JiTR Journal of Innovative Technology Research
วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม
ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม - ธันวาคม 2560 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดินสารอินทรีย์

เนตรชนากานต์ สุนันตา[1, 3] และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล[2, 3, *]

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทความรับเชิญ

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการเติบโตของเศรษฐกิจส่งผลให้ปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นวิกฤตปัญหาขยะ ทำให้ประเทศไทยไม่สามารถจัดการขยะได้ทัน ด้วยพื้นที่ฝังกลบมีจำกัด ทำให้เกิดผลกระทบต่างๆ ตามมา อีกทั้งยังส่งผลให้ก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่กำลังสร้างความเสียหายและเป็นภัยต่อมนุษย์มากที่สุดในปัจจุบันเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นเพื่อให้เกิดการจัดการขยะอย่างยั่งยืน การนำขยะมาใช้ประโยชน์โดยการนำมาผลิตไฟฟ้าจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นอกจากจะแก้ไขปัญหาขยะล้นเมืองแล้วยังสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก และลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้อีกด้วย งานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดินสารอินทรีย์ จากการศึกษาพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงดินสารอินทรีย์ขนาด 1 kWh ตลอดวัฏจักรชีวิตมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.93 $kgCO_2eq.$ เทียบเท่าสามารถช่วยลดปริมาณขยะที่นำไปฝังกลบได้ถึงร้อยละ 30 และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ถึงร้อยละ 51.47 เมื่อเทียบกับการจัดการขยะด้วยวิธีการเทกองและร้อยละ 34.31 เมื่อเทียบกับการจัดการขยะด้วยวิธีการฝังกลบ

คำสำคัญ : การประเมินวัฏจักรชีวิต, การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก, ระบบวัฏจักรแรงดินสารอินทรีย์, ขยะเทศบาล, คาร์บอนฟุตพริ้นท์,

**Corresponding author :* sate@eng.cmu.ac.th

[1] *นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล*

[2] *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ*

[3] *ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการพลังงานและเศรษฐกิจนิเวศ*

JiTR Journal of Innovative Technology Research
Vol.1 No.1 July - December 2017 Rajamangala University of Technology Lanna

Greenhouse Gases Evaluation of Power Generation Technology from Municipal Waste by Organic Rankine Cycle System

Netchanakan Sununta[1, 3] and Sate Sampattagul[2, 3, *]

Faculty of Engineering, Chiang Mai University

Invited Article

Abstract

Increasing population and economic growth have caused the waste has come into crisis in Thailand. Due to the limitation and restriction of land use occupation that could contribute to a variety of environmental issues and led to increasing greenhouse gases (GHG) being released to the atmosphere, which are the cause of global warming that is most damaging and dangerous to human. Therefore, to enhance the sustainability of municipal waste management, the idea of "Waste to Energy" has gradually applied. Application waste to energy technology to produce electricity can reduce the amount of waste in landfill in addition to GHG emissions reduction and reduce the import of energy as well. This research has adopted a Life Cycle Assessment to analyze the greenhouse gases evaluation of power generation technology from municipal waste by organic rankine cycle system. The results indicate that the life cycle GHG emission of 1 kWh from RDF hybrid with ORC is 0.93 kgCO_2eq. In addition, when compared this technology with landfill, it can reduce the solid waste about 30 % and the greenhouse gas emissions reduction is about 51.47% when compared with open dump and 34.31% compared with landfill.

Keywords : Life Cycle Assessment, Greenhouse Gases Evaluation, Organic Rankine Cycle, Municipal Solid Waste, Carbon footprint

**Corresponding author :* sate@eng.cmu.ac.th

[1] *Master Degree, Energy Engineering Department of Mechanical.*

[2] *Associate Professor, Department of Industrial Engineering.*

[3] *Center of Excellent on Energy, Economic and Ecological Management (3E)*

1. บทนำ

ปัจจุบันขยะกลายเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบรุนแรง ทั้งต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากมาย สำหรับประเทศไทยขยะส่วนใหญ่จะถูกดำเนินการจัดการโดยเทศบาลและยังคงใช้วิธีการฝังกลบเป็นหลัก [1] แต่ด้วยปริมาณขยะที่มากขึ้นอย่างรวดเร็วและพื้นที่ฝังกลบที่มีเท่าเดิม ทำให้เทศบาลไม่สามารถจัดการกับขยะที่เกิดขึ้นได้ทันจนกลายเป็นปัญหาขยะล้นบ่อ เมื่อถูกกองทิ้งไว้นาน ๆ จะมีก๊าซที่เกิดจากการหมักขึ้น ได้แก่ ก๊าซมีเทนซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) [2] ที่เป็นวิกฤติการณ์สิ่งแวดล้อมระดับโลกที่กำลังสร้างความเสียหายและเป็นภัยต่อมนุษย์มากที่สุดในปัจจุบันที่จะต้องเร่งดำเนินการแก้ไข จึงเกิดแนวคิดการนำขยะไปสู่พลังงาน (Waste to energy) [3] เพื่อจะแก้ไขปัญหานี้ โดยการนำขยะมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าของระบบวัฏจักรแรงดินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle : ORC) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้แหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ [4] เช่น งานวิจัยของ อภิวัฒน์ และคณะ [5] ได้ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของ ORC ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 20 kWh โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 90-120 ºC ป้อนให้กับวัฏจักรแรงดินสารอินทรีย์ พบว่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าของ ORC อยู่ที่ประมาณร้อยละ 8 Nattaporn Chaiyai [6] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดย ORC ขนาด 20 kWh ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ R-245fa เป็นของเหลวที่ใช้ในการทำงาน พบว่าพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า คือ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ซึ่งเป็นประโยชน์มากกว่าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ F. Campana et al [7] ได้ทำการศึกษาการลดการใช้พลังงานและการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ความร้อนทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมมาผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90-100 ºC จ่ายให้กับระบบ ORC เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่า การติดตั้งระบบ ORC สามารถประหยัดพลังงานไปได้ถึง 20,000 GW/ปี และลดก๊าซเรือนกระจกลงได้ 7.6 M tonCO_2 จะเห็นได้ว่า ORC เป็นเทคโนโลยีที่นอกจากจะสามารถผลิตไฟฟ้าโดยใช้อุณหภูมิต่ำต่างจากเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ต้องอาศัยแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงแล้ว ผู้วิจัยเล็งเห็นว่ายังสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบที่มีการปล่อยก๊าซมีเทนในปริมาณมากซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแล้วยังเป็นการลดปริมาณขยะที่จะนำไปฝังกลบและเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อทดแทนกระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในด้านโลกร้อนของงานวิจัยนี้ เนื่องจาก LCA เป็นกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และ การจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) [8] ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด [9] จากการสืบค้นวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า มีการประยุกต์ใช้ LCA เพื่อหาแนวทางในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในด้านต่างๆ เช่น ในการเกษตร Yodkhum.s, et al. [10] ได้นำหลักการ

ของ LCA ไปใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของข้าวอินทรีย์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของการผลิตข้าวอินทรีย์ เท่ากับ 0.58 $kgCO_2eq$ /kg ข้าวเปลือกร้อยละ 83 มาจากการเกิดก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เพาะปลูกเนื่องจากการไถกลบและการใช้ปุ๋ย และเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกข้าวแบบทั่วไป พบว่าสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงอย่างมากเนื่องจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ฐิฏาพร และคณะ [11] ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าเกิดก๊าซเรือนกระจกปริมาณเท่ากับ 2,976.538 $tonCO_2eq$ สูงสุดในขั้นตอนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เพาะปลูก คิดเป็นร้อยละ 75 รองลงมาคือขั้นตอนการเพาะปลูก ขั้นตอนการเผาเศษวัสดุการเกษตรในที่โล่ง และขั้นตอนการเก็บเกี่ยว คิดเป็นร้อยละ 15, 10 และ 0.07 ซึ่งผลกระทบดังกล่าว ส่งผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศและสุขภาพของประชาชนในพื้นที่เป็นอย่างมากส่วนในของการจัดการขยะ ทัศวรรณ และคณะ [12]ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวิธีการกำจัดขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าการจัดการขยะที่เหมาะสมคือ การรีไซเคิล การฝังกลบ การผลิตปุ๋ย/ก๊าซชีวภาพ และการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 โดยขยะ 1 ton มีศักยภาพ ในการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 179.43 กิโลกรัม ผลิตปุ๋ยหมักได้ 8.23 kg ผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ได้ 297.15 kg ซึ่งแนวทางดังกล่าวสามารถทดแทนพลังงานได้ 1,157.47 MJ และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิได้ 213.47 $kgCO_2eq$/ตันขยะ Sie Ting Tan et al. [13] ได้ศึกษาการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีผลิตพลังงานจากขยะเทศบาลในประเทศมาเลเซียโดยเทียบระหว่างเทคโนโลยีปัจจุบัน คือ ไม่มีการนำขยะมาผลิตพลังงานกับการผลิตพลังไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ ร้อยละ 64 ร่วมกับเตาเผาร้อยละ 36, การผลิตพลังงานโดยเตาเผาขยะร้อยละ 64 ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะร้อยละ 36 และการผลิตไฟฟ้าจากเตาเผาเท่านั้นเพื่อหาเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมที่สุด พบว่าการจัดการขยะในปัจจุบันมี การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 3 สถานการณ์ เนื่องจากไม่มีการนำขยะมาผลิตพลังงาน และเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากขยะ พบว่า การผลิตพลังงานโดยใช้เตาเผาขยะร่วมกับการผลิตพลังงานโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิน้อยที่สุด Hsien H.Khoo et al [14] ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนของเทคโนโลยีในการนำขยะมาใช้ประโยชน์ในระบบ Pyrolysis และ Gasification ของประเทศสิงคโปร์ แบ่งเป็น 8 เทคโนโลยี ได้แก่ Pyrolysis– gasification of MSW, Pyrolysis of MSW, Thermal cracking gasification of granulated MSW, Combined pyrolysis gasification and oxidation of MSW, CFB gasification of organic waste, Steam gasification of shredded wood, Gasification of RDF, Gasification of shredded tires พบว่าเทคโนโลยี Pyrolysis และ Gasification เมื่อนำมาใช้งานย่อมส่งผลกระทบต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ กันไป โดยเทคโนโลยี Gasification อาจส่งผลกระทบมากกว่า Pyrolysis เนื่องจาก Gasification เป็นการเผาทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะผลกระทบทางด้านภาวะโลกร้อน Jun Dong et al. [15] ทำการวิเคราะห์ด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และต้นทุนของการจัดการขยะในเมืองหางโจว ประเทศจีนโดยใช้หลักการ LCA ทำการเปรียบเทียบการจัดการขยะ ได้แก่ การฝังกลบ การผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบ และการผลิตพลังงานจากเตาเผา พบว่า เนื่องจากการฝังกลบเป็นการปล่อยก๊าซทิ้งโดยไม่มีการนำมาใช้

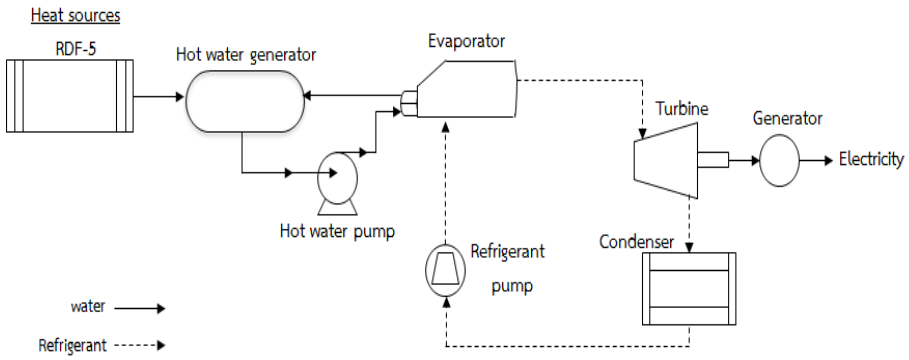
ประโยชน์ส่งผลให้มีการใช้พลังงานและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการผลิตพลังงานจากหลุมฝังกลบและการผลิตพลังงานจากเตาเผา ซึ่งผลกระทบหลักที่เกิดขึ้น คือ ผลกระทบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากก๊าซเรือนกระจก จากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าวจะเห็นได้ว่าที่ผ่านมาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมหลักที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อีกทั้งเทคโนโลยีที่มีในปัจจุบันค่อนข้างใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง มีขนาดใหญ่ยากต่อการดำเนินการไม่สามารถนำไปปรับใช้กับเทศบาลได้ ต่างจากเทคโนโลยี ORC ที่มีขนาดเล็กสามารถนำมาใช้กับพื้นที่เทศบาลได้จริงแต่ส่วนใหญ่ ORC จะถูกนำไปใช้ในความร้อนใต้พิภพหรือความร้อนทิ้งเป็นส่วนใหญ่ การนำมาใช้กับการจัดการขยะถือว่ายังเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เริ่มมีการให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก หากประเทศไทยสามารถผลิตไฟฟ้า จากขยะด้วย ORC นอกจากจะทดแทนพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้แล้ว ยังแก้ปัญหาขยะและอาจจะช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนที่ต้นเหตุได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วย ORC โดยใช้แนวคิดของ LCA เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ การผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการจัดการขยะในปัจจุบันของประเทศไทย

2. ระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle: ORC)

ORC [16] เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้หลักการของระบบวัฏจักรแรงคิน โดยใช้สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้กลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำหรือมีจุดเดือดต่ำ เพื่อใช้ขับกังหันและผลิตไฟฟ้าออกมาได้ โดยใช้แหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ ในปัจจุบัน ORC ถูกนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนที่หลากหลาย เช่น ความร้อนใต้พิภพ ความร้อนจากดวงอาทิตย์ และความร้อนที่เหลือทิ้ง เป็นต้น แต่ในการศึกษานี้จะเป็นการใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ RDF ที่ผลิตจากขยะเทศบาล กระบวนการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการและส่วนประกอบหลักของระบบ ORC คือ หม้อต้มน้ำ (Hot water generator) ปั๊มน้ำร้อน (Hot water pump) เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องปั๊มสารทำงาน (Refrigerant pump) เครื่องควบแน่น (Conderser)



รูปที่ 1 แผนผังของระบบ ORC ในการใช้ RDF-5 เป็นแหล่งเชื้อเพลิง

กังหัน (Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) โดยกระบวนการเริ่มจากใช้ RDF เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่หม้อต้มน้ำ จากนั้นน้ำร้อนที่ได้จะถูกจ่ายให้ระบบ ORC โดยปั๊มน้ำร้อน เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงาน R-245fa ในระบบ และถูกส่งกลับไปรับความร้อนอีกครั้งที่หม้อต้มน้ำ เมื่อสารทำงานได้รับความร้อนจากน้ำร้อนภายใต้ความดันคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะของเหลวอิ่มตัวกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่งจะเข้าสู่กังหันเพื่อขยายตัวและขับเพลาที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จากนั้นความดันและอุณหภูมิจะลดลงและอยู่ในสถานะของผสมระหว่างไอสารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นฉีดพ่นเข้าสู่ภายในของกังหันเพื่อลดความเสียดทานระหว่างสัมผัสกันของโลหะที่ใช้ทำกังหัน จากนั้นไอสารทำงานจะแยกตัวออกจากน้ำมันหล่อลื่นโดยตัวแยกของไหล (Oil and Vapor Separator) เข้าสู่เครื่องควบแน่นกลายเป็นของเหลวอิ่มตัวอีกครั้ง

3. ทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

3.1 การประเมินก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Greenhouse Gas: LCG)

การประเมินก๊าซเรือนกระจกเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตามแนวคิด LCA ซึ่งในการดำเนินกิจกรรมแต่ละขั้นตอนนั้นย่อมมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้น จะอ้างอิงตามคู่มือ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [17] ซึ่งจะประเมินศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนด้วยการใช้ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากการเทียบค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกเทียบกับค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของสารอ้างอิงพื้นฐาน คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสดงผลในเชิงปริมาณ คือ ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม ($kgCO_2$ equivalent) หรือเรียกอีกอย่างว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) [18] ซึ่งจะคำนวณจากก๊าซที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกเพียง 3 ชนิดเท่านั้น ได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O)

โดยในแต่ละกระบวนการของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะมีการใช้วัตถุดิบ สารเคมี เชื้อเพลิง และของเสียที่ออกมาจากกระบวนการแตกต่างกันไปการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบและสารเคมีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$GHG_{m,i} = \sum A_i \times EF_i \quad (1)$$

เมื่อ $GHG_{m.i}$ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบและสารเคมี ($kgCO_2eq$) A_i คือปริมาณวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ (Unit) EF_i คือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัตถุดิบและสารเคมี ($kgCO_2eq$/Unit)

ในส่วนของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$GHG_{F,i} = FC_{fuel} \times NCV_{fuel} \times EF_{GHG,fuel} \quad (2)$$

เมื่อ $GHG_{F,i}$ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ($kgCO_2eq$) FC_{fuel} คือ ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ (Unit) NVC_{fuel} คือ ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงที่ใช้ (MJ/Unit) $EF_{GHG,fuel}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงฟอสซิล ($kgCO_2eq$/MJ)

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ RDF-5 สามารถคำนวณได้ตามคู่มือของ IPCC ซึ่งกำหนดให้คิดทั้ง CO_2, CH_4 และ N_2O ดังสมการที่ 3

$$GHG_{C,i} = \sum_i ((\mathrm{CO_2Emission} \times 1) + (N_2OEmissions \times 25) + (CH_4Emissions \times 289))_i \quad (3)$$

โดยการคิด CO_2 จากการเผา RDF-5 กำหนดให้คิดเฉพาะปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บ่อนไดออกไซด์จากการเผาขยะที่มีฟอสซิลเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นในการคำนวณจะไม่คิดรวมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากแหล่งชีวภาพ ได้แก่ กระดาษ อาหาร และเศษไม้ สามารถคำนวณได้ จากสมการที่ 4

$$CO_2\ Emissions = RDF \times \sum_j WF_j \times dm_j \times CF_j \times FCF_j \times OF_j) \times 44/12 \quad (4)$$

เมื่อ $CO_2Emissions$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผา RDF (kg CO_2eq/ton RDF) RDF คือ ปริมาณขยะ RDF-5 ที่นำมาเผา (ton RDF) WF_j คือ ปริมาณขยะมูลฝอยประเภท j (น้ำหนักเปียก) ที่นำมาเผา (kgCO_2eq/ton MSW) dm_j คือ ปริมาณขยะมูลฝอยแห้งที่นำมาเผา CF_j คือ สัดส่วนของคาร์บอนในขยะมูลฝอยแห้ง (ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด) (ค่า 0.0 – 1.0) FCF_j คือ สัดส่วนของฟอสซิลคาร์บอนในคาร์บอนทั้งหมด (ค่า 0.0 – 0.1) OF_j คือ ค่าออกซิเดนแฟคเตอร์ (ค่า 0.0 – 0.1) 44/12 คือ CO_2/C ratio j คือ ประเภทของฟอสซิลในขยะมูลฝอยที่นำมาเผา

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงในการขนส่งวัตถุดิบทั้งสารขาเข้าและสารขาออกต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) แต่หากไม่ทราบปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จะสามารถคำนวณได้จากระยะทางและน้ำหนักของวัตถุดิบที่ขนส่ง ดังสมการที่ 5

$$GHG_{T,i} = \sum \left[\left(\frac{W_k D_k}{W_T} \times ET_{T1} \right) + \left(W_k \times D_k \times EF_{T2} \right) \right]_i \quad (5)$$

เมื่อ $GHG_{T,j}$ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง (kg $CO_{2\text{-eq}}$) W_T คือ น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถบรรทุก (ton) W_k คือ น้ำหนักบรรทุกของวัตถุดิบ k (ton) D_k คือ ระยะทางการขนส่งของวัตถุดิบ k (km) EF_{T1} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัตถุดิบ k เที่ยวกลับ (kgCO_2eq/km)

ดังนั้นการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุกกิจกรรมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (GHG_{total}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$GHG_{total} = GHG_{M,i} + GHG_{F,i} + GHG_{C,i} + GHG_{T,i} \quad (6)$$

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

การประเมินก๊าซเรือนกระจกของระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากขยะเทศบาล มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

4.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

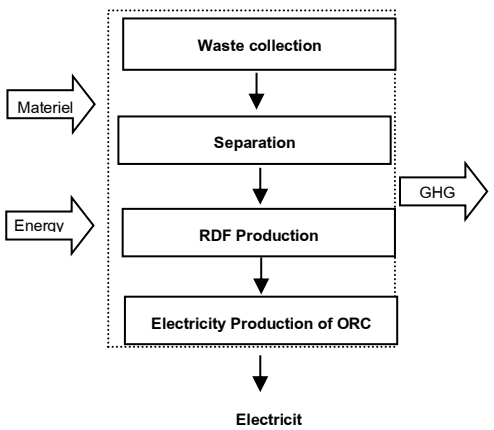
ในขั้นตอนแรกของการศึกษานี้จะเริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาโดยวัตถุประสงค์ คือ เพื่อประเมินก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากขยะเทศบาล และขอบเขตของการศึกษา คือ การผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากขยะเทศบาลเริ่มตั้งแต่การเก็บรวบรวมขยะไปจนถึงการผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2 และจะใช้วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

หน่วยการทำงาน (Functional Unit) คือ 1 kWh จากการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้ RDF-5 จากขยะเทศบาล

4.2 การจัดทำบัญชีรายการ

ในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ในด้านการใช้ทรัพยากรการใช้พลังงาน และมวลสารที่ออกมาโดยข้อมูลรายการสารขาเข้าและสารขาออกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะที่นำมาใช้ในการจัดทำบัญชีรายการจะเป็นทั้งข้อมูลที่เก็บได้จริงจากกระบวนการและข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วมาใช้โดยจะแบ่งขั้นตอนในการเก็บข้อมูลออกเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วยขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ ซึ่งข้อมูลที่ใช้จะเป็นข้อมูลเฉลี่ยจากเทศบาล ในพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ (เทศบาลตำบลเกาะคา จ.ลำปาง, เทศบาลตำบลบ้านเหล่า จ.เชียงราย, เทศบาลเมืองแกนพัฒนา จ.เชียงใหม่, เทศบาลตำบล บ้านโฮ่ง จ.ลำพูน และเทศบาลนครพิษณุโลก จ.พิษณุโลก) ปริมาณขยะเฉลี่ยที่ 6 ton/วัน ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลโดยเฉลี่ยในการเก็บรวบรวมขยะเท่ากับ4.92 L/ton องค์ประกอบของขยะแสดงไว้ใน ตารางที่ 1

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นขยะอินทรีย์คิดเป็นร้อยละ 61.25 แต่ที่จะสามารถนำมาทำ RDF-5 ได้ คือ พลาสติก กระดาษ และไม้ ร้อยละ 22.87, 6 และ 0.69 ตามลำดับ คิดเป็น



รูปที่ 2 ขอบเขตของการศึกษา

ประมาณร้อยละ 30 (1.56 ton/วัน) ซึ่งเพียงพอสำหรับการผลิต RDF เพื่อผลิตความร้อนให้กับระบบ ORC ขนาด 20 kW โดยมีข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบ ดังแสดงในตารางที่ 2

ในขั้นตอนการคัดแยกขยะ จะอ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยของศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี [19] ในส่วนของการผลิต RDF-5 อ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยของทนงเกียรติ และคณะ [20]

หลังจากการจัดทำสมดุลมวลและสมดุลพลังงานแล้วจากนั้นจะทำการจัดทำข้อมูลบัญชีรายการ การผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงดินสารอินทรีย์จากเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากขยะเทศบาล 1 kWh ซึ่งมีรายละเอียดดัง รูปที่ 3, ตารางที่ 3 – 6

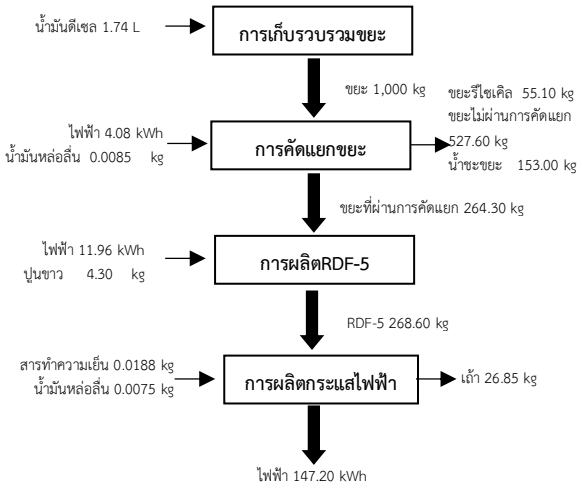
5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต

ผลจากการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และของเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบ ORC จะถูกนำไปคำนวณเพื่อคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การเก็บขนขยะการคัดแยกขยะการผลิต RDF-5 และการผลิตไฟฟ้า ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของขยะ

ประเภทของขยะ	สัดส่วน (%)
ขยะอินทรีย์	61.25
กระดาษ	6.46
ใบไม้, กิ่งไม้	0.69
ยาง/หนัง	0.08
สิ่งทอ	0.90
แก้ว	3.03
โลหะ	2.59
อื่นๆ	2.01



รูปที่ 3 การจัดทำสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากขยะเทศบาล

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบ ORC

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ขยะ(พลาสติก:กระดาษ:ไม้)	1:1:1	
ปริมาณ RDF-5 ที่ใช้	32.64	kg/h
ค่าความร้อน	27.57	MJ/kg
ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน	80	%
ประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้า	10	%
ชั่วโมงการทำงาน	20	h/day

ที่มา: C.Nattaporn [6]

ตารางที่ 3 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ

สารขาเข้า/ สารขาออก	ประเภท	ปริมาณ	หน่วย
ขยะรวม	วัตถุดิบ	6.65E+00	kg
น้ำมันดีเซล	เชื้อเพลิง	1.16E-02	L

ตารางที่ 4 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการคัดแยกขยะ

สารขาเข้า/ สารขาออก	ประเภท	ปริมาณ	หน่วย
ไฟฟ้า	พลังงาน	2.71E-02	kWh
น้ำมันหล่อลื่น	วัสดุช่วยในการผลิต	5.65E-05	kg
ขยะที่ผ่านการคัดแยก	วัตถุดิบ	1.80E+00	kg
ขยะรีไซเคิล	ผลิตภัณฑ์ร่วม	3.36E-01	kg
ขยะที่นำไปทำปุ๋ย	ผลิตภัณฑ์ร่วม	3.66E+00	kg
ขยะฝังกลบ	ของเสีย	1.86E-01	kg
น้ำชะขยะ	ของเสีย	6.65E-01	kg

ตารางที่ 5 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการผลิต RDF-5

สารขาเข้า/ สารขาออก	ประเภท	ปริมาณ	หน่วย
ขยะที่ผ่านการคัดแยก(พลาสติก:กระดาษ:ไม้)	วัตถุดิบ	1.80E+00	kg
ไฟฟ้า	พลังงาน	8.13E-02	kWh
ปูนขาว	สารเคมี	2.92E-02	kg

ตารางที่ 6 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าระบบ ORC

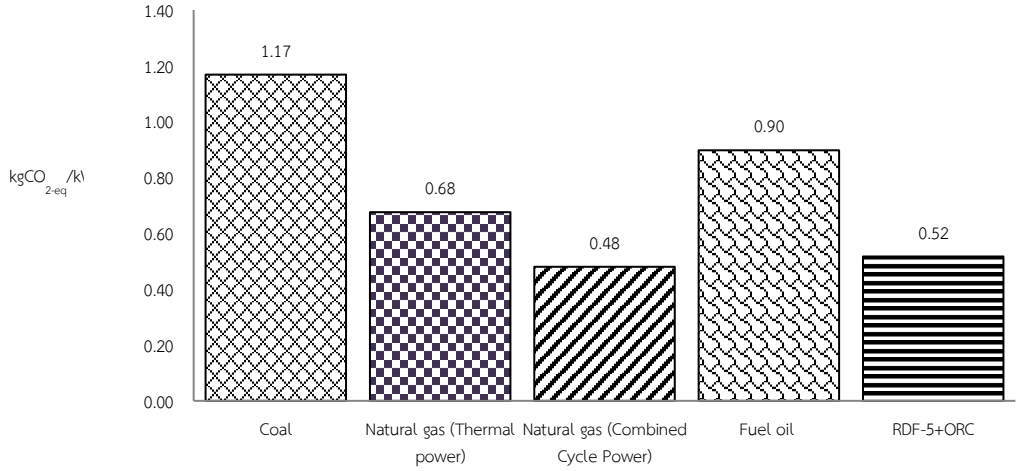
สารขาเข้า/ สารขาออก	ประเภท	ปริมาณ	หน่วย
RDF-5	เชื้อเพลิง	1.82E+00	kg
สารทำความเย็น (R-245fa)	สารเคมี	1.28E-04	kg
น้ำมันหล่อลื่น	วัตถุดิบ	5.08E-05	kg
เถ้า	ของเสีย	1.82E-01	kg

ตารางที่ 7 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยี ORC / 1 kWh

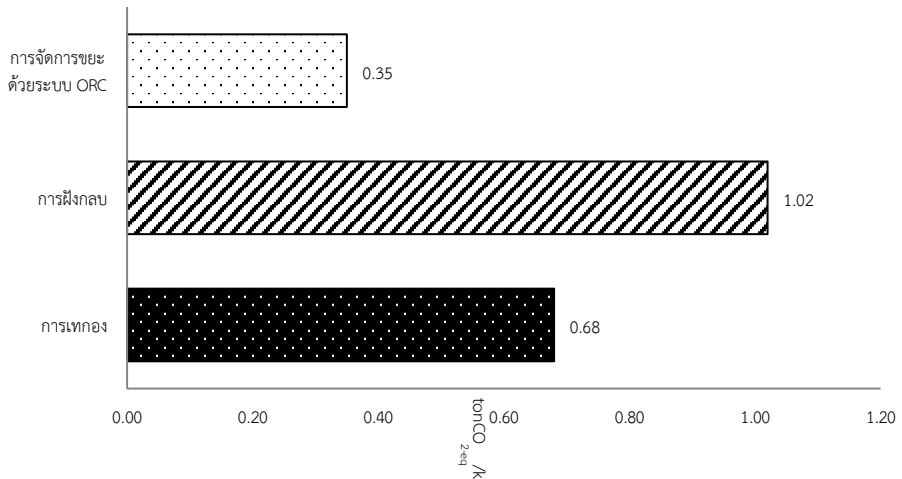
กระบวนการ	ค่าผลกระทบ ($kgCO_2eq$)	ผลกระทบ (%)
การเก็บขนขยะ	0.0083	1
การคัดแยกขยะ	0.3327	36
การผลิต RDF-5	0.0724	8
การผลิตไฟฟ้าระบบORC	0.5171	55
รวม	**0.9305**	**100**

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบ ORC 1 kWh มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.9305 $kgCO_2eq$ ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาก ในขั้นตอนของการผลิตไฟฟ้า เท่ากับ 0.5172 $kgCO_2eq$ หรือคิดเป็นร้อยละ 56 ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ RDF-5 ร้อยละ 88 หรือเท่ากับ 0.4572 $kgCO_2eq$ ส่วนการใช้สารทำความเย็นเท่ากับ 0.0523 $kgCO_2eq$ ซึ่งการที่ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเนื่องจากประสิทธิภาพของระบบ ORC มีค่าน้อยรองลงมาจะเป็นในส่วนของการคัดแยกขยะเท่ากับ 0.3327 $kgCO_2eq$ ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าและน้ำมันหล่อลื่นซึ่งผลกระทบจากการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 0.0271 $kgCO_2eq$ และการใช้น้ำมันหล่อลื่น เท่ากับ 0.00006 $kgCO_2eq$ ส่วนการผลิต RDF-5 เท่ากับ 0.0724 $kgCO_2eq$ ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าและปูนขาวซึ่งผลกระทบจากการใช้ไฟฟ้า เท่ากับ 0.0495 $kgCO_2eq$ และปูนขาว เท่ากับ 0.0228 $kgCO_2eq$ และในส่วนของการเก็บขนขยะมีค่าผลกระทบ เท่ากับ 0.0083 $kgCO_2eq$ ซึ่งมาจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเก็บขนขยะหากนำผลการวิเคราะห์เฉพาะในขั้นตอนของการผลิตซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5171 $kgCO_2eq$ ไปเปรียบเทียบกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าของไทยที่เป็นเฉพาะการผลิตไฟฟ้าจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยไม่คิดในส่วนของการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 1. 1686 $kgCO_2eq$ / kWh การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ (ความร้อน) มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.6758 $kgCO_2eq$/kWh การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ (ความร้อนร่วม) มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.4802 $kgCO_2eq$/kWh และการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันเตา ซึ่งมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.8975 $kgCO_2eq$/kWh จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติ (ความร้อนร่วม) เท่ากับ 0.1093 $kgCO_2eq$/kWh แต่น้อยกว่าการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน น้ำมันเตา และก๊าซธรรมชาติ (ความร้อน) เท่ากับ 0.5791, 0.3080, 0.0863 $kgCO_2eq$/kWh ตามลำดับ ทั้งที่ระบบผลิตไฟฟ้า ORC มีประสิทธิภาพน้อยกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน, ก๊าซธรรมชาติ(ความร้อน) และน้ำมันเตา แต่กลับมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการนำขยะไปผลิตเป็น RDF-5 และผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC กับการจัดการขยะด้วยวิธีปัจจุบัน คือ การเทกองและวิธีการฝังกลบ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 0.68 และ 1.02 $tonCO_2eq$ /ton MSW ตามลำดับ พบว่าการนำขยะมาผลิตเป็น RDF-5 เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าให้กับระบบ ORC มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียง 0.35 $tonCO_2eq$ /ton MSW เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าการนำขยะมาผลิตเป็น RDF-5 แล้วนำไปผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ ร้อยละ 51.47 เมื่อเทียบกับการจัดการขยะด้วยวิธีการเทกองและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ ร้อยละ 34.31 เมื่อเทียบกับการจัดการขยะด้วยวิธีการฝังกลบ



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าของไทย 1 kWh กับการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC จากเชื้อเพลิงขยะเทศบาล (ค่านี้ไม่รวมการก่อสร้างโรงไฟฟ้า)



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ การจัดการขยะในปัจจุบันกับการนำขยะไปผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี ORC / 1 ตันขยะ

6. สรุปผล

จากการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการนำขยะจากเทศบาลมาใช้ประโยชน์โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าให้กับระบบ ORC โดยใช้แนวคิดของ LCA พบว่าการผลิตไฟฟ้าระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากขยะเทศบาล 1 kWh มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.9305 $kgCO_2eq$ โดยมาจากขั้นตอนของการผลิตไฟฟ้าในระบบ ORC มากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 55 ผลกระทบ

ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ RDF-5 ถึงร้อยละ 82 รองลงมาจะเป็นผลกระทบจากขั้นตอนการผลิต RDF-5 ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่จะมาจากการใช้ไฟฟ้าในเครื่องจักรที่ใช้ในการสับย่อยและอัดแท่งขยะ ส่วนขั้นตอนการคัดแยกขยะซึ่งผลกระทบมาจากการใช้ไฟฟ้าในการคัดแยกขยะของเครื่องจักรเป็นหลัก และสุดท้าย คือ ขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ ผลกระทบจะมาจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเก็บขนขยะเป็นหลัก

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าของไทยในปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าของ ORC มีน้อยกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน, ก๊าซธรรมชาติ (ความร้อน) และน้ำมันเตา แต่กลับมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยกว่าในอนาคตถ้าหากมีการพัฒนาระบบการผลิตไฟฟ้า ORC ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นก็จะยิ่งสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงได้อีก และเมื่อพิจารณาในมุมมองของการจัดการขยะการนำขยะไปผลิตเป็น RDF-5 และผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ ร้อยละ 51.47 เมื่อเทียบกับการจัดการขยะด้วยวิธีการเทกอง และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ร้อยละ 34.31 เมื่อเทียบกับการจัดการขยะด้วยวิธีการฝังกลบ อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะที่จะเข้าสู่บ่อฝังกลบขยะได้อีก 0.3 ton จากที่จะต้องนำขยะ 1 ton ไปฝังกลบ ดังนั้นหากประเทศไทยต้องการเทคโนโลยีที่จะนำมาแก้ไขปัญหาขยะและลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไทยแล้วการนำขยะมาผลิตเป็น RDF-5 เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าให้กับระบบ ORC ถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่ควรจะมีการผลักดันเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาสังคมที่ยั่งยืนได้อย่างเป็นรูปธรรมอย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เพียงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพียงด้านเดียวเท่านั้น ในอนาคตหากมีการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมขึ้นโดยใช้โปรแกรม SimaPro ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้อย่างครอบคลุม ตั้งแต่ผลกระทบขั้นกลางไปจนถึงผลกระทบขั้นปลาย และทำการวิเคราะห์ในด้านของความคุ้มค่าทางพลังงานและเศรษฐศาสตร์เพื่อนำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมทั้งทางพลังงาน สิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เทศบาลตำบลเกาะคา จ.ลำปาง เทศบาลตำบลบ้านเหล่า จ.เชียงราย เทศบาลเมืองแกนพัฒนา จ.เชียงใหม่ เทศบาลตำบลบ้านโฮ่ง จ.ลำพูน เทศบาลนครพิษณุโลก จ.พิษณุโลก และหน่วยวิจัยเพื่อการจัดการพลังงานและเศรษฐนิเวศ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตลอดจนคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดมา จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Pollution Control Department. Guideline of Waste Management and Waste- to-Energy Technologies for Municipalities : 56 – 57., 2011.

[2] Na Yang, Hua Zhang, Li- Ming Shao, Fan Lü, Pin- Jing He. Greenhouse gas emissions during MSW landfilling in China : Influence of waste characteristics and LFG treatment measures. Journal of Environmental Management 129 : 510 – 521., 2013.

[3] DEDE. 2015. Energy situation of Thailand January – September 2015, Department of Alternative Energy Development and Effciency, Ministry of Energy. Thailand : http://www.dede.go.th/download/state_58/sit_57_58/Frontpage_sep58%20(1). pdf. Accessed 31 January 2016.

[4] A. Uusitalo, V. Uusitalo, A. Grönman, M. Luoranen, A. Jaatinen-Värri. 2016 Greenhoust gas reduction potential by producing electricity from biogas engine waste heat using organic Rankine cycle. Journal of Cleaner Production 127 : 399 – 405., 2016.

[5] A. Yimprasert, N. Chaiyat, C. Tawornyingsagul. Analysis of Electricity cost from 20 kWe Organic Rankine Cycle by Using Biomass in the Northern Thailand. The 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference. Nov. 04 – Nov. 0++6, 2015. Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT). Pathum thani., 2558

[6] Chaiyat N. , 2015. Sustainability of alternative energy for organic rankine cycle power plant in Thailand, Nares Univ J: Sci Technol.23, 45-62.

[7] F. Campana, M. Bianchi, L. Branchini, A. De Pascale, A. Peretto, M. Baresi, A. Fermi, N. Rossetti, R. Vescovo. ORC waste heat recovery in European energy intensive industries: Energy and GHG savings. Energy Conversion and Management 76: 244–252., 2013.

[8] S. Sampattagul. Life Cycle Assessment: LCA. Research Unit for Energy, Economic and Ecological Management, Science and Technology Research Institute. Chiang Mai University. Thailand., 2007.

[9] Life Cycle Assessment. Research Unit for Energy, Economic and Ecological Management, Science and Technology Research Institute, Chiang Mai University and National Metal and Materials Technology Center (MTEC) , National Science and Technology Development Agency (NSTDA)., 2013.

[10] S. Yodkhum, S. H. Gheewala, S. Sampattagul. Life cycle GHG evaluation of organic rice production in northern Thailand. Journal of Environmental Management 196 : 217 - 223., 2017.

[11] T. Supasri, P. Intra, S. Sampattagul. Life Cycle GHGs and PM10 Evaluation of Maize Cultivation in Mae Chaem District, Chiang Mai. Engineering Journal Chiang Mai University, 23(3) : 94 – 105., 2016.

[12] T.Jaitiang, N. Vorayos, T. Kiatsiriroat. Energy Potential and Greenhouse Gas Emission of Solid Waste Management in Chiang Mai University. Engineering Journal Chiang Mai University, 221(1) : 12 – 21.

[13] Sie Ting Tan, HaslendaHashim, JengShiun Lim, Wai Shin Ho, Chew Tin Lee and Jinyue Yan. Energy and emissions benefits of renewable energy derived from municipal solid waste: Analysis of a low carbon

scenario in Malaysia. Applied Energy. , 2014.

[14] Hsien H. Khoo. “ Life cycle impact assessment of various waste conversion technology” Institute of Chemical and Engineering Sciences, 1 Pesek Road, Jurong Island 627833, Singapore., 2009.

[15] Jun Dong, Y. Chi, ZouD., C. Fu, Q. Huang and Mingjiang Ni. Energy– environment–economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective : Model development and case study. Applied Energy 114, 400–408., 2014.

[16 P. Boontama, N. Chaiyat, R. Munsin. Strategy Power Generation Plan by an Organic Rankine Cycle from Biomass Energy of Maehongson Province. 12th Conference on Energy Network of Thailand.Jun 8 –June 10. Wangchan Riverview Hotel. Phitsanulok., 2016.

[17] IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan

[18] Carbon footpring of Product. TGO. Thailand Greenhouse gas management Organization (Public organization). [Online] Available : http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/download/EmissionFator_CFP.pdf.,2016.

[19] Center of Excellence in Biomass Suranaree University of Technology, Nakhorn Ratchasima, Thailand. A Study on Integrated Approaches of Municipal Solid Waste Management for Producing Renewable Energy (Community Scale)., 2009.

[20] T. Kiatsiriroat, J. Prasidyousin, N. Worayot, A. Nuntapun. Feasibility Study of Waste Management for District Scale Electricity Generation. National Research Council of Thailand. Chiang Mai University., 2009.