

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด วาล์วน้ำ  
โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

สารนิพนธ์  
ของ  
วรสิทธิ์ หินทอง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม  
พฤษภาคม 2553

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด วาล์วน้ำ  
โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

สารนิพนธ์  
ของ  
วรสิทธิ์ หินทอง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด วาล์วน้ำ  
โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

บทคัดย่อ  
ของ  
วรสิทธิ์ หินทอง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม  
พฤษภาคม 2553

วรสิทธิ์ หินทอง. (2553). การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด วาล์วน้ำ

โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต. สารนิพนธ์ วท.ม. (การจัดการทางวิศวกรรม).

กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์:

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์.อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมสารนิพนธ์: ดร.ปริญญา

บุญกนิษฐ.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด วาล์วน้ำ โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยจะทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนและประกอบชุด วาล์วน้ำ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 และวิธี “Eco-indicator 99” ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า ชุด วาล์วน้ำ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เท่ากับ  $1.168\text{E-}01$  Pt โดยชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ได้แก่ชิ้นส่วน Coil โดยส่งผลกระทบเท่ากับ  $5.608\text{E-}02$  Pt (13.21%) รองลงมา คือ ชิ้นส่วน Valve body โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ  $1.543\text{E-}02$  Pt (13.21%) และชิ้นส่วน Over mold โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ  $7.086\text{E-}03$  (6.00%) สำหรับขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Coil ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ Copper โดยส่งผลกระทบเท่ากับ  $5.115\text{E-}02$  Pt (91.21%) รองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการ winding โดยส่งผลกระทบเท่ากับ  $3.000\text{E-}03$  Pt (5.88%) จากผลการวิจัยนี้ทำให้สามารถเข้าใจถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนของชุด วาล์วน้ำ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

An Evaluation in Environmental Impact of Water Valve Production  
Using Life Cycle Assessment

AN ABSTRACT  
BY  
WORASIT HINTHONG

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Master of Science Degree in Engineering Management  
at Srinakharinwirot University  
May 2010

Worasit Hinthong. (2010). *An Evaluation in Environmental Impact of Water Valve Production Using Life Cycle Assessment*. Master's Project, M.S. (Engineering Management). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Project Advisor: Asst.Prof. Dr. Ninlawan Choomrit. Projection Co-Advisor: Dr.Prin.

This research aims to study the environmental impact cause of water valve productive process along life cycle assignment in case of material preparation, manufacturing of sub-parts and process to assembly by Semipro 7.1 and Eco-indicator 99 method. The water valve impact to environment in single score at 1.168E-01 Pt. The top three parts which impact to environment is Coil with single score at 5.608E-02 Pt (13.21%), Valve body at 1.543E-02 Pt (13.21%) and over mold at 7.086E-03 (6.00%). As analyze in productive process of the Coil, the Copper preparation is the process which most impact to environment, its scorer is 5.115E-02 Pt (91.21%). The second is winding process at 3.000E-03 Pt (5.88%).

The research demonstrate to understanding the environmental impact of water valve productive process which can guide to design and improve the produce to reduce environmental impact in the future.

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร และคณะกรรมการสอบ  
ได้พิจารณาสารนิพนธ์เรื่อง การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด วาวล์น้ำ  
โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต ของ วรสิทธิ์ หินทอง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการ  
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ของ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์)

ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล)

..... กรรมการสอบสารนิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์)

..... กรรมการสอบสารนิพนธ์  
(อาจารย์ ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ)

..... กรรมการสอบสารนิพนธ์  
(อาจารย์ ดร.พิลดา หวังพานิช)

อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร  
มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(อาจารย์ อารีย์ หาญสืบสาย)

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. 2553

## ประกาศคุณูปการ

สารนิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เป็นเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมสารนิพนธ์ อาจารย์ ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล อาจารย์ ดร.พิลดดา หวังพานิช กรรมการสอบสารนิพนธ์ ที่ท่านทั้งสามได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษาแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องสารนิพนธ์ สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบริษัท Eco Design Consultant ผู้ให้ความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆในการทำวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณบริษัทต่างๆที่เกี่ยวข้อง ผู้ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลและให้คำปรึกษา ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัย

กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมทั้งสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่สนับสนุนในการศึกษา และให้กำลังใจให้ผู้วิจัยบรรลุความสำเร็จในทุกๆด้าน

สุดท้ายนี้ คุณงานความดีและประโยชน์อันเกิดจากสารนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาแด่ บิดา มารดาและครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

วรสิทธิ์ หินทอง

# สารบัญ

| บทที่                                          | หน้า      |
|------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 บทนำ</b>                                  | <b>1</b>  |
| ความเป็นมาและความสำคัญ                         | 1         |
| จุดประสงค์ของการทำวิจัย                        | 2         |
| ขอบเขตของงานวิจัย                              | 2         |
| เครื่องมือในการวิจัย                           | 3         |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                      | 3         |
| นิยามคำศัพท์เฉพาะ                              | 3         |
| <b>2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>        | <b>5</b>  |
| เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม   | 5         |
| ความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์   | 9         |
| ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์     | 9         |
| อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040                        | 11        |
| ขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต          | 12        |
| Life Cycle Assessment Software                 | 21        |
| โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro                       | 25        |
| Eco Indicator 99                               | 26        |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต | 32        |
| ชุด Water valve                                | 36        |
| <b>3 วิธีดำเนินงานวิจัย</b>                    | <b>39</b> |
| อุปกรณ์                                        | 39        |
| เครื่องมือในการวิจัย                           | 39        |
| ขั้นตอนการวิจัย                                | 39        |
| สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย                     | 42        |
| การดำเนินงานวิจัย                              | 44        |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่                                                        | หน้า       |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4 ผลและการวิเคราะห์.....</b>                              | <b>58</b>  |
| การวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูล.....                           | 58         |
| การประเมินผลกระทบ.....                                       | 58         |
| การเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงชิ้นส่วนของชุด Water valve..... | 79         |
| <b>5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>                    | <b>87</b>  |
| สรุปผลงานวิจัย.....                                          | 87         |
| สรุปผลแนวทางในการปรับปรุงและการเสนอแนะ.....                  | 88         |
| ข้อเสนอแนะ.....                                              | 92         |
| <b>บรรณานุกรม.....</b>                                       | <b>94</b>  |
| <b>ภาคผนวก.....</b>                                          | <b>97</b>  |
| ภาคผนวก ก .....                                              | 98         |
| ภาคผนวก ข .....                                              | 120        |
| ภาคผนวก ค .....                                              | 123        |
| <b>ประวัติย่อผู้ทำสารนิพนธ์.....</b>                         | <b>126</b> |

## บัญชีตาราง

| ตาราง                                                                                                                                      | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 เครื่องมือการจัดการและประเมิน.....                                                                                                       | 6    |
| 2 การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA.....                                                                                                           | 23   |
| 3 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบ<br>และสสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ.....                                      | 28   |
| 4 แสดงค่า Normalization และ Weighting สำหรับแต่ละกลุ่มเป้าหมาย<br>หรือลักษณะการทำลาย.....                                                  | 31   |
| 5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินวิธีต่างๆ.....                                                                                   | 31   |
| 6 รายละเอียดของโรงงานผู้ผลิตและประกอบชิ้นส่วนของชุด Water valve.....                                                                       | 43   |
| 7 ที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอนการผลิตชุด Water Valve.....                                                                                  | 46   |
| 8 แสดงปริมาณการใช้วัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วน<br>Metal part และ rubber part.....                                                             | 52   |
| 9 แสดงปริมาณการใช้วัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วน Plastic part.....                                                                              | 53   |
| 10 แสดงปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตแต่ละชิ้นส่วนของ<br>ชุด Water valve 1 ชุด.....                                                          | 54   |
| 11 แสดงสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย<br>โดยแบ่งตามประเภทเชื้อเพลิง.....                                                                  | 55   |
| 12 แสดงชนิดและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจาก<br>กระบวนการผลิตชุด Water valve.....                                                             | 56   |
| 13 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนต่างๆของชุด Water valve<br>ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท<br>(Characterization)..... | 62   |
| 14 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วนทั้งหมดๆของชุด Water valve.....                                                                        | 65   |
| 15 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Coil<br>ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท<br>(Characterization).....      | 67   |
| 16 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Coil.....                                                                                             | 69   |
| 17 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของ<br>ผลกระทบของชิ้นส่วน Coil.....                                                   | 69   |

## บัญชีตาราง(ต่อ)

| ตาราง                                                                                                                                                             | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 18    แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Valve body<br>ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท<br>(Characterization).....                    | 71   |
| 19    แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Valve body.....                                                                                                           | 73   |
| 20    แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของ<br>ผลกระทบของชิ้นส่วน Valve body.....                                                                 | 73   |
| 21    แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน over mold<br>ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท<br>(Characterization).....                     | 75   |
| 22    แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน over mold.....                                                                                                            | 77   |
| 23    แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของ<br>ผลกระทบของชิ้นส่วน Over mold.....                                                                  | 77   |
| 24    แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยก<br>ประเภทของผลกระทบของพลาสติก PA 66 GF30<br>กับ PET 30% glass fiber.....                         | 80   |
| 25    แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกของ<br>ประเภทของวัตถุดิบ Copper กับ วัตถุดิบ Copper<br>ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5%.....    | 82   |
| 26    แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกของ<br>ขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุงและหลัง<br>ปรับปรุงจำนวนชิ้นงานต่อหนึ่งรอบการผลิต..... | 85   |
| 27    แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมก่อนทำการปรับปรุง<br>และหลังการปรับปรุงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....                                                    | 90   |
| 28    แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนและประสิทธิภาพของวัตถุดิบและ<br>กระบวนการหลังการปรับปรุง.....                                                                       | 91   |

## บัญชีภาพประกอบ

| ภาพประกอบ                                                                                       | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 เครื่องมือการจัดการและการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม.....                                   | 6    |
| 2 Life Cycle Assessment.....                                                                    | 11   |
| 3 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง<br>กับการประเมินวัฏจักรชีวิต.....                   | 12   |
| 4 ขั้นตอนการทำงานของ LCA.....                                                                   | 13   |
| 5 ตัวอย่างขอบเขตระบบและระบบผลิตภัณฑ์<br>ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำ LCI.....                       | 15   |
| 6 การพิจารณาฐานข้อมูลของการประเมินวัฏจักรชีวิต.....                                             | 18   |
| 7 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ.....                                                           | 19   |
| 8 แผนภาพการประเมินค่าโดยวิธี Eco Indicator 99.....                                              | 32   |
| 9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากวัฏจักรชีวิตของกล่องกระดาษ.....                                       | 33   |
| 10 ส่วนประกอบของชุด Water Valve.....                                                            | 37   |
| 11 ขั้นตอนการทำงานเมื่อไม่มีการจ่ายไฟให้กับชุด Solenoid Coil.....                               | 37   |
| 12 ขั้นตอนการทำงานเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับชุด Solenoid Coil.....                                  | 38   |
| 13 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....                                                      | 41   |
| 14 ขอบเขตการศึกษา.....                                                                          | 45   |
| 15 กระบวนการผลิตชิ้นส่วน Metal part ด้วยแม่พิมพ์<br>แบบ Progressive die (Stamping Process)..... | 48   |
| 16 กระบวนการผลิตชิ้นส่วน Metal part ด้วยเครื่อง CNC.....                                        | 48   |
| 17 กระบวนการการผลิตชิ้นส่วน Metal part ด้วยเครื่อง<br>Compression Spring formed.....            | 49   |
| 18 กระบวนการผลิตชิ้นส่วน Plastic Part ด้วยการฉีด<br>ขึ้นรูปด้วยความร้อน (Injection).....        | 49   |
| 19 กระบวนการผลิตชุดขดลวดทองแดง (Coil).....                                                      | 50   |
| 20 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนยางด้วยการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Forming).....                         | 50   |
| 21 กระบวนการผลิตชุด Water Valve.....                                                            | 51   |
| 22 ปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกของ<br>กระบวนการผลิตชุด Water valve.....                     | 58   |

## บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

| ภาพประกอบ                                                                                                                                | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 23 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนต่างๆของชุด Water valve<br>ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท<br>(Characterization).....   | 60   |
| 24 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วนชุด Water vale.....                                                                         | 64   |
| 25 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบ<br>ของชิ้นส่วนชุด Water valve.....                                              | 64   |
| 26 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Coil ในขั้นตอน<br>การจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization).....          | 66   |
| 27 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วน Coil.....                                                                                  | 67   |
| 28 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภท<br>ของผลกระทบของชิ้นส่วน Coil.....                                                        | 68   |
| 29 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Valve body ใน<br>ขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท<br>(Characterization)..... | 70   |
| 30 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วน Valve body.....                                                                            | 71   |
| 31 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบ<br>ของชิ้นส่วน Valve body.....                                                  | 72   |
| 32 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน over mold ใน<br>ขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท<br>(Characterization).....  | 74   |
| 33 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วน over mold.....                                                                             | 75   |
| 34 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบ<br>ของชิ้นส่วน Over mold.....                                                   | 76   |
| 35 ค่าการเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของพลาสติก<br>PA 66 GF30 กับ PET 30% glass fiber.....                                 | 80   |
| 36 แสดงค่าการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมวิธีการ<br>IPCC 2001 GWP 20a ของพลาสติก PA 66 GF30<br>กับ PET 30% glass fiber.....          | 81   |

## บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

### ภาพประกอบ

### หน้า

|    |                                                                                                                                                                     |    |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 37 | ค่าการเปรียบเทียบกับคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของวัตถุดิบ<br>Copper กับ วัตถุดิบ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al)<br>ในปริมาณ 5%.....                             | 82 |
| 38 | ค่าการเปรียบเทียบกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมวิธีการ<br>IPCC 2001 GWP 20a ของวัตถุดิบ Copper กับ วัตถุดิบ Copper<br>ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5%.....             | 83 |
| 39 | ค่าการเปรียบเทียบกับคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของขั้นตอนการ<br>Injection แบบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงจำนวนชิ้นงาน<br>ต่อหนึ่งรอบการผลิต.....                 | 84 |
| 40 | ค่าการเปรียบเทียบกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมวิธีการ<br>IPCC 2001 GWP 20a ของขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุง<br>และหลังปรับปรุงจำนวนชิ้นงานต่อหนึ่งรอบการผลิต..... | 85 |

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เริ่มส่งผลกระทบกับการดำรงชีวิตของมนุษย์มากขึ้น ดังจะเห็นได้จากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เริ่มไม่ปกติ อาทิเช่น ปัญหาโลกร้อน ปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมเป็นพิษและวิกฤตด้านพลังงาน เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวจึงส่งผลให้ในปัจจุบันมนุษย์หันมาให้ความสนใจด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมกันมากขึ้น โดยที่ในปัจจุบันบริษัทที่เป็นผู้ผลิตสินค้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างมีนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเกิดขึ้น อาทิเช่น นโยบาย Eco-Range ซึ่งบ่งบอกว่าสินค้านั้นอยู่ในกลุ่มรักษ์สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันปริมาณการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525-2548 มีการเติบโตเพิ่มขึ้นประมาณ 12% ต่อปีและคาดการณ์ว่าจะยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหลังจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้หมดสภาพการใช้งานก็จะก่อให้เกิดซากของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ โดยที่ในปี 2546 มีซากผลิตภัณฑ์ที่เกิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่หมดสภาพการใช้งานประมาณ 1,700,00 เครื่องหรือคิดเป็นปริมาณถึง 58,000 ตัน โดยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า(กรมควบคุมมลพิษ. 2550: 23) ซึ่งซากผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีส่วนประกอบที่มีสารอันตรายที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัย ดังนั้นบริษัทซึ่งเป็นผู้ผลิตสินค้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างต้องการที่จะให้ผู้ที่ทำการผลิตชิ้นส่วนต่างๆให้กับตน (Supplier) ทำการตอบสนองนโยบายด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม อีกทั้งในปัจจุบันได้มีกฎหมายและระเบียบข้อบังคับต่างๆที่ถือว่าเป็นการกีดกันโดยทางกฎหมายสากลที่เพิ่มความเข้มงวดมากขึ้น อาทิเช่น “ระเบียบที่ว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์” (RoHs) “ระเบียบเกี่ยวกับเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์” (WEEE) (ศูนย์เทคโนโลยีแห่งชาติและวัสดุแห่งชาติ. ม.ป.ป: 24) “กฎ 3R” ของประเทศญี่ปุ่นที่กล่าวถึง การลดการสร้างขยะ การนำชิ้นส่วนใหม่มาใช้ใหม่ และการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งาน “พิธีสารเกียวโต” (Kyoto Protocol) ที่กล่าวถึงการลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศที่ลงนามสัตยาบัน (เอกสารพิธีสารเกียวโต. 2552: ออนไลน์)

จากนโยบายของบริษัทที่เป็นผู้ผลิตสินค้าและกฎหมายข้อบังคับต่างๆที่กล่าวมาในขั้นต้นได้ส่งผลให้บริษัทที่เป็นผู้ผลิตชิ้นส่วน (Supplier) จำเป็นที่จะต้องทำการปรับตัวเพื่อทำการรับมือกับนโยบายของเจ้าของสินค้าและกฎหมายข้อบังคับต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันได้มีวิธีการในการจัดการ

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือลดการใช้พลังงานและทรัพยากรต่าง ๆ มากมาย ซึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ “การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)” ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบ การสกัดวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน (รวมถึงการใช้ซ้ำ การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่) และการกำจัดทิ้งหลังหมดอายุการใช้งาน (Cradle to Grave) อีกทั้งวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ควบคู่กับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco Design) (วนิดา ลาวัณย์ทักษิณ. 2549: 5) ซึ่งวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จะทำให้สามารถรู้ได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใดบ้างและมากน้อยเท่าไรในแต่ละขั้นตอน จึงทำให้ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยหลีกเลี่ยงการใช้วัตถุดิบและกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือให้ส่งผลกระทบต่อให้น้อยที่สุด

โดยงานวิจัยนี้จะการศึกษาถึงการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของชุด Water Valve โดยใช้หลักของวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยที่ชุด Water Valve นี้เป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องซักผ้าของบริษัทผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าแห่งหนึ่งที่มีดำเนินนโยบายด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งชุด Water Valve นี้จะทำการผลิตจากโรงงานแห่งหนึ่งซึ่งรับจ้างผลิตชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยที่ในชุด Water Valve จะมีส่วนประกอบต่างๆ หลายชิ้นส่วน ซึ่งจะทำการผลิตมาจากโรงงาน Supplier ซึ่งในแต่ละชิ้นส่วนจะมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน โดยที่ในงานวิจัยนี้จะการศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตและประกอบชิ้นส่วนของชุด Water Valve เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของชุด Water Valve ว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใดบ้างและเป็นจำนวนมากน้อยเพียงใด

## 1.2 จุดประสงค์ของการทำวิจัย

1. เพื่อทำการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ของชุด Water Valve ของบริษัทแห่งหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนประกอบเครื่องซักผ้า โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาผลิตภัณฑ์ชุด Water Valve ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องซักผ้ารุ่นหนึ่ง ที่ทำการผลิตจากบริษัทแห่งหนึ่ง
2. ทำการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ชุด Water Valve โดยทำการประเมินผลกระทบตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนจนถึงขั้นตอนการประกอบเป็นชุด Water Valve (Gate to Gate) โดยไม่ทำการพิจารณาการขนส่งในทุกกระบวนการ

3. ทำการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของ ชุด Water Valve โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 และหลักการคำนวณของ Eco-indicator 99
4. ทำการศึกษาโดยไม่รวมถึงเครื่องจักร, สารเคมีที่เกี่ยวข้อง, บรรจุภัณฑ์ และการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรต่างๆ เช่น จารบี หรือน้ำมันเครื่องที่มีการกำหนดแผนการหยอดทุกเดือน เป็นต้น
5. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากการสัมภาษณ์, สูตรการผลิต, การตรวจวิเคราะห์, การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา และฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป

#### 1.4 เครื่องมือในการวิจัย

1. วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA)
2. ชุดโปรแกรมสำเร็จรูป Simapro 7.1 ของบริษัท Pre' Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและบัญชีรายการสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ในครั้งต่อไป
2. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นการลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม
3. ใช้เป็นตัวอย่างหรือแนวทางในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ

#### 1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

เพื่อให้เกิดความเข้าใจความหมายของคำและข้อความเฉพาะที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอให้นิยามศัพท์เฉพาะต่างๆไว้ดังนี้

1. Life Cycle Assessment: LCA หมายถึง การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หรือบริการตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต
2. Life Cycle Inventory: LCI หมายถึง การจัดทำบัญชีรายการซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

3. Life Cycle Impact Assessment: LCIA หมายถึง การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยจะใช้ข้อมูลของทรัพยากร และพลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการผลิต โดยจะรวมถึงการปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI

4. Cradle to Grave หมายถึง การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบสมบูรณ์โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่การเกิดของผลิตภัณฑ์จนถึงการสิ้นอายุของผลิตภัณฑ์

5. Gate to Gate หมายถึง การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งโซ่อุปทาน

6. Eco Design หมายถึง การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อให้บริโภครักษาทรัพยากรธรรมชาติ พลังงานและผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุด

7. Water Valve หมายถึง อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับปิดเปิดการจ่ายน้ำด้วยระบบไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทที่มีระบบการจ่ายน้ำ

8. Characterization หมายถึง การกำหนดบทบาทหรือการจำแนกผลกระทบของวัตถุดิบ พลังงาน หรือสิ่งต่างๆ ที่มีส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นว่ามีผลกระทบอย่างไร

9. Weighting หมายถึง การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยจะทำการเปรียบเทียบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดสำคัญที่สุด

10. DALYs (Disability Adjusted Life Years) ซึ่งจะหมายถึง การสูญเสียการมีสุขภาพที่ดี เนื่องจากการได้รับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

11. PAF (Potentially Affected Fraction) หมายถึง สัดส่วนของพืชที่มีโอกาสได้รับผลกระทบต่อพื้นที่

12. PDF (Potentially Disappeared Fraction) หมายถึง สัดส่วนการสูญหายของความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต(พืช)ต่อพื้นที่

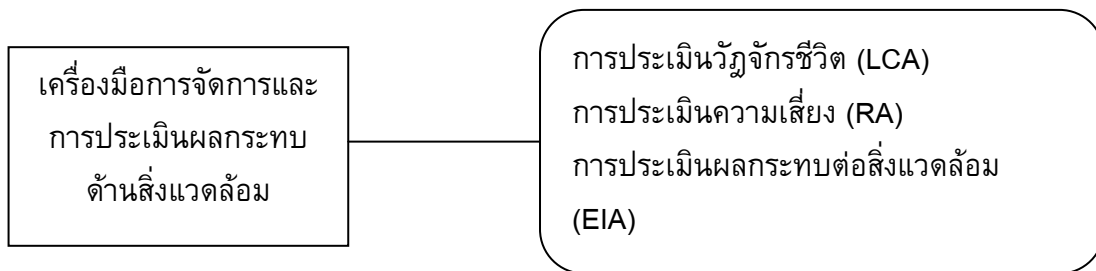
13. Pt (Person for target year) หมายถึง การแสดงจำนวนเท่าของค่ากลางซึ่งเกิดจากกระบวนการหาขนาดของผลกระทบที่ต้องการจะรวมค่าในกลุ่มผลกระทบต่างๆ ที่มีหน่วยต่างกัน โดยการหาด้วยค่ากลาง

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันเครื่องมือในการจัดการและประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมมีอยู่หลายวิธี เช่น การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA), การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment, RA), การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment, EIA), การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Evaluation, EPE) ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงเครื่องมือการจัดการและการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

โดยแต่ละวิธีการของการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมนั้นมีเป้าหมายและความเหมาะสมในการเลือกใช้ต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับสถานการณ์ในการเลือกใช้ของผู้ที่จะทำการประเมิน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงตาราง 1

ตาราง 1 เครื่องมือการจัดการและประเมิน

| เครื่องมือ          | LCA<br>(Life Cycle Assessment)                                                       | RA (Risk Assessment)                                                                                 | EIA (Environmental Impact<br>Assessment)                                           | EPE (Environmental<br>Performance Evaluation)                                              |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| วัตถุประสงค์<br>รวม | -เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้าง<br>ทางสิ่งแวดล้อมของระบบ<br>-เพื่อระบุลำดับในการปรับปรุง | -เพื่อประเมินผลกระทบต่อ<br>สุขภาพมนุษย์และ<br>สิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับ<br>สถานการณ์ที่เป็นอันตราย | -เพื่อประเมินผลกระทบด้านบวก<br>และลบต่อสิ่งแวดล้อมของแผน<br>โครงการในอนาคต         | -เพื่อจัดหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและ<br>พิสูจน์ได้เกี่ยวกับสมรรถนะ<br>ทางสิ่งแวดล้อมขององค์กร |
| ข้อดี               | -พิจารณาผลกระทบทั้งระดับ<br>โลกและภูมิภาค<br>-สะดวกในการพิจารณา<br>ผลกระทบต่อสังคม   | -ประเมินผลกระทบระดับ<br>พื้นที่และภูมิภาคต่อ<br>เป้าหมายเฉพาะ                                        | -ประเมินผลกระทบทั้งด้านบวก<br>และลบ<br>-พิจารณาผลกระทบของโครงการ<br>ในระดับพื้นที่ | -มีการวัดสมรรถนะทาง<br>สิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์โดยตรง<br>กับนโยบายและเป้าหมาย                |
| -ข้อเสีย            | -ไม่ได้พิจารณาถึงเรื่องเวลา                                                          | -ไม่ได้พิจารณาตลอดวงจร<br>ชีวิตไม่พิจารณาถึงปริมาณ<br>การใช้ทรัพยากร                                 | -ยากต่อการวิเคราะห์ผลกระทบ<br>ระดับโลก ภูมิภาคและตลอดวงจร<br>ชีวิต                 | -ให้ความสัมพันธ์ที่ไม่สมบูรณ์<br>ในการวัดสมรรถนะทาง<br>สิ่งแวดล้อม                         |

ที่มา: SETAC. (2003). เครื่องมือการจัดการและประเมิน. Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programs.

ตาราง 1 (ต่อ)

| เครื่องมือ              | LCA<br>(Life Cycle Assessment)                                       | RA (Risk Assessment)                                                                                 | EIA (Environmental Impact<br>Assessment)                                                                                     | EPE (Environmental<br>Performance Evaluation)                                                 |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ผู้ใช้:<br>อุตสาหกรรม   | -มุ่งเน้นในการปรับปรุง<br>-กลยุทธ์การวางแผนระยะยาว<br>-ติดต่อสื่อสาร | -เพื่อตรวจสอบการยอมรับ<br>ของความเสถียร                                                              | -เพื่อให้เป็นไปตามความ<br>ต้องการทางกฎหมาย<br>-เพื่อระบุหรือชี้วัดความ<br>ต้องการในการเปลี่ยนแปลง<br>โครงการเพื่อลดผลกระทบลง | -เพื่อวัดสมรรถนะทาง<br>สิ่งแวดล้อมและการ<br>ปรับปรุง<br>-เพื่อชี้วัดกลยุทธ์โอกาสทาง<br>ธุรกิจ |
| หน่วยงานรัฐ             | -ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบ<br>วงจร                                     | -เพื่ออธิบายสถานการณ์ที่<br>ยอมรับได้<br>-ในการจัดสรรลำดับ<br>ทรัพยากรให้เป็นไปตาม<br>ข้อกำหนดกฎหมาย | -เป็นเหมือนข้อมูลเข้าเพื่อช่วย<br>ในการตัดสินใจในการยอมรับ<br>แผนโครงการ                                                     | -เพื่อติดตามความก้าวหน้า                                                                      |
| หน่วยงานที่มี<br>ใช้รัฐ | -ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบ<br>วงจรแต่ยังมีข้อสงสัยในการ<br>ประยุกต์ใช้ | -เพื่อคัดค้านการยอมรับ<br>สถานการณ์ที่เป็นอันตราย                                                    | -เพื่อคัดค้านการยอมรับต่อ<br>แผนโครงการ                                                                                      | -ไม่ได้นำไปใช้                                                                                |

ที่มา: SETAC. (2003). เครื่องมือการจัดการและประเมิน. Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programs.

ตาราง 1 (ต่อ)

| เครื่องมือ                      | LCA<br>(Life Cycle Assessment)                                          | RA (Risk Assessment)                                        | EIA (Environmental<br>Impact Assessment)             | EPE (Environmental<br>Performance Evaluation) |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| เป้าหมายของ<br>การวิเคราะห์     | -ผลิตภัณฑ์ หรือ บริการ                                                  | -สถานการณ์ความเป็นพิษ                                       | -แผนสร้างโครงการโดยทั่วไป<br>เป็นโครงการก่อสร้าง     | -กิจกรรมต่างๆขององค์กร                        |
| การจำกัดพื้นที่                 | -ไม่จำกัด                                                               | -จำกัดเขตหรือพื้นที่                                        | -จำกัดเขตหรือพื้นที่                                 | -จำกัดกิจกรรมในองค์กร                         |
| พิจารณา<br>ผลกระทบ<br>ทางด้านใด | -ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวม<br>จากการใช้ทรัพยากรและของ<br>เสียที่เกิดขึ้น | -ผลกระทบต่อสุขภาพของ<br>มนุษย์และเป้าหมายทาง<br>สิ่งแวดล้อม | -ผลกระทบทั้งหมดของ<br>โครงการต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ | -ผลกระทบที่สัมพันธ์กับ<br>กิจกรรมขององค์กร    |
| การแปรผล                        | -การประเมินผลกระทบ                                                      | -เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่<br>ยอมรับ                         | -ต้นทุนและกำไรทาง<br>สิ่งแวดล้อม                     | -ระบุการชี้วัดที่ตรงกับปัญหา<br>ของสมรรถนะ    |
| ฐานการ<br>เปรียบเทียบ           | -หน่วยหน้าที่                                                           | -สถานการณ์ที่ต้องการการ<br>เปรียบเทียบ                      | -โครงการ                                             | -หน่วยการทำงาน                                |

ที่มา: SETAC. (2003). เครื่องมือการจัดการและประเมิน. Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programs.

จากตาราง 1 ทำให้พบว่าเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดคือ เครื่องมือการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการเพื่อมุ่งเน้นการปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการใช้ทรัพยากรและของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ ซึ่งเหมาะสมกับตัวอย่างที่จะทำการศึกษาในครั้งนี้

## **2.2 ความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)**

สืบเนื่องมาจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 และจากนโยบายการประหยัดพลังงานของประเทศต่าง ๆ ส่งผลให้มีความสนใจในนโยบายการประหยัดพลังงานซึ่งส่งผลต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยความสนใจในเรื่อง การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เริ่มมีความสนใจกันมากขึ้นภายหลังปี ค.ศ. 1980 อย่างไรก็ตาม การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ยังคงไม่ได้รับความนิยมมากนัก จนกระทั่ง ในปี 1990 หลายองค์กร นำโดย SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) และ ISO ได้นำกลับมาใช้อีกครั้ง โดยมีการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการต่าง ๆ ให้เป็นมาตรฐานมากยิ่งขึ้น ซึ่งทำให้การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน สังเกตได้จากการนำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ไปใช้ในการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ๆ ไม่ว่าจะเป็นระดับโลกระดับประเทศหรือแม้แต่ระดับองค์กร (กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด. 2548)

สำหรับในประเทศไทย การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ได้เริ่มโดย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการเผยแพร่ความรู้ด้าน การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมไทยตั้งแต่ปี 2540 โดยเริ่มจากการสัมมนาหรือการประชุมเชิงปฏิบัติการ จนกระทั่งในปัจจุบัน LCA ได้รับความนิยมมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

## **2.3 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)**

ได้มีผู้ให้คำนิยาม การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ตามความหมายต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

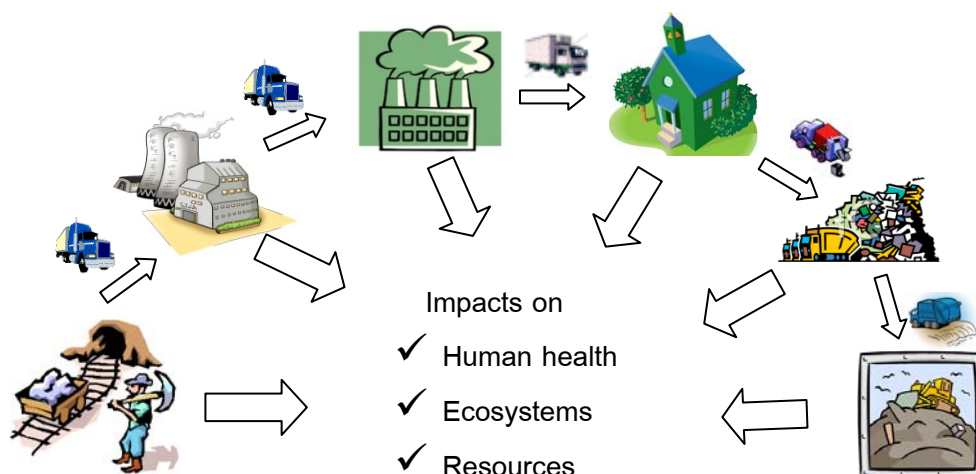
การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) คือกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มตั้งแต่การสกัดหรือการได้ซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2546: 1)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นการเก็บข้อมูลของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งจากการใช้พลังงาน การแพร่กระจายมลพิษ โดยรวบรวมจากทั้งกระบวนการของผลิตภัณฑ์ หรือบริการนั้นๆ โดยจะรวมในทุกกระบวนการ ทุกกิจกรรม จะแยกย่อยลงลึกไปถึงอะไหล่ หรือวัตถุดิบที่นำมาใช้การผลิตด้วย ซึ่งจะดูทั้ง 4 ส่วนคือ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการกับซากที่ใช้งานแล้วเรียกว่าทั้งกระบวนการของชีวิตผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เกิดจนไปถึงจุดสิ้นสุด โดยข้อมูลของแต่ละขั้นตอนจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล ผู้ผลิตอะไหล่ ชิ้นส่วนวัตถุดิบ รวมถึงผู้ที่อยู่ในวงจรโซ่อุปทาน (Supply Chain) ทั้งหมดจะต้องนำเสนอข้อมูล LCA ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นี้ เพื่อนำมาเข้าสู่ตลาดคำนวณ โดยทั่วไปจะมีซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่าต่างๆออกมาอย่างเป็นระบบ(เจ็ดสุวรรณรัตน์. 2551: ออนไลน์)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นกระบวนการประเมินภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรม โดยระบุจำแนกปริมาณพลังงาน และวัสดุที่ใช้รวมทั้งของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อประเมินผลกระทบของพลังงานและวัสดุที่ใช้เหล่านี้ต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่อระบุ ปริมาณ และประเมินโอกาส ที่จะปรับปรุงสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น การประเมินนี้ รวมถึงวัฏจักรชีวิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กระบวนการ หรือกิจกรรม ตั้งแต่ การสกัดวัตถุดิบ การขนส่งและการจัดจำหน่าย การใช้งาน การใช้ซ้ำ การบำรุงรักษา การรีไซเคิล และการจัดการของเสีย(ธารวรรรัตน์ มุ่งเจริญ. 2551)

ISO (International Standard For Organization) กล่าวว่า การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเทคนิคในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หรือการบริการตลอดวงจรชีวิต เริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ และพลังงาน การขนส่ง การผลิตผลิตภัณฑ์ การบรรจุ การบำรุงรักษา การใช้งาน และการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรือกล่าวได้ว่า พิจารณาทุกกระบวนการหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามลักษณะกลุ่มเป้าหมายคือ การใช้ทรัพยากร สุขภาพของมนุษย์ และผลต่อระบบนิเวศ (ISO. 1997)

SETAC ได้ให้คำนิยามของ LCA ว่าเป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การตัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัยและการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก ส่วนองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (SETAC. 2003)



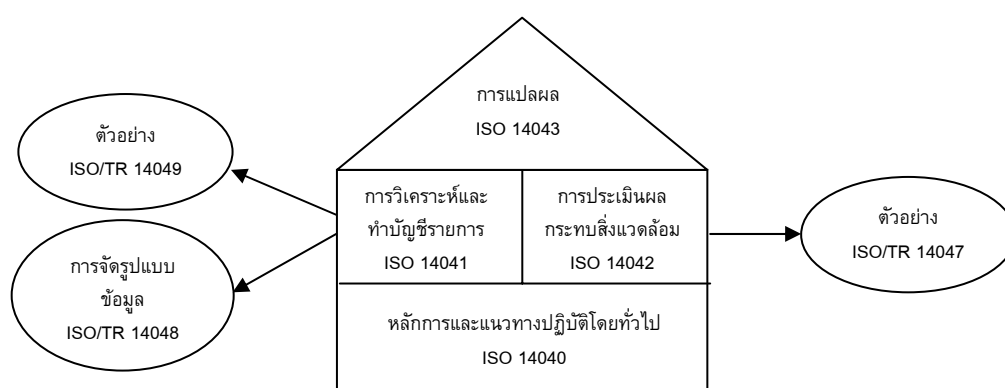
ภาพประกอบ 2 แสดง Life Cycle Assessment

## 2.4 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 7 ฉบับ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2546: 12-13) ดังนี้

- ISO 14040 – Life cycle assessment – Principles and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14041 – Life Cycle assessment – Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory Analysis เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต การวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)

- ISO 14042 – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
- ISO 14043 – Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA
- ISO 14047 – Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life Cycle Impact Assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14048 – Life Cycle Assessment – LCA Data Documentation format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA
- ISO 14049 – Life Cycle Assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์



ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

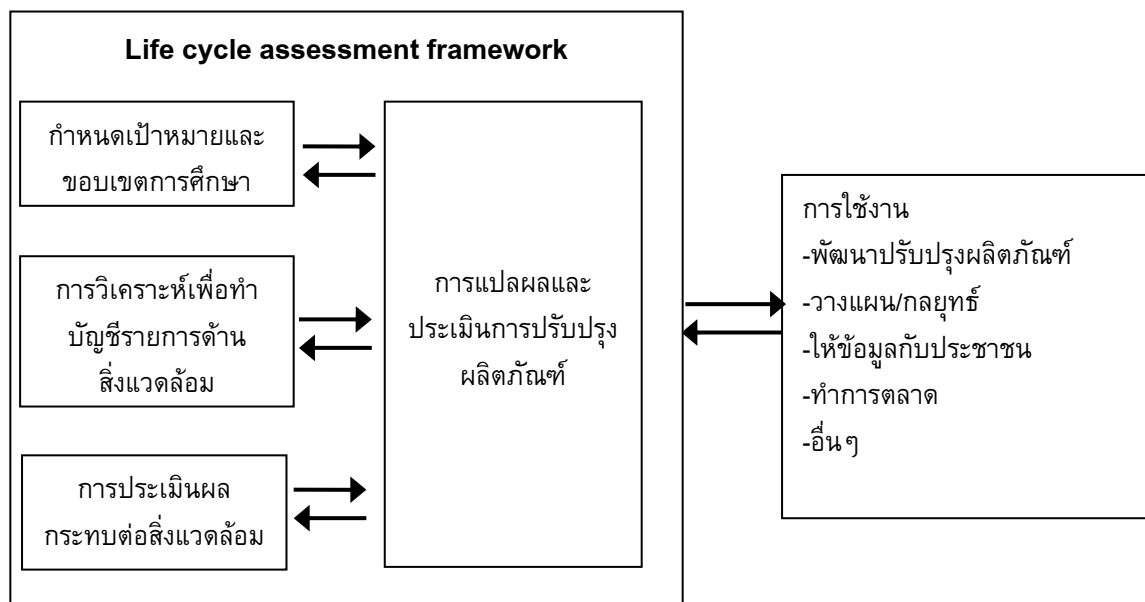
ที่มา:สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2546). คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์: 13

## 2.5 ขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition)
2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory analysis)

3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)
4. การแปลผลและการตีความ (Interpretation)



ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนการทำงานของ LCA

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2546). คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์: 17

### 2.5.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

#### 2.5.1.1 การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal)

เป็นขั้นตอนแรกและเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการศึกษการประเมินวัฏจักรชีวิต เนื่องจากจะมีผลต่อแนวทางและขอบเขตของการศึกษา สำหรับการตั้งเป้าหมายนั้นจะต้องชัดเจน นอกจากนี้ยังควรที่จะต้องระบุถึงเหตุผลของการศึกษา ผลของการศึกษา การนำผลการศึกษาไปใช้ และผู้ใช้ผลการศึกษา เช่น วิศวกรผู้ออกแบบนำผลของการศึกษาไปใช้ในการปรับปรุงรูปแบบของผลิตภัณฑ์

#### 2.5.1.2 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (scope)

เป็นการระบุสิ่งที่ต้องการประเมินและรายละเอียดภายในระบบซึ่งรวมถึงวิธีในการประเมิน โดยการกำหนดขอบเขตต้องครอบคลุมถึง หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ หน่วยหน้าที่ผลิตภัณฑ์ที่

ต้องการศึกษา ขอบเขตของผลิตภัณฑ์ วิธีการลงบัญชี ข้อมูลที่ต้องการ สมมติฐานที่ใช้ ข้อจำกัดของการศึกษา คุณภาพของข้อมูลเบื้องต้น

การกำหนดขอบเขตของการศึกษา ควรอธิบายหรือมีการกำหนดอย่างเพียงพอ เพื่อให้แน่ใจว่ารายละเอียดการศึกษามีความเกี่ยวข้องและเพียงพอต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้

วัตถุประสงค์ของการกำหนดขอบเขตการศึกษา คือ เพื่อบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของการศึกษา LCA ซึ่งควรประกอบไปด้วย

- การกำหนดสิ่งที่ศึกษาและหน่วยงานทำงาน
- การกำหนดพารามิเตอร์ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- การบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับ

เป้าหมายในการทำ LCA

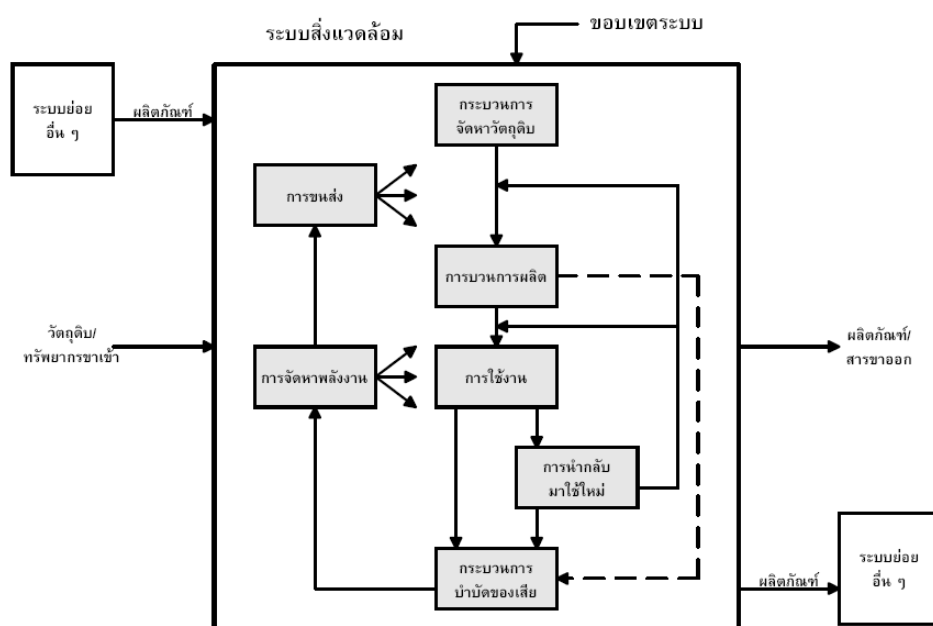
- การปันส่วนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Allocation) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์

#### 2.5.1.3 ขอบเขตของระบบ (System boundaries)

ขอบเขตของระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) กับสิ่งแวดล้อมหรือกับระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยระบบผลิตภัณฑ์คือ ระบบที่ถูกจำลองขึ้นมาจากกระบวนการหน่วย (Unit Process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกันโดยอาศัยการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่ต้องนำไปบำบัดของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง ดังนั้นในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วย กระบวนการย่อย ผังการไหลของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ และผังการไหลออกของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

ขอบเขตที่กำหนดขึ้นในการศึกษาวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการศึกษาระบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการย่อย รวมถึงสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องในการศึกษาซึ่งในทางอุดมคติการทำ LCA จำเป็นต้องศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกทุกตัวที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตภัณฑ์ แต่ในความเป็นจริงเป็นไปได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล ทรัพยากรและเวลาที่มีจำกัด ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตระบบจึงอาจมีการเลือกศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยการคัดเลือกกว่าจะศึกษาข้อมูลใดหรือละเว้นไม่ศึกษาข้อมูลใดจำเป็นต้องมีเกณฑ์ประกอบในการตัดสินใจที่ชัดเจนและอธิบายได้

การจัดทำแผนภาพการไหลของกระบวนการ (Process Flow Diagram) ภายในระบบผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งจำเป็นและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาเนื่องจากทำให้การระบุสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์เป็นไปได้อย่างครบถ้วน ทำให้การวิเคราะห์ดุลมวลสารและพลังงานของแต่ละกระบวนการเป็นไปได้ถูกต้อง



ภาพประกอบ 5 ตัวอย่างขอบเขตระบบและระบบผลิตภัณฑ์ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำ LCI

ที่มา:สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2546). คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์: 24

#### 2.5.1.4 การกำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Functional and Functional unit)

##### 1) หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Functional)

ผลิตภัณฑ์อาจจะมีหน้าที่หลายอย่าง ซึ่งหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นที่อาจถูกเลือกมาเพื่อการศึกษา การประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งขึ้นอยู่กับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาดังนั้นในการกำหนดขอบเขตของการศึกษาจึงจำเป็นต้องระบุหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่กำลังทำการศึกษาให้ชัดเจน

##### 2) หน่วยการทำงาน (Functional unit)

ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ มีความสำคัญสำหรับการเปรียบเทียบผลของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งหน่วยการทำงานมีได้หลายรูปแบบสำหรับเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดหน่วยหน้าที่จะประกอบด้วย

- ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์
- ความคงทนของผลิตภัณฑ์
- คุณสมบัติพื้นฐาน

#### 2.5.1.5 คุณภาพของข้อมูล (Data quality)

ต้องมีการกำหนดคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการศึกษาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพนั้นย่อมส่งผลต่อคุณภาพของ บทสรุปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่กำลังทำการศึกษา คุณภาพของข้อมูลสามารถอธิบาย และประเมินได้ภายใต้ประเด็นดังต่อไปนี้

- คุณภาพของข้อมูลในบัญชีรายการ
- ช่วงเวลาในการศึกษา
- ระดับพื้นที่ของการศึกษา เช่นระดับโลก ระดับภูมิภาค
- เทคโนโลยีของการศึกษา
- แหล่งที่มาของข้อมูล
- วิธีในการได้มาของข้อมูล
- ความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล รวมถึงการเป็นตัวแทนของข้อมูล

## 2.5.2 การจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory, ISO 14041,1998)

การจัดทำบัญชีรายการ เป็นขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่ง จุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการก็คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจาก กระบวนการต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และทำการคำนวณ เพื่อหาปริมาณสารที่เข้า (Input) และสารที่ออก (Output) ของระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งสารที่เข้าและสารที่ ออกเหล่านี้รวมถึงการใช้ทรัพยากรและการปล่อยสารออกสู่ อากาศ น้ำ และดิน การเก็บข้อมูลควรอยู่ ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและควรประกอบด้วยรายละเอียดของกระบวนการผลิต ผังการไหลของ กระบวนการ และลักษณะข้อมูล ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการจะต้อง ประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

### 2.5.2.1 การสร้างผังแสดงกระบวนการ (Product System)

เป็นการระบุถึงกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ในรูปแบบผังแสดงกระบวนการ โดยที่ในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นมีกระบวนการต่างๆมากมาย ซึ่งจะ เริ่มขึ้นตั้งแต่กระบวนการ การดัดแปลงวัตถุดิบและพลังงานจากสิ่งแวดล้อมมาใช้แล้วผ่านขั้นตอนต่างๆ ใน การผลิต, การบริโภคและจบลงที่การกำจัดของเสีย หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปจัดการยัง โรงงานบำบัดของเสีย ซึ่งขั้นบางขั้นจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือกำจัดทิ้งในบางขั้นส่วนที่ไม่ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นการจำกัดก็จะเกี่ยวพันกับอีกหลายกระบวนการ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ พลังงานและทรัพยากร ดังนั้นท้ายสุด วัสดุจากทุกกระบวนการจะกลับสู่สิ่งแวดล้อมโดยการปล่อยออก สู่ น้ำ อากาศและดิน

### 2.5.2.2 การรวบรวมข้อมูล

สำหรับในขั้นตอนนี้ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สองของการทำบัญชีรายการ ซึ่งจะเป็นการรวบรวมข้อมูลในแต่ละขั้นตอน โดยที่ในแต่ละขั้นตอนที่แตกต่างกันสามารถแยกเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยแสดงรายละเอียดของสารขาเข้า (วัตถุดิบและพลังงาน) และสารขาออก (ผลิตภัณฑ์ ของเสีย มลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ น้ำ และดิน) ซึ่งความยากง่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูลจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษา และควรหลีกเลี่ยงการนับซ้ำ เมื่อพบว่าข้อมูลที่ไม่สามารถสืบหาได้โดยตรง อาจใช้แหล่งข้อมูลอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

- ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นหรือนักออกแบบกระบวนการ
- คำนวณทางวิศวกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและองค์ประกอบทางเคมีของกระบวนการ
- การประมาณจากกระบวนการหรือวัตถุดิบที่คล้ายกัน
- สิ่งตีพิมพ์และฐานข้อมูลแหล่งอื่น

#### 2.5.2.3 ความถูกต้องของข้อมูล (Validation of Data)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต้องดำเนินการในระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูลหรือคัดเลือกข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์จะแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูลหรือข้อมูลนั้นมีความใกล้เคียงกันกับกระบวนการอื่น ๆ

#### 2.5.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

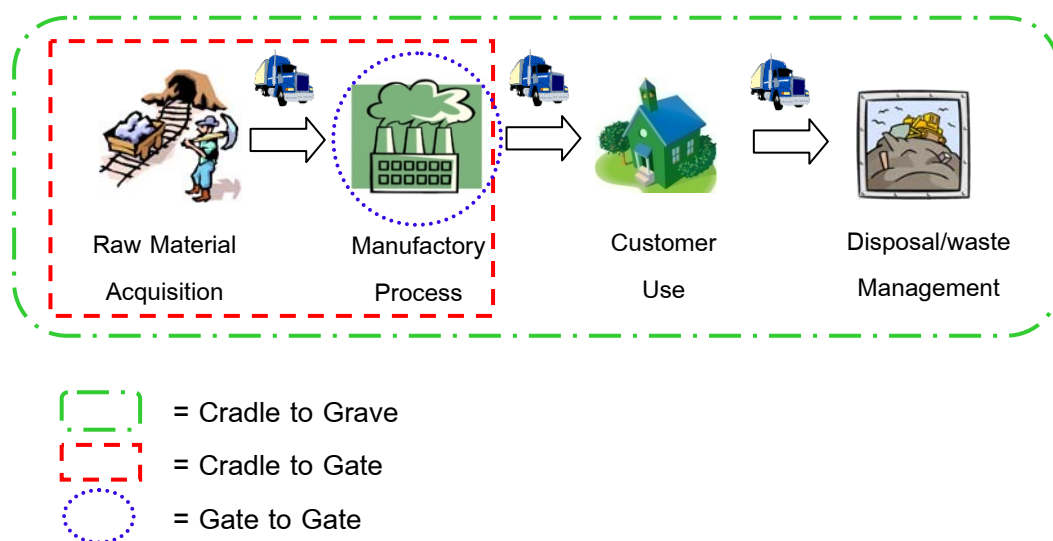
สำหรับในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำบัญชีรายการ โดยที่การทำบัญชีรายการ จำเป็นต้องมีการปรับสารเข้าและออกในแต่ละกระบวนการ โดยที่สารเข้าและออกในแต่ละกระบวนการจะถูกแปลงออกมาเป็นมวลสารเข้าและออกด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์จะถูกแปลงออกมาเป็นตัวเลขการใช้ทรัพยากรและการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

#### 2.5.2.5 รูปแบบในการพิจารณาฐานข้อมูลในแต่ละประเภท

- 1) Cradle to Grave: เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบสมบูรณ์ โดยเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน หรือกล่าวได้ว่าเริ่มพิจารณาตั้งแต่เกิดจนถึงตาย ซึ่งในการพิจารณาแบบนี้จำเป็นต้องใช้เวลาที่มากและมีค่าใช้จ่ายที่สูง
- 2) Cradle to Gate: เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์แต่จะไม่รวมขั้นตอนการใช้งานและการกำจัดซากหลังจากการใช้งาน ซึ่งการพิจารณาแบบนี้จะทำให้ได้ผลในการประเมินที่

จำกัด แต่การพิจารณาแบบนี้จะทำให้ลดความยุ่งยากของการเก็บรวบรวมข้อมูล จึงทำให้ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าการพิจารณาแบบแรก ซึ่งการพิจารณารูปแบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในการทำเอกสารการรับรองผลิตภัณฑ์

- 3) Gate to Gate: เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งโซ่อุปทาน ซึ่งผลที่ได้จะน้อยกว่าการพิจารณารูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2



ภาพประกอบ 6 แสดงการพิจารณาฐานข้อมูลของการประเมินวัฏจักรชีวิต

### 2.5.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment, ISO 14042, 2000)

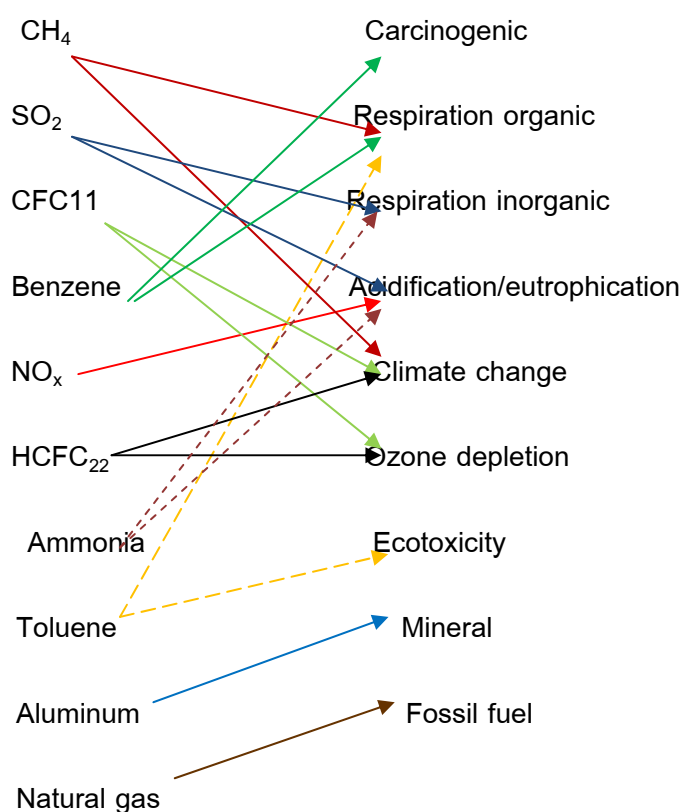
สำหรับในขั้นตอนนี้จะเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยจะใช้ข้อมูลของทรัพยากร และพลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการผลิต โดยจะรวมถึงการปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตด้วย หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเป็นการวิเคราะห์สารที่เข้าและออกจากกระบวนการต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อมูลสารเข้าและออกจากกระบวนการทั้งหมดจะได้จากขั้นตอนที่สองหรือในขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ โดยที่ขั้นตอนการประเมินผลกระทบจะประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

#### 2.5.3.1 การเลือกชนิดและประเภทของผลกระทบ (Selection of Impact Categories, Category Indicator and Characterization Models)

การจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้างและเกิดขึ้นในกระบวนการใดบ้าง โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาใช้วิเคราะห์และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดอย่างเป็นหมวดหมู่

### 2.5.3.2 การจัดกลุ่มผลกระทบ (Classification)

หลังจากที่มีการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบและแบบจำลองในการทำ Characterization แล้ว ในขั้นตอนนี้จะต้องนำข้อมูลสารเข้าและสารออกทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการ LCI มาจำแนกตามกลุ่มผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้ว่าเป็นหมวดหมู่ เช่น มีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ถูกจัดอยู่ในผลกระทบประเภทการทำให้เกิดโลกร้อนขึ้นหรือ Climate Change โดยที่ในกลุ่มผลกระทบหนึ่งอาจมีสารเข้าหรือสารออกมากกว่า 1 ตัวที่เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ

ที่มา: Pre'Consultants. (2001). Methodology Annex

### 2.5.3.3 การกำหนดบทบาท (Characterization)

การกำหนดบทบาทเป็นขั้นตอนในการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับสารพื้นฐาน โดยดูค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Potential Environmental Impact) และใช้ค่า factor (Characterization

factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ ตามสมการ

$$EP_j = \sum (Q_j \times EF_{ij})$$

$EP_j$  = (environmental impact potential) คือค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ (kg substance equivalent)

$Q_j$  = (Quantity of substance) คือปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

$EF_{ij}$  = (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/kg substance j)

#### 2.5.3.4 การเทียบหน่วย (Normalization)

คือ ขั้นตอนในการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่มีต่อสิ่งแวดล้อม โดยมองเป็นภาพรวมทั้งหมด โดยจะทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์หรือบริการต่ออายุการใช้งาน และสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นๆต่อคนต่อปี เช่น ศึกษาการปล่อย  $CO_2$  ที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา ว่ามีปริมาณเท่าใดเมื่อเทียบกับการปล่อย  $CO_2$  ในระดับทวีปเอเชีย ตามสมการ

$$NP_{j(product)} = EP_j / (T \times ER_j)$$

$NP_{j(product)}$  = (Normalized environment impact potential) ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์ (person)

$T$  = (Lifetime of product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

$ER_j$  = (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

#### 2.5.3.5 การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

ขั้นตอนนี้เราจะให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยจะทำการเปรียบเทียบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดสำคัญที่สุด ซึ่งลักษณะของผลกระทบจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากร ตามสมการ

$$WP_j = WF_j \times NP_j$$

$WP_j$  = (Weighted environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม  $j$  ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (person for target year; Pt)

$WF_j$  = (Weighting factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม  $j$  ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

### 2.5.4 การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการทำบัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา โดยจะจัดทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน

สำหรับ ISO (International Standard for Organization) ได้ให้นิยามสำหรับการแปลผลไว้ 2 ความหมาย คือ เพื่อวิเคราะห์ผล เพื่อให้ได้ข้อสรุป โดยอธิบายข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ โดยใช้ผลการศึกษากการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA หรือวิเคราะห์บัญชีรายการ เพื่อรายงานผลของการแปลผลวัฏจักรชีวิตลักษณะที่ชัดเจน และเพื่อนำเสนอผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์บัญชีรายการที่สามารถเข้าใจได้ สมบูรณ์ ถูกต้อง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายของการศึกษาประเด็นหลักๆที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแปลผลนี้จะเกี่ยวข้องกับประเด็นดังต่อไปนี้

- การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- การประเมินผลที่สมบูรณ์ ละเอียดย และเที่ยงตรง
- การตรวจสอบบทสรุปว่าตรงกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ข้อจำกัดและสมมติฐานอื่นๆหรือไม่

## 2.6 Life Cycle Assessment Software

ปัจจุบันบริษัทและองค์กรต่างๆ ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA เพื่อแก้ปัญหาในการจัดการกับข้อมูลในปริมาณและการประเมินผลของ LCA บางโปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้นในการประเมิน LCA อย่างสมบูรณ์ นั่นคือ ประกอบด้วย การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินค่าผลกระทบ และบางโปรแกรมมีการแปลข้อมูล ในหลายโปรแกรมจะมีตัวอย่างโปรแกรมให้ผู้สนใจเข้าไปศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ตัวโปรแกรมเหล่านี้มีข้อจำกัดในการศึกษา ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้โปรแกรมมีดังนี้

- ฐานข้อมูล
- การคำนวณบัญชีรายการ
- การประเมินผลกระทบ
- การแปลผลข้อมูล

ซึ่งคุณสมบัติของโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตและโปรแกรมแสดงดัง  
ตาราง 2

ตาราง 2 การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA

| หัวข้อ                                | CUMPA<br>N 1.44  | ECO-it<br>1.0                 | EDIP PC-<br>tool                     | EPS 4.0<br>Design System | Gabi 3                                      | SimaPro 4.0                             | TEAM                      | Umberto 3.5                                       |
|---------------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|
| ประเทศ                                | German           | Holland                       | Denmark                              | Sweden                   | Germany                                     | Holland                                 | France                    | Germany                                           |
| จำนวนลิขสิทธิ์ที่ขายได้               | y                | 70                            | 100                                  | >200                     | 250                                         | >600                                    | >200                      | >350                                              |
| ราคา                                  | 62               | \$215                         | \$700                                | \$3,200                  | \$2,500-8,000                               | \$2,500                                 | \$3,000                   | \$1,000-                                          |
| เวลาที่ใช้ในการศึกษา                  | \$6,000          | <2ชั่วโมง                     | <1สัปดาห์                            | <1สัปดาห์                | <1เดือน                                     | <1วัน                                   | <1วัน                     | 20,000                                            |
| วิธีการประเมินผลกระทบ                 | 1 วัน<br>Several | All single<br>score<br>method | EDIP,<br>Environment<br>al<br>Method | EPS                      | Eco Indicator<br>+create your<br>own method | EI95,EI99,EP<br>97,<br>CML,EDIP,EP<br>S | CML,EPA,<br>IPCC,CVC<br>H | <1สัปดาห์<br>Eco Indicator,<br>Swiss eco<br>Point |
| เป็นไปตามมาตรฐาน<br>ISO               | x                | -                             | x                                    | x                        | x                                           | x                                       | x                         | x                                                 |
| แสดงผลในรูปตาราง                      | x                | x                             | x                                    | x                        | x                                           | x                                       | x                         | x                                                 |
| แสดงผลในรูปกราฟ                       | x                | x                             | x                                    | x                        | x                                           | x                                       | x                         | x                                                 |
| การปรับปรุงข้อมูล                     | ทุกปี            | ช่วงเวลา<br>อื่น              | ช่วงเวลาอื่น                         | ทุกปี                    | ช่วงเวลาอื่น                                | ทุก 2 ปี                                | ทุกปี                     | ช่วงเวลาอื่น                                      |
| แสดงค่าทางสิ่งแวดล้อม<br>เป็นหน่วย Pt | -                | x                             | x                                    | x                        | x                                           | x                                       | x                         | x                                                 |

X หมายถึง มีคุณสมบัติในโปรแกรม , - หมายถึง ไม่มีคุณสมบัติในโปรแกรม

ที่มา: Jonbrink; et al. (2000). การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA. LCA Software Survey.

ตาราง 2 (ต่อ)

| หัวข้อ                                     | CUMPAN<br>1.44 | ECO-it 1.0 | EDIP PC-<br>tool | EPS 4.0<br>Design System | Gabi 3 | SimaPro 4.0 | TEAM | Umberto 3.5 |
|--------------------------------------------|----------------|------------|------------------|--------------------------|--------|-------------|------|-------------|
| แสดงผลในแต่ละประเภท<br>ของผลกระทบ          | x              | -          | x                | x                        | x      | x           | x    | x           |
| สามารถผลเพื่อเปรียบเทียบ<br>ผลิตภัณฑ์      | x              | -          | x                | x                        | x      | x           | x    | x           |
| สามารถดึงผลการประเมิน<br>ออกจากโปรแกรมได้  | x              | x          | x                | x                        | x      | x           | x    | x           |
| ตรงเป้าหมาย สำหรับ<br>วิศวกรออกแบบ         | x              | x          | x                | x                        | -      | x           | -    | x           |
| ตรงเป้าหมาย สำหรับ<br>วิศวกรสิ่งแวดล้อม    | x              | -          | x                | x                        | x      | x           | x    | x           |
| ตรงเป้าหมาย สำหรับ<br>ผู้เชี่ยวชาญด้าน LCA | -              | -          | -                | x                        | x      | x           | x    | x           |
| มีฐานข้อมูล                                | x              | x          | x                | x                        | x      | x           | x    | x           |
| สามารถเพิ่มข้อมูลเข้าไปได้                 | x              | x          | x                | x                        | x      | x           | x    | x           |

X หมายถึง มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม , - หมายถึง ไม่มีคุณสมบัตินั้นในโปรแกรม

ที่มา:Jonbrink; et al. (2000). การเปรียบเทียบโปรแกรม LCA. LCA Software Survey.

## 2.7 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

จากตารางการเปรียบเทียบข้างต้น จะเห็นได้ว่า โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มีการวิเคราะห์ผลกระทบตามระบบ ISO มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ มีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปแบบตารางหรือกราฟ เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับวิศวกรสิ่งแวดล้อม วิศวกรออกแบบ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ ใช้ระยะเวลาในการศึกษาไม่มาก มีการปรับปรุงข้อมูล นอกจากนี้แล้วสามารถสังเกตได้ว่ามีโปรแกรม LCA อื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ SimaPro แต่ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือราคาและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณลิขสิทธิ์ที่ขายได้ของโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในงานวิจัยนี้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีความเหมาะสมในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจาก Pre' Consultants ประเทศ เนเธอร์แลนด์ เพื่อใช้ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ทำการศึกษา เป็นการนำเอาขั้นตอนต่างๆของการทำประเมินวัฏจักรชีวิต มาจัดอย่างเป็นระบบโดยข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรมเพื่อที่ผู้ใช้จะนำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมสามารถนำไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่วไป (Pre'Consultants. 2007)

โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถแบ่งออกดังนี้

1. กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผล
2. การรวบรวมข้อมูล: เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น
3. การประเมินผลกระทบ: โปรแกรมมีวิธีการประเมินมาตรฐานหลายแบบ เช่น Eco-indicator 95, Eco-indicator 99, EDIP, EPS 2000 เป็นต้น

โดยที่ขั้นตอนในการประเมินผลกระทบของโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็นขั้นตอนดังนี้

- Characterization: การจำแนกผลกระทบของวัตถุดิบ พลังงาน หรือสิ่งต่างๆ ที่มีส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นว่ามีผลกระทบอย่างไร อาทิเช่น สาร CO<sub>2</sub> ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนขึ้น เป็นต้น
- Damage Assessment: การแปลข้อมูลที่ทำกร Characterization แล้วให้อยู่ในรูปของผลกระทบหลัก 3 ทางด้วยกัน คือ ผลกระทบต่อมนุษย์ นิเวศวิทยา และการเสื่อมสลายของทรัพยากร

- Normalization: การหาความสำคัญของศักยภาพของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม
  - Weighting: การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอัตราส่วนของความสำคัญ (Weighting Factor) ขึ้นกับผู้ประเมิน
4. การแปลความหมายข้อมูล: การนำเอาผลจากการทำการบัญชีข้อมูลและการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมายตามขอบเขตที่ระบุ

## 2.8 Eco Indicator 99

วิธีการประเมินค่าทางผลกระทบสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี เช่น Ecoscarcity method และ Environmental method พัฒนาโดย Baumann (1994) EDIP (Environmental Design of Industrial Products) method พัฒนาโดย Wenzel (1997) EPS method พัฒนาโดย Centre for Environmental Assessment of products and material Systems และ EcoIndicator99 พัฒนาโดย Pre' Consultants (1999) โดยวิธี Eco Indicator ถูกใช้อย่างแพร่หลายและมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับสนุนข้อมูล สำหรับข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Phylipsen; et al. 2002) นอกจากนี้ยังถูกใช้เพื่อช่วยเหลือกระบวนการการออกแบบในการคัดเลือกวัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ขั้นตอนการหาค่าการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธี EcoIndicator99

1. วัตถุดิบ พลังงาน และของเสียจะถูกแจกแจง ประเภทของผลกระทบซึ่งมีทั้งหมด 11 ประเภท
2. ผลกระทบทั้ง 11 ประเภทจะถูกจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมาย
3. การให้น้ำหนักหรือความสำคัญและคะแนนเป็นคะแนนเดียว

สำหรับกลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบ มีดังนี้

**Human Health (สุขภาพมนุษย์) ประกอบด้วย**

- สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)
- ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance)

- ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance)
- สารแผ่รังสี (Radiation)
- ภาวะโลกร้อน (Climate change)
- การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion)

#### **Ecosystem** (ระบบนิเวศวิทยา) ประกอบด้วย

- ภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification/Eutrophication)
- ความเป็นพิษ (Ecotoxicity)
- การใช้พื้นที่ (Land use)

สำหรับผลกระทบด้านการใช้พื้นที่มี 2 ลักษณะคือ Conversion to continuous urban โดยจะเป็นการพิจารณากิจกรรมทางด้านการทำเมืองแร่ คือเป็นการนำพื้นที่ที่อยู่ในสภาวะธรรมชาติมาทำเป็นเหมืองแร่ ซึ่งในแต่ละต้นของโลหะที่สกัดได้เป็นการทำให้เกิดหลุมแร่ถือว่าการทำลายสภาวะของธรรมชาติ Occupation as industrial area เป็นการปรับเปลี่ยนพื้นที่ทางเกษตรกรรมมาเป็นพื้นที่ทางอุตสาหกรรม โดยที่ทั้งสองกรณีจะคิดว่าเป็นสาเหตุให้ความหลากหลายของพืชและสัตว์ลดลงเป็นการทำลายระบบนิเวศวิทยา

#### **Resource depletion** (การลดลงของทรัพยากร) ประกอบด้วย

- การใช้สินแร่ (Mineral)
- การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel)

ตาราง 3 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบ และสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ

| กลุ่มเป้าหมายของการทำลาย;หน่วย                                  | ประเภทของผลกระทบ                                                                                                                               | สารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Human health;<br>DALYs(Disability Adjusted<br>Life Years)       | Carcinogenic<br>Respiration of organic<br>Substance<br>Respiration of inorganic<br>substance<br>Radiation<br>Climate change<br>Ozone depletion | Arsenic, cadmium, nickel<br>Methane, benzene, xylene<br><br>CO, SO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub><br><br>Nuclear energy production<br>CO <sub>2</sub> , methane, CFCs<br>CFCs, HFCs |
| Ecosystem quality; PDF<br>(Potentially Disappeared<br>Fraction) | Acidification/eutrophication<br>Ecotoxicity<br>Land use                                                                                        | SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub><br>Heavy metal, benzene<br>Grassland, woods                                                                                     |
| Resource depletion;<br>(MJ surplus energy)                      | Mineral<br>Fossil fuel                                                                                                                         | Copper, nickel, zinc<br>Crude oil, coal                                                                                                                                             |

ที่มา: Phylipsen; et al. (2002). ความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบ และสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ. Assessing the environmental Potential of Clean material Technologies.

ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จะแสดงหน่วยเป็น DALY (disability-adjusted life years) ดัชนีนี้กำหนดโดย World Bank และ WHO

1. Fate analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่ กับความเข้มข้น
2. Effect analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารกับประเภทของผลกระทบต่อน้ำหนักของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์

3. Damage analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของขนาดของผลกระทบต่อน้ำหนัก ของสารกับจำนวนปีที่เจ็บป่วยซึ่งไม่สามารถทำอะไรได้ (DALY/kg)

ผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาแสดงในหน่วยสัดส่วนการสูญหายของความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตต่อพื้นที่ เนื่องจากผลกระทบหรือภาระทางสิ่งแวดล้อมแสดงหน่วยเป็น  $\text{PDF}/\text{m}^2/\text{year}$  (Potentially disappeared fraction)

1. Fate analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่ กับความเข้มข้น
2. Effect analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารกับหน่วยความเสี่ยง
3. Damage analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของหน่วยความเสี่ยงกับการสูญหาย  $\text{PDF}/\text{m}^2/\text{year}$

การใช้ทรัพยากร นำไปสู่การลดลงของทรัพยากรหรือปริมาณที่เหลืออยู่ทั้งในรูปของสินแร่ และเชื้อเพลิง แสดงหน่วยเป็นปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่หรือเชื้อเพลิง (MJ surplus energy)

1. Resource analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของการสกัดทรัพยากรอันนำไปสู่การลดลงของทรัพยากร
2. Damage analysis คือ เป็นการสร้างความสัมพันธ์ของการลดลงของทรัพยากรกับความพยายามที่เพิ่มขึ้นในการสกัดทรัพยากรในอนาคต

ผลจากการทำ Fate analysis, Effect analysis และ Damage analysis เหมือนกับผลจากการทำ Classification และ Characterization คือ เป็นการแจกแจงสารเข้าสู่ประเภทของผลกระทบ และทำการคำนวณค่าของผลกระทบแต่ละประเภท จากนั้นจะทำการหาขนาดของผลกระทบแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่า Normalization และการให้ความสำคัญของแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่า Weighting จาก Pre'Consultants

## Fate Factor (F)

|                   |                                                     |   |                                                                                              |
|-------------------|-----------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| F, w <sub>i</sub> | Air; Fate factor (m <sup>2</sup> .y)/m <sup>3</sup> | = | $\frac{\text{Concentration in air (mg/m}^3\text{)}}{\text{Emission (mg.y}^{-1}\text{)/m}^2}$ |
| F, w <sub>i</sub> | Drinking Water; Fate factor (m <sup>2</sup> .y)/l   | = | $\frac{\text{Concentration in water (mg/l)}}{\text{Emission (mg.y}^{-1}\text{)/m}^2}$        |
| F, w <sub>i</sub> | Food; Fate factor (m <sup>2</sup> .y)/(kg.d)        | = | $\frac{\text{Concentration by food (mg/kg/d)}}{\text{Emission (mg.y}^{-1}\text{)/m}^2}$      |

## Effect analysis (E)

$$E = UR / \text{Lifetime} * \text{Pop. Density}$$

$$\text{Incidence (cases/kg)} = \text{Effect (cases, } \mu\text{g}^{-1} \cdot \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})) * 10^9 * \text{Fate (m}^2 \cdot \text{y)/m}^3$$

## หน่วย (Unit)

$$E = \text{cases} \cdot \mu\text{g}^{-1} \cdot \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})$$

$$UR = \text{cases} \cdot \mu\text{g}^{-1} \cdot \text{m}^3$$

$$\text{Life time} = 70 \text{ year}$$

$$\text{Pop. Density} = \text{Person/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{DALYs per kg emission to } w_i &= \text{Incidence, } w_i \text{ air (cases/kg)} * \text{DALYs (inhalation)} + \\ &\text{Incidence, } w_i \text{ drw (cases/kg)} * \text{DALYs (oral uptake)} + \text{Incidence, } w_i \text{ food (cases/kg)} * \\ &\text{DALYs (oral uptake)} \end{aligned}$$

เมื่อ  $w_i$  = ผลกระทบจากระบบผลิตภัณฑ์สู่อากาศ, น้ำและอาหาร (cases/kg)

UR = Unit Risk

= โอกาสที่จะเป็นโรครันเกิดมาจากสารที่รับเข้าไปในความเข้มข้นหนึ่งไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อช่วงชีวิตหนึ่งของคน 1 คน ซึ่งกำหนดว่า 70 ปี

หลังจากการจัดกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ประเภท จะทำการเปรียบเทียบกับพื้นฐานโดยใช้ค่า Normalization และให้ค่าความสำคัญหรือน้ำหนักโดยใช้ค่า Weighting และรวมเป็นคะแนนเดียว (Single Score หรือ Indicator) ค่า Normalization และ Weighting ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตาราง 5 นอกจากนี้ แผนภาพขั้นตอนการคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามวิธี Eco Indicator 99 แสดงได้ดังภาพประกอบ 8

ตาราง 4 แสดงค่า Normalization และ Weighting สำหรับแต่ละกลุ่มเป้าหมายหรือลักษณะการทำลาย

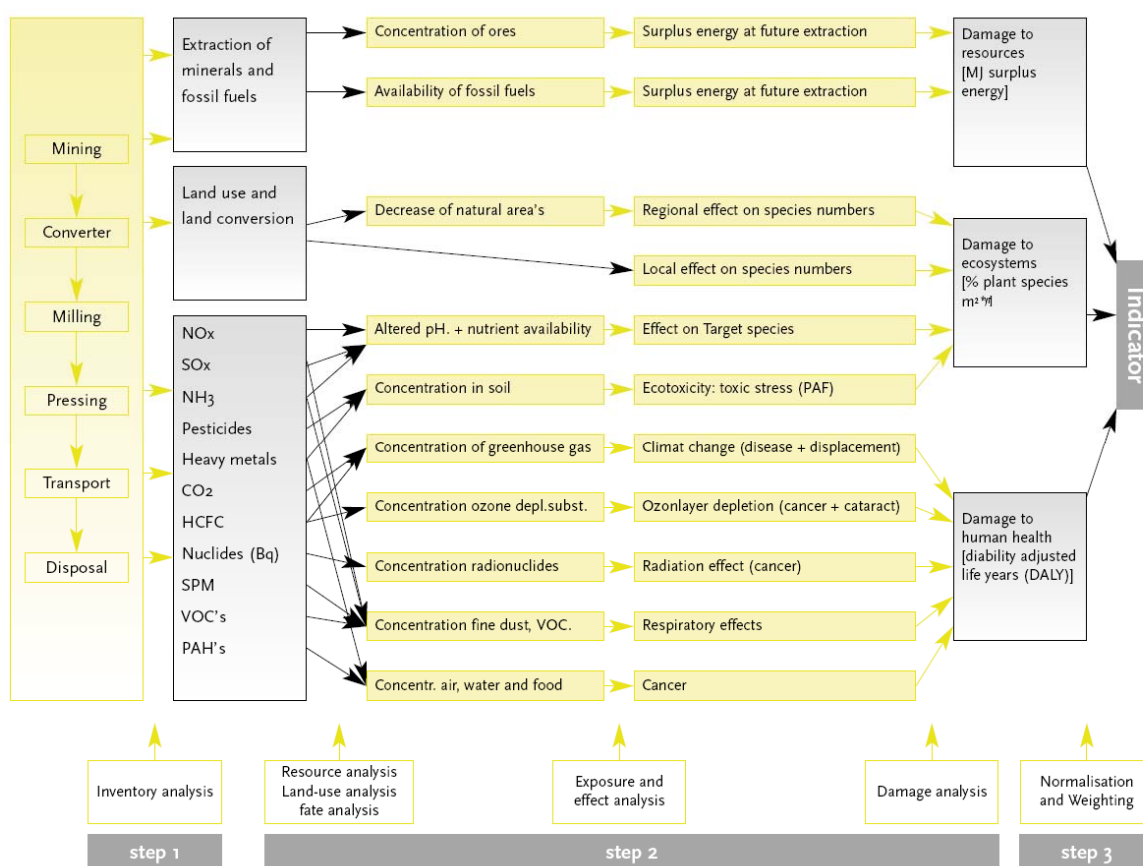
| Damage categories  | Pre' Consultants<br>Normalization factor | Pre' Consultants<br>Weighting factor |
|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
| Human health       | 64.7                                     | 400                                  |
| Ecosystem quality  | $1.95E^{-04}$                            | 400                                  |
| Resource depletion | $1.68E^{-04}$                            | 200                                  |

ที่มา : Program SimaPro Ver.7.1. ค่า Normalization และ Weighting สำหรับแต่ละกลุ่มเป้าหมายหรือลักษณะการทำลาย

ตาราง 5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินวิธีต่างๆ

| Assessment Method   | Steps included   |        |               |           |
|---------------------|------------------|--------|---------------|-----------|
|                     | Characterization | Damage | Normalization | Weighting |
| Eco-indicator 95    | ●                |        | ●             | ●         |
| Eco-indicator 99    | ●                | ●      | ●             | ●         |
| CML 92              | ●                |        | ●             |           |
| CML 2 baseline 2008 | ●                |        | ●             |           |
| EDIP 96             | ●                |        | ●             | ●         |
| EPS 2000            | ●                | ●      |               | ●         |

ที่มา: Chomkumsri. (2003) อังอิง นรรัตน์ รอดประเสริฐ. (2548). การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินวิธีต่างๆ



ภาพประกอบ 8 แผนภาพการประเมินค่าโดยวิธี Eco Indicator 99

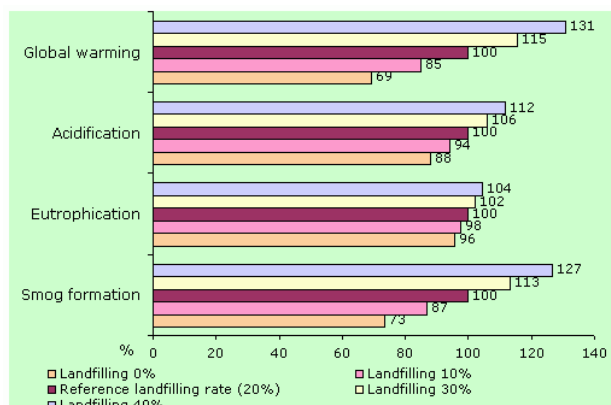
ที่มา : Pre' Consultants. (2000). A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment Manual for Designers. 25

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถสรุปได้ดังนี้

Ongmonkolkul (2001) ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของกล่องกระดาษ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นห้าช่วง ได้แก่ ช่วงการเตรียมวัตถุดิบ ช่วงการผลิต ช่วงการขนส่ง ช่วงการใช้งานและช่วงการกำจัดเมื่อหมดอายุการใช้งาน ตลอดจนการวิเคราะห์วิธีการที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 4.0 ซึ่งกำหนดประเด็นสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญที่นำมาพิจารณาคือ Global Warming, Acidification, Eutrophication, Photochemical Ozone Formation, Energy Use and Solid Waste Generation แสดงดังภาพที่ 13 จากการศึกษาพบว่ากระบวนการฝังกลบเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดที่มีต่อแนวโน้มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยผลกระทบนั้นมาจาก มลพิษทางอากาศ ที่มีการปลดปล่อยออกมา

ระหว่างฝังกลบ ซึ่งก๊าซดังกล่าว ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซแอมโมเนีย รองลงมาคือการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการอบแห้งกระดาษ ขยะจากกระบวนการผลิตกระดาษแข็งและกล่องกระดาษ ถ้าอัตราการนำไปฝังกลบสูงจะทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมสูงขึ้น ดังนั้นการนำกล่องกระดาษไปฝังกลบจึงไม่ใช่การจัดการที่เหมาะสม ยกเว้นแต่ในสถานที่ฝังกลบได้มีการจัดการก๊าซที่เกิดขึ้นอย่างปลอดภัย



ภาพประกอบ 9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากวัฏจักรชีวิตของกล่องกระดาษ

ที่มา: Ongmonkolkul. (2001)

Thiriez และ Gutowski (2006) เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเครื่องฉีดพลาสติก 3 ประเภทได้แก่ เครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic, Hybrid และ All-electric โดยการจัดทำบัญชีรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) ของกระบวนการฉีดและวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนของการฉีดพลาสติกด้วยวิธี SEC (Specific Energy Consumption) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องฉีดพลาสติก โดยข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกที่นำมาศึกษาได้จากแหล่งข้อมูลจำนวน 100 แหล่งในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีความแตกต่างกันไปและผลจากการศึกษาพบว่าอัตราการใช้พลังงานจะขึ้นกับชนิดและปริมาณของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการฉีดพลาสติก ผลจากการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic, แบบ Hybrid และแบบ All-electric เท่ากับ 19.0, 13.2 และ 12.3 MJ/kg ตามลำดับ และขั้นตอนในการผลิตพอลิเมอร์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อเทียบในรูปของการใช้พลังงานกับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อพิจารณาการปล่อยสารมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตพอลิเมอร์พบว่ามีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงาน เช่น กระบวนการได้มาของพอลิโพรไพลีน 1 กิโลกรัมจะก่อให้เกิด Volatile Organic Compound (VOC), Particulate mater, Ketones, Aldehydes และ Organic Acid เท่ากับ 0.185 กรัม, 0.030 กรัม, 0.0099 กรัม, 0.0022 กรัมและ 0.0018 กรัม ตามลำดับ

Marco *et al.* (2006) ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการฉีดพลาสติกโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) ด้วยโปรแกรม EverdEE เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบผลิตภัณฑ์และการคัดเลือกวัตถุดิบในกระบวนการฉีดพลาสติกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกโดยใช้วัตถุดิบต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene) จากการรีไซเคิลขวดพลาสติก (RPET), พอลิโพรไพลีน (Polypropylene) และ อลูมิเนียม (Ferrous) โดยพิจารณาผลกระทบตั้งแต่ขั้นตอนของการผลิตวัตถุดิบ, การผลิตผลิตภัณฑ์ และการขนส่งผลิตภัณฑ์ แต่ไม่รวมขั้นตอนของการกำจัดของเสียจากกระบวนการผลิต จากผลการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบ 3 ประเภทที่ใช้ในกระบวนการฉีดพลาสติกผลิตภัณฑ์ Cloth-horses พบว่าพอลิเอทิลีนจากการรีไซเคิลขวดพลาสติก ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดขณะที่การใช้พอลิโพรไพลีนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

จันจิรา หะยียามา (2547) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตสายไฟชนิดหุ้มฉนวนพีวีซี โดยประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นใน 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการผลิต ขั้นตอนการขนส่ง และขั้นตอนการจัดการหลังหมดอายุการใช้งาน โดยเปรียบเทียบกับสายไฟชนิดใหม่ซึ่งใช้พีอีทดแทนพีวีซี โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5.1 และวิธี Eco-Indicator 99 ในการประเมินผลการศึกษาพบว่า ในขั้นตอนการผลิต มีผลกระทบต่อความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคิดเป็น 43.6 คะแนน ซึ่งเป็นผลมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการขนส่ง 0.0576 คะแนน ในขณะที่ขั้นตอนการจัดการหลังหมดอายุการใช้งานด้วยวิธีการรีไซเคิล เฝ และฝังกลบคิดเป็น -8.73 และ 0.427 คะแนนตามลำดับ ในขณะที่สายไฟประเภทหุ้มฉนวนพีอี ให้ผลกระทบน้อยกว่าคือ ขั้นตอนการผลิตเท่ากับ 42 คะแนน การขนส่ง 0.0576 คะแนน และขั้นตอนการจัดการหลังหมดอายุการใช้งานด้วยวิธีการต่างๆ -8.8, 30.3 และ 0.0737 คะแนนตามลำดับ ผลการวิจัยนี้ทำให้เห็นว่าผลกระทบที่แตกต่างเชิงปริมาณของสายไฟที่ผลิตจากวัสดุหุ้มฉนวนที่ต่างกันสองประเภทตลอดวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ยังบ่งชี้จุดอ่อนที่สามารถนำไปพัฒนาและปรับปรุงการผลิต การคัดสรรผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิตรวมถึงการจัดการหลังหมดอายุการใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อลดผลกระทบด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมด้วย

นรรัตน์ รอดประเสริฐ (2548) ได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ สองรุ่นคือรุ่นมาตรฐานและรุ่นซูเปอร์ โดยใช้โปรแกรม SimaPro 5.1 และวิธี EDIP จากการศึกษาพบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเป็นพิษทางอากาศต่อมนุษย์ในขั้นตอนการใช้งานเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์คิดเป็น 93.13% ในหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นมาตรฐานและ 92.15% ในหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นซูเปอร์ ขณะที่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเป็นพิษทางดินรื้อรังในขั้นตอนการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นมาตรฐานและรุ่นซูเปอร์เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศคิดเป็น 100% และ

ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลดลงของทรัพยากรในขั้นตอนการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นมาตรฐานและรุ่นซูเปอร์เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อการคงเหลือของทรัพยากรคิดเป็น 91.08% และ 89.85% ตามลำดับ

สุรศักดิ์ วิทย์ศลาพงษ์ (2548) ทำการรวบรวมฐานข้อมูลการใช้ทรัพยากร พลังงานและของเสียต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรและทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นที่ใช้ในบ้าน ชนิดหนึ่งประตุนขนาด 6.3 ลูกบาศก์ฟุต โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 6.0 และใช้วิธี EDIP (Environmental Design of Industrial Products) ผลการศึกษาพบว่าขั้นตอนการใช้งานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (83%) เนื่องจากการใช้งานปริมาณไฟฟ้าสูงตลอดอายุการใช้งาน รองลงมาคือขั้นตอนการผลิตคอมเพรสเซอร์ (5.31%) และขั้นตอนการฉีดโฟมในตู้ตัวโครงตู้ (3.56%)

ปริญญา บุญกนิษฐ; และคณะ (2549) ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผลการพิจารณาของทีมงานพัฒนาผลิตภัณฑ์พบว่าก่อนทำการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ ดังกล่าวมีชิ้นส่วนหลักที่ควรเร่งทำการปรับปรุงก่อน 2 ลำดับแรก คือ ชิ้นส่วนโครงผลิตภัณฑ์ (Housing) ที่ผลิตจากพลาสติก (Poly Carbonate, PC) และหม้อแปลง (Choke) บนแผ่นอุปกรณ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB) โดยผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุงด้วยวิธีการ Eco Indicator 99 แบบ Single Score อยู่ที่ค่าระดับผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ 55.3 mPt และหลังทำการปรับปรุงโดยทำการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนโครงผลิตภัณฑ์เป็นอลูมิเนียม (Aluminum Recycle) และทำการปรับปรุงออกแบบหม้อแปลงด้วยการ Chamfer Core Choke ตามความต้องการของลูกค้า พบว่ามีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลงจากเดิมเหลือ 30.9 mPt ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้ แสดงให้เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ในระดับแนวความคิดด้วยการปรับเปลี่ยนในส่วนของโครงผลิตภัณฑ์ (Housing) และการปรับปรุงหม้อแปลง (Choke) ตามความต้องการของลูกค้า นั้น อุตสาหกรรมกรณีศึกษาสามารถกระทำได้อย่างแน่นอนในมุมมองด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมลดลงได้กว่า 24.4 mPt หรือลดลงประมาณ 44% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว มีโอกาสประสบความสำเร็จมากทางด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงแนวคิดการออกแบบ

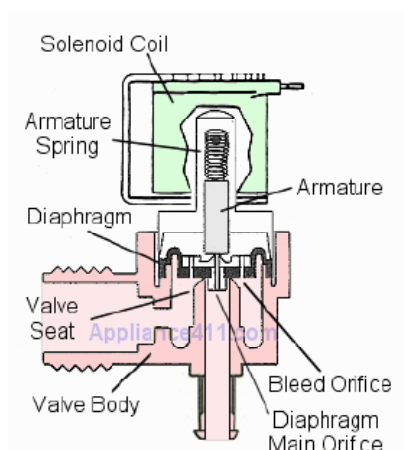
ธนัท ชัยสุขโกศล (2551) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของ Header Assembly ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ทำจากท่อทองแดงซึ่งเป็นวัตถุดิบชิ้นส่วนหนึ่งในเครื่องปรับอากาศ โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 ซึ่งจากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ พบว่า ทองแดง ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญของ Header Assembly นั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านก่อให้เกิดภาวะฝนกรดมากที่สุด ซึ่งผลกระทบก่อให้เกิดการกัดกร่อนสิ่งปลูกสร้าง ผลกระทบรองลงมา คือ ด้านปริมาณฝุ่นควันในอากาศ ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์

จากการทบทวนงานวิจัยและงานศึกษาที่มีการนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตใช้พบว่ายังไม่มีมีการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตชุด Water Valve ซึ่งจะมีเพียงแค่การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทเท่านั้น อาทิ เช่น การประเมินวัฏจักรชีวิตของ Header Assembly (ธนัท ชัยสุขโกศล. 2551) การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นที่ใช้ในบ้าน (สุรศักดิ์ วิทย์สถาพงษ์. 2548) การประเมินวัฏจักรชีวิตสายไฟชนิดหุ้มฉนวนพีวีซี (จันจิรา หะยียามา. 2547) สำหรับในต่างประเทศจะมีงานวิจัยที่การศึกษาถึงการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องซักผ้าเท่านั้น ซึ่งไม่ได้ทำการวิเคราะห์ลงไปยังกระบวนการผลิตชุด Water Valve อาทิเช่น MITI (Ministry of International Trade and Industry) ได้ทำการศึกษาถึงการประเมินวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงชีวิตของเครื่องซักผ้า เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ของเครื่องซักผ้า 2 รุ่น เป็นต้น ทั้งนี้อาจสืบเนื่องจากการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตชุด Water Valve ภายในบริษัทแต่มีได้นำมาเผยแพร่หรืออาจมีการทำในลักษณะภาพรวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทที่ต้องใช้ชุด Water valve ซึ่งหากทำการวิเคราะห์ไปแล้วชุด water valve เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญอย่างหนึ่งของเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนี้ ดังนั้นควรที่จะมีการวิจัยและศึกษาถึงส่วนประกอบและกระบวนการผลิตเพื่อที่จะทำให้สามารถทราบถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด Water Valve เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทที่ต้องใช้ชุด Water valve ต่อไปในอนาคต

## 2.10 ชุด Water valve

ชุด Water Valve ที่ได้ทำการศึกษาในที่นี้เป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องซักผ้า ซึ่งมีหน้าที่สำหรับเป็นตัวควบคุมระบบการจ่ายน้ำสำหรับเครื่องซักผ้า ซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังต่อไปนี้

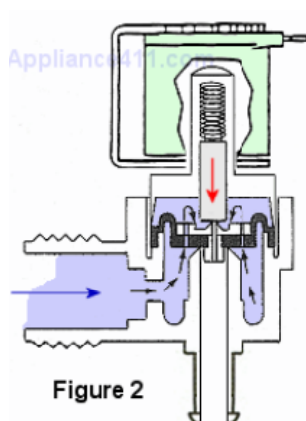
1. ชุด Solenoid Coil
2. Armature Spring
3. Armature
4. Diaphragm Rubber
5. Valve Body
6. Orifice
7. Tip Rubber
8. Armature Tube



ภาพประกอบ 10 แสดงส่วนประกอบของชุด Water Valve

สำหรับขั้นตอนการทำงานของชุด Water Valve นั้นจะสามารถแบ่งออกได้เป็นดังต่อไปนี้

1. เมื่อวาล์วอยู่ในตำแหน่งปิด ภาพประกอบ 11 เมื่อไม่มีการจ่ายไฟให้กับชุด Solenoid Coil น้ำทั้งหมดที่ไหลผ่านเข้า Valve Body จะไหลผ่านรูเล็กๆของ Diaphragm Rubber ขึ้นไปอยู่ด้านบนระหว่าง Diaphragm Rubber กับ Armature Tube เพื่อสร้าง balance pressure ให้เท่ากับด้านล่างของ Diaphragm Rubber



ภาพประกอบ 11 แสดงขั้นตอนการทำงานเมื่อไม่มีการจ่ายไฟให้กับชุด Solenoid Coil

2. เมื่อทำการจ่ายไฟให้กับชุด Solenoid Coil ภาพประกอบ12 เป็นผลให้เกิดสนามแม่เหล็กซึ่งทำให้ Armature เคลื่อนที่ขึ้น (สามารถชนะความแข็งของสปริง) ซึ่ง Armature นี้จะเคลื่อนที่ที่อยู่ใน Armature Tube เมื่อ Armature เคลื่อนที่ขึ้นเป็นเหตุให้ Diaphragm Rubber ยอมให้น้ำไหลผ่านที่ด้านบนของ Diaphragm Rubber เป็นเหตุให้น้ำสามารถไหลผ่านตรงกลางของ Main Orifice ได้ จากการที่ Diaphragm Rubber มีรูที่เล็กมากเมื่อเทียบกับ Main Orifice ดังนั้นมันจะไม่ยอมให้น้ำไหลกลับ เนื่องจากต้องการรักษาความดันที่ด้านบนของ Diaphragm Rubber ด้วยเหตุที่

ความดันด้านบนของ Diaphragm Rubber ลดลง ทำให้ความดันของน้ำด้านล่าง Diaphragm Rubber ยก Valve Seat และ ยอมให้อัตราการไหลที่เต็มกำลังของน้ำไหลสู่ทางผ่านของ Valve

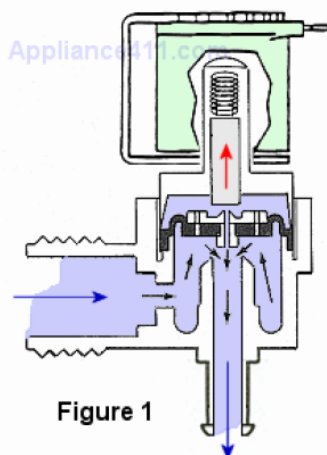


Figure 1

ภาพประกอบ 12 แสดงขั้นตอนการทำงานเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับชุด Solenoid Coil

3. เมื่อมีการยกเลิกการจ่ายไฟ ภาพประกอบ 12 Armature Spring จะกด Armature ลง เพื่อปิดทำการปิด Main Diaphragm Orifice น้ำจะไหลผ่านเข้าทาง Bleed Diaphragm จากนั้น Orifice จะสร้างความดันขึ้นให้ความดันทั้งสองด้านเท่ากัน (ด้านบนและล่างของ Diaphragm Rubber) แรงของ Armature และ Spring นั้นจะกด Diaphragm ลงให้ประกบกับ Valve Seat เพื่อหยุดการไหลของน้ำ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) รุ่น Pentium 4 2.8 GHz
2. โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชัน 7.1

#### 3.2 เครื่องมือในการวิจัย

วิธีการในการประเมินวัฏจักรชีวิตของชุด Water Valve จะทำการประเมินตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 โดยแบ่งขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นสี่ขั้นตอนดังนี้ 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต 2) การทำบัญชีรายการ 3) การประเมินผลกระทบ 4) การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุง ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป

#### 3.3 ขั้นตอนการวิจัย

สำหรับรายละเอียดของขั้นตอนการวิจัยของงานวิจัยฉบับนี้จะสามารถแบ่งออกได้เป็นลำดับดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา เป็นการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชุด Water Valve ซึ่งจะกล่าวโดยรายละเอียดไปในหัวข้อ การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal) และการกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope)

2) ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล สำหรับในขั้นตอนนี้จะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการประเมินวัฏจักรชีวิตของชุด Water Valve ซึ่งจะเป็นการเก็บรวบรวมจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ได้แก่ จากเอกสารหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง, จากโรงงานผู้ผลิตที่เกี่ยวข้อง, ฐานข้อมูลในโปรแกรม ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเรียกว่า ขั้นตอนการทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI) ซึ่งจะกล่าวโดยรายละเอียดไปในหัวข้อ ขั้นตอนการทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

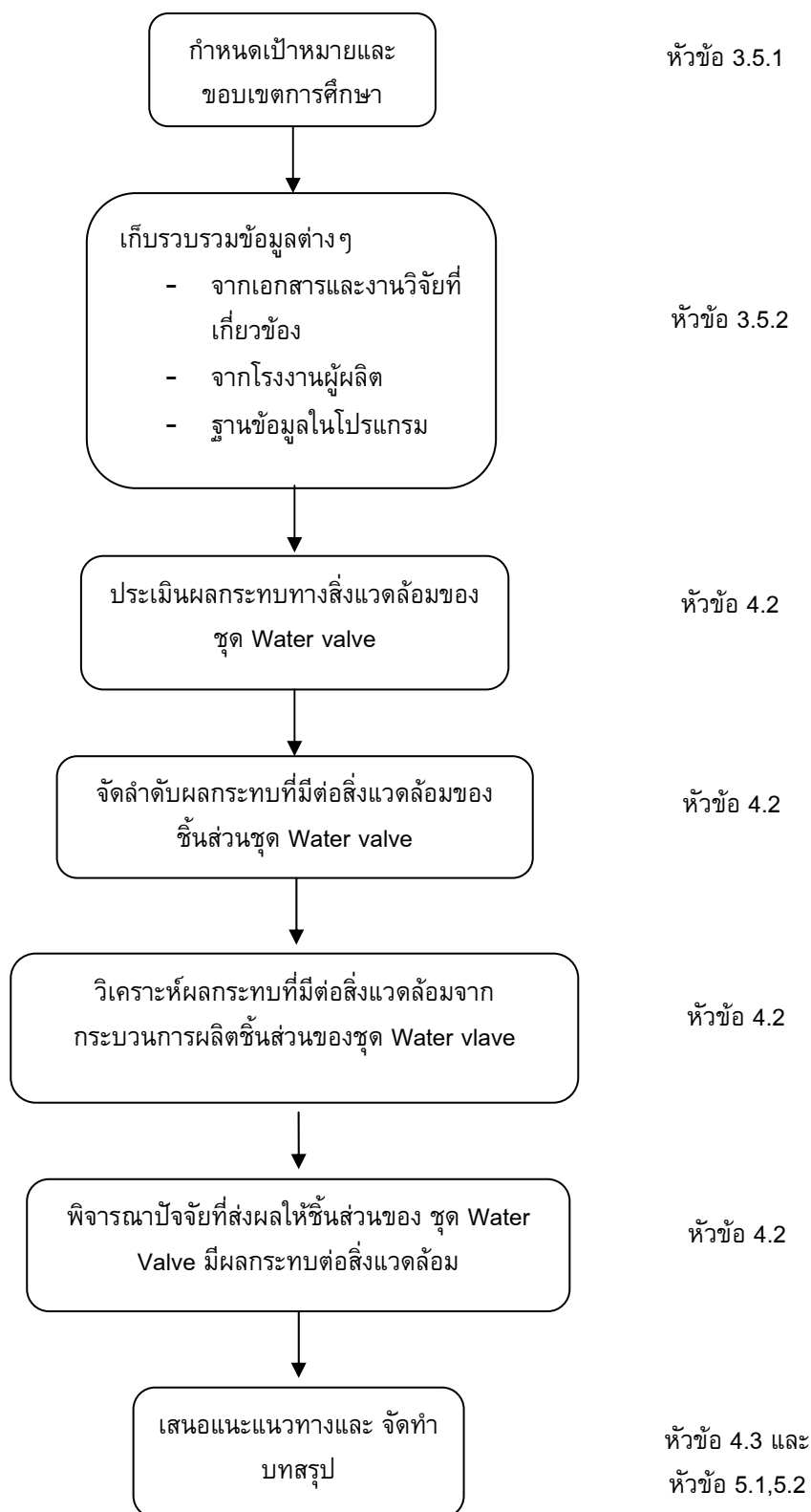
3) ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชุด Water Valve สำหรับในขั้นตอนนี้จะเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ของชุด Water Valve ซึ่งจะทำภายหลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องหรือภายหลังขั้นตอนการทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI) ซึ่งจะเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งกลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกเป็น 3 กลุ่มผลกระทบ โดยทั้ง 3 กลุ่มผลกระทบจะแบ่งประเภทของผลกระทบออกเป็นทั้ง 11 ประเภท สำหรับในขั้นตอนนี้จะใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทถัดไป

4) ขั้นตอนการจัดลำดับผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนชุด Water Valve โดยที่ในขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดลำดับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนชุด Water Valve ที่ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากมากไปหาน้อย โดยที่งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเพียงชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบมากที่สุด 3 อันดับแรกเพื่อที่จะสามารถทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทถัดไป

5) ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนของชุด Water Valve สำหรับในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ถึงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนของชุด Water Valve ที่ส่งผลกระทบมากที่สุด 3 อันดับแรก โดยที่จะทำการวิเคราะห์ไปยังกระบวนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วนเพื่อหาว่าขั้นตอนใดในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนนั้นที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทถัดไป

6) ขั้นตอนการพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลให้ชิ้นส่วนของชุด Water Valve มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในขั้นตอนนี้เป็น การพิจารณาถึงปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้กระบวนการผลิตชิ้นส่วนของชุด Water Valve ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงให้สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทถัดไป

7) ขั้นตอนการวิเคราะห์, เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงและจัดทำบทสรุป ในขั้นตอนนี้เป็น การเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือการปรับปรุงชิ้นส่วนของชุด Water Valve ให้ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ลดลง สำหรับขั้นตอนการสรุปผลงานวิจัย เป็นการสรุปผลของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชุด Water Valve ว่าส่งชิ้นส่วนใดผลกระทบมากที่สุดและเกิดจากสาเหตุหรือปัจจัยใดมากที่สุดและจะสามารถปรับปรุงในชิ้นส่วนนั้นหรือชุด Water Valve นั้นจะสามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้อย่างไร



ภาพประกอบ 13 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.4 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

#### 1.4.1 สถานที่ในการเก็บข้อมูล

สำหรับสถานที่ในการเก็บข้อมูลของงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตจากโรงงานที่ทำการผลิตชิ้นส่วนและโรงงานที่ทำการประกอบชุด Water Valve โดยในการเก็บรวบรวมข้อมูลจะทำการขอความร่วมมือจากโรงงานผู้ผลิต เข้าไปทำการเก็บข้อมูลและทำความเข้าใจในกระบวนการผลิตและทำการรวบรวมข้อมูลโดยขอข้อมูลที่ต้องการจากวิศวกรประจำโรงงาน สำหรับรายละเอียดของโรงงานผู้ผลิตและประกอบชิ้นส่วนของชุด Water valve จะแสดงดังตาราง 6

#### 3.4.2 สถานที่ในการวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลของงานวิจัยนี้ จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ชื่อว่า SimaPro 7.1 สำหรับสถานที่ในการวิเคราะห์ผลจะทำการวิเคราะห์ผลที่สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และ บริษัท Eco Design Consultant

ตาราง 6 แสดงรายละเอียดของโรงงานผู้ผลิตและประกอบชิ้นส่วนของชุด Water valve

| โรงงาน | ชิ้นส่วน                                           | ประเภทอุตสาหกรรม                                                                  | สถานที่                                              |
|--------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| A      | bobbin                                             | ผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า<br>และอิเล็กทรอนิกส์                                   | นิคมอุตสาหกรรมเวลโกรว์<br>จังหวัด ฉะเชิงเทรา         |
|        | Over mold                                          |                                                                                   |                                                      |
|        | Flow regulator                                     |                                                                                   |                                                      |
|        | Armature guide                                     |                                                                                   |                                                      |
|        | Cap orifice                                        |                                                                                   |                                                      |
|        | Coil                                               |                                                                                   |                                                      |
|        | Plunger                                            |                                                                                   |                                                      |
| B      | Assemble part                                      | ขึ้นรูปโลหะชิ้นส่วนยานยนต์,<br>เครื่องใช้ไฟฟ้าและ<br>อิเล็กทรอนิกส์               | ถนนบายพาส อำเภอเมือง<br>จังหวัดชลบุรี                |
|        | Terminal                                           |                                                                                   |                                                      |
|        | Frame                                              |                                                                                   |                                                      |
| C      | Filter                                             | ขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติก<br>(Injection) เครื่องใช้ไฟฟ้า<br>,อิเล็กทรอนิกส์และทั่วไป | นิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัด<br>สมุทรปราการ           |
| D      | Valve body                                         | ขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติก<br>(Injection) เครื่องใช้ไฟฟ้า<br>,อิเล็กทรอนิกส์และทั่วไป | ถนนเอกชัย-เศรษฐกิจ อำเภอ<br>เมือง จังหวัดสมุทรปราการ |
| E      | Spring                                             | ผลิตชิ้นส่วน spring                                                               | ต่างประเทศ (ประเทศจีน)                               |
| F      | Reducer rubber<br>Diaphragm rubber<br>Pilot rubber | ขึ้นรูปชิ้นส่วนยาง สำหรับ<br>ยานยนต์และเครื่องใช้ไฟฟ้า                            | ต่างประเทศ (ประเทศจีน)                               |

### 3.5 การดำเนินงานวิจัย

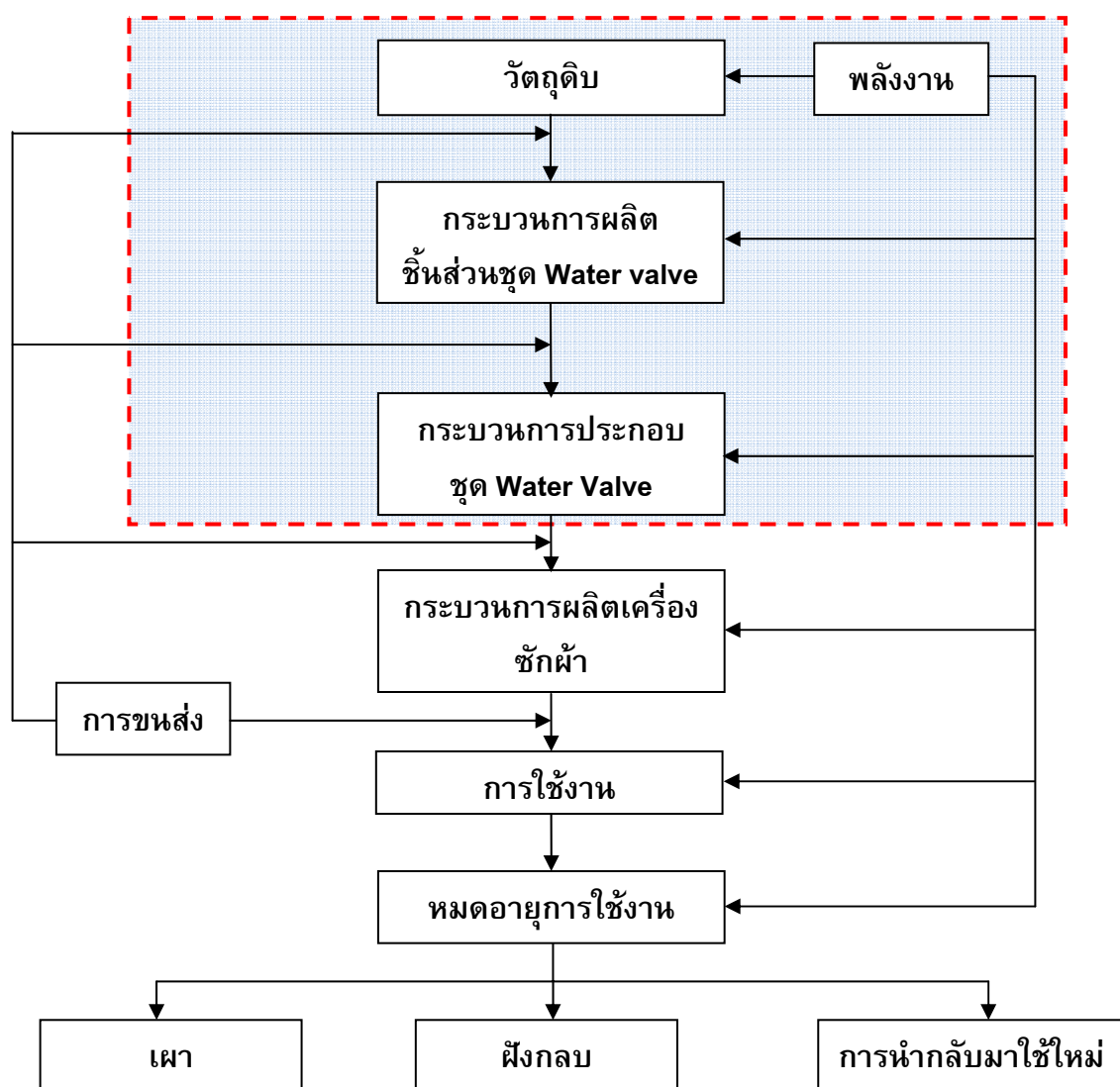
#### 3.5.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

##### 3.5.1.1 การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal)

เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด Water Valve ที่ใช้ในเครื่องซักผ้ายี่ห้อหนึ่ง

##### 3.5.1.2 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (scope)

ขอบเขตการศึกษาจะครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ จนถึงขั้นตอนการผลิต ชุด Water Valve ที่พร้อมส่งให้กับบริษัทผู้ผลิตเครื่องซักผ้า (Gate to Gate) ดังภาพประกอบ 14



หมายถึง ขอบเขตของระบบที่ทำการศึกษา

ภาพประกอบ 14 ขอบเขตการศึกษา

### 3.5.1.3 แหล่งข้อมูล การตั้งสมมติฐานและข้อจำกัดในงานวิจัย

ข้อมูลที่น่าสนใจแบ่งออกเป็น ข้อมูลวัตถุดิบต่าง ๆ เช่น ข้อมูลการผลิตเหล็ก การผลิตเม็ดพลาสติก เป็นข้อมูลที่ได้มาจากโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งฐานข้อมูลส่วนใหญ่มาจากการศึกษา LCA ในยุโรป สำหรับข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าจะอ้างอิงการผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบันของประเทศไทย ส่วนข้อมูลในการผลิตชิ้นส่วนและขั้นตอนการประกอบชุด Water Valve เป็นข้อมูลจากโรงงานตัวอย่างที่ได้ทำการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ สำหรับในขั้นตอนการขนส่งจะไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากการขนส่งในแต่ละครั้งมีปริมาณการขนส่งของชิ้นส่วนที่น่าสนใจที่ไม่แน่นอนอีกทั้งการขนส่งเป็นการขนส่งแบบรวมกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ได้นำมาทำการศึกษาดังนั้นจะสามารถสรุปที่มาของข้อมูลและขั้นตอนการผลิตชุด Water Valve ได้ดังแสดงในตาราง 7



ตาราง 7 (ต่อ)

| ขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต                     | เก็บข้อมูลจากโรงงาน | สอบถามจากผู้ที่เกี่ยวข้อง | งานวิจัย/เอกสารอ้างอิง | ฐานข้อมูล SimaPro |
|---------------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|-------------------|
| การขึ้นรูปยางด้วยความร้อน (Rubber part )    |                     |                           |                        |                   |
| - Diaphragm rubber                          | x                   | x                         |                        |                   |
| - Reducer rubber                            | x                   | x                         |                        |                   |
| - Plunger head                              | x                   | x                         |                        |                   |
| ขั้นตอนการ Winding                          | x                   | x                         |                        |                   |
| การประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเป็นชุด Water Valve | x                   | x                         |                        |                   |

### 3.5.2 การทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI)

การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) เป็นขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่สำคัญต่างๆซึ่งจำเป็นสำหรับในขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากภาพประกอบ 14 แสดงขอบเขตของงานวิจัยโดยเริ่มจากการขึ้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตชุด Water Valve จนกระทั่งการประกอบเป็นชุด Water Valve ที่พร้อมส่งให้กับผู้ผลิตเครื่องซักผ้าต่อไป โดยกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนตามขอบเขตการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### ■ การเตรียมวัตถุดิบ (Production of material)

เป็นขั้นตอนตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบออกมาจากแหล่งธรรมชาติ จนกระทั่งกลายเป็นวัตถุดิบที่พร้อมเริ่มต้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่างๆสำหรับชุด Water Valve ต่อไป โดยที่งานวิจัยนี้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบจะอ้างอิงข้อมูลจากฐานข้อมูล LCI ในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 ดังแสดงภาคผนวก ข สำหรับหลักการในการเลือกใช้ข้อมูลที่เหมาะสม สามารถเรียงลำดับได้ดังนี้

- 1) ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย
- 2) ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทย ซึ่งผ่านการกรองแล้ว (peer-reviewed publication)

- 3) ฐานข้อมูลที่เคยแพร่ทั่วไป ได้แก่ LCA Software, ฐานข้อมูลเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรม ฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ
- 4) ฐานข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC สหประชาชาติ

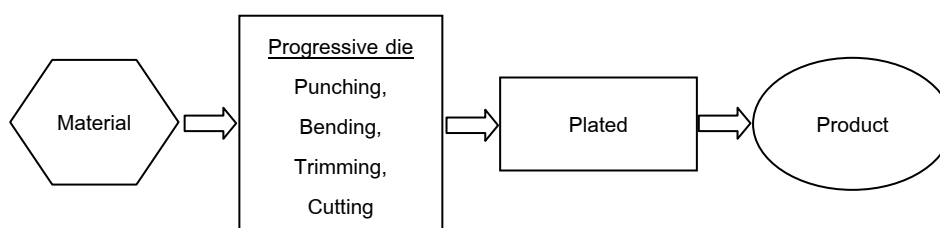
■ การผลิตชุด Water Valve (Production of manufacturing)

เป็นขั้นตอนตั้งแต่การนำเอาวัตถุดิบมาผลิตเป็นชิ้นส่วนของชุด Water Valve จนถึง การนำชิ้นส่วนเหล่านั้น มาประกอบเป็นชุด Water Valve โดยกระบวนการผลิตชุด Water Valve สามารถแบ่งออกได้เป็นกระบวนการต่างๆดังนี้

- ขั้นตอนการผลิต ชิ้นส่วน Metal part ด้วยแม่พิมพ์แบบ Progressive die

(Stamping Process)

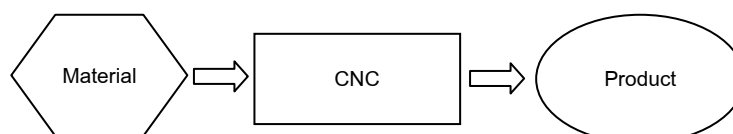
สำหรับขั้นตอนการผลิตนี้เป็นการผลิตชิ้นส่วนที่เป็น Metal โดยทำการปั๊มขึ้นรูป (Stamping) ด้วยแม่พิมพ์แบบ Progressive die ซึ่งจะเป็นแม่พิมพ์ที่ทำการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยที่ในแต่ละชิ้นส่วนนั้นจะใช้เวลาในการผลิตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วน สำหรับชิ้นส่วนที่ทำการผลิตด้วยขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย ชิ้นส่วนดังนี้ ชิ้นส่วนTerminal และ Frame โดยที่ขั้นตอนการผลิตจะแสดงดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงกระบวนการผลิตชิ้นส่วน Metal part ด้วยแม่พิมพ์แบบ Progressive die (Stamping Process)

- ขั้นตอนการผลิต ชิ้นส่วน Metal part ด้วยเครื่อง CNC

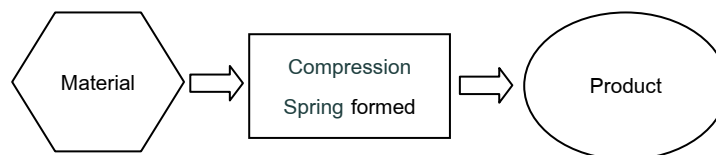
สำหรับขั้นตอนการผลิตด้วยเครื่อง CNC นั้นจะทำการผลิตชิ้นส่วนโดยนำวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นแท่งกลมตันมาทำการกลึงขึ้นรูปให้ได้ตามขนาดที่ต้องหรือตามที่สเปกกำหนดไว้ สำหรับชิ้นส่วนที่ทำการผลิตด้วยขั้นตอนนี้ได้แก่ ชิ้นส่วน Plunger โดยที่ขั้นตอนการผลิตจะแสดงดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 แสดงกระบวนการผลิตชิ้นส่วน Metal part ด้วยเครื่อง CNC

- ขั้นตอนการผลิต ชิ้นส่วน Metal part ด้วยเครื่อง Compression Spring formed

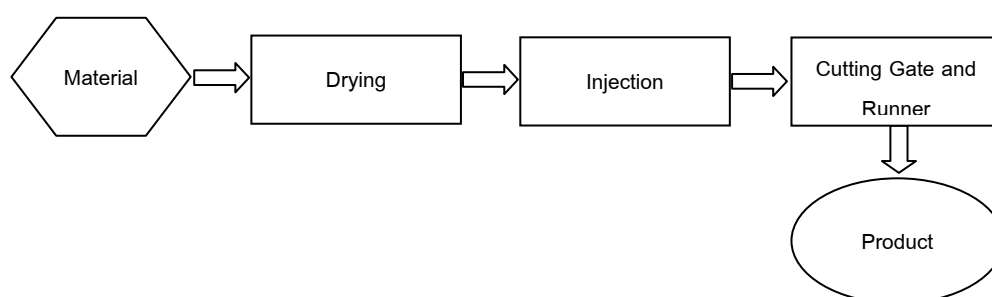
สำหรับชิ้นส่วนที่ทำการผลิตด้วยขั้นตอนนี้คือ ชิ้นส่วนสปริง โดยที่ขั้นตอนการผลิตนั้นจะทำการนำเหล็กหลอดที่มีขนาด Diameter ตามที่สเปกกำหนดมาทำการใส่เข้ากับเครื่องจักร โดยที่เครื่องจักรจะทำการผลิตด้วยการม้วนเหล็กหลอดออกมาเป็นขดให้ได้ตามขนาดและความยาวที่ต้อง โดยที่ขั้นตอนการผลิตจะแสดงดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 แสดงกระบวนการการผลิตชิ้นส่วน Metal part ด้วยเครื่อง Compression Spring formed

- ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Plastic Part ด้วยการฉีดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Injection Process)

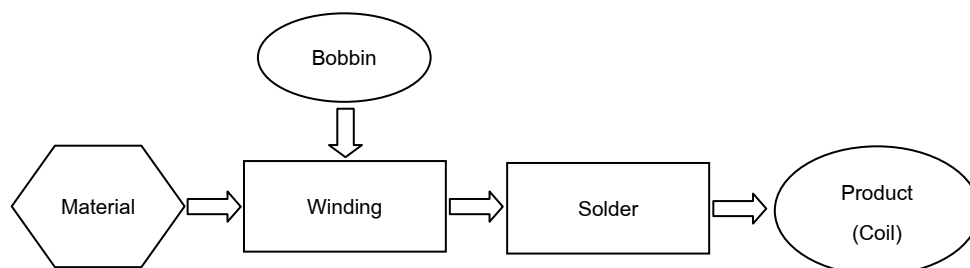
สำหรับการผลิตชิ้นส่วนด้วยการฉีดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Injection) นั้น ในขั้นตอนแรกจะต้องทำการเตรียมเม็ดพลาสติกที่จะใช้ในการผลิตชิ้นส่วนเสียก่อน โดยที่ในขั้นตอนการเตรียมเม็ดพลาสติกจะทำโดยการนำเม็ดพลาสติกที่จะใช้มาทำการอบเพื่อไล่ความชื้น โดยที่เวลาที่ใช้ในการอบจะแตกต่างกันออกไป โดยที่เวลาที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ หลังจากนั้นจะนำเม็ดพลาสติกที่ได้หลังจากการอบมาทำการใส่เครื่องจักรแบบฉีดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Injection) โดยที่ขนาดและรูปร่างจะขึ้นอยู่กับแบบแม่พิมพ์ที่ใช้ สำหรับเวลาที่ใช้ในการฉีดจะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ สำหรับขั้นตอนสุดท้ายจะนำชิ้นงานที่ได้หลังจากฉีดมาทำการตัดและตกแต่งชิ้นส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออก สำหรับชิ้นส่วนที่ทำการผลิตด้วยขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย ชิ้นส่วน Bobbin, Molding, Cap orifice, Valve body, Armature guide, Flow regulator, Filter โดยที่ขั้นตอนการผลิตจะแสดงดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แสดงกระบวนการผลิตชิ้นส่วน Plastic Part ด้วยการฉีดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Injection)

- ขั้นตอนการผลิตชุดขดลวดทองแดง (Winding Process)

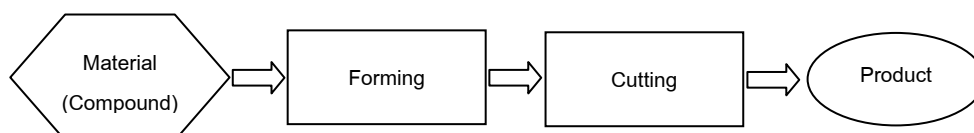
สำหรับในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำชิ้นส่วน Bobbin มาทำการพันกับลวดทองแดง โดยที่จะทำการพันตามจำนวนรอบที่สเปกกำหนดไว้ หลังจากทำการพันลวดทองแดงเข้ากับชิ้นส่วน Bobbin เสร็จแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะนำมาทำการ Solder เพื่อทำการเชื่อมให้ติดกันระหว่างลวดทองแดงกับชิ้นส่วน terminal หลังจากนั้นชิ้นส่วนนี้จะเรียกว่า ชุด ขดลวดทองแดง (Coil) โดยที่ขั้นตอนการผลิตจะแสดงดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 แสดงกระบวนการผลิตชุดขดลวดทองแดง (Coil)

- ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนยางด้วยการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Forming)

สำหรับงานวิจัยนี้จะนำวัตถุดิบ yang ที่ทำการผสมเรียบร้อยแล้ว (Compound) มาทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Forming) ให้ได้ตามขนาดและรูปร่างตามแบบแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบเอาไว้ สำหรับเวลาที่ใช้ในการผลิตนั้น จะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของยางที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ หลังจากนั้นจะนำชิ้นส่วนที่ได้มาทำการตัดและแต่งในส่วนที่ไม่ใช้งานออกไป (Cutting) โดยที่ขั้นตอนการผลิตจะแสดงดังภาพประกอบ 20

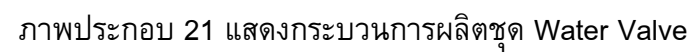


ภาพประกอบ 20 แสดงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยางด้วยการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Forming)

- ขั้นตอนประกอบชิ้นส่วนต่างๆเป็นชุด Water Valve (Assemble process)

สำหรับขั้นตอนการผลิตชุด Water valve จะนำชิ้นส่วนต่างๆมาทำการประกอบเข้าด้วยกัน (Assemble) โดยที่ในขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆจะใช้ทั้งเครื่องจักรและแรงงานคนในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน โดยที่กระบวนการประกอบชิ้นส่วน (Assemble) ของชุด Water Valve สามารถสรุปได้ดังภาพประกอบ 21

สำหรับชนิดของวัตถุดิบและปริมาณที่ใช้ในการผลิตชุด Water valve ทั้งหมด จะทำการแสดงดังตาราง 8 และ ตาราง 9



ตาราง 8 แสดงปริมาณการใช้วัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วน Metal part และ rubber part

| ประเภทของวัตถุดิบ     | ปริมาณ (กิโลกรัม/Kg) |           |           |           |           |                  |                |              |           |
|-----------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|----------------|--------------|-----------|
|                       | Terminal             | Coil      | Frame     | Plunger   | Spring    | diaphragm rubber | Reducer rubber | Pilot rubber | Total     |
| Brass                 | 8.700E-04            |           |           |           |           |                  |                |              | 8.700E-04 |
| Zinc                  | 5.000E-06            |           | 1.840E-04 |           |           |                  |                |              | 1.890E-04 |
| Copper                |                      | 2.890E-02 |           |           |           |                  |                |              | 2.890E-02 |
| Polyurethane Resin    |                      | 1.521E-03 |           |           |           |                  |                |              | 1.521E-03 |
| Solder                |                      | 4.000E-05 |           |           |           |                  |                |              | 4.000E-05 |
| Steel                 |                      |           | 9.840E-03 |           |           |                  |                |              | 9.840E-03 |
| stainless steel (430) |                      |           |           | 6.484E-03 |           |                  |                |              | 6.484E-03 |
| stainless steel (304) |                      |           |           |           | 7.639E-05 |                  |                |              | 7.639E-05 |
| EPDM (Rubber)         |                      |           |           |           |           | 9.550E-04        |                | 8.800E-05    | 1.043E-03 |
| NBR (NBR)             |                      |           |           |           |           |                  | 3.770E-04      |              | 3.770E-04 |

ตาราง 9 แสดงปริมาณการใช้วัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วน Plastic part

| ปริมาณ (กิโลกรัม/Kg) |           |           |            |           |                |                |             |           |
|----------------------|-----------|-----------|------------|-----------|----------------|----------------|-------------|-----------|
| ประเภทของวัตถุดิบ    | Bobbin    | Overmold  | Valve body | Filter    | Flow regulator | Armature guide | Cap orifice | Total     |
| Plastic PA66 GF 30%  | 3.879E-03 |           | 2.119E-02  | 3.155E-03 | 2.368E-03      | 5.485E-03      | 1.041E-03   | 3.712E-02 |
| Plastic PP           |           | 1.135E-02 |            |           |                |                |             | 1.135E-02 |

สำหรับข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตชุด Water valve จะอ้างอิงจากคู่มือเครื่องจักร (Specification) ที่เกี่ยวข้องในการผลิตชิ้นส่วนและประกอบชุด Water valve โดยที่จะใช้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากที่สุดที่เครื่องจักรจะใช้เป็นตัวคำนวณในการหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิต ดังแสดงในภาคผนวก ก สำหรับตาราง 10 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนและประกอบชุด water valve 1 ชุด

ตาราง 10 แสดงปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตแต่ละชิ้นส่วนของชุด Water valve 1 ชุด

| Part                 | Electricity (Kwh) |
|----------------------|-------------------|
| Bobbin               | 3.452E-02         |
| Terminal             | 5.792E-03         |
| Coil                 | 8.594E-02         |
| Overmold             | 5.456E-02         |
| Frame                | 3.830E-02         |
| Plunger              | 8.00E-02          |
| Valve body           | 1.417E-01         |
| Filter               | 1.025E-01         |
| Flow regulator       | 1.050E-01         |
| Armature guide       | 5.174E-02         |
| Cap orifice          | 2.773E-02         |
| spring               | 1.420E-04         |
| Reducer rubber       | 2.265E-02         |
| Diaphragm rubber     | 4.531E-02         |
| Pilot rubber         | 2.265E-02         |
| Assemble Frame       | 2.500E-03         |
| Assemble water valve | 6.000E-04         |

สำหรับตาราง 11 แสดงสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยโดยแบ่งตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยที่ในงานวิจัยนี้จะทำการตั้งสมมุติฐาน สำหรับสัดส่วนการผลิตของประเภทเชื้อเพลิงที่นำเข้าและพลังงานหมุนเวียนให้เป็นประเภทเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากขาดข้อมูลที่แน่ชัดสำหรับประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของทั้งสองประเภท

ตาราง 11 แสดงสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยโดยแบ่งตามประเภทเชื้อเพลิง

| ประเภทเชื้อเพลิง | สัดส่วนการผลิต (%) |
|------------------|--------------------|
| ก๊าซธรรมชาติ     | 70%                |
| ลิกไนต์/ถ่านหิน  | 20%                |
| พลังน้ำ          | 5%                 |
| นำเข้า           | 2%                 |
| พลังงานหมุนเวียน | 2%                 |
| น้ำมัน           | 1%                 |
| รวม              | 100%               |

ที่มา: เทียนไชย จงพีร์เพียร. (2551). สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยโดยแบ่งตามประเภทเชื้อเพลิง

สำหรับประเภทและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการชุดชิ้นส่วนและประกอบชุด Water valve ทำการรวบรวมข้อมูลโดยแบ่งออกเป็นประเภทของของเสียต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต โดยที่แต่ละประเภทของของเสียนั้นจะทำการเก็บข้อมูลดังนี้

- ของเสียประเภทของแข็ง (Solid waste) จะทำการเก็บข้อมูลจากของเสียที่เกิดจากการผลิตในกระบวนการหรือเศษของชิ้นงานที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์(scrap) โดยที่จะนำของเสียหรือเศษของชิ้นงานที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เหล่านั้นมาทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นของแต่ละชิ้นส่วนของชุด Water valve โดยที่ในงานวิจัยนี้ชิ้นส่วนที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภท Rubber จะถือว่าไม่มีของเสียเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ทำการผลิตในต่างประเทศจึงทำให้ขาดข้อมูลที่ชัดเจนในการทำวิจัย
- ของเสียประเภทก๊าซ (Gas emission) จะทำการเก็บข้อมูลจากปล่องปล่อยควันที่ปล่อยจากโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วน โดยที่จะมีการตรวจวัดทุกๆ 6 เดือน หลังจากนั้นนำ

ค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาปันส่วน (allocation) ตามปริมาณการผลิตของชุด water valve ดังภาคผนวก ก ตาราง ก2

- ของเสียประเภทของเหลว (waste water) ที่เกิดจากกระบวนการการผลิตชิ้นส่วน เป็นข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลในโปรแกรม SimaPro 7.1 เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ทำการผลิตในต่างประเทศจึงทำให้ขาดข้อมูลที่ชัดเจนในการทำวิจัย

ตาราง 12 แสดงชนิดและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตชุด Water valve

| ของเสีย              | ปริมาณ    | หน่วย |
|----------------------|-----------|-------|
| ของเสียประเภทของแข็ง |           |       |
| plastic              | 8.521E-03 | Kg    |
| Brass                | 2.440E-04 | Kg    |
| Copper               | 5.700E-06 | Kg    |
| Steel                | 1.921E-03 | Kg    |
| ของเสียประเภทก๊าซ    |           |       |
| Xylend               | 4.564E-14 | Kg    |

ข้อมูลบัญชีรายการที่ทำการรวบรวมในขั้นตอนการทำบัญชีรายการจะถูกนำมาวิเคราะห์และตีความเพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Impact Assessment)

### 3.5.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 สำหรับเก็บประมวลข้อมูลและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น และใช้การประเมินผลกระทบด้วยวิธี Eco-Indicator 99 ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลที่เป็นค่าคะแนนเชิงเดี่ยวหรือที่เรียกว่า Single Score โดยประเมินถึงกลุ่มเป้าหมายที่ได้รับผลกระทบ 3 กลุ่มคือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ และการใช้ทรัพยากร สำหรับดัชนีชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เลือกพิจารณาในการศึกษานี้ มีทั้งหมด 11 กลุ่ม ได้แก่

1. สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)
2. ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of Organic Substance)
3. ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance)
4. สารแผ่รังสี (Radiation)
5. ภาวะโลกร้อน (Climate Change)

6. การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Depletion)
7. การใช้สินแร่ (Mineral)
8. การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel)
9. ภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification / Eutrophication)
10. ความเป็นพิษ (Ecotoxicity)
11. การใช้พื้นที่ (Land use)

#### **3.5.4 การแปลผล (Life Cycle Interpretation)**

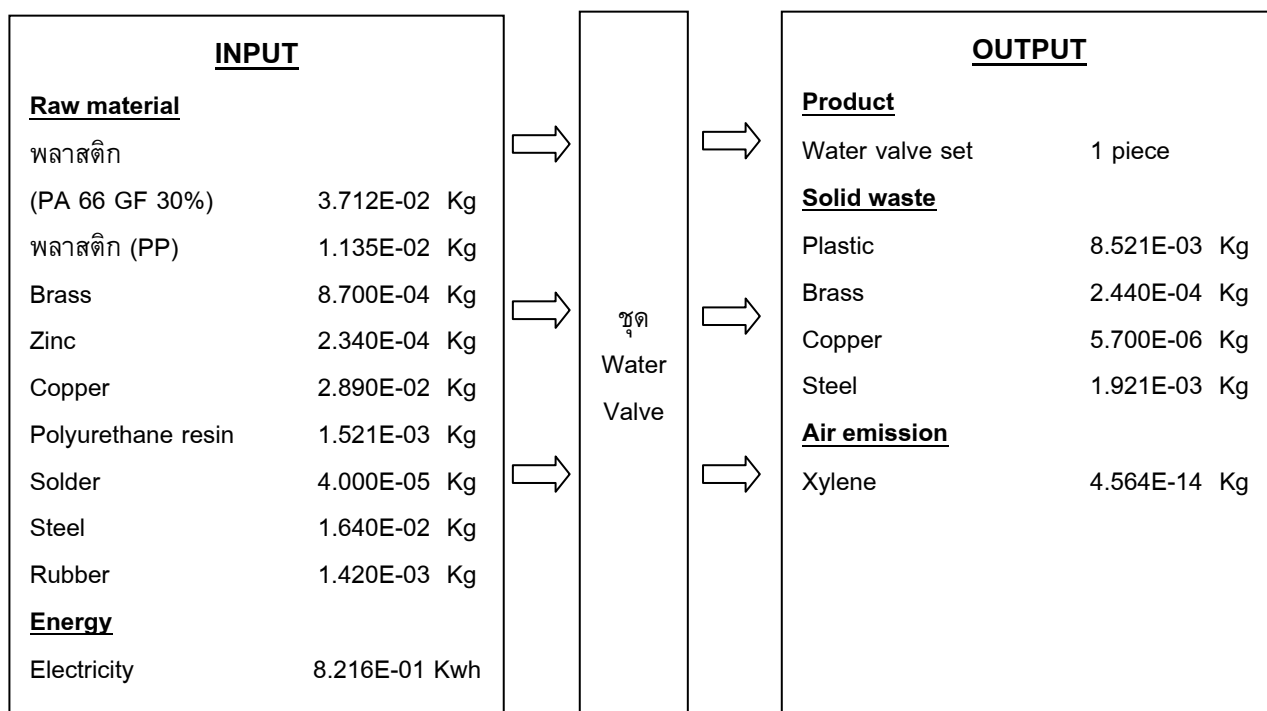
ในขั้นตอนการแปลผล เป็นการประเมินโอกาสที่เป็นไปได้ ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้นๆ จากขั้นตอนของการประเมินผลกระทบ ทำให้สามารถชี้ชัดลงไปได้ อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และควรมีการเปลี่ยนแปลง หรือปรับปรุงในแต่ละขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

## บทที่ 4

### ผลและการวิเคราะห์

#### 4.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูล (Life Cycle Inventory Analysis: LCI)

จากขั้นตอนการทำข้อมูลบัญชีรายการจะทำให้สามารถทำการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูล ปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกของกระบวนการผลิตชุด Water valve ได้ดังภาพประกอบ 22 สำหรับปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกแต่ละชิ้นส่วนจะแสดงดังภาคผนวก ก ภาพประกอบ ก 1 ถึง ก17



ภาพประกอบ 22 แสดงปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกของกระบวนการผลิตชุด Water valve

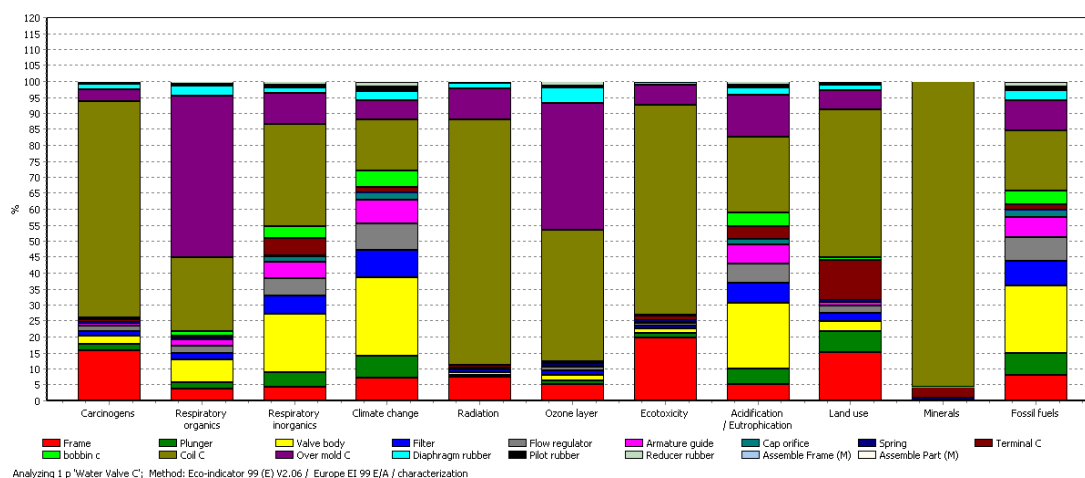
#### 4.2 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

สำหรับการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชุด Water Valve จะใช้วิธีการ Ecoindicator 99 ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและประเมินถึงกลุ่มเป้าหมายที่ได้รับผลกระทบทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศและการลดลงของทรัพยากร โดยผลการประเมินจะแสดงออกเป็นลักษณะดังนี้

- การกำหนดบทบาท (Characterization) ผลจากการกำหนดบทบาทจะทำให้ทราบได้ว่ากระบวนการผลิตหรือวัตถุดิบที่กำลังสนใจนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทใดบ้าง ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ ในกรณีที่ต้องการลดผลกระทบต่อประเภทใดประเภทหนึ่ง ซึ่งกลุ่มเป้าหมายทั้ง 3 กลุ่มจะแสดงเป็นหน่วยต่าง ๆ ดังนี้
  - 1) สุขภาพมนุษย์ (Human health) จะแสดงหน่วยเป็น DALYs (Disability Adjusted Life Years) ซึ่งจะหมายถึง การสูญเสียการมีสุขภาพที่ดี (ปีที่สูญเสียไปเพราะตายก่อนถึงวัยอันควร + ปีที่สูญเสียไปเพราะเจ็บป่วยหรือพิการ) ซึ่งหนึ่งหน่วยจะเท่ากับการสูญเสียช่วงอายุของการมีสุขภาพที่ดีไปจำนวน 1 ปี
  - 2) ระบบนิเวศวิทยา (Ecosystem quality) จะแสดงหน่วยเป็น PDF (Potentially Disappeared Fraction) ซึ่งจะหมายถึง สัดส่วนการสูญหายของความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตต่อพื้นที่
  - 3) การลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) จะแสดงหน่วยเป็น MJ surplus energy ซึ่งจะหมายถึง การลดลงของทรัพยากรหรือปริมาณที่เหลืออยู่ทั้งในรูปของสินแร่และเชื้อเพลิง (MJ เท่ากับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการสกัดแร่หรือเชื้อเพลิง)
- คะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) เป็นการแสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของแต่ละกระบวนการหรือวัตถุดิบ เพื่อพิจารณาว่ากระบวนการใดหรือวัตถุดิบใดมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งสามารถแสดงได้ทั้งผลกระทบแบบกลุ่มเป้าหมายหรือแสดงผลกระทบแบบแยกประเภท ซึ่งค่าคะแนนเชิงเดี่ยวจะแสดงเป็นหน่วย Pt (Person for target year) ซึ่งหน่วย Pt เกิดจากกระบวนการหาขนาดของผลกระทบที่ต้องการจะรวมค่าในกลุ่มผลกระทบต่าง ๆ ที่มีหน่วยต่างกัน โดยการหาด้วยค่ากลาง ดังนั้นหน่วย Pt จะหมายถึงการแสดงจำนวนเท่าของค่ากลาง โดยที่จะสามารถรู้ว่ามีค่ามากหรือน้อยจะต้องทำการเปรียบเทียบ กับค่ากลางหรือใช้ในการเปรียบเทียบ กับค่า Pt ด้วยกัน

สำหรับการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยฉบับนี้ในขั้นตอนแรกจะทำการเปรียบเทียบชิ้นส่วนทั้งหมดของชุด Water valve เพื่อให้ทราบว่าชิ้นส่วนใดที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ มากที่สุด จากภาพประกอบ 23 ชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ มากที่สุดเกือบทุกด้านได้แก่ชิ้นส่วน Coil สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านอื่น ๆ ได้แก่ ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiratory organics) ชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบมากที่สุดได้แก่ ชิ้นส่วน Over mold ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้าน ภาวะโลกร้อน (Climate Change)

และ การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) ชั้นส่วนที่ส่งผลกระทบมากที่สุดได้แก่ ชั้นส่วน Valve body โดย ตาราง 13 แสดงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆของชั้นส่วนชุด water valve



ภาพประกอบ 23 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชั้นส่วนต่างๆของชุด Water valve ในขั้นตอนการ จำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

จากตาราง 13 ซึ่งแสดงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในประเภทต่างๆ ซึ่งค่าของผลกระทบในแต่ละประเภทย่อมจะมีความหมายและหน่วยที่แตกต่างกัน โดยที่งานวิจัยฉบับนี้จะขอทำการอธิบายถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชุด Water Valve เท่านั้น ส่วนชั้นส่วนอื่นจะแสดงเพียงค่าในตารางเท่านั้น เนื่องจากความหมายของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละชั้นส่วนจะมีความหมายที่เหมือนกัน เพียงแต่จะแตกต่างกันที่ค่าของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเท่านั้น ซึ่งความหมายของค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชุด Water Valve จะสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) จากตาราง 13 จะเห็นได้ว่าค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $6.049\text{E-}08$  DALY ซึ่งจะมีความหมายว่าชุด Water Valve ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง เท่ากับ  $6.049\text{E-}08$  ปี
2. ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of Organic Substance) จากตาราง 13 ชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $1.515\text{E-}09$  DALY ซึ่งจะมีความหมายว่าชุด Water Valve ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร เท่ากับ  $1.515\text{E-}09$  ปี
3. ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance) จากตาราง 13 ชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $8.652\text{E-}07$  DALY ซึ่งจะมีความหมายว่าชุด Water Valve ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร เท่ากับ  $8.652\text{E-}07$  ปี

4. ภาวะโลกร้อน (Climate Change) จากตาราง 13 ชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $3.221\text{E-}07$  DALY ซึ่งจะมีความหมายว่าชุด Water Valve ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากภาวะโลกร้อน เท่ากับ  $3.221\text{E-}07$  ปี
5. สารแผ่รังสี (Radiation) จากตาราง 13 ชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $2.960\text{E-}09$  DALY ซึ่งจะมีความหมายว่าชุด Water Valve ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากสารแผ่รังสี เท่ากับ  $2.960\text{E-}09$  ปี
6. การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Depletion) จากตาราง 13 ชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $2.633\text{E-}10$  DALY ซึ่งจะมีความหมายว่าชุด Water Valve ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากการลดลงของชั้นโอโซน เท่ากับ  $2.633\text{E-}10$  ปี
7. ความเป็นพิษ (Ecotoxicity) จากตาราง 13 ชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $2.494\text{E-}01$   $\text{PAF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{yr}$  ซึ่งจะมีความหมายว่า ชุด Water Valve จะทำให้ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร มีสัดส่วนของพืชที่มีโอกาสได้รับผลกระทบเท่ากับ 24.94% ของพื้นที่ 1 ตารางเมตร ต่อปี
8. ภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification / Eutrophication) จากตาราง 13 ชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $2.835\text{E-}02$   $\text{PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{yr}$  ซึ่งจะมีความหมายว่า ชุด Water Valve จะทำให้ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร มีสัดส่วนการสูญหายของพืช เท่ากับ 2.83% ของพื้นที่ 1 ตารางเมตรต่อปี
9. การใช้พื้นที่ (Land use) จากตาราง 13 ชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $9.181\text{E-}03$   $\text{PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{yr}$  ซึ่งจะมีความหมายว่าชุด Water Valve จะทำให้ในพื้นที่ 1 ตารางเมตรเกิดสัดส่วนการสูญหายของพื้นที่(สูญเสียความสามารถในการปลูกพืช) เท่ากับ 0.91% ของพื้นที่ 1 ตารางเมตรต่อปี
10. การใช้สินแร่ (Mineral) จากตาราง 13 ชุด Water Valve จะมีค่าเท่ากับ  $1.138\text{E+}00$  MJ surplus ซึ่งจะมีความหมายว่าชุด Water Valve จะส่งผลให้ต้องใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อชดเชยสินแร่ที่มีระดับลดลงในอนาคต เท่ากับ 1.138 MJ (ต้องใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อแสวงหาหรือขุดแร่ เนื่องจากปริมาณสินแร่ที่ลดลงจากการใช้ในปัจจุบัน)
11. การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) จากตาราง 13 ชุด Water Valveจะมีค่าเท่ากับ  $1.230\text{E+}00$  MJ surplus ซึ่งจะมีความหมายว่าชุด Water Valve จะส่งผลให้ระดับของเชื้อเพลิงในอนาคตลดลง เท่ากับ 1.230 MJ

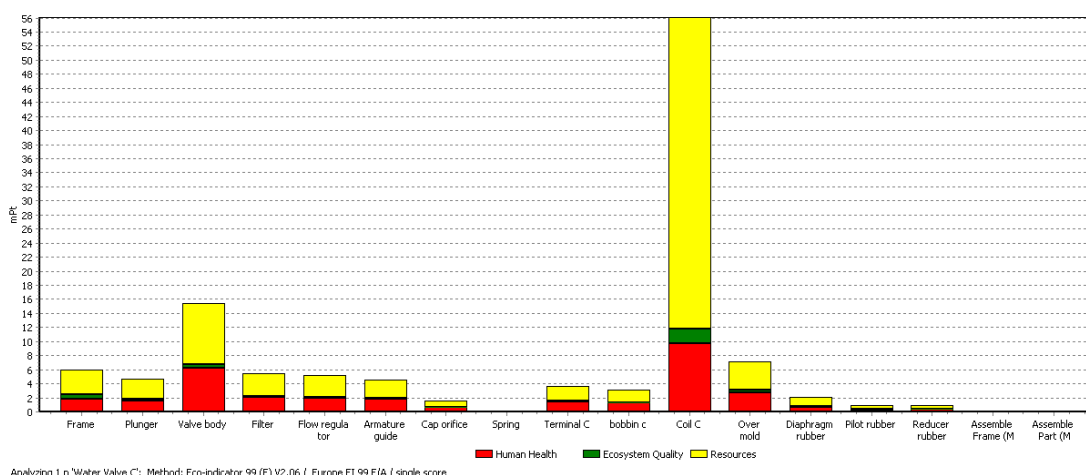
ตาราง 13 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนต่างๆของชุด Water valve ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

| Impact category               | Unit       | Total     | Frame     | Plunger   | Valve body | Filter    | Flow regulator | Armature guide | Cap orifice | Spring    |
|-------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|----------------|----------------|-------------|-----------|
| Carcinogens                   | DALY       | 6.049E-08 | 9.551E-09 | 1.149E-09 | 1.510E-09  | 9.390E-10 | 9.513E-10      | 5.230E-10      | 2.564E-10   | 4.043E-12 |
| Respiratory organics          | DALY       | 1.515E-09 | 5.558E-11 | 3.005E-11 | 1.071E-10  | 3.382E-11 | 3.156E-11      | 3.103E-11      | 9.823E-12   | 1.468E-13 |
| Respiratory inorganics        | DALY       | 8.652E-07 | 3.767E-08 | 3.833E-08 | 1.592E-07  | 4.962E-08 | 4.619E-08      | 4.599E-08      | 1.443E-08   | 6.881E-10 |
| Climate change                | DALY       | 3.221E-07 | 2.285E-08 | 2.230E-08 | 7.877E-08  | 2.803E-08 | 2.667E-08      | 2.341E-08      | 8.031E-09   | 8.868E-11 |
| Radiation                     | DALY       | 2.960E-09 | 2.199E-10 | 1.901E-11 | 2.667E-11  | 1.928E-11 | 1.976E-11      | 9.735E-12      | 5.218E-12   | 2.781E-14 |
| Ozone layer                   | DALY       | 2.633E-10 | 1.337E-11 | 3.275E-12 | 4.557E-12  | 3.294E-12 | 3.376E-12      | 1.663E-12      | 8.914E-13   | 5.174E-15 |
| Ecotoxicity                   | PAF*m2yr   | 2.494E-01 | 4.934E-02 | 3.579E-03 | 3.713E-03  | 2.001E-03 | 2.002E-03      | 1.229E-03      | 5.520E-04   | 2.038E-05 |
| Acidification/ Eutrophication | PDF*m2yr   | 2.835E-02 | 1.441E-03 | 1.424E-03 | 5.801E-03  | 1.808E-03 | 1.683E-03      | 1.676E-03      | 5.260E-04   | 1.661E-05 |
| Land use                      | PDF*m2yr   | 9.181E-03 | 1.380E-03 | 6.190E-04 | 2.953E-04  | 2.135E-04 | 2.188E-04      | 1.078E-04      | 5.777E-05   | 5.091E-06 |
| Minerals                      | MJ surplus | 1.138E+00 | 4.232E-03 | 3.855E-03 | 1.239E-04  | 7.525E-05 | 7.609E-05      | 4.258E-05      | 2.058E-05   | 1.944E-04 |
| Fossil fuels                  | MJ surplus | 1.230E+00 | 9.983E-02 | 8.228E-02 | 2.595E-01  | 9.572E-02 | 9.155E-02      | 7.773E-02      | 2.732E-02   | 3.666E-04 |

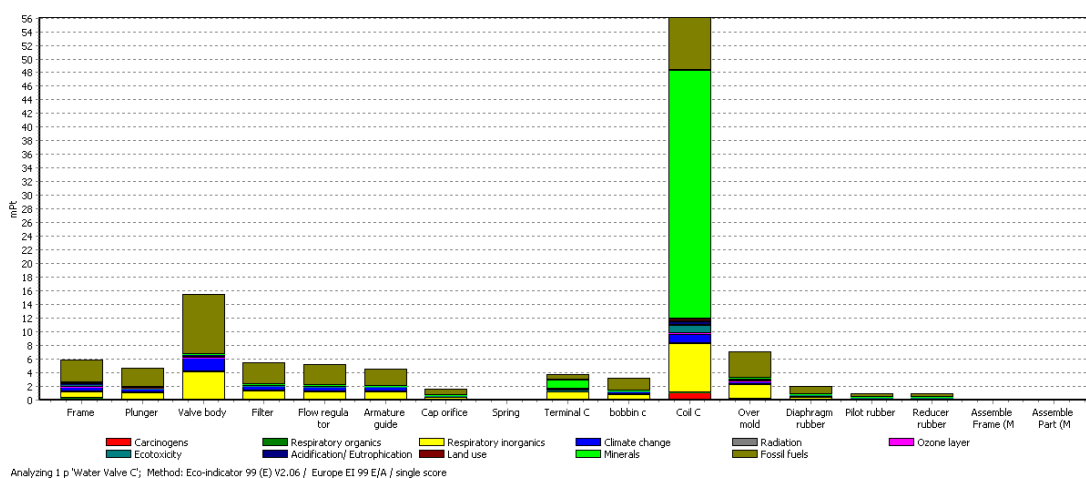
ตาราง 13 (ต่อ)

| Impact category               | Unit       | Total     | Terminal C | bobbin c  | Coil C    | Overmold C | Diaphragm rubber | Pilot rubber | Reducer rubber | Assemble Frame (M) | Assemble Part (M) |
|-------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|------------------|--------------|----------------|--------------------|-------------------|
| Carcinogens                   | DALY       | 6.049E-08 | 5.075E-10  | 3.517E-10 | 4.096E-08 | 2.243E-09  | 1.015E-09        | 2.556E-10    | 2.433E-10      | 2.194E-11          | 5.266E-12         |
| Respiratory organics          | DALY       | 1.515E-09 | 6.331E-12  | 2.149E-11 | 3.537E-10 | 7.663E-10  | 4.640E-11        | 8.334E-12    | 1.257E-11      | 5.492E-13          | 1.318E-13         |
| Respiratory inorganics        | DALY       | 8.652E-07 | 4.699E-08  | 3.186E-08 | 2.793E-07 | 8.218E-08  | 1.657E-08        | 7.412E-09    | 7.842E-09      | 7.964E-10          | 1.911E-10         |
| Climate change                | DALY       | 3.221E-07 | 5.205E-09  | 1.614E-08 | 5.223E-08 | 1.886E-08  | 9.721E-09        | 4.598E-09    | 4.620E-09      | 5.010E-10          | 1.202E-10         |
| Radiation                     | DALY       | 2.960E-09 | 2.129E-12  | 6.495E-12 | 2.273E-09 | 2.917E-10  | 5.428E-11        | 8.478E-12    | 4.262E-12      | 4.704E-13          | 1.129E-13         |
| Ozone layer                   | DALY       | 2.633E-10 | 7.303E-13  | 1.110E-12 | 1.087E-10 | 1.045E-10  | 1.264E-11        | 1.759E-12    | 3.355E-12      | 8.037E-14          | 1.929E-14         |
| Ecotoxicity                   | PAF*m2yr   | 2.494E-01 | 3.829E-03  | 8.322E-04 | 1.637E-01 | 1.572E-02  | 1.911E-03        | 5.049E-04    | 4.397E-04      | 4.449E-05          | 1.068E-05         |
| Acidification/ Eutrophication | PDF*m2yr   | 2.835E-02 | 1.131E-03  | 1.161E-03 | 6.725E-03 | 3.776E-03  | 5.876E-04        | 2.686E-04    | 2.902E-04      | 2.902E-05          | 6.965E-06         |
| Land use                      | PDF*m2yr   | 9.181E-03 | 1.153E-03  | 7.191E-05 | 4.250E-03 | 5.341E-04  | 1.589E-04        | 5.313E-05    | 5.617E-05      | 5.209E-06          | 1.250E-06         |
| Minerals                      | MJ surplus | 1.138E+00 | 4.131E-02  | 2.867E-05 | 1.088E+00 | 1.496E-04  | 4.880E-05        | 1.739E-05    | 1.625E-05      | 1.745E-06          | 4.188E-07         |
| Fossil fuels                  | MJ surplus | 1.230E+00 | 2.151E-02  | 5.352E-02 | 2.287E-01 | 1.166E-01  | 3.805E-02        | 1.647E-02    | 1.811E-02      | 1.754E-03          | 4.209E-04         |

จากขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) ลำดับต่อมาจะทำการให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เพื่อทำการแบ่งลำดับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชิ้นงานของชุด Water Valve เพื่อที่จะสามารถทำให้เห็นถึงระดับของผลกระทบในแต่ละชิ้นส่วนได้



ภาพประกอบ 24 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วนชุด Water vale



ภาพประกอบ 25 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วนชุด Water vale

โดยที่จากภาพประกอบ 24 และภาพประกอบ 25 เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เพื่อป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมพบว่า ชุด Water valve จะส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเท่ากับ  $1.168 \times 10^{-1}$  Pt โดยที่ชิ้นส่วน Coil ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดรวมถึง  $5.608 \times 10^{-2}$  Pt หรือคิดเป็น 48% ของชุด Water valve โดยส่งผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากร (Resources) มากที่สุด รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) สำหรับชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรองลงมาได้แก่ ชิ้นส่วน Valve body โดยเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรวมถึง

1.543E-02 Pt หรือคิดเป็น 13.21% ของชุด Water valve โดยส่งผลกระทบต่อ การลดลงของทรัพยากร (Resources) มากที่สุด รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) โดยที่ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมเป็นอันดับ 3 ได้แก่ ชิ้นส่วน Over mold โดยเกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมรวมถึง 7.086E-03 Pt หรือคิดเป็น 6.06% ของชุด Water valve โดยส่งผลกระทบต่อ การลดลงของทรัพยากร (Resources) มากที่สุด รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) สำหรับตาราง 14 เป็นการแสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วนทั้งหมดๆของชุด Water valve

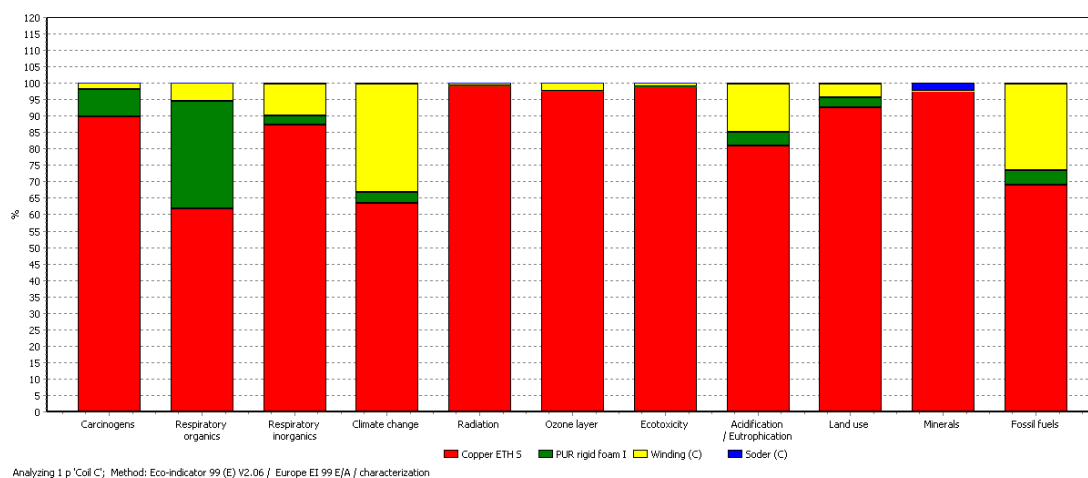
ตาราง 14 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วนทั้งหมดๆของชุด Water valve

| ชิ้นส่วน         | ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว | เปอร์เซ็นต์ |
|------------------|--------------------|-------------|
| Coil             | 5.608E-02          | 48%         |
| Valve body       | 1.543E-02          | 13.21%      |
| Over mold        | 7.086E-03          | 6.06%       |
| Frame            | 5.922E-03          | 5.07%       |
| Filter           | 5.428E-03          | 4.65%       |
| Flow regulator   | 5.154E-03          | 4.41%       |
| Plunger          | 4.682E-03          | 4.01%       |
| Armature guide   | 4.753E-03          | 3.91%       |
| Terminal         | 3.683E-03          | 3.15%       |
| Bobbin           | 3.154E-03          | 2.70%       |
| Diaphragm rubber | 2.063E-03          | 1.77%       |
| Cap orifice      | 1.557E-03          | 1.33%       |
| Reducer rubber   | 9.689E-04          | 0.83%       |
| Pilot rubber     | 9.008E-04          | 0.77%       |
| Assemble Frame   | 9.62E-05           | 0.08%       |
| Spring           | 4.09E-05           | 0.04%       |
| Assemble Part    | 2.31E-05           | 0.02%       |
| <b>Total</b>     | <b>1.170E-01</b>   | <b>100%</b> |

จากการสรุปในขั้นต้นทำให้เห็นได้ว่าชิ้นส่วน Coil, Valve body และ over mold เป็นชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อภาระทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้น่าสนใจว่าปัจจัยหรือสาเหตุใดที่ทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อภาระทางสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางการนำไปสู่การลดภาระทางสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนเหล่านี้ต่อไป

ในขั้นตอนต่อมาจะทำการแยกประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อภาระทางสิ่งแวดล้อม โดยจะทำการพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ตามลำดับ ได้แก่ ชิ้นส่วน Coil, Valve body และ over mold เพื่อทำการศึกษาถึงปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อภาระทางสิ่งแวดล้อม

## 1) ชิ้นส่วน Coil



ภาพประกอบ 26 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Coil ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

จากภาพประกอบ 26 จะเห็นได้ว่าการผลิตชิ้นส่วน Coil ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆมากที่สุดในทุกด้านได้แก่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ Copper โดยที่ถ้าหากทำการพิจารณาการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ Copper จะส่งผลกระทบเท่ากับ  $3.320\text{E-}08$  DALY โดยที่ขั้นตอนการ Winding, การใช้วัตถุดิบ PUR rigid foam I และ Solder จะส่งผลกระทบเท่ากับ  $1.719\text{E-}08$  DALY,  $1.680\text{E-}09$  DALY,  $1.607\text{E-}10$  DALY ตามลำดับ

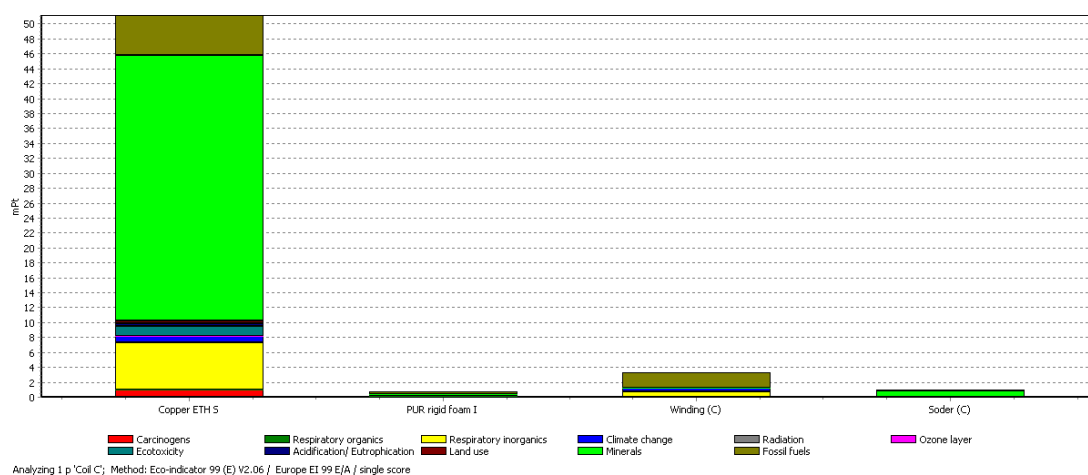
สำหรับตาราง 15 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Coil ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

ตาราง 15 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Coil ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

| Impact category                  | Unit       | Total     | Copper<br>ETH S | PUR rigid<br>foam I | Winding (C) | Solder (C) |
|----------------------------------|------------|-----------|-----------------|---------------------|-------------|------------|
| Carcinogens                      | DALY       | 4.096E-08 | 3.680E-08       | 3.409E-09           | 7.528E-10   | 1.703E-12  |
| Respiratory organics             | DALY       | 3.537E-10 | 2.184E-10       | 1.162E-10           | 1.884E-11   | 1.922E-13  |
| Respiratory inorganics           | DALY       | 2.793E-07 | 2.441E-07       | 7.567E-09           | 2.732E-08   | 3.186E-10  |
| Climate change                   | DALY       | 5.223E-08 | 3.320E-08       | 1.680E-09           | 1.719E-08   | 1.607E-10  |
| Radiation                        | DALY       | 2.273E-09 | 2.257E-09       | 0.000E+00           | 1.614E-11   | 3.528E-14  |
| Ozone layer                      | DALY       | 1.087E-10 | 1.059E-10       | 3.662E-14           | 2.758E-12   | 6.052E-15  |
| Ecotoxicity                      | PAF*m2yr   | 1.637E-01 | 1.618E-01       | 4.065E-04           | 1.526E-03   | 1.891E-05  |
| Acidification/<br>Eutrophication | PDF*m2yr   | 6.725E-03 | 5.434E-03       | 2.824E-04           | 9.957E-04   | 1.292E-05  |
| Land use                         | PDF*m2yr   | 4.250E-03 | 3.932E-03       | 1.348E-04           | 1.787E-04   | 4.301E-06  |
| Minerals                         | MJ surplus | 1.088E+00 | 1.061E+00       | 1.026E-06           | 5.987E-05   | 2.664E-02  |
| Fossil fuels                     | MJ surplus | 2.287E-01 | 1.581E-01       | 9.812E-03           | 6.017E-02   | 6.816E-04  |



ภาพประกอบ 27 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วน Coil



ภาพประกอบ 28 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Coil

จากภาพประกอบ 27 และภาพประกอบ 28 เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เพื่อป้องกันความเสี่ยงสิ่งแวดล้อมพบว่า ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ Copper ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเป็นอันดับแรก โดยมีคะแนนเชิงเดี่ยวถึง  $5.115 \times 10^{-2}$  Pt หรือคิดเป็น 91.21 % ของชิ้นส่วน Coil โดยจะส่งผลกระทบต่อลดลงของทรัพยากร (Resources) ด้านการใช้สินแร่ (Mineral) มากที่สุด ถึง  $3.565 \times 10^{-2}$  Pt หรือคิดเป็น 63.58% ของขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งสาเหตุมาจากการเตรียมวัตถุดิบ Copper รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ในด้านผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiratory inorganics) ถึง  $6.316 \times 10^{-3}$  Pt หรือคิดเป็น 11.26% ของขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ สำหรับการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) จะส่งผลกระทบต่อเท่ากับ  $8.592 \times 10^{-4}$  Pt หรือคิดเป็น 1.53% ของขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ

สำหรับในขั้นตอน Winding ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมเป็นอันดับสอง รองจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งขั้นตอน Winding ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมโดยมีคะแนนเชิงเดี่ยวถึง  $3.000 \times 10^{-3}$  Pt หรือคิดเป็น 5.88 % ของชิ้นส่วน Coil โดยจะส่งผลกระทบต่อลดลงของทรัพยากร (Resources) ด้านการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) ถึง  $2.022 \times 10^{-3}$  หรือคิดเป็น 3.61% ของขั้นตอน Winding ซึ่งสาเหตุเกิดจากการใช้ไฟฟ้าในการผลิตชิ้นส่วน Coil รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ในด้านผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiratory inorganics) ถึง  $7.072 \times 10^{-4}$  Pt หรือคิดเป็น 1.26% ของขั้นตอน Winding สำหรับการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) จะส่งผลกระทบต่อเท่ากับ  $4.448 \times 10^{-4}$  Pt หรือคิดเป็น 0.79% ของขั้นตอน Winding

โดยที่ตาราง 16 เป็นการแสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วน Coil และตาราง 17 เป็นการแสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Coil

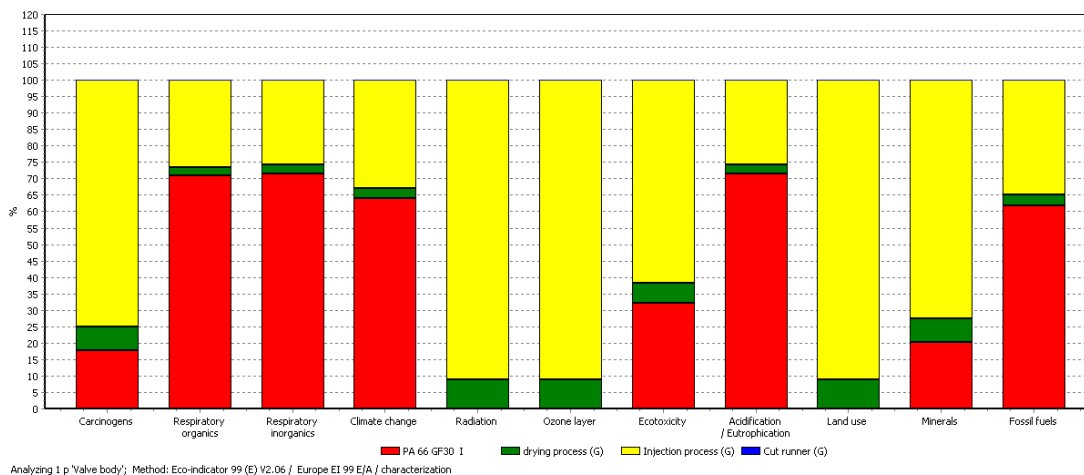
ตาราง 16 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Coil

| Damage category   | Unit | Total     | %      | Copper<br>ETH S | %     | PUR rigid<br>foam I | %    | Winding (C) | %    | Solder (C) | %    |
|-------------------|------|-----------|--------|-----------------|-------|---------------------|------|-------------|------|------------|------|
| Total             | Pt   | 5.608E-02 | 100.00 | 5.115E-02       | 91.21 | 6.960E-04           | 1.24 | 3.300E-03   | 5.88 | 9.320E-04  | 1.66 |
| Human Health      | Pt   | 9.710E-03 | 17.32  | 8.195E-03       | 14.61 | 3.306E-04           | 0.59 | 1.172E-03   | 2.09 | 1.245E-05  | 0.02 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 2.133E-03 | 3.80   | 1.992E-03       | 3.55  | 3.571E-05           | 0.06 | 1.035E-04   | 0.18 | 1.491E-06  | 0.00 |
| Resources         | Pt   | 4.423E-02 | 78.88  | 4.096E-02       | 73.05 | 3.297E-04           | 0.59 | 2.024E-03   | 3.61 | 9.180E-04  | 1.64 |

ตาราง 17 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Coil

| Impact category               | Unit | Total     | %      | Copper ETH S | %     | PUR rigid foam I | %    | Winding (C) | %    | Solder (C) | %    |
|-------------------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|------------------|------|-------------|------|------------|------|
| Total                         | Pt   | 5.608E-02 | 100.00 | 5.115E-02    | 91.21 | 6.960E-04        | 1.24 | 3.300E-03   | 5.88 | 9.320E-04  | 1.66 |
| Carcinogens                   | Pt   | 1.060E-03 | 1.89   | 9.523E-04    | 1.70  | 8.823E-05        | 0.16 | 1.948E-05   | 0.03 | 4.406E-08  | 0.00 |
| Respiratory organics          | Pt   | 9.154E-06 | 0.02   | 5.653E-06    | 0.01  | 3.008E-06        | 0.01 | 4.877E-07   | 0.00 | 4.975E-09  | 0.00 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 7.228E-03 | 12.89  | 6.316E-03    | 11.26 | 1.958E-04        | 0.35 | 7.072E-04   | 1.26 | 8.245E-06  | 0.01 |
| Climate change                | Pt   | 1.352E-03 | 2.41   | 8.592E-04    | 1.53  | 4.348E-05        | 0.08 | 4.448E-04   | 0.79 | 4.158E-06  | 0.01 |
| Radiation                     | Pt   | 5.882E-05 | 0.10   | 5.840E-05    | 0.10  | 0.000E+00        | 0.00 | 4.177E-07   | 0.00 | 9.132E-10  | 0.00 |
| Ozone layer                   | Pt   | 2.813E-06 | 0.01   | 2.741E-06    | 0.00  | 9.477E-10        | 0.00 | 7.136E-08   | 0.00 | 1.566E-10  | 0.00 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 1.277E-03 | 2.28   | 1.262E-03    | 2.25  | 3.171E-06        | 0.01 | 1.191E-05   | 0.02 | 1.475E-07  | 0.00 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 5.245E-04 | 0.94   | 4.238E-04    | 0.76  | 2.203E-05        | 0.04 | 7.767E-05   | 0.14 | 1.008E-06  | 0.00 |
| Land use                      | Pt   | 3.315E-04 | 0.59   | 3.067E-04    | 0.55  | 1.051E-05        | 0.02 | 1.394E-05   | 0.02 | 3.355E-07  | 0.00 |
| Minerals                      | Pt   | 3.655E-02 | 65.18  | 3.565E-02    | 63.58 | 3.449E-08        | 0.00 | 2.012E-06   | 0.00 | 8.951E-04  | 1.60 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 7.685E-03 | 13.70  | 5.311E-03    | 9.47  | 3.297E-04        | 0.59 | 2.022E-03   | 3.61 | 2.290E-05  | 0.04 |

## 2) ชิ้นส่วน Valve body



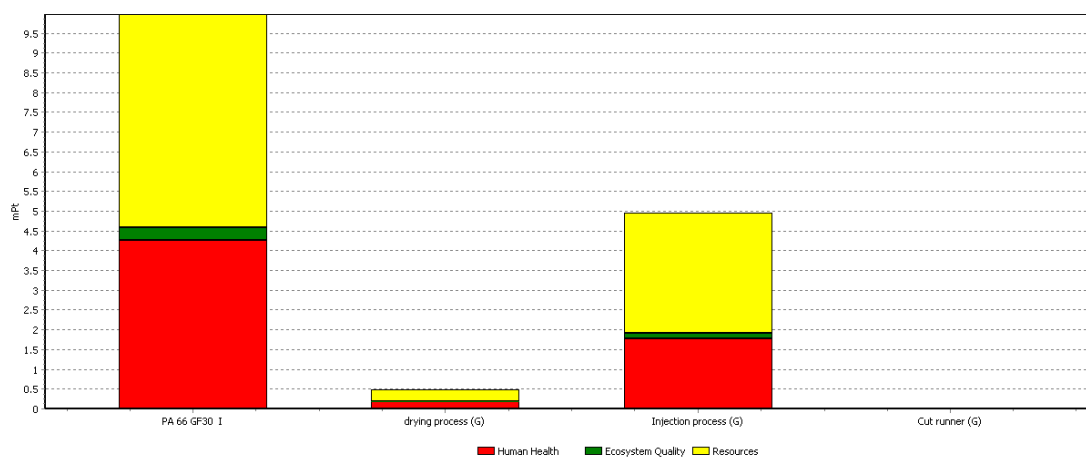
ภาพประกอบ 29 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Valve body ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

จากภาพประกอบ 29 จะเห็นได้ว่าการผลิตชิ้นส่วน Valve body ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ PA 66 GF30 I และขั้นตอนการ Injection จะส่งผลกระทบในด้านต่างๆ ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยที่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ PA 66 GF30 I จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านผลกระทบจากการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiratory organics), ผลกระทบจากการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiratory inorganics), ภาวะโลกร้อน (Climate change), ภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification/ Eutrophication), การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuels) สำหรับขั้นตอนการ Injection จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านสารก่อมะเร็ง (Carcinogens), สารแผ่รังสี (Radiation), การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone layer), ความเป็นพิษ (Ecotoxicity), การใช้พื้นที่ (Land use), การใช้สินแร่ (Minerals) โดยที่ถ้าหากทำการพิจารณาการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ขั้นตอนการใช้วัตถุดิบ PA 66 GF30 I จะส่งผลกระทบเท่ากับ  $5.037\text{E-}08$  DALY โดยที่ขั้นตอนการ Injection, drying และ Cut runner จะส่งผลกระทบเท่ากับ  $2.585\text{E-}08$  DALY,  $2.549\text{E-}09$  DALY,  $4.008\text{E-}12$  DALY ตามลำดับ

สำหรับตาราง 18 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Valve body ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

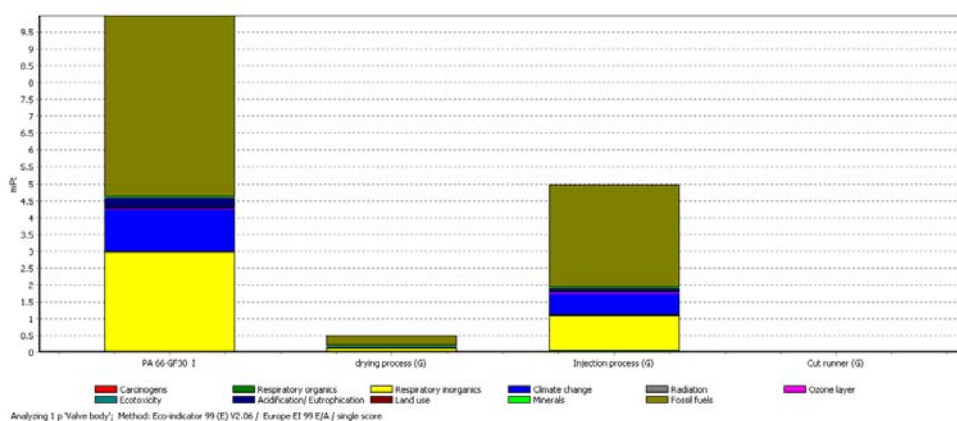
ตาราง 18 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Valve body ในขั้นตอนการ  
จำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

| Impact category                  | Unit       | Total     | PA 66<br>GF30 I | drying<br>process (G) | Injection<br>process (G) | Cut<br>runner (G) |
|----------------------------------|------------|-----------|-----------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| Carcinogens                      | DALY       | 1.510E-09 | 2.663E-10       | 1.116E-10             | 1.132E-09                | 1.755E-13         |
| Respiratory organics             | DALY       | 1.071E-10 | 7.598E-11       | 2.794E-12             | 2.834E-11                | 4.393E-15         |
| Respiratory inorganics           | DALY       | 1.592E-07 | 1.140E-07       | 4.052E-09             | 4.109E-08                | 6.371E-12         |
| Climate change                   | DALY       | 7.877E-08 | 5.037E-08       | 2.549E-09             | 2.585E-08                | 4.008E-12         |
| Radiation                        | DALY       | 2.667E-11 | 0.000E+00       | 2.394E-12             | 2.428E-11                | 3.764E-15         |
| Ozone layer                      | DALY       | 4.557E-12 | 0.000E+00       | 4.089E-13             | 4.147E-12                | 6.429E-16         |
| Ecotoxicity                      | PAF*m2yr   | 3.713E-03 | 1.191E-03       | 2.264E-04             | 2.296E-03                | 3.559E-07         |
| Acidification/<br>Eutrophication | PDF*m2yr   | 5.801E-03 | 4.155E-03       | 1.477E-04             | 1.497E-03                | 2.322E-07         |
| Land use                         | PDF*m2yr   | 2.953E-04 | 0.000E+00       | 2.650E-05             | 2.688E-04                | 4.167E-08         |
| Minerals                         | MJ surplus | 1.239E-04 | 2.501E-05       | 8.879E-06             | 9.004E-05                | 1.396E-08         |
| Fossil fuels                     | MJ surplus | 2.595E-01 | 1.601E-01       | 8.923E-03             | 9.049E-02                | 1.403E-05         |



Analyzing 1 p Valve body; Method: Eco-indicator 99 (E) V2.06 / Europe EI 99 E/A / single score

ภาพประกอบ 30 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วน Valve body



ภาพประกอบ 31 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Valve body

จากภาพประกอบ 30 และภาพประกอบ 31 เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เพื่อบ่งชี้ภาระทางสิ่งแวดล้อมพบว่า ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบพลาสติก PA 66 GF30 ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีคะแนนเชิงเดี่ยวถึง  $9.977\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 64.66% ของชิ้นส่วน Valve body โดยที่จะส่งผลกระทบต่อภาระการลดลงของทรัพยากร (Resources) ด้านการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) มากที่สุดถึง  $5.379\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 34.86% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเตรียมพลาสติก PA 66 GF30 รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ในด้านผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiratory inorganics) ถึง  $2.951\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 19.12% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ สำหรับการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) จะส่งผลกระทบต่อ 1.304E-03 Pt หรือคิดเป็น 8.45% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

สำหรับในขั้นตอน Injection ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมเป็นอันดับสอง รองจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งขั้นตอน Injection ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมโดยมีคะแนนเชิงเดี่ยวถึง  $4.963\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 32.16% ของชิ้นส่วน Valve body โดยที่จะส่งผลกระทบต่อภาระการลดลงของทรัพยากร (Resources) ด้านการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) มากที่สุด ถึง  $3.044\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 19.71% ของขั้นตอน Injection ซึ่งสาเหตุเกิดจากการใช้ไฟฟ้าในการผลิตชิ้นส่วน Valve body รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ในด้าน ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiratory inorganics) ถึง  $1.063\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 6.89% ของขั้นตอน Injection สำหรับการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) จะส่งผลกระทบต่อ 6.690E-04 Pt หรือคิดเป็น 4.34% ของขั้นตอน Injection

โดยที่ตาราง 19 เป็นการแสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วน Valve body และตาราง 20 เป็นการแสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Valve body

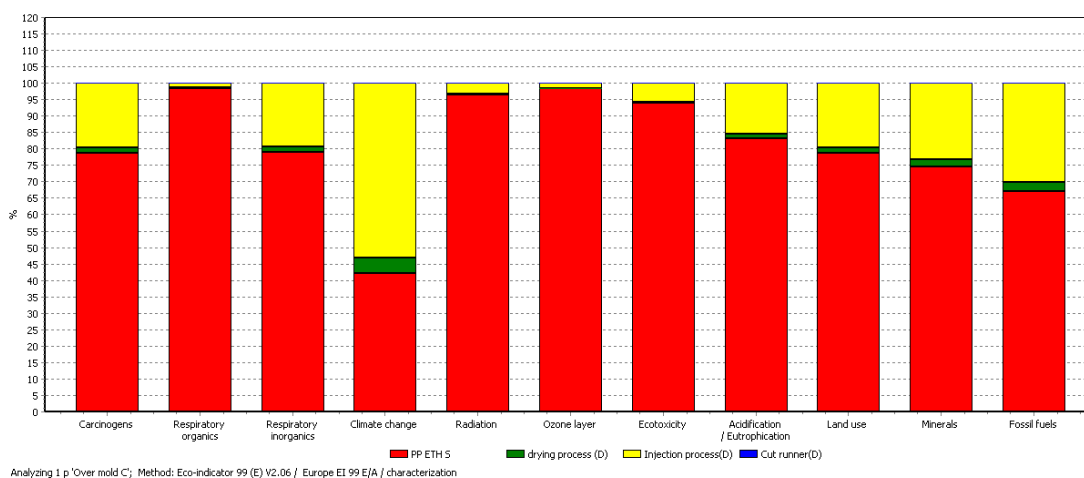
ตาราง 19 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Valve body

| Damage category   | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process (G) | %    | Injection process(G) | %     | Cut runner(G) | %    |
|-------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|--------------------|------|----------------------|-------|---------------|------|
| Total             | Pt   | 1.543E-02 | 100.00 | 9.977E-03    | 64.66 | 4.893E-04          | 3.17 | 4.963E-03            | 32.16 | 7.694E-07     | 0.00 |
| Human Health      | Pt   | 6.200E-03 | 40.19  | 4.263E-03    | 27.63 | 1.739E-04          | 1.13 | 1.763E-03            | 11.43 | 2.734E-07     | 0.00 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 5.045E-04 | 3.27   | 3.334E-04    | 2.16  | 1.535E-05          | 0.10 | 1.557E-04            | 1.01  | 2.413E-08     | 0.00 |
| Resources         | Pt   | 8.724E-03 | 56.54  | 5.380E-03    | 34.87 | 3.001E-04          | 1.95 | 3.044E-03            | 19.73 | 4.719E-07     | 0.00 |

ตาราง 20 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Valve body

| Impact category               | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process(G) | %    | Injection process(G) | %     | Cut runner (G) | %    |
|-------------------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|-------------------|------|----------------------|-------|----------------|------|
| Total                         | Pt   | 1.543E-02 | 100.00 | 9.977E-03    | 64.66 | 4.893E-04         | 3.17 | 4.963E-03            | 32.16 | 7.694E-07      | 0.00 |
| Carcinogens                   | Pt   | 3.908E-05 | 0.25   | 6.892E-06    | 0.04  | 2.889E-06         | 0.02 | 2.930E-05            | 0.19  | 4.542E-09      | 0.00 |
| Respiratory organics          | Pt   | 2.772E-06 | 0.02   | 1.966E-06    | 0.01  | 7.231E-08         | 0.00 | 7.334E-07            | 0.00  | 1.137E-10      | 0.00 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 4.119E-03 | 26.70  | 2.951E-03    | 19.12 | 1.049E-04         | 0.68 | 1.063E-03            | 6.89  | 1.649E-07      | 0.00 |
| Climate change                | Pt   | 2.039E-03 | 13.21  | 1.304E-03    | 8.45  | 6.597E-05         | 0.43 | 6.690E-04            | 4.34  | 1.037E-07      | 0.00 |
| Radiation                     | Pt   | 6.903E-07 | 0.00   | 0.000E+00    | 0.00  | 6.195E-08         | 0.00 | 6.282E-07            | 0.00  | 9.740E-11      | 0.00 |
| Ozone layer                   | Pt   | 1.179E-07 | 0.00   | 0.000E+00    | 0.00  | 1.058E-08         | 0.00 | 1.073E-07            | 0.00  | 1.664E-11      | 0.00 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 2.896E-05 | 0.19   | 9.290E-06    | 0.06  | 1.766E-06         | 0.01 | 1.791E-05            | 0.12  | 2.776E-09      | 0.00 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 4.525E-04 | 2.93   | 3.241E-04    | 2.10  | 1.152E-05         | 0.07 | 1.168E-04            | 0.76  | 1.811E-08      | 0.00 |
| Land use                      | Pt   | 2.303E-05 | 0.15   | 0.000E+00    | 0.00  | 2.067E-06         | 0.01 | 2.096E-05            | 0.14  | 3.250E-09      | 0.00 |
| Minerals                      | Pt   | 4.164E-06 | 0.03   | 8.402E-07    | 0.01  | 2.983E-07         | 0.00 | 3.025E-06            | 0.02  | 4.691E-10      | 0.00 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 8.720E-03 | 56.52  | 5.379E-03    | 34.86 | 2.998E-04         | 1.94 | 3.041E-03            | 19.71 | 4.714E-07      | 0.00 |

### 3) ชิ้นส่วน Over mold



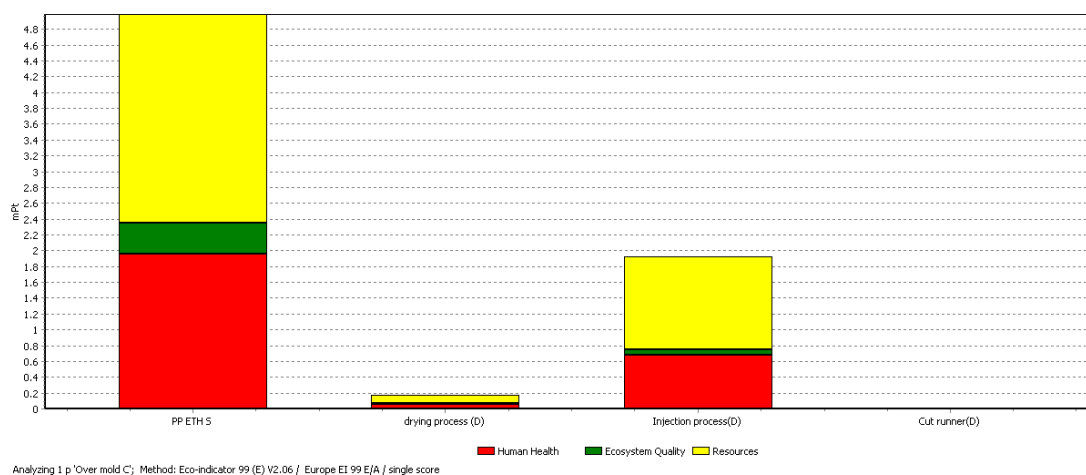
ภาพประกอบ 32 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน over mold ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

จากภาพประกอบ 32 จะเห็นได้ว่าการผลิตชิ้นส่วน over mold ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ มากที่สุดในเกือบทุกด้านได้แก่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบพลาสติก PP สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้าน ภาวะโลกร้อน (Climate change) ขั้นตอนการ Injection ส่งผลกระทบมากที่สุด โดยที่ถ้าหากทำการพิจารณาการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ขั้นตอนการ Injection จะส่งผลกระทบเท่ากับ  $1.002\text{E}-08$  DALY โดยที่ขั้นตอนการใช้วัตถุดิบ PP, drying และ cut runner จะส่งผลกระทบเท่ากับ  $7.930\text{E}-09$  DALY,  $9.102\text{E}-10$  DALY,  $3.007\text{E}-12$  DALY ตามลำดับ

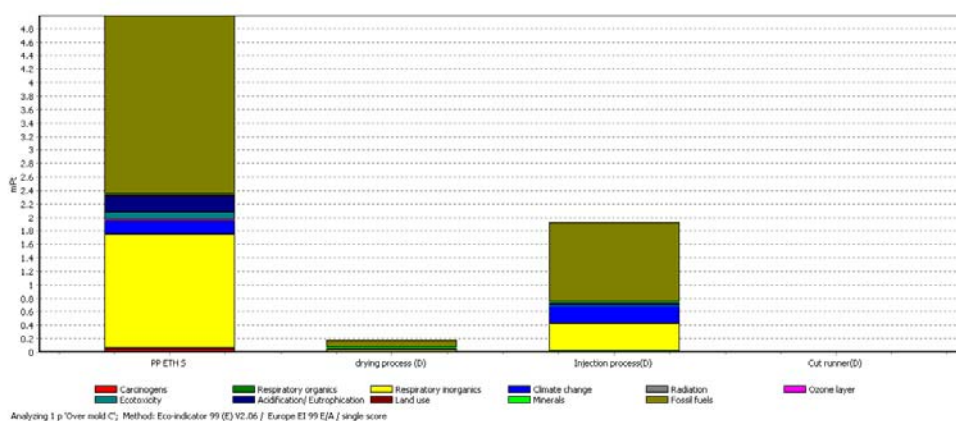
สำหรับตาราง 21 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน over mold ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

ตาราง 21 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน over mold ในขั้นตอนการ  
จำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization)

| Impact category                   | Unit       | Total     | PP ETH S  | drying<br>process (D) | Injection<br>process(D) | Cut<br>runner(D) |
|-----------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------------------|-------------------------|------------------|
| Carcinogens                       | DALY       | 2.243E-09 | 1.765E-09 | 3.986E-11             | 4.388E-10               | 1.317E-13        |
| Respiratory organics              | DALY       | 7.663E-10 | 7.543E-10 | 9.977E-13             | 1.098E-11               | 3.296E-15        |
| Respiratory inorganics            | DALY       | 8.218E-08 | 6.480E-08 | 1.447E-09             | 1.593E-08               | 4.780E-12        |
| Climate change                    | DALY       | 1.886E-08 | 7.930E-09 | 9.102E-10             | 1.002E-08               | 3.007E-12        |
| Radiation                         | DALY       | 2.917E-10 | 2.815E-10 | 8.547E-13             | 9.409E-12               | 2.823E-15        |
| Ozone layer                       | DALY       | 1.045E-10 | 1.027E-10 | 1.460E-13             | 1.607E-12               | 4.823E-16        |
| Ecotoxicity                       | PAF*m2yr   | 1.572E-02 | 1.475E-02 | 8.083E-05             | 8.898E-04               | 2.670E-07        |
| Acidification<br>/ Eutrophication | PDF*m2yr   | 3.776E-03 | 3.142E-03 | 5.272E-05             | 5.804E-04               | 1.742E-07        |
| Land use                          | PDF*m2yr   | 5.341E-04 | 4.204E-04 | 9.463E-06             | 1.042E-04               | 3.126E-08        |
| Minerals                          | MJ surplus | 1.496E-04 | 1.115E-04 | 3.170E-06             | 3.490E-05               | 1.047E-08        |
| Fossil fuels                      | MJ surplus | 1.166E-01 | 7.837E-02 | 3.186E-03             | 3.508E-02               | 1.053E-05        |



ภาพประกอบ 33 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วน over mold



ภาพประกอบ 34 คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน over mold

จากภาพประกอบ 33 และภาพประกอบ 34 เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เพื่อบ่งชี้ภาระทางสิ่งแวดล้อมพบว่า ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบพลาสติก PP ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเป็นอันดับแรก โดยมีคะแนนเชิงเดี่ยวถึง  $4.987\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 70.38% ของชิ้นส่วน Over mold โดยที่จะส่งผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resources) ด้านการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) มากที่สุด ถึง  $2.633\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 37.16% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเตรียมวัตถุดิบพลาสติก PP รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ในด้านผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiratory inorganics) ถึง  $1.677\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 23.67% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ สำหรับการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) จะส่งผลกระทบเท่ากับ  $2.052\text{E-}04$  Pt หรือคิดเป็น 2.90% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

สำหรับในขั้นตอน Injection ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมเป็นอันดับสอง รองจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งขั้นตอน Injection ทำให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมโดยมีคะแนนเชิงเดี่ยวถึง  $1.923\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 27.15% ของชิ้นส่วน Over mold โดยที่จะส่งผลกระทบต่อการลดลงของทรัพยากร (Resources) ด้านการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) มากที่สุด ถึง  $1.179\text{E-}03$  Pt หรือคิดเป็น 16.63% ของขั้นตอน Injection ซึ่งสาเหตุเกิดจากการใช้ไฟฟ้าในการผลิตชิ้นส่วน over mold รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) ในด้านผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiratory inorganics) ถึง  $4.122\text{E-}04$  Pt หรือคิดเป็น 5.82% ของขั้นตอน Injection สำหรับการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) จะส่งผลกระทบเท่ากับ  $2.593\text{E-}04$  Pt หรือคิดเป็น 3.66% ของขั้นตอน Injection

โดยที่ตาราง 22 เป็นการแสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของชิ้นส่วน over mold และตาราง 23 เป็นการแสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน over mold

ตาราง 22 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน over mold

| Damage category   | Unit | Total     | %      | PP ETH S  | %     | drying process(D) | %    | Injection process(D) | %     | Cut runner(D) | %    |
|-------------------|------|-----------|--------|-----------|-------|-------------------|------|----------------------|-------|---------------|------|
| Total             | Pt   | 7.086E-03 | 100.00 | 4.987E-03 | 70.38 | 1.747E-04         | 2.47 | 1.923E-03            | 27.15 | 5.772E-07     | 0.01 |
| Human Health      | Pt   | 2.703E-03 | 38.15  | 1.957E-03 | 27.62 | 6.208E-05         | 0.88 | 6.834E-04            | 9.64  | 2.051E-07     | 0.00 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 4.588E-04 | 6.47   | 3.929E-04 | 5.55  | 5.481E-06         | 0.08 | 6.034E-05            | 0.85  | 1.811E-08     | 0.00 |
| Resources         | Pt   | 3.924E-03 | 55.38  | 2.637E-03 | 37.21 | 1.072E-04         | 1.51 | 1.180E-03            | 16.65 | 3.540E-07     | 0.00 |

ตาราง 23 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน over mold

| Impact category               | Unit | Total     | %      | PP ETH S  | %     | drying process(D) | %    | Injection process(D) | %     | Cut runner (D) | %    |
|-------------------------------|------|-----------|--------|-----------|-------|-------------------|------|----------------------|-------|----------------|------|
| Total                         | Pt   | 7.086E-03 | 100.00 | 4.987E-03 | 70.38 | 1.747E-04         | 2.47 | 1.923E-03            | 27.15 | 5.772E-07      | 0.01 |
| Carcinogens                   | Pt   | 5.806E-05 | 0.82   | 4.567E-05 | 0.64  | 1.032E-06         | 0.01 | 1.136E-05            | 0.16  | 3.408E-09      | 0.00 |
| Respiratory organics          | Pt   | 1.983E-05 | 0.28   | 1.952E-05 | 0.28  | 2.582E-08         | 0.00 | 2.843E-07            | 0.00  | 8.530E-11      | 0.00 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 2.127E-03 | 30.01  | 1.677E-03 | 23.67 | 3.744E-05         | 0.53 | 4.122E-04            | 5.82  | 1.237E-07      | 0.00 |
| Climate change                | Pt   | 4.882E-04 | 6.89   | 2.052E-04 | 2.90  | 2.355E-05         | 0.33 | 2.593E-04            | 3.66  | 7.781E-08      | 0.00 |
| Radiation                     | Pt   | 7.550E-06 | 0.11   | 7.284E-06 | 0.10  | 2.212E-08         | 0.00 | 2.435E-07            | 0.00  | 7.307E-11      | 0.00 |
| Ozone layer                   | Pt   | 2.704E-06 | 0.04   | 2.659E-06 | 0.04  | 3.779E-09         | 0.00 | 4.160E-08            | 0.00  | 1.248E-11      | 0.00 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 1.226E-04 | 1.73   | 1.150E-04 | 1.62  | 6.305E-07         | 0.01 | 6.940E-06            | 0.10  | 2.083E-09      | 0.00 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 2.945E-04 | 4.16   | 2.451E-04 | 3.46  | 4.112E-06         | 0.06 | 4.527E-05            | 0.64  | 1.359E-08      | 0.00 |
| Land use                      | Pt   | 4.166E-05 | 0.59   | 3.279E-05 | 0.46  | 7.381E-07         | 0.01 | 8.125E-06            | 0.11  | 2.438E-09      | 0.00 |
| Minerals                      | Pt   | 5.026E-06 | 0.07   | 3.747E-06 | 0.05  | 1.065E-07         | 0.00 | 1.173E-06            | 0.02  | 3.519E-10      | 0.00 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 3.919E-03 | 55.31  | 2.633E-03 | 37.16 | 1.071E-04         | 1.51 | 1.179E-03            | 16.63 | 3.537E-07      | 0.00 |

สำหรับค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) และค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วนอื่นๆของชุด Water valve จะแสดงภาคผนวก ก ตาราง ก3 ถึง ก26

จากการศึกษาถึงการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วน Coil, Valve body และ over mold ของชุด Water valve ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) โดยทำการแยกศึกษาในแต่ละกระบวนการผลิตในแต่ละชิ้นส่วน ทำให้เห็นได้ว่าขั้นตอนที่ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในเกือบทุกด้านได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของชิ้นส่วน Coil, Valve body และ over mold รองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการ Injection ของชิ้นส่วน Valve body, over mold และ ขั้นตอนการ winding ของชิ้นส่วน Coil และหากพิจารณาการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของชิ้นส่วน Coil และ ชิ้นส่วน Valve body เป็นขั้นตอนที่ส่งผลกระทบมากที่สุด แต่สำหรับในชิ้นส่วน Over mold ในขั้นตอนการ Injection กลับส่งผลกระทบมากกว่าในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ

เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) โดยทำการแยกศึกษาในแต่ละกระบวนการผลิตในแต่ละชิ้นส่วน ทำให้เห็นได้ว่าขั้นตอนที่มีค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) มากที่สุดได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของชิ้นส่วน Coil, Valve body และ over mold รองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการ Injection ของชิ้นส่วน Valve body, over mold และ ขั้นตอนการ winding ของชิ้นส่วน Coil และหากพิจารณาการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของชิ้นส่วน Coil และ ชิ้นส่วน Valve body เป็นขั้นตอนที่ส่งผลกระทบมากที่สุด แต่สำหรับในชิ้นส่วน Over mold ในขั้นตอนการ Injection กลับส่งผลกระทบมากกว่าในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วน Coil, Valve body และ over mold ของชุด Water valve ทั้งในส่วนของขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) และในขั้นตอนค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาเพียงแค่การส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของชิ้นส่วน Coil และ ชิ้นส่วน Valve body ส่งผลกระทบมากที่สุด ในขณะที่ขั้นตอนการ Injection ของชิ้นส่วน Over mold กลับส่งผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) มากกว่าในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการที่ได้ทำการศึกษาถึงในแต่ละกระบวนการผลิตในแต่ละชิ้นส่วนนั้นจะทำให้สามารถทราบถึงสาเหตุหรือปัจจัยที่ส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆได้ ซึ่งเมื่อทราบถึงสาเหตุหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆแล้วนั้นทำให้สามารถใช้เป็น

แนวทางในการเลือกใช้วัตถุดิบหรือกระบวนการผลิตในอนาคตให้สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆได้

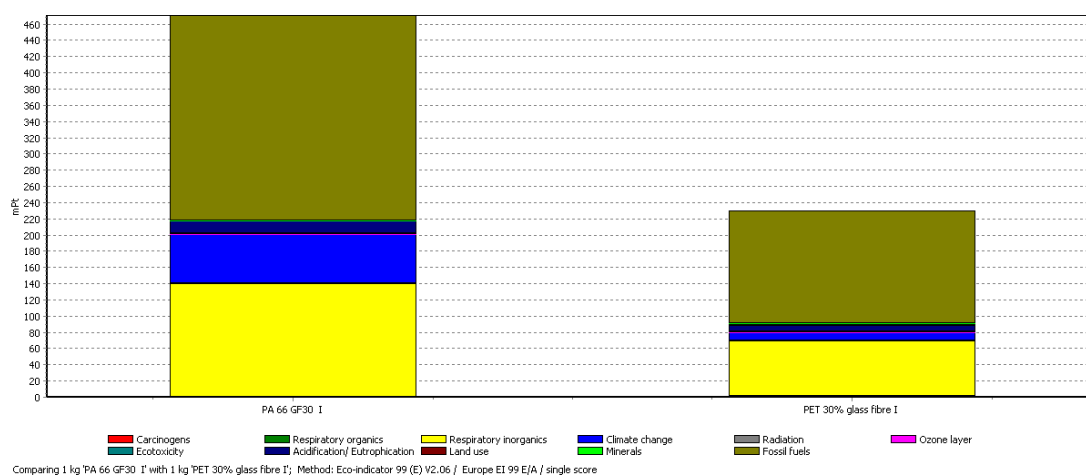
### 4.3 การเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงชิ้นส่วนของชุด Water valve

จากผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ผ่านมาในขั้นต้นทำให้เห็นได้ว่าขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเป็นขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาคือขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ อาทิเช่น ขั้นตอนการ Injection, ขั้นตอนการ winding ซึ่งทั้งสองกระบวนการผลิตเป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทำการเสนอแนะแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนทั้งสองนี้ โดยที่จะทำการเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงเบื้องต้น ซึ่งควรจะมีการศึกษาต่อไป เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการใช้วัตถุดิบและการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักในการผลิตชิ้นส่วน

สำหรับข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับชิ้นส่วนชุด Water valve ของงานวิจัยฉบับนี้จะสามารถสรุปได้เป็นแนวทางดังต่อไปนี้

#### 1) ปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนของชุด water valve

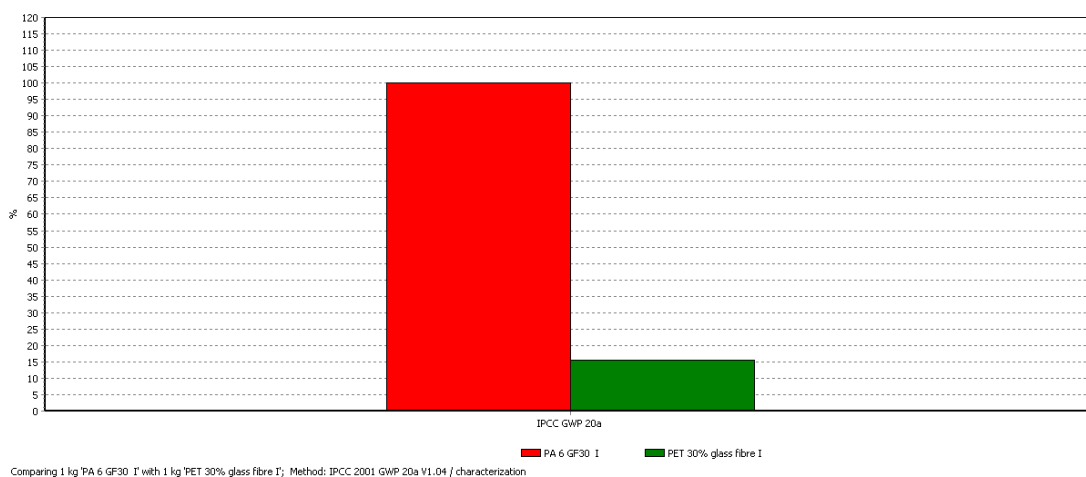
โดยที่ในงานวิจัยนี้จะทำการนำวัตถุดิบที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าวัตถุดิบเดิมมาใช้ทดแทนวัตถุดิบเดิม โดยในที่นี้จะทำการเปลี่ยน วัตถุดิบพลาสติก PET 30% glass fiber แทนที่พลาสติก PA 66 GF30 ซึ่งจากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) พบว่าที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม พลาสติก PA 66 GF30 จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 4.708E-01 Pt ในขณะที่พลาสติก PET 30% glass fiber จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 2.302E-01 Pt ดังภาพประกอบ 35 และตาราง 24 สำหรับลำดับต่อไปจะทำการพิจารณาไปยังการส่งผลกระทบต่อภาวะสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) จะเห็นได้ว่า พลาสติก PET 30% glass fiber ส่งผลกระทบต่อ 9.802E-03 Pt โดยที่วัตถุดิบ พลาสติก PA 66 GF30 ส่งผลกระทบต่อ 6.152E-02 Pt ดังตาราง 24 และเมื่อทดลองทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการ IPCC 2001 GWP 20a เพื่อหาปริมาณการปล่อยสาร CO<sub>2</sub> ของพลาสติก PA 66 GF30 กับ PET 30% glass fiber ที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่า พลาสติก PA 66 GF30 มีค่าเท่ากับ 11.7 Kg CO<sub>2</sub> eq ในขณะที่ พลาสติก PET 30% glass fiber มีค่าเท่ากับ 1.81 Kg CO<sub>2</sub> eq ดังภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 35 แสดงค่าการเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของพลาสติก PA 66 GF30 กับ PET 30% glass fiber

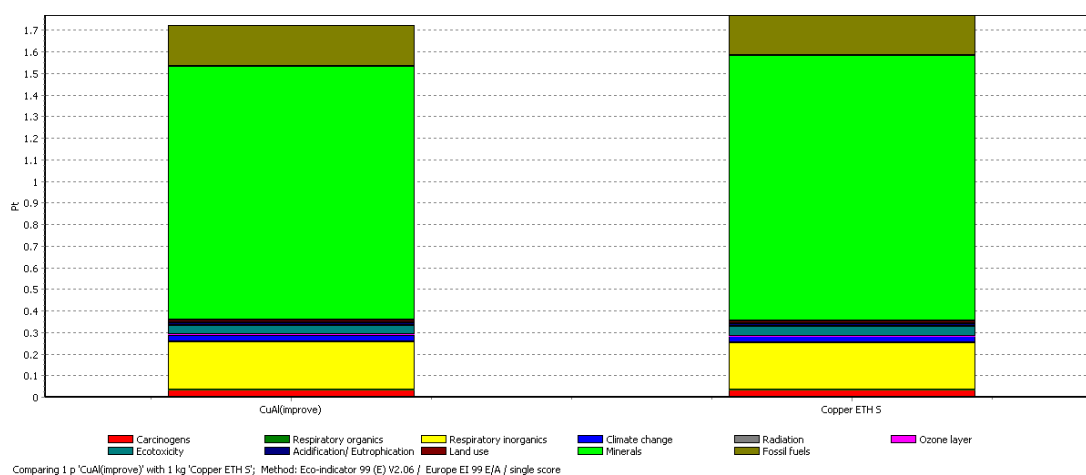
ตาราง 24 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของพลาสติก PA 66 GF30 กับ PET 30% glass fiber

| Impact category               | Unit | PA 66 GF30 I | PET 30% glass fibre I |
|-------------------------------|------|--------------|-----------------------|
| Total                         | Pt   | 4.708E-01    | 2.302E-01             |
| Carcinogens                   | Pt   | 3.253E-04    | 2.632E-04             |
| Respiratory organics          | Pt   | 9.279E-05    | 9.283E-04             |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 1.392E-01    | 6.868E-02             |
| Climate change                | Pt   | 6.152E-02    | 9.802E-03             |
| Radiation                     | Pt   | 0.000E+00    | 0.000E+00             |
| Ozone layer                   | Pt   | 0.000E+00    | 4.553E-08             |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 4.384E-04    | 8.052E-04             |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 1.530E-02    | 8.197E-03             |
| Land use                      | Pt   | 0.000E+00    | 2.470E-03             |
| Minerals                      | Pt   | 3.965E-05    | 5.194E-06             |
| Fossil fuels                  | Pt   | 2.539E-01    | 1.391E-01             |



ภาพประกอบ 36 แสดงค่าการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมวิธีการ IPCC 2001 GWP 20a ของพลาสติก PA 6 GF30 กับ PET 30% glass fiber

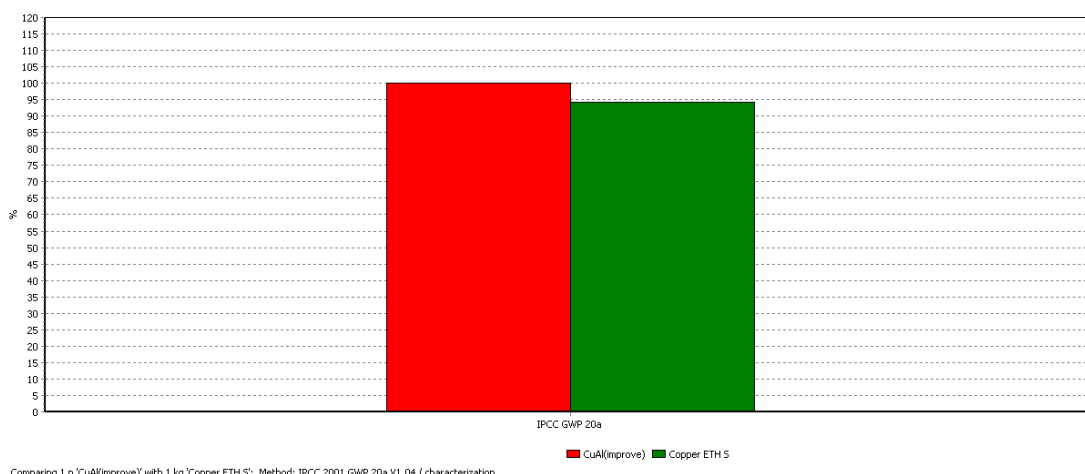
สำหรับในระดับต่อมาจะทำการทดลองนำวัตถุดิบชนิดอื่นมาเติมเป็นส่วนผสมร่วมกับ Copper เพื่อให้เกิดสัดส่วนในการใช้ปริมาณ Copper ที่ลดลง โดยในที่นี้จะทำการทดลองนำ Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% ผสมลงไปใน Copper เพื่อทำการลดสัดส่วนของการใช้ปริมาณ Copper ซึ่งจากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) พบว่าที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม วัตถุดิบ Copper จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 1.77Pt ในขณะที่วัตถุดิบ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 1.72 Pt ดังภาพประกอบ 37 และตาราง 25 ลำดับต่อไปจะทำการพิจารณาไปยังการส่งผลกระทบต่อภาวะทางสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) จะเห็นได้ว่า วัตถุดิบ Copper จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 2.972E-02 Pt โดยในขณะที่วัตถุดิบ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 3.186E-02 Pt ดังตาราง 25 และเมื่อทดลองทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการ IPCC 2001 GWP 20a เพื่อหาปริมาณการปล่อยสาร CO<sub>2</sub> ของวัตถุดิบ Copper กับ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% ที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่า วัตถุดิบ Copper มีค่าเท่ากับ 5.89 Kg CO<sub>2</sub> eq ในขณะที่ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% มีค่าเท่ากับ 2.26 Kg CO<sub>2</sub> eq ดังภาพประกอบ 38



ภาพประกอบ 37 แสดงค่าการเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของวัตถุดิบ Copper กับ วัตถุดิบ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5%

ตาราง 25 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของวัตถุดิบ Copper กับ วัตถุดิบ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5%

| Impact category               | Unit | CuAl(improve) | Copper ETH S |
|-------------------------------|------|---------------|--------------|
| Total                         | Pt   | 1.723E+00     | 1.769E+00    |
| Carcinogens                   | Pt   | 3.243E-02     | 3.294E-02    |
| Respiratory organics          | Pt   | 2.042E-04     | 1.955E-04    |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 2.232E-01     | 2.185E-01    |
| Climate change                | Pt   | 3.186E-02     | 2.972E-02    |
| Radiation                     | Pt   | 2.080E-03     | 2.020E-03    |
| Ozone layer                   | Pt   | 9.926E-05     | 9.481E-05    |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 4.227E-02     | 4.365E-02    |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 1.461E-02     | 1.466E-02    |
| Land use                      | Pt   | 1.093E-02     | 1.061E-02    |
| Minerals                      | Pt   | 1.175E+00     | 1.233E+00    |
| Fossil fuels                  | Pt   | 1.909E-01     | 1.837E-01    |

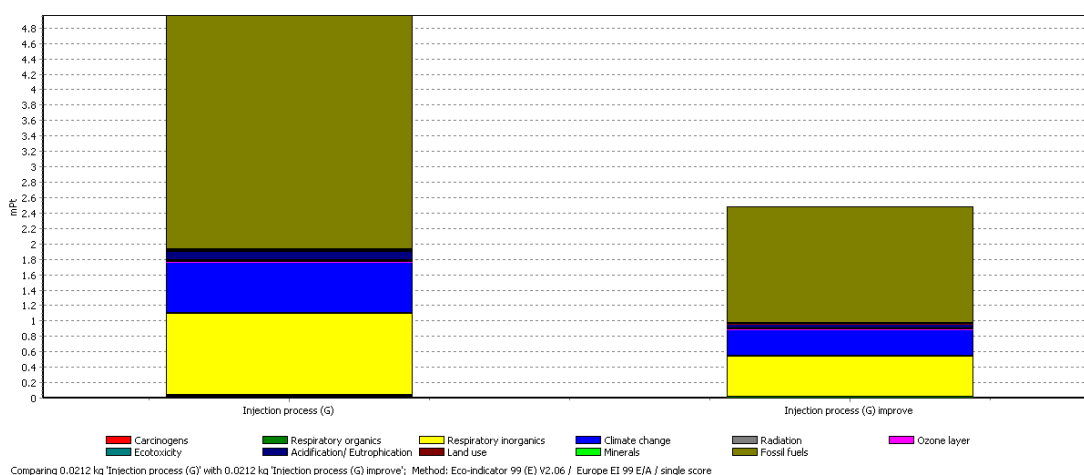


ภาพประกอบ 38 แสดงค่าการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมวิธีการ IPCC 2001 GWP 20a ของวัตถุดิบ Copper กับ วัตถุดิบ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5%

จากการศึกษาในการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบในขั้นต้นของวัตถุดิบ พลาสติก PA66 GF30 และ วัตถุดิบ Copper จะเห็นได้ว่าการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในบางครั้งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยรวมอาจมีผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมที่ลดลงแต่เหมือนทำการพิจารณาลงไปยังในผลกระทบแต่ละด้านที่สนใจ อาทิเช่น ภาระทางสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ของวัตถุดิบ Copper จะเห็นได้ว่า เหมือนทำการผสม Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% ลงไปในวัตถุดิบ Copper กลับทำให้ ภาระทางสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) มีผลกระทบที่มากยิ่งขึ้น ดังผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในขั้นต้น ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากวัตถุ Aluminium (Al) ที่ใช้นำมาผสมอาจมีภาระทางสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ที่มากอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อนำมาผสมกับวัตถุดิบ Copper จึงส่งผลให้ภาระทางสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ที่มากขึ้นไปด้วย ดังนั้นควรที่จะทำการพิจารณาในรายละเอียดของวัตถุดิบ Aluminium (Al) ต่อไป ในขณะที่การปรับเปลี่ยน พลาสติก PA66 GF30 เป็น PET 30% glass fiber ทำให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยรวมและด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) ลดลง ดังผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในขั้นต้น ดังนั้นในการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่จะใช้ลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ผู้ที่จะทำการลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมควรพิจารณาว่าผู้ที่จะทำการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสนใจที่จะลดผลกระทบโดยรวมหรือเฉพาะด้าน เพื่อที่จะไม่ให้วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่สนใจเกิดความคลาดเคลื่อนได้

## 2) การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการผลิต

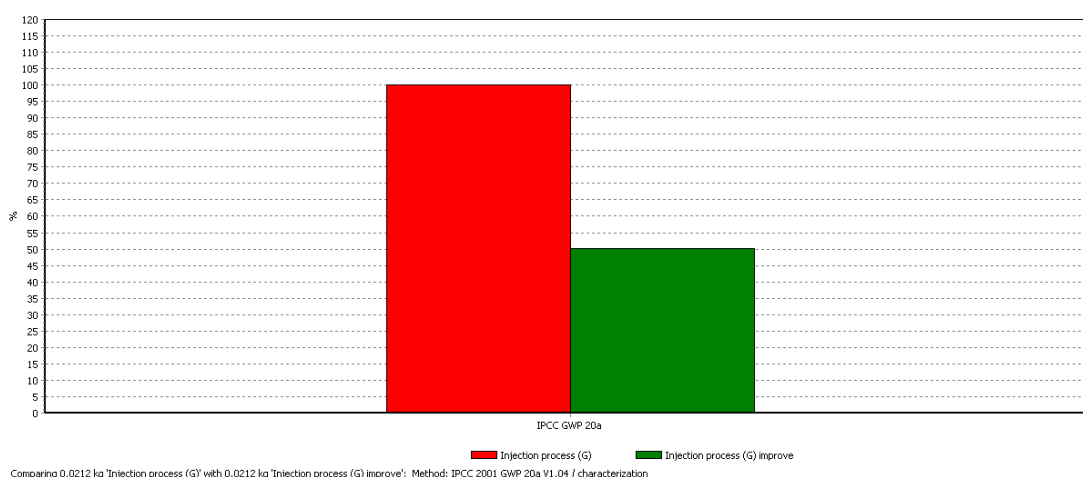
ในการปรับปรุงการลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในหัวข้อนี้ ผู้ทำการวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มจำนวนชิ้นงานที่ได้จากการผลิตต่อ 1 รอบการผลิตให้ได้จำนวนชิ้นที่เพิ่มมากขึ้น โดยจะทำการทดลองตั้งสมมุติฐานว่าแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการผลิตชิ้นส่วน Valve body นั้นสามารถให้จำนวนชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้นจากจำนวนชิ้นงานที่ได้ 2 ชิ้นให้เป็น 4 ชิ้น โดยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ได้จะมาจากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตชิ้นส่วน Valve body ในขั้นตอนการ Injection ซึ่งจากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) พบว่าในขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุงจะให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเท่ากับ  $4.963\text{E-}03$  Pt โดยที่ในขั้นตอนการ Injection แบบหลังปรับปรุงจะให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเท่ากับ  $2.487\text{E-}03$  Pt ดังภาพประกอบ 39 และตาราง 26 ลำดับต่อไปจะทำการพิจารณาไปยังการส่งผลกระทบต่อภาระทางสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุง จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ  $6.690\text{E-}04$  Pt โดยในขณะที่ในขั้นตอนการ Injection แบบหลังปรับปรุง จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ  $3.353\text{E-}04$  Pt ดังตาราง 26 และเมื่อทดลองทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการ IPCC 2001 GWP 20a เพื่อหาปริมาณการปล่อยสาร CO<sub>2</sub> ของขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง จะเห็นได้ว่าขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ  $0.129$  Kg CO<sub>2</sub> eq ในขณะที่ ขั้นตอนการ Injection แบบหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ  $0.0644$  Kg CO<sub>2</sub> eq ดังภาพประกอบ 40



ภาพประกอบ 39 แสดงค่าการเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงจำนวนชิ้นงานต่อหนึ่งรอบการผลิต

ตาราง 26 แสดงการเปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงจำนวนชิ้นงานต่อหนึ่งรอบการผลิต

| Impact category               | Unit | Injection process | Injection process improve |
|-------------------------------|------|-------------------|---------------------------|
| Total                         | Pt   | 4.963E-03         | 2.487E-03                 |
| Carcinogens                   | Pt   | 2.930E-05         | 1.468E-05                 |
| Respiratory organics          | Pt   | 7.334E-07         | 3.675E-07                 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 1.063E-03         | 5.330E-04                 |
| Climate change                | Pt   | 6.690E-04         | 3.353E-04                 |
| Radiation                     | Pt   | 6.282E-07         | 3.149E-07                 |
| Ozone layer                   | Pt   | 1.073E-07         | 5.379E-08                 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 1.791E-05         | 8.974E-06                 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 1.168E-04         | 5.854E-05                 |
| Land use                      | Pt   | 2.096E-05         | 1.051E-05                 |
| Minerals                      | Pt   | 3.025E-06         | 1.516E-06                 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 3.041E-03         | 1.524E-03                 |



ภาพประกอบ 40 แสดงค่าการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมวิธีการ IPCC 2001 GWP 20a ของขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงจำนวนชิ้นงานต่อหนึ่งรอบการผลิต

จากการศึกษาถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นส่วน Valve body จะเห็นได้ว่า หากทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นส่วนในแต่ละรอบให้มีจำนวนชิ้นที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นก็จะสามารถลดการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นไปด้วย เนื่องจากปริมาณการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละรอบของการผลิตจะมีปริมาณที่เท่าเดิมแต่จำนวนชิ้นงานที่ได้กลับมีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อทำการปันส่วนพลังงานที่ใช้แล้วจำนวนพลังงานที่ใช้ต่อ 1 ชิ้นก็จะลดลง แต่การที่จะเพิ่มจำนวนชิ้นงานในการผลิตต่อหนึ่งรอบนั้นควรที่จะคำนึงถึงขนาดของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตด้วย เนื่องจากหากทำการออกแบบแม่พิมพ์ให้ได้ปริมาณชิ้นงานที่มากก็อาจจะทำให้ต้องใช้เครื่องจักรในการผลิตที่

ใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอาจจะส่งผลให้ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมอาจจะไม่ลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังนั้นผู้ที่ทำการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีนี้จะต้องการศึกษาเพิ่มเติมอีกครั้ง เพื่อให้ได้จำนวนชิ้นงานที่มากที่สุดต่อความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้

### 3) การปรับปรุงด้วยวิธีการอื่นๆ

นอกจากวิธีการที่กล่าวมานั้นขั้นตอนแล้วนั้นยังมีวิธีการอื่นที่น่าสนใจใช้เป็นแนวทางในการลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมได้อีก ดังต่อไปนี้

3.1) การนำเอาหลักการเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ในโรงงานที่ผลิตชิ้นส่วนชุด Water valve เพื่อทำการลดผลกระทบที่มาจากของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้น อาทิเช่น การนำจำนวนกันความร้อนมาห่อหุ้มที่ Hopper dryer และท่อทางผ่านของเม็ดพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนเนื่องจากหกรักษาอุณหภูมิที่ Hopper dryer และท่อทางผ่านของเม็ดพลาสติกให้คงที่ก็จะสามารถลดภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดพลาสติกได้

3.2) การนำเอาแนวคิดการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม (Eco design) เข้ามาใช้ในระหว่างขั้นตอนการออกแบบชุด Water valve อาทิเช่น ทำการเลือกวัตถุดิบที่ใช้ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่น้อยที่สุดหรือออกแบบให้ชุด Water valve ใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำที่น้อยลง

## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษากระบวนการผลิตของชุด Water valve โดยใช้โปรแกรม SiamaPro 7.1 ในการช่วยวิเคราะห์และประมวลผลทางสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธี Eco-indicator 99 นั้นทำให้สามารถรู้ถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตชุด Water valve ซึ่งจากการวิเคราะห์และการประมวลผลสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 99 ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) ทำให้พบว่าชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในเกือบทุกด้านได้แก่ ชิ้นส่วน Coil

2) จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-indicator 99 ในขั้นตอนการพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของชุด Water valve มีค่าเท่ากับ  $1.168\text{E-}01$  Pt

3) ชิ้นส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ชิ้นส่วน Coil โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ  $5.608\text{E-}02$  Pt (48% ของชุด Water valve) รองลงมา คือ ชิ้นส่วน Valve body โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ  $1.543\text{E-}02$  Pt (13.21% ของชุด Water valve) และชิ้นส่วน Over mold โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ  $7.086\text{E-}03$  (6.00% ของชุด Water valve)

4) ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Coil ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ Copper โดยส่งผลกระทบเท่ากับ  $5.115\text{E-}02$  Pt (91.21% ของชิ้นส่วน Coil) ซึ่งส่งผลกระทบต่อด้านการใช้สินแร่ (Mineral) มากที่สุด เท่ากับ  $3.565\text{E-}02$  Pt (63.58% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ) และส่งผลด้าน ภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ  $8.592\text{E-}04$  Pt (1.53% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ) ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Coil ที่ส่งผลกระทบรองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการ Winding โดยส่งผลกระทบเท่ากับ  $3.000\text{E-}03$  Pt (5.88% ของชิ้นส่วน Coil) ซึ่งส่งผลกระทบต่อด้านการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) มากที่สุด เท่ากับ  $2.022\text{E-}03$  (3.61% ของขั้นตอนการ Winding) และส่งผลด้าน ภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ  $4.448\text{E-}04$  Pt (0.79% ของขั้นตอนการ Winding)

5) ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Valve body ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ พลาสติก PA 66 GF30 โดยส่งผลกระทบเท่ากับ  $9.977\text{E-}03$  Pt (64.66%

ของชิ้นส่วน Valve body) ซึ่งส่งผลต่อการการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) มากที่สุดเท่ากับ  $5.379\text{E-}03$  Pt (34.86% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ) และส่งผลด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ  $1.304\text{E-}03$  Pt (8.45% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ) ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Valve body ที่ส่งผลกระทบรองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการ Injection โดยส่งผลกระทบเท่ากับ  $4.963\text{E-}03$  Pt (32.16% ของชิ้นส่วน Valve body) ซึ่งส่งผลต่อการการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) มากที่สุดเท่ากับ  $3.044\text{E-}03$  Pt (19.71% ของขั้นตอน Injection) และส่งผลด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ  $6.690\text{E-}04$  Pt (4.34% ของขั้นตอน Injection)

6) ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Over mold ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบพลาสติก PP โดยส่งผลกระทบเท่ากับ  $4.987\text{E-}03$  Pt (70.38% ของชิ้นส่วน Over mold) ซึ่งส่งผลต่อการการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) มากที่สุดเท่ากับ  $2.633\text{E-}03$  Pt (37.16% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ) และส่งผลด้าน ภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ  $2.052\text{E-}04$  Pt (2.90% ของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ) ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน Over mold ที่ส่งผลกระทบรองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการ Injection โดยส่งผลกระทบเท่ากับ  $1.923\text{E-}03$  Pt (27.15% ของชิ้นส่วน Over mold) ซึ่งส่งผลต่อการใช้พื้นที่ (Fossil fuels) มากที่สุดเท่ากับ  $1.179\text{E-}03$  Pt (16.63% ของขั้นตอน Injection) และส่งผลด้าน ภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ  $2.593\text{E-}04$  Pt (3.66% ของขั้นตอน Injection)

## 5.2 สรุปผลแนวทางในการปรับปรุงและการเสนอแนะ

1) การปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนวัตถุดิบพลาสติก PA 66 GF30 เป็น พลาสติก PET 30% glass fiber โดยทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่น้ำหนักพลาสติก 1 กิโลกรัม พลาสติก PA 66 GF30 จะให้ค่าคะแนนเชิงเดียวเท่ากับ  $4.708\text{E-}01$  Pt ในขณะที่พลาสติก PET 30% glass fiber จะให้ค่าคะแนนเชิงเดียวเท่ากับ  $2.302\text{E-}01$  Pt ในด้านการส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน (Climate change) พลาสติก PET 30% glass fiber ส่งผลกระทบเท่ากับ  $9.802\text{E-}03$  Pt โดยที่วัตถุดิบ พลาสติก PA 66 GF30 ส่งผลกระทบถึง  $6.152\text{E-}02$  Pt เมื่อพิจารณาวิธีการ IPCC 2001 GWP 20a เพื่อหาปริมาณการปล่อยสาร CO<sub>2</sub> พลาสติก PA 66 GF30 มีค่าเท่ากับ 11.7 Kg CO<sub>2</sub> eq ในขณะที่พลาสติก PET 30% glass fiber มีค่าเท่ากับ 1.81 Kg CO<sub>2</sub> eq

2) การปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำ Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% ผสมลงไปใน Copper พบว่าที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม วัตถุดิบ Copper จะให้ค่าคะแนนเชิงเดียวเท่ากับ 1.77Pt ในขณะที่วัตถุดิบ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% จะให้ค่าคะแนนเชิงเดียวเท่ากับ 1.72 Pt สำหรับในด้านการส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน (Climate change) วัตถุดิบ Copper จะให้ค่าคะแนนเชิงเดียวเท่ากับ  $2.972\text{E-}02$  Pt โดยในขณะที่วัตถุดิบ Copper ผสมด้วย

Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ  $3.186\text{E-}02$  Pt เมื่อพิจารณา วิธีการ IPCC 2001 GWP 20a เพื่อหาปริมาณการปล่อยสาร CO<sub>2</sub> วัตถุดิบ Copper มีค่าเท่ากับ  $5.89$  Kg CO<sub>2</sub> eq ในขณะที่ Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) ในปริมาณ 5% มีค่าเท่ากับ  $2.26$  Kg CO<sub>2</sub> eq

3) การปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ กระบวนการผลิต พบว่าในขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุงจะให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เท่ากับ  $4.963\text{E-}03$  Pt โดยที่ในขั้นตอนการ Injection แบบหลังปรับปรุงจะให้ผลกระทบทาง สิ่งแวดล้อมเท่ากับ  $2.487\text{E-}03$  Pt สำหรับในด้านการส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน (Climate change) ขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุง จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ  $6.690\text{E-}04$  Pt โดยในขณะที่ ในขั้นตอนการ Injection แบบหลังปรับปรุง จะให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ  $3.353\text{E-}04$  Pt เมื่อพิจารณา วิธีการ IPCC 2001 GWP 20a เพื่อหาปริมาณการปล่อยสาร CO<sub>2</sub> พบว่าขั้นตอนการ Injection แบบก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ  $0.129$  Kg CO<sub>2</sub> eq ในขณะที่ ขั้นตอนการ Injection แบบ หลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ  $0.0644$  Kg CO<sub>2</sub> eq

สำหรับตาราง 27 แสดงผลแนวทางในการปรับปรุงการลดลงของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ของชุด Water Valve ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมก่อนทำการปรับปรุงและหลัง การปรับปรุงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ตาราง 27 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมก่อนทำการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

| แนวทางในการปรับปรุง                                              | ก่อนการปรับปรุง                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | หลังการปรับปรุง                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. ปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ (ประเมินผลกระทบที่น้ำหนัก 1 Kg)           | <p><b><u>พลาสติก PA 66 GF30%</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 4.708E-01 Pt (Single Score)</li> <li>- ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ 6.152E-02 Pt (Single Score)</li> <li>- ปริมาณการปล่อยสาร CO2 เท่ากับ 11.7 Kg Co2eq</li> </ul>               | <p><b><u>PET 30% glass fiber</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 2.302E-01 Pt (Single Score)</li> <li>- ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ 9.802E-03 Pt (Single Score)</li> <li>- ปริมาณการปล่อยสาร CO2 เท่ากับ 1.81 Kg Co2eq</li> </ul>               |
| 2. ปรับเปลี่ยนส่วนผสมของวัตถุดิบ (ประเมินผลกระทบที่น้ำหนัก 1 Kg) | <p><b><u>Copper 100%</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 1.77 Pt (Single Score)</li> <li>- ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ 2.972E-02 Pt (Single Score)</li> <li>- ปริมาณการปล่อยสาร CO2 เท่ากับ 5.89 Kg Co2e</li> </ul>                             | <p><b><u>Copper ผสมด้วย Aluminium (Al) 5%</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 1.72 Pt (Single Score)</li> <li>- ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ 3.186E-02 Pt (Single Score)</li> <li>- ปริมาณการปล่อยสาร CO2 เท่ากับ 2.2 Kg Co2eq</li> </ul>        |
| 3. เพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการผลิต                           | <p><b><u>จำนวนที่ได้ชิ้นงาน 2 ชิ้น/1ครั้ง</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 4.963E-03 Pt (Single Score)</li> <li>- ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ 6.690E-04 Pt (Single Score)</li> <li>- ปริมาณการปล่อยสาร CO2 เท่ากับ 0.129 Kg Co2eq</li> </ul> | <p><b><u>จำนวนที่ได้ชิ้นงาน 4 ชิ้น/1ครั้ง</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 2.487E-03 Pt (Single Score)</li> <li>- ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน (Climate change) เท่ากับ 3.353E-04 Pt (Single Score)</li> <li>- ปริมาณการปล่อยสาร CO2 เท่ากับ 0.0644 Kg Co2e</li> </ul> |

4) การเปรียบเทียบต้นทุนและประสิทธิภาพของวัตถุดิบและกระบวนการหลังการปรับปรุงของการส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถสรุปได้ดังตาราง 28 โดยที่ตารางนี้เป็นการสรุปข้อมูลที่ใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจปรับเปลี่ยนวัตถุดิบเพียงแค่เบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบชิ้นงานจริงอีกครั้ง

ตาราง 28 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนและประสิทธิภาพของวัตถุดิบและกระบวนการหลังการปรับปรุง

| แนวทางในการปรับปรุง                          | ก่อนการปรับปรุง                                                                                                                             | หลังการปรับปรุง                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. ต้นทุนจากการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ           | <b><u>พลาสติก PA 66 GF30%</u></b><br>- ราคาวัตถุดิบ 141 บาท/Kg                                                                              | <b><u>PET 30% glass fiber</u></b><br>- ราคาวัตถุดิบ 156 บาท/Kg                                                                                    |
| 2. คุณสมบัติของวัตถุดิบ                      | -Shrinkage =0.2%<br>- Tensile Stress = 140 MPa<br>- Tensile Elongation =4.0%<br>- Shear Strength= 86.0 MPa<br>-Heat Deflection Temp= 261 °C | -Shrinkage =0.18-0.25%<br>- Tensile Stress = 158 MPa<br>- Tensile Elongation =2.7%<br>- Shear Strength= 79.0 MPa<br>-Heat Deflection Temp= 247 °C |
| 3. ต้นทุนจากการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต | <b><u>ชิ้นงาน 2 ชิ้น/1 Cycle time</u></b><br>ต้นทุน = 0.49 บาท/ชิ้น (ไม่รวมต้นทุนวัตถุดิบ)                                                  | <b><u>ชิ้นงาน 4 ชิ้น/1 Cycle time</u></b><br>ต้นทุน = 0.245 บาท/ ชิ้น (ไม่รวมต้นทุนวัตถุดิบ)                                                      |

จากผลการปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม จากตาราง 27 และ 28 จะสามารถสรุปได้ดังนี้หลังจากทำการปรับปรุง ชุด Water Valve เพื่อให้ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมลดลง ในขั้นตอนการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบจะส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ลดลง แต่เมื่อพิจารณาในด้านของต้นทุนจะเห็นได้ว่าการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบจะทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มมากขึ้น สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการผลิตนั้น จะส่งผลให้ทั้งต้นทุนและการส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ลดลง จากผลการปรับปรุงทำให้เห็นได้ว่าการปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือวัตถุดิบนั้น ควรที่จะต้องคำนึงถึงต้นทุนที่อาจจะเพิ่มขึ้นและความเป็นไปได้ของการปรับปรุงกระบวนการหรือวัตถุดิบที่จะทำการปรับเปลี่ยนเป็นปัจจัยประกอบการพิจารณาในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของชุด Water valve ที่ใช้ในเครื่องชักผ้า โดยมีขอบเขตของการศึกษารอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนและประกอบเป็นชุด Water Valve (Gate to Gate) ข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งหมดนั้น มีทั้งข้อมูลที่เก็บขึ้นจริงจากโรงงานผู้ผลิต ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและข้อมูลจากฐานข้อมูลในโปรแกรม Simapro ซึ่งยังคงมีข้อมูลบางส่วนที่ยังขาด ดังนั้นในการประเมินจึงต้องมีการตั้งสมมุติฐานขึ้นในบางส่วน สำหรับการวิจัยต่อไปนั้นควรที่จะคำนึงถึงที่มาของข้อมูลเหล่านี้และส่วนที่เป็นสมมุติฐานในงานวิจัยนี้ ดังนั้น ผู้ทำการวิจัยจึงมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1) ในช่วงการเตรียมวัตถุดิบ งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการเตรียมวัตถุดิบทั้งหมดจากโปรแกรม Simapro 7.1 ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมขึ้นจากประเทศในแถบยุโรป ดังนั้นผู้ที่ต้องการศึกษาวิจัยต่อควรจะต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ในช่วงการเตรียมวัตถุดิบจากโรงงานที่ทำการผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้จริง เช่น โรงงานผู้ผลิตเม็ดพลาสติก โรงงานผู้ผลิตวัตถุดิบเหล็ก เป็นต้น เพื่อให้ผลประเมินที่ถูกต้อง, สมบูรณ์และได้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่สอดคล้องกับประเทศไทย

2) ในช่วงการผลิตชิ้นส่วนของชุด Water valve งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการผลิตจากโรงงานในประเทศ ซึ่งจะมีบางชิ้นส่วนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ที่ทำการผลิตในโรงงานที่ต่างประเทศ โดยที่ผู้ทำการวิจัยได้ให้โรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนในต่างประเทศทำการส่งข้อมูลให้ ซึ่งข้อมูลที่ได้อาจจะไม่สอดคล้องกับการผลิตชิ้นส่วนเหล่านี้จริง ดังนั้นผู้ที่ต้องการศึกษาวิจัยต่อไปควรจะต้องทำการเก็บข้อมูลชิ้นส่วนเหล่านี้จากโรงงานที่ทำการผลิตคล้ายคลึงกับชิ้นส่วนเหล่านี้ในประเทศเพื่อความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล

3) ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการเป็นการนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากที่สุดของเครื่องจักรมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการของการผลิตชิ้นส่วน ดังนั้น ผู้ที่ต้องการศึกษาวิจัยต่อไปควรจะต้องทำการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละกระบวนการที่เกิดขึ้นจริง

4) ข้อมูลการปล่อยสารมลพิษจากโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการปล่อยสารมลพิษจากโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนได้เพียงแห่งเดียว เนื่องจากโรงงานผู้ผลิตในประเทศและต่างประเทศบางโรงงานไม่มีข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณและชนิดของสารมลพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ดังนั้น ผู้ที่ต้องการศึกษาวิจัยต่อไปควรจะต้องทำการเก็บข้อมูลปริมาณและชนิดของสารมลพิษที่เกิดขึ้นจริง

5) วิธีในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยฉบับนี้ใช้วิธี Eco-indicator 99 ซึ่งจะมีค่า factor ต่างๆ รวมทั้งการให้น้ำหนักความสำคัญกับผลกระทบในแต่ละประเภท ค่าเหล่านี้เป็นค่าที่มาจากกลุ่มประเทศทางยุโรป จึงควรทำการศึกษาและคำนวณใหม่เพื่อให้เป็นค่าที่เหมาะสมกับประเทศไทยมากที่สุด

6) งานวิจัยนี้เป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชุด Water valve ในขั้นตอนการผลิตและประกอบชิ้นส่วนเท่านั้น ดังนั้นควรจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของช่วงวัฏจักรชีวิตอื่นๆต่อไป

บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2550). ชุดยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ (เอกสารเผยแพร่). กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด (2548). กรณีศึกษาเรื่อง การเตรียมฐานข้อมูลเพื่อการออกแบบเชิงนิเวศฐานเศรษฐกิจ ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตโรตารีคอมเพรสเซอร์ (เอกสารประกอบการสัมมนา). กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- จันจิรา หะยิยามา. (2547). การประเมินวัฏจักรชีวิตของสายไฟชนิดพีวีซีและสายไฟชนิดที่ใช้วัสดุทดแทนพีวีซี. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมความปลอดภัย). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- เจิต สุวรรณรัตน์. (2551). ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม. สืบค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2551, จาก <http://tccnature.wordpress.com/2008/01/07/ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม/>
- เทียนไชย จงพีร์เพียร. (2010). ทำไมต้องกระจายชนิดเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า(ตอนที่ 1). สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2553, จาก [http://www.eppo.go.th/Thaienergynews/Energy\\_blog/showdetailblog.aspx?ObjectID=53](http://www.eppo.go.th/Thaienergynews/Energy_blog/showdetailblog.aspx?ObjectID=53).
- ชนัท ชัยสุขโกศล. (2551). การประเมินวัฏจักรชีวิตของชิ้นส่วน Header Assembly ในเครื่องปรับอากาศ. สารนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมศาสตร์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. (2551). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (เอกสารการสัมมนา). กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- นรรัตน์ รอดประเสริฐ. (2548). การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต. วิทยานิพนธ์ วศ.ม (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). ขอนแก่น : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.
- ปริญญ์ บุญนิษฐ ธรรมเจดต์ อภิจักรศิลป์และเก่งพล ธรรมกร (2549). การปรับปรุงผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจในระดับแนวคิดด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อย่างง่าย กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตปลาสลิดอิเล็กทรอนิกส์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 16 ฉบับที่ 4 ต.ค.-ธ.ค.2549.
- วนิดา ลาวัญย์ทักษิณ . (2549). การขับเคลื่อนเพื่อนวัตกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรมยานยนต์ (เอกสารประกอบการรายงานการเข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการและการดูงาน). กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

- ศูนย์เทคโนโลยีแห่งชาติและวัสดุแห่งชาติ. (ม.ป.ป). *คู่มือก๊าวแรกต้องเข้าใจกฎระเบียบอย่างถ่องแท้ RoHs Compliance*. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีแห่งชาติและวัสดุแห่งชาติ.
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (ธันวาคม 2546). *การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม (คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์)*. กรุงเทพฯ: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.
- สุรศักดิ์ วิทย์ศลาพงษ์. (2548). *การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นที่ใช้ในบ้าน*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- (ม.ป.ป). *เอกสารพิธีสารเกียวโต*. สืบค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2552, จาก <http://www.apecthai.org/apec/upload/1354kyoto.pdf>
- International Standard For Organization (1997). *ISO 14040 Environmental management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework*.
- Jonbrink A.; et al. (2000). *LCA Software Survey*. Stockholm: Sirii-Swedish Industrial Research Institutes Initiative.
- Marco, R., F. Mandorli and M. Germani. (2006). *LCA as eco-design tool to support the development of injection molded products*. Retrieved October 24, 2009, from: <http://www.mech.kuleuven.be/lce2006/038.pdf>
- Ongmongkolkul A. (2001). *Life Cycle Assessment of Paperboard Packaging Produced Medium-size Factories in Thailand*. Master Thesis (Engineering). Pathum Thani: The Graduate School Asian Institute of Technology.
- Phylipsen D.; et al. (2002). *Assessing the environmental Potential of Clean material Technologies*. European Commission, Joint Research Centre, Report EUR 20515 EN.
- Pre'Consultants (2000,October). *A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment Manual for Designers*. The Eco-indicator 99 2000. Retrieved March 16, 2009, from: [http://www.pre.nl/download/EI99\\_Manual.pdf](http://www.pre.nl/download/EI99_Manual.pdf)
- Pre'Consultants (2001). *Methodology Annex. The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment 2001*. Retrieved March 16, 2009, from: [http://www.pre.nl/download/EI99\\_annexe\\_v3.pdf](http://www.pre.nl/download/EI99_annexe_v3.pdf)
- Pre'Consultants. (2007). *SimaPro 7-Manual book*. Retrieved March 16, 2009, from: <http://www.pre.nl/download/manuals/SimaPro7Tutorial.pdf>
- SETAC. (2003). *Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programs*.
- Thiriez A., Gutowski T. (2006). *An Environmental Analysis of Injection Molding*. Retrieved October 24, 2009, from: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=1650060](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1650060)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ตารางแสดงการคำนวณ

## ภาคผนวก ก

### ตารางแสดงการคำนวณ

#### การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน

สำหรับวิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิตของชิ้นส่วนชุด Water valve สามารถคำนวณได้สมการที่ 1 ดังนี้

$$A \times B \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ kw}}{10^3 \text{ w}} \quad (1)$$

เมื่อ :

A = ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักร; หน่วย Kwh

B = จำนวนเวลาการใช้เครื่องจักร; หน่วย Hour

จากสมการที่ 1 จะเป็นค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิต โดยที่ในบางขั้นตอนของการผลิตบางชิ้นส่วนอาจจะต้องนำมารวมด้วยปริมาณชิ้นส่วนที่ได้ต่อขั้นตอนการผลิต 1 ครั้ง อาทิเช่น ขั้นตอนการ Injection ชิ้นส่วน Bobbin ในขั้นตอน Injection 1 ครั้งจะได้ 10 ชิ้น โดยที่ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิตของชิ้นส่วนชุด Water valve จะแสดงดังตารางภาคผนวก ก1

#### การคำนวณหาปริมาณมลสารทางอากาศที่เกิดขึ้น (คำนวณจากผลการตรวจวัด)

การหาปริมาณมลสารทางอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต(ปริมาณสารขาออก; Air emission) โดยคำนวณจากผลการตรวจวัดจะสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$E_i = (C \times MW \times Q_{st} \times 3600) / [22.4 \times (\frac{T+273}{273}) \times 10^6] \quad (2)$$

เมื่อ;

$E_i$  = Emissions of pollutant i; kg/hr

C = pollutant concentration; ppm

|          |   |                                                                                                                   |
|----------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MW       | = | molecular weight of the pollutant; kg/kg-mole                                                                     |
| $Q_{st}$ | = | actual stack gas volumetric flow rate; $m^3/s$                                                                    |
| 3600     | = | conversion factor; s/hr                                                                                           |
| 22.4     | = | volume occupied by one mole of gas at standard temperature and pressure (0°C and 101.3 kpa); $m^3/kg\text{-mole}$ |
| T        | = | temperature of gas sample; °C                                                                                     |
| $10^6$   | = | conversion factor; ppm.kg/kg                                                                                      |

สำหรับงานวิจัยนี้จะมีข้อมูลการตรวจวัดปล่อยปล่อยควันของโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนเพียงแห่งเดียวเท่านั้น ซึ่งโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนแห่งนี้จะทำการตรวจวัดทุกๆ 6 เดือน ดังนั้นปริมาณที่ได้จากการคำนวณจึงต้องนำมาหารด้วยวันที่ทำการผลิตทั้งหมดภายใน 6 เดือน ซึ่งปริมาณมลสารทางอากาศที่เกิดขึ้นจากโรงงานผู้ผลิตแห่งนี้จะแสดงดังตารางที่ภาคผนวก ก2 สำหรับโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนรายอื่นๆที่ไม่ได้ทำการตรวจวัดปล่อยปล่อยควัน ทางผู้ทำการวิจัยจะทำการตั้งสมมุติฐานว่าโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนเหล่านี้ไม่มีการปล่อยมลสารทางอากาศออกจากกระบวนการผลิต

ตารางภาคผนวก ก1 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิตของชิ้นส่วนชุด Water valve

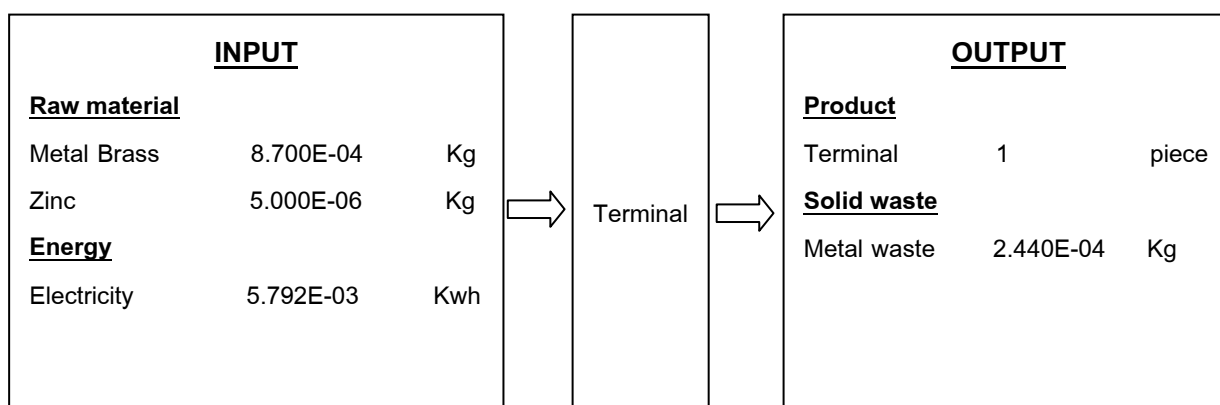
| ชิ้นส่วน         | ขั้นตอนการผลิต |           |                  |                            |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------|----------------|-----------|------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                  | Drying         | Injection | Cut gate &runner | Progressive die (Stamping) | machine   | Plated    | Winding   | Solder    | Forming   | Other     | Total     |
| Bobbin           | 1.240E-02      | 2.210E-02 | 1.500E-05        |                            |           |           |           |           |           |           | 3.452E-02 |
| Terminal         |                |           |                  | 4.070E-03                  |           | 1.722E-03 |           |           |           |           | 5.792E-03 |
| Coil             |                |           |                  |                            |           |           | 8.575E-02 | 1.875E-04 |           |           | 8.594E-02 |
| Over mold        | 4.542E-03      | 5.000E-02 | 1.500E-05        |                            |           |           |           |           |           |           | 5.456E-02 |
| Frame            |                |           |                  | 1.250E-02                  |           | 2.580E-02 |           |           |           |           | 3.830E-02 |
| Plunger          |                |           |                  |                            | 8.000E-02 |           |           |           |           |           | 8.000E-02 |
| Valve body       | 1.272E-02      | 1.290E-01 | 2.000E-05        |                            |           |           |           |           |           |           | 1.417E-01 |
| Filter           | 1.010E-02      | 9.236E-02 | 1.500E-05        |                            |           |           |           |           |           |           | 1.025E-01 |
| Flow regulator   | 1.263E-02      | 9.236E-02 | 1.500E-05        |                            |           |           |           |           |           |           | 1.050E-01 |
| Armature guide   | 1.756E-02      | 3.416E-02 | 1.500E-05        |                            |           |           |           |           |           |           | 5.174E-02 |
| Cap orifice      | 5.553E-03      | 2.216E-02 | 1.500E-05        |                            |           |           |           |           |           |           | 2.773E-02 |
| Spring           |                |           |                  |                            | 1.420E-04 |           |           |           |           |           | 1.420E-04 |
| Reducer rubber   |                |           |                  |                            |           |           |           |           | 2.265E-02 |           | 2.265E-02 |
| Diaphragm rubber |                |           |                  |                            |           |           |           |           | 4.531E-02 |           | 4.531E-02 |
| Pilot rubber     |                |           |                  |                            |           |           |           |           | 2.265E-02 |           | 2.265E-02 |
| Assemble frame   |                |           |                  |                            | 2.500E-03 |           |           |           |           |           | 2.500E-03 |
| Assemble valve   |                |           |                  |                            |           |           |           |           |           | 6.000E-04 | 6.000E-04 |

ตารางภาคผนวก ก2 แสดงปริมาณการปล่อยมลสารทางอากาศที่เกิดจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วน

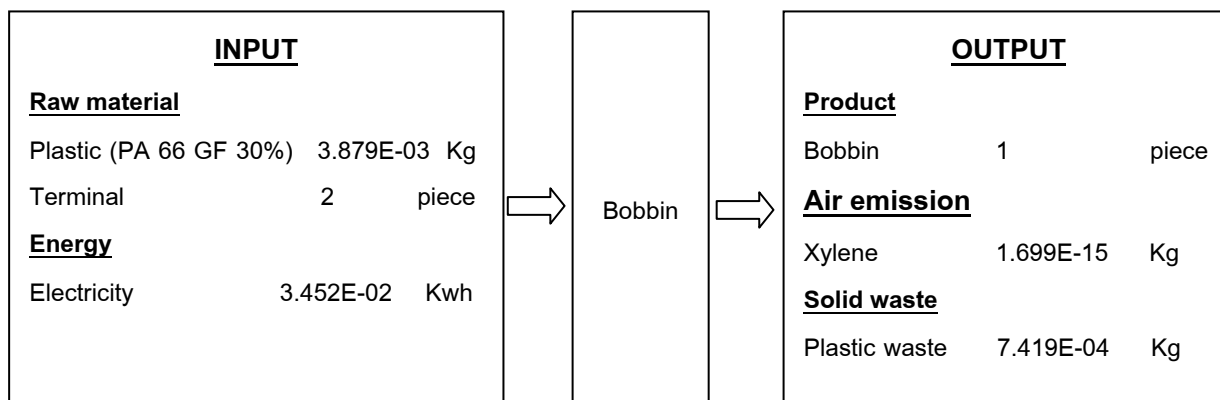
| ชิ้นส่วน       | ชนิดของมลสาร | ปริมาณ (Kg) |
|----------------|--------------|-------------|
| Bobbin         | Xylene       | 1.699E-15   |
| Over mold      | Xylene       | 4.974E-15   |
| Flow regulator | Xylene       | 1.037E-14   |
| Armature guide | Xylene       | 2.403E-14   |
| Cap orifice    | Xylene       | 4.562E-15   |

### การวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูล (Life Cycle Inventory Analysis: LCIA)

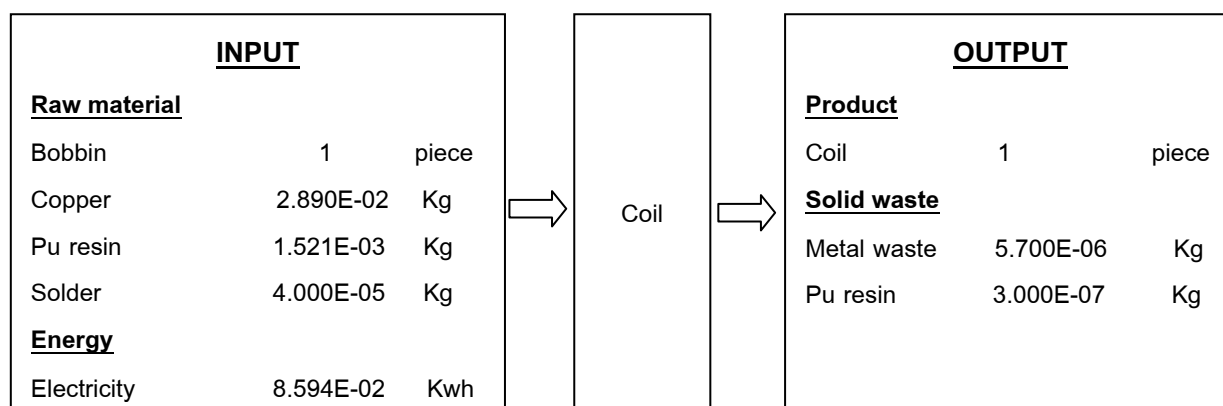
สำหรับภาพประกอบภาคผนวก ก1 ถึง ก17 จะเป็นการแสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลของปริมาณสารขาเข้า-ปริมาณสารขาออกทั้งหมดที่เกี่ยวข้องของชุด Water valve



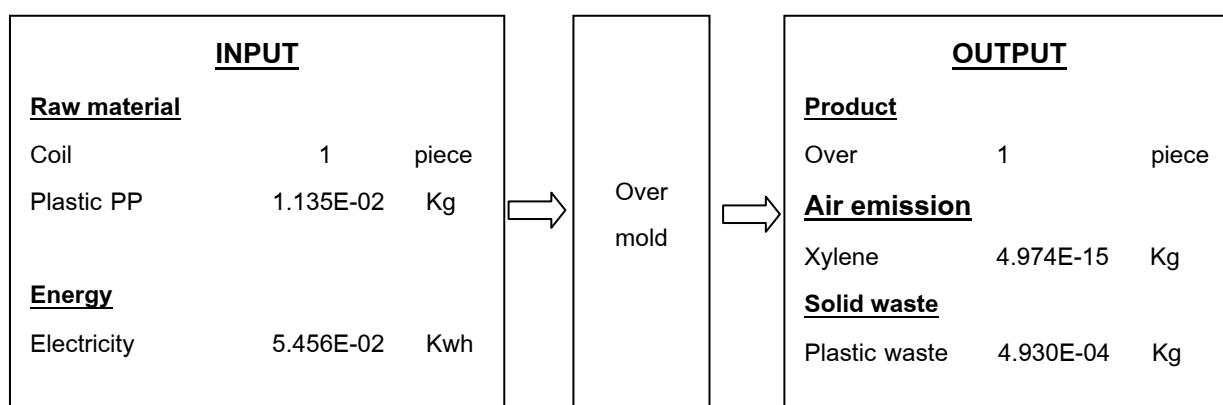
ภาพประกอบภาคผนวก ก1 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Terminal



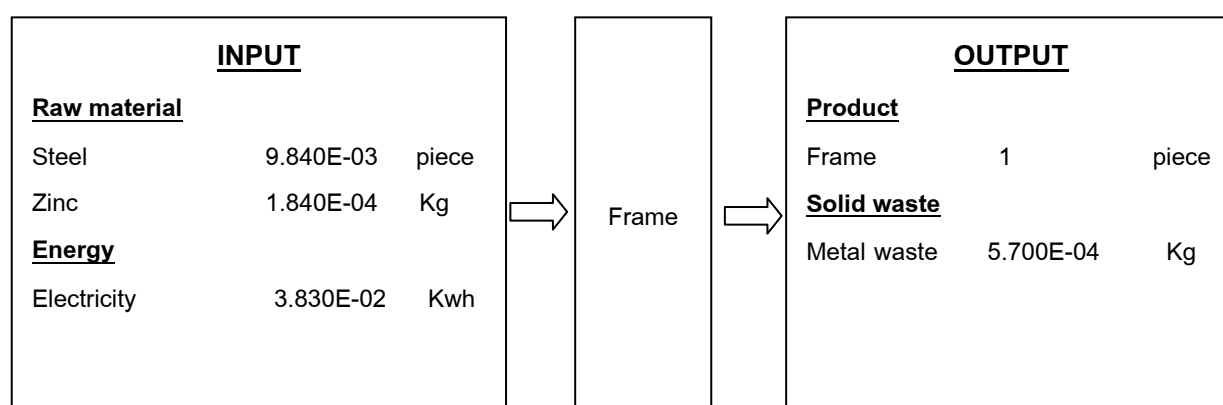
ภาพประกอบภาคผนวก ก2 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Bobbin



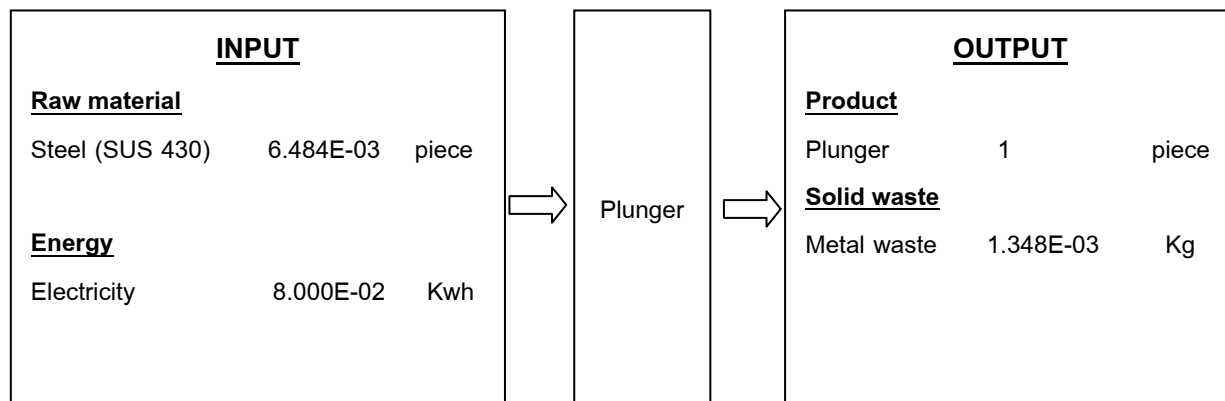
ภาพประกอบภาคผนวก ก3 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชั้นส่วน Coil



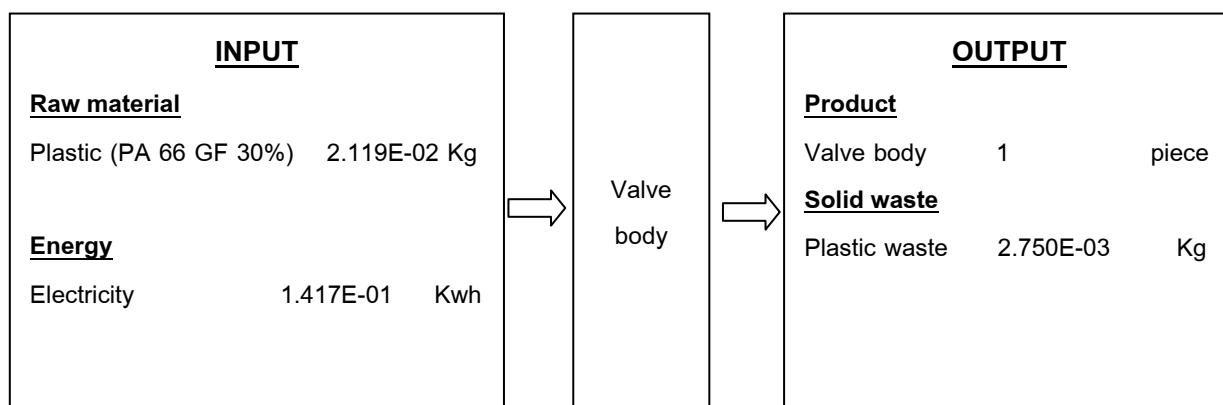
ภาพประกอบภาคผนวก ก4 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Over mold



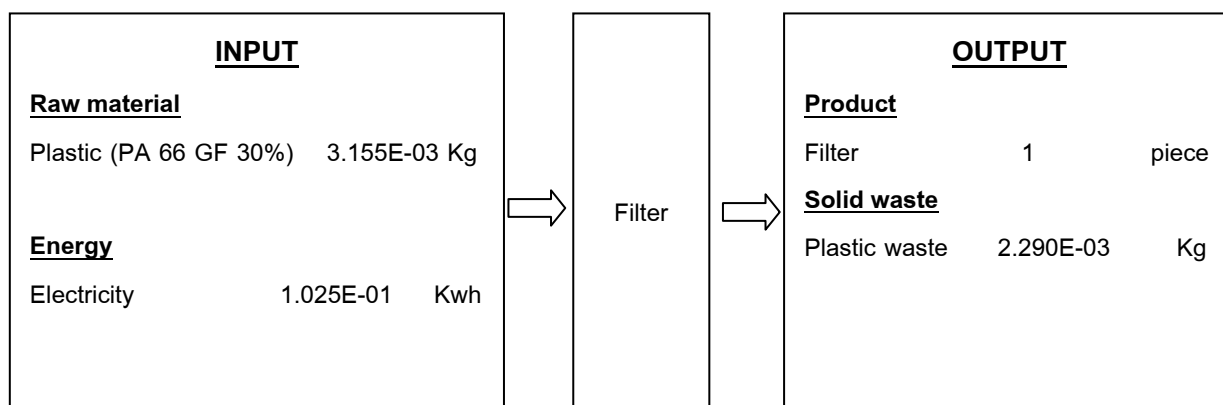
ภาพประกอบภาคผนวก ก5 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Frame



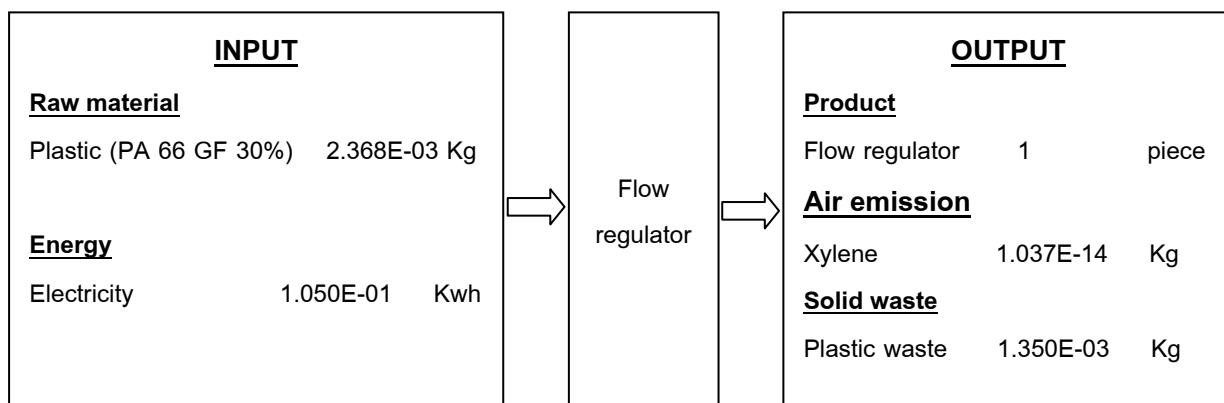
ภาพประกอบภาคผนวก ก6 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาทรัพยากรของชิ้นส่วน Plunger



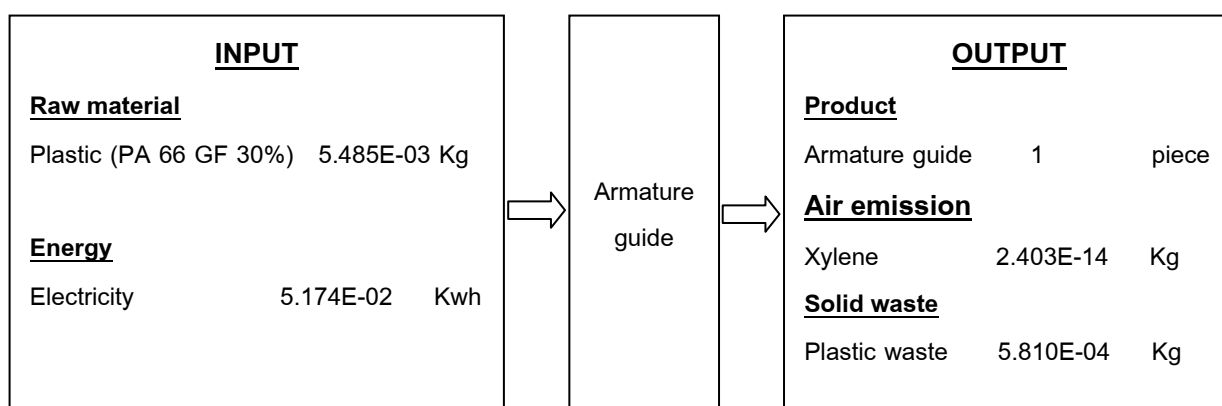
ภาพประกอบภาคผนวก ก7 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาทรัพยากรของชิ้นส่วน Valve body



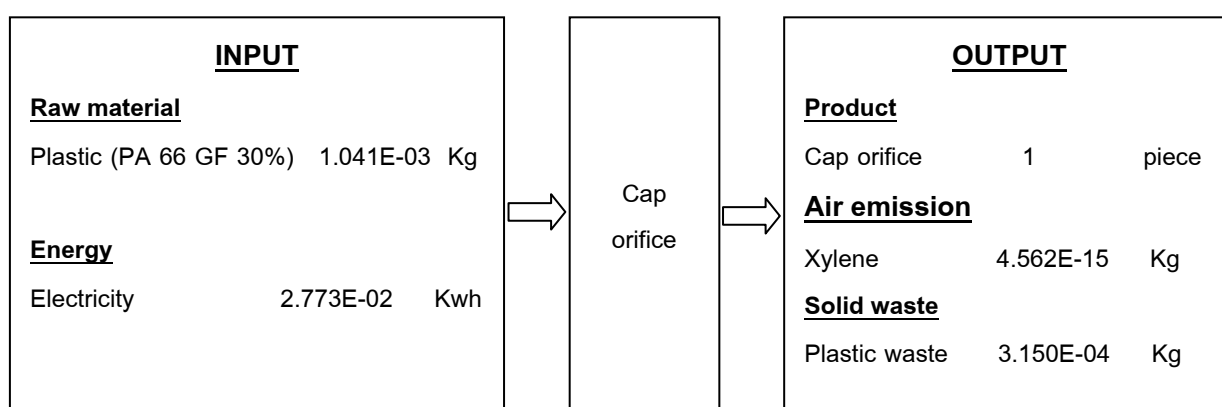
ภาพประกอบภาคผนวก ก8 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาทรัพยากรของชิ้นส่วน Filter



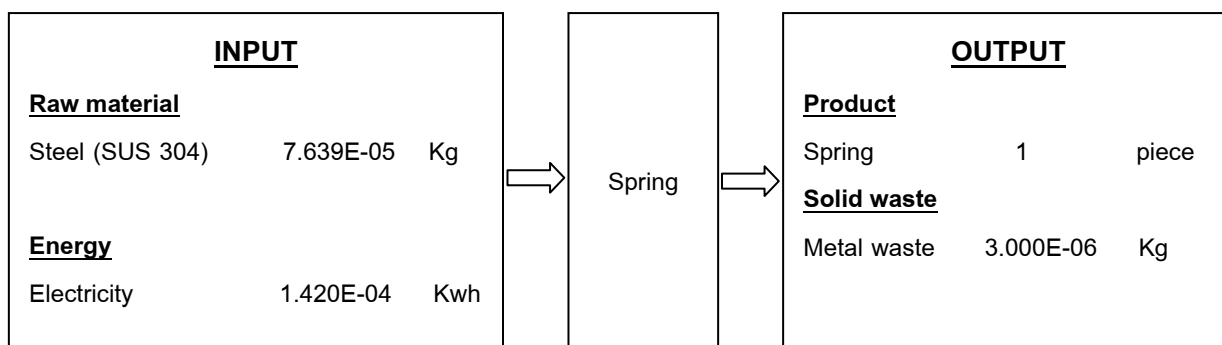
ภาพประกอบภาคผนวก ก9 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Flow regulator



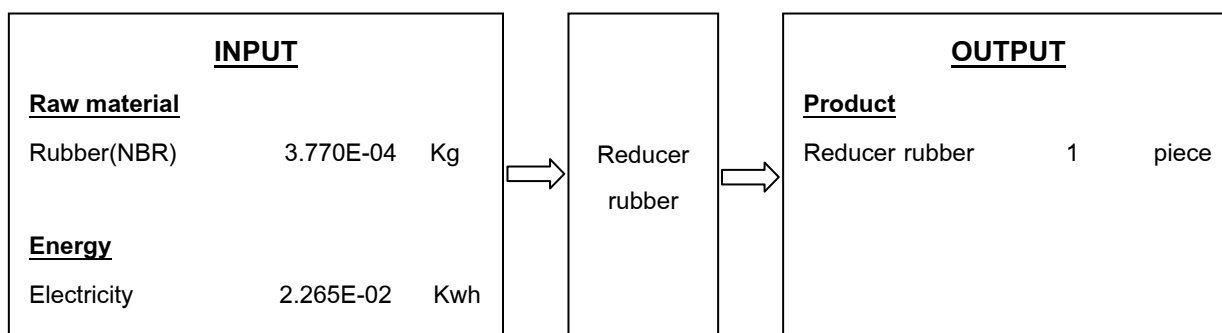
ภาพประกอบภาคผนวก ก10 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Armature guide



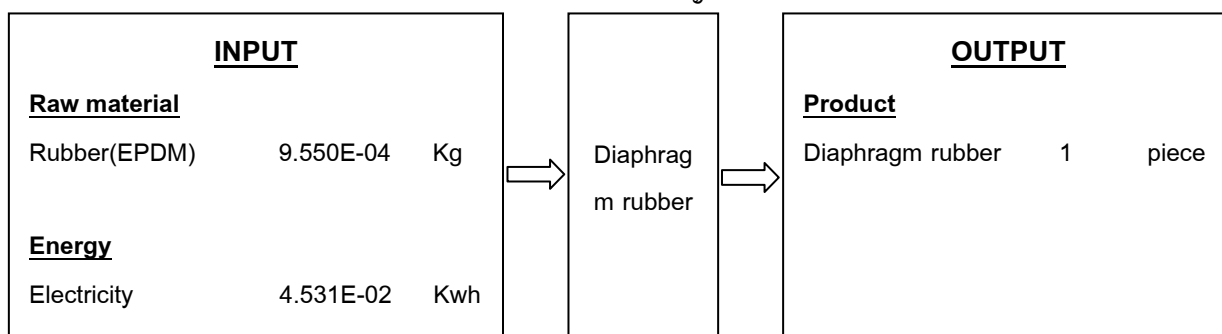
ภาพประกอบภาคผนวก ก11 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Cap orifice



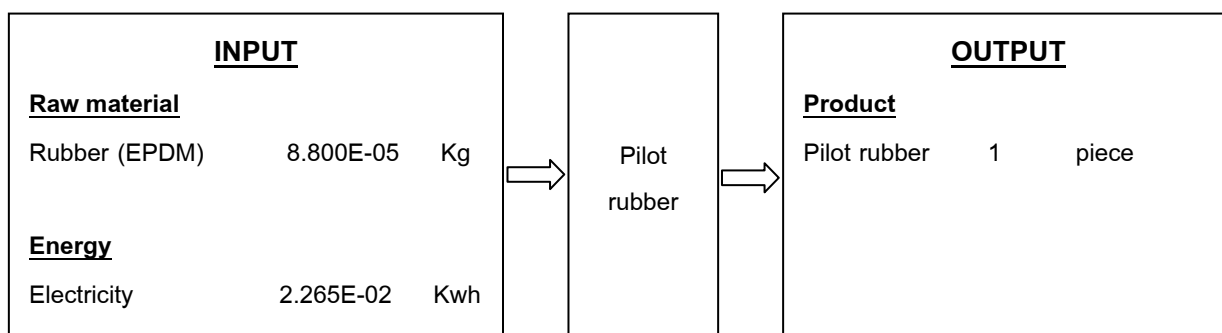
ภาพประกอบภาคผนวก ก12 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Cap orifice



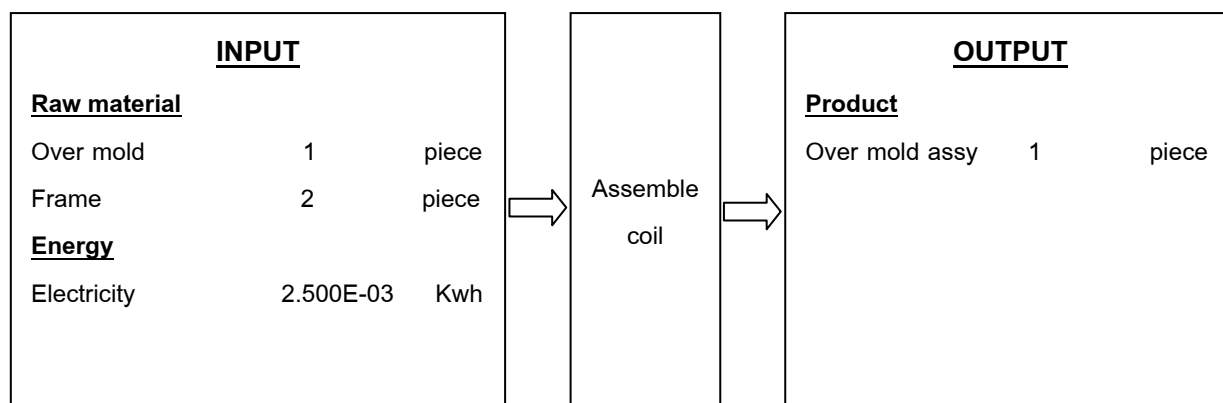
ภาพประกอบภาคผนวก ก13 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Reducer rubber



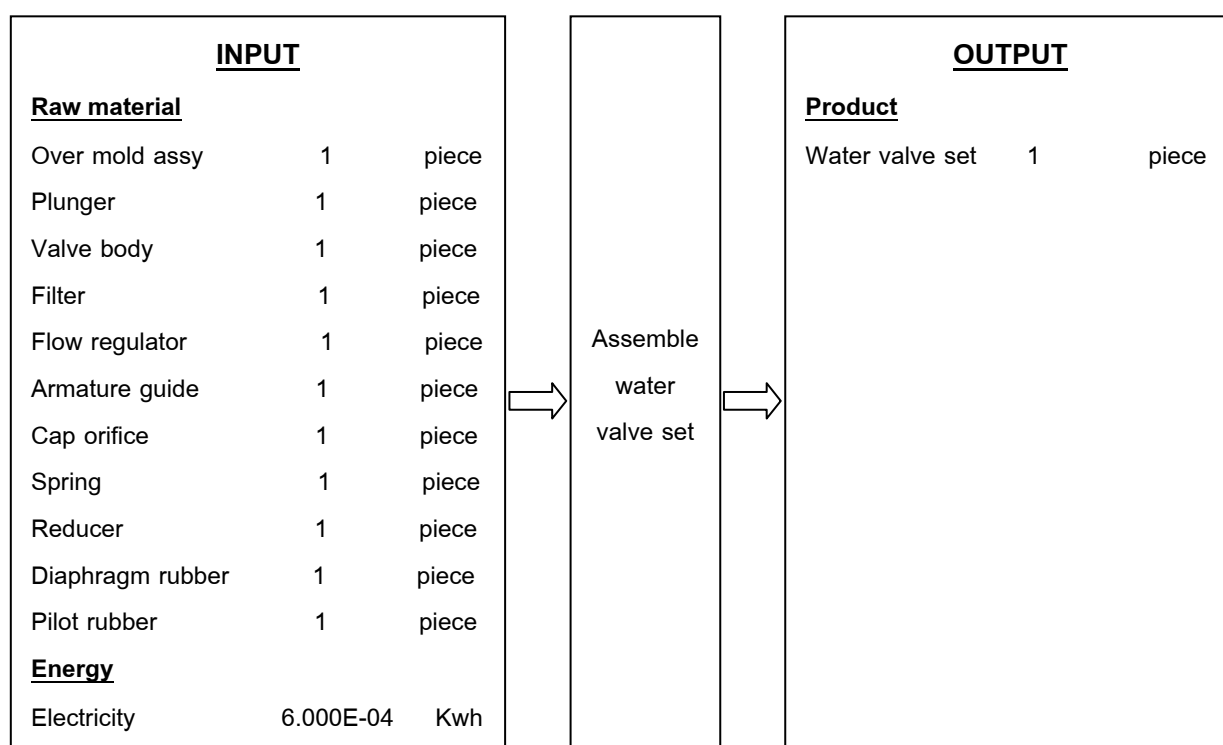
ภาพประกอบภาคผนวก ก14 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Diaphragm rubber



ภาพประกอบภาคผนวก ก15 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของชิ้นส่วน Pilot rubber



ภาพประกอบภาคผนวก ก16 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของการประกอบ Over mold assy



ภาพประกอบภาคผนวก ก17 แสดงการวิเคราะห์บัญชีรายการของการประกอบ Water valve set

### การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยการพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score)

ผลของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของชิ้นส่วนชุด Water valve ด้วยการพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเพื่อบ่งชี้ค่าภาระทางสิ่งแวดล้อมซึ่งทำการแยกพิจารณาตามกระบวนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วนของชุด Water valve สามารถสรุปได้ดังตารางภาคผนวก ก3 ถึง ก26

ตารางภาคผนวก ก3 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Frame

| Damage category   | Unit | Total     | %      | Steel ETH S | %     | progressive die | %     | Electro plating Zinc I | %     |
|-------------------|------|-----------|--------|-------------|-------|-----------------|-------|------------------------|-------|
| Total             | Pt   | 2.961E-03 | 100.00 | 1.162E-03   | 39.26 | 5.104E-04       | 17.24 | 1.288E-03              | 43.50 |
| Human Health      | Pt   | 9.104E-04 | 30.75  | 3.417E-04   | 11.54 | 1.814E-04       | 6.12  | 3.874E-04              | 13.08 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 3.024E-04 | 10.21  | 1.701E-04   | 5.75  | 1.601E-05       | 0.54  | 1.163E-04              | 3.93  |
| Resources         | Pt   | 1.748E-03 | 59.04  | 6.507E-04   | 21.97 | 3.131E-04       | 10.57 | 7.845E-04              | 26.49 |

ตารางภาคผนวก ก4 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Frame

| Impact category               | Unit | Total     | %      | Steel ETH S | %     | progressive die | %     | Electroplating Zinc I | %     |
|-------------------------------|------|-----------|--------|-------------|-------|-----------------|-------|-----------------------|-------|
| Total                         | Pt   | 2.961E-03 | 100.00 | 1.162E-03   | 39.26 | 5.104E-04       | 17.24 | 1.288E-03             | 43.50 |
| Carcinogens                   | Pt   | 1.236E-04 | 4.17   | 8.108E-05   | 2.74  | 3.014E-06       | 0.10  | 3.950E-05             | 1.33  |
| Respiratory organics          | Pt   | 7.192E-07 | 0.02   | 4.235E-07   | 0.01  | 7.543E-08       | 0.00  | 2.203E-07             | 0.01  |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 4.874E-04 | 16.46  | 1.586E-04   | 5.36  | 1.094E-04       | 3.69  | 2.194E-04             | 7.41  |
| Climate change                | Pt   | 2.957E-04 | 9.99   | 9.864E-05   | 3.33  | 6.881E-05       | 2.32  | 1.282E-04             | 4.33  |
| Radiation                     | Pt   | 2.846E-06 | 0.10   | 2.781E-06   | 0.09  | 6.462E-08       | 0.00  | 0.000E+00             | 0.00  |
| Ozone layer                   | Pt   | 1.731E-07 | 0.01   | 1.219E-07   | 0.00  | 1.104E-08       | 0.00  | 4.016E-08             | 0.00  |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 1.924E-04 | 6.50   | 1.374E-04   | 4.64  | 1.842E-06       | 0.06  | 5.318E-05             | 1.80  |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 5.621E-05 | 1.90   | 1.516E-05   | 0.51  | 1.201E-05       | 0.41  | 2.904E-05             | 0.98  |
| Land use                      | Pt   | 5.383E-05 | 1.82   | 1.758E-05   | 0.59  | 2.156E-06       | 0.07  | 3.409E-05             | 1.15  |
| Minerals                      | Pt   | 7.109E-05 | 2.40   | 2.078E-05   | 0.70  | 3.112E-07       | 0.01  | 5.000E-05             | 1.69  |
| Fossil fuels                  | Pt   | 1.677E-03 | 56.64  | 6.299E-04   | 21.27 | 3.128E-04       | 10.56 | 7.345E-04             | 24.80 |

ตารางภาคผนวก ก5 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Plunger

| Damage category   | Unit | Total     | %      | X6Cr17<br>(430) I | %     | CNC (F)   | %     |
|-------------------|------|-----------|--------|-------------------|-------|-----------|-------|
| Total             | Pt   | 4.682E-03 | 100.00 | 7.956E-04         | 16.99 | 3.886E-03 | 83.01 |
| Human Health      | Pt   | 1.600E-03 | 34.18  | 2.195E-04         | 4.69  | 1.381E-03 | 29.49 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 1.873E-04 | 4.00   | 6.539E-05         | 1.40  | 1.219E-04 | 2.60  |
| Resources         | Pt   | 2.894E-03 | 61.82  | 5.107E-04         | 10.91 | 2.383E-03 | 50.91 |

ตารางภาคผนวก ก6 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Plunger

| Impact category               | Unit | Total     | %      | X6Cr17 (430) I | %     | CNC (F)   | %     |
|-------------------------------|------|-----------|--------|----------------|-------|-----------|-------|
| Total                         | Pt   | 4.682E-03 | 100.00 | 7.956E-04      | 16.99 | 3.886E-03 | 83.01 |
| Carcinogens                   | Pt   | 2.975E-05 | 0.64   | 6.804E-06      | 0.15  | 2.294E-05 | 0.49  |
| Respiratory organics          | Pt   | 7.777E-07 | 0.02   | 2.034E-07      | 0.00  | 5.743E-07 | 0.01  |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 9.920E-04 | 21.19  | 1.592E-04      | 3.40  | 8.328E-04 | 17.79 |
| Climate change                | Pt   | 5.771E-04 | 12.33  | 5.327E-05      | 1.14  | 5.239E-04 | 11.19 |
| Radiation                     | Pt   | 4.920E-07 | 0.01   | 0.000E+00      | 0.00  | 4.920E-07 | 0.01  |
| Ozone layer                   | Pt   | 8.475E-08 | 0.00   | 7.057E-10      | 0.00  | 8.404E-08 | 0.00  |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 2.792E-05 | 0.60   | 1.389E-05      | 0.30  | 1.402E-05 | 0.30  |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 1.111E-04 | 2.37   | 1.963E-05      | 0.42  | 9.146E-05 | 1.95  |
| Land use                      | Pt   | 4.828E-05 | 1.03   | 3.186E-05      | 0.68  | 1.642E-05 | 0.35  |
| Minerals                      | Pt   | 1.295E-04 | 2.77   | 1.271E-04      | 2.72  | 2.369E-06 | 0.05  |
| Fossil fuels                  | Pt   | 2.765E-03 | 59.05  | 3.836E-04      | 8.19  | 2.381E-03 | 50.86 |

ตารางภาคผนวก ก7 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Filter

| Damage category   | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %    | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|------|-------------------|-------|------------|------|
| Total             | Pt   | 5.428E-03 | 100.00 | 1.485E-03    | 27.37 | 3.885E-04      | 7.16 | 3.553E-03         | 65.46 | 5.765E-07  | 0.01 |
| Human Health      | Pt   | 2.035E-03 | 37.50  | 6.347E-04    | 11.69 | 1.381E-04      | 2.54 | 1.262E-03         | 23.26 | 2.048E-07  | 0.00 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 1.733E-04 | 3.19   | 4.964E-05    | 0.91  | 1.219E-05      | 0.22 | 1.115E-04         | 2.05  | 1.808E-08  | 0.00 |
| Resources         | Pt   | 3.219E-03 | 59.31  | 8.010E-04    | 14.76 | 2.383E-04      | 4.39 | 2.179E-03         | 40.15 | 3.536E-07  | 0.01 |

ตารางภาคผนวก ก8 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Filter

| Impact category               | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %    | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|------|-------------------|-------|------------|------|
| Total                         | Pt   | 5.428E-03 | 100.00 | 1.485E-03    | 27.37 | 3.885E-04      | 7.16 | 3.553E-03         | 65.46 | 5.765E-07  | 0.01 |
| Carcinogens                   | Pt   | 2.430E-05 | 0.45   | 1.026E-06    | 0.02  | 2.294E-06      | 0.04 | 2.098E-05         | 0.39  | 3.404E-09  | 0.00 |
| Respiratory organics          | Pt   | 8.753E-07 | 0.02   | 2.928E-07    | 0.01  | 5.742E-08      | 0.00 | 5.251E-07         | 0.01  | 8.520E-11  | 0.00 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 1.284E-03 | 23.66  | 4.393E-04    | 8.09  | 8.327E-05      | 1.53 | 7.614E-04         | 14.03 | 1.235E-07  | 0.00 |
| Climate change                | Pt   | 7.255E-04 | 13.37  | 1.941E-04    | 3.58  | 5.238E-05      | 0.97 | 4.790E-04         | 8.82  | 7.772E-08  | 0.00 |
| Radiation                     | Pt   | 4.991E-07 | 0.01   | 0.000E+00    | 0.00  | 4.919E-08      | 0.00 | 4.498E-07         | 0.01  | 7.298E-11  | 0.00 |
| Ozone layer                   | Pt   | 8.526E-08 | 0.00   | 0.000E+00    | 0.00  | 8.403E-09      | 0.00 | 7.684E-08         | 0.00  | 1.247E-11  | 0.00 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 1.561E-05 | 0.29   | 1.383E-06    | 0.03  | 1.402E-06      | 0.03 | 1.282E-05         | 0.24  | 2.080E-09  | 0.00 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 1.410E-04 | 2.60   | 4.826E-05    | 0.89  | 9.145E-06      | 0.17 | 8.362E-05         | 1.54  | 1.357E-08  | 0.00 |
| Land use                      | Pt   | 1.665E-05 | 0.31   | 0.000E+00    | 0.00  | 1.641E-06      | 0.03 | 1.501E-05         | 0.28  | 2.435E-09  | 0.00 |
| Minerals                      | Pt   | 2.528E-06 | 0.05   | 1.251E-07    | 0.00  | 2.369E-07      | 0.00 | 2.166E-06         | 0.04  | 3.515E-10  | 0.00 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 3.216E-03 | 59.26  | 8.009E-04    | 14.76 | 2.381E-04      | 4.39 | 2.177E-03         | 40.11 | 3.532E-07  | 0.01 |

ตารางภาคผนวก ก9 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Flow regulator

| Damage category   | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %    | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|------|-------------------|-------|------------|------|
| Total             | Pt   | 5.154E-03 | 100.00 | 1.115E-03    | 21.63 | 4.859E-04      | 9.43 | 3.553E-03         | 68.93 | 5.770E-07  | 0.01 |
| Human Health      | Pt   | 1.912E-03 | 37.09  | 4.764E-04    | 9.24  | 1.726E-04      | 3.35 | 1.262E-03         | 24.49 | 2.050E-07  | 0.00 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 1.640E-04 | 3.18   | 3.726E-05    | 0.72  | 1.524E-05      | 0.30 | 1.115E-04         | 2.16  | 1.810E-08  | 0.00 |
| Resources         | Pt   | 3.079E-03 | 59.73  | 6.012E-04    | 11.66 | 2.980E-04      | 5.78 | 2.179E-03         | 42.28 | 3.539E-07  | 0.01 |

ตารางภาคผนวก ก10 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Flow regulator

| Impact category               | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %    | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|------|-------------------|-------|------------|------|
| Total                         | Pt   | 5.154E-03 | 100.00 | 1.115E-03    | 21.63 | 4.859E-04      | 9.43 | 3.553E-03         | 68.93 | 5.770E-07  | 0.01 |
| Carcinogens                   | Pt   | 2.462E-05 | 0.48   | 7.702E-07    | 0.01  | 2.869E-06      | 0.06 | 2.098E-05         | 0.41  | 3.407E-09  | 0.00 |
| Respiratory organics          | Pt   | 8.167E-07 | 0.02   | 2.197E-07    | 0.00  | 7.180E-08      | 0.00 | 5.251E-07         | 0.01  | 8.528E-11  | 0.00 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 1.195E-03 | 23.19  | 3.297E-04    | 6.40  | 1.041E-04      | 2.02 | 7.614E-04         | 14.77 | 1.237E-07  | 0.00 |
| Climate change                | Pt   | 6.902E-04 | 13.39  | 1.457E-04    | 2.83  | 6.550E-05      | 1.27 | 4.790E-04         | 9.29  | 7.779E-08  | 0.00 |
| Radiation                     | Pt   | 5.114E-07 | 0.01   | 0.000E+00    | 0.00  | 6.151E-08      | 0.00 | 4.498E-07         | 0.01  | 7.305E-11  | 0.00 |
| Ozone layer                   | Pt   | 8.736E-08 | 0.00   | 0.000E+00    | 0.00  | 1.051E-08      | 0.00 | 7.684E-08         | 0.00  | 1.248E-11  | 0.00 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 1.561E-05 | 0.30   | 1.038E-06    | 0.02  | 1.753E-06      | 0.03 | 1.282E-05         | 0.25  | 2.082E-09  | 0.00 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 1.313E-04 | 2.55   | 3.622E-05    | 0.70  | 1.144E-05      | 0.22 | 8.362E-05         | 1.62  | 1.358E-08  | 0.00 |
| Land use                      | Pt   | 1.706E-05 | 0.33   | 0.000E+00    | 0.00  | 2.052E-06      | 0.04 | 1.501E-05         | 0.29  | 2.438E-09  | 0.00 |
| Minerals                      | Pt   | 2.557E-06 | 0.05   | 9.389E-08    | 0.00  | 2.962E-07      | 0.01 | 2.166E-06         | 0.04  | 3.518E-10  | 0.00 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 3.076E-03 | 59.68  | 6.011E-04    | 11.66 | 2.977E-04      | 5.78 | 2.177E-03         | 42.24 | 3.536E-07  | 0.01 |

ตารางภาคผนวก ก11 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Armature guide

| Damage category   | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %     | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|-------|-------------------|-------|------------|------|
| Total             | Pt   | 4.573E-03 | 100.00 | 2.582E-03    | 56.48 | 6.755E-04      | 14.77 | 1.314E-03         | 28.74 | 5.770E-07  | 0.01 |
| Human Health      | Pt   | 1.811E-03 | 39.60  | 1.103E-03    | 24.13 | 2.400E-04      | 5.25  | 4.669E-04         | 10.21 | 2.050E-07  | 0.00 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 1.487E-04 | 3.25   | 8.630E-05    | 1.89  | 2.119E-05      | 0.46  | 4.122E-05         | 0.90  | 1.810E-08  | 0.00 |
| Resources         | Pt   | 2.613E-03 | 57.15  | 1.393E-03    | 30.46 | 4.143E-04      | 9.06  | 8.060E-04         | 17.63 | 3.539E-07  | 0.01 |

ตารางภาคผนวก ก12 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Armature guide

| Impact category               | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %     | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|-------|-------------------|-------|------------|------|
| Total                         | Pt   | 4.573E-03 | 100.00 | 2.582E-03    | 56.48 | 6.755E-04      | 14.77 | 1.314E-03         | 28.74 | 5.770E-07  | 0.01 |
| Carcinogens                   | Pt   | 1.353E-05 | 0.30   | 1.784E-06    | 0.04  | 3.988E-06      | 0.09  | 7.759E-06         | 0.17  | 3.407E-09  | 0.00 |
| Respiratory organics          | Pt   | 8.031E-07 | 0.02   | 5.090E-07    | 0.01  | 9.983E-08      | 0.00  | 1.942E-07         | 0.00  | 8.528E-11  | 0.00 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 1.190E-03 | 26.03  | 7.637E-04    | 16.70 | 1.448E-04      | 3.17  | 2.816E-04         | 6.16  | 1.237E-07  | 0.00 |
| Climate change                | Pt   | 6.057E-04 | 13.25  | 3.374E-04    | 7.38  | 9.107E-05      | 1.99  | 1.772E-04         | 3.87  | 7.779E-08  | 0.00 |
| Radiation                     | Pt   | 2.520E-07 | 0.01   | 0.000E+00    | 0.00  | 8.552E-08      | 0.00  | 1.664E-07         | 0.00  | 7.305E-11  | 0.00 |
| Ozone layer                   | Pt   | 4.304E-08 | 0.00   | 0.000E+00    | 0.00  | 1.461E-08      | 0.00  | 2.842E-08         | 0.00  | 1.248E-11  | 0.00 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 9.586E-06 | 0.21   | 2.405E-06    | 0.05  | 2.437E-06      | 0.05  | 4.742E-06         | 0.10  | 2.082E-09  | 0.00 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 1.307E-04 | 2.86   | 8.390E-05    | 1.83  | 1.590E-05      | 0.35  | 3.093E-05         | 0.68  | 1.358E-08  | 0.00 |
| Land use                      | Pt   | 8.407E-06 | 0.18   | 0.000E+00    | 0.00  | 2.854E-06      | 0.06  | 5.551E-06         | 0.12  | 2.438E-09  | 0.00 |
| Minerals                      | Pt   | 1.431E-06 | 0.03   | 2.175E-07    | 0.00  | 4.118E-07      | 0.01  | 8.012E-07         | 0.02  | 3.518E-10  | 0.00 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 2.612E-03 | 57.12  | 1.392E-03    | 30.45 | 4.139E-04      | 9.05  | 8.052E-04         | 17.61 | 3.536E-07  | 0.01 |

ตารางภาคผนวก ก13 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Cap orifice

| Damage category   | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %     | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|-------|-------------------|-------|------------|------|
| Total             | Pt   | 1.557E-03 | 100.00 | 4.901E-04    | 31.48 | 2.136E-04      | 13.72 | 8.525E-04         | 54.76 | 5.769E-07  | 0.04 |
| Human Health      | Pt   | 5.884E-04 | 37.80  | 2.094E-04    | 13.45 | 7.590E-05      | 4.88  | 3.029E-04         | 19.46 | 2.050E-07  | 0.01 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 4.984E-05 | 3.20   | 1.638E-05    | 1.05  | 6.701E-06      | 0.43  | 2.674E-05         | 1.72  | 1.810E-08  | 0.00 |
| Resources         | Pt   | 9.185E-04 | 59.00  | 2.643E-04    | 16.98 | 1.310E-04      | 8.42  | 5.228E-04         | 33.58 | 3.538E-07  | 0.02 |

ตารางภาคผนวก ก14 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Cap orifice

| Impact category               | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %     | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|-------|-------------------|-------|------------|------|
| Total                         | Pt   | 1.557E-03 | 100.00 | 4.901E-04    | 31.48 | 2.136E-04      | 13.72 | 8.525E-04         | 54.76 | 5.769E-07  | 0.04 |
| Carcinogens                   | Pt   | 6.636E-06 | 0.43   | 3.386E-07    | 0.02  | 1.261E-06      | 0.08  | 5.033E-06         | 0.32  | 3.406E-09  | 0.00 |
| Respiratory organics          | Pt   | 2.542E-07 | 0.02   | 9.660E-08    | 0.01  | 3.157E-08      | 0.00  | 1.260E-07         | 0.01  | 8.525E-11  | 0.00 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 3.735E-04 | 23.99  | 1.449E-04    | 9.31  | 4.578E-05      | 2.94  | 1.827E-04         | 11.73 | 1.236E-07  | 0.01 |
| Climate change                | Pt   | 2.078E-04 | 13.35  | 6.404E-05    | 4.11  | 2.880E-05      | 1.85  | 1.149E-04         | 7.38  | 7.777E-08  | 0.00 |
| Radiation                     | Pt   | 1.350E-07 | 0.01   | 0.000E+00    | 0.00  | 2.704E-08      | 0.00  | 1.079E-07         | 0.01  | 7.303E-11  | 0.00 |
| Ozone layer                   | Pt   | 2.307E-08 | 0.00   | 0.000E+00    | 0.00  | 4.620E-09      | 0.00  | 1.844E-08         | 0.00  | 1.248E-11  | 0.00 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 4.305E-06 | 0.28   | 4.564E-07    | 0.03  | 7.708E-07      | 0.05  | 3.076E-06         | 0.20  | 2.082E-09  | 0.00 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 4.103E-05 | 2.64   | 1.592E-05    | 1.02  | 5.028E-06      | 0.32  | 2.006E-05         | 1.29  | 1.358E-08  | 0.00 |
| Land use                      | Pt   | 4.506E-06 | 0.29   | 0.000E+00    | 0.00  | 9.024E-07      | 0.06  | 3.601E-06         | 0.23  | 2.437E-09  | 0.00 |
| Minerals                      | Pt   | 6.916E-07 | 0.04   | 4.128E-08    | 0.00  | 1.302E-07      | 0.01  | 5.197E-07         | 0.03  | 3.517E-10  | 0.00 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 9.178E-04 | 58.96  | 2.643E-04    | 16.97 | 1.309E-04      | 8.41  | 5.223E-04         | 33.55 | 3.535E-07  | 0.02 |

ตารางภาคผนวก ก15 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน spring

| Damage category   | Unit | Total     | %      | X5CrNi18 (304) I | %     | Machine spring | %     |
|-------------------|------|-----------|--------|------------------|-------|----------------|-------|
| Total             | Pt   | 4.091E-05 | 100.00 | 3.523E-05        | 86.10 | 5.686E-06      | 13.90 |
| Human Health      | Pt   | 2.021E-05 | 49.40  | 1.819E-05        | 44.46 | 2.020E-06      | 4.94  |
| Ecosystem Quality | Pt   | 1.852E-06 | 4.53   | 1.673E-06        | 4.09  | 1.784E-07      | 0.44  |
| Resources         | Pt   | 1.885E-05 | 46.07  | 1.536E-05        | 37.55 | 3.487E-06      | 8.52  |

ตารางภาคผนวก ก16 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน spring

| Impact category               | Unit | Total     | %      | X5CrNi18 (304) I | %     | Machine spring | %     |
|-------------------------------|------|-----------|--------|------------------|-------|----------------|-------|
| Total                         | Pt   | 4.091E-05 | 100.00 | 3.523E-05        | 86.10 | 5.686E-06      | 13.90 |
| Carcinogens                   | Pt   | 1.046E-07 | 0.26   | 7.106E-08        | 0.17  | 3.357E-08      | 0.08  |
| Respiratory organics          | Pt   | 3.798E-09 | 0.01   | 2.958E-09        | 0.01  | 8.403E-10      | 0.00  |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 1.781E-05 | 43.53  | 1.659E-05        | 40.55 | 1.219E-06      | 2.98  |
| Climate change                | Pt   | 2.295E-06 | 5.61   | 1.528E-06        | 3.74  | 7.665E-07      | 1.87  |
| Radiation                     | Pt   | 7.198E-10 | 0.00   | 0.000E+00        | 0.00  | 7.198E-10      | 0.00  |
| Ozone layer                   | Pt   | 1.339E-10 | 0.00   | 1.093E-11        | 0.00  | 1.230E-10      | 0.00  |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 1.589E-07 | 0.39   | 1.384E-07        | 0.34  | 2.052E-08      | 0.05  |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 1.296E-06 | 3.17   | 1.162E-06        | 2.84  | 1.338E-07      | 0.33  |
| Land use                      | Pt   | 3.971E-07 | 0.97   | 3.730E-07        | 0.91  | 2.402E-08      | 0.06  |
| Minerals                      | Pt   | 6.532E-06 | 15.97  | 6.529E-06        | 15.96 | 3.467E-09      | 0.01  |
| Fossil fuels                  | Pt   | 1.232E-05 | 30.11  | 8.834E-06        | 21.59 | 3.484E-06      | 8.51  |

ตารางภาคผนวก ก17 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Terminal

| Damage category   | Unit | Total     | %      | CuZn40Pb I | %     | progressive die | %     | Electroplating Zinc I | %    |
|-------------------|------|-----------|--------|------------|-------|-----------------|-------|-----------------------|------|
| Total             | Pt   | 1.841E-03 | 100.00 | 1.538E-03  | 83.51 | 2.176E-04       | 11.82 | 8.598E-05             | 4.67 |
| Human Health      | Pt   | 6.821E-04 | 37.04  | 5.789E-04  | 31.44 | 7.732E-05       | 4.20  | 2.586E-05             | 1.40 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 1.040E-04 | 5.65   | 8.941E-05  | 4.86  | 6.826E-06       | 0.37  | 7.763E-06             | 0.42 |
| Resources         | Pt   | 1.055E-03 | 57.31  | 8.695E-04  | 47.22 | 1.335E-04       | 7.25  | 5.236E-05             | 2.84 |

ตารางภาคผนวก ก18 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Terminal

| Impact category               | Unit | Total     | %      | CuZn40Pb I | %     | progressive die | %     | Electroplating Zinc I | %    |
|-------------------------------|------|-----------|--------|------------|-------|-----------------|-------|-----------------------|------|
| Total                         | Pt   | 1.841E-03 | 100.00 | 1.538E-03  | 83.51 | 2.176E-04       | 11.82 | 8.598E-05             | 4.67 |
| Carcinogens                   | Pt   | 6.567E-06 | 0.36   | 2.646E-06  | 0.14  | 1.285E-06       | 0.07  | 2.636E-06             | 0.14 |
| Respiratory organics          | Pt   | 8.192E-08 | 0.00   | 3.506E-08  | 0.00  | 3.216E-08       | 0.00  | 1.470E-08             | 0.00 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 6.080E-04 | 33.02  | 5.468E-04  | 29.69 | 4.663E-05       | 2.53  | 1.464E-05             | 0.80 |
| Climate change                | Pt   | 6.735E-05 | 3.66   | 2.945E-05  | 1.60  | 2.933E-05       | 1.59  | 8.558E-06             | 0.46 |
| Radiation                     | Pt   | 2.755E-08 | 0.00   | 0.000E+00  | 0.00  | 2.755E-08       | 0.00  | 0.000E+00             | 0.00 |
| Ozone layer                   | Pt   | 9.451E-09 | 0.00   | 2.064E-09  | 0.00  | 4.706E-09       | 0.00  | 2.681E-09             | 0.00 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 1.493E-05 | 0.81   | 1.060E-05  | 0.58  | 7.851E-07       | 0.04  | 3.549E-06             | 0.19 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 4.411E-05 | 2.40   | 3.705E-05  | 2.01  | 5.121E-06       | 0.28  | 1.938E-06             | 0.11 |
| Land use                      | Pt   | 4.496E-05 | 2.44   | 4.176E-05  | 2.27  | 9.192E-07       | 0.05  | 2.276E-06             | 0.12 |
| Minerals                      | Pt   | 6.940E-04 | 37.69  | 6.906E-04  | 37.50 | 1.327E-07       | 0.01  | 3.337E-06             | 0.18 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 3.613E-04 | 19.62  | 1.789E-04  | 9.72  | 1.333E-04       | 7.24  | 4.902E-05             | 2.66 |

ตารางภาคผนวก ก19 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Bobbin

| Damage category   | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %     | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|-------|-------------------|-------|------------|------|
| Total             | Pt   | 3.154E-03 | 100.00 | 1.826E-03    | 57.90 | 4.770E-04      | 15.12 | 8.502E-04         | 26.96 | 5.772E-07  | 0.02 |
| Human Health      | Pt   | 1.252E-03 | 39.70  | 7.804E-04    | 24.74 | 1.695E-04      | 5.37  | 3.021E-04         | 9.58  | 2.051E-07  | 0.01 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 1.027E-04 | 3.26   | 6.103E-05    | 1.94  | 1.496E-05      | 0.47  | 2.667E-05         | 0.85  | 1.811E-08  | 0.00 |
| Resources         | Pt   | 1.799E-03 | 57.04  | 9.849E-04    | 31.23 | 2.926E-04      | 9.28  | 5.214E-04         | 16.53 | 3.540E-07  | 0.01 |

ตารางภาคผนวก ก20 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Bobbin

| Impact category               | Unit | Total     | %      | PA 66 GF30 I | %     | drying process | %     | Injection process | %     | Cut runner | %    |
|-------------------------------|------|-----------|--------|--------------|-------|----------------|-------|-------------------|-------|------------|------|
| Total                         | Pt   | 3.154E-03 | 100.00 | 1.826E-03    | 57.90 | 4.770E-04      | 15.12 | 8.502E-04         | 26.96 | 5.772E-07  | 0.02 |
| Carcinogens                   | Pt   | 9.101E-06 | 0.29   | 1.262E-06    | 0.04  | 2.816E-06      | 0.09  | 5.019E-06         | 0.16  | 3.408E-09  | 0.00 |
| Respiratory organics          | Pt   | 5.562E-07 | 0.02   | 3.599E-07    | 0.01  | 7.049E-08      | 0.00  | 1.256E-07         | 0.00  | 8.530E-11  | 0.00 |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 8.247E-04 | 26.15  | 5.401E-04    | 17.12 | 1.022E-04      | 3.24  | 1.822E-04         | 5.78  | 1.237E-07  | 0.00 |
| Climate change                | Pt   | 4.176E-04 | 13.24  | 2.386E-04    | 7.57  | 6.431E-05      | 2.04  | 1.146E-04         | 3.63  | 7.781E-08  | 0.00 |
| Radiation                     | Pt   | 1.681E-07 | 0.01   | 0.000E+00    | 0.00  | 6.039E-08      | 0.00  | 1.076E-07         | 0.00  | 7.307E-11  | 0.00 |
| Ozone layer                   | Pt   | 2.872E-08 | 0.00   | 0.000E+00    | 0.00  | 1.032E-08      | 0.00  | 1.839E-08         | 0.00  | 1.248E-11  | 0.00 |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 6.492E-06 | 0.21   | 1.701E-06    | 0.05  | 1.721E-06      | 0.05  | 3.068E-06         | 0.10  | 2.083E-09  | 0.00 |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 9.058E-05 | 2.87   | 5.933E-05    | 1.88  | 1.123E-05      | 0.36  | 2.001E-05         | 0.63  | 1.359E-08  | 0.00 |
| Land use                      | Pt   | 5.609E-06 | 0.18   | 0.000E+00    | 0.00  | 2.015E-06      | 0.06  | 3.591E-06         | 0.11  | 2.438E-09  | 0.00 |
| Minerals                      | Pt   | 9.633E-07 | 0.03   | 1.538E-07    | 0.00  | 2.908E-07      | 0.01  | 5.183E-07         | 0.02  | 3.519E-10  | 0.00 |
| Fossil fuels                  | Pt   | 1.798E-03 | 57.01  | 9.847E-04    | 31.22 | 2.923E-04      | 9.27  | 5.209E-04         | 16.52 | 3.537E-07  | 0.01 |

ตารางภาคผนวก ก21 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Diaphragm rubber

| Damage category   | Unit | Total     | %      | EPDM rubber<br>ETH S | %     | Forming<br>process | %     |
|-------------------|------|-----------|--------|----------------------|-------|--------------------|-------|
| Total             | Pt   | 2.063E-03 | 100.00 | 3.196E-04            | 15.49 | 1.743E-03          | 84.51 |
| Human Health      | Pt   | 7.095E-04 | 34.40  | 9.017E-05            | 4.37  | 6.193E-04          | 30.03 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 7.314E-05 | 3.55   | 1.846E-05            | 0.89  | 5.468E-05          | 2.65  |
| Resources         | Pt   | 1.280E-03 | 62.06  | 2.110E-04            | 10.23 | 1.069E-03          | 51.83 |

ตารางภาคผนวก ก22 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Diaphragm rubber

| Impact category               | Unit | Total     | %      | EPDM rubber ETH S | %     | Forming process | %     |
|-------------------------------|------|-----------|--------|-------------------|-------|-----------------|-------|
| Total                         | Pt   | 2.063E-03 | 100.00 | 3.196E-04         | 15.49 | 1.743E-03       | 84.51 |
| Carcinogens                   | Pt   | 2.626E-05 | 1.27   | 1.597E-05         | 0.77  | 1.029E-05       | 0.50  |
| Respiratory organics          | Pt   | 1.201E-06 | 0.06   | 9.432E-07         | 0.05  | 2.576E-07       | 0.01  |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 4.287E-04 | 20.79  | 5.519E-05         | 2.68  | 3.735E-04       | 18.11 |
| Climate change                | Pt   | 2.516E-04 | 12.20  | 1.660E-05         | 0.80  | 2.350E-04       | 11.39 |
| Radiation                     | Pt   | 1.405E-06 | 0.07   | 1.184E-06         | 0.06  | 2.207E-07       | 0.01  |
| Ozone layer                   | Pt   | 3.272E-07 | 0.02   | 2.895E-07         | 0.01  | 3.770E-08       | 0.00  |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 1.491E-05 | 0.72   | 8.616E-06         | 0.42  | 6.289E-06       | 0.30  |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 4.584E-05 | 2.22   | 4.811E-06         | 0.23  | 4.102E-05       | 1.99  |
| Land use                      | Pt   | 1.239E-05 | 0.60   | 5.032E-06         | 0.24  | 7.363E-06       | 0.36  |
| Minerals                      | Pt   | 1.640E-06 | 0.08   | 5.770E-07         | 0.03  | 1.063E-06       | 0.05  |
| Fossil fuels                  | Pt   | 1.278E-03 | 61.98  | 2.104E-04         | 10.20 | 1.068E-03       | 51.78 |

ตารางภาคผนวก ก23 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Pilot rubber

| Damage category   | Unit | Total     | %      | EPDM rubber<br>ETH S | %    | Forming<br>process | %     |
|-------------------|------|-----------|--------|----------------------|------|--------------------|-------|
| Total             | Pt   | 9.008E-04 | 100.00 | 2.945E-05            | 3.27 | 8.713E-04          | 96.73 |
| Human Health      | Pt   | 3.179E-04 | 35.29  | 8.309E-06            | 0.92 | 3.096E-04          | 34.37 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 2.903E-05 | 3.22   | 1.701E-06            | 0.19 | 2.733E-05          | 3.03  |
| Resources         | Pt   | 5.538E-04 | 61.48  | 1.944E-05            | 2.16 | 5.344E-04          | 59.33 |

ตารางภาคผนวก ก24 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Pilot rubber

| Impact category               | Unit | Total     | %      | EPDM rubber ETH S | %    | Forming process | %     |
|-------------------------------|------|-----------|--------|-------------------|------|-----------------|-------|
| Total                         | Pt   | 9.008E-04 | 100.00 | 2.945E-05         | 3.27 | 8.713E-04       | 96.73 |
| Carcinogens                   | Pt   | 6.616E-06 | 0.73   | 1.471E-06         | 0.16 | 5.144E-06       | 0.57  |
| Respiratory organics          | Pt   | 2.157E-07 | 0.02   | 8.691E-08         | 0.01 | 1.288E-07       | 0.01  |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 1.918E-04 | 21.29  | 5.086E-06         | 0.56 | 1.867E-04       | 20.73 |
| Climate change                | Pt   | 1.190E-04 | 13.21  | 1.529E-06         | 0.17 | 1.175E-04       | 13.04 |
| Radiation                     | Pt   | 2.194E-07 | 0.02   | 1.091E-07         | 0.01 | 1.103E-07       | 0.01  |
| Ozone layer                   | Pt   | 4.552E-08 | 0.01   | 2.668E-08         | 0.00 | 1.884E-08       | 0.00  |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 3.938E-06 | 0.44   | 7.939E-07         | 0.09 | 3.144E-06       | 0.35  |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 2.095E-05 | 2.33   | 4.433E-07         | 0.05 | 2.051E-05       | 2.28  |
| Land use                      | Pt   | 4.144E-06 | 0.46   | 4.636E-07         | 0.05 | 3.681E-06       | 0.41  |
| Minerals                      | Pt   | 5.844E-07 | 0.06   | 5.317E-08         | 0.01 | 5.312E-07       | 0.06  |
| Fossil fuels                  | Pt   | 5.533E-04 | 61.42  | 1.939E-05         | 2.15 | 5.339E-04       | 59.27 |

ตารางภาคผนวก ก25 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของชิ้นส่วน Reducer rubber

| Damage category   | Unit | Total     | %      | NBR I     | %     | Forming process | %     |
|-------------------|------|-----------|--------|-----------|-------|-----------------|-------|
| Total             | Pt   | 9.689E-04 | 100.00 | 9.753E-05 | 10.07 | 8.713E-04       | 89.93 |
| Human Health      | Pt   | 3.293E-04 | 33.99  | 1.973E-05 | 2.04  | 3.096E-04       | 31.95 |
| Ecosystem Quality | Pt   | 3.045E-05 | 3.14   | 3.115E-06 | 0.32  | 2.733E-05       | 2.82  |
| Resources         | Pt   | 6.091E-04 | 62.87  | 7.468E-05 | 7.71  | 5.344E-04       | 55.16 |

ตารางภาคผนวก ก26 แสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทของผลกระทบของชิ้นส่วน Reducer rubber

| Impact category               | Unit | Total     | %      | NBR I     | %     | Forming process | %     |
|-------------------------------|------|-----------|--------|-----------|-------|-----------------|-------|
| Total                         | Pt   | 9.689E-04 | 100.00 | 9.753E-05 | 10.07 | 8.713E-04       | 89.93 |
| Carcinogens                   | Pt   | 6.296E-06 | 0.65   | 1.152E-06 | 0.12  | 5.144E-06       | 0.53  |
| Respiratory organics          | Pt   | 3.252E-07 | 0.03   | 1.964E-07 | 0.02  | 1.288E-07       | 0.01  |
| Respiratory inorganics        | Pt   | 2.029E-04 | 20.95  | 1.622E-05 | 1.67  | 1.867E-04       | 19.27 |
| Climate change                | Pt   | 1.196E-04 | 12.34  | 2.100E-06 | 0.22  | 1.175E-04       | 12.12 |
| Radiation                     | Pt   | 1.103E-07 | 0.01   | 0.000E+00 | 0.00  | 1.103E-07       | 0.01  |
| Ozone layer                   | Pt   | 8.682E-08 | 0.01   | 6.797E-08 | 0.01  | 1.884E-08       | 0.00  |
| Ecotoxicity                   | Pt   | 3.429E-06 | 0.35   | 2.855E-07 | 0.03  | 3.144E-06       | 0.32  |
| Acidification/ Eutrophication | Pt   | 2.264E-05 | 2.34   | 2.129E-06 | 0.22  | 2.051E-05       | 2.12  |
| Land use                      | Pt   | 4.381E-06 | 0.45   | 7.001E-07 | 0.07  | 3.681E-06       | 0.38  |
| Minerals                      | Pt   | 5.460E-07 | 0.06   | 1.481E-08 | 0.00  | 5.312E-07       | 0.05  |
| Fossil fuels                  | Pt   | 6.085E-04 | 62.81  | 7.467E-05 | 7.71  | 5.339E-04       | 55.10 |

ภาคผนวก ข  
ฐานข้อมูลโปรแกรม

## ภาคผนวก ข

### ฐานข้อมูลโปรแกรม

#### ฐานข้อมูลบัญชีรายการ (Life cycle inventory: LCI)

สำหรับรายการฐานข้อมูล (Life cycle inventory: LCI) ในโปรแกรม SimaPro 7.1 ที่งานวิจัยนี้ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและการผลิตพลังงานไฟฟ้าของชิ้นส่วนชุด water valve มีดังนี้

- 1) Plastic PA 66 30%GF : พลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตชิ้นส่วนที่เป็น Plastic part อาทิเช่น Bobbin, Valve body เป็นต้น จะเลือกอ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Plastic PA 66 GF 30 I ของ IDEMAT 2001
- 2) Plastic PP : พลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตชิ้นส่วน Over mold จะอ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Plastic PP ETH S ของ ETH-ESU 96 system processes
- 3) Metal Brass : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต CuZn40Pb I ของ IDEMAT 2001
- 4) Zinc : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Zinc I ของ IDEMAT 2001
- 5) Copper : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Copper ETH S ของ ETH-ESU 96 system processes
- 6) Polyurethane resin : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต PUR rigid foam I ของ IDEMAT 2001
- 7) Solder(Tin) : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Tin I ของ IDEMAT 2001
- 8) Steel : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Steel ETH S ของ ETH-ESU 96 system processes
- 9) Stainless steel (430) : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต X6Cr17(430)I ของ IDEMAT 2001
- 10) Stainless steel (304) : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต X5CrNi18(304)I ของ IDEMAT 2001
- 11) Rubber EPDM : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต EPDM rubber ETH S ของ ETH-ESU 96 system processes
- 12) Rubber NBR : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต NBR I ของ IDEMAT 2001

- 13) การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Electricity oil UCPTES ของ ETH-ESU 96 system processes
- 14) การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Electricity gas power plant in UCPTES ของ ETH-ESU 96 system processes
- 15) การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Electricity lignite power plant in UCPTES ของ ETH-ESU 96 system processes
- 16) การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้น้ำเป็นเชื้อเพลิง : อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI จากการผลิต Flow through hydropower UCPTES ของ ETH-ESU 96 system process

ภาคผนวก ค  
ตารางการเก็บข้อมูล

## ตารางภาคผนวก ค ตารางการเก็บข้อมูลบัญชีรายการ (Life cycle inventory)

### ตารางการเก็บข้อมูลการใช้วัตถุดิบและการปล่อยของเสีย

ชื่อชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ : .....

ชื่อกระบวนการผลิต : .....

น้ำหนัก/ชิ้น : .....

รูปภาพ

| วัตถุดิบที่ใช้ |            |
|----------------|------------|
| ชนิด           | ปริมาณ(Kg) |
|                |            |
|                |            |
|                |            |
|                |            |
|                |            |

| พลังงานและเชื้อเพลิง |             |
|----------------------|-------------|
| ชนิด                 | ปริมาณ(Kwh) |
|                      |             |
|                      |             |
|                      |             |
|                      |             |
|                      |             |

| สารเคมีประเภทอื่น ๆ |        |
|---------------------|--------|
| ชนิด                | ปริมาณ |
|                     |        |
|                     |        |
|                     |        |
|                     |        |
|                     |        |

| มลภาวะทางอากาศ |            |
|----------------|------------|
| ชนิด           | ปริมาณ(Kg) |
|                |            |
|                |            |
|                |            |
|                |            |
|                |            |

| มลภาวะทางน้ำ |        |
|--------------|--------|
| ชนิด         | ปริมาณ |
|              |        |
|              |        |
|              |        |
|              |        |
|              |        |

| ของเสียที่เป็นของแข็ง |            |
|-----------------------|------------|
| ชนิด                  | ปริมาณ(Kg) |
|                       |            |
|                       |            |
|                       |            |
|                       |            |
|                       |            |

ตารางผนวก ค ตารางการวิเคราะห์บัญชีรายการ(Life cycle inventory analyze)

| สารขาเข้า                                                       |          |          | กระบวนการ | สารขาออก                                            |        |       |
|-----------------------------------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------------------------------------------------|--------|-------|
| ชนิด                                                            | ปริมาณ   | หน่วย    |           | ชนิด                                                | ปริมาณ | หน่วย |
| <u>วัตถุดิบ</u><br>1. _____                                     | xx       | xx       | 1. _____  | <u>ผลิตภัณฑ์</u><br>1. _____                        | xx     | xx    |
| <u>พลังงานและ</u><br><u>สาธารณูปโภค</u><br>1. _____             | xx       | xx       |           | <u>ของเสียที่เป็น</u><br><u>ของแข็ง</u><br>1. _____ | xx     | xx    |
| <u>อื่น ๆ</u><br>1. _____                                       | xx       | xx       |           | <u>มลภาวะทาง</u><br><u>อากาศ</u><br>1. _____        | xx     | xx    |
| <u>วัตถุดิบ</u><br>1. _____<br>2. _____                         | xx<br>xx | xx<br>xx | 2. _____  | <u>ผลิตภัณฑ์</u><br>1. _____                        | xx     | xx    |
| <u>พลังงานและ</u><br><u>สาธารณูปโภค</u><br>1. _____<br>2. _____ | xx<br>xx | xx<br>xx |           | <u>ของเสียที่เป็น</u><br><u>ของแข็ง</u><br>1. _____ | xx     | xx    |
| <u>อื่น ๆ</u><br>1. _____                                       | xx       | xx       |           | <u>มลภาวะทาง</u><br><u>อากาศ</u><br>1. _____        | xx     | xx    |
| <u>วัตถุดิบ</u><br>1. _____                                     | x        | xx       | 3. _____  | <u>ผลิตภัณฑ์</u><br>1. _____                        | xx     | xx    |
| <u>พลังงานและ</u><br><u>สาธารณูปโภค</u><br>1. _____             | xx       | xx       |           | <u>ของเสียที่เป็น</u><br><u>ของแข็ง</u><br>1. _____ | xx     | xx    |
| <u>อื่น ๆ</u><br>1. _____                                       | xx       | xx       |           | <u>มลภาวะทาง</u><br><u>อากาศ</u><br>1. _____        | xx     | xx    |

ประวัติย่อผู้ทำสารนิพนธ์

## ประวัติย่อผู้ทำวิจัย

|                              |                                                                                                |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ ชื่อสกุล                | นายวรสิทธิ์ หินทอง                                                                             |
| วันเดือนปีเกิด               | 13 ตุลาคม 2522                                                                                 |
| สถานที่เกิด                  | กรุงเทพมหานคร                                                                                  |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน          | 53/112 ซอยเลิศพัฒนาใต้ ถนนจอมทอง<br>เขตจอมทอง จังหวัดกรุงเทพฯ 10150                            |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | วิศวกร                                                                                         |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน         | บริษัท เดลต้า อิเลคโทรนิคส์ (ประเทศไทย)<br>จำกัด มหาชน                                         |
| ประวัติการศึกษา              |                                                                                                |
| พ.ศ. 2543                    | ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ช่างยนต์)<br>จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต<br>เทคนิคกรุงเทพฯ |
| พ.ศ. 2547                    | อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต<br>(วิศวกรรมเครื่องกล)<br>จากมหาวิทยาลัยสยาม                             |
| พ.ศ. 2553                    | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต<br>(การจัดการทางวิศวกรรม)<br>จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                 |