

คำนำ

คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) สำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่จัดทำขึ้นนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงานในโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมเหมืองแร่สู่โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) ซึ่งกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ได้มอบหมายให้มหาวิทยาลัยมหิดลเป็นที่ปรึกษาในการดำเนินโครงการ และจัดทำคู่มือฉบับนี้ขึ้น โดยเนื้อหาสาระที่สำคัญในคู่มือ ประกอบด้วย หลักการ แนวคิด ขั้นตอนและวิธีการประเมิน ตลอดจนวิธีการประเมินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป พร้อมตัวอย่างประกอบเพื่อให้สามารถเข้าใจได้ง่าย โดยคาดหวังว่าผู้ประกอบการเหมืองแร่ เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจทั่วไป จะสามารถนำเนื้อหาสาระไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมและสอดคล้องในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ตลอดจนอุตสาหกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องกันได้

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
พฤษภาคม 2553

**คณะกรรมการดำเนินการจ้างที่ปรึกษาและคณะกรรมการตรวจสอบงาน
โครงการพัฒนาอุตสาหกรรมเหมืองแร่สู่โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด**

1. คณะกรรมการดำเนินการจ้างที่ปรึกษา

- | | | |
|-------------------|---------------|------------------------------------|
| 1) นางดวงตา | ได้เจริญรัตน์ | นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ |
| 2) นางสาวศุภวรรณ | นิธิสมัย | นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ |
| 3) นายอนุวัต | นพชำนาญ | นายช่างเหมืองแร่ชำนาญงาน |
| 4) นางสาวสุธิดา | มณีอเนกคุณ | นักวิชาการสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการ |
| 5) นางสาวธิดาภรณ์ | คู่อุดม | นักวิชาการพัสดุปฏิบัติการ |

2. คณะกรรมการตรวจสอบงาน

- | | | |
|--------------------|----------------|------------------------------------|
| 1) นางสาวสัณห์สุดา | ไชยสิงห์ | นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ |
| 2) นายชัยวิทย์ | อุณหศิริกุล | วิศวกรเหมืองแร่ชำนาญการพิเศษ |
| 3) นายสาธิต | เทอดเกียรติกุล | วิศวกรโลหการชำนาญการพิเศษ |
| 4) นายดุสิต | จันทร์กานต์ | นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ |
| 5) นางสาววรรณพร | ความสุข | นักวิชาการสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการ |

คณะผู้ศึกษาวิจัย (ที่ปรึกษาโครงการ)

- | | | |
|-------------------|-----------------|--|
| 1) ดร.สุวลักษณ์ | สาธุนันต์พันธุ์ | ผู้จัดการโครงการ/
ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม |
| 2) นายพิเศษ | เสนางษ์ | รองผู้จัดการโครงการด้านวิชาการ/
ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม |
| 3) นางสาวอรนุช | ศิลป์มณีพันธ์ | รองผู้จัดการโครงการด้านฝึกอบรม/
ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม |
| 4) นายสฤษดิ์ | สุติพันธุ์วิหาร | ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม |
| 5) ดร.ปัญญาพร | เวชยันต์วิวัฒน์ | ผู้เชี่ยวชาญด้านกลไกการพัฒนา
ที่สะอาด/การจัดการพลังงาน |
| 6) นายวสันต์ | กาบเกิด | ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเหมืองแร่ |
| 7) รศ.สยาม | อรุณศรีมรกต | ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม
อุตสาหกรรม |
| 8) นางสาวอุบล | ศิลป์มณีพันธ์ | นักวิชาการ |
| 9) นางสาวสกลวัลย์ | โพธิ์เยี่ยม | นักวิชาการ |

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
1. ความนำ : การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA)	1
2. หลักการและเทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิต	3
3. ขั้นตอนในการศึกษาวัฏจักรชีวิต	5
4. การประเมินวัฏจักรชีวิตของอุตสาหกรรมเหมืองแร่	6
4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตสำหรับการศึกษา	6
4.1.1 หลักการและวิธีการกำหนดเป้าหมาย และขอบเขต	6
4.1.2 กรณีตัวอย่างกำหนดขอบเขตการ ศึกษาของอุตสาหกรรมเหมืองแร่	10
4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)	11
4.2.1 หลักการและวิธีการวิเคราะห์ รายการสิ่งแวดล้อม	11
4.2.2 กรณีตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์ บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเหมืองแร่	18

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	24
4.3.1 หลักการและวิธีการประเมินผลกระทบ	24
4.3.2 กรณีตัวอย่างของการประเมินผลกระทบ จากอุตสาหกรรมเหมืองแร่	33
4.4 การแปลผล (Interpretation)	40
5. วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยโปรแกรม SimaPro	41
5.1 หลักวิเคราะห์ LCA ด้วยโปรแกรม SimaPro	42
5.2 หลักการและข้อมูลที่เป็นในการทำงานของ SimaPro	43
5.3 กรณีตัวอย่างการใช้ SimaPro เพื่อวิเคราะห์ LCA เหมืองแร่	44

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	บัญชีการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตหินปูน	20
4-2	ตัวอย่างข้อมูลบัญชีสารเข้า	21
4-3	ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณสารเข้า-ออกตลอด วัฏจักรเหมืองหินปูน บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด	22
4-4	ตัวอย่างการกำหนดตัวชี้วัดของแต่ละกลุ่มผลกระทบ	28
4-5	ตัวอย่างแบบจำลอง characterization	30
4-6	ตัวอย่างการทำ LCIA ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศ	31
4-7	ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) ในรอบ 100 ปี	32

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	3
2-2	ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ ตลอดวัฏจักร	4
3-1	ขอบข่ายในการทำ LCA ตามหลัก ISO 14040	5
4-1	ขอบเขตการศึกษา LCA ในภาพรวมของอุตสาหกรรมเหมืองแร่	9
4-2	ตัวอย่างขอบเขตการศึกษา LCA เหมืองหินปูน บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด	11
4-3	ขั้นตอนการจัดทำรายการบัญชีข้อมูล	13
4-4	ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล	15
4-5	ผังกระบวนการทำเหมืองของบริษัทปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด	19
4-6	บัญชีรายการรวมปริมาณสารเข้า-ออกที่ใช้ตลอดวัฏจักรเหมือง หินปูน บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด	23
4-7	ขั้นตอนการจัดทำ LCIA ตามมาตรฐาน ISO 14042	25
4-8	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้และการเผาไหม้น้ำมัน ดีเซลในกระบวนการพัฒนาพื้นที่	34
4-9	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้และการเผาไหม้น้ำมัน ดีเซลในกระบวนการเจาะระเบิด	35
4-10	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้วัตถุระเบิดชนิด ANFO ในกระบวนการระเบิด	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-11 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้และการเผาไหม้ น้ำมันดีเซล ในกระบวนการชุดขน	37
4-12 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการบด	38
4-13 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกลดปล่อยออกจากแต่ละกระบวนการ ในการผลิตหินปูนของบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด	39
5-1 องค์ประกอบหลักของ SimaPro	44

1. ความนำ : การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA)

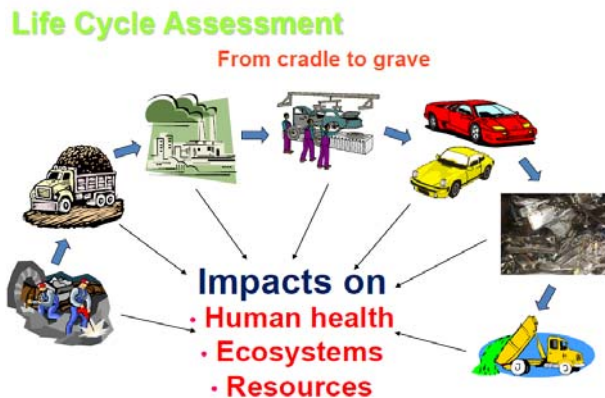
หลักการคิดเรื่อง LCA นั้นเกิดมาในช่วงทศวรรษที่ 1960 เมื่อสังคมกำลังให้ความสนใจเกี่ยวกับความพอเพียงในอนาคตของวัตถุดิบ พลังงาน และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการขุดนำทรัพยากรออกมาใช้งาน ต่อมาในช่วงทศวรรษ 1970 US Environment Protection Agency (EPA) ได้พัฒนาเป็น Resource and Environmental Profile Analysis (REPA) ในช่วงที่สังคมโลกกำลังตื่นตัวเรื่องของเสียอันตราย (Hazardous Waste) จึงได้เกิดการพัฒนานำข้อกังวลเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆมารวมพิจารณาพร้อมกันและเริ่มใช้เป็นการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) ของภาคเอกชนในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ จนกลายมาเป็นหลักการ LCA ในปัจจุบัน โดยมีลำดับการพัฒนาดังนี้

- ก่อนปี 2488 ยังไม่มีการควบคุมเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- 2488-2503 Little Control
- 2503-2513 Some Control
- 2513-2518 ควบคุมมากขึ้น สหรัฐอเมริกาจัดตั้งสำนักดูแลป้องกันสิ่งแวดล้อม(USEPA) Greater Control
- 2518-2523 More Sophisticate Control
- 2523-2528 Reasonably Available Control Technology (ACT)
- 2528-2533 Best Available Control Tech (BACT)
- 2533-2538 Pollution Prevention Act. Lowest Achievable Emission Rate (LAER), Maximum Achievable Control Tech. (MACT)
- 2539 Environmental Management system (EMS)

สำหรับในประเทศไทยมีหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความสำคัญ สนับสนุน และเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับ LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการเผยแพร่ความรู้ด้าน LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมไทยตั้งแต่ปี 2540 เนื่องจาก LCA เป็นชุดมาตรฐานในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14000 โดยเริ่มต้นจากการประชุมสัมมนา หรือการประชุมเชิงปฏิบัติการผ่านกลุ่มของคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อม (Thailand Business Council for Sustainable Development: TBCSD) องค์การเอกชนต่างๆ สถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการ และกลุ่มนักวิชาการที่สนใจ ต่อมา LCA ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งปี 2545 ได้มีการรวมกลุ่มของผู้ที่สนใจด้าน LCA ของประเทศไทย เรียกว่า Thai LCA forum / network เพื่อเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลความรู้รวมถึงการเผยแพร่กิจกรรมต่างๆ ด้าน LCA ดำเนินการผ่านเว็บเพจ (<http://www.Thailca.net>) ปัจจุบันพบว่าส่วนใหญ่นักวิจัย และความรู้ด้าน LCA นั้นได้กระจายออกไปมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มนักวิจัย เช่น มหาวิทยาลัยต่างๆ สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (สสท.) ได้มีบทบาทสำคัญในการผลักดันองค์ความรู้ด้าน LCA สู่ภาคธุรกิจและสาธารณะ โดยผ่านกิจกรรม การอบรมสัมมนาและการทำโครงการวิจัยเรื่อง LCA และหน่วยงานราชการที่มีบทบาทสำคัญต่อการผลักดัน LCA ในประเทศไทย ได้แก่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA) โดยกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ปัจจุบันทั้ง 2 หน่วยงานได้ดำเนินกิจกรรมด้าน LCA ในเรื่องต่างๆ มากมาย

2. หลักการและเทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิต

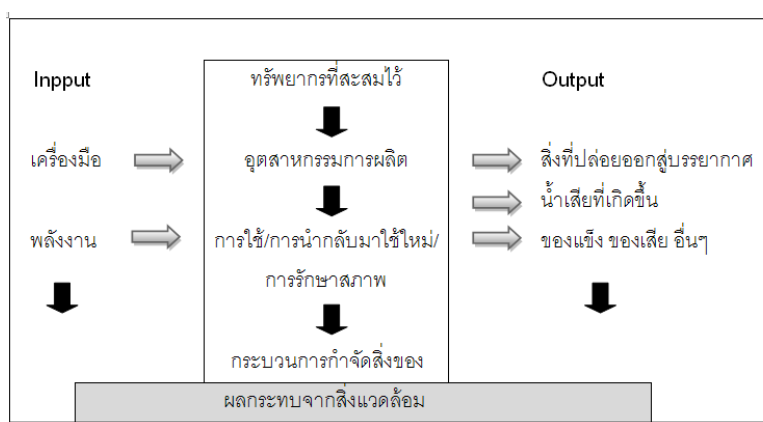
การประเมินวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มตั้งแต่การสกัดหรือได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการแปลงสภาพ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรืออาจกล่าวได้ว่า LCA จะมีการพิจารณาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้ รวมทั้งของเสียทั้งหมดที่มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด



รูปที่ 2-1

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization; ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร”



รูปที่ 2-2

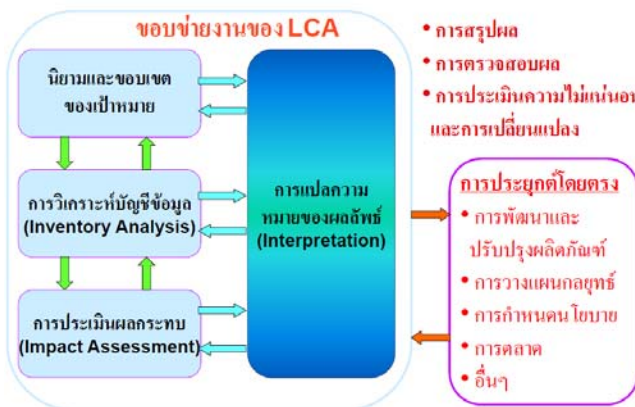
ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถนำมาใช้ศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือของกระบวนการผลิต หรือของการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (EcoDesign) เพื่อเตรียมความพร้อมในการรองรับมาตรการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมของกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรปและประเทศพัฒนาอื่นๆ ซึ่งกลุ่มอุตสาหกรรมที่จะได้รับผลกระทบจากมาตรการเหล่านี้เป็นกลุ่มแรกคือกลุ่มอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างของมาตรการต่างๆ ที่จะบังคับใช้ในอนาคตอันใกล้เช่น ระเบียบของสหภาพยุโรปว่าด้วยสารเคมี (Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals; REACH) ระเบียบ

ว่าด้วยการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment; RoHS) ระเบียบที่ให้ผู้ผลิตต้องรับผิดชอบในการเรียกคืนซากสินค้าที่หมดอายุ (Waste Electrical & Electronic Equipment; WEEE) และกฎหมายการแปรรูปและนำกลับมาใช้ใหม่ของผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนของประเทศญี่ปุ่น

3. ขั้นตอนในการศึกษาวัฏจักรชีวิต

เพื่อให้การดำเนินไปของ LCA เป็นไปในทิศทางเดียวกันและง่ายต่อการศึกษาก็ยึดขั้นตอนในการศึกษา LCA ดังรูปที่ 3-1 ตามโครงสร้างของ ISO 14040 (1997E) ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษา LCA ออกเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope definition) การทำบัญชีรายการ (Inventory analysis) การประเมินผลกระทบ (Impact assessment) และการแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)



รูปที่ 3-1 ขอบข่ายในการทำ LCA ตามหลัก ISO 14040

4. การประเมินวัฏจักรชีวิตของอุตสาหกรรมเหมืองแร่

4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตสำหรับการศึกษา

4.1.1 หลักการและวิธีการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

การศึกษา LCA ต้องทราบว่าอะไรคือสิ่งที่ จะทำการศึกษาและจะศึกษาอย่างไร ซึ่งผลของการศึกษาจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา ขอบเขตการศึกษา LCA จะสัมพันธ์กับความซับซ้อนของเป้าหมายการศึกษา และจะมีผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษา นั่นคือ หากการศึกษามีเป้าหมายที่ต้องการความน่าเชื่อถือของข้อมูลสูงหรือต้องการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ ขอบเขตการศึกษา ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการก็สูงไปด้วย

วัตถุประสงค์ของการกำหนดขอบเขตของการศึกษาคือ เพื่อบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่ เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของการศึกษา LCA ซึ่งควรประกอบไปด้วย

- การกำหนดสิ่งที่ จะศึกษาและหน่วยการทำงาน
- การกำหนดพารามิเตอร์ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- การบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายในการทำ LCA
- การกำหนดขอบเขตของเวลาในการดำเนินการ รวมทั้งเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในระบบผลิตภัณฑ์
- การปันส่วนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (allocation) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์

(1) หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function)

การกำหนดขอบเขตของการศึกษา LCA ควรระบุหน้าที่ และคุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน เนื่องจากผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ อาจมีหน้าที่หลายอย่าง ดังเช่น รองเท้ามีหน้าที่หลักคือใส่เพื่อป้องกันเท้า แต่ยังมีหน้าที่รองอื่น ๆ ที่เป็นปัจจัยสำคัญ เช่น ใส่เพื่อเป็นแฟชั่น ใส่เพื่อความเหมาะสมกับชุดหรือเพื่อเป็นทางการ หรือใส่แล้วสะดวกสบายกับผู้ใช้ ซึ่งหากต้องการศึกษา LCA ของผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ หน้าที่ที่ถูกเลือกมาเพื่อทำการศึกษา LCA จะต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา สำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่แล้ว ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จะมีหน้าที่ในการเป็นวัตถุดิบของการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง และป็นใช้วัสดุในการก่อสร้าง ขึ้นอยู่กับประเภทของหินหรือแร่ที่ต้องการทำการศึกษาชิ้นๆ

(2) หน่วยการทำงาน (Functional Unit)

หน่วยการทำงาน จะถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบการผลิต หน่วยการทำงานมีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียว เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบ ตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน สำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่ หน่วยการทำงานส่วนใหญ่จะเป็นการระบุโดยน้ำหนัก เช่น ตัน กิโลกรัม หรือเป็นพื้นที่ เช่น ตารางเมตร และปริมาตร เช่น ลูกบาศก์เมตร และกรณีที่ไม่สามารถประเมินปริมาณการผลิตที่ชัดเจนได้ หน่วยการทำงานอาจถูกกำหนดให้มีหน่วยเป็นปี เช่น 1 ปีการผลิต เป็นต้น

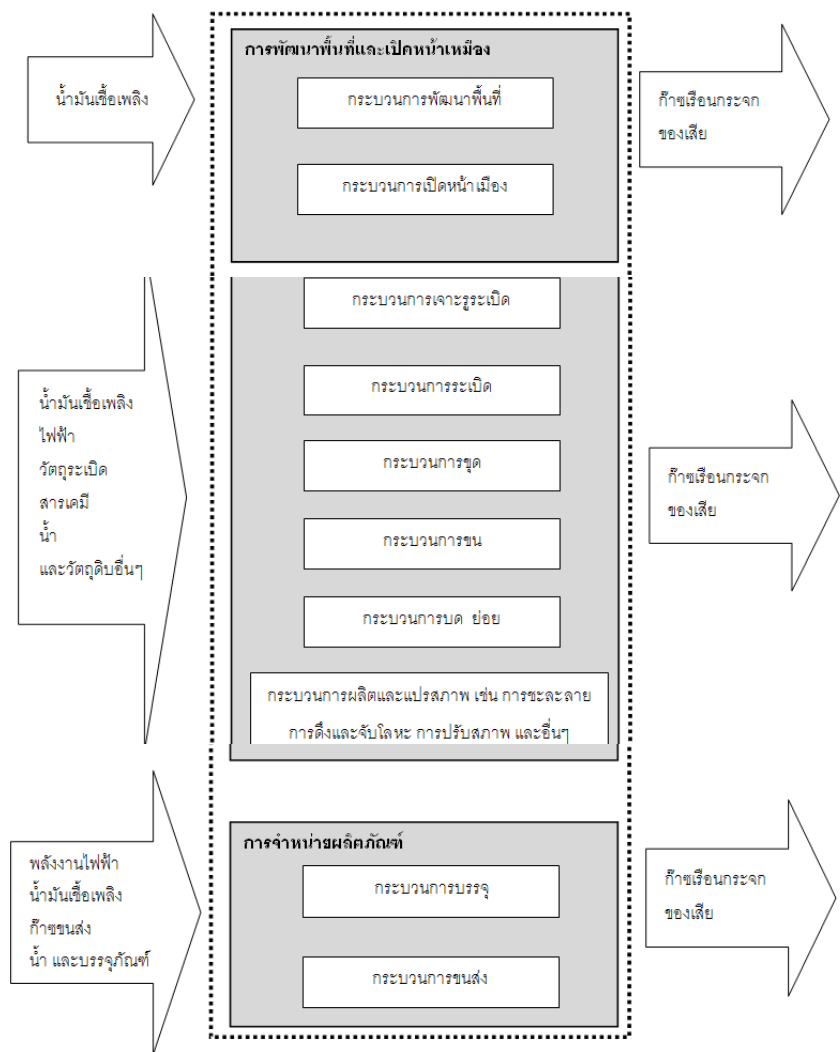
(3) ปริมาณอ้างอิง (Reference flow)

ในการกำหนดหน่วยการทำงานนั้นต้องมีการกำหนดปริมาณอ้างอิงด้วย เพื่อให้คำนวณหาสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ ในกรณีของเหมืองแร่มักจะกำหนดปริมาณอ้างอิงเป็นกิโลกรัมหรือตัน

(4) ขอบเขตของระบบ (System boundary)

ขอบเขตของระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์ (product system) กับสิ่งแวดล้อม หรือกับระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยระบบผลิตภัณฑ์ คือ ระบบที่ถูกจำลองขึ้นจากกระบวนการย่อย (unit process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกันโดยอาศัยการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่ต้องนำไปบำบัดของ แต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง ดังนั้นในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วย กระบวนการย่อย ผังการไหลของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อม เข้าสู่ระบบและผังการไหลออกของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

ขอบเขตระบบที่กำหนดขึ้นในการศึกษา LCA จะแสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการศึกษาระบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการย่อย รวมถึงสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องในการศึกษา ซึ่งในทางอุดมคติการทำ LCA จำเป็นต้องศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกทุกตัวที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตภัณฑ์ แต่ในความเป็นจริงเป็นไปได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่ ทรัพยากรและเวลาที่มีจำกัด ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตระบบจึงอาจมีการเลือกศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยการคัดเลือกว่าจะศึกษาข้อมูลใดหรือละเว้นไม่ศึกษาข้อมูลใดจำ เป็นต้องมีเกณฑ์ประกอบในการตัดสินใจที่ชัดเจนและอธิบายได้ สำหรับการกำหนดขอบเขตของการดำเนินงานในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ สรุปภาพรวมได้ดังรูปที่ 4-1

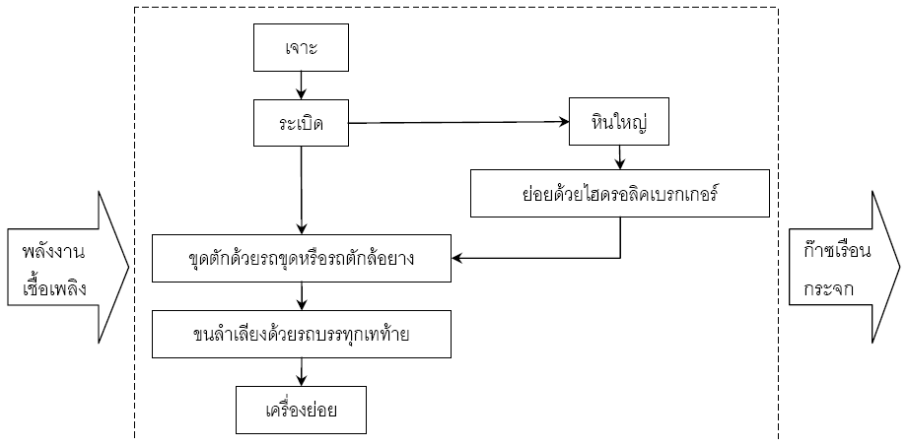


รูปที่ 4-1 ขอบเขตการศึกษา LCA ในภาพรวมของอุตสาหกรรมเหมืองแร่

ตัวอย่างขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตหรือกระบวนการย่อยที่ควรนำมาพิจารณาในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ อาทิเช่น สารขาเข้าและสารขาออกในกระบวนการหรือกระบวนการผลิตหลัก การขนส่งและการจัดจำหน่าย การผลิตและใช้เชื้อเพลิง ไฟฟ้าและความร้อน การใช้และการบำรุงรักษา การกำจัดทำลายของเสียจากกระบวนการ เป็นต้น นอกเหนือจากการจำลองระบบผลิตภัณฑ์แล้ว การจัดทำแผนภาพการไหลของกระบวนการ (process flow diagram) ภายในระบบผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งจำเป็นและจะเป็นประโยชน์ต่อการ ศึกษา LCA เนื่องจากทำให้การระบุสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์เป็นไปได้ อย่างครบถ้วน อันจะทำให้การวิเคราะห์ดุลมวลสารและพลังงาน ของแต่ละกระบวนการเป็นไปอย่างถูกต้อง ซึ่งการสร้างแผนภาพกระบวนการทำได้โดยเริ่มจากกระบวนการย่อยเริ่มต้น ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของกระบวนการรับวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง (intermediate products) แล้วจึงเขียนกระบวนการย่อยอื่น ๆ ที่ต่อเนื่องมากไปจนถึงกระบวนการย่อยสุดท้ายซึ่งอาจเป็นกระบวนการปลายทาง

4.1.2 กรณีตัวอย่างกำหนดขอบเขตการศึกษาของอุตสาหกรรมเหมืองแร่

ในการกำหนดขอบเขตของการศึกษา สำหรับแต่ละประเภทเหมือง ต้องทำการวิเคราะห์จากกิจกรรมที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย ขั้นตอนและกระบวนการผลิต ซึ่งอาจแตกต่างจากภาพรวมดังกล่าวในบางขั้นตอน ซึ่งส่งผลถึงปัจจัยเข้าและออกที่เกิดในแต่ละขั้นตอนการผลิตด้วย ดังตัวอย่างการกำหนดขอบเขตการศึกษา LCA ของโครงการเหมืองแร่ประเภทเหมืองหินปูน ของ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (แ่งคอย) จำกัด ที่ได้ทำการศึกษาไว้โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อ ปี พ.ศ. 2553 (ข้อมูลปี 2551) ซึ่งได้นำมาใช้เป็นตัวอย่างในคู่มือนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2
ตัวอย่างขอบเขตการศึกษา LCA
เหมืองหินปูน บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด

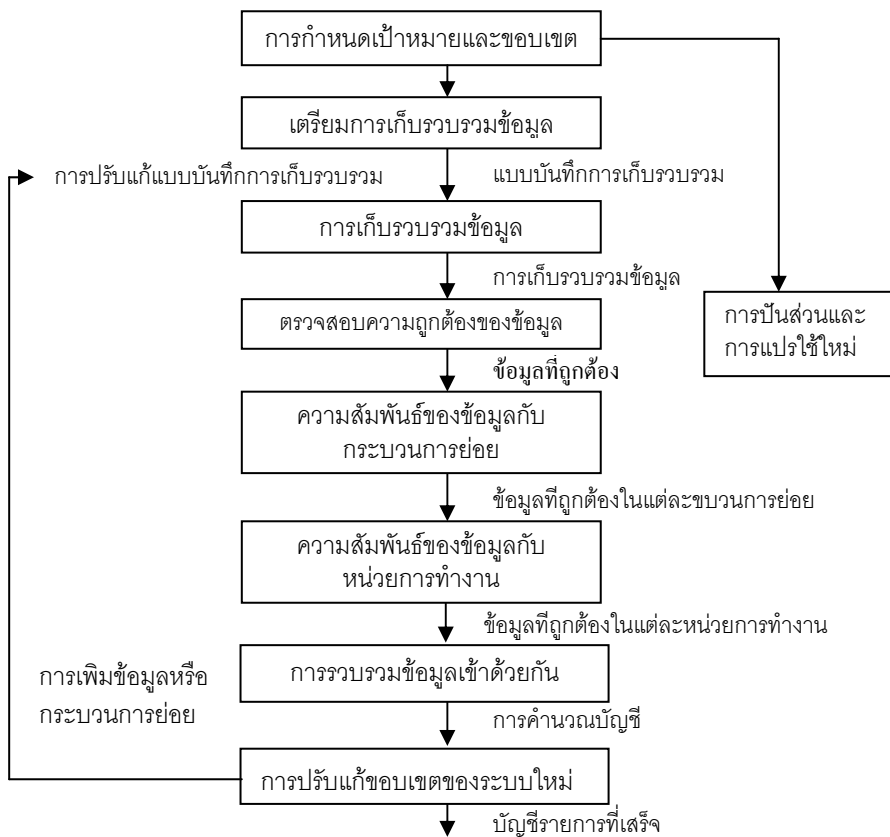
4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)

4.2.1 หลักการและวิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา นับเป็นการจัดเตรียมแผนการศึกษา LCA ขั้นตอนต่อไป ได้แก่ การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ โดย

พิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ หรือการปล่อยของเสียออกสู่ อากาศ น้ำ และดิน

การวิเคราะห์บัญชีรายการอาจต้องทำซ้ำไปมาในบางครั้ง เนื่องจากอาจมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม การเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูล หรือการเพิ่มประเด็นปัญหาเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายของการศึกษาที่ได้ตั้งไว้ นอกจากนี้ การเก็บข้อมูลในบัญชีรายการนั้นจะต้องทำให้สัมพันธ์กับทุกกระบวนการย่อยที่อยู่ในระบบ ซึ่งมีวิธีการเก็บข้อมูลแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเป้าหมายกระบวนการหรือระบบที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม การรวบรวมข้อมูลนั้นยากที่จะทำให้ครบถ้วนสมบูรณ์ทั้งหมด เนื่องจากต้องใช้เวลาและงบประมาณมาก การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมนั้นควรจะพิจารณาในประเด็นต่างๆ ได้แก่ การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณ ความถูกต้องของข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลกับระบบย่อย การกำหนดขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น (Refining system boundaries) และการปันส่วน (Allocation) ขั้นตอนต่างๆ ในการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 ขั้นตอนการจัดทำรายการบัญชีข้อมูล

(1) การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล เริ่มจาก

- การร่างผังการไหลที่แสดงถึงกระบวนการย่อย (unit process) ทั้งหมดและความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย
- การอธิบายรายละเอียดของแต่ละกระบวนการย่อยและหาความสัมพันธ์ของการจัดกลุ่มข้อมูลในแต่ละกระบวนการย่อยนั้นๆ
- กำหนดและระบุหน่วยที่ใช้ในการวัด
- อธิบายถึงเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลและเทคนิคในการคำนวณแต่ละกลุ่มข้อมูล เพื่อช่วยให้ทราบแหล่งที่มา และทำให้เข้าใจได้มากขึ้นว่ามีข้อมูลอะไรบ้างที่ต้องใช้เพื่อการศึกษา LCA ในครั้งนี้ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลอาจเริ่มจากรายงานต่างๆ และสิ่งสิ่งพิมพ์ที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอ้างอิงได้ และควรจะมีการรายงานที่มาของข้อมูลเป็นลายลักษณ์อักษร ในกรณีที่ต้องมีการจัดเตรียมข้อมูลเป็นพิเศษ หรือมีข้อมูลที่ผิดปกติแต่จำเป็นต้องใช้
- ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการป้อนวัตถุดิบเข้าไปในระบบเป็นสิ่งที่สำคัญ ข้อมูลที่จะเลือกใช้ ควรตรวจสอบย้อนกลับไปถึงวัตถุดิบได้ รวมทั้งต้องมีข้อมูลของสารที่ออกจากระบบย่อยทั้งหมดและการปล่อยมลพิษต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อมรวมการขนส่งในระบบด้วยเช่นกัน

(2) การเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อแบ่งกระบวนการทั้งระบบออกเป็นกระบวนการย่อยต่างๆ แล้ว จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยต้องแสดงรายละเอียดของสารขาเข้า (วัตถุดิบและพลังงาน) และสารขาออก (ผลิตภัณฑ์ ของเสีย มลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ น้ำ และดิน) ซึ่งความยากง่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูลเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษา และควรหลีกเลี่ยงการนับซ้ำ (double counting) ตัวอย่างแบบฟอร์มที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแสดงในรูปที่ 4-4

ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพของสารขาเข้าและสารขาออก จะต้องมีการกำหนดว่ากระบวนการนั้นเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ใดพร้อมทั้งกำหนดหน้าที่ และหน่วยการทำงานด้วย เมื่อกระบวนการย่อยมีสารขาเข้าเข้าไปหลายชนิด (เช่น มีทางน้ำเข้าหลายทางที่เข้าไปในโรงบำบัดน้ำ) หรือสารขาออกหลายชนิด จะต้องมีการขึ้นตอนการปันส่วน (allocation) มาเกี่ยวข้อง สำหรับพลังงานขาเข้าและขาออกก็ควรมีการกำหนดปริมาณในหน่วยของพลังงาน และบันทึกมวลหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงไว้ เมื่อพบว่าข้อมูลที่ไม่สามารถสืบหาได้โดยตรง ผู้วิเคราะห์อาจใช้แหล่งข้อมูลอื่นๆดังต่อไปนี้

- ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นหรือนักออกแบบกระบวนการ
- การคำนวณทางวิศวกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและองค์ประกอบทางเคมีของกระบวนการ
- การประมาณจากกระบวนการหรือวัตถุดิบที่คล้ายกัน
- สิ่งตีพิมพ์และฐานข้อมูลแหล่งอื่น

ข้อมูลที่รวบรวมจากแหล่งข้อมูลสาธารณะ ควรมีการอ้างอิงถึงแหล่งที่มาและบันทึกระยะเวลาในการเก็บข้อมูลด้วย ทั้งนี้ เพื่อเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงคุณภาพของข้อมูล ควรมีการชี้แจงเหตุผลถ้าข้อมูลใดไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเบื้องต้น รวมทั้งการระบุข้อมูลที่ผิดปกติหรือสูญหาย เปรียบเทียบอย่างเป็นลำดับขั้นตอนกับการหาผลลัพธ์โดยวิธีอื่น

(3) การคำนวณข้อมูล

หลังจากที่ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนการคำนวณซึ่งเป็นการสร้างผลลัพธ์เพื่อกำหนดบัญชีรายการของแต่ละกระบวนการย่อย และเป็นการกำหนดหน่วยการทำงานของระบบผลิตภัณฑ์ด้วย ในการกำหนดการไหลของสาร (elementary flows) ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตด้านไฟฟ้าควรคิดรวมการผลิตแบบผสมผสาน (production mix) เพื่อชี้ให้เห็นถึง

ความหลากหลายของเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปในระบบ ประสิทธิภาพของการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเปลี่ยนรูปจากเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้า (conversion) ในการคำนวณการทำบัญชีรายการที่เกี่ยวกับพลังงานนั้น ควรมีการพิจารณาถึงแหล่งที่มาและแสดงหน่วยของพลังงานไว้ด้วย ส่วนการใช้วัตถุดิบอาจจะคำนวณในหน่วยมวล ซึ่งปกติจะเป็นส่วนที่ป้อนเข้าไปในกระบวนการ (feedstock) ในกรณีที่วัตถุดิบส่วนที่ป้อนเข้าเป็นสารอินทรีย์ วิธีการคำนวณจะมีความซับซ้อนมากขึ้นเนื่องจากอินทรีย์วัตถุนั้นสามารถใช้เป็นวัตถุดิบหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงก็ได้ ซึ่งหากใช้เป็นเชื้อเพลิงนำไปเผาไหม้ให้เกิดพลังงาน จะมีการปล่อยก๊าซออกมาและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น น้ำมันและก๊าซธรรมชาติจัดเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถทดแทนได้ ในทางตรงกันข้าม หากใช้สารอินทรีย์นั้นเป็นวัตถุดิบป้อนเข้าในระบบดังกล่าวจะสามารถนำมาแปรใช้ใหม่ได้ ดังนั้น ในการคำนวณการใช้ทรัพยากรของผลิตภัณฑ์ใดๆ นั้น จะต้องคิดรวมถึงพลังงานที่ป้อนเข้าไปในระบบและความสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ด้วย สารขาเข้าและสารขาออกที่มีความสัมพันธ์กับวัตถุดิบที่เผาไหม้ได้ เช่น น้ำมัน ก๊าซ หรือถ่านหินสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานขาเข้าหรือขาออกได้โดยคู่กับค่าความร้อนในการเผาไหม้ ในกรณีนี้ควรมีการรายงานค่าความร้อนที่ใช้ไปด้วย สิ่งที่สำคัญในการคำนวณ ได้แก่ ความถูกต้องของข้อมูล การเชื่อมข้อมูลเข้ากับกระบวนการย่อย การเชื่อมข้อมูลกับหน่วยการทำงาน การปรับขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น

(4) การปันส่วน

ในการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ผู้วิเคราะห์สามารถเชื่อมกระบวนการย่อยๆ ที่อยู่ในระบบผลิตภัณฑ์โดยใช้ปริมาณอ้างอิงของวัตถุดิบหรือพลังงาน อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการย่อยภายในระบบที่กำลังศึกษา อาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป แต่มีผลิตภัณฑ์เพียงหนึ่งชนิดที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปแปรใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบใน

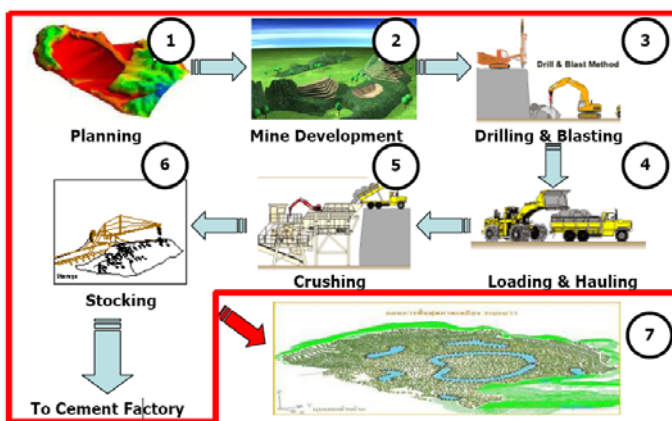
กระบวนการอื่นๆ หรือถูกทิ้งไป ดังนั้น ผู้วิเคราะห์ต้องทำการปันส่วนปริมาณ วัตถุดิบและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมเข้าไปใน ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

(5) ข้อจำกัดของการแปลผล LCI

ผลลัพธ์ที่ได้ของการทำ LCI สามารถนำไปแปลผลให้สอดคล้องกับ เป้าหมายและขอบเขตที่ทำการศึกษาได้ อย่างไรก็ตาม การแปลผลควรทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจาก LCI เป็นการกล่าวถึงข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก ไม่ใช่ประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับ ผลิตภัณฑ์อื่นได้ นอกจากนี้ ผลลัพธ์ของ LCI ยังขึ้นกับความแน่นอนและความ หลากหลายของข้อมูล ดังนั้น ในการแปลผลควรรวมการประเมินคุณภาพของ ข้อมูล และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลไว้ด้วย

4.2.2 กรณีตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเหมืองแร่

ในคู่มือนี้ ได้นำข้อมูลตัวอย่างของการผลิตหินปูนของบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด ตำบลทับกวาง/ท่าค้อ อำเภอกำแพงคอย จังหวัดสระบุรี ที่มี การผลิตหินปูนประมาณปีละ 7,200,000 ตัน (ข้อมูลการผลิตปี 2551) จาก การศึกษาของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2553) มาเพื่อ ประกอบการทำความเข้าใจ ตั้งแต่ในขั้นต้นเป็นการเตรียมพื้นที่ก่อนการผลิตแล้ว จะใช้รถบูลโดเซอร์ไถดินดินทำถนนภายในเหมืองการเตรียมปรับพื้นที่ หลังจากนั้นจึงเปิดเปลือกดินจนถึงชั้นแร่หินปูนและหินดินดานเพื่อเตรียมการผลิต การ ตัดถนนเพื่อการขนส่ง ในส่วนที่เป็นหินจำเป็นต้องมีการเจาะและระเบิดโดยรถ เจาะดินตะขานขนาดดอกเจาะ 3 นิ้ว เมื่อถึงบริเวณทำเหมืองจะทำการขยายหน้า เหมืองและทำชั้นเหมืองชั้นละประมาณ 12 เมตร



รูปที่ 4-5

ผังกระบวนการทำเหมืองของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด

ขั้นตอนการผลิตแร่ สำหรับการผลิตหินปูนและหินดินดานจากการระเบิด หน้าผาของชั้นบันไดเหมืองจะใช้เครื่องเจาะโรตารี ขนาดดอกเจาะ $6\frac{1}{4} - 7\frac{7}{8}$ นิ้ว ออกแบบที่ความสูงของชั้นบันไดเหมืองประมาณ 12 เมตร รูเจาะตั้งหรือเอียงจาก แนวตั้งไม่เกิน 15 องศา ลึกประมาณ 13-15 เมตร ระยะห่างหน้าผาหรือความหนาของการระเบิด (Burden) 4-6 เมตร ระยะห่างรูเจาะ (Spacing) 6-10 เมตร ระยะต่ำกว่าพื้น (Subdrill) 1-2 เมตร ระยะอัดปิดรู (Stemming) 4-6 เมตร จำนวนรูเจาะในการระเบิดประมาณ 40 รู 2-3 แถว ปริมาณหินแร่ต่อการระเบิดประมาณ 48,000 ตัน/ครั้งการระเบิด ปริมาณการใช้วัตถุระเบิดต่อรูประมาณ 130-300 กิโลกรัม/รู ใช้แท่งดินระเบิดสูงน้อยกว่าร้อยละ 10 ของแวนโฟโดยน้ำหนัก ที่เหลือเป็นแวนโฟ (ANFO) ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างปุ๋ยแอมโมเนียกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 94 : 6 โดยน้ำหนักวิธีการใช้วัตถุระเบิดเริ่มจากเสียบแท่งจันทะถ่วง มิลลิวินาทีชนิดไม่ใช่ไฟฟ้า (Non-Electric Detonator) ลงในแท่งดินระเบิดไว้ใน

บริเวณก้นรูเจาะ จากนั้นจึงอัดแวนโฟจนหมดแล้วอัดปิดรูระเบิดด้วยฝุ่นเจาะ ในแต่ละหลุมของแต่ละแถวจะวางเบอร์แก้วแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมเพื่อควบคุมหินปลิว การสั่นสะเทือนและเสียงดังจากการระเบิด กรณีที่มีหินก้อนหลังจากการระเบิดที่มีขนาดโตกว่า 1 ลบ.ม. โดยประมาณจะมีการทุบให้มีขนาดเล็กด้วยรถทุบระบบ HYD เป็นหลัก หรือในกรณีที่หินก้อนมีขนาดโตมากอาจมีการเจาะระเบิดโดยรถเจาะดินตะขาบขนาดดอกเจาะ 3 นิ้ว ซึ่งจะพิจารณาตามความเหมาะสม เพื่อย่อยหินให้มีขนาดเล็กลงตามความเหมาะสม จากนั้นจะใช้รถตักเอาแร่ใส่รถบรรทุกทำขนส่งแร่ไปยังโรงงานปูนซีเมนต์ บัญชีการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตหินปูน แสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4-1 บัญชีการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการผลิตหินปูน

กระบวนการ	INPUT		OUTPUT	
	เครื่องจักร/เครื่องมือ	วัสดุที่ใช้/พลังงานที่ใช้	ของเสียที่เกิดขึ้น	ผลิตภัณฑ์ที่ได้
กระบวนการพัฒนาพื้นที่	รถดันดินตะขาบ เครื่องเจาะดินตะขาบ	น้ำมัน	มลพิษจากการใช้น้ำมัน	-
การเจาะรูระเบิด	รถเจาะรูระเบิด	น้ำมัน	มลพิษจากการใช้น้ำมัน	-
กระบวนการระเบิด	-	น้ำมัน สารเคมี วัตถุระเบิด สารเคมี	มลพิษจากการใช้สารเคมี	-
กระบวนการขุดขน	รถตัก รถบรรทุก	น้ำมัน	มลพิษจากการใช้น้ำมัน	หินปูน
กระบวนการบด	เครื่องบด	พลังงานไฟฟ้า	มลพิษจากการใช้ไฟฟ้า	ผงหินปูน

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณพลังงานเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า และสารวัตถุระเบิดที่เป็นข้อมูลสารเข้า พบว่า มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลในกระบวนการรวมทั้งสิ้น 3,134,021 ลิตร โดยใช้ในกระบวนการขุดขนมากที่สุดคือ

2,321,748 ลิตร ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่ามีการใช้เพียงกระบวนการบดโดยใช้รวมทั้งสิ้น 8,705,302.6 kWh และใช้วัตถุระเบิด ANFO ปริมาณ 1,396,050 กิโลกรัม เมื่อรวบรวมข้อมูลบัญชีสารเข้าที่ได้รับจากเหมือง (ตัวอย่างข้อมูลปี 2551) แสดงได้ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ตัวอย่างข้อมูลบัญชีสารเข้า

บัญชีรายการ สารเข้า	สาร	ปริมาณ/หน่วย	หน่วย
กระบวนการพัฒนาพื้นที่	น้ำมันดีเซล	328,978	ลิตร/ปี
การเจาะระเบิด	น้ำมันดีเซล	483,295	ลิตร/ปี
กระบวนการระเบิด	วัตถุระเบิด ชนิด ANFO	1,396,050	กิโลกรัม/ปี
กระบวนการขุดขน	น้ำมันดีเซล	2,321,748	ลิตร/ปี
กระบวนการบด	พลังงานไฟฟ้า	8,705,302.60	kWh/ปี

การจัดทำบัญชีรายการทำให้ทราบถึงข้อมูลในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของหินปูน โดยแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่เข้าสู่กระบวนการ ซึ่งจะแสดงทั้งชนิดและปริมาณของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของพลังงานและปริมาณเชื้อเพลิง รวมถึงปริมาณและชนิดของสิ่งทีออกจากกระบวนการ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ หรือก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการเท่านั้น โดยข้อมูลที่จัดทำเป็นข้อมูลที่ได้จากทางเหมือง สำหรับข้อมูลทั้งหมดที่มีความสำคัญต่อการศึกษานี้ในครั้งนี้สามารถจัดทำบัญชีรายการตามการจำแนกกระบวนการได้ จากข้อมูลสารขาเข้าในการผลิตหินปูนเพื่อเข้าสู่โรงงานปูนซีเมนต์ที่สำรวจได้จากเหมืองนำมาวิเคราะห์สารขาออกโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro โดยแสดงข้อมูลได้ดังตารางที่ 4-3

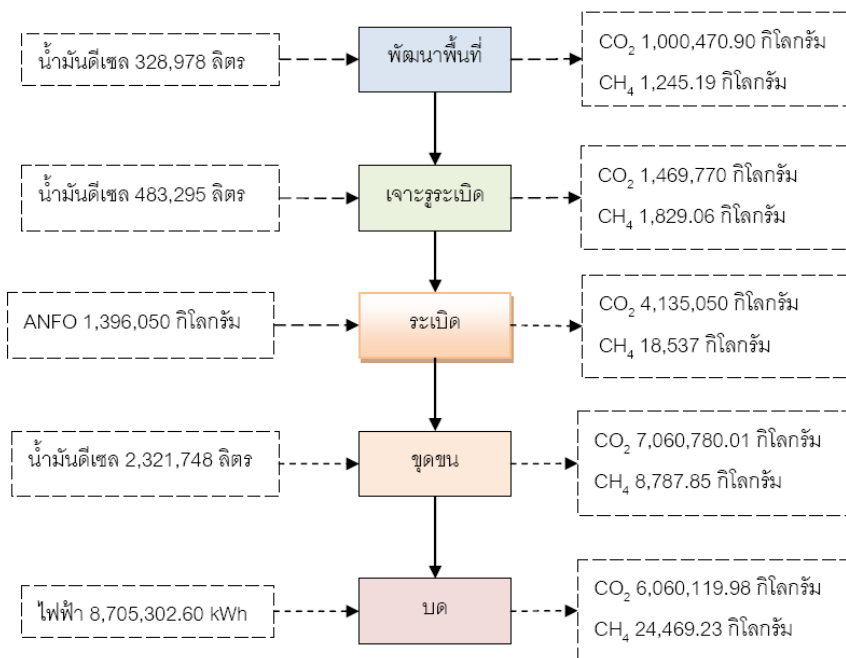
ตารางที่ 4-3

ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณสารขาเข้า-ออก
ตลอดวัฏจักรเหมืองหินปูน บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด

บัญชีรายการ สารเข้า-ออก	Input/ Output	สาร	ปริมาณ/หน่วย	หน่วย	วิธีการเก็บ ข้อมูล
กระบวนการ พัฒนาพื้นที่	Input	น้ำมันดีเซล	328,978	ลิตร/ปี	ข้อมูลจากเหมือง
	Output	CO ₂	1,000,470.90	กิโลกรัม	SimaPro 7.1
		CH ₄	1,245.19	กิโลกรัม	SimaPro 7.1
การเจาะ ระเบิด	Input	น้ำมันดีเซล	483,295	ลิตร/ปี	ข้อมูลจากเหมือง
	Output	CO ₂	1,469,770	กิโลกรัม	SimaPro 7.1
		CH ₄	1,829	กิโลกรัม	SimaPro 7.1
กระบวนการ ระเบิด	Input	วัตถุระเบิด ชนิด ANFO	1,396,050	กิโลกรัม/ปี	ข้อมูลจากเหมือง
	Output	CO ₂	4,135,050	กิโลกรัม	SimaPro 7.1
		CH ₄	18,537	กิโลกรัม	SimaPro 7.1
กระบวนการ ชุดขน	Input	น้ำมันดีเซล	2,321,748	ลิตร/ปี	ข้อมูลจากเหมือง
	Output	CO ₂	7,060,780.01	กิโลกรัม	SimaPro 7.1
		CH ₄	8,787.85	กิโลกรัม	SimaPro 7.1
กระบวนการ บด	Input	พลังงาน ไฟฟ้า	8,705,302.60	kWh/ปี	ข้อมูลจากเหมือง
	Output	CO ₂	6,060,119.98	กิโลกรัม	SimaPro 7.1
		CH ₄	24,469.23	กิโลกรัม	SimaPro 7.1

จากผลการคำนวณดังกล่าวนำมาจัดทำผังแสดงสารเข้าและออกได้ดัง

รูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 บัญชีรายการรวมปริมาณสารเข้า-ออกที่ใช้ตลอดวัฏจักร
เหมืองหินปูน บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด

4.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

4.3.1 หลักการและวิธีการประเมินผลกระทบ

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) จัดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคในการจัดการข้อมูลด้านคุณภาพและปริมาณ เพื่อนำมาจำแนกและประเมินผลของสภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากองค์ประกอบของบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบนั้นมีขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ประกอบด้วย การจำแนกข้อมูลเข้าไปอยู่ในกลุ่มของผลกระทบ (Classification) และการทำ Characterization และขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม เช่น การเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียหรือสารเข้าและขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการจำแนกจัดกลุ่มและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลไว้ใช้ในการแปลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ต่อไป

(1) ลักษณะสำคัญ

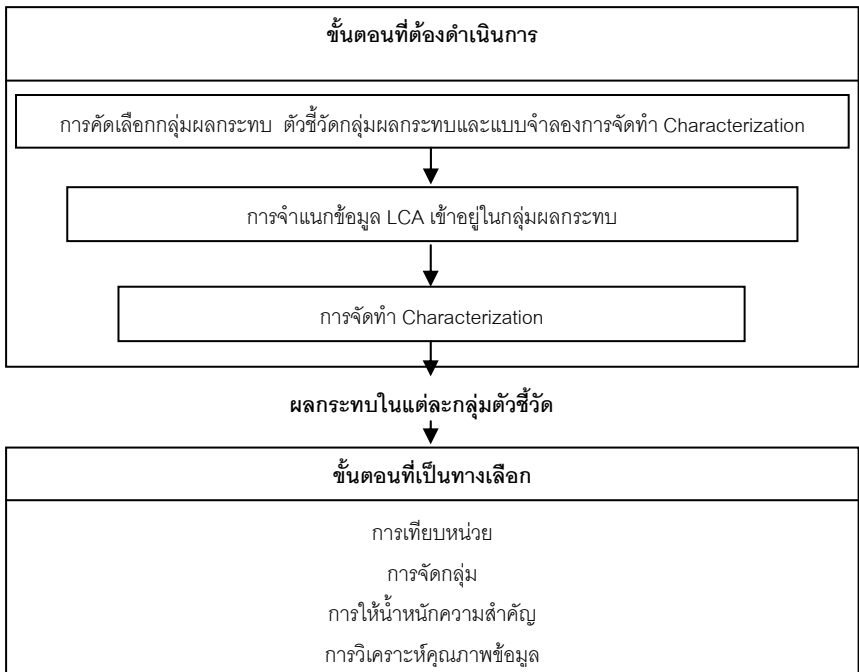
การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต มีลักษณะสำคัญดังนี้

- เป็นการมองประเด็นด้านการใช้ทรัพยากรและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์หนึ่งหรือหลายระบบอย่างเป็นระบบและมีมุมมองกว้าง
- เป็นการนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาทำการจัดกลุ่มผลกระทบและคัดเลือกตัวชี้วัดของกลุ่ม จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณเพื่อให้ทราบว่า กลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญหรือก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงที่สุดและเกิดจากกระบวนการหรือขั้นตอนใดในระบบผลิตภัณฑ์

- มีความแตกต่างจากเทคนิคอื่น ๆ เช่น การประเมินผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม (EPE) การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EIA) และการประเมินความเสี่ยง (RA) เนื่องจากการทำ LCIA จะเกี่ยวพันโดยตรงกับหน่วยการทำงาน ซึ่งในการทำ LCIA อาจนำข้อมูลที่ได้จากเทคนิคอื่นๆ มาประกอบการจัดทำ ได้

(2) ขั้นตอนการทำ LCIA

ตามหลักการที่กำหนดในมาตรฐาน 14042 การทำ LCIA แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 4-7 ขั้นตอนการจัดทำ LCIA ตามมาตรฐาน ISO 14042

ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ได้แก่

- การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (impact categories) ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (category indicators) และแบบจำลองการทำ Characterization (characterization models)
- การจำแนกข้อมูล LCI เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (classification)
- การทำ characterization

ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่

- การเทียบหน่วย (normalization)
- การจัดกลุ่ม (grouping)
- การให้น้ำหนักความสำคัญ (weighting)
- การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (data quality analysis)

(3) รายละเอียดขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ

(3.1) การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (impact categories)

ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ขั้นตอนแรกที่ต้องการดำเนินการคือการจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้างและเกิดขึ้นในกระบวนการใด โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาใช้วิเคราะห์และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดอย่างเป็นหมวดหมู่สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญและนยมนำมาใช้ในการจำแนกเพื่อประเมินผลกระทบ ได้แก่

- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change)
- การทำให้โลกร้อน (global warming)
- การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (ozone depletion)
- การสิ้นเปลืองทรัพยากร (resource depletion)
- การสิ้นเปลืองพลังงาน (energy depletion)

- การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี (photochemical oxidation)
- การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (acidification)
- การก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- การก่อให้เกิดความเป็นพิษในมหาสมุทร (aquatic ecotoxicity)
- การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (nutrification)

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดทำ LCIA สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ผลกระทบชั้นกลาง (midpoint category) และผลกระทบปลายทาง (endpoint category) ตัวอย่างเช่น จากผลการจัดทำ LCI พบว่า ระบบผลิตภัณฑ์มีการปล่อยสารประกอบคลอรีนและฮาโลน ออกจากกระบวนการผลิต ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิด เมื่อระเหยขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศ ส่งผลทำให้โอโซน ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันรังสีอุลตราไวโอเล็ตที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตถูกทำลาย เกิดปรากฏการณ์ของโหวของโอโซน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นนี้เรียกว่า “ผลกระทบชั้นกลาง” ผลจากการที่โอโซนถูกทำลาย รังสีอุลตราไวโอเล็ตจึงเข้ามาสู่โลกได้มากขึ้นส่งผลอันตรายต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ทำให้ผิวหนังไหม้ ตาพร่า ตาเป็นต้อ ผิวหนังเหี่ยวย่นก่อนวัย มะเร็งผิวหนัง พิษผลทางการเกษตรลดลง ปริมาณปลาและสัตว์ทะเลลดลง เป็นต้น ผลกระทบในขั้นตอนนี้เรียกว่า “ผลกระทบปลายทาง” ผลกระทบปลายทางนี้ อาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศและผลกระทบต่อการคงเหลือของทรัพยากร

(3.2) การคัดเลือกตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (category indicators)

หลังจากที่ได้คัดเลือกประเภทกลุ่มผลกระทบเพื่อต้องการศึกษาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การคัดเลือกตัวชี้วัดของแต่ละกลุ่มผลกระทบ เนื่องจากแต่ละกลุ่มผลกระทบจะมีตัวชี้วัดผลกระทบได้หลายตัว ดังนั้นเพื่อให้สามารถคัดเลือกตัวชี้วัดได้อย่างเหมาะสมจึงจำเป็นต้องทำการพิจารณาผลกระทบและตัวชี้วัดผลกระทบ

ปลายทาง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าผลกระทบสำคัญที่มุ่งหวังให้เกิดการแก้ไขปรับปรุงในอนาคต โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาคือความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา LCA และสอดคล้องกับประเภทของผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้แล้ว

ตารางที่ 4-4 ตัวอย่างการกำหนดตัวชี้วัดของแต่ละกลุ่มผลกระทบ

กลุ่มผลกระทบ	ตัวชี้วัด	ผลของตัวชี้วัด
การทำให้โลกร้อน	กำลังการแผ่รังสีอินฟราเรด(W/M^2)	Kg of CO_2 equivalent
การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ	การลดลงของการทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratospheric ozone breakdown) (WMO,1992,1995)	Kg of CFC_{11} equivalent
การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ	Deposition+ Acidification Critical Load (HuiJbregts,1999)	Kg of SO_2 equivalent
การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี	Topospheric Ozone formation (Derwent et al.,1998;Jenkins & Hayman), 1999	Kg ozone/kg equivalent
การก่อให้เกิดสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	Predicated Environmental Concentration+ Prediction No-Effect Concentration : PEC/ADI (HuiJbregts,1999)	Kg1,4 – dichlorobenzene equivalent
การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี	Deposition+ N/P equivalents in biomass (HuiJbregts,1999)	Kg of PO_4 equivalent

(3.3) การคัดเลือกแบบจำลอง characterization

แบบจำลองการจัดทำ Characterization เป็นแบบจำลองสำเร็จรูป สำหรับใช้ในการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลข ซึ่งบอกถึงค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจุบันมีแบบจำลอง สำหรับให้เลือกใช้มากมายที่ได้กำหนดค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ ของสารต่างๆ ซึ่งคำนวณมาจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ค่า ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (potential environment impact) ของ สารต่างๆ ในแต่ละแบบจำลองอาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้น การคัดเลือก แบบจำลองจึงต้องพิจารณาถึงการยอมรับและความแพร่หลายของแบบจำลองนั้น เช่น ในการศึกษาผลกระทบของระบบผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะ อากาศ แบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ IPCC Model ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Intergovernmental Panel on Climate Change เป็นต้น แบบจำลองการจัดทำ Characterization ต้องมีองค์ประกอบสำคัญของแต่ละกลุ่มผลกระทบ ดังนี้

- ระบุผลกระทบปลายทาง
- ระบุตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบเพื่อนำไปสู่ผลกระทบปลายทางได้
- ระบุประเภทผลกระทบของข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI ได้อย่าง เหมาะสมเพื่อนำไปสู่การคัดเลือกตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบและกลุ่ม ผลกระทบปลายทางได้อย่างสมเหตุสมผล
- ระบุแนวคิดพื้นฐานของแบบจำลองและค่าแฟกเตอร์ Equivalent

ซึ่งการแสดงตัวอย่างแบบจำลองการจัดทำ Characterization แบ่งตาม กลุ่มผลกระทบต่างๆ ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ตัวอย่างแบบจำลอง characterization

ประเภทผลกระทบ	แบบจำลอง characterization
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	● IPCC model for Radiative Forcing ● The Calvin-Benson model for Carbon Sequestration C sinks
การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ	● World Meteorological Organization (WMO)
การก่อให้เกิดความเป็นกรด	● RAINS model ● SE model
การก่อให้เกิดสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	● USES 2.0 model
การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี	● UNECE Trajectory model

(3.4) การจำแนกข้อมูล LCI เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (classification)

หลังจากที่มีการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ และแบบจำลองในการทำ characterization แล้ว ในขั้นนี้ ผู้วิเคราะห์ต้องนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการ LCI มาจำแนกตามกลุ่มผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้อย่างเป็นทางการโดยในกลุ่มผลกระทบหนึ่งๆ อาจมีสารขาเข้าหรือสารขาออกมากกว่า 1 ตัวที่เป็นปัจจัยสำคัญก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างการจำแนกข้อมูล LCI เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6

ตัวอย่างการทำ LCIA ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ประเภทผลกระทบ	การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
ผลจากการจัดทำบัญชีรายการ (LCI)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สภาวะแวดล้อม
แบบจำลองการจัดทำ Characterization	แบบจำลอง IPCC ซึ่งพัฒนาโดย Intergovernmental Panel on Climate Change ซึ่งกำหนดค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (GWP) ของก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ (Houghton et al., 1984, 1995)
ตัวชี้วัด	การเกิดรังสีอินฟราเรด (Infrared radiate forcing) (W/M2)
Characterization factor	ศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนในระยะเวลา 100 ปี (GWP 100) ของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ (kg CO ₂ eq./kg emission)
ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวชี้วัด	กิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (kg of CO ₂ -equivalents)
ตัวชี้วัดปลายทาง	การหายไปของจำนวนปีชีวิต (Years of life lose) แนวปะการัง พืชพรรณ buildings
ความเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม	การปล่อยรังสีอินฟราเรด (Infrared radiate forcing) เป็นตัวนำ (proxy) ที่ส่งผลกระทบต่อบรรยากาศ ทั้งนี้ขึ้นกับการดูดซับความร้อนในบรรยากาศแบบบูรณาการ ซึ่งเกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการแพร่กระจายของการดูดซับความร้อนตามกาลเวลา

(3.5) การทำ characterization

การทำ Characterization เป็นขั้นตอนการนำ ข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม มาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับสารพื้นฐาน โดยดูจากค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (potential environmental impact) ซึ่งคำนวณจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคนิคกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ ดังนั้น ในการหาผลกระทบของก๊าซ CO_2 , CH_4 และ N_2O ที่ปล่อยจากระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา จึงต้องนำเอาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมาคูณกับค่าแฟกเตอร์ของผลกระทบเพื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ CO_2 ที่นิยมใช้อ้างอิงมาจาก Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) โดยค่าแฟกเตอร์มีความรุนแรงเป็นจำนวนเท่าของปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) ในรอบ 100 ปี

ก๊าซ	GWP	ก๊าซ	GWP
Carbon dioxide (CO_2)	1	HFC-227ea	2,900
Methane (CH_4)	21	HFC-236fa	6,300
Nitrous oxide (N_2O)	310	HFC-431mee	1,300
HFC-23	11,700	CF_4	6,500
HFC-32	2,800	C_2F_6	9,200
HFC-125	1,300	C_4F_{10}	7,000
HFC-134a	3,800	C_6F_{14}	7,400
HFC-143a	140	SF_6	23,900
HFC-152a	2,900		

4.3.2 กรณีตัวอย่างของการประเมินผลกระทบจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่

กรณีตัวอย่างการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้วิธี IPCC2007 GWP 100a จากการผลิตหินปูนของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (แกลง) จำกัด ซึ่งมีการเกิดผลกระทบอย่างต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากก๊าซเรือนกระจกที่จะสามารถสลายไปได้ในระยะเวลา 100 ปี ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โลกร้อนขึ้นจากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียหรือสารฯเข้าและฯออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับประเด็นหลักๆ คือ การนิยามประเภท (Category definition) การจำแนกประเภท (Classification) การกำหนดบทบาท (Characterization) และการให้น้ำหนักแต่ละผลกระทบแต่ละประเภท (Weighting) จากการจัดทำบัญชีรายการข้างต้น และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นพบเพียง 2 ชนิด คือ CO_2 และ CH_4 โดยมีสาเหตุการเกิดก๊าซทั้งสองชนิด ดังนี้

1. คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนมากมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ และเป็นก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่งที่เป็นต้นเหตุหลักของภาวะโลกร้อน เนื่องจากมีอัตราการเพิ่มขึ้นในบรรยากาศสูงมาก

2. มีเทน (CH_4) เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ และเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนประมาณ 21 เท่าของ CO_2

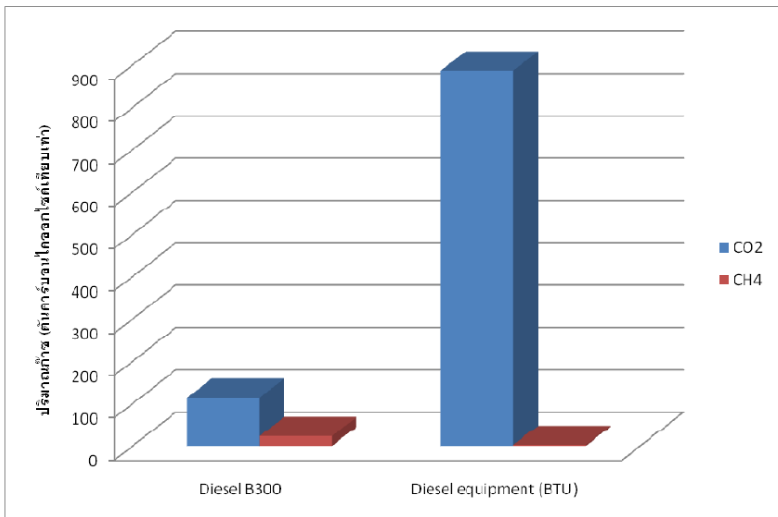
การคำนวณต่อไปนี้เป็นกรณีตัวอย่างที่อ้างอิงข้อมูลการสำรวจปริมาณสารฯเข้าจากรูปที่ 4-6

1) ผลกระทบจากกระบวนการพัฒนาพื้นที่

ในกระบวนการพัฒนาพื้นที่นั้นทางเหมืองได้ใช้เครื่องเจาะดินตะขาบ 2 คัน รถดันดินตะขาบ 2 คัน และรถเกรดเดอร์ 1 คัน ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ผลกระทบคือ ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องจักรต่างๆ รวม 328,978 ลิตร และการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลขณะใช้งาน จากการวิเคราะห์พบว่าในขั้นตอนการพัฒนาพื้นที่ การเผาไหม้น้ำมันดีเซลปลดปล่อย CO₂ มากที่สุด รองลงมาคือ จากการใช้น้ำมันดีเซล (Diesel B300)

หน่วย: ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Ton CO₂ eq.)

	Diesel B300	Diesel equipment (BTU)	รวม
CO ₂	113.94	886.53	1,000.47
CH ₄	23.35	2.80	26.15



รูปที่ 4-8

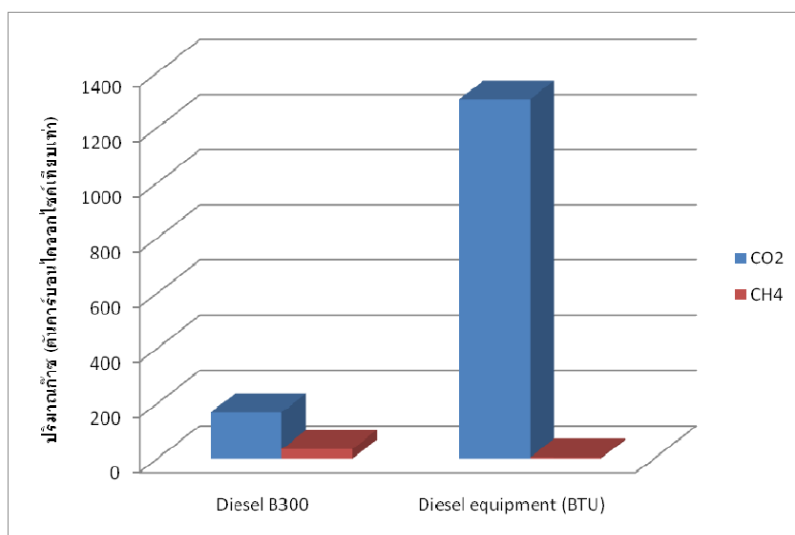
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้และการเผาไหม้น้ำมันดีเซล
ในกระบวนการพัฒนาพื้นที่

2) ผลกระทบจากกระบวนการเจาะรูระเบิด

ในกระบวนการเจาะรูระเบิดนั้นมีการใช้น้ำมันดีเซล 483,295 ลิตร สำหรับรถเจาะรูระเบิด จากการวิเคราะห์พบว่า การเผาไหม้น้ำมันดีเซลปลดปล่อย CO₂ มากที่สุด รองลงมาคือ จากการใช้น้ำมันดีเซล

หน่วย: ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Ton CO₂ eq.)

	Diesel B300	Diesel equipment (BTU)	รวม
CO ₂	167.38	1,302.39	1,469.77
CH ₄	34.30	4.11	38.41



รูปที่ 4-9

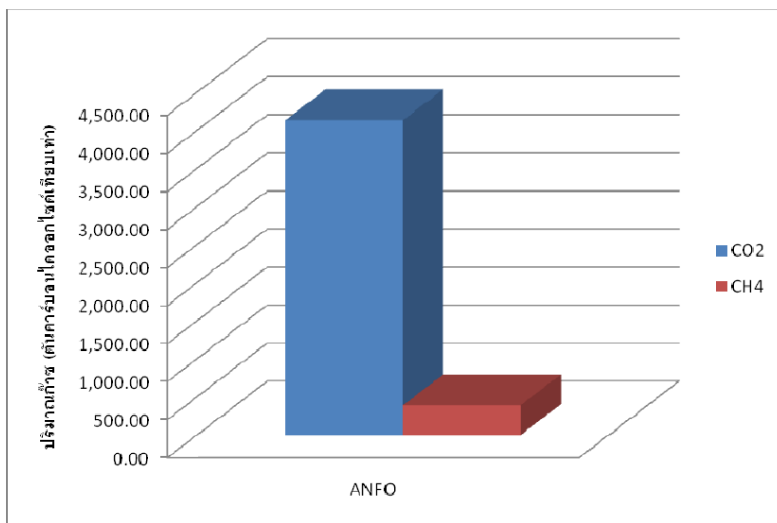
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้และการเผาไหม้น้ำมันดีเซล
ในกระบวนการเจาะรูระเบิด

3) ผลกระทบจากกระบวนการระเบิด

ในกระบวนการระเบิดนั้นจะมีการใช้สารเคมีเข้ามาช่วยในการระเบิด โดย ANFO เป็นวัตถุระเบิดที่เกิดจากการผสมระหว่างปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรทและน้ำมันดีเซล มีสัดส่วน 94% และ 6% ตามลำดับ มีการใช้รวม 1,396,050 กิโลกรัม เมื่อ ANFO เกิดการระเบิดจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 54.74 กรัมต่อกิโลกรัม

หน่วย: ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Ton CO₂ eq.)

	ANFO	รวม
CO ₂	4,135.05	4,135.05
CH ₄	389.28	389.28



รูปที่ 4-10

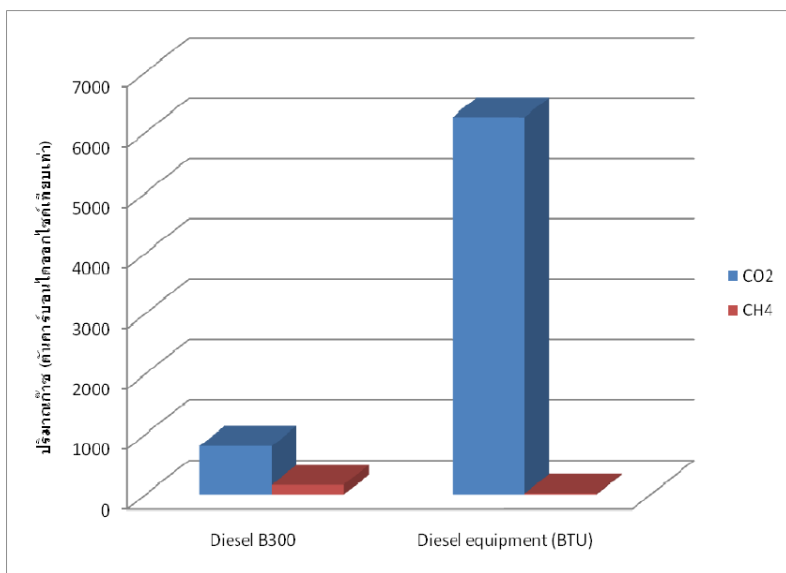
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้วัตถุระเบิดชนิด ANFO
ในกระบวนการระเบิด

4) ผลกระทบจากกระบวนการชุดขน

ในกระบวนการชุดขนของเหมืองหินปูนส่วนใหญ่ประกอบด้วยการใช้รถตักและรถบรรทุก ซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล 2,321,748 ลิตร ดังนั้นกระบวนการนี้สามารถใช้ข้อมูลของน้ำมันดีเซล เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบได้ จากการวิเคราะห์พบว่า การเผาไหม้น้ำมันดีเซลปลดปล่อย CO₂ มากที่สุด รองลงมาคือจากการใช้น้ำมันดีเซล

หน่วย: ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Ton CO₂ eq.)

	Diesel B300	Diesel equipment (BTU)	รวม
CO ₂	804.12	6,256.66	7,060.78
CH ₄	164.78	19.76	184.54



รูปที่ 4-11

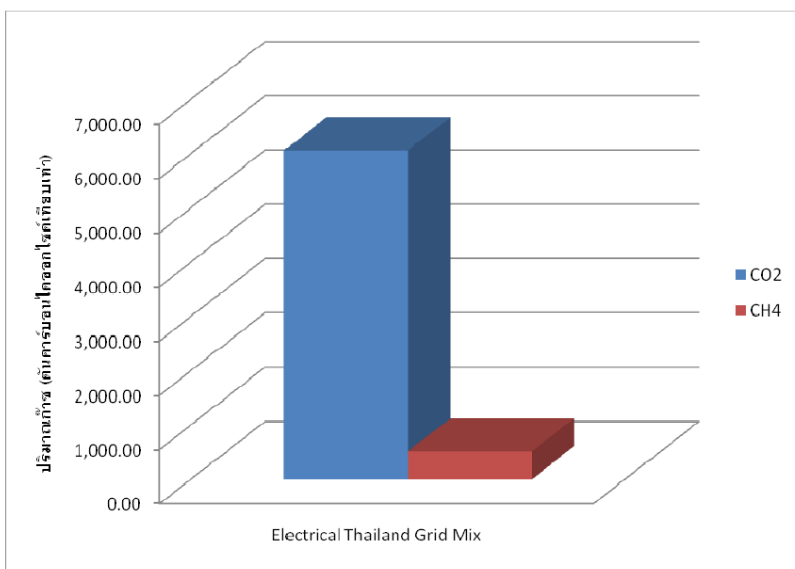
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้และการเผาไหม้น้ำมันดีเซล
ในกระบวนการชุดขน

5) ผลกระทบจากกระบวนการบด

ในกระบวนการบดของเหมืองหินปูนประกอบด้วยการใช้เครื่องบดจากโรงโม่หินทั้ง 4 โรง เพื่อบดย่อยแร่ให้มีขนาดเล็กมากที่สุด ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องบดต่างๆ 8,705,302.60 kWh ดังนั้น กระบวนการนี้สามารถใช้ข้อมูลของพลังงานไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบได้จากการวิเคราะห์พบว่าการใช้ไฟฟ้าจะส่งผลให้เกิดการปลดปล่อย CO₂ และ CH₄ ในปริมาณที่สูง

หน่วย: ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Ton CO₂ eq.)

	Electrical Thailand Grid Mix	รวม
CO ₂	6,060.12	6,060.12
CH ₄	513.85	513.85



รูปที่ 4-12

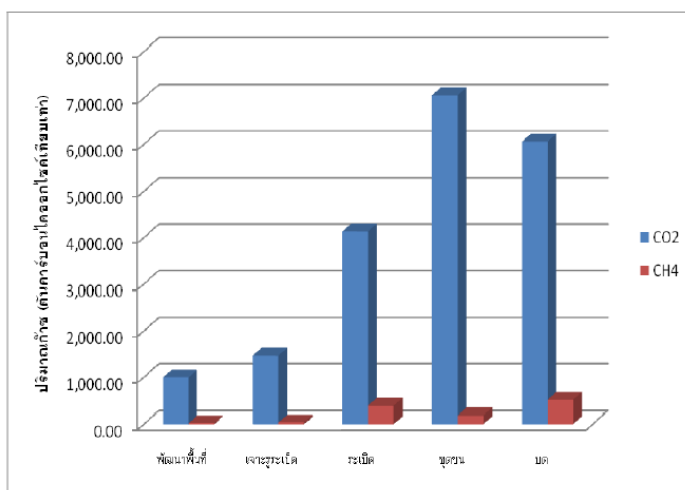
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการบด

6) ผลกระทบรวมที่เกิดจากกระบวนการทำเหมืองหินปูน

ในการทำเหมืองหินปูนต้องประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ โดยแต่ละกระบวนการจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน หรือด้านอื่นๆ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลในกระบวนการต่างๆ ที่ผ่านมาข้างต้นแล้ว นำมาเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ โดยที่กระบวนการชุดชนมีการปลดปล่อย CO₂ มากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการบด กระบวนการระเบิด กระบวนการเจาะระเบิด และกระบวนการพัฒนาพื้นที่ที่มีการปลดปล่อย CO₂ น้อยที่สุด

หน่วย: ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Ton CO₂ eq.)

	พัฒนาพื้นที่	เจาะระเบิด	ระเบิด	ชุดชน	บด	รวม
CO ₂	1,000.47	1,469.77	4,135.05	7,060.78	6,060.12	19,726.19
CH ₄	26.15	38.41	389.28	184.54	513.85	1,152.23
GHG	1,026.62	1,508.18	4,524.33	7,245.32	6,573.97	20,878.42



รูปที่ 4-13

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยออกจากแต่ละกระบวนการ
ในการผลิตหินปูนของบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด

4.4 การแปลผล (Interpretation)

ขั้นการแปลผลเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้รับจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA รวมถึงจัดทำ รายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้

ในการประเมินผลกระทบโดยวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของการทำเหมืองนั้น จะวิเคราะห์ผลกระทบรวมทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงกระบวนการบด ซึ่งจากวัตถุประสงค์หลักของโครงการ คือ การประเมินผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งนำมาเป็นวัตถุประสงค์ และขอบเขตในการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของกระบวนการต่างๆ ของการทำเหมือง จากข้อมูลการทำเหมืองที่นำไปวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลด้านการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ สำหรับเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเหมือง โดยจะเห็นได้ว่าพลังงานหลักที่ใช้คือ การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล โดยใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงในรถยนต์ รถชุด รถตัก รถเจาะ และรถบรรทุก การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลที่ใช้ในกระบวนการขุดขน กระบวนการเจาะและระเบิด และกระบวนการพัฒนาพื้นที่ ส่งผลกระทบด้านโลกร้อน ทั้งหมดคิดเป็นสัดส่วน 40.58 เปอร์เซ็นต์ การใช้พลังงานไฟฟ้าจากกระบวนการบดคิดเป็นสัดส่วนการส่งผลกระทบด้านโลกร้อนทั้งหมดคิดเป็นสัดส่วน 31.49 เปอร์เซ็นต์ การใช้ ANFO ที่ใช้อยู่ในกระบวนการเจาะและระเบิดคิดเป็นสัดส่วนการส่งผลกระทบด้านโลกร้อนทั้งหมดคิดเป็นสัดส่วน 21.67 เปอร์เซ็นต์ และการใช้น้ำมันดีเซลส่งผลกระทบด้านโลกร้อนทั้งหมดคิดเป็นสัดส่วน 6.26 เปอร์เซ็นต์

5. วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยโปรแกรม SimaPro

การประเมิน LCA แม้ว่าจะมีหลากหลาย แต่ในปัจจุบันวิธีการหลัก ๆ ในการทำ LCA เริ่มไปสู่แนวทางเดียวกัน และเริ่มนิยมใช้วิธีการและขั้นตอนการศึกษาตามมาตรฐาน ISO 14040 มากขึ้น จึงเป็นการดำเนินงานคิดวิเคราะห์ที่ต้องการความเข้าใจ ทักษะ ระยะเวลา และต้องใช้เงินทุนในการรวบรวมและจัดเก็บข้อมูล ซึ่งต้องใช้เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีศึกษาที่มีความซับซ้อน หรือกระบวนการผลิตที่เมืองค์ประกอบและขั้นตอนมากมาย ดังนั้น จึงมีการพัฒนาเครื่องมือในการประเมินผลเข้ามาช่วยในการดำเนินงานด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Software) ซึ่งสามารถใช้จัดการกับข้อมูลได้รวดเร็ว สะดวกสบาย และมีคุณภาพมากกว่า เดิมนิยมใช้โปรแกรม Microsoft Excel หรือ Spreadsheets ในการคำนวณ โดยข้อดีของการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมีดังนี้

- มีการรวบรวมข้อมูลและค่ามาตรฐานอ้างอิงที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต้องใช้ในการคำนวณและประมวลผล ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการรวบรวมข้อมูล
- สามารถจัดการข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ ทั้งการนำเข้าข้อมูลการวิเคราะห์ การประมวลผลโดยสมการรูปแบบต่างๆ ทำให้ประหยัดเวลาและลดข้อจำกัดด้านทักษะของผู้ใช้งาน
- สามารถเลือกใช้และประมวลผลมีวิธีการประเมินตามมาตรฐานที่ได้รับการเห็นชอบไว้แล้วของ CDM EB ทำให้มีความถูกต้องสูงได้ผลการวิเคราะห์ที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับ
- สามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูล LCA ที่มีการจัดทำอยู่ทั่วโลกได้

5.1 หลักวิเคราะห์ LCA ด้วยโปรแกรม SimaPro

ตั้งแต่ปี 1990 SimaPro ถูกจัดอยู่ในลำดับต้นๆ ของเครื่องมือ LCA และเนื่องจากมีผู้ใช้งานในประเทศไทยมากกว่าโปรแกรมสำเร็จรูปอื่นๆ จึงได้คัดเลือกมาใช้ในการอบรมครั้งนี้ ข้อดีของ SimaPro มีดังนี้

- ความน่าเชื่อถือและได้รับการยอมรับในระดับสากล
- มีต้นทุนค่าใช้จ่ายค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปอื่น
- โปรแกรมเข้าใจง่าย ใช้เวลาในการเรียนรู้น้อย ประหยัดค่าใช้จ่าย
- SimaPro มีการรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมิน LCA มากกว่า 10,000 ข้อมูล ทำให้ประหยัดเวลาใช้งาน
- SimaPro ประกอบด้วยชุดข้อมูล Input-Output ใช้ข้อมูลตั้งต้นเพื่อระบุ model LCA ที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละกรณี
- SimaPro มีการทำงานแบบ design Teamwork ซึ่งเป็น software หนึ่งเดียวในเรื่องของ LCA ที่มีทีมงานคอยสนับสนุนเพื่อให้ผู้ใช้ทำงานได้อย่างประสบความสำเร็จ โดยให้บริการและความช่วยเหลือผ่านทางระบบ network
- SimaPro มีฐานข้อมูล Ecoinvent ครอบคลุม 2,500 ขั้นตอนการผลิต ได้นำมาใช้ตั้งแต่ปี 2003

5.2 หลักการและข้อมูลที่จำเป็นในการทำงานของ SimaPro

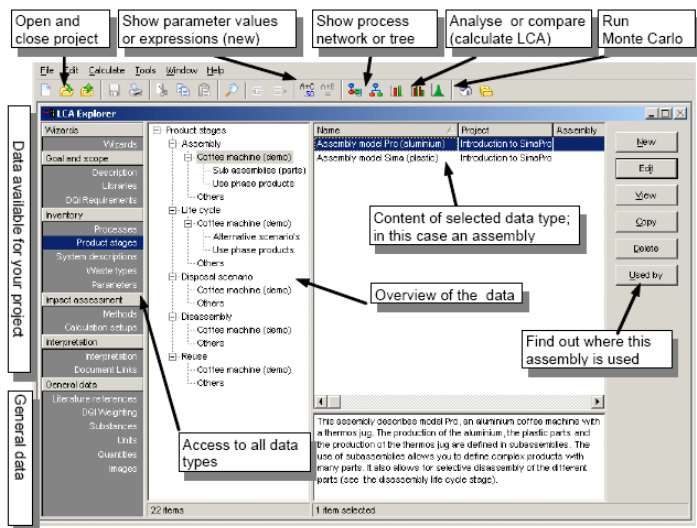
SimaPro มีการทำงานในลักษณะของการ checklist สำหรับงาน LCA ของผู้ใช้ ซึ่งสามารถจะนำเข้าหรือแก้ไขข้อมูลตามลำดับของขั้นตอนที่กำหนดไว้ เป็นกระบวนการทำงานแบบที่มีการโต้ตอบ (Interactive) ทำให้สามารถจะทำงานย้อนกลับไปหรือแก้ไขในขั้นตอนการทำงานที่ผ่านมาได้ ซึ่งการทำงานแบบ interactive นี้ใช้ในทุกระดับของการวิเคราะห์ LCA ทั้งการกำหนดขอบเขต การเก็บข้อมูล และประเมินผลกระทบ ดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope definition) เป็นส่วนของการใช้งานเพื่อกำหนดเป้าหมายและขอบเขตในการศึกษา ซึ่งจะต้องให้คำอธิบาย (Description) การเลือกใช้งาน Libraries ทั้งข้อมูลที่มาตราฐานและวิธีการประเมินผลกระทบที่เป็นมาตรฐาน ส่วน DQI หมายถึงเป็นส่วนที่ใช้เพื่อกำหนดโครงสร้างของข้อมูลที่ต้องการ

2. การทำบัญชีรายการ (Inventory analysis) เป็นส่วนใช้งานเข้าสู่ขั้นตอนของการดำเนินการและการผลิต (process and product stages) ซึ่งเป็นข้อมูลหลักในการทำงานของ SimaPro

3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment) เป็นส่วนของการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบ และรูปแบบของการรายงานผลการประเมิน

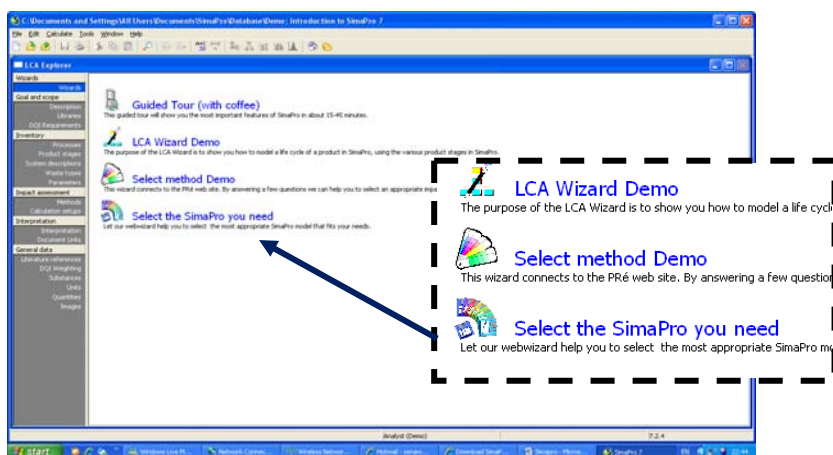
4. การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation) เป็นช่วงท้ายของการศึกษา ซึ่งเป็นช่วงของการสรุปผล และเป็นส่วนของการบ่งชี้ให้รู้ถึงประเด็นพิจารณา (issues) ที่สำคัญจากผลการประเมิน



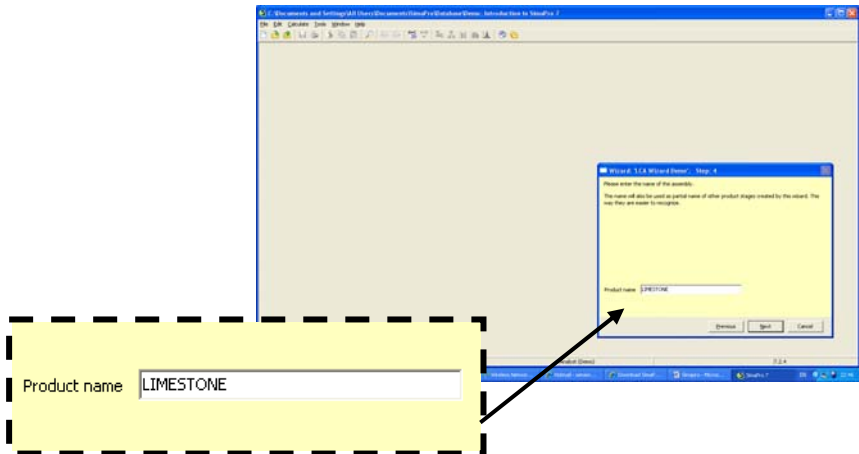
รูปที่ 5-1 องค์ประกอบหลักของ SimaPro

5.3 กรณีตัวอย่างการใช้ SimaPro เพื่อวิเคราะห์ LCA เหมือนแร่

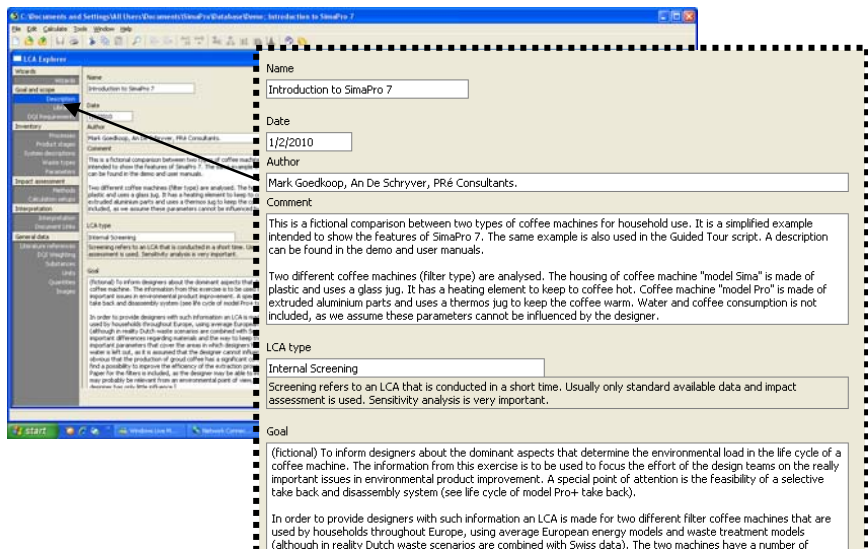
การใช้งาน SimaPro สามารถใช้งานได้จาก LCA Wizard เพื่อสร้างงานของโครงการที่ต้องการก่อน และเลือก Method ที่ต้องการใช้ให้เหมาะสมกับงาน



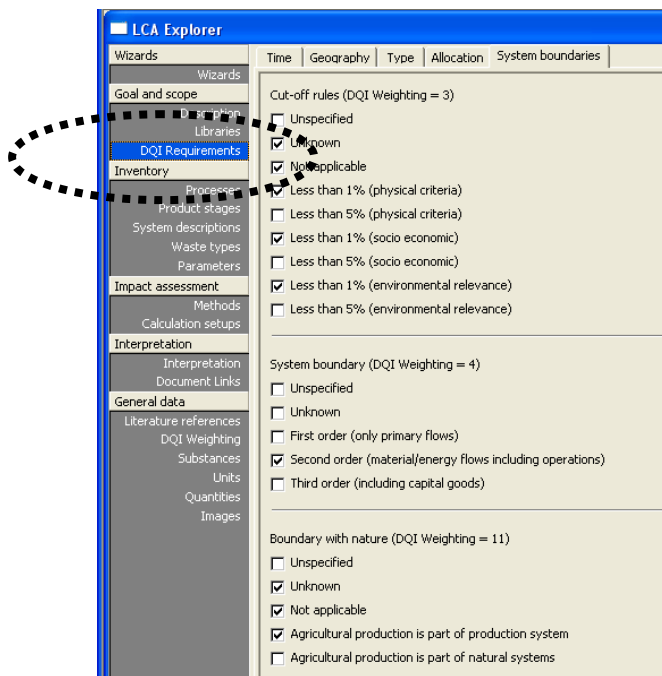
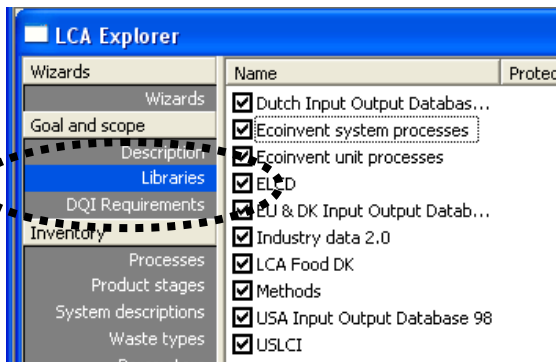
เมื่อเลือก LCA Wizard เพื่อเริ่มงาน จะมีหน้าจอเมนูให้สร้างชื่องาน ซึ่งในที่นี้ใช้ตัวอย่างของปูนซีเมนต์ไทย จึงได้ตั้งชื่องานว่า Limestone



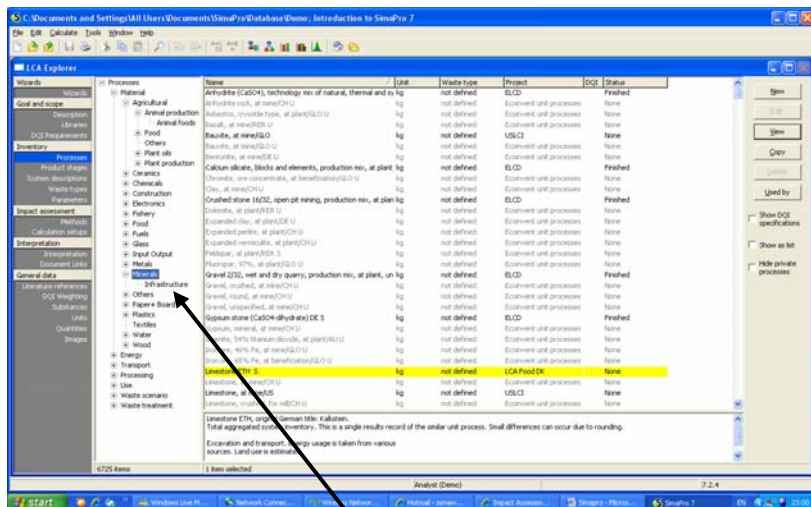
จากนั้น SimaPro จะให้ผู้ใช้งานทำการเขียนข้อมูลรายละเอียดของงาน ในลักษณะของการกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย ที่จะทำการวิเคราะห์ ดังนี้



ใน SimaPro มีค่ามาตรฐานต่างๆ ที่ใช้อ้างอิงเป็นสากลให้เลือกใช้โดยการจัดเก็บอยู่ใน Libraries ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการทำงานได้มาก รวมทั้งการกำหนดหลักเกณฑ์ต่างๆ ของการใช้ข้อมูลในลักษณะ Checkbox ที่ทำงานแบบ Interactive ที่ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานได้ ทำให้มีความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์

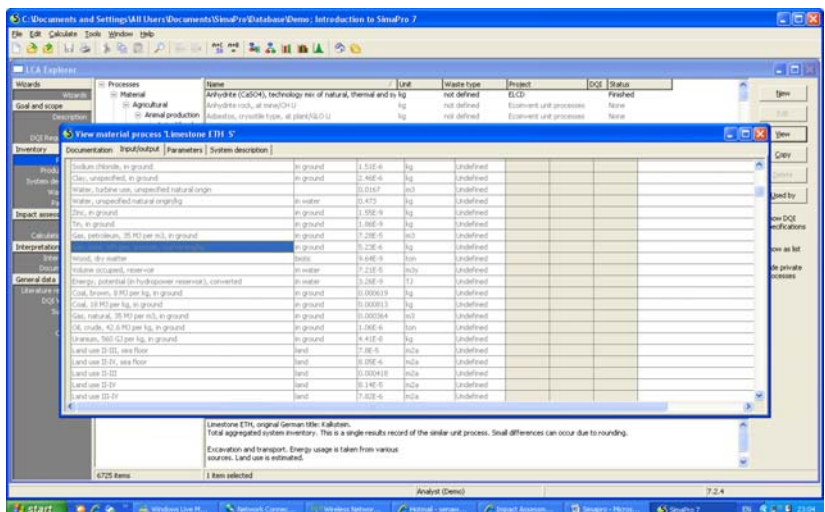
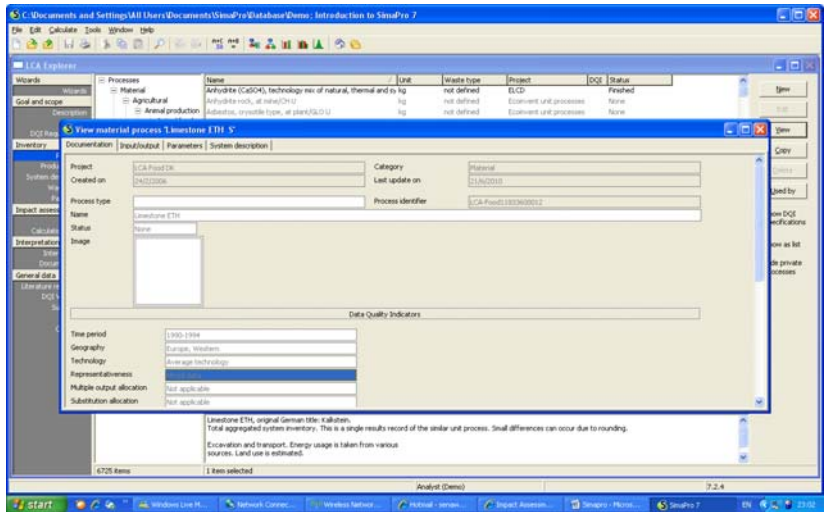


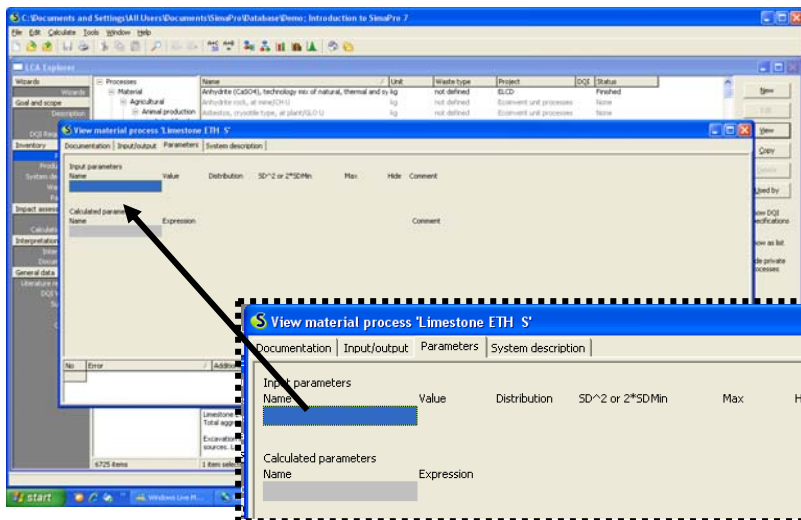
สำหรับการวิเคราะห์โครงการเหมืองแร่ ในเมนูข้อมูลของ SimaPro มีกลุ่มงานของ Minerals ให้เลือกใช้ และในที่นี้ เลืออกจาก tool ของ Limestones ที่สามารถใช้กับงานของเหมืองหินปูนได้



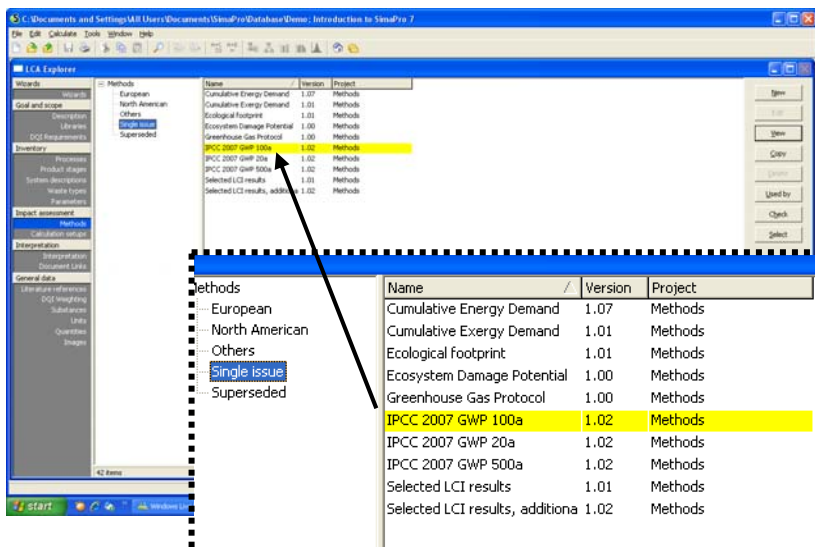
Input Output	Feldspar, at plant/RER S	kg
Metals	Fluorspar, 97%, at plant/GLO U	kg
Minerals	Gravel 2/32, wet and dry quarry, production mix, at plant, un	kg
Infrastructure	Gravel, crushed, at mine/CH U	kg
Others	Gravel, round, at mine/CH U	kg
Paper+ Board	Gravel, unspecified, at mine/CH U	kg
Plastics	Gypsum stone (CaSO ₄ -dihydrate) DE S	kg
Textiles	Gypsum, mineral, at mine/CH U	kg
Water	Ilmenite, 54% titanium dioxide, at plant/AU U	kg
Wood	Iron ore, 46% Fe, at mine/GLO U	kg
Energy	Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO U	kg
Transport	Limestone ETH S	kg
Processing	Limestone, at mine/CH U	kg
Use	Limestone, at mine/US	kg
Waste scenario	Limestone, at mine/US	kg

ในการเตรียมการนำเข้าข้อมูล จะต้องมีการกำหนดรายละเอียดและเงื่อนไขต่างๆ ที่จะเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน รวมทั้งการคัดเลือกค่า Emission ที่ต้องการหา รวมทั้งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งจะเป็นไปตามหลักเกณฑ์การวิเคราะห์ LCA มาตรฐาน ISO

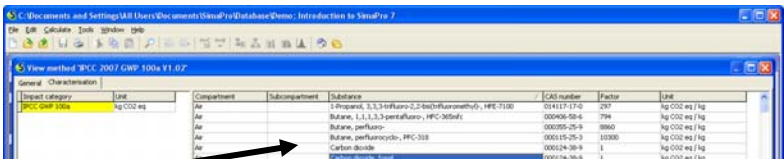




ในการวิเคราะห์ ผู้ใช้งานต้องเลือก Methodology ที่ใช้ ซึ่งใน SimaPro ได้มีการรวบรวมไว้แล้ว ในที่นี้ตามตัวอย่างการศึกษาของปูนซีเมนต์ไทย เลือกใช้วิธีการในการประเมินผลกระทบ ดังนี้



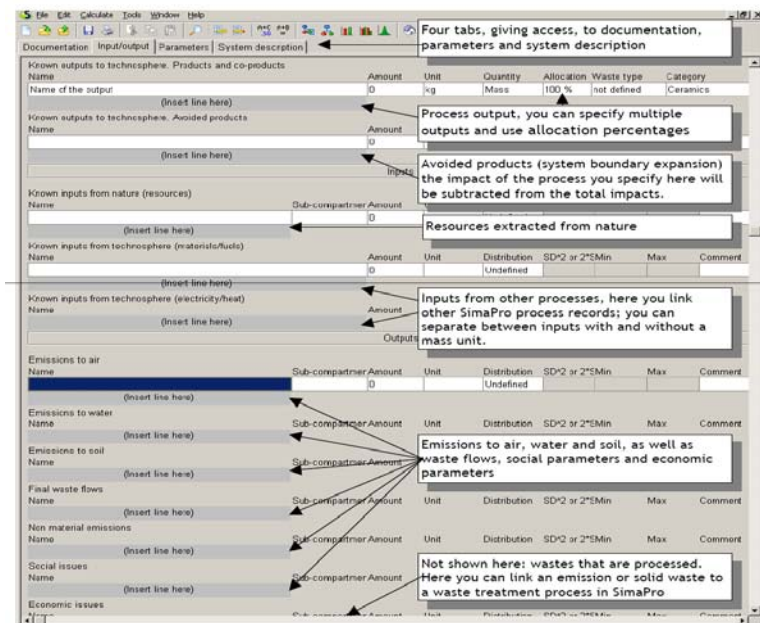
หลังจากเลือกวิธีการวิเคราะห์แล้ว SimaPro จะให้กำหนดค่าก๊าซเรือนกระจกที่ต้องการวิเคราะห์



Compartment	Subcompartment	Substance	CO2 number	Factor	Unit
Air		1-Propanol, 3,3,3-trifluoro-2,2-bis(trifluoromethyl)-, HFE-7100	024117-17-0	287	kg CO2 eq / kg
Air		Butane, 1,1,1,3,3-pentafluoro-, HFC-365mfc	000406-50-4	724	kg CO2 eq / kg
Air		Butane, perfluoro-	000395-25-9	8860	kg CO2 eq / kg
Air		Butane, perfluorocyclo-, PFC-318	000195-25-3	10300	kg CO2 eq / kg
Air		Carbon dioxide	000124-30-4	1	kg CO2 eq / kg
Air		Carbon dioxide, fossil			kg CO2 eq / kg
Air		Carbon dioxide, land transformation			kg CO2 eq / kg
Air		Chloroform			kg CO2 eq / kg
Air		Dimethyl ether			kg CO2 eq / kg

การนำเข้าข้อมูล

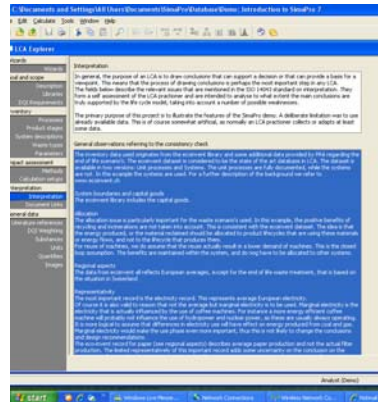
โครงสร้างของข้อมูลใน SimaPro มี 2 ลักษณะ ประกอบด้วย Process ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญของสภาพแวดล้อม ที่นำเข้าและแสดงผลไว้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ และ Product Stage ที่เป็นการอธิบายเกี่ยวกับการผลิตและวัฏจักรชีวิต โดยมีแบบฟอร์มการนำเข้าข้อมูลดังนี้



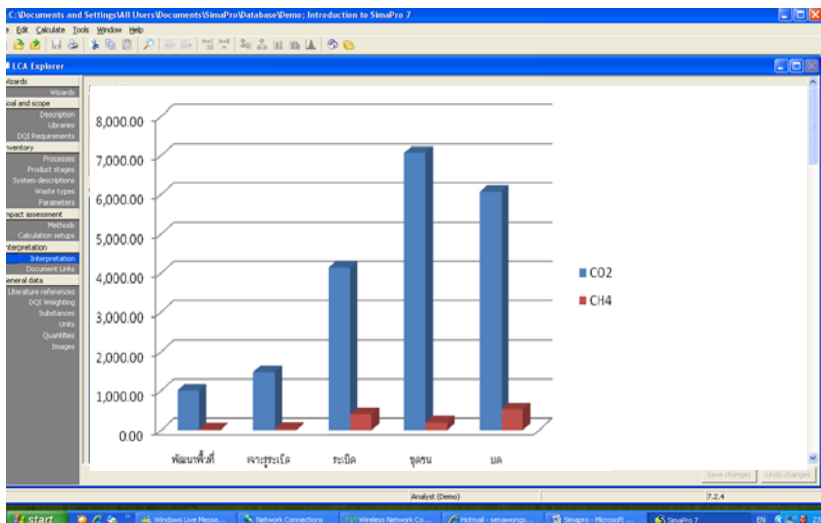
ส่วน Processes จะถูกแสดงใน database index ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ที่ออกมา นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมโยง (links) ใน network อื่นๆ ได้ สำหรับ SimaPro สามารถเลือก Link เหล่านี้ได้จาก process record ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยให้ประหยัดเวลาในการทำงานสำหรับโครงสร้างกระบวนการผลิตที่ใหญ่หรือซับซ้อน

สำหรับตัวอย่างข้อมูลในการนำเข้าของกรณีศึกษานี้ ประกอบด้วยสารขาเข้าของกระบวนการผลิตในช่วงต่างๆ ดังนี้

นอกจากผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมา SimaPro ยังมีข้อมูลในการเสนอแนวทางการแปลผลที่ได้จากการวิเคราะห์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินผลกระทบจากการผลิตให้กับผู้ใช้



ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ให้ผู้ใช้สามารถ นำเสนอในภาพกราฟของการแสดงผลการระบายก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกระบวนการผลิต หรือจะเลือกแสดงการเปรียบเทียบในหลายกระบวนการผลิตได้



ในการทดลองใช้งานโปรแกรม SimaPro สามารถสืบค้นเพิ่มเติมได้ที่ <http://www.pre.nl/simapro/>

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการกำหนดแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมเหมืองแร่สู่โครงการกลไกพัฒนาที่สะอาด. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. โครงการจัดทำยุทธศาสตร์การผลิตที่ยั่งยืน. บริษัท เทลโก้ จำกัด, 2552

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). คู่มือการดำเนินโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) เพื่อส่งเสริมการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกสำหรับผู้ประกอบการ, 2553

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2553

<http://www.tgo.or.th/>

<http://www.pre.nl/simapro/>