

โครงการการมีส่วนร่วมของประชาชน
ในการจัดทำร่างแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เอกสารทางวิชาการ หมายเลข 17

การจัดการสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ดร.สมนึก ศิริสุนทร

ได้รับการสนับสนุนจาก

โครงการนโยบายสาธารณะเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดี

ดำเนินการโดย มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติ (มสช.)

สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กุมภาพันธ์ 2549

สารบัญ

1.สถานการณ์สิ่งแวดล้อมของประเทศไทย	2
2.การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA)	4
2.1. ที่มา วัตถุประสงค์ และเป้าหมาย	4
2.2. ขอบเขตและวิธีการศึกษา	6
2.3. การนิยามเป้าหมายและขอบเขต (Goal Definition and Scoping).....	7
2.3.1. การนิยามเป้าหมาย	7
2.3.2. การกำหนดชนิดของข้อมูลที่ต้องการเพื่อการรายงานผล	8
2.3.3. กำหนดวิธีการรวบรวมข้อมูล และวิธีการแสดงผล.....	8
2.3.4. กำหนดสิ่งที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับการประเมิน.....	8
2.3.5. กำหนดระดับความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูล.....	9
2.3.6. การกำหนดกรอบพื้นฐานของการประเมิน.....	9
2.3.7. การวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูล (Inventory Analysis).....	10
2.3.8. การจำแนกตัวบ่งชี้คุณภาพข้อมูล	11
2.3.9. การพัฒนารายการสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	11
2.3.10. เก็บรวบรวมข้อมูล.....	11
2.3.11. ประเมินผล และรายงานผล	12
2.3.12. การประเมินผลกระทบ.....	12
2.4. การแปลผล และประเมินการปรับปรุง (Interpretation).....	14
2.5. ผลของการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA).....	16
3.กรณีศึกษาของการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) จำนวน 3 กรณี	17
3.1. การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS.....	17
3.1.1. เป้าหมายและขอบเขต.....	17
3.1.2. ข้อมูลวัฏจักรชีวิต	17
3.1.3. การประเมินผลกระทบ.....	18
3.1.4. การแปลผลและการสรุปผล.....	21

3.2. การประเมินวัฏจักรชีวิตของจอภาพ แบบ CRT และ LCD ในมอนิเตอร์คอมพิวเตอร์(CRT and LCD Display in Computer Monitor)	22
3.2.1. วิธีการศึกษา	22
3.2.2. เป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของระบบ.....	22
3.2.3. บัญชีรายการวัตถุดิบ.....	23
3.2.4. การประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิต.....	23
3.3. การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้น กระเบื้องหินอ่อน และกระเบื้องเซรามิก	28
3.3.1. ขอบเขตการศึกษา.....	29
3.3.2. สมมุติฐาน.....	29
3.3.3. ขั้นตอนการผลิตกระเบื้องเซรามิก.....	30
3.3.4. ขั้นตอนการผลิตกระเบื้องหินอ่อน.....	31
3.3.5. ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์	31
3.3.6. สรุปผลการศึกษา.....	31
4.ข้อเสนอแนะกระบวนการ มาตรการ และวิธีการในการนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย..	32

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุติดและการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมในระบบโทรศัพท์ UMTS	19
ตารางที่ 2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต	25
ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งชนิดของกระเบื้องตามลักษณะการเคลือบและจำนวนรอบการเผา	28

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	5
ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	7

เอกสารทางวิชาการ เรื่อง

การจัดการสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์¹

เสนอต่อ

สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จัดทำโดย

ดร.สมนึก ศิริสุนทร

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

¹ รายงานการศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ การมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดทำร่างแผนทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้รับการสนับสนุนโดยมูลนิธิสภาธรรมศาสตร์แห่งชาติ และ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

1. สถานการณ์สิ่งแวดล้อมของประเทศไทย

แต่ก่อนโลกยังคงมีทรัพยากรธรรมชาติที่เหลือเฟียงพอให้กับมนุษย์ทุกคนได้ใช้ประโยชน์ แต่จากความต้องการอย่างไม่มีที่สิ้นสุดในการพัฒนาความเป็นอยู่ของมนุษย์ให้มีความสะดวกสบายในการใช้ชีวิต แรงผลักดันนี้เองที่ก่อให้เกิดการพัฒนาความรู้และเทคโนโลยีรวมถึงการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคม เพื่อมารองรับความต้องการของมนุษย์ที่มีแนวทางในการใช้ชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้การบริโภคทรัพยากรในรูปแบบที่เรียบง่ายในอดีตถูกแทนที่ด้วยกระแสบริโภคนิยม และเมื่อโลกมีประชากรที่เพิ่มมากขึ้น อัตราการบริโภคทรัพยากรต่างๆ ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เพียงแต่อัตราการบริโภคของมนุษย์ไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นค่าคงที่ตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น แต่ได้เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณตามกระแสของการบริโภคนิยมนั่นเอง ทำให้ธรรมชาติต้องแบกรับภาระเหล่านั้นมากกว่าที่พึงเป็น

สำหรับบริเวณภาคพื้นเอเชียแปซิฟิกซึ่งเป็นที่ตั้งของประเทศไทยภายในช่วงเวลา 40 ปีที่ผ่านมา มีการบริโภคทรัพยากรทางธรรมชาติที่เพิ่มมากขึ้นเป็น 3 เท่า โดยในเขตนี้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติสูงถึงร้อยละ 40 ของแหล่งทรัพยากรโลกทั้งหมด จากรายงานรอยเท้าทางนิเวศ² (Ecological Footprint) ซึ่งเป็นเครื่องมือชี้วัดปริมาณการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติของมนุษย์ได้แสดงให้เห็นว่ามีในปัจจุบันมนุษย์โลกมีพฤติกรรมการบริโภคอย่างตะกละ ทำให้เกิดการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติมีมากกว่าที่ธรรมชาติจะรองรับได้ถึง 1.7 เท่า ทางออกของการชดเชยการขาดแคลนทรัพยากรนี้มีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือการนำเข้าทรัพยากรเพื่อการบริโภคจากต่างประเทศ และการชดเชยแหล่งทรัพยากรของตน โดยทำการฟื้นฟูกลับคืนมาใหม่

เราปฏิเสธไม่ได้ว่าวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีความสำคัญอย่างยิ่งยวดในการพัฒนาประเทศ แต่สิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงที่ตามมาก็เป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เช่นกัน การพัฒนาประเทศอย่างต่อเนื่องและการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว ทำให้ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้ที่ลดลง จำนวนสัตว์ป่าที่ลดลงและ/หรือสูญพันธุ์ รวมถึงคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่เป็นมลพิษมากยิ่งขึ้น โดยในช่วงปี พ.ศ. 2525 จนถึงปี พ.ศ. 2535 นั้นประเทศไทยมีการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ GDP ของประเทศและค่ารอยเท้าทางนิเวศมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามวิกฤตเศรษฐกิจในช่วงปี พ.ศ. 2540 ได้ส่งผลกระทบต่อค่ารอยเท้าทางนิเวศของประเทศไทยลดลงเล็กน้อย โดยปัจจุบันค่ารอยเท้าทางนิเวศของประเทศไทยมีค่าอยู่ที่ 1.5 เฮกตาร์ต่อคน แต่ประเทศไทยมีพื้นที่รองรับการบริโภคอยู่ที่ 1.4 เฮกตาร์ต่อคน และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่ารอยเท้าทางนิเวศประมาณร้อยละ 16

² World Wildlife Fund 2005, "Asia-Pacific Living Planet Report 2005"

การเปลี่ยนแปลงทางด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยนั้นมีแนวโน้มที่เลวลง³ ทรัพยากรป่าไม้ยังคงถูกบุกรุกทำลายอย่างต่อเนื่อง ทรัพยากรน้ำประสบปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม แหล่งน้ำเสื่อมโทรม การขาดแคลนน้ำและอุทกภัย โดยแหล่งน้ำที่มีความเสื่อมโทรมอย่างมาก คือ แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง และเขื่อนลำตะคองตอนล่าง แหล่งน้ำเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะเสื่อมโทรมมากขึ้นทุกๆ ปี ทรัพยากรชายฝั่งทะเลก็มีการเสื่อมโทรมเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งมีคุณภาพที่ย่ำแย่ เนื่องมาจากการทำลายป่าชายเลนเพื่อเปลี่ยนสภาพไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง การขยายตัวของเมืองและเขตอุตสาหกรรม รวมถึงไปถึงการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมท่องเที่ยว ในส่วนของทรัพยากรดินก็ยังคงประสบปัญหาการใช้ดินอย่างขาดความระมัดระวัง ก่อให้เกิดเป็นปัญหาดินเค็ม และดินเสื่อมโทรม รวมถึงไปถึงปัญหาการพังทลายของดินด้วย

ด้านภาวะมลพิษ มลพิษจากขยะมูลฝอยก็เป็นอีกหนึ่งปัญหาที่เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การจัดการขยะมูลฝอยยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ รวมถึงปัญหาขยะมูลฝอยอันตรายที่ไม่มีวิธีการคัดแยกอย่างถูกวิธี เช่น ถ่านไฟฉายและแบตเตอรี่ เป็นต้น สำหรับมลพิษทางอากาศนั้นได้แก่ปัญหาปริมาณก๊าซโอโซนและปัญหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็กในอากาศของบริเวณเขตอุตสาหกรรมต่างๆ เขตก่อสร้างและบริเวณถนนที่มีการจราจรหนาแน่นทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด โดยสิ่งที่ควบคู่กันมา คือ มลพิษทางเสียงในพื้นที่เดียวกัน โดยเฉพาะบริเวณถนนสายหลักในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ที่มีความดังของเสียงที่สูงเกินมาตรฐาน มลพิษทางน้ำ ได้แก่ สิ่งปนเปื้อนต่างๆ ตามแหล่งน้ำ ทำให้คุณภาพน้ำลดลง ปริมาณแหล่งน้ำสายหลักที่ยังคงคุณภาพที่ดีมีแนวโน้มที่จะลดลงทุกปี

การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างขาดดุลยภาพระหว่างการบริโภคกับการอนุรักษ์และเสริมสร้าง หรือการขาดการคำนึงถึงศักยภาพของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมย่อมส่งผลกระทบต่อการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคม หรือการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย ดังนั้นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจึงเป็นปัญหาร่วมกันของทุกๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจเอกชน และประชาชน เพื่อสร้างแนวคิดและรูปแบบที่หลากหลายในการแก้ไขปัญหา ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการค้า วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สังคม เศรษฐศาสตร์ หรือการเมือง

โดยภาคธุรกิจนั้นเป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนา เนื่องจากเป็นผู้บริโภคทรัพยากรธรรมชาติในการผลิตและให้บริการ รวมถึงการเป็นผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ตามห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ซึ่งทำให้ปัจจุบันกรอบแนวคิดธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อมได้มีบทบาทที่มากขึ้น โดยเกิดขึ้นเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขัน ตลอดจนการดำเนินธุรกิจที่ยั่งยืน โดยหนึ่งในเครื่องมือเหล่านั้นคือ การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

³ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2548, สรุปลสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548

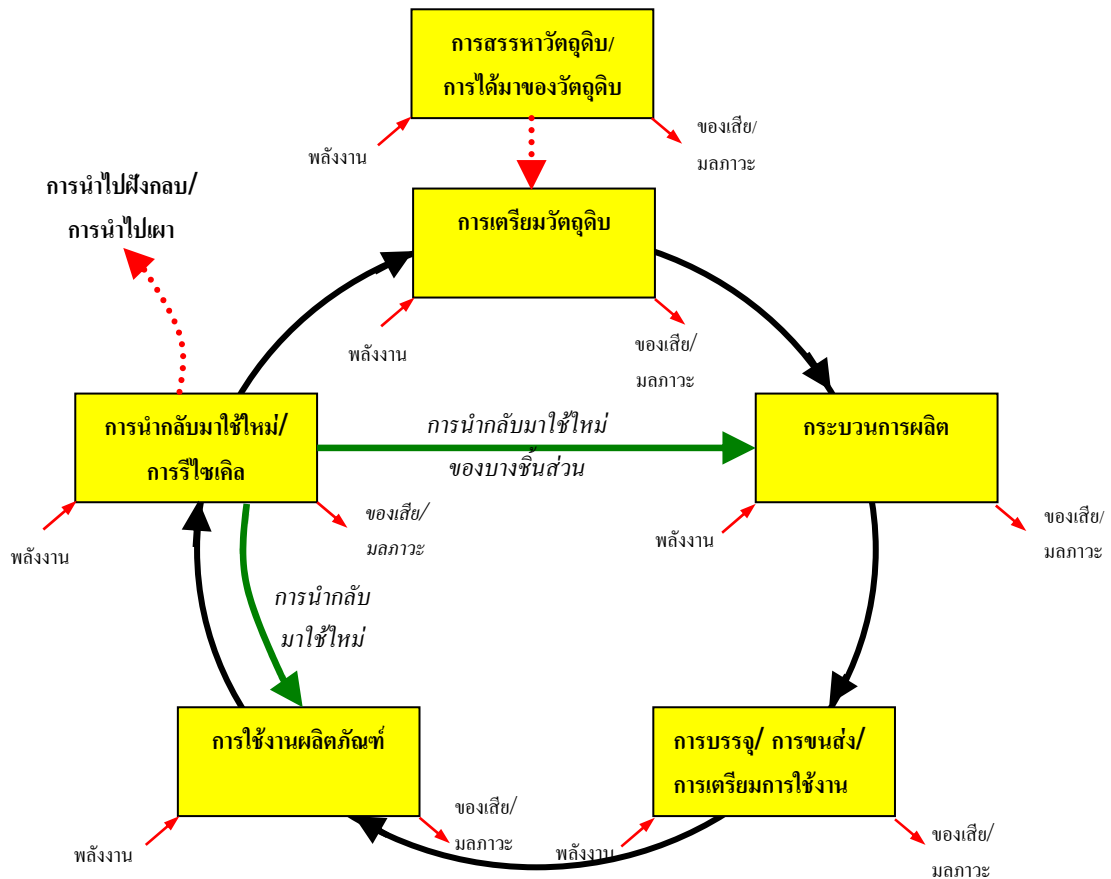
เครื่องมือนี้จึงเป็นรากฐานสำคัญให้กับองค์กรในการพัฒนาธุรกิจ และเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างยั่งยืน ก่อให้เกิดการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน โดยมีการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไป

2. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นส่วนหนึ่งของอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือกิจกรรมต่างๆ โดยพิจารณาตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เริ่มต้นการใช้งาน การบำรุงรักษา การใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) จนถึงสิ้นสุดอายุการใช้งาน ตลอดจนการกำจัดหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งสามารถเรียกได้ว่าเป็นการพิจารณาศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย เป็นกระบวนการวิเคราะห์ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในทุกช่วงชีวิต ดังนั้นระบบการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จึงถูกเริ่มต้นขึ้นตั้งแต่การคัดเลือกวัตถุดิบออกมาจากแหล่งต่างๆ รวมไปถึงการสร้างพลังงานเพื่อการใช้งาน ซึ่งวัตถุดิบและพลังงานนั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิต จากนั้นจะวิเคราะห์มาถึงของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม กระบวนการขนส่ง และการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์ โดยเมื่อผ่านการใช้งานแล้วนั้น ก็จะต้องนำมาวิเคราะห์ถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดเมื่อเป็นของเสีย แล้วจึงนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ทั้งหมดมาใช้ในการค้นหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2.1. ที่มา วัตถุประสงค์ และเป้าหมาย

ด้วยความตระหนักต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เริ่มทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ภาคอุตสาหกรรม และภาคธุรกิจจึงได้เริ่มทำการศึกษาดังกิจกรรมต่างๆ ของตน ที่อาจมีผลต่อสิ่งแวดล้อม และเช่นเดียวกันภาคสังคมเองก็เริ่มเป็นกังวลต่อการหมดลงของทรัพยากรธรรมชาติ และการเสื่อมโทรมของสภาวะแวดล้อม ด้วยสิ่งเหล่านี้เอง ที่ทำให้ภาคธุรกิจเริ่มทำการนำเสนอ “ผลิตภัณฑ์สีเขียว” และ “กระบวนการผลิตสีเขียว” เข้าสู่ตลาด และเพราะความตระหนักต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมกลายเป็นเรื่องสำคัญ ภาคธุรกิจจึงเริ่มที่จะทำการศึกษาหาวิธีการป้องกันการเกิดปัญหา ก่อนที่จะเกิดข้อร้องเรียนต่างๆ โดยเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA)



ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์⁴

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากแนวคิดที่ต้องการให้เกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในการศึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์⁵ และวัสดุต่างๆ ครั้งแรกๆ จะมุ่งเน้นจุดสนใจลงไปในประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ปริมาณการใช้วัตถุดิบ และการจัดการของเสียอุตสาหกรรม โดยเริ่มต้นในช่วงปี พ.ศ.2512 บริษัทโคคาโคล่า จำกัด ได้ให้ทุนวิจัย เพื่อทำการประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรโดยรวม และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ของบริษัท เช่นเดียวกัน ทางยุโรปก็ได้มีการศึกษาถึงปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ของเครื่องดื่มหลากหลายรูปแบบ ทั้งขวดแก้ว พลาสติก โลหะ และอลูมิเนียม

⁴ Life Cycle Perspective, “<http://www.ecodesignguide.dk/>”

⁵ European Environment Agency 1997, “Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources”

โดยวัตถุประสงค์หลักของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ นั้นสามารถสรุปได้คือ

- เพื่อให้องค์กรได้รับทราบถึงภาพรวมของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายในองค์กร และเป็นข้อมูลพื้นฐานขององค์กร เพื่อทำการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม ให้นำไปสู่การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขององค์กรลง
- เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของผลิตภัณฑ์ กับทุกแนวทางของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อให้ทราบแนวทางวิธีป้องกันปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาอื่นใดขึ้นมาแทนที่
- เพื่อแสดงให้เห็นขอบเขตพื้นฐาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้การพัฒนาอื่นๆ เกิดเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตามเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นี้ก็ยังมีข้อจำกัด คือ เทคนิคนี้อาจจะไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ทุกอย่าง เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เน้นในการมองปัญหาในภาพรวมโดยเน้นถึงผลกระทบในด้านต่างๆ ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งในหลายกรณีจะพบว่าเราจำเป็นต้องใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เนื่องจากยังไม่สามารถหาวัสดุทดแทนที่เหมาะสมได้ เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าจากถ่านหินหรือการใช้ น้ำมันในรถยนต์ เป็นต้น

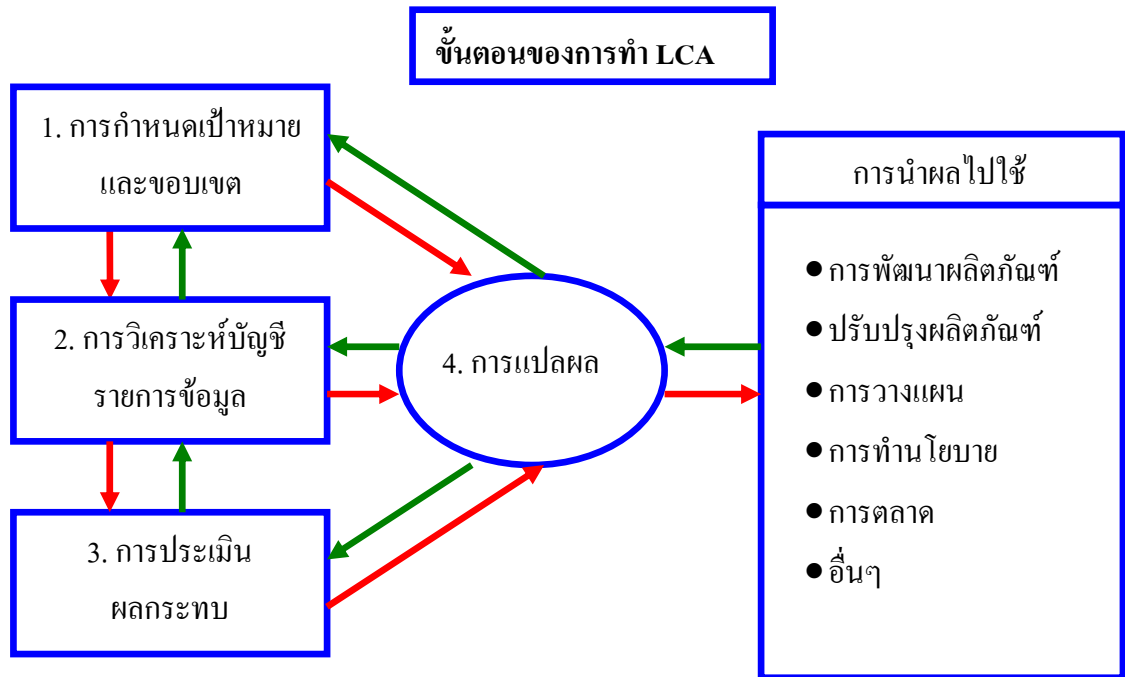
2.2. ขอบเขตและวิธีการศึกษา

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์⁶ เป็นกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ คือ

- ขั้นตอนที่ 1 การนิยามเป้าหมายและขอบเขต (Goal Definition and Scoping)
- ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูล (Inventory Analysis)
- ขั้นตอนที่ 3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)
- ขั้นตอนที่ 4 การแปลผล และประเมินการปรับปรุง (Interpretation)

หลักการ ขั้นตอน และวิธีการของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานโครงสร้าง ISO 14040 ในด้านมาตรฐานการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อม

⁶ Environmental Protection Agency 2001, "LCA 101 – Introduction to LCA"



ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์⁷

2.3. การนิยามเป้าหมายและขอบเขต (Goal Definition and Scoping)

การนิยามเป้าหมายและขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต นั้นจะช่วยให้การประเมินปริมาณเวลาที่ต้องใช้ และชนิดของข้อมูลที่ต้องการ เพื่อบริหารเวลาและทรัพยากรในการประเมินอย่างคุ้มค่า โดยการนิยามเป้าหมายและขอบเขต สามารถปฏิบัติได้ ดังหัวข้อต่อไปนี้

2.3.1. การนิยามเป้าหมาย

เป้าหมายอันดับแรกในการประเมิน คือการเลือกผลิตภัณฑ์ กระบวนการ และ/หรือการบริการที่ดีที่สุด และก่อให้เกิดผลกระทบต่ออาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด ซึ่งการประเมินอาจมีเป้าหมายอื่นๆ ได้อีก โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของโครงการที่ทำการประเมิน นอกจากนี้ยังควรที่จะต้องระบุเหตุผลที่ต้องทำการศึกษา การนำผลไปใช้ และผู้รับที่ต้องการสื่อสารการศึกษาเอาไว้ด้วย

⁷ Phases in a Life Cycle Assessment, “<http://www.lcafood.dk/>”

2.3.2. การกำหนดชนิดของข้อมูลที่ต้องการเพื่อการรายงานผล

การประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถช่วยในการตอบคำถามสำคัญ ๆ ได้ เมื่อสามารถจำแนกคำถามต่างๆ ที่ผู้ประเมินสนใจได้ ก็จะสามารถกำหนดตัวแปรในการศึกษาได้ และกำหนดชนิดของข้อมูลที่ต้องการได้

2.3.3. กำหนดวิธีการรวบรวมข้อมูล และวิธีการแสดงผล

ผู้ประเมินจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปแบบของหน่วยแสดงปริมาณของผลิตภัณฑ์ เช่น ปริมาณ น้ำหนัก หรือคุณภาพเป็นต้น โดยมีความเหมาะสมกับวิธีการที่จะใช้ในการศึกษาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ โดยในการเปรียบเทียบกันระหว่างผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใดๆ ควรจะต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของวิธีการศึกษาเดียวกัน และแสดงผลเชิงปริมาณให้อยู่ในรูปแบบหน่วยเดียวกัน เพื่อให้สามารถยืนยันผลการเปรียบเทียบได้อย่างถูกต้อง

2.3.4. กำหนดสิ่งที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับการประเมิน

ตามทฤษฎี การประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะต้องทำการพิจารณาแยกย่อยไปกับทั้ง 4 ขั้นตอนของ วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ อันได้แก่ การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การนำไปใช้งาน/การนำกลับมาใช้ใหม่/การซ่อมแซม และการรีไซเคิล/การจัดการของเสีย ซึ่งการพิจารณาถึงแต่ละขั้นตอนเหล่านี้ว่าเกี่ยวข้องกับการประเมินหรือไม่ ผู้ประเมินควรจะต้องทำการประเมินเบื้องต้น ให้ได้รับทราบขอบเขตเสียก่อน อันได้แก่ เป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต ระดับความแม่นยำของผลการประเมินวัฏจักรชีวิต และปริมาณเวลาและทรัพยากรข้อมูลในการประเมินวัฏจักรชีวิต

ก) การได้มาของวัตถุดิบ

วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จะเริ่มต้นตั้งแต่การเก็บเกี่ยวของวัตถุดิบและพลังงาน ยกตัวอย่าง เช่น การตัดไม้จากแหล่งป่าไม้ หรือการทำเหมืองแร่ ก็จะถือเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนนี้ โดยการขนส่งของวัตถุดิบจากแหล่งไปยังแหล่งที่ทำการผลิต ก็จะถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนนี้เช่นกัน

ข) กระบวนการผลิต

ในช่วงของการผลิต วัตถุดิบต่างๆ จะถูกทำให้เปลี่ยนรูป ไปสู่ผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะต้องถูกจัดส่งไปถึงมือผู้บริโภคต่อไป กระบวนการผลิต ยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 ขั้นตอนย่อยๆ อันได้แก่ การแปรรูปวัตถุดิบ การผลิตผลิตภัณฑ์ และการบรรจุและการจัดจำหน่าย

ค) การนำไปใช้งาน/การนำกลับมาใช้ใหม่/การซ่อมแซม

เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกส่งถึงมือผู้บริโภค ในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ จะต้องถูกนำมาประเมิน ซึ่งความต้องการการใช้พลังงานและของเสียสู่สิ่งแวดล้อมในการจัดเก็บและใช้งานผลิตภัณฑ์ก็จะต้องนำมาทำการประเมินเช่นเดียวกัน หลังจากการใช้งาน ก็จะต้องทำการประเมินผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกนำกลับมาใช้ใหม่หรือทำการซ่อมแซม เพื่อให้มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด

ง) การรีไซเคิล/การจัดการของเสีย

เมื่อผู้บริโภคไม่ต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์อีกต่อไป ผลิตภัณฑ์นั้น ก็จะต้องถูกนำมารีไซเคิลหรือกำจัด โดยสิ่งที่ต้องทำการประเมินในขั้นตอนนี้ก็คือปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ และปริมาณของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

2.3.5. กำหนดระดับความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูล

ระดับความถูกต้องแม่นยำของการประเมินวัฏจักรชีวิต นั้นขึ้นอยู่กับนำไปใช้งานของผลการประเมิน เช่นถ้าผลการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะถูกนำไปใช้ในการประชุมสัมมนา ระดับความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลอาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องสูงเทียบเท่ากับการนำผลการประเมินวัฏจักรชีวิต ไปใช้ในการวิเคราะห์และเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรม

2.3.6. การกำหนดกรอบพื้นฐานของการประเมิน

กรอบพื้นฐานของการประเมิน จะเป็นไปดังต่อไปนี้

เอกสารสรุปข้อสมมติฐาน จะต้องตั้งข้อสมมติฐานสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยจะต้องนำมารายงานในบทสรุปการประเมิน ซึ่งถ้าข้อสมมติฐานต่างๆ ได้ถูกละเลยไปแล้วนั้น การประเมินวัฏจักรชีวิตอาจมีการแปลผลที่ผิดพลาดได้

ขั้นตอนการประกันคุณภาพ เป็นประกันว่าผลการประเมินที่ได้รับ นั้นเป็นไปตามเป้าหมาย และวัตถุประสงค์ ซึ่งระดับความสำคัญของการประกันคุณภาพนี้จะขึ้นอยู่กับเวลาและทรัพยากรที่มี และขึ้นกับการนำผลการประเมินไปใช้งาน โดยรายงานผลการประเมิน ควรจะผนวกรายงานการทบทวนเพื่อประกันคุณภาพในทุกขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตเข้าไว้ด้วยกัน

ข้อกำหนดสำหรับการรายงานผล ควรทำการกำหนดล่วงหน้าว่าลักษณะของรายงานผลการประเมินวัฏจักรชีวิตควรเป็นเช่นไร และกำหนดสิ่งที่ต้องผนวกเข้าไว้ในรายงาน ซึ่งสำคัญอย่างยิ่งที่ในการรายงานผลการประเมินควรอธิบายถึงวิธีการประเมินอย่างชัดเจน รายงานควรบอกถึงขอบเขตที่กำหนดขึ้นในการประเมิน วิธีการเปรียบเทียบข้อสมมติฐานในการประเมินก็ควรมีคำอธิบายที่เหมาะสม และในส่วนของการนำเสนอผลการประเมิน ควรมีการนำเสนอที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการประเมิน

2.3.7. การวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูล (Inventory Analysis)

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูล ข้อมูลเชิงปริมาณที่ต้องทำการประเมินคือ ความต้องการวัตถุดิบและพลังงาน การปล่อยมลภาวะสู่บรรยากาศ การปล่อยของเสียสู่แหล่งน้ำ ขยะ และผลกระทบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิต ซึ่งถ้าขาดข้อมูลเหล่านี้ ก็ไม่สามารถทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือความเป็นไปได้ในการปรับปรุงกระบวนการได้ การวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูล สามารถจำแนกชนิดของข้อมูลในเพื่อนำเสนอได้หลากหลายรูปแบบ เช่น แยกตามแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิต ตามแต่ตัวกลางของผลกระทบสิ่งแวดล้อม (อากาศ น้ำ หรือ ดิน) ตามชนิดของกระบวนการ หรือตามแต่ที่ผู้ประเมินเห็นสมควร

การวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ลำดับขั้นตอนย่อยๆ คือ

การพัฒนาแผนภาพแสดงกระบวนการในการประเมิน

แผนภาพจะถูกใช้ป็นเครื่องมือในการร่างและกำหนด Input และ Output ของกระบวนการหรือระบบ โดยการกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายการประเมิน จะเป็นการกำหนดขอบเขตเบื้องต้น ของชนิดข้อมูลที่ต้องการในการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งขอบเขตนี้จะนำมาใช้เป็นขอบเขตของแผนภาพด้วยเช่นกัน โดยภายในขอบเขตนี้ ระบบกระบวนการจะถูกยุบรวมเป็นภาพกระบวนการเดียว แสดงให้เห็นเป็นภาพของ 1 วัฏจักรชีวิต ที่มี Input และ Output ตามความต้องการของระบบ

ถ้าแผนภาพแสดงกระบวนการมีความซับซ้อนมากขึ้น ความแม่นยำถูกต้องของผลการประเมินและแนวทางการนำไปใช้งานย่อมต้องสูงมากขึ้น และยิ่งไปกว่านั้น การประเมินย่อมต้องใช้เวลาและทรัพยากรในปริมาณที่สูงมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งการพัฒนาแผนภาพนี้ ควรจะต้องแสดงในทุกๆ ทางเลือกที่ได้ทำการพิจารณา สำหรับการศึกษเปรียบเทียบผลการประเมินแล้วนั้น ก็ควรจะต้องอยู่ภายใต้ขอบเขตเดียวกัน และมีระดับความละเอียดของข้อมูลที่เท่าเทียมกัน เพราะไม่เช่นนั้นข้อมูลจะไม่สามารถเชื่อถือได้ และไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้

พัฒนาแผนการเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อได้กำหนดระดับความแม่นยำของข้อมูลแล้วนั้น ผู้ประเมินควรทำการพัฒนาแผนการเก็บรวบรวมข้อมูลขึ้นมา เพื่อยืนยันถึงคุณภาพและความแม่นยำของข้อมูล ที่เหมาะสมตามเป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยองค์ประกอบหลักของการพัฒนาแผนการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ การกำหนดเป้าหมายคุณภาพของข้อมูล การจำแนกชนิดและแหล่งของข้อมูล การจำแนกตัวบ่งชี้คุณภาพข้อมูล และการพัฒนารายการสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล

การกำหนดเป้าหมายคุณภาพของข้อมูล

เป้าหมายคุณภาพข้อมูล จะถูกใช้ป็นขอบเขตเพื่อสร้างความสมดุลระหว่างปริมาณเวลาและทรัพยากรที่มี ต่อคุณภาพข้อมูลที่ต้องการ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในเรื่องของผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อมและอาชีพอนามัย โดยเป้าหมายคุณภาพข้อมูล จะต้องมีความสัมพันธ์กันกับเป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การจำแนกชนิดและแหล่งของข้อมูล

ในทุกลำดับขั้นของวัฏจักรชีวิต ทุกหน่วยการผลิต และทุกชนิดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จะถูกใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ความสำคัญของแหล่งข้อมูล และ/หรือชนิดของข้อมูลที่ต้องการ เพื่อให้ได้ระดับความแม่นยำถูกต้องและคุณภาพที่เพียงพอกับวัตถุประสงค์การประเมิน ซึ่งการจำแนกชนิดและแหล่งของข้อมูลที่ต้องการ ก่อนการเริ่มเก็บรวบรวมข้อมูล จะช่วยในการควบคุมดูแลค่าใช้จ่ายและเวลาที่ต้องใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด นอกจากนั้นแล้ว ปริมาณของข้อมูลที่ต้องทำการเก็บรวบรวม ควรถูกกำหนดขึ้นเช่นกัน

2.3.8. การจำแนกตัวบ่งชี้คุณภาพข้อมูล

ตัวบ่งชี้คุณภาพข้อมูล จะถูกใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อตรวจสอบคุณภาพข้อมูลที่ได้รับว่าเหมาะสมตามความต้องการหรือไม่ ดังนั้นการเลือกตัวบ่งชี้คุณภาพข้อมูลจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และสามารถนำไปใช้งานได้จริงกับแหล่งข้อมูล que เลือกมาใช้ในการประเมิน ตัวอย่างของตัวบ่งชี้คุณภาพข้อมูลคือ ความถูกต้องของข้อมูล ความสมบูรณ์ของข้อมูล ความเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด ความสม่ำเสมอของข้อมูล และความแม่นยำของข้อมูล เป็นต้น

2.3.9. การพัฒนารายการสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล

รายการสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ควรครอบคลุมในทุกๆ หัวข้อที่ต้องการประเมิน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อกำหนดอายุการใช้งานของข้อมูล และเพื่อจัดทำฐานข้อมูลในการเก็บข้อมูล โดยในการพัฒนารายการสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล สิ่งที่จะต้องทำการพิจารณา คือ วัตถุประสงค์ของรายการบัญชีข้อมูล ขอบเขตของระบบที่ทำการศึกษ ขอบเขตทางภูมิศาสตร์ ชนิดของการใช้งานข้อมูล ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล เกณฑ์คุณภาพข้อมูล โครงสร้างวิธีการคำนวณข้อมูล และการนำเสนอผลการรวบรวมข้อมูล

2.3.10. เก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อเริ่มดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามที่ต้องการ อาจพบว่าบางข้อมูลเก็บรวบรวมได้ยากหรือไม่สามารถรับทราบข้อมูลได้ ทำให้อาจต้องมีการพิจารณาขอบเขตของระบบ และ/หรือเป้าหมายคุณภาพของข้อมูลใหม่ ตามข้อมูลที่สามารถเก็บรวบรวมได้จริง

การเก็บรวบรวมข้อมูลจะประกอบไปด้วย การทำวิจัย การเก็บข้อมูลจากแหล่ง และการพบกับผู้เชี่ยวชาญต่างๆ เพื่อสอบถามข้อมูล ซึ่งในการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้ประเมินอาจจะต้องทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลและช่วยประเมินข้อมูล หรือไม่ก็อาจจะทำการจัดซื้อจัดหาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมิน ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมามากมาย โดยก่อนที่จะทำการจัดซื้อโปรแกรมสำเร็จรูปใดๆ มาใช้นั้น ควรต้องมั่นใจว่าโปรแกรมนั้นๆ มีประสิทธิภาพตามต้องการ โดยบางโปรแกรมอาจมีฐานข้อมูลเบื้องต้นผนวกมาด้วยเช่นกัน

2.3.11. ประเมินผล และรายงานผล

เมื่อได้จัดเตรียมเรียงข้อมูลเป็นฐานข้อมูลแล้วนั้น ก่อนการประเมินผล จะต้องทำการตรวจสอบความแม่นยำถูกต้องของข้อมูล ว่าจะต้องรองรับวัตถุประสงค์และเป้าหมายการประเมินวิถัจกรชีวิต หลังจากนั้นจึงทำรายงานผลการวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูล สำคัญอย่างยิ่งที่รายงานจะต้องอธิบายถึงวิธีการในการวิเคราะห์ ระบบที่ทำการวิเคราะห์ ขอบเขตที่กำหนดขึ้น และสมมุติฐานทั้งหมดที่ได้ตั้งขึ้น

ผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูล คือรายงานเชิงปริมาณของคุณภาพผลภาวะที่ถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม รวมไปถึงปริมาณของวัตถุดิบและพลังงานที่ต้องใช้ การจัดเรียงรายการข้อมูล อาจเป็นไปตามลำดับชั้นของวิถัจกรชีวิต ตามตัวกลางสิ่งแวดล้อม หรือกระบวนการผลิตต่างๆ

2.3.12. การประเมินผลกระทบ

คือการประเมินถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัยที่อาจจะเกิดขึ้น ตามผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูล นอกจากนั้นแล้ว ควรทำการประเมินถึงการหมดลงของแหล่งทรัพยากรด้วยเช่นกัน ซึ่งการประเมินผลกระทบนี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์และกระบวนการกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้น

โดยการประเมินผลกระทบ จะมีขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

1. การกำหนดและนิยามหมวดหมู่ของผลกระทบ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนเริ่มต้น ที่ทำการนิยามหมวดหมู่ของผลกระทบ ซึ่งในการประเมินวิถัจกรชีวิตนั้น ผลกระทบต่างๆ จะถูกนิยามว่าเป็นผลสืบเนื่องมาจาก Input และ output ของระบบ ที่

เกิดขึ้นต่อ อาชีวอนามัย ต้นไม้และสัตว์ รวมไปถึงปริมาณทรัพยากรธรรมชาติที่เหลืออยู่ โดยจะแบ่งออกเป็นตาม 3 หมวดหมู่หลักๆ คือ อาชีวอนามัย ระบบนิเวศน์ และปริมาณทรัพยากรคงเหลือ

2. การจัดแบ่งประเภท

คือการแจกแจงข้อมูลตามรายการวิเคราะห์วัตถุประสงค์ออกเป็นหมวดหมู่ตามผลกระทบ ถ้าข้อมูลมีส่วนเกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อผลกระทบเพียงหมวดหมู่เดียว การจัดแบ่งประเภทก็จะเป็นความยุ่งยากซับซ้อน แต่ถ้าข้อมูลมีส่วนเกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อผลกระทบมากกว่า 1 หมวดหมู่ จะต้องมีการพิจารณาจำแนกหมวดหมู่ ด้วยการจัดสรรข้อมูลออกเป็นส่วนๆ ตามหมวดหมู่ของผลกระทบที่เกี่ยวข้อง การจัดแบ่งประเภทในรูปแบบนี้นั้น เป็นเพราะผลกระทบต่างๆ นั้นมีความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กัน หรืออีกวิธีหนึ่งคือ สามารถกำหนดจำแนกข้อมูลลงในทุกหมวดหมู่ที่เกี่ยวข้องได้ การจัดแบ่งประเภทในรูปแบบนี้นั้น เป็นเพราะผลกระทบต่างๆ นั้นไม่มีความสัมพันธ์ใดๆ ต่อกัน

3. การกำหนดคุณลักษณะ

ในการกำหนดคุณลักษณะจะใช้ตัวแปรทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่าตัวแปรคุณลักษณะ เพื่อแปลงหน่วยวัดข้อมูลและรวมข้อมูลต่างๆ เข้าด้วยกัน เป็นข้อมูลบ่งชี้ต่อผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับมนุษย์และระบบนิเวศน์ โดยการกำหนดคุณลักษณะจะช่วยให้การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูลได้ภายใต้แต่ละหมวดหมู่ของผลกระทบ

4. การทำให้เป็นค่ามาตรฐาน

การทำให้เป็นค่ามาตรฐานนั้นคือวิธีการที่ใช้ในการแสดงผลข้อมูล เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันภายในหมวดหมู่ของผลกระทบได้ ในขั้นตอนนี้ ข้อมูลต่างๆ จะถูกทำให้เป็นค่ามาตรฐานได้โดยการหารค่าตัวบ่งชี้ด้วยค่าอ้างอิงที่กำหนด ค่าอ้างอิงนี้อาจใช้ค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ ปริมาณมลภาวะที่ปลดปล่อยหรือปริมาณทรัพยากรที่ใช้งานต่อพื้นที่ ปริมาณมลภาวะที่ปลดปล่อยหรือปริมาณทรัพยากรที่ใช้งานต่อพื้นที่ต่อคน อัตราส่วนของค่าอ้างอิงใดค่าหนึ่งต่อค่าอ้างอิงทั้งหมดโดยรวม หรือค่าอ้างอิงที่มีค่าสูงที่สุด เป็นต้น

ซึ่งเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้น จะเป็นเกณฑ์กำหนดในการเลือกค่าอ้างอิงที่เหมาะสม ที่ต้องพึงระลึกไว้เสมอว่าค่าข้อมูลที่ผ่านมาการทำให้เป็นค่ามาตรฐานแล้วนั้นจะสามารถเปรียบเทียบกันได้เฉพาะภายในหมวดหมู่เดียวกันเท่านั้น เนื่องจากถ้าเป็นระหว่างหมวดหมู่แล้วนั้น ค่าตัวแปรคุณลักษณะอาจจะผ่านการคำนวณมาคนละวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ไม่สามารถทำการเปรียบเทียบกันได้

5. การกำหนดแบ่งกลุ่ม

การกำหนดแบ่งกลุ่ม จะเป็นการกำหนดแต่ละหมวดหมู่ของผลกระทบเป็นกลุ่มๆ ใหญ่ขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อการแปลผลตามพื้นที่ขอบเขตที่ต้องการพิจารณา ซึ่งการกำหนดแบ่งกลุ่มนั้นจะรวมไปถึงการเรียงข้อมูล และการจัดลำดับข้อมูลตัวบ่งชี้ด้วยเช่นกัน โดยตามหลักการ ISO แล้วนั้น การ

กำหนดแบ่งกลุ่มสามารถทำได้คือ การเรียงข้อมูลตัวบ่งชี้ตามคุณลักษณะเช่นชนิดมลภาวะหรือบริเวณพื้นที่ หรือการเรียงข้อมูลตัวบ่งชี้ตามลำดับความสำคัญมากไปหาน้อย เป็นต้น

6. การกำหนดระดับความสำคัญ

ในขั้นตอนการกำหนดระดับความสำคัญ จะเป็นการกำหนดระดับความสำคัญให้กับแต่ละหมวดหมู่ของผลกระทบ โดยระดับความสำคัญนั้นจะขึ้นอยู่กับความสำคัญของแต่ละหมวดหมู่ หรือความสัมพันธ์กันระหว่างหมวดหมู่ โดยการกำหนดระดับความสำคัญนี้มีความสำคัญในฐานะของการเป็นตัวสะท้อนให้ทราบวัตถุประสงค์การประเมินและผลการประเมินวัฏจักรชีวิต แต่เนื่องจากการกำหนดระดับความสำคัญนี้ไม่ได้เป็นวิธีการที่สามารถพิสูจน์ได้ทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นจึงสำคัญอย่างยิ่งที่วิธีการในการกำหนดระดับความสำคัญ จะต้องถูกอธิบายออกมาเป็นเอกสารอย่างละเอียด

โดยทั่วไปแล้ว การกำหนดระดับความสำคัญจะประกอบไปด้วย การจำแนกค่าข้อมูลที่จำเป็น การกำหนดระดับความสำคัญของแต่ละผลกระทบ และการประยุกต์ใช้ค่าระดับความสำคัญ ซึ่งค่าข้อมูลที่ไม่ได้ถูกกำหนดระดับความสำคัญ ควรได้รับการแสดงผลข้อมูลที่ควบคู่กันไปกับข้อมูลที่ผ่านการกำหนดระดับความสำคัญ ตามวิธีการที่ได้อธิบายอย่างชัดเจน เพื่อให้สามารถนำผลข้อมูลไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

7. การประเมินผลและรายงานผล

เมื่อได้ทำการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ขึ้นมาแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล ระดับความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลควรเหมาะสมกับที่ได้กำหนดไว้ในเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต ดังนั้นเมื่อได้จัดทำรายงานผลการประเมินผลกระทบ ควรจะต้องอธิบายอย่างชัดเจนถึงวิธีการที่ใช้ในการประเมิน นิยามถึงระบบที่ทำการวิเคราะห์และขอบเขตที่กำหนดขึ้น และสมมติฐานทั้งหมดที่ได้ตั้งขึ้นในการวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูล

2.4. การแปลผล และประเมินการปรับปรุง (Interpretation)

การแปลผล และประเมินการปรับปรุงจะเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยจะเป็นวิธีการที่ทำการจำแนก ตรวจสอบและประเมินผลข้อมูลทั้งหมด ที่ได้รับมาจากการวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูลและการประเมินผลกระทบ เพื่อนำข้อมูลนั้นมาทำการประเมินการปรับปรุงอย่างมีประสิทธิภาพ

ลำดับขั้นตอนในการศึกษาผลประเมิน เป็นดังต่อไปนี้

1. การจำแนกหัวข้อที่สำคัญ

จะเป็นการทบทวนข้อมูลที่ได้รับจากทั้ง 3 ขั้นตอนหลักของการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อจำแนกหัวข้อที่สำคัญ ที่มีความเกี่ยวข้องกับในขั้นตอนของการวิเคราะห์รายการบัญชีข้อมูลและการประเมินผลกระทบ ทั้งผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือการบริการ เพราะเนื่องจากปริมาณข้อมูลที่เก็บรวบรวมมามีค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะทำการประเมินเฉพาะข้อมูลหัวข้อที่สำคัญ เพื่อให้มีการใช้เวลาและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

2. การประเมินค่าความสมบูรณ์ ความถูกต้อง และความแม่นยำของข้อมูล

ในขั้นตอนของการประเมินค่าความสมบูรณ์ ความถูกต้อง และความแม่นยำของข้อมูลจะเป็นขั้นตอนที่สร้างความเชื่อมั่นให้กับผลการประเมินว่าถูกต้อง ซึ่งจะต้องทำการประเมินใน 3 หัวข้อหลัก ๆ คือ

ก) ความสมบูรณ์ของข้อมูล

มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลต่างๆ ที่สำคัญ ว่าได้ผ่านการเก็บรวบรวมอย่างถูกต้องและสมบูรณ์ เพื่อให้สามารถทำการตรวจสอบได้ว่าข้อมูลนั้นๆ มีความสอดคล้องกับขอบเขตการประเมิน ซึ่งบางกรณีอาจพบว่าข้อมูลไม่สมบูรณ์ ก็ต้องรายงานผล เพื่อให้สามารถประเมินผลกระทบได้

ข) ความถูกต้องของข้อมูล

มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูล ว่าถ้าเกิดพบข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์แล้วนั้นจะเป็นผลต่อการประเมินผลกระทบมากน้อยเพียงใด และมีวิธีการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลเช่นใด

ค) ความแม่นยำของข้อมูล

เป็นการพิจารณาถึงสมมุติฐานที่ได้ตั้งขึ้น วิธีการ และข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ ในการประเมินวัฏจักรชีวิต ว่ามีความสัมพันธ์และสอดคล้องกันตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์การศึกษาประเมินผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ มากน้อยเพียงใด

3. การสรุปผล

จากการประเมินตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 แล้วนั้น จะทำให้สามารถยืนยันได้ว่าข้อมูลและผลการประเมินนั้นมีความถูกต้อง และสามารถนำมาสรุปผลการประเมินได้ ซึ่งแน่นอนว่าวัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้คือ การพิจารณาสรุปว่าผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใดเกิดเป็นผลกระทบต่อมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และ/หรือต่อหัวข้อที่ได้ให้ความสำคัญไว้ ดังที่ได้ระบุไว้ในวัตถุประสงค์และเป้าหมายการศึกษา

หลังจากการสรุปผลเสร็จสิ้น ผู้ประเมินจะต้องทำการรายงานผลการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยรายงานควรจะต้องครอบคลุมในทุกหัวข้อการประเมิน เข้าใจง่ายและมีการจัดเรียงหัวข้อที่ชัดเจน ซึ่งจะประกอบไปด้วยหัวข้อหลักๆ คือ ผลการประเมิน ข้อมูล วิธีการประเมิน สมมุติฐาน และข้อจำกัดต่างๆ พร้อมทั้งรายละเอียดที่เพียงพอในการทำความเข้าใจ

2.5. ผลของการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จะช่วยให้ผู้ที่ต้องทำการตัดสินใจในองค์กร สามารถเลือกผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่เป็นผลก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลอื่นๆ เช่น ต้นทุน ราคา หรือประสิทธิภาพการผลิต ในการเลือกผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นอกจากนั้นแล้ว การประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กัน โดยสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้ เช่น การกำจัดมลภาวะทางอากาศสามารถทำได้โดยการเพิ่มผลกระทบต่อด้านน้ำเสีย เป็นต้น และ/หรือจากหนึ่งวัฏจักรชีวิต เป็นอีกหนึ่งวัฏจักรชีวิต เช่น การนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่เพื่อลดการใช้งานวัตถุดิบ เป็นต้น

ถ้าไม่ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ อาจไม่ได้ทำการศึกษถึงการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง เพราะเป็นเรื่องนอกเหนือจากการวิเคราะห์และประเมินกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์

ผลของการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ สามารถช่วยให้ผู้ทำการศึกษาดำเนินการ ข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์และบริการ โดยผู้ทำการศึกษา สามารถที่จะ

1. พัฒนาระบบการประเมินผลต่อสิ่งแวดล้อมตามลำดับ ที่เชื่อมโยงกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษา
2. วิเคราะห์การแลกเปลี่ยนทางด้านสิ่งแวดล้อม ที่เชื่อมโยงกับผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใดๆ โดยเฉพาะ เพื่อให้ผู้ถือผลประโยชน์ได้รับทราบ และยอมรับแนวทางของแผนการจัดการทางสิ่งแวดล้อม
3. แสดงปริมาณผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่ออากาศ น้ำ และพื้นดิน โดยสัมพันธ์กันกับแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิต หรือแต่ละกระบวนการที่สำคัญ
4. ช่วยในการจำแนกการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ภายในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิตและสิ่งแวดล้อมแต่ละแขนง
5. ประเมินผลกระทบต่อมนุษย์และระบบนิเวศน์จากปริมาณการใช้ทรัพยากร และมลภาวะในสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมต่อชุมชน ต่อภาคพื้น และต่อโลก
6. เปรียบเทียบผลกระทบต่อสุขภาพและระบบนิเวศน์ระหว่างผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ใกล้เคียงกัน หรือจำแนกผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใดๆ โดยเฉพาะ
7. จำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบเฉพาะด้านใดด้านหนึ่งที่เป็นจุดสนใจ

3. กรณีศึกษาของการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) จำนวน 3 กรณี

3.1. การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS⁸

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีแนวโน้มการขยายตัวที่เพิ่มมากขึ้น มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องของผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ แต่ยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยหัวข้อที่สนใจกันเป็นพิเศษนั้นมีเพียงเรื่อง การแผ่รังสีของเสาอากาศ หรือปริมาณการใช้พลังงานของระบบ สลับลัญญาณ ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิต จึงเป็นการเสริมสร้างการปรับปรุงระบบให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

3.1.1. เป้าหมายและขอบเขต

เป้าหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตครั้งนี้ คือการศึกษาความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมจากการใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตเมื่อมีการใช้งานระบบมากขึ้น โดยการประเมินจะทำการวิเคราะห์ครอบคลุมทั่วทั้งระบบและการให้บริการ อันได้แก่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ ฐานส่งสัญญาณ เสาอากาศ ระบบสลับลัญญาณ รวมไปถึงอุปกรณ์ภาคพื้นดิน ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตนี้จะได้ทำการประเมินระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ควบคู่กันไปด้วย เพื่อเป็นการศึกษาเปรียบเทียบ

การศึกษาจะเป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของ 1 หน่วยพื้นฐาน โดยหน่วยพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำการศึกษา คือข้อมูล 1 Gbit (ข้อมูลทั้งหมดของการสื่อสารแบบ Voice และ Non-Voice) ซึ่งจะต้องทำการประเมิน เพื่อทำให้เป็นค่าผลกระทบมาตรฐานต่อหน่วยพื้นฐานของแต่ละกลุ่มองค์ประกอบของระบบ อันได้แก่ กระบวนการผลิต การติดตั้ง การดำเนินงาน และการกำจัดของเสีย โดยข้อมูลที่น่ามาประเมินจะตั้งอยู่บนสมมติฐานของปริมาณการส่งถ่ายข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการ

การกำหนดขอบเขตการประเมินของระบบจะนิยามไว้กับ 2 หัวข้อ คือการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน และระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับระบบโทรศัพท์บ้าน

3.1.2. ข้อมูลวัฏจักรชีวิต

การศึกษาข้อมูลนั้นใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยฐานข้อมูลที่น่ามาใช้งานนั้นทำการเก็บรวบรวมมาจาก โครงการต่างๆ ของภาคอุตสาหกรรม สถาบันวิจัย องค์กรรัฐต่างๆ รวมไปถึงข้อมูลจากบทความต่างๆ

⁸ Emmenegger MF, Frischknecht R, Strutz M, Guggisberg M, Witschi R, Otto T. Life cycle assessment of the mobile communication system UMTS towards eco-efficient systems. International Journal of Life Cycle Assessment 2004; 1-12

ในช่วงของการประเมิน ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS นั้นยังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา จึงยังไม่มีข้อมูลจริงมาใช้ประกอบการประเมิน ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลของระบบสื่อสาร GSM มาตั้งเป็นสมมติฐานว่ามีค่าเท่าเทียมกัน เช่นข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ เป็นต้น โดยข้อมูลบางชนิดก็จะตั้งสมมติฐานว่ามีการแปรผันตรงตามปริมาณการส่งผ่านข้อมูลของระบบเครือข่าย เช่นปริมาณการใช้พลังงานของระบบเครือข่าย เป็นต้น คุณภาพของข้อมูลที่ได้รับนั้นมีความน่าเชื่อถือ ทั้งข้อมูลกระบวนการผลิตโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐานส่งสัญญาณ รวมไปถึงการดำเนินการของระบบ โดยข้อมูลหลักๆ จะเก็บรวบรวมจากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศสวีเดนช่วงปี พ.ศ. 2547

ช่วงวัฏจักรชีวิตของแต่ละอุปกรณ์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะได้พิจารณาตามข้อมูลที่ได้รับ เช่น เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะมีวัฏจักรชีวิตอยู่ที่ 1 ปี ตามความรวดเร็วของการพัฒนารูปแบบและเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในขณะที่องค์ประกอบอื่นๆ ของระบบก็จะมีช่วงวัฏจักรชีวิตที่แตกต่างกันตั้งแต่ 5 ปี ถึง 15 ปี สำหรับในส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จะประเมินจากองค์ประกอบพื้นฐานตามขนาดของอุปกรณ์นั้นๆ โดยจะคำนึงถึงการได้มาของวัตถุดิบ เช่นการทำเหมืองแร่โลหะ ด้วยเช่นกัน

ความต้องการพลังงานจำเพาะต่อหน่วยขององค์ประกอบของระบบ UMTS และ GSM นั้นมีความแตกต่างกันบ้าง ซึ่งข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด จะถูกนำเสนอในรูปของปริมาณพลังงานต่อหน่วยข้อมูล ซึ่งทำให้ระบบ UMTS มีปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยข้อมูลที่ต่ำกว่าระบบ GSM แต่มีการใช้พลังงานในสถานีฐานส่งสัญญาณที่สูงกว่าถึง 4 เท่า

สัดส่วนของระบบโทรศัพท์บ้านต่อระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะถูกคำนวณขึ้นมาจากระยะเวลาการใช้งานโทรศัพท์บ้าน เป็นค่าเฉลี่ยปริมาณข้อมูลที่ถูกส่งผ่านต่อปี จำนวนของผู้ใช้บริการ และปริมาณของข้อมูลที่ใช้ประโยชน์

3.1.3. การประเมินผลกระทบ

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS

ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบและการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมได้รับการประเมินผล ทั้งการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน และระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับระบบโทรศัพท์บ้าน ซึ่งมลภาวะทางอากาศที่เกิดขึ้นนั้น ส่วนหนึ่งมาจากกระบวนการผลิตอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ และอีกส่วนนั้นมาจากการผลิตพลังงานเพื่อกระบวนการผลิต หรือมลพิษทางน้ำเช่น COD นั้นเกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเป็นวัตถุดิบ โดยเมื่อศึกษาข้อมูลแล้วนั้น พบว่าสำหรับปริมาณข้อมูล 1 Gbit ที่ส่งสัญญาณนั้น การสื่อสารระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้วัตถุดิบมากกว่า และจะเกิดเป็นมลพิษมากกว่า การสื่อสารระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับระบบโทรศัพท์บ้าน อันเนื่องมาจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่า และอายุการใช้งานที่สั้นของตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในหลายๆ รายการตามบัญชีข้อมูล จะพบว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีอิทธิพลต่อข้อมูลเหล่านั้น ยกเว้นแต่ทองแดงและยูเรเนียม ซึ่งวัตถุดิบทองแดงมักจะถูกจัดเป็นวัตถุดิบหลักของการผลิตสายไฟฟ้า ในขณะที่ยูเรเนียม จะแสดงถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้า ที่ต้นกำเนิดมาจากพลังงานนิวเคลียร์ จึงทำให้สถานีฐานส่งสัญญาณนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าโทรศัพท์มือถือถึง 7 เท่า อันเนื่องมาจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งผลการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยวิธีการ Eco-Indicator'99 นั้นพบว่า ผลกระทบต่างๆ ต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการสื่อสารระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโทรศัพท์บ้าน จะมีค่าที่สูงมากกว่าการสื่อสารระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบโทรศัพท์บ้านนั้นมีการใช้งานทองแดงสำหรับสายส่งสัญญาณในปริมาณที่สูง

กระบวนการผลิตโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นช่วงที่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า เนื่องจากเครื่องโทรศัพท์นั้นมีอายุการใช้งานที่ต่ำ โดยในการใช้งานเครื่องโทรศัพท์ระบบ UMTS จะเกิดเป็นผลกระทบในสัดส่วนเพียงร้อยละ 5 ของผลกระทบทั้งหมด และเท่ากับร้อยละ 15 ในระบบ GSM เนื่องด้วยกระบวนการผลิตองค์ประกอบอิเล็กทรอนิกส์นั้นเกิดผลกระทบมากที่สุด โดยกระบวนการผลิตแผ่นวงจรนั้นเกิดเป็นผลกระทบที่สูงถึงร้อยละ 40 - 50 ของผลกระทบทั้งหมดต่อสิ่งแวดล้อม โดยส่วนใหญ่เนื่องมาจากการใช้พลังงานในการผลิต การทำแม่พิมพ์เซมิคอนดักเตอร์ และการใช้งานโลหะทองและเงินในการผลิต โดยขั้นตอนของการขนส่งนั้นเกิดเป็นผลกระทบสูงถึงร้อยละ 18 ถึง 25 เพราะการขนส่งทางอากาศ

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบและการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมในระบบโทรศัพท์ UMTS

วัตถุดิบและมลภาวะ	หน่วย	การส่งผ่านข้อมูลระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน	ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับระบบโทรศัพท์บ้าน
-------------------	-------	--------------------------------------------------	----------------------------------------------

วัตถุดิบ			
ทองแดง	kg	0.07	0.12
ถ่านหินสีน้ำตาล	kg	4.90	3.42
ถ่านหิน	kg	4.94	3.96
น้ำมันดิบ	kg	2.92	2.77
ยูเรเนียม	kg	1.01×10^{-3}	7.65×10^{-4}
ก๊าซธรรมชาติ	Nm ₃	1.32	1.13
น้ำ	kg	3880	2320
มลภาวะทางอากาศ			
NH ₃	kg	1.08×10^{-4}	8.20×10^{-5}
CH ₄	kg	0.05	0.04
CO ₂	kg	24.7	20.1
HCL	kg	0.003	0.002
NM VOC	kg	0.03	0.03
NO _x	kg	0.06	0.05
SO _x	kg	0.13	0.11
มลภาวะทางน้ำ			
COD	kg	0.09	0.09
ซัลเฟต	kg	1.37×10^{-1}	1.02×10^{-1}
สังกะสี	kg	0.0002	0.0001

ที่มา: Emmenegger M. F. et al.,2004

ในส่วน of สถานีสงสัญญาณ จะตรงกันข้ามกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยภายใต้ช่วงของการใช้งานจะเกิดเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า โดยคิดเป็นร้อยละ 85 ของผลกระทบต่อทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากสถานีสงสัญญาณนั้นมีอายุการใช้งานที่นานกว่า โดยผลกระทบต่อหลักนั้นเกิดขึ้นจากการใช้พลังงานภายในสถานี

การศึกษาวิเคราะห์การตอบสนองต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมเนื่องมาจากวัฏจักรชีวิตของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ นั้นให้ผลการศึกษาว่าถ้าเพิ่มวัฏจักรชีวิตของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นจาก 1 ปี เป็น 4 ปี นั้นจะสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ถึงร้อยละ 40 ในขณะที่ถ้าวัฏจักรชีวิตลดลงเหลือเพียงครึ่งปี จะเกิดเป็นผลกระทบเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 40

การเปรียบเทียบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS กับระบบ GSM สามารถจำแนกออกได้ตามหน่วยที่ต้องการ สำหรับการประเมินผลกระทบต่อ 1 หน่วย Gbit นั้นพบว่า ระบบ UMTS จะเกิดเป็นผลกระทบน้อยกว่าระบบ GSM ในทุกๆ ด้าน ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบ UMTS มีการส่งผ่านข้อมูลที่รวดเร็วกว่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลกระทบกับปริมาณความต้องการใช้น้ำมันในการเดินทาง สำหรับการส่งผ่านข้อมูล 1 หน่วย Gbit ในระบบ GSM จะใช้ปริมาณพลังงานเท่ากับการเดินทางด้วยรถยนต์เป็นระยะทาง 220 กิโลเมตร ในขณะที่ระบบ UMTS จะเทียบเท่ากับการเดินทางเพียง 150 กิโลเมตร

3.1.4 การแปลผลและการสรุปผล

จากมุมมองในด้านสิ่งแวดล้อม เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นเป็นองค์ประกอบหลักของระบบซึ่งอายุการใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ที่สั้นนั้นถือได้เป็นบทบาทหลักที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอายุการใช้งานเพียง 1 ปี นั้นน้อยมาก ถ้าสามารถสนับสนุนให้มีการใช้งานเครื่องโทรศัพท์ให้ยาวนานมากขึ้น ย่อมเป็นผลที่ดีขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก สำหรับการใชีวิตดุติบต่างๆ ในการผลิตนั้นเป็นบทบาทสำคัญเช่นกัน ซึ่งผู้ผลิตควรทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้มีการใช้ชีวิตดุติบอย่างคุ้มค่า องค์ประกอบรองลงมาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่คือสถานีส่งสัญญาณ โดยบทบาทหลักที่สร้างผลกระทบ คือ ช่วงของการใช้งาน และผลกระทบหลักต่อสิ่งแวดล้อมคือปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานี การลดผลกระทบสามารถทำได้หลายวิธีการ ซึ่งเป็นเรื่องที่ทางผู้ให้บริการระบบจะต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ UMTS นั้นมีอัตราการส่งผ่านข้อมูลที่สูงกว่าระบบ GSM จึงทำให้เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อข้อมูลส่งผ่านที่น้อยกว่าแม้ว่าระบบ UMTS จะมีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงกว่าและกระบวนการผลิตเครื่องโทรศัพท์จะซับซ้อนมากกว่าก็ตาม ระบบ GSM นั้นเป็นระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแล้ว แต่ระบบ UMTS นั้นยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการศึกษา ดังนั้นเมื่อมีการใช้งานระบบ UMTS มากขึ้น ผลกระทบย่อมเพิ่มตามมากขึ้น ซึ่งเช่นเดียวกันย่อมมีแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหาผลกระทบที่อาจจะตามมาขึ้น

3.2. การประเมินวัฏจักรชีวิตของจอภาพ แบบ CRT และ LCD ในมอนิเตอร์คอมพิวเตอร์ (CRT and LCD Display in Computer Monitor)⁹

จากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจอภาพ LCD (Liquid Crystal Displays) จึงได้เริ่มทำการศึกษาดังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชีวอนามัย ตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตของจอภาพ LCD และ CRT (Cathode Ray Tube) ทั้งนี้เพราะทางบริษัทต่างก็ต้องการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เกิดเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในขณะที่ผู้ใช้งานก็ต้องการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน โดยตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือ จอภาพ LCD ขนาด 15 นิ้ว และจอภาพ CRT ขนาด 17 นิ้ว

3.2.1. วิธีการศึกษา

เมื่อได้ทำการกำหนดนิยามขอบเขตของการศึกษาวัฏจักรชีวิตแล้วนั้น กลุ่มศึกษาจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตามบัญชีรายการวัตถุดิบ ตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ทั้งข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออกในเชิงปริมาณ จากนั้นจะได้ทำการประเมินผลกระทบและแปลผลกระทบของวัฏจักรชีวิตของจอมอนิเตอร์ที่ทำการศึกษา

3.2.2. เป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของระบบ

เป้าหมายของการศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตครั้งนี้คือการสร้างพื้นฐานในทางวิทยาศาสตร์ของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตของจอภาพ LCD และ CRT ทั้งนี้เพราะมีการศึกษาในเรื่องนี้น้อยมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่นำมาทำการศึกษาในครั้งนี้เป็นจอภาพแบบมาตรฐานที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางแสดงผลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้ ซึ่งจอภาพทั้ง 2 ชนิด ใช้เทคโนโลยีการแสดงผลที่แตกต่างกัน และใช้องค์ประกอบที่แตกต่างกัน CRT เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความต่างศักย์ยิงอิเล็กตรอน ไปกระทบกระจกหน้าจอ เพื่อให้เกิดเป็นภาพ ในขณะที่ LCD จะประกอบไปด้วยแผ่นกระจก 2 แผ่น โดยมีวัสดุของเหลวคริสตัลทำหน้าที่กรองแสง ที่เกิดจากหลอดไฟด้านหลัง เพื่อให้เกิดเป็นภาพ

ในการประเมินวัฏจักรชีวิต จอภาพทั้ง 2 ชนิดจะถูกตั้งสมมุติฐานว่ามีการใช้งานเท่าๆ กัน และเป็นช่วงที่เหมาะสมคือมีการหยุดการใช้งานของจอภาพก่อนที่จะไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ โดยจะเท่ากับ 4,590 ชั่วโมงในช่วงของการใช้งาน และเท่ากับ 8,960 ชั่วโมงในช่วงที่ไม่ได้ใช้งานและเข้าสู่โหมดการประหยัดพลังงาน ของทั้งวัฏจักรชีวิตของจอภาพ ซึ่งการประเมินนี้จะประมาณจากปริมาณการใช้งานต่ออาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ สำหรับปริมาณการใช้พลังงานแล้วนั้น จอภาพ CRT จะเป็น 113 วัตต์ในช่วงใช้งานและ 13 วัตต์ในช่วงที่ไม่ได้ใช้งานและเข้าสู่โหมดการประหยัดพลังงาน ในขณะที่จอภาพ

⁹ Socolof ML, Overly JG, Geibig JR. Environmental life-cycle impacts of CRT and LCD desktop computer displays. Journal of Cleaner Production 2005; 1281-1294

LCD จะมีการใช้พลังงานในช่วงใช้งานเพียง 40 วัตต์ และเพียง 6 วัตต์ในช่วงโหมดการประหยัดพลังงาน

3.2.3. บัญชีรายการวัตถุดิบ

ภายใต้ขอบเขตของการศึกษา ข้อมูลนั้นจะได้รับจากบริษัทผู้ผลิต 25 บริษัท ใน 14 รูปแบบ กระบวนการผลิต ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตและประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการกำจัดเมื่อเป็นของเสีย ซึ่งข้อมูลจะถูกนำมาทำการจัดเรียงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยแห่งเทนเนสซี ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเป็นฐานข้อมูลทั้งหมด และทำการจัดเรียงข้อมูลตามหมวดหมู่ที่ต้องการ จากนั้นจึงได้ทำการประเมินผลกระทบจากข้อมูลเหล่านั้น โดยข้อมูลจะต้องนำมาทำการประเมินความถูกต้อง แม่นยำ ว่าข้อมูลที่ได้รับนั้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด และสามารถนำมาเป็นตัวแทนในการประเมินวัฏจักรชีวิตได้หรือไม่ ซึ่งข้อมูลที่ได้รับพบว่า มี 4 ข้อมูลหลักที่ยังไม่สามารถยืนยันความถูกต้องได้ อันได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตกระจกจอภาพ CRT ข้อมูลการผลิตกระจกจอภาพ LCD ปริมาณการใช้พลังงานของการผลิตตัวอย่างจอภาพ LCD และปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตจอภาพ LCD ซึ่งต้องมีการตรวจสอบข้อมูลเพิ่มเติมต่อไป ซึ่งจะต้องได้รับการแจกแจงคุณภาพข้อมูลในการแปลผลการประเมินด้วยเช่นกัน

3.2.4. การประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิต

จากข้อมูลตามบัญชีรายการวัตถุดิบ ข้อมูลจะต้องถูกจัดลงในแต่ละหัวข้อของผลกระทบที่เกิดขึ้น และมีความเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กัน โดยหัวข้อผลกระทบในการศึกษาวัฏจักรชีวิตครั้งนี้ คือ

- การใช้วัตถุดิบจากแหล่งที่เกิดขึ้นได้ใหม่
- การใช้วัตถุดิบจากแหล่งที่ไม่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้
- ปริมาณการใช้พลังงาน
- สภาวะโลกร้อน
- การทำลายโอโซน
- สภาวะฝนกรด
- สภาวะหมอกควันพิษ
- ฝุ่นละอองในอากาศ
- การปนเปื้อนของน้ำ
- คุณภาพน้ำ BOD
- คุณภาพน้ำ ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ

- การกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบ
- การกำจัดขยะอันตรายแบบฝังกลบ
- การกำจัดขยะกัมมันตภาพรังสีแบบฝังกลบ
- การเผือกัมมันตภาพรังสี
- ผลกระทบเรื้อรังต่อสุขภาพประชาชน
- ผลกระทบเรื้อรังต่ออาชีวอนามัย
- มลพิษทางกลิ่น
- มลพิษทางน้ำ
- มลพิษทางดิน

ซึ่งจากแต่ละหัวข้อ ข้อมูลตามบัญชีรายการวัตถุประสงค์จะถูกจำแนก และแสดงผลเป็นคะแนนต่อผลกระทบ เพื่อทำการจำแนกและประเมินผลการศึกษาข้อมูล

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

ในการศึกษามีหัวข้อผลกระทบมากมายและหลาย ๆ หัวข้อก็มีหน่วยที่แตกต่างกัน จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบผลกระทบในแต่ละหัวข้อได้ อย่างไรก็ตาม การจำแนกข้อมูลในแต่ละหัวข้อก็ยังสามารถแสดงแนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อลดผลกระทบในแต่ละหัวข้อได้

ก) ผลกระทบวัฏจักรชีวิตของจอภาพ CRT และ LCD

ในแต่ละหัวข้อผลกระทบสามารถแสดงผลการประเมินได้ดังตาราง ที่ 1 โดยข้อมูลนั้นสามารถนำมาแสดงผลในทางกราฟฟิคได้ด้วยตัวโปรแกรม เพื่อเปรียบเทียบแต่ละหัวข้อผลกระทบ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหลัก และผลกระทบรองลงไป

ตารางที่ 2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

หัวข้อผลกระทบ	หน่วย	จอภาพ CRT	จอภาพ LCD
การใช้วัตถุดิบจากแหล่งที่เกิดขึ้นได้ใหม่	kg	1.31×10^4	2.80×10^3
การใช้วัตถุดิบจากแหล่งที่ไม่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้	kg	6.68×10^2	3.64×10^2
ปริมาณการใช้พลังงาน	MJ	2.08×10^4	2.84×10^4
สภาวะโลกร้อน	kg-CO ₂ equiv.	6.95×10^2	5.93×10^2
การทำลายโอโซน	kg-CFC-11	2.05×10^{-5}	1.37×10^{-5}
สภาวะฝนกรด	kg-SO ₂ equiv.	5.25	2.96
สภาวะหมอกควันพิษ	kg-Ethylene equiv.	1.71×10^{-1}	1.41×10^{-1}
ฝุ่นละอองในอากาศ	kg	3.01×10^{-1}	1.15×10^{-1}
การปนเปื้อนของน้ำ	kg-PO ₄ equiv.	4.82×10^{-2}	4.96×10^{-2}
คุณภาพน้ำ BOD	kg	1.95×10^{-1}	2.83×10^{-2}
คุณภาพน้ำ ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ	kg	8.74×10^{-1}	6.15×10^{-2}
การกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบ	m ³	1.67×10^{-1}	5.43×10^{-2}
การกำจัดขยะอันตรายแบบฝังกลบ	m ³	1.68×10^{-2}	3.61×10^{-3}
การกำจัดขยะกัมมันตภาพรังสีแบบฝังกลบ	m ³	1.81×10^{-4}	9.22×10^{-5}
การแผ่กัมมันตภาพรังสี	Bq	3.85×10^7	1.22×10^7
ผลกระทบเรื้อรังต่อสุขภาพประชาชน	tox-kg	1.98×10^3	9.02×10^2
ผลกระทบเรื้อรังต่ออาชีวอนามัย	tox-kg	9.34×10^2	6.96×10^2
มลพิษทางกลิ่น	m ³	7.58×10^6	5.04×10^6
มลพิษทางน้ำ	tox-kg	2.25×10^{-1}	5.19
มลพิษทางดิน	tox-kg	1.97×10^3	8.94×10^2

ที่มา: Soclof M L., Overly J.G., and Geibig J.R., 2005

ผลการประเมินเปรียบเทียบพบว่าจอภาพ LCD นั้นมีผลกระทบที่มากกว่าจอภาพ CRT เพียงแค่หัวข้อของการปนเปื้อนของน้ำและมลพิษทางน้ำ ในขณะที่ถ้าได้ทำการพิจารณาถึงเฉพาะช่วงของการผลิตจอภาพแล้วนั้น จอภาพ LCD จะเกิดเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าจอภาพ CRT ใน 8 หัวข้อ อันได้แก่ การกำจัดขยะกัมมันตภาพรังสีแบบฝังกลบ สภาวะโลกร้อน การทำลายโอโซน การปนเปื้อนของน้ำ การแผ่กัมมันตภาพรังสี ผลกระทบเรื้อรังต่อสุขภาพประชาชน มลพิษทางน้ำ และมลพิษทางดิน

ข) การดูแลติดตามหัวข้อผลกระทบวัฏจักรชีวิตที่ต้องการศึกษา

ในการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อม ในแต่ละหัวข้อผลกระทบควรได้รับการศึกษา เพื่อจำแนกถึงช่วงของวัฏจักรชีวิต หรือวัตถุประสงค์ใดๆ ที่เป็นตัวการหลักของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อศึกษาถึงบัญชีรายการวัตถุประสงค์ ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าในด้านพลังงาน จอภาพ LCD จะเกิดเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าจอภาพ CRT ซึ่งจะเห็นได้ชัดในช่วงของการใช้งานที่จอภาพ CRT มีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงกว่ามาก และในช่วงของการผลิตเช่นกันที่พลังงานจะถูกใช้ไปกับการผลิตกระจกจอภาพ CRT ซึ่งคิดได้เป็นร้อยละ 73 ของปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งแหล่งพลังงานนั้นก็มาจากพลังงานเชื้อเพลิง ในขณะที่ช่วงของการใช้งานจะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก

และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ตนเอง จะเป็นกระจกสะท้อนให้เห็นถึงอีก 1 ผลกระทบหลักคือสภาวะโลกร้อน เนื่องมาจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นตัวการหลักของสภาวะโลกร้อน ซึ่งจอภาพ CRT จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงในช่วงของการใช้งาน ดังนั้นช่วงของการใช้งานจอภาพ CRT จึงเป็นช่วงที่สัมพันธ์กันกับสภาวะโลกร้อนมากที่สุด ซึ่งคิดได้เป็นร้อยละ 64 ของปริมาณผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อนของจอภาพ CRT ตลอดช่วงวัฏจักรชีวิต แต่ในช่วงของการผลิตจอภาพทั้ง 2 ชนิดจะเกิดเป็นผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนพอๆ กัน

เมื่อศึกษาถึงผลกระทบอื่นๆ ตามบัญชีรายการวัตถุประสงค์ พบว่ามีสารเคมีหลายรายการที่มีความเสี่ยงต่อมลภาวะและเป็นผลกระทบเรื้อรังต่อสุขภาพประชาชน โดยผลกระทบนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาในช่วงของการใช้งานจอภาพ ซึ่งมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สูง โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกจัดให้เป็นตัวการหลักในการก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงของการใช้งาน แต่เมื่อทำการพิจารณาผลกระทบเรื้อรังต่อสุขภาพประชาชนใหม่อีกครั้ง โดยแยกผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกไปจะพบว่า กลายเป็นช่วงของการผลิตจอภาพทั้ง 2 ชนิดที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านนี้

ค) การปรับปรุงผลการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต

จากที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้นแล้วว่า ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตกระจกจอภาพที่ไม่สามารถยืนยันความถูกต้องของข้อมูลได้ โดยข้อมูลของจอภาพ LCD นั้นถูกคำนวณขึ้นมาจากข้อมูลของการผลิตกระจกจอภาพ CRT โดยตัดข้อมูลวัตถุดิบที่มีตะกั่วผสมอยู่ออกไป และเช่นเดียวกัน ข้อมูลการผลิตกระจกจอภาพ CRT เองก็มีความหลากหลาย ไม่เกาะกลุ่มกัน ทำให้การประเมินจะต้องทำการคำนวณ เพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือของข้อมูลในผลการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต ให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ในการปรับปรุงข้อมูลนี้เอง จะเกิดเป็นผลกระทบต่อการประเมินวัฏจักรชีวิต ทั้งในช่วงของการจัดหาวัตถุดิบและช่วงของการผลิต เพราะปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดได้ถูกกำหนดไว้ในขอบเขตของการประเมิน ซึ่งผลการประเมินวัฏจักรชีวิตหลังการปรับปรุงข้อมูลจะมีความเปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่าจอภาพ LCD มีผลกระทบต่างๆ ที่สูงกว่าผลกระทบของจอภาพ CRT เพิ่มขึ้นกว่าเดิม โดยเมื่อศึกษาถึงปริมาณการใช้พลังงานแล้ว แต่เดิมกระบวนการผลิตจอภาพ CRT จะมีการใช้พลังงานสูงสุด ประมาณ 18,000 MJ ต่อหน่วยผลิต แต่เมื่อมีการปรับปรุงข้อมูล ช่วงของการใช้งานจะเกิดเป็นผลกระทบหลักต่อการใช้พลังงาน โดยมีการใช้พลังงานประมาณ 2,300 MJ ต่อหน่วยผลิต ทั้งนี้เนื่องจากการใช้พลังงานหลักของการผลิตจอภาพ CRT คือการใช้พลังงานในการผลิตกระจกจอภาพนั่นเอง

1. การสรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

ตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตของจอภาพ CRT และ LCD ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายหัวข้อ ซึ่งผลการประเมินนี้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบกับเทคโนโลยีคู่แข่ง หรือการนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เกิดเป็นผลกระทบที่ลดน้อยลง ซึ่งการวิเคราะห์ประเมินแยกย่อยไปยังแต่ละหัวข้อของผลกระทบ ก็จะเป็นผลดีกับผู้ที่ต้องการจำแนกและปรับปรุงในแต่ละหัวข้อผลกระทบย่อยๆ

หลายหัวข้อผลกระทบนั้นพบว่าข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตกระจกจอภาพ CRT เป็นข้อมูลหลัก ดังนั้นเมื่อมองลงไปในการปรับปรุงพัฒนาการใช้พลังงาน ก็ควรเน้นหนักไปยังการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตกระจกจอภาพ CRT และรวมไปถึงการลดปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตจอภาพ LCD ด้วยเช่นกัน

3.3. การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของวัสดุปูพื้น กระเบื้องหินอ่อน และกระเบื้องเซรามิก¹⁰

วัสดุปูพื้น 2 ชนิด : กระเบื้องเซรามิก และ หินอ่อน ถูกนำมาศึกษาเปรียบเทียบอย่างเป็นระบบถึงผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้เทคนิค LCA ซึ่งวัสดุปูพื้นถือเป็นสินค้าที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศอิตาลี และ ในปัจจุบันกลุ่มประเทศในยุโรปก็กำลังให้ความสนใจต่อผลกระทบของวัสดุก่อสร้างที่มีต่อสิ่งแวดล้อม อิตาลีเป็นประเทศที่สำคัญลำดับต้นๆ ของโลกในการเป็นผู้ผลิตวัสดุปูพื้นประเภทกระเบื้องเซรามิกและหินอ่อน โดยมีกำลังการผลิตกระเบื้องเซรามิกประมาณร้อยละ 18 ของปริมาณการผลิตกระเบื้องเซรามิกของโลก และมีกำลังการผลิตหินอ่อนประมาณร้อยละ 23 ของปริมาณการผลิต หินอ่อนของโลก กระเบื้องเซรามิกสามารถแบ่งออกตามลักษณะการเคลือบและวิธีการเผาได้ 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการแบ่งชนิดของกระเบื้องตามลักษณะการเคลือบและจำนวนรอบการเผา

	เคลือบ		รอบการเผา	
	มี	ไม่มี	1 ครั้ง	2 ครั้ง
1. กระเบื้องเซรามิกแบบไม่เคลือบ (เผาที่อุณหภูมิต่ำมีทั้งแบบที่เป็นเนื้อสโตนแวร์ที่เป็นสีแดง และแบบที่เป็นเนื้อพอร์ซเลนที่เป็นสีขาว)	มี	ไม่มี	1 ครั้ง	2 ครั้ง
2. กระเบื้องเซรามิกแบบเคลือบและเผา 2 ครั้ง (เผาครั้งที่ 1 ก่อนเคลือบและเผาครั้งที่ 2 หลังทำการตกแต่งลวดลายและเคลือบแล้ว)	มี		1 ครั้ง	
3. กระเบื้องเซรามิกแบบเคลือบและเผา 1 ครั้ง (เผาครั้งเดียวหลังจากทำการตกแต่งลวดลายและเคลือบแล้ว)				

ในปี ค.ศ. 1998 อิตาลีผลิตกระเบื้องเซรามิกปูพื้นมากกว่า 600 ล้านตารางเมตร โดยร้อยละ 57 เป็นกระเบื้องชนิดเผา 1 ครั้ง ร้อยละ 15 เป็นกระเบื้องชนิดเผา 2 ครั้ง และ ร้อยละ 22 เป็นกระเบื้องเนื้อพอร์ซเลน ในกรณีศึกษานี้จะเป็นการศึกษาเฉพาะกระเบื้องปูพื้นชนิดเผา 1 ครั้ง เท่านั้น

ในปัจจุบันมีอยู่เพียงไม่กี่ประเทศในโลกที่ทำการผลิตหินอ่อน โดยกลุ่มประเทศในยุโรปมีกำลังการผลิตหินอ่อนสูงถึงร้อยละ 46 ของกำลังการผลิตหินอ่อนของทั้งโลก และอิตาลีมีกำลังการผลิตหินอ่อนอยู่ประมาณร้อยละ 58 ของกำลังการผลิตหินอ่อนทั้งหมดของกลุ่มประเทศในยุโรป

¹⁰ Nicoletti GM, Notarnicola B and Tassielli G. Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. Journal of Cleaner Production.2002 ; 283-296

3.3.1. ขอบเขตการศึกษา

ระบบของผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ในการศึกษา คือ วัสดุปูพื้นประเภท กระเบื้องเซรามิกแบบเผา 1 ครั้ง และหินอ่อนที่นำมาใช้ปูพื้น โดยจะศึกษาแต่ละตัวอย่างในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ตลอดการใช้งานเป็นระยะเวลา 40 ปี โดยการศึกษาจะครอบคลุมถึงตลอดชีวิตการใช้งานของวัสดุปูพื้นทั้ง 2 ประเภท แต่จะไม่รวมถึงวัสดุที่ใช้ในการยึดกระเบื้องหรือหินอ่อนติดกับพื้น และวัสดุที่ใช้ในการล้างและทำความสะอาดพื้น เนื่องจากขาดข้อมูลที่มีรายละเอียดที่เพียงพอต่อการศึกษา

นอกจากนี้การศึกษานี้ยังจะไม่รวมถึง

- การระเหยของหินปูนตามธรรมชาติและตะกอนเสียจากการบำบัดน้ำเสีย (กระเบื้อง)
- การผลิตและการใช้ขี้ผึ้ง (Wax) ขัดมันพื้นหินอ่อนตลอดใช้งาน (หินอ่อน)
- การใช้แผ่น/ลวดหินอ่อนในการตัดและตกแต่งหินอ่อน (หินอ่อน)

3.3.2. สมมุติฐาน

ได้มีการตั้งสมมุติฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษาทั้ง 2 ระบบ ดังนี้

1. ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในประเทศอิตาลี
2. ระยะทางในการขนส่งวัสดุที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อจากบริเวณจัดเก็บไปยังเตาเผา ซึ่งจะมีระยะทางประมาณ 10 กิโลเมตร
3. ระยะทางในการขนส่งวัสดุของแข็งไปยังบริเวณฝังกลบประมาณ 20 กิโลเมตร กระเบื้องเซรามิก
4. มีน้ำหนักเฉลี่ย 18 กิโลกรัมต่อ 1 ตารางเมตร
5. แหล่งผลิตอยู่ใน Sassuolo, Emilia-Romagna (ทางตอนเหนือของอิตาลี)
6. มีการนำเข้าวัตถุดิบมาจากประเทศต่างๆ ดังแสดงใน Italian Trade Statistics
7. ส่วนผสมของ Flue Gas วัตที่ Down Stream ของ Exhaust Scrubber และของ Abatement Plants ค่าที่วัดได้จะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละโรงงานในแต่ละอำเภอ
8. ของเสียจากกระบวนการผลิตที่ถูกนำมาใช้ในระบบการผลิต
9. ค่าเฉลี่ยของอายุการใช้งานกระเบื้องเซรามิกปูพื้นที่ประมาณ 20 ปี โดยคิดจากลักษณะการใช้งานของผู้บริโภคและคุณสมบัติทั่วไปของกระเบื้องเซรามิก
10. ปริมาณและราคาต้นทุนของวัตถุดิบที่เป็นของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต กระเบื้องมีมูลค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณและราคาของกระเบื้องที่ผลิตออกไปขาย ดังนั้นมูลค่าในส่วนนี้จึงไม่ถูกนำมาคิดในการศึกษา

หินอ่อน

1. มีความหนา 1.8 เซนติเมตรและมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 48.6 กิโลกรัมต่อ 1 ตารางเมตร
2. แหล่งผลิตอยู่ที่ Massa และ Carrara, Tuscany (ใจกลางประเทศอิตาลี) ซึ่งอยู่ห่างประมาณ 50 กิโลเมตรจากเหมืองหินอ่อน
3. ของเสียจากกระบวนการผลิตจะถูกนำมารีไซเคิลนอกระบบการผลิตหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดที่กำหนดไว้แล้ว
4. การขนของเสียที่เป็นตะกอนของผงหินอ่อนที่ตกจากถังเก็บตะกอนไปยังแหล่งฝังกลบคิดเป็นระยะทาง 10 กิโลเมตร
5. ก่อนทำการฝังกลบผงหินอ่อนจะต้องผ่านกระบวนการแยกน้ำ (Filter Press) ก่อนในปัจจุบันได้มีการทดลองนำผงหินอ่อนไปใช้ในกระบวนการผลิตซีเมนต์ กระจก วาณิช และการบดพลาสติก
6. อายุการใช้งานเฉลี่ยของหินอ่อนปูพื้นที่ประมาณ 40 ปี โดยจะมีการบำรุงรักษาซึ่งต้องใช้เครื่องขัดหินอ่อนและมีการลงซีเมนต์ประมาณ 400 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 20 วินาที/ตารางเมตร และใช้ไฟฟ้าประมาณ 0.4 กิโลวัตต์
7. ปริมาณและราคาต้นทุนของวัตถุดิบที่เป็นของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหินอ่อน มีมูลค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณและราคาของหินอ่อนที่ผลิตออกไปขาย ดังนั้นมูลค่าในส่วนนี้จึงไม่ถูกนำมาคิดในการศึกษา

3.3.3. ขั้นตอนการผลิตกระเบื้องเซรามิก

การผลิตกระเบื้องเซรามิกมีอยู่ 2 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นตอนการผลิตแผ่นกระเบื้องเซรามิก ขั้นตอนนี้จะเกี่ยวข้องกับการผสมดินชนิดต่างๆ ตามสูตรที่กำหนด การบด การเตรียมน้ำดิน การทำผงดินแห้ง การอัดขึ้นรูป และการอบแห้ง นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนในส่วนของการเตรียมฟريتและเคลือบ ซึ่งจะเริ่มต้นจากการผสมวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในการทำเคลือบ การหลอมฟريت การบดและผสมฟريت
2. ขั้นตอนการตกแต่งสีและเคลือบลงบนผิวหน้าของแผ่นกระเบื้องเซรามิก และการเผาแผ่นกระเบื้องเซรามิกที่อุณหภูมิต่างๆ

3.3.4. ขั้นตอนการผลิตกระเบื้องหินอ่อน

ขั้นตอนการผลิตกระเบื้องหินอ่อนประกอบไปด้วย

1. ขั้นตอนการตัดหินอ่อนที่พบในเหมืองหินอ่อนออกเป็นก้อนใหญ่ขนาดประมาณ 8 คิวบิกเมตร จะทำการตัดให้เป็นก้อนโดยใช้ลวดหรือใบตัดที่เคลือบด้วยผงเพชร โดยใช้น้ำเป็นตัวช่วยในการหล่อเย็น พร้อมทั้งใช้ผงทรายในการลับคมใบตัด
2. ขั้นตอนการตัดหินอ่อนที่มีขนาดต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยจะทำการตัดโดยใช้ใบตัดหรือใบเลื่อยที่เคลือบด้วยผงเพชร โดยหลังจากตัดได้ตามขนาดความกว้างยาวและความหนาที่กำหนดไว้แล้ว ก็จะนำแผ่นหินอ่อนที่ตัดได้มาทำการขัดมันที่ผิวหน้าของหินอ่อนและทำการเคลือบผิวก่อนส่งให้ลูกค้าต่อไป

3.3.5. ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดสามารถแสดงออกในรูปแบบของดัชนีแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ใน 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

1. กระบวนการที่ส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน (GWP) พบในกระบวนการเตรียมผดดินแห้งสำหรับผลิตกระเบื้องเซรามิก การเผากระเบื้องเซรามิก และการสกัดหินอ่อนออกมาจากเหมืองหิน ซึ่งทั้ง 3 กระบวนการจะเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า
2. กระบวนการที่ก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ พบในกระบวนการหลอมฟrit และการเผากระเบื้องเซรามิก ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการอาจจะมีสารอาร์เซนิก (As) และสารตะกั่วระเหยออกมาในอากาศ
3. กระบวนการที่ก่อให้เกิดภาวะการเป็นกรดในอากาศ พบในกระบวนการเผากระเบื้องเซรามิกและการเตรียมผดดินแห้งซึ่งทั้ง 2 กระบวนการเป็นการใช้ความร้อนซึ่งทำให้เกิดแก๊สที่ก่อให้เกิดฝนกรดได้

3.3.6. สรุปผลการศึกษา

1. คะแนนการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระเบื้องเซรามิกมีค่าแย่มากกว่าหินอ่อน 2 เท่า (4.21×10^{-12} ต่อ 1.90×10^{-12})
2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภทนี้ คือ สภาวะโลกร้อน การก่อให้เกิดสารที่เป็นพิษต่อมนุษย์และภาวะความเป็นกรดในอากาศ
3. ส่วนที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือในช่วงก่อนการผลิตในระบบการผลิตแผ่นกระเบื้องหินอ่อน การเตรียมผดดิน การหลอมฟrit และการเผาเคลือบในระบบการผลิตกระเบื้องเซรามิก

4. สารอันตรายที่ปลดปล่อยออกมาในบรรยากาศได้แก่

ระบบการผลิตกระเบื้องหินอ่อน : CO₂, SO₂, NO_x, NMVOC และ สารโลหะ

ระบบการผลิตกระเบื้องเซรามิก : CO₂, As, SO₂, NO_x, SO_x, NO₂ และสารตะกั่ว

5. สารอันตรายที่ปลดปล่อยออกมาในบรรยากาศเกิดขึ้นในช่วงที่มีการเผาผ่านหินให้เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณสูง นอกจากนี้ในส่วนของการผลิตกระเบื้องเซรามิกจะมีการปลดปล่อยแก๊สออกมาในบรรยากาศในระหว่างการเผากระเบื้องเซรามิกในเตาเผา
6. ในระบบการผลิตกระเบื้องหินอ่อนจะสามารถรักษาลิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นกว่าเดิมได้ ถ้ามีการปรับปรุงการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
7. ในระบบการผลิตกระเบื้องเซรามิกจะสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพได้โดยการลดอุณหภูมิหรือเวลาที่ใช้ในการเผา ตลอดจนการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งจะทำได้สามารถลดการเกิดสารอาร์เซนิก (As) และแก๊สอันตรายที่ปลดปล่อยออกมาภายในบรรยากาศระหว่างการเผาได้

4. ข้อเสนอแนะกระบวนการ มาตรการ และวิธีการในการนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

ในปัจจุบัน ISO 14040 ซึ่งเป็นมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อันแรกในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 ที่ได้ถูกประกาศใช้เป็นมาตรฐานสากลแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ดั้งนั้นถึงแม้ว่าผู้ประกอบการในประเทศไทยยังไม่มีความพร้อมและยังไม่รู้จักคุ้นเคยกับเทคนิคการประเมิน วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากต่อการทำความเข้าใจ ชาวผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในการประเมิน และมีค่าใช้จ่ายสูงมาก ก็ตาม แต่เนื่องรัฐบาลมีนโยบายให้ประเทศไทยเปิดเขตการค้าเสรีกับประเทศต่างๆ ซึ่งหลายประเทศมีความต้องการที่จะบริโภคสินค้าที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ดั้งนั้นจึงอาจจะมีการใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มาเป็นเครื่องมือกีดกันทางการค้าได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการเตรียมการนำเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยมีดังนี้

1. รัฐบาลควรจัดตั้งองค์กรที่เป็นศูนย์กลางของข้อมูล ข่าวสาร นักวิชาการ และ ผู้เชี่ยวชาญในเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ขึ้นมาอย่างเร่งด่วน
2. องค์กรดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ของประเทศ ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีความหลากหลายเป็นจำนวนมากนั้น จะต้องใช้ฐานข้อมูล บุคลากร เครื่องมือทางสถิติและเทคนิคต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอีกเป็นจำนวนมากและเป็นกิจกรรมที่ใช้เวลา เนื่องจากข้อมูลของปัจจัยต่างๆ ที่

ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นอาจจะไม่เคยมีการเก็บข้อมูลหรือมีวิธีการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นมาก่อน

3. องค์กรดังกล่าวจะต้องทำหน้าที่ในการประชาสัมพันธ์ถึงประโยชน์ ข้อจำกัดและกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่รับรู้กันอย่างแพร่หลายในประเทศ
4. ในอนาคตองค์กรดังกล่าวอาจจะเป็นตัวขับเคลื่อนกลไกในการปฏิบัติและปรับปรุงระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศ โดยอาจจะจัดทำนโยบายหรือกฎหมายต่างๆ ที่มีส่วนช่วยในการจัดระเบียบของสังคมในการดูแล รักษาและปรับปรุงสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ของประเทศ โดยมีจุดมุ่งหมายในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมการนำกลับมาใช้ใหม่ ลดกระบวนการต่างๆ ที่ก่อให้เกิดมลพิษและลดการใช้วัตถุดิบอันตราย
5. ร่วมมือกับเครือข่ายหรือองค์กรต่างๆ ทั่วโลกในการร่วมกันแลกเปลี่ยนข้อมูล เทคโนโลยีและผู้เชี่ยวชาญ เพื่อร่วมกันสร้างมาตรการสำหรับลดการก่อให้เกิดมลพิษและมลภาวะของโลกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. “สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548”
- Emmenegger MF, Frischknecht R, Strutz M, Guggisberg M, Witschi R, Otto T.2004. “Life cycle assessment of the mobile communication system UMTS towards eco-efficient systems”. **International Journal of Life Cycle Assessment.** ; 1-12
- Environmental Protection Agency. 2001. “LCA 101 – Introduction to LCA”
- European Environment Agency . 1997. “Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources”
- Life Cycle Perspective, “<http://www.ecodesignguide.dk/>”
- Nicoletti GM, Notarnicola B and Tassielli G. 2002. “Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles”. **Journal of Cleaner Production.** ; 283-296
- Phases in a Life Cycle Assessment, “<http://www.lcafood.dk/>”
- Socolof ML, Overly JG, Geibig JR. “Environmental life-cycle impacts of CRT and LCD desktop computer displays”. **Journal of Cleaner Production 2005**; 1281-1294
- World Wildlife Fund 2005, “Asia-Pacific Living Planet Report 2005”