บทที่ 3
การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากขยะ

จากการพยายามที่จะทำการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานขยะในประเทศไทย หลายครั้งพบว่าจะมีการต่อต้านจากประชาชนในพื้นที่บริเวณข้างเคียง เนื่องจากประชาชนสงสัยว่าการเผาขยะ จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และคุณภาพชีวิตของตนเอง จากการรวบรวมเอกสาร พบว่าในประเทศอื่นสามารถจัด ตั้งโรง ไฟฟ้าพลังงาน ขยะอยู่ในแหล่งชุมชนได้ โดยไม่เกิดการต่อต้านจากประชาชน สาเหตุอาจเนื่องจากประชาชนเหล่านั้นได้รับข้อมูลที่ถูกต้องเกี่ยวกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ดังนั้นการนำเสนอข้อมูลที่ถูกต้องและทันสมัยแก่ประชาชนจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้การผลิตไฟฟ้าจากขยะในประเทศไทยสามารถเกิดขึ้นจริงได้ โดยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะสามารถแบ่งหลัก ๆ ได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ

ประเภทของผลกระทบ	รายละเอียด
1. มลพิษที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming)	ภาวะโลกร้อนคือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้พื้นผิวโลกและน้ำในมหาสมุทร โดยมีสาเหตุมาจากการเพิ่มความเข้มของก๊าซเรือนกระจก มลพิษที่อยู่ในกลุ่มนี้ยกตัวอย่างเช่น Carbon Dioxide, Methane รวมถึงสารทำความเย็นจำพวก HCFC, HFC และ CFC และอื่น ๆ โดยผลรวมของปริมาณมลพิษในกลุ่มนี้จะถูกประเมินให้อยู่ในรูปของ g CO2 equivalent
2. การลดลงของโอโซน (Ozone Depletion)	โอโซนทำหน้าที่กรองรังสีอุลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ออกไป ซึ่งการลดลงจะทำให้ร่างกายมนุษย์ได้รับรังสีนี้มากเกินไป อาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง ส่วนจุลินทรีย์ขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรียอาจตายได้ โดยผลรวมของปริมาณมลพิษในกลุ่มนี้จะถูกประเมินให้อยู่ในรูปของ g CFC11 equivalent

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. มลพิษที่ก่อให้เกิดภาวะฝนกรด (Rain Acidification)	มลพิษกลุ่มนี้จะทำปฏิกิริยากับไอน้ำและสารเคมีอื่น ๆ ในบรรยากาศ และละลายตัวลงไปในฝน เกิดเป็นฝนกรด โดยมลพิษที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ Sulfur Dioxide, Sulfur Oxides, Nitrogen Oxides, Hydrogen Chloride, Hydrogen Fluoride, Ammonia และอื่น ๆ โดยผลรวมของปริมาณมลพิษในกลุ่มนี้จะถูกประเมินให้อยู่ในรูปของ g SO_2 equivalent
3. มลพิษที่ก่อให้เกิดการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำ (Eutrophication)	คือการที่แหล่งน้ำสะสมธาตุอาหารที่กระตุ้นให้พืชบางประเภท เช่น สาหร่ายและวัชพืชในน้ำเจริญมากกว่าปรกติ ดังนั้นเมื่อพืชเหล่านี้ได้รับธาตุอาหารดังกล่าวก็ทำให้มีพืชปกคลุมทั่วบริเวณหน้าของน้ำทำให้ น้ำเน่าเสีย ออกซิเจนในน้ำมีน้อย แสงลงไม่ถึงข้างล่าง ทำให้พื้ชบางชนิดเติบโตไม่ได้ โดยมลพิษที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ Nitrogen Oxides, Nitrogen Dioxide, Ammonia, Ammonia Nitrate, Nitrate, Phosphate, COD และอื่นๆ โดยผลรวมของปริมาณ มลพิษในกลุ่มนี้จะถูกประเมินให้อยู่ในรูปของ g NO_3 equivalent
4. มลพิษทางอากาศที่มีผลกับมนุษย์ (Human toxicity Air)	คือ มลพิษทางอากาศที่มีผลกับสุขภาพของมนุษย์ เช่น ปรอทตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น
5. มลพิษทางน้ำที่มีผลกับมนุษย์ (Human Toxic Water)	คือ มลพิษทางน้ำที่มีผลกับสุขภาพของมนุษย์ เช่น ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น
6. มลพิษทางดินที่มีผลกับมนุษย์ (Human Toxic Soil)	คือ มลพิษทางดินที่มีผลกับสุขภาพของมนุษย์ เช่น ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในบทที่ 3 นี้จะทำการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากขยะ โดยใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) ซึ่งจะมีขั้นตอน 4 ขั้นตอนหลักคือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา , การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม, การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์, การแปลผลวัฏจักรชีวิต

3.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

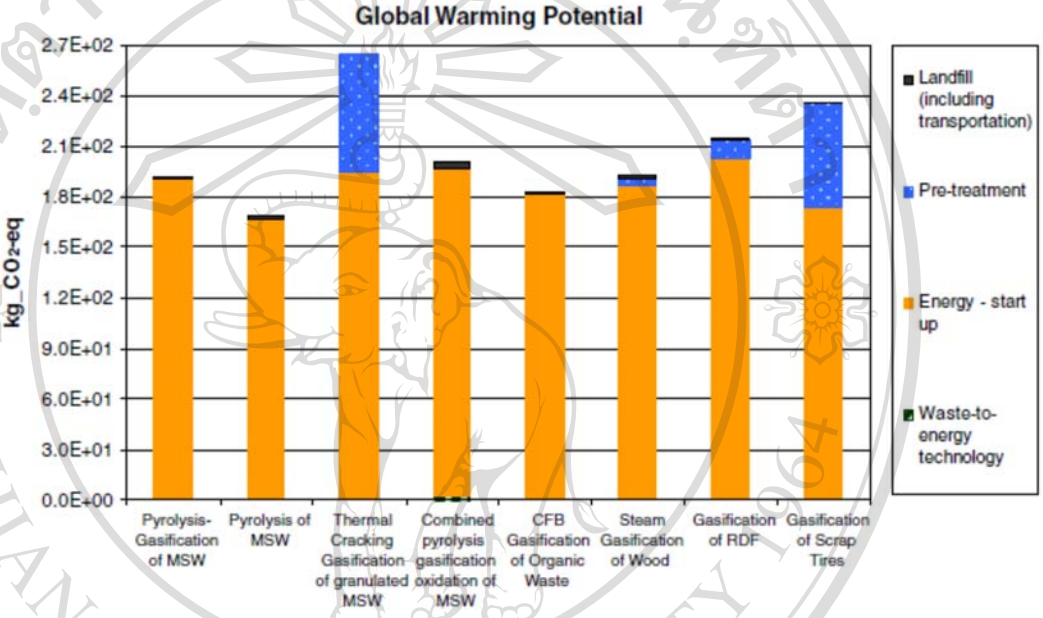
ในการตัดสินใจในการผลิตพลังงานจากเทคโนโลยีหนึ่ง ๆ นั้น ปัจจัยหนึ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาคือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดย Hsien H. Khoo (2009) ทำการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยี 8 ชนิดในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเศษขยะ , เศษไม้, ยาง, ขยะอบแห้ง (RDF) โดยเทคโนโลยีที่ทำการประเมินแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เทคโนโลยี 8 ชนิดในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้

เทคโนโลยี	รายละเอียด
1. Two-stage pyrolysis–gasification of MSW	ขยะจะถูกนำเข้าสู่ระบบ ที่อุณหภูมิ 1200 °C ซึ่งจะทำให้เกิดทั้งกระบวนการ pyrolysis และ Gasification
2. Pyrolysis of MSW	ขยะจะถูกนำไปผ่านด้วยก๊าซร้อนที่อุณหภูมิ 600 °C โดยขาดออกซิเจนเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง
3. Thermal cracking gasification of granulated MSW	ขยะจะถูกคัดให้เหลือเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้และต้องถูกบดให้อยู่ในขนาดที่เล็กก่อนเข้าสู่ระบบซึ่งจะใช้ความดันสูงทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารประกอบ
4. Combined pyrolysis, gasification and oxidation of MSW	ระบบจะเริ่มด้วยกระบวนการ pyrolysis, gasification ที่อุณหภูมิ 500°C จนกระทั่งเหลือเพียงก๊าซเชื้อเพลิงและเถ้า จากนั้นก๊าซจะถูกส่งไปทำปฏิกริยา Oxidation ต่อไป
5. Steam gasification of wood	เศษไม้จะถูกบด จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการ Gasification แบบ Fluidize Bed เพื่อให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิง
6. Circulating fluidized bed gasification of organic wastes	ขยะอินทรีย์จะเข้าสู่กระบวนการ Gasification ที่อุณหภูมิ 850 °C โดยใช้ตัวกลางเป็นทราย
7. Gasification of RDF	ขยะจะถูกทำให้แห้งและอยู่ในรูปแท่ง จากนั้นจะเข้าสู่ห้องเผาไหม้แรกคือกระบวนการ Gasification จากนั้นเถ้าที่เหลือจะถูกนำไปเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ที่สองเพื่อใช้หมุนเวียนในการให้ความร้อนกับห้องเผาไหม้แรกต่อไป
8. Gasification of scrap tyres	เศษยางจะถูกบดและทำให้ความชื้นน้อยกว่า 30% จากนั้นนำไปเข้ากระบวนการ Gasification

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

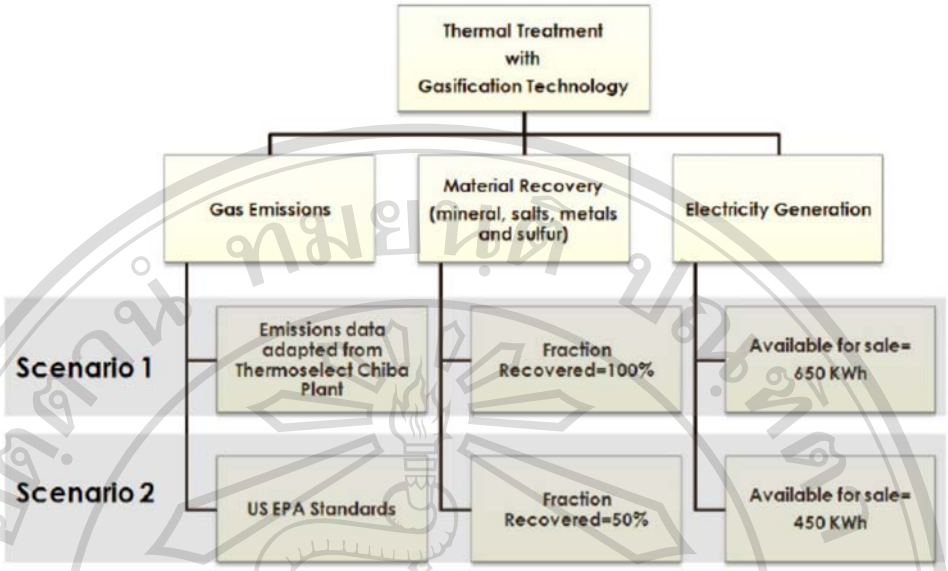
การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจะใช้การประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตโดยพิจารณาทั้งการใช้พลังงาน ปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นและ ผลกระทบทางอากาศ โดยข้อมูลต่าง ๆ จะถูกป้อนเข้าสู่โปรแกรม GaBi Professtional version 4 เพื่อทำการประเมินผลกระทบต่อ 1 ตันของก๊าซเชื้อเพลิง ในที่นี้ยกตัวอย่างผลกระทบที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential) ของเทคโนโลยีต่าง ๆแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผลกระทบด้าน Global Warming Potential ของเทคโนโลยีผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

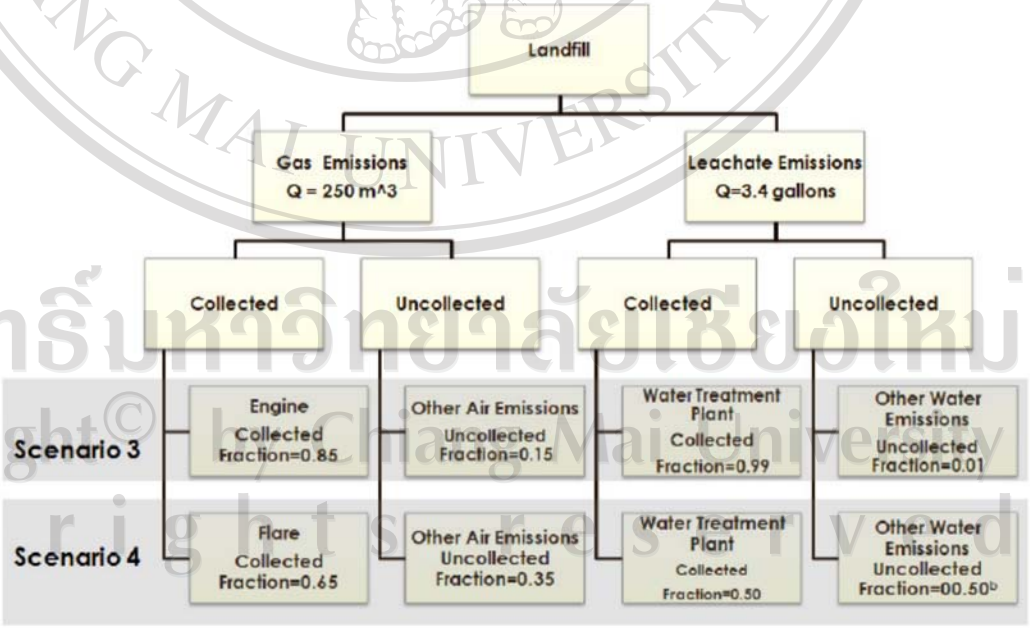
เช่นเดียวกับการเลือกเทคโนโลยีในการกำจัดขยะมูลฝอย Giselle Balaguer Datiz (2008) ทำการเปรียบเทียบผลกกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและการฝังกลบในประเทศเปอร์โตริโก เนื่องจากประเทศนี้มีลักษณะเป็นเกาะประกอบกับปริมาณขยะที่เพิ่มมากขึ้นทุกปีทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนพื้นที่สำหรับการฝังกลบ โดยงานวิจัยนี้จึง กำหนดเงื่อนไขดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.2 เงื่อนไขของการใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงในประเทศเปอร์โตริโก

ในกรณีใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะ ในรูปที่ 3.2 มีการกำหนดข้อมูลมลพิษทางอากาศเปรียบเทียบระหว่างมลพิษที่เกิดขึ้นจริงในโรงไฟฟ้าและค่ามาตราฐานของสหรัฐอเมริกา , ปริมาณของการนำเถ้าที่เหลือมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่ 50-100 %, ปริมาณไฟฟ้าที่ขาย 450-650 kWh/ตัน

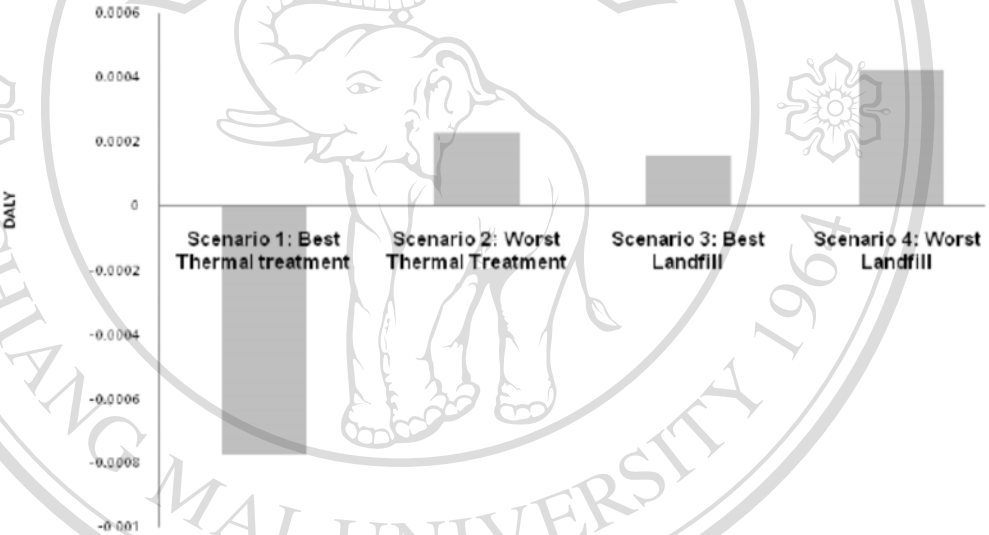


รูปที่ 3.3 เงื่อนไขของการฝังกลบในประเทศเปอร์โตริโก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรณีใช้การฝังกลบ ในรูปที่ 3.3 มีการกำหนดข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่เก็บได้และการเผาทิ้ง, เปรียบเทียบก๊าซชีวภาพที่ไม่สามารถรวบรวมได้ตั้งแต่ 15-35%, น้ำชะขยะที่สามารถรวบรวมได้ 50-100%

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ถูกรวบรวมมา จะถูกนำมาเข้าโปรแกรม SimaPro และเปรียบเทียบกันต่อ 1 ตันขยะ โดยใช้การประเมินแบบ Eco-Indicator 99 ในที่นี้จะยกตัวอย่างผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ดังรูปที่ 3.4 พบว่า เทคโนโลยีเตาเผาจะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์มากที่สุด เนื่องจากมีการผลิตพลังงานไฟฟ้า ทำให้ช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบปกติ ส่วนการฝังกลบโดยไม่มีการผลิตไฟฟ้านั้น จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เสมอ ไม่ว่าจะมีประสิทธิภาพในการรวบรวมก๊าซชีวภาพและน้ำชะขยะดีเพียงใดก็ตาม



รูปที่ 3.4 ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ระหว่างการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะและการฝังกลบ

สำหรับประเทศไทยซึ่งมีการผลิตพลังงานเป็นสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด Chalita Liamsanguan (2007) ทำการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการจัดการขยะ 2 รูปแบบในจังหวัดภูเก็ตคือ เทคโนโลยีเตาเผาซึ่งมีการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้า เปรียบเทียบกับการฝังกลบ โดยพิจารณาใน 2 ปัจจัยคือ 1. การใช้พลังงาน (Energy Consumption) 2. การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emission)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการกำจัดขยะด้วยวิธีเตาเผาและหลุมฝังกลบ

หัวข้อการประเมิน	เตาเผา	ฝังกลบ
การใช้พลังงาน (MJ/ตัน)	- 1,048	30
การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO_2 eq./ตัน)	637	1,313

จากผลการศึกษาดังตารางที่ 3.3 พบว่า เมื่อพิจารณาในแง่ของการใช้พลังงาน การใช้เทคโนโลยีเตาเผาให้พลังงานสุทธิต่อตันขยะในขณะที่การฝังกลบต้องใช้พลังงานในการกำจัดขยะ ส่วนในกรณีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่าการใช้เตาเผามีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการฝังกลบถึงครึ่งทีเดียว แต่หากมีการนำก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบมาผลิตพลังงานจะพบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเหลือเพียง 544 kg CO_2 eq./ตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเทคโนโลยีเตาเผา เมื่อพิจารณาในมุมของการใช้พลังงานหลังจากที่มีการรวบรวมก๊าซและผลิตพลังงาน การฝังกลบจะมีค่าการใช้พลังงาน -1,494 MJ/kg ซึ่งถือว่าให้พลังงานสุทธิที่มากกว่าเตาเผา

Wirawat Chaya (2007) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการจัดการขยะ 2 รูปแบบคือ เทคโนโลยีเตาเผาและการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยทั้งสองเทคโนโลยีมีการผลิตไฟฟ้า การประเมินใช้โปรแกรม SimaPro 5.0 และ ใช้การประเมินผลกระทบแบบ Eco Indicator 95

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการกำจัดขยะด้วยวิธีเตาเผาและการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

หัวข้อการประเมิน	เตาเผา	การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
การใช้พลังงาน (MJ/ตัน)	-563	-3,580
การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO2 eq./ตัน)	273	-276

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการศึกษาในตารางที่ 3.4 พบว่าเตาเผามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน และ ยังให้พลังงานสุทธิที่น้อยกว่าอีกด้วย โดยจากงานวิจัยของ Chalita Liamsanguan และ Wirawat Chaya ทำให้เห็นว่าการนำขยะมาผลิตพลังงานจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการฝังกลบแบบเดิมได้ ไม่ว่าจะผลิตพลังงานด้วยเทคโนโลยีเตาเผา การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบก็ตาม

อย่างไรก็ตาม ในจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งเคยมีโครงการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผามาแล้ว แต่ได้รับการต่อต้านจากประชาชน โดยเหตุผลหนึ่งคือการกังวลต่อมลพิษทางอากาศที่อาจเกิดขึ้น เมื่อพิจารณางานวิจัยของ Luciano Morselli et al. (2007)ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าพลังงานขยะที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในเขตตอนบนของประเทศอิตาลี โดยเปรียบเทียบกันในลักษณะของผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต

โรงไฟฟ้าพลังงานขยะที่ถูกเลือกมาทั้งหมด 7 โรงไฟฟ้าเป็นเทคโนโลยีเดียวกันทั้งหมดคือเทคโนโลยีเตาเผา (Incineration) ส่วนที่จะแตกต่างกันคือ ส่วนบำบัดอากาศเสีย และ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละแห่ง

งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จะลดลง ในโรงไฟฟ้าพลังงานขยะที่ก่อสร้างในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา เนื่องมากจากประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าและเทคโนโลยีในการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ทันสมัยขึ้น

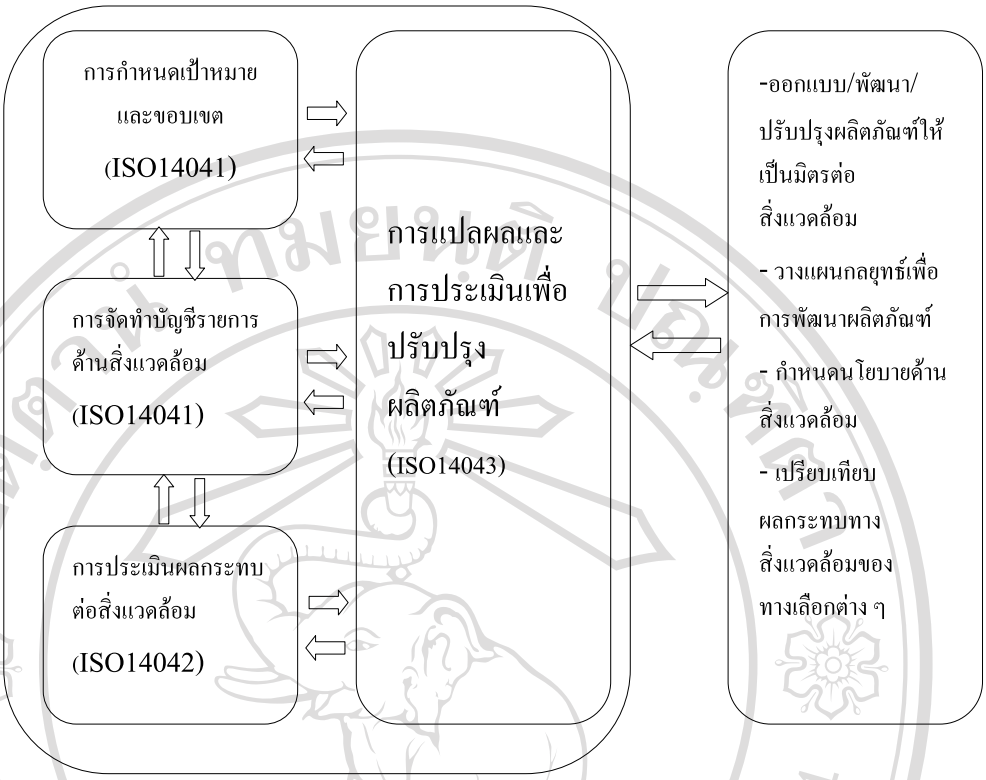
3.2 หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเครื่องที่ใช้ ในการ วิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิต เริ่มตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการแปลงสภาพ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ โดยจะใช้ข้อมูลของปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมทั้งของเสียที่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

ทั้งนี้ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการเช่น ใช้ เป็นข้อมูลในการหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังกล่าวในการเปรียบเทียบโครงการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

โดยการการประเมินวัฏจักรชีวิต ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักตามมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตตามมาตรฐาน ISO 14040

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)

การศึกษา LCA นั้น ขั้นตอนแรกจะต้องทราบ ถึงสิ่งที่จะทำการศึกษา และ ขั้นตอนการศึกษา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา โดย LCA สามารถนำไปใช้กับเป้าหมายหลักๆ ของการศึกษาวิจัยที่มีความแตกต่างกัน ได้แก่ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เพื่อการวิเคราะห์ข้อดี ข้อด้อยของผลิตภัณฑ์ เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ หรือเพื่อการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

การกำหนดหน้าที่ และหน่วยของผลิตภัณฑ์ (Functional Unit) สำหรับการประเมินวัฏชีวิต เป็นขั้นตอนที่สำคัญ ขั้นตอนหนึ่ง และมีส่วนสำคัญในกรณีที่ต้องการให้เกิดการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์อีกด้วย เนื่องจากในการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์นั้น เราจำเป็นจะต้องกำหนดหน้าที่และหน่วยของผลิตภัณฑ์ให้ตรงกันเพื่อให้สามารถเกิดการเปรียบเทียบขึ้นได้ เช่น ในการทำ LCA ของการผลิตพลังงานไฟฟ้า มักจะกำหนดหน่วยของผลิตภัณฑ์เป็น กิโลวัตต์ -ชั่วโมง (kWh) เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบกันได้ ระหว่างการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งพลังงานต่างชนิดกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI)

การเก็บข้อมูลเพื่อทำบัญชีรายการ คือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนของการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณเพื่อหาปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) ซึ่งสารขาเข้าและสารขาออกที่ได้เหล่านี้ ได้แก่ การใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน และการปล่อยสารออกสู่อากาศ น้ำ และดิน ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า

3.2.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือ LCA เป็นการคำนวณเพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้อธิบายค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงชีวิตและตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.3.1 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification)

ในขั้นตอนนี้ ข้อมูลสาร ขาเข้า และ ออกในบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จะถูกจำแนกให้เข้า อยู่ในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละชนิดจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันไป เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซ ด์ สามารถก่อให้เกิดเกิดฝนกรด ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.3.2 การแปลงข้อมูลดังกล่าวให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization)

หลังจากจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการเข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว แต่สารแต่ละชนิดที่ก่อให้เกิดผลกระทบรูปแบบเดียวกันนั้นจะมีความรุนแรงที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น ขั้นตอนนี้จะทำการแปลงข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและขาออกในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเดียวกันให้อยู่ในรูปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในรูปตัวชี้วัดตามหน่วยมาตรฐานที่ได้จากการเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแว ดล้อมของสารดังกล่าวกับสาร

อ้างอิงพื้นฐาน เรียกกว่า Equivalent หรือ Characterization Factors โดยรายละเอียดของค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบเมื่อเทียบกับสารอ้างอิงแสดงในภาคผนวก ก ยกตัวอย่าง เช่น สารที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้นจะถูกคำนวณให้อยู่ในหน่วยของ CO_2 – equivalent เป็นต้น โดยค่าศักยภาพผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละชนิดของผลกระทบ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$EP_j = \sum(Q_i \times EF_{ij}) \quad (3.1)$$

เมื่อ EP_j (Environmental Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม สำหรับผลกระทบ j ใดๆ

Q_i (Quantity of Substance)คือ ปริมาณสารมลภาวะ i ที่ถูกปล่อยออกมา

EF_{ij} (Equivalency Factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม j

3.2.3.3 การเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Normalization)

คือการเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำได้โดยการเทียบขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา กับขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ กับผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม โดยสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{Normalization} = \frac{\text{ขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา}}{\text{ขนาดของผลกระทบของสิ่งแวดล้อมในระดับภูมิภาค}} \quad (3.2)$$

3.2.3.4 การให้น้ำหนักของผลกระทบ (Weighting)

คือการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ทำโดยการเปรียบเทียบความสำคัญของผลกระทบแต่ละประเภทเรียกว่า Weighting Factor (WF) โดยเกณฑ์การกำหนดลำดับความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาจจะเป็นการเปรียบเทียบในเชิงของปริมาณหรือเชิงคุณภาพ ซึ่งใช้หลักเกณฑ์การกำหนดแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยที่ผู้ดำเนินจัดทำ LCA จะนำมาพิจารณา ในการใช้งานโปรแกรม SimaPro ค่าที่ได้จากการให้น้ำหนักผลกระทบแล้วจะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยเป็น Pt เพียงหน่วยเดียว เนื่องจากค่าในกลุ่มผลกระทบต่าง ๆ ที่มีหน่วยต่างกัน เช่น ภาวะโลกร้อนมีหน่วยเป็น $kg.CO_2$ ภาวการณ์ลดลงของชั้นบรรยากาศมีหน่วยเป็น $kg\ CFC_{11}$ ดังนั้น หน่วย Pt จึงทำหน้าที่เป็นค่ากลางหรือ ค่าอ้างอิง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกันในหน่วยเดียวกัน

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการประเมินค่าในขั้นตอนของการ Normalization และขั้นตอนของการ Weighting เป็นการประเมินที่อาศัยค่ามาตรฐานที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วถ้าต้องการเปรียบเทียบให้เป็นในแนวทางมาตรฐานเดียวกันแล้วมักจะทำการประเมินเพียงแค่ในส่วนของขั้นตอน Classification และ Characterization เท่านั้น

ทั้งนี้ในปัจจุบันเมื่อแนวคิดของ LCA ได้รับความสนใจกันอย่างแพร่หลายจึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปพร้อมกับการพัฒนาฐานข้อมูล ซึ่งมีลักษณะการใช้งานที่ไม่ซับซ้อนและช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยที่โปรแกรมเหล่านี้ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาสามารถที่จะทำการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลที่มีอยู่ทั่วโลกได้ ซึ่งโปรแกรมที่มีอยู่ในปัจจุบันมีหลายโปรแกรม เช่น GaBi, TEAM และ SimaPro เป็นต้น

โปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้โปรแกรมหนึ่ง คือ โปรแกรม SimaPro ซึ่งพัฒนาโดยประเทศเนเธอร์แลนด์ โปรแกรมประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ฐานข้อมูลบัญชีรายการ และข้อมูลในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยทั้ง 2 ส่วนได้มีการบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องไว้มากมาย ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งาน ในหลาย ๆ ด้าน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมดังกล่าวในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

3.2.4 การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Interpretation)

การแปลผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบว่าช่วงใดในวงจรของชีวิตผลิตภัณฑ์ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม ส่วนไหนที่มีความสำคัญสูงสุด โดยการตีความและแป ลผล ควรอยู่ภายใต้ของเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตที่ได้ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

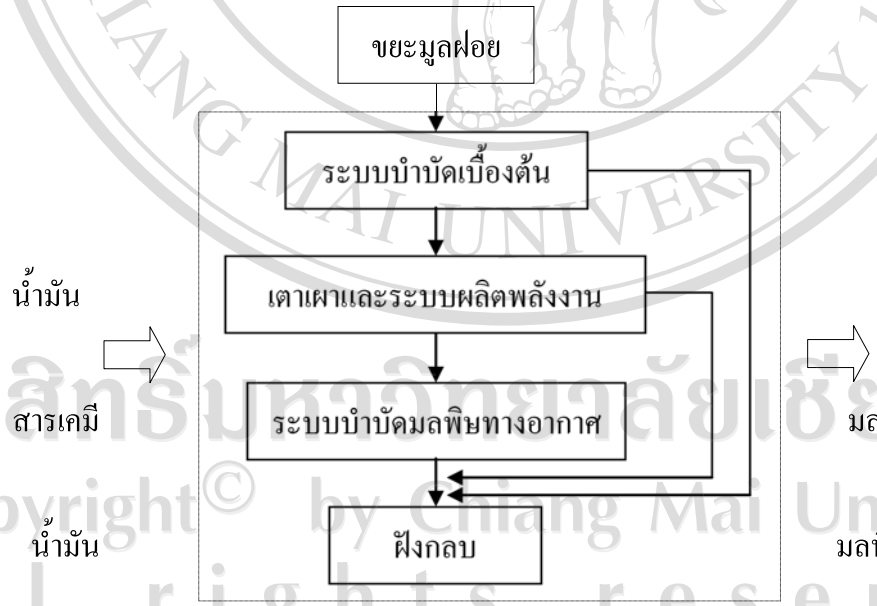
3.3.1 เป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของไฟฟ้าที่ผลิตจากขยะ

1) ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในการผลิตไฟฟ้าจากขยะ ว่าเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานจากขยะแต่ละประเภทส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ อย่างไร

2) สามารถเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตไฟฟ้า ของแต่ละเทคโนโลยีได้

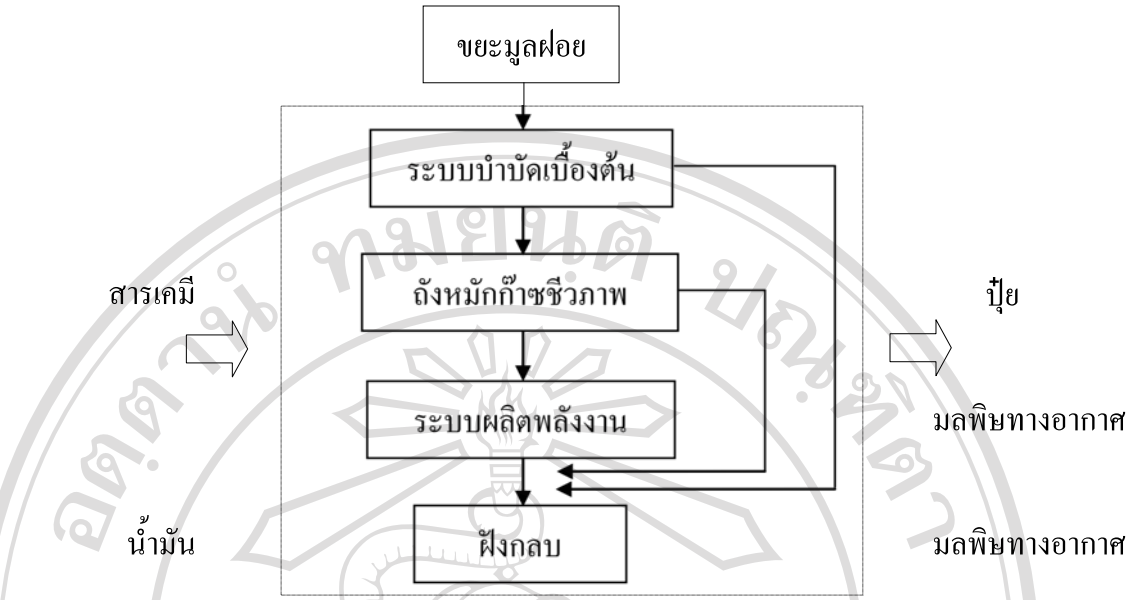
3.3.2. ขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตของไฟฟ้าที่ผลิตจากขยะ

หน่วยการทำงาน (Functional Unit) ที่ทำการศึกษาจะพิจารณาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใน 2 รูปแบบคือ ค่าผลกระทบ ต่อกระแสไฟฟ้า 1 หน่วยและ ค่าผลกระทบต่อการกำจัดขยะ 1 ตัน โดยขอบเขตในการประเมินวัฏจักรชีวิตของไฟฟ้าที่ผลิตจากเทคโนโลยีทั้ง 3 ประเภท แสดงดังรูปที่ 3.6 – 3.8

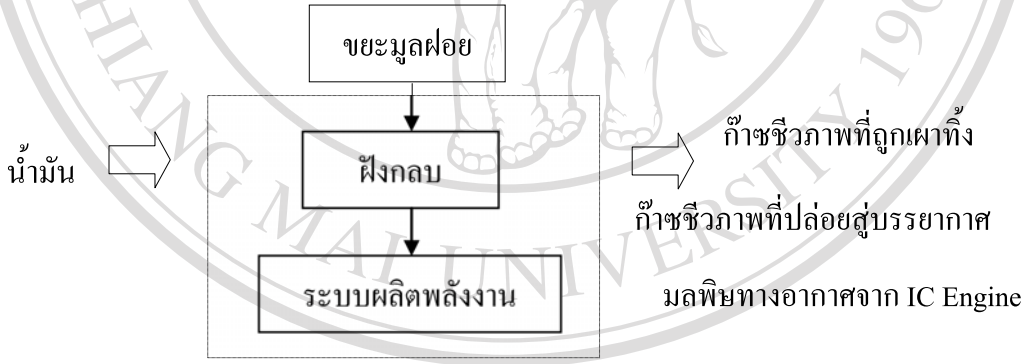


รูปที่ 3.6 ขอบเขตในการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีเตาเผา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.7 ขอบเขตในการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน



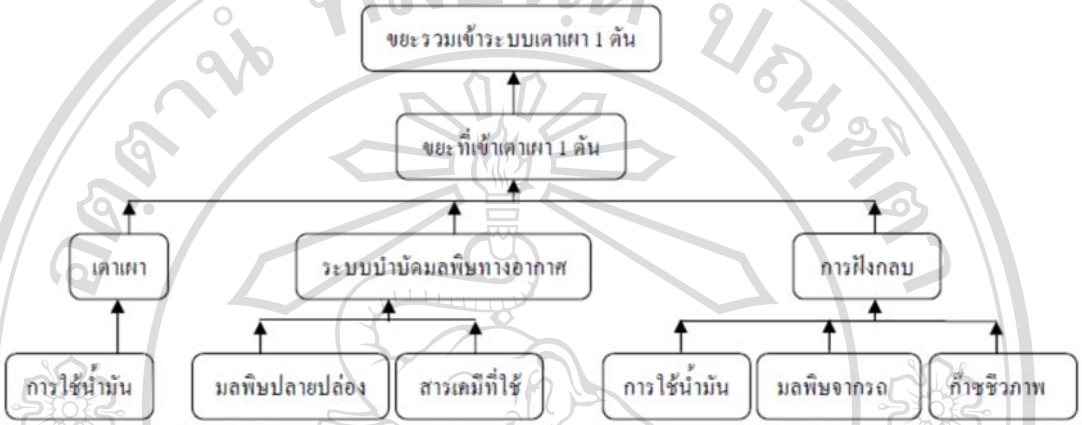
รูปที่ 3.8 ขอบเขตในการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการฝังกลบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4 การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory)

การจัดทำบัญชีรายการ คือ การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล ปริมาณของสารที่เข้าและออก จากระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ ปริมาณวัสดุและทรัพยากรที่เกี่ยวข้อง การใช้พลังงาน เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ และมลพิษหรือของเสียประเภทต่างๆ ที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ ในระบบ

สำหรับเทคโนโลยีเตาเผาจะทำการแบ่งกลุ่มของกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็น 3 ส่วนหลักคือส่วนเตาเผา ส่วนระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ และส่วนของการฝังกลบ ซึ่งการจัดกลุ่มนี้จะใช้ในการ การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การจัดกลุ่มกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบในเทคโนโลยีเตาเผา

ในการเก็บข้อมูลเพื่อหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผาของขยะรวมปริมาณ 1 ตันนั้นงานวิจัยนี้จะทำการหาผลกระทบของขยะที่เข้าเตาเผาจำนวน 1 ตันก่อน โดยผลกระทบของขยะที่เข้าเตาเผานี้ จะทำการเก็บข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มของขั้นตอนที่ส่งผลกระทบออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนเตาเผา ส่วนระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ และ ส่วนของการฝังกลบ ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนของเตาเผา จะมีการใช้น้ำมันส่วนหนึ่งเพื่อใช้ในการจุดเตาเผากรณีที่ขยะมีค่าความชื้นสูงเกินไป ข้อมูลที่ใช้นำมาจาก Wirawat Chaya 2003 เป็นการเก็บข้อมูลจริงจากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะที่ใช้เทคโนโลยีเตาเผา ของจังหวัดภูเก็ต โดยใช้ น้ำมัน 1.06 ลิตร/ตัน ซึ่งจะถูกแปลงเป็น kg โดยกำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำมันเป็น 0.85 kg/ลิตร

ส่วนระบบบำบัดมลพิษทางอากาศจะแบ่งกระบวนการที่ก่อให้เกิดมลพิษออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของสารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัดและ ส่วนของมลพิษที่เกิดจากไอเสียที่ถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยปูนขาว ($Ca(OH)_2$)จะถูกใช้ในระบบบำบัดมลพิษ ซึ่งข้อมูลนำมาจาก Wirawat Chaya 2003 ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลจริงจากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะที่ใช้เทคโนโลยีเตาเผา ของจังหวัดภูเก็ต ส่วนข้อมูลมลพิษทางอากาศที่ออกมาจากปล่องไอเสีย อ้างอิงจากรายงานสิ่งแวดล้อมของจังหวัดภูเก็ต ซึ่งประกอบไปด้วย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(NO_2), ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl), ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO), ฝุ่นละออง (TSP), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ข้อมูลแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สารเคมีที่ใช้และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นต่อ 1 ตันขยะที่เข้าสู่เตาเผา

สารเคมี/มลพิษทางอากาศ	ปริมาณ	หน่วย
ปูนขาว ($Ca(OH)_2$)	13.8	กิโลกรัม
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	0.17	กิโลกรัม
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	2.5	กิโลกรัม
ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl)	0.181	กิโลกรัม
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO)	0.733	กิโลกรัม
ฝุ่นละออง (TSP)	0.56	กิโลกรัม
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	1,225	กิโลกรัม

ในด้านของการฝังกลบจะประกอบไปด้วยกระบวนการ 3 ส่วนคือ การใช้น้ำมันในรถฝังกลบขยะ, มลพิษจากท่อไอเสียของรถฝังกลบขยะ และ ส่วนสุดท้ายคือก๊าซชีวภาพที่ออกมาจากหลุมฝังกลบและกระจายออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยขยะทั้งหมดที่ถูกนำมาฝังกลบจะมีที่มาจากหลายส่วนด้วยกันดังนี้ ขยะที่ถูกคัดแยกเนื่องจากไม่สามารถเข้าสู่เตาเผาได้ , ขยะส่วนที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้, ขยะส่วนที่เกินการรองรับของระบบ , ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นในเตาเผา รวมถึงฝุ่นละอองที่ถูกดักจับได้ในระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ

ข้อมูลในการใช้น้ำมันของรถฝังกลบขยะอ้างอิงมาจากการใช้น้ำมันในการฝังกลบ ของศูนย์กำจัดขยะที่อำเภอดอยสะเก็ด ซึ่งมีการเก็บข้อมูลในช่วงวันที่ 22 พฤษภาคม ถึงวันที่ 25 มิถุนายน ปี พ.ศ. 2552 ซึ่งมีการใช้น้ำมันรวมทั้งสิ้น 1,051 ลิตรเพื่อรองรับการฝังกลบขยะ 7,000 ตัน คิดเป็นการใช้น้ำมัน 0.15 ลิตรต่อตันของขยะที่ต้องการฝังกลบ

ส่วนมลพิษที่เกิดจากการใช้รถฝังกลบขยะ อ้างอิงมาจาก Wanida ซึ่งมลพิษที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2), ก๊าซมีเทน (CH_4), สารอินทรีย์ระเหยได้ที่มิใช่มีเทน (NMVOC), ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO), ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) โดยรายละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 3.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.6 น้ำมันที่ใช้และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นต่อ 1 ตันขยะที่ฝังกลบ

สารเคมี/มลพิษทางอากาศ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำมันดีเซล	0.15	ลิตร
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	2,695	กรัม/ลิตร
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	14.5	กรัม/ลิตร
ก๊าซมีเทน (CH_4)	0.03642	กรัม/ลิตร
สารอินทรีย์ระเหยได้ที่มิใช่มีเทน (NMVOC)	3.642	กรัม/ลิตร
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO)	14.568	กรัม/ลิตร
ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	0.14568	กรัม/ลิตร

ส่วนสุดท้ายคือก๊าซชีวภาพที่ออกมาจากหลุมฝังกลบและกระจายออกสู่ชั้นบรรยากาศ อันเนื่องมาจากขยะส่วนที่เกินการรองรับของเตาเผาดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว ซึ่งขยะส่วนนี้ยังมีสารอินทรีย์ซึ่งจะทำปฏิกริยาเกิดเป็นก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพนี้จะประเมินโดยใช้โปรแกรม LandGem เช่นเดียวกับวิธีการประเมินก๊าซชีวภาพในส่วนของการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบในบทที่ 2 โดยขยะที่เกินการรองรับของเตาเผา 1 ตันที่เข้าสู่หลุมฝังกลบจะเกิดมลพิษในช่วง 20 ปี ก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพทั้งหมด 114.2 ลูกบาศก์เมตรแบ่งเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 มลพิษที่เกิดจากขยะที่เกินระบบเตาเผาและเข้าสู่หลุมฝังกลบปริมาณ 1 ตัน

ก๊าซที่เกิดขึ้น	ปริมาณ	หน่วย
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	52.53	ลูกบาศก์เมตร
ก๊าซมีเทน (CH_4)	61.67	ลูกบาศก์เมตร

ซึ่งข้อมูลของสารขาเข้าและขาออกที่ทำการรวบรวมมานี้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสารที่ใช้หรือปล่อยออกต่อขยะรวม 1 ตัน โดยสามารถสรุปปริมาณของสารขาเข้าและขาออกโดยเทียบกับปริมาณของขยะรวมได้ดังตารางที่ 3.8 ส่วนปริมาณของสารขาเข้าและขาออกโดยเทียบกับปริมาณของไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 หน่วยแสดงได้ดังตารางที่ 3.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.8 การจัดทำบัญชีรายการของเทคโนโลยีเตาเผาต่อตันขยะ

ระบบที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	กระบวนการ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
เตาเผาและระบบผลิตพลังงาน	การใช้น้ำมัน	น้ำมัน	0.64107	kg
ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ	สารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัด	ปูนขาว	9.82974	kg
	มลพิษที่เกิดจากไอเสีย	Sulfur dioxide	0.121091	kg
		Nitrogen dioxide	1.78075	kg
		Hydrogen chloride	0.1289263	kg
		Carbon monoxide	0.5221159	kg
		TSP	0.398888	kg
		Carbon dioxide	872.5675	kg
ระบบฝังกลบ	การใช้น้ำมันในรถฝังกลบขยะ	น้ำมัน	0.052224696	kg
	มลพิษจากท่อไอเสียของรถฝังกลบขยะ	Carbon dioxide	0.165119802	kg
		Nitrogen dioxide	0.000897612	kg
		Methane	4.08005E-06	kg
		NMVOC,	0.000204003	kg
		Carbon monoxide	0.000897612	kg
	ก๊าซชีวภาพที่ออกมาจากหลุมฝังกลบ	Methane	2.118038296	kg
		Carbon dioxide	2.769878272	kg

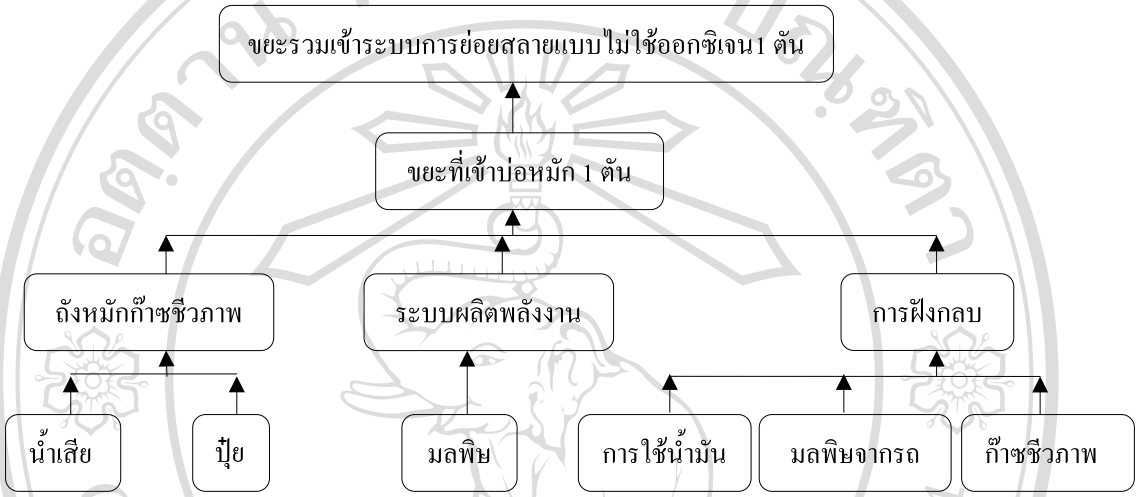
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.9 การจัดทำบัญชีรายการของเทคโนโลยีเตาเผาต่อไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh

ระบบที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	กระบวนการ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
เตาเผาและระบบผลิตพลังงาน	การใช้น้ำมัน	น้ำมัน	0.0018594	kg
ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ	สารเคมีที่ใช้ในระบบบำบัด	ปูนขาว	0.0285108	kg
	มลพิษที่เกิดจากไอเสีย	Sulfur dioxide	0.00035122	kg
		Nitrogen dioxide	0.005165	kg
		Hydrogen chloride	0.000373946	kg
		Carbon monoxide	0.001514378	kg
		TSP	0.00115696	kg
		Carbon dioxide	2.53085	kg
ระบบฝังกลบ	การใช้น้ำมันในรถฝังกลบขยะ	น้ำมัน	0.000151476	kg
	มลพิษจากท่อไอเสียของรถฝังกลบขยะ	Carbon dioxide	0.000478924	kg
		Nitrogen dioxide	2.60349E-06	kg
		Methane	1.1834E-08	kg
		NMVOC	5.91702E-07	kg
		Carbon monoxide	2.60349E-06	kg
	ก๊าซชีวภาพที่ออกมาจากหลุมฝังกลบ	Methane	0.006143292	kg
		Carbon dioxide	0.00803393	kg

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำการแบ่งกลุ่มของกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็น 3 ส่วนหลักคือส่วนของถังหมักก๊าซชีวภาพ ส่วนระบบผลิตพลังงาน และส่วนของการฝังกลบ ซึ่งการจัดกลุ่มนี้จะใช้ในการ การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การจัดกลุ่มกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในการเก็บข้อมูลเพื่อหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดขยะด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของขยะรวมปริมาณ 1 ตัน งานวิจัยนี้จะทำการหาผลกระทบของขยะที่เข้าถังหมักจำนวน 1 ตันก่อน โดยผลกระทบของขยะที่เข้าถังหมักนี้ จะทำการเก็บข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มของขั้นตอนที่ส่งผลกระทบออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของถังหมักก๊าซชีวภาพ ส่วนระบบผลิตพลังงาน และ ส่วนของการฝังกลบ ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนของถังหมักก๊าซชีวภาพ จะมีกากที่เหลือจากการหมักอยู่ในลักษณะของเหลวปนกับเศษขยะอินทรีย์ ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 95% ของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ถังหมัก ซึ่งจะถูกนำไปเข้ากระบวนการผลิตปุ๋ยจากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะมี 2 ชนิดคือ ปุ๋ยคิดเป็นน้ำหนัก 85% ของกากที่เหลือจากถังหมัก และ น้ำเสียซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 15% ของกากที่เหลือจากถังหมัก

ส่วนระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากถังหมัก ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในสำหรับการผลิตไฟฟ้า และหลังจากที่ก๊าซชีวภาพถูกเผาไหม้แล้วไอเสียที่เกิดขึ้น จะอ้างอิงจาก วารุณี แก้วโบราณจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ส่วนมลพิษที่เกิดจากการฝังกลบทั้ง 3 ส่วนจะพิจารณาในรูปแบบเดียวกับการฝังกลบในเทคโนโลยีเตาเผาดังที่กล่าวมาแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งข้อมูลของสารขาเข้าและขาออกที่ทำการรวบรวมมานี้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสารที่ใช้หรือปล่อยออกต่อขยะรวม 1 ตัน โดยสามารถสรุปปริมาณของสารขาเข้าและขาออกโดยเทียบกับปริมาณของขยะรวมได้ดังตารางที่ 3.10 ส่วนปริมาณของสารขาเข้าและขาออกโดยเทียบกับปริมาณของไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 หน่วยแสดงได้ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.10 การจัดทำบัญชีรายการของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อตันขยะ

ระบบที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	กระบวนการ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ถังหมักก๊าซชีวภาพ	น้ำเสีย	น้ำเสีย	0.330128096	m^3
	ปุ๋ย	ปุ๋ย	58.261278	kg
ระบบผลิตพลังงาน	มลพิษจากไอเสีย	Carbon dioxide	31.2718	kg
		Sulfur dioxide	0.0268044	kg
		Nitrogen dioxide	0.8819924	kg
		Carbon monoxide	0.0976446	kg
ระบบฝังกลบ	การใช้น้ำมันในรถฝังกลบขยะ	น้ำมัน	0.04414506	kg
	มลพิษจากท่อไอเสียของรถฝังกลบขยะ	Carbon dioxide	0.139574263	kg
		Nitrogen dioxide	0.000758743	kg
		Methane	3.44883E-06	kg
		NMVOC	0.000172442	kg
		Carbon monoxide	0.000758743	kg
	ก๊าซชีวภาพที่ออกมาจากหลุมฝังกลบ	Methane	2.10430495	kg
		Carbon dioxide	2.7519184	kg

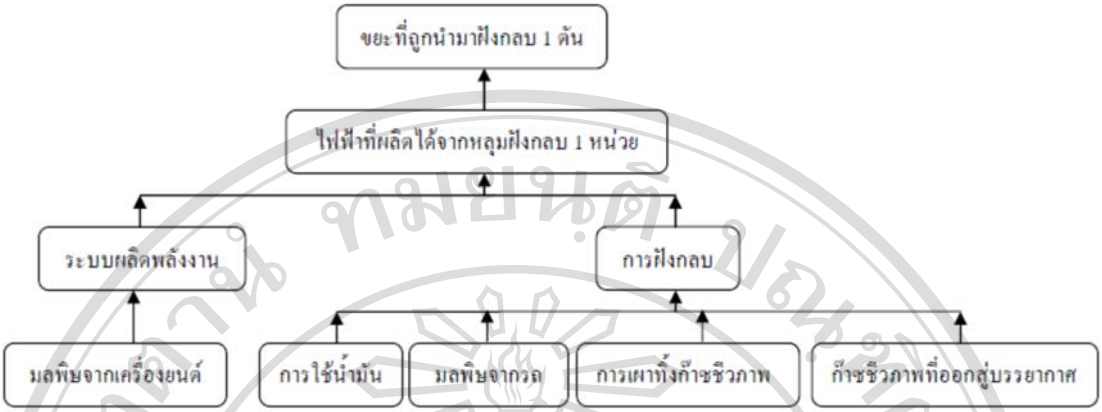
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.11 การจัดทำบัญชีรายการของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อไฟฟ้า 1 kWh

ระบบที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	กระบวนการ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ถังหมักก๊าซชีวภาพ	น้ำเสีย	น้ำเสีย	0.003791662	m^3
	ปุ๋ย	ปุ๋ย	0.6691557	kg
ระบบผลิตพลังงาน	มลพิษจากไอเสีย	Carbon dioxide	0.35917	kg
		Sulfur dioxide	0.00030786	kg
		Nitrogen dioxide	0.01013006	kg
		Carbon monoxide	0.00112149	kg
ระบบฝังกลบ	การใช้น้ำมันในรถฝังกลบขยะ	น้ำมัน	0.000507025	kg
	มลพิษจากท่อไอเสียของรถฝังกลบขยะ	Carbon dioxide	0.00160307	kg
		Nitrogen dioxide	8.71449E-06	kg
		Methane	3.96113E-08	kg
		NMVOC	1.98057E-06	kg
		Carbon monoxide	8.71449E-06	kg
	ก๊าซชีวภาพที่ออกมาจากหลุมฝังกลบ	Methane	0.024168843	kg
		Carbon dioxide	0.03160696	kg

สำหรับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะจะทำการแบ่งกลุ่มของกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็น 2 ส่วนหลักคือส่วนของระบบผลิตพลังงาน และส่วนของการฝังกลบ ซึ่งการจัดกลุ่มนี้จะใช้ในการ การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 3.11

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.11 การจัดกลุ่มกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบในการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบขยะ

ในการเก็บข้อมูลเพื่อหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดขยะด้วยเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ และส่วนของการฝังกลบขยะมูลฝอย

ในระบบผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพซึ่งใช้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในและเกิดไอเสียออกสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งมลพิษส่วนนี้อ้างอิงมาจากข้อกำหนดของก๊าซที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ที่เผาไหม้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบ Guidance for monitoring landfill gas engine emissions โดยข้อกำหนดนี้แสดงดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในที่ใช้ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบเป็นเชื้อเพลิง

มลพิษ	ปริมาณ	หน่วย
ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx)	500	mg/m^3
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO)	1,400	mg/m^3
สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC)	1,000	mg/m^3
สารอินทรีย์ระเหยได้ที่มิใช่มีเทน (NMVOC)	75	mg/m^3

ส่วนในระบบฝังกลบจะแบ่งกลุ่มของขั้นตอนที่ส่งผลกระทบออกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ คือ การใช้น้ำมันในรถฝังกลบขยะ, มลพิษจากท่อไอเสียของรถฝังกลบขยะ, การเผาก๊าซชีวภาพที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าทิ้งเพื่อลดการปล่อยก๊าซมีเทนสู่ชั้นบรรยากาศ และส่วนสุดท้ายคือก๊าซชีวภาพที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกมาจากหลุมฝังกลบโดยไม่สามารถรวบรวมได้ซึ่งมีประมาณ 25% ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด

ซึ่งข้อมูลของสารขาเข้าและขาออกที่ทำการรวบรวมมานี้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสารที่ใช้หรือปล่อยออกต่อขยะรวม 1 ตัน โดยสามารถสรุปปริมาณของสารขาเข้าและขาออกโดยเทียบกับปริมาณของขยะรวมได้ดังตารางที่ 3.13 ส่วนปริมาณของสารขาเข้าและขาออกโดยเทียบกับปริมาณของไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 หน่วยแสดงได้ดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.13 การจัดทำบัญชีรายการของการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบต่อตันขยะ

ระบบที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	กระบวนการ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ระบบผลิตพลังงาน	มลพิษจากไอเสียในการผลิตไฟฟ้า	Nitrogen dioxide	508.8015	g
		Carbon monoxide	1424.6442	g
		VOC	101.7603	g
ระบบฝังกลบ	การใช้น้ำมันในรถฝังกลบขยะ	น้ำมัน	0.128001894	kg
	มลพิษจากรถฝังกลบขยะ	Carbon dioxide	0.40470599	kg
		Nitrogen dioxide	0.002200033	kg
		Methane	1.00001E-05	kg
		NMVOC	0.000500007	kg
		Carbon monoxide	0.002200033	kg
	ก๊าซชีวภาพหลังจากถูกเผาทิ้ง	Nitrogen dioxide	233.6718	g
		Carbon monoxide	653.276	g
		VOC	46.4831	g
	ก๊าซชีวภาพที่ปล่อยสู่บรรยากาศ	Methane	7.964552547	kg
		Carbon dioxide	10.24013899	kg

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.14 การจัดทำบัญชีรายการของการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบต่อไฟฟ้า 1 kWh

ระบบที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	กระบวนการ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ระบบผลิตพลังงาน	มลพิษจากไอเสียในการผลิตไฟฟ้า	Nitrogen dioxide	4.05	g
		Carbon monoxide	11.34	g
		VOC	0.81	g
ระบบฝังกลบ	การใช้น้ำมันในรถฝังกลบขยะ	น้ำมัน	0.00101888	kg
	มลพิษจากรถฝังกลบขยะ	Carbon dioxide	0.003221412	kg
		Nitrogen dioxide	0.000017512	kg
		Methane	7.96E-08	kg
		NMVOC	0.00000398	kg
		Carbon monoxide	0.000017512	kg
	ก๊าซชีวภาพหลังจากถูกเผาทิ้ง	Nitrogen dioxide	1.86	g
		Carbon monoxide	5.2	g
		VOC	0.37	g
	ก๊าซชีวภาพที่ปล่อยสู่บรรยากาศ	Methane	0.0633969	kg
		Carbon dioxide	0.0815103	kg

3.5 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Impact Assessment)

3.5.1 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification) และ การแปลงข้อมูลดังกล่าวให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization)

ในส่วนของเทคโนโลยีเตาเผาจะทำการประเมิน ใน 2 รูปแบบคือ ประเมินผลกระทบต่อตันของขยะ และประเมินผลกระทบในมุมมองของการผลิตไฟฟ้าโดยเทียบต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ เพื่อที่จะได้เห็นมุมมองที่หลากหลายของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีเตาเผามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อตันขยะและต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ดังตารางที่ 3.15 โดยสาเหตุหลัก ๆ มาจากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ , การใช้น้ำมันดีเซล, และการใช้ปูนขาวในระบบมลพิษทางอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.15 ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีเตาเผา

Impact category	หน่วย	ค่าผลกระทบ		สาเหตุหลัก
		ต่อตัน	ต่อหน่วย	
Global warming	g CO_2	940,204	2,727	ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้
Ozone depletion	g CFC11	0.002775	8.05E-06	การใช้น้ำมันดีเซลในการจุดเตาผา
Acidification	g SO_2	1,505	4.366	ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้
Eutrophication	g NO_3	2,419	7.0179	ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้
Human toxicity air	m^3	1,279,496	3,711	มาจาก 2 ส่วนหลักคือ ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้และขั้นตอนของการผลิตปูนขาว
Human toxicity water	m^3	18.789	0.0544	ขั้นตอนของการผลิตปูนขาว
Human toxicity soil	m^3	0.56817	0.001648	ขั้นตอนของการผลิตปูนขาว

ในเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อตันขยะและต่อหน่วยไฟฟ้าดังตารางที่ 3.16 โดยสาเหตุหลัก ๆ มาจาก ไอเสียจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า , และการใช้น้ำมันดีเซลในรถที่ใช้ในการฝังกลบขยะ

ตารางที่ 3.16 ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

Impact category	หน่วย	ค่าผลกระทบ		สาเหตุหลัก
		ต่อตัน	ต่อหน่วย	
Global warming	g CO_2	86,992	999	ไอเสียจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ
Ozone depletion	g CFC11	0.000138	1.59E-06	การใช้น้ำมันดีเซลในการฝังกลบขยะ
Acidification	g SO_2	644.9	7.407	ไอเสียจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ
Eutrophication	g NO_3	1,191	13.689	ไอเสียจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ
Human toxicity air	m^3	123,744	1,421	ไอเสียจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ
Human toxicity water	m^3	0.164069	0.001884	การใช้น้ำมันดีเซลในการฝังกลบขยะ
Human toxicity soil	m^3	0.007666	8.81E-05	การใช้น้ำมันดีเซลในการฝังกลบขยะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

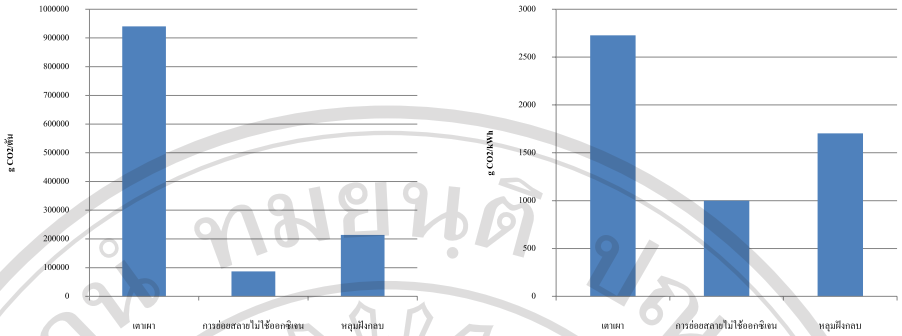
ส่วนในเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบ จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อตันขยะและต่อหน่วยไฟฟ้า ดังตารางที่ 3.17 โดยสาเหตุหลัก ๆ มาจาก ก๊าซชีวภาพที่ไม่สามารถรวบรวมได้และถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ , ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพทิ้งและไอเสียจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพเพื่อการผลิตไฟฟ้า , และการใช้น้ำมันดีเซลในรถที่ใช้ในการฝังกลบขยะ

ตารางที่ 3.17 ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบ

Impact category	หน่วย	ค่าผลกระทบ		สาเหตุหลัก
		ต่อตัน	ต่อหน่วย	
Global warming	g CO_2	213,990	1,703	ก๊าซชีวภาพที่ไม่สามารถรวบรวมได้
Ozone depletion	g CFC11	0.000401	3.19E-06	การใช้น้ำมันดีเซลในการฝังกลบ
Acidification	g SO_2	521.86	4.154	การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพทิ้งและไอเสียจากการผลิตไฟฟ้า
Eutrophication	g NO_3	1,005	8.0067	การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพทิ้งและไอเสียจากการผลิตไฟฟ้า
Human toxicity air	m^3	1,747,446	139,09	การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพทิ้งและไอเสียจากการผลิตไฟฟ้า
Human toxicity water	m^3	0.475731	0.003787	การใช้น้ำมันดีเซลในการฝังกลบ
Human toxicity soil	m^3	0.022229	0.000177	การใช้น้ำมันดีเซลในการฝังกลบ

เมื่อนำเทคโนโลยีทั้ง 3 รูปแบบมาเปรียบเทียบโดยแยกแต่ละผลกระทบ พบว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเตาเผาก่อให้เกิดผลกระทบต่อการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) มากที่สุดดังรูปที่ 3.12 สาเหตุหลักมาจากปริมาณของไอเสียที่ออกจากเตาเผาปริมาณมาก ส่วนรองลงมาคือการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากก๊าซชีวภาพที่ถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ ในขณะที่การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าน้อยที่สุด

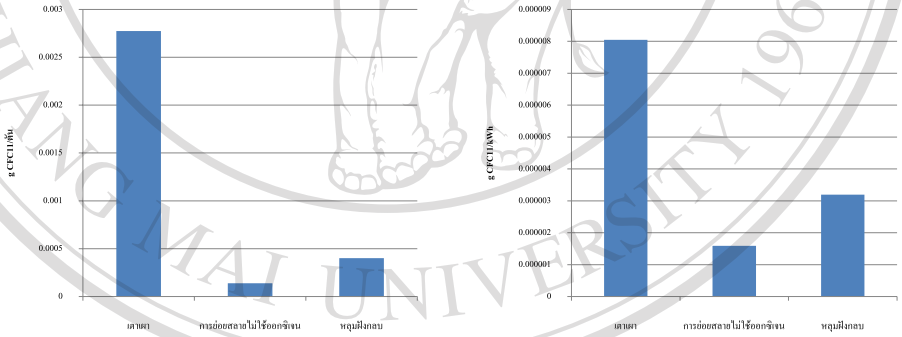
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) ผลกระทบต่อตันขยะ (ข) ผลกระทบต่อหน่วยไฟฟ้า

รูปที่ 3.12 การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของเทคโนโลยีทั้ง 3 รูปแบบ

ในด้านการก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนดังรูปที่ 3. 13 พบว่าเตาเผาส่งผลกระทบมากที่สุดซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากขั้นตอนการผลิตน้ำมันก่อนที่จะถูกนำมาใช้ในเตาเผาและอีกส่วนหนึ่งเกิดในขั้นตอนการผลิตหินปูน ในด้านของการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบสาเหตุหลักมาจากใช้น้ำมันในการฝังกลบ

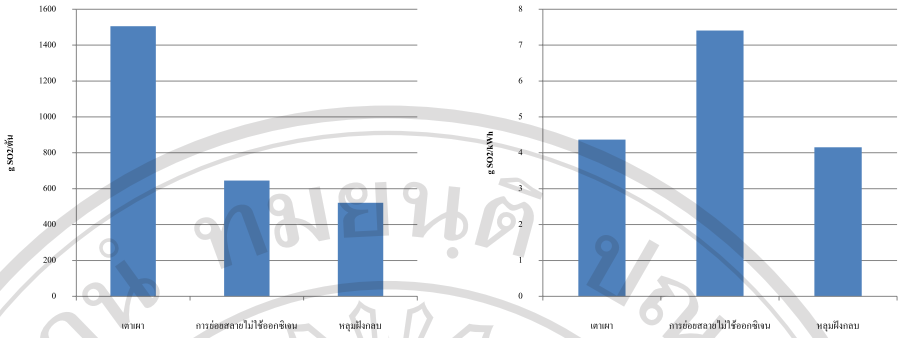


(ก) ผลกระทบต่อตันขยะ (ข) ผลกระทบต่อหน่วยไฟฟ้า

รูปที่ 3.13 การก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนของเทคโนโลยีทั้ง 3 รูปแบบ

ด้านการก่อให้เกิดภาวะฝนกรดดังรูปที่ 3.14 พบว่าเตาเผาก่อให้เกิดภาวะฝนกรดสูงสุดเมื่อเทียบผลกระทบต่อตันขยะ สาเหตุหลักเกิดจากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ขยะที่ถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ แต่เมื่อพิจารณาในด้านของผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะพบว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีผลกระทบมากที่สุดซึ่งเกิดจากก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ เนื่องมากจากทั้งเตาเผาและการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าต่อตันขยะในปริมาณที่มากกว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนส่งผลให้แต่ละหน่วยของไฟฟ้าที่ผลิตได้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำนั้นเอง

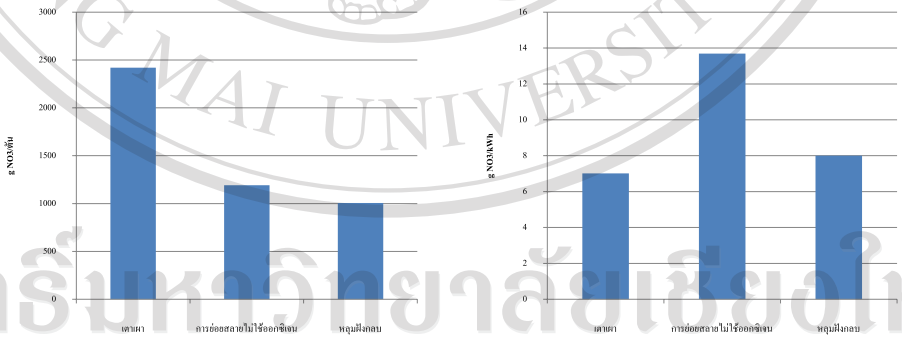
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) ผลกระทบต่อตันขยะ (ข) ผลกระทบต่อหน่วยไฟฟ้า

รูปที่ 3.14 การก่อให้เกิดภาวะฝนกรดของทั้ง 3 รูปแบบ

ด้านการก่อให้เกิด การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำ ดังรูปที่ 3.15 พบว่าเตาเผาส่งผลกระทบสูงสุด สาเหตุหลักเกิดจากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ขยะที่ถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ ส่วนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดจากก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบเกิดจากไอเสียจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในและการเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง แต่เมื่อพิจารณาในรูปของผลกระทบต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีผลกระทบที่สูงที่สุดเนื่องมาจากการมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าต่อตันที่น้อยกว่า 2 เทคโนโลยีที่เหลือ ส่งผลให้ผลกระทบต่อหน่วยสูงตามไปด้วย



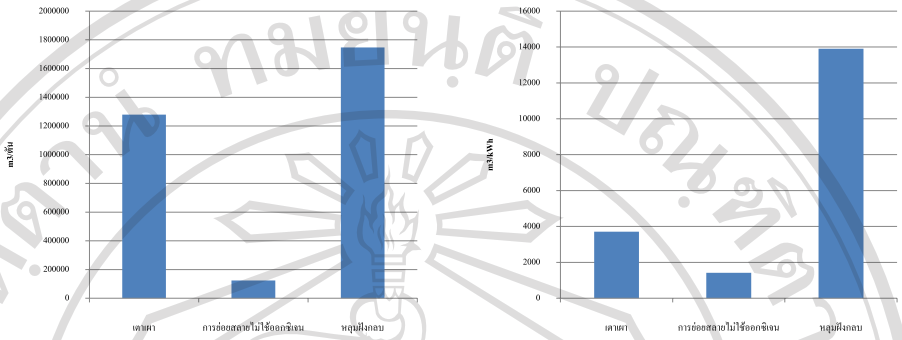
(ก) ผลกระทบต่อตันขยะ (ข) ผลกระทบต่อหน่วยไฟฟ้า

รูปที่ 3.15 การก่อให้เกิดการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำ ของเทคโนโลยีทั้ง 3 รูปแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้านการก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศที่มีผลกับมนุษย์แสดงดังรูปที่ 3.16 พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบเกิดผลกระทบมากที่สุดโดยเกิดจากไอเสียจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในและการเผาก๊าซชีวภาพทิ้ง เทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบรองลงมาคือ เตาเผาซึ่งเกิดจากไอเสียที่เกิดจากการเผา

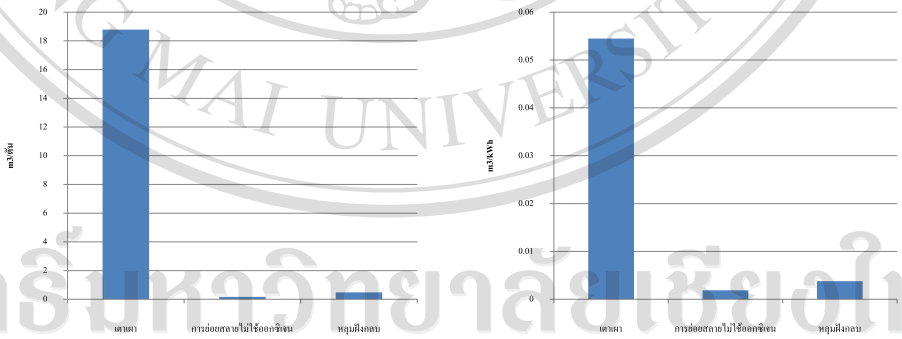
ไหม้ขยะที่ถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศและขั้นตอนการผลิตปูนขาว ส่วนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าน้อยที่สุด



(ก) ผลกระทบต่อตันขยะ (ข) ผลกระทบต่อหน่วยไฟฟ้า

รูปที่ 3.16 การก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศที่มีผลกับมนุษย์ของของเทคโนโลยีทั้ง 3 รูปแบบ

ด้านการก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำที่มีผลกับมนุษย์ดังรูปที่ 3.17 พบว่า เตาเผาก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดโดยเกิดจากขั้นตอนการผลิตปูนขาวและขั้นตอนของการผลิตน้ำมันที่ใช้ในการฝังกลบ ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบเกิดจากขั้นตอนการผลิตน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการฝังกลบ

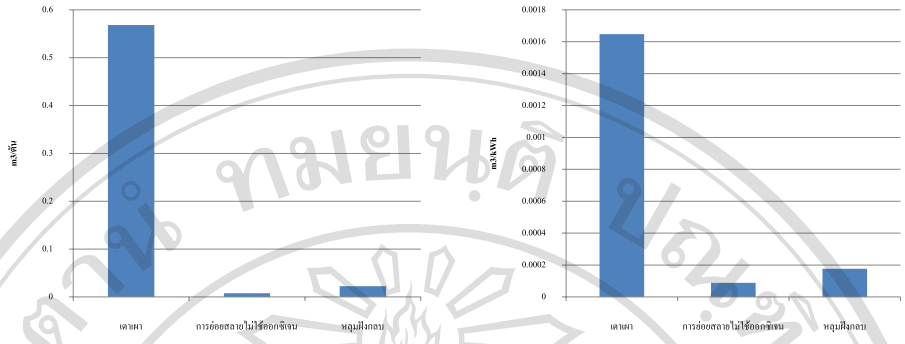


(ก) ผลกระทบต่อตันขยะ (ข) ผลกระทบต่อหน่วยไฟฟ้า

รูปที่ 3.17 การก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำที่มีผลกับมนุษย์ของเทคโนโลยีทั้ง 3 รูปแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในด้านการก่อให้เกิดมลพิษทางดินที่มีผลกับมนุษย์ดัง รูปที่ 3.18 พบว่าเตาเผาก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดโดยเกิดจากขั้นตอนการผลิตปูนขาวและขั้นตอนของการผลิตน้ำมันที่ใช้ในการฝังกลบ ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบเกิดจากขั้นตอนการผลิตน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการฝังกลบ



(ก) ผลกระทบต่อตันขยะ (ข) ผลกระทบต่อหน่วยไฟฟ้า

รูปที่ 3.18 การก่อให้เกิดมลพิษทางดินที่มีผลกับมนุษย์ของเทคโนโลยีทั้ง 3 รูปแบบ

จากความได้เปรียบ และเสียเปรียบ ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆที่แตกต่างกันในแต่ละเทคโนโลยีจึงจำเป็นจะต้องทำการ เทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Normalization) และ การให้น้ำหนักของผลกระทบ (Weighting) เพื่อที่จะทำให้สามารถประเมินและเปรียบเทียบได้ว่าเทคโนโลยีชนิดใดที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมน้อยที่สุด

3.5.2 การเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Normalization) และ การให้น้ำหนักของผลกระทบ (Weighting)

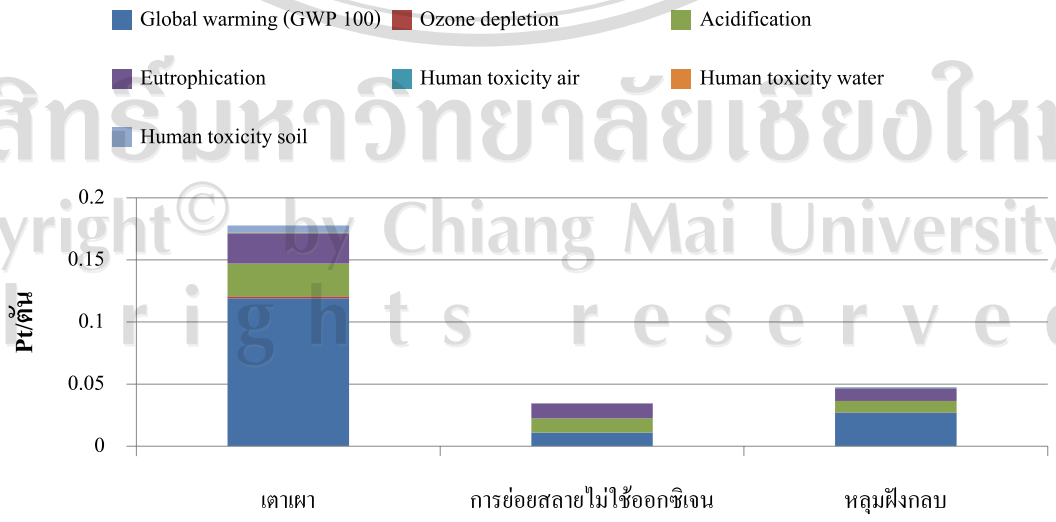
ในการประเมินผลกระทบในขั้นตอนนี้ จะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกวิธีการประเมินแบบ EDIP/UMIP 97 V2.04 เพื่อใช้ในการ เทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Normalization) และ การให้น้ำหนักของผลกระทบ (Weighting) โดยรายละเอียดของการให้ความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.18

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.18 ค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Normalization) และ การให้น้ำหนักของผลกระทบ (Weighting) ของวิธี EDIP/UMIP 97

ผลกระทบ	Normalization	Weighting
Global warming (GWP 100)	1.15E-07	1.1
Ozone depletion	0.00971	63
Acidification	1.35E-05	1.3
Eutrophication	8.4E-06	1.2
Human toxicity air	3.27E-10	1.1
Human toxicity water	1.92E-05	1.3
Human toxicity soil	0.00787	1.2

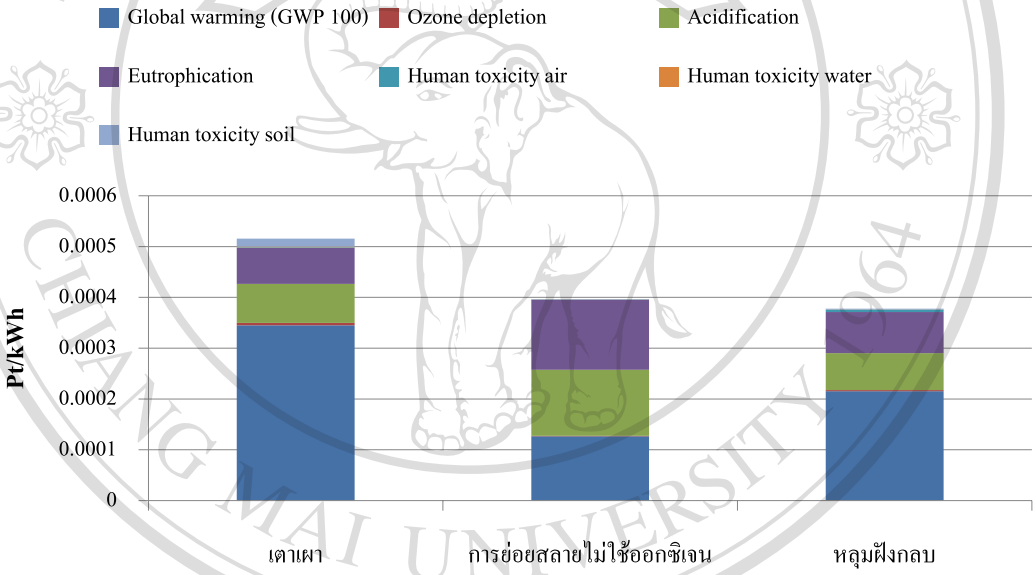
เมื่อทำการการ เทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Normalization) และ การให้น้ำหนักของ ผลกระทบ (Weighting) ด้วยวิธีการประเมินแบบ EDIP/UMIP 97 ดังรูปที่ 3.19 พบว่าเทคโนโลยีเตาเผาก่อให้เกิดค่าผลกระทบที่มากที่สุด 0.1756 Pt โดยส่วนใหญ่เป็นผลกระทบกลุ่มภาวะโลกร้อนซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 60 % ของผลกระทบทั้งหมด ลำดับรองลงมาคือการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบมีผลกระทบ 0.0474 Pt โดยสัดส่วนมากที่สุดคือผลกระทบกลุ่มภาวะโลกร้อนเช่นกัน ในขณะที่ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้ค่าผลกระทบน้อยที่สุด 0.0319 Pt ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการก่อให้เกิดภาวะฝนกรดโดยมีสาเหตุหลักมาจากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3.19 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมของการกำจัดขยะด้วยรูปแบบต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

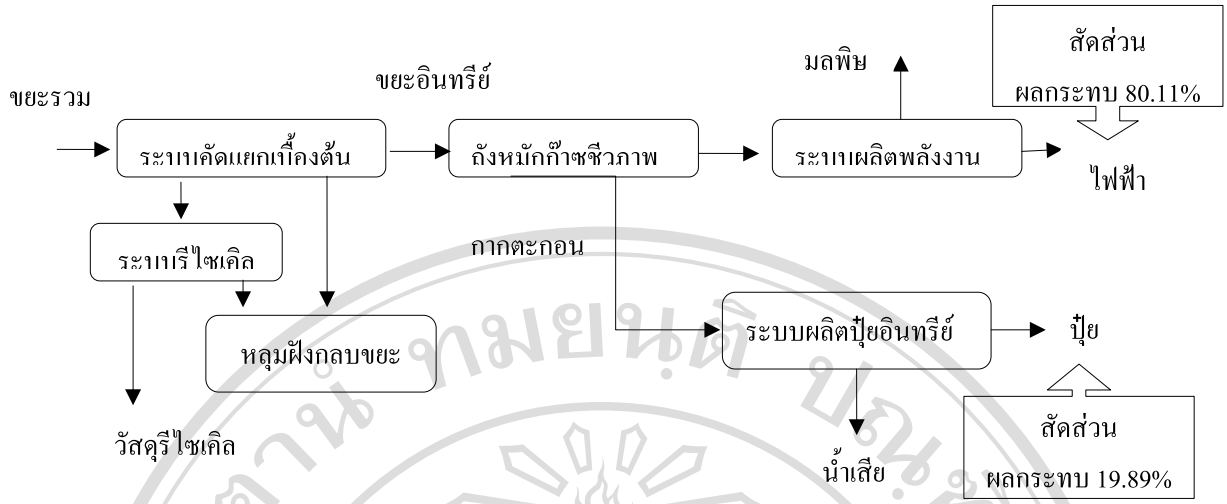
เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในมุมมองของการผลิตไฟฟ้า โดยพิจารณาในรูปผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย ซึ่งค่าที่ได้ในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้ประเมินมูลค่าทางด้านสิ่งแวดล้อมในบทที่ 4 ดังรูปที่ 3.20 พบว่าจากการที่เทคโนโลยีเตาเผาและเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าต่อตันมากกว่าเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อหน่วยไฟฟ้าของเตาเผาและหลุมฝังกลบลดลงมาใกล้เคียงกับเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน อย่างไรก็ตามเตาเผายังคงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ส่วนการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบมีค่าที่ลดต่ำลงจนกระทั่งมีค่าที่น้อยกว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน และทำให้การผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดคือ 0.000378 Pt/kWh



รูปที่ 3.20 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าด้วยรูปแบบต่างๆ

อย่างไรก็ตามการผลิตไฟฟ้าจากขยะด้วยเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นรูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากขยะที่มีผลพลอยได้คือปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งถือเป็นผลประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมของโครงการทางอ้อม ซึ่งยังไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาในการเปรียบเทียบกับเตาเผาและหลุมฝังกลบ ดังนั้นเพื่อความยุติธรรมในการเปรียบเทียบเทคโนโลยีทั้ง 3 รูปแบบ งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการปันส่วนภาระสิ่งแวดล้อม (Allocation) ซึ่งเป็นแนวคิดในการแบ่งผลกระทบของสิ่งแวดล้อมออกเป็นส่วน ๆ เพื่อแจกจ่ายให้กับผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบที่กำลังพิจารณา โดยจะใช้ในกรณีที่ระบบมีผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 รูปแบบ เช่นเดียวกับระบบการย่อยสลายแบบ ใช้ออกซิเจนซึ่งมีผลิตภัณฑ์ด้วยกัน 2 ชนิดคือ ไฟฟ้า และ ปุ๋ย ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.21

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.21 วิธีการปันส่วนภาระสิ่งแวดล้อมของระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

จากรูป จะทำการปันส่วนผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยอิงจากราคาของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภท โดยจากการประเมินในบทที่ 2 จะทราบว่า 1 ตันของขยะรวมเมื่อเข้าสู่ระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้ไฟฟ้าสุทธิ 87 kWh และปุ๋ย 0.09 ตัน โดยราคาของไฟฟ้า 2.5 บาท/kWh ราคาของปุ๋ย 600 บาท/ตัน ทำให้ราคาของไฟฟ้าได้สุทธิมีค่า $87 \times 2.5 = 217.5$ บาท ราคาของปุ๋ยสุทธิมีค่า $0.09 \times 600 = 54$ บาท คิดเป็นสัดส่วนของรายรับจากไฟฟ้า 80.11% เป็นสัดส่วนของปุ๋ย 19.89% จากนั้นจะใช้สัดส่วนนี้เพื่อแบ่งให้ทั้งไฟฟ้าและปุ๋ยตามลำดับ

สรุปได้ว่าจากผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงในการผลิตไฟฟ้าจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะถูกแบ่งให้กับปุ๋ยอินทรีย์ไป 19.89% จากนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับเตาเผาและการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบอีกครั้ง ผลการประเมินที่ได้พบว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าลงลงจนกระทั่งมีค่าต่ำกว่าผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบโดยค่าผลกระทบที่ประเมินโดยใช้วิธีปันส่วนภาระสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำที่สุดที่ 0.000322 Pt/kWh ดังรูปที่ 3.22

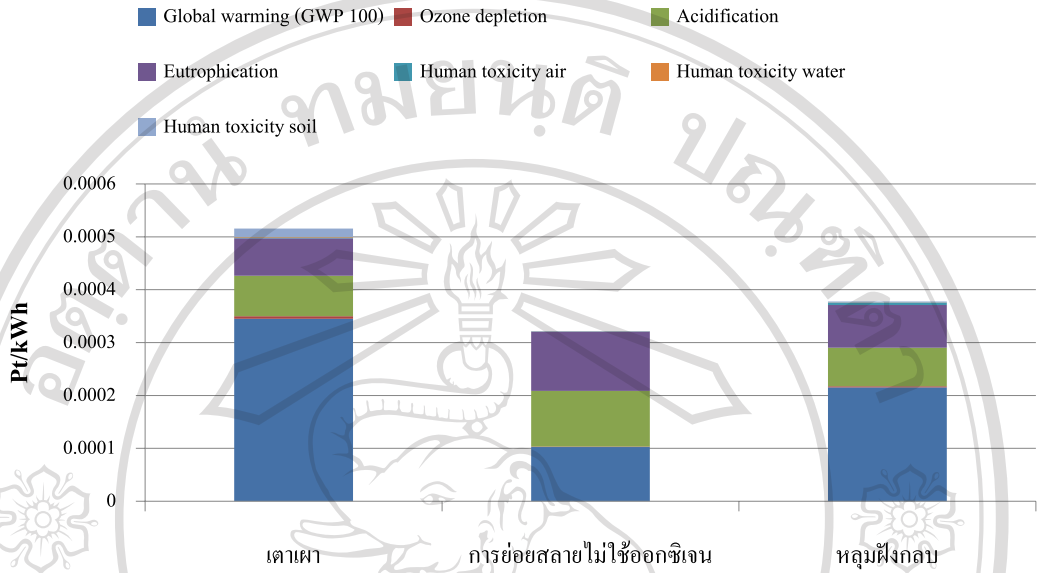
อย่างไรก็ตามในด้านผลกระทบของเทคโนโลยีเตาเผาแม้จะมีค่าผลกระทบที่สูง แต่จากการพัฒนาของเทคโนโลยีในการบำบัดมลพิษทางอากาศที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มในการลดลงของผลกระทบทางอากาศของเทคโนโลยีเตาเผา

ส่วนผลกระทบของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีค่าที่น้อยอยู่แล้ว อาจส่งกระทบมากขึ้นเนื่องมาจากความเสถียรของระบบดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งหากระบบเกิดการล้มเหลวจะต้องมีการถ่ายกากขยะอินทรีออกมาจากถังหมักและเริ่มต้นการป้อนขยะใหม่ ซึ่งจะเป็นการเสียเวลาและทำให้เกิดน้ำเสียมากขึ้นได้

การผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบส่งผลกระทบปานกลางเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีเตาเผา และการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่จากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่าการปล่อยก๊าซชีวภาพของหลุมฝังกลบยังคงแพร่ออกมาเป็นระยะเวลานานแม้หมดอายุโครงการไปแล้ว ดังนั้นจึง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จำเป็นที่จะต้องมีการเผาก๊าซชีวภาพทิ้งไปอีกระยะเวลาหนึ่ง เพื่อลดผลกระทบด้านโลกร้อนที่เกิดจากก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3.22 สรุปผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าทั้ง 3 รูปแบบ

3.6 สรุปการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

จากการรวบรวมวัตถุดิบและมลพิษที่เกิดขึ้นในการผลิตพลังงานจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะทั้ง 3 รูปแบบ จากนั้นทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รองลงมาคือการผลิตไฟฟ้าจากหลุมฝังกลบ และสุดท้ายคือเทคโนโลยีเตาเผา โดยค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบมีแนวโน้มเดียวกันทั้งในรูปแบบของการพิจารณาผลกระทบต่อตันขยะ (Pt/ตัน)และ ผลกระทบต่อหน่วยของไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Pt/kWh)

ซึ่งข้อมูลด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะถูกนำไปประเมินให้อยู่ในรูปของมูลค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป ซึ่งรายละเอียดจะแสดงไว้ในบทที่ 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved