บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางและกรอบการดำเนินงาน ขั้นตอน ลักษณะสำคัญและข้อจำกัด ตลอดจนความสัมพันธ์ของการประเมินผลกระทบกับขั้นตอนอื่นๆ ของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml ซึ่งจะคิดปริมาณการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต 1000 กิโลกรัม โดยวิธีในการประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วได้ทำการประเมินตามวิธีอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 โดยแบ่งขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นสามขั้นตอนดังนี้

4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

4.1.1 วัตถุประสงค์และเป้าหมายของการศึกษา

4.1.1.1 เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม ซึ่งจะศึกษาสามขั้นตอนคือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบเพื่อการผลิต กระบวนการผลิตและการกำจัดหลังหมดอายุใช้งาน

4.1.1.2 ใช้การประเมินใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป Simapro 7.1 โดยใช้หลักการคำนวณของ EDIP (Environmental Design of Industrial Products) เนื่องจากสามารถแบ่งกลุ่มผลกระทบได้เป็นสามด้านคือ กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศและกลุ่มผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร

4.1.2 หน่วยการทำงาน (Functional Unit)

ขวดแก้วที่ใช้ในการทำวิจัยนี้เป็นขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml ซึ่งจะคิดปริมาณการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต 1000 กิโลกรัม จากบริษัทตัวอย่างที่ทำการผลิตขวดแก้ว

4.1.3 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope and System Boundary)

4.1.3.1 ขอบเขตการศึกษานี้ครอบคลุมในช่วงชีวิตตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบเพื่อการผลิต กระบวนการผลิตและการกำจัดหลังหมดอายุใช้งาน แสดงดังภาพที่ 4.1

4.1.3.2 ข้อมูลทางด้านการได้มาซึ่งวัตถุดิบเพื่อการผลิต กระบวนการผลิตและการกำจัดหลังหมดอายุใช้งาน ได้ทำการเก็บรวบรวมจากบริษัทแห่งหนึ่งที่ทำการผลิตขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม

4.1.4 การตั้งสมมติฐานและข้อจำกัดในการศึกษา (Assumption and Limitation)

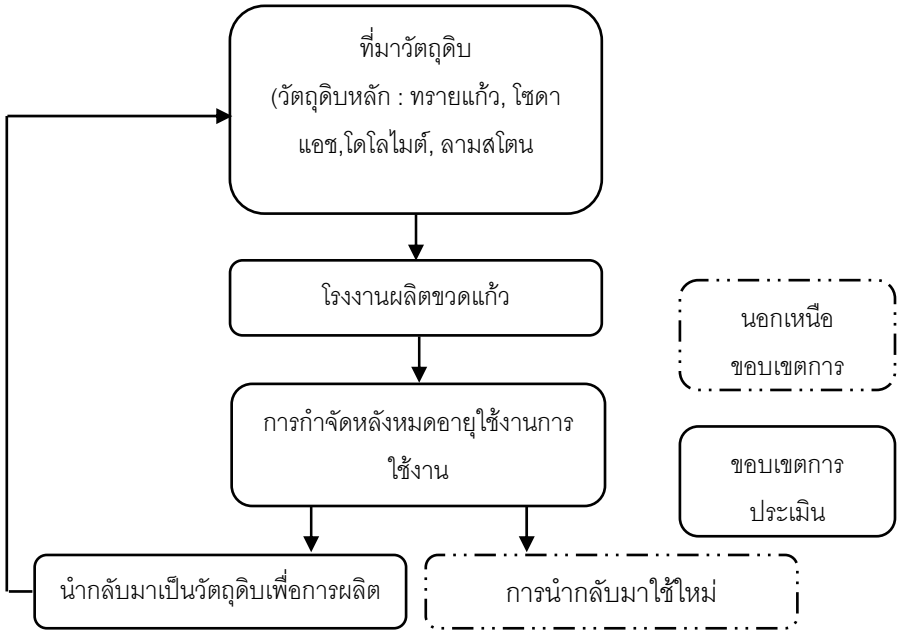
4.1.4.1 เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วในประเทศไทยยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น ทำให้ฐานข้อมูลของการผลิตขวดแก้วในประเทศไทยยังไม่มีการรวบรวมอย่างชัดเจน ในการประเมินจะใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป SimaPro 7.1 ซึ่งฐานข้อมูลส่วนใหญ่มาจากการศึกษา LCA ในยุโรป

4.1.4.2 ขั้นตอนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิต จะอ้างอิงฐานข้อมูลโปรแกรม SimaPro 7.1 และสอบถามข้อมูลจากโรงงานผลิตขวดแก้ว

4.1.4.3 ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว ส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตข้อมูลที่ได้จะเป็นแบบ System Process คือ การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ทรัพยากร พลังงาน การเกิดมวลสาร รวมถึงของเสียต่างๆ ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ในการผลิตขวดแก้วจะคิดปริมาณการใช้วัตถุดิบ 1000 กิโลกรัม ด้วยวิธีการจัดทำสมดุลมวลสาร ขาเข้า-ขาออก (Gate to Gate) (เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551) ดังแสดงภาพที่ 4.2

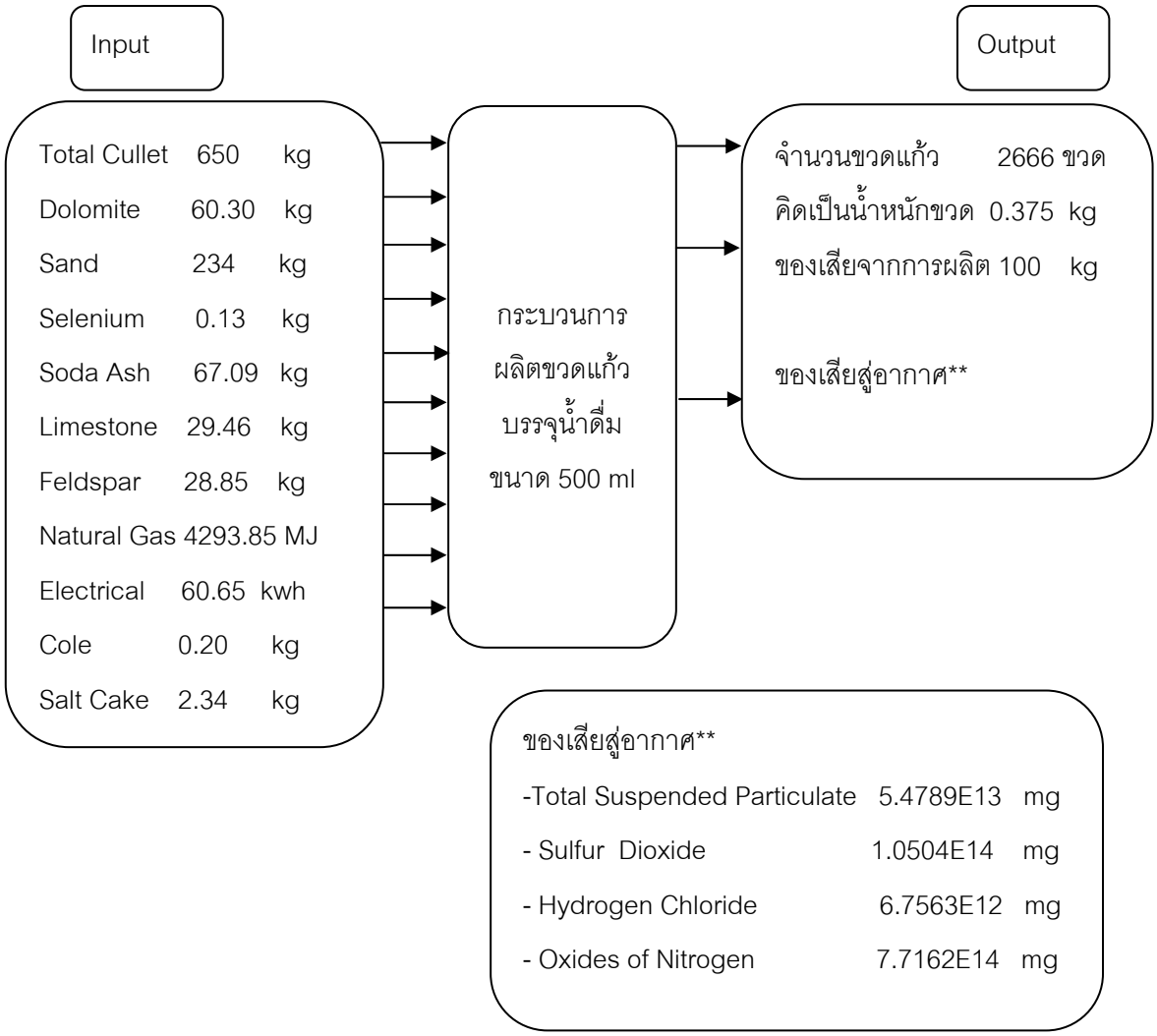
4.1.4.4 ไม่คำนึงถึงการนำขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มที่นำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากขาดข้อมูลที่ชัดเจน ดังแสดงภาพที่ 4.1 (ที่มา : ข้อมูลจากโรงงานตัวอย่างผลิตขวดแก้ว)

4.1.4.5 ไม่คำนึงถึงสีที่นำมาพิมพ์ลายข้างขวดแก้ว



ภาพที่ 4.1

ขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยเพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.2

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม

(ที่มา : ข้อมูลจากโรงงานตัวอย่างผลิตขวดแก้ว)

4.2 **บัญชีรายการข้อมูล** (Inventory Analysis)

การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม เป็นขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูลสำคัญต่างๆ ที่จำเป็นในขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการศึกษานี้อธิบายตามลำดับวงจรชีวิตของขวดแก้วโดยเริ่มตั้งแต่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบเพื่อการผลิต กระบวนการผลิตและการกำจัดหลังหมดอายุใช้งาน

4.2.1 ขั้นตอนการจัดหาและที่มาของการผลิตวัตถุดิบ

เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจากวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบหลักของการผลิตขวดแก้ว ประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก 8 ชนิด ซึ่งขั้นตอนการจัดหาและผลิตวัตถุดิบจะอ้างอิงจากประเทศทางยุโรปดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ที่มา : ฐานข้อมูลจากโปรแกรม Sima Pro 7.1)

ตารางที่ 4.1
ขั้นตอนการจัดหาและผลิตวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI ของการผลิต
Cullet	Ecoinvent system processes at plant/RER S' in the Europe
Dolomite	Ecoinvent system processes at plant/RER S' in the Europe
Sand	IDEMET 2001 Delft University of Technologyin the Netherlands
Selenium	Ecoinvent system processes at plant/RER S' in the Europe
Soda Ash	Ecoinvent system processes at plant/RER S' in the Europe
Limestone	ETH-ESU 96 PRé Consultants, The Netherlands
Feldspar	Ecoinvent system processes at plant/RER S' in the Europe
Cole	ETH-ESU,1996 Zurich, Switzerland From the Australia

4.2.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขวดแก้ว

เป็นข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมมาจากโรงงานผลิตขวดแก้ว โดยวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบหลักของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก 9 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

บัญชีรายการวัตถุดิบหลักของกระบวนการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม

Substance	Total	Unit
Total Cullet	650	kg
Dolomite	60.3	kg
Sand	234	kg
Selenium	0.13	kg
Soda Ash	67.09	kg
Limestone	29.46	kg
Feldspar	28.85	kg
Cole	0.2	kg
Salt Cake	2.34	kg

4.2.2 ขั้นตอนการผลิต

4.2.2.1 ขั้นตอนการจัดหาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ได้มาจากปริมาณการใช้พลังงานต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม จากข้อมูลการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

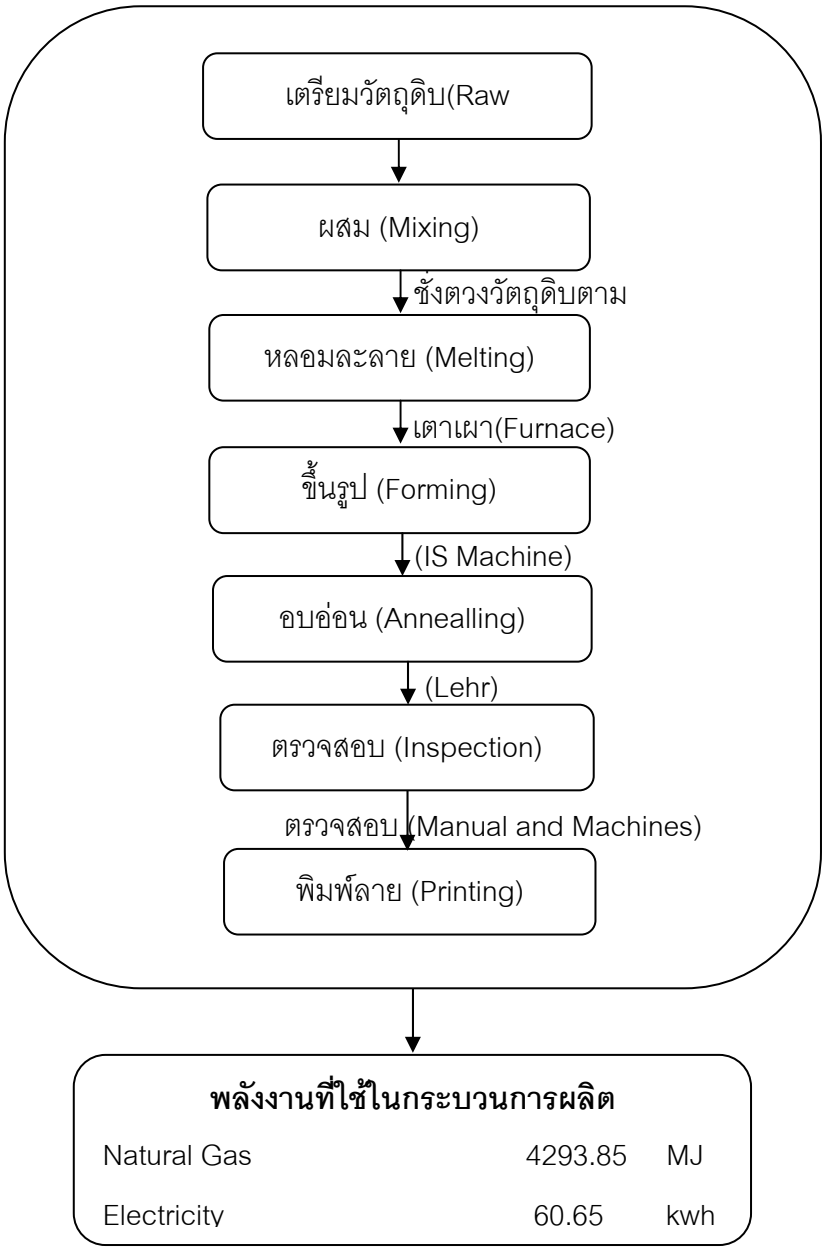
ขั้นตอนการจัดหาประเภทของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ประเภทพลังงาน	**อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI ของการผลิต**
Natural Gas	Ecoinvent system processes at plant/RER S' in the Europe
Electrical	Ecoinvent system processes at plant/RER S' in the Europe

(ที่มา : ฐานข้อมูลจากโปรแกรม Sima Pro 7.1)

4.2.2.2 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ในขั้นตอนการผลิตได้มาจากปริมาณการใช้พลังงานต่างๆ ในกระบวนการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ซึ่งข้อมูลการใช้พลังงานในขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว จะเป็นข้อมูลการใช้พลังงานโดยรวม ของการผลิตต่อคำสั่งการผลิต (Order to Production) ดังแสดงในภาพที่ 4.3 (ที่มา : ข้อมูลจากโรงงานตัวอย่างผลิตขวดแก้ว)



ภาพที่ 4.3

พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม

4.2.2.3 มวลสารปล่อยระบายสู่อากาศภายนอกโรงงาน

จากปริมาณการใช้พลังงานต่างๆ ในกระบวนการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม จะพบว่าจะมีมวลสารปล่อยระบายสู่อากาศภายนอกโรงงาน จึงต้องวิเคราะห์คุณภาพอากาศที่ระบายจากการบวนผลิต (Emission to Air) และปริมาณมวลสารแต่ละประเภท ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4

คุณภาพอากาศที่ระบายจากการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม (Emission to Air)

Substance	Total	Unit
Total Suspended Particulate	5.4789E+13	mg
Sulfur Dioxide	1.0504E+14	mg
Hydrogen chloride	6.7563E+12	mg
Oxides of Nitrogen	7.7162E+14	mg

(ที่มา : ข้อมูลจากโรงงานตัวอย่างผลิตขวดแก้ว (น้ำแก้วต่อ1000 กิโลกรัม))

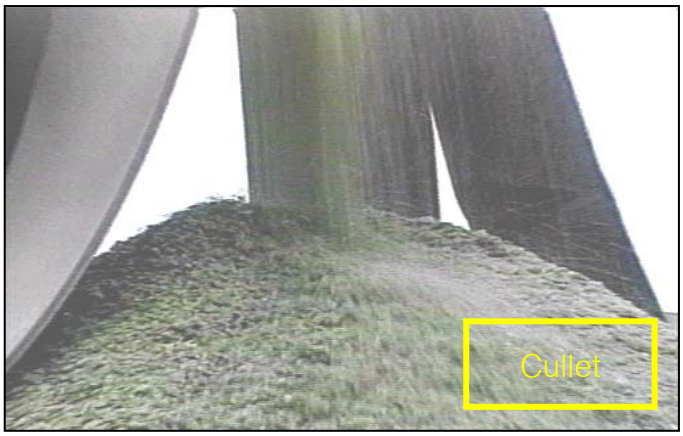
4.2.3 การกำจัดหลังหมดอายุใช้งานการใช้งาน

ในขั้นตอนนี้จะแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็น 2 ส่วน คือ การนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ (Reuse) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะไม่ขอกล่าวถึงในกระบวนการนี้ อีกส่วน คือการนำกลับมาเป็นส่วนผสมที่สำคัญในกระบวนการผลิต (Recycle) ซึ่งจากการสอบถามข้อมูลและงานวิจัยของการผลิตแก้วบรรจุภัณฑ์ (Glass Containers) พอสรุปได้ว่าแก้วจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ไม่จำกัด แต่จะต้องใส่ส่วนผสมเพิ่มเติมในกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ ขวดแก้วจะต้องผ่านการย่อยขนาดให้เป็นชิ้นเล็กๆ โดยจะผ่านเครื่องย่อยขนาด ซึ่งในส่วนนี้จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ในกระบวนการรีไซเคิลจะไม่มีการปล่อยมวลสารระบายสู่อากาศหรือน้ำเสียภายนอกโรงงาน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จะอ้างอิงจากฐานข้อมูลการผลิตไฟฟ้าต่างประเทศ ที่มีวิธีการการผลิตไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับโรงงานผลิตไฟฟ้า อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา

(ที่มา : แก้ว, ดร.อนุชา วรรณก้อน, Mtec, 2545)

ในขั้นตอนการรีไซเคิลแก้วในบางครั้งอาจมีขยะอื่นๆ เช่น กระป๋องอะลูมิเนียม ถุงพลาสติก กระดาษ ปะปน ต้องคัดแยกออกจากขวดแก้ว หากไม่กำจัดสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ก่อนทำการรีไซเคิลสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้จะอาจทำให้เกิดความบกพร่อง (Defect) ในผลิตภัณฑ์แก้วและ

จะต้องมีการแยกชนิดของขวดแก้วเช่น ขวดแก้วใส ขวดแก้วสีเนื่องจากสีแก้วนี้ไม่สามารถกำจัดออกได้ ดังนั้นจึงต้องจัดเก็บแก้วแยกสี เพื่อหลอมเป็นสีต่างๆ ซึ่งสามารถคัดแยกสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ด้วยแรงงานมนุษย์ จากนั้นจะนำเข้าเครื่องบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4
ขวดแก้วที่ผ่านการย่อยเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้วบรรจุภัณฑ์
(ที่มา: http://www.recycled-glass-counter-tops.com/Recycled_Glass_Kitchen_Countertops.html)

4.2.3.1 ขั้นตอนการจัดหาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการรีไซเคิลแก้ว

ได้มาจากปริมาณการใช้พลังงานต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการรีไซเคิล โดยจะคิดพลังงานที่ใช้ต่อกระบวนผลิตเศษแก้ว 650 กิโลกรัม จากข้อมูลการใช้พลังงานในขั้นตอนกระบวนการรีไซเคิลดังแสดงในตารางที่ 4.5 (ที่มา : ฐานข้อมูลจากโปรแกรม Sima Pro 7.1)

ตารางที่ 4.5
ขั้นตอนการจัดหาประเภทของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ประเภทพลังงาน	**อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI ของการผลิตพลังงาน**
Electrical	Ecoinvent system processes at plant/RER S' in the Europe

4.2.3.2 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการรีไซเคิลแก้ว

ในส่วนของกระบวนการรีไซเคิลแก้ว จะใช้การคำนวณจากหน่วยการใช้ไฟฟ้าในโรงงานรีไซเคิลแก้วตัวอย่าง โดยจะคิดพลังงานที่ใช้ต่อกระบวนผลิตเศษแก้ว 650 กิโลกรัม ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการรีไซเคิลเศษแก้ว(Cullet Recycles)

Substance	Total	Unit
Electrical	28.6	kwh

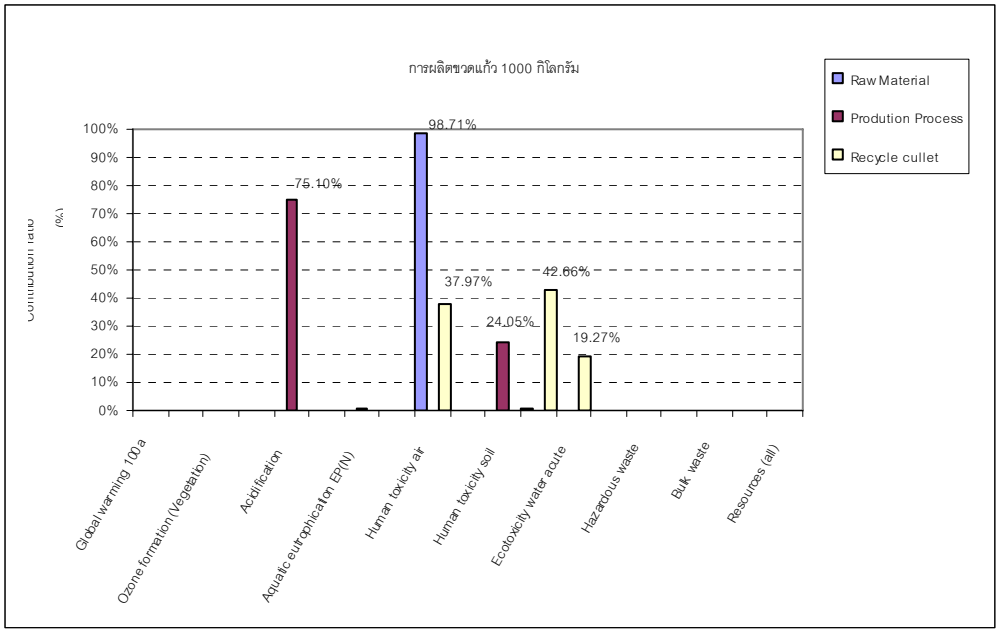
(ที่มา : ข้อมูลจากโรงงานรีไซเคิลแก้ว)

4.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว ส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตข้อมูลที่ได้จะเป็นแบบ System Process คือ การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ทรัพยากร พลังงาน การเกิดมวลสาร รวมถึงของเสียต่างๆ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 หน่วย ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการหาวัตถุดิบหรือพลังงานที่เป็นสาเหตุของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและนำไปสู่การนำแนวคิดการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม (Ecodesign หรือ Design for Environment) มาช่วยในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมลง

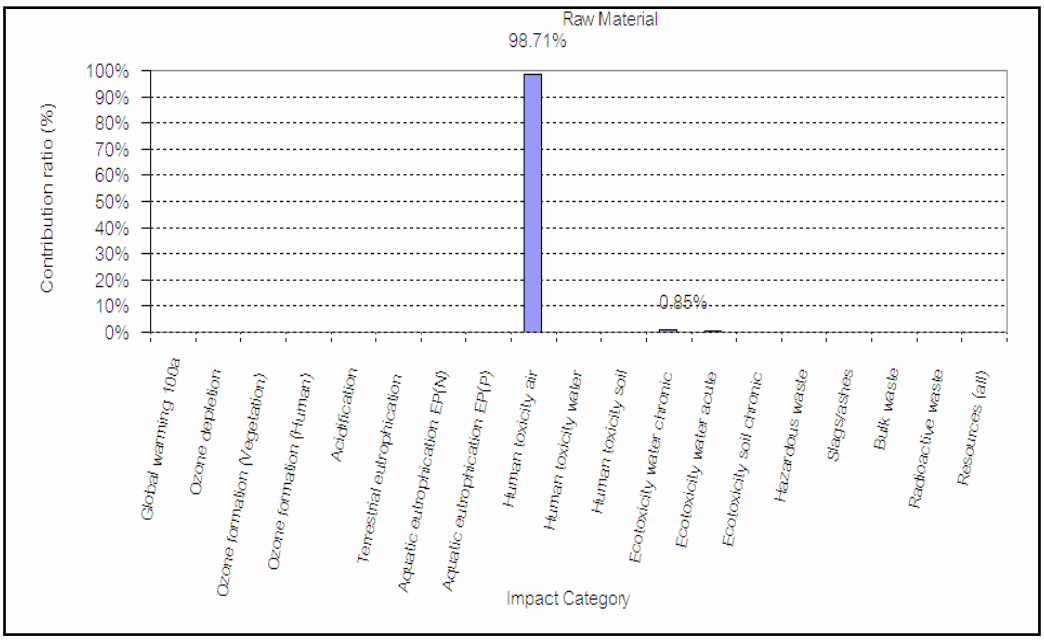
ในงานวิจัยนี้เลือกการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มด้วยวิธี EDIP 2003 เนื่องจากสามารถแบ่งกลุ่มประเภทผลกระทบได้เป็นสามด้านคือ กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศและกลุ่มผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร เพื่อพิจารณาว่ากลุ่มใดมีความสำคัญหรือรุนแรงที่สุด เนื่องจากกลุ่มผลกระทบทั้งสามด้านจัดเป็นผลกระทบปลายทาง (Endpoint Category) ที่เห็นชัดและคนทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่ายที่สุด

ผลการประเมินผลกระทบของแต่ละขั้นตอนสำหรับการผลิตขวดแก้วบรรจุน้ำดื่ม 500 ml จะใช้ปริมาณวัตถุดิบ 1000 กิโลกรัม ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

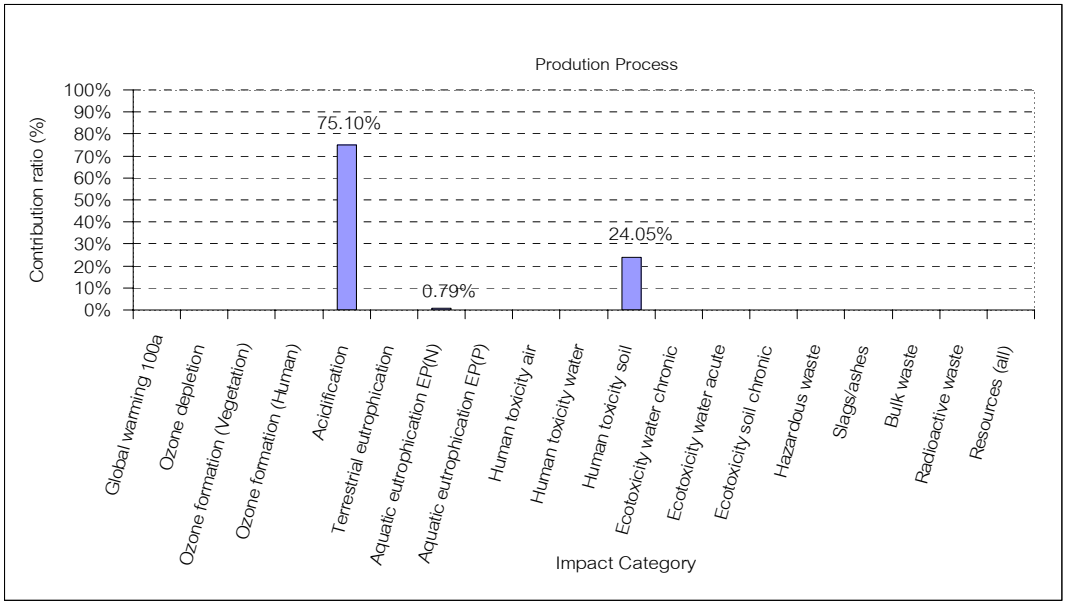
จากภาพที่ 4.5 พบว่า กลุ่มผลกระทบสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air) มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Raw Material) 98.71% และกลุ่มผลกระทบความเป็นกรด (Acidification) มาจากกระบวนการผลิต (Production Process) 75.10% ส่วนกลุ่มผลกระทบที่เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic) มาจากกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle Cullet) 42.66% ดังนั้นการวิเคราะห์ปัญหาลำดับต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์แยกแต่ละขั้นตอน เพื่อหาความสำคัญของวัตถุดิบหรือพลังงานที่ใช้ ซึ่งเป็นปัจจัยของการเกิดผลกระทบประเภทต่างๆ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อไป



ภาพที่ 4.6

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Raw Material) ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

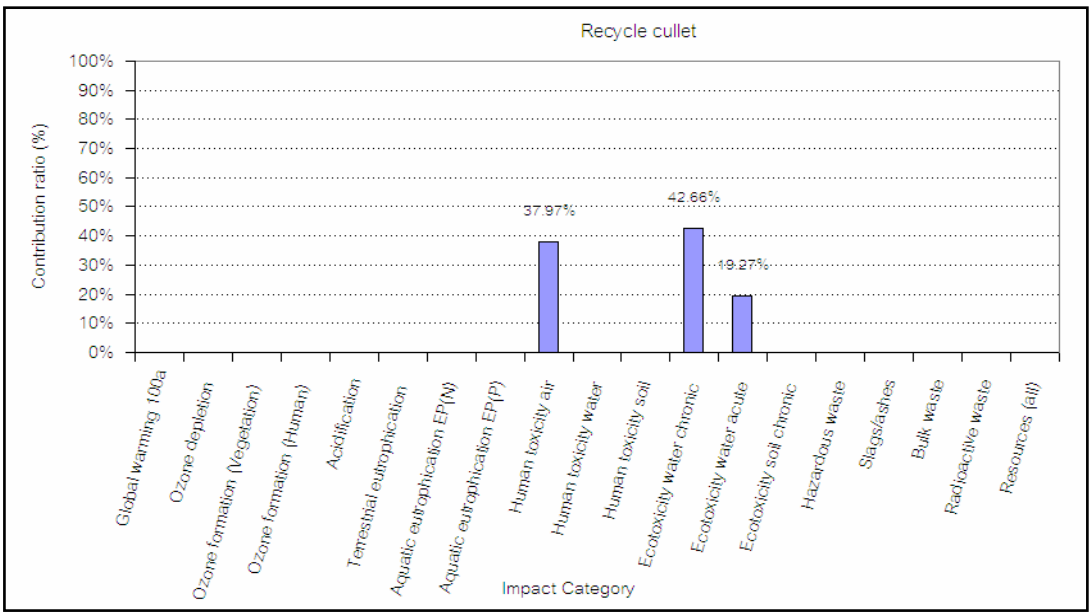
สำหรับการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Raw Material) ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) จะเห็นได้ว่าการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้วเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air) สูงถึง 98.71%



ภาพที่ 4.7

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมช่วงการได้มาซึ่งพลังงานในการผลิตขวดแก้ว (Prodution Process) ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

สำหรับช่วงการได้มาซึ่งพลังงานในการผลิตขวดแก้ว (Prodution Process) ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) จะเห็นได้ว่าการได้มาซึ่งพลังงานในการผลิตขวดแก้ว ส่วนหนึ่งมาจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงของซากฟอสซิลในรูปแบบต่างๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำ ถ่านหินหรือน้ำมัน การเผาไหม้ของสารประกอบคาร์บอนเหล่านี้ เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะความเป็นกรด (Acidification) สูงถึง 75.10% ,ปัญหาความเป็นพิษในของแข็งต่อมนุษย์ (Human Toxicity Soil) สูงถึง 24.05% , ปัญหาที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษทางบก (Aquatic Eutrophication EP(N)) 0.79%



ภาพที่ 4.8
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงการรีไซเคิลขวดแก้ว (Recycle cullet) ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

สำหรับในช่วงการรีไซเคิลขวดแก้ว (Recycle Cullet) ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) จะเห็นได้ว่าการรีไซเคิลขวดแก้ว (Recycle Cullet) จากโรงงานตัวอย่างจะไม่สร้างผลกระทบให้กับสิ่งแวดล้อมแต่จะมีผลมาจากการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงของซากฟอสซิลในรูปแบบต่างๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำถ่านหินหรือน้ำมัน การเผาไหม้ของสารประกอบคาร์บอนเหล่านี้ เป็นส่วนหนึ่งที่มีผลทำให้ช่วงการรีไซเคิล ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ เหล่านี้ เช่น เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic) ถึง 42.66% รองลงมาคือความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air) ถึง 37.97% และปัญหาความเป็นพิษทางน้ำอย่างเฉียบพลัน (Ecotoxicity Water Acute) ถึง 49.27%

4.4 **การแปลผล** (Life Cycle Interpretation)

ในขั้นตอนการแปลผลจะประเมินค่าของผลกระทบในแต่ละประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ดังแสดงตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตขวดแก้ว

Impact Category	Raw Material	Production Process	Recycle Cullet	Unit
Global Warming 100a	84.8788	332.5851	32.7046	kg - CO_2 eq
Ozone Depletion	0.0000	0.0000	0.0000	kg -CFC11 eq
Ozone Formation(Vegetation)	430.6508	1729.8611	328.9647	m^2.ppm.h
Ozone Formation (Human)	0.0312	0.1205	0.0224	person.ppm.h
Acidification	4.9980	7054822608.7377	2.0504	m^2
Terrestrial Eutrophication	5.9708	19.2155	4.2392	m^2
Aquatic Eutrophication EP(N)	0.0199	74075520.0726	0.0161	kg N
Aquatic Eutrophication EP(P)	0.0010	0.0001	0.0002	kg P
Human Toxicity Air	880241.4356	307017.6689	400292.4302	m^3
Human Toxicity Water	707.8485	5725601.4370	581.8147	m^3
Human Toxicity Soil	11.4715	2259303362.6155	7.4380	m^3
Ecotoxicity Water Chronic	7619.1648	488.6472	449708.4677	m^3
Ecotoxicity Water Acute	2621.5805	180.2840	203158.8148	m^3
Ecotoxicity Soil Chronic	18.8358	1.4485	19.2622	m^3
Hazardous Waste	0.0031	0.0052	0.0013	kg
Slags/ashes	0.0139	0.0009	0.5327	kg
Bulk Waste	12.8538	1.1893	45.2259	kg
Radioactive Waste	0.0031	0.0001	0.0006	kg
Resources (all)	0.0225	0.0065	0.0045	kg

การพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทผลกระทบเพื่อให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาที่อยู่ในรูปวัตถุดิบหรือพลังงานที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

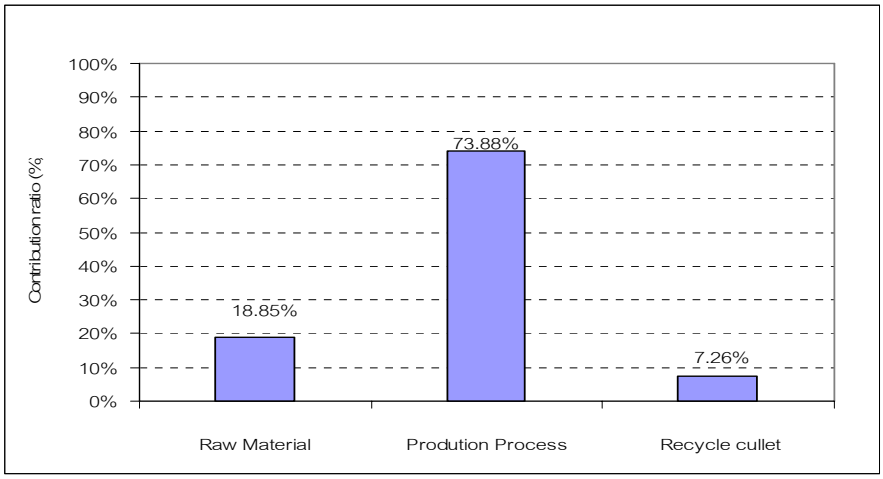
4.4.1 สัดส่วนของวัตถุดิบและพลังงานที่ทำให้เป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบแต่ละประเภท

จากการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพื่อให้ทราบถึงสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบแต่ละประเภทดังนี้

ตารางที่ 4.8

สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming)

Stage	kg CO_2	%
Raw Material	84.8788	18.85%
Production Process	332.5851	73.88%
Recycle Cullet	32.7046	7.26%
Total	450.1685	100.00%



ภาพที่ 4.9

สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming)

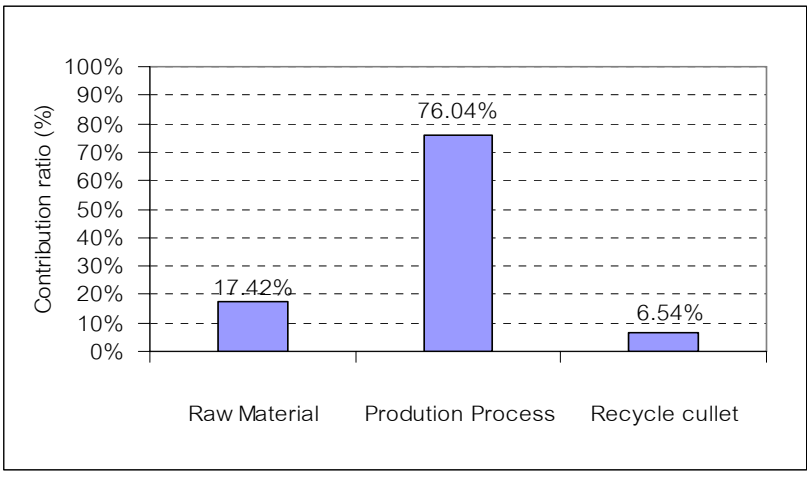
จากตารางที่ 4.8 และ ดังภาพที่ 4.9 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Prodution Process) มีค่า 73.88% ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ

มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน และอีกส่วนมาจะการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตขวดแก้วทำให้เกิดมวลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ จำพวกก๊าซมีเทน (Methane) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) รองลงมาคือ 18.85% และ 7.26% ตามลำดับ (ที่มา : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551 หน้า25)

ตารางที่ 4.9

สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการลดลงของโอโซน (Ozone Depletion)

Stage	kg CFC11 eq	%
Raw Material	0.0000084	17.42%
Prodution Process	3.660E-05	76.04%
Recycle Cullet	3.14671E-06	6.54%
Total	0.00004814	100.00%



ภาพที่ 4.10

สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดการลดลงของโอโซน (Ozone Depletion)

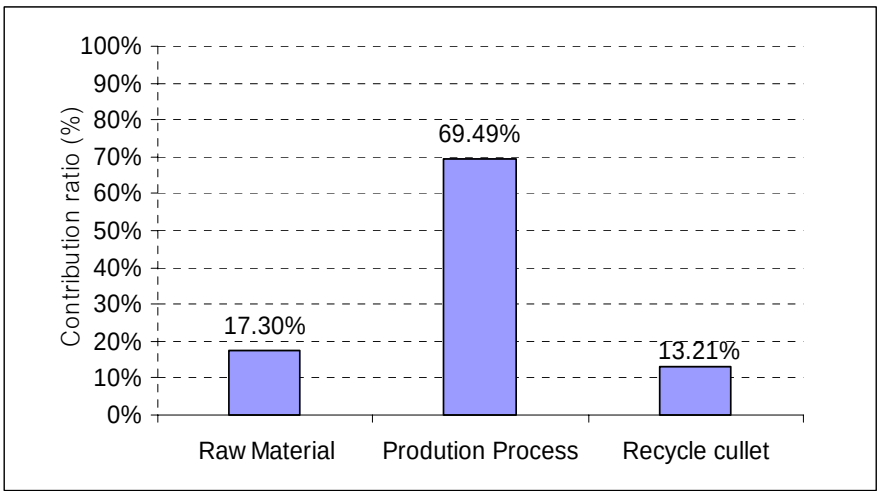
จากตารางที่ 4.9 และ ดังภาพที่ 4.10 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดการลดลงของโอโซน (Ozone Depletion) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Production

Process) มีค่า 76.04% ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน และอีกส่วนมาจะการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตขวดแก้วทำให้เกิดมวลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ รองลงมาคือ 17.42% และ 6.54% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10

สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสร้างโอโซนในพืชลดลง (Ozone Formation (Vegetation))

Stage	m^2.ppm.h	%
Raw Material	430.6508	17.30%
Prodution Process	1729.8611	69.49%
Recycle Cullet	328.9647	13.21%
Total	2489.4766	100.00%



ภาพที่ 4.11

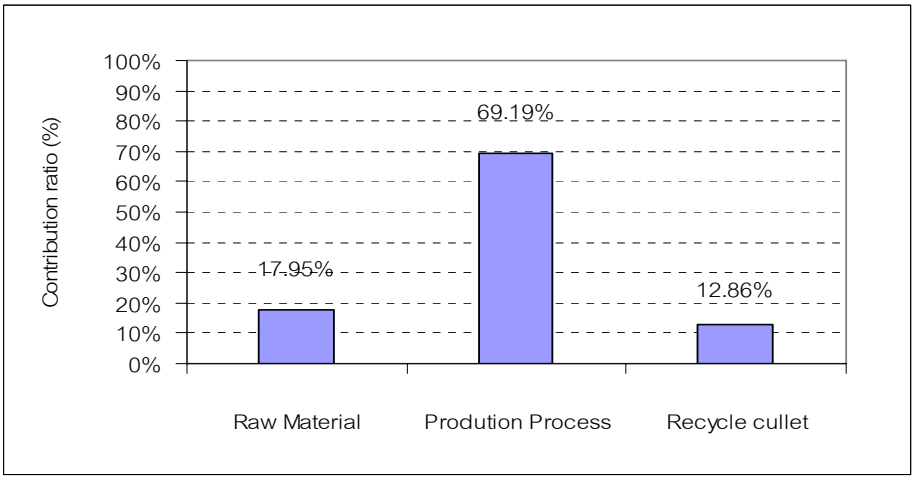
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดการสร้างโอโซนในพืชลดลง (Ozone Formation (Vegetation))

จากตารางที่ 4.10 และ ดังภาพที่ 4.11 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดการสร้างโอโซนในพืชลดลง (Ozone Formation (Vegetation)) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Prodution Process) มีค่า 69.49% โดยจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน และอีกส่วนมาจากการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตทำให้เกิดมวลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ รองลงมาคือ 17.30% และ 13.21% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11

สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสร้างโอโซนในคนลดลง (Ozone Formation (Human))

Stage	person.ppm.h	%
Raw Material	0.0312	17.95%
Production Process	0.1205	69.19%
Recycle Cullet	0.0224	12.86%
Total	0.1741	100.00%



ภาพที่ 4.12

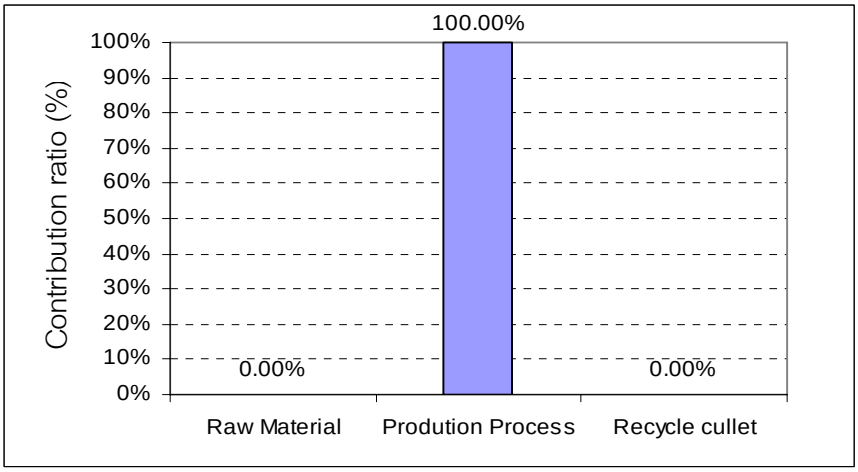
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดการสร้างโอโซนในคนลดลง (Ozone Formation (Human))

จากตารางที่ 4.11 และ ดังภาพที่ 4.12 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดการสร้างโอโซนในคนลดลง (Ozone Formation (Human)) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Production Process) มีค่า 69.19% ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน และอีกส่วนมาจะการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตทำให้เกิดมวลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ รองลงมาคือ 17.95% และ 12.86% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12

สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะความเป็นกรด (Acidification)

Stage	m^2	%
Raw Material	4.9980	0.00%
Production Process	7054822608.7377	100.00%
Recycle Cullet	2.0504	0.00%
Total	7054822615.7861	100.0%



ภาพที่ 4.13

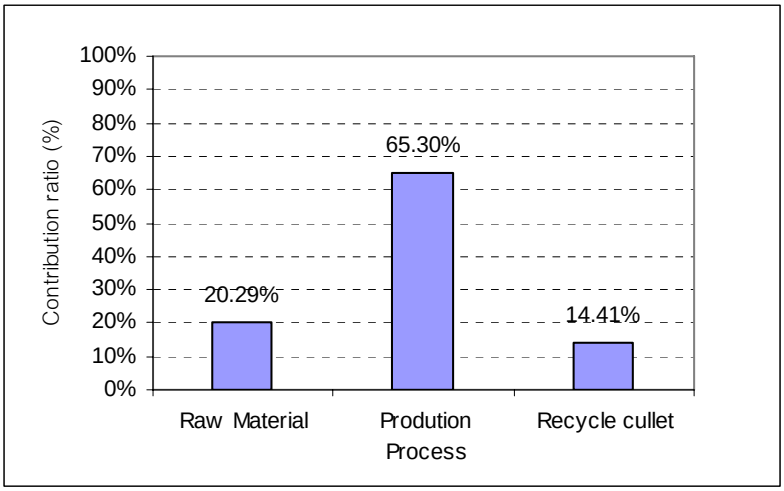
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดภาวะความเป็นกรด (Acidification)

จากตารางที่ 4.12 และ ดังภาพที่ 4.13 พบว่าขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะความเป็นกรด (Acidification) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Production Process) มีค่า 100% ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน และอีกส่วนมาจะการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตทำให้เกิดมวลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศจำพวกไนโตรเจนออกไซด์(Oxides of Nitrogen)

ตารางที่ 4.13

สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะพืชน้ำบนพื้นดินเติบโตผิดปกติ (Terrestrial Eutrophication)

Stage	m^2	%
Raw Material	5.9708	20.29%
Production Process	19.2155	65.30%
Recycle Cullet	4.2392	14.41%
Total	29.4256	100.0%



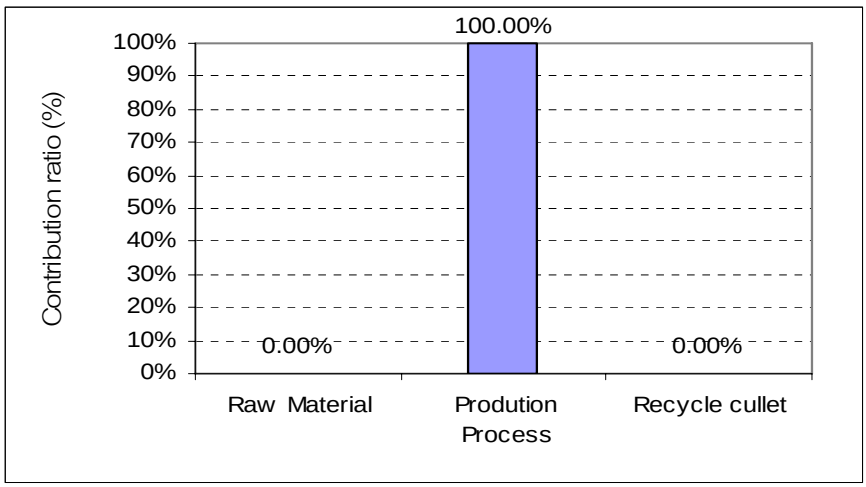
ภาพที่ 4.14

สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดภาวะพืชน้ำบนพื้นดินเติบโตผิดปกติ (Terrestrial Eutrophication)

จากตารางที่ 4.13 และ ดังภาพที่ 4.14 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะพืชน้ำบนพื้นดินเติบโตผิดปกติ (Terrestrial Eutrophication) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Production Process) มีค่า 65.30% ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน และอีกส่วนมาจะการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตขวดแก้วทำให้เกิดมวลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศจำพวกไนโตรเจนออกไซด์ (Oxides of Nitrogen) รองลงมาคือ 20.29% และ 14.41% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14
สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางบก
(Aquatic Eutrophication EP(N))

Stage	kg N	%
Raw Material	0.0199	0.00%
Prodution Process	74075520.0726	100.00%
Recycle Cullet	0.0161	0.00%
Total	74075520.1086	100.0%

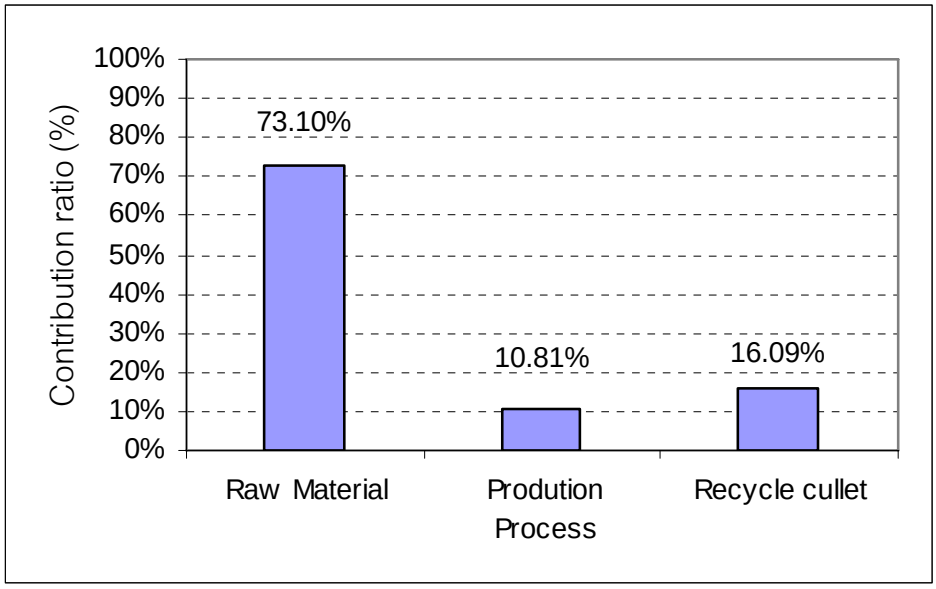


ภาพที่ 4.15
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางบก (Aquatic Eutrophication EP(N))

จากตารางที่ 4.14 และ ดังภาพที่ 4.15 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษทางบก (Aquatic Eutrophication EP(N)) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Production Process) มีค่า 100% ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน และอีกส่วนมาจะการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตทำให้เกิดมวลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศจำพวกไนโตรเจนออกไซด์ (Oxides of Nitrogen)

ตารางที่ 4.15
สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำ (Aquatic eutrophication EP(P))

Stage	kg P	%
Raw Material	0.0010	73.10%
Prodution Process	0.0001	10.81%
Recycle Cullet	0.0002	16.09%
Total	0.0014	100.0%

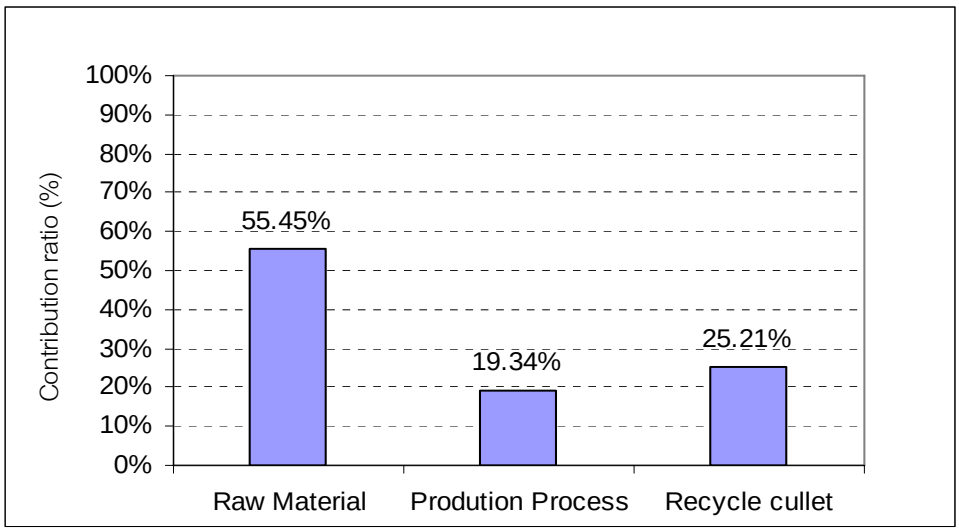


ภาพที่ 4.16
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำ (Aquatic Eutrophication EP(P))

จากตารางที่ 4.15 และ ดังภาพที่ 4.16 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำ(Aquatic Eutrophication EP(P)) มากที่สุดคือ ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Raw Material) มีค่า 73.10% รองลงมาคือ 16.09% และ 10.81% ตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ส่วนหนึ่งจะอ้างอิงจากฐานข้อมูล Sima pro 7.1 และมวลสารที่ปล่อยออกสู่จากระบบจำพวกไนโตรเจนออกไซด์ (Oxides of Nitrogen)

ตารางที่ 4.16
สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air)

Stage	m^3	%
Raw Material	880241.4356	55.45%
Prodution Process	307017.6689	19.34%
Recycle cullet	400292.4302	25.21%
Total	1587551.5346	100.0%

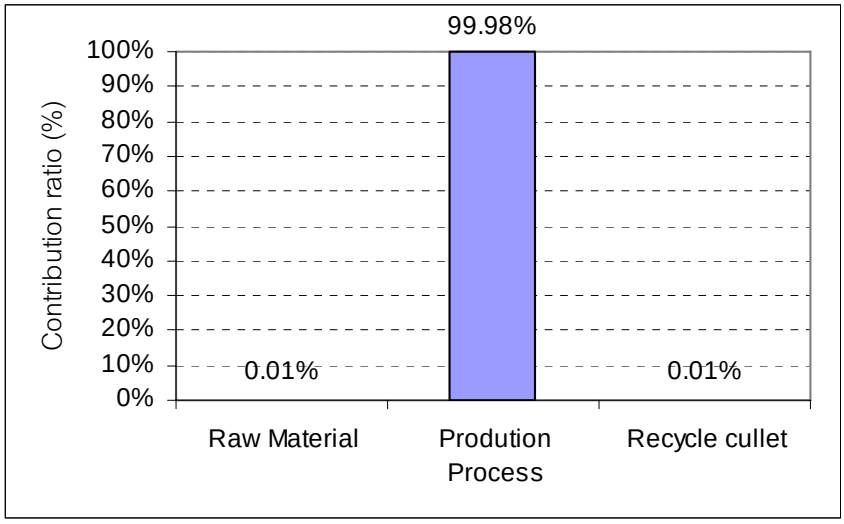


ภาพที่ 4.17
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air)

จากตารางที่ 4.16 และ ดังภาพที่ 4.17 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์(Human Toxicity Air) มากที่สุดคือ ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Raw Material) มีค่า 55.45% รองลงมาคือ 25.21% และ 19.34% ตามลำดับ และมลสารที่ปล่อยออกสู่จากระบบ จำพวกไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride) หรือแคดเมียม (Cadmium)

ตารางที่ 4.17
แสดงสัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในน้ำต่อมนุษย์ (Human Toxicity Water)

Stage	m^3	%
Raw Material	707.8485	0.01%
Prodution Process	5725601.4370	99.98%
Recycle Cullet	581.8147	0.01%
Total	5726891.1002	100.0%

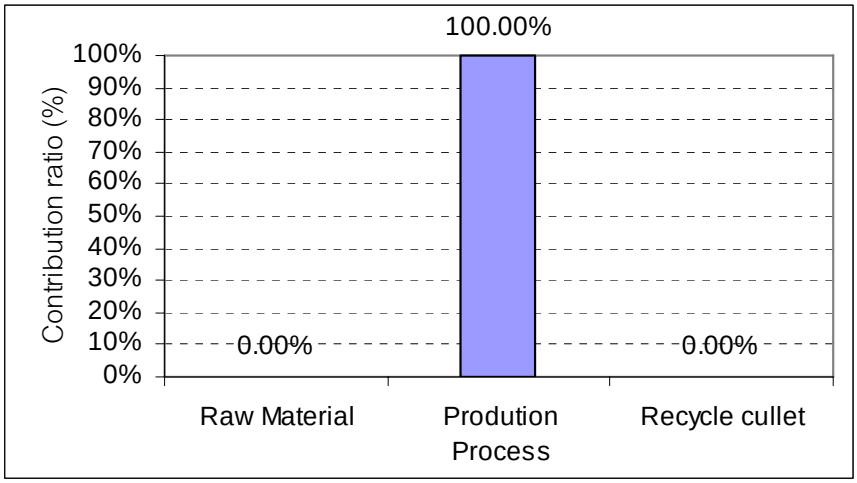


ภาพที่ 4.18
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในน้ำต่อมนุษย์ (Human Toxicity Water)

จากตารางที่ 4.17 และ ดังภาพที่ 4.18 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษในน้ำต่อมนุษย์ (Human Toxicity Water) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Prodution Process) มีค่า 99.98% ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน และอีกส่วนมาจะการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตทำให้เกิดมลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ จำพวกไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride) หรือ แคดเมียม (Cadmium)

ตารางที่ 4.18
สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในดินต่อมนุษย์ (Human Toxicity Soil)

Stage	m^3	%
Raw Material	11.4715	0.00%
Prodution Process	2259303362.6155	100.00%
Recycle Cullet	7.4380	0.00%
Total	2259303381.5250	100.0%

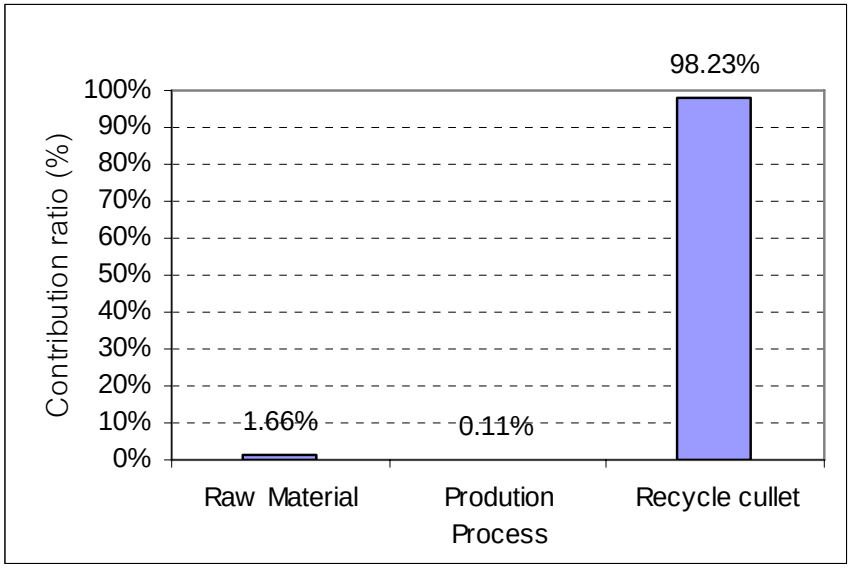


ภาพที่ 4.19
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในดินต่อมนุษย์ (Human Toxicity Soil)

จากตารางที่ 4.18 และ ดังภาพที่ 4.19 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษในดินต่อมนุษย์(Human Toxicity Soil) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Production Process) มีค่า 100% ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน และอีกส่วนมาจะการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตทำให้เกิดมลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ จำพวกไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride) หรือ แคดเมียม (Cadmium)

ตารางที่ 4.19
สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic)

Stage	m^3	%
Raw Material	7619.1648	1.66%
Prodution Process	488.6472	0.11%
Recycle Cullet	449708.4677	98.23%
Total	457816.2798	100.0%



ภาพที่ 4.20

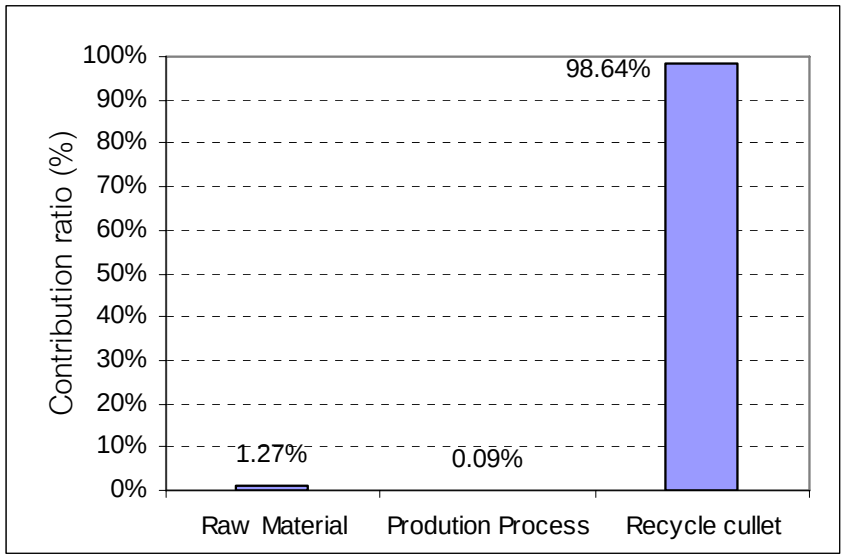
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic)

จากตารางที่ 4.19 และ ดังภาพที่ 4.20 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle Cullet) มีค่า 98.23% ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง

ตารางที่ 4.20

สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำอย่างเฉียบพลัน (Ecotoxicity Water Acute)

Stage	m^3	%
Raw Material	2621.5805	1.27%
Prodution Process	180.2840	0.09%
Recycle Cullet	203158.8148	98.64%
Total	205960.6792	100.0%

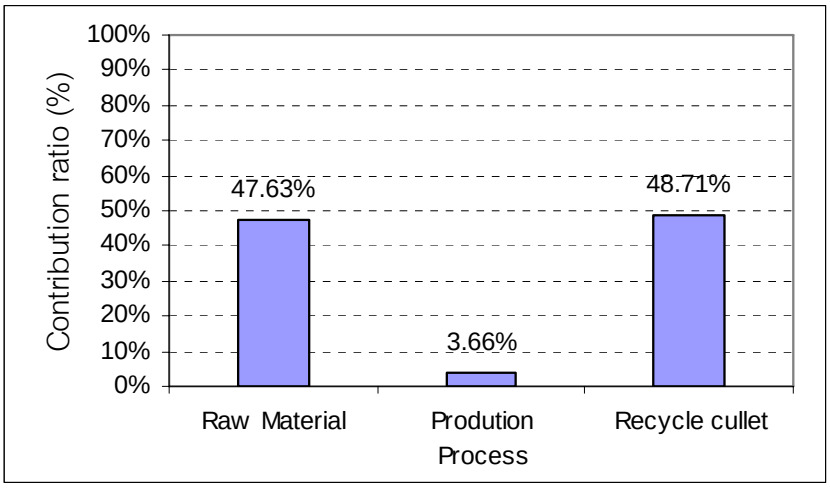


ภาพที่ 4.21
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำอย่างเฉียบพลัน(Ecotoxicity Water Acute)

จากตารางที่ 4.20 และ ดังภาพที่ 4.21 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำอย่างเฉียบพลัน (Ecotoxicity Water Acute) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle Cullet) มีค่า 98.64% ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง

ตารางที่ 4.21
สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางดินอย่างเรื้อรัง (Ecotoxicity Soil Chronic)

Stage	m^3	%
Raw Material	18.8358	47.63%
Production Process	1.4485	3.66%
Recycle cullet	19.2622	48.71%
Total	39.5464	100.0%



ภาพที่ 4.22

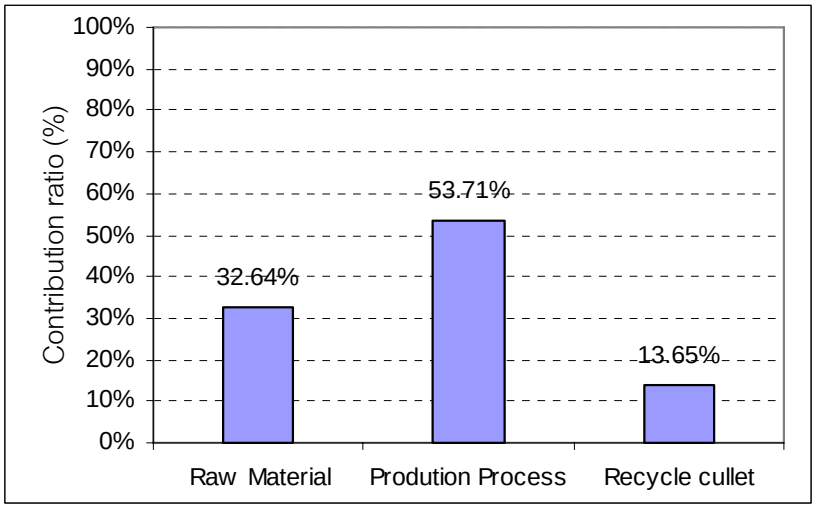
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดความเป็นพิษทางดินอย่างเรื้อรัง (Ecotoxicity Soil Chronic)

จากตารางที่ 4.21 และ ดังภาพที่ 4.22 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษทางดินอย่างเรื้อรัง (Ecotoxicity Soil Chronic) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่(Recycle Cullet) มีค่า 48.71% ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงของก๊าซธรรมชาติ มาเผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษทางดินเรื้อรัง รองลงมา 47.63% และ 3.66% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22

สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดขยะอันตราย (Hazardous Waste)

Stage	kg	%
Raw Material	0.0031	32.64%
Production Process	0.0052	53.71%
Recycle Cullet	0.0013	13.65%
Total	0.0096	100.0%

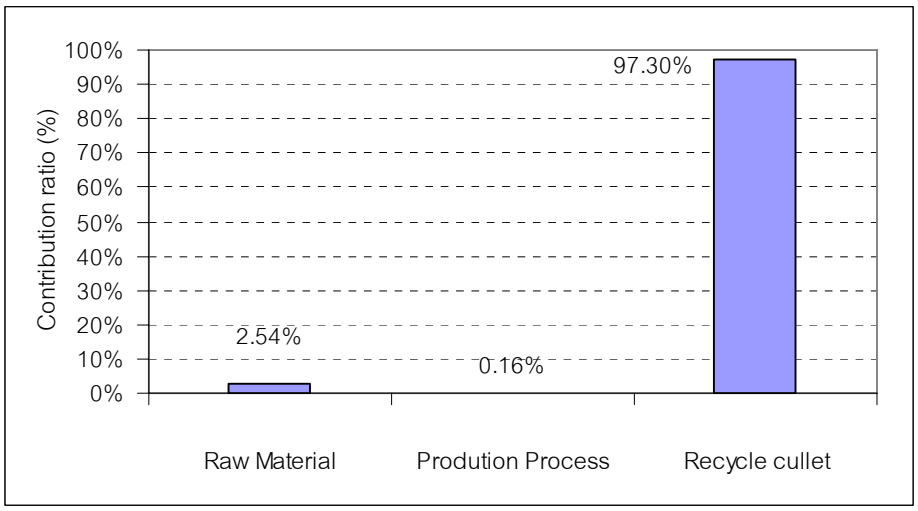


ภาพที่ 4.23
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดขยะอันตราย
(Hazardous Waste)

จากตารางที่ 4.22 และ ดังภาพที่ 4.23 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดขยะอันตราย(Hazardous Waste) มากที่สุดคือขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว (Production Process) มีค่า 53.71% รองลงมา 32.64% และ 13.65% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.23
สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกากของเสียและขี้เถ้า
(Slags Ashes)

Stage	kg	%
Raw Material	0.0139	2.54%
Production Process	0.0009	0.16%
Recycle Cullet	0.5327	97.30%
Total	0.5475	100.0%

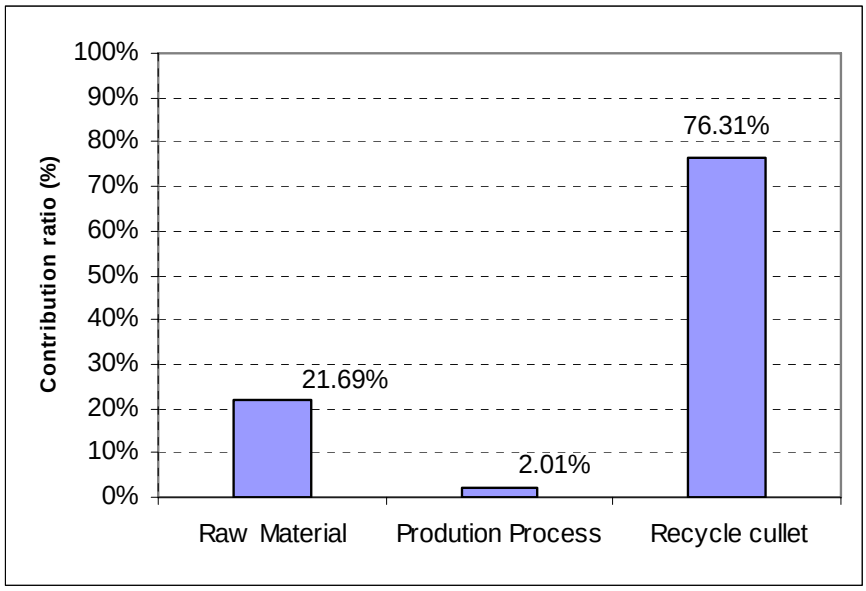


ภาพที่ 4.24
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดกากของเสียและขี้เถ้า (Slags Ashes)

จากตารางที่ 4.23 และ ดังภาพที่ 4.24 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดกากของเสียและขี้เถ้า (Slags Ashes) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle Cullet) มีค่า 97.30% รองลงมา 2.54% และ 0.16% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24
สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในรูปของแข็ง (Bulk Waste)

Stage	kg	%
Raw Material	12.8538	21.69%
Production Process	1.1893	2.01%
Recycle Cullet	45.2259	76.31%
Total	59.2689	100.0%



ภาพที่ 4.25

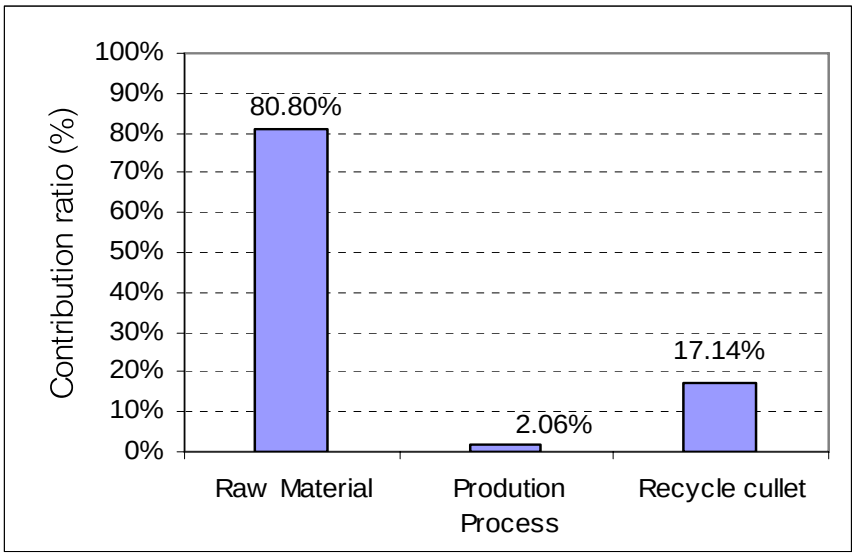
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดของเสียในรูปของแข็ง (Bulk Waste)

จากตารางที่ 4.24 และ ดังภาพที่ 4.25 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดของเสียในรูปของแข็ง (Bulk Waste) มากที่สุดคือ ขั้นตอนกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle Cullet) มีค่า 76.31% รองลงมา 21.69% และ 2.01% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.25

สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดจากกัมมันตรังสี (Radioactive waste)

Stage	kg	%
Raw Material	0.0031	80.80%
Production Process	0.0001	2.06%
Recycle cullet	0.0006	17.14%
Total	0.0038	100.0%

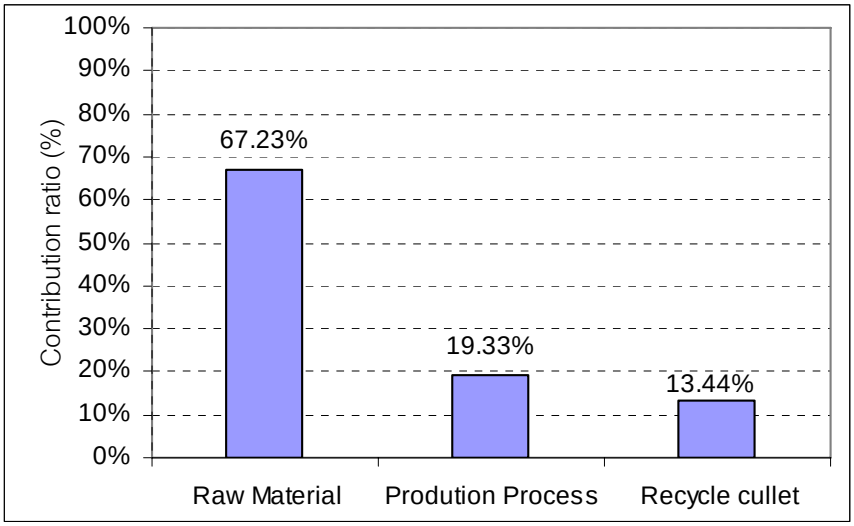


ภาพที่ 4.26
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดจากกัมมันตรังสี (Radioactive Waste)

จากตารางที่ 4.25 และ ดังภาพที่ 4.26 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดจากกัมมันตรังสี (Radioactive Waste) มากที่สุดคือ ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Raw Material) มีค่า 80.80% รองลงมา 17.14% และ 2.06% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.26
สัดส่วนของวัตถุดิบหรือพลังงานอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการลดลงของทรัพยากร (Resources (all))

Stage	kg	%
Raw Material	0.0225	67.23%
Production Process	0.0065	19.33%
Recycle cullet	0.0045	13.44%
Total	0.0335	100.0%



ภาพที่ 4.27
สัดส่วนเปรียบเทียบผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วที่ทำให้เกิดการลดลงของทรัพยากร (Resources (all))

จากตารางที่ 4.26 และ ดังภาพที่ 4.27 พบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบให้เกิดการลดลงของทรัพยากร (Resources (all)) มากที่สุดคือ ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Raw Material) มีค่า 67.23% รองลงมา 19.33% และ 13.44% ตามลำดับ

4.4.2 การเปรียบเทียบปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบแต่ละประเภท

การแปลผลในขั้นตอนนี้จะเป็นการสรุปและวิเคราะห์วัตถุดิบ พลังงานหรือมวลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศในกระบวนการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ดังตารางที่ 4.26 ปริมาณที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.27

ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท

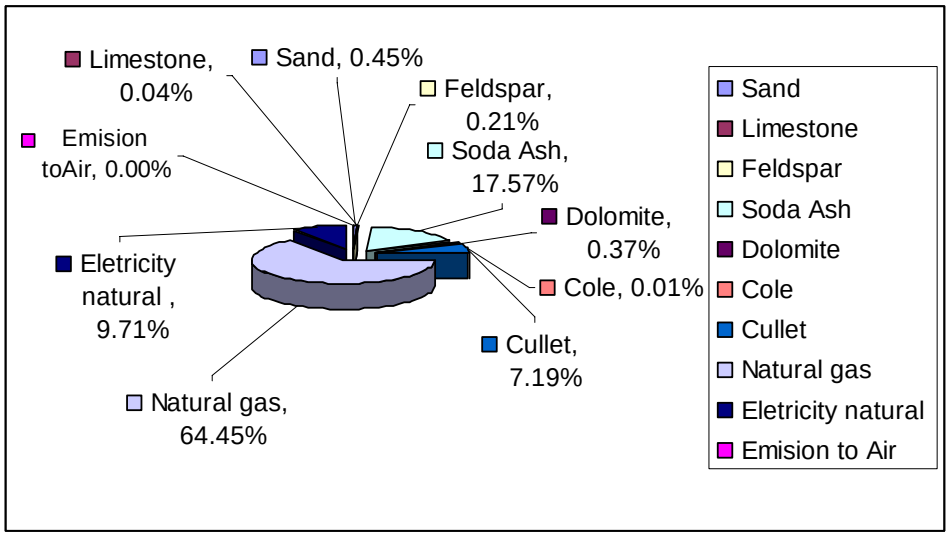
Impact Category	ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท										
	Unit	Sand	Limestone	Feldspar	Soda Ash	Dolomite	Cole	Cullet	Natural gas	Eletricity natural	Emision to Air
Global warming 100a	kg CO_2 eq	2.0594	0.1908	0.9715	79.9227	1.6927	0.0416	32.7046	293.2390	44.1776	0.0000
Ozone depletion	kg CFC11 eq	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ozone formation (Vegetation)	m^2.ppm.h	44.3927	1.0071	7.1169	366.8936	10.6641	0.5763	328.9647	2621.5452	227.4722	0.0000
Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0.0030	0.0001	0.0005	0.0269	0.0007	0.0000	0.0224	0.1750	0.0158	0.0000
Acidification	m^2	0.3005	0.0048	0.0472	4.5092	0.1358	0.0005	2.0504	12.4444	1.1481	7054822599.9948
Terrestrial eutrophication	m^2	0.6078	0.0104	0.0864	5.1060	0.1594	0.0008	4.2392	36.7545	2.5442	0.0000
Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0.0023	0.0000	0.0003	0.0167	0.0006	0.0000	0.0161	0.1389	0.0096	74075519.9999
Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
Human toxicity air	m^3	3503.2376	2375.4206	9378.0807	840593.7978	24308.8566	82.0424	400292.4302	54638.5834	40994.7967	0.0000
Human toxicity water	m^3	2.7831	0.6174	4.2474	684.2463	14.7525	1.2018	581.8147	2595.0827	24.7893	5725420.4000
Human toxicity soil	m^3	0.0484	0.0173	0.0927	11.1537	0.1584	0.0010	7.4380	1.9409	0.2689	2259303359.9983
Ecotoxicity water chronic	m^3	124.2853	21.5567	39.7185	7033.5946	244.3548	155.6549	449708.4677	86.9007	64.2879	0.0000
Ecotoxicity water acute	m^3	30.7122	3.6755	13.1081	2453.2215	80.8103	40.0528	203158.8148	0.0000	25.9169	0.0000
Ecotoxicity soil chronic	m^3	0.4154	0.0857	0.3215	17.3380	0.6721	0.0032	19.2622	0.0420	0.1385	0.0000
Hazardous waste	kg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0031	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0008	0.0000
Slags/ashes	kg	0.0008	0.0000	0.0007	0.0123	0.0001	0.0000	0.5327	0.0000	0.0001	0.0000
Bulk waste	kg	0.1038	0.0000	3.9193	8.7919	0.0388	0.0000	45.2259	0.0000	0.1876	0.0000
Radioactive waste	kg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0029	0.0001	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
Resources (all)	kg	0.0000	0.0000	0.0002	0.0220	0.0003	0.0000	0.0045	0.0042	0.0009	0.0000

4.4.2.1 ภาวะโลกร้อน (Global Warming)

ตารางที่ 4.28

แสดงสัดส่วนปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming)

Stage	kg CO_2 eq	%
Sand	2.0594	0.45%
Limestone	0.1908	0.04%
Feldspar	0.9715	0.21%
Soda Ash	79.9227	17.57%
Dolomite	1.6927	0.37%
Cole	0.0416	0.01%
Cullet	32.7046	7.19%
Natural gas	293.2390	64.45%
Eletricity natural	44.1776	9.71%
Emision to Air	0.0000	0.00%
Total	455.0001	100.00%



ภาพที่ 4.28

สัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming)

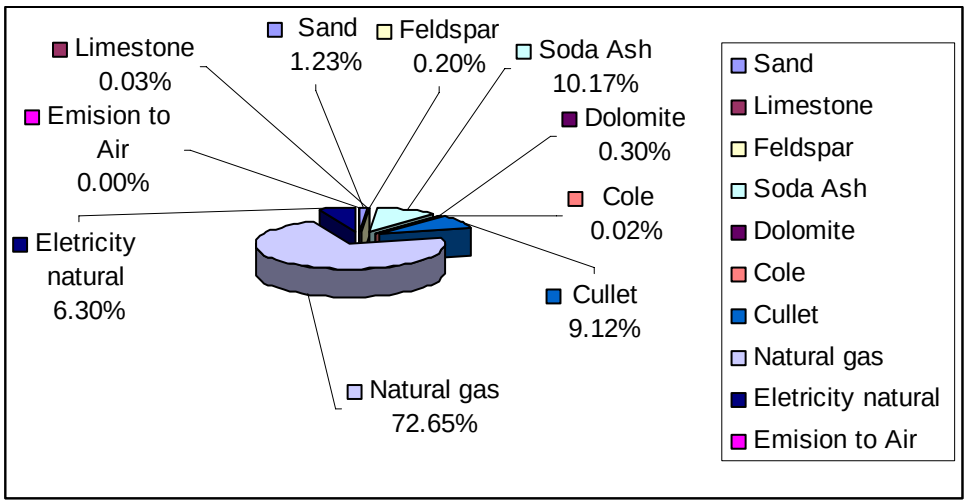
จากภาพที่ 4.28 สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ได้แก่ การใช้ก๊าซธรรมชาติมาใช้ในกระบวนการผลิตขวดแก้ว ซึ่งจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่อากาศสูงถึง 64.45% และโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่อากาศ 9.71% ส่วนวัตถุดิบที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่อากาศมากที่สุดคือ โซดาแอช (Soda Ash) 17.57% และกระบวนการย่อยเศษแก้ว (Cullet) ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาย่อยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่อากาศ 7.19%

4.4.2.2 ภาวะเกิดการสร้างโอโซนในพืชลดลง (Ozone Formation (Vegetation))

ตารางที่ 4.29

สัดส่วนปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการสร้างโอโซนในพืชลดลง (Ozone Formation (Vegetation))

Stage	m^2.ppm.h	%
Sand	44.3927	1.23%
Limestone	1.0071	0.03%
Feldspar	7.1169	0.20%
Soda Ash	366.8936	10.17%
Dolomite	10.6641	0.30%
Cole	0.5763	0.02%
Cullet	328.9647	9.12%
Natural gas	2621.5452	72.65%
Eletricity natural	227.4722	6.30%
Emision to Air	0.0000	0
Total	3608.6329	100.00%



ภาพที่ 4.29

สัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะเกิดการสร้างโอโซนในพืชลดลง (Ozone Formation (Vegetation))

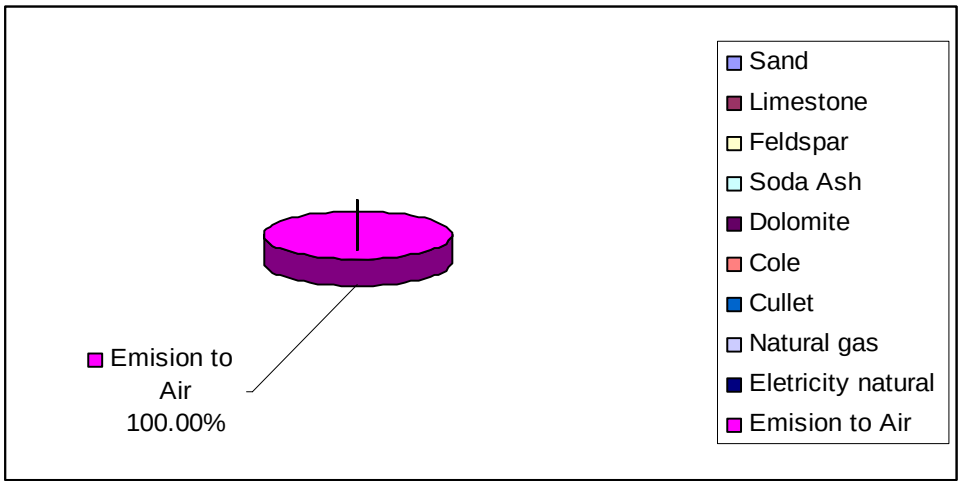
จากภาพที่ 4.29 สาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะเกิดการสร้างโอโซนในพืชลดลง (Ozone Formation (Vegetation)) มาจากการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตขวดแก้วสูงถึง 72.65% รองลงมาจากโซดาแอช (Soda Ash) 10.17% การย่อยเศษแก้ว (Cullet) 9.12% และอีกสาเหตุมาจากการทำลายของสารเคมีหลัก คือ สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนหรือสาร CFCs นั้นเอง

4.4.2.3 ภาวะความเป็นกรด (Acidification)

ตารางที่ 4.30

สัดส่วนปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรด (Acidification)

Stage	m^2	%
Sand	0.3005	0.00%
Limestone	0.0048	0.00%
Feldspar	0.0472	0.00%
Soda Ash	4.5092	0.00%
Dolomite	0.1358	0.00%
Cole	0.0005	0.00%
Cullet	2.0504	0.00%
Natural gas	12.4444	0.00%
Eletricity natural	1.1481	0.00%
Emision to Air	7054822599.9948	100.00%
Total	7054822620.6357	100.00%



ภาพที่ 4.30
สัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรด (Acidification)

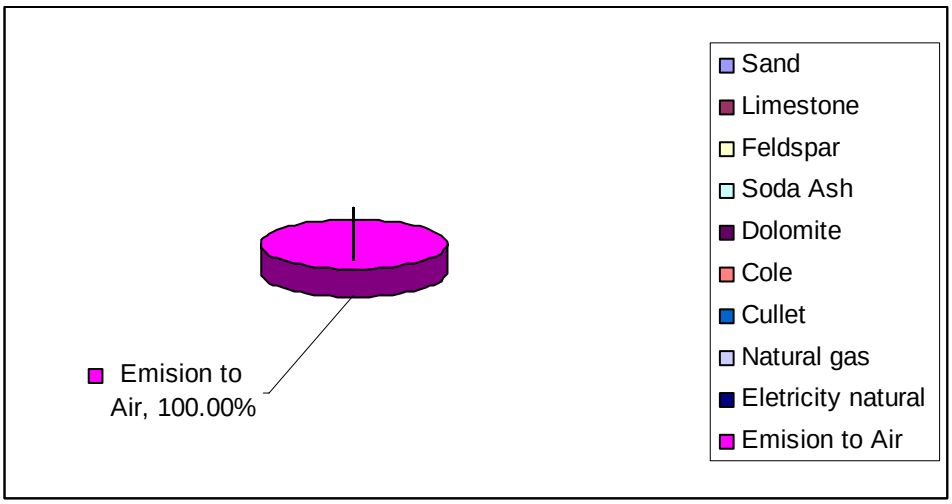
จากภาพที่ 4.30 ภาวะความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ที่ปล่อยมลสารออกสู่อากาศทำให้เกิดฝนกรดตกลงสู่พื้นดิน แหล่งน้ำ ทำให้พืชเจริญเติบโตช้า เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำในลำธารและทะเลสาบ

4.4.2.4 ภาวะก่อให้เกิดความเป็นพิษทางบก (Aquatic Eutrophication EP(N))

ตารางที่ 4.31

สัดส่วนปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นพิษทางบก (Aquatic Eutrophication EP(N))

Stage	kg N	%
Sand	0.0023	0.00%
Limestone	0.0000	0.00%
Feldspar	0.0003	0.00%
Soda Ash	0.0167	0.00%
Dolomite	0.0006	0.00%
Cole	0.0000	0.00%
Cullet	0.0161	0.00%
Natural gas	0.1389	0.00%
Eletricity natural	0.0096	0.00%
Emision to Air	74075519.9999	100.00%
Total	74075520.1845	100.00%



ภาพที่ 4.31

สัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะก่อให้เกิดความเป็นพิษทางบก (Aquatic Eutrophication EP(N))

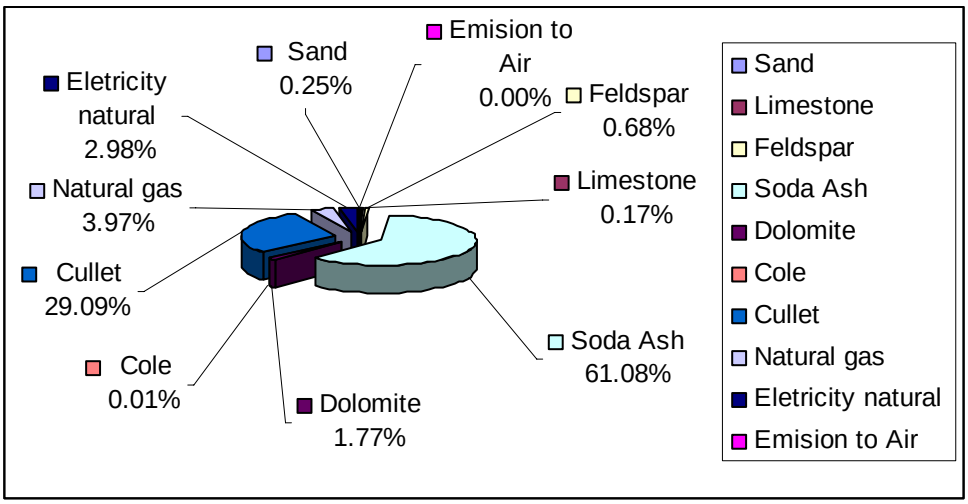
จากภาพที่ 4.31 ภาวะก่อให้เกิดความเป็นพิษทางบก (Aquatic Eutrophication EP(N)) ในกระบวนการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ที่ปล่อยมลสารออกสู่สภาพแวดล้อมทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารเกินสมดุล ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชตระกูลสาหร่าย (Algae) ในแหล่งน้ำอย่างรวดเร็ว เกิดความไม่สมดุลของสารอาหารของพืชระหว่างในน้ำและในดิน (ที่มา : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, 2551 หน้า26)

4.4.2.5 ภาวะก่อให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air)

ตารางที่ 4.32

สัดส่วนปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะก่อให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air)

Stage	m^3	%
Sand	3503.2376	0.25%
Limestone	2375.4206	0.17%
Feldspar	9378.0807	0.68%
Soda Ash	840593.7978	61.08%
Dolomite	24308.8566	1.77%
Cole	82.0424	0.01%
Cullet	400292.4302	29.09%
Natural gas	54638.5834	3.97%
Eletricity natural	40994.7967	2.98%
Emision to Air	0.0000	0.00%
Total	1376167.2459	100.00%



ภาพที่ 4.32

สัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะก่อให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air)

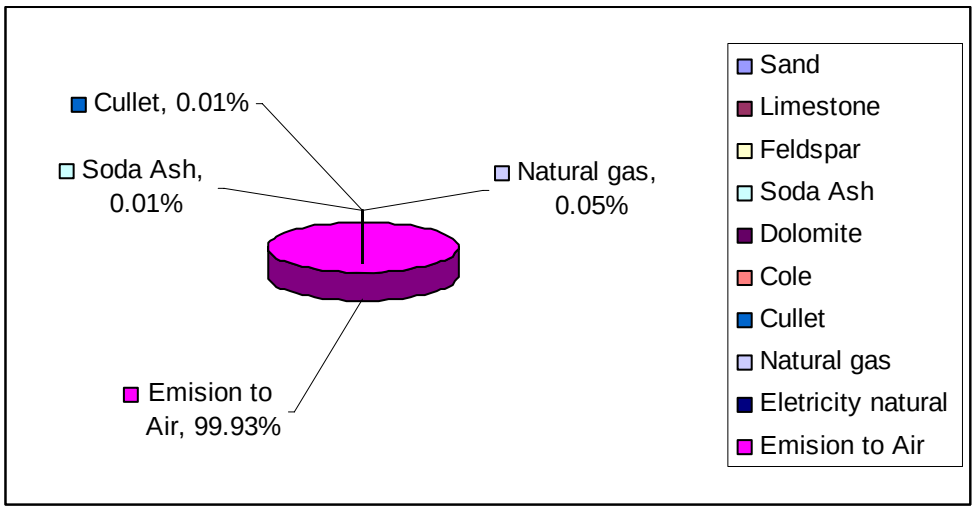
จากภาพที่ 4.32 สาเหตุที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air) ในการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม มาจากโซดาแอช (Soda Ash) 61.08% พลังงานในการย่อยเศษแก้ว 29.09% การใช้ก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตขวดแก้ว ตามลำดับ

4.4.2.6 ภาวะก่อให้เกิดความเป็นพิษในน้ำต่อมนุษย์ (Human Toxicity Water)

ตารางที่ 4.33

สัดส่วนปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นพิษในน้ำต่อมนุษย์ (Human Toxicity Water)

Stage	m^3	%
Sand	2.7831	0.00%
Limestone	0.6174	0.00%
Feldspar	4.2474	0.00%
Soda Ash	684.2463	0.01%
Dolomite	14.7525	0.00%
Cole	1.2018	0.00%
Cullet	581.8147	0.01%
Natural gas	2595.0827	0.05%
Eletricity natural	24.7893	0.00%
Emision to Air	5725420.4000	99.93%
Total	5729329.9353	100.00%



ภาพที่ 4.33

สัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นพิษในน้ำต่อมนุษย์ (Human Toxicity Water)

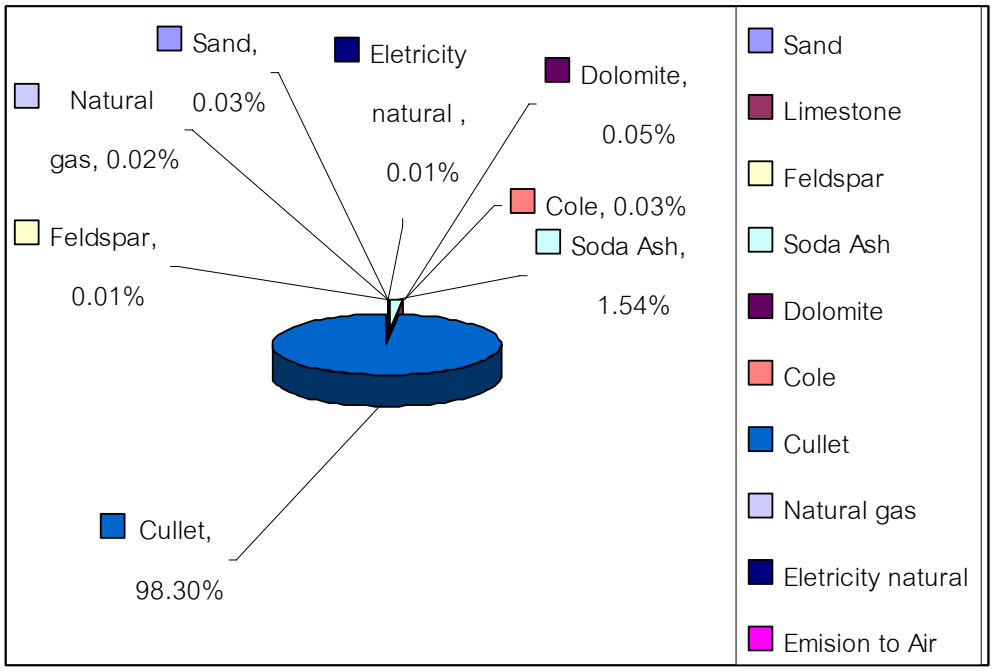
จากภาพที่ 4.33 สาเหตุที่ก่อเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นพิษในน้ำต่อมนุษย์ (Human Toxicity Water) มากสุดมาจากมลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ (Emission to Air) ในขั้นตอนกระบวนการผลิตขวดแก้ว 99.93%

4.4.2.7 ภาวะก่อให้เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic)

ตารางที่ 4.34

สัดส่วนปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic)

Stage	m^3	%
Sand	124.2853	0.03%
Limestone	21.5567	0.00%
Feldspar	39.7185	0.01%
Soda Ash	7033.5946	1.54%
Dolomite	244.3548	0.05%
Cole	155.6549	0.03%
Cullet	449708.4677	98.30%
Natural gas	86.9007	0.02%
Eletricity natural	64.2879	0.01%
Emision to Air	0.0000	0.00%
Total	457478.8211	100.00%



ภาพที่ 4.34

สัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณของการผลิตขวดแก้ว 1000 กิโลกรัม ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic)

จากภาพที่ 4.34 สาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic) มาจากกระบวนการย่อยเศษแก้ว 98.30%

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วบรรจุน้ำดื่มขนาด 500 ml ซึ่งจะคิดปริมาณการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต 1000 กิโลกรัม จากขอบเขตการศึกษานี้ครอบคลุมในช่วงชีวิตตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบเพื่อการผลิต กระบวนการผลิตและการกำจัดหลังหมดอายุใช้งาน ซึ่งการประเมินใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป Simapro 7.1 โดยใช้หลักการคำนวณของ EDIP (Environmental Design of Industrial Products) ในการวิเคราะห์สามารถแบ่งกลุ่มผลกระทบได้เป็นสามด้านคือ กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศและกลุ่มผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร ซึ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของขวดแก้วในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) ของกลุ่มผลกระทบสาเหตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air) มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Raw Material) 98.71% และกลุ่มผลกระทบความเป็นกรด (Acidification) มาจากกระบวนการผลิต

(Production Process) 75.10% ส่วนกลุ่มผลกระทบที่เกิดความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity Water Chronic) มาจากกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle Cullet) 42.66%