บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีของการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) หรือแก๊สซิฟิเคชัน (Gasificaiton)

แก๊สซิฟิเคชัน(Gasification) เป็นกระบวนการที่ทำให้องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในเชื้อเพลิง เปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซเชื้อเพลิง(Gas Producer) ที่จุดไฟติดและมีค่าความร้อนสูงโดยอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องผลิตก๊าซ(Gasifier หรือ Gas Producer) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ก๊าซเชื้อเพลิงดังกล่าวคือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) ก๊าซไฮโดรเจน(H_2) และก๊าซมีเทน(CH_4) สภาวะการเกิดก๊าซดังกล่าวคือ สภาวะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เป็นการเผาไหม้ที่มีมีการจำกัดปริมาณอากาศหรือก๊าซออกซิเจนเพราะหากมีก๊าซออกซิเจนเพียงพอหรือมากเกินไปจะกลายเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Combustion) และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ซึ่งไม่ติดไฟออกมา

รูปที่ 2.1 การเกิดโปรดิวเซอร์ก๊าซจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในเครื่องผลิตก๊าซ

การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) หรือที่เรียกว่าแก๊สซิฟิเคชัน (Gasificaiton) เป็นการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงก่อน จากนั้นจึงนำแก๊สที่ผลิตได้ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์สันดาปภายในต่อไปเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล โดยระบบได้รับการพัฒนาให้มีขนาดตั้งแต่ 5 กิโลวัตต์ ถึง 1.2 เมกะวัตต์ มีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซสูงถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลอยู่ในระหว่าง 0.7 ถึง 1.2 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบแก๊สซิฟิเค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชัน เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กสามารถที่จะพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในชุมชนที่มีเศษวัสดุเหลือทิ้งประเภทชีวมวลได้

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล (Biomass Gasification) เป็นกระบวนการที่ทำให้องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลเปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่จุดไฟติดและมีค่าความร้อนสูงโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี (Thermo-chemical Reaction) ซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวนี้ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ซึ่งสภาวะที่ทำให้เกิดแก๊สดังกล่าวก็คือ สภาวะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ เป็นสภาวะที่มีการจำกัดปริมาณอากาศหรือแก๊สออกซิเจน เพราะหากมีแก๊สออกซิเจนมากเพียงพอหรือมากเกินพอจะกลายเป็นกระบวนการเผาไม้ที่สมบูรณ์ (Combustion) และมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ออกมาซึ่งไม่ติดไฟ ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นเราสามารถแบ่งโซนการเกิดปฏิกิริยาออกเป็น 4 โซนดังนี้

1. Combustion หรือ Oxidation Zone
2. Reduction Zone
3. Pyrolysis หรือ Distillation Zone
4. Drying Zone

Combustion หรือ Oxidation Zone เป็นบริเวณที่ป้อนอากาศเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจะลุกไหม้ เกิดปฏิกิริยาอุณหเคมีระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ผลของการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำดังสมการที่ (2.7) ถึง (2.8)

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad (2.1)$$

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O \qquad (2.2)$$

ปฏิกิริยาดังกล่าวในสมการที่ (2.1) และ (2.2) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาดูดความร้อนในโซน Reduction และโซน Pyrolysis อุณหภูมิในโซน Combustion จะมีค่าระหว่าง 1,100 – 1,500 ° C

Reduction Zone แก๊สร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion Zone จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Reduction ก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรเจนดังสมการที่ (2.4) ถึง (2.7) โดยการที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ ในโซนนี้จะมีอุณหภูมิระหว่าง 500 – 900 ° C

$$C + CO_2 \longrightarrow 2CO \qquad (2.3)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2 \quad (2.4)$$

$$C + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 2H_2 \quad (2.5)$$

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \quad (2.6)$$

$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4 \quad (2.7)$$

ปฏิกิริยาในสมการที่ (2.3) เรียกว่า Boundouard Reduction และปฏิกิริยาที่ (2.4) เรียกว่า Water Gas Reduction เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิระหว่าง 900° C แก๊สที่ได้จากทั้งสมการทั้งสองเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ และแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นแก๊สหลักที่ต้องการ ปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ในแก๊สชีวมวลนี้จะขึ้นอยู่กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ว่าจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่ร้อนได้มากน้อยเพียงใด

ในโซนของ Reduction นี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะดีเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วของแก๊สที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงชีวมวล และพื้นที่ๆผิวสัมผัสของเชื้อเพลิงชีวมวล ดังนั้นขนาดและปริมาณของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ จะมีผลต่อการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งหากเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดใหญ่จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ ทำให้ยากต่อการจุดเผาภายในเตาและจะทำให้เกิดปริมาณของช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงด้วยกันมาก เป็นผลทำให้มีออกซิเจนไหลผ่านเข้าไปในระบบมาก ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นก็จะน้อยตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวมวลมีค่าต่ำ

แต่ถ้าขนาดของเชื้อเพลิงมีขนาดเล็ก ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในเตามากจึงต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากยิ่งขึ้นและแก๊สที่ผลิตได้ก็จะมีฝุ่นมากยิ่งขึ้น จากปฏิกิริยาถ้าอุณหภูมิในโซน Reduction สูงกว่า 900° C แล้วแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 90% จะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า 1,100° C จะทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ นั่นคือประสิทธิภาพของเตาเผาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของโซน Reduction

ในขณะที่แก๊สร้อนจากโซน Combustion ไหลเคลื่อนเข้าสู่โซน Reduction จะทำให้อุณหภูมิของแก๊สลดลงเนื่องจากเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นไอน้ำกับคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากันเพื่อก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการที่ (2.5) ซึ่งจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 500 - 600° C ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเพราะจะทำให้ส่วนผสมของแก๊สไฮโดรเจนในแก๊สชีวมวลมีค่ามากขึ้นซึ่งมีผลทำให้แก๊สมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น (แก๊สไฮโดรเจนมีผลต่อการจุดระเบิดของเครื่องยนต์สันดาปภายใน) แต่ถ้าในกระบวนการที่มีไอน้ำมากเกินไปไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไฮโดรเจนดังสมการที่ (2.6) (ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water Shift Reduction) ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้จะต้องมีความชื้นไม่มากจนเกินไป นอกจากนี้ในกระบวนการ Reduction แก๊สไฮโดรเจนบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดแก๊สมีเทนขึ้นได้ ดังสมการที่ (2.7) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Methane Production

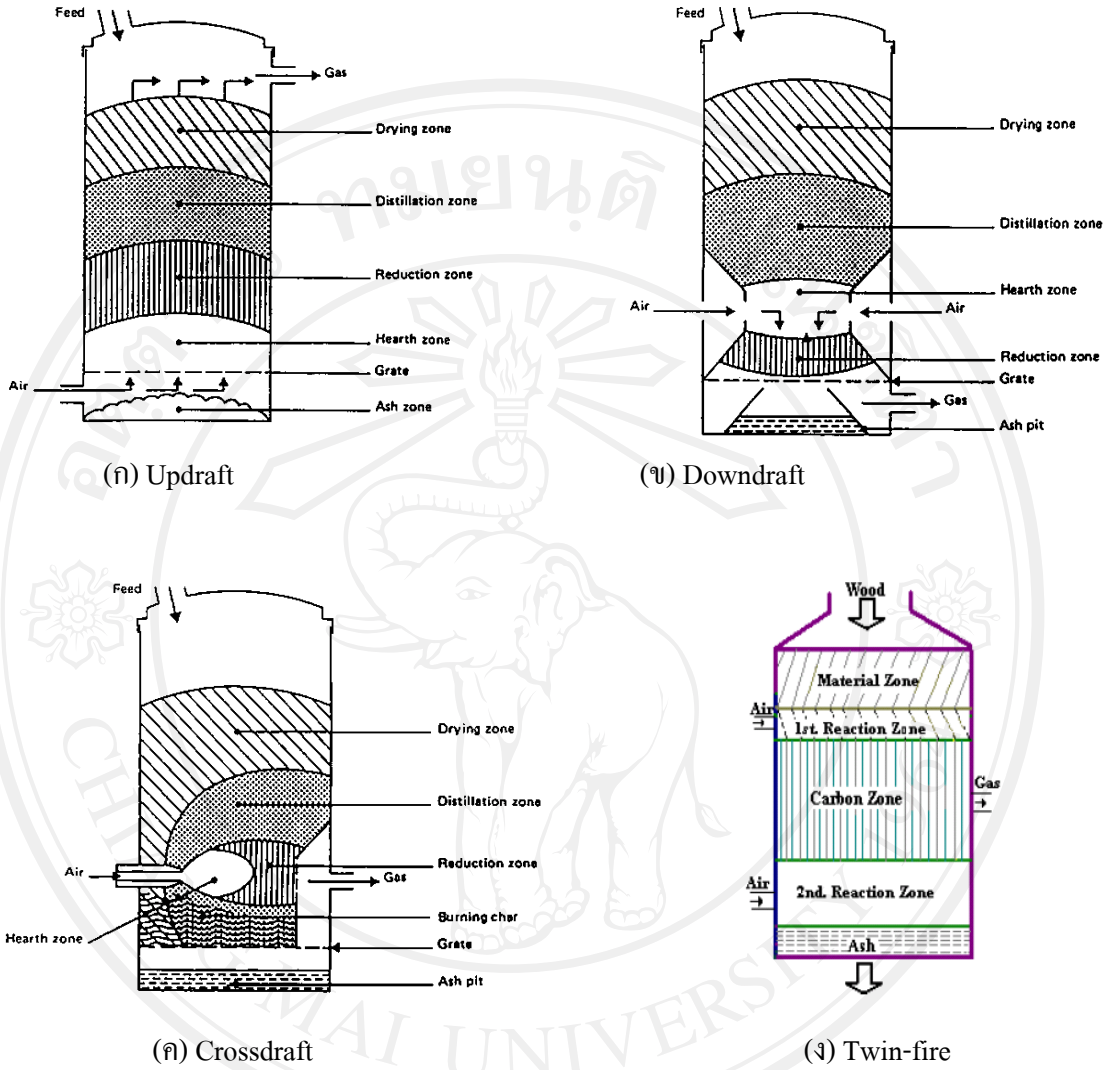
Pyrolysis หรือ Distillation Zone โซนนี้จะรับความร้อนจากโซน Reduction ทำให้ Volatile Matter ที่อยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเมทานอล กรดน้ำส้ม และทาร์ อุณหภูมิในโซนนี้จะมีค่าประมาณ 200 – 500° C ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากการผ่านกระบวนการนี้ก็คือ คาร์บอนในรูปถ่านซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อในโซน Reduction และ Combustion ปฏิกิริยาที่ได้ในโซนนี้แสดงไว้ในสมการที่ (2.8)

$$\text{Dry wood} + \text{Heat} \longrightarrow \text{Charcoal} + CO + CO_2 + H_2O + CH_4 + C_2H_6 + \text{Pyroligneo us acid} + \text{Tars} \qquad (2.8)$$

Drying Zone ในโซนนี้ความร้อนจะลดลงมากทำให้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของ Volatile Metter แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะระเหยออกมาได้ โซนนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 100 - 200° C

สำหรับชนิดของเตาเผาแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification) แบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงดิบ (ชีวมวล) แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบคอลัมน์ (Fixed bed gasifier) และแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed gasifier) ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ตามลักษณะของการนำไปใช้ประโยชน์และวัตถุดิบที่ใช้ หากต้องการนำไปใช้ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่แล้วพบว่าเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบคอลัมน์ มีความเหมาะสมเพราะนอกจากจะสามารถผลิตเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงด้วยระบบที่ไม่ซับซ้อนและยังสามารถนำพลังงานที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น(Bridgewater, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.2 เตาผลิตแก๊สชีวมวลชนิดต่างๆ(ชาญชัย ลิมปิยากร, 2544)

เตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบคอลัมน์นี้สามารถจำแนกตามทิศทางการป้อนอากาศในเตาคือ ถ้าอากาศถูกป้อนจากด้านล่างขึ้นข้างบนของเตาเรียกว่า Updraft gasifier และถ้าป้อนจากส่วนบนของห้องเผาไหม้ลงด้านล่างของเตาเรียกว่า Downdraft gasifier ส่วนอากาศเข้าในแนวขวางเรียกว่า Crossdraft gasifier ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แต่อย่างไรก็ดีปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตแก๊สดังกล่าวซึ่งถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญในการนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ก็คือปัญหาการปนเปื้อนของยางเหนียว หรือ Tar จึงมีผู้คิดค้นเทคนิคใหม่ในการป้อนอากาศเพื่อลดการปนเปื้อนของยางเหนียวโดยการป้อนอากาศหลายส่วนในเตาผลิตแก๊สซึ่งเรียกว่า Multi-stage gasifier สามารถผลิตแก๊สร้อนได้ถึง 1000° C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สามารถสลายโมเลกุลของยางเหนียวได้ โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การออกแบบสร้างเตาเผาเพื่อผลิตก๊าซชีวมวลจะต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิ อัตราความเร็วในการเผาไหม้ ปริมาณของอากาศในเตาเผา(Basu, 2006)

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่/แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงผลเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อจะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี หรือ SETAC ได้ให้นิยามของ LCA ว่า “เป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก นอกจากนี้องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ว่า “ เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต(สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

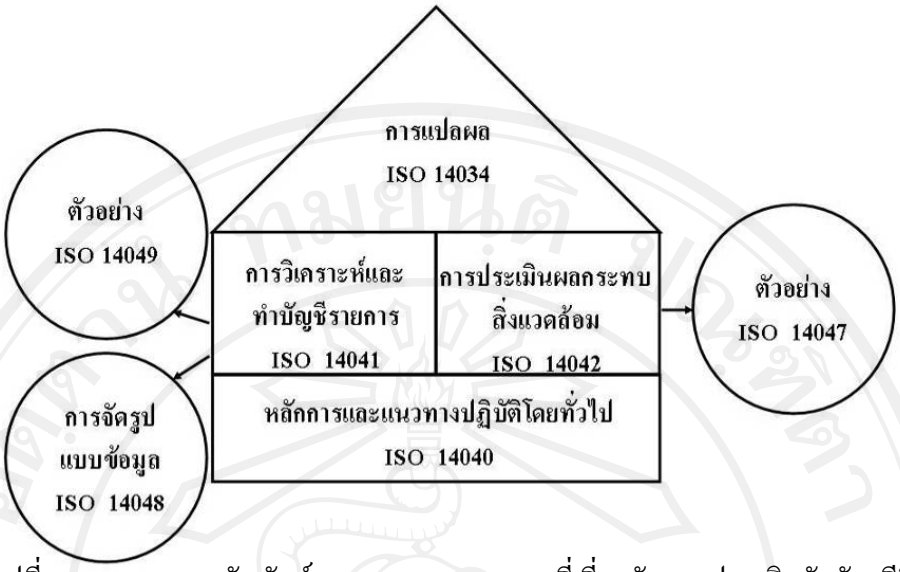
ISO (International Organization for Standard) เป็นองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน ISO เป็นองค์กรเอกชนที่เป็นผู้ให้การรับรองด้านมาตรฐานที่เป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับทั่วโลกโดยที่เรารู้จักกันดี ได้แก่ การพัฒนาและกำหนดอนุกรมมาตรฐาน ISO 90000 ที่ว่าด้วยมาตรฐานการจัดการองค์กร หรืออนุกรมมาตรฐาน 14000 ที่ว่าด้วยการจัดการสิ่งแวดล้อม (ชลธิชา, 2550) ส่วนของ LCA นั้นจัดอยู่เป็นหนึ่งในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040 ซึ่งมีด้วยกัน 7 ฉบับดังนี้

- ISO 14040 - Life cycle assessment-Principles and Framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ISO 14041 – Life cycle assessment-Goal and scope definition and Life Cycle Inventory analysis เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ขอบเขต การวิเคราะห์และการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)
- ISO 14042 – Life Cycle Assessment-Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14043 – Life cycle Assessment-Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA
- ISO 14047 – Life Cycle Assessment-Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life cycle impact assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
- ISO 14048 – Life Cycle Assessment-LCA Data documentation format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของขอมูลด้าน LCA
- ISO 14049 – Life Cycle Assessment-Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.2.1 วัตถุประสงค์ในการประเมินวัฏจักรชีวิต

วัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดโดยความแตกต่างของการประเมินวัฏจักรชีวิตจากการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ คือ การรวมพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เช่น ผลกระทบจากการผลิตวัตถุดิบมาป้อนให้กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ผลกระทบที่เกิดจากการขนส่ง ผลกระทบที่เกิดจากการใช้งาน ผลกระทบที่เกิดจากการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่หมดสภาพการใช้งานแล้ว ฯลฯ ซึ่งการรวมพิจารณาถึงกิจกรรมอื่นๆ เหล่านี้ให้สามารถวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์อย่างแท้จริง นอกนี้ยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์หรือบริการโดยมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมประกอบการตัดสินใจ

2.2.2 ขั้นตอนการประเมินวัฏชีวิต

ตามอนุกรมมาตรฐานใน ISO 14040 ได้กำหนดขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)

ขันตอนที่ 2 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory analysis)

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

ขั้นตอนที่ 4 การแปลผลและการประเมินการปรับปรุง (Improvement assessment)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

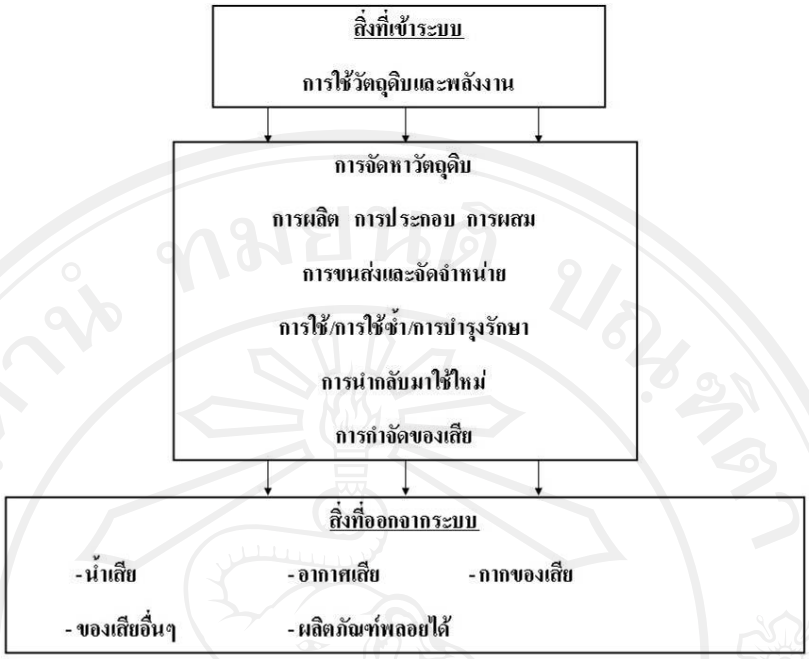
การกำหนดเป้าหมายของการทำ LCA คือ การกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ รวมทั้งเหตุผลในการศึกษา การนำผลไปใช้หรือการนำไปใช้ในการเปรียบเทียบปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ

การกำหนดขอบเขตของการศึกษา คือ การกำหนดสิ่งที่เราต้องการประเมินภายใต้ข้อจำกัดที่เราต้องการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยจะรวมไปถึงการจำกัดรวบรวมข้อมูลหรือสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA

รูปที่ 2.4 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040
ที่มา: ISO (1997)

1) ขอบเขตของระบบ (System Boundary) หมายถึงขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์กับสิ่งแวดล้อมหรือกระบวนการ ตลอดจนปัจจัยที่มีความเกี่ยวเนื่องกันกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษา ไม่ว่าจะเป็น วัสดุหรือพลังงาน ที่นำเข้ามาในระบบ ของเสีย หรือผลพลอยได้ที่ออกจากระบบ ซึ่งในการกำหนดขอบเขตของระบบจะต้องให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายของการประเมิน โดยที่สามารถแบ่งกระแสขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงาน จากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.5 ขอบเขตของระบบที่กำหนดตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมาย

2) หน่วยของการทำงาน (Functional Unit) หน่วยการทำงานจะถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบ หน่วยการทำงานมีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียวกัน เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน เช่น

- การผลิตกระแสไฟฟ้า 1 kWh
- ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh
- ปริมาณผลผลิตทางการเกษตร 1 ไร่

2.2.2.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis)

การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเก็บราวรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) เป็นการคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึง ทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ หรือการปล่อยของเสียออกสู่ อากาศ น้ำ และดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่อไป ขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการอาจต้องทำซ้ำไปมาในบางครั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากอาจมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม การเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูล หรือการเพิ่มประเด็นปัญหาเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายของการศึกษาที่ตั้งไว้ การเก็บข้อมูลในบัญชีรายการนั้นจะต้องทำให้สัมพันธ์กับทุกกระบวนการย่อยที่อยู่ในระบบ ซึ่งมีวิธีการเก็บข้อมูลแตกต่างกัน ขึ้นกับเป้าหมายกระบวนการหรือระบบที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามการรวบรวมข้อมูลนั้นยากที่จะทำให้ครบถ้วนสมบูรณ์ทั้งหมดเนื่องจากต้องใช้เวลาและงบประมาณจำนวนมาก โดยที่ข้อมูลที่จะนำมาทำเป็นบัญชีรายการนั้นควรจะอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและสอดคล้องกันวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลบัญชีรายการ

กระบวนการ.....		**แผ่นข้อมูลสิ่งแวดล้อม**	
แหล่งข้อมูล.....		**วันที่**:.....เดือน.....ปี.....	
สารขาเข้า(ข้อมูลต่อตันของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh)		สารขาออก(ข้อมูลต่อตันของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh)	
วัตถุดิบ	**ก.ก./ตัน**	**ผลิตภัณฑ์**	**ก.ก./ตัน**
วัตถุดิบจากธรรมชาติ		1.....	.....
1.....	.....	2.....	.....
2.....	.....	**ผลพลอยได้จากผลิตภัณฑ์**	**ก.ก./ตัน**
3.....	.....	1.....	.....
วัตถุดิบที่สั่งซื้อเข้ามา		2.....	.....
1.....	.....	**ของเสียประเภทของแข็ง**	**ก.ก./ตัน**
2.....	.....	1.....	
3.....	.....	2.....	
พลังงาน	**กิโลจูน/ตัน**	**ของเสียประเภทของเหลว**	
1.....	.....	1.....	.....
2.....	.....	2.....	.....
3.....	.....	**สารขาออกด้านสิ่งแวดล้อม**	**ก.ก./ตัน**
การขนส่ง(เส้นทาง น้ำหนักบรรทุก ระยะทาง)	**ตัน.กม./ตัน**	มลพิษที่ปล่อยไปสู่อากาศ	
1.....	.....	1.....	.....
2.....	.....	2.....	.....
3.....	.....	มลพิษที่ปล่อยไปสู่น้ำ	
สารขาเข้าอื่นๆ	**...../ตัน**	1.....	.....
1.....	.....	2.....	.....
2.....	.....	มลพิษที่ปล่อยไปสู่ดิน	
3.....	.....	1.....	.....
		2.....	.....

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

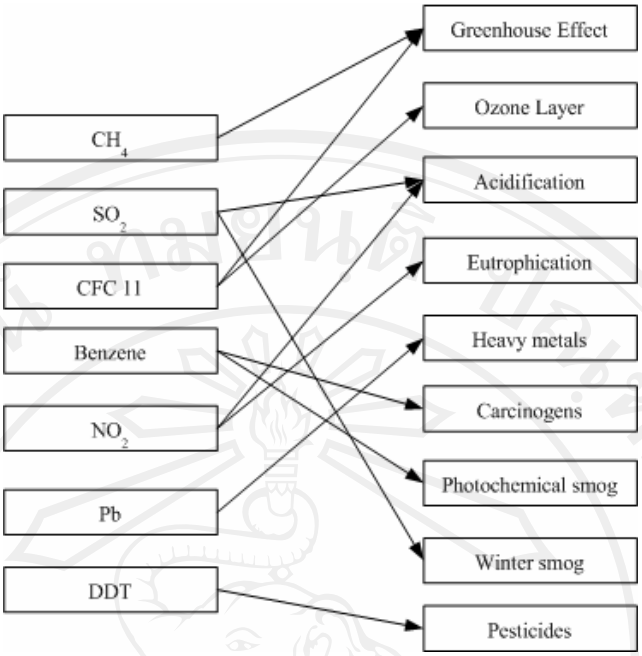
2.2.2.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบ คือ การตีความหรือแปลงค่าข้อมูลจากขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการให้อยู่ในรูปผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะทำโดยการคำนวณเองหรือการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ดังนั้นขั้นตอนการประเมินผลกระทบสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวิธีการประเมินนั่นเอง สำหรับในงานวิจัยนี้ได้อาศัยการประเมินโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 วิธี EDIP/UMIP 97 เนื่องจากวิธีการนี้มีให้ความสำคัญกับผลกระทบทางด้านการเกษตร เช่น มีการคิดผลกระทบที่เกิดจากปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง และนอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังมีประเภทของผลกระทบที่หลากหลายถึง 15 ประเภทผลกระทบด้วยกันซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ สำหรับวิธีการ EDIP/UMIP มีขั้นตอนการประเมินดังนี้

- การจำแนกประเภท (Classification)
- การกำหนดบทบาท (Characterization)
- การหาขนาดผลกระทบ (Normalization)
- การให้น้ำหนักแก่แต่ละประเภท (Weighting)

1) การจำแนกประเภท (Classification) เป็นขั้นตอนการจำแนกข้อมูลเข้าและข้อมูลออกไปยังผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ถูกจัดอยู่ในผลกระทบประเภทการทำให้โลกร้อนขึ้น ในบางสารสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบหรือถูกจัดว่าเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภท การจัดการเกี่ยวกับปัญหานี้สามารถทำได้โดย กรณีแรก เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถเป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบทั้งสุขภาพมนุษย์และภาวะความเป็นกรด (แต่ไม่ได้เกิดผลกระทบในเวลาเดียวกัน) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.6 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ
ที่มา: (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

2) การกำหนดบทบาท (characterization) เป็นการแปลงข้อมูลที่ถูกจำแนกประเภทจากขั้นตอนที่ 1 ว่าสารแต่ละชนิดก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านใด ให้อยู่ในรูปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าว เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่ต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับสารพื้นฐานหรือที่เรียกว่าค่าเทียบเท่าของสารที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Equivalent of Characterization: EF) โดยสามารถหาได้ดังสมการที่ (2.9)

$$EP_j = \sum \left(Q_i \times EF_{ij} \right) \quad (2.9)$$

EP_j = (environmental impact potential) คือค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ (kg substance equivalent)

Q_i = (quantity of substance) คือปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} = (equivalency factor) คือค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/ kg substance j)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) การหาขนาดของผลกระทบ (normalization) เป็นขั้นตอนในการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการกับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ในระดับโลก ระดับทวีป ระดับประเทศ หรือระดับภูมิภาค ที่ต้องการอ้างอิง เพื่อให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์หรือบริการที่กำลังศึกษา ส่งผลกระทบในระดับโลก ระดับทวีป ระดับประเทศ หรือระดับภูมิภาค เท่าใด โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10)

$$NP_{j(product)} = EP_j / \left(T \times ER_j\right) \qquad (2.10)$$

NP_j = (product) (normalized environment impact potential) ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆของผลิตภัณฑ์ (person)

T = (lifetime of product) คืออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

ER_j = (normalization reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

4) การให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting) คือ ขั้นตอนในการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะต่างกันไป ขึ้นกับมุมมองของผู้ประเมินว่าจะกำหนดค่ามลภาวะ (Weighting Factor: WF) ว่าเป็นเท่าใด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.11)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \qquad (2.11)$$

WP_j = (weighted environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Pt)

WF_j = (weighting factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

สำหรับในวิธี EDIP ค่าที่ได้หลังจากขั้นตอนการให้น้ำหนัก เรียกว่า คะแนนเชิงเดี่ยว (single score) โดยมีที่หน่วยวัดเป็น Pt หน่วยเดียวกับค่า NP_j ซึ่งหน่วย Pt. เกิดจากการหาตัวแทน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของกลุ่มผลกระทบที่ต้องการจะรวม ค่าในกลุ่มผลกระทบต่างที่มีหน่วยต่างกัน เช่น ภาวะโลกร้อน มีหน่วย kg CO_2 ภาวการณ์ลดลงของชั้นบรรยากาศมีหน่วย kg CFC11 โดยการหาด้วยค่ากลาง ดังนั้นค่า Pt จะเป็นการแสดงจำนวนเท่าของค่ากลาง จะสามารถรู้ว่าค่านั้นมีค่ามากหรือน้อยจะต้องทำการเปรียบเทียบกับค่ากลาง หรือใช้ในการเปรียบเทียบกับค่า Pt. ด้วยกัน

2.2.2.4 การแปลผลเพื่อปรับปรุงผลิภัณฑ์ (Life Cycle Interpretation) การแปลผลและการประเมินเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของ LCA คือ การนำเอาข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมหรือ LCI แล้วทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมา สรุป รวบรวม ตีความหมาย และแปลค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบว่าในช่วงใดของวัฏจักรชีวิตที่เกิดผลกระทบมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบนั้นเป็นเท่าใด และสามารถทำให้ทราบถึงที่มาของผลกระทบนั้นเพื่อที่จะนำไปสู่ ผลสรุป และข้อเสนอแนะ ต่อไป ซึ่งในขั้นตอนการแปลความหมายของผลกระทบนี้ต้องทำด้วยความระมัดระวัง และอยู่ภายใต้ของเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตที่ได้ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรกด้วย

วัตถุประสงค์ของการแปลผลและการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นก็เพื่อจำแนกแนวทางและหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้อย่างตรงประเด็นหรือสามารถนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่สามารถทดแทนกันได้ โดยอาศัยมุมมองทางสิ่งแวดล้อมในการตัดสินใจต่อไป สำหรับขั้นตอนการแปลผลและการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้น ประกอบด้วยขั้นตอนหลักสามขั้นตอนได้แก่

- การจำแนกทางเลือกในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ โดยทั่วไปจะพิจารณาเลือกช่วงในวัฏจักรชีวิตที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการหรือปัจจัยที่เป็นสาเหตุ เพื่อจะนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขให้ผลกระทบลดลงต่อไป
- การวิเคราะห์เพื่อประเมินทางเลือกในการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมประกอบกัน โดยมองถึงความเป็นไปได้ถึงแนวทางทั้งหมดที่จะนำมาปรับปรุง โดยสอดคล้อง กันกับกระบวนการ ทั้งในด้านเทคนิคและต้นทุนประกอบกันเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด
- ประเมินทางเลือกในการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม โดยทำการคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดโดยเรียงลำดับจากวิธีที่เป็นไปได้มากที่สุดจากมากไปหาน้อยใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบกับความเหมาะสมของเทคนิคและต้นทุนในทางเลือกนั้นๆ โดยจัดทำเป็นบทสรุป ข้อเสนอแนะ และรายงานผลที่ได้ให้ผู้เกี่ยวข้องทราบต่อไป

หลังจากที่วิเคราะห์ Life Cycle Assessment เสร็จเรียบร้อย ทำให้ทราบแล้วว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดด้านในมากที่สุดและเกิดจากกระบวนการใด ผลจากการวิเคราะห์ LCA สามารถนำไปสู่วิธีที่เหมาะสมเพื่อแก้ไขและปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือบริการให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้สามารถการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือบริการใหม่ที่ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นอกจากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงคือราคาต้นทุนต่อหน่วยการผลิต ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.3 ความหมายของการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost: LCC)

การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost: LCC) คือการประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตหรืออายุการใช้งานของระบบที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ใน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา รวมถึงค่าใช้จ่ายทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปล่อยสารพิษหรือมลพิษของกระบวนการต่างๆ ในระบบ ตลอดช่วงชีวิตของระบบนั้น เช่นการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากมาย เช่น ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน การเกิดภาวะฝนกรด เป็นต้น ในการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตจะรวมต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมเข้าไปด้วย

2.3.1 ขั้นตอนการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

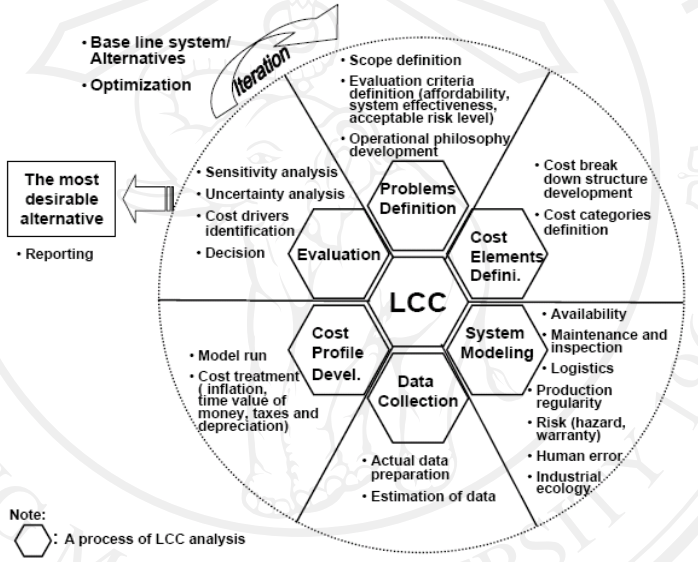
Yoshio และ Marvin 1999 ได้แบ่งขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังรูป 2.7 ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Problem definition)
2. การกำหนดองค์ประกอบของต้นทุน (Cost element definition)
3. การกำหนดรูปแบบของระบบ (System modeling)
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection)
5. การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ระบบ (Cost profile development) และการประเมินต้นทุน (Evaluation)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Problem definition)

ในขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ LCC ของกระบวนการหรือบริการใดๆจะต้องเริ่มต้นจากการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาก่อน โดยมีการกล่าวถึงลักษณะของสิ่งที่ทำการศึกษา เงื่อนไขของระบบ ลักษณะของกิจกรรม รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ที่เราต้องการศึกษาหรือสิ่งที่ไม่ต้องการศึกษาด้วย ในการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตจะต้องอธิบายเงื่อนไขของสิ่งที่กำลังศึกษาอย่างละเอียดและชัดเจน และจะต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ LCC ว่าจะนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ทางด้านใด ไม่ว่าจะเป็นการประกอบการตัดสินใจในการเลือก ปรับปรุงประสิทธิภาพหรือปรับเปลี่ยนต้นทุนให้มีความเหมาะสม



รูปที่ 2.7 แผนภาพการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

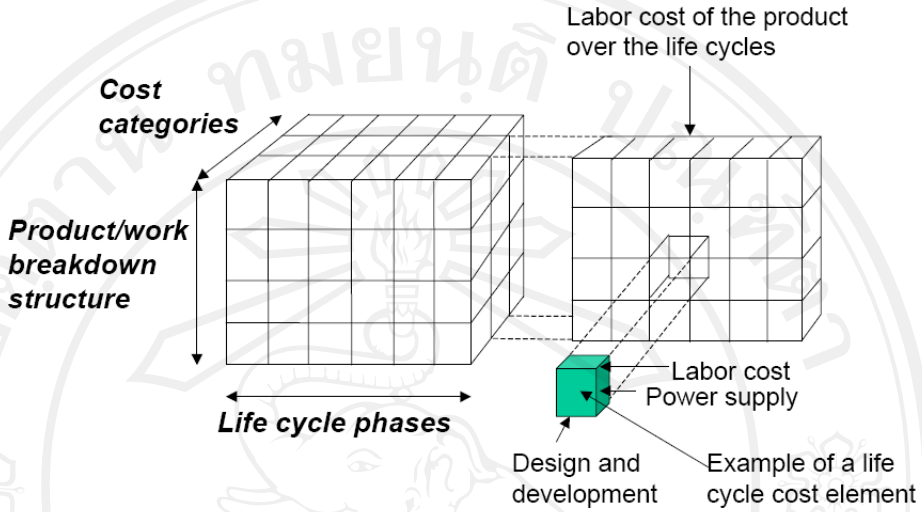
ที่มา: Hexagons surrounding LCA concept map(2007)

2) การกำหนดองค์ประกอบของต้นทุน (Cost element definition)

เป็นการมองภาพรวมของระบบว่าในระบบที่ศึกษาว่าประกอบด้วยขั้นตอนหรือกระบวนการใดบ้าง และในแต่ละขั้นตอนมีต้นทุนย่อยๆ อะไรบ้าง การแยกต้นทุนย่อยจากกระบวนการหลักดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.8 จากรูปจะเห็นว่าระบบหรือบริการที่เรากำลังศึกษาคือรูปทรงสี่เหลี่ยมทางด้านซ้ายมือ แกน X เป็นระยะเวลาตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle phases) แกน Y เป็นผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการหลักของระบบ (Product/work breakdown structure) และแกน Z เป็นต้นทุนหลักหรือต้นทุนทั้งหมดของระบบที่เกิดขึ้น (Cost categories) จากรูปทรงสี่เหลี่ยมด้านขวามือเป็นตัวอย่างการพิจารณาต้นทุนที่เกิดขึ้นในส่วนของค่าแรงงานทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Labor cost of product over the life cycle) ไม่ได้มีเฉพาะค่าแรงงานในการผลิตเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงค่าแรงงานในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ค่าแรงคนงานในระบบการจ่ายพลังงาน



รูปที่ 2. 8 แสดงหลักการแบ่งต้นทุนย่อยตามกลุ่มต้นทุนหลัก (Cost element concept)

(Yoshio and Marvin, 1999)

3) การกำหนดรูปแบบของระบบ (System modeling)

การกำหนดรูปแบบของระบบนั้นเปรียบเหมือนการวางแผนหรือการกำหนดกลยุทธ์ในการดำเนินการของเรานั่นเอง ซึ่งตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ นั้น จำเป็นที่จะต้องมีความสอดคล้องในการดำเนินไปของกิจกรรมในทั้งสามระยะ ดังที่กล่าวมาแล้วเพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่าต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น ในการดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัยอันได้แก่ กำลังการผลิต ความต้องการวัตถุดิบ ระยะเวลาการผลิต ความน่าเชื่อถือของระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรเครื่องมือ การจัดเก็บและกระจายสินค้า เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนหรือกิจกรรมเหล่านี้ล้วนส่งเสริมการผลิตทั้งสิ้น ถ้ากิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งเกิดการขัดข้องหรือไม่สอดคล้องกันก็อาจทำให้การผลิตนั้นหยุดลงได้ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดรูปแบบของระบบขึ้น เช่น การกำหนดรูปแบบในการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintenance modeling) โดยใช้วิธีให้ทุกคนในองค์กรมีส่วนร่วม (Total preventive maintenance) และกำหดให้มีการตรวจสอบเครื่องจักรทุกครั้งหลังใช้งานประจำวันเป็นต้น รูปแบบของระบบอื่นๆที่ควรมีการกำหนดนั้นอาจได้แก่ การกำหนดรูปแบบความพอเพียงในการใช้งานของวัสดุหรือสิ่งบริการ (Availability modeling) การกำหนดรูปแบบการจัดการสินค้าคงคลังและการกระจายสินค้า (Logistic modeling) การกำหนดรูปแบบการทำงานของระบบ (Production regularity modeling) การกำหนดรูปแบบการจัดการความเสี่ยง (Risk hazard,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

warranty modeling) การกำหนดรูปแบบการจัดการความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ (Human error modeling) หรือการจัดการระบบนิเวศอุตสาหกรรม (Industrial ecology modeling) เป็นต้น

4) การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection)

ในการประเมิน LCC นั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูลของราคา หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของระบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักร ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสามารถทราบได้จากขั้นตอนที่ 2 ของการทำ LCC ทั้งนี้ประเภทของข้อมูลด้านราคาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

ข้อมูลที่แท้จริง (Actual Data) เป็นข้อมูลของราคาที่แท้จริงซึ่งทราบค่าแน่นอน เช่น ราคาของเครื่องจักร ราคาอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตได้เลย

ข้อมูลที่ได้จากการประมาณ (Estimating Data) ในบางค่าเราไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริงได้ อาจเนื่องจากมีปัจจัยทางเศรษฐกิจเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น อัตราดอกเบี้ย ค่าเชื้อเพลิง การได้มาของข้อมูลเหล่านี้สามารถทำได้โดยการประมาณค่า (Cost estimating) โดย (1) Cost Estimating Relationships (CERs) คือ ประมาณราคาจากข้อมูลในอดีตที่มีอยู่หรือเชื่อมโยงราคากับสิ่งที่เราประมาณหรือทราบค่าแล้ว (2) Expert opinion: คือ ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินราคาที่เราต้องการให้

5) การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ระบบ (Cost profile development) และการประเมินต้นทุน (Evaluation)

เป็นวิธีการที่ผสมผสานกันระหว่างความรู้เชิงเศรษฐศาสตร์และความรู้เชิงวิศวกรรม โดยจะพิจารณาค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงอายุการใช้งานของระบบหนึ่งๆอันได้แก่ เงินลงทุนในการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ (Capital Cost) ค่าแรงในการติดตั้งระบบ (Labor and Installation Costs) ค่าบำรุงรักษาระบบ (Maintenance Costs) ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ (Running Costs) และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบ (Replacement Costs) การประเมินค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานสามารถเขียนอธิบายให้อยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$\mathrm{LCC} = C_C + C_O + C_M + C_F - S \qquad (2.12)$$

เมื่อ C_C = ต้นทุนคงที่ (บาท)

C_O = ต้นทุนในการดำเนินการ (บาท)

C_M = ต้นทุนในการซ่อมบำรุง (บาท)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

C_F = ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงาน (บาท)

S = มูลค่าซาก (บาท)

1. ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากเงินลงทุนระบบ (C)

เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระยะเริ่มต้นโครงการ ดังนั้นหากต้องการทราบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตลอดต่อปี จะสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.13

$$C = P\left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}\right] \tag{2.13}$$

เมื่อ P = จำนวนเงินปัจจุบัน หรือ มูลค่าเริ่มต้น (บาท)

i = อัตราดอกเบี้ย (%) ต่อปี

n = อายุการใช้งานของระบบ (ปี)

2. เมื่อปรับมูลค่าของเงินในแต่ละปีให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน สามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 2.14

$$PW = F_n \times \frac{(1+e)^n}{(1+i)^n} \tag{2.14}$$

เมื่อ

F_n = จำนวนเงินอนาคต หรือ มูลค่าสุดท้าย (บาท)

e = escalation rate (อัตราส่วนลด) ของค่าใช้จ่ายนั้นๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved