

ปริมาณ ต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการฝังกลบขยะอาหารในพื้นที่ เทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

Quantity, Cost and Environmental Impacts of Food Waste Landfilling in Cha-Am Municipality, Phetchaburi Province and Hua Hin Municipality, Prachuap Khiri Khan Province

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ^{1*}, ธนวดี พรหมจันทร์¹, วิไลวรรณ สิริโรจนพุด¹,
จักรีพร สารนอก¹, จีระศักดิ์ ชอบแตง² และ นิพล ไชยสาลี³

Auraiwan Isuwan^{1*}, Thanawadee Promchan¹, Wilaiwan Sirojtjanaput¹,
Jakkreeporn Sannork¹, Jeerasak Chobtang² and Nipon Chaisalee³

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ประเทศไทย

² สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประเทศไทย

³ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย

¹ Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Thailand

² Bureau of Animal Nutrition Development, Department of Livestock Development,
Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand

³ Provincial Office of Natural Resources and Environment Phetchaburi, Office of the Permanent Secretary,
Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand

Received : 13 March 2025, Received in revised form : 25 June 2025, Accepted : 28 June 2025

Available online : 24 July 2025

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : ขยะอาหารเป็นปัญหาระดับโลกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคมอย่างมีนัยสำคัญ ขยะอาหารเป็นสาเหตุของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ และความไม่มั่นคงทางอาหาร (การสูญเสียอาหาร) ภาคการท่องเที่ยวเป็นแหล่งก๊าซเรือนกระจกสูงถึงร้อยละ 8 ของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก โดยปริมาณนี้ยังไม่นับรวมก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากขยะอาหารที่มาจากกิจกรรมและกิจการที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวซึ่งมีปริมาณมากแต่จะไม่ถูกนับรวมในการประเมิน ภาคการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยการรับประทานอาหารและบริการอาหาร โรงแรมและที่พัก ตลาด และห้างสรรพสินค้า ซึ่งนับเป็นแหล่งขยะอาหารที่สำคัญ โดยขยะอาหารส่วนใหญ่เกิดจากอัตราการบริโภคและความคาดหวังของการให้บริการในระดับสูง กระบวนการกำจัดขยะอาหารใช้ทรัพยากรปริมาณมาก เช่น การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งและการฝังกลบ และโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการจัดการฝังกลบ การฝังกลบขยะอาหารซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษหลากหลายชนิดใน

ปริมาณมากซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ความเข้าใจเกี่ยวกับปริมาณ ต้นทุนการจัดการและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบการจัดการขยะอาหารที่เกิดจากภาคส่วนนี้ยังมีน้อยมาก ดังนั้น เพื่อเป็นการปิดช่องว่างของข้อจำกัดเหล่านี้ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณขยะอาหารที่เกิดจากภาคการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องเนื่องในเทศบาลเมืองชะอำและหัวหิน การวิเคราะห์ต้นทุนการจัดการและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบการจัดการขยะอาหารโดยวิธีการฝังกลบซึ่งเป็นวิธีการจัดการขยะอาหารในปัจจุบันของทั้ง 2 เทศบาล

วิธีดำเนินการวิจัย : เพื่อประเมินสถานะของขยะอาหารในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน นักวิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลปริมาณขยะอาหารจากตัวอย่างร้านอาหารและบริการอาหาร โรงแรมและที่พัก ตลาดสด และห้างสรรพสินค้า ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 สำหรับใช้ในการประเมินอัตราการเกิดขยะอาหาร (กิโลกรัมต่อวัน) แยกตามประเภทและขนาดของธุรกิจ จากนั้น คำนวณปริมาณขยะอาหารทั้งหมดที่เกิดจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องเนื่องในรอบ 1 ปี ของทั้ง 2 เทศบาล โดยใช้ค่าอัตราการเกิดขยะอาหารคูณด้วยจำนวนประชากรของหน่วยธุรกิจนั้น ๆ วิเคราะห์ต้นทุนของการจัดการขยะอาหารโดยวิธีการปันส่วนโดยตรง (Direct allocation method) และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตของขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องเนื่องโดยการฝังกลบ โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

ผลการวิจัย : ปริมาณขยะอาหารที่เกิดจากภาคการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องของเทศบาลเมืองชะอำเท่ากับ 2,516.37 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 8.00 ของขยะมูลฝอยทั้งหมดที่จัดเก็บได้ ส่วนเทศบาลเมืองหัวหินมีปริมาณขยะอาหารเท่ากับ 3,844.25 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 7.88 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด เศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคจากร้านอาหารและบริการอาหารเป็นแหล่งขยะอาหารที่สำคัญคิดเป็นร้อยละ 25.02 และ 26.57 ของขยะอาหารจากร้านอาหารและบริการอาหารในเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน ตามลำดับ เทศบาลเมืองชะอำมีต้นทุนรวมในการจัดการขยะอาหารเท่ากับ 1,290.73 บาทต่อตัน แบ่งเป็นต้นทุนการจัดเก็บ 856.77 บาทต่อตัน (ร้อยละ 66.38) และต้นทุนในการฝังกลบ 433.96 บาทต่อตัน (ร้อยละ 33.62) ส่วนเทศบาลเมืองหัวหินมีต้นทุนรวมเท่ากับ 2,585.42 บาทต่อตัน แบ่งเป็นต้นทุนการจัดเก็บ 1,883.71 บาทต่อตัน (ร้อยละ 72.86) และต้นทุนในการฝังกลบ 701.71 บาทต่อตัน (ร้อยละ 27.14) โดยต้นทุนส่วนใหญ่เป็นต้นทุนผันแปรร้อยละ 94.52 และ 99.91 สำหรับเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน ตามลำดับ มลพิษที่เกิดจากกระบวนการจัดเก็บและที่เกิดจากหลุมฝังกลบส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน การจัดเก็บและการขนส่งขยะอาหารมีบทบาทมากต่อตัวชี้วัดสิ่งแวดล้อม 3 จาก 11 ตัวชี้วัด ได้แก่ ดัชนี Particulate Matter ดัชนี Freshwater Eutrophication Potential และดัชนี Terrestrial Eutrophication Potential ซึ่งตัวชี้วัดเหล่านี้เกิดจากมลพิษที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นสำคัญ ในขณะที่มลพิษจากหลุมฝังกลบและน้ำชะขยะส่งผลกระทบต่อทางด้านสิ่งแวดล้อม 6 จาก 11 ตัวชี้วัด ได้แก่ ดัชนี Climate Change ดัชนี Ozone Depletion Potential ดัชนี Non-cancer ดัชนี Cancer ดัชนี Photochemical Ozone Formation Potential และดัชนี Ecotoxicity for Freshwater Ecosystem โดยตัวชี้วัดเหล่านี้เกิดจากมลพิษที่มาจากก๊าซต่าง ๆ จากหลุมฝังกลบและมลพิษที่อยู่ในน้ำชะขยะ สำหรับมลพิษที่เกิดจากการจัดเก็บขยะอาหารและจากหลุมฝังกลบมีบทบาทใกล้เคียงกันต่อตัวชี้วัดสิ่งแวดล้อม 2 จาก 11 ตัวชี้วัด ได้แก่ ดัชนี Acidification Potential และดัชนี Marine Eutrophication Potential

สรุปผลการวิจัย : ภาคการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องเป็นแหล่งกำเนิดขยะอาหารที่สำคัญของทั้งเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน การจัดการขยะอาหารโดยการฝังกลบในปัจจุบันมีต้นทุนสูงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญซึ่งเกิดจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปนเปื้อนของน้ำชะขยะ เพื่อเป็นการยกระดับความยั่งยืนและลดผลกระทบที่เกิดจากการจัดการขยะอาหารการกำหนดยุทธศาสตร์ที่เหมาะสมมีความสำคัญมาก ยุทธศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการจัดเก็บขยะอาหาร เช่น ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลหรือเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียน และการจัดการก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบ (ก๊าซมีเทน) แล้วนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า รวมถึงการจัดการน้ำชะขยะ (leachate) อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ให้เกิดการรั่วไหลปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม การใช้เทคโนโลยีทันสมัยเหล่านี้จะช่วยเพิ่มความยั่งยืนของการจัดการขยะอาหารในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน

คำสำคัญ : ขยะอาหาร ; ปริมาณ ; ต้นทุนการจัดการ ; ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

Abstract

Background and Objectives: Food waste is a significant global issue, negatively impacting environment, economic, and society. It contributes significantly to climate change, resource depletion, and food insecurity. Globally, the tourism sector is responsible for approximately 8% of total greenhouse gas emissions. However, this estimate does not fully account for emissions stemming from food waste generated by tourism-related activities and businesses (industries), which are often overlooked in mainstream assessments. The tourism sector—encompassing restaurants, hotels and accommodations, markets, and food retail—generates substantial volumes of food waste due to high consumption patterns and service expectations. Managing this waste requires significant inputs, such as fossil fuels for collection and transportation of the waste, as well as infrastructure for treatment or landfilling. In particular, landfilling food waste, which is rich in organic material, leads to the release of methane and other harmful pollutants, contributing further to environmental degradation. Despite its relevance, there remains a limited understanding of the actual quantity of food waste, its management costs, and environmental impacts within tourism-dependent regions. To address this gap, the present study investigates the scale and nature of food waste generated by the tourism and its associated industries in Cha-am and Hua Hin municipalities. It also evaluates the financial and environmental implications of landfill-based food waste management systems in these areas.

Methodology: To assess the food waste situation in Cha-am and Hua Hin municipalities, data were collected from a range of sources associated with the tourism and its associated industries. These included sample restaurants and food services, hotels and accommodations, fresh markets, and retailers, covering the period from August 2021 to July 2022. The quantities of food waste generated were recorded and analyzed to determine the average

production rate (kilogram/day) according to the type and size of each business. This production rate was then extrapolated to estimate total food waste generation in each business category by multiplying it by the total number of such establishments within the municipalities. For economic evaluation, the cost of managing food waste through landfill disposal was analyzed using the direct allocation method (DAM), which apportions management costs to specific sources. In parallel, environmental impacts were assessed using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, which considers the full range of emissions and resource use associated with landfill-based food waste management processes.

Main Results: The quantities of food waste from the tourism and related industries in Cha-am Municipality was 2,516.37 tons per year, accounting for 8.00% of the total collectable municipal solid waste. In Hua Hin Municipality, the amount of food waste was 3,844.25 tons per year, representing 7.88% of the total collectable waste. Post-consumed (left-over) food waste from restaurants and food services constituted the major source of food waste, accounting for 25.02% and 26.57% of total food waste from restaurants and food services in Cha-am and Hua Hin municipalities, respectively. The total cost of food waste management in Cha-am Municipality was 1,290.73 THB per ton, constituting cost of collection and transport food waste of 857.77 THB (66.38% of total cost) and cost of waste landfilling of 433.96 (33.62% of total cost), while in Hua Hin Municipality, it was 2,585.42 THB per ton, constituting 1,883.71 THB for waste collection and transport (72.86% of total cost) and 701.71 THB for waste landfilling (27.14% of total cost). Variable cost is the major component, accounting for 94.52% and 99.91% of total cost for Cha-am and Hua Hin municipalities, respectively. Environmental emissions stemming from food waste collecting and from landfilling processes influence differently to environmental impact indicators. The waste collecting process largely influenced 3 out of 11 environmental indicators, namely Particulate Matter, Freshwater Eutrophication Potential and Terrestrial Eutrophication Potential. These impact indicators were contributed by use of fossil fuels. The landfilling process (landfill-gas and leachate) had considerable impacts on 6 out of 11 environmental indicators, i.e., Climate Change, Ozone Depletion Potential, Non-cancer, Cancer, Photochemical Ozone Formation Potential and Ecotoxicity for Freshwater Ecosystem. Landfill-gases and leachate were sources of emissions contributing to these impact indicators. Both processes contributed equally to 2 out of 11 environmental indicators, namely Acidification Potential and Marine Eutrophication Potential.

Conclusions: The tourism sector, along with its associated industries, played a major role in generating significant quantities of food waste in the Cha-am and Hua Hin municipalities. The current reliance on landfill-based food waste management imposed substantial financial burdens and contributes to serious environmental issues, including greenhouse gas emissions and leachate contamination. To enhance sustainability and mitigate these negative

impacts, key strategies include optimizing the food waste collection process by reducing dependence on fossil fuels and incorporating renewable energy sources. Additionally, increasing the efficiency of landfill gas and leachate management offers considerable potential. Capturing methane emissions and converting them into electricity not only reduces emissions but also provides a renewable energy source. Furthermore, implementing advanced systems to treat or prevent leachate contamination can protect ecosystems. These integrated solutions support more sustainable and resilient waste management systems in both municipalities.

Keywords : food waste ; quantity ; management costs ; environmental impacts

*Corresponding author E-mail : isuwan_a@silpakorn.edu

Introduction

อาหารเป็นปัจจัยในการดำรงชีวิตของมนุษย์และการเพิ่มขึ้นของประชากรและรายได้ครัวเรือนส่งผลให้มีความต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้นทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ (Tilman & Clark, 2014; Tilman *et al.*, 2011) สำหรับในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2560 กรมควบคุมมลพิษ รายงานว่า ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยประมาณ 27 ล้านตัน หรือโดยเฉลี่ยแล้วคนไทยสร้างขยะเฉลี่ยเท่ากับ 1.13 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน และจากขยะมูลฝอยจำนวนนี้จำแนกเป็นขยะอาหารถึงร้อยละ 64 (Thailand Development Research Institute, 2019) การจัดการขยะมูลฝอยรวมถึงขยะอาหารของประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้วิธีการฝังกลบซึ่งแม้จะเป็นวิธีที่ประหยัดแต่ก็สร้างปัญหามลพิษต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น การกระจายของเชื้อโรคต่าง ๆ ลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง การเกิดกลิ่นเหม็น และมลพิษอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชาชน เป็นต้น นอกจากนี้ การฝังกลบขยะอาหารก็มีการปลดปล่อยมลพิษอื่น ๆ สู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมากเช่นกัน เช่น ก๊าซมีเทน (Methane) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก (Melikoglu *et al.*, 2013) การท่องเที่ยวมีบทบาทสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างมากของประเทศไทยโดยเฉพาะจังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งมีแหล่งท่องเที่ยวด้านธรรมชาติและวัฒนธรรมที่ได้รับความนิยมอย่างมากจากนักท่องเที่ยวชาวไทยและต่างประเทศ ความเข้มข้นของการท่องเที่ยวส่งผลให้ทั้งสองเมืองมีความต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้นควบคู่ไปกับการมีปริมาณขยะอาหารเพิ่มขึ้นด้วย การจัดการกับขยะอาหารที่ไม่เหมาะสมก็จะก่อให้เกิดมลพิษในปริมาณมาก และอาจส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของเมืองซึ่งส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวในอนาคต เช่นเดียวกับการกำจัดขยะอาหารของภูมิภาคอื่น ๆ ในประเทศไทย การจัดการขยะอาหารของเมืองชะอำและหัวหินในปัจจุบันดำเนินการโดยวิธีการฝังกลบเป็นหลัก Lenzen *et al.* (2018) รายงานว่า ภาคการท่องเที่ยวมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึงร้อยละ 8 ของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก โดยปริมาณนี้ยังไม่นับรวมก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากขยะอาหารที่เกิดจากกิจกรรมและกิจการที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยว กระบวนการกำจัดขยะอาหารใช้ทรัพยากรปริมาณมาก เช่น การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งและการฝังกลบ นอกจากนี้ การฝังกลบขยะ

อาหารซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษหลากหลายชนิดในปริมาณมากโดยเฉพาะก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนสูง (Moult *et al.*, 2018)

อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณ ต้นทุนการจัดการขยะอาหารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบการจัดการขยะอาหารที่เกิดจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องยังมีน้อยมากทำให้ขาดข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนการจัดการขยะอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณขยะอาหาร ต้นทุนการจัดการและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของระบบการจัดการขยะอาหารที่เกิดจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่การท่องเที่ยวเข้มข้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับกำหนดแนวทางในการจัดการขยะอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

Methodology

เก็บข้อมูลน้ำหนักขยะอาหาร ศึกษาต้นทุนการจัดการขยะอาหารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบการจัดการขยะอาหารที่เกิดจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เก็บข้อมูลระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร หมายถึง จำนวนและประเภทของประเภทธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยแยกประเภทธุรกิจที่มีปริมาณขยะอาหารจำนวนมากออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้ 1) ร้านอาหารและบริการอาหาร 2) โรงแรมที่พัก 3) ตลาดสด และ 4) ห้างสรรพสินค้า แยกธุรกิจร้านอาหารและบริการอาหาร และโรงแรมที่พักออกเป็น 3 กลุ่มตามขนาดของธุรกิจ จากนั้น สุ่มตัวอย่างหน่วยธุรกิจตามสัดส่วนจำนวนไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของประชากรในแต่ละธุรกิจ รายละเอียดดังแสดงใน Table 1

2. ช่วงระยะเวลาเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลขยะอาหารจากกลุ่มตัวอย่างที่กำหนด ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 บันทึกน้ำหนัก และจำแนกขยะอาหารออกเป็นประเภทต่าง ๆ เพื่อศึกษาปริมาณ และนำเสนอแนวทางในการใช้ประโยชน์ขยะอาหาร รายละเอียดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลตามวิธีการใน Isuwan *et al.* (2024)

3. การคัดแยกขยะอาหารและการสุ่มตัวอย่าง

ขยะอาหารจากแต่ละหน่วยธุรกิจจะถูกจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม รายละเอียดเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกแสดงใน Table 2 ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 เศษเนื้อ นมและไข่ที่ยังไม่ปรุงเป็นอาหาร กลุ่มที่ 2 เศษผักผลไม้ที่ยังไม่ปรุงเป็นอาหาร กลุ่มที่ 3 เศษขนมอบ ขนมปังและขนมหวานที่ไม่ใช่เศษอาหารที่เหลือจากการบริโภค กลุ่มที่ 4 เศษอาหารทะเลที่ยังไม่ปรุงเป็นอาหาร และ กลุ่มที่ 5 เศษอาหารที่เหลือจากการบริโภค ทำการบันทึกน้ำหนักและสุ่มตัวอย่างขยะอาหารสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

Table 1 Population and research group separated by area and size of business

Description	Population	Sample
Cha-am municipality, Phetchaburi province		
Restaurants and food service	222	23
- Small (area 100 - 200 m ²)	83	9
- Medium (area 200 - 300 m ²)	89	9
- Large (area > 300 m ²)	50	5
Hotels and accommodations	90	10
- Small (Number of rooms < 50 rooms)	60	6
- Medium (Number of rooms 50 - 100 rooms)	15	2
- Large (Number of rooms > 100 rooms)	15	2
Fresh market	1	1
Department store (modern trade retailers)	1	1
Hua Hin municipality, Prachuap Khiri Khan province		
Restaurants and food service	409	43
- Small (area 100 - 200 m ²)	213	22
- Medium (area 200 - 300 m ²)	104	11
- Large (area > 300 m ²)	92	10
Hotels and accommodations	141	16
- Small (Number of rooms < 50 rooms)	113	12
- Medium (Number of rooms 50 - 100 rooms)	16	2
- Large (Number of rooms > 100 rooms)	12	2
Fresh market	3	1
Department store (modern trade retailers)	3	1

Table 2 Criteria for food waste classification from tourism and related businesses

Classification	Description
1	Meat scraps, bones, milk, and eggs, including related products. Excludes cooked meat, bones, milk, eggs, and processed products.
2	Vegetable and fruit scraps. Excludes cooked vegetables and fruits.
3	Bakery waste, bread, and desserts. Excludes leftover bakery items, bread, and desserts from consumption.
4	Seafood scraps. Excludes cooked seafood scraps.
5	Cooked food and leftover food waste

4. การคำนวณปริมาณขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง

4.1 ประเมินปริมาณขยะอาหารจากร้านอาหารและบริการอาหาร และโรงแรมที่พัก โดยเริ่มต้นจากการคำนวณอัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ยต่อวันของกลุ่มตัวอย่าง แยกระหว่างวันธรรมดา (วันจันทร์ถึงวันศุกร์) และวันหยุดสุดสัปดาห์ (วันเสาร์และวันอาทิตย์) และแยกตามขนาดของสถานประกอบการโดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{อัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ย (กก./แห่ง/วัน)} = \frac{\text{ขยะอาหารจากร้านอาหารและบริการอาหาร หรือโรงแรมที่พัก (กก./วัน)}}{\text{ร้านอาหารและบริการอาหาร หรือโรงแรมที่พัก (แห่ง)}}$$

4.1.1 ประเมินปริมาณขยะอาหารจากประชากรร้านอาหารและบริการอาหาร และโรงแรมที่พัก (Table 1) เป็นรายเดือน แยกตามขนาดของกิจการ ดังนี้

$\text{ปริมาณขยะอาหารรายเดือน (กก./เดือน)} = [(\text{อัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ยของร้านอาหาร และโรงแรมที่พัก ขนาดเล็ก วันธรรมดา (กก./แห่ง/วัน)} \times \text{จำนวนประชากรร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดเล็ก (แห่ง)} \times \text{จำนวนวันธรรมดาในแต่ละเดือน (วัน)}) + [(\text{อัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ยของร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดกลาง วันธรรมดา (กก./แห่ง/วัน)} \times \text{จำนวนประชากรร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดกลาง (แห่ง)} \times \text{จำนวนวันธรรมดาในแต่ละเดือน (วัน)})] + [(\text{อัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ยของร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดใหญ่ วันธรรมดา (กก./แห่ง/วัน)} \times \text{จำนวนประชากรร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดใหญ่ (แห่ง)} \times \text{จำนวนวันธรรมดาในแต่ละเดือน (วัน)})] + [(\text{อัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ยของร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดเล็ก วันหยุดสุดสัปดาห์ (กก./แห่ง/วัน)} \times \text{จำนวนประชากรร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดเล็ก (แห่ง)} \times \text{จำนวนวันหยุดสุดสัปดาห์ในแต่ละเดือน (วัน)})] + [(\text{อัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ยของร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดกลาง วันหยุดสุดสัปดาห์ (กก./แห่ง/วัน)} \times \text{จำนวนประชากรร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดกลาง (แห่ง)} \times \text{จำนวนวันหยุดสุดสัปดาห์ในแต่ละเดือน (วัน)})] + [(\text{อัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ยของร้านอาหาร และโรงแรมที่พักขนาดใหญ่ วันหยุดสุดสัปดาห์ (กก./แห่ง/วัน)} \times \text{จำนวนประชากรร้านอาหาร และโรงแรมที่พัก ขนาดใหญ่ (แห่ง)} \times \text{จำนวนวันหยุดสุดสัปดาห์ในแต่ละเดือน (วัน)})]$

4.1.2 ประเมินปริมาณขยะอาหารที่เกิดจากประชากรร้านอาหารและบริการอาหาร และโรงแรมที่พัก เป็นรายปีโดยคิดจากผลรวมของปริมาณขยะอาหารรายเดือนจำนวน 12 เดือน

4.2 ประเมินปริมาณขยะอาหารจากตลาดสด โดยคำนวณอัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ยวันธรรมดา 1 วัน หรือเฉลี่ยวันหยุดสุดสัปดาห์ 1 วัน เหมือน 4.1 โดยไม่แยกขนาดกิจการ

4.3 ประเมินปริมาณขยะอาหารจากห้างสรรพสินค้า โดยใช้ข้อมูลน้ำหนักขยะอาหารจากห้างแมคโครในเขตเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหินเป็นรายเดือน ประเมินปริมาณขยะอาหารเป็นรายปีโดยใช้ผลรวมของปริมาณขยะอาหารรายเดือนจำนวน 12 เดือน

5. การประเมินต้นทุนของการจัดการขยะอาหารของเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน

5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1.1 ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) ได้แก่ ข้อมูลด้านสภาพทั่วไปในการดำเนินการเก็บขนและการกำจัดขยะมูลฝอย โดยการสอบถามและสัมภาษณ์เพื่อหาข้อมูลจากผู้บริหารและเจ้าหน้าที่กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมและสำนักงานช่าง เทศบาลเมืองชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

5.1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ได้แก่ ข้อมูลสถิติปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิต (เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง) ที่ใช้ในการดำเนินการเก็บขนและการกำจัดขยะมูลฝอย รายงานและรายได้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะมูลฝอย

5.2 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล โดยวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยในการจัดเก็บและการกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่ได้จากข้อ 4 ทำให้ทราบสัดส่วนปริมาณขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องต่อปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดของเทศบาลเมืองชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จากนั้น จะใช้วิธีการปันส่วนโดยตรง (Direct allocation method) เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยในการจัดเก็บและการกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องของเทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

1) ต้นทุนในการจัดเก็บขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องโดยรวมต่อปี (Total cost of food waste collecting: TCcf)

คำนวณต้นทุนคงที่ในการจัดเก็บขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องโดยรวมต่อปี (Total fixed cost of food waste collecting: TFCcf) ดังนี้

$$TFCcf = TFCc \times (\text{สัดส่วนปริมาณขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องต่อปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด})$$

คำนวณต้นทุนผันแปรในการจัดเก็บขยะมูลฝอยโดยรวมต่อปี (Total variable cost of food waste collecting: TVCcf) ดังนี้

$$TVCcf = TVCc \times (\text{สัดส่วนปริมาณขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องต่อปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด})$$

$$TCcf = TFCcf + TVCcf$$

2) ต้นทุนในการกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องโดยรวมต่อปี (Total cost of food waste disposing: TCdf)

คำนวณต้นทุนคงที่ในการกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องโดยรวมต่อปี (Total fixed cost of food waste disposing: TFCd: TFCdf) ดังนี้

$$TFCdf = TFCd \times (\text{สัดส่วนปริมาณขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องต่อปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด})$$

คำนวณต้นทุนผันแปรในการกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องโดยรวมต่อปี (Total variable cost of food waste disposing: TVCdf) ดังนี้

$$TVCdf = TVCc \times (\text{สัดส่วนปริมาณขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องต่อปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด})$$

$$TCdf = TFCdf + TVCdf$$

$$3) \text{ ต้นทุนรวมในการจัดเก็บและกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องโดยรวมต่อปี} \\ = TCcf + TCdf$$

$$4) \text{ ต้นทุนต่อหน่วยในการจัดเก็บและกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง (บาทต่อตัน)} \\ = \frac{\text{ต้นทุนรวมในการจัดเก็บและกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง (บาทต่อปี)}}{\text{ปริมาณขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องต่อปี}}$$

6. ประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการกำจัดขยะอาหารแบบฝังกลบ

6.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยที่หลุมฝังกลบ

ระบบการจัดการขยะมูลฝอยซึ่งรวมถึงขยะที่เกิดขึ้นในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน ดำเนินการโดยวิธีการฝังกลบรวมกัน โดยไม่มีการแยกประเภทหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น หลุมฝังกลบเป็นแบบหลุมฝังกลบ สุขาภิบาล (Sanitary landfill) ที่ไม่มีการเก็บก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบ ปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตในกระบวนการจัดเก็บ และการฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหินแสดงใน Table 3 โดยกำหนดให้ระยะทางในการจัดเก็บขยะอาหารเท่ากับ 50 กิโลเมตร และระยะทางในการขนส่งขยะอาหารไปหลุมฝังกลบเท่ากับ 25 กิโลเมตร

Table 3 The amount of production factors used in the waste collecting and landfilling processes of Cha-am municipality and Hua Hin municipality

Production factors	Cha-am municipality		Hua Hin municipality	
	Collecting	Landfilling	Collecting	Landfilling
Diesel (liters per ton)	4.57	1.56	5.34	3.45
Number of garbage trucks (units)				
Ten-wheel trucks	2	1	-	2
Six-wheel trucks	11	2	25	-
Number of backhoes machine (units)	-	4	-	2

6.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต

ประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของระบบการกำจัดขยะอาหารโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน International Organization for Standardization (2006a, b) โดยปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตและมลพิษที่ปลดปล่อยจากกระบวนการกำจัดขยะอาหารที่เกิดจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องเนื่องเริ่มต้นตั้งแต่การได้มาซึ่งทรัพยากร (Acquisition of natural resources) การผลิตปัจจัยการผลิต (Manufacture of inputs) การใช้ปัจจัยการผลิต (Utilization of inputs) ในกระบวนการจัดการขยะอาหาร ไปจนถึง มลพิษที่เกิดจากการจัดการขยะอาหาร (การฝังกลบ)

6.2.1 หน่วยหน้าที่ (Functional unit) สำหรับหน่วยหน้าที่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ปริมาณขยะอาหารที่ถูกกำจัดโดยการฝังกลบจำนวน 1 ตัน

6.2.2 ขอบเขตของระบบที่ศึกษา (System boundary) การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมครั้งนี้ ไม่รวมการปลดปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้นในขั้นตอนเตรียมพื้นที่หลุมฝังกลบ การผลิตเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการฝังกลบและมลพิษที่เกิดจากการเดินทางของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเพื่อไปปฏิบัติงาน ปริมาณขยะอาหารที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ถึง 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 รวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตและมลพิษที่ปลดปล่อยจากกระบวนการกำจัดขยะอาหารที่เกิดจากการท่องเที่ยวและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องเนื่องเริ่มต้นตั้งแต่การได้มาซึ่งทรัพยากร (Acquisition of natural resources) การผลิตปัจจัยการผลิต (Manufacture of inputs) การใช้ปัจจัยการผลิต (Utilization of inputs) ในกระบวนการจัดการขยะอาหาร ไปจนถึง มลพิษที่เกิดจากการจัดการขยะอาหาร (การฝังกลบ) ที่เกิดขึ้นในพื้นที่เขตเทศบาลเมืองชะอำ และเทศบาลเมืองหัวหิน (Figure 1)

6.2.3 สมมติฐานสำคัญสำหรับการใช้ในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

- 1) ขยะอาหารไม่มีภาระทางด้านสิ่งแวดล้อม
- 2) ปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตในการจัดเก็บและฝังกลบขยะอาหารปริมาณ 1 ตัน เท่ากับการจัดเก็บและฝังกลบขยะอาหารมูลฝอย 1 ตัน
- 3) ขยะอาหารที่ฝังกลบในปี พ.ศ. 2565 จะเริ่มปลดปล่อยมลพิษต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2566 และต่อเนื่องไปอีก 100 ปี
- 4) การปลดปล่อยมลพิษที่เป็นสารประกอบไนโตรเจนและสารประกอบฟอสฟอรัสเกิดขึ้นเฉพาะในกระบวนการจัดการน้ำชะจากหลุมฝังกลบ (Leachate) เท่านั้น
- 5) ปริมาณน้ำชะขยะทั้งหมดไหลซึมลงสู่ดิน

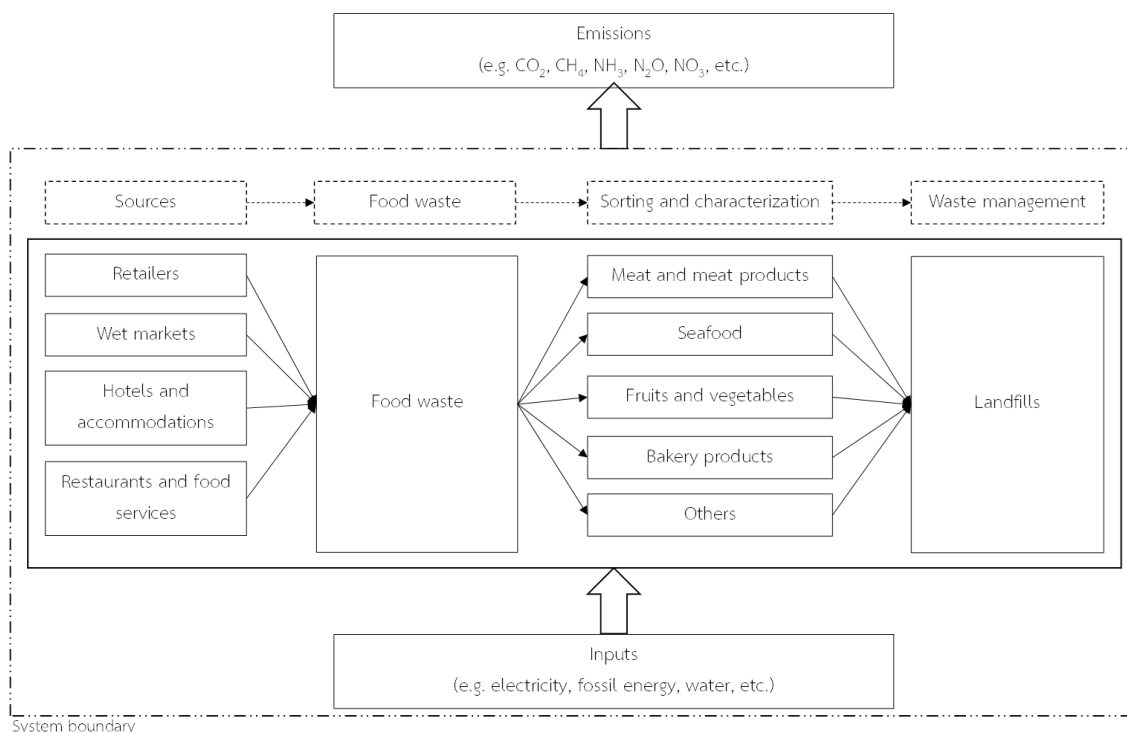


Figure 1 System boundary and material flows of food waste management system

6.2.4 การจัดทำบัญชีมลพิษ (Life cycle inventory analysis: LCI) คำนวณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษต่าง ๆ โดยใช้ค่าคงที่ แบบจำลองทางสถิติและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ข้อมูลการใช้ปัจจัยการผลิตและการปลดปล่อยมลพิษสำหรับการผลิตปัจจัยการผลิต (Background process) เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง จะได้จากฐานข้อมูลสำเร็จรูป ecoinvent database version 3.4 (ecoinvent Centre, 2018)

สำหรับการจัดทำบัญชีมลพิษที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการเศษอาหารโดยตรง (Foreground process) ประเมินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Inventory models) ร่วมกับการใช้ค่าคงที่ (Inventory factors) ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้จาก IPCC (2006) Manfredi *et al.* (2009) Manfredi *et al.* (2010) และ Alexander *et al.* (2005)

ประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกและก๊าซอื่น ๆ ที่เกิดจากการฝังกลบขยะอาหารโดยใช้แบบจำลอง Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) version 3.02 (Alexander *et al.*, 2005) ซึ่งสามารถประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบประเภท Non-methane organic compounds (NMOC) แบบจำลองนี้ได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ เนื่องจากมีความถูกต้องและแม่นยำสูง นอกจากนี้ ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย

LandGEM ประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดจากหลุมฝังกลบโดยใช้สมการ First-order decomposition rate equation ปัจจุบันมีการใช้แบบจำลอง LandGEM ในการประเมินปริมาณมลพิษที่เกิดจากหลุมฝังกลบ

ขยะมูลฝอยทั้งในอเมริกา (Wang, 2013) อเมริกาใต้ (da Silva *et al.*, 2020) ยุโรป (Emkes *et al.*, 2015) ตะวันออกกลาง (Fallahizadeh *et al.*, 2019) เอเชียใต้ (Ramprasad *et al.*, 2022) และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Anh *et al.*, 2002) ประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซต่าง ๆ โดยปรับพารามิเตอร์ให้สอดคล้องกับลักษณะจำเพาะของขยะอาหาร (Table 4) ดังนี้

1. ปรับค่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากค่า Default (170 Nm³/ton) มาเป็น 62 Nm³/ton wet weight โดยการปรับค่า L_0 เป็นไปตามคำแนะนำของ IPCC (2006)
2. คำนวณค่า L_0 โดยใช้สมการของ IPCC (2006) โดยปรับค่า MCF และ DOC_f ให้สอดคล้องกับลักษณะจำเพาะของขยะอาหาร
3. ปรับค่า NMOC จากค่า Default (2,400 ppmv) เป็น 600 ppmv เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะจำเพาะของขยะอาหารซึ่งไม่มีขยะมูลฝอยอันตรายปะปนอยู่เลย
4. สำหรับการปลดปล่อยก๊าซอื่น ๆ อีก 40 ชนิด ใช้ข้อมูลค่า Default ของแบบจำลอง LandGEM

Table 4 Default and values used in Land GEM model

	k	L_0	NMOC	MCF	DOC	DOC _f	F
Default	0.05	170	4000	1	0.15	0.5	0.5
Used value	0.05	62	600	0.8	0.15	0.77	0.5

สมการสำหรับประเมินปริมาณก๊าซมีเทน (Alexander *et al.*, 2005) ดังนี้

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^n k L_0 \frac{M_i}{10} e^{-kt_{ij}}$$

- โดยที่ Q_{CH_4} หมายถึง ปริมาณก๊าซมีเทน (ลูกบาศก์เมตรต่อปี)
- k หมายถึง อัตราการสลายตัวของก๊าซมีเทน (ต่อปี)
- L_0 หมายถึง ปริมาณการสลายตัวของก๊าซมีเทนสูงสุด (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)
- M หมายถึง ปริมาณขยะอาหารเปียก (ตัน)
- T หมายถึง ระยะเวลาการฝังกลบ (ปี)

และ สมการสำหรับประเมินค่า L_0 (IPCC, 2006) ดังนี้

$$L_0 \left(m^3 \text{ of } \frac{\text{methane}}{\text{tone}} \text{ of waste} \right)^3 = MCF \times DOC \times DOC_F \times \frac{16}{12} \times F$$

โดยที่	MCF	หมายถึง Methane correction factor
	DOC	หมายถึง สัดส่วนของคาร์บอน (กิโลกรัมต่อตัน)
	DOC _F	หมายถึง สัดส่วนของ DOC ที่ย่อยสลายได้
	F	หมายถึง สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซที่ปลดปล่อยจากหลุมฝังกลบ

ประเมินปริมาณน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบตามคำแนะนำของ Manfredi *et al.* (2010) โดยกำหนดให้น้ำชะขยะที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลา 100 ปี มาจากความชื้นของขยะและปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมผ่านหลุมฝังกลบ เท่ากับ 2 ลิตรต่อขยะเปียก 1 กิโลกรัม สำหรับข้อมูลปริมาณมลพิษสำคัญในน้ำชะขยะใช้ข้อมูลตามคำแนะนำของ Manfredi *et al.* (2009)

6.2.5 การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

ประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental impact category) ตามคำแนะนำของ Food SCP RT (2013) จำนวน 11 ตัวชี้วัด จากทั้งหมด 15 ตัวชี้วัด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro software v8.3 (Pré Consultants, 2018) ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Environmental impact indicators

Item	Abbreviation
Climate Change (IPCC, 2013)	CC
Ozone Depletion Potential	ODP
Human Health Toxicity, cancer effects	Cancer
Human Health Toxicity, non-cancer effects	Non-cancer
Particulate Matter	PM
Photochemical Ozone Formation Potential	POFP
Acidification Potential	AP
Eutrophication – terrestrial ecosystems	TEP
Eutrophication – freshwater ecosystems	FEP
Eutrophication – marine ecosystems	MEP
Ecotoxicity for Aquatic Freshwater	Ecotox
Ionizing Radiation – human health effects*	IR
Resource Depletion-mineral, fossil*	RD (mineral, fossil)
Resource Depletion-water use*	RD (water use)
Land Use Impact*	LU

* Environmental impact indicators excluded from the present study

Results

1. ปริมาณขยะอาหาร

จากการศึกษาตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 - กรกฎาคม พ.ศ. 2565 เทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน จัดเก็บขยะมูลฝอยได้ทั้งหมดเท่ากับ 28,948.36 และ 44,960.93 ตันต่อปี ตามลำดับ ในห้วงเวลาเดียวกัน ปริมาณขยะมูลฝอยจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องของเทศบาลเมืองชะอำเท่ากับ 2,516.37 ตันต่อปี และเทศบาลเมืองหัวหินเท่ากับ 3,844.25 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 8.00 และ ร้อยละ 7.88 เมื่อเทียบกับปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เทศบาลจัดเก็บ ตามลำดับ (Figure 2) ปริมาณขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องที่เกิดจากเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน แยกเป็นรายเดือนแสดงใน Figure 3 โดยเห็นได้ว่าปริมาณขยะอาหารในช่วงต้นของการศึกษามีน้อย (ตุลาคม พ.ศ. 2564) ซึ่งเป็นช่วงที่รัฐบาลเริ่มผ่อนคลายมาตรการควบคุมการเดินทางเพื่อป้องกันการระบาดของโรคโควิด 19 การรณรงค์ให้ประชาชนฉีดวัคซีนและมาตรการกระตุ้นเศรษฐกิจทำให้มีนักท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้นตามลำดับทำให้มีปริมาณขยะอาหารเพิ่มขึ้น ด้วย จนถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 มีระบาดของโควิด 19 รอบใหม่ การเดินทางเพื่อการท่องเที่ยวลดลงอีกครั้ง อย่างไรก็ตาม การลดความเข้มงวดในการเดินทางและมาตรการกระตุ้นเศรษฐกิจของรัฐบาลรวมถึงการประกาศให้โรคโควิด 19 เป็นโรคประจำถิ่นทำให้มีการท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้นและมีปริมาณขยะอาหารเพิ่มขึ้นด้วยโดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงที่พื้นที่ชะอำและหัวหินมีการท่องเที่ยวเข้มข้น (High season)

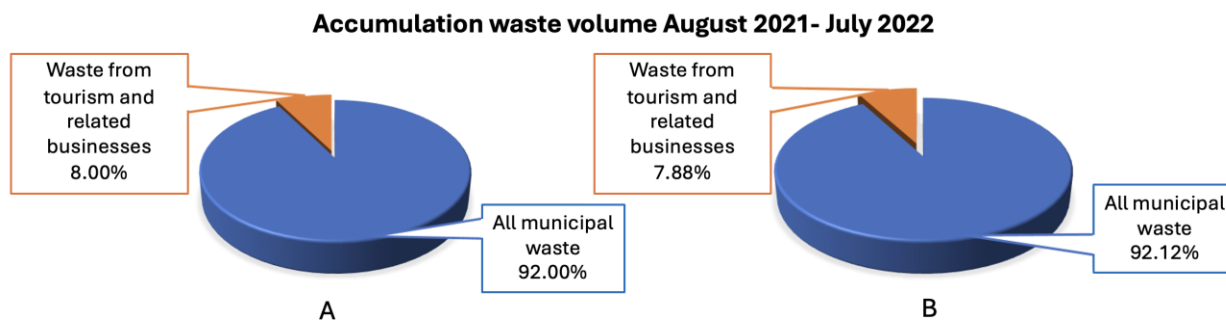


Figure 2 The amount of waste generated from tourism and related activities compared to the total waste in 1 year of Cha-am municipality (A) and Hua Hin municipality (B)

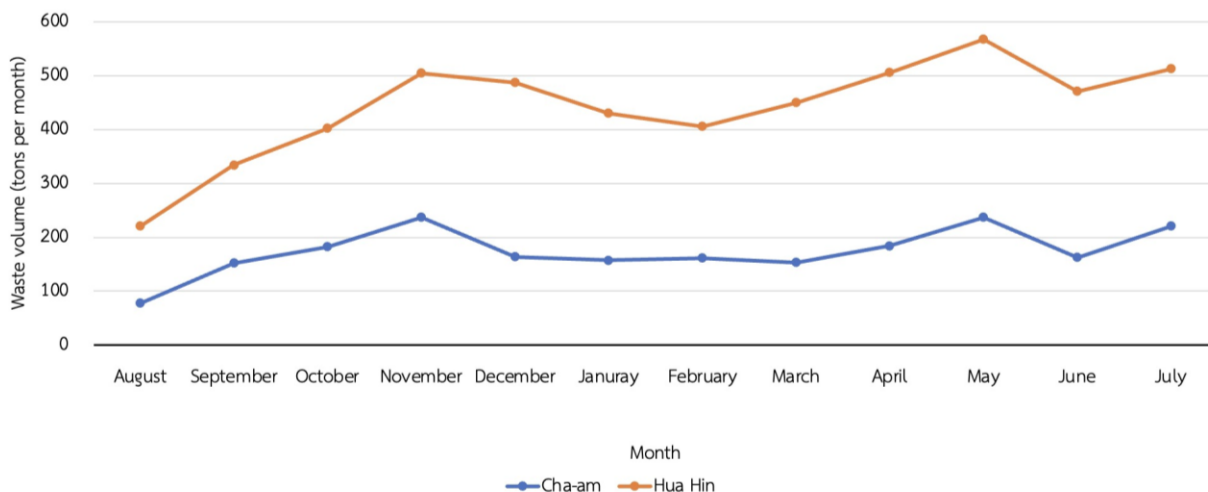


Figure 3 Monthly food waste production in Cha-am and Hua Hin municipalities during August 2021 – July 2022

ปริมาณขยะอาหารทั้ง 5 ประเภท ที่แยกตามประเภทธุรกิจแสดงใน Table 6 (เทศบาลเมืองชะอำ) และ Table 7 (เทศบาลเมืองหัวหิน) โดยพบว่า ธุรกิจร้านอาหารและบริการอาหารมีปริมาณขยะอาหารประเภทเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภค (กลุ่มที่ 5) เป็นสัดส่วนมากที่สุด (ร้อยละ 25.02 และร้อยละ 26.57 ของขยะอาหารทั้งหมด ตามลำดับ) ถัดมา คือ ธุรกิจประเภทโรงแรมที่พัก (ร้อยละ 12.88 และร้อยละ 8.40 ของขยะอาหารทั้งหมด ตามลำดับ) ธุรกิจประเภทร้านค้าในตลาดสดมีเศษอาหารค่อนข้างน้อย (ร้อยละ 0.67 และร้อยละ 1.01 ของขยะอาหารทั้งหมด ตามลำดับ) และห้างสรรพสินค้าที่เข้าร่วมโครงการไม่มีเศษอาหารเลยทั้งนี้เนื่องจากการจำหน่ายอาหารปรุงสำเร็จของห้างแมคโครไม่มีการอนุญาตลูกค้าบริโภคอาหารในพื้นที่ของห้าง ธุรกิจประเภทร้านอาหารและบริการอาหาร และโรงแรมที่พัก มีขยะอาหารในกลุ่มที่ 1 - 4 ซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและการปรุงอาหาร (In-kitchen food waste) ส่วนขยะอาหารในกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคจึงสามารถจัดเป็นขยะอาหารที่เกิดขึ้นหลังขั้นตอนการปรุง (Post-kitchen food waste) โดยจะเห็นได้ว่า ธุรกิจประเภทร้านอาหารมีขยะอาหารประมาณเกือบครึ่งหนึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนหลังการปรุงอาหาร หรือ เศษอาหารที่เหลือจากการบริโภค (ร้อยละ 46.17 และ 42.08 ของขยะอาหารทั้งหมดร้านอาหารในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน ตามลำดับ) ในทำนองเดียวกัน เศษอาหารเหลือจากการบริโภคคิดเป็นร้อยละ 45.26 และ 42.34 ของขยะอาหารทั้งหมดจากธุรกิจโรงแรมที่พัก ตามลำดับ

2. ต้นทุนในการจัดการขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องของเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน

วิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยในการจัดเก็บและการกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องใช้วิธีการปันส่วนโดยตรง (Direct allocation method) โดยนำสัดส่วนปริมาณขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้องต่อ

ปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด มาคำนวณหาต้นทุนในการจัดเก็บและกำจัดขยะอาหารจากการท่องเที่ยวและกิจการที่เกี่ยวข้อง โดยรวมต่อปี (Table 8)

Table 6 The amount of food waste generated from tourism and related businesses in Cha-am municipality by business type

Group	Business type (tons per year)				Total (tons per year)
	Restaurant and food service	Hotels and accommodations	Fresh market	Department store	
1	83.73	56.42	19.51	5.66	165.32
2	275.58	176.45	207.05	62.92	722.01
3	1.71	45.11	0.28	2.11	49.20
4	247.77	47.23	45.48	4.88	345.35
5	522.08	268.85	13.91	-	804.84
Group 5/Total					
food waste (%)	25.02	12.88	0.67	-	
Total	1,130.86	594.06	286.23	75.57	2,086.72

Table 7 The amount of food waste generated from tourism and related businesses in Hua Hin municipality by business type

Group	Business type (tons per year)				Total (tons per year)
	Restaurant and food service	Hotels and accommodations	Fresh market	Department store	
1	159.04	42.01	16.85	11.63	229.53
2	491.36	260.73	133.54	187.38	1,073.01
3	133.13	32.01	0.31	6.48	171.93
4	387.27	31.29	146.49	9.60	574.65
5	850.60	268.79	32.42	-	1,151.81
Group 5/Total food					
waste (%)	26.57	8.40	1.01	-	
Total	2,021.41	634.83	329.62	215.09	3,200.94

Table 8 The amount of solid waste and the amount of food waste of Cha-am municipality and Hua Hin municipality during August 2021 - July 2022

Description	Cha-am municipality	Hua Hin municipality
Total Waste Volume (Tons/Year)	28,948.36	44,960.93
Food Waste Volume (Tons/Year)	2,086.72	3,200.94

2.1 ต้นทุนในการจัดเก็บและการกำจัดขยะอาหารของเทศบาลเมืองชะอำ

เทศบาลเมืองชะอำมีต้นทุนในการจัดการขยะอาหารทั้งหมด เท่ากับ 2,693,391.29 บาทต่อปี แบ่งเป็น ต้นทุนในการจัดเก็บขยะอาหารทั้งหมด เท่ากับ 1,787,838.52 บาทต่อปี (ร้อยละ 66.38) และ ต้นทุนในการฝังกลบขยะอาหารเท่ากับ 905,552.78 บาทต่อปี (ร้อยละ 33.62) ต้นทุนในการจัดเก็บขยะอาหารทั้งหมดแบ่งเป็น ต้นทุนคงที่ 97,998.49 บาทต่อปี (ร้อยละ 5.48) และต้นทุนผันแปร 1,689,840.03 บาทต่อปี (ร้อยละ 94.52) และต้นทุนในการฝังกลบขยะอาหารทั้งหมด แบ่งเป็น ต้นทุนคงที่ 674,373.02 บาทต่อปี (ร้อยละ 74.47) และต้นทุนผันแปร 231,179.76 บาทต่อปี (ร้อยละ 25.53) ต้นทุนในการจัดการขยะอาหารต่อหน่วยปริมาณขยะอาหาร เท่ากับ 1,290.73 บาทต่อตัน แบ่งเป็น ต้นทุนในการจัดเก็บขยะอาหาร 856.77 บาทต่อตัน และต้นทุนในการกำจัดขยะอาหาร 433.96 บาทต่อตัน (Table 9)

Table 9 Summary of the analysis of unit costs for the collection and disposal of all solid waste and food waste of Cha-am municipality

Description	Overall waste management			Food waste management		
	Collecting	Landfilling	Total	Collecting	Landfilling	Total
Total fixed cost: TFC (Thai Baht)	1,359,500.00 (5.48)	9,355,349.50 (74.47)	10,714,849.50 (28.68)	97,998.49 (5.48)	674,373.02 (74.47)	772,371.51 (28.68)
Total variable cost: TVC (Thai Baht)	23,442,580.93 (94.52)	3,207,078.87 (25.53)	26,649,659.80 (71.32)	1,689,840.03 (94.52)	231,179.76 (25.53)	1,921,019.79 (71.32)
Total cost: TC (Thai Baht)	24,802,080.93 (100.00)	12,562,428.37 (100.00)	37,364,509.30 (100.00)	1,787,838.52 (100.00)	905,552.78 (100.00)	2,693,391.29 (100.00)
Average Cost: AC (Thai Baht per ton)	856.77	433.96	1,290.73	856.77	433.96	1,290.73

Note : The numbers in parentheses are the percentage of cost to total cost

2.2 ต้นทุนในการจัดเก็บและการกำจัดขยะอาหารของเทศบาลเมืองหัวหิน

เทศบาลเมืองหัวหินมีต้นทุนในการจัดการขยะอาหารทั้งหมด เท่ากับ 8,275,762.45 บาทต่อปี แบ่งเป็น ต้นทุนในการจัดเก็บขยะอาหารทั้งหมด เท่ากับ 6,029,636.76 บาทต่อปี (ร้อยละ 72.86) และ ต้นทุนรวมในการฝังกลบขยะอาหาร

ทั้งหมด เท่ากับ 2,246,125.68 บาทต่อปี (ร้อยละ 27.14) ต้นทุนในการจัดเก็บขยะอาหารทั้งหมด แบ่งเป็น ต้นทุนคงที่ 5,467.68 บาทต่อปี (ร้อยละ 0.09) และต้นทุนผันแปร 6,024,169.08 บาทต่อปี (ร้อยละ 99.91) และต้นทุนในการฝังกลบขยะอาหารทั้งหมด แบ่งเป็น ต้นทุนคงที่ 5,467.68 บาทต่อปี (ร้อยละ 0.24) และต้นทุนผันแปร 2,240,658.00 บาทต่อปี (ร้อยละ 99.76) ต้นทุนในการจัดการขยะอาหารต่อหน่วยปริมาณขยะอาหาร เท่ากับ 2,585.42 บาทต่อตัน แบ่งเป็น ต้นทุนในการจัดเก็บขยะอาหาร 1,883.71 บาทต่อตัน และต้นทุนในการกำจัดขยะอาหาร 701.71 บาทต่อตัน (Table 10)

3. ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในการกำจัดขยะอาหารโดยการฝังกลบในเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน

3.1 Climate Change

โดยปกติก๊าซที่เกิดจากการฝังกลบขยะ (Landfill gas: LFG) ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO₂) และก๊าซมีเทน (Methane: CH₄) เป็นหลัก ในขณะที่ก๊าซ CH₄ ส่งผลต่อภาวะเรือนกระจกซึ่งก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนนั้น ก๊าซ CO₂ จาก LFG ไม่นับว่าส่งผลต่อภาวะโลกร้อนทั้งนี้ขยะอาหารส่วนใหญ่เป็นขยะอินทรีย์และองค์ประกอบคาร์บอนเหล่านั้นมีจุดกำเนิดมาจากขั้นตอนการสังเคราะห์แสงของพืช (Photosynthesis) ซึ่งเป็นการดึง CO₂ จากอากาศมาเป็นส่วนของพืชซึ่งมนุษย์นำผลผลิตพืชไปบริโภคโดยตรงหรือนำไปเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตเป็นอาหารสำหรับการบริโภค

Table 10 Summary of the analysis of unit costs for the collection and disposal of all solid waste and food waste of Hua Hin municipality

Description	Overall waste management			Food waste management		
	Collecting	Landfilling	Total	Collecting	Landfilling	Total
Total fixed cost: TFC	76,800.00	76,800.00	153,600.00	5,467.68	5,467.68	10,935.37
(Thai Baht)	(0.09)	(0.24)	(0.13)	(0.09)	(0.24)	(0.13)
Total variable cost: TVC	84,616,470.26	31,472,651.00	116,089,121.26	6,024,169.08	2,240,658.00	8,264,827.08
(Thai Baht)	(99.91)	(99.76)	(99.87)	(99.91)	(99.76)	(99.87)
Total cost: TC	84,693,270.26	31,549,451.00	116,242,721.26	6,029,636.76	2,246,125.68	8,275,762.45
(Thai Baht)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)
Average Cost: AC	1,883.71	701.71	2,585.42	1,883.71	701.71	2,585.42
(Thai Baht per ton)						

Note : The numbers in parentheses are the percentage of cost to total cost.

ขยะอาหารจากทั้ง 2 พื้นที่ มีองค์ประกอบทั้งประเภทของขยะและองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกันมากจึงทำให้การปลดปล่อยมลพิษจากหลุมฝังกลบจึงมีค่าใกล้เคียงกัน มีเพียงการปลดปล่อย CO₂ ที่เกิดจากการใช้พลังงานฟอสซิล (Fossil

fuel) เท่านั้นที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้น เทศบาลเมืองหัวหินใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการจัดเก็บและฝังกลบขยะอาหารสูงกว่าของเทศบาลเมืองชะอำจึงส่งผลให้ค่าดัชนี Climate change ต่อตันของขยะอาหารที่ถูกฝังกลบสูงตามไปด้วย (Table 11)

สำหรับตัวชี้วัดนี้มี CH_4 และ CFC-12 เป็นมลพิษหลักที่เกิดจากกิจกรรมที่หลุมฝังกลบ ดังนั้น การลดการปลดปล่อย CH_4 และ CFC-12 จากหลุมฝังกลบจึงเป็นแนวทางหลักที่จะช่วยลดค่าดัชนีของตัวชี้วัดนี้ การเก็บรวบรวม CH_4 และนำไปเผาทิ้งเพื่อเปลี่ยน CH_4 ไปเป็น CO_2 ก็จะช่วยลดค่าดัชนีลงทั้งนี้เนื่องจาก CH_4 มีค่าศักยภาพโลกร้อนมากกว่า CO_2 ถึง 26 - 28 เท่า นอกจากนี้ การนำ CH_4 ไปทำประโยชน์อื่น เช่น การนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าซึ่งนอกจากจะช่วยเปลี่ยน CH_4 ไปเป็น CO_2 แล้วยังได้ไฟฟ้าซึ่งสามารถทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากระบบการผลิตไฟฟ้าปกติได้อีกด้วย (Table 11)

การเปลี่ยนเส้นทางขยะอาหารจากหลุมฝังกลบไปสู่เส้นทางอื่น เช่น การนำขยะอาหารไปเป็นอาหารสัตว์ หรือการนำไปทำเป็นปุ๋ยหมัก นอกจากจะช่วยป้องกันการเกิด CH_4 และ CFC-12 จากหลุมฝังกลบแล้ว ยังช่วยลดการผลิตอาหารสัตว์หรือปุ๋ยหมักจากการผลิตในระบบปกติ นับเป็นการลดมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังช่วยลดมลพิษที่จะเกิดจากการผลิตอาหารสัตว์หรือปุ๋ยได้อีกด้วย

3.2 Ozone Depletion Potential

ค่าดัชนี ODP บ่งบอกถึงการลดลงของชั้นโอโซนของชั้นบรรยากาศ มลพิษใด ๆ ที่มีผลต่อการทำลายชั้นโอโซนจะส่งผลต่อตัวชี้วัดนี้ ผลการศึกษา พบว่า สาร CFC-12 เป็นมลพิษหลักที่ส่งผลต่อตัวชี้วัดนี้ (Table 12) โดยสาร CFC-12 เป็น LFG ที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบขยะอาหาร (มากกว่าร้อยละ 99 ของสาร CFC-12 ทั้งหมดที่ปลดปล่อยจากระบบการจัดการขยะอาหาร)

Table 11 Climate change impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	unit	Cha-am	Hua Hin
Total	kg CO ₂ eq.	1,275.33 (100%)	1,293.42 (100%)
- Methane (CH ₄)	kg CO ₂ eq.	1,144.51 (89.74%)	1,145.69 (88.58%)
- Dichlorodifluoromethane (CFC-12)	kg CO ₂ eq.	101.34 (7.95%)	101.34 (7.83%)
- Carbon dioxides (CO ₂)	kg CO ₂ eq.	28.45 (2.23%)	45.01 (3.48%)
- Other emissions	kg CO ₂ eq.	1.04 (0.08%)	1.39 (0.11%)

Table 12 Ozone Depletion Potential impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	unit	Cha-am	Hua Hin
Total	kg CFC-11 eq.	9.94E-03 (100%)	9.94E-03 (100%)
- Dichlorodifluoromethane (CFC-12)	kg CFC-11 eq.	9.94E-03 (99.95%)	9.94E-03 (99.92%)
- Other emissions	kg CFC-11 eq.	5.00E-06 (0.05%)	8.05E-06 (0.08%)

3.3 Human Health Toxicity – non-cancer effects

ตัวชี้วัดนี้บ่งบอกความเป็นไปได้ในการเกิดปัญหาสุขภาพของมนุษย์ (ที่ไม่ใช่มะเร็ง) ผลการศึกษา พบว่า โลหะหนักประเภทสังกะสี (Zinc) และสารหนู (Arsenic) เป็นมลพิษ 2 ชนิดหลักที่ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดนี้ (Table 13) โลหะหนักทั้ง 2 ชนิดนี้ปนเปื้อนอยู่ในขยะอาหารเมื่อนำมาฝังกลบก็จะปนเปื้อนไปกับน้ำชะขยะ (Leachate) และปนเปื้อนเข้าสู่ระบบน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินซึ่งในที่สุดก็จะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ต่อไป โดยมากกว่าร้อยละ 95 ของโลหะหนักทั้งหมดมาจากหลุมฝังกลบ

Table 13 Human Health Toxicity – non-cancer effects impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	Unit	Cha-am	Hua Hin
Total	CTUh	1.01E-03 (100%)	1.05E-03 (100%)
- Zinc	CTUh	5.49E-04 (54.34%)	5.86E-04 (55.79%)
- Arsenic	CTUh	4.50E-04 (44.56%)	4.52E-04 (43.02%)
- Other emissions	CTUh	2.54E-06 (1.10%)	3.85E-06 (1.19%)

3.4 Human Health Toxicity – cancer effects

ตัวชี้วัดนี้บ่งบอกโอกาสการเกิดปัญหาสุขภาพของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับโรคมะเร็ง ผลการศึกษาแสดงใน Table 14 พบว่า ในระบบจัดการขยะอาหารแบบฝังกลบมีโลหะหนัก 2 ชนิดที่ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดนี้ คือ โครเมียม (Chromium) และสารหนู โดยโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดนี้ติดมากับขยะอาหารแล้วนำมาฝังกลบและปนเปื้อนสู่ห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ผ่านทางน้ำชะขยะที่ไหลออกจากหลุมฝังกลบไปสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยมากกว่าร้อยละ 95 ของโลหะหนักทั้งหมดในระบบการจัดการขยะอาหารเกิดขึ้นที่หลุมฝังกลบ

ระบบการจัดเก็บและบำบัดที่มีประสิทธิภาพช่วยลดการปนเปื้อนโลหะหนักที่เป็นสารก่อมะเร็งปนเปื้อนเข้าสู่ระบบนิเวศและห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ การลดปริมาณขยะอาหารก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการปนเปื้อนมลพิษจากระบบการจัดการขยะอาหารเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของมนุษย์

Table 14 Human health toxicity – Cancer effects impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	Unit	Cha-am	Hua Hin
Total	CTUh	7.98E-05 (100%)	8.14E-05 (100%)
- Chromium	CTUh	7.23E-05 (90.56%)	7.38E-05 (90.68%)
- Arsenic	CTUh	6.09E-06 (7.63%)	6.10E-06 (7.50%)
- Other emissions	CTUh	1.50E-06 (1.88%)	1.60E-06 (1.96%)

3.5 Particulate Matter

ตัวชี้วัดนี้บ่งบอกปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate matter formation potential) โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กนี้สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ผลการศึกษา พบว่า ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM 2.5) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxides) เป็นมลพิษหลักที่ส่งผลต่อตัวชี้วัดนี้ (Table 15) มลพิษทั้ง 2 ชนิดส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และจากการที่ระบบการจัดการขยะอาหารของเทศบาลเมืองหัวหินมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าของเทศบาลเมืองชะอำ จึงส่งผลให้มีการปลดปล่อยมลพิษทั้ง 2 ชนิดสูงกว่าของเทศบาลเมืองชะอำ

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้สามารถกำจัดขยะอาหารให้ได้มากที่สุด โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุดเป็นหนึ่งในแนวทางการลดค่าดัชนีตัวชี้วัดนี้

3.6 Photochemical Ozone Formation Potential

ตัวชี้วัดนี้บ่งบอกถึงโอกาสเกิดโอโซนในบรรยากาศชั้นล่างโดยเกิดจากการ Oxidation ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds) ซึ่งหากมีในปริมาณมากก็จะส่งผลทำให้เกิดการระคายเคืองของดวงตาและระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ตลอดจนการรบกวนระบบนิเวศตามธรรมชาติ ผลการศึกษาแสดงใน Table 16 และพบว่า ก๊าซมีเทน สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ไม่ใช่ก๊าซมีเทน (Non-methane volatile organic compounds: NMVOC) และไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxides) เป็น 3 มลพิษหลักที่ส่งผลต่อตัวชี้วัดนี้ ประมาณร้อยละ 70 ของมลพิษเหล่านี้มาจากก๊าซที่ปลดปล่อยจากหลุมฝังกลบ ดังนั้น การลดปริมาณขยะอาหาร หรือ การเปลี่ยนเส้นทางของขยะอาหารไปสู่การจัดการแบบอื่น หรือ การนำขยะอาหารไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นก็จะช่วยลดปริมาณขยะอาหารที่จะมาสู่หลุมฝังกลบ

3.7 Acidification Potential

ตัวชี้วัดนี้บ่งบอกโอกาสที่จะเกิดภาวะความเป็นกรดของระบบนิเวศ ผลการศึกษาแสดงใน Table 17 และพบว่า สารไนโตรเจนออกไซด์ และสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็น 2 มลพิษหลักที่ส่งผลต่อตัวชี้วัดนี้ ในระบบการจัดการขยะอาหารด้วยการฝังกลบครั้งหนึ่ง (ร้อยละ 50) มลพิษทั้ง 2 ชนิดนี้เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและ อีกครั้งหนึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตปัจจัยการผลิตสำหรับใช้ในระบบการจัดการขยะอาหาร เช่น การขุดเจาะและการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง

Table 15 Particulate Matter impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	Unit	Cha-am	Hua Hin
Total	kg PM _{2.5} eq.	2.19E-02 (100%)	3.80E-02 (100%)
- PM 2.5	kg PM _{2.5} eq.	1.63E-02 (74.43%)	2.83E-02 (74.55%)
- Sulfur dioxides	kg PM _{2.5} eq.	4.01E-03 (18.30%)	7.24E-03 (19.07%)
- Nitrogen oxides	kg PM _{2.5} eq.	1.47E-03 (6.72%)	2.23E-03 (5.87%)
- Other emissions	kg PM _{2.5} eq.	1.22E-04 (0.56%)	1.97E-04 (0.52%)

Table 16 Photochemical Ozone Formation Potential impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	Unit	Cha-am	Hua Hin
Total	kg NMVOC eq.	1.00E-00 (100%)	1.13E+00 (100%)
- Methane	kg NMVOC eq.	4.16E-01 (41.76%)	4.16E-01 (36.93%)
- NMVOC	kg NMVOC eq.	2.97E-01 (29.85%)	3.17E-01 (28.16%)
- Nitrogen oxides	kg NMVOC eq.	2.04E-01 (20.44%)	3.08E-01 (27.32%)
- Ethane	kg NMVOC eq.	2.88E-02 (2.89%)	2.89E-02 (2.56%)
- Other emissions	kg NMVOC eq.	5.05E-02 (5.06%)	5.68E-02 (5.04%)

Table 17 Acidification Potential impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	Unit	Cha-am	Hua Hin
Total	molc H ⁺ eq.	2.39E-01 (100%)	3.85E-01 (100%)
- Nitrogen oxides (NO _x)	molc H ⁺ eq.	1.51E-01 (63.14%)	2.28E-01 (59.18%)
- Sulfur dioxide (SO ₂)	molc H ⁺ eq.	8.41E-02 (35.23%)	1.52E-01 (39.44%)
- Other emissions	molc H ⁺ eq.	3.88E-03 (1.63%)	5.33E-03 (1.38%)

3.8 Terrestrial Eutrophication Potential

ตัวชี้วัดนี้บ่งบอกถึงการปนเปื้อนสารประกอบไนโตรเจนของระบบนิเวศบนแผ่นดิน ผลการศึกษาแสดงใน Table 18 และพบว่า ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นมลพิษหลักที่ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดนี้ กระบวนการการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (การขุดเจาะ การกลั่น การขนส่งและการใช้งานเครื่องยนต์) เป็นแหล่งปลดปล่อยมลพิษชนิดนี้ (ร้อยละ 80) ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นแนวทางที่สำคัญในค่าดัชนีของตัวชี้วัดการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมชนิดนี้

Table 18 Terrestrial Eutrophication Potential impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	Unit	Cha-am	Hua Hin
Total	molc N eq.	0.89 (100%)	1.34 (100%)
- Nitrogen oxides (NO _x)	molc N eq.	0.87 (97.66%)	1.31 (97.94%)
- Other emissions	molc N eq.	0.02 (2.34%)	0.03 (2.06%)

3.9 Freshwater Eutrophication Potential

ตัวชี้วัดนี้บ่งบอกการปนเปื้อนฟอสฟอรัสของแหล่งน้ำจืดตามธรรมชาติหรือระบบนิเวศน้ำจืด ผลการศึกษาแสดงใน Table 19 พบว่า ฟอสเฟต (Phosphate) เป็นเพียงมลพิษเดียวที่ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดนี้ โดยฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 99.5 เกิดจากกระบวนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเริ่มตั้งแต่การขุดเจาะ การขนส่ง การกลั่นและการใช้หรือการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง

Table 19 Freshwater Eutrophication Potential impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	Unit	Cha-am	Hua Hin
Total	kg P eq.	2.99 (100%)	2.99 (100%)
- Phosphate (P ₂ O ₅)	kg P eq.	2.99 (100%)	2.99 (100%)

3.10 Marine Eutrophication Potential

ตัวชี้วัดนี้บ่งบอกการปนเปื้อนไนโตรเจนของระบบนิเวศทางทะเล ผลการศึกษาแสดงใน Table 20 พบว่า สารไนโตรเจนออกไซด์ เป็นมลพิษหลักที่ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดนี้ และสารไนโตรเจนออกไซด์มาจากการใช้หรือการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง (มากกว่าร้อยละ 80 ของสารไนโตรเจนออกไซด์ทั้งหมดที่เกิดจากระบบการจัดการขยะอาหารแบบฝังกลบ) ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง หรือ การลดปริมาณขยะอาหารก็จะช่วยลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในระบบการจัดการฝังกลบขยะอาหาร

Table 20 Marine Eutrophication Potential impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	Unit	Cha-am	Hua Hin
Total	kg N eq.	0.85E-01 (100%)	1.26E-01 (100%)
- Nitrogen oxides (NO _x)	kg N eq.	7.92E-02 (93.60%)	1.20E-01 (94.73%)
- Ammonia (NH ₃)	kg N eq.	2.98E-03 (3.52%)	2.98E-03 (2.35%)
- Other emissions	kg N eq.	2.44E-03 (2.88%)	3.69E-03 (2.92%)

3.11 Freshwater Ecotoxicity for Aquatic Freshwater

ตัวชี้วัดนี้บ่งบอกความเป็นพิษของระบบนิเวศน้ำจืดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ผลการศึกษา พบว่า การปนเปื้อนสังกะสี และสารประกอบฟีนอล (Phenol) เป็น 2 มลพิษหลักที่ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดนี้ (Table 21) และมลพิษทั้ง 2 ชนิดนี้เกิดจากหลุมฝังกลบขยะอาหาร (มากกว่าร้อยละ 99 ของมลพิษทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากระบบจัดการขยะอาหารโดยการฝังกลบ)

Table 21 Freshwater Ecotoxicity for Aquatic Freshwater impact indicator of landfilled food waste in Cha-am and Hua Hin municipalities

Emissions	Unit	Cha-am	Hua Hin
Total	CTUe	22,267 (100%)	22,388 (100%)
- Zinc	CTUe	15,707 (70.54%)	15,748 (70.34%)
- Phenol	CTUe	3,452 (15.50%)	3,452 (15.42%)
- Copper	CTUe	1,087 (4.88%)	1,105 (4.94%)
- Chromium	CTUe	707 (3.18%)	707 (3.16%)
- Arsenic	CTUe	666 (2.99%)	668 (2.98%)
- Other emissions	CTUe	646 (2.90%)	708 (3.16%)

Discussion

Filimonau & Uddin (2021) รายงานว่า มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณขยะอาหารที่เกิดจากร้านอาหาร ซึ่งสามารถจำแนกการเกิดขยะอาหารได้ 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงก่อนครัว (Pre-kitchen) ขยะอาหารที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการขนส่งและการเก็บรักษา 2) ช่วงในครัว (In-kitchen) โดยขยะอาหารในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการเตรียมวัตถุดิบ การปรุงและการเสิร์ฟอาหาร และ 3) ช่วงหลังครัว (Post-kitchen) ขยะอาหารในช่วงนี้เกิดจากอาหารเหลือจากการรับประทาน ข้อมูลปริมาณขยะอาหารที่เกิดขึ้นในร้านอาหารในประเทศไทยแสดงให้เห็นว่า ขยะอาหารปริมาณมากเกิดขึ้นในช่วงการเตรียมและการปรุงอาหารในครัว (In-kitchen) คิดเป็นร้อยละ 65.7 และเกิดขยะอาหารในช่วงหลังครัว (Post-kitchen) และก่อนครัว (Pre-kitchen) เพียงร้อยละ 29.6 และ 4.7 ตามลำดับ (Sustainable Restaurant Association-SRA, 2010) นอกจากนี้ Winnow (2018) รายงานว่า ขยะอาหารมากกว่าร้อยละ 70 เกิดขึ้นก่อนที่อาหารจะถูกเสิร์ฟถึงมือผู้บริโภค ในขณะที่ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า เศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคในสัดส่วนที่มากกว่าในประเทศไทย ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจมาจากวัฒนธรรมการปรุงและการบริโภคอาหารที่แตกต่างกัน ในขณะที่การเสิร์ฟอาหารในประเทศไทยหรือแถบยุโรปจะเน้นใส่อาหารที่สามารถบริโภคได้เท่านั้นลงในจาน การเสิร์ฟอาหารในประเทศไทยมีการใส่ส่วนที่ไม่สามารถบริโภคได้ลงไปในงานด้วย เช่น กระดูก ก้างปลา รวมไปถึงเครื่องปรุงที่เป็นสมุนไพรต่าง ๆ เช่น ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด เป็นต้น

การจัดการขยะอาหารโดยการฝังกลบก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมหลากหลาย (Batool *et al.*, 2024) นอกเหนือจากมลพิษที่เกิดจากใช้ปัจจัยการผลิตในการจัดเก็บและการฝังกลบแล้ว ก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่เกิดจากหลุมฝังกลบ (Landfill gas) และน้ำชะขยะ (Leachate) เป็นแหล่งของมลพิษที่สำคัญ ดังนั้น หากไม่มีการจัดการก๊าซและน้ำชะขยะที่เหมาะสมการฝังกลบขยะอาหารก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมหลายด้าน เช่น หากไม่มีการดักจับก๊าซหรือประสิทธิภาพการดักจับก๊าซต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 15 ของปริมาณก๊าซทั้งหมด) การฝังกลบขยะอาหาร 1 ตัน มีค่าดัชนีโลกร้อน

(Global Warming Potential หรือ Climate Change) สูงถึง 2,180 – 6,990 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ขึ้นกับประสิทธิภาพการจัดการก๊าซและน้ำชะขยะที่เกิดขึ้น (Banar *et al.*, 2009; Bovea & Powell, 2006) ในทำนองเดียวกัน การฝังกลบขยะอาหารก็ส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ด้วย เช่น ดัชนี Acidification Potential มีค่า 41.4 – 43.6 กิโลกรัม SO_2 เทียบเท่าต่อการฝังกลบขยะอาหาร 1 ตัน (Banar *et al.*, 2009) ดัชนี Eutrophication Potential มีค่า 37.8 – 37.9 กิโลกรัม PO_4 เทียบเท่าต่อการฝังกลบขยะอาหาร 1 ตัน (Banar *et al.*, 2009) และดัชนี Photochemical Oxidation มีค่า 1.57 – 1.63 กิโลกรัม C_2H_2 เทียบเท่าต่อการฝังกลบขยะอาหาร 1 ตัน (Banar *et al.*, 2009)

Conclusions

การศึกษาถึงปริมาณขยะอาหาร ต้นทุนการจัดการและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบการกำจัดขยะอาหารในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สรุปได้ว่า ธุรกิจร้านอาหารและบริการอาหารมีปริมาณขยะอาหารสูงกว่าธุรกิจอื่น ๆ โดยขยะอาหารที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภค ต้นทุนการจัดการขยะอาหารแบบฝังกลบส่วนใหญ่เป็นต้นทุนในการจัดเก็บที่เป็นต้นทุนผันแปร มลพิษที่เกิดจากกระบวนการจัดเก็บและที่เกิดจากหลุมฝังกลบส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน ในขณะที่ก๊าซจากหลุมฝังกลบและน้ำชะขยะมีบทบาทมากต่อตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม 6 ตัวชี้วัด ได้แก่ ดัชนี Climate Change ดัชนี Ozone Depletion Potential ดัชนี Non-cancer ดัชนี Cancer ดัชนี Photochemical Ozone Formation Potential และดัชนี Ecotoxicity for Freshwater Ecosystem การจัดเก็บและการขนส่งขยะอาหารมีบทบาทมากต่อตัวชี้วัดสิ่งแวดล้อม 3 ตัวชี้วัด ได้แก่ ดัชนี Particulate Matter ดัชนี Freshwater Eutrophication Potential และดัชนี Terrestrial Eutrophication Potential และการจัดเก็บขยะอาหารและการฝังกลบขยะอาหารมีบทบาทใกล้เคียงกันต่อตัวชี้วัดสิ่งแวดล้อม 2 ตัวชี้วัด ได้แก่ ดัชนี Acidification Potential และดัชนี Marine Eutrophication Potential การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการจัดเก็บขยะอาหาร (ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิล) และการจัดการก๊าซจากหลุมฝังกลบที่มีประสิทธิภาพ เช่น การรวบรวมก๊าซจากหลุมฝังกลบแล้วนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า รวมถึงการจัดการน้ำชะขยะอย่างมีประสิทธิภาพไม่ให้เกิดการรั่วไหลปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมเป็นทางเลือกในการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการจัดการขยะอาหารในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำและหัวหิน

Acknowledgments

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2564

References

Alexander, A., Burklin, C., & Singleton, A. (2005). *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*.

- Anh, L.H., Thanh, T.N., Tuyen, N.T.K., Bang, H.Q., Son, N.P., Schneider, P., Lee, B.K., & Moustakas, K. (2002). Site-specific determination of methane generation potential and estimation of landfill gas emissions from municipal solid waste landfill: a case study in Nam Binh Duong, Vietnam. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 3491–3502.
- Banar, M., Cokaygil, Z., & Ozkan, A. (2009). Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. *Waste Management*, 29, 54–62.
- Batool, F., Kurniawan, T.A., Mohyuddin, A., Othman, M.H.D., Aziz, F., Al-Hazmi, E.H., Goh, H.H., & Anouzla, A. (2024). Environmental impacts of food waste management technologies: A critical review of life cycle assessment (LCA) studies. *Trends in Food Science & Technology*, 143, 104287.
- Bovea, M. D., & Powell, J. C. (2006). Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management. *Journal of Environmental Management*, 79, 115-132.
- da Silva, N.F., Schoeler, G.P., Lourenço, V.A., deSouza, P.L., Caballero, C.B., Salamoni, R.H., & Romano, R.F. (2020). First order models to estimate methane generation in landfill: a case study in south Brazil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8, 104053.
- ecoinvent Centre. (2018). *ecoinvent data v3.4. Swiss Centre for Life Cycle Inventories*, St. Gallen.
- Emkes, H., Coulon, F., & Wagland, S. (2015). A decision support tool for landfill methane generation and gas collection. *Waste Management*, 43, 307-318.
- Fallahizadeh, S., Rahmatinia, M., Mohammadi, Z., Vaezzadeh, M., Tajamiri, A., & Soleimani, H. (2019). Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill Iran. *MethodsX*, 6, 391-398.
- Filimonau, V., & Uddin, R. (2021). Food waste management in chain-affiliated and independent consumers' places: A preliminary and exploratory study. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128721.
- Food SCP RT. (2013). *ENVIFOOD Protocol, Environmental Assessment of Food and Drink Protocol. European Food Sustainable Consumption and Production Round Table (SCP RT), Working Group 1*, Brussels, Belgium.

- International Organization for Standardization. (2006a). *ISO 14040: Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework*. International Organization for Standardization, Geneva
- International Organization for Standardization. (2006b). *ISO 14044: Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines*. International Organization for Standardization, Geneva.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). *Chapter 11: N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application*. In H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe (Eds), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use Global Environmental Strategies*, Kanagawa, Japan.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, USA.
- Isuwan, A., Promchan, T., & Chobtang, J. (2024). Quantity, chemical composition and utilization potential of food waste from restaurants and food services: a case in Cha-am town municipality area, Phetchaburi province, and Hua Hin town municipality area, Prachuap Khiri Khan province. *Journal of Environmental and Sustainable Management*, 20(1), 64–79. (in Thai)
- Lenzen, M., Sun, Y.Y., Faturay, F., Ting, Y.P., Geschke, A., & Malik, A. (2018). The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change*, 8, 522–528.
- Manfredi, S., Niskanen, A., & Christensen, T.H. (2009). Environmental assessment of gas management options at the Old Ämmässuo landfill (Finland) by means of LCA-modeling (EASEWASTE). *Waste Management*, 29, 1588-1594.
- Manfredi, S. Tonini, D., & Christensen, T.H. (2010). Contribution of individual waste fractions to the environmental impacts from landfilling of municipal solid waste. *Waste Management*, 30, 433-440.
- Melikoglu, M., Lin, C.S.K., & Webb, C. (2013). Analysing global food waste problem: pinpointing the facts and estimating the energy content. *Central European Journal of Engineering*, 3, 157-164.

- Moult, J. A., Allan, S. R., Hewitt, C. N., & Berners-Lee, M. (2018). Greenhouse gas emissions of food waste disposal options for UK retailers. *Food Policy*, 77, 50-58.
- Pré Consultants. (2018). *SimaPro 8.3 Life Cycle Assessment Software*, Amersfoort, The Netherlands.
- Ramprasad, C., Teja, H.C., Gowtham, V., & Vikas, V. (2022). Quantification of landfill gas emissions and energy production potential in Tirupati Municipal solid waste disposal site by LandGEM mathematical model. *MethodsX*, 9, 101869.
- Sustainable Restaurant Association-SRA. (2010). *Too Good to Waste: Restaurant Food Waste Survey Report* SRA, London.
- Thailand Development Research Institute. (2019). *Study of appropriate food surplus management approaches to reduce food waste problems in Thailand. Final report. Thai Health Promotion Foundation*. 108 p. (in Thai)
- Tilman, D., & Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515, 518–522.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B.L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 20260–20264.
- Wang, X. (2013). Using observed data to improve estimated methane collection from select U.S. landfills. *Environmental Science & Technology*, 47, 3251-3257.
- Winnow. (2018). *Addressing Food Waste in the Hospitality & Foodservice Sector. An Overview of Why and where Food Waste Happens* Winnow Solutions, London.