



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก
โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต

Comparative Study on Environmental Impacts of Plastic Film Production Process

Using Life Cycle Assessment Technique

นามผู้วิจัย นางสาวจุฬารัตน์ พลนาค

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์งามทิพย์ กุ้วโรดม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์รัตนาวรรณ มั่งคั่ง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชญารัตน์ จิฎกานนท์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต
ฟิล์มพลาสติกโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต

Comparative Study on Environmental Impacts of Plastic Film
Production Process Using Life Cycle Assessment Technique

โดย

นางสาวจุฬารัตน์ พลนาค

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จุฬารัตน์ พลนาค 2554: การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต ปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ งามทิพย์ ภู่วโรดม, Ph.D. 88 หน้า

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก ด้วยวิธี CML 2 Baseline 2000 และ Cumulative energy demand โดยใช้โปรแกรม SimaPro Version 7.2 กำหนดหน่วยหน้าที่การทำงาน คือ ฟิล์มพลาสติกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม หรือ ฟิล์มพลาสติกพื้นที่ 1 ตารางเมตร ขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขึ้นรูปและการแปรรูปฟิล์มพลาสติก โดยไม่นำการขนส่งมาพิจารณา รวมถึงผลการศึกษาพบว่า ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นกลุ่มผลกระทบที่สำคัญของการผลิตฟิล์มพลาสติก ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากเม็ดพลาสติกและพลังงานที่ใช้ และพบว่าจุดหลอมเหลวเป็นตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีเป่าหรือวิธีหล่อ และการจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการเป่าฟิล์มหรือระหว่างการหล่อฟิล์ม ต่างมีศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่า กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดกับอัดรีดร่วม การลามิเนตด้วยวิธีแห้งกับวิธีอัดรีด และการพิมพ์ด้วยระบบเพล็กโซกราฟีกับระบบกราเวียร์มีศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่แตกต่างกัน

จากผลการศึกษาสามารถหาความสัมพันธ์เชิงสมการระหว่างศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนกับกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกและใช้ในการประเมินศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัวที่ผลิตจากพลาสติกกลุ่มพอลิเอทิลีนส์ ผลจากการใช้สมการพบว่า สามารถลดความคลาดเคลื่อนของการใช้ข้อมูลหัตถวิธานในการประเมินศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของภาชนะบรรจุพลาสติกได้ ประมาณ 20-50 เปอร์เซ็นต์ สมการนี้เป็นกรณีศึกษานำร่องเพื่อให้มีการวิจัยเพิ่มเติม ซึ่งจะทำให้สมการมีความสมบูรณ์มากขึ้นและสามารถใช้ได้กับพลาสติกทั่วไป เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผู้ผลิตและผู้ใช้ภาชนะบรรจุพลาสติกชนิดอ่อนตัว โดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรม SMEs ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

Chularat Ponnak 2011: Comparative Study on Environmental Impacts of Plastic Film Production Process Using Life Cycle Assessment Technique. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging and Materials Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Ngamtip Poovarodom, Ph.D. 88 pages.

The present study aims at assessing the environmental impact of plastic film production processes using life cycle assessment technique, particularly CML 2 Baseline 2000 and Cumulative Energy Demand with the help of SimaPro software version 7.2. The functional unit was plastic film 1 kg or 1 square meter. The boundary system covered the raw material extraction, the film making and the film converting processes, while transport at all stage was excluded. It was found that the global warming potential was the principal impact category and the major contributors were plastic resin and energy consumption. In addition, melting points of plastic resins determined the amount of energy consumption. Making film by blown or cast process and blown film orientation or cast film orientation process contributed similar extent to global warming. However, the comparison of the following processes; extrusion against co-extrusion, dry lamination against extrusion lamination, flexography against gravure printing, showed significant differences in global warming potential.

The global warming potential of film production was expressed in an equation to determine the extent constituted from flexible packaging made from polyolefins. The application of this equation to calculate the global warming potential could reduce an error of 20 to 50%, comparing with secondary data. The proposed equation was to initiate further studies which should cover many plastics. Moreover, it would assist a great deal the plastic film producers and users, especially SMEs, to assess the environmental impact of their products.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.งามทิพย์
ภู่วโรดม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษา เอาใจใส่ รวมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ
ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ ดร.ชिरาวุฒิ เพชรเย็น กรรมการวิชาเอก ดร.เลอพงศ์ จารุพันธ์
กรรมการวิชาเอก ดร.รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และดร.เมธิ เลิศดำหรับ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกที่ได้
กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษาในทุกๆ ด้านตลอดระยะเวลาทำการวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จน
สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุทุกท่านที่
คอยให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนใน
ภาควิชาที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้อง ที่เป็นกำลังใจสำคัญในการศึกษา และทำ
วิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณสำหรับการอบรมสั่งสอน การสนับสนุน และแรงผลักดันที่ทำให้
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มี
พระคุณทุกท่านและหากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

จุฬารัตน์ พลนาค

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	45
สรุปและข้อเสนอแนะ	75
สรุป	75
ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	78
ภาคผนวก	83
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	88

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	วิธีการคำนวณการปนส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงน้ำหนัก	22
2	วิธีการคำนวณการปนส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงเศรษฐศาสตร์	22
3	ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพื้นฐานที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	23
4	ตัวอย่างการคำนวณดัชนีชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก	26
5	ตัวอย่างการคำนวณดัชนีชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก	27
6	ตัวอย่างการคำนวณดัชนีชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้จากกระบวนการพิมพ์	28
7	ตัวอย่างการคำนวณดัชนีชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์จากกระบวนการพิมพ์	28
8	ผลการศึกษาระเบียบวิธีชีวิตของพลาสติกจากปิโตรเคมีและพลาสติกชีวภาพ	33
9	การจำแนกข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ต้องการและแหล่งที่มาของข้อมูล	41
10	แหล่งที่มาข้อมูลของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตฟิล์มพลาสติก	45
11	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีเป่า	46
12	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีหล่อ	47
13	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีด	47
14	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม	48
15	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์ม LLDPE ด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิต 1 ตัน/วัน	49

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์ม LLDPE ด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิต 4 ตัน/วัน	49
17	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์ม HDPE ด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิต 1.4 ตัน/วัน	49
18	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์ม HDPE ด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิต 4 ตัน/วัน	50
19	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดระเบียบ โมเลกุลในระหว่างการผลิตหลอฟิล์ม	50
20	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี	51
21	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์	52
22	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง	53
23	ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด	54
24	ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก	55
25	ผลกระทบต่อสุขภาพในก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟีและกราเวียร์	67
26	ค่าสุขภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของเม็ดพลาสติก	72
27	ค่าสัมประสิทธิ์ของกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปและแปรรูปฟิล์มพลาสติก	73
28	ข้อมูลของตัวอย่างถุงพลาสติก	74

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ	5
2	กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิโอทิลีนและการใช้งาน	6
3	การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบลูกโซ่ หรือรวมตัว	7
4	การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้น หรือควบแน่น	7
5	การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเป่า	10
6	การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการหล่อและการทำเยื่ออย่างรวดเร็ว	11
7	การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม	11
8	การลามิเนตด้วยวิธีแห้ง (Dry lamination)	12
9	การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด (Extrusion lamination)	13
10	การผลิต BOPP (Biaxially oriented PP)	14
11	การผลิต BOPET (Biaxially oriented PET)	14
12	การพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี	15
13	การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์	16
14	ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	20
15	การจำแนกกลุ่มผลกระทบของบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม	25
16	ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก	39
17	เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีเป่า กับ การขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีหล่อ	58
18	เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีอัดรีด กับ การขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีอัดรีดร่วม	60
19	เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการเป่า โดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ กับ เครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูง	61

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	เปรียบเทียบผลกระทบบัณฑิตภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีเป่า ของฟิล์ม LLDPE HDPE และ PP	62
21	เปรียบเทียบผลกระทบบัณฑิตภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการเป่าฟิล์ม กับ การจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างหล่อฟิล์ม	63
22	เปรียบเทียบผลกระทบบัณฑิตภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของฟิล์มที่มีการจัดระเบียบโมเลกุล กับ ฟิล์มที่ไม่มีการจัดระเบียบโมเลกุล	64
23	เปรียบเทียบผลกระทบบัณฑิตภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี กับ การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์	65
24	เปรียบเทียบผลกระทบบัณฑิตภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง กับ การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด	68
25	เปรียบเทียบผลกระทบบัณฑิตภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการลามิเนตโดยแยกสัดส่วนระหว่างผลกระทบบัณฑิตภาพจากเม็ดพลาสติกกับผลกระทบบัณฑิตภาพจากพลังงาน	69
26	เปอร์เซ็นต์ฟิล์มเสียที่เกิดกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก	71

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADP	หมายถึง	ศักยภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทไม่สามารถทดแทนได้ (Abiotic depletion potential)
AP	หมายถึง	ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด (Acidification potential)
CPP	หมายถึง	พอลิโพรพิลีนซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ (Cast polypropylene)
DB	หมายถึง	ไดคลอโรเบนซีน (Dichlorobenzene)
EA	หมายถึง	เอทิลแอซิเตต (Ethyl acetate)
EP	หมายถึง	ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication potential)
eq.	หมายถึง	เทียบเท่า (Equivalent)
GWP	หมายถึง	ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential)
HDPE	หมายถึง	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene)
HTP	หมายถึง	ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์
LCA	หมายถึง	การประเมินวัฏจักรชีวิต
LLDPE	หมายถึง	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene)
MEK	หมายถึง	เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone)
NPA	หมายถึง	นอร์มอลโพรพิลแอซิเตต (N-propyl acetate)
ODP	หมายถึง	ศักยภาพการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง (Ozone depletion potential)
OPP	หมายถึง	พอลิพอลิโพรพิลีนที่มีการจัดระเบียบโมเลกุล (Oriented polypropylene)
PET	หมายถึง	พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate)
PLA	หมายถึง	พอลิแล็กติกแอซิด (Polylactic acid)
PO	หมายถึง	การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photo-chemical oxidation)
PP	หมายถึง	พอลิพอลิโพรพิลีน (Polypropylene)
PVC	หมายถึง	พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride)
SMEs	หมายถึง	วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (Small and medium enterprises)
Tg	หมายถึง	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature)
Tm	หมายถึง	จุดหลอมเหลว (Melting temperature)
TTP	หมายถึง	ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Total toxicity potential)

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต ฟิล์มพลาสติกโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต

Comparative Study on Environmental Impacts of Plastic Film Production Process Using Life Cycle Assessment Technique

คำนำ

สถานการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมของโลกในปัจจุบันกำลังประสบกับปัญหาการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม วิกฤตการณ์จากการใช้พลังงานและปัญหามลภาวะเป็นพิษ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและการก่อให้เกิดฝนกรด แนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่หลายประเทศทั่วโลกเลือกใช้ คือ การสนับสนุนให้ประชากรเลือกบริโภคผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถสังเกตได้จากข้อมูลเชิงสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถประเมินผลกระทบเชิงปริมาณได้จากการใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment; LCA) ซึ่งเป็นมาตรฐานสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศ ว่าด้วยการจัดการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์และบริการ และเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณที่ใช้ในการจำแนกและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบโดยพิจารณาครอบคลุมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต (ISO 14040, 2006)

ภาชนะบรรจุนับเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ทำหน้าที่ในการบรรจุและคุ้มครองผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งมาจากผลกระทบที่เกิดจากภาชนะบรรจุ ทั้งจากการกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุและการกำจัดภาชนะบรรจุหลังสิ้นสุดการใช้งาน ฟิล์มพลาสติกเป็นวัสดุอ่อนตัวที่นิยมใช้ผลิตภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม เช่น ถุงพลาสติก กระสอบพลาสติกและรีโอร์ตเพาซ์ ซึ่งมีสัดส่วนการใช้งานเป็น 33 เปอร์เซ็นต์ของภาชนะบรรจุทั้งหมด (Pira International Ltd., 2009)

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต นิยมใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบจากฐานข้อมูลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นในกรณีที่ข้อมูลจากฐานข้อมูลไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่

มีคุณสมบัติใกล้เคียงที่สุดเป็นตัวแทน การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุที่ผลิตจากฟิล์มพลาสติก เช่น ถุงพลาสติก รีทอร์ตแพคเกจ และกระสอบพลาสติก เป็นกรณีหนึ่งที่มีการใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเม็ดพลาสติกเป็นตัวแทนของฟิล์มพลาสติก ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการผลิตฟิล์มพลาสติกมีการใช้พลังงาน สารเติมแต่งและตัวทำละลายอีกหลายชนิดที่สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน

การนำวัสดุและภาชนะบรรจุชนิดอื่นตัวไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เป็น SMEs อาจก่อให้เกิดปัญหาในการเข้าถึงข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบ เนื่องจากต้องการความร่วมมือของผู้ประกอบการซึ่งอยู่นอกเหนือการควบคุมดูแล และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตที่มีความหลากหลายของรายการสินค้า (SKU) อาจเกินกำลังความสามารถ เพราะต้องศึกษาทุกผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงทำให้มีการพัฒนางานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกอย่างเป็นระบบ โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งครอบคลุมถึงการได้มาซึ่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก ไม่คิดรวมการขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุกขั้นตอน จากการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกจะสะท้อนให้เห็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกและกระบวนการแปรรูปฟิล์มพลาสติก ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกและนำไปสู่การประยุกต์กับผลิตภัณฑ์อื่นๆต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ พลังงานและการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก
2. เปรียบเทียบศักยภาพการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก
3. จำแนกปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากแต่ละกระบวนการย่อยในการผลิตฟิล์มพลาสติก
4. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตฟิล์มพลาสติกในประเทศไทย

การตรวจเอกสาร

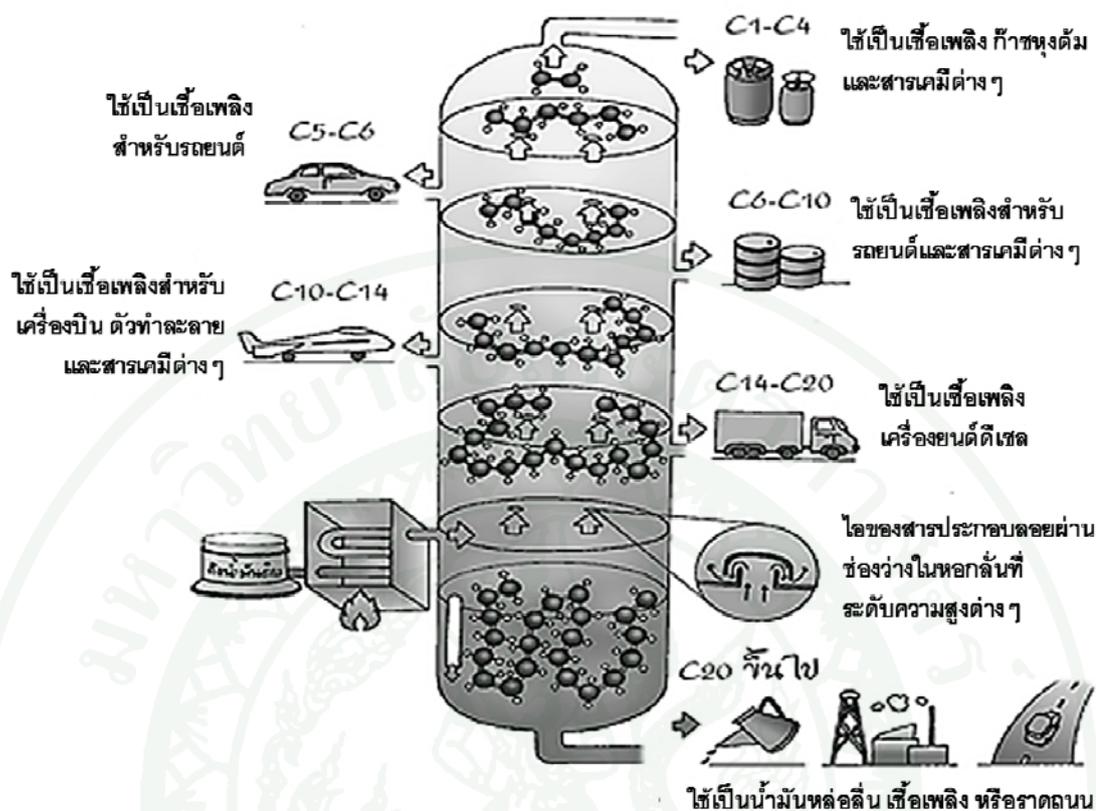
1. พลาสติก (Plastic)

พลาสติก หมายถึง วัสดุประเภทพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำให้ไหล (Flow) และหล่อขึ้นรูป (Mould) ได้ โดยใช้ความร้อนหรือความดันหรือทั้ง 2 อย่างร่วมกัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่า การขึ้นรูปแก้วและโลหะมาก พอลิเมอร์บางประเภท เช่น เซลลูโลส ไม่จัดเป็นพลาสติก เนื่องจากไม่สามารถหล่อขึ้นรูปด้วยความร้อนหรือความดัน หรือ ทั้ง 2 อย่างร่วมกันได้

1.1 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก

พลาสติกที่ใช้กันมากในปัจจุบันอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ถัง ก่อ่ง ท่อ แผ่นฟิล์ม ส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึงน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติใต้ผิวดิน และมีความสำคัญต่อชีวิตมนุษย์เพราะเป็นทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตวัสดุสังเคราะห์ต่างๆ ปิโตรเลียมจะอยู่ในสถานะเป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง ขึ้นกับอุณหภูมิ ความดัน และจำนวนหรือการจัดเรียงตัวของคาร์บอนในโมเลกุล โดยทั่วไปสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนไม่เกิน 4 อะตอม จะมีสถานะเป็นก๊าซ ถ้ามีคาร์บอนระหว่าง 5-19 อะตอม จะมีสถานะเป็นของเหลว และถ้ามีคาร์บอนตั้งแต่ 20 อะตอม จะมีสถานะเป็นของแข็ง (ภาพที่ 1)

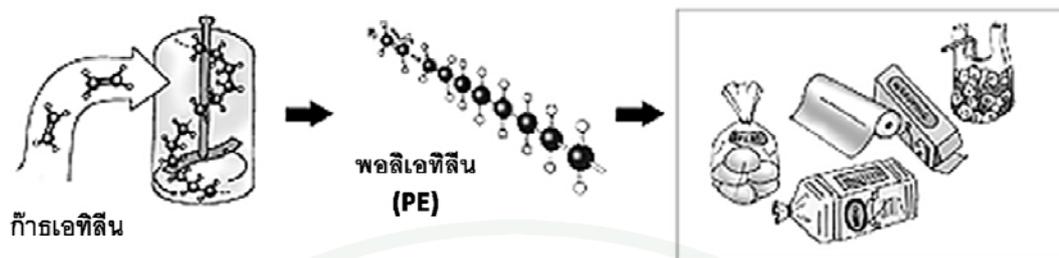
การกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ ทำให้เราสามารถแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกเป็นส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายยาวเกินกว่าความต้องการใช้งานอยู่ปริมาณมาก แต่กลับมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายสั้นที่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากกว่าอยู่ปริมาณน้อย จึงต้องนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายยาวที่เกินความต้องการมาผ่านกระบวนการแยกสลายเพื่อตัดความยาวให้สั้นลง ได้เป็นสารประกอบขนาดเล็ก เช่น ก๊าซเอทิลีนและพروفีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกบางชนิดโดยก๊าซเหล่านี้จะถูกส่งไปยังโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก



ภาพที่ 1 กระบวนการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550)

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกเริ่มต้นจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็ก ซึ่งได้จากกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบมาทำปฏิกิริยากันจนได้เป็นสายโซ่ยาว เรียกว่า พอลิเมอร์ ซึ่งพอลิเมอร์แต่ละชนิดสังเคราะห์โดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้นที่แตกต่างกันไป ทำให้มีสมบัติแตกต่างกัน พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้นี้ จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป ตัวอย่างเช่น การผลิตเม็ดพลาสติก PE โดยเริ่มต้นจากก๊าซเอทิลีนซึ่งถูกเก็บในถังปฏิกิริยา เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น โมเลกุลขนาดเล็กๆ จำนวนมากจะเข้ามาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ยาวมากๆ ได้ PE ที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวด ถุง และของเล่น เป็นต้น (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนและการทำงาน

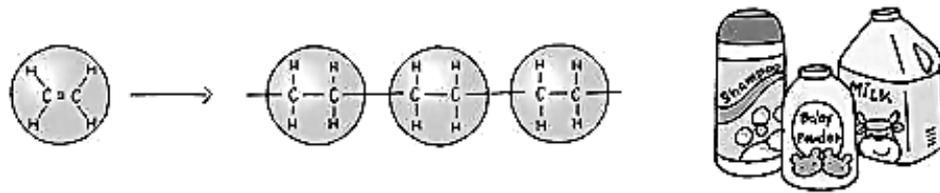
ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550)

1.1.1 ปฏิกริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์

ปฏิกริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่าปฏิกริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) คือ ปฏิกริยาเคมีที่ทำให้มอนอเมอร์โมเลกุลเล็กๆ เกิดปฏิกริยาต่อกันเป็นสายโซ่ยาว แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

(ก) การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบลูกโซ่ หรือรวมตัว

กระบวนการสังเคราะห์แบบรวมตัวเป็นการนำเอามอนอเมอร์ ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและไม่อิมตัวคือมีพันธะคู่ หรือพันธะสามอยู่ในโมเลกุลมาทำปฏิกริยาซึ่งกันและกันจนได้เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งการทำปฏิกริยาเริ่มต้นจากโมเลกุลที่มีพันธะคู่หรือพันธะสามจะถูกความร้อนและตัวเร่งปฏิกริยา (Catalyst) ที่เหมาะสม ทำให้พันธะ 1 พันธะ แยกออกซึ่งว่องไวในการทำปฏิกริยายึดติดกับพันธะที่แตกออกของโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงกัน เกิดการต่อกันที่ละโมเลกุลจนได้โมเลกุลใหม่ที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ที่ยาวขึ้น การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบนี้ไม่มีผลิตภัณฑ์อื่นๆ หลุดออกมา ทำให้จำนวนอะตอมของธาตุในหน่วยซ้ำของพอลิเมอร์เท่ากับจำนวนอะตอมในโมเลกุลของมอนอเมอร์ ดังภาพที่ 3 ตัวอย่างพลาสติกที่เกิดจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบนี้ ได้แก่ PP PE และ PVC เป็นต้น

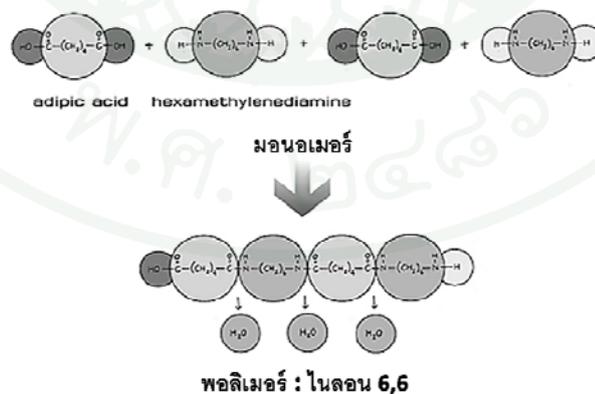


ภาพที่ 3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบลูกโซ่ หรือรวมตัว

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550)

(ข) การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้น หรือควบแน่น

กระบวนการสังเคราะห์แบบควบแน่นเกิดจากมอนอเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีหมู่ฟังก์ชันเหมือนกันอย่างน้อย 2 หมู่ที่ปลายสุดของโมเลกุล หรืออาจเกิดจากมอนอเมอร์เพียง 1 ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกันอย่างน้อย 2 หมู่ที่ปลายสุดของโมเลกุล ที่สามารถทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่ฟังก์ชันอย่างต่อเนื่อง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบนี้ส่วนใหญ่จะเกิดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเช่น H_2O HCl และ CH_3OH เป็นผลพลอยได้ (By product) เป็นสาเหตุให้จำนวนอะตอมของธาตุในหน่วยซ้ำของพอลิเมอร์น้อยกว่าจำนวนอะตอมในโมเลกุลของมอนอเมอร์ ดังภาพที่ 4 ตัวอย่างพลาสติกที่เกิดจากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการควบแน่น ได้แก่ ไนลอน (Nylon) และพอลิเอสเทอร์ (Polyester)



ภาพที่ 4 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้น หรือควบแน่น

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550)

1.2 สารเติมแต่ง (Additives)

สารเติมแต่ง คือ สารหรือวัสดุที่ถูกเติมลงไปในเรซิน เพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยสารหรือวัสดุที่เติมเข้าไปกระจายอยู่ในเนื้อของพลาสติก

สารเติมแต่งสามารถแบ่งตามหน้าที่ได้ดังนี้

1.2.1 ตัวเติม (Fillers)

ตัวเติม เป็นวัสดุที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกให้มากขึ้น เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง แต่ตัวเติมบางชนิดก็อาจทำให้คุณภาพของพลาสติกเปลี่ยนไปด้วย เช่น ทำให้พลาสติกที่บดแข็งขึ้น มีความแข็งเพิ่มขึ้น มีความทนทานสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ทัลค์ (Talc) แบเรียมซัลเฟต (BaSO_4)

1.1.3 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers)

พลาสติกไซเซอร์ เป็นสารที่เติมลงไปผสมกับเรซินเพื่อให้พลาสติกนิ่ม เป็นการเพิ่มคุณสมบัติในทางอ่อนตัว เพิ่มความเหนียว เพิ่มความทนทานต่อความร้อน เพิ่มความต้านทานการสึกหรอ และทำให้สามารถเติมตัวเติมได้เป็นปริมาณมากขึ้นตัวอย่างเช่น ไดเมทิลฟทาเลท (Dimethyl phthalate; DMP) ไดเอทิลฟทาเลท (Diethyl phthalate; DEP) และ ไดออกทิลฟอสเฟต (Dioctyl phthalate; DOP)

1.1.4 สารหล่อลื่น (Lubricants)

สารหล่อลื่น เป็นสารที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ช่วยลดความฝืดในเครื่องจักร ทำให้ทำการผสมง่ายขึ้นตลอดจนทำให้ผลิตภัณฑ์หลอมไม่ติดกับเครื่องจักร ตัวอย่างเช่น การเติม Anti blocking agent ได้แก่ ฟงซิลิกาละเอียด และการเติม Slip agent ซึ่งเป็นสารประเภท Fatty acid amide

1.1.5 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antiaging-additives)

สารป้องกันการเสื่อมสภาพ เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อช่วยให้พลาสติก มีความคงตัว ทนทานต่อสภาพแวดล้อมไม่สลายตัวง่าย ตัวอย่างเช่น สารกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Anti-oxidant) สารดูดกลืนรังสียูวี (UV absorber)

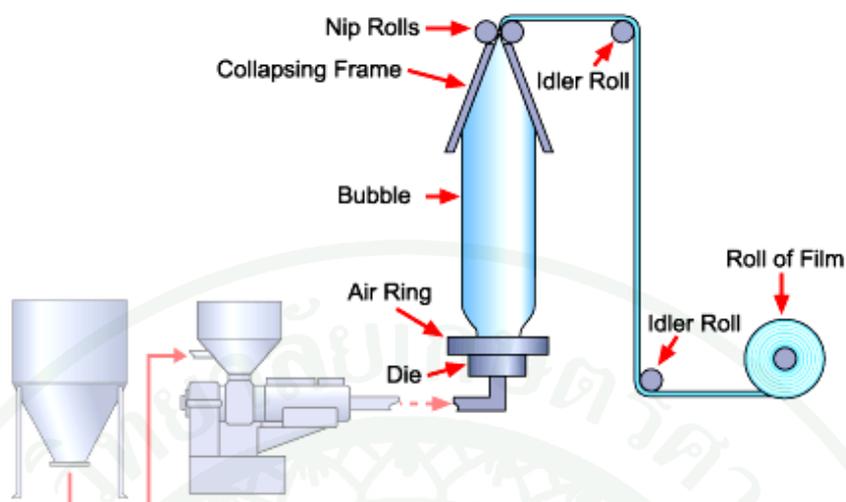
1.1.6 สารทำให้เกิดสี (Colorants)

สารทำให้เกิดสี เป็นสารที่เติมลงไปพลาสติก เพื่อให้เกิดสีขึ้นตามความต้องการ เป็นการเพิ่มคุณค่าและความสวยงามให้แก่ผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น สีย้อม (Dye) ผงสี (Pigment) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โครเมียมไตรออกไซด์ (Cr_2O_3) คาร์บอนแบล็ค (Carbon black) (อนงคณาฎ, 2553)

2. กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก

2.1 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเป่า (Blown film process)

การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเป่า เริ่มจากการเทเม็ดพลาสติกและสารเติมแต่งลงในฮอปเปอร์ (Hopper) เม็ดพลาสติกจะถูกหลอมด้วยการใช้พลังความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของพลาสติก จากนั้นพลาสติกหลอมจะถูกสกรูดันออกมาที่ตาย ซึ่งมีรูปร่างคล้ายวงแหวน เรียก Annular die ได้เป็นท่อกว้างแล้วถูกเป่าขยายด้วยอากาศความดันสูงให้ได้ขนาดของท่อฟิล์มตามต้องการ ซึ่งขึ้นกับความหนาของฟิล์มที่ต้องการผลิต ดังภาพที่ 5 ดังนั้นการขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเป่า จึงมีการใช้พลังงานความร้อนสูงอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงหลอมเม็ดพลาสติกและช่วงเป่าขยาย การเป่าฟิล์มจะทำได้ทั้งแนวตั้งขึ้นและแนวดิ่งลง ขึ้นกับชนิดของพลาสติกและการทำเย็น (Cooling)

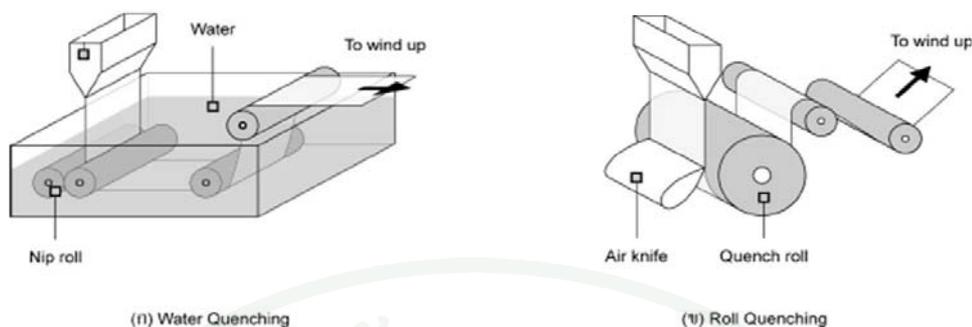


ภาพที่ 5 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเป่า

ที่มา: Anonymous (n.d.(a))

2.2 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการหล่อ (Cast film process)

การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการหล่อ เริ่มจากการเทเม็ดพลาสติกและสารเติมแต่งลงในฮอปเปอร์ จากนั้นพลาสติกจะถูกหลอมด้วยการใช้พลังงานความร้อนสูง โดยอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของพลาสติก หลังจากนั้นพลาสติกหลอมจะถูกสกรูดันออกมาที่คายนี เรียกว่า Slit die ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องเปิดแนวยาวเท่ากับหน้ากว้างของฟิล์มที่ต้องการผลิต ดังภาพที่ 6 พลาสติกจะออกจากคายเป็นแผ่นและถูกทำให้เย็นทันที ช่วงที่ใช้พลังงานสูงที่สุดในการขึ้นรูปฟิล์มด้วยการหล่อ คือ ช่วงหลอมเม็ดพลาสติก นอกจากนี้ยังมีการใช้พลังงานในช่วงของการทำให้เย็น โดยการทำให้เย็นมี 2 วิธี คือ แล้วทำเย็นทันทีในน้ำเย็น (เรียก Water quenching) หรือถูกกลิ้งเย็น (เรียก Roll quenching)



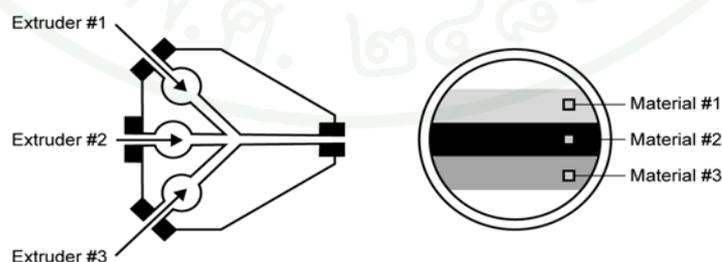
ภาพที่ 6 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการหล่อและการทำเย็นอย่างรวดเร็ว

(ก) Water quenching (ข) Roll quenching

ที่มา: งามทิพย์ (2550)

2.3 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม (Co-extrusion process)

การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วมใช้สำหรับการผลิตฟิล์มพลาสติกหลายชั้น โดยพลาสติกแต่ละชั้นจะถูกหลอมในเครื่องอัดรีดแยกกัน ด้วยพลังงานความร้อนสูงที่อุณหภูมิแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก หลังจากนั้นพลาสติกหลอมแต่ละชั้นจะถูกสกรูขับออกจากปากคายพร้อมกัน ดังภาพที่ 7 ปริมาณพลังงานที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปฟิล์มวิธีอัดรีดร่วมจึงขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวพลาสติกและจำนวนชั้นของฟิล์ม โดยฟิล์ม 1 ชั้นใช้เครื่องอัดรีด 1 เครื่อง ดังนั้นการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกหลายชั้นต้องใช้ปริมาณพลังงานสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งปัจจุบันสามารถผลิตฟิล์มอัดรีดร่วมจากคายตัวเดียวกันได้ถึง 7 ชั้น



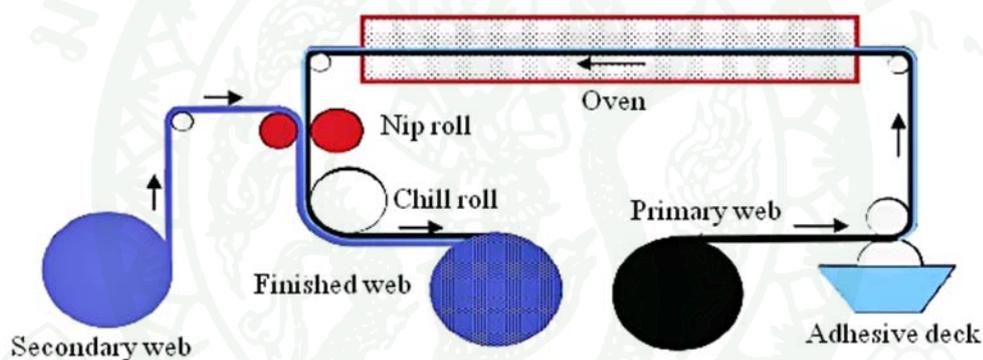
ภาพที่ 7 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม

ที่มา: งามทิพย์ (2550)

3. กระบวนการแปรรูปฟิล์มพลาสติก

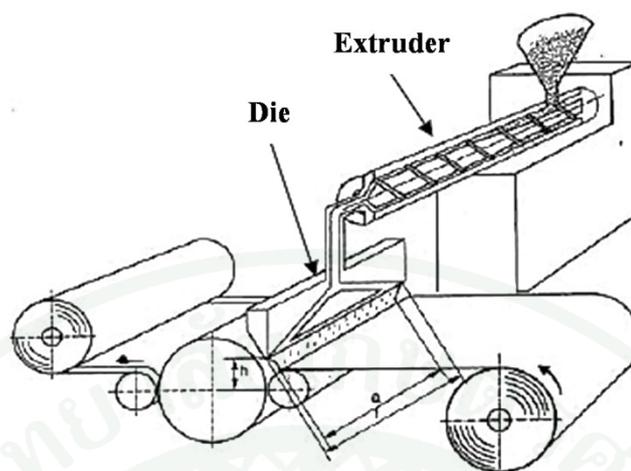
3.1 การลามิเนต (Lamination)

การลามิเนต เป็นการนำฟิล์มต่างชนิดกันมาประกบเข้าด้วยกัน หรือ ฟิล์มพลาสติกประกบกับวัสดุชนิดอื่น เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมกับการบรรจุของผลิตภัณฑ์ ซึ่งวิธีการลามิเนตมีขั้นตอนไม่ซับซ้อน คือ วัสดุที่จะทำการลามิเนตจะถูกป้อนเข้าเครื่องจักรในทิศทางสวนกัน จนกระทั่งวัสดุทั้ง 2 ชนิดมาประกบกันและใช้กาวเป็นตัวประสานพร้อมกับใช้ความร้อนในระหว่างกระบวนการลามิเนต เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างวัสดุ โดยปริมาณพลังงานและกาวที่ใช้ในการลามิเนตจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการลามิเนต (ภาพที่ 8 และ 9)



ภาพที่ 8 การลามิเนตด้วยวิธีแห้ง (Dry lamination)

ที่มา: Anonymous (n.d.(b))

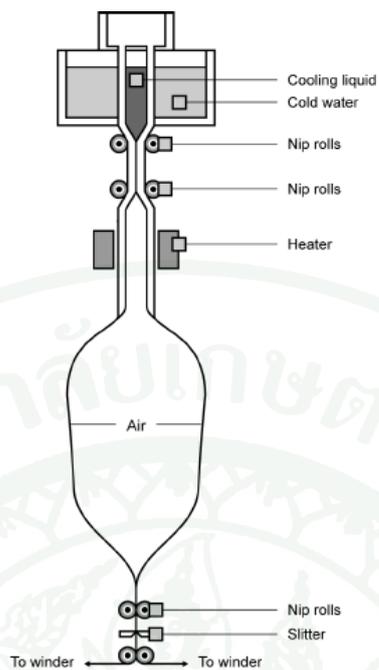


ภาพที่ 9 การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด (Extrusion lamination)

ที่มา: Anonymous (n.d.(c))

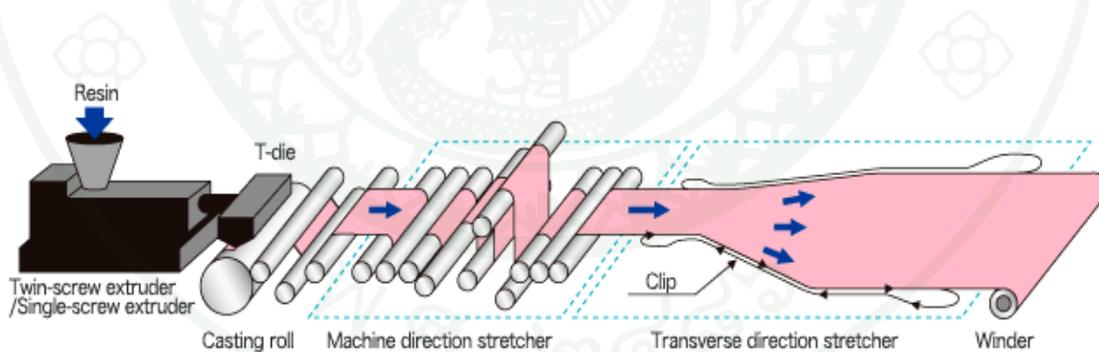
3.2 การจัดระเบียบโมเลกุล (Orientation)

การจัดระเบียบโมเลกุลมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านและความใสของฟิล์ม ใช้ได้กับฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยการเป่าและการหล่อ การจัดระเบียบโมเลกุลแนวเดียวเรียกว่า Uniaxial orientation การจัดระเบียบโมเลกุลทั้ง 2 แนว คือ ทั้งแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ของฟิล์มในเครื่องจักร (Machine direction; MD) และแนวขวาง (Cross direction; CD) เรียกว่า Biaxial orientation ดังภาพที่ 10 และ 11 ในช่วงของการขึ้นรูปฟิล์มทั้งการเป่าและการหล่อเป็นช่วงที่ใช้พลังงานสูงสุด เนื่องจากพลังงานที่ใช้จะต้องสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลวของชนิดพลาสติก หลังจากนั้นพลาสติกจะถูกสกรูขับออกมาจากปากคายนํ้าเย็นเป็นการลดการเกิดผลึกและต้องใช้พลังงานความร้อนเมื่อเข้าสู่ช่วงดึงยืดเพื่อจัดระเบียบโมเลกุล โดยอุณหภูมิที่ใช้ขณะถูกจัดระเบียบโมเลกุลกำหนดให้สูงกว่า T_g แต่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ซึ่งการจัดระเบียบโมเลกุลทั้ง 2 แนวจะใช้พลังงานสูงกว่าการจัดระเบียบโมเลกุลแนวเดียว เนื่องจากมีการใช้ความร้อนเพื่อการจัดระเบียบโมเลกุลถึง 2 ครั้ง



ภาพที่ 10 การผลิต BOPP (Biaxially oriented PP)

ที่มา: งามทิพย์ (2550)



ภาพที่ 11 การผลิต BOPET (Biaxially oriented PET)

ที่มา: Anonymous (n.d.(d))

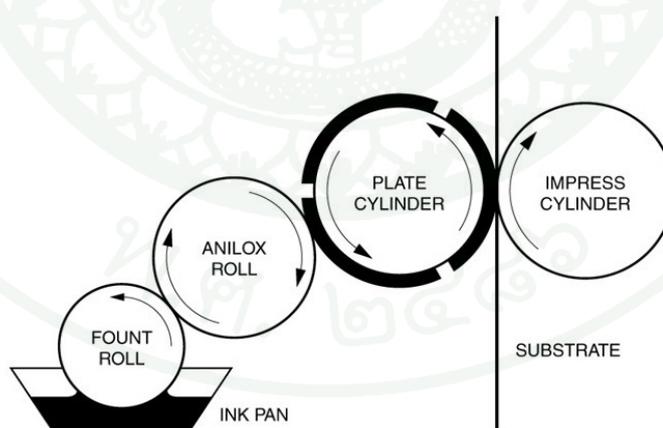
4. การพิมพ์ (Printing)

การพิมพ์พลาสติกที่นิยมใช้ทางการบรรจุได้แก่

4.1 การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี (Flexography printing)

การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี เป็นระบบการพิมพ์พื้นนูนชนิดหนึ่ง ใช้แม่พิมพ์เป็นแผ่นยาง (Rubber plate) ซึ่งเป็นยางสังเคราะห์ซึ่งมีอายุในการใช้งานเป็นเวลานาน

การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีจะมีลูกกลิ้งยางจุ่มอยู่ในอ่างหมึก ทำหน้าที่ในการพาหมึกมาติดที่ลูกกลิ้งเหล็กที่อยู่ติดกัน โดยลูกกลิ้งเหล็กนี้จะถ่ายทอดหมึกไปยังลูกกลิ้งอีกลูกหนึ่ง ซึ่งจะถ่ายทอดหมึกให้แม่พิมพ์ยางแล้วค่อยถ่ายทอดลงบนพื้นของวัตถุ โดยมีลูกกลิ้งเหล็กอีกอันติดอยู่เพื่อกดทับให้ประสิทธิภาพในการติดของสีกับวัตถุ ดังภาพที่ 12 การใช้พลังงานในกระบวนการพิมพ์การค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการพิมพ์ระบบการเวียร์เนื่องจากในการพิมพ์ 1 สี วัตถุต้องเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งหลายลูก ซึ่งลูกกลิ้งแต่ละลูกต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการหมุนรอบตัวเองตลอดเวลา นอกจากนี้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการจะแปรผันตามจำนวนสีที่พิมพ์และพื้นที่ในการพิมพ์



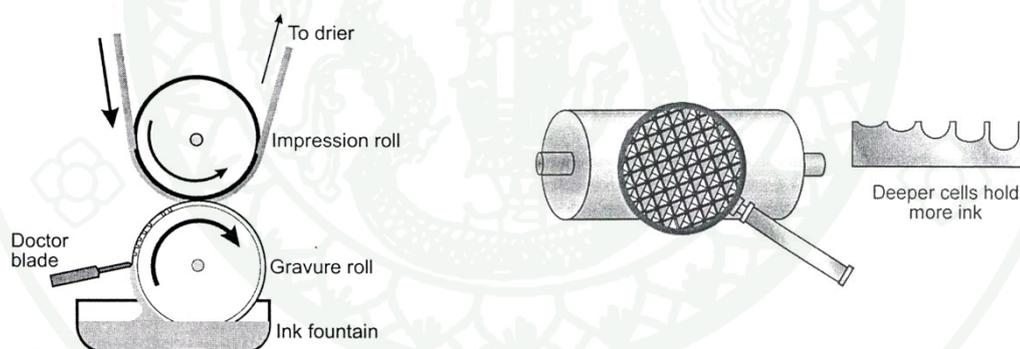
ภาพที่ 12 การพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี

ที่มา: Anonymous (n.d.(e))

4.2 การพิมพ์ระบบกราเวียร์ (Gravure printing)

การพิมพ์ระบบกราเวียร์ เป็นระบบการพิมพ์ร่องลึกโดยใช้แม่พิมพ์โลหะ ทรงกระบอก แม่พิมพ์ส่วนใหญ่ทำจากเหล็กกล้า จึงมีอายุการใช้งานสูงกว่าแม่พิมพ์ยาง

การพิมพ์กราเวียร์ใช้หลักวิธีการพิมพ์ทางตรง โดยในขณะที่พิมพ์นั้นบางส่วนของแม่พิมพ์จะแช่อยู่ในอ่างหมึกพิมพ์ และใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำให้แม่พิมพ์หมุนรอบตัวเองอยู่ตลอดเวลา เพื่อรับหมึกพิมพ์ โดยหมึกพิมพ์จะไหลเข้าเกาะตามร่องต่างๆ มากบ้างน้อยบ้างตามขนาดและความลึกของแต่ละร่อง หมึกพิมพ์ส่วนเกินจะถูกปาดออกด้วยใบปาดหมึกให้กลับลงไป ในอ่างหมึกพิมพ์ เมื่อวัสดุใช้พิมพ์เคลื่อนมาสัมผัสกับแม่พิมพ์ จะเกิดการถ่ายโอนหมึกพิมพ์จากร่องหมึกเหล่านั้นลงสู่วัสดุใช้พิมพ์ โดยอาศัยแรงกดพิมพ์จากลูกยางกด ดังภาพที่ 13 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการจะแปรผันตามจำนวนสีที่พิมพ์ เพราะการพิมพ์ 1 สีใช้ลูกกลิ้ง 1 ลูก ดังนั้นถ้าพิมพ์หลายสีก็ต้องใช้พลังงานมากขึ้นตามลำดับ ถึงแม้ว่าพื้นที่ในการพิมพ์จะทำเด็มาก็ตาม



หลักการพิมพ์ระบบกราเวียร์

แม่พิมพ์ระบบกราเวียร์

ภาพที่ 13 การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์

ที่มา: Soroka (2002)

5. หมึกพิมพ์ (Printing ink)

หมึกพิมพ์มีองค์ประกอบสำคัญ 4 ส่วนดังนี้

5.1 สารให้สี (Colorant)

สารให้สีมีหน้าที่ให้สีในหมึกพิมพ์ ทำให้เมื่อหมึกพิมพ์แห้งตัวบนวัสดุพิมพ์แล้ว ทำให้เกิดภาพปรากฏขึ้นมาได้ โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

5.1.1 ผงสี (Pigment) เป็นสารสีที่ไม่สามารถละลายได้ แต่จะแขวนลอยอยู่ ส่วนใหญ่มักจะใช้เป็นสารสีในหมึกพิมพ์ ซึ่งผงสีที่ใช้โดยทั่วไปมีทั้งผงสีอินทรีย์และส่วนผงสีอนินทรีย์ (ไอวาท, 2525)

(ก) ผงสีอินทรีย์

- 1) กลุ่มสีเหลือง ได้แก่ แคดเมียมซัลเฟต (CdSO_4)
- 2) กลุ่มสีแดง ได้แก่ เหล็ก (Fe_2O_3) โทลูอิดีน (Toluidine)
- 3) กลุ่มสีน้ำเงิน ได้แก่ ฟทาโลไซยานิน (Phthalocyanin)

(ข) ผงสีอนินทรีย์

- 1) กลุ่มสีขาว ได้แก่ ผงสีขาวไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)
แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)
- 2) กลุ่มสีดำ ได้แก่ คาร์บอนแบล็ค (Carbon black)

5.1.2 สีย้อม (Dye) เป็นสารให้สีอีกประเภทหนึ่ง ที่ให้ค่าความเข้มของสีสูง แต่ในปัจจุบันได้รับความนิยมใช้ลดลง เนื่องจากสีย้อมละลายได้ในตัวทำละลาย ทำให้กำจัดทิ้งยากและก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา สีย้อมที่นิยมใช้ได้แก่ อะโซได (Azo dye) ไตรฟีนิลมีเทน (Triphenylmethane) เป็นต้น

5.2 ตัวพาหรือสารเชื่อม (Vehicle หรือ binder)

สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมให้สารให้สีที่ใช้ในหมึกสามารถยึดติดกับวัสดุต่างๆ ได้ โดยในสารเชื่อมจะมีสารให้สีแขวนลอยหรือละลายอยู่ ส่วนใหญ่โดยทั่วไปมักจะใช้เรซิน ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ต่างๆ ตัวพาทินิยมใช้ ได้แก่ พอลิยูรีเทน (Polyurethane) อะคริลิก (Acrylic) พอลิไวนิลเอซีเตต (Polyvinyl acetate) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol)

5.3 ตัวทำละลาย (Solvent)

สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายในตัวพา และปรับความข้นเหนียว (Viscosity) ของหมึกให้ได้ตามต้องการ และจะระเหยไปเมื่อหมึกนั้นสามารถยึดติดกับวัสดุแล้ว ตัวอย่างตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ โทลูอิน (Toluene) ไซรีน (Xylene) แอซีโตน (Acetone) เอทิลเอซีเตต (Ethyl acetate) เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) และน้ำ

5.4 สารเติมแต่ง (Additive)

สารที่เติมเข้าไปในหมึกเพื่อปรับปรุงสมบัติของหมึกและสิ่งพิมพ์ สารเติมแต่งที่นิยมใช้ได้แก่

5.4.1 สารที่ทำให้แห้งเร็ว (Dryer) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวพา สารที่ใช้เป็นประเภทแว็กซ์ ได้แก่ พาราฟิน (Paraffin) ไชผึ้ง คาร์นูบา (Carnuba)

5.4.2 สารควบคุมจุลชีวะ (Biocide) เป็นสารที่ช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

5.4.3 สารป้องกันรังสียูวี (UV stabilizer) ใช้ผสมเมื่อต้องการเพิ่มคุณภาพของหมึกพิมพ์ให้สามารถใช้งานภายนอกได้ยาวนานยิ่งขึ้น

5.4.4 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่ช่วยเพิ่มสมบัติการเปียกผิวของหมึกพิมพ์และการกระจายตัวของผงสีให้ดียิ่งขึ้น

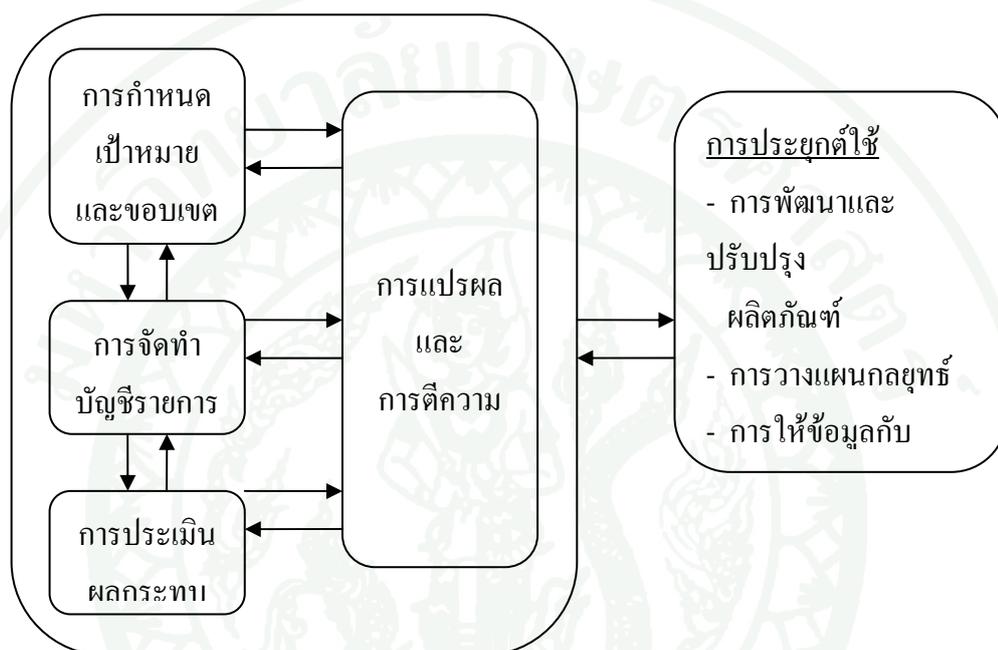
5.4.5 สารกำจัดฟอง (Defoamer) เป็นสารที่ใช้เพื่อกำจัดฟองที่เกิดขึ้นทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตหมึกพิมพ์และงานพิมพ์ ได้แก่ โพลีไดเมทิลไซโรเซน (Polydimethylsiloxane)

5.4.6 สารริเริ่มปฏิกิริยาไวแสง (Photo initiator) เป็นสารเคมีเฉพาะใช้กับหมึกพิมพ์ยูวีเท่านั้น ทำหน้าที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่ออนุมูลอิสระทั้งหมึกพิมพ์แห้งตัวบนงานพิมพ์ (ธีระ, 2539)

6. วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment; LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับสากล โดยนำไปใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต หรือตั้งแต่เกิดจนตาย (cradle-to-grave) ครอบคลุมตั้งแต่ การผลิตและแปรรูป วัตถุดิบ กระบวนการผลิต การกระจายสินค้า การจำหน่าย การใช้งานและ การจัดการของเสีย ตลอดจนการขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุกขั้นตอน โดยเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ พลังงานและสารเคมีที่ใช้ รวมทั้งปริมาณของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้น โดยตลอดห่วงโซ่การผลิต เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง และสามารถจำแนกหาแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถนำมาใช้ศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือ กระบวนการผลิต หรือ การบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เพื่อเตรียมความพร้อมในการรองรับมาตรการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมของกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรปและประเทศพัฒนาอื่นๆ (วันดี, 2548)

การดำเนินการวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 14) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก (ISO 14040, 2006) คือ การกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์การศึกษา การรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการตีความและแปลผลการศึกษา



ภาพที่ 14 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

ที่มา: ISO 14040 (2006)

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา เป็นขั้นตอนสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิต การกำหนดเป้าหมายเป็นการพิจารณาเหตุผลของการศึกษา การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ และคำนึงถึงข้อจำกัดการใช้ผลการศึกษานั้นด้วย และในส่วนของ การกำหนดขอบเขตการศึกษา โดยการกำหนดหน่วยหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยหน้าที่การใช้งาน (Functional unit) ซึ่งกำหนดขึ้นเพื่อเป็นพื้นฐานในการวัดหรือเก็บข้อมูลสารขาเข้าขาออกจากระบบ ขอบเขตของ

ระบบ (System boundary) การกำหนดเป้าหมายการศึกษาของระบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการย่อยต่างๆ และแสดงสารขาเข้าสารขาออกที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

2. การวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory)

การวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม เป็นการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมตามขอบเขตระบบที่ได้กำหนดไว้ ได้แก่ ปริมาณสารขาเข้า (วัตถุดิบและพลังงานที่ใช้) และปริมาณสารขาออก (ผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วมและปริมาณการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม) นอกจากนี้รวมถึงข้อมูลจากการขนส่ง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม โดยการคำนวณปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ตามหน่วยหน้าที่การทำงานที่กำหนด การรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมควรกำหนดและระบุหน่วยที่ใช้ในการวัดชนิดของข้อมูลไว้อย่างชัดเจนทั้งในในกรณีที่เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจริง หรือใช้ระบบฐานข้อมูล ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ต่อไป

การปันส่วน (Allocation)

การปันส่วนจะเกิดขึ้นเมื่อกระบวนการผลิต มีผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ชนิด เป็นการแบ่งส่วนปริมาณวัตถุดิบ พลังงาน รวมทั้งการปล่อยของเสียและมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมให้แก่ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งผลรวมสารขาเข้าและสารขาออกที่ปันส่วนให้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต้องเท่ากับสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการนั้นๆ ก่อนการปันส่วน ซึ่งในการศึกษาโดยทั่วไปควรหลีกเลี่ยงการปันส่วน โดยแบ่งระบบผลิตภัณฑ์ที่ต้องการปันส่วนออกเป็น 2 กระบวนการย่อย ตามชนิดของผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์ร่วม จากนั้นรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยๆ เหล่านั้น หรือใช้วิธีการขยายระบบผลิตภัณฑ์เพื่อรวมผลิตภัณฑ์ร่วม (Co-product) ให้อยู่ในขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปันส่วนได้ ให้ทำการปันส่วนสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการแก่ผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ทางกายภาพและปันส่วนในเชิงปริมาณ (ตารางที่ 1) หรือปันส่วนโดยใช้มูลค่า (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 วิธีการคำนวณการปันส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงน้ำหนัก

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	เปอร์เซ็นต์การปันส่วน
X	A	$\left[\frac{A}{A+B} \right] \times 100$
Y	B	$\left[\frac{B}{A+B} \right] \times 100$

ตารางที่ 2 วิธีการคำนวณการปันส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงเศรษฐศาสตร์

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	ราคา	เปอร์เซ็นต์การปันส่วน
X	a	A	$\left[\frac{aA}{aA+bB} \right] \times 100$
Y	b	B	$\left[\frac{bB}{aA+bB} \right] \times 100$

3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle impact assessment)

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม มาคำนวณค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเริ่มจากการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ตารางที่ 3) ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา จากนั้นทำการจำแนกข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมให้เข้ากลุ่มผลกระทบที่ทำการคัดเลือก (Classification) แล้วทำการประเมินผลกระทบเชิงปริมาณโดยให้อยู่ในรูปของดัชนีชีวิต เพื่อนำไปเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐาน (characterization factors) นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา คือ การเทียบหน่วย (Normalization) เพื่อให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรมที่ศึกษาส่งผลกระทบในระดับโลก ระดับทวีป หรือระดับประเทศ เป็นค่าเท่าใด การจัดกลุ่ม (Grouping) เพื่อให้ทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญที่สุด การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เพื่อให้ทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดหรือกลุ่มใดมีความสำคัญที่สุด และการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data quality analysis) เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่สามารถเชื่อถือได้

ตารางที่ 3 ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพื้นฐานที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	คำอธิบาย
<p>ศักยภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ (Abiotic depletion potential; ADP) หน่วยเป็น kg Sb eq.</p>	<p>แหล่งทรัพยากรธรรมชาติส่วนใหญ่ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างตัว เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ฯลฯ ซึ่งมนุษย์มีการบริโภคทรัพยากรเหล่านี้อย่างสิ้นเปลือง อีกทั้งการเผาไหม้ทรัพยากรเหล่านี้เป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับไม่ได้ จึงก่อให้เกิดการขาดแคลนทรัพยากร</p>
<p>ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential; GWP) หน่วยเป็น kg CO₂ eq.</p>	<p>การดูดซับรังสีอินฟราเรดในชั้นบรรยากาศของโลกเรียกว่า ภาวะเรือนกระจก ซึ่งก๊าซที่เป็นตัวการก่อมลภาวะนี้ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจก โดยส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้พวกเชื้อเพลิงฟอสซิล น้ำมัน ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ</p>
<p>ศักยภาพการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง (Ozone depletion potential; ODP) หน่วยเป็น kg CFC-11 eq.</p>	<p>การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ Stratosphere ซึ่งเกิดจากการปล่อยสาร Halocarbons (CFCs, Tretachloromethane, HCFCs) ทำให้รังสีอินฟราเรดส่องผ่านมายังโลกได้มากขึ้น</p>
<p>ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity potential; HTP) หน่วยเป็น kg 1,4-DB eq.</p>	<p>การสัมผัสกับสารมลพิษทางน้ำ อากาศ และดิน ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์</p>
<p>ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Total ecotoxicity potential; TTP) หน่วยเป็น kg 1,4-DB eq.</p>	<p>การสัมผัสกับสารมลพิษทางน้ำ อากาศและดินที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพืชและสัตว์ ทั้งบนบกและในน้ำ</p>

ตารางที่ 3 (ต่อ)

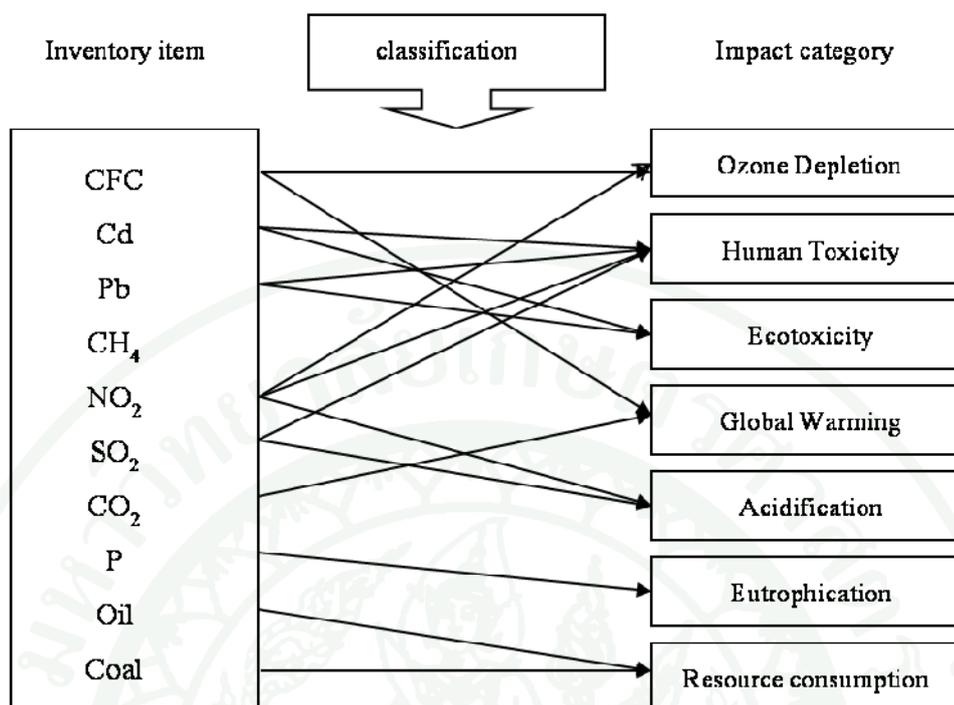
กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	คำอธิบาย
ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication potential; EP) หน่วยเป็น kg PO43- eq.	การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ ทำให้แพลงตอนพืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว นำไปสู่การลดลงของออกซิเจนในน้ำ

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2549)

มาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ISO 14040 กำหนดวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการให้เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.1 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification)

การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการเป็นการจำแนกสารขาเข้าและสารขาออกของผลิตภัณฑ์ให้เข้ากลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ทำการคัดเลือกไว้ แต่สารบางชนิดสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภท ต้องจำแนกสู่ทุกกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สารนั้นก่อให้เกิด โดยกลไกการเกิดผลกระทบแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ผลกระทบแบบคู่ขนาน หมายถึง การที่สารก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภท ขึ้นพร้อมๆ กัน เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด และผลกระทบแบบอนุกรมหรือแบบต่อเนื่อง หมายถึง การที่สารก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภทขึ้นไป แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกันแต่เกิดต่อเนื่องกันไป เช่น ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดโอโซนในระดับพื้นดิน ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ จากนั้นเมื่อระเหยขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศ จะก่อให้เกิดผลกระทบการเกิดโอโซนระดับชั้นบรรยากาศ และภาวะความเป็นกรด (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 การจำแนกกลุ่มผลกระทบของบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

ที่มา: Goedkoop *et al.* (1996)

3.2 การแปลงข้อมูลให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization)

การแปลงข้อมูลให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นการแปลงข้อมูลปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเดียวกันให้อยู่ในรูปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับชั้นชีวิตตามหน่วยมาตรฐานที่ได้จากการเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐาน โดยคำนวณจากโมเดลที่อธิบายกลไกทางฟิสิกส์-เคมีและวิถีทางของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ธรรมชาติที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล

โดยดัชนีชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เลือกพิจารณาสามารถคำนวณได้ดังสมการ

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

โดยที่ EP_j คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j
 Q_i คือ ปริมาณสารมลพิษ i ที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม, เทียบเท่าสารอ้างอิง j)
 EF_{ij} คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม j

ตัวอย่างสมการที่ใช้คำนวณดัชนีชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการพิจารณาครั้งนี้ ได้แก่ ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน พิจารณาจากปริมาณก๊าซที่ดูดซับรังสีอินฟราเรดในชั้นบรรยากาศที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน เช่น มีเทน คลอโรฟลูออโรคาร์บอน ในตรัสออกไซด์ โดยอ้างอิงคิดเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 กิโลกรัม (1 kg CO₂ eq)

$$\text{Global Warming Potential} = \sum_i GWP_i \times m_i$$

เมื่อ m_i คือ ปริมาณสารมลพิษ i ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)
 GWP_i คือ ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของสาร i
 (กิโลกรัม, เทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณดัชนีชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก

ปริมาณที่ได้จากการวิเคราะห์ บัญชีรายการ	Characterization factors	Global Warming Potential (kg CO ₂ eq)
CO ₂ จากพลังงาน 0.20 กิโลกรัม	1	0.20 × 1 = 0.20
CH ₄ จากพลังงาน 0.10 กิโลกรัม	21	0.10 × 21 = 2.10
N ₂ O จากพลังงาน 0.02 กิโลกรัม	310	0.02 × 310 = 6.20
ผลรวมการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน จากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก		= 8.50

ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้การเกิดฝนที่มีสภาวะเป็นกรด โดยพิจารณาจากปริมาณสารมลพิษที่มีอยู่ในอากาศ ได้แก่ ไนโตรัสออกไซด์และแอมโมเนีย โดยการอ้างอิงคิดเทียบกับปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 กิโลกรัม (1 kg SO₂ eq)

$$\text{Acidification} = \sum_i \text{AP}_i \times m_i$$

เมื่อ m_i คือ ปริมาณสารมลพิษ i ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

AP_i คือ ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นกรดของสาร i
(กิโลกรัม, เทียบเท่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์)

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณดัชนีชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก

ปริมาณที่ได้จากการวิเคราะห์ บัญชีรายการ	Characterization factors	Acidification Potential (kg SO ₂ eq)
SO ₂ จากพลังงาน 30 กิโลกรัม	1	30 × 1 = 30
NO ₂ จากพลังงาน 20 กิโลกรัม	0.5	2 × 0.5 = 10
ผลรวมการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดจาก กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก		= 40

ศักยภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ เช่น อะลูมิเนียม สังกะสี น้ำมันดิบ โดยการอ้างอิงเทียบกับปริมาณพลวง 1 กิโลกรัม (1 kg Sb eq)

$$\text{Abiotic depletion} = \sum_i \text{EP}_i \times m_i$$

เมื่อ m_i คือ ปริมาณสารมลพิษ i ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

EP_i คือ ศักยภาพการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ของสาร i
(กิโลกรัม; เทียบเท่าพลวง)

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการคำนวณดัชนีชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบศักยภาพการก่อให้ก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้จากกระบวนการพิมพ์

ปริมาณที่ได้จากการวิเคราะห์ บัญชีรายการ	Characterization factors	Abiotic depletion Potential (kg Sb eq)
อะลูมิเนียมจากแม่พิมพ์ 32 กิโลกรัม	1×10^{-8}	$32 \times 1 \times 10^{-8} = 3.20 \times 10^{-7}$
น้ำมันดิบจากเม็ดพลาสติก 0.15 กิโลกรัม	0.0201	$0.15 \times 0.0201 = 3.02 \times 10^{-3}$
ผลรวมการก่อให้ก่อเกิดการลดลงของทรัพยากร ที่ไม่สามารถทดแทนได้จากกระบวนการพิมพ์		$= 3.02 \times 10^{-3}$

ศักยภาพการก่อให้ก่อเกิดความ เป็นพิษต่อมนุษย์ คือ การสัมผัสกับสารมลพิษทางน้ำ อากาศ และดิน ที่ก่อให้ก่อผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เช่น โทลูอิน เบนซีน โลหะหนักต่างๆ โดยการอ้างอิงคิดเทียบกับปริมาณสาร ไคคลอโรเบนซีน 1 กิโลกรัม (1 kg 1,4-DB eq)

$$HTP = \sum_i HTP_i \times m_i$$

เมื่อ m_i คือ ปริมาณสารมลพิษ i ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กิโลกรัม)

EP_i คือ ศักยภาพการก่อให้ก่อความ เป็นพิษต่อมนุษย์ของสาร i
(กิโลกรัม, เทียบเท่า 1,4-ไดคลอโรเบนซีน)

ตารางที่ 7 ตัวอย่างการคำนวณดัชนีชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบศักยภาพการก่อให้ก่อเกิดความ เป็นพิษต่อมนุษย์จากกระบวนการพิมพ์

ปริมาณที่ได้จากการวิเคราะห์ บัญชีรายการ	Characterization factors	Human toxicity Potential (1,4-DB eq)
โทลูอินจากหมึกพิมพ์ 500 กิโลกรัม	0.33	$300 \times 0.33 = 165$
เบนซีน จากหมึกพิมพ์ 0.8 กิโลกรัม	1,900	$0.8 \times 1,900 = 1,520$
ผลรวมการก่อให้ก่อความ เป็นพิษต่อมนุษย์ จากกระบวนการพิมพ์		$= 1,685$

3.3 วิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

หลังจากการจำแนกข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ให้เข้ากลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ทำการคัดเลือกไว้ จะทำการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของผลกระทบที่ทำการประเมิน คือ ผลกระทบชั้นกลาง (Mid-point impact) และผลกระทบต่อปลายทาง (End-point impact) โดยวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น

3.3.1 CML 2 Baseline 2000

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี CML 2 Baseline 2000 เป็นวิธีการประเมินผลกระทบในภาพรวมโดยมีหลักการสำคัญ คือ การคำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบชั้นกลางจากการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปล่อยสารต่างๆ แล้วนำมารวมเป็นโอกาสที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกลุ่มผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ศักยภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ ศักยภาพการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง และการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี

3.3.2 Cumulative Energy Demand

การประเมินผลกระทบการใช้พลังงานด้วยวิธี Cumulative Energy Demand เป็นการประเมินผลกระทบจากการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งรวมถึงการใช้พลังงานทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การใช้พลังงานในการผลิตวัตถุดิบหรือพลังงานในการก่อสร้าง โดยกลุ่มผลกระทบของวิธีนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ การใช้ทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable resource) และทรัพยากรที่ทดแทนได้ (Renewable resource) กลุ่มผลกระทบของวิธีนี้ ได้แก่

ก) พลังงานลม แสงอาทิตย์ ใต้พิภพ เช่น พลังงานลม พลังงานอาทิตย์

ข) พลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ฝืด น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ

ค) พลังงานนิวเคลียร์ เช่น ยูเรเนียม

ง) พลังงานชีวมวล เช่น ผลิตภัณฑ์อาหาร ชีวมวลจากภาคเกษตรกรรม

จ) พลังงานน้ำ เช่น การไหลของน้ำ

3.3.3 Eco-indicator

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator เป็นการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ระบบนิเวศน์และการลดลงของทรัพยากร โดยอาศัยการคูณปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมกับศักยภาพที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมเทียบกับสารอ้างอิงพื้นฐาน และทำการเทียบกับข้อมูลเฉลี่ยของยุโรปเพื่อหาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังกล่าว จากนั้นเป็นการให้น้ำหนักความสำคัญเพื่อประเมินการก่อให้เกิดผลกระทบในแต่ละกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

กลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบ 3 กลุ่ม มีดังนี้

1) ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human health) ประกอบด้วย สารก่อมะเร็ง (Carcinogen) ผลกระทบจากการหายใจสารอินทรีย์ (Respiration of organic substance) สารแผ่รังสี (Radiation) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) การลดลงของชั้น โอโซน (Ozone depletion)

2) ระบบนิเวศวิทยา (Ecosystem quality) ประกอบด้วย ภาวะความเป็นกรด / การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ (Acidification/Eutrophication) ความเป็นพิษ (Ecotoxicity) การใช้พื้นที่ (Land use)

3) การลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ประกอบด้วย การใช้
สินแร่ (Mineral) การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel)

4. การแปรผลและตีความหมาย (Interpretation)

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินผลกระทบ มาตีความและแปรผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ขนาดและประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงสามารถระบุแหล่งที่มาของประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมนั้นได้ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

7. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุพลาสติก

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตพลาสติกจนกระทั่งได้เป็นเม็ดพลาสติกได้มีการศึกษาและบันทึกค่าของผลกระทบไว้เป็นค่ากลางสำหรับใช้ในระดับสากล ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การแปรรูปจากเม็ดพลาสติกไปเป็นภาชนะบรรจุส่วนใหญ่จะศึกษาเป็นรายผลิตภัณฑ์ หรือ ศึกษาแบบเจาะจงชนิดและรูปแบบของภาชนะบรรจุ จึงไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาขยายผลสำหรับภาชนะบรรจุอื่นได้

Narayan and Patel (2004) ทำการรวบรวมรายงานการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของพลาสติกจากปิโตรเคมีและพลาสติกชีวภาพ รายงานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การปล่อยสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดและภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ ซึ่งแสดงในตารางที่ 8 และจากผลการรวบรวมรายงานการศึกษาพบว่า พลังงานที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์จากปิโตรเคมีสูงกว่าการผลิตพลาสติกชีวภาพ

Paoluglam (2005) ประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด ได้แก่ PS และพอลิยูรีเทนโฟม (Polyurethane foam) โดยใช้ SimaPro เวอร์ชัน 5.1 และวิธี Eco-Indicator 95 กับ Eco-Indicator 99 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ขอบเขตของการศึกษารวมตลอดการผลิต การขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ การใช้งานในโรงงานและการกำจัด จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีทั้ง 2 ชนิดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงจากขั้นตอนการผลิตและการใช้งาน โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ PS มาจาก มอนอเมอร์และยางพอลิบิวทาไดอินในกระบวนการผลิต และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการใช้งานในโรงงาน ซึ่งก่อให้เกิดการลดลงของเชื้อเพลิง ภาวะความเป็นกรด และหมอกควันหนาร้อน (Summer smog) สำหรับพอลิยูรีเทนโฟมสาเหตุของผลกระทบที่สำคัญมาจากวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ ไอโซไซยานาต (Isocyanate) และ พอลิอีเทอร์พอลิโออล (Polyether polyol) ซึ่งก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรผลกระทบจากโลหะหนักและภาวะความเป็นกรด จากการศึกษาประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ PS พบว่า เป็น 1.5 เท่าของผลกระทบของพอลิยูรีเทนโฟม

Jolliet *et al.* (1994) ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมในการผลิตวัสดุสำหรับผลิตเป็นภาชนะบรรจุซึ่งได้มาจากข้าวโพด เทียบกับ PS ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตวัสดุจากข้าวโพดน้อยกว่า PS ประมาณ 2.0-3.3 เท่า และก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศน้อยกว่าประมาณ 2.6-4.7 เท่าต่อกิโลกรัมพอลิเมอร์ ซึ่งกำจัดภาชนะบรรจุหลังสุดสุดการใช้งานด้วยวิธีการเผา แต่ถ้ากำจัดด้วยวิธีการคอมโพสท์จะก่อให้เกิดมลภาวะมากกว่า PS ประมาณ 4.6 เท่าต่อกิโลกรัมพอลิเมอร์ เนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนในระหว่างการย่อยสลายทางชีวภาพ การก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำและดินของการผลิตวัสดุจากข้าวโพดสูงกว่า PS เพราะในการปลูกข้าวโพดมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสเฟต รวมทั้งสารปราบศัตรูพืชซึ่งสามารถถูกชะล้างละลายสู่ดินและแหล่งน้ำใต้ดินได้

ตารางที่ 8 ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของพลาสติกจากปิโตรเคมีและพลาสติกชีวภาพ

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 CO ₂ eq.)	Ozone precursors (g ethylene eq.)	Acidification (g SO ₂ eq.)	Eutrophication (g PO ₄ ³⁻ eq.)
<i>Petrochemical polymers</i>							
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

จากการทบทวนเอกสารและรายงานวิจัยพบว่า การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ ภาชนะบรรจุส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Huang and Ma (2004) ศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะ ภาชนะบรรจุในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต ผลการศึกษาพบว่า HDPE PP และกระดาษ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าอะลูมิเนียมและแก้ว โดยอะลูมิเนียมมีการปลดปล่อยสารก่อให้เกิดมะเร็งและแก้วปลดปล่อยโลหะหนักในขั้นตอนการผลิต

Madival *et al.* (2009) ศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุ สตอเบอร์รี่ ซึ่งทำจาก PLA PET และ PS โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต ขอบเขตการศึกษา ครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตภาชนะบรรจุ การจัดการภาชนะบรรจุหลังการใช้งาน และการขนส่งในทุกขั้นตอน ผลการศึกษาพบว่า ภาชนะบรรจุที่ทำจาก PET ส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมสูงที่สุดในทุกกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เลือกพิจารณา คือ ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์และ ศักยภาพการในการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง โดยกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด คือ ขั้นตอนการผลิตเม็ดพลาสติกและการขนส่ง

Zabaniotou and Kassidi (2003) ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อ เปรียบเทียบภาชนะบรรจุไข่ที่ทำจากวัสดุแตกต่างกัน 2 ชนิด คือ กระดาษรีไซเคิลและ PS โดยใช้ EcoIndicator 95 ในการวิเคราะห์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ภาชนะบรรจุไข่ที่ทำจาก PS ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่าภาชนะบรรจุไข่ที่ทำจากกระดาษรีไซเคิล โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบ การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดและก่อให้เกิดหมอกควันที่เป็นพิษต่อร่างกายสอดคล้องกับ การศึกษาของ Tan and Khoo (2005) ซึ่งใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตในการประเมินผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมของกล่องที่ใช้บรรจุเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งผลิตจาก PS และกระดาษ ผลการศึกษา พบว่า PS ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่ากล่องกระดาษ ในทุกกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน การก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ การก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดและการก่อให้เกิดการ เพิ่มขึ้นของทรัพยากรที่ไม่สามารถทดแทนได้

Johansson (2005) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุอาหารที่ผลิตจาก PET กับ PLA โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต การกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานกล่องบรรจุอาหารที่ผลิตจาก PET ใช้วิธีการฝังกลบ กล่องบรรจุอาหารที่ผลิตจาก PLA ใช้วิธีฝังกลบและการคอมโพสท์ ผลการศึกษาพบว่า กล่องบรรจุอาหารที่ผลิตจาก PET ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์และศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด ส่วนบรรจุอาหารที่ผลิตจาก PLA ส่งผลกระทบในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์และศักยภาพการก่อให้เกิดธาตุอาหาร

จากการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุอ่อนตัวพบว่า ส่วนใหญ่จะก่อให้เกิดผลกระทบในกลุ่มศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ และศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์

Garrain *et al.* (2007) ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของฟิล์มหลายชั้นที่ใช้สำหรับการบรรจุอาหาร พบว่าฟิล์มหลายชั้นที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งผลิตจากแป้งคัดแปรและ PLA ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าฟิล์มหลายชั้นที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไป คือ PP และไนลอน ในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพการลดลงของทรัพยากรที่ไม่สามารถทดแทนได้และศักยภาพการก่อให้เกิดสภาวะภาวะความเป็นกรด แต่ส่งผลกระทบสูงกว่าในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพการก่อให้เกิดภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ สอดคล้องกับการศึกษาของ Patel *et al.* (2001) ซึ่งศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของฟิล์มที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชกับฟิล์มที่ผลิตจาก LLDPE โดยสมมติว่าฟิล์มทั้งสองชนิดถูกกำจัดโดยการเผา 80 เปอร์เซ็นต์และฝังกลบ 20 เปอร์เซ็นต์หลังจากหมดอายุการใช้งาน ผลการศึกษาพบว่า ฟิล์มที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าฟิล์มที่ผลิตจาก LLDPE ในทุกกลุ่มผลกระทบ ยกเว้นศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ เนื่องจากวัฏดุคิบทางการเกษตรที่เหลือจากการผลิตมอนอเมอร์ เมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะกลายเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์ทางน้ำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและพืชน้ำ

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุพลาสติกมีความหลากหลายของชนิดพลาสติก รูปร่างและขนาด จึงเป็นปัญหาให้ต้องศึกษาทุกผลิตภัณฑ์ สำหรับอุตสาหกรรม SMEs การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุ อาจเกินกำลังความสามารถ เนื่องจากต้องการความร่วมมือของผู้ประกอบการในการได้มาซึ่งข้อมูล บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบ ดังนั้นการประเมินประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก ซึ่งเป็นวัสดุสำคัญในการผลิตภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัว จึงเป็นประโยชน์กับอุตสาหกรรม SMEs เพื่อลดปัญหาในการเข้าถึงข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบซึ่งอยู่นอกเหนือการควบคุมดูแล



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิทยานิพนธ์นี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างภาคสนาม

1.1 แผนตารางเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

1.2 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

1.2 โปรแกรมช่วยคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยตลอดวัฏจักรชีวิต
(SimaPro, Version 7.2)

3. สถานที่เก็บข้อมูล

3.1 โรงงาน A - ผลิตฟิล์ม PP ด้วยวิธีเป่า และผลิตฟิล์ม HDPE ด้วยวิธีอัดรีด โดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ

3.2 โรงงาน B - ผลิตฟิล์ม PP ด้วยวิธีหล่อ และพิมพ์ฟิล์มด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี

3.3 โรงงาน C - ผลิตฟิล์ม LLDPE ด้วยวิธีอัดรีด โดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ และลามิเนตฟิล์ม OPP/LLDPE ด้วยวิธีแห้งและอัดรีด

3.4 โรงงาน D - ผลิตฟิล์ม LLDPE ด้วยวิธีอัดรีด โดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูง และผลิตฟิล์ม HDPE ด้วยวิธีอัดรีด โดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูง

3.5 โรงงาน E - ผลิตฟิล์ม LLDPE ด้วยวิธีอัครีร่วม และพิมพ์ฟิล์มด้วยระบบกราเวียร์

3.6 โรงงาน E - ผลิตถุงพลาสติก CPP/LLDPE

วิธีการ

วิธีการดำเนินการวิจัยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงปริมาณอย่างเป็นระบบ โดยมีรายละเอียดการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาเชิงเปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย (Goal and scope definition)

1.1.1 การกำหนดเป้าหมาย (Goal and scope)

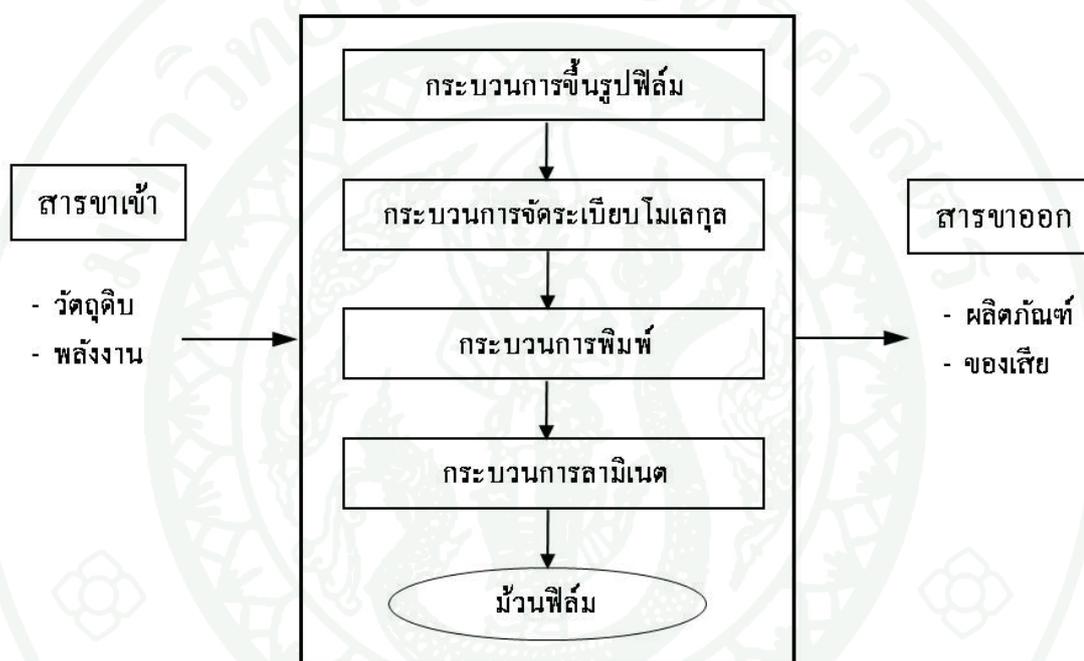
การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อประเมินปริมาณการใช้วัตถุดิบธรรมชาติ พลังงานและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก และเพื่อเปรียบเทียบศักยภาพการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก

1.1.2 หน่วยหน้าที่การทำงาน (Functional unit)

การศึกษารั้งนี้กำหนดหน่วยหน้าที่การทำงาน คือ ฟิล์มพลาสติกน้ำหนัก 1 กิโลกรัมและฟิล์มพลาสติกพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยฟิล์มพลาสติกน้ำหนัก 1 กิโลกรัมใช้ในการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกและการจัดระเบียบโมเลกุล และฟิล์มพลาสติกพื้นที่ 1 ตารางเมตร ใช้ในการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการพิมพ์และกระบวนการลามิเนต

1.1.3 การกำหนดขอบเขตของงานวิจัย (System boundary)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกในงานวิจัยนี้ ครอบคลุมถึง ปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ พลังงานและปริมาณการปลดปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม จากแต่ละกระบวนการย่อยในการผลิตฟิล์มพลาสติก ได้แก่ กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มและ กระบวนการแปรรูปฟิล์ม ซึ่งกระบวนการแปรรูปฟิล์มประกอบไปด้วย การจัดเรียงโมเลกุล การพิมพ์และการลามิเนต โดยไม่รวมการขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุกขั้นตอน (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก

การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกจะ
ดำเนินการเปรียบเทียบทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ วิธีการผลิตและกำลังการผลิต

ก. วิธีการผลิต

1) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม
ระหว่างการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีเป่า กับ การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ (ฟิล์มชนิด PP จากโรงงาน A
กับ โรงงาน B)

2) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม
ระหว่างการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีด กับ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม (ฟิล์มชนิด LLDPE
จากโรงงาน C กับ โรงงาน E)

3) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการจัดระเบียบโมเลกุล
ระหว่างการจัดระเบียบ โมเลกุลระหว่างเป่าฟิล์ม กับ การจัดระเบียบ โมเลกุลระหว่างหล่อฟิล์ม
(ฟิล์มชนิด PP จากฐานข้อมูล กับ โรงงาน B)

4) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการพิมพ์
ระหว่างการพิมพ์ด้วยระบบเพล็กโซกราฟี กับ การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์ (ฟิล์มชนิด CPP จาก
โรงงาน B กับ โรงงาน E)

5) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการลามิเนต
ระหว่างการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง กับ การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด (ฟิล์มชนิด OPP/LLDPE จาก
โรงงาน C)

ข. กำลังการผลิต

1) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตฟิล์ม LLDPE ซึ่งขึ้นรูป
ด้วยวิธีเป่า โดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ (1 ตัน/วัน) จากโรงงาน C กับ เครื่องจักรที่มีกำลังการ
ผลิตสูง (4 ตัน/วัน) จากโรงงาน D

2) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตฟิล์ม HDPE ซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธีเป่า โดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ (1.4 ตัน/วัน) จากโรงงาน A กับ เครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูง (4 ตัน/วัน) จาก โรงงาน D

1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory assessment)

เมื่อกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตรวมทั้งหน่วยงานผลิตหลักในการวิจัยแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การจำแนกข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการผลิตฟิล์มพลาสติกโดยละเอียด เพื่อวางแผนการดำเนินการรวบรวมข้อมูลดังกล่าว ซึ่งอาจได้มาจากการตรวจวัดโดยตรง การสัมภาษณ์ผู้ผลิต รายงานการผลิตของโรงงาน หรือ ได้จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากวารสารวิชาการ รายงานวิชาการ บทความวิชาการ รวมทั้งฐานข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อช่วยคำนวณในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.2.1 การจำแนกข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ต้องการและแหล่งที่มาของข้อมูล

การจำแนกข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการผลิตฟิล์มพลาสติก ทำได้โดยจำแนกการใช้วัตถุดิบ สารเคมีและพลังงานรวมทั้งการปลดปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสู่สิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 9 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ต้องการและแหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ต้องการ	ชนิดข้อมูล	
	ข้อมูลปฐมภูมิ	ข้อมูลทุติยภูมิ
1. วัตถุดิบ (ปริมาณการใช้ สารเคมี ตัวทำละลาย กาว หมึกพิมพ์ เม็ดพลาสติก)	✓	
2. พลังงาน (ปริมาณการใช้พลังงาน)	✓	✓
3. ของเสีย (ปริมาณของเสีย)	✓	

1.2.2 วิธีการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

วิธีการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม เริ่มโดยการสร้างแผนผังของกระบวนการผลิตฟิล์มทุกขั้นตอนตั้งแต่ การขึ้นรูปฟิล์ม การจัดเรียงโมเลกุล การพิมพ์ และการลามิเนต (ภาพที่ 17) จากนั้นเก็บข้อมูลการใช้วัตถุดิบ (พลาสติก กาวและสารเคมี) พลังงานและปริมาณของเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น เศษพลาสติกในแต่ละขั้นตอน แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาประเมินสารขาเข้าและสารขาออก

ขั้นตอนดำเนินการและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ก. ติดต่อประสานงาน เพื่อขอความร่วมมือกับโรงงานผลิตฟิล์มพลาสติก

ข. เข้าเยี่ยมชมและศึกษากระบวนการผลิตฟิล์มอย่างละเอียด พร้อมจัดทำตารางบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้สอดคล้องกับขอบเขตของการวิจัย เพื่อให้เจ้าหน้าที่ในโรงงานเข้าใจการทำงานและร่วมกันกำหนดวิธีการเก็บข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม จากนั้นติดต่อเจ้าหน้าที่ขอเข้าเก็บข้อมูลภายในโรงงาน เพื่อวางแผนการดำเนินเก็บข้อมูลให้ครบสามซ้ำ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความความถูกต้องมากที่สุด

ค. รวบรวมข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

รายละเอียดของการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกในโรงงานผลิตมีดังนี้

1) ข้อมูลวัตถุดิบ ได้แก่ ปริมาณการใช้สารเคมี ตัวทำละลาย หมึกพิมพ์และเม็ดพลาสติก ได้จากบันทึกปริมาณการใช้วัตถุดิบจากฝ่ายผลิต

2) ข้อมูลพลังงาน ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จากรายงานอนุรักษ์พลังงาน หรือ การวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า

3) ข้อมูลของเสีย ได้แก่ เศษพลาสติกจากขั้นตอนการผลิตฟิล์มพลาสติก (การขึ้นรูปฟิล์ม การจัดเรียง โมเลกุล การพิมพ์ การลามิเนต) ได้จากบันทึกปริมาณการใช้วัตถุดิบจากฝ่ายผลิต

1.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle impact assessment)

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก เป็นการนำเอาข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมมาประมวลเพื่อคำนวณหาขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการศึกษานี้กำหนดวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมชั้นกลาง โดยใช้วิธี CML 2 Baseline 2000 (Version 2.05) และประเมินปริมาณการใช้พลังงานด้วยวิธี Cumulative Energy Demand (Version 1.07) ซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญและพิจารณาในการศึกษามีดังนี้

1.3.1 ศักยภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากร ธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ลดลง วัดเป็น kg Sb eq

1.3.2 ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้การเกิดฝนที่มีสถานะเป็นกรด วัดเป็น kg SO₂ eq

1.3.3 ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยพิจารณาจากความสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดในบรรยากาศ วัดเป็น kg CO₂ eq

1.3.4 ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้การสัมผัสกับสารมลพิษทางน้ำ อากาศ และ ดิน ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ วัดเป็น kg 1,4-DB eq

1.3.5 ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ การสัมผัสกับสารมลพิษทางน้ำ อากาศ และ ดิน ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพืชและสัตว์บนบกและในน้ำ มีหน่วยเป็น kg 1,4-DB eq

1.3.6 ผลกระทบจากการใช้พลังงาน ซึ่งวัดอ้างอิงในรูปของเมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) หรือ เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร (MJ/m³)

1.4 การการตีความและแปลผล (Interpretation)

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของฟิล์มพลาสติก สรุปผล อธิบายข้อจำกัดของงานวิจัย รวมทั้งจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตและทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้

2. การสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกับกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก

จากผลการศึกษาในข้อ 1 นำมาสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน กับ กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก และกระบวนการแปรรูปฟิล์มพลาสติก และเปรียบเทียบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของตัวอย่างภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัวจากการประเมินผลกระทบโดยการใช้สมการ กับ การใช้ข้อมูลที่ได้จากการผลิตจริง และ การใช้ข้อมูลทุติยภูมิ โดยขอบข่ายของพลาสติกที่สามารถใช้ได้กับสมการ คือ พลาสติกกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ (Polyolefin) ซึ่งได้แก่ PE และ PP

ผลและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ กระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม หรือ ฟิล์มพลาสติกพื้นที่ 1 ตารางเมตร ซึ่งครอบคลุมขอบเขตตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกและการแปรรูปฟิล์มพลาสติก โดยไม่ได้รับการขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุกขั้นตอน

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

1.1 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

จากการศึกษาพบว่าในการผลิตฟิล์มพลาสติกมีวัตถุดิบหลักที่ใช้อยู่ 2 ประเภท คือ เม็ดพลาสติกและสารเคมี โดยในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มใช้ เม็ดพลาสติกและสารเติมแต่ง ส่วนขั้นตอนการแปรรูปฟิล์มซึ่งประกอบไปด้วย การจัดระเบียบ โมเลกุล การพิมพ์และการลามิเนต ใช้ฟิล์มพลาสติก หมึกพิมพ์ กาวและตัวทำละลาย เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการได้มาซึ่งวัตถุดิบแต่ละชนิด ดังนั้นในการศึกษารังนี้จึงใช้ข้อมูลการได้มาซึ่งวัตถุดิบจากฐานข้อมูล ตามแหล่งที่มาดังตารางที่ 10 นอกจากนี้ในแต่ละกระบวนการต้องใช้พลังงานในระหว่างการผลิต ซึ่งข้อมูลบัญชีรายการของพลังงาน ใช้ข้อมูลหุติยภูมิจากรายงานประจำปี 2552 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ตารางที่ 10 แหล่งที่มาข้อมูลของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตฟิล์มพลาสติก

วัตถุดิบ	แหล่งที่มา
การผลิตเม็ดพลาสติก PP	Ecoinvent
การผลิตเม็ดพลาสติก LLDPE	Buwal250
การผลิตเม็ดพลาสติก HDPE	Buwal250
การผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต	Ecoinvent
การผลิตโทลูอีน	Ecoinvent
การผลิต EA	Ecoinvent
การผลิต MEK	Ecoinvent
การผลิต NPA	Ecoinvent

ตารางที่ 10 (ต่อ)

วัตถุดิบ	แหล่งที่มา
การผลิตหมึกพิมพ์	Ecoinvent
การผลิตกาว	Ecoinvent

1.2. ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมขั้นตอนการผลิตฟิล์มพลาสติก

การเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ได้จากข้อมูลจากการผลิต 1 ชุด (Batch) หรือ การสั่งซื้อของลูกค้า 1 ครั้ง ฟิล์มแต่ละชนิดผลิตโดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตเท่ากัน คือ 1 ตัน/วัน โดยผลิตตลอด 24 ชั่วโมง

1.2.1 กระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม

(ก) การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีเป่า กับ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีหล่อ

ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีเป่า กับ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีหล่อ ได้จากการเก็บรวบรวมปริมาณการใช้เม็ดพลาสติก สารเติมแต่งและพลังงานที่ใช้ ในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฟิล์มและถุงพลาสติก โดยพลาสติกที่ใช้เป็นพลาสติกชนิดชนิดเดียวกัน คือ PP ความหนาใกล้เคียงกัน คือ ฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีเป่า หนา 90 ไมครอน และ ฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ หนา 80 ไมครอน รายละเอียดข้อมูลดังตารางที่ 11 และ 12

ตารางที่ 11 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีเป่า

(หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 กิโลกรัม)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
เม็ดพลาสติก PP	1.004	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	1.21	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์ม PP	1	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.004	กิโลกรัม

ตารางที่ 12 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีหล่อ

(หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 กิโลกรัม)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
เม็ดพลาสติก PP	1.01	กิโลกรัม
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.01	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	1.55	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์ม CPP	1.00	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.02	กิโลกรัม

(จ) การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีด กับ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม

การทำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับเปรียบเทียบการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีด กับ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วมได้จากการเก็บรวบรวมปริมาณการใช้เม็ดพลาสติก สารเติมแต่งและพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฟิล์มและถุงพลาสติก โดยพลาสติกที่ใช้เป็นพลาสติกชนิดเดียวกัน คือ LLDPE ความหนาแตกต่างกัน คือ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีด หนา 35 ไมครอน และ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม หนา 130 ไมครอน รายละเอียด ข้อมูลดังตารางที่ 13 และ 14

ตารางที่ 13 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีด

(หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 กิโลกรัม)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
เม็ดพลาสติก LLDPE	1.03	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	0.68	กิโลกรัม
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ฟิล์ม LLDPE	1.00	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.03	กิโลกรัม

ตารางที่ 14 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม

(หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 กิโลกรัม)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ได้	หน่วย
เม็ดพลาสติก LLDPE (1210)	0.23	กิโลกรัม
เม็ดพลาสติก LLDPE (1211)	0.24	กิโลกรัม
เม็ดพลาสติก LLDPE (2009F)	0.23	กิโลกรัม
เม็ดพลาสติก LLDPE (5401)	0.15	กิโลกรัม
เม็ดพลาสติก LLDPE (4324)	0.15	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	0.99	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์ม LLDPE	1.00	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.001	กิโลกรัม

(ค) การขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ กับ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูง

การทำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับการเปรียบเทียบการขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ กับ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูงได้จากการเก็บรวบรวมปริมาณการใช้เม็ดพลาสติก สารเติมแต่งและพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฟิล์มและถุงพลาสติก โดยทำการเก็บข้อมูลบัญชีรายการเป็น 2 ชุด คือ ชุดแรกสำหรับการเปรียบเทียบกำลังการผลิตของ LLDPE และชุดที่ 2 สำหรับการเปรียบเทียบกำลังการผลิตของ HDPE โดยฟิล์มทั้ง 2 ชนิด ขึ้นรูปด้วยวิธีเดียวกัน คือ วิธีเป่า ความหนาของฟิล์มแต่ละคู่แตกต่างกัน คือ ฟิล์ม LLDPE หนา 35 และ 105 ไมครอน กำลังการผลิต 1 ตัน/วัน และ 4 ตัน/วัน ตามลำดับ ฟิล์ม HDPE หนา 45 และ 25 ไมครอน กำลังการผลิต 1 ตัน/วัน และ 4 ตัน/วัน ตามลำดับ รายละเอียดข้อมูลดังตารางที่ 15-18

ตารางที่ 15 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์ม LLDPE ด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิต 1 ตัน/วัน (หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 กิโลกรัม)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
เม็ดพลาสติก LLDPE	1.03	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	0.68	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์ม LLDPE	1.00	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.03	กิโลกรัม

ตารางที่ 16 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์ม LLDPE ด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิต 4 ตัน/วัน (หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 กิโลกรัม)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
เม็ดพลาสติก LLDPE	1.03	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	0.54	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์ม LLDPE	1.00	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.03	กิโลกรัม

ตารางที่ 17 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์ม HDPE ด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิต 1.4 ตัน/วัน (หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 กิโลกรัม)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
เม็ดพลาสติก HDPE	1.03	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	0.84	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์ม HDPE	1	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.03	กิโลกรัม

ตารางที่ 18 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการขึ้นรูปฟิล์ม HDPE ด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิต 4 ตัน/วัน (หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 กิโลกรัม)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
เม็ดพลาสติก HDPE	1.03	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	0.84	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์ม HDPE	1.00	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.03	กิโลกรัม

1.2.1 กระบวนการแปรรูปฟิล์ม

(ก) การจัดระเบียบโมเลกุลในระหว่างการเป่าฟิล์ม กับ การจัดระเบียบโมเลกุลในระหว่างหล่อฟิล์ม

ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดระเบียบโมเลกุลในระหว่างการหล่อฟิล์ม ได้จากการเก็บรวบรวมปริมาณการใช้เม็ดพลาสติก สารเติมแต่งและพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการแปรรูปฟิล์มจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฟิล์มและถุงพลาสติก ส่วนข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการจัดระเบียบโมเลกุลในระหว่างการเป่าฟิล์ม ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล Industry data 2.0 โดยพลาสติกที่ใช้เป็นพลาสติกชนิดเดียวกัน คือ PP และตั้งสมมติฐานว่าความหนาเท่ากัน กำลังการผลิตเท่ากัน รายข้อมูลละเอียดดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดระเบียบโมเลกุลในระหว่างการหล่อฟิล์ม

(หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 กิโลกรัม)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
เม็ดพลาสติก PP	1.01	กิโลกรัม
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.01	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้าจากชุดอัดรีดและคายโซน	1.55	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
พลังงานไฟฟ้าจากชุดจัดระเบียบโมเลกุล	0.39	กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ตารางที่ 19 (ต่อ)

สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์ม OPP	1.00	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.02	กิโลกรัม

(ข) การพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี กับ การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์

การทำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับการเปรียบเทียบการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี กับ การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์ได้จากการเก็บรวบรวมปริมาณการใช้ฟิล์มพลาสติก หมึกพิมพ์ ตัวทำละลายและพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการพิมพ์จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฟิล์มและถุงพลาสติก โดยการพิมพ์ทั้ง 2 ระบบพิมพ์ลงบนฟิล์มชนิดเดียวกัน คือ ฟิล์ม CPP จำนวนสีที่พิมพ์ 1 สี พื้นที่ในการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด (ฟิล์ม หนา 80 ไมครอน หนากว้าง 482 มิลลิเมตร ยาว 8,000 เมตร) ส่วนการพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์ คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด (ฟิล์มหนา 20 ไมครอน หนากว้าง 620 มิลลิเมตร ยาว 9,000 เมตร) แม่พิมพ์ที่ใช้ในการพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์สามารถพิมพ์ได้ 60,000 เมตร ส่วนแม่พิมพ์ที่ใช้ในการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟีใช้สำหรับการพิมพ์ 1 ครั้ง รายละเอียดข้อมูลดังตารางที่ 20 และ 21

ตารางที่ 20 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี

(หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 ตารางเมตร)

การทำแม่พิมพ์		
สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
แผ่นยางพารา	0.85	กิโลกรัม
สารขาออก		
แม่พิมพ์	ปริมาณที่ได้	หน่วย
เศษยางพารา	0.20	กิโลกรัม

ตารางที่ 20 (ต่อ)

กระบวนการพิมพ์		
สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
ฟิล์ม CPP	0.787	กิโลกรัม
แม่พิมพ์	1	ชุด
หมึกพิมพ์	0.032	กิโลกรัม
NPA	0.015	กิโลกรัม
พลังงานเครื่องพิมพ์	1.680	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก		
ฟิล์ม CPP พิมพ์แล้ว	ปริมาณที่ได้	หน่วย
พิมพ์เสีย	0.820	กิโลกรัม
	0.004	กิโลกรัม

ตารางที่ 21 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์

(หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 ตารางเมตร)

กระบวนการทำแม่พิมพ์		
สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
Naphtha, at refinery	1.98	กิโลกรัม
Destillate Fuel Oil (DFO) FAL	0.0006	ลูกบาศก์เมตร
Benzene	3.40	กิโลกรัม
Cyclohexanol	1.22	กิโลกรัม
Polyester	0.31	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	2.67	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
กระบวนการพิมพ์		
สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
ฟิล์ม CPP	0.203	กิโลกรัม
แม่พิมพ์	1	ชุด
หมึกพิมพ์	0.047	กิโลกรัม
MEK	0.005	กิโลกรัม
โทลูอิน	0.005	กิโลกรัม

ตารางที่ 21 (ต่อ)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
EA	0.003	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	0.871	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์มพิมพ์	0.261	กิโลกรัม
ฟิล์มเสียจากการพิมพ์	0.002	กิโลกรัม

(ค) การลามิเนตด้วยวิธีแห้ง กับ การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด

การทำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับการเปรียบเทียบการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง กับ การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด ได้จากการเก็บรวบรวมปริมาณการใช้ฟิล์มพลาสติก กาว และพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการลามิเนตจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฟิล์มและถุงพลาสติก โดยการลามิเนตด้วยวิธี แห้ง เป็นฟิล์ม Mat. OPP/LLDPE หนา 20/35 ไมครอน หน้ากว้าง 620 มิลลิเมตร ยาว 6,000 เมตร ส่วนการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด เป็นฟิล์ม OPP/LLDPE หนา 20/30 ไมครอน หน้ากว้าง 620 มิลลิเมตร ยาว 6,000 เมตร รายละเอียดข้อมูลดังตารางที่ 22 และ 23

ตารางที่ 22 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง

(หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 ตารางเมตร)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
ฟิล์ม Mat.OPP	0.023	กิโลกรัม
ฟิล์ม LLDPE	0.030	กิโลกรัม
กาว	0.002	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	0.049	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์มลามิเนต Mat.OPP/LLDPE	0.053	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.002	กิโลกรัม

ตารางที่ 23 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด

(หน่วยต่อฟิล์มพลาสติก 1 ตารางเมตร)

สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย
ฟิล์ม OPP	0.024	กิโลกรัม
เม็ดพลาสติก LLDPE	0.026	กิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้า	0.156	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย
ฟิล์มลามิเนต OPP/LLDPE	0.049	กิโลกรัม
ฟิล์มเสีย	0.001	กิโลกรัม

1. ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนต่อมาเป็นขั้นตอนการจำแนกข้อมูลเข้าสู่กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมและทำการแปลงค่าข้อมูลสิ่งแวดล้อมให้เป็นค่าศักยภาพการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้วิธี CML 2 Baseline 2000 (Version 2.05) ซึ่งในการศึกษานี้จะเลือกพิจารณาเฉพาะบางกลุ่มผลกระทบ เนื่องจากกลุ่มผลกระทบศักยภาพการทำให้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง ศักยภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหาร และการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี ส่วนใหญ่มีสาเหตุจากการใช้วัตถุดิบทางการเกษตร การใช้ที่ดิน หรือเกี่ยวข้องกับการทำปศุสัตว์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ไม่ข้องกับกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาเฉพาะกลุ่มผลกระทบที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ศักยภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ และศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ จากการศึกษาพบว่า สาเหตุในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการใช้พลังงานทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มและการผลิตวัตถุดิบ ดังนั้นจึงศึกษากระทบจากการใช้พลังงานโดยวิธี Cumulative Energy (Version 1.07) ในการประเมินผลกระทบเพิ่มเติม

ตารางที่ 24 ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก

		ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยหน้าที่การทำงาน (Functional unit)									
กลุ่ม ผลกระทบ สิ่งแวดล้อม	หน่วย	กระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม				กระบวนการแปรรูปฟิล์ม					
						Film making+orientation ¹		Printing ²		Lamination ²	
		Blown film ¹	Cast film ¹	Extrusion ¹	Co-extrusion ¹	Blown film	Cast film	Flexography	Gravure	Dry lamination	Extrusion lamination
ADP	kg Sb eq	0.98	1.59	0.04	0.04	1.08	2.43	0.64	0.22	2.20E-03	1.86E-03
AP	g SO ₂ eq	1.23	1.33	0.01	0.01	1.58	1.76	0.13	0.05	5.77E-04	4.66E-04
GWP	g CO ₂ eq	2.74	2.99	2.42	2.69	3.00	3.29	0.23	0.17	0.15	0.12
HTP	g 1,4-DB eq	0.09	0.23	0.12	0.13	0.08	0.16	6.72	2.34	0.01	2.67E-03
TTP	kg 1,4-DB eq	79.60	83.90	46.91	61.03	59.28	67.34	52.46	82.73	3.55	1.74
CED	MJ eq	84.09	88.01	78.85	83.03	98.71	114.51	133.71	161.71	88.65	79.50

หมายเหตุ ¹ หน่วยหน้าที่การทำงาน คือ ฟิล์มพลาสติกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

² หน่วยหน้าที่การทำงาน คือ ฟิล์มพลาสติกพื้นที่ 1 ตารางเมตร

กลุ่มผลกระทบสุขภาพการก่อให้เกิดการลดลงของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ พบว่าสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดคือ การนำน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติและถ่านหินมาใช้งาน โดยแบ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนของการผลิตเม็ดพลาสติกเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบ

กลุ่มผลกระทบสุขภาพการก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรด พบว่า มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยสารประเภทซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) และไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) จากการผลิตกระแสไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกและการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตเม็ดพลาสติก

กลุ่มผลกระทบสุขภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ พบว่า มีสาเหตุหลักมาจากการผลิตน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติซึ่งมีการขุดเจาะมาจากทะเล เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ดพลาสติก และเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

กลุ่มผลกระทบสุขภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน พบว่า มีสาเหตุหลักจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ไคไนโตรเจนมอนอกไซด์ (N₂O) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โบรโมไตรฟลูออโรมีเทน (Bromotrifluoromethane; halon 1301) และซีเอฟซี (CFCs) จากการผลิตกระแสไฟฟ้า รวมทั้งการใช้กระแสไฟฟ้าในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกและการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตเม็ดพลาสติก

กลุ่มผลกระทบสุขภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ พบว่า มีสาเหตุมาจากการปล่อยสารประเภท เบนซีน (benzene) โครเมียม (6+) และบิวทาไดอิน (Butadiene) จากกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก นอกจากนี้ยังพบการปล่อยสารไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbon) ในขั้นตอนการผลิตตัวทำละลายของหมึกพิมพ์และกาว เพื่อใช้ในการพิมพ์และการลามิเนต

จากการศึกษาพบว่า มีงานวิจัยหลายฉบับที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แล้ว พบว่า วัสดุและภาชนะบรรจุส่วนใหญ่ก่อให้เกิดกลุ่มผลกระทบสุขภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน Sybille *et al.* (2008) ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุอ่อนตัว คือ เนยห่อด้วยฟิล์มพลาสติกลามิเนต Al/Wax/Paper ผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบ

ต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากภาชนะบรรจุมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของผลกระทบโดยรวม ซึ่งส่งผลกระทบในกลุ่มศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและศักยภาพการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ และมีหลายงานวิจัยที่เลือกศึกษาเฉพาะกลุ่มผลกระทบในศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน Pasqualino *et al.* (2011) ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาชนะบรรจุเครื่องดื่ม ซึ่งผลิตจากวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด ได้แก่ กล่องกระดาษปลอดเชื้อ (Aseptic carton) กระจกอะลูมิเนียม ขวดพลาสติกและขวดแก้ว ผลการศึกษาพบว่า กล่องกระดาษปลอดเชื้อและขวดพลาสติกมีศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนน้อยที่สุด โดยผลกระทบจากขั้นตอนการกำจัดหลังสิ้นสุดการใช้งานของภาชนะบรรจุทุกชนิดด้วยวิธีรีไซเคิลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รองลงมา คือ การเผาและการฝังกลบตามลำดับ

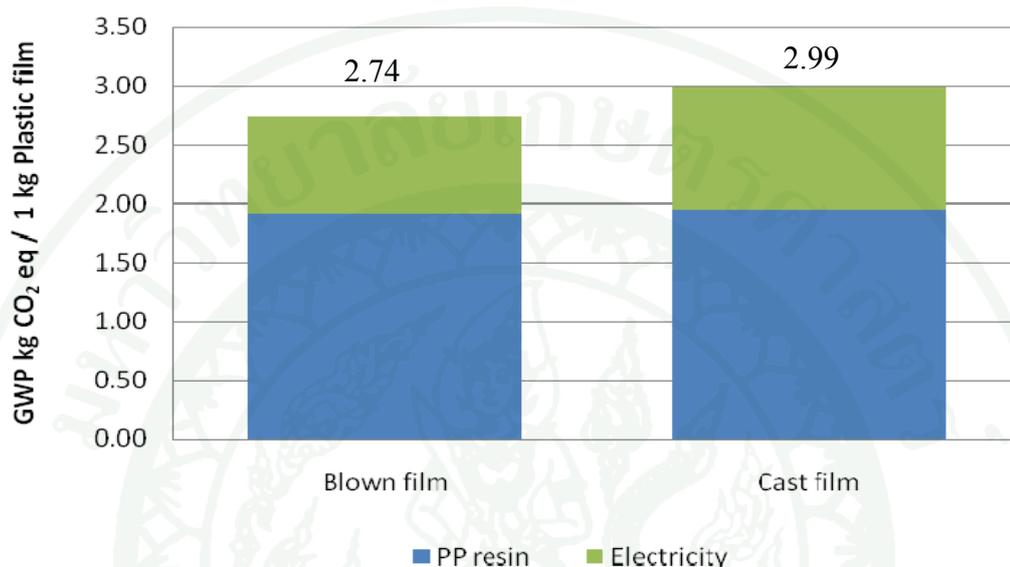
นอกจากนี้ยังมีหลายประเทศทั่วโลกที่ให้ความสนใจและพยายามช่วยกันลดผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ด้วยการสนับสนุนให้ผู้บริโภคเลือกบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีฉลากคาร์บอน (Carbon labelling) ซึ่งฉลากคาร์บอนเป็นการแสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) สาเหตุในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งฟิล์มพลาสติกนับเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์เช่นกัน ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้การศึกษาในลำดับต่อไป เลือกแสดงผลเฉพาะในกลุ่มผลกระทบการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเพียงกลุ่มผลกระทบเดียว

2.1 ผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม

2.1.1 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีเป่า กับ วิธีหล่อ

เมื่อพิจารณาผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม PP น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ด้วยวิธีเป่า กับ วิธีหล่อ พบว่า ผลกระทบใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 17) สัดส่วนระหว่างการผลิตฟิล์มด้วยวิธีเป่า : การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีหล่อ เท่ากับ 1 : 1.09 ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการขึ้นรูปฟิล์มทั้ง 2 วิธี คือ เม็ดพลาสติกและพลังงานที่ใช้ สัดส่วนผลกระทบจากเม็ดพลาสติกและพลังงานที่ใช้ของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีเป่าคิดเป็น 70.03 และ 29.97 เปอร์เซ็นต์ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีหล่อ คิดเป็น 65.12 และ 34.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เนื่องจากการศึกษานี้เราพิจารณาผลกระทบต่อฟิล์มพลาสติกน้ำหนัก 1 กิโลกรัมเท่านั้น จึงส่งผลให้ค่าของผลกระทบที่เกิดจากตัวเม็ดพลาสติกใกล้เคียงกัน โดยผลกระทบที่เกิดจากเม็ดพลาสติกของการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อสูงกว่า เนื่องจากปริมาณของเสียในการ

ผลิตสูงกว่า ดังนั้นการเปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีเป่า กับ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีหล่อ จึงมีตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างผลกระทบ คือ พลังงาน ซึ่งผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการใช้พลังงานของทั้ง 2 วิธีมีค่าเป็น 0.82 และ 1.04 kg CO₂ eq คิดเป็นอัตราส่วนเป็น 1 : 1.27 ตามลำดับ



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีเป่า กับ การขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีหล่อ

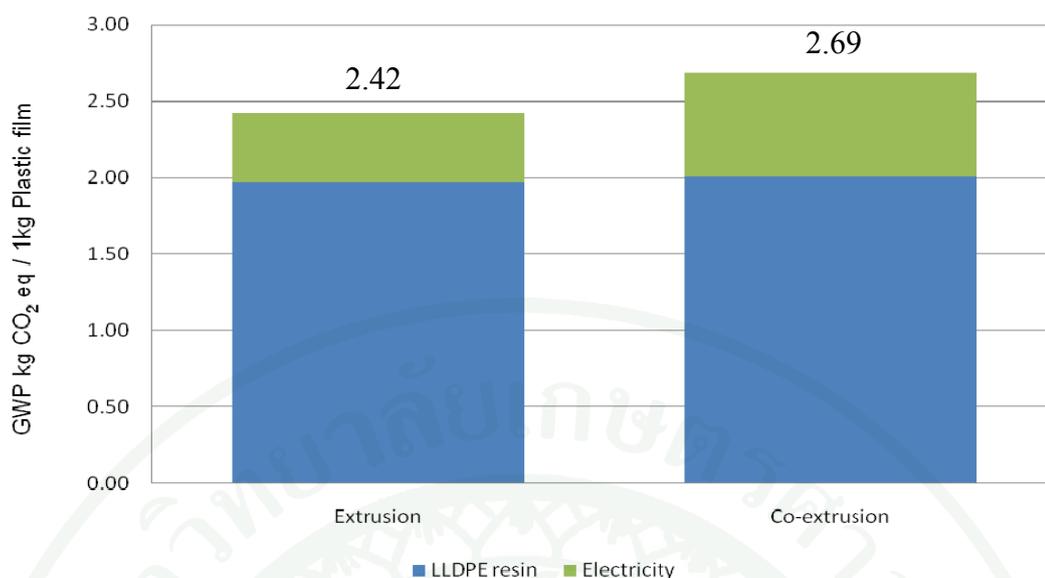
Humbert *et al.* (2009) ได้ศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างกระบวนการอาหารเด็กอ่อนและเสนอว่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่ต่างกันตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปจึงจะถือว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 วิธีนี้ จึงไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการตัดสินใจเลือกวิธีการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกควรพิจารณาถึงปัจจัยด้านอื่นเพิ่มเติม เช่น ต้นทุนในการผลิตและการนำไปใช้งาน จากการศึกษาพบว่า ฟิล์ม PP สามารถขึ้นรูปได้ทั้งวิธีเป่าและวิธีหล่อโดยที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่แตกต่างกัน แต่ต้นทุนในการผลิตของการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อสูงกว่า เพราะเครื่องจักรราคาแพง โดยเฉพาะดาบ ซึ่งเป็นตัวกำหนดความกว้างของฟิล์ม นอกจากนี้คุณสมบัติของฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปฟิล์มทั้ง 2 วิธีแตกต่างกัน โดยฟิล์ม PP ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีเป่าจะ

แข็งแรงกว่า แต่ใส่น้อยกว่าฟิล์ม PP ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ ในขณะที่ฟิล์ม PP ขึ้นที่รูปด้วยวิธีหล่อมีคุณสมบัติเหมาะสำหรับงานพิมพ์ หรืองานที่ต้องการความสวยงาม

2.1.2 การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีด กับ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม

ภาพที่ 18 แสดงผลกระทบสัณยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีด กับ กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลกระทบจากพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วม คิดเป็น 1.5 เท่าของผลกระทบจากพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีด เนื่องจากเป็นการขึ้นรูปฟิล์ม 3 ชั้น ซึ่งต้องใช้เครื่องอัดรีด 3 ตัวในการอัดรีดพลาสติกให้เคลื่อนที่ผ่านคายเดียวกัน ส่วนการขึ้นรูปฟิล์มแบบอัดรีดเป็นฟิล์มชั้นเดียว จึงใช้เครื่องอัดรีดเพียงตัวเดียว

หากวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบผลกระทบสัณยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนระหว่างฟิล์มพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีด กับ ฟิล์มพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีดร่วม โดยให้ความหนาใกล้เคียงกัน พบว่า ต้องใช้ฟิล์มพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีดถึง 4 ชั้นนำมาลามิเนตกัน จึงจะได้ฟิล์มความหนา 140 ไมครอน ใกล้เคียงกับฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีดร่วม ซึ่งส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานในการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกสูงขึ้น และต้องใช้พลังงานในการลามิเนตเพิ่มขึ้น

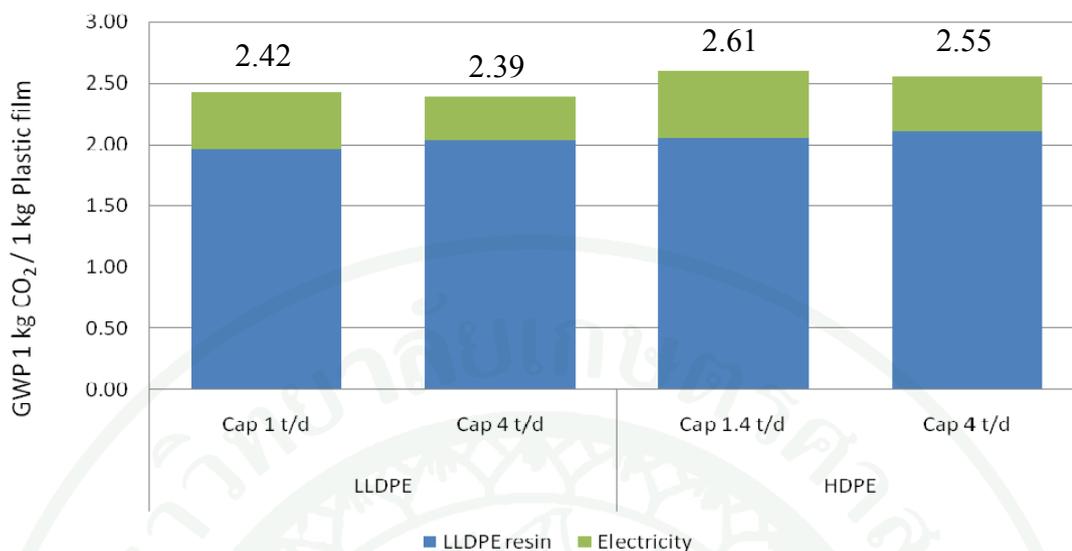


ภาพที่ 18 เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีอัดรีด กับ การขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีอัดรีดร่วม

2.1.3 การขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ กับ การขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูง

เมื่อพิจารณาผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม LLDPE น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ด้วยวิธีการเป่าโดยเครื่องจักรกำลังการผลิตต่ำ (1 ตัน/วัน) กับเครื่องจักรกำลังการผลิตสูง (4 ตัน/วัน) พบว่าผลกระทบใกล้เคียงกัน โดยอัตราส่วนของผลกระทบระหว่างการผลิตด้วยเครื่องจักรกำลังการผลิตต่ำ : กำลังการผลิตสูง เท่ากับ 1.01 : 1 สัดส่วนผลกระทบจากเม็ดพลาสติกและพลังงานที่ใช้สำหรับเครื่องจักรกำลังการผลิตต่ำ คิดเป็น 81.33 และ 18.67 เปอร์เซ็นต์ กำลังการผลิตสูง คิดเป็น 85.08 และ 14.92 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ทำนองเดียวกับกรณีการขึ้นรูปฟิล์ม HDPE น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ด้วยวิธีการเป่าโดยเครื่องจักรกำลังการผลิตต่ำ (1.4 ตัน/วัน) กับเครื่องจักรกำลังการผลิตสูง (4 ตัน/วัน) พบว่าผลกระทบใกล้เคียงกัน โดยอัตราส่วนของผลกระทบระหว่างการผลิตด้วยเครื่องจักรกำลังการผลิตต่ำ : กำลังการผลิตสูง เท่ากับ 1.02 : 1 สัดส่วนผลกระทบจากเม็ดพลาสติกและพลังงานที่ใช้สำหรับเครื่องจักรกำลังการผลิตต่ำ คิดเป็น 78.57 และ 21.43 เปอร์เซ็นต์ กำลังการผลิตสูงคิดเป็น 82.74 และ 17.26 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ภาพที่ 19)

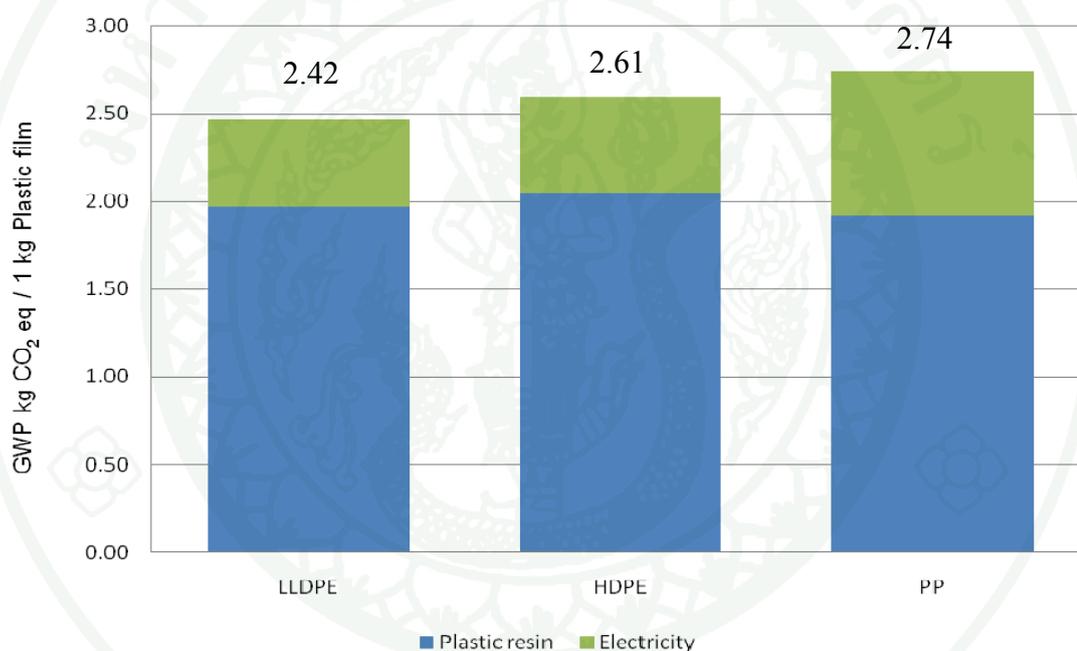


ภาพที่ 19 เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการเป่า โดยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำ กับเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูง

จากการศึกษาผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องจักรที่กำลังการผลิตแตกต่างกันของพลาสติกประเภท PE ทั้ง 2 ชนิด แสดงให้เห็นว่า โนม์ของสัดส่วนการก่อให้เกิดผลกระทบไปในทางเดียวกัน คือ ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์เกิดจากเม็ดพลาสติกและอีก 15-20 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากพลังงานที่ใช้ โดยผลกระทบที่เกิดจากเม็ดพลาสติกจะแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างผลกระทบโดยรวมจึงอยู่ที่พลังงาน จากการศึกษาพบว่า การผลิตด้วยเครื่องจักรกำลังการผลิตต่ำใช้พลังงานในการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มากกว่า มีอัตราส่วนเป็น 1.27 : 1 และสัดส่วนนี้เท่ากันทั้งในการผลิตฟิล์ม LLDPE และ HDPE ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้พลังงานในระหว่างการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก คือ จุดหลอมเหลวของพลาสติก โดยเม็ดพลาสติกที่มีจุดหลอมเหลวสูงต้องใช้ปริมาณพลังงานสูงในการทำให้เม็ดพลาสติกหลอมตัวและสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มตามลักษณะที่ต้องการได้ จุดหลอมเหลวของ LLDPE และ HDPE คือ 120 และ 130 องศาเซลเซียสตามลำดับ

อิทธิพลของจุดหลอมเหลวต่อปริมาณการใช้พลังงานแสดงในภาพที่ 20 เป็นการเปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีเป่า โดยเครื่องจักรกำลังการผลิต 1 ตัน/วันเท่ากัน แต่ใช้เม็ดพลาสติกต่างชนิดกัน คือ LLDPE HDPE และ PP ผลกระทบของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและสอดคล้องกับการศึกษา ก่อน

หน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่า จุดหลอมเหลวของเม็ดพลาสติกมีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้พลังงานในการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก ฟิล์ม PP มีผลกระทบจากการใช้พลังงานในการขึ้นรูปฟิล์มสูงที่สุด รองลงมาคือ HDPE และ LLDPE เนื่องจาก PP มีจุดหลอมเหลวประมาณ 170 องศา ผลกระทบจากการใช้พลังงานของ LLDPE และ HDPE ต่างกัน 11.44 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากจุดหลอมเหลวแตกต่างกันเพียง 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผลกระทบจากการใช้พลังงานของ PP และ HDPE ต่างกัน 49.75 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากจุดหลอมเหลวต่างกัน 40 องศาเซลเซียส และผลกระทบจากการใช้พลังงานของ PP และ LLDPE ต่างกัน 66.88 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากจุดหลอมเหลวต่างกัน 50 องศาเซลเซียส ดังนั้นจุดหลอมเหลวของพลาสติกจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณพลังงานที่ใช้และผลกระทบที่เกิดจากพลาสติกชนิดนั้น

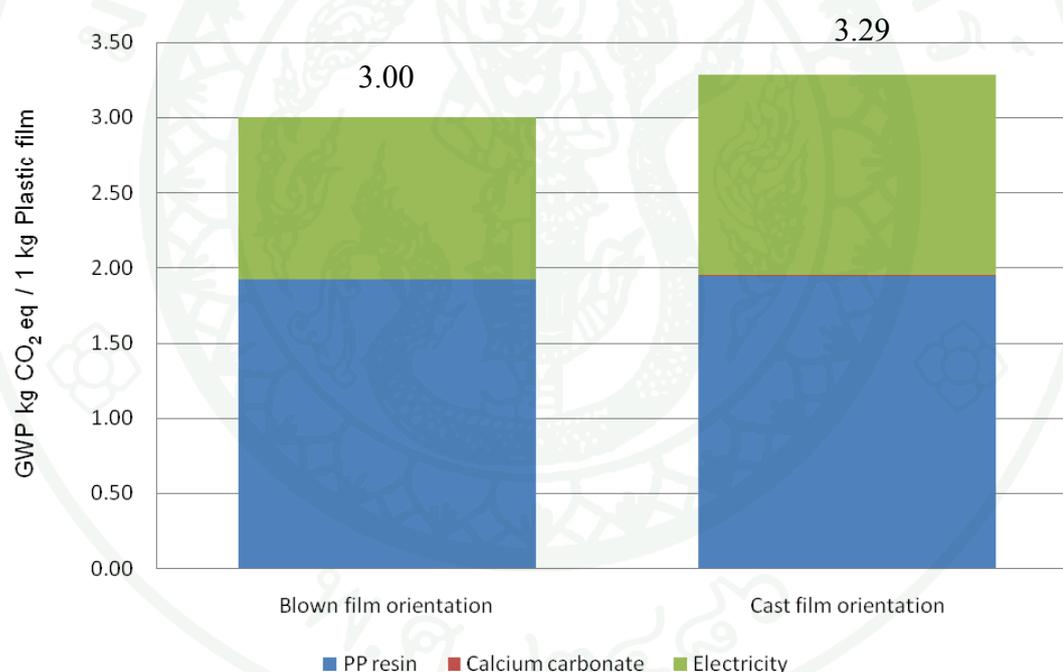


ภาพที่ 20 เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีเป่า ของฟิล์ม LLDPE HDPE และ PP

2.2 ผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ของกระบวนการแปรรูปฟิล์ม

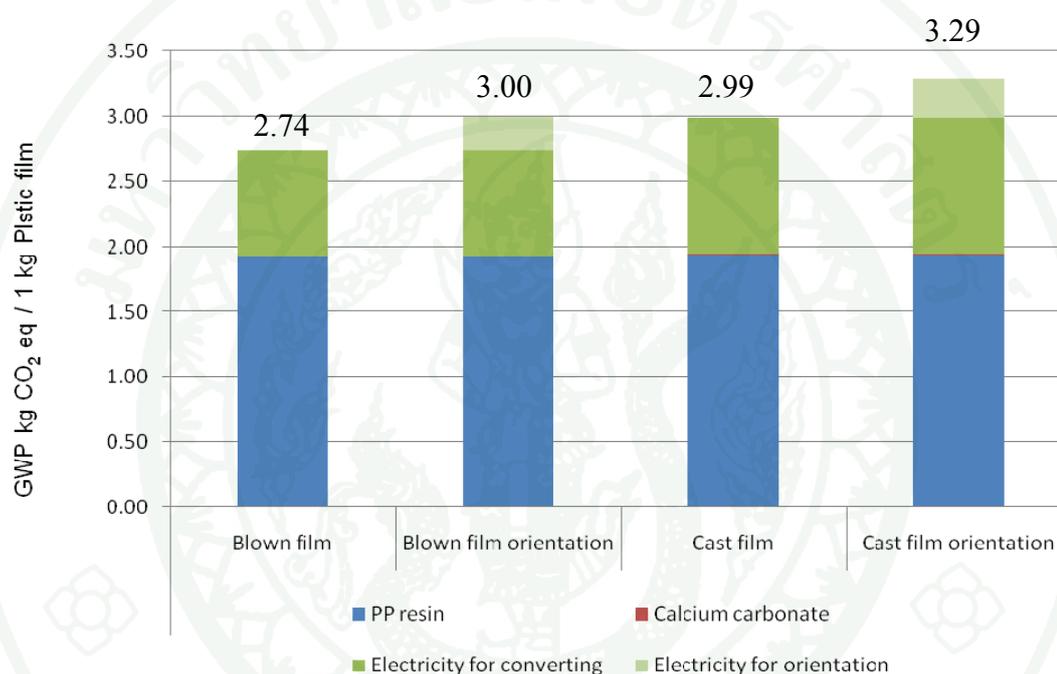
2.2.1 การจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการเป่าฟิล์ม กับ การจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการหล่อฟิล์ม

ภาพที่ 21 แสดงผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการผลิตฟิล์ม PP ที่มีการจัดระเบียบโมเลกุล พบว่าผลกระทบใกล้เคียงกัน โดยผลกระทบจากเม็ดพลาสติกและพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกที่มีการจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการเป่าฟิล์ม คิดเป็น 63.99 และ 36.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผลกระทบจากเม็ดพลาสติกและพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกที่มีการจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการหล่อฟิล์ม คิดเป็น 59.26 และ 40.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการเป่าฟิล์ม กับ การจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการหล่อฟิล์ม

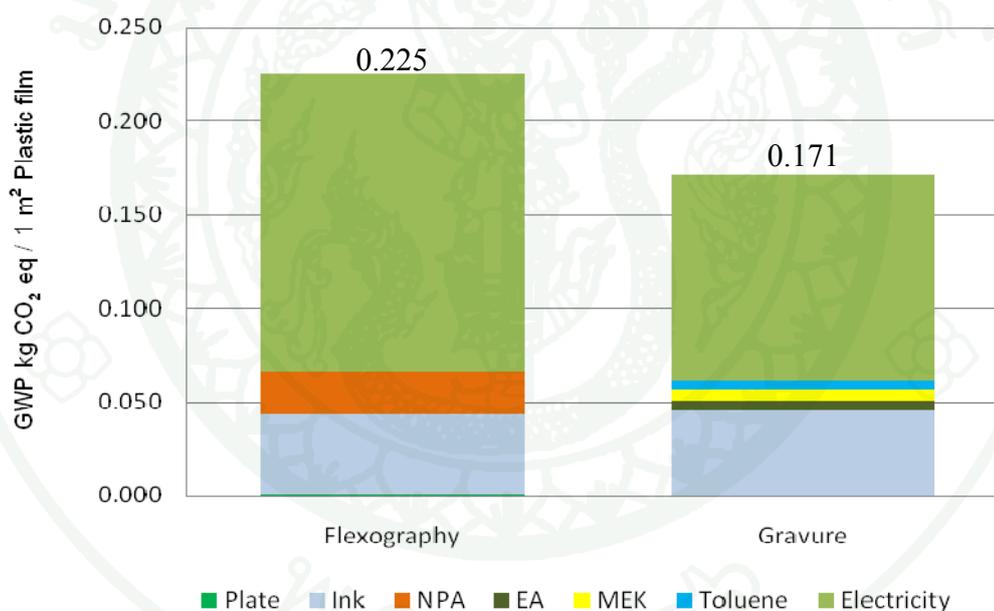
เมื่อนำค่าผลกระทบของฟิล์ม PP ที่ไม่มีการจัดระเบียบ โมเลกุลเทียบกับฟิล์ม PP ที่มีการจัดระเบียบโมเลกุล พบว่าผลกระทบที่เกิดจากการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 22) ดังนั้นการประเมินศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในกรณีที่ไม่มีการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานในช่วงของการจัดระเบียบโมเลกุล หรือ ในกรณีที่ใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของฟิล์ม PP จากฐานข้อมูล สามารถบอกผลกระทบจากการจัดระเบียบโมเลกุลเพิ่ม 10 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ เพื่อลดความความคลื่อนของผลกระทบโดยรวม เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญของการผลิตฟิล์มพลาสติก



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของฟิล์มที่มีการจัดระเบียบโมเลกุล กับ ฟิล์มที่ไม่มีการจัดระเบียบโมเลกุล

2.2.2 การพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี กับ การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์

จากการศึกษาผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการพิมพ์บนฟิล์ม CPP พื้นที่ 1 ตารางเมตร พบว่าผลกระทบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ภาพที่ 23 การพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟีมีศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็น 1.31 เท่าของการพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์โดยสัดส่วนของผลกระทบจากแม่พิมพ์ หมึกพิมพ์ ตัวทำละลาย และพลังงานที่ใช้ คิดเป็น 0.23, 19.16, 9.87 และ 70.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์ มีสัดส่วนของผลกระทบจากแม่พิมพ์ หมึกพิมพ์ ตัวทำละลาย และพลังงานที่ใช้คิดเป็น 0.07, 26.28, 9.64 และ 64.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การประเมินผลกระทบโดยพิจารณาต่อพื้นที่ที่มีค่าน้อยมาก ดังนั้นการแสดงค่าของผลกระทบจึงแสดงด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนต่อผลกระทบโดยรวมและการนำค่าของผลกระทบไปใช้สำหรับการศึกษารั้งต่อไป



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี กับ การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์

หมึกพิมพ์มีผลกระทบสูงที่สุดในกลุ่มของสารเคมี โดยจำนวนสีของหมึกพิมพ์ มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงาน เนื่องจากในระบบการพิมพ์ 1 สีจะใช้ลูกกลิ้ง 1 ชุด ถ้าพิมพ์หลายสี ต้องใช้ลูกกลิ้งหลายชุด ส่งผลให้พลังงานที่ใช้แปรผันตรงตามจำนวนสีที่พิมพ์ ส่วนแม่พิมพ์เมื่อประเมินผลกระทบต่อชั้นมีค่าสูงมาก โดยเฉพาะแม่พิมพ์ของการพิมพ์ระบบกราเวียร์ เนื่องจากทำจากเหล็กต้องใช้พลังงานสูงในการถลุงแร่เพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบ แต่เมื่อป็นส่วนตามอายุการใช้งาน พบว่ามีค่าต่ำกว่า 1 เปอร์เซนต์ของผลกระทบโดยรวม เช่นเดียวกับแม่พิมพ์ของระบบเฟล็กโซกราฟี เมื่อป็นส่วนตามอายุการใช้งานพบว่ามีผลกระทบสูงกว่าแม่พิมพ์ระบบกราเวียร์ เนื่องจากมีอายุการใช้งานน้อยกว่า แต่เมื่อเทียบผลกระทบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ มีค่าต่ำกว่า 1 เปอร์เซนต์ แม้ว่าทั้ง 2 ระบบจะพิมพ์ด้วยจำนวนสีสูงสุดที่สามารถพิมพ์ได้ คือ 10 สีก็ตาม (ตารางที่ 25)

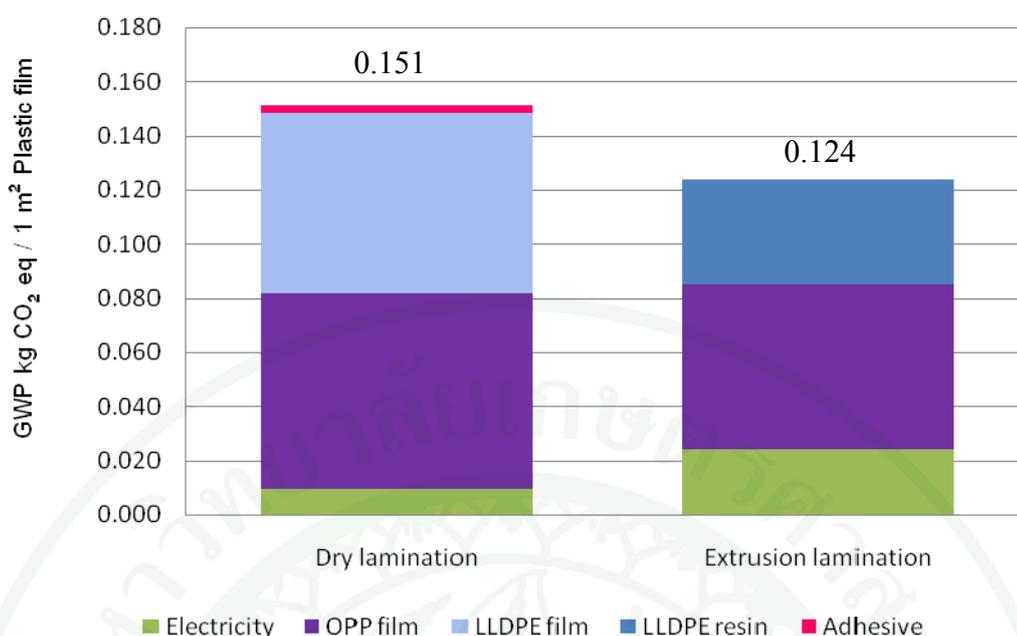
มาตรฐาน ISO 14040 และ 14044 ได้ระบุเงื่อนไขการตัดออก (Cut off) ของข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมไว้ว่า ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมใดมีศักยภาพการก่อให้เกิดผลกระทบต่ำกว่า 1 เปอร์เซนต์สามารถตัดออกได้ โดยที่ผลรวมของกระทบจากข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ตัดออกจะต้องไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์ของผลกระทบของผลิตภัณฑ์ และเมื่อตัดออกแล้ว ให้ทำการเพิ่มสัดส่วน (scale up) ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบและสารขาออกรวมทุกรายการ โดยใช้ฐานเท่ากับร้อยละ 100 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า แม่พิมพ์เป็นข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพการก่อให้เกิดผลกระทบไม่ถึง 1 เปอร์เซนต์ ดังนั้นการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัวในครั้งต่อไปสามารถละเว้นการเก็บข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของแม่พิมพ์ได้

ตารางที่ 25 ผลกระทบศักยภาพในก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี และการพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์

วัตถุดิบ/ พลังงาน	ผลกระทบศักยภาพในก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (%)			
	เฟล็กโซกราฟี		กราเวียร์	
	รวมผลกระทบ จากฟิล์ม	ไม่รวมผลกระทบ จากฟิล์ม	รวมผลกระทบ จากฟิล์ม	ไม่รวมผลกระทบ จากฟิล์ม
ฟิล์ม CPP	84.74	-	75.30	-
แม่พิมพ์	0.04	0.23	0.02	0.07
หมึกพิมพ์	2.92	19.16	6.49	26.28
NPA	1.51	9.87	-	-
MEK	-	-	0.90	3.63
Toluene	-	-	0.76	3.07
EA	-	-	0.73	2.94
พลังงาน	10.79	70.73	15.80	64.01

2.2.3 การลามิเนตด้วยวิธีแห้ง กับ การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด

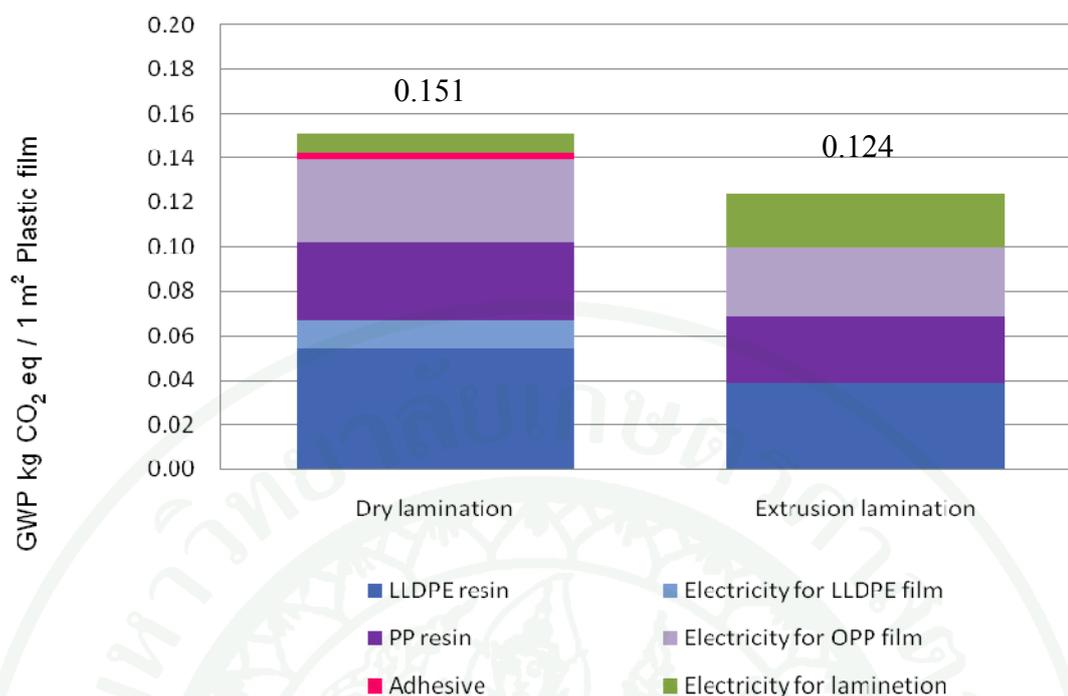
เมื่อพิจารณาผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการลามิเนตฟิล์ม OPP กับ LLDPE พื้นที่ 1 ตารางเมตร พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสัดส่วนของผลกระทบจากฟิล์ม OPP ฟิล์ม LLDPE กาว และพลังงานที่ใช้ในการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง คิดเป็น 41.9, 38.60, 1.44 และ 18.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด มีสัดส่วนของผลกระทบจากฟิล์ม OPP เม็ด LLDPE และพลังงานที่ใช้คิดเป็น 47.46, 30.51 และ 22.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังภาพที่ 24 ผลกระทบจากพลังงานที่ใช้กระบวนการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีดเป็น 2.6 เท่าของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง เพราะต้องใช้พลังงานสูงในการอัดรีด LLDPE มาประกบกับฟิล์ม OPP ในขณะที่การลามิเนตด้วยวิธีแห้ง พลังงานส่วนนี้ได้รวมอยู่กับขั้นตอนการผลิตฟิล์ม LLDPE เนื่องจากขึ้นรูปเป็นฟิล์มมาก่อนแล้ว จึงนำมารวมใช้การเป็นตัวประสานให้ฟิล์มยึดติดกับฟิล์ม OPP



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง กับ การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด

ภาพที่ 26 แสดงผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการลามิเนต โดยแยกผลกระทบจากเม็ดพลาสติกและผลกระทบจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตฟิล์มออกจากกัน เพื่อให้เห็นสัดส่วนระหว่างผลกระทบชัดเจน ซึ่งสัดส่วนระหว่างผลกระทบจากเม็ดพลาสติก โดยรวมและผลกระทบจากพลังงาน โดยรวมของการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง คิดเป็น 59.37 และ 39.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สัดส่วนระหว่างผลกระทบจากเม็ดพลาสติก โดยรวมและผลกระทบจากพลังงาน โดยรวมของการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด คิดเป็น 55.42 และ 44.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งผลกระทบจากการใช้พลังงาน โดยรวมจากการลามิเนตด้วยวิธีแห้งสูงกว่าผลกระทบจากการใช้พลังงาน โดยรวมจากการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด เนื่องจากการแยกค่าของผลกระทบจากพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มออกจากผลกระทบจากเม็ดพลาสติกและนำไปรวมกับพลังงานที่ใช้ระหว่างกระบวนการลามิเนตทำให้ผลกระทบจากพลังงานเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด แม้ว่าจะส่งผลกระทบในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนน้อยกว่าการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง แต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ไม่สามารถใช้ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติกอบไอโลหะ (Metallized film) ได้



ภาพที่ 25 เปรียบเทียบผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของการลามิเนต โดยแยกสัดส่วนระหว่างผลกระทบจากเม็ดพลาสติกกับผลกระทบจากพลังงาน

เมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้งานระหว่างฟิล์มลามิเนตด้วยวิธีแห้ง กับ ฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีดร่วม โดยกำหนดว่าต้องการใช้ฟิล์ม LLDPE ที่มีความหนา 130 ไมครอน พื้นที่ 1 ตารางเมตร ดังนั้นการที่จะนำฟิล์ม LLDPE หนา 35 ซึ่งได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีดมาใช้งาน จะต้องนำฟิล์มดังกล่าวมาลามิเนตกัน 4 ชั้น เพื่อให้ได้ความหนาตามที่ต้องการ จากการศึกษาพบว่าฟิล์ม LLDPE หนา 130 ไมครอน 1 ตารางเมตร ที่ได้จากการลามิเนตของฟิล์ม LLDPE หนา 35 ไมครอน 3 ชั้น ส่งผลกระทบต่อศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็น 1.13 เท่าของฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีดร่วม นอกจากนี้การนำฟิล์ม LLDPE หนา 35 ซึ่งได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีดมาใช้งาน ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการคลี่ฟิล์มออกจากม้วนเพื่อนำมาลามิเนตและม้วนเก็บฟิล์มหลังจากการลามิเนต ในขณะที่การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดร่วมดำเนินการครั้งเดียวได้ความหนาของฟิล์มตามต้องการ

3. การสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกับกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก

จากผลการศึกษาในข้อ 1 นำมาหาความสัมพันธ์เชิงสมการระหว่างศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนกับกระบวนการผลิตและแปรรูปฟิล์มพลาสติก เพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัวประเภทพลาสติก กลุ่มพอลิเอเลฟินส์ ได้แก่ PE และ PP การสร้างสมการนี้เพื่อเป็นกรณีศึกษานำร่องให้มีการวิจัยเพิ่มเติม เพื่อให้สมการมีความสมบูรณ์มากขึ้นและสามารถใช้ได้กับพลาสติกทั่วไป

$$GWP_{\text{Plastic film}} = \sum (GWP_{\text{resin}} + GWP_{\text{film making}} + GWP_{\text{converting}})$$

โดยที่ Film making ได้แก่ - การขึ้นรูปด้วยวิธีเป่า หรือ Blown film (Blown)
 - การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ หรือ Cast film (Cast)
 - การขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีดร่วม หรือ Co-extrusion (Co-ex)

Converting ได้แก่ - การพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์ หรือ Gravure printing (Gravure)
 - การพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี หรือ Flexography printing (Flexography)
 - การพิมพ์ด้วยวิธีแห้ง หรือ Dry lamination (DI)
 - การพิมพ์ด้วยวิธีอัดรีด หรือ Extrusion lamination (Exl)

จากการศึกษาพบว่า การผลิตฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่ของเสียจะเกิดจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดขึ้นจะแปรผกผันกับปริมาณฟิล์มพลาสติกที่ผลิตในแต่ละชุด (Batch หรือ lot) โดยการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกปริมาณน้อยจะมีเปอร์เซ็นต์ของเสียมากกว่าการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกปริมาณมาก (ภาพที่ 26) ดังนั้นการใช้สมการที่ได้จากการศึกษาในการคำนวณศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของภาชนะบรรจุอ่อนตัวจึงมีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ใช้ได้ในกรณีที่ฟิล์มเสียจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ฟิล์มเสียสูงที่สุดจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการศึกษานี้



ภาพที่ 26 เปอร์เซนต์ฟิล์มเสียที่เกิดกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก

$$GWP_{Total} = \left\{ \sum_{i=1}^n (GWP_{resin} + GWP_{film\ making} + GWP_{converting}) \right\} + GWP_{forming}$$

โดยที่ $GWP_{resin} = m \cdot X$

$m =$ น้ำหนักของฟิล์มพลาสติก+น้ำหนักของฟิล์มเสีย, kg

$X =$ สักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของเม็ดพลาสติก, kg CO₂ eq / kg พลาสติก

$i =$ ชนิดของฟิล์มพลาสติก

การใช้สมการในการคำนวณศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัวเป็นการรวมค่าของผลกระทบจากแต่ละกระบวนการย่อยในการผลิตเข้าด้วยกัน ดังนั้นถ้ากระบวนการใดที่ไม่ได้ใช้ในการผลิตภาชนะบรรจุ ผลกระทบจากกระบวนการย่อยนั้นจะไม่นำมาคิดในสมการ

ค่า X ของพลาสติกสามารถสืบค้นได้จากฐานข้อมูลที่มีการใช้ทั่วไป ได้แก่ Buwal และ Ecoinvent ซึ่งการเลือกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลต่างกันผลกระทบจะแตกต่างกันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 25 สำหรับ $GWP_{\text{film making}}$ และ $GWP_{\text{converting}}$ จะแตกต่างกันตามกระบวนการที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม จึงต้องเลือกใช้ให้ถูกต้อง และเพื่อความสะดวกในการคำนวณค่า GWP_{Total} จึงหาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่าง $GWP_{\text{film making}}$ และ $GWP_{\text{converting}}$ เทียบกับ GWP_{resin} ดังนี้

$$GWP_{\text{PP blown}} = k_1 GWP_{\text{resin}}$$

$$GWP_{\text{PE blown}} = k_2 GWP_{\text{resin}}$$

$$GWP_{\text{cast}} = k_3 GWP_{\text{resin}}$$

$$GWP_{\text{co-ex}} = k_4 GWP_{\text{resin}}$$

$$GWP_{\text{orientation}} = k_5 GWP_{\text{resin}}$$

ตารางที่ 26 ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของเม็ดพลาสติก

แหล่งที่มา	ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของเม็ดพลาสติก (kg CO ₂ eq)		
	LLDPE	HDPE	PP
Buwal250	2.01	2.15	1.89
Ecoinvent	1.82	1.92	1.97

สำหรับการลามิเนตและการพิมพ์ได้ประเมินศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยหน่วยหน้าที่การทำงานเป็นพื้นที่ฟิล์มพลาสติก ดังนั้นการสร้างความสัมพันธ์ของค่าผลกระทบจากการลามิเนตและการพิมพ์ จึงต้องใช้พื้นที่ของฟิล์มแทนการใช้น้ำหนัก

$$GWP_{\text{gravure}} = k_6 A$$

$$GWP_{\text{flexography}} = k_7 A$$

$$GWP_{\text{dl}} = k_8 A \text{ (ค่าที่ได้เป็นผลกระทบต่อการลามิเนต 1 ครั้ง)}$$

$$GWP_{\text{exl}} = k_9 A \text{ (ค่าที่ได้เป็นผลกระทบต่อการลามิเนต 1 ครั้ง)}$$

$$\text{โดยที่ จำนวนครั้งของการลามิเนต} = \text{จำนวนชั้นของฟิล์ม} - 1$$

กำหนดให้

- k_1 = สัมประสิทธิ์ค่า GWP ของการขึ้นรูปฟิล์ม PP ด้วยวิธีเป่า
 k_2 = สัมประสิทธิ์ค่า GWP ของการขึ้นรูปฟิล์ม PE ด้วยวิธีเป่า
 k_3 = สัมประสิทธิ์ค่า GWP ของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีหล่อ
 k_4 = สัมประสิทธิ์ค่า GWP ของการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดรวม
 k_5 = สัมประสิทธิ์ค่า GWP ของการจัดระเบียบโมเลกุล
 k_6 = สัมประสิทธิ์ค่า GWP ของการพิมพ์ระบบกราเวียร์
 k_7 = สัมประสิทธิ์ค่า GWP ของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี
 k_8 = สัมประสิทธิ์ค่า GWP ของการลามิเนตด้วยวิธีแห้ง
 k_9 = สัมประสิทธิ์ค่า GWP ของการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด

ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปและแปรรูปฟิล์มพลาสติก
ได้ค่าตามที่แสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 27 ค่าสัมประสิทธิ์ของกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปและแปรรูปฟิล์มพลาสติก

กระบวนการ	สมการ
การขึ้นรูปฟิล์ม PP ด้วยวิธีเป่า	$GWP_{PP \text{ blown}} = 0.428 GWP_{resin}$
การขึ้นรูปฟิล์ม PE ด้วยวิธีเป่า	$GWP_{PE \text{ blown}} = 0.251 GWP_{resin}$
การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีหล่อ	$GWP_{cast} = 0.536 GWP_{resin}$
การขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีอัดรีดรวม	$GWP_{co-ex} = 0.338 GWP_{resin}$
การจัดระเบียบโมเลกุล	$GWP_{orientation} = 0.145 GWP_{resin}$
การพิมพ์ระบบกราเวียร์	$GWP_{gravure} = 0.171A$
การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี	$GWP_{flexography} = 0.225A$
การลามิเนตด้วยวิธีแห้ง	$GWP_{dl} = 0.013A$
การลามิเนตด้วยวิธีอัดรีด	$GWP_{exl} = 0.024A$

สมการความสัมพันธ์ที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะ
โลกร้อนของตัวอย่างถุงพลาสติก เพื่อประเมินความถูกต้องแม่นยำโดยการเปรียบเทียบกับค่า
ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่ได้จากการศึกษาและเก็บข้อมูลโดยตรง

ตารางที่ 28 ข้อมูลของตัวอย่างถุงพลาสติก

ข้อมูล	ข้อมูลของตัวอย่างถุงพลาสติก
ชนิดของถุง	CPP/LLDPE
ความหนา	20/35 ไมครอน
น้ำหนัก	0.025 กิโลกรัม
ขนาด	กว้าง x ยาว เท่ากับ 28 x 47 เซนติเมตร
ฟิล์ม CPP ขึ้นรูปด้วยการหล่อ	น้ำหนัก 0.011 กิโลกรัม
ฟิล์ม LLDPE ขึ้นรูปด้วยการเป่า	น้ำหนัก 0.014 กิโลกรัม
การพิมพ์	พิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์ (100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่) ใช้หมึกพิมพ์น้ำหนัก 0.0075 กิโลกรัม
การลามิเนต	ลามิเนตด้วยวิธีแห้ง

$$\begin{aligned}
 \text{GWP ของถุงพลาสติก} &= \text{GWP}_{\text{CPP film}} + \text{GWP}_{\text{LLDPE film}} + \text{GWP}_{\text{printing}} + \text{GWP}_{\text{lamination}} \\
 &= 0.033 + 0.029 + 0.052 + 0.003 \\
 &= 0.117 \text{ kg CO}_2\text{eq}
 \end{aligned}$$

ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของตัวอย่างถุงพลาสติกที่ได้จากการศึกษาและการเก็บข้อมูลโดยตรงมีค่าเท่ากับ 0.112 kg CO₂eq พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการสูงกว่าค่าจริง 4.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังไม่รวมพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปถุงพลาสติก ในขณะที่ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่ได้จากข้อมูลทุติยภูมิ โดยการใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเม็ดพลาสติกเป็นตัวแทนของฟิล์มพลาสติก และใช้ข้อมูลบัญชีรายการของหมึกพิมพ์แทนกระบวนการพิมพ์ จะได้ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน 0.062 kg CO₂eq ซึ่งต่ำกว่าค่าจริง 46.09 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การเลือกใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมจากฐานข้อมูลแตกต่างกันพบว่าค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนแตกต่างกันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยแยกเป็นกระบวนการย่อย ทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดผลกระทบ และทราบขนาดของผลกระทบในแต่ละกระบวนการ จากการศึกษาผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก พบว่า สัดส่วนของผลกระทบเกิดจากเม็ดพลาสติกประมาณ 65-80 เปอร์เซ็นต์ และผลกระทบเกิดจากพลังงานที่ใช้ประมาณ 20-35 เปอร์เซ็นต์ โดยพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างผลกระทบโดยรวม ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้พลังงาน คือ จุดหลอมเหลวของพลาสติก จากการศึกษาผลกระทบจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีการต่างกัน พบว่า ผลกระทบที่เกิดจากการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีเป่าและการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีหล่อใกล้เคียงกัน แต่คุณสมบัติของฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปฟิล์มทั้ง 2 วิธีแตกต่างกัน ดังนั้นการตัดสินใจเลือกวิธีในการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกควรพิจารณาปัจจัยอื่นเพิ่มเติม ผลกระทบที่เกิดจากการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีอ้อครีดและการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีอ้อครีดรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีอ้อครีดรวมมีค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงกว่า เนื่องจากการผลิตฟิล์มหลายชั้น แต่เมื่อพิจารณาถึงการใช้งาน โดยให้ฟิล์มมีความหนาเท่ากันพบว่า การขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยวิธีอ้อครีดรวมมีปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณของเสียที่เกิดจากการผลิตน้อยกว่า การศึกษาผลกระทบจากการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตต่ำและการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูงพบว่า ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนไม่แตกต่างกันในกรณีที่มีกำลังการผลิตต่างกันไม่เกิน 4 เท่า

การศึกษาผลกระทบศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของกระบวนการแปรรูปฟิล์มพลาสติกพบว่า ผลกระทบจากการจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการเป่าฟิล์มและการจัดระเบียบโมเลกุลระหว่างการหล่อฟิล์มใกล้เคียงกัน โดยผลกระทบจากการใช้พลังงานในช่วงจัดระเบียบโมเลกุลเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์จากการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก ผลกระทบจากการพิมพ์ด้วยระบบกราเวียร์และการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟีแตกต่างกัน โดยการพิมพ์ด้วยระบบเฟล็กโซกราฟีมีศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงกว่า เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนลูกกลิ้งซึ่งมีจำนวนมากกว่า และจากการศึกษาพบว่าข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของแม่พิมพ์สามารถตัดออกได้ เนื่องจากมีศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ของผลกระทบของ

ผลิตภัณฑ์ ผลกระทบจากการลามิเนตด้วยวิธีแห้งและการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลกระทบจากการลามิเนตด้วยวิธีอัดรีดต่ำกว่า แต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ไม่สามารถใช้ลามิเนตกับฟิล์มพลาสติกอบไอโอโหะได้

ศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยรวมในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปและแปรรูปฟิล์มพลาสติกสามารถสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยต้องเลือกใช้ให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิตจริง เมื่อนำสมการดังกล่าวมาทดลองคำนวณศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของตัวอย่างถุงพลาสติก พบว่าค่าใกล้เคียงกับผลกระทบที่ได้จากการศึกษาจริง โดยแตกต่างกัน 4.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการเลือกใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมจากฐานข้อมูลที่ต่างกันมีผลให้ค่าของผลกระทบต่างกันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีที่ใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเม็ดพลาสติกและหมึกพิมพ์เป็นตัวแทนของฟิล์มพลาสติกและกระบวนการพิมพ์ ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลกระทบ 46.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณความคลาดเคลื่อนของผลกระทบจากการใช้ข้อมูลตัวแทนนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนในการผลิตของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัว ถ้าเป็นฟิล์มพลาสติกพื้นฐานทั่วไป ไม่มีการจัดระเบียบโมเลกุล ไม่มีการพิมพ์ ไม่มีการลามิเนต จะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

การสร้างสมการพื้นฐานเพื่อใช้ในการคำนวณศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัว จะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมที่มีผลิตภัณฑ์หลายรายการ (SKU) เพื่อลดปัญหาการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเกินกำลังความสามารถของผู้ผลิตและช่วยลดความคลาดเคลื่อนของผลกระทบเนื่องจากการใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของตัวแทน โดยขอบเขตของสมการนี้จะใช้ได้กับพลาสติกกลุ่มโอเลฟินส์และมีเปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาในอนาคต มีดังนี้

1. ควรมีการศึกษากระบวนการขึ้นรูปฟิล์มและกระบวนการแปรรูปฟิล์มของพลาสติกชนิดอื่นเพิ่มเติม เช่น PET และ Nylon เพื่อให้สมการที่ใช้ในการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุอ่อนตัวสมบูรณ์มากขึ้น
2. ควรมีการทดลองใช้ (Test) สมการกับตัวอย่างภาชนะบรรจุอ่อนตัวหลายๆชนิด เพื่อหาข้อบกพร่องและที่มาของความคลาดเคลื่อนจากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้สมการเพื่อเป็นประโยชน์แก่อุตสาหกรรมพลาสติกต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2544. โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการลดของเสียและการใช้ประโยชน์จากของเสีย. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2553. รายงานประจำปี 2552. 168 น.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. โรงพิมพ์บริษัท เอส.พี.เอ็ม การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ธีระ ตั้งวิชาชาญ. 2539. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการพิมพ์. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, นนทบุรี.

วันดี ลือสายวงศ์. 2548. วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต. แหล่งที่มา: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_7_2550_LCA.pdf, 10 มกราคม 2552.

ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. 2550. พลาสติกเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. แหล่งที่มา: http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/process_plas.html, 7 เมษายน 2554.

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ร่วมกับศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติและสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2549. การประเมินวัฏจักรชีวิตและการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ. ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

อนงค์นาฏ สมหวังชนโรจน์. 2553. สารเติมแต่ง. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โอวาท นิตินันท์ประกาศ. 2525. หมึกพิมพ์. แหล่งที่มา: http://202.143.163.252/users/5022010153/com50t4/somchiy/kanid/jutaporn%20vuttanaree/product_13.htm, 7 เมษายน 2554.

Anonymous. n.d.(a.). **Blown film process**. Available source:

http://www.eastman.com/Markets/medical_technical_center/Processing/Extrusion/Pages/BF_Process.aspx, 2 April 2011.

Anonymous. n.d.(b.). **Dry lamination**. Available Source:

http://www.idspackaging.com/Common/Paper/Paper_312/Peelable%20Sealant%20Technology.htm, 4 April 2011.

Anonymous. n.d.(c.). **Extrusion lamination**. Available Source:

http://www.safepack.com/extrusion_laminate, 1 April 2011.
products.asp, April 1, 2011.

Anonymous. n.d.(d.). **Biaxially oriented PET**. Available Source:

<http://www.mc-tohcello.co.jp/english/technology/key/enshin.html>, 1 April 2011.

Anonymous. n.d.(e.). **Flexograpny**. Available Source:

<http://www.pneac.org/images/2rollsys.jpg>, 1 April 2011.

Anonymous. 2001. **NatureWorks - A new generation of biopolymers**. Available Source:

http://www.chimicaverde.net/chimicaverde/show_attach.php?id_cnt=2680,
April 1, 2011.

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

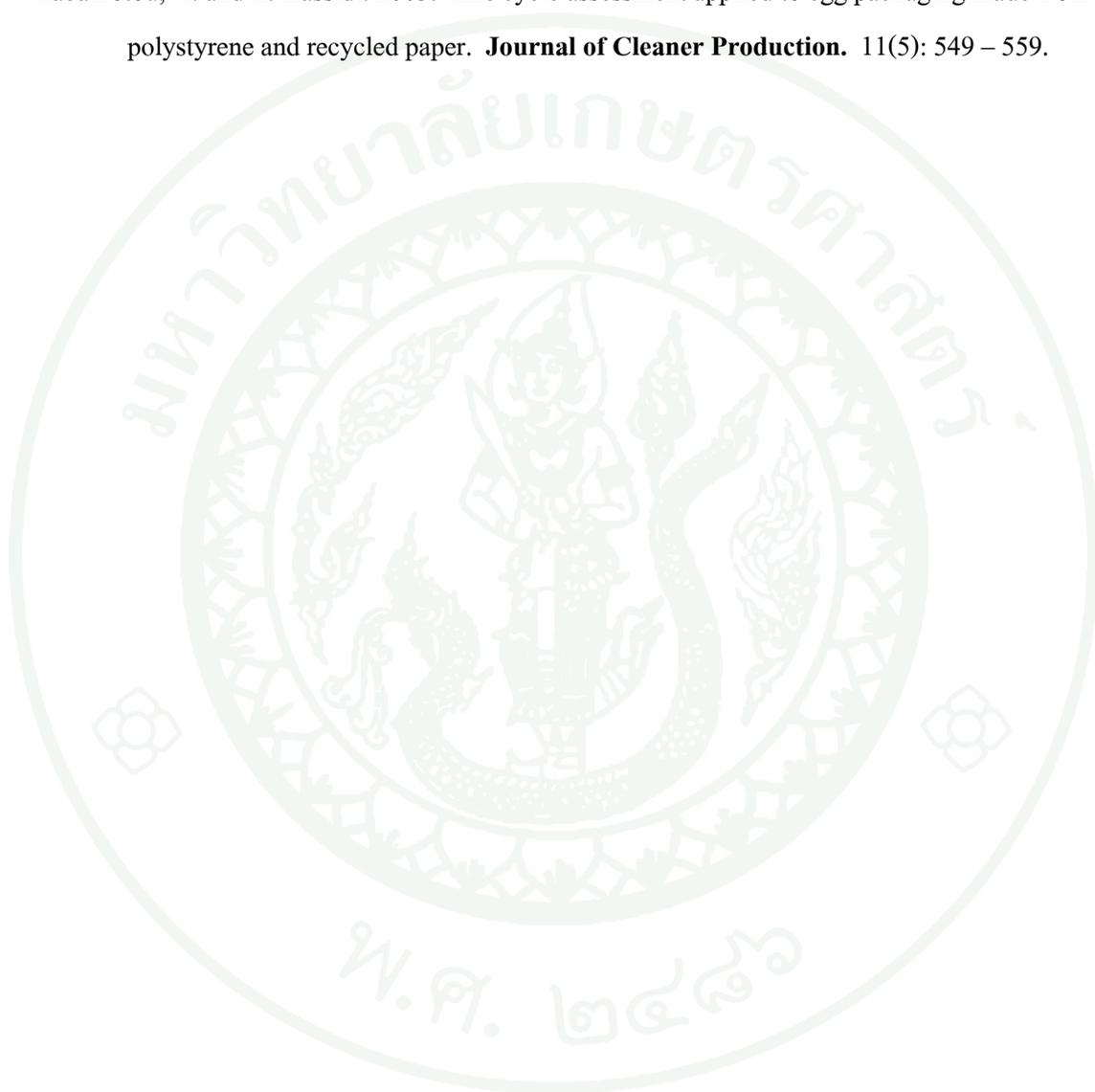
Frischknecht, R., N. Jungbluth, H. Althaus, D. Gabor, T. Heck, S. Hellweg, R. Hischier, T. Nemecek, G. Rebitzer, M. Spielmann and G. Wernet. 2008. **Overview and Methodology. ecoin-vent report No. 1. 18-12-2007**. 68 p.

- Garrain, D., R. Vidal, P. Matinez, V. Franco and D. Cebrain-Tarrason. 2007. **LCA of biodegradable multilayer film from biopolymers.** Available Source: <http://www.lcm2007.org/paper/169.pdf>, May 31, 2010.
- Goedkoop, M., M. Demmers and M. Collignon. 1996. **The Eco-indicator 95.** Pre' consultant & Duijf Consultancy BV.
- Hekkert, M.P., L. A.J. Joosten and E. Worrell. 2000. Reduction of CO₂ emissions by improved management of material and product use: the case of transport packaging resources, **Conservation and Recycling.** 30(1): 1-27.
- Huang, C.C. and H.W. Ma. 2004. A multidimensional environmental evaluation of packaging materials. **Science of the Total Environment.** 324: 161-172.
- Humbert, S., V. Rossi, M. Margni, O. Jolliet and Y. Loerincik. 2009. Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots. **International Journal of Life Cycle Assessment.** 14: 95–106.
- International Organization for Standardization 14040. 1997. Environmental Management – Life Cycle Assessment - A standard of principles and framework. European Standard ISO 14040, Geneva.
- 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.** Available Source: http://www.infra.kth.se/fms/utbildning/lca/project%20reports/Group%204%20-%20Bio_composite.pdf, April 2, 2011.
- 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. **Agriculture Ecosystem & Environment.** 49: 253-266.

- Madival, S., R. Auras, S. P. Singh and R. Narayan. 2009. Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology. **Journal of Cleaner Production**. 17:1183–1194.
- Narayan, R. 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, 2010.
- Paoluglam, J. 2005. Life Cycle Assessment of petrochemical products: polystyrene and polyurethane foam. M.S. thesis, Chulalongkorn University.
- Pasqualino, J., M. Meneses and F. Castells. 2011. The carbon footprint and energy consumption of beverage packaging selection and disposal. **Journal of Food Engineering**. 103 (2011): 357–365
- Patel, M., C. Bastioli and L. Marini. 2001. **Environmental assessment of bio-based polymers and natural fibres**. Available Source: <http://www.library.uu.nl/digiarchief/dip/diss/1894529/inhoud.htm>, April 2, 2011.
- Pira International Ltd. 2009. **Global Flexible Packaging – Opportunity in Versatility**. Available Source: <http://www.euromonitor.com/global-flexible-packaging-opportunity-in-versatility/report>, April 2, 2011.
- Soroka, W. 2002. **Fundamentals of Packaging Technology**. 3rd ed. Institute of Packaging Professionals, Illinois.
- Sybille, B., R. Steiner and N. Jungbluth. 2008. **LCA of packed food products: the function of flexible packaging**. Available Source: http://www.flexpack-europe.org/upload/documents/ESU_-_Flexible_Packaging_2008_-_Exec_Sum.pdf, March 1, 2009.

Tan, R.B. and H.H. Khoo. 2005. Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios. **Journal of Environmental Management.** 74(3): 195-205.

Zabaniotou, A. and E. Kassidi. 2003. Life cycle assessment applied to egg packaging made from polystyrene and recycled paper. **Journal of Cleaner Production.** 11(5): 549 – 559.





แผ่นเก็บข้อมูลรายการสารขาเข้า/ออก กระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก

ชนิดของฟิล์ม..... ขึ้นรูปด้วยวิธี.....

โรงงานที่ผลิต..... กำลังการผลิต.....

ข้อมูลเฉพาะของฟิล์ม			
ข้อมูล	ขนาด	หน่วย	หมายเหตุ
ความหนา		ไมครอน	
หน้ากว้าง		มิลลิเมตร	
ความยาว		เมตร	
น้ำหนักต่อตารางเมตร/ม้วน		กิโลกรัม	
ข้อมูลการผลิต			
กระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม			
สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย	หมายเหตุ
เม็ดพลาสติก		กิโลกรัม	
Slipping agent		กิโลกรัม	
Anti blocking		กิโลกรัม	
พลังงานจากเครื่องผสมเม็ด		กิโลวัตต์-ชม	
พลังงานจากเครื่องจักร		กิโลวัตต์-ชม	
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย	หมายเหตุ
ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ได้		กิโลกรัม	
ฟิล์มเสีย		กิโลกรัม	

ชนิดของฟิล์ม..... พิมพ์ด้วยระบบ.....

โรงงานที่ผลิต..... กำลังการผลิต.....

ข้อมูลเฉพาะของฟิล์ม			
ข้อมูล	ขนาด	หน่วย	หมายเหตุ
ความหนา		ไมครอน	
หน้ากว้าง		มิลลิเมตร	
ความยาว		เมตร	
น้ำหนักต่อตารางเมตร/ม้วน		กิโลกรัม	
จำนวนสีที่พิมพ์		สี	
อายุการใช้งานของแม่พิมพ์		เมตร	
ข้อมูลการผลิต			
กระบวนการผลิตแม่พิมพ์			
สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย	หมายเหตุ
Naphtha		กิโลกรัม	
Destillate Fuel Oil (DFO) FAL		ลูกบาศก์เมตร	
Benzene		กิโลกรัม	
Cyclohexanol		กิโลกรัม	
Polyester		กิโลกรัม	
ยางธรรมชาติ		กิโลกรัม	
พลังงานไฟฟ้า		กิโลวัตต์-ชม	
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย	หมายเหตุ
แม่พิมพ์		กิโลกรัม	

กระบวนการแปรรูปฟิล์ม - การพิมพ์			
สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย	หมายเหตุ
ฟิล์มพลาสติก		กิโลกรัม	
แม่พิมพ์		กิโลกรัม	
หมึกพิมพ์		กิโลกรัม	
NPA (N-Propyl Acetate)		กิโลกรัม	
EA (Ethyl Acetate)		กิโลกรัม	
MEK (Methyl ethyl ketone)		กิโลกรัม	
Toluene		กิโลกรัม	
พลังงานจากเครื่องพิมพ์		กิโลวัตต์-ชม	
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย	หมายเหตุ
ฟิล์มพลาสติกที่พิมพ์แล้ว		กิโลกรัม	
ฟิล์มเสีย		กิโลกรัม	

ชนิดของฟิล์ม..... ลามิเนตด้วยวิธี.....

โรงงานที่ผลิต..... กำลังการผลิต.....

ข้อมูลเฉพาะของฟิล์ม			
ข้อมูล	ขนาด	หน่วย	หมายเหตุ
ความหนา		ไมครอน	
หน้ากว้าง		มิลลิเมตร	
ความยาว		เมตร	
น้ำหนักต่อตารางเมตร/ม้วน		กิโลกรัม	
ข้อมูลการผลิต			
กระบวนการแปรรูปฟิล์ม - การลามิเนต			
สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย	หมายเหตุ
ฟิล์มพลาสติก		กิโลกรัม	
ฟิล์มพลาสติก		กิโลกรัม	
เม็ดพลาสติก		กิโลกรัม	
กาว		กิโลกรัม	
พลังงานจากเครื่องลามิเนต		(กิโลวัตต์-ชม)	
สารขาออก	ปริมาณที่ได้	หน่วย	หมายเหตุ
ฟิล์มพลาสติกที่ลามิเนตแล้ว		กิโลกรัม	
ฟิล์มเสีย		กิโลกรัม	

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวจุฬารัตน์ พลนาค
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 4 มีนาคม 2527
สถานที่เกิด	สระบุรี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ภาควิชาเทคโนโลยีเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-