

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเครื่องดื่มประเภทกาแฟ

Carbon Footprint of Coffee Drinks

รัตนกร พุนพิพัตน์ และ ปิยานนท์ หาพุดธา*

Rattanakon Phunphiphat and Piyanon Haputta*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประเทศไทย

Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Thailand

บทคัดย่อ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างมากในหลายประเทศทั่วโลก นอกจากปัญหาขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นหลังจากการบริโภคแล้ว วัฏจักรชีวิตของเครื่องดื่มประเภทกาแฟยังก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนอีกด้วย เพื่อให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตและบริโภคเครื่องดื่มประเภทกาแฟ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอน (Carbon footprint) ของเครื่องดื่มประเภทกาแฟ ได้แก่ มอคค่าเย็น คาปูชิโนเย็น ลาเต้เย็น และเอสเปรสโซร้อน โดยพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งเมล็ดกาแฟ การบรรจุภัณฑ์ การทำเครื่องดื่ม การขนส่ง ตลอดจนการจัดบรรจุภัณฑ์หลังการบริโภค ผลการศึกษาพบว่ารอยเท้าคาร์บอนของกาแฟมอคค่าเย็น คาปูชิโนเย็น ลาเต้เย็น และเอสเปรสโซร้อน 1 แก้ว ที่ใช้กาแฟบด 18 กรัมเท่ากัน มีค่าประมาณ 626, 507, 542 และ 161 กรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ โดยวัตถุดิบที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดคือนมวัว รองลงมาคือช็อกโกแลต ส่งผลให้กาแฟเมนูมอคค่าเย็นที่มีการใส่วัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดนี้มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด ด้วยเหตุนี้เอง การใช้นมวัวที่ผลิตโดยมีการลดก๊าซมีเทนจากการหมักย่อยอาหารของโคนมและการจัดการมูลโคอย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นแนวทางสำคัญที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเครื่องดื่มประเภทกาแฟได้ ทั้งนี้ ไม่เพียงแต่ผลการศึกษาจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตและการบริโภคเครื่องดื่มกาแฟเท่านั้น แต่วิธีประเมินรอยเท้าคาร์บอนในการศึกษานี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของเครื่องดื่มประเภทอื่น ๆ ได้อีกด้วย

คำสำคัญ: เครื่องดื่มกาแฟ, ก๊าซเรือนกระจก, รอยเท้าคาร์บอน

ABSTRACT

Coffee is a popular drink in many countries. Other than plastic waste problem, the life cycle of coffee drinks also brings about greenhouse gas (GHG) emissions that contribute to global warming. To provide the recommendations on the reduction of GHG emissions of coffee drinks, this study aimed at assessing and comparing the carbon footprint of coffee drinks, including iced mocha, iced cappuccino, iced latte, and hot espresso. Life cycle of the coffee drinks, covering raw material production, packaging, coffee making, product use, and the disposal of beverage container were considered in this study. The results showed that the carbon footprint of a glass of iced mocha, iced cappuccino, iced latte, and hot espresso (in which 18 g ground coffee were equally used) were around 626, 507, 542 and 161 g CO₂ equivalent, respectively. Raw materials with the highest GHG emissions were cow's milk and chocolate. This leads to the largest carbon footprint of iced mocha in which both cow's milk and chocolate were used as the ingredients. According to this, the use of cow's milk produced from the cow whose production of methane from the digestive system was reduced and the efficient cow manure management can be considered for the reduction of carbon footprint of coffee drinks. Not only does the results of this study have an implication on the reduction of GHG emissions from coffee drinks, but also the method presented in this study can be a guideline for other beverages' carbon footprint assessment.

KEYWORDS: Coffee drinks, greenhouse gases, carbon footprint

*Corresponding Author: piyanonk@tu.ac.th

Received: 26/08/2022; Revised: 18/11/2022; Accepted: 07/02/2023

1. บทนำ

กาแฟถูกค้นพบประมาณ 850 ปีก่อนคริสต์ศักราช เนื่องจากกาแฟมีฤทธิ์ในการกระตุ้นร่างกาย เมื่อรับประทานจะมีความรู้สึกกระปรี้กระเปร่า หายเหนื่อย ทำให้เริ่มเป็นที่รู้จักของคนอย่างแพร่หลาย (Department of Agricultural Extension, 2014) ปัจจุบัน กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั้งในคนวัยเรียน และวัยทำงาน ซึ่งความนิยมของการดื่มกาแฟในประเทศไทยมีอัตราเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 0.9 กิโลกรัมต่อปี (National Food Institute, 2015) โดยในปี 2561 ประเทศไทยมีความต้องการใช้เมล็ดกาแฟมากถึง 95,000 ตันต่อปี และมีการทำธุรกิจกาแฟเพิ่มขึ้นร้อยละ 37.71 เมื่อเทียบกับปี 2560 จะเห็นได้ว่าตลาดกาแฟในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างมากสอดคล้องกับความต้องการในการบริโภค และแนวโน้มขยายตัวสูงขึ้นเรื่อย ๆ อีกด้วย (Department of Business Development, 2019)

ความต้องการดื่มกาแฟที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่เพาะปลูกกาแฟขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากกาแฟเป็นพืชที่ต้องปลูกในพื้นที่เขตร้อนซึ่งเป็นระบบนิเวศที่มีความเหมาะสมที่สุดในโลก จึงเป็นที่น่ากังวลว่าการปลูกกาแฟอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ทั้งมลพิษทางน้ำ ความแปรปรวนทางชีวภาพ การเสื่อมสภาพของดิน รวมไปถึงการใช้สารเคมีทางการเกษตร (Thairath, 2021) นอกจากนี้ผลการศึกษาของ University College London (UCL) กาแฟแต่ละแก้วมีผลกระทบด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนแฝงอยู่จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิตทั้งหมด โดยเมื่อเทียบจากน้ำหนักที่เท่ากัน กาแฟที่ปลูกแบบยั่งยืนอย่างน้อยที่สุดจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการผลิตชีส และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของผลิตภัณฑ์ (รอยเท้าคาร์บอน) เป็นครึ่งหนึ่งของเนื้อวัว ซึ่งเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดในโลก โดยประมาณ (TNN, 2021)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Prasatkhetkan *et al.* (n.d.), Trinh *et al.* (2019) และ Harsono *et al.* (2021) แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการผลิตเมล็ดกาแฟส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน แต่ยังไม่มียานวิจัยที่แสดงผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของกาแฟที่เป็นเครื่องดื่ม เช่น เอสเปรสโซ อเมริกาโน่ คาปูชิโน่ ลาเต้ และมอคค่า ซึ่งล้วนแล้วแต่มีวัตถุดิบและกระบวนการเตรียมที่แตกต่างกัน ซึ่งหมายความว่าจำเป็นต้องมีขนาดผลกระทบด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนที่แตกต่างกันด้วย โดยขนาดของผลกระทบ

นี้สามารถแสดงในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการประเมินรอยเท้าคาร์บอน (Carbon footprint) ซึ่งก็คือการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก ที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วย ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการของเสียหลังหมดอายุการใช้งาน ออกมาในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (TGO, 2021a)

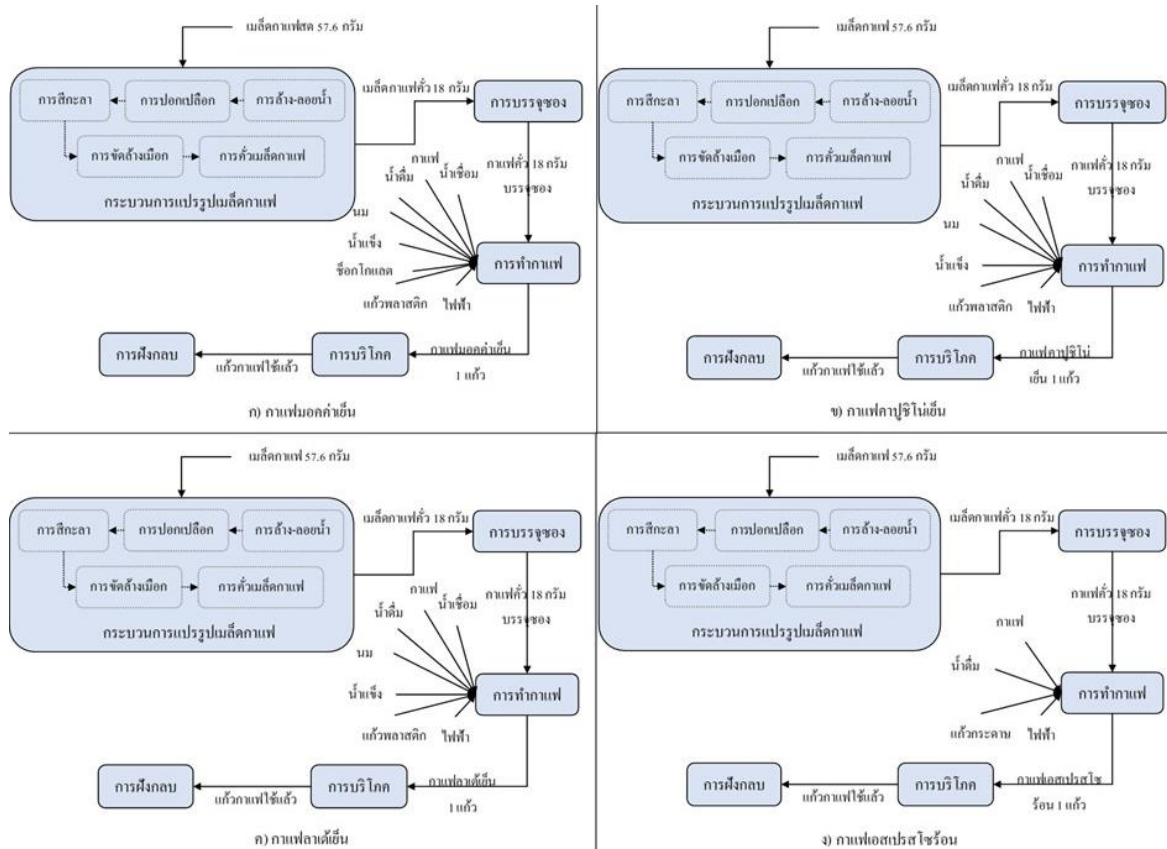
เพื่อเสนอแนะแนวทางที่เป็นประโยชน์สำหรับการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในการผลิตเครื่องดื่มประเภทกาแฟให้แก่ผู้ประกอบการ และเพื่อประกอบการตัดสินใจของผู้บริโภคในการเลือกซื้อเครื่องดื่มประเภทกาแฟ งานวิจัยนี้จึงมุ่งประเมินและเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนของเครื่องดื่มประเภทกาแฟ ได้แก่ มอคค่าเย็น คาปูชิโน่เย็น ลาเต้เย็น และเอสเปรสโซร้อน เพื่อนำไปสู่การผลิตและการบริโภคที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยต่อไป ทั้งนี้ ไม่เพียงแต่ผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ประกอบการและผู้บริโภคเท่านั้น แต่วิธีการศึกษาของงานวิจัยยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของเครื่องดื่มประเภทอื่น ๆ ได้อีกด้วย

2. วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณรอยเท้าคาร์บอนของเครื่องดื่มกาแฟ ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการปลูกกาแฟ กระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟ การบรรจุเมล็ดกาแฟใส่บรรจุภัณฑ์ การขนส่ง การทำกาแฟ ไปจนถึงการกำจัดของเสียจากการผลิตและบริโภคเครื่องดื่มกาแฟ ตามกรอบการดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในมาตรฐาน ISO14040 โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)

การประเมินและเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนของกาแฟ 4 เมนู ได้แก่ มอคค่าเย็น คาปูชิโน่เย็น ลาเต้เย็น และเอสเปรสโซร้อน ในงานวิจัยนี้ มีเป้าหมายคือการนำผลการศึกษาไปใช้ประกอบการพิจารณาปรับปรุงการผลิตของผู้ประกอบการผลิตเมล็ดกาแฟและร้านกาแฟ รวมถึงประกอบการตัดสินใจของผู้บริโภคในการบริโภคเครื่องดื่มกาแฟ เพื่อให้มีผลกระทบด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนลดลง หน่วยหน้าที่ที่ใช้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบในงานวิจัยคือ เครื่องดื่มกาแฟ 1 แก้ว ที่ใช้เมล็ดกาแฟโรบัสต้าบด 18 กรัม (ปริมาณสุทธิของเครื่องดื่มกาแฟ มอคค่าเย็น คาปูชิโน่เย็น และลาเต้เย็น



รูปที่ 1 ขอบเขตระบบของเครื่องต้มกาแฟแต่ละเมนู

เท่ากับ 483 กรัม และปริมาตรสุทธิของเครื่องต้มกาแฟ เอสเปรสโซร้อน เท่ากับ 33 กรัม โดยการประเมินรอยเท้าคาร์บอนในการศึกษานี้มีขอบเขตแบบตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) คือพิจารณาผลกระทบด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องต้มกาแฟ ตั้งแต่การได้มาซึ่งเมล็ดกาแฟ การบรรจุภัณฑ์ การขนส่ง การทำเครื่องต้ม และการกำจัดบรรจุภัณฑ์หลังการบริโภค ดังแสดงในขอบเขตระบบของเครื่องต้มกาแฟแต่ละเมนูในรูปที่ 1 โดย ในงานวิจัยนี้ กาแฟกาแฟที่เหลือจากการทำเครื่องต้มถูกพิจารณาว่าเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ของระบบ ไม่ใช่ขยะที่จะต้องถูกนำไปกำจัดเช่นเดียวกับแก้วกาแฟ เนื่องจากกาแฟมีมูลค่าทางเศรษฐกิจ สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นได้ เช่น สดริบ ชัตผิว กรีเซอร์รอล และน้ำมัน ฯลฯ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาการปันส่วนผลกระทบเชิงมูลค่า (Economic allocation) กาแฟมีมูลค่าทางเศรษฐกิจน้อยมากเมื่อเทียบกับมูลค่าของกาแฟ 1 แก้ว งานวิจัยนี้จึงไม่ได้ทำการปันส่วนผลกระทบให้แก่กาแฟแต่อย่างใด ทั้งนี้ เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลของประเทศไทย ผลการวิจัยนี้จึงสามารถนำไปใช้ได้กับบริบทของการผลิตและการบริโภคเครื่องต้มกาแฟในประเทศไทยเท่านั้น

2.2 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory analysis) ของกระบวนการทำเครื่องต้มกาแฟ รวมถึงข้อมูลการขนส่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำเครื่องต้มกาแฟ สำหรับนำไปใช้ประเมินผลกระทบด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนนั้น ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลวัตถุดิบและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทำมอคค่าเย็น คาปูชิโนเย็น ลาเต้เย็น และเอสเปรสโซร้อน จากร้านกาแฟแห่งหนึ่งในอำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ โดยร้านกาแฟแห่งนี้มีการทำเครื่องต้มประเภทกาแฟเฉลี่ยเดือนละกว่า 150 แก้ว และกาแฟที่ขายดีที่สุด คือ เอสเปรสโซร้อน รองลงมา คือ ลาเต้เย็น คาปูชิโนเย็น และมอคค่าเย็น ตามลำดับ

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลกระทบด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของการทำเครื่องต้มกาแฟที่เกิดจากการใช้วัตถุดิบและพลังงาน และการปล่อยมลภาวะหรือของเสียต่าง ๆ ที่ได้จากการทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการทำเครื่องต้มกาแฟ จะถูกพิจารณาในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{CO}_2 \text{ eq.}$) โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของแต่ละกิจกรรมการใช้

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการและผลิตภัณฑ์

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	แหล่งอ้างอิง
เมล็ดกาแฟสด	0.4	g CO ₂ eq./g	Ratchawat et al. (2018)
การแปรรูปเมล็ดกาแฟ	0.22	g CO ₂ eq./g	Prasathetkan et al. (n.d.)
การบรรจุใส่ซอง	0.88	g CO ₂ eq./g	Cibellia et al. (2021)
รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading	184	g CO ₂ eq./tkm	TGO (2021b)
รถตู้บรรทุก 6 ล้อ ขนาดเล็ก วิ่งปกติ 100% Loading	65.3	g CO ₂ eq./tkm	TGO (2021b)
น้ำ	0.15	g CO ₂ eq./g	TGO (2019)
นม	1.95	g CO ₂ eq./g	Liblab (2020)
น้ำเชื่อม	0.29	g CO ₂ eq./g	TGO (2021b)
ช็อกโกแลต	5	g CO ₂ eq./g	Reay (2019)
น้ำแข็ง	0.23	g CO ₂ eq./g	Newton Associate (n.d.)
แก้วพลาสติก *	3.91	g CO ₂ eq./g	Harst & Potting (2013)
แก้วกระดาษ *	2.49	g CO ₂ eq./g	Harst & Potting (2013)
พลังงานไฟฟ้า	598.6	g CO ₂ eq./kWh	TGO (2021b)

หมายเหตุ * ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ cradle to grave (รวมผลกระทบของขั้นตอนการกำจัดซากหลังการใช้งาน ด้วยวิธีการฝังกลบ)

ตารางที่ 2 ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการทำเครื่องดื่มกาแฟ 1 แก้ว (ใช้เมล็ดกาแฟบด 18 กรัม)

	เครื่องดื่มกาแฟ			
	มอคค่าเย็น	คาปูชิโนเย็น	ลาเต้เย็น	เอสเปรสโซร้อน
สารขาเข้า	กาแฟบด (กรัม)	18	18	18
	น้ำ (กรัม)	60	60	30
	นม (กรัม)	100	100	0
	น้ำเชื่อม (กรัม)	25	30	0
	ช็อกโกแลต (กรัม)	25	0	0
	น้ำแข็ง (กรัม)	270	290	0
	แก้วพลาสติก (กรัม)	15	15	0
	แก้วกระดาษ (กรัม)	0	0	12
	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)*	0.15	0.15	0.08
สารขาออก	กากกาแฟ (กรัม)	15	15	15
	เครื่องดื่มกาแฟ (กรัม)	483	483	33

หมายเหตุ * คำนวณจากผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเตาอุ่นนม (กำลังไฟ 800 วัตต์ ใช้อุ่นนม 5 นาที) และเตาต้มน้ำร้อน (กำลังไฟ 1000 วัตต์ ใช้ต้มน้ำ 5 นาที)

วัตถุดิบและพลังงาน และการปล่อยมลภาวะหรือของเสียต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO}_2\text{ eq.)} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \quad (1)$$

โดยที่

- ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) คือ ปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงาน และการปล่อยมลภาวะหรือของเสียต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกอันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน ซึ่งอาจมีหน่วยที่แตกต่างกันไป เช่น ปริมาณน้ำ ปริมาณกาแฟ ปริมาณน้ำเชื่อม และปริมาณนม เป็นต้น ทั้งนี้ หน่วยของข้อมูลกิจกรรมต้องสัมพันธ์กับหน่วยของค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

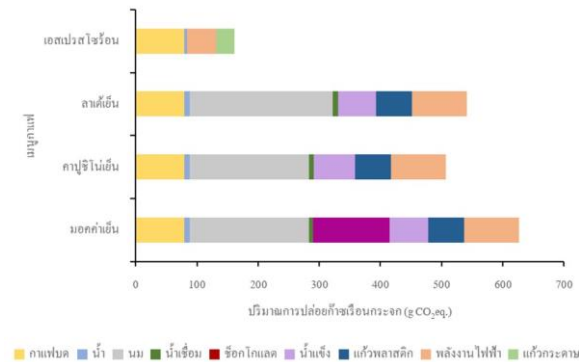
- ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) คือ ค่าที่แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์หรือ

กิจกรรม โดยในการศึกษานี้ใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรมซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์มาแต่ไม่รวมขั้นตอนการใช้งานและกำจัดซาก (cradle to gate) ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 1

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการและผลิตภัณฑ์บางชนิดในตารางที่ 1 ได้แก่ การบรรจุใส่ซอง ช็อกโกแลต แก้วพลาสติก และแก้วกระดาษ เป็นค่าที่ได้จากการศึกษาของต่างประเทศเนื่องจากไม่มีข้อมูลสำหรับประเทศไทย อย่างไรก็ตามกระบวนการและผลิตภัณฑ์เหล่านี้ใช้เทคโนโลยีการผลิตไม่แตกต่างจากประเทศไทย ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงสามารถนำมาใช้ประเมินรอยเท้าคาร์บอนของเครื่องดื่มประเภทกาแฟในบริบทของประเทศไทยได้ โดยแม้มีการเปลี่ยนแปลงค่าการปล่อย

ตารางที่ 3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกาแฟ 4 เมนู
(ต่อกาแฟ 1 แก้วที่ใช้เมล็ดกาแฟบด 18 กรัม)

เมนูกาแฟ	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (g CO ₂ eq.)
มอคค่าเย็น	626.21
คาปูชิโนเย็น	507.33
ลาเต้เย็น	541.61
เอสเปรสโซร้อน	161.37



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนจากกระบวนการทำกาแฟ 4 เมนู

ก๊าซเรือนกระจกให้เป็นของประเทศไทยอนาคต ผลการศึกษาจะเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3. ผลการศึกษาและการอภิปรายผลการศึกษา

3.1 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการ

การเก็บรวบรวมข้อมูลจากร้านกาแฟทำให้ได้ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการทำเครื่องดื่มกาแฟมอคค่าเย็น คาปูชิโนเย็น ลาเต้เย็น และเอสเปรสโซร้อน สำหรับใช้ประเมินผลกระทบด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของเครื่องดื่มกาแฟทั้ง 4 เมนู ดังแสดงในตารางที่ 2

สำหรับระยะทางในการขนส่งนั้น ร้านกาแฟได้ใช้เมล็ดกาแฟที่ปลูกจากไร่สะเก็ดดาว อำเภอสะเกตดาว จังหวัดเชียงใหม่ หลังจากเก็บเกี่ยวผลกาแฟแล้วจะถูกนำส่งมายังโรงงานแปรรูปและบรรจุเมล็ดกาแฟใส่ซอง ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอสะเกตดาว จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีระยะทาง 33.6 กิโลเมตร ขนส่งด้วยรถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ วึ่งปกติ บรรทุกเต็มคันรถ (100% Loading) แล้งจึงส่งมายังร้านกาแฟในอำเภอนางรองจังหวัดบุรีรัมย์ ด้วยรถตู้บรรทุก 6 ล้อ ขนาดเล็ก วึ่งปกติ บรรทุกเต็มคันรถ (100% Loading) มีระยะทาง 798 กิโลเมตร

3.2 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอน

จากการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของเครื่องดื่มกาแฟทั้ง 4 เมนู พบว่ามอคค่าเย็น คาปูชิโนเย็น ลาเต้เย็น และเอสเปรสโซร้อน มีคาร์บอนรอยเท้าคาร์บอนอยู่ที่ 626.21, 507.33, 541.64 และ 161.37 g CO₂ eq. ตามลำดับ

แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nab and Maslin (2020) ที่ทำการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของกาแฟที่ผลิตในบราซิลและเวียดนาม ซึ่งพบว่า เอสเปรสโซ ลาเต้ และคาปูชิโน 1 แก้ว มีรอยเท้าคาร์บอนเฉลี่ยประมาณ 280, 550 และ 410 g CO₂ eq. ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Hassard *et al.* (2014) ระบุว่ารอยเท้าคาร์บอนของกาแฟเอสเปรสโซและลาเต้ในประเทศญี่ปุ่น 1 แก้ว มีค่าเท่ากับ 126 และ 573 g CO₂ eq. ตามลำดับ ซึ่งมีความใกล้เคียงกับผลของการศึกษานี้ ทั้งนี้ ความแตกต่างของคาร์บอนรอยเท้าคาร์บอนเพียงเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากปริมาณวัตถุดิบที่ใช้มีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นภูมิอากาศ วิธีการเพาะปลูกการใส่ปุ๋ย และการดูแลต้นกาแฟต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาถึงวัตถุดิบที่ใช้ในการทำกาแฟ พบว่านมเป็นวัตถุดิบที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด สูงถึง 1.95 g CO₂ eq. ต่อนม 1 กรัม (รวมบรรจุภัณฑ์) ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้นมมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดนั้นมาจากการหมักย่อยในกระเพาะรูเมนของโคนม คิดเป็นร้อยละ 67.79 รองลงมา คือ การจัดการมูล คิดเป็นร้อยละ 18.65 จากการทำฟาร์มโคนม จะเห็นว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากตัวสัตว์เนื่องจากมีกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นแล้วปล่อยก๊าซในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Liblab, 2020) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Flysjö *et al.* (2011) ที่ระบุว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากฟาร์มโคนมในประเทศนิวซีแลนด์และสวีเดนคือ 1.00 และ 1.16 g CO₂ eq. ต่อ นม (Energy-corrected milk; ECM) 1 กรัม (ไม่รวมบรรจุภัณฑ์) ตามลำดับ ซึ่งการหมักในลำไส้เป็นกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกครั้งหนึ่งของทั้งหมด นอกจากนี้วัตถุดิบในการทำกาแฟที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงรองลงมาจากนมคือ ซ็อกโกแลต มีค่า 5 g CO₂ eq. ต่อซ็อกโกแลต 1 กรัม ซึ่งซ็อกโกแลตเป็นวัตถุดิบที่ใส่ในมอคค่าเย็นเพียงเมนูเดียว ทำให้มอคค่าเย็นมีคาร์บอนรอยเท้าคาร์บอนที่สูงกว่าเมนูอื่น ๆ โดยสามารถแสดงสัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จากวัตถุดิบทั้งหมดทำให้กาแฟทั้ง 4 เมนูมีค่าแตกต่างกัน ดังรูปที่ 2

จากการศึกษาของ Reay (2019) พบว่าของเสียจากซ็อกโกแลตเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 90,000 ตันต่อปี เนื่องจากซ็อกโกแลตมีพลาสติกที่ห่อเป็นบรรจุภัณฑ์หลายชั้น ทำให้มีค่าการ

ปล่อยก๊าซเรือนกระจก รอยเท้าคาร์บอนที่สูง นอกจากนี้ ช็อกโกแลตยังมีนมเป็นส่วนประกอบซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีค่า รอยเท้าคาร์บอนสูงดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นอีกด้วย จาก การศึกษาของ Konstantas et al. (2019) ระบุว่าเมื่อ เปรียบเทียบขนมปังกรอบที่มีช็อกโกแลตเป็น ส่วนประกอบกับขนมปังกรอบไขมันต่ำ พบว่าขนมปัง กรอบที่มีช็อกโกแลตเป็นส่วนประกอบให้ค่าการปล่อยก๊าซ เรือนกระจกสูงกว่าและส่วนใหญ่มาจากช็อกโกแลต โดย ช็อกโกแลตเป็นวัตถุดิบที่มีผลกระทบสูงสุด ดังนั้นการ ใช้ช็อกโกแลตเป็นส่วนประกอบของเมนูอาหารและ เครื่องดื่มจึงส่งผลให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงขึ้น ได้

วัตถุดิบในการทำกาแฟที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือน กระจกสูงรองลงมาจากนมและช็อกโกแลต คือ พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ในการทำกาแฟ จากการเก็บข้อมูลจากร้าน กาแฟพบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการทำกาแฟมี 2 เครื่อง คือ เตาดม้ร้อนและเตาอุ่นนม ซึ่งในการทำเอสเปรสโซ ร้อนไม่มีการใช้วัตถุดิบนม ส่งผลให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือน กระจกจากพลังงานไฟฟ้าของเอสเปรสโซร้อนมีค่าน้อย กว่ากาแฟเมนูอื่น ๆ

จากรายงานสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของ ประเทศไทย ในปี 2564 พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซ ธรรมชาติมากที่สุด เป็นจำนวน 75,552.61 ล้าน กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 57.55 รองลงมาคือ ถ่าน หิน (รวมลิกไนต์) พลังงานหมุนเวียน (พลังน้ำ, อื่น ๆ) น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และอื่น ๆ (Electricity Generating Authority of Thailand, 2021) ซึ่งก๊าซธรรมชาติ คือ เชื้อเพลิงฟอสซิลที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จัดเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยก๊าซมีเทน ร้อย ละ 70 ขึ้นไป (UAC, 2564) ส่งผลให้ก๊าซธรรมชาติมีค่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูง การใช้ก๊าซธรรมชาติเป็น เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจำนวนมากเช่นนี้ ส่งผลให้ค่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้ามีค่าสูงมาก ด้วยเหตุนี้ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำกาแฟมีค่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงรองลงมาจากนมและ ช็อกโกแลต

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา มอคค่า คาปูชิโน และ ลาเต้ ในรูปแบบเครื่องดื่มเย็น หากเปลี่ยนรูปแบบเป็น เครื่องดื่มร้อนจะมีการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ คือ ไม่น้ำแข็ง และเปลี่ยนจากแก้วพลาสติกขนาด 16 ออนซ์ เป็น แก้วกระดาษขนาด 12 ออนซ์ ส่งผลให้คาร์บอน รอยเท้า คาร์บอน ลดลงเหลือ 533.79, 410.26 และ 449.19 g CO₂ eq. ตามลำดับ และปริมาณสุทธิของเครื่องดื่มลดลงเป็น 210,

190, 210 กรัม ตามลำดับ และในรูปแบบการจัดการขยะ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ การฝังกลบแก้วพลาสติกและ แก้วกระดาษ ซึ่งหากเปลี่ยนรูปแบบการจัดการขยะของ แก้วพลาสติกเป็นการเผาแบบ incineration คาร์บอน รอยเท้า คาร์บอนจะสูงขึ้นเป็น 663.28, 544.40 และ 578.68 g CO₂ eq. ตามลำดับ

4. สรุปผลการศึกษา

จากการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของเครื่องดื่ม ประเภทกาแฟ 4 เมนูได้แก่ มอคค่าเย็น คาปูชิโนเย็น ลาเต้เย็น และเอสเปรสโซร้อน โดยดำเนินการตามแนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ครอบคลุม กระบวนการตั้งแต่การปลูกกาแฟ การแปรรูปเมล็ดกาแฟ การบรรจุเมล็ดกาแฟใส่ซอง การขนส่ง การทำกาแฟ การ บริโภค และการกำจัดขยะ พบว่ารอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด ของมอคค่าเย็นอยู่ที่ 626.21 g CO₂ eq. โดยสัดส่วนที่มี การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ นม คิดเป็นร้อยละ 31.09 ของมอคค่าเย็น 1 แก้ว รองลงมาคือ ช็อกโกแลต คิดเป็นร้อยละ 19.96 ซึ่งการใส่ช็อกโกแลตทำให้มอคค่า เย็นมีคาร์บอนรอยเท้าคาร์บอนสูงกว่ากาแฟเมนูอื่น รอยเท้า คาร์บอนทั้งหมดของคาปูชิโนเย็นอยู่ที่ 507.33 g CO₂ eq. โดยสัดส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ นม คิดเป็นร้อยละ 38.37 ของคาปูชิโนเย็น 1 แก้ว รองลงมา คือ พลังงานไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 17.70 รอยเท้า คาร์บอนทั้งหมดของลาเต้เย็นอยู่ที่ 541.61 g CO₂ eq. โดยสัดส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ นม คิดเป็นร้อยละ 43.13 ของลาเต้เย็น 1 แก้ว รองลงมาคือ พลังงานไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 16.58 และรอยเท้า คาร์บอนทั้งหมดของเอสเปรสโซอยู่ที่ 161.37 g CO₂ eq. โดยสัดส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ กาแฟสด คิดเป็นร้อยละ 49.01 ของเอสเปรสโซร้อน 1 แก้ว รองลงมาคือ พลังงานไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 29.68 เนื่องจากวัตถุดิบของการทำเอสเปรสโซร้อนไม่มีนมหรือ ช็อกโกแลต ทำให้มีคาร์บอนรอยเท้าคาร์บอนต่ำที่สุดเมื่อเทียบ กับเมนูอื่น จากการวิเคราะห์หรือรอยเท้าคาร์บอนของ เครื่องดื่มประเภทกาแฟทั้ง 4 เมนูแสดงให้เห็นว่าสัดส่วน ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดมาจาก ขั้นตอนการทำกาแฟที่ร้าน คือในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ และพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้วิธีการลดปริมาณการปล่อยก๊าซ เรือนกระจกนั้นอาจขึ้นอยู่กับกระบวนการและทรัพยากรที่ ใช้ในการผลิตวัตถุดิบ นั้นทำให้แนวทางการลดรอยเท้า คาร์บอนจากผลิตภัณฑ์สามารถทำได้โดยมีการปรับเปลี่ยน วิธีการผลิตของผู้ผลิตวัตถุดิบ ตั้งแต่การลดการใช้ก๊าซ

ธรรมชาติหรือถ่านหิน หาแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ หรือก๊าซชีวภาพจากขยะ การลดการหมักย่อยที่ผลิตก๊าซมีเทนของโคนม การจัดการมูลสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น นำมูลสัตว์ไปทำปุ๋ยหมัก นำมูลสัตว์ไปผลิตพลังงานชีวภาพ การลดบรรจุภัณฑ์ที่ไม่จำเป็น และการเลือกวิถีกำจัดขยะที่เหมาะสม ผู้ประกอบการร้านค้ากาแฟก็ควรเลือกใช้วัตถุดิบในการทำกาแฟที่มีคาร์บอนต่ำคาร์บอนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นมและช็อกโกแลต และลดการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการทำกาแฟ เช่น การทำกาแฟให้ได้หลายแก้วต่อการอุ่นนมหรือต้มน้ำร้อนหนึ่งครั้ง ในส่วนของผู้บริโภค เมื่อทราบข้อมูลรอยเท้าคาร์บอนของกาแฟเมนูต่าง ๆ แล้ว ก็สามารถประกอบการตัดสินใจเลือกเมนูกาแฟที่มีรอยเท้าคาร์บอนต่ำหรือเลือกรูปแบบเครื่องดื่มที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ซึ่งสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสนิยมและความชอบส่วนบุคคลด้วย โดยนอกจากผลการศึกษาี้จะเป็นประโยชน์ต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตและการบริโภคเครื่องดื่มกาแฟแล้ว วิธีประเมินรอยเท้าคาร์บอนในการศึกษานี้ เช่น การพิจารณาวัตถุดิบและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง วิธีการคำนวณรอยเท้าคาร์บอน ตลอดจนความแตกต่างของผลการศึกษาเมื่อพิจารณาแบบเครื่องดื่ม (ร้อน/เย็น) และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุเครื่องดื่มที่แตกต่างกัน ยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของเครื่องดื่มประเภทอื่น ๆ ได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Cibelli, M., Cimini, A., Cerchiara, G., & Moresi, M. (2021). Carbon footprint of different methods of coffee preparation. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1614–1625. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.04.004>
- Department of Agricultural Extension. (2014). *Increase coffee production efficiency*. The agricultural Co-operative Federation of Thailand., LTD.
- Department of Business Development. (2019). *Coffee production business*. https://www.dbd.go.th/download/document_file/Statistic/2562/T26/T26_201901.pdf
- Electricity Generating Authority of Thailand. (2021). *Proportion of fuel use for generating electricity in the EGAT system in 2021*. https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=2455&Itemid=116
- Flysjö, A., Henriksson, M., Cederberg, C. Ledgard, S., & Englund, J. (2011). The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems*, 104, 459–469. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.03.003>
- Harsono, S. S., Wibowo, R. K. K., & Supriyanto, E. (2021). Energy Balance and Green House Gas Emission on Smallholder Java Coffee Production at Slopes Ijen Raung Plateau of Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 22(7), 271–283. <https://doi.org/10.12911/22998993/138997>
- Harst, E. v. d., & Potting, J. (2013). A critical comparison of ten disposable cup LCAs. *Environmental Impact Assessment Review*, 43, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.06.006>
- Hassard, H. A., Couch, M. H., Techa-erawan, T., & McLellan, B. C. (2014). Product carbon footprint and energy analysis of alternative coffee products in Japan. *Journal of Cleaner Production*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.006>
- Konstantas, A., Stamford, L., & Azapagic, A. (2019). Evaluation of environmental sustainability of biscuits at the product and sectoral levels. *Journal of Cleaner Production*, 230, 1217–1228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.095>
- Liblab, N. (2020). *Carbon footprint assessment of dairy farm and dairy product in Phetchaburi college of agriculture and technology* [Doctoral's thesis, Silpakorn University]. <https://thesis-ir.su.ac.th/dspace/bitstream/123456789/3379/1/59751301.pdf>
- Nab, C., & Maslin, M. (2020). Life cycle assessment synthesis of the carbon footprint of Arabica coffee: Case study of Brazil and Vietnam conventional and sustainable coffee production and export to the United Kingdom. *Geography and Environment*, 7(2), 96. <https://doi.org/10.1002/geo2.96>
- National Food Institute. (2015). *Coffee market in Thailand*. <https://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=79>
- Newton Associate. (n.d.). *ICEman IM-505U*. <https://icemancool.com/product/iceman-im-505u/>
- Prasatkhetkan, P., & Chiarakorn, S. (n.d.). Carbon Footprint of Robusta Coffee Bean Processing in Community Enterprise. In *the 34th the national graduate research conference* (pp. 327–340). KhonKaen University, KhonKaen.
- Ratchawat, T., Panyatona, S., Nopchinwong, P., Chidthaisong, A., & Chiarakorn, S. (2020). Carbon and water footprint of Robusta coffee through its production chains in Thailand. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 2415–2429. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0299-4>
- Reay, D. (2019). *Climate-Smart Food*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18206-9>
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization. (2019). *Carbon Footprint PET Bottled Water Products*. <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=WVhKMdGFXtNNaUT09&action=WkdWMFtXbHM&aram=T1E9PQ>
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization. (2021a). *Carbon Footprint of Products*. <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdplmpkSE5mYYVhNPQ>
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization. (2021b). *Emission factors by industry*. https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_b934985782.pdf
- Thairath. (2021). *Lab coffee is grown in trays for flavor*. *Sustainable drinking from the cup.*, <https://plus.thairath.co.th/topic/futurism/100639>
- Thai News Network. (2021). *"Coffee" culture hidden costs that hurt the world*. <https://today.line.me/th/v2/article/BjrQR6>
- Trinh, L. T. K., Hu, A. H., Lan, Y. C. & Chen, Z. H. (2019). Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 1307–1324. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02539-5>
- Universal Naming Convention. (2021). *Natural gas*. <https://www.uac.co.th/th/knowledge-sharing/344/natural-gas>