NUEJ
Naresuan University
Engineering Journal

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

The Assessment of Life Cycle Greenhouse Gas Emissions for the Fresh Rice Noodles in Amphoe Muang Phitsanulok Province

สุชาดา อยู่แก้ว[1*] และ เมธินี บุญสูง[1]
S. Ukaew and M. Bunsung

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University
*Corresponding author E-Mail : suchadauk@gmail.com

(Received: April 21, 2018, Revised: September 21, 2018, Accepted: November 23, 2018)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสดสองชนิด คือ ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.650 และ 0.709 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอนเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ การเพาะปลูกข้าว (50% ซึ่งมาจากการปล่อยก๊าซมีเทน 40%) การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว (42% ซึ่งมาจากน้ำมันพืช 17% และแป้งมันสำปะหลัง 15%) การบริโภค (2%) การสีข้าว (2%) การกำจัดซาก (2%) และการขนส่ง (2%) การปล่อยน้ำออกจากนาข้าวในระยะสั้นในช่วงระยะข้าวเริ่มแตกกอและระยะก่อนการเก็บเกี่ยวสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการเพาะปลูกได้ 20% การปรับลดส่วนผสมของวัตถุดิบอาจจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ แต่การปรับลดส่วนผสมอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพและปริมาณของเส้นก๋วยเตี๋ยว แนวทางอื่นๆ ที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานโดยการนำแกลบมาใช้เป็นพลังงานทดแทน การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ การหุ้มฉนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในไอน้ำ และการโบว์ดาวน์หม้อไอน้ำ

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก

Abstract

The objective of this research is to evaluate the greenhouse gas (GHG) emissions of two fresh rice noodles: wide rice noodles and rice stick noodles, which are studied in amphoe muang, Phitsanulok Province. From the results, the GHG emissions of wide rice noodles and rice stick noodles are 0.650 and 0.709 kg CO_2 eq/kg of noodles. The orders of average GHG emissions from high to low for each stage are as follows: rice cultivation (50%, from methane emission 40%), noodle production (42%, from vegetable oil 17% and cassava starch 15%), consumption (2%), rice milling (2%), disposal (2%), and transportation (2%). The study suggests that the short period of drainage

water from paddy field during the tillering stage and pre-harvesting stage could reduce the GHG emissions from the cultivation stage by 20%. The reduction of raw material compositions would help reduce the GHG emissions in the production stage but this would affect on the quality and quantity of noodles. Other possible ways to decrease the GHG emissions include improvement of production and energy efficiency by using rice husk as a renewable energy source, reusing condensate water, insulation covering of steam equipment, and blowing down the boiler to reduce the accumulation of slag.

Keywords: Life cycle assessment, Greenhouse gas emissions, Carbon footprint, Wide rice noodles, Rice stick noodles

1. บทนำ

อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมอาหารที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากมีการบริโภคมากที่สุดรองจากข้าว ซึ่งประเทศไทยมีการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อบริโภคภายในประเทศเฉลี่ยต่อปีประมาณ 10,000 ล้านบาท และมีมูลค่าการส่งออกถึง 1,400 ล้านบาท [1] นอกจากนี้อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวยังเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่มีบทบาทสำคัญเนื่องจากมีการนำผลิตผลจากภาคเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารโดยอาศัยเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารมาใช้เพื่อผลิตอาหารให้มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม เส้นทางห่วงโซ่อุปทานของการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวไปเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวจะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว การสีข้าว การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ตลอดไปจนถึงการขนส่งและการกระจายสินค้านั้นจะต้องใช้ทรัพยากรและพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องในทุกขั้นตอน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [2]

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดภัยธรรมชาติที่รุนแรง [3] จากเหตุการณ์ดังกล่าว ทำให้ผู้นำจากประเทศต่างๆ ร่วมประชุมหาแนวทางในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยประเทศไทยได้กำหนดแนวทางในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกภาคส่วน 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ภายในปี พ.ศ. 2573 [4]

จากความตระหนักถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการวิจัยเพื่อหาแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่ง LCA เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต เพื่อใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [5]

จากการศึกษางานวิจัยทางด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวในต่างประเทศ พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวพาสต้าที่ได้จากการเพาะปลูกข้าวสาลีแบบดั้งเดิมและแบบอินทรีย์ในประเทศเยอรมนีมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.90 และ 0.75 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2 eq) ต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ [6] สำหรับงานวิจัยในประเทศพบว่าเส้นเล็กอบแห้ง เส้นหมี่แห้ง และเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1 [7] 6.8 และ 7.6 [2] kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ นอกจากนี้ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปและเส้นหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 2.11-3.13 และ 4.31-4.51 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ [8] โดยพบว่าขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ในขณะที่ขั้นตอนการผลิตมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับสอง [2, 8]

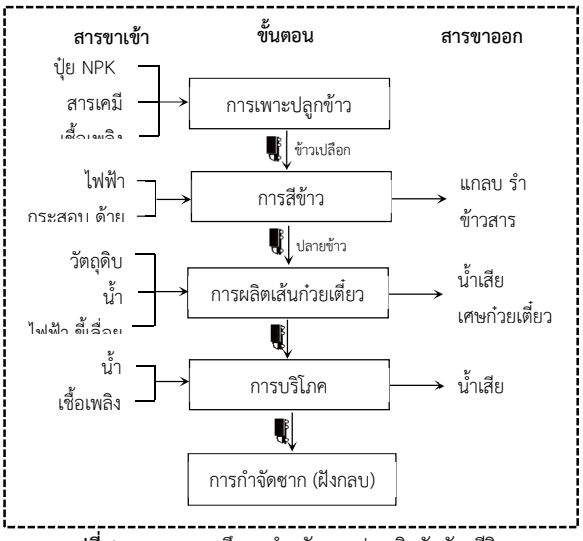
จากการรวบรวมข้อมูลในปัจจุบันพบว่า การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสดยังไม่มีการรายงานมาก่อน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสดสองชนิด คือ ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ผลที่ได้จากการศึกษาทำให้ทราบขั้นตอนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เพื่อนำไปสู่แนวทางในการใช้ทรัพยากรและพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2. วิธีการวิจัย

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด อ้างอิงตามแนวทางประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ [9] ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายในการศึกษาเพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด 2 ชนิด คือ ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ขอบเขตของระบบที่ใช้คือ เครเดิลทูเกรฟ (Cradle to grave) โดยทำการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว การสีข้าว การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว การขนส่งและการกระจายสินค้า การบริโภค และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 1 หน่วยการทำงาน (Functional unit) ที่ใช้คือ 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว ผลที่ได้จากศึกษาจะรายงานในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว (kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว) งานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งเนื่องจากเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งมีการจำหน่ายในตลาดสดท้องถิ่นของจังหวัดในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวสด



รูปที่ 1 ขอบเขตการศึกษาสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด 1 กิโลกรัม

2.2 การปันส่วนของผลิตภัณฑ์ร่วม

ค่าการปันส่วนโดยน้ำหนักจะถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เพื่อกระจายภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นไปยังแต่ละผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปลายข้าวเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ดังนั้น ปลายข้าวจึงเป็นผลิตภัณฑ์ขาออกหลักในขั้นตอนการสีข้าว ในขณะที่ข้าวสาร รำ และแกลบเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม (ดูตารางที่ 2) การคิดค่าปันส่วนโดยน้ำหนักแสดงในสมการที่ (1) ในกรณีนี้ ข้อมูลในกระบวนการต้นน้ำของขั้นตอนการเพาะปลูกไปจนถึงขั้นตอนการสีข้าวจะถูกคูณด้วยค่าปันส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งค่าการปันส่วนของปลายข้าวในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 0.24

$$\text{ค่าการปันส่วนของปลายข้าว} = \frac{A}{A + B + C + D} \qquad (1)$$

เมื่อ A B C และ D คือ น้ำหนักของปลายข้าว ข้าวสาร รำ และแกลบ ตามลำดับ

2.3 การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกในแต่ละขั้นตอนในงานวิจัยนี้ได้มาการลงพื้นที่สัมภาษณ์ งานวิจัยและวารสารที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทย ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการต้นน้ำสำหรับวัตถุดิบ สารเคมี และพลังงานได้มาจากฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ Ecoinvent 2.0 [10] และคู่มือของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) [11] รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนและสมมติฐานที่ใช้อธิบายจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.3.1 การเพาะปลูกข้าว

พันธุ์ข้าวที่นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวในจังหวัดพิษณุโลกโดยทั่วไปได้มาจากข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสงพันธุ์พิษณุโลก 2 ซึ่งมีผลผลิตเฉลี่ยต่อฤดูการเพาะปลูก 747 กิโลกรัมต่อไร่ [12] และมีระยะเวลาการเพาะปลูก 120 วัน การเพาะปลูกข้าวครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมที่ดิน การทำนาโดยวิธีปักดำต้นกล้า [13] การใส่ปุ๋ยในแปลงนา และการเก็บเกี่ยว ตอซังข้าวที่เหลือจะถูกปล่อยทิ้งไว้ในนาข้าวโดยไม่มีการเผา สำหรับการปล่อยก๊าซ N_2O จากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และการปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้ปุ๋ยยูเรียจะใช้วิธีการคำนวณอ้างอิง

ตามคู่มือ 2006 IPCC [14, 15] นอกจากนี้ การปล่อยก๊าซ CH_4 ในนาข้าวจะใช้ค่าการปล่อยที่ได้จากการศึกษาในประเทศระดับเทียร์ 2 สำหรับข้าวนาปี คือ 0.189 กิโลกรัม CH_4 ต่อไร่ต่อวัน [16] ข้อมูลการเพาะปลูกข้าวได้มาจากการสัมภาษณ์เจ้าพนักงานการเกษตรศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวเจ้าพันธุ์พิษณุโลก 2 (ต่อ 1 กิโลกรัมข้าวเปลือก)

ข้อมูล	ปริมาณ
สารขาเข้า	
ปุ๋ยไนโตรเจน (kg)	0.0161
ปุ๋ยฟอสฟอรัส (kg)	0.0080
ปุ๋ยโพแทสเซียม (kg)	0.0040
ยาฆ่าแมลง (kg)	0.0004
น้ำมันดีเซล (L)	0.0115
สารขาออก	
ข้าวเปลือก (kg)	1.0000

2.3.2 การสีข้าว

หลังจากทำการเก็บเกี่ยว ข้าวเปลือกจะถูกขนส่งไปยังโรงสีเพื่อกระเทาะเปลือกออกเป็นข้าวกล้องและแกลบ ข้าวกล้องจะถูกนำไปขัด ได้ข้าวสาร ปลายข้าว รำ และแกลบ [17] โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการสีข้าวมีค่า 56 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือก [2, 18, 19] ปริมาณสารขาเข้าและขาออกสำหรับขั้นตอนการสีข้าวแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับขั้นตอนการสีข้าว (ต่อ 1 กิโลกรัมปลายข้าว)

ข้อมูล	ปริมาณ	ที่มา
สารขาเข้า		
ข้าวเปลือก (kg)	4.1667	[17]
ไฟฟ้า (kWh)	0.2340	[2, 18, 19]
กระสอบพลาสติก PP (kg)	0.0100	ข้อมูลปฐมภูมิ
ด้ายเย็บกระสอบ (kg)	1.37×10^{-5}	ข้อมูลปฐมภูมิ
สารขาออก		
ปลายข้าว (kg)	1.0000	[17]
ข้าวสาร (kg)	1.7640	[17]
รำ (kg)	0.4247	[17]
แกลบ (kg)	0.9799	[17]

2.3.3 การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวสด

ปลายข้าวที่ได้จากขั้นตอนการสีข้าวจะถูกขนส่งมายังโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวสดซึ่งเป็นโรงงานผลิตหลัก จำนวน 1 โรง ตั้งอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ข้อมูลในขั้นตอนการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กได้มาจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตของโรงงาน ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับกระบวนการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแสดงในตารางที่ 3 รายละเอียดของการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีดังนี้

1) การผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่

โรงงานมีกำลังการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ต่อวันเฉลี่ย 259 กิโลกรัม การผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เริ่มจากการล้างทำความสะอาดปลายข้าวด้วยน้ำและทำการแช่ปลายข้าว ข้าวที่ผ่านการแช่จะถูกนำไปโม่หยาบและโม่ละเอียดด้วยเครื่องโม่หิน จากนั้นผสมแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และน้ำมันพืช ลงไปในน้ำแป้งที่ได้จากการโม่และทำการกวนส่วนผสมแล้วพักส่วนผสมทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ส่วนผสมจะถูกปล่อยลงบนรางนึ่งไอน้ำ ขี้เลื่อยจะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนกับหม้อต้มไอน้ำ ปริมาณไอน้ำที่ใช้สามารถวัดได้จากมาตรวัดน้ำ โดยมีสมมติฐานว่าปริมาณน้ำเข้าในหม้อไอน้ำเท่ากับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ แผ่นแป้งก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการนึ่งจะถูกลำเลียงเข้าสู่รางเลื่อนเพื่อเป่าลมและเคลือบด้วยน้ำมันเพื่อไม่ให้แผ่นแป้งติดกัน หลังจากนั้นแผ่นแป้งจะถูกตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ด้วยเครื่องตัดและถูกนำไปวางซ้อนกันเพื่อตัดเป็นเส้นตามขนาดที่ต้องการแล้วนำไปบรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE)

2) การผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก

โรงงานมีกำลังการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กต่อวันเฉลี่ย 218 กิโลกรัมต่อวัน สำหรับการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก กระบวนการผลิตในขั้นต้น (การล้างและแช่ข้าว การโม่ข้าว การผสมแป้ง (ไม่ต้องพักส่วนผสม 24 ชั่วโมง) และการนึ่ง) มีขั้นตอนการผลิตเหมือนก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ หลังจากขั้นตอนการนึ่ง แผ่นแป้งจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องอบหมาดเพื่อลดความชื้น จากนั้นแผ่นแป้งจะถูกตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ และถูกนำไปวางซ้อนกันและพักทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงทำการตัดแผ่นแป้งก๋วยเตี๋ยวเป็นเส้นเล็กโดยใช้เครื่องจักรแล้วนำไปบรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE)

ตารางที่ 3 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับขั้นตอนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว (ต่อ 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	ปริมาณ	
	เส้นใหญ่	เส้นเล็ก
สารขาเข้า		
ปลายข้าว (kg)	0.3861	0.4587
น้ำ (m^3)	0.0039	0.0060
แป้งมันสำปะหลัง (kg)	0.1931	0.1376
แป้งข้าวโพด (kg)	0.0193	0.0229
เกลือ (kg)	0.0054	0.0032
น้ำมันพืช (kg)	0.0560	0.0459
ไฟฟ้า (kWh)	0.0250	0.0794
ขี้เลื่อย (kg)	0.6178	1.1009
ถุงพลาสติก PE (kg)	0.0031	0.0032
สารขาออก		
ก๋วยเตี๋ยว (kg)	1.0000	1.0000
เศษเส้นก๋วยเตี๋ยว (kg)	0.0000	0.0032
น้ำเสีย (m^3)	0.0011	0.0008
น้ำคอนเดนเสท (m^3)	0.0025	0.0045

2.3.4 การขนส่ง

การขนส่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การขนส่งผลิตภัณฑ์และการขนส่งวัตถุดิบ การขนส่งผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 1) การขนส่งข้าวเปลือกจากนาข้าวไปโรงสีข้าว 2) การขนส่งปลายข้าวจากโรงสีไปยังโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว 3) การขนส่งเส้นก๋วยเตี๋ยวจากโรงงานไปยังตลาดสดเทศบาลทั้ง 6 แห่ง ในอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และ 4) การขนส่งซากผลิตภัณฑ์ไปยังสถานีกำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลพิษณุโลก ตำบลบึงกอก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก การขนส่งวัตถุดิบแสดงในเอกสารเพิ่มเติมในตารางที่ ก.8 และ ข.8 ข้อมูลในขั้นตอนการขนส่งได้มาจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของโรงสีข้าว และเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตของโรงงาน ข้อมูลการขนส่งผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอนแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลการขนส่งผลิตภัณฑ์สำหรับข้าวเปลือก ปลายข้าว เส้นก๋วยเตี๋ยว และการขนส่งซาก

พาหนะ	ระยะทาง (km)
การขนส่งข้าวเปลือกไปโรงสีข้าว	
รถบรรทุก 6 ล้อ	10.00
รถอีแต๋น	10.00
การขนส่งปลายข้าวไปโรงงาน	
รถบรรทุก 6 ล้อ จากโรงสี A	67.70
รถบรรทุก 6 ล้อ จากโรงสี B	54.00
รถบรรทุก 6 ล้อ จากโรงสี C	7.60
การขนส่งเส้นก๋วยเตี๋ยวไปตลาด	
รถซาเล้ง (จักรยานยนต์ 4 จังหวะ)	9.00
การขนส่งซากไปสถานีกำจัดขยะ	
รถบรรทุกขยะ 10 ล้อ	44.75

2.3.5 การบริโภค

สำหรับขั้นตอนการบริโภค มีสมมติฐานว่าก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กจะถูกนำไปบริโภคในครัวเรือนเป็นเมนูก๋วยเตี๋ยว ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะปริมาณน้ำที่ใช้ลวกและก๊าซหุงต้ม เท่านั้น โดยมีสมมติฐานว่าก๋วยเตี๋ยว 1 กิโลกรัม ใช้น้ำในการลวกปริมาณ 5 ลิตร (คำนวณปริมาตรน้ำจากภาชนะที่ใส่) ปริมาณก๊าซหุงต้มที่ใช้คำนวณจากความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำ 5 ลิตร ให้เดือด (ก๊าซหุงต้ม 1 กิโลกรัม ให้ค่าความร้อน 49.59 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [20]) ส่วนน้ำที่เหลือจากการลวกเส้นก๋วยเตี๋ยว 95% จะถือว่าเป็นน้ำเสีย วัตถุดิบและวัสดุที่ใช้ในการประกอบอาหาร ปริมาณน้ำและสารทำความสะอาดที่ใช้ในการล้างภาชนะจะไม่นำมาคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานวิจัยนี้ ปริมาณสารขาเข้าและขาออกสำหรับขั้นตอนการบริโภคแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับขั้นตอนการบริโภค (ต่อ 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	ปริมาณ
สารขาเข้า	
น้ำ (m^3)	0.0050
ก๊าซหุงต้ม (kg)	0.0300
สารขาออก	
น้ำเสีย (m^3)	0.0048

2.3.6 การกำจัดซากผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์เป็นการกำจัดของเสียจากกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน โดยมีสมมติฐานว่าน้ำเสียและน้ำคอนเดนเสทที่ปล่อยออกมาจากขั้นตอนการผลิตและการบริโภคจะถูกรวบรวมและปรับปรุงคุณภาพผ่านระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ในขณะที่เศษเส้นก๋วยเตี๋ยวและซากบรรจุภัณฑ์จะถูกกำจัดซากด้วยวิธีฝังกลบทั้งหมด ข้อมูลปริมาณของเสียของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับขั้นตอนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ (ต่อ 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	ปริมาณ	
	เส้นใหญ่	เส้นเล็ก
กระสอบพลาสติก PP (kg)	0.0039	0.0046
ด้ายเย็บกระสอบ (kg)	5.2×10^{-6}	6.3×10^{-6}
น้ำเสีย (m^3)	0.0058	0.0056
น้ำคอนเดนเสท (m^3)	0.0025	0.0045
ถุงพลาสติก PE (kg)	0.0031	0.0032

2.4 การประเมินผลกระทบการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ข้อมูลบัญชีรายการวัฏจักรชีวิตที่ได้รวบรวมจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังแสดงในสมการที่ 2 [21]

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม (kg CO_2 eq) = ข้อมูลกิจกรรม (หน่วย) x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO_2 eq/หน่วย) (2)

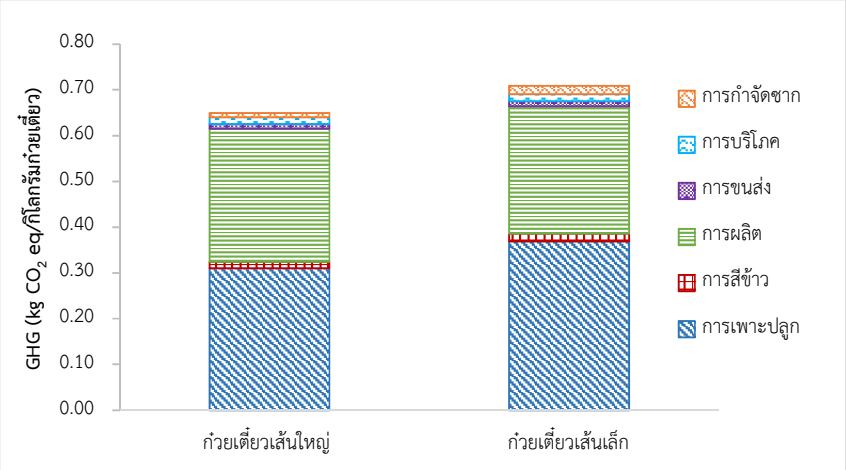
2.5 การแปลผล

เป็นการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละขั้นตอน เพื่อระบุขั้นตอนที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด และจัดหาแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด

3. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก โดยทำการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว การสีข้าว การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว การขนส่ง ตลอดไปจนถึงการกำจัดซาก ซึ่งรายละเอียดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนสำหรับก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กแสดงในเอกสารเพิ่มเติม ตารางที่ ก.1 - ก.8 และ ข.1 - ข.8 ตามลำดับ

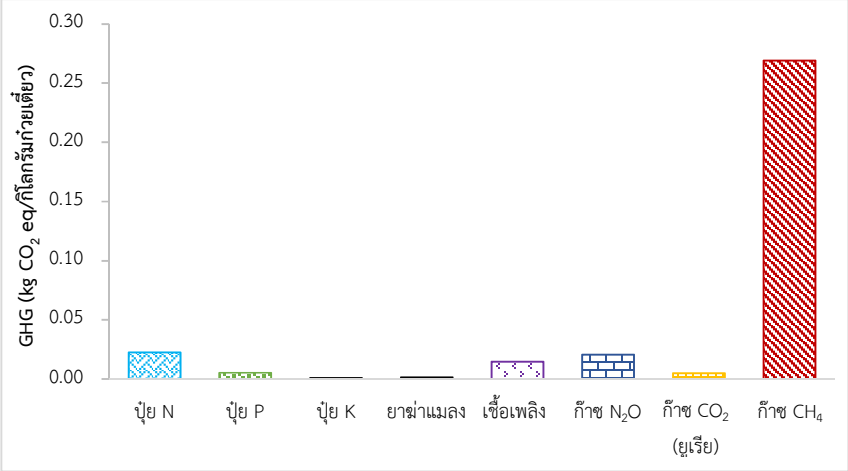
รูปที่ 2 แสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด จากการศึกษาพบว่า ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.650 และ 0.709 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอนเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ การเพาะปลูกข้าว (50%) การผลิต (42%) การบริโภค (2%) การสีข้าว (2%) การกำจัดซาก (2%) และการขนส่ง (2%)



รูปที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนสำหรับก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก

ขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด โดยพบว่า ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนนี้เท่ากับ 0.310 และ 0.369 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว โดยมีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 50% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาเฉพาะขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวเปลือก (แสดงในรูปที่ 3) พบว่า โดยเฉลี่ย 79% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนนี้มาจากการปล่อยก๊าซ CH_4 ในนาข้าว เนื่องจากการปล่อยก๊าซ CH_4 ในนาข้าวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าการปล่อยและระยะเวลาเพาะปลูกข้าว [15] การใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน และการปล่อยก๊าซ N_2O ทั้งทางตรงและทางอ้อมจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยอยู่ที่ 7% และ 6% ตามลำดับ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาผลของจำนวนวันปล่อยน้ำออกจากนาข้าวที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว โดยเลือกช่วงการปล่อยน้ำที่ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว คือ มีการปล่อยน้ำออกในช่วง 20 วันแรกของระยะข้าวเริ่มแตกกอ และระยะก่อนการเก็บเกี่ยว 10 วัน รวมทั้งหมด 30 วัน โดยใช้ค่าการปล่อยเดิมในการคำนวณ (0.189 กิโลกรัม CH_4 ต่อไร่ต่อวัน) พบว่าการปล่อยน้ำออกจากนาข้าวสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวได้ 20% หรือคิดเป็น 10% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด

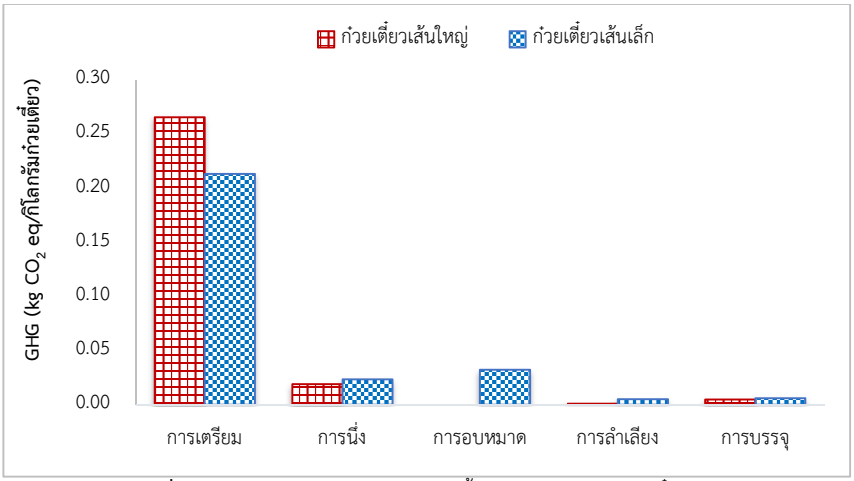
ผลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวในงานวิจัยนี้ (0.804 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก (ไม่คิดค่าปันส่วน)) มีค่าสอดคล้องกับช่วงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตข้าวเปลือก (0.67 - 3.96 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก) ของโครงการจัดทำฐานข้อมูลการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคเกษตร [14]



รูปที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว

ขั้นตอนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นอันดับสองรองจากขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว (แสดงในรูปที่ 2) โดยพบว่า ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนนี้เท่ากับ 0.290 และ 0.279 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว โดยมีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 42% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด (จากน้ำมันพืช เฉลี่ย 17% แป้งมันสำปะหลัง 15% ไฟฟ้า 4% และขี้เลื่อย 3%) อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาเฉพาะขั้นตอนย่อยในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (รวมขั้นตอนการล้างน้ำ การโม่หยาบและโม่ละเอียด และการผสมแป้ง) มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด โดยพบว่าก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการเตรียมวัตถุดิบเท่ากับ 0.266 และ 0.213 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว (เฉลี่ยคิดเป็น 84%) ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการใช้น้ำมันพืช และแป้งมันสำปะหลังเฉลี่ยเท่ากับ 0.116 และ 0.100 kg CO_2eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว ทั้งนี้เนื่องจากมีการใช้วัตถุดิบทั้งสองชนิดเป็นส่วนผสมในปริมาณมาก นอกจากนี้ น้ำมันพืชมีค่าการปล่อย

ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตค่อนค่อนข้างสูง (2.282 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัม [10]) เมื่อเทียบกับวัตถุดิบหลักชนิดอื่น จึงทำให้ขั้นตอนการเตรียมมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนที่สูง ในขณะที่การอบหมาดเป็นขั้นตอนที่ใช้สำหรับการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กเท่านั้น ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.032 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว (คิดเป็น 11%) โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องอบหมาด (0.022 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว) และการใช้ขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ (0.009 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว) ขั้นตอนการอบหมาดมีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกขั้นตอนย่อยของการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว นอกจากนี้ ยังพบว่าโรงงานปิดตู้อบหมาดไม่มิดชิดขณะเดินเครื่อง ซึ่งทำให้มีความร้อนสูญเสียและอาจส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานทั้งจากไฟฟ้าและเชื้อเพลิง สำหรับขั้นตอนการนึ่ง ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.019 และ 0.023 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว (เฉลี่ยคิดเป็น 7%) โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากการปล่อยก๊าซ CH_4 และ N_2O จากการเผาไหม้ขี้เลื่อย ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนกับหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำสำหรับการนึ่งแผ่นแป้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.013 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว ขั้นตอนการลำเลียงและการบรรจุมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 1% และ 2% ตามลำดับ สาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับขั้นตอนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

กล่าวโดยสรุปสำหรับขั้นตอนการผลิต ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก เนื่องจากมีการใช้น้ำมันพืชในปริมาณมากกว่าในขั้นตอนการเตรียม อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาการผลิตขั้นตอนอื่นๆ พบว่าก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ เนื่องจาก 1) มีขั้นตอนการผลิตที่มากกว่า โดยมีขั้นตอนการอบหมาดและการลำเลียงเพิ่มขึ้น รวมถึงมีการใช้ไฟฟ้าในการตัดเส้น 2) ใช้ระยะเวลาในการผลิตมากกว่า ซึ่งก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กใช้เวลา 1.5 ชั่วโมงในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว 218 กิโลกรัม ในขณะที่ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ใช้เวลา 1 ชั่วโมงในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว 259 กิโลกรัม และ 3) ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีปริมาณการผลิต (218 กิโลกรัม) น้อยกว่าก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ (259 กิโลกรัม)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่า (ค่าเฉลี่ย 0.285 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว) งานวิจัยของรัตนาวรรณและคณะ [2] โดยรัตนาวรรณและคณะได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง พบว่าขั้นตอนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 3.520 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว (คำนวณจาก 0.880 kg CO_2 eq ต่อ 250 กรัมก๋วยเตี๋ยว) [2] สาเหตุที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตก๋วยเตี๋ยวในงานวิจัย

นี้มีค่าน้อยกว่าอาจเนื่องมาจากชนิดของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวและขนาดของโรงงานมีความแตกต่างกัน คือ งานวิจัยนี้ศึกษาเส้นก๋วยเตี๋ยวสดในโรงงานผลิตขนาดเล็ก ซึ่งมีการใช้ปริมาณสารขาเข้าน้อยกว่า (เทียบต่อ 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว) โดยมีการใช้ปริมาณน้ำเฉลี่ย 0.001 ลูกบาศก์เมตร ไฟฟ้า 0.052 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และไอน้ำ 0.004 กิโลกรัม ในขณะที่รัตนาวรรณและคณะศึกษาเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งในโรงงานขนาดใหญ่ ซึ่งมีความต้องการใช้พลังงานปริมาณมากในการอบลดความชื้น [2, 22] โดยมีการใช้ปริมาณน้ำ 0.013 ลูกบาศก์เมตร ไฟฟ้า 4.893 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และไอน้ำ 0.560 กิโลกรัม [2] ด้วยสาเหตุนี้ จึงทำให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่า

ขั้นตอนการสีข้าว การบริโภค และการกำจัดซาก มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณน้อย (แสดงในรูปที่ 2) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.015 0.015 และ 0.014 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว ตามลำดับ (เฉลี่ยคิดเป็น 2% 2% และ 2% ตามลำดับ ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด) ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการสีข้าวมาจากการใช้ไฟฟ้า ในขณะที่ขั้นตอนการบริโภคมาจากการใช้ก๊าซหุงต้ม งานวิจัยนี้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการสีข้าวน้อยกว่า (ค่าเฉลี่ย 0.015 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว) งานวิจัยของรัตนาวรรณและคณะ (0.180 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว) อาจเนื่องมาจากการใช้ค่าปันส่วนตามน้ำหนักของปลายข้าวที่แตกต่างกัน ขั้นตอนการขนส่งเป็นขั้นตอนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.011 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว (เฉลี่ยคิดเป็น 2%) ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลในการขนส่งวัตถุดิบ

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสดสองชนิด คือ ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก โดยทำการศึกษาในโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจำนวน 1 โรง ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ขอบเขตของระบบที่ใช้คือ เครเดิลทูเกรฟ (Cradle to grave)

ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่และก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมเท่ากับ 0.650 และ 0.709 kg CO_2 eq ต่อกิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว ตามลำดับ โดยพบว่าขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวและขั้นตอนการผลิตเป็นขั้นตอนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ เฉลี่ยคิดเป็น 50% และ 42% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนขั้นตอนการสีข้าว การบริโภค การกำจัดซาก และการขนส่ง มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยคิดเป็น 2% 2% 2% และ 2% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ตามลำดับ

แนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสดควรให้ความสำคัญกับขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวและขั้นตอนการผลิตเป็นหลัก สำหรับขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือการปล่อยก๊าซ CH_4 จากนาข้าว ดังนั้นควรเลือกช่วงการปล่อยน้ำที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวในช่วงระยะสั้นๆ เพื่อลดการปล่อยก๊าซ CH_4 จากนาข้าว ได้แก่ ระยะข้าวเริ่มแตกกอและระยะก่อนการเก็บเกี่ยว [23] และระยะก่อนข้าวออกรวงเนื่องจากเป็นช่วงที่มีการปล่อยก๊าซ CH_4 มากที่สุด [2] อย่างไรก็ตาม การปล่อยน้ำออกจากนาข้าวอาจส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายของวัชพืชในนาข้าว ซึ่งอาจทำให้ผลผลิตข้าวที่ได้ลดลง และอาจต้องมีการจัดการวัชพืชเพิ่มเติมจากการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช [24] ซึ่งอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก นอกจากนี้ ควรเลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวและลดการปล่อยก๊าซ CH_4 และN_2O ในนาข้าว [25] เนื่องจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินจะทำให้เกิดการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในปุ๋ย ซึ่งมีผลทำให้เกิดการปล่อยก๊าซ CH_4 มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี [25, 26] และควรทำการตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนในดินก่อนทำการเพาะปลูกเพื่อจำกัดการใช้ปุ๋ยเคมีให้มีปริมาณเพียงพอกับความต้องการของพืช เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญในการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งทำให้เกิดการปล่อยก๊าซ N_2O [14] สำหรับขั้นตอนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการใช้วัตถุดิบจำพวกน้ำมันพืชและแป้งมันสำปะหลัง การปรับลดการใช้น้ำมันพืชและแป้งมันสำปะหลัง

ในส่วนผสมอาจจะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างไรก็ดี การปรับลดส่วนผสมของวัตถุดิบอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพและปริมาณของเส้นก๋วยเตี๋ยว ทั้งนี้การตัดสินใจขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ประกอบการ นอกจากนี้ ควรปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงาน โดยเฉพาะการใช้พลังงานจากไฟฟ้าและขี้เลื่อยซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิต ดังนั้นการลดการสูญเสียของการใช้พลังงานอาจทำได้โดยการนำแกลบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากขั้นตอนการสีข้าวมาใช้เป็นพลังงานทดแทน การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ การหุ้มฉนวนอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ การหุ้มฉนวนที่ตู้อบและปิดตู้อบแห้งให้มิดชิดในขณะเดินเครื่อง [2, 22] การโบลว์ดาวน์น้ำในหม้อไอน้ำเพื่อลดการสะสมของตะกรัน [22] ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียความร้อน ลดการใช้พลังงาน และลดปริมาณการใช้น้ำ ควรปรับปรุงระบบการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นและลดปริมาณของเสียให้เหลือน้อยลง โดยการนำน้ำที่ใช้ครั้งสุดท้ายกลับมาใช้ล้างข้าวครั้งแรก การปรับลูกกลิ้งให้เคลือบน้ำมันพืชบนแผ่นแป้งน้อยลง รวมถึงการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการทำลูกกลิ้ง ใบมีดของเครื่องตัดเส้นจะช่วยเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์และลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด [22] นอกจากนี้ ควรมีการเรียกเก็บกระสอบพลาสติกคืนจากโรงสีข้าวเพื่อนำกลับมาใช้หมุนเวียน รวมถึงการนำเศษก๋วยเตี๋ยวไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบส่วนผสมในอาหารสัตว์ จะช่วยลดลดพื้นที่ฝังกลบขยะ และลดการปล่อยก๊าซ CH_4 จากการฝังกลบขยะได้อีกด้วย

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรผู้เพาะปลูกข้าวตลอดจนผู้ประกอบการโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวสด ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการตัดสินใจในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดจนสายโซ่การผลิต เพื่อนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายจากการใช้ทรัพยากรที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณจิตติชัย อนาวงษ์ เจ้าพนักงานการเกษตรชำนาญงานจากศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกด้านการเพาะปลูกข้าวเจ้านาปี พันธุ์พิษณุโลก 2 ขอขอบคุณโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวสด (ไม่ประสงค์ออกนาม) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย และสละเวลาในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวสด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] MOF. (2016). Tax clinic for noodles, Ministry of Finance (MOF). Retrieved November 26, 2016, from http://taxclinic.mof.go.th/pdf/0155882A_2754_8F5E_43D9_385B00B7D70C.pdf (in Thai)

[2] Mungkung, R., Gheewala, S., Poovarodom, N., & Towprayoon, S. (2010). Carbon footprint analysis and management of rice products for carbon label to promote low-carbon economy for climate change mitigation. (in Thai)

[3] Cholathat, R. (2015). Climate change and potential solutions. *Journal of Social Sciences Srinakharinwirot University*, 416-431. (in Thai)

[4] OPM. (2016). National economic and social development plan, 12 edition 2017 - 2021, Office of the Prime Minister (OPM). (in Thai)

[5] Curran, M. A. (2013). Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability. *Current Opinion in Chemical Engineering,* 2(3), 273-277. doi: 10.1016/j.coche.2013.02.002

[6] Fritsche, U. R., & Eberle, U. (2009). Greenhouse-gas emissions from the production and processing of food.

[7] TGO. (2015b). Dried rice noodle for 1 kilogram. Retrieved June 12, 2018, from http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_approval/products_approval.pnc (in Thai)

[8] TGO. (2018). Carbon footprint of product: Registered Company and products. Retrieved 2018, June 12, from http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_approval/products_approval.pnc (in Thai)

[9] TGO. (2015a). Guideline for the assessment of carbon footprint of product. Retrieved 2017, March 14, from http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/download/ts_cb3d37071f.pdf (in Thai)

[10] TGO. (2016). Emission factor, Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). Retrieved March 19, 2017, from

http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf (in Thai)

[11] IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories.

[12] DOAE. (2560). Rice production of Phitsanulok 2 for wet season rice in Thailand. *Department of Agricultural Extension (DOAE).* Retrieved January 20, 2018, from http://production.doae.go.th/report/report_main_land_01_A_new2.php?report_type= (in Thai)

[13] Phitsanulok Rice Research Center. (2012). Rice academic documents, 50-year Phitsanulok Rice Research Center: Rice Department. (in Thai)

[14] Klein, C. D., Novoam, R., Ogle, S., Smith, K. A., Rochette, P., Wirth, T. C., . . . Williams, S. A. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4 : Agriculture, forestry and other land use, Chapter 11: N_2O emissions from managed soils, and CO_2 emissions from lime and urea application. from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf

[15] Klein, C. D., Novoam, R., Ogle, S., Smith, K. A., Rochette, P., Wirth, T. C., . . . Williams, S. A. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4 : Agriculture, forestry and other land use, Chapter 11: N_2O emissions from managed soils, and CO_2 emissions from lime and urea application. from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf

[16] JGSEE. (2012). Greenhouse gas emission database from agricultural sector *The Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE). King Mongkut's University of Technology Thonburi*. (in Thai)

[17] Kalsirisin, R. (2002). Agricultural machinery 2. Retrieved August 3, 2017, from http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice_product/rice-product4_1.html (in Thai)

[18] Amornchaisup, S. (2002). *Energy consumption for rice milling and cooking.* Master's thesis. King Mongkuts University of Technology Thonburi. Retrieved from http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/3/10014147.pdf (in Thai)

[19] Ekasilp, W., Soponronnarit, S., & Therdyothin, A. (1995). Energy analysis in rice mills for cogeneration in Thailand. *Kasetsart Journal,* 29, 87-99. (in Thai)

[20] MOE. (2016). Thailand energy balance manual, Ministry of Energy (MOE). (in Thai)

[21] Sampattagul, S., Kongboon, R., & Prathumthong, U. (2014). *Carbon Footprint Management for Food Industry*. (in Thai)

[22] DIW. (2003). Practice for pollution prevention (Cleaner Technology), Noodle industry *Department of Industrial Works (Diw).* (in Thai)

[23] Anawong, J. (2017). [Personal communication. April 3 2017]

[24] Kohkhoo, R., Chaichana, N., Chai-arree, W., Pornprom, T., Malumpong, C., & Pakoktom1, T. (2015). Methane emissions from water and weed managements in irrigated paddy rice field. *Proceedings of* 53*rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics.* Retrieved September 9, 2018, from http://kukr.lib.ku.ac.th/proceedings/KUCON2/search_detail/dowload_digital_file/315145/89600 (in Thai)

[25] Chomkaew, S. (2013). Effect of fertilizers on greenhouse gas emission in paddy field. Master's thesis. Chulalongkorn University. (in Thai)

[26] Phraprasert, P. (2000). *Effects of rice varieties and nitrogen fertilizers on methane emission* Master's thesis*, Kasetsart University*. (in Thai)

NUEJ
Naresuan University
Engineering Journal

เอกสารเพิ่มเติม:
การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ข้อมูลในเอกสารเพิ่มเติมประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ตารางแสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนสำหรับก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ (ตารางที่ ก.1 – ก.8)

ส่วนที่ 2 ตารางแสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนสำหรับก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก (ตารางที่ ข.1 – ข.8)

ส่วนที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนสำหรับก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่

ตารางที่ ก.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมข้าวเปลือก)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	ปริมาณ/FU	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
					($kgCO_2eq$/Basis)	($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
สารขาเข้า						
ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน (ยูเรีย)	kg	0.0161	0.0258	0.2399	0.0127	0.0205
ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส	kg	0.0080	0.0129	0.2399	0.0030	0.0049
ปุ๋ยเคมีโพแทสเซียม	kg	0.0040	0.0065	0.2399	0.0005	0.0008
ยาฆ่าแมลง	kg	0.0004	0.0006	0.2399	0.0008	0.0013
น้ำมันดีเซล	L	0.0115	0.0185	0.2399	0.0008	0.0012
สารขาออก						
CO_2 จากการเผาไหม้ดีเซล	kg	0.0316	0.0508	0.2399	0.0076	0.0122
CO_2 จากปุ๋ยยูเรีย	kg	0.0118	0.0190	0.2399	0.0028	0.0045
N_2O จากการใช้ปุ๋ย	kg	0.0002	0.0003	0.2399	0.0117	0.0189
CH_4 จากนาข้าว	kg	0.0304	0.0488	0.2399	0.1530	0.2461
รวม					***0.1929***	***0.3104***

ตารางที่ ก.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการสีข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมปลายข้าว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	ปริมาณ/FU	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
					($kgCO_2eq$/Basis)	($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
สารขาเข้า						
ข้าวเปลือก	kg	4.1667	1.6088	0.2399		
ไฟฟ้า	kwh	0.2340	0.0903	0.2399	0.0327	0.0126
กระสอบพลาสติก PP	kg	0.0100	0.0039	0.2399	0.0033	0.0013
ด้ายเย็บกระสอบ	kg	1.37×10^{-5}	5.29×10^{-6}	0.2399	2.64×10^{-5}	1.02×10^{-5}
สารขาออก						
ต้นข้าว	kg	1.76	0.6808	0.4232		
ปลายข้าว	kg	1.00	0.3859	0.2399		
รำ	kg	0.42	0.1639	0.1019		
แกลบ	kg	0.98	0.3782	0.2351		
รวม					***0.0360***	***0.0139***

ตารางที่ ก.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิต (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
สารขาเข้า				
ปลายข้าว	kg	0.3861	1.0000	
น้ำ	m^3	0.0014	1.0000	0.0010
แป้งมันสำปะหลัง	kg	0.1931	1.0000	0.1165
แป้งข้าวโพด	kg	0.0193	1.0000	0.0115
เกลือ	kg	0.0054	1.0000	3.03×10^{-5}
น้ำมันพืช	kg	0.0560	1.0000	0.1278
น้ำ (ผลิตไอน้ำ)	kg	0.0025	1.0000	0.0018
ขี้เลื่อย	kg	0.6178	1.0000	0.0126
ถุงพลาสติก PE	kg	0.0031	1.0000	0.0047
ไฟฟ้า	kwh	0.0250	1.0000	0.0146
สารขาออก				
ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่	kg	1.0000		
น้ำเสีย	m^3	0.0011		
น้ำคอนเดนเสท	m^3	0.0025		
รวม				***0.2904***

ตารางที่ ก.4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนย่อยของการผลิต (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
1. การเตรียม				
- การล้างน้ำ				
สารขาเข้า				
ปลายข้าว	kg	0.3861	1.0000	
น้ำ	m^3	0.0004	1.0000	0.0003
ไฟฟ้า	kwh	0.0001	1.0000	3.37×10^{-5}
สารขาออก				
น้ำเสีย	m^3	0.0003		
- การโม่หยาบและโม่ละเอียด				
สารขาเข้า				
น้ำ	m^3	0.0008	1.0000	0.0005
ไฟฟ้า	kwh	0.0144	1.0000	0.0084
- การผสมแป้ง				
สารขาเข้า				
น้ำ	m^3	0.0003	1.0000	0.0002
ไฟฟ้า	kwh	0.0010	1.0000	0.0006
แป้งมันสำปะหลัง	kg	0.1931	1.0000	0.1165
แป้งข้าวโพด	kg	0.0193	1.0000	0.0115
เกลือ	kg	0.0054	1.0000	3.03×10^{-5}
น้ำมันพืช	kg	0.0560	1.0000	0.1278
2. การนึ่ง				
สารขาเข้า				
น้ำ	m^3	0.0025	1.0000	0.0018
ไฟฟ้า	kwh	0.0076	1.0000	0.0044
ขี้เลื่อย	kg	0.6178	1.0000	0.0126
สารขาออก				
น้ำคอนเดนเสท	m^3	0.0025		
น้ำเสีย	m^3	0.0008		
3. การลำเลียง				
สารขาเข้า				
ไฟฟ้า	kwh	0.0020	1.0000	0.0012
สารขาออก				
เส้นก๋วยเตี๋ยว	kg	1.0000		
4. การบรรจุ				
สารขาเข้า				
ถุงพลาสติก PE	kg	0.0031	1.0000	0.0047
รวม				***0.2904***

ตารางที่ ก.5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการบริโภค (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
สารขาเข้า				
น้ำ	m^3	0.0050	1.0000	0.0035
ก๊าซหุงต้ม	kg	0.0300	1.0000	0.0116
สารขาออก				
น้ำ	m^3	0.0048		
รวม				***0.0151***

ตารางที่ ก.6 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
ขั้นตอนการสีข้าว				
กระสอบพลาสติก PP	kg	0.0039	0.2399	0.0021
ด้ายเย็บกระสอบ	kg	5.29×10^{-6}	0.2399	2.54×10^{-6}
ขั้นตอนการผลิต				
น้ำเสีย	m^3	0.0011	1.0000	1.35×10^{-7}
น้ำคอนเดนเสท	m^3	0.0025	1.0000	3.19×10^{-7}
ถุงพลาสติก PE	kg	0.0031	1.0000	0.0071
ขั้นตอนการบริโภค				
น้ำเสีย	m^3	0.0048	1.0000	5.97×10^{-7}
รวม				***0.0093***

ตารางที่ ก.7 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่งผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ/Basis	ระยะทาง (km)	ประเภทพาหนะ	สัดส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
					($kgCO_2eq$/Basis)	($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
1. การขนส่งข้าวเปลือกไปโรงสีข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมข้าวเปลือก)						
ข้าวเปลือก	3.333	10	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ ขนาดเล็ก วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 8.5 ตัน	0.2399	0.0009	0.0004
ข้าวเปลือก	0.833	10	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 1.5 ตัน	0.2399	0.0007	0.0003
2. การขนส่งปลายข้าวไปโรงงานผลิต (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)						
ปลายข้าว	0.129	54	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ ขนาดเล็ก วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 8.5 ตัน	1.0000		0.0008
ปลายข้าว	0.129	8		1.0000		0.0001
ปลายข้าว	0.129	68		1.0000		0.0010
3. การขนส่งก๋วยเตี๋ยวไปตลาดสดเทศบาล *(Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)*						
ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่	259	9	ซาเล้ง (รถจักรยานยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 125 cc) อัตราการสิ้นเปลือง 38.655 km/L	1.0000		0.0025
4. การขนส่งซากผลิตภัณฑ์ไปสถานีกำจัดขยะมูลฝอย (Basis on: *1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)*						
กระสอบพลาสติก PP	0.0039	45	รถบรรทุกขยะ 10 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 16 ตัน	0.2399		3.22×10^{-6}
ด้ายเย็บกระสอบ	5.29×10^{-6}	45		0.2399		4.41×10^{-9}
ถุงพลาสติก PE	0.0031	45		1.0000		1.09×10^{-5}
รวม						***0.0051***

ตารางที่ ก.8 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ/Basis	ระยะทาง (km)	ประเภทพาหนะ	สัดส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
					($kgCO_2eq$/Basis)	($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
1. การขนส่งในขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมข้าวเปลือก)						
ปุ๋ยไนโตรเจน	0.0162	18		0.2399	6.11×10^{-6}	9.84×10^{-6}
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	0.0080	18	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ	0.2399	3.06×10^{-6}	4.92×10^{-6}
ปุ๋ยโพแทสเซียม	0.0040	18	100% Loading บรรทุกสูงสุด 16 ตัน	0.2399	1.53×10^{-6}	2.46×10^{-6}
ยาฆ่าแมลง	0.0004	18		0.2399	1.43×10^{-7}	2.30×10^{-7}
2. การขนส่งในขั้นตอนการสีข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมปลายข้าว)						
กระสอบพลาสติก PP	0.0100	377	รถตู้บรรทุก 4 ล้อ วิ่งปกติ	0.2399	2.08×10^{-4}	8.03×10^{-5}
ด้ายเย็บกระสอบ	1.37×10^{-5}	377	100% Loading บรรทุกสูงสุด 7 ตัน	0.2399	2.85×10^{-7}	1.10×10^{-7}
3. การขนส่งในขั้นตอนการผลิต (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)						
แป้งมันสำปะหลัง	0.1931	121	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 16 ตัน	1.0000		0.0021
แป้งข้าวโพด	0.0193	377		1.0000		0.0017
เกลือ	0.0054	2	รถตู้บรรทุก 4 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 7 ตัน	1.0000		2.36×10^{-6}
น้ำมันพืช	0.0560	2		1.0000		2.45×10^{-5}
ถุงพลาสติก PE	0.0031	134		1.0000		0.0001
ขี้เลื่อย	0.6178	11		1.0000		0.0016
รวม						***0.0056***

ส่วนที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนสำหรับก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก

ตารางที่ ข.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมข้าวเปลือก)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	ปริมาณ/FU	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
					($kgCO_2eq$/ Basis)	($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
สารขาเข้า						
ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน (ยูเรีย)	kg	0.0161	0.0307	0.2399	0.0127	0.0243
ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส	kg	0.0080	0.0154	0.2399	0.0030	0.0058
ปุ๋ยเคมีโพแทสเซียม	kg	0.0040	0.0077	0.2399	0.0005	0.0009
ยาฆ่าแมลง	kg	0.0004	0.0007	0.2399	0.0008	0.0016
น้ำมันดีเซล	L	0.0115	0.0220	0.2399	0.0008	0.0011
สารขาออก						
CO_2 จากการเผาไหม้ดีเซล	kg	0.0316	0.0604	0.2399	0.0076	0.0146
CO_2 จากปุ๋ยยูเรีย	kg	0.0118	0.0225	0.2399	0.0028	0.0054
N_2O จากการใช้ปุ๋ย	kg	0.0002	0.0003	0.2399	0.0117	0.0224
CH_4 จากนาข้าว	kg	0.0304	0.0580	0.2399	0.1530	0.2923
รวม					***0.1929***	***0.3687***

ตารางที่ ข.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการสีข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมปลายข้าว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	ปริมาณ/FU	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
					($kgCO_2eq$/Basis)	($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
สารขาเข้า						
ข้าวเปลือก	kg	4.1667	1.9113	0.2399		
ไฟฟ้า	kwh	0.2340	0.1073	0.2399	0.0327	0.0150
กระสอบพลาสติก PP	kg	0.0100	0.0046	0.2399	0.0033	0.0015
ด้ายเย็บกระสอบ	kg	1.37×10^{-5}	6.28×10^{-6}	0.2399	2.64×10^{-5}	1.21×10^{-5}
สารขาออก						
ต้นข้าว	kg	1.76	0.8088	0.4232		
ปลายข้าว	kg	1.00	0.4585	0.2399		
รำ	kg	0.42	0.1947	0.1019		
แกลบ	kg	0.98	0.4493	0.2351		
รวม					***0.0360***	***0.0165***

ตารางที่ ข.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิต (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
สารขาเข้า				
ปลายข้าว	kg	0.4587	1.0000	
น้ำ	m^3	0.0015	1.0000	0.0010
แป้งมันสำปะหลัง	kg	0.1376	1.0000	0.0831
แป้งข้าวโพด	kg	0.0229	1.0000	0.0137
เกลือ	kg	0.0032	1.0000	1.80×10^{-5}
น้ำมันพืช	kg	0.0459	1.0000	0.1047
น้ำ (ผลิตไอน้ำ)	kg	0.0045	1.0000	0.0032
ขี้เลื่อย	kg	1.1009	1.0000	0.0224
ถุงพลาสติก PE	kg	0.0032	1.0000	0.0049
ไฟฟ้า	kwh	0.0794	1.0000	0.0462
สารขาออก				
ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก	kg	1.0000		
เศษเส้นก๋วยเตี๋ยว	kg	0.0032		
น้ำเสีย	m^3	0.0008		
น้ำคอนเดนเสท	m^3	0.0045		
รวม				***0.2791***

ตารางที่ ข.4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนย่อยของการผลิต (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
1. การเตรียม				
- ***การล้างน้ำ***				
สารขาเข้า				
ปลายข้าว	kg	0.4587	1.0000	
น้ำ	m^3	0.0005	1.0000	0.0003
ไฟฟ้า	kwh	0.0001	1.0000	4.01×10^{-5}
สารขาออก				
น้ำเสีย	m^3	0.0004		
- การโม่หยาบและโม่ละเอียด				
สารขาเข้า				
น้ำ	m^3	0.0009	1.0000	0.0006
ไฟฟ้า	kwh	0.0171	1.0000	0.0099
- การผสมแป้ง				
สารขาเข้า				
น้ำ	m^3	0.0001	1.0000	0.0001
ไฟฟ้า	kwh	0.0011	1.0000	0.0007
แป้งมันสำปะหลัง	kg	0.1376	1.0000	0.0831
แป้งข้าวโพด	kg	0.0229	1.0000	0.0137
เกลือ	kg	0.0032	1.0000	1.80×10^{-5}
น้ำมันพืช	kg	0.0459	1.0000	0.1047
2. การนึ่ง				
สารขาเข้า				
น้ำ	m^3	0.0027	1.0000	0.0019
ไฟฟ้า	kwh	0.0136	1.0000	0.0079
ขี้เลื่อย	kg	0.6606	1.0000	0.0134
สารขาออก				
น้ำคอนเดนเสท	m^3	0.0027		
น้ำเสีย	m^3	0.0005		
3. การอบหมาด				
สารขาเข้า				
น้ำ	m^3	0.0018	1.0000	0.0013
ไฟฟ้า	kwh	0.0372	1.0000	0.0217
ขี้เลื่อย	kg	0.4404	1.0000	0.0090
สารขาออก				
คอนเดนเสท	m^3	0.0018		
น้ำระเหย	m^3	0.0003		

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
4. การลำเลียง				
สารขาเข้า				
ไฟฟ้า	kwh	0.0083	1.0000	0.0049
สารขาออก				
เส้นก๋วยเตี๋ยว	kg	1.0000		
5. การบรรจุ				
สารขาเข้า				
ถุงพลาสติก PE	kg	0.0032	1.0000	0.0049
ไฟฟ้า	kwh	0.0020	1.0000	0.0012
สารขาออก				
เศษเส้นก๋วยเตี๋ยว	kg	0.0032		
รวม				***0.2791***

ตารางที่ ข.5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการบริโภค (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
สารขาเข้า				
น้ำ	m^3	0.0050	1.0000	0.0035
ก๊าซหุงต้ม	kg	0.0300	1.0000	0.0116
สารขาออก				
น้ำ	m^3	0.0048		
รวม				***0.0151***

ตารางที่ ข.6 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ/Basis	การปันส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
ขั้นตอนการสีข้าว				
กระสอบพลาสติก PP	kg	0.0046	0.2399	0.0026
ด้ายเย็บกระสอบ	kg	6.28×10^{-6}	0.2399	3.01×10^{-6}
ขั้นตอนการผลิต				
น้ำเสีย	m^3	0.0008	1.0000	1.03×10^{-7}
น้ำคอนเดนเสท	m^3	0.0045	1.0000	5.69×10^{-7}
ถุงพลาสติก PE	kg	0.0032	1.0000	0.0074
เศษเส้นก๋วยเตี๋ยว	kg	0.0032	1.0000	0.0081
ขั้นตอนการบริโภค				
น้ำเสีย	m^3	0.0048	1.0000	5.97×10^{-7}
รวม				***0.0181***

ตารางที่ ข.7 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่งผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ/Basis	ระยะทาง (km)	ประเภทพาหนะ	สัดส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
					($kgCO_2eq$/Basis)	($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
1. การขนส่งข้าวเปลือกไปโรงสีข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมข้าวเปลือก)						
ข้าวเปลือก	3.333	10	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ ขนาดเล็ก วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 8.5 ตัน	0.2399	0.0009	0.0004
ข้าวเปลือก	0.833	10	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 1.5 ตัน	0.2399	0.0007	0.0003
2. การขนส่งปลายข้าวไปโรงงานผลิต (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)						
ปลายข้าว	0.153	54	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ ขนาดเล็ก วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 8.5 ตัน	1.0000		0.0010
ปลายข้าว	0.153	8		1.0000		0.0001
ปลายข้าว	0.153	68		1.0000		0.0012
3. การขนส่งก๋วยเตี๋ยวไปตลาดสดเทศบาล *(Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)*						
ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก	218	9	ซาเล้ง (รถจักรยานยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 125 cc) อัตราการสิ้นเปลือง 38.655 km/L	1.0000		0.0030
4. การขนส่งซากผลิตภัณฑ์ไปสถานีกำจัดขยะมูลฝอย (Basis on: *1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)*						
กระสอบพลาสติก PP	0.0046	45	รถบรรทุกขยะ 10 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 16 ตัน	0.2399		3.83×10^{-6}
ด้ายเย็บกระสอบ	6.28×10^{-6}	45		0.2399		5.24×10^{-9}
ถุงพลาสติก PE	0.0032	45		1.0000		1.14×10^{-5}
เศษเส้นก๋วยเตี๋ยว	0.0032	45		1.0000		1.14×10^{-5}
รวม						***0.0061***

ตารางที่ ข.8 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ/Basis	ระยะทาง (km)	ประเภทพาหนะ	สัดส่วน	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
					($kgCO_2eq$/Basis)	($kgCO_2eq$/กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)
1. การขนส่งในขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมข้าวเปลือก)						
ปุ๋ยไนโตรเจน	0.0161	18		0.2399	6.17×10^{-6}	1.17×10^{-5}
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	0.0080	18	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ	0.2399	3.09×10^{-6}	5.84×10^{-6}
ปุ๋ยโพแทสเซียม	0.0040	18	100% Loading บรรทุกสูงสุด 16 ตัน	0.2399	1.54×10^{-6}	2.92×10^{-6}
ยาฆ่าแมลง	0.0004	18		0.2399	1.44×10^{-7}	2.73×10^{-7}
2. การขนส่งในขั้นตอนการสีข้าว (Basis on: 1 กิโลกรัมปลายข้าว)						
กระสอบพลาสติก PP	0.0100	377	รถตู้บรรทุก 4 ล้อ วิ่งปกติ	0.2399	2.08×10^{-4}	9.54×10^{-5}
ด้ายเย็บ	1.37×10^{-5}	377	100% Loading บรรทุกสูงสุด 7 ตัน	0.2399	2.85×10^{-7}	1.31×10^{-7}
3. การขนส่งในขั้นตอนการผลิต (Basis on: 1 กิโลกรัมก๋วยเตี๋ยว)						
แป้งมันสำปะหลัง	0.1376	121	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 16 ตัน	1.0000		0.0015
แป้งข้าวโพด	0.0229	377		1.0000		0.0020
เกลือ	0.0032	2		1.0000		1.40×10^{-6}
น้ำมันพืช	0.0459	2	รถตู้บรรทุก 4 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading บรรทุกสูงสุด 7 ตัน	1.0000		2.00×10^{-5}
ถุงพลาสติก PE	0.0032	134		1.0000		0.0001
ขี้เลื่อย	0.4404	11		1.0000		0.0012
รวม						***0.0049***