

ศักยภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการ จัดการขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Energy Potential and Greenhouse Gas Emission of Solid Waste Management in Chiang Mai University

ทศวรรษ ใจเที่ยง¹ ณัฐนีวรยศ² และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์²

Tassawan Jaitiang¹ Nattanee Vorayos² and Tanongkiat Kiatsiriroat²

¹วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

บทคัดย่อ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นศูนย์กลางทางการศึกษาที่สำคัญแห่งหนึ่งในภาคเหนือ ของประเทศไทย ปัจจุบันมีการใช้พลังงานและปริมาณขยะในปริมาณที่สูงขึ้นจากจำนวนนักศึกษาและบุคลากรที่มากขึ้นในแต่ละปี ดังนั้นเพื่อให้มหาวิทยาลัยมีการจัดการด้านพลังงานและขยะอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการประเมินวิธีการจัดการขยะที่เหมาะสมกับประเภทขยะในมหาวิทยาลัย โดยการศึกษาจะประเมินศักยภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากวิธีการกำจัดขยะ ในด้านพลังงาน พิจารณาจากการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ การผลิตไฟฟ้าและการทดแทนก๊าซ LPG ด้วยก๊าซชีวภาพ และการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 สำหรับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จะพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของการกำจัดขยะ ซึ่งการประเมินผลกระทบใช้วิธีการตามระเบียบวิธีและอาศัยค่าแฟคเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 โดยผลการศึกษาพบว่าวิธีการจัดการขยะที่เหมาะสม คือ กรณีที่ 5 ประกอบไปด้วยการรีไซเคิล การฝังกลบ การผลิตปุ๋ย/ก๊าซชีวภาพ และการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 โดยขยะ 1 ตัน มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 179.43 kg ผลิตปุ๋ยหมักได้ 8.23 kg ผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ได้ 297.15 kg ซึ่งแนวทางดังกล่าวจะสามารถทดแทนพลังงานได้ 1,157.47 MJ และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิได้ 213.47 kg CO₂-eq/ตันขยะ

ABSTRACT

Chiang Mai University is one of the most important education center in the northern region of Thailand. At present, the energy consumption and the volume of waste are higher from the increasing number of students and staffs each year. This research study is subjected to find the appropriate waste management method which assesses from energy efficiency and greenhouse gas emission from various scenarios of waste disposal. For energy efficiency assessment, this research focuses on waste recycling, electrical production and LPG replacement from biogas, and electrical production from RDF-5. For greenhouse gas emission, it is analyzed from waste disposal life cycle based upon the methodology and emission factors from IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. The results show that the appropriate waste management is the method that consists of recycling, landfill,

fertilizer/biogas and RDF-5. In this scenario, for each ton of waste, 179.43 kg of plastics and papers could be recycled, 8.23 kg of organic waste could be taken as fertilizer, 297.15 kg of wood, paper, and plastic could produced RDF-5. In this case, 1,157.47 MJ of energy is recovered and greenhouse gas emission could be reduced with an amount of 213.43 kg CO₂-eq.

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นมหาวิทยาลัยที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของภาคเหนือ ซึ่งอัตราการเข้าศึกษาและจำนวนบุคลากร สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีประชากร ย่อมเกิดขยะขึ้น เมื่อประชากรเพิ่มสูงขึ้น ย่อมทำให้เกิดปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ ความสามารถในการรองรับการกำจัดขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ จึงต้องมีการดำเนินงานวิจัย จากข้อมูลพบว่าปริมาณขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากสถิติ พบว่าในปี 2537 พบว่า ปริมาณขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่อยู่ที่ 1,440 กิโลกรัมต่อวัน และมีอัตราที่เพิ่มสูงขึ้นในปี 2542 ที่ 3,365 กิโลกรัมต่อวัน (การจัดการมูลฝอยในเขตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2542) และในปี 2549 พบว่า อัตราการทิ้งขยะมูลฝอยต่อ 1 วัน เฉลี่ยอยู่ที่ 7,824 กิโลกรัม หรือโดยคิดเฉลี่ยต่อประชากร 1 คนเท่ากับ 0.63 กิโลกรัม (การศึกษาปริมาณและลักษณะคุณสมบัติของขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549) จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นว่า อัตราการเกิดขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ค่อนข้างสูงและอาจก่อให้เกิดปัญหาการรองรับการกำจัดขยะในอนาคตได้

สำหรับการจัดการขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในปัจจุบัน ทำการกำจัดด้วยเทศบาลนครเชียงใหม่ ทำการเก็บรวบรวมขยะ และนำไปฝังกลบที่ หลุมฝังกลบ อ.ฮอด จ. เชียงใหม่ สำหรับวิธีการกำจัดขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เขตเชิงคอย (หมายถึง พื้นที่ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ติดกับสวนสัตว์ จ.เชียงใหม่ทั้งหมด) เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบขยะ มีวิธีการกำจัดได้มากกว่าการฝังกลบ เช่น การผลิตปุ๋ยและก๊าซชีวภาพขยะประเภท เศษอาหาร สามารถที่จะนำมาผลิตปุ๋ยและการหมักตัวของเศษอาหารทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซดังกล่าว สามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของก๊าซ LPG ได้ สำหรับขยะประเภท แก้ว โลหะ ขวด

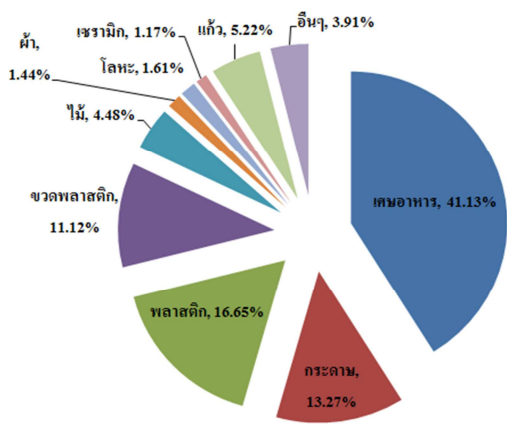
พลาสติก และกระดาษ สามารถนำไปรีไซเคิล เพื่อผลิตเป็นวัสดุชนิดใหม่ได้ ขยะประเภท กระดาษ พลาสติก ไม้ ซึ่งเป็นขยะที่เผาไหม้ได้ สามารถนำเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (Refuse Derived Fuel: RDF) เพื่อเป็นแนวทางใหม่ในการกำจัดขยะได้ เมื่อมีแนวทางในการกำจัดขยะหลายๆ รูปแบบ แต่แนวทางที่เหมาะสมที่สุด จำเป็นต้องมีการพิจารณาถึงปัจจัยหลายๆ ด้าน ได้แก่การใช้ประโยชน์ของขยะ เป็นการพิจารณาถึงความสามารถของการนำขยะไปใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน พิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากก๊าซเรือนกระจกที่มาจากการกำจัดขยะแต่ละวิธี

2. กรอบความคิด

งานวิจัยนี้เป็นการหาแนวทางการจัดการขยะที่เหมาะสมสำหรับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เขตเชิงคอย โดยเริ่มจากการประเมินศักยภาพของมหาวิทยาลัย เพื่อเลือกแนวทางหรือวิธีการกำจัดขยะที่เหมาะสมกับปริมาณและองค์ประกอบขยะที่มีอยู่ เมื่อสร้างกรณีศึกษาสำหรับการกำจัดขยะแต่ละแนวทางแล้ว จะต้องทำการประเมินแต่ละกรณี เพื่อพิจารณาถึงแนวทางที่เหมาะสมที่สุด จึงได้ทำการประเมินอยู่ 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านพลังงาน ทำการพิจารณาขยะ 1 ตัน โดยประเมินของแต่ละแนวทางเพื่อหาความสามารถในการผลิตพลังงานได้มากน้อยเพียงใด ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการกำจัดแต่ละแนวทาง เพื่อให้ทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น

3. ศักยภาพขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เขตเชิงคดอย

สำหรับการศึกษาศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีการพิจารณาถึงปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด 30 จุด ซึ่งประกอบไปด้วย แหล่งที่อยู่อาศัย ร้านค้า โรงอาหาร สำนักงาน และสถานที่จัดงานกิจกรรม ซึ่งปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 4,307 กิโลกรัม โดยองค์ประกอบของขยะที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบที่มากที่สุดคือ เศษอาหาร มีสัดส่วนสูงถึง 41.13% ทั้งนี้เนื่องจากภายในเขตเชิงคดอย มีแหล่งที่อยู่อาศัยเป็นจำนวนมาก ทำให้ปริมาณเศษอาหารที่พบค่อนข้างสูง รองลงมาได้แก่ขยะประเภทพลาสติก กระดาษ ขวดพลาสติก มีสัดส่วน 16.65%, 13.27% และ 11.12% ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบขยะเหล่านี้ สามารถนำไปพิจารณาเพื่อเลือกเทคโนโลยีการจัดการขยะที่เหมาะสมสำหรับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ต่อไป

4. แนวทางการจัดการขยะ

สำหรับแนวทางการกำจัดขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สามารถพิจารณาได้จากองค์ประกอบขยะที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถนำเทคโนโลยีการจัดการขยะในลักษณะหลายๆ รูปแบบได้

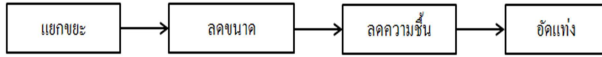
จากองค์ประกอบขยะ พบเศษอาหารมากที่สุด โดยเศษอาหารเหล่านี้ สามารถนำไปผลิตเป็นปุ๋ย หรือก๊าซชีวภาพได้โดยการใช้เทคโนโลยีที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกาศ (Anaerobic Digestion of the Organic) ซึ่งกระบวนการแบบนี้จะมีการเติมน้ำแทนการเติมอากาศ ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณร้อยละ 80-90 ถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ นั่นคือ ก๊าซชีวภาพ

สำหรับขยะประเภท แก้ว โลหะ ขวดพลาสติก และกระดาษ สามารถที่จะนำไปรีไซเคิล โดยผ่านตัวแทนรับซื้อ เพื่อทำการรวบรวมแล้วนำไปส่งยังโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่

ส่วนขยะที่เหลือ นำไปฝังกลบซึ่งเป็นการกำจัดที่ง่ายที่สุด โดยการฝังกลบเป็นระบบฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) เป็นการฝังกลบที่ทำให้ขยะอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถออกมาเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม และถูกสุขลักษณะ โดยเป็นวิธีการถม ฝังกลบขยะอย่างเหมาะสม และปล่อยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายขยะตามธรรมชาติภายในหลุมฝัง ระบบการฝังกลบควรมีมาตรการป้องกันและควบคุมที่เหมาะสม คือ มีระบบรวบรวมและนำน้ำชะขยะออกจากหลุมฝังกลบ ระบบระบายและควบคุมก๊าซซึ่งเกิดขึ้นจากการย่อยสลายของขยะภายในหลุมออกจากหลุมฝังกลบ และระบบระบายน้ำฝนหรือหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงบนด้านบนของหลุมฝังกลบ ซึ่งการกำจัดในรูปแบบนี้ยังมีข้อเสียคือมีการใช้พื้นที่ในการจัดการค่อนข้างมาก รวมถึงปัจจุบันพื้นที่ในการจัดการขยะด้วยการฝังกลบมีน้อยลง รวมถึงกระแสสังคมมีการต่อต้านการฝังกลบด้วย ดังนั้น ควรมีเทคโนโลยีการจัดการขยะรูปแบบอื่นที่ช่วยในการกำจัดขยะที่เกิดขึ้น

สำหรับขยะที่เผาไหม้ได้สามารถนำเทคโนโลยีการจัดการขยะ ได้แก่ เชื้อเพลิงขยะการปรับปรุงและแปลงสภาพของขยะมูลฝอยฝอยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้าน ค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้นขนาด และความหนาแน่นเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อนและ

มีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ สำหรับลักษณะที่ใช้สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงขยะ ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทำการเลือกใช้เชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง โดยมีกระบวนการผลิตดังนี้



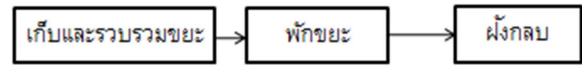
รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิต RDF-5

โดยวิธีการผลิต จะมีการคัดแยกขยะส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้และขยะรีไซเคิลออกก่อน จากนั้นจึงนำขยะที่เผาไหม้ได้เข้าสู่กระบวนการผลิต สำหรับบางกรณีจะมีการเติมปูนขาว (CaO) เพื่อเป็นตัวประสานสำหรับควบคุมและลดปริมาณก๊าซพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ สามารถใช้ได้ทั้งในรูปแบบพลังงานไฟฟ้าและความร้อน อาจมีการนำไปใช้เผาพร้อมกับถ่านหิน (Co-firing) เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรมบางประเภทสำหรับองค์ประกอบขยะที่เลือกใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ได้แก่ กระดาษ พลาสติก และ ไม้ ซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ได้

จากวิธีการกำจัดที่ได้กล่าวมา จะเห็นว่า องค์ประกอบขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สามารถที่จะกำจัดโดยวิธีดังกล่าวได้ ดังนั้น การกำจัดขยะที่เหมาะสมกับองค์ประกอบที่มีอยู่ สามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น 5 กรณี ดังนี้

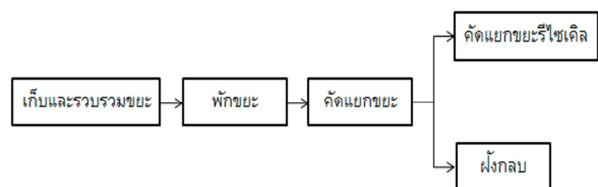
1. กรณีการกำจัดขยะด้วยการฝังกลบ ณ อ.สออด จังหวัดเชียงใหม่ (ไม่มีการนำมีเทนไปใช้ประโยชน์): เริ่มจากการเก็บรวบรวมขยะภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยรถบรรทุกขนาด 6 ตัน ที่มีอัตราการใช้น้ำมัน 5.44 กิโลเมตรต่อลิตร (โครงการการพัฒนาข้อมูลบัญชีรายการวัฏจักรชีวิตในการขนส่งโดยรถบรรทุก, สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551) จากนั้นนำขยะไปยังสุสานหอยยา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ รวมระยะทางทั้งหมด 24.9 กิโลเมตร 86.76 กิโลเมตร โดยกรณีนี้จะพิจารณาการกำจัดขยะด้วยการฝัง

กลบเพียงอย่างเดียว โดยการฝังกลบจะทำให้เกิดมีเทนขึ้น โดยมีเทนส่วนนี้จะไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ



รูปที่ 3 ขอบเขตการพิจารณา กรณีที่ 1

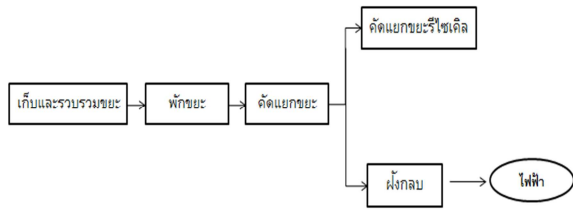
2. กรณีมีการกำจัดขยะโดยวิธีการรีไซเคิล และการฝังกลบ ณ อ.สออด จ.เชียงใหม่ (ไม่มีการใช้ประโยชน์จากมีเทนที่เกิดขึ้น): เริ่มจากการเก็บรวบรวมขยะภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ด้วยรถบรรทุกขนาด 6 ตัน ที่มีอัตราการใช้น้ำมัน 5.44 กิโลเมตรต่อลิตร (โครงการการพัฒนาข้อมูลบัญชีรายการวัฏจักรชีวิตในการขนส่งโดยรถบรรทุก, สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551) จากนั้นนำขยะไปยังสุสานหอยยา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ รวมระยะทางทั้งหมด 24.9 กิโลเมตร จากนั้นทำการคัดแยกขยะออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ขยะรีไซเคิล ได้แก่ ขวดพลาสติก กระดาษ แก้ว และ โลหะ ซึ่งขยะรีไซเคิลนี้จะมีนำไปยังสถานประกอบการ เพื่อทำการรวบรวมและเตรียมวัสดุ โดยจะผ่านทั้งการบดแก้ว การอัดขวดพลาสติก โลหะ และกระดาษ เพื่อสะดวกต่อการขนส่งต่อไปยังโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ต่อไป ส่วนขยะที่เหลือนำไปฝังกลบที่ หลุมฝังกลบ อ.สออด จ.เชียงใหม่ โดยการฝังกลบจะทำให้เกิดมีเทนขึ้น โดยมีเทนส่วนนี้จะไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ



รูปที่ 4 ขอบเขตการพิจารณา กรณีที่ 2

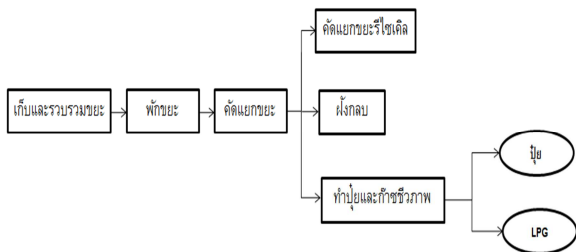
3. กรณีการกำจัดขยะโดยวิธีการรีไซเคิลและการฝังกลบ ณ อ.สออด จ.เชียงใหม่ (นำมีเทนไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า): ขั้นตอนการเก็บรวบรวม จนถึงการคัดแยกขยะเหมือนกรณีที่ 2 แตกต่างกัน ขั้นตอนการฝังกลบ มีการ

ขนส่งไปยัง อ.ฮอด เมื่อการฝังกลบ เกิดก๊าซมีเทนขึ้น มีการนำก๊าซส่วนนี้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า



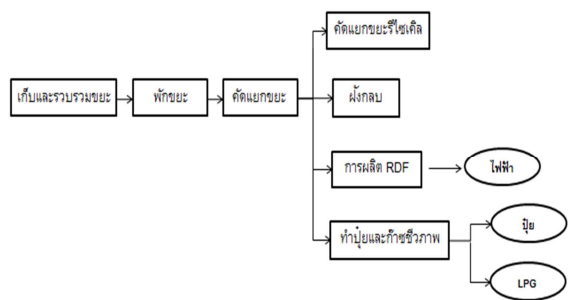
รูปที่ 5 ขอบเขตการพิจารณา กรณีที่ 3

4. กรณีการกำจัดขยะโดยวิธีการรีไซเคิล, การผลิตปุ๋ย และก๊าซชีวภาพ (นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของ LPG) และการฝังกลบ ณ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ (ไม่มีการใช้ประโยชน์จากก๊าซที่เกิดขึ้น): ขั้นตอนการเก็บรวบรวม จนถึงการพักขยะเหมือนกรณีที่ 2 จะแตกต่างกันตั้งแต่การคัดแยกขยะ มีการคัดแยกออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ขยะรีไซเคิล ได้แก่ ขวดพลาสติก กระดาษ แก้ว และโลหะกลุ่มที่ 2 ขยะฝังกลบ ได้แก่ ไม้ เซรามิก พลาสติก ผ้า และอื่นๆ โดยจะนำไปฝังกลบยังหลุมฝังกลบ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเกิดจากอินทรีย์สารที่สามารถย่อยสลายได้มีปริมาณที่น้อยมาก จึงพิจารณาโดยการไม่มีการนำก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ กลุ่มที่ 3 ขยะทำปุ๋ยและก๊าซชีวภาพ ได้แก่ เศษอาหารโดยประโยชน์ที่เกิดขึ้นจะมี 2 แบบ ได้แก่ ประโยชน์ในรูปแบบของปุ๋ยหมัก โดยปุ๋ยหมักนี้เป็นการทดแทนก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปุ๋ยเคมีได้ และการทดแทนก๊าซ LPG ซึ่งมาจากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์



รูปที่ 6 ขอบเขตการพิจารณา กรณีที่ 4

5. กรณีการกำจัดขยะโดยวิธีการรีไซเคิล, การผลิตปุ๋ย และก๊าซชีวภาพ ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของ LPG) การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และการฝังกลบ ณ อ.ฮอด จ.เชียงใหม่ (นำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า): ขั้นตอนการเก็บรวบรวม จนถึงการพักขยะเหมือนกรณีที่ 2 แตกต่างกันตั้งแต่การคัดแยกขยะ โดยมีการคัดแยกออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ขยะรีไซเคิล ได้แก่ ขวดพลาสติก แก้ว และโลหะ โดยมีการนำขยะส่วนนี้ไปทดแทนการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ กลุ่มที่ 2 ขยะฝังกลบ ได้แก่ ผ้า เซรามิก และอื่นๆ ซึ่งจะทำการฝังกลบ ยังหลุมฝังกลบ อ.ฮอด จ.เชียงใหม่ ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจาก ขยะอินทรีย์สารที่สามารถย่อยสลายได้มีปริมาณที่น้อยกลุ่มที่ 3 ขยะผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ได้แก่ กระดาษ พลาสติก และไม้ นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะโดยผ่านกระบวนการต่างๆ แล้วจึงนำเชื้อเพลิงขยะไปใช้งานโดยการเผาและให้ความร้อน นำความร้อนที่ได้รับไปผลิตเป็นไฟฟ้า กลุ่มที่ 4 ขยะทำปุ๋ยและก๊าซชีวภาพ ได้แก่ เศษอาหารเมื่อผ่านกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ทำให้เกิดปุ๋ยและก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของ LPG



รูปที่ 7 ขอบเขตการพิจารณา กรณีที่ 5

จากทั้ง 5 กรณี จะมีการประเมินครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการเก็บรวบรวมขยะ การพักขยะ การคัดแยกขยะ การรีไซเคิล การฝังกลบ การทำปุ๋ยและก๊าซชีวภาพ และการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 รวมถึงการนำก๊าซชีวภาพ

ไปใช้งานในรูปของ LPG หรือผลิตไฟฟ้า รวมไปถึงนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน RDF ไปผลิตเป็นไฟฟ้า

5. ผลการวิจัย

5.1 การใช้ประโยชน์จากขยะ

ขยะ คือสิ่งที่คนทั่วไปคิดว่าเป็นสิ่งที่ไร้ค่าไม่เกิดประโยชน์ แต่ความเป็นจริงแล้วขยะสามารถเพิ่มมูลค่าได้ โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มาจากขั้นตอนการกำจัดขยะโดยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุที่ได้มาจากการรีไซเคิล ปุ๋ยหมักที่ได้มาจากการบำบัดขยะ ซึ่งกระบวนการนี้ยังได้ก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซชีวภาพชนิด

เดียวกับก๊าซที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบซึ่งก๊าซนี้สามารถนำมาใช้ในรูปแบบของก๊าซ LPG หรือ นำไปผลิตเป็นไฟฟ้าได้ และเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 สามารถนำไปเผาแล้วได้ความร้อน ซึ่งความร้อนในส่วนนี้สามารถนำไปผลิตเป็นไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ได้

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ จะเป็นการศึกษาถึงประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการกำจัดขยะทั้ง 5 กรณี ที่ปริมาณขยะ 1 ตัน ได้แก่ การนำกลับมาใช้ใหม่ ปุ๋ยหมัก ก๊าซ LPG เชื้อเพลิงขยะ RDF-5 และไฟฟ้า

ตารางที่ 1 การใช้ประโยชน์จากขยะปริมาณ 1 ตัน

รายการ	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5
การนำกลับมาใช้ใหม่ (kg)	-	312.14	312.14	312.14	179.43
ปุ๋ยหมัก (kg)	-	-	-	8.23	8.23
ก๊าซ LPG (MJ)	-	-	-	5.45	5.45
เชื้อเพลิงขยะ RDF-5 (kg)	-	-	-	-	297.15
ไฟฟ้า (MJ)	-	-	26.15	-	1,152.02

จากตารางที่ 1 พบว่า เมื่อพิจารณาในส่วนของ การนำกลับมาใช้ใหม่ กรณีที่ 1 ไม่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ ทั้งนี้เนื่องจากกรณีนี้ไม่มีการนำขยะมารีไซเคิล ส่วนกรณีที่ 2 3 และ 4 เป็นกรณีที่มีการนำ กระดาษ ขวดพลาสติก แก้ว และ โลหะ นำกลับมาใช้ใหม่ ในปริมาณรวมที่เท่ากันคือ 312.14 kg ส่วนกรณีที่ 5 เป็นกรณีที่มีการนำกระดาษไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 จึงทำให้ปริมาณการนำกลับมาใช้ใหม่ลดลง ในส่วนของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ที่มีการใช้ประโยชน์ในรูปแบบของก๊าซ LPG ซึ่งกรณีที่ 4 และ 5 เกิดขึ้นปริมาณที่เท่ากัน เนื่องจากมีการใช้ขยะประเภทเศษอาหารเท่านั้นที่ใช้ในกระบวนการนี้ สำหรับเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 เกิดขึ้นเฉพาะกรณีที่ 5 เท่านั้น คือ 297.15 kg ซึ่งทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าในปริมาณ 1,152.02 MJ ส่วนกรณีที่ 3 เกิดพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน แต่เกิดขึ้นจากการฝังกลบซึ่งมีปริมาณ 26.15 MJ

5.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการกำจัดขยะแต่ละกรณี โดยเป็นการวัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases, GHGs) ตลอดวัฏจักรชีวิต โดยก๊าซเรือนกระจกที่ประเมิน ประกอบด้วย 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่ประเมิน ประกอบด้วย 6 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆)

สำหรับการหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยคูณเข้ากับ Emission Factor ของประเภทวัสดุ พลังงาน หรือกระบวนการนั้น โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$GHG_i = \sum(C_i \times EF_{ij})$$

โดยที่ GHG = ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ชนิด j
 C = ปริมาณกิจกรรม (Activity Data) หรือ ปริมาณของสิ่งของหรือของใช้ที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม ชนิด i
 EF = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของก๊าซชนิด j ปัจจัยชนิด i อ้างอิงตามมาตรฐาน 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories และข้อมูลจาก องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก

จากนั้นแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยนำไปคูณกับค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด ซึ่งใช้ค่า GWP 100 โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

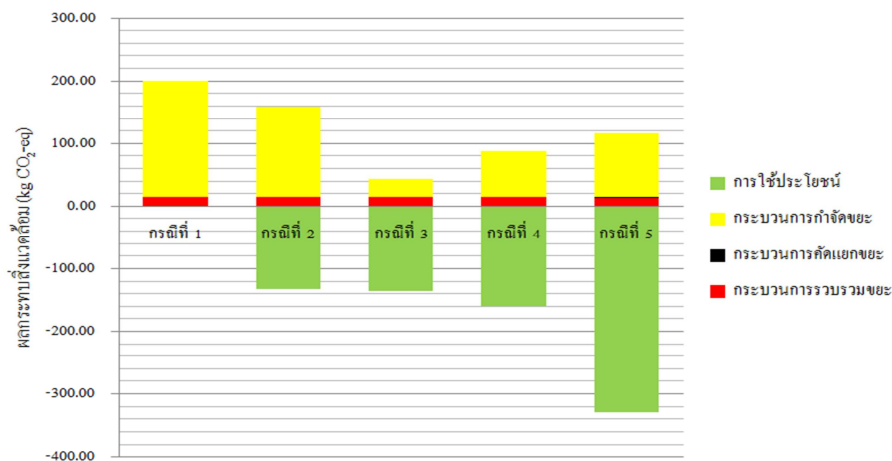
$$GHG_i = \sum(E_i \times GWP_{ij})$$

โดยที่ E = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวม
 GWP_{ij} = ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เมื่อเทียบเท่ากับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Global warming potential) ของก๊าซชนิด j ปัจจัยชนิด i ซึ่งเป็นค่าตัวเลขที่ระบุถึงผลกระทบของสารทำความเย็นในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีค่าดัชนีเท่ากับ 1.0 และใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับชนิดอื่นๆ โดยค่า GWP มีการอ้างอิงข้อมูลตามมาตรฐาน IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

จากการประเมินผลกระทบจะครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการรวบรวมขยะที่ทำการขนส่งภายในมหาวิทยาลัยทั้งหมด การคัดแยกขยะทำการคัดแยก ณ จุดพักขยะและทำการขนถ่ายขยะไปกำจัดแต่ละประเภท ได้แก่ ขยะรีไซเคิล จะมีการขนส่งไปยังโรงงานเพื่อทำการจัดการลดขนาด หรือบิบบด ให้มีขนาดที่เหมาะสมสำหรับ

การขนส่งไปยัง โรงงานเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ขยะฝังกลบ ทำการขนส่งจากจุดฝังกลบไปยังหลุมฝัง ขยะสำหรับทำปุ๋ย และก๊าซชีวภาพมีการขนส่งไปยังบ่อหมักเพื่อผลิตปุ๋ยและก๊าซชีวภาพ ขยะ RDF-5 มีการนำขยะไปผ่านกระบวนการเพื่อให้ออกมาเป็นแท่งเชื้อเพลิง RDF-5 เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป การใช้ประโยชน์ จะเป็นการใช้ประโยชน์ในรูปแบบของก๊าซ LPG และนำความร้อนผลิตเป็นไฟฟ้า

ผลของการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการกำจัดขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เปรียบเทียบทั้ง 4 กรณี พบว่า กรณีที่ให้ผลประโยชน์คือ กรณีที่ 5 เป็นกรณีที่มีการกำจัดด้วยเชื้อเพลิง RDF-5 และมีการใช้ประโยชน์จากความร้อน โดยนำไปผลิตไฟฟ้า มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด คิดเป็น $-213.47 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ โดยการนำไปทดแทนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งหมดแทนการผลิตปุ๋ยที่สามารถช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้จากการผลิตปุ๋ยเคมี ทดแทนการผลิตไฟฟ้าที่สามารถช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้จากการผลิตไฟฟ้าโดยการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและอื่นๆ ทดแทนการรีไซเคิลที่สามารถช่วยลดก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ออกมา ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณการทดแทนที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้ค่าผลกระทบแสดงค่าติดลบสำหรับกรณี 3 กรณีที่มีการกำจัดขยะด้วยการรีไซเคิลและฝังกลบ โดยมีการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ ในการทดแทนการผลิตไฟฟ้ามีค่าผลกระทบเท่ากับ $-92.46 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ รองลงมาคือกรณี 4 เป็นกรณีที่มีการกำจัดขยะด้วยการรีไซเคิล ฝังกลบ และทำปุ๋ย และมีการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในรูปแบบของก๊าซ LPG มีค่าผลกระทบเท่ากับ $-71.22 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ กรณี 2 เป็นกรณี เป็นกรณีที่มีการกำจัดขยะด้วยการรีไซเคิลและการฝังกลบ มีค่าผลกระทบเท่ากับ $25.92 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ สำหรับกรณี 1 เป็นกรณีที่ส่งผลกระทบมากที่สุด โดยเป็นการนำขยะมาฝังกลบโดยไม่มีการใช้ประโยชน์ของก๊าซมีเทน พบว่าค่าผลกระทบสูงถึง $200.24 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$



รูปที่ 8 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของแต่ละกรณีแยกตามกระบวนการ

เมื่อพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (Direct Emission) เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งในการพิจารณาจะทำการพิจารณาถึงการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการ ได้แก่ การใช้ น้ำมันดีเซลในการขนส่งต่างๆ และการรั่วไหลของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ได้แก่ ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในกระบวนการฝังกลบแล้วไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ 2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้อม (Indirect Emission) เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการ ได้แก่ การใช้ไฟฟ้าตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นจนจบกระบวนการกำจัดขยะ และการปล่อยก๊าซที่เกิดจากการใช้วัตถุดิบในกระบวนการ ได้แก่ การใช้ถุงดำพลาสติกสำหรับการเก็บรวบรวมขยะ การใช้น้ำ โซดาไฟในการผลิตปุ๋ยหมัก การใช้น้ำมันหล่อลื่นในการรีไซเคิล และ 3) การทดแทนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ทดแทนการรีไซเคิลที่เป็นการทดแทนการผลิตวัสดุใหม่ การทดแทนการผลิตปุ๋ยที่เป็นการทดแทนการผลิตปุ๋ยเคมี การทดแทนก๊าซ LPG เป็นการนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบก๊าซ LPG และการทดแทนการผลิตไฟฟ้า เป็นการนำก๊าซมีเทนที่เกิดจากการฝังกลบไปผลิตเป็นไฟฟ้า และการนำเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ไปผลิตเป็นไฟฟ้าด้วย

จากตารางที่ 2 พบว่า กรณีที่ 1 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก การรั่วไหลของก๊าซมีเทนในการฝังกลบ ซึ่งก๊าซมีเทนส่วนนี้ไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงส่งผลสูงถึง 190.64 kg CO₂-eq เนื่องจากก๊าซที่รั่วไหลได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ซึ่งเป็นก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อสูงมาก สูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ถึง 25 เท่า และ 298 เท่าตามลำดับ ส่งผลให้การปล่อยก๊าซในส่วนนี้ของทุกกรณีสูงด้วย ในทางตรงกันข้าม กรณีที่ 3 และ 4 ที่มีการรั่วไหลของก๊าซมีเทนที่น้อยกว่ากรณีที่ 1 ถึง 10 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากกรณีที่ 3 มีการนำก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไปผลิตเป็นไฟฟ้าจึงทำให้สามารถทดแทนการปล่อยก๊าซจากการผลิตไฟฟ้าได้ 2.79 kg CO₂-eq สำหรับกรณีที่ 5 เป็นกรณีที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิน้อยที่สุด ถึงแม้ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงและโดยอ้อมอยู่ในระดับปานกลาง แต่การทดแทนการปล่อยก๊าซของกรณีที่ 5 ค่อนข้างสูง เนื่องจากมีการทดแทนจากการรีไซเคิล ตัวอย่างเช่น ปกติการผลิตแก้วมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมา 1.18 kg CO₂-eq เมื่อมีการใช้แก้วรีไซเคิล การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเหลือเพียง 0.045 kg CO₂-eq ซึ่งลดลงถึง 96% จึงทำให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงนั่นเอง

ตารางที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิของขยะ 1 ตัน

รายการ	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (Direct Emission)					
การใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการ (kg CO ₂ -eq)	22.45	17.16	17.16	13.39	7.04
การรั่วไหลของก๊าซมีเทน (kg CO ₂ -eq)	168.19	131.19	15.60	61.43	48.93
รวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง(kg CO₂-eq)	190.64	148.35	32.76	74.82	55.96
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้อม (Indirect Emission)					
การใช้วัตถุดิบในกระบวนการ(kg CO ₂ -eq)	9.60	9.61	9.61	10.96	10.95
การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการ(kg CO ₂ -eq)	-	1.15	1.15	2.00	49.14
รวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้อม (kg CO₂-eq)	9.60	10.76	10.76	12.96	60.09
การทดแทนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก					
ทดแทนการรีไซเคิล(kg CO ₂ -eq)	-	133.19	133.19	133.19	124.19
ทดแทนการผลิตปุ๋ย (kg CO ₂ -eq)	-	-	-	16.86	16.86
ทดแทนการผลิตก๊าซ LPG (kg CO ₂ -eq)	-	-	-	8.95	8.95
ทดแทนการผลิตไฟฟ้า (kg CO ₂ -eq)	-	-	2.79	-	179.52
รวมการทดแทนการปล่อยก๊าซ (kg CO₂-eq)	0.00	133.19	135.98	159.00	329.53
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ (kg CO₂-eq)	200.24	25.92	-92.46	-71.22	-213.47

จากการพิจารณาทั้ง 2 ส่วน จะเป็นว่า ส่วนของการนำขยะไปใช้ประโยชน์กรณีที่สามารถนำขยะไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด คือกรณีที่ 5 และ ในด้านผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน กรณีที่ 5 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด ดังนั้น กรณีที่ 5 จึงเป็นกรณีการกำจัดขยะที่เหมาะสมที่สุด

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาทั้ง 2 ด้าน พบว่า ด้านการใช้ประโยชน์จากขยะ แต่ละกรณี เกิดประโยชน์ที่แตกต่างกัน กรณีที่ 1 ไม่มีการนำขยะมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในทางตรงกันข้าม กรณีที่ 5 มีการนำขยะมาใช้ให้เกิดประโยชน์หลายด้าน ไม่ว่าจะเป็น การนำกลับมาใช้ใหม่ การทำปุ๋ยหมัก การทดแทนก๊าซ LPG การผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะ

และการผลิตเป็นไฟฟ้า ส่วนกรณีที่ 4 พบว่ามีการใช้ประโยชน์บ้างในบางส่วน สำหรับกรณีที่ 2 และ 3 มีการนำมาใช้ประโยชน์บ้างเล็กน้อย สำหรับด้านผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน พบว่า กรณีที่มีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนด้วยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดคือ กรณีที่ 5 และรองลงมาได้แก่ กรณีที่ 3 กรณีที่ 4 กรณีที่ 2 และกรณีที่ 1 ตามลำดับ ดังนั้น กรณีที่ 5 เป็นแนวทางการจัดการขยะที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นการจัดการที่มีการใช้วิธีการกำจัดขยะทั้ง การรีไซเคิล การฝังกลบ การผลิตปุ๋ยและก๊าซชีวภาพ และการขนนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 รวมไปถึงการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในรูปแบบของก๊าซ LPG และการใช้ประโยชน์จากความร้อนของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 ในรูปแบบของการผลิตไฟฟ้า อีกด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ห้องวิจัยทางอุณหภาพภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้

และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและบัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้ให้ทุนในการ
สนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] จอมอัฐ สว่างวงศ์ (2553). การวิเคราะห์พลังงาน และเศรษฐศาสตร์โดยรวมต้นทุนสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าขยะชุมชน. ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [2] นรากร วิสุทธิกาญจน์ (2550). การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินของศูนย์รับซื้อขยะรีไซเคิลในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล. คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [3] วีรวัฒน์ เลิศเกษมกุลและเอกรัตน พรหมเพ็ญ(2542). การจัดการมูลฝอยในเขตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [4] วราวุธ โตสิตารัตน์ (2549). การศึกษาปริมาณขยะและลักษณะสมบัติของมูลฝอยในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [5] พลังงานจากขยะ (Wastes). สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาลัยเชียงใหม่และ สำนักนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ สำนักปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [6] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(2552). การศึกษาเชิงนโยบายและยอมรับของประชาชนในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล (จากขยะในเขต กรุงเทพฯ-ปริมณฑล และนอกเขตปริมณฑล). สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- [7] Ying-His Change et al. (1998). Comparative evaluation of RDF and MSW incineration. Department of Environmental Engineering, National Cheng-Kung University, Tainan, Taiwan.h
- [8] Dezhen Chen et al. (2007). Life Cycle Assessment of RDF Production from Aged MSW and its Utilization System. Thermal & Environmental Engineering Institute, Tongji University, Shanghai, China
- [9] M. Giugliano et al. (2007). Energy recovery from municipal waste: A case study for a middle-sized Italian district. Environmental Section, Politecnico of Milan, P.zza Leonardo da Vinci, 32-20133 Milano, Italy
- [10] Papageorgiou et al. (2009). Assessment of the greenhouse effect impact of technologies use for energy recovery from municipal waste: A case for England. Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineering, Department of Mechanical Engineering, Box 483, Aristotle University of Thessalomiki, 54124 Thessaloniki, Greece
- [11] David Browne et al. (2009). Use of carbon footprinting to explore alternative household waste policy scenarios in an Irish city-region. Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, Trinity College, Dublin (TCD), Dublin 2, Ireland
- [12] Francesco Di maria and Gregorio Pavesi (2005). RDF to energy plant for a central Italian region SUW management system: Energetic and economical analysis. Dipartimento di Ingegneria Industriale, via G. Duranti 1 A/4, 06125 Perugia, Italy.
- [13] Hsien H. Khoo. (2009). Life cycle impact assessment of various waste conversion technologies. Institute of Chemical and Engineering Sciences, 1 Pesek Road, Jurong Island 627833, Singapore
- [14] J.C. Moran et al. (2009). Study of the feasibility of mixing Refuse Derived Fuels with wood pellets through the grey and Fuzzy theory. Universidad de Vigo E.T.S. Ingenieros Industriales, Lagoas-Marcosende, s/n Dpto. Ing. 36200 Vigo (Pontevedra), Spain