

การศึกษาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง

กรณีศึกษา: เทศบาลเมืองพะเยา

Study of Guidelines to Reduce Greenhouse Gas Emissions:

Case of Muang Phayao Municipality

อำนาจ วิชัย^{1*}, สุรัตน์ เศษโพธิ์¹, การุณย์ ชัยวนิชย์²

Amnaj Vichai^{1*}, Surat Sedpho¹, Karun Chaivanich²

¹คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 56000

¹School of Energy and Environment, University of Phayao

²กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า 26001

²Department of Ordnance Engineering, the Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองกรณีศึกษา เทศบาลเมืองพะเยา โดยมีการนำข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2561 ทำการวิเคราะห์เพื่อเสนอแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างมีเป้าหมาย เนื่องจากหากไม่มีการดำเนินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ภายในปี พ.ศ. 2573 เทศบาลเมืองพะเยาจะมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 54,257.60 tCO₂e จึงได้ทำการศึกษาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับเทศบาลเมืองพะเยาจำนวน 4 แนวทาง ได้แก่ มาตรการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (PV) การสร้างโรงคัดแยกขยะ การผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) และการจัดการขยะแบบฝังกลบ Semi aerobic landfill พบว่า จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะเกิดขึ้นในปี 2573 ลงได้เท่ากับ 4,282.91 tCO₂e คิดเป็นร้อยละ 18.51 นอกจากนี้ หากเริ่มการดำเนินการทั้ง 4 มาตรการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 พบว่ามาตรการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการผลิตเชื้อเพลิงขยะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด รองลงมาเป็นมาตรการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การสร้างโรงคัดแยกขยะ และการฝังกลบขยะแบบ Semi aerobic landfill ตามลำดับ

คำสำคัญ: การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง การลดก๊าซเรือน

* Corresponding author: amnaj.vichai@gmail.com

Abstract

This research aimed to study guidelines to reduce greenhouse gas (GHG) emissions in Muang Phayao Municipality. Data on City Carbon Footprint of Muang Phayao Municipality in 2018 was identified as a baseline to predict Business as Usual (BAU) emissions in 2030 which indicated to be 54,257.60 tCO₂eq if no action is taken. Four mitigation options were considered based on activities including PV solar rooftop installations to produce electricity, waste sorting plant system, application of Refuse Derived Fuel (RDF) technology, and Semi-Aerobic Landfill technology. These mitigation projects could reduce GHG emissions in 2030 by 4,282.91 tCO₂eq, accounting for 18.51 percent. If started implementing in 2019, the RDF technology mitigation option was the most economically feasible, followed by solar rooftop installation, waste sorting plant system, and Semi-Aerobic Landfill respectively.

Keywords: City Carbon Footprint, Greenhouse Gas Reduction

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งมีความรุนแรงและส่งผลกระทบเป็นวงกว้างอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังจะเห็นได้จากการที่ฤดูกาลต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป ภัยแล้งที่ยาวนานขึ้น รวมทั้งการที่น้ำแข็งขั้วโลกละลาย ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น และเกิดโรคอุบัติใหม่ เป็นต้น โดยผลกระทบเหล่านี้ไม่สามารถแก้ไขได้ในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นการวางแผนและการเตรียมการในระยะยาวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญ ปัญหาดังกล่าวทำให้หลายประเทศทั่วโลกร่วมมือกันหาวิธีบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้น โดยได้ร่วมกันทบทวนเพื่อกำหนดมาตรการต่าง ๆ เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พร้อมผลักดันให้ประเทศต่าง ๆ รวมถึงประเทศกำลังพัฒนาจัดทำแผนและยุทธศาสตร์การพัฒนาสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society) (สำนักงานสนับสนุนการวิจัย, 2556) ประเทศไทยเป็นอีกหนึ่งประเทศที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว โดยได้แสดงเจตจำนงในการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ด้วยการลงนามให้ความร่วมมือในการประชุม COP21 เพื่อกำหนดเป้าหมายที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงให้ได้ร้อยละ 20 ภายในปี พ.ศ.2573

ทั้งนี้ การกำหนดแนวทางเพื่อพัฒนาสู่สังคมคาร์บอนต่ำจะต้องดำเนินการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง (City Carbon Footprint: CCF) เพื่อวิเคราะห์และลำดับความสำคัญของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดปริมาณก๊าซเรือนกระจก ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดแผนและนโยบายการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างถูกต้องและเหมาะสมกับบริบทของเมือง ที่ผ่านมามีการศึกษาลักษณะดังกล่าว อาทิ การจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือน

กระจกของเทศบาลตำบลด่านซ้าย จังหวัดเลย (Sununta & Sampattagul, 2018) ทำให้ทราบถึงสาเหตุสำคัญของการเกิดก๊าซเรือนกระจกของเมืองมาจากการใช้เชื้อเพลิงภาคอุตสาหกรรม นำไปสู่การกำหนดแนวทางและวิธีการดำเนินการเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในระดับเมือง นอกจากนี้ ชนนิกันต์ คำยันต์ และเศรษฐ์ สัมภิตตะกุล (2559) ได้ศึกษาถึงแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมกับเมือง ด้วยการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) เพื่อลดปริมาณขยะที่ต้องกำจัด การผลิตไฟฟ้าใช้เองด้วยการติดตั้งโซลาร์รูฟท็อป (PV) เพื่อลดการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าชนิด LED ในครัวเรือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แสงสว่าง ซึ่งเป็นผลมาจากการศึกษาข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับเมือง และการดำเนินนโยบายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับของจังหวัดของจังหวัดกาฬสินธุ์ที่มีการจัดทำโครงการพัฒนาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกในระดับจังหวัดขึ้น อันเป็นผลมาจากการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกในระดับจังหวัดที่ทำให้ทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่พบมากที่สุดมาจาก ภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ที่ดิน รองลงมาเป็นภาคพลังงานและภาคขนส่งตามลำดับ นำไปสู่การจัดทำมาตรการที่ให้ความสำคัญกับภาคการเกษตรเป็นลำดับแรก เช่น ลดการเผาในพื้นที่เกษตร การปรับเปลี่ยนวิธีการปลูกข้าว การเพิ่มพื้นที่สีเขียว และมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน มาตรการด้านพัฒนาพลังงานทดแทน มาตรการใช้รถ EV มาตรการ Car Free Day เป็นต้น (รัชพร สิงขรทัย, 2565)

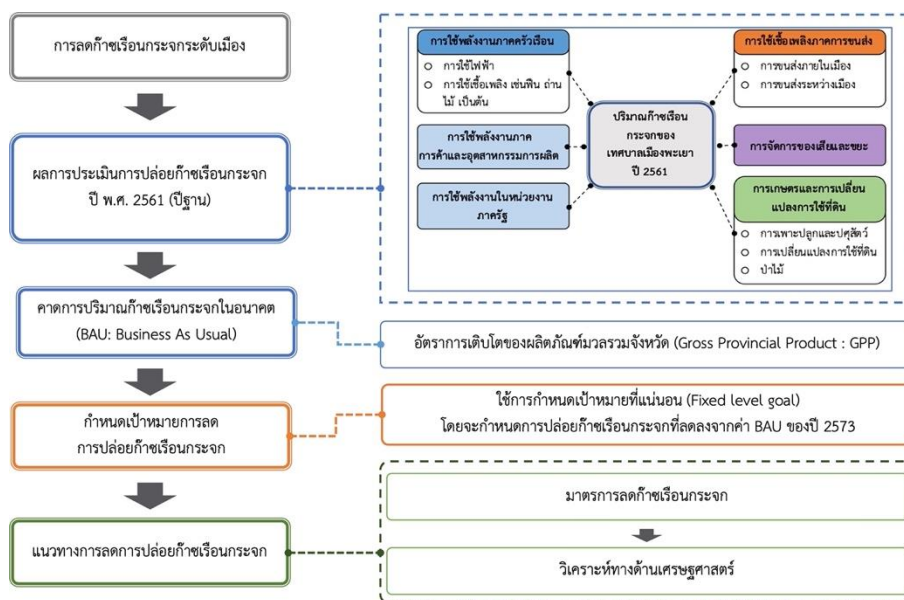
เทศบาลเมืองพะเยาเป็นหนึ่งในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นของประเทศไทยที่ให้ความสำคัญกับประเด็นเรื่องสิ่งแวดล้อมและได้เข้าร่วมโครงการประเมินก๊าซเรือนกระจกในระดับองค์กรกับองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (อบก.) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2557 โดยเทศบาลเมืองพะเยามีนโยบายในการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจังเพื่อบูมสู่การลดก๊าซเรือนกระจกในระดับเมือง อย่างไรก็ตามหน่วยงานยังมีองค์ความรู้จำกัดในด้านการขยายผลในการประเมินก๊าซเรือนกระจกในระดับเมืองอีกทั้งยังขาดแนวทางในการดำเนินการที่ชัดเจนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาจากผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเมือง เพื่อให้เป็นไปตามแนวนโยบายการพัฒนาของประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและเสนอแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยา

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาแนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับเมืองของเทศบาลเมืองพะเยา มีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2561 (ปีฐาน) จัดลำดับความสำคัญเพื่อศึกษาทิศทางการลดก๊าซเรือนกระจกของเมือง

3.2 การคาดการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเมืองที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเพื่อใช้กำหนดเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจก ด้วยการสร้างเส้น BAU (Business As Usual) ที่เป็นการพยากรณ์อัตราการเกิดก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ตัวแปรภายนอกโดยสมมติฐานอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจย้อนหลัง เพื่อพยากรณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ปี พ.ศ.2562–2573 โดยใช้ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในระดับจังหวัด ทำการหาค่าแนวโน้มไปข้างหน้า ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Regression Analysis) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรอิสระ 1 ตัวและตัวแปรตาม 1 ตัว โดยตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกันอาจจะเป็นความสัมพันธ์ตามกันหรือผกผันก็ได้ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$Y_i = \beta_o + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

โดยที่ Y คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable) เนื่องจากค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X , X คือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable), β_o คือ ส่วนตัดแกน Y หรือ คือค่าของ Y เมื่อ X มีค่าเป็นศูนย์, ε_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (Random error), $\beta-1$ คือ ค่าความชัน (slope) ของเส้นตรง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y

3.3 กำหนดมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกของเมือง โดยใช้แนวทางวิธีการลดก๊าซเรือนกระจก จากโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER)

3.3.1 การประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมเป็นการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ได้จากสมการที่ 2

$$GHG_i = AD_i \times EF_i \quad (2)$$

โดยที่ GHG_i คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรม i มีหน่วยเป็น ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq), AD_i คือ ข้อมูลกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีหน่วยแตกต่างกันไปตามกิจกรรม i , EF_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรม i (โดยจะมีหน่วยที่สอดคล้องกับข้อมูลกิจกรรม) * ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2563)

3.4 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการดำเนินมาตรการ 3 ด้าน ได้แก่

3.4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นการพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ ซึ่งผลจากการศึกษานี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการประกอบการตัดสินใจว่าการลงทุนในโครงการจะคุ้มค่าหรือไม่นั้น จำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$NPV = \sum_{t=1}^n \left(\frac{Bt - Ct}{(1+i)^t} \right) \quad (3)$$

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนของโครงการ (บาท), Bt คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนของโครงการ (บาท), Ct คือ มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (ปี), i คือ อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ย (%), t คือ ของโครงการ คือ ปีที่ 1,2,3,...,n (ปี)

3.4.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คืออัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี เป็นอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีให้ผู้ลงทุนจะได้รับจากการลงทุนตลอดอายุโครงการอัตราผลตอบแทนคิดลดนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินโครงการ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$I = \left(\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \right) \quad (4)$$

โดยที่ I คือ เงินจ่ายลงทุนของโครงการ (บาท), C_t คือกระแสเงินสดได้รับสุทธิ ณ ปีที่ t (บาท), Ct คือ มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (ปี), i คือ อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ย (%), t คือ ของโครงการ คือ ปีที่ 1,2,3,...,n (ปี)

3.4.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) หมายถึงระยะเวลาคืนทุนของโครงการ ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการที่ให้ผลตอบแทนสุทธิมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการพอดี เพื่อนำค่าที่ได้มาช่วยในการพิจารณาระยะเวลาของผลตอบแทนคุ้มค่างบกับค่าใช้จ่ายการลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (5)$$

4. ผลการวิจัย

4.1 จากข้อมูลการประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองของเทศบาลเมืองพะเยา ตามแนวทางของคู่มือการดำเนินโครงการลดก๊าซเรือนกระจกเพื่อบูชาเมืองคาร์บอนต่ำ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2562 ก) ทั้ง 3 ขอบเขต พบว่าเทศบาลเมืองพะเยามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ.2561 รวมทั้งสิ้น 31,876.75 tCO₂eq โดยประกอบไปด้วยรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

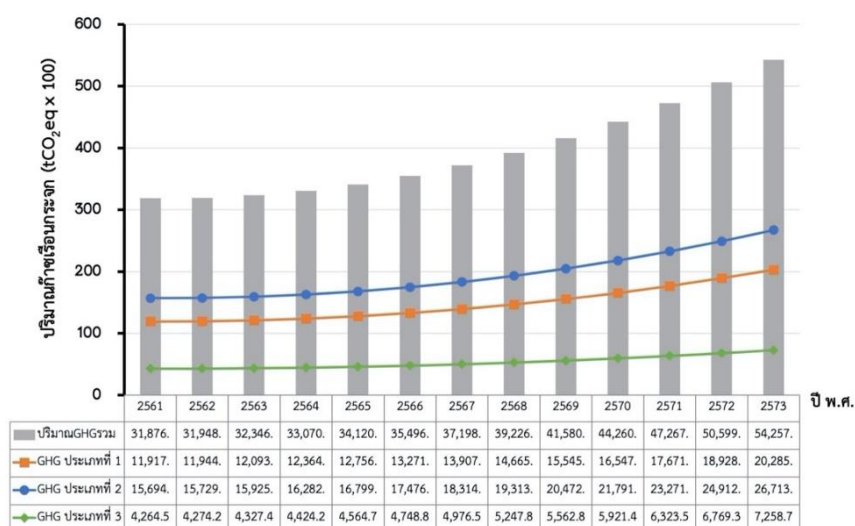
ตารางที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรม

กลุ่มของกิจกรรม	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO ₂ eq)				ร้อยละ
	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	รวม	
กลุ่มการเผาไหม้อยู่กับที่ (Stationary Energy)				17,143.67	53.78
การใช้พลังงานในที่พักอาศัย	1,510.15	6,887.30			
การใช้พลังงานในภาคภาครัฐกิจ		8,366.21			
การค้า					
การใช้พลังงานภาครัฐและองค์กรไม่แสวงผลกำไร		380.01			
กลุ่มขนส่ง (Transportation)				9,092.22	28.52
การใช้พลังงานขนส่งทางถนน	9,092.22				
กลุ่มการจัดการของเสีย (Waste)				4,813.83	15.10
การจัดการน้ำเสีย	549.24				

กลุ่มของกิจกรรม	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO ₂ eq)				
	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	รวม	ร้อยละ
การจัดการขยะแบบเทกอง (บ่อขยะเทศบาล)			4,118.97		
การขนส่งขยะเดือน มีนาคม- ธันวาคม (จัดการที่ อ.ฮอด จ. เชียงใหม่)			145.62		
กลุ่มการเกษตรป่าไม้และการใช้ที่ดิน (AFOLU)				827.03	2.59
การจัดการปศุสัตว์	56.40				
การเพาะปลูกข้าว	709.73				
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด				31,876.75	100

ที่มา: การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองกรณีศึกษา: เทศบาลเมืองพะเยา (อำนาจ วิชัย และคณะ, 2564)

4.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ.2561 ในตารางที่ 1 ทำการพยากรณ์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยใช้ตัวแปรในการพยากรณ์คำนวณจากผลิตภัณฑ์มวลรวมของจังหวัดต่อหัว ประชากรคูณกับประชากรในเขตเทศบาลที่สร้างรายได้ (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2561) ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกย้อนหลังสามารถพยากรณ์จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น คาดว่าในปี 2573 จะมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นจำนวน 54,257.60 tCO₂eq เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2561 ถึง 22,380.85 tCO₂eq ดังภาพแสดงที่ 2



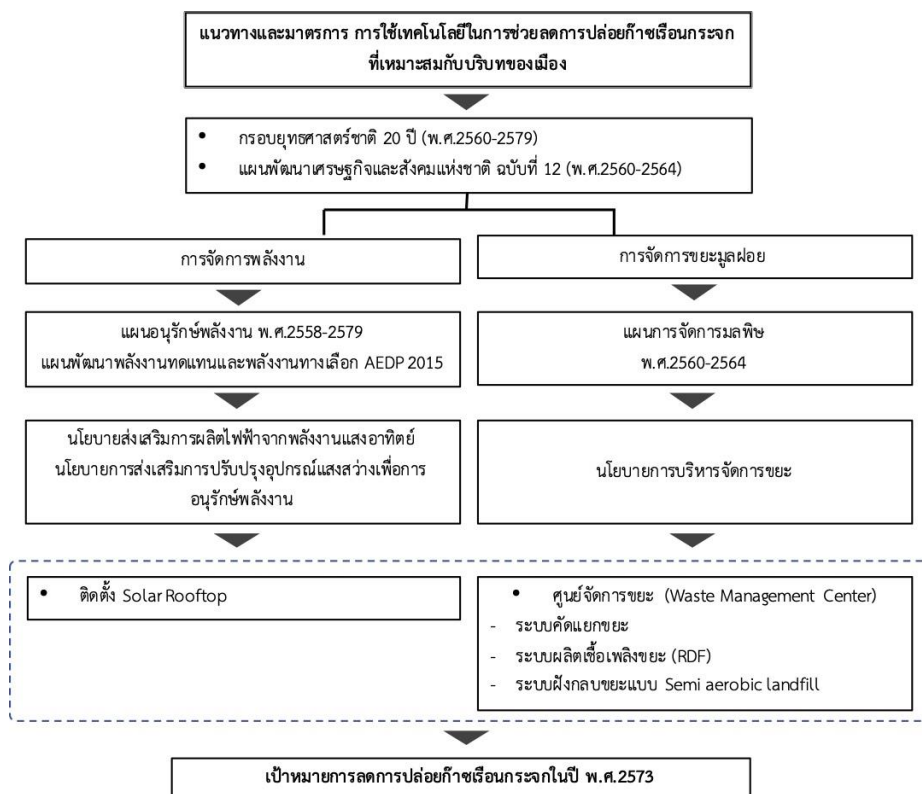
ภาพที่ 2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาปี 2562-2573

4.3 เป้าหมายสำหรับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้รูปแบบ Fixed Level Goal เป็นการกำหนดเป้าหมายที่แน่นอน กำหนดเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยา ไม่เกิน 50,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในปี พ.ศ. 2573

4.4 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับเทศบาลเมืองพะเยาพิจารณาแนวทางปฏิบัติภายใต้การกระจายอำนาจของภาครัฐที่มุ่งให้ท้องถิ่นมีหน้าที่กำกับดูแลงานบริการสาธารณะและการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในเขตการปกครอง โดยให้มีความสอดคล้องกับบริบทของเทศบาลเมืองพะเยา ดังภาพแสดงที่ 3 และมีรายละเอียด ดังนี้

4.4.1 ขั้นตอนการเลือกเทคโนโลยีและมาตรการที่เหมาะสมกับบริบทของเมืองโดยใช้การพิจารณาแนวทางที่สอดคล้องกับระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2562ข) มาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการพัฒนาพลังงานทางเลือก และมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการจัดการขยะมูลฝอย

4.4.2 ข้อมูลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามมาตรการและแนวทางที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1 tCO₂e/year จะต้องมีการดำเนินงานในแต่ละแนวทางโดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 3 แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกตามบริบทของเมือง

ตารางที่ 2 โครงการที่จะต้องดำเนินการในแต่ละแนวทางต่อการลดก๊าซเรือนกระจกจำนวน 1 tCO₂eq

แนวทาง	จำนวน	หน่วย	ที่มา
การผลิตไฟฟ้าทดแทนจากโซลาร์รูฟท็อป	1,717.92	kWh	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559ข
การคัดแยกขยะ (จำนวนขยะที่ลดลง)	1.54	ตันกิโลกรัม	วิไลพร ชินพีระเสถียร, 2553
การผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF	2.08	ตันกิโลกรัม	ภัทรานิษฐ์ ปริญากุลเสฏฐ์, 2560
การจัดการขยะแบบฝังกลบ Semi aerobic landfill	1.57	ตันกิโลกรัม	กองนโยบายสิ่งแวดล้อม สำนักสิ่งแวดล้อม, 2563

4.5 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาตามบริบทของเมือง มีมาตรการและขั้นตอน ดังนี้

4.5.1 มาตรการที่ 1 การดำเนินการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กำหนดให้ทำการติดตั้งโซลาร์รูฟท็อปขนาด 1 kWp ตั้งแต่ปี 2562 จำนวน 300 หลังคาเรือน จากโครงการสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 318.70 tCO₂eq ในปี พ.ศ.2573 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559ข) คิดเป็นร้อยละ 2.03 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้า ในปี พ.ศ.2561 (ปีฐาน)

4.5.2 มาตรการที่ 2 การจัดการขยะโดยการสร้างโรงคัดแยกขยะเพื่อลดปริมาณขยะที่จะต้องนำไปกำจัด จากโครงการกำหนดให้จัดการคัดแยกขยะของเทศบาลพะเยาผลจากการคำนวณตามสมการที่ 2 สามารถลดปริมาณขยะลง จำนวน 2,263 ตันกิโลกรัม ซึ่งจะมีปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,469.48 tCO₂eq ในปี พ.ศ.2573

4.5.3 มาตรการที่ 3 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF จากโครงการกำหนดให้ผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ 2,236 ตันกิโลกรัม ผลจากการคำนวณตามสมการที่ 2 สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1,123.07 tCO₂eq/ตันขยะมูลฝอยในปี พ.ศ.2573

4.5.4 มาตรการที่ 4 การจัดการขยะแบบฝังกลบ Semi aerobic landfill จากโครงการกำหนดให้จัดการขยะแบบฝังกลบจากขยะ 2,153.5 ตันกิโลกรัมต่อปี ผลจากการคำนวณตามสมการที่ 2 สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1,371.65 tCO₂eq/ตันขยะมูลฝอย ในปี พ.ศ.2573

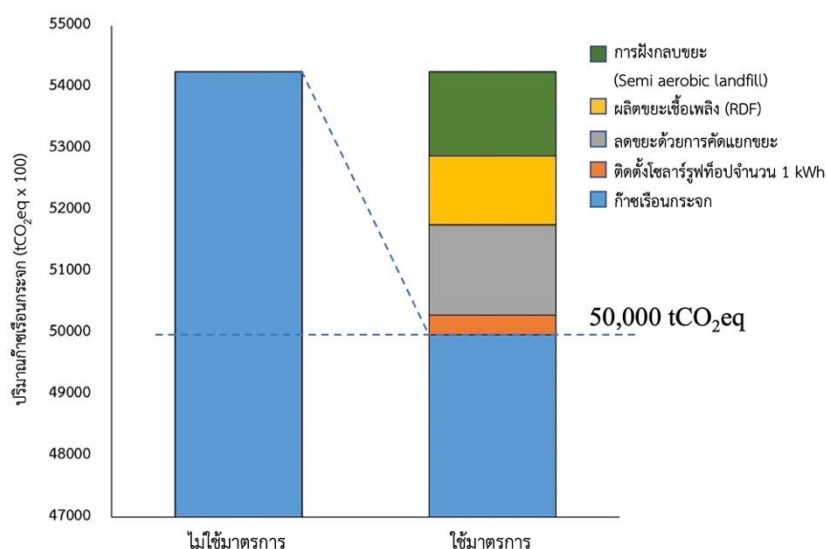
จากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดลงได้จากมาตรการจัดการขยะทั้ง 3 มาตรการ คิดเป็นร้อยละ 92.96 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการจัดการขยะในปี พ.ศ. 2561 (ปีฐาน) ที่มีการจัดการแบบเทกอง (Open dump) ในบ่อขยะ และการจัดการด้วยการขนส่งไปกำจัดที่ อ.ฮอด จ.เชียงใหม่

ดังนั้น จากแนวทางและมาตรการการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยาทั้ง 4 มาตรการ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2562-2573 สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 4,282.9 tCO₂eq ดังตารางที่ 3

ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ จากการดำเนินการทั้ง 4 มาตรการและแนวทาง เทศบาลเมืองพะเยามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่เกิน 50,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปี พ.ศ.2573 ดังภาพแสดงที่ 4

ตารางที่ 3 ปริมาณการลดก๊าซเรือนกระจกจากแนวทางที่เหมาะสมกับบริบทของเทศบาลเมืองพะเยาปี พ.ศ.2573

รายการ	ก่อนดำเนินการ (ปีฐาน) tCO ₂ eq	หลังดำเนินการ (ปี 2562-2573) ปริมาณที่ลดลง tCO ₂ eq
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า	15,694.42	318.70
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะ	4,264.59	3,964.20



ภาพที่ 4 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมาตรการและแนวทางของเทศบาลเมืองพะเยา

4.6 ผลการวิเคราะห์แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกโดยพิจารณาความเหมาะสมเชิงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกที่ต้องลงทุนในการดำเนินการจำนวน 4 โครงการของเทศบาลเมืองพะเยา โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน ระยะเวลาคืนทุน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ข้อมูล	ติดตั้งโซลาร์รูฟท็อป ขนาด 1 kWh	โรงคัดแยกขยะ	เชื้อเพลิง RDF	ฝังกลบ Semi aerobic landfill
อายุโครงการ (ปี)	20	15	15	15
เงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)	21,000,000	35,532,248	4,800,000	85,323,858.74
ค่าใช้จ่ายตลอดโครงการ (บาท)	23,520,000	45,125,954.96	5,232,000	85,323,858.74
รายได้ตลอดโครงการ (บาท)	36,091,200	59,381,006.85	18,024,000	56,507,732.40
NPV	-3,043,051.96	-4541219.58	5,916,004.93	-51,012,687.59
IRR	5.04%	4.80%	23.64%	-4.76%
PB	12.34	10.59	3.99	-

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเทศบาลเมืองพะเยา พบว่า โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กำหนดให้การติดตั้งโซลาร์รูฟท็อปขนาด 1 kWp การจัดการขยะโดยการคัดแยกขยะ ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF และการจัดการขยะแบบฝังกลบ Semi aerobic landfill มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ -3,043,051.96, -4,541,219.58, -5,916,004.93 และ -51,012,687.59 ตามลำดับ มีอัตราผลตอบแทน เท่ากับ ร้อยละ 5.04, 4.80, 23.64, -4.76 และระยะเวลาคืนทุนของแต่ละโครงการ เท่ากับ 12.34, 10.59, 3.99, 5.1 และ 0 ปี ตามลำดับ

5. อภิปรายผลการวิจัย

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในเทศบาลเมืองพะเยาเมื่อเทียบกับบริบทพื้นที่ที่มีความคล้ายกับเทศบาลนครเชียงรายที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดรองลงมาเป็นภาคขนส่งทางบก เนื่องจากมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างกับเทศบาลนครลำปางที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยสูงที่สุดเนื่องจากความหนาแน่นประชากรต่อพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงเมื่อเทียบกับเทศบาลเมืองพะเยา และเทศบาลนครเชียงราย (ชนนิกันต์ คำยันต์ และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559) สำหรับแนวทางที่เหมาะสมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองพะเยา แบ่งออกเป็น 4 มาตรการตามกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก คือ (1) โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ กำหนดให้การติดตั้งโซลาร์รูฟท็อป (2) การจัดการขยะโดยการคัดแยกขยะ (3) ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF และ (4) การจัดการขยะแบบฝังกลบ Semi aerobic landfill โดยมาตรการทั้ง 4 มาตรการ สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 4,282.9 tCO₂eq

จาก 4 มาตรการดังกล่าวสามารถจัดแบ่งได้เป็น 2 แนวทางหลัก ได้แก่ 1. การลดก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า และ 2. การลดก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะ ซึ่งแนวทางการจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าด้วยการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดปริมาณการเกิดก๊าซเรือนกระจก มีความสอดคล้องกับกรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยพะเยาที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 500 kW สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 9,908.97 tCO₂eq ตลอดอายุการใช้งาน (การณย์ ชัยวัฒน์ และ สุรัตน์ เศษโพธิ์, 2561) และการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการขยะนั้นมีความสอดคล้องกับการประเมินก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง ที่มีการศึกษาวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการขยะซึ่งมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นถึงร้อยละ 96.53 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด (ธนวรรกฤต โอฬารธนพร และคณะ, 2563) การดำเนินการตามแนวทางทั้ง 2 แนวทางของการลดก๊าซเรือนกระจกมีความเหมาะสมกับบริบทของเทศบาลเมืองพะเยาเนื่องจากการประเมินก๊าซเรือนกระจกของขอบเขตเมือง พบว่ากิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมาจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาเป็นกิจกรรมภาคการขนส่ง ตามด้วยกิจกรรมการจัดการขยะมูลฝอย อย่างไรก็ตามการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่งมีข้อจำกัดด้านอำนาจและหน้าที่ในการดำเนินนโยบายในระดับท้องถิ่น เช่น การออกกฎระเบียบหรือข้อบังคับที่สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้โดยตรงจากการใช้ยานพาหนะ หรือ การสนับสนุนส่งเสริมการใช้ยานพาหนะไฟฟ้า (EV) ดังนั้น แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกสำหรับกรณีศึกษานี้ จึงให้ความสำคัญกับการส่งเสริมให้เกิดการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เอง ลดการใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และการจัดการขยะซึ่งอยู่ในขอบข่ายอำนาจหน้าที่ของการปกครองส่วนท้องถิ่น

ผลจากการดำเนินการทั้ง 2 แนวทางนี้ ภายในปี พ.ศ.2573 เทศบาลเมืองพะเยา จะมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นจำนวน 49,974.70 tCO₂eq จากเดิม 54,257.60 tCO₂eq ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ไม่เกิน 50,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในปี พ.ศ. 2573 แต่มาตรการที่ดำเนินการโดยทางองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนั้นสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ไม่มากนักหากเทียบกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั้งหมดจึงจำเป็นต้องอาศัยการสนับสนุนส่งเสริมจากหน่วยงานภาครัฐที่สามารถออกระเบียบและกฎหมายตลอดจนวิธีการปฏิบัติ ที่สามารถควบคุมและลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งต่าง ๆ ได้

และผลของการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกทั้ง 4 มาตรการ มีดังนี้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ -3,043,051.96, -4,541,219.58, -5,916,004.93 และ -51,012,687.59 ตามลำดับ โครงการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF มีค่า NPV เป็นบวก แสดงว่าการลงทุนให้ผลกำไรเห็นควรทำการลงทุน ส่วนโครงการที่ NPV เป็นลบ แสดงว่าการลงทุนให้ผลขาดทุน ควรปฏิเสธการลงทุน พร้อมทั้งมีอัตราผลตอบแทน เท่ากับร้อยละ 5.04, 4.80, 23.64, -4.76 ตามลำดับ โครงการเชื้อเพลิงขยะ RDF มีค่า IRR สูงสุดแสดงให้เห็นว่าการลงทุนทำให้เกิดผลตอบแทนสูง ควรทำการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนของแต่ละโครงการ เท่ากับ 12.34, 10.59, 3.99, 5.1 และ 0 ปี ตามลำดับ โครงการเชื้อเพลิงขยะ RDF มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด ส่วนโครงการฝังกลบ Semi aerobic landfill เป็นโครงการที่เมื่อครบอายุโครงการแล้วยังมีรายได้ไม่น้อยกว่ารายจ่าย จึงไม่มีระยะเวลาคืนทุน

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการดำเนินกิจกรรมภายในเมืองของเทศบาลเมืองพะเยา ปี พ.ศ.2561 มีปริมาณทั้งสิ้น 31,876.75 tCO₂e ซึ่งมาจากการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มการเผาไหม้อยู่กับที่ มากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของกลุ่มการขนส่ง การจัดการของเสีย และการเพาะปลูกข้าว การเลี้ยงสัตว์ของกลุ่มการเกษตรป่าไม้และการใช้ที่ดิน (AFOLU) ตามลำดับ สำหรับแนวทางที่เหมาะสมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเมือง แบ่งออกเป็น 4 แนวทางตามกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก คือ (1) โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กำหนดให้การผลิตติดตั้งโซลาร์รูฟท็อปขนาด 1 kWp (2) การจัดการขยะโดยการคัดแยกขยะ (3) ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF และ (4) การจัดการขยะแบบฝังกลบ Semi aerobic landfill โดยมาตรการทั้ง 4 มาตรการ สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 4,282.9 tCO₂e ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ จากการดำเนินการทั้ง 4 มาตรการและแนวทางเทศบาลเมืองพะเยามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่เกิน 50,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปี พ.ศ.2573 ด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการลดก๊าซเรือนกระจก พบว่าการผลิตเชื้อเพลิงขยะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด รองลงมาเป็นมาตรการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การสร้างโรงคัดแยกขยะ และการฝังกลบขยะแบบ Semi aerobic landfill ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาแนวทางเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง กรณีศึกษา: เทศบาลเมืองพะเยา เป็นการวิเคราะห์แนวทางเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกสำหรับเทศบาลเมืองพะเยาในเบื้องต้น เพื่อนำไปสู่การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Feasibility) เพิ่มเติม สำหรับใช้วางแผนดำเนินการ และขอรับการสนับสนุนงบประมาณ เช่น การขอรับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน การขอรับการสนับสนุนการจัดการขยะจากกรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น เป็นต้น ซึ่งแนวทางที่ได้ทำการศึกษาจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะเกิดขึ้นในปี 2573 ลงได้ ร้อยละ 18.51 ซึ่งยังไม่บรรลุเป้าหมาย (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2562) ดังนั้นการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงให้ได้ร้อยละ 20 ภายในปีดังกล่าว ต้องอาศัยความร่วมมือจากประชาชนและหน่วยงานภาครัฐ รัฐวิสาหกิจและภาคเอกชนในด้านการอนุรักษ์พลังงานและการเลือกประเภทการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับการดำเนินกิจการต่าง ๆ เนื่องจากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานถือเป็นเรื่องง่ายที่สุดและไม่มีค่าใช้จ่าย ประชาชนสามารถร่วมมือดำเนินการได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยาประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561 ขอขอบคุณเทศบาลเมืองพะเยา และหน่วยงานราชการที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ในการอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อการศึกษาวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- การุณย์ ชัยวณิชย์ และ สุรัตน์ เศษโพธิ์. (2561). วิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์: กรณีศึกษา ระบบสมาร์ตกริดมหาวิทยาลัยพะเยา. *วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ*, 6(2), 194-206. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/download/114345/116700/>
- กองนโยบายสิ่งแวดล้อม สำนักสิ่งแวดล้อม จังหวัดฟูกูโอกะ. (2563, 6 มกราคม). *เทคโนโลยีการฝังกลบแบบฟูกูโอกะ: ระบบฝังกลบขยะมูลฝอยแบบกึ่งใช้อากาศ*. https://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/542225_60422739_misc.pdf
- ชนิกานต์ คำย่นต์ และ เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล. (2559). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระดับเมืองและการสำรวจแผนทางเลือกเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกสำหรับเมืองคาร์บอนต่ำ, *การประชุมวิชาการการถ่ายทอดผลงานความรู้และมวลใญ่ในอุปกรณด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 15*. (9 หน้า). สุราษฎร์ธานี .
- ธนรฤกฏ โอฬารธนพร, สันติ วงศ์ใหญ่, นราธิป วงษ์ปัน และ สุรัตน์ เศษโพธิ์. (2563). การประเมินก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลตำบลแม่ทะ จังหวัดลำปาง. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยี อดสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 13(2), 1-11. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/ltech/article/view/247935/170090>
- ภัทรานิษฐ์ ปริญากุลเสถียร. (2560). การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของโรงจัดการขยะแบบครบวงจรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. *วารสารการพัฒนางานประจำสัปดาห์วิจัย*, 4, 46-55. <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jpr2r/article/view/95519>
- รัชพร สิงขโรทัย. (2565, 26 มกราคม). โครงการ “การพัฒนาแนวทางลดก๊าซเรือนกระจกระดับจังหวัดกรณศึกษาจังหวัดกาฬสินธุ์”. <http://www.tgo.or.th/2020/index.php/th/post/โครงการ-การพัฒนาแนวทางลดก๊าซเรือนกระจกระดับจังหวัด-กรณศึกษา-จังหวัดกาฬสินธุ์-19>
- วิไลพร ชินพีระเสถียร. (2553). *การศึกษาความเป็นไปได้ของโรงคัดแยกขยะกรณศึกษา เทศบาลตำบลทรายขาว อำเภอสอยดาว จังหวัดจันทบุรี [วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต] มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*.
- สำนักงานสนับสนุนการวิจัย (วช.). (2556, 20 มกราคม). *สู่สังคมคาร์บอนต่ำ: กระบวนทัศน์การพัฒนาและการขับเคลื่อน TRF Policy Brief*. <http://prp.trf.or.th/download/810/>
- สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.). (2561, 4 มกราคม). *ผลผลิตภาคและจังหวัดแบบปริมาณลูกโซ่ ฉบับ พ.ศ.2561*. https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=5628&filename=gross_regional
- องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (อบก.). (2559ข, 4 มกราคม). *โครงการการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาอาคารตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (Solar rooftop project at SET building). โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER)*. <http://ghgreduction.tgo.or.th/tver-database-and-statistics/t-ver-registered-project/item/904-set.html>

- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.). (2562ก, 20 กันยายน). *คู่มือการดำเนินโครงการลดก๊าซเรือนกระจกเพื่อบูรณาการเมืองคาร์บอนต่ำ (Low Carbon City)*. <http://ghgreduction.tgo.or.th/pmr-project-list/download/2588/217/17.html>
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.). (2562ข, 4 มกราคม). *ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ*. <http://ghgreduction.tgo.or.th/tver-method/tver-methodology-for-voluntary-greenhouse-gas-reduction.html>
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.). (2563, 4 มกราคม). *ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)*. http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_578cd2cb78.pdf
- อำนาจ วิชัย, สุรัตน์ เศษโพธิ์ และ นเรศ ใหญ่วงศ์. (2564). การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง กรณีศึกษา: เทศบาลเมืองพะเยา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 29(4), 701-713. [http://www.intech.crru.ac.th/research_ind/doc/197_dissemin_241532-Article-Text-898861-1-10-20211016%20\(1\).pdf](http://www.intech.crru.ac.th/research_ind/doc/197_dissemin_241532-Article-Text-898861-1-10-20211016%20(1).pdf)
- Sununta, N., Sedpho, S., & Sampattagul, S. (2018). City Carbon Footprint Evaluation and Forecasting Case Study: Dan Sai Municipality. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 277-282. <https://doi.org/10.3303/CET1863047>