลิตภาชนะบรรจุ (ร้อยละ 37.55) การผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 27.8) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในการขนส่ง (ร้อยละ 19.37) และการผลิตแป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ 7.09)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด เกิดจากการปล่อยสารประเภทซัลเฟอร์ออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ จากจากการใช้ไฟฟ้าในการผลิตภาชนะบรรจุ (ร้อยละ49.39) และแป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ4.9) และการผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ34.5)

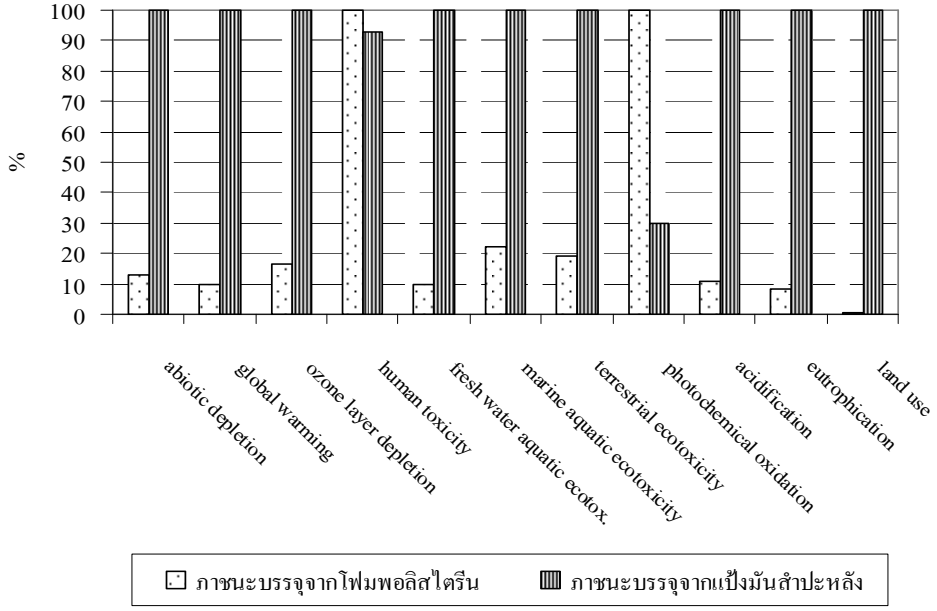
ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล เกิดจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ รวมทั้งมลสารประเภทไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมด ซีโอดีในน้ำเสียจากการผลิตกระแสไฟฟ้า (ร้อยละ 40.1) การผลิตภาชนะบรรจุ (ร้อยละ 25.94) การผลิตกรดไขมัน (ร้อยละ 16.7) และการผลิตแป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ 5.4)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พื้นที่ดินมาจากการครอบครองพื้นที่ปลูกให้น้ำมัน (ร้อยละ 69.9) ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกรดไขมัน การปลูกพืช เพื่อผลิตโรซิน (ร้อยละ 8.96) และการเพาะปลูกมันสำปะหลัง (ร้อยละ 8.54)

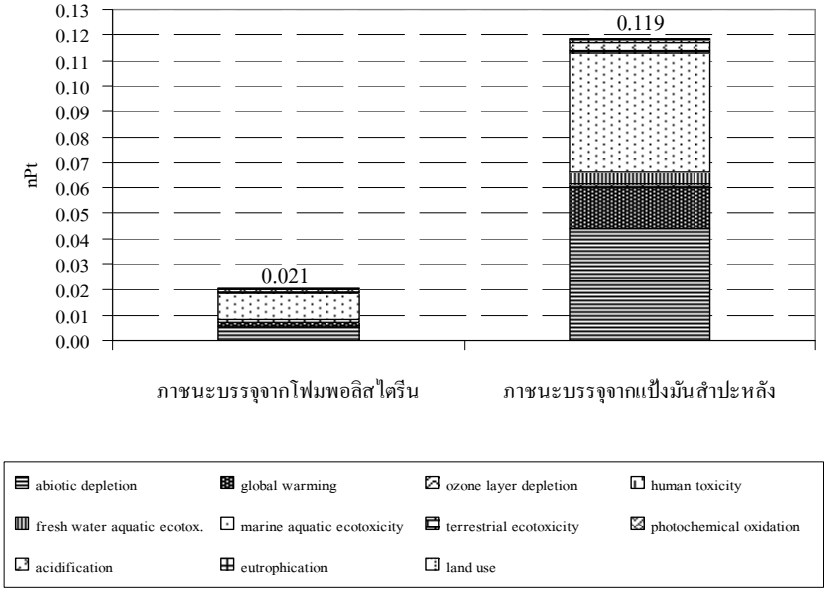
จากการกำหนดบทบาทในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง และการขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค พบว่าการใช้กระแสไฟฟ้าในกระบวนการผลิต เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

1.3 การเปรียบเทียบผลกระทบในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด

ข้อมูลปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการผลกระทบ ในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด สามารถสร้างแผนภาพการเปรียบเทียบผลกระทบ และการเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในส่วนการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด ดังแสดงภาพที่ 32 และ 33 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบพบว่าภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุและการขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภคมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน เกือบทุกรายการผลกระทบ ยกเว้นด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์และด้านการเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี ที่ในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนและการขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค จะก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่า เมื่อเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปแบบคะแนนเชิงเดี่ยว พบว่าในช่วงการผลิตและการขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน เท่ากับ 5.78 เท่า โดยรายการผลกระทบที่มีมากที่สุดในช่วงการผลิตและการขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การลดลงลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ และการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ตามลำดับ



ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมในส่วนการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด



ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในส่วนการผลิตและขนส่งไปยังผู้บริโภคของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด

2. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการกำจัดภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งาน

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งาน เป็นการพิจารณา เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ในการกำจัดภาชนะบรรจุด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างภาชนะบรรจุชนิดเดียวกัน จึงจะยังไม่นำการขนส่งขยะไปยังสถานที่กำจัดมาพิจารณาร่วมด้วย เนื่องจากการขนส่งภาชนะบรรจุแต่ละชนิดไปยังสถานที่กำจัดใช้พาหนะประเภทเดียวกัน รวมทั้งมีระยะทางและน้ำหนักบรรทุกที่เท่ากัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างภาชนะบรรจุสองชนิดจึงจะนำการขนส่งมาพิจารณาร่วมด้วย

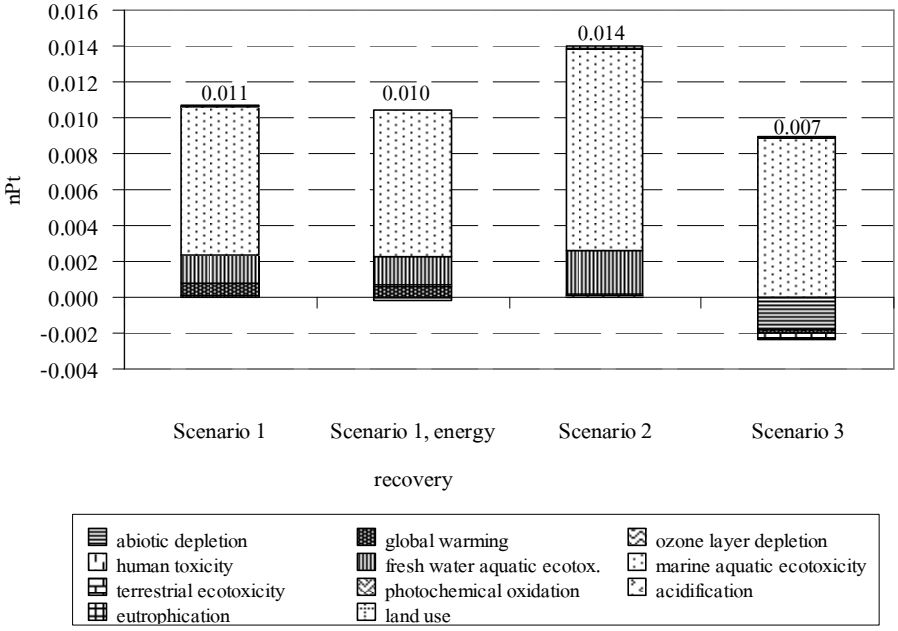
2.1 ภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน

การกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนได้สร้างแบบจำลองในการกำจัด 3 วิธี ได้แก่ การเผาในเตาเผา (Scenario 1) การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Scenario 2) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Scenario 3) โดยการเผาในเตาเผา และการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลใช้ข้อมูลบัญชีรายการจาก Ecoinvent (2003) ส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่ใช้ข้อมูลบัญชีรายการจาก Buwal 250 (1996)ในการกำจัดด้วยวิธีการเผาแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ การเผาในเตาเผาแบบธรรมดา และการเผาในเตาเผาแบบมีการนำพลังงานกลับคืน (Energy recovery) ซึ่งการเผาภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน จำนวน 10,000 ใบ (น้ำหนัก 42 กิโลกรัม) จะให้พลังงานกลับคืนนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ 0.21 จิกกะจูล หรือเท่ากับ 9.15 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ส่วนการกำจัดด้วยวิธีวิธีฝังกลบ เนื่องจากโฟมพอลิสไตรีนใช้ระยะเวลานานมากในการย่อยสลาย (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2548) ดังนั้นจึงเกิดก๊าซชีวภาพ เช่น มีเทน ในปริมาณน้อยมาก จึงไม่นำมาพิจารณาถึงการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการจัดการภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 46 และการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการจัดการภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังภาพที่ 34

ตารางที่ 46 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีต่างๆ

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	Scenario 1	Scenario 1, energy recovery	Scenario 2	Scenario 3
Abiotic depletion	kg Sb eq.	4.04E-03	-9.13E-02	5.80E-03	-9.89E-01
Global warming	kg CO_2 eq.	1.33E+02	1.25E+02	4.70E+00	-3.50E+01
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	6.84E-08	-5.93E-06	1.33E-07	-3.94E-05
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	2.82E+01	2.71E+01	2.27E+01	-1.21E+02
Fresh water aquatic ecotoxity	kg 1,4-DB eq.	3.24E+01	3.22E+01	5.11E+01	4.16E-01
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	4.21E+04	4.14E+04	5.71E+04	4.52E+04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	6.69E-03	3.99E-03	3.39E-02	1.89E-01
Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq.	3.88E-04	-5.32E-04	9.61E-04	-4.88E-03
Acidification	kg SO_2 eq.	1.04E-02	-1.82E-02	3.22E-03	-2.01E-01
Eutrophication	kg PO_4^{2-} eq.	2.27E-02	1.89E-02	2.35E-01	-3.63E-02
Land use	$m^2 \times yr$	1.77E-02	3.41E-03	1.25E-01	0.00E+00



ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีต่างๆ

การกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีการเผาในเตาเผาแบบธรรมดา มีรายการผลกระทบที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล ซึ่งเกิดจากการปล่อยมลสารประเภท วาเนเดียม เบริลเลียม แบเรียม โคบอลท์ ซีลีเนียม นิเกิล ที่ปล่อยสู่อากาศในขณะเกิดการเผาไหม้และจากการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในหลุมฝังกลบ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไดไนโตรเจนมอนอไซด์ มีเทน คาร์บอนมอนนอกไซด์ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ที่เกิดขึ้นขณะเกิดการเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอน และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด ซึ่งเกิดจากการปล่อยมลสารประเภท วาเนเดียม ทองแดง โคบอลท์ นิเกิล แบเรียม เบริลเลียม ในขณะเกิดการเผาไหม้และจากการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในหลุมฝังกลบ

การกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีการเผาในเตาเผา แบบมีการนำพลังงานกลับคืน มีรายการผลกระทบที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด เช่นเดียวกับการเผาแบบธรรมดา แต่การกำจัดด้วยวิธีนี้จะได้กระแสไฟฟ้าเป็นผลพลอยได้ ดังนั้นจึงช่วยลดผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากร การเกิดภาวะความเป็นกรด การเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี และการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศลง ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณของผลกระทบเป็นค่าติดลบ

การกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล มีรายการผลกระทบที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด และความเป็นพิษต่อมนุษย์ ซึ่งผลกระทบทั้งสามรายการเกิดจากการปล่อยมลสารประเภทวาเนเดียม เบริลเลียม ทองแดง แบเรียม โคบอลท์ ซีลีเนียม นิเกิล พลวง ไปกับน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน และโลหะและธาตุอันตรายเหล่านั้นสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้

การกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่ มีรายการผลกระทบที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก ซึ่งผลกระทบทั้งสามรายการเกิดจากการปล่อยไฮโดรเจนฟลูออไรด์ นิเกิล แบเรียม ทองแดง สารหนู สังกะสี จากการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานของเครื่องจักรในการตัด ย่อย และคัดแยกขยะภาชนะ

บรรจุ ตลอดจนการทำให้บริสุทธิ์ การฉีด และทำให้เป็นเม็ดในกระบวนการรีไซเคิล แต่อย่างไรก็ตามการนำกลับมาใช้ใหม่ช่วยลดผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ ภาวะโลกร้อน การลดลงของทรัพยากร ภาวะความเป็นกรด ภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล การเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี และการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศลง เนื่องจากไม่ต้องมีการผลิตพอลิสไตรีนใหม่ขึ้นมาใช้งาน

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการจัดการภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนด้วยวิธีต่างๆ พบว่าวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด แม้ว่าการฝังกลบและการเผาขยะพลาสติกจะเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการดำเนินการที่ราคาถูกกว่าก็ตาม (Shin, 2006) ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการรีไซเคิลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานทรัพยากรธรรมชาติ และการปล่อยมลสารสู่สิ่งแวดล้อมในการกำจัดขยะพลาสติก (Zagouras and Koutinas, 1995)

2.2 ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

การกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังได้สร้างแบบจำลองในการกำจัด 3 วิธี ได้แก่ การเผาในเตาเผา (Scenario 1) การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Scenario 2) และการคอมโพสท์ (Scenario 3) โดยการเผาในเตาเผา การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล ใช้ข้อมูลบัญชีรายการจากฐานข้อมูลในการกำจัดกระดาษด้วย 2 วิธีดังกล่าวจากโปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 (Ecoinvent, 2003) ซึ่งวิธีการเผาแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ การเผาในเตาเผาแบบธรรมดา และการเผาในเตาเผาแบบมีการนำพลังงานกลับคืน ซึ่งการเผาภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง จำนวน 10,000 ใบ (น้ำหนัก 565 กิโลกรัม) จะให้พลังงานกลับคืนนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ 1.22 จิกกะจูล หรือเท่ากับ 339.03 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การกำจัดด้วยวิธีฝังกลบ เนื่องจากการย่อยสลายของพอลิเมอร์ชีวภาพในหลุมฝังกลบที่ถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งมีความชื้นและอุณหภูมิต่ำ เกิดขึ้นได้ช้ามาก (Lunt, 1998) ดังนั้นจึงเกิดก๊าซชีวภาพ เช่น มีเทน ในปริมาณน้อยมาก ซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ จึงไม่นำมาพิจารณาถึงพลังงานกลับคืนที่ได้จากก๊าซชีวภาพจากวิธีการกำจัดด้วยการฝังกลบ ส่วนการจัดการด้วยวิธีการคอมโพสท์ จะได้วัสดุปรับปรุงดิน (Soil conditioner) เป็นผลิตภัณฑ์ โดยวัสดุปรับปรุงดินดังกล่าว เมื่อนำไปใช้งานจะเป็นการหมุนเวียนคาร์บอน (Carbon sequestration) กลับคืนสู่ดิน หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการลดปริมาณการ

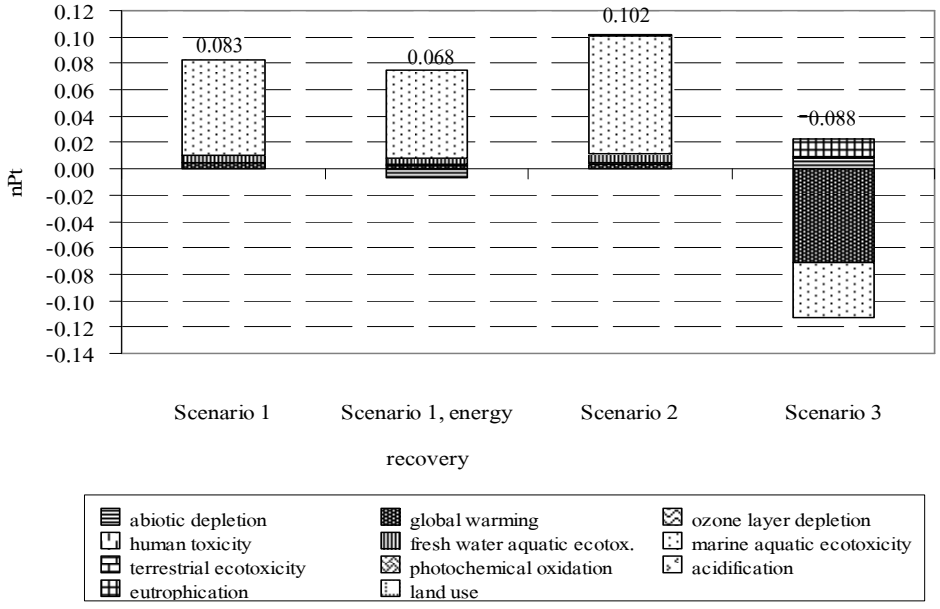
ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Follett, 2001; Lal, 2004; Mondini *et al*., 2007; Favaino and Hogg, 2008 ; Sanchez-Monedero *et al*., 2008) นอกจากนี้คอมโพสท์ยังเป็นแหล่งธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์: P_2O_5) โพแทสซียม (โพแทสเซียมออกไซด์: K_2O) และธาตุอาหารรอง ได้แก่ แมกนีเซียม (แมกนีเซียมออกไซด์: MgO) แคลเซียม (แคลเซียมออกไซด์: CaO) (ยงยุทธ, 2542) ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้ อันจะช่วยลดการใช้พลังงานและทรัพยากร ตลอดจนมลสารและของเสียต่างๆ ที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตอีกด้วยปุ๋ยเคมี (Favaino *et al*., 2008) ประโยชน์จากคอมโพสท์ที่ได้ดังกล่าวนี้จะนำไปหักลบจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการคอมโพสท์

แม่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักที่นิยมจำหน่ายในประเทศไทย ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (ไนโตรเจนร้อยละ 46) ปุ๋ยทริปเปิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟส (P_2O_5 ร้อยละ 46) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (K_2O ร้อยละ 60) (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2546) การใช้คอมโพสท์ที่ได้จากการกำจัดภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลังจำนวน 10,000 ใบ เป็นวัสดุปรับปรุงดินทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีเหล่านี้ สามารถลดการผลิตปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยทริปเปิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟส และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ เท่ากับ 638, 40.1 และ 63.8 กิโลกรัม ตามลำดับ และลดปริมาณการผลิตธาตุอาหารรองแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ เท่ากับ 36.5 และ 29.2 กิโลกรัม ตามลำดับ

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการจัดการภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 47 และการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการจัดการภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังภาพที่ 35

ตารางที่ 47 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีต่างๆ

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	Scenario 1	Scenario 1, energy recovery	Scenario 2	Scenario 3
Abiotic depletion	kg Sb eq.	6.99E-02	-3.46E+00	8.68E-02	3.97E+00
Global warming	kg CO_2 eq.	8.39E+02	5.29E+02	7.14E+02	-1.40E+04
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	1.12E-06	-2.21E-04	1.90E-06	5.47E-05
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	2.85E+02	2.43E+02	3.07E+02	1.64E+02
Fresh water aquatic ecotoxity	kg 1,4-DB eq.	1.16E+02	1.09E+02	1.41E+02	6.81E-01
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	3.68E+05	3.43E+05	4.60E+05	-2.16E+05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	7.23E-02	-2.77E-02	1.82E-01	3.42E+00
Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq.	5.66E-03	-2.84E-02	1.46E-01	-4.46E-03
Acidification	kg SO_2 eq.	1.67E-01	-8.91E-01	9.40E-02	3.51E-01
Eutrophication	kg PO_4^{2-} eq.	1.82E-01	3.92E-02	1.66E+00	2.96E+01
Land use	$m^2 \times yr$	3.97E-01	-1.32E-01	1.75E+00	1.32E+01



ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีต่างๆ

การกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการเผาในเตาเผา มีรายการผลกระทบที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล ซึ่งเกิดจากการปล่อยมลสารประเภทแทลเลียม เบริลเลียม แบเรียม ซีลีเนียม นิเกิล ทองแดงที่ปล่อยสู่อากาศในขณะเกิดการเผาไหม้และจากการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในหลุมฝังกลบ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไดไนโตรเจนมอนอไซด์ มีเทน คาร์บอนมอนนอกไซด์ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ที่เกิดขึ้นขณะเกิดการเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอน และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ซึ่งเกิดจากการปล่อยมลสารประเภทแทลเลียม แบเรียม ซีลีเนียม เบริลเลียม ไดออกซิน เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene) ในขณะเกิดการเผาไหม้และจากการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในหลุมฝังกลบ

การกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการเผาในเตาเผา แบบมีการนำพลังงานกลับคืน มีรายการผลกระทบที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ เช่นเดียวกับการเผาแบบธรรมดา แต่การกำจัดด้วยวิธีนี้จะได้กระแสไฟฟ้าเป็นผลพลอยได้ ดังนั้นจึงช่วยลดผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากร การเกิดภาวะความเป็นกรด การเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางบก และการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศลง ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณของผลกระทบเป็นค่าติดลบ

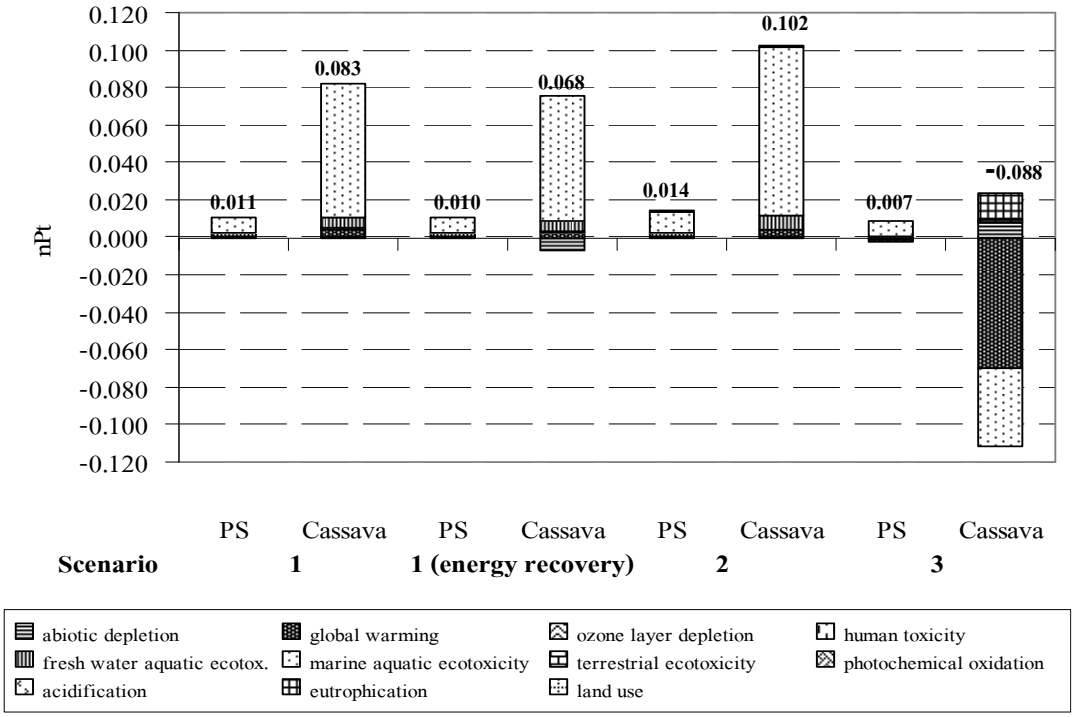
การกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ด้วยวิธีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลมีรายการผลกระทบที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล ซึ่งผลกระทบทั้งสามรายการเกิดจากการปล่อยมลสารประเภทเบริลเลียม ทองแดง แบเรียม โคบอลท์ ซีลีเนียม นิเกิล พลวง ไปกับน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งเกิดจากก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไดไนโตรเจนมอนอไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นขณะเกิดการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศของภาชนะบรรจุ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ซึ่งผลกระทบทั้งสามรายการเกิดจากการปล่อยมลสารประเภทแทลเลียม เบริลเลียม แบเรียม ซีลีเนียม โมลิบดีนัมไปกับน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน และโลหะและธาตุอันตรายเหล่านั้นสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้

การกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการคอมโพสท์ มีรายการผลกระทบที่สำคัญ คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ซึ่งเกิดจากการปล่อยนิเกิล PAH โครเมียม วาเนเดียม แบไรท์ สารหนู แคดเมียม ในกระบวนการผลิตปุ๋ยยูเรีย เพื่อนำมาใช้ในการปรับสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน การก่อให้เกิดความภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุล ซึ่งเกิดจากปริมาณซีโอดี แอมโมเนียมไนโตรเจน ไนเตรท ซัลเฟตจากน้ำชะมูลฝอยในการคอมโพสท์ ที่ปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำ และการใช้พื้นที่ ซึ่งเกิดจากการครอบครองพื้นที่ในการทำเหมืองแร่ และโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อผลิตปุ๋ยยูเรีย แต่อย่างไรก็ตามการคอมโพสท์ช่วยลดผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางทะเล การเกิดมลพิษขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสงเคมี เนื่องจากการใช้งานคอมโพสท์ทดแทนการผลิตปุ๋ยเคมี และลดการเกิดภาวะโลกร้อน จากการหมุนเวียนคาร์บอนกลับคืนสู่ดิน

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ในการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีต่างๆ พบว่าการคอมโพสท์เป็นวิธีการที่เหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกว่าอีก 2 วิธี ผลการศึกษาดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Dinkel *et al*. (1996) ซึ่งรายงานว่าการคอมโพสท์พลาสติกจากแป้งก่อให้เกิดผลกระทบน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดด้วยวิธีการเผาร้อยละ 80 และฝังกลบร้อยละ 20 นอกจากนี้การคอมโพสท์ยังต้นทุนต่ำและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าการกำจัดวิธีอื่นๆ (Davis and Song, 2006)

2.3 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด

ข้อมูลปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละรายการผลกระทบ ในช่วงการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด สามารถสร้างแผนภาพการเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุทั้งสองชนิดด้วยวิธีต่างๆ ดังแสดงภาพที่ 36 ผลการเปรียบเทียบพบว่าการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยการคอมโพสท์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยช่วยลดผลกระทบด้านการก่อให้เกิดความภาวะโลกร้อนและความเป็นพิษต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำทะเล ส่วนการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการเผาในเตาเผา และการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าการกำจัดภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน เนื่องจากน้ำหนักของภาชนะบรรจุที่มีมากกว่า



ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการกำจัดภาชนะบรรจุทั้งสองชนิดด้วยวิธีต่างๆ

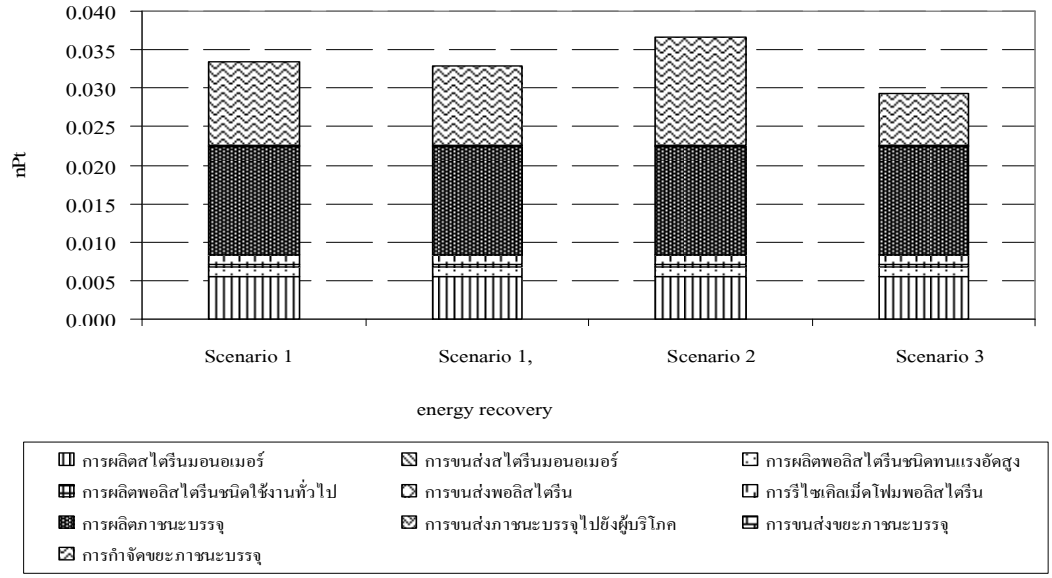
3. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุ

หลังจากพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุตลอดวัฏจักรชีวิตแยกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งไปยังผู้บริโภค เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน และระบุถึงขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และช่วงการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งาน เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการกำจัดด้วยวิธีต่างๆ โดยสร้างแบบจำลองของการจัดการ 3 แบบ ได้แก่ การเผาในเตาเผา ซึ่งแบ่งออกเป็นการเผาแบบธรรมดา (Scenario 1) กับการเผาแล้วได้พลังงานกลับคืน (Scenario 1, energy recovery) การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Scenario 2) และการนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีน หรือการคอมโพสท์สำหรับภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง (Scenario 3) พบว่าภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งไปยังผู้บริโภคมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน แต่ในช่วงการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีคอมโพสท์มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่า การพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมครอบคลุมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต จึงจะสามารถให้คำตอบที่แน่ชัดได้ว่าภาชนะบรรจุชนิดใดมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่ากัน โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตนี้ จะนำขั้นตอนการขนส่งขยะภาชนะบรรจุไปยังสถานที่กำจัดเข้ามาร่วมพิจารณาด้วย

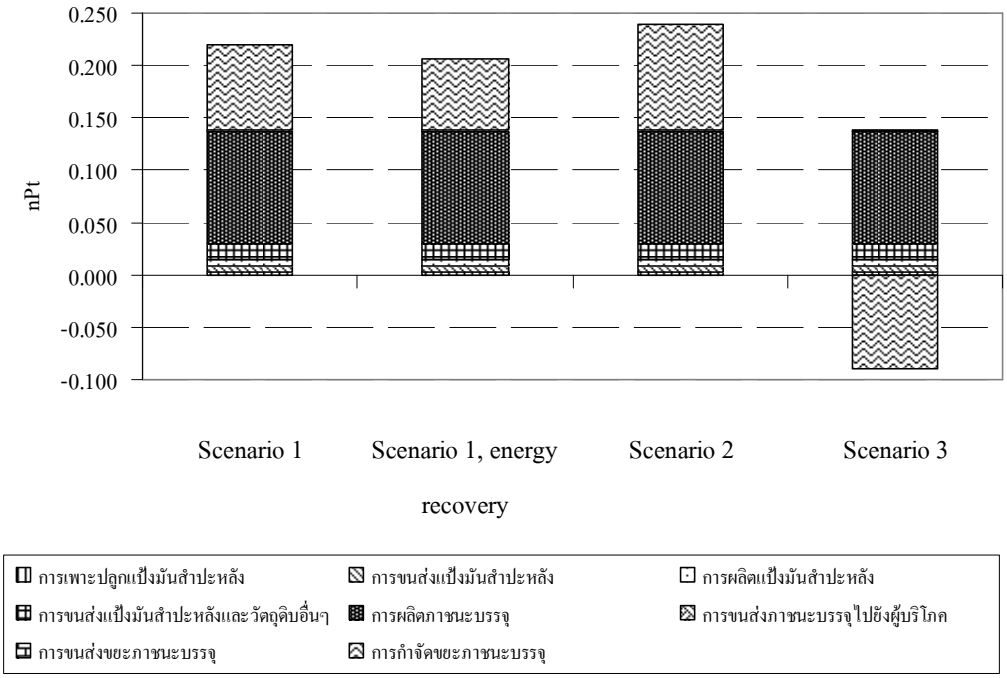
ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด แสดงดังตารางที่ 48 และการจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน การจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง แสดงดังภาพที่ 37 และ 38 ตามลำดับ พบว่าการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการคอมโพสท์ สามารถช่วยหักลบปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในช่วงการผลิตและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภคลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Murphy and Bartle (2004) ที่กล่าวว่าขั้นตอนที่สำคัญที่สุดที่จะชี้ชัดว่าพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพดีกว่าพลาสติกจากปิโตรเคมี คือ ขั้นตอนการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งาน

ตารางที่ 48 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	PS scenario 1	Cassava scenario 1	PS scenario 1, energy recovery	Cassava scenario 1, energy recovery	PS scenario 2	Cassava scenario 2	PS scenario 3	Cassava scenario 3
Abiotic depletion	kg Sb eq.	2.92E+00	2.30E+01	2.83E+00	1.95E+01	2.92E+00	2.30E+01	1.93E+00	2.72E+01
Global warming	kg CO_2 eq.	4.55E+02	4.08E+03	4.47E+02	3.77E+03	3.27E+02	3.96E+03	2.87E+02	-1.07E+04
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	2.29E-04	1.41E-03	2.23E-04	1.18E-03	2.29E-04	1.41E-03	1.89E-04	1.47E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq.	4.57E+02	6.83E+02	4.56E+02	6.41E+02	4.52E+02	7.05E+02	3.08E+02	5.72E+02
Fresh water aquatic ecotoxity	kg 1,4-DB eq.	4.22E+01	2.17E+02	4.20E+01	2.09E+02	6.10E+01	2.41E+02	1.03E+01	1.02E+02
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	9.51E+04	6.05E+05	9.44E+04	5.80E+05	1.10E+05	6.98E+05	9.82E+04	2.50E+04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq.	5.08E-01	2.71E+00	5.05E-01	2.61E+00	5.35E-01	2.82E+00	6.91E-01	6.10E+00
Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq.	2.25E+00	6.80E-01	2.25E+00	6.46E-01	2.25E+00	8.20E-01	2.24E+00	6.78E-01
Acidification	kg SO_2 eq.	1.85E+00	1.71E+01	1.83E+00	1.60E+01	1.85E+00	1.70E+01	1.64E+00	1.75E+01
Eutrophication	kg PO_4^{2-} eq.	1.87E-01	2.14E+00	1.83E-01	2.00E+00	4.00E-01	3.61E+00	1.28E-01	3.16E+01
Land use	$m^2 \times yr$	2.02E+00	4.91E+02	2.01E+00	4.90E+02	2.13E+00	4.92E+02	2.00E+00	5.04E+02

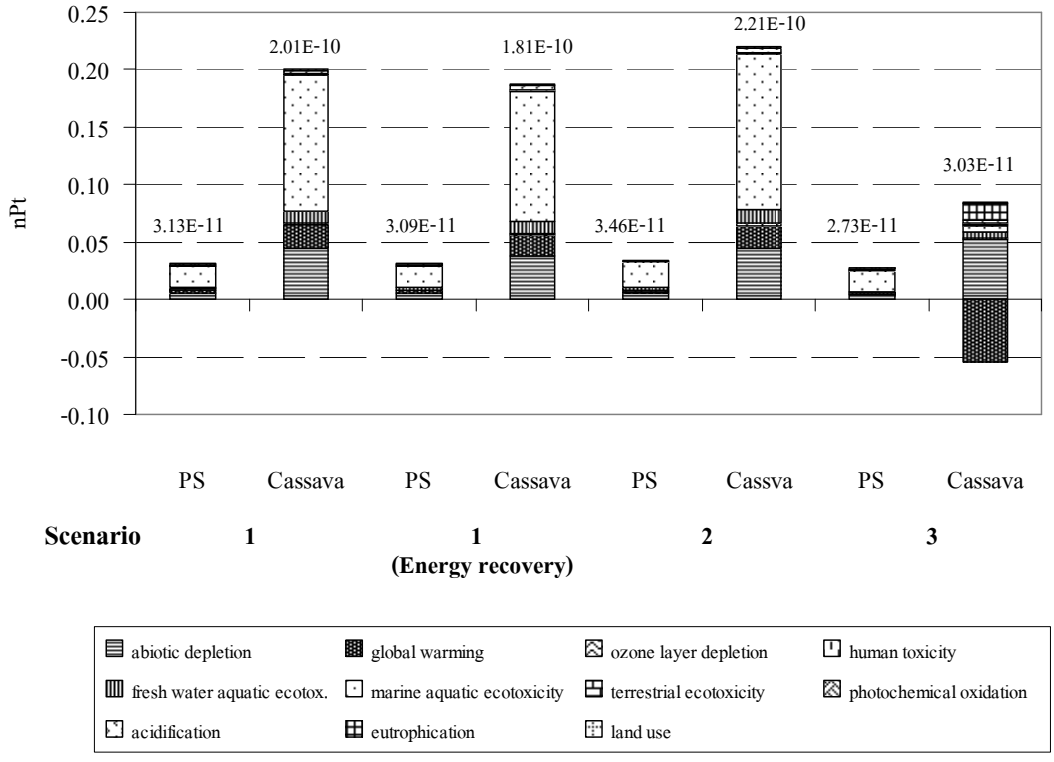


ภาพที่ 37 การจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน



ภาพที่ 38 การจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด ในรูปแบบของคะแนนเชิงเดี่ยวแสดงดังภาพที่ 39 ในช่วงการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งไปยังผู้บริโภคภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน 5.78 เท่า เมื่อรวมช่วงการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งาน ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งกำจัดภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการเผาในเตาเผา การเผาในเตาเผาแบบได้พลังงานกลับคืน และการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล ก็ยังมีมากกว่าผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน แต่ทว่าการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการคอมโพสท์ ซึ่งก่อประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำวัสดุปรับปรุงดินไปใช้งาน จะช่วยหักลบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงของการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภคลงได้อย่างมาก กล่าวคือผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีการกำจัดขยะภาชนะบรรจุหลังการสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีคอมโพสท์มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการเผาในเตาเผา การเผาแบบได้พลังงานกลับคืน และการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล แต่มากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่



ภาพที่ 39 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด

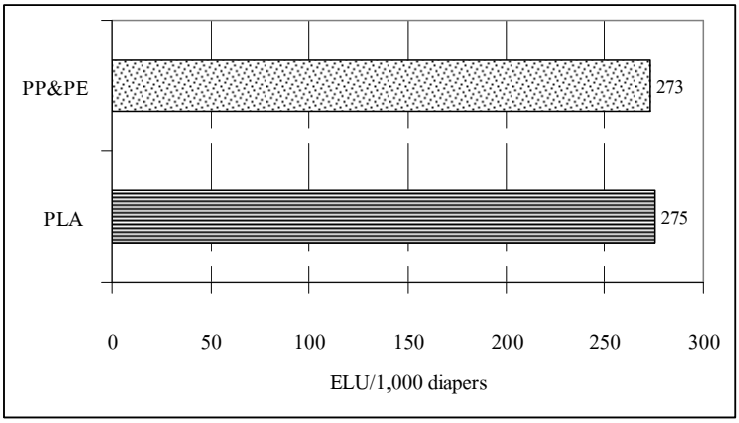
4. การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แม้ว่าการเปรียบเทียบผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของพลาสติกกับวัสดุย่อยสลายได้เป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษามีความหลายหลาย รวมทั้งขอบเขตของการศึกษาและรายการผลกระทบที่นำมาพิจารณาก็แตกต่างกัน (Murphy and Bartle, 2004) แต่เพื่อเป็นการสอบทวนผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้ ในหัวข้อนี้จึงได้นำผลการการศึกษาดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ซึ่งได้รายงานไว้ในส่วนของการตรวจเอกสาร

รายงานผลการประเมินวัฏจักรชีวิตส่วนใหญ่ มักแสดงให้เห็นว่าพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพต่ำกว่าพลาสติกจากปิโตรเคมี มีผลรายงานมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ชี้บ่งว่า พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับหรือสูงกว่าพลาสติกจากปิโตรเคมี ซึ่งมักเป็นเพราะกระบวนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามงานวิจัยเหล่านี้ มักเปรียบเทียบโดยใช้หน่วยหน้าที่เป็นน้ำหนักพอลิเมอร์ที่เท่ากัน เช่น งานวิจัยของ Patel *et al*. (1999) ที่ใช้หน่วยหน้าที่ คือ หนึ่งตันพอลิเมอร์ หรือ Jolliet *et al*. (1994)., Hyde (1998)., Gerngross (1999)., Vink *et al*. (2003) และ James and Grant (2005) ที่ใช้หน่วยหน้าที่ คือ หนึ่งกิโลกรัมพอลิเมอร์ เป็นต้น ซึ่งการกำหนดหน่วยหน้าที่เป็นน้ำหนักพอลิเมอร์นี้ ไม่สะท้อนถึงความเป็นจริงของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มักมีน้ำหนักมากกว่าพลาสติกจากปิโตรเคมี ตัวอย่างเช่น ในการศึกษานี้ที่ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนมากกว่า 10 เท่า หรือถ้วยใส่โยเกิร์ตจากพอลิแล็กไทด์หนัก 8.91 กรัม ส่วนถ้วยโยเกิร์ตจากพอลิพรอพิลีนหนัก 7.90 กรัม (Bohlmann, 2004) ดังนั้นในกรณีการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุต่างชนิดกัน จึงไม่ควรใช้น้ำหนักพอลิเมอร์เป็นกำหนดหน่วยหน้าที่ แต่ควรกำหนดเป็นจำนวนชิ้นผลิตภัณฑ์ หรือตามน้ำหนักของสิ่งของหรืออาหารที่ถูกบรรจุจึงจะเหมาะสมกว่า ในการเปรียบเทียบผลการศึกษานี้ จึงเลือกเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้กับงานวิจัยอื่นๆ ที่กำหนดหน่วยหน้าที่เป็นชิ้นผลิตภัณฑ์ หรือตามน้ำหนักของสิ่งของหรืออาหารที่ถูกบรรจุ และเป็นงานวิจัยที่มีขอบเขตคลอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิต รวมทั้งมีรายการผลกระทบที่คลอบคลุมถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลายด้าน

ในการศึกษานี้พบว่า ในช่วงการผลิตและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน

ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตภาชนะบรรจุ ในช่วงการกำจัดขยะภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งาน สำหรับภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังวิธีที่ดีที่สุด คือ การคอมโพสท์ ส่วนภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนวิธีที่ดีที่สุด คือ การนำกลับมาใช้ใหม่ และผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิด ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์ ก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีการเผาและฝังกลบ แต่นำมีผลกระทบมากกว่าภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีกลับมาใช้ใหม่ เมื่อเทียบกับรายงานการวิจัยของ Hakala *et al*. (1997) ซึ่งได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผ้าอ้อมที่ผลิตจากพอลิแล็กไทด์ ซึ่งเป็นวัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ กับผ้าอ้อมที่ผลิตจากพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีน ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพจากปิโตรเคมี กำหนดหน่วยหน้าที่ คือ ผ้าอ้อมจำนวน 1,000 ชิ้น ขอบเขตของการศึกษาเริ่มตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบตั้งต้น การผลิตวัตถุดิบสำหรับผลิตผ้าอ้อม การผลิตผ้าอ้อม การขนส่ง และการกำจัดขยะผ้าอ้อม โดยไม่นำการใช้งานผ้าอ้อมมาพิจารณาร่วมด้วย ส่วนในการกำจัดขยะผ้าอ้อมจากพอลิแล็กไทด์ใช้วิธีการเผาร้อยละ 20 ฝังกลบร้อยละ 5 และการบำบัดทางชีวภาพ (คอมโพสท์) ร้อยละ 75 และผ้าอ้อมจากพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนใช้วิธีการเผาร้อยละ 35 และฝังกลบร้อยละ 65 ผลการศึกษาพบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมในภาพรวมตลอดวัฏจักรชีวิตของผ้าอ้อมที่ผลิตจากวัสดุทั้ง 2 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน โดยผ้าอ้อมจากปิโตรเคมีมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยมาก ดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผ้าอ้อมที่ผลิตจาก PLA และ PP&PE

ผลการศึกษาของ Hakala *et al*.(1997) แสดงให้เห็นว่าผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผ้าอ้อมที่ผลิตจากวัสดุ 2 ชนิดมีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งเป็นผลที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้ใน

การศึกษานี้ ที่พบว่ามีความแตกต่างของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างภาชนะบรรจุทั้งสองชนิดค่อนข้างน้อย โดยภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยการคอมโพสท์มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 9.9 และมีผลกระทบน้อยกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล เผาในเตาเผาแบบได้พลังงานกลับคืน และเผาแบบธรรมดาเท่ากับร้อยละ 14.19, 1.98 และ 3.30 ตามลำดับ เมื่อนำไปพิจารณาเทียบกับค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ (Significance thresholds) สำหรับใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Estermann *et al*., 2000) จะพบว่าหากผลกระทบในภาพรวมมีความแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 20 ถือว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพยังเป็นขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับพลาสติกจากปิโตรเคมี ควรดำเนินการปรับปรุงเทคโนโลยีและทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเพิ่มขนาดของธุรกิจในอนาคต (Murphy and Bartle, 2004) รวมทั้งควรปรับปรุงเทคโนโลยีในการนำพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพกลับมาใช้ซ้ำหรือนำกลับมาใช้ในรูปของพอลิเมอร์ใหม่กลับมาใช้ต่อได้อีก

5. คาร์บอนเครดิต (Carbon credit) ของการใช้ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

การซื้อขายคาร์บอนเครดิตเกิดขึ้นเนื่องจากพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protrocol) ซึ่งอยู่ภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) มีผลบังคับใช้แล้วตั้งแต่ปีค.ศ.2005 โดยประเทศพัฒนาแล้วที่เป็นสมาชิกในกลุ่มบัญชี 1 (Annex 1) มีพันธกรณีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008-2012 ให้ได้ร้อยละ 5.2 จากปริมาณการปล่อยปีค.ศ. 1990 โดยในระยะเวลาดังกล่าวประเทศกำลังพัฒนาที่เป็นสมาชิกที่อยู่นอกกลุ่มบัญชี 1 (Non-Annex 1) สามารถดำเนินการโดยสมัครใจเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงก็ได้ โดยผ่านกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM) ที่เปิดโอกาสให้ ประเทศพัฒนาแล้วเข้ามาดำเนินการลดหรือเลิกการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศกำลังพัฒนา และนำปริมาณก๊าซที่ลดได้ไปใช้เป็นเครดิต ไม่ต้องไปดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกภายในประเทศของตนเองลง (ไทยคาร์บอนเครดิต, 2551) การใช้ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังทดแทนการใช้ภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนนั้นสามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ในการเผาทำลายภาชนะบรรจุลง ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวนคาร์บอนเครดิตได้

กล่องอาหารโฟมพอลิสไตรีน ซึ่งเป็นพอลิสไตรีนชนิดขยายตัว มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 92.3 (European Manufacturers of Expandaed Polystyrene: EUMEPS, 2001) ดังนั้นกล่องอาหารโฟมพอลิสไตรีนจำนวน 10,000 ใบ (น้ำหนัก 42 กิโลกรัม) จะมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 38.77 กิโลกรัม หรือ 3.23 กิโลโมลคาร์บอน นั่นคือ การใช้ภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลังแทนภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังจำนวน 10,000 ใบสามารถลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนลงได้ 38.77 โลกรัม หรือเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ 142.12 กิโลกรัม

มูลค่าซื้อขายคาร์บอนเครดิตของตลาด sCER (Certified Emission Reduction market) เท่ากับ 16.39 ยูโรต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ (ราคา ณ วันที่ 5 พฤษภาคม ค.ศ.2008) (Emit environmental brokers, 2008) ดังนั้น การการใช้ภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลังแทนภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังจำนวน 10,000 ใบ สามารถขายคาร์บอนเครดิตได้เป็นเงินเท่ากับ 2.33 ยูโร

6. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล เป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ที่อาจมีผลต่อผลลัพธ์และบทสรุปที่ได้จากการศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลและผลสรุปของการศึกษา โดยความอ่อนไหวของผลสรุปของการศึกษาอาจเกิดจากความไม่แน่นอนของข้อมูล การตรวจสอบความอ่อนไหวทำได้โดย การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการศึกษาซึ่งได้จากการเปลี่ยนสมมติฐานและข้อมูลให้แตกต่างกันไป จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากสมมติฐาน และข้อมูลที่ต่างกันดังกล่าวมาเปรียบเทียบกัน การตรวจสอบความอ่อนไหวของงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

6.1 การเปรียบเทียบวิธีการปันส่วน

วิธีการปันส่วนที่นิยมที่เป็นนิยมใช้มากที่สุด คือ การปันส่วนโดยใช้ข้อมูลราคา ทั้งนี้เนื่องจากราคาผลิตภัณฑ์จะเป็นตัวแปรในการกำหนดความต้องการในการผลิตสินค้าของโรงงาน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้วิธีการปันส่วนตามราคา สำหรับการใช้เศษโฟมพอลิสไตรีนเพื่อผลิตเม็ดโฟมรีไซเคิลนั้น มีเหตุผลเนื่องจากราคาของเม็ดโฟมรีไซเคิลต่ำกว่าเม็ดโฟมพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไปมาก โดยราคาของเม็ดพอลิสไตรีนชนิดใช้งานทั่วไปเฉลี่ยประมาณ 50-55 บาทต่อกิโลกรัม ในขณะที่เม็ดพอลิสไตรีนรีไซเคิลราคาประมาณ 10 บาทต่อกิโลกรัม (ข้อมูลปีฐาน 2550) (สภาอุตสาหกรรมพลาสติกไทย, 2551) ดังนั้นในการปันส่วนจึงควรใช้การปันส่วนด้วยข้อมูลราคา

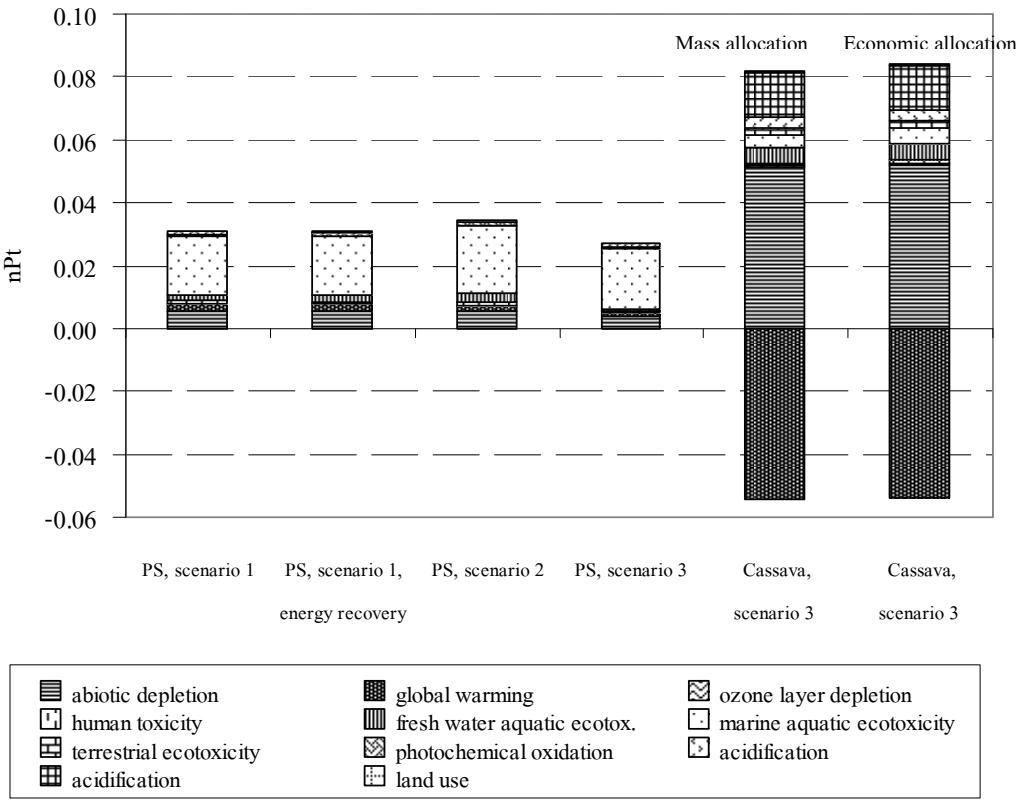
แต่สำหรับการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้น ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไม่ได้มีปัจจัยด้านราคาเข้ามาเป็นเหตุจูงใจในการผลิตผลิตภัณฑ์ร่วมเหล่านั้น หัวข้อนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสอบทวนว่า หากใช้วิธีการปันส่วนแบบอื่นๆ ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จะให้ผลการศึกษาที่แตกต่างไปจากเดิมหรือไม่ โดยจะเปรียบเทียบการปันส่วนโดยน้ำหนักกับการปันส่วนโดยราคา เนื่องจากการปันส่วนโดยข้อมูลพื้นฐานทางเทคนิคหรือการปันส่วนโดยพลังงานไม่เหมาะสมในการศึกษานี้ ค่าการปันส่วนโดยน้ำหนักและราคาของการเพาะปลูกมันสำปะหลังและการผลิตแป้งมันสำปะหลังแสดงดังตารางที่ 49

ตารางที่ 49 การเปรียบเทียบค่าการปันส่วนโดยน้ำหนักและราคาของการเพาะปลูกมันสำปะหลังและผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ขั้นตอนการผลิต	ปริมาณ (กิโลกรัม)	ราคาเฉลี่ย (บาท/หน่วย)	ค่าการปันส่วน (ร้อยละ)	
			การปันส่วนโดยมวล	การปันส่วนโดยราคา
<u>การเพาะปลูกมันสำปะหลัง</u>				
มันสำปะหลัง	2,332	1	73.5	19.39
ท่อนพันธุ์	6,466	1.5	26.5	80.61
<u>การผลิตแป้งมันสำปะหลัง</u>				
แป้งมันสำปะหลัง	419.4	9.94	41.57	76.69
เปลือกกับเหง้า	89.5	0.075	49.57	23.19
กากมันสำปะหลัง	500.2	2.52	8.86	0.12

การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการคอมโพสท์ ซึ่งใช้การปันส่วนโดยน้ำหนักและราคากับภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน จำนวน10,000 ใบ แสดงดังภาพที่ 41 ผลการเปรียบเทียบพบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่ใช้การปันส่วนโดยน้ำหนักและการปันส่วนโดยราคาเมื่อเปรียบเทียบกับภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนให้ผลการศึกษาที่ไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอ

ลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีการเผาในเตาเผาทั้งสองแบบ และการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล แต่ยังมีผลกระทบมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้น การปันส่วนที่แตกต่างกันไม่ทำให้ผลการศึกษาเปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งใช้การปันส่วนโดยน้ำหนักและราคา

6.2 การเปรียบเทียบการให้น้ำหนักความสำคัญ

การศึกษานี้ใช้ตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ ซึ่งกำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์ อุตสาหกรรมและพลังงาน ของประเทศเกาหลีใต้ (Kim and Hur, 1999) หัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสอบทวนว่า หากใช้ตัวประกอบน้ำหนักความสำคัญแบบอื่นๆ ให้ผลการศึกษาที่แตกต่างไปจากเดิมหรือไม่ โดยจะเปรียบเทียบการให้น้ำหนักของของประเทศเกาหลีกับวิธี Eco-indicatop 99 (ประเทศเนเธอร์แลนด์) และวิธี IMPACT 2002 (ประเทศสวิสเซอร์แลนด์) เนื่องจากทั้งสองวิธีนี้มีการให้น้ำหนักความสำคัญครบทุกรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เราทำการศึกษา ตัวประกอบการให้

น้ำหนักความสำคัญแสดงดังตารางที่ 50 และการเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบน้ำหนักความสำคัญทั้ง 3 แบบ แสดงดังตารางที่ 51

ตารางที่ 50 การเปรียบเทียบตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญทั้ง 3 แบบ

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	Kim and Hur (Korea)	Eco-indicator 99 (Netherlands)	IMPACT 2002 (Switzerland)
Abiotic depletion	0.3	2	1
Global warming	0.21	4	1
Ozone layer depletion	0.17	4	1
Human toxicity	0.11	4	1
Fresh water aquatic ecotoxicity	0.1	4	1
Marine aquatic ecotoxicity	0.1	4	1
Terrestrial ecotoxicity	0.1	4	1
Photochemical oxidation	0.05	4	1
Acidification	0.06	4	1
Eutrophication	0.06	4	1
Land use	0.1	4	1

ตารางที่ 51 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบน้ำหนักความสำคัญทั้ง 3 แบบ

Weighting factor	PS, scenario 1	PS, scenario 1 (energy recovery)	PS, scenario 2	PS, s cenario 3	Cassava, scenario 3
Kim and Hur	3.13E-11	3.09E-11	3.46E-11	2.73E-11	3.03E-11
Eco-indicator 99	1.07E-09	1.06E-09	1.22E-09	9.90E-10	1.08E-09
IMPACT 2002	2.77E-10	2.74E-10	3.14E-10	2.54E-10	3.56E-10

ผลการเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบน้ำหนักความสำคัญทั้ง 3 แบบ พบว่าการให้น้ำหนักความสำคัญที่แตกต่างกัน ก็ให้ผลการศึกษาที่แตกต่างออกไป

ในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ที่ผลิตจากวัสดุต่างชนิดกัน การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะแสดงให้เห็นทั้งข้อดีและข้อด้อยของวัสดุแต่ละชนิด ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึง คือ การให้น้ำหนักที่เหมาะสมแต่ละรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Murphy and Bartle, 2004) การเลือกตัวประกอบน้ำหนักความสำคัญควรมีความระมัดระวัง และเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและสถานการณ์

6.3 การเปรียบเทียบการคอมโพสท์แบบใช้อากาศและแบบไร้อากาศ

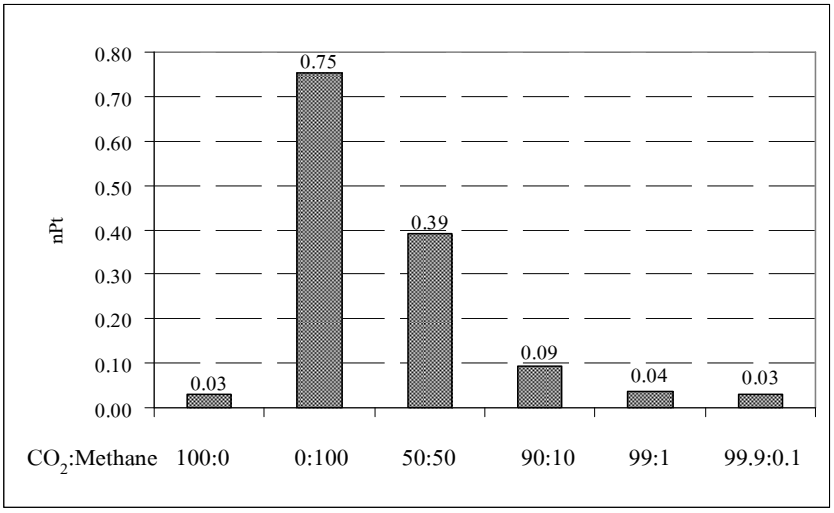
การคอมโพสท์ขยะภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังของการศึกษานี้ได้อ้างอิงตามวิธีการของมาตรฐานการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกภายใต้สภาวะการคอมโพสท์ในระดับทดสอบ (ISO/DIS 16929) ซึ่งเป็นวิธีการคอมโพสท์แบบใช้อากาศ จะให้ผลผลิตตามปฏิกิริยาดังนี้ (Tchobanoglous *et al*., 1993)

$$\text{สารอินทรีย์ (CHONS)} + \text{ออกซิเจน } (O_2) \xrightarrow{\text{Aerobic Bacteria}} CO_2 + H_2O + NO_3^- + SO_4^{2-}$$

แต่ถ้าหากเกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศในระหว่างการคอมโพสท์ ซึ่งจะให้ผลผลิตตามปฏิกิริยาดังนี้ (Tchobanoglous *et al*., 1993)

$$\text{สารอินทรีย์ (CHONS)} \xrightarrow{\text{Anaerobic Bacteria}} CO_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S$$

หัวข้อนี้จึงเป็นการวิเคราะห์ว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในช่วงการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการที่คาร์บอนในคอมโพสท์เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนหรือไม่ การเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตในกรณีที่เกิดก๊าซมีเทนขึ้นในการคอมโพสท์แสดงดังภาพที่ 42



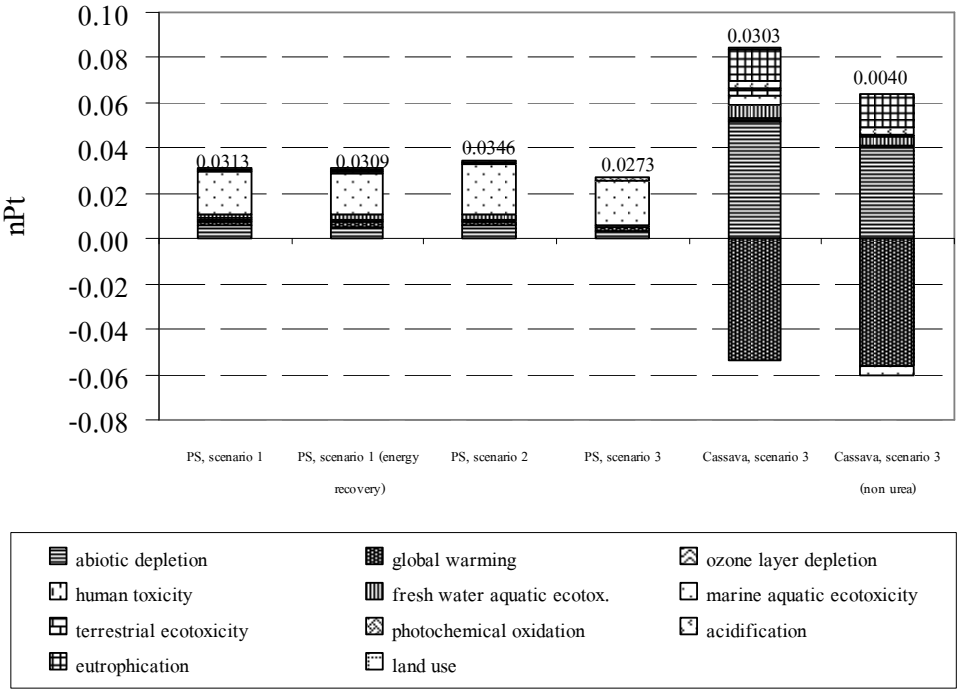
ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังในกรณีที่เกิดก๊าซมีเทนขึ้นในการกำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์

ภาพการเปรียบเทียบพบว่าหากไม่เกิดก๊าซมีเทนขึ้น (เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 100) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตจะต่ำที่สุด และหากเกิดก๊าซมีเทนขึ้นในการการคอมโพสท์ทั้งหมด (สัดส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนเท่ากับ 0:100) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะเกิดขึ้นมากที่สุด เนื่องจากปัญหาด้านภาวะโลกร้อน หากปริมาณการเกิดมีเทนลดลง ปริมาณผลกระทบก็จะลดลงตามไปด้วย และปริมาณของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมากที่สุด โดยไม่ทำให้ผลการศึกษานี้เปลี่ยนแปลงไป คือ ต้องเกิดก๊าซมีเทนในการคอมโพสท์ไม่เกินร้อยละ 0.01

6.4 การเปรียบเทียบการเติมและไม่เติมปุ๋ยยูเรียในการคอมโพสท์

เนื่องจากวิธีในการทำคอมโพสท์ในการศึกษานี้ อ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกภายใต้สภาวะการคอมโพสท์ในระดับการทดสอบ (ISO/DIS 16929) ซึ่งตามมาตรฐานในการปรับสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ให้ใช้ปุ๋ยยูเรียในการช่วยปรับ ซึ่งเป็นหลักการทำปุ๋ยหมักแบบใหม่ จะช่วยให้การย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ได้ดี ได้ผลิตภัณฑ์เป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพสูง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น (มุกดา, 2547) โดยในการกำจัดขยะภาชนะบรรจุจำนวน 10,000 ใบ ต้องการปุ๋ยยูเรียถึง 0.82 ตัน ดังนั้นการใช้ยูเรียจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากในการคอมโพสท์ แต่ในการคอมโพสท์ในระดับใหญ่ จะใช้วัสดุอื่นๆ ที่มีปริมาณไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เช่น.เปลือกถั่วคาโลโปโกเนียม ซึ่งมีไนโตรเจนร้อยละ 2.3 (ทิพากรและคณะ, 2533) สารจีเอ็มแอล ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากการผลิต

ผงชูรส ซึ่งมีไนโตรเจน ร้อยละ 5.25-5.27 (สมบูรณ์และคณะ, 2543) หรือเศษวัสดุที่เหลือจากการคอมโพสท์ครั้งก่อนๆ ทดแทนการใช้ปุ๋ยยูเรีย ดังนั้นในการคอมโพสท์ในระดับทดสอบจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการผลิตปุ๋ยยูเรีย มากกว่าการคอมโพสท์ในระดับใหญ่ อย่างไรก็ตามข้อควรระวัง คือ การใช้วัสดุอื่นๆ ทดแทนการใช้ปุ๋ยยูเรีย อาจทำให้คุณภาพของคอมโพสท์ที่ได้ด้อยลงไป จึงอาจจะก่อประโยชน์ในแง่การนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินลดลง (Madrid *et al*., 2000) โดยหากไม่เติมปุ๋ยยูเรีย พบว่าปริมาณธาตุไนโตรเจนในวัสดุปรับปรุงดินจะลดลงประมาณร้อยละ 67 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์แบบใช้ปุ๋ยยูเรียและไม่ใช้ยูเรียในการปรับสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแสดงดังในภาพที่ 43



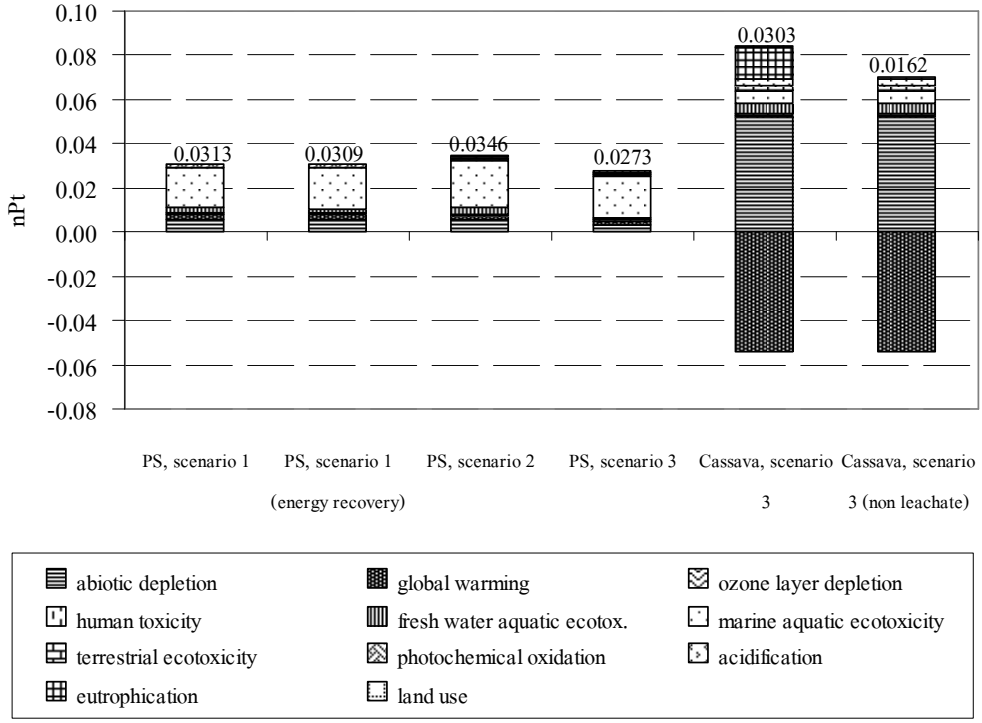
ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์แบบใช้ปุ๋ยยูเรียและไม่ใช้ยูเรีย

ผลการเปรียบเทียบพบว่าการไม่ใช้ปุ๋ยยูเรียในการทำคอมโพสท์ ทำให้ประโยชน์ในการใช้คอมโพสท์เป็นวัสดุปรับปรุงดินลดลง แต่เมื่อหักล้างกับผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตปุ๋ยยูเรีย ภาพรวมผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์แบบไม่ใช้ปุ๋ยยูเรียมีน้อยกว่าการคอมโพสท์ที่ใช้ยูเรีย เนื่องจากมี

ผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ และการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางทะเลลดลง และภาพรวมของผลกระทบในรูปคะแนนเชิงเดี่ยวน้อยกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีต่างๆ ทั้ง 3 แบบอีกด้วย

6.5 การเปรียบเทียบการปล่อยและไม่ปล่อยน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในระหว่างการคอมโพสท์สู่สิ่งแวดล้อม

การทำคอมโพสท์ในการศึกษานี้ ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐาน ISO/DIS 16929 มีน้ำชะมูลฝอยเกิดขึ้นในระหว่างการคอมโพสท์จากกิจกรรมการย่อยสลายอินทีรยสารของจุลินทรีย์ แต่ในการคอมโพสท์ในระดับใหญ่ จะไม่มีการปล่อยน้ำชะมูลฝอยออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่จะนำไปใช้คลุกเคล้ากับขยะชีวภาพในชุดถัดไป เพื่อเพิ่มความชื้นและเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการคอมโพสท์ครั้งต่อๆ ไป หัวข้อนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างการปล่อยน้ำชะมูลฝอยสู่สิ่งแวดล้อมในการคอมโพสท์ระดับทดสอบกับการการเก็บน้ำชะมูลฝอยไว้ใช้ในการคอมโพสท์ระดับใหญ่ ดังแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์แบบมีและไม่มีน้ำชะมูลฝอยปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์แบบมีและไม่มีน้ำชะมูลฝอยปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในภาพที่ 43 พบว่าการคอมโพสท์แบบไม่มีน้ำชะมูลฝอยมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะธาตุอาหารในน้ำเกินสมดุลลดลง ทำให้ภาพรวมของผลกระทบในรูปคะแนนเชิงเดี่ยวน้อยกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีต่างๆ ทั้ง 3 แบบ ดังนั้นในการคอมโพสท์ควรนำน้ำชะมูลฝอยกลับมาใช้ในกระบวนการคอมโพสท์ใหม่ จะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังลงได้

7. การเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง

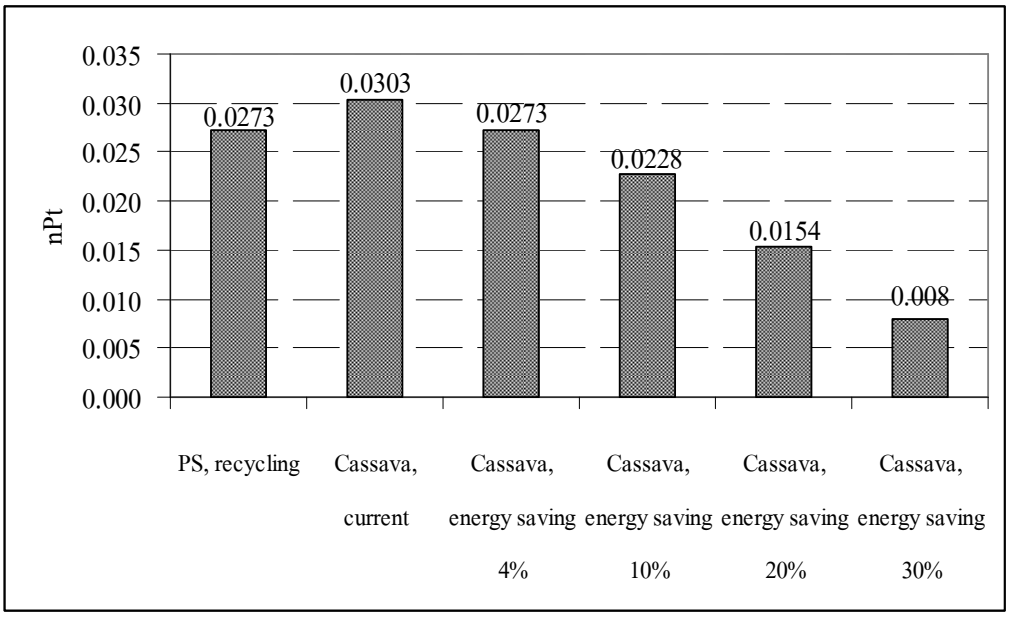
ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ทำให้สามารถชี้บ่งถึงแหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ในหัวข้อนี้จึงเป็นการเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง เพื่อลดปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยจะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากการใช้ทรัพยากรที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ (Renewable resource) เพื่อทดแทนวัสดุจากปิโตรเคมี ที่กำลังจะหมดไปในอนาคตเป็นสิ่งที่สำคัญ รวมทั้งจากมาตรการหรือข้อบังคับต่างๆ ที่มีขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดการขยะมูลฝอย เป็นตัวกระตุ้นให้มีการใช้วัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพมากยิ่งขึ้น ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงมีดังนี้

7.1 การปรับปรุงการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตภาชนะบรรจุ

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุ ในช่วงการผลิตและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค พบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นมากที่สุดในขั้นตอนของการผลิตภาชนะบรรจุ โดยคิดเป็นสัดส่วนถึงเกิดในร้อยละ 78.68 และสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า การปรับปรุง เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตมีตัวอย่างจากการผลิตพอลิไฮดรอกซิลบิวเทอเรท (PHA) ซึ่งใช้พลังงานในการผลิตสูงถึง 430 เมกะจูลต่อตันพอลิเมอร์ แต่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้ด้วยการ ปรับปรุงพันธุกรรมของพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการหมัก ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงเหลือเพียง 200 เมกะจูลต่อตันพอลิเมอร์ หรือมากกว่าร้อยละ 50 ภายในระยะเวลาเพียง 5 ปี (Hyde, 1998) หรือการผลิตพอลิแล็กไทด์ (PLA) ซึ่งใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตถึง 26.3 เมกะจูลต่อกิโลกรัม PLA แต่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้ โดยใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงาน

ลม เป็นต้น และปรับปรุงเทคโนโลยีการสังเคราะห์กรดแล็กติก จนกระทั่งการใช้พลังงานในการผลิตลดลงเหลือเพียง 7.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม PLA (Vink *et al*., 2003)

การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตภาชนะบรรจุ หากสามารถลดลงได้ร้อยละ 4 หรือจาก1,783.98 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกล่องอาหารกลางวัน 10,000 ใบ ลดลงเหลือ 1,712.62 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกล่องอาหารกลางวัน 10,000 ใบ จะทำให้ภาพรวมของผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์จะเท่ากับผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยวิธีนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้น หากมีการปรับปรุงเทคโนโลยีในการผลิตภาชนะบรรจุให้ใช้เวลาในการผลิตต่อชิ้นน้อยลง หรือเพิ่มทางเลือกด้านพลังงาน โดยอาจใช้พลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น พลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพ แล้วสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตภาชนะบรรจุลงได้มากกว่าร้อยละ 4 ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนทันที ดังแสดงในภาพที่ 45

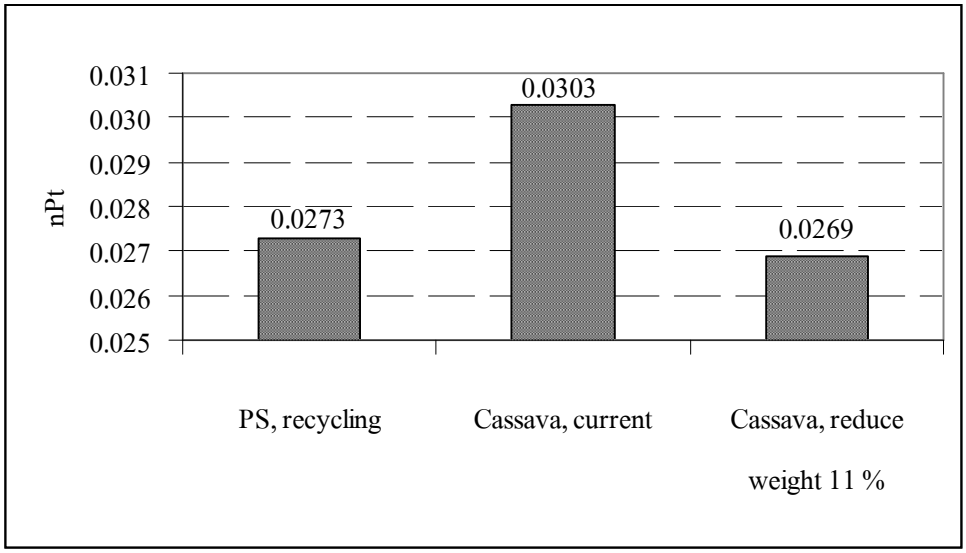


ภาพที่ 45 การปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

7.2 การลดน้ำหนักของภาชนะบรรจุแป้งมันสำปะหลัง

เนื่องจากภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักมากกว่าภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีนมาก ดังนั้นการลดน้ำหนักของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังลง โดยที่ยังมีคุณสมบัติในการบรรจุอาหารได้เหมือนเดิม ย่อมจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิตลงได้ ตลอดจนช่วยลดภาระด้านการขนส่งและการกำจัดขยะภาชนะบรรจุลงได้ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 46

จากภาพที่ 46 การปรับปรุงโดยลดน้ำหนักภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง พบว่าหากลดน้ำหนักภาชนะบรรจุจาก 56.5 กรัมต่อใบ เหลือเพียง 50.29 กรัมต่อใบ หรือลดน้ำหนักลงร้อยละ 11 ภาพรวมของผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดด้วยวิธีคอมโพสท์ จะน้อยกว่าภาชนะบรรจุโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดด้วยการนำกลับมาใช้ใหม่



ภาพที่ 46 การปรับปรุงโดยลดน้ำหนักภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังและโฟมพอลิสไตรีน โดยกำหนดหน่วยหน้าที่คือ กล่องใส่อาหารกลางวัน แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ขนาด 7×5×1.5 จำนวน 10,000 ใบ โดยใช้โปรแกรมประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 และวิธี CML 2 Baseline 2000 เวอร์ชั่น 2.03 สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ช่วงการผลิตภาชนะบรรจุและขนส่งภาชนะบรรจุไปยังผู้บริโภค

ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน 5.78 เท่า โดยขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ขั้นตอนการผลิตภาชนะบรรจุ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับร้อยละ 78.68 มีรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุด คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การลดลงลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ และการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ตามลำดับ และปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม การใช้กระแสไฟฟ้าปริมาณมากในการผลิต ส่วนภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีน ขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ขั้นตอนการผลิตภาชนะบรรจุเช่นเดียวกัน 62.39 และมีขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบรองลงมา คือ ขั้นตอนการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมเท่ากับร้อยละ 24.51 มีรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุด คือ การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำทะเล การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ และการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ตามลำดับ และมลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในการผลิตสไตรีนมอนอเมอร์ และการใช้กระแสไฟฟ้าในกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

2. ช่วงการกำจัดขยะภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งาน

วิธีการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ การฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะ การเผาในเตาเผา การเผาในเตาเผาแบบได้พลังงานกลับคืน และการคอม

โพสท์ ตามลำดับ โดยวัสดุปรับปรุงดินที่ได้จากการการคอมโพสท์มีประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม ในด้านการหมุนเวียนคาร์บอนหรือลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ และใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีในการเพิ่มธาตุอาหารแก่พืช ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณการผลิตปุ๋ยเคมีลงได้ ส่วนวิธีการกำจัดภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ การฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะ การเผาในเตาเผา การเผาในเตาเผาแบบได้พลังงานกลับคืน และการนำกลับมาใช้ใหม่ตามลำดับ โดยการนำกลับมาใช้ใหม่จะช่วยลดปริมาณการผลิตเม็ดพอลิสไตรีนใหม่

3. ผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังที่กำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการคอมโพสท์ ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการเผาในเตาเผา การเผาแบบได้พลังงานกลับคืน และการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล แต่มากกว่าภาชนะบรรจุจากโฟมพอลิสไตรีนที่กำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางการดำเนินงานในอนาคต

1. การนำผลการศึกษาและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงไปใช้ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิต หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

2. เพิ่มการศึกษาวิธีการจัดการหลังสิ้นสุดการใช้งานด้วยวิธีอื่นๆ เพื่อเพิ่มข้อมูลทางเลือกในการจัดการขยะภาชนะบรรจุ ตลอดจนสนับสนุนการดำเนินการกำจัดขยะภาชนะบรรจุด้วยวิธีการที่เหมาะสม

3. ทำการเปรียบเทียบกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างภาชนะบรรจุที่ผลิตจากวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ชนิดอื่นๆ เช่น กระดาษ ภาชนะบรรจุไบโอจากชานอ้อย เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547ก. **รายงานผลการดำเนินการตามมติคณะรัฐมนตรี เรื่อง การลดการใช้พลาสติกและโฟม.** แหล่งที่มา: http://www.thaigov.go.th/, 15 สิงหาคม 2549.

_____. 2547ข. **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาแนวทางการจัดการผลิตภัณฑ์พลาสติกและโฟม.** แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/, 20 กันยายน 2549.

_____. 2550. **คำศัพท์ด้านสิ่งแวดล้อม.** แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/, 15 ตุลาคม2550.

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. ม.ป.ป.. **สอบถามระยะทางระหว่างจังหวัดหรืออำเภอ.** แหล่งที่มา: http://map-server.doh.go.th/, 6 สิงหาคม 2550.

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2541. **ผลงานปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ.** แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/pldweb/tech/p1.htm/, 6 มีนาคม 2551.

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544. **มาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ.** แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/learning/bitech.pdf, 7 มีนาคม 2551.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. **ระยะเวลาในการย่อยสลายของขยะ.** แหล่งที่มา: http://www.deqp.go.th, 24 กันยายน 2550.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2545. ขยะบรรจุภัณฑ์ ผลพวงที่ต้องรับผิดชอบ. **วารสารบรรจุภัณฑ์เพิ่มมูลค่า** 45 (4): 30-47.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. **เทคโนโลยีของแป้ง.** ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กลุ่มอุตสาหกรรมพลาสติก สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2544. กฎระเบียบเกี่ยวกับ Packaging and Packaging Waste ของสหภาพยุโรป. **วารสารพลาสติกกับสิ่งแวดล้อม** 4 (17): 12-14.

ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์. ม.ป.ป. **สถานการณ์การกำจัดขยะและของเสียของประเทศไทย.** สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, กรุงเทพฯ.

โครงการส่งเสริมเครือข่ายในการจัดการทรัพยากรชายฝั่ง. 2550. **รายงานสรุปการบริหารจัดการขยะในพื้นที่ชายฝั่ง.** แหล่งที่มา: http://www.charmproject.org/, 29 มีนาคม 2551.

งามทิพย์ ภู่วโรดม และสายสนม ประดิษฐดวง. 2540. **การพัฒนาภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง.** รายงานผลการวิจัยสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิราภา เหลืองอรุณเลิศ. 2549. **บรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้.** แหล่งที่มา: http://www.nfi.or.th/food-technology-news/food-technology-news-thai.html, 9 กันยายน 2549.

ชนกพร หนูหอม. 2544. **การทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกรโดยการเติมอากาศ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสุรนารี.

ชวลิต ฮงประยูร. 2551. **การทำปุ๋ยหมัก.** แหล่งที่มา: http://www.web.ku.ac.th/agri/fert3.htm, 15 ธันวาคม2550.

ชาญ สุวรรณหาร, ชำนาญ ถาพะยอม, ดุษฎี โพธิ์ศรี, ศันสนีย์ สิทธินนท์ และอุบลวรรณ ฤทธิ์สามารถ. 2549. **การศึกษาคุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอย และความคิดเห็นของประชาชนต่อการจัดการมูลฝอยของเทศบาลเมืองร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด.** สำนักวิจัยและบริการวิชาการ, สถาบันราชภัฏมหาสารคาม.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2526. **โพลิเมอร์เชิงพาณิชย์.** โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

เทคโนโลยีชาวบ้าน. 2546. **แม่ปุ๋ยทุกสูตรนำมาผสมกับปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักน้ำได้หรือไม่.** ฐานข้อมูลการจัดการปัญหาเกษตรกรรมพื้นฐานในเขตภูมิภาค. แหล่งที่มา: http://siweb.dss.go.th/qa/search/search_description.asp?, 15 กุมภาพันธ์ 2551.

ธงชัย มาลา. 2550. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ม กรุงเทพฯ.

ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย. 2550. **แป้งมันสำปะหลัง สินค้าเกษตรส่งออกที่น่าจับตามอง.** แนวโน้มของตลาด. แหล่งที่มา: http://www.thaishipper.com/content/, 5 กรกฎาคม 2550.

ธิดารัตน์ ก้องวิวัฒน์สกุล. 2543. **การระเหยน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ ไชยมงคล. 2551. **เทคโนโลยีการปลูกพืชผักในเรือนโรง (Protected Culture).** แหล่งที่มา: http://www.it.mju.ac.th/ , 5 มีนาคม 2551.

ปนัดดา พวงเกษม. 2540. **การเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้ประโยชน์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรทิพย์ ฐานมั่น. 2543. **การพัฒนาภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ภัสสรา มณีศรีรัษฎ์. 2542. **การปรับปรุงคุณสมบัติทางการบรรจุของวัสดุขึ้นรูปจากแป้งมันสำปะหลัง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. **ปุ๋ยอินทรีย์**. ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์บ้านและสวน, กรุงเทพฯ.

เมธี มณีวรรณ. 2541. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก). **วารสารพัฒนาที่ดิน.** 36(374): 12-22.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2542. **ศัพท์ในวงการปุ๋ย.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรภัทร ลัคนทินวงศ์. 2545. **การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อผักผลไม้สดแปรรูปพร้อมบริโภค.** ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2546. **การศึกษาวัสดุย่อยสลายได้ กระบวนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุย่อยสลายได้.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วรยุทธ สายบัวตรง. 2551. **การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วงศ์ผกา วงศ์รัตน์ และปาริชาติ ธาราพัตราพร. 2542. **การศึกษาบรรจุภัณฑ์จากผักตบชวา.** โครงงานวิศวกรรมการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์ข้อมูลเศรษฐกิจการค้าจังหวัด กระทรวงพาณิชย์. 2545. **ข้อมูลการตลาด: ความสัมพันธ์ระหว่างสาขาการพาณิชย์และเศรษฐกิจที่สำคัญ.** แหล่งที่มา: http://pcoc.moc.go.th/pcoc/, 10 ตุลาคม 2550.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2547. **การสร้างฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตพลังงาน และวัสดุพื้นฐานของประเทศ.** สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. 2549. **การประเมินวัฏจักรชีวิตและการออกแบบนิเวศเศรษฐกิจ.** ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. กรุงเทพฯ

สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. **ราคาท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง.** แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/, 27 พฤศจิกายน 2550.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. **คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ภายใต้โครงการจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม).** กรุงเทพฯ.

สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2545. **เอกสารประกอบการฝึกอบรมเรื่อง Introduction to Petroleum and Petrochemical Business.** แหล่งที่มา: http://www.ptit.org/hrd-course-preview/, 22 กันยายน 2550.

สภาอุตสาหกรรมพลาสติกไทย. 2551. **รายงานสถิติราคาเม็ดพลาสติกรายวัน.** แหล่งที่มา: http://www.tpia.org/stat/graphday.asp?, 5 เมษายน 2551.

สมาคมแป้งมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2550. **สถิติราคาแป้งมันสำปะหลังภายในประเทศ.** แหล่งที่มา: http://www.thaitapiocastarch.org /, 19 ธันวาคม 2550.

สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพไทย. ม.ป.ป. **พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพกับสถานภาพปัจจุบันในระดับโลก.** แหล่งที่มา: http://www.thaibioplast.com/, 16 พฤศจิกายน 2550.

สินชัย แซ่ตั้ง. 2543. **การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตต้นแบบภาชนะบรรจุอาหารจากเยื่อตะไคร้หอม.** โครงงานวิศวกรรมการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรศักดิ์ วิทย์ศลาพงษ์. 2547. **การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นที่ใช้ในบ้าน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550ก. **ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตรที่สำคัญ.** แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/pldweb/tech/p1.htm/, 18 ธันวาคม 2550.

_____. 2550ข. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย.** แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/ , 25 ธันวาคม 2550.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2549. **โครงการศึกษาแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เพื่อรองรับมาตรการจัดการของเสียบรรจุภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้.** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทย์ศาสตร์และเทคโนโลยี. 2546. **ฐานข้อมูลการจัดการปัฆาเกษตรกรรมขั้นพื้นฐานในเขตภูมิภาค**. แหล่งที่มา: http://www.thaibioplast.com/, 22 มีนาคม 2551.

หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง. 2540. **พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.** สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

องอาจ เอี่ยมสำองค์. 2542. **การใช้ระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรวรรณ เคหสุขเจริญ. 2529. **คุณสมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่างๆ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Baker, M. 2001. **Material Safety Data Sheet, Ethylene Glycol.**

Black, C.A. 1965. **Method of Soil Analysis**. Academic press, Inc.

Bohlmann, G.M. 2004. Biodegradable packaging life-cycle assessment. **Environmental progress** 23 (4): 342-346.

British Standards Institution. 2000. **BS EN 13432:Packaging-Requirement for packaging recoverable through composting and biodegradation.** London.

_____. 2002 . **PAS 100: Specification for composted materials.** London.

Butte Environmental Council. 2002. **Reducing Plastic Waste Top 2001 Legislative Agenda.** Available Source: http://www.becnet.org/nodes/issues/pollution/en_2001_sp12.htm, March 1, 2007.

BUWAL 250. 1996. **Okoinventare fur Verpackungen.** Schriftenreihe Umwelt, Bern.

Chaya, W., S.H. Gheewala. 2007. **Life cycle assessment of MSW-to-energy schemes in Thailand.** Journal of Cleaner Production 15(15): 1463-1468.

Chien-Chung, H., M. Hwong-Wen. 2003. **A multidimensional environmental evaluation of packaging materials**. Science of total environment (324): 161-172.

Christensen, T.H. and C.W. Nielsen. 1983a. Leaching from land disposed municipal composts: 1. Organic matter. **Waste Management & Research** 1(1): 83-94.

_____. 1983b. Leaching from land disposed municipal composts: 2. Nitrogen. **Waste Management & Research** 1(2): 115-125.

_____. 1984a. Leaching from land disposed municipal composts: 3. Inorganic ions. **Waste Management & Research** 2(1): *63-74*.

_____. and J.C. Tjell. 1984b. Leaching from land disposed municipal compost: 4. Heavy metals. **Waste Management & Research** 2(4): 347-357.

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.

Crop and Food Research, The New Zealand Baking Industry Research Trust. 2004. **Bread Ingredients**. Available Source: http://www.bakeinfo.co.nz/school/school_info/ bread _ ingredients.php, April 1, 2007.

Davis, G. and J.H. Song. 2006. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. **Industrial Crops and Products** 23 (2): 147-161.

Deutsches Institut fNur Normung: DIN, 1998. **Testing of the compostability of polymeric materials-German standard DIN V 54900 Parts 1–3.**

Dinkel, F., C. Pohl,, M. Ros and B. Waldeck. 1996. **Study prepare by CARBOTECH.** Bern, Switzerland.

Dow Chemaical Company. 2003. **STYRON polystyrene resin.** Available Source: http://plastics.dow.com, July 7, 2006.

Ecoinvent. 2003. **Final report ecoinvent 2000.** SimaPro 7.0, Amersfoort. *Cited* G. Doka. 2003. **Life cycle inventories of waste treatment surviece s.** Swiss Centre for LCI, Dubendorf.

_____. 2004. **Final report ecoinvent 2000.** SimaPro 7.0, Amersfoort. *Cited* M. Spielmann, T. Kagi, P. Stadler and O. Tietje. 2004. **Life cycle inventorie of transportation survices.** Swiss Centre for LCI, Dubendorf.

Emit environmental brokers. 2008. **Carbon marker overview.** Available Source: http://www.emit_markets.com, May 6, 2008.

Environmental Protection Department: EPD. 2007. **Waste: problem & solution.** Available Source: http://www.edp.gov.hk/english/environmental/prob_solution/waste.html, February 20, 2008.

Estermann, R., B. Schwarzwalder and B. Gysin. 2000. **Life cycle assessment of Mater-Bi and EPS loose fills.** Olten, Switzerland.

European Bioplastics. 2007. **Numerous microbes.** Available Source: Available Source: http://www.european-bioplastics.org, August 8, 2007.

European Manufacturers of EPS Packaging. 2002. **Life Cycle Assessment of Expandable Polystyrene packaging case study: Packaging system for TV sets.** Available Source: http://www.eumeps.org/, December 8, 2004.

European Manufactures of Expanded Polystyrene: EUMEPS. 2001. **Life cycle assessment of the indrustrial use of expandaed polystyrene packaging in Europe.** EMEPS Construction, Brussels.

Favaino, E. and D. Hogg. 2008. **The potential role of compost in reducing greenhouse gases.** Waste Management and Research 26 : 61-69.

Follett, R.F., 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil and Tillage Research** 61(1-2): 77-92.

Garrain, D., R. Vidal, P. Martinez, V. Franco and D. Cebrian-Tarrason. 2007. LCA of biodegradable multilayer film from biopolymers. *In Proceedings of* the **3rd International Conference on Life Cycle Management.** University of Zurich, Zurich.

Gua, A.C. 1980. Fundamentals of composting. **Compost Technological: Project Field Document.** 13: 7-14.

Gerngross, T.U. 1999. Can biotechnology move us toward a sustainable society?. **Nature Biotechnology** 17: 541-544.

Goedkoop, M. 1995. **Eco-indicator 95-Weighting method for environmental effects that damage ecosystem or human health on a European scale.** Final report prepared by

Pre' consultants and DUIF consultancy, commissioned by NOVEM and RIVM, Netherlands.

Gray, K.R., K. Sherman and A.J. Biddlestone. 1971. Review of Composting Part. **Process Biochem**. 6: 32-36.

Hakala, S., Y. Virtanen, K. Meinander and T. Tanner. 1997. **Life cycle assessment, comparison of biopolymer and traditional diaper systems.** Technical Research Centre of Finland, Meddelanden.

Heijungs, R., J.B. Guinee, G. Huppes, R. Lankreijer, M. Haes, U. Wegener and A. Sleeswijk. 1992. **Environmental life cycle assessment of products-Guide and background.** Centre for Environmental Science, Leiden, Netherlands.

Horikoshi, Y., T. Hashitani, M. Kutami, K. Yazaki and Y. Ando. 2005. Life-cycle Assessment of LSI Packaging Embossed Tape Made from Bio-based Polymer. *In Proceedings of* the 4th **International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing**. pp. 122-123. Tokyo, Japan.

Huang, C. and H.W. Ma. 2004. A multidimensional environmental evaluation of packaging materials. **Science of total environment** 324 (1): 161-172.

Heyde, M. 1998. Ecological considerations on the use and production of biosynthetic biodegradable polymers. **Polymer Degradation and Stability** 59 (1-3): 3-6.

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. 2006a. **ISO 14040: Environmental management-Life Cycle Assessment-Principle and framwork.**

_____. 2006b. **ISO 14044: Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines.**

_____. 2000. **ISO/DIS 16929: Plastics-Determination of the disintegration of plastics materials under defined composting conditions in a pilot-scale test.**

James, K. and T. Grant. 2005. **LCA of degradable plastic bags.** Centre for design, RMIT university.

Johansson, M. 2005. **Life cycle assessment of fossil and bio based materials for 3D shell applications: Material eco-profiles and example with blow moulded clear rigid packaging**. Stockholm, Sweden.

Jolliet, O., K. Cotting, C. Drexler and S. Farago. 1994. Life-cycle analysis of biodegradable packing materials compared with polystyrene chips: the case of popcorn. **Agricuture Ecosystem & Evironment** 49: 253-266.

Jönbrink, A.K., C. Wolf-Wats, M. Erixon, P. Olsson and E. Wallen, 2000. **LCA Software Survey.** Sirii-Swedish Industrial Research Institutes'Initiative., Stockholm.

Kaplan, D.L., J.M. Mayer, S.J. Lombardi, B. Wiley and P. Stenhouse. 1993. Fundamentals of Biodegradable Polymers, pp. 1-42. *In* C. Ching, D. Kaplan and E. Thomas, eds. **Biodegradable Polymers and Packaging.** Technomic Publishing Co.,Ltd, Lancaster.

Kim, I.,T. Hur. 1999. **An attempt to measure green productivity.** Department of Materials Chemistry & Engineering, Konkuk University, Korea.

Klauss, M. and W. Bidlingmaier. 2004. Pilot scale field test for compostable packaging materials in the city of Kassel, Germany. **Waste Management** 24(1): 43-51.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma** 12 (1-2): 1-22.

Lee, S.G. and X. Xu. 2005. Design for the environmental: Life cycle assessment and sustainable packaging issues. **International Journal of Environmental Technology and Management** 5 (1): 14-41.

Leng, R., C. Wang, C. Zhang, D. Dai. and G. Pu. 2008. Life cycle inventory and energy analysis of cassava-based Fuel ethanol in China. **Journal of Cleaner Production** 16 (3): 374-384.

Liamsanguann, C., S. Gheewala. 2006. Environmental assessment of energy production from municipal solid waste incineration. **Interantional Journal of LCA** 8: 1-8.

Lunt, J. 1998. Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymer. **Polymer Degradation and Stability** 59: 145-152.

Madrid, F., J.M. Murillo, R. Lopez and F. Cabrera. 2000. Use of urea to correct immature urban compost for agricultural purpose. **Communications in soil science and plant analysis** 31 (15): 2635-2649.

McDonough, W. and M. Braungart. 2002. **Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things**. North Point Press, New York.

Mondini, C., M.L. Cayuela, T. Sinicco, F. Cordaro, A. Roig and M.A. Sánchez-Monedero. 2007. Greenhouse gas emissions and carbon sink capacity of amended soils evaluated under laboratory conditions. **Soil Biology and Biochemistry** 39 (6): 1366-1374.

Morgan, S. 2007. **The New Biopastics, More Than Just Forks.** Available Source: http://www.nytimes.com/2007/03/07business/businessspecial2007 plastic.html, March 7, 2007.

Murphy, R., M. Bonin and W.R. Hillier. 2004. **Life cycle assessment of potato starch based packaging trays. Report for STI project sustainable GB potato packaging.** Imperial college, London.

Murphy, R. and I. Bartle. 2004. **Biodegradable Polymer and Sustainability: Insights from Life Cycle Assessment, Summary Report.** National Non-Food Crops Centre, London.

Narayan, R. 2002. Rationale, drivers, and design for biodegradable & biobased plastics, pp. 341-345. *In Proceedings of* the **TAPPI PLACE Conference**. Boston, Massachusetts.

_____. 2005a. Driver & rationale for use of biobased materials based on life cycle assessment (LCA), pp. 127-138. *In Proceedings of* the **Global Plastics Environmental Conference 2004: GPEC 2004 – Helping Grow a Greener Environment**. Detroit , Michigan.

_____. 2005b. Plastics from renewable resources, pp. 391-397. *In Proceedings of* the **Global Plastics Environmental Conference 2005: GPEC 2005 - Creating Sustainability for the Environment**. Atlanta, Georgia.

_____ and M. Patel. 2004. **Review and analysis of bio-based product LCA's.** Available Source: http://www.ou.edu/spp/biobased/lcareview.pdf, July 28, 2007.

Nolan – ITU Pty Ltd. 2002. **Biodegradable plastics – Developments and Environmental impacts.** Melbourne, Australia.

Organization for Economic Co-operation and Development: OECD. 2003. **OECD guideline for the testing of chemicals.** Available Source: http://www.oecd.org, June 25, 2007.

Oki, Y. and H. Sasaki. 2000. Social and environmental impact of packaging (LCA and assessment of packaging function). **Packaging Technology and Science** 13 (2): 45-53.

Pagga, U., D.B. Beimborn, J. Boelens and D B. Wilde. 1995. **Determination of the aerobic biodegradability of polymeric material in a laboratory controlled composting test.** Chemosphere 31(11): 4475–4487.

Paoluglam, J. 2005. **Life Cycle Assessment of petrochemical products: polystyrene and polyurethane foam.** M.S. thesis, Chulalongkorn University.

Patel, M., E. Jochem, F. Marscheider-Weidemann, P. Radgen and N. von Thienen. 1999. **C-STREAMS-Estimation of material, energy and CO2 flows for model systems in the context of non-energy use, from a life cycle perspective.** Fraunhofer ISI Karlsruhe, Germany.

_____. 2001. **Review of Life Cycle Assessment for Bioplastics.** Utrecht University, Netherlands.

Plastics European Association. 1994. **Polystyrene.** Available Source: http://www.plasticseurope.org, May 16, 2005.

Phylipsen, D., M. Kerssemeeckers, K. Blok, M. Patel and J. de Beer. 2002. **Assessing the environmental Potential of Clean material Technologies.** European Commission, Joint Research Centre, Report EUR 20515 EN.

Pre' Consultants. 2005a. **SimaPro 7.0 -Manual book.** Amersfoort, Netherlands..

Rynk, R. 1992. **On-farm Composting Handbook**. Ithaca, NY: Cooperative Extension, Northeast Regional Agricultural Engineering Service.

Sanchez-Monedero, M.A., M.L. Cayuela, C. Mondini, N. Serramiá and A. Roig. 2008. Potential of olive mill wastes for soil C sequestration. **Waste Management** 28(4): 767-773.

SETAC-Europe Working Group. 2003. **Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes.**

Shin, C. 2006. Filtration application from recycled expanded polystyrene. **Journal of Colloid and Interface Science** 1(1): 267-271.

Sonneveld, K. 2000. The role of life cycle assessment as a decision support tool for packaging. **Packaging Technology and Science.** 13: 55–61.

Sriroth, K. and K. Sangseethong. 2006. Biodegradable Plastics Foam Cassava Starch. **International of Society for Horticultural Science** 33 (9): 16.

Stuetzenberger, F.J., A.J. Kaufman and R.D. Lossin. 1970. Cellulolytic activity in municipal solid waste composting. **Canadian Journal of Microbiology.** 16: 553-560.

Tan, R. and H. Khoo. 2005. Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios**. Journal of Environmental Management.** 74 (3): 1-11.

Tchobanoglous, G., H. Theisen and S. Vigil. 1993. **Integrated solid waste management.** McGraw-Hill Publications, New York.

Thai Carboncredit. 2008. **Carbon credit & emission knowledge.** Available Source: http://www.thaicarboncredit.com, May 6, 2008.

United Kingdom Register of Organic Food Standards. 2001. **UKROFS Standards.**

Van Dam, Y.K. 1996. Environmental assessment of packaging the consumer point of view. **Environmental Management** 20 (5): 607-614.

Vink, E. T.H., K.R. Rebago, D.A. Glassner and P.R. Gruber. 2003. Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. **Polymer Degradation and Stability** 80 (3): 403-419.

Waite, R. 1995. **Household Waste Recycling.** Earthscan Publications, London.

Wurdinger, E., A. Wegener, A. Roth, U. Peche, G.A. Reinhardt, A. Detzel, J. Giegrich, S. Mohler, J. Borken, A. Patyk, H. Fehrenbach, R. Vogt, D. Muhlberger, J. Wante, M. Klein and F.C.M. Straver. 2001. **Kunstsoffe aus nachwachsenden Roshstoffen-Verleichende Okobilanz fur loose-fill-packmittel aus starke bzw. aus polystyrol.** Institut fur Energie und Umweltforschung Heidelberg (IFEU), Germany.

Zabaniotou, A. and E. Kassidi. 2002. Life cycle assessment applied to egg packaging made from polystyrene and recycled paper. **Journal of Cleaner Production** 11 (5): 549-559.

Zagouras, N.G. and A.A. Koutinas. 1995. Processing scheme based on selective dissolution to recycle food packaging and other polymeric wastes and its economic analysis. **WasteManagement & Research** 13(4): 325-333.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เกณฑ์ในการประเมินพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (EN 13432: 2000)

เกณฑ์ในการประเมินพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (EN 13432: 2000)

1. ลักษณะสมบัติทางเคมี (Chemical characteristic)

1.1 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้: พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ควรมีปริมาณของแข็งระเหยได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

1.2 ปริมาณโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆ: พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ควรมีปริมาณความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักและสารอันตรายอื่น ๆ ไม่เกินค่าที่แสดงในตารางผนวกที่ ก1

ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆ ที่ยอมให้มีได้มากที่สุดในพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัม/กิโลกรัมพลาสติก)	ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัม/กิโลกรัมพลาสติก)
Zn	150	Cr	50
Cu	50	Mo	1
Ni	25.0	Se	0.75
Cd	0.5	As	5
Pb	50	F	100
Hg	0.5		

2. ความสามารถในการย่อยสลาย (Biodegradability)

2.1 ปริมาณอินทรีย์สาร: พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ควรมีปริมาณอินทรีย์สารเป็นองค์ประกอบไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนักแห้ง และเป็นอินทรีย์สารไม่ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพไม่เกินร้อยละ 5

2.2 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic biodegradability tests): พลาสติกที่จะนำมาทดสอบการย่อยสลาย ต้องเป็นพลาสติกเก็บไว้ไม่นานกว่า 6 เดือน และการย่อยสลายของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพต้องต้องมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับสารอ้างอิง

2.3 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic biodegradability tests): พลาสติกที่จะนำมาทดสอบการย่อยสลาย ต้องเป็นพลาสติกเก็บไว้ไม่นานกว่า 2 เดือน และการย่อยสลายของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพต้องต้องมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับความเป็นไปได้การย่อยสลายทางทฤษฎี

3. การแยกสลาย (Disintegration)

3.1 การคอมโพสท์แบบใช้อากาศ (Aerobic composting): กระบวนการคอมโพสท์ใช้เวลามากที่สุดไม่เกิน 12 สัปดาห์ และมีวัสดุทดสอบไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้น ที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร

3.2 การคอมโพสท์แบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic composting): กระบวนการคอมโพสท์ใช้เวลามากที่สุดไม่เกิน 5 สัปดาห์ และมีวัสดุทดสอบไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้งเริ่มต้น ที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร

4. ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity)

อัตราการงอกและมวลชีวภาพของพืชที่เพาะปลูกในตัวอย่างคอมโพสท์ ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับชุดควบคุม

ภาคผนวก ข

เกณฑ์มาตรฐานของปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในคอมโพสท์

เกณฑ์มาตรฐานของปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในคอมโพสท์

เกณฑ์มาตรฐานของปริมาณโลหะหนักมากที่สุดที่ยอมให้มีได้ในคอมโพสท์ทั่วไป (British Standards Institution, 2002) และคอมโพสท์จากวัสดุขยะครัวเรือน (United Kingdom Register of Organic Food Standards, 2001) แสดงดังตารางผนวกที่ ข1

ตารางผนวกที่ ข1 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในคอมโพสท์ทั่วไปและคอมโพสท์

ธาตุ	ปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมคอมโพสท์)	
	BSI	UKROFS
แคดเมียม	< 1.5	< 0.7
โครเมียม	< 100	< 70
ทองแดง	< 200	< 70
ตะกั่ว	< 200	< 45
ปรอท	< 1	< 0.4
นิเกิล	< 50	< 25
สังกะสี	< 50	< 200

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ปัจจัยกำหนดต่างๆ

วิธีวิเคราะห์ปัจจัยกำหนดต่างๆ

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและของแข็งทั้งหมด

อุปกรณ์

1. ตู้อบ
2. เครื่องชั่ง
3. ฟลอยด์

วิธีการ

ชั่งตัวอย่างใส่ในฟลอยด์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ เพื่อคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมด

การคำนวณ

$$W = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

และ $$T = 100 - W$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

W = ร้อยละของความชื้น

T = ร้อยละของปริมาณแข็งทั้งหมด

2. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอน (Blank, 1965)

อุปกรณ์

1. ตู้อบ
2. เครื่องชั่ง
3. ชามเผา

<u>วิธีการ</u>

นำตัวอย่างที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไปเผาซ้ำที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ เพื่อคำนวณปริมาณของแข็งระเหยได้

<u>การคำนวณ</u>

$$VS = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

$$Ash = 100 - VS$$

และ $$C = \frac{VS}{1.8}$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

W = ร้อยละของปริมาณของแข็งระเหยได้

Ash = ร้อยละของปริมาณเถ้า

C = ร้อยละของคาร์บอน

3. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (Blank, 1965)

Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างดินซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ Organic Nitrogen หรือ Ammonia Nitrogen

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องชั่ง
2. เครื่องย่อย (Digestion apparatus)
3. หลอดสำหรับย่อย (Digestion tube)
4. เครื่องกลั่น (Distillation apparatus)
5. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 และ 1,000 มิลลิลิตร
6. ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร
7. กระบอกตวง
8. ปิเปตขนาด 10 และ 20 มิลลิลิตร
9. บิวเรตขนาด 10 มิลลิลิตร

10. ตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร

<u>สารเคมี</u>

1. กรดซัลฟิวริก (ความเข้มข้นร้อยละ 95–97)
2. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
3. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$)
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH solution) ความเข้มข้นร้อยละ 40

ละลาย NaOH 400 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น เก็บไว้ในภาชนะที่มิดชิด เพื่อป้องกันไม่ให้ CO_2 เข้าไปได้

5. สารละลายกรดบอริก (Boric acid solution)

ละลาย กรดบอริก (H_3BO_3) ในน้ำร้อน 700 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุเอทานอล 200 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรอกไซด์ 0.05 N หยดลงไปปรับให้สารละลายมีค่าความเป็นกรด - เบส ประมาณ 5 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรของสารละลายเป็น 1 ลิตร

6. กรดไฮโดรคลอริก 0.01 M

<u>วิธีการ</u>

1. ร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตร จำนวน 0.5-1.0 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับย่อยขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติม K_2SO_4 7 กรัม $CuSO_4$ 0.8 กรัม และกรดซัลฟิวริก 12 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น
4. เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร ลงในหลอดสำหรับย่อย
5. ใช้ปิเปตดูดสารละลายที่ได้จากการย่อย 10–20 มิลลิลิตร ใส่ในขวด แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิลิตรลงไป นำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่น
6. ปิเปตกรดบอริกจำนวน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ นำไปวางไว้รองรับของเหลวจากการควบแน่นของเครื่องกลั่น เป็นเวลาประมาณ 4 นาที
7. เมื่อได้ของเหลวจากการควบแน่นซึ่งมีสีเขียว นำไปไทเทรตด้วยกรดไฮโดรคลอริก สีของของเหลวจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดงที่จุดยุติ บันทึกปริมาตรของกรดที่ใช้ในการไทเทรต
8. ทำ Blank ซึ่งไม่มีตัวอย่างควบคู่ไปด้วยกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการ

คำนวณ

$$N_t = \frac{(T - B)(14.007)(N)(100)}{W}$$

เมื่อ N_t = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

T = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มล.)

B = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต Blank (มล.)

N = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

4. การวิเคราะห์ความหนาแน่น

วิธีการ

ความหนาแน่นสามารถหาได้โดยการนำตัวอย่างบรรจุลงในภาชนะที่ทราบปริมาตร กระแทกเบาๆ 3 ครั้ง จากนั้นชั่งน้ำหนักภาชนะที่มีตัวอย่าง ทำซ้ำหลายๆ ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักคอมโพสท์}}{\text{ปริมาตรคอมโพสท์}}$$

ภาคผนวก ง

การคำนวณสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

การคำนวณสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ในการคำนวนหาปริมาณวัสดุหมักที่ต้องการใช้ กรณีกำหนดสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน สามารถคำนวนได้จากสมการ

$$\frac{C_A(TS_A)+C_B(TS_B)+C_C(TS_C)}{N_A(TS_A)+N_B(TS_B)+N_C(TS_C)}=\frac{C_D}{N_D}$$

โดยที่

C_A	=	ร้อยละคาร์บอนของวัสดุหมักชนิด A
TS_A	=	ของแข็งรวมของวัสดุหมักชนิด A
C_B	=	ร้อยละคาร์บอนของวัสดุหมักชนิด B
TS_B	=	ของแข็งรวมของวัสดุหมักชนิด B
C_C	=	ร้อยละคาร์บอนของวัสดุหมักชนิด C
TS_C	=	ของแข็งรวมของวัสดุหมักชนิด C
C_D	=	คาร์บอนที่ต้องการ
N_A	=	ร้อยละไนโตรเจนของวัสดุหมักชนิด A
N_B	=	ร้อยละไนโตรเจนของวัสดุหมักชนิด B
N_C	=	ร้อยละไนโตรเจนของวัสดุหมักชนิด C
N_D	=	ไนโตรเจนที่ต้องการ

ภาคผนวก จ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส และความชื้นคอมโพสท์

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส และความชื้นของคอมโพสท์

1. อุณหภูมิ

ตารางผนวกที่ จ1 อุณหภูมิเฉลี่ยของกองคอมโพสท์ตลอดระยะเวลาคอมโพสท์

เวลา (วัน)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)									
	Blank 1	Blank 2	Blank 3	Disint 1	Disint 2	Disint 3	Ecotx 1	Ecotx 2	Ecotx 3	Ambt
1	27.6	28.5	27.85	27.85	27.9	28.45	27.9	27.9	27.7	26.9
2	38.3	40.72	38.2	39.3	38.28	41.18	36.5	36.7	35.68	26.62
3	43.75	44.73	44.53	44.5	45.17	46.17	42.37	42.25	40.65	25.28
4	39.8	39.93	39.75	39.98	41.92	42.7	39	39.5	36.47	25.17
5	41.05	40.08	39.56	38.8	42.53	43.35	41.45	41.2	38.35	25.55
6	40.88	39.15	38.25	39.05	41.38	42.48	42.95	43.28	38	24.48
7	36.32	36.72	35.82	37.2	39.22	37.84	37.12	35.46	35.64	26.16
8	39.72	38.95	38.25	39.23	45.7	44.23	41.27	41	38.37	25.35
9	38.37	35.73	36.17	36.43	39.97	38.5	44.23	42.8	43	24.33
10	37.93	35.8	35.37	36.83	39.63	38.47	46.17	49	45.6	24.33
11	36.63	34.6	33.73	33.8	36.23	36.7	48.13	50.23	45.43	26.5
12	38.2	34.3	34.2	32.13	34.83	34.8	51.2	49.27	46.73	22.93
13	34.1	32.53	33.13	32.9	33.3	33.2	46.2	46.9	46.2	26.53
14	31.1	30.8	32.33	31.17	31.3	31.8	40.63	41.27	42.07	25.07
15	31.3	30.5	30.1	30.45	30.8	30	35.25	41.05	37.9	24.7
16	34.6	34.1	33.5	30.75	33.95	32.8	38.95	43.25	39.6	22.55
17	37.65	38.35	35.6	34.85	36.55	36.3	41.3	44.55	42	22.45
18	38.1	36.35	34.4	36.45	35.7	34.9	38.35	39.15	41.05	23.05
19	34.75	33.6	49.05	35.5	33.35	33	36.7	37.6	37.9	25.65

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

เวลา (วัน)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)									
	Blank 1	Blank 2	Blank 3	Disint 1	Disint 2	Disint 3	Ecotx 1	Ecotx 2	Ecotx 3	Ambt
20	33.9	33.2	32.6	34	34.3	34.7	36.7	36.4	37.8	28.2
21	33.6	32.7	31.8	32.9	32.5	33.6	35.8	35.6	35.7	25
22	33.7	32.8	32.1	34.2	33.1	32.2	35.7	36.3	35.7	28.8
23	31.7	31.3	30.3	30.7	31.4	31.8	32.7	34.3	33.4	27.4
24	35.4	32.9	33	34.7	32.6	32	35.9	37.7	38.4	24.4
25	35.1	33.8	33	34.8	32.5	32.3	35.2	36.9	38.8	28
26	33.7	33	31.6	32.7	32	31.5	33.4	34.1	37	28.2
27	33.7	33.2	32.1	33.4	32.4	32.5	33.5	33.6	34.8	30.6
28	33.5	32.5	32.8	33.5	32	32.4	33.8	33.9	35.2	28.3
29	33.5	33	33	33.5	32.7	32.5	33.8	33.4	34.6	26.5
30	33.9	32.8	33.4	33.6	32.3	32	34	33.54	34.2	28.7
31	31.4	30.6	31.1	34.2	32.2	32.3	32	34	33.5	28.7
32	33.3	33.1	33.2	33.6	32.7	33.1	33.8	34.9	36.3	27.5
33	33.8	34	34.3	34.1	33.6	33.7	34.9	34.7	35.4	28.5
34	33.8	33.3	33.4	34	32.9	35.2	34.8	34.9	35.1	32.1
35	34.2	33.4	34	34.6	33.4	32.9	33.6	34.2	34.8	32
36	35.6	31.9	33.4	34.1	34	34.1	34.2	34.6	34.8	31.5
37	34.2	32.3	33.1	34.4	34.3	34.7	34	34.5	34.7	29.7
38	32.4	32.7	33	33.1	35.2	32.9	32.2	32.3	32.9	30.4
39	33.1	32.5	33	32.5	34.3	32.4	39.2	38.9	37.4	28.7
40	30.1	31.2	30.5	30.3	30.4	30.5	31.4	31	31.6	28.8
41	31	31.3	31.5	31	31.2	30.7	31.3	30.5	32.2	27.4
42	31.1	31.5	32.8	32.1	31.3	31	29.9	31.8	32	30

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

เวลา (วัน)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)									
	Blank 1	Blank 2	Blank 3	Disint 1	Disint 2	Disint 3	Ecotx 1	Ecotx 2	Ecotx 3	Ambt
43	31.5	32.2	34	32.9	32.9	32.9	33.2	34.5	32.7	32.7
44	31.8	32.5	34.7	33.5	33.5	33	33.1	33	35	32
45	31.9	32	32.4	32.7	31.5	32.1	33	32.3	32.6	28.6
46	31.7	31.6	34.9	33.5	33.5	34.3	33.4	32.8	31.9	26.1
47	29.6	29.8	31.4	31.1	30.3	29.8	30.1	29.6	29	26.1
48	30.5	29.6	31.4	30.9	30	28.7	30.1	29.2	29.2	27.3
49	29.1	30.6	31.7	32.7	30.3	30.4	30.3	29.9	30	22.6
50	28.9	28.5	31.5	30.3	38.9	39.1	38.6	38.7	37.6	27
51	29.2	29.5	33.7	32.7	31.3	30.8	30.3	30.7	30	29
52	30.1	29.6	33	32.7	32.6	31.5	31.1	31.1	30.1	28.9
53	32.4	36.1	35.9	35.6	36	34.8	33.3	33.2	33.5	28.2
54	32.3	32.9	36.1	36.3	36.3	36.3	33.1	33.7	32	27.4
55	30.6	30.1	35.4	33.8	34.3	35.9	31.5	32.5	31	29.9
56	30.7	30.8	35.9	34.4	35.3	36.3	33	33.8	31.1	30.3
57	31.4	32.25	37.6	36.8	36.45	36.7	33.95	34.95	31.95	29.9
58	32.1	33.7	39.3	39.2	37.6	37.1	34.9	36.1	32.8	31.2
59	32.8	34.4	38.4	39.1	37.4	38.1	36.1	36.4	32.9	31.6
60	33.8	36.7	37.7	38.1	36.6	37.6	35.6	35.2	32.6	31.6
61	34.2	35.5	36.3	39	37.1	35.4	39.7	36.4	36.9	31.9
62	33.4	36.4	37	37.3	36.1	36.8	38.4	35.2	33.5	25.3
63	34.1	36.2	37	37.5	36.2	36.7	37.1	35.4	34.2	26.4
64	34.6	36.5	36.3	37.7	33.9	35.3	35.5	33.8	35.3	27.8
65	34.5	36.4	36.6	37.4	34.2	35.7	35.2	33.5	35.8	29.5

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

เวลา (วัน)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)									
	Blank 1	Blank 2	Blank 3	Disint 1	Disint 2	Disint 3	Ecotx 1	Ecotx 2	Ecotx 3	Ambt
66	34	36	36.1	36.9	33.7	35	34.9	33.7	34.8	29.6
67	33.8	35.9	36.3	36.9	33.8	35.1	34.8	33.9	34.5	28.7
68	33.5	35.4	36	36.4	33.2	34.7	34.2	33.5	34.1	30.2
69	33.4	35	36.1	35.9	33.4	33.9	34.5	33.7	33.9	31.2
70	33.1	34.2	35.7	35.6	33.1	33.9	34.3	33.6	33.4	30.4
71	32.7	33.8	35.6	35.4	33.2	33.7	34.2	33.5	33.8	30.6
72	32.9	34	35.1	32.9	33.4	33.9	33.9	33.7	33.6	29.5
73	33.1	33.9	35.4	32.7	33.1	33.8	34.1	33.7	33.4	28.7
74	32.8	33.7	34.8	33.4	33.2	33.5	34	33.5	33.7	29.3
75	32.7	33.6	34.7	32.9	33.5	33	33.8	33.2	33.9	27.3
76	32.5	33.5	34.3	32.6	33.1	33.2	33.6	33.1	33.8	28.4
77	32.4	33.7	33	32.9	33.2	33.1	33.5	33.2	34.1	26.7
78	32.5	33.5	33.2	32.6	32.9	32.9	33.7	33.3	34	27.3
79	32.4	33.4	33.1	33.4	33	32.7	33.4	33.6	33.8	29.8
80	32.3	33.1	32.9	32.9	33.1	32.8	33.5	33.5	33.7	29.4
81	32.1	32.7	32.7	32.6	33.1	32.6	32.3	33.3	33.5	27.8
82	32.5	33.4	32.6	33.4	33.2	32.7	33.2	33.5	33.4	29.5
83	32.4	33	33.1	32.9	33.4	32.9	33.5	33.7	33.6	29.4
84	32.1	32.2	32.7	32.6	33.1	32.9	32.3	33.1	33.4	27.8

หมายเหตุ: Blank คือ ชุดควบคุม

Disint คือ ชุดทดสอบการแยกสลายและคุณภาพของคอมโพสท์

Ecotx คือ ชุดทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ

Ambt คือ บรรยากาศล้อมรอบ

2. ความเป็นกรด-เบส

ตารางผนวกที่ จ2 ความเป็นกรด-เบสของกองคอมโพสท์ตลอดระยะเวลาคอมโพสท์

เวลา (สัปดาห์)	ความเป็นกรด-เบส								
	Blank 1	Blank 2	Blank 3	Disint 1	Disint 2	Disint 3	Ecotx 1	Ecotx 2	Ecotx 3
เริ่มต้น	6.8	7.2	7.1	6.8	6.9	7.0	7.0	6.8	6.9
1	8.3	8.5	8.5	8.7	8.6	8.7	8.6	8.4	8.5
2	8.6	8.4	8.3	8.7	8.9	8.7	8.8	8.7	8.7
3	8.5	8.7	8.5	8.5	8.5	8.4	8.5	8.6	8.3
4	8.2	8.1	8.3	8	8	8.6	8	8	8.5
6	8.1	8.2	8	8	7.9	8	7.8	8.3	8.5
8	7.8	7.6	8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8
10	7.5	7.5	7.5	7.7	7.4	7.5	7.5	7.2	7.5
12	7.2	7.3	7.5	7.6	7.4	7.5	7.3	7.3	7.4

หมายเหตุ: Blank คือ ชุดควบคุม

Disint คือ ชุดทดสอบการแยกสลายและคุณภาพของคอมโพสท์

Ecotx คือ ชุดทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ

3. ปริมาณความชื้น

ตารางผนวกที่ จ3 ปริมาณความชื้นของกองคอมโพสท์ตลอดระยะเวลาคอมโพสท์

เวลา (สัปดาห์)	ร้อยละความชื้น								
	Blank 1	Blank 2	Blank 3	Disint 1	Disint 2	Disint 3	Ecotx 1	Ecotx 2	Ecotx 3
เริ่มต้น	69.20	69.20	69.20	69.20	69.20	69.20	69.20	69.20	69.20
1	70.58	59.13	61.47	63.94	68.79	61.68	71.23	65.65	57.51
2	62.70	62.85	62.55	62.85	62.79	60.95	61.24	64.03	63.54
3	63.33	63.95	61.31	65.51	59.66	60.11	67.72	66.98	62.97
4	54.10	55.11	57.96	59.84	60.53	54.81	57.97	55.95	61.21
6	61.72	64.32	55.37	60.19	60.13	57.89	66.37	65.14	62.57
8	53.82	53.61	50.80	57.87	56.88	54.37	58.10	58.60	57.60
10	53.42	52.61	53.34	50.07	54.00	55.72	54.05	56.61	56.28
12	58.70	53.66	56.81	58.28	59.35	59.34	58.66	57.40	55.23

หมายเหตุ: Blank คือ ชุดควบคุม

Disint คือ ชุดทดสอบการแยกสลายและคุณภาพของคอมโพสท์

Ecotx คือ ชุดทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ

ภาคผนวก ฉ

รายการพันธุ์พืชที่แนะนำให้ใช้ในการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (OECD 208)

รายการพันธุ์พืชที่แนะนำให้ใช้ในการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (OECD 208)

ตารางผนวกที่ ฉ1 รายการพันธุ์พืชที่แนะนำให้ใช้ในการทดสอบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ

Family	**Species**	**Common names**
DICOTYLEDONAE		
Chenopodiaceae	Beta vulgaris	Sugar beet
Compositae (Asteraceae)	Lactuca sativa	Lettuce
Cruciferae (Brassicaceae)	Sinapis alba	Mustard
Cruciferae (Brassicaceae)	Brassicachinensis	Chinese cabbage
Cruciferae (Brassicaceae)	Brassica napus	Oilseed rape
Cruciferae (Brassicaceae)	Brassica oleracea var. capitata	Cabbage
Cruciferae (Brassicaceae)	Brassica rapa	Turnip
Cruciferae (Brassicaceae)	Lepidium sativum	Garden cress
Cruciferae (Brassicaceae)	Raphanus sativus	Radish
Cucurbitaceae	Cucumis sativa	Cucumber
Leguminosae (Fabaceae)	Glycine max (G. soja)	Soybean
Leguminosae (Fabaceae)	Phaseolus aureus	Mung bean
Leguminosae (Fabaceae)	Pisum sativum	Pea
Leguminosae (Fabaceae)	Trigonella foenum-graecum	Fenugreek
Leguminosae (Fabaceae)	Lotus corniculatus	Birdsfoot trefoil
Leguminosae (Fabaceae)	Trifolium pratense	Red Clover
Leguminosae (Fabaceae)	Vicia sativa	Vetch
Solanaceae	Lycopersicon esculentum	Tomato
Umbelliferae (Apiaceae)	Daucus carota	Carrot
MONOCOTYLEDONAE		
Gramineae (Poaceae)	Avena sativa	Oats
Gramineae (Poaceae)	Hordeum vulgare	Barley
Gramineae (Poaceae)	Lolium perenne	Perennial ryegrass

ตารางผนวกที่ ฉ1 (ต่อ)

Family	**Species**	**Common names**
Gramineae (Poaceae)	Oryza sativa	Rice
Gramineae (Poaceae)	Secale cereale	Rye
Gramineae (Poaceae)	Sorghum vulgare	Shattercane
Gramineae (Poaceae)	Triticum aestivum	Wheat
Gramineae (Poaceae)	Zea mays	Corn
Liliaceae (Amarylladaceae)	Allium cepa	Onion

ที่มา: Organization for Economic Co-operation and Development: OECD, 2003

ภาคผนวก ช

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 ได้กำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังในตารางภาคผนวกที่ 7

ตารางภาคผนวกที่ ช1 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์พ.ศ.2548

ลำดับ	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและของแข็งระเหยได้	ไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)	5.5-8.5
7	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน20 : 1
8	ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน /เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส (P_2O_5) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม(K_2O) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
10	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม / กิโลกรัม

ภาคผนวก ซ

ระดับนัยสำคัญ (Significance thresholds) ในการทำ LCA ของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ระดับนัยสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ตารางภาคผนวกที่ ซ1 ระดับที่มีนัยสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

The environmental impact is…	Environmental categories		Symbol
	Energy, waste	All others	
…much higher	> 200%	> 500%	++
…hight	125%-200%	167%-500%	+
…comparable	80%-125%	60%-167%	O
…lower	50%-80%	20%-60%	-
…much lower	< 50%	< 20%	--

ที่มา: Estermann และคณะ (2000)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายอัครเดช จวงถาวร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 9 สิงหาคม 2524
สถานที่เกิด	9/1 หมู่ 8 ต.อินทร์บุรี อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี
ประวัติการศึกษา	ระดับอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- ทุนวิจัยสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	- ทุนโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา