การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะเศษอาหาร ในเขตบางขุนเทียนและเขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร

Assessment of greenhouse gas emissions from food waste management in Bang Khun Thian and Lat Phrao district, Bangkok

รัชดาพร เฮ้าตุ่น[*], นันทิกา สุนทรไชยกุล[**], และบุษราคัม ฐิตานุวัฒน์[***]
[*]นักศึกษาปริญญาโท สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อม
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
[**]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
[***]อาจารย์ ดร. ประจำคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
[a]ผู้รับผิดชอบบทความ e-mail: b.thitanuwat@fph.tu.ac.th
Ratchadaporn Haotun[*], Nantika Soonthornchaikul[**], and Bussarakam Thitanuwat[***]
[*]Master degree student in Environmental Health Management Program,
Faculty of Public Health, Thammasat University
[**]Ph.D. (Health Risk Assessment) Assistant Professor, Faculty of Public Health,
Thammasat University
[***]Ph.D. (Environmental Technology) Lecturer, Faculty of Public Health, Thammasat University
[a]Corresponding Author e-mail: b.thitanuwat@fph.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะเศษอาหารตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างเขตบางขุนเทียนที่มีการใช้ประโยชน์จากขยะเศษอาหารที่ต้นทางน้อยที่สุดและเขตลาดพร้าวที่มีการใช้มากที่สุด ข้อมูลได้จากรายงานการจัดการขยะย้อนหลัง 5 ปี องค์ประกอบขยะวิเคราะห์ด้วยวิธี Quartering ตามฤดูกาล และค่าสัมประสิทธิ์จากการทบทวนรายงานวิจัย โดยประยุกต์หลักการประเมินของ TGO USEPA และ IPCC สำหรับคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ประโยชน์จากขยะเศษอาหาร การใช้เชื้อเพลิง ไฟฟ้า และการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้อากาศในหลุมฝังกลบ ผลการศึกษา พบว่า เขตบางขุนเทียนและเขตลาดพร้าว มีปริมาณขยะเศษอาหารเฉลี่ย 53,214.76 (SD 4,233.21) ตัน/ปี และ 38,639.09 (SD 2,811.31) ตัน/ปี ตามลำดับ และปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value 0.012) เขตบางขุนเทียนปล่อย เฉลี่ย 341.48 (SD 5.41) $kgCO_2e$ ต่อตัน และเขตลาดพร้าวปล่อย เฉลี่ย 276.33 (SD 33.04) $kgCO_2e$ ต่อตัน ก๊าซเรือนกระจกกว่าร้อยละ 90 มาจากการจัดการที่หลุมฝังกลบ ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ต้นทาง และการขนส่งจากชุมชนถึง

ศูนย์ขนถ่ายเป็นขั้นตอนที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทั้ง 2 เขต ด้วย p-value = 0.017 และ p-value = 0.004 ตามลำดับ ดังนั้นการหมุนเวียนขยะกลับไปใช้ประโยชน์ที่ต้นทางเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการลดปริมาณขยะที่นำไปจัดการในขั้นตอนต่าง ๆ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก, การปล่อยก๊าซเรือนกระจก, การจัดการขยะเศษอาหาร, ขยะเศษอาหาร, กรุงเทพมหานคร

Abstract

This study aimed to compare the net GHGs emission from food waste management following the life cycle assessment between the two districts of the Bangkok Metropolitan Administration. These districts were BKT-Bang Khun Thian, which was the lowest level of onsite-recycling and reuse of food waste, and LP-Lat Phrao, which was the highest level. The data input obtained from the five annual reports of solid waste disposal. The composition was analyzed by a quartering method for three consecutive seasons. The coefficients also input to the equations were adopted from literatures. Based on the model developed by TGO, USEPA and IPCC Guidelines, the annual emissions of GHGs were calculated. Assumingly, these gases were emitted during source utilization, fuel and electricity usage and the anaerobic decomposition of compostable organics. As a result, BKT and LP districts generated food wastes about 53,214.76 (SD 4,233.21) tonnes/year and 38,639.09 (SD 2,811.31) tonnes/year, respectively. Overall, the food waste disposal of BKT emitted GHGs about 341.48 (SD 5.41) kgCO2e/ton-food waste. Likewise, management of LP emitted about 276.33 (SD 33.04) kgCO2e/ton. This difference between two districts is statistically significant (p-value 0.012). About 90% of GHGs emitted from landfilling. In addition, the statistically significant steps emitting GHGs between the two districts are the onsite-food waste reuse and recycle (p-value = 0.017) and waste transportation from community to the transfer station (p-value = 0.004). Therefore, to reduce amount of food waste going to landfill, the onsite-recycling and reuse of food waste is likely to be a plausible option, resulting in the reduction of GHGs emission.

Keyword: Greenhouse Gases, Greenhouse Gases emissions, Food waste management, Food waste, Bangkok

บทนำ

กรุงเทพมหานครมีประชากรอาศัยอยู่จำนวนมากเป็นอันดับหนึ่งในประเทศ ปัญหาขยะเศษอาหารเป็นปัญหาสำคัญของการจัดการขยะในกรุงเทพมหานครมาโดยตลอด โดยในปี 2562 กรุงเทพมหานคร มีปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด 3,856,033.78 ตัน มีปริมาณขยะเฉลี่ย 10,564.48 ตันต่อวัน เป็นขยะเศษอาหารมากที่สุด ร้อยละ 48.18[1] เขตลาดพร้าวซึ่งเป็นเขตชั้นกลาง มีสภาพทั่วไปเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและการค้า มีการเก็บรวบรวมขยะเศษอาหารไปใช้ประโยชน์ที่ต้นทางมากที่สุด และเขตบางขุนเทียนซึ่งเป็นเขตชั้นนอก ตั้งอยู่ทางใต้สุดของกรุงเทพมหานคร สภาพพื้นที่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเขตเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย การค้า และอุตสาหกรรม โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเขตเกษตรกรรมและมีแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มีการเก็บรวบรวมขยะเศษอาหารไปใช้ประโยชน์ที่ต้นทางน้อยที่สุด ทั้งนี้ ขยะเศษอาหารส่วนใหญ่จะถูกทิ้งลงถังขยะเพื่อให้หน่วยงานของรัฐหรือเอกชนเข้ามาเก็บขนเพื่อนำไปฝังกลบตามกระบวนการจัดการขยะของกรุงเทพมหานคร ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เช่น กลิ่นเหม็นจากน้ำชะขยะ ปัญหาเหตุรำคาญ น้ำชะขยะปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน และที่สำคัญคือ ปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHGs) อันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ทั้ง ๆ ที่กรุงเทพมหานครมีเป้าหมายจะเป็นมหานครในการจัดการขยะมูลฝอยอย่างยั่งยืนและก้าวเข้าสู่การเป็นเมืองคาร์บอนต่ำภายในปี 2593[2]

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศเกิดขึ้นทุกขั้นตอนของกระบวนการจัดการขยะเศษอาหาร มีตั้งแต่การเก็บขน การขนส่ง จนถึงขั้นตอนการกำจัดขั้นสุดท้าย มีก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นที่สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศในขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักและการย่อยสลายในหลุมฝังกลบ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งและเครื่องจักร รวมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในศูนย์ขนถ่ายขยะมูลฝอยและหลุมฝังกลบด้วย[3] ทั้งนี้ปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนอาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการจัดการขยะเศษอาหารทุกขั้นตอนตั้งแต่ต้นทางถึงการกำจัดขั้นสุดท้ายตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment : LCA) ระหว่างเขตบางขุนเทียนและเขตลาดพร้าวที่มีการใช้ประโยชน์จากขยะเศษอาหารที่ต้นทางที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

คัดเลือกพื้นที่ตามเกณฑ์ของสัดส่วนการใช้ประโยชน์จากขยะเศษอาหารที่ต้นทางน้อยที่สุดและมากที่สุด โดยพิจารณาจากปริมาณขยะเศษอาหารของสำนักงานเขตทั้ง 50 เขตในกรุงเทพมหานครที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ต้นทางต่อปริมาณการเกิดขยะทั้งหมดในเขตนั้นเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562 จากเกณฑ์ดังกล่าว พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ เขตบางขุนเทียนซึ่งมีการใช้ประโยชน์จากขยะเศษอาหารที่ต้นทางน้อยที่สุดโดยมีสัดส่วนร้อยละ 1.09 และเขตลาดพร้าวซึ่งมีการใช้ประโยชน์จากขยะเศษอาหารที่ต้นทางมากที่สุด มีสัดส่วนร้อยละ 11.25

2.2 วิธีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHGs) ในการศึกษานี้ ประยุกต์ใช้แนวทางการประเมินขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ประเทศไทย (TGO)[4] แนวทางของ USEPA[5] และแนวทางของ 2006 IPCC guideline[6] ตามขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังนี้

2.2.1 ศึกษากิจกรรมการจัดการขยะเศษอาหารของพื้นที่ศึกษาที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ต้นทางจนถึงหลุมฝังกลบ

2.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของขยะ เพื่อประเมินสัดส่วนของขยะเศษอาหารของเขตบางขุนเทียน และเขตลาดพร้าว ณ ศูนย์ขนถ่ายมูลฝอยหนองแขม และสายไหม ตามลำดับ โดยใช้วิธีการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 4 กองเท่ากัน (Quartering Method) ทั้งนี้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบขยะในเดือนมีนาคม สิงหาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 (เนื่องจากกรุงเทพมหานคร ไม่มีข้อมูลองค์ประกอบของขยะ จำแนกรายเขต ในช่วงปี พ.ศ. 2558-2562)

2.2.3 รวบรวมข้อมูลกิจกรรมการจัดการขยะเศษอาหาร (Activity Data: AD) ด้วยแบบบันทึกข้อมูล พร้อมทั้งสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะเศษอาหาร ข้อมูลทุติยภูมิที่ได้ในส่วนนี้ ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของทั้ง 2 เขต ปริมาณขยะมูลฝอย กระบวนการจัดการขยะเศษอาหารตั้งแต่ต้นทางจนถึงการฝังกลบ 6 ขั้นตอน ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ต้นทาง การขนส่งจากชุมชนถึงศูนย์ขนถ่ายขยะมูลฝอย การทำปุ๋ยหมัก ณ ศูนย์ขนถ่ายมูลฝอย การจัดการ ณ ศูนย์ขนถ่ายมูลฝอย การขนส่งจากศูนย์ขนถ่ายขยะไปยังหลุมฝังกลบ และ การบริหารจัดการในหลุมฝังกลบ โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2558 - 2562) เป็นข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ปริมาณการใช้ประโยชน์จากขยะเศษอาหารที่ต้นซึ่งนำไปทำน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยหมัก ไบโอแก๊ส และอาหารสัตว์ ข้อมูลปริมาณและชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า ระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง ประเภทยานพาหนะที่ใช้ขนส่ง ทั้งนี้ได้ตรวจสอบข้อมูลกับหน่วยงานผู้เก็บรวบรวมข้อมูลเป็นผู้ยืนยันความถูกต้องก่อนนำข้อมูลมาจัดทำบัญชีกิจกรรมการจัดการขยะเศษอาหาร สำหรับการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.2.4 ทบทวนค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF) ค่าคงที่ของตัวแปร และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) จากการทบทวนวรรณกรรม

2.2.5 คำนวณปริมาณก๊าซ GHGs ตามแนวทางของ อบก. ในขั้นตอนการใช้ประโยชน์ที่ต้นทาง (การทำน้ำหมักชีวภาพ การทำปุ๋ยหมัก การผลิตไบโอแก๊ส และการนำไปเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์) ขั้นตอนการขนส่งจากชุมชนถึงศูนย์ขนถ่ายขยะมูลฝอย (การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง) ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก ณ ศูนย์ขนถ่ายมูลฝอย (การใช้ไฟฟ้า และการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง) ขั้นตอนการจัดการ ณ ศูนย์ขนถ่ายมูลฝอย (การใช้ไฟฟ้า และการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง) ขั้นตอนการขนส่งจากศูนย์ขนถ่ายขยะไปยังหลุมฝังกลบ (การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง) และขั้นตอนการบริหารจัดการในหลุมฝังกลบ (การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง) ด้วยสมการ (1)

$$\text{Emission}_{\text{GHG, Activity}} = \left(\text{AD}_{\text{Activity}} \times \text{EF}_{\text{Activity}}\right) \times \text{GWP} \quad \text{...........(1)}$$

เมื่อ AD คือ ข้อมูลกิจกรรมการจัดการขยะเศษอาหาร (ตันต่อปี ลิตรต่อปี กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี); EF คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e$/หน่วย); GWP คือ ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน โดย GWP สำหรับ CO_2= 1, CH_4= 28, และ N_2O = 265[7]

กรณีที่ไม่ทราบข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง จะประเมินปริมาณก๊าซ GHGs จากการขนส่งจากระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง (ขาออก และขาเข้า) ประเภทของยานพาหนะ ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ปริมาณขยะขาออก และจำนวนเที่ยวรถที่ใช้ในการขนส่ง โดยคำนวณปริมาณก๊าซ GHGs ขาออก ($GHG_{outbound}$) ด้วยสมการ (2) และคำนวณปริมาณก๊าซ GHGs ขาเข้า ($GHG_{inbound}$) ด้วยสมการ (3)

$$GHG_{outbound} = FWQ \times T \times D \times EF \times GWP \quad \text{........ (2)}$$

$$GHG_{inbound} = T \times D \times EF \times GWP \quad \text{........ (3)}$$

เมื่อ FWQ (Food Waste Quantity) คือ ปริมาณขยะเศษอาหารที่ถูกขนส่ง (ตัน/วัน); T คือ จำนวนเที่ยวรถบรรทุก (จำนวนเที่ยวต่อวัน); D คือ ระยะทาง (กิโลเมตร); GWP คือ ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนโดย GWP สำหรับ CO_2= 1, CH_4= 28, และ N_2O = 265[7]

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF) มีดังนี้

ตัวแปร (หน่วย)	EF ($kgCO_2e$/หน่วย)
ไฟฟ้า (kWh)[1/]	0.5986
รถกระบะบรรทุกพ่วง 22 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading สำหรับขาเข้า น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 32 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง (km)[8]	1.2452
รถกระบะบรรทุกพ่วง 22 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 100% Loading สำหรับขาออกน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 32 ตัน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง (tkm)[8]	0.0540
การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีการเคลื่อนที่ Gas/ Diesel Oil (litre)[6]	2.7446
ปุ๋ยหมักอินทรีย์จากการจัดการมูลฝอยสด (kg)[8]	0.2552
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากการจัดการมูลฝอยสด (kg)[8]	0.2552
ก๊าซชีวภาพ (biogas) (g CH_4/kg waste treated)[6]	0.8
นำไปเป็นอาหารสัตว์ (t)[9]	7.28

สำหรับปริมาณก๊าซ GHGs จากการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้อากาศในหลุมฝังกลบ จะคำนวณโดยใช้แนวทางของ U.S.EPA, 2010 (ดัดแปลงมาจาก IPCC, 2006) ซึ่งเป็นการพิจารณาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายอันดับหนึ่ง (The first-order decay model) กรณี หลุมฝังกลบที่ไม่มีระบบรวบรวมก๊าซ โดยคำนวณปริมาณการปล่อย CH_4 (A) จากสมการที่ (4) และปริมาณการปล่อย CO_2 (B) จากสมการที่ (5)

$$A = \left[\sum_{x=S}^{T-1} \left\{ W_x L'_x \left(e^{-k(T-x-1)} - e^{-k(T-x)}\right) \right\} \right] \quad \text{............ (4)}$$

$$B = A \times \left[\frac{1-F}{F} + OX \right] \times \frac{44}{16} \quad \text{............ (5)}$$

เมื่อ X คือ ปี พ.ศ. ที่นำขยะเศษอาหารไปกำจัดยังหลุมฝังกลบ; S คือ ปี พ.ศ. เริ่มต้นของการประเมิน/คำนวณการปล่อยก๊าซ; T คือ ปี พ.ศ. ที่ทำการประเมิน/คำนวณการปล่อยก๊าซ; W คือ ปริมาณขยะ (ตัน); L' คือ ศักยภาพในการสร้าง CH4 สำหรับขยะเศษอาหาร มีค่า 0.05 g CH_4/g Waste[6] ; F คือ สัดส่วนการเกิดก๊าซมีเทน โดยทั่วไปกำหนดให้มีค่า 0.5[6] ; OX คือ ค่าสัดส่วน Soil Oxidation โดยทั่วไปกำหนดให้มีค่า 0.1[6] ; k คือ ค่าคงที่ของการย่อยสลาย มีค่า 0.185/y[5]

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

บรรยายลักษณะกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากกระบวนการจัดการขยะเศษอาหารระหว่าง 2 สำนักงานเขตด้วยสถิติ t-test จากโปรแกรมวิเคราะห์สถิติเบื้องต้น Minitab 19 และรายงานผลก๊าซ GHGs ในหน่วยการทำงานของ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($kgCO_2e/yr$) และกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตัน ($kgCO_2e/t$)

ผลการศึกษา

3.1 ปริมาณขยะเศษอาหารตั้งแต่ต้นทางถึงหลุมฝังกลบ

เขตลาดพร้าวเป็นเขตชั้นกลาง สภาพทั่วไปเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและการค้า มีพื้นที่ 30.48 km^2 มีจำนวนประชากรประมาณ 168,848 คน หรือ 56,147 หลังคาเรือน อีกทั้งยังมีห้างสรรพสินค้ามินิซุปเปอร์มาเก็ต ตลาด และร้านอาหารหลายแห่ง และเขตบางขุนเทียนซึ่งเป็นเขตชั้นนอกที่ตั้งอยู่ทางใต้สุดของกรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ 120.69 km^2 มีจำนวนประชากรประมาณ 254,973 คน หรือ 87,140 หลังคาเรือน สภาพพื้นที่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเขตเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย การค้า อุตสาหกรรม และพื้นที่ส่วนใหญ่ยังเป็นเขตเกษตรกรรม และมีแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ซึ่งมีห้างสรรพสินค้ามินิซุปเปอร์มาเก็ต ตลาด และร้านอาหารน้อยกว่าเขตลาดพร้าว

จากการศึกษาองค์ประกอบของขยะทั้ง 2 เขต พบว่า เขตบางขุนเทียน (BKT) มีปริมาณขยะเศษอาหารร้อยละ 44.76 และเขตลาดพร้าว (LP) มีปริมาณขยะเศษอาหารร้อยละ 41.50 เมื่อประเมินเป็นปริมาณขยะเศษอาหารต่อปีสำหรับนำไปคำนวณการปล่อย GHGs พบว่า ในระหว่าง พ.ศ. 2558 - 2562 เขต BKT มีขยะเศษอาหารเฉลี่ย 53,214.76 (SD 4,233.21) ตัน/ปี โดยแบ่งเป็นส่วนที่คัดแยกขยะเศษอาหารสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ที่ต้นทางเฉลี่ย 1,262.29 (SD 1,542.66) ตัน/ปี ซึ่งมีการนำไปเลี้ยงสัตว์ ทำปุ๋ยหมัก ทำน้ำหมักชีวภาพ และผลิตไบโอแก๊ส คิดเป็นร้อยละ 52.13, 26.99, 17.84 และ 3.04 ตามลำดับ และส่วนที่ขนส่งรวมกับขยะทั่วไปจากชุมชน จนถึงหลุมฝังกลบเฉลี่ย 51,144.71 (SD 3,093.41) ตัน/ปี และเฉพาะในปี พ.ศ. 2562 ได้ส่งไปทำปุ๋ยหมักที่โรงหมักปุ๋ยอ่อนนุช 4,038.81 ตัน ขณะที่ LP มีขยะเศษอาหารเฉลี่ย 38,639.09 (SD 2,811.31) ตัน/ปี โดยนำไปใช้ประโยชน์ที่ต้นทางเฉลี่ย 8,243.27 (SD 4,194.55) ตัน/ปี ซึ่งมีการนำไปเลี้ยงสัตว์ ทำปุ๋ยหมัก และทำน้ำหมักชีวภาพ คิดเป็นร้อยละ 95.57, 1.67 และ 2.76 ตามลำดับ และส่วนที่เหลือถูกขนส่งรวมกับขยะทั่วไปจากชุมชนจนถึงหลุมฝังกลบเฉลี่ย 30,395.59 (SD 2,520.38) ตัน/ปี ทั้งนี้มีบางส่วนถูกส่งไปทำปุ๋ยหมักที่โรงหมักปุ๋ยอ่อนนุช เฉพาะในปี พ.ศ. 2560 และ และ พ.ศ. 2562

เฉลี่ย 0.60 (SD 0.03) ตัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 เป็นข้อมูลปริมาณขยะเศษอาหาร ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ปริมาณการไฟฟ้า และข้อมูลนำเข้าอื่น ๆ ซึ่งใช้ในการคำนวณ และเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซ GHGs จากขั้นตอนการจัดการขยะเศษอาหาร

3.2 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการจัดการขยะเศษอาหาร

การปล่อย GHGs จากกระบวนการจัดการขยะเศษอาหารทั้ง 6 ขั้นตอนระหว่างปี พ.ศ. 2558 - 2562 คิดเป็นค่าเฉลี่ยต่อปี พบว่าการจัดการขยะเศษอาหารของ BKT ทำให้ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 18,158,277.99 (SD 1,249,821.67) กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี หรือ $kgCO_2e/yr$ โดยขั้นตอนที่ปล่อย GHGs มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 88 คือ การดำเนินการที่หลุมฝังกลบ ปล่อยประมาณ 15,916,889.94 (SD 959,364.36) $kgCO_2e/yr$ รองลงมาคือ การขนส่งจากศูนย์ขนถ่ายขยะมูลฝอยไปยังหลุมฝังกลบ ปล่อย 1,087,168.46 (SD 122,116.43) $kgCO_2e/yr$

ในทำนองเดียวกัน การจัดการขยะเศษอาหารของ LP ทำให้ปล่อย GHGs เท่ากับ 10,622,293.42 (SD 824,299.50) $kgCO_2e/yr$ ขั้นตอนที่ปล่อยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 89 คือ การดำเนินการที่หลุมฝังกลบ ปล่อย GHGs 9,456,521.28 (SD 788,409.40) $kgCO_2e/yr$ รองลงมาคือ การขนส่งจากศูนย์ขนถ่ายขยะมูลฝอยไปยังหลุมฝังกลบ ปล่อย GHGs 657,321.72 (SD 96,008.83) $kgCO_2e/yr$ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาอื่น ๆ ที่พบว่า ขั้นตอนการนำขยะเศษอาหารไปฝังกลบทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด[10,11] รายละเอียดปริมาณการปล่อย GHGs ในแต่ละขั้นตอน ดังรูปที่ 1

โดยภาพรวมของการจัดการขยะเศษอาหาร 1 ตันของ BKT และ LP ทำให้ปล่อย GHGs เฉลี่ย 341.48 (SD 5.41) $kgCO_2e$ และ 276.33 (SD 33.04) $kgCO_2e$ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.012) โดยขั้นตอนที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างทั้ง 2 เขต คือ ขั้นตอนการใช้ประโยชน์ที่ต้นทาง (p-value = 0.017) และขั้นตอนขนส่งจากชุมชนถึงศูนย์ขนถ่ายมูลฝอย (p-value = 0.004) รายละเอียดดังตารางที่ 2

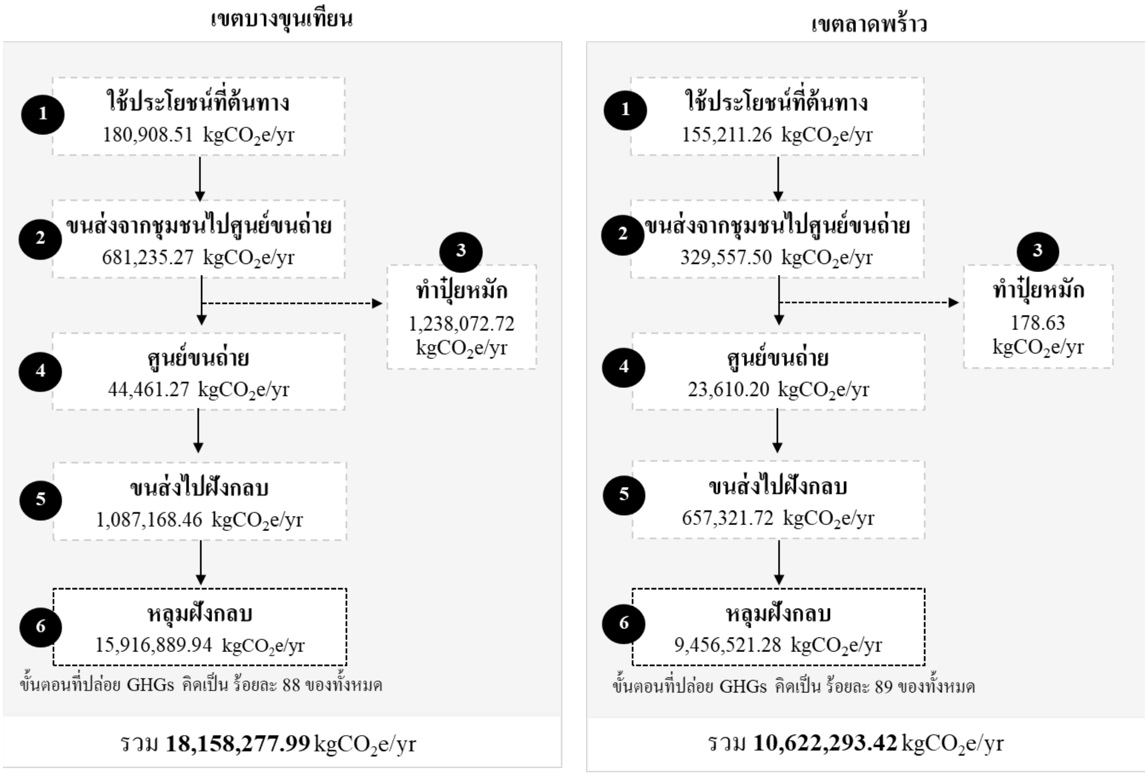
ตารางที่ 1 ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณปริมาณก๊าซ GHGs จากการจัดการขยะเศษอาหารเฉลี่ย ปี พ.ศ. 2558 - 2562

ขั้นตอนการจัดการขยะเศษอาหาร	ข้อมูลนำเข้า	บางขุนเทียน	ลาดพร้าว
		ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)*	ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)*
1. การใช้ประโยชน์ที่ต้นทาง**	ปริมาณขยะเศษอาหาร (ตัน)	1,262.29 (1,542.66)	8,243.27 (4,194.55)
2. การขนส่งจากชุมชนถึงศูนย์ขนถ่าย	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร)	248,209.31 (7,774.75)	120,074.87 (2,119.37)
3. การทำปุ๋ยหมัก ณ ศูนย์ขนถ่าย	ปริมาณขยะเศษอาหาร (ตัน)	4,038.81	0.60 (0.03)
	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร)	70,095.87	8.96 (0.14)
	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	25,030.02	3.47 (0.15)
4. การจัดการ ณ ศูนย์ขนถ่าย	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร)	11,784.83 (1,063.05)	6,077.69 (511.41)
	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	20,241.60 (2,013.50)	11,575.95 (4,972.26)
5. การขนส่งจากศูนย์ขนถ่ายไปหลุมฝังกลบ***	ปริมาณขยะเศษอาหาร (ตัน)	51,144.71 (3,093.41)	30,395.59 (2,520.38)
	จำนวนเที่ยวรถ (เที่ยว/วัน)	4.38 (0.26)	2.60 (0.22)
	ระยะทาง (กิโลเมตร/เที่ยว)	77	120
6. การบริหารจัดการในหลุมฝังกลบ	ปริมาณขยะเศษอาหาร (ตัน)	51,144.71 (3,093.41)	30,395.59 (2,520.38)
	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร)	17,458.02 (1,714.53)	8,751.05 (4,478.10)
	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	2,219.33 (1,189.31)	3,794.76 (893.06)

หมายเหตุ : * ตัวเลขรายงานในหน่วยต่อปี ยกเว้น ข้อมูลจำนวนเที่ยว และระยะทาง

** เขตบางขุนเทียน นำไปเลี้ยงสัตว์ 557.96 (SD 513.68) ตัน ทำปุ๋ยหมักที่ต้นทาง 379.64 (SD 556.18) ตัน) ทำน้ำหมักชีวภาพ 312.24 (SD 592.78) ตัน และผลิตไบโอแก๊ส 20.74 (SD 21.85) ตัน และเขตลาดพร้าว นำไปเลี้ยงสัตว์ 7,859.27 (SD 4,046.83) ตัน ทำน้ำหมักชีวภาพ 204.65 (SD 186.56) และทำปุ๋ยหมักที่ต้นทาง 179.35 (SD 211.01) ตัน

*** เขตบางขุนเทียน ขนส่งขยะเศษอาหารเฉลี่ยวันละ 140.12 (SD 8.48) ตัน/วัน ต้องขนส่งเฉลี่ย 4.38 (SD 0.26) เที่ยว/วัน ระยะทางประมาณ 77 กิโลเมตร/เที่ยว และส่งขยะเศษอาหารไปโรงงานหมักปุ๋ยอ่อนนุช เฉพาะในปี พ.ศ. 2562 เท่านั้น และเขตลาดพร้าว ขนส่งขยะเศษอาหารเฉลี่ยวันละ 83.28 (SD 6.91) ตัน/วัน ต้องขนส่งเฉลี่ย 2.60 (SD 0.22) เที่ยว/วัน ระยะทางประมาณ 120 กิโลเมตร/เที่ยว และส่งไปทำปุ๋ยหมัก เฉพาะในปี พ.ศ. 2560 และ 2562



รูปที่ 1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยจากการจัดการขยะเศษอาหารของเขตบางขุนเทียนและเขตลาดพร้าว

ตารางที่ 2 อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยจากการกระบวนการจัดการขยะเศษอาหารของพื้นที่ศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2558 - 2562

ขั้นตอนการจัดการขยะเศษอาหาร	ค่าเฉลี่ย GHGs (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) หน่วย: $kgCO_2e$/ตันของขยะเศษอาหาร		*p-value**
	เขตบางขุนเทียน	เขตลาดพร้าว	
1. การใช้ประโยชน์ที่ต้นทาง	118.89 (56.68)	18.26 (8.38)	0.017
2. การขนส่งจากชุมชนถึงศูนย์ขนถ่าย	13.35 (0.62)	10.91 (1.05)	0.004
3. การทำปุ๋ยหมัก ณ ศูนย์ขนถ่าย	306.54	300.02 (2.80)	-
4. การจัดการ ณ ศูนย์ขนถ่าย	0.87 (0.07)	0.77 (0.08)	0.079
5. การขนส่งจากศูนย์ขนถ่ายไปหลุมฝังกลบ	21.20 (1.10)	21.53 (1.40)	0.691
6. การบริหารจัดการในหลุมฝังกลบ	311.22 (0.12)	311.10 (0.39)	0.577
รวม**	**341.48 (5.41)**	**276.33 (33.04)**	**0.012**

หมายเหตุ : *ทดสอบด้วย t-test **หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ซึ่งคำนวณจากการรวมค่าเฉลี่ยรายปีของปริมาณ GHGs ที่ปล่อยจากทุกขั้นตอนของการจัดการขยะเศษอาหาร

อภิปรายผล

ปริมาณขยะเศษอาหารที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบมีความใกล้เคียงกับรายงานของกรุงเทพมหานคร[1] ดังนั้น ปริมาณขยะเศษอาหารที่ใช้ในการประมาณสัดส่วนต่าง ๆ สำหรับการคำนวณตามสมการจึงใกล้เคียงความเป็นจริง ทั้งนี้ ผลการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการนำขยะเศษอาหารไปฝังกลบ ทำให้มีการปล่อย GHGs มากที่สุด ประมาณร้อยละ 90 สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ[10,11] ซึ่งบางการศึกษาที่ใช้วิธี LCA ในการคำนวณหาศักยภาพก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) เสนอว่าวิธีการฝังกลบเป็นวิธีที่ลดการปล่อย GHGs ได้น้อยที่สุด[12] โดยเฉพาะการฝังกลบเศษอาหารประเภทเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และไข่[13,14,15] จึงมีผู้แนะนำให้กำจัดขยะเศษอาหารโดยนำไปเป็นอาหารสัตว์หรือการย่อยสลายอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน[15] และแนะนำว่าเทคโนโลยีการกำจัดขยะเศษอาหารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่สุดคือการทำปุ๋ยหมัก เมื่อเทียบกับการนำไปฝังกลบ[16]

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง 2 เขต ขั้นตอนการนำไปใช้ประโยชน์ที่ต้นทางและขั้นตอนการขนส่งจากชุมชนไปยังศูนย์ขนถ่ายมูลฝอยเป็นขั้นตอนที่มีผลต่อการปล่อย GHGs แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเกิดจากปริมาณขยะเศษอาหารเป็นปัจจัยหลักต่อจำนวนเที่ยวในการขนส่ง ปริมาณขยะเศษอาหารที่ขนส่งมากมีผลต่อจำนวนเที่ยวขนส่ง อายุการใช้งานของรถ ขนาดรถบรรทุกใหญ่ขึ้น และทำให้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากขึ้น เส้นทางที่ใช้ขนส่ง อาจส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน[17] ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากตามไปด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่พบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการขนส่งและการปล่อย GHGs อย่างมีนัยสำคัญ[18,19,20,21]

จากผลการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งพบว่า ขั้นตอนที่ปล่อย GHGs มากที่สุดคือ การดำเนินการที่หลุมฝังกลบ ประกอบร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงกล่าวได้ว่า แนวทางในการลด GHGs จากการจัดการขยะเศษอาหารและการจัดการขยะที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมนั้น ต้องมีการจัดการขยะแบบผสมผสาน โดยส่วนสำคัญคือ การลดปริมาณขยะเศษอาหารที่เกิดขึ้นตั้งแต่ต้นทาง ไม่ว่าจะลดการสูญเสียอาหารในตอนปลายของห่วงโซ่อาหาร การนำกลับไปใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด เพื่อลดปริมาณขยะที่จะนำไปฝังกลบ เนื่องจากวิธีการฝังกลบทำให้เกิด GHGs มากที่สุดโดยเขตลาดพร้าวซึ่งมีการคัดแยกขยะเศษอาหารที่ต้นทางและนำไปใช้ประโยชน์มาก นอกจากจะสามารถลด GHGs ที่จะเกิดจากกระบวนจัดการขยะเศษอาหารแล้วยังช่วยลดปริมาณขยะเศษอาหารที่จะส่งกำจัดในขั้นตอนต่อไปได้ ช่วยลดจำนวนเที่ยวรถในการขนส่ง ทำให้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและใช้ทรัพยากรไฟฟ้าในการจัดการน้อยลงด้วย และเมื่อคำนวณปริมาณการปล่อย GHGs ต่อปริมาณขยะเศษอาหาร 1 ตัน พบว่าเขตลาดพร้าวปล่อย GHGs น้อยกว่าเขตบางขุนเทียน เป็นการย้ำให้เห็นว่าการเลือกวิธีการจัดการที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญมาก ดังนั้น นโยบายการนำขยะเศษอาหารกลับไปใช้ให้เกิดประโยชน์ตั้งแต่ต้นทางจึงควรได้รับการสนับสนุนและผลักดันอย่างเป็นรูปธรรม ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากขยะเศษอาหารตั้งแต่ต้นทางมีหลายวิธี เช่น การทำปุ๋ยหมัก การทำน้ำหมักชีวภาพ การผลิตไบโอแก๊ส หรือนำไปเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้ ขึ้นกับความเหมาะสมของแต่ละเขต เขตลาดพร้าวซึ่งเป็นเขตเมืองการทำปุ๋ย น้ำหมักอาจจะทำได้ยากกว่าเขตบางขุนเทียน หากเป็นไปได้ควรส่งเสริมให้ขายเพื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์ ทั้งนี้รายได้จากการขายยังสามารถนำมาพัฒนาต่อยอด

ในการจัดการขยะเศษอาหารให้เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนเขตบางขุนเทียน ควรส่งเสริมให้ทำปุ๋ยหมักและน้ำหมักชีวภาพใช้ในพื้นที่ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเขตเกษตรกรรมและมีแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มีพื้นที่เหมาะแก่การหมักทำปุ๋ย ซึ่งปุ๋ยหมักอินทรีย์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในไร่หรือแจกจ่ายให้กับเกษตรกรรายอื่นรวมถึงจำหน่ายทำให้เกิดรายได้ ในการทำไบโอแก๊สก็อาจจะมีอุปสรรคต่อทั้ง 2 เขต เนื่องจากต้องใช้ทั้งบุคลากร สถานที่ เทคโนโลยี หรือแม้แต่การดูแลรักษา[22] อาจกล่าวได้ว่ามีความจำเป็นต้องศึกษาและวางเกณฑ์ในการเลือกวิธีการใช้ขยะเศษอาหารที่ต้นทางให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ทั้งเชิงภูมิศาสตร์ เทคโนโลยี และสมรรถนะของหน่วยงาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

แนวทางลดการปล่อย GHGs จากกระบวนการจัดการขยะเศษอาหารของพื้นที่ศึกษา ควรส่งเสริมการนำขยะเศษอาหารไปใช้ประโยชน์ที่ต้นทางให้มากที่สุด เพื่อลดปริมาณขยะที่จะนำไปฝังกลบ สำหรับการลดการสูญเสียอาหารในปลายทางห่วงโซ่อาหาร (การผลิตการปรุงและการบริโภค) เป็นข้อจำกัดของการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากไม่มีข้อมูลในส่วนดังกล่าว นอกจากนี้ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลย้อนหลังหลายปีทำให้ข้อมูลในบางส่วนขาดหายไป หรือไม่สมบูรณ์ ต้องใช้ค่าประมาณการแทน ทำให้ต้องระมัดระวังในการนำผลการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ในบางจุด อย่างไรก็ตามผลการศึกษาทำให้ตระหนักได้ว่าควรมีการบันทึกข้อมูลทุกขั้นตอนและมีการรวบรวมข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะไว้อย่างเป็นระบบเพื่อการตรวจสอบยืนยัน ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ต้องศึกษาข้อมูลเชิงลึกไปทำงานวิจัยด้านอื่น ๆ หรือต่อยอดการศึกษาครั้งต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. กรุงเทพมหานคร, สำนักสิ่งแวดล้อม. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2562 - 2563. กรุงเทพฯ; 2564.
2. กรุงเทพมหานคร, สำนักยุทธศาสตร์และประเมินผล. แผนพัฒนากรุงเทพมหานคร ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2556-2575). กรุงเทพฯ: บริษัท พิมพ์ดี จำกัด; 2558.
3. ปวีณา พานิชยพิเชษฐ์. การลดก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอย. สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผล องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก; 2560.
4. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). คู่มือการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ; 2559.
5. USEPA. Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for Biogenic Emissions from Selected Source Categories: Solid Waste Disposal Wastewater Treatment Ethanol Fermentation. Available at: URL: https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/greenhouse-gas-emissions-estimation-methodologies-biogenic. Accessed December 14, 2010.
6. IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Available at: URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/

public/2006gl/. Accessed October 04, 2020.
7. IPCC. AR5 Synthesis Report. P.103. Available at: URL: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/. Accessed September 23, 2020.
8. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). Emission Factor. แหล่งที่มา : URL: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2563.
9. Kim MH, Kim JW. Comparison through a LCA evaluation analysis of food waste disposal options from the perspective of global warming and resource recovery. Sci Total Environ. 2010;408(19): 3998-4006.
10. Zhao W, der Voet Ev, Zhang Y, Huppes G. Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China. Science of The Total Environment. 2009;407(5):1517-1526.
11. Mohareb EA, MacLean HL, Kennedy CA. Greenhouse Gas Emissions from waste management--assessment of quantification methods. Journal of the Air & Waste Management Association. 2011(5):480.
12. Eriksson M, Strid I, Hansson P-A. Carbon footprint of food waste management options in the waste hierarchy-a Swedish case study. Journal of Cleaner Production. 2015;93:115-125.
13. Birney CI, Franklin KF, Davidson FT, Webber ME. An assessment of individual foodprints attributed to diets and food waste in the United States. Environmental Research Letters. 2017;12(10).
14. Salemdeeb R, Vivanco DF, Al-Tabbaa A, Zu Ermgassen EK. A holistic approach to the environmental evaluation of food waste prevention. Waste Management. 2017;59:442-450.
15. Moult JA, Allan SR, Hewitt CN, Berners-Lee M. Greenhouse gas emissions of food waste disposal options for UK retailers. Food Policy. 2018;77:50-58.
16. Tseng W-L, Chiueh P-T. Urban Metabolism of Recycling and Reusing Food Waste: A Case Study in Taipei City. Procedia Engineering. 2015;118:992-999.
17. Ližbetin J, Hlatká M, Bartuška L. Issues Concerning Declared Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of FAME Biofuels. Sustainability. 2018;10(9).
18. Shin K, Cheong J-P. Estimating Transportation-Related Greenhouse Gas Emissions in the Port of Busan, S. Korea. Asian Journal of Atmospheric Environment. 2011;5(1):41-46.

19. Shams S, Sahu JN, Rahman SMS, Ahsan A. Sustainable waste management policy in Bangladesh for reduction of greenhouse gases. Sustainable Cities and Society. 2017;33:18-26.
20. Yaman C, Anil I, Jaunich MK, Blaisi NI, Alagha O, Yaman AB, et al. Investigation and modelling of greenhouse gas emissions resulting from waste collection and transport activities. Waste Manag Res. 2019;37(12):1282-1290.
21. Liu M, Tan Z, Fan X, Chang Y, Wang L, Yin X. Application of life cycle assessment for municipal solid waste management options in Hohhot, People's Republic of China. Waste Manag Res. 2021;39(1):63-72.
22. Pleissner D. Recycling and reuse of food waste. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. 2018;13:39-43.