ห้องปฏิบัติการการประเมินวัฏจักรชีวิต
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง
อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ +66-2564-6500 ต่อ 4854-4856 และ 4061-4063
โทรสาร +66-2564-6404
www.mtec.or.th/

ISBN: 978-616-12-0176-0
9786161201760
195.-

หนังสือเล่มนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
โดยการจัดพิมพ์ด้วยกระดาษ Recycle และ Soy Ink

การจัดทำฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของประเทศไทย

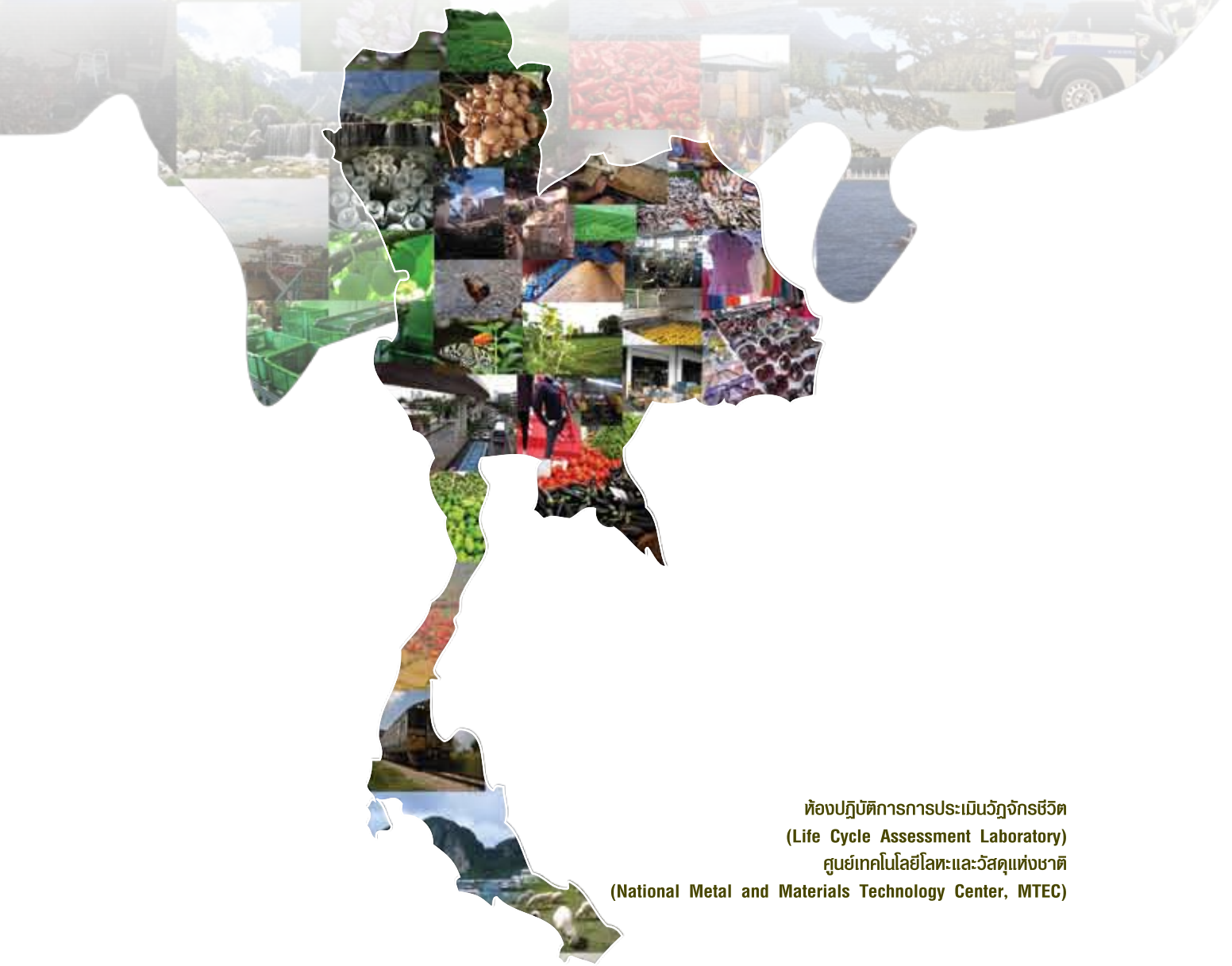
Establishment of Thai National Life Cycle Inventory Database

การจัดทำฐานข้อมูล วัฏจักรชีวิตของประเทศไทย

Establishment of Thai National Life Cycle Inventory Database

ห้องปฏิบัติการการประเมินวัฏจักรชีวิต
(Life Cycle Assessment Laboratory, LCA Lab)
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
(National Metal and Materials Technology Center, MTEC)

การจัดทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต ระดับประเทศ
Establishment of National Life Cycle Inventory (LCI)



ห้องปฏิบัติการการประเมินวัฏจักรชีวิต
(Life Cycle Assessment Laboratory)
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
(National Metal and Materials Technology Center, MTEC)

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ กระทรวงอุตสาหกรรมสำหรับงบประมาณภายใต้มาตรการเพิ่มขีดความสามารถอุตสาหกรรมไทยในการแข่งขันภายใต้กฎระเบียบของสหภาพยุโรป (EU White Paper) ระยะที่ 1 พ.ศ. 2551-2553 และรัฐบาลญี่ปุ่น สำหรับความช่วยเหลือทางเทคนิค ภายใต้ Green Partnership Plan

คำนำ

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากผลิตภัณฑ์ (หรือการบริการ) ด้วยวิธีการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) เป็นวิธีการประเมินที่พยายามรวมทุกๆ ผลกระทบไว้ในการพิจารณาทั้งทางด้านสุขภาพของมนุษย์ การลดลงของทรัพยากร และคุณภาพของระบบนิเวศ

การจัดทำ Life Cycle Inventory (LCI) หรือบัญชีรายการวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (หรือการบริการ) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี LCA ซึ่ง LCIที่มีคุณภาพดีถูกต้องน่าเชื่อถือและโปร่งใสจะทำให้ผลการประเมินถูกนำไปใช้ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ทั้งในการปรับปรุงการผลิต การเลือก Supply Chain การวางแผนการใช้ทรัพยากร การตัดสินใจ การวางนโยบาย รวมถึงการขอฉลากสิ่งแวดล้อม เช่น Carbon Footprint

หนังสือเล่มนี้ได้รวบรวมวิธีการทำ LCI จากประสบการณ์จริงของผู้ทำงาน และการศึกษาเอกสาร ISO 14040 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework, ISO 14044 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines และ ISO 14048 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Data Documentation Format รวมถึง คู่มือ International Reference Life Cycle Data System (ILCD) เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำมาเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับการจัดทำ LCI และประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการ ทั้งในระดับโครงการย่อย องค์กร และระดับประเทศ เพื่อให้ได้ LCI ที่มีความถูกต้อง โปร่งใส น่าเชื่อถือ และมีคุณภาพมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

สารบัญ

1.

ความสำคัญของบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Inventory)

การผลิตผลิตภัณฑ์และการบริการใดๆ ก็ตาม (หมายรวมถึง การใช้งานและการกำจัด) จะมีการใช้ทรัพยากร และปล่อยสาร (เช่น ของเสีย มลสาร หรือของเหลือใช้) สู่สิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ มีวิธีการการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นหลายวิธี และวิธีการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment (LCA) ซึ่งเป็นวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากร โดยคำนึงถึงขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัด [ISO 14040, 2006] โดย LCA จะคำนึงถึงผลกระทบด้านต่างๆ ทั้งด้านสุขภาพของมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศ และการลดลงของทรัพยากร นอกจากนี้ LCA ยังสามารถใช้วิเคราะห์จุดเด่น-จุดด้อยในกระบวนการผลิต ใช้ในการวางแผนการใช้ทรัพยากร การตัดสินใจ หรือการวางนโยบาย [Center for Resilience, Ohio State University] และใช้สำหรับการทำฉลากสิ่งแวดล้อมบางประเภท เช่น Carbon Footprint (CF) ในประเทศไทย Eco-Leaf ในประเทศญี่ปุ่น และ Environmental Product Declaration (EPD) ในประเทศสวีเดน เป็นต้น

Thailand
http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/

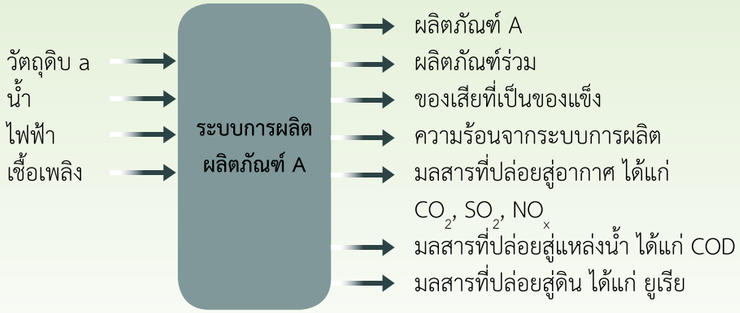
Sweden
http://www.environdec.com/

Japan
http://www.jemai.or.jp/

การประเมินผลกระทบด้วยวิธี LCA นี้ จำเป็นต้องทราบว่ามีสารและพลังงานชนิดใดบ้างที่ **เข้าและออกจากระบบ** (หรือกระบวนการ) ที่สนใจ และเป็นปริมาณเท่าใด บัญชีรายการสารและพลังงานที่เข้าและออกจากระบบ เรียกว่า **บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต** หรือ **Life Cycle Inventory (LCI)** หรือเรียกสั้นๆ ว่า **บัญชีรายการ** หรือ **Inventory**

ตัวอย่าง

การผลิตผลิตภัณฑ์ A มีสารและพลังงานที่เข้าระบบการผลิต ประกอบด้วยวัตถุดิบ a น้ำ ไฟฟ้า และเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 1 สารและพลังงานที่ออกจากระบบการผลิต ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ A ผลิตภัณฑ์ร่วม (Co-product) ของเสียที่เป็นของแข็ง ความร้อนจากระบบการผลิต มลสารที่ปล่อยสู่อากาศ (Emissions to Air) ได้แก่ CO_2, SO_2, NO_x มลสารที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำ (Emissions to Water) ได้แก่ COD และมลสารที่ปล่อยสู่ดิน (Emissions to Soil) ได้แก่ ยูเรีย ตารางที่ 1 แสดง Inventory ของระบบดังกล่าว



รูปที่ 1 สารและพลังงาน ที่เข้าและออกจากระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ A

ตารางที่ 1 Inventory ของระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ A

สารและพลังงานขาเข้า	ปริมาณ*	หน่วย*
วัตถุดิบ a	1,200	kg
น้ำ	100	kg
ไฟฟ้า	100	kWh
เชื้อเพลิง	40	kg
สารและพลังงานขาออก	**ปริมาณ***	**หน่วย***
ผลิตภัณฑ์ A	1,000	kg
ผลิตภัณฑ์ร่วม	100	kg
ของเสียที่เป็นของแข็ง	10	kg
ความร้อน	20	MJ
CO_2	2	kg
SO_2	1.50000E-05	kg
NO_x	0.0018	kg
COD	0.8	kg
ยูเรีย	0.2	kg

***ดูหลักเกณฑ์แสดงตัวเลขและหน่วยในข้อ 3.3.6**

การจัดทำ Inventory เป็น 1 ใน 4 ขั้นตอนของ LCA [ISO 14040, 2006] 4 ขั้นตอนนั้นประกอบด้วย

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของงาน (Goal and Scope Definition): คือ การกำหนดเป้าหมายของการทำ LCA เช่น จะประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ใดเพราะเหตุผลใด ประโยชน์ที่ได้รับคืออะไร จะนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ต่ออย่างไร ผู้ที่จะได้รับประโยชน์คือใคร เป็นต้น และกำหนดขอบเขตของงานว่าต้องการรวมอะไรเข้าไว้ในการศึกษาบ้างเพื่อตอบเป้าหมายที่ตั้งไว้ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษามีสมบัติและประโยชน์อย่างไร (เรียกว่ากำหนด Function) ต้องศึกษากระบวนผลิตใดบ้าง ข้อมูลต้องมีคุณภาพเพียงใด (เช่น เป็นตัวแทนระดับประเทศ หรือเป็นตัวแทนของพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง) ใช้วิธีการใดในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (เช่น วิธีการของประเทศญี่ปุ่น อเมริกา หรือยุโรป) และใช้วิธีการใดในการทำ Critical Review เป็นต้น

เป้าหมายที่ตั้งไว้จะส่งผลต่อการกำหนดขอบเขตของงาน และวิธีการรวบรวมข้อมูล รวมถึงการเลือกวิธีการประเมินผลกระทบ การเลือกวิธีการทำ Critical Review (ดูหัวข้อ 4) และการตีความหมายของผลการศึกษาที่ได้ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตนี้ต้องคำนึงถึงงบประมาณและระยะเวลาการทำงานด้วย

2. การวิเคราะห์และจัดทำ Inventory (Inventory Analysis): คือ การวิเคราะห์ว่ามีระบบใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่สนใจ และควรจะมีอะไรอยู่ใน Inventory บ้าง โดยดูครอบคลุม Scope ที่ตั้งไว้ จากนั้นจึงเก็บข้อมูลสารและพลังงานที่เข้าและออกจากระบบ และตรวจสอบความถูกต้องรวมถึงแก้ไขเพื่อให้ Inventory ถูกต้องและมีคุณภาพ

3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment): คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ (Impact Category) เช่น ด้านภาวะโลกร้อน ด้านการก่อให้เกิดฝนกรด ด้านการก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ด้านการลดลงของความหลากหลายทางชีวภาพ ด้านการลดลงของทรัพยากร เป็นต้น ทั้งนี้ผลกระทบด้านต่างๆ เหล่านี้เป็นผลกระทบเชิงปริมาณที่ประเมินมาจากข้อมูลใน Inventory

4. การตีความ (Interpretation): เป็นการวิเคราะห์ผลและสรุปผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบ เช่น ขั้นตอนใดหรือสารใดในการผลิตที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุด ซึ่งอาจนำไปสู่แนวทางการแก้ไข ปรับปรุง หรือวางนโยบาย เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น ทั้งนี้การตีความต้องคำนึงถึงขอบเขตของข้อมูลด้วย

ใน 4 ขั้นตอนนี้ การจัดทำ Inventory เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุด เนื่องจากต้องรวบรวมข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ให้ครบถ้วน และต้องระวังเรื่องความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูล ด้วยเหตุนี้ ISO 14044 และระบบมาตรฐานนานาชาติของสหภาพยุโรป ที่เรียกว่า International Reference Life Cycle Data System (ILCD) จึงได้ระบุคุณภาพของข้อมูล (Data Quality Requirement) ไว้ใน Inventory ซึ่งจะได้อธิบายต่อไปในหัวข้อ 3.4 หาก Inventory มีข้อมูลที่ผิดพลาดหรือไม่สมบูรณ์ จะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการประเมิน LCA และอาจทำให้การตีความไม่ถูกต้องหรือไม่ตอบเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งอาจทำให้ไม่มีการนำผลที่ได้ไปใช้

เมื่อรวบรวมหลายๆ Inventory เข้าด้วยกันจะเรียกว่า ฐานข้อมูลบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Inventory Database) หรือฐานข้อมูลบัญชีรายการ (Inventory Database)

2.

บัญชีรายการวัฏจักรชีวิตของประเทศ (National Life Cycle Inventory)

2.1 ความหมายของ National Life Cycle Inventory

National Life Cycle Inventory หรือ National LCI คือ LCI ที่สามารถเป็นตัวแทนระดับประเทศได้ **ขอบเขตการเก็บข้อมูลและวิธีการเก็บข้อมูล**เพื่อให้ได้ National LCI จะต้องมีเหตุผลและมีหลักการที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็น “ตัวแทน” ระดับประเทศ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น

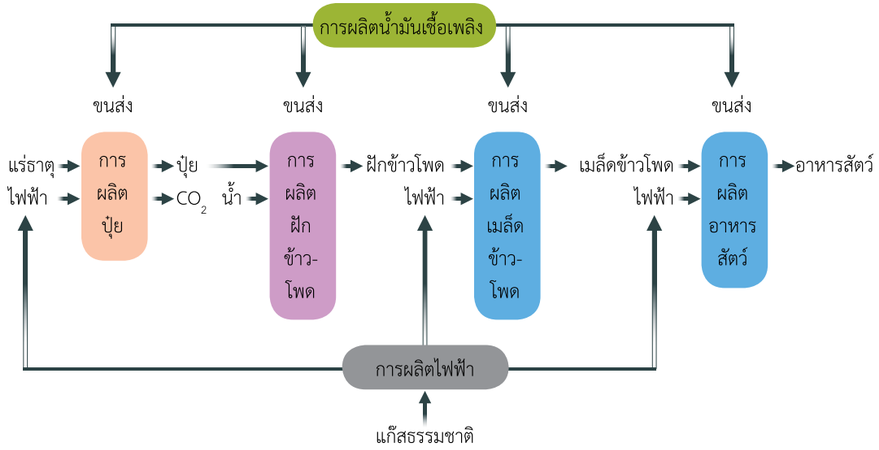
- เก็บข้อมูลมากกว่าหรือเท่ากับ 60% ของกำลังการผลิตทั้งหมดของประเทศ และหาค่าเฉลี่ย
- เก็บข้อมูลที่เป็นตัวแทนของเทคโนโลยีการผลิตของประเทศ
- เก็บข้อมูลของโรงงานขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก และหาค่าที่เป็นตัวแทน
- เก็บข้อมูลที่เป็นตัวแทนการผลิตในแต่ละภูมิภาคของประเทศ
- มีลักษณะอื่นๆ ที่บ่งชี้ว่าเป็นตัวแทนของประเทศได้

การตั้งขอบเขตและวิธีการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็น “ตัวแทน” เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้น ผู้ดำเนินการเก็บข้อมูลหรือ Practitioner ควรขอความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทั้งทางด้าน LCA และสาขาวิชาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่จะทำ National LCI

2.2 ความสำคัญของ National Life Cycle Inventory

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่ทุกประเทศให้ความสนใจ และนำมาสู่กฎข้อบังคับต่างๆ สำหรับสินค้าที่จะนำเข้าหรือซื้อขายกันในประเทศ รวมทั้งการที่ผู้บริโภคบางกลุ่มต้องการสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ผู้ผลิตพยายามที่จะพัฒนากระบวนการผลิต เพื่อให้ได้รับฉลากสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้ทรัพยากร การปลดปล่อยสารและของเสียออกจากกระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดซาก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ และสภาวะแวดล้อมในด้านต่างๆ หากไม่มีการแก้ไขปรับปรุง จะส่งผลเสียต่อมนุษย์อย่างที่ไม่อาจจะแก้ไขได้ในอนาคต

การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่งให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจะทำได้ครอบคลุมและมีประสิทธิภาพ หากมี LCI ของผลิตภัณฑ์นั้น การทำ LCI เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม จะต้องสืบข้อมูลไปถึงขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ ตลอดจนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น การทำ LCI ของอาหารสัตว์ โรงงานผลิตอาหารสัตว์อาจทราบ Inventory ณ ช่วงการผลิต (Production Process) ว่า ต้องใช้เมล็ดข้าวโพด เชื้อเพลิงและไฟฟ้าเท่าใดในการผลิต แต่กว่าจะได้เมล็ดข้าวโพดมาต้องมีการเพาะปลูกข้าวโพด การกะเทาะเมล็ดข้าวโพด และการขนส่งมายังโรงงาน (แสดงดังรูปที่ 2) การเพาะปลูกข้าวโพดมีการใช้ปุ๋ยซึ่งผลิตมาจากอีกโรงงานหนึ่ง ส่วนเครื่องจักรกะเทาะเมล็ดต้องใช้ไฟฟ้า และการขนส่งต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนยังมีที่มาจากแหล่งผลิตอื่น (สำหรับประเทศไทยใช้แก๊สธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไฟฟ้า) อย่างไรก็ตาม โรงงานไม่ทราบ LCI ของปุ๋ย การขนส่ง น้ำมันเชื้อเพลิง และไฟฟ้า ซึ่งจำเป็นสำหรับการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี LCA และการสืบไปถึงการใช้ทรัพยากรต่างๆ ในการผลิตวัตถุดิบนี้ เป็นสิ่งที่ใช้เวลามากและอาจได้ข้อมูลไม่ครบถ้วน ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของภาครัฐในการจัดทำ LCI ของวัสดุพื้นฐานและพลังงาน (เช่น แก๊สธรรมชาติ ไฟฟ้า เม็ดพลาสติก เหล็ก น้ำมันเชื้อเพลิง และพืชเศรษฐกิจ เป็นต้น) ที่สามารถเป็นตัวแทนของประเทศได้



รูปที่ 2 ระบบการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาหารสัตว์

2.3 การดำเนินงานของ National Life Cycle Inventory

จากความสำคัญของ LCI ของวัสดุพื้นฐานและพลังงานดังกล่าว ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ หรือ MTEC (National Metal and Materials Technology Center) ได้ร่วมมือกับ 4 องค์กรหลัก คือ กระทรวงอุตสาหกรรม (โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จัดทำ **"ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ"** ขึ้น โดยมุ่งไปที่วัสดุพื้นฐานและพลังงาน 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 3)

1. **กลุ่มโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure)** ได้แก่ น้ำ พลังงาน และการขนส่ง เช่น น้ำประปา น้ำอุตสาหกรรม ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา การขนส่งโดยรถบรรทุก 10 ล้อ และการขนส่งโดยรถบรรทุก 16 ล้อ เป็นต้น

2. **กลุ่มวัสดุพื้นฐาน (Basic Materials)** แบ่งย่อยออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

1) วัสดุจากอุตสาหกรรม เช่น สิ่งทอ กระดาษ และพลาสติก เป็นต้น

2) วัสดุจากเกษตรกรรม เช่น ข้าว ยางธรรมชาติ และพืชผักผลไม้ เป็นต้น

3) สารเคมี เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟูริก และยาฆ่าแมลง เป็นต้น

4) วัสดุก่อสร้าง เช่น ปูนซีเมนต์ ไม้ กระจก และกระเบื้องปูพื้น เป็นต้น

3. **กลุ่มการรีไซเคิลและการจัดการซาก (Recycle and Waste Management)** ได้แก่ การรีไซเคิล การเผา การฝัง การย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน

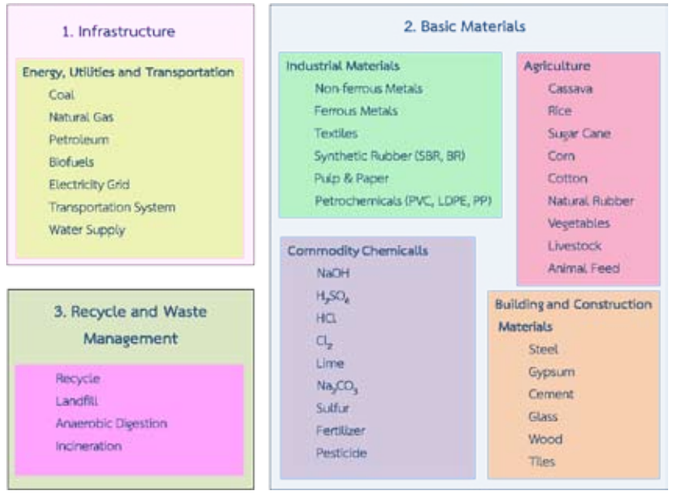
ผู้ดำเนินงานประกอบด้วย

1. **คณะทำงานดูแลฐานข้อมูลกลาง (Commissioner)** ปัจจุบันคือ MTEC มีหน้าที่ดูแลรักษาและเผยแพร่ฐานข้อมูล รวมถึงให้คำปรึกษาในการจัดทำฐานข้อมูล และดูแลภาพรวมของการพัฒนาฐานข้อมูลให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

2. **คณะทำงานเก็บข้อมูล Inventory (Practitioner)** ได้แก่ กลุ่มบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆ ที่มีความเชี่ยวชาญในวัสดุพื้นฐานและพลังงานนั้นๆ มีหน้าที่ในการติดต่อกับภาคอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อขอข้อมูล วิเคราะห์ความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของข้อมูลนั้นๆ รวมทั้งจัดส่งข้อมูลให้กับคณะทำงานดูแลฐานข้อมูลกลาง

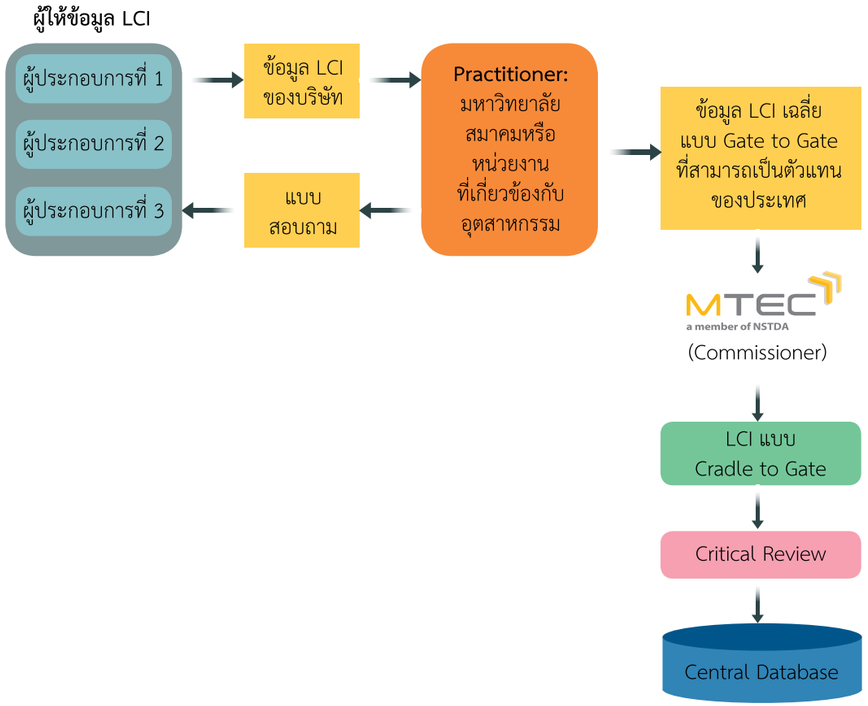
3. **คณะทำงานบริหาร (Steering Committee)** มีหน้าที่ในการกำกับดูแลโครงการพัฒนาฐานข้อมูลฯ ให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามมาตรการสร้างความตระหนักและคลังข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อรองรับนโยบายและกฎระเบียบของประเทศคู่ค้า ตลอดจนประสานงาน ติดตามความคืบหน้า และสนับสนุนการดำเนินงานโครงการ

4. **คณะทำงานด้านเทคนิค (Technical Committee)** มีหน้าที่ดูแลภาพรวมของการดำเนินงานให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ตลอดจนกำหนดวิธีการติดตามความก้าวหน้า และให้คำแนะนำวิธีการ หรือแนวทางการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคของโครงการที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3 กลุ่มวัสดุพื้นฐานและพลังงานที่เป็นเป้าหมายของการทำ "ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ"

ในการทำ National LCI ของผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่ง ผู้เก็บข้อมูลหรือ Practitioner จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในผลิตภัณฑ์เป้าหมายและหลักการ LCA เมื่อ Practitioner ได้ตั้งเป้าหมายและขอบเขตของการเก็บข้อมูลแล้ว จึงทำแบบสอบถามเพื่อใช้ในการสัมภาษณ์หรือเพื่อให้ผู้ประกอบการกรอกข้อมูลตามความเป็นจริง เมื่อ Practitioner ได้รับข้อมูลจากผู้ประกอบการทุกแห่งตามขอบเขตที่กำหนดไว้แล้ว จากนั้นจึงทำการแปลงข้อมูลให้เป็น LCI เฉลี่ยที่เป็นตัวแทนของประเทศ แล้วส่งกลับมายัง MTEC ซึ่งเป็น Commissioner (แสดงดังรูปที่ 4)



รูปที่ 4 การดำเนินงานเพื่อให้ได้ National LCI

Practitioner ควรตั้งคณะกรรมการที่ประกอบไปด้วยผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งด้าน LCA และสาขาที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เป้าหมาย เพื่อให้คำแนะนำด้านการวางขอบเขตการทำแบบสอบถาม และให้ความเห็นกับผล LCI ที่ได้ หากคณะกรรมการเห็นควรให้ปรับปรุงแก้ไข Practitioner ควรดำเนินการแก้ไข ทั้งนี้เพื่อให้การทำ Natioal LCI เป็นไปตามข้อกำหนดใน ISO 14040 และ ISO 14044 คือ วิธีการเก็บข้อมูลถูกต้อง ข้อมูลมีคุณภาพ และโปร่งใส รวมถึงตอบวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

Inventory ที่ Practitioner ได้จากผู้ประกอบการ ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลสารและพลังงานที่เข้าและออก ในกระบวนการผลิตของโรงงานหรือในไร่ของเกษตรกร เรียก Inventory แบบนี้ว่า “Gate to Gate” ซึ่งหมายถึง การเก็บข้อมูลจากหน้าประตูโรงงานถึงหลังประตูโรงงาน (แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 1) จากนั้น MTEC จะนำ Inventory แบบ “Gate to Gate” มาหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อสืบไปถึงทรัพยากรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตวัตถุดิบ เช่น Inventory อาหารสัตว์ จะโยงไปถึงการผลิตข้าวโพดและปุ๋ยซึ่งต้องใช้แร่ธาตุ ไฟฟ้า และเชื้อเพลิง ในการผลิต รวมทั้งจะโยงไปถึงการใช้ทรัพยากรต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและเชื้อเพลิงอีกด้วย (แสดงดังรูปที่ 2) เรียก Inventory แบบใหม่นี้ว่า “Cradle to Gate” ซึ่งหมายถึง การเก็บข้อมูลจากแหล่งแรกเกิดจนถึงประตูโรงงาน

ก่อนจะเปิดเผย LCI สู่สาธารณะ จำเป็นต้องมีการประชุมตัวแทนผู้ที่มีผลได้-ผลเสียจากการเปิดเผยข้อมูล รวมทั้งขอความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆ ถึงความถูกต้องของ National LCI เรียกว่า การทำ Critical Review เมื่อที่ประชุมเห็นพ้องกันในความถูกต้อง เหมาะสม จึงบรรจุ National LCI ไว้ในฐานข้อมูลกลาง (Central Database) หรือเปิดเผยสู่สาธารณะได้ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของโปรแกรม (Software)

3.

หลักการทำ National Life Cycle Inventory

3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาเพื่อให้ได้ National Life Cycle Inventory

การกำหนดเป้าหมายเป็นขั้นแรกของการทำ LCI และ LCA เป้าหมายจะส่งผลต่อการกำหนดขอบเขต วิธีการทำงาน และการเลือกผลกระทบของสิ่งแวดล้อมที่สนใจศึกษา รวมถึงคุณภาพของงาน ตัวอย่างของเป้าหมาย เช่น

- ชนิดของผลิตภัณฑ์ที่สนใจศึกษา
- เหตุใดจึงสนใจผลิตภัณฑ์เหล่านั้น เช่น ประโยชน์ หรือการนำไปใช้ต่อ ผู้ที่จะได้รับประโยชน์จากงานคือใคร และจะเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ หรือไม่ เป็นต้น
- จะเก็บข้อมูลโยงไปถึงการจัดหาทรัพยากร (Cradle to Gate) หรือเก็บข้อมูลเพียงขั้นตอนการผลิต (Gate to Gate)
- คุณภาพของข้อมูลเป็นอย่างไร (ดูหัวข้อ 3.4)

สำหรับการทำ National LCI ในแต่ละผลิตภัณฑ์นั้น คณะทำงานผู้ดูแลฐานข้อมูลกลาง หรือ Commissioner และคณะทำงานผู้เก็บข้อมูล Inventory หรือ Practitioner ควรร่วมกันระบุเป้าหมายการทำงานให้ชัดเจน เช่น จำนวน/ชนิดผลิตภัณฑ์ที่สนใจศึกษา และคุณภาพข้อมูลซึ่งต้องเป็นตัวแทนของประเทศได้ Practitioner ควรบันทึกรายละเอียด (Documentation, ดูหัวข้อ 3.10) การทำ National LCI ตั้งแต่ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายนี้ จนถึงขั้นสุดท้ายคือ การรายงานผลการศึกษา

สำหรับขอบเขตการศึกษานั้นต้องเอื้อต่อการบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ เช่น

- ระบุว่าเราจะทำ Inventory ของผลิตภัณฑ์ใด และมีขอบเขตรวมขั้นตอนใดบ้างในการผลิต เช่น จะทำแบบ Gate to Gate หรือ Cradle to Gate (ดูหัวข้อ 2.3) หรือหากเป็นสินค้าที่วางขายในห้างสรรพสินค้า อาจกำหนดขอบเขตตั้งแต่การหาวัตถุดิบ การผลิต การกระจายสินค้าไปยังห้างสรรพสินค้า และการวางขายในห้างสรรพสินค้า
- จะไม่เก็บสารหรือพลังงานใดบ้าง เช่น สารที่มีปริมาณน้อยมากๆ (เช่น ไม่เก็บข้อมูลสารที่เข้าระบบที่มีปริมาณน้อยกว่า 0.1% ของผลิตภัณฑ์) จะใช้เกณฑ์อะไรในการไม่เก็บสารหรือพลังงานนั้น
- ใช้วิธีใดในการเก็บข้อมูล เช่น เก็บข้อมูลจากการสอบถาม วัดค่าโดยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ หรือคำนวณโดยใช้สมการที่น่าเชื่อถือ และหากมีมากกว่า 1 ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่สนใจจะมีการแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม (ดูหัวข้อ 3.5) หรือไม่ ใช้วิธีใดหรือจะรวมทุกผลิตภัณฑ์ไว้ใน Inventory หรือไม่
- ใช้ Functional Unit ใด คือ ระบุหน่วยของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา โดยหน่วยนั้นแสดงถึงการใช้งานด้วย (เช่น การทำ Inventory สำหรับการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 ตัน) Functional Unit นี้ เป็นฐานสำหรับใช้เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์หรือบริการต่างๆ [Oliver-Solà, 2009]

- จะรายงานผลการศึกษาที่ได้ในรูปแบบใด
- ระบุลักษณะของข้อมูลและคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการ ลักษณะของข้อมูล หมายถึงต้องการข้อมูลที่มาจากการศึกษาเอกสารหรือมาจากการเก็บข้อมูลจริง [ISO 14044, 2006] ต้องการเก็บข้อมูลทั้งหมดหรือเก็บข้อมูลแบบเป็นตัวแทน ส่วนคุณภาพข้อมูลหมายรวมถึงความสมบูรณ์ (Completeness) ความแม่นยำ (Precision) ของข้อมูล ความสามารถในการเป็นตัวแทน (Representativeness) ของผลิตภัณฑ์ที่สนใจ ความเหมาะสมของวิธีการที่ใช้ในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล (ดูหัวข้อ 3.4)

หากเป้าหมายคือ การทำ National LCI จะต้องกำหนดขอบเขตการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของประเทศ ซึ่งได้อธิบายในหัวข้อ 2.1 แล้วว่า ขอบเขตการเก็บข้อมูลจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ ขึ้นกับเหตุผล สมมติฐาน และความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ การศึกษาสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ (เช่น เศรษฐกิจ การผลิต และปัญหาในปัจจุบัน เป็นต้น) จะทำให้การวางขอบเขตง่ายขึ้น

ตัวอย่างสถานการณ์ในการตั้งเป้าหมายและกำหนดขอบเขตการจัดทำ National LCI

ตัวอย่างที่ 1

Commissioner ต้องการ National LCI ของผลิตภัณฑ์กระดาษ และเมื่อ Practioner ได้ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ในประเทศมีโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูงอยู่เพียง 2 โรง ซึ่งรวมกำลังการผลิตแล้วมากกว่า 60% ของกำลังการผลิตทั้งประเทศ ดังนั้น Practitioner สามารถเก็บข้อมูลของ 2 โรงงานนี้ เพื่อทำ National LCI แล้วหาค่าเฉลี่ย (แบบถ่วงน้ำหนัก) ซึ่งข้อมูลที่ได้ถือว่าเป็นตัวแทนของประเทศได้

ตัวอย่างที่ 2

Commissioner ต้องการ National LCI ของผลิตผลทางการเกษตรเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมอาหาร แต่ยังไม่ทราบว่าควรจะเป็นผลิตผลใด และเมื่อศึกษาข้อมูลทางสถิติแล้วพบว่า มีพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ คือ มีการผลิตและการบริโภคมากในแต่ละปี รวมถึงปลูกได้ทั่วประเทศ จึงตั้งเป้าหมายที่จะเก็บข้อมูล National LCI ของพืชชนิดนี้ แต่การเก็บข้อมูลเพื่อให้ครอบคลุม 60% ของกำลังการผลิตทั้งประเทศ อาจต้องครอบคลุมพื้นที่หลายล้านไร่ ทำให้ต้องใช้เวลา เงินทุน กำลังคน และแบบสอบถามจำนวนมาก เพื่อให้การเก็บข้อมูลใช้เวลาและเงินทุนอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องหาวิธีที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลที่สามารถเป็นตัวแทนของประเทศได้

เมื่อ Commissioner และ Practitioner ได้สอบถามความเห็นจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ พบว่า ทุกภาคของประเทศมีการปลูกพืชชนิดนี้โดยใช้ดินชนิดเดียวกัน และมีการปลูกพืชนี้มากที่สุดในจังหวัดหนึ่งซึ่งเป็นจังหวัดที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดในประเทศด้วย นอกจากนี้การจัดการ (เช่น การเตรียมดิน ให้น้ำ ใช้ปุ๋ย และเก็บเกี่ยว เป็นต้น) ส่วนใหญ่คล้ายกันในทุกภาค ดังนั้น การเก็บข้อมูลการจัดการพืชชนิดนี้เพียงจังหวัดเดียว จึงเพียงพอสำหรับใช้เป็นตัวแทนของประเทศได้

ตัวอย่างที่ 3

Commissioner ต้องการ National LCI ของอาหารเลี้ยงไก่ (อาหารสำเร็จรูป) เมื่อได้ศึกษาข้อมูลพบว่า วัตถุดิบหลักในการผลิตคือ พืชไร่ที่ปลูกได้ทั้งปี แต่ผลผลิตในแต่ละฤดูจะแตกต่างกันทำให้ปริมาณที่ออกสู่ตลาดไม่เท่ากันทั้งปี ส่งผลให้โรงงานผลิตอาหารเลี้ยงไก่ต้องปรับเปลี่ยนวัตถุดิบตามฤดูกาล ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูล Inventory อาหารเลี้ยงไก่ ที่เป็นตัวแทนของประเทศโดยไม่ขึ้นกับฤดูกาล จึงต้องกำหนดขอบเขตให้มีการเก็บข้อมูลวัตถุดิบที่เข้าโรงงานตลอด 1 ปี

เนื่องจาก National LCI ที่จะเก็บไว้ในฐานข้อมูลกลางจะอยู่ในรูป Cradle to Gate ดังนั้น Practitioner ควรเก็บข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบและพลังงานมายังโรงงานด้วย เช่น มาจากประเทศใด ขนส่งด้วยวิธีใด เพื่อให้ Commissioner (MTEC) สามารถแปลงข้อมูล Gate to Gate ให้เป็น Cradle to Gate ได้ นอกจากนี้คณะทำงานและคณะกรรมการ (ดูหัวข้อ 3.6 และ 3.7) อาจประชุมร่วมกัน เพื่อช่วยกันกำหนดขอบเขตให้เหมาะสมกับเป้าหมาย ระยะเวลา และงบประมาณของโครงการ

3.2 การจัดทำ National Life Cycle Inventory

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลามากที่สุด เนื่องจากเกี่ยวข้องกับข้อมูลจำนวนมากที่เข้าและออกจากระบบ ทั้งนี้ ILCD ได้แบ่งข้อมูลที่เข้าและออกจากระบบ (Flows) ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- Elementary Flows ได้แก่ ทรัพยากร มลสารทางอากาศ น้ำ และดิน รวมถึงที่ดิน
- Product Flows ได้แก่ สินค้า ผลิตภัณฑ์ และบริการ
- Waste Flows ได้แก่ ของเสียที่เป็นของแข็งและของเหลว

การจัดทำ National LCI ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

3.2.1 การวิเคราะห์ขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ คือ วิเคราะห์ว่ากว่าจะได้ผลิตภัณฑ์มาต้องผ่านหน่วยผลิตย่อยหรือกระบวนการใดบ้าง และแต่ละหน่วยผลิตย่อยนั้น มีสารและพลังงานใดเข้าและออกบ้าง หน่วยผลิตย่อยนี้เรียกว่า Unit Process ตัวอย่างเช่น หากผลิตภัณฑ์ที่สนใจคือผลผลิตการเกษตร ดังนั้น Unit Process ที่เกี่ยวข้องคือ การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ต้องพิจารณาอีกว่าในแต่ละ Unit Process มีการใช้สารเคมี น้ำ และพลังงานหรือไม่ และมีสารใดที่ปล่อยสู่อากาศ แหล่งน้ำ และดินบ้าง โดยอาจศึกษาเบื้องต้นจากเอกสารวิชาการ หรือสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ หรือจัดประชุมคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อให้การวิเคราะห์ขั้นตอนละเอียดและถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ควรวิเคราะห์แหล่งที่มาของวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิต รวมถึงเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งด้วย (ดูหัวข้อ 3.8)

3.2.2 การออกแบบ National Life Cycle Inventory ที่เป็นผลลัพธ์ของการศึกษา ว่าควรประกอบด้วยอะไรบ้าง และหากมีวัตถุดิบหลายชนิดที่เข้าสู่ระบบแล้วก่อให้เกิดมลสาร (Emission) ชนิดเดียวกัน Practitioner ควรระบุว่า ปริมาณมลสารนั้นมาจากวัตถุดิบชนิดใด (แสดงดังตารางที่ 2) ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการนำ National LCI ไปใช้ต่อในงานเฉพาะด้าน เช่น การใช้งานบางอย่างอาจไม่นับรวมมลสารที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล หรือใช้ในการปรับปรุงการผลิตให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยมุ่งประเด็นลดมลสารที่เกิดจากวัตถุดิบบางชนิด

หากมีการขนส่งวัตถุดิบมายังสถานที่ผลิตหลายรูปแบบให้แยกประเภทการขนส่ง แต่ถ้าไม่ทราบประเภทการขนส่งแต่ทราบปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง ก็สามารถใส่ปริมาณเชื้อเพลิงใน Inventory ได้ (แสดงดังตารางที่ 3)

ตัวอย่างที่ 1

ผลผลิตพืชชนิดหนึ่ง ได้จากแปลงที่มีการปลูกพืชหลายชนิดเพื่อลดแมลงศัตรูพืช มีการใช้ปุ๋ยจากมูลสัตว์และปุ๋ยหมัก มีการใช้ยาไล่แมลงที่ทำจากสะเดาและพืชอื่นๆ มีการปรับปรุงดินโดยใช้หินปูน และใช้เครื่องจักรกลการเกษตรซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

การใช้ปุ๋ยและการเผาไหม้น้ำมันดีเซลจะปลดปล่อยแก๊ส N_2O ดังนั้นใน Inventory ควรระบุว่ามี N_2O ที่มาจากปุ๋ยเท่าไร และมาจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลเท่าไร นอกจากนี้ ทั้งหินปูนและการเผาไหม้น้ำมันดีเซลจะปลดปล่อยแก๊ส CO_2 ดังนั้นใน Inventory ควรระบุว่ามี CO_2 จากหินปูนเท่าไร และจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลเท่าไร (แสดงดังตารางที่ 2)

การขนส่งปุ๋ยจากโรงงานมายังแปลงเพาะปลูก เกษตรกรไม่ทราบว่าใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งเท่าไร แต่ทราบว่าใช้รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกปุ๋ยมาจากโรงงานที่ห่างออกไปประมาณ 30 กิโลเมตร โดยบรรทุก 50% ของปริมาณที่บรรทุกได้ (Loading) ทุกครั้ง แต่ยาไล่แมลงที่ทำจากสะเดาซื้อจากคนในหมู่บ้านที่ทำเอง โดยใช้รถกระบะซึ่งทราบปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ ข้อมูลการขนส่งยาไล่แมลงจากสะเดาให้ใส่ในช่อง “ข้อมูลการขนส่งแบบทราบเชื้อเพลิง” ส่วนการขนส่งโดยรถบรรทุก 10 ล้อ ให้ใส่ในช่อง “ข้อมูลการขนส่งแบบไม่ทราบเชื้อเพลิง” (แสดงดังตารางที่ 3)

นอกจากนี้ สำหรับผลผลิตการเกษตรอาจระบุสมบัติของผลผลิต เช่น สารพิษตกค้างและสารอาหารในผลผลิต รวมถึงสารพิษตกค้างในร่างกายของเกษตรกร (แสดงดังตารางที่ 4)

ตัวอย่างที่ 2

ในโรงงานผลิต Product C มีการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินและซังข้าวโพด รวมทั้งใช้ $CaCO_3$ และ Na_2SO_4 ในการผลิต โดยทั้ง $CaCO_3$ และ Na_2SO_4 ได้รับความร้อนสูง การเผาไหม้ถ่านหินจะเกิด CO_2 และ SO_2 ส่วนการเผาไหม้ซังข้าวโพดจะเกิด CO_2 และเมื่อ $CaCO_3$ และ Na_2SO_4 ได้รับความร้อนจะเกิด CO_2 และ SO_2 ตามลำดับ

ใน Inventory ของ Product C ควรระบุปริมาณของ CO_2 ที่เกิดขึ้น แยกตามแหล่งที่มาว่ามีปริมาณเท่าใด ทั้งจากการเผาไหม้ถ่านหิน การเผาไหม้ซังข้าวโพด และการได้รับความร้อนของ $CaCO_3$ ในทำนองเดียวกันควรระบุปริมาณของ SO_2 ที่เกิดขึ้น แยกระหว่างจากการเผาไหม้ถ่านหิน และการได้รับความร้อนของ Na_2SO_4 ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 2 ตัวอย่าง Inventory ของผลิตการเกษตร

Input	ปริมาณ	หน่วย	แหล่งข้อมูล[10]
พื้นที่ (ระบุลักษณะ....)[1]	.....	ไร่	
ก่อนเป็นที่นาเกษตร เคยเป็น....มาก่อน เมื่อ...ปีที่แล้ว			
แร่ดินหินดู่ (หรือก่อนหินดู่)	.....	กก.	
ปุ๋ย (ระบุชนิด...)[2]	.....	กก.	
สารเคมีโลหะกำจัดแมลง (ระบุชนิด....)[3]	.....	กก.	
น้ำ (ระบุชนิด...)[4]	.....	กก.	
วัสดุอื่นๆ (ระบุชนิด...)[5]	.....	กก.	
พลังงาน (ระบุชนิด...)[6]	.....	หน่วยพลังงาน	
แรงงานคน	.....	man-day	
การดูดซับแก๊ส CO_2	.....	กก.	
สมบัติของดินก่อนปลูก[7]	.....	หน่วยที่เหมาะสม	
สมบัติแหล่งน้ำก่อนปลูก[8]	.....	หน่วยที่เหมาะสม	

Output	ปริมาณ	หน่วย	แหล่งข้อมูล[10]
ผลผลิตหลัก	.....	กก.	
ผลผลิตร่วม	.....	กก.	
พืชอื่นๆ ที่ปลูกแซม เพื่อเศรษฐกิจ[9]	.....	กก.	
พืชอื่นๆ ที่ปลูกแซม เพื่อไล่แมลง[9]	.....	กก.	
เศษซีวมวล	.....	กก.	
Emission to Air			
CO_2 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง	.....	กก.	
CO_2 จากการเผาไร่	.....	กก.	
NO_x จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง	.....	กก.	
NO_x จากการเผาไร่	.....	กก.	
SO_x	.....	กก.	
N_2O จากปุ๋ย	.....	กก.	
N_2O จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง	.....	กก.	
N_2O จากการเผาไร่	.....	กก.	
CH_4 จากปุ๋ย	.....	กก.	
CH_4 จากพืช	.....	กก.	
CH_4 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง	.....	กก.	
CH_4 จากการเผาไร่	.....	กก.	
CO จากการเผาไร่	.....	กก.	
ฝุ่นละออง	.....	กก.	
Emission to Soil และสมบัติของดินหลังปลูก[7]	.....	หน่วยที่เหมาะสม	
Emission to Water และสมบัติแหล่งน้ำหลังปลูก[8]	.....	หน่วยที่เหมาะสม	

[1] มาจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่า หรือเป็นที่รกร้าง หรือเป็นที่ดินเกษตรกรรมอยู่ก่อนเป็นเวลามากกว่า 10 ปี

[2] ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากใบไม้ หรือจากมูลสัตว์ชนิดใด หรือเป็นปุ๋ยเคมีสูตรใด

[3] ระบุชื่อสารเคมี ชื่อทางการค้า หรือชื่อสามัญ

[4] ระบุแหล่งน้ำ เช่น น้ำฝน น้ำผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน หรือน้ำบ่อ

[5] ระบุชนิดวัสดุ เช่น ฟางคลุมดิน ตาข่าย หินปูน เปลือกไข่

[6] ระบุชนิด เช่น ดีเซล เบนซิน แสงแดด ไฟฟ้า

[7] เช่น pH, ความชื้น, สารเคมีตกค้าง, Microbial Biomass, Microbial Respiration, Extractable N and C

[8] เช่น ปริมาณฟอสเฟต ไนเตรต สารเคมีตกค้าง BOD COD น้ำมัน ของเสีย สารแขวนลอย

[9] ชนิดที่ไม่ซ้ำกับผลผลิต

[10] มาจากการสอบถาม หรือคำนวณ หรือจากเอกสารวิชาการ

ตารางที่ 3 ข้อมูลการขนส่ง

Input	ปริมาณ	หน่วย	ที่มา[1]	ข้อมูลการขนส่ง แบบทราบเชื้อเพลิง			ข้อมูลการขนส่ง แบบไม่ทราบเชื้อเพลิง		
				ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณเชื้อเพลิง	หน่วยเชื้อเพลิง	ชนิดพาหนะ[2]	% Loading	ระยะทาง (km)[3]
เมล็ดพันธุ์ (หรือท่อนพันธุ์)	.....	กก.							
ปุ๋ย (ระบุชนิด....)	.....	กก.							
สารเคมีไล่หรือกำจัดแมลง (ระบุชนิด....)	.....	กก.							
น้ำ (ระบุชนิด....)	.....	กก.							
วัสดุอื่นๆ (ระบุชนิด....)	.....	กก.							
พลังงาน (ระบุชนิด....)	.....	หน่วยพลังงาน							
แรงงานคน	.....	man-day							

[1] แหล่งผลิตในประเทศใด หรือจังหวัดใด

[2] หากมีการขนส่งหลายทอดและใช้พาหนะต่างกัน ควรระบุรายละเอียด

[3] ระยะทางระหว่างจุดตั้งต้นถึงจุดสิ้นสุดในการใช้พาหนะแต่ละประเภท

ตารางที่ 4 แสดงสารตกค้างและสารอาหารในผลผลิต และสารตกค้างในร่างกายเกษตรกร

ชื่อผลผลิต	.....	กก.
สารตกค้างในผลผลิต		
สารตกค้างชนิดที่ 1	.....	มก.
สารตกค้างชนิดที่ 2	.....	มก.
สารอาหารในผลผลิต		
สารอาหารชนิดที่ 1	.....	มก.
สารอาหารชนิดที่ 2	.....	มก.
สารตกค้างในร่างกายเกษตรกร		
สารตกค้างชนิดที่ 1	.....	มก.
สารตกค้างชนิดที่ 2	.....	มก.

3.2.3 การทำแบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูล ที่ครอบคลุมขอบเขตการศึกษา แบบสอบถามควรมีรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานและผู้ใช้งาน โดยไม่จำเป็นต้องมีชุดเดียว เช่น แบบสอบถามสำหรับ LCI ของข้าวโพด อาจมี

- สำหรับการสัมภาษณ์เกษตรกร
- สำหรับการส่งทางไปรษณีย์เพื่อขอข้อมูล
- สำหรับ Practitioner เพื่อคำนวณข้อมูล
- สำหรับ Practitioner กรอกค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ Inventory ในหัวข้อ 3.2.2

แบบสอบถามควรมีช่องสำหรับบันทึกรายละเอียดของผู้ให้ข้อมูล ผู้สัมภาษณ์ สถานที่ที่ได้ข้อมูล วัน-เดือน-ปี ของการตอบแบบสอบถาม และช่วงเวลาของข้อมูลที่ได้รับ เช่น ข้อมูลผลผลิตเมื่อ 2 ปีที่แล้ว (เนื่องจากปีที่แล้วไม่ได้มีการบันทึกไว้) และข้อมูลอื่นๆ ที่เป็นการบันทึกความเป็นมาของข้อมูล เช่น ข้อมูลได้มาจากการสัมภาษณ์ หรือจากการศึกษาเอกสาร หรือการใช้สมการทาง

คณิตศาสตร์ในการคำนวณ มีการตรวจสอบข้อมูลหรือไม่อย่างไร การบันทึกเหล่านี้เรียกว่า เป็นการทำ Documentation (ดูหัวข้อ 3.10) Practitioner อาจขอความเห็นเรื่องแบบสอบถามจากคณะกรรมการที่ประกอบไปด้วยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ (ดูหัวข้อ 3.6) เพื่อให้แบบสอบถามง่ายต่อการกรอก และได้ข้อมูลที่ครอบคลุมขอบเขตที่ตั้งไว้

3.2.4 การกรอกแบบสอบถาม Practitioner อาจจำเป็นต้องเดินทางไปยังสถานที่ประกอบการเพื่อสัมภาษณ์ผู้ประกอบการโดยตรง หรืออาจส่งแบบสอบถามไปแล้วให้ผู้ประกอบการส่งกลับมา หากเป็นการสัมภาษณ์ผู้ที่จะเดินทางไปสัมภาษณ์ควรเข้าใจวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา และเนื้อหาในแบบสอบถาม ผู้สัมภาษณ์ควรชี้แจงให้ผู้ตอบแบบสอบถามเข้าใจคำถาม และคำถามไม่ควรเข้าใจยากหรือใช้ศัพท์วิชาการมากจนเกินไป ผู้สัมภาษณ์ควรถามซ้ำ หากไม่มั่นใจว่าข้อมูลที่ได้จะถูกต้องตรงกับความเป็นจริง ผู้สัมภาษณ์ควรสังเกตวิธีการตอบคำถาม และความมั่นใจของผู้ตอบ หากพบว่าผู้ตอบไม่มั่นใจเท่าที่ควร ควรบันทึกไว้ และหากพบเห็นสิ่งใดในบริเวณที่ไปสัมภาษณ์ที่ขัดแย้งกับคำตอบ ก็ควรบันทึกไว้เช่นกัน ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด (ดูหัวข้อ 3.4)

หากเป็นการส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์เพื่อขอข้อมูล Practitioner ต้องมั่นใจว่าผู้ที่กรอกข้อมูลเข้าใจคำถาม และสามารถกรอกแบบสอบถามได้ถูกต้อง ครบถ้วน หรือผ่านการอบรมด้าน LCI และ LCA แล้ว ดังนั้นอาจมีการเชิญผู้ที่จะกรอกข้อมูลมาอบรมเบื้องต้นก่อนแจกแบบสอบถาม (ดูหัวข้อ 3.9)

การจัดอบรมสัมมนาด้าน LCI และ LCA ให้กับผู้ประกอบการก่อนที่จะมีการกรอกแบบสอบถาม จะทำผู้ประกอบการเข้าใจเหตุผล ความเป็นมาของโครงการ และให้ความสำคัญกับการตอบแบบสอบถามมากขึ้น รวมทั้งคำตอบที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นด้วย อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมเผยแพร่ความรู้ด้าน LCI และ LCA

ในกรณีที่ข้อมูลไม่สามารถเก็บจริงได้ด้วยเหตุผลบางประการ แต่จำเป็นต้องใส่ข้อมูลในตาราง Inventory เช่น CO_2 จากหินปูนที่ใช้ปรับปรุงดิน หรือ N_2O จากการใช้ปุ๋ยคอก อาจใช้วิธีการคำนวณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ

ในกรณีที่ผู้ประกอบการไม่สามารถให้ข้อมูลกับ Practitioner ได้ Practitioner อาจต้องสืบค้นข้อมูลเองจากแหล่งที่น่าเชื่อถือ หรือสร้าง Scenario หรือ Model และตั้งสมมติฐานที่น่าจะเป็นไปได้มากที่สุดแล้วใช้ข้อมูลนั้น รวมทั้งบันทึกวิธีการได้มาของข้อมูลด้วย เช่น Practitioner ต้องการข้อมูลระยะทางหรือเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งปุ๋ย ที่ผู้ประกอบการใช้ในการผลิตผลิตผลทางการเกษตร แต่ผู้ประกอบการให้ข้อมูลได้เพียงว่าเป็นปุ๋ยที่นำเข้าจากต่างประเทศ และไม่ทราบว่าเป็นประเทศใด ทำให้ไม่มีข้อมูลระยะทางการขนส่ง รวมถึงไม่ทราบเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งด้วย ในกรณีนี้ Practitioner อาจหาข้อมูลประเทศที่ไทยนำเข้าปุ๋ย จากสถิติการนำเข้าปุ๋ยของประเทศ แล้วเลือกประเทศที่ไทยนำเข้าปุ๋ยชนิดนั้นมากที่สุด มาใช้ในการคำนวณระยะทางการขนส่ง (ดูหัวข้อ 3.8)

หากสารหรือพลังงานที่เข้าหรือออกจากระบบที่สนใจมีปริมาณน้อยมาก และการเก็บข้อมูลสารหรือพลังงานนั้นๆ จะทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณ เวลา และกำลังคนเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับคุณภาพของข้อมูลที่เพิ่มขึ้นมาเพียงเล็กน้อย Practitioner อาจจะเลือกที่จะไม่เก็บข้อมูลนั้นเรียกว่า “Cut-off” โดยต้องบันทึกเหตุผลและสิ่งที่ถูก Cut-off รวมถึงระดับการ Cut-off ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล เช่น LCI ของผลิตภัณฑ์ A มีการ Cut-off วัตถุดิบใดก็ตามที่มีปริมาณการใช้น้อยกว่า 0.1% โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ A อย่างไรก็ตาม ควรตระหนักว่าข้อมูลที่ถูก Cut-off จะต้องเป็นข้อมูลที่ไม่ส่งผลต่อเป้าหมายของการทำ LCI และไม่ส่งผลต่อคุณภาพของข้อมูลโดยรวม เช่น หากเป้าหมายของ LCI คือการนำข้อมูลไปใช้ด้านพิษวิทยาทางน้ำ การ Cut-off โลหะหนักที่ระบบปล่อยสู่แหล่งน้ำจะทำให้ LCI ไม่บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้

หากมีผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ชนิดจากระบบที่สนใจ อาจทำ LCI ได้ 2 แบบ คือ

- แบบที่ 1 บันทึกผลิตภัณฑ์ทุกชนิดลงใน LCI โดยไม่ต้องแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมให้กับผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่ง และ

- แบบที่ 2 แบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมให้กับแต่ละผลิตภัณฑ์ (ดูหัวข้อ 3.5) ซึ่งจะทำให้ในแต่ละ LCI มีผลิตภัณฑ์เดียว การแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมอาจแบ่งตามสัดส่วนน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด หรือสัดส่วนมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ หรือหากเป็นผลผลิตการเกษตรที่มีมากกว่า 1 ชนิด ในพื้นที่เพาะปลูกเดียวกัน อาจแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมให้กับผลผลิตแต่ละชนิดตามพื้นที่ และระยะเวลาที่ผลผลิตชนิดนั้นใช้ โดยถือว่าผลผลิตนั้นกันไม่ให้พืชชนิดอื่นใช้ประโยชน์จากพื้นที่เดียวกันในระยะเวลานั้น [ILCD, 2010] ทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสม

นอกจากนี้ ILCD ได้กล่าวถึงการกรอกข้อมูลดังนี้

- สำหรับมลสารทางอากาศที่เรียกว่า ฝุ่น (Particulates) นั้น ควรหมายถึง สารประกอบที่ละลายน้ำได้ไม่ดีนัก
- หากไม่สามารถเก็บข้อมูลใดข้อมูลหนึ่งได้ อาจต้องหาข้อมูลที่เหมาะสมทดแทน ซึ่งควรบันทึกวิธีการนั้นไว้ หากไม่สามารถหาข้อมูลทดแทนได้ต้องบันทึกไว้เช่นกัน หรือในกรณีที่สารหรือพลังงานนั้นๆ เป็นสารหลักและมีความสำคัญ อาจต้องพยายามหาข้อมูลนั้นให้ได้
- สำหรับการหาข้อมูลที่เหมาะสมทดแทนนั้น ควรเลือกข้อมูลที่ทำให้คุณภาพโดยรวมของข้อมูลสูงขึ้น
- ควรระวังเรื่องการนับข้อมูลซ้ำ (Double-counting) เช่น หากมี “Volatile Organic Compound (VOC)” ใน LCI แล้ว ก็ไม่ควรมี “Non-Methane Volatile Organic Compound (NMVOC) และมีเทน” นอกจากนี้หากมีคำว่า “ไนเตรตบวกแอมโมเนีย” แล้ว ก็ไม่ควรมีคำว่า “ไนโตรเจนในสารประกอบไนโตรเจน”

- ควรแยกบันทึกสารและพลังงานทุกตัว ไม่ควรนับรวมเป็นกลุ่ม
- ควรบันทึกประเภทการขุดเจาะของสารหรือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปด้วย เช่น ถ่านหิน ควรบันทึกว่า “Hard Coal, Underground”
- หากมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ดิน เช่น เปลี่ยนจากป่าเป็นไร่ ควรบันทึกไว้ใน LCI ด้วย และหากใช้ประโยชน์จากไม้ หรือสิ่งใดที่ได้จากที่ดินที่ถูกเปลี่ยนแปลง ควรแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมให้กับไม้หรือสิ่งนั้นๆ ด้วย
- หากมีการใช้น้ำควรบันทึกว่าน้ำที่ใช้เป็นน้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน น้ำประปา หรือน้ำประเภทใด หากมีน้ำปล่อยออกมาจากระบบควรบันทึกว่าเป็นไอน้ำหรือน้ำที่เป็นของเหลว และหากน้ำนั้นมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป เช่น มีสารเคมีเจือปนควรบันทึกแยกจากน้ำธรรมดาด้วย
- พืชและสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สังเคราะห์แสงได้ จะมีการดูดซับ CO_2 จากอากาศไว้ ดังนั้นควรบันทึกปริมาณ CO_2 ที่พืชและสิ่งมีชีวิตเหล่านี้เก็บไว้
- สำหรับของเหลือทิ้งหรือขยะอาจแยกได้เป็น 3 พวก คือ 1) มีการจัดการของเสียแบบสมบูรณ์ เช่น ฝังกลบหรือเผาทิ้ง 2) ทิ้งสู่ธรรมชาติ และ 3) ของเสียที่เข้าสู่อีกระบบหนึ่ง คือ เป็นสารตั้งต้นของอีกระบบหนึ่ง ซึ่ง Practitioner ควรระบุรายละเอียดไว้ให้ชัดเจน

3.2.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ ว่า

1) เป็นไปตามข้อกำหนดของคุณภาพข้อมูลหรือไม่ (ดูหัวข้อ 3.4)

2) มวลสารและพลังงานที่เข้าและออกจากระบบเท่ากันหรือไม่ หากไม่เท่ากันควรหาเหตุผล และอาจต้องกลับไปเก็บข้อมูลบางจุดหรือคำนวณใหม่ สำหรับผลิตผลการเกษตรอาจไม่สามารถดุลมวลสารและพลังงานได้ในทุกๆ รายการ เช่น มวลของผลิตผล (เนื่องจากเมล็ดพันธุ์หรือต้นไม้เติบโต ออกผล เพราะได้รับพลังงานแสงแดด แก๊ส CO_2 ที่ดูดซับจากบรรยากาศ น้ำ และแร่ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในดิน) ดังนั้นความถูกต้องของข้อมูลอาจต้องใช้ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดพันธุ์และผลผลิต ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปุ๋ย N P K และผลผลิต

3) จุดอื่นๆ ที่อาจมีความผิดพลาดหรือทำให้ข้อมูลใน LCI มีความน่าเชื่อถือลดลง เนื่องจากมีความไม่แน่นอนสูง ได้แก่ [Finnveden et al, 2009]

- ตัวข้อมูลเอง (Data) คือ
  - ข้อมูลอาจมีค่าไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่นปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องจักรชนิดหนึ่งในปีที่แล้วไม่เท่ากับปีนี้ สาเหตุจากเครื่องจักรมีอายุการใช้งานมากขึ้น
  - ข้อมูลอาจไม่ได้มาจากพื้นที่ต้องการ (Miss-specified) เช่น ผู้ตอบคำถามนำข้อมูลของโรงงานอื่นในประเทศมาให้ แทนที่จะเป็นข้อมูลของโรงงานที่ได้ถามไป
  - ข้อมูลได้มาจากความผิดพลาด (Error) ของผู้บันทึกข้อมูล เช่น ลืมเปลี่ยนหน่วยในแบบสอบถามให้ตรงกับผู้ให้ข้อมูล หรือคิดว่าเครื่องหมายลูกน้ำ (,) คือ จุดทศนิยม
  - ข้อมูลอาจไม่สมบูรณ์ (Incomplete) เช่น การใช้ยาฆ่าแมลง นอกจากจะสะสมในดินแล้วยังก่อให้เกิดสารระเหยในอากาศ แต่ไม่ได้บันทึกสารระเหยไว้ใน LCI
  - ข้อมูลตัวเลขที่ทำให้อ่านง่ายโดยทำให้ทศนิยมน้อยลง (Round off) เช่น 0.342 แต่แสดงเป็น 0.3 ซึ่งมีความแตกต่างจากความเป็นจริงถึง 12%
- การเลือกใช้ (Choice) วิธีการ หรือสูตร หรือค่าต่างๆ อาจส่งผลให้ได้ข้อมูลที่ผิดพลาดและไม่น่าเชื่อถือ เช่น เลือกวิธีแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการปันส่วน (Allocation) ไม่ถูกต้อง (ดูการแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม ในหัวข้อ 3.5) เลือกขอบเขตการศึกษาไม่ครอบคลุม เลือกระบบการผลิตที่ไม่ตรงกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ตั้งไว้ เช่น ศึกษาการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีใหม่ล่าสุดแทนการศึกษาการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีทั่วไป หรือการเลือกค่าเพื่อคำนวณในสมการผิด เช่น เลือกใช้ค่าของระบบที่เป็นดินทรายมาใช้คำนวณปริมาณไนโตรเจนที่ไหลลงสู่น้ำใต้ดิน สำหรับพื้นที่ที่เป็นดินเหนียว
- ความสัมพันธ์ (Relation) บางอย่างเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวการณ์ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งอาจไม่ได้แปรผันตรงกันเสมอไป นอกจากนี้ความสัมพันธ์ที่ใช้ในสมการทางคณิตศาสตร์หรือ Model อาจขึ้นกับบาง Parameter ที่ไม่ตายตัวเสมอไป

3.2.6 การทำข้อมูลที่ได้ในแต่ละ Unit Prcess ให้สัมพันธ์กับ Functional Unit

เมื่อข้อมูลในแต่ละ Unit Process ถูกต้อง และคุณภาพของข้อมูลดีพอตามที่กำหนดไว้ ขั้นต่อไปคือ การคำนวณให้สารและพลังงานที่เข้าและออกจากระบบ (Flows) สัมพันธ์กับ Functional Unit เช่น กำหนดให้ LCI ของถั่วเหลืองมี Functional Unit เท่ากับ 1 กิโลกรัม แต่ข้อมูล Flows (เช่น ปุ๋ย น้ำ เชื้อเพลิง ฟอสเฟต และไนเตรตที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำ) ที่สอบถามจากเกษตรกรเป็นข้อมูลของการปลูกถั่วเหลือง 1 ไร่ (ผลผลิต 360 กิโลกรัมต่อไร่) ดังนั้น จึงต้องคำนวณให้ Flows ของแต่ละ Unit Process (ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมดิน การปลูก และการเก็บเกี่ยว) สัมพันธ์กับผลผลิตถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

เมื่อ Flows ในแต่ละ Unit Process สัมพันธ์กับ Functional Unit ที่กำหนดแล้ว จึงนำข้อมูล Flows ในแต่ละ Unit Process มารวมกันเป็น LCI ของผลิตภัณฑ์

ในกรณีที่ไม่จำเป็นต้องแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม ให้คง Flows ทั้งหมดไว้ คือ ทั้งสารและพลังงานที่เข้าและออกจากระบบ ซึ่งเป็นของทั้งผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์ร่วม (โดยที่ Flows สัมพันธ์กับ Functional Unit แต่หากจำเป็นต้องแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม ควรเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ (ดูหัวข้อ 3.5)

3.2.7 การตรวจสอบความถูกต้องของ Life Cycle Inventory อาจตรวจสอบสมดุลมวลสารและพลังงานที่เข้าและออกจากระบบ หากพบว่าไม่สมดุล ควรหาเหตุผล และอาจต้องกลับไปเก็บข้อมูลหรือคำนวณใหม่บางจุด รวมทั้งพิจารณาว่าควรแก้ไขปรับปรุงขอบเขตการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องยิ่งขึ้นหรือไม่ หากต้องแก้ไขจะต้องเพิ่ม Unit Process หรือข้อมูลใดและพิจารณาจุดต่างๆ ที่อาจเกิดความผิดพลาดได้ (ดังระบุในหัวข้อ 3.2.5)

3.2.8 การรวม Life Cycle Inventory จากหลายแหล่ง เพื่อให้เป็น National Life Cycle Inventory เมื่อ LCI ที่ได้จากแต่ละแหล่งข้อมูลถูกต้องครบถ้วนแล้ว จึงรวม LCI ของแหล่งต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยนำรายการ (Flows) ที่เหมือนกันมาหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก ส่วนรายการที่ไม่เหมือนกันก็ยังคงรวมไว้ด้วย

ตัวอย่างที่ 1

Practitioner จัดทำ National LCI ของถั่วเหลืองชนิดพิเศษ โดยมีขอบเขตการเก็บข้อมูล คือ แปลงเพาะปลูกถั่วเหลืองของนายเอและนายบี ซึ่งปลูกเพียง 1 ครั้งต่อปี และ Functional unit คือ ถั่วเหลือง 1 กก. โดย

แปลงนายเอ มี 2 ไร่ ผลิตถั่วเหลืองได้ 600 กก.ต่อปี ใช้ปุ๋ย 0.10 กก. ต่อผลผลิต 1 กก.

แปลงนายบี มี 1 ไร่ ผลิตถั่วเหลืองได้ 400 กก.ต่อปี ใช้ปุ๋ย 0.20 กก. ต่อผลผลิต 1 กก.

เมื่อนำ LCI ของถั่วเหลืองทั้ง 2 แปลงมารวมกัน พบว่า Flows ที่ซ้ำกันคือ ปุ๋ย

ค่าเฉลี่ยปริมาณปุ๋ยที่เป็นตัวแทนของแปลงนายเอและนายบี จะเท่ากับ

$$= \frac{(0.10 \text{ กก.ปุ๋ย/กก.ผลผลิต} \times 600 \text{ กก.ผลผลิต}) + (0.20 \text{ กก.ปุ๋ย/กก.ผลผลิต} \times 400 \text{ กก.ผลผลิต})}{(600 \text{ กก.ผลผลิต} + 400 \text{ กก.ผลผลิต})}$$

= 0.14 กก.ปุ๋ย/กก.ผลผลิต

มีข้อพึงระวัง คือ ในบางกรณี การนำข้อมูลมาเฉลี่ยอาจได้ค่าที่ไม่เป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ เช่น การทำ LCI ของพืชชนิดหนึ่งที่สามารถปลูกได้ทั้งในดินร่วน ดินเหนียว และดินทราย แต่ปริมาณน้ำและปุ๋ยที่ใช้สำหรับการปลูกในดิน 3 ชนิดนี้ไม่เท่ากัน หากนำปริมาณน้ำและปุ๋ยของการปลูกพืชในดิน 3 ชนิดมาหาค่าเฉลี่ย อาจไม่ได้ค่าที่เรียกว่าเป็นตัวแทนของการผลิตพืชชนิดนี้ เพราะไม่มีดินชนิดใดใน 3 ชนิดนี้ ใช้ปุ๋ยตามค่าเฉลี่ยที่ได้ และถ้านำค่าเฉลี่ยปุ๋ยไปใช้ในการผลิตจริงในดินชนิดใดชนิดหนึ่ง อาจไม่มีผลผลิตเกิดขึ้น หากมีกรณีเช่นนี้ควรวางขอบเขตการศึกษา วางแผนการเก็บข้อมูลและวิธีการรายงานผลตั้งแต่แรก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ (ดูหัวข้อ 3.1)

3.2.9 การตรวจสอบความถูกต้องของ National Life Cycle Inventory โดยการดุลมวลสาร และพลังงาน และพิจารณาจุดต่างๆ ที่อาจเกิดความผิดพลาดได้ (ดังระบุในหัวข้อ 3.2.5) รวมทั้งควรขอความเห็นจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิว่า ค่าที่ปรากฏใน National LCI เป็นค่าที่น่าจะเป็นไปได้หรือไม่ เช่น การผลิตถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม ควรมาจากการใช้ปุ๋ย ใช้น้ำ และใช้เมล็ดพันธุ์ตามที่ LCI ระบุหรือไม่นั้น Practitioner อาจตรวจสอบ LCI ที่ได้กับแหล่งข้อมูลอื่นที่น่าเชื่อถือ เช่น ฐานข้อมูล LCI ระดับนานาชาติ หรือหนังสือ หรือบทความในสาขาที่เกี่ยวข้อง หากมีความแตกต่างจากแหล่งข้อมูลอื่นมาก ควรมีเหตุผลที่อธิบายได้ หากผู้เชี่ยวชาญเห็นด้วยกับ LCI ที่ได้ และ LCI ไม่ต่างจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากนัก ให้ถือว่า LCI นั้นใช้ได้

นอกจากนี้ควรตรวจประเมินความน่าเชื่อถือของ LCI ที่ได้ (ดังหัวข้อ 3.2.10) หากพบว่า LCI ควรมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้นก็สามารถปรับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาได้

3.2.10 การประเมินความน่าเชื่อถือของ National Life Cycle Inventory เพื่อสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ใช้งาน โดยประเมินตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้ ดังนี้ [ISO 14044, 2006]

1) ตรวจสอบความสมบูรณ์ (Completeness Check) คือ ตรวจสอบว่าข้อมูลที่สำคัญไม่หายไป และมีข้อมูลครบตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เช่น ถ้าเป้าหมายเป็นการเปรียบเทียบระบบ A และ B ตั้งแต่ขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบจนถึงการผลิตแล้วเสร็จ แต่เมื่อพิจารณาขอบเขตการเก็บข้อมูลพบว่า LCI ของระบบ A มาจากการเก็บข้อมูลตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงาน และขั้นตอนการผลิต ส่วน LCI ของระบบ B มาจากการเก็บข้อมูลขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิต โดยไม่มีการเก็บข้อมูลขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงาน ดังนั้น Practitioner จึงควรเก็บข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบของระบบ B เพิ่มเติมเนื่องจากยังไม่สมบูรณ์

ILCD ได้ระบุให้ตรวจสอบว่า ได้มีการรวมกระบวนการหรือระบบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดไว้หรือไม่ มีการเก็บข้อมูล Flows ทุกชนิดที่จำเป็นไว้แล้วหรือไม่ และการ Cut-off ส่งผลอย่างไรต่อความสมบูรณ์ของข้อมูล และเป้าหมายที่ตั้งไว้

หากต้องการให้ข้อมูลสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นควรกลับไปเก็บข้อมูลใหม่โดยอาจปรับเปลี่ยนเป้าหมายและขอบเขตที่ศึกษา

2) ตรวจสอบความแปรปรวน (Sensitivity Check) คือ การทดสอบว่าหากสมมติฐานหรือวิธีการ (เพื่อให้ได้ค่าต่างๆ ใน LCI) เปลี่ยนไป จะส่งผลต่อค่าใน LCI อย่างไร รวมถึงจะเปลี่ยนแปลงผลการประเมิน LCA หรือไม่ การเลือกใช้สมมติฐานหรือวิธีการ (Methodology) ที่ไม่เหมือนกันอาจทำให้ได้ LCI และผลการประเมิน LCA ที่แตกต่างกัน สมมติฐานหรือวิธีการดังกล่าว ได้แก่

- วิธีการแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม
- บรรทัดฐานการ Cut-off (Cut-off Criteria)
- การกำหนดขอบเขตระบบ (Boundary Setting) และคำจำกัดความของระบบ (System Definition)
- ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่สนใจ (Impact Category)
- การจำแนก LCI ว่าหัวข้อใดทำให้เกิดผลกระทบใด (Classification)
- ค่าที่บ่งบอกความรุนแรงของสารหรือพลังงานที่จะส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Characterization)

การตรวจสอบ Sensitivity มักจะเลือกตรวจสอบที่ปัจจัยสำคัญๆ เช่น ถ้าไม่แน่ใจว่าควรแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีใด อาจลองใช้มากกว่า 1 วิธี แล้วดูความแตกต่าง หากมีความแตกต่างกันมาก จะต้องมีเหตุผลในการเลือกใช้วิธีนั้นๆ

ตัวอย่าง

เก็บข้อมูลพลังงานที่ใช้ในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่ง โดยวิธีที่ 1 ได้ผลดังนี้ คือ ช่วงการจัดหาวัตถุดิบ 100 MJ ช่วงกระบวนการผลิต 200 MJ ช่วงการใช้งาน 300 MJ (แสดงดังตารางที่ 5) แต่เมื่อใช้วิธีที่ 2 ในการเก็บข้อมูล พลังงานที่ใช้ในช่วงกระบวนการผลิตกลับเท่ากับ 100 MJ ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบน (Deviation) คือ = 100-200 = -100 MJ คิดเป็น % Deviation = (-100/200)*100 = -50% คิดเป็น Sensitivity = 50% การเบี่ยงเบนนี้ส่งผลต่อผลรวมพลังงานที่ใช้ในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คิดเป็น Sensitivity = 17% ดังนั้น สรุปได้ว่าการเก็บข้อมูลโดยใช้วิธีการที่ต่างกันทำให้ได้ผลข้อมูลที่แตกต่างกัน หากความไม่แน่นอนของข้อมูลนี้ส่งผลต่อการหาข้อสรุปบางอย่าง อาจต้องมีการเก็บข้อมูลใหม่ หรือมีเหตุผลในการเลือกว่าจะใช้วิธีที่ 1 หรือวิธีที่ 2

ตารางที่ 5 แสดง Sensitivity Check สำหรับความไม่แน่นอนของข้อมูลที่ได้มา

ขั้นตอน	จัดหาวัตถุดิบ	กระบวนการผลิต	การใช้งาน	รวม
เก็บข้อมูลวิธีที่ 1, MJ	100	200	300	600
เก็บข้อมูลวิธีที่ 2, MJ	100	100	300	500
Deviation, MJ	0	-100	0	-100
Deviation, %	0	-50	0	-17
Sensitivity, %	0	50	0	17

3) ตรวจสอบการเป็นไปในทางเดียวกัน (Consistency check) คือ การตรวจสอบว่าการเก็บข้อมูลตามขอบเขตที่ตั้งไว้ มีการใช้สมมติฐาน วิธีการ โมเดล สมการ ประเภทข้อมูล เหมือนกันหรือไม่ หรือหากมีการเปรียบเทียบ LCI ของสองระบบการผลิต ก็ควรพิจารณา Consistency ของระบบที่จะเปรียบเทียบกันนั้น หากมีความแตกต่างอาจระบุไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา นอกจากนี้ก่อนทำการสรุปผลหรือแปลผลการวิเคราะห์ ควรทราบวิธีการได้มาของข้อมูล เพื่อให้การสรุปผลและแปลผลถูกต้อง เช่น ถ้าต้องเปรียบเทียบ LCI ของผลิตภัณฑ์หนึ่งจาก 2 โรงงาน ควรทราบว่า LCI ทั้งสอง ได้มาจากการแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมแบบเดียวกันหรือไม่ หรือค่า Emission มาจากการคำนวณโดยใช้สมการเดียวกันหรือไม่

อาจตรวจสอบ Consistency ในหัวข้อต่อไปนี้

- ความแตกต่างของแหล่งข้อมูล เช่น บางรายการใน LCI มาจากหนังสือ ในขณะที่บางรายการมาจากสถานที่ผลิต
- ความแตกต่างด้านความถูกต้อง (Accuracy) เช่น ข้อมูลแก๊สเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งจากโรงงาน A ได้จากการเก็บข้อมูลแบบละเอียดมาก คือ ระบุแก๊สเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากแต่ละขั้นตอนในการผลิต คือ ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การจัดการของเสีย มลสารทางอากาศ ทางน้ำ และทางดิน ส่วนข้อมูลแก๊สเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการผลิตของโรงงาน B เป็นข้อมูลตัวเลขโดยรวม ที่มีการรวมแก๊สเรือนกระจกในขั้นตอนต่างๆ ไว้ด้วยกัน และไม่ทราบว่าค่านั้นมีที่มาจากขั้นตอนใด

- ความแตกต่างของเทคโนโลยี เช่น ระบบ A เป็นเทคโนโลยีขั้นสูงที่ประหยัดพลังงานและมีการใช้ค่อนข้างน้อยในประเทศเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่ ส่วนระบบ B เป็นเทคโนโลยีทั่วไปที่ใช้กันในประเทศ
- ความแตกต่างด้านเวลา เช่น ระบบ A เป็นข้อมูลของโรงงานหลังการปรับปรุงใหม่ ส่วนระบบ Bเป็นข้อมูลของโรงงานก่อนปรับปรุง
- ความแตกต่างด้านอายุข้อมูล
- ความแตกต่างด้านความครอบคลุมพื้นที่ เช่น ระบบ A เป็นข้อมูลของภาคใต้ ส่วนระบบ B เป็นข้อมูลเฉลี่ยของภาคใต้และภาคกลาง

การจะดูว่าข้อมูลที่ได้มามี Consistency หรือไม่นั้น ให้ดูตัวข้อมูล เช่น ข้อมูลระบบ A อาจมีอายุ 2 ปี ข้อมูลระบบ B อาจมีอายุ 3 ปี แต่การผลิตของ 3 ปีที่ผ่านมานั้น ไม่ได้มีความแตกต่างจาก 2 ปีที่ผ่านมา แสดงว่าข้อมูลของทั้งสองระบบเป็นไปในทางเดียวกัน หรืออีกตัวอย่างเช่น ข้อมูล LCI แบบแรกเป็นข้อมูลจากหนังสือ ส่วนข้อมูล LCI แบบที่ 2 เป็นข้อมูลจริงจากโรงงาน แต่ข้อมูลในหนังสือมาจากรายงานประจำปีของโรงงานและค่าใน LCI เหมือนกัน ดังนั้นถือว่า ข้อมูล LCI ทั้งสองแบบเป็นไปในทางเดียวกัน

3.2.11 การวิเคราะห์และสรุป ขั้นนี้เป็นการนำ LCI ที่ได้มาหาข้อสรุปว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ อย่างไรบ้าง ระบุสิ่งที่ได้รับจากการทำ LCI และประโยชน์ของการทำ LCI วิเคราะห์ว่าวิธีการที่ใช้เก็บข้อมูลส่งผลให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์ (Completeness) เพียงไร ข้อมูลมี Consistency หรือไม่ และเมื่อทำ Sensitivity Check แล้ว ได้ผลเป็นอย่างไร ควรระบุว่าการแปลผลหรือตีความ หรือหาข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้มา มีข้อจำกัดหรือข้อควรระวังอย่างไรบ้าง พร้อมให้ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำ LCI ไปใช้ประโยชน์ต่อไป [ISO 14044, 2006]

3.3 การรายงานผลการศึกษา

เมื่อทำการศึกษาแล้วเสร็จควรรายงานผลการศึกษาอย่างโปร่งใส และมีรายละเอียดเพียงพอที่จะทำให้ผู้อ่านเข้าใจผลการศึกษา สามารถทำตามแล้วได้ผลเหมือนเดิม (Reproducible) รวมถึงสามารถวิเคราะห์ข้อดี-ข้อเสีย และตัดสินใจได้ว่าควรจะนำข้อมูลไปใช้ต่อหรือไม่และอย่างไร การรายงานผลการศึกษาควรครอบคลุมสิ่งต่างๆ ดังนี้

3.3.1 รายละเอียดแผนงาน ได้แก่ ความสำคัญหรือความจำเป็นของการศึกษา สิ่งที่มีผู้เคยศึกษามาแล้วที่เกี่ยวข้องกับ LCI เป้าหมายและขอบเขตการเก็บข้อมูล หน่วยการทำงาน (Functional Unit) รวมถึงคุณภาพข้อมูลที่ต้องการ ขั้นตอนการดำเนินการเพื่อให้โครงการประสบความสำเร็จ วิธีการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้ตัวแทนของประเทศ วิธีการหาข้อมูลเพื่อทดแทนข้อมูลที่ไม่สามารถเก็บได้ สมมติฐานที่ใช้ ข้อจำกัดของการทำงาน หรือข้อจำกัดของข้อมูล สูตรการคำนวณต่างๆ วิธีการแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมในระบบที่มีมากกว่า 1 ผลิตภัณฑ์ (ถ้ามี) การ Cut-off และผลจากการ Cut-off ระยะเวลาการดำเนินการ แบบสอบถามการเก็บข้อมูล ระบุหน่วยงานที่เป็น Practitioner และ Commissioner รวมถึงบุคคลที่มีส่วนทำให้งานสำเร็จ (เช่น คณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญ และคณะทำงาน เป็นต้น) ระยะเวลาศึกษา รวมทั้งข้อความที่ระบุว่ารายงานเป็นผลการศึกษาตาม ISO 14040 และ ISO 14044

3.3.2 รายละเอียดผลการดำเนินงาน

1) ระบุสิ่งที่ได้ดำเนินการ เช่น วิธีการเก็บข้อมูลแบบละเอียด พื้นที่ที่เก็บข้อมูล แหล่งข้อมูลหรือผู้ให้ข้อมูล แผนภาพระบบที่ศึกษา คุณภาพข้อมูลที่ได้มา รายชื่อคณะกรรมการโครงการ ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น ข้อจำกัดต่างๆ ข้อควรระวังในการทำงาน ผลการประชุมคณะกรรมการ และผลการสัมมนาเผยแพร่โครงการ (ถ้ามี)

2) ผล LCI ที่ได้ ควรเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพ (ดูหัวข้อ 3.4) และเป็นไปตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ (ดูหัวข้อ 3.2.2) โดยรายงานเป็นค่าเฉลี่ย และอาจบอกค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด รวมถึงบอกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ทั้งนี้ขึ้นกับการตกลงกันระหว่าง Commissioner และ Practitioner การทราบค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะทำให้ง่ายต่อการประเมินคุณภาพข้อมูลเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป ผลการศึกษาควรอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย และง่ายต่อการสืบกลับ ควรระบุแหล่งข้อมูลว่ามาจากการเก็บข้อมูลจริง หรือมาจากการคำนวณ หรือมาจากการศึกษาเอกสาร รวมถึงการจัดการกับผลพลอยได้และขยะจากระบบที่ศึกษา นอกจากนี้ควรมีข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบมายังระบบ (ดูหัวข้อ 3.2.3) เพื่อสะดวกต่อการทำข้อมูลให้เป็น “Cradle to Gate” หลักเกณฑ์เลือกหน่วยของค่าต่างๆ ใน LCI ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.3.6

3.3.3 การวิเคราะห์และสรุปผลที่ได้ ควรมีผลการวิเคราะห์และสรุปผลในรายงาน (ดูหัวข้อ 3.2.11) เช่น ผลการศึกษาเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ สามารถนำ LCI ไปใช้ประโยชน์ใดได้บ้าง ข้อมูลมีความสมบูรณ์ (Completeness) เพียงไร มีสิ่งใดบ้างที่จะทำให้ LCI เปลี่ยนไป เช่น หากเก็บข้อมูลอีกแบบหนึ่งจะทำให้ได้บางค่าเปลี่ยนไปหรือไม่ (Sensitivity Check) วิเคราะห์ Consistency ของการศึกษารวมถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการศึกษาควรระบุว่าการแปรผล การตีความ หรือการหาข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้ต้องคำนึงถึงสิ่งใดบ้าง พร้อมให้ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะทำ LCI หรือจะนำ LCI ไปใช้ประโยชน์ต่อไป [ISO 14044, 2006]

3.3.4 ตารางรวบรวมรายชื่อสาร Practitioner รวบรวมรายชื่อสารและพลังงาน (ทั้งขาเข้าและขาออก) ที่มีใน LCI ของการผลิตผลิตภัณฑ์และใส่ไว้ในตาราง (แสดงดังตารางที่ 6) เพื่อส่งให้ MTEC (Commissioner ในปัจจุบัน) ใช้ในการจัดทำชื่อบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกมาตรฐาน สำหรับใช้กับระบบการจัดการฐานข้อมูลกลาง (Central Database) โดยแต่ละรายชื่อสารต้องประกอบด้วย ชื่อทั่วไปภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ชื่อเรียกตามระบบ IUPAC ชื่อพ้อง สูตรเคมี (ถ้ามี) CAS No. และแหล่งที่มาเพื่ออ้างอิงข้อมูล

3.3.5 เอกสารสำหรับ Critical Review (ความสำคัญของ Critical Review ดูหัวข้อ 4.1) เอกสารสำหรับ Critical Review ของ National LCI ของไทย ได้แก่ ข้อมูลที่บันทึกไว้ในแบบฟอร์ม Documentation (ความสำคัญ Documentation ดูหัวข้อ 3.10) แบบฟอร์มนี้เป็นรูปแบบของมาตรฐานนานาชาติที่เรียกว่า “International Reference Life Cycle Data System Format (ILCD Format)” ซึ่งสหภาพยุโรป (European Union) เป็นผู้พัฒนาขึ้น การใช้แบบฟอร์มนี้จะทำให้ Documentation ของไทยสอดคล้องกับรูปแบบมาตรฐานของนานาชาติ เป็นประโยชน์ในการแลกเปลี่ยน หรือเปิดเผยฐานข้อมูลกับแหล่งฐานข้อมูลอื่นๆ ในอนาคต รวมถึงสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตต่างๆ ที่พัฒนาโดยนานาประเทศ ที่ใช้รูปแบบของการจัดเก็บข้อมูลแบบเดียวกัน การบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์ม Documentation จะทำผ่าน**ระบบจัดการฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิต (Thai Life Cycle Inventory Data Management System; ThaiLCD)** ซึ่งเป็นระบบที่ MTEC พัฒนาขึ้น (ภายใต้ “โครงการจัดทำฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย รวมทั้งการประยุกต์ใช้” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณโดยกระทรวงอุตสาหกรรม ภายใต้ยุทธศาสตร์เพิ่มขีดความสามารถของอุตสาหกรรมไทยในการแข่งขันภายใต้กฎระเบียบของประเทศคู่ค้า) โดยมีแบบฟอร์มทั้งหมด 7 ชุด คือ

- ชุดข้อมูลระบบการผลิตที่ศึกษา (Process data set)
- ชุดข้อมูลผู้สามารถติดต่อได้ (Contact data set)
- ชุดแหล่งข้อมูล (Source data set)
- ชุดข้อมูลวิธีการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (LCIA method data set)
- ชุดข้อมูลสารและพลังงานที่ผ่านเข้าออกจากระบบ (Flow data set)
- ชุดข้อมูลคุณสมบัติของสารและพลังงานที่ผ่านเข้าออกจากระบบ (Flow property data set)
- ชุดข้อมูลหน่วย (Unit group data set)

ทั้งนี้ **Practitioner จะบันทึกข้อมูลเพียง 4 ชุดแรก** เท่านั้น ส่วน 3 ชุดหลัง จะจัดเตรียมให้โดยผู้ดูแลระบบฐานข้อมูลกลางของประเทศไทย เพื่อให้การอ้างอิงต่างๆ เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน เช่น ชื่อสาร ชื่อหน่วยที่ใช้งาน และชื่อคุณสมบัติของสารที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

ตารางที่ 6 แบบฟอร์มบันทึกรายชื่อสารสำหรับ National LCI

Type of Flow	ชื่อสารภาษาไทย	ชื่อสารภาษาอังกฤษ/ชื่อทั่วไป	หมวดหลัก (Top Category)	หมวดรอง (Sub Category)	สูตรเคมี/สัญลักษณ์ (Chemical Formular/Symbol)	ชื่อสาร IUPAC	CAS No.	ชื่อพ้อง (ภาษาไทย)	ชื่อพ้อง (ภาษาอังกฤษ)	General comment on data set	ข้อเสนอแนะทั่วไปของชุดข้อมูล	Reference to reference flow property	References
Product flow	อาร์เซนิก	arsenic	Materials	Inorganic chemicals	As	Arsenic	007440-38-2		Fowler's solution; Grey arsenic; Colloidal arsenic; Arsenic, Inorganic			Mass	http://msds.pcd.go.th
Product flow	อะลูมิเนียมฟอสเฟต	aluminium phosphate	Materials	Inorganic chemicals	$AlPO_4$	Aluminium phosphate	007784-30-7		Aluminium monophosphate, Phosphoric acid, aluminum salt (1:1)			Mass	www.chemtrack.org

3.3.6 หลักเกณฑ์แสดงหน่วยและค่าต่างๆ ใน LCI หน่วยของสารและพลังงาน รวมถึงผลตัวเลขและทศนิยมใน LCI ควรเป็นดังนี้คือ

1) การแสดงหน่วยใน LCI

<u>ถ้าเป็นของแข็ง</u> แสดงหน่วยเป็น กิโลกรัม

<u>ถ้าเป็นของเหลว(น้ำและสารละลาย)</u>แสดงหน่วยเป็น กิโลกรัม และระบุคุณลักษณะจำเพาะของสารนั้น เช่น ค่าความหนาแน่น (Density) และความเข้มข้น (Concentration) เป็นต้น

ถ้าเป็นก๊าซ แสดงหน่วยเป็น กิโลกรัม และระบุคุณลักษณะจำเพาะของสารนั้น เช่น ปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และค่าคงที่ต่างๆ เป็นต้น

ถ้าเป็นพลังงาน จะแบ่งออกเป็น 3 กรณีย่อย ดังนี้

- ถ้าเป็นของแข็ง เช่น ถ่านหิน ลิกไนต์ ชีวมวล แสดงหน่วยเป็น กิโลกรัม และระบุคุณลักษณะจำเพาะของสารนั้น เช่น ค่าความร้อน (Heating Value) เป็นต้น

- ถ้าเป็นของเหลว เช่น LPG และน้ำมันประเภทต่างๆ เป็นต้น แสดงหน่วยเป็น กิโลกรัม และระบุคุณลักษณะจำเพาะของสารนั้น เช่น ค่าความหนาแน่น และค่าความร้อน เป็นต้น

- ถ้าเป็นก๊าซ แสดงหน่วยเป็น กิโลกรัม และระบุคุณลักษณะจำเพาะของก๊าซนั้น เช่น ค่าความร้อน ปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และค่าคงที่ต่างๆ เป็นต้น

ถ้าเป็นไอน้ำ (Steam) ที่ซื้อมา แสดงหน่วยเป็น กิโลกรัมและระบุคุณลักษณะจำเพาะ เช่น ปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และค่าคงที่ต่างๆ เป็นต้น (กรณีเป็นไอน้ำที่ผลิตเองในโรงงานไม่ต้องแสดงปริมาณไอน้ำใน LCI แต่ให้คำนวณย้อนไปที่น้ำและพลังงานที่ใช้ในการผลิตไอน้ำเลย)

ถ้าเป็นไฟฟ้า แสดงหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

2) วิธีบันทึกค่าและจำนวนทศนิยมใน LCI

ในกรณีที่มีค่า > 0.001 ให้ระบุตัวเลขและทศนิยม โดยที่ทศนิยมขึ้นกับความละเอียดของเครื่องมือวัด แต่หากไม่ทราบให้มีทศนิยมได้ตั้งแต่ 0-4 ตำแหน่ง เช่น 1.5, 0.002, 10.345, 149.3778

ในกรณีที่มีค่า < 0.001 ให้ระบุเป็นตัวเลขแบบ Scientific คือ ตัวเลขยกกำลังสิบ การยกกำลังใช้ตัว “E” แทน เช่น 0.00025 ให้ระบุ 2.50000E-04 (หมายถึง 2.50000×10^{-4})

3.3.7 ข้อมูลอื่นๆ เช่น วันที่ส่งรายงาน คำขอบคุณ เอกสารอ้างอิง และภาคผนวก เป็นต้น

3.4 คุณภาพของข้อมูล (Data Quality Requirement)

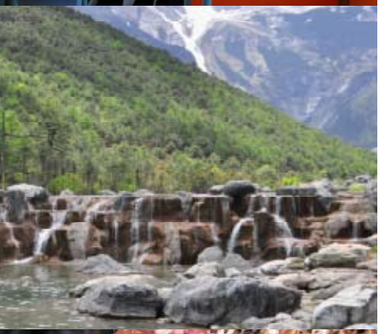
คุณภาพข้อมูลใน LCI เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้เป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้บรรลุผล [ISO 14044, 2006] รวมถึงจะทำให้ทราบว่าข้อมูลใน LCI นั้นน่าเชื่อถือเพียงใด และหากมีการนำ LCI ไปใช้ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม คุณภาพข้อมูลใน LCI จะส่งผลถึงความน่าเชื่อถือของผลการประเมินด้วย การกำหนดคุณภาพข้อมูลควรคำนึงถึงสิ่งต่อนี้

3.4.1 ความสมบูรณ์ (Completeness) เป็นการพิจารณาว่าข้อมูล (สารและพลังงาน) ที่จะเก็บหรือวัดเป็นสัดส่วนเท่าใดของข้อมูลทั้งหมด คำว่าสมบูรณ์ไม่ได้หมายถึง การมีข้อมูลครบทุกอย่าง แต่เป็นการพิจารณาข้อมูลเทียบกับเป้าหมายและวัตถุประสงค์ ตัวอย่างเช่น เป้าหมายต้องการทราบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกสู่โลกเท่าใด ขอบเขตการศึกษาจึงไม่จำเป็นต้องรวมถึงการเก็บข้อมูล SO_2 หรือฝุ่นที่ได้จากการผลิตผลิตภัณฑ์ เนื่องจากไม่ได้นำมาใช้ และการเก็บข้อมูลก็ถือได้ว่าสมบูรณ์ เมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

อย่างไรก็ตามการจัดทำ National LCI มีเป้าหมายเพื่อใช้สำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Impact Assessment) หลายแบบ ทั้งด้านโลกร้อน ด้านฝนกรด ด้านความเป็นพิษ (Toxicity) และอื่นๆ LCI จึงต้องมีข้อมูลครบถ้วนสมบูรณ์มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ILCD ได้เสนอว่า ควรพิจารณาความสมบูรณ์โดยดูความสัมพันธ์ระหว่าง การ Cut-off และเป้าหมายการศึกษาที่ตั้งไว้ตั้งแต่ก่อนเก็บข้อมูล เพราะการ Cut-off อาจส่งผลต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้

3.4.2 ระดับความเป็นตัวแทน (Representativeness) พิจารณาว่าข้อมูลที่เก็บได้สะท้อนภาพของสิ่งที่สนใจเพียงใด โดยพิจารณาความเป็นตัวแทน 3 ด้าน ได้แก่ความเป็นตัวแทนด้านเทคโนโลยี (Technological Representativeness) ความเป็นตัวแทนด้านภูมิศาสตร์ (Geographical Representativeness) และความเป็นตัวแทนด้านเวลา (Time-related Representativeness)



1) **ความเป็นตัวแทนด้านเทคโนโลยี (Technological representativeness)** หมายถึง ข้อมูลที่ได้สะท้อนภาพของเทคโนโลยีทั้งหมดของสิ่งที่สนใจเพียงใด ตัวอย่างเช่น โรงงานที่ผลิตสาร A มีทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก ซึ่งใช้เทคโนโลยีการผลิตแตกต่างกันตามขนาดโรงงาน และ Practitioner ไม่สามารถเก็บข้อมูลครอบคลุมได้ถึง 60% ของกำลังการผลิต (สาร A) ทั้งหมดของประเทศ อันเนื่องจากจำนวนคน จำนวนเงินและเวลาที่มีจำกัด ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของประเทศ Practitioner ควรเก็บข้อมูลจากโรงงานทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก แล้วนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย

2) **ความเป็นตัวแทนด้านภูมิศาสตร์ (Geographical Representativeness)** หมายถึง ข้อมูลที่ได้สะท้อนภาพสิ่งที่สนใจภายในภูมิประเทศ หรือบริเวณนั้นๆ หรือไม่ ตัวอย่างเช่น การทำ LCI ของถั่วเหลือง ซึ่งปลูกมากที่ภาคเหนือของประเทศไทย จึงควรเก็บข้อมูลของการผลิตที่ภาคเหนือ หากเก็บข้อมูลที่ภาคกลางก็อาจไม่ได้เป็นตัวแทนที่ถูกต้อง

3) **ความเป็นตัวแทนด้านเวลา (Time-related Representativeness)** หมายถึง ข้อมูลที่ได้สามารถสะท้อนภาพสิ่งที่สนใจเมื่อเวลาเปลี่ยนไปหรือไม่ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ใช้วัตถุดิบหลักเป็นผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งบางชนิดหาได้ง่ายในฤดูกาลหนึ่งและหายากอีกฤดูกาลหนึ่ง ดังนั้นจึงมักใช้พืชชนิดหนึ่งแทนพืชอีกชนิดหนึ่งเมื่อฤดูกาลเปลี่ยนไป เพื่อให้ LCI ของอาหารสัตว์เป็นตัวแทนของข้อมูลได้ทุกฤดูกาล Practitioner ควรเก็บข้อมูลให้ครอบคลุม 1 ปี เพื่อหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนของข้อมูลอันเนื่องจากฤดูกาล

3.4.3 ความเที่ยง (Precision) หรือความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty of the Information) คือ พิจารณาว่าค่าของข้อมูลมีความคงที่หรือแปรปรวนเพียงใด ระบุสิ่งที่คาดว่าจะทำให้เกิดความไม่แน่นอนของข้อมูล เช่น โมเดลสมการที่ใช้ หรือสมมติฐานต่างๆ เป็นต้น

3.4.4 ความเหมาะสมของวิธีการที่ใช้ (Methodological Appropriateness) โดยดูจาก

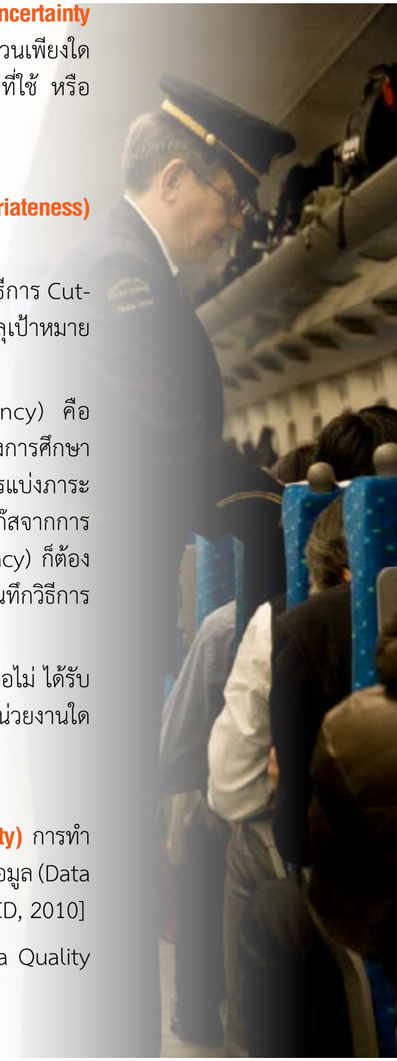
1) ใช้วิธีการที่เหมาะสม เช่น วิธีการแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม วิธีการ Cut-off เป็นต้น ทั้งนี้การเลือกใช้วิธีการนั้นๆ จะต้องส่งผลให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้และอยู่ในขอบเขตการศึกษาที่กำหนด

2) ใช้หลักการหรือวิธีการเดียวกันตลอดการศึกษา (Consistency) คือ พิจารณาว่าการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และทุกๆ ส่วนของการศึกษาได้ใช้หลักการ (Methodology) เดียวกันหรือไม่ เช่น หลักการแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม วิธีการ Cut-off สูตรคำนวณการปลดปล่อยแก๊สจากการเผาไหม้ หากมีบางอย่างที่ไม่ได้ใช้วิธีการเดียวกัน (Inconsistency) ก็ต้องไม่กระทบต่อผล LCA หรือ LCI [ILCD, 2010] และควรบันทึกวิธีการที่แตกต่างกันนี้ไว้ด้วย

3) แหล่งข้อมูล (Source) คือ พิจารณาว่าแหล่งข้อมูลน่าเชื่อถือหรือไม่ ได้รับความเห็นชอบจากผู้เชี่ยวชาญหรือไม่ และผ่านการรับรองจากหน่วยงานใดหรือไม่

3.4.5 ความสามารถในการได้ค่าเดิมหากทำซ้ำ (Reproducibility) การทำ LCI ควรมีการบันทึกวิธีการ (Method) สมติฐาน (Assumption) และแหล่งข้อมูล (Data Source) ที่ใช้อย่างโปร่งใสในระดับที่หากมีการทำซ้ำจะได้ผลเหมือนเดิม [ILCD, 2010]

ILCD ได้เสนอวิธีการหาคุณภาพของข้อมูลแบบรวม (Overall Data Quality Rating) ไว้ ซึ่งผู้อ่านสามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้



3.5 การแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม

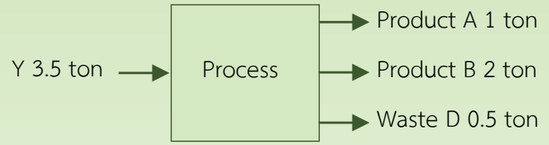
เมื่อระบบที่กำลังศึกษามีการผลิตผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ชนิด หรือผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษาผ่านกระบวนการที่ใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่น และหากเราต้องการทราบ LCI ของผลิตภัณฑ์เดียว เราจะต้องแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมไปให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ **การปันส่วน และการขยายระบบ (System Expansion)**

3.5.1 การปันส่วน (Allocation) คือ การแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมให้กับทุกผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งตามความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ทั้งหมด ซึ่งอาจเป็นความสัมพันธ์ทางเคมีหรือทางฟิสิกส์ แต่โดยทั่วไปแล้วมักแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม ตามสัดส่วนโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด หรือแบ่งตามสัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ หรือแบ่งตามสัดส่วนพลังงานที่ได้จากผลิตภัณฑ์ [Tillman, 2000 และ Finnveden et al., 2009] หากเป็นผลผลิตการเกษตรที่มีมากกว่า 1 ชนิด ในพื้นที่เพาะปลูก อาจแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมให้กับผลผลิตแต่ละชนิด ตามสัดส่วนโดยน้ำหนัก หรือตามพื้นที่และระยะเวลาที่ปลูก โดยถือว่าผลผลิตนั้นกันไม่ให้พืชชนิดอื่นใช้งานจากพื้นที่ดินนั้น [ILCD, 2010] ทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสม

1) **การปันส่วนโดยน้ำหนัก** มักใช้เมื่อผลิตภัณฑ์ทุกชนิดที่ได้จากระบบ มีมูลค่าต่อหน่วยไม่ต่างกันมากนัก และไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นพลังงาน

ตัวอย่างที่ 1

โรงงานหนึ่งใช้ สาร Y หนัก 3.5 ตัน ผลิต Product A 1 ตัน มูลค่า 10,000 บาท/ตัน และ Product B 2 ตัน มูลค่า 10,800 บาท/ตัน และเกิด Waste D จากการผลิต Product A 0.5 ตัน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 สารที่เข้าและออกจากระบบการผลิต Product A และ B

เนื่องจากมูลค่าต่อหน่วยของ Product A และ B ไม่ต่างกันมากนัก การปันส่วนจะใช้วิธีปันส่วนโดยน้ำหนัก

สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Product A = 1 ตัน/(1+2) ตัน

สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Product B = 2 ตัน/(1+2) ตัน

ภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิต Product A และ B คือ

Product A ใช้ สาร Y = สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Product A x น้ำหนักสาร Y

= 1 ตัน/(1+2) ตัน x 3.5 ตัน = 1.17 ตัน

Product B ใช้ สาร Y = สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Product B x น้ำหนักสาร Y

= 2 ตัน/(1+2) ตัน x 3.5 ตัน = 2.33 ตัน

Product A ทำให้เกิด Waste D = สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Product A x น้ำหนักของ Waste D

= 1 ตัน/(1+2) ตัน x 0.5 ตัน = 0.17 ตัน

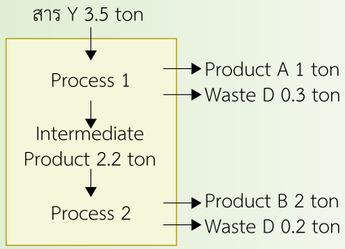
Product B ทำให้เกิด Waste D = สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Product B x น้ำหนักของ Waste D

= 2 ตัน/(1+2) ตัน x 0.5 ตัน = 0.33 ตัน

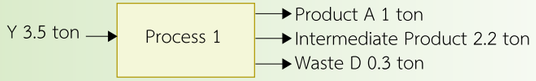
สรุป ภาระทางสิ่งแวดล้อมของ Product A 1 ตัน คือ การใช้สาร Y 1.17 ตัน และเกิด Waste D 0.17 ตัน และภาระทางสิ่งแวดล้อมของ Product B 2 ตัน คือ การใช้สาร Y 2.33 ตัน และเกิด Waste D 0.33 ตัน

ตัวอย่างที่ 2

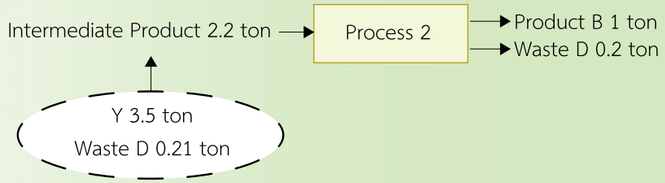
หากกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ Product A และ B มีหน่วยการผลิตย่อยมากกว่า 1 หน่วย ควรทราบรายละเอียดสารและพลังงานที่เข้าและออกจากแต่ละหน่วยการผลิตย่อย เช่น ทราบว่ามี Process 1 และ Process 2 ในการผลิต Product A และ B (แสดงดังรูปที่ 6) โดย Process 1 ได้ผลิตภัณฑ์เป็น Product A 1 ตัน Waste D 0.3 ตัน และ Intermediate Product 2.2 ตัน ซึ่ง Intermediate Product จะผ่าน Process 2 เพื่อให้ได้ Product B 2 ตัน และเกิด Waste D อีก 0.2 ตัน สารที่เข้าและออกจาก Process 1 และ Process 2 แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 6 สารที่เข้าและออกจากระบบการผลิต Product A และ B ที่มีหน่วยการผลิตย่อยคือ Process 1 และ Process 2



รูปที่ 7 สารที่เข้าและออกจาก Process 1



รูปที่ 8 สารที่เข้าและออกจาก Process 2 และภาระทางสิ่งแวดล้อมของ Intermediate Product

สำหรับ Process 1

สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Product A = 1 ตัน/(1+2.2) ตัน

สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Intermediate Product = 2.2 ตัน/(1+2.2) ตัน

ภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิต Product A และ Intermediate Product คือ

Product A ใช้ สาร Y = สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Product A x น้ำหนักสาร Y

= 1 ตัน/(1+2.2) ตัน x 3.5 ตัน = 1.09 ตัน

Intermediate Product ใช้สาร Y = สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Intermediate Product x น้ำหนักสาร Y

= 2.2 ตัน/(1+2.2) ตัน x 3.5 ตัน = 2.41 ตัน

Product A ทำให้เกิด Waste D = สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Product A x น้ำหนักของ Waste D

= 1 ตัน/(1+2.2) ตัน x 0.3 ตัน = 0.09 ตัน

Intermediate Product ทำให้เกิด Waste D = สัดส่วนโดยน้ำหนักของ Intermediate Product x น้ำหนักของ Waste D

= 2.2 ตัน/(1+2.2) ตัน x 0.3 ตัน = 0.21 ตัน

Process 2 เป็นการผลิต Product B โดยใช้ Intermediate Product 2.2 ตัน เป็นสารตั้งต้น และมี Waste D 0.2 ตัน การผลิต Intermediate Product 2.2 ตัน มีการใช้สาร Y 2.41 ตัน และเกิด Waste D 0.21 ตัน ดังนั้นภาระทางสิ่งแวดล้อมของ Product B จะต้องรวมภาระของ Intermediate Product ด้วย นั่นคือการผลิต Product B จะใช้สาร Y 2.41 ตัน และเกิด Waste D = 0.2 + 0.21 ตัน = 0.41 ตัน

สรุป ภาระทางสิ่งแวดล้อมของ Product A 1 ตัน คือ การใช้สาร Y 1.09 ตัน และเกิด Waste D 0.09 ตัน ภาระทางสิ่งแวดล้อมของ Product B 2 ตัน คือ การใช้สาร Y 2.41 ตัน และเกิด Waste D 0.41 ตัน

2) การปันส่วนโดยมูลค่า มักใช้เมื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากระบบการผลิต มีมูลค่าต่อหน่วยต่างกันมาก หรือมีหน่วยที่แตกต่างกัน [Tongpool et al., 2010] เช่น หน่วยของผลิตภัณฑ์เป็น “ตัน” กับ “กิโลวัตต์”

ตัวอย่าง

โรงงานหนึ่งใช้ สาร Y หนัก 3.5 ตัน ผลิต Product A 1 ตัน มูลค่า 10,000 บาท/ตัน และ Product B 2 ตัน มูลค่า 800 บาท/ตัน และเกิด Waste D 0.5 ตัน (แสดงดังรูปที่ 5)

มูลค่าของ Product A = 1 ตัน x 10,000 บาท/ตัน = 10,000 บาท

มูลค่าของ Product B = 2 ตัน x 800 บาท/ตัน = 1,600 บาท

มูลค่าของ Product ทุกชิ้นจากระบบ = 10,000 + 1,600 บาท = 11,600 บาท

สัดส่วนโดยมูลค่าของ Product A = มูลค่าของ Product A ทุกชิ้น/มูลค่าของ Product ทุกชิ้นจากระบบ

= 10,000/11,600 = 0.86

สัดส่วนโดยมูลค่าของ Product B = มูลค่าของ Product B ทุกชิ้น/มูลค่าของ Product ทุกชิ้นจากระบบ

= 1,600/11,600 = 0.14

ภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิต Product A และ B คือ

Product A ใช้ สาร Y = สัดส่วนโดยมูลค่าของ Product A x น้ำหนักสาร Y

= 0.86 x 3.5 ตัน = 3.01 ตัน

Product B ใช้ สาร Y = สัดส่วนโดยมูลค่าของ Product B x น้ำหนักสาร Y

= 0.14 x 3.5 ตัน = 0.49 ตัน

Product A ทำให้เกิด Waste D = สัดส่วนโดยมูลค่าของ Product A x น้ำหนัก Waste D

= 0.86 x 0.5 ตัน = 0.43 ตัน

Product B ทำให้เกิด Waste D = สัดส่วนโดยมูลค่าของ Product B x น้ำหนัก Waste D

= 0.14 x 0.5 ตัน = 0.07 ตัน

สรุป ภาระทางสิ่งแวดล้อมของ Product A 1 ตัน คือ การใช้สาร Y 3.01 ตัน และทำให้เกิด Waste D 0.43 ตัน และภาระทางสิ่งแวดล้อมของ Product B 2 ตัน คือ การใช้สาร Y 0.49 ตัน และทำให้เกิด Waste D 0.07 ตัน

3) การปันส่วนโดยพลังงาน มักใช้เมื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากระบบเป็นเชื้อเพลิงและพลังงาน

ตัวอย่าง

โรงงานหนึ่งใช้ สาร Y หนัก 3.5 ตัน ผลิตเชื้อเพลิงได้ 2 ตัน ซึ่งมีพลังงาน 10,000 MJ/ตัน และผลิตไฟฟ้าได้ 800 MJ และเกิดของเสียขึ้น 0.5 ตัน (แสดงดังรูปที่ 9)

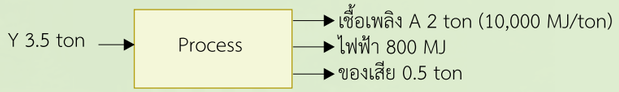
สัดส่วนโดยพลังงานของเชื้อเพลิง A = พลังงานของเชื้อเพลิง A / พลังงานที่ได้จากระบบทั้งหมด

= (2 ตัน x 10,000 MJ/ตัน) / (2 ตัน x 10,000 MJ/ตัน + 800 MJ)

= 0.96

สัดส่วนโดยพลังงานของไฟฟ้า = พลังงานจากไฟฟ้า/พลังงานที่ได้จากระบบทั้งหมด

= 800 MJ / (2 ตัน x 10,000 MJ/ตัน 800 MJ) = 0.04



รูปที่ 9 สารที่เข้าและออกจากระบบการผลิตเชื้อเพลิง A และไฟฟ้า

ภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิง A และไฟฟ้า คือ

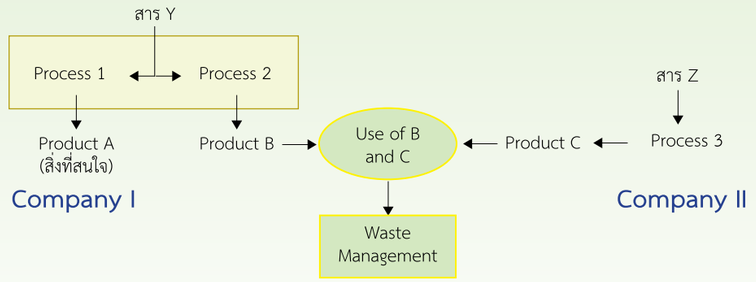
เชื้อเพลิง A ใช้ สาร Y	=	สัดส่วนโดยพลังงานของเชื้อเพลิง A x น้ำหนักสาร Y
	=	0.96 x 3.5 ตัน = 3.36 ตัน
ไฟฟ้า ใช้ สาร Y	=	สัดส่วนโดยพลังงานของไฟฟ้า x น้ำหนักสาร Y
	=	0.04 x 3.5 ตัน = 0.14 ตัน
เชื้อเพลิง A ทำให้เกิดของเสีย	=	สัดส่วนโดยพลังงานของเชื้อเพลิง A x น้ำหนักสาร Y
	=	0.96 x 0.5 ตัน = 0.48 ตัน
ไฟฟ้า ทำให้เกิดของเสีย	=	สัดส่วนโดยพลังงานของไฟฟ้า x น้ำหนักสาร Y
	=	0.04 x 0.5 ตัน = 0.02 ตัน

สรุป ภาระทางสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิง A 2 ตัน คือ การใช้สาร Y 3.36 ตัน และทำให้เกิดของเสีย 0.48 ตัน และภาระทางสิ่งแวดล้อมของไฟฟ้า คือ การใช้สาร Y 0.14 ตัน และทำให้เกิดของเสีย 0.02 ตัน

3.5.2 การขยายระบบ (System Expansion) หมายถึง การที่ขอบเขตของระบบที่สนใจศึกษาถูกขยายออกไปให้รวมถึงระบบอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อสิ่งที่เรากำลังสนใจศึกษา วิธีนี้นอกจากจะเป็นการหลีกเลี่ยงการปันส่วน (Allocation) แล้ว ยังเป็นการคำนึงถึงผลกระทบทางอ้อม (Indirect Effect) ต่อสิ่งที่เรากำลังสนใจศึกษาด้วย การขยายระบบจะถูกต้องหรือไม่ต้องพิจารณาว่าการตัดสินใจทำอย่างหนึ่งอย่างใดกับระบบอื่นๆ จะส่งผลกระทบต่อสิ่งที่เรากำลังสนใจศึกษาด้วยหรือไม่ หากไม่ทำให้สิ่งที่เรากำลังสนใจศึกษาเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ก็ไม่ควรต้องทำการขยายระบบ

ตัวอย่างที่ 1

การผลิต Product A เป็นสิ่งที่เรากำลังสนใจศึกษา และ Product B อยู่นอกความสนใจในตอนแรก (แสดงดังรูปที่ 10) การตัดสินใจทำสิ่งใดสิ่งหนึ่งกับการผลิต Product B จะส่งผลต่อ Product A ซึ่งเป็นสิ่งที่เรากำลังสนใจศึกษาด้วย นอกจากนี้ปริมาณการผลิต Product C จะส่งผลต่อการผลิต Product B ในกรณีเช่นนี้ควรทำการขยายระบบออกไป การขยายระบบจำเป็นต้องทราบข้อมูลนอกระบบที่เราสนใจศึกษา และหาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับระบบที่เราสนใจศึกษา และสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ หากผลกระทบทางอ้อมที่จะเกิดกับระบบที่เราสนใจมีความไม่แน่นอนมาก การขยายระบบอาจไม่ส่งผลดีต่อผลการวิเคราะห์ LCA แต่หากผลกระทบทางอ้อมนั้นสำคัญต่อ LCA มาก และในขณะเดียวกันยังมีความไม่แน่นอนมากอีกด้วย จึงควรทำ Scenario หลายๆ แบบ โดยใช้สมมติฐานที่แตกต่างกันแล้วเปรียบเทียบผลที่ได้ [Ekvall and Finnveden, 2001]



รูปที่ 10 ระบบการผลิตที่ได้ผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ชนิด และปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการผลิต Product B [Ekvall and Finnveden, 2001]

ตัวอย่างที่ 2

การผลิตอาหารสัตว์ซึ่งโปรตีนในอาหารสัตว์มักมาจากโปรตีนจากถั่วเหลือง หากมีการผลิตโปรตีนจากเศษอาหารอื่นๆ จะทำให้ความต้องการโปรตีนจากถั่วเหลืองลดลง หากการผลิตโปรตีนถั่วเหลืองลดลงจะส่งผลให้การผลิตน้ำมันถั่วเหลืองลดลงตามไปด้วย เมื่อน้ำมันขาดตลาดก็จะทำให้มีการผลิตน้ำมันชนิดอื่นเพิ่มขึ้น เช่น น้ำมันจาก Rape Seed และการผลิตน้ำมันจาก Rape Seed จะได้โปรตีน Rape Seed นำไปเป็นโปรตีนทำอาหารสัตว์ได้เช่นกัน (สัดส่วนโปรตีนจากถั่วเหลืองต่อน้ำมันถั่วเหลือง = 2:1 โดยน้ำหนัก และสัดส่วนโปรตีนจาก Rape Seed ต่อน้ำมัน Rape Seed = 1:2 โดยน้ำหนัก) ดังนั้น การผลิตโปรตีนจากเศษอาหารเพื่อเป็นอาหารสัตว์จะส่งผลต่อการผลิตโปรตีนจากถั่วเหลือง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันจาก Rape Seed และโปรตีนจาก Rape Seed ด้วย ดังนั้นระบบที่สนใจศึกษาซึ่งตอนแรกเป็นเพียงการผลิตโปรตีนจากเศษอาหาร ควรขยายออกไปรวมระบบการผลิตโปรตีนจากถั่วเหลือง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันจาก Rape Seed และโปรตีนจาก Rape Seed ดังที่ Weidema [1999] ได้อธิบายไว้ ดังนี้

ขั้นที่ 1 หากใช้โปรตีนจากเศษอาหาร 1 kg มาผลิตอาหารสัตว์ จะทำให้ลดการผลิตโปรตีนจากถั่วเหลือง 1 kg

ขั้นที่ 2 การไม่ผลิตโปรตีนถั่วเหลือง 1 kg ทำให้ไม่มีการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง 0.5 kg ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำมัน Rape Seed 0.5 kg ทดแทนน้ำมันถั่วเหลือง การผลิตน้ำมัน Rape Seed 0.5 kg จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการผลิตโปรตีนจาก Rape Seed 0.25 kg ซึ่งโปรตีน Rape Seed 0.25 kg นี้ สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ การใช้โปรตีน Rape seed 0.25 kg ทำให้การผลิตโปรตีนจากถั่วเหลืองลดลงไปอีก 0.25 kg

ขั้นที่ 3 การลดลงของโปรตีนจากถั่วเหลือง 0.25 kg ส่งผลให้ไม่มีการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง 0.25/2 = 0.125 kg ดังนั้นต้องใช้น้ำมัน Rape Seed 0.125 kg ทดแทนน้ำมันถั่วเหลือง ส่วนการผลิตน้ำมัน Rape Seed 0.125 kg จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการผลิตโปรตีนจาก Rape Seed = 0.125/2 = 0.0625 kg ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ทำให้การผลิตโปรตีนจากถั่วเหลืองลดลงไปอีก 0.0625 kg

ขั้นที่ 4 การลดลงของโปรตีนจากถั่วเหลือง 0.0625 kg ส่งผลให้ไม่มีการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง 0.0625/2 = 0.03125 kg ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำมัน Rape Seed 0.03125 kg ทดแทนน้ำมันถั่วเหลือง การผลิตน้ำมัน Rape Seed 0.03125 kg จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการผลิตโปรตีนจาก Rape Seed = 0.03125/2 = 0.015625 kg ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ทำให้การผลิตโปรตีนจากถั่วเหลืองลดลงไปอีก 0.015625 kg

หากคิดแบบนี้ไปเรื่อยๆ จะได้ว่าการผลิตโปรตีนจากเศษอาหาร 1 kg ทำให้การผลิตโปรตีนจากถั่วเหลืองลดลง

$$= 1\text{ kg} + 0.25\text{ kg} + 0.0625\text{ kg} + 0.015625\text{ kg} + \ldots\ldots$$
$$= 1 + 0.25 + 0.25^2 + 0.25^3 + \ldots$$
$$= 1.33\text{ kg}$$

และโปรตีนจาก Rape Seed เพิ่มขึ้น

$$= 0.25\text{ kg} + 0.0625\text{ kg} + 0.015625 + \ldots\ldots$$
$$= 0.25 + 0.25^2 + 0.25^3 + \ldots$$
$$= 0.33\text{ kg}$$

ดังนั้นระบบการผลิตโปรตีนจากเศษอาหาร ควรขยายออกไปรวมการผลิตโปรตีนจากถั่วเหลืองที่ลดลง 1.33 kg และระบบการผลิตโปรตีนจาก Rape Seed ที่เพิ่มขึ้น 0.33 kg นั่นคือ ภาระทางสิ่งแวดล้อมของโปรตีนจากเศษอาหาร 1 กิโลกรัม จะถูกลบด้วยภาระทางสิ่งแวดล้อมจากการผลิตโปรตีนจากถั่วเหลือง 1.33 กิโลกรัม และบวกด้วยภาระทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตโปรตีนจาก Rape Seed 0.33 กิโลกรัม

3.6 การตั้งคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การทำ National LCI แต่ละโครงการ ควรมีคณะกรรมการให้คำแนะนำด้านต่างๆ ตั้งแต่ขั้นตอนกำหนดเป้าหมายและขอบเขต จนถึงขั้นตอนการตรวจสอบข้อมูลที่ได้มา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ และเป็นตัวแทนของประเทศได้

คณะกรรมการควรประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญทั้งทางด้าน LCA และด้านที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ต้องการเก็บ เช่น หากทำ National LCI ของมันสำปะหลัง ควรมีผู้เชี่ยวชาญด้านการปลูก การดูแลรักษาและการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง และหากมีการเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ ควรมีผู้เชี่ยวชาญด้านดินในคณะกรรมการ หากทำ National LCI ของอาหารสัตว์ คณะกรรมการควรประกอบด้วยสมาคมอาหารสัตว์ และผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารสัตว์ ทั้งนี้อาจเป็นผู้แทนจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชน บริษัทผู้ผลิต เกษตรกรที่มีความเชี่ยวชาญ ผู้แทนสมาคมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้คณะกรรมการควรมีจำนวน 4-10 ท่าน รวมทั้งมีผู้แทนจาก Commissioner อย่างน้อย 1 ท่านอยู่ในคณะกรรมการด้วย โดยทั่วไปคณะกรรมการและคณะทำงาน (ดูหัวข้อ 3.7) ควรประชุมอย่างน้อย 3 ครั้งคือ

1) **ประชุมก่อนที่จะเก็บข้อมูล** เพื่อให้คณะกรรมการให้ความเห็นเรื่องการวางเป้าหมาย ขอบเขตของงาน วิธีการเก็บข้อมูล แบบสอบถาม สูตรการคำนวณ และข้อควรระวัง (ดูหัวข้อ 3.1 และ 3.2) เพื่อให้การเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง ครบถ้วน น่าเชื่อถือ และเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

2) **ประชุมเมื่อเก็บข้อมูลได้ครึ่งทาง** เพื่อให้ Practitioner และคณะกรรมการ ได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นในกรณีที่มีปัญหา ข้อสงสัย นอกจากนี้คณะกรรมการอาจให้ความเห็นถึงค่าต่างๆ ที่อยู่ใน LCI ว่าน่าจะเป็นไปได้ในทางปฏิบัติหรือไม่ ขัดแย้งกับทฤษฎีหรือไม่ การคำนวณถูกต้องหรือไม่ และสามารถยอมรับความไม่แน่นอนของค่าที่ได้ในระดับใด

หากเป็น National LCI ด้านการเกษตร คณะกรรมการอาจให้ความเห็นเรื่องการใช้ปริมาณเมล็ดพันธุ์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่กำหนด ปริมาณการใช้ปุ๋ย การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องจักรแต่ละประเภทว่ามีความถูกต้องเหมาะสมหรือไม่ รวมทั้งการแสดงผลเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจในสิ่งที่ Practitioner ต้องการสื่อ

หากเป็น National LCI ด้านอุตสาหกรรม คณะกรรมการอาจให้ความเห็นเรื่องสารบางประเภทที่ใช้ในการผลิตว่ามากหรือน้อยเกินไปจากที่นิยมใช้กัน ปริมาณพลังงานที่ใช้เหมาะสมหรือไม่ ค่าการปล่อยมลสารสู่อากาศ แหล่งน้ำ และดิน ผิดไปจากค่าทั่วไปมากน้อยเพียงใด เช่น ถ้าเป็นอุตสาหกรรมการผลิตอาหารไก่ไข่ คณะกรรมการอาจให้ความเห็นเรื่องปริมาณแคลเซียมที่อยู่ในอาหารสัตว์ว่าน้อยเกินไปจนเปลือกไข่ไม่แข็งแรงหรือไม่ และหากมีโรงงาน 3 โรง ที่ผลิตอาหารสัตว์เหมือนกัน แต่การใช้ไฟฟ้า (ต่อหน่วยน้ำหนักอาหารสัตว์) ต่างกันมาก คณะกรรมการและคณะทำงานอาจต้องประชุมกันเพื่อหาสาเหตุและการแก้ไข เช่น หากเกิดจากความผิดพลาดของโรงงานที่ไม่เข้าใจคำถาม Practitioner อาจต้องกลับไปขอข้อมูลใหม่

3) ประชุมเมื่อเก็บข้อมูลได้ครบและทำเป็น National LCI แล้ว เพื่อให้คณะกรรมการแสดงความเห็นถึงค่าต่างๆ ที่อยู่ใน National LCI ว่า น่าจะเป็นไปได้ในทางปฏิบัติหรือไม่ ขัดแย้งกับทฤษฎีหรือไม่ สามารถยอมรับค่าความไม่แน่นอนได้เพียงใด การรายงานผลในลักษณะที่ปรากฏเหมาะสมหรือไม่ และจะทำให้ผู้อ่านสับสนหรือตีความผิดหรือไม่

3.7 การตั้งคณะทำงาน

คณะทำงานหรือ Practitioner ควรประกอบด้วย

- ผู้ที่มีความรู้ ความเข้าใจ ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด
- ผู้ที่มีความรู้ ความเข้าใจ ในข้อมูลที่ต้องเก็บสำหรับ LCI
- ผู้ที่มีความรู้ ความเข้าใจ ในการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)
- ผู้ที่มีความรู้ ความเข้าใจ ในการทำ National LCI
- ผู้เก็บข้อมูล (Collector, Interviewer) ควรเป็นผู้ที่มีไหวพริบ มีนิสัยช่างสังเกต เป็นคนละเอียดรอบคอบ สุภาพ และได้รับการอบรมหรือทราบกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่จะเก็บข้อมูล รวมถึงทราบเป้าหมายและขอบเขตการทำ LCI การใช้แบบสอบถาม การกรอกแบบสอบถาม ความถูกต้องของข้อมูลที่โครงการต้องการ ข้อควรระวังในการสอบถาม การทำ Documentation

การใช้คำพูด การอธิบายแบบสอบถาม และอื่นๆ ที่จำเป็น เนื่องจากผู้เก็บข้อมูลเป็นผู้สื่อสารระหว่างคณะทำงานและผู้ให้ข้อมูล เสมือนเป็นตัวแทนของโครงการ และเป็นส่วนที่สำคัญในการที่จะได้ข้อมูลมากหรือน้อย ได้ข้อมูลที่ผิดหรือถูก ได้ข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนสูงหรือต่ำ ดังนั้น จึงควรให้ความสำคัญกับผู้เก็บข้อมูล

3.8 การเก็บข้อมูลการขนส่ง

ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบและพลังงานมายังระบบการผลิตที่เราสนใจศึกษา จะถูกนำมาใช้เพื่อจัดทำ LCI แบบ Cradle to Gate สามารถเก็บข้อมูลการขนส่งได้ 2 แบบ คือ

3.8.1 กรณีที่ทราบปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือพลังงาน ให้ระบุชนิดและปริมาณเชื้อเพลิงหรือพลังงานที่ใช้ขนส่งวัตถุดิบลงในตารางเก็บข้อมูล (แสดงดังตารางที่ 3) โดยคำนวณให้ปริมาณเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับปริมาณวัตถุดิบที่อยู่ใน LCI

3.8.2 กรณีที่ไม่ทราบข้อมูลการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือพลังงาน ให้ดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนี้

1) **เก็บข้อมูลเพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือพลังงาน** ได้แก่ ระยะทาง (d) ที่ใช้ในการขนส่งที่สัมพันธ์กับปริมาณวัตถุดิบ และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงหรือพลังงานต่อหน่วยระยะทาง (f)

ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือพลังงาน = d x f

2) **เก็บข้อมูลเพื่อใช้ฐานข้อมูลการขนส่งช่วยคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม** โดยไม่จำเป็นต้องทราบปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือพลังงาน (ฐานข้อมูลการขนส่งจะประกอบด้วย LCI ของการขนส่งหลายประเภท โดยที่ใน LCI จะระบุทรัพยากรและมลสารต่างๆที่เกิดจากการขนส่ง 1 ตัน ในระยะทาง 1 กิโลเมตร)

โดย Practitioner หาข้อมูลดังนี้ (แสดงดังตารางที่ 3)

- ประเภทของพาหนะที่ใช้
- เปอร์เซ็นต์น้ำหนักบรรทุกเทียบกับความสามารถในการบรรทุก (% Loading)
- ระยะทางทั้งหมดที่สัมพันธ์กับปริมาณวัตถุดิบที่บรรทุก

จากนั้นคำนวณข้อมูลการขนส่งให้อยู่ในหน่วยตัน-กิโลเมตร (ton-kilometer, tkm)

หากมีการขนวัตถุดิบชนิดเดียวกันจากหลายแหล่ง แต่ไม่สามารถทราบได้ทั้งหมดว่าแต่ละแหล่งนั้นอยู่ที่ใดบ้าง ให้ดำเนินการอย่างหนึ่งอย่างใด ดังนี้ 1) เสนอ Scenario ที่เหมาะสมขึ้นมา หรือ 2) คำนวณระยะทางเฉลี่ยเท่าที่มีข้อมูล โดยต้องไม่ละทิ้งข้อมูลของแหล่งที่เป็นรายใหญ่ ส่วนน้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ในการคำนวณจะรวมถึงน้ำหนักที่มาจากแหล่งที่ไม่ทราบด้วย

ตัวอย่างที่ 1

ใน LCI ของการผลิตพืชชนิดหนึ่งระบุว่า มีการใช้ปุ๋ย 160 ตัน โดยปุ๋ย 100 ตัน มาจากโรงงาน A ที่ห่างจากไร่ 20 กม. ส่วนอีก 20 ตัน มาจากโรงงาน B ที่ห่างจากไร่ 40 กม. โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ในแต่ละครั้งของการขนส่งปุ๋ยบรรทุกเต็มทุกครั้ง (16 ตันต่อรอบ) แต่ปุ๋ยอีก 40 ตัน ไม่ทราบว่ามาจากไหน (กรณีนี้เลือกใช้แบบที่ 2 คือ คำนวณระยะทางเฉลี่ยเท่าที่มีข้อมูล โดยต้องไม่ละทิ้งข้อมูลของแหล่งที่เป็นรายใหญ่)

ระยะทางที่รถบรรทุกขนปุ๋ยมาจากโรงงาน A = 100 ตัน/16 ตันต่อรอบ x 20 กม./รอบ
= 125 กม.

ระยะทางที่รถบรรทุกขนปุ๋ยมาจากโรงงาน B = 20 ตัน/16 ตันต่อรอบ x 40 กม./รอบ = 50 กม.

ระยะทางเฉลี่ย = 100/160 x 125 + 20/160 x 50 = 84.4 กม.

ข้อมูลการขนส่งที่อยู่ในหน่วยตัน-กิโลเมตร = 160 ตัน x 84.4 กิโลเมตร = 13,504 ตัน-กิโลเมตร

ตัวอย่างที่ 2

ใน LCI ของการผลิตพืชชนิดหนึ่งระบุว่า มีการใช้ปุ๋ย 160 ตัน โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนมาจากจังหวัดใกล้เคียง โดยปุ๋ย 100 ตัน มาจากโรงงาน A ที่ห่างจากไร่ 20 กม. ส่วนอีก 60 ตัน มาจากโรงงาน B ที่ห่างจากไร่ 40 กม. ในแต่ละครั้งบรรทุกเต็มทุกครั้ง (16 ตันต่อรอบ) สามารถหาข้อมูลการขนส่งที่อยู่ในหน่วย tkm ได้ 2 แบบ

แบบที่ 1 หา ตัน-กิโลเมตร ของแต่ละเส้นทางแล้วเอามาบวกกัน

คือ ระยะทางที่รถบรรทุกขนปุ๋ยมาจากโรงงาน A = 100 ตัน/16 ตันต่อรอบ x 20 กม./รอบ
= 125 กม.

คิดเป็นข้อมูลการขนส่งที่อยู่ในหน่วยตัน-กิโลเมตร = 100 ตัน x 125 กม.
= 12,500 ตัน-กม.

ระยะทางที่รถบรรทุกขนปุ๋ยมาจากโรงงาน B = 60 ตัน/16 ตันต่อรอบ x 40 กม./รอบ
= 150 กม.

คิดเป็นข้อมูลการขนส่งที่อยู่ในหน่วยตัน-กิโลเมตร = 60 ตัน x 150 กม. = 9,000 ตัน-กม.

ผลรวม ตัน-กิโลเมตร ของสองเส้นทาง = 12,500 ตัน-กม. + 9,000 ตัน-กม.
= 21,500 ตัน-กิโลเมตร

แบบที่ 2 หาระยะทางเฉลี่ย (แบบถ่วงน้ำหนัก) แล้วคูณด้วยน้ำหนักวัตถุดิบชนิดนั้นทั้งหมด เสมือนว่าวัตถุดิบชนิดนั้นขนมาจากที่เดียวกัน ดังสมการด้านล่าง

ระยะทางเฉลี่ย $= \sum (W_i/W \times d_i)$

W_i : น้ำหนักของวัตถุดิบชนิดที่ขนจากสถานที่ i

W : น้ำหนักทั้งหมดของวัตถุดิบ

d_i : ระยะทางรวมทุกรอบของการขนวัตถุดิบหนัก W_i

ระยะทางเฉลี่ยของสองเส้นทาง = (100/160 x 125) กม. + (60/160 x 150 กม.)
= 134 กิโลเมตร

ข้อมูลการขนส่งที่อยู่ในหน่วย ตัน-กิโลเมตร = 160 ตัน x 134 กิโลเมตร
= 21,500 ตัน-กิโลเมตร

หากวัตถุดิบมาจากภายนอกประเทศ ให้หาระยะทางดังนี้

(1) กรณีที่ทราบว่าการขนส่งเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ท่าเรือใด ให้คำนวณระยะทางจากท่าเรือของประเทศนั้นๆ ถึงท่าเรือของประเทศไทย (ส่วนการขนส่งจากท่าเรือของประเทศไทยไปยังสถานประกอบการจำเป็นต้องคำนวณตามที่อธิบายไว้ข้างต้น)

(2) กรณีที่ไม่ทราบว่าการขนส่งเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ท่าเรือใด มีรายละเอียดปลีกย่อย ดังนี้

- หาก Supplier เป็นประเทศในเอเชีย ให้ใช้ค่าเฉลี่ยระยะทางจากทุกท่าเรือ ในประเทศนั้นๆ มาถึงท่าเรือของประเทศไทย เช่น สิงคโปร์มี 3 ท่าเรือให้ใช้ค่าเฉลี่ยของระยะทางจาก 3 ท่าเรือ มายังประเทศไทย เป็นต้น
- หาก Supplier เป็นประเทศที่นอกเหนือจากเอเชีย ให้เลือกท่าเรือที่อยู่ใกล้ประเทศไทยมากที่สุด (เพียงท่าเรือเดียว)

ส่วนท่าเรือของประเทศไทยนั้น ให้เลือกท่าเรือที่อยู่ใกล้สถานประกอบการมากที่สุด

(3) กรณีที่นำเข้าวัตถุดิบมาจากประเทศที่เป็น Trader (พ่อค้าคนกลาง) ซึ่งไม่ใช่ผู้ผลิต เช่น ไทยซื้อวัตถุดิบจากสิงคโปร์ แต่สิงคโปร์ซื้อมาจากอินเดียซึ่งเป็นผู้ผลิตอีกต่อหนึ่ง เป็นต้น จะมีวิธีคำนวณระยะทาง ดังนี้

- ถ้าวัตถุดิบนั้นถูกใช้ในกระบวนการผลิตน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80% (เทียบกับสารขาเข้าทั้งหมด) ให้ใช้ข้อมูลระยะทางจาก Trader มายังไทย
- ถ้าวัตถุดิบนั้นถูกใช้ในกระบวนการผลิตมากกว่า 80% (เทียบกับสารขาเข้าทั้งหมด) ต้องใช้ระยะทางจากผู้ผลิตมายังประเทศไทย โดยใช้เงื่อนไขการคำนวณตามข้อข้างต้น

หากไม่ทราบแหล่งที่ Trader ซื้อวัตถุดิบมา อนุโลมให้ใช้ข้อมูลสถิติการนำเข้า-ส่งออกของประเทศนั้นๆ ได้

3.9 การอบรมสัมมนา

ภายหลังจากการทำ National LCI เสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว อาจมีการอบรมสัมมนาเพื่อให้ประชาชนทั่วไป หรือกลุ่มอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ทราบว่ามีฐานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในด้านต่างๆ ทั้งยังเป็นการเผยแพร่ความรู้ด้าน LCA ให้แก่ผู้สนใจ เพื่อเสริมสร้างให้คนไทยมีความเข้าใจ LCA มากขึ้น และมีความรักในสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ อาจมีสัมมนาเปิดตัว National LCI ซึ่งมักจะมีก่อนเริ่มเก็บข้อมูล ทั้งนี้เพื่อให้อุตสาหกรรม เกษตรกรรม และหน่วยงานที่จะให้ข้อมูลกับ Practitioner เข้าใจและเห็นความสำคัญของ National LCI และสามารถให้ข้อมูลได้ถูกต้อง

3.10 การทำบันทึก (Documentation)

เนื่องจากการทำ LCI มีหลายขั้นตอน และแต่ละขั้นตอนส่งผลต่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลใน LCI ดังนั้นจึงควรบันทึกสิ่งต่างๆ ในการทำงาน ตั้งแต่ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมาย จนถึงขั้นตอนการแสดงผล LCI ที่ได้ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้ LCI สามารถเข้าใจข้อจำกัด และทราบถึงคุณภาพข้อมูลใน LCI รวมทั้งวิเคราะห์ได้ว่าควรจะนำข้อมูลไปใช้ต่ออย่างไร นอกจากนี้ Documentation ยังทำให้ Practitioner ทบทวนวิธีการที่ใช้หาข้อมูลได้สะดวก และ Update ข้อมูลใน LCI ได้ง่าย Documentation ที่ดีควรส่งผลให้ได้ข้อมูลใน LCI เหมือนเดิมหากมีการทำซ้ำ

หากจะเปิดเผย LCI ต่อสาธารณะจะต้องมีการทำ Critical Review ซึ่ง Practitioner ต้องสามารถอธิบายวิธีการได้มาของข้อมูลอย่างโปร่งใส แต่หากมีข้อมูลบางส่วนที่เป็นความลับ อาจมีการแยก Documentation ช่วงที่เป็นความลับออกมา โดยที่คณะกรรมการ Critical Review ขอดูเอกสารได้ ซึ่งอาจจะมีความตกลงรักษาความลับไว้ [ILCD, 2010]

ข้อมูลที่จะบันทึกใน Documentation มี 3 ประเภท [ISO 14048, 2002]

1. ข้อมูลระบบการผลิตที่ศึกษา (Process)

- Process Description บอกรายละเอียดของระบบการผลิตที่กำลังศึกษา เช่น ผลิตผลิตภัณฑ์ใด ประกอบด้วยหน่วยผลิตย่อยกี่หน่วย หน่วยใดบ้าง และบอกหน้าที่ของแต่ละหน่วยย่อย เป็นต้น

- Inputs และ Outputs บอกรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ เพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณของสารและพลังงานขาเข้าและขาออก (Inputs และ Outputs) ซึ่งอาจมาจากการวัด การคำนวณ การประมาณการ หรือการสอบถาม รวมทั้งระบุด้วยว่ามีการแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมหรือไม่ แบบใด และมีการ Cut-off หรือไม่อย่างไร

ควรแยกหัวข้อของ Inputs และ Outputs ให้ชัดเจน เช่น Inputs ที่เป็นพลังงาน วัตถุดิบ วัตถุช่วยในการผลิต Outputs ที่เป็นผลิตภัณฑ์ หรือ มลสารที่ปล่อยสู่อากาศ แหล่งน้ำ และดิน เป็นต้น

2. การทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการตรวจสอบความถูกต้อง (Modeling and Validation) หากมีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model) ในการทำ LCI ควรบอกเงื่อนไขการใช้ หรือการได้มาซึ่ง Model รวมถึงระดับความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของ Model นั้นด้วย นอกจากนี้ควรบอกหลักการ (Principles) ที่เลือกใช้ สมมติฐานที่ใช้ การรวมหรือไม่รวมสิ่งใดในการทำ Model ทั้งนี้เพราะสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อคุณภาพของข้อมูล

3. การบริหารจัดการ (Administrative Information) เป็นการบอกรายละเอียดการบริหารจัดการ เช่น ใครเป็นผู้จัดทำข้อมูล ผู้เก็บข้อมูล และผู้ทำ Documentation เป็นต้น

หาก Commissioner มีแบบฟอร์ม Documentation สำหรับให้ Practitioner กรอก Practitioner ควรศึกษาข้อมูลที่ต้องกรอกก่อนเก็บข้อมูล LCI เพื่อให้ทราบว่าข้อมูลใดจำเป็นต้องมีบ้าง แบบฟอร์ม Documentation นี้อาจจะจำเป็นสำหรับการทำ Critical Review (ดูหัวข้อ 3.3.5)

3.11 Factor ที่ใช้ใน National Life Cycle Inventory

ค่า Factor ใดๆ ที่ใช้ในการคำนวณ ควรนำมาจากแหล่งอ้างอิงที่น่าเชื่อถือและมีความเหมาะสมกับลักษณะข้อมูล เช่น เหมาะสมในเชิงเทคโนโลยี เชิงภูมิศาสตร์ เป็นต้น และควรระบุแหล่งอ้างอิงด้วย นอกจากนี้ควรใช้ Factor ที่ไม่ล้าสมัย เช่น ถ้าเป็น Factor จาก IPCC ควรใช้ IPCC ปีล่าสุด

4.

Critical Review

4.1 ความจำเป็นของ Critical Review

ก่อนการประกาศใช้ National LCI จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องผ่านขั้นตอน Critical Review ซึ่งเป็นกระบวนการตรวจสอบว่าการทำ LCI ถูกต้องตรงตามข้อกำหนด (Requirement) หรือไม่ ทั้งในด้านวิธีการ (Methodology) การแปลผล (Interpretation) และการรายงานผล (Reporting) รวมถึงตรวจสอบว่าการทำ LCI ได้ทำตามหลักการที่ถูกต้องหรือไม่ ซึ่งจะทำให้ LCI ที่ผ่าน Critical Review แล้วมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น [ISO 14040, 2006]

ISO 14044 กล่าวว่า Critical Review มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องมั่นใจว่า

- วิธีการที่ใช้ในการทำ LCI และ LCA นั้น เป็นไปตามมาตรฐานสากล
- วิธีการที่ใช้ในการทำ LCI และ LCA นั้น ถูกต้องตามหลักการทางวิทยาศาสตร์
- ข้อมูลที่ใช้เหมาะสมและสมเหตุสมผล ตรงตามเป้าหมายของการศึกษา
- การแปลผลคำนึงถึงข้อจำกัด สะท้อนข้อจำกัดที่ระบุไว้ และตรงตามเป้าหมายของการศึกษา
- รายงานผลการศึกษาโปร่งใสและมีระเบียบสอดคล้องกัน

4.2 รูปแบบของ Critical Review

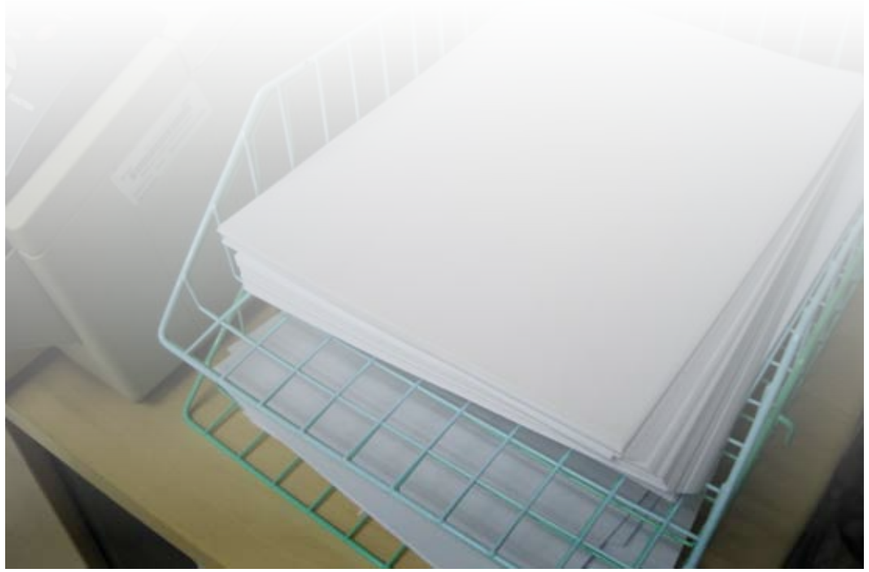
ผู้ที่จะมีส่วนร่วมในการทำ Critical Review นั้น สามารถเป็นได้ทั้งผู้ที่อยู่ภายในและภายนอกองค์กรของ Commissioner และ Practitioner รวมถึงสามารถเป็นกลุ่มบุคคลหรือเป็นบุคคลใดบุคคลหนึ่งก็ได้ แต่จะต้องประกอบด้วยผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจเรื่อง LCI LCA และเป็นผู้ที่เชี่ยวชาญในสาขาของฐานข้อมูลนั้นๆ นอกจากนี้ยังอาจประกอบด้วยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากการเปิดเผยข้อมูลใน LCI ทั้งนี้ขึ้นกับวัตถุประสงค์การทำ Critical Review และความเหมาะสมของแต่ละหน่วยงาน

ISO 14044 ได้ระบุว่าการทำ Critical Review แบบใช้กลุ่มผู้เชี่ยวชาญสามารถลดความผิดพลาดหรือผลเสียที่อาจเกิดขึ้นกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากการเปิดเผยข้อมูลได้ จึงมักใช้กับ LCI ที่จะต้องเปิดเผยต่อสาธารณะ ผู้ที่เป็นประธานของกลุ่มควรเป็นบุคคลภายนอกองค์กรที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับบุคคลหรือองค์กรที่ทำ LCI การทำ Critical Review แบบกลุ่มควรประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญอย่างน้อย 3 ท่าน ซึ่งอาจประกอบด้วยผู้ที่จะได้รับผลดีผลเสียจากการเปิดเผยข้อมูล LCI เช่น หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน อุตสาหกรรมที่เป็นคู่แข่งซึ่งกันและกัน และอุตสาหกรรมที่อาจจะได้รับผลกระทบจากการนำ LCI ไปใช้

ILCD ได้ระบุว่าการทำ LCA ในแต่ละครั้งควรระบุขอบเขตและประเภทของ Critical Review และควรบันทึกเหตุผลการเลือกนั้นไว้ด้วย

4.3 การจัดทำเอกสารเพื่อประกอบ Critical Review

เอกสารประกอบ คือ แบบฟอร์ม Documentation ดังอธิบายแล้วในหัวข้อ 3.3.5



5.

บทสรุปการจัดทำ National Life Cycle Inventory

การจัดทำ National LCI ควรสอดคล้องกับ ISO 14040 และ ISO 14044 โดยขั้นแรก Commissioner และ Practitioner กำหนดเป้าหมายร่วมกัน ได้แก่ ชนิดและจำนวน LCI ที่จะจัดทำขึ้น โดย LCI ที่ได้ จะต้องสามารถเป็นตัวแทนของประเทศได้ จากนั้นร่วมกันกำหนดขอบเขตของงาน โดย Practitioner จะเป็นผู้เก็บข้อมูลสารและพลังงานที่เข้าและออกจากระบบที่สนใจศึกษา และนำข้อมูลที่ได้มาทำเป็นค่าเฉลี่ย และรายงานให้ Commissioner ทราบรวมถึงตั้งคณะกรรมการที่มีความเชี่ยวชาญเพื่อให้คำปรึกษาในการทำให้ LCI ที่ได้ถูกต้อง มีคุณภาพและตรงกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ Practitioner ต้องบันทึกข้อมูล (Documentation) การทำ National LCI ตั้งแต่การกำหนดเป้าหมาย จนถึงการรายงานผลการศึกษาครอบคลุมขอบเขต วิธีการเก็บข้อมูล สูตรที่ใช้ในการคำนวณ สมมติฐาน และอื่นๆ เพื่อให้ได้ผล LCI เหมือนเดิมหากมีการทำซ้ำ และเพื่อให้ผู้ที่จะนำ LCI ไปใช้สามารถตัดสินใจได้ว่า LCI มีความถูกต้องและสมบูรณ์เพียงพอที่จะนำไปใช้ต่อหรือไม่ นอกจากนี้ Documentation ยังสำคัญสำหรับการทำ Critical Review อีกด้วย เมื่อได้ LCI แล้ว ควรตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ รวมทั้งคุณภาพข้อมูลใน LCI นั้นๆ ทั้งนี้สามารถปรับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาเพื่อให้ได้ LCI ที่ถูกต้องน่าเชื่อถือและมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น การรายงานผลการศึกษาควรโปร่งใสและละเอียดเพียงพอที่ผู้อ่านจะวิเคราะห์ได้ว่า ควรนำข้อมูลไปใช้ต่อได้หรือไม่อย่างไรและหากผู้อ่านทำตามสิ่งที่ได้รายงานไว้ ควรได้ผลการศึกษาเหมือนกับในรายงานจากนั้นอาจการมีการทำ Critical Review เพื่อให้คณะผู้เชี่ยวชาญรับรองความถูกต้องของ National LCI

6.

คำนิยาม*

- **Allocation (การปันส่วน)** คือ การแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม ทั้งในแง่การใช้ทรัพยากร วัตถุดิบ พลังงาน และการปล่อยมลสารสู่สิ่งแวดล้อม ให้กับแต่ละผลิตภัณฑ์ ในระบบที่มีผลิตภัณฑ์หลายผลิตภัณฑ์ หรือให้กับแต่ละหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ในระบบที่ผลิตภัณฑ์มีหลายหน้าที่
- **Commissioner** คือ กลุ่มบุคคลที่ทำหน้าที่ในการควบคุมคุณภาพของข้อมูล รวมถึงสนับสนุน Practitioner ในการเก็บข้อมูลและในกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
- **Completeness Check (การตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล)** คือ การตรวจสอบให้ทราบว่าข้อมูลที่ได้ตรงตามความต้องการและครบถ้วนเพียงพอที่จะแปลความให้ได้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาที่ตั้งไว้
- **Consistency Check (การตรวจสอบการเป็นไปในทางเดียวกัน)** คือ การทวนสอบสมมติฐาน วิธีการ (Methodology) และข้อมูลที่เก็บได้ว่า มีความสอดคล้องกันตลอดกระบวนการจัดทำ LCI และการประเมิน LCA หรือไม่ รวมถึงพิจารณาว่ามีความสอดคล้องกับเป้าหมาย และขอบเขตที่ตั้งไว้ ตลอดกระบวนการจัดทำ LCI และประเมิน LCA หรือไม่
- **Co-product (ผลิตภัณฑ์ร่วม)** คือ ผลิตภัณฑ์นอกเหนือจากผลิตภัณฑ์หลัก ซึ่งได้มาจากกระบวนการ หรือการใช้สารขาเข้าร่วมกับผลิตภัณฑ์หลัก
- **Cradle to Cradle** หมายถึง ขั้นตอนตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบสำหรับผลิตสินค้า การผลิตสินค้า การนำไปใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน โดยที่ขั้นตอนการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งทำให้ได้วัตถุดิบเดิมออกมา
- **Cradle to Gate** หมายถึง ขั้นตอนตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบสำหรับผลิตสินค้า จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ แต่จะไม่รวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดซาก
- **Cradle to Grave** หมายถึง ขั้นตอนตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบสำหรับผลิตสินค้า การผลิตสินค้า การนำไปใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน

* ที่มา: European Environment Agency (1997) และ มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย (2554)

- **Critical Review (การทบทวนเพื่อรับรองความถูกต้องของฐานข้อมูล)** คือ กระบวนการทบทวนและทวนสอบความถูกต้องของ LCI เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากระบวนการจัดทำ LCI เป็นไปตามมาตรฐานสากล และมีความถูกต้องตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สนใจศึกษา
- **Cut-off Criteria (การตัดออก)** คือ เกณฑ์ที่ใช้การไม่รวมข้อมูลของสารขาเข้าหรือสารขาออกบางส่วนในการเก็บข้อมูล หรือในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยที่ข้อมูลที่ถูกตัดออกไปนั้นไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับผลกระทบที่เกิดจากระบบผลิตภัณฑ์
- **Elementary Flow** คือ ทรัพยากร หรือวัสดุ หรือพลังงานจากธรรมชาติ ที่เข้าสู่ระบบ โดยที่ทรัพยากร หรือวัสดุหรือพลังงานนั้นๆ ยังไม่ผ่านการแปรสภาพโดยกิจกรรมของมนุษย์ และยังหมายถึง วัสดุหรือพลังงานที่ออกจากระบบที่ศึกษาไปสู่สิ่งแวดล้อม โดยไม่ผ่านการแปรสภาพโดยกิจกรรมของมนุษย์ด้วย [ISO 14044, 2006]
- **Energy Flow** คือ พลังงานที่ใส่เข้าไป หรือออกมาจากหน่วยผลิตย่อย หรือ ระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา
- **Functional Unit (หน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์)** คือ จำนวนหรือปริมาณของผลิตภัณฑ์รวมถึงหน้าที่ (Function) ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปริมาณที่ระบุไว้ Functional Unit ใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่มี Functional Unit เหมือนกัน
- **Gate to Gate** หมายถึง ขั้นตอนการผลิตสินค้า โดยพิจารณาเฉพาะข้อมูลสารขาเข้า (ประตู) และสารขาออก (จากประตู) ไม่คำนึงถึงกระบวนการผลิตที่เป็นต้นน้ำ (Upstream) หรือปลายน้ำ (Downstream) และไม่นับรวมช่วงการใช้งาน หรือการกำจัด
- **Input (สารขาเข้า)** คือ วัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง หรือพลังงาน ที่ใส่ให้กับระบบผลิตภัณฑ์
- **Life Cycle Assessment, LCA (การประเมินวัฏจักรชีวิต)** คือ การประเมินผลกระทบ หรือภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตผลิตภัณฑ์ การบริการหรือกิจกรรม โดยการระบุชนิดและปริมาณวัสดุและพลังงานที่ใช้ รวมทั้งของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ บริการ หรือกิจกรรม คือตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การจำหน่าย การใช้งาน การบำรุงรักษา การจัดการของเสีย และการรีไซเคิล เพื่อให้ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและโอกาสที่จะปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การบริการ หรือกิจกรรม ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

- **Life Cycle Inventory, LCI (บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต)** คือ บัญชีที่รวบรวมข้อมูลปริมาณสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา
- **Output (สารขาออก)** คือ ผลิตภัณฑ์ พลังงาน หรือมลสาร ที่ออกจากระบบผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์พลอยได้ มลสารที่ปล่อยสู่อากาศและแหล่งน้ำ และของเสียในรูปของแข็ง เป็นต้น
- **Practitioner** คือ บุคคลหรือกลุ่มบุคคลที่ทำการเก็บข้อมูล LCI และ/หรือการประเมิน LCA ของผลิตภัณฑ์หรือบริการ
- **Process (กระบวนการ)** คือ กลุ่มของกิจกรรมที่เกิดขึ้นอย่างสัมพันธ์กันเพื่อเปลี่ยนสารขาเข้าให้อยู่ในรูปของสารขาออก
- **Product System (ระบบผลิตภัณฑ์)** คือ ขอบเขตของหน่วยการผลิตย่อย (Unit Process) หลายกระบวนการที่เชื่อมต่อกัน โดยมีการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละหน่วยการผลิตย่อยเป็นตัวเชื่อมโยงดังนั้นในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วยหน่วยการผลิตย่อยผังการไหลของสารขาเข้า และผังการไหลของสารขาออก
- **Raw Materials (วัตถุดิบ)** คือ วัสดุหรือทรัพยากรใดๆ ทั้งที่ได้โดยตรงจากธรรมชาติและผ่านการแปรสภาพ ตลอดจนผลิตภัณฑ์ขั้นกลางที่เข้าสู่ระบบผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์และสารขาออกอื่นๆ
- **Sensitivity Check** คือ การตรวจสอบว่าหากมีการเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parameter) บางอย่างจะเกิดผลอย่างไรบ้างต่อข้อมูล LCI หรือต่อการประเมิน LCA โดยมักจะเป็นการเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น วิธีการประเมิน และวิธีการแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อม เป็นต้น การตรวจสอบ Sensitivity ของข้อมูลจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของ LCI และผลการประเมิน LCA รวมถึงข้อสรุปที่ได้จากการศึกษา
- **System Boundary (ขอบเขตของระบบ)** คือ ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษากับสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่นๆ
- **Reference Flow (ปริมาณอ้างอิง)** คือ จำนวนหรือปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพื่อให้ได้หน่วยหน้าที่ตามที่กำหนด เช่น ปริมาณของสีทาผนังที่ต้องใช้สำหรับการทาสีในพื้นที่ขนาด 1,000 ตร.ม. จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้ในการบรรจุน้ำดื่มปริมาตร 30,000 ลิตร เป็นต้น
- **Unit Process (หน่วยการผลิตย่อย)** คือ องค์ประกอบที่เล็กที่สุดที่พิจารณาในขอบเขตของการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการที่สนใจ

7.

เอกสารอ้างอิง

Center for Resilience. Ohio State University. Eco-LCA™ – Life Cycle Assessment with Full Ecological Accounting. See also: http://www.resilience.osu.edu/CFR-site/eco-lca.htm

European Environment Agency. 1997. Life Cycle Assessment (LCA): A guide to Approaches. Experiences and Information Sources. pp. 78-80.

Finnveden G., Hauschild M. Z., Ekvall T., Guine J., Heijungs R., Hellweg S., Koehler A., Pennington D. and Suh S. 2009. Recent Developments in Life Cycle Assessment. Journal of Environmental Management. 91: 1–21.

ILCD. 2010. Specific Guide for Life Cycle Inventory Data Sets. European Commission.

IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.

ISO 14040. 2006. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework. Geneva, Switzerland.

ISO 14044. 2006. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Geneva, Switzerland.

ISO 14048. 2002. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Data Documentation format. Geneva, Switzerland

Oliver-Solà J., Gabarrell X., Rieradevall J. 2009. Environmental Impacts of the Infrastructure for District Heating in Urban Neighbourhoods. Energy Policy. 37: 4711-4719.

Tongpool R., Jirajariyavech A., Yuvaniyama C., Mungcharoen T. 2010. Analysis of Steel Production in Thailand: Environmental Impacts and Solutions, Energy. 35: 4192-4200.

Tillman A. 2000. Significance of Decision-making for LCA Methodology. Environmental Impact Assessment Review. 20: 113-23.

Ekvall T., Finnveden G. 2001. Allocation in ISO 14041—a Critical Review, Journal of Cleaner Production. pp. 197–208.

Weidema, B. P. 1999. System Expansions to Handle Co-products of Renewable Materials, Presentation Summaries of the 7th LCA Case Studies Symposium SETAC-Europe. pp. 45-48.

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย. 2554. การสร้างกลุ่มความร่วมมือสีเขียว เพื่อพัฒนาสายโซ่การผลิตผลิตภัณฑ์สู่ตลาดผลิตภัณฑ์สีเขียว. แสงสว่างเวิร์ดเพรส, กรุงเทพ. หน้า 50-98.