

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

ในบทนี้จะกล่าวถึงอนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 ภาพรวมของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วยความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการผลิตขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มและได้มีการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้งในและต่างประเทศ

2.1 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14000

มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมมีหลายชุด เรียกว่า เป็นอนุกรมมาตรฐาน ISO-14000 คือ เริ่มต้นตั้งแต่หมายเลข 14001 ถึง 14100 (ปัจจุบัน ISO กำหนดตัวเลขสำหรับมาตรฐานในอนุกรมนี้ไว้ 100 หมายเลข) อนุกรมมาตรฐาน ISO 14000 ดำเนินการโดยคณะกรรมการด้านเทคนิคชุดที่ TC207 (Technical Committee 207) คณะอนุกรรมการด้านเทคนิค (Sub Committee; SC), กลุ่มคณะทำงาน (Working Group; WG) คณะกรรมการดูแลเรื่องคำศัพท์ (TCG-Terminology Co-ordination Group)

อนุกรมมาตรฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมประกอบด้วย 5 กลุ่ม ดังนี้

2.1.1 มาตรฐานระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Management System, EMS) ประกอบด้วย

ISO14001:1996 ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม: มาตรฐานที่กำหนดและข้อแนะนำในการใช้ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวในอนุกรม ISO14000 ที่สามารถตรวจสอบและให้การรับรองได้โดยหน่วยงานที่ได้รับการรับรองระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (Certification Body) ได้

ISO 14004:1996 ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม: ข้อแนะนำทั่วไปเกี่ยวกับหลักการของระบบและเทคนิคในการปฏิบัติ

2.1.2 การตรวจสอบประเมินการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Auditing and Related Environmental Investigations: EA) ประกอบด้วย

ISO 14010: 1996 หลักการทั่วไป

ISO 14011: 1996 การตรวจประเมินระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม

ISO 14012: 1996 เกณฑ์คุณสมบัติของผู้ตรวจประเมิน

ISO 14015: 2001 การตรวจประเมินสิ่งแวดล้อมของหน่วยงาน

ISO 19011: 2002 แนวทางการตรวจประเมินระบบบริหารงานคุณภาพ และระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (ใช้แทน ISO 14010, 14011 และ 14012)

2.1.3 ฉลากกับผลิตภัณฑ์เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Labeling, EL) เป็นการใช้ตลาดเป็นเครื่องมือในการป้องกันสภาพแวดล้อมโดยเน้นการมีส่วนร่วมของผู้บริโภคและผู้ผลิตแบบสมัครใจ การกำหนดมาตรฐานฉลากเพื่อสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย

ISO 14020: 2000 หลักการทั่วไป

ISO 14021: 1999 แบบที่ 2 การประกาศตนเองเกี่ยวกับการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม

ISO 14024: 1999 แบบที่ 1 หลักการและระเบียบปฏิบัติของการติดฉลากสิ่งแวดล้อม

ISO/TR 14025: 2000 แบบที่ 3 การประกาศดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมโดยบุคคลที่ 3

2.1.4 การประเมินความสามารถในการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Evaluation, EPE) ประกอบด้วย

ISO 14031: 1999 แนวทางการประเมินผลการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม

ISO 14032/TR: 1999 ตัวอย่างการประเมินผลการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม

2.1.5 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) ประกอบด้วย

ISO 14040: 1997 หลักการและระเบียบปฏิบัติทั่วไป

ISO 14041: 1998 ขอบข่าย คำจำกัดความและการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ISO 14042: 2000 การประเมินผลกระทบ

ISO 14043: 2000 การตีความ/การแปลความ

ISO/TS 14048: 2002 รูปแบบเอกสาร

ISO/TR 14049: 2000 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ ISO 14041 คำจำกัดความและการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

มาตรฐานอื่นภายใต้ TC 207

ISO/TR 14061: 1998 การนำมาตรฐาน ISO14001 และ ISO 14004 ไปใช้ใน
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการป่าไม้

ISO/TR 14062: 2002 มาตรฐานการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม

ISO 14063 มาตรฐานการสื่อสารด้านสิ่งแวดล้อม

ISO/IEC Guide 64 ข้อเสนอแนะประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมของมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์

สำหรับประเทศไทยได้ออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2208 (พ.ศ. 2539)
เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม: ข้อเสนอแนะทั่วไป
เกี่ยวกับหลักการระบบและเทคนิคในทางปฏิบัติ โดยมีสาระสำคัญว่าด้วยข้อบ่งชี้ข้อเสนอแนะ
ในการนำหลักการของระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมไปใช้ในหน่วยงานเป็นการรับเอามาตรฐาน ISO
14001 มาใช้เป็นมาตรฐานของไทยด้วย
(ที่มา : ISO 14000 : 1996)

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต

ที่มาสืบเนื่องจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 ทำให้ประเทศต่างๆ มี
นโยบายการประหยัดพลังงานซึ่งส่งผลต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมการศึกษาการประเมิน
วัฏจักรชีวิตจึงถูกพัฒนาขึ้นและขยายรวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบจากการแพร่มลพิษและของ
เสียที่เกิดขึ้น ต่อมาภาครัฐของประเทศต่างๆ ได้ให้ความสนใจในการศึกษานี้มากขึ้น ทำให้มีการ
พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบของผลิตภัณฑ์สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของ
ปัญหาที่ต่างประเภทกันเช่น การทำให้โลกร้อนขึ้นและการลดลงของทรัพยากร เป็นต้น (ที่มา :
วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต, 2550) การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการ
สิ่งแวดล้อมที่ถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental
Management Standard) ISO 14000 โดยมีกรอบการดำเนินงานตามอนุกรมมาตรฐาน 14040
(ISO 14040, 1997) เป็นดังนี้คือ

ISO 14040: 1997 หลักการและระเบียบปฏิบัติทั่วไป (Environmental
Management Life Cycle Assessment – Principle and Performance)

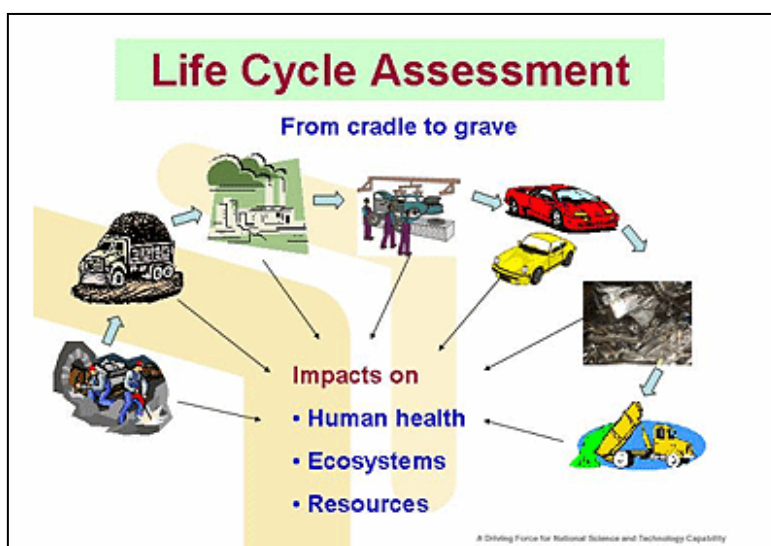
ISO 14041: 1998 ขอบข่าย คำจำกัดความและการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์
(Environmental Management Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and
Inventory analysis)

ISO 14042: 2000 การประเมินผลกระทบ (Environmental Management Life Cycle Assessment – Impact Assessment)

ISO 14043: 2000 การตีความ/การแปลความ (Environmental Management Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation)

2.3 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก (Gate to Gate) รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยระบุถึงการจัดหาพลังงานและวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์รวมทั้งการจัดการกับซากผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงระบบนิเวศ สุขอนามัยของมนุษย์และทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งนี้เพื่อนำผลไปกำหนดนโยบาย การออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือเพิ่มทางเลือกในการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด การทำ LCA ในประเทศไทยยังมีจำนวนน้อย จึงต้องอ้างอิงฐานข้อมูลจากต่างประเทศและเพื่อให้เกิดความเข้าใจความหมายมากขึ้นของการทำ LCA ดังแสดงภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1

วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave)

(ที่มา : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551 หน้า17)

เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นั้นจะแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่มีอยู่ไม่ว่าจะเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environment Impact Assessment : EIA) หรือการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment : RA) กล่าวคือ LCA เป็นการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โดยเน้นผลเชิงปริมาณชัดเจน จึงทำให้การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ ทั้งในระดับท้องถิ่น (Local Impact) ระดับภูมิภาค (Regional Impact) และระดับโลก (Global Impact) ที่เกิดขึ้นจากการทำลายทรัพยากร และมวลสารหรือสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ และนอกจากนี้ยังคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้น ด้วยค่าคะแนนเพียงค่าเดียว (Single Score) ทั้งนี้การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการคำนวณที่ใช้ศึกษา ซึ่งมีการให้ระดับความสำคัญหรือค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน ข้อมูลผลกระทบจากการศึกษา LCA ดังกล่าวถูกนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจดำเนินการตามหลักการของการจัดการวัฏจักร (Life Cycle Management : LCM) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

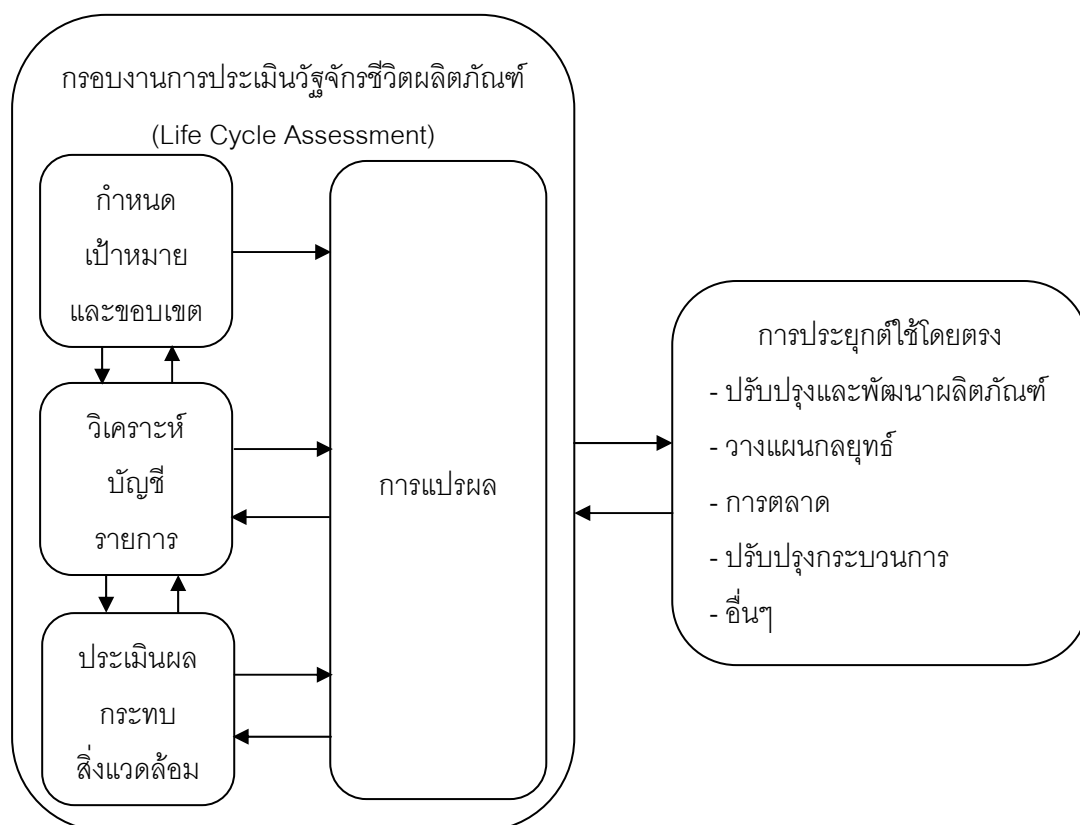
1) การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Loads) ในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องหรือที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น พลังงานและวัตถุดิบ ที่ถูกใช้การปล่อยของเสียและการแพร่กระจายของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

2) การประเมินและหาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts) ที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยพิจารณาจากปริมาณภาระทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่ถูกบ่งชี้มาในขั้นตอนแรก

3) การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม และใช้ข้อมูลที่มีการแสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกิจกรรมเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจ (ที่มา : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551)

2.4 ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

กรอบการดำเนินงานประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้หลายวิธี โดยอยู่บนหลักการ 4 ข้อที่สำคัญดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2

กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน 14040
(ที่มา : International Standard ISO 14040 : 1997, หน้า3)

2.4.1 การกำหนดเป้าหมายและกำหนดขอบเขต (Goal Definition Scope Definition)

2.4.1.1 การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition)

ขั้นตอนแรกในการทำ LCA ก็คือ การกำหนดเป้าหมายหรือการกำหนดวัตถุประสงค์ รวมทั้งพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา การนำผลไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด การทำ LCA สามารถนำไปใช้กับเป้าหมายหลักๆ ที่มีความแตกต่างกันได้แก่

- เพื่อวิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของการออกแบบและข้อมูลในเชิงตัวเลขค่อนข้างมาก
- เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องอาศัยข้อมูล ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยความรู้พื้นฐานของการออกแบบระดับแนวความคิดและระดับการผลิตจริง

การศึกษา LCA เพื่อเป้าหมายหลักทั้ง 3 ข้อข้างต้นนี้จะทำให้ได้ข้อมูลในเชิงวิทยาศาสตร์ที่สามารถช่วยให้การวิเคราะห์ผลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้และพัฒนาในด้านอื่นๆ เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ และการจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม และจากเป้าหมายของการศึกษาเพื่อจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมและใช้เผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ อาจจำเป็นต้องมีหน่วยงานภายนอกเข้ามาประกันคุณภาพข้อมูลด้วยหรือหากศึกษาเพื่อการออกแบบหรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ใหม่เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกันและมีการใช้วัสดุที่ใกล้เคียงกันการศึกษา LCA อาจศึกษาได้โดยการประเมินเปรียบเทียบเฉพาะส่วนที่แตกต่างกันเท่านั้นซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า “การวิเคราะห์ความแตกต่าง (Difference Analysis) (ที่มา : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551)

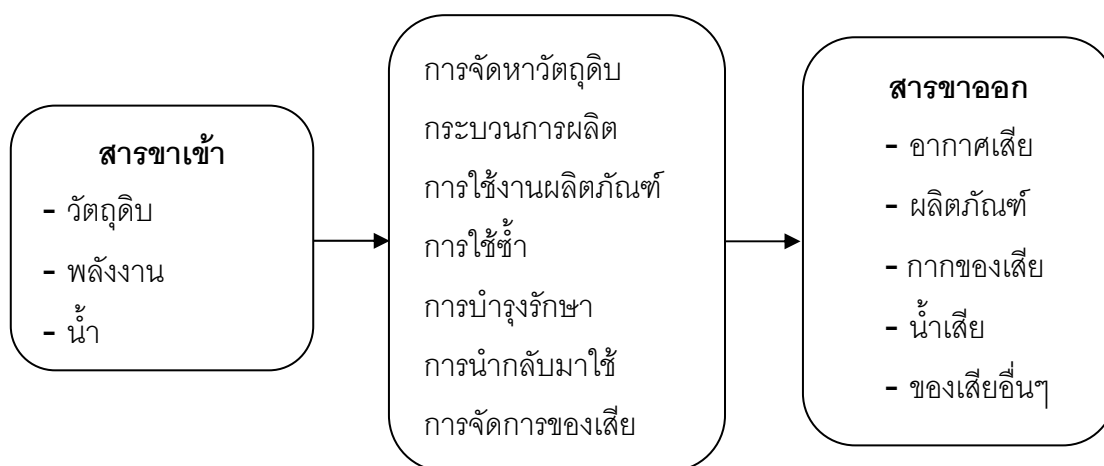
2.4.1.2 การกำหนดขอบเขต (Scope Definition)

การกำหนดขอบเขตของการทำ LCA จะสัมพันธ์กับความซับซ้อนของเป้าหมายการศึกษาและจะมีผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษาชีวิตซึ่งหากการศึกษาเป็นแบบครบทุกช่วงวัฏจักรกับ (Full LCA) ย่อมต้องอาศัยข้อมูลปริมาณมาก ย่อมทำให้ใช้ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการย่อมสูงตามไปด้วย เพราะฉะนั้นจึงจะต้องบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่เป็ประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งควรประกอบไปด้วย

การกำหนดสิ่งที่จะศึกษารวมทั้งการกำหนดลักษณะหน้าที่การใช้งานหรือสิ่งที่ผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ (Functional Unit) การออกแบบระบบอ้างอิงหรือผลิตภัณฑ์อ้างอิงเพื่อแสดงให้เห็นวัตถุประสงค์ของการศึกษาการออกแบบตัวแปรการประเมินทางสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของ LCA และการบ่งชี้ขอบเขตการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของ LCA

ทั้งนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมได้หลังจากเริ่มทำการศึกษาแล้วพบว่า ต้องมีการแก้ไขให้เหมาะสมกับความเป็นจริงที่พบ เพราะเทคนิค LCA เป็นเทคนิคที่ต้องทำซ้ำไปซ้ำมา เพื่อหาผลกระทบต่องสิ่งแวดล้อมอย่างครบถ้วน

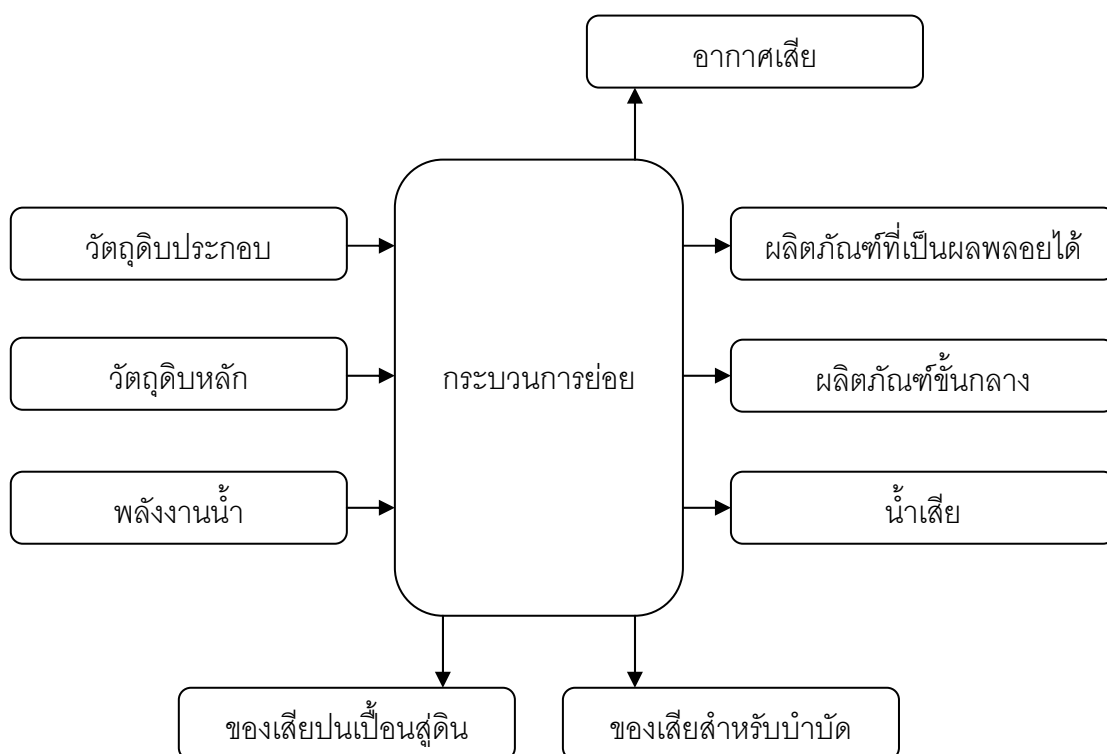
การกำหนดขอบเขตของระบบ (System Boundary) หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่นโดยที่ระบบผลิตภัณฑ์ (System) หมายถึงหน่วยที่รวบรวมวัตถุดิบและพลังงานที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นหน่วยงาน (Unit-Process) ต่างๆ ที่ทำหน้าที่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่างโดยที่สามารถแบ่งกระแสขั้นต้น (Elementary Flow) ของวัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการดังแสดง ภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3

ขอบเขตของระบบที่กำหนดตามความต้องการขององค์กรให้เป็นไปตามความเหมาะสม
(ที่มา : International Standard ISO 14040 : 1997)

หน้าที่และหน่วยการทำงานของระบบ (Function and Functional Unit) ระบบอาจมีหน้าที่หลายอย่างและหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นที่อาจถูกเลือกมาเพื่อทำการศึกษา LCA ซึ่งขึ้นกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ดังนั้น ในการกำหนดขอบเขตของการศึกษาจึงจำเป็นต้องระบุหน้าที่ของระบบที่กำลังทำการศึกษาให้ชัดเจนด้วยหน่วยการทำงาน (Functional Unit) ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับสิ่งเข้าและออกจากระบบมีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกันดังแสดง ภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4

ตัวอย่างกระบวนการย่อย สารขาเข้าและสารขาออก

คุณภาพของข้อมูลที่ต้องการเนื่องจากการศึกษาด้าน LCA ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นการระบุรายละเอียดและระดับคุณภาพของข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อเป็นฐานในการหาข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการใช้การศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการใช้ผลของ LCA เพื่อเปรียบเทียบซึ่งกันและกัน การกำหนดคุณภาพของข้อมูลตามมาตรฐานควรคำนึงถึงประเด็นดังต่อไปนี้

- ช่วงระยะเวลาที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงเวลาใดและระยะเวลาในการเก็บข้อมูล
- พื้นที่ที่ต้องการศึกษา
- เทคนิคที่ต้องการศึกษา
- ความถูกต้อง สมบูรณ์ของข้อมูล และต้องเป็นข้อมูลที่เป็นตัวแทนของสภาพที่เป็นจริง

- แหล่งที่มาของข้อมูลว่าเป็นข้อมูลจากระบบการใดเป็นข้อมูลการผลิตจริง หรือเป็นข้อมูลสถิติข้อมูลเป็นตัวแทนของโรงงานเดียวหรือเป็นตัวแทนของภาพรวมอุตสาหกรรม
- ความหลากหลายและความไม่แน่นอนของข้อมูลว่าข้อมูลที่นำมาศึกษาเป็นข้อมูลจากสภาวะการผลิตปกติ ผิดปกติหรือมาจากช่วงที่กำลังการผลิตสูงสุด เนื่องจากสิ่งเหล่านี้มีผลต่อการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน

2.4.2 การทำบัญชีรายการข้อมูล (Inventory Analysis)

การทำบัญชีรายการข้อมูล คือ การเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากระบบการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ซึ่งอาจรวมถึงทรัพยากรที่ใช้การปล่อยของเสียออกสู่อากาศน้ำและดิน ข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้เป็นการทำซ้ำไปซ้ำมา โดยเรียนรู้จากข้อมูลที่เก็บมาได้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งอาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูล หรือประเด็นปัญหา เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายของการศึกษาที่ได้ตั้งเอาไว้ ขั้นตอนในการทำบัญชีรายการข้อมูลประกอบด้วย (ที่มา: เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551)

- การสร้างผังแสดงกระบวนการ
- การรวบรวมข้อมูล
- การกำหนดขอบเขตของระบบ
- การวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.2.1 การสร้างผังแสดงกระบวนการ

ประการแรกที่ต้องทำในการทำบัญชีรายการข้อมูล คือ จะต้องระบุกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในรูปของผังแสดงกระบวนการในการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นหนึ่งจำเป็นต้องมีกระบวนการทางด้านเศรษฐศาสตร์หลายขั้นตอน เช่น ไฟฟ้าและสินค้าที่ใช้เป็นการลงทุน วัสดุเหล่านี้เป็นผลผลิตจากกระบวนการอื่นๆ อีกที่ ทำยที่สุด กระบวนการทั้งหมดเริ่มจากการตั้งวัตถุดิบและพลังงานจากสิ่งแวดล้อมแล้วผ่านขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตและการบริโภค และจบลงที่การกำจัดเมื่อผลิตภัณฑ์นั้นถูกส่งไปจัดการยังโรงบำบัดของเสียเพื่อถอดและรีไซเคิลบางส่วนอาจถูกนำมาใช้ใหม่และส่วนอื่นก็จะถูกเผาทิ้ง ดังนั้น การกำจัดก็เกี่ยวข้องกับหลายกระบวนการซึ่งจำเป็นต้องใช้วัสดุพลังงานและบริการทำยที่สุดวัสดุมวลเข้าทั้งหมดจากสิ่งแวดล้อมจะถูกเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการทางด้านเศรษฐศาสตร์และกลับสู่สิ่งแวดล้อมโดยการปล่อยออกสู่น้ำ อากาศและดิน การนำกลับมาใช้ใหม่ทำให้วัสดุมีบทบาทในระบบของผลิตภัณฑ์

เพิ่มขึ้น และยังการนำกลับมาใช้ใหม่แพร่หลายมากขึ้น การทำ LCA จากจุดเกิดถึงจุดสิ้นสุดอย่างสมบูรณ์ก็ยังซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

2.4.2.2 การรวบรวมข้อมูล

ขั้นที่สองในการทำบัญชีรายการข้อมูล คือ การรวบรวมข้อมูลสำหรับแต่ละขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนที่แตกต่างกันสามารถแยกเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ เช่น ข้อมูลการผลิตวัตถุดิบหลายๆ ชนิด สามารถนำมารวมกันได้ทีหลังที่ขั้นตอนการผลิต เห็นได้ว่าในแต่ละขั้นตอนมักเชื่อมโยงกันด้วยขั้นตอนของการขนส่ง การวิเคราะห์สามารถพิจารณาได้ละเอียดมากขึ้นขึ้นอยู่กับขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมสารขาเข้าและสารขาออกเพื่อจัดทำบัญชีรายการแบ่งเป็นประเภท
และกลุ่มย่อย

รายการ	ประเภท	กลุ่มย่อย	ความหมาย/รายละเอียด
สารขา เข้า	ทรัพยากร (Resource)	ดิน	แร่ธาตุที่มาจากธรรมชาติโดยตรงไม่ผ่านกระบวนการสกัดหรือถลุงใดๆ
		น้ำ	ทรัพยากรน้ำที่มาจากแหล่งธรรมชาติโดยตรง เช่น น้ำผิวดิน น้ำบาดาล เป็นต้น
	วัสดุ (Material)	วัตถุดิบหลัก	วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง
		วัตถุดิบประกอบ	วัตถุดิบใช้สนับสนุนการผลิต เช่น น้ำมันหล่อลื่น อิฐทนไฟ
	สารเคมี	สารเคมีหลัก	สารเคมีที่ใช้สำหรับเติมในกระบวนการผลิตโดยตรง
		สารเคมีประกอบ	สารเคมีที่ใช้สำหรับระบบสนับสนุนการผลิต เช่น การบำบัดน้ำเสีย การเตรียมน้ำดี
	พลังงาน	ไฟฟ้า Grid-mix	ไฟฟ้าที่ซื้อจากระบบสายส่งของการไฟฟ้าภายในโรงงาน
		ไฟฟ้าผลิตเอง	ไฟฟ้าที่ผลิตเองจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงงาน
		เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว	เชื้อเพลิงในรูปของเหลว เช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา
		เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง	เชื้อเพลิงในรูปของแข็ง เช่น ถ่านหิน ถ่านโค้ก
		เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ	เชื้อเพลิงในรูปก๊าซ เช่น LPG และก๊าซธรรมชาติ
		พลังงานความร้อน	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิต เช่น ไอน้ำ (กรณีนี้จะมีค่าก็ต่อเมื่อเป็นการซื้อไอน้ำมาจากภายนอก ไม่มีการใช้เพลิงเพื่อผลิตไอน้ำในโรงงาน เพื่อป้องกันการคิดซ้ำของข้อมูล)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมสารขาเข้าและสารขาออกเพื่อจัดทำบัญชีรายการแบ่งเป็นประเภท
และกลุ่มย่อย

สารขา ออก	ผลิตภัณฑ์ (Product)	ผลิตภัณฑ์หลัก	ผลิตภัณฑ์หลักของกระบวนการผลิต หรือ ผลิตภัณฑ์เป้าหมายของการศึกษา
		ผลิตภัณฑ์พลอย ได้	ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์หลัก (ไม่ สามารถหลีกเลี่ยงได้)
	ของเสีย (final waste)	ของเสียที่เป็น ของแข็ง	ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตอยู่ ในรูปของแข็ง และมีการส่งไปกำจัด/ ดำเนินการต่อภายนอกโรงงาน
		น้ำเสีย	ปริมาณน้ำเสีย/น้ำทิ้งที่ออกสู่ภายนอก โรงงาน
	มลสารทาง อากาศ	-	มลสารปล่อยระบายสู่อากาศภายนอก โรงงาน วิเคราะห์ในหน่วยงานของปริมาณ มลสารแต่ละประเภท อาทิ CO ₂ , CH ₄ , HFC, PFC, N ₂ O, SF ₆ , NO _x , SO _x , ฝุ่น (Dust) เป็นต้น
	มลสารทางน้ำ	-	มลสารปล่อยระบายสู่แหล่งน้ำภายนอก โรงงาน วิเคราะห์ในหน่วยงานของปริมาณ มลสารแต่ละประเภท อาทิ BOD, COD, Total P, Total N, Suspended Solid (SS) เป็นต้น

(ที่มา : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551)

2.4.2.3 การกำหนดขอบเขตของระบบ

หลังจากที่ผังแสดงกระบวนการได้ทำขึ้นแล้วและข้อมูลของมวลเข้า/ออกสำหรับในแต่ละขั้นตอนได้ถูกรวบรวมไว้แล้วขั้นตอนต่อไปก็คือ กำหนดขอบเขตของระบบ ซึ่งขอบเขตของระบบสามารถถ่วงถ่วงได้ เช่น การตัดสินใจในการเลือกขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตหรือการยกเว้นข้อมูลของวัตถุดิบบางอย่างที่ไม่เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากเท่าใดนักทำให้ขั้นตอนที่สำคัญในวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์เด่นชัดขึ้น

2.4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในขั้นตอนสุดท้ายของการทำบัญชีรายการข้อมูลจำเป็นต้องมีการปรับมวลเข้า/ออกในแต่ละขั้นตอนโดยใช้ตัวประกอบสัดส่วน (Scaling Factors) กับค่าที่สัมพันธ์กับหน่วยวัดผลงานของระบบการรวมข้อมูลทั้งหมดจะทำให้เกิดตารางบัญชีรายการข้อมูล (Inventory Table) ตารางนี้จะไม่มียอดเข้า/ออกด้านเศรษฐศาสตร์อยู่เลย เพราะทั้งหมดได้ถูกแปลงออกมาเป็นมวลเข้า/ออกด้านสิ่งแวดล้อมหมดแล้วเช่นปริมาณไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์จะถูกแปลงออกมาเป็นตัวเลขการใช้ทรัพยากรและการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.4.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

เป็นการนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากการทำบัญชีรายการข้อมูลมาทำการจัดกลุ่มผลกระทบและคัดเลือกตัวชี้วัดของกลุ่มจากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณเพื่อให้ทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญหรือก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงที่สุดและเกิดจากกระบวนการหรือขั้นตอนใดในระบบผลิตภัณฑ์การประเมินผลกระทบประกอบด้วยสามขั้นตอนดังนี้ (ที่มา : ISO14042, 2000)

2.4.3.1 การจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Classification /Characterization) ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้างและเกิดขึ้นในกระบวนการใดโดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการทำบัญชีรายการข้อมูลมาใช้วิเคราะห์และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารเข้าและสารขาออกทั้งหมดอย่างเป็นหมวดหมู่ผลลัพธ์ของการทำแบบจำลองของบัญชีรายการข้อมูลในแต่ละประเภทของผลกระทบนี้จะเป็นผลรวมของตัวบ่งชี้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากแต่ละประเภทซึ่งจะแสดงถึงภาระทางสิ่งแวดล้อมในขั้นต้นและข้อมูลการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติประเภทของผลกระทบที่เป็นดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมที่ควรพิจารณา ได้แก่

2.4.3.1.1 ภาวะโลกร้อน (Global Warming) CO_2 เกิดจากปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ชั้นบรรยากาศของโลก ถูกห่อหุ้มด้วยก๊าซเรือนกระจก ทำให้กักเก็บรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวโลกไม่ให้สะท้อนกลับขึ้นสู่อวกาศเหมือนเรือนกระจกที่ใช้เพาะปลูกต้นไม้ในประเทศเขตร้อนซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านเข้าไปภายในเรือนกระจกได้ แต่ความร้อนยังคงอยู่ภายใน ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญมี 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากอุตสาหกรรมและยานยนต์

2.4.3.1.2 การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Depletion) ก๊าซโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ทำหน้าที่ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) จากดวงอาทิตย์ไม่ให้ลงมาถึงโลกมากเกินไปจนก่อเกิดมะเร็งผิวหนังและทำลายสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันโอโซนในชั้นบรรยากาศได้ถูกทำลายและลดลง โดยมีสาเหตุจากสารประกอบคลอรีนจำพวกคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) และสารประกอบโบรมีนที่มนุษย์สร้างขึ้น

2.4.3.1.3 ภาวะความเป็นกรด (Acidification) การเกิดฝนกรด เกิดจากปัญหามลพิษอันเกิดจากกระบวนการเผาผลาญของสารฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน แก๊ส การผลิตไฟฟ้าหรืออีกกิจกรรมหลายๆ ประเภท รวมทั้งรถยนต์ ซึ่งจากการเผาผลาญนี้จะทำให้เกิดสารที่เรียกว่า SO_x , NO_x เมื่อรวมกับฝนที่ตกลงมา จะทำให้เกิดกรดซัลฟิวริกและไนตริก ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายกัดกร่อน ทำลายพืชผลทางการเกษตร แหล่งน้ำ มีผลต่อความเป็นอยู่ของผู้อยู่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ

2.4.3.1.4 ภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication) เป็นมลภาวะทางน้ำซึ่งทำให้สภาวะของระบบนิเวศทางน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากมีความเข้มข้นของแร่ธาตุและสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำมากเกินไป โดยสารที่เป็นตัวการหลักของการเกิดยูโทรฟิเคชัน คือฟอสเฟต รองลงมาคือไนโตรเจน ถึงแม้ว่า Eutrophication จะสามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ แต่มนุษย์ก็มีส่วนทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ได้โดยการเพิ่มแร่ธาตุสารอาหารจากกิจกรรมต่างๆ ลงไปในแหล่งน้ำทำให้พืชน้ำจำพวกสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและปกคลุมไปทั่วผิวน้ำ เป็นผลให้พืชน้ำชนิดอื่นที่อยู่ใต้ผิวน้ำไม่สามารถรับแสงแดดเพื่อใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ จึงไม่สามารถเติบโตได้และมีปริมาณลดลง

2.4.3.1.5 ก๊าซโอโซนเป็นสารโฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์ (Photochemical Oxidants) ประเภทหนึ่งซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมี Photochemical Oxidants ระหว่างสารประกอบ

ไฮโดรคาร์บอนและก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารโฟโตเคมี คัลออกซิแดนทีอื่น ๆ ได้แก่ สารประกอบพอลิอัลดีไฮด์ (Aldehydes) คีโตน (Ketones) และ Peroxyacetyl Nitrate (PAN) ก่อให้เกิดสภาพที่เรียกว่า Photochemical Smog ซึ่งมีลักษณะเหมือนหมอกสีขาวๆ ปกคลุมอยู่ทั่วไปในอากาศ โดยทั่วไปแล้วก๊าซโอโซนก่อให้เกิดการระคายเคืองตาและระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ความสามารถในการทำงานของปอดลดลง น้อยเร็ว โดยเฉพาะในเด็ก คนชรา และคนที่เป็โรคปอดเรื้อรัง

2.4.3.1.6 สารมลพิษที่ปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมสามารถแพร่กระจายไปได้ในทุกสภาพแวดล้อม (Ecotoxicity) ส่งผลให้เกิดการขยายผลกระทบต่พื้นที่ที่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดทำให้คุณภาพของดิน น้ำและอากาศเปลี่ยนแปลงไป นำไปสู่ภาวะอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นๆ

2.4.3.1.7 สารมลพิษสามารถแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ทั้งในดิน น้ำ และอากาศ (Human Toxicity) ลักษณะของสภาพแวดล้อมที่สารมลพิษปนเปื้อนมีความเกี่ยวข้องโดยตรงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

2.4.3.1.8 Bulk Waste และ Slags/Ashes ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีมากมายหลายประเภท เช่น มูลฝอยทั่วไป เศษเหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน และเศษวัสดุต่างๆ ของเสียเหล่านี้ถ้าไม่มีการกำจัดให้ถูกวิธีก็เป็สาเหตุทำให้เกิดปัญหามลพิษทางดิน น้ำและอากาศ

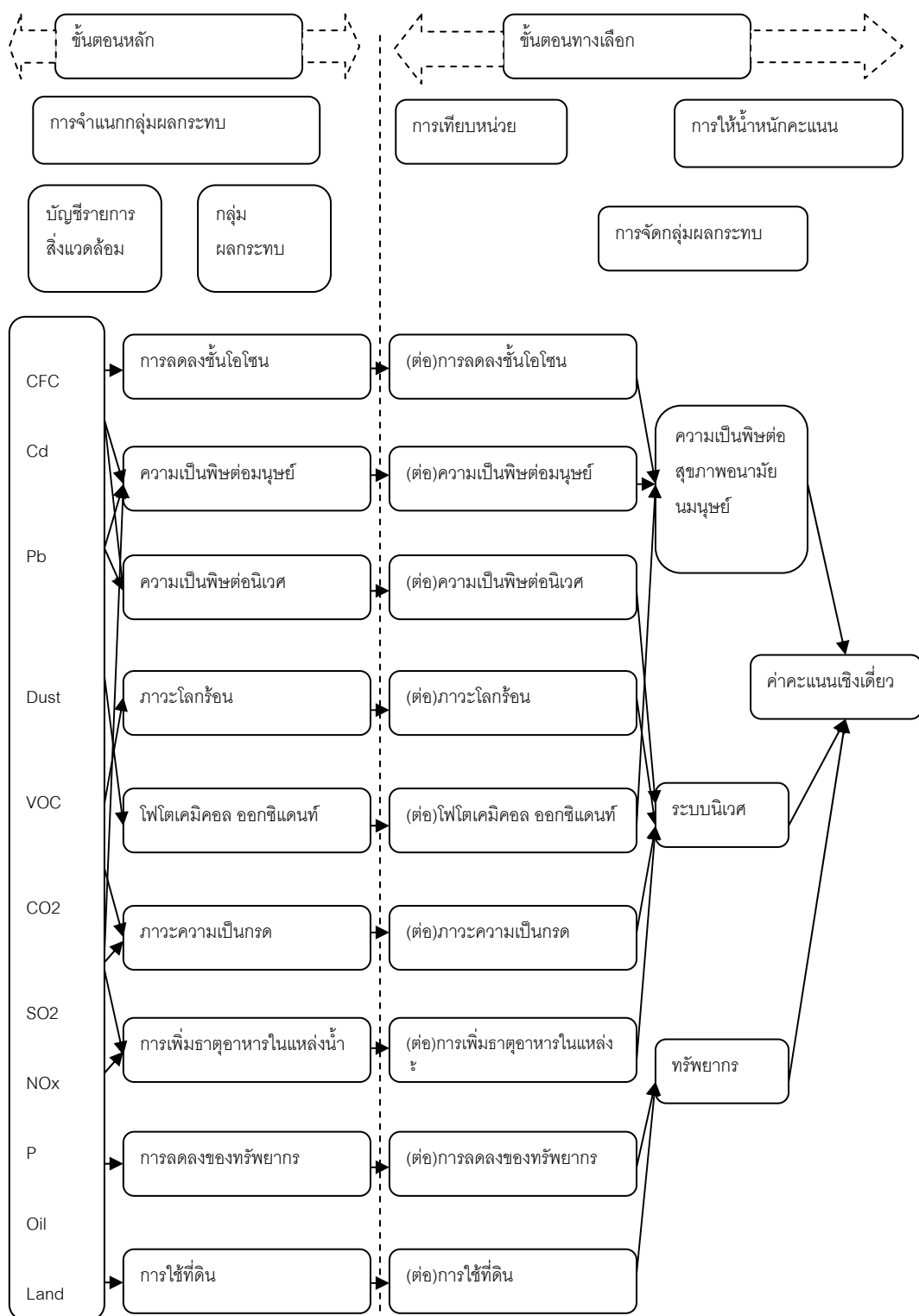
2.4.3.1.9 Hazardous Waste ของเสียอันตรายคือ ของเสียที่เป็นสารทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้อย่างรุนแรงเช่นสารไวไฟสารกัดกร่อน เป็นต้น ของเสียที่เป็นอันตรายเหล่านี้ล้วนมาจากการกระทำของมนุษย์ทั้งจากการนำสารอันตรายจากธรรมชาติและการสังเคราะห์มาใช้ เมื่อมีสารอันตรายเหลือจากการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งจากกระบวนการผลิตหรือภายหลังจากที่หมดอายุการใช้งานแล้วก็จะกลายเป็นของเหลือใช้หรือของเสียที่เป็นอันตรายและยุ่งยากในการกำจัด

2.4.3.1.10 Radioactive Waste แก๊สมันตรังสีมีที่มาจากหลายแหล่งด้วยกัน เช่น สารเหล่านี้อาจเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตหรือเป็นสารใหม่ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและจากแก๊สมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติอันตรายของแก๊สมันตรังสีนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สมันตรังสีเองนอกจากอันตรายที่มนุษย์จะได้รับโดยตรงจากการได้รับแก๊สมันตรังสีแล้ว แก๊สมันตรังสีที่แพร่กระจายเข้าไปในสิ่งแวดล้อมทั้งทางดิน น้ำและอากาศก็จะเป็นอันตรายต่อร่างกายได้เช่นเดียวกัน

2.4.3.1.11 Resources (all) มนุษย์ต้องพึ่งพาและใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในหลายๆ ด้านเพื่อการดำรงชีวิตและการอยู่รอด ทรัพยากรธรรมชาติมีคุณสมบัติที่ต่างกันไปรวมทั้งปริมาณทรัพยากรแต่ละชนิดมากน้อยไม่เท่ากันเราจึงควรระมัดระวังในการใช้ทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพเพื่อที่จะได้มีทรัพยากรใช้อย่างเพียงพอ

2.4.3.2 การเทียบหน่วย (Normalization) คือ ขั้นตอนในการหาความสำคัญของศักยภาพของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม ขั้นตอนนี้จะทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งาน และสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ต่อคนต่อปี

2.4.3.3 การให้น้ำหนัก (Weighting) เป็นขั้นตอนการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น อัตราส่วนของความสำคัญ (Weighting Factor) ขึ้นกับผู้ประเมินจากการประเมินผลกระทบทั้งสามขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังแสดงภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5

ขั้นตอนการทำการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCIA)

(ที่มา : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551)

2.4.4 การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลของ LCA หมายถึง การนำผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบมารวมกันเข้าเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาเพื่อพิจารณาบททวนจากข้อมูล และอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนดการแปลผลของการศึกษาควรจะคำนึงถึงความอ่อนไหว และความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ด้วย

หลังจากที่วิเคราะห์ Life Cycle Assessment เสร็จเรียบร้อยแล้ว ตอนนี้เราทราบแล้วว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดเป็นอันตรายที่สุด และเกิดจากกระบวนการใด ขั้นตอนต่อไปก็คือ การวิเคราะห์หาวิธีที่เหมาะสมในการแก้ไขและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้นหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ในโลกอุตสาหกรรมขั้นตอนการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงมักขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

2.4.4.1 ทางเศรษฐศาสตร์

บริษัทหรือองค์กรใดๆ ก็ตามจะยังต้องการที่จะคงไว้ซึ่งผลของกำไร เมื่อมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น

2.4.4.2 ทางผู้บริโภค

นิสัยของผู้บริโภค – ปัจจุบันนิสัยในการบริโภคของคนเรามากยึดติดอยู่กับสัณนิษฐานหรือแฟชั่น ซึ่งถูกควบคุมโดยผู้ผลิตเพราะฉะนั้นธรรมเนียมในการจับจ่ายใช้สอยจะเปลี่ยนแปลงเสมอๆ

ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ อาจขายได้เป็นอย่างดี ไม่ใช่เพราะว่าผลิตภัณฑ์เก่า ๆ ไม่ดี แต่เป็นเพราะของใหม่มีลักษณะที่แตกต่างออกไป อาจเป็นในเรื่องของสีหรือรูปทรง

ความพึงพอใจของผู้บริโภค – จากมุมมองทั่วไปของผู้บริโภค ความต้องการพื้นฐานขึ้นอยู่กับความพึงพอใจ ประมาณ 80% ของความต้องการที่ถูกสร้างขึ้นสามารถเปลี่ยนได้โดยความรู้สึกหรือการศึกษา ปัจจุบันการปลุกสำนึกในเรื่องสิ่งแวดล้อมได้มีมากขึ้น ถ้าผู้บริโภคเห็นด้วยกับผลิตภัณฑ์อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากกว่า ด้วยเหตุนี้บริษัทหรือองค์กรที่มีความสามารถในการจัดการเรื่องสิ่งแวดล้อมย่อมได้เปรียบ

2.5 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจาก Pre' Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์ เพื่อใช้ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ทำการศึกษา เป็นการนำเอาขั้นตอนต่างๆ ของการทำประเมินวัฏจักรชีวิต มาจัดอย่างเป็นระบบโดยจัดข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรมเพื่อที่ผู้ใช้นำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสมสามารถนำไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่วไป (Pre' Consultants, 2007) ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีดังนี้

2.5.1 กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย

ในการทำประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต้องทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผลอย่างชัดเจน

2.5.2 การรวบรวมข้อมูล

เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือ ข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น

2.5.3 การประเมินผลกระทบ

โปรแกรมมีวิธีการประเมินมาตรฐานหลายแบบ เช่น Eco-Indicator 95, Eco-Indicator 99, EDIP, EPS 2000 เป็นต้น

ซึ่งขั้นตอนในการประเมินผลกระทบของโปรแกรมจะทำการประเมินเป็นขั้นตอน ดังนี้

Characterization เป็นการจำแนกผลกระทบของวัตถุดิบ พลังงาน หรือ สิ่งต่างๆ ที่มีส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นว่ามีผลกระทบอย่างไร อาทิเช่น สาร CO₂ ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนขึ้น เป็นต้น

Damage Assessment เป็นการแปลงข้อมูลที่ทำการ Characterization แล้ว ให้อยู่ในรูปของผลกระทบหลัก 3 ทาง ด้วยกัน คือ ผลกระทบต่อมนุษย์ นิเวศวิทยา และ การเสื่อมสลายของทรัพยากร

Normalization คือ ขั้นตอนในการหาความสำคัญของศักยภาพ ของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม

Weighting เป็นขั้นตอนการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น อัตราส่วนของความสำคัญ (Weighting Factor) ขึ้นกับผู้ประเมิน

2.5.4 การแปลความหมายข้อมูล

เป็นการนำเอาผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมายตามขอบเขตที่ระบุ

2.6 วิธีการประเมินแบบ Environmental Design of Industrial Product : EDIP

การประเมินผลกระทบด้วยวิธี Environmental Design of Industrial Product (EDIP) ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศเดนมาร์ก ปี 1996 ซึ่งประกอบด้วยการจำแนกกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Classification) และการตีค่าผลกระทบของแต่ละกลุ่ม (Characterization) ซึ่งอาจรวมถึงการเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เพื่อให้ได้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) ดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมในวิธี EDIP มีทั้งหมด 16 กลุ่ม ได้แก่

- Global warming (GWP100)
- Ozone depletion
- Acidification
- Eutrophication
- Photocamial smog
- Ecotoxicity water chronic
- Ecotoxicity water acute
- Ecotoxicity soil chronic
- Human toxicity air
- Human toxicity water
- Human toxicity soil
- Bulk waste
- Hazardous waste
- Radioactive waste
- Slags/ashes
- Resources (all)

ขั้นตอนในการประเมินแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

2.6.1 Classification/ Characterization

เป็นขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะที่ปล่อยออกมา กับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ในกรณี ภาวะโลกร้อนขึ้นก๊าซหรือสารต่างๆ ที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนขึ้นจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ CO₂-Equivalent ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

ค่า Global Warming Potential ในเวลาต่าง ๆ กัน

	GWP:Global Warming Potential (gCO ₂ /gก๊าซ)			
ก๊าซต่างๆ	สูตรเคมี	20 ปี	100 ปี	500 ปี
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane	CH ₄	62	25	8
CFC 11	CFCI ₃	5000	4000	1400
CFC 12	CF ₂ Cl ₂	7900	8500	4200
CFC 134a	CH ₂ FCF ₃	3300	1300	420

(ที่มา : Chracterization factors Based on IPCC Report on Climate ChangeSource : MTEC-NSTDA)

จากนั้นนำมาคำนวณหาศักยภาพของผลกระทบนั้นๆ ด้วยสมการที่ 1

$$EP_j = \sum (Q_i \times EF_{ij}) \quad (1)$$

ซึ่งค่า EP_j (Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ

Q_i (Quantity of Substance) คือ ปริมาณสารมลภาวะ i ที่ถูกปล่อยออกมา

EF_{ij} (Equivalency Factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j

2.6.2. Normalization

เป็นขั้นตอนในการหาความสำคัญของศักยภาพของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวมขั้นตอนนี้จะทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งานและสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ต่อคนต่อปี มีการคำนวณดังสมการที่ 2

$$NP_{j(\text{Product})} = EP_j / (T \times ER_j) \quad (2)$$

ซึ่งค่า NP_j (Product) (Normalized Environmental Impact Potential) คือ ค่ามาตรฐานของศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ของผลิตภัณฑ์

T (Lifetime of Product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (ปี)

ER_j (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบที่ j ใด ๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg Substance Equivalent/person/year)

วิธี EDIP นี้จะอ้างอิงข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมจากปี 1990 ดังนั้น ค่า ER_{j90} หาได้จากอัตราส่วนของค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่อจำนวนประชากรในปี 1990 ได้การคำนวณดังสมการที่ 2.3

$$ER_{j90} = EP_{j90} / POP_{j90} \quad (3)$$

ตารางที่ 2.3

ค่า ER_{j90} ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	หน่วย	ต่อคน
ภาวะโลกร้อน	KgCO ₂ -eq/year	8700
การลดลงของโอโซน	KgCFC11-eq/year	0.2
ภาวะกรดในบรรยากาศ	KgSO ₂ -eq/year	82

(ที่มา : ChracterizationfactorsBased on IPCC Report on Climate ChangeSource : MTEC-NSTDA)

2.6.3 Weighting

สำหรับการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดที่จะมีค่าแตกต่างกันออกไป อัตราส่วนของความสำคัญ WF (Weighting Factor) จะขึ้นอยู่กับผู้ประเมิน เช่น มีการนำเอานโยบายสิ่งแวดล้อมโลกในการลดมลภาวะแต่ละชนิด มาเป็นค่า WF หรือนำเอากฎหมายสิ่งแวดล้อมของแต่ละประเทศในการอนุญาตให้ปล่อยมลภาวะแต่ละชนิดมาตั้งเป็นค่า WF ก็ได้ แต่โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro ได้ใช้ข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตของคน 1 คน ในหนึ่งพันคนต่อปี ซึ่งสมการการคำนวณได้จากสมการที่ 4 และ 5

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &= WF_j \times EP_{j(\text{Product})} / ER_{j90} \\ &= (ER_{j90} / ER_{j2000}) \times (EP_{j(\text{Product})} / ER_{j90}) \\ &= EP_{j(\text{Product})} / ER_{j2000} \end{aligned} \quad (5)$$

ซึ่งค่า WP_j (Weighted Environmental Impact Potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว มีหน่วยคือ Milliperson-eq for Target year (mPE_T)

WF_j (Weighting Factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้ ซึ่ง WF_j ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมใดๆ ที่เกิดจากการกระทบของคนหนึ่งคนต่อปี (ER_{j90}) กับเป้าหมายของสังคมที่จะกำหนดให้ก่อมลพิษได้ในปี 2000 (ER_{j2000}) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของนโยบายทางสิ่งแวดล้อมของพื้นที่นั้นๆ สามารถเขียนเป็นสมการคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$WF_j = ER_{j90} / ER_{j2000} \quad (6)$$

WF_j จะแสดงปริมาณค่า ER_{j2000} ที่จะต้องถูกกำหนดให้ลดลงในปี 2000 ซึ่งเป็นไปตามนโยบายทางสิ่งแวดล้อมในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภท โดยที่ถ้าการตั้งเป้าหมายของการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากเท่าไรแสดงว่าค่า WF_j จะมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งค่า ER_{j2000} คำนวณได้จากสมการที่ 7

$$ER_j = EP_{j2000} / POP_{90} \quad (7)$$

ค่า EP_{j2000} เป็นค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปี 2000 ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$EP_{j2000} = \sum \{ (EP_{j90} \times [1 - PRT_i \times 10 / (TY_i - RY_i)]) \} \quad (8)$$

ซึ่งค่า PRT_i (Political reduction target) คือ เป้าหมายการลดลง (%) ของสาร i ระหว่างปีที่เป็นปีอ้างอิงปีที่เป็นเป้าหมาย

TY_i คือ ปีเป้าหมายตามนโยบายการลดลงของสาร i

RY_i คือ ปีอ้างอิง

2.7 ขวดแก้ว

แก้วถือได้ว่าเป็นวัสดุที่เราคุ้นเคยกันเป็นอย่างดี และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องที่มีคุณสมบัติโปร่งใส มีความแข็งแรงทนต่อการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมต่างๆ มีความคงทนต่อสารเคมีและคงทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังทำให้มีสีสันสวยงามได้ ซึ่งจากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้แก้วเป็นเครื่องใช้ที่บ่งบอกถึงอารยธรรมของมนุษย์มาตั้งแต่สมัยโบราณมาจนถึงทุกวันนี้เครื่องใช้จากแก้วที่เราคุ้นเคยไม่ว่าจะเป็นเครื่องประดับตกแต่ง เครื่องใช้พวกเครื่องแก้ว ภาชนะบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดต่างๆ ยานพาหนะ และสิ่งก่อสร้าง จนมาถึงยุควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญในปัจจุบัน เรานำแก้วที่มีสมบัติที่แตกต่างออกไปมาใช้งานในอุปกรณ์พิเศษต่างๆ เช่นพวกเลนส์สำหรับใช้งานทางแสง หลอดไฟ จอทีวี หรือพวกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า โยแก้วสำหรับนำวัสดุเสริมแรง และโยแก้วนำแสง สำหรับใช้ในงานสื่อสาร เป็นต้น (ที่มา : แก้ว,ดร.อนุชา วรรณก้อน)

2.7.1 ความหมายของแก้ว

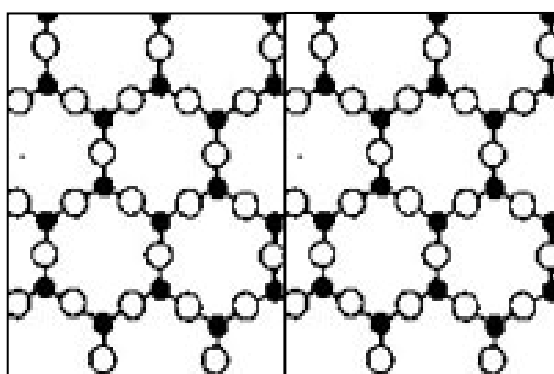
คำว่าแก้ว (Glass) มีรากศัพท์มาจากภาษาละติน (Glaesum) เป็นวัตถุโปร่งใสสวยงาม ทนต่อการกัดกร่อน มีความแข็งแรงแต่เปราะ สำหรับความหมายตาม ASTM (American Society for Testing and Materials) มาตรฐานที่ C-162 กล่าวว่า แก้ว คือ ผลิตภัณฑ์ของสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่หลอมเหลว และเย็นตัวลงกลายเป็นของแข็งโดยไม่มีโครงสร้าง วัสดุหลักในการผลิตแก้วตั้งแต่ยุคเริ่มต้นมาจนถึงปัจจุบัน ได้แก่ ททรายและแร่ควอตซ์ซึ่งมีอยู่มากมายบนเปลือกโลก โดยแร่ธาตุเหล่านี้มีองค์ประกอบหลัก คือ สารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์หรือซิลิกา (SiO_2) ซึ่งมีความบริสุทธิ์ได้ใกล้เคียงถึง 100% แต่การผลิตแก้วซิลิกา 100% นั้นทำได้ยากเนื่องจากต้อง

ทำการหลอมเหลวที่อุณหภูมิมากกว่า $1,700^{\circ}\text{C}$ การผลิตแก้วโดยทั่วไปจึงมีการเติมวัตถุดิบอื่นๆ เพื่อช่วยลดอุณหภูมิในการหลอม หรือเติมเพื่อช่วยในการขึ้นรูป หรือด้วยเหตุผลอื่นๆ จึงทำให้แก้วแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เนื่องจากการใช้วัตถุดิบหรือสารอนินทรีย์หลากหลายชนิดในการผลิตจากคำนิยามดังกล่าวจะเห็นว่าแก้วมีลักษณะที่เหมือนกับเซรามิก คือ

- แก้วประกอบขึ้นจากสารอนินทรีย์เหมือนกัน
- แก้วต้องผ่านการใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้เรามักจะพูดกันว่าแก้วเป็นวัสดุในกลุ่มเดียวกับเซรามิกส์แต่สิ่งที่ต่างกันระหว่างแก้วกับเซรามิกก็มีเหมือนกัน นั่นคือ

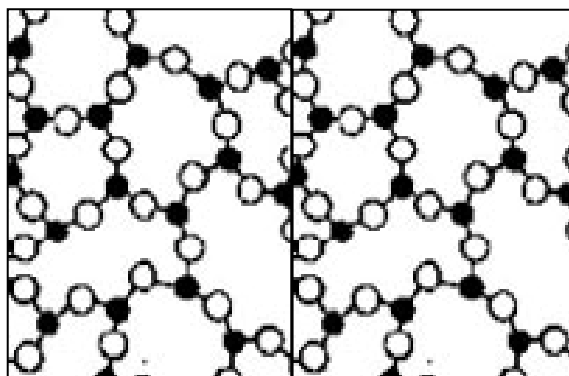
- แก้วต้องมีการหลอมตัวก่อนที่จะขึ้นรูปในขณะที่เซรามิกต้องขึ้นรูปก่อน
- แก้วจะแข็งตัวโดยไม่มีการตกผลึกและโมเลกุลมีการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ

วัสดุที่โครงสร้างไม่ตกผลึกหรือโมเลกุลมีการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบนี้ในทางวิชาการเราเรียกว่า วัสดุอสัณฐาน (Amorphous Materials) ซึ่งวัสดุที่มีโครงสร้างไม่แน่นอนหรือมีโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึก (Non-Crystalline Solid) ซึ่งถ้าเรามาพิจารณาจากความหมายก็จะพบว่า วัสดุอสัณฐาน มีความหมายกว้างขึ้น ครอบคลุมไปถึงวัสดุที่ไม่จำเป็นต้องผลิตด้วยการหลอม หรือ วัสดุที่อาจจะไม่ใช่สารอนินทรีย์ก็ได้ เช่น พลาสติกเมอร์ต่างๆ ก็มีคุณสมบัติของอสัณฐานเหมือนกันรูปทั้งสองรูปนี้ เป็นโมเดลของโครงสร้างผลึกของ SiO_2 เทียบกับโครงสร้างอสัณฐานของมันจากโครงสร้างที่เป็นระเบียบของอสัณฐานนี้เองที่ทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมของมันมีมากกว่าผลึกทำให้แสงสามารถเดินทางผ่านไปได้ หรือแม้ว่าจะมีการหักเหบ้างแต่น้อยกว่าการหักเหที่เกิดขึ้นในผลึกดังแสดงภาพที่ 2.6 และ ดังแสดงภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6

แบบจำลองโครงสร้างของผลึก

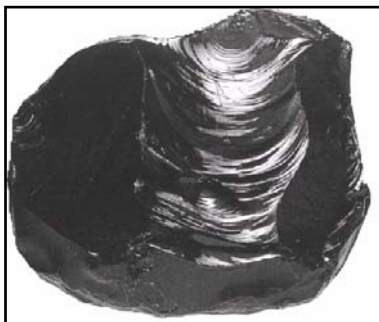


ภาพที่ 2.7

แบบจำลองโครงสร้างของอสัณฐาน

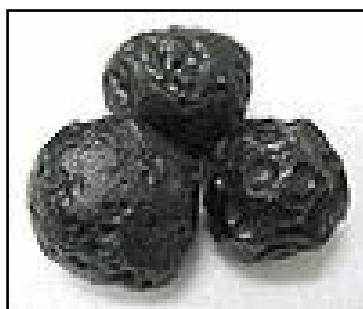
2.7.2 ประวัติของแก้ว

แก้วเกิดขึ้นมาพร้อมกับโลกซึ่งโดยธรรมชาติ (God – made Glass) เกิดจากการหลอมตัวสารประกอบที่อยู่ในรูปของผลึกพวกทรายหรือทรายแก้ว ที่รู้จักกันดีก็คือ แร่อบซิเดียน (Obsidian) ซึ่งมักพบบริเวณภูเขาไฟที่เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของแมกมา (Magma) ที่พุ่งออกจากปล่องภูเขาไฟ มีสีเทาหรือม่วงดำ หรือเกิดจากการเย็นตัวของลาวา (Lava) ที่ไหลลงสู่ทะเลทำให้ลักษณะผิวนอกเป็นคลื่น นอกจากนี้แก้วที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติอื่นๆ เช่น แร่เทคไทท์ (Tektite) ซึ่งเกิดจากอุกกาบาตชนโลก พลังงานความร้อนและแรงกระแทกทำให้หินหลอมเหลวพุ่งกระจายขึ้นสู่ฟ้า และตกกลับมาในรูปของก้อนแก้วที่มักจะมีสีเขียวหรือน้ำตาลดำ หรือแร่ฟลูกูไรท์ (Fulgurite) ซึ่งเกิดจากฟ้าผ่าลงกลางทราย ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 – 30 มิลลิเมตร ยาวหลายฟุตและมีเปลือกนอกเป็นแก้ว เรามีการใช้งานแร่อบซิเดียน ตั้งแต่ยุคหิน เนื่องจากแก้วเมื่อแตกแล้วจะมีความคม มนุษย์ยุคหินจึงนิยม ใช้เป็นเครื่องมือในการล่าสัตว์ หรือเป็นมีดเล่มื่อนั่นเอง นอกจากนั้นแก้วจากธรรมชาติบางชนิดก็มีความสวยงาม ใช้เป็นเครื่องประดับได้ ส่วนการผลิตแก้วโดยมนุษย์นั้น พบมาตั้งแต่สมัยอียิปต์ ก่อนคริสต์ศักราชถึง 1500 แร่แก้วที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติดังภาพที่ 2.8 และภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8

ลักษณะแร่อบซิเดียน



ภาพที่ 2.9

ลักษณะแร่เทคไทท์

แก้วที่สร้างขึ้นโดยฝีมือมนุษย์ (Man – Made Glass) กำเนิดแก้วประเภทนี้นั้นยังไม่ปรากฏแน่ชัดว่าเริ่มต้นมาอย่างไร แต่มีความเห็นว่ามันน่าจะเป็นการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของวิทยาการด้านการใช้ไฟ (Pyrotechnology) โดยเฉพาะด้านการทำภาชนะดินเผาซึ่งเจริญรุ่งเรืองในตอนเหนือของอียิปต์เมื่อราวๆ 10,000 ปีก่อน เนื่องจากการเผาหม้อที่เนื้อดินมีทรายและหินปูนเป็นองค์ประกอบ ในขณะที่ผิวหม้อมีสารประกอบพวกโซดาอยู่ เมื่อได้รับความร้อนสูงจะเกิดการหลอมตัวกัน กลายเป็นเคลือบสีบนภาชนะดินเผา

อย่างไรก็ตามมีนักเขียนโรมันชื่อ Pliny (ค.ศ 23-29) บันทึกไว้ว่า เมื่อราวประมาณ 5,000 ปีก่อนคริสตกาล บันทึกไว้ว่าพ่อค้าชาว Phoenician ได้แวะพักที่ชายฝั่งของปาเลสไตน์และได้มีการก่อไฟ โดยใช้เนตรอน (คาร์บอนเตของโซดา) สองก้อนแทนเตมารองหม้อชุปที่ตั้งอยู่บนไฟ ทำให้ก้อนเนตรอนหลอมละลายรวมกับพื้นทรายข้างล่างเกิดเป็นแก้วขึ้น จึงเชื่อกันว่า การค้นพบโดยบังเอิญนี้เป็นจุดกำเนิดของแก้วโดยฝีมือมนุษย์นั่นเอง

เมื่อราวประมาณ 3,500 ปีก่อนคริสตกาล ตามหลักฐานที่ค้นพบคาดว่าแก้วที่ผลิตโดยมนุษย์นั้นในช่วงแรกจะเป็นพวกลูกปัดแก้วที่ผลิตในแถบอียิปต์และแถบเมโสโปเตเมียตะวันออก(ประเทศอิรักปัจจุบัน) ส่วนการทำเคลือบแก้วบนภาชนะ เครื่องปั้นดินเผาเริ่มพบในแถบเมโสโปเตเมียตอนกลาง โดยการเผาหม้อทรายที่มีหินปูน เป็นองค์ประกอบแล้วเกิดการรวมตัวกับโซดาหลอมกลายเป็นเคลือบสีบนภาชนะ

1500 ปีก่อนคริสตกาล ถือเป็นจุดกำเนิดของการทำภาชนะแก้ว (Hollow Glass) เนื่องจากพบชิ้นส่วนของถ้วยแก้วในอียิปต์ ที่มีชื่อของฟาโรห์ธูทโมสที่ 3 (Thoutmosis III) ปรากฏอยู่ นอกจากนี้ยังพบหลักฐานการทำแก้ว ในประเทศกรีซและจีนอีกด้วย

650 ปีก่อนคริสตกาล มีหลักฐานคู่มือการทำแก้วเล่มแรกปรากฏบนแผ่นดินเหนียวจารึกอักษรลิ่ม (Cuneiform Tablet) ของอารยธรรมเมโสโปเตเมีย จากห้องสมุดของกษัตริย์ซีเรียนชื่อ Assyrian King Ashurbanipal

เมื่อราว 27 ปีก่อนคริสตกาล – ช่วงคริสต์ศักราชที่ 14 ที่บริเวณ Sidon-Babylon ช่างฝีมือชาวซีเรีย ได้ค้นพบวิธีการเป่าแก้ว (Blowing) ซึ่งทำให้ สามารถผลิตภาชนะหลายรูปแบบได้ปริมาณมาก ดังภาพที่ 2.10 แสดงแก้วในสมัยโรมัน



ภาพที่ 2.10

แก้วในสมัยโรมัน

2.7.3 ชนิดของแก้ว

การแบ่งประเภทของแก้ว สามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แบ่งองค์ประกอบทางเคมี หรือแบ่งตามการใช้งาน แต่โดยส่วนใหญ่เรามักจะบอกประเภทของแก้วตามองค์ประกอบซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นสารประกอบออกไซด์ (Oxide) ของซิลิกอน (Si) คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และสารประกอบออกไซด์อื่นๆ เช่น โบรอกไซด์ (B_2O_3) หรือเจอร์มา นิกไดออกไซด์ (GeO_2) เป็นต้น บางทีเราจะเรียกแก้วพวกนี้รวมๆ กันว่าเป็นแก้วออกไซด์ (Oxide glass) ทั้งนี้ในแก้วหนึ่งชนิดอาจประกอบ ด้วยสารประกอบที่ไม่ใช่ออกไซด์ เช่น สารประกอบ ซัลไฟด์ (Sulfide) และสารประกอบซีลีไนด์ (Selenide) เป็นต้น เราจะเรียกรวมกันว่า แก้วที่ไม่ใช่ ออกไซด์ (Non – oxide Glass)

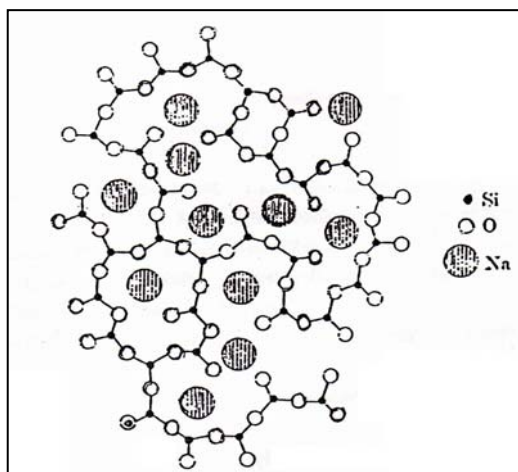
2.7.3.1 ประเภทขององค์ประกอบทางเคมีในแก้ว

องค์ประกอบทางเคมีแต่ละตัวจะมีบทบาทและหน้าที่ในโครงสร้างของแก้วแตกต่างกันออกไป โดยในแก้วออกไซด์นั้น เราสามารถแบ่งประเภทขององค์ประกอบทางเคมีในแก้วออก ตามหน้าที่ได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

2.7.3.1.1 ตัวสร้างโครงข่าย (Network Former) คือสารประกอบที่ทำหน้าที่เป็น โครงสร้างของแก้ว เช่น SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , GeO_2 , SO_3 , As_2O_5 เป็นต้น ซึ่งพันธะออกไซด์ เช่น Si-O Tetrahedral จะมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ และเกิดต่อเนื่องกันเป็นโครงข่าย

2.7.3.1.2 ตัวปรับโครงสร้าง (Network Modifier) คือ สารประกอบที่ทำหน้าที่ปรับ โครงสร้างซึ่งจะทำให้โครงข่ายของแก้วแตกออก ส่งผลทำให้เกิดการหลอมเหลว ที่อุณหภูมิต่ำลง ความหนืดลดลงและขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น หรืออาจให้มีความคงตัว ขึ้นรูปแล้วสามารถคงรูปอยู่ได้ โดยทั่วไปได้แก่สารประกอบอัลคาไลด์ (Alkalines) เช่น Li_2O , Na_2O , K_2O , และอัลคาไลน์เอิร์ท (Alkalines Earth) ต่างๆ เช่น MgO , CaO , BaO , เป็นต้น

2.7.3.1.3 ตัวเสริมโครงข่ายหรือตัวกลาง (Intermediate) คือ สารประกอบที่ไม่ สามารถเกิดโครงข่ายได้ด้วยตัวเอง แต่สามารถไปแทรกตัวเข้าไปแทนที่ที่อยู่ในโครงข่ายได้บางส่วน เช่น Al_2O_3 , GeO_2 , TiO_2 , SnO_2 , ZrO_2 , BeO เป็นต้น ทำให้แก้วมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น การที่อะตอม ของอลูมิเนียม (Al) เข้าไปแทนที่ซิลิกอน (Si) บางส่วนทำให้แก้วทนต่อสารเคมี และอุณหภูมิที่ สูงขึ้นดังแสดงแบบจำลองโครงสร้างแก้วอลูมิโนซิลิเกตดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11

แบบจำลองโครงสร้างแก้วอลูมิโนซิลิเกต

2.7.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแก้วออกไซด์

การผลิตแก้วแต่ละชนิดให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการตลอดจนการควบคุมคุณภาพนั้นจำเป็นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีว่าองค์ประกอบทางเคมี แต่ละตัวนั้นมีบทบาทหน้าที่ที่มีผลต่อสมบัติของแก้วอย่างไรซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดขององค์ประกอบหลักๆ ดังนี้

2.7.3.1.1 ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือเรียกโดยทั่วไปว่าซิลิกา (Silica) เป็นออกไซด์หลักในการผลิตแก้ว ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างโครงข่าย แก้วที่มีปริมาณของซิลิกาสูง จะมีโครงข่ายที่แข็งแรง มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ ทนต่อความร้อน และสารเคมี แต่ทำการผลิตได้ยากเนื่องจากต้องใช้การหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงมาก และขึ้นรูปได้ยากมากเนื่องจากมีความหนืดสูง จุดหลอมเหลวของซิลิกอนไดออกไซด์ หรือซิลิกานั้นเท่ากับที่ $1,723^\circ\text{C}$ ในการผลิตแก้วโดยทั่วไปต้องเติมออกไซด์ตัวอื่นๆ เพื่อให้เกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิที่ต่ำลงและขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

2.7.3.1.2 โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) หรือเรียกโดยทั่วไปว่า โซดา (Soda) เป็นออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวปรับโครงสร้างหรือตัวช่วยหลอม (Fluxing Agents) แก้วที่มีปริมาณโซเดียมออกไซด์สูงจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนสูงชันมาก เปราะแตกง่าย ไม่ทนต่อสารเคมีแต่จะมีความใสสว่างมาก

2.7.3.1.3 โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) หรือเรียกโดยทั่วไปว่าโปแตส (Potash) ทำหน้าที่คล้ายกับ Na_2O แต่จะทำให้แก้วมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนลดลง เล็กน้อยและมีการเพิ่มปริมาณโปแตสจะทำให้แก้วมีค่า ความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ใช้ทำกระจกและขวดต่างๆ แก้วโปแตสไลม์ (Potash Lime Glass) เป็นแก้วที่มีค่าดัชนีหักเหแสงสูง มักนำไปใช้งานทางแสง

2.7.3.1.4 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นตัวปรับโครงสร้างหรือทำให้คงตัว (Stabilizer) ที่ใช้อยู่ในองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย วัตถุประสงค์ที่แท้จริงคือช่วยให้ขึ้นรูป ทำให้แก้วคงตัว (Set) เร็วขึ้นเมื่อเย็นตัว ป้องกันแก้วละลายน้ำ และเพิ่มความทนต่อสารเคมี แก้วที่มีปริมาณ MgO มากกว่า CaO จะทำให้สมบัติการขยายตัวของแก้วลดลง

2.7.3.1.5 อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรือเรียกโดยทั่วไปว่าอะลูมินา (Alumina) เป็นออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเสริมโครงข่ายหรือเป็นตัวกลางที่แทรกอยู่ตามโครงข่าย แก้วที่มีปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ สูง มีการทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และความร้อนสูงได้ดีขึ้น และยังทำให้แก้วมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนลดลงจึงทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน

2.7.3.1.6 โบรอกไซด์ (B_2O_3) เป็นออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างโครงข่ายเช่นเดียวกัน แต่จะเป็นตัวที่ช่วยให้แก้วหลอมตัวง่ายขึ้น จะได้แก้วที่มีความแวววาวมีความคงทนต่อการด่าง และทนต่อความร้อน เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้สมบัติการขยายตัวเนื่องจากความร้อนลดลง แก้วประเภทนี้เป็นแก้วที่ใช้ในอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และสามารถใช้ในเตาไมโครเวฟ

2.7.3.1.7 เลดออกไซด์ (PbO) แก้วที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ จะมีเนื้อแก้วใสวาวเนื่องจากมีค่าดัชนีหักเหสูง เป็นแก้วที่มีความอ่อน (Soft glass) ไม่แข็งกระด้างจึงง่ายต่อการเจียรไน เวลาเคาะจะมีเสียงกังวาน

2.7.3.1.8 เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) เหล็กมักเป็นสารเจือปนที่หลีกเลี่ยงได้ยาก ช่วยประหยัเชื้อเพลิงในขณะหลอมได้แต่จะทำให้เนื้อกระจกใส มีสีค่อนข้างเขียว การกำจัดสีของเหล็กอาจทำได้โดย การเติมซิลิเนียมออกไซด์ (SeO) หรือแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) เพียงเล็กน้อย แต่ถ้าเติมมากเกินไป ก็จะทำให้เกิดสีอื่นแทน

2.7.4 ชนิดของแก้ว

การแบ่งประเภทของแก้วสามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แบ่งองค์ประกอบทางเคมีหรือแบ่งตามการใช้งาน แต่โดยส่วนใหญ่เรามักจะบอกประเภทของแก้วตามองค์ประกอบของมัน ดังนี้

2.7.4.1 แก้วโซดาไลม์ (Soda-Lime Glass) ผลิตจากวัตถุดิบหลัก คือ ททราย โซดา แอช หินปูน เป็นแก้วที่พบเห็นได้โดยทั่วไป ได้แก่ แก้วที่เป็นขวด แก้วน้ำ กระจก เป็นต้น สามารถทำให้เกิดสีต่างๆ ได้โดยการเติมออกไซด์ที่มีสีลงไป

2.7.4.2 แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate Glass) หรือ Pyrex เป็นแก้วที่มีการเติมบอริค-ออกไซด์ลงไปทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำและทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน แก้วที่ได้สามารถนำไปใช้ทำเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ ทำภาชนะแก้วสำหรับใช้ในเตาไมโครเวฟ เป็นต้น

2.7.4.3 แก้วตะกั่ว (Lead Glass) หรือแก้วคริสตัล เป็นแก้วที่มีสารผสมของตะกั่วออกไซด์ อยู่มากกว่า 24% โดยน้ำหนัก จะเป็นแก้วที่มีดัชนีหักเหสูงมากกว่าแก้วชนิดอื่น ทำให้มีประกายแวววาวสวยงาม และแกะสลักเป็นลวดลายต่างๆ ได้ ใช้ทำเครื่องแก้วที่มีราคาแพง

2.7.4.4 แก้วโอปอล (Opal Glass) เป็นแก้วที่มีการเติมสารบางตัว เช่น โซเดียมฟลูออไรด์ หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ ทำให้มีการตกผลึก หรือการแยกเฟสขึ้นในเนื้อแก้ว ทำให้แก้วชนิดนี้มีความขุ่นหรือโปร่งแสง เนื่องจากสามารถหลอม และขึ้นรูปได้ง่ายจึงมีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถทำให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้นเมื่อนำไปผ่าน ขบวนการอบ (Tempering) หรือการเคลือบ (Laminating)

2.7.4.5 แก้วอลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate Glass) มีอลูมินาและซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อนต่ำ และมีจุดอ่อนตัวของแก้ว (Softening Point) สูง พอที่จะป้องกันการเสียรูปทรงเมื่อทำการอบ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์

2.7.4.6 แก้วอัลคาไลน์-เอิร์ท อลูมิโนซิลิเกต (Alkaline-earth Alumino Silicate) มีส่วนผสมของแคมเซียมออกไซด์ หรือแบเรียมออกไซด์ ทำให้มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับแก้วตะกั่ว แต่ผลิตง่ายกว่าและมีความทนทานต่อกรดและด่าง มากกว่าแก้วตะกั่วเล็กน้อย

2.7.4.7 กลาส-เซรามิกส์ (Glass-Ceramics) เป็นแก้วประเภทลิเทียมอลูมิโนซิลิเกตที่มี TiO_2 หรือ ZrO_2 ผสมอยู่เล็กน้อย ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกในเนื้อแก้ว ซึ่งอาจทำให้แก้วมีความทึบแสงหรือโปร่งใส ขึ้นกับชนิดของผลึก กลาส-เซรามิกส์จะทนทาน และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก สามารถนำไปใช้เป็นภาชนะหุงต้ม หรือเป็นแผ่นบนเตาหุงต้มได้

2.7.4.8 นอกจากนี้อาจมีแก้วประเภทอื่นๆ อีกหลายประเภท ขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป แต่เนื่องจาก อาจไม่มีการใช้ที่แพร่หลายนัก จึงไม่นำมากล่าวในที่นี้

2.7.5 วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตแก้ว

เพื่อให้ได้แก้วที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการ ในการทดลองอาจใช้สารเคมีแต่ละตัวผสมกันแล้วนำไปหลอมแต่ในอุตสาหกรรมการผลิตแก้วจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบธรรมชาติที่มีปริมาณมากและราคาถูกกว่าซึ่งโดยปกติแล้ววัตถุดิบแต่ละตัวจะให้สารประกอบหลายชนิดและองค์ประกอบทางเคมีในแก้วแต่ละชนิด ก็สามารถมาจากวัตถุดิบหรือสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแก้วหลายตัวเช่นกัน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4

องค์ประกอบทางเคมีและแหล่งวัตถุดิบของแก้ว

องค์ประกอบทางเคมี	วัตถุดิบซึ่งเป็นที่มา
SiO_2	ทราย, ควอตซ์, หินพื้นน้ำหรือเฟลด์สปาร์ ($(\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}) \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2)$)
Na_2O	โซดาแอช (Na_2CO_3), โซลท์เค้ก (Na_2CO_4), โซเดียมไนเตรต (NaNO_3), โซดาเฟลด์สปาร์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2)$)
K_2O	โปแตสเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2)$), โปแตสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3), โปแตสเซียมไนเตรต (KNO_3)
CaO	โดโลไมต์ ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), หินปูน (CaCO_3)
MgO	โดโลไมต์, ทัลก์ ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
Al_2O_3	หินพื้นน้ำ, ดินขาว (Kaolin), แร่บอกไซต์ (Bauxite), แร่แอปไต์ (Aplite)
B_2O_3	บอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), กรดบอริก (H_3BO_3)
PbO	PbO , ตะกั่วแดง (Pb_3O_4), ตะกั่วขาว ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$) และตะกั่วฟрит ($3\text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2$)
Fe_2O_3	สารเจือปนในวัตถุดิบตัวอื่นๆ
เศษแก้ว	เป็นวัตถุดิบที่ช่วยประหยัดพลังงานในการหลอมส่วนใหญ่จะใช้ประมาณ 30-50 % ของวัตถุดิบทั้งหมด

นอกจากการผลิตแก้วธรรมดาโดยพื้นฐานแล้วอย่างน้อยต้องประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก 3 ตัว คือ ทรายแก้ว 15 ส่วน โซดาแอช 5 ส่วน และหินปูน 4 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 2.12 โดยเมื่อนำมาผสมกันแล้วจะหลอมเหลวได้ที่ $1,500^\circ\text{C}$ แต่ในการผลิตแก้วแต่ละชนิดในปัจจุบันจะมี

การทดแทนวัตถุดิบบางตัวเพื่อลดต้นทุนหรือเพิ่มเติมวัตถุดิบอีกหลายชนิดเพื่อให้ได้แก้วที่มีคุณสมบัติตามต้องการจึงขอกล่าวถึงรายละเอียดของวัตถุดิบหลักๆ ที่ใช้ในการผลิตแก้ว ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.12
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว

2.7.5.1 ทรายแก้ว (Silica Sand) เป็นทรายที่มีสิ่งเจือปนน้อยประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) มากกว่า 95% นอกจากทรายแก้วแล้วยังมีสินแร่โดยธรรมชาติ เช่น หินเขี้ยวหนูมานหรือควอตซ์ (Quartz) ก็อาจใช้ได้ ทรายแก้วยังใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมเซรามิกและใช้เป็นแบบหล่อในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ ทรายแก้วจึงถูกแบ่งออกตามเกรดของเม็ดทรายและปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน การจะใช้ทรายแก้วที่มีการกระจายตัวของเม็ดทรายที่เหมาะสม คือควรมีขนาด 20-200 เมช (Mesh) มีความชื้นไม่มากกว่า 5% มีสิ่งเจือปนน้อยและมีความบริสุทธิ์ของซิลิกอนไดออกไซด์สูงมากกว่า 98% นอกจากนี้ควรมีปริมาณเหล็ก หรือเฟอร์ริกออกไซด์ น้อยกว่า 0.1% เพราะจะทำให้เกิดสีเขียวในผลิตภัณฑ์ แต่ในแก้วสีต่างๆ อาจมีปริมาณเหล็กได้มากถึง 0.3-0.5% ทรายแล้วมีแหล่งผลิตผลิตในประเทศแถบชายฝั่งทะเลภาคใต้และภาคตะวันออก เช่นที่ระยองและชุมพร ซึ่งในแต่ละปีมีปริมาณความต้องการ 1.2-1.8 ล้านตัน ในขณะที่กำลังการผลิตในประเทศประมาณ 300,000-650,00 ตัน/ปี ปัจจุบันราคาตันละ 280-380 บาท

2.7.5.2 หินฟันม้า (Feldspar) เป็นสารประกอบของแอลคาไลอะลูมิเนียมซิลิเกต (Alkalies Aluminium Silicate) และแอลคาไลด์ไฮดรอกไซด์ของสารประกอบโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม หินฟันม้าเป็น วัตถุดิบที่นำมาใช้มากในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาเพื่อเป็นตัวช่วยหลอมละลาย ทั้งในเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ นอกจากนี้ยังเป็นวัตถุดิบที่ช่วยให้เนื้อดินมีความ

แข็งแรงแรง (Hardness) และประสานกันดีเป็นอย่างดี โดยธรรมชาติของหินพื้นน้ำ จะมีสารประกอบของแอลคาไลและ แอลคาไลน์เอิร์ทเจือปนอยู่หลายชนิดจึงปรากฏชื่อเรียกชนิดของหินพื้นน้ำ แตกต่างกันไปตามร้อยละของสารประกอบที่เจือปนอยู่ หินพื้นน้ำเกิดจากการตกผลึกของหินอัคนีที่อยู่ในรูปของหินแกรนิต มีจุดหลอมเหลวที่ 1,100-1,522 °C มีความถ่วงจำเพาะ 2.57-2.76 เป็นวัตถุดิบที่ให้สารประกอบพวก K_2O , Al_2O_3 , Na_2O และ CaO ที่รู้จักดีจะแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ โซดาเฟลด์สปาร์ ในเนื้อหินจะมีแร่แอมไบต์เป็นแร่เด่น มีปริมาณ Na_2O 5-8% ขึ้นไป โปแตสเฟลด์สปาร์ในเนื้อหินจะมีแร่ออร์โทเคลสหรือแร่ไมโครไคลน์เด่น มีปริมาณ K_2O 8-12% ขึ้นไป และเฟลด์สปาร์ผสมหรือเฟลด์สปาร์กะเทยมีแร่หลายชนิดผสมกัน สามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยการลอย (Floatation) แหล่งแร่หินพื้นน้ำจะอยู่แถบเทือกเขาหินแกรนิต พบทางด้านตะวันตกของไทย เช่น ตาก กาญจนบุรี ราชบุรี นครศรีธรรมราช โซดาเฟลด์สปาร์ใช้มากในอุตสาหกรรมแก้ว และหาได้ง่ายและราคาถูกกว่าโปแตสเฟลด์สปาร์ มีราคาตันละประมาณ 700 บาท ถ้าบดแล้วจะมีราคาประมาณตันละ 1,400 บาท ในอุตสาหกรรมแก้วใช้หินพื้นน้ำเพราะต้องการลดอุณหภูมิของการหลอม

2.7.5.3 โดโลไมต์ (Dolomite) สารประกอบคาร์บอเนตของ Mg และ Ca มีสูตรทั่วไปเป็น $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ โดยทั่วไปจะมี $CaCO_3$ 52-54% และ $MgCO_3$ 40-46% ควรมีเหล็กน้อยกว่า 0.1% มักเกิดจากสารละลายที่มี Mg เข้าไปทำปฏิกิริยากับหินปูน ผิวนอกขรุขระ มีสีขาว ชมพู เทา หรือเทาเข้ม พบที่กาญจนบุรี สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช วัตถุดิบหลักที่ให้ Mg ในส่วนผสมของแก้วโดโลไมต์จะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวให้ CaO , MgO , และก๊าซ CO_2 ที่อุณหภูมิประมาณ 400°C

2.7.5.4 หินปูน (Lime Stone) หินปูนเป็นหินที่มีสีและเนื้อหินแตกต่างกันมากแต่ส่วนประกอบที่สำคัญของหินปูน คือ แร่แคลไซต์ สิ่งเจือปนในหินปูนซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการทำให้หินปูนแตกต่างกันมาก มักจะเป็นพวกซิลิกา เหล็ก และพวกแร่อื่นๆก็ได้ ดินที่เกิดจากหินปูนจึงขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนทำให้มีความแตกต่างกันได้มาก แต่ตามปกติอิทธิพลของหินปูนหรือคาร์บอเนต เมื่อสลายตัวแล้วมักจะให้ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง โดยมีปฏิกิริยาเป็นด่างและมักเป็นดินร่วนเหนียวถึงดินเหนียว หินปูนในประเทศไทยมีอยู่มากพอประมาณในแถบสระบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี ฯลฯ ส่วนมากมีสีดำหรือเทาดำ และเป็นหินที่ใช้ในการก่อสร้างที่ดี รวมทั้งใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินในการเพาะปลูกด้วย หินปูนที่มีแร่โดโลไมต์อยู่มาก เรียกว่าหินปูนโดโลไมต์ (Dolomite limestone) ซึ่งเป็นหินปูนที่มีอายุมาก หินปูนแบบนี้จะแข็งกว่าหินปูนธรรมดา และสลายตัวได้ยากกว่า แต่จะให้ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมในดิน

2.7.5.5 โซดาแอช (Soda Ash) สารประกอบโซเดียมคาร์บอเนต ผลิตได้จาก Solvay Process ที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทำปฏิกิริยากับหินปูนได้โซดาแอช โซดาแอชเป็นตัวสำคัญที่ให้องค์ประกอบโซเดียมออกไซด์ในเนื้อแก้ว ซึ่งจะช่วยให้อุณหภูมิหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำลง ถ้าเติมโซดาแอชในแก้วมากกว่า 25% จะทำให้อุณหภูมิการหลอมลดลงเป็น 800°C จะได้โซเดียมซิลิเกตที่สามารถละลายน้ำได้สารละลายที่เรียกว่าวอเตอร์กลาส (Water Glass) ซึ่งส่วนมากจะนำไปใช้ในการเตรียมน้ำดินในอุตสาหกรรมเซรามิก โซดาแอชเป็นวัตถุดิบที่ต้องใช้ในปริมาณมากและจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา จีน เป็นต้น

2.7.5.6 ออกไซด์ของโบรอน (Boric Oxide) สูตรทางเคมี คือ B_2O_3 มีคุณสมบัติเป็นตัวช่วยหลอมละลายและจะละลายเป็นเนื้อเดียวกับซิลิเกต เพิ่มความเป็นมันวาว (Glossy) ในผิวเคลือบลดการไหลตัวของเคลือบที่อุณหภูมิต่ำ แต่ถ้าใส่มากจะมีผลตรงกันข้ามจะขัดขวางการ ตกผลึกของสาร ฉะนั้นไม่ควรใช้ในเคลือบผลึก สารที่ให้โบรอนออกไซด์ ได้แก่ กรดบอริก (Boric Acid) สูตรทางเคมี คือ $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ มีลักษณะเป็นกรดละลายน้ำได้ เป็นสารค่อนข้างบริสุทธิ์ช่วยให้เคลือบมีความมัน ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวและช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น บอแรกซ์ (Borax) สูตรทางเคมี คือ $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ดูดความชื้นได้ง่าย มีจุดหลอมเหลวที่ประมาณ 735°C

2.7.5.7 ออกไซด์ของตะกั่ว (Lead Oxide) สูตรทางเคมี คือ PbO เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายในเคลือบไฟต่ำที่สำคัญมากตัวหนึ่ง เป็นที่นิยมกันมากในการทำเคลือบทั้งชนิดเคลือบดิบและเคลือบพริต เป็นวัตถุที่หาง่ายและราคาไม่แพงนัก ตะกั่วมีดัชนีการหักเหของแสงสูงกว่าออกไซด์ชนิดอื่นๆ เพิ่มการไหลตัวให้แก่เคลือบทำให้ผิวเคลือบเรียบสวย มีตำหนิน้อย แต่มีข้อเสียคือ ตะกั่วเป็นสารมีพิษ ฉะนั้น ต้องหลอมเป็นพริตเสียก่อน นอกจากนี้เคลือบที่มีตะกั่วออกไซด์ จะไม่คงทนต่อการขีดข่วน การกัดกร่อนของกรดและด่าง สารที่ให้ตะกั่วออกไซด์ ได้แก่ กาลีน่า (Galena) ตะกั่วขาว (White Lead) ตะกั่วเหลือง (Litharge) ตะกั่วแดง (Red Lead) และพริตตะกั่ว (Lead Silicate)

2.7.5.8 ซอลท์เค้ก (Salt Cake) ประกอบด้วยโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) มีสีขาว ใช้มากในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ผงซักฟอก และย้อมสี ในอุตสาหกรรมแก้วจะใช้ในการหลอมได้มาก 3% ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมได้มาก เมื่อใช้ร่วมกับโซดาแอช ต้องระวังเรื่องความชื้น จึงควรที่จะผสมทรายแก้วเพื่อไม่ให้จับตัวเป็นก้อน ซึ่งจะส่งผลเสียเกิดตำหนิในเนื้อแก้วได้ในบางกรณีอาจใช้ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หรือยิปซัมแทนซอลท์เค้กได้

2.7.5.9 โซเดียมไนเตรต (NaNO_3) เป็นผลึกสีขาวอาจรู้จักกันในรูปของโซดาไนเตอร์หรือดินประสิว ส่วนเกลือที่ขุดพบในธรรมชาติอาจใช้ชื่อว่า Chile Saltpeter ทำหน้าที่เป็นตัว

ออกซิไดซ์ ช่วยฟอกสี ช่วยในการหลอมและช่วยไล่ฟองอากาศ มีราคาค่อนข้างแพง ดูดความชื้นได้ง่าย ถ้าใช้ปริมาณมากจะทำให้เกิดปัญหาด้านการสึกกร่อนของเตา และเกิดก๊าซที่เป็นพิษ ปัจจุบันจึงมักใช้สารอื่นทดแทน เช่น Sb_2O_3 เป็นต้น

2.7.5.9 เศษแก้ว (Cullet) ทำหน้าที่ช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมของแก้ว ส่วนใหญ่จะใช้ประมาณ 30-50% ของวัตถุดิบทั้งหมด เพื่อเป็นการประหยัดวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัตถุดิบ เนื่องจากเศษแก้วเป็นแก้วอยู่แล้วพลังงานที่ใช้จึงเป็นพลังงานที่ใช้เพื่อการหลอมเท่านั้น ซึ่งถ้าเริ่มต้นจากวัตถุดิบทั้งหมดจะต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งในการทำให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ รวมทั้งพลังงานที่ใช้ในการหลอม อย่างไรก็ตามต้องระวังว่าเศษแก้วนั้นมีส่วนผสมเดียวกันกับส่วนผสมของแบทช์ (Batch) ที่ทำการผลิตนั้นและการเติมเศษแก้วในปริมาณมากอาจส่งผลให้จุดหลอมเหลวหรืออุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปต่างออกไปจนควบคุมได้ยาก

2.7.6 การขึ้นรูปขวดแก้ว

เมื่อน้ำแก้วหลอมออกจากเตาอุณหภูมิจะลดลงในช่วง 800-1,100 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการขึ้นรูป (Forming) โดยการขึ้นรูปของแก้วนั้นจะอาศัยสมบัติพื้นฐานของแก้ว นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแก้วตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป น้ำแก้วจะมีความหนืดสูงขึ้นจนแข็งตัวเป็นรูปร่างที่ต้องการเมื่ออุณหภูมิลดลง สำหรับวิธีการขึ้นรูปนั้นมีหลายวิธีโดยการเลือกใช้เทคนิคใดนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แก้วในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.7.6.1 การขึ้นรูปภาชนะแก้ว โดยวิธีพื้นฐานสำหรับการขึ้นรูปภาชนะแก้วด้วยมือ ได้แก่ การเป่าแก้ว (Blowing) ส่วนการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรส่วนใหญ่มักจะเริ่มต้นด้วยการรีดออก (Extruding) ซึ่งเป็นวิธีการเริ่มต้นในการกำหนดให้น้ำแก้วมีรูปร่างตามที่ต้องการก่อนที่จะตัดแบ่งเป็นก้อนแก้วหรือขึ้นรูปโดยวิธีการอื่นต่อไป วิธีการขึ้นรูปที่ให้กำลังการผลิตปริมาณมาก ได้แก่ การหล่อ (Casting) แก้วหลอมจะใส่ลงในบล็อก (Block) หรือแบบที่ต้องการ เมื่อควบคุมให้มีการเย็นตัวลงแล้ว ก็จะได้แก้วที่มีรูปร่างที่ต้องการ

2.7.6.1.1 วิธีการเป่าด้วยมือ การเป่าด้วยปาก (Mouth Blowing) เป็นวิธีการที่เก่าแก่แต่ใช้มาจนถึงปัจจุบัน โดยอาศัยท่อเหล็กกลวงยาวประมาณ 120 cm จุ่มลงในเป่าหลอม ก้อนแก้ว (Gob หรือ Gather) จะติดปลายท่อขึ้นมาซึ่งก้อนแก้วจะมีอุณหภูมิประมาณ 1,000 °C ก้อนแก้วจะถูกนำมาตกแต่งผิวภายนอกของแท่งเหล็ก (Marvering) จากนั้นช่างก็จะเป่าลมผ่านท่อเหล็ก เพื่อให้เกิดผิวกลวงด้านใน ความหนาของผนังแก้วจะขึ้นอยู่กับการเป่าและการตกแต่งผิวด้านนอกด้วยเครื่องมือที่ทำจากไม้ โดยไม้จะทำให้เกิดผิวถ่วงขึ้นตรงที่สัมผัสกับแก้วร้อน

การขึ้นรูปแก้วโดยวิธีนี้สามารถทำการผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างกันได้ไม่จำกัดทั้งที่เป็นเครื่องแก้ว ขวดแก้วและเครื่องประดับโดยคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่างเป็นสำคัญ ในปัจจุบัน การเป่าขึ้นรูปมักใช้แบบพิมพ์ (Mould) ช่วย ซึ่งจะทำให้การขึ้นรูปมีความแน่นอนและทำให้ขึ้นรูปได้รวดเร็วมากขึ้น ดังภาพที่ 2.13 การขึ้นรูปแก้วโดยการเป่าในสมัยอดีต



ภาพที่ 2.13

การขึ้นรูปแก้วโดยการเป่าในสมัยอดีต

ที่มา (www.sha.org/bottle/body.htm, 10 มิถุนายน 2552)

2.7.6.1.2 วิธีการกดด้วยเครื่องจักร การกด (Pressing) มักจะใช้ในการขึ้นรูปสำหรับภาชนะต่างๆ ที่มีปากกว้างกว่ามาตรฐานโดยตัวที่กดลงไป (Plunger) จะทำให้เกิดผิวด้านในพร้อมกับดันแก้ว หลอมให้ติดกับแม่พิมพ์ อุณหภูมิ ของแบบพิมพ์ควรอยู่ระหว่าง 450-500°C เพื่อไม่ให้น้ำแก้วติดแบบ และป้องกันแก้วแตก เนื่องจากการเย็นตัวที่เร็วเกินไป การขึ้นรูปโดยการกด นี้มีข้อดีคือแก้วที่ได้จะไม่มียอดของแบบในสมัยอดีตดังภาพที่ 2.14 การขึ้นรูปแก้วโดยการกดด้วยเครื่องจักร



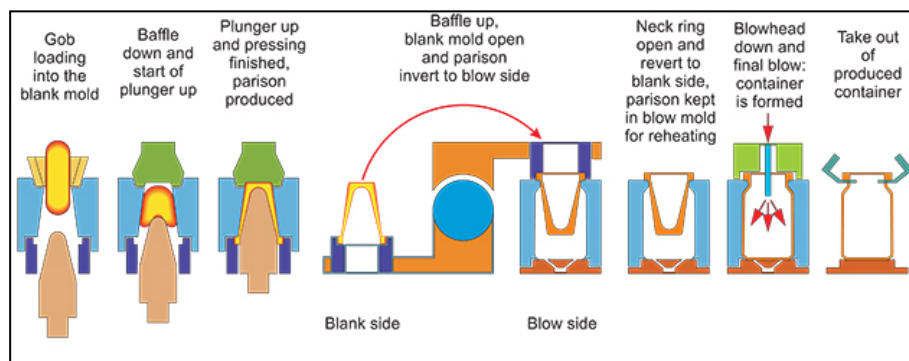
ภาพที่ 2.14

การขึ้นรูปแก้วโดยการกดด้วยเครื่องจักร

ที่มา (<http://www.sha.org/bottle/body.htm>, 10 มิถุนายน 2552)

2.7.6.1.3 การขึ้นรูปขวดด้วยเครื่องจักร การผลิตขวดแก้วนั้นมักใช้เครื่องจักร เพราะต้องการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยขั้นตอนหลักๆ จะประกอบไปด้วยการหลอมแก้ว และการขึ้นรูปด้วยแบบพิมพ์ก่อนส่งไปยัง เตาอบ (Annealing Lehr) และทำการบรรจุหีบห่อเป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการใช้เครื่องจักรขึ้นรูป สองแบบ คือ กด-เป่า และ เป่า-เป่า

1) วิธีการกด – เป่า ขวดปากกว้างส่วนใหญ่จะขึ้นรูปโดยใช้เครื่องจักรแบบ กดและเป่า โดยการผลิตแบบอัตโนมัตินี้ น้ำแก้วซึ่งถูกรีดผ่านท่อ (Orifice) จากหน้าเตา (Forehearth) ของเตาหลอมแบบต่อเนื่องจะถูกตัดแบ่งเป็นก้อนแก้วในขนาดที่เหมาะสมให้ตกลงไปในแบบพิมพ์เริ่มต้น (Parison) นี้จะถูกส่งผ่านไปยัง Blow Mold หรือ Finish Mould ซึ่งจะเครื่องอัดอากาศเป่าลมขึ้นรูปอัตโนมัติต่อไปดังภาพที่ 2.15 การขึ้นรูปขวดแก้วโดยวิธีการกด-เป่า

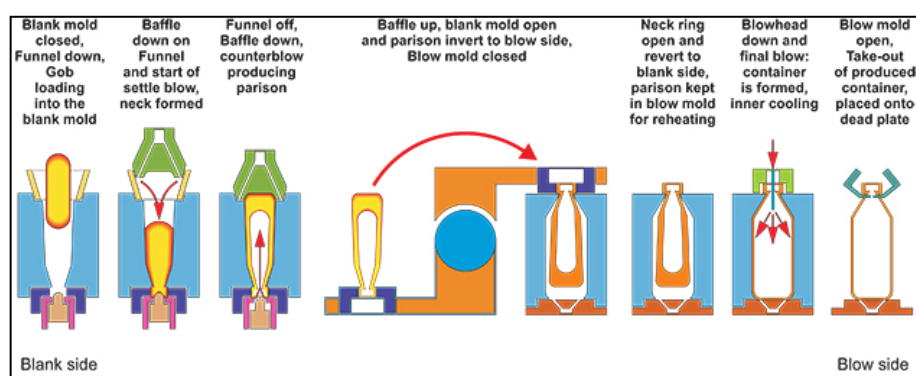


ภาพที่ 2.15

การขึ้นรูปขวดแก้วโดยวิธีการกด-เป่า

ที่มา (<http://www.gpi.org/glassresources/education/manufacturing/section-34-forming-process.html>, 10 มิถุนายน 2552)

2) วิธีการเป่า-เป่า การใช้เครื่องจักรขึ้นรูปแบบเป่าและเป่าเหมาะสำหรับการทำขวดปากแคบโดยน้ำแก้วจะถูกตัดแบ่งเป็นก้อนแก้วในขนาดที่เหมาะสม และตกลงไปในแบบพิมพ์เริ่มต้น (Parison Mould) สำหรับการขึ้นรูปปากขวดแล้วจึงใช้เครื่องอัดอากาศเป่าขึ้นรูปเป็นแบบเริ่มต้น (Parison) จากนั้นก็จะถูกส่งไปยัง Blow Mould และใช้เครื่องอัดอากาศเป่าลมขึ้นรูปอีกครั้งดังภาพที่ 2.16 การขึ้นรูปขวดแก้วโดยวิธีการเป่า-เป่า



ภาพที่ 2.16

การขึ้นรูปขวดแก้วโดยวิธีการเป่า-เป่า

ที่มา (<http://www.gpi.org/glassresources/education/manufacturing/section-34-forming-process.html>, 10 มิถุนายน 2552)

2.7.7 ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว

การผลิตแก้วโดยวิธีการหลอม มีขั้นตอนต่างๆ หลายขั้นตอนซึ่งกระบวนการผลิตที่สำคัญๆ ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์แก้วมีขั้นตอนดังนี้

2.7.7.1 บรรจุภัณฑ์แก้ว เกิดจากการหลอมละลายของวัตถุดิบต่างๆ ได้แก่ ทรายแก้ว ประมาณ 70 – 72% หินโดโลไมท์และหินฟันม้า ประมาณ 10% โซดาแอช ประมาณ 16% และส่วนผสมอื่นๆ ประมาณ 2-5%

2.7.7.2 วัตถุดิบต่างๆ จะถูกชั่งน้ำหนักตามสูตรที่ผ่านการคำนวณอย่างละเอียดจากนั้นวัตถุดิบทั้งหมด จะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาหลอม

2.7.7.3 วัตถุดิบที่ถูกผสมให้เข้ากันแล้ว จะถูกหลอมด้วยอุณหภูมิ 1,600 °C โดยใช้ พลังงานความร้อนจากน้ำมันเตา ไฟฟ้า และแก๊ส

2.7.7.4 วัตถุดิบที่หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะไหลผ่านคอเตาและจะทำการควบคุมอุณหภูมิให้เหลือ 1,000 – 1,200°C ตามต้องการก่อนที่น้ำแก้วจะถูกลำเลียงเข้าสู่การขึ้นรูป

2.7.7.5 ก่อนที่น้ำแก้วจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องจักรขึ้นรูป น้ำแก้วจะถูกตัดเป็นก้อน (gobs) ตามขนาดและน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดที่ต้องการผลิต

2.7.7.6 กรรมวิธีขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้วที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ระบบคือ Blow and Blow Process (B&B) เป็นกรรมวิธีเป่าในการผลิตขวดปากแคบ และ Press and Blow Process (P&B) ในการผลิตขวดปากกว้าง

2.7.7.7 หลังจากที่ผ่านมาการขึ้นรูปแล้วขวดที่ร้อนจัดจะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาอบเพื่อลดความเครียดในเนื้อแก้วด้วยการค่อยลดอุณหภูมิลงทำให้ขวดแก้วเกิดความแข็งแรง

2.7.7.8 หลังจากออกจากเตาอบแล้ว ขวดแก้วจะถูกลำเลียงเข้าสู่สายพานเพื่อเข้าสู่ขั้นตอน การตรวจสอบ

2.7.7.9 ขั้นตอนการตรวจสอบจะมี 3 ลักษณะพร้อมกันคือ ใช้เครื่องจักร การตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ และการตรวจสอบด้วยสายตา ซึ่งทำการตรวจสอบ ทั้งขนาด ความแข็งแรง รอยร้าว รูปร่างและอื่นๆ เป็นต้น

2.7.7.10 หลังจากผ่านการตรวจสอบอย่างละเอียดแล้วบรรจุภัณฑ์แก้วจะเข้าสู่การบรรจุด้วยเครื่องอัตโนมัติ ซึ่งจะทำการคลุมไว้ด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันความสกปรก

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถสรุปได้ดังนี้

พงษ์วิภา หล่อสมบุญ (2547) ได้ศึกษาเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยจัดทำบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าโดยศึกษาตั้งแต่ การทำเหมือง การผลิต และการขนส่ง ไปถึงมือผู้จำหน่าย การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงบวกจากการนำกากของเสียและกากของเสียอันตรายไปรีไซเคิลใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์ ตลอดจนการนำข้อมูลวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ไปทดลองจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 ผลการวิจัยพบว่า ในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันตลอดจนการขนส่งไปยังผู้จำหน่ายมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมา 973-980 กิโลกรัม (ไม่บรรจุถุง – บรรจุถุง) กระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซ CO_2 ออกมามากที่สุดคือกระบวนการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ด โดยในการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ด 1 ตัน จะเกิดก๊าซ CO_2 ประมาณ 909 กิโลกรัม สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กชั้นกลาง พบว่า การผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม มีการปล่อยก๊าซ CO_2 0.883 กิโลกรัม โดยการใช้ไฟฟ้าในการผลิตเป็นสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซ CO_2 คิดเป็นร้อยละ 62.50 ของปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานเพื่อให้เกิดการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาคอุตสาหกรรมผลิตเหล็กชั้นกลางโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า

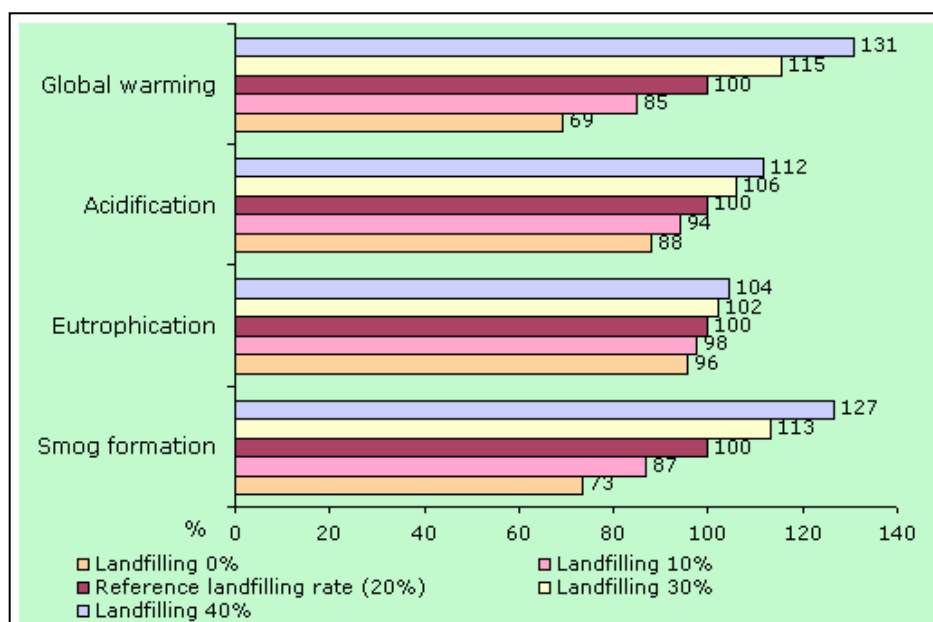
ณรงค์ช พงษ์ชัยวิบูลย์ (2547) ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอมเพรสเซอร์แบบหมุน ขนาด 18,000 Btu/hr โดยแบ่งการประเมินเป็นสี่ช่วงตลอดวัฏจักรชีวิต ได้แก่ ช่วงการผลิต ช่วงการใช้งานช่วงการขนส่ง ช่วงการกำจัด โดยใช้วิธีการประเมิน Eco-indicator 99 และโปรแกรม SimaPro 5.1 ผลการประเมินพบว่า ช่วงการใช้งานมีผลกระทบมากที่สุด รองลงมาคือช่วงการผลิต ช่วงการขนส่ง และช่วงการกำจัด ตามลำดับโดยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปคะแนนเชิงเดี่ยว ดังนี้ 9.45 kPt. 0.0015 kPt. 0.000198 kPt. และ -0.00125 kPt ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้เน้นศึกษารายละเอียดในส่วนการผลิตคอมเพรสเซอร์แบบหมุน ผลการประเมินโดยวิธี Eco-indicator 99 ถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธี NETS ของประเทศญี่ปุ่นซึ่งผลการประเมินออกมาในแนวเดียวกัน

นรรัตน์ รอดประเสริฐ (2548) ได้ศึกษาเรื่องการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) สำหรับเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ สองรุ่นคือ รุ่นมาตรฐานและรุ่นซูเปอร์ สำหรับขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิต ขั้นตอนการขนส่งและขั้นตอนการใช้งาน โดยใช้ฐานข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากโปรแกรม SimaPro 5.1 และใช้วิธี Environmental Design Industrial Products (EDIP) เป็นวิธีในการประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิตจากผลิตภัณฑ์ทั้งสองรุ่นในการประเมิน โดยทำการประเมินผลกระทบในขั้นตอนการแบ่งกลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Classification) และในขั้นตอนการตีค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Characterization) ซึ่งเป็นกระบวนการในการจัดกลุ่มของผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเท่านั้นโดยไม่ได้นำผลกระทบต่อเนื่องเพื่อให้ได้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของทั้งสองผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มของผลกระทบหลักได้สามด้าน คือ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศและผลกระทบต่อการคงเหลือของทรัพยากร ผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเป็นพิษทางอากาศต่อมนุษย์ในขั้นตอนการใช้งานเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์คิดเป็น 93.13% ในหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นมาตรฐานและ 92.15% ในหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นซูเปอร์ ขณะที่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเป็นพิษทางดินเรื้อรังในขั้นตอนการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นมาตรฐานและรุ่นซูเปอร์เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศคิดเป็น 100% และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลดลงของทรัพยากรในขั้นตอนการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นมาตรฐานและรุ่นซูเปอร์เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรคิดเป็น 91.08% และ 89.85% ตามลำดับ โดยผลการวิจัยนี้สามารถระบุถึงสาเหตุหลักของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละช่วงชีวิตของหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ทั้งสองรุ่น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงการออกแบบและผลิตหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพมากขึ้น และให้ผลิตภัณฑ์นี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

Arnold (2000) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสองวิธี คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) พบว่าการทำ EIA นั้นเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเฉพาะในส่วนของโรงงานหรือโครงการว่ามีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร เพื่อช่วยในการยืนยันการตัดสินใจทำกิจกรรมโครงการนั้นๆ โดยคำนึงถึง

สิ่งแวดล้อม ส่วนการทำ LCA นั้นเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งออกเป็นสามทาง คือ ผลกระทบทางสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบทางระบบนิเวศวิทยาและการนำทรัพยากรธรรมชาติไปใช้ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการได้

Ongmonkolkul (2001) ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของกล่องกระดาษ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นห้าช่วง ได้แก่ ช่วงการเตรียมวัตถุดิบ ช่วงการผลิต ช่วงการขนส่ง ช่วงการใช้งานและช่วงการกำจัดเมื่อหมดอายุการใช้งาน ตลอดจนการวิเคราะห์วิธีการที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 4.0 ซึ่งกำหนดประเด็นสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญที่นำมาพิจารณา คือ Global Warming , Acidification, Eutrophication, Photochemical Ozone Formation, Energy Use and Solid Waste Generation แสดงดังภาพที่ 2.17 จากการศึกษาพบว่า กระบวนการฝังกลบเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดที่มีต่อแนวโน้มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยผลกระทบนั้นมาจากมลพิษทางอากาศ ที่มีการปลดปล่อยออกมาระหว่างการฝังกลบซึ่งก๊าซดังกล่าวได้แก่ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซแอมโมเนีย รองลงมาคือการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการอบแห้งกระดาษ ขยะจากกระบวนการผลิตกระดาษแข็งและกล่องกระดาษ ถ้าอัตราการนำไปฝังกลบสูงจะทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกือบทั้งหมดสูงขึ้น ดังนั้นการนำกล่องกระดาษไปฝังกลบจึงไม่ใช่วิธีการจัดการที่เหมาะสม ยกเว้นแต่ว่า ในสถานที่ฝังกลบได้มีการจัดการก๊าซที่เกิดขึ้นอย่างปลอดภัย



ภาพที่ 2.17

ผลกระทบต่องสิ่งแวดล้อมจากวัฏจักรชีวิตของกล่องกระดาษ ที่อัตราการนำไปฝังกลบ 0%, 10%, 20%, 30% และ 40% (Ongmonkolkul, 2001)