

การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง กรณีศึกษา : เทศบาลเมืองพะเยา City Carbon Footprint Evaluation, A Case Study: Muang Phayao Municipality

อำนาจ วิชัย และสุรัตน์ เศษโพธิ์*

คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

นเรศ ไญ้วงศ์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

Amnaj Vichai and Surat Sedpho*

School of Energy and Environment, University of Phayao, Mae Ka, Muang Phayao, Phayao 56000

Naret Yaiwong

Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Ban Du, Muang, Chiang Rai 57100

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในขอบเขตพื้นที่เทศบาลเมืองพะเยา ตามแนวทางการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก หรือ อบก. ครอบคลุมกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2561 ประกอบด้วยการใช้พลังงาน การจัดการของเสีย การเกษตรและปศุสัตว์ การใช้ไฟฟ้า และอื่น ๆ เพื่อสำรวจการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญของขอบเขตเมือง ผลการประเมินพบว่าการใช้ไฟฟ้าส่งผลต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด โดยมีสัดส่วนสูงถึง 49.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่ามาจากธุรกิจการค้าและการค้าปลีกภายในพื้นที่ รองลงมาเป็นการใช้พลังงานเชื้อเพลิง 33.26 เปอร์เซ็นต์ และการจัดการขยะมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 13.38 เปอร์เซ็นต์ แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้ไฟฟ้า การลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง รวมถึงพิจารณาวิธีการจัดการขยะ โดยการดำเนินการดังกล่าวต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับบริบทในการดำเนินงานของเมือง เพื่อให้การดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ : ก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง; การลดก๊าซเรือนกระจก; เทศบาลเมืองพะเยา

Abstract

This research evaluated the emission of greenhouse gases (GHG) in Muang Phayao municipality area according to guidelines on city-level GHG emission by Thailand Greenhouse Gas

Emission Organization (TGO). Related activity data for the year 2018 were collected, including energy consumption, waste management, agriculture and livestock production, electricity consumption, and other associated activities to determine significant GHG emission in Muang Phayao boundary. The results showed that electricity consumption from commercial and retail is the most prominent emission source at 49.23 percent, followed by fuel energy consumption at 33.26 percent, while open dump waste management amounts for 13.38 percent. Guidelines on reducing Muang Phayao municipality's GHG emissions should be focused on reducing electricity and fuel energy consumption, and considering better waste management practices appropriate to Muang Phayao Municipality area's contexts for efficient and sustainable GHG emission reduction.

Keywords: city carbon footprint; greenhouse gas reduction; Muang Phayao municipality

1. บทนำ

สถานการณ์ก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2562 มีความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศระดับสูงสุดเป็นประวัติการณ์ ซึ่งแนวโน้มปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในระยะยาวส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลกระทบรุนแรงมากยิ่งขึ้น เช่น อุณหภูมิปกติของโลกเพิ่มสูงขึ้น การเกิดลมพายุอากาศสุดขีด (extreme weather) ตลอดจนความเสี่ยงจากภัยพิบัติ อาทิ ภัยแล้ง น้ำท่วม ที่ทวีความรุนแรง [1] สถานะปัญหาที่เกิดขึ้นนำมาสู่การเคลื่อนไหวจากหลายภาคส่วนในการพยายามสร้างความตระหนักถึงภาวะฉุกเฉินด้านภูมิอากาศ และร่วมกันทบทวนเพื่อหามาตรการ สร้างข้อกำหนดเพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พร้อมผลักดันให้ประเทศกำลังพัฒนาจัดทำแผนและยุทธศาสตร์การพัฒนาสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (low carbon society) [2]

ทั้งนี้ในการจัดทำแผนและยุทธศาสตร์การพัฒนานั้น ต้องศึกษากิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่มาของปัญหา แล้วจึงนำมาลำดับความสำคัญของการวางแผนนโยบายเพื่อ

ลดก๊าซเรือนกระจกลง ที่ผ่านมามีการศึกษาลักษณะดังกล่าวทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น การประเมินและการพยากรณ์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองกรณีศึกษาเทศบาลตำบลด่านซ้าย จังหวัดเลย [3] ที่ใช้แนวทางการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง (city carbon footprint, CCF) ทำให้ทราบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกของเมืองเกินกว่าครึ่งหนึ่งของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดมาจากการใช้เชื้อเพลิงภาคอุตสาหกรรม การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรกรณีเทศบาลเมืองหนองสำโรง [4] ใช้แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร (carbon footprint for organization) พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการจัดการขยะขององค์กรมีส่วนถึงร้อยละ 90 ของกิจกรรมทั้งหมดสำหรับการศึกษาในต่างประเทศ เช่น การศึกษาที่เมือง Shenyang สาธารณรัฐประชาชนจีน เรื่อง นโยบายระดับท้องถิ่นในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [5] โดยประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในเมือง Shenyang ประเทศจีน การศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อย GHG ในระดับเมืองนั้นจะช่วยให้ทราบว่าอุตสาหกรรมประเภทไหนหรือภาคส่วนใดที่จะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลง จะเห็น

ได้ว่าการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถนำไปสู่การวางแผนนโยบายการพัฒนาสู่สังคมคาร์บอนต่ำได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

สำหรับเทศบาลเมืองพะเยานั้น เป็นหนึ่งในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ได้ให้ความร่วมมือกับองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) เพื่อมุ่งสู่การเป็นเมืองลดคาร์บอน [6] งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองของเทศบาลเมืองพะเยา เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และนำไปสู่การกำหนดแนวนโยบายการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

เทศบาลเมืองพะเยาเป็นหนึ่งใน 14 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ที่ตั้งอยู่ในอำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา โดยพื้นที่เทศบาลเมืองพะเยาเป็นศูนย์กลางการดำเนินกิจกรรมที่สำคัญของจังหวัดพะเยาทั้งภาครัฐและภาคเอกชน มีเขตพื้นที่รับผิดชอบประมาณ 9 ตารางกิโลเมตร หรือ 5,625 ไร่ ประกอบด้วย 2

ตำบล ได้แก่ ตำบลเวียง และตำบลแม่ต๋ำ ณ เดือนกันยายน พ.ศ. 2561 เทศบาลเมืองพะเยา มีประชากร 16,939 คน แบ่งเป็น 14 ชุมชน รวมทั้งหมด 8,113 ครัวเรือน [7] โครงสร้างเศรษฐกิจและรายได้หลักของประชากรในเขตเทศบาลเมืองพะเยานั้น ประกอบด้วย การพาณิชย์กรรม การอุตสาหกรรมขนาดเล็ก การบริการ และภาคเกษตรกรรม

2.2 การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง

การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองของเทศบาลเมืองพะเยา ประกอบด้วยการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน (รูปที่ 1) ดังนี้

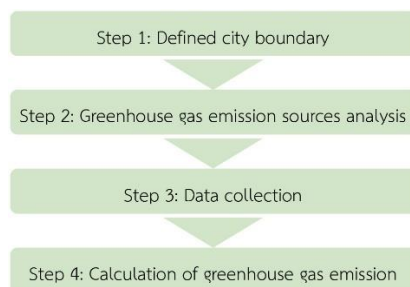


Figure 1 Process of city carbon footprint evaluation

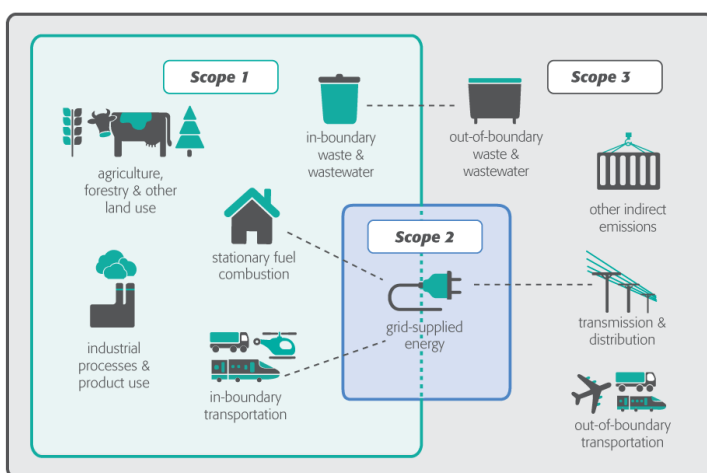


Figure 2 Geographic boundaries and scopes [Source: Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC)]

2.2.1 กำหนดขอบเขตและการดำเนินงานของเมือง

การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง (city carbon footprint, CCF) ดำเนินการโดยการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ตามขอบเขตพื้นที่รับผิดชอบที่มีอาณาเขตตามภูมิศาสตร์ทางการเมือง (geopolitical boundary) ตามคู่มือการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง [8] แบ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็น 3 ขอบเขต ซึ่งแสดงในรูปที่ 2

การประเมินก๊าซเรือนกระจกของเมืองจะระบุตามขอบเขตพื้นที่รับผิดชอบของเทศบาลเมืองพะเยา ครอบคลุมพื้นที่ 5,625 ไร่ (ประมาณ 9 ตารางกิโลเมตร) โดยจะประเมินก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมในปี พ.ศ. 2561

2.2.2 สำรวจและวิเคราะห์แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การกำหนดขอบเขตการดำเนินงานตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) จะต้องมีการระบุกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับบริบทของเมือง ซึ่งแบ่งเป็น 3 ขอบเขต ดังนี้

(1) ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (direct emission) ได้แก่ การเผาไหม้แบบอยู่กับที่ การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่ การรั่วไหลอื่น ๆ ได้แก่ การใช้ปุ๋ยหรือสารเคมี การจัดการขยะมูลฝอยการบำบัดน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศ การเผาขยะประเภทต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งมีกิจกรรมที่อยู่ในขอบเขตที่ 1 ดังนี้

(1.1) ภาคพลังงาน ครอบคลุมกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ ดีเซล เบนซิน LPG ถ่านไม้ ฟืน เป็นต้น ผลการสำรวจพบว่าเทศบาลเมืองพะเยามีกิจกรรมการใช้

พลังงานเชื้อเพลิงภาคครัวเรือน ธุรกิจร้านค้า และบริการขนส่ง ด้านอุตสาหกรรมที่ดำเนินการภายในเขตเทศบาลเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ไม่พบการใช้เครื่องจักรกลที่ดำเนินการโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

(1.2) ภาคการจัดการของเสีย ครอบคลุมกิจกรรมการกำจัดขยะมูลฝอยและการจัดการน้ำเสียภายในเมือง ผลการสำรวจพบว่าเทศบาลเมืองพะเยามีเพียงกิจกรรมการจัดการน้ำเสีย ส่วนการจัดการขยะมูลฝอยดำเนินการนอกเขตการปกครอง ในขอบเขตนี้จึงพิจารณาเฉพาะกิจกรรมการจัดการน้ำเสียเท่านั้น

(1.3) ภาคเกษตรและปศุสัตว์ ครอบคลุมกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเกษตรและการเลี้ยงสัตว์ ผลการสำรวจพบว่าเทศบาลพะเยามีการเพาะปลูกข้าวนาปีและการเลี้ยงโคเนื้อ

(2) ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (indirect emission) จากการนำพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ที่ผลิตและจัดหาจากเขตพื้นที่ของเมืองเข้ามาใช้ในพื้นที่ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน หรือพลังงานไอน้ำ ผลการสำรวจพบว่าเทศบาลเมืองพะเยามีเพียงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (grid mix) จึงจะพิจารณาเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่านั้น

(3) ขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ไฟฟ้า ครอบคลุมกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีสาเหตุจากในเขตเมืองแล้วนำไปจัดการนอกเขตเมือง ผลการสำรวจพบว่าเทศบาลเมืองพะเยามีเพียงการจัดการขยะที่นำไปจัดการนอกเขตปกครองจึงจะพิจารณาเฉพาะกิจกรรมการจัดการขยะเท่านั้น

2.3 การเก็บข้อมูล

การวิจัยนี้ เก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมตาม

ผลสำรวจแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกในเขตการปกครองของเทศบาลเมืองพะเยา คือ ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งรายละเอียด

แสดงในตารางที่ 1 และข้อมูลกิจกรรมสำหรับการจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาในปี พ.ศ. 2561 แสดงในตารางที่ 2

Table 1 Sources of GHG emission data and activities in Muang Phayao Municipality Area

Items	Sources	Data types
1. Basic information of Muang Phayao municipality such as population, number of households, geopolitical boundary	Annual Performance Report of Muang Phayao Municipality	Secondary data
2. Fuel consumption in the Muang Phayao municipality area including household, business and services, and transportation fuel consumption	National Statistical Office's data on Household Energy Consumption	Secondary data
3. Wastewater quantity and wastewater management in the area	Daily operation report of Muang Phayao Municipality Wastewater Treatment	Secondary data
4. Rice cultivation in the area	Calculated from Muang Phayao Municipality Annual Taxation Map	Secondary data
5. Livestock (beef cattle) in the area	Annual record on livestock raising from Muang District Livestock Office	Secondary data
6. Electricity consumption in the area	Electricity Consumption Report classified by usage from Phayao Provincial Electricity Authority	Secondary data
7. Waste quantity and waste management	Daily operation report of Muang Phayao Municipality Waste Management	Secondary data

Table 2 Inventory of Phayao municipality greenhouse gas emission in 2018

Scopes	Items	Data sources	Quantities	Units
1	Gasoline	National Statistical Office	81,365.43	L
	Diesel	National Statistical Office	1,582,626.06	L
	Gasohol	National Statistical Office	1,980,434.57	L
	LPG vehicle	National Statistical Office	67,979.88	L
	LPG household	National Statistical Office	223,047.26	kg
	Biodiesel and renewable energy	National Statistical Office	6,836.40	L
	Charcoal and firewood	National Statistical Office	233,9645.54	kg
	Wastewater treatment	Muang Phayao Municipality	2,903,038.81	m ³
	Rice cultivation	Muang Phayao Municipality	907	rai
	Livestock (beef cattle)	Phayao Provincial Livestock Office	47	head
2	Electricity	Provincial electricity authority	26,961,723.40	kWh
3	Waste (2011-2017)	Muang Phayao municipality	57,024.18	ton
	Waste (March-December 2018)	Muang Phayao municipality	5,469.34	ton

3.4 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยา สามารถคำนวณตามคู่มือการจัดทำก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง ซึ่งคำนวณได้จากการนำข้อมูลกิจกรรม (activity data, AD) คูณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor, EF) ดังสมการที่ (1) คือ

$$GHG_i = AD_i \times EF_i \quad (1)$$

โดยที่ GHG_i คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรม i มีหน่วยเป็น กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}$) หรือตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{tCO}_{2\text{eq}}$) AD_i คือ ข้อมูลกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีหน่วยต่างกันไปตามกิจกรรม i (เช่น ลิตร กิโลกรัม ตัน) และ EF_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรม i (โดยมีหน่วยที่สอดคล้องกับข้อมูลกิจกรรม เช่น $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ /ลิตร หรือ $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ /กิโลกรัม) การประเมิน

ก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานและการใช้ไฟฟ้าสามารถคำนวณตามสมการที่ 1 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากคู่มือการจัดทำก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง [8] ส่วนการประเมินก๊าซเรือนกระจกสำหรับกิจกรรมอื่น ๆ คำนวณได้ดังนี้

3.4.1 การจัดการขยะ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะของเทศบาลเมืองพะเยาแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบเทกอง (open dump) และแบบหลุมฝังกลบโดยนำก๊าซมาผลิตไฟฟ้า ซึ่งแบบเทกองนั้นจะคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้แบบจำลองการย่อยสลายอันดับที่ 1 (first order decay, FOD) [9] ซึ่งปริมาณขยะที่มีการฝังกลบไปก่อนหน้านี้ยังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2561 ด้วย ดังนั้น จึงมีการเก็บข้อมูลขยะย้อนหลังมาประกอบการคำนวณ โดยใช้ปริมาณขยะย้อนหลังของเทศบาลเมืองพะเยาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 มาคำนวณ ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2) คือ

$$GHG_{OD} = \left[\left\{ \sum_x \left[MSW_x \times L_0 \times \left((1 - e^{-k}) \times e^{-k(t-x)} \right) \right] - R_{(t)} \right\} \times (1 - OX) \right] \times 25 \quad (2)$$

โดยที่ GHG_{OD} คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขยะด้วยวิธีการเทกอง ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}$) MSW_x คือ ปริมาณขยะของเมืองทั้งหมดในปี x (ตัน) L_0 คือ ศักยภาพของการเกิดมีเทน (ตันมีเทน/ตันขยะ) $R_{(t)}$ คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ในปีที่ t (ตันมีเทน) OX คือ สัดส่วนก๊าซมีเทนที่ถูกเปลี่ยนรูปในปฏิกิริยาออกซิเดชัน x คือ ปีที่เริ่มต้นในการทิ้งขยะในบ่อเทกอง และ t คือ ปีปัจจุบัน ส่วนการกำจัดขยะที่นำไปฝังกลบนอกพื้นที่แบบ LFG นั้น มีการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นแบบฝังกลบที่ถูกสุกสลายนั้น นำมาคำนวณรวมกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมของเทศบาลเมืองพะเยาขอบเขตที่ 3

3.4.2 การจัดการน้ำเสีย

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการน้ำเสียของเทศบาลเมืองพะเยา คำนวณได้ 2 แบบ คือ บ่อแฟคัลเตทีฟ (facultative pond) ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 5 ตารางกิโลเมตร และการปล่อยทิ้งทั่วไป ซึ่งการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากน้ำเสีย [9] คำนวณได้จากสมการที่ (3) คือ

$$GHG_{FP} = \left\{ \left[((TOW - S) \times EF_{FP}) - R \right] \times 10^{-3} \right\} \times 25 \quad (3)$$

โดยที่ GHG_{FP} คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}$) TOW คือ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (กิโลกรัมบีโอดี) S คือ ปริมาณกากตะกอนน้ำเสียที่ถูกลอกออก (กิโลกรัมบีโอดี) EF_{FP} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซมีเทนจากสารอินทรีย์ (กิโลกรัมมีเทน/กิโลกรัมบีโอดี) และ R

คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ในปีนั้น ๆ (กิโลกรัมมีเทน)

3.4.3 การเพาะปลูกข้าว

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเพาะปลูกข้าว สามารถคำนวณจากมีเทนที่เกิดขึ้นจากการขังน้ำในนาข้าวในช่วงของการปลูกข้าว (rice cultivation) [9] ทั้งนี้การคำนวณจะไม่รวมไนตรัสออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ย ซึ่งในเขตเทศบาลเมืองพะเยานั้นเป็นการปลูกข้าวนาปีและเป็นข้าวชนิดที่ไวต่อช่วงแสง ดังนั้นการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในนาข้าวคำนวณได้จากสมการที่ (4) คือ

$$GHG_{RC} = [EF_{RC} \times t \times A] \times 25 \quad (4)$$

โดยที่ GHG_{RC} คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าว ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}$) EF_{RC} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายวันของระบบการเพาะปลูก (กิโลกรัมมีเทน/ไร่) t คือ ระยะเวลาการเพาะปลูกข้าวของระบบการเพาะปลูก (วัน) และ A คือ พื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวรายปี (ไร่) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายวันของระบบการเพาะปลูก EF_{RC} คำนวณได้จากคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกเล่มที่ 4 [9]

3.4.4 ปุศสัตว์และการจัดการมูลสัตว์

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเลี้ยงสัตว์ในเขตเมืองมาจาก 2 ส่วน คือ มีเทนที่เกิดขึ้นจากการย่อยอาหาร (ในลำไส้) ของสัตว์ (enteric fermentation) และมีเทนที่เกิดจากการจัดการมูลสัตว์ (manure management) สำหรับในเขตเทศบาลเมืองพะเยานั้นมีเฉพาะการเลี้ยงโคเนื้อเท่านั้น โดยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการย่อยอาหารของโค [9] คำนวณได้จากสมการที่ (5) คือ

$$GHG_{EF} = [N \times EF_{EF}] \times 25 \quad (5)$$

โดยที่ GHG_{EF} คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยอาหารของโค ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}$) N คือ จำนวนโคในเขต

เมือง (ตัว) และ EF_{EF} ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยอาหารของโค (กิโลกรัมมีเทน/ตัว) โดยค่า EF_{EF} มีค่า 47 กิโลกรัมมีเทนต่อโค 1 ตัว [9] วนของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการจัดการมูลโค นั้นคำนวณได้จากสมการที่ (6) คือ

$$GHG_{MM} = [N \times EF_{MM}] \times 25 \quad (6)$$

โดยที่ GHG_{MM} คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการมูลโค ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}$) N คือ จำนวนโคในเขตเมือง (ตัว) และ EF_{EF} ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยอาหารของโค (กิโลกรัมมีเทน/ตัว) โดยค่า EF_{EF} มีค่า 1 กิโลกรัมมีเทนต่อโค 1 ตัว [9]

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาตามแนวทางการจัดทำข้อมูลก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองนั้น พบว่าในปี พ.ศ. 2561 เทศบาลเมืองพะเยาปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 31,876.75 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เทศบาลเมืองพะเยามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 2 ที่มาจากการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด โดยกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าของเทศบาลเมืองพะเยา มาจากการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารบ้านเรือนผู้อยู่อาศัย ร้านค้า และอาคารสำนักงานเป็นหลัก คิดเป็นสัดส่วนถึง 49.23 เปอร์เซ็นต์ ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของเทศบาลเมืองพะเยา ซึ่งสอดคล้องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาของกองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ ส่วนการศึกษาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า [10] อย่างไรก็ตาม ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยามีความแตกต่างจากค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเมืองด่านซ้าย จังหวัดเลย ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 มากที่สุดมาจากการใช้เชื้อเพลิงจากภาคอุตสาหกรรม [3] แต่มีความคล้ายคลึงกับเทศบาลนครเชียงรายที่มีค่าการ

ปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในขอบเขตที่ 2 มากที่สุด [11] ทั้งนี้เกิดจากเทศบาลเมืองพะเยามีความหนาแน่นของประชากร รวมถึงลักษณะของเมืองที่ประกอบด้วยร้านค้าและธุรกิจค้าปลีกเป็นส่วนใหญ่ โดยสังเกตจากผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 2-5 มีสัดส่วนรวมกันสูงถึง 53.71 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของเมือง ดังแสดงในตารางที่ 4

ดังนั้นการหาแนวทางการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า จึงควรมุ่งเน้นการลดการใช้ไฟฟ้า

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 1-5 อาทิ ระบบแสงสว่างในอาคาร ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ [12] หากมีการปรับปรุงอุปกรณ์แสงสว่างในอาคารก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะส่งผลกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเมือง [13] นอกจากนี้การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคา (solar rooftop system) เป็นอีกทางเลือกที่ช่วยลดการใช้ไฟฟ้าของเมือง และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เช่นกัน [14]

Table 3 City carbon footprint of Muang Phayao municipality in 2018

Scopes	Sectors	Items	GHG emission (tCO ₂ eq)	EF (kgCO ₂ eq/Unit)	Emission sources	Proportion (%)
1	Energy	Gasoline	182.02	2.2376	IPCC Vol. 2 table 3.2.1, 3.2.2, PTT	0.57
		Diesel	4,343.68	2.7446	IPCC Vol. 2 table 3.2.1, 3.2.2, PTT	13.62
		Gasohol	4,431.42	2.2376	IPCC Vol. 2 table 2.2, DEDE	13.90
		LPG vehicle	117.10	1.7226	IPCC Vol. 2 table 2.2, DEDE	0.37
		LPG household	694.41	3.1899	IPCC Vol. 2 table 2.2, DEDE	2.18
		Biodiesel and renewable energy	17.96	2.7446	IPCC Vol. 2 table 3.2.1, 3.2.2, PTT	0.06
		Charcoal and firewood	815.74	3.4039	IPCC Vol. 2 table 2.2, DEDE	2.56
	Waste management	Wastewater treatment	549.24	(eq 3)	equation	1.72
	Agriculture and livestock	Rice cultivation	709.73	(eq 4)	equation	2.23
		Livestock (beef cattle)	56.40	(eq 5, eq 6)	equation (enteric, manure)	0.18
Sub-total scope 1			11,917.74			37.39
2	Electricity	Electricity	15,694.42	0.5821	Thailand Grid Mix Electricity LCI Database 2557 (2014)	49.23
	Sub-total scope 2		15,694.42			49.23
3	Other	Waste	4,118.97	(eq 2)	equation	12.92
		Waste (March- December 2018) (transportation)	145.62	2.7446	IPCC Vol. 2 table 3.2.1, 3.2.2, PTT	0.46
	Sub-total scope 3			4,264.59		
Total 1 2 3			31,876.75			100.00

Table 4 Eight types of electricity usage proportion of Muang Phayao municipality in 2018

Types	Items	Ratios (%)
1	Residential	44.97
2	Small General Service	21.05
3	Medium General Service	16.46
4	Large General Service	14.50
5	Specific Business Service	1.70
6	Government and Non-profit Organization	0.01
7	Agricultural Pumping	0.40
8	Temporary Service	0.91
Total		100

ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ 1 นั้น มีสัดส่วนรองลงมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าในขอบเขตที่ 2 กล่าวคือ มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 9,786.63 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็น 30.70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประกอบไปด้วยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของยานพาหนะภายในเขตเทศบาลเมืองพะเยา ดังนั้น แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงดังกล่าว อาจพิจารณาแนวทาง เช่น การส่งเสริมการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลที่เป็นรถยนต์ไฮบริดหรือรถยนต์ไฮบริด ซึ่งสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 3.45 ของชนิดการใช้เชื้อเพลิง และการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคขนส่ง หากผู้บริโภคมีการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากดีเซลพื้นฐานเป็นไบโอดีเซล และแอลพีจีเป็นก๊าซธรรมชาติอัดสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 4.37 ของชนิดการใช้เชื้อเพลิง [15]

สำหรับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 3 นั้น การเก็บข้อมูลพบว่าในเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 เทศบาลเมืองพะเยามีการจัดขยะโดยการเทกองในพื้นที่ของทางเทศบาลที่ได้จัดซื้อไว้นอกเขต มีปริมาณรวม 1,098.67 ตัน จะส่งผลให้เกิดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2562 จำนวน 3.96 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า แต่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 นั้น เทศบาลเมืองพะเยาได้นำขยะไปกำจัดกับเอกชนที่รับกำจัดขยะที่อำเภอสอด จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 32 ตัน ขาไปบรรทุกขยะเต็ม ขากลับตีเปล่า มีการกำจัดขยะแบบ (landfilled gas, LFG) เนื่องจากพื้นที่ในการกำจัดขยะเดิมไม่สามารถรองรับปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ซึ่งมีการนำก๊าซเรือนกระจก (มีเทน) ไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า ส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งจำ 45.62 tCO₂eq (หากกำจัดขยะแบบเทกองจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2562 จำนวน 19.72 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) โดยที่ทางเทศบาลเมืองพะเยาต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่ง อีกทั้งยังเพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งอีกด้วย

เมื่อลองพิจารณาเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดขยะในพื้นที่เดิม กับการสร้างระบบ LFG ในพื้นที่เดิม และการขนส่งไปกำจัดนอกพื้นที่ โดยใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ [16] พบว่าหากปริมาณขยะทั้งหมดในปี พ.ศ. 2561 จำนวน 6,568 ตัน ขนส่งไปกำจัดที่จังหวัดเชียงใหม่จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 146 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งเพียงอย่างเดียว และหากมีการกำจัดขยะในพื้นที่เดิมด้วยวิธีการเทกองจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 24 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และหาก

มีระบบ LFG ในพื้นที่ที่สามารถลดก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดขยะทั้งหมด เนื่องจากระบบ LFG เป็นการรวบรวมขยะมาฝังกลบในหลุมขนาดใหญ่จนเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาให้เกิดก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อก๊าซมีเทนที่สะสมกันลอยตัวขึ้นมาจะถูกไล่ไปยังตามท่อเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้า [17] ต่างจากการฝังกลบแบบทั่วไปที่ปล่อยก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายของขยะ โดยไม่มีการควบคุมหรือนำไปใช้งาน ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบไว้ในรูปที่ 3

หากมีการนำแนวทางจากการศึกษาเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขอบเขต มาจำลอง

สถานการณ์กับข้อมูลการดำเนินกิจกรรมของเทศบาลพะเยา พบว่าสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก 5,306.64 tCO_2eq ดังแสดงในตารางที่ 5

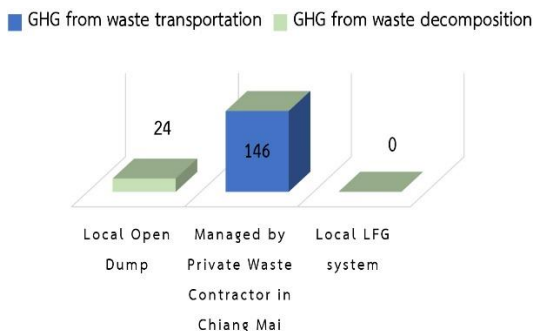


Figure 3 Comparative of GHG emission from each waste management method

Table 5 Estimated GHG Emission Reduction

Scopes	Items	GHG emission reduction (tCO_2eq)
Scope 1	Replacing diesel fuel with biodiesel	189.92
Scope 2	Replacing lightbulb in households (all households change 1 fluorescent bulb to LED and turn on 4 hours/day)	87.42
	Installing solar rooftops (1 kWh for all households)	764.71
Scope 3	Changing waste management method to LFG	4,264.59
Total		5,306.64

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การประเมินก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาตามแนวทางการจัดทำข้อมูลก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2561 พบว่าการดำเนินกิจกรรมของเทศบาลเมืองพะเยาที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การใช้ไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วนมากถึง 49.23 เปอร์เซ็นต์ ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด รองลงมาเป็นการใช้พลังงานเชื้อเพลิง 33.26 เปอร์เซ็นต์ และอีก 12.92 เปอร์เซ็นต์ มาจาก

การจัดการขยะที่เป็นแบบเทกอง (open dump) ซึ่งดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ส่วนอีกประมาณ 4.59 เปอร์เซ็นต์ ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากกิจกรรมอื่น ๆ สำหรับแนวทางในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยานั้น ควรพิจารณาการจัดการขยะเป็นอันดับแรกเนื่องจากมาตรการนั้นนอกจากจะลดปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ที่เกิดจากการย่อยสลายของขยะแล้ว ยังสามารถลดก๊าซเรือนกระจกจากการนำไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก LFG ไป

ทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง (grid mix) อีกด้วย ลำดับที่สองควรมีมาตรการการลดการใช้ไฟฟ้า ซึ่งกิจกรรมส่วนใหญ่เป็นร้านค้าและธุรกิจค้าปลีกต่าง ๆ ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นหลัก โดยการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟฟ้าแอลอีดีแทนหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ หรือการใช้พลังงานทดแทน เช่น การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคา (solar rooftop system) จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าในช่วงกลางวันลง อันสุดท้าย การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้านการใช้พลังงานเชื้อเพลิง เช่น การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงจากดีเซลเป็นไบโอดีเซล การรณรงค์การใช้รถยนต์อีโคคาร์หรือรถยนต์ไฮบริด และการติดตั้งเทคโนโลยีการกำจัดขยะที่เหมาะสม ซึ่งจะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะเช่นกัน ทั้งนี้หากเทศบาลเมืองพะเยานำข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในเขตพื้นที่มา กำหนดแนวทางปรับเปลี่ยนกิจกรรมและการใช้พลังงานตามบริบทที่เหมาะสม จะสามารถทำให้เทศบาลเมืองพะเยาลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมุ่งสู่เป้าหมายการเป็นเมืองคาร์บอนต่ำตามแนวนโยบายที่ได้วางไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ประสบผลสำเร็จล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ หน่วยงาน เทศบาลเมืองพะเยา องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดพะเยา สำนักงานพลังงานจังหวัดพะเยา สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดพะเยา สำนักงานเกษตรอำเภอเมืองพะเยา สำนักงานปศุสัตว์อำเภอเมืองพะเยา และหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการอนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งให้ความ

ช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

7. References

- [1] World Meteorological Organization, 2019, Greenhouse Gas Concentration Atmosphere Reach Yet Another High, Available Source: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-concentrations-atmosphere-reach-yet-another-high>, November 30, 2019.
- [2] TRF Policy Brief, 2013, Low Carbon Society: Development and Impetus Paradigm, Available Source: <http://prp.trf.or.th/download/810>, November 30, 2019. (in Thai)
- [3] Sununta, N., Sedpho, S. and Sampattagul, S., 2018, City carbon footprint evaluation and forecasting case study: Dan Sai municipality, Chem. Eng. Trans. 63: 277-282.
- [4] Nongsamrong Municipality, 2013, Green house Gas Emission of Nongsamrong Municipality, Available Source: <http://www.nongsamrong.go.th/files/gallerycontent/file-7465.pdf>, December 2, 2019. (in Thai)
- [5] Xi, F., Geng, Y., Chen, X., Zhang, Y., Wang, X., Xue, B., Dong, H., Liu, Z., Ren, W., Fujita, T. and Zhu, Q., 2011, Contributing to local policy making on GHG emission reduction through inventorying and attribution: A case study of Shenyang, China, Energy Policy 39: 5999-6010.
- [6] Thailand Greenhouse Gas Management

- Organization, 2020, Greenhouse Gas Emission in Local Administrative Organizations and Cities, Available Source: <http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=56&s2=233&sub3=sub3>, June 25, 2020. (in Thai)
- [7] Muang Phayao Municipality, 2018, Annual Performance Report of Muang Phayao Municipality 2018, Available Source: <https://drive.google.com/file/d/14ctYIXSS5QMqBmjyNSZmrWrtrS4XHG3x/view>, December 1, 2019. (in Thai)
- [8] Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2016, Guidelines for Assessing the Carbon Footprint of City, 2nd Ed., Available Source: http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/ccf/TGO_CCF_Ebook_V.Sep2559.pdf, January 2, 2020. (in Thai)
- [9] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Available Source: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>, December 2, 2019.
- [10] Chaivanich, K., 2020, Carbon footprint of an organization: A case study of the Department of Ordnance Engineering Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy, Rajabhat Nakhon Sawan J. Sci. Technol. 12(15): 48-57. (in Thai)
- [11] Sampattagul, S. and Khomyan, C., 2016, City Carbon Footprint Evaluation and GHG Mitigation Options Planning Survey for Low Carbon City, Conference Paper, Available Source: https://www.researchgate.net/publication/301732341_City_Carbon_Footprint_Evaluation_and_GHG_Mitigation_Options_Planning_Survey_for_Low_Carbon_City, June 25, 2020. (in Thai)
- [12] Coordinating Center for Energy Conservation Building Design, Department of Alternative Energy Department and Efficiency, Ministry of Energy, 2017, Guidelines for Building Design for Energy Conservation, Available Source: <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/guidelinrBEC2017.pdf>, December 2, 2019. (in Thai)
- [13] Lamrio, T., Klinpet, H. and Tantisattayakul, T., 2020, An energy efficiency improvement opportunities of lighting system in lecture rooms: A case study of Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Thai Sci. Technol. J. 28(7): 1309-1320. (in Thai)
- [14] Tantisattayakul, T., Rassameethammachote, P. and Auisakul, M., 2017, Energy, environmental and economic assessment of solar rooftop systems on buildings of Thammasat University, Rangsit Centre, Thai Sci. Technol. J. 25(6): 1084-1099. (in Thai)
- [15] Ruengphol, S., 2016, Greenhouse Gas Emission from the Road Transportation Sector in Andaman Provinces, Thailand,

- Master's Thesis, Prince of Songkla University, Songkla, 142 p. (in Thai)
- [16] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2020, Carbon Footprint of Products (CFP) Emission Factors, Available Source: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_117a1351b6.pdf, January 5, 2020. (in Thai)
- [17] Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2016, Project proposal document “Tha Chiang Tong Landfill Gas Recovery for Electricity Generation”, Available Source: <http://ghgreduction.tgo.or.th/tver-database-and-statistics/t-ver-registered-project/item/823-tha-chiang-tong-landfill-gas-recovery-for-electricity-generation.html>, January 2, 2020. (in Thai)