การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

ใจงาม การะสิน

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

ใจงาม การะสิน

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว"

ของ ใจงาม การะสิน

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.อาวีวรรณ ปัญญาโกเมศ)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลภา โสรัตน์)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ดร.ภัชนี ปฏิทัศน์)

อนุมัติ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

ผู้วิจัย ใจงาม การะสิน

ประธานที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.กุลภา โสรัตน์

ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ วท.ม. โลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2565

คำสำคัญ บรรจุภัณฑ์อาหาร, ใบทองกวาว, การประเมินวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหาร, ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหาร, พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว

บทคัดย่อ

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) และต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost Analysis: LCC) ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติ ที่สามารถนำมาใช้ทดแทนบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านขยะ ทั้งในระดับประเทศและทั่วโลก โดยพิจารณาตั้งแต่กระบวนการปลูกต้นทองกวาวที่มีอายุตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป การผลิต การขนส่ง การใช้ และการกำจัด ผลการประเมินศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential: GWP) แสดงให้เห็นว่า บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว มีค่า GWP เท่ากับ 24.35 kg CO_2 eq ต่อหน่วยหน้าที่ (หนึ่งหน่วยหน้าที่ คือ บรรจุภัณฑ์อาหาร ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวน 130 ชิ้น) หรือเท่ากับ 0.19 kg CO_2 eq ต่อชิ้น โดยกระบวนการที่ส่งผลกระทบมากที่สุด คือ กระบวนการขนส่ง รองลงมาเป็นกระบวนการผลิต จากการใช้พลังงานไฟฟ้า และกระบวนการกำจัดขยะ คิดเป็นร้อยละ 50.44 ร้อยละ 33.90 และร้อยละ 15.66 ของค่า GWP ทั้งหมด ตามลำดับ นอกจากนี้ ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ประมาณ 820 บาทต่อหน่วยหน้าที่ หรือ 6.31 บาทต่อชิ้น โดยต้นทุนส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิต รองลงมา เป็นกระบวนการขนส่ง (ดีเซลและค่าบริการไปรษณีย์) คิดเป็นร้อยละ 93.16 และร้อยละ 6.84 ของต้นทุนบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ตามลำดับ ดังนั้น จากผลการศึกษานี้ เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงต้นทุนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว จึงเสนอให้มีการปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากดีเซลเป็นไบโอดีเซล หรือ ก๊าซซีเอ็นจี ในกระบวนการขนส่ง เปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีเครื่องขึ้นรูปที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานในกระบวนการผลิต และลดหรือเลิกใช้กระดาษคราฟท์สำหรับหีบห่อบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดผลกระทบในกระบวนการกำจัดขยะ นอกจากนี้ ผู้ผลิตยังสามารถนำผลการศึกษาไปใช้เป็นแนวทางปรับปรุงและพัฒนาของผลิตภัณฑ์

ผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจทางธุรกิจ และผู้บริโภคนำข้อมูลไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์อาหารได้

Title LIFE CYCLE ASSESSMENT AND COSTING OF BASTARD TEAK LEAF FOOD CONTAINERS.

Author Jaingam Karasin

Advisor Associate Professor Kullapa Soratana, Ph.D.

Academic Paper M.S. Thesis in Logistics and Supply Chain - (Type A 2), Naresuan University, 2022

Keywords Biodegradable food containers; Bastard teak leaf; Life cycle Assessment; Life cycle cost analysis; Single-use plastic (SUP)

ABSTRACT

The environmental and financial impacts of using Bastard Teak leaf food containers as a replacement for single-use plastic containers were evaluated through a Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Costing (LCC) analysis. The study considered the entire lifecycle of the product, including the agricultural process of Bastard Teaks over a period of five years, manufacturing, transportation, use, and disposal phases. The results of the LCA showed that the global warming potential (GWP) of Bastard Teak leaf food containers is 24.35 kg CO_2 equivalent per functional unit (130 pieces of 400-mL food container) or 0.19 kg CO_2 equivalent per piece. The highest contributors to GWP were transportation, manufacturing through electricity consumption, and disposal phase, accounting for 50.44%, 33.90%, and 15.66% of the total GWP, respectively. The LCC of Bastard Teak leaf food containers was estimated to be approximately 820 Baht per functional unit or 6.30 Baht per piece, with manufacturing and transportation being the primary cost drivers, accounting for 93.16% and 6.84% of the total cost, respectively. The study recommends reducing the GWP and LCC of Bastard Teak leaf food containers by switching to biodiesel or compressed natural gas in transportation, using energy-efficient diecasting machines in manufacturing, and avoiding or reducing the use of kraft paper as packaging. The results of the analysis can be used by manufacturers for product development,

investors for business decision-making, and consumers for purchasing decisions.

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กุลภา โสรัตน์ เป็นอย่างสูงในความกรุณาที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาเป็นประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ อันประกอบไปด้วย

รองศาสตราจารย์ ดร.อาวีวรรณ ปัญญาโกเมศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.ภัชนี ปฏิทัศน์ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ ให้มีความสอดคล้องตามหลักเกณฑ์ของความยั่งยืน จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การดูแลและสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน อย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ซึ่งผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาการลงทุนทางธุรกิจของผู้ประกอบการและข้อมูลประกอบการเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค

ใจงาม การะสิน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

ประกาศคุณูปการ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 จุดมุ่งหมายของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 สถานการณ์ขยะพลาสติก 4

2.2 บรรจุภัณฑ์อาหาร (Food packaging) 16

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) 26

2.4 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ (Assessment of Product Greenhouse Gas Emissions) 35

2.5 ผลงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 37

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 49

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 49
3.2 เครื่องมือและการพัฒนาเครื่องมือ 50
3.3 การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost Analysis: LCC).....61
3.4 การเปรียบเทียบผลการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ 63
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....64
4.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA).....64
4.2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost Analysis: LCC).....69
4.3 เสนอแนะแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมและการลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว 71
บทที่ 5 สรุปผล อภิปราย ข้อเสนแนะ.....73
5.1 สรุปผลการวิจัย.....73
5.2 อภิปรายผล.....74
5.3 ข้อเสนอแนะ.....76
บรรณานุกรม.....77
ภาคผนวก.....85
ประวัติผู้วิจัย..... 100

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 มาตรการและแนวทางการแก้ปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดจากการสั่งอาหารออนไลน์ของสหภาพยุโรป 10

ตาราง 2 ข้อมูลบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวและชานอ้อย.....23

ตาราง 3 กลุ่มตลาดบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพในต่างประเทศ.....25

ตาราง 4 ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบพื้นฐานในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....32

ตาราง 5 ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโตและค่า GWP100.....36

ตาราง 6 ข้อมูลการวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory 55

ตาราง 7 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาวที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการศึกษานี้ 58

ตาราง 8 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของทรัพยากรที่ใช้ 60

ตาราง 9 การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวต่อหน่วย 61

ตาราง 10 ปริมาณทรัพยากรและศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) จากทรัพยากรที่ใช้ 65

ตาราง 11 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบรรจุภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด 68

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 สถานการณ์และร้อยละการจัดการขยะมูลฝอยโลกที่เกิดขึ้น 6
ภาพ 2 คาดการณ์ปริมาณขยะพลาสติกจากธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์ในประเทศไทย 8
ภาพ 3 บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว 19
ภาพ 4 ลักษณะทั่วไปของทองกวาว (ก) ลำต้นทองกวาว (ข) ใบทองกวาว 20
ภาพ 5 บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย 21
ภาพ 6 ลักษณะทั่วไปของอ้อย (ก) ลำต้นอ้อย (ข) ชานอ้อย 22
ภาพ 7 บรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ 24
ภาพ 8 กรอบการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 .. 28
ภาพ 9 การกำหนดขอบเขตของระบบ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA 30
ภาพ 10 ขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว 37
ภาพ 11 บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ขนาดบรรจุ 400 มิลลิลิตร 49
ภาพ 12 ขอบเขตระบบ (System boundary) ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว 53
ภาพ 13 ลักษณะของใบทองกวาว 53
ภาพ 14 ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว 67
ภาพ 15 เปรียบเทียบศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ของบรรจุภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด 69
ภาพ 16 ต้นทุนต่อหน่วยหน้าที่ (Functional Unit) ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว 70

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาขยะที่เพิ่มปริมาณสูงขึ้น ตามรายงาน Waste Generation and Recycling Indices 2019 ที่ทำการศึกษาและสำรวจตัวชี้วัดกว่า 52 ตัว เกี่ยวกับการผลิตขยะและการรีไซเคิลขยะที่เกิดขึ้นในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก พบว่า ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste: MSW) มีปริมาณกว่า 2.1 พันล้านตันต่อปี ในจำนวนนี้ ร้อยละ 16 หรือประมาณ 323 ล้านตัน ถูกนำเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล (Recycle) ในขณะที่ ร้อยละ 46 หรือประมาณ 950 ล้านตัน ถูกนำไปกำจัดแบบไม่ยั่งยืน [1] ซึ่งส่วนหนึ่งของปัญหามาจากการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากโฟมและพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastic: SUP) นอกจากนี้ยังพบว่า ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้พลาสติกเพื่อผลิตบรรจุภัณฑ์ (Packaging) มากถึง 2.331 ล้านตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 41.4 ของปริมาณการบริโภคพลาสติกรวมภายในประเทศ [2]

บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว ได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง เพราะสามารถตอบสนองต่อรูปแบบการบริโภคของสังคมที่เปลี่ยนไป ที่มุ่งเน้นความสะดวกสบายและความรวดเร็วในการใช้งาน ดังจะเห็นได้จาก ปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก ในปี พ.ศ. 2561 ที่มีปริมาณ 1,409,659 ตันต่อปี แต่ก็นับว่ามีการปรับตัวลดลงคิดเป็น ร้อยละ 4.15 เมื่อเปรียบเทียบกับปีก่อน และในปี พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2563 ปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีแนวโน้มสูงขึ้น เท่ากับ 1,317,482 และ 1,370,513 ตันต่อปี ตามลำดับ [3] ทั้งนี้ ปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ลดลง เป็นผลมาจากการที่รัฐบาลร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน จัดทำแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 1 (พ.ศ. 2563-2565) ภายใต้ Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 เพื่อขับเคลื่อนการดำเนินงานในการป้องกันและแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และออกมาตรการร่วมมือกับเครือข่ายภาคเอกชน ได้แก่ ห้างสรรพสินค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ต และร้านสะดวกซื้อ งดให้ถุงพลาสติกหูหิ้วแก่ลูกค้า ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 เป็นต้นไป [5] มีส่วนทำให้ปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกปรับตัวลดลงที่ ร้อยละ 7.22 ในปี พ.ศ. 2562 และมีการปรับตัวเพิ่มขึ้นที่ ร้อยละ 4.03 ในปี พ.ศ. 2563 [3] เนื่องจากในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยประสบกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 (COVID-19) ทำให้รัฐบาลออกมาตรการล็อคดาวน์ (Lock-down) ขอความร่วมมือให้ประชาชนอยู่แต่ที่บ้านและปฏิบัติงาน ณ ที่พักอาศัย (Work from Home) เพื่อลดการแพร่ระบาดของโรค รวมถึงใช้มาตรการคุมเข้มในการปิดห้างสรรพสินค้า สถานที่สาธารณะต่าง ๆ เป็นการชั่วคราว เพื่อลดความเสี่ยงต่อการ

ติดต่อของโรค อีกทั้งธุรกิจร้านอาหารมีการเพิ่มช่องทางการสั่งซื้อกลับและจัดส่งอาหารไปยังที่พักผ่านแอปพลิเคชั่นออนไลน์แบบ Food delivery เพิ่มมากขึ้น กว่าร้อยละ 30 เป็นเหตุทำให้มีอัตราการเกิดขยะพลาสติกในช่วงปี พ.ศ. 2563 ประมาณ 6,300 ตันต่อวัน คิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 15 จากสถานการณ์ปกติ ที่มีอัตราการเกิดขยะพลาสติก ประมาณ 5,500 ตันต่อวัน [5] และในปี พ.ศ. 2564 คาดการณ์ว่า จะมีปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกเพิ่มมากขึ้น หากยังควบคุมสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 (COVID-19) ไม่ได้ เนื่องจากผู้ประกอบการและผู้บริโภคปรับเปลี่ยนพฤติกรรมตามชีวิตวิถีใหม่ (New normal) ผลที่ตามมา คือ ปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะจากธุรกิจออนไลน์ทั้งการสั่งซื้อสินค้าออนไลน์มากกว่าปกติ และการใช้บริการสั่งอาหารออนไลน์เป็นประจำ พฤติกรรมการบริโภคดังกล่าว ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ตามมา เช่น การเกิดขยะอุดตันตามท่อระบายน้ำในชุมชน เมื่อฝนตกหนักทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วม ปัญหาน้ำเน่าเสียจากขยะในแม่น้ำ ลำคลอง และบางส่วนไหลลงสู่ทะเล [4]

แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณขยะบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว คือ ลดการใช้ (Reduce) หันมาใช้บรรจุภัณฑ์ทางเลือก (Replace) และใช้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ซ้ำได้ (Reuse) [7] และการรีไซเคิล (Recycle) บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกมีขั้นตอนการรีไซเคิลที่ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากเป็นขยะปนเปื้อน โดยเฉพาะขยะอินทรีย์ การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ต้องดำเนินการคัดแยกพลาสติกแต่ละประเภทออกจากกันก่อน จึงเป็นเรื่องที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนต้องร่วมมือกัน ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงศึกษาการใช้บรรจุภัณฑ์ทางเลือก (Replace) เพื่อเป็นการแก้ปัญหาตั้งแต่ต้นน้ำ โดยการเลือกใช้วัตถุดิบที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ คือ บรรจุภัณฑ์อาหาร ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากใบทองกวาว เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ในรูปของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) และความคุ้มค่าในการลงทุนตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) และการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Cost Analysis: LCC) นำไปสู่แนวทางการลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายของผลิตภัณฑ์นี้ งานวิจัยนี้ สามารถเป็นข้อมูลนำไปใช้ประกอบการพิจารณาลงทุนทางธุรกิจของผู้ประกอบการและพิจารณาเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์อาหารทางเลือกของผู้บริโภค เพื่อทดแทนการใช้พลาสติกและโฟม โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณากำหนดนโยบายการส่งเสริมและพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนผลักดันให้ต้นทองกวาวเป็นพืชเศรษฐกิจ ที่มีจำนวนเพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในอนาคต

1.2 จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1.2.1 เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

1.2.2 เพื่อประเมินต้นทุนตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

1.2.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมและการลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากใบทองกวาว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

กำหนดขอบเขตการวิจัยแบบ Cradle to grave ซึ่งเป็นการพิจารณาตั้งแต่ กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน

หน่วยการทำงาน (Functional unit) คือ บรรจุภัณฑ์อาหาร จำนวน 130 ใบ ซึ่งเป็นจำนวนบรรจุภัณฑ์อาหาร (ถ้วย) จากใบทองกวาวที่ผลิตได้ต่อรอบการผลิต (Batch) บรรจุภัณฑ์อาหารแต่ละใบมีปริมาตร 400 มิลลิลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร และบรรจุใส่กล่องกระดาษ ขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และสูง 7 เซนติเมตร ที่มีความหนา 350 แกรม จำนวน 20 ใบต่อกล่อง

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.4.1 ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบ-ทองกวาว จากการใช้พลังงาน เพื่อนำไปสู่การปรับปรุง/ พัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

1.4.2 ทราบถึงต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว เพื่อนำไปสู่แนวทางลดต้นทุน/ ค่าใช้จ่ายของผลิตภัณฑ์

1.4.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยไปใช้ประกอบการพิจารณาลงทุนทางธุรกิจของผู้ประกอบการ การพิจารณาเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค และการพิจารณากำหนดนโยบายการส่งเสริมและพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งออกเป็น สถานการณ์ขยะพลาสติก ปริมาณ และสาเหตุที่ทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาขยะพลาสติกเพิ่มปริมาณสูงขึ้นทุกปี รวมถึงนโยบายและมาตรการต่างๆ ซึ่งจะนำมาพิจารณาในส่วนของบรรจุภัณฑ์อาหาร เพื่อเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment) ซึ่งในที่นี้ เรียกชื่อย่อว่า LCA และวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle cost analysis) ซึ่งในที่นี้ เรียกชื่อย่อว่า LCC

2.1 สถานการณ์ขยะพลาสติก

พลาสติกเข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิตหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านสุขภาพ ความปลอดภัย ตลอดจนเครื่องอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ตั้งแต่ช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นต้นมา ซึ่งการพัฒนาบรรจุภัณฑ์เริ่มต้นขึ้นในปี ค.ศ. 1913 โดย Dr. Jacques Edwin Brandenberger วิศวกรชาวสวิสเซอร์แลนด์ กลุ่ม IG Farbenindustrie AG โดยการนำของ Herman Mark และ Ralph Wiley เป็นต้น [6] ได้คิดค้นและออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลัก เพราะพลาสติกมีความเหนียว แข็งแรง และทนทาน เนื่องด้วยคุณสมบัติของพลาสติกมีความยืดหยุ่นสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบ มีความคงทนต่อสารเคมี ไม่ผุกร่อน ไม่เป็นสนิม [4] นอกจากนี้ยังพัฒนาวัสดุสังเคราะห์ อาทิ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) พลาสติกชนิดพอลิโพร-ไพลีน (Polypropylene: PP) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) พลาสติกชนิดพอลิสไต-รีน (Polystyrene: PS) เป็นต้น [8] จึงทำให้พลาสติกเหล่านี้ได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว และพลาสติกที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ ถุงพลาสติกประเภทต่าง ๆ เช่น ถุงหูหิ้วใส่สิ่งของ ถุงร้อน ถุงเย็น แก้วพลาสติก กล่องโฟมบรรจุอาหาร หลอดพลาสติก และถุงขยะ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastics: SUP) [2] เราจึงพบเห็นพลาสติกในรูปแบบของผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่หลากหลาย เพื่อสนองตอบต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วและผลักดันเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น ซึ่งแม้ว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่พัฒนาขึ้นนี้จะมีข้อดีหลายประการ แต่ส่งผลให้รูปแบบการบริโภคของสังคมเปลี่ยนไป กลายเป็นสังคมแห่งการบริโภคมุ่งเน้นที่ความสะดวกสบายและความรวดเร็วในการใช้งาน สามารถซื้อหาบรรจุภัณฑ์ได้ในราคาถูก โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ ที่กำลังลดลงและอาจจะหมดไปในอนาคต

2.1.1 สถานการณ์ขยะพลาสติก

ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย กำลังประสบกับปัญหาขยะที่เพิ่มปริมาณสูงขึ้นทุกปี ซึ่งส่วนหนึ่งของปัญหา มาจากการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกและโฟมที่แพร่หลายอย่างรวดเร็ว อีกทั้งขยะเหล่านี้ ไม่ได้ถูกจัดการอย่างถูกวิธีตั้งแต่กระบวนผลิต (Take-Make-Waste) ส่งผลให้วัสดุที่ผลิตออกมานั้น ไม่ได้ถูกออกแบบให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ได้โดยง่าย ต้องใช้สารเคมีและพลังงานในกระบวนการ ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำลง และในบางกรณีการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการผลิตจากวัตถุดิบใหม่ (Raw material) นอกจากนี้ ขยะพลาสติกใช้พื้นที่ในการฝังกลบมากและนานกว่าขยะประเภทอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่กำลังพัฒนา ซึ่งมักจะมีปัญหาในเรื่องมาตรฐานการกำจัดขยะอย่างถูกวิธี ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกใช้ครั้งเดียว เมื่อเลิกใช้งานจะกลายเป็นขยะทันที โดยไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์เข้าสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) แม้พลาสติกจะมีอายุยาวนานแต่การใช้งานสั้นมาก ทำให้พลาสติกและโฟมมักถูกทิ้งเป็นขยะพลาสติกอย่างต่อเนื่อง และต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานนับร้อยปี ส่งผลให้เกิดการสะสมและก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา เช่น ปัญหาการอุดตันตามท่อระบายน้ำในชุมชน เมื่อฝนตกหนักทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วม ปัญหาขยะลอยอยู่ในแม่น้ำ ลำคลอง และบางส่วนไหลลงสู่ทะเล [8] ซึ่งเป็นปัญหามลพิษทางทะเลที่แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมทางทะเลทั่วโลก ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลเป็นอย่างมาก จากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2561-2563 พื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า สัตว์ทะเล ไม่ว่าจะเป็นวาฬนำร่องครีบสั้น เต่าทะเล นกทะเล รวมถึง “มาเรียม” ลูกปลาพะยูนจากเกาะลิบง ที่เสียชีวิตเนื่องจากการกลืนกินขยะพลาสติกจำนวนมาก ทำให้เกิดการอุดตันในระบบทางเดินอาหาร [10] อีกทั้งสารพิษที่เกิดจากขยะพลาสติก ยังแพร่กระจายไปทางอากาศ ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ดิน ตลอดจนการเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ห่วงโซ่อาหาร และการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ

2.1.2 ปริมาณขยะพลาสติก

Waste Generation and Recycling Indices 2019 ได้รายงานผลการศึกษาและสำรวจตัวชี้วัดกว่า 52 ตัว เกี่ยวกับการผลิตขยะและการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ที่เกิดขึ้นในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ไว้ว่า ในแต่ละปีมีขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Solid Waste: MSW) เกิดขึ้นปีละ มากกว่า 2.1 พันล้านตัน ซึ่งมีเพียง ร้อยละ 16 หรือประมาณ 323 ล้านตัน เท่านั้น ที่ถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เหลืออีก ร้อยละ 46 หรือประมาณ 950 ล้านตัน ที่ถูกกำจัดทิ้งแบบไม่ยั่งยืน [1] ดังแสดงในภาพ 1

ประเทศไทย กำลังประสบกับปัญหาปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มสูงขึ้นทุกปีเช่นเดียวกัน จากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2561-2562 ประเทศไทยมีปริมาณขยะ สูงถึง 28.71 ล้านตัน หรือประมาณ 78,665 ตันต่อวัน โดยมีอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 1.18 กิโลกรัม/คน/วัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ

เปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2561 คิดเป็นเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3 อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย 25.37 ล้านตัน หรือ ประมาณ 69,322 ตันต่อวัน ลดลงจากปี พ.ศ. 2562 ร้อยละ 12 ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 (COVID-19) เพราะมีมาตรการควบคุมการเดินทางเข้าและออกของนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศและกำหนดมาตรการให้ประชาชนปฏิบัติงาน Work from Home แต่ในขณะเดียวกัน กลับส่งผลทำให้เกิดปริมาณขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง (Single-use plastics: SUP) เพิ่มมากขึ้น [5]

ภาพ 1 สถานการณ์และร้อยละการจัดการขยะมูลฝอยโลกที่เกิดขึ้น

ที่มา: Waste Generation and Recycling Indices 2019 by Verisk Maplecroft [1]

2.1.3 สาเหตุหลักของปัญหาขยะพลาสติก

ปริมาณขยะพลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ต้องใช้ชีวิตเร่งรีบ ชอบความสะดวกสบาย จึงมีรูปแบบธุรกิจการบริการที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานเพื่ออำนวยความสะดวกสบายแก่ผู้บริโภค เช่น ธุรกิจบริการสั่งสินค้าออนไลน์ และธุรกิจบริการสั่งอาหารผ่านแอปพลิเคชั่นออนไลน์ พร้อมบริการจัดส่งอาหาร (Food delivery) ที่กำลังได้รับ

ความนิยมอย่างมากจากผู้บริโภคในเมืองยุคใหม่ กลายเป็นธุรกิจใหม่ที่มีอัตราการเติบโตสูงทั่วโลก ภายใต้เศรษฐกิจแบบแพลตฟอร์ม (Platform economy) เป็นการนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทในการดำเนินกิจกรรม ร่วมกับการส่งเสริมการขาย (Promotion) อาทิ ส่วนลด และทางเลือกที่หลากหลายให้แก่ผู้บริโภค ก่อให้เกิดแรงจูงใจในการรับประทานอาหาร

มีการคาดการณ์ว่า ในปี พ.ศ. 2563 คาดการณ์ว่าธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์ทั่วโลก จะมีมูลค่าสูงถึง 4,136,178 ล้านบาท [7] ซึ่งจากการประเมินของศูนย์วิจัยกสิกรไทย ในปี พ.ศ. 2562 ธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์ในประเทศไทย มีมูลค่าตลาดสูงถึง 35,000 ล้านบาท มีอัตราการเติบโต อยู่ที่ร้อยละ 14 เมื่อเทียบกับปีก่อน [9] อย่างไรก็ดี ลักษณะธุรกิจรูปแบบนี้ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งกลายเป็นขยะทันที ก่อให้เกิดปริมาณขยะบรรจุภัณฑ์พลาสติกจำนวนมหาศาล และที่สำคัญ ผู้บริโภคส่วนใหญ่มิได้มีการคัดแยกขยะที่ต้นทาง อีกทั้งยังขาดระบบรองรับการเก็บขยะแบบแยกประเภท ทำให้เกิดขยะพลาสติกถูกทิ้งปะปนกับขยะมูลฝอยอื่น ๆ ในปัจจุบัน แม้ว่าจะยังไม่มีงานวิจัยที่คาดการณ์ปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นจากธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์ในระดับประเทศ แต่งานวิจัยที่พบ เป็นรายงานในเชิงพื้นที่และการคาดการณ์เบื้องต้นของภาคเอกชน ที่ประเมินว่าขยะพลาสติกจากธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์จะสูงถึง 37 ล้านชิ้นต่อปี นอกจากนี้ บริษัท Food Passion คาดการณ์ว่า ในปี พ.ศ. 2562 ปริมาณขยะจากการสั่งอาหารออนไลน์อาจมีจำนวนสูงถึง 560 ล้านชิ้นต่อปี เฉลี่ยจากจำนวนเงินต่อการสั่งซื้อ 1 ครั้ง เท่ากับ 250 บาท [11]

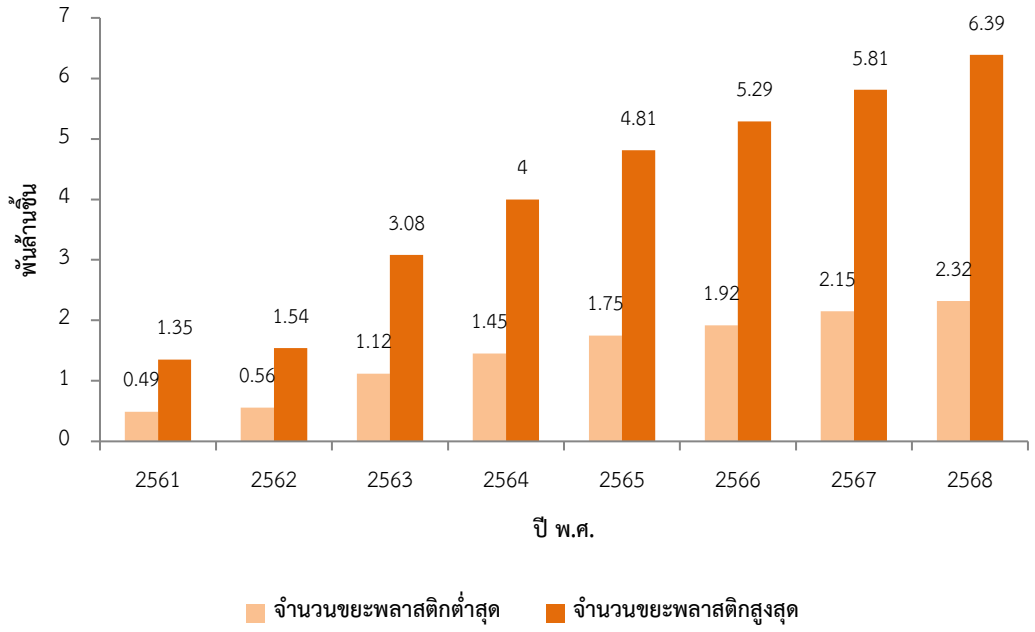
นอกจากนี้ หากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 ยังไม่คลี่คลาย จึงเป็นโอกาสที่การขยายตลาดของธุรกิจนี้จะปรับตัวสูงขึ้นในปี พ.ศ. 2563 อยู่ที่ร้อยละ 100 ถือเป็นอัตราการเติบโตแบบก้าวกระโดด เป็นการคาดการณ์เบื้องต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติต่าง ๆ ของคณะผู้วิจัย สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อประเมินสถานการณ์และแนวโน้มของปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดจากธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์ ซึ่งมีการประเมินสถานการณ์ ทั้งขั้นต่ำและขั้นสูง ได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากบริษัท Food Passion ในส่วนที่เป็นขั้นต่ำ ที่กำหนดให้ปริมาณขยะพลาสติกอยู่ที่ 4 ชิ้นต่อคำสั่งซื้อ ส่วนขั้นสูง รวบรวมข้อมูลจากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ (2563) แบบสอบถามออนไลน์ Google form ที่ประเมินปริมาณขยะพลาสติกโดยเฉลี่ย อยู่ที่ 11 ชิ้นต่อคำสั่งซื้อ ดังนั้น จากสมมติฐานข้างต้น คาดการณ์ว่าปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดจากธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์ ในปี พ.ศ. 2563 เกิดขึ้นอยู่ที่ 1,120-3,080 พันล้านชิ้น และคาดว่าในปี พ.ศ. 2568 จะเพิ่มขึ้นเป็น 2,325-6,395 พันล้านชิ้น คิดเป็นน้ำหนัก 34,883-95,928 ตัน (คำนวณจากสมมติฐานขยะพลาสติก 1 ชิ้น น้ำหนักเฉลี่ย 15 กรัม) ดังนั้น จำนวนขยะพลาสติกสูงสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 11 ชิ้นต่อคำสั่งซื้อ คิดเป็นร้อยละ 4.8 ของปริมาณขยะพลาสติกจากธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์ในประเทศไทย

พิจารณาจากสถานการณ์ในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมา ประเทศไทยมีขยะพลาสติกประมาณปีละ 2 ล้านตัน หรือ ร้อยละ 12 ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้น [7] ดังแสดงในภาพ 2

2.1.4 นโยบายและมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะพลาสติก

วิกฤติปัญหาขยะพลาสติกในประเทศไทยหรือทั่วโลก เกิดจากปัญหาด้านการจัดการขยะมูลฝอย โดยเฉพาะการจัดการขยะพลาสติกและปัญหาขยะทะเล ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลอย่างชัดเจน เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์การตายของสัตว์ทะเลที่พบได้ทั่วโลกและยังเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ของสัตว์ทะเลหายาก ดังนั้น ในหลายประเทศจึงให้ความร่วมมือเพื่อหาวิธีแก้ไข ทั้งการกำหนดนโยบายเกี่ยวกับการจัดการขยะพลาสติกและออกมาตรการลดเลิกใช้ถุงพลาสติก การรณรงค์นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) รวมถึงพยายามขับเคลื่อนประเทศไปสู่เป้าหมายที่ 14 ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) [17]

1) ทั่วโลก โดยเฉพาะหลายประเทศในภูมิภาคอาเซียนมีการปล่อยขยะพลาสติกลงสู่ทะเลและมหาสมุทรมากที่สุด ซึ่งในแต่ละปี พบว่า มีปริมาณขยะพลาสติกไม่น้อยกว่า 8 ล้านตัน ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด ถูกปล่อยทิ้งลงสู่ทะเลและมหาสมุทร [12] อย่างไรก็ดี ปัญหาขยะทะเล ได้ถูกบรรจุอยู่ในเป้าหมายที่ 14 ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ซึ่งจัดตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2558 โดยสหประชาชาติ เพื่ออนุรักษ์และฟื้นฟู ไปพร้อมกับการใช้ประโยชน์จากมหาสมุทรและทรัพยากรทางทะเลอย่างยั่งยืน มุ่งเน้นการจัดการขยะมูลฝอยให้ครอบคลุม ทั้งต้นทาง กลางทาง และปลายทาง [17]



ภาพ 2 คาดการณ์ปริมาณขยะพลาสติกจากธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์ในประเทศไทย

ที่มา: คณะผู้วิจัยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [7]

2) ในต่างประเทศ มีมาตรการแก้ปัญหาขยะพลาสติกของหน่วยงานภาครัฐ โดยภาพรวมนิยมใช้การออกกฎหมาย และกำหนดกฎระเบียบต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น

2.1) รัฐบาลจีน มีนโยบาย Plastic Ban Policy เมื่อวันที่ 16 มกราคม 2563 เป็นความร่วมมือระหว่างคณะกรรมการพัฒนาและปฏิรูปแห่งชาติ (The National Development and Reform Commission: NDRC) และกระทรวงนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม (Ministry of Ecology and Environment) ออกกฎระเบียบควบคุมการใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว โดยกำหนดแผนงาน 5 ปี เพื่อจำกัดการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยในปี พ.ศ. 2563 งดแจกถุงพลาสติกในห้างสรรพสินค้าและซุปเปอร์มาร์เก็ต ร้านขายยา รวมถึงธุรกิจจัดส่งอาหารออนไลน์ และงดแจกหลอดพลาสติกในร้านอาหาร และในปี พ.ศ. 2565 ออกมาตรการห้ามใช้ถุงพลาสติกในเมืองต่าง ๆ และห้ามใช้บรรจุ-ภัณฑ์ที่ย่อยสลายไม่ได้ในธุรกิจจัดส่งอาหารออนไลน์ โดยเริ่มจากปักกิ่ง (Beijing) เซี่ยงไฮ้ (Shanghai) และ เจียงซู (Jiangsu) เป็นต้น แล้วจึงขยายมาตรการห้ามใช้ทั่วประเทศ ภายในปี พ.ศ. 2568 [15] ทั้งนี้ เนื่องจากประเทศจีนมีจำนวนประชากรมากที่สุดในโลก จึงมีอัตราการใช้ถุงพลาสติกค่อนข้างสูงจนกลายเป็นประเทศในภูมิภาคอาเซียนที่สร้างขยะพลาสติกมากที่สุด [12]

2.2) สหภาพยุโรป (European Union: EU) มีการประกาศกฎระเบียบใหม่ เมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2562 ที่กำหนดให้ประเทศสมาชิกออกกฎหมายในประเทศเพื่อควบคุมการผลิตและใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (SUP) ได้แก่ ส้อม มีด ช้อน ตะเกียบ เป็นต้น ห้ามจำหน่ายผลิตภัณฑ์เหล่านี้บนโต๊ะอาหาร หากผลิตภัณฑ์ที่มีฝาปิดทำจากพลาสติก ฝาปิดต้องติดกับตัวภาชนะบรรจุภัณฑ์จึงสามารถวางจำหน่ายได้ ซึ่งภายในปี พ.ศ. 2567 รัฐบาลประเทศสมาชิกต้องรายงานข้อมูลการจัดเก็บและจัดการของเสีย ครอบคลุมถึงค่าขนส่ง ที่ผู้ประกอบการต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายอันเกิดจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ลูกโป่ง กล่องโฟม ผลิตภัณฑ์ยาสูบที่มีตัวกรอง รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ผสมสารอ็อกโซ (OXO) และภายในปี พ.ศ. 2568 กำหนดให้การผลิตขวดพลาสติก (Polyethylene Terephthalate: PETE) ต้องเพิ่มสัดส่วนพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 และไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2573 สำหรับพลาสติกทุกประเภท เพื่อป้องกันและลดผลกระทบของผลิตภัณฑ์พลาสติกบางชนิดที่ทำลายสิ่งแวดล้อมทางทะเลและสุขภาพของมนุษย์ ตลอดจนส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงไปสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) โดยมาตรการต่าง ๆ เริ่มใช้ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2564 [16]

นอกจากนี้ สหภาพยุโรปยังมีมาตรการลดขยะพลาสติกในธุรกิจสั่งอาหารออนไลน์ ออกโดยสหราชอาณาจักร (UK) สำหรับผู้บริโภคในประเทศทั้งหมด เพื่อลดขยะพลาสติกที่ต้นทาง จำแนกได้เป็น 4 มาตรการ ได้แก่ มาตรการลดการใช้ (Reduce) มาตรการใช้บรรจุภัณฑ์ทางเลือก (Replace) มาตรการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ซ้ำได้ (Reuse) และมาตรการนำบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ (Recycle) [7] รายละเอียดของแต่ละมาตรการ และแนวทางการดำเนินการของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 มาตรการและแนวทางการแก้ปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดจากการสั่งอาหารออนไลน์ของสหภาพยุโรป

มาตรการ	แนวทางการดำเนินการ			
	แพลตฟอร์ม	**ร้านค้า**	**ผู้บริโภค**	**ผู้ผลิต/ภาครัฐ/องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น**
ลดการใช้ (Reduce)	มีการเพิ่มฟังก์ชั่นการรับ – ไม่รับช้อน ส้อม หรืออุปกรณ์การกิน ให้มีทั้งรูปแบบ opt-in และ opt-out ทั้งหมด	ไม่ให้ช้อนส้อมถ้าผู้บริโภคไม่ขอ (อย่าให้ด้วยความเคยชิน)	ลดการสั่งอาหารออนไลน์ ไม่เลือกรับอุปกรณ์การกินต่าง ๆ รวมถึงซองเครื่องปรุง (ถ้าไม่ต้องการ)	เร่งแก้กฎหมายให้บรรจุภัณฑ์อาหารผลิตจากพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ และส่งเสริมการผลิตถุงพลาสติกจากพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ในสัดส่วนที่มากขึ้น
ใช้บรรจุภัณฑ์ทางเลือก (Replace)	ช่วยเป็นตัวกลางหาผู้จัดหาสินค้า (Supplier) เพื่อจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและให้ส่วนลด ค่าธรรมเนียม (Fee) แก่ร้านอาหารที่ใช้บรรจุภัณฑ์รักษ์โลกให้ส่วนลด ผู้บริโภค จัดทำรายการร้านอาหารที่ใช้บรรจุภัณฑ์รักษ์โลกให้ผู้บริโภคเลือกได้	เปลี่ยนไปใช้บรรจุภัณฑ์รักษ์โลก	เลือกอุดหนุนร้านอาหารที่ใช้บรรจุภัณฑ์รักษ์โลกและยอมจ่ายเงินเพื่อบรรจุภัณฑ์รักษ์โลกมากขึ้น	ให้หน่วยงานรัฐเป็นผู้นำในการอุดหนุนสั่งอาหารจากร้านที่ใช้บรรจุภัณฑ์รักษ์โลกทำการระงับ/เก็บภาษีการใช้โฟมเพื่อให้บรรจุภัณฑ์ทางเลือกแข่งขันได้ ให้การรับรองร้านอาหารที่ใช้บรรจุภัณฑ์รักษ์โลกและเร่งการระงับการใช้พลาสติก Oxo อย่างเด็ดขาด

มาตรการ	แนวทางการดำเนินการ			
	แพลตฟอร์ม	**ร้านค้า**	**ผู้บริโภค**	**ผู้ผลิต/ภาครัฐ/องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น**
ใช้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ซ้ำได้ (Reuse)	เพิ่มโมเดลผูกปิ่นโตผ่านแพลตฟอร์ม	เพิ่มโมเดลผูกปิ่นโตกับลูกค้า	อุดหนุนแพลตฟอร์ม หรือร้านอาหารที่มีโมเดลผูกปิ่นโต หรือใช้ภาชนะที่ใช้ซ้ำได้	ให้ภาครัฐช่วยสนับสนุนแพลตฟอร์มที่ใช้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ซ้ำได้
นำบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ (Recycle)	-	-	จัดการแยกบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดออกจากกัน และทำความสะอาด รวบรวมส่งจัดการแยกรวบรวมส่งผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ หรือส่งไปเป็นพลังงานทดแทน	เพิ่มจุด drop-off พลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ หรือแปลงเป็นพลังงานให้ทั่วถึง โดยตั้งตามสถานีบริการน้ำมัน สำนักงานเขต หรือที่ทำการชุมชน และให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นแจกถุงขยะที่นำกลับมาใช้ใหม่และประชาสัมพันธ์ให้ครัวเรือนแยกทิ้งและแยกเก็บ

ที่มา: คณะผู้วิจัยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) สำหรับประเทศไทย ถือว่าเป็นประเทศในภูมิภาคอาเซียนลำดับต้น ๆ ของโลก ที่สร้างขยะพลาสติกในทะเลปริมาณมากที่สุด [17] ดังนั้น ประเทศไทยได้กำหนดนโยบาย มาตรการ และกำหนดกฎระเบียบต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาขยะพลาสติกของหน่วยงานภาครัฐ และภาคเอกชน ตัวอย่างเช่น

3.1) รัฐบาล มีแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการผลักดันนโยบายการบริหารจัดการขยะมูลฝอย เพื่อลดและเลิกใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastic: SUP) ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นมาตรการภายใต้ Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 และสร้างเครือข่ายความร่วมมือของภาครัฐและเอกชน ทั้งในและต่างประเทศ ในการจัดการขยะพลาสติกและขยะทะเล ทั้งนี้ แม้ว่าปริมาณขยะมูลฝอยจะเพิ่มขึ้น แต่การจัดการขยะมูลฝอยในปี พ.ศ. 2562 มีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2561 ถึง ร้อยละ 9 ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น เนื่องจากขยะถูกคัดแยก ณ ต้นทาง และนำกลับมาใช้ประโยชน์ ประมาณ 12.52 ล้านตัน หรือ ร้อยละ 44 ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ส่วนที่เหลือจากการคัดแยกจะถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้องและไม่ถูกต้องต่อไป [5] ทั้งนี้ การจัดการขยะเป็นเรื่องที่ทุกภาคส่วนต้องร่วมมือกัน เพื่อประโยชน์ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

3.1.1) มาตรการภายใต้ Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 นั้นเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2561 การประชุมคณะรัฐมนตรีได้มีข้อสั่งการให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับทุกภาคส่วนทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ดำเนินการ (ร่าง) Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 และแต่งตั้งคณะทำงานสนับสนุนการบริหารจัดการขยะพลาสติก จำนวน 3 คณะ ได้แก่ คณะทำงานด้านการพัฒนากลไกการจัดการขยะพลาสติก คณะทำงานด้านการส่งเสริมและรณรงค์ประชาสัมพันธ์ และคณะทำงานด้านการพัฒนาและใช้ประโยชน์ขยะพลาสติก กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติฯ เพื่อจัดทำ Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 เสนอคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2562 โดยสรุป ประกอบด้วย 2 เป้าหมายหลัก ดังนี้

1. เป้าหมายที่ 1 การลด-และเลิกใช้พลาสติกเป้าหมาย ด้วยการใช้วัสดุทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งกำหนดให้ภายในปี 2562 เลิกใช้พลาสติกจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ (1) พลาสติกหุ้มฝาขวดน้ำดื่ม (Cap Seal) (2) ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผสมของสารอ็อกโซ (Oxo) และ (3) ไมโครบีด (Microbead) และภายในปี 2565 เลิกใช้พลาสติกจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ (1) ถุงพลาสติกหูหิ้วขนาดความหนา น้อยกว่า 36 ไมครอน (2) กล่องโฟมบรรจุอาหาร (3) แก้วพลาสติก (SUP) และ (4) หลอดพลาสติก

2. เป้าหมายที่ 2 การนำขยะผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์พลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ ร้อยละ 100 ภายในปี 2570 เนื่องจากปัจจุบัน ปัญหาขยะพลาสติกเป็นเรื่องใหญ่

ที่ทั่วโลกเร่งแก้ปัญหา รวมถึงประเทศไทย ซึ่งในแต่ละปี มีการสร้างขยะพลาสติกประมาณปีละ 2 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 12 ของปริมาณขยะทั้งหมด และที่น่ากังวลก็คือ ขยะพลาสติกสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ปีละ 0.5 ล้านตัน ที่เหลือ 1.5 ล้านตัน ถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบและเผาทำลาย บางส่วนตกค้างในสิ่งแวดล้อมและไหลลงสู่ทะเลเป็นจำนวนมหาศาล

หากดำเนินการตามแผนปฏิบัติงาน Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 จะสามารถลดปริมาณขยะพลาสติกที่ต้องนำไปกำจัด ได้ประมาณ 0.78 ล้านตันต่อปี และประหยัดงบประมาณในการกำจัดขยะมูลฝอยได้ประมาณ 3,900 ล้านบาทต่อปี รวมถึงประหยัดพื้นที่รองรับและกำจัดขยะมูลฝอย พลาสติก โดยการลด คัดแยก และนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ จะช่วยประหยัดพื้นที่ฝังกลบได้ประมาณ 2,500 ไร่ ทำให้สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 1.2 ล้านตัน คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า หรือถ้านำขยะพลาสติกไปเป็นพลังงาน จะก่อให้เกิดพลังงาน 1,830 ล้านกิโลวัตต์ - ชั่วโมง หรือเป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 230 เมกะวัตต์ หรือสามารถประหยัดพลังงานและทรัพยากรธรรมชาติในกระบวนการผลิต เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัตถุดิบใหม่ โดยประหยัดพลังงานได้ 43.6 ล้านล้านบีทียู หรือคิดเป็นน้ำมันดิบ ประมาณ 7.54 ล้านบาร์เรล คิดเป็นมูลค่า 30,000 ล้านบาท [2]

3.1.2) โครงการ “Everyday Say No to Plastic Bags” เป็นมาตรการที่เกี่ยวข้องและกลไกขับเคลื่อนมาตรการงดให้ถุงพลาสติก รวมถึงภาชนะหรือถุงบรรจุของร้อน เนื้อสัตว์และอาหารเปียก เป็นต้น เนื่องจากยังไม่มีกฎหมายเกี่ยวกับการบริหารจัดการขยะพลาสติกโดยตรง โดยเริ่มดำเนินโครงการตั้งแต่ วันที่ 1 มกราคม 2563 ร่วมกับห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า และร้านสะดวกซื้อ โดยมีภาคีเครือข่ายกว่า 90 ราย เข้าร่วมโครงการ ซึ่งแต่ละรายสามารถพิจารณากำหนดแนวทาง/วิธีการปฏิบัติหรือผ่อนผันได้ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ ภาครัฐยังต้องขับเคลื่อนขยายผลต่อไปในส่วนต่าง ๆ เช่น ตลาดสด ร้านขายของชำ ที่มีปริมาณการใช้ถุงพลาสติกจำนวนมาก อย่างไรก็ดี มาตรการดังกล่าวนับเป็นการสร้างกระแสความตื่นตัวให้กับประชาชนผู้บริโภคทั่วประเทศ เพื่อปรับตัวและเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมลดการใช้ถุงพลาสติกสำหรับกิจกรรมในชีวิตประจำวัน โดยร่วมใจกันหันมาใช้ภาชนะใช้ซ้ำ เช่น ถุงผ้า ตะกร้า ปิ่นโต เป็นต้น [4]

3.1.3) เมื่อวันที่ 30 กันยายน 2563 กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้ลงนามบันทึกความร่วมมือ (MOU) กับแพลตฟอร์ม (Platform) ของผู้ให้บริการส่งอาหาร ได้แก่ Grab Food, Line Man, Wongnai, Gojek, Food Panda, Lalamove และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อร่วมกันขับเคลื่อนการลดการใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (SUP) จากการบริการส่งอาหาร (Food delivery) ดังนั้น ในความร่วมมือนี้ มีการกำหนดเจตจำนงสำหรับผู้ให้บริการส่งอาหารต้องปรับแพลตฟอร์มในการสั่งอาหาร โดยมีตัวเลือก opt-in แสดงถึงการรับหรือไม่รับพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว เพื่อลดภาระของร้าน และลดการให้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว

ที่ไม่จำเป็น รวมถึงสนับสนุนให้ร้านอาหารที่สนใจด้านสิ่งแวดล้อมเข้าร่วมโครงการ และเป็นส่วนหนึ่งในการแสดงถึงการไม่รับ ไม่ให้ ไม่ใช้ พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวจากการบริการส่งอาหาร อีกทั้งยังประชาสัมพันธ์ผ่านช่องทางแพลตฟอร์ม เพื่อเผยแพร่ข้อมูลให้กับร้านอาหาร ผู้จัดส่งอาหาร และเครือข่าย มีความรู้ความเข้าใจ และให้ความร่วมมือในการลดและเลิกใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว ทั้งนี้ กลุ่มแพลตฟอร์มมีความสำคัญในการสร้างแรงจูงใจให้กับร้านอาหาร ร้านค้า และผู้บริโภคเปลี่ยนมาใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Eco packaging) แทนการใช้กล่องโฟมและถุงพลาสติก หูหิ้ว [5] ถือเป็นการดำเนินการแก้ไขปัญหาให้สอดคล้องกับ Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573

3.2) สถาบันการศึกษา เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีมาตรการลดขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว โดยนโยบายจัดการขยะแบบครบวงจรของ CHULA zero waste เริ่มจากการรณรงค์ให้ลดตั้งแต่ต้นทาง คือ ลดขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว ซึ่งบุคลากร นิสิต รวมถึงประชาชนทั่วไป ส่วนใหญ่จะพกกระเป๋ามาเองอยู่แล้ว จึงนำร่องโดยการขอความร่วมมือให้ลดการใช้ถุงพลาสติกเมื่อซื้อของน้อยชิ้น งดแจกถุงพลาสติกในร้านสหกรณ์จุฬาฯ และร้านสะดวกซื้อ 7-11 อีกทั้งยังสนับสนุนให้ใช้ภาชนะใช้ซ้ำโดยเฉพาะแก้วน้ำ เพื่อลดปริมาณขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว ส่วนแก้วน้ำพลาสติกในโรงอาหาร มีการเปลี่ยนมาเป็นแก้วใช้ล้างซ้ำได้ หรือแก้วกระดาษเคลือบพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ (Zero-waste cup) ภายใน 4-6 เดือน ส่งผลให้สามารถลดการใช้แก้วพลาสติกได้ถึง 3.8 แสนใบ และเข้าสู่กระบวนการคัดแยกเพื่อนำไปฝังกลบเป็นปุ๋ยแก่ต้นไม้ ดังนั้น ตลอดระยะเวลา 2 ปีที่ผ่านมา CHULA zero waste และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องร่วมมือกันดำเนินการจนสามารถลดปริมาณขยะออกจากเขตพื้นที่ของมหาวิทยาลัยได้ถึง 85 ตันต่อพื้นที่ 637 ไร่ ส่วนในปีที่ 3 ผลักดันให้ประกาศมาตรการลดพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวในสถาบันอย่างจริงจังมากขึ้น อาทิ งดแจกถุงพลาสติกฟรีทุกร้านค้าในเขตพื้นที่การศึกษา งดใช้ภาชนะโฟมและถุงพลาสติกที่ผสมสารอ็อกโซ และลดการแจกหลอดหรือช้อนส้อมพลาสติก จากนโยบายจัดการขยะแบบครบวงจรของ CHULA zero waste ทำให้ขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวภายในสถาบันลดลง อีกทั้งยังลดภาวะโลกร้อน และช่วยให้มีขยะฝังกลบน้อยที่สุด เพื่อลดมลพิษจากขยะพลาสติก [14]

3.3) ภาคเอกชน ได้แก่ กลุ่มบริษัท ดาว ประเทศไทย (Dow), บริษัท ทีพีบีไอ จำกัด (มหาชน), กลุ่มบริษัท ยูนิลีเวอร์ ประเทศไทย, บริษัท เอ็ม.บี.เจ. เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ร่วมกันพัฒนาโครงการ “Greenplas Pallet for Green Industry” เป็นการนำวัตถุดิบที่ผลิตจากผงไม้มาผสมกับบรรจุภัณฑ์พลาสติกใช้แล้ว (Recycle) ที่มีส่วนประกอบพลาสติกหลายชั้น (Multi-layer) เช่น ถุงน้ำยาปรับผ้านุ่ม/สบู่เหลว และ แชมพู/ครีมนวดผมชนิดซอง รวมถึงขวดบรรจุภัณฑ์ที่มีสีขุ่น ในสัดส่วน ร้อยละ 10-45 เพื่อสร้างเป็นพาเลท (Pallet) แผ่นไม้เทียมเพื่อมาทดแทนไม้จริง ใช้สำหรับคลังสินค้าและงานขนส่งใน

ภาคอุตสาหกรรม จากการเริ่มใช้งานจริงในโรงงานและคลังสินค้าของ บริษัท ดาว ประเทศไทย (Dow) สามารถลดขยะได้กว่า 104 ตันต่อปีในระยะแรก และคาดว่าภายในปี พ.ศ. 2565 มีแผนใช้แผ่นไม้เทียม ประมาณ 147,000 แผ่นต่อปี โดยนำมาประกอบเป็นพาเลท จำนวน 59,000 ตัว ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ ประมาณ 108 ตันต่อปี เทียบเท่ากับการปลูกต้นไม้ 333 ไร่ต่อปี ทั้งนี้ ยังมีแผนขยายการทดสอบกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ และการเข้ามามีส่วนร่วมของผู้บริโภค ในการรวบรวมบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วจากครัวเรือน มาผลิตเป็นกรีนพลาส พาเลท (Greenplas pallet) เพื่อลดการใช้ทรัพยากรและปริมาณขยะอย่างยั่งยืน ตามแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) [13]

แนวทางเลือกเพื่อแก้ปัญหาตั้งแต่ต้นทาง คือ การเลือกใช้วัตถุดิบที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เช่น บรรจุภัณฑ์อาหารที่ทำจากชานอ้อย สำปะหลัง กาบหมาก และใบทองกวาว เป็นต้น จัดเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีโอกาสขยายตลาดแทนที่บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกและโฟมได้ นอกจากนี้ คาดการณ์ว่า ในระยะเวลาอีก 5 ปี เมื่อสามารถควบคุมสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 ได้ แนวโน้มความต้องการใช้บรรจุภัณฑ์รักษ์โลก (Eco-friendly packaging) ยังมีโอกาสขยายตลาดได้ และคาดว่าส่วนแบ่งทางตลาด ในปี พ.ศ. 2568 จะเพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ ร้อยละ 8-10 จากเดิม ในปี พ.ศ. 2563 อยู่ที่ ร้อยละ 2 ของมูลค่าตลาดบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มทั้งหมด [23] เนื่องจากผู้ประกอบการปรับรูปแบบธุรกิจให้ผู้บริโภคเข้าถึงการสั่งซื้อบรรจุ-ภัณฑ์ทางเลือก ภายใต้เศรษฐกิจแบบแพลตฟอร์ม (Platform economy) สอดคล้องกับข้อมูลที่เปิดเผยโดย ศูนย์วิจัยธนาคารกรุงเทพ ที่ระบุว่า แนวโน้มอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในปี พ.ศ. 2564 จะเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งนอกจากจะต้องมีรูปลักษณ์ที่สวยงามแล้ว จะต้องตอบสนองต่อการใช้งานที่หลากหลายของผู้บริโภค [28]

อย่างไรก็ดี ประเทศไทยยังขาดระบบการกำจัดขยะอินทรีย์เหล่านี้ที่ดีพอ ไม่ว่าจะเป็นการคัดแยกขยะอินทรีย์ตั้งแต่ต้นทาง หรือกำจัดโดยวิธีการนำไปเผาในที่โล่ง (Open burning) ทุกรูปแบบยังไม่มีการควบคุมมลพิษทางอากาศ ส่งผลให้เกิดมลพิษกระจายสู่ชั้นบรรยากาศโดยตรง แบบไม่ผ่านการบำบัดหรือคัดกรอง และหากจะใช้วิธีการฝังกลบอย่างไม่ถูกต้อง (Landfill) ก่อให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHGs) ที่มีศักยภาพต่อการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential: GWP) มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 4 เท่า [18] ทั้งนี้ รัฐบาลกำหนดนโยบายการคัดแยกขยะต้นทาง ทั้งในระดับครัวเรือน ชุมชน และจังหวัด โดยทำงานร่วมกับกลุ่มพลาสติก เพื่อผลักดันให้เกิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) เพื่อให้สามารถนำทรัพยากรที่มีกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้อย่างคุ้มค่า ลดปัญหาขยะพลาสติกในสิ่งแวดล้อม ทั้งบนบกและในทะเล พร้อมกับการจัดการสิ่งแวดล้อมแบบยั่งยืนให้กับชุมชน สังคม และประเทศต่อไป

หากพ้นวิกฤตการแพร่ระบาดของโควิด-19 แล้ว ธุรกิจจัดส่งอาหารออนไลน์ยังไม่ปรับมาตรการและยังคงดำเนินต่อไปในรูปแบบเดิม (Business as usual) คาดว่าจะส่งผลให้มีแนวโน้มของปัญหาขยะพลาสติกเพิ่มสูงขึ้นอย่างก้าวกระโดด เพราะผู้บริโภคกว่าร้อยละ 70 มีแนวโน้มที่จะใช้บริการแอปพลิเคชั่นออนไลน์แบบ Food delivery ทำให้การสั่งอาหารออนไลน์กลายเป็นวิถีใหม่ของคนไทย โดยเฉพาะเมืองใหญ่ รวมทั้งในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก

2.2 บรรจุภัณฑ์อาหาร (Food packaging)

2.2.1 บรรจุภัณฑ์อาหารพลาสติก

บรรจุภัณฑ์พลาสติกผลิตมาจากพลาสติกหลายชนิด ด้วยกระบวนการทางเคมี ทำให้ได้พลาสติกที่มีคุณลักษณะแตกต่างกัน อาทิ อ่อน แข็ง กันการรั่วซึมของน้ำ อากาศ และไขมัน ทนกรด ทนต่อความร้อน ความเย็น อีกทั้งยังมีน้ำหนักที่เบา สามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิดได้ ทำให้บรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมอย่างรวดเร็วและสูงมากในปัจจุบัน ตอบโจทย์การใช้ชีวิตที่มีความเร่งรีบ มุ่งเน้นความสะดวกสบายและความรวดเร็วในการใช้งาน เนื่องจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีหลากหลายรูปแบบและปิดล็อคได้สนิท ทำให้พกพาได้สะดวกและประหยัดพื้นที่ จึงเหมาะกับธุรกิจจัดส่งอาหารออนไลน์ (Food delivery)

บรรจุภัณฑ์อาหารพลาสติก (สังเคราะห์) ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือเรซิน (Resins) เป็นพลาสติกที่ได้รับนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในโลก พลาสติกประเภทนี้มีโครงสร้างเป็นโมเลกุลโซ่ตรงยาว มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์ (Polymer) น้อยมาก จึงสามารถหลอมเหลว หรือหากผ่านการอัดแรงมากก็ไม่ทำลายโครงสร้างเดิม เพราะมีความเหนียว แข็งแรง ทนทาน ดังนั้น คุณสมบัติพิเศษของพลาสติกประเภทนี้ คือเมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและมีความยืดหยุ่น จึงสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบ มีความคงทนต่อสารเคมี ไม่ผุกร่อน ไม่เป็นสนิม และเมื่อนำมาหลอมใหม่ก็สามารถนำกลับมาขึ้นรูปใช้ใหม่ได้อีกครั้ง พลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก [20-21] ได้แก่

1) พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) มีความหนาแน่น 3 ระดับ คือ

1.1) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density PE: LDPE) ช่วงความหนาแน่นต่ำอยู่ที่ 0.91-0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้เบาบาง ฉีกขาดได้ และราคาไม่สูงมากจนเกินไป ส่วนใหญ่นิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกแผ่นฟิล์ม ฟิล์มยืด ฟิล์มหด ฝาขวดน้ำ ขวดน้ำ และของเล่นรูปแบบต่าง ๆ เป็นต้น

1.2) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density PE: MDPE) ช่วงความหนาแน่นต่ำอยู่ที่ 0.93-0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความแข็งแรงกว่า LDPE เน้นการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงเป็นหลัก เพราะมีขนาดความหนาแน่นโมเลกุลสูงกว่า ฉีกขาดยากกว่าเดิม

เป็น 2 เท่า ทนทานต่อความร้อนและสารละลายได้ดี ส่วนใหญ่จึงนิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์จำพวก ท่อน้ำ ท่อแก๊ส แก้วพลาสติก ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

1.3) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density PE: HDPE) ช่วงความหนาแน่นต่ำอยู่ที่ 0.95-0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงมีความแข็งแรงทนทานมากกว่าความหนาแน่นทั้ง 2 ระดับข้างต้น เพราะมีโมเลกุลยึดเกาะกันและเชื่อมโยงอย่างหนาแน่น เป็นเนื้อพลาสติกทึบแสง ทนทานต่อสารละลายต่าง ๆ จึงนิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกท่อส่งสารเคมี ท่อส่งแก๊สธรรมชาติ ถังน้ำมันรถ และอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในครัวเรือน ได้แก่ โต๊ะหรือเก้าอี้พลาสติก จานชาม ที่ทนความร้อนได้ ขวดน้ำยาหลากหลายชนิด ขวดใส่สารเคมี เป็นต้น [22]

2) พลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET, PETE) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความเหนียว ทนทาน และยืดหยุ่นต่อแรงกระแทก จึงไม่แตกเมื่อถูกแรงกดดัน ขึ้นรูปด้วยการให้ความร้อนและทำให้เย็นที่อุณหภูมิ (Heat setting) ส่วนใหญ่จึงนิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกขวดเครื่องดื่มที่ไม่ใช่แอลกอฮอล์ กระปุกและขวดปากกว้าง ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว เครื่องสำอาง ยาสระผม เป็นต้น

3) พลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีน (Polypropylene: PP) เป็นพลาสติกที่ทนต่อไขมันและความร้อน ส่วนใหญ่นิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกหลอดดูด ถุงหูหิ้วใส่สิ่งของ ถุงบรรจุอาหาร อุปกรณ์ทางการแพทย์ ขวดซอสมะเขือเทศ ขวดยา ปกแฟ้มเอกสาร ภาชนะบรรจุเนยเทียม อุปกรณ์รถยนต์ เป็นต้น

4) พลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) เป็นพลาสติกที่สามารถแปรเปลี่ยนคุณสมบัติได้ โดยการเติมสารเคมีปรุงแต่ง (Additives) ต่าง ๆ เช่น Plasticizer Modifier และ Fillers ทำให้ PVC เป็นที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ สามารถทนต่อน้ำมันและกันกลิ่นได้ดี ลักษณะใส แข็งแรง ทนทานต่อการเสียดสี และอุณหภูมิใช้งานของ PVC ไม่เกิน 90 องศาเซลเซียส ผลิตยากกว่าฟิล์ม PE หรือ PP ส่วนใหญ่จึงนิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกฟิล์มยืดสำหรับห่อเนื้อสัตว์ กล่องบรรจุอาหาร ท่อน้ำ ท่อหุ้มสายไฟฟ้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น

5) พลาสติกชนิดพอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) เป็นพลาสติกที่ผลิตจากสไตรีนโมโนเมอร์ ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากปิโตรเลียม สามารถหลอมเป็นของเหลวได้ โดยจะอยู่ในสถานะของแข็งที่อุณหภูมิห้อง แต่จะหลอมละลายเมื่อทำให้ร้อน และแข็งตัวเมื่อเย็นลง พอลิสไตรีนแข็งที่บริสุทธิ์จะใส ไม่มีสี แต่สามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ สามารถยืดหยุ่นได้จำกัด จึงนิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกกล่องโฟมที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ โดยที่มีการเติมสารพองตัว (Blowing agent) อัดขึ้นรูปด้วยความร้อนเป็นจาน ถ้วย ถาด และใช้เป็นวัสดุป้องกันการสั่นกระแทก (Cushioning) ภาชนะบรรจุไข่ หรือวัสดุที่ช่วยให้ลอยน้ำได้ เนื่องจากพลาสติกชนิดนี้มีน้ำหนักเบา เป็นต้น [8]

2.2.2 บรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

การใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ทำมาจากพลาสติกก่อให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (SUP) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้กลุ่มตลาดบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีแนวโน้มขยายตัวมากขึ้น โดยคาดการณ์ว่า ในปี พ.ศ. 2568 ส่วนแบ่งตลาดบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมจะเติบโตอย่างต่อเนื่อง คิดเป็นส่วนแบ่งตลาดประมาณ ร้อยละ 8-10 ของมูลค่าตลาดบรรจุภัณฑ์และเครื่องดื่มทั้งหมด สืบเนื่องจากรัฐบาลหลายประเทศ หันมารณรงค์ให้งดหรือลดการใช้พลาสติกและโฟมอย่างจริงจัง เพื่อลดขยะพลาสติกอันส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ ซึ่งในปัจจุบัน ส่วนแบ่งตลาดบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม อยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 1-2 ได้แก่ บรรจุภัณฑ์อาหารที่ทำจากไบโอพลาสติก (Bio-plastic) ใยพืช ชานอ้อย กล่องกระดาษไบโอ (Bio-eco product) นอกจากนี้ ยังมีบรรจุภัณฑ์จากธรรมชาติ ได้แก่ ใบตอง ใบบัว ใบเล็บครุฑ หรือบรรจุภัณฑ์อาหารที่ขึ้นรูปด้วยความร้อนที่ทำมาจากใบไม้ ได้แก่ บรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมาก ใบสัก ใบทองกวาว ใบตองตึง และอื่น ๆ ซึ่งมีส่วนแบ่งทางตลาดไม่ถึงร้อยละ 0.1 ของมูลค่าตลาดรวม [23] อย่างไรก็ดี งานวิจัยนี้นำเอาหลักการ LCA และ LCC มาเป็นเครื่องมือประเมินการใช้ทรัพยากร ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุน ตลอดวัฏจักรของบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากใบทองกวาว เพื่อให้เป็นที่ต้องการในตลาดมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติก

1) บรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากใบทองกวาว

บรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากใบทองกวาว เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากใบทองกวาว มีกลิ่นหอมเฉพาะ ลวดลายสวยงามตามธรรมชาติ ขึ้นรูปเป็นชามทรงกลม ก้นลึก มีให้เลือก 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และขนาด 16 เซนติเมตร (ดังแสดงในภาพ 3) ถือว่าเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบไม้สดที่ขึ้นรูปด้วยความร้อน และมีคุณลักษณะเฉพาะในการใช้บรรจุอาหารได้ทั้งร้อนและเย็น ใส่ของเหลวได้โดยไม่รั่วซึม สามารถใช้ทดแทนพลาสติกและโฟมได้ อย่างถาวร ช่วยลดปัญหาด้านสุขภาพจากการได้รับสารเคมีสะสมหรือสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารพลาสติกและโฟมเป็นระยะเวลานาน และสามารถใช้อุ่นอาหารภายในไมโครเวฟได้ นอกจากนี้ ยังย่อยสลายได้เร็วตามธรรมชาติภายในระยะเวลา 5-7 วัน ด้วยการฝังกลบ [26] และหากนำไปฝังกลบเพื่อทำเป็นปุ๋ย ช่วยลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าการฝังกลบกับขยะทั่วไป

ภาพ 3 บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

ใบทองกวาว (Bastard Teak Leaf) มีชื่อเรียกตามแต่ละท้องถิ่น ได้แก่ ทอง หรือทองธรรมชาติ ทองต้น จาน จอมทอง ก๋าว เป็นต้น สำหรับต้นทองกวาว เจริญเติบโตกระจายอยู่ทั่วไปตามที่ราบลุ่มในป่าเบญจพรรณตามภาคต่าง ๆ พบมากในภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย สูงจากระดับน้ำทะเล 80-300 เมตร เป็นไม้ยืนต้นกลางแจ้งขนาดกลางในวงศ์ถั่ว มีถิ่นกำเนิดในเอเชียใต้ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ (Scientific name) คือ *Butea monosperma* (Lam.) Taub. อยู่ในวงศ์ (Family) Fabaceae สกุล (Genus) *Butea* และสปีชีส์ (Species) *B.monosperma* โดยมีลักษณะทั่วไปจำแนกตามองค์ประกอบได้ 4 องค์ประกอบ ดังนี้

1.1) ลำต้น เป็นไม้ต้นขนาดกลาง ความสูงประมาณ 8-15 เมตร โดยลักษณะของเปลือกต้นเป็นปุ่มปม ไม่เรียบเกลี้ยง เปลือกต้นสีน้ำตาลอ่อนหรือน้ำตาลเทา แตกเป็นร่องตื้น ในส่วนของลำต้นและกิ่งคดงอ เปลือกมีน้ำยางสีแดง หากทิ้งไว้จะแข็งเป็นก้อนสีแดง เปราะ จัดเป็นไม้ผลัดใบ ดังภาพ 4 (ก) [27]

1.2) ใบ เป็นใบประกอบ โดยลักษณะก้านใบมีความยาว 10-15 เซนติเมตร ในหนึ่งกิ่งก้านมี 3 ใบย่อย ใบกลางมีลักษณะใบรูปมนกว้างเกือบกลม มีความกว้าง 23-25 เซนติเมตร และความยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร ใบด้านข้างทั้งสองมีลักษณะใบรูปไข่ กว้าง 8-15

เซนติเมตร ยาว 9-17 เซนติเมตร ซึ่งลักษณะใบมีปลายมน ที่โคนใบแหลมมีสีเขียวเข้ม และใต้ใบมีสีเขียวอมเทา มีขนทั้งสองด้าน ดังภาพ 4 (ข)

1.3) ดอก ออกดอกเป็นช่อ แบบช่อกระจุกที่ปลายกิ่งหรือกิ่งข้าง ลักษณะรูปดอกคล้ายถั่ว ฐานรองดอกเชื่อมติดกันเป็นรูปถ้วย กลีบเลี้ยงสีเขียวเข้ม มีขนนุ่มคล้ายกำมะหยี่ กลีบดอก 5 กลีบ ลักษณะโค้งยาว ประมาณ 5-8 เซนติเมตร สีแดงสด หรือสีเหลือง มีเกสรตัวผู้ 10 อัน แยกเป็นอิสระ 1 อัน อีก 9 อัน โคนเชื่อมติดกันเป็นหลอด ออกดอกช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม

1.4) ผล ลักษณะผลเป็นฝักแบน กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 10-15 เซนติเมตร มีขนนุ่ม ส่วนเมล็ด มีลักษณะแบน 1 เมล็ด อยู่ที่ปลายฟัก [24-25]

ภาพ 4 ลักษณะทั่วไปของทองกวาว (ก) ลำต้นทองกวาว (ข) ใบทองกวาว

ประโยชน์ของใบทองกวาว สารสกัดจากใบทองกวาวสามารถนำไปใช้ในงานด้านเภสัชกรรม เช่น เป็นส่วนผสมในน้ำยาบ้วนปาก หรือใช้ทำยารักษาอาการแก้เจ็บคอ หรือถ้านำใบทองกวาวมาต้มดื่มเป็นประจำช่วยรักษาโรคต่าง ๆ เช่น โรคประสาท โรคเบาหวาน แก้ปวดเมื่อย ขับพยาธิ ท้องอืด ริดสีดวงทวาร แก้ผื่นคัน และสามารถใช้เป็นยาบำรุงธาตุ หรือเครื่องดื่มชูกำลังได้ [24] สำหรับงานวิจัยนี้ พิจารณาตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งใบทองกวาว (Bastard Teak Leaf) ที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติในพื้นที่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก เนื่องจากพื้นที่นี้มีปริมาณใบทองกวาวเยอะกว่าในพื้นที่อื่นของจังหวัด ทั้งนี้ การนำเอาหลักการ LCA และ LCC มาเป็นเครื่องมือประเมินการใช้ทรัพยากร ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และต้นทุนตลอดวัฏจักรของบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้

ทางชีวภาพจากใบทองกวาว ผลการศึกษาที่ได้ไปสามารถนำไปใช้จัดทำมาตรการสนับสนุนการปลูกเลี้ยงต้นทองกวาวให้เป็นพืชเศรษฐกิจต่อไป

การปลูกเลี้ยงต้นทองกวาว นิยมปลูกลงในแปลงปลูก ขนาดหลุมปลูก กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 50×50×50 เซนติเมตร ที่ผสมปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก : ดินร่วน ในอัตรา 1:2 ขยายพันธุ์ โดยการเพาะเมล็ด การปลูกควรเว้นระยะห่างพอสมควร เพราะต้นทองกวาวเป็นไม้ที่มีทรงพุ่มใหญ่และชอบแสงแดดจัด ต้องการปริมาณน้ำปานกลาง จึงควรให้น้ำ 7-10 วันต่อครั้ง และควรใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก ในอัตรา 2:3 กิโลกรัมต่อต้น ควรใส่ปุ๋ยปีละ 4-5 ครั้ง ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องโรค เพราะเป็นไม้ที่ทนต่อโรคพอสมควร [27]

2) บรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากชานอ้อย

ลักษณะเป็นชามทรงกลมก้นลึก สีหม่นไม่ขาวสะอาด เนื่องจากไม่ใช้คลอรีน (Chlorine) ฟอกสี จึงมีสีสันที่เป็นธรรมชาติตามสีวัสดุจากพืช (ดังแสดงในภาพ 5)

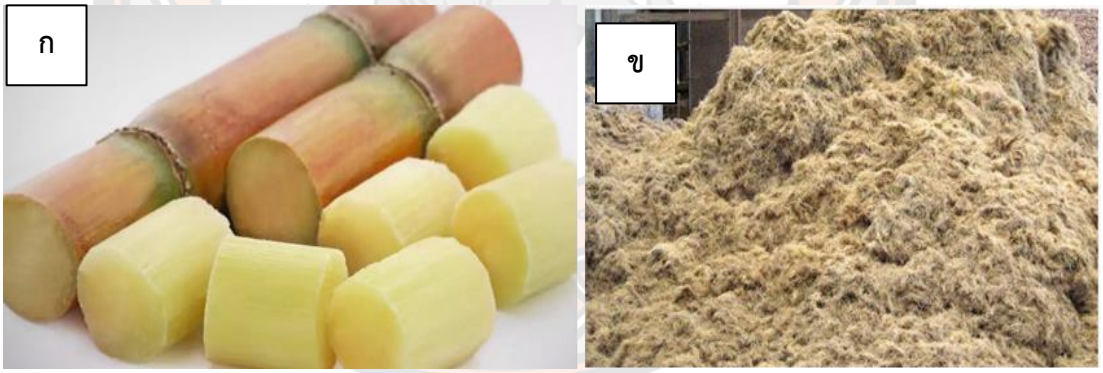
ภาพ 5 บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย

อีกทั้ง ยังมีหลายขนาด เป็นการนำวัสดุชานอ้อยเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล มาเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยเทคโนโลยีชีวภาพ ด้วยวิธีการนำเยื่อกระดาษชานอ้อยไปผสมตี

ผ่านกระบวนการป้องกันน้ำรั่วซึม และขึ้นรูปจนกลายเป็นบรรจุภัณฑ์หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ ชาม จาน แก้วน้ำ ถ้วยน้ำจิ้ม และกล่องอาหารพร้อมฝาปิด เป็นต้น มีคุณลักษณะเฉพาะสามารถนำเข้าไมโครเวฟและเตาอบได้ ใส่ได้ทั้งอาหารร้อนและเย็นได้ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง 220 องศาเซลเซียส โดยไม่รั่วซึม มีความแข็งแรง สะดวกต่อการพกพาใช้งานนอกสถานที่ หรือแบบใช้แล้วทิ้ง ปลอดภัยต่อการใช้งาน เพราะไม่ผ่านการเคลือบสารเคมีใด ๆ และผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ยังย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติภายใน 30-45 วัน [30]

ชานอ้อย (Bagasse) เป็นส่วนประกอบของลำต้นอ้อยที่หีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้ว (ดังแสดงในภาพ 6) ซึ่งในการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยโดยตรงนั้น ก่อเกิดผลพลอยได้ (By-products) หลายอย่าง ที่สำคัญได้แก่ ชานอ้อย กากตะกอน และกากน้ำตาล เป็นต้น จากชานอ้อยเปียกที่ความชื้น ร้อยละ 48 ของน้ำหนักโดยเฉลี่ย แบ่งเป็นส่วนประกอบ ชานอ้อยหรือไฟเบอร์ (Fiber) ร้อยละ 48.5 น้ำ ร้อยละ 48.0 น้ำตาล ร้อยละ 3.0 และสารประกอบอื่น ๆ ร้อยละ 0.5 [29]

ประโยชน์ของชานอ้อย สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับผลิตไอน้ำ และผลิตเยื่อกระดาษ หรือผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารที่ทำจากเยื่อกระดาษชานอ้อยเชิงอุตสาหกรรม ผลิตเป็นกระดานไม้อัด และใช้เป็นอาหารสัตว์ได้



ภาพ 6 ลักษณะทั่วไปของอ้อย (ก) ลำต้นอ้อย (ข) ชานอ้อย

รายละเอียดข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติและกระบวนการผลิต รวมถึงราคาขายปลีก ของบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากใบทองกวาวและชานอ้อย จากการศึกษาค้นคว้า [33-35] แสดงในตาราง 2

นอกจากนี้ ในต่างประเทศบรรจุภัณฑ์อาหารจากวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ใบสาละ กาบใบ-ปาล์ม ใบไม้เลื้อย (Wild creeper plant) ใบตอง ใบบัว ใบขนุน เป็นต้น ซึ่งเป็นพืชที่หาได้ในท้องถิ่น หรือนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น บริษัท Leaf Republic ประเทศเยอรมนี ซึ่งเป็นผู้ผลิตและนำเข้า

สินค้าสำเร็จรูปและวัตถุดิบจากชนเผ่าพื้นเมืองของอินเดีย [39] รวมถึงบริษัท Tapari สหราชอาณาจักร และบริษัท Verterra นิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา ที่นำเข้าวัตถุดิบจากเนปาลและอินเดียเช่นกัน ดังแสดงในภาพ 7 [36-38] ตามลำดับ โดยมีรายละเอียด [33] ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 2 ข้อมูลบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวและชานอ้อย

	ใบทองกวาว	ชานอ้อย
คุณสมบัติ	-แข็งแรง -บรรจุอาหารได้ทั้งร้อนและเย็น -ใส่ของเหลวได้ไม่รั่วซึม -ใช้อุ่นไมโครเวฟได้ -กลิ่นหอม สีสวย เป็นลายธรรมชาติ -ย่อยสลายได้ใน 4-5 วัน	-ผลิตจากธรรมชาติ ร้อยละ 100 -ไม่เคลือบพลาสติกอันเป็นสารก่อมะเร็ง -ใส่อาหารและเครื่องดื่มร้อน-เย็นได้ ไม่รั่วซึม -ใช้กับไมโครเวฟและเตาอบได้ -ย่อยสลายได้ภายใน 45 วัน
กระบวนการผลิต	-ล้างทำความสะอาดใบด้วยสารจุลินทรีย์ -ผึ่งไล่ความชื้น 3-5 ชม. หรือใช้พัดลมไล่ความชื้นขึ้นกับสภาพอากาศ -ขึ้นรูปภาชนะด้วยเครื่องขึ้นรูปจานใบไม้ระบบนิวเมติกส์ โดยใช้ความร้อน 140-180 °C -การตัดแต่งขอบ -ห่อหุ้มด้วยสุญญากาศ -บรรจุลงกล่องเพื่อจำหน่าย	-นำเยื่อกระดาษชานอ้อยไปผสมตีเยื่อ กรองสิ่งสกปรก เพื่อผ่านกระบวนการป้องกันน้ำรั่วซึม -ขึ้นรูปแบบเปียก -ขึ้นรูปแบบแห้ง -ไม่ใช้คลอรีนฟอกสี -ตัดแต่งขอบ -ฆ่าเชื้อด้วยแสง UV ที่อุณหภูมิ 160 °C -ทดสอบคุณภาพ -บรรจุเพื่อจำหน่าย
ราคา/หน่วย	7-10 บาทต่อชิ้น	3-4 บาทต่อชิ้น (158 บาท/ 50 ชิ้น/แพ็ค หรือ 1,580 บาท/1,000 ชิ้น/ลัง)
แหล่งข้อมูล	รศ.ดร.สมร หิรัญประดิษฐกุล จ.พิษณุโลก บริษัท ลีฟฟอร์มมิ่ง ภายใต้โครงการ Innovation Hub	- บริษัท บรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม จำกัด จ.ชัยนาท - สถาบันไทยพัฒน์, 2554

ก

(ก) บริษัท Leaf Republic ประเทศเยอรมัน

ข

(ข) บริษัท Tapari สหราชอาณาจักร

ค

(ค) บริษัท Verterra นิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา

ภาพ 7 บรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ตาราง 3 กลุ่มตลาดบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพในต่างประเทศ

	ใบไม้เลื้อย (Wild creeper plant)	ใบสาละ	กาบใบปาล์ม
คุณสมบัติ	-ผลิตจากธรรมชาติ ร้อยละ 100 -ปราศจากสารเคมี และไม่มีกาวผสม -ทนทานและย่อยสลายได้ร้อยละ 100 ภายใน 28 วัน	-ผลิตจากใบสาละ -ปราศจากสารเคมี -ไม่มีกาวแลคเกอร์ -ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ	-ผลิตจากกาบใบปาล์ม -น้ำหนักเบา แข็งแรง -ไม่มีสารเคมี แลค-เกอร์กาว หรือสารพิษอื่น ๆ -ใส่อาหารได้ทั้งร้อนและเย็น ของเหลว -นำเข้าไมโครเวฟได้ -มีดีไซน์ที่หลากหลายรูปแบบ หลายขนาด
กระบวนการผลิต	-ผลิตจากใบไม้เลื้อย นำมาเย็บติดกันด้วยเส้นใยไฟเบอร์จากใบปาล์ม -ขึ้นรูปภาชนะด้วยเครื่องกดไฮโดรลิค เพื่อประกบแผ่นกระดาษชั้นกลางระหว่างใบไม้ 2 ชั้น -ตัดแต่งขอบ -บรรจุลงกล่องเพื่อจำหน่าย	-เก็บใบสาละจากแหล่งกำเนิดท้องถิ่น -ล้างทำความสะอาดใบสาละและทิ้งไว้ในห้องที่มีแสงแดดส่องจนแห้ง -เย็บใบต่อกันให้มีขนาดใหญ่ด้วยเส้นใยไม้ไผ่ -ใบสาละที่ถูกเย็บจะนำไปวางลงบนแม่พิมพ์จำนวน 4 ชั้น แล้วกดด้วยแผ่นความร้อน 150 ℃ -ตัดแต่งขอบและห่อหุ้มด้วยสุญญากาศ -บรรจุลงกล่องเพื่อจำหน่าย	-เก็บรวบรวมกาบใบ-ปาล์มที่ร่วงจากสวน -ล้างกาบใบ โดยฉีดพ่นด้วยน้ำแรงดันสูง -นึ่งฆ่าเชื้อด้วยยูวีกว่าร้อยละ 80 -อัดขึ้นรูปภาชนะด้วยความร้อน
ราคา/หน่วย	8.50 ปอนด์ต่อแพ็ค	7.99-9.99 ปอนด์/	9-25 ดอลลาร์/ 25

	ใบไม้เลื้อย (Wild creeper plant)	ใบสาละ	กาบใบปาล์ม
	หรือ ประมาณ 365 บาท ต่อแพ็ค	25 ชิ้น/แพ็ค หรือ ประมาณ 345-430 บาท	ชิ้น/ แพ็ค หรือ ประมาณ 288-800 บาทต่อแพ็ค
แหล่งข้อมูล	Leaf Republic ประเทศเยอรมนี (We Dream Business.org)	บริษัท Tapari สหราชอาณาจักร (www.tapari.co.uk)	บริษัท Verterra นิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การกระบวนการสกัดหรือการได้มาของวัตถุดิบ (Raw material acquisitions) การผลิต (Manufacturing) การขนส่งและการแจกจ่าย (Distribution) การใช้งานผลิตภัณฑ์ (Use) และการใช้ซ้ำ การหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน (End-of-life phase) หรือเรียกว่า เป็นการประเมินผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณวัตถุดิบ เช่น น้ำ และพลังงานที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม [40] และการประเมินศักยภาพการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential) ศักยภาพการเกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication potential) เป็นต้น การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นี้ ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เรียกว่า การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Costing: LCC) ซึ่งเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการศึกษานี้

2.3.1 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

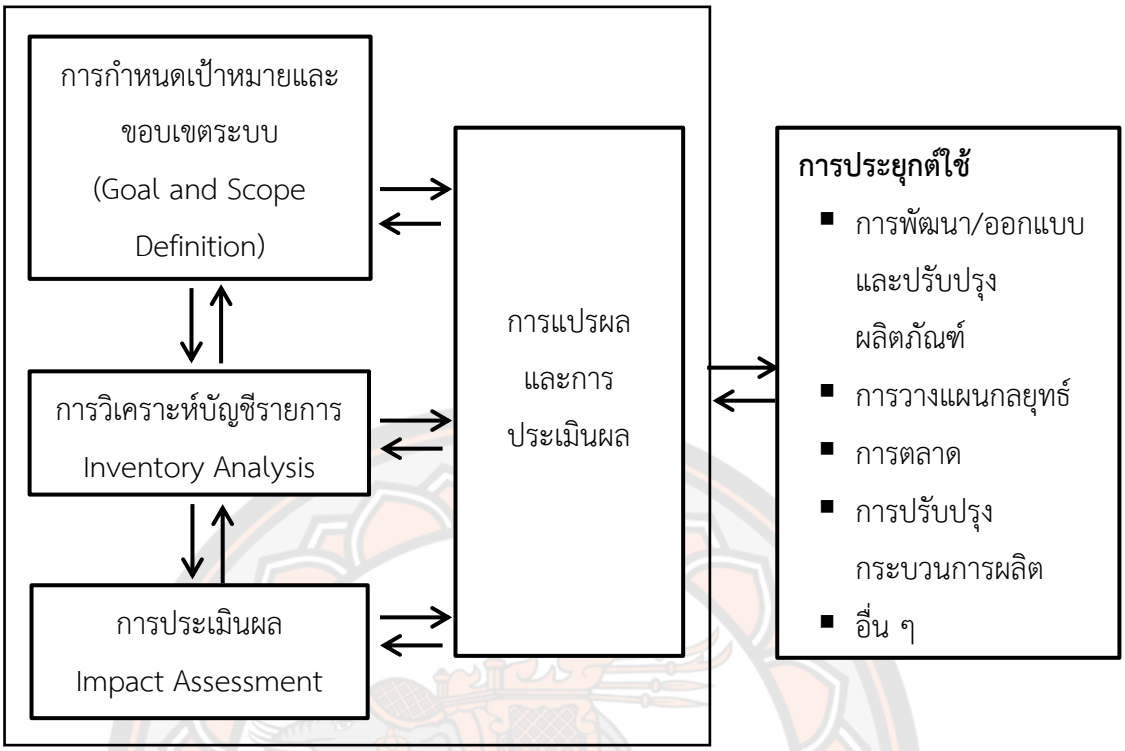
แนวทางในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ มีความแตกต่างจากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เนื่องจาก LCA มีการพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน ตลอดถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานหรือเสื่อมสภาพแล้ว (Cradle to grave) ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ เพื่อรับทราบถึงที่มาและสาเหตุการเกิดปัญหาอย่างแท้จริง การทำ LCA ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ตามหลักมาตรฐาน ISO 14040 โดยมีกรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040:2006 [43] ดังแสดงในภาพ 8 ได้แก่ การกำหนด

เป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition) การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory analysis) การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle impact assessment) และ การแปรผลและประเมินเพื่อปรับปรุง (Interpretation of the results) โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

1) ขั้นตอนที่ 1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition) เป็นขั้นตอนแรกและมีความสำคัญในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา ส่งผลต่อความถูกต้องและประโยชน์ที่ได้รับจากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ รวมถึงนำผลการประเมินไปปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ตามวัตถุประสงค์ [41-42]

1.1) การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal) เป็นขั้นตอนแรกและสำคัญที่สุดสำหรับการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการปฏิบัติงาน หากการกำหนดเป้าหมายไม่ชัดเจน จะทำให้ระบบการดำเนินงานเป็นไปได้ค่อนข้างยากลำบาก ส่งผลต่อขอบเขตของการศึกษาด้วย สำหรับการตั้งเป้าหมายในการทำงานนั้น ต้องมีความชัดเจน ครบถ้วน ซึ่งต้องระบุถึงเหตุผลของการศึกษา ผลของการศึกษา และการนำผลการศึกษาที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์รวมไปถึงผู้ใช้ผลการศึกษาด้วย ทั้งนี้ เป้าหมายหลักของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ มีความแตกต่างกัน ได้แก่ การประเมินเพื่อให้ทราบถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบหรือใช้ทรัพยากรมากที่สุด (Hotspot) และข้อดี-ข้อเสีย (Tradeoffs) ของแต่ละผลิตภัณฑ์หรือบริการเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุง พัฒนาผลิตภัณฑ์หรือบริการนั้น ๆ รวมถึงใช้ในการจัดทำฉลากผลิตภัณฑ์ (Environmental Product Declaration: EPD) ซึ่งเป็นอีกช่องทางการสื่อสารระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคให้รับทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เรียกการประเมินลักษณะนี้ว่า Process LCA นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ประเมินเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงข้อดี-ข้อเสียของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกใช้หรือเลือกซื้อ เรียกการประเมินลักษณะนี้ว่า Comparative LCA

เป้าหมายเหล่านี้ล้วนเป็นตัวบ่งชี้ขอบเขตระบบ หากวัตถุประสงค์ของการศึกษาต้องการให้เกิดผลสัมฤทธิ์ที่มีความน่าเชื่อถือสูง ขอบเขตระบบ ระยะเวลาการศึกษา และงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาก็จะสูงตามไปด้วย เนื่องจากผลการศึกษาเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนให้การวิเคราะห์เกิดความน่าเชื่อมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตปรับปรุง หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพ 8 กรอบการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

1.2) การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope) เป็นการระบุสิ่งที่ต้องการประเมินและรายละเอียด รวมถึงวิธีในการประเมิน การกำหนดขอบเขตต้องครอบคลุมไปถึงหน้าที่และหน่วยหน้าที่ (Functional unit) ของผลิตภัณฑ์ ขอบเขตของระบบผลิตภัณฑ์ (System boundary) สำหรับการกำหนดขอบเขตของการศึกษานั้น จะต้องให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ เช่น ต้องการประเมินเพื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกัน ขอบเขตการประเมินย่อมไม่จำเป็นที่จะต้องพิจารณาการขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดซากเมื่อผลิตภัณฑ์เสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งาน เพราะผลกระทบจากขั้นตอนเหล่านี้ย่อมใกล้เคียงกัน เว้นแต่ต้องการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่มีหน้าที่เดียวกัน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ปลายทาง เช่น ตู้เย็น เตารีด จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้งานและการกำจัดซากเมื่อหมดอายุการใช้งานด้วย (ดังแสดงในภาพ 9)

การกำหนดขอบเขตของระบบ (System boundary) การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 แบบ ได้แก่

(1) แบบ (Cradle to grave) เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาตั้งแต่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน เปรียบเสมือนการพิจารณาตั้งแต่เกิดจนถึงตาย นิยมใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบในช่วงระหว่างการใช้งานได้อย่างชัดเจน ซึ่งในการพิจารณารูปแบบนี้ จำเป็นต้องใช้ระยะเวลานานและมีค่าใช้จ่ายที่สูง

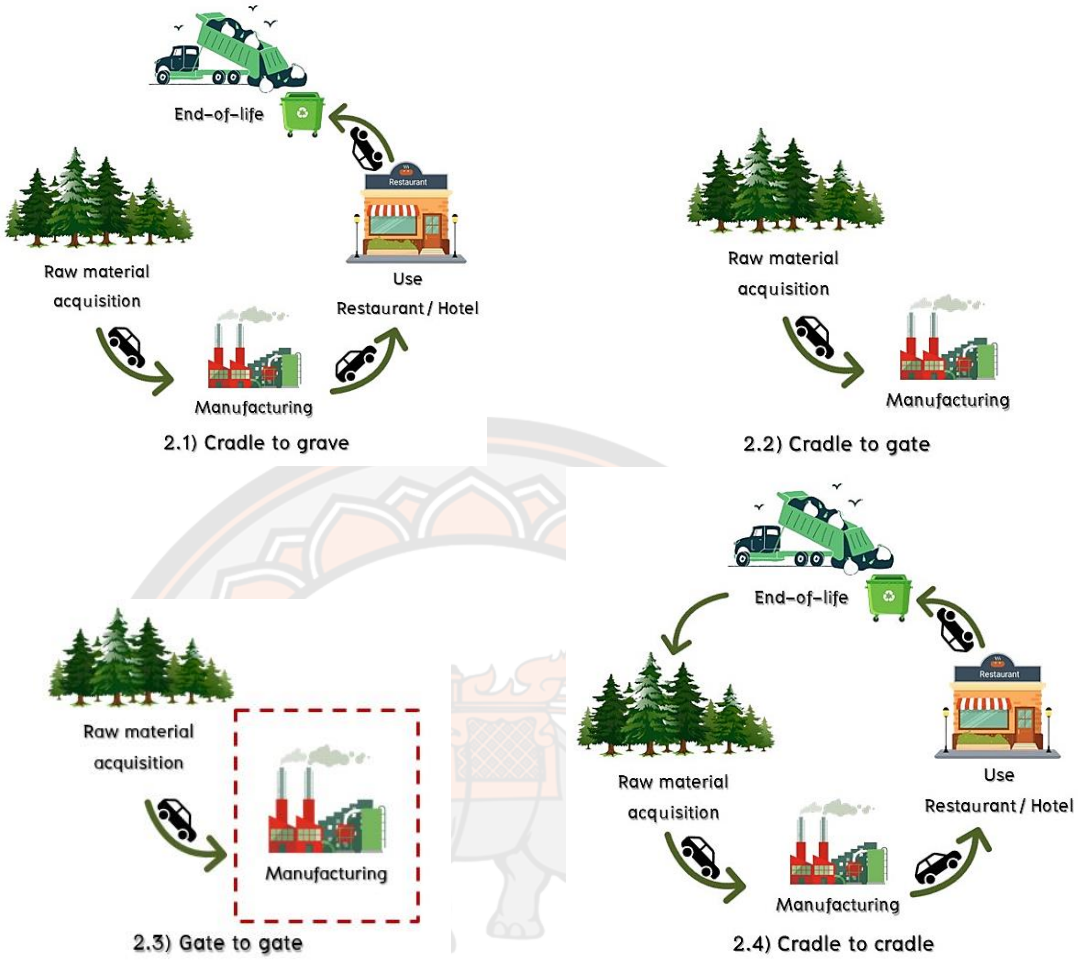
(2) แบบ (Cradle to gate) เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงระหว่างการใช้งานและการกำจัดซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน นิยมใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการวิเคราะห์ผลกระทบในช่วงระหว่างการใช้งาน ซึ่งการพิจารณารูปแบบนี้เหมาะสมสำหรับใช้ในการทำเอกสาร หรือการรับรองผลิตภัณฑ์

(3) แบบ (Gate to gate) เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาเฉพาะกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ นั่นคือ พิจารณาตั้งแต่วัตถุดิบเข้ามาในรั้วโรงงาน กระบวนการผลิต จนถึงเมื่อได้ผลิตภัณฑ์ออกมาจากกระบวนการผลิต

(4) แบบ (Cradle to cradle) เป็นรูปแบบพิเศษของ Cradle to grave ได้แก่ กรณีที่ขั้นตอนกำจัดซากของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการรีไซเคิล สามารถนำซากกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตได้ใหม่ ทำให้ได้สินค้าเดิมออกมา

ปัญหาหลักของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ คือ การเก็บข้อมูลให้มีความสมบูรณ์ ดังนั้น เพื่อช่วยให้สามารถนำ LCA ไปใช้ในหน่วยงาน/องค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องมีการกำหนดคุณภาพของข้อมูล (Data quality) ที่ต้องการใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นข้อมูลที่เหมาะสมและมีระดับความละเอียดของข้อมูลเพียงพอตรงตามเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่ตั้งไว้ เนื่องจากข้อมูลที่มีคุณภาพย่อมส่งผลต่อคุณภาพของบทสรุปในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของสิ่งที่กำลังศึกษา

1.3) ขอบเขตของระบบ (System boundary) เป็นขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์กับสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่น การกำหนดขอบเขตในการศึกษาวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นถึงการศึกษาระบบผลิตภัณฑ์ที่ถูกจำลองขึ้นมาจากกระบวนการหน่วย (Unit Process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกัน โดยอาศัยการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่ต้องนำไปบำบัดของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง ซึ่งจะใช้รูปสี่เหลี่ยมเป็นสัญลักษณ์พร้อมทั้งเขียนชื่อระบุไว้ด้านใน ทำเป็นเส้นแบ่งขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์กับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น



ภาพ 9 การกำหนดขอบเขตของระบบ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA

1.4) การกำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Function and Functional Unit)

(1) หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) ผลิตภัณฑ์อาจมีหน้าที่หลายอย่าง หรือมีหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ที่ถูกเลือกมาทำการศึกษา ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตขึ้นอยู่กับเป้าหมายและขอบเขตระบบ ดังนั้น ในการกำหนดขอบเขตระบบจำเป็นต้องระบุหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษาให้ชัดเจน

(2) หน่วยการทำงาน (Functional Unit) เป็นพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ มีความสำคัญสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยเฉพาะการเปรียบเทียบระบบที่ต่างกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและออกตั้งอยู่ในระบบพื้นฐานเดียวกัน สำหรับเกณฑ์

มาตรฐานที่ใช้กำหนดหน่วยหน้าที่มีหลายรูปแบบ ประกอบด้วย (1) ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ (2) ความคงทนของผลิตภัณฑ์ (3) คุณสมบัติพื้นฐาน

2) ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory analysis: LCI) เป็นการรวบรวมข้อมูลและคำนวณข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนหรือกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ตามที่ระบุไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตระบบ ซึ่งการคำนวณนั้นจะคำนวณปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงการทำลายซากของผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งาน โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลมี 2 รูปแบบ คือ [42]

2.1) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) เป็นข้อมูลที่เก็บจากการข้อมูลจริงในขั้นตอนหรือกระบวนการต่าง ๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ซึ่งจะมีความถูกต้องและทันเหตุการณ์ สามารถเข้าหาข้อมูลได้โดยตรง เช่น ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต พลังงานที่ยานพาหนะใช้ในการขนส่ง ชนิดของเชื้อเพลิง ระยะทางในการขนส่ง เป็นต้น

2.2) ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) เป็นข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลที่ได้นอกเหนือจากข้อมูลปฐมภูมิ เช่น รายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม ข้อมูลทางสถิติ ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้ การนำข้อมูลทุติย-ภูมิมาใช้ ควรตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูลก่อนจะนำไปวิเคราะห์

ขั้นตอนสุดท้ายของการทำบัญชีรายการ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูล จำเป็นต้องมีการปรับสารขาเข้าและขาออกในแต่ละกระบวนการ ออกมาเป็นมวลสารเข้าและออกด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์จะถูกแปลออกมาเป็นตัวเลขการใช้ทรัพยากรและการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินผลกระทบนี้ ใช้วิธี EDIP (Environmental Development of Industrial Products) โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ [18] ค่าผลกระทบใน 100 ปี และคำนวณโดยใช้โปรแกรม Excel

3) ขั้นตอนที่ 3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle impact assessment: LCIA) เป็นขั้นตอนการใช้เทคนิคแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอน LCI ซึ่งค่าปริมาณของวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ ตลอดจนของเสียทั้งหมด ให้อยู่ในรูปของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการแปลงบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปตัวชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เพื่อบ่งชี้ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยขั้นตอนการทำ LCIA สามารถจำแนกออกเป็นขั้นตอนหลักดังนี้

3.1) การเลือกชนิดและประเภทของผลกระทบ (Selection of impact categories) เป็นการจำแนกว่า ระบบผลิตภัณฑ์ที่ระบุตามเป้าหมายและขอบเขตระบบ มีผลกระทบ

ต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใด และเกิดขึ้นในขั้นตอนใดบ้าง โดยนำเอาข้อมูลจากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาใช้วิเคราะห์ และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดอย่างเป็นหมวดหมู่

3.2) การจัดกลุ่มของผลกระทบ (Classification) หลังจากจำแนกผลกระทบข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ แล้ว ในขั้นตอนนี้ ต้องนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการ (LCI) มาจำแนกกลุ่มผลกระทบที่ได้คัดเลือกประเภทไว้เป็นหมวดหมู่ เช่น ก๊าซมีเทน (CH4) เป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential) หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) หรือฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Particulate matter: PM2.5) ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบหายใจของมนุษย์ เป็นต้น โดยในกลุ่มผลกระทบหนึ่ง อาจมีสารขาเข้าและขาออกมากกว่า 1 ตัว ที่เป็นปัจจัยก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [44] ตัวอย่างดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ตัวอย่างกลุ่มผลกระทบพื้นฐานในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

กลุ่มผลกระทบ	ความหมาย
Energy Depletion Potential	ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรพลังงานลดลง
Abiotic Depletion Potential	ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป
Global Warming Potential	ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน
Ozone Depletion Potential	ศักยภาพที่ทำให้ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง
Human Toxicity	การก่อให้เกิดพิษต่อมนุษย์
Aquatic/Terrestrial Ecotoxicity	การก่อให้เกิดพิษต่อระบบนิเวศทั้งบนบกและในน้ำ

3.3) การกำหนดบทบาท (Characterization) เป็นขั้นตอนการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มผลกระทบ ถือเป็นขั้นตอนการแสดงประเภทผลกระทบให้อยู่ในรูปของดัชนีตัวชี้วัด (Indicator) ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน ออกมาในรูปตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยดูความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Environmental impact potential) และใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization factor) ในการคูณ เพื่อปรับค่าจาก

ปริมาณของมวลสารหรือน้ำหนักที่ปล่อยออกมาให้เป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบ และทำการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ เพื่อให้ได้ค่าผลกระทบรวม ตามสมการ (2.1)

$$EP_j = \sum(Q_j \; x \; EP_{ij}) \qquad \textbf{(2.1)}$$

EPj = (Environmental Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ กิโลกรัมสารเทียบเท่า (kg Substance Equivalent)

Qj = (Quantity of Substance) คือ ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา กิโลกรัมสาร j (kg Substance j)

EPij = (Equivalency Factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j กิโลกรัมสารเทียบเท่า/กิโลกรัมสาร j (kg Substance Equivalent/kg Substance j)

3.4) การหาขนาดของผลกระทบหรือเทียบหน่วย (Normalization) เป็นขั้นตอนแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ศึกษา กับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาค หรือโลก โดยมองเป็นภาพรวมทั้งหมด และทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์หรือบริการต่ออายุการใช้งานและสัดส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ต่อคน ต่อปี เช่น การศึกษาการปล่อย CO_2 ที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษามีปริมาณเท่าไร เมื่อเทียบกับการปล่อย CO_2 ในระดับทวีปเอเชีย ตามสมการ (2.2)

$$NP_{j(Product)} = EP_j/(T \; x \; ER_j) \qquad \textbf{(2.2)}$$

NP_j = (Normalization Impact Potential) คือ ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ของผลิตภัณฑ์ต่อคน (Person for Target Year)

T = (Lifetime of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ในหน่วย ปี (Year)

EP_{ij} = (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใด ๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปีในหน่วย กิโลกรัมสารเทียบเท่า/คน/ปี (kg Substance Equivalen/Person/Yaer)

3.5) การให้น้ำหนัก (Weighting) เป็นขั้นตอนในการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งลักษณะผลกระทบออกได้เป็น 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ และการใช้ทรัพยากร เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงความรุนแรงหรือสะท้อนให้เห็นถึงการให้ความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิด โดยจะทำการเปรียบเทียบว่าผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อมใดสำคัญที่สุดขึ้นกับมุมมองของผู้ประเมินจะกำหนดค่าสัดส่วนน้ำหนักคะแนน (Weighting factor : WF) ว่าเป็นเท่าใด ตามสมการ (2.3)

$$WP_j = WF_j \; x \; NP_j \qquad \textbf{(2.3)}$$

WP_j = (Weighted Environmental Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ หลังการให้น้ำหนักความสำคัญแล้ว (Person for Target Year ; Pt)

WF_j = (Weighting Factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

4) ขั้นตอนที่ 4 การแปลผลและประเมินเพื่อปรับปรุง (Interpretation of the results) เป็นการตีความและวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมจากผลลัพธ์ของขั้นตอน LCI และ LCIA ให้มีความสัมพันธ์กัน เพื่อนำเสนอข้อมูลที่มีความหมาย และเพื่อให้สามารถตัดสินใจได้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้ ดังนั้น การตีความและการแปรผลควรมีความสัมพันธ์กันและทำด้วยความระมัดระวัง บนพื้นฐานของเป้าหมาย ขอบเขตระบบ และวัตถุประสงค์ เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำข้อมูลจากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมถึงการจัดการเพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ [41] เพราะผลลัพธ์ของวิธีการ LCA จะช่วยให้ทราบว่าช่วงชีวิตใดของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดปัญหาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบนำไปสู่การปรับปรุง/แก้ไขผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ต่อไป (Product design for environment) อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) [45]

2.3.2 การใช้ประโยชน์จากการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ทำให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งสามารถนำมาประกอบการพิจารณาในด้านอื่น ๆ เช่น ต้นทุน ข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค และความปลอดภัย อีกทั้งยังช่วยให้ทราบถึงกระบวนการที่ใช้ทรัพยากรหรือก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุด เพื่อนำผลลัพธ์จากการประเมินที่ได้นั้นไปปรับปรุงหรือแก้ไขการออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น ๆ รวมถึงการพัฒนาให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป ทั้งนี้ แต่ละภาคส่วนสามารถนำแนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้หลากหลาย ในบริบทที่แตกต่างกัน สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก [43]

1) ภาคอุตสาหกรรม ใช้เป็นข้อมูลวางแผนปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต เพื่อลดการใช้วัตถุดิบและพลังงาน ลดการเกิดของเสีย นำไปสู่การปรับปรุงหรือออกแบบผลิตภัณฑ์ พัฒนากลยุทธ์ด้านการตลาดและแผนการลงทุน และเพื่อเป็นข้อมูลเผยแพร่สื่อสารกับผู้บริโภค

2) ภาครัฐ ใช้ประกอบการพิจารณาออกกฎหมาย กำหนดนโยบาย หรือมาตรฐานการควบคุมหรือส่งเสริมด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศ ใช้เป็นเกณฑ์จัดทำข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาตรฐานผลิตภัณฑ์ เช่น ฉลากที่แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ (Eco-labeling - Type III)

3) ภาคเอกชน (Non-Government Organizations: NGO_S) ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนหรือชี้แจงกระแสสังคมด้านสิ่งแวดล้อมและการค้า รวมถึงเป็นแหล่งข้อมูล

4) ผู้บริโภค ใช้เป็นข้อมูลประกอบการเลือกซื้อสินค้า สร้างจิตสำนึกต่อสิ่งแวดล้อม

2.4 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ (Assessment of Product Greenhouse Gas Emissions)

ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน การขนส่ง ถึงการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จากการคำนวณตามสมการ 2.4 และรายงานผลในหน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2 eq) [19, 46]

$$GHG = GHG_{การได้มาซึ่งวัตถุดิบ} + GHG_{การผลิต} + GHG_{การใช้งาน} + GHG_{การขนส่ง} + GHG_{การกำจัดซาก} \quad (2.4)$$

ซึ่งการคำนวณค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) สามารถคำนวณได้ ตามสมการ 2.5

$$GWP = EF \times E_A \quad (2.5)$$

เมื่อ GWP คือ ค่าศักยภาพในการเกิดสภาวะโลกร้อน (kg CO_2 eq)

EF คือ ค่าสัมประสิทธิการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO_2 eq)

E_A คือ ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Activity)

ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุล และอายุของก๊าซนั้น ๆ ในชั้นบรรยากาศ โดยพิจารณาเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น 20 ปี 50 ปี หรือ 100 ปี เป็นต้น รายละเอียดศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจก [18] ดังแสดงในตาราง 5

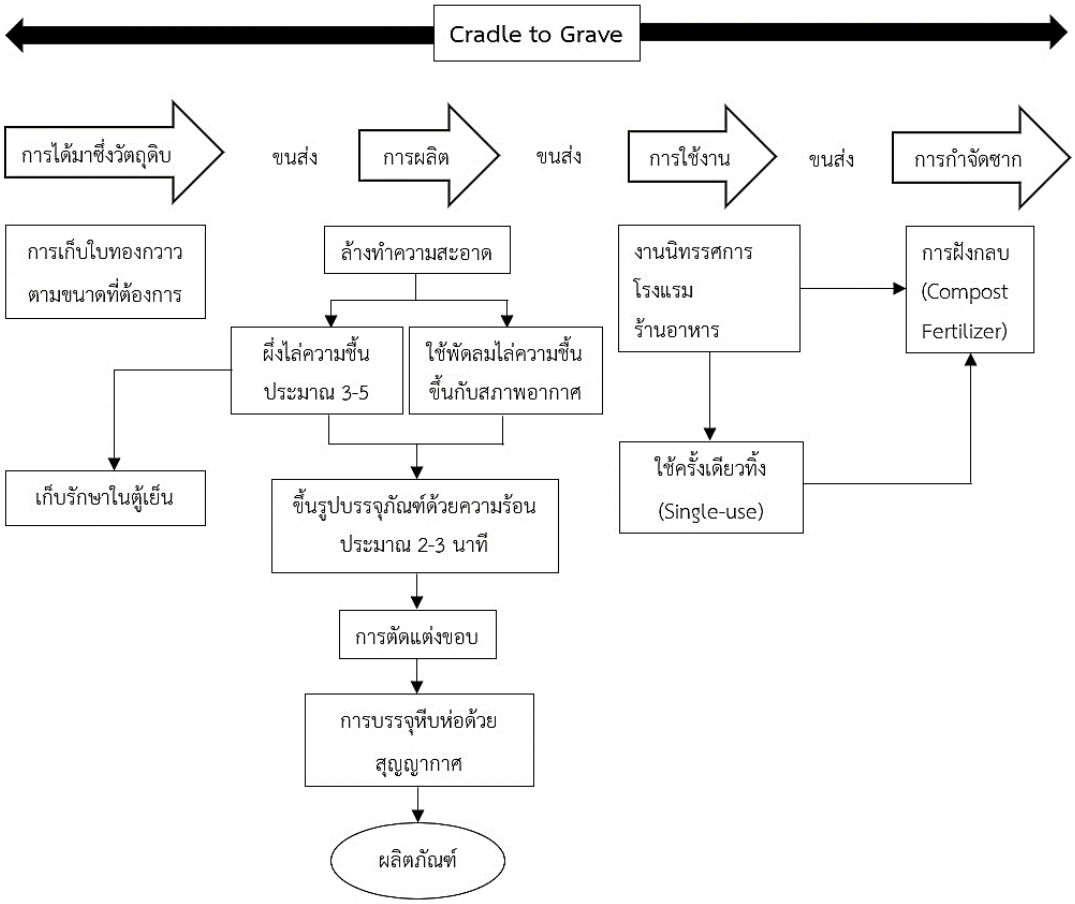
ตาราง 5 ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโตและค่า GWP100

กลุ่มก๊าซเรือนกระจก	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์)	อายุคงอยู่ในชั้นบรรยากาศ (ปี)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	1	200-450
มีเทน (CH_4)	25	12
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	298	120
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	124-14,800	2-270
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6)	22,800	3,200
เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)	>7,500-17,700	มากกว่า 1,000

งานวิจัยครั้งนี้ นำ LCA มาใช้ โดยพิจารณาตั้งแต่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน การขนส่ง ตลอดจนการกำจัดซาก (ดังแสดงในภาพ 10)

ซึ่งเป็นการประเมินภาระด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ แนวทางปฏิบัติ ข้อจำกัด และการนำไปใช้ของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) มีมาตรฐาน ISO 14040:2006 รองรับ [43] ถือเป็นวิธีที่ครอบคลุมมากที่สุดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเชิงนิเวศเศรษฐกิจ สอดคล้องกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อสิ่งแวดล้อม (Design for Environment: DfE) ซึ่งเป็นการรวบรวมเอาคุณลักษณะทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ สะท้อนให้เห็นถึงสิ่งจำเป็นต้องปรับให้เข้ากับวัฒนธรรมท้องถิ่น เศรษฐกิจ และผลกระทบต่อระบบนิเวศตามหลักความยั่งยืนเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Sustainability) นำไปสู่การเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการ อีกทั้ง ตระหนักถึงขอบเขตของทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการผลิต (Input) และการใช้ประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพ (Output)

จากราคาของบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากใบทองกวาว ที่สูงกว่าโฟม 2-3 เท่า เนื่องจากกำลังการผลิตน้อย ส่งผลให้ต้นทุนต่อชิ้นสูง และคนส่วนใหญ่ยังไม่เปิดใจหันมาใช้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ จึงต้องการประเมินต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ ตลอดทั้งวัฏจักร โดยใช้เครื่องมือ LCA และ LCC ให้ทราบว่ากระบวนการใดที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนของผลิตภัณฑ์มากที่สุด เพื่อปรับปรุงคุณภาพ การเพิ่มกำลังการผลิต แนวทางลดต้นทุนค่าใช้จ่าย แนวทางการพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากใบทองกวาวให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดมากยิ่งขึ้น



ภาพ 10 ขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

2.5 ผลงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในหัวข้อนี้ แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ โดยครอบคลุมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ และการผลิตภาชนะสำหรับบรรจุอาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ รวมถึงการพัฒนาเพิ่มคุณสมบัติโดยสารเติมแต่งต่าง ๆ ให้ได้บรรจุ-ภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อใช้บรรจุอาหารและเก็บรักษาอาหารให้ได้นานยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังสรุปงานวิจัยที่แสดงถึงการประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ จากการนำบรรจุภัณฑ์มาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจส่งอาหาร สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ การประเมินวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ ได้แก่ ขวดพลาสติกและขวดพลาสติกชีวภาพ [48] ถาดโฟมบรรจุเนื้อสด [49] บรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียว จากกระดาษ และวัสดุ-ธรรมชาติต่าง ๆ เป็นต้น [50-55] การผลิตภาชนะสำหรับบรรจุอาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ได้แก่ ผลิตบรรจุภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพโดยสารเติมแต่งต่าง ๆ [56-59] บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทาง

ชีวภาพ สำหรับใส่อาหาร [26, 60] และการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ จากการนำบรรจุภัณฑ์มาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจส่งอาหาร ได้แก่ วิเคราะห์บรรจุ- ภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุทางเลือกต่าง ๆ เพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม [61, 63] วิเคราะห์การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบป้องกันอาหารเน่าเสีย [62] ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากธุรกิจส่งอาหาร (Food delivery service: FDS) [64]

2.5.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ

ปี ค.ศ. 2014 Papong และคณะ [48] ได้ทำการประเมินเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของพลาสติกชีวภาพ (Polylactic Acid: PLA) และขวดน้ำดื่มพลาสติก (Polyethylene terephthalate: PET) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดน้ำดื่มพลาสติก PLA ที่ผลิตในประเทศไทย ซึ่งทำจากมันสำปะหลัง (Cassava) ถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะมีทรัพยากรหมุนเวียนจำนวนมาก โดยใช้เครื่องมือการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) เพื่อพิจารณาศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (Global warming potential) ความต้องการพลังงานฟอสซิล (Fossil energy) การทำให้เป็นกรด (Acidification potential) ภาวะ ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication potential) และความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity potential) มีหน่วยหน้าที่ (Functional unit) คือ 1,000 ขวด ปริมาตร 250 มิลลิลิตรต่อขวด และกำหนดขอบเขตระบบ (System boundary) ครอบคลุมทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยว การผลิตแป้งมันสำปะหลัง การขนส่ง การผลิตกลูโคส (Glucose) กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) เพื่อผลิตเรซิน PLA กระบวนการผลิตขวด PLA และการจัดการซากของผลิตภัณฑ์ (End-of-life phase) จากการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูล (Life Cycle Inventory: LCI) ที่รวบรวมข้อมูลสารขาเข้า (Input) ได้แก่ การใช้ทรัพยากร (สารเคมี วัสดุ) และการใช้พลังงาน (ไฟฟ้า เชื้อเพลิง) และข้อมูลสารขาออก (Output) ได้แก่ การปล่อยมลพิษทั้งหมด ตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดน้ำดื่มพลาสติกชีวภาพ PLA ซึ่งถูกนำมาเปรียบเทียบกับขวดน้ำดื่มพลาสติก PET โดยมีหน่วยหน้าที่เดียวกัน จากผลการศึกษา พบว่า ขวดพลาสติกชีวภาพ PLA สามารถมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าขวดพลาสติก PET ทั้งยังส่งผลต่อภาวะโลกร้อน การพึ่งพาพลังงานฟอสซิล และความเป็นพิษต่อมนุษย์น้อยกว่า นอกจากนี้ ยังพบว่า การปรับปรุงกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังและการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ นำไปสู่การลดศักยภาพในการเกิดภาวะโลกร้อน และศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะยูโทรฟิเคชันลดลง

ปี ค.ศ. 2015 Ingrao และคณะ [49] ทำการศึกษาถาดโฟมพอลิสไตรีน (Foamy polystyrene trays) สำหรับบรรจุภัณฑ์เนื้อสด โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อบรรจุและปกป้องอาหารในช่วงอายุของการเก็บรักษา ซึ่งบรรจุภัณฑ์อาหารนั้น จะต้องออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม (Design for environment: DfE) ผลการศึกษา พบว่า จากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA)

ขั้นตอนในกระบวนการผลิตเม็ดพอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) และการใช้ไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด ดังนั้น ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ผู้ประกอบการต้องตระหนักถึงการใช้งานด้านระยะเวลาการเก็บรักษาและความปลอดภัยของอาหาร ตลอดจนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและห่วงโซ่อุปทานอาหาร และไม่ควรขึ้นอยู่กับต้นทุนเท่านั้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยเน้นย้ำว่าไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนขั้นตอนกระบวนการผลิตและการขนส่งวัตถุดิบ หรือแม้แต่ผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์อาหาร แต่สามารถดำเนินการโดยการเปลี่ยนแหล่งพลังงานเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน อาทิ การติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลม จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ถึง ร้อยละ 14 ของการใช้ไฟฟ้าสำหรับผลิตถาดโฟม ผลจาก LCA สามารถนำไปสู่ทางเลือกอื่น ๆ เพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั่วโลกได้ รวมถึงก่อให้เกิดระบบบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

ปี ค.ศ. 2020 Gautam และคณะ [50] ทำการประเมินวัฏจักรตลอดชีวิตของกาบใบปาล์ม (Areca catechu) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้และสามารถพบได้ทั่วไปในประเทศอินเดียตอนใต้ เพื่อมาทดแทนบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งที่ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมาก แม้ว่าพลาสติกยังได้เปรียบกว่าตัวเลือกทางชีวภาพต่าง ๆ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ทางชีวภาพเหล่านี้ ยังไม่พร้อมใช้งานหรืออยู่ระหว่างการพัฒนา แต่ก็แสดงให้เห็นว่า มีโอกาสที่จะพัฒนาให้เป็นทางเลือกที่ยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมได้ โดยนำเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) มาใช้ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกล่อง ชาม และจานที่ผลิตจากกาบใบปาล์ม โดยรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากบริษัทในประเทศอินเดีย ร่วมกับฐานข้อมูล ecoinvent v2.1 และซอฟต์แวร์ Simapro 7.3 ที่ใช้ในการจำลองรายการวัฏจักรชีวิต จากผลการวิจัย พบว่า ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและขั้นตอนที่ใช้พลังงานมากที่สุด ได้แก่ การขนส่ง และการผลิตไฟฟ้า โดยกล่อง จาน และชาม มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 1,180 1,033 และ 1,090 กก. CO_2 เทียบเท่า/ตัน ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างส่วนใหญ่มาจาก ความผันแปรในกระบวนการผลิต ทั้งรูปแบบของผลิตภัณฑ์และปริมาณของวัตถุดิบ อย่างไรก็ตาม ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เหล่านี้ ยังต่ำกว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของถาดที่ทำมาจากพลาสติกชีวภาพ (Polylactic acid: PLA) และจากพอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) ซึ่งมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 4,826 และ 5,110 กก. CO_2 เทียบเท่า/ตัน ตามลำดับ แสดงว่าจานใบไม้ที่ทำจากกาบใบปาล์มส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าจานพลาสติก ทำให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเศษวัสดุธรรมชาติมีประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมที่ดี และหากปรับเปลี่ยนการขนส่งมาใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียน เช่น ก๊าซชีวภาพ ที่ได้จากการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนของเศษวัสดุทางการเกษตร หรือการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวล น่าจะเป็นทางเลือกที่ดี

ปี ค.ศ. 2021 Boutros และคณะ [51] ทำการประเมินเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของบรรจุ-ภัณฑ์ 2 ชนิด ระหว่างบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มอัดลมพลาสติก (Polyethylene terephthalate: PET) กับแก้ว (Glass) กรณีศึกษาของชาวเลบานอน ตลอดจนการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้

งาน (End-of-life phase) โดยจุดมุ่งหมายของการศึกษานี้ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต (Cradle to grave) ของบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ดังกล่าว โดยใช้เครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) เพื่อแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากบรรจุภัณฑ์ที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง และถูกนำไปกำจัดในระบบการจัดการขยะโดยวิธีต่าง ๆ เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมอื่น ๆ รวมถึงอุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดลม มีการพึ่งพาพลังงานจากน้ำมันดิบ (Fossil fuels) และการใช้ทรัพยากรมากเกินไป อีกทั้งยังปล่อยของเสีย ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้ เน้นการให้ข้อมูลเบื้องต้นแบบละเอียด ควบคู่ไปกับการตรวจสอบประเด็นปัญหาการขาดแคลนน้ำสำหรับบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิด โดยวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) หลายอย่างและความสำคัญของสถานการณ์การสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้คือ ecoinvent ปี ค.ศ. 2019 และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจำลองรายการวงจรชีวิตคือ SimaPro โดยใช้วิธี IMPACT2002+ ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ยกเว้นการขาดแคลนน้ำ ซึ่งจะใช้วิธีการประเมินการใช้น้ำในการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต (Water use in life cycle assessment: WULCA) จากผลการศึกษา พบว่า เมื่อพิจารณาการปล่อยของเสียระหว่างขวด PET ขนาด 500 มิลลิลิตร และขวดแก้วที่ส่งคืนได้ ขนาด 250 มิลลิลิตร ขวด PET ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าขวดแก้ว อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาในส่วนของการวิเคราะห์ความอ่อนไหว โดยเพิ่มการเผาไหม้ในที่โล่ง (Open burning) เข้าไป ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ที่เปลี่ยนไป นั่นคือ ขวดแก้วที่ส่งคืนได้ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า ดังนั้น ผลจากการใช้เครื่องมือ (LCA) ในงานวิจัยนี้ ทำให้สาธารณชนทั่วไปเห็นและตระหนักถึงความสำคัญของการออกแบบและกำหนดนโยบายการจัดการขยะอย่างเหมาะสม และควรส่งเสริมการใช้เครื่องมือนี้ในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สำหรับประเทศกำลังพัฒนา เพื่อหาวิธีลดผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสำหรับกรณีศึกษานี้ มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) ของขวด PET ประมาณ 6.58×10^{-2} m3world eq และขวดแก้ว ประมาณ 0.496 m3world eq

ปี ค.ศ. 2021 Korbelyiova และคณะ [52] ทำการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) ของจานแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single-use plates) ที่ทำมาจากวัสดุหมุนเวียน 2 ชนิด ได้แก่ กระดาษกับใบไม้ เนื่องด้วยทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจากพลาสติก โดยเฉพาะขยะพลาสติกในทะเล ที่มีมากกว่าร้อยละ 80 โดยร้อยละ 70 มาจากสิ่งของที่ใช้แล้วทิ้ง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนพลาสติกแบบใช้แล้วทิ้งมาเป็นวัสดุหมุนเวียนแทน โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อประเมินศักยภาพของภาวะโลกร้อนของผลิตภัณฑ์ทางเลือกชีวภาพที่มีความแตกต่างกัน 2 แบบ คือ จานใบไม้ที่ผลิตในประเทศอินเดีย และจานกระดาษที่ผลิตในประเทศฟินแลนด์ ซึ่งทั้งคู่ถูกใช้งานและถูกกำจัดซากในประเทศสวีเดน โดยใช้เครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

(LCA) เพื่อวิเคราะห์กระบวนการที่มีศักยภาพในการปรับปรุง และกระบวนการใดที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุด รวมถึงประเมินการปรับปรุงที่เป็นไปได้ เพื่อลดผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 แบบ จากผลการศึกษา พบว่า จานใบไม้มีคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงกว่า เนื่องจากการขนส่งทางไกลและการใช้ไฟฟ้าจากน้ำมันเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต ดังนั้น ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า จานใบไม้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHG) มากกว่าจานกระดาษต่อหน่วยหน้าที่ ประมาณ 4 เท่า โดยเฉพาะกระบวนการขนส่ง อย่างไรก็ตาม หากปรับเปลี่ยนการขนส่งทางอากาศมาเป็นการขนส่งทางทะเล ทำให้ปล่อยมลพิษที่เกี่ยวข้องกับจานใบไม้ลดลงได้ และจะประหยัดมากขึ้นหากเพิ่มปริมาณการผลิต สำหรับจานกระดาษนั้น หากใช้การเคลือบด้วยพลาสติกชีวภาพ PLA และบรรจุในพลาสติกที่มี PLA ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จะทำให้เกิดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการกำจัดซากด้วยวิธีการเผาลดลงได้ ทั้งนี้ การตรวจสอบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวัสดุทดแทนตลอดวัฏจักรชีวิตเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อสนับสนุนการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม

ปี ค.ศ. 2021 Sharma และ Chandel [53] ทำการศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิตของสถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยในเขตเมืองมุมไบ ประเทศอินเดีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณและเปรียบเทียบต้นทุนของระบบการจัดการขยะมูลฝอย (Municipal solid waste: MSW) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิต (Life cycle cost analysis: LCC) ของสถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยแบบบูรณาการ ใน 6 กรณี สำหรับเมืองมุมไบ ประเทศอินเดีย ซึ่งสร้างขยะขยะมูลฝอยมากกว่า 9,000 เมตริกตันต่อวัน และส่วนใหญ่ถูกกำจัดโดยการทิ้งขยะแบบเทกอง (Open dumps) ดังนั้น จากการศึกษา พบว่า สถานการณ์ต่าง ๆ ได้แก่ การนำกลับมาใช้ใหม่ การทำปุ๋ยหมัก การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน การเผาเพื่อไปผลิตกระแสไฟฟ้า และการฝังกลบเพื่อนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ใหม่ เพื่อทำการวิเคราะห์ LCC ของสถานการณ์จำลอง ด้วยมูลค่าปัจจุบัน (Present value) ซึ่ง ณ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนการดำเนินงานและการบำรุงรักษา และรายได้ที่สร้างขึ้นนั้น ประมาณการโดยใช้อัตราคิดลดที่ร้อยละ 11.25 สำหรับช่วงอายุ 20 ปี ผลการศึกษา แสดงผลลัพธ์ให้เห็นว่าสถานการณ์จำลองตามการเผาขยะเป็นตัวเลือกที่เน้นต้นทุนมากที่สุด โดยมีค่า LCC สุทธิอยู่ที่ 38 ดอลลาร์สหรัฐ (US Dollar) ต่อตันของขยะมูลฝอย เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนสูงในกรณีการเผา ในขณะที่สถานการณ์สมมติการนำกลับมาใช้ใหม่ และการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะเป็นทางเลือกที่ประหยัดที่สุด ด้วยค่า LCC สุทธิอยู่ที่ 19 ดอลลาร์สหรัฐ (US Dollar) ต่อตันของขยะมูลฝอย เนื่องจากต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์ความอ่อนไหว แสดงให้เห็นว่าต้นทุนการดำเนินงานและการบำรุงรักษา เป็นพารามิเตอร์ที่ละเอียดอ่อนที่สุด และการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนดำเนินงานและการบำรุงรักษา ร้อยละ ±10 และร้อยละ ±20 ดังนั้น LCC สุทธิของสถานการณ์จะเปลี่ยนแปลงในช่วงร้อยละ 14–33 และร้อยละ 29–65 ตามลำดับ จากกรณีศึกษานี้

การเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของสถานการณ์การบำบัดขยะมูลฝอยจากมุมมองของวงจรชีวิต ทำให้เกิดการตัดสินใจปรับปรุงการประเมินต้นทุนและการวางแผนกลยุทธ์การจัดการของเสียในประเทศอินเดีย

ปี พ.ศ. 2559 ชณิภรณ์ เรืองฤทธิ์ [54] ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) กรณีศึกษา ถุงพลาสติกสำหรับอาหาร ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหาร และถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง หน่วยหน้าที่ (Functional unit) คือ บรรจุภัณฑ์ 1 ถุง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 8.2 โดยใช้วิธี IMPACT2002+ และกำหนดขอบเขตการวิจัยแบบ (Cradle to grave) พิจารณาตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ซึ่งการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ทำการเปรียบเทียบ 2 แบบ คือ การฝังกลบ (Landfilling) และการเผาทำลาย (Burning) ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่าถุงซิปล็อค (Zip-lock bag) สำหรับอาหาร และถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง มีผลกระทบสูงสุด 5 อันดับแรกที่เหมือนกัน ทั้งกรณีการฝังกลบและการเผาทำลาย ได้แก่ 1) ผลกระทบด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป 2) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง 3) ผลกระทบด้านระบบทางเดินหายใจที่มาจากสารอนินทรีย์ 4) ผลกระทบด้านการทำให้โลกร้อน และ 5) ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดสารที่ไม่ก่อมะเร็ง ตามลำดับ ซึ่งผลกระทบในด้านการใช้พลังงานใช้แล้วหมดไป เกิดจากเม็ดพลาสติก LDPE และ LLDPE เป็นหลัก ซึ่งผลกระทบเกิดขึ้นตั้งแต่การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) การผลิต เอทิลีน (Ethane) และการผลิตเม็ดพลาสติก นอกจากนี้ ผลจากการประเมิน (LCA) เปรียบเทียบระหว่างการฝังกลบและการเผาทำลาย พบว่า การเผาทำลายมีศักยภาพทำให้เกิดโลกร้อนมากกว่าการฝังกลบ ดังนั้น สรุปได้ว่า การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีผลกระทบต่ำ หรือการใช้วัตถุดิบจากทรัพยากรทดแทน รวมถึงเลือกวิธีการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม สามารถนำมาเป็นทางเลือกของผลิตภัณฑ์ถุงซิปล็อคสำหรับอาหารและถุงบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่แข็ง เพื่อช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้

ปี พ.ศ. 2561 ชุติมณฑน์ เจริญกิจจาธร [55] ทำการศึกษาเกษตรอินทรีย์และทฤษฎีต้นทุนวงจรชีวิต (Life Cycle Costing: LCC) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาต้นทุนวงจรชีวิต (LCC) ของธุรกิจเกษตรอินทรีย์ในจังหวัดนครพนม เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนสุทธิของสินค้าเกษตรอินทรีย์ เนื่องจากประเทศไทยเริ่มหันมาใส่ใจด้านสุขภาพ และภาครัฐเล็งเห็นความสำคัญของธุรกิจออร์แกนิค จึงมีแผนยุทธศาตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์ ซึ่งประชาชนส่วนใหญ่อาจมองว่าสินค้าออร์แกนิคมีต้นทุนที่สูงกว่าสินค้าอื่น ๆ เนื่องจากต้องทำให้ได้ตามมาตรฐานที่หน่วยงานรับรอง จากการศึกษา พบว่า เมื่อพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้น จนเปลี่ยนมาเป็นเกษตรอินทรีย์ และได้รับมาตรฐาน

ตามเงื่อนไขของการเป็นสินค้าเกษตรอินทรีย์ ต้องใช้ระยะเวลามากกว่า 3 ปี เพื่อให้สามารถมองเห็นความสามารถที่แท้จริงของกิจการได้อย่างเหมาะสมมากกว่าการวิเคราะห์เพียงรายปี งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ อาศัยแหล่งข้อมูลปฐมภูมิจากการสัมภาษณ์ผู้นำกลุ่มเกษตรกร ผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า เกษตรอินทรีย์นั้นจะมีการลงทุนเริ่มแรกที่สูง แต่ในระยะยาวค่าใช้จ่ายจะต่ำกว่าเกษตรแบบดั้งเดิม และได้ผลตอบแทนที่สูงกว่าเกษตรแบบดั้งเดิมอีกด้วย นอกจากนี้ ยังสามารถช่วยส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาสนใจทำเกษตรอินทรีย์มากขึ้น

2.5.2 การผลิตภาชนะสำหรับบรรจุอาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ปี ค.ศ. 2006 Cinelli และคณะ [56] ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์โฟมที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ แป้งมันฝรั่ง เส้นใยข้าวโพด และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol: PVA) เพื่อทดแทนโฟมที่ทำจากพอลิสไตรีน ซึ่งยากต่อการกำจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวขึ้นรูปด้วยกระบวนการอบในแม่พิมพ์ จากผลการศึกษา พบว่า เมื่อทำการเพิ่มเส้นใยข้าวโพดในส่วนผสม สามารถช่วยเพิ่มความหนาแน่นของโฟมได้ แต่ไม่สามารถช่วยเสริมแรงของโครงสร้างถาดโฟม และหากเพิ่มเส้นใยข้าวโพดในปริมาณมาก จะทำให้ใช้เวลาในการอบเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ ถ้าเพิ่ม PVA เข้าไป จะทำให้มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น และสามารถรับแรงดัดของถาดโฟมเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังสามารถต้านทานการดูดซับน้ำของถาดโฟมได้ดีขึ้น

ปี ค.ศ. 2020 de Carvalho และคณะ [57] ทำการศึกษากลยุทธ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารแอคทีฟ: การทบทวนคุณสมบัติเชิงรุกของวัสดุนาโนที่มีกราฟีน (Graphene) เป็นพื้นฐานและพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างเป็นระบบ เนื่องจากเกิดจุลินทรีย์ที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะและกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) นับเป็นความท้าทายของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร เพราะสิ่งเหล่านี้อาจเป็นอุปสรรคต่อเทคโนโลยีการถนอมอาหารอย่างผสมผสาน (Hurdle technology) ดังนั้น บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active packaging) จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยควบคุมจุลินทรีย์ คุณภาพ และความปลอดภัยของบรรจุภัณฑ์ โดยมีจุดมุ่งหมาย เพื่อนำเสนอกลยุทธ์โดยใช้นาโนคาร์บอน (Nanocarbon) และโพลีเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradables polymers) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติหลักและเพิ่มฟังก์ชันการทำงานใหม่สำหรับวัสดุบรรจุภัณฑ์ จากการค้นหาอย่างละเอียดบน 4 ฐานข้อมูล ในช่วงเวลา 5 ปีที่ผ่านมา ได้รวบรวมบทความทั้งหมด 23 บทความ โดยเน้นบทความที่เกี่ยวข้องกับสารที่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพและสารต้านอนุมูลอิสระ เชื้อโรค และกลไก จากผลการศึกษา พบว่า ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes) กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide) โพลีแลคไทด์ (Polylactide) และไคโตซาน (Chitosan) เป็นวัสดุหลักทำให้บรรจุภัณฑ์มีคุณสมบัติในการต้านจุลชีพและสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น อีกทั้ง ยังพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นแนวทางเลือก ซึ่งโพลีเมอร์ทั้งสองจากชีวมวลและนาโนคาร์บอน สามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และสารต้านอนุมูลอิสระได้ ดังนั้น รูปแบบการ

ดำเนินงานหลักสำหรับการควบคุมแบคทีเรียและเชื้อรา คือการหยุดชะงักของเมมเบรนและความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน แม้ว่าจะมีศักยภาพที่ดีในการต่อต้านเชื้อโรคอื่น ๆ แต่เมื่อพิจารณาถึงฤทธิ์ต้านไวรัสของนาโนคอมโพสิต อาจเป็นไปได้ว่า หนึ่งในทางเลือกที่สำคัญในการรักษาสุขภาพของผู้บริโภค คือการแทนที่สารต้านจุลชีพแบบธรรมดาด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากแหล่งธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี เนื่องจากได้รับการพิสูจน์แล้ว ว่าสามารถสนับสนุนการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันและการเติบโตของจุลินทรีย์หลายชนิดที่เสริมฤทธิ์กัน

ปี ค.ศ. 2022 Andrade และคณะ [58] ทำการศึกษาการพัฒนาวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารที่ยั่งยืนโดยอาศัยพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และเสริมด้วยเซลลูโลสนาโนคริสตัล เนื่องจากวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกโพลีเมอร์ที่ได้จากปิโตรเลียมทั่วไป มักใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ ยังใช้ผลิตพลาสติก โลหะ แก้ว กระดาษ ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งทำให้ไม่สามารถย่อยสลายและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ได้ แม้ว่าจะมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น น้ำหนักเบา การต้านทานน้ำ ป้องกันการถ่ายโอนของเหลวและก๊าซ อันเป็นลักษณะทางกลที่ดี อีกทั้งยังคงรักษาความปลอดภัยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ตั้งแต่การแปรรูปและการผลิต ไปจนถึงการใช้งานของผู้บริโภค ทำให้มีการผลิตและการบริโภคบรรจุภัณฑ์อาหารมีปริมาณมากขึ้น จึงส่งผลต่อการกำจัดของเสียจากบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น ทำลายระบบนิเวศและน้ำอย่างรุนแรง รวมถึงสุขภาพมนุษย์และสัตว์ ดังนั้น จึงเกิดการผลักดันความสนใจไปที่การพัฒนาวัตถุดิบทางเลือกจากทรัพยากรหมุนเวียนเพื่อทดแทนด้วยบรรจุภัณฑ์แบบยั่งยืน และช่วยลดปริมาณขยะพลาสติก จากการศึกษา พบว่า ฟิล์มไบโอนาโนคอมโพสิต ที่ประกอบด้วย PBAT/PLA Blend และเซลลูโลสนาโนคริสตัล (Cellulose nanocrystals: CNCs) ที่สกัดจากของเสียการเกษตร (Agro-waste) โดยการกำหนดลักษณะของ CNCs ยืนยันว่า นาโนคริสตัลส่งผลให้ฟิล์มคอมโพสิตชีวภาพแสดงลักษณะไม่ชอบน้ำและมีความเสถียรทางความร้อนได้ดีกว่าฟิล์มผสม นอกจากนี้ ค่าความต้านทานแรงดึง การยืดตัวเมื่อขาด และ Young's Modulus อยู่ที่ประมาณร้อยละ 52 ร้อยละ 29 และร้อยละ 118 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าฟิล์มผสม ซึ่งค่าทางกลเหล่านี้ เมื่อเทียบกับค่าของวัสดุพลาสติกเชิงพาณิชย์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในบรรจุภัณฑ์อาหารแล้ว สรุปได้ว่า ฟิล์มไบโอนาโนคอมโพสิต อาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารแบบยั่งยืน

ปี พ.ศ. 2542 ประนอม ตั้งมั่นคง [59] ทำการศึกษาการผลิตถาดที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเสริมด้วยเส้นใยที่สกัดจากเปลือกโกโก้ เปลือกลูกตาล และใบสับปะรด โดยวิธีการผสมเส้นใยดังกล่าวแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified starch) คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose: CMC) และน้ำเข้าด้วยกัน จากนั้นนำไปขึ้นรูปบนแม่พิมพ์ ผลการศึกษา พบว่า ถาดที่เสริมด้วยเส้นใยเปลือกโกโก้มีความแข็งแรง ค่าการต้านแรงดัดโค้ง ค่าการต้านแรงกด รวมถึงค่าการต้านแรงดันทะลุ ต่ำกว่าถาดที่เสริมด้วยเส้นใยเปลือกลูกตาลและเส้นใยสับปะรด แต่มีค่าการดูดซึมน้ำสูง

ในขณะเดียวกัน ถาดเสริมด้วยเส้นใยเปลือกลูกตาลมีความแข็งแรงมากที่สุด และมีค่าการต้านแรงดัดโค้ง ค่าการต้านแรงกด และค่าการต้านแรงดันทะลุสูงที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใย หากนำถาดที่ผลิตได้ไปเคลือบผิวด้วยสารละลาย PARATEX-NS6 จำนวน 1, 2 และ 3 ครั้ง สำหรับชันสนและไคโตแซนชนิดละลายน้ำจะผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ ในจำนวนร้อยละ 1, 3 และ 5 ของน้ำหนักแป้ง ส่งผลให้ถาดที่ผลิตได้มีผิวเรียบและสีเหลือง เมื่อนำไปวัดค่าการต้านแรงดัดโค้ง ค่าการต้านแรงกด ค่าการต้านแรงดันทะลุและค่าการดูดซึมน้ำ พบว่า ถาดที่ผลิตจากเส้นใยเปลือกลูกตาลและผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลาย PARATEX-NS6 จำนวน 3 ครั้ง เป็นถาดที่มีความแข็งแรงมากที่สุด มีค่าการต้านแรงดัดโค้ง ค่าการต้านแรงกด และค่าการต้านแรงดันทะลุ เท่ากับ 6.098, 7.141 และ 3.499 นิวตัน/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำเมื่อเทียบกับถาดอื่น ๆ ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 0.019 กรัม/ตารางเซนติเมตร อย่างไรก็ตาม เมื่อนำถาดที่ผลิตได้ไปบรรจุผลชมพู่ที่ผ่านการตัดแต่งและหุ้มฟิล์มพีวีซีและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าเมื่ออายุการเก็บนานขึ้น ทั้งถาดและผลชมพู่มีการเปลี่ยนแปลงในทางเสื่อมลง ทำให้ผลชมพู่มีน้ำหนักลดลงและมีผิวแห้งเป็นสีน้ำตาล ในขณะเดียวกัน ถาดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นและนิ่มจนเสียรูปทรง เพราะดูดซับน้ำจากผลชมพู่ไว้

ปี พ.ศ. 2554 มลสุดา ลิวไธสง [60] ทำการศึกษาการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหาผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารจากวัสดุธรรมชาติมาทดแทนผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากปิโตรเลียม ซึ่งการศึกษาเชิงทดลองนี้ เลือกกาบกล้วยเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเส้นใย เนื่องจากเป็นพืชที่หาได้ง่ายตามท้องถิ่น และใช้ตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังด้วยอัตราส่วนระหว่าง เส้นใยกล้วยต่อตัวประสาน เท่ากับ 66.67 : 33.33, 75 : 25 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก กำหนดเส้นใยให้มี 3 ขนาด คือ 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการผลิตภาชนะ จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 500 psi ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป 15 นาที ดังนั้น หลังจากได้ชิ้นงานแล้วนำไปศึกษาอิทธิพลของความยาวเส้นใยที่ต่อคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของภาชนะประกอบด้วย การทดสอบการต้านแรงดัดโค้ง การต้านแรงดึง การต้านแรงกระแทก หาค่าความหนาแน่น ค่าการซึมน้ำ การทนความร้อน และการศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุ ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของเส้นใยมีผลกระทบต่อสมบัติทางกล คือ มีค่าสมบัติการต้านแรงดัดโค้งและมีค่าการต้านแรงดึงลดลง ในขณะที่สมบัติการต้านแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น หากมีการเพิ่มปริมาณ เส้นใย จะส่งผลให้มีความหนาแน่นและค่าซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่วนอิทธิพลด้านความยาวของเส้นใยนั้น พบว่า ถ้าเส้นใยมีความยาวมาก จะส่งผลทำให้สมบัติการต้านแรงดัดโค้ง การต้านแรงดึง การต้านแรงกระแทกและความหนาแน่นมีค่าที่เพิ่มขึ้น ส่วนการซึมน้ำมีค่าลดลง สรุปได้ว่า ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพดีที่สุด คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อตัวประสาน เท่ากับ 66.67 : 33.33 โดย

น้ำหนัก ส่วนความยาวเส้นใย เท่ากับ 10 มิลลิเมตร นอกจากนี้ จากการศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยาของวัสดุ พบว่า ถ้าชิ้นงานมีการผสมตัวประสานจะมีผิวหน้าเรียบ แต่จะมีรูพรุนเกิดขึ้นภายในมากกว่าชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสาน

ปี พ.ศ. 2560 สมร หิรัญประดิษฐกุล [26] ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติใบทองกวาวเพื่อใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อทดลองผลิตและทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของใบทองกวาว เนื่องจากในช่วงแรกได้นำใบไม้ชนิดอื่น ๆ มาทดลองขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ ผลปรากฏว่า บรรจุภัณฑ์มีรูปร่างไม่คงที่และไม่สามารถนำไปใช้บรรจุอาหารได้อย่างหลากหลาย ดังนั้น จึงนำใบทองกวาวที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในพื้นที่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก มาทดลอง เพื่อผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร ซึ่งข้อดีของใบทองกวาว คือ ใบมีขนาดใหญ่และมีตลอดทั้งปี จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาให้เป็นบรรจุภัณฑ์จากใบไม้ ประกอบกับ ใบทองกวาวมีสรรพคุณทางยา สามารถใช้รักษาโรคต่าง ๆ ได้แก่ รักษาอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ เป็นต้น จากผลการศึกษานี้ พบว่าใบทองกวาวสามารถอัดขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์จากใบไม้ที่นำไปใช้งานและทดแทนบรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากโฟมได้จริง อย่างไรก็ตาม งานศึกษานี้ยังต้องการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นไปอีกในหลาย ๆ ด้าน อาทิ ความสม่ำเสมอของบรรจุภัณฑ์ ความเร็วในการผลิต องค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังจากการขึ้นรูป รวมถึงความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เป็นต้น

2.5.3 การวิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ จากการนำบรรจุภัณฑ์มาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจส่งอาหาร

ปี ค.ศ. 2013 Ziegahn และ คณะ [61] ทำการวิเคราะห์ด้านบรรจุภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม ทำให้เห็นว่าการใช้บรรจุภัณฑ์นั้น ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นการจัดการของเสีย การบำบัดของเสีย และการใช้ทรัพยากร รวมไปถึงความพยายามจะประหยัดพลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์และประเมินวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ (LCA) ตลอดจนมุ่งหมายให้มีการหมุนเวียนใช้ทรัพยากรเหลือใช้ต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องและมีมาตรฐานแบบวงปิด (Closed loop material) ในขณะเดียวกันคณะกรรมการมาตรฐานยุโรป (CEN) ได้กำลังพัฒนาเกณฑ์มาตรฐานบรรจุภัณฑ์ ควรคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นด้านการวิเคราะห์วงจรชีวิต การนำวัสดุหรือการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงการย่อยสลายและการทำปุ๋ยหมัก เพื่อลดปริมาณวัสดุที่สะสมในขั้นตอนสุดท้าย ผลที่ได้จากการศึกษา พบว่า มาตรฐานนี้จะส่งผลต่อเทคโนโลยีการจัดจำหน่ายในอนาคต การพัฒนาวัสดุบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ซ้ำได้ รวมถึงการทดสอบบรรจุภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักบรรทุกในการขนส่ง

ปี ค.ศ. 2019 de la Caba และคณะ [62] ได้ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับโอกาสของการนำขยะจากอาหารทะเล ตลอดจนบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารทะเลไปสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) ซึ่งเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน ที่พิจารณาครอบคลุมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของ

ผลิตภัณฑ์ รวมถึงความท้าทายทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการด้านสภาพอากาศ สิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพทรัพยากร และวัตถุดิบ โดยในการศึกษานี้ ประเมินมูลค่าของการนำขยะอินทรีย์ที่มีอยู่มากมายและมีศักยภาพสูงมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการปิดวงจรระหว่างของเสียและการบริโภค สอดคล้องกับเป้าหมายหลักของเศรษฐกิจหมุนเวียน แม้ว่าในช่วงหลายปีที่ผ่านมา พบว่า งานวิจัยจำนวนมากที่ตีพิมพ์จะเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์อาหารรูปแบบใหม่ ส่วนใหญ่จะเน้นที่องค์ประกอบทางวิทยาศาสตร์ของบรรจุภัณฑ์ และบางส่วนจะเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตบรรจุภัณฑ์ ในขณะที่การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจจากกระบวนการนำบรรจุภัณฑ์อาหารแบบใหม่ออกสู่ตลาด ยังมีจำนวนที่น้อยมาก ดังนั้น การทบทวนวรรณกรรมนี้ช่วย อุดช่องว่างดังกล่าว โดยพิจารณาศักยภาพของการพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารจากการแปรรูปขยะ ที่ตระหนักถึงคุณภาพอาหารที่ผู้บริโภคต้องการ และการดูแลสิ่งแวดล้อมที่เป็นความต้องการของสังคม

ปี ค.ศ. 2021 Nayak และคณะ [63] ทำการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพของผู้เชี่ยวชาญและนักวิจัยที่ทำงานด้านวัสดุที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการวิเคราะห์ว่า วัสดุเหล่านั้นสามารถทดแทนวัสดุพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่ย่อยสลายได้ในบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งในปัจจุบันจะเห็นว่า ทุกภาคส่วน รวมถึงผู้บริโภค ให้ความสนใจอย่างมากต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และกำลังผลิตผลิตภัณฑ์ทดแทนแบบใหม่ เพื่อมาทดแทนการใช้วัสดุสังเคราะห์ รวมถึงการจัดการกับขยะทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์ที่มีคุณค่าไปพร้อม ๆ กัน ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากเส้นใยพืชมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ แหล่งที่มา การทดแทนได้ น้ำหนักเบา ความคุ้มค่า และค่าใช้จ่ายในการแปรรูปที่ลดลง อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญที่สุด คือ เส้นใยธรรมชาติที่มีอยู่หลากหลายนั้น สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติอย่างรวดเร็ว เช่น เส้นใยจากกาบหมากมีศักยภาพต่อการนำไปใช้โดยตรง หรือเป็นวัสดุคอมโพสิทที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยกาบหมาก นำไปสู่การพัฒนาวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จากการศึกษานี้ จะเห็นถึงโครงร่างของการเติบโต การใช้งาน การตลาด ขั้นตอนการผลิต และขอบเขตในอนาคตของจาน ชามที่ทำจากกาบหมาก

ปี ค.ศ. 2022 Zhang และคณะ [64] ทำการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมขยะจากธุรกิจส่งอาหารในเมืองหวู่ฮั่น (Wuhan) ประเทศจีน ซึ่งเป็นผลมาจากพฤติกรรมการบริโภคอาหาร ในสถานการณ์ที่ต้องใช้ชีวิตเร่งรีบ ชอบความสะดวกสบายของคนยุคสมัยใหม่ในเมืองใหญ่ของจีน ส่งผลให้ธุรกิจส่งอาหารกลายเป็นส่วนสำคัญในชีวิตประจำวัน จนก่อให้เกิดขยะจากการจัดส่งอาหาร (Food Delivery Waste: FDW) จำนวนมาก และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในการศึกษานี้ ใช้เครื่องชั่งดิจิทัล (Electronic balance) เพื่อชั่งน้ำหนักขยะจากการจัดส่งอาหารโดยตรง จากกลุ่มตัวอย่าง 810 คน และแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่าง 889 ชุด โดยมีวัตถุประสงค์

เพื่อแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากธุรกิจส่งอาหาร (Food Delivery Service: FDS) เนื่องจากยังมีจำนวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอยู่จำกัด เพราะส่วนใหญ่มุ่งเน้นของเสียที่มาจากครัวเรือนและร้านอาหารทั่วไปเป็นหลัก ดังนั้น งานศึกษานี้จึงมุ่งหวังแก้ไขช่องว่างดังกล่าว โดยเลือกเมืองหวู่ฮั่นที่ถือเป็นเมืองชั้นนำในภาคกลางของจีน จากผลการศึกษา พบว่า ในปี ค.ศ. 2019 ปริมาณขยะจากการจัดส่งอาหารทั้งหมดของหวู่ฮั่นเพิ่มขึ้นเป็น 177.6 (± 52.9) กิโลตัน ซึ่งส่วนใหญ่มาจากพนักงานออฟฟิศ คิดเป็นร้อยละ 58 ของปริมาณขยะจากการจัดส่งอาหารทั้งหมด และปริมาณขยะจากการจัดส่งอาหารของแต่ละกลุ่มผู้บริโภค ได้แก่ ประชาชนทั่วไป นักศึกษา และพนักงานในออฟฟิศ มีค่าเท่ากับ 154 ± 69 187 ± 97 และ 249 ± 124 กรัม/คน/คำสั่งซื้อ ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทั้งหมดของเมืองหวู่ฮั่น อยู่ที่ประมาณ 168.3 kt CO_2 eq ดังนั้น หากสามารถนำเทคโนโลยีการเปลี่ยนขยะไปเป็นพลังงานได้ตามแผนที่วางไว้ จะสามารถลดปริมาณขยะจากการจัดส่งอาหารได้ถึง ร้อยละ 55 อีกทั้ง ยังส่งเสริมความตระหนักรู้และส่งเสริมความประหยัดโดยการกำหนดราคาเพื่อลดการซื้ออาหารที่ไม่สมเหตุสมผล และลดการใช้บรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ ทำการประเมินผลกระทบ ทั้งทางสิ่งแวดล้อมและทางเศรษฐศาสตร์ ตลอดวัฏ-จักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยหลักการที่เรียกว่า การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle approach) เพื่อประเมินศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential) และวิเคราะห์ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว โดยวิธีที่เรียกว่า การประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) และการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Costing: LCC) ตามลำดับ และเพื่อนำผลที่ได้จากการประเมินและวิเคราะห์ไปจัดทำข้อเสนอแนะ แนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมและแนวทางในการลดต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว สู่ความยั่งยืนในภาคอุตสาหกรรม

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน ทั้งเชิงสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ ตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ที่ดำเนินการผลิตในจังหวัดพิษณุโลก และเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมและแนวทางในการลดต้นทุน ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว (ดังแสดงในภาพ 11)

ภาพ 11 บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ขนาดบรรจุ 400 มิลลิลิตร

3.2 เครื่องมือและการพัฒนาเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment) ซึ่งในที่นี้ เรียกชื่อย่อว่า LCA ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition) การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory analysis) การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle impact assessment) และ การแปลผลและประเมินเพื่อปรับปรุง (Interpretation of the results) โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

เป้าหมายของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว คือ เพื่อประเมินให้ทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission) ที่เกิดขึ้น และทรัพยากรน้ำที่ใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ภายในขอบเขตระบบ (System boundary) เพื่อให้ทราบถึงข้อดี-ข้อจำกัดทางด้านสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาว และสามารถจัดทำข้อเสนอแนะแนวทางในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาว ทั้งนี้ ขอบเขตระบบ (System boundary) ของบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาว ของงานวิจัยนี้ เป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแบบ Cradle to grave นั่นคือ พิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การนำไปใช้ จนถึงการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน (End-of-life phase: EOL phase) ประกอบด้วย 5 กระบวนการหลัก ได้แก่ (1) กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ โดยการเก็บเกี่ยวใบทองกวาว ในการศึกษานี้ พิจารณาการเก็บเกี่ยวในพื้นที่ขนาด 1 ไร่ โดยระยะการปลูกต้นทองกวาวห่างกันประมาณ 3×3 เมตร สามารถปลูกต้นทองกวาวได้ประมาณ 178 ต้น สามารถเก็บเกี่ยวใบทองกวาวได้ เฉลี่ยประมาณ 300-500 ใบต่อครั้งต่อต้น (2) กระบวนการขนส่ง แบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงการขนส่งใบทองกวาว จากพื้นที่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ไปยังโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาวในพื้นที่อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก คิดเป็นระยะทางไป-กลับ 50 กิโลเมตร และช่วงการขนส่งบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาวจากอำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ไปยังผู้ประกอบการในจังหวัดชลบุรี ที่มีความสนใจผลิตภัณฑ์หรือบรรจุภัณฑ์รักษ์โลก เพื่อนำมาทดแทนผลิตภัณฑ์พลาสติกที่กำลังมีปัญหาด้านการกำจัด คิดเป็นระยะทาง ประมาณ 453 กิโลเมตร โดยในการศึกษานี้ ยกเว้นการขนส่งบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาวที่ใช้แล้ว (ขยะ) เนื่องจากพิจารณาว่ามีปริมาณน้อยมาก (Negligible) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณขยะอื่น ๆ ที่ขนส่งไปในรถขนส่งขยะคันเดียวกัน (3) กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาว ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการทำความสะอาด ขั้นตอนการขึ้นรูปและตัดแต่ง และขั้นตอนการบรรจุหีบห่อ (4) กระบวนการใช้งานบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาว แบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง และ (5) กระบวนการกำจัด โดยวิธีการฝังในหลุม

ฝังกลบ (Landfill) รายละเอียดของขอบเขตระบบ (System boundary) ของงานวิจัยนี้ (ดังแสดงในภาพ 12)

วัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ประกอบด้วย 6 กระบวนการ ซึ่งแต่ละกระบวนการมีรายละเอียด ดังนี้

1) กระบวนการที่ 1 การปลูกต้นทองกวาว (พิจารณา 5 ปี หลังจากการปลูก)

กระบวนการนี้ เป็นส่วนสำคัญของการได้มาซึ่งวัตถุดิบของวัฏจักรบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว ในการศึกษานี้ พิจารณาจากต้นทองกวาวที่มีอายุ 5 ปีขึ้นไป เพื่อคำนวณหาการดูดกลับและกักเก็บคาร์บอนในกระบวนการปลูกต้นทองกวาว ในพื้นที่ 1 ไร่ ซึ่งปลูกห่างกันประมาณ 3×3 เมตร [65] (ดังแสดงในตารางภาคผนวก ข) โดยเลือกเก็บเฉพาะใบตรงกลางระหว่าง 2 ใบ มีขนาดกว้าง 23-25 เซนติเมตร (ดังแสดงในภาพ 13) สามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี โดยจะเก็บ 2 ครั้ง ต่อสัปดาห์ สามารถเก็บเกี่ยวใบทองกวาวได้ เฉลี่ยประมาณ 300-500 ใบต่อครั้งต่อต้น หรือประมาณ 64-79 ตันต่อปี (5,126,400 ใบต่อปี) ใบทองกวาวที่เลือกใช้ต้องมีความสมบูรณ์ ไม่เป็นโรค ไม่ขาดเป็นรู

2) กระบวนการที่ 2 การขนส่งใบทองกวาว

กระบวนการนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการได้มาซึ่งวัตถุดิบของวัฏจักรบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว นั่นคือ ใบทองกวาวที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในพื้นที่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณใบทองกวาวเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมากกว่าพื้นที่อื่นของจังหวัด สำหรับต้นทุนของกระบวนการนี้ ประกอบด้วย ค่าจ้างแรงงานในการเก็บใบทองกวาว โดยจ้างนิสิต นักศึกษา หรือชาวบ้านในชุมชน ราคา 5-10 บาทต่อ 1 กิโลกรัม และค่าขนส่งใบทองกวาว โดยรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 1 คัน ขนส่ง 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ จากพื้นที่อำเภอบางระกำ มายังภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร คิดเป็นระยะทางไป-กลับ 50 กิโลเมตร

3) กระบวนการที่ 3 การผลิตบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาว

กระบวนการการผลิตบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว ใช้เวลาการทำงานทั้งหมดประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่

3.1) การล้างทำความสะอาด

ก่อนการล้างทำความสะอาดใบทองกวาวที่เก็บมา จะมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของใบทองกวาวอีกครั้งหนึ่ง การล้างทำความสะอาดใบทองกวาว ล้างครั้งละ 300 ใบ ใช้น้ำประปา ประมาณ 240 ลิตร โดยใช้น้ำประปาดังกล่าวอีก 1 ครั้ง ก่อนปล่อยทิ้ง และล้างซ้ำวนไปอีก 2 ครั้ง คิดเป็น น้ำประปา ปริมาณ 720 ลิตร สำหรับการล้างใบทองกวาวที่เก็บและคัดเลือกมาได้ทั้งสิ้นจำนวน 300 ใบ

3.2) การผึ่งไล่ความชื้น

ใบทองกวาวที่ผ่านการล้างทำความสะอาด จะถูกนำไปผึ่งลม เป็นระยะเวลาประมาณ 3-5 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นก่อนนำไปเข้าสู่ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยความร้อน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ หากเข้าสู่ฤดูฝนจะต้องนำพัดลมมาช่วยไล่ความชื้น อย่างไรก็ตาม หากยังไม่นำใบทองกวาวที่ผ่านการล้างและไล่ความชื้นแล้วไปขึ้นรูปทันที สามารถเก็บรักษาใบทองกวาวไว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส ได้ เป็นระยะเวลา 15-20 วัน ขึ้นกับอายุของใบไม้ ในการศึกษานี้พิจารณาเฉพาะกรณีที่ใบทองกวาวที่ผ่านการล้างและไล่ความชื้นแล้ว ถูกนำไปเข้าขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยความร้อนทันที

3.3) การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ด้วยความร้อน (Heat pressing)

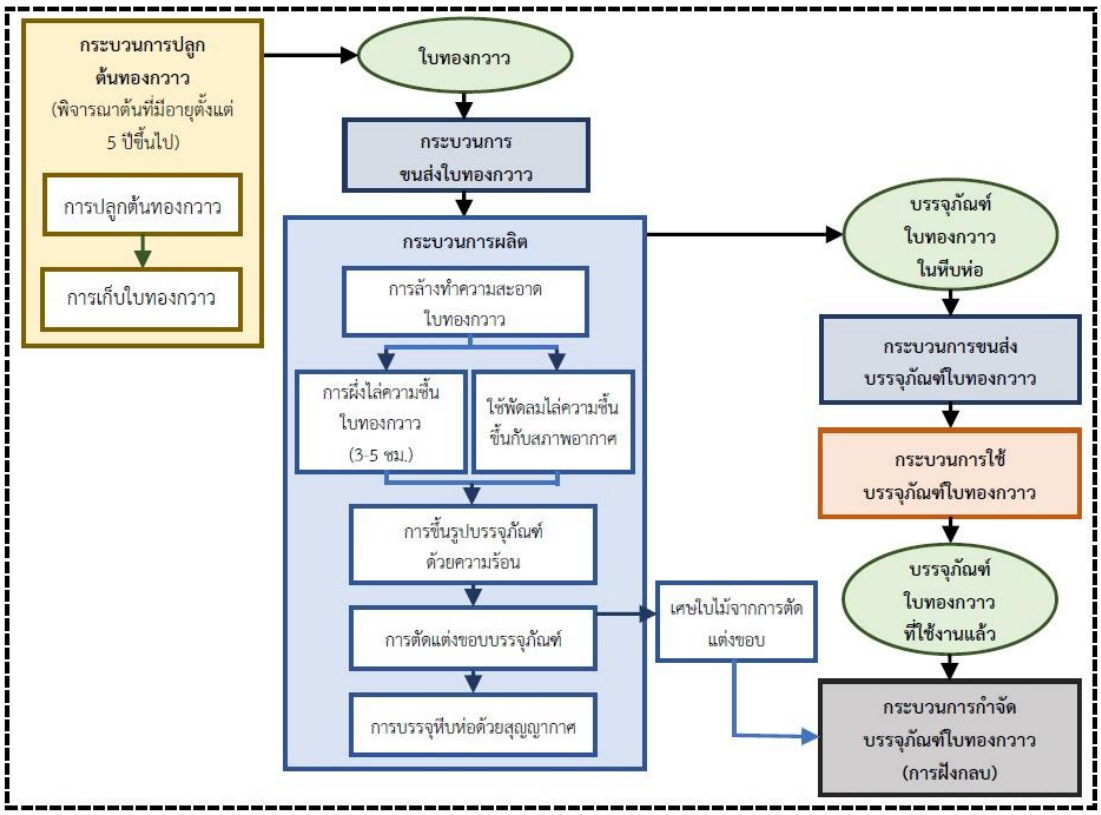
การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว 1 ชิ้น ใช้ใบทองกวาว จำนวน 2 ใบประกบกัน และใช้เครื่องขึ้นรูปจานใบไม้ระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic system) อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส กำลังไฟ 550 วัตต์ กำลังการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว เท่ากับ 20-30 ชิ้นต่อชั่วโมงต่อเครื่อง การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์หนึ่งชิ้น ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที ในการศึกษานี้พิจารณาการใช้ทรัพยากรสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว จำนวน 130 ชิ้น ซึ่งเป็นจำนวนบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวที่ผลิตได้ต่อรอบการผลิต (Batch) แต่ละชิ้นมีปริมาตร 400 มิลลิลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร

3.4) การตัดแต่งขอบบรรจุภัณฑ์ (Edge trimming)

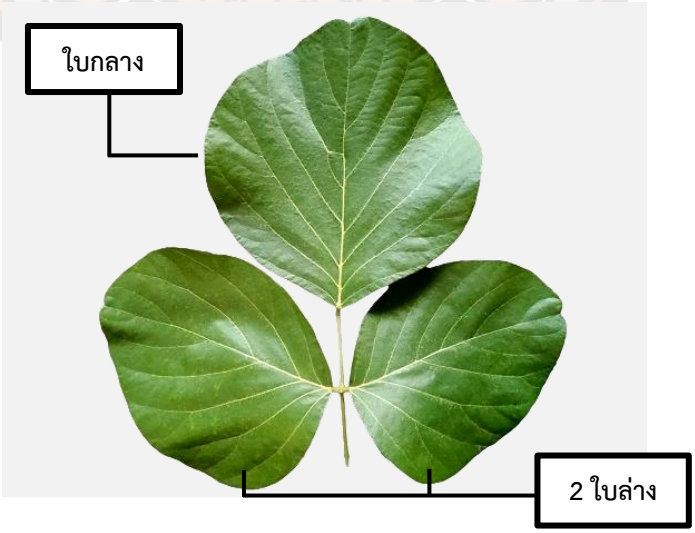
บรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาวที่ขึ้นรูปแต่ละใบ ถูกนำไปตัดแต่งขอบด้วยกรรไกรให้ได้รูปทรงและขนาดที่ต้องการ นั่นคือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 16 เซนติเมตร เศษใบทองกวาวจากการตัดแต่ง ถูกรวบรวมเพื่อนำไปกำจัดโดยการฝังกลบ (Landfilling) ร่วมกับขยะชุมชนอื่น ๆ ซึ่งเป็นการดำเนินการในปัจจุบัน

3.5) การบรรจุหีบห่อด้วยสุญญากาศ

ขั้นตอนนี้ เป็นการนำบรรจุภัณฑ์อาหารไปหุ้ม (Wrap) ในถุงสุญญากาศ (Vacuum bag) โดยการดูดเอาอากาศภายในถุงออกจนหมด และทำการปิดผนึกปากถุงให้สนิท ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยเครื่องซีลสุญญากาศ (Vacuum sealer) เพื่อเก็บรักษาและป้องกันบรรจุภัณฑ์จากความชื้นและจากการปนเปื้อนฝุ่นละอองที่มีอยู่ทั่วไปในอากาศ เป็นการป้องกันบรรจุ-ภัณฑ์เสื่อมหรือแปรสภาพ เครื่องซีลสุญญากาศ ดังกล่าวมีกำลังไฟฟ้า 150 วัตต์ การบรรจุหีบห่อด้วยสุญญากาศ 1 ห่อ ใช้เวลาประมาณ 4-5 นาทีต่อห่อ แต่ละหีบห่อประกอบด้วยบรรจุภัณฑ์จากใบ-ทองกวาว จำนวน 20 ชิ้น จากนั้นจึงนำหีบห่อบรรจุลงในกล่อง (Carton box) จำนวนกล่องละ 1 ห่อ



ภาพ 12 ขอบเขตระบบ (System boundary) ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว



ภาพ 13 ลักษณะของใบทองกวาว

4) กระบวนการที่ 4 การขนส่งบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว

กระบวนการขนส่งบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว ในการศึกษานี้ พิจารณาช่วงการขนส่งบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาวจากอำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ไปยังผู้ประกอบการอำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี คิดเป็นระยะทาง ประมาณ 453 กิโลเมตร โดยยกเว้นการขนส่งบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาวที่ใช้แล้ว (ขยะ) เนื่องจากมีปริมาณที่น้อยมาก (Negligible) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณขยะอื่น ๆ

5) กระบวนการที่ 5 การใช้บรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว

กระบวนการใช้บรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว ในการศึกษานี้ พิจารณาจากการใช้บรรจุ-ภัณฑ์ที่มีขนาดบรรจุ 400 มิลลิลิตร โดยนำไปใช้งานจริงและมีผู้ประกอบการได้ทำการสั่งซื้อบรรจุ-ภัณฑ์ใบทองกวาวไปทดลองใช้งาน ซึ่งวิธีการใช้งาน นั่นคือ สามารถใส่อาหารได้หลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาหารสด แห้ง หรือใส่ของเหลวได้โดยไม่รั่วซึม อาทิ ส้มตำ ผัดไทย ผลไม้ ขนมไทยทุกประเภท เป็นต้น รวมถึงยังมีคุณสมบัติที่สามารถนำเข้าเตาไมโครเวฟได้ และสามารถใช้ใส่อาหารทั้งร้อนและเย็น สามารถนำบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาวกลับมาใช้ซ้ำได้ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน ในการศึกษานี้พิจารณาการใช้บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง

6) กระบวนการที่ 6 การกำจัดบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาวที่ใช้งานแล้ว

กระบวนการนี้ เป็นการกำจัดบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาวที่ใช้แล้ว ในการศึกษานี้พิจารณาการกำจัดบรรจุภัณฑ์ แบบการฝังกลบ (Landfilling) ปัจจุบันการกำจัดบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว ใช้วิธีทิ้งลงถังขยะแล้วนำไปสู่ขั้นตอนการฝังกลบตามระบบของเทศบาลหรือองค์การบริหารส่วนตำบลในแต่ละท้องถิ่นนั้น ๆ

3.2.2 การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory analysis)

ซึ่งในที่นี้ เรียกชื่อย่อว่า LCI เป็นข้อมูลรายละเอียดของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวดังกล่าวข้างต้น ทำให้ทราบถึงข้อมูลประกอบการคำนวณปริมาณสารขาเข้า ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต พลังงานที่ใช้ยานพาหนะในการขนส่ง ชนิดเชื้อเพลิง ระยะทางในการขนส่ง พลังงานไฟฟ้า ระยะเวลาในการผลิต เป็นต้น ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 ข้อมูลการวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory analysis: LCI)

กระบวนการ	กิจกรรม	รายละเอียด	ทรัพยากร	ปริมาณ (หน่วย) / หน่วยหน้าที่
การปลูกต้นทองกวาว (พื้นที่ 1 ไร่ โดยคำนวณปริมาณต่อหนึ่งหน่วยหน้าที่ เท่ากับ 1 ต้น)				
	การเก็บเกี่ยว	พิจารณาจากต้นทองกวาวที่มีอายุ 5 ปีขึ้นไป สามารถเก็บเกี่ยวใบทองกวาวได้ เฉลี่ยประมาณ 300-500 ใบต่อครั้งต่อต้น โดยเลือกเก็บเฉพาะใบตรงกลางระหว่าง 2 ใบ มีขนาดกว้าง 23-25 เซนติเมตร ระยะเวลา สามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี โดยจะเก็บ 2 ครั้ง ต่อสัปดาห์ นั่นคือ สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ประมาณ 64–79 ตันต่อปี หรือ 5,126,400 ใบต่อปี	แรงงานคน	ไม่มี
การผลิต	การล้างทำความสะอาดใบทองกวาว	ใช้น้ำประปาล้าง ครั้งละ 300 ใบ ปริมาณ 240 ลิตรต่อครั้ง ก่อนปล่อยน้ำทิ้ง แล้วล้างซ้ำวนไปอีก 2 ครั้ง คิดเป็นปริมาณน้ำประปาที่ใช้ทั้งสิ้น 720 ลิตร	น้ำประปา	0.72 ลบ.ม.
	การผึ่งไล่ความชื้นด้วยลม (ธรรมชาติ)	เป็นการไล่ความชื้นด้วยลม (ธรรมชาติ) เป็นระยะเวลา 3-5 ชั่วโมง	ลม (ธรรมชาติ)	ไม่มี
	การไล่ความชื้นด้วยพัดลม	เป็นการไล่ความชื้นด้วยลมจากพัดลม จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 16 นิ้ว กำลังไฟ 55 วัตต์	ไฟฟ้า	0.11 kWh

กระบวนการ	กิจกรรม	รายละเอียด	ทรัพยากร	ปริมาณ (หน่วย) / หน่วย หน้าที่
		ระยะเวลา 2 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ)		
	การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ด้วยความร้อน	เครื่องขึ้นรูปจานใบไม้ระบบนิวเมติกส์ จำนวน 1 เครื่อง อุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส กำลังไฟ 550 วัตต์ ระยะเวลา 2-3 นาที	ไฟฟ้า	4.4 kWh
	การตัดแต่งขอบบรรจุภัณฑ์	ใช้กรรไกรตัดแต่งขอบ เหลือเศษใบทองกวาวจากการตัดแต่งขอบบรรจุภัณฑ์	แรงงานคน	ไม่มี
	การบรรจุหีบห่อด้วยสุญญากาศ	เครื่องซีลสุญญากาศ จำนวน 1 เครื่อง กำลังไฟ 150 วัตต์ ระยะเวลา 30 นาที	ไฟฟ้า	0.075 kWh
		ถุงซีลสุญญากาศ จำนวน 6.5 ชิ้น เพื่อใช้บรรจุหีบห่อบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ซึ่งถุงซีลสุญญากาศ มีขนาด 8×12 นิ้ว หนา 160 ไมครอนประกอบด้วยพลาสติก 2 ประเภท ได้แก่ Polyethylene: (PE) และ Polyethylene terephthalate: (PET) โดยซ้อนกันเป็นชั้น ๆ (Double layers) ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) จึงกำจัดโดยวิธีฝังกลบ	พลาสติก	0.041 กก.
		กล่องกระดาษ จำนวน 6.5 ชิ้น	กล่อง	0.896 กก.

กระบวนการ	กิจกรรม	รายละเอียด	ทรัพยากร	ปริมาณ (หน่วย) / หน่วยหน้าที่
		ขนาด 20×20×7 เซนติเมตร หนา 350 แกรม	กระดาษคราฟท์	
การขนส่ง แบ่งเป็น 2 ช่วง ขนาดบรรจุ กว้าง×ยาว ×สูง (1.60×3 ×1.60 เมตร)	จาก อ.เมือง ไป-กลับ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 1 คัน ระยะทาง 50 กม. อัตราเร็ว 80 กม./ชม.	น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	0.0029 ลิตร
	จาก จ.พิษณุโลก ไป จ.ชลบุรี	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 1 คัน ระยะทาง 453 กม. อัตราเร็ว 80 กม./ชม.	น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	0.12 ลิตร
การใช้บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
การฝังกลบ (Landfilling)	บรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว	บรรจุภัณฑ์ใบทองกวาวที่ใช้แล้ว จำนวน 130 ชิ้น (น้ำหนัก 5.1 กรัมต่อชิ้น)	เทียบเท่าขยะอินทรีย์	0.663 กก.
	เศษใบทองกวาว	เศษใบทองกวาวจากการตัดแต่งขอบบรรจุภัณฑ์ จากบรรจุภัณฑ์ จำนวน 130 ชิ้น	เทียบเท่าขยะอินทรีย์	0.324 กก.
	ถุงซีลสุญญากาศ	ถุงซีลสุญญากาศที่ใช้แล้ว จำนวน 6.5 ชิ้น (น้ำหนัก 6.33 กรัมต่อชิ้น)	เทียบเท่าขยะพลาสติก	0.041 กก.
	กล่องกระดาษ	กล่องกระดาษที่ใช้แล้ว จำนวน 6.5 ชิ้น (น้ำหนัก 137.80 กรัมต่อชิ้น)	เทียบเท่าขยะมูลฝอย	0.896 กก.
	เชือกฟาง	เชือกฟางที่ใช้แล้ว จำนวน 178 ชิ้น (น้ำหนัก 0.034 กรัมต่อชิ้น)	เทียบเท่าขยะมูลฝอย	0.034 กก.

ในการศึกษานี้ ไม่ได้นำกระบวนการขนส่งบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาวที่ใช้งานแล้วไปยังหลุมฝังกลบมาพิจารณา เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาวที่ใช้งานแล้วมีปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณขยะที่เทศบาลหรือองค์การบริหารส่วนตำบลในแต่ละท้องถิ่น ดำเนินการรวบรวมและขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ

3.2.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle impact assessment)

ซึ่งในที่นี้ เรียกชื่อย่อว่า LCIA เป็นการนำเอาข้อมูลสารขาเข้าจาก LCI ของบรรจุ-ภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว มาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CFP) ซึ่งเรียกว่าข้อมูลสารขาออก ได้แก่ มลสารที่ปล่อยสู่อากาศ และของเสียในรูปของแข็ง เป็นต้น ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมตลอดวัฏจักรของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวตามที่ระบุในขอบเขตระบบ (System boundary) ดังกล่าวข้างต้น ดังแสดงในตาราง 7 โดยการคำนวณหาคาร์บอนฟุตพริ้นท์นั้นจะแสดงผลในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Carbon dioxide equivalent: CO_2 eq) ที่สะท้อนระดับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHGs) ที่มีค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) มาใช้ในการคำนวณหาค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ในงานวิจัยนี้ ดังแสดงในตาราง 8 [47]

ตาราง 7 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากใบทองกวาวที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการศึกษานี้

กระบวนการ	กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์
1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (จำนวนพื้นที่ 1 ไร่)	-ไม่มี-	-ไม่มี-
2. การขนส่งใบทองกวาว (จาก ม.นเรศวร อ.เมืองพิษณุโลก ไป-กลับ อ.บางระกำ)	การเดินทางไปรับวัตถุดิบจาก อ.บางระกำ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์	- ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง - ระยะทาง × น้ำหนักบรรทุก × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของพาหนะที่ใช้ - (ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

กระบวนการ	กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์
		แยกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง
3. การผลิตบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว		
3.1 การล้างทำความสะอาด	การใช้น้ำประปา	- ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตน้ำประปา - ผลรวมของค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิต (หน่วยเท่ากับ L/m^3) × (ปริมาณวัตถุดิบ × ปริมาณน้ำที่ใช้)
3.2 การผึ่งไล่ความชื้น	- จัดวางใบทองกวาวผึ่งลมในอากาศที่ถ่ายเท - การใช้พลังงานไฟฟ้าพัดลม/ ตู้แช่เย็น	- ไม่มี - - ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของไฟฟ้า
3.3 การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ด้วยความร้อน	การใช้พลังงานไฟฟ้า	- ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของไฟฟ้า
3.4 การตัดแต่งขอบบรรจุภัณฑ์	ใช้กรรไกรตัดแต่งขอบตามรูปแบบที่ต้องการ	- ไม่มี -
3.5 การบรรจุหีบห่อด้วยสุญญากาศ	- การใช้พลังงานไฟฟ้า - นำหีบห่อบรรจุลงในกล่อง	- ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของไฟฟ้า - ไม่มี -
4. การขนส่งบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว	ขนส่งจาก อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก ไปยังผู้ประกอบการ อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	- ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง - ระยะทาง × น้ำหนักบรรทุก × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของพาหนะที่ใช้

กระบวนการ	กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์
		- (ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง
5. การใช้บรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว	นำบรรจุภัณฑ์ไปใช้ใส่อาหาร	- ไม่มี -
6. การกำจัดบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาวที่ใช้งานแล้ว (EOL)		
การฝังกลบ	ฝังกลบ	- ปริมาณขยะมูลฝอยที่ใช้ × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามประเภทของขยะมูลฝอย

หมายเหตุ: พิจารณาต้นทองกวาวที่มีอายุตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป

ตาราง 8 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของทรัพยากรที่ใช้ในขอบเขตของระบบ (System boundary) การศึกษานี้

ทรัพยากร	หน่วย	Emission factor (kg CO_2 eq)	แหล่งที่มา
ดีเซล (เผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่)	litre	2.7406	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
ไฟฟ้า	kWh	0.4999	Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA, AR5 (with TGO electricity 2016-2018)
ขยะ (หลุมฝังกลบ)			
-ขยะมูลฝอย (กระดาษ)	kg	2.93	ecoinvent 2.2_Update_Apr2015
-ขยะอินทรีย์ (เศษใบ และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้ว)	kg	3.27	ecoinvent 2.2_Update_Apr2015
-พลาสติก (PE และ PET)	kg	3.13	ecoinvent 2.2_Update Sep2012

ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

3.2.4 การแปลผลและประเมินเพื่อปรับปรุง (Interpretation of the results) เป็นการนำผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้ ตามขั้นตอนการทำ LCI และ LCIA ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว มาพิจารณา เพื่อจัดทำข้อเสนอแนะ โดยแบ่งออกเป็นประเด็น

1) การปรับปรุงกระบวนการผลิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านสิ่งแวดล้อมและต้นทุน

2) เป็นการให้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์อาหารของผู้บริโภค

3.3 การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost Analysis: LCC)

การวิเคราะห์ต้นทุนตลอด วัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว เป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณต้นทุนหรือค่าใช้จ่าย เพื่อหาต้นทุนต่อหน่วยการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ซึ่งในขั้นตอนการทำ LCC มีรายการข้อมูลประมาณการค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ ดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวต่อหน่วยหน้าที่

กระบวนการ	ทรัพยากร	ปริมาณ (หน่วย) / หน่วยหน้าที่	ค่าใช้จ่าย (บาท)	แหล่งข้อมูล
1. การปลูกต้นทองกวาว (คำนวณค่าใช้จ่ายต่อหนึ่งหน่วยหน้าที่ หรือเท่ากับต้นทองกวาว 1 ต้น รายละเอียดการคำนวณ ดังแสดงในภาคผนวก ข)				
1.1 การเก็บเกี่ยว	แรงงาน (คนเก็บใบไม้)	2.36 กก.	15.34	- สัมภาษณ์ (ราคา ณ วันที่ 6 กพ.66 เท่ากับ 6.50 บาทต่อ กก.)
2. การขนส่งใบทองกวาว (จาก ม.นเรศวร อ.เมืองพิษณุโลก ไป-กลับ อ.บางระกำ)	- รถกระบะ 4 ล้อ (รวมคนขับ) - น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล)	1 คัน 0.0029 ลิตร	ไม่มี 0.10	- ทบทวนวรรณกรรม - สัมภาษณ์
3. การผลิต	- แรงงาน	2 คน	600	- สัมภาษณ์
3.1 การล้างทำ	- น้ำประปา	240 ลิตร	6.84	- ทบทวนวรรณกรรม

กระบวนการ	ทรัพยากร	ปริมาณ (หน่วย) / หน่วยหน้าที่	ค่าใช้จ่าย (บาท)	แหล่งข้อมูล
ความสะอาด	- จำนวน - 1 ครั้ง ล้างได้	3 ครั้ง 300 ใบ		- สัมภาษณ์
3.2 การผึ่งไล่ความชื้น	- ผึ่งลมในอากาศถ่ายเท - พัดลม (ขนาด 16 นิ้ว) - ไฟฟ้า	3-5 ชม. 1 เครื่อง 0.11 kWh	ไม่มี 8.73^{-05} 3.26	- ทบทวนวรรณกรรม - สัมภาษณ์ - จากการคำนวณ
3.3 การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ด้วยความร้อน	- เครื่องขึ้นรูปจานใบไม้ระบบนิวเมติกส์ - ไฟฟ้า	1 เครื่อง 4.4 kWh	0.014 4.27	- ทบทวนวรรณกรรม - สัมภาษณ์ - จากการคำนวณ
3.4 การตัดแต่งขอบบรรจุภัณฑ์	กรรไกร (ขนาด 9 นิ้ว)	1 อัน	3.8^{-05}	- ทบทวนวรรณกรรม - สัมภาษณ์
3.5 การบรรจุหีบห่อด้วยสุญญากาศ	- เครื่องซีลสุญญากาศ - ไฟฟ้า - ถุงซีลสุญญากาศ (1 ถุง/บรรจุภัณฑ์ 20 ชิ้น) - กล่องกระดาษ (1 ห่อ/กล่อง)	1 เครื่อง 0.075 kWh 6.5 ถุง 6.5 กล่อง	9.3^{-04} 0.79 2.54 146.25	- ทบทวนวรรณกรรม - สัมภาษณ์ - จากการคำนวณ
4. การขนส่งบรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว	ค่าบริการไปรษณีย์ (น้ำหนักจริง × อัตราค่าบริการ (35 บาท/กก.))	1.6 กก.	56 บาท	- ทบทวนวรรณกรรม - สัมภาษณ์
5. การใช้บรรจุภัณฑ์ใบทองกวาว	ปริมาณ 400 มิลลิลิตร	บรรจุอาหารได้ 1 ครั้ง	ไม่มี	- ทบทวนวรรณกรรม - สัมภาษณ์
6. การฝังกลบ	ฝังกลบ	1.96 กก.	ไม่มี	

หมายเหตุ: ในการศึกษานี้ ปริมาณขยะจากบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวที่ใช้งานแล้ว มีปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณขยะอื่น ๆ ที่ขนส่งไปยังหลุมฝังกลบพร้อมกัน

3.4 การเปรียบเทียบผลการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ

การศึกษาเปรียบเทียบผล LCA ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวกับบรรจุภัณฑ์อาหารที่แตกต่างกันอีก 2 ประเภท ได้แก่ (1) บรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติก และ (2) บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย โดยข้อมูลบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวนั้นได้มาจากการศึกษาในหัวข้อที่ 3.2.1 และ 3.2.2 ในขณะที่ผล LCA ของบรรจุภัณฑ์อาหารอีก 2 ประเภท ได้มาจากการทบทวนวรรณกรรม ทั้งนี้ เปรียบเทียบเฉพาะคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) ของบรรจุภัณฑ์อาหารทั้ง 2 ประเภท ผลการเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้ จะนำไปใช้ในการจัดทำข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมและการลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

บทที่ 4
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เพื่อเป็นทางเลือกและแทน (Replace) บรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ พลาสติก โดยวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) และรายงานผลในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยหน้าที่ (หรือ บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวน 130 ชิ้น) มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว จากการใช้พลังงานและทรัพยากรอื่น ๆ ในกระบวนการตามที่ระบุไว้ในขอบเขตของระบบ (System boundary) เพื่อนำไปสู่การปรับปรุง/ พัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล 2) เพื่อประเมินต้นทุน ตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว และ 3) เพื่อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมและการลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

ผลการวิจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) และเปรียบเทียบผล LCA ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวกับบรรจุภัณฑ์อาหาร อีก 3 ประเภท ได้แก่ (1) บรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติก (2) บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย และ (3) บรรจุภัณฑ์อาหารจากกระเบื้อง **(วัตถุประสงค์ที่ 1)** ผลการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Costing: LCC) **(วัตถุประสงค์ที่ 2)** และแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมและการลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว **(วัตถุประสงค์ที่ 3)**

4.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)

จากการศึกษา LCA ได้กำหนดขอบเขตของระบบ (System boundary) แบบ Cradle to grave เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์อาหาร ตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การนำไปใช้งาน ตลอดถึงการกำจัดบรรจุภัณฑ์อาหารเมื่อเลิกใช้งาน (End-of-life phase: EOL phase)

4.1.1 ผลวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life cycle inventory analysis: LCI) ซึ่งเป็นหนึ่งในขั้นตอนของ LCA ทำให้ทราบถึงปริมาณสารขาเข้า-สารขาออก ตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว โดยแบ่งออกเป็น 5 กระบวนการหลัก ได้แก่ 1)

กระบวนการปลูกต้นทองกวาว สมมติฐานจากการศึกษานี้ โดยพิจารณาจากต้นทองกวาวตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป เพื่อคำนวณหาปริมาณการดูดซับ/กักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นทองกวาว 2) กระบวนการขนส่ง แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรก เป็นการขนส่งใบทองกวาวจากพื้นที่ปลูก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ไปยังสถานที่ผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวในพื้นที่อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก คิดเป็นระยะทางไป-กลับ 50 กิโลเมตร และช่วงที่ 2 เป็นการขนส่งบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว จากสถานที่ผลิตในพื้นที่ อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ไปยังสถานที่รับซื้อในจังหวัดชลบุรี คิดเป็นระยะทาง ประมาณ 453 กิโลเมตร มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิง (ดีเซล) รวมการขนส่งทั้ง 2 ช่วง เท่ากับ 4.48 MJ ต่อหน่วยหน้าที่ 3) การผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ประกอบด้วย ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด การไล่ความชื้น การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ด้วยความร้อน การตัดแต่งขอบบรรจุภัณฑ์ และการบรรจุหีบห่อด้วยสุญญากาศ ซึ่งในกระบวนการนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด เท่ากับ 16.51 MJ ต่อหน่วยหน้าที่ และพลังงานเชื้อเพลิง (ดีเซล) คิดเป็นร้อยละ 21.34 ของปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า กระบวนการผลิตมีการใช้พลังงานมากกว่ากระบวนการขนส่ง 4) การใช้บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว และ 5) การกำจัดบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวที่ใช้แล้ว รายละเอียดดังแสดงในตาราง 6 และค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) จากทรัพยากรที่ใช้ (ต่อหนึ่งหน่วยหน้าที่) ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 ปริมาณทรัพยากรและศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) จากทรัพยากรที่ใช้ (ต่อหนึ่งหน่วยหน้าที่)

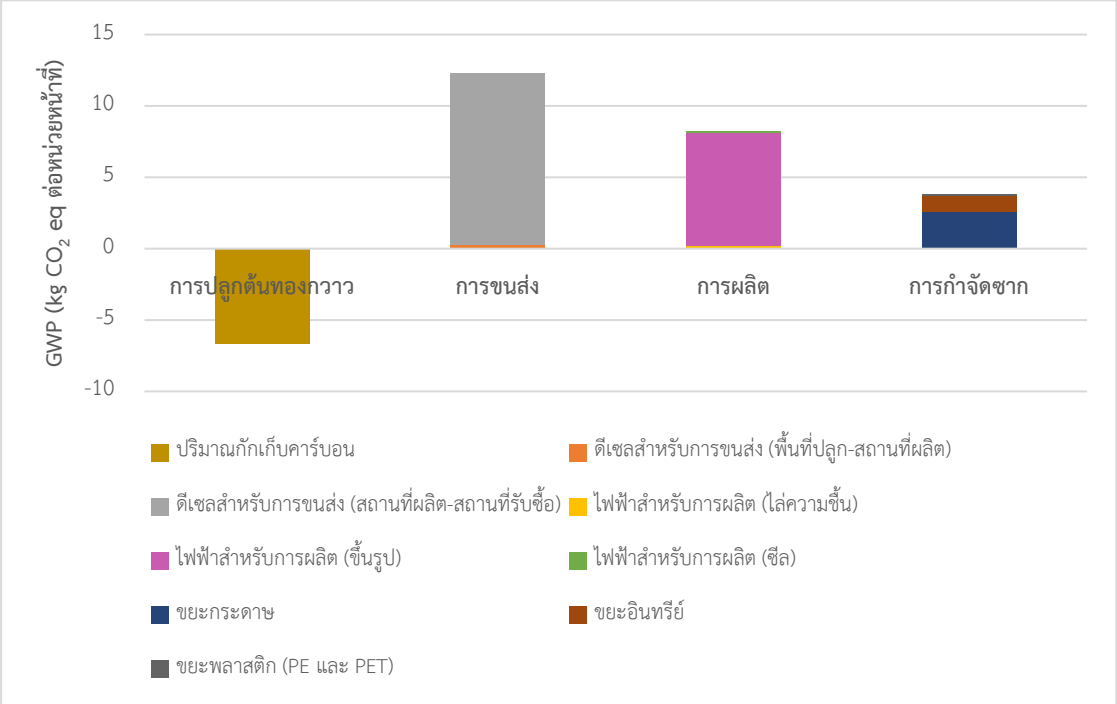
ทรัพยากร	กระบวนการ	ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ (หน่วย)	GWP (kg CO_2 eq)	หมายเหตุ
พลังงาน				
	ขนส่ง - ในช่วงแรก ระยะทาง 50 กม.	0.11 MJ	0.30	ค่า GWP เทียบเท่าการเผาไหม้น้ำมันดีเซลที่มีการเคลื่อนที่
	ขนส่ง – ในช่วงที่ 2 ระยะทาง 453 กม.	4.37 MJ	11.98	ค่า GWP เทียบเท่าการเผาไหม้น้ำมัน

ทรัพยากร	กระบวนการ	ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ (หน่วย)	GWP ($kg\ CO_2\ eq$)	หมายเหตุ
				ดีเซลที่มีการเคลื่อนที่
ไฟฟ้า	ผลิต - ไล่ความชื้น	0.4 MJ	0.2	
	ผลิต - ขึ้นรูป	15.84 MJ	7.92	
	ผลิต - ซีล	0.27 MJ	0.14	
พลาสติก	บรรจุหีบห่อ	0.041 kg	-	
กล่องกระดาษ	บรรจุหีบห่อ	0.896 kg	-	
ขยะ	กำจัด (หลุมฝังกลบ)			
-ขยะมูลฝอย (กระดาษ)		0.896 kg	2.63	
-ขยะอินทรีย์		0.324 kg	1.06	
-ขยะพลาสติก (PE และ PET)		0.041 kg	0.13	

จากการประเมินศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential: GWP) จากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวตลอดวัฏจักรชีวิต โดยยึดหลักการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) พบว่า ค่า GWP ตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว มีค่าเท่ากับ 24.35 kg CO_2 eq ต่อหน่วยหน้าที่ (เท่ากับบรรจุภัณฑ์อาหาร ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวน 130 ชิ้น) ซึ่งกระบวนการที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ กระบวนการขนส่งจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile combustion) ปัจจัยหลักมาจากการใช้ดีเซล ส่งผลให้มีค่า GWP เท่ากับ 12.28 kg CO_2 eq ต่อหน่วยหน้าที่ โดยเฉพาะในกระบวนการขนส่งจากสถานที่ผลิตในจังหวัดพิษณุโลก ไปยังสถานที่รับซื้อในจังหวัดชลบุรี ซึ่งคิดเป็น ประมาณร้อยละ 50.44 ของค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวทั้งหมด รองลงมา คือ กระบวนการผลิต ปัจจัยหลักมาจากการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการขึ้นรูป ที่มีค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ประมาณ 7.92 kg CO_2 eq ต่อ

หน่วยหน้าที่ ซึ่งคิดเป็น ประมาณร้อยละ 32.52 ของค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวทั้งหมด และกระบวนการที่มีค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนน้อยที่สุดคือ กระบวนการกำจัดซาก โดยขยะกระดาษคราฟท์ที่ใช้เป็นหีบห่อสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว เป็นส่วนที่ส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน มากกว่าขยะจากเศษใบจากการตัดขอบและจากบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวที่ใช้แล้ว (ขยะอินทรีย์) และขยะหีบห่อพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

แม้ว่า แต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ก็มีการดูดกลับและกักเก็บคาร์บอนในกระบวนการปลูกต้นทองกวาวด้วย จากสมมติฐาน การปลูกต้นทองกวาวบนพื้นที่ 1 ไร่ ใน 1 รอบการปลูก (ดังแสดงในภาคผนวก ข) โดยพิจารณาต้นทองกวาว ที่มีอายุ 5 ปีขึ้นไป จากการทบทวนวรรณกรรมการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าปลูกไม้สัก [66] ซึ่งเป็นพืชตระกูลเดียวกันกับต้นทองกวาว พบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 432.98 ตันต่อไร่ หรือ 432,980 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้น ในการศึกษานี้ เมื่อพิจารณาการปลูกต้นทองกวาว จำนวน 178 ต้นต่อไร่ จะมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวม เท่ากับ 6.66 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี โดยหนึ่งหน่วยหน้าที่ได้จากต้นทองกวาวหนึ่งต้น ดังแสดงในภาพ 14



ภาพ 14 ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

4.1.2 การเปรียบเทียบศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อ 3.2.2 และศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของบรรจุภัณฑ์อาหารที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปในปัจจุบัน อีก 2 ประเภท จากการทบทวนวรรณกรรม ได้แก่ 1) บรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติก และ 2) บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย ที่มีปริมาตร 400 มิลลิลิตร ต่อชิ้น ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท ดังแสดงในตาราง 11

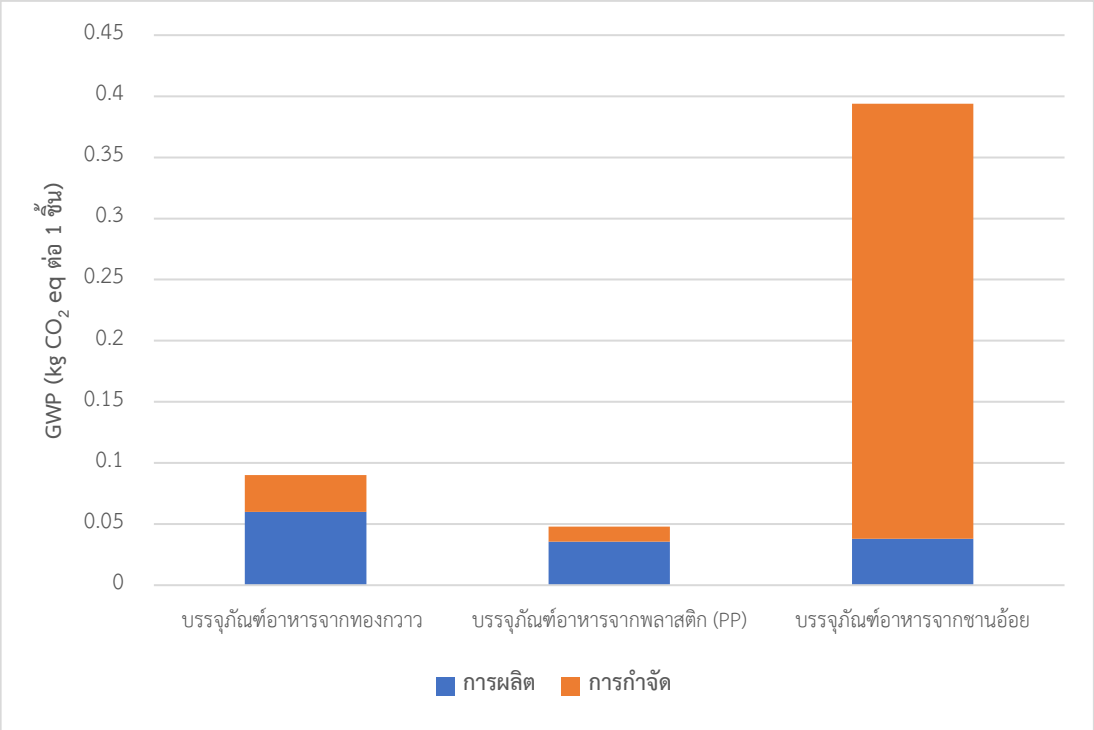
ตาราง 11 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบรรจุภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด

บรรจุภัณฑ์อาหาร ขนาด 400 มิลลิลิตร	GWP (kg CO_2 eq)	จำนวนการใช้งาน	แหล่งข้อมูล
บรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติก (PP)	0.05	1 ครั้ง	www.chalmers.se Report No. E2021:106
บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย	0.39	1 ครั้ง	Journal of Sustainable Energy & Environment 11 (2020) 61-69

หมายเหตุ: ข้อมูลของบรรจุภัณฑ์อาหารทั้ง 2 ประเภท มาจากการทบทวนวรรณกรรม

ผลการเปรียบเทียบค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน โดยพิจารณาตั้งแต่กระบวนการผลิต การใช้ ตลอดจนการกำจัดซาก พบว่า ค่า GWP ของบรรจุภัณฑ์อาหารที่นำมาเปรียบเทียบทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 0.53 kg CO_2 eq ต่อชิ้น บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย ที่นำมาเปรียบเทียบในการศึกษานี้ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าบรรจุภัณฑ์อาหารทั้ง 2 ประเภท รองลงมาคือ บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวและบรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติก (PP) คิดเป็น ร้อยละ 81.25 และร้อยละ 88.64 ของค่า GWP ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย ตามลำดับ

ผลการศึกษาเปรียบเทียบ LCA แสดงให้เห็นว่า บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย ก่อให้เกิด GWP สูงที่สุด ประมาณ คิดเป็นร้อยละ 74.06 ของค่า GWP ของบรรจุภัณฑ์อาหารทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่า GWP ในกระบวนการผลิตและกระบวนการกำจัดซากของบรรจุภัณฑ์อาหารทั้ง 2 ประเภท รวมถึงบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว พบว่า กระบวนการที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดของบรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย คือ กระบวนการกำจัดซาก สาเหตุมาจากการฝังกลบแบบสุขาภิบาล ก่อให้เกิดก๊าซมีเทนมากกว่าบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว มีค่า GWP เท่ากับ 0.36 kg CO_2 eq ต่อชิ้น ดังแสดงในภาพ 15



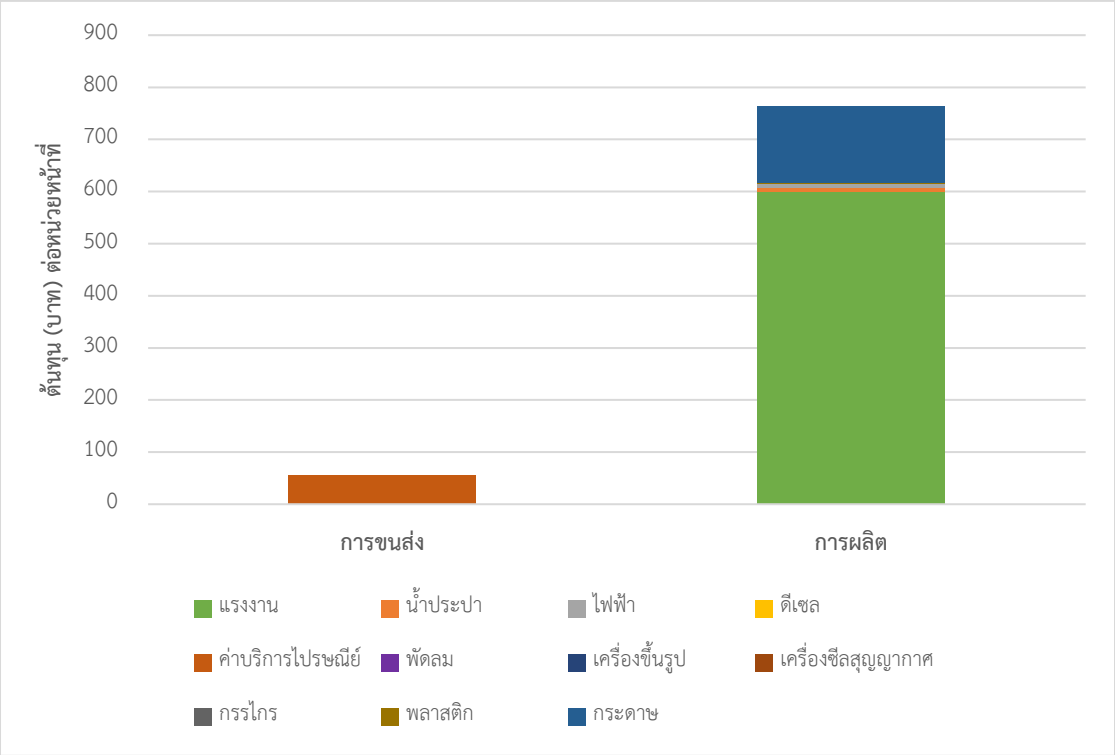
ภาพ 15 เปรียบเทียบศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ของบรรจุภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด ปริมาตร 400 มิลลิลิตร

4.2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost Analysis: LCC)

การวิเคราะห์ LCC ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวในการศึกษานี้ พิจารณาจากปริมาณทรัพยากรที่ใช้และต้นทุนอื่น ๆ ในแต่ละกระบวนการ ต่อหนึ่งหน่วยหน้าที่ (Functional unit) คือ บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวน 130 ชิ้น พบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว เท่ากับ 820.07 บาทต่อหน่วยหน้าที่ หรือ 6.31 บาทต่อชิ้น โดยต้นทุนส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิต คิดเป็น ร้อยละ 93.16 รองลงมา เป็นกระบวนการขนส่ง (ดีเซลและค่าบริการไปรษณีย์) คิดเป็น ร้อยละ 6.84 ของต้นทุนบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวต่อหน่วยหน้าที่

เมื่อพิจารณาแต่ละกระบวนการ พบว่า ต้นทุนของกระบวนการผลิตส่วนใหญ่มาจากค่าจ้างแรงงาน คิดเป็น ร้อยละ 78.54 ของต้นทุนในกระบวนการผลิตทั้งหมด รองลงมาคือ กระดาษคราฟท์ในขั้นตอนการบรรจุหีบห่อ คิดเป็น ร้อยละ 19.14 ของต้นทุนในกระบวนการผลิตทั้งหมด ในส่วนของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ พัดลม เครื่องขึ้นรูปจานใบไม้ระบบนิวเมติกส์ เครื่องซีลสุญญากาศ และกรรไกร ที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมไปถึงค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์เหล่านี้ มีการพิจารณาแยก

ตามอายุการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละประเภท ช่วงอายุการใช้งาน 5-12 ปี และอัตรามูลค่าซาก ดังแสดงในภาคผนวก ก เมื่อพิจารณากระบวนการขนส่ง พบว่า ต้นทุนของกระบวนการขนส่ง เท่ากับ 56.10 บาทต่อหน่วยหน้าที่ โดยมีค่าบริการขนส่งทางไปรษณีย์สูงที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 99.82 ของต้นทุนในกระบวนการขนส่งทั้งหมด เมื่อพิจารณาต้นทุนภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน อัตราค่าบริการ EMS ในประเทศ ของขนส่งทางไปรษณีย์ไทย เท่ากับ 35 บาทต่อกิโลกรัม โดยคำนวณจากน้ำหนักรวมของบรรจุภัณฑ์ที่ชั่งได้เท่ากับ 1.6 กิโลกรัม คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง เท่ากับ 56 บาท ดังแสดงในภาพ 16



ภาพ 16 ต้นทุนต่อหน่วยหน้าที่ (Functional Unit) ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว (หนึ่งหน่วยหน้าที่ เท่ากับบรรจุภัณฑ์อาหารปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวน 130 ชิ้น)

เมื่อพิจารณากระบวนการกำจัดซาก ขยะจากบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวที่ใช้งานแล้ว มีปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณขยะทั้งหมดที่ขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ จึงไม่ได้นำมาคำนวณค่าใช้จ่ายในการศึกษานี้

4.3 เสนอแนะแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมและการลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอด วัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึง 24.35 kg CO_2 eq ต่อหน่วยหน้าที่ ซึ่งกระบวนการที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ กระบวนการขนส่งที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile combustion) รองลงมา คือ กระบวนการผลิต ปัจจัยหลักมาจากการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการขึ้นรูป และยังส่งผลด้านต้นทุนแรงงานที่มีค่าใช้จ่ายสูงที่สุดมากกว่ากระบวนการอื่น ๆ คิดเป็น ร้อยละ 78.54 ของต้นทุนในกระบวนการผลิตทั้งหมด ดังนั้น การศึกษานี้จึงเสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการหลัก แบ่งออกได้เป็น 3 แนวทาง

4.3.1 กระบวนการขนส่ง ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ปัจจัยหลักมาจากการใช้ดีเซล เพื่อการขนส่งบรรจุภัณฑ์อาหารจากสถานที่ผลิตในจังหวัดพิษณุโลก ไปยังสถานที่รับซื้อในจังหวัดชลบุรี ซึ่งมีระยะทางที่ไกลถึง 453 กิโลเมตร ดังนั้น เพื่อเป็นการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดต้นทุน ควรจัดหาวัตถุดิบอย่างยั่งยืน (Sustainable sourcing) โดยการสำรวจหาตลาดในพื้นที่เดียวกันกับสถานที่ผลิตหรือพื้นที่ใกล้เคียง ส่งเสริมการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารในท้องถิ่นให้มากขึ้น และเพิ่มช่องทางในการจัดจำหน่าย ซึ่งจะสามารถลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้ถึง ร้อยละ 97.56 สอดคล้องกับการศึกษาของ Graphic buffet (2017) ที่ศึกษาการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการธุรกิจเปลี่ยนมาใช้บรรจุภัณฑ์สีเขียว เพื่อความเป็นมิตรต่อโลกและสิ่งแวดล้อม สอดคล้องตามแนวทางการดำเนินการเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม อีกทั้ง ควรหาปรับเปลี่ยนประเภทของเชื้อเพลิง จากดีเซลมาเป็นพลังงานทดแทน เช่น ไบโอดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของบริษัท John Deere ที่มุ่งเน้นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยด้านพลังงาน ไบโอดีเซลมีปริมาณซีเทนสูงเพื่อการติดไฟได้เร็วขึ้น ก่อให้เกิดกลุ่มควันน้อยลง และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อีกทั้งไบโอดีเซล 1 แกลลอน สามารถให้พลังงานในการผลิตแก้ผู้ใช้ถึง 3.2 เท่า

4.3.2 กระบวนการผลิต ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการขึ้นรูป คิดเป็นประมาณ ร้อยละ 32.52 ของค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว แนวทางหนึ่งในการลดการใช้ไฟฟ้า คือ การปรับเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดพลังงาน แต่ยังคงคุณสมบัติเหมือนกันกับเครื่องขึ้นรูป โดยการพัฒนาเครื่องมือในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิหรือกำลังไฟให้ต่ำลง เพื่อประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นต้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรม

พลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่พัฒนาเครื่องอัดกระทงใบตองรุ่น 2 ที่สามารถเปลี่ยนหัวแม่พิมพ์ได้หลากหลายขนาด มีกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ และได้เพิ่มฟังก์ชั่นจอแสดงและปรับลด-เพิ่มอุณหภูมิได้ ซึ่งเมื่อเทียบกับเครื่องอัดกระทงใบตองรุ่น 1 แบบหัวเดียวขนาดเดียว ที่มีกำลังไฟฟ้า 2,000 วัตต์ ซึ่งทั้งสองรุ่นสามารถผลิตบรรจุภัณฑ์ได้ 200 ชิ้นต่อวัน ดังนั้น เมื่อใช้งานเครื่องขึ้นรูปเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมงต่อวันเท่ากัน เครื่องอัดกระทงใบตองรุ่น 2 ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องอัดกระทงใบตองรุ่น 1 คิดเป็น ร้อยละ 25 ของพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องรุ่น 1 ใช้ เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [67]

4.3.3 กระบวนการกำจัดซาก ขยะจากกระดาษคราฟท์ในขั้นตอนการบรรจุหีบห่อบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าขยะจากเศษใบที่เกิดจากการตัดขอบและจากบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวที่ใช้แล้ว (ขยะอินทรีย์) และขยะหีบห่อพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้น หากลดหรือเลิกใช้กระดาษคราฟท์ในขั้นตอนนี้ได้ จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 2 kg CO_2 eq ต่อหน่วยหน้าที่ สอดคล้องกับแนวทางขององค์กรต่าง ๆ เช่น บริษัท ดิอาจิโอ โมเอ็ท เฮนเนสซี่ (ประเทศไทย) จำกัด หรือ DMHT ที่เปิดตัวโครงการ “ก้าวต่อไปไร้กล่อง” (Step out of the box) เพื่อลดการใช้กล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และยังสอดคล้องกับเป้าหมายของบริษัท ที่ต้องการเป็นบริษัท Zero waste ซึ่งตราสินค้า (Brand) ต่าง ๆ ของบริษัท ได้แก่ Johnnie walker red label, Johnnie walker black label, Johnnie walker double black เป็นต้น โดยตั้งเป้าลดปริมาณขยะจากกล่องบรรจุภัณฑ์ให้ได้มากกว่า 183 ล้านชิ้นทั่วโลก ซึ่งจะช่วยลดปริมาณคาร์บอนได้กว่า 7,430 ตันต่อปี [68]

บทที่ 5
สรุปผล อภิปราย ข้อเสนแนะ

การศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว และเปรียบเทียบผล LCA ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวกับบรรจุภัณฑ์อาหารอีก 2 ประเภท ได้แก่ (1) บรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติก และ (2) บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCC) เพื่อหาแนวทางในการลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว โดยพิจารณากระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ตามหลัก LCA ภายในขอบเขตของระบบ (System boundary) แบบ Cradle to grave นั่นคือ พิจารณาตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (การปลูกต้นทองกวาว ที่มีอายุตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไป) การผลิต การขนส่ง การนำไปใช้งาน ตลอดถึงการกำจัดบรรจุภัณฑ์อาหารเมื่อเลิกใช้งาน (End-of-life phase: EOL phase) โดยมีหน่วยหน้าที่ (Functional unit) คือ บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวน 130 ชิ้น รายละเอียดการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis: LCI) แสดงในตาราง 6 เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยเรื่อง ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารของใบทองกวาวไว้ แบ่งออกได้เป็น 4 ประเด็น ตามวัตถุประสงค์ มีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 การประเมินค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ทำให้ทราบว่า บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ปริมาตร 400 มิลลิลิตร หนึ่งชิ้น มีค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน เท่ากับ 0.19 kg CO_2 eq โดยกระบวนการหลักที่ส่งผลต่อค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุด คือ กระบวนการขนส่ง จากสถานที่ผลิตในจังหวัดพิษณุโลก ไปยังสถานที่รับซื้อในจังหวัดชลบุรี ระยะทาง 453 กิโลเมตร คิดเป็น ประมาณร้อยละ 50.44 ของค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว สาเหตุหลักมาจากการใช้น้ำมันดีเซลของรถกระบะที่ใช้ในการขนส่ง ดังนั้น แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดผลกระทบจากการขนส่งได้ คือ การเปลี่ยนประเภทของเชื้อเพลิง หรือส่งเสริมให้เกิดการใช้บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวในพื้นที่ผลิต เพื่อลดระยะทางขนส่ง นอกจากนี้ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการขึ้นรูป ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิต ยังเป็นอีกกระบวนการหลักที่ส่งผลต่อค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว หรือคิดเป็น ประมาณร้อยละ 33.90

ของค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ดังนั้น จึงควรพัฒนาเทคโนโลยีการขึ้นรูปที่ใช้อุณหภูมิ หรือกำลังไฟที่ต่ำลง เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และหากพิจารณาเฉพาะการผลิต การใช้ และการกำจัดซาก พบว่า หีบห่อจากกระดาษคราฟท์ เป็นอีกส่วนหนึ่งที่หากยกเลิกหรือลดการใช้ลงได้ จะสามารถลดค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนลงได้ประมาณร้อยละ 5.47 ของค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

5.1.2 หากเปรียบเทียบค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวกับบรรจุภัณฑ์อาหารที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปในปัจจุบัน นั่นคือ บรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติกประเภท PP และชานอ้อย พบว่า บรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย ที่นำมาเปรียบเทียบในการศึกษานี้ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาคือ บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวและบรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติก (PP) คิดเป็น ร้อยละ 81.25 และร้อยละ 88.64 ของค่า GWP ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย ตามลำดับ

5.1.3 จากผลวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยหน้าที่ (Functional unit) ตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว พบว่า กระบวนการผลิตมีแนวโน้มการใช้ต้นทุนรวมสูงกว่ากระบวนการอื่น ๆ เนื่องจากค่าจ้างแรงงาน (อัตราจ้างค่าแรง 300 บาทต่อคนต่อวัน) รองลงมา คือ ต้นทุนด้านวัสดุที่นำมาใช้หีบห่อบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาประกอบการลงทุนทางธุรกิจของผู้ประกอบการ เพื่อลดต้นทุนด้านแรงงาน และด้านหีบห่อบรรจุภัณฑ์ (Packaging) และประกอบการพิจารณาของผู้บริโภคในการเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้ การตรวจสอบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัสดุทดแทนเป็นสิ่งสำคัญ ก่อนที่จะดำเนินการออกมาตรการส่งเสริมหรือสนับสนุน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีความสอดคล้องตามเป้าหมายการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน (Sustainable Consumption and Production) ด้านสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

5.2 อภิปรายผล

การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ สามารถใช้เป็นทางเลือกและวัสดุทดแทน (Replace) บรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว และการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ (LCC) โดยยึดหลักการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) สามารถอภิปรายผลการศึกษาได้ ดังนี้

ผลจากการศึกษา การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ทำให้ทราบว่า บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ มี

ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน เท่ากับ 24.35 kg CO_2 eq ต่อหน่วยหน้าที่ โดยกระบวนการที่ส่งผลกระทบมากที่สุด คือ กระบวนการขนส่ง รองลงมาเป็นกระบวนการผลิตจากการใช้พลังงานไฟฟ้า และกระบวนการกำจัดขยะ คิดเป็น ร้อยละ 50.44 ร้อยละ 33.90 และร้อยละ 15.66 ของค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนทั้งหมด ตามลำดับ

ผลจากการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า การเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (Biodegradable) แบบใช้เพียงครั้งเดียว (Single use) อย่างบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ซึ่งยังไม่เคยมีงานวิจัยอื่น ที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและนำผลจากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เช่น ชานอ้อย ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป อีกทั้งยังมีการพัฒนาไปในเชิงอุตสาหกรรม จากการทบทวนวรรณกรรมของบรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย โดยพิจารณาที่ขนาดบรรจุเท่ากัน นั่นคือ ปริมาตร 400 มิลลิลิตร โดยลักษณะของบรรจุภัณฑ์อาหารจากชานอ้อยเป็นกล่องสี่เหลี่ยม จากผลการเปรียบเทียบ พบว่า บรรจุ-ภัณฑ์อาหารจากชานอ้อย มีค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน มากกว่า คิดเป็น ร้อยละ 81.25 ของค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ดังนั้น การเลือกใช้บรรจุ-ภัณฑ์อาหารที่ทำมาจากวัสดุที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน

การหาต้นทุนในการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว เท่ากับ 820.07 บาทต่อหน่วยหน้าที่ โดยต้นทุนส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิต รองลงมา เป็นกระบวนการขนส่ง (จากค่าเชื้อเพลิงดีเซลและค่าบริการไปรษณีย์) คิดเป็น ร้อยละ 93.16 และ ร้อยละ 6.84 ของต้นทุนบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาบรรจุภัณฑ์ทางเลือกจากการศึกษานี้ นั่นคือ ใบทองกวาว พบว่า กระบวนการที่ดำเนินการอยู่ (ตามขอบเขตระบบของการศึกษานี้) ยังมีต้นทุนการผลิตที่สูง และมีปริมาณวัตถุดิบไม่เพียงพอต่อการผลิต นอกจากนี้ จากการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบด้านศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน แสดงให้เห็นว่า บรรจุภัณฑ์อาหารที่ทำมาจากวัสดุธรรมชาติ ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกัน ดังนั้น จึงควรพิจารณาเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถใช้ซ้ำ (Reuse) เช่น บรรจุภัณฑ์อาหารจากกระเบื้อง เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้โดยการล้างทำความสะอาด ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ ที่ระยะเวลาการใช้งานประมาณ 6 เดือน (180 วัน) พบว่า บรรจุภัณฑ์อาหารจากกระเบื้อง มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.79 kg CO_2 eq ต่อชิ้น ซึ่งน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์อาหารแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งทั้ง 3 ประเภท

ดังนั้น แนวทางการหันมาใช้บรรจุภัณฑ์ทางเลือก (Replace) เพื่อช่วยลดปริมาณขยะจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวนั้น เป็นแนวทางการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรูปแบบหนึ่ง (ลดปริมาณขยะพลาสติก) แต่ก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอีกรูปแบบหนึ่ง (เพิ่มปริมาณก๊าซ

เรือนกระจกจากการฝังกลบขยะอินทรีย์) อันเป็นผลที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจ (Unintended consequences)

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษา พบว่า ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน ตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุ-ภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว คือ พลังงานเชื้อเพลิง (ดีเซล) และพลังงานไฟฟ้า ส่งผลต่อค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุด รวมถึงต้นทุนในกระบวนการผลิตมีแนวโน้มที่สูงกว่ากระบวนการอื่น โดยเฉพาะต้นทุนด้านแรงงาน และด้านหีบห่อบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

ดังนั้น ในอนาคตข้อมูลทั้งหมดที่ได้ จากรายละเอียดการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม สามารถถูกนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และส่งเสริมบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทนี้ให้ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค โดยการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมและมีมาตรฐานในผลิต ทำให้ผู้บริโภครับรู้ถึงคุณภาพต่อผลิตภัณฑ์และมองเห็นความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมขององค์กร อีกทั้ง ผู้ผลิตยังสามารถนำข้อมูลไปพัฒนาธุรกิจและผลิตภัณฑ์ และหากมองไปสู่เป้าหมายในอนาคต ควรเริ่มหันมาศึกษากระบวนการปลูกต้นทองกวาวอย่างจริงจัง อย่างน้อยต้นไม้ก็สามารถกักเก็บคาร์บอนได้

บรรณานุกรม

1. Nichols, W. and Smith, N. (2019). Waste Generation and Recycling Indices 2019 Overview and findings. Verisk Maplecroft Environment Dataset. 2019:1-18.
2. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). (ร่าง) Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561–2573. สืบค้นเมื่อ 23 เมษายน 2564, จาก https://www.pcd.go.th/garbage/
3. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. PACKAGING INTELLIGENCE UNIT (ฐานข้อมูลเชิงลึกบรรจุภัณฑ์). 2564. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2564, จาก https://packaging.oie.go.th/new/base_status_packaging.php
4. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2562. กรุงเทพฯ: บริษัท สไตล์ครีเอทีฟเฮ้าส์ จำกัด.
5. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2563. กรุงเทพฯ: บริษัท สไตล์ครีเอทีฟเฮ้าส์ จำกัด.
6. Professor Plastics. (2018). History of Plastics. Plastic Packaging History: Innovations Through the Decade. Retrieved 23 February 2020, from https://www.plasticsmakeitpossible.com/about-plastics/history-of-plastics/
7. บุญชนิต ว่องประพิณกุล และสุจิตรา วาสนาดำรงดี. (2564). ขยะพลาสติกจากการสั่งอาหารออนไลน์” สถานการณ์ปัญหาและแนวทางแก้ไข (ตอนที่ 1). วารสารสิ่งแวดล้อม, 25(1). สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2564, จาก http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6137/301
8. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). มาเรียนรู้เรื่องพลาสติกและโฟม เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม (3). กรุงเทพฯ: บริษัท ฮีซ์ จำกัด.
9. ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2562). การแข่งขันของแอปพลิเคชั่นสั่งอาหาร ดันธุรกิจ Food Delivery เติบโตต่อเนื่อง คาดมีมูลค่าสูงถึง 33,000–35,000 ล้านบาท ในปี 2562. บทวิเคราะห์แนวโน้มธุรกิจ (กระแสทรรศน์). 2995. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564, จาก https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-con/business/Pages/z2995.aspx
10. สมิตานัน หยงสตาร์. (2562). "มาเรียม" ลูกพะยูนตัวแรกของไทยที่มนุษย์เป็นแม่นมให้ในสภาวะธรรมชาติ, สืบค้นเมื่อ 18 มิถุนายน 2564, จาก https://www.bbc.com/thai/thailand-48494062
11. Jitpleecheep, P. (2019). Food Passion tries to cut plastic waste. Retrieved 3 February 2020, from https://www.bangkokpost.com/business/

12. Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., et al. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. Science. 347(6223), 768-771.

13. กลุ่มบริษัท ดาว ประเทศไทย. (2564). โครงการกรีนพลาส พาเลท. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2565, จาก https://www.dowfamilythailand.com/th/news-detail.

14. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2561). ประกาศจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เรื่อง นโยบายจัดการขยะแบบครบวงจรของ CHULA zero waste. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2564, จาก http://www.chulazerowaste.chula.ac.th/

15. Zhang, L. (2021). China: Single-Use Plastic Straw and Bag Ban Takes Effect. Retrieved 30 November 2021, from https://www.loc.gov/item/global-legal-monitor/2021-03-23/china-single-use-plastic-straw-and-bag-ban-takes-effect/

16. Directive EU. (2019). Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. OJ L 155, 12.6.2019, 1-19.

17. SDG Move Team. (2565). SDG Insights “ขยะพลาสติกในทะเล: ความพยายามของภูมิภาคอาเซียน”. สืบค้นเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2565, จาก https://www.sdgmove.com

18. Parry, M., Canziani, O., et al. (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerabilit. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

19. สุกัลยา เกตุแก้ว และธวัลพร มุษกะ. (2561). การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และต้นทุนที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์สิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมของสัตว์ทดลอง: กรณีศึกษาจากเส้นใยกาบกล้วย. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

20. Science History Institute. (2022). Science of Plastics. Retrieved 23 February 2022, from https://www.sciencehistory.org/science-of-plastics

21. Union Thai Polyplast Co., Ltd. (2019). ประเภทของพลาสติก. สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2564, จาก https://www.unionthai.com/

22. Watana Bhand Packaging System Co., Ltd. (2017). โพลีเอทิลีน Polyethylene. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564, จาก https://www.watanabhand.co.th

23. ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2563). บรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม: บทวิเคราะห์แนวโน้มธุรกิจ (กระแสทรรศน์). 3137. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564, จาก https://www.kasikornresearch.com/TH/analysis/k-econ/business/Pages/z3 1 3 7 - Packaging.aspx

24. Burli, D.A., Khade, A.B. (2007). A Comprehensive Review on *Butea monosperma* (Lam.) Kuntze, Pharmacognosy Reviews. 1(2), 333-337.

25. Jhade, D., Ahirwar, D., et al. (2009). *Butea monosperma* (Lam.) Taubert: A review. Journal of Pharmacy Research. 2(7), 1181-1183.

26. สมร หิรัญประดิษฐกุล. (2560). ศึกษาคุณสมบัติใบทองกวาวเพื่อใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. ทุนวิจัยงบประมาณรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2560, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

27. ฐานข้อมูลพรรณไม้ องค์การสวนพฤกษศาสตร์. (2558). ทองกวาว. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564, จาก http://www.qsbg.org/database/botanic_book

28. ศูนย์วิจัยธนาคารกรุงเทพ. (2563). 4 เทรนด์การออกแบบบรรจุภัณฑ์รักษ์โลก ในปี 2021. SME in Focus. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564, จาก https://www.bangkokbanksme.com/en/green-packaging-design-trends-2021

29. วิวัฒน์ ตัณฑะพาณิชกุล. (2545-2546). การผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย. รายงานฉบับสมบูรณ์จากโครงการวิจัยร่วมภาครัฐขเอกชน, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

30. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม. (2562). การใช้ประโยชน์จากอ้อยและผลิตภัณฑ์จากอ้อย. สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2565, จาก http://www.ocsb.go.th/

31. ทีมงานนิตยสารต่วยตูน. (2562). อ้อย ตำนานแห่งความหวาน. ไทยรัฐซันเดย์สเปเชียล. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2564, จาก https://www.thairath.co.th/lifestyle/life/1695390

32. สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). (2561). เชื้อเพลิงเขียว เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้. สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2564, จาก http://www.thai-explore.net/search_detail/result/5728

33. บริษัท ลีฟฟอร์มมิ่ง จำกัด. (2560). แผนการตลาด (Marketing Plan) จานใบไม้วิถีไทย. โครงการ Innovation Hub – Creative Economy เพื่อสร้างเศรษฐกิจฐานนวัตกรรมของประเทศตามนโยบายประเทศไทย 4.0 ประจำปี พ.ศ. 2560. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

34. วีรฉัตร กิตติรัตนไพบูลย์. (2548). บริษัท บรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน). สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2564, จาก https://gracz.co.th/
35. สถาบันไทยพัฒน์. (5 พฤษภาคม 2554). บรรจุภัณฑ์ชานอ้อย “ไบโอ” นวัตกรรมใหม่ทดแทนกล่องโฟม. สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2564, จาก http://oknation.nationtv.tv/blog/greenocean/2011/05/05/entry-1
36. Emonclus. (2017). Leaf Republic company. Retrieved August 20, 2020, from https://wedreambusiness.org/Leaf-Republic.html
37. Tapari Limited. (2017). Quality Products Made from Leaves. Retrieved September 9, 2021, from https://tapari.co.uk/
38. Dwork, M. (2006). VerTerra Dinnerware. Retrieved September 11, 2021, from https://www.verterra.com/collections/dinnerware-from-fallen-leaves
39. Kora, A.J. (2019). Leaves as dining plates, food wraps and food packing material: Importance of renewable resources in Indian culture. Bulletin of the National Research Centre. 43:205. Retrieved September 9, 2021, from https://bnrc.springeropen.com/track/pdf/10.1186/s42269-019-0231-6.pdf
40. Bohlmann, G.M. (2004). Biodegradable Packaging Life-Cycle Assessment. Wiley Inter Science, 23(4), 342-346
41. Soratana, K., Landis, A.E., et al. (2021). Supply Chain Management of Tourism Towards Sustainability. SpringerBriefs in Environmental Science, 1-64.
42. เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (2555). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ Life Cycle Assessment of Products. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
43. International Organization for Standardization: ISO 14040:2006 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. (2006)
44. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. (2560). การจัดการของเสียอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน (1). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
45. ปริญญ์ บุญกนิษฐ และ อรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์. (2553). การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจในงานอุตสาหกรรม: Eco-Industrial Product Design. สถานที่พิมพ์: ฝ่ายสารสนเทศและวิชาการ สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.

46. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2557). การจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร. กรุงเทพฯ: สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม.

47. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2554). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุต พริ้นท์ขององค์กร: โครงการส่งเสริมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. กรุงเทพฯ.

48. Papong, S., Malakul, P., et al. (2014). Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. Journal of Cleaner Production, Vol.65, 539-550.

49. Ingrao, C., Giudice, A.L., et al. (2015). Foamy polystyrene trays for fresh-meat packaging: Life-cycle inventory data collection and environmental impact assessment. Food Research International, Vol.76(3), 418-426.

50. Gautam, A., Mata, T.M., et al. (2020). Evaluation of Areca palm renewable options to replace disposable plastic containers using life cycle assessment methodology. Energy Reports, Vol.6(1), 80-86.

51. Boutros, M., Saba, S., Manneh, R. (2021). Life cycle assessment of two packaging materials for carbonated beverages (polyethylene terephthalate vs. glass): Case study for the lebanese context and importance of the end-of-life scenarios. Journal of Cleaner Production, Vol.314, 128289.

52. Korbelyiova, L., Malefors, C., et al. (2021). Paper vs leaf: Carbon footprint of single-use plates made from renewable materials. Sustainable Production and Consumption, Vol.25, 77-90.

53. Sharma, B.K., Chandel, M.K. (2021). Life cycle cost analysis of municipal solid waste management scenarios for Mumbai, India. Waste Management, Vol.124, 293-302.

54. ชณิภรณ์ เรืองฤทธิ์. (2559). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น กรณีศึกษาถุงพลาสติกสำหรับอาหาร. วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

55. ชุติมณฑน์ เจริญกิจจาธร. (2561). เกษตรอินทรีย์และทฤษฎีต้นทุนวงจรอายุ Life Cycle Costing. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง บช.ม., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

56. Cinelli, P., Chiellini, E., Lawton, J.W., and Imam, S.H. (2006). Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly (vinyl alcohol). Polymer Degradation and Stability, Vol.91, 1147-1155.

57. Carvalho, A.P.A.D., Junior, C.A.C. (2020). Green strategies for active food packagings: A systematic review on active properties of graphene-based nanomaterials and biodegradable polymers. Trends in Food Science & Technology, Vol.103, 130-143.

58. Andrade, M.S., et al. (2022). Development of sustainable food packaging material based on biodegradable polymer reinforced with cellulose nanocrystals. Food Packaging and Shelf Life, Vol.31, 100807.

59. ประนอม ตั้งมั่นคง. (2542). การผลิตถาดที่ย่อยสลายได้เสริมเส้นใย. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

60. มลสุดา ลิวไธสง. (2556). การผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

61. Ziegahn, K.-F. (1994). Packaging and environment. Ecomaterials, 425-430.

62. Caba, K.D.L., Guerrero, P., Trung, T.S., et al. (2019). From seafood waste to active seafood packaging: An emerging opportunity of the circular economy. Journal of Cleaner Production, Vol.208, 86-98.

63. Nayak, S., Barik, S., Jena, P.K. (2021). Eco-friendly, bio-degradable and compostable plates from areca leaf. Biopolymers and Biocomposites from Agro-Waste for Packaging Applications, 127-139.

64. Zhang, H., Xue, L., et al. (2022). Food delivery waste in Wuhan, China: Patterns, drivers, and implications. Resources, Conservation and Recycling, Vol.177, 105960.

65. อรุณี ภู่สุดแสวง. (2553). การปลูกและจัดการสักเชิงเศรษฐกิจ สำหรับเกษตรกรและภาคเอกชน. กลุ่มงานเศรษฐกิจป่าไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้, กรมป่าไม้. สถานที่พิมพ์: บริษัท อักษรสยามการพิมพ์.

66. ธัญญลักษณ์ โตทัย. (2563). การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าปลูกไม้สัก อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

67. ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. (2566). เครื่องอัดกระทงใบตองรุ่น 2, 3 และรุ่น 4. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2566, จาก https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=68828

68. Event Information. (2566). “Step Out of The Box” ก้าวต่อไปไร้กล่อง. สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2566 จาก https://www.thepeople.co/special/event/information/51197

69. Fangmongkol, K., Gheewala, S.H., (2020). Life cycle assessment of biodegradable food container from bagasse in Thailand. Journal of Sustainable Energy & Environment, Vol.11, 61-69.

70. Svensson, A. (2021). Life Cycle Assessment of Take-Away Food Containers An Analysis of Dry Moulding Compared to Traditional Methods. Master thesis, M.Sc., Chalmers University of Technology, Sweden.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว โดยพิจารณาทรัพยากร พลังงานที่ใช้ และการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสมมติฐานต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการคำนวณ ซึ่งค่า Emission Factor จะใช้ฐานข้อมูลจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ของประเทศไทย ดังแสดงในตาราง ก1 ซึ่งพลังงานที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนคำนวณจากการนำปริมาณเชื้อเพลิงไปคูณกับค่าแปลงพลังงาน ดังสมการที่ (1) โดยประเภทของเชื้อเพลิงจะแสดงค่าความร้อนสุทธิตามเชื้อเพลิงนั้น ๆ ดังแสดงในตาราง ก2

ตาราง ก1 ค่า Emission Factor ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ทรัพยากร	หน่วย	Emission factor ($kg\ CO_2\ eq$)	แหล่งที่มา
ดีเซล (เผาไหม้โดยเครื่องจักรกลเกษตร)	litre	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
ดีเซล (เผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่)	litre	2.7406	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
ปุ๋ยคอก (ขี้วัวตากแห้ง)	kg	0.1097	ecoinvent 2.0_Update_24Sep12
ไฟฟ้า	kWh	0.4999	Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA, AR5 (with TGO electricity 2016-2018)
ขยะ (หลุมฝังกลบ)			
-ขยะมูลฝอย (กระดาษ)	kg	2.93	ecoinvent 2.2_Update_Apr2015
-ขยะอินทรีย์ (ไม้หลัก,เศษใบและบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้ว)	kg	3.27	ecoinvent 2.2_Update_Apr2015
-พลาสติก (PE และ PET)	kg	3.13	ecoinvent 2.2_Update Sep2012
-พลาสติก (PP)	kg	2.39	ecoinvent 2.0_Update Sep2012

ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

พลังงานที่ใช้ ดังสมการที่ (1)

พลังงานที่ใช้ = ปริมาณที่ใช้ × ค่าความร้อนสุทธิ (1)

ตาราง ก2 ค่าการแปลงหน่วยปริมาณพลังงานเชื้อเพลิง (ค่าความร้อนสุทธิ)

เชื้อเพลิง	ค่าความร้อนสุทธิ	หน่วย
ำมันดีเซล	36.42	MJ/Litre
ำมันเบนซิน	31.48	MJ/Litre

ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

จากตาราง ก1 คำนวณหาสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยหน้าที่ (เท่ากับบรรจุภัณฑ์อาหาร ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวน 130 ชิ้น) ดังนี้

- น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (เผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่) = (4.48 MJ) × (2.7406 kg CO_2 eq) = 12.28 kg CO_2 eq
- ไฟฟ้า = (16.51 MJ) × (0.4999 kg CO_2 eq) = 8.25 kg CO_2 eq
- ขยะมูลฝอย (กระดาษ) = (0.896 kg) × (2.93 kg CO_2 eq) = 2.63 kg CO_2 eq
- ขยะมูลฝอย (เศษใบและบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้ว) = (0.324 kg) × (3.27 kg CO_2 eq) = 1.06 kg CO_2 eq
- ขยะมูลฝอย (PE และ PET) = (0.041 kg) × (3.13 kg CO_2 eq) = 0.13 kg CO_2 eq

รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 24.35 kg CO_2 eq

ตาราง ก3 ตารางการกำหนดอายุการใช้งาน และอัตรามูลค่าซากของสินทรัพย์

ประเภทสินทรัพย์	อายุการใช้งาน (ปี)		อัตรามูลค่าซาก/ปี	
	อย่างต่ำ	อย่างสูง	ร้อยละ	
1. ครุภัณฑ์โรงงาน - เครื่องจักรกล (เครื่องตีพิมพ์หรืออัดแบบ)	3	10	10	33
2. ครุภัณฑ์สำนักงาน - พัดลม	3	12	8	33
3. ครุภัณฑ์งานบ้านงานครัว - เครื่องซีลสุญญากาศ	2	5	20	50
4. ครุภัณฑ์การเกษตร - เครื่องมือและอุปกรณ์ (เครื่องสูบน้ำ)	2	5	20	50

ที่มา: กลุ่มงานระบบบัญชีภาครัฐ สำนักมาตรฐานด้านการบัญชีภาครัฐ กรมบัญชีกลาง 2561

การคำนวณหาต้นทุนที่ใช้ในการผลิตสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว แบ่งออกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร ประกอบด้วย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน ค่าน้ำ ค่าขนส่ง มีรายละเอียดดังนี้

การคำนวณหาต้นทุนคงที่

จากตาราง ก3 เป็นการคำนวณหาต้นทุนคงที่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

ตัวอย่าง การตีราคาสินทรัพย์

จากการคำนวณค่าเสื่อมราคาของเครื่องขึ้นรูปจานใบไม้ระบบนิวเมติกส์

มูลค่าซาก = ราคาทุนของอุปกรณ์ × อัตรามูลค่าซาก

= 100,000 × (33/100)

มูลค่าซาก = 33,000 บาท

ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ = (ราคาทุนของอุปกรณ์ – มูลค่าซาก)/ อายุการใช้งาน (ปี)

= (100,000 – 33,000)/ 10

= 6,700 บาทต่อปี

ดังนั้น 1 ปี (365 วัน) สามารถผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวได้ 47,450 ชิ้น

ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ต่อหน่วยหน้าที่ ในระยะเวลา 10 ปี

= 6,700/ 474,500 ชิ้น

= 0.014 บาทต่อปีต่อหน่วยหน้าที่

อย่างไรก็ตาม สามารถคำนวณหาต้นทุนของมูลค่าซากของสินทรัพย์ ตามอายุการใช้งานในแต่ละปี ดังแสดงในตาราง ก4

ตาราง ก4 การคำนวณมูลค่าซากของสินทรัพย์ ตามอายุการใช้งาน (ปี)

อายุการใช้งาน (ปี)	ประเภทสินทรัพย์			
	เครื่องขึ้นรูปด้วยความร้อน	พัดลม	เครื่องซีลสุญญากาศ	เครื่องสูบน้ำ
1	37,000	596.30	1,100	4,400
2	33,500	298.15	550	2,200
3	22,334	198.77	366.67	1,466.67
4	16,750	149.08	275	1,100
5	13,400	119.26	220	880
6	11,167	99.38	-	-
7	9,571.43	85.19	-	-
8	8,375	74.54	-	-
9	7,444.44	66.26	-	-
10	6,700	59.63	-	-
11	-	54.21	-	-
12	-	49.69	-	-

หมายเหตุ: วิธีการคำนวณเหมือนตัวอย่างการตีราคาสินทรัพย์ โดยนำข้อมูลมาจากตารางที่ ก3

การคำนวณหาต้นทุนผันแปร

ก.1 ค่าไฟฟ้า

ตาราง ก5 อัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

2.1 อัตราปกติ	**ค่าพลังงานไฟฟ้า**	**ค่าบริการ**
	(บาท/หน่วย)	**(บาท/เดือน)**
2.1.1 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์ (kV)	3.9086	312.24
2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์ (kV)		46.16
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-150)	3.2484	
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400)	4.2218	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217	

ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2560

จากตาราง ก5 แสดงค่าอัตราการใช้ไฟฟ้า โดยการคำนวณแบบกิจการขนาดเล็ก ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในเวลา 15 นาที สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว ดังนั้น ในกรณีศึกษานี้ มีการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบ-ทองกวาวต่อหน่วยหน้าที่ (หรือ บรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวน 130 ชิ้น) มีอัตราการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 4.585 kWh ต่อวันต่อหน่วยหน้าที่ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก5 พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้า 150 หน่วยแรก มีค่าเท่ากับ 3.2484 บาทต่อหน่วย โดยทำการคำนวณค่าไฟฟ้า ดังรายละเอียดนี้

การคิดค่าไฟฟ้า = ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) + ภาษีมูลค่าเพิ่ม (Vat)

ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) = -0.1160 บาท

ดังนั้น กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า = 4.585 kWh ต่อวันต่อหน่วยหน้าที่ (บรรจุภัณฑ์ 130 ชิ้น)

ค่าไฟฟ้าฐาน (แรงดันต่ำกว่า 22 kV)

150 หน่วยแรก = 4.585 × 3.2484 = 14.89 บาทต่อวันต่อหน่วยหน้าที่

สมมติว่า หากใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 1 เดือน จะมีอัตราการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 137.55 kWh ต่อเดือน

150 หน่วยแรก = 137.55 × 3.2484 = 446.82 บาทต่อเดือน

ค่าบริการ = 46.16 บาทต่อเดือน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าฐาน = 446.82 บาทต่อเดือน + 46.16 บาทต่อเดือน

= 492.98 บาทต่อเดือน

ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) = 137.55 × (-0.1160) = -15.96 บาทต่อเดือน

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (Vat) = (492.98 – (-15.96) × 0.07 = 35.63 บาทต่อเดือน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว

= (492.98 + (-15.96) + 35.63) × 12 เดือน

= 6,151.80 บาทต่อปี หรือ 512.65 บาทต่อเดือน

ก.2 ค่าจ้างแรงงาน

ตาราง ก6 อัตราค่าแรงงานขั้นต่ำ (บนพื้นที่ 1 ไร่ ต้นทองกวาว จำนวน 178 ต้น)

ค่าแรงงาน	ปริมาณ/หน่วย	ราคา	รวมเป็นเงิน (บาท)
ส่วนที่ 1 ค่าบำรุงรักษา	2 คน	300 บาทต่อคน	600
ส่วนที่ 2 ค่าเก็บเกี่ยวใบทองกวาวสด	3 คน	กิโลกรัมละ 6.50 (420 กิโลกรัมต่อวัน)	2,730.52
ส่วนที่ 3 ค่าผลิตบรรจุภัณฑ์	2 คน	300 บาทต่อคน	600

ที่มา: กระทรวงแรงงาน

หมายเหตุ: ค่าแรงในการเก็บเกี่ยว ชั่งตามน้ำหนักวัตถุดิบ โดยมีราคาอยู่ที่กิโลกรัมละ 5-10 บาท ซึ่งในการศึกษานี้ พิจารณาค่าเก็บเกี่ยวใบทองกวาวสดที่กิโลกรัมละ 6.50 บาท

จากตาราง ก6 แสดงค่าอัตราการจ้างแรงงานในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาว โดยการคำนวณตามส่วนการจ้างแรงงาน ดังรายละเอียดนี้

ส่วนที่ 1 ค่าบำรุงรักษา

178 ต้น ต่อ 8 ชั่วโมง (เท่ากับ 1 วัน)

ต้นทองกวาว 1 ต้น เมื่อมีอายุ 5 ขึ้นไป ควรบำรุงรักษาโดยการใส่ปุ๋ยคอกปีละ 1 ครั้ง ๆ ละ 2 กิโลกรัมต่อต้น ปริมาณ 356 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี โดยโรยรอบ ๆ โคนต้น เป็นการเพิ่มธาตุอาหารและปรับสภาพทางกายภาพของดิน

ดังนั้น ค่าบำรุงรักษาต้นทองกวาว 178 ต้น เท่ากับ 600 บาทต่อ178 ต้น = 3.37 บาทต่อต้นต่อปี

ส่วนที่ 2 ค่าเก็บเกี่ยวใบทองกวาวสด

178 ต้น ต่อ 6 ชั่วโมง

ต้นทองกวาว 1 ต้น สามารถเก็บเกี่ยวใบได้ 300-500 ใบ ดังนั้น 178 ต้น จะเท่ากับ 5,126,400-8,544,000 ใบ ในกรณีศึกษานี้ พิจารณาเก็บเกี่ยวใบ 1 ต้น เท่ากับ 300 ใบ ต่อหน่วยหน้าที่ ซึ่งการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากใบทองกวาวนั้น ต้องใช้ใบสด 2 ใบ ประกบกันเพื่อขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องขึ้นรูปจานใบไม้ระบบนิวเมติกส์ (หนึ่งหน่วยหน้าที่ ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จำนวน 130 ชิ้น) ที่เหลืออีก 20 ชิ้น เป็นวัตถุดิบที่เกิดการชำรุดเสียหายระหว่างการผลิต

ดังนั้น (6.50 บาท/ 5,126,400 ใบ) × (2 ใบทองกวาวต่อ 1 ชิ้น) × (47,450 ชิ้นต่อปี)

= 0.12 บาทต่อใบต่อปี

ส่วนที่ 3 ค่าผลิตบรรจุภัณฑ์

1 สัปดาห์ สามารถผลิตบรรจุภัณฑ์ได้ 910 ชิ้น

1 เดือน สามารถผลิตบรรจุภัณฑ์ได้ 3,900 ชิ้น

ดังนั้น ใน 1 วัน จ้างแรงงาน 2 คน ๆ ละ 300 บาท

= (18,000 บาทต่อเดือน) × (12 เดือนต่อปี) = 216,000 บาทต่อปี

ก.3 ค่าน้ำ

คำนวณจากค่าน้ำในส่วนราชการ/ธุรกิจ 0-10 ลูกบาศก์เมตร (m^3) = 9.50 บาทต่อ m^3

ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิต ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด

จะเท่ากับ = 720 ลิตร หรือ 0.720 m^3 ต่อหน่วยหน้าที่

= 9.50 บาทต่อ m^3 × 0.720 m^3 ต่อหน่วยหน้าที่

= 6.84 บาทต่อหน่วยหน้าที่

ก.4 ค่าขนส่ง

ในกรณีศึกษานี้ พิจารณาการขนส่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่

ช่วงแรก ขนส่งใบทองกวาวจาก อ.เมือง ไป-กลับ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ซึ่งมีระยะทาง 50 กม. โดยใช้รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 1 คัน ขนาดบรรจุ กว้าง×ยาว×สูง (1.60×3×1.60 เมตร) อัตราเร็ว 80 กม.ต่อชม. น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ราคา 35.37 บาทต่อลิตร

ดังนั้น ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงต่อหน่วยหน้าที่

= 35.37 บาทต่อลิตร × 0.0029 ลิตร × 50 กม.

= 0.1026 บาทต่อลิตรต่อหน่วยหน้าที่

ช่วงที่ 2 ขนส่งใบทองกวาวจาก จ.พิษณุโลก ไป จ.ชลบุรี ซึ่งมีระยะทาง 453 กม. โดยใช้รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 1 คัน ขนาดบรรจุ กว้าง×ยาว×สูง (1.60×3×1.60 เมตร) อัตราเร็ว 80 กม.ต่อชม. น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ราคา 35.37 บาทต่อลิตร

ดังนั้น ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงต่อหน่วยหน้าที่

= 35.37 บาทต่อลิตร × 0.12 ลิตร × 453 กม.

= 4.2444 บาทต่อลิตรต่อหน่วยหน้าที่

(ข้อมูลอ้างถึง: https://www.pttor.com/th/oil_price ณ วันที่ 4 กพ.66)

ก.5 ค่าสถานที่

ค่าเช่าสถานที่ = (ราคาเช่า (บาทต่อเดือน)) × (ระยะเวลาเช่าต่อปี)

หมายเหตุ: เนื่องจากกรณีศึกษานี้ ได้ทำงานวิจัยในห้องวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จึงไม่มีต้นทุนค่าเช่าสถานที่

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการเพาะปลูกต้นทองกวาว

การคำนวณปริมาณสารขาเข้า และสารขาออกในกระบวนการเพาะปลูกต้นทองกวาว

จากการศึกษานี้ พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อต้นทองมีอายุการปลูกตั้งแต่ 5 ปี ขึ้นไป โดยสมมติฐานการปลูกต้นทองกวาว บนพื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกต้นทองกวาวได้ 178 ต้น ใน 1 รอบการปลูกสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ซึ่งในแต่ละปีสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดทั้งปี โดยเฉลี่ยปีละ 64-79 ตันน้ำหนักใบสด หรือคิดเป็น 78,912-64,128 กิโลกรัมน้ำหนักใบสด ซึ่งการเก็บเกี่ยวสามารถผลผลิตทุก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยการเก็บเกี่ยวนั้นจะใช้แรงงานคนและขนส่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทันที ในการขนส่งใบทองกวาว จากพื้นที่เพาะปลูกไปยังที่ตั้งการผลิตใช้รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล วิ่งปกติ อัตราความเร็ว 80 กม./ชม. มีระยะทางไป-กลับ 50 กิโลเมตร

โดยสมมติเริ่มทำการปลูกต้นทองกวาวช่วงฤดูฝน ประมาณเดือนพฤษภาคม เพราะปริมาณน้ำในฤดูฝนจะช่วยให้ต้นทองกวาวมีโอกาสเติบโตและรอดสูง ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมดิน เป็นการปรับระดับพื้นที่และปรับสภาพผิวดินให้เหมาะสมตามที่ต้องการ ซึ่งควรเลือกพื้นที่ที่โล่งแจ้ง มีแสงแดดจัดตลอดทั้งวัน อีกทั้งควรกำหนดแผนผังการปลูกไว้ก่อน เพื่อความสวยงามเป็นระเบียบเรียบร้อย โดยเริ่มจากการใช้วิธีไถดะ หรือไถแปร 1 ครั้ง เพื่อกลบวัชพืชชนิดต่าง ๆ และยกร่องแปลงปลูกระหว่างแถวให้ห่างกันประมาณ 3X3 เมตร

ตาราง ข1 ปริมาณเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินเพื่อปลูกต้นทองกวาว บนพื้นที่ 1 ไร่

กระบวนการ	ทรัพยากร	ปีที่ 1			ตั้งแต่ปีที่ 2 ขึ้นไป
		ราคาจ้างเหมาอุปกรณ์พร้อมค่าแรง (บาท)	ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ (ลิตร)	รวมเป็นเงิน (บาท)	
การเตรียมดิน - ไถดะ 1 ครั้ง	รถแทรกเตอร์พ่วงผานไถ 4 จาน	500	3	500	0

ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเตรียมดิน โดยการไถดะ 1 ครั้ง ในพื้นที่ 1 ไร่ ทำปีแรกเพียงครั้งเดียว ในการศึกษานี้พิจารณาการใช้รถแทรกเตอร์พ่วงจานไถ 4 ผาน ขนาด 85 แรงม้า เครื่องยนต์ 4,400 cc อัตราการกินน้ำมันอยู่ที่ประมาณ 3 ลิตรต่อไร่ ดังแสดงในตาราง ข1

2. การปลูก โดยการขุดหลุม ขนาดประมาณ 50X50X50 เซนติเมตร จากนั้นนำต้นกล้าทองกวาวที่เตรียมไว้ ลักษณะของต้นกล้าควรมีความสูง ประมาณ 20-30 เซนติเมตรขึ้นไป (อายุ 4-6 เดือน) จำนวน 178 ต้น ราคาต้นละ 20 บาท ลงในแปลงปลูกที่เตรียมไว้ รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยหมักหรือ

ปุ๋ยคอกผสมดินร่วน ในอัตรา 1:2 กิโลกรัมต่อต้น และหาไม้หลักซึ่งมีความสูงมากกว่าต้นกล้าทองกวาว พอประมาณมาปักข้าง ๆ และผูกเชือกยึดกับลำต้นอย่างหลวม ๆ เพื่อช่วยในการทรงตัวของต้นทองกวาวและป้องกันลมพัดโยกทำให้เกิดความเสียหายได้ ส่วนค่าแรงในการปลูกเหมาจ่ายคนละ 300 บาท จำนวน 2 คน ต่อไร่ เมื่อปลูกเสร็จรดน้ำให้ชุ่ม และควรรดน้ำติดต่อกันทุกวัน อย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง ตลอด 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นควรรดน้ำ 7-10 วันต่อ ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 เดือน และช่วงเดือนที่ 3-4 (2 สัปดาห์ละ 1 ครั้ง) เดือนที่ 5-6 เป็นเดือนละ 1 ครั้ง

ดังนั้น ในการศึกษานี้เลือกรูปแบบการให้น้ำทีละต้น โดยใช้ปั๊มน้ำ ขนาด 1 แรงม้า กำลังไฟ 800 วัตต์ โดยอัตราการไหล 70 ลิตรต่อนาทีระยะเวลาการให้น้ำ ครั้งละ 40 นาที สมมุติว่าต้นทองกวาว 1 ต้น ให้น้ำ 15 ลิตรต่อครั้ง รวมพื้นที่ทั้งหมด 1 ไร่ จำนวน 178 ต้น คิดเป็น 2,670 ลิตร หรือ 2.67 ลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในตาราง ข2

ตาราง ข2 ช่วงเวลาการรดน้ำในช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรก (นับหลังจากการปลูกต้นทองกวาว)

อายุต้นทองกวาว	สัปดาห์ที่ 1 /ครั้ง	สัปดาห์ที่ 2 /ครั้ง	สัปดาห์ที่ 3 /ครั้ง	สัปดาห์ที่ 4 /ครั้ง	รวม
1 สัปดาห์แรก	7	-	-	-	7
1 เดือนหลังปลูก	1	1	1	1	4
2 เดือน	1	1	1	1	4
3-4 เดือน	(1 ครั้ง × 2 เดือน)		(1 ครั้ง × 2 เดือน)		4
5-6 เดือน	(1 ครั้ง × 2 เดือน)				2
				รวม	21 ครั้ง

ดังนั้น ในช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรก คิดเป็น (21 ครั้ง × 40 นาที) เท่ากับ 14 ชั่วโมง คิดเป็นการใช้ไฟฟ้า (800 วัตต์ × 14 ชั่วโมง) เท่ากับ 11.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (ดังแสดงในตาราง ก4) เท่ากับ 123.25 บาท สำหรับขั้นตอนการเพาะปลูกนี้

3. การบำรุงรักษา ในช่วง 1-3 ปีแรก ควรบำรุงลำต้นด้วยการใส่ปุ๋ยคอกปีละ 4 ครั้ง ๆ ละ 2 กิโลกรัมต่อต้น ปริมาณ 1,424 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี โดยโรยรอบ ๆ โคนต้น เป็นการเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนสูงและปรับสภาพทางกายภาพของดิน จะช่วยเร่งการเจริญเติบโต ทำให้ต้นทองกวาวมีใบหนา เพิ่มความเขียวเข้ม แข็งแรง ซึ่งการนับเวลาครบรอบปีนั้นเริ่มนับหลังจากการปลูกต้นทองกวาว 1 เดือน และในปีถัดไปลดเหลือ ปีละ 2 ครั้ง ไปจนถึง 5 ปี (ดังแสดงในตาราง ข3) ราคาปุ๋ยคอกขี้วัวแห้ง กระสอบละ 25 บาท ขนาดบรรจุกระสอบ 20 กิโลกรัม

ตาราง ข3 ช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ใน 1 รอบการปลูก 5 ปี

ชนิดปุ๋ย	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
	มค. - ธค.	มค. - ธค.	มค. - ธค.	มค. - ธค.	มค. - ธค.
ปุ๋ยคอก (ขี้วัวแห้ง)	มิย./กย./ มค./พค.	มิย./กย./ มค./พค.	มิย./กย./ มค./พค.	มิย. / ธค.	มิย. / ธค.

ซึ่งควรพรวนดินรอบโคนต้นทองกวาวในรัศมี 1 เมตร ปีละ 2 ครั้ง และถางวัชพืชตลอดทั่วบริเวณที่ปลูกให้โล่งเตียน เพื่อลดการแย่งอาหารจากวัชพืช และเปิดช่องให้แสงเข้าถึงต้นไม้ ทำให้เจริญเติบโตได้ดี ช่วงระยะเวลา 1-3 ปี ควรการกำจัดวัชพืช 3-4 ครั้งต่อปี และในปีถัดไปลดเหลือ 2-3 ครั้งต่อปี ไปจนถึง 5 ปี หรือจนกว่าต้นทองกวาวจะสูงใหญ่กว่าวัชพืช อีกทั้งไม่จำเป็นต้องรดน้ำให้ต้นไม้ เพราะต้นทองกวาวเป็นไม้ยืนต้นที่ทนต่อสภาพอากาศและต้องการแสงสว่าง

ตาราง ข4 ค่าใช้จ่ายในการปลูกต้นทองกวาว และค่าต้นกล้าทองกวาว (1 รอบการปลูก 5 ปี)

กระบวนการ	ทรัพยากร	ปริมาณ/หน่วย	ค่าแรง (บาท)	ราคา/หน่วย (บาท)	รวมเป็นเงิน (บาท)
1. การปลูก	ค่าแรง	3 คน	900		900
2. การบำรุง	ค่าต้นกล้า	178 ต้น		20	3,560
รักษา	ปุ๋ยคอก (ขี้วัวแห้ง)	89 กระสอบ		25	2,225
	ยาฆ่าแมลง	0.89 กิโลกรัม		89	79.21
	ไม้หลักสำหรับยึดลำต้น	178 อัน		1.38	245.64
	เชือกฟาง	30 ม้วน		28	840
				รวม	**7,849.85**

4. การเก็บเกี่ยว พิจารณาการเก็บเกี่ยวใบทองกวาวที่สมบูรณ์และให้ปริมาณที่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอายุของต้นทองกวาว ซึ่งในการศึกษานี้ พิจารณาจากต้นทองกวาวที่มีอายุมากกว่า 5 ปีขึ้นไป สามารถเก็บเกี่ยวใบทองกวาวได้ เฉลี่ยประมาณ 300-500 ใบต่อครั้งต่อต้น โดยเลือกเก็บเฉพาะใบตรงกลางระหว่าง 2 ใบ มีขนาดกว้าง 23-25 เซนติเมตร โดยจะเก็บ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ดังนั้นในแต่ละปีสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดทั้งปี โดยเฉลี่ยปีละ 64-79 ตันน้ำหนักใบสด หรือคิดเป็น 5,126,400-8,544,000 ใบ

ตาราง ข5 สรุปค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการปลูกต้นทองกวาว (บนพื้นที่ 1 ไร่)

กระบวนการ	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าเตรียมดิน (บาท)	500	-	-	-	-
2. ค่าการปลูก (บาท)	5,624.85	-	-	-	-
3. ปุ๋ยคอก (บาท)	2,002.50	1,780	1,780	890	890
4. ค่าไฟฟ้า (บาท)*	123.25	-	-	-	-
5. ค่าเครื่องสูบน้ำ (บาท)**	1,100	-	-	-	-
6. ค่าเก็บเกี่ยว (บาท)	-	-	-	-	2,776.80
	9,350.60	1,780	1,780	890	3,666.80
				รวมต้นทุน (บาท)	**17,467.40**

หมายเหตุ: * เทียบค่าตาราง ก4

** เทียบค่าตาราง ก3