



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการวิศวกรรม)

ปริญญา

การจัดการวิศวกรรม

วิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

สาขา

คณะ

เรื่อง การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก

Life Cycle Assessment of Mechanical Machine Manufacturing for Steel Industry

นามผู้วิจัย นายพินิจ เพื่องมกลเวช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริรงค์ กลั่นคำสอน, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริรงค์ กลั่นคำสอน, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสีทจี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก

Life Cycle Assessment of Mechanical Machine Manufacturing for Steel Industry

โดย

นายพินิจ เพื่องมกลเวช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการวิศวกรรม)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พินิจ เพื่อองกมลเวช 2557: การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับ
อุตสาหกรรมเหล็ก ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการวิศวกรรม) สาขาวิชา
การจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริวงศ์ กลั่นคำสอน, Ph.D. 151 หน้า

อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกลเป็นอุตสาหกรรมหนักที่มีการใช้วัตถุดิบหลักคือเหล็ก
และ พลังงานจำนวนมาก โดยในกระบวนการผลิตมีการใช้เครื่องจักรกลหลายประเภทซึ่งส่งผล
กระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากกฎระเบียบภาครัฐและมาตรฐานทางด้านสิ่งแวดล้อมสากล ISO 14000
(14040 , 14041 , 14042 และ 14043) และความต้องการของสังคมที่บังคับให้ผู้ผลิตต้องควบคุม
และพัฒนากลยุทธ์ในการจัดการอย่างยั่งยืนเพื่อรักษาสิ่งแวดล้อม ปัญหาที่พบคือการขาดข้อมูลด้าน
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ออกมาจากกระบวนการผลิต วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้ประเมินวัฏ
จักรชีวิตแบบ Gate to Gate ของอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกลซึ่งพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่ง
วัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานและการผลิตจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ โดยได้มีการจัดทำข้อมูล
บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิต
กระบวนการผลิตประกอบด้วย การจัดเตรียมชิ้นงาน เชื่อมประกอบ อบเคลือบเคลือบ ยิงทราย ทำสี
ปาดผิว อบชุบแข็ง ประกอบงานสำเร็จรูป และ การบรรจุ กรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตเครื่องจักรกลราย
ใหญ่ของประเทศไทย วิธีการศึกษาคือประเมินปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงาน ผลลัพธ์และของ
เสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 ในการวัดผลกระทบ ประเมินผล
กระทบทาง ด้านสิ่งแวดล้อมและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิต ผล
จากการศึกษาพบว่า การขนส่งมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.84 CO₂ equivalent และ
การผลิตมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 26.76 CO₂ equivalent โดยกระบวนการอบชุบ
ผิวแข็งมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ผลที่ได้
จากงานวิจัยนี้นำไปสู่การพัฒนานโยบาย แผนการลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การอนุรักษ์
พลังงาน และการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ของอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรกลต่อไป

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Pinit Fuangkamolwesh 2014: Life Cycle Assessment of Mechanical Machine Manufacturing for Steel Industry. Master of Engineering (Engineering Management), Major Field: Engineering Management, Faculty of Engineering at Si Racha. Thesis Advisor: Assistant Professor Sirang Klankamsorn. Ph.D. 151 pages.

Mechanical machine manufacturing industry is concerned as a heavy industry that has mass consumptions of raw material, mainly on steel, and energy. The manufacturing processes use different types of machining that lead to environmental problems. The government regulation, ISO 14000 series (14040, 14041, 14042 and 14043) and social requirement has an important role to force the manufacturer to control and develop the sustainable management strategies to protect the environment. The main problem in developing such an efficient plan is a lack of environmental impacts data. The objective of this research proposes the gate to gate life cycle assessment of the machine manufacturing since raw material acquisition, transportation and production. The life cycle inventory was developed to evaluate the carbon dioxide emission. The manufacturing processes compose of preparation fabrication heat treatment sand blasting painting machining hardening surface (heat treatment nitriding induction) assembly and packing. The case study is conducted in a large machine manufacturer in Thailand. The procedure is to quantify the materials and energy consumptions, outputs and wastes that are released from processes by using the commercial software SimaPro version 7.3 to evaluate impact assessment of environment and Carbon dioxide emissions in the production process as a results of study found that transportation process is released an emissions of carbon dioxide to 1.84 CO₂ equivalent and production process is released an emissions of carbon dioxide to 26.76 CO₂ equivalent that hardening process is a maximum value of carbon dioxide emission and impact on the environment The assessment results in the study will be used to develop the carbon reduction plan , energy conservation and environmental management policies of the industry

Student's Signature

Thesis Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ เพราะได้รับความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณ ผู้วิจัยขอกราบ
ขอบพระคุณ ผศ.ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง
ดร.ธีรนนทา ฤทธิมณี และ ดร.วรพจน์ อังกสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษา
และแนะนำข้อคิดอันเป็นประโยชน์และสละเวลาในการตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง
ด้วยดีขอบพระคุณบริษัทผู้ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล และผู้ประสานงานทุกท่านที่ให้ข้อมูลใน
การวิจัยงานให้สำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและ
มอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการนำไปพัฒนาศักยภาพของผู้วิจัยและองค์กรให้สูงขึ้น
ขอขอบพระคุณ คุณวลีรัตน์ พุทธาศรี นักวิชาการศึกษา รวมทั้งนิสิตปริญญาโท ภาควิชาการจัดการ
วิศวกรรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชาที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆใน
การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่เลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนให้เติบโตและเป็นคนดีของ
สังคม ทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยในทุกด้าน ความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้
ขอมอบให้กับบิดามารดา และครูบาอาจารย์ทุกท่าน

พินิจ เพื่องมลเวช

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำย่อ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	34
อุปกรณ์	34
วิธีการ	34
ผลและการวิจารณ์	68
สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุป	100
ข้อเสนอแนะ	102
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	104
ภาคผนวก	107
ภาคผนวก ก ผลจากการวิเคราะห์โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro7.3	108
ภาคผนวก ข คุณสมบัติเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต	132
ภาคผนวก ค ตัวอย่างวัสดุช่วยการผลิตและของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต	136
ภาคผนวก ง ที่มาบัญชีรายการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน	144
ภาคผนวก จ ค่า Emission Factor ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	146
ภาคผนวก ฉ ตารางสำรวจข้อมูล	148
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	151

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างสามกลุ่มความเสียหายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้ง 11 ชนิด รวมทั้งสาระหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบ	19
2	ชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง	40
3	ที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน	63
4	แผนการดำเนินงาน	67
5	ข้อมูลการขนส่งของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ	68
6	บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการจัดเตรียมชิ้นงาน	69
7	บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการเชื่อมประกอบ	69
8	บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการอบเคลือบเคลือบ	70
9	บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการยิงทราย	70
10	บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการทำสี	71
11	บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการปาดผิว	71
12	บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการอบชุบแข็ง	72
13	บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการประกอบงานสำเร็จรูป	73
14	บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการบรรจุ	74
15	ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเครื่องจักรกล สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัมแยกตามกระบวนการย่อย	75
16	สรุปผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการประเมินการประเมินวัฏจักรชีวิต ของการผลิต เครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก	85
17	ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างตามตัวชี้วัด ECO-indicator 99	87
18	ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซื้อทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต	88
19	ค่าใช้จ่ายต่อเหล็ก 1 กิโลกรัมในการผลิตกับกระบวนการผลิตกับปริมาณการ ปล่อยก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์ 1 กิโลกรัม โดยคิดเฉพาะทรัพยากรและวัสดุ ช่วยการผลิต	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
20	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อครั้งสำหรับงานประกอบล้อร่วมกับเพลาก่อนและหลังปรับปรุง 96
21	เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนและหลังปรับปรุง 96
22	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนและหลังปรับปรุง 97
23	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการอบชุบผิวแข็งก่อนและหลังปรับปรุง 99
 ตารางผนวกที่	
ก1	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการขนส่ง 109
ก2	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการเตรียม ชิ้นงาน 110
ก3	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการเชื่อมประกอบ 111
ก4	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการคลายเครีชด 112
ก5	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการการยิงทราย 113
ก6	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการทำสี 114
ก7	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการปาดผิว 115
ก8	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการชุบผิวแข็ง 116
ก9	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการประกอบชิ้นส่วน 117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

ก10	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการบรรจุ	118
ก11	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการเตรียม ชิ้นงาน	119
ก12	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการเชื่อมประกอบ	120
ก13	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการอบเคลือบเครื่อง	121
ก14	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการยิงทราย	122
ก15	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการทำสี	123
ก16	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการปาดผิว	124
ก17	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการชุบผิวแข็ง	125
ก18	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นส่วน	126
ก19	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการบรรจุ	127
ก20	แสดงค่าจากการกำหนดบทบาท (Characterization) จากโปรแกรม สำเร็จรูป SimaPro7.3 ของแต่ละขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล	129
ก21	แสดงค่าจากการกำหนดบทบาท (Characterization) จากโปรแกรม สำเร็จรูป SimaPro7.3 ของแต่ละขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล	130
ก22	แสดงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 11ประเภท (Single indicator) จาก โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro7.3ของแต่ละขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล	131

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

ข1	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a กระบวนการบรรจุ	133
ง1	บัญชีรายการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ของกระบวนการผลิตเครื่อง จักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก	145
จ1	ค่า Emission Factor ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	147
ฉ1	ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 กระบวนการอบเคลือบเหล็ก	149
ฉ1	ปริมาณวัตถุดิบสารขาเข้า	149
ฉ2	ปริมาณวัตถุดิบสารขาออก	149
ฉ3	ปริมาณของเสีย	150
ฉ4	ปริมาณทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต	150

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนของวงจรชีวิตที่นำมาพิจารณาในการประเมินวัฏจักรชีวิต	5
2	กรอบการดำเนินงาน LCA	8
3	ขั้นตอนการดำเนินงานในการวิเคราะห์บัญชีรายการ	11
4	การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ	12
5	กรอบการดำเนินงานของ LCIA	15
6	ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบภายในกับช่วงแปรผลขั้นตอนอื่นๆ ของ LCA	16
7	ลำดับขั้นตอนการคำนวณ Eco –Indicator	18
8	แผนภาพการประเมินค่าโดยวิธี Eco –Indicator 99	20
9	ขอบเขตของระบบ (System Boundary)	37
10	แผนภาพของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล (Manufacturing process: Gate to Gate)	38
11	แผนผังสรุปขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล	39
12	สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการจัดเตรียมชิ้นงาน	41
13	เหล็กแผ่นที่เข้าสู่กระบวนการ	42
14	กระบวนการตัดชิ้นงานตามขนาดที่ออกแบบ	42
15	การตัดชิ้นงาน โดยเครื่องตัด (Oxygen Cutting Machining)	43
16	เตรียมชิ้นงานโดยเครื่อง คัด พับ และเครื่องตัด	43
17	พื้นที่การ เตรียมชิ้นงาน	44
18	สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการเชื่อมประกอบ	45
19	การประกอบชิ้นส่วนและเชื่อม	45
20	กระบวนการเชื่อม โดยเครื่องเชื่อมแบบอัตโนมัติ(Automatic Welding Machine)	46
21	สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการอบคลายเครียด	48
22	กระบวนการอบคลายเครียดชิ้นงาน	48
23	ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ผ่านการอบคลายเครียด	49
24	แผนภาพกระบวนการอบคลายเครียด	49
25	สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการอบคลายเครียด	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ชิ้นส่วนที่ผ่านการยิงทราย	50
27	อุปกรณ์การยิงทราย ถึงพ่นทราย	51
28	สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการทำสี	52
29	ชั้นวางบรรจุภัณฑ์สีสำหรับกระบวนการทำสี	52
30	อุปกรณ์สำหรับการพ่นสี ด้วยเครื่องพ่นสีแรงดันสูง (Airless Spray)	53
31	ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรกลที่ผ่านการทำสี	53
32	แสดงสารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการปาดผิว	54
33	การจับยึดชิ้นส่วนอุปกรณ์บนเครื่อง ปาดผิว อัตโนมัติ (CNC Milling Machine)	55
34	มีดตัดสำหรับงานปาดผิว (Cutting tool)	55
35	เครื่องกลึง CNC แบบอัตโนมัติ	56
36	สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการอบชุบแข็ง	57
37	การชุบแข็ง (Quenching and Tempering)	57
38	อุปกรณ์การทำ Induction	58
39	อุปกรณ์การทำ Nitriding	58
40	สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการประกอบขึ้นรูป	60
41	ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องจักรกลสำหรับอุปกรณ์ที่ออกแบบโดย 3D	60
42	ตัวอย่างงานประกอบขึ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรกล	61
43	สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการบรรจุ	62
44	งานบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องจักรกลผลิตเหล็ก	62
45	งานบรรจุ รอส่งออก ผลิตภัณฑ์เครื่องจักรกลผลิตเหล็ก	63
46	การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกระบวนการ	76
47	สัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตและกระบวนการขนส่งโดยวิธี IPCC GWP 100a	77
48	ผลเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วงการขนส่งวัตถุดิบและช่วงการ ผลิตเมื่อประเมินด้วยวิธี IPCC GWP 100a	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
49	เปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิต 3 กลุ่มเป้าหมายหลัก ที่หน่วยหน้าที่ คือ การผลิต เครื่องจักรกลสำหรับงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัม	80
50	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบรวม 3 กลุ่มผลกระทบโดยเป็นการพิจารณาแยกตามประเภทของผลกระทบและตามกระบวนการผลิต ที่หน่วยหน้าที่ คือ เครื่องจักรกลสำหรับงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัม	81
51	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลกระทบ 11 ประเภทที่หน่วยหน้าที่ คือ เครื่องจักรกล สำหรับงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัม	83
52	สัดส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ แต่ละกระบวนการผลิตตามวิธีชี้วัด ECO -indicator 99	85
53	ค่าใช้จ่ายปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 1 กิโลกรัม	92
54	ให้พลังงานความร้อนกับล้อ (Wheel) ในงานสวมประกอบโดยใช้ในเตาเผาแบบเดิมก่อนปรับปรุง	93
55	พนักงานประกอบเตรียมการบรรจุล้อ (Wheel) ลงในภาชนะสำหรับการเตาอบไฟฟ้าในไตรแบบทรงกระบอกแบบใหม่หลังปรับปรุง	94
56	ค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบเตาไฟฟ้า	94
57	งานสวมประกอบล้อร่วมกับเพลลา	95
58	งานสวมประกอบล้อร่วมกับเพลลาขั้นสุดท้าย	95

ภาพผนวกที่

ก1	ความสัมพันธ์ของการผลิตเครื่องจักรกล 1 กิโลกรัม ประเมินด้วยวิธี Eco -Indicator 99	128
ค1	ก๊าซออกซิเจน(O ₂) ที่ใช้สำหรับกระบวนการตัด	137
ค2	เศษเหล็กชนิดกากตะก้นจากการตัด (Steel Slag)	137
ค3	เศษเหล็กเหลือจากการตัด (Scrap Steel)	138
ค4	เศษใบหินขัด เจียร (Grinding disc) ที่ใช้งานจากกระบวนการเชื่อม	138

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค5	เศษเหล็กชนิดเหล็กคาร์บอน (Scrap steel) จากการตัดและงานเชื่อม	139
ค6	ก๊าซแอลพีจี (LPG) ใช้สำหรับกระบวนการอบคลายเครียดและอบชุบแข็ง	139
ค7	ปริมาณฝุ่นจากหลังใช้งานในกระบวนการยิงทราย	140
ค8	บรรจุภัณฑ์สีที่ใช้งานแล้วในกระบวนการทำสี	140
ค9	เศษเหล็กจากการปาดผิวชิ้นงาน (Turning Scrap)	141
ค10	ปริมาณเศษเหล็กจากการปาดผิวชิ้นงาน (Turning Scrap) รอการกำจัด	141
ค11	น้ำหล่อเย็นสำหรับหล่อลื่นและระบายความร้อนในกระบวนการปาดผิว	142
ค12	ก๊าซแอมโมเนียสำหรับกระบวนการอบชุบแข็งผิวของโลหะ	142
ค13	ไนโตรเจนเหลวใช้ในงานสวมประกอบในกระบวนการประกอบชิ้นส่วน	143
ค14	ระบบไฮดรอลิกส์สำหรับงานทดสอบเครื่องจักรหลังการประกอบ	143

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Acidification	=	การเกิดฝนกรด
Assembly	=	ประกอบชิ้นส่วน
Carcinogens	=	สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง
Category Indicator	=	ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ
Model	=	แบบจำลองการทำ Characterization
Classification	=	การจำแนกข้อมูล LCI เข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ
Climate change	=	การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
DALY	=	การวัดการสูญเสียสุขภาพเป็นจำนวนปีชีวิตที่ปรับด้วยความพิการ
Data Quality Analysis	=	การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล
ECO Indicator 99	=	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการประเมิน LCIA
Ecotoxicity	=	ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์
Environmental Impact	=	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
Equivalent Factor	=	แฟกเตอร์เทียบเท่า
Eutrophication	=	สารอาหารในแหล่งน้ำ
Evaluation	=	การประเมินผล
Fabrication	=	เชื่อมประกอบ
Function	=	หน้าที่ของผลิตภัณฑ์
Functional unit	=	หน่วยการทำงาน
Grouping	=	การจัดกลุ่ม
Hardening Surface	=	อบชุบผิวแข็ง
Heat treatment	=	อบคลายเครียด
Impact Category	=	การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ
Input	=	สารขาเข้า
Interpretation	=	การแปลผล
Inventory Data	=	การจัดกลุ่มข้อมูลบัญชีรายการศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน
IPCC GWP 100a	=	ในรอบ 100 ปี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Land use	= การใช้ที่ดิน
LCA	= การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
Machining	= ปาดผิว
MJ Energy Surplus	= พลังงานที่ต้องการในการผลิตงานในปริมาณเท่ากันในอนาคต
Normalization	= การเทียบหน่วย
Outputs	= สารขาออก
Ozone layer	= การทำลายชั้นโอโซน
Packing	= บรรจุ
PAF·m2yr	= สัดส่วนในการสูญหายไปของสิ่งมีชีวิตหนึ่งๆต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วย
Painting	= ทาสี
Preparation	= เตรียมชิ้นงาน
Product system	= ระบบผลิตภัณฑ์
Radiation	= การแผ่รังสี
Respiratory inorganics	= สารอนินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ
Respiratory organics	= สารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ
Sand blasting	= ยิงทราย
System boundary	= ขอบเขตระบบ
Unit process	= กระบวนการย่อย
Valuation	= การประเมินค่า
Weighting	= การให้น้ำหนักความสำคัญ

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก

Life Cycle Assessment of Mechanical Machine Manufacturing for Steel Industry

คำนำ

อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลเป็นอุตสาหกรรมที่ทำการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรและประกอบเครื่องจักรเพื่อรองรับการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมเหล็ก โดยประเทศไทยถือว่าเป็นผู้ผลิตเครื่องจักรกลที่สามารถส่งออกเครื่องจักรเพื่อนำรายได้เข้าประเทศได้มาก ในปี 2555 พบว่ามูลค่าการส่งออกเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมของไทยมีมูลค่าสูงถึง 194,182 ล้านบาท (ที่มา: วารสารเทคโนโลยีเครื่องจักรกล พ.ศ. 2556) การผลิตเครื่องจักรในไทยมีปัจจัยหนุนจากการขยายการลงทุนตามการเติบโตของเศรษฐกิจโลกและจากการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโดยทั่วไปจะประกอบด้วย เครื่องกัด เครื่องกลึง เครื่องตัด เครื่องไส เครื่องเจาะ เป็นต้น ทั้งนี้วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตคือเหล็กคาร์บอนต่ำและเหล็กประเภทอื่น ๆ พลังงานที่ใช้ในการผลิตจะใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานของเครื่องจักรและก๊าซ LPG สำหรับกระบวนการเชื่อม กระบวนการเผาไหม้และการอบให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน

เนื่องจากปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในการผลิตได้ผลักดันให้ผู้ผลิตเครื่องจักรต้องพิจารณาถึง การวางนโยบายระบบจัดการสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรวมไปถึงมาตรฐานทางด้านสิ่งแวดล้อมสากล ISO 14000 (14040, 14041, 14042 และ 14043) เพื่อสร้างความรับผิดชอบต่อทางด้านสิ่งแวดล้อมต่อชุมชนและเพื่อให้ได้รับการยอมรับจากลูกค้า ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนป้องกันปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดใช้พลังงาน

สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เสนอการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Gate to Gate ของอุตสาหกรรม การผลิตเครื่องจักรกลโดยใช้กรณีศึกษาจากผู้ผลิตเครื่องจักรกลรายใหญ่ของประเทศไทย บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมได้ถูกจัดทำตั้งแต่การ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานและการผลิตจนได้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการผลิตประกอบด้วย การจัดเตรียมชิ้นงาน เชื่อมประกอบ อบคลายเครียด ยิงทราย ทำสี ปาดผิว อบชุบแข็ง ประกอบงานสำเร็จรูป และ การบรรจุ ในการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจะมีการใช้โปรแกรม

SimaPro 7.3 ในการประเมินปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงาน ผลลัพธ์และของเสียที่ออกจากกระบวนการผลิต

ในวิทยานิพนธ์นี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เครื่องจักรอุตสาหกรรมหลักและประเมินศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้วัตถุดิบ สารเคมี และพลังงานต่างๆในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตเครื่องจักรกล ซึ่ง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory analysis) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) การแปลความหมายหรือการแปลผล (Interpretation) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ISO 14040) นอกจากนี้ยังได้มีการพิจารณาต้นทุนคาร์บอนที่เกิดขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการขนส่งวัตถุดิบจากผู้จัดจำหน่ายมายังโรงงานรวมทั้งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกล โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Co2 Equivalent) กับค่าใช้จ่าย (Cost) ของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก

ขอบเขตการศึกษา

1. งานวิจัยนี้เลือกพิจารณาวัตถุดิบที่เป็นหลักในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
2. ขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยโดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ในลักษณะ Gate to Gate ทำการศึกษา 2 ช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ การผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลตั้งแต่ การขนส่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิต
3. สิ่งที่ออกจากกระบวนการ (Outputs) ไม่พิจารณามลสารที่ปล่อยสู่อากาศ พิจารณาเฉพาะของเสียในรูปของแข็งและของเหลวที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตภัณฑ์
4. ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้ โปรแกรม SimaPro Version 7.3 ประเมินโดยใช้วิธี IPCC GWP 100a ในการหาการเกิดสถานะโลกร้อน และ วิธี ECO indicator 99 ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทอื่นๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ผู้ประกอบการได้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกล

2. นำผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปเป็นแนวทางในการลดอัตราการใช้
ทรัพยากร ประหยัดพลังงาน และส่งเสริมนโยบายการอนุรักษ์พลังงาน

3. เป็นแนวทางในการพัฒนาในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เกิดผลกระทบกับ
สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

4. เป็นข้อมูลให้กับผู้ผลิตในด้านวัฏจักรชีวิตของเครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรม

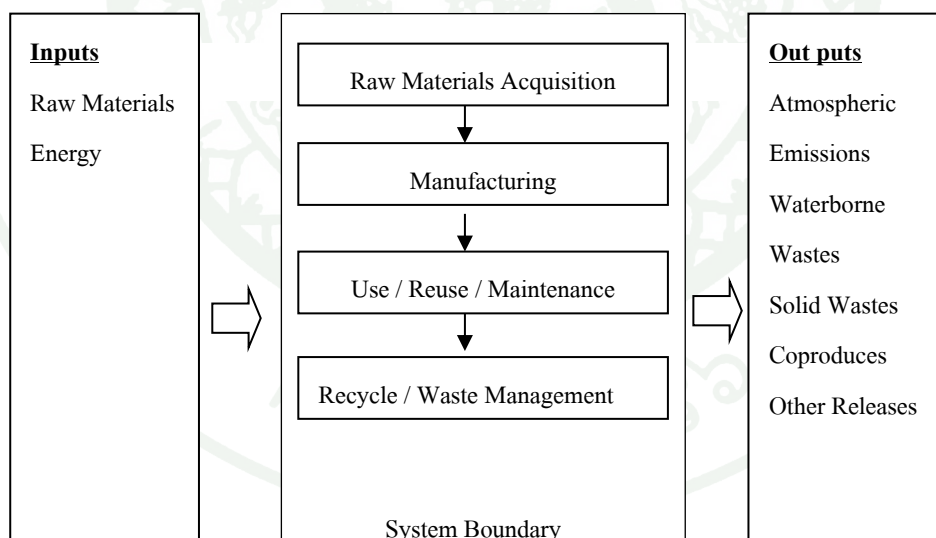
5. สร้างความน่าเชื่อถือ และเพิ่มภาพลักษณ์ให้กับผู้ผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องจักรสี
เขียวเพื่อสิ่งแวดล้อม (Green Mill)

การตรวจเอกสาร

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)

ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) การประเมินวัฏจักรชีวิต คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขภาพของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด



ภาพที่ 1 ขั้นตอนของวงจรชีวิตที่นำมาพิจารณาในการประเมินวัฏจักรชีวิต

ที่มา: Life Cycle Stages EPA, 1993

ความสัมพันธ์ระหว่างการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์: LCA กับอนุกรมมาตรฐาน ISO14040

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ถูกระบุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14000 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 7 ฉบับ ดังนี้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

- 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 เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ขอบเขต การวิเคราะห์และจัดทำ บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)

- ISO 14042 - Life cycle assessment – Life Cycle Impact Assessment (LCIA)เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

- ISO 14043 - Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA

- ISO/TR 14047 - Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life cycle impact assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

- ISO/TR 14048 - Life Cycle Assessment – LCA Data Documentation Formatเป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA

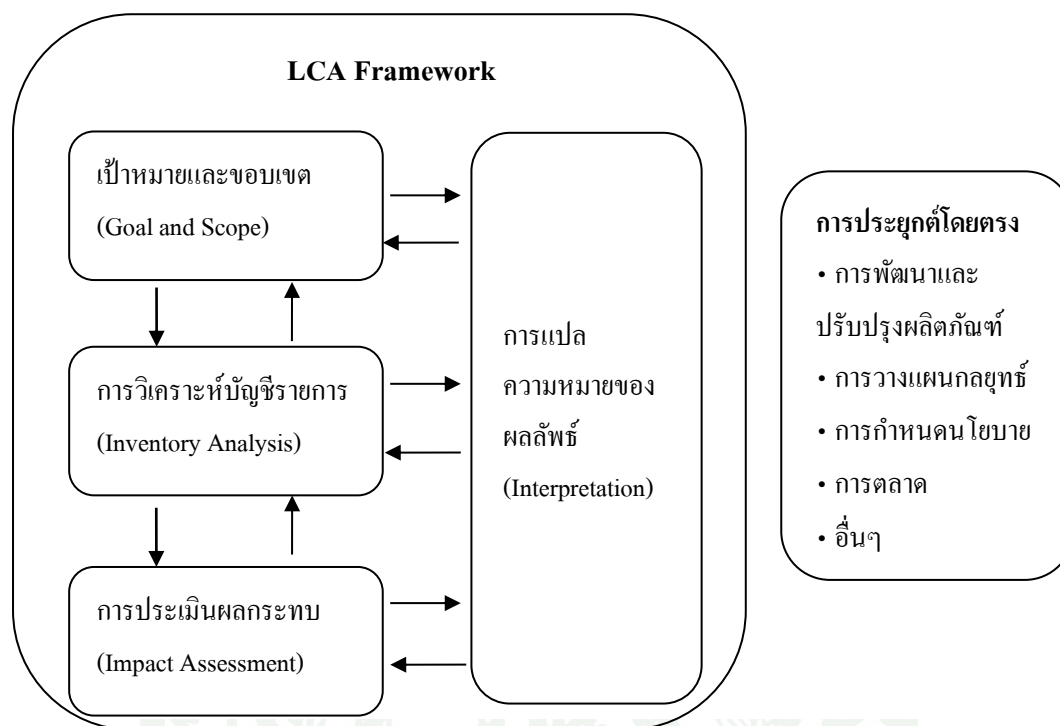
- ISO/TR 14049 - Life Cycle Assessment – Examples of application of ISO14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้มาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

ในการทำ LCA จะทำการรวบรวมและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ บริการ การใช้งาน หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำผลที่ได้จาก LCA ไปปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ ตลอดจนก่อให้เกิดการจัดการขึ้นอย่างเป็นระบบและยั่งยืน โดยใช้มุมมองทางสิ่งแวดล้อมมาสนับสนุนอีกทางหนึ่ง และเพื่อให้การดำเนินการของ LCA เป็นไปในทิศทางเดียวกันและง่ายต่อการศึกษา โดยได้ยึดขั้นตอนในการศึกษา LCA ตามโครงสร้างของ ISO 14040 ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)
4. การแปลผลการศึกษา (Interpretation)

ISO 14040 Life Cycle Assessment, Principles and Framework



ภาพที่ 2 กรอบการดำเนินงาน LCA

ที่มา: International Standard ISO 14040:2006(E)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประเมิน หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้งาน และรายละเอียดอื่น ๆ ตามที่ต้องการศึกษาโดยเป้าหมายเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ขอบเขตของการศึกษา การกำหนดเป้าหมายจะต้องมีความชัดเจนเพื่อให้สามารถสรุปผลได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาและ มีความน่าเชื่อถือสูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ต่อไป

สำหรับการกำหนดขอบเขตของการประเมินนั้นจะต้องให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมาย และเป็นตัวกำหนดสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์และศึกษา การกำหนดขอบเขตอาจจะแสดงโดยใช้

แผนภาพแสดงการไหลของวัสดุและพลังงานเข้าสู่ระบบ รวมถึงการปล่อยของเสียและพลังงานออกมา ซึ่งการกำหนดขอบเขตจะมีผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษา

การกำหนดขอบเขตของการศึกษาควรจะประกอบไปด้วย

1. การกำหนดหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) กำหนดกรอบของการประเมิน

- การกำหนดขอบเขตแบบ Gate to Gate จะเริ่มต้นตั้งแต่ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ

- การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave เป็นการกำหนดขอบเขตแบบ B2C จะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ (ธรรมชาติ) จนถึงขั้นตอนการทำลายซาก

2. กำหนดหน่วยการทำงาน (Functional Unit) เป็นสิ่งที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นพื้นฐานในการวัดหรือเก็บรวบรวมข้อมูล Inputs/Outputs ที่เข้า/ออกจากระบบ เป็นการกำหนดให้การเก็บรวบรวมข้อมูลและผลการประเมินตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน มีความสำคัญในการนำผลการประเมินไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่นๆ อาจเป็นหน่วยวัดปริมาณทางกายภาพ เช่น กิโลกรัม ลิตร หรือหน่วยวัดปริมาณมูลค่า รวมถึงคุณสมบัติพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ (Specification) เป็นต้น

3. กำหนดขอบเขตของระบบ (System Boundary) เป็นการระบุกระบวนการย่อย (Unit Process) ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาที่อยู่ภายในกรอบการประเมินที่กำหนด การระบุสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องในแต่ละกระบวนการย่อย สารขาเข้า เช่น วัตถุดิบ วัสดุทรัพยากรธรรมชาติ สารเคมี และ เชื้อเพลิง/สารเคมี และสารขาออก เช่น ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ ขยะของแข็ง มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ เป็นต้น

4. กำหนดข้อมูลและคุณภาพของข้อมูล (Data Quality) คุณภาพของข้อมูลจะนำมาซึ่งคุณภาพของผลข้อสรุปที่ได้จาก LCA ประกอบไปด้วยหลายตัวแปรดังต่อไปนี้

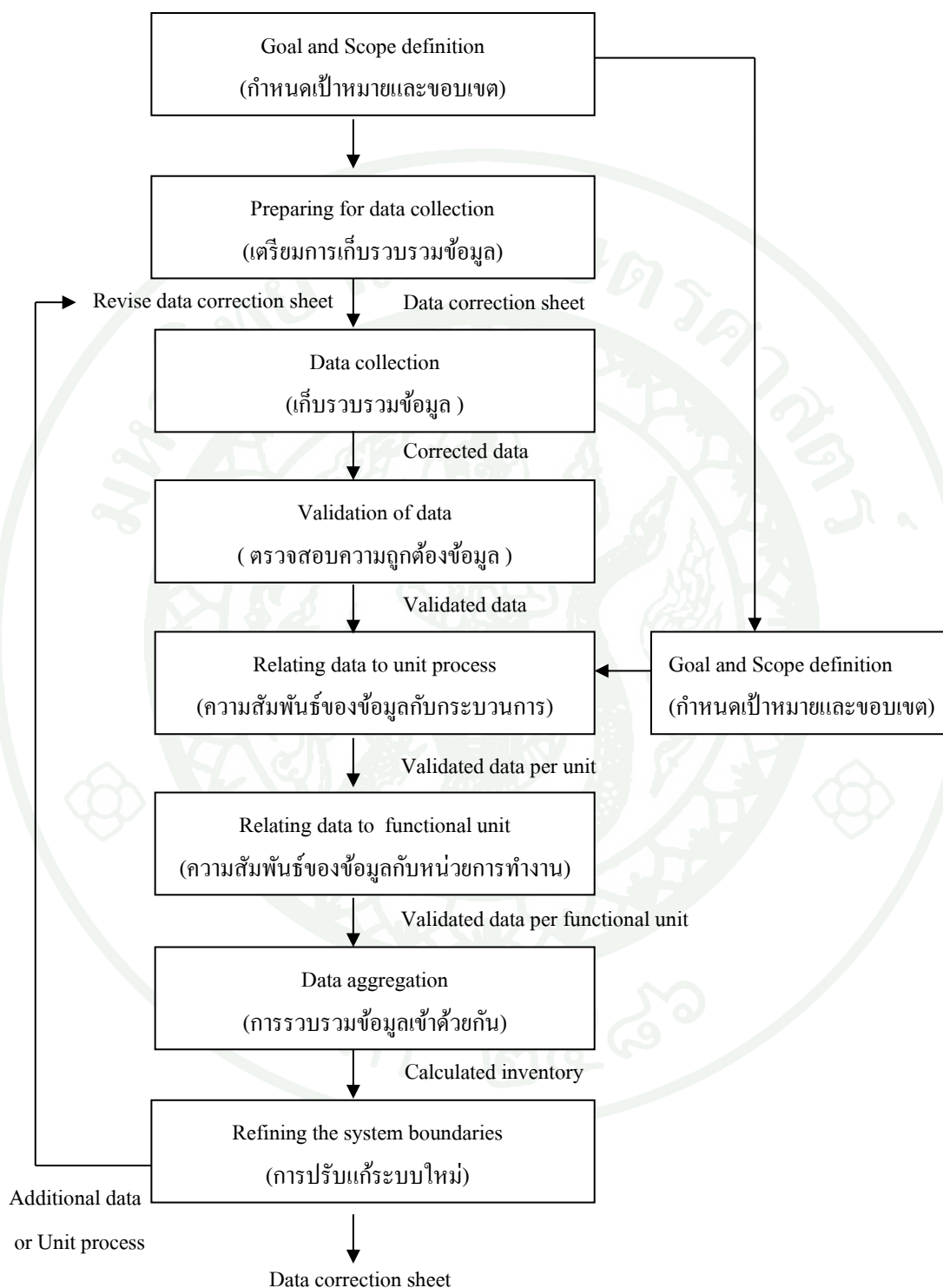
- เวลา (Time relate coverage)
- ภูมิศาสตร์ (Geographical coverage)
- เทคโนโลยี (Technology coverage)
- ความเที่ยงตรง (Precision)
- ความครบถ้วน (Completeness)
- ความเป็นตัวแทนของข้อมูล (Representativeness)
- ความสม่ำเสมอ (Consistency)
- ความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility)
- แหล่งที่มาของข้อมูล (Source of the data)
- ความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty of the information)

5. กำหนดวิธีการปันส่วน (Allocation) เป็นการปันส่วนตามน้ำหนัก การปันส่วนตามมูลค่า การปันส่วนน้ำหนัก และ อื่น ๆ การปันส่วนใช้เมื่อกระบวนการในระบบผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา เกี่ยวข้องกับการไหลของสารที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ด้วย (Multifunctional system, Multi-product system)

การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)

การวิเคราะห์บัญชีรายการ เป็นการรวบรวมข้อมูลต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เช่นพลังงานที่ใช้ แหล่งทรัพยากรที่ใช้ ปริมาณการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึง การวิเคราะห์ ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายในขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา โดยข้อมูล ที่ได้จากการเก็บรวบรวมควรครอบคลุมถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิตและผังการไหล (Flow chart) ของกระบวนการผลิต และปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกของระบบทั้งหมด

ขั้นตอนการดำเนินงานในการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานในการวิเคราะห์บัญชีรายการ

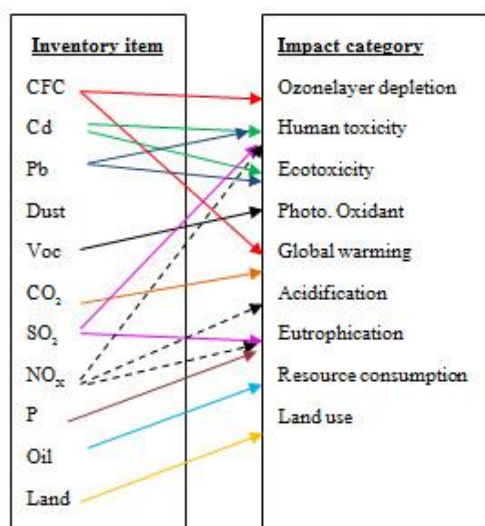
ที่มา: International Standard ISO 14041:1998(E)

การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

การประเมินผลกระทบ เป็นการคำนวณเพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์และจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะอธิบายค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขึ้นกลางหรือปลายทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงชีวิตโดยตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สามารถจำแนกออกได้เป็นขั้นตอนต่างๆ หลายขั้นตอน โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนหลักดังนี้

1. การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกลุ่มของผลกระทบ (Classification) เป็นขั้นตอนการจำแนกผลกระทบข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ เช่น ก๊าซมีเทน (CH₄) ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของสารที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เป็นต้น นอกจากนี้สารเคมีบางตัวก็จัดให้อยู่ในกลุ่มของสารที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากกว่า 1 ประเภท ได้แก่ การจัดให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในลักษณะของการก่อให้เกิดความเป็นกรด ทั้งนี้ตัวอย่างผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมของสารชนิดต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูป



ภาพที่ 4 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ

2. การกำหนดบทบาท (Characterization) เป็นขั้นตอนการแสดงผลกระทบให้อยู่ในรูปแบบของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Characterization Factor) เพื่อปรับค่าจากปริมาณของมลสารที่ปล่อยออกมาให้เป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมลสารที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภท เช่นสภาวะโลกร้อน สารเหล่านี้จะถูกประเมินให้อยู่หน่วย kg CO₂ equivalent โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

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

EP_j (Environmental Impact potential) คือค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สำหรับ ผลกระทบประเภท j ใดๆ (kg Substance equivalent)

Q_i (Quantity of Substance) คือปริมาณมลภาวะสาร i ที่ปล่อยออกมา (kg Substance j)

EF_{ij} (Equivalent factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg Substance equivalent /kg Substance j)

3. การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) คือ การแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์การบริการที่ศึกษา กับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาค ระดับโลกหรือกับผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ต้องอ้างอิง โดยขั้นตอนนี้สามารถทำได้โดยการหาค่าความสำคัญของแต่ละผลกระทบโดยการเปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งานและค่าขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$NP_{j(product)} = \frac{EP_j}{(T \times ER_j)} \quad (2)$$

NP_j (product) (Normalized Environment Impact potential) คือค่าปกติของศักยภาพผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม j ใดๆของผลิตภัณฑ์ (Person)

T (Life Time of Product) คืออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (Year)

ER_j (Normalize Reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆที่เกิดขึ้นจากการกระทำของคนต่อปี (kg Substance Equivalent/Person/Year)

4. การให้น้ำหนัก (Weighting) คือ ขั้นตอนในการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะต่างกันไป ขึ้นกับมุมมองของผู้ประเมินว่าจะกำหนดค่ามลภาวะ (Weighting Factor) ว่าเป็นเท่าใด โดยในขั้นตอนนี้สามารถทำได้ โดยการนำค่า NP_j (product) ที่ได้คูณด้วยค่าการให้น้ำหนัก โดยค่าน้ำหนักที่ได้จะเป็นค่าสุดท้ายที่ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (3)$$

WP_j (Weighting environmental impact potential) คือค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Person for target year; Pt)

WF_j (Weighting factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆในปีที่ตั้งเป้าหมายไว้

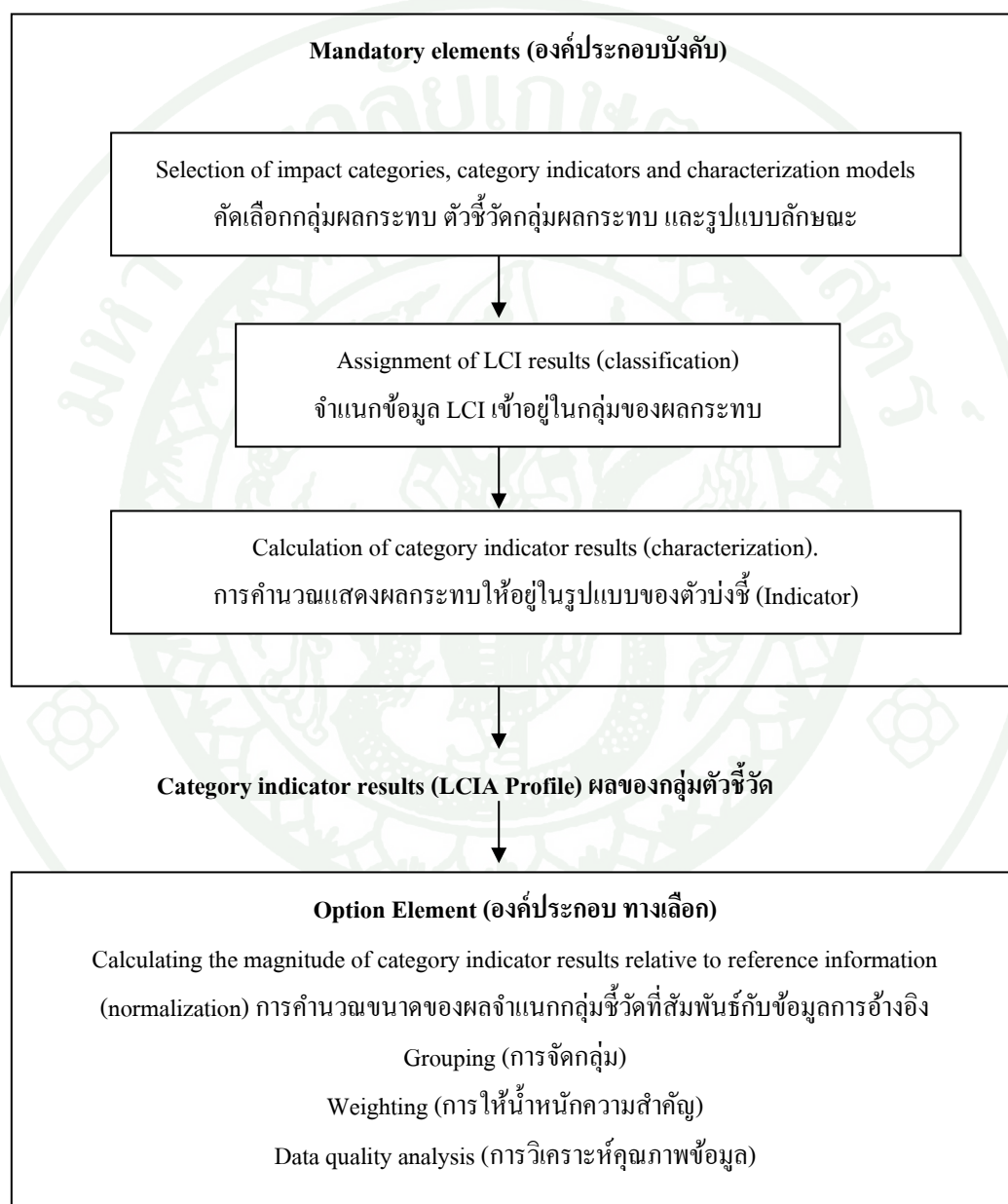
NP_j (product) (Normalized Environment Impact potential) คือค่าปกติของศักยภาพผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม j ใดๆของผลิตภัณฑ์ (Person)

5. การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) เป็นการจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่โดยรวมกลุ่มผลกระทบแยกตามประเภท คือ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งพลังงานซึ่งสามารถแบ่งระดับของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายระดับ เช่น ระดับท้องถิ่น ระดับโลก เป็นต้น

6. การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data Quality Analysis) เป็นการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลที่ใช้เพื่อที่จะตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก่อนที่จะแปลผลและนำผลดังกล่าวไปใช้ต่อไป โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพของข้อมูล ได้แก่ ความเหมาะสมและสอดคล้องของข้อมูลที่ใช้และข้อมูลที่ต้องการตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายการศึกษา โดยพิจารณาจากแหล่งที่มาของข้อมูล ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล ความถูกต้องของวิธีการวัดและการคำนวณข้อมูล ตัวอย่างเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล เช่น การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity analysis) เพื่อจำแนกข้อมูล วิธีการปันส่วน วิธีคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีความอ่อนไหวต่อผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือการวิเคราะห์

ความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty Analysis) เพื่อประเมินระดับความไม่แน่นอนของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

The general framework of the LCIA

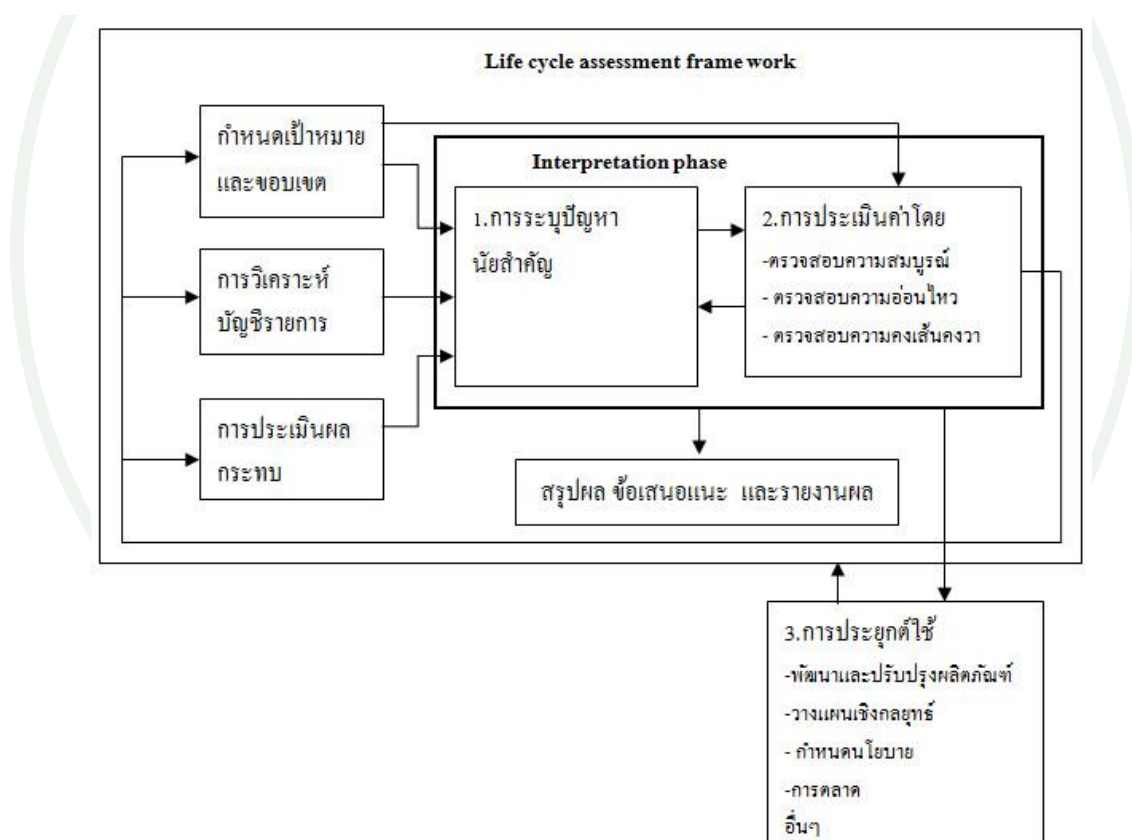


ภาพที่ 5 กรอบการดำเนินงานของ LCIA

ที่มา: International Standard ISO 14042:2000(E)

การแปลผลการศึกษา (Interpretation)

การแปลผลวัฏจักรชีวิตมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ ปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทำให้ทราบว่าช่วงชีวิตใดของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญสูงสุด รวมทั้งแหล่งที่มาของประเด็นปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบจะนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำข้อมูลจากการทำบัญชีรายการ (LCI) และผลลัพธ์จากขั้นตอนการประเมินผล เพื่อที่จะหาข้อสรุป ข้อเสนอแนะ ที่มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ที่มีความสัมพันธ์กับส่วนอื่นสามารถแสดงได้ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบภายในกับช่วงแปลผลขั้นตอนอื่น ๆ ของ LCA

ที่มา: International Standard ISO 14043:2000(E)

โปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินวัฏจักรชีวิต

1. โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

SimaPro มาจาก“System for Integrated Environmental Assessment of Products. SimaPro LCA software เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับการวัดผลกระทบต่อความยั่งยืน และประเมินผลกระทบทาง ด้านสิ่งแวดล้อม เป็นเครื่องมือระดับมืออาชีพในการเก็บรวบรวม วิเคราะห์ และ ตรวจสอบการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์และบริการ สร้างแบบจำลอง และ วิเคราะห์วงจรชีวิตที่ซับซ้อนอย่างเป็นระบบและโปร่งใสเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 14040

2. วิธี IPCC 2007 GWP 100a

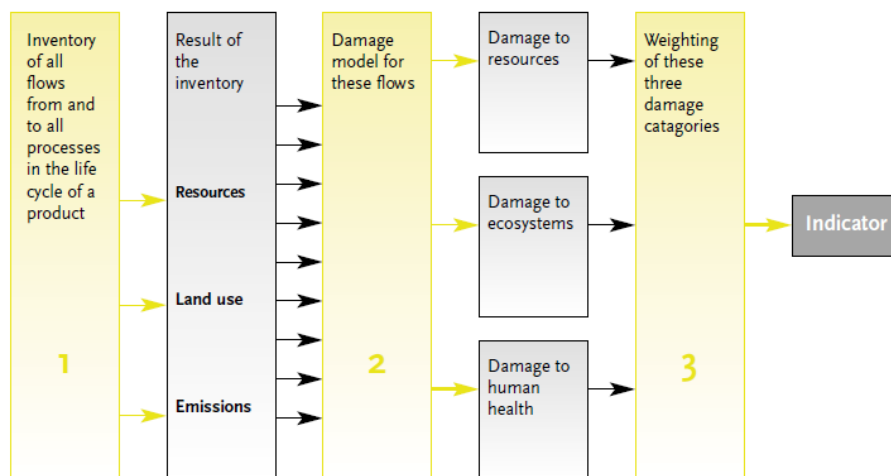
IPCC 2001 GWP เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนาโดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental panel on Climate Change หรือ IPCC) ก่อตั้งขึ้น ใน พ.ศ.2531 โดยโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme, UNEP) และองค์การการอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization ,WMO) โดยวิธีการนี้ว่าด้วยปัจจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ของ IPCC ที่ระยะเวลา 20 ,100 และ 500 ปี

ลักษณะของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้ IPCC 2007 มีดังต่อไปนี้

- ไม่รวมการเปลี่ยนแปลงรูปของไดโนโครเจน โมโนออกไซด์จากการปล่อยในโครเจน
- ไม่พิจารณาการปล่อยรังสีของไนโตรเจนออกไซด์ น้ำ ซัลเฟต และอื่นๆ
- รวมการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์จากการปล่อยของคาร์บอนมอนนอกไซด์
- วิธีการนี้ไม่พิจารณาขนาดของผลกระทบ และการให้น้ำหนัก

3. วิธี Eco-Indicator 99

ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตามวิธี Eco-Indicator 99 แบ่งได้ 3 กลุ่มดังต่อไปนี้



ภาพที่ 7 ลำดับขั้นตอนการคำนวณ Eco -Indicator

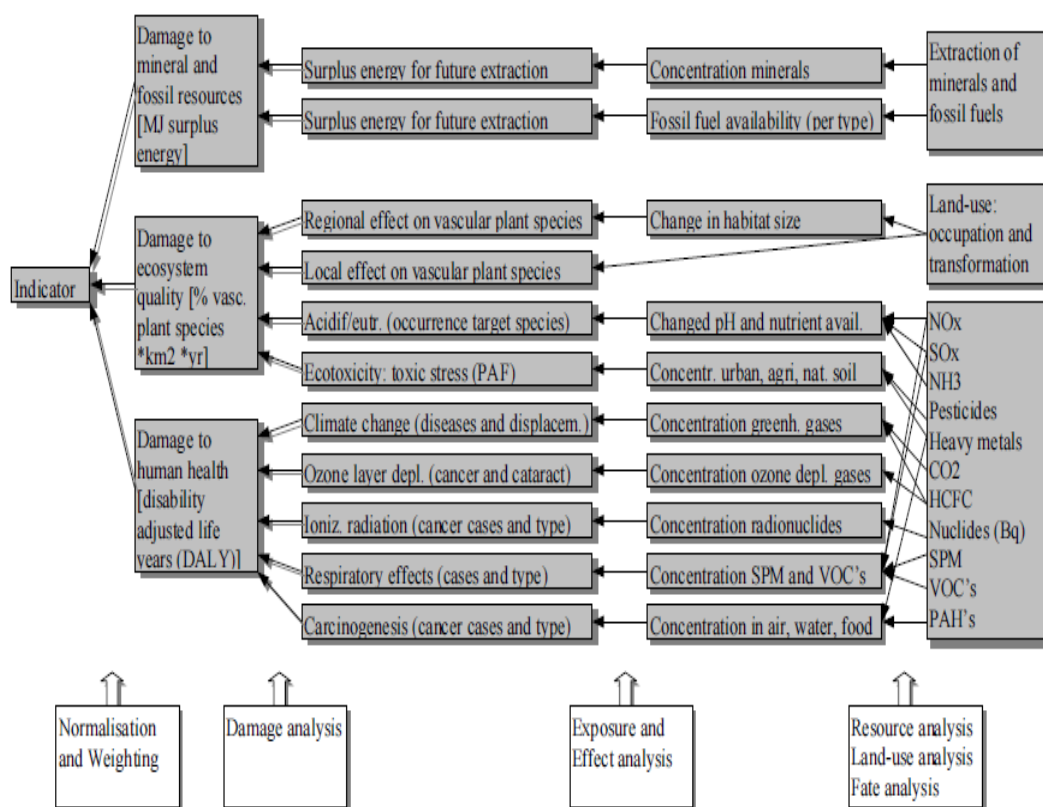
ที่มา: คู่มือ Eco-indicator 99 (PRé Consultants 2000)

ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสามกลุ่มความเสียหายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 11 ชนิด รวมทั้งสารหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบ

Environmental damage	Environmental impact	Main substances causing the impact
Human health	Carcinogenics	the most important due to substances like: arsenic, cadmium, chromium, nickel
	Summer smog (respiratory problems due to organic substances)	Methane, benzene, xylene
	Winter smog (respiratory problems due to inorganic substances)	CO, SO _x , NH ₃ , NO _x
	Radiation (ionising radiation)	Radiation from nuclear energy production
	Climate change	CO ₂ , methane, CFCs, HFCs
	Ozone depletion	CFCs, HFCs
Ecosystem quality	Acidification/eutrophication	SO _x , NO _x , NH ₃
	Ecotoxicity	Heavy metals, benzene
	Land use	Damage to cropland, organic arable, grassland, woods, etc.
Resource depletion	Mineral depletion	Depletion of resources of minerals, like tungsten, molybdenum, copper, nickel and zinc
	Fossil fuel depletion	Depletion of resources of fossil fuels due to energy demand and feedstock

ที่มา: Joint Research Centre (2002)



ภาพที่ 8 แผนภาพการประเมินค่าโดยวิธี Eco-Indicator 99

ที่มา: คู่มือ Eco-indicator 99 (PRé Consultants 2001)

โดยขั้นตอนการหาค่าการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99 แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามลักษณะเป้าหมายดังนี้

1. ผลเสียต่อสุขภาพ (Damages to human health) แสดงเป็นหน่วย DALY (Disability-Adjusted Life Years) การสูญเสียสุขภาพจะเป็นจำนวนปีชีวิตที่ปรับด้วยความพิการ เป็นดัชนีที่ซึ่งถูกใช้โดยธนาคาร โลก และ WHO ที่ได้รับการพัฒนาสำหรับผลกระทบทางเดินหายใจและสารก่อมะเร็ง ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การสูญเสียของชั้นโอโซน และรังสีต่อสุขภาพของมนุษย์ มีสี่ขั้นตอนย่อยที่ถูกนำมาพิจารณา ดังนี้

- การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง (Fate analysis) เกี่ยวข้องกับการปล่อยพลังงาน แสดงออกในรูปของมวล และมีการเปลี่ยนความเข้มข้นชั่วคราว

- การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Exposure analysis) เกี่ยวข้องกับปริมาณความเข้มข้นของสาร

- การวิเคราะห์ผลกระทบ (Effect analysis) เกี่ยวข้องกับปริมาณจำนวนของผลกระทบต่อสุขภาพอย่างเช่นจำนวนและประเภทของมะเร็ง

- การวิเคราะห์ความเสียหาย (Damage analysis) เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพ หาได้จากการประมาณปี ที่อยู่ กับ ความพิการหรือการเจ็บป่วย (Year Lived with Disability, YLD) และ ปีที่ สูญเสียจากการตายก่อนวัยอันควร (Year Life Loss, YLL)

2. ผลเสียต่อคุณภาพของระบบนิเวศ (Damages to ecosystem quality) แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของสายพันธุ์ที่ได้หายไป ในบางพื้นที่เนื่องจากภาระด้านสิ่งแวดล้อมดังเช่น

- ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Ecotoxicity) จะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของสายพันธุ์ทั้งหมดที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม ที่อาศัยอยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เป็นพิษ

- การเกิดฝนกรด (Acidification) และสารอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication) จะถูกบ่งชี้ในลักษณะกลุ่มผลกระทบเดียว

- การใช้ที่ดิน (Land use) และการเปลี่ยนแปลงที่ดินจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงจากการเกิดต้นไม้เขียว การใช้ประโยชน์ที่ดินและขนาดพื้นที่ รวมทั้งความเสียหายในระดับท้องถิ่น ที่เกิดกับพื้นที่ที่ถูกครอบครองหรือกลายเป็นความเสียหายในระดับภูมิภาคต่อระบบนิเวศ โดยสิ่งมีชีวิตไม่ควรที่จะได้รับผลกระทบในด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาณ และการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตจะอยู่ในรูปของสัดส่วนในการได้รับผลกระทบในระดับที่อันตราย (Potentially Affected Fraction, PAF) หรือสัดส่วนในระดับที่สูญหาย (Potentially Disappeared Fraction, PDF) ของสิ่งมีชีวิตต่อหน่วยพื้นที่

3. การสูญเสียทรัพยากร (Resource depletion) การสูญเสียทรัพยากรที่นำไปสู่การมีค่าที่ลดน้อยลงของทรัพยากรสินแร่ และซากดึกดำบรรพ์โดยผลกระทบของทรัพยากรเหล่านี้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ความต้องการพลังงานในอนาคตมีมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณา ถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยอยู่ในรูปของพลังงานที่จำเป็นสำหรับการหาทรัพยากรทดแทนในสิ่งที่ได้มีการใช้ในปัจจุบัน (หน่วย MJ Energy Surplus)

คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยของใช้ผลิตภัณฑ์ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยเริ่มต้นตั้งแต่การได้มาจากการจัดหาวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งานด้านต่างๆ ตลอด จนกระทั่งถึงกระบวนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยทำการคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

สภาวะโลกร้อนการเกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งทั่วโลกได้พยายามแก้ปัญหาโดยการประชาสัมพันธ์ให้มีการแสดงข้อมูล “คาร์บอนฟุตพริ้นท์” บนผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้มีฉลากคาร์บอน (Carbon Label) เพื่อเป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจของผู้บริโภคในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจาก เครื่องหมายของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ติดบนสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้น เป็นการแสดงข้อมูลให้ผู้บริโภคได้ทราบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาในปริมาณมากน้อยเท่าไร โดยตั้งแต่กระบวนการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน รวมทั้งการกำจัดเมื่อกลายเป็นของเสีย ซึ่งจะ เป็นปัญหา และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะสร้างการมีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อลดปัญหาโลกร้อนในอนาคต

ข้อมูลที่แสดงคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์นั้น มีส่วนช่วยให้ผู้บริโภคตระหนักและคำนึงถึงในการตัดสินใจการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ ยังเป็นการกระตุ้นให้ภาคการผลิตหาแนวทางการจัดการเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การพัฒนากระบวนการผลิตสินค้าที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมให้มากขึ้น และ เป็นแนวทางพัฒนาไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (Low-Carbon Society) ที่หลายประเทศกำหนดไว้ในนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศจากการริเริ่มใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ครั้งแรกในอังกฤษ ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2550 โดย “คาร์บอนทรัสต์” (Carbon Trust)

องค์กรเอกชนที่จัดตั้งขึ้นโดยรัฐ ปัจจุบันคาร์บอนฟุตพริ้นท์และฉลากคาร์บอนมีการพัฒนาและแพร่หลายแล้วในหลายประเทศในฝรั่งเศส มีนโยบายให้มีการแสดงข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เป็นข้อบังคับทางกฎหมายสำหรับสินค้าทุกประเภทภายในปี พ.ศ. 2554 ส่วนในแถบเอเชีย รัฐบาลญี่ปุ่นประกาศนโยบายพัฒนาประเทศสู่สังคมคาร์บอนต่ำ โดยใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์และการติดฉลากคาร์บอนเป็นกลไกขับเคลื่อนส่วนในประเทศไทย การพัฒนาฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint Label) ดำเนินงานโดยองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก ร่วมกับสถาบันสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

การควบคุมมลพิษการเกิดสภาวะโลกร้อน

1. ควบคุมการใช้เชื้อเพลิง

การใช้เชื้อเพลิงจะมีผลต่อก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงและทางอ้อมเช่นการลดการเช่นการลดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นมลพิษโดยตัวเองและเป็นสาเหตุทำให้เกิดมลพิษอื่นๆการลดปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง สามารถลดผลต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมได้

2. การควบคุมการผลิตที่ใช้ในอุตสาหกรรม

เป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือหาวัสดุทดแทน เพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งการลดการผลิตสารประกอบต่างๆ

3. ลดการใช้พลังงาน

รณรงค์ให้มีการอนุรักษ์พลังงาน ไม่ว่าจะเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า หรือลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง และใช้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ เท่าที่จำเป็นเพื่อลดการเกิดมลพิษจากอุตสาหกรรม

4. ปลุกป่าทดแทน

รณรงค์ส่งเสริมให้มีการปลูกป่า ลดการทำลายป่า เนื่องจากพืชช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นุชจรี (2553) ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์คอนเดนเซอร์ซึ่งเป็นชิ้นส่วนระบายความร้อนในอุตสาหกรรมยานยนต์และมีชิ้นส่วนประกอบหลักเป็นอลูมิเนียม ซึ่งได้มีการเก็บข้อมูลจากโรงงานผลิตและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยได้แบ่งขอบเขตเป็นสามช่วงคือเริ่มจากการขนส่งเข้า การผลิตและการส่งออก โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป Simapro7.1 โดยใช้หลักการคำนวณของ Environmental Design of Industrial Product (EDPI) ผลจากการวิเคราะห์ได้แบ่งเป็นกลุ่มผลกระทบหลักสามด้านคือ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และกลุ่มผลกระทบทางด้านการใช้ทรัพยากร ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในอากาศต่อมนุษย์ (Human Toxicity Air) ซึ่งเกิดจากกระบวนการขนส่งทั้งขาเข้าและขาออกรวมถึงกระบวนการผลิตที่ 95.18 % รองมาเป็นกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่ทำให้เกิดโอโซนพืชลดลง (Ozone Formation Vegetation) ที่ 7.79% และกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดการเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง (Ecotoxicity water Chronic) ที่ 1.06% โดยผลจากการวิจัยทำให้ทราบว่าสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละช่วงชีวิตของการผลิตคอนเดนเซอร์ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงทางด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

หทัยชนก (2552) ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พรมทอมือ ตั้งแต่กระบวนการย้อมจนถึงกระบวนการตกแต่งสำเร็จโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (SimaPro Software version 7.1) บนพื้นฐานการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) ด้วยวิธีการ Eco-indicator 99 ในการวิเคราะห์ค่าและเสนอแนะในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ผลจากการศึกษาพบว่ากระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือกระบวนการย้อมและสาเหตุเกิดจากวัตถุดิบที่ใช้ก็คือเส้นด้ายขนสัตว์ และนอกจากนี้ยังได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงจากด้ายขนสัตว์เป็น เส้นด้ายที่ทำจากจากฝ้ายแทนผล

ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของด้ายที่ทำจากฝ้าย มีค่าน้อยกว่าการใช้เส้นด้ายที่ทำมาจากขนสัตว์กล่าวคือ สารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory Organics) มีค่าลดลงประมาณ 21 % ผลกระทบทางด้านสารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory in Organics) ลดลงที่ประมาณ 13% ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงด้านภูมิอากาศ (Climate Change) ลดลงประมาณ 21 % และผลกระทบทางด้านฝนกรดและสารอาหารในแหล่งน้ำ (Acidification/Eutrophication) ลดลงที่ประมาณ 81%

ฟ้าคุณฐิติ (2552) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์เลนส์แว่นตาพลาสติก โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ศึกษาที่กระบวนการหล่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งวิธีการจะเริ่มตั้งแต่การเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรในการผลิต พลังงาน รวมทั้งจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้า ขาออก ของกระบวนการและทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยโปรแกรม SimaPro และวิธี ECO indicator 99 ผลการวิจัยทำให้ทราบว่ากระบวนการสาธยายที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ มากที่สุด คือกระบวนการสร้างแว่นพลาสติก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีจำพวกสารฟลูออโรคาร์บอนที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดสถานะต่างๆ เพื่อที่จะลดการใช้สารพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น งานวิจัยในครั้งนี้ได้เสนอแนะโดยการใช้ น้ำแทน และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับกระบวนการเดิมได้พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

พงษ์วิภา (2547) ได้ศึกษาและ จัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าและศึกษาวิจัยผลกระทบของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ การทำเหมือง การผลิต และการขนส่ง ไปถึงมือผู้จัดจำหน่าย การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงบวกจากการนำกากของเสียและกากของเสียอันตรายไปรีไซเคิลใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์ ตลอดจนการนำข้อมูลวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ไปทดลองจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 ผลการวิจัยพบว่า ในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันตลอดจนการขนส่งไปยังผู้จัดจำหน่ายมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกมา 973-980 กิโลกรัม (ไม่บรรจุถุง – บรรจุถุง)กระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซ CO₂ ออกมามากที่สุดคือกระบวนการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ดในการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ด 1 ตัน จะเกิดก๊าซ CO₂ ประมาณ 909 กิโลกรัม ในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำกากของเสียมาทดแทนการใช้เชื้อเพลิง และการนำขี้เถ้าสังเคราะห์ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้ามา

ทดแทนยิปซัมทั่วไปสำหรับกระบวนการบดย่อยซีเมนต์ พบว่าการนำกากของเสียและยิปซัมสังเคราะห์มาทดแทน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า แต่ทั้งนี้ขึ้นกับระยะทางในการขนส่งกากของเสียและยิปซัมสังเคราะห์มายังโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กชั้นกลาง พบว่าการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม มีการปล่อยก๊าซ CO₂ 0.883 กิโลกรัม โดยการใช้ไฟฟ้าในการผลิตเป็นสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซ CO₂ คิดเป็นร้อยละ 62.50 ของปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานเพื่อให้เกิดการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของภาคอุตสาหกรรมผลิตเหล็กชั้นกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า

จิตติ (2554) ได้ทำการศึกษาการสร้างแบบจำลองสังคมสีเขียวจากการนำผลของงานประเมินวัฏจักรชีวิต มาประยุกต์ใช้เพื่อการผลิต บริการ และการบริโภคที่ยั่งยืน โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตหรือกิจกรรมต่างๆ โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต การใช้งาน การกำจัดหลังหมดอายุการใช้งาน โดยได้นำผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นสามารถนำมาจัดประเภทของสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปศึกษา Ecological Footprint อีกด้วย ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าจากกาประเมินวัฏจักรชีวิต Life Cycle Assessment, Ecological footprint, Water footprint และ Carbon footprint สามารถนำไปใช้ในเรื่องความรับผิดชอบต่อสังคมขององค์กร (CSR) โดยส่งผลต่อการสร้างภาพลักษณ์ของบริษัท และนำผลของบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสารขาเข้าและสารขาออกของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์โดยผลที่ได้นำไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ (Eco Design) ที่ช่วยลดต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีการใช้ทรัพยากรและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดตลอดวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ยังนำผลค่า Carbon Footprint ไปใช้เพื่อส่งเสริมการโฆษณาสร้างการรับรู้ของผู้บริโภคว่าเป็นผู้ที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม อีกด้วย

ธนิดา (2552) การประเมินวัฏจักรชีวิตทางสิ่งแวดล้อมของกระดาษพิมพ์เขียนที่ผลิตจากเยื่อกระดาษกราฟิยูลิปต์สได้นำการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) มาใช้เป็นเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมเพื่อทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตของกระดาษพิมพ์เขียน แบ่งการพิจารณาทั้งวัฏจักรออกเป็น 4 ระบบย่อย คือ ระบบย่อยการปลูกยูคาลิปตัส ระบบย่อยการผลิตเยื่อกระดาษระบบย่อยการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน และระบบย่อยการกำจัดกระดาษพิมพ์เขียน ซึ่งมีกิจกรรมทั้งหมด 21 กิจกรรม และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ศึกษามี

5 ประเภท คือ สภาวะโลกร้อน สภาวะฝนกรด สภาวะการแพร่กระจายของพิษน้ำ สภาวะหมอกควันพิษ และความเป็นพิษต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ จากผลการศึกษาพบว่าระบบย่อยการผลิตเชื้อกระดาษ ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับระบบย่อยอื่นๆ โดยมีกิจกรรมการใช้น้ำมันเตาเพื่อการนำกลับคืนสารเคมีเป็นกิจกรรมหลักที่ปล่อยมลสารออกสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มผลกระทบอื่นๆ ได้แก่ สภาวะการแพร่กระจายของพิษน้ำเป็นปัญหาที่สำคัญ โดยมีฟอสฟอรัสเป็นมลสารหลักที่ก่อให้เกิดปัญหา

สุวัฒนา (2554) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบอินเวอร์เตอร์ โดยได้มุ่งเน้นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากฐาน ข้อมูล EcoDesign ของผลิตภัณฑ์เครื่องปรับอากาศ โดยการรวบรวมสารวัตถุอันตราย พลังงานที่ใช้ และปริมาณของเสียแล้วนำมาวิเคราะห์และประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ A และเครื่องปรับอากาศ B ในระบบธรรมดาและระบบอินเวอร์เตอร์ ผลจากการศึกษาพบว่าเครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ B ระบบธรรมดาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ค่า 27,800 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยช่วงการใช้งานจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ในด้าน ภาวะโลกร้อน ฝนกรด และการลดลงของโอโซนจากอุตสาหกรรม คิดเป็น 20,000 kg CO₂ 10.8 kg SO₂ และ 0.295 kg CFC11 และจากผลกระทบได้มีการเสนอแนวทางในการปรับปรุงให้มี ประสิทธิภาพมากขึ้นโดยเปลี่ยนจากสารทำความเย็นจาก R22 เป็น R410A ซึ่งสามารถลด CO₂ ได้ถึง 37% และลดสาร CFC ได้ถึง 90%

วรยุทธ (2551) ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และ ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของวัตถุดิบประเภทต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตเอทานอล โดยมี วัตถุดิบเป็นมันสำปะหลังในรูปแบบของมันเส้น กากน้ำตาลในรูปแบบผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายโดยใช้โปรแกรม Simapro Version 7.0 และฐานข้อมูล ECO Indicator 95 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดที่ค่า 5.24×10^8 person eq/ปี รองมาคือการผลิตเอทานอลจากอ้อย และกากน้ำตาลตามลำดับ โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดมาจากการเพาะปลูกมันสำปะหลัง อยู่ที่ร้อยละ 55 ส่วนตลอดวัฏ

จักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากการน้ำตาลและอ้อยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดมาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลคิดเป็นร้อยละ 58 และ 51 ตามลำดับ ส่วนการศึกษาค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานพบว่า อ้อยมีพลังงานเพิ่มสุทธิสูงที่สุดคือมีค่า 7.23×10^5 เมกกะจูล/เอทานอล 100,000 ลิตร รองลงมาก็คือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และกากน้ำตาลตามลำดับ โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่าพลังงานที่ใช้สูงสุดอยู่ในรูปพลังงานไอน้ำที่อยู่ในรูปของการกลั่น ในขั้นตอนของการผลิตเอทานอลเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60 ของพลังงานทั้งหมด วัตถุดิบในการผลิตเอทานอล และผลจากการศึกษาด้านประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าการใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด อยู่ที่ 1.50×10^6 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร รองลงมาก็คือกากน้ำตาลและมันสำปะหลัง ตามลำดับ

วสันต์ (2554) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อูมิเนียมเส้นหน้าตัด เพื่อหาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในการผลิตอูมิเนียมเส้นหน้าตัดที่ทำการพ่นด้วยสีน้ำมัน และหาปริมาณปล่อยก๊าซเรือนกระจก กับค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งแสดงให้เห็นอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) โดยใช้เทคนิคการประเมินชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) ดำเนินงานตามกรอบการดำเนินงานการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ISO14040 ผลที่ได้พบว่าขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบมีส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด ที่ร้อยละ 69.90 และในส่วนของการผลิตพบว่ากระบวนการรีดมีส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มากที่สุด ที่ร้อยละ 73.01 จากนั้นได้ทำการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณพลังงานด้านไฟฟ้า ส่งผลให้มีการลดลงของค่าใช้จ่ายและลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

วีราภรณ์ (2552) ได้ศึกษาการประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชัน 7.0 โดยวิธี ECO -indicator 95 โดยกำหนดหน่วยการทำงานคือพลังงาน 1 MJ ขอบเขตการวิจัยเริ่มต้น จากขั้นตอน การผลิตก๊าซธรรมชาติ จากแหล่งผลิต การแยกก๊าซ การขนส่งของก๊าซธรรมชาติอัดและเหลว จากการศึกษาพบว่าขั้นตอนการขนส่งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือขั้นตอนการใช้งานซึ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดคือการเกิดสภาวะความเป็นกรด และการเกิดสภาวะโลกร้อนจากการใช้เชื้อเพลิง และผลจากการแบ่งแยกจากแหล่งผลิต พบว่าก๊าซธรรมชาติที่ผลิตจาก Sales Gas มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.31×10^{-2} kg

CO₂ equivalence และเมื่อเปรียบเทียบเชิงประสิทธิภาพเชิงพลังงานพบว่าก๊าซธรรมชาติอัตรามีอัตราส่วนพลังงานมากที่สุดมีค่าที่ 1.79

Erik A. Bergstrom (2010) ได้ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของชิ้นส่วนโครงสร้างในการก่อสร้างอาคารและเพื่อระบุพื้นที่ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและหาแนวทางที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตในอนาคตข้างหน้าโดยการศึกษาในส่วนของการประกอบขึ้นรูปโดยการเชื่อม (Fabrication) การพัฒนารูปแบบการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการที่เป็นไปได้ โดยวิธีปฏิบัติตาม มาตรฐานสิ่งแวดล้อม แนวทางการประหยัดพลังงาน และการระบุปรับปรุงปัญหาทางสิ่งแวดล้อม และได้ดำเนินการศึกษาตามหลักกระบวนการตามวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จากผลของการศึกษาพบว่าในด้านของการใช้พลังงานและการปล่อยพลังงานของกระบวนการประกอบเหล็ก (Steel Fabrication Process) พบว่าอุปกรณ์เครื่องพ่นทราย (Shot blasting Equipment) เป็นอุปกรณ์ที่สิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด และรองลงมาจะเป็นการใช้แสงสว่างในโรงงานคิดเป็นค่าใช้จ่ายถึง 1.65 ล้านบาทต่อปี ในด้านการเลือกใช้วัสดุส่วนใหญ่จะขึ้นกับการผลิต โดยตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา 74% จะเป็นการปล่อยก๊าซคาร์บอนของการใช้ทรัพยากรที่ 7% จะอยู่ในส่วนของการขนส่ง และมี 19% เป็นของกระบวนการเชื่อมประกอบนอกจากนี้ยังได้มีการปรับปรุงกระบวนการสำหรับอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตโดยมีแนวทางในการลดการรอคอย เพื่อลดเวลาการสูญเสียที่เกิดขึ้นกับการผลิตโดยการบริหารจัดการให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ลดเวลาการดำเนินงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตโดยงานวิจัยในครั้งนี้ไม่ได้นำค่ามาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่นำมาพิจารณาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

Lauren R. Millman James and W. Giancaspro (2010) วัตถุประสงค์ของกรณีศึกษานี้เพื่อการดำเนิน การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม 3 วิธีการสำหรับเตรียมพื้นผิวที่โดยใช้กับองค์ประกอบพื้นฐานงานก่อสร้างได้แก่ การยิงทราย (Sand blasting) การฉีดน้ำแรงดันสูง (Water Jetting) และการยิงน้ำแข็งแห้ง (Dry ice blasting) โดยศึกษา กับโครงการฟื้นฟูสะพานเตรียมพื้นผิวที่คอนกรีตเสริมเหล็ก การประเมินด้านสิ่งแวดล้อม และมีขั้นตอนการดำเนินงานอยู่ 3 ขั้นตอนหลักได้แก่การกำหนดเป้าหมายขอบเขต การวิเคราะห์บัญชีรายการ และการตีความ สำหรับการระบุเป้าหมายและขอบเขต จะประกอบไปด้วย เป้าหมายของโครงการที่ชัดเจน ลักษณะของข้อมูล ซึ่งจะบอกความต้องการว่า ใช้ หรือ ไม่ใช่ การบำรุงรักษา การนำกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งข้อกำหนดการบริหารจัดการของเสียและสินค้าคงคลังที่จำเป็นในการพัฒนาแผนการเก็บและรวบรวมข้อมูล จาก

ผลของการประเมินโดยพิจารณา 4 ตัวแปรตอบสนอง ซึ่งได้แก่ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง การใช้พลังงาน และระยะเวลาตลอดโครงการ ผลพบว่าการยิงทรายและการฉีดน้ำแรงดันสูง มีการปล่อย CO_2 ที่เกิดจากการจราจรของยานพาหนะอยู่ใกล้สถานที่ก่อสร้างเป็นปัจจัยหลักที่เอื้อต่อความเสียหายด้านสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามการกระจาย CO_2 จากการระเหิดของน้ำแข็งแห้งมีค่าอยู่ที่ 80% และ 64% CO_2 ซึ่งมากขึ้นกว่าการยิงทรายและการฉีดน้ำแรงดันสูง ตามลำดับเมื่อเทียบกับการยิงทราย และการฉีดน้ำแรงดันสูง ส่วนการยิงน้ำแข็งแห้งจะส่งผลดีในด้านระยะเวลาโครงการโดยใช้เวลาที่สั้นที่สุดและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงได้ลดลงถึง 7.6% และ 13% ตามลำดับ

Konstantinos Salonitis and George Tsoukantas (2006) ในการศึกษาจะใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตในการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการชุบแข็งผิวและเจียรในผิวของเหล็ก ในศึกษานี้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ สิ่งแวดล้อมของกระบวนการเจียรในและการชุบแข็งผิว ซึ่งได้ถูกเปรียบเทียบสาเหตุผลกระทบที่เกี่ยวข้องจากวิธีการอบชุบผิวโดยมีวิธีการศึกษาโดยแบ่งเป็น 3 ช่วงหลักๆ โดย เริ่มต้นจากแผนกนำร่องในการที่จะทำการเจียรในผิวเหล็ก หลังจากนั้นได้มีการจัดทำบัญชีรายการข้อมูล และประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งมีการเปรียบเทียบผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่ต่างกัน ได้แก่ Eco Indicator 99 , Eco-Points 97 และ EDIP/UMIP 96 จากการวิเคราะห์ และประเมินวัฏจักรชีวิต ตลอดห่วงโซ่การผลิตและการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการที่ผ่านการอบชุบก่อนที่จะผ่านกระบวนการเจียรใน และกระบวนการที่ผ่านการเจียรในพร้อมกับการเพิ่มความแข็งในตัว โดยค่าที่ได้เป็นดังนี้ การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ที่ 62%(โดยใช้วิธี Eco-indicator) ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ที่ 28.1% (ใช้เกณฑ์ Eco-97) วิธีในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ที่ 16% (ใช้วิธีการ Edip / UMIP) และโดยเฉลี่ยการคาดการณ์ข้างต้นสรุปได้ว่าผลกระทบของห่วงโซ่การผลิตที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจะลดลงประมาณ 45%

Dorota Burchart-Korol (2013) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของการผลิตเหล็กสำหรับการผลิตเหล็กขั้นกลาง เตาหลอมไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) ในประเทศ โปแลนด์ โดยได้ศึกษา กำหนดแหล่งที่มาความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเสนอแนะวิธีการป้องกันมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตเหล็ก บนพื้นฐานของมาตรฐาน ISO 14044 โดยใช้กับ ซอฟต์แวร์ SimaPro 7.3.3 และฐานข้อมูลอีโคอินเวนท์ (Ecoinvent Database) จากข้อมูลการวิเคราะห์แบบสารขาเข้า ขาออก ข้อมูลเฉลี่ยจากโรงงานเหล็กที่มีอยู่ในโปแลนด์และผล

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แสดงให้เห็นว่า เหล็กดิบ (Pig Iron) ที่อยู่ในเตาหลอม ส่งผลกระทบสูงสุดในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในระดับสูงในการผลิตเหล็ก ในขณะที่แร่เหล็กที่เกิดจากกระบวนการเผาซินเทอร์ จะมีส่วนสนับสนุนก่อให้เกิดฝุ่นในปริมาณที่มากกว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าเป็นอย่างมาก และ อีกประการหนึ่ง การใช้ไฟฟ้ามีผลกระทบเป็นอย่างมากในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยการใช้พลังงานของ เตาหลอมอาร์คไฟฟ้า และได้แสดงผล LCA ของการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงทางเลือกในโรงงานเหล็ก ผลการศึกษาได้สรุปวิธีการป้องกันที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิตเหล็ก และเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าโดยการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต แบบตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle-to-grave) ที่มีทุกขั้นตอนของวงจรชีวิตเหล็ก

Yuan Chang (2011) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณของผลกระทบที่เกิดขึ้นในงานโครงการก่อสร้าง (Construction Project) ในด้าน พลังงาน สิ่งแวดล้อม และสังคม โดยพื้นฐาน I-O LCA ในประเทศจีนซึ่งงานโครงการก่อสร้างได้เป็นส่วนหนึ่งในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจภายในประเทศ ซึ่งล้วนก่อให้เกิดการใช้พลังงาน การปล่อยมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และผลกระทบทางสังคมอย่างมีนัยสำคัญ และในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนากระบวนการสารขาเข้า ขาออก ของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Input -Output LCA) โดยใช้รูปแบบของการแข่งขันทางเศรษฐกิจ ปี 2012 2005 และ 2007 ด้านบัญชีรายการใช้วัสดุ ประกอบไปด้วย พลังงาน 10 ชนิด การปล่อยสถานะทางสิ่งแวดล้อม 7 ชนิด และผลกระทบทางสังคม 7 ชนิด ผลจากการศึกษาพบว่าพลังงานที่เกิดจากโครงการก่อสร้างในจีนอยู่ที่ 25-30 % ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดและเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) อยู่ในระดับที่ต้องควบคุม มีไนโตรเจน ออกไซด์ (NO_x) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีค่าที่ลดลง อย่างไรก็ตาม ด้วยเหตุว่าจำนวนแรงงานในงานก่อสร้าง ที่ 17% ของจำนวนแรงงานทั้งหมดในจีน เกิดอุบัติเหตุและอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต โดยเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง

Kan Fang (2011) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการ กำหนดตารางเวลาในการผลิตเพื่อลดการใช้พลังงานและการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยได้นำรูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบใหม่ ของปัญหาตารางเวลาในการทำงานซึ่งพิจารณาที่โหลดสูงที่สุด การใช้พลังงาน และค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการผลิต แนวทางใหม่ที่ใช้ในการศึกษาโดยใช้ สองเครื่องจักรที่มีการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow shop) ถูกใช้ในการผลิตที่หลากหลายของชิ้นส่วน และได้กำหนดปัญหาตารางการทำงาน เพื่อพิจารณา ถึง ความเร็วในการทำงาน ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระและสามารถ

เปลี่ยนไปเมื่อมีการใช้ โหลดสูงสุด รวมถึงการใช้พลังงาน ซึ่งมีหลายวัตถุประสงค์ในการหาช่วงเวลาที่เหมาะสม และเป็นสิ่งที่ยาก ดังนั้นจึงได้นำซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ มาช่วยในการคำนวณตารางเวลา และนอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมพิเศษเพิ่มเติมสำหรับปัญหาการกำหนดตารางเวลาแบบใหม่นี้ และตรวจสอบวิธีการทางคอมพิวเตอร์สำหรับการค้นหาตารางเวลาที่ใกล้เคียงและดีที่สุด

Caroline Gaudreault (2009) ได้ศึกษาผลกระทบของทางเลือกและการแปลค่า LCA สำหรับการออกแบบ ภูมิศึกษา การผลิตเชื้อกระดาษเสีย และระบบพลังงานร่วม ที่โรงงานกระดาษ โดยการออกแบบกระบวนการ ที่สามารถมองเห็นเป็นหลายเกณฑ์การตัดสินใจปัญหา (MCDM) และมองไปที่ทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการทางเคมี และได้มองเห็นความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมซึ่งประกอบไปด้วยผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยได้นำมารวมกับการออกแบบกระบวนการทางเคมี นอกจากนี้ยังได้นำเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต มาช่วยในการประเมินผลกระทบในด้านสิ่งแวดล้อม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง LCA และ MCDM ทั้งสองอย่างเป็นที่ได้รับการยอมรับ ในกรณีศึกษานี้จะเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานการปรับปรุง กำลังการผลิตเชื้อกระดาษเสีย และระบบพลังงานร่วม นำไปสู่การเกิดโรงกระดาษหนังสือพิมพ์แบบยั่งยืน

Karim Menoufi (2011) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการทดลองใช้ห้องขนาดเล็ก (Cubicles) โดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) โดยได้ทำการศึกษาจาก 7 ตัวอย่างการทดลองที่ตั้งอยู่ในประเทศสเปน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความต่างที่จะชี้ให้เห็นการแก้ปัญหาที่ยั่งยืนมากที่สุดที่เกี่ยวข้องกับความต้องการพลังงานต่ำที่สุดในระหว่างมีการดำเนินงาน เห็นได้ว่าอาคารที่แตกต่างกัน ฉนวนกันความร้อนและวัสดุเปลี่ยนเฟส ได้รับการทดสอบภายใต้การควบคุมอุณหภูมิเงื่อนไขในการตรวจสอบสมรรถนะทางความร้อนของทั้งระบบ บางส่วนของวัสดุสามารถที่จะลดความต้องการพลังงานและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงระยะการดำเนินงานยังคงมีพลังงานอย่างสูงที่สามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง ในช่วงขั้นตอนการผลิต LCA ในที่นี้จะมุ่งเน้นไปที่การประเมินผลกระทบของพลังงานเป็นที่จำเป็นในระหว่างขั้นตอนการผลิตและการจำหน่ายโดยเน้นและเปรียบเทียบผลของการใช้วัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกัน วัสดุนวนและวัสดุเปลี่ยนเฟส

Yuttitham M. (2011) ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CFP) จากการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO_2 , CH_4 และ N_2O) ในระหว่างการปลูกอ้อยและ กระบวนการบดหีบอ้อย การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เคมี ปุ๋ยอินทรีย์และอ้อยชีวมวลในระหว่างการเพาะปลูก จากการสำรวจภาคสนามแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ พบว่าการผลิตมีส่วนในการปล่อยมลพิษของโรงงานน้ำตาล การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสีย ผลจากการศึกษาพบว่าน้ำตาลการผลิตมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผลรวม ที่ $0.55 \text{ kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$ จากการเพาะปลูกอ้อย ที่ $0.49 \text{ kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$ และกระบวนการบดหีบอ้อย ที่ $0.06 \text{ kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$ สำหรับในส่วนของการเพาะปลูกส่วนใหญ่ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มาจากปุ๋ย การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและจากการเผาไหม้ CFP ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีความไวต่อชนิดของข้อมูลที่เลือกสำหรับการคำนวณ และตัวแปรของปัจจัยการผลิตในฟาร์มในช่วงการเพาะปลูกอ้อย แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจาก CFP จากฟาร์มขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะให้ ค่าCFP ค่อนข้างสูงกว่าฟาร์มขนาดกลางและขนาดใหญ่

Sevket Durucan (2004) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับโมเดลการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ในงานเหมืองแร่แบบ cradle-to-gate เพื่อที่จะกำหนดเป็นข้อมูลไว้ล่วงหน้าและ เป็นตัวแทนของการทำระบบการผลิต เหมืองแร่ อีกทั้งยังได้มีการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล และรายละเอียด ขั้นตอนการทำเหมืองแร่ ที่มีผลต่อผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รวมถึงการสำรวจ การพัฒนางานวิธีการทำเหมืองแร่ การผลิต การสูญเสียแร่ ตำแหน่งที่ตั้ง และวิธีการทำเหมืองแร่ ขั้นตอนกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับปัจจัย การปล่อยของเสียที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของรูปแบบการทำเหมืองแร่ LCA ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้คือการพัฒนาเครื่องมือที่สามารถที่จะเป็นตัวแทนของระบบการทำเหมืองแร่ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ ระบบการทำเหมืองแร่มีการศึกษาในระดับสากล ทั้งหลักความเป็นไปได้และ ขั้นตอนการออกแบบ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนา เป็นโครงการวิจัยนานาชาติที่เป็น แบบบูรณาการด้าน การผลิต การบวนการ การบำบัดของเสีย การกำจัด ขั้นตอนการรักษา การกำจัดฟื้นฟู ตามวงจรชีวิตของเหมืองแร่ภายในกรอบ การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. Computer Processor Intel Core i5
2. โปรแกรม SimaPro 7.3 สำหรับคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม
3. โปรแกรม Microsoft Office 2007
4. ชิ้นส่วนและซากของวัสดุใช้ในการผลิต

วิธีการ

กรณีศึกษาเป็นโรงงานออกแบบและผลิตเครื่องจักรกลที่ใช้สำหรับการผลิตเหล็กทุกชนิดที่มีชื่อเสียง ก่อตั้งมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005 โดยผลิตภัณฑ์ของบริษัทจะเป็นเครื่องจักรกลสำเร็จรูปที่นำไปติดตั้งในอุตสาหกรรมผู้ผลิตเหล็ก สำหรับการผลิตเหล็กขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย ซึ่งผลิตภัณฑ์ของบริษัทเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับทั่วโลก

เนื่องจากผู้บริหารได้เล็งเห็นความสำคัญด้านความปลอดภัยในด้านสิ่งแวดล้อม อีกทั้งได้มีการจัดตั้งริเริ่มโครงการอนุรักษ์พลังงานขึ้น และมีการการนำไปใช้อย่างจริงจังทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในสายการผลิต อีกทั้งในกลุ่มของลูกค้าที่มองเห็นความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งได้มองหาเทคโนโลยีใหม่ๆ เครื่องมือเครื่องจักรที่ทันสมัย ในการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และได้มีการสร้างเครื่องจักรใหม่ๆ เกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีการกำจัดฝุ่น และเครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีในการลดเสียงการผลิต นอกจากนี้ยังได้ยึดถือแนวทางการดำเนินธุรกิจดังนี้

- ให้ความสำคัญในเรื่องของความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยในการทำงานที่ดี ของ พนักงาน ผู้รับเหมา ลูกจ้าง ตลอดจนชุมชนใกล้เคียง

- อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

- มีความสัมพันธ์ที่ดีกับผู้มีส่วนได้เสีย

- ดำเนินงานตามมาตรฐาน ISO 14001 & OHSAS 18001 ด้านการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม และด้านความปลอดภัยชีวอนามัย เพื่อบูม่งสู่ความเป็นเลิศทางด้านธุรกิจ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตภัณฑ์ที่เป็นเครื่องจักรชิ้นส่วนอุปกรณ์ เครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก โดยได้ดำเนินการวิธีการตามมาตรฐาน ISO 14040 (Life cycle Assessment principle and framework) โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ ประกอบไปด้วย การกำหนดเป้าหมาย ขอบเขตและ การวิเคราะห์การจัดทำบัญชีรายการด้าน สิ่งแวดล้อม (ISO 14041: Goal and Scope definition and Life Cycle Inventory analysis) รวมถึง การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ISO 14042 :Life Cycle Impact Assessment) และ การแปลผลข้อมูล (ISO 14043 :Life Cycle Interpretation)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope definition)

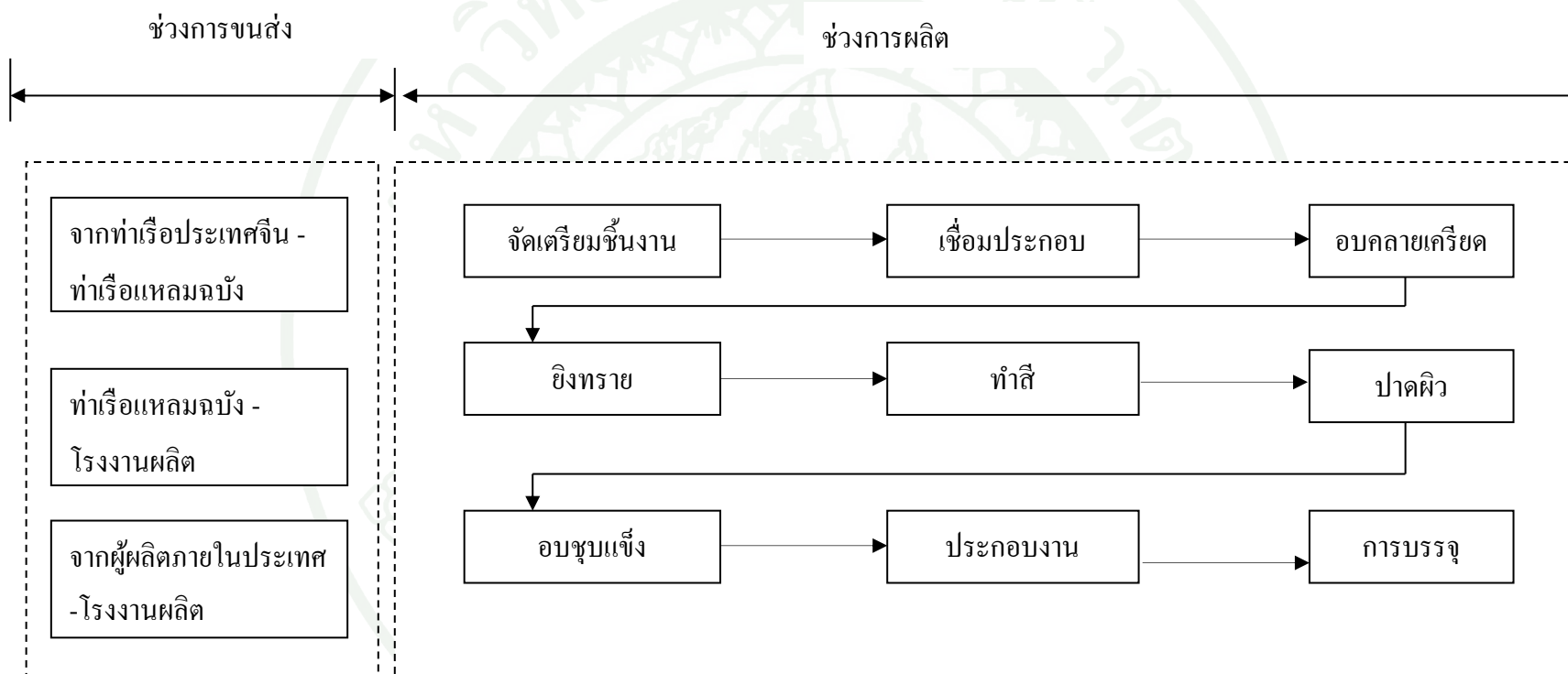
เป้าหมายของการศึกษา

1. หาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิต เครื่องจักรกลสำหรับงานอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก

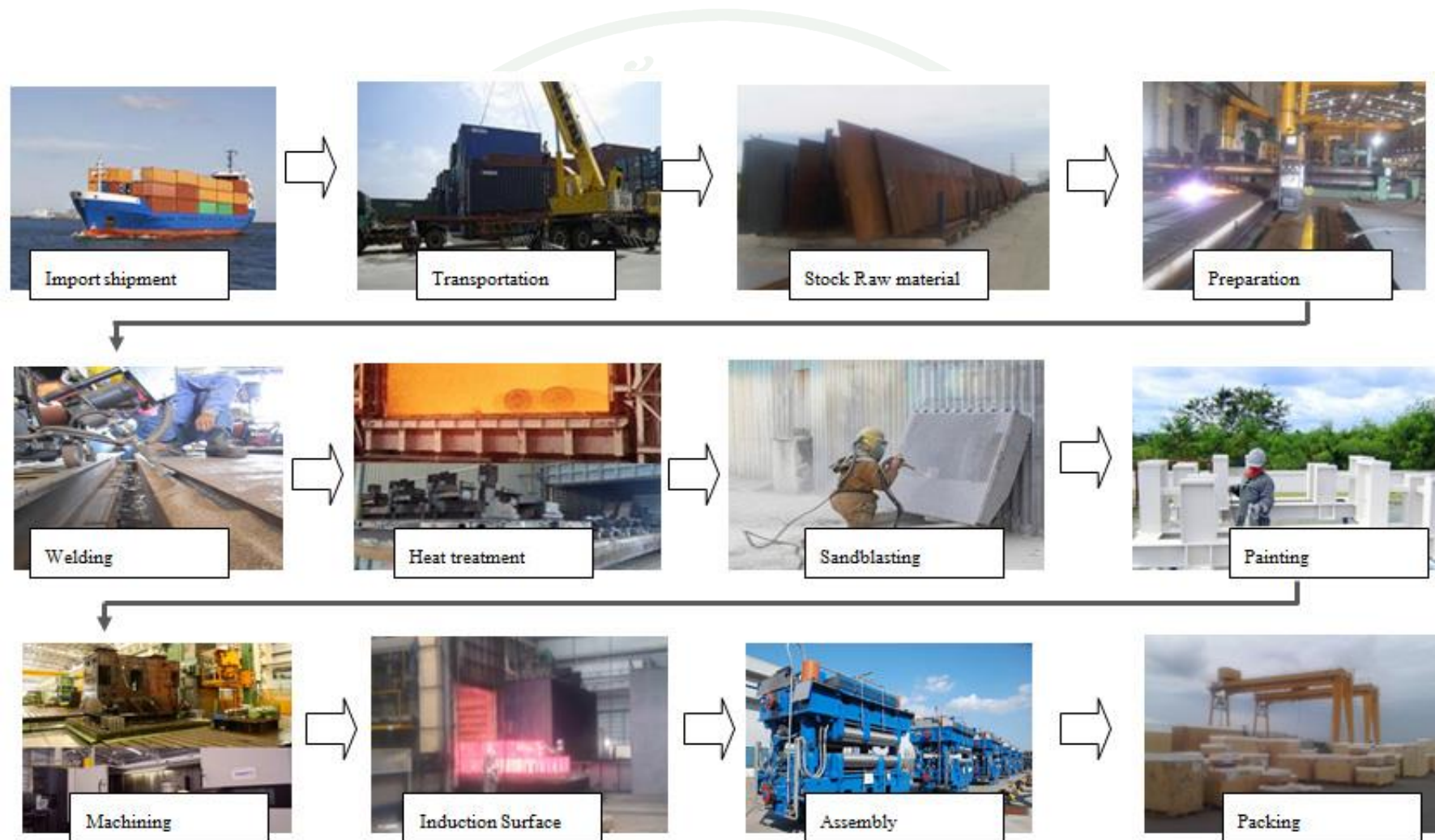
2. ลดการใช้พลังงาน ทรัพยากรธรรมชาติและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ขอบเขตการศึกษา

1. หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function) เป็นชิ้นส่วนสำหรับเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก
2. หน่วยวัดหน้าที่การทำงาน (Functional Unit) เครื่องจักรกลสำหรับงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็กต่อ 1 กิโลกรัม
3. ขอบเขตของระบบ (System Boundary) ขอบเขตของระบบการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต ในลักษณะ Gate to Gate ทำการศึกษา 2 ช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์การผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ตั้งแต่การขนส่งวัตถุดิบ และ กระบวนการผลิต มีกระบวนการย่อยคือ การจัดเตรียมชิ้นงาน เชื่อมประกอบ อบคลายเครียด ยิงทราย ทำสี ปาดผิว อบชุบแข็ง ประกอบงานสำเร็จรูป และการบรรจุ

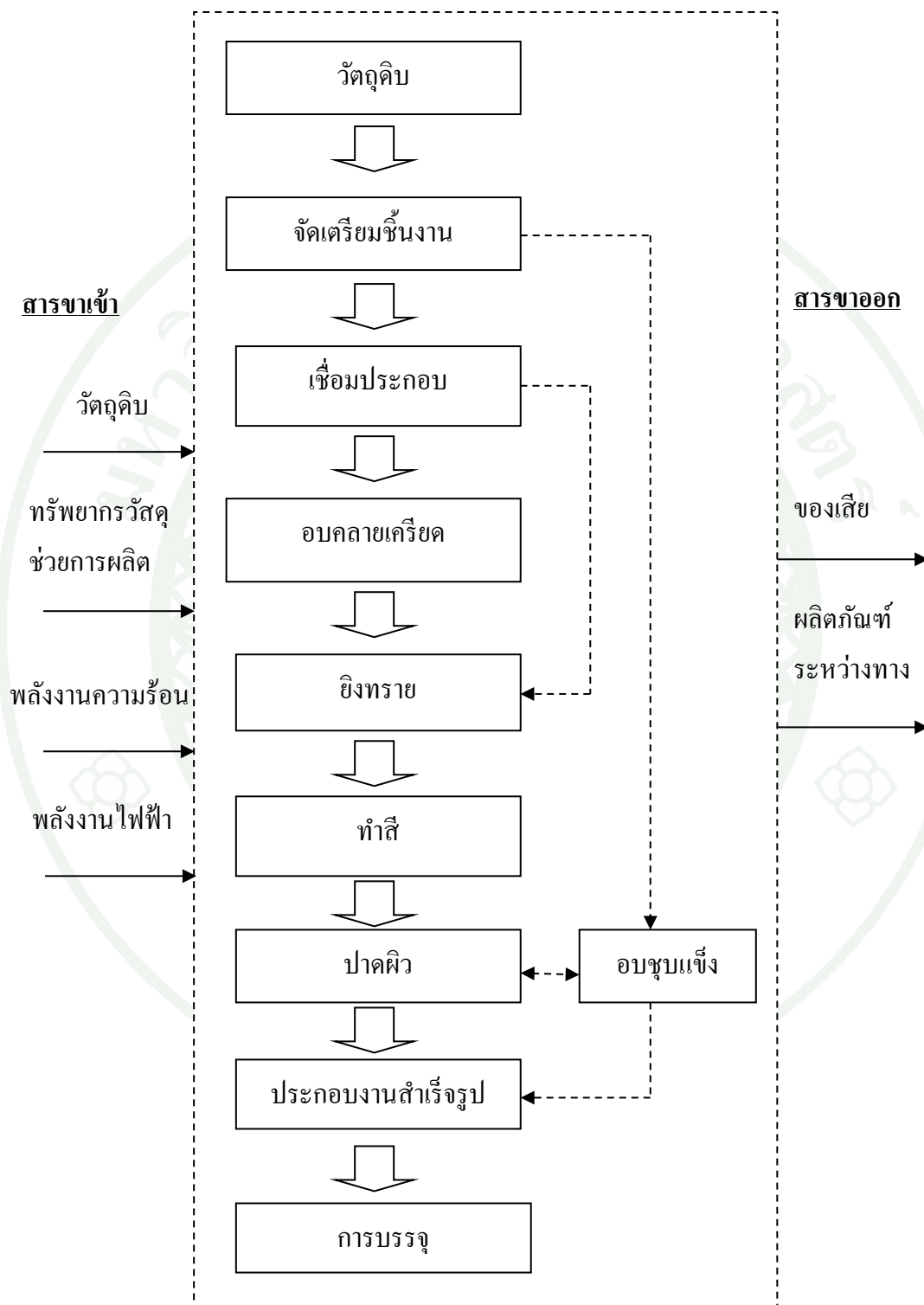


ภาพที่ 9 ขอบเขตของระบบ (System Boundary)



ภาพที่ 10 แผนภาพของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล (Manufacturing process : Gate to Gate)

แผนผังสรุปขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล



ภาพที่ 11 แผนผังสรุปขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล

การวิเคราะห์การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Data Inventory analysis)

กระบวนการขนส่ง (Transportation Process)

ในหัวข้อนี้ได้แบ่งการวิเคราะห์ในส่วนของการขนส่งขึ้นส่วนผลิตภัณฑ์เข้าซึ่งเป็นการได้มาของวัตถุดิบซึ่งเป็นहेลักรูปพรรณสำเร็จรูปในขั้นตอนนี้จะเป็นการประเมินผลกระทบต่อการใช้พลังงานและการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งโดยคำนึงถึงระยะทางและชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งเป็นหลัก

ตารางที่ 2 ชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง

ชนิดยานพาหนะ	จุดขนส่ง	หน่วย
เรือแบบbulk	ท่าเรือจากประเทศจีน-แหลมฉบัง	tkm
รถตู้บรรทุกพ่วง 18 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 32 ตัน	แหลมฉบัง-โรงงานผลิต	tkm
รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 32 ตัน	แหลมฉบัง-โรงงานผลิต	tkm
รถกระบะบรรทุก 4 ล้อขนาดเล็ก น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน	ผู้ผลิตในประเทศ-โรงงานผลิต	tkm
รถกระบะบรรทุก 6 ล้อขนาดเล็ก น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 8.5 ตัน	ผู้ผลิตในประเทศ-โรงงานผลิต	tkm
รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน	ผู้ผลิตในประเทศ-โรงงานผลิต	tkm

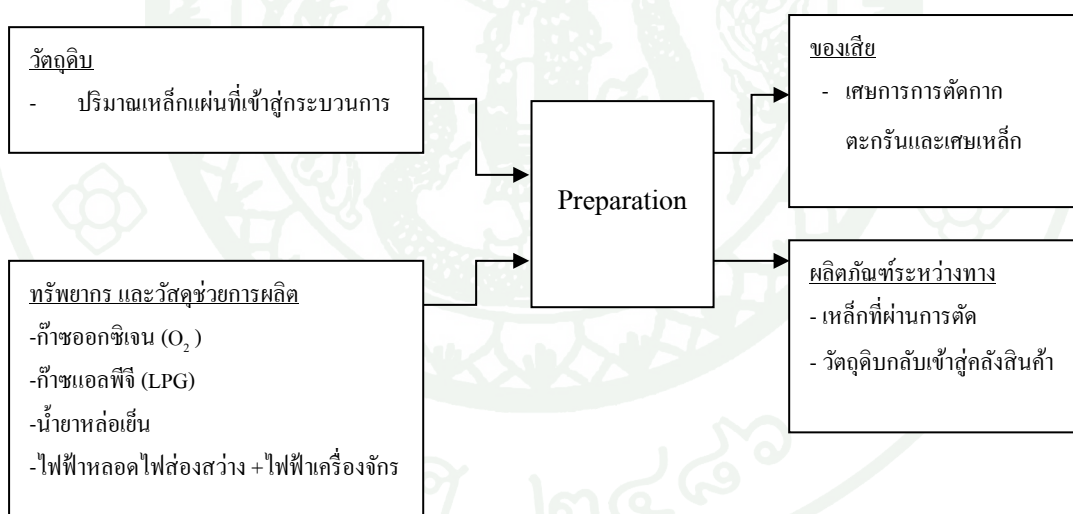
กระบวนการผลิต (Manufacturing Process)

ในหัวข้อนี้ได้เสนอการศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงาน และของเสียที่ปล่อยออกมาตลอดกระบวนการผลิต โดยบัญชีรายการจะแสดงถึงข้อมูลการใช้พลังงาน และการปล่อยของเสียในกระบวนการต่างๆซึ่งประกอบไปด้วย 9 กระบวนการย่อย (Unit Process) ได้แก่

- 1 จัดเตรียมชิ้นงาน
2. เชื่อมประกอบ
3. อบคลายเครียด
4. ยิงทราย
5. ทำสี
6. ปาดผิว
7. อบชุบแข็ง
8. ประกอบงานสำเร็จรูป
9. การบรรจุ

แสดงบัญชีรายการสารขาเข้า และสารขาออกของกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ

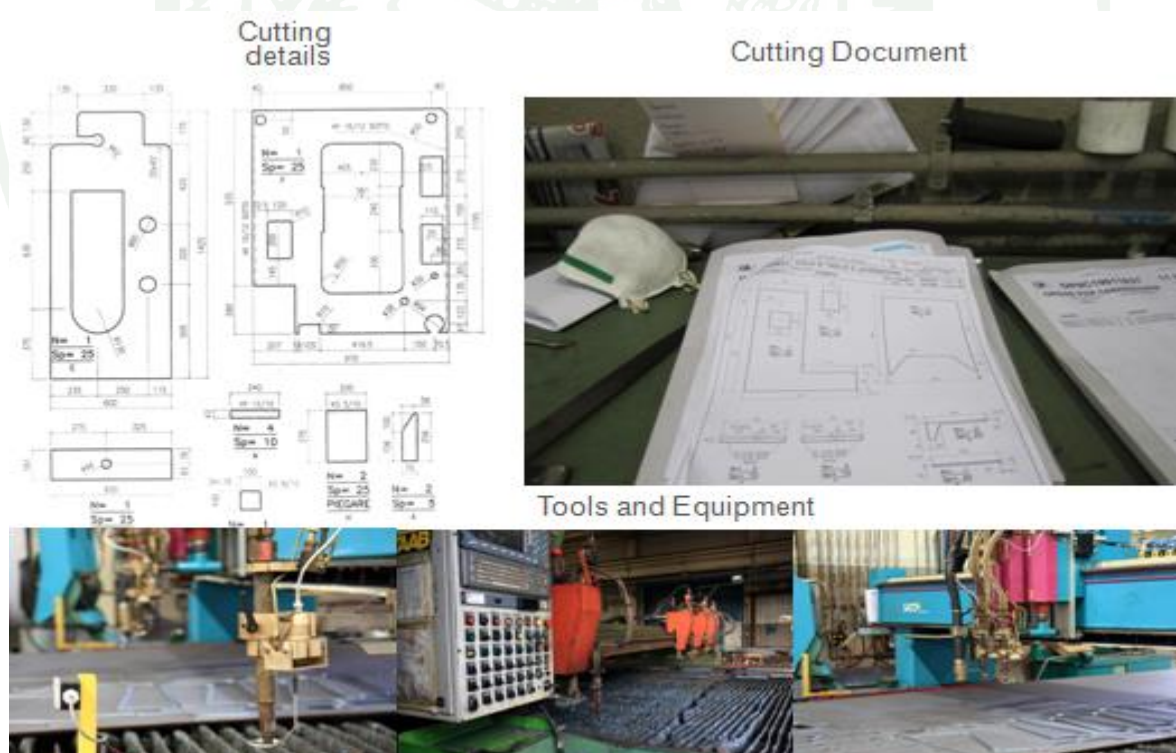
กระบวนการจัดเตรียมชิ้นงาน (Preparation Process)



ภาพที่ 12 สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการจัดเตรียมชิ้นงาน



ภาพที่ 13 เหล็กแผ่นที่เข้าสู่กระบวนการ



ภาพที่ 14 กระบวนการตัดชิ้นงานตามขนาดที่ออกแบบ



ภาพที่ 15 การตัดชิ้นงาน โดยเครื่องตัด (Oxygen Cutting Machining)



ภาพที่ 16 เตรียมชิ้นงาน โดยเครื่อง คัด พับ และเครื่องตัด

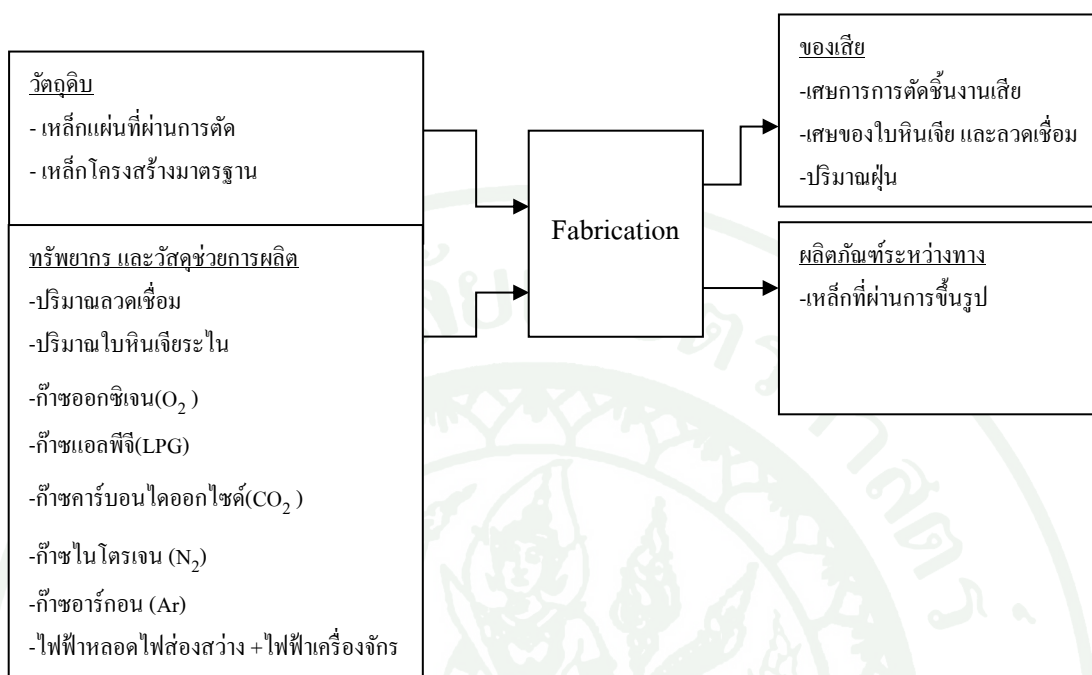


ภาพที่ 17 พื้นที่การ เตรียมชิ้นงาน

กระบวนการจัดเตรียมชิ้นงาน(Preparation Process)

ในกระบวนการนี้จะเป็นการเตรียมชิ้นงานขั้นต้น โดยเริ่มจากนำเหล็กชนิดเหล็กแผ่น ชนิด S275JR ที่อยู่ในคลังสินค้า (Raw material Stock) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักนำเข้าในกระบวนการผลิตเพื่อทำการตัด โดยเครื่อง ออกซิเจน (Oxygen Cutting Machine) ให้ได้ขนาดตามการออกแบบ (Cutting plan details) ในขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วยเครื่องจักรหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น เครื่องตัดด้วยเลื่อย (Hack saw machine) เครื่องพับ เครื่องดัด รวมถึงการขึ้นรูปชิ้นงานไม่ว่าจะเป็น การพับ ม้วน ให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ รวมถึงการเตรียมชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม (Bevel) พลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้เป็นพลังงานด้านไฟฟ้าจากเครื่องจักร และก๊าซชนิดต่าง

กระบวนการเชื่อมประกอบ (Fabrication Process)



ภาพที่ 18 สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการเชื่อมประกอบ



ภาพที่ 19 การประกอบชิ้นส่วนและเชื่อม



ภาพที่ 20 กระบวนการเชื่อมโดย เครื่องเชื่อมแบบอัตโนมัติ (Automatic Welding Machine)

กระบวนการเชื่อมประกอบ (Fabrication Process)

ในขั้นตอนนี้จะทำการประกอบชิ้นงานขึ้นรูปตามการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรโดยเริ่มจากการขึ้นรูปชิ้นงาน (Fit-up) ให้ได้ขนาดก่อนที่จะทำการเชื่อม โดยหลักการเชื่อมโลหะ (welding) คือ การต่อโลหะ 2 ชิ้นให้ติดกันโดยการให้ความร้อนแก่โลหะจนหลอมละลาย ดัดเป็นเนื้อเดียวกัน หรือโดยการเติมลวดเชื่อมเป็นตัวให้ประสานกัน โดยกระบวนการเชื่อมโลหะที่ใช้.

- การเชื่อมก๊าซ (Gas Welding) เป็นการเชื่อมประเภทการเชื่อมหลอมเหลว แหล่งความร้อนที่ใช้เกิดมาจากการเผาไหม้ระหว่างก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิง และก๊าซออกซิเจนอุณหภูมิของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ให้ความร้อนสูง 3200 องศาเซลเซียสและจะไม่มีเขม่าหรือควัน

- การเชื่อมไฟฟ้า (Arc Welding) การเชื่อมไฟฟ้าโดยวิธีการเชื่อม "อาร์ค" ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมเกิดจากประกายอาร์ค ระหว่างชิ้นงานและลวดเชื่อมซึ่งหลอมละลายลวดเชื่อมจะทำหน้าที่ป้อนเนื้อโลหะให้แก่แนวเชื่อม

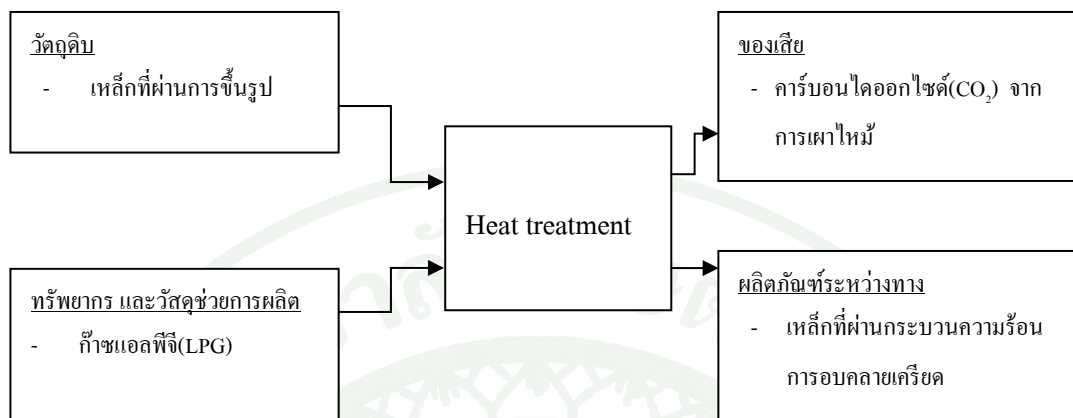
- การเชื่อมTIG (Tungsten Inert Gas Welding) เป็นวิธีการเชื่อมโลหะโดยใช้ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คระหว่างแท่งทังสเตนกับชิ้นงาน โดยมีก๊าซเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยาตรงบริเวณแนวเชื่อม

- การเชื่อม MIG (Metal Inert Gas Welding) การเชื่อม MIG เป็นกระบวนการเชื่อมที่ได้รับ ความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ลวดเชื่อมที่ใช้จะเป็นลวดเชื่อมเปลือยที่ส่ง ป้อนอย่างต่อเนื่องไปยังบริเวณอาร์คและทำหน้าที่เป็น โลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลาย บริเวณบ่อ หลอมละลายจะถูกปกคลุมไปด้วยก๊าซเฉื่อยเพื่อไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ

- การเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding) การเชื่อมใต้ฟลักซ์เป็นกระบวนการเชื่อม ไฟฟ้าที่ได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมเปลือยกับชิ้นงานเชื่อม โดยจะมีฟลักซ์ชนิด เม็ด (Granular Flux) ปกคลุมบริเวณอาร์คและฟลักซ์ส่วนที่อยู่ใกล้กับเนื้อเชื่อมจะหลอมละลายปก คลุมเนื้อเชื่อมเพื่อป้องกันอากาศภายนอกทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม ส่วนฟลักซ์ที่อยู่ห่างจากเนื้อเชื่อม จะไม่หลอมละลายและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

ซึ่งในกระบวนการประกอบนี้จะใช้แรงงานคนเป็นหลัก เนื่องจากชิ้นงานมีรูปแบบ ขนาด รูปร่างที่แตกต่างกันออกไปจำเป็นต้องใช้หลากหลายชนิดของเครื่องเชื่อม รวมถึงเทคนิคการเชื่อม ที่แตกต่างกันออกไป ตามข้อกำหนดมาตรฐาน ตามที่ได้ออกแบบไว้ และปฏิบัติตามขั้นตอนการ ปฏิบัติงานตาม WPS (Welding Procedure Specification) เป็นขั้นตอนที่ระบุตัวแปรของงานเชื่อม ในแต่ละชิ้นงาน ที่กำหนดใน การออกแบบ (Machine design) ตัวแปรในการเชื่อม จะเป็นตัวหลัก ของการเชื่อม ที่มีผลหรือส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical property) รวมทั้งผลกระทบ ทางด้านอื่นๆ เช่น โลหะวิทยาที่เปลี่ยนไป ผลต่อความแข็งหรือ hardness หรือแม้กระทั่ง Defect ที่มีโอกาสจะเกิดขึ้นได้ หากผิดขั้นตอนงานเชื่อม พลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้จะเป็นพลังงาน ด้านไฟฟ้าจากเครื่องจักร และก๊าซ เป็นหลัก

กระบวนการอบคลายเครียด (Heat treatment Process)



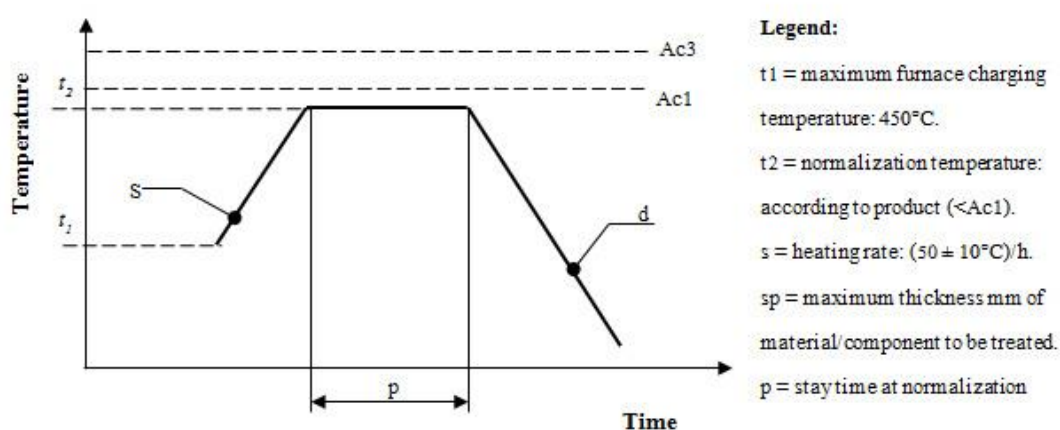
ภาพที่ 21 สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการอบคลายเครียด



ภาพที่ 22 กระบวนการอบคลายเครียดชิ้นงาน



ภาพที่ 23 ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ผ่านการอบคลายเครียด



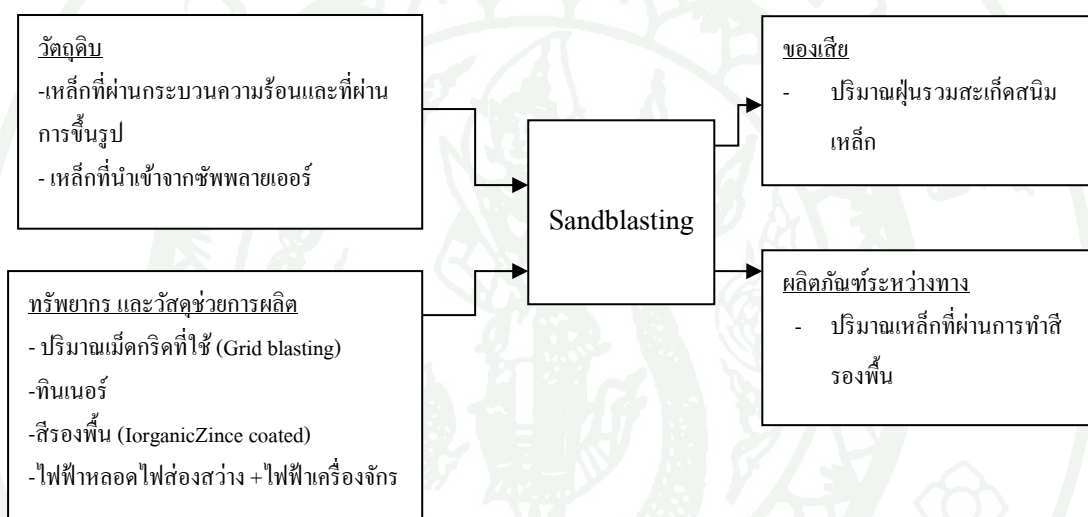
ภาพที่ 24 แผนภาพกระบวนการอบคลายเครียด

กระบวนการอบคลายเครียด (Annealing Process)

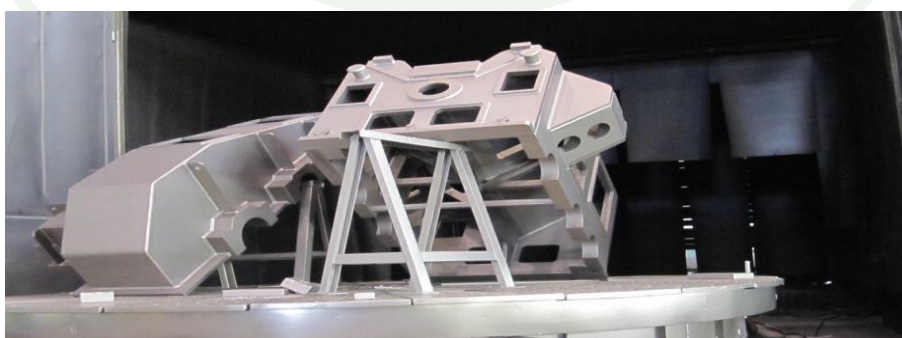
เป็นกรรมวิธีทางความร้อน โดยการนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมประกอบ มาเผาในเตาอบที่ โดยใช้ก๊าซแอลพีจี(LPG) เป็นพลังงานความร้อน Process annealing มีความมุ่งหมายเพื่อทำลายความเครียดภายในให้หมดไป หลังจากผ่านกระบวนการเชื่อมประกอบเหล็กจะต้องผ่าน annealing เพื่อให้มีความต้านทานแรงกระทำน้อยลง วิธีนี้จะเผาเหล็กให้ร้อนถึงอุณหภูมิต่ำกว่ายูเท็คตอยด์ คือต่ำกว่าเส้น Ac1 เล็กน้อย ทิ้งไว้นานพอสมควรเพื่อให้เหล็กร้อนทั่วถึงกัน หลังจากนั้น

ปล่อยให้เหล็กเย็นช้า ๆ วิธีนี้ความแข็งของเหล็กจะลดลงเล็กน้อย แต่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ความเครียดที่มีอยู่จะถูกทำลายหมดไป โดยค่าเฉลี่ยสำหรับอุณหภูมิเผา จะอยู่ที่อุณหภูมิระหว่าง 540°C ถึง 650°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวในบรรยากาศ หลังจากนั้นจะทำการตรวจเช็คขนาดชิ้นสุดท้าย และ ตรวจสอบความบกพร่องภายนอกรอยเชื่อมโดยเทคนิค NDT (Non-Destructive Testing) ก่อนที่จะนำส่งไปยังกระบวนการต่อไป พลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้จะเป็นพลังงานด้านความร้อนจากการเผาไหม้ก๊าซเป็นหลัก

กระบวนการยิงทราย (Sandblasting Process)



ภาพที่ 25 สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการยิงทราย



ภาพที่ 26 ชิ้นส่วนที่ผ่านการยิงทราย

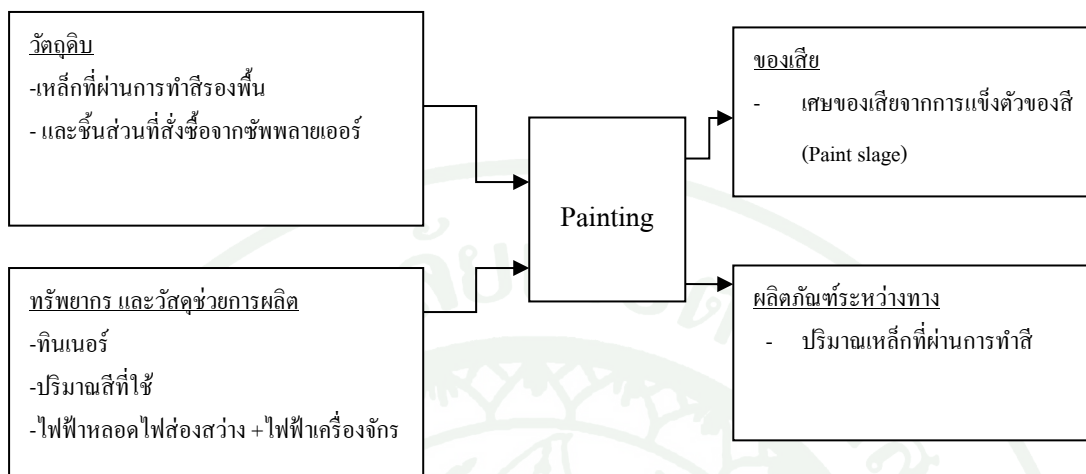


ภาพที่ 27 อุปกรณ์การยิงทราย ถังพ่นทราย

กระบวนการยิงทราย (Sandblasting Process)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเตรียมผิวชิ้นงานเบื้องต้นก่อนที่จะทำสี กระบวนการขัดผิวชิ้นงานด้วย เครื่องพ่นทรายแรงดันสูง (Pressure Blast Machine) ผู้พ่นทรายต้องสวมใส่ชุดนิรภัยเพื่อป้องกันตนเอง โดยหลักการมีแรงดันจากปั๊มลมเป็นแรงขับเคลื่อนทราย หรือเม็ดกริด ให้ไปกระทบผิวของชิ้นงานเพื่อกำจัดสนิมเหล็ก (Mill Scale) จุดประสงค์เพื่อทำความสะอาดผิวชิ้นงาน (Cleaning) และสร้างความหยาบ (Roughness) บนเนื้อเหล็กเพื่อให้สียึดเกาะกับเนื้อเหล็กยึดอายุของเหล็กมิให้เกิดสนิม ก่อนเวลาอันควร

กระบวนการทาสี (Painting Process)



ภาพที่ 28 สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการทาสี



ภาพที่ 29 ชั้นวางบรรจุภัณฑ์สีสำหรับกระบวนการทาสี



ภาพที่ 30 อุปกรณ์สำหรับการพ่นสี ด้วยเครื่องพ่นสีแรงดันสูง (Airless Spray)

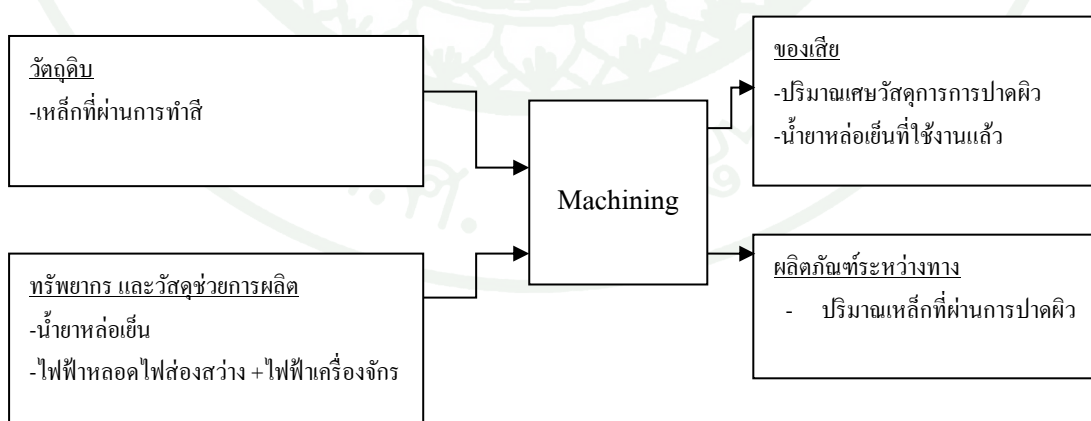


ภาพที่ 31 ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรกลที่ผ่านการทำสี

กระบวนการทาสี (Painting Process)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ผ่านกระบวนการยิงทรายมาทาสี โดยวิธีการพ่นโดยสเปรย์ (Spray) ทาด้วยลูกกลิ้ง (Roller) หรือ แปรง (Brush) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด และรูปร่างของชิ้นงานโดยวัตถุประสงค์เพื่อความสวยงาม ป้องกันการกัดกร่อน รวมถึงความคงทนต่อความร้อน โดยสีที่ใช้จะเป็นสีที่ทางผู้ผลิตกำหนดเป็นไปตามมาตรฐานตามระบบ RAL Classic ซึ่ง RAL เป็นเฉดสีที่ใช้สำหรับการกำหนดมาตรฐานสี ที่ส่วนใหญ่จะนำไปใช้สำหรับการ ทาสี การพ่นสี และเคลือบ ที่เกี่ยวข้องกับงานอุตสาหกรรม โดยตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนดใช้ คือ RAL5019 (Capri Blue) RAL1021 (Rape Yellow) และ RAL9007 (Grey Aluminum) ซึ่งเป็นสีหลักในการผลิตอุปกรณ์เครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็กและ สามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อความต้องการของลูกค้าเปลี่ยน สำหรับวิธีการทาสีเริ่มจากเหล็กที่ผ่านกระบวนการยิงทราย จากนั้นทำการขัดด้วย Power tool (เครื่องมือ มอเตอร์ไฟฟ้า) หรือ Hand tool (ขัดด้วยมือ) โดยใช้กระดาษทรายเพื่อทำความสะอาดผิว จากนั้นทำการพ่นสีโดยใช้ ด้วยเครื่องพ่นสีแรงดันสูง (Airless Spray) หรือทาโดยแปรง ให้ได้ตามความหนาที่กำหนด โดยข้อกำหนดตามมาตรฐานตามที่โรงงานกำหนด มีค่าที่ 80 - 200 μm โดยมีการตรวจวัดความหนาขั้นสุดท้ายก่อนที่จะส่งไปยังกระบวนการต่อไป พลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้จะเป็นพลังงานด้านไฟฟ้าจากอุปกรณ์ เป็นหลัก

กระบวนการปาดผิว (Machining Process)



ภาพที่ 32 แสดงสารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการปาดผิว



ภาพที่ 33 การจับยึดชิ้นส่วนอุปกรณ์บนเครื่อง ปาดผิว อัตโนมัติ (CNC Milling Machine)



ภาพที่ 34 มีดตัดสำหรับงานปาดผิว (Cutting tool)

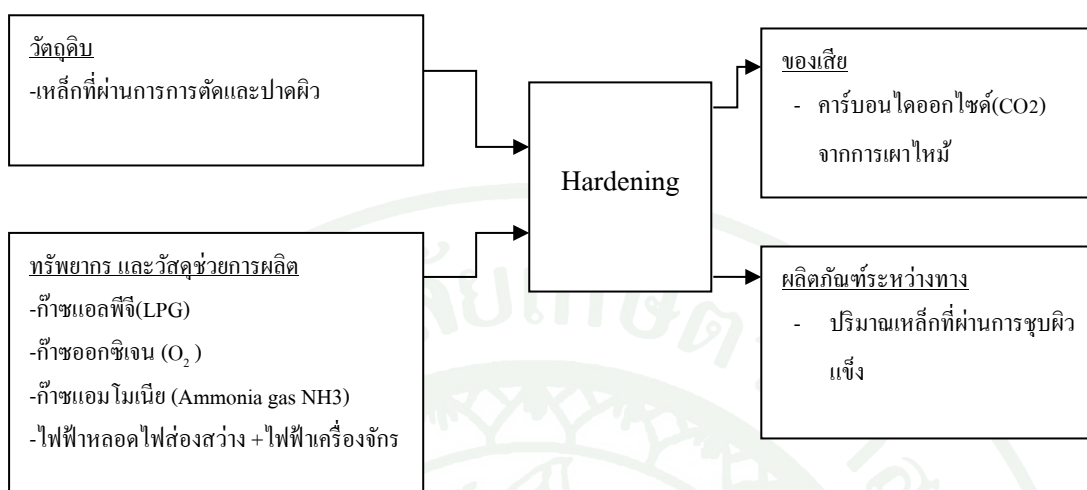


ภาพที่ 35 เครื่องกลึง CNC แบบอัตโนมัติ

กระบวนการแปดผิว (Machining Process)

เป็นวิธีการตัดแปดผิวชิ้นงาน เพื่อให้ได้รูปร่างตามต้องการ(Machining) โดยเครื่องมือตัดหรือมีดตัด (Cutting tool) ในการกำจัดเนื้อวัสดุส่วนเกินออกจากชิ้นงานและวัสดุส่วนที่เหลือจะมีรูปร่างตามที่ต้องการตามขนาดที่ออกแบบไว้ (Design Drawing) วิธีการกัดมีหลายประเภทซึ่งแต่ละวิธีจะมีขีดความสามารถในการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างและลักษณะผิวงานที่ นิยมใช้กันมากมี 3 วิธี ได้แก่ การกลึง (Turning) การเจาะ (Drilling) และ การกัดขึ้นรูป (Milling) และมีการใช้สารหล่อลื่นหรือ สารหล่อเย็นในการระบายความร้อน ซึ่งในกระบวนการตัดแปดผิวชิ้นงานนี้โดยส่วนใหญ่จะเป็นเครื่อง CNC เกือบทั้งหมด พลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้จะเป็นพลังงานด้านไฟฟ้าจากเครื่องจักร เป็นหลัก

กระบวนการชุบแข็ง (Hardening Process)



ภาพที่ 36 สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการอบชุบแข็ง



ภาพที่ 37 การชุบแข็ง (Quenching and Tempering)



ภาพที่ 38 อุปกรณ์การทำ Induction



ภาพที่ 39 อุปกรณ์การทำ Nitriding

กระบวนการชุบแข็ง (Hardening Process)

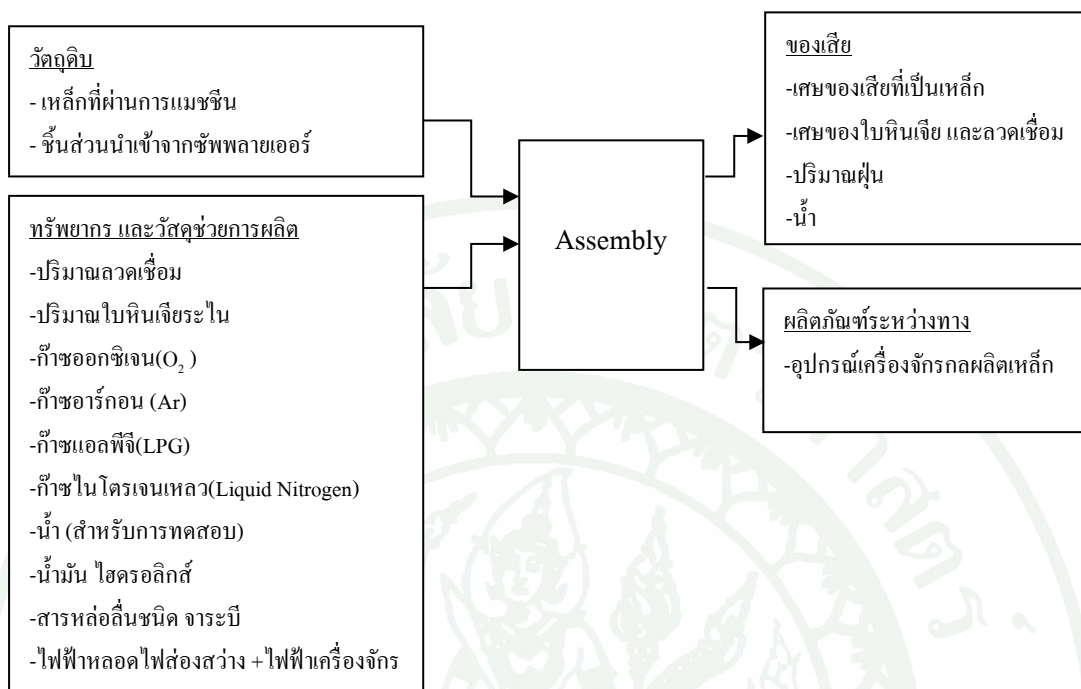
ในขั้นตอนนี้จะเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลด้านความแข็ง(Hardness) มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงผิวชิ้นงานให้มีความแข็ง เพื่อทนต่อการสึกหรอ การเสียดสี ความร้อน รวมถึงป้องกันการกัดกร่อน

โดยกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้ชิ้นส่วนมีความสามารถในการรับภาระในการใช้งานตามที่ได้ออกแบบไว้ ก่อนที่จะนำชิ้นส่วนไปใช้งานในการประกอบเครื่องจักรกล โดยที่ใช้อยู่จะมีอยู่สามวิธีหลัก คือ

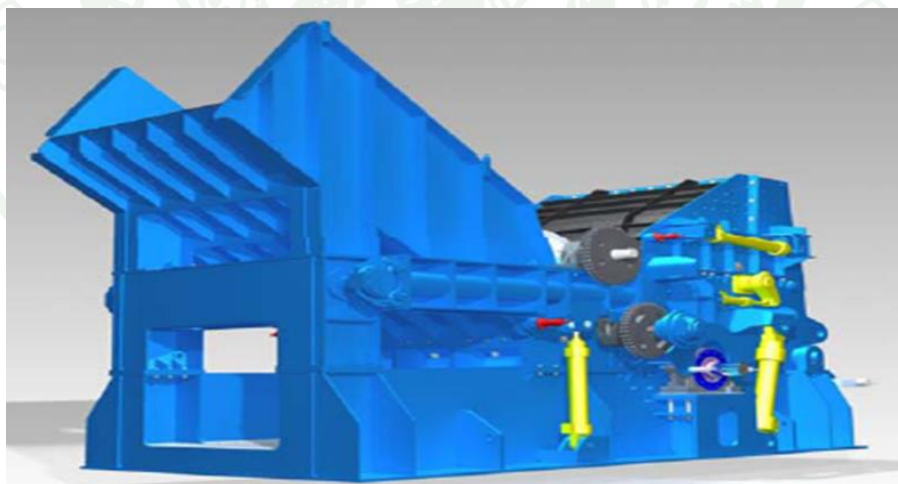
1. การอบชุบ (Quenching) โดยการเผาเหล็กให้ร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 800-900 °C (ขึ้นกับชนิดของเหล็ก) ใช้อุณหภูมิเลขเส้น AC1 และจุ่มลงในน้ำอัตราการความเร็วในการชุบ กล่าวคือถ้าเย็นตัวเร็วจะส่งผลให้ ออสเทนไนต์จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ก็จะมีมาก ผลที่ได้คือ โลหะมีความแข็งและความแข็งแรงสูง
2. การชุบแข็งแบบอินดักชัน (Induction heating) โดยการให้ความร้อนผิวชิ้นงานอย่างรวดเร็ว ด้วยกระแสความถี่สูงจนทำให้ชิ้นงานมีอุณหภูมิเหนือจุดวิกฤติภายในเวลา 3 - 5 วินาที แล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยการพ่นละอองน้ำผลจากการทำ Induction จะเป็นการเพิ่มความแข็งให้กับผิวชิ้นงาน และความทนทานต่อการสึกหรอ
3. การชุบแข็งไนไตร (Nitriding) โดยการทำให้ผิวชิ้นงานเกิดเป็นโลหะ Nitriding ด้วยวิธีการอบชิ้นงานที่ผ่านการทำ Heat Treatment มาแล้วในภาชนะปิดที่มีก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia gas) หมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา อบจนมีอุณหภูมิ ประมาณ 500 °C เป็นเวลา 2 - 3 วัน จน แอมโมเนียจะสลายตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน และไนโตรเจน จะซึมเข้าไปในผิวชิ้นงานเกิดเป็นโลหะ Nitridingซึ่งมีคุณสมบัติเพิ่มความแข็งและป้องกันสนิม

สำหรับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้จะเป็นพลังงานด้านไฟฟ้า ก๊าซจากการเผาไหม้ส่วนวิธีการชุบแข็งนี้จะ ขึ้นอยู่กับ การใช้งานของเครื่องจักรกล ภาระการรับแรง และวัสดุชนิด เหล็กที่ใช้สำหรับการออกแบบเครื่องจักรกล

กระบวนการประกอบขึ้นรูป (Assembly Process)



ภาพที่ 40 สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการประกอบขึ้นรูป



ภาพที่ 41 ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องจักรกลสำหรับอุปกรณ์ที่ออกแบบโดย 3D



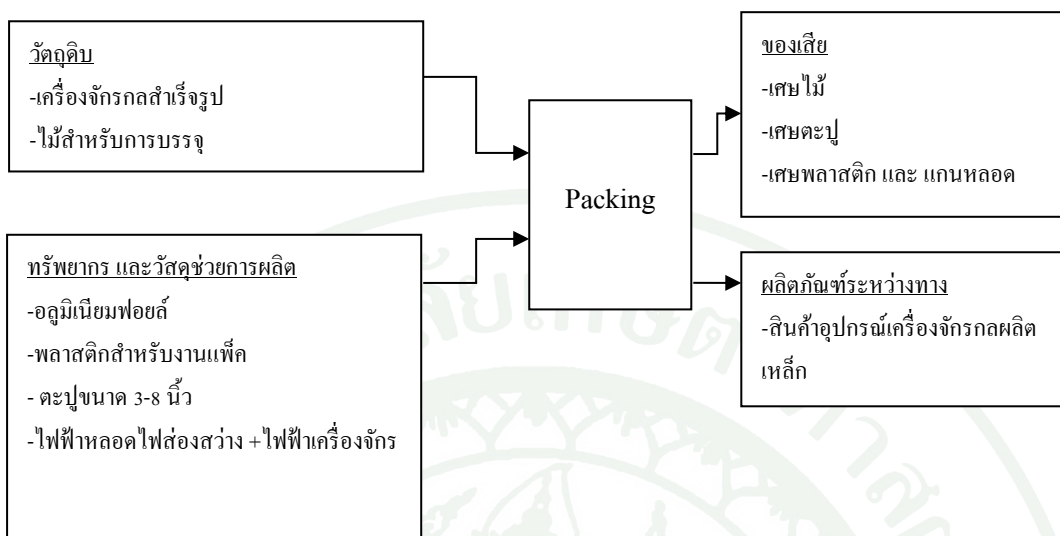
ภาพที่ 42 ตัวอย่างงานประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรกล

กระบวนการประกอบชิ้นรูป (Assembly Process)

ในขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลายๆชิ้นนำมารวมกัน ตาม BOM (Bill of Material) ซึ่งลักษณะเครื่องจักรจะขึ้นอยู่กับออกแบบเครื่องจักรกล (Machine Design) ในแต่ละเครื่องจักร โดยใช้เทคนิคงานสวมประกอบ ไม่ว่าจะเป็นการสวมอัด สวมคลอน สวมพอดี มาช่วยในการประกอบตามที่ได้ออกแบบไว้ จนเสร็จหลังจากนั้นทำการทดสอบหน้าที่ (Function test) ว่ามีระยะตามที่ได้ออกแบบไว้ ก่อนที่จะทำการแยกชิ้นส่วนประกอบเพื่อส่งออกไป

สำหรับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้จะเป็นพลังงานด้านไฟฟ้า ถ้าจากการเผาไหม้ในโตรเจนเหลว สำหรับการสวมอัด และใช้แรงงานคนเป็นหลักเนื่องจากเครื่องจักรกลมีการออกแบบในลักษณะที่ต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม เป็นต้น

กระบวนการบรรจุ (Packing Process)



ภาพที่ 43 สารขาเข้าและสารขาออกกระบวนการบรรจุ



ภาพที่ 44 งานบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องจักรกลผลิตเหล็ก



ภาพที่ 45 งานบรรจุรอส่งออกผลิตภัณฑ์เครื่องจักรกลผลิตเหล็ก

กระบวนการบรรจุ (Packing Process)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นวิธีการบรรจุชิ้นส่วนสำคัญหลังจากที่ประกอบเครื่องจักร (Pre Assembly) ก่อนที่จะทำการแยกชิ้นส่วนตามทีออกแบบไว้ (Transportation drawing) โดยใช้ไม้เป็นวัสดุหลัก เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่าชิ้นส่วนสำคัญได้การรวบรวมและเตรียมการจัดส่งให้กับลูกค้าในขั้นตอนต่อไป

สำหรับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้จะเป็นพลังงานด้านไฟฟ้า สำหรับการบรรจุอุปกรณ์ชิ้นเครื่องจักรกลเป็นหลัก

การเก็บข้อมูล (Data Collection)

ในการเก็บข้อมูลนั้นเป็นการเก็บและนำข้อมูลเพื่อมาใช้ประกอบการวิเคราะห์ผลกระทบต่อดังแวดล้อม โดยที่มาของข้อมูลแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต	เก็บข้อมูลจาก โรงงาน	งานวิจัย/เอกสาร ที่เกี่ยวข้อง	ฐานข้อมูล Ecoinvent	สอบถามผู้ที่ เกี่ยวข้อง
การขนส่งชิ้นส่วนขาเข้า และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป	▲	▲	▲	
ระยะทางในการขนส่ง		▲		▲
กระบวนการผลิต	▲		▲	▲

*โดยผู้ที่เกี่ยวข้องคือคุณสุรพล นิลบน ผู้จัดการฝ่ายโลจิสติกส์ และคลังสินค้า

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Impact Assessment)

จะทำการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ ชิ้นส่วน เครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก จากข้อมูลของการใช้ทรัพยากร และการปล่อยของเสียตลอดกระบวนการผลิต โดยใช้โปรแกรม SimaPro Version 7.3 และใช้วิธี IPCC GWP 100a และ Eco-Indicator 99 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยแบ่งผลกระทบออกเป็น 4 กลุ่มคือ

1) การทำให้โลกร้อน (Global Warming) โดยใช้วิธี IPCC GWP 100a

2) ผลกระทบต่อสุขภาพ (Damage to human health) หน่วย DALY โดยใช้วิธี Eco-Indicator 99 ประกอบไปด้วย ผลกระทบด้านต่างๆต่อไปนี้ สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง(Carcinogens) สารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory organics) สารอนินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory inorganics) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ(Climate change) การแผ่รังสี(Radiation) และ การทำลายชั้นโอโซน(Ozone layer)

3) ผลกระทบต่อการคงอยู่ของสิ่งแวดล้อม (Damage to ecosystem quality) หน่วย PAF*m2yr โดยใช้วิธี Eco-Indicator 99 ประกอบไปด้วย ผลกระทบด้านต่างๆต่อไปนี้ ความเป็นพิษ

ต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) การเกิดฝนกรด และสารอาหารในแหล่งน้ำ (Acidification/Eutrophication) และ การใช้ที่ดิน (Land use)

4) ผลกระทบต่อทรัพยากร (Damage to mineral and fossil resources) หน่วย MJ surplus โดยใช้วิธี Eco-Indicator 99 ประกอบไปด้วย การลดลงของทรัพยากรสินแร่ และซากดึกดำบรรพ์ (Minerals (Fossil fuels))

การแปลผลการศึกษา (Interpretation)

สำหรับขั้นตอนนี้จำเป็นต้องทำการแปลผลข้อมูลจากขั้นตอนการประเมินผลกระทบ เพื่อที่จะได้ทราบว่าในกระบวนการใดที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และภาวะโลกร้อนมากที่สุด รวมทั้งการศึกษาแนวทางการลดผลกระทบจะเกิดขึ้นในช่วงวัฏจักรชีวิตการผลิตเครื่องจักรกล รวมถึงข้อเสนอแนะ ตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา ทำให้ผู้ประกอบการได้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกล นำผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปเป็นแนวทางในการลดอัตราการใช้ทรัพยากร ประหยัดพลังงาน อีกทั้งยังส่งเสริมนโยบายการอนุรักษ์พลังงานและเป็นแนวทางในการพัฒนาในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

การประเมินความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

มูลค่าของผลกระทบสิ่งแวดล้อม สามารถพิจารณาประโยชน์ที่เกิดจากการผลิต โดยการใช้มูลค่าของผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบทางด้านบวกที่เกิดจากกระบวนการผลิตออกมาเป็นตัวเงิน ซึ่งแนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้คือพิจารณาว่าประโยชน์ที่ได้รับ คือการที่สามารถลดค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการควบคุมหรือป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมขึ้น (Treatment prevention Cost) จากการผลิตหรือใช้พลังงาน สามารถช่วยคำนวณค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ ในการกำจัดสารมลพิษหรือลดการใช้พลังงานที่ส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมได้

สำหรับการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ค่าใช้จ่าย (Cost) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสามารถหาความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแสดงอยู่ในรูปของ (CO₂ equivalent) ได้ตามสมการที่ 5

$$\text{Cost of CO}_2 \text{ eq} = \text{Price} \times \frac{1}{\text{Total Emission factor}} \quad (5)$$

Cost of CO₂ eq คือค่าใช้จ่ายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 1 กิโลกรัม (บาท/kgCO₂ eq.)

Price คือราคาในการซื้อทรัพยากรและวัสดุช่วยการผลิตจำนวนต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

Total Emission factor คือผลรวมของ Emission factor ที่เกิดขึ้นจากการการผลิต (kgCO₂ eq./หน่วย)

ที่มา: วสันต์ (2554)

โดยวัตถุประสงค์และพลังงาน ที่ใช้นำมาประเมินผลกระทบทางการเงินมีกระบวนการ
เกี่ยวข้องต่อไปนี้ การจัดเตรียมชิ้นงาน เชื่อมประกอบ อบเคลือบเคลือบ ยิงทราย ทำสี ปาดผิว อบชุบ
แข็ง ประกอบงานสำเร็จรูป และการบรรจุ

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

ในโรงงานออกแบบ และผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็กแห่งหนึ่งในจังหวัด
ระยอง โดยใช้เวลาในการศึกษาตั้งแต่ มิถุนายน 2556 ถึง เมษายน 2557

ระยะเวลาทำการวิจัย

ตารางที่ 4 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ	ขั้นตอน	2556							2557			
		ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	■										
2	ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องจักรกล		■	■	■	■	■	■				
3	เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	วิเคราะห์ผลกระทบทางด้าน สิ่งแวดล้อม							■	■	■	■	■
5	ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม								■	■	■	■
6	สรุปผลการวิจัย									■	■	■
7	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์										■	■

ผลและการวิจารณ์

ผล

1. ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ของการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก

1.1 ข้อมูลการขนส่งของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทดลองประกอบด้วยข้อมูลการขนส่งของการได้มาซึ่งวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลการขนส่งของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

ชนิดยานพาหนะ	จุดขนส่ง	ปริมาณการขนส่งหน่วย ตัน-กิโลเมตร (tkm)	ระยะทาง กิโลเมตร	ปริมาณ ขนส่ง(ตัน)
เรือแบบbulk	ท่าเรือจากประเทศจีน-			
รถตู้บรรทุกพ่วง18 ล้อน้ำหนักบรรทุก	แหลมฉบัง	1,931,639	4,172	463
สูงสุด32 ตัน	แหลมฉบัง-โรงงานผลิต	30,739	824	37
รถบรรทุกพ่วง22 ล้อน้ำหนักบรรทุก	แหลมฉบัง- โรงงานผลิต	57,695	370	156
สูงสุด32 ตัน	ผู้ผลิตในประเทศ-			
รถกระบะบรรทุก4 ล้อขนาดเล็กน้ำหนัก	โรงงานผลิต	7,587	465	16
บรรทุกสูงสุด7 ตัน	ผู้ผลิตในประเทศ-			
รถกระบะบรรทุก6 ล้อขนาดเล็กน้ำหนัก	โรงงานผลิต	34,071	1,080	32
บรรทุกสูงสุด8.5 ตัน	ผู้ผลิตในประเทศ-			
รถกระบะบรรทุก10 ล้อน้ำหนักบรรทุก	โรงงานผลิต	25,985	891	29
สูงสุด16 ตัน				

ตารางที่ 6 บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการจัดเตรียมชิ้นงาน

สารขาเข้า (Input)	ปริมาณ	หน่วย	สารขาออก (Output)	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ			ของเสีย		
ปริมาณเหล็กแผ่นที่เข้าสู่กระบวนการ	7,909.00	ton	เศษการการตัดกากตะกอนและเศษเหล็ก	16	ton
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต			ผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง		
ก๊าซออกซิเจน(O_2)	5,976.00	kg	เหล็กที่ผ่านการตัด	440	ton
ก๊าซแอลพีจี(LPG)	1,500.00	kg	วัตถุดิบกลับเข้าสู่คลังสินค้า	7,453.00	ton
น้ำยาหล่อเย็น	200	kg			
ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	146,100.00	kWh			

ตารางที่ 7 บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการเชื่อมประกอบ

สารขาเข้า (Input)	ปริมาณ	หน่วย	สารขาออก (Output)	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ			ของเสีย		
เหล็กแผ่นที่ผ่านการตัด	440	ton	เศษการการตัดชิ้นงานเสีย	84	ton
เหล็กโครงสร้างมาตรฐาน	299	ton	เศษของใบหินเจีย และลวดเชื่อม	158	kg
			ปริมาณฝุ่น	1,495.00	kg
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต			ผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง		
ปริมาณลวดเชื่อม	19.1	ton	เหล็กที่ผ่านการขึ้นรูป	674.1	ton
ปริมาณใบหินเจียรไน	1,653.00	kg			
ก๊าซออกซิเจน(O_2)	3,320.00	kg			
ก๊าซแอลพีจี(LPG)	5,325.00	kg			
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)	1,950.00	kg			
ก๊าซไนโตรเจน (N_2)	1,700.00	kg			
ก๊าซอาร์กอน (Ar)	17,050.00	kg			
ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	117,665.00	kWh			

ตารางที่ 8 บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการอบคลาเยเรียด

สารขาเข้า (Input)	ปริมาณ	หน่วย	สารขาออก (Output)	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ			ของเสีย		
เหล็กที่ผ่านการขึ้นรูป	499	ton			
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการ					
ผลิต			ผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง		
ก๊าซแอลพีจี(LPG)	22,100.00	kg	เหล็กที่ผ่านกระบวนการ ความร้อนการอบคลาเยเรียด	499	ton

ตารางที่ 9 บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการยิงทราย

สารขาเข้า (Input)	ปริมาณ	หน่วย	สารขาออก (Output)	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ			ของเสีย		
เหล็กที่ผ่านกระบวนการความร้อน และที่ผ่านการขึ้นรูป ปริมาณเหล็กที่นำเข้าจากซัพ พลายเออร์	499	ton	ปริมาณฝุ่นรวมสะเก็ด สนิมเหล็ก	2.1	ton
พลาสมาเออร์	20.9	ton			
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการ					
ผลิต			ผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง		
ปริมาณเม็ดกริดที่ใช้(Grid blasting)	2.1	ton	ปริมาณเหล็กที่ผ่านการทำ สีรองพื้น	698.26	ton
ทินเนอร์	880.00	kg			
สีรองพื้น(IorganicZince coated)	3,263.50	kg			
ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	89,025.00	kWh			

ตารางที่ 10 บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการทำสี

สารขาเข้า (Input)	ปริมาณ	หน่วย	สารขาออก (Output)	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ			ของเสีย		
เหล็กที่ผ่านการทำสีรองพื้น	698.26	ton	เศษของเสียจากการแข็งตัวของสี (Paint slag)	159	kg
และชิ้นส่วนที่นำเข้าจากซัพพลายเออร์	111	ton			
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต			ผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง		
ทินเนอร์	159.6	kg	ปริมาณเหล็กที่ผ่านการทำสี	810.94	ton
ปริมาณสีที่ใช้	1,680.00	kg			
ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	26,551.00	kWh			

ตารางที่ 11 บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการปาดผิว

สารขาเข้า (Input)	ปริมาณ	หน่วย	สารขาออก (Output)	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ			ของเสีย		
เหล็กที่ผ่านการทำสี	645.80	ton	ปริมาณเศษวัสดุการปาดผิว	78.00	ton
			น้ำยาหล่อเย็นที่ใช้งานแล้ว	326.40	kg
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต			ผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง		
น้ำยาหล่อเย็น	326.40	kg	ปริมาณเหล็กที่ผ่านการปาดผิว	567.80	ton
ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	350,179.00	kWh			

ตารางที่ 12 บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการอบชุบแข็ง

สารขาเข้า (Input)	ปริมาณ	หน่วย	สารขาออก (Output)	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ			ของเสีย		
เหล็กที่ผ่านการการตัดและปาดผิว	13.2	ton			
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต			ผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง		
ก๊าซแอลพีจี(LPG)	6,330.00	kg	ปริมาณเหล็กที่ผ่านการแมทชินผิว	13.2	ton
ก๊าซออกซิเจน(Oxygen)	2,250.00	kg			
ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia gas NH ₃)	480	kg			
ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	15,360.00	kWh			

ตารางที่ 13 บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการประกอบงานสำเร็จรูป

สารขาเข้า (Input)	ปริมาณ	หน่วย	สารขาออก (Output)	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ			ของเสีย		
เหล็กที่ผ่านการปาดผิว	732.14	ton	เศษของเสียที่เป็นเหล็ก	11.3	ton
ชิ้นส่วนนำเข้าจากซัพพลายเออร์	1,010.00	ton	เศษของใบหินเจีย และ ลวดเชื่อม	22.45	kg
			ปริมาณฝุ่น	100.55	kg
			น้ำ	960	kg
			น้ำมัน ไฮดรอลิกส์	1,225.00	kg
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต			ผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง		
ปริมาณลวดเชื่อม	405	kg	อุปกรณ์เครื่องจักรกล ผลิตเหล็ก	1,731.00	ton
ปริมาณใบหินเจียรไน	123	kg			
ก๊าซออกซิเจน(O ₂)	360	kg			
ก๊าซอาร์กอน (Ar)	3,699.00				
ก๊าซแอลพีจี(LPG)	195	kg			
ก๊าซไนโตรเจนเหลว(Liquid Nitrogen)	675	kg			
น้ำ	960	kg			
น้ำมัน ไฮดรอลิกส์	1,225.00	kg			
สารหล่อลื่นชนิด จาระบี	1,000.00	kg			
ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	166,444.00	kWh			

ตารางที่ 14 บัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกกระบวนการบรรจุ

สารขาเข้า (Input)	ปริมาณ	หน่วย	สารขาออก (Output)	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบ			ของเสีย		
เครื่องจักรสำเร็จรูป	1,731.00	ton	เศษไม้	5	ton
ไม้สำหรับการบรรจุ	102	ton	เศษตะปู	13	kg
			เศษพลาสติก และ แกน		
			หลุด	32	kg
ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต			ผลิตภัณฑ์ระหว่างทาง		
อลูมิเนียมฟอยล์			สินค้าอุปกรณ์		
	180	kg	เครื่องจักรผลิตเหล็ก	1,834.17	ton
พลาสติกสำหรับงานบรรจุ	750	kg			
ตะปูขนาด 3-8 นิ้ว	185	kg			
ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้า					
เครื่องจักร	18,186.00	kWh			

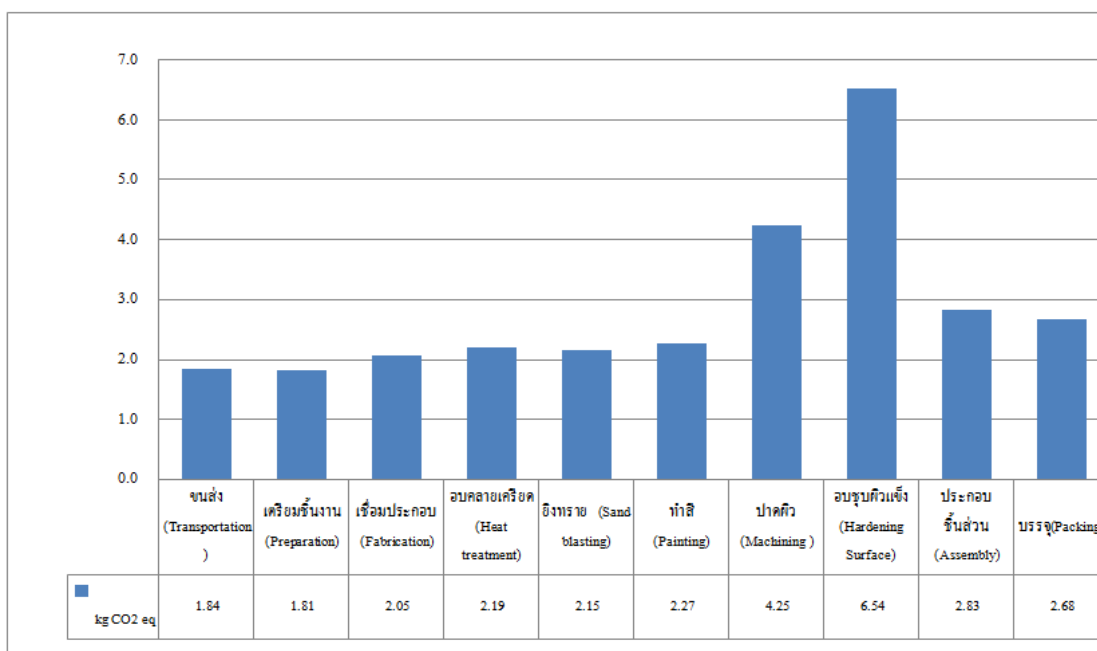
2. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกระบวนการผลิตเครื่องจักรกล (Life cycle Impact Assessment)

จากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและทำการจำแนกข้อมูล โดยแปลงค่าข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าวให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือที่เรียกว่า ขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการประเมินสิ่งแวดล้อมที่เลือกใช้ในการศึกษาโดยวิธี IPCC GWP 100a โดยมีการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้น จากกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกล ซึ่งเป็นวิธีการประเมินผลการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming หรือ GWP)

2.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อประเมิน โดยวิธี IPCC GWP 100a

ตารางที่ 15 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัมแยกตามกระบวนการย่อย

กระบวนการ	ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO ₂ eq)
ขนส่ง (Transportation)	1.84
เตรียมชิ้นงาน(Preparation)	1.81
เชื่อมประกอบ(Fabrication)	2.05
อบคลายเครียด (Heat treatment)	2.19
ยิงทราย (Sand blasting)	2.15
ทาสี (Painting)	2.27
แปดผิว (Machining)	4.25
อบชุบผิวแข็ง (Hardening Surface)	6.54
ประกอบชิ้นส่วน(Assembly)	2.83
บรรจุ(Packing)	2.68

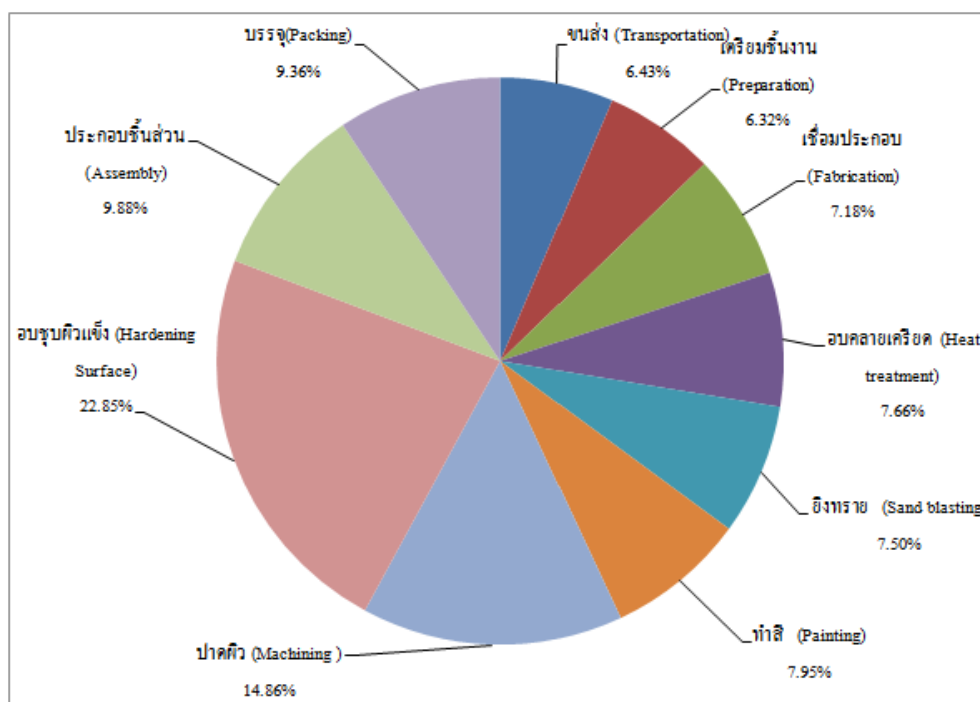


ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิต กระบวนการขนส่ง เครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัมแยกตาม กระบวนการย่อยโดยวิธี IPCC GWP 100a

เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัม เมื่อประเมินด้วยวิธี IPCC GWP 100a ในขั้นตอนของการผลิตจะมีปริมาณการปล่อยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เรียงจากมากไปหาน้อยตามลำดับดังต่อไปนี้

- กระบวนการอบชุบผิวแข็ง 6.54 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า
- กระบวนการ ปาดผิว 4.25 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า
- กระบวนการประกอบชิ้นส่วน 2.83 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า
- กระบวนการบรรจุ 2.68 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า
- กระบวนการทาสี 2.27 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า
- กระบวนการอบคลายเครียด 2.19 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า
- กระบวนการยิงทราย 2.15 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า
- กระบวนการเชื่อมประกอบ 2.05 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า
- กระบวนการขนส่งวัตถุดิบ 1.84 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า
- กระบวนการเตรียมชิ้นงาน 1.81 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่ากระบวนการที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณการใช้สารเคมีหลายชนิด การเผาไหม้ของก๊าซ LPG ที่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน รวมถึงการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าอีกด้วย



ภาพที่ 47 สัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตและกระบวนการขนส่งโดยวิธี IPCC GWP 100

กระบวนการอบชุบผิวแข็งคิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 22.85%

กระบวนการแปดผิว คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 14.86 %

กระบวนการประกอบชิ้นส่วนคิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 9.88 %

กระบวนการบรรจุ คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 9.36 %

กระบวนการทาสีคิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 7.95 %

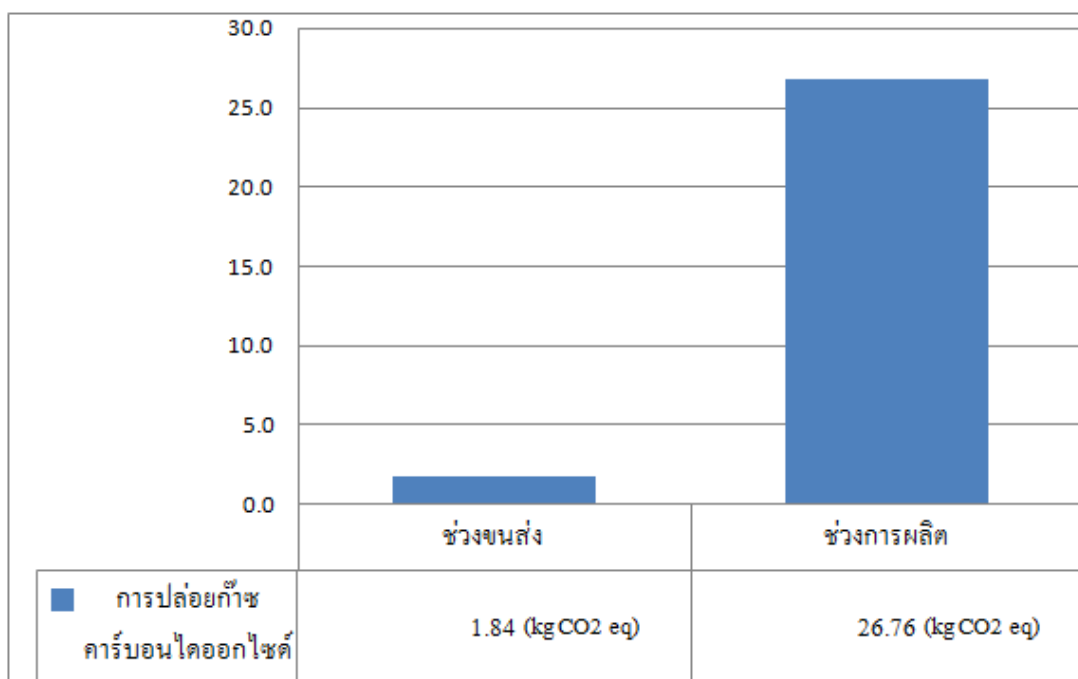
กระบวนการอบคลายเครียด คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 7.66 %

กระบวนการยิงทราย คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 7.50%

กระบวนการเชื่อมประกอบ คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 7.81 %

กระบวนการขนส่งวัตถุดิบ คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 6.43%

กระบวนการเตรียมชิ้นงาน คิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 6.32 %



ภาพที่ 48 ผลเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วงการขนส่งวัตถุดิบและช่วงการผลิตเมื่อประเมินด้วยวิธี IPCC GWP 100a

เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเครื่องจักรกล ในงานอุตสาหกรรมเหล็ก 1 กิโลกรัม เมื่อประเมินด้วยวิธี IPCC GWP 100a ในขั้นตอนของการผลิต จะมีปริมาณการปล่อยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 26.76 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า รองลงมา ในขั้นตอนการได้มาซึ่ง วัตถุดิบ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1.84 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า โดยภาพที่ 46 แสดงผลเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วงการขนส่งและช่วงการผลิต

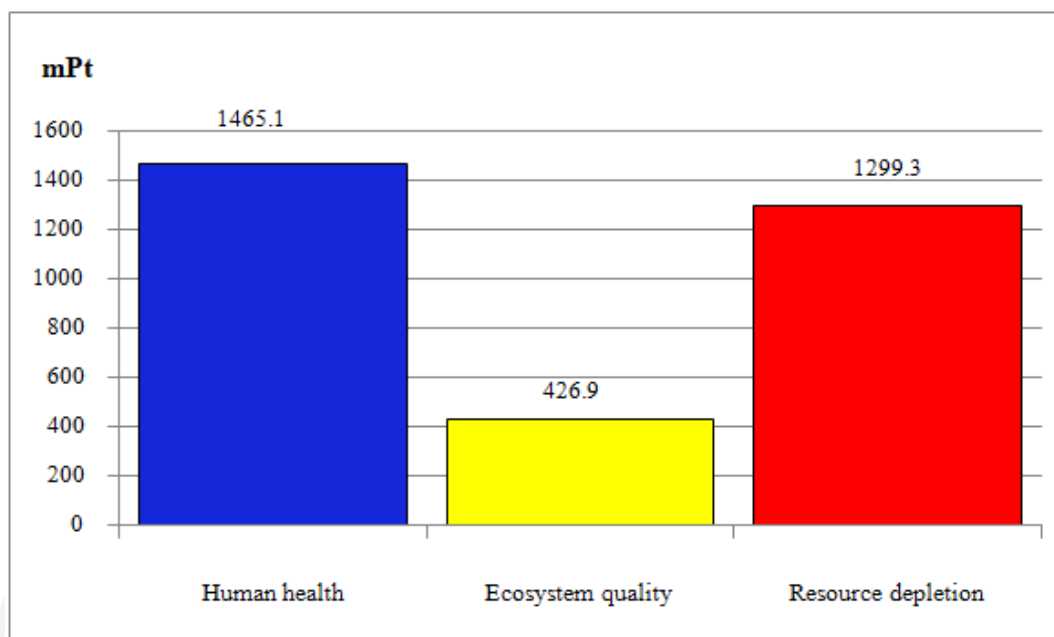
2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อประเมิน โดยวิธี ECO Indicator 99

เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเครื่องจักรกล ในงานอุตสาหกรรม เหล็ก 1 กิโลกรัม โดยโปรแกรม SimaPro Version 7.3 โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของดัชนีวัดกลุ่ม ผลกระทบของโดยวิธี Eco-indicator 99 โดยค่าวัตถุดิบ พลังงานและของเสียจะถูกแจกแจงเป็น ประเภทของผลกระทบทั้ง 11 ประเภท ผลกระทบทั้ง 11 ประเภทจะถูกจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่มตาม ลักษณะของกลุ่มเป้าหมายดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพ (Damage to human health) ผลกระทบประกอบไปด้วย สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogens) สารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory organics) สารอนินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory inorganics) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ(Climate change)การแผ่รังสี(Radiation)การทำลายชั้น โอโซน (Ozone layer)

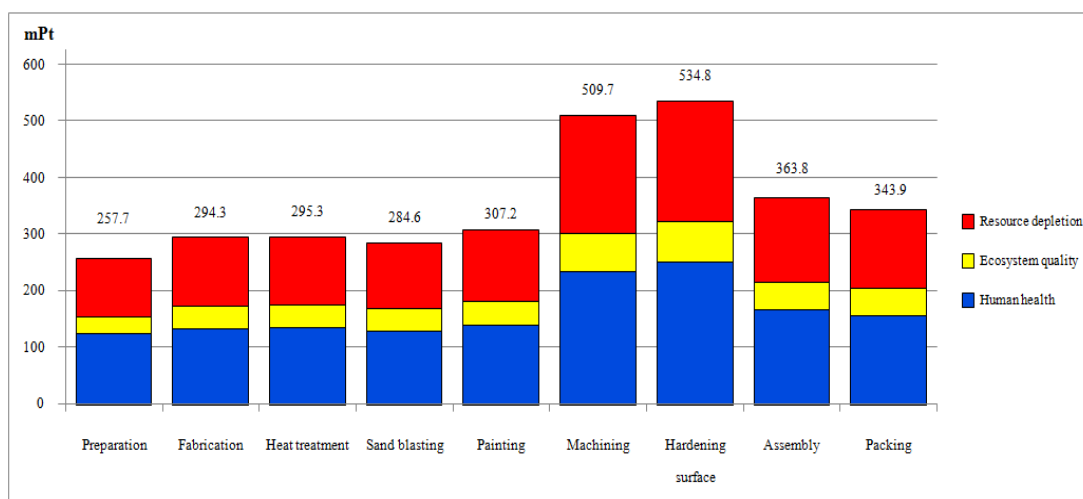
กลุ่มที่ 2 ผลกระทบต่อการคงอยู่ของสิ่งแวดล้อม (Damage to Ecosystem quality) ผลกระทบประกอบไปด้วย ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) การเกิดฝนกรด และ สารอาหารในแหล่งน้ำ (Acidification/Eutrophication) และการใช้ที่ดิน (Land use)

กลุ่มที่ 3 ผลกระทบต่อทรัพยากร (Damage to Resource depletion) ผลกระทบประกอบไปด้วย การลดลงของทรัพยากรสินแร่ และซากดึกดำบรรพ์ (Minerals and Fossil fuels)



ภาพที่ 49 เปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิต 3 กลุ่มเป้าหมายหลัก ที่หน่วยหน้าที่ คือ การผลิตเครื่องจักรกลสำหรับงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัม

จากภาพที่ 49 แสดงผลกระทบ 3 กลุ่มเป้าหมายหลัก ที่ถูกพิจารณาทั้งในแง่ของปริมาณและความรุนแรง และแสดงค่าผลกระทบในหน่วยของ Milli- Point (mPt) ที่หน่วยหน้าที่ คือ การผลิตเครื่องจักรกล 1 กิโลกรัมพบว่าตลอดกระบวนการผลิตเครื่องจักรกล 1 กิโลกรัมพบว่ากลุ่มผลกระทบมากที่สุดคือ กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพ (Damage to human health) ประกอบไปด้วย สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogens) สารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory organics) สารอนินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory inorganics) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) การแผ่รังสี (Radiation) การทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer) โดยแสดงค่าผลกระทบรวมที่ 1,465.1 mPt รองลงมาคือกลุ่มผลกระทบ ผลกระทบต่อทรัพยากร (Damage to Resource depletion) ผลกระทบประกอบไปด้วย การลดลงของทรัพยากรสินแร่ และซากดึกดำบรรพ์ (Minerals and Fossil fuels) โดยแสดงค่าผลกระทบรวมที่ 1,299.3 mPt และมีค่าน้อยสุดที่กลุ่มผลกระทบต่อการคงอยู่ของสิ่งแวดล้อม (Damage to Ecosystem quality) ผลกระทบประกอบไปด้วย ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) การเกิดฝนกรด และสารอาหารในแหล่งน้ำ (Acidification /Eutrophication) และการใช้ที่ดิน (Land use) โดยแสดงค่าผลกระทบรวมที่ 426.9 mPt



ภาพที่ 50 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบรวม 3 กลุ่มผลกระทบโดยเป็นการพิจารณาแยกตามประเภทของผลกระทบและตามกระบวนการผลิต ที่หน่วยหน้าที่ คือ เครื่องจักรกล สำหรับงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัม

จากภาพที่ 50 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเป็นการพิจารณาแยกตามประเภทของผลกระทบและตามกระบวนการผลิต พบว่าผลกระทบโดยรวมในแต่ละขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

กระบวนการอบชุบผิวแข็ง (Hardening Surface) แสดงค่าผลกระทบรวมที่ 534.8 mPt

กระบวนการแปดผิว (Machining) แสดงค่าผลกระทบรวมที่ 509.7 mPt

กระบวนการประกอบชิ้นส่วน (Assembly) แสดงค่าผลกระทบรวมที่ 363.8 mPt

กระบวนการบรรจุ (Packing) แสดงค่าผลกระทบรวมที่ 343.9 mPt

กระบวนการทาสี (Painting) แสดงค่าผลกระทบรวมที่ 307.2 mPt

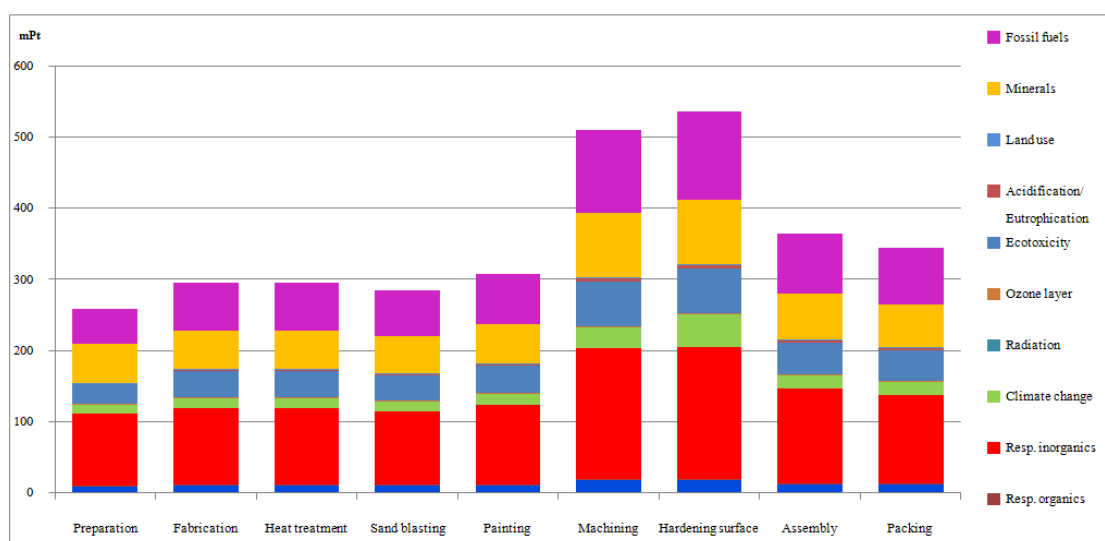
กระบวนการอบคลายเครียด (Heat treatment) แสดงค่าผลกระทบรวมที่ 295.3 mPt

กระบวนการยิงทราย (Sand blasting) แสดงค่าผลกระทบรวมที่ 294.3 mPt

กระบวนการเชื่อมประกอบ (Fabrication) แสดงค่าผลกระทบรวมที่ 284.6 mPt

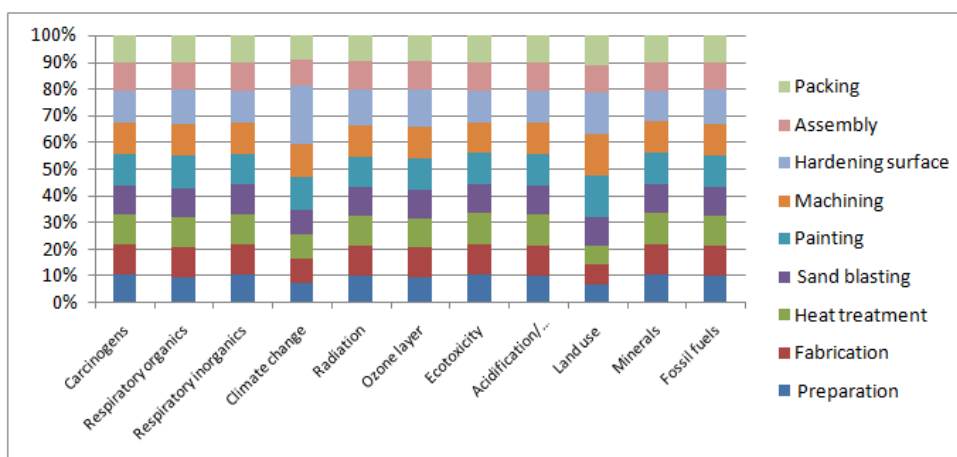
กระบวนการเตรียมชิ้นงาน(Preparation) แสดงค่าผลกระทบรวมที่ 257.7 mPt

โดยรายละเอียดของค่าผลกระทบ 3 กลุ่มเป้าหมายหลัก แยกตามกระบวนการผลิตสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก ตารางที่ ก21



ภาพที่ 51 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลกระทบ 11ประเภทที่หน่วยหน้าที่ คือ เครื่องจักรกล สำหรับงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัม

ภาพที่ 51 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลกระทบแยกเป็น 11 ประเภทผลกระทบ เมื่อพิจารณา จะเห็นว่า ใน ทั้ง 11 ผลกระทบประกอบไปด้วย สารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogens) สารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory organics) สารอนินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory inorganics) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) การแผ่รังสี (Radiation) การทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) การเกิดฝนกรดและ ขาดสารอาหารในแหล่งน้ำ (Acidification/Eutrophication) การใช้ที่ดิน (Land use) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) การลดลงของทรัพยากรสินแร่ และซากดึกดำบรรพ์ (Minerals and Fossil fuels) จากการศึกษาพบว่า ค่าผลกระทบมากที่สุดในกระบวนการอบชุบผิวแข็ง (Hardening Surface) มีค่าผลกระทบที่ผลกระทบที่เกิดจากสารอินทรีย์ ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory organics) ที่ 186.3 mPt รองลงมาได้แก่ ผลกระทบที่เกิดจาก เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuels) แสดงค่าผลกระทบที่ 123.4 mPt สำหรับกระบวนการเกิดผลกระทบน้อยที่สุดที่กระบวนการเตรียมชิ้นงาน (Preparation) มีค่าผลกระทบที่ที่เกิดจาก สารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ (Respiratory organics) ที่ 100.7 mPt รองลงมาได้แก่ ผลกระทบที่เกิดจาก เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuels) แสดงค่าผลกระทบที่ 49.5 mPt โดยรายละเอียดของค่าผลกระทบสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก ตารางที่ ก21



ภาพที่ 52 สัดส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ แต่ละกระบวนการผลิตตามวิธีชี้วัด ECO-indicator 99

ตารางที่ 16 สรุปผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการประเมินการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก

Environmental damage	Impact category	Unit	Total
	สารอินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ(Respiratory organics)	DALY	1.28E-08
	สารอนินทรีย์ที่มีผลต่อทางเดินหายใจ(Respiratory inorganics)	DALY	0.0000279
	การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ(Climat change)	DALY	0.000005
	การแผ่รังสี(Radiation)	DALY	2.09E-08
	การทำลายชั้นโอโซน(Ozone layer)	DALY	7.41E-10
ผลกระทบต่อคงอยู่ของสิ่งแวดล้อม (Ecosystem quality)	ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity)	PAF*m2yr	37.0
	การเกิดฝนกรด และสารอาหารในแหล่งน้ำ (Acidification/Eutrophication)	PDF*m2yr	0.258
	การใช้ที่ดิน (Land use)	PDF*m2yr	0.11
ผลกระทบต่อทรัพยากร (Resource depletion)	การลดลงของทรัพยากรสินแร่ และซากดึกดำบรรพ์(Minerals)	MJ surplus	13.0
	(Fossil fuels)	MJ surplus	17.0

เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเครื่องจักรกล ในงานอุตสาหกรรมเหล็ก 1 กิโลกรัม โดยโปรแกรม SimaPro Version 7.3 ผลการประเมินด้วยวิธี ECO-indicator 99 ผลที่ได้มีตามตารางที่ 17 ส่วนผลจากการวิเคราะห์ได้แบ่งเป็นกลุ่มผลกระทบหลักสามด้านคือ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศ และกลุ่มผลกระทบทางด้านการใช้ทรัพยากร ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือผลกระทบกลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศ ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (*Ecotoxicity*) ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต จากการวิเคราะห์สารขาเข้า ขาออกอยู่ที่ 37.0 PAF*m2yr และมีค่ามากที่สุดอยู่ที่กระบวนการชุบแข็ง สำหรับกลุ่มผลกระทบทางด้านการใช้ทรัพยากรมีผลกระทบมากที่สุดของเชื้อเพลิงจากซากอินทรีย์วัตถุ (*fossil fuels*) อยู่ที่ 17.0 MJ surplus และผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์มีผลกระทบมากที่สุดที่ผลกระทบต่อระบบหายใจอันเนื่องมาจากสารอนินทรีย์ (*Respiratory inorganic*) อยู่ที่ 0.0000279 DALY โดยภาพที่ 52 แสดงสัดส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ แต่ละกระบวนการผลิต ตามวิธีชี้วัด ECO-indicator 99

ตารางที่ 17 ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างตามตัวชี้วัด ECO-indicator 99

Environmental damage	Impact category	Unit	Total	Preparation	Fabrication	Heat treatment	Sand blasting	Painting	Machining	Hardening surface	Assembly	Packing
Human health	Carcinogens	DALY	2.70E-06	2.86E-07	3.06E-07	3.06E-07	2.95E-07	3.14E-07	3.14E-07	3.22E-07	2.88E-07	2.72E-07
	Respiratory organics	DALY	1.28E-08	1.26E-09	1.41E-09	1.41E-09	1.39E-09	1.54E-09	1.54E-09	1.60E-09	1.35E-09	1.28E-09
	Respiratory inorganics	DALY	2.79E-05	2.96E-06	3.17E-06	3.17E-06	3.05E-06	3.24E-06	3.24E-06	3.30E-06	2.97E-06	2.81E-06
	Climate change	DALY	5.00E-06	3.83E-07	4.35E-07	4.64E-07	4.54E-07	6.18E-07	6.18E-07	1.10E-06	4.79E-07	4.54E-07
	Radiation	DALY	2.09E-08	2.11E-09	2.34E-09	2.34E-09	2.24E-09	2.41E-09	2.41E-09	2.82E-09	2.17E-09	2.06E-09
	Ozone layer	DALY	7.41E-10	7.24E-11	8.04E-11	8.04E-11	7.92E-11	8.77E-11	8.77E-11	1.02E-10	7.73E-11	7.32E-11
	Ecotoxicity	PAF*m2yr	3.70E+01	3.960468	4.215068	4.215068	4.046226	4.282789	4.282789	4.310816	3.954514	3.732727
Ecosystem quality	Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2.58E-01	0.026782	0.029057	0.029057	0.028046	0.030145	0.030145	0.031603	0.027278	0.025829
	Land use	PDF*m2yr	1.10E-01	0.007611	0.00812	0.00812	0.011832	0.016936	0.016936	0.017114	0.011324	0.01246
Resource depletion	Minerals	MJ surplus	1.30E+01	1.369164	1.491152	1.491152	1.422601	1.513987	1.513987	1.514327	1.381403	1.303832
	Fossil fuels	MJ surplus	1.70E+01	1.757861	1.900995	1.900995	1.841932	1.984166	1.984166	2.155124	1.795659	1.699922

3. การประเมินความสัมพัทธ์ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 18 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซื้อทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต

กระบวนการ	ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อ หน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
กระบวนการเตรียม ชิ้นงาน	ก๊าซออกซิเจน(O_2)	5,976.00	kg	2.5	14,940
	ก๊าซแอลพีจี(LPG)	1,500.00	kg	15.8	23,700
	น้ำยาหล่อเย็น	200.00	kg	72.5	14,500
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้า เครื่องจักร	146,100.00	kWh	3.6	525,960
	รวม				579,100
กระบวนการเชื่อม ประกอบ	ปริมาณลวดเชื่อม	19.10	ton	58.7	1,121,170
	ปริมาณใบหินเจียรระโน	1,653.00	kg	112	185,136
	ก๊าซออกซิเจน(O_2)	3,320.00	kg	2.5	8,300
	ก๊าซแอลพีจี(LPG)	5,325.00	kg	15.8	84,135
	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)	1,950.00	kg	13.7	26,715
	ก๊าซไนโตรเจน (N_2)	1,700.00	kg	2.22	3,774
	ก๊าซอาร์กอน (Ar)	17,050.00	kg	3.75	63,938
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้า เครื่องจักร	117,665.00	kWh	3.6	423,594
	รวม				1,916,762
กระบวนการอบคลาย เคียว	ก๊าซแอลพีจี(LPG)	22,100.00	kg	15.8	349,180
				รวม	349,180

ตารางที่ 18 (ต่อ)

กระบวนการ	ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อ หน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
กระบวนการขึงทราย	ปริมาณเม็ดเงินที่ใช้ (Grid blasting)	2.10	ton	13.8	28,980
	ทินเนอร์	880.00	kg	125	110,000
	สีรองพื้น (Inorganic Zinc coated)	3,263.50	kg	260	848,510
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	89,025.00	kWh	3.6	320,490
	รวม				1,307,980
กระบวนการทำสี	ทินเนอร์	159.60	kg	125	19,950
	ปริมาณสีที่ใช้	1,680.00	kg	260	436,800
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	26,551.00	kWh	3.6	95,584
	รวม				552,334
กระบวนการปาดผิว	น้ำยาหล่อเย็น	326.40	ton	72.5	23,664
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	350,179.00	kWh	3.6	1,260,644
	รวม				1,284,308
กระบวนการอบชุบผิว แข็ง	ก๊าซแอลพีจี (LPG)	6,330.00	kg	15.8	100,014
	ก๊าซออกซิเจน (O ₂)	2,250.00	kg	2.5	5,625
	ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia gas NH ₃)	480.00	kg	1.25	600
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	15,360.00	kWh	3.6	55,296
	รวม				161,535

ตารางที่ 18 (ต่อ)

กระบวนการ	ทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อ หน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
กระบวนการประกอบ ชิ้นส่วน	ปริมาณลวดเชื่อม	405.00	kg	58.7	23,774
	ปริมาณใบหินเจียรไน	123.00	kg	112	13,776
	ก๊าซออกซิเจน(O ₂)	360.00	kg	2.5	900
	ก๊าซอาร์กอน (Ar)	3,699.00	kg	2.21	8,175
	ก๊าซแอลพีจี(LPG)	195.00	kg	15.8	3,081
	ก๊าซไนโตรเจนเหลว(Liquid Nitrogen)	675.00	kg	2.21	1,492
	น้ำ (สำหรับการทดสอบ)	960.00	kg	20	19,200
	น้ำมันไฮดรอลิกส์	1,225.00	kg	50	61,250
	สารหล่อลื่นชนิด จาระบี	1,000.00	kg	94	94,000
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง +ไฟฟ้า เครื่องจักร	166,444.00	kWh	3.6	599,198
				รวม	805,665
กระบวนการบรรจุ	อลูมิเนียมฟอยล์	180.00	kg	310	55,800
	พลาสติกสำหรับงานแพ็ค	750.00	kg	14.5	10,875
	ตะปูขนาด 3-8 นิ้ว	185.00	kg	27	4,995
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง +ไฟฟ้า เครื่องจักร	18,186.00	kWh	3.6	65,470
				รวม	137,140

ค่าใช้จ่ายในการผลิตกับกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องโดยการประยุกต์ค่าใช้จ่าย (Cost) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยคิดเฉพาะทรัพยากรและวัสดุช่วยการผลิต และสามารถหาความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตโดยคำนวณได้ตามสมการที่ (5) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 19 ดังนี้

ตารางที่ 19 ค่าใช้จ่ายต่อเหล็ก 1 กิโลกรัมในการผลิตกับกระบวนการผลิตกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์ 1 กิโลกรัม โดยคิดเฉพาะทรัพยากรและวัสดุช่วยการผลิต

กระบวนการผลิต	ค่าใช้จ่าย			Emission kg CO ₂ eq	Cost of CO ₂ eq (Bath/kg CO ₂ eq)
	บาท	บาท/ กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ เหล็ก			
เตรียมชิ้นงาน	579,100	1.3	8.2%	1.8078967	0.73
เชื่อมประกอบ	1,916,762	2.8	27.0%	2.0537437	1.38
อบคลายเครียด	349,180	0.7	4.9%	2.1916273	0.32
ยิงทราย	1,307,980	1.9	18.4%	2.1454415	0.87
ทำสี	552,334	0.7	7.8%	2.2746061	0.30
ปาดผิว	1,284,308	2.3	18.1%	4.2486963	0.53
อบชุบผิวแข็ง	161,535	12.2	2.3%	6.5359156	1.87
ประกอบชิ้นส่วน	805,665	0.5	11.4%	2.8250387	0.16
บรรจุ	137,140	0.1	1.9%	2.6769089	0.03
รวม	7,094,002.74	22.45	100%	26.7598748	6.20

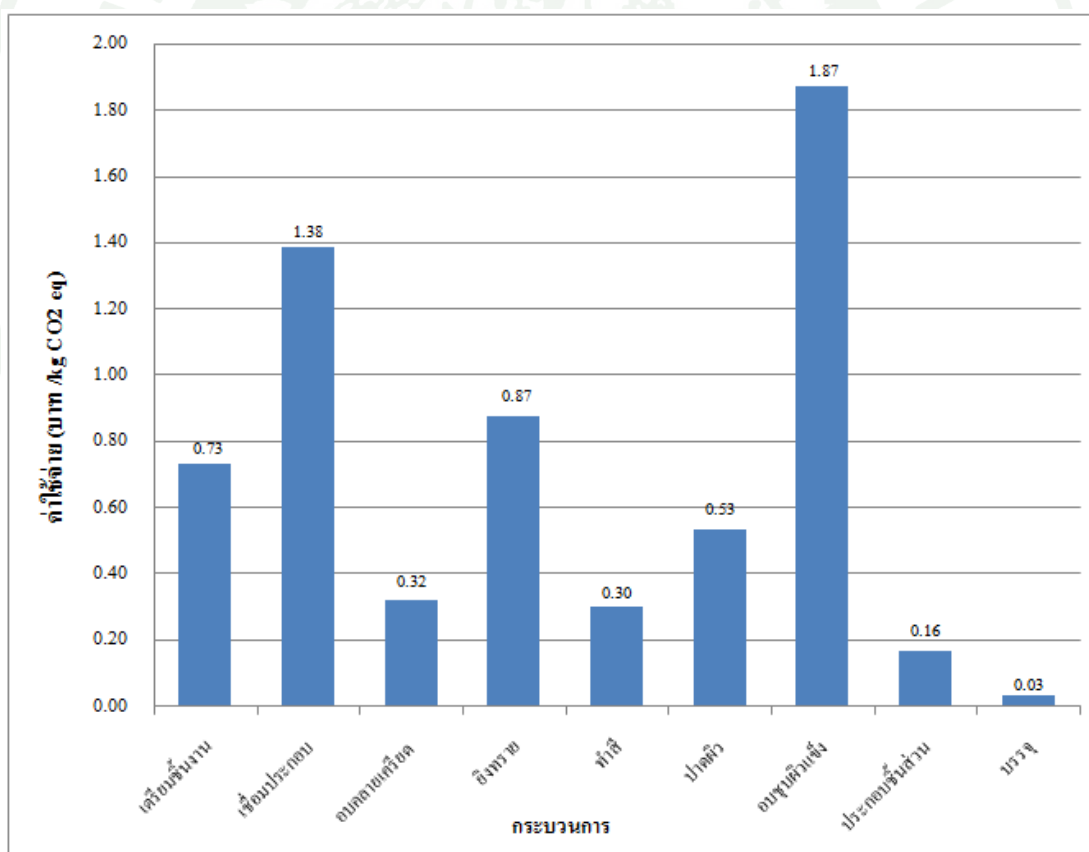
ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายปริมาณต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 1 กิโลกรัม ได้จากสมการที่ (5) โดย แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายต่อกระบวนการย่อยดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายกระบวนการเตรียมชิ้นงาน

ค่าใช้จ่ายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 1 กิโลกรัม

= (ราคาก๊าซออกซิเจน (O₂) + ราคาก๊าซแอลพีจี (LPG) + ราคาน้ำยาหล่อเย็น + ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง และไฟฟ้าเครื่องจักร) / ปริมาณรวมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หน่วย (บาท/kgCO₂ eq.)

$$\begin{aligned} \text{Cost of CO}_2 \text{ eq} &= (14,940 + 23,700 + 14,500 + 525,960) / (440 * 1.8078967) \\ &= 579,100 / (440,000 * 1.8078967) \\ &= 0.73 \text{ บาท / kgCO}_2 \text{ eq} \end{aligned}$$



ภาพที่ 53 ค่าใช้จ่ายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 1 กิโลกรัม

4. การอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่าในกระบวนการประกอบล้อร่วมกับเพลลา (Wheel & shaft) ซึ่งใช้พลังงานความร้อนในการเผาให้ล้อให้ขยายตัวเพื่อทำการสวมอัด ได้มีการใช้ก๊าซ LPG ในเตาเผา ในส่วนของกระบวนการชุบแข็งส่งผลให้มีการใช้พลังงานในส่วนของการเชื่อมเหล็กความร้อนในปริมาณที่มากขึ้นในการเผาชิ้นส่วนเครื่องจักรต่อครั้ง ซึ่งเตาเผาที่มีขนาด กว้าง ถึง 2 เมตร ยาว 2.5 เมตร และ สูง 0.5 เมตร ดังแสดงตามภาพที่ 54 ปัญหาที่เกิดขึ้นส่งผลให้ในการเผาแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้ปริมาณก๊าซ LPG ในปริมาณมากถึง 880 กิโลกรัมซึ่งเป็นปริมาณค่อนข้างสูงและมีนัยสำคัญสำหรับแนวทางลดการใช้พลังงาน จึงได้มีการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดการใช้พลังงานโดยได้นำแนวคิดตามหลักของ 3R มาเป็นแนวทางในการลดการใช้ทรัพยากรและพลังงานสำหรับในขั้นตอนการปรับปรุงในครั้งนี้ ได้ใช้หลักการของ Reduce เพื่อที่จะทำการลดการใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG และเปลี่ยนกระบวนการจากเดิมเป็นแบบใหม่โดยการอบให้ความร้อนในเตาอบแบบทรงกระบอกไนโตรเจน ดังแสดงตามภาพที่ 55 โดยใช้พลังงานไฟฟ้าขนาด 180 kW มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตร และความสูง 3 เมตร สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบอยู่ที่ 200 -220°C ใช้ระยะเวลาในการอบ 3 -5 ชั่วโมงโดยจะขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของชิ้นงานที่ทำการอบให้ความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 56



ภาพที่ 54 ให้พลังงานความร้อนกับล้อ (Wheel) ในงานสวมประกอบโดยใช้ในเตาเผาแบบเดิมก่อนปรับปรุง



ภาพที่ 55 พนักงานประกอบเตรียมการบรรจุล้อ (Wheel) ลงในภาชนะสำหรับการเตาอบไฟฟ้า
ในไตรแบบทรงกระบอกแบบใหม่หลังปรับปรุง

FURNACE CYCLE PROGRAMMING - PARAMETERS										
Cycle		Pre	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
Time	[min]	1	600	150	0	0	0	0	0	0
Temperature	[°C]	70	200	200	200	0	0	0	0	0
Temperature Tolerance	[°C]	20	15	15	10	0	0	0	0	0
Temperature Gradient	[°C/h]	0	0	50	0	0	0	0	0	0
Cooling	[°C]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QN2	[l/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QN-H3	[l/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QC02	[l/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%NH3 Indissociated	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QN2-1 (% Q NH3 T -1)	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QN-H3-1 (% Q NH3 T -1)	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QC02-1 (% Q NH3 T -1)	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 56 ค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบเตาไฟฟ้า



ภาพที่ 57 งานสวมประกอบล้อร่วมกับเพลลา



ภาพที่ 58 งานสวมประกอบล้อร่วมกับเพลลาชิ้นสุดท้าย

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อครั้งสำหรับงานประกอบสื้อร่วมกับเพลาก่อนและหลัง
ปรับปรุง

กระบวนการ	เครื่องจักร	ทรัพยากร	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อ หน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
การประกอบสื้อกับ เพลาก่อนปรับปรุง	เตาอบเชื้อเพลิง ความร้อน	ก๊าซ LPG	880	kg	15.8	13,904.00
การประกอบสื้อกับ เพลาลังปรับปรุง	เตาอบไนไตร แบบทรงกระบอก	ไฟฟ้า	720	kWh	3.6	2,592.00
ค่าใช้จ่ายที่ ลดลง (COST SAVING)						11,312.00

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนและหลังปรับปรุง

กระบวนการ	เครื่องจักร	ทรัพยากร	ปริมาณ Emission
การประกอบสื้อกับเพลาก่อน ปรับปรุง	เตาอบเชื้อเพลิงความร้อน	ก๊าซ LPG	6.5359156
การประกอบสื้อกับเพลาลัง ปรับปรุง	เตาอบไนไตรแบบทรงกระบอก	ไฟฟ้า	5.7043196

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณไฟฟ้าของเตาอบก๊าซไนโตรเจน

ขดลวดความร้อน (Heating) ที่ใช้ในเตาขนาด = 180 กิโลวัตต์
 เวลาที่ใช้ในการอบให้ความร้อน = 4 ชั่วโมง
 คิดเป็นพลังงานที่ใช้ในการอบต่อครั้ง = $4 \times 180 = 720$ กิโลวัตต์ชั่วโมง

จากการลดการใช้ทรัพยากรและพลังงานนั้นส่งผลให้ในการผลิตต่อเนื่องสำหรับกระบวนการอบชุบผิวแข็ง (Hardening Surface) สามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซ LPG ได้ถึง $880 \times 15.8 \times 4 = 55,616$ บาทต่อเดือน (โดยคิดที่งานประกอบจำนวนสัปดาห์ละครั้งและเชื้อเพลิงที่ใช้ในปริมาณ 880 กิโลกรัม ราคาต่อหน่วยที่ 15.8 บาท) คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ถึง $55,616 \times 12 = 667,392$ บาทต่อปี

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนและหลังปรับปรุง

กระบวนการผลิต	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท/กิโลกรัมเหล็ก)	Emission (kgCO ₂ eq)	Cost of CO ₂ eq (Bath/kg CO ₂ eq)
อบชุบผิวแข็ง ก่อนปรับปรุง	161,535	12.23750	6.5359156	1.87
อบชุบผิวแข็ง หลังปรับปรุง	105,919	8.024167	5.7043196	1.41
เปอร์เซ็นต์การลดลง		34.43%	12.72%	24.87%

จากตารางที่ 23 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการคำนวณด้วยโปรแกรม SimaPro7.3 ส่งผลให้มีการลดลงของปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงถึง 12.72% และค่าใช้จ่ายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 1 กิโลกรัมลดลงถึง 24.87%

แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตกับกระบวนการผลิตกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์ 1 กิโลกรัม ก่อนและหลังปรับปรุงแสดงได้ดังนี้

Cost of CO₂ eq ก่อนปรับปรุง = $12.23750 / 6.5359156 = 1.87$ บาท/kg CO₂ eq

Cost of CO₂ eq หลังปรับปรุง = $8.024167 / 5.7043196 = 1.41$ บาท/kg CO₂ eq

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อเดือนสำหรับกระบวนการอบชุบผิวแข็งก่อนและหลังปรับปรุง ดังตารางที่ 24 สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง $161,535 - 116,287 = 45,248$ บาทต่อเดือน



ตารางที่ 23 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการอบชุบผิวแข็งก่อนและหลังปรับปรุง

กระบวนการ	ทรัพยากร และวัสดุช่วยการ ผลิต	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
กระบวนการอบ ชุบผิวแข็ง (ก่อนปรับปรุง)	ก๊าซแอลพีจี(LPG)	6,330.00	kg	15.8	100,014
	ก๊าซออกซิเจน(O ₂)	2,250.00	kg	2.5	5,625
	ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia gas NH ₃)	480.00	kg	1.25	600
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	15,360.00	kWh	3.6	55,296
				รวม	161,535
กระบวนการอบ ชุบผิวแข็ง (หลังปรับปรุง)	ก๊าซแอลพีจี(LPG)	2,810.00	kg	15.8	44,398
	ก๊าซออกซิเจน(O ₂)	2,250.00	kg	2.5	5,625
	ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia gas NH ₃)	480.00	kg	1.25	600
	ไฟฟ้าหลอดไฟส่องสว่าง + ไฟฟ้าเครื่องจักร	18,240.00	kWh	3.6	65,664
				รวม	116,287

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลการวิเคราะห์กระบวนการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเหล็กตั้งแต่กระบวนการเตรียมชิ้นงาน จนผลิตสินค้าสำเร็จรูปและบรรจุ ก่อนที่จะนำผลิตส่งออกไปติดตั้งในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กชนิดต่างๆ ทำให้ทราบว่าในแต่ละขั้นตอนย่อยการผลิต มีการใช้เทคโนโลยีการผลิต และวิธีการผลิตที่ต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และในแต่ละกระบวนการย่อยจำเป็นต้องมีเครื่องมือเครื่องจักรที่ทันสมัย สามารถที่จะผลิตชิ้นส่วนตามที่ต้องการได้มาตรฐานสากล อีกทั้ง จำเป็นต้องมีทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต เพียงพอในการผลิต

สำหรับข้อมูลด้านบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียในการผลิตที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับบริษัท และกลุ่มอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาในด้านการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก จากการศึกษาพบว่ามีการใช้ทรัพยากรด้านพลังงาน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า มีค่ามากที่สุดที่ กระบวนการแปดผิว (Machining process) มีค่าเฉลี่ยที่ 350,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง/เดือน เนื่องจากมีการใช้เครื่องจักรหลากหลายชนิด และพลังงานด้านเชื้อเพลิงความร้อนชนิด ก๊าซแอลพีจี (LPG) ค่ามากที่สุดที่ กระบวนการอบคลายเครียด (Heat treatment process) ปริมาณ 22,100 กิโลกรัม /เดือน

จากผลการศึกษาและการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยการกำหนดขอบเขตแบบ Gate to Gate กรณีศึกษาการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก วิเคราะห์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro Version 7.3 ผลจากการวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1. ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัมแยกตามกระบวนการย่อย ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อประเมินโดยวิธี IPCC GWP 100a ผลจากการศึกษาพบว่า กระบวนการอบชุบผิวแข็งการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 6.54 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และมีค่าน้อยสุดที่กระบวนการเตรียมชิ้นงานที่ 1.81 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า และเมื่อเปรียบเทียบ ช่วงการได้มาซึ่ง

วัตถุดิบและช่วงการผลิตเมื่อ พบว่าช่วงการผลิตมีผลรวมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 26.76 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และขั้นตอนการได้มา ซึ่งวัตถุดิบ ที่ 1.84 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก 1 กิโลกรัมแยกตามกระบวนการย่อย เมื่อประเมินโดยวิธี ECO Indicator 99 ผลการศึกษาพบว่า ตลอดกระบวนการผลิต มีกระบวนการรอบหุบผิวแข็ง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีค่าดังนี้

- กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพ (Damage to human health) พบว่ากลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ด้านผลกระทบต่อระบบหายใจอันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ (Respiratory inorganic) ของกระบวนการรอบหุบผิวแข็ง มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 0.0000033 DALY และมีค่าผลกระทบรวมในขั้นตอนการผลิตที่ 0.0000279 DALY

- ผลกระทบต่อการคงอยู่ของสิ่งแวดล้อม (Damage to Ecosystem quality) ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้าน ผลกระทบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) ของ กระบวนการรอบหุบผิวแข็ง มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ อยู่ 4.310816 PAF*m2yr และมีค่าผลกระทบรวมในขั้นตอนการผลิตที่ 37.0 PAF*m2yr

- ผลกระทบต่อทรัพยากร (Damage to Resource depletion) ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มผลกระทบ กลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้าน การลดลงของทรัพยากรสินแร่ และซากดึกดำบรรพ์ (Minerals and Fossil fuels) ของ กระบวนการรอบหุบผิวแข็ง อยู่ที่ 1.514327 และ 2.155124 MJ surplus ตามลำดับ และมีค่าผลกระทบรวมในขั้นตอนการผลิตที่ 13.0 และ 17.0 MJ surplus ตามลำดับ

สำหรับด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น มีค่าใช้จ่ายในการผลิตกับกระบวนการผลิตกับ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์โดยคิดเฉพาะทรัพยากรและวัสดุช่วยการผลิตมี ค่าใช้จ่ายรวมต่อเดือน ที่ 1.87 บาท/ kg CO₂ eq โดยมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นมากที่สุด ที่กระบวนการเชื่อม ประกอบที่ 1.38 บาท/ kg CO₂ eq รองลงมาที่กระบวนการยิงทรายมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นต่อเดือนที่ 0.87 บาท/ kg CO₂ eq

การอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการสรุปข้อมูลขั้นต้นพบว่ากระบวนการอบหุบผิวแข็งได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทางผู้วิจัยได้ศึกษาหาแนวทางที่จะปรับปรุงการผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงการลดการใช้ทรัพยากรและพลังงานโดยประยุกต์แนวคิดหลักของ 3R มาใช้ในการลดพลังงานด้านความร้อนซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในปริมาณที่สูง จากการศึกษากระบวนการผลิตทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิตแบบเดิมที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของเตาเผาให้ความร้อนโดยใช้ก๊าซ LPG เปลี่ยนมาเป็นเตาเผาไฟฟ้าโดยขดลวดไฟฟ้าสำหรับงานประกอบล้อเข้ากับเพลาสั่งจำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนให้ชิ้นส่วนมีการขยายตัวก่อนที่จะทำการประกอบแบบสวมอัด จากการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก๊าซ LPG กับพลังงานไฟฟ้า พบว่าพลังงานความร้อนโดยการเผาไหม้ก๊าซ LPG ซึ่งเป็นขั้นตอนการผลิตแบบเดิม หลังจากการปรับปรุงการเปลี่ยนกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 34.43% และการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงถึง 12.72% ค่าใช้จ่ายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 1 กิโลกรัมลดลงถึง 24.87%

นอกจากนี้กระบวนการเชื่อมและกระบวนการยิงทราย มีนัยสำคัญในการนำมาซึ่งการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแผนพัฒนาเพื่อลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการลดการใช้สารวัตถุอันตรายเข้าและขาออก การลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้ทรัพยากร วัสดุช่วยเหลือ และ พลังงานต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ทำขึ้นภายใต้กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ผู้ทำการศึกษา ได้คำนึงถึงบัญชีรายการข้อมูลเป็น บางช่วงเวลาในเวลาที่กำหนด ส่งผลให้ ข้อมูลด้านบัญชีรายการการใช้ทรัพยากร อาจมีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลไปยังข้อมูลการประเมินผลการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และ กระบวนการต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลที่เที่ยงตรง ควรจะใช้ระยะเวลาศึกษาให้มากกว่านี้
2. เนื่องจากข้อมูลของวัสดุ โดยเฉพาะเหล็กที่ใช้จริง ไม่มี ในฐานข้อมูล ของโปรแกรมสำเร็จรูป Simapro ซึ่งเป็น ของต่างประเทศ ดังนั้นควรมีการปรับปรุงและพัฒนาโดยการเก็บข้อมูล

ด้านวัสดุของประเทศไทย เพื่อให้การวิเคราะห์และการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ให้มีประสิทธิภาพและแม่นยำมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ผลของการวิจัยและแนวโน้มโดยรวมค่อนข้างอยู่ในระดับที่เชื่อถือได้



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จิตติ นิ่มนุช. 2554. การสร้างแบบจำลองสังคมสีเขียวจากการนำผลของงานประเมินวัฏจักรชีวิต มาประยุกต์ใช้เพื่อการผลิต บริการ และการบริโภคที่ยั่งยืน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธนิศา แซ่ตัน. 2552. การประเมินวัฏจักรชีวิตทางสิ่งแวดล้อมของ กระดาษพิมพ์เขียนที่ผลิตจากเยื่อกระดาษคราฟท์ยูคาลิปตัส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นุชจรี หงศิริ. 2553. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์คอนเดนเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พัทธนันท์ ไชยสุภะรัชต์. 2556. การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment - LCA) กรมควบคุมมลพิษ www.pcd.go.th.

พงษ์วิภา หล่อสมบุญ. 2547. การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม, สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.

ฟ้าคุณุฎี พงษ์พิมาย. 2552. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เลนส์แว่นตาพลาสติก วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุวัฒนา แดงไทย . 2554. การประเมินวัฏจักรชีวิตของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบอินเวอร์เตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

หทัยชนก ศรีเล็ก . 2552. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พรมทอมือ ตั้งแต่กระบวนการย้อมจนถึงกระบวนการตกแต่งสำเร็จ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วรยุทธ สายบัวตรง. 2551. การศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วสันต์ พาราทิพย์เจริญชัย. 2554. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับ
ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่อภูมิเนี่ยมเส้นหน้า
ตัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วีราภรณ์ คารมณ . 2552. การศึกษาการประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก. 2554. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.
พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

Bergstrom, E. A. . 2010. **Energy use and emission strategies for structure steel fabrication: A**
case study. Master thesis, Colorado State University Fort Collins, Colorado.

Consultants, R. 2010. **SimaPro 7 Tutorial Manual.**

Chang, Y., R.J. Ries and Y. Wang. 2011. The Quantification of the Embodied Impacts of
Construction Projects on Energy, Environment, and Society Based on I-O Lca. **Energy**
Policy.

Durucan, S. 2004. Mining Life Cycle Modelling: A Cradle-to-Gate Approach to Environmental
Management in the Minerals Industry. **Journal of Cleaner Production.**

Fang, K., N. Uhan, F. Zhao and J.W. Sutherland. 2011. A New Approach to Scheduling in
Manufacturing for Power Consumption and Carbon Footprint Reduction. **Journal of**
Manufacturing Systems. 30 (4): 234-240.

Gaudreault, C., R. Samson and P. Stuart. 2009. Implications of Choices and Interpretation in
Lca for Multi-Criteria Process Design: De-Inked Pulp Capacity and Cogeneration at a
Paper Mill Case Study. **Journal of Cleaner Production.** 17 (17): 1535-1546.

Korol, B. D. 2013. Life Cycle Assessment of Steel Production in Poland: A Case Study.

Journal of Cleaner Production.

Menoufi, K., A. Castell, L. Navarro, G. Pérez, D. Boer and L.F. Cabeza. 2012. Evaluation of the Environmental Impact of Experimental Cubicles Using Life Cycle Assessment: A Highlight on the Manufacturing Phase. **Applied Energy**. **92** (0): 534-544.

Millman, L.R. and J. W. Giancaspro. 2012. **Environmental Evaluation of Abrasive Blasting with Sand, Water, and Dry Ice**. Master thesis, University of Miami, United States.

Salonitis, K. and G. Tsoukantas . 2006. **Environmental Impact Assessment of Grind-Hardening Process**. Master thesis, University of Patras.

Yuttitham, M., S.H. Gheewala and A. Chidthaisong. 2011. Carbon Footprint of Sugar Produced from Sugarcane in Eastern Thailand. **Journal of Cleaner Production**. **19** (17-18): 2119-2127.





ภาคผนวก ก
ผลจากการวิเคราะห์โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro7.3

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการขนส่ง

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg Transportation	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	1.8387435

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการเตรียมชิ้นงาน

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 01-steel Preparation	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	1.8078967

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการเชื่อม ประกอบ

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 02-steel fabrication	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	2.0537437

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการอบเคลือบเคีรียด

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 03-steel Heat treatment	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	2.1916273

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการขึงทราย

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 04- Sand blasting	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	2.1454415

ตารางผนวกที่ ก6 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการทำสี

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 05- Painting	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	2.2746061

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการแปดผิว

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 06- Machining	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	4.2486963

ตารางผนวกที่ ๓ ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการอบชุบผิวแข็ง

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 07-Hardening surface	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	6.5359156

ตารางผนวกที่ ก9 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการประกอบชิ้นส่วน

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 08-Assembly	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	2.8250387

ตารางผนวกที่ ก10 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี IPCC GWP 100a
กระบวนการบรรจุ

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 09-Packing	
Method:	IPCC 2007 GWP 100a V1.02	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	2.6769089

ตารางผนวกที่ ก11 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99
กระบวนการเตรียม ชิ้นงาน

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 01-Preparation	
Method:	Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
Carcinogens	DALY	2.86E-07
Respiratory organics	DALY	1.26E-09
Respiratory inorganics	DALY	2.96E-06
Climate change	DALY	3.83E-07
Radiation	DALY	2.11E-09
Ozone layer	DALY	7.24E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	3.9604677
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.02678184
Land use	PDF*m2yr	0.007610594
Minerals	MJ surplus	1.3691644
Fossil fuels	MJ surplus	1.7578611

ตารางผนวกที่ ก12 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธี Eco-indicator 99
กระบวนการเชื่อมประกอบ

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 02-fabrication	
Method:	Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E	
Indicator:	Characterization	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
Carcinogens	DALY	3.06E-07
Respiratory organics	DALY	1.41E-09
Respiratory inorganics	DALY	3.17E-06
Climate change	DALY	4.35E-07
Radiation	DALY	2.34E-09
Ozone layer	DALY	8.04E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4.2150677
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.029056965
Land use	PDF*m2yr	0.008120408
Minerals	MJ surplus	1.4911518
Fossil fuels	MJ surplus	1.9009946

ตารางผนวกที่ ก13 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99
กระบวนการอบเคลือบเครื่อง

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 03- Heat treatment	
Method:	Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
Carcinogens	DALY	3.06E-07
Respiratory organics	DALY	1.41E-09
Respiratory inorganics	DALY	3.17E-06
Climate change	DALY	4.64E-07
Radiation	DALY	2.34E-09
Ozone layer	DALY	8.04E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4.2150677
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.029056965
Land use	PDF*m2yr	0.008120408
Minerals	MJ surplus	1.4911518
Fossil fuels	MJ surplus	1.9009946

ตารางผนวกที่ ก14 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99
กระบวนการยิงทราย

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 04- Sand blasting	
Method:	Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E	
Indicator:	Characterization	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
Carcinogens	DALY	2.95E-07
Respiratory organics	DALY	1.39E-09
Respiratory inorganics	DALY	3.05E-06
Climate change	DALY	4.54E-07
Radiation	DALY	2.24E-09
Ozone layer	DALY	7.92E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4.0462263
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.028046097
Land use	PDF*m2yr	0.011832102
Minerals	MJ surplus	1.4226014
Fossil fuels	MJ surplus	1.8419323

ตารางผนวกที่ ก15 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99
กระบวนการทำสี

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 05- Painting	
Method:	Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E	
Indicator:	Characterization	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
Carcinogens	DALY	3.19E-07
Respiratory organics	DALY	1.50E-09
Respiratory inorganics	DALY	3.29E-06
Climate change	DALY	4.82E-07
Radiation	DALY	2.41E-09
Ozone layer	DALY	8.57E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4.37E+00
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.030287838
Land use	PDF*m2yr	0.013687554
Minerals	MJ surplus	1.5320419
Fossil fuels	MJ surplus	1.9913589

ตารางผนวกที่ ก16 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99
กระบวนการปาดผิว

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 06- Machining	
Method:	Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
Carcinogens	DALY	3.14E-07
Respiratory organics	DALY	1.54E-09
Respiratory inorganics	DALY	3.24E-06
Climate change	DALY	6.18E-07
Radiation	DALY	2.41E-09
Ozone layer	DALY	8.77E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4.2827891
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.030144914
Land use	PDF*m2yr	0.016936136
Minerals	MJ surplus	1.5139867
Fossil fuels	MJ surplus	1.9841655

ตารางผนวกที่ ก17 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99
กระบวนการอบชุบผิวแข็ง

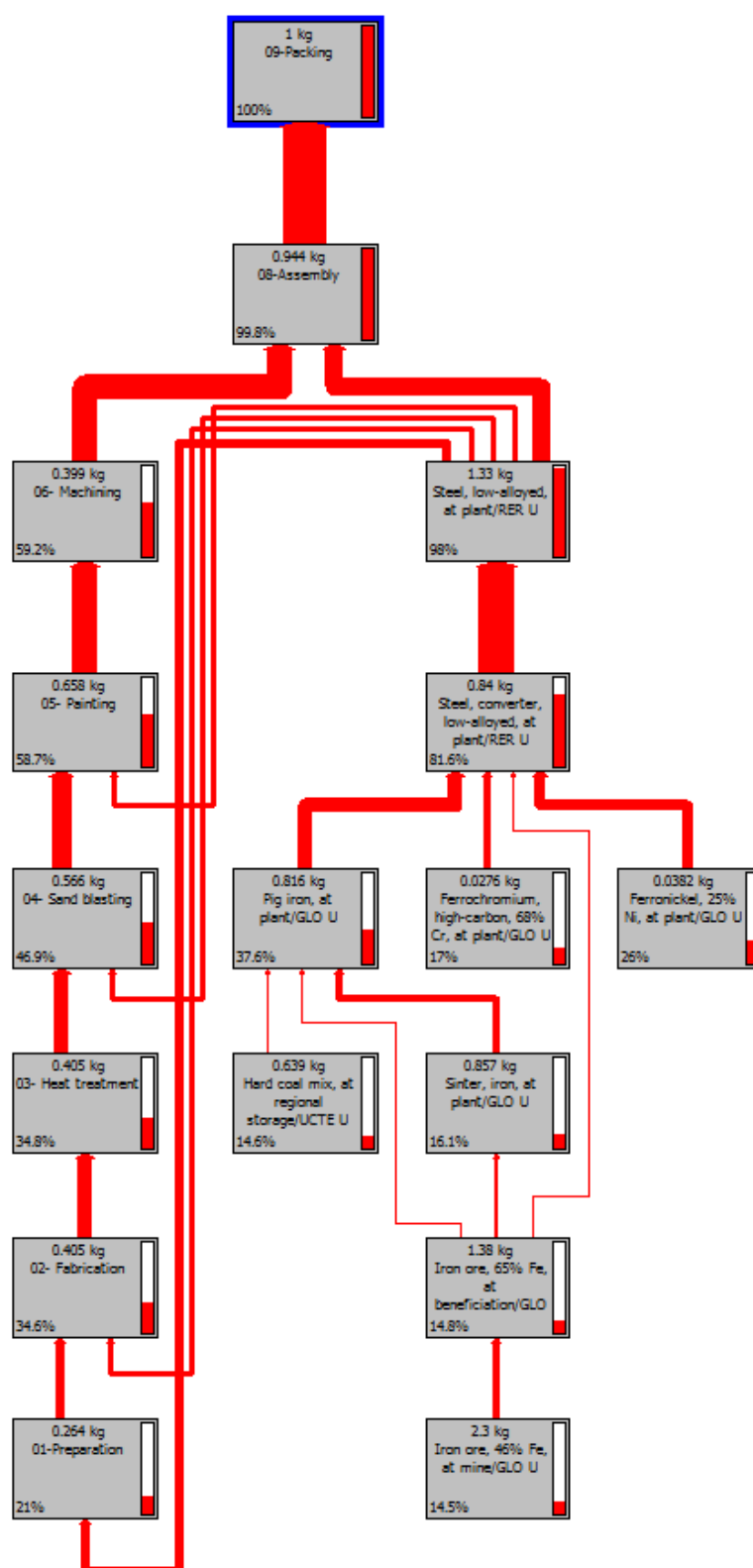
Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 07-Hardening surface	
Method:	Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E	
Indicator:	Characterization	
Unit:	%	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
Carcinogens	DALY	3.22E-07
Respiratory organics	DALY	1.60E-09
Respiratory inorganics	DALY	3.30E-06
Climate change	DALY	1.10E-06
Radiation	DALY	2.82E-09
Ozone layer	DALY	1.02E-10
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4.3108162
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.031603381
Land use	PDF*m2yr	0.017114486
Minerals	MJ surplus	1.5143273
Fossil fuels	MJ surplus	2.155124

ตารางผนวกที่ ก18 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธี Eco-indicator 99
กระบวนการประกอบชิ้นส่วน

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 08-Assembly	
Method:	Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E	
Indicator:	Characterization	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
Carcinogens	DALY	2.88E-07
Respiratory organics	DALY	1.35E-09
Respiratory inorganics	DALY	2.97E-06
Climate change	DALY	4.79E-07
Radiation	DALY	2.17E-09
Ozone layer	DALY	7.73E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	3.95E+00
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.027278157
Land use	PDF*m2yr	0.011324376
Minerals	MJ surplus	1.3814025
Fossil fuels	MJ surplus	1.7956593

ตารางผนวกที่ ก19 ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 99
กระบวนการบรรจุ

Calculation:	Analyze	
Results:	Impact assessment	
Product:	1 kg 09-Packing	
Method:	Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E	
Indicator:	Characterization	
Skip categories:	Never	
Exclude infrastructure processes:	Yes	
Exclude long-term emissions:	Yes	
Sorted on item:	Impact category	
Sort order:	Ascending	
Impact category	Unit	Total
Carcinogens	DALY	2.72E-07
Respiratory organics	DALY	1.28E-09
Respiratory inorganics	DALY	2.81E-06
Climate change	DALY	4.54E-07
Radiation	DALY	2.06E-09
Ozone layer	DALY	7.32E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	3.7327266
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.0258285
Land use	PDF*m2yr	0.012459564
Minerals	MJ surplus	1.3038315
Fossil fuels	MJ surplus	1.6999222



ภาพผนวกที่ ก1 ความสัมพันธ์ของการผลิตเครื่องจักรกล 1 กิโลกรัม ประเมินด้วยวิธี

Eco -Indicator 99

ตารางผนวกที่ ก20 แสดงค่าจากการกำหนดบทบาท (Characterization) จากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro7.3ของแต่ละขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล

Impact category	Unit	Total	Preparation	Fabrication	Heat treatment	Sand blasting	Painting	Machining	Hardening surface	Assembly	Packing
Carcinogens	DALY	0.0000027	0.000000286	0.000000306	0.000000306	0.000000295	0.000000314	0.000000314	0.000000322	0.000000288	0.000000272
Respiratory organics	DALY	1.28E-08	1.26E-09	1.41E-09	1.41E-09	1.39E-09	1.54E-09	1.54E-09	1.6E-09	1.35E-09	1.28E-09
Respiratory inorganics	DALY	0.0000279	0.00000296	0.00000317	0.00000317	0.00000305	0.00000324	0.00000324	0.0000033	0.00000297	0.00000281
Climate change	DALY	0.000005	0.000000383	0.000000435	0.000000464	0.000000454	0.000000618	0.000000618	0.0000011	0.000000479	0.000000454
Radiation	DALY	2.09E-08	2.11E-09	2.34E-09	2.34E-09	2.24E-09	2.41E-09	2.41E-09	2.82E-09	2.17E-09	2.06E-09
Ozone layer	DALY	7.41E-10	7.24E-11	8.04E-11	8.04E-11	7.92E-11	8.77E-11	8.77E-11	1.02E-10	7.73E-11	7.32E-11
Ecotoxicity	PAF*m2yr	37	3.960468	4.215068	4.215068	4.046226	4.282789	4.282789	4.310816	3.954514	3.732727
Acidification/Eutrophication	PDF*m2yr	0.258	0.026782	0.029057	0.029057	0.028046	0.030145	0.030145	0.031603	0.027278	0.025829
Land use	PDF*m2yr	0.11	0.007611	0.00812	0.00812	0.011832	0.016936	0.016936	0.017114	0.011324	0.01246
Minerals	MJ surplus	13	1.369164	1.491152	1.491152	1.422601	1.513987	1.513987	1.514327	1.381403	1.303832
Fossil fuels	MJ surplus	17	1.757861	1.900995	1.900995	1.841932	1.984166	1.984166	2.155124	1.795659	1.699922

ตารางผนวกที่ ก21 แสดงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Single indicator) สำหรับ 3 กลุ่มเป้าหมายหลัก จากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro7.3ของแต่ละขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล

Environmental damage	mPt	Preparation	Fabrication	Heat treatment	Sand blasting	Painting	Machining	Hardening surface	Assembly	Packing
Human health	1465.1	123.7	132.9	133.9	129.1	139.1	232.8	251.5	165.6	156.5
Ecosystem quality	426.9	30.1	40.1	40.1	38.8	42.1	69.3	69.7	49.7	47.0
Resource depletion	1299.3	103.9	121.3	121.3	116.7	126.0	207.6	213.7	148.5	140.3

ตารางผนวกที่ ก22 แสดงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 11ประเภท (Single indicator) จากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro7.3ของแต่ละขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรกล

Impact category	Unit	Preparation	Fabrication	Heat treatment	Sand blasting	Painting	Machining	Hardening surface	Assembly	Packing
Total	Pt	0.25771442	0.29433345	0.29531678	0.28464027	0.3071912	0.50965761	0.53484377	0.36380288	0.34387459
Carcinogens	Pt	0.00980436	0.010375243	0.010375243	0.010018288	0.010838001	0.017855054	0.018095621	0.012818058	0.012103688
Resp. organics	Pt	4.31E-05	4.78E-05	4.78E-05	4.71E-05	5.10E-05	8.40E-05	8.59E-05	5.91E-05	5.60E-05
Resp. inorganics	Pt	0.10067768	0.10766114	0.10766114	0.10348281	0.11180174	0.18418767	0.18629799	0.13234863	0.12499436
Climate change	Pt	0.013119758	0.014775116	0.015758446	0.01542419	0.016355639	0.030520856	0.046826207	0.020306921	0.019241387
Radiation	Pt	7.24E-05	7.93E-05	7.93E-05	7.61E-05	8.19E-05	0.000134925	0.000148805	9.61E-05	9.12E-05
Ozone layer	Pt	2.48E-06	2.73E-06	2.73E-06	2.69E-06	2.91E-06	4.79E-06	5.29E-06	3.39E-06	3.21E-06
Ecotoxicity	Pt	0.02769159	0.036839691	0.036839691	0.035364018	0.038219762	0.062965108	0.063210065	0.04536206	0.042816172
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.001872586	0.002539579	0.002539579	0.002451229	0.002647157	0.004361056	0.004488526	0.003114301	0.002946529
Land use	Pt	0.000532133	0.000709724	0.000709724	0.001034126	0.001196292	0.00197083	0.001986418	0.001197259	0.001284802
Minerals	Pt	0.054424286	0.053323588	0.053323588	0.050872225	0.054785817	0.090256838	0.09026902	0.064674784	0.061041595
Fossil fuels	Pt	0.049474012	0.067979566	0.067979566	0.065867499	0.071210995	0.11731648	0.12342995	0.083822252	0.079295684



ตารางผนวกที่ ข1 คุณสมบัติเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต

กลุ่มเครื่องจักร	ชนิด	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน	กิโลวัตต์ (kW)
เครื่องตัด	CUTTING	CNC PLASMA CUTTING MACHINE	4	30
เครื่องตัด	CUTTING	HACK SWA MACHINE	4	2.2
เครื่องตัด	CUTTING	FIBER CUTTING MACHINE	8	2
เครื่องตัด	CUTTING	SHEAR CUTTING	1	7.5
เครื่องม้วน	ROLLING	ROLLING MACHINE	1	7.5
เครื่องกดตรง	PRESSING	HYDRAULIC PRESS MACHINE	1	5.5
เครื่องเชื่อม	WELDING	ARC WELDING MACHINE 5.3 kVA	50	-
เครื่องเชื่อม	WELDING	AC-DC TIG/MMA WELDING 7.5 kVA	35	-
เครื่องเชื่อม	WELDING	AUTOMATIC WELDING MACHINE	2	9
เครื่องอัดอากาศ	AIR COMPRESSOR	TURBO-AIR 2020	1	187/298
เครื่องอัดอากาศ	AIR COMPRESSOR	TURBO-AIR 3000	1	298/597
เครื่องกลึง	LATHE	NC HORIZ. LATHE MAZAK INTEGREX 410H	1	26
เครื่องกลึง	LATHE	NC HORIZ. LATHE MAZAK INTEGREX 650H	1	45
เครื่องกลึง	LATHE	MICRO CUT 52HTL	1	15
เครื่องกลึง	LATHE	NC HORIZ. LATHE MIND 1500 SL70A	1	26
เครื่องกลึง	LATHE	NC HORIZ. LATHE MAZAK NEXUS 350MYX1500	1	30
เครื่องกลึง	LATHE	VERTICAL MILLING VTL-2000	1	11/15
เครื่องกลึง	LATHE	HONOR SEIKI VL 86C HORIZ.CENTER	1	7.5
เครื่องกัดผิว	HORIZ.	BURKHARDT+WEBER	1	37
เครื่องกัดผิว	HORIZ.	HORIZ.CENTER MAZAK1 FH10800	1	37

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

กลุ่มเครื่องจักร	ชนิด	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน	กิโลวัตต์ (kW)
เครื่องกัดผิว	HORIZ.	HORIZ.CENTER MAZAK1 FH10800	1	37
เครื่องกัดผิว	HORIZ.	HORIZ.CENTER MAZAK1 FH10800	1	37
เครื่องกัดผิว	HORIZ.	HORIZ.CENTER MAZAK1 FH10800	1	37
เครื่องกัดผิว	BORING	PAMA ACC 152-330	1	30
เครื่องกัดผิว	BORING	NC BORING MACHINE TOS WHN13	1	37
เครื่องกัดผิว	BORING	BORING MACHINE CASTEL GREEN	1	22-29
เครื่องกัดผิว	BORING	NC BORING MACHINE PAMA Y3000	1	30
เครื่องกัดผิว	BORING	NC BORING MACHINE PAMA AC140	1	30
เครื่องกัดผิว	BORING	PAMA SPEEDRAM 1000	1	46
เครื่องกัดผิว	BORING	NC BORING MACHINE CME MQ12000	1	37
เครื่องกัดผิว	BORING	NC BORING MACHINE CME MQ12000	1	37
เครื่องกัดผิว	BORING	NC BORING MACHINE TITAN Y4600	1	71
เครื่องกัดผิว	BORING	NC BORING MACHINE PAMA Y5000	1	100
เครื่องกัดผิว	BORING	PAMA SPEEDRAM 2000 - Y5000	1	91
เครื่องกัดผิว	BORING	PAMA SPEEDRAM 2000 - Y4000	1	91
เครื่องกัดผิว	BORING	PAMA SPEEDRAM 2000 - Y4000	1	91
เครื่องกัดผิว	DUB.COLUMN	HARTFORD HSA-6340 VW	1	22/35
เครื่องกัดผิว	DUB.COLUMN	HARTFORD HSA-3210	1	22/26
เครื่องกัดผิว	DUB.COLUMN	FOUR STAR	1	112
		NC VERTICAL MILLING MACHINE		
เครื่องกัดผิว	MILLING	HARTFORD 800S/A	1	7.5
		NC VERTICAL MILLING MACHINE		
เครื่องกัดผิว	MILLING	KAFO	1	7.5
เครื่องกัดผิว	MILLING	VERT. MILL.MACH. KLOPP	1	22

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

กลุ่มเครื่องจักร	ชนิด	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน	กิโลวัตต์ (kW)
เครื่องกัดผิว	MILLING	NC BORING MACHINE CME FS1	1	19
เครื่องบาลานซ์	BALANCING	BALANCING CEMB	1	13
เครื่องเจียรไน	GRINDING	NC GRINDING MACHINE GIORIA	1	22



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างวัสดุช่วยการผลิตและของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต



ภาพผนวกที่ ค1 แก๊ซออกซิเจน(O_2) ที่ใช้สำหรับกระบวนการตัด



ภาพผนวกที่ ค2 เศษเหล็กชนิดกากตะกอนจากการตัด (Steel Slag)



ภาพผนวกที่ ค3 เศษเหล็กเหลือจากการตัด (Scrap Steel)



ภาพผนวกที่ ค4 เศษใบหินขัด เจียร (Grinding disc) ที่ใช้งานจากกระบวนการเชื่อม



ภาพผนวกที่ ค5 เศษเหล็กชนิดเหล็กคาร์บอน (Scrap steel) จากการตัดและงานเชื่อม



ภาพผนวกที่ ค6 แก๊สแอลพีจี (LPG) ใช้สำหรับกระบวนการอบคลายเคียวและอบชุบแข็ง



ภาพผนวกที่ ค7 ปริมาณฝุ่นจากหลังใช้งานในกระบวนการย้อมทราย



ภาพผนวกที่ ค8 บรรจุภัณฑ์สีที่ใช้งานแล้วในกระบวนการทำสี



ภาพผนวกที่ ค9 เศษเหล็กจากการปาดผิวชิ้นงาน (Turning Scrap)



ภาพผนวกที่ ค10 ปริมาณเศษเหล็กจากการปาดผิวชิ้นงาน (Turning Scrap) รอกการจัด



ภาพผนวกที่ ค11 น้ำหล่อเย็นสำหรับหล่อลื่นและระบายความร้อนในกระบวนการปาดผิว



ภาพผนวกที่ ค12 แก๊สแอมโมเนียสำหรับกระบวนการอบชุบแข็งผิวของโลหะ



ภาพผนวกที่ ค13 ไนโตรเจนเหลวใช้ในงานสวมประกอบในกระบวนการประกอบชิ้นส่วน



ภาพผนวกที่ ค14 ระบบไฮดรอลิกส์สำหรับงานทดสอบเครื่องจักรหลังการประกอบ



ตารางผนวกที่ 1 บัญชีรายการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ของกระบวนการผลิตเครื่องจักรกล
สำหรับอุตสาหกรรมเหล็ก

ชนิดยานพาหนะ	จุดขนส่ง	ระยะ ทาง km	ปริมาณ ขนส่ง ต้น	ปริมาณการ ขนส่งหน่วย ต้น-กิโลเมตร (tkm)	ที่มาของข้อมูลระยะทาง
เรือแบบbulk	ท่าเรือจาก ประเทศจีน- แหลมฉบัง	4172	463	1931639	www.Searates.com
รถตู้บรรทุกพ่วง18 ล้อน้ำหนักบรรทุก สูงสุด32 ตัน	แหลมฉบัง- โรงงานผลิต	824	37	30739	Maps.google
รถกระบะบรรทุกพ่วง22 ล้อน้ำหนักบรรทุก สูงสุด32 ตัน	แหลมฉบัง- โรงงานผลิต	370	156	57695	Maps.google
รถกระบะบรรทุก4 ล้อขนาดเล็กน้ำหนัก บรรทุกสูงสุด7 ตัน	ผู้ผลิตใน ประเทศ- โรงงานผลิต	465	16	7587	Maps.google
รถกระบะบรรทุก6 ล้อขนาดเล็กน้ำหนัก บรรทุกสูงสุด8.5 ตัน	ผู้ผลิตใน ประเทศ- โรงงานผลิต	1080	32	34071	Maps.google
รถกระบะบรรทุก10 ล้อน้ำหนักบรรทุก สูงสุด16 ตัน	ผู้ผลิตใน ประเทศ- โรงงานผลิต	891	29	25985	Maps.google



ภาคผนวก จ

ค่า Emission Factor ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ตารางผนวกที่ จ1 ค่า Emission Factor ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

รายการ	ค่า EF(Kg Co2 eq./ หน่วย)	แหล่งอ้างอิง EF
เหล็กแผ่น	1.5143	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
สีรองพื้น(IorganicZince coated)	1.78	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
ไม้ (Wood)	0.0489	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
พลาสติกสำหรับงานแพ็ค	0.5751	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
สี (Alkyd paint)	1.78	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
ลวดเชื่อม(Copper wire)	1.9568	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
เม็ดกริด (Siliga Sand)	0.1427	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
น้ำยาหล่อเย็น	0.08	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
น้ำมัน ไฮดรอลิกส์	0.8319	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
น้ำ	0.02753	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
ทินเนอร์	1.78	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
ก๊าซออกซิเจน (O2)	0.469	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
ก๊าซไนโตรเจน (N2)	0.497	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia gas NH3)	0.097	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
ก๊าซแอลพีจี (LPG)	0.4122	Thai national database
ไฟฟ้า	0.6093	Thai national database
รถกระบะบรรทุก 4 ล้อขนาดเล็ก น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน วิ่งแบบ ปกติ 100% Loading	0.1402	Thai national database
รถกระบะบรรทุก 6 ล้อขนาดเล็ก น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 8.5 ตัน วิ่ง แบบสมบุกสมบัน 50% Loading	0.1435	Thai national database
รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ น้ำหนัก บรรทุกสูงสุด 16 ตัน วิ่งแบบ สมบุกสมบัน 75% Loading	0.0835	Thai national database



ตารางผนวกที่ ๑1 ปริมาณวัตถุดิบสารขาเข้า

อันดับที่	รายการวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการ	ปริมาณที่ใช้	หน่วย

ตารางผนวกที่ ๑2 ปริมาณวัตถุดิบสารขาออก

อันดับที่	รายการวัตถุดิบสารขาออก	ปริมาณที่ใช้	หน่วย

ตารางผนวกที่ ๓ ปริมาณของเสีย

อันดับที่	รายการปริมาณของเสีย	ปริมาณที่ใช้	หน่วย

ตารางผนวกที่ ๔ ปริมาณทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต

อันดับที่	รายการทรัพยากร และวัสดุช่วยการผลิต	ปริมาณที่ใช้	หน่วย

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	พินิจ เพื่องมลเวช
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 กันยายน 2524
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จ.ขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งปัจจุบัน	พนักงานบริษัทเอกชน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ดานิลี่จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-