บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซล หมายถึง แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Alkyl Ester) มีสูตรทางเคมี R_1COOR_2 ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ โดยจะใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง หรือใช้ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงก็ได้ (ประกาศในราชกิจจานุเบกษา, 2548)

R_1 หมายถึง กลุ่มแอลคิลจากกรดไขมัน

R_2 หมายถึง กลุ่มแอลคิลจากแอลกอฮอล์

ประเภทของไบโอดีเซล

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.1.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ หมายถึงน้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสม เติมสารเคมี หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน

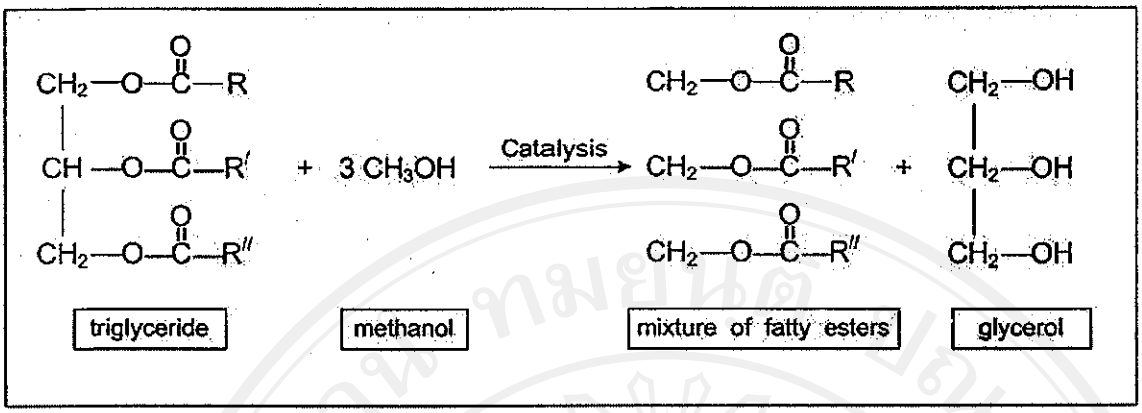
2.1.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม

ไบโอดีเซลลูกผสม หมายถึงไบโอดีเซลผสมระหว่างน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล ทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด อย่างเช่น โคโคดีเซล (Coco-diesel) ที่ อ.ทับสะแก ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (Palm-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

2.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ หมายถึงไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมี เกิดเป็นสารที่เรียกว่า เมทธิลเอสเทอร์ หรือเอทธิลเอสเทอร์ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่กลั่นจากน้ำมันปิโตรเลียมสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ (คณะกรรมาธิการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร, 2545) สามารถเขียนปฏิกิริยาทางเคมีได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.1 ปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ไบโอดีเซล (Jon Van Gerpen and *et al.*, 2002)

โดย R, R′, R″ คือ กรดไขมัน (Fatty acid) ซึ่งกรดไขมันที่พบ ได้จากน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้ว มีดังนี้

ปาล์มิติก (Palmitic) R = $-(CH_2)_{14}-CH_3$

สเตียร์ริก (Stearic) R = $-(CH_2)_{16}-CH_3$

โอเลอิก (Oleic) R = $-(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7CH_3$

ไลโนเลอิก (Linoleic) R = $-(CH_2)_7CH=CH-CH_2-CH=CH(CH_2)_4CH_3$

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA)

LCA เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบ การสกัดวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน รวมถึงการใช้ซ้ำ การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดทิ้งหลังหมดอายุการใช้งาน โดยศึกษาถึงปริมาณพลังงาน และวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทั้งทางอากาศ น้ำ และดิน โดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่ครอบคลุมถึงระบบนิเวศน์ สุขอนามัย และปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับโลก เพื่อหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และคณะ, 2549) ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 การศึกษา LCA ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

2.2.1 การกำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

ขั้นตอนแรกในการศึกษา LCA คือการกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก เพราะผลลัพธ์ในการทำ LCA จะถูกนำไปใช้ประโยชน์มากหรือน้อยขึ้นกับวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา ซึ่งถ้ามีกำหนดเป้าหมายที่ชัดเจน ในการวิเคราะห์ผล LCA จะมีความน่าเชื่อถือสูง และจะมีความสัมพันธ์เป็นอย่างยิ่งกับขอบเขตการศึกษา กล่าวคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หากการกำหนดเป้าหมายมีความชัดเจน ขอบเขตการศึกษาจะช่วยผล LCA บรรลุวัตถุประสงค์มากยิ่งขึ้น ตัวอย่างการกำหนดวัตถุประสงค์ของ LCA มีหลายรูปแบบ เช่น (สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และคณะ, 2549)

- เพื่อวิเคราะห์จุดแข็ง และจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ โดยมีข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องสนับสนุนผลการวิเคราะห์
- เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาศัยหลักความรู้ของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) และมีการแสดงข้อมูลในเชิงปริมาณที่สะท้อนให้เห็นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ลดลงหลังการปรับปรุง
- เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งอาศัยหลักความรู้ของระบบผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องและข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินในเลือกผลิตภัณฑ์

จากผลการศึกษา LCA นอกจากจะช่วยให้ได้ข้อมูลเชิงวิศวกรรมที่สามารถช่วยให้การวิเคราะห์ผลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นแล้ว ยังสามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้และพัฒนาการปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ และการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2.2.2 การจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

การจัดทำบัญชีรายการ หมายถึง การจัดการเก็บรวบรวมข้อมูล ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษา เช่น ข้อมูลพลังงาน ข้อมูลวัตถุดิบ ข้อมูลของเสีย เป็นต้น การจัดทำ LCI ควรคำนึงถึงประเด็นสำคัญ ดังนี้

2.2.2.1 การเก็บข้อมูล (Data Collection)

การเก็บรวบรวมข้อมูล บางครั้งข้อมูลไม่ได้มีการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตัวเอง เช่น นำมาจากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ อาจจะต้องนำมาวิเคราะห์หรือคัดเลือกข้อมูล ว่าสอดคล้องกับขอบเขตที่กำลังศึกษาหรือไม่ ซึ่งหลักการพิจารณามีหลากหลายวิธี เช่น พิจาณาจากวิธีที่นำมาประเมินผลกระทบ กล่าวคือ ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำวิธี *NETS* มาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สมมุตินำข้อมูลมาจาก กรมควบคุมมลพิษ ผลกระทบที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซล 1 ลิตร ที่กรมควบคุมมลพิษได้จัดเก็บมี ปริมาณควันดำ ความดังของเสียงที่เกิดจากการใช้ และปริมาณ CO_2 ที่ปล่อยออกมา ซึ่งควันดำ และเสียง ในการประเมินผลกระทบด้วยวิธี *NETS* นั้นซึ่งไม่ครอบคลุมถึงจุดนี้ จึงอาจต้องศึกษาข้อมูลเพิ่มต่อไปอีก

2.2.2.2 การกลั่นกรองขอบเขตของระบบ (Refining System Boundary)

การกลั่นกรองขอบเขตของระบบ หมายถึง การพิจารณาหรือตัดสินใจที่จะเลือกพิจารณาหรือตัดกระบวนการใดออกไป โดยจะทำหลังจากได้ทำ LCI ในรอบแรกเสร็จสิ้น ประโยชน์ของการกลั่นกรองระบบ คือสามารถตัดกระบวนการอย่างใดอย่างหนึ่งออกไปได้ เมื่อเห็นสมควรว่าไปมีความเกี่ยวข้อง หรือมีน้ำหนักในการเกี่ยวข้องน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้

2.2.2.3 วิธีการคำนวณ (Calculation Procedures)

การคำนวณและการจัดเก็บบัญชีรายการเข้าและออกระบบ สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งอาจอยู่ในรูป Microsoft Excel หรือโปรแกรมสำเร็จรูป เช่น SimaPro และ GaBi เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชนิดและปริมาณข้อมูล เพื่อให้ง่ายต่อการสืบค้น และปรับปรุงฐานข้อมูลในการศึกษา LCA ในครั้งต่อไป

2.2.2.4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Validation of Data)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มา จะดำเนินการระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูล หรือคัดเลือกข้อมูล เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์จะแสดงให้เห็นถึงการยอมรับในข้อมูล และสะดวกในการปรับปรุงฐานข้อมูลให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2.2.2.5 การเชื่อมโยงข้อมูล (Relating Data to the Specific System)

ฐานข้อมูลเข้าและออกที่ได้มา บางครั้งเป็นหน่วยงานนั้นๆ ได้ตั้งขึ้นหรือกำหนดขึ้นมาเอง เช่น ทางด้านพลังงาน อาจอยู่ในหน่วยของเมกกะจูลต่อเครื่องจักรต่อสัปดาห์ หรือ ทางด้านน้ำเสีย อาจจะอยู่ในหน่วยของ kg·BOD/m^3-day ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่จะสามารถนำไปใช้ได้ เพราะหน่วยที่จะสามารถนำไปใช้ได้ในการทำ LCA ควรอยู่ในหน่วยปริมาณ BOD ที่เกิดขึ้นเท่ากับ kg/m^3 เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าบางครั้งข้อมูลที่ได้มาอาจไม่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษา LCA อยู่ แต่อาจเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงนั้นมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิต

2.2.2.6 การปันส่วนข้อมูล (Allocation)

เมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบการศึกษาที่มีขอบเขตที่มีความซับซ้อน จึงเป็นไปได้ยากที่จะจัดการรวบรวมข้อมูล ให้ครอบคลุมผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตที่พิจารณาในขอบเขตของระบบได้ทั้งหมด การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้ เช่น ในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจาก การใช้กระแสไฟฟ้า ควรมีการปันส่วนของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไฟฟ้าที่มาจากแต่ละชนิดของโรงไฟฟ้า เนื่องจากไฟฟ้าในประเทศไทย มาจากหลายแหล่งการผลิต และวัตถุดิบแต่ละแหล่งการผลิตก็มีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมย่อมแตกต่างกันไป ซึ่งการปันส่วนข้อมูลเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการเพิ่มขอบเขตของระบบ เนื่องจากเป็นการลดปัญหาความซับซ้อนของระบบ และเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง

2.2.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีวัตถุประสงค์ เพื่อแปลงข้อมูลจากขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ ให้อยู่ในรูปตัวชี้วัดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อยคือ

2.2.3.1 ขั้นตอนที่จำเป็นต้องดำเนินการ ได้แก่

ก.1 การจำแนกข้อมูลให้อยู่ในกลุ่มของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Classification) ซึ่งคือการจำแนกคุณสมบัติเชิงคุณภาพของผลกระทบที่สัมพันธ์กัน เช่น CO_2, CH_4 และ N_2O สามารถจัดอยู่ในรูปของ การเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) SO_2, NO_2 และ NO_x สามารถจัดอยู่ในกลุ่มของ การเกิดฝนกรด (Acidification) เป็นต้น

ก.2 การเทียบค่าศักยภาพในการทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกลุ่ม (Characterization) เช่น CO_2, CH_4, N_2O และ SF_6 ซึ่งอยู่ในกลุ่มของการเกิดภาวะโลกร้อน สามารถเทียบค่าศักยภาพโดยใช้ค่า Global Warming Potential: GWP มาอ้างอิง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อจัดกลุ่มของผลกระทบให้อยู่ในรูปของตัวบ่งชี้ (Indictor) ซึ่งผลลัพธ์ที่อยู่ในเทอมของตัวบ่งชี้สามารถบอกผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยรวมได้

2.2.3.2 ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม

ข.1 การเทียบค่าตัวบ่งชี้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมใดๆ กับขนาดพื้นที่หรือจำนวนประชากรที่ได้รับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากกลุ่มนั้นๆ (Normalization) ซึ่งอาจอ้างอิงจำนวนประชากรในแต่ละพื้นที่ ขนาดอาณาบริเวณที่รับผลกระทบ เป็นต้น

ข.2 การจัดกลุ่มหรือให้น้ำหนักกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ให้เป็นหมวดหมู่ตามผลกระทบปลายทาง (Grouping or Weighting)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.4 การแปลผลของผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Interpretation)

การแปลผล หมายถึง การนำผลที่ได้จากการจัดทำบัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมารวมกัน แล้วจัดทำข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลวัฏจักรชีวิตควรประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.2.4.1 การจำแนกประเด็นที่สำคัญต่างๆ ที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์การจัดทำบัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

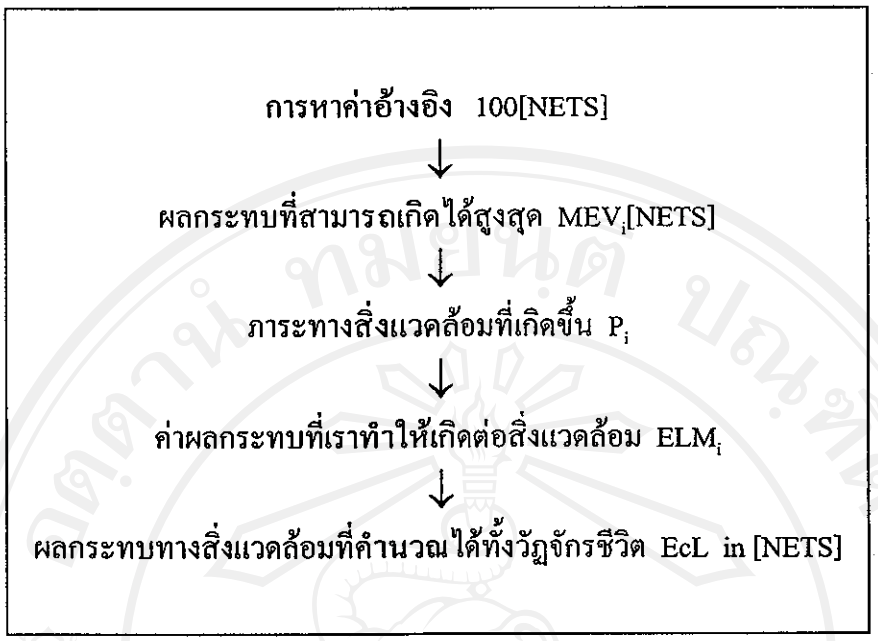
2.2.4.2 การประเมินค่า (Evaluation) เพื่อตรวจสอบ ความอ่อนไหวของผลการศึกษา (Sensitivity) และความสอดคล้องของข้อมูล เป็นต้น

2.2.4.3 การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะ และรายงานผล

2.3 Numerical Eco-load Total Standardization : [NETS]

NETS เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อธิบายผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตได้ ค่าผลกระทบที่คำนวณได้จากข้อมูล LCI จะถูกนำมาเทียบระดับความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สามารถยอมรับหรือทนต่อผลกระทบนั้นๆ ได้ หรืออีกนัยหนึ่ง *NETS* คือหน่วยเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการใดๆ สามารถแยกเป็นผลกระทบที่มีต่อทั้งโลก และผลกระทบที่มีต่อชุมชน โดยผลกระทบที่มีต่อโลกจะประกอบไปด้วย การลดลงของทรัพยากร (Resources Depletion) ภาวะโลกร้อนขึ้น (Global Warming) การลดลงของโอโซน (Ozone Depletion) ปัญหาน้ำและอากาศเสีย (Water and Air Pollution) และผลกระทบต่อชุมชนประกอบด้วย ฝนกรด (Acid Rain) และปัญหาขยะ (Solid Waste) ขั้นตอนในการศึกษา *NETS* ดังแสดงในรูป 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.2 แผงผังแสดงแบบแผนในการทำมาตรฐานในการหาค่าภาระสิ่งแวดล้อม (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2544)

จากรูป 2.2 อธิบายได้ว่า เริ่มจากการกำหนดค่าปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหน่วย [NETS] ในแผนผังกำหนดไว้ว่า 100[NETS] คือค่าผลกระทบสูงสุดที่คนเราสามารถยอมรับ หรือมีชีวิตอยู่ได้โดยไม่มีผลกระทบแต่อย่างใด

จากนั้นคำนวณหา MEV (Maximum Eco-load Value) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท กรณีของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีต่อโลกสามารถคำนวณได้โดย นำค่าผลกระทบสูงสุดที่เราสามารถยอมรับคือ 100[NETS/คน] คูณกับจำนวนประชากรโลกปี 2548 ซึ่งในปี 2548 ทั่วโลกมีประชากร 6.5 พันล้านคน (กรมการปกครองกระทรวงมหาดไทย, 2549) ดังนั้น $MEV_G = 6.5 \times 10^{11}$ [NETS] ส่วนกรณีของผลกระทบต่อชุมชน ภาวะฝนกรด ค่าของ MEV_R คำนวณจาก สมมุติภาวะฝนกรดเกิดเป็นบริเวณกว้าง 1000 กิโลเมตร ความหนาแน่นของประชากรเท่ากับ 122 คน/ตารางกิโลเมตร (กรมการปกครองกระทรวงมหาดไทย, 2549) จำนวนประชากรที่ได้รับผลกระทบเท่ากับ $\pi \times 500^2 \times 122$ เท่ากับ 9.6×10^7 [คน] จากจุดที่เกิดการปล่อยก๊าซ ดังนั้นค่า MEV_R^{AR} จะเท่ากับ 9.6×10^7 [คน] $\times$ 100 [NETS/คน] เท่ากับ 9.6×10^9 [NETS] ส่วน MEV^{SW}_R คำนวณได้โดย นำจำนวนประชากรในประเทศไทยเท่ากับ 6.2×10^7 คน คูนกับ 100[NETS/คน] ได้เท่ากับ 6.2×10^9 [NETS] ค่าต่างๆ แสดงในตาราง 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่กำหนดให้เกิดได้สูงสุด MEV_i

ชนิดผลกระทบ	ประเภทผลกระทบ	ตัวย่อ	MEV_i [NETS]
ผลกระทบต่อโลก (Global issue)	การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ - แหล่งพลังงาน - แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ	 E-RD N-RD	$MEV_G^{RD} = 6.5 \times 10^{11}$
	ภาวะโลกร้อนขึ้น	GW	$MEV_G^{GW} = 6.5 \times 10^{11}$
	การลดลงของโอโซน	OD	$MEV_G^{OD} = 6.5 \times 10^{11}$
	ปัญหาน้ำและอากาศเสีย	AP, WP	$MEV_G^{AP,WP} = 6.5 \times 10^{11}$
ผลกระทบต่อชุมชน (Regional issue)	ภาวะฝนกรด	AR	$MEV_R^{AR} = 9.6 \times 10^{9}$
	ปัญหาขยะ	SW	$MEV_R^{SW} = 6.2 \times 10^{9}$

หลังจากนั้นทำการหาปริมาณสูงสุดของภาระสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ณ เวลานั้นๆ ในแต่ละประเภทผลกระทบ P_i [ton , kWh , m^3,..., etc.]

ตาราง 2.2 ตัวอย่างการกำหนดค่าภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ณ เวลานั้น P_i

ชนิดผลกระทบ	ประเภทผลกระทบ	P_i[ton, kWh, m^3,...,etc.]
ผลกระทบต่อโลก	การลดลงของทรัพยากร	P_G^{RD} = ปริมาณสำรอง
	ภาวะโลกร้อนขึ้น	P_G^{GW} = ปริมาณก๊าซ greenhouse
	การลดลงของโอโซน	P_G^{OD} = ปริมาณ Freon gases
	ปัญหาน้ำและอากาศเสีย	P_G^{WP}, P_G^{AP} = ข้อกำหนด WHO
ผลกระทบต่อชุมชน	ภาวะฝนกรด	P_R^{AR} = ความเข้มข้นของ H^+ ในฝน
	ขยะ	P_R^{WP} = ปริมาณของขยะ

จากนั้นนำมาคำนวณเงื่อนไขภาระสิ่งแวดล้อม (ELM : Environmental Load Module) โดยสมการ

$$ELM_i = \frac{MEV_i}{P_i}\left[\frac{NETS}{ton,\ kWh,\ m^3,...,etc.}\right] \quad (2.1)$$

สมการนี้จะแสดงถึงทรัพยากรที่เราใช้ หรือสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมาใน 1 หน่วย [ton, kWh, m^3,..., etc.] ในขั้นตอนสุดท้ายจะได้ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (EcL : Eco-Load Value) ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตที่เกิดจากกิจกรรมใดๆ ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ (2.2)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$EcL = \sum(ELM_i \times x_i) \quad [NETS] \tag{2.2}$$

ซึ่ง x_i ก็คือจำนวนทรัพยากรที่เราใช้หรือสารที่เราปลดปล่อยออกมาแต่ละชนิดของกิจกรรม มีหน่วยเป็น [ton, kWh, m^3, ..., etc.]

ตาราง 2.3 ค่า ELM_i ของผลกระทบแต่ละประเภทในปี 2548 (Natanee Vorayos, 2006)

ประเภท	สาร	P_i[kg]	ELM [NETS/kg]
การลดลงของเชื้อเพลิง	Crude Oil	1.42E+14	4.58E-03
	Natural Gas	1.05E+14	6.19E-03
	Coal	9.84E+14	6.61E-04
	Uranium	3.95E+09	1.65E+02
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ	Antimony	2.10E+09	3.10E+02
	Arsenic	1.10E+10	5.91E+01
	Barite	1.50E+11	4.33E+00
	Bauxite	2.50E+13	2.60E-02
	Bismuth	1.10E+08	5.91E+03
	Boron	1.70E+08	3.82E+03
	Cadmium	6.00E+09	1.08E+02
	Cesium	1.00E+09	6.50E+02
	Chromium	3.60E+09	1.81E+02
	Cobalt	4.50E+09	1.44E+02
	Columbium	3.50E+09	1.86E+02
	Copper	3.40E+09	1.91E+02
	Fluorspar	2.10E+10	3.10E+01
	Gold	4.90E+07	1.33E+04
	Graphite	8.00E+11	8.13E-01
	Hafnium	2.10E+10	3.10E+01
	Illmenite	3.30E+11	1.97E+00
	Indium	1.10E+10	5.91E+01
	Iron ore	1.40E+14	4.64E-03
	Lead	6.40E+10	1.02E+01
	Lithium	3.40E+09	1.91E+02
	Magnesium	2.50E+12	2.60E-01
	Manganese	6.80E+11	9.56E-01

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 ค่า ELM_i ของผลกระทบแต่ละประเภทในปี 2548 (ต่อ)

ประเภท	สาร	P_i[kg]	ELM [NETS/kg]
การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ	Mercury	1.20E+08	5.42E+03
	Molybdenum	5.50E+09	1.18E+02
	Nickel	4.60E+10	1.41E+01
	Platinum	7.10E+08	9.15E+02
	Rare earth	1.10E+11	5.91E+00
	Rhenium	2.50E+06	2.60E+05
	Retile	4.30E+10	1.51E+01
	Selenium	7.00E+08	9.29E+02
	Silver	2.80E+08	2.32E+03
	Strontium	2.40E+13	2.71E-02
	Thallium	3.80E+05	1.71E+06
	Tin	7.70E+09	8.44E+01
	Tungsten	2.00E+09	3.25E+02
	Vanadium	1.00E+10	6.50E+01
	Yttrium	5.60E+08	1.16E+03
	Zinc	1.90E+11	3.42E+00
	Zirconium	6.20E+04	1.05E+07
ภาวะโลกร้อน	Carbon dioxide	2.07E+15	3.14E-04
	Methane	1.06E+14	6.13E-03
	Dinitrogen monoxide	7.20E+12	9.03E-02
	CFC-11	9.95E+10	6.53E+00
	HCFC-22	1.24E+11	5.24E+00
	SF_6	8.31E+10	7.82E+00
การลดลงของโอโซน	CFC-11	7.20E+10	9.03E+00
	CFC-12	7.20E+10	9.03E+00
	CFC-113	9.03E+10	7.20E+00
	HCFC-22	1.32E+12	4.92E-01
	HCFC-141b	6.55E+11	9.92E-01
	HCFC-142b	1.11E+12	5.86E-01
ปัญหาน้ำเสีย	Cadmium	5.34E+10	1.22E+01
	Lead	5.34E+10	1.22E+01

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 ค่า ELM_i ของผลกระทบแต่ละประเภทในปี 2548 (ต่อ)

ประเภท	สาร	P_i[kg]	ELM [NETS/kg]
ปัญหาน้ำเสีย	Chrome	2.67E+11	2.43E+00
	Arsenic	5.34E+10	1.22E+01
	Mercury	2.67E+09	2.43E+02
	Dichloromethane	1.07E+11	6.07E+00
	CCl4	1.07E+10	6.07E+01
	1,2-dichloroethane	2.14E+10	3.04E+01
	1,1-dichloroethylene	1.07E+11	6.07E+00
	sis-1,2-dichloroethane	2.14E+11	3.04E+00
	1,1,1-trichloroethane	5.34E+12	1.22E-01
	1,1,2-trichloroethane	3.20E+10	2.03E+01
	Trichloroethylene	1.60E+11	4.06E+00
	Tetrachloroethylene	5.34E+10	1.22E+01
	1,3-dichloropropane	1.07E+10	6.07E+01
	Vinyl chloride	1.07E+11	6.07E+00
	Benzene	5.34E+10	1.22E+01
	Selenium	5.34E+10	1.22E+01
	Fluorine	4.27E+12	1.52E-01
	Boron	5.34E+12	1.22E-01
ปัญหาอากาศเสีย	Carbon monoxide	5.45E+13	1.19E-02
	Benzene	1.33E+10	4.89E+01
	Nitrogen dioxide	3.27E+11	1.99E+00
	Sulfur dioxide	2.18E+11	2.98E+00
	1,1-dichloroethane	7.62E+09	8.53E+01
	Trichloroethylene	8.89E+11	7.31E-01
	Tetrachloroethylene	8.89E+11	7.31E-01
ภาวะฝนกรด	Nitrogen dioxide	5.64E+09	1.70E+00
	Nitrogen oxide	6.04E+09	1.59E+00
	Dinitrogen monoxide	8.86E+09	1.08E+00
	Sulfur dioxide	1.28E+10	7.50E-01
ปัญหาขยะ	Industrial waste	2.08E+11	2.98E-02
	General waste	3.21E+11	1.93E-02

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Costing: LCC)

ต้นทุน (Cost) หมายถึงการที่กิจการได้จ่ายเงินสดหรือสิ่งที่เทียบเท่าเงินสด หรือการสัญญาว่าจะจ่ายเงินสดให้ในอนาคต โดยมีวัตถุประสงค์การจ่ายเพื่อก่อให้เกิดรายได้ หรือประโยชน์เชิงเศรษฐกิจแก่กิจการ (วิวัฒน์ อภิสิทธิ์ภิญโญ, 2549)

ต้นทุนถือเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกหรือตัดสินใจในการผลิตและดำเนินการใดๆ ซึ่งวิธีการที่นำมาประเมินความคุ้มค่าแก่การลงทุนมีหลายวิธี เช่น วิธีการมูลค่าปัจจุบัน (Present Worth) วิธีอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) วิธีอัตราผลตอบแทนภายนอก (External Rate of Return) และการหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เป็นต้น ในโครงงานวิจัยนี้เลือกวิธีการมูลค่าปัจจุบัน เพราะสามารถประมาณผลตอบแทนที่จะได้รับในอนาคต (Future Value) มาไว้ที่ ณ เวลาปัจจุบัน โดยสมการการวิเคราะห์ต้นทุนสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.3)

$$LCC = C_{pw} + M_{pw} + F_{pw} + R_{pw} - S_{pw} \quad (2.3)$$

เมื่อ C คือต้นทุน (บาท/ปี)

M คือค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (บาท)

F คือราคาเชื้อเพลิง (บาท)

R คือต้นทุนการทดแทนทรัพย์สิน (บาท)

S คือมูลค่าคงเหลือมูลค่าสุดท้าย (บาท)

pw คือมูลค่าปัจจุบัน (Present Worth)

ต้นทุนในที่นี้จะหมายถึงรวมต้นทุนวัสดุ การออกแบบ การติดตั้ง และอื่นๆ ไว้รวมด้วย ในการคิดต้นทุนจะแบ่งต้นทุนออกเป็น 2 ประเภทคือ ต้นทุนที่มักเกิดซ้ำในช่วงเวลาใด (Recurring Costs) เช่น ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา ค่าแรงงาน เป็นต้น ส่วนต้นทุนที่เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวตลอดโครงการ (Non-recurring Costs) เช่น มูลค่าคงเหลือ และต้นทุนทดแทนสินทรัพย์ เป็นต้น

ซึ่งมูลค่าปัจจุบัน ใน Non-recurring Costs สามารถคิดได้ดังสมการที่ (2.4)

$$P = F\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right) \quad (2.4)$$

เมื่อ *F* คือมูลค่าอนาคต (บาท)

i คืออัตราดอกเบี้ย (%)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

n คือจำนวนปี (ปี)

และมูลค่าปัจจุบัน ใน Recurring Costs สามารถคิดได้ดังสมการที่ (2.5)

$$P = A\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right) \quad (2.5)$$

เมื่อ A คือราคาค่างวด (Annually Uniform Cost)

ต้นทุนไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล CMU-2 หลังจากทราบเงินลงทุน และปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ตลอดอายุโครงการ จะสามารถคำนวณหาต้นทุนไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นได้ ดังสมการ (2.6)

$$\text{ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล (บาท/ลิตร)} = \frac{\text{ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล (บาท/ปี)}}{\text{ปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (ลิตร/ปี)}} \quad (2.6)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved