

03

การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหาร
ด้วยหลักแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน กรณีศึกษา
พื้นที่เทศบาลนครสกลนคร

DEVELOPMENT OF A FOOD WASTE MANAGEMENT MODEL FOR RESTAURANTS BASED ON CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES: A CASE STUDY OF SAKON NAKHON CITY MUNICIPALITY

กิตติวรรณ กิจปรกรณ์สันติ^{a,✉}, มนต์ธนรัตน์ กล่อมกั้ง^b, รัฐพล พรหมโคตร^b, ยूपิน บัวจันทพอ^a, ธงชัย สีฟ้า^a,
เจริญชัย ศิริคุณ^c, ฤทธิรงค์ จังโกฏี^d และ อัสมน ลิ่มสกุล^a

^aศูนย์วิจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม

^bสำนักงานเทศบาลนครสกลนคร

^cสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดสกลนคร

^dศูนย์ฝึกอบรม วิจัย และการประเมินด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Kittiwat Kitpakornsanti ^{a,✉}, Monthanarat Klomking^b, Rattapon Promakotr^b, Yupin Buajanpho^a,
Thongchai Seefa^a, Jarernchai Sirikhun^c, Rittirong Junggoth^d, Atsamon Limsakul^a

^aClimate Change and Environment Research Center, Department of Climate Change and Environment

^bSakon Nakhon Municipality Office

^cProvincial Office of Natural Resources and Environment Sakon Nakhon

^dEnvironmental Health Assessment Research and Training Hub, Faculty of Public Health, KhonKaen University

✉kittiwankit@gmail.com

บทคัดย่อ

ขยะอาหารเป็นแหล่งสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศในหลุมฝังกลบ เทศบาลนครสกลนครมีขยะเศษอาหารประมาณ 12,257 ตันต่อปี ส่วนใหญ่มาจากสถานประกอบการร้านอาหาร การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการขยะอาหารภายใต้กิจกรรม “ร้านนี้แยกก่อนทิ้ง” โดยนำเสนอโมเดล Sakon Nakhon Food Waste Circular Model (SN-FWCM) ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน พร้อมประเมินศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ รูปแบบที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบบูรณาการตลอดห่วงโซ่จัดการขยะ ครอบคลุม 1) การคัดแยก ณ แหล่งกำเนิด 2) การเก็บรวบรวมและขนส่งแบบแยกประเภท และ 3) การผลิตปุ๋ยหมัก มีร้านอาหารสมัครใจเข้าร่วม 34 แห่ง เก็บข้อมูลระหว่างมีนาคม–สิงหาคม 2568 ผลการศึกษาพบว่าผู้ประกอบการสามารถปรับพฤติกรรมโดยมีการคัดแยก ลดปริมาณน้ำ และเก็บขนตามรอบปริมาณขยะอาหารที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 21,922 กก. (เฉลี่ย 167 กก./วัน) ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมพบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 10,705.74 kgCO₂e หรือร้อยละ 81 เมื่อเทียบกับการฝังกลบ ด้านเศรษฐศาสตร์สามารถลดต้นทุนได้ 2,039.04 บาท/ตัน และมีต้นทุนการลดก๊าซเท่ากับ 2,348.53 บาท/tCO₂e โดยมีต้นทุนสุทธิ 4,229.42 บาท/tCO₂e ผลการศึกษานี้ให้เห็นว่ารูปแบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพ คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และมีศักยภาพในการขยายผลเพื่อสนับสนุนสังคมคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : ก๊าซเรือนกระจก ขยะอาหาร เทศบาลนครสกลนคร เศรษฐกิจหมุนเวียน การจัดการขยะมูลฝอยชุมชน

Abstract

Food waste is a major contributor to global greenhouse gas (GHG) emissions, particularly methane generated from anaerobic decomposition in landfills. Sakon Nakhon Municipality generates approximately 12,257 tons of food waste annually, with a substantial share originating from restaurants. This study develops the Sakon Nakhon Food Waste Circular Model (SN-FWCM) under the “Separate Before Disposal” initiative, applying circular economy (CE) principles at the local level while assessing GHG mitigation potential and economic performance. The model adopts an integrated, end-to-end approach comprising 1) source separation 2) segregated collection and transportation and 3) end-of-life treatment through municipal-scale composting. A total of 34 restaurants voluntarily participated, and quantitative data were collected from March to August 2025. Results indicate that operators effectively aligned with the model, demonstrating consistent source separation, moisture reduction prior to disposal, and adherence to scheduled collection. In total, 21,922 kg of food waste were diverted into the management system, averaging 167 kg day⁻¹. GHG analysis shows a reduction of 10,705.74 kgCO₂e, corresponding to an approximate 81% decrease relative to a landfill-based baseline. Economic analysis reveals cost savings of 2,039.04 THB per ton of food waste, with a mitigation cost of 2,402 THB tCO₂e⁻¹; the net cost is 4229.42 THB tCO₂e⁻¹, indicating a cost-saving mitigation option. The SN-FWCM delivers substantial environmental and economic co-benefits and demonstrates strong potential for replication across local administrative organizations to advance circular economy-based waste management and accelerate the transition toward a low-carbon society

Keywords : Greenhouse gas, Food waste, SakonNakhon municipality, Circular economy, Municipal solid waste management

บทนำ

ปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นรวม 27.20 ล้านตัน โดยมีการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ร้อยละ 38 การกำจัดขยะไม่ถูกต้อง ร้อยละ 23 โดยมีองค์ประกอบจากขยะอาหารเป็นสัดส่วนสำคัญ หรือ ร้อยละ 36.79 (Pollution Control Department, 2024) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) ที่ระบุว่า การสูญเสียและขยะอาหาร (Food loss and Food waste) เป็นสาเหตุสำคัญของการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ถึงร้อยละ 8-10 ของปริมาณการปล่อยทั่วโลก โดยเฉพาะจากก๊าซมีเทน (Methane: CH₄) จากการกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic decomposition) ในหลุมฝังกลบ

ภายใต้บริบทของปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและพันธกรณีความตกลงปารีส (Paris Agreement) ในการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียส (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022) ประเทศไทยได้กำหนดเป้าหมายการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ร้อยละ 47 ภายในปี พ.ศ. 2578 และบรรลุการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero emission) ภายในปี พ.ศ. 2593 ซึ่งเป้าหมายดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยการดำเนินงานตามมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกในทุกภาคส่วน โดยเฉพาะจากภาคของเสียโดยมีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและประชาชนเป็นกลไกหลักในการดำเนินงานเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในระดับพื้นที่อย่างเป็นรูปธรรม

แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy: CE) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นแนวทางสำคัญในการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอย โดยการมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน ลดการใช้ทรัพยากรใหม่ การนำทรัพยากรกลับมาใช้ซ้ำ การรีไซเคิล และการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ตลอดวงจรชีวิต (Ellen MacArthur Foundation, 2015) แนวคิดนี้เป็นกรอบสำคัญที่ได้ถูกนำมาใช้เป็นแนวทางการจัดการขยะของประเทศไทยภายใต้โมเดลเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy) พ.ศ. 2564-2570 รวมถึงการบูรณาการในแผนและนโยบายของการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนปฏิบัติการจัดการขยะของประเทศ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2565-2570) แผนทีมนำทางการจัดการขยะอาหาร (พ.ศ. 2566-2573) และแผนปฏิบัติการจัดการขยะอาหาร ระยะที่ 1 (พ.ศ. 2566-2570) (Pollution Control Department, 2025) ตลอดจนการเป็นแนวคิดมาตรการสำคัญภายใต้แผนทีมนำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยในภาคของเสีย (Department of Climate Change and Environment, 2025a) อย่างไรก็ตาม การขับเคลื่อนแนวคิดดังกล่าวไปสู่การปฏิบัติเพื่อจัดการขยะมูลฝอยชุมชนยังคงเป็นความท้าทายการดำเนินงานในระดับท้องถิ่น

ปัจจุบันมีการริเริ่มนำแนวคิดนี้มาใช้ในการจัดการขยะมูลฝอยเพิ่มมากขึ้นในหลายบริบทพื้นที่ (Charoensombat (2021); Duangkaew & Leknoi (2021); Nongnuch & Benyada (2023); Nattawan & Sawanya (2025)) แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะอาหารในระดับท้องถิ่นยังมีจำกัด Kinaret (2024) แสดงให้เห็นถึงการนำหลักแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนมาใช้จัดการขยะอาหารในชุมชนของเทศบาลนครนครพนม สามารถช่วยลดปริมาณขยะอาหารที่นำไปฝังกลบและนำไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชุมชน และการศึกษาของ Charoenthanakul (2025) แสดงให้เห็นว่าแนวคิดการจัดการขยะอาหารด้วยเศรษฐกิจหมุนเวียนในหน่วยงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ

ในระดับพื้นที่ เทศบาลนครสกลนคร เป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดใหญ่และมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2567 จำนวน 310,250 ตัน โดยมีการกำจัดอย่างถูกต้อง 52,925 ตัน และการกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง 39,055 ตัน จากการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะมูลฝอย พบว่า ขยะอาหารมีปริมาณประมาณ 104,585 ตัน หรือคิดเป็น ร้อยละ 33.71 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด (Environmental Office Region 9

(Udon Thani), 2022) โดยมีแหล่งกำเนิดหลักจากร้านอาหาร ตลาดสด โรงเรียน และห้างสรรพสินค้า ปัจจุบันเทศบาลนครสกลนครมีแนวทางการจัดการขยะมูลฝอย ตั้งแต่ต้นทางผ่านการคัดแยกขยะตามหลัก 3Rs (Reduce, Reuse และ Recycle) ควบคู่กับการจัดการขยะกลางทาง เช่น โครงการถนนปลอดถังขยะ และขั้นปลายทาง เช่น การเลี้ยงไส้เดือน การทำปุ๋ยหมักอินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตาม จากผลจากการทบทวนการดำเนินงานในพื้นที่ พบว่า ขยะอาหารในเขตเทศบาลนครสกลนครซึ่งมีสัดส่วนและปริมาณสูงแต่ยังขาดแนวทางการจัดการที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะขยะจากแหล่งกำเนิดประเภทร้านอาหารซึ่งยังไม่ได้มีการจัดการและเกิดการใช้ประโยชน์สูงสุด

แม้ว่าจะมีการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการขยะอาหารและการประยุกต์ใช้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในหลายบริบท อย่างไรก็ตาม พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นในระดับแนวคิดหรือการดำเนินกิจกรรมเฉพาะด้าน โดยขาดการพัฒนาารูปแบบการจัดการที่บูรณาการครบทั้งห่วงโซ่ในระดับเทศบาล (Integrated municipal model) รวมถึง ยังพบข้อจำกัดด้านการประเมินผลเชิงปริมาณ โดยเฉพาะการเชื่อมโยงระหว่างการผลิตการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG mitigation) และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic analysis) ภายใต้อุปสรรคการดำเนินงานจริงในระดับพื้นที่

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้คัดเลือกเทศบาลนครสกลนครซึ่งเป็นพื้นที่ต้นแบบการดำเนินงานด้านเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างเข้มแข็งในระดับท้องถิ่นและมีศักยภาพในการเป็นพื้นที่ต้นแบบการจัดการจัดการขยะอาหารโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนครอบคลุมห่วงโซ่การจัดการขยะอาหารโดยตั้งแต่การจัดการขยะต้นทาง เช่น การคัดแยกขยะ และการปรับปรุงการเก็บขนขยะ ไปจนถึงการจัดการขยะขั้นปลายทาง และการนำไปใช้ประโยชน์ พร้อมทั้ง คำนวณศักยภาพปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากกิจกรรมและการประเมินผลประโยชน์ทั้งในเชิงสิ่งแวดล้อมและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจก เพื่อเป็นต้นแบบกิจกรรมการดำเนินงานการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในระดับท้องถิ่น และเป็นข้อมูลสนับสนุนการขยายผลผลกิจกรรมการจัดการขยะอาหารในเทศบาลหรือชุมชนเมืองอื่นๆ เพื่อส่งเสริมการจัดการขยะด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนที่ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในพื้นที่เขตเทศบาลนครสกลนครด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน
2. เพื่อประเมินศักยภาพการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต้นทุนและความคุ้มค่าของการลดก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะอาหารของร้านค้าในเทศบาลนครสกลนคร

การทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) คือ แนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการออกแบบให้ผลิตภัณฑ์ วัสดุ และทรัพยากรถูกนำกลับมาใช้ใหม่ ซ่อมแซม และรีไซเคิล เพื่อลดของเสียและลดการใช้ทรัพยากรใหม่ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจควบคู่กับความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม (National Science and Technology Development Agency, 2020)

หลักแนวคิดปริมิตของการบริหารจัดการห่วงโซ่อาหาร คือ ลำดับขั้นตอนลดปริมาณขยะอาหารจากวิธีการที่ควรดำเนินการมากที่สุดไปหาวิธีที่ควรดำเนินการน้อยที่สุดดังต่อไปนี้ คือ 1) การป้องกัน (Protection) การก่อให้เกิดขยะอาหารหรืออาหารส่วนเกิน เช่น การมีระบบการสั่งสินค้าที่สอดคล้องกับ

ความต้องการเพื่อลดปริมาณสินค้าเหลือ การเก็บค่าธรรมเนียมในการจัดเก็บขยะอาหารตามปริมาณขยะ เป็นต้น 2) การจัดสรรอาหารที่ยังสามารถบริโภคได้เพื่อประโยชน์สูงสุด (Optimization) เช่น การบริจาคให้แก่ผู้ยากไร้หรือพนักงาน การจำหน่ายในร้านค้าพิเศษในราคาถูก และการจำหน่ายให้เป็นอาหารสัตว์ การส่งเสริมให้แรงจูงใจด้านภาษีหรือให้การสนับสนุนองค์กรที่เป็นคนกลางในการกระจายอาหาร 3) การนำมาผลิตเพื่อใช้ใหม่ (Recycle) คือ การนำขยะอาหารไปเข้ากระบวนการผลิตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น การผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) โดยผ่านกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศและการผลิตปุ๋ยเพื่อการเกษตร 4) การกำจัดเพื่อนำพลังงานมาใช้ใหม่ (Recovery) คือ การนำขยะอาหารเพื่อผลิตเป็นพลังงานความร้อน 5) การกำจัด (Disposal) คือ การนำขยะอาหารที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้แล้วไปกำจัดโดยการเผา หรือฝังกลบ (Pollution Control Department, 2025)

โครงการ “ร้านนี้แยกก่อนทิ้ง” คือ โครงการจัดการขยะอาหารภายใต้การดำเนินงานของเทศบาลนครสกลนคร มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการคัดแยกขยะอาหาร ณ ผู้ประกอบการร้านอาหารในพื้นที่เทศบาลระบบมีการคัดแยกต้นทาง การเก็บขนอย่างเป็นระบบ (เวลา 13.00–16.30 น., วันจันทร์–วันเสาร์) และขนส่งขยะอาหารไปจัดการปลายทางและส่งผลให้เกิดการลดปริมาณขยะปลายทางและสนับสนุนแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียนในระดับท้องถิ่น (Department of Climate Change and Environment, 2025c)

วิธีการทำปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธี “วิศวกรรมแม่โจ้ 1” เป็นระบบการหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic composting) ที่ไม่ต้องกลับกอง (Static pile system) โดยอาศัยการจัดเรียงวัสดุเป็นชั้นและการระบายอากาศแบบธรรมชาติ เพื่อรักษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิมที่ต้องมีการกลับกองอย่างสม่ำเสมอ (Sawangpanyangkura, 2015)

การศึกษาแนวทางการจัดการอาหารส่วนเกินในชุมชนเพื่อลดขยะอาหารด้วย 3 แนวคิด ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพผ่านการทบทวนวรรณกรรมและการวิเคราะห์เปรียบเทียบแนวทางปฏิบัติที่ประสบความสำเร็จในต่างประเทศมาประยุกต์ใช้กับบริบทของประเทศไทย ประกอบด้วย 1) การจัดการอาหารส่วนเกินเชิงป้องกันแบบครบวงจรที่เน้นการบริโภคอย่างมีสติในระดับครัวเรือน 2) แบบจำลองเชิงแนวคิด 7 ขั้นตอนในการจัดการอาหารส่วนเกิน ตั้งแต่การวางแผนซื้อ การซื้ออาหาร การเก็บรักษา การทำอาหาร การบริโภค การแปรรูป จนถึงการใช้เศษขยะอาหารที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชุมชนได้จริง และ 3) การเชื่อมโยงระบบพฤติกรรมกับการออกแบบเชิงนโยบายในระดับชุมชนโดยเน้นการมีส่วนร่วมของภาคครัวเรือน ภาคธุรกิจ และภาครัฐเพื่อประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบการขับเคลื่อนชุมชนต้นแบบไร้ขยะอาหาร (Napaket et al., 2025)

การศึกษาและพัฒนาต้นแบบการลดขยะอาหารภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในชุมชนวัดมหาธาตุ เขตเทศบาลเมืองนครพนม โดยการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมตามกรอบลำดับขั้นการจัดการขยะอาหารครอบคลุมครัวเรือน วัด โรงเรียนสงฆ์ แปลงผัก และผู้ประกอบการร้านค้า รวม 75 หน่วยกิจกรรม ผลการดำเนินงานตลอด 10 เดือน พบว่า สามารถนำขยะอาหารไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์ได้ 6.383 ตัน ลดขยะอาหารที่เข้าสู่หลุมฝังกลบร้อยละ 56.41 ทั้งนี้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 3,245.06 kgCO₂e (Kinaret, 2024)

การศึกษาวិเคราะห์ปริมาณและสาเหตุของการสูญเสียและขยะอาหารแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในห่วงโซ่อุปทานการจัดการขยะอาหารจากโรงแรม ร้านอาหาร และตลาด ในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีปริมาณขยะอาหาร 674 kg/วัน ขยะอาหารถูกกำจัดด้วยการฝังกลบทำให้ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 145 kgCO₂e ผลแสดงให้เห็นว่าการจัดการขยะด้วยเศรษฐกิจหมุนเวียนสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญ (Charoenthanakul, 2025)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้วิธีดำเนินการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed methods) ประกอบด้วย วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) และ วิธีการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) เพื่อวิเคราะห์ครอบคลุมการศึกษาทั้งในเชิงกลไกการดำเนินงานในพื้นที่และผลลัพธ์เชิงสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ ดังแสดงกรอบแนวคิดในภาพที่ 1 โดยมีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

1.1 การวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative method) ด้วยการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (In-depth interview) และการสนทนากลุ่มย่อย Focus group discussion ร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสำคัญ (Stakeholders) หรือกลุ่มเป้าหมาย และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เชิงบริบทของเนื้อหา (Content analysis) จากการสัมภาษณ์และการสนทนากลุ่มเพื่อทำความเข้าใจบริบทของพื้นที่

1.2 การวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative methods) ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลลัพธ์ของรูปแบบการดำเนินงานในเชิงประจักษ์ โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณของขยะอาหาร และการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการดำเนินกิจกรรม พร้อมทั้ง การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูล การคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรมที่ได้พัฒนาขึ้น การประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2. พื้นที่ศึกษาวิจัย

เทศบาลนครสกลนคร จังหวัดสกลนคร และสถานประกอบการร้านอาหารในพื้นที่เทศบาลที่มีความสนใจเข้าร่วมโครงการ

3. กลุ่มตัวอย่าง

ตัวแทนผู้บริหาร จำนวน 1 ท่าน ตัวแทนเจ้าหน้าที่กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลนครสกลนคร จำนวน 5 ท่าน และ คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยความสมัครใจ (Purposive sampling) ของผู้ประกอบการร้านอาหารในพื้นที่เข้าร่วมโครงการ จำนวน 34 แห่ง ประกอบด้วย 1.อาหารตามสั่ง/ข้าวราดแกง/ร้านยำ จำนวน 15 ร้าน 2. ร้านอาหารอีสาน จำนวน 8 ร้าน 3. ร้านเจ๊ก/ก๋วยเตี๋ยว/ข้าวเปิยกเส้น/ปากหม้อ จำนวน 9 ร้าน และร้านอาหารบุฟเฟต์/เนื้อย่าง/ชาบู จำนวน 2 ร้าน

4. แหล่งข้อมูล

แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย มี 2 ประเภท ได้แก่ 1) แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) จากการลงพื้นที่สำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้แบบบันทึกปริมาณการใช้งานของข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้คำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก และข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสัมภาษณ์และการสนทนากลุ่มย่อย และ 2) แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) จากการทบทวนแนวคิดทฤษฎี วิธีการคำนวณ และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนด้วยแนวคิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน และค่าอ้างอิงการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.1 แบบสอบถามและแนวคำถามสำหรับใช้สัมภาษณ์เชิงลึก

5.2 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลปริมาณขยะอาหาร (Data collection sheet)

5.3 แบบฟอร์มการคำนวณก๊าซเรือนกระจก (GHG emission template) ภายใต้โครงการ Low Emission Support Scheme (LESS) (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2025)

6. การเก็บข้อมูล

6.1 การเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ

การศึกษานี้ได้มีการสัมภาษณ์เชิงลึกตัวแทนผู้บริหารและตัวแทนเจ้าหน้าที่กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมเทศบาลนครสกลนครโดยอาศัยแบบสอบถามและแนวคำถามที่เกี่ยวกับ 1. รูปแบบการดำเนินงานเดิมของการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในเขตเทศบาล 2. ปัจจัยและอุปสรรคในการดำเนินงาน 3. พฤติกรรมจัดการขยะอาหารของร้านอาหาร ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการออกแบบและพัฒนารูปแบบโมเดลการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารที่เหมาะสมกับบริบทพื้นที่ของเทศบาลนครสกลนคร

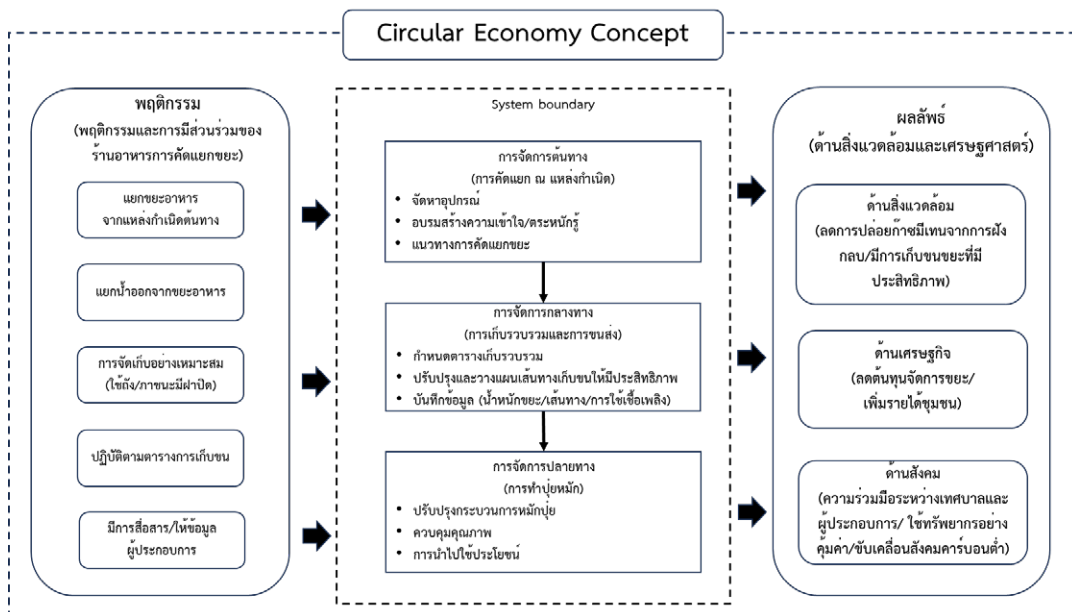
6.2 การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ

การศึกษานี้ได้มีการพัฒนาแบบฟอร์มสำหรับจัดเก็บข้อมูลกิจกรรม (Activity data) เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการจัดการขยะอาหารด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนดังนี้

6.1 ข้อมูลกิจกรรมของการเก็บขนขยะอาหาร ประกอบด้วย ข้อมูลการขนส่ง (ประเภทรถชนิดและปริมาณน้ำมันดีเซล (ลิตร)

6.2 ข้อมูลปริมาณขยะอาหารจากการดำเนินงานกิจกรรมในระหว่างเดือนมีนาคม - สิงหาคม 2568 จากร้านอาหารในพื้นที่เทศบาลนครสกลนคร

6.3 ข้อมูลกิจกรรมของการจัดการขยะอาหารด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมัก ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) ปริมาณการใช้น้ำ (L) ปริมาณการใช้เศษใบไม้ (kg)



ภาพที่ 1: กรอบแนวคิดการวิจัย (Conceptual Framework)

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content analysis) เพื่อสังเคราะห์ประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดการขยะอาหารในระดับเทศบาล พร้อมทั้งทบทวนข้อมูลและการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างความเข้าใจเชิงลึกในบริบทของพื้นที่ และวิเคราะห์ความสอดคล้องแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและลำดับขั้นของการบริหารจัดการห่วงโซ่อาหาร (Pollution Control Department, 2025) ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพถูกนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลสำคัญในการออกแบบรูปแบบการจัดการ (Model development) และสนับสนุนการวิเคราะห์ผลลัพธ์เชิงปริมาณ

7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการจัดการขยะอาหารด้วยการเปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกของกรณีฐานด้วยวิธีการฝังกลบและวิธีการนำไปจัดการด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมัก (ดังแสดงในสมการที่ 1) โดยอ้างอิงหลักการและวิธีการคำนวณภายใต้โครงการ Low Emission Support Scheme (LESS) (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2025) การคำนวณก๊าซเรือนกระจกภายใต้การศึกษานี้พิจารณา 3 ชนิดก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ และอ้างอิงค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน GWP100 จาก IPCC AR5 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013)

สมการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการดำเนินกิจกรรม

ก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการดำเนินกิจกรรม = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (วิธีการฝังกลบ) – ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม สมการที่ 1

7.2.1 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการจัดการขยะอาหารตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บขนขยะ และการจัดการขยะอาหารในขั้นปลายทางตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บขนขยะ และการจัดการขยะอาหารในขั้นปลายทาง ดังแสดงในสมการที่ 2-4

1. การเก็บขนขยะอาหาร

$$GHG\ emission = (Fuel\ consumption \times EF_{Fuel\ production}) + (Fuel\ consumption \times EF_{Fuel\ combustion})$$
 สมการที่ 2

กำหนดให้;

$GHG\ emission$ = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นรวมทั้งหมดจากการฝังกลบ ($kgCO_2e$)

$Fuel\ consumption$ = ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งขยะอาหาร (ลิตร/ตัน ขยะอาหาร)

$EF_{Fuel\ production}$ = ค่า Emission factor จากการผลิตน้ำมันดีเซล, $0.3522\ kgCO_2e/ลิตร$

$EF_{Fuel\ combustion}$ = ค่า Emission factor การเผาไหม้น้ำมันดีเซล, $2.7207\ kgCO_2e/ลิตร$

ที่มา : Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (2022)

7.2.2 การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นปลายทาง

กรณีฐาน (การฝังกลบ)

การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นของกรณีฐานเป็นการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์จากการฝังกลบ ดังแสดงในสมการที่ 3

สมการคำนวณก๊าซเรือนกระจกของกรณีฐาน (การฝังกลบ)

$$\text{GHG emission} = (\text{W-food} \times \text{EF}_{\text{swd food}}) + (\text{W-garden} \times \text{EF}_{\text{swd garden}}) \quad \text{สมการที่ 3}$$

กำหนดให้;

GHG emission = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นรวมทั้งหมดจากการฝังกลบ (kgCO_2e)

$\text{EF}_{\text{swd food}}$ = ค่า Emission factor สำหรับการจัดการขยะประเภทเศษอาหารด้วยวิธีการฝังกลบ (ประเภทของหลุมฝังกลบไม่มีระบบจัดการ ลึกมากกว่า 5 เมตร), $0.5739 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ อาหาร

$\text{EF}_{\text{swd garden}}$ = ค่า Emission factor สำหรับการจัดการขยะประเภทกิ่งไม้ ใบไม้ด้วยวิธีการฝังกลบ (ประเภทของหลุมฝังกลบไม่มีระบบจัดการ ลึกมากกว่า 5 เมตร), $0.9633 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ กิ่งไม้/ใบไม้
ที่มา : Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (2025)

กรณีการดำเนินงาน (การทำปุ๋ยหมัก)

การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ขยะอาหาร) ด้วยวิธีการหมักปุ๋ยจะพิจารณาก๊าซเรือนกระจก 2 ชนิด คือ ก๊าซมีเทน และ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ดังแสดงในสมการที่ 4

สมการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะอาหารด้วยวิธีทำปุ๋ยหมัก

$$\text{GHG emission} = (\text{W-food} \times \text{EFCH}_4\text{compost}) + (\text{W-food} \times \text{EFN}_2\text{Ocompost}) + (\text{W-garden} \times \text{EFCH}_4\text{garden}) + (\text{W-garden} \times \text{EFN}_2\text{Ogarden}) + (\text{Electricity use} \times \text{EF electricity}) + (\text{Water use} \times \text{EF-water}) \quad \text{สมการที่ 4}$$

กำหนดให้

GHG emission = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการหมักขยะอินทรีย์ (kgCO_2e)

W-food = ปริมาณขยะอาหาร (น้ำหนักเปียก) (kg ขยะอาหาร)

$\text{EFCH}_4\text{compost}$ = ค่า Emission factor ของการหมักขยะอินทรีย์, $0.0560 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ ขยะอาหาร (น้ำหนักเปียก)

$\text{EFN}_2\text{Ocompost}$ = ค่า Emission factor ของการหมักปุ๋ย, $0.0530 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ ขยะอาหาร (น้ำหนักเปียก)

W-garden = ปริมาณเศษใบไม้ (kg)

$\text{EFCH}_4\text{garden}$ = ค่า Emission factor ของการหมักจากการใช้เศษใบไม้, $0.9633 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$

Electricity use = ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการจัดการขยะอาหารด้วยการหมักขยะอินทรีย์ (kWh)

EF electricity = ค่า Emission factor จากระบบสายส่ง สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า, $0.4682 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh}$

ที่มา : Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (2025)

7.3.3 การคำนวณต้นทุนของการจัดการขยะอาหาร

การคำนวณต้นทุนการจัดการขยะอาหาร (Total Cost) ในการศึกษาี้ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ การคำนวณต้นทุนค่าอุปกรณ์ และ ต้นทุนการดำเนินงาน (การเก็บขนขยะ และการจัดการปลายทาง) โดย

การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารด้วยหลักแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลนครสกลนคร

มีการประเมินต้นทุนต่อหน่วย ของน้ำหนักขยะอาหาร (Unit Cost) (บาท/ตัน ขยะอาหาร) ขณะที่ ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนการลดก๊าซเรือนกระจก (GHG cost effectiveness) และประสิทธิภาพเชิงต้นทุนสุทธิ (Net GHG Cost-effectiveness) ประเมินจากต้นทุนต่อการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (บาทต่อหนึ่งตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า; บาท/tonCO₂e) โดยใช้หลักการของการหลีกเลี่ยงการปล่อยปริมาณก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบ (Avoided GHG) ดังแสดงในสมการที่ 6–8 และในการศึกษานี้ได้กำหนดขอบเขตการวิเคราะห์ที่ไม่นับรวมต้นทุนการบำรุงรักษาเนื่องจากไม่มีนัยยะสำคัญ ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะต้นทุนค่าอุปกรณ์และต้นทุนการดำเนินงานเท่านั้น

สมการคำนวณต้นทุน

1) การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยน้ำหนักขยะอาหาร

$$\text{Total Cost} = \text{Cost diesel} + \text{Cost elec} + \text{Cost water}$$

สมการที่ 6

$$\text{Unit Cost} = \frac{\text{Cost equip} + \text{Cost opera}}{\text{Weight of food waste}}$$

สมการที่ 7

2) การคำนวณประสิทธิภาพเชิงต้นทุนการลดก๊าซเรือนกระจก (GHG cost-effectiveness)

$$\text{GHG cost-effectiveness} = \frac{\text{Cost project}}{\text{Avoided GHG}}$$

สมการที่ 8

$$\text{Net GHG cost-effectiveness} = \frac{\text{Cost project} - \text{Cost baseline}}{\text{GHG avoided}}$$

สมการที่ 9

กำหนดให้:

Total cost = ผลรวมต้นทุนของการจัดการขยะอาหาร (บาท)

Weight of food waste = ปริมาณขยะอาหารที่เก็บขน (ตัน ขยะอาหาร)

Cost equip = ต้นทุนค่าอุปกรณ์ (บาท)

Cost opera = ต้นทุนการดำเนินงาน (น้ำมันดีเซลจากการขนขยะ น้ำ ไฟฟ้า) (บาท)

Unit Cost = ประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (บาท/ตัน ขยะอาหาร)

GHG cost-effectiveness = ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนการลดก๊าซเรือนกระจก (บาท/tCO₂e)

Net GHG cost-effectiveness = ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนสุทธิการลดก๊าซเรือนกระจก (บาท/tCO₂e)

Avoided GHG = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง (tCO₂e)

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

1. การพัฒนารูปแบบกิจกรรมการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในพื้นที่เทศบาลนครสกลนคร ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องร่วมกับข้อมูลทุติยภูมิ พบว่า ในปี 2567 เทศบาลสกลนครมีปริมาณขยะมูลฝอยรวม 22,789 ตัน ซึ่งมีองค์ประกอบขยะอาหารปริมาณสูงสุด ปริมาณ 7,682.17 ตัน หรือ คิดเป็นสัดส่วน ร้อยละ 33.71 (Pollution Control Department, 2022) อย่างไรก็ตาม ระบบการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในปัจจุบันยังมีข้อจำกัด โดยมีปริมาณขยะปริมาณมากยังมีการเก็บขนขยะจากร้านอาหารในเขตเทศบาลไปทิ้งในหลุมฝังกลบ รวมถึง ยังไม่มีรูปแบบการจัดการในชั้นปลายทางที่สามารถจัดการขยะอาหารได้ทั้งหมดและ

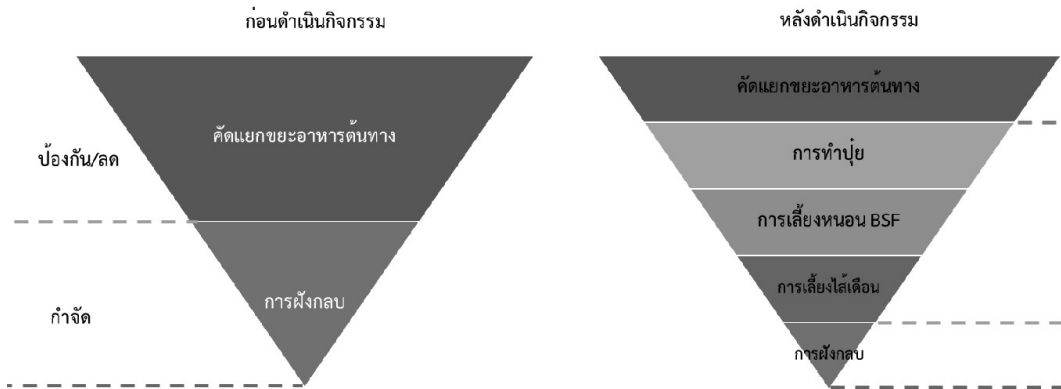
คณะผู้วิจัยได้ร่วมพัฒนารูปแบบแบบกิจกรรมการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในพื้นที่เทศบาลนครสกลนครโดยอ้างอิงตามหลักแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและแนวทางการดำเนินงานของเทศบาลที่ได้ดำเนินการอยู่แล้วตามอำนาจและหน้าที่ในการจัดการขยะมูลฝอย พร้อมทั้ง ต่อยอดกิจกรรมการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในรูปแบบเดิมของกิจกรรม “ร้านนี้แยกก่อนทิ้ง” ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสู่การพัฒนาโมเดล “Sakon Nakhon Food Waste Circular Model (SN-FWCM)” โดยใช้มุมมองตลอดห่วงโซ่การจัดการขยะอาหาร ตั้งแต่ขั้นต้นทาง กลางทาง และปลายทาง เพื่อให้เทศบาลนครสกลนครสามารถเก็บขนเศษขยะอาหารไปจัดการและเกิดประโยชน์สูงสุดตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ดังแสดงลำดับขั้นการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในภาพที่ 2

โมเดลที่พัฒนาขึ้นมีการปรับเปลี่ยนลำดับแนวทางการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในพื้นที่เทศบาลนครสกลนครโดยรูปแบบเดิมซึ่งเป็นการคัดแยกและนำไปจัดการฝังกลบสู่ระบบที่เน้นการคัดแยกขยะและนำไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะวิธีการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งช่วยลดปริมาณขยะอาหารที่นำไปกำจัดที่หลุมฝังกลบและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีการใช้กลไกการมีส่วนร่วมของผู้ประกอบการร้านอาหาร โดยการประชาสัมพันธ์เชิญชวนผู้ประกอบการเข้าร่วมกิจกรรมแบบสมัครใจ ผ่านช่องทางสื่อสารของเทศบาล เช่น เว็บไซต์ และ Facebook เข้าร่วมกิจกรรม รูปแบบการจัดการขยะอาหารมีแนวทางการดำเนินงานตลอดห่วงโซ่การจัดการขยะ ดังนี้

1.1 การจัดการต้นทาง ได้แก่ การส่งเสริมการคัดแยกขยะต้นทางที่ร้านค้า โดยทำให้ความรู้การปรับปรุงภาชนะรองรับการคัดแยกขยะ และการลดปริมาณน้ำในขยะอาหารก่อนทิ้ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเก็บขนและการนำไปจัดการขั้นปลายทาง

1.2 การจัดการกลางทาง ได้แก่ การเก็บรวบรวมขยะอาหารแบบแยกประเภท โดยจัดให้มีรถเก็บขนเฉพาะ กำหนดเส้นทางและช่วงเวลาเก็บขนขยะที่ชัดเจน (ภาพที่ 3) พร้อมทั้งพัฒนาเครื่องมือบันทึกข้อมูลปริมาณขยะอาหารรายวันเพื่อติดตามและประเมินศักยภาพของระบบและการปรับปรุงเส้นทางการเก็บขนขยะ

1.3 การจัดการปลายทาง ได้แก่ การส่งเสริมการจัดการขยะอาหารด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมัก (แสดงในภาพที่ 4) ปรับปรุงกระบวนการจากระบบเดิมที่ใช้รูปแบบการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic compost) ในบ่อซีเมนต์ซึ่งมีกลิ่นเหม็นและมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถรองรับปริมาณขยะจากการเก็บขนในแต่ละวันได้ทั้งหมด โดยอ้างอิงวิธี “วิศวกรรมแม่โจ้ 1” ซึ่งเป็นรูปแบบการหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic static pile) และปรับปรุงให้เหมาะสมกับบริบทของเทศบาลนครสกลนคร ใช้โครงสร้างวงตาข่ายเหล็กเคลือบที่มีเส้นรอบวง 3.2 เมตร ความสูง 1 เมตร และปริมาตร 8.04 ลูกบาศก์เมตร สามารถรองรับขยะอาหารได้ประมาณ 1,537 kg/ต่อรอบการหมัก รวมทั้ง มีการปรับสัดส่วนวัสดุโดยใช้เศษใบไม้เป็นวัสดุปิดคลุมเพื่อช่วยลดกลิ่นและเพิ่มการระบายอากาศ โดยภายใต้รูปแบบการดำเนินงานดังกล่าวได้มีการรวบรวมข้อมูลกิจกรรมเพื่อนำไปใช้ประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์



ภาพที่ 2: ลำดับขั้นตอนการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในพื้นที่เทศบาลนครสกลนคร
ภายใต้โมเดล “Sakon Nakhon Food Waste Circular Model (SN-FWCM)”²



ภาพที่ 3: การเก็บขนขยะอาหาร ภายใต้กิจกรรม “ร้านนี้แยกก่อนทิ้ง”
ภายใต้โมเดล “Sakon Nakhon Food Waste Circular Model (SN-FWCM)”



ภาพที่ 4: การจัดการขยะอาหารโครงการ “ร้านนี้แยกก่อนทิ้ง” ในชั้นปลายทางด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมัก ภายใต้โมเดล “Sakon Nakhon Food Waste Circular Model (SN-FWCM)”

2. ผลการประเมินศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก

2.1 ข้อมูลกิจกรรม (Activity data)

การจัดเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เชิงปริมาณของการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารที่เข้าร่วมโครงการ ครอบคลุมตลอดห่วงโซ่การจัดการ ได้แก่ การคัดแยก การเก็บขน และการจัดการปลายทางด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมัก พบว่า กิจกรรม “ร้านนี้แยกก่อนทิ้ง” สามารถรวบรวมขยะอาหารได้รวม 21,922 กิโลกรัม หรือเฉลี่ย 167 กิโลกรัมต่อวัน ข้อมูลการเก็บขนขยะ ประเภทรถขนส่ง ระยะทาง ชนิดและปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้ ผลการศึกษาได้นำเสนอข้อมูลกิจกรรมของการจัดการขยะอาหารด้วยวิธีการหมักปุ๋ยต่อการจัดการขยะอาหาร ปริมาณ 1,000 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1: ข้อมูลกิจกรรมการขนส่งขยะอาหาร

กรณี	เส้นทาง	ชนิดรถขนส่ง	ระยะทาง (km)		เชื้อเพลิง	ปริมาณเชื้อเพลิง (L/วัน)
			ขาไป	ขากลับ		
กรณีฐาน	ร้านอาหาร - สถานที่ฝังกลบ	รถยนต์ 4 ล้อ	41	26	ดีเซล	14.38
กรณีดำเนินงาน	ร้านอาหาร – ศูนย์จัดการสิ่งแวดล้อม	รถยนต์ 4 ล้อ	26		ดีเซล	5.58

หมายเหตุ – เส้นทางเก็บขนขยะของกรณีดำเนินงานจากร้านอาหาร – ศูนย์จัดการสิ่งแวดล้อมเทศบาลนครสกลนคร เป็นเส้นทางแบบวงกลม

ตารางที่ 2: ข้อมูลกิจกรรมของการเก็บขยะอาหารและการจัดการขยะอาหารด้วยวิธีการหมักปุ๋ยต่อการจัดการขยะอาหาร ปริมาณ 1,000 กิโลกรัม)

ข้อมูล	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มาข้อมูล
การคัดแยกขยะ			
สารขาเข้า			
-ขยะอาหารจากร้านอาหาร	kg	1,000.00	บันทึกปริมาณขยะอาหาร
สารขาออก			
-ขยะอาหารที่รวบรวมได้	kg	1,000.00	บันทึกปริมาณขยะอาหาร
การเก็บขนขยะ			
สารขาเข้า			
-ขยะอาหารที่รวบรวมได้	kg	1,000.00	บันทึกปริมาณขยะอาหาร
-น้ำมันดีเซล	L	33.41	บันทึกปริมาณการใช้งาน
สารขาออก			
-ขยะอาหาร	kg	1,000.00	บันทึกปริมาณขยะอาหาร
-มลสารทางอากาศ			
CO ₂	kg	28.19	การคำนวณมลสารจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง
CH ₄	kg	0.0015	การคำนวณมลสารจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง
N ₂ O	kg	0.0015	การคำนวณมลสารจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง
การจัดการขยะอาหารด้วยการหมักปุ๋ย			
สารขาเข้า			
-ขยะอาหาร	kg	1000.00	บันทึกปริมาณขยะอาหาร
-พลังงานไฟฟ้า	kwh	5.74	บันทึกปริมาณการใช้งาน
-น้ำ	ลิตร	44.70	บันทึกปริมาณการใช้งาน
-มูลวัว	kg	23.90	บันทึกปริมาณการใช้งาน
-ใบไม้	kg	30.48	บันทึกปริมาณการใช้งาน
สารขาออก			
-สารปรับปรุงดิน	kg	179.27	บันทึกปริมาณผลผลิตสารปรับปรุงดิน
มลสารทางอากาศ			
-CH ₄	kg	2.00	การคำนวณมลสารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์
-N ₂ O	kg	0.20	การคำนวณมลสารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์

2.2 ผลการคำนวณก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะอาหารภายใต้โมเดล SN-FWCM ด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมักโดยห่วงโซ่การจัดการขยะ (การคัดแยกขยะ การเก็บขนขยะ และการจัดการขยะ) แสดงดังในตารางที่ 3 ผลการศึกษา พบว่า การจัดการขยะกรณีฐานด้วยวิธีการฝังกลบมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 13,223.00 kgCO₂e และการจัดการขยะอาหารในขั้นปลายทางด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมักมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม เท่ากับ 2,521.00 kgCO₂e และในขั้นตอนที่ขึ้นการเก็บขนขยะ พบว่า มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงเล็กน้อยจาก 17.15 เป็น 14.41 kgCO₂e หรือเท่ากับ 2.74 kgCO₂e ซึ่งเมื่อพิจารณาตลอดห่วงโซ่การจัดการขยะอาหาร พบว่า กรณีการดำเนินกิจกรรมสามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ทั้งหมด 10,705.74 kgCO₂e หรือเท่ากับร้อยละ 81 จากกรณีฐาน และไม่พบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการคัดแยกภายใต้ขอบเขตการศึกษาที่กำหนดเนื่องจากไม่มีการใช้ทรัพยากรหรือปัจจัยนำเข้าใดๆ ในการดำเนินกิจกรรม

ตารางที่ 3: การคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการจัดการขยะอาหาร

ขั้นตอนจัดการ ขยะอาหาร	ปริมาณการปล่อยลดก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e)		GHG avoided (ลดลง) (kgCO ₂ e)
	กรณีฐาน (Baseline)	กรณีการดำเนินงานกิจกรรม (Project)	
ปริมาณขยะที่ลดลงจากการนำไปจัดการด้วยวิธีฝังกลบ (kg)	21,922.00	0.00	21,922.00
การคัดแยก*	0.00	0.00	0.00
การเก็บขนขยะ	17.15	14.41	2.74
การกำจัดขยะ	13,223.00	2,521.00	10,703.00
รวมทั้งหมด	13,240.15	2,535.41	10,705.74

*หมายเหตุ - ขั้นตอนการคัดแยกไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3. ผลการประเมินต้นทุนและความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์และสังคม

ผลการศึกษาประเมินต้นทุนการจัดการขยะอาหารภายใต้โมเดล SN-FWCM ของเทศบาลนครสกลนครด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมักในห่วงโซ่การจัดการขยะ (การขนส่งและการจัดการขยะ) ปริมาณรวม 21,922 กิโลกรัม แสดงในตารางที่ 4 พบว่า กรณีการดำเนินกิจกรรม มีต้นทุนการจัดการขยะอาหารรวม 25,142.74 บาท ต้นทุนจากค่าอุปกรณ์ 284 บาท และ ต้นทุนการจัดการ 1,350.42 บาท/ตัน ขยะอาหาร ซึ่งพบว่ามีต้นทุนจากการเก็บขนเป็นหลัก เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงต้นทุนต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG cost-effectiveness) ในตลอดห่วงโซ่การจัดการขยะ พบว่า การจัดการขยะอาหารดังกล่าวมีประสิทธิภาพเชิงต้นทุนการลดก๊าซเรือนกระจก (Net GHG cost-effectiveness) 2,348.53 บาท/tCO₂e และเมื่อพิจารณาต้นทุนสุทธิของโครงการ พบว่า มีค่าเป็นลบ (-4,229.42 บาท/tCO₂e) เมื่อวิเคราะห์ผลประโยชน์ร่วม (Co-benefits) ในด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม พบว่า สารปรับปรุงดินได้จากการจัดการขยะอาหารด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมักเมื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณธาตุอาหาร N : P : K เท่ากับ 0.92% : 1.53% : 0.19% ตามลำดับ

ตารางที่ 4: ผลการประเมินต้นทุนของการจัดการขยะอาหาร

รายการ	หน่วย	กรณีฐาน (Baseline)	กรณีการดำเนินกิจกรรม (Project)
1.การเก็บขนขยะ			
-น้ำมันดีเซล	บาท	60,579.12	23,508.32
2.การจัดการขยะ			
-ต้นทุนค่าอุปกรณ์ (วงต่าย) ⁽¹⁾	บาท/ปี	9,842.73 ⁽²⁾	284.00
-ต้นทุนการจัดการขยะอาหาร	บาท		1,350.42
ต้นทุนรวมของการจัดการ	บาท	9,842.73	
ต้นทุนรวมทั้งหมด (อุปกรณ์+การจัดการ)	บาท	70,421.85	25,142.74
ต้นทุนที่ลดได้ทั้งหมด	บาท	-	45,279.12
Unit cost	บาท/ตัน	3,212.32	-
Avoided GHG	tCO ₂ e	-	10.71
GHG Cost-effectiveness	บาท/tCO ₂ e	-	2,348.53
Net GHG Cost-effectiveness	บาท/tCO ₂ e	-	-4,229.42

หมายเหตุ – (1) สมมติฐานอายุการใช้งานวงต่าย 2 ปี

(2) ต้นรวมรวมของการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนทั่วไปของเทศบาลนครสกลนคร

อภิปรายผล

1. การพัฒนารูปแบบกิจกรรมการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในพื้นที่เทศบาลนครสกลนคร การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารในเทศบาลนครสกลนครภายใต้ชื่อ “Sakon Nakhon Food Waste Circular Model (SN-FWCM)” อาศัยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด (National Science and Technology Development Agency, 2020) และการจัดการขยะแบบบูรณาการตลอดห่วงโซ่ การศึกษานี้สอดคล้องหลักการดำเนินงานตามกรอบนโยบายระดับประเทศและท้องถิ่น โดยเฉพาะแผนปฏิบัติการจัดการขยะอาหาร (พ.ศ. 2570–2566) และแผนที่นำทางการจัดการขยะอาหาร (พ.ศ. 2573–2566) ซึ่งได้กำหนดลำดับความสำคัญของการจัดการตั้งแต่การป้องกัน และการส่งเสริมการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การแปรรูปเป็นปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดิน การนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ และการนำไปฝังกลบเป็นทางเลือกสุดท้าย ตลอดจน สอดคล้องเป้าหมายนโยบายด้านการจัดการขยะอาหารของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมกับการป้องกันและการลดการเกิดขยะอาหาร ณ แหล่งกำเนิดต้นทาง (Pollution Control Department, 2025)

ทั้งนี้ รูปแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถถ่ายทอดหลักการดังกล่าวสู่การปฏิบัติจริงในระดับพื้นที่ โดยผ่านการพัฒนาโมเดลความร่วมมือระหว่างหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ความร่วมมือของประชาชนและผู้ประกอบการร้านอาหารในเขตเทศบาล รวมถึง การสนับสนุนด้านวิชาการจากหน่วยงานภาครัฐส่วนกลางที่ช่วย

ในการพัฒนากิจกรรมการจัดการขยะอาหารได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยมีขั้นตอนหลักในการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหาร ประกอบด้วย 1) การสำรวจประเด็นปัญหาและคัดเลือกแหล่งกำเนิดหลัก 2) การออกแบบมาตรการคัดแยกต้นทางและเก็บรวบรวมเฉพาะพื้นที่ 3) การพัฒนาศักยภาพบุคลากรและผู้ประกอบการร้านอาหาร และ 4) การติดตามประเมินผลด้วยตัวชี้วัดต่างๆ เช่น ปริมาณขยะอาหารที่ลดลง ปริมาณการลดก๊าซเรือนกระจกและต้นทุนต่อหน่วยการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพื่อสะท้อนความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบการจัดการขยะอาหารด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

ในมิติของบริบทพื้นที่และพฤติกรรมผู้ประกอบการ แสดงให้เห็นว่า ขยะอาหารเป็นองค์ประกอบหลักของขยะมูลฝอยโดยเฉพาะจากร้านอาหาร ตลาด และสถานประกอบการเชิงพาณิชย์ ซึ่งยังไม่มีมาตรการจนถึงการคัดแยกขยะอาหารก่อนนำไปจัดการ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Napaket et al. (2025) ที่ระบุว่า การเกิดขยะอาหารมีความเชื่อมโยงกับพฤติกรรมการผลิตและบริโภคที่เกินความจำเป็น รวมถึงการขาดความรู้ด้านการคัดแยก และผลการศึกษาที่มีความสอดคล้องกับการจัดการขยะอาหารในระดับท้องถิ่นขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในหลายพื้นที่ซึ่งได้ให้ความสำคัญการใช้หลักแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ป้องกันและลดปริมาณขยะอาหารจากแหล่งกำเนิด เช่น การคัดแยกต้นทางภายใต้หลักการ 3Rs การใช้ย่อยลง ใช้ซ้ำ และนำกลับมาใช้ใหม่ และการนำขยะไปใช้ประโยชน์ (Saksriwan & Siriwong, 2023; Jawjit et al., 2025; Kinaret, 2024; Promsaka Na Sakonnakhon & Leknoi, 2021)

รูปแบบโมเดลที่พัฒนาแสดงให้เห็นการจัดการแบบบูรณาการตลอดห่วงโซ่การจัดการขยะ โดยขั้นตอนทางได้มุ่งเน้นการสร้างความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ประกอบการร้านอาหาร ผ่านการให้ความรู้ การปรับปรุงอุปกรณ์รองรับการคัดแยกขยะและลดปริมาณน้ำในขยะอาหารก่อนที่จะเพิ่มคุณภาพของขยะอาหารที่เข้าสู่ระบบจัดการโดยใช้กลไกเชิงระบบการมีส่วนร่วมแบบสมัครใจของร้านอาหาร ในขณะที่การพัฒนาระบบการจัดการกลางทางภายใต้โมเดล SN-FWCM มีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงการคัดแยกต้นทางกับการใช้ประโยชน์ปลายทางให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สอดคล้องตามข้อเสนอแนะของ Kaza et al. (2018) ที่ระบุว่าการจัดให้มีระบบเก็บรวบรวมขยะแบบแยกประเภทถือเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะและการใช้ประโยชน์ทรัพยากร ซึ่งภายในโมเดล SN-FWCM มีการจัดให้มีระบบเก็บรวบรวมขยะอาหารแบบแยกประเภทควบคู่กับการกำหนดเส้นทางและช่วงเวลาเก็บขนที่ชัดเจน ซึ่งช่วยลดการปะปนของขยะและเพิ่มคุณภาพของวัตถุดิบอินทรีย์ที่จะเข้าสู่กระบวนการจัดการปลายทางด้วยวิธีการหมัก และการออกแบบเส้นทางเก็บขนแบบวงรอบ (Circular route) และการใช้รถเก็บขนเฉพาะสำหรับขยะอาหารนั้นได้มีส่วนช่วยลดระยะทางการเดินทางและการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยการเก็บขน ตลอดจน ส่งผลให้ต้นทุนด้านพลังงานลดลง และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการขนส่ง ถึงแม้ว่าจะมีสัดส่วนการปล่อยจากขั้นการเก็บขนเล็กน้อยในตลอดห่วงโซ่การจัดการขยะ

เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบโมเดลการจัดการปลายทางของขยะอาหารด้วยวิธีการหมักปุ๋ยในการศึกษานี้พบว่า วิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบดั้งเดิมต้องอาศัยการกลับกองเพื่อเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ วิธีการ 'วิศวกรรมแม่โจ้ 1' จะเป็นรูปแบบการหมักแบบใช้ออกซิเจนที่ไม่ต้องกลับกองโดยอาศัยการจัดโครงสร้างกองและการระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Sawangpanyangkura, 2015) จึงส่งผลให้สามารถลดต้นทุนแรงงานเพิ่มความสม่ำเสมอของกระบวนการย่อยสลายและลดความเสี่ยงของการเกิดสภาวะไร้อากาศที่จะก่อให้เกิดกลิ่นและการปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งนับว่าเป็นรูปแบบการจัดการที่มีศักยภาพเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนอกจากนี้ภายใต้โมเดล SN-FWCM เทศบาลนครสกลนครได้พัฒนาต่อยอดการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะอาหารด้วยการเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย หรือ หนอนโปรตีน (BSF) เพื่อเป็นทาง

เลือกแนวทางการจัดการขยะอาหารเพื่อรองรับปริมาณขยะอาหารที่มีปริมาณมากและการจัดการในช่วงฤดูฝนที่อาจทำให้การจัดการด้วยวิธีการทำปุ๋ยหมักไม่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องตามหลักการของการเล็งเห็นการนำไปประโยชน์ตามหลักแนวเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อนำไปใช้ทดแทนอาหารสัตว์ซึ่งโดยทั่วไปจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันอยู่ในช่วง 59.07 - 15.23 กรัมต่อ 100 กรัม และ 39.08 - 4.75 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Department of Climate Change and Environment, 2025b) ซึ่งมีประโยชน์ต่อการจัดการ

2. การประเมินศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก

การจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารตลอดห่วงโซ่การจัดการขยะภายใต้โมเดล SN-FWCM แสดงให้เห็นถึงศักยภาพการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะอาหารภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการฝังกลบจากการหลีกเลี่ยงการเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนในหลุมฝังกลบ โดยเฉพาะจากขยะอินทรีย์ประเภทขยะอาหารที่เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของก๊าซชนิดดังกล่าว ซึ่งมีศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP-AR5) สูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 28 เท่า (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013) ผลการประเมินศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงมีความสอดคล้องกับงานการศึกษาของ Kinaret (2024) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การจัดการขยะอาหารด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในระดับชุมชนสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 3,245.06 kgCO₂e และสอดคล้องกับ Charoenthanakul (2025) ซึ่งรายงาน bahwa ขยะอาหารจากภาคบริการอาหารส่วนใหญ่ยังถูกกำจัดด้วยวิธีฝังกลบและส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง ขณะที่การนำแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนมาประยุกต์ใช้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการใช้ประโยชน์ทรัพยากรได้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ ผลการศึกษาภายใต้โมเดล SN-FWCM ยังสนับสนุนการดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกระยะยาว (Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategy : LT-LEDS) ของประเทศไทยในภาคของเสีย โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการคัดแยกต้นทางและลดปริมาณขยะอาหารและขยะอินทรีย์ที่นำไปฝังกลบโดยตรง ซึ่งมุ่งเป้าลดสัดส่วนขยะอาหารในขยะชุมชนให้เหลือไม่เกิน ร้อยละ 28 ภายในปี พ.ศ. 2570 ตลอดจน ส่งเสริมการจัดการขยะอินทรีย์แบบไม่ฝังกลบ เพื่อลดการปล่อยก๊าซมีเทนและการประยุกต์ใช้เศรษฐกิจหมุนเวียนตลอดห่วงโซ่คุณค่า ซึ่งนับเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนการลดก๊าซเรือนกระจกในระยะยาวของประเทศ (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning , 2022; Department of Climate Change and Environment, 2025a) อีกทั้งในระดับพื้นที่พบว่า มีความสอดคล้องกับแผนการดำเนินงานตามมาตรการสำคัญของการจัดการขยะอาหารที่จังหวัดสกลนครกำลังผลักดันการดำเนินงานภายใต้แผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกระดับจังหวัดและตั้งเป้าหมายการขับเคลื่อนสู่การเป็น (เมืองลดคาร์บอน) ผ่านแนวทางความร่วมมือระหว่างภาครัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและภาคประชาชนในระดับพื้นที่

3. ต้นทุนและความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์และสังคม

การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดห่วงโซ่การจัดการขยะอาหาร พบว่า ต้นทุนการจัดการขยะอาหารมีสัดส่วนสูงสุดในขั้นตอนการจัดการปลายทาง เมื่อเปรียบเทียบกับผลการประมาณการต้นทุนการจัดการขยะมูลฝอยด้วยวิธีการฝังกลบของเทศบาลนครสกลนคร (448 บาท/ตัน) และจากงานวิจัยของ Aisuwan et al. (2025) เท่ากับ 4,701-33 บาท/ตันขยะ พบว่า ต้นทุนของกรณีการดำเนินงานกิจกรรม (61.60 บาท/ตันขยะอาหาร) มีต้นทุนต่ำกว่าการฝังกลบอย่างมีนัยสำคัญถึงประมาณ 7 เท่า

นอกจากนี้ ในมิติของผลประโยชน์ร่วม (Co-benefits) ในเชิงเศรษฐกิจ พบว่า การจัดการขยะอาหารโดยการแปรรูปเป็นปุ๋ยหมักจะมีศักยภาพช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 12,188 บาท/ปี โดยข้อมูลสมมติฐานราคาปุ๋ยเคมีขายปลีกในท้องถิ่น เท่ากับ 22 บาท/กิโลกรัม (Division of Plant Protection and Soil and Fertilizer Management Promotion, 2025) และสารปรับปรุงดินที่ได้มีศักยภาพในการขยายผลการดำเนินให้แก่ชุมชนเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มรายได้ให้แก่ชุมชน เมื่อพิจารณาคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการดำเนินงานภายใต้โมเดล SN-FWCM พบว่า มีองค์ประกอบธาตุอาหารหลัก (N:P:K) เท่ากับ 1.53% : 0.19% : 0.92% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักที่กำหนดค่าขั้นต่ำที่มีกำหนดไว้ที่ 1.0% : 0.5% : 0.5% จะเห็นได้ว่า ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหมัก ซึ่งในกรณีภายใต้โมเดล SN-FWCM นี้ประกอบด้วยขยะอาหารและเศษพืชเป็นหลัก และโดยทั่วไปจึงมีแนวโน้มให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระดับสูง ดังนั้น อาจมีการเติมวัสดุที่มีโพแทสเซียมสูง (เช่น เถ้าแกลบ) จะสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพให้สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐาน ผลการศึกษาภายใต้การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมจัดการขยะอาหารภายใต้หลักเศรษฐกิจหมุนเวียนนับเป็นมาตรการที่มีต้นทุนต่อหน่วยการลดก๊าซเรือนกระจกต่ำและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระดับท้องถิ่นซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพการนำไปใช้ประโยชน์ทดแทนการใช้ปุ๋ยในระดับชุมชนในอนาคต

สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาภายใต้โมเดล SN-FWCM แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการพัฒนาแนวทางการจัดการขยะอาหารภายใต้กรอบแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนจากร้านอาหารในระดับท้องถิ่นของพื้นที่เทศบาลนครสกลนคร โดยตลอดห่วงโซ่การจัดการขยะตั้งแต่ ขั้นตอนทาง กลางทาง ปลายทาง และการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะอาหารเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ผลการศึกษา แสดงให้เห็นถึงจุดเริ่มต้นของการจัดการขยะอาหารในระดับท้องถิ่นซึ่งสามารถสนับสนุนการลดปริมาณขยะอาหารที่นำไปฝังกลบ ควบคู่กับการลดต้นทุนการจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพและสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่เป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของประเทศในอนาคต นอกจากนี้ ผลการประเมินทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ได้สะท้อนถึงความเหมาะสมบริบทเชิงสังคมในกรณีการดำเนินงานต้นแบบของเทศบาลนครสกลนครซึ่งมีต้นทุนการดำเนินงานในระดับต่ำและสามารถประยุกต์ดำเนินงานได้จริงในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและสนับสนุนการดำเนินงานจัดการขยะอาหารเพื่อให้เกิดความยั่งยืนภายใต้กรอบเศรษฐกิจหมุนเวียนต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะการต่อแนวทางเชิงปฏิบัติสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นในการจัดการขยะอาหารด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน มีดังนี้

1. กลไกการดำเนินงานเชิงสถาบันในพื้นที่

ควรมุ่งพัฒนากลไกเชิงสถาบันเพื่อสนับสนุนการคัดแยกขยะอาหาร ณ แหล่งกำเนิด โดยเฉพาะในกลุ่มร้านอาหารและตลาด ผ่านมาตรการจูงใจและข้อกำหนดเชิงพื้นที่ (เช่น ข้อบัญญัติท้องถิ่น การลดค่าธรรมเนียม) ควบคู่การออกแบบระบบโครงสร้างการรวบรวมขยะและขนส่งแบบแยกประเภท มีรอบเวลาและเส้นทางชัดเจน รวมถึง การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการแปรรูปขยะอินทรีย์ (ขยะอาหาร) ในระดับเทศบาลหรือชุมชน เพื่อลดขยะนำไปฝังกลบ

การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะอาหารจากร้านอาหารด้วยหลักแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลนครสกลนคร

2. การขยายผลใช้ประโยชน์

จากผลการวิจัยรูปแบบภายใต้โมเดล SN-FWCM นั้นพบว่า มีศักยภาพในการขยายผลและประยุกต์ใช้จัดการขยะอาหารในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่น เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีอย่างง่ายและเหมาะสมใช้งบประมาณไม่สูง และสามารถปรับให้สอดคล้องกับบริบทของแต่ละพื้นที่ได้

3. ความร่วมมือจากหลายภาคส่วน

จากผลการวิจัย พบว่า สำคัญของความสำเร็จของการพัฒนาพื้นที่ต้นแบบ ได้แก่ การสนับสนุนเชิงนโยบายจากผู้บริหารท้องถิ่น การมีส่วนร่วมของผู้ประกอบการและหน่วยงานของรัฐในท้องถิ่น และการมีระบบติดตามประเมินผลการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ และควรส่งเสริมความร่วมมือกับภาคเอกชน โรงแรม ร้านอาหาร ตลาดค้าส่ง และธุรกิจค้าปลีกอาหาร เพื่อพัฒนาระบบลดการสูญเสียอาหาร (Food Loss) และขยะอาหาร (Food Waste) ตลอดจนห่วงโซ่อุปทาน รวมถึงการบริจาคอาหารส่วนเกินที่ยังบริโภคได้ การเชื่อมโยงแพลตฟอร์มแบ่งปันอาหาร และการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลช่วยบริหารจัดการปริมาณอาหารคงเหลือเพื่อช่วยให้การจัดการขยะอาหารด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนดำเนินงานระดับท้องถิ่นได้สำเร็จและได้อย่างเป็นรูปธรรม

4. ต้นทุนและความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์และสังคม

จากผลการวิจัย แสดงให้เห็นว่าควรมีการขยายผลการจัดการขยะอาหารสู่ระดับชุมชนโดยการเพิ่มมูลค่าขยะตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนให้กลายเป็นรายได้หมุนเวียนของชุมชน มีการใช้กลไกคาร์บอนเครดิตเพื่อสร้างแรงจูงใจและสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน หรือการสนับสนุนงบประมาณ/อุปกรณ์สำหรับชุมชนต้นแบบ รวมถึงการพัฒนาตลาดรองรับผลิตภัณฑ์จากขยะอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยหมัก สารปรับปรุงดิน หรือพลังงานชีวภาพ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและเศรษฐกิจหมุนเวียนในระดับท้องถิ่น

5. การพัฒนาศักยภาพบุคลากร

ควรส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพบุคลากรขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ผู้นำชุมชน และผู้ประกอบการร้านอาหารให้มีความรู้และทักษะด้านการจัดการขยะอาหารตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ตั้งแต่การคัดแยก การเก็บรวบรวม การแปรรูป และการติดตามประเมินผลการลดก๊าซเรือนกระจก รวมถึงควรพัฒนาศูนย์เรียนรู้หรือพื้นที่ต้นแบบ เพื่อเป็นแหล่งถ่ายทอดองค์ความรู้และแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำหรับการสนับสนุนงบประมาณปี พ.ศ.2567-2568 ในการดำเนินงานวิจัยเรื่อง การศึกษารูปแบบการจัดการขยะชุมชนที่เหมาะสมด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน และขอขอบพระคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่และเทศบาลนครสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาวิจัยจนแล้วเสร็จ

เอกสารอ้างอิง

- Aisuwan, U., Phromchan, T., Sirojnaput, W., Saranok, C., Chobtaeng, J., & Chaisalee, N. (2025). Costs and environmental impacts of food waste landfilling in Cha-am Municipality, Phetchaburi Province, and Hua Hin Municipality, Prachuap Khiri Khan Province. *Burapha Science Journal*, 30(2), 691–719. <https://li05.tci-thaijo.org/index.php/buuscij/article/view/683/442>
- Bootchoon, N., & Thammaapipon, S. (2025). Guidelines for developing community solid waste management based on the circular economy concept: A case study of Ban Kor Phai Thong Community, Samut Sakhon Province. *Journal of Educational Management Innovation and Research*, 7(4), 717–730. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jemri/article/view/279595>
- Charoensombat, L. (2021). Application of the circular economy concept in community enterprises. *Journal of Social Sciences, Srinakharinwirot University*, 24(1), 145–155. <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/JOS/article/view/13792>
- Charoenthanakul, W. (2025). *Food waste and food loss management in Chiang Mai Province based on the circular economy approach* [Master's thesis, Chiang Mai University]. Chiang Mai University Digital Collections. <https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:187554>
- Department of Climate Change and Environment. (2025a). *NDC Action Plan on Mitigation 2021 – 2030*. <https://www.dcce.go.th/datacenter/653/>
- Department of Climate Change and Environment. (2025b). *The study of municipal solid waste management in circular economy concept towards carbon neutrality: Final report*.
- Department of Climate Change and Environment. (2025c). *Black soldier fly (BSF) rearing manual for the public*. <https://www.dcce.go.th/datacenter/12424/>
- Division of Plant Protection and Soil and Fertilizer Management Promotion. (2025). *Prices of major chemical fertilizer formulas*. <https://www.facebook.com/ppsf.doae/>
- Duangkaew, C., & Leknoi, U. (2021). Perception and guidelines to drive the circular economy concept for plastic waste management the 3rs principle in the Nonthaburi city municipality. *Journal of MCU Nakhondhat*, 8(9), 252–265. <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/JMND/article/view/255149>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. <https://www.greenpolicyplatform.org/research/towards-circular-economy-economic-and-business-rationale-accelerated-transition>
- Environmental Office Region 9 (Udon Thani). (2022). *Municipal solid waste composition data at disposal sites in 2021 within Environmental Office Region 9 (Udon Thani)*. <https://epo09.pcd.go.th/th/information/more/425>

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Chapter 8). https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (Chapter 5). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2022/11/SRCCL_Chapter_5.pdf
- Jawjit, S., Kaewchutima, N., & Bumyut, A. (2025). Waste management and greenhouse gas emission reduction in Nakhon Si Thammarat municipality through a circular economy municipal solid waste management model. *Cleaner Environmental Systems*, 18, 100313. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2025.100313>
- Kinaret, P. (2024). Development of a food waste reduction prototype under the circular economy concept in Wat Mahathat Community, Nakhon Phanom Municipality, Nakhon Phanom Province. *Journal of Academic Research*, 7(6), 167–182. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/jra/article/view/270373>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- National Science and Technology Development Agency. (2020). *BCG economy model: Bio-Circular-Green economy*. https://www.nstda.or.th/home/knowledge_post/what-is-bcg-economy-model/
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2022). *Thailand's long-term low greenhouse gas emission development strategy (LT-LEDS)*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Thailand%20LT-LEDS%20%28Revised%20Version%29_08Nov2022.pdf
- Pollution Control Department. (2022). *Report on municipal solid waste composition in 2021*. <https://www.pcd.go.th/publication/26745/>
- Pollution Control Department. (2024). *Thailand municipal solid waste disposal site situation report 2023*. https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2024/05/pcdnew-2024-05-09_07-53-50_682275.pdf
- Pollution Control Department. (2025). *Food waste management roadmap (2023–2030) and Phase I food waste action plan (2023–2027)*. <https://www.pcd.go.th/garbage/>
- Promsaka Na Sakonnakhon, T., & Leknoi, U. (2021). Community waste management under the circular economy concept of local administrative organizations. *Journal of Humanities and Social Sciences, Pibulsongkram Rajabhat University*, 15(2), 362–373. https://search.tci-thailand.org/article.html?article_id=636490

- Saisombut, N., Sathianmas, S., & Chaowsaengrat, C. (2025). Guidelines for management food surplus in the community to reduce food waste. *CRRU Law, Political Science and Social Science Journal*, 9(2), 1–15. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/lawcrru/article/view/282355>
- Saksriwan, P., & Siriwong, P. (2023). Guidelines for adoption of the circular economy to increase value-added from community waste: Ban Nong Moo, Moo 5, Amphoe Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, Thailand. *The New Viridian Journal of Arts, Humanities and Social Sciences*, 3(3), 1-13. https://so01.tci-thaijo.org/index.php/The_New_Viridian/article/view/262999/174214
- Sawangpanyangkura, T. (2015). *Windrow composting on large scale without turning: Maejo Engineering 1*. Maejo University. <https://kb.mju.ac.th/assets/img/articleFile/25640608cbacd19769df4b0aa9050b98a3a1cb94.pdf>
- Srisuk, N., & Krajangjaeng, B. (2023). The Community-Based Waste Management under the Circular Economy Concept: A Case Study of Pa Tong Subdistrict Administrative Organization, Sai Dao District, Chanthaburi Province. *Journal of Educational Management Innovation and Research*, 5(4), 1011–1026. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jemri/article/view/263714>
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). (2022). *Emission Factor (CFP)*. <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdIpIVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjQ9>
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). (2025). *Greenhouse gas emission reduction calculation document for waste management projects (WASTE): Compost or soil conditioner production from organic waste*. <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/calculation/less-calculate-document/less-waste?format=html>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2022). *The Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

