การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์หมูยอแบบห่อใบตอง เทียบกับแบบห่อพลาสติก

CARBON FOOTPRINT EVALUATION OF PRESSED VIETNAMESE PORK SAUSAGE IN BANANA LEAVES COMPARED TO PLASTIC WRAPPING

กนกพร เชิงรัมย์[1], ณัฐวรา วงษ์เทพ[1], สง่า ทับทิมหิน[2], ทัศนีย์ เจียรพสุอนันต์[3] และ ปวีณา ลิมปิทีปราการ[2,*]

Kanokporn Choengram[1], Natwara Wongthep[1], Sanga Tubtimhin[2], Tassanee Jiaphasuanan[3] and Pawena Limpiteeprakan[2,*]

[1] สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2] กลุ่มวิชาสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาอุบลราชธานี
[3] ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[1] Program in Environmental Health, College of Medicine and Public Health Ubon Ratchathani University
[2] Public Health Sub-division, College of Medicine and Public Health, Ubon Ratchathani University
[3] Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

Received: 27 December 2024 Revised: 24 March 2025 Accepted: 8 April 2025

บทคัดย่อ

การศึกษาเชิงพรรณนานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หมูยอแบบห่อใบตองเทียบกับแบบห่อพลาสติก ทำการศึกษา ณ ร้านหมูยอแห่งหนึ่งในอำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้หลักการ Cradle to Grave ครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน จนถึงการกำจัดเศษซากผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน (Functional Unit) คือหมูยอ 1 กิโลกรัม ผลการศึกษา พบว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของหมูยอห่อใบตองและห่อพลาสติก เท่ากับ 11.95 และ 11.57 $kgCO_2eq$/กิโลกรัม ตามลำดับ โดยหมูยอห่อใบตองปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าหมูยอห่อพลาสติกที่ 0.38 $kgCO_2e$/kg โดยขั้นตอนกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและขั้นตอนการกำจัดของเสีย เป็นขั้นตอนที่หมูยอ

* Corresponding author: ปวีณา ลิมปิทีปราการ
Email: pawena.l@ubu.ac.th

ห่อใบตองปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าหมูยอห่อพลาสติก เนื่องจากน้ำหนักของใบตองจะหนักกว่าพลาสติก ในส่วนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ เนื้อหมูจะมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัตถุดิบอื่นๆ เนื่องจากใช้เป็นวัตถุดิบหลักและมีค่า Emission Factor สูงที่สุดเมื่อเทียบกับวัตถุดิบตัวอื่น รองลงมาของขั้นตอนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ กระบวนการผลิต ที่มีการใช้ไฟฟ้าและก๊าซ LPG มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 4.2323 kgCO_2e/kg ดังนั้น แนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควรมุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซ LPG ในขั้นตอนการผลิตโดยหาแหล่งพลังงานทางเลือกที่เป็นพลังงานสะอาดมา ทดแทน และพิจารณาใช้บรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทนใบตอง เช่น พลาสติกที่ย่อยสลายได้ เป็นต้น

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก, รอยเท้าคาร์บอน, หมูยอ, ใบตอง, พลาสติก

Abstract

This descriptive study aims to assess the carbon footprint of Moo Yor (Pressed Vietnamese sausage) wrapped in banana leaves compared to those wrapped in plastic. The study was conducted at a Moo Yor shop in Mueang District, Ubon Ratchathani Province, using the Cradle-to-Grave concept. This approach covers the entire lifecycle, from raw material acquisition, production processes, transportation, and consumption, to waste disposal. The functional unit in this study is 1 kilogram of Moo Yor. The results show that the carbon footprint of Moo Yor wrapped in banana leaves and plastic is 11.95 and 11.57 kgCO_2eq/kg, respectively. Moo Yor wrapped in banana leaves emitted 0.38 kgCO_2eq more greenhouse gases than the plastic-wrapped version. The stages of raw material acquisition and waste disposal were the main contributors to higher greenhouse gas emissions for the banana leaf-wrapped Moo Yor, primarily because banana leaves weigh more than plastic. Regarding raw material acquisition, pork meat contributed the most significant greenhouse gas emissions compared to other ingredients because it is the main raw

material and has the highest emission factor. The second largest contributor is the production process, where electricity and LPG are used, emitting 4.2323 $kgCO_2e/kg$. Therefore, to reduce greenhouse gas emissions, efforts should focus on reducing electricity and LPG consumption during the production process by exploring alternative clean energy sources. Additionally, considering eco-friendly packaging alternatives to banana leaves, such as biodegradable plastics.

Keywords: Greenhouse gases, Carbon footprint, Pressed Vietnamese pork sausage, Banana leaves, Plastic

บทนำ

ปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงอย่างรวดเร็ว เป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นทั่วโลก โดยสาเหตุหลักมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง การพัฒนาเศรษฐกิจตั้งแต่ช่วงหลังปฏิวัติอุตสาหกรรม คือตัวเร่งสำคัญที่ก่อให้เกิดการสะสมของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลก โดยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์นั้นมี 7 ชนิดได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC_S) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซาฟลูโอไรด์ (SF) และ ก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF) และอีกหนึ่งสารที่จัดว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ คือ สารซีเอฟซี (CFC) (ศูนย์องค์ความรู้ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2566)

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมการผลิต จำเป็นต้องมีการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เรียกว่า การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดเศษซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยประเมินออกมาในรูปแบบของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์

บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบ และการแปลผล โดยผลการศึกษาที่ได้จะใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ ซึ่งเป็นการแสดงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม อันจะเป็นแนวทางไปสู่การพัฒนาเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2557)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ยังไม่ได้รับการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการผลิตอาหารท้องถิ่น ทั้งที่กิจการเหล่านี้ก็มีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นเดียวกับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การขาดการประเมินดังกล่าวอาจทำให้เกิดช่องว่างในการเข้าใจและจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากภาคธุรกิจขนาดเล็กในชุมชน หนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปที่น่าสนใจในบริบทนี้คือหมูยอ ซึ่งเป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ สำหรับจังหวัดอุบลราชธานีหมูยอถือเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นชื่อของจังหวัด และสร้างรายได้สูงให้แก่ผู้ผลิตทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน มีการวางจำหน่ายอย่างแพร่หลายในตลาด ร้านอาหาร และร้านขายของฝาก โดยผู้ประกอบการส่วนใหญ่เป็นรายย่อยในท้องถิ่นและผู้ประกอบการขนาดเล็ก ซึ่งกระบวนการผลิตหมูยอนั้นจะประกอบด้วยหลายขั้นตอน ส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูงและมีการปล่อยของเสียที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การใช้น้ำและไฟฟ้า

หมูยอ นั้นจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป ที่ทำจากเนื้อหมู มันหมู ข้าวสุก เครื่องปรุงแต่ง กลิ่นและรส ผสมกัน บดให้ละเอียดจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วบรรจุในวัสดุห่อหุ้มให้แน่น ต้มหรือนึ่งให้สุก (ฐานข้อมูลสถาบันอาหาร, 2539) บางสูตรอาจเพิ่มส่วนผสมพิเศษเพื่อสร้างเอกลักษณ์เฉพาะ เช่น หนังหมู เห็ดหอม พริกไทยดำ หรือสาหร่าย หลังจากคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน จึงบรรจุในวัสดุห่อหุ้มอย่างแน่นหนาก่อนนำไปต้มหรือนึ่งให้สุก จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตหมูยอจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างมาก ตั้งแต่การใช้แก๊สในการหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่งวัตถุดิบ รวมไปถึงการใช้ไฟฟ้าสำหรับตู้แช่วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปัจจุบันผู้ผลิตหลายรายได้ปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตเพื่อลดต้นทุน โดยหันมาใช้พลาสติกห่อหมูยอแทนใบตองแบบดั้งเดิม วิธีนี้ช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนใบตองในช่วงที่มีความต้องการสูง อีกทั้งยังช่วยลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ทำให้สะดวกต่อการขนส่งมากขึ้น และแนวโน้มการใช้พลาสติก

ห่อหมูยอนี้ก็เริ่มมีการแพร่หลายมากขึ้น ที่ผ่านมายังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หมูยอมาก่อน ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หมูยอ โดยจะทำการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างการใช้บรรจุภัณฑ์แบบดั้งเดิม (ใบตอง) กับบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ (พลาสติก) โดยใช้หลักการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ในปริมาณวัตถุดิบที่เท่ากันที่ 1 กิโลกรัม ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ในการหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตและการจัดการพลังงาน เพื่อควบคุมหรือลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมการผลิตหมูยอต่อไปในอนาคต

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หมูยอแบบห่อใบตองเทียบกับแบบห่อพลาสติก โดยใช้หลักการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) แบบ Cradle–to–Grave (Business-to-Consumer: B2C) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)

เป้าหมายของการศึกษา ครั้งนี้ คือ การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์หมูยอที่ห่อด้วยใบตองเทียบกับแบบห่อด้วยพลาสติก โดยพิจารณาปริมาณคาร์บอนที่ปล่อยออกมาต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ คือ 1 กิโลกรัมของหมูยอ

ขอบเขตการศึกษา ได้ทำการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การจัดจำหน่าย การบริโภค และการกำจัดของเสีย ตามหลักการ Cradle to grave concept

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory analysis)

ข้อมูลปฐมภูมิได้จากการสัมภาษณ์เจ้าของร้านหมูยอแห่งหนึ่งที่เต็มใจให้ข้อมูล สำหรับข้อมูลทุติยภูมิได้จากข้อมูลใบเสร็จชำระค่าบริการต่าง ๆ ได้แก่ บิลน้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซหุงต้ม บัญชีรายการซื้อวัตถุดิบในการผลิตหมูยอ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกรวบรวมและจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดย การเก็บข้อมูลกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ข้อมูลจะอยู่ในรูปปริมาณวัตถุดิบ สารเคมี และสาธารณูปโภค ที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยแบ่งเป็น

ขั้นตอนย่อย ตลอดการผลิตวัตถุดิบ กระบวนการผลิตหมูยอ ประกอบด้วย ขั้นตอนการผลิตหมูยอตั้งแต่ การเก็บรักษาวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต การบรรจุหมูยอ และการเก็บรักษาก่อนกระจายสินค้า การจัดจำหน่ายโดยการขนส่งทุกขั้นตอน เป็นการเก็บข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งหมูยอ ข้อมูลประกอบด้วย ประเภทของรถ น้ำหนักบรรทุก และเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง ขั้นตอนการบริโภค ประเมินจากการใช้ไฟฟ้าในการอุ่นอาหารก่อนรับประทน กระบวนการกำจัด เป็นการเก็บข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบรรจุภัณฑ์ที่เหลือภายหลังจากการบริโภค

3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Impact assessment)

การประเมินผลกระทบจะนำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ทำรายการไว้ มาทำการคำนวณเพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์หมูยอ โดยแสดงออกมาในรูปของ หน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในการคำนวณหาค่าการปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลด้านปฐมภูมิและข้อมูลด้านทุติยภูมิจะถูกคำนวณและแปลงออกมาให้อยู่ในรูปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเภทวัตถุดิบ วัสดุ การใช้พลังงาน หรือการจัดการของเสียจากกระบวนการ และแสดงในรูปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$\text{Carbon Footprint } (kgCO_2e/\text{หน่วย}) = \text{Activity data} \times \text{Emission Factor} \quad (1)$$

โดย Activity data คือ ข้อมูลกิจกรรม

Emission Factor คือ ค่าสัมประสิทธ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดข้อมูลกิจกรรม ($kgCO_2e$/หน่วย)

กรณีการขนส่งมีข้อมูลระยะทางในการเดินทางและประเภทของยานพาหนะ จะนำข้อมูลระยะทางที่เก็บมาได้มาคูณกับน้ำหนักที่บรรทุกคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทของยานพาหนะดังสมการที่ (2)

$$ET = \text{ระยะทาง (km)} \times \text{น้ำหนักที่บรรทุก (ton)} \times EF \text{ ของยานพาหนะที่ใช้} \quad (2)$$

โดย ET คือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ($kgCO_2e$)

ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการขนส่งจะพิจารณาทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ ดังนี้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเที่ยวไป (100% loading)
= น้ำหนักการขนส่ง x ระยะทางการขนส่ง x สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเที่ยวไป (3)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเที่ยวกลับ (0% Loading)
= น้ำหนักการขนส่ง x ระยะทางการขนส่ง x สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเที่ยวกลับ (4)

ตารางที่ 1 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตหมูยอ ต่อ 1 หน่วยกิโลกรัม

วัตถุดิบ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF ($kgCO_2eq$/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
เนื้อหมู	kg	1	3.9027	อบก. (2565)
ผงชูรส	kg	0.003	0.8690	อบก. (2565)
น้ำตาลทรายขาว	kg	0.0015	1.0800	อบก. (2565)
น้ำปลา	kg	0.006	0.9700	รัตนาวรรณ มั่งคั่ง (2557)
น้ำดื่มปรุงอาหาร	kg	0.1	2.1555	อบก. (2565)
แป้งมันสำปะหลัง	kg	0.03	0.5720	อบก. (2566)*
พริกไทย	kg	0.015	1.3779	อบก. (2565)
น้ำมันทำอาหาร	kg	0.015	1.4124	อบก. (2565)
ใบตอง	kg	0.3582	0.2720	ธีราพร ผลประเสริฐศรี และ จินตนา แซ่กี้ (2560)
ถุงพลาสติก PP	kg	0.0014	1.8814	อบก. (2565)

หมายเหตุ * แป้งมันสำปะหลังคิดมาจากคาร์บอนฟุตปรินท์ของผลิตภัณฑ์ แป้งมันสำปะหลัง ตราดอกเฟื่องฟ้า ขนาด 25 กิโลกรัม มีปริมาณ CF 14.3 $kgCO_2e$ แล้วเทียบสัดส่วนต่อ 1 กิโลกรัม จะได้ตัวเลขเท่ากับ 0.5720 $kgCO_2e$

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตหมูยอ เป็นวัตถุดิบที่ซื้อมาจากภายในประเทศ ไม่มีกระบวนการผลิตวัตถุดิบเอง ได้แก่ เนื้อหมู ผงชูรส น้ำตาล น้ำปลา น้ำดื่มปรุงอาหาร พริกไทย น้ำมันทำอาหาร ใบตอง และถุงพลาสติก

4. การแปรผลการประเมินวัฏจักรชีวิตและประเมินการปรับปรุง (Life Cycle Interpretation)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จะหาได้จากการนำผลทั้งหมดมารวมกัน จากนั้นจะแปรผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์กระบวนการให้ได้มากที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

บัญชีรายการด้านกระบวนการผลิต

ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์เจ้าของกิจการและสรุปผังกระบวนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 Input-process-output ของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์หมูยอ

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการผลิตหมูยอ โดยเริ่มจากการจัดเตรียมวัตถุดิบ การหั่น-บด การชั่งน้ำหนัก การบรรจุ การนึ่งและการห่อบรรจุภัณฑ์ ก่อนจะได้เป็นผลิตภัณฑ์หมูยอ 1 กิโลกรัม บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับขั้นตอนกระบวนการผลิตทั้งสองผลิตภัณฑ์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับขั้นตอนกระบวนการผลิตของทั้งสองผลิตภัณฑ์

บัญชีรายการ	หน่วย	ปริมาณ/FU	ค่า EF ($kgCO_2$ eq/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
สารขาเข้า				
ไฟฟ้า	kWh	0.6933	0.5986	อบก (2565)
น้ำประปา	m^3	0.3238	0.5410	อบก (2565)
ก๊าซ LPG	kg	4.2439	0.8582	อบก (2565)

บัญชีรายการด้านการกระจายสินค้า

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกของขั้นตอนการกระจายสินค้าจะขึ้นอยู่กับระยะทางที่ขนส่ง น้ำหนักบรรทุก และประเภทของรถที่ใช้ขนส่ง ในงานวิจัยนี้การได้มาซึ่งวัตถุดิบหลักจะถูกขนส่งมาจากตลาดใหญ่ในเมืองอุบลราชธานี ระยะทางห่างจากร้าน 1 กิโลเมตร ใช้รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก Full load 7 ตัน วิ่งแบบปกติ 100% Loading ส่วนจุดกระจายสินค้าหลักจะขายอยู่ที่หน้าร้านและส่งให้ตัวแทนจำหน่ายที่ตลาดวารินชำราบ ระยะทางห่างจากร้าน 5 กิโลเมตร ใช้รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก Full load 7 ตัน วิ่งแบบปกติ 100% Loading คำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการขนส่งสินค้าดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของการขนส่ง

รายการ	จังหวัด	ปริมาณ/FU	ระยะทาง (km)	ชนิดยานพาหนะ	ค่า EF		GHG ($kgCO_2$)/FU			ที่มา EF
					เที่ยวไป (km)	เที่ยวกลับ (km)	เที่ยวไป	เที่ยวกลับ	รวม	
การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	ตลาดใหญ่ อ.เมือง	1	1	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ 100% บรรทุกสูงสุด 7 ตัน น้ำมันดีเซล	0.1411	0.3750	0.1411	0.3750	0.5161	อบก. (2565)
การกระจายสินค้า	อุบลราชธานี (ตลาดวารินชำราบ)	1	5	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ 100% บรรทุกสูงสุด 7 ตัน น้ำมันดีเซล	0.1411	0.3750	0.7055	1.8750	2.5805	อบก. (2565)
								รวม	3.0966	

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากการขนส่งสินค้าเป็น การปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้นจากน้ำมันดีเซล ที่ใช้ในการขนส่ง หากระยะทางการขนส่งมาก จะส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำมันมากตามไปด้วย ซึ่งการใช้น้ำมันส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการบริโภค

สำหรับขั้นตอนการบริโภค งานวิจัยนี้ใช้สมมติฐานว่าหมูยอ จะถูกนำไปบริโภคโดยใช้วิธีอุ่นด้วยไมโครเวฟ จึงพิจารณาเฉพาะปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ตามคำแนะนำของบรรจุภัณฑ์หมูยอโดยปริมาณสารขาเข้าและขาออกสำหรับขั้นตอนการบริโภค แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับขั้นตอนการบริโภค

บัญชีรายการ	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
สารขาเข้า			
ไฟฟ้า	kWh	0.5986	อบก (2565)

หมายเหตุ: เป็นการตั้งสมมติฐานว่าจะมีการอุ่นหมูยอก่อนบริโภคโดยใช้ไมโครเวฟ คิดเป็นเวลาประมาณ 5 นาที

บัญชีรายการด้านการจัดการของเสีย

ในงานวิจัยครั้งนี้พิจารณาการบำบัดและกำจัดบรรจุภัณฑ์ที่เหลือภายหลังจากการบริโภคโดยการถูกส่งไปฝังกลบ เนื่องจากผลิตภัณฑ์หมูยอมีการกระจายสินค้าไปทั่วจังหวัด จึงทำให้ไม่สามารถดำเนินการเก็บข้อมูลหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์ในเรื่องของการขนส่งไปยังสถานีกำจัดได้ จึงประเมินในขั้นตอนการกำจัดเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับขั้นตอนการจัดการของเสียของผลิตภัณฑ์หมูยอ

ขั้นตอน		ข้อมูล (Activity Data) (Kg)	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก Emission factor ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
หลังจากการบริโภค	ถุงพลาสติก PP	0.0014	0.7933	อบก. (2565)	0.0011
	ใบตอง	0.3582	0.7933	อบก. (2565)	0.2842

หมายเหตุ: ในงานวิจัยครั้งนี้พิจารณาการบำบัดและกำจัดบรรจุภัณฑ์ที่เหลือภายหลังจากการบริโภคโดยค่า EF หลังจากการบริโภค คือค่าการถูกส่งไปฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หมูยอ

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หมูยอ งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของหมูยอห่อพลาสติกขนาด 1 กิโลกรัม และหมูยอห่อใบตอง 1 กิโลกรัม พบว่า มีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์หมูยอห่อใบตอง เท่ากับ 11.95 $kgCO_2e/kg$ คิดเป็นร้อยละ 35.86 และค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์หมูยอห่อพลาสติก เท่ากับ 11.57 $kgCO_2e/kg$ คิดเป็นร้อยละ 36.21 ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยพบความแตกต่างในกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แตกต่างกันเท่ากับ 0.0948 $kgCO_2e/kg$ และกระบวนการกำจัดของเสียมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกันเท่ากับ 0.2831 $kgCO_2e/kg$ โดยหมูยอที่ห่อด้วยใบตองจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าหมูยอห่อด้วยพลาสติก

ตารางที่ 5 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตหมูยอต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ (หน่วย $kgCO_2e/kg$)

ช่วงวัฏจักรชีวิต	ผลิตภัณฑ์หมูยอห่อใบตอง	สัดส่วนร้อยละ %	ผลิตภัณฑ์หมูยอห่อพลาสติก	สัดส่วนร้อยละ %
กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ	4.2847	35.86	4.1899	36.21
กระบวนการผลิต	4.2323	35.42	4.2323	36.58
การกระจายสินค้า	3.0966	25.92	3.0966	26.76
การบริโภค	0.05	0.42	0.05	0.43
การกำจัดของเสีย	0.2842	2.38	0.0011	0.01
คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์	11.95	100.00	11.57	100.00

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หมูยอ พบว่าขั้นตอนกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 4.2847 $kgCO_2e/kg$ ซึ่งเกิดจาก 2 ปัจจัยหลักคือ วัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์หมูยอใช้เนื้อหมูในสัดส่วนมากถึงร้อยละ 91.12 รองลงมาใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์เป็นสัดส่วนร้อยละ 2.27 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี และ อนุสรณ์ บุญปก (2560ก) ที่พบว่า ผลิตภัณฑ์หม่ำหมูใช้เนื้อหมูและเครื่องในหมู และกล่องบรรจุภัณฑ์ แต่เนื่องด้วยเนื้อหมูและเครื่องในหมูเป็นวัตถุดิบสำคัญจึงไม่สามารถลดปริมาณได้ และสอดคล้องกับการศึกษาของ สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี และ

อนุสรณ์ บุญปก (2560ข) ที่พบว่า ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ของการผลิตกล้วยกรอบแก้ว มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 65.7 และสอดคล้องกับงานวิจัยของสุชาดา อยู่แก้ว และ เมธินี บุญสูง (2561) ที่พบว่าในขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวเพื่อนำมาผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 50 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด เมื่อพิจารณาประเภทบรรจุภัณฑ์ พบว่าหมูยอห่อพลาสติกปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าหมูยอห่อใบตอง โดยมีส่วนต่างเท่ากับ 0.38 $kgCO_2e/kg$

การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์สำหรับหมูยอเป็นประเด็นที่น่าสนใจ โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาระหว่างการใช้พลาสติกและใบตอง ทั้งสองวัสดุมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน พลาสติกโดดเด่นด้วยโครงสร้างทางกายภาพที่สามารถผลิตให้บางแต่แข็งแรงและยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถรับน้ำหนักได้ดีโดยไม่ต้องเพิ่มความหนาหรือปริมาณมากเกินไป อีกทั้งยังสามารถจัดเก็บได้ในสภาพแวดล้อมทั่วไปโดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพ ในทางกลับกัน ใบตองมีความคงทนต่อการฉีกขาดน้อยกว่า และมีความแตกต่างในด้านขนาด ความหนา และความยืดหยุ่นในแต่ละใบ ส่งผลให้ต้องใช้ปริมาณมากกว่าเมื่อนำมาห่อผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ใบตองยังต้องการการจัดเก็บที่เหมาะสมในพื้นที่เย็นและชื้นเพื่อรักษาความสดและป้องกันการแห้งกรอบ เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่ากระบวนการผลิตและขนส่งของการใช้ใบตองมีขั้นตอนที่ใช้พลังงานมากกว่าพลาสติก อีกทั้งน้ำหนักที่มากกว่าของใบตองยังส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่า นอกจากนี้การผลิตและการกำจัดของเสียก็เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญรองจากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะการนึ่งด้วยการใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตหมูยอ

แม้ว่าพลาสติกจะมีข้อได้เปรียบในด้านต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าและน้ำหนักที่เบากว่า แต่ก็มีปัญหาด้านการย่อยสลายยาก ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ในขณะที่ใบตองเป็นวัสดุธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังคงนิยมซื้อหมูยอในรูปแบบที่ห่อด้วยใบตองมากกว่า เนื่องจากถือเป็นเอกลักษณ์สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่มีมาอย่างยาวนาน ดังนั้น ในการพิจารณาเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคควรคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน หากเน้นความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม การใช้ใบตองอาจเป็นทางเลือกที่ดีกว่า แต่ควรมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตและขนส่งให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในทางกลับกัน หากเน้นต้นทุนและประสิทธิภาพ การใช้พลาสติกอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า แต่ควรมีการจัดการด้านการรีไซเคิลเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

สำหรับผู้บริโภค แม้จะสามารถเลือกตามความชอบส่วนตัว แต่ก็ควรคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและหาวิธีการจัดการขยะอย่างเหมาะสม

การหาจุดสมดุลระหว่างต้นทุน ความยั่งยืน และความต้องการของตลาดเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคควรร่วมกันพิจารณาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ทั้งในแง่ของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการคงเอกลักษณ์ของสินค้า การศึกษาและพัฒนานวัตกรรมด้านบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอาจเป็นทางออกที่ยั่งยืนในระยะยาว ซึ่งจะช่วยให้อุตสาหกรรมหมูยอสามารถรักษาเอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมไว้ได้ พร้อมกับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัดสำคัญในด้านการเก็บข้อมูล โดยเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตหมูยอ เช่น ปริมาณพลังงานที่ใช้ การปล่อยของเสีย หรือการจัดการวัตถุดิบในแต่ละขั้นตอน ซึ่งเข้าถึงได้ยากและมีการบันทึกที่ไม่ต่อเนื่อง ส่งผลให้การคำนวณและการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์อาจขาดความแม่นยำ ข้อจำกัดเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของผลการวิจัยและควรได้รับการพิจารณาในการแปลผลและการนำไปใช้ต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หมูยอ พบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของหมูยอห่อใบตองเท่ากับ 11.95 $kgCO_2e/kg$ คาร์บอนฟุตพริ้นของหมูยอห่อพลาสติกเท่ากับ 11.57 $kgCO_2e/kg$ โดยพบว่าหมูยอห่อใบตองปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าหมูยอห่อพลาสติกเท่ากับ 0.38 $kgCO_2e/kg$ และเมื่อทำการศึกษาทั้งวัฏจักรชีวิตพบว่าในกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบของหมูยอห่อใบตองมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เป็นผลมาจากการใช้วัตถุดิบที่หลากหลาย โดยเฉพาะวัตถุดิบที่เป็นเนื้อหมู เมื่อเทียบกับวัตถุดิบตัวอื่น มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาคือกระบวนการผลิต โดยเฉพาะในขั้นตอนการหั่น-บด และการห่อบรรจุ-นึ่ง ที่มีการใช้ไฟฟ้าและก๊าซ LPG อันดับที่สามคือ กระบวนการกระจายสินค้า อันดับที่สี่คือ กระบวนการกำจัดของเสีย และสุดท้ายคือ กระบวนการบริโภค ที่ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด ดังนั้น ควรหาวิธีลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตในส่วนของการใช้ไฟฟ้าขั้นตอนการผลิต เช่น หาแหล่งพลังงานทดแทนโดย การใช้แผงโซลาเซลล์และสร้างระบบการจัดเก็บพลังงานไว้ใช้ การเลือกบรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น เยื่อกระดาษเคลือบกันซึมที่สามารถรักษาคุณภาพหมูยอได้ดี และย่อยสลายได้ในธรรมชาติ หรือบรรจุภัณฑ์ไบโอพลาสติกที่ทำจากพืช เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ที่สามารถย่อยสลาย

ได้ทางชีวภาพและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิต สำหรับการวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาแนวทางการใช้พลังงานหมุนเวียนในกระบวนการผลิต เช่น การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเหลือของกระบวนการผลิต เพื่อนำมาใช้ทดแทน LPG ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

ธีราพร ผลประเสริฐศรี และ จินตนา แซ่กี้. (2560). *การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความต้องการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์กล้วยตาก.* สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2567, จาก https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/4919/1/TeerapornPholprasertsri.pdf.

ฐานข้อมูลสถาบันอาหาร. (2539). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหมูยอ.* สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2567, จาก https://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/TH_475.pdf.

รัตนาวรรณ มั่งคั่ง. (2557). *คาร์บอนฟุตพริ้นท์กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสเพื่อสนับสนุนการจัดทำฐานข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูป.* สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2567, จาก https://tarr.arda.or.th/preview/item/pp_zbCcIXV4_qPxFmAd4o.

สุชาดา อยู่แก้ว และ เมธินี บุญสูง. (2561). การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร, 13*(2), 131–155.

สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี และ อนุสรณ์ บุญปก. (2560ก). การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกผลิตภัณฑ์แปรรูปจากหมู: หม่ำหมู. *วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น. 39*(1), 13-22.

สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี และ อนุสรณ์ บุญปก. (2560ข). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบ แก้ว. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี, 15*(1), 43-49.

ศูนย์องค์ความรู้ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2566). *7 ชนิดก๊าซเรือนกระจกสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน.* สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2567, จาก https://hub.mnre.go.th/th/knowledge/detail/65375.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2557). *แนวทางการประเมินการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.* สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2567, จาก https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/download/ts_7d45ab8fe8.pdf.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2565). *คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.* สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2567, จาก https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlplVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjQ9.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2566). *คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ แป้งมันสำปะหลัง ตราดอกเฟื่องฟ้า ขนาด 25 กิโลกรัม.* สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2568 จาก https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlplVmpkSE5mWVhCd2NtOTJZV3c9&action=WkdWMFlXbHM&param=TVRVNU5qVT0.