

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการ “การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม” มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory) การใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าและศึกษาวิจัยผลกระทบของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ การทำเหมือง การผลิต และการขนส่ง ไปถึงมือผู้จำหน่าย การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงบวกจากการนำกากของเสียและกากของเสียอันตรายไปรีไซเคิลใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์ ตลอดจนการนำข้อมูลวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ไปทดลองจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 เพื่อเป็นการส่งเสริมให้เกิดการศึกษาวิจัยในด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ขึ้นในประเทศไทย และเอื้อประโยชน์ให้ภาครัฐ นักวิชาการ และกลุ่มอุตสาหกรรม มีข้อมูลบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษซึ่งสามารถใช้เป็นฐานข้อมูล (background database) ในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ และเพื่อการเตรียมพร้อมรับนโยบายสินค้าควบคุมของสหภาพยุโรปต่อไป

วิธีการศึกษา

คณะผู้วิจัยใช้ระเบียบวิธีวิจัยตามชุดมาตรฐาน ISO 14040: การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วยการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition – ISO 14040) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis – ISO 14041, ISO/TR 14049) การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment – ISO 14042, ISO/TR 14047) และการแปลผล (Life Cycle Interpretation – ISO 14043)

ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ที่นำมาศึกษา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และประเภท 1/2 แบบไม่บรรจุถุงและแบบบรรจุถุงขนาด 50 กิโลกรัม กำหนดหน่วยการทำงาน (functional unit) และปริมาณอ้างอิง (reference flow) เท่ากับ 1,000 กิโลกรัม ข้อมูลที่ใช้สำหรับการศึกษานี้เป็นข้อมูลการผลิตของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ 2 โรงงานในระยะเวลา 2 ปี คือ พ.ศ. 2544 ถึง 2545

ผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางที่นำมาศึกษา ได้แก่ เหล็กแท่งยาว (Billet) ซึ่งผลิตจากกระบวนการหลอมด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า โดยมีวัตถุดิบเป็นเศษเหล็ก (scrap) ภายในประเทศร้อยละ 100 กำหนดหน่วยการทำงานคือ ผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลาง ประเภทเหล็กแท่งยาว (ขนาดกว้าง 3 นิ้วหนา 3 นิ้ว ยาว 80 เซนติเมตร) ปริมาณ 1 กิโลกรัม ข้อมูลที่ใช้สำหรับการศึกษานี้เป็นข้อมูลการ

ผลิตของโรงงาน 1 โรงงานในช่วงเดือนมกราคม–มีนาคม 2546 (รวม 3 เดือน) ประกอบกับข้อมูล การตรวจวัดที่โรงงานจริงในเดือนมิถุนายน 2546

สำหรับผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ กำหนดขอบเขตของระบบประกอบด้วย 12 กระบวนการย่อย (unit process) ได้แก่ 1) การทำเหมืองหินปูน 2) การทำเหมืองหินดินดาน 3) การบดย่อยและทำ กองวัตถุดิบผสม 4) การเตรียมลิคไนต์ 5) การเผาทำปูนเม็ด 6) การนำมาบดเป็นผง 7) การบรรจุ ปูนถุง 8) การบรรจุลงรถ 9) การผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบสายส่งในโรงงาน 10) ระบบผลิตน้ำ และปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบหล่อเย็น 11) การนำยิปซัมสังเคราะห์มาทดแทนวัตถุดิบ และ 12) การผลิตถุงปูน ทั้งนี้ ไม่รวมขั้นตอนการสร้างโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ การทำเหมืองวัตถุดิบที่นำเข้า จากต่างประเทศ และการขนส่ง การเกิดมลพิษ SO_x , NO_x และฝุ่นละออง จากการทำเหมืองใน ประเทศ การใช้งานของผู้บริโภค และการจัดการซากผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้กลายเป็น โครงสร้างของอาคารและมีอายุการใช้งานนาน

การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภท อาศัยแหล่งข้อมูลปฐม ภูมิที่เก็บรวบรวมมาจากโรงงานและข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชัน 5.1 และเอกสารวิชาการอื่นๆ โดยมีคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขา ออกจากกระบวนการย่อย ซึ่งรวมถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ กากของเสีย by-products ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และมลพิษที่ปล่อยออกสู่อากาศ ได้แก่ SO_x , NO_x และฝุ่นละออง

ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นการตี ความหรือแปลงข้อมูลที่ได้จากการจัดทำบัญชีรายการมาอยู่ในรูปของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม คณะผู้วิจัยใช้วิธี CML 2 baseline 2000 และ Eco-Indicator 99 ในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชัน 5.1 โดยแบ่งผลกระทบออกเป็น 6 กลุ่ม คือ 1) การทำให้โลกร้อน (kg of CO_2 equivalent / kg emission) 2) การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (kg of CFC_{11} equivalent/ kg emission) 3) การ ออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี (kg of C_2H_2 equivalent / kg emission) 4) การก่อให้เกิด ความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (kg of SO_2 equivalent / kg emission) 5) ภาวะการเพิ่มขึ้นของ ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (kg of PO_4 equivalent / kg emission) และ 6) การใช้ที่ดิน (หน่วย $PDF \cdot m^2 \cdot yr$)

จากนั้น จึงนำผลการศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์มาจัดทำฉลากเขียว ประเภทที่ 3 ตามแบบของ Norwegian Environmental Product Declaration ของบริษัท Norcem Industry Cement

การศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการนำกากของเสีย มาทดแทนการใช้เชื้อเพลิง และการนำยิปซัมสังเคราะห์ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้า

มาทดแทนยิปซัมทั่วไปสำหรับกระบวนการบดย่อยซีเมนต์ ด้วยวิธี CML 2 baseline 2000 โดยแบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

- 1) ทำการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตแบบใช้เชื้อเพลิงแบบปกติ กับ การผลิตที่นำกากของเสีย (เช่น น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ซากยางรถยนต์) มาใช้ทดแทนน้ำมันเตาที่ใช้ในเตาเผาในปริมาณร้อยละ 3.4 ของเชื้อเพลิงทั้งหมด เนื่องจากปริมาณของเสียที่นำมาใช้ไม่สามารถทดแทนปริมาณเชื้อเพลิงได้ในอัตราส่วน 1:1 ผู้วิจัยจึงได้คำนวณในรูปแบบของค่าความร้อนในปริมาณที่เท่ากัน
- 2) ทำการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตแบบใช้ยิปซัมในกระบวนการบดย่อยซีเมนต์ กับ การใช้ยิปซัมสังเคราะห์เป็นวัตถุดิบทดแทนในปริมาณร้อยละ 100 คำนวณโดยป็นส่วนการทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ยิปซัมสังเคราะห์ด้านการเงิน และการสมมติให้ยิปซัมสังเคราะห์ไม่มีภาระทางสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการดักก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Fuel Gas Desulphurite: FGD) ที่ใช้ในโรงไฟฟ้า

ผลการศึกษา

1. ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

ผลการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบบรรจุถุงและแบบผงไม่บรรจุถุง แสดงในตารางที่ 1 ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตัน ประเมินด้วยวิธี CML 2 baseline 2000 และ Eco-Indicator 99 แสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผงและแบบบรรจุถุง (ค่าเฉลี่ยของโรงงานตัวอย่าง)

สาร	หน่วย	แบบบรรจุถุง	แบบผง
วัตถุดิบหลัก			
หินปูน	กก.	1.190E+03	1.190E+03
หินดินดาน	กก.	2.000E+02	2.000E+02
ลิกไนต์	กก.	1.630E+02	1.620E+02
ดินเหนียวที่มีค่าลูมินาสูง	กก.	5.040E+01	5.040E+01
ปิโตรเลียมโค้ก	กก.	4.080E+01	4.080E+01

สาร	หน่วย	แบบบรรจุ	แบบผง
ดินลูกรัง	กก.	2.960E+01	2.960E+01
แอนทราไซด์	กก.	3.890E+00	3.890E+00
ฝุ่นเหล็ก	กก.	3.240E+00	3.240E+00
ของเสียที่เป็นของเหลว	กก.	2.320E+00	2.320E+00
ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท	กก.	1.940E-01	1.940E-01
สี	กก.	4.320E-02	x
กาว	กก.	3.370E-02	x
Na ₂ SO ₄	กก.	2.560E-02	x
ทราย	กก.	2.230E-02	2.230E-02
น้ำมันหล่อลื่น	กก.	1.790E-02	1.790E-02
โซดาไฟ (จากการผลิตกระดาษคราฟท์)	กก.	1.700E-02	x
ดินระเบิด	กก.	1.220E-02	1.220E-02
ดินเหนียว	กก.	1.990E-03	1.990E-03
การใช้พลังงาน			
ถ่านหิน	กก.	7.07E+00	6.91E+00
ลิกไนต์	กก.	2.880E-01	2.880E-01
ก๊าซธรรมชาติ	ลบ.ม.	2.32E+01	2.27E+01
ก๊าซปิโตรเลียม	ลบ.ม.	5.830E-02	5.830E-02
น้ำมันดิบ	กก.	1.70E+00	1.62E+00
น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว	ลบ.ม.	2.520E-05	2.470E-05
น้ำมันดีเซลหมุนช้า	กก.	6.000E-01	6.000E-01
น้ำมันเตา	กก.	8.140E-01	8.140E-01
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	กก.	1.170E+00	1.170E+00
ซากยางรถยนต์	กก.	7.170E-01	7.170E-01
พลังงานจากถ่านหิน(จากกระบวนการผลิตพลาสติก PE)	เมกกะจูล	6.660E-01	x
พลังงานจากน้ำมัน(จากกระบวนการผลิตพลาสติก PE)	เมกกะจูล	8.650E+00	x
พลังงานจากก๊าซธรรมชาติ (จากกระบวนการผลิตพลาสติก PE)	เมกกะจูล	1.090E+01	x
มลพิษทางอากาศ			
CO ₂	กก.	9.800E+02	9.730E+02
CO	กก.	4.600E-02	3.920E-02
SO ₂	กก.	1.36E-01	1.01E-01
NO _x	กก.	1.18E+00	1.15E+00
N ₂ O	กก.	3.740E-03	2.460E-03
มีเทน	กก.	2.600E-01	2.600E-01
C _x H _y	กก.	3.000E-02	5.280E-03
non methane VOC	กก.	2.070E-02	2.040E-02
ฝุ่น (จากกระบวนการบดย่อยซีเมนต์)	กก.	2.330E+00	2.330E+00
ฝุ่น (SPM) (จากกระบวนการผลิตกระดาษคราฟท์และยิปซัม)	กก.	7.580E-03	1.150E-03

สาร	หน่วย	แบบบรรจุ	แบบผง
ฝุ่น (PM10) stationary (จากกระบวนการผลิตยิปซัม)	กก.	7.470E-04	7.470E-04
ฝุ่น (PM10) mobile (จากกระบวนการผลิตยิปซัม)	กก.	5.370E-05	5.370E-05
H ₂ SO ₄	กก.	5.700E-05	x
H ₂ S	กก.	4.450E-05	1.380E-05
Na ₂ SO ₄	กก.	8.760E-06	x
ตะกั่ว	กก.	4.190E-06	4.140E-06
แคดเมียม	กก.	6.550E-07	6.530E-07
ทองแดง	กก.	4.920E-07	4.920E-07
โครเมียม	กก.	4.380E-07	4.310E-07
ปรอท	กก.	1.290E-07	1.210E-07
มลพิษทางน้ำ			
คลอรีน	กก.	2.680E-02	2.680E-02
โซเดียม	กก.	1.500E-02	1.500E-02
COD	กก.	1.260E-02	1.100E-04
ซัลเฟต	กก.	4.820E-03	4.820E-03
BOD	กก.	1.550E-03	1.090E-05
TOC	กก.	1.020E-03	1.020E-03
ไขมัน	กก.	8.050E-04	8.050E-04
เหล็ก	กก.	6.050E-04	6.050E-04
สารแขวนลอย	กก.	2.590E-04	4.620E-06
ไนไตรท์	กก.	7.720E-07	7.720E-07
ไนเตรท	กก.	5.110E-05	4.990E-05
NH ₃ (as N)	กก.	4.950E-05	4.950E-05
ฟอสเฟต	กก.	2.630E-05	2.510E-05
VOC as C	กก.	1.500E-05	1.500E-05
โครเมียม (III)	กก.	4.420E-06	4.420E-06
โครเมียม (VI)	กก.	7.510E-10	7.510E-10
ตะกั่ว	กก.	2.700E-06	2.700E-06
ทองแดง	กก.	2.070E-06	2.070E-06
NH ₃	กก.	1.590E-06	x
SO ₃	กก.	5.120E-07	5.120E-07
แคดเมียม	กก.	1.330E-07	1.330E-07
ปรอท	กก.	4.500E-09	4.500E-09

ตารางที่ 2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1
ตัน ประเมินด้วยวิธี CML 2 baseline 2000

กลุ่มผลกระทบ (หน่วย ต่อ กก. สารมลพิษ ที่ปล่อยออกมา)	กระบวนการย่อย					รวม
	การทำ เหมือง หินปูน	การทำ เหมือง หินดินดาน	การทำกอง & บดย่อยวัตถุดิบผสม	การผลิต ปูนเม็ด (การเผา)	การบด ย่อย ซีเมนต์	
Global Warming (kg of CO ₂ equivalent/kg emission)	1.41	0.322	20.2	909	47.8	978.732
Ozone Layer (kg of CFC ₁₁ equivalent/kg emission)	-	-	-	-	4.120E-06	4.120E-06
Photochemical Oxidant (kg of C ₂ H ₂ equivalent/kg emission)	3.020E-05	4.260E-07	1.160E-03	1.320E-03	5.180E-03	7.691E-03
Acidification (kg of SO ₂ equivalent/kg emission)	6.220E-04	3.840E-06	2.230E-02	2.500E-02	8.570E-02	0.134
Eutrophication (kg of PO ₄ equivalent/kg emission)	1.470E-08	3.600E-09	1.660E-06	2.180E-06	3.090E-03	3.094E-03

ตารางที่ 3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1
ตัน ประเมินด้วยวิธี Eco – Indicator 99

กลุ่มผลกระทบ	กระบวนการย่อย					รวม
	การทำ เหมือง หินปูน	การทำ เหมือง หินดินดาน	การทำกอง และบดย่อย วัตถุดิบผสม	การผลิต ปูนเม็ด (การเผา)	การบดย่อย ซีเมนต์	
Climate Change (DALY)	2.960E-07	6.770E-08	4.250E-06	1.910E-04	1.000E-05	2.056E-04
Ozone Layer (DALY)	-	-	-	-	4.32E-09	4.320E-09
Acidification/ Eutrophication (PDF*m ² yr)	1.200E-02	1.920E-04	0.468	5.28	0.974	6.734
Land Use (PDF*m ² yr)	1.970E-03	7.390E-03	-	-	0.208	0.217

การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตัน มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 978.732 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า และกระบวนการผลิตปูนเม็ดก่อให้เกิดผลกระทบด้านปัญหาโลกร้อนมากกว่ากระบวนการย่อยอื่นๆ คือมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 909 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า รองลงมาได้แก่ การบดย่อยซีเมนต์ และการทำกองและบดย่อยวัตถุดิบผสม ส่วนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบบรรจุถุง 1 ตัน มีการปล่อยก๊าซ CO₂ ปริมาณ 980 กิโลกรัม

เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตัน เมื่อประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99 จากตารางที่ 3 แล้ว พบผลลัพธ์เช่นเดียวกับวิธี CML 2

baseline 2000 ในตารางที่ 2 คือกระบวนการผลิตปูนเม็ดก่อให้เกิดผลกระทบด้านปัญหาโลกร้อนมากกว่ากระบวนการย่อยอื่นๆ ในกรณีของผลกระทบที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่ามีค่าเท่ากับ $0.217 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ซึ่งคำนวณได้จากการผลิตหินปูน 1 ตันจะมีการใช้ที่ดิน 0.0048556 ตารางเมตรต่อปี และการผลิตยิปซัม 1 กิโลกรัม มีการใช้ที่ดิน 0.009461 ตารางเมตรต่อปี (ใช้ข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5.1 เนื่องจากไม่สามารถเก็บข้อมูลการผลิตยิปซัมได้ในกรณีครั้งนี้) เมื่อทำ characterization โดยการคูณแฟกเตอร์ equivalent ตามที่กำหนดในโปรแกรม จึงทำให้ผลกระทบที่เกิดจากการบดย่อยซีเมนต์ ซึ่งมีการผสมยิปซัมเข้าไปด้วย มีค่ามากกว่าผลกระทบที่เกิดจากการทำเหมืองหินปูนและหินดินดาน

ตารางที่ 4 มลสารทางอากาศที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน 1 ตัน เปรียบเทียบกรณีการใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิง และการใช้ยิปซัมสังเคราะห์แทนวัตถุดิบ

มลสารทางอากาศ	หน่วย (ต่อตัน)	โดยใช้ยิปซัมแบบปกติ		ใช้เชื้อเพลิงแบบปกติ	
		เชื้อเพลิง	ใช้ของเสียทดแทน	ยิปซัมสังเคราะห์ทดแทน คิดภาระ	ยิปซัมสังเคราะห์ทดแทน ไม่คิดภาระ
CO ₂	กก.	9.810E+02	9.730E+02	9.780E+02	9.760E+02
CH ₄	กก.	2.600E-01	2.600E-01	4.040E-03	3.980E-03
N ₂ O	กก.	2.460E-03	2.460E-03	2.450E-03	2.390E-03
SO ₂	กก.	1.014E-01	1.014E-01	7.490E-02	7.330E-02
NO _x	กก.	1.153E+00	1.153E+00	1.140E+00	1.130E+00
NM VOC	กก.	2.040E-02	2.040E-02	1.319E-02	1.310E-02
CO	กก.	3.920E-02	3.920E-02	3.670E-02	3.620E-02
ฝุ่นละออง	กก.	2.373E+00	2.373E+00	2.331E+00	2.331E+00

ตารางที่ 4 แสดงมลสารทางอากาศที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน 1 ตัน เมื่อเปรียบเทียบใน 2 กรณี คือ การใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิง และการใช้ยิปซัมสังเคราะห์ทดแทนวัตถุดิบ พบว่าเมื่อมีการใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิง และการใช้ยิปซัมสังเคราะห์ทดแทนวัตถุดิบ จะมีการปล่อยมลสารทางอากาศออกมาน้อยกว่า ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลแบบปกติ จะมีการปล่อย CO₂ 981 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ ในขณะที่ถ้าใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิงร้อยละ 3.4 จะมีการปล่อย CO₂ เพียง 973 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ หรือในกรณีที่ใช้ยิปซัมยิปซัมสังเคราะห์ทดแทนในปริมาณร้อยละ 100 ในการผลิต เมื่อคิดภาระทางสิ่งแวดล้อม จะมีการปล่อย CO₂ 978 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ แต่ถ้าไม่คิดภาระสิ่งแวดล้อม จะมีการปล่อย CO₂ 976 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นกับระยะทางในการขนส่งยิปซัมสังเคราะห์มายังโรงงานด้วย เพราะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะเพิ่มขึ้นจากการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งเพิ่มขึ้น

2. ผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาว

ผลการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาวของโรงงาน โดยเปรียบเทียบเป็น 2 กรณีศึกษา ระหว่าง กรณีศึกษาที่ 1: ไม่คิดการขนส่งเศษเหล็ก และกรณีศึกษาที่ 2: เป็นการคำนึงถึงการขนส่งเศษเหล็กเข้ามาโรงงานตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาวของโรงงานเทียบ

ต่อ 1 กิโลกรัม

รายการด้านสิ่งแวดล้อม	ประเภท	หน่วย	เหล็กแท่งยาว (ไม่รวมการขนส่งเศษ เหล็ก)	เหล็กแท่งยาว
Raw Material				
Coal	Raw	kg	4.798E-02	4.983E-02
crude oil	Raw	kg	1.475E-02	2.390E-02
Dolomite	Raw	kg	1.760E-02	1.760E-02
Ferromanganese	Raw	kg	3.000E-03	3.000E-03
ferrosilicon (75%Si)	Raw	kg	3.250E-03	3.250E-03
Graphite	Raw	kg	3.800E-03	3.800E-03
lignite	Raw	kg	1.692E-01	1.703E-01
limestone	Raw	kg	7.880E-02	7.880E-02
natural gas	Raw	m3	1.691E-01	1.693E-01
scrap	Raw	kg	1.195E+00	1.195E+00
silicon manganese	Raw	kg	8.150E-03	8.150E-03
Emission to Air				
CH4	Air	kg	1.710E-05	1.710E-05
CO	Air	kg	7.960E-04	8.820E-04
CO2	Air	kg	8.540E-01	8.830E-01
dust	Air	kg	1.050E-03	1.050E-03
NOx	Air	kg	1.970E-03	1.970E-03
NOx (as NO2)	Air	kg	7.360E-04	1.010E-03
SO2	Air	kg	1.180E-03	1.180E-03
SOx (as SO2)	Air	kg	2.620E-06	7.550E-05
Emission to Water				
COD	Water	kg	2.130E-05	2.330E-05
dissolved solids	Water	kg	1.790E-04	1.790E-04
dissolved substances	Water	kg	8.730E-07	2.100E-06
Suspended solids	Water	kg	9.330E-06	9.330E-06
Suspended substances	Water	kg	1.940E-07	1.940E-07
waste water (vol)	Water	m3	5.600E-04	5.600E-04
Solid Emissions				
collected dust	Solid	kg	2.590E-02	2.590E-02
Slag	Solid	kg	6.630E-06	6.630E-06
slag (EAF)	Solid	kg	1.170E-01	1.170E-01
slag (LHF)	Solid	kg	1.080E-02	1.080E-02

ตารางที่ 6 ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ของผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม (แยกตามกระบวนการผลิตและระบบย่อย)

รายการด้านสิ่งแวดล้อม	ประเภท	หน่วย	การขนส่งเศษเหล็ก	การหลอมเศษเหล็ก (EAF)	การปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก (LHF)	การหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง (CCM)	ระบบสนับสนุนการผลิต
coal	Raw	kg	1.85E-03	4.44E-02	3.52E-03	x	1.93E-05
crude oil ETH	Raw	kg	9.18E-03	5.69E-05	6.61E-06	x	1.09E-03
lignite	Raw	kg	1.04E-03	1.37E-01	9.63E-03	8.47E-03	1.39E-02
natural gas	Raw	m3	2.51E-04	1.38E-01	9.73E-03	8.17E-03	1.34E-02
scrap, external	Raw	kg	1.17E+00	x	x	x	x
scrap, internal	Raw	kg	x	2.40E-02	x	x	x
CH4	Air	kg	x	1.39E-05	9.74E-07	8.58E-07	1.41E-06
CO	Air	kg	8.65E-05	4.84E-04	2.89E-04	7.69E-06	1.41E-05
CO2	Air	kg	2.91E-02	6.61E-01	7.75E-02	2.87E-02	8.59E-02
dust	Air	kg	x	9.30E-04	1.19E-04	1.43E-06	2.34E-06
NOx (as NO2)	Air	kg	2.78E-04	2.00E-03	4.28E-04	9.42E-05	1.85E-04
SOx (as SO2)	Air	kg	7.28E-05	1.01E-03	9.46E-05	2.55E-05	5.46E-05
BOD	Water	kg	1.71E-07	4.09E-07	3.88E-11	1.90E-07	1.00E-07
COD	Water	kg	2.00E-06	1.37E-05	8.76E-10	6.98E-06	5.73E-07
dissolved substances	Water	kg	1.23E-06	1.19E-04	6.35E-08	6.09E-05	1.08E-08
Collected dust	Solid	kg	x	2.46E-02	1.31E-03	x	x
Slag	Solid	kg	x	1.98E-06	x	x	4.65E-06
Slag (EAF)	Solid	kg	x	1.17E-01	x	x	x
Slag (LHF)	Solid	kg	x	x	1.08E-02	x	x

จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาวของโรงงานตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นรวมทั้งสิ้น 0.883 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว ซึ่งจำแนกได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกระบวนการผลิตของโรงงานเท่ากับ 0.182 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว (คิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด) ขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยอ้อมมีค่าเท่ากับ 0.700 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว (ร้อยละ 79 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด) จากการศึกษาพบว่าการใช้ไฟฟ้าในการผลิตเหล็กแท่งยาวเป็นสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยคิดเป็นร้อยละ 62.50 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือเท่ากับ 0.552 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว)

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า LCA เป็นเครื่องมือการจัดการสิ่งแวดล้อมที่มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัญหาสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีการวิเคราะห์และคำนวณครอบคลุมทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ไม่ใช่เฉพาะแต่กระบวนการผลิตในโรงงานเท่านั้น ทำให้เกิดผลลัพธ์เชิงปริมาณที่ชัดเจน โรงงานสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงนำไปใช้สำหรับการทำเบนช์มาร์กিংเพื่อพัฒนาตนเองต่อไป อย่างไรก็ตาม LCA เป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนและต้องการข้อมูลและความรู้เชิงเทคนิคเป็นอย่างมาก ประเทศไทยจึงควรเตรียมพร้อมนักวิจัยและอุตสาหกรรมด้วยการทำแผนที่เส้นทาง (Road Map) การจัดทำฐานข้อมูลอุตสาหกรรมเพื่อการศึกษาและการนำ LCA ไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม โดยเชิญผู้ที่เกี่ยวข้องมาระดมความคิด สรรหาเจ้าภาพที่จะเป็นหน่วยงานกลางทำหน้าที่ประสานงานและจัดสรรงบประมาณในการศึกษาวิจัย ตลอดจนเร่งประชาสัมพันธ์ไปยังสมาคมอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ และเชิญชวนเข้าร่วมให้ข้อมูล

การเก็บข้อมูล LCI ควรเริ่มจากวัสดุพื้นฐาน (basic materials) ที่มีการใช้ทั่วไปในการผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปก่อน เช่น กระจก พลาสติกชนิดต่างๆ (PE, PVC, PP, PET, ABS) แก้ว อะลูมิเนียม ทองแดง ยาง น้ำมันเชื้อเพลิง เช่น ดีเซล เบนซิน น้ำมันเตา จากนั้น จึงศึกษาวัสดุประเภทอื่นๆ ต่อไป การพัฒนาฐานข้อมูล LCI ควรเป็นไปในลักษณะ gate to gate ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลเฉพาะปริมาณ/มวลของสารเข้าที่เข้าไปในโรงงานหนึ่ง ๆ และสารขาออก ณ จุดสิ้นสุดการดำเนินงานของโรงงาน เพื่อเป็นการตัดตอนช่วงการเก็บข้อมูลและให้ได้มาซึ่งฐานข้อมูลที่สมบูรณ์ครบถ้วนในแต่ละช่วงชีวิต อย่างไรก็ตาม การพัฒนาฐานข้อมูล LCI แบบ gate-to-gate จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากนักวิจัยและภาคอุตสาหกรรม ตั้งแต่โรงงานต้นน้ำ (upstream) ไปจนถึงโรงงานปลายน้ำ (downstream) ของอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งๆ การเก็บข้อมูลอาจเป็นในรูปแบบของการขอความร่วมมือจากโรงงานในภาคอุตสาหกรรมนั้นๆ โดยตรงเพื่อเข้าไปสำรวจและตรวจวัด หรือขอความร่วมมือผ่านไปยังสมาคมของอุตสาหกรรมนั้นๆ หรือผ่านชมรมของสภาอุตสาหกรรม โดยมีการออกแบบใบเก็บข้อมูลตามที่ต้องการ และให้สมาคมฯ หรือชมรมฯ เป็นผู้ขอร้องสมาชิกให้เก็บข้อมูลตามใบเก็บข้อมูลดังกล่าว

สำหรับข้อมูลบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษที่ได้จากโครงการนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานให้นักวิจัยและกลุ่มอุตสาหกรรมศึกษาต่อยอดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเป็นองค์ประกอบ ที่สำคัญคือการได้ทราบถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตและจำหน่ายปูนซีเมนต์และการผลิตผลิต

ภัณฑ์เหล็กกล้า ทำให้สามารถนำไปจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในประเทศไทย เพื่อเสนอต่อสหประชาชาติตามที่ไทยได้ลงนามเข้าร่วมเป็นภาคีและให้สัตยาบันในกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อย่างไรก็ตาม การใช้ฐานข้อมูลนี้ในการประเมินการปล่อย Greenhouse Gases (GHG) ของกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากการศึกษา LCI ในผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทพอร์ตแลนด์เท่านั้น แต่ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์มีหลายชนิดและมีส่วนผสมของวัตถุดิบต่างกัน ทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตและพลังงานที่มาจากการผลิตวัตถุดิบที่ใช้แตกต่างกันไปจากฐานข้อมูล ระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานและขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังผู้จัดจำหน่ายก็เป็นตัวแปรที่สำคัญ เนื่องจากยิ่งไกลยิ่งต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมาก จึงทำให้ปล่อย GHG ออกมามากตามด้วย ตลอดจนการจัดการด้านเทคโนโลยีสะอาดและนโยบายการใช้พลังงานหมุนเวียนภายในโรงงาน ก็เป็นตัวแปรต่อปริมาณ GHG ที่ปล่อยออกมา

โรงงานปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ได้มีการรับกากของเสียจากอุตสาหกรรมอื่นเข้ามาใช้เพื่อทดแทนเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมต่างๆ ยางรถยนต์ที่ไม่ได้คุณภาพหรือซากยาง แต่กากของเสียที่นำมาเชื้อเพลิงเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้อยู่หลายด้าน เช่น ปริมาณความร้อน ปริมาณโลหะหนักหรือสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในกากของเสียเหล่านั้นๆ ทำให้ไม่สามารถนำมาทดแทนเชื้อเพลิงได้ในปริมาณมากนัก ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการนำกากของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงในเตาเผาปูน เทียบกับการใช้เชื้อเพลิงแบบปกติทั้งหมด พบว่าการนำกากของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิงนั้น สามารถช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ และยังลดภาระในการกำจัดกากของเสียให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้อีกทางหนึ่ง ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถนำมาทดแทนเชื้อเพลิงได้ในปริมาณมาก แต่คาดว่าอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์น่าจะมีการศึกษาและทดลองการนำกากของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงได้ในปริมาณที่มากกว่าเดิมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของปูนเม็ดที่ผลิตออกมา ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนนโยบายของรัฐในการส่งเสริมเรื่องดังกล่าว เพื่อลดภาระพื้นที่การจัดเก็บและทำลายกากของเสียลง

สำหรับการผลิตเหล็กแท่งยาว จากการศึกษาพบว่าการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเป็นสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยคิดเป็นร้อยละ 62.50 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือเท่ากับ 0.552 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว) ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานเพื่อให้เกิดการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของภาคอุตสาหกรรมผลิตเหล็กขั้นกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า

โครงการวิจัยนี้เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างนักวิจัยและบริษัทเอกชน พบว่ามีจุดเด่นและข้อได้เปรียบในแง่ที่โจทย์วิจัยเป็นสิ่งที่ทั้งสองฝ่ายต่างต้องการศึกษา จึงทำให้เกิดการทำงานร่วม

กันอย่างใกล้ชิด ตั้งแต่การกำหนดวัตถุประสงค์โครงการ วิธีการเก็บข้อมูล และการพัฒนาทิศทางการวิจัย ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เชื่อถือได้และผลงานวิจัยที่ทั้งสองฝ่ายต่างนำไปใช้ประโยชน์ได้ เจ้าหน้าที่ของโรงงานที่ได้รับการมอบหมายให้ประสานงานโครงการได้เรียนรู้หลักการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน ISO 14040 และโรงงานได้รับฐานข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าอย่างละเอียด เพื่อใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของโรงงานต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการจัดการพลังงาน ในขณะที่นักวิจัยได้เรียนรู้ถึงวิธีการเก็บข้อมูลในโรงงาน การนำเสนอข้อมูลให้กับทุกภาคส่วนของโรงงาน และสร้างฐานข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าในระดับประเทศ เพื่อใช้ในการศึกษา LCA ต่อไป

ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษาวินิจฉัยเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในประเทศไทยยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นอยู่ ทำให้ขาดฐานข้อมูล LCI ของการผลิตวัตถุดิบพื้นฐานบางชนิดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้งานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องอาศัยการอ้างอิงจากฐานข้อมูลต่างประเทศบางส่วน เช่น ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro[®] เวอร์ชัน 5.1 ซึ่งเก็บตัวเลขมาจากผู้ผลิตในยุโรปเป็นส่วนใหญ่มาประกอบการศึกษา

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG4630008

ชื่อโครงการ : การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม

ชื่อนักวิจัย : ดร. พงษ์วิภา หล่อสมบุญรณ์ สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (pongvipa@tei.or.th)
นายอริวัตร จิรจรียาเวช สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
นายวัชรพงษ์ ศิลาลิศจิตร์ศึกษา สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
นายวุฒิพงษ์ ปรีดาภัทรพงษ์ สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

ระยะเวลาโครงการ : 1 มกราคม 2546 – 31 มกราคม 2547

โครงการการจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าและศึกษาวิจัยผลกระทบของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่ การทำเหมือง การผลิต และการขนส่ง ไปถึงมือผู้จัดจำหน่าย การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงบวกจากการนำกากของเสียและกากของเสียอันตรายไปรีไซเคิลใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์ ตลอดจนการนำข้อมูลวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ไปทดลองจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3

ผลการวิจัยพบว่า ในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันตลอดจนการขนส่งไปยังผู้จัดจำหน่ายมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมา 973-980 กิโลกรัม (ไม่บรรจุถุง – บรรจุถุง) กระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซ CO_2 ออกมามากที่สุดคือกระบวนการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ด โดยในการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ด 1 ตัน จะเกิดก๊าซ CO_2 ประมาณ 909 กิโลกรัม ในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำกากของเสียมาทดแทนการใช้เชื้อเพลิง และการนำยิปซัมสังเคราะห์ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้ามาทดแทนยิปซัมทั่วไปสำหรับกระบวนการบดยิปซัม พบว่าการนำกากของเสียและยิปซัมสังเคราะห์มาทดแทน ส่งผลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า แต่ทั้งนี้ขึ้นกับระยะทางในการขนส่งกากของเสียและยิปซัมสังเคราะห์มายังโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ด้วย

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กชั้นกลาง พบว่าการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม มีการปล่อยก๊าซ CO_2 0.883 กิโลกรัม โดยการใช้ไฟฟ้าในการผลิตเป็นสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซ CO_2 คิดเป็นร้อยละ 62.50 ของปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานเพื่อให้เกิดการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาคอุตสาหกรรมผลิตเหล็กชั้นกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า

คำหลัก : การประเมินวัฏจักรชีวิต บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ฐานข้อมูล การจัดการสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมผลิตเหล็กชั้นกลาง

Abstract

Project Code : RDG4630008

Project Title : Life Cycle Inventory for Cement Product and Steel Making towards Sustainable Development

Investigators : Dr. Pongvipa Lohsomboon (pongvipa@tei.or.th), Mr. Athiwatr Jirajariyavech, Mr. Watcharapong Silalertraksa and Mr. Vuttipong Predapattarapong of the Thailand Environment Insititute

Project Duration : 1 January 2003 – 31 January 2004

Keyword: Life Cycle Assessment, Life Cycle Inventory, Life Cycle Inventory Database, Cement Industry, Steel-making Industry

Abstract

Project Code: RDG4630008
Project Title: Life Cycle Inventory for Cement Product and Steel Making towards Sustainable Development
Investigators: Dr. Pongvipa Lohsomboon (Pongvipa@tei.or.th), Mr. Athiwatr Jirajariyavech, Mr. Watcharapong Silalertruksa, Vuttipong Predapattarapong
Project Duration: 1 January 2003 – 31 January 2004

The objectives of the project are to make a life cycle inventory for cement product and steel making, to assess environmental impacts of cement product through its entire life cycle, starting from mining, cement production to retailers' distribution, and to assess beneficial environmental impacts of using wastes and hazardous wastes from other industries as substitute fuel for cement kiln. Type 3 Eco-labeling for the cement product is also developed from the life cycle impact assessment study.

From the results of the project, as per 1 ton of cement product, 973 – 980 kilograms of CO₂ are emitted. (unpacked to bag-packed, respectively). Most of emitted CO₂ are generated from Clinker Burning process. Burning one ton of clinker emits approximately 909 kilograms of CO₂. From the life cycle impact assessment, using wastes as a substitute fuel and by-product from lignite power plants as a substitute gypsum in the Cement Grinding process, have lower environmental impact. It is, however, dependent on distance between waste sources and cement plants as well.

For the steel making industry, 0.883 kilograms of CO₂ are emitted from production of one kilogram of billet. Electricity consumption in production process is a major source of CO₂ generation, which is 62.50% of total emitted CO₂. Therefore, an improvement of production process, particularly electric-arc furnace, to enhance effectiveness of electricity consumption is a key strategy for minimizing an environmental impact of steel making industry.

Key words: Life Cycle assessment (LCA), Life Cycle Inventory (LCI), National Database, Environmental Management, Cement Industry, Steel-making industry

Executive summary

The objectives of the "Life Cycle Inventory for Cement Product and Steel Making towards Sustainable Development" are to make a life cycle inventory for cement product and steel making, to assess environmental impacts of cement product through its entire life cycle, starting from mining, cement production to retailers' distribution, and to assess beneficial environmental impacts of using wastes and hazardous wastes from other industries as substitute fuel for cement kiln. Type 3 Eco-labeling for the cement product is also developed from the life cycle impact assessment study. The results of the project can be used as the National background database for further life cycle assessment (LCA) studies in Thailand.

Methodology of the Study

The methodology indicated in ISO 14040 series has been applied in the study, including 4 steps, which are (1) Goal and Scope Definition ((ISO 14040), (2) Life Cycle Inventory Analysis (LCI; ISO 14041 and ISO/TR 14049), (3) Life Cycle Impact Assessment (LCIA; ISO 14042 and ISO/TR 14047) and (4) Life Cycle Interpretation (ISO 14043).

The cement products in the study are Portland Cement class 1 and class ½ unpacked-type and packed-type of 50 kilograms per bag. Functional unit and reference flow of the products are per 1,000 kilograms or 1 ton. Production data are collected from 2 cement plants in Thailand for the duration of 2 years: 2001 – 2003.

A life cycle inventory analysis of steel making product, especially carbon dioxide (CO₂) emission, is undertaken at the secondary steel-making factory in Thailand in 2003. The gate-to-gate study includes transportation of raw material (100% scrap) to the factory, which uses electric arc furnace (EAF) process for melting, ladle heat furnace for refining and continuous casting, to finished product (Billet). Functional unit is one (1) kilogram of billets with dimension of 3x3 inches and 80 centimeters length. Production data are collected from one steel-making plant during January to March 2003 (3 months) and emission data from factory inspection in June 2003.

For LCI study of cement product, system boundary comprises of 12 unit processes, which are 1) limestone mining, 2) shale mining, 3) raw materials grinding and mixing, 4) lignite preparation, 5) clinker burning, 6) cement grinding, 7) bag

packing, 8) loading on truck, 9) electricity generation and grid mixes, 10) cooling water process, 11) use of by-product from lignite power plant as substitute gypsum, and 12) production of cement bag. The study does not include a phase of cement plant construction, mining and transportation of raw materials imported from foreign countries, other pollutants emitted from domestic mining (SO_x , NO_x and particular matter). Use and disposal phases of cement product are also excluded because the product becomes a part of building construction and has a long lifetime.

A commercial software package, Simapro Version 5.1, and other LCA research studies are used to obtain secondary data of some unit processes, which cannot be collected primarily in the study. All data are compiled as input (raw materials and energy) and output (wastes, by-products, CO_2 and other air pollutants (such as SO_x , NO_x and particular matter)) of each process.

For the third step (LCIA), CML2 baseline 2000 and Eco-indicator 99 methods in SimaPro version 5.1 are used to assess environmental impact of the cement product through its entire life cycle. Environmental impacts are classified into 6 categories, which are 1) Global warming or climate change (kg of CO_2 equivalent/ kg emission) 2) Ozone layer depletion at stratosphere (kg of CFC11 equivalent/ kg emission) 3) photochemical oxidation (kg of C_2H_2 equivalent/ kg emission) 4) acidification in soil and water sources (kg of SO_2 equivalent/ kg emission) 5) Eutrophication (kg of PO_4 equivalent / kg emission) and 6) land use (unit of $\text{PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{yr}$).

From the results of the LCIA, type 3 eco-labeling of cement product is developed by adapting a pattern of the Norwegian Environmental Product Declaration of the Norcem Industry Cement.

By using CML2 baseline 2000 method, beneficial environmental impacts of using wastes from other industries as substitute fuel for cement kiln, and using by-product from lignite power plants as a substitute gypsum in the Cement Grinding process are assessed. Two following scenarios are compared:

- 1) Comparison between standard production with 100% fossil fuel and production using waste (such as used lubricant oil, used tire) as substitute heavy oil (3.4 % of total fossil fuel) in cement burning process. The study calculates heat value of waste and fossil fuel instead of waste/fuel quantities because at the same amount of waste and fossil fuel, they do not generate the same amount of heat.
- 2) Comparison between standard production with natural gypsum and 100% substitution by by-product from lignite power plants with two sub-scenarios: (1) allocate environmental load of by-product in the financial term, and (2)

assume that this substitute does not carry any environmental load because it is a non-value waste from the Fuel Gas Desulphurization (FGD) process.

Finding of the Study

1. Cement Product

Life Cycle Inventory data of 2 types of Portland cement (bag-packed and unpacked) is shown in table 1. The environmental impact occurred in each production process of 1 ton of Portland cement (unpacked), assessed by the CML2 baseline 2000 and Eco-indicator 99 methods, are demonstrated in Table 2 and 3, respectively.

Table 1 Inventory data of bag-packed and unpacked Portland cement (per functional unit: 1 ton)

Substance	Unit	Bag-packed	Unpacked
Raw material			
Limestone	kg	1.190E+03	1.190E+03
Shale	kg	2.000E+02	2.000E+02
Lignite	kg	1.630E+02	1.620E+02
hi alumina clay	kg	5.040E+01	5.040E+01
petroleum coke	kg	4.080E+01	4.080E+01
laterite	kg	2.960E+01	2.960E+01
anthracite	kg	3.890E+00	3.890E+00
iron powder	kg	3.240E+00	3.240E+00
aqueous waste	kg	2.320E+00	2.320E+00
ammonium nitrate	kg	1.940E-01	1.940E-01
toner	kg	4.320E-02	x
glue	kg	3.370E-02	x
Na ₂ SO ₄	kg	2.560E-02	x
sand	kg	2.230E-02	2.230E-02
lubricating oil	kg	1.790E-02	1.790E-02
NaOH (from kraft paper process)	kg	1.700E-02	X
dynamite	kg	1.220E-02	1.220E-02
Clay	kg	1.990E-03	1.990E-03
Energy consumption			
coal	kg	7.07E+00	6.91E+00
lignite ETH	kg	2.880E-01	2.880E-01
natural gas	m ³	2.32E+01	2.27E+01
petroleum gas	m ³	5.830E-02	5.830E-02
crude oil	kg	1.70E+00	1.62E+00
High speed diesel	m ³	2.520E-05	2.470E-05
Low speed diesel	kg	6.000E-01	6.000E-01
Heavy fuel oil	kg	8.140E-01	8.140E-01
Waste oil	kg	1.170E+00	1.170E+00
Reject tyre	kg	7.170E-01	7.170E-01
energy from coal(PE)	MJ	6.660E-01	X
energy from oil(PE)	MJ	8.650E+00	x
energy from natural gas(PE)	MJ	1.090E+01	x
Air Pollution			

Substance	Unit	Bag-packed	Unpacked
CO ₂	kg	9.800E+02	9.730E+02
CO	kg	4.600E-02	3.920E-02
SO ₂	kg	1.36E-01	1.01E-01
NO _x	kg	1.18E+00	1.15E+00
N ₂ O	kg	3.740E-03	2.460E-03
methane	kg	2.600E-01	2.600E-01
C _x H _y	kg	3.000E-02	5.280E-03
non methane VOC	kg	2.070E-02	2.040E-02
dust (from Cement mill process)	kg	2.330E+00	2.330E+00
dust (SPM) (from Kraft paper and gypsum process)	kg	7.580E-03	1.150E-03
dust (PM10) stationary (from gypsum process)	kg	7.470E-04	7.470E-04
dust (PM10) mobile (from gypsum process)	kg	5.370E-05	5.370E-05
H ₂ SO ₄	kg	5.700E-05	x
H ₂ S	kg	4.450E-05	1.380E-05
Na ₂ SO ₄	kg	8.760E-06	x
Pb	kg	4.190E-06	4.140E-06
Cd	kg	6.550E-07	6.530E-07
Cu	kg	4.920E-07	4.920E-07
Cr	kg	4.380E-07	4.310E-07
Hg	kg	1.290E-07	1.210E-07
Water Pollution			
Cl	kg	2.680E-02	2.680E-02
Na	kg	1.500E-02	1.500E-02
COD	kg	1.260E-02	1.100E-04
sulphate	kg	4.820E-03	4.820E-03
BOD	kg	1.550E-03	1.090E-05
TOC	kg	1.020E-03	1.020E-03
fats/oils	kg	8.050E-04	8.050E-04
Fe	kg	6.050E-04	6.050E-04
suspended substances	kg	2.590E-04	4.620E-06
nitrite	kg	7.720E-07	7.720E-07
nitrate	kg	5.110E-05	4.990E-05
NH ₃ (as N)	kg	4.950E-05	4.950E-05
Phosphate	kg	2.630E-05	2.510E-05
VOC as C	kg	1.500E-05	1.500E-05
Cr (III)	kg	4.420E-06	4.420E-06
Cr (VI)	kg	7.510E-10	7.510E-10
Pb	kg	2.700E-06	2.700E-06
Cu	kg	2.070E-06	2.070E-06
NH ₃	kg	1.590E-06	X
SO ₃	kg	5.120E-07	5.120E-07
Cd	kg	1.330E-07	1.330E-07
Hg	kg	4.500E-09	4.500E-09

Table 2 Environmental impact occurred in each production process of 1 ton of Portland cement (unpacked), assessed by CML2 baseline 2000

Impact Category (unit per kilogram of pollutant released)	Unit process					Total
	Limestone mining	Shale mining	Raw materials Grinding	Clinker Burning	Cement Grinding	
Global Warming (kg of CO ₂ equivalent/kg emission)	1.41	0.322	20.2	909	47.8	978.732
Ozone Layer (kg of CFC ₁₁ equivalent/kg emission)	-	-	-	-	4.120E-06	4.120E-06
Photochemical Oxidant (kg of C ₂ H ₂ equivalent/kg emission)	3.020E-05	4.260E-07	1.160E-03	1.320E-03	5.180E-03	7.691E-03
Acidification (kg of SO ₂ equivalent/kg emission)	6.220E-04	3.840E-06	2.230E-02	2.500E-02	8.570E-02	0.134
Eutrophication (kg of PO ₄ equivalent/kg emission)	1.470E-08	3.600E-09	1.660E-06	2.180E-06	3.090E-03	3.094E-03

Table 3 Environmental impact occurred in each production process of 1 ton of Portland cement (unpacked), assessed by Eco-Indicator 99

Impact Category (unit per kilogram of pollutant released)	Unit process					Total
	Limestone mining	Shale mining	Raw materials Grinding	Clinker Burning	Cement Grinding	
Climate Change (DALY)	2.960E-07	6.770E-08	4.250E-06	1.910E-04	1.000E-05	2.056E-04
Ozone Layer (DALY)	-	-	-	-	4.32E-09	4.320E-09
Acidification/ Eutrophication (PDF*m ² yr)	1.200E-02	1.920E-04	0.468	5.28	0.974	6.734
Land Use (PDF*m ² yr)	1.970E-03	7.390E-03	-	-	0.208	0.217

While producing 1 ton of unpacked Portland cement, greenhouse gases as per 978.732 kilograms CO₂ equivalent are released. Clinker burning process creates largest Global Warming problem than other unit processes. At this process, greenhouse gases as per 909 kilograms CO₂ equivalent are released, followed by cement grinding and raw materials grinding. For one ton bag-packed Portland cement, 980 kilograms of CO₂ equivalent are released.

The LCIA results from Eco-indicator 99 (Table 3) and CML 2 baseline 2000 (Table 2) are compatible. As shown in Table 3, Clinker burning process causes more global warming impact than other unit processes. Environmental impact occurred from land use is 0.217 PDF*m²yr. Assuming that producing 1 ton of cement uses 0.0048556 m² of land per year, while producing 1 kilogram of gypsum uses 0.009461 m² of land per year (from SimaPro 5.1, due to lack of available public data regarding gypsum). After making a characterization step by multiplying with equivalent factor (SimaPro 5.1), the magnitude of environmental impact of cement grinding mixed with gypsum, is higher than those from limestone and shale mining processes.

Table 4 Inventory data of cement product (per functional unit = 1 ton): 2 scenarios

Air pollutants	Unit (per ton)	Use of Gypsum		Use of Fossil Fuel	
		Fossil Fuel	Waste as Substitute Fuel	Substitute Gypsum with Environmental Load	Substitute Gypsum without Environmental Load
CO ₂	Kg	9.810E+02	9.730E+02	9.780E+02	9.760E+02
CH ₄	Kg	2.600E-01	2.600E-01	4.040E-03	3.980E-03
N ₂ O	Kg	2.460E-03	2.460E-03	2.450E-03	2.390E-03
SO ₂	Kg	1.014E-01	1.014E-01	7.490E-02	7.330E-02
NO _x	Kg	1.153E+00	1.153E+00	1.140E+00	1.130E+00
NM VOC	Kg	2.040E-02	2.040E-02	1.319E-02	1.310E-02
CO	Kg	3.920E-02	3.920E-02	3.670E-02	3.620E-02
Particulate	Kg	2.373E+00	2.373E+00	2.331E+00	2.331E+00

As shown in Table 4, air pollutants emitted during life cycle of 1 ton of Portland cement product are different in 2 scenarios, which are (1) use of waste as substitute fuel and (2) use of by-product from lignite power plant as substitute gypsum. It has found that using wastes as a substitute fuel and by-product from lignite power plants as substitute gypsum in the Cement Grinding process, emit lower air pollutants. The standard production of 1 ton of cement with fossil fuel releases 981 kilogram of CO₂, while using waste as substitute (3.4% of total fuel) can reduce CO₂ emission to 973 kg. In case of using by-product from lignite power plant instead as 100% substitute gypsum, 978 kg of CO₂ are released to the environment when considering environmental load, while 976 kg of CO₂ are released without environmental load. It is, however, depended on distance between waste sources and cement plants, as environmental impact will be increased in consistent with amount of diesel used in transportation.

2. Billet

Life cycle inventory data of billet in 2 scenarios: (1) exclusion of scrap transportation to the study plant and (2) inclusion of scrap transportation to the study plant, are shown in Table 5 and Table 6.

Table 5 Inventory data of billet (per functional unit: 1 kilogram)

Substance	Type	Unit	Billet (no scrap transportation)	Billet (with scrap transportation)
Raw Material				
Coal	Raw	kg	4.798E-02	4.983E-02
crude oil	Raw	kg	1.475E-02	2.390E-02
Dolomite	Raw	kg	1.760E-02	1.760E-02
Ferromanganese	Raw	kg	3.000E-03	3.000E-03
ferrosilicon (75%Si)	Raw	kg	3.250E-03	3.250E-03
Graphite	Raw	kg	3.800E-03	3.800E-03
lignite	Raw	kg	1.692E-01	1.703E-01
limestone	Raw	kg	7.880E-02	7.880E-02
natural gas	Raw	m3	1.691E-01	1.693E-01
scrap	Raw	kg	1.195E+00	1.195E+00
silicon manganese	Raw	kg	8.150E-03	8.150E-03
Emission to Air				
CH4	Air	kg	1.710E-05	1.710E-05
CO	Air	kg	7.960E-04	8.820E-04
CO2	Air	kg	8.540E-01	8.830E-01
dust	Air	kg	1.050E-03	1.050E-03
NOx	Air	kg	1.970E-03	1.970E-03
NOx (as NO2)	Air	kg	7.360E-04	1.010E-03
SO2	Air	kg	1.180E-03	1.180E-03
SOx (as SO2)	Air	kg	2.620E-06	7.550E-05
Emission to Water				
COD	Water	kg	2.130E-05	2.330E-05
dissolved solids	Water	kg	1.790E-04	1.790E-04
dissolved substances	Water	kg	8.730E-07	2.100E-06
Suspended solids	Water	kg	9.330E-06	9.330E-06
Suspended substances	Water	kg	1.940E-07	1.940E-07
waste water (vol)	Water	m3	5.600E-04	5.600E-04
Solid Emissions				
collected dust	Solid	kg	2.590E-02	2.590E-02
Slag	Solid	kg	6.630E-06	6.630E-06
slag (EAF)	Solid	kg	1.170E-01	1.170E-01
slag (LHF)	Solid	kg	1.080E-02	1.080E-02

Table 6 Inventory data of billet (per 1 kilogram) by unit production processes

Substance	Type	Unit	Scrap Transport- ation	Electric Arc Furnace (EAF)	Ladle Heat Furnace (LHF)	Continuous Casting (CCM)	Other Facilities
Coal	Raw	kg	1.85E-03	4.44E-02	3.52E-03	x	1.93E-05
Crude oil ETH	Raw	kg	9.18E-03	5.69E-05	6.61E-06	x	1.09E-03
Lignite	Raw	kg	1.04E-03	1.37E-01	9.63E-03	8.47E-03	1.39E-02
Natural gas	Raw	m ³	2.51E-04	1.38E-01	9.73E-03	8.17E-03	1.34E-02
Scrap, external	Raw	kg	1.17E+00	x	x	x	x
Scrap, internal	Raw	kg	x	2.40E-02	x	x	x
CH ₄	Air	kg	x	1.39E-05	9.74E-07	8.58E-07	1.41E-06
CO	Air	kg	8.65E-05	4.84E-04	2.89E-04	7.69E-06	1.41E-05
CO ₂	Air	kg	2.91E-02	6.61E-01	7.75E-02	2.87E-02	8.59E-02
Dust	Air	kg	x	9.30E-04	1.19E-04	1.43E-06	2.34E-06
NO _x (as NO ₂)	Air	kg	2.78E-04	2.00E-03	4.28E-04	9.42E-05	1.85E-04
SO _x (as SO ₂)	Air	kg	7.28E-05	1.01E-03	9.46E-05	2.55E-05	5.46E-05
BOD	Water	kg	1.71E-07	4.09E-07	3.88E-11	1.90E-07	1.00E-07
COD	Water	kg	2.00E-06	1.37E-05	8.76E-10	6.98E-06	5.73E-07
Dissolved substances	Water	kg	1.23E-06	1.19E-04	6.35E-08	6.09E-05	1.08E-08
Collected dust	Solid	kg	x	2.46E-02	1.31E-03	x	x
Slag	Solid	kg	x	1.98E-06	x	x	4.65E-06
Slag (EAF)	Solid	kg	x	1.17E-01	x	x	x
Slag (LHF)	Solid	kg	x	x	1.08E-02	x	x

The results of the study demonstrate that as per 1 kilogram of billet production, amount of CO₂ emission is 0.883 kg. Of this, 21% (0.182 kg) is emitted directly in the steel-making process while 79% (0.7 kg) comes from other indirect processes, e.g. electricity, oxygen, lime production. Electricity consumption contributes a large amount of CO₂ emission, which is 0.552 kg/kg billet or 62.5% of total CO₂ emission from the billet production.

Conclusion and Recommendation

From the study, it can be concluded that LCA is a useful environmental management tool to assess environmental impact of product or product function during its entire life cycle, giving a quantitative result. Industries can use LCA studies to improve their production processes or product development. Life Cycle Assessment, however, is a complex method and needs sufficient database and technical knowledge to be applied. It should be noted that the country should construct an LCA technical road map and enhance capacity of researchers and industries to be able to perform LCA studies. National database should be built by

inviting researchers and relevant industries to join activities. The National LCA center should be established to coordinate all LCA related activities and allocate the budget for research and development. Furthermore, it is necessary to increase awareness of various industrial associations via public participation in order to better understand and share their information for the National database development.

To build the National LCI database, it should start from basic materials used in general, e.g. paper, plastics (PE, PVC, PP, PET, ABS), glass, aluminum, copper, rubber, gasoline, diesel, benzene, heavy oil, etc. The next step is to study other secondary materials. These data should be "gate-to-gate" collected, which defines by collecting mass/volume of input for the production process of each plant and output at the end of the production line. Nevertheless, it needs close cooperation among researchers and industry from upstream to downstream factories of each kind. There are two ways of data collection: (1) collection of primary data at each factory, or (2) asking for cooperation from each industrial association or via the clubs of the Federal of Thai Industry to fill in the data survey questionnaire and verify data afterwards.

Inventory data from this project, particularly CO₂ emission, provide a background data for researchers and industry to further perform LCA of other products, which some parts are composed of cement or steel. The CO₂ emission data can contribute to the National greenhouse gases inventory, of which Thailand as a developing country should submit to the United Nations according to the UN Framework Convention on Climate Change. However, inventory data from this study are only from Portland cement. There are many kinds of cement products that have some different components, thus consuming different energy in production process and having different energy from raw material acquisition. Furthermore, the distances between sources of raw materials to the plants, and the plants to their retailers are also an important factor due to gasoline/diesel used, hence GHGs will be increasingly released to the atmosphere. Other influential factors for GHGs emission are technology used and the energy management policy applied in the factories.

Most cement plants usually acquire industrial wastes from other industries (e.g. used oil and used tire, as substitute fuel in cement kilns.) There is some limitation of waste usage due to low heat quantity and high amount of heavy metal or other hazardous substances contained in some certain wastes. In the study, using wastes as a substitute fuel have lower environmental impact than using all fossil fuel. Therefore, it can be concluded that this is an effective waste management plan in Thailand. The cement industry should conduct an additional study in order to use more wastes without lowering the quality of clinker.

For the steel making industry, electricity consumption in production process is a major source of CO₂ generation, which contributes 0.552 kg of CO₂ per billet 1 kg or 62.50% of total emitted CO₂. Therefore, an improvement of production process, particularly electric-arc furnace, to enhance effectiveness of electricity consumption is a key strategy for minimizing an environmental impact of steel making industry.

This research project is a cooperative work between LCA researchers and industries. It enables both parties to share their knowledge and experiences as well as establish objectives of the project, data collection method and research direction, together. Therefore, data obtained from the project is more reliable and the study results can be used effectively by both parties.

Limitation of the Study

The LCA study in Thailand is in an infancy stage. There are a few domestic inventory data available to public. Therefore, a commercial software package, Simapro Version 5.1, and other LCA research studies are used to obtain secondary data of some unit processes, which cannot be collected primarily in the study.

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1

บทนำ	1-1
1.1 หลักการและเหตุผล	1-1
1.1.1 ความสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	1-1
1.1.2 ความสำคัญของผลิตภัณฑ์	1-2
1.2 วัตถุประสงค์	1-4
1.3 กลุ่มศึกษา	1-4
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	1-4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-6
1.6 ตารางเวลาของกิจกรรม	1-7

บทที่ 2

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	2-1
2.1 วิวัฒนาการด้านการผลิตปูนซีเมนต์.....	2-1
2.2 ชนิดและประเภทของปูนซีเมนต์	2-2
2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement).....	2-2
2.2.2 ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ (Natural cement)	2-3
2.2.3 ปูนซีเมนต์พอซโซลานา (Pozzolana cement)	2-3
2.2.4 ปูนซีเมนต์อะลูมินัส (Aluminous cement)	2-4
2.2.5 ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica cement).....	2-4
2.3 ภาวะอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของโลก	2-5
2.4 ภาวะอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของไทย	2-8
2.4.1 ภาวะการผลิต	2-8

2.4.2	ภาวะการนำเข้า	2-11
2.4.3	ภาวะการส่งออก	2-11
2.5	กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	2-14
2.5.1	การทำเหมือง.....	2-14
2.5.2	กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การย่อยและการบด	2-15
2.5.3	การเผาปูนซีเมนต์.....	2-16
2.5.4	การบดปูนซีเมนต์	2-16
2.5.5	การบรรจุและขนส่ง	2-17
2.6	ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....	2-17
2.7	วัตถุดิบและคุณสมบัติของวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์.....	2-21
2.8	การนำกากของเสียอุตสาหกรรมไปใช้กับเตาเผาปูนซีเมนต์.....	2-24
2.8.1	การกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม	2-24
2.8.2	การนำกากของเสียอุตสาหกรรมเข้าโรงงานปูนซีเมนต์.....	2-27

บทที่ 3

	การศึกษา LCA ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์.....	3-1
3.1	งานวิจัยด้าน LCA และ LCI ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ในต่างประเทศ..	3-1
3.2	ฐานข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ในต่างประเทศ.....	3-3

บทที่ 4

	ผลการศึกษา LCA ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์	4-1
4.1	ข้อมูลทั่วไป	4-1
4.1.1	บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยแ่งคอย จำกัด.....	4-1
4.1.2	บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยลำปาง จำกัด	4-3
4.2	การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา	4-5
4.2.1	เป้าหมายการศึกษา.....	4-5

4.2.2	หน้าที่ของผลิตภัณฑ์.....	4-6
4.2.3	หน่วยการทำงาน (Functional Unit) และปริมาณอ้างอิง (Reference Flow)	4-6
4.2.4	กลุ่มผู้นำไปใช้ประโยชน์ต่อ (Target audience)	4-6
4.2.5	ขอบเขตของระบบ (System Boundary).....	4-7
4.2.6	แหล่งที่มาของข้อมูลและสมมติฐาน	4-10
4.2.7	โปรแกรมฐานข้อมูล (Database Software)	4-15
4.2.8	ข้อจำกัดของการศึกษา	4-16
4.3	บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	4-16
4.3.1	การวิเคราะห์บัญชีรายการ	4-16
4.3.2	บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม	4-22
4.4	การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์.....	4-28
4.4.1	การประเมินผลกระทบชั้นกลางด้วยวิธี CML 2 Baseline 2000	4-28
4.4.2	การประเมินผลกระทบด้วยวิธี Eco-Indicator 99	4-40
4.5	การเปรียบเทียบการนำของเสียมาใช้ทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงาน... 4-44	
4.6	ฉลากสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์.....	4-51
4.6.1	แนวคิดของฉลากสิ่งแวดล้อม (Eco-Labeling)	4-51
4.6.2	ประเภทของฉลากสิ่งแวดล้อม	4-51
4.6.3	ผลการจัดทำฉลากเขียวประเภทที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์.....	4-53

บทที่ 5

	อุตสาหกรรมเหล็ก (Iron) และเหล็กกล้า (Steel)	5-1
5.1	ประเภทของอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก	5-1
5.2	วิวัฒนาการด้านการผลิตเหล็กของไทย	5-6
5.3	ภาวะอุตสาหกรรมเหล็ก	5-7
5.3.1	ภาวะอุตสาหกรรมเหล็กของโลก	5-7
5.3.2	ภาวะอุตสาหกรรมเหล็กของไทย	5-11
5.4	วัตถุดิบ และสาธารณูปโภคที่สำคัญในการผลิต	5-16

5.4.1	เหล็กวัตถุดิบ (Iron/Scrap).....	5-16
5.4.2	ฟลักซ์ และอัลลอยด์	5-17
5.4.3	พลังงาน	5-17
5.4.4	ออกซิเจน และก๊าซเฉื่อย	5-18
5.5	กระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลาง.....	5-18
5.5.1	การจัดเก็บและการเตรียมวัตถุดิบ	5-20
5.5.2	การอุ่นเศษเหล็ก (Scrap preheating)	5-20
5.5.3	การป้อนวัตถุดิบ (Charging).....	5-20
5.5.4	การหลอมเหล็กและการทำให้บริสุทธิ์ (Arc Furnace melting and refining)...	5-21
5.5.5	การเทน้ำเหล็กและการเทกากซีเหล็ก.....	5-21
5.5.6	การปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก	5-22
5.5.7	การจัดการกากซีเหล็ก.....	5-22
5.5.8	การหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting).....	5-22
5.6	ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....	5-23

บทที่ 6

การศึกษา LCA ในอุตสาหกรรมเหล็ก.....	6-1
-------------------------------------	-----

6.1	ตัวอย่างการศึกษา LCA และการจัดทำ LCI ในภาคอุตสาหกรรมเหล็กของประเทศต่าง ๆ	6-1
6.2	ฐานข้อมูล LCI ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมผลิตเหล็กในต่างประเทศ.....	6-2
6.3	ฐานข้อมูลการผลิตเหล็กของประเทศไทย	6-6

บทที่ 7

ผลการศึกษาการทำ LCI ของผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลาง	7-1
---	-----

7.1	การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา	7-1
7.1.1	เป้าหมายของการศึกษา.....	7-1
7.1.2	กลุ่มผู้นำไปใช้ประโยชน์ต่อ (Target audience)	7-1
7.1.3	การประยุกต์ใช้.....	7-2

7.2	ขอบเขตการศึกษา.....	7-2
7.2.1	คำจำกัดความของระบบ	7-2
7.2.2	หน่วยการทำงาน.....	7-2
7.2.3	ขอบเขตของระบบ	7-2
7.2.4	แหล่งที่มาของข้อมูล และสมมติฐาน	7-5
7.2.5	โปรแกรมฐานข้อมูล (Database Software)	7-12
7.2.6	ข้อจำกัดของการศึกษา	7-12
7.3	บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตเหล็กขั้นกลาง	7-13
7.3.1	รายการการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย	7-13
7.3.2	บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม.....	7-15
7.4	สรุปผลการศึกษา.....	7-30

บทที่ 8

	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	8-1
8.1	สรุปผลการศึกษา.....	8-1
8.2	ข้อเสนอแนะจากการดำเนินโครงการ.....	8-4

ภาคผนวก ก : บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 3
เรื่อง บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
เหล็กกล้า

ภาคผนวก ข : บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 4
เรื่อง จลากลสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์ในแต่ละประเทศระหว่างปี 2536-2542	2-5
ตารางที่ 2.2	ความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศระหว่างปี 2540-2544.....	2-9
ตารางที่ 2.3	ปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์ระหว่างปี 2539-2544	2-10
ตารางที่ 2.4	รายชื่อผู้ผลิตปูนซีเมนต์รายใหญ่และกำลังการผลิตปูนซีเมนต์.....	2-10
ตารางที่ 2.5	แสดงผู้ผลิตและชนิดของปูนซีเมนต์และเครื่องหมายการค้า	2-11
ตารางที่ 2.6	ปริมาณการส่งออกปูนซีเมนต์ระหว่างปี 2541-2544	2-12
ตารางที่ 2.7	สัดส่วนการส่งออกในตลาดที่สำคัญตามประเภทผลิตภัณฑ์ระหว่างปี 2542-2543.....	2-12
ตารางที่ 2.8	ปริมาณการผลิต การส่งออก การใช้และการนำเข้าของแร่วัตถุดิบที่ใช้ใน อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	2-13
ตารางที่ 2.9	ลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	2-18
ตารางที่ 2.10	สัดส่วนของออกไซด์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	2-22
ตารางที่ 2.11	การประมาณของเสียอุตสาหกรรมตามประเภทของอุตสาหกรรมในปี 2544 ..	2-24
ตารางที่ 2.12	การประมาณของเสียอุตสาหกรรมจำแนกตามประเภทของเสีย ปี 2544	2-26
ตารางที่ 2.13	สรุปข้อมูลปริมาณวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจากการดำเนินการนำสิ่งปฏิกูลออกนอก บริเวณโรงงานตามประเภทกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541)	2-27
ตารางที่ 2.14	ตัวอย่างประเภทของวัสดุที่ไม่ใช้ในเตาเผาซีเมนต์แบ่งตามประเภทของ อุตสาหกรรม	2-28
ตารางที่ 2.15	ตัวอย่างองค์ประกอบของยางรถยนต์ที่ใช้เผาทดแทนเชื้อเพลิง	2-29
ตารางที่ 2.16	ตัวอย่างวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่จะนำมาทดแทนวัตถุดิบ	2-30
ตารางที่ 2.17	ตัวอย่างค่าความร้อนขั้นต่ำของวัสดุที่ไม่ใช้แล้วและของเสียที่เป็นของเหลว ที่จะนำมาใช้ในโรงงานปูนซีเมนต์แกงคอย	2-30
ตารางที่ 2.18	กำลังการผลิตสูงสุดในการนำของเสียเข้าเตาเผาปูนซีเมนต์และปริมาณของเสีย ที่นำกำจัดโดยโรงงานปูนซีเมนต์ที่ได้รับการจดทะเบียนในการกำจัดของเสีย..	2-31

ตารางที่ 4.1	มลพิษที่ปล่อยออกสู่อากาศที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง	4-13
ตารางที่ 4.2	ตัวอย่างประเภทและแหล่งที่มาของกากของเสียชนิดต่าง ๆ ที่นำมาทดแทน วัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงาน	4-15
ตารางที่ 4.3	ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผงและ แบบบรรจุถุง (50 กิโลกรัม) (ค่าเฉลี่ย).....	4-23
ตารางที่ 4.4	ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) (ในรอบ 100ปี)	4-30
ตารางที่ 4.5	ตัวอย่างสารเคมีที่มีพิษที่สะสมหรือปลดปล่อย	4-32
ตารางที่ 4.6	ตัวอย่างสารเคมีที่มีพิษที่สะสมหรือปลดปล่อย	4-33
ตารางที่ 4.7	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตัน ประเมินด้วยวิธี CML 2 Baseline 2000.....	4-38
ตารางที่ 4.8	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตัน ประเมินด้วยวิธี Eco - Indicator 99	4-41
ตารางที่ 4.9	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากการใช้วัสดุที่ไม่ใช้แล้วเข้าเตาเผา ซีเมนต์.....	4-41
ตารางที่ 4.10	มลสารทางอากาศที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน 1 ตัน เปรียบเทียบกรณีการใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิง และการใช้ยิปซัม สังเคราะห์แทนวัตถุดิบ	4-47
ตารางที่ 5.1	สถิติปริมาณการผลิตเหล็กของโลกในระหว่างปี 2541-2545	5-7
ตารางที่ 5.2	รายละเอียดโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กของไทยแบ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์... ..	5-11
ตารางที่ 5.3	สถิติปริมาณการผลิตเหล็กชั้นกลางของไทยปี 2538-2543.....	5-12
ตารางที่ 5.4	สถิติปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นปลายของไทยปี 2538-2544	5-13
ตารางที่ 5.5	สถิติกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นปลายของไทยปี 2538-2544	5-14
ตารางที่ 5.6	สถิติการนำเข้าและส่งออกผลิตภัณฑ์เหล็กของไทยปี 2542-2544	5-15
ตารางที่ 5.7	สัดส่วนการนำเข้าและส่งออกวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเหล็กของไทย ปี 2544	5-16
ตารางที่ 5.8	ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของการผลิตเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า.....	5-23
ตารางที่ 5.9	องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นที่ตกโดยถุงกรองจากการผลิตเหล็กด้วยเตาอาร์ค ไฟฟ้า	5-25
ตารางที่ 5.10	องค์ประกอบทางเคมีของกากซีเมนต์จากการผลิตเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า...	5-26

ตารางที่ 6.1	ตัวอย่างฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเหล็กและรายละเอียด.....	6-3
ตารางที่ 6.2	รายการฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเหล็ก.....	6-4
ตารางที่ 6.3	การผลิตเหล็กประเภท Hot Rolled Bar.....	6-7
ตารางที่ 6.4	การผลิตเหล็กประเภท Hot Rolled Coil (Strip)	6-7
ตารางที่ 7.1	ข้อมูลการขนส่งของโรงงานและแบบจำลองที่ใช้งาน.....	7-6
ตารางที่ 7.2	ข้อมูลการขนส่งเทียบต่อ 1 ตันของเศษเหล็กที่เข้าโรงงาน	7-7
ตารางที่ 7.3	Emission Factor สำหรับ CO ₂ จากการผลิต Ferro Alloy.....	7-10
ตารางที่ 7.4	ค่าความร้อนเฉลี่ย และ CO ₂ emission coefficient ของการเผาไหม้.....	7-12
ตารางที่ 7.5	บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาวเทียบต่อ 1 กิโลกรัม.....	7-15
ตารางที่ 7.6	ผลตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการผลิตเหล็กเหล็กแท่งยาว.....	7-24
ตารางที่ 7.7	ผลตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของกากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเหล็กแท่งยาว.....	7-25

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.1	กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด และบริษัทปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด	4-5
รูปที่ 4.2	แผนภาพขอบเขตของระบบในการศึกษาผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด	4-8
รูปที่ 4.3	แผนภาพขอบเขตของระบบในการศึกษาผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด	4-9
รูปที่ 4.4	สารขาเข้าและสารขาออกในกระบวนการย่อย	4-17
รูปที่ 4.5	Environmental Load ของสารขาเข้าในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง (แบบผง)	4-26
รูปที่ 4.6	Environmental Load ของสารขาเข้าในกระบวนการผลิตปูนเม็ด	4-26
รูปที่ 4.7	Environmental Load ของสารขาเข้าในกระบวนการผลิตวัตถุดิบผสมประเภท I	4-27
รูปที่ 4.8	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน ประเมินด้วยวิธี CMI 2 baseline 2000	4-37
รูปที่ 4.9	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบบรรจุถุง (50 กก.) จำนวน 1 ตัน ประเมินด้วยวิธี CML 2 Baseline 2000	4-39
รูปที่ 4.10	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน แบบไม่บรรจุถุงและบรรจุถุง ประเมินด้วยวิธี CML 2 Baseline 2000	4-39
รูปที่ 4.11	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน ประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99	4-42
รูปที่ 4.12	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบบรรจุถุง ประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99	4-42
รูปที่ 4.13	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน แบบไม่บรรจุถุงและบรรจุถุง ประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99	4-43
รูปที่ 4.14	การนำของเสียเข้ามาใช้ทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงานปูนซีเมนต์	4-46
รูปที่ 4.15	ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแบบปกติ กับการใช้ของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิง	4-48

รูปที่ 4.16	ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงและยิปซัมแบบปกติ กับการใช้ของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิงและการใช้ยิปซัมสังเคราะห์ทดแทนยิปซัมแบบปกติ โดยคิดภาระทางสิ่งแวดล้อม 4-49
รูปที่ 4.17	ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงและยิปซัมแบบปกติ กับการใช้ของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิงและการใช้ยิปซัมสังเคราะห์ทดแทนยิปซัมแบบปกติ โดยไม่คิดภาระทางสิ่งแวดล้อม..... 4-50
รูปที่ 4.18	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน โดยเปรียบเทียบระหว่างระหว่างการใช้ยิปซัมแบบปกติ และการทดแทนด้วยยิปซัมสังเคราะห์ประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99 4-50
รูปที่ 5.1	แผนภาพกระบวนการผลิตเหล็กครบวงจร 5-5
รูปที่ 5.2	สัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์ใช้ผลิตภัณฑ์หลักของโลกปี 2543..... 5-9
รูปที่ 5.3	เปรียบเทียบสัดส่วนผลผลิตหลักของโลกแยกตามเทคโนโลยีการผลิตระหว่างปี 2543 และแนวโน้มอีก 10 ปีข้างหน้า 5-10
รูปที่ 5.4	เปรียบเทียบสัดส่วนผลผลิตหลักที่ได้จากกระบวนการ EAF ของประเทศต่าง ๆ ระหว่างปี 2543 และแนวโน้มอีก 10 ปีข้างหน้า 5-10
รูปที่ 5.5	กระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า 5-19
รูปที่ 5.6	ผลการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับกระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า 5-28
รูปที่ 7.1	ขอบเขตระบบที่ทำการศึกษา..... 7-4
รูปที่ 7.2	ภาพรวมระบบควบคุมมลภาวะทางอากาศภายในโรงงาน 7-9
รูปที่ 7.3	กระบวนการหลอมเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า..... 7-13
รูปที่ 7.4	กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กด้วยเตา LHF..... 7-14
รูปที่ 7.5	กระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง 7-14
รูปที่ 7.6	ระบบย่อยแสดงปริมาณการใช้ทรัพยากรสนับสนุนการผลิต..... 7-14
รูปที่ 7.7	ระบบผลิตและหมุนเวียนน้ำและระบบควบคุมฝุ่นและไอระเหย 7-15
รูปที่ 7.8	ความสัมพันธ์ของกระบวนการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม (ไม่รวมการขนส่งเศษเหล็ก)..... 7-26
รูปที่ 7.9	ความสัมพันธ์ของกระบวนการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม 7-27
รูปที่ 7.10	ความสัมพันธ์ของการผลิตน้ำเหล็กจากเตาอาร์คไฟฟ้า ปริมาณ 1 กิโลกรัม 7-28

รูปที่ 7.11	ความสัมพันธ์ของการผลิตน้ำเหล็กหลังออกจากเตา LHF ปริมาณ 1 กิโลกรัม	7-28
รูปที่ 7.12	ความสัมพันธ์ของการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม ภายหลังจากกระบวนการ การหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง (แต่ยังไม่ได้รวมการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงของระบบ In-House Facility	7-29
รูปที่ 7.13	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยตรงและโดยอ้อมของผลิตภัณฑ์เหล็ก แท่งยาว 1 กิโลกรัม.....	7-30
รูปที่ 7.14	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม แยกตามกระบวนการย่อย	7-31

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

โครงการ “การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม” มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าและศึกษาวิจัยผลกระทบของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ตลอดวัฏจักรชีวิต โครงการนี้เป็นการศึกษาเพื่อเอื้อประโยชน์ให้ภาครัฐ นักวิชาการ และกลุ่มอุตสาหกรรมมีข้อมูลบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษ ซึ่งสามารถใช้เป็นฐานข้อมูล (background database) ต่อยอดในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ และเพื่อการเตรียมพร้อมรับนโยบายสินค้าครบวงจรของสหภาพยุโรปต่อไป เนื่องอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์สื่อสาร อุปกรณ์สำนักงาน หรือยานยนต์ ต่างก็มีเหล็กกล้าเป็นองค์ประกอบด้วยกันทั้งสิ้น ที่สำคัญคือการได้ทราบถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตและจำหน่ายปูนซีเมนต์และการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กกล้า ซึ่งประเทศไทยในฐานะประเทศกำลังพัฒนาที่ได้ลงนามเข้าร่วมเป็นภาคีและให้สัตยาบันในกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UN Framework Convention on Climate Change) ในปี พ.ศ. 2538 จะต้องจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในประเทศทั้งหมด เสนอต่อสหประชาชาติ

อีกประการหนึ่ง หน่วยงานภาครัฐกำลังส่งเสริมให้มีการนำกากของเสียและกากของเสียอันตรายไปรีไซเคิลใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์ เพื่อลดภาระพื้นที่การจัดเก็บและทำลายกากของเสียลง ซึ่งน่าจะมีการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงบวก (Environmental contribution) ควบคู่ไป เพื่อใช้ในการสนับสนุนนโยบายดังกล่าว

1.1.1 ความสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการประเมินหาปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ ที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การออกแบบ การใช้พลังงานและวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้ผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงระบบนิเวศ สุขอนามัยของชุมชน และปัญหาสิ่งแวดล้อมโลก การศึกษา LCA แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) การ

วิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis) การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment) และการแปลผล (Interpretation)

LCA จัดเป็นอนุกรมหนึ่งในมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (ISO 14040) และเป็นวิธีการที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูงในประเทศพัฒนาแล้ว โดยภาครัฐได้นำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้เป็นฐานข้อมูลให้อุตสาหกรรมและใช้ในการกำหนดนโยบาย เช่น เพื่อสนองตอบต่อ Kyoto Protocol รัฐบาลญี่ปุ่นได้สนับสนุนให้มีการศึกษา LCA ในวงกว้าง เพื่อจัดทำบัญชีรายการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก ผลการศึกษานำไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรมเพื่อลดปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลง สำหรับบริษัทผู้ผลิตสินค้าได้ใช้ผลการศึกษา LCA เป็นเครื่องมือในการประกาศสมรรถนะทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ หรือนำผลที่ได้รับไปปรับกระบวนการผลิต หรือเพิ่มทางเลือกในการผลิตและการออกแบบเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากรลง

LCA เป็นวิธีการศึกษาที่มีความซับซ้อน ต้องใช้ฐานข้อมูลจำนวนมาก และเป็นวิทยาการใหม่ที่คนไทยยังไม่มี ความเข้าใจมากนัก โครงการศึกษาวิจัยด้าน LCA กับผลิตภัณฑ์มีจำนวนน้อยมาก ซึ่งเกือบทั้งหมดใช้ฐานข้อมูลจาก Commercial Software ของต่างประเทศ อย่างไรก็ตามประเทศไทยจำเป็นต้องทำความเข้าใจและผลักดันให้เกิดการศึกษาด้าน LCA ให้มากขึ้นโดยเร็วเพื่อเตรียมรับแรงกดดันจากการทำการค้ากับสหภาพยุโรป (EU) เนื่องจากสหภาพยุโรปกำลังออกนโยบายสินค้าครบวงจร (Integrated Product Policy: IPP) ซึ่งต้องการให้ผู้ผลิตพิจารณาว่าสินค้าชนิดต่างๆ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรบ้างตลอดวัฏจักรชีวิต (Product Life Cycle Approach) ถึงแม้ว่าขณะนี้ นโยบายฯ ดังกล่าวยังมีสถานะภาพเป็น Discussion paper (Green Paper) แต่หากมีการปรับสถานะภาพของ IPP เป็นกฎระเบียบและประกาศใช้เมื่อใด จะมีผลครอบคลุมสินค้าทุกชนิด รวมถึงสินค้านำเข้าจากประเทศไทยด้วย

1.1.2 ความสำคัญของผลิตภัณฑ์

ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่ใช้ในการเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตและวัสดุก่อสร้างอื่นๆ วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์คือ หินปูน (Limestone) และดินเหนียว (Clay) ที่สามารถพบได้โดยทั่วไป อุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญสาขาหนึ่งในประเทศไทย โดยปริมาณการผลิตและการใช้ปูนซีเมนต์รวมทั้งประเทศมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จากข้อมูลปี 2542 ปริมาณการผลิตแร่หินปูน (Limestone) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มีประมาณ 48.3 ล้านตัน

ซึ่งคิดเป็นมูลค่า 4,106 ล้านบาท โรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทยมีจำนวน 21 โรงงาน และมีจำนวนโรงงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์แต่ไม่ได้เป็นผู้ผลิตปูนซีเมนต์โดยตรงอีก 35 โรงงาน ที่จดทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม (สิงหาคม 2543)

อย่างไรก็ตาม การผลิตปูนซีเมนต์เป็นหนึ่งในกลุ่มอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้สินแร่ธรรมชาติและทรัพยากรเชื้อเพลิงจำนวนมากเพื่อให้ความร้อนแก่เตาเผา ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เห็นชัด ได้แก่ ฝุ่นละอองจากการทำเหมืองแร่ การบด การม่ การเผา การผสม มลพิษที่ปล่อยสู่อากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซึ่งให้ความร้อนกับเตาเผา นอกจากนี้ ในระหว่างการขนส่งไปยังผู้จัดจำหน่าย ผู้ค้าปลีก จนถึงมือผู้บริโภค มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นทรัพยากรที่เกิดทดแทนใหม่ไม่ได้ (non-renewable resource) และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษทางอากาศ ซึ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ไม่ได้ถูกนำมาคำนวณในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการอื่น ๆ

เหล็กกล้า

อุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยเป็นการผลิตเหล็กขึ้นกลางและขึ้นปลาย โดยในการผลิตเหล็กขึ้นกลางหรือเหล็กกล้า (Steel Making) เป็นการนำเอาเหล็กพูน (Sponge Iron) เหล็กพิก (Pig Iron) และเศษเหล็ก (Steel Scrap) เข้าเตาหลอมละลายเป็นน้ำเหล็ก ซึ่งส่วนใหญ่จะหลอมด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) และทำการป้อนน้ำเหล็กให้ได้คุณภาพที่ต้องการ แล้วผ่านกระบวนการหล่อเหล็ก (casting) ให้เป็นแท่งที่มีลักษณะแตกต่างกันตามการนำไปใช้งาน ได้แก่ เหล็กแท่งยาว (Billet) เหล็กแท่งแบน (Slab) และเหล็กแท่งใหญ่ (Bloom, Beam, Blanks) สำหรับการผลิตเหล็กขึ้นปลายเป็นการแปรรูปเหล็กกล้าให้เป็นเหล็กเส้น เหล็กแผ่นรีดร้อนและรีดเย็น หรือเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่อไป

ปริมาณการบริโภคผลิตภัณฑ์เหล็กของประเทศไทยรวมทั้งสิ้นประมาณ 14 ล้านตัน (ในปี 2543) ส่วนมากเป็นความต้องการใช้ในกลุ่มเหล็กแผ่นตามการเติบโตของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า โรงงานผลิตเหล็กกล้าด้วยเตาไฟฟ้ามักมีปัญหาเกี่ยวกับมลพิษจากกระบวนการผลิตโดยเฉพาะฝุ่น ก๊าซ คาร์บอน และ slag ฝุ่นที่เกิดจากการหลอมอาจมีโลหะหนักผสมอยู่ซึ่งขึ้นกับเศษเหล็กที่นำมาใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลและบัญชีรายการสิ่งที่ใส่เข้า (input) และสิ่งที่ออกมา (output) ของการผลิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าในประเทศไทย โดยเฉพาะปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.2.2 เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ในเชิงปริมาณ ตั้งแต่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (mining) การผลิต (manufacturing) และการขนส่ง (transportation) ไปถึงมือผู้จำหน่าย

1.2.3 เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงบวก จากการนำกากของเสียและกากของเสียอันตรายไปรีไซเคิลใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์

1.2.4 เพื่อนำข้อมูลวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ไปทดลองจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 สำหรับเป็นแนวทางเชิงรุกต่อมาตรฐานระหว่างประเทศเรื่องวัสดุก่อสร้างที่กำลังจัดทำโดย ISO/TC คณะที่ 59 ต่อไป

1.2.5 เพื่อส่งเสริมให้เกิดการศึกษาวิจัยในด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ขึ้นในประเทศไทย

1.3 กลุ่มศึกษา

สำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ได้รับความร่วมมือจาก บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) โดยมีบริษัทในเครือที่เข้าร่วมโครงการฯ ได้แก่ บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด จังหวัดลำปาง และ บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด จังหวัดสระบุรี ผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1/2 ซึ่งแบ่งเป็นปูนผงและปูนถุง

สำหรับอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าได้รับความร่วมมือจากบริษัทผลิตเหล็กแท่งยาวจำนวน 1 บริษัท ที่มีโรงงานตั้งอยู่ที่จังหวัดชลบุรี และมีปริมาณการผลิตประมาณ 200,000 ตัน/ปี

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

คณะผู้วิจัยใช้ระเบียบวิธีวิจัยตามชุดมาตรฐาน ISO 14040: การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) ซึ่งประกอบด้วยกำหนดยุทธศาสตร์และขอบเขต (Goal and Scope Definition – ISO 14040) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis –

ISO14041, ISO 14049) การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment – ISO 14042, ISO 14047) และการแปลผล (Interpretation – ISO 14043) ดังต่อไปนี้

ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

1. ติดต่อสมาคมและโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อขอความร่วมมือในด้านการให้ข้อมูล ภาพรวมของอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ และประสานงานเก็บข้อมูลปฐมภูมิกับโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ 2 โรงงาน ได้แก่ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (แ่งคอย) จำกัด จังหวัดสระบุรี และบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด จังหวัดลำปาง

2. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของระบบ (system boundary) และระบุหน่วยการทำงาน (functional unit) ของผลิตภัณฑ์

3. เก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลในโรงงาน โดยขอความร่วมมือไปยังบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์ ในการเยี่ยมชมโรงงานและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมตามขอบเขตของการศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ทำบัญชีรายการและวิเคราะห์ผลได้
- 2) รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิเพิ่มเติมจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชนทั้งในและต่างประเทศ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ การประเมินวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต ข้อมูลทางสถิติด้านการขนส่ง การใช้พลังงาน ปริมาณการสูญเสียและกากของเสียอันตราย

4. วิเคราะห์และทำบัญชีรายการ

ขั้นตอนการวิเคราะห์และทำบัญชีรายการในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์มีดังนี้

- 1) สร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product system)
 - 2) คำนวณหาปริมาณสิ่งที่ใส่เข้าไปและสิ่งที่ออกมาจากระบบผลิตภัณฑ์ย่อย 5 ระบบ ซึ่งรวมถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ กากของเสีย by-products ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมลพิษที่ปล่อยออกสู่อากาศ ได้แก่ SO_x , NO_x และฝุ่นละออง
 - 3) ทำบัญชีรายการของข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์
5. ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จะใช้โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ SimaPro[®] ซึ่งพัฒนาโดยบริษัท PRe Consultant ของประเทศเนเธอร์แลนด์

โปรแกรมซอฟต์แวร์ SimaPro® เป็นโปรแกรมที่เก็บฐานข้อมูลของวัตถุดิบ พลังงานและสภาพมลพิษตามที่ได้มีการศึกษา LCA โดยฐานข้อมูลส่วนใหญ่มาจากการศึกษา LCA ในยุโรป แต่สามารถนำโปรแกรมมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ได้

- 1) ทำการประเมินผลกระทบ 2 ขั้นตอน ได้แก่ การจำแนกผลกระทบออกเป็นหมวดหมู่ (Category definition and classification) และการคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบ (Characterization)
- 2) ในการจำแนกผลกระทบออกเป็นหมวดหมู่ จะจัดผลกระทบออกอย่างน้อย 6 กลุ่ม ได้แก่ Depletion of mineral resources, Depletion of energy resources, Global Warming Potential (GWP), Acid Deposition (AP), Air pollution และ Prolonged life of landfill space

6. แปลผล

นำผลการศึกษาที่ได้มาแปลผลเทียบกับเป้าหมายที่วางไว้ในข้อ 2

ผลิตภัณฑ์เหล็กกล้า

1. ติดต่อโรงงานผลิตเหล็กกล้าจำนวน 1 โรงงาน เพื่อขอความร่วมมือในการเก็บข้อมูลปฐมภูมิด้านการใช้ทรัพยากรและมลพิษที่เกิดขึ้น
2. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของระบบผลิตภัณฑ์เฉพาะการผลิตเหล็กขึ้นกลาง ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตย่อย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การป้อนวัตถุดิบ การหลอมละลาย และการหล่อเหล็ก และระบุหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์
3. วิเคราะห์และทำบัญชีรายการ โดยคำนวณหาปริมาณสิ่งที่ใส่เข้าไปและสิ่งที่ออก ซึ่งรวมถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมลพิษที่ปล่อยออกสู่อากาศ ได้แก่ SO_x , NO_x และฝุ่นละออง และทำบัญชีรายการของข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กกล้า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) รายงานวิชาการ (Technical Report) ด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าในประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วย บัญชีรายการก๊าซเรือนกระจก ฐานข้อมูลของ 2 อุตสาหกรรม ที่จะใช้ในการศึกษาต่อของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และร่างฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

- 2) บทความวิจัย (Publications) 2 ฉบับ สำหรับการเผยแพร่ผลงานการศึกษา
- 3) คู่มือวิธีคู่มือวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เบื้องต้น เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ของประเทศไทยต่อไป

1.6 ตารางเวลาของกิจกรรม

กิจกรรม	เดือน					
	1	2	3	4	5	6
1. จัดหาโรงงานเข้าร่วมโครงการ 1 โรงงาน						
2. เก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ						
3. ฝึกอบรม LCA แก่โรงงานเพื่อเตรียมความพร้อม						
4. กำหนดขอบเขตและแผนงานการศึกษา						
5. การเก็บข้อมูลและตรวจวิเคราะห์ ช่วงที่ 1						
6. การเก็บข้อมูลและตรวจวิเคราะห์ ช่วงที่ 2						
7. การวิเคราะห์ผลข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้อง						
8. การจัดทำบัญชีรายการ Input-& Output						
9. จัดทำรายงาน						

บทที่ 2

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นับเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่พัฒนาควบคู่กันไปกับการเติบโตของอุตสาหกรรมในไทย มีการนำปูนซีเมนต์ไปผสมกับทรัพยากรแร่อื่นเป็นคอนกรีต ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างคอนกรีต ได้แก่ ฐานราก ตอม่อ เขื่อน กำแพงกันดิน พื้นและถนน เมื่อเสริมด้วยเหล็กเสริมจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับพื้น หลังคา สะพาน อาคาร อุโมงค์ และอื่น ๆ หรือเมื่อนำปูนซีเมนต์มาผสมรวมกับทรายและปูนขาวจะเป็นปูนฉาบสำหรับการก่ออิฐหรือหิน เป็นต้น

2.1 วิวัฒนาการด้านการผลิตปูนซีเมนต์

มนุษย์สมัยโบราณ มีการใช้ผลิตภัณฑ์คล้ายปูนซีเมนต์มากกว่า 2000 ปีแล้ว แล้ว โดยมีการก่อสร้างอาคารและถาวรวัตถุและใช้ปูนขาวรู้จักก่อสร้างอาคารและถาวรวัตถุโดยใช้ปูนขาว หรือโลม์เป็นตัวก่อ (Mortar) เช่น โครงสร้างปิระมิด แต่พบว่าปูนขาวไม่อยู่ตัวในน้ำ ต่อมาสมัยกรีกได้มีการปรับปรุงจนกระทั่งสมัยโรมันได้มีการพัฒนาปูนซีเมนต์ให้มีความคงทนมากขึ้น เห็นได้จากสถาปัตยกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสมัยนั้น และต่อมาจึงมีผู้พบว่าการเติมสารประเภท Hydraulic ซึ่งมีส่วนผสมของซิลิกาเข้าไปในปูนขาว แล้วนำไปผสมกับน้ำตามส่วนจะสามารถก่อตัวและแข็งตัวในอากาศหรือน้ำได้ เนื่องจากการทำไฮเดรชัน (hydration) ปฏิกริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ จึงเรียกปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement)

ต่อมา มีผู้พบว่าถ้าเอาหินปูน (Limestone) ผสมกับหินเชล (Shale) แล้วนำไปเผาจะเกิดสารซีเมนต์ (Cement Material) ซึ่งสามารถแข็งตัวและไม่ละลายน้ำ

ในปี ค.ศ. 1824 นายโจเซฟ แอสปดิน ได้ทำการจดทะเบียนวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ ที่ได้จากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูน (Limestone) และดินเหนียว (Clay) มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกตและเมื่อนำมาบดจะได้เนื้อปูนซีเมนต์มีสีเหลือง-เทา คล้ายกับหินในเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ เขาจึงตั้งชื่อว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland) ปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ในตอนแรกนี้ยังมีคุณภาพต่ำมาก เนื่องจากการเผาส่วนผสมดังกล่าวใช้ความร้อนต่ำ ทำให้หินปูนกับดินเหนียวยังรวมตัวไม่ดีนัก

ปี ค.ศ. 1828 นายโจเซฟ แอสปดิน ได้มีการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไปก่อสร้างอุโมงค์ Thames River Tunnel และ 20 ปีต่อมา J.D.White และบุตรชาย ได้มีการจัดตั้งโรงงานที่สมบูรณ์

แห่งหนึ่งที่เมือง Kent และช่วงนั้นเอง อุตสาหกรรมปอร์ตแลนด์ได้มีการเติบโตขึ้นอย่างมากรวมทั้งที่ประเทศเบลเยียมและเยอรมัน

ปี ค.ศ. 1859-1867 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถูกนำไปสร้างระบบบำบัดที่ลอนดอน

ปี ค.ศ. 1868 ผู้ผลิตปูนซีเมนต์ชาวยุโรป ได้มีการขนส่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไปยังสหรัฐอเมริกาเป็นครั้งแรก

ปี ค.ศ. 1874 Robert W.Lesley ได้นำความคิดในการใช้อุปกรณ์ช่วยประหยัดแรงงานและเวลาในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้วิธีการบดเม็ดสำหรับเป็นวัตถุดิบในเตาเผาปูน

ปี ค.ศ. 1880 ในสหรัฐอเมริกา ได้มีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากได้มีการนำเตาเผามาใช้ในกระบวนการเผาปูนเม็ด

ปี ค.ศ. 1885 F.Ransome วิศวกรชาวอังกฤษ ได้จดสิทธิบัตรของเตาเผาที่คิดค้นขึ้น ซึ่งมีแนวเอียงเล็กน้อยและสามารถหมุนอย่างช้า ๆ ได้ โดยเตาเผาประเภทนี้สามารถผลิตได้ปริมาณมากและเผาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปี ค.ศ. 1902 Thomas A.Edison ได้มีการพัฒนาเตาเผา Rotary Kiln ที่มีความยาว 150 ฟุต ซึ่งมีความยาวมากกว่าแบบเดิม

ในปัจจุบัน เตาเผาบางประเภทที่ใช้กันอยู่มีความยาวมากกว่า 500 ฟุต นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาปรับปรุงอุปกรณ์สำหรับกระบวนการย่อยและการบดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอีกด้วย

2.2 ชนิดและประเภทของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์มีหลายชนิด แบ่งตามความเหมาะสมของการใช้งาน ดังนี้

2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (มอก.15) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบ่งได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ ได้แก่

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไปที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรง หรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือที่ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่ม

ขึ้นถึงชั้นอันตราย ตัวอย่างเช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนเพียงปานกลางหรือมีความต้านทานซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างคอนกรีต กำแพงกันดินหนา ๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อ สะพาน เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งแรงเร็ว (High-early strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่าซูเปอร์ซีเมนต์ ใช้ในงานคอนกรีตที่ต้องการให้รับน้ำหนักได้เร็ว ให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อเป็นผงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตได้โดยการเติมสารอื่น โดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้เร็ว หรือรีบแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้นและคานที่ต้องถอดแบบเร็ว เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-heat Portland) เป็นปูนซีเมนต์ที่ทำให้ความร้อนต่ำสุด ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหนา เช่น เขื่อน เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะแข็งตัว
5. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) ใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีด่าง (Alkaline) สูง มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

2.2.2 ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ (Natural cement)

ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ทำจากหินที่ขุดได้ในดินซึ่งมีส่วนผสมคล้ายปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นำหินนี้มาเผา แต่การเผาไม่ใช้ความร้อนสูงแบบเผาทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเผาแล้วเอาบดเป็นผง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีคุณภาพแข็งในน้ำได้เหมือนกัน แต่มีกำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาก และมีส่วนผสมไม่แน่นอน แล้วแต่สมบัติของหินที่ได้จากธรรมชาติ

2.2.3 ปูนซีเมนต์พอซโซลานา (Pozzolana cement)

ปูนซีเมนต์พอซโซลานาบางครั้งเรียกว่า ปูนซีเมนต์สแล็ก (slag cement) ทำโดยเอาปูนขาวและกาก (slag) จากเตาเผาเหล็กหรือพอซโซลานาซึ่งเกิดตามธรรมชาติและพวกหินภูเขาไฟมา

ผสมกันแล้วบดให้ละเอียด ปูนซีเมนต์ที่ชาวโรมันในสมัยโบราณใช้ก็เป็นปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ไม่แข็งเท่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่เมื่อผสมเป็นปูนก่อหรือคอนกรีตแล้วจะเหนียวดี และแตกยากกว่าปูนก่อหรือคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ได้ดีในงานที่อยู่ในน้ำ เค็มและเหมาะสำหรับใช้ในน้ำทะเลหรือในที่ชื้นแฉะ เช่น ฐานราก ท่อน้ำ และงานใต้ดินทั่ว ๆ ไป

2.2.4 ปูนซีเมนต์อะลูมินัส (Aluminous cement)

ปูนซีเมนต์อะลูมินัสทำขึ้นครั้งแรกในฝรั่งเศสโดยเอาบอกไซต์ (bauxite) ซึ่งเป็นแร่ที่มีอะลูมินา มากและราคาแพงมาผสมกับปูนขาวแล้วเผา หลังจากนั้นนำมาบดให้ละเอียดเช่นเดียวกับการทำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังเร็ว คอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อหล่อ ได้ 24 ชั่วโมง และมีกำลังเท่ากับคอนกรีตซึ่งหล่อด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3 เดือน เสาเข็ม คอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งหล่อด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้อาจนำมาใช้ตอกได้เมื่อหล่อได้เพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น

ปูนซีเมนต์ชนิดนี้สามารถนำไปใช้ในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวมากได้โดยไม่ต้องป้องกัน ความหนาวแบบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเอาปูนซีเมนต์ชนิดนี้ผสมน้ำจะทำให้เกิดความร้อนมาก ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้คอนกรีตแข็งด้วยความเย็นจัดเสียก่อน คอนกรีตซึ่งผสมด้วยปูนซีเมนต์นี้ เมื่อแข็งแล้ว (ระหว่าง 4 – 6 ชั่วโมง) ต้องรดน้ำหรือคลุมให้ชื้นอยู่เสมอจนครบ 24 ชั่วโมง เพื่อชดเชย น้ำที่ระเหยไปโดยความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่คอนกรีตกำลังแข็งตัว

2.2.5 ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica cement)

ปูนซีเมนต์ซิลิกาเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งนำมาผสมกับทรายเพื่อให้ราคาถูกลง โดย บดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเม็ดร้อยละ 70 ผสมทรายร้อยละ 30 และผสมยิปซัมลงไปด้วยเล็กน้อย ประเทศอังกฤษและประเทศต่าง ๆ ในยุโรปส่วนมากผลิตปูนซีเมนต์ชนิดนี้ขึ้นใช้กันอย่างแพร่หลาย ในประเทศที่ไม่ค่อยมีเชื้อเพลิงธรรมชาติใช้มักนิยมปูนซีเมนต์ชนิดนี้มากเพราะใช้เชื้อเพลิง ในการผลิตน้อยกว่าการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานของปูนซีเมนต์ซิลิกาส่วนมาก กำหนดส่วนต่ำสุดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งใช้ผสมไว้ร้อยละ 50 ตัวอย่างปูนซีเมนต์ซิลิกาในประเทศไทย คือ ปูนซีเมนต์ตราเสือของบริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด ปูนซีเมนต์ตรางูเห่า ของบริษัท ชลประทานซีเมนต์จำกัด และปูนซีเมนต์ตรานกอินทรีของ บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวงจำกัด

2.3 ภาวะอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของโลก

จากรายงานสถิติการผลิตปูนซีเมนต์ของ Cement Sustainability Initiative ปี 2542 พบว่า ปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์ของโลกมีประมาณ 1.53 พันล้านตันต่อปี มีการผลิตในประเทศต่างๆ มากกว่า 150 ประเทศ มีการจ้างงานประมาณ 850,000 คนทั่วโลก โดยประเทศที่ทำการผลิตปูนซีเมนต์อยู่ในระดับต้น 15 ประเทศมีปริมาณการผลิตรวมมากกว่าร้อยละ 70 ของโลก ได้แก่ ประเทศจีน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อินเดีย เกาหลี บราซิล เยอรมนี ตุรกี ไทย อิตาลี สเปน เม็กซิโก รัสเซีย อินโดนีเซีย ไต้หวัน ประเทศจีน มีปริมาณการผลิตมากที่สุดในโลกคิดเป็น 1 ใน 3 ของการผลิตทั้งหมด (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์ในแต่ละประเทศ ระหว่างปี 2536-2542

หน่วย : พันล้านตันต่อปี

ประเทศ	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542
Afghanistan	115	115	115	116	116	116	
Albania	200	200	200	200	150	150	
Algeria	6,400	6,060	6,822	6,900	7,000	7,800	
Angola	250	250	250	270	301	350	
Argentina	5,647	6,276	5,447	5,117	5,447	7,100	
Armenia	200	100	228	282	282	310	
Australia	5,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	
Austria	4,941	4,828	3,843	3,874	3,852	3,850	
Azerbaijan	600	500	200	200	315	201	
Bahrain	225	225	197	193	172	230	
Bangladesh	275	280	280	285	285	900	
Barbados	62	78	75	107	173	259	
Belarus	1,900	1,488	1,235	1,467	1,876	2,035	
Belgium	7,612	9,000	8,700	6,996	7,001	8,000	
Benin	506	465	579	580	550	520	
Bhutan	108	120	140	160	160	150	
Bolivia	654	768	892	934	1,035	1,050	
Bosnia and Herzegovina	150	150	150	150	200	300	
Brazil	24,843	25,230	28,256	34,597	38,069	43,000	43,000
Brunei	-	-	-	100	400	400	
Bulgaria	2,007	2,200	2,070	2,137	1,656	1,700	
Burma	400	470	517	505	516	365	
Cameroon	620	620	620	600	620	450	
Canada	6,672	10,584	10,440	11,587	12,015	12,064	
Chile	3,021	2,995	3,275	3,634	3,735	3,750	
China	367,880	421,180	475,910	491,190	511,730	513,500	520,000
Colombia	7,930	9,322	9,407	8,907	8,446	9,190	

ประเทศ	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542
Congo (Brazzaville)	114	87	96	50			
Congo (Kinshasa)	149	166	235	157	140	120	
Costa Rica	860	940	865	830	940	1,180	
Côte d'Ivoire	500	1,100	1,000	1,000	1,100	650	
Croatia	1,683	2,055	1,708	1,842	2,134	2000	
Cuba	1,049	1,081	1,470	1,453	1,713	1800	
Cyprus	1,089	1,053	1,021	1,022	910	1,200	
Czech Republic	5,393	5,303	4,825	5,015	4,877	5,000	
Denmark	2,270	2,430	2,584	2,629	2,683	2,528	
Dominican Republic	1,271	1,276	1,453	1,642	1,835	1,885	
Ecuador	2,098	2,164	2,616	2,677	2,688	2,690	
Egypt	16,000	17,000	17,665	18,700	18,100	19,203	20,000
El Salvador	861	850	890	948	1,020	1,077	
Eritrea	-	45	50	47	60	50	
Estonia	500	402	417	388	421	321	
Ethiopia	350	464	611	650	750	775	
Fiji	80	94	91	84	84	80	
Finland	835	864	907	975	905	903	
France	20,464	21,296	19,692	19,514	19,780	19,500	195,000
Gabon	132	126	154	180	200	196	
Georgia	300	100	100	85	91	85	
Germany	36,649	36,130	33,302	31,533	35,945	36,610	37,000
Ghana	1,203	1,346	1,300	1,500	1,700	2,000	
Greece	12,618	12,636	14,480	14,700	14,982	15,000	
Guadeloupe	230	230	230	230	230	230	
Guatemala	1,119	1,200	1,152	1,090	1,280	1,500	
Haiti	100	75	-	-	-		
Honduras	723	1,100	721	952	980	1,250	
Hong Kong	1,712	1,927	1,913	2,027	1,925	1,539	
Hungary	2,533	2,813	2,875	2,776	2,811	3,000	
Iceland	86	81	82	88	101	100	
India	53,812	57,000	62,000	75,000	80,000	85,000	87,000
Indonesia	18,934	21,907	23,129	25,000	27,500	22,000	25,000
Iran	16,000	16,000	16,300	16,500	15,200	17,000	
Iraq	2,000	2,000	2,108	2,100	1,598	1,700	
Ireland	1,450	1,623	1,730	1,933	2,100	2,000	
Israel	4,536	4,800	6,204	6,700	5,400	5,400	
Italy	33,771	32,713	33,715	33,327	33,721	35,000	35,000
Jamaica	451	445	522	557	591	558	
Japan	88,046	91,624	90,474	94,492	91,938	81,328	80,000
Jordan	3,514	4,000	3,508	3,415	3,251	1,386	
Kazakhstan	4,000	2,000	2,616	1,120	661	600	
Kenya	1,417	1,452	1,566	1,816	1,506	1,200	
Korea, North	17,000	17,000	17,000	17,000	17,000	17,000	
Korea, Republic of	47,313	50,730	55,130	58,434	60,317	46,791	55,000
Kuwait	500	1,000	1,950	2,000	2,000	2,000	

ประเทศ	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542
Kyrgyzstan	700	40	300	500	658	710	
Laos	7	10	10	9	9	9	
Latvia	300	244	203	325	246	366	
Lebanon	3,000	3,450	3,538	3,700	2,703	4,000	
Liberia	8	3	5	15	7	10	
Libya		3,800	3,210	3,550	2,524	3,000	
Lithuania	1,000	736	649	600	714	788	
Luxembourg	720	711	714	667	650	650	
Macedonia	499	486	524	491	500	500	
Madagascar		40	40	80	120	120	
Malawi	127	122	139	91	176	175	
Malaysia	8,797	9,928	10,713	12,349	12,668	10,397	
Mali	20	15	13	12	10	10	
Maritinique	220	220	220	220	220	220	
Mauritania	111	374	120	100	80	50	
Mexico	27,120	29,700	23,366	25,366	27,548	27,744	30,000
Moldova	100	39	49	40	122	74	
Mongolia	82	86	109	106	112	109	
Morocco	6,350	6,350	6,401	6,585	7,184	7,200	
Mozambique	20	60	60	180	220	290	
Nepal	274	316	327	309	225	280	
Netherlands	3,078	3,180	3,180	3,140	3,230	3,200	
New Caledonia	90	90	100	100	100	100	
New Zealand	800	900	950	974	976	975	
Nicaragua	255	309	324	360	310	336	
Niger	29	29	30	29	36	35	
Nigeria	3,200	2,627	2,602	2,545	2,520	2,700	
Norway	1,344	1,444	1,613	1,664	1,724	1,676	
Oman	1,000	1,200	1,177	1,260	1,264	1,300	
Pakistan	8,321	8,100	8,586	8,900	9,001	8,901	
Panama	571	615	615	647	700	750	
Paraguay	490	570	635	620	620	556	
Peru	2,500	3,000	3,000	3,848	4,300	4,340	
Philippines	7,962	9,571	10,554	12,429	14,681	13,338	
Poland	12,228	13,834	13,914	13,959	15,003	14,970	
Portugal	7,617	7,977	8,123	8,455	9,395	9,500	
Qatar	544	469	475	690	692	700	
Romania	6,240	5,998	6,842	6,956	7,298	7,000	
Russia	49,900	37,200	36,500	27,800	26,700	26,000	27,000
Rwanda	60	10	10	15	15	15	
Saudi Arabia	15,300	15,000	15,773	16,437	15,400	14,500	
Senegal	590	685	694	811	854	1,000	
Serbia and Montenegro	1,088	1,612	1,696	2,205	2,011	2,300	
Singapore	2,980	3,100	3,200	3,300	3,300	3,300	
Slovakia	2,500	2,700	2,902	2,802	3,017	3,000	

ประเทศ	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542
Slovenia	707	898	991	1,026	1,113	1,100	
Somalia	25	25	25	30	30		
South Africa	7,356	7,905	9,071	9,000	9,500	9,500	
Spain	22,878	25,150	26,423	25,157	27,632	27,943	28,000
Sri Lanka	676	925	984	928	965	1,100	
Sudan	250	160	391	380	291	300	
Suriname	50	60	60	60	65	65	
Sweden	2,162	2,153	2,539	2,447	2,253	2,105	
Switzerland	4,000	4,370	4,024	3,638	3,568	3,600	
Syria	4,500	4,500	4,463	4,500	4,460	4,500	
Taiwan	23,971	22,722	22,478	21,537	21,522	19,538	21,000
Tajikistan	300	200	100	50	35	18	
Tanzania		315	320	300	275	300	
Thailand	26,870	29,900	34,900	38,600	37,309	30,000	34,000
Togo	350	286	440	413	421	565	
Trinidad and Tobago	528	583	559	617	653	690	
Tunisia	4,269	4,606	4,938	4,567	4,431	4,590	
Turkmenistan	1,100	700	437	451	450	450	
Turkey	31,241	29,493	33,153	35,214	36,035	38,200	37,000
Uganda	50	36	85	180	203	210	
Ukraine	15,000	11,400	7,600	5,017	5,098	5,589	
United Arab Emirates	4,000	5,000	5,918	6,000	5,250	6,000	
United Kingdom	11,039	12,307	11,805	12,214	12,638	12,409	
United States	75,117	79,353	78,320	80,818	84,255	85,522	87,300
Uruguay	500	707	585	685	781	960	
Uzbekistan	5,300	4,800	3,400	3,300	3,300	3,400	
Venezuela	6,842	6,927	7,672	7,556	7,600	7,867	
Vietnam	4,200	4,700	5,200	6,600	7,500	6,000	
Yemen	800	800	1,088	1,040	1,229	1,200	
Zambia	350	280	312	348	384	400	
Zimbabwe	1,000	1,070	968	1,000	1,100	1,100	

ที่มา: รายงาน Global Network of Construction: www.global-cement.dk (2000).

2.4 ภาวะอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของไทย

2.4.1 ภาวะการผลิต

ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2532-2535 รัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้มีการลงทุนด้านอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เนื่องจากมีการขาดแคลนปูนซีเมนต์ในประเทศอย่างหนักจึงมีผู้ผลิตปูนซีเมนต์เกิดขึ้น

ใหม่หลายราย โรงงานที่ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ให้ประกอบกิจการที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีจำนวน 327 โรงงาน (ข้อมูล ณ มีนาคม 2546) โดยปริมาณการผลิตและการใช้ปูนซีเมนต์รวมทั้งประเทศมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศเคยสูงถึง 36 ล้านตัน แต่ด้วยผลของภาวะเศรษฐกิจที่หดตัวอย่างต่อเนื่องจากวิกฤติเศรษฐกิจในปี 2540 และสภาวะเศรษฐกิจยังไม่ฟื้นตัว ทำให้ความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในปัจจุบันเหลือเพียงประมาณ 18 ล้านตัน ขณะที่กำลังการผลิตยังคงอยู่ที่ 51 ล้านตัน ทำให้ต้องส่งออกผลิตภัณฑ์ส่วนเกิน

ปัจจุบันความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศจะทรงตัวอยู่ที่ระดับ 18-20 ล้านตัน หรือขยายตัวได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจยังไม่ฟื้นตัวนัก (ตารางที่ 2.2) ในปี 2544 กำลังการผลิตประมาณ 50.75 ล้านตันต่อปี ส่วนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) และปูนซีเมนต์ผสมมีการผลิตเพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 3.4 โดยมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 20.60 ล้านตัน ขณะที่ปูนซีเมนต์เม็ด (Clinker) มีอัตราการขยายตัวอยู่ที่ 4.4 (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.2 ความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศ ระหว่างปี 2540-2544

รายละเอียด	ปี				
	2540	2541	2542	2543	2544
ปริมาณความต้องการใช้ (ล้านตัน)	36.00	20.63	18.70	18.02	18.45
อัตราการขยายตัว (%)	-2.1	-42.7	-9.4	-3.6	2.4
การขยายตัวของภาคก่อสร้าง (%)	-26.2	-37.5	-11.0	-10.2	-2.0

ที่มา : รายงานภาวะธุรกิจและอุตสาหกรรม ปี 2544 และแนวโน้มในอนาคต. ฝ่ายวิจัย บริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์ ระหว่างปี 2539-2544

ประเภทของปูนซีเมนต์	ปริมาณการผลิต (ล้านตันต่อปี)					
	2539	2540	2541	2542	2543	2544 (ม.ค.-ก.ย.)
ปูนซีเมนต์ผสมและปอร์ตแลนด์	38.75	37.12	22.72	25.35	25.50	20.60
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	13.8	-4.2	-38.8	11.6	0.6	3.4
ปูนซีเมนต์เม็ด	33.35	37.17	25.52	30.90	29.40	24.48
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	13.2	11.4	-31.2	21.1	-4.8	4.4

ที่มา: ธนาคารแห่งประเทศไทย

อย่างไรก็ตามถึงแม้ศักยภาพของประเทศไทยเองจะสามารถผลิตปูนซีเมนต์ที่สูงกว่าอีกหลาย ๆ ประเทศในเอเชีย แต่จากการนำเข้าของสหรัฐอเมริกาชะลอตัวลงตั้งแต่ปี 2543 และภาวะการผลิตที่สูงเกินความต้องการของตลาด ทำให้ระดับการส่งออกอาจชะลอตัวลง จึงทำให้บริษัทปูนซีเมนต์ข้ามชาติและขนาดใหญ่ต่างเข้ามามีบทบาทและทำให้โครงสร้างของอุตสาหกรรมเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 2.4) จากการประมาณในปี 2544 คาดว่า บริษัทปูนซีเมนต์ไทย มีส่วนแบ่งทางการตลาดในประเทศมากที่สุด คือ ร้อยละ 39 รองลงมาเป็น บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวงและบริษัท ทีพีโอ โพลีน มีสัดส่วนร้อยละ 25 และร้อยละ 18.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 รายชื่อผู้ผลิตปูนซีเมนต์รายใหญ่และกำลังการผลิตปูนซีเมนต์

รายชื่อผู้ผลิต	กำลังการผลิต (ล้านตันต่อปี)	สัดส่วนการถือหุ้นของ บริษัทข้ามชาติ (%)	บริษัทข้ามชาติที่เข้าถือหุ้น
1. บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด	22.00	-	-
2. บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง	12.30	28	Holcim (ชื่อเดิม Holderbank Financiere Clarus)
3. บริษัททีพีโอ โพลีน	9.00	73	Holcim
4. บริษัทปูนซีเมนต์เอเชีย	5.00	N/A	Ciments Francais (ฝรั่งเศส)
5. บริษัทชลประทานซีเมนต์	1.70	54	Ciments Francais (ฝรั่งเศส)
6. บริษัทไทยสถาปนา	0.15	-	-
7. บริษัทสระบุรีซีเมนต์	0.40	N/A	Cemex (เม็กซิโก)
8. บริษัทสามัคคีซีเมนต์	0.20	-	-
รวม	50.75		

ที่มา : ธนาคารแห่งประเทศไทยและจากการสอบถามผู้ผลิต (2544)

ตารางที่ 2.5 แสดงผู้ผลิตและชนิดของปูนซีเมนต์และเครื่องหมายการค้า

ผู้ผลิต	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พิเศษ	ปูนซีเมนต์ขาว
1. บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด	เสือ	ช้าง	เอราวัณ	ช้างขาว
2. บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง	นกอินทรี	เพชร	3 เพชร	-
3. บริษัททีพีไอ โพลีน	เขียว	แดง	ดำ	-
4. บริษัทปูนซีเมนต์เอเชีย	ดอกบัว	ภูเขส	-	-
5. บริษัทชลประทานซีเมนต์	งูเห่า	พญานาค สีเขียว	พญานาค 7 หัว	-
6. บริษัทสามัคคีซีเมนต์	มือ	-	-	-
7. บริษัทสระบุรีซีเมนต์	จรวด	ดาวเทียม	-	-
8. บริษัทไทยสถาปนา	ไก่	-	-	-

ที่มา: ข่าวสารการธรณี ISSN 0125 1544 ปีที่ 43 ฉบับที่ 2 ปี 2541

2.4.2 ภาวะการนำเข้า

ประเทศไทยมีการนำเข้าลดลง ตั้งแต่ปี 2540 เป็นต้นมา และในปี 2543 มีปริมาณนำเข้าเพียง 8,448 ตัน ลดลงปี 2542 ที่มีปริมาณ 19,368 ตัน หรือลดลงร้อยละ 43.6

2.4.3 ภาวะการส่งออก

อุตสาหกรรมได้มีการผลิตเพื่อการส่งออกมากขึ้น ซึ่งเปลี่ยนจากเดิมที่เป็นการผลิตเพื่อตอบสนองในประเทศเท่านั้น ในปี 2535 สามารถผลิตเพื่อส่งออกปูนซีเมนต์ได้ประมาณ 77,960 ตัน จนในปี 2543 (ตารางที่ 2.6) พบว่า สามารถส่งออกปูนซีเมนต์ได้ทั้งสิ้นประมาณ 15.17 ตัน มีมูลค่ามากกว่า 12,000 ล้านบาท

การส่งออกปูนซีเมนต์เม็ดในปี 2544 (ม.ค.-ส.ค.) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 56.6 ของปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ทั้งหมด ปีปริมาณ 6.65 ล้านตัน มูลค่า 4,535 ล้านบาท เพิ่มขึ้น 4.6 และ 19.3 ตามลำดับ ตลาดการส่งออกที่สำคัญที่สุด คือ ประเทศบังคลาเทศ ร้อยละ 31.9 รองลงมาเป็นเวียดนามร้อยละ 11.4 ส่วนสหรัฐอเมริกา มีสัดส่วนการส่งออกเหลือ 10.2 ลดลงจากปี 2543 ซึ่งมีสัดส่วนร้อยละถึง 31.6

สำหรับการส่งออกปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 43.0 ของปริมาณการส่งออกทั้งหมด มีปริมาณรวม 4.97 ล้านตัน มูลค่า 5,382 ล้านบาท โดยตลาดที่สำคัญของไทยคือ สหรัฐอเมริกา มีสัดส่วนถึงร้อยละ 52.5 (ตารางที่ 2.6 และ ตารางที่ 2.7) แต่มีการขยายตัวลดลง

จากปี 2543 เนื่องจากมีคู่แข่ง ได้แก่ ประเทศแคนาดา จีน และโคลัมเบีย รองลงมาเป็นประเทศพม่า กัมพูชา และลาว

จากข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี ในปี 2544 พบว่าการใช้วัตถุดิบหลักในการผลิตปูนซีเมนต์ คือ แร่หินปูน มีปริมาณการผลิตแร่หินปูน (Limestone) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ประมาณ 47 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าประมาณ 4,000 ล้านบาท โดยมีการผลิตเพื่อนำมาใช้ในการประเทศมากถึง 45.5 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 3,870 ล้านบาท (ตารางที่ 2.8)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณการส่งออกปูนซีเมนต์ ระหว่างปี 2541-2544

ปริมาณ: ล้านตัน

มูลค่า: ล้านบาท

ประเภท	2541		2542		2543		2544		ขยายตัว ปี2543		ขยายตัว ปี2544	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
ปูนซีเมนต์เม็ด	7.207	5,633	8.933	5,620	8.371	5,172	6.538	4,535	-6.3	-8.0	4.6	19.3
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	1.833	2,470	5.281	5,673	6.757	6,707	4.969	5,382	27.9	18.2	-5.6	5.4
ปูนซีเมนต์อื่นๆ	0.476	702	1.327	1,359	0.040	169	0.044	199	-96.9	-87.6	73.3	93.9
รวม	9.516	8,804	15.541	12,652	15.169	12,048	11.557	10,116	-2.4	-4.8	0.1	12.3

ที่มา: กรมเศรษฐกิจ กระทรวงพาณิชย์

ตารางที่ 2.7 สัดส่วนการส่งออกในตลาดที่สำคัญ ตามประเภทผลิตภัณฑ์ ระหว่างปี 2542-2543

สัดส่วนและประเภท	ตะวันออกกลาง	กลุ่มประเทศเพื่อนบ้าน	กลุ่มอาเซียน	สหรัฐอเมริกา	ประเทศอื่นๆ	รวม
สัดส่วนปี 2542 (%)						
ปูนเม็ด	9.6	1.4	15.3	23.2	50.5	100
ปอร์ตแลนด์	0	23.5	4.4	50.2	21.8	100
อื่น ๆ	4.7	16.5	1.3	67.7	9.8	100
รวม	5.9	10.2	10.4	36.2	37.3	100
สัดส่วนปี 2543 (%)						
ปูนเม็ด	3.1	2.7	13.9	27.6	52.7	100
ปอร์ตแลนด์	0	23.9	6.6	53.8	52.7	100
อื่น ๆ	0	27.3	10.2	2.5	60.0	100
รวม	1.7	12.2	10.6	39.2	36.3	100
สัดส่วนปี 2544 (ม.ค.-ส.ค.) (%)						
ปูนเม็ด	5.7	11.7	9.1	10.2	63.3	100
ปอร์ตแลนด์	0	24.6	1.3	52.5	21.6	100
อื่น ๆ	0	24.4	13.8	25.8	36.0	100
รวม	3.2	17.3	5.7	28.5	45.2	100

	ตะวันออกกลาง	กลุ่มประเทศเพื่อนบ้าน	กลุ่มอาเซียน	สหรัฐอเมริกา	ประเทศอื่นๆ	รวม
การเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน(%)						
ปูนเม็ด	44.3	2957.0	-28.1	66.1	30.5	4.6
ปอร์ตแลนด์	n.a.	9.2	1.3-78.8	52.5-15.8	21.643.4	100-5.7
อื่น ๆ	n.a.	67.9	199.9	1007.7	-0.6	73.3
รวม	44.3	73.7	-41.3	-35.2	32.9	0

ที่มา: กรมเศรษฐกิจการกระทรวงพาณิชย์ รวบรวมโดยบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

ตารางที่ 2.8 ปริมาณการผลิต การส่งออก การใช้และการนำเข้าของแร่วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ปูนซีเมนต์

ปริมาณ: ตัน

มูลค่า: ล้านบาท

ปริมาณแร่ต่างๆ	2540		2541		2542		2543		2544	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
ปริมาณการผลิต										
- แอนไฮไดรท์	292,441	133.0	162,057	100.7	203,850	94.0	255,472	112.5	310,720	149.4
- ยิปซัม (unground)	8,557,584	4,030.7	4,333,804	2,844.7	5,005,173	2,297.3	5,830,326	2,555.8	6,190,814	2,977.8
- แร่หินปูน	58,757,086	4,994.4	36,593,052	3,110.4	48,305,955	4,106.0	43,491,950	3,693.8	46,984,285	3,993.7
- ดินปูนขาว(Marl)	9,543	0.8	6,995	0.6	32,044	2.7	7,290	0.6	7,755	0.7
- หินดินดาน (Shale)	5,387,424	484.9	2,703,523	243.3	3,223,186	290.1	3,110,203	279.9	3,364,211	302.8
รวมทั้งหมด		9,643.8		6,299.7		6,790.1		6,645.6		7,424.4
เปอร์เซ็นต์		35.6		28.6		29.1		28.7		30.5
ปริมาณการส่งออก										
- แอนไฮไดรท์	290,970	153.3	150,630	94.1	149,500	70.8	272,240	120.7	264,020	128.6
- ยิปซัม										
- ground	7,280	11.0	3,151	7.0	2,453	5.2	4,010	10.4	2,816	7.2
- Unground	5,977,284	3,114.6	3,561,425	2,301.6	3,645,528	1,737.6	4,199,336	1,836.6	4,249,327	2,068.6
รวมทั้งหมด		3,278.9		2,402.7		1,183.6		1,967.7		2,204.4
เปอร์เซ็นต์		48.87		26.52		24.46		22.39		20.27
ปริมาณการใช้										
- แอนไฮไดรท์	5,000	3.8	6,900	4.3	14,900	6.6	548	0.3	962	0.5
- ยิปซัม	1,991,631	900.2	1,173,051	750.3	1,607,882	732.1	1,645,202	723.2	1,744,229	839.0
- แร่หินปูน	55,076,038	4,681.5	36,206,167	3,077.5	48,910,768	4,157.4	42,246,576	3,590.9	45,519,058	3,869.1
- ดินปูนขาว(Marl)	10,073	0.9	7,895	0.7	32,544	2.8	7,790	0.7	7,855	0.7
- หินดินดาน (Shale)	5,312,900	478.2	2,720,087	244.8	3,204,403	288.4	3,156,918	284.1	3,183,096	286.5
รวมทั้งหมด		6,064.6		4,077.6		5,187.3		4,599.2		4,995.8
เปอร์เซ็นต์		23.96		20.31		22.85		19.98		20.71
ปริมาณการนำเข้า										
- แอนไฮไดรท์	176	1.9	4	0.0	4	0.1	8	0.1	4	0.1
- ยิปซัม	78,974	52.4	315	4.8	239	4.0	133	2.6	137	1.8
- แร่หินปูน	23	0.1	62	0.3	50	0.3	142	0.7	460	1.7
รวมทั้งหมด		54.4		5.1		4.4		3.4		3.6

ที่มา : รวบรวมจากรายงานฝ่ายสถิติ กองทรัพยากรธรณี 2545

2.5 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ มีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญ ดังนี้

2.5.1 การทำเหมือง

การทำเหมืองเพื่อนำวัตถุดิบมาใช้นั้น ต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ คือ อัตราการผลิต ลักษณะแหล่งหิน จุดที่ตั้งของโรงงาน จุดที่ตั้งของโรงโม่ เงื่อนไขด้านสิ่งแวดล้อม โดยมีขั้นตอนการทำเหมือง 2 ขั้นตอน คือ

- 1) ขั้นตอนการพัฒนาหน้าเหมือง เพื่อเตรียมการผลิต โดยการเปิดเปลือกดินและพัฒนาให้เป็นหน้าเหมืองที่พร้อมเพื่อการผลิตแร่ ตัดเส้นทางเพื่อใช้เป็นเส้นทางหลักในการขนแร่ ตลอดจนปรับพื้นที่และสร้างอาคารต่าง ๆ
- 2) ขั้นตอนการผลิตแร่ ประกอบด้วย
 - การเจาะ (Drilling) จัดเป็นขั้นตอนแรกของการทำเหมือง ซึ่งการเลือกเครื่องเจาะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ คือ ความแข็งของหิน ลักษณะโครงสร้างของชั้นหิน และขนาดของหลุมเจาะ
 - การระเบิด (Blasting) ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญและอันตรายที่สุดในการทำเหมือง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ขนาดและการแตกของหิน การควบคุมหินแตก แรงสั่นสะเทือน และค่าใช้จ่าย
 - การตัก (Mucking) ส่วนใหญ่จะเลือกรถตักขนาดใหญ่ จำนวนน้อยคัน ซึ่งทำงานได้ดีกว่ารถตักขนาดเล็ก แต่ต้องใช้หลายคัน
 - การขนแร่ (Hauling) เป็นการขนแร่ไปเทที่โรงโม่โดยใช้ Rear Dump Truck
 - การโม่หรือย่อยแร่ (Crushing) โดยทั่วไปเครื่องย่อยในโรงงานปูนซีเมนต์จะเป็นเครื่องโม่ขนาดใหญ่มีความสามารถในการโม่ตั้งแต่ 1,000 ตัน/ชั่วโมงขึ้นไป

โดยทั่วไปฝ่ายเหมืองจะต้องทราบปริมาณความต้องการในการใช้ปริมาณหินปูนในการผลิตในช่วงนั้นๆ ก่อน จากนั้นจึงนำมาคำนวณพื้นที่ในการระเบิด โดยจะคำนวณปริมาตรหินปูนที่ต้องการระเบิดจากปริมาณหินปูนทั้งหมดที่ต้องการหารด้วยความหนาแน่นของหินปูน (2.6 ตันต่อตารางเมตร) เมื่อทราบปริมาตรจึงนำมาคำนวณหาพื้นที่ด้วยสูตร กว้าง x ยาว x สูง แต่ในการระเบิดหินปูนนั้นโรงงานจะต้องกำหนดความสูงในการระเบิดชั้นหิน (bench) ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย ปกติ bench มีความสูงประมาณ 12 เมตร ซึ่งเมื่อทราบความสูงของชั้นหินแล้วจะทำให้ทราบถึงพื้นที่หน้าเหมือง

(กว้าง x ยาว) ที่ต้องทำการระเบิดโดยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ จากนั้นทำการขุดรูพื้นที่หน้าดิน เพื่อฝังดินระเบิดลงไป โดยที่แต่ละรูจะมีความลึกเท่ากับความสูงของ bench และมีระยะห่างระหว่างรูประมาณ 7-9 เมตร ทำเป็นแถว และมีระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 4-5 เมตร

ในทางปฏิบัติการทำเหมืองหินปูนของโรงงานจะมีการระเบิดหินในจำนวนที่มากกว่าความต้องการของฝ่ายผลิต เพื่อการประหยัดวัตถุดิบและพลังงานในการทำเหมือง จึงต้องทำการระเบิดให้ได้คราวละมากๆ เพื่อเก็บไว้ใช้ในรอบการผลิตอื่นๆ ต่อไป โดยที่ในแต่ละครั้งที่จะหาพื้นที่ในการระเบิด จะต้องทำการขุดรูเพื่อเก็บตัวอย่างหินปูนในบริเวณที่จะทำการระเบิดเพื่อตรวจสอบคุณภาพของหินปูนก่อนว่ามีส่วนประกอบของแมกนีเซียมออกไซด์เกินร้อยละ 3 หรือไม่ หากมีปริมาณเกินระดับที่กำหนดไว้จะไม่ทำการระเบิดหินในบริเวณนั้นเนื่องจากแมกนีเซียมออกไซด์จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

หินปูนและหินดินดานที่ได้จากเหมืองนี้ จะผ่านเข้าเครื่องย่อยหินให้มีขนาดประมาณ 25 มม. และนำมาผสมกันในอัตราส่วน 3:1 เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการเตรียมการผลิตปูนซีเมนต์ต่อไป

2.5.2 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การย่อย และการบด

ในการเตรียมวัตถุดิบ ต้องนำวัตถุดิบมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบเพื่อคำนวณหามาตราส่วนที่จะใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่สำคัญมี 2 แบบ คือ การผลิตแบบเปียก (Wet process) และการผลิตแบบแห้ง (Dry process) การเลือกกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์วิธีใด ขึ้นกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบ ราคาของเชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดไฟฟ้า วิธีเก็บฝุ่น ตลอดจนความสม่ำเสมอของวัตถุดิบก่อนป้อนเข้าเตาเผา ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ต่างกันตรงวิธีการเตรียมวัตถุดิบเพื่อป้อนเข้าเตาเผา

การเตรียมวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแบบแห้ง ส่วนผสมของวัตถุดิบหลักกับดินแดงและแร่เหล็ก จะถูกป้อนเข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบซึ่งเป็นแบบ Vertical Roller Mill โดยมีลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส เพื่อทำหน้าที่ไล่ความชื้น และนำพาวัตถุดิบที่ถูกบดละเอียดจนได้ขนาดแล้วออกมา ส่วนที่เหลือจะถูกลำเลียงกลับไปผสมกับวัตถุดิบที่ป้อนเข้ามาใหม่เพื่อบดซ้ำอีกครั้งจนได้ขนาดละเอียดเพียงพอตามกำหนด จากนั้นนำไปเก็บไว้ในไซโล โดยมีคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบลำเลียง ทำให้วัตถุดิบที่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizing)

การเตรียมวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแบบเปียก จะนำเอาวัตถุดิบที่มีน้ำผสมก่อนแล้ว นำไปผสมกับน้ำเพิ่มเติมตามสัดส่วนในบ่อเตรียมดิน (Wash Mill) ได้เป็นน้ำดิน (Slurry) จากนั้นบดให้มีความละเอียดเท่าที่ต้องการ ก่อนที่จะส่งเข้าเตาเผาเพื่อระเหย ซึ่งปัจจุบันโรงงานปูนซีเมนต์ในประเทศไทยไม่มีการใช้การผลิตแบบเปียกนี้แล้ว

2.5.3 การเผาปูนซีเมนต์

เตาเผาปูนซีเมนต์ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นแบบเตาหมุน (Rotary Kiln) ซึ่งเป็นเหล็กกล้ารูปทรงกระบอกยาวประมาณ 50-150 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-4 เมตร โดยเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวแตกต่างกันไปตามกำลังการผลิต เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาอาจเป็นถ่านหินบด (หรือลิกไนต์บด) น้ำมันเตาหรือก๊าซ ภายในเตาเผาด้วยอิฐทนไฟหมุนรอบตัวในแนวเอียงอย่างช้า ๆ ประมาณ 1-2 รอบต่อนาที มีความเอียงจากปลายข้างที่ป้อนไปยังปลายที่ออกเล็กน้อย อุณหภูมิที่เข้าประมาณ 1,400-1,500 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนการเผาเริ่มจากการลำเลียงวัตถุดิบที่บดละเอียดขึ้นไปให้อุ่น โดยป้อนเข้าทางด้านบนแล้วค่อย ๆ ผ่านตัวเตาซึ่งมี Cyclone 5 ชั้น มีลมร้อนไหลผ่านสวนทางกับวัตถุดิบ (Counter current) และ Pre-calciner ที่อุณหภูมิสูง 870 องศาเซลเซียส จากนั้นลำเลียงเข้าหม้อเผา ซึ่งภายในหม้อเผามีอิฐทนไฟ (refractory lining bricks) เพื่อเก็บความร้อนไว้ภายในและมีช่องเป็นชุดแขวนไว้ทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น ชุบน้ำดินที่ไหลผ่านมา แล้วให้ปะทะกับลมร้อนที่จะผ่านออกทางปล่อง ทำให้น้ำระเหยออกจากน้ำดิน บันดินที่น้ำระเหยออกไปบ้างแล้วให้เป็นเม็ดกลมๆ มีขนาดเท่าปลายนิ้วมือหรือใกล้เคียงกัน เม็ดดินที่ผ่านช่องเป็นชุดๆ มานั้นจะถูกเผาให้ร้อนขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อร้อนถึง 800 – 1,000 องศาเซลเซียส เม็ดดินก็จะเริ่มคายคาร์บอนไดออกไซด์ออก เมื่อเม็ดดินนี้ร้อนภายใต้อุณหภูมิ ประมาณ 1,450 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเปลี่ยนเป็นปูนเม็ด (Clinker) และทำให้เย็นตัวลงที่ Clinker Cooler เพื่อให้ปูนเม็ดที่ผ่านการเผาแล้วลดอุณหภูมิจาก 1,000 องศาเซลเซียส เหลือ 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดไตรแคลเซียมซัลเฟต (C_3S) มากที่สุด ในขณะที่ปูนเม็ดเริ่มแข็งตัว จากนั้นจึงเก็บปูนเม็ดแล้วออกทางด้านล่างไปเก็บในยังเก็บ

2.5.4 การบดปูนซีเมนต์

ปูนเม็ดที่เก็บไว้ในยังจะไปบดในเครื่องบดแบบบีบอัด (Roller Press) โดยผสมปูนเม็ดกับสารหน่วง (Retarder) ในปริมาณพอเหมาะ สารหน่วงที่ใช้ ได้แก่ ยิปซัม ($Gypsum: CaSO_4 \cdot 2H_2O$) หรือปูนพลาสเตอร์ (Plaster of Paris: $CaSO_4 \cdot H_2O$) จากนั้นนำมาบดละเอียดรวมกันในในหม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) โดยปูนซีเมนต์ที่บดแล้วนี้จะมีสารหน่วงหรือยิปซัมในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 4-5 โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณสารหน่วงส่วนใหญ่ขึ้นกับปริมาณของอลูมินา (Al_2O_3) ที่มีอยู่ ปูนที่ผ่านการบดจะนำมาแยกความละเอียดโดยเครื่องแยก (Separator) ปูนซีเมนต์ที่ได้ความละเอียดตามที่ต้องการ (ขนาดประมาณ 200 เมช) จะถูกลำเลียงเก็บไว้ในไซโลพร้อมที่จ่าย

ให้ลูกค้า ส่วนปูนซีเมนต์ที่ยังไม่ได้ขนาดจะถูกนำมาบดซ้ำ เนื่องจากปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดกว่าก่อตัวและให้กำลังความแข็งแรงได้เร็วกว่า ถ้าปูนซีเมนต์มีขนาดหยาบมากเกินไปอาจทำให้เกิดการคายน้ำ (Bleeding) ได้มากกว่าปูนซีเมนต์ที่ละเอียด

2.5.5 การบรรจุและขนส่ง

ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปที่ได้นี้จะถูกเก็บไว้ในไซโลเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Silo) มีผนังปกคลุมมิดชิดกันความชื้น ก่อนจะจำหน่ายให้ลูกค้าต่อไป ซึ่งโดยทั่วไป โรงงานจะจำหน่ายปูนซีเมนต์ให้ลูกค้า 2 แบบ คือ

- ก) ปูนซีเมนต์ผง (Bulk Cement) ซึ่งมีการจ่ายทั้งทางรถยนต์และรถไฟ ซึ่งสามารถเข้ามารับโดยตรงจากไซโลได้ โดยไม่มีการบรรจุถุง
- ข) ปูนซีเมนต์ถุง (Bag Cement) เป็นการนำปูนซีเมนต์สำเร็จรูปมาบรรจุถุงขนาดน้ำหนักสุทธิถุงละ 50 กิโลกรัม โดยเครื่องจักรในอัตราชั่วโมงละ 4,000 ถุง หรือ ประมาณ 200 ตันและเครื่องจ่ายอัตโนมัติสามารถจ่ายปูนซีเมนต์ถุงได้เครื่องละ 2,000 ถุงต่อชั่วโมง โดยเครื่องจะสามารถลำเลียงปูนซีเมนต์ถุงในรถบรรทุกและรถไฟได้

ในกรณีที่มีการส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศอาจจะจำหน่ายในรูปปูนเม็ด (Clinker) เพื่อให้ผู้ซื้อไปบดและผสมใช้เองตามวัตถุประสงค์ของงาน

2.6 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะมีกระบวนการต่าง ๆ หลายขั้นตอนซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ เกิดมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ฝุ่นละออง ก๊าซ มลพิษทางน้ำ ได้แก่ น้ำเสีย รวมทั้งมลพิษทางเสียง ซึ่งปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่พบมากที่สุดในการบวนการผลิตปูนซีเมนต์ คือ ฝุ่นละออง จากการทำเหมือง การผลิต การกองเก็บและการขนส่ง เป็นต้น (ตารางที่ 2.9) ดังนั้น การจัดการลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องมีการดำเนินการควบคู่กับการดำเนินการผลิตเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ปัจจุบัน ผู้ผลิตได้ตระหนักถึงผลกระทบและได้หาทางป้องกันอย่างดี เช่น มีการติดตั้งเครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator) ในการดักฝุ่นจากปล่องหม้อเผาปูนซีเมนต์ และปล่องหม้อเย็น การติดตั้งเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag Filter) ในจุดอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดฝุ่นได้ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วฝุ่นที่ออกไปจากกระบวนการต่าง ๆ นั้นก็คือวัตถุดิบที่หลุดออกไป

ถ้ามีการดักจับฝุ่นแล้วนำกลับมาเข้ากระบวนการอีกครั้งจะทำให้ลดการสูญเสียได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ ในกระบวนการเผาจะเกิดก๊าซเสียที่สำคัญคือ NO_x SO_2 และ CO_2 ซึ่งปริมาณการเกิดก๊าซขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาไหม้และองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ใช้เผา ในส่วนของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นจะทำปฏิกิริยา Desulfurization SO_2 โดยถูกแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่อยู่ในวัตถุดิบจับและรวมตัวเป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ทำให้ถูกกำจัดในเตาเผาปูนและกลายเป็นปูนเม็ด

สำหรับมลภาวะทางน้ำจากอุตสาหกรรมนี้ไม่ค่อยส่งผลกระทบเท่าใดนัก เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตแบบแห้ง ทำให้ไม่มีน้ำใช้ในกระบวนการผลิต จะมีก็เพียงน้ำที่ใช้หล่อเย็นในกระบวนการเผาในเตาเผาเท่านั้น ซึ่งน้ำที่ใช้ในกระบวนการนี้จะมีการเวียนกลับมาใช้ใหม่ไม่มีการปล่อยทิ้งออกไป ในส่วนที่ออกไปนั้นจะมีแต่การระเหยไปเป็นไอเท่านั้น โดยจัดว่าเป็นการใช้น้ำเป็นแบบระบบปิด (close circuit system)

ตารางที่ 2.9 ลักษณะปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ	กระบวนการ	รายละเอียด
ด้านการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ		
1) วัตถุดิบ	การทำเหมือง	หินปูนและหินดินดานซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตปูนซีเมนต์ ได้มาจากการทำเหมือง ซึ่งต้องมีการพิจารณาลักษณะของแหล่งหินและปัจจัยอื่นๆ รวมทั้งเงื่อนไขด้านการป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการทำเหมือง
	การบดปูนเม็ด	ต้องมีการพิจารณาสัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้บดขี้ผึ้งและวัตถุดิบอื่นๆ ที่นำมาผสมและบดรวมกับปูนเม็ดซึ่งได้จากการเผา
2) พลังงานไฟฟ้า	ตลอดกระบวนการผลิต	พลังงานไฟฟ้าเป็นทรัพยากรที่สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งใช้ในทุกกระบวนการผลิต โดยเฉพาะการใช้ในกระบวนการบดวัตถุดิบ พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ในไทยได้มาจากการใช้เชื้อเพลิงที่ไม่หมุนเวียน (non-renewable resources) เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ลิกไนต์ และอาจก่อให้เกิดผล

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ	กระบวนการ	รายละเอียด
		กระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านมลสารทางอากาศ
3) เชื้อเพลิง	การเผาปูนเม็ด	มีการใช้เชื้อเพลิงที่ไม่หมุนเวียน เช่น ลิควินต์ น้ำมันเตา หรือก๊าซธรรมชาติ เพื่อใช้ในการเผาปูนเม็ด
	การขนส่ง	เชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการขนส่งหลักคือน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วสูญหมดไป ใช้ในการขนส่งลำเลียงวัตถุดิบรวมทั้งปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ส่งไปยังผู้จัดจำหน่ายภายนอกโรงงาน
ด้านการปล่อยของเสีย		
มลพิษทางอากาศ		
1) ฝุ่นละออง	- การทำเหมือง - การเตรียมวัตถุดิบ การย่อยและการบด - การเผาปูนเม็ด - การบดปูนเม็ด - การบรรจุและการขนส่ง	■ ฝุ่นละอองของโรงปูนฯ มีทั้งที่เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) เกิดขึ้นทั้งจากกระบวนการผลิต เช่น หม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) หม้อบดปูน (Cement Mill) เครื่องบรรจุซีเมนต์ (Packer) การทำเหมืองในการระเบิดและการขนส่งภายในโครงการ การกองเก็บวัตถุดิบ และการขนส่ง ■ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ สามารถดำเนินการติดตั้งเครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) ในการดักฝุ่นจากปล่องหม้อเผาปูนซีเมนต์ และปล่องหม้อเย็น และติดตั้งเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag Filter) ในจุดอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดฝุ่นได้ สำหรับการกองเก็บวัตถุดิบและการขนส่งลำเลียงวัตถุดิบสามารถทำเป็นระบบปิดได้ เพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองได้

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ	กระบวนการ	รายละเอียด
2) ก๊าซเสีย	การเผาปูนเม็ด	■ ก๊าซเสียที่สำคัญในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์คือ NO_x, SO_2 และ CO_2 แหล่งที่สำคัญของการเกิดก๊าซเสียคือกระบวนการเผาปูนเม็ด ซึ่งปริมาณการเกิดก๊าซขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาไหม้และองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ใช้ ■ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดขึ้นจากการเผาไหม้กำมะถันในเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยา Desulfurization โดยที่ SO_2 จะถูกแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่อยู่ในวัตถุดิบจับและรวมตัวเป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ทำให้ร้อยละ 50-90 ของ SO_2 ถูกกำจัดเองในเตาเผาปูนและกลายเป็นปูนเม็ด ■ เนื่องจากการผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการที่ต้องใช้การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้เกิดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจากการรวมตัวของไนโตรเจนและออกซิเจนที่เป็นส่วนประกอบในอากาศจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ
3) โลหะหนัก	การเผาปูนเม็ด	■ วัตถุดิบ เชื้อเพลิง และของเสียที่นำมากำจัดในหม้อเผา มีส่วนประกอบของโลหะหนัก เช่น Hg, Cd, V, Pb, Ti, Cu, Ni, As, Sb และ Cr ซึ่งจะต้องมีการควบคุมปริมาณไม่ให้เกินค่าที่ควบคุมไว้
4) ของเสีย	ตลอดกระบวนการผลิต	■ ของเสียจากกระบวนการผลิต เช่น อีสุทน์ไฟจากการซ่อมหม้อเผา High-alkaline dust ที่เกิดจากเตาเผาปูนเม็ด เศษวัสดุหักล้นจากทุกขั้นตอนการผลิต เช่น หินปูน ดิน ปูนเม็ด หรือปูนซีเมนต์ เศษวัสดุจากงานซ่อมบำรุง

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ	กระบวนการ	รายละเอียด
		น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เศษวัสดุจากการทดสอบคุณภาพ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิลได้ทั้งหมด
มลพิษทางน้ำ		
น้ำเสีย	การเผาปูนเม็ด	เนื่องจากการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้ง ไม่มีการใช้น้ำเป็นส่วนประกอบ มีเพียงการใช้เพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซร้อนของกระบวนการผลิตและหล่อเย็นเครื่องจักรเท่านั้น จึงไม่มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต โดยที่น้ำจากการหล่อเย็นเครื่องจักรจะหมุนเวียนกลับมาใช้ทั้งหมดไม่ปล่อยออกสู่ภายนอกโรงงาน (Closed Circuit System)
มลภาวะทางเสียง		
เสียงและแรงสั่นสะเทือน	ตลอดกระบวนการผลิต	เสียงดังและแรงสั่นสะเทือน จากการทำเหมืองและกระบวนการผลิต เช่น หม้อเย็น (Clinker Cooler) หม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) หม้อบดซีเมนต์ (Cement Mill) ซึ่งก่อให้เกิดความรำคาญและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงต้องมีการจัดอุปกรณ์ป้องกันอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานในจุดที่มีเสียงดัง

2.7 วัตถุดิบและคุณสมบัติของวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์

วัตถุดิบที่สำคัญซึ่งใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบด้วย สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน เหล็ก และอลูมิเนียม โดยมีอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะเพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ แบ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ได้เป็น 4 ชนิด คือ

- 1) วัตถุดิบที่ให้พวก CaO (lime component) ได้แก่ หินปูน ดินสอพอง (Chalk) ดินปูนขาว (Marl) โดยทั่วไปหินปูนเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญในการผลิตปูนซีเมนต์ เพราะจำเป็นต้องใช้ในสัดส่วนที่มากกว่าวัตถุดิบอื่น หินปูนที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ควรมีส่วนประกอบของ CaCO_3 อยู่ระหว่างร้อยละ 85-92
- 2) วัตถุดิบที่ให้พวก SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (clay component) ได้แก่ หินดินดาน (shale) หินภูเขาไฟ และดินเหนียว หินดินดานเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญอันดับที่สองของส่วน

ผสม มักประกอบด้วยแร่ดินต่าง ๆ คือ แร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) แร่ิลไลต์ (illite) และมอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในรูปของอลูมิเนียมซิลิเกตที่มีผลึกน้ำ (hydrocous aluminosilicates) มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 หินดินดานคุณภาพดีที่ต้องการใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ควรมีค่า Al_2O_3 อยู่ระหว่างร้อยละ 10-30 SiO_2 อยู่ระหว่างร้อยละ 40-60 และ Fe_2O_3 อยู่ระหว่างร้อยละ 5-10

- 3) วัตถุดิบที่ใช้สำหรับแต่งผสม (corrective material) เป็นวัตถุดิบประเภทใช้เติมในส่วนผสมของวัตถุดิบ ในการผลิตปูนซีเมนต์ เช่น หินปูนคุณภาพสูง (เมื่อขาด CaO) หวายเมื่อขาด (SiO_2) แร่บ็อกไซต์ (เมื่อขาด Al_2O_3) และแร่เหล็ก (เมื่อขาด Fe_2O_3)
- 4) วัตถุดิบที่ใช้เป็นสารเติม (additives) คือ สารที่ใส่เข้าไปเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ เช่น ยิปซัม (Gypsum) ใช้เพื่อเป็นสารหน่วงการก่อตัวโดยผสมรวมกับปูนเม็ดจากเตาเผาเพื่อทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าลง (retarder) แร่เหล็ก (Iron Ore) ใช้เพื่อเพิ่มปริมาณเหล็กให้ได้ตามต้องการในกรณีที่หินเชลหรือดินเหนียวที่ใช้มีปริมาณของเหล็กต่ำ

ตารางที่ 2.10 สัดส่วนของออกไซด์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์ของธาตุต่างๆ	เปอร์เซ็นต์
ปูนขาว (CaO)	60-65
ซิลิกา (SiO_2)	20-24
อลูมินา (Al_2O_3)	4-8
เหล็ก (Fe_2O_3)	2-5

เมื่อปูนซีเมนต์ซึ่งได้จากการเผาวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ในสัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้เกิดเป็นปูนเม็ดที่มีสารประกอบจำพวกต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ไดแคลเซียม ซิลิเกต (Dicalcium Silicate) ซึ่งมีสูตรเคมี $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ เรียกชื่อย่อว่า C_2S
- 2) ไตรแคลเซียม ซิลิเกต (Tricalcium Silicate) ซึ่งมีสูตรเคมี $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ เรียกชื่อย่อว่า C_3S
- 3) ไตรแคลเซียม อลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) ซึ่งมีสูตรเคมี $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ เรียกชื่อย่อว่า C_3A

- 4) เทตราแคลเซียม อลูมิโนเฟอไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite) ซึ่งมีสูตรเคมี $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ เรียกชื่อย่อว่า C_4AF

โดยทั่วไปการผลิตปูนเม็ด (Clinker) 1 ตันจะใช้วัตถุดิบรวม 1.64 ตัน โดยมีอัตราส่วนดังนี้ หินปูน 1.28 ตัน (ประมาณร้อยละ 80) ดินเหนียว 0.16 ตัน หินดินดาน 0.16 ตัน (รวมกันประมาณร้อยละ 18) และแร่เหล็ก 0.04 ตัน (ประมาณร้อยละ 1-2)

คุณภาพของปูนซีเมนต์ที่สำคัญจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบ และชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่เติมที่ไม่ต้องการในวัตถุดิบ วัตถุดิบที่เติมสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

- 1) วัตถุดิบที่เติมในเชิงกายภาพ ได้แก่
 - 1.1 เม็ดทรายจำพวกแร่ Quartz ถ้าอยู่ในหินปูนมากกว่าร้อยละ 7-8 จะทำให้เครื่องบดหินสึกกร่อนเร็วกว่ากำหนดการใช้งาน และต้องใช้พลังงานความร้อนสูงกว่า 1,450 องศาเซลเซียส ในการเผาเป็นปูนเม็ด
 - 1.2 ชั้นหินเชิร์ตและก้อนเชิร์ตหรือก้อนหินแข็งที่พบในชั้นหินปูน
- 2) วัตถุดิบที่เติมในเชิงเคมี
 - 2.1 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ปกติในปูนเม็ดมี MgO ไม่เกินกว่าร้อยละ 2 ดังนั้น หินปูนที่ใช้เป็นวัตถุดิบปริมาณ MgO ไม่ควรเกินร้อยละ 3 ถ้ามีมากกว่าร้อยละ 3 จะเป็นตัวทำลายสถานภาพของคอนกรีตทำให้เกิดการแตกร้าว
 - 2.2 อัลคาไล (Na_2O , K_2O) จะปรากฏอยู่ในดินเหนียวและหินดินดาน โดยปกติไม่ควรเกินร้อยละ 1 ถ้ามีมากจะเป็นผลเสีย ทำให้เกิดการอุดตันของ feed ภายในเตาและยังทำให้เกิดการขยายตัวของปูนเมื่อผสมกับก้อนกรวด
 - 2.3 ธาตุกำมะถัน (S) เกิดอยู่ในรูปของซัลไฟด์ เช่น แร่ไพไรต์ (FeS_2) และในรูปของซัลเฟต เช่น แร่ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และแร่แอนไฮไดรต์ (CaSO_4) ซึ่งจะสามารถตรวจสอบผลการวิเคราะห์วัตถุดิบได้ในรูปของ SO_3 ถ้าปริมาณ SO_3 มีมากเกินไปจะมีผลต่อการเกิดสาร calcium sulphoaluminate ผสมอยู่ในปูนเม็ดซึ่งสารนี้จะทำให้เกิดการขยายตัวของคอนกรีต
 - 2.4 ฟอสฟอรัสเพนตาออกไซด์ (P_2O_5) ซึ่งอาจจะเกิดปนอยู่กับหินปูน ไม่ควรจะมีมากเกินไปร้อยละ 2 ถ้ามีมากกว่าร้อยละ 2 จะส่งผลทำให้การจับตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ช้าลง

2.8 การนำกากของเสียอุตสาหกรรมไปใช้กับเตาเผาปูนซีเมนต์

2.8.1 การกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม

จากการพัฒนาของอุตสาหกรรมต่างๆ และการเพิ่มขึ้นของจำนวนโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้เกิดปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้การนำเข้าสารเคมีในแต่ละปีเป็นจำนวนมากเป็นผลให้เกิดปริมาณของเสียจากสารเคมีมากขึ้นด้วย ปัจจุบันโรงงานที่จดทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมมีจำนวนทั้งสิ้น 124,079 (สิ้นปี 2544 กรมโรงงานอุตสาหกรรม) มีโรงงานจำนวน 16,000 โรงงานที่มีการผลิตของเสียอันตรายรวมทั้งสิ้น 1.27 ล้านตัน และปริมาณของเสียในปี 2544 มีปริมาณมากกว่าปี 2542 ถึง 2.9 เท่า¹ Japan International Cooperation Agency (JICA) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการประมาณการของเสียซึ่งแบ่งตามประเภทของอุตสาหกรรมและประเภทของของเสีย พบว่าของเสียไม่อันตรายมีปริมาณ 2,364,782 ตันต่อปี ในขณะที่ของเสียอันตรายมีปริมาณ 557,456 ตันต่อปี (ตารางที่ 2.11) ในของเสียอันตรายมีของเสียประเภทสัณฐานจากกระบวนการบำบัดมากที่สุด (ตารางที่ 2.12)

จากข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรมในปี 2545 มีโรงงานประเภทลำดับที่ 101 ซึ่งเป็นโรงงานปรับปรุงคุณภาพของเสียรวม (Central Waste Treatment Plant) มี 15 โรงงาน สามารถกำจัดของเสียอันตรายได้ 9 โรงงานและกำจัดของเสียไม่อันตรายได้ 6 โรงงาน โรงงานประเภทลำดับที่ 105 จำนวน 6 โรงงาน กำจัดของเสียอันตรายได้ 1 โรงงานและกำจัดของเสียไม่อันตรายได้ 5 โรงงาน และโรงงานประเภทลำดับที่ 106 ซึ่งเป็นโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการนำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียจากโรงงานมาผลิตเป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ใหม่โดยผ่านกรรมวิธีการผลิตทางอุตสาหกรรมมีจำนวน 4 โรงงาน กำจัดของเสียอันตรายได้ 3 โรงงานและของเสียไม่อันตรายได้ 1 โรงงาน สำหรับปริมาณวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้อนุญาตให้นำออกนอกบริเวณโรงงานเท่ากับ 2,050,651 ตัน ในขณะที่ปริมาณที่ผู้รับดำเนินการได้ดำเนินการเท่ากับ 868,632 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 32.6 ของของเสียที่ถูกนำออกทั้งหมด (ตารางที่ 2.13)

ตารางที่ 2.11 การประมาณของเสียอุตสาหกรรมตามประเภทของอุตสาหกรรม ในปี 2544

ประเภทของอุตสาหกรรม	ปริมาณ (ตัน/ปี)		ทั้งหมด (ตัน/ปี)
	ของเสียไม่อันตราย	ของเสียอันตราย	
Food (agriculture product, aquatic and non-aquatic animals)	295,105	9	295,024
Food (flour, sugar, tea, etc.)	11,881	1,218	13,099

¹ สถานการณ์มลพิษของประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ. 2545.

ประเภทของอุตสาหกรรม	ปริมาณ (ตัน/ปี)		ทั้งหมด (ตัน/ปี)
	ของเสียไม่อันตราย	ของเสียอันตราย	
Drink, beverage	47,208	30,079	77,287
Textile, thread, fibre	64,299	1,562	65,861
Textiles product (clothes, mats, etc.)	53,513	153	53,666
Wearing apparel	54,835	19	54,854
Hide, fur, footwear	42,163	243	42,406
Woodwork (any and many items)	143,705	2,264	145,969
Woodwork (bamboo, rattan, straw cork, etc.)	61,848	48	61,896
Furniture	159,222	5,820	165,042
Paper, cardboard	48,735	227	48,962
Printed matter	36,232	9,156	45,388
Chemical matter, petroleum	5,107	43,395	50,502
Rubber	44,213	1,357	45,570
Plastic product	93,787	43,559	137,346
Glassware, ceramics, non-metallic matter	105,949	284	106,233
Steel basic industries, non-ferrous metal basic industries	668,620	124,484	793,104
Metal product (tools, appliances, household furniture, building interior, etc.)	60,446	1,024	61,470
Metal product (construction, installation)	47,439	1,848	49,287
Metal product (others)	74,770	78,984	153,754
Machines (engines, turbines, machinery)	35,982	2,248	38,230
Machines (for producing metal or wood products)	2,346	1,298	3,644
Machines (for paper, chemical, food, textile, etc.)	2,985	283	3,268
Machines (calculating machines, accounting machines, water pump of gas compressors, etc.)	6,086	5,954	12,040
Electric product (machines or product under no. 70, radio set, electric instruments or appliances, etc.)	72,951	147,919	220,870
Electric product (electric equipment)	35,599	6,247	41,846
Transportation machines (ship, trains, streetcars, cars or trailers)	6,986	17,663	24,649
Transportation machines (motorcycles, tricycles, bicycles, aircraft, wheeled vehicles, etc.)	30,774	5,997	36,771
Precision machinery	1,426	2,878	4,304
Others (musical instruments, sport, toys, etc.)	13,929	98	14,027
Others (electric power, gas, packaging, cold storage, etc.)	35,605	15	35,620
Others (engine-driven for vehicles or motorcycles, etc.)	963	18,114	19,077
Others (stone, watches or clocks, central waste treatment plant, generating system, salt, etc.)	163	1,009	1,172
ทั้งหมด	2,364,782	557,456	2,922,238

ที่มา: JICA และกรมโรงงานอุตสาหกรรม 2544. Draft report of the Study on the Master Plan on Industrial Waste Management in the Bangkok Metropolitan Area and its vicinity in the Kingdom of Thailand.

ตารางที่ 2.12 การประมาณของเสียอุตสาหกรรมจำแนกตามประเภทของเสีย ปี 2544

ประเภทของเสีย	ปริมาณ (ตัน/ปี)		
	2544	2548	2553
ของเสียไม่อันตราย	2,364,782	2,485,064	2,601,993
Part and plants	58,096	58,677	59,066
Part of animals	306,668	349,030	395,617
Parts of Wood	382,775	394,397	402,943
Paper waste	91,307	98,867	106,960
Plastics or synthetic rubbers	163,704	176,273	187,904
Cloth, thread and fabric	112,911	117,794	122,327
Animal's fat and oil and vegetable oil	-	-	-
Natural rubbers	27,109	28,016	28,433
Metals and metal alloys (not in salt form)	720,592	742,297	763,054
Ceramic	34,421	35,695	36,417
Glasses	71,729	73,809	74,855
Stone, cement, sand and concrete	285,583	292,330	298,903
Mixed waste	45,917	48,034	49,564
อื่นๆ	63,970	69,845	75,950
ของเสียอันตราย	557,456	580,909	598,278
Acid	1,881	1,966	2,000
Alkali	2,956	3,003	3,044
Heavy metal compound	4,555	4,687	4,727
Liquid inorganic compounds	51,774	54,797	57,590
Solid inorganic compounds	585	607	628
Organic compounds	14,579	15,636	16,632
Polymer material	18,331	19,850	21,286
Fuel, oil and grease	159,690	163,974	168,340
Fine chemicals and biocides	18	18	18
Picking waste	1,419	1,502	1,565
Filter, materials, treatment sludge	180,238	187,977	191,057
สารพิษอื่นๆ	121,430	126,892	131,394
ทั้งหมด	2,922,238	3,065,973	3,200,271

ที่มา: JICA และกรมโรงงานอุตสาหกรรม 2544. Draft report of the Study on the Master Plan on Industrial Waste Management in the Bangkok Metropolitan Area and its vicinity in the Kingdom of Thailand.

ตารางที่ 2.13 สรุปข้อมูลปริมาณวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจากการดำเนินการนำสิ่งปฏิกูลออกนอกบริเวณโรงงานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) และฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541)

วิธีการและประเภทของวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	กำลังการผลิตสูงสุดรวมของผู้รับดำเนินการที่ได้รับอนุญาต (ตัน)	ปริมาณสิ่งปฏิกูลที่อนุญาตให้นำออกนอกบริเวณโรงงาน (ตัน)	ปริมาณสิ่งปฏิกูลที่ผู้รับดำเนินการได้รับดำเนินการช่วงปี 2545 (ตัน)
วิธีการเผา	8,868,521	673,560	447,198
ของแข็ง			
▪ ไม่อันตราย	6,690,312	405,694	354,637
▪ อันตราย		200,920	56,136
ของเหลว			
▪ ไม่อันตราย	2,178,209	-	402
▪ อันตราย		66,947	36,024
วิธีการฝังกลบ	1,562,100	87,422	165,219
โดยตรง (ไม่อันตราย)	1,196,250	65,344	97,023
ปรับเสถียรและฝังกลบ (อันตราย)	365,850	22,078	68,196
วิธีการรีไซเคิล	361,319	1,289,669	56,215
คัดแยก	99,004	-	-
รีไซเคิล			
▪ ของแข็ง (ไม่อันตราย)	7,500	1,268,260	236,402
▪ ของแข็ง (อันตราย)	18,413	4,134	17,275
▪ ของเหลว(อันตราย)	236,402	17,275	56,129
ปริมาณรวมทั้งหมด(ตัน)	10,791,940	2,050,651	668,632

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545.

2.8.2 การนำกากของเสียอุตสาหกรรมเข้าโรงงานปูนซีเมนต์

กระบวนการนำของเสียหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมต่างๆ มากำจัดและรีไซเคิลโดยเข้าเตาเผาซีเมนต์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทน มีการพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลายในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกา สืบเนื่องจากมาตรการของสหภาพยุโรปในเรื่องการเผาของเสียอันตราย (1994) ที่กำหนดให้เผาของเสียอันตรายที่ไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Non-chlorinated hazardous waste) โดยใช้อุณหภูมิสูงกว่า 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 วินาที ซึ่งในเตาเผาซีเมนต์จะมีอุณหภูมิขึ้นสูงถึง 1,450 องศาเซลเซียส และการเผาไหม้ของก๊าซจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 วินาที ประเทศไทยเริ่มนำกากของเสียอันตรายมาเผาในเตาเผาซีเมนต์ตั้งแต่ปี 2543

วัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่นำเข้าเตาเผาปูนซีเมนต์สามารถแบ่งตามประเภทของการนำไปใช้ได้เป็น 2 ประเภท คือการทดแทนเชื้อเพลิงและการทดแทนวัตถุดิบ

2.8.2.1 การทดแทนเชื้อเพลิง

1) วัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่จะนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงเดิม สามารถแบ่งย่อยได้ตามลักษณะและองค์ประกอบได้ ดังนี้ คือ

- ของผสมระหว่างของแข็งกับของเหลว มีน้ำเป็นองค์ประกอบ 30-65% โดยน้ำหนัก เช่น สี น้ำมันเคลือบเงา เรซิน กากของเสียจากการบำบัดน้ำเสีย
- ของแข็งขนาดใหญ่ มีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 30% โดยน้ำหนัก และมีขนาดใหญ่กว่า 50 มม. เช่น ยางรถยนต์ไม้
- ของแข็งขนาดเล็ก มีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 30% โดยน้ำหนัก และมีขนาด 1-50 มม. เช่น พลาสติก โพลีสไตรีน ตะกอนน้ำมัน Coke Polymer ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) Crude Teraphalic acid (CTA) Pure Teraphalic acid PTA (residue) ฝุ่นคาร์บอน เศษเรซินอีพอกซี
- ของแข็งที่เป็นฝุ่นละออง มีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 30 % และมีขนาดเล็กกว่า 1 มม.

2) ของเสียที่เป็นของเหลว แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ น้ำมันที่ใช้แล้ว สารอินทรีย์ชนิดของเหลว (สารละลาย ทินเนอร์ สารทำความสะอาด) ของเหลวที่มีน้ำเป็นสารประกอบ ของเหลวมีสถานะกรดอ่อน สารประกอบที่มีน้ำมัน เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังสามารถแบ่งวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาซีเมนต์ ออกตามประเภทของอุตสาหกรรม ดังแสดงในตารางที่ 2.14 และตารางที่ 2.15 แสดงตัวอย่างองค์ประกอบของยางรถยนต์ที่ใช้เผาทดแทนเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2.14 ตัวอย่างประเภทของวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนำมาใช้ในเตาเผาซีเมนต์แบ่งตามประเภทของอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรม	ประเภทวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนำมาเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาซีเมนต์
กระดาษและเยื่อกระดาษ	ส่วนที่เหลือจากการบัด ขี้เถ้าจากการเผา
สิ่งพิมพ์	ขี้เถ้าจากการเผา พลาสติก สารละลาย
การก่อสร้าง	Waste board, ยิปซัม

อุตสาหกรรม	ประเภทวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนำไปเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาซีเมนต์
ถลุง หลอมแร่	เศษทองแดง
กิจการเทศบาลส่วนท้องถิ่น	Sewage Sludge, ซึ่ได้จากการเผาขยะทั่วไป
การผลิตอาหาร	พลาสติก ส่วนที่เหลือจากการกลั่น แก้ว
เหล็กกล้า	เศษเหล็ก ซึ่ได้จาก ฟันที่ตัดได้จากอุปกรณ์ตัด
เคมี	สารละลาย พลาสติก ตัวเร่งปฏิกิริยา
การกลั่นน้ำมัน	ดินเหนียว น้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้ว
ยานยนต์	ทรายจากการหล่อ สี, residue, ยางรถยนต์ใช้แล้ว
พลังงานไฟฟ้า	ยิปซัม ละอองซึ่ได้จาก ฟัน

ที่มา: www.siamcement.com

ตารางที่ 2.15 ตัวอย่างองค์ประกอบของยางรถยนต์ที่ใช้เผาทดแทนเชื้อเพลิง

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยมวล
ยาง	36.0
Filler (soot, SiO ₂)	37.0
ZnO	1.2
Softeners	3.0
ซิลเฟอร์	1.3
เหล็ก เศษผ้า	18.0
อื่นๆ	3.5
รวม	100.0

2.8.2.2 การทดแทนวัตถุดิบ

วัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่นำมาเป็นวัตถุดิบทดแทน เช่น วัสดุที่มีองค์ประกอบของเหล็ก (iron sludge) ซึ่มีปริมาณสูงเป็นองค์ประกอบ ซิลิกา แคลเซียม (ตารางที่ 2.16) อย่างไรก็ตาม ปริมาณการนำวัสดุที่ไม่ใช้แล้วมาเข้าโรงงานปูนซีเมนต์จะต้องมีการพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ด้วย ทั้งนี้ขึ้นกับอัตราการทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและชนิดของวัสดุที่ไม่ใช้แล้วและของเสียที่เป็นของเหลวเป็นหลัก หากมีการทดแทนในอัตราที่สูงจะต้องมีการนำมาใช้ในปริมาณมาก ซึ่งส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ ปัจจัยต่างๆ เช่น คุณภาพของปูนเม็ด (โดยยึดตาม มอก.

และ ASTM เป็นหลัก) การดำเนินการผลิต ซึ่งต้องมีการพิจารณาการเกิด Cake ในระบบที่จะทำให้เกิดการอุดตันที่ท่อ เกิดปัญหาต่อการควบคุมการผลิตภายหลัง เป็นต้น

ตารางที่ 2.16 ตัวอย่างวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่จะนำมาทดแทนวัตถุดิบ

ชนิด/ประเภท	องค์ประกอบหลัก	ร้อยละ	การทดแทน
1. ฝุ่นจากระบบทรายผลิตเหล็กหล่อ	SiO ₂ Al ₂ O ₃	76.2 11.2	ใช้ทดแทนซิลิกา อะลูมินา
2. ฝุ่นจากระบบทรายผลิตเหล็กเหนียว	SiO ₂ Al ₂ O ₃	78.1 9.71	ใช้ทดแทนซิลิกา อะลูมินา
3. ฝุ่นจากเครื่องยิงทราย	SiO ₂ Fe ₂ O ₃	79.5 14.4	ใช้ทดแทนแร่เหล็ก ซิลิกา
4. ฝุ่นจากกระบวนการเจียรแต่งเหล็ก	SiO ₂ Fe ₂ O ₃	5.6 82.5	ใช้ทดแทนแร่เหล็ก ซิลิกา
5. ฝุ่นจากเตาหลอมเหล็ก	SiO ₂ Fe ₂ O ₃ ZnO	37.2 33.7 23.5	ใช้ทดแทนแร่เหล็ก ซิลิกา
6. เศษ Shell Core	SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	85.9 6.00 0.82	ใช้ทดแทนซิลิกา อะลูมินา แร่เหล็ก
7. เศษ Cold Box Core	SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	95.8 1.0 0.24	ใช้ทดแทนซิลิกา อะลูมินา แร่เหล็ก
8. ขี้โลหะจากเตาหลอม	SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	50.8 12.6 18.2	ใช้ทดแทนซิลิกา อะลูมินา แร่เหล็ก
9. Sludge จาก Thainox	CaO	41.8	ใช้ทดแทนแคลเซียม

ที่มา: บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด. 2542.

เกณฑ์สำคัญในการกำหนดองค์ประกอบของการทดแทนเชื้อเพลิงเดิมและทดแทนวัตถุดิบ เช่น องค์ประกอบ ค่าความร้อนขั้นต่ำ (Low Heating Value) คลอไรด์ (Cl) กำมะถัน (S) สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) ตัวอย่างค่าความร้อนขั้นต่ำของกากของเสียอุตสาหกรรมแสดงในตารางที่ 2.17

ตารางที่ 2.17 ตัวอย่างค่าความร้อนขั้นต่ำของวัสดุที่ไม่ใช้แล้วและของเสียที่เป็นของเหลวที่จะนำมาใช้ในโรงงานปูนซีเมนต์แก่งคอย

ประเภทของวัสดุ	ค่าความร้อนขั้นต่ำ(แคลอรี/กรัม)
การทดแทนเชื้อเพลิงเดิม	
- วัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	> 500
- ของเสียที่เป็นของเหลว	
- น้ำมันที่ใช้แล้ว (Used Oil)	> 8,500
- ของเหลวอินทรีย์ (Organic Liquids)	2,500-8,500
- ของเหลวที่มีน้ำเป็นสารประกอบ (Aqueous)	< 2,500
การทดแทนวัตถุดิบเดิม	
- วัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	≤ 500

ที่มา: รวบรวมจากรายงานโครงการปรับปรุงคุณภาพของของเสียรวม ของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด. 2542.

ปัจจุบันมีโรงงานปูนซีเมนต์ 7 โรงที่จดทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมในการรับวัสดุที่ไม่ใช้แล้วมาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนและวัตถุดิบทดแทนสำหรับกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยมีกำลังการผลิตสูงสุดในการทำเป็นวัตถุดิบทดแทนและเชื้อเพลิงทดแทน 4,671,286 ตัน/ปี และ 2,526,520 ตัน/ปี ตามลำดับ (ตารางที่ 2.18) จากสถิติในปี 2544 พบว่าของเสียทั้งหมดที่มีการนำมากำจัดในเตาเผาซีเมนต์เป็น 340,272 ตัน หรือร้อยละ 11.6 ของปริมาณของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในประเทศ ซึ่งประมาณร้อยละ 60 ของของเสียทั้งหมดเป็นของเหลวที่ได้มีการนำมากำจัด

ตารางที่ 2.18 กำลังการผลิตสูงสุดในการนำของเสียเข้าเตาเผาปูนซีเมนต์และปริมาณของเสียที่นำกำจัดโดยโรงงานปูนซีเมนต์ที่ได้รับการจดทะเบียนในการกำจัดของเสีย

ที่	รายชื่อโรงงาน	กำลังการผลิตสูงสุดในการนำวัตถุดิบทดแทนใช้ในกระบวนการผลิต (ตัน/ปี)	กำลังการผลิตสูงสุดในการนำเชื้อเพลิงทดแทนใช้ในกระบวนการผลิต (ตัน/ปี)	ปริมาณของเสียที่นำมากำจัดเข้าเตาเผาปี 2544 (ตัน)
1.	บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (แก่งคอย)	1,664,000	138,000	84,206
2.	บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (ท่าหลวง)	700,000	138,000	58,700
3.	บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (เขาวง)	14,000	570,240	-
4.	บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (ลำปาง)	172,286	401,280	8,000
5.	บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (ทุ่งสง)	1,401,000	415,000	-
6.	บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง	720,000	691,200	100,665
7.	บริษัท ทีพีโอ โพลีน จำกัด (มหาชน)	-	172,800	88,701
ทั้งหมด		4,671,286	2,526,520	340,272

ที่มา: เอกสารประกอบการสัมมนา TBCSD เรื่องของเสียอันตราย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545.

บทที่ 3

การศึกษา LCA ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

สำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มีหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ทำการศึกษา รวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) ที่เกี่ยวข้องกับปูนซีเมนต์รวมทั้งผลิตภัณฑ์คอนกรีตและวัสดุก่อสร้างต่างๆ ได้แก่ สมาคมปูนซีเมนต์และคอนกรีต (Portland Cement Association, PCA) ได้มีการทบทวนบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และได้มีการประสานสภาพแวดล้อมขององค์กรผลิตคอนกรีต (Environmental Council of Concrete Organisation, ECCO) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ส่งเสริมด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับคอนกรีต รวมทั้งเป็นหน่วยงานที่มีบทบาทในด้านความปลอดภัย งานก่อสร้าง โดยที่สมาชิกของ ECCO นี้มาจากบริษัท โรงงานอุตสาหกรรมและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมที่สนใจในการมีส่วนร่วมเพื่อพัฒนาฐานข้อมูลของคอนกรีตและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง หน่วยงานนี้ตั้งอยู่ที่มลรัฐ Illinois นอกจากนี้ยังมีสมาคมปูนซีเมนต์แห่งประเทศไทย หน่วยงานวิจัยของประเทศจีน ประเทศออสเตรเลีย เบลเยียม เป็นต้น

3.1 งานวิจัยด้าน LCA และ LCI ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ในต่างประเทศ

ตัวอย่างงานวิจัยและการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์จากหน่วยงานต่าง ๆ มีดังนี้

- 1) การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดย มหาวิทยาลัย Beijing Polytechnic ซึ่งได้มีการนำเสนอที่การประชุม Ecobalance 2000 การศึกษานี้ได้ระบุประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ โดยทำบัญชีรายการสารเข้า-สารออก (LCI) และประเมินผลกระทบของปูนซีเมนต์โดยมีหน่วยการใช้งานของปูนซีเมนต์ที่ 1 กิโลกรัม และให้กำลังรับแรงอัด (Compressive strength) $1.0E+9$ Pascal
- 2) เครื่องมือในการประเมินวัฏจักรชีวิตของงานอาคารและการก่อสร้าง (Greening the Building Life Cycle) โดย Department of the Environment and Heritage, Environment Australia การศึกษานี้ได้มีการสร้างแบบจำลองในการศึกษาโดยใช้วิธี Leontief inverse matrix (Leontief, 1966) ซึ่งแสดงเป็นเมตริกซ์และมีการจัดทำบัญชีรายการในฐานข้อมูลโปรแกรม

SimaPro ในส่วนของข้อมูลอุตสาหกรรมอาคารและการก่อสร้าง (Building and Construction) โดยพิจารณาการใช้พลังงานจากแหล่งต่าง ๆ (Embodies Energy) ซึ่งฐานข้อมูลนี้จัดทำขึ้นโดยประเทศออสเตรเลีย

- 3) การศึกษาการใช้วัสดุรีไซเคิลในการขนส่งของศูนย์ทรัพยากรวัสดุรีไซเคิล (The Recycled Materials Resource Center:RMRC) โดย U.S. Department of Transportation (DOT)

การศึกษานี้ได้มีพิจารณาในเชิงวิศวกรรม เชิงสิ่งแวดล้อมและเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยการพัฒนาโดยนำ LCA มาใช้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบและประเมินระหว่างวัสดุรีไซเคิลกับวัสดุแบบเดิมสำหรับใช้งานบนทางหลวง และเพื่อพิจารณาสมบัติและการทำนายผลในอนาคต

- การศึกษา “การใช้ประโยชน์จากวัสดุรีไซเคิลในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์” โดยห้องวิจัยส่วนกลาง บริษัท Taiheiyo Cement Corporation การวิจัยนี้ได้มีการเสนอวิธีการประมาณปริมาณค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงได้จากการใช้วัสดุรีไซเคิลสำหรับเป็นวัตถุดิบทดแทนและพลังงานทดแทนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

- การศึกษา “การใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิงจากทางเลือกต่าง ๆ เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม” โดย บริษัท Taiheiyo Cement Corporation การวิจัยนี้ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในปูนซีเมนต์ 3 ประเภท คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ประเภทอื่น รวมทั้งปูนซีเมนต์ผสม และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งไม่มีการใช้วัสดุรีไซเคิล

- การศึกษาการรวบรวมการใช้ LCA และ LCC สำหรับวัสดุก่อสร้าง (Integrating LCA and LCC To Select Cost-Effective, Green Building Materials: The BEES Approach) มีการนำเสนอในการประชุมนานาชาติครั้งที่ 9 หัวข้อ Durability of Building Materials and Components เมือง Brisbane ประเทศออสเตรเลีย มีนาคม 2545

- การประเมินวัฏจักรชีวิต โดยการศึกษาเชื้อเพลิงเหลวทดแทนในเตาเผาซีเมนต์ (Substitute Liquid Fuels Used In Cement Kilns) โดย คณะกรรมการ House of Commons Environment (HoCEC) กรกฎาคม 2542 การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างเชื้อเพลิงทดแทนที่นำมาใช้ในเตาเผาซีเมนต์ (Cement Kiln) กับการเผาขยะทั่วไป (Incinerator)

- โครงการ EcoSmart™ โดยมีการศึกษา ในแง่ของการจัดจำหน่าย การออกแบบ และการก่อสร้าง ซึ่งคณะกรรมการ EcoSmart นี้ เป็นการรวมกลุ่มของหน่วยงาน องค์กร และอุตสาหกรรมต่าง ๆ

- การศึกษา “ของเสียและผลพลอยได้ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์และคอนกรีต” โดย โครงการ Global Environmental Engineering Program มหาวิทยาลัยโตเกียว การศึกษานี้ได้มีการประมาณจากน้ำหนัก (Allocation by weight) และประมาณจากราคา (Allocation by price) รวมทั้งการวิเคราะห์สารขาเข้า-สารขาออก (Input-Output Analysis)
- การศึกษา “การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัสดุรีไซเคิล” โดย สมาคมอุตสาหกรรมซีเมนต์แห่งประเทศไทยญี่ปุ่น (Japan Cement Association) ร่วมกับ บริษัท Taiheiyo Cement Co., Ltd. การศึกษานี้ได้เน้นการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของปูนซีเมนต์ประเภทปอร์ตแลนด์ โดยใช้ฐานข้อมูลจาก 26 โรงงาน ปี 2541 ซึ่งมีความสามารถผลิตได้ประมาณร้อยละ 80 ของการใช้ในประเทศญี่ปุ่น

3.2 ฐานข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ในต่างประเทศ

ฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ซึ่งสามารถพบได้ในซอฟต์แวร์สำหรับประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั่วไป เช่น

- 1) โปรแกรม “BEES 3.0,” เผยแพร่ในคู่มือเทคนิคเกี่ยวกับอาคารเพื่อสิ่งแวดล้อมและการประหยัดค่าใช้จ่าย (Building for Environmental and Economic Sustainability)
- 2) Technical Manual and User Lippiatt โดย Barbara C. สถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยี (National Institute of Standards and Technology: NISTIR) ตุลาคม 2545
- 3) ฐานข้อมูลปูนซีเมนต์และคอนกรีต และแบบจำลอง LCA โดยความร่วมมือของสมาคมปูนซีเมนต์และคอนกรีตแห่งประเทศไทยออสเตรเลีย และองค์กรสมาพันธ์ด้านสิ่งแวดล้อมของคอนกรีต (Environmental Council of Concrete Organization, ECCO) ปี 1997 สมาคมปูนซีเมนต์และคอนกรีตแห่งประเทศไทยออสเตรเลีย (Cement and Concrete Association of Australia :C&CAA) ได้มีการจัดทำฐานข้อมูลเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และคอนกรีต ใน 4 ประเภทของเตาเผาที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และได้มีการพัฒนาแบบจำลอง LCA (Battelle Inventory Model) ซึ่งแบบจำลองนี้กำลังพัฒนาบัญชีรายการโดยศูนย์ทดลอง Battelle Pacific Northwest ภายใต้การสนับสนุนของ U.S. Department of Energy

- 4) ศูนย์วิจัย LCA (Research Center for Life Cycle Assessment: AIST ได้มีการจัดทำบัญชีรายการสารเข้า-สารออก เป็นข้อมูลเกี่ยวกับด้านพลังงานและการแพร่กระจายของมลพิษ (3EID: Embodied Energy and Emission Intensity Data)
- 5) ฐานข้อมูล BUWAL 250 พัฒนารับขึ้นจากฐานข้อมูลเดิม BUWAL 132 โดย EMPA St. Gallen ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ปี 1990 จัดจำหน่ายโดย Pre'Consultants พบได้ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro 5.1

สำหรับฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นี้ได้มาจากข้อมูลการผลิตแร่หินปูน (Limestone) จากเหมือง การบด ข้อมูลด้านพลังงานที่ใช้ รวมทั้งข้อมูลวัตถุดิบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรม จากฐานข้อมูลของ 1 บริษัท ในประเทศเยอรมัน ปี 2536

- ฐานข้อมูล ETH-ESU-96 (มีทั้งแบบ System Process และ Unit Process) เป็นฐานข้อมูลบัญชีรายการด้านพลังงานสำหรับ Swiss และ Western European situation พบได้ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro 5.1

- ฐานข้อมูลการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นี้ผลิตจากปูนเม็ด (Clinker) และแคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate) ให้ข้อมูลบัญชีรายการพลังงาน มีการคำนวณการปล่อย CO₂ จากการใช้เชื้อเพลิง โดยรวบรวมข้อมูลจากวารสารเผยแพร่ตั้งแต่ปี 2535-2538 ประเทศเยอรมัน

- ฐานข้อมูล IDEMAT2001 ปรับปรุงจากฐานข้อมูลเดิม IDEMAT 96 ซึ่งจัดทำขึ้นโดยคณะวิศวกรรมกรรมการออกแบบอุตสาหกรรม ของ มหาวิทยาลัย Delft University of Technology เป็นฐานข้อมูลของประเทศเนเธอร์แลนด์ จัดจำหน่ายโดย Pre'Consultants พบได้ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro 5.1

- ฐานข้อมูล Data Archive เป็นฐานข้อมูลเก่า ที่รวบรวมจากซอฟต์แวร์ SimaPro 4.0 เดิม แต่ยังคงเป็นฐานข้อมูลที่เป็นประโยชน์ พบได้ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro 5.1

บทที่ 4

ผลการศึกษา LCA ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

4.1 ข้อมูลทั่วไป

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากบริษัทที่อยู่ในเครือของ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด จำนวน 2 โรงงาน ได้แก่ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยแ่งคอย จำกัด จ. สระบุรี และบริษัท ปูนซีเมนต์ไทยลำปาง จำกัด จ. ลำปาง เข้าร่วมโครงการฯ และได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาเพื่อร่วมศึกษากับสถาบันฯ และทำการเก็บข้อมูลปี 2544 และ 2545

4.1.1 บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยแ่งคอย จำกัด

ก่อตั้งขึ้นเมื่อปลายปี 2512 ที่อำเภอแ่งคอย จังหวัดสระบุรี มีกำลังการผลิตประมาณ 7,290,000 ตันต่อปี โดยตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งหินปูนและหินดินดาน (หิน shale) ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้งในปัจจุบัน และมีเหมืองหินปูนและหินดินดานเป็นเหมืองของโรงงานเองซึ่งรายละเอียดโดยทั่วไปของโรงงานมีดังนี้

- เหมืองหินปูนเป็นเหมืองแบบ Semi Open Cut
 - มีทั้งหมด 4 สายการผลิต กล่าวคือ มีทั้งหมด 4 หม้อเผา
 - เป็นโรงงานที่ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานปรับปรุงคุณภาพของเสียรวม (ลำดับที่ 101) จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงมีการรับของเสีย (waste) เข้ามามากำจัดในโรงงานโดยใช้ทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ ดังนี้
1. ของเสียที่นำมาทดแทนวัตถุดิบ ได้แก่ ผุ่นเหล็ก (iron powder) โดยนำมาทดแทนแร่เหล็ก นอกจากนี้ยังมีทรายได้แบบจากโรงเหล็กมาทดแทนซิลิกา (จากทราย)
 2. ของเสียที่นำมาทดแทนเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว กากสี ยางรถยนต์และเกลบ โดยนำมาทดแทนเชื้อเพลิงที่หม้อเผาปูนในกระบวนการเผา
 3. ของเสียที่ไม่สามารถนำมาทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงได้ก็จะป้อนเข้าเตาเผาเพื่อกำจัด
 - น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นน้ำหล่อเย็นสำหรับเครื่องจักร โดยมีการใช้ไฟฟ้าในการสูบน้ำมาใช้ในการกระบวนการผลิตและใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

- ผลิตปูนเม็ด (Clinker) 2 ประเภทคือ Clinker Type I และ Clinker Type I/II ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบกันเล็กน้อยโดยที่ Clinker Type I จะนำไปผลิตปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราเสือ และตราแสด ส่วน Clinker Type I/II จะนำไปผลิตเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I/II
- มีโรงงานผลิตถุงบรรจุปูนเพื่อใช้บรรจุปูนถุง (50 กก.) นอกจากนี้ยังรับจ้างทำถุงบรรจุปูนเพื่อจำหน่ายไปยังบริษัทในเครือฯ และบริษัทอื่นอีกด้วย
- ผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ มีดังนี้
 - 1) ปูนซีเมนต์ตราช้าง จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตาม มอก. 15-2514/2517 และมาตรฐานอเมริกัน ASTM C150-71 Type I ซึ่งผลิตโดยการนำปูนเม็ด มาบดผสมกับยิปซัม เหมาะสำหรับใช้ทำโครงสร้างและงานคอนกรีตที่ต้องการแรงอัดสูง โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายมีทั้งจำหน่ายในรูปปูนซีเมนต์ผง และปูนซีเมนต์ผงบรรจุถุง (50 กิโลกรัม)
 - 2) ปูนซีเมนต์ตราเสือ เหมาะสำหรับใช้เป็นปูนก่อ ปูนฉาบ และงานคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการแรงอัดมากนัก ผลิตโดยการนำปูนเม็ด มาบดผสมกับยิปซัมและหินปูนโดยที่ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายมีทั้งจำหน่ายในรูปปูนซีเมนต์ผง และปูนซีเมนต์ผงบรรจุถุง (50 กิโลกรัม)
 - 3) ปูนซีเมนต์ตราแสด ผลิตโดยการนำปูนเม็ด มาบดผสมกับยิปซัมและหินปูนโดยที่มีอัตราส่วนผสมต่างไปจากปูนซีเมนต์ตราเสือ โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายจะมีจำหน่ายเฉพาะปูนซีเมนต์ผงบรรจุถุง (50 กิโลกรัม)
 - 4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I/II จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณลักษณะอยู่ระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท II ผลิตโดยการนำปูนเม็ด มาบดผสมกับยิปซัม แต่ใช้ปูนเม็ดคนละประเภทกับปูนซีเมนต์ตราช้าง โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายจะมีจำหน่ายเฉพาะปูนซีเมนต์ผงเท่านั้น
- การบรรจุและจำหน่ายนั้นมีการจำหน่ายปูนทั้งแบบปูนซีเมนต์ผง (Bulk) และปูนซีเมนต์ถุง (50 กิโลกรัม) และขนส่งโดยรถบรรทุกปูนซีเมนต์ถุง รถเตาบรรทุกปูนซีเมนต์ผง และรถไฟ ในส่วนของการจำหน่ายปูนซีเมนต์นั้น มีการจำหน่ายปูนภายในประเทศในรูปปูนซีเมนต์ผง ตราช้าง ตราเสือ และปูนปอร์ตแลนด์ประเภท I/II และจำหน่ายในรูปปูนซีเมนต์ถุง ตราช้าง ตราเสือ และตราแสด นอกจากนี้ยังมีการจำหน่ายปูนไปยังต่างประเทศโดยจำหน่ายทั้งปูนซีเมนต์ผง ตราช้างและปูนปอร์ตแลนด์ประเภท I/II และในรูปปูนซีเมนต์ถุงตราช้างและตราเสือ ซึ่งปูนซีเมนต์บรรจุถุงส่งออกนั้นจะบรรจุใส่ถุงคนละชนิดกับถุงที่จำหน่ายในประเทศเพื่อความปลอดภัยและสะดวกในการขนส่ง
- มีการจำหน่ายปูนเม็ด ให้กับบริษัทปูนซีเมนต์อื่นและส่งออกไปยังต่างประเทศ

4.1.2 บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยลำปาง จำกัด

ตั้งอยู่ที่อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง เริ่มดำเนินการผลิตตั้งแต่ปลายปี 2539 มีกำลังการผลิตประมาณ 2,110,000 ตันต่อปี มีขั้นตอนกระบวนการผลิตคล้ายคลึงกับกระบวนการผลิตของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทยแ่งคอย จำกัด แต่มีสายการผลิตน้อยกว่า คือมีเพียง 1 หม้อเผา ซึ่งรายละเอียดโดยทั่วไปของโรงงานมีดังนี้

- ทำเหมืองหินปูนแบบ Semi Open Cut ซึ่งเป็นแห่งแรกของไทย
- ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานปรับปรุงคุณภาพของเสียรวม (ลำดับที่ 101) จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงมีการรับของเสียเข้ามากำจัดในโรงงานโดยใช้ทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ ดังนี้

1. ของเสียที่นำมาทดแทนวัตถุดิบ ได้แก่ ยิปซัมสังเคราะห์ที่ได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งจะนำไปทดแทนในกระบวนการบดซีเมนต์ผง
2. ของเสียที่นำมาทดแทนเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ซึ่งนำมาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ และของเสียที่เป็นของเหลว โดยนำมาทดแทนเชื้อเพลิงที่หม้อเผาปูนในกระบวนการเผา
3. ของเสียที่ไม่สามารถนำมาทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงได้ก็จะป้อนเข้าเตาเผาเพื่อกำจัด
 - น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นน้ำหล่อเย็นสำหรับเครื่องจักร โดยมีการใช้ไฟฟ้าในการสูบน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตและใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ
 - ผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ มีดังนี้

1) ปูนซีเมนต์ตราช้าง จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตาม มอก. 15-2514/2517 และมาตรฐานอเมริกัน ASTM C150-71 Type I ซึ่งผลิตโดยการนำปูนเม็ด มาบดผสมกับยิปซัม เหมาะสำหรับใช้ทำโครงสร้างและงานคอนกรีตที่ต้องการแรงอัดสูง โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายมีทั้งจำหน่ายในรูปปูนซีเมนต์ผง และปูนซีเมนต์ผงบรรจุถุง (50 กิโลกรัม)

2) ปูนซีเมนต์ตราเสือ เหมาะสำหรับใช้เป็นปูนก่อ ปูนฉาบ และงานคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการแรงอัดมากนัก ผลิตโดยการนำปูนเม็ด มาบดผสมกับยิปซัมและหินปูนโดยที่ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายมีทั้งจำหน่ายในรูปปูนซีเมนต์ผง และปูนซีเมนต์ผงบรรจุถุง (50 กิโลกรัม)

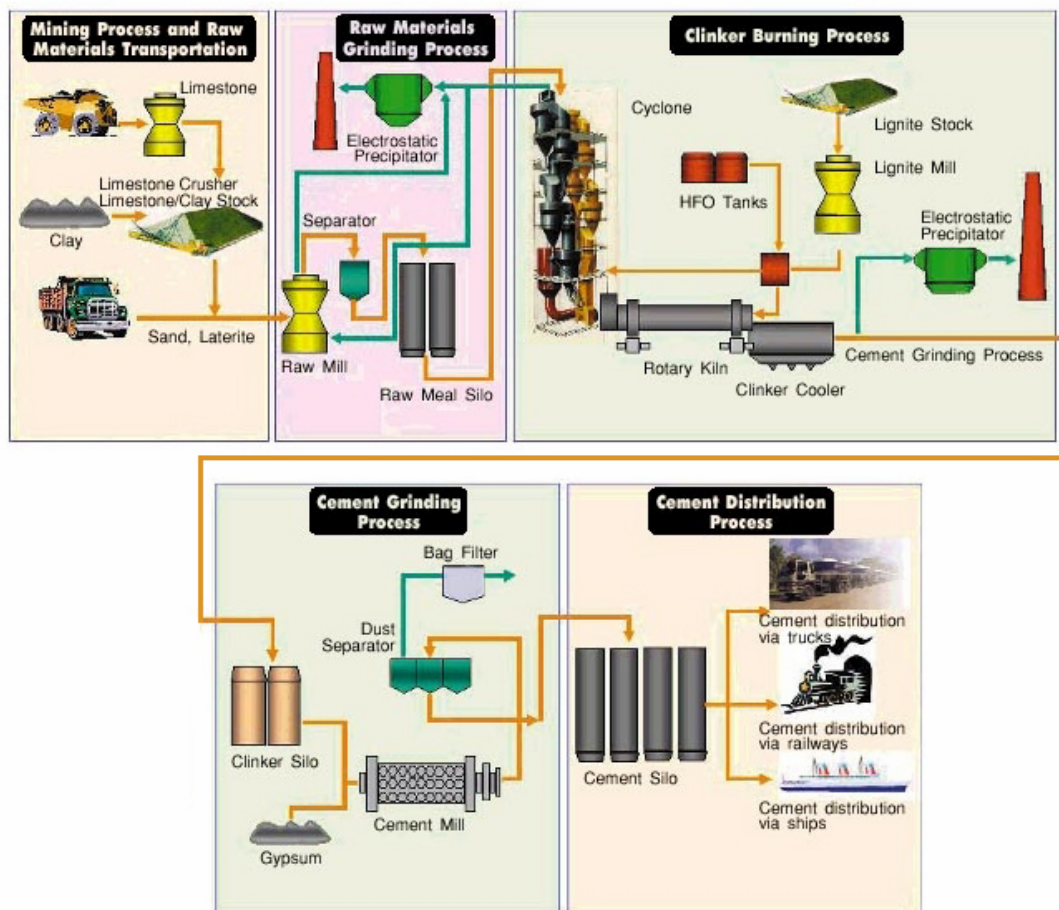
3) ปูนซีเมนต์ตราแสด ผลิตโดยการนำปูนเม็ด มาบดผสมกับยิปซัมและหินปูนโดยที่มีอัตราส่วนผสมต่างไปจากปูนซีเมนต์ตราเสือ โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายจะมีจำหน่ายเฉพาะปูนซีเมนต์ผงบรรจุถุง (50 กิโลกรัม)

- การบรรจุและจำหน่ายนั้นมีการจำหน่ายปูนทั้งแบบปูนซีเมนต์ผง ตราช้างและ ตราเสือ และปูนซีเมนต์ถุง (50 กิโลกรัม) ตราช้าง ตราเสือและตราแสด โดยการขนส่งไปยังผู้จัด

จำหน่ายจะขนส่งโดยรถบรรทุกปูนซีเมนต์ถุง และรถเต้าบรรทุกปูนซีเมนต์ผง นอกจากนี้ยังมีการจำหน่ายปูนซีเมนต์ถุงส่งออก ตราช้างและตราเสือไปยังต่างประเทศ

กระบวนการผลิตของโรงงานทั้ง 2 แห่งมีลักษณะคล้ายคลึงกัน (รูปที่ 4.1) โดยเป็นการผลิตแบบแห้ง โดยนำหินปูนและหินดินดานที่ได้จากเหมืองผ่านเข้าเครื่องย่อยหินให้มีขนาดประมาณ 25 มม. และผสมกันในอัตราส่วนประมาณ 3 : 1 หลังจากนั้นนำมาผสมกับดินเหนียว ดินแดง ดินลูกรัง แร่เหล็ก ซึ่งแล้วแต่วัตถุดิบของแต่ละโรงงาน โดยที่วัตถุดิบทั้งหมดจะถูกป้อนเข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบแบบ Vertical Roller Mill โดยมีลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 200 °C ทำหน้าที่ไล่ความชื้น ซึ่งเมื่ออบละเอียดแล้วจะลำเลียงเก็บไว้ในไซโล วัตถุดิบในส่วนนี้จะเรียกว่า วัตถุดิบผสม (Raw Meal) จากนั้นลำเลียง Raw Meal ที่ได้ขึ้นไปบนหออุ่นซึ่งประกอบด้วย Cyclone 5 ชั้น (เรียกว่า Pre Calcliner) ที่มีลมร้อนไหลผ่านสวนกับวัตถุดิบ (ทำให้มีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 870 °C) และลำเลียงเข้าสู่หม้อเผาภายใต้อุณหภูมิ 1,450 °C ทำให้ส่วนผสมต่างๆ ทำปฏิกิริยากลายเป็นปูนเม็ดจากนั้นส่งผ่านไปยังหม้อเย็น แบบ Grate Cooler เพื่อทำให้ปูนเม็ดลดอุณหภูมิเหลือประมาณ 100 °C ซึ่งลมร้อนในส่วนนี้ได้นำกลับไปใช้ในส่วนของลมร้อนที่ไหลสวนกับวัตถุดิบที่ Pre Calcliner นั้นเอง จากนั้นปูนเม็ดที่ได้จะนำมาบดผสมกับยิปซัมและหินปูนในหม้อบด ซึ่งการบดนั้นจะใช้อัตราส่วนต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต ซึ่งผลผลิตจากกระบวนการบดปูนเม็ดจะได้เป็นปูนซีเมนต์ผงแยกเป็นปูนซีเมนต์ผงตราต่าง ๆ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

รูปที่ 4.1 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด และ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด



4.2 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมาย ขอบเขตการศึกษา หน้าที่ผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน และขอบเขตระบบ

4.2.1 เป้าหมายการศึกษา

- 1) เพื่อจัดทำฐานข้อมูลและบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทย โดยเฉพาะปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

- 2) เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ตั้งแต่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต ตลอดจนการขนส่งไปยังผู้จำหน่าย
- 3) เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงบวกจากการนำกากของเสียและกากของเสียอันตรายไปรีไซเคิลใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์
- 4) เพื่อจัดทำร่างฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3

4.2.2 หน้าที่ของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผงและแบบผงบรรจุถุง (50 กิโลกรัม) ที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการก่อสร้าง

4.2.3 หน่วยการทำงาน (Functional Unit) และปริมาณอ้างอิง (Reference Flow)

ทำการศึกษา

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I แบบผง ปริมาณ 1,000 กิโลกรัม (1 ตัน)
- 2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I แบบผงบรรจุถุงขนาด 50 กิโลกรัม ปริมาณ 1,000 กิโลกรัม (1 ตัน)

4.2.4 กลุ่มผู้นำไปใช้ประโยชน์ต่อ (Target audience)

- 1) โรงงานที่เข้าร่วมโครงการฯ สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
- 2) โรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ อาจนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในโรงงานของตน
- 3) กลุ่มนักวิจัยสามารถนำผลการศึกษาไปทำการวิจัยต่อยอดสู่อุตสาหกรรมอื่นที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัตถุดิบในการผลิต หรือนำไปศึกษาการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 4) ภาครัฐได้ทราบถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ซึ่งประเทศไทยในฐานะประเทศกำลังพัฒนาที่ได้ลงนามเข้าร่วมเป็นภาคีและให้

สัตยาบันในกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UN Framework Convention on Climate Change) ในปี พ.ศ. 2538 จะต้องจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในประเทศทั้งหมด เสนอต่อสหประชาชาติ

4.2.5 ขอบเขตของระบบ (System Boundary)

การศึกษาค้างนี้ได้กำหนดขอบเขตของระบบ โดยประกอบด้วย 12 กระบวนการย่อย (unit process) (รูปที่ 4.2 และ 4.3) ดังนี้

- 1) การทำเหมืองหินปูน
- 2) การทำเหมืองหินดินดาน
- 3) การบดย่อยและทำกองวัตถุดิบผสม
- 4) การเตรียมลิคไนต์
- 5) การเผาทำปูนเม็ด
- 6) การนำมามาเป็นผง
- 7) การบรรจุปูนถุง
- 8) การบรรจุลงรถ
- 9) การผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบสายส่งในโรงงาน
- 10) ระบบผลิตน้ำและปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบหล่อเย็น
- 11) การนำยิปซัมสังเคราะห์ (by product) มาทดแทนวัตถุดิบ
- 12) การผลิตถุงปูน (เฉพาะโรงงานแ่งค้อย)

ทั้งนี้การศึกษาค้างนี้จะไม่รวมขั้นตอนการสร้างโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ การทำเหมืองวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศ และการขนส่ง การเกิดมลพิษ SO_x , NO_x และฝุ่นละอองจากการทำเหมืองในประเทศ การใช้งานของผู้บริโภค และการจัดการซากผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้กลายเป็นโครงสร้างของอาคารและมีอายุการใช้งานนาน

4.2.6 แหล่งที่มาของข้อมูลและสมมติฐาน

การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ อาศัยแหล่งข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมมาจากโรงงานปูนซีเมนต์ 2 แห่ง ในระหว่างปี 2544 และ 2545 รวม 2 ปี และข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro และเอกสารวิชาการอื่นๆ ดังนี้

1) **พื้นที่ที่ถูกใช้ทำเหมือง** : คำนวณจากปริมาตรหินปูนที่ถูกระเบิดไป (ลบ.ม.) ต่อตัวอย่างเช่น หากมีการใช้หินปูนทั้งหมด 4,580,676 ตัน โดยที่หินปูนมีความหนาแน่น 2.6 ตันต่อลบ.ม. ดังนั้นจะต้องระเบิดหินปูนในการทำเหมืองทั้งหมดประมาณ 1,761,798.46 ลบ.ม. โดยในการออกแบบการระเบิดจะกำหนดให้ความลึกในการระเบิดครั้งละไม่เกิน 12 เมตร ดังนั้นในการทำเหมืองจะใช้พื้นที่ประมาณ 146,816.54 ตร.ม. แต่เนื่องจากพื้นที่ในการทำเหมืองเป็นภูเขา โดยปกติแล้วจะมีการระเบิดลึกลงไปครั้งละ 12 ม. นั่นคือระเบิดให้หมดเป็นชั้นๆ ซึ่งจะระเบิดปีละ 6-7 ชั้น ดังนั้นพื้นที่ในการทำเหมืองจะใช้ประมาณ 20,973.79 ตร.ม.

2) **วัตถุระเบิด** : วัตถุระเบิดที่ใช้ในการทำเหมืองมีหลายชนิด และใช้ในปริมาณน้อย คณะผู้วิจัยไม่สามารถหาข้อมูลส่วนผสมทางเคมีและอัตราส่วนของวัตถุระเบิดแต่ละชนิดได้ ในการศึกษาจึงจึงคำนวณเฉพาะการขนส่งวัตถุระเบิดเข้ามายังโรงงาน ส่วนการทำเหมืองหินดินดานนั้นตามปกติจะไม่มีการใช้วัตถุระเบิด เนื่องจากหินดินดานมีความแข็งน้อยกว่าหินปูนมาก ในการศึกษาครั้งนี้จึงคิดแค่การใช้รถขุดเจาะในการกัดผิวดินของเหมืองหินดินดาน และใช้รถตักในการขนลำเลียง ซึ่งในบางครั้งอาจมีการนำหินดินดานที่มีขนาดใหญ่ เข้าเครื่องบดย่อยให้มีขนาดเล็กลง

สมมติฐาน วัตถุระเบิดที่ขนส่งมายังโรงงานว่ามาจากแหล่งเดียวกันคือมีระยะทางประมาณ 100 กิโลเมตร

3) **น้ำมันและเชื้อเพลิง** : ในการทำเหมืองมีการใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องจักรบางชนิดและใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถชนิดต่างๆ ในการศึกษาได้ใช้ฐานข้อมูลการผลิตดีเซลจากฐานข้อมูล SimaPro และคำนวณปริมาณและระยะทางที่ใช้

4) **การทำเหมืองวัตถุหินอื่นภายนอกโรงงาน** : คำนวณเพียงปริมาณและการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งวัตถุหินเหล่านี้จากเหมืองภายนอกโรงงานมายังโรงงานโดยที่ทราบระยะทาง

และจำนวนเที่ยวในการขนส่ง แต่ไม่คิดรวมถึงปริมาณไฟฟ้าและเชื้อเพลิงต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตวัตถุดิบนั้น

5) **การบดย่อยและทำของวัตถุดิบ** : เก็บข้อมูลปริมาณวัตถุดิบที่เข้ามาในกระบวนการ ปริมาณน้ำมันดีเซลสำหรับขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน และปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบดย่อยวัตถุดิบต่าง ๆ เช่น วัตถุดิบผสมเพิ่ม (additive crusher) ดินเหนียว (clay crusher) เพื่อเตรียมเข้ามาผสมในกระบวนการนี้ และไฟฟ้าสำหรับเครื่องทำวัตถุดิบผสม (Mix Material)

6) **การเผาในเตาเผา** : เก็บข้อมูลปริมาณวัตถุดิบที่เข้ามาในกระบวนการ ปริมาณน้ำมันดีเซลสำหรับขนส่งวัตถุดิบและลิกไนต์มายังโรงงาน และปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบดย่อยลิกไนต์ในกระบวนการเตรียมลิกไนต์ (Lignite Mill process)

7) **การใช้ยิปซัม** : เนื่องจากในโรงงานปูนซีเมนต์ ซึ่งมีการใช้ยิปซัมผสมกับปูนเม็ดที่นำมาบดทำเป็นผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ แต่ในบางครั้งจะนำยิปซัมที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าหรือที่เรียกว่ายิปซัมสังเคราะห์ (artificial gypsum) มาใช้ทดแทนยิปซัม ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ตั้งสมมติฐานใน 3 กรณี ดังนี้

- กรณีที่ 1 การใช้ยิปซัมเป็นส่วนผสมทั้งหมด
นำข้อมูลบัญชีรายการผลติยิปซัมที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มาคำนวณในกระบวนการบดย่อยซีเมนต์
- กรณีที่ 2 การใช้ยิปซัมสังเคราะห์ซึ่งเป็นของเสียมาทดแทน
ในกรณีนี้ กำหนดให้ยิปซัมสังเคราะห์เป็นของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านลิกไนต์ ซึ่งโรงงานปูนซีเมนต์ได้ช่วยนำมากำจัดให้ ดังนั้นภาระทางสิ่งแวดล้อมที่ติดมากับยิปซัมสังเคราะห์จึงนับเป็นศูนย์ (0) เพื่อเอื้อประโยชน์ให้กับโรงงานปูนซีเมนต์ ซึ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้ยิปซัมจะลดลงไปเพราะใช้น้อยลง
- กรณีที่ 3 การใช้ยิปซัมสังเคราะห์ซึ่งเป็น co-product มาทดแทนในกรณีนี้ มีการซื้อยิปซัมสังเคราะห์ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไฟฟ้าเข้ามาทดแทนยิปซัมในกระบวนการย่อย

ผู้วิจัยจึงทำการปันส่วน (allocate) ภาระทางสิ่งแวดล้อมทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้ามาคิดโดย

ในการปันส่วนคิดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ กับ ยิปซัมสังเคราะห์ที่เกิดขึ้น โดยแปลงหน่วยให้อยู่บนฐานเดียวกันทางเศรษฐศาสตร์ ในรูปของมูลค่า (บาท)

ไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่โรงไฟฟ้ามีปริมาณ 17,219,500,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และเกิดยิปซัมสังเคราะห์ปริมาณ 2,027,937 ตัน

ราคาค่าไฟฟ้า = 1.70 บาท ต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ราคายิปซัมสังเคราะห์ = 103 บาท/ตัน (ราคาผลิตภัณฑ์ตันละ 20 บาท
ค่าขนส่งตันละ 83 บาท)

ดังนั้น มูลค่าของปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ = $(17,219,500,000 \text{ kwh} \times 1.70 \text{ บาท/kwh})$
= 29,273,150,000 บาท

มูลค่าของยิปซัม = $(2,027,937 \text{ ตัน} \times 103 \text{ บาท/ตัน})$
= 208,877,511 บาท

ดังนั้น ค่าการปันส่วนเพื่อแบ่งภาระทางสิ่งแวดล้อมสำหรับยิปซัมสังเคราะห์จึงมีค่า
= $(208,877,511 \text{ บาท}) / (208,877,511 \text{ บาท} + 29,273,150,000 \text{ บาท})$
= 0.0070849099 เท่าของภาระที่เกิดขึ้นทั้งหมด

8) การบรรจุปูนซีเมนต์

8.1) การผลิตกระดาษคราฟท์ที่ใช้ในการทำถุง : อ้างอิงจากฐานข้อมูลของโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

8.2) การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานผลิตถุงปูนที่อยู่ในโรงงานปูนซีเมนต์ : เนื่องจากมีการซื้อวัตถุดิบต่าง ๆ เช่น กระดาษคราฟท์ กาว หมึกพิมพ์ และ พลาสติก PE มาจากหลายแหล่งในกรุงเทพฯ จึงตั้งสมมติฐานขนส่งมาจากแหล่งเดียวกันในจังหวัดกรุงเทพฯ

8.3) น้ำหนักของถุงบรรจุปูน: เนื่องจากถุงบรรจุปูนมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน จึงประมาณว่าถุงปูนทุกชนิดมีน้ำหนักเท่ากัน คือ 235 กรัม

9) การขนส่งปูนซีเมนต์ไปยังผู้จัดจำหน่าย

การขนส่งปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ไปยังผู้จัดจำหน่ายนั้น พบว่ามีผู้จัดจำหน่ายทั้งรายใหญ่และรายย่อยอยู่มากมายในแต่ละจังหวัด ทำให้ไม่สามารถแยกผู้จัดจำหน่ายเป็นราย ๆ ไปได้ จึงตั้งสมมติฐาน ดังนี้

- 1) คิดปริมาณรวมของแต่ละจังหวัด
- 2) การขนส่งปูนไปยังผู้จัดจำหน่ายที่อยู่ในจังหวัดเดียวกันจะมีระยะทางเท่ากัน
- 3) ระยะห่างระหว่างโรงงานถึงจังหวัด คิดระยะทางเฉลี่ยจากโรงงานไปยังอำเภอเมืองของจังหวัดนั้น ๆ
- 4) ไม่รวมระยะทางที่ขนส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ

10) การขนส่งวัตถุดิบ

ข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมมา ได้แก่ จำนวนเที่ยวในการขนส่ง ระยะห่างระหว่างบริษัท/เหมืองที่รับวัตถุดิบมายังโรงงาน แต่ยังไม่สามารถเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลที่ใช้สำหรับพาหนะบรรทุกวัตถุดิบมายังโรงงานได้ เนื่องจากการบรรทุกแต่ละเที่ยวจะมีปริมาณไม่เท่ากันและ และในการขนส่งในบางเที่ยวจะใช้พาหนะคนละประเภทกัน นอกจากนี้ยังขึ้นกับสภาพการใช้งานของพาหนะบรรทุกนั้นๆ ผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลการขนส่งของรถบรรทุกขนาด 28 ตัน (Truck 28 ton ETH) จากซอฟต์แวร์ Sima Pro เวอร์ชัน 5.1 โดยที่ใช้น้ำมันดีเซลในการบรรทุก 0.041 กิโลกรัมต่อ การบรรทุก 1 ตันกิโลเมตร

11) ไฟฟ้า : ใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) ของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าแบบ Grid Mixes ของไทย ที่ได้มีการศึกษาไว้ในโครงการ “LCA for Asian Countries” โดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ร่วมกับ JEMAI ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าแบบ Grid Mixes ของไทยจะมุ่งเฉพาะ Airborne Emission ที่คำนวณได้จากข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และโรงผลิตไฟฟ้าเอกชนจำนวน 3 แห่งในปี 2544 ซึ่งครอบคลุมประมาณ 86 % ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดในปีนั้น (ตารางที่ 4.1) เนื่องจากโรงงานตัวอย่างทั้ง 2 โรงได้รับไฟฟ้าจากระบบสายส่ง

ตารางที่ 4.1 มลพิษที่ปล่อยออกสู่อากาศที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

มลพิษ	ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)		
	ปี 2543	ปี 2544	% ผลต่าง
CO ₂	7.06E-01	7.15E-01	+1.3
SO ₂	7.11E-04	6.36E-04	-10.5
NO _x	2.23E-03	2.35E-03	+5.4
CO	1.81E-04	1.92E-04	+6.1
N ₂ O	2.19E-05	2.14E-05	-2.3

มลพิษ	ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)		
	ปี 2543	ปี 2544	% ผลต่าง
NMVOC	3.42E-05	3.43E-05	+0.3
CH ₄	1.92E-05	2.14E-05	+11.5
Dust	7.94E-05	3.56E-05	-55.2

ที่มา : โครงการ “LCA for Asian Countries Phase III” , สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและ JEMAI (2545)

12) **น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต** : น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานมีอยู่ 2 ส่วน คือ (1) ใช้สำหรับรดพื้นในเหมืองเพื่อลดปริมาณฝุ่น ซึ่งจะระเหยแห้งไปในอากาศ จึงไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้น และ (2) น้ำที่ใช้เป็นน้ำหล่อเย็นในกระบวนการเผา น้ำหล่อเย็นมาจากการสูบน้ำจากคลองสาธารณะ และใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำหมุนเวียนอยู่ในระบบปิด เนื่องจากน้ำที่เหลือจากการหล่อเย็นเครื่องจักรจะถูกปล่อยทิ้งในบ่อเก็บน้ำ และนำมาเวียนใช้ในระบบน้ำหล่อเย็นอีกครั้ง ดังนั้น จึงเก็บข้อมูลเฉพาะการใช้ไฟฟ้าและสารเคมีในกระบวนการส่งจ่ายและปรับปรุงคุณภาพน้ำ

13) **การคิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิง** : ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลในการเผาปูนเม็ด อ้างอิงค่า CO₂ Emission Intensities (ตารางที่ 4.2) จากโครงการ “LCA for Asian Countries” โดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ร่วมกับ JEMAI ประเทศญี่ปุ่น ในปี 2545 ซึ่งเป็นการคำนวณจากองค์ประกอบและค่าความร้อนเฉลี่ยของก๊าซเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

14) **ปริมาณ CO₂ ที่เกิดจากการใช้ถ่านหิน ลิกไนต์ พีโตรเลียมโค้ก และแอนทราไซต์** ในการเผาปูนเม็ด อ้างอิงค่าค่าแฟคเตอร์การปล่อย CO₂ (CO₂ emission factor) ของ World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) Working Group Cement Manual ปี 2002 ซึ่งเป็นค่าที่กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์จาก 10 ประเทศร่วมกันกำหนด

15) **การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการนำของเสียมาใช้ทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิง** : ใช้ค่าแฟคเตอร์การปล่อย CO₂ จากค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ใน WBCSD Manual เช่นกัน

16) **การขนส่งของเสีย มาทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงาน** : เนื่องจากโรงงานได้ว่าจ้างบริษัทรับจ้างขนส่งทั่วประเทศนำของเสียส่งยังโรงงานทำให้ไม่สามารถแยก

แหล่งที่มา และคำนวณระยะทางที่แท้จริงได้ ในการศึกษาคั้งนี้จึงคำนวณระยะทางในการขนส่งเข้ามายังโรงงานจากแหล่งที่มีการขนส่งของเสียแต่ละประเภทที่มีปริมาณมากที่สุดมายังโรงงาน

ตารางที่ 4-2 ตัวอย่างประเภทและแหล่งที่มาของกากของเสียชนิดต่างๆ ที่นำมาทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงาน

ประเภทของเสีย	แหล่งที่มาที่มีปริมาณมากที่สุด	หมายเหตุ
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	-	จ้างบริษัทรับเหมาให้ขนส่งมาเก็บไว้ในโรงงาน
ฝุ่นเหล็ก	ชลบุรี	เจ็ลี่ยจากโรงงานเหล็ก 2 แห่ง
ยางรถยนต์ไม่ได้คุณภาพ/ ซากยางรถยนต์	เจ็ลี่ยจากหลายแหล่ง	โรงงานตั้งอยู่หลายแห่ง
แกลบ	กรุงเทพฯ	
ของแข็งผสม	ระยอง	ขนส่งมาจาก Genco จ.ระยอง
ของเสียที่เป็นของเหลว	ระยอง	ขนส่งมาจาก Genco จ.ระยอง

การขนส่งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของโรงงานปูนซีเมนต์นั้นจะจ้างบริษัทรับจ้างขนส่งของเสียมาเก็บไว้ในถังเก็บที่อยู่ในโรงงาน และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อลำเลียงเข้าไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา การคำนวณการขนส่งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จึงคิดเฉพาะปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการลำเลียงเข้าเตาเผาเท่านั้น เนื่องจากไม่สามารถหาแหล่งที่มา จึงไม่สามารถคำนวณระยะทางในการขนส่งมายังโรงงานได้

4.2.7 โปรแกรมฐานข้อมูล (Database Software)

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์นี้ คณะผู้วิจัยใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากโรงงานตัวอย่าง 2 โรงงานเป็นพื้นฐาน และทำการวิเคราะห์จัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ดังกล่าว โดยใช้โปรแกรมการคำนวณการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ SimaPro[®] เวอร์ชัน 5.1 ซึ่งพัฒนาโดยบริษัท PRe Consultant ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งภายในโปรแกรมนี้จะประกอบด้วยฐานข้อมูล LCI ของ

ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตวัสดุต่าง ๆ ตามที่ได้เคยมีการศึกษา LCA มา (ฐานข้อมูลส่วนใหญ่มาจากการศึกษา LCA ในยุโรป) ซึ่งในการศึกษานี้จะอ้างถึงฐานข้อมูลดังกล่าวบางส่วน

4.2.8 ข้อจำกัดของการศึกษา

ในต่างประเทศนั้นได้มีการศึกษาวิจัยเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลาหลายปีแล้วทำให้มีฐานข้อมูลของวัตถุดิบพื้นฐานต่าง ๆ อยู่มากมาย สำหรับในประเทศไทยนั้นการศึกษาวินิจฉัยเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นอยู่ ทำให้ขาดฐานข้อมูล LCI ของการผลิตวัตถุดิบพื้นฐานบางชนิดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้งานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องอาศัยการอ้างอิงจากฐานข้อมูลต่างประเทศบางส่วน เช่น ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro[®] เวอร์ชัน 5.1 ซึ่งเก็บตัวเลขมาจากผู้ผลิตในยุโรปเป็นส่วนใหญ่มารวบรวมประกอบการศึกษา

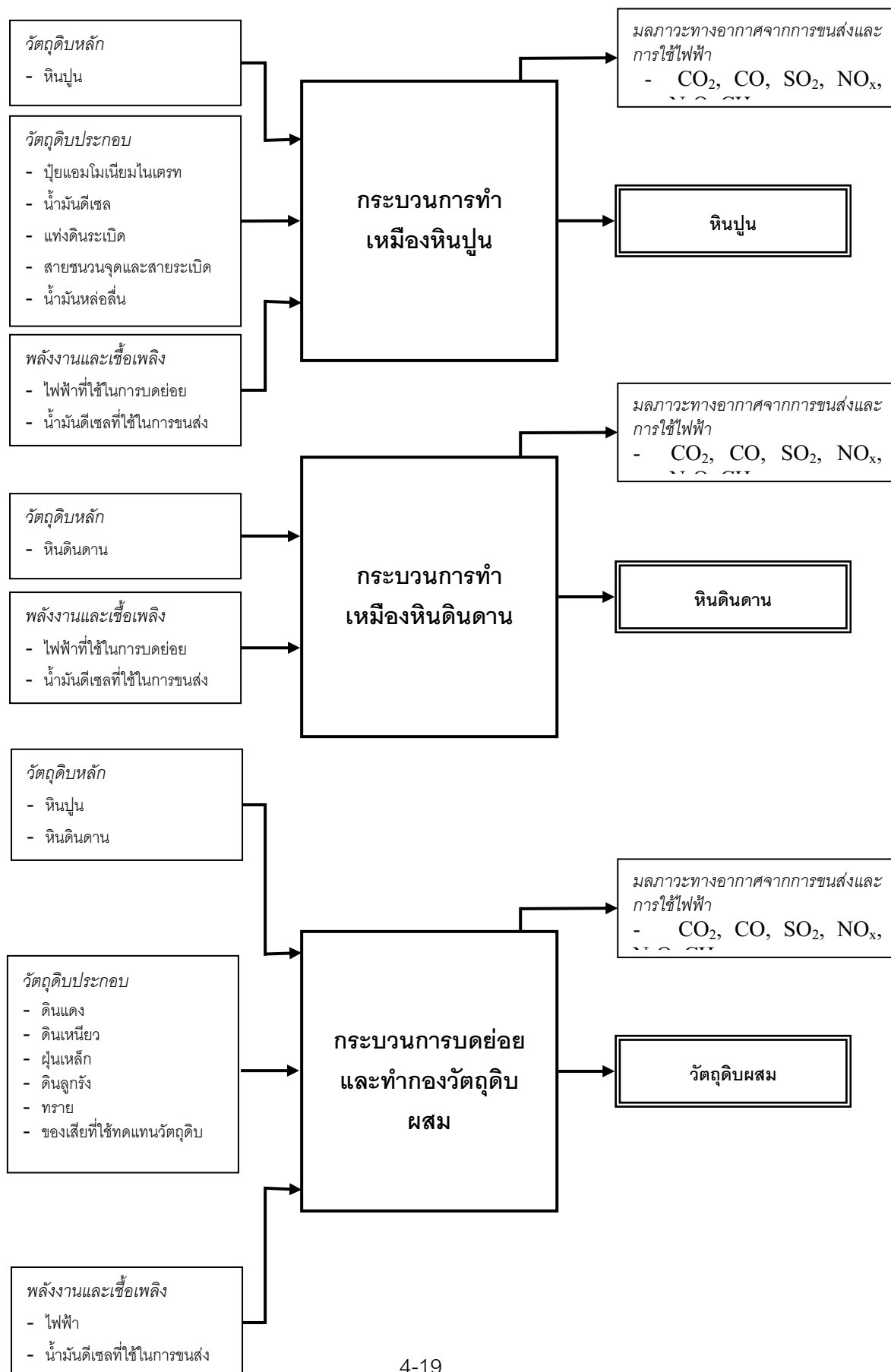
บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์จากการศึกษานี้มีรายละเอียดมุ่งเน้นในเรื่องของบัญชีรายการการปล่อยก๊าซที่เกี่ยวข้องกับก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มากที่สุด เพราะเป็นประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลก ประกอบกับเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนจากการผลิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

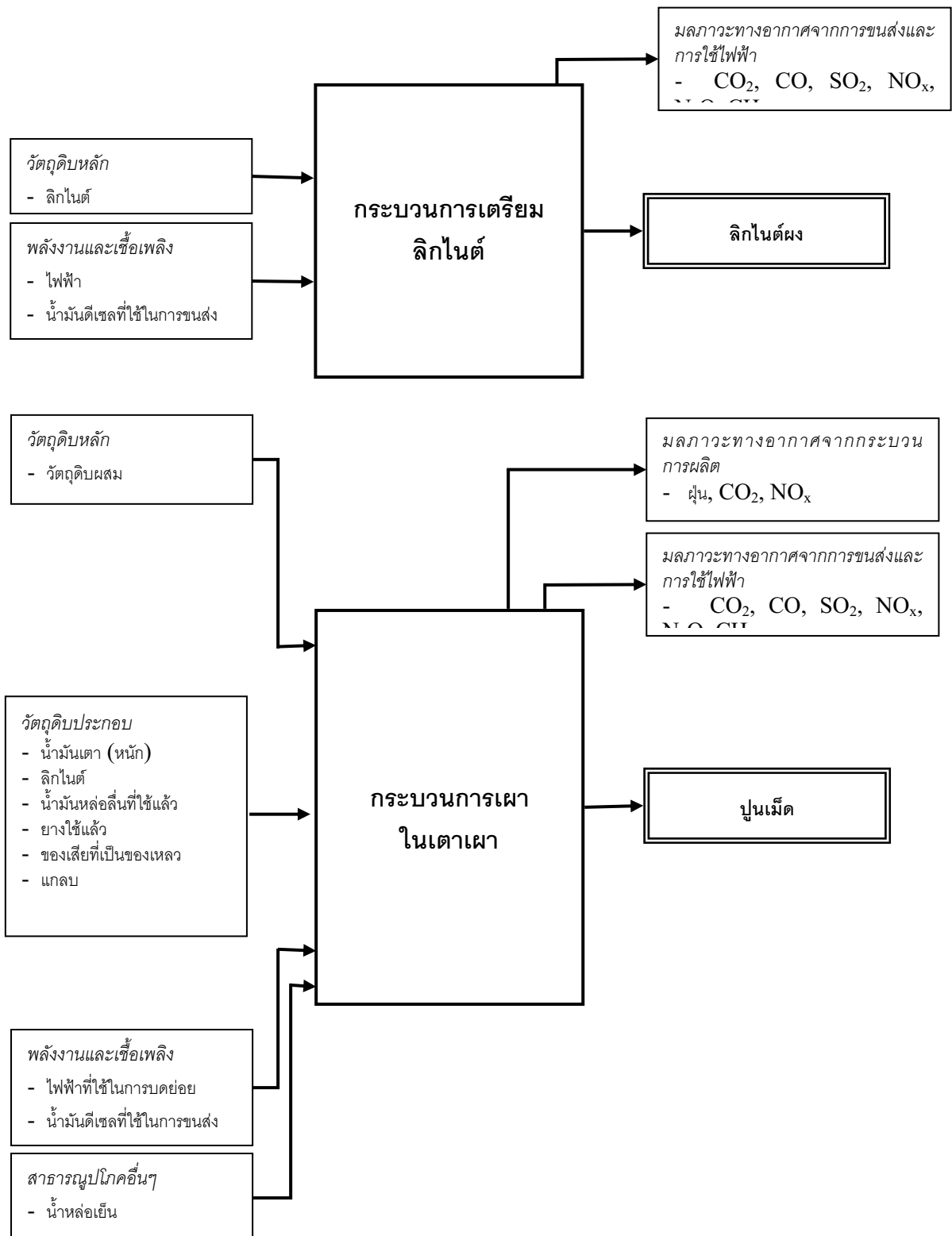
4.3 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

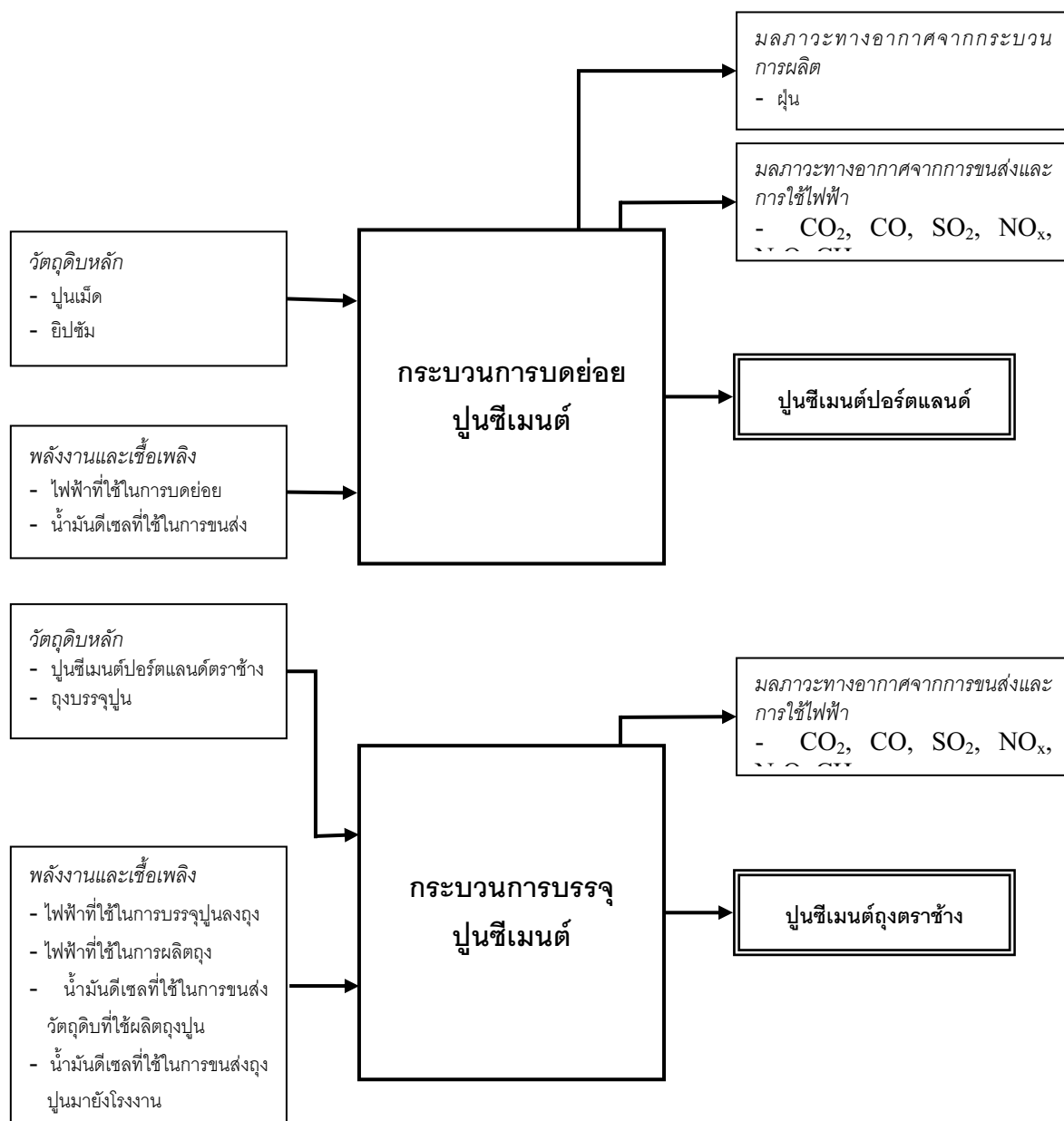
4.3.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการ

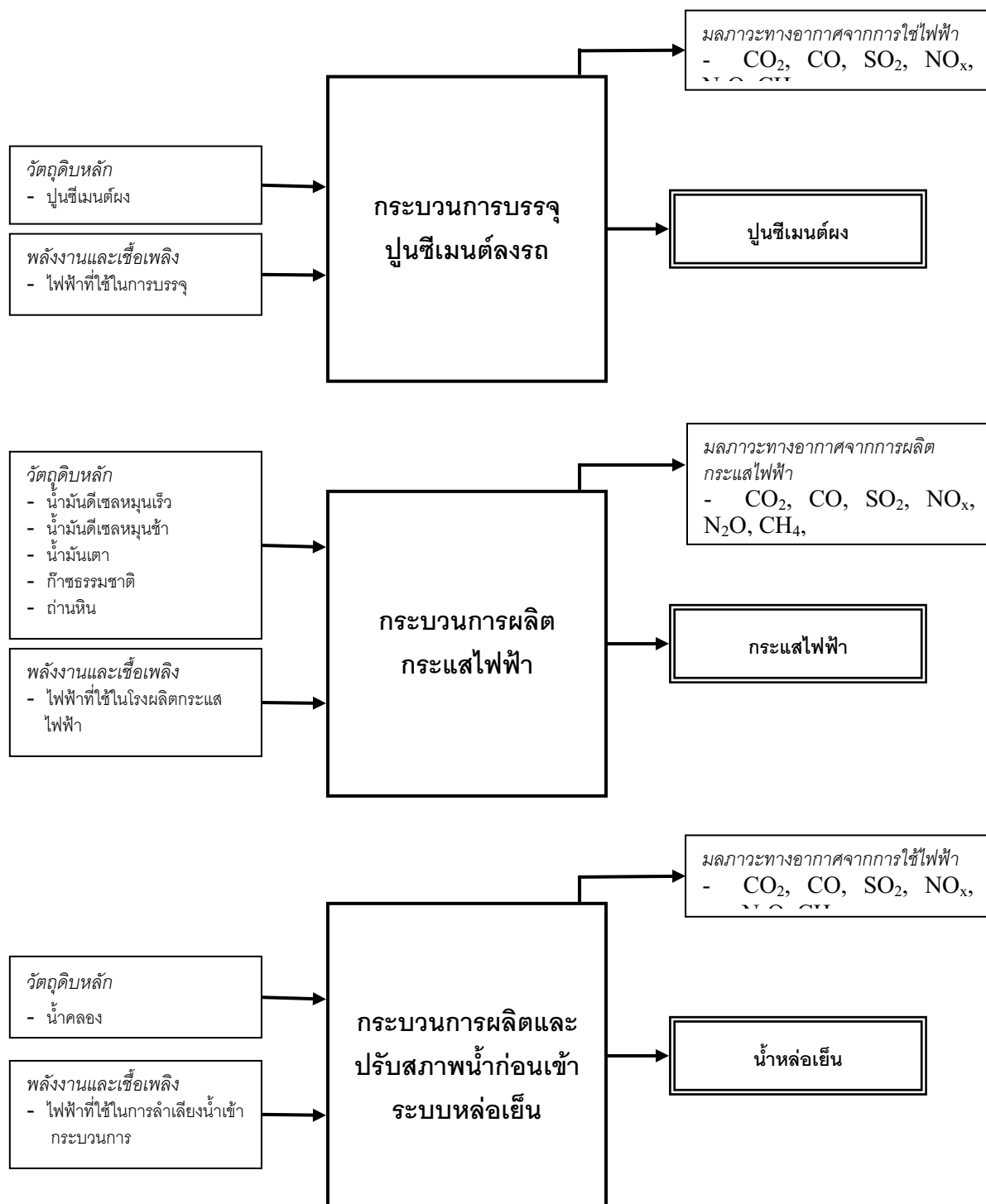
ผู้วิจัยได้ทำการระบุสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการย่อย 12 กระบวนการในขอบเขตระบบ (รูปที่ 4.4) จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลและการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วยการทำดุลมวลสาร โดยนำมาวิเคราะห์เทียบต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของกระบวนการย่อยและกระบวนการทำงาน

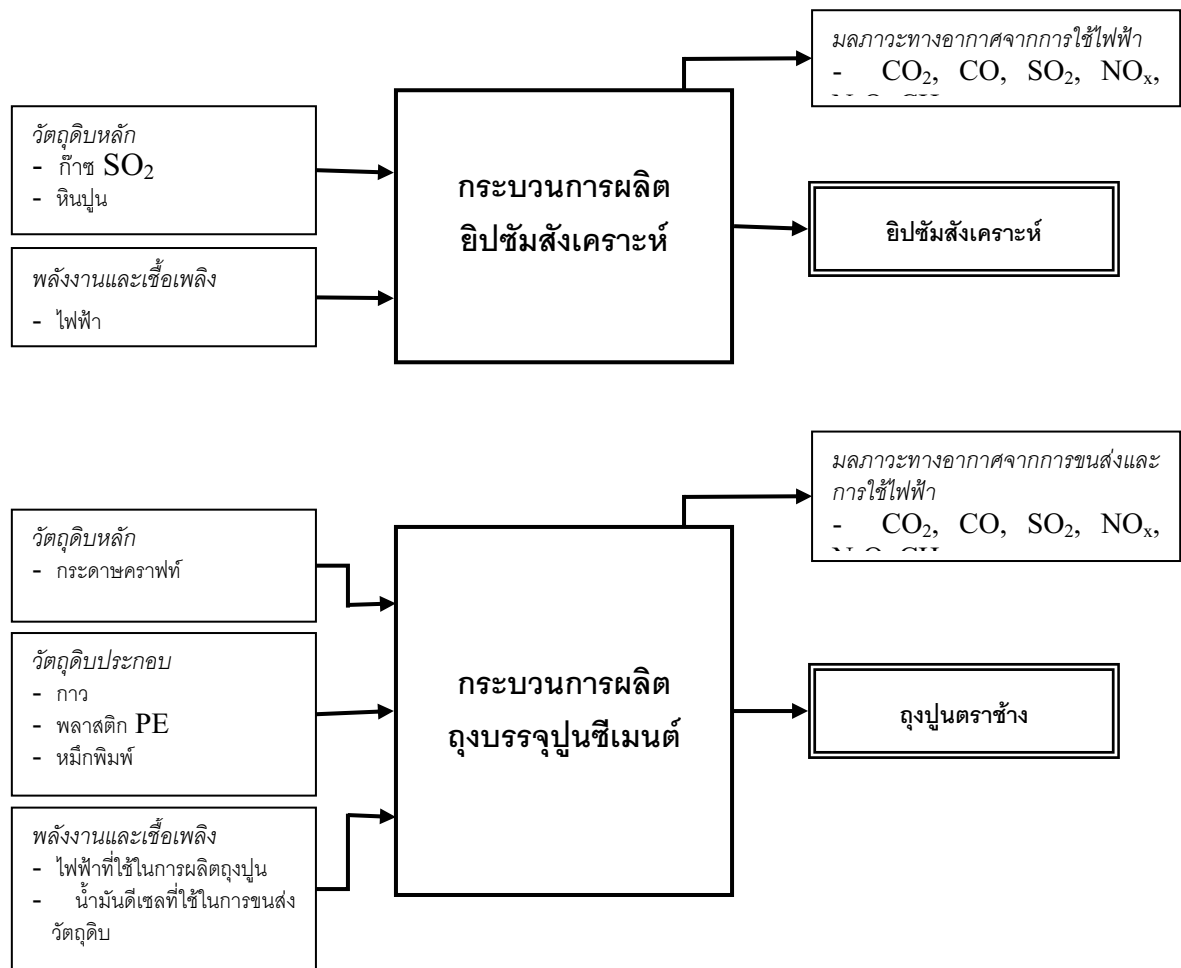
รูปที่ 4.4 สารขาเข้าและสารขาออกในกระบวนการย่อย











4.3.2 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของโรงงานปูนซีเมนต์ที่เข้าร่วมโครงการฯ ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการต่างๆ ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบปริมาณการใช้ทรัพยากรและปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ ตารางที่ 4.3 เป็นตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผงและแบบบรรจุถุง โดยนำข้อมูลจากโรงงานตัวอย่าง 2 โรงงานมาหาค่าเฉลี่ย ทั้งนี้ คำนวณจากสภาพการณ์จริงที่มีการนำกากของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิง ร้อยละ 3.4 ของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ 1 ตัน แบบบรรจุถุงขนาด 50 กิโลกรัม เท่ากับ 980 กิโลกรัม ขณะที่ปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ 1 ตัน แบบไม่บรรจุถุง เท่ากับ 973 กิโลกรัม ส่วนปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์มีน้อยมาก เนื่องจาก SO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินจะถูกจับไว้โดยแคลเซียมออกไซด์ (CaO_2) ในกระบวนการ calcination กลายเป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ผสมอยู่ในเนื้อปูนเม็ด โดยผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ 1 ตันแบบบรรจุถุง มีการปล่อย SO_2 เท่ากับ 0.136 กิโลกรัม ขณะที่แบบไม่บรรจุถุงมีการปล่อย SO_2 เท่ากับ 0.101 กิโลกรัม

ส่วนความสัมพันธ์ของภาระทางสิ่งแวดล้อม (environmental load) ที่เกิดจากสารขาเข้าในแต่ละกระบวนการย่อยแสดงในแผนภาพแบบ Tree Diagram (รูปที่ 4.5 ถึง 4.7) โดยความ “หนา-บาง” ของเส้นที่เชื่อมต่อย่อยระหว่างกระบวนการ แสดงถึงอัตราส่วนของภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากสารขาเข้าแต่ละตัว “มาก-น้อย” เมื่อนำมาเปรียบเทียบภาระทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ทั้งนี้ กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดคือ กระบวนการผลิตปูนเม็ด โดยมีภาระทางสิ่งแวดล้อมประมาณร้อยละ 94 ของภาระทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด กระบวนการที่ส่งผลกระทบรองลงมาคือการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีภาระทางสิ่งแวดล้อมร้อยละ 3.41 ซึ่งเมื่อนำกระบวนการผลิตปูนเม็ดมาพิจารณาต่อเนื่อง พบว่ากระบวนการ Calcination ซึ่งเป็นกระบวนการที่หินปูนถูกเผาแล้วทำปฏิกิริยาให้เกิดก๊าซ CO_2 (ในการผลิตปูนเม็ด 1 ตันจะเกิดก๊าซ CO_2 จากปฏิกิริยานี้ถึงประมาณ 525 กิโลกรัม - อ้างอิงจากค่ามาตรฐานของ WBCSD Manual) เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือร้อยละ 56.4 รองลงมาได้แก่ การใช้ลิแกนด์เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา โดยมีภาระทางสิ่งแวดล้อมร้อยละ 24.7 สำหรับกระบวนการผลิตวัตถุดิบผสม พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือร้อยละ 82.5

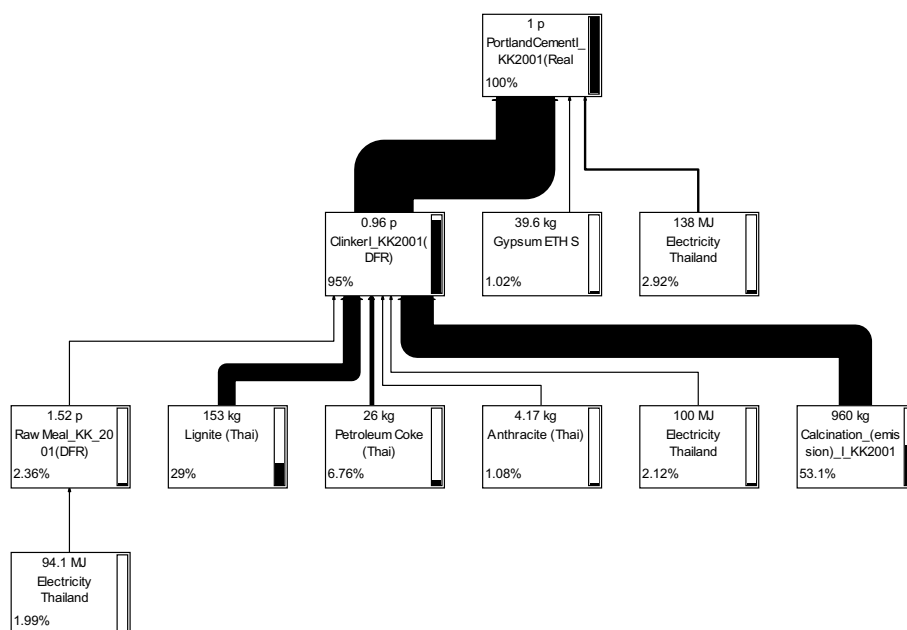
ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผงและแบบบรรจุถุง (ค่าเฉลี่ยของโรงงานตัวอย่าง)

สาร	หน่วย	แบบบรรจุถุง	แบบผง
วัตถุดิบหลัก			
หินปูน	กก.	1.190E+03	1.190E+03
หินดินดาน	กก.	2.000E+02	2.000E+02
ลิกไนต์	กก.	1.630E+02	1.620E+02
ดินเหนียวที่มีค่าอลูมินาสูง	กก.	5.040E+01	5.040E+01
ปิโตรเลียมโค้ก	กก.	4.080E+01	4.080E+01
ดินลูกรัง	กก.	2.960E+01	2.960E+01
แอสแททไซต์	กก.	3.890E+00	3.890E+00
ฝุ่นเหล็ก	กก.	3.240E+00	3.240E+00
ของเสียที่เป็นของเหลว	กก.	2.320E+00	2.320E+00
ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท	กก.	1.940E-01	1.940E-01
สี	กก.	4.320E-02	x
กาว	กก.	3.370E-02	x
Na ₂ SO ₄	กก.	2.560E-02	x
ทราย	กก.	2.230E-02	2.230E-02
น้ำมันหล่อลื่น	กก.	1.790E-02	1.790E-02
โซดาไฟ (จากการผลิตกระดาษคราฟท์)	กก.	1.700E-02	X
ดินระเบิด	กก.	1.220E-02	1.220E-02
ดินเหนียว	กก.	1.990E-03	1.990E-03
การใช้พลังงาน			
ถ่านหิน	กก.	7.07E+00	6.91E+00
ลิกไนต์	กก.	2.880E-01	2.880E-01
ก๊าซธรรมชาติ	ลบ.ม.	2.32E+01	2.27E+01
ก๊าซปิโตรเลียม	ลบ.ม.	5.830E-02	5.830E-02
น้ำมันดิบ	กก.	1.70E+00	1.62E+00
น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว	ลบ.ม.	2.520E-05	2.470E-05
น้ำมันดีเซลหมุนช้า	กก.	6.000E-01	6.000E-01
น้ำมันเตา	กก.	8.140E-01	8.140E-01
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	กก.	1.170E+00	1.170E+00
ซากยางรถยนต์	กก.	7.170E-01	7.170E-01
พลังงานจากถ่านหิน(จากกระบวนการผลิตพลาสติก PE)	เมกกะจูล	6.660E-01	X

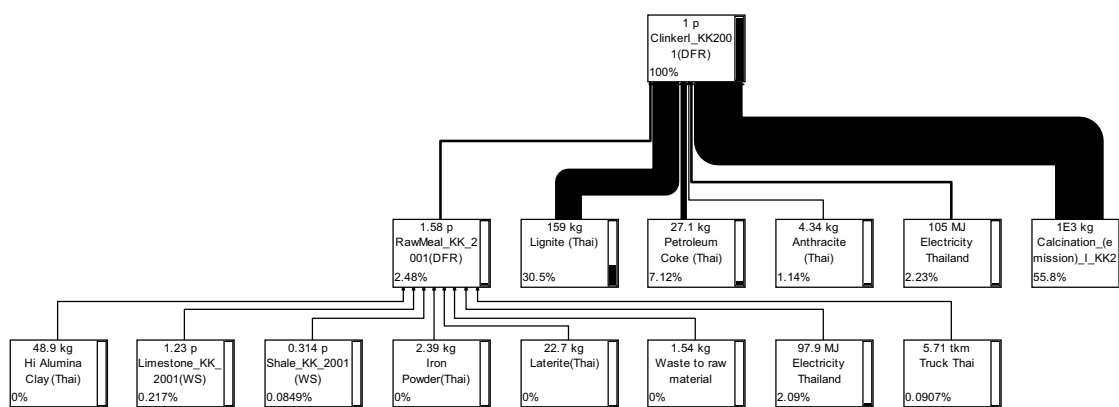
สาร	หน่วย	แบบบรรจุ	แบบผง
พลังงานจากน้ำมัน(จากกระบวนการผลิตพลาสติก PE)	เมกกะจูล	8.650E+00	x
พลังงานจากก๊าซธรรมชาติ (จากกระบวนการผลิตพลาสติก PE)	เมกกะจูล	1.090E+01	x
มลพิษทางอากาศ			
CO ₂	กก.	9.800E+02	9.730E+02
CO	กก.	4.600E-02	3.920E-02
SO ₂	กก.	1.36E-01	1.01E-01
NO _x	กก.	1.18E+00	1.15E+00
N ₂ O	กก.	3.740E-03	2.460E-03
มีเทน	กก.	2.600E-01	2.600E-01
C _x H _y	กก.	3.000E-02	5.280E-03
non methane VOC	กก.	2.070E-02	2.040E-02
ฝุ่น (จากกระบวนการบดย่อยซีเมนต์)	กก.	2.330E+00	2.330E+00
ฝุ่น (SPM) (จากกระบวนการผลิตกระดาษคราฟท์และยิปซัม)	กก.	7.580E-03	1.150E-03
ฝุ่น (PM10) stationary (จากกระบวนการผลิตยิปซัม)	กก.	7.470E-04	7.470E-04
ฝุ่น (PM10) mobile (จากกระบวนการผลิตยิปซัม)	กก.	5.370E-05	5.370E-05
H ₂ SO ₄	กก.	5.700E-05	x
H ₂ S	กก.	4.450E-05	1.380E-05
Na ₂ SO ₄	กก.	8.760E-06	x
ตะกั่ว	กก.	4.190E-06	4.140E-06
แคดเมียม	กก.	6.550E-07	6.530E-07
ทองแดง	กก.	4.920E-07	4.920E-07
โครเมียม	กก.	4.380E-07	4.310E-07
ปรอท	กก.	1.290E-07	1.210E-07
มลพิษทางน้ำ			
คลอรีน	กก.	2.680E-02	2.680E-02
โซเดียม	กก.	1.500E-02	1.500E-02
COD	กก.	1.260E-02	1.100E-04
ซัลเฟต	กก.	4.820E-03	4.820E-03
BOD	กก.	1.550E-03	1.090E-05
TOC	กก.	1.020E-03	1.020E-03
ไขมัน	กก.	8.050E-04	8.050E-04
เหล็ก	กก.	6.050E-04	6.050E-04

สาร	หน่วย	แบบบรรจุ	แบบผง
สารแขวนลอย	กก.	2.590E-04	4.620E-06
ไนโตรเจน	กก.	7.720E-07	7.720E-07
ไนเตรต	กก.	5.110E-05	4.990E-05
NH ₃ (as N)	กก.	4.950E-05	4.950E-05
ฟอสเฟต	กก.	2.630E-05	2.510E-05
VOC as C	กก.	1.500E-05	1.500E-05
โครเมียม (III)	กก.	4.420E-06	4.420E-06
โครเมียม (VI)	กก.	7.510E-10	7.510E-10
ตะกั่ว	กก.	2.700E-06	2.700E-06
ทองแดง	กก.	2.070E-06	2.070E-06
NH ₃	กก.	1.590E-06	x
SO ₃	กก.	5.120E-07	5.120E-07
แคดเมียม	กก.	1.330E-07	1.330E-07
ปรอท	กก.	4.500E-09	4.500E-09

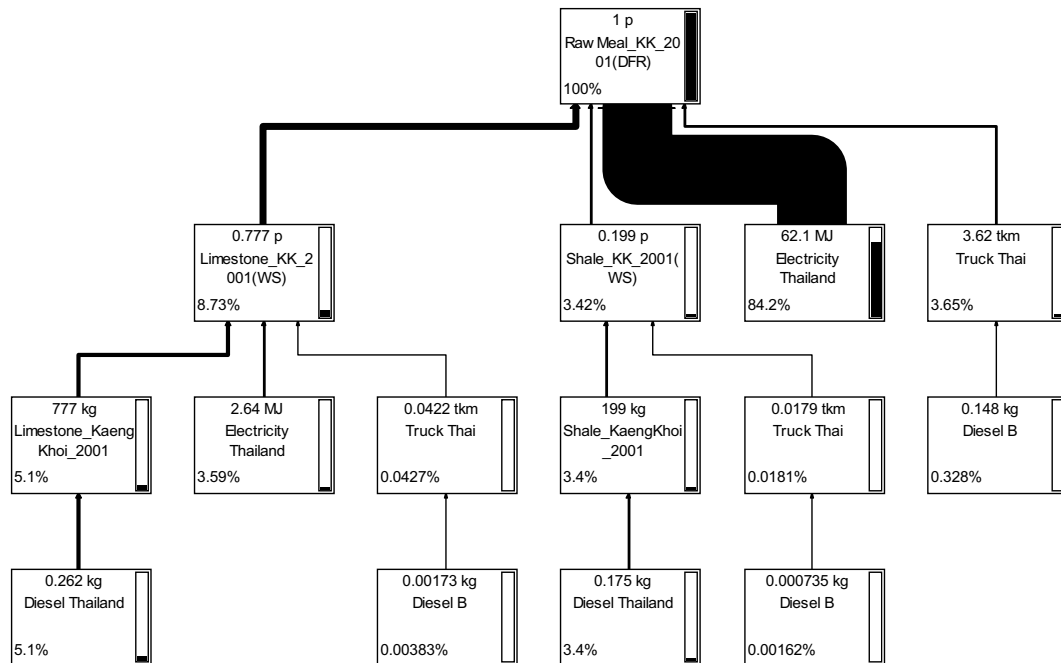
รูปที่ 4.5 Environmental Load ของสารขาเข้าในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง (แบบผง)



รูปที่ 4.6 Environmental Load ของสารขาเข้าในกระบวนการผลิตปูนเม็ด



รูปที่ 4.7 Environmental Load ของสารขาเข้าในกระบวนการผลิตวัตถุดิบผสม ประเภท I



4.4 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ เป็นการตีความหรือแปลงค่าข้อมูลที่ได้จากการจัดทำบัญชีรายการมาอยู่ในรูปของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยคณะผู้วิจัยได้แบ่งวิธีการประเมินผลกระทบออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

- 1) การประเมินผลกระทบด้วยวิธี CML 2 baseline 2000
- 2) การประเมินผลกระทบด้วยวิธี Eco-Indicator 99

4.4.1 การประเมินผลกระทบด้วยวิธี CML 2 baseline 2000

คณะผู้วิจัยเลือกประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ด้วยวิธี CML 2 baseline 2000 เนื่องจากวิธีนี้เป็นการประเมินผลกระทบชั้นกลาง (midpoint)¹ ที่คำนวณจากค่า equivalent ของผลกระทบ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับผล LCI มาก ทำให้ลดความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ลง โดยไม่ได้ทำการเทียบหน่วย (normalization) การจัดกลุ่ม (grouping) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (weighting) เนื่องจากต้องการลดปัญหาจากการใช้น้ำหนักถ่วงที่แตกต่างกันในการคำนวณ คณะผู้วิจัยได้คัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (impact categories) ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (category indicators) และแบบจำลองการทำ characterization ที่เห็นว่ามี ความสำคัญ ดังนี้

ที่	กลุ่มผลกระทบ	ตัวชี้วัด	ผลของตัวชี้วัด	แบบจำลอง characterization
1	การทำให้โลกร้อน	กำลังการแผ่รังสีอินฟราเรด	kg of CO ₂ equivalent / kg	Intergovernmental Panel on

¹ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ **ผลกระทบชั้นกลาง (midpoint category)** และ **ผลกระทบปลายทาง (endpoint category)** ตัวอย่างเช่น จากผลการจัดทำ LCI พบว่า ระบบผลิตภัณฑ์มีการปล่อยสารประกอบคลอรีนและฮาโลน ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิด เมื่อระเหยขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศ ส่งผลทำให้โอโซน ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ถูกทำลาย เกิดปรากฏการณ์ช่องโหว่ของโอโซน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นนี้เรียกว่า "ผลกระทบชั้นกลาง" ผลจากการที่โอโซนถูกทำลาย รังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงเข้ามาสู่โลกได้มากขึ้นส่งผลอันตรายต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ทำให้ผิวหนังไหม้ ตาพร่า ตาเป็นต้อ ผิวหนังเหี่ยวย่นก่อนวัย มะเร็งผิวหนัง พิษผลทางการเกษตรลดลง ปริมาณปลาและสัตว์ทะเลลดลง เป็นต้น ผลกระทบในขั้นตอนนี้เรียกว่า "ผลกระทบปลายทาง" ผลกระทบปลายทางนี้อาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศ และผลกระทบต่อการคงเหลือของทรัพยากร

ร.ร.	กลุ่มผลกระทบ	ตัวชี้วัด	ผลของตัวชี้วัด	แบบจำลอง characterization
	(Global Warming: GWP100)	(W/M ²)	emission	Climate Change (IPCC)
2	การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Stratospheric Ozone Depletion)	การลดลงของการทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์	kg of CFC ₁₁ equivalent / kg emission	World Meteorological Organization (WMO)
3	การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี (Photo-oxidant Formation)	Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg of C ₂ H ₂ equivalent / kg emission	UNECE Trajectory model
4	การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (Acidification)	Deposition Acidification Critical Load (Huijbregts, 1999)	kg of SO ₂ equivalent / kg emission	UNECE Trajectory model
5	ภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication)	Nitrification potential (NP)	kg of PO ₄ equivalent / kg emission	Stoichiometric Procedure of Heijungs (1992)

4.4.1.1 การทำให้โลกร้อน

การทำให้โลกร้อน หรือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เกิดจากการใช้พลังงานในกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยเฉพาะการผลิตทางอุตสาหกรรมและการคมนาคมขนส่ง ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เกิดเป็น Greenhouse effect หรือที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์เรือนกระจก” เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ภูมิอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไปโดยทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น (Global Warming)

สาเหตุที่เรียกว่าปรากฏการณ์เรือนกระจกเนื่องจากมีความคล้ายคลึงกับปรากฏการณ์ที่เกิดกับเรือนเพาะชำต้นไม้ ซึ่งเป็นอาคารที่กรุผนังรอบด้านและหลังคาด้วยกระจก จึงทำให้แสงแดดส่องผ่านเข้ามาภายในอาคารได้ เมื่อต้นไม้ที่ปลูกในเรือนเพาะชำทำการสังเคราะห์แสงแล้วคายไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกมาจะถูกกักอยู่ภายในอาคาร ซึ่งเป็นตัวช่วยดูดซับความร้อนจากแสงแดดเอาไว้ ทำให้ภายในเรือนเพาะชำต้นไม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความอบอุ่นกว่าบรรยากาศภายนอก

ผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อโลกมีอุณหภูมิสูงและร้อนขึ้นโดยเฉพาะในบริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ซึ่งเป็นบริเวณที่ประกอบไปด้วยหิมะและน้ำแข็ง เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้น้ำแข็งละลายเป็นน้ำจำนวนมากมหาศาลและไหลลงสู่ทะเล ระดับน้ำทะเลจึงสูงขึ้น และอาจทำให้ในพื้นที่ต่างๆ ของโลกเกิดน้ำท่วมได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลและความแปรปรวนของภูมิอากาศ ส่งผลให้พืชและสัตว์ลดจำนวนลงและอาจเหลือเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ในสถานะเช่นนี้

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น ไฟไหม้ป่า การจราจร การตัดไม้ทำลายป่า โดยในปัจจุบันกิจกรรมที่มนุษย์เป็นผู้ทำนั้นจะเร่งให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพราะว่ามีการเผาผลาญเชื้อเพลิงจำนวนมากเพื่อใช้ในการอุตสาหกรรม สร้างความอบอุ่นภายในบ้าน รวมถึงการใช้ยานพาหนะเพื่อคมนาคมขนส่ง คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้โลกร้อนขึ้น เพราะมีความสามารถในการดูดซับความร้อนได้ถึงร้อยละ 90 ส่วนอีกร้อยละ 10 จะเป็นของก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น โอโซน มีเทน ไนตรัสออกไซด์ แอมโมเนีย คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) เป็นต้น

ในกระบวนการผลิต มีการปล่อยก๊าซ CO₂ CH₄ และ N₂O ออกสู่สิ่งแวดล้อม จากการจัดกลุ่มผลกระทบที่ผ่านมา พบว่าก๊าซดังกล่าวก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน แต่เนื่องจากก๊าซแต่ละตัวมีความสามารถในการก่อให้เกิดโลกร้อนซึ่งเรียกว่าค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential : GWP) ไม่เท่ากัน จึงต้องนำมาเทียบกับสารอ้างอิงซึ่งในกลุ่มผลกระทบภาวะโลกร้อนนี้ สารที่ใช้อ้างอิงคือก๊าซ CO₂ (carbon dioxide equivalent) การอ้างอิงทำโดยดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ในรอบ 100 ปี ซึ่งค่าจำนวนเท่าที่ใช้ในการอ้างอิงนี้เรียกว่า **แฟกเตอร์ Equivalent** ซึ่งตัวอย่างค่าแฟกเตอร์ Equivalent ของการทำให้เกิดโลกร้อน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) (ในรอบ 100 ปี)

ก๊าซ	GWP	ก๊าซ	GWP
Carbon dioxide	1	HFC-227ea	2,900
Methane (CH ₄)*	21	HFC-236fa	6,300
Nitrous oxide (N ₂ O)	310	HFC-431mee	1,300
HFC-23	11,700	CF ₄	6,500
HFC-32	2,800	C ₂ F ₆	9,200

ก๊าซ	GWP	ก๊าซ	GWP
HFC-125	1,300	C ₄ F ₁₀	7,000
HFC-134a	3,800	C ₆ F ₁₄	7,400
HFC-143a	140	SF ₆	23,900
HFC-152a	2,900		

หมายเหตุ : * GWP ของ Methane จะรวมทั้งผลกระทบโดยตรงและโดยอ้อม จากกระบวนการที่เกิดขึ้นของโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ และไอน้ำในชั้นสตราโตสเฟียร์ แต่ไม่รวมผลกระทบโดยอ้อมที่ทำให้เกิด CO₂

ที่มา : IPCC, 1996 อ้างใน <http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/EmissionsNationalGlobalWarmingPotentials.html>

4.4.1.2 การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

โอโซน (O₃) เป็นก๊าซที่อยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นโลกเป็นระยะทาง 10-30 กิโลเมตร ทำหน้าที่ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ไม่ให้ลงมาสู่โลกมากเกินไปเพราะรังสีดังกล่าวเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันโอโซนในชั้นบรรยากาศได้ถูกทำลายและลดลง โดยมีสาเหตุจากสารประกอบคลอรีนจำพวกคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) และสารประกอบโบรมีน (ฮาโลน) ที่มนุษย์สร้างขึ้น

คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) เป็นสารประกอบที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในทศวรรษ 1930 เป็นสารที่มีความเสถียรอย่างยิ่ง ไม่ค่อยติดไฟและไม่ค่อยเป็นพิษ ทำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำมาใช้งานอุตสาหกรรม แต่ความเสถียรของสารดังกล่าวทำให้คงอยู่ในบรรยากาศโดยไม่เสื่อมสลายเป็นระยะเวลานาน จนในที่สุดแผ่กระจายขึ้นไปถึงบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ สาร CFCs นี้จะถูกรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้แตกตัวปล่อยอะตอมคลอรีนอิสระออกมา คลอรีนอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยากับโอโซนในทันที ได้ก๊าซคลอรีนมอนอกไซด์ (CLO) กับก๊าซออกซิเจน (O₂) ซึ่งก๊าซคลอรีนมอนอกไซด์จะไปทำปฏิกิริยากับอะตอมของออกซิเจนเกิดเป็นโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนและปลดปล่อยอะตอมของคลอรีนอีกครั้ง ปฏิกิริยากับโอโซนที่เกิดขึ้นนี้จะวนไปเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องในแบบลูกโซ่ ซึ่งพบว่าคลอรีนเพียง 1 อะตอมสามารถทำลายโอโซนได้ถึง 100,000 อะตอม

เมื่อโอโซนในบรรยากาศถูกทำลายลง รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเข้ามาสู่โลกได้มากขึ้นและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ส่งผลทำให้ผิวหนังไหม้ ตาพร่า ตาเป็นต้อ ผิวหนังเหี่ยวย่นก่อนวัย และเกิดมะเร็งผิวหนัง นอกจากนี้ ยังมีผลกระทบต่อพืชและสัตว์ เช่น ลดผลผลิตลง แพลงค์ตอนที่เป็นอาหารของสัตว์ต่างๆ ในทะเลลดลง ทำลายการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ เช่น ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นเนื่องจากน้ำแข็งในขั้วโลกละลาย ทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงเกิดพายุไต้ฝุ่นหรือเอลนีโญ

ประเทศต่างๆ ได้เริ่มจำกัดและห้ามใช้สาร CFCs ทำให้ปริมาณการใช้ลงอย่างรวดเร็ว หลังจากพิธีสารมอนทรีออลซึ่งเป็นข้อตกลงของกลุ่มประเทศสมาชิกองค์การสหประชาชาติด้านสิ่งแวดล้อมจำนวน 178 ประเทศ ที่เมืองมอนทรีออล ประเทศแคนาดา โดยในปี 2530 โดยมีมติให้ประเทศสมาชิกลดปริมาณการใช้สาร CFCs ลง และให้เลิกการผลิตและการใช้สาร CFCs ภายในปี 2543 และหันมาใช้สารทดแทนตัวใหม่ที่มีผลกระทบต่อบรรยากาศน้อยกว่าหรือไม่มีเลย โดยกำหนดให้กลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วลดการใช้สาร CFCs ลงร้อยละ 50 และ 85 ภายในปี 2538 และ 2540 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังกำหนดให้ประเทศสมาชิกลดปริมาณการใช้สาร CFCs ลงเหลือเพียง 0.3 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างสารเคมีที่มีพิธีสารมอนทรีออลควบคุมอยู่

ผลิตภัณฑ์	สูตรโครงสร้าง	แหล่งที่ใช้	ประสิทธิภาพในการทำลายโอโซน (ODP)	ประสิทธิภาพในการทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น (GWP)
CFC-11	CCl_3F	สารเป่าโฟม สารทำความเย็น สารทำความสะอาด สเปรย์	1.0	1.0
CFC-12	CCl_2F_2	สารทำความเย็น สารเป่าโฟม สเปรย์	0.9-1.0	2.8-3.4
CFC-113	CCl_2FCF_2	สารทำความสะอาด สารทำความเย็น สารเป่าโฟม	0.8-0.9	1.3-1.4
CFC-114	CClF_2CF_2	สารทำความเย็น สารเป่าโฟม สเปรย์	0.6-0.8	3.7-4.1
CFC-15	CClF_2CF_3	สารทำความเย็น	0.3-0.5	7.4-7.6
Halon-1301	CF_3Br	สารดับเพลิง	7.8-13.2	
Halon 1211	CF_2ClBr	สารดับเพลิง	2.2-3.0	

ผลิตภัณฑ์	สูตรโครงสร้าง	แหล่งที่ใช้	ประสิทธิภาพในการทำลายโอโซน (ODP)	ประสิทธิภาพในการทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น (GWP)
Halon 2402	C ₂ F ₄ Br ₂	สารดับเพลิง	5.0-6.2	

ที่มา :UNEP SYNTHESIS REPORT (พฤษภาคม 2532) แปลและเรียบเรียงโดย วีระ มาวิจักขณ์ และแสงสันต์ พานิช, 2533 : 14.

4.4.1.3 การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี

Photochemical oxidant formation หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าการเกิดหมอกควัน (summer smog) มีลักษณะเป็นหมอกสี น้ำตาล หรือ สีเทาปนน้ำตาลลอยอยู่ในบรรยากาศของเขตเมือง ซึ่งมักจะเกิดปัญหาขึ้นในบริเวณที่มีแสงแดดมากและอยู่ในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น สาเหตุเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ (volatile organic compounds: VOC) ซึ่งส่วนมากจะมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ของยานพาหนะ และมีแสงอาทิตย์เป็นตัวการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ผลกระทบจาก **photochemical smog** มีดังนี้

- 1) ผลกระทบต่อพืช คือ ผิวใบถูกทำลาย ทำลายการสังเคราะห์แสงซึ่งส่งผลให้พืชเจริญเติบโตช้าลง ทำให้ใบไม้เปลี่ยนสีไปโดยมีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นที่ใบ ทำให้หน่ออ่อนตาย และผลสุดท้ายคือทำให้พืชตายทั้งหมด
- 2) ผลกระทบต่อมนุษย์ คือ ทำให้ดวงตาระคายเคือง ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง ทำอันตรายต่อปอดซึ่งเป็นปัญหาต่อการหายใจ และเป็นโรคระบบทางเดินหายใจเรื้อรัง
- 3) ผลกระทบต่อวัตถุ คือ จะกัดกร่อนและทำลายวัตถุต่างๆ ให้เสียหายเร็วขึ้น เช่น วัตถุจำพวกยาง ไนล่อน โยผ้า และสี เป็นต้น

Photochemical oxidant formation ที่เกิดขึ้นจะถูกวัดปริมาณโดยใช้ค่าศักยภาพในการเกิดโอโซนที่มาจากปฏิกิริยาแสง-เคมี (**photochemical ozone creation potentials: POCP**) ซึ่งใช้สารเอทิลีน (Ethylene : C₂H₄) เป็นสารอ้างอิง ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างสารเคมีที่มีพิธีสารมอนทรีออลควบคุมอยู่

สาร	POCP _i (kg C ₂ H ₄ -equiv./kg)	สาร	POCP _i (kg C ₂ H ₄ -equiv./kg)
Alkanes		Non-methane hydrocabons (NMVOC)	
Methane	0.007	Average	0.416
Ethane	0.082	Alcohol	
Propane	0.42	Methane	0.123
Olefins		Ethanol	0.268
Ethylene	1.00	Average	0.196
Propene	1.030	Aldehydes	
Average	0.906	Formaldehyde	0.421
Alkines		Acetaldehyde	0.527
Acetylen	0.168	Average	0.443
Aromates		Ketones	
Benzene	0.189	Acetone	0.178
Toluene	0.563	Average	0.326
o-xylene	0.666	Hydrocabons	
Average	0.761	Average	0.377

ที่มา : Heijungs, R. et al; Environmental Life Cycle Assessment of Products: Guide, Ed.

CML (Center of Environmental

Science), Leiden 1992

อ้างถึงใน

<http://www.gbc-ziegelhandbuch.org/eng/umwelt/wirkkatvoc.htm>

4.4.1.4 การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ

ปรากฏการณ์ฝนกรด หมายถึง การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำกว่า 5.6 ซึ่งยิ่งค่า pH น้อยจะแสดงความเป็นกรดที่แรงขึ้น สารมลพิษที่เป็นตัวการของการเกิดความเป็นกรดในบรรยากาศที่สำคัญ มีอยู่ 2 ชนิด คือ 1) ออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_x) ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และ 2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ได้แก่ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ได้แก่ ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) แหล่งที่มาของสารมลพิษเหล่านี้มีทั้งที่เป็นแหล่งธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

แหล่งธรรมชาติที่ทำให้เกิดสารกรดในบรรยากาศ ได้แก่ การคุและการระเบิดของภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่าตามธรรมชาติ ทะเลและมหาสมุทร การเน่าเปื่อยและการย่อยสลายของซากพืช สัตว์ และสารอินทรีย์ประเภทต่างๆ เป็นต้น ส่วนกิจกรรมของมนุษย์ที่มีการปล่อยออกไซด์ของซัลเฟอร์และออกไซด์ของไนโตรเจน ได้แก่ การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทต่างๆ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงาน นอกจากนี้ออกไซด์ของซัลเฟอร์ยังเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม อุตสาหกรรมผลิตกรดกำมะถัน ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจนเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตกรดดินประสิวและสารประกอบ อุตสาหกรรมผลิตปุ๋ย และอุตสาหกรรมผลิตวัตถุระเบิด

ออกไซด์ของซัลเฟอร์และออกไซด์ของไนโตรเจนที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่บรรยากาศ จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดซัลฟูริกและกรดไนตริกด้วยปฏิกิริยากับออกซิเจนและความชื้นแล้วตกกลับสู่พื้นดิน ต่อมาเกิดการสะสมของกรดขึ้น การตกสะสมของกรดเกิดได้ 2 ทาง คือ การตกสะสมเปียก (Wet Deposition) เป็นกระบวนการที่กรดซัลฟูริก และ กรดไนตริกในบรรยากาศรวมตัวกับเมฆ และต่อมากลายเป็นฝนตกลงสู่พื้นดิน ที่รู้จักกันในชื่อ ฝนกรด และการตกสะสมแห้ง (Dry Deposition) เป็นการตกของกรดในสถานะที่ไม่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ การตกของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และอนุภาค/ละอองซัลเฟต และไนเตรท กรดที่แขวนลอยในบรรยากาศจะถูกพัดพาไปโดยลมและตกสะสมบนผิวดิน ต้นไม้ สิ่งก่อสร้าง รวมถึงการเข้าสู่ระบบการหายใจของมนุษย์ด้วย

ฝนกรดเมื่อตกลงมาในแหล่งน้ำและผืนดิน จะก่อให้เกิดผลกระทบต่างๆ ดังนี้

- 1) ผลกระทบต่อวัสดุ เนื่องจากสารประกอบซัลเฟอร์สามารถกัดกร่อนวัสดุและสิ่งก่อสร้างต่างๆ และเป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะ วัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ได้อีกหลากหลายชนิด รวมทั้งหินปูน หินอ่อน หินชนวน กระเบื้องหลังคา และปูนซีเมนต์

- 2) ผลกระทบต่อป่าไม้และธาตุอาหารพืช กล่าวคือ ฝนกรดเป็นพิษต่อพืชโดยตรง พืชที่ไวต่อกรดเมื่อถูกฝนกรดจะไหม้เป็นแผลและตายไป ส่งผลให้ป่าไม้ถูกทำลาย ผลผลิตของพืชเศรษฐกิจลดลง
- 3) ผลกระทบต่อดิน คือการตกสะสมของกรดทำให้ดินมีความเป็นกรดมากขึ้น ทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิด เช่น Ca , Mg และ K สูญเสียไป ความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงลดลง นอกจากนั้นทำให้ธาตุโลหะหนักในดิน เช่น แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) และธาตุโลหะหนักอื่นๆ ละลายออกมาได้มากขึ้น ทำให้ดินมีแนวโน้มที่เกิดมลพิษเนื่องจากการปนเปื้อนของโลหะหนักมากขึ้น มีผลต่อเนื้อให้พืชที่ปลูกในบริเวณดังกล่าวดูดโลหะหนักขึ้นไปสะสมไว้ในต้นและผลผลิตซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้
- 4) ผลกระทบต่อแหล่งน้ำ เมื่อฝนกรดตกลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้แหล่งน้ำมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น มีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของปลาเป็นอย่างมาก ต่อเนื่องถึงปลาและสัตว์น้ำต่าง ๆ เพราะแพลงตอนเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของปลาและสัตว์น้ำต่าง ๆ และในที่สุด ห่วงโซ่อาหารจะถูกทำลายไป
- 5) ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสุขภาพในด้านของระบบทางเดินหายใจเป็นหลัก โดยเฉพาะผู้ที่เปราะบาง หืด จะได้รับผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระดับที่สูงกว่าผู้ที่มีสุขภาพปกติ ซึ่งผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสุขภาพของมนุษย์นั้นมีทั้งที่เป็นผลกระทบเฉียบพลันและเรื้อรัง

4.4.1.5 ภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

Eutrophication หรือที่เรียกว่าปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี เป็นมลภาวะทางน้ำอย่างหนึ่งซึ่งทำให้สภาวะของระบบนิเวศทางน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากมีความเข้มข้นของแร่ธาตุและสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำมากเกินไป

สารที่เป็นตัวการหลักของการเกิด **Eutrophication** คือ ฟอสเฟต (PO_4) รองลงมาคือ ไนเตรต (NO_3) ถึงแม้ว่า **Eutrophication** จะสามารถเกิดขึ้นได้เองจากธรรมชาติก็ตาม แต่มนุษย์เองก็มีส่วนเร่งหรือทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นได้ โดยการเพิ่มแร่ธาตุสารอาหารและสารละลายอินทรีย์จากกิจกรรมต่างๆ ที่ทำลงไปในพื้นที่แหล่งน้ำ เช่น การใช้ปุ๋ยในการทำเกษตรกรรม เมื่อรดน้ำหรือฝนตกน้ำก็จะชะล้างหน้าดินที่มีแร่ธาตุและสารอาหารต่างๆ จากการใส่ปุ๋ยออกมาและไหลลงสู่แหล่งน้ำ น้ำที่ไหลซึมออกจากบ่อเกรอะ-บ่อซึมนั้นมีสารละลาย

อินทรีย์อยู่ การชักผ้าเพราะในผงซักฟอกที่ใช้จะมีสารฟอสเฟต (PO_4) อยู่เป็นจำนวนมากซึ่งช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น

ถ้าในแหล่งน้ำมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเกินกว่า 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดปัญหา Eutrophication ได้ แต่การเกิด Eutrophication เป็นเรื่องที่ซับซ้อน ซึ่งนอกจากจะต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสมากถึงระดับหนึ่งแล้ว ยังต้องประกอบด้วยปัจจัยอื่นๆ เช่น แสงแดด อัตราการไหลของน้ำ ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำ โดยปกติมักเกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของแหล่งน้ำระบบปิดเช่น ห้วย หนอง บึง บ่อ เนื่องจากมีแสงแดดอย่างเพียงพอจึงเป็นเป็นตัวช่วยเร่งกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้พืชน้ำจืดพวกสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและปกคลุมไปทั่วผิวน้ำ เช่น ไฟโตแพลงตอน

ผลกระทบกับคุณภาพของแหล่งน้ำจากปรากฏการณ์ Eutrophication ได้แก่

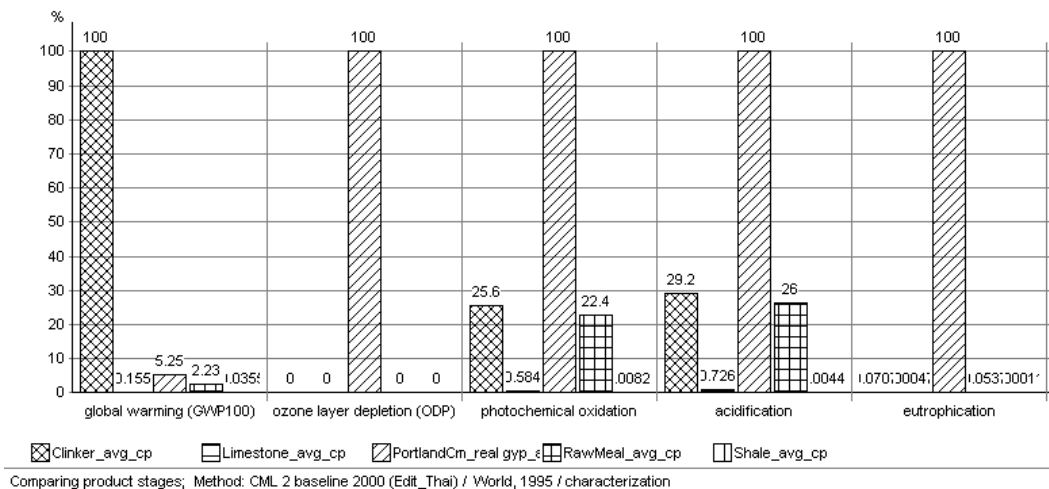
- 1) พืชชนิดอื่นๆ ที่อยู่ใต้ผิวน้ำไม่สามารถรับแสงแดดเพื่อใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ จึงไม่สามารถเติบโตได้และมีปริมาณลดลง พืชใต้น้ำเป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ เช่น ปู กุ้ง สัตว์น้ำวัยอ่อน หากพืชน้ำมีปริมาณลดลงจะส่งผลกระทบให้สัตว์น้ำพวกนี้ลดปริมาณลงด้วยเช่นกัน
- 2) การที่สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วยังต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเพื่อช่วยในการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้สัตว์ที่อาศัยในอยู่ใต้น้ำเกิดภาวะขาดออกซิเจนและตายลง
- 3) หากต้องการนำน้ำในแหล่งน้ำนั้นมาใช้เพื่ออุปโภคหรือบริโภคก็ไม่สะดวก เพราะต้องทำการกำจัดสาหร่ายที่ติดมากับน้ำออกก่อน
- 4) ในบางกรณีสาหร่ายที่เติบโตนี้อาจเป็นชนิดที่มีพิษอยู่ ถ้าหากนำน้ำนั้นมาใช้ อาจเป็นอันตรายได้
- 5) ทำให้รสหรือกลิ่นของน้ำเปลี่ยนแปลงไป
- 6) แหล่งน้ำจะเปลี่ยนสีไปตามชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตซึ่งอาจเป็นสีเขียว น้ำเงิน ทำให้ทัศนียภาพเปลี่ยนไปนำมาซึ่งความไม่น่าดู เกิดผลกระทบต่อกิจการการท่องเที่ยว สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือกีฬาทางน้ำ
- 7) ปกติในฤดูร้อนน้ำในแหล่งน้ำที่มักมีปริมาณน้อย เมื่อมีสาหร่ายเกิดขึ้นจำนวนมาก ส่วนที่ตายไปจะถูกย่อยสลายเป็นตะกอนธรรมชาติทำให้น้ำในระบบปิดตื้นเขินได้เร็วขึ้น

8) ในบางกรณีเกิดสารละลายอินทรีย์มากกว่าปกติ ทำให้กระบวนการย่อยสลายของพีชน้ำกลายเป็นระบบไม่ใช้ออกซิเจน น้ำในแหล่งน้ำนั้นก็เกิดการเน่าเสียและสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่อาจตายหมดได้

4.4.1.6 ผลการประเมิน

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตัน เมื่อประเมินด้วยวิธี CML 2 baseline 2000 พบว่าก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อน 978.732 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า และกระบวนการผลิตปูนเม็ดก่อให้เกิดผลกระทบด้านปัญหาโลกร้อนมากกว่ากระบวนการย่อยอื่นๆ โดยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 909 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า รองลงมาได้แก่การบดย่อยซีเมนต์ และการทำกองและบดย่อยวัตถุดิบผสม อย่างไรก็ตาม ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาเป็นเพียงร้อยละ 4.9 (47.8 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า) และ 2 (20.2 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่า) ตามลำดับ การเกิดปัญหาโลกร้อนมากกว่าผลกระทบอื่นๆ เนื่องจากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีการใช้พลังงานมาก และใช้มากที่สุดในช่วงการเผาปูนเม็ด นอกจากนี้ผลกระทบที่สำคัญรองลงมา ได้แก่ การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (acidification) มีค่า 0.134 กิโลกรัม SO₂ เทียบเท่า และภาวะการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication) มีค่า 3.094E-03 กิโลกรัม PO₄ เทียบเท่า (รูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.7)

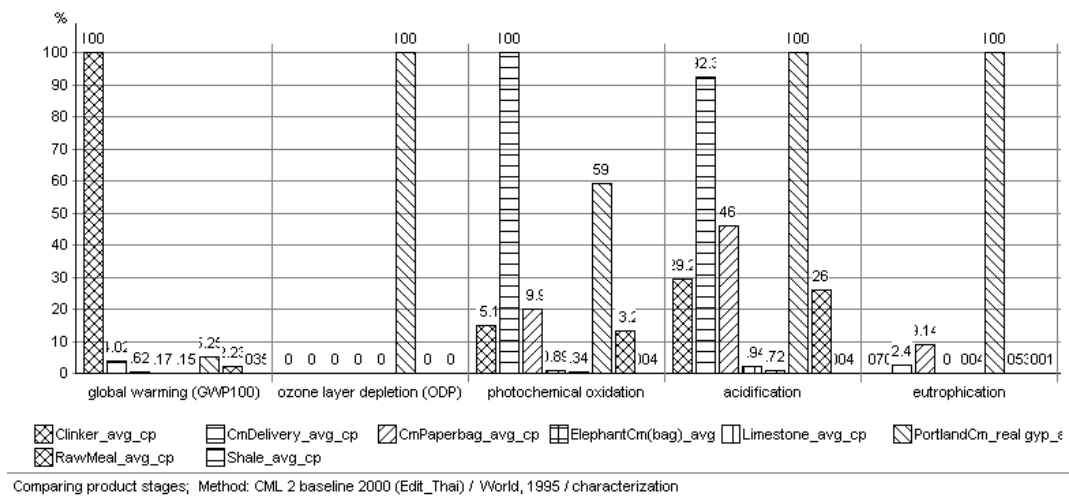
รูปที่ 4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน ประเมินด้วยวิธี CML 2 baseline 2000



ตารางที่ 4.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตปิโตรเลียมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตปิโตรเลียม CML 2 baseline 2000

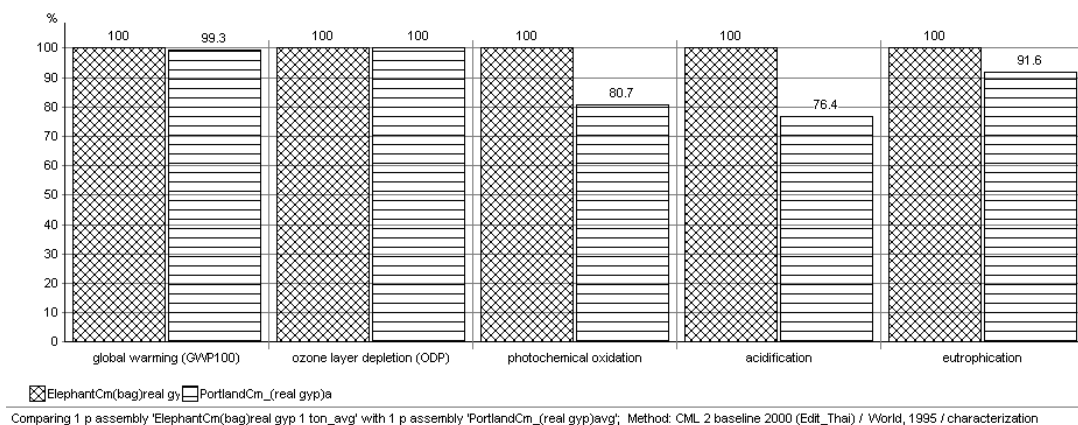
กลุ่มผลกระทบ (หน่วย ต่อ กก. สารมลพิษ ที่ปล่อยออกมา)	กระบวนการย่อย				รวม
	การทำเหมือง หินปูน	การทำเหมือง หินดินดาน	การทำการกองและ บดย่อยวัตถุดิบผสม	การผลิตปูนเม็ด (การเผา)	
Global Warming (kg of CO ₂ equivalent/kg emission)	1.41	0.322	20.2	909	978.732
Ozone Layer (kg of CFC ₁₁ equivalent/kg emission)	-	-	-	4.120E-06	4.120E-06
Photochemical Oxidant (kg of C ₂ H ₂ equivalent/kg emission)	3.020E-05	4.260E-07	1.160E-03	1.320E-03	7.691E-03
Acidification (kg of SO ₂ equivalent/kg emission)	6.220E-04	3.840E-06	2.230E-02	2.500E-02	0.134
Eutrophication (kg of PO ₄ equivalent/kg emission)	1.470E-08	3.600E-09	1.660E-06	2.180E-06	3.094E-03

รูปที่ 4.9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แบบ บรรจุก้อน (50 กก.) จำนวน 1 ตัน ประเมินด้วยวิธี CML 2 baseline 2000



จากรูปที่ 4.9 พบว่ากระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนมากที่สุดคือ กระบวนการผลิตปูนเม็ด รองลงมาคือ กระบวนการบดย่อยซีเมนต์ ส่วนกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ ด้านการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำและสภาวะน้ำเปลี่ยนแปลงสีมากที่สุดคือ กระบวนการบดย่อยซีเมนต์ กระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการก่อให้เกิดการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมีมากที่สุดคือ กระบวนการขนส่งปูนซีเมนต์ไปยังผู้จัดจำหน่าย ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นมาจากปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่ง

รูปที่ 4.10 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน แบบไม่บรรจุก้อน และแบบบรรจุก้อน ประเมินด้วยวิธี CML 2 baseline 2000



จากรูปที่ 4.10 พบว่ากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบบรรจุถุง จะก่อให้เกิดส่งผลกระทบต่อมากกว่าแบบไม่บรรจุถุง ในด้านการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน การเกิดการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ และการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ทั้งนี้ ผลกระทบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการมีผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่นำมาผลิตถุงบรรจุปูน การขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งต่างๆ มาผลิตถุงบรรจุปูน และกระบวนการผลิตถุงบรรจุปูน ผลกระทบที่แตกต่างกันมากที่สุดคือการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ อันเนื่องมาจากการใช้ดีเซลสำหรับการขนส่งที่เพิ่มขึ้น

4.4.2 การประเมินผลกระทบด้วยวิธี Eco-Indicator 99

วิธี Eco-indicator 99 มีหลักการคำนวณโดยประเมินจากความเสียหาย (damage assessment) ที่เกิดขึ้นที่ปลายทาง มักคิดในหน่วยของ DALY (Disability Adjusted Life Years) ซึ่งใช้โดยองค์กร World Health Organization (WHO) และธนาคารโลกในการประเมินสถิติด้านสุขภาพ โดยปกติแล้ว DALY จะคิดจากผลรวมของจำนวนปีของอายุที่สั้นลง (years of life lost) รวมกับจำนวนปีที่เกิดการเจ็บป่วยหรือสูญเสียความสามารถในการทำงาน (years of lived with disability) ตัวอย่างเช่น ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบฝนกรด คือ ร้อยละของความหลากหลายทางชีวภาพที่ลดลงต่อพื้นที่ภายในช่วงเวลาหนึ่ง ตัวชี้วัดเหล่านี้ยากในการคำนวณ ต้องใช้แบบจำลองและสมมติฐานอย่างมาก จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี Eco-indicator 99 มีความไม่แน่นอนมากขึ้น อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยต้องการทดลองทำการประเมินด้วยวิธีนี้เพื่อดูว่าผลลัพธ์ที่ได้จะสอดคล้องกับวิธี CML 2 baseline 2000 หรือไม่ นอกจากนี้ วิธี Eco-indicator 99 ยังรวมวิธีการประเมินการใช้ที่ดิน (land use) ซึ่งเป็นผลกระทบที่สำคัญในการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งไม่มีบรรจุอยู่ใน วิธี CML 2 baseline 2000

กลุ่มผลกระทบชั้นกลางและตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ ที่ได้คัดเลือกมา ได้แก่

- 1) การทำให้โลกร้อน (DALY)
- 2) การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (DALY)
- 3) การเกิด acidification / eutrophication (หน่วย PDF*m²yr) ²

² PDF*m²yr = Potentially Disappeared Fraction of plant species = ศักยภาพที่ทำให้พืชพรรณบางชนิดสูญพันธุ์ไปต่อตารางเมตรต่อปี

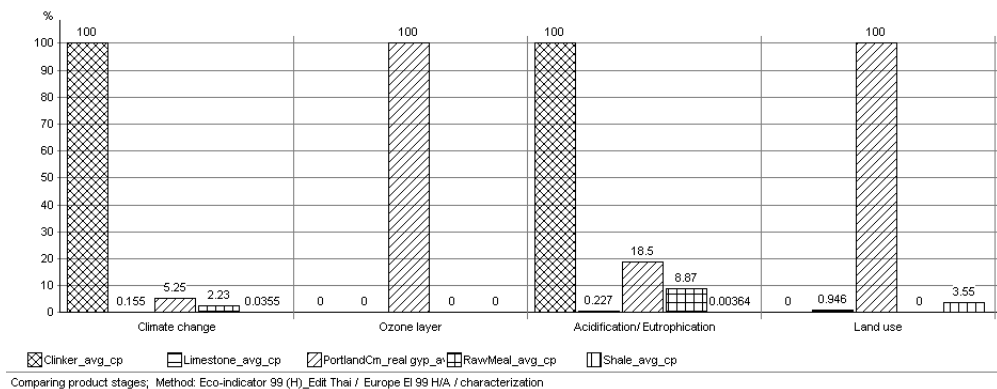
4) การใช้ที่ดิน (หน่วย $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$)

เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตัน เมื่อประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99 จากตารางที่ 4.8 แล้ว พบผลลัพธ์เช่นเดียวกับวิธี CML 2 baseline 2000 คือกระบวนการผลิตปูนเม็ดก่อให้เกิดผลกระทบด้านปัญหาโลกร้อนมากกว่ากระบวนการย่อยอื่นๆ ในกรณีของผลกระทบที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่ามีค่าเท่ากับ $0.217 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ซึ่งคำนวณได้จากการผลิตหินปูน 1 ตันจะมีการใช้ที่ดิน 0.0048556 ตารางเมตรต่อปี และการผลิตยิปซัม 1 กิโลกรัม มีการใช้ที่ดิน 0.009461 ตารางเมตรต่อปี (ใช้ข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5.1 เนื่องจากไม่สามารถเก็บข้อมูลการผลิตยิปซัมได้ในการวิจัยครั้งนี้) เมื่อทำ characterization โดยการคูณแฟกเตอร์ equivalent ตามที่กำหนดในโปรแกรม จึงทำให้ผลกระทบที่เกิดจากการบดย่อยซีเมนต์ ซึ่งมีการผสมยิปซัมเข้าไปด้วย มีค่ามากกว่าผลกระทบที่เกิดจากการทำเหมืองหินปูนและหินดินดาน

ตารางที่ 4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตัน
ประเมินด้วยวิธี Eco – Indicator 99

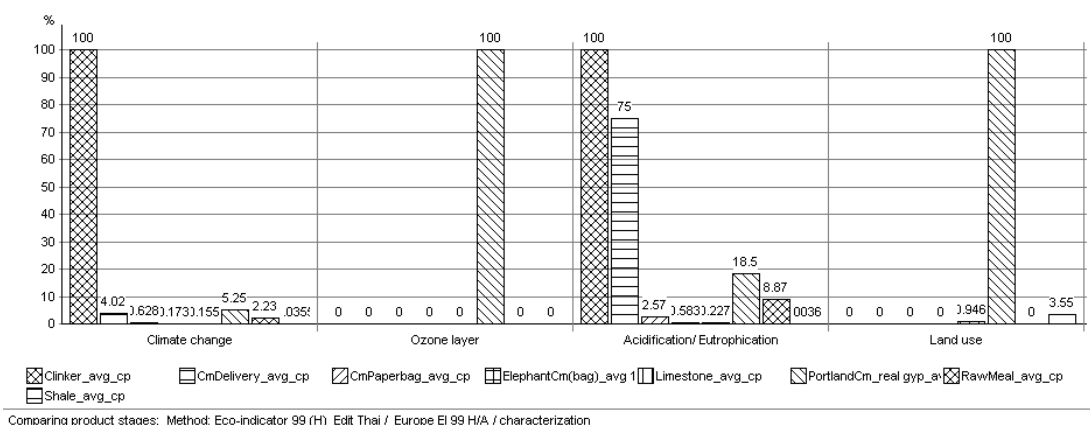
กลุ่มผลกระทบ	กระบวนการย่อย					รวม
	การทำเหมืองหินปูน	การทำเหมืองหินดินดาน	การทำกองและบดย่อยวัตถุดิบผสม	การผลิตปูนเม็ด (การเผา)	การบดย่อยซีเมนต์	
Climate Change (DALY)	2.960E-07	6.770E-08	4.250E-06	1.910E-04	1.000E-05	2.056E-04
Ozone Layer (DALY)	-	-	-	-	4.32E-09	4.320E-09
Acidification/ Eutrophication ($\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$)	1.200E-02	1.920E-04	0.468	5.28	0.974	6.734
Land Use ($\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$)	1.970E-03	7.390E-03	-	-	0.208	0.217

รูปที่ 4.11 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน ประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99



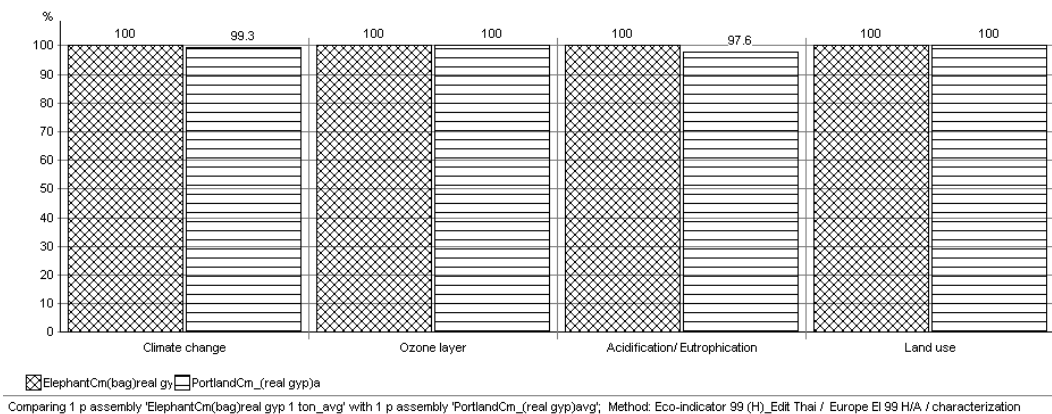
รูปที่ 4-11 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน พบว่ากระบวนการผลิตปูนเม็ดก่อให้เกิดส่งผลกระทบในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ และการเกิดสภาวะน้ำเปลี่ยนสีมากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการบดย่อยซีเมนต์ ส่วนกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ และด้านการใช้ที่ดินมากที่สุดคือ กระบวนการบดย่อยซีเมนต์

รูปที่ 4.12 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แบบบรรจุถุง ประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99



จากรูปที่ 4.12 พบว่ากระบวนการผลิตปูนเม็ดก่อให้เกิดส่งผลกระทบในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการบดย่อยซีเมนต์ ส่วนกระบวนการบดย่อยซีเมนต์ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศมากที่สุด กระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำและการเกิดสภาวะน้ำเปลี่ยนสีมากที่สุดคือ กระบวนการผลิตปูนเม็ด รองลงมาคือ กระบวนการขนส่งปูนซีเมนต์ไปยังผู้จัดจำหน่ายในจังหวัดต่าง ๆ

รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน แบบไม่บรรจุถุงและแบบบรรจุถุง ประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99



จากรูปที่ 4.13 พบว่า กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบบรรจุถุงก่อให้เกิดส่งผลกระทบมากกว่าแบบไม่บรรจุถุง ในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ/การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี แต่ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนในบรรยากาศมีค่าไม่แตกต่างกัน

จากการประเมินผลกระทบโดยวิธี CML 2 baseline 2000 ดังรูปที่ 4.8 – 4.10 และวิธี Eco-Indicator 99 ดังรูปที่ 4.11 – 4.13 พบว่าได้ผลสอดคล้องกัน โดยที่ผลกระทบในด้านการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้นส่วนใหญ่มาจากกระบวนการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ด ผลกระทบที่ก่อให้เกิดการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำนั้นส่วนใหญ่มาจากกระบวนการบดย่อยปูนซีเมนต์และกระบวนการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ด ผลกระทบที่ก่อให้เกิดสภาวะน้ำเปลี่ยนสีนั้นส่วนใหญ่มาจากกระบวนการบดย่อยปูนซีเมนต์ ส่วนผลกระทบที่ก่อให้เกิดการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมีนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการบดย่อยซีเมนต์และขนส่งไปยังผู้จัดจำหน่าย และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้ที่ดินนั้นส่วนใหญ่มาจากกระบวนการบดย่อยซีเมนต์

ดังนั้น ผลกระทบหลักในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์คือ การก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน เนื่องจากอุตสาหกรรมนี้มีการใช้เชื้อเพลิงในการให้ความร้อนในปริมาณมากเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่นๆ ส่วนผลกระทบรองลงมาคือการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินแหล่งน้ำ เนื่องจากมีการใช้ถ่านหินหรือลิกไนต์ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซ SO_2 ออกมา ผลกระทบด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศนั้นเกิดขึ้นเล็กน้อย เพราะในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ไม่มีการใช้สาร CFCs แต่อาจมีการใช้สารเหล่านี้บ้างในกระบวนการผลิตสารขาเข้าบางชนิด ส่วนปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีนั้นเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งส่วนหนึ่งเนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในปัจจุบันเป็นการผลิตแบบแห้ง ไม่มีน้ำเสียเกิดจากกระบวนการ นอกจากนี้ น้ำหล่อเย็นที่ใช้ในโรงงานนั้นเป็นระบบปิด มีการเวียนกลับมาใช้ใหม่และไม่มีการปล่อยออกสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

4.5 การเปรียบเทียบการนำของเสียมาใช้ทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงาน

เนื่องจากโรงงานปูนซีเมนต์ที่เข้าร่วมโครงการฯ ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานปรับปรุงคุณภาพของเสียรวม (ลำดับที่ 101) จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำของเสียจากอุตสาหกรรมอื่นเข้ามากำจัดภายในโรงงานได้ จึงมีการรับของเสียเข้ามาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ ดังนี้

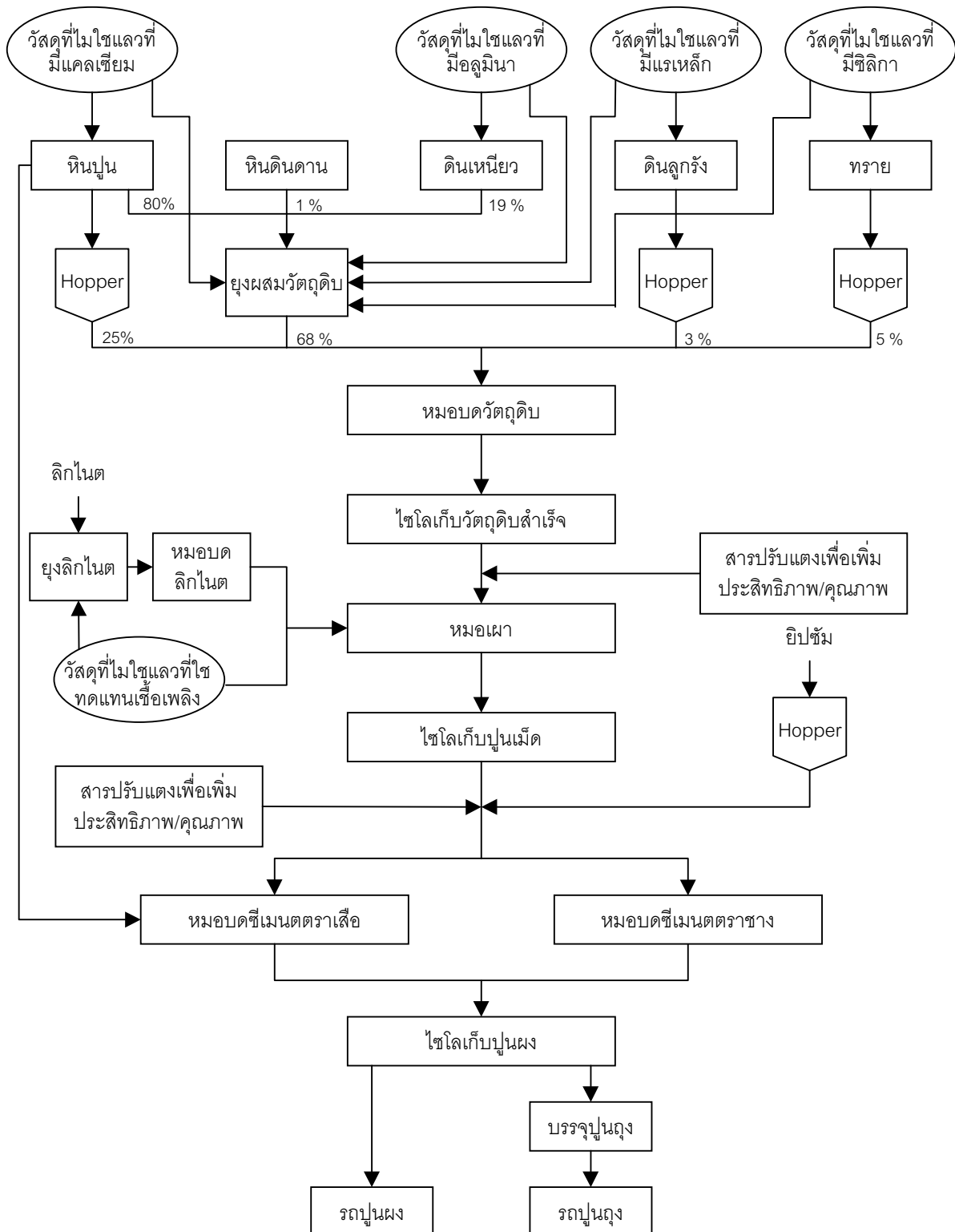
- 1) ของเสียที่นำมาทดแทนวัตถุดิบ ได้แก่ ฝุ่นเหล็ก (iron powder) โดยนำมาทดแทนแร่เหล็ก นอกจากนี้ยังมีทรายได้แบบจากโรงเหล็กมาทดแทนซิลิกา (จากทราย)
- 2) ของเสียที่นำมาทดแทนเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว กากสี ยางรถยนต์และแกลบ โดยนำมาทดแทนเชื้อเพลิงที่หม้อเผาปูนในกระบวนการเผา
- 3) ของเสียที่ไม่สามารถนำมาทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงได้ก็จะป้อนเข้าเตาเผาเพื่อกำจัด

โรงงานจะมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของของเสียทุกชนิดที่นำเข้ามา โดยพิจารณาจากค่าความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติอื่นๆ เพื่อนำมาจัดประเภทของเสียว่าจะนำมาทดแทนวัตถุดิบ เชื้อเพลิง หรือเผาเพื่อกำจัด (รูปที่ 4.14) การที่โรงงานนำของเสียเข้ามาทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงาน นอกจากจะสามารถลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงที่ไม่หมุนเวียนลงแล้ว ยังช่วยกำจัดกากอุตสาหกรรมให้กับประเทศไทยได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ของโรงงานปูนซีเมนต์ พบว่ากระบวนการเผาโดยใช้เตาเผาซีเมนต์จะช่วยปรับสภาพความเป็นกรดและไปทำลายสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งไม่ได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากการใช้วัสดุที่ไม่ใช้แล้วเข้าเตาเผาซีเมนต์

ผลกระทบ	รายละเอียด
ฝุ่น	การใช้วัสดุที่มาทดแทนไม่ทำให้ฝุ่นที่ระบายออกจากปล่องเพิ่มขึ้นจากเดิม เนื่องจากการเผาไหม้ที่บริเวณ Riser pipe, Precalciner Main Burner ซึ่งฝุ่นที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับโดยวัตถุดิบที่ไหลสวนทางลงมา
No _x	การนำวัสดุที่มาทดแทนไม่ทำให้ Thermal No _x ของโรงงานปูนฯ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากจะต้องควบคุมอุณหภูมิภายในหม้อเผาให้คงที่ตลอดเวลา
SO ₂ และ HCl	SO ₂ และ HCl ที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับเกือบทั้งหมดด้วย CaO, K ₂ O และ Na ₂ O จากวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป ทำให้มีส่วนที่ระบายออกจากปล่องน้อยมากในทางทฤษฎี CaO อย่างเดียวเพียงพอต่อการดูดซับ SO ₂ และ HCl ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด
โลหะหนัก	โลหะหนักบางส่วนจะรวมกันเป็น Clinker บางส่วนจะถูกระบายออกสู่บรรยากาศ ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณการปล่อยโดยไม่ให้เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

รูปที่ 4.14 การนำของเสียเข้ามาใช้ทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงานปูนซีเมนต์



หมายเหตุ () หน่วยผลิต/ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุที่ไม่ใช่แลวมาใช้ในโครงการ

ที่มา: บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด, 2544

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ประโยชน์จากการนำกากของเสียและกากของเสียอันตรายไปใช้ทดแทนวัตถุดิบหรือเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์ เห็นได้ชัดความชัดเจนมากขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงใช้วิธี LCA เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการนำของเสียมาทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิง กับการผลิตโดยใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิงแบบปกติ และประเมินผลกระทบด้วยวิธี CML 2 baseline 2000 โดยแบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

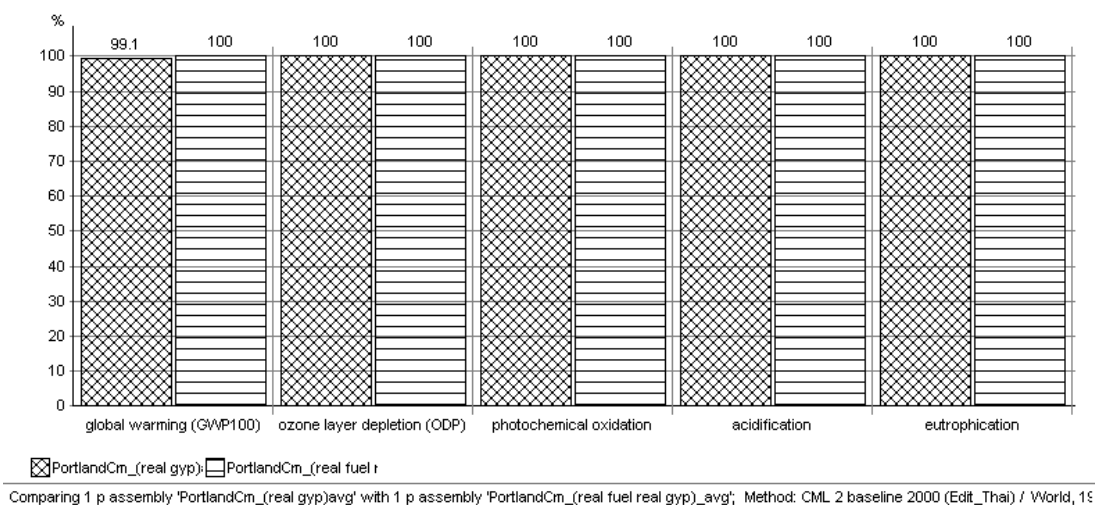
- 1) ทำการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตแบบใช้เชื้อเพลิงแบบปกติ กับ การผลิตที่นำของเสีย (เช่น น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ซากยางรถยนต์) มาใช้ทดแทนน้ำมันเตาที่ใช้ในเตาเผาในปริมาณร้อยละ 3.4 ของเชื้อเพลิงทั้งหมด เนื่องจากปริมาณของเสียที่นำมาใช้ไม่สามารถทดแทนปริมาณเชื้อเพลิงได้ในอัตราส่วน 1:1 ผู้วิจัยจึงได้คำนวณในรูปของค่าความร้อนในปริมาณที่เท่ากัน
- 2) ทำการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตแบบใช้ยิปซัมในกระบวนการบดย่อยซีเมนต์ กับการใช้ยิปซัมสังเคราะห์เป็นวัตถุดิบทดแทนในปริมาณร้อยละ 100 คำนวณโดยป็นส่วนภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ยิปซัมสังเคราะห์ด้านการเงิน และ การสมมติให้ยิปซัมสังเคราะห์ไม่มีภาระทางสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการดักก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Fuel Gas Desulphurite: FGD) ที่ใช้ในโรงไฟฟ้า

ตารางที่ 4.10 มลสารทางอากาศที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน 1 ตัน
เปรียบเทียบกรณีการใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิง และการใช้ยิปซัมสังเคราะห์
แทนวัตถุดิบ

มลสารทาง อากาศ	หน่วย (ต่อตัน)	โดยใช้ยิปซัมแบบปกติ		ใช้เชื้อเพลิงแบบปกติ	
		เชื้อเพลิง	ใช้ของเสีย ทดแทน	ยิปซัมสังเคราะห์ ทดแทน คิดภาระ	ยิปซัมสังเคราะห์ ไม่คิดภาระ
CO ₂	กก.	9.810E+02	9.730E+02	9.780E+02	9.760E+02
CH ₄	กก.	2.600E-01	2.600E-01	4.040E-03	3.980E-03
N ₂ O	กก.	2.460E-03	2.460E-03	2.450E-03	2.390E-03
SO ₂	กก.	1.014E-01	1.014E-01	7.490E-02	7.330E-02
NO _x	กก.	1.153E+00	1.153E+00	1.140E+00	1.130E+00
NM VOC	กก.	2.040E-02	2.040E-02	1.319E-02	1.310E-02
CO	กก.	3.920E-02	3.920E-02	3.670E-02	3.620E-02
ฝุ่นละออง	กก.	2.373E+00	2.373E+00	2.331E+00	2.331E+00

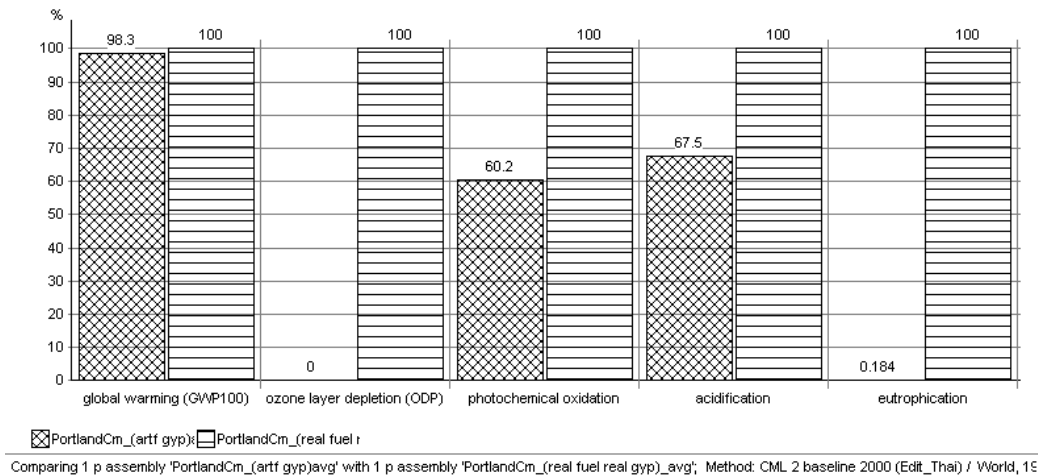
ตารางที่ 4.10 แสดงมลสารทางอากาศที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน 1 ตัน เมื่อเปรียบเทียบใน 2 กรณี คือ การใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิง และการใช้ยิปซัมสังเคราะห์ทดแทนวัตถุดิบ พบว่าเมื่อมีการใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิง และการใช้ยิปซัมสังเคราะห์ทดแทนวัตถุดิบ จะมีการปล่อยมลสารทางอากาศออกมาน้อยกว่า ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลแบบปกติ จะมีการปล่อย CO₂ 981 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ ในขณะที่ถ้าใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิงร้อยละ 3.4 จะมีการปล่อย CO₂ เพียง 973 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ หรือในกรณีที่ใช้ยิปซัมยิปซัมสังเคราะห์ทดแทนในปริมาณร้อยละ 100 ในการผลิต เมื่อคิดภาระทางสิ่งแวดล้อม จะมีการปล่อย CO₂ 978 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ แต่ถ้าไม่คิดภาระสิ่งแวดล้อม จะมีการปล่อย CO₂ 976 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์

รูปที่ 4.15 ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแบบปกติ กับการใช้ของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิง



จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าเมื่อมีการนำของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ถึงแม้จะเป็นปริมาณน้อยคือร้อยละ 3.4 โดยน้ำหนัก (ใช้เชื้อเพลิงร้อยละ 96.6 โดยน้ำหนัก) จะทำให้ผลกระทบด้านการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อนน้อยลงคือเหลือร้อยละ 99.1 เมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิง (เทียบเป็นร้อยละ 100) ดังนั้น จึงควรสนับสนุนให้มีการนำของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่มากขึ้นกว่าเดิม

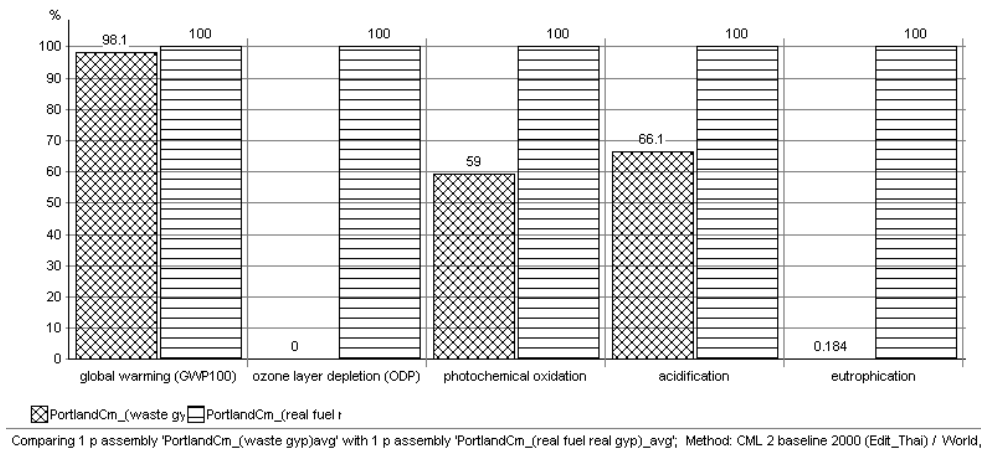
รูปที่ 4.16 ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงและยับยั้งแบบปกติ กับการใช้ของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิงและใช้ยับยั้งสังเคราะห์ทดแทนยับยั้งแบบปกติ โดยคิดภาระทางสิ่งแวดล้อม



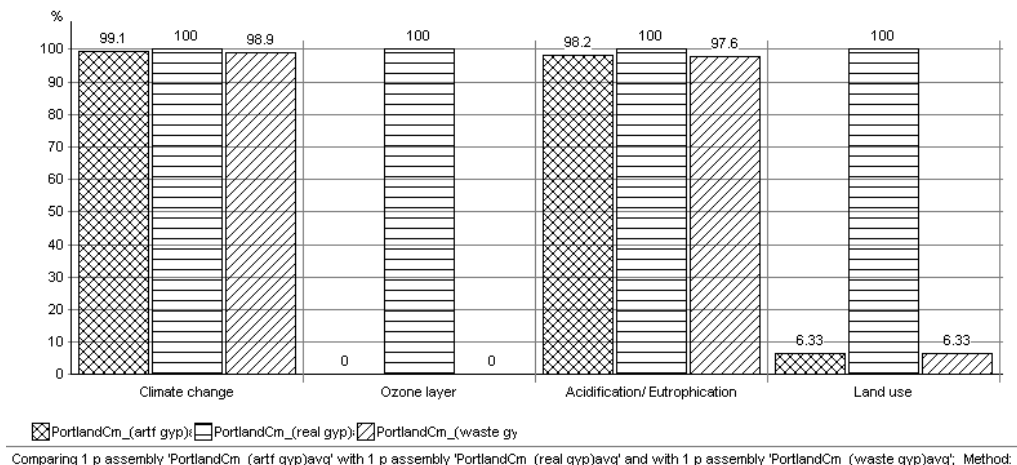
จากรูปที่ 4.16 พบว่าการนำกากของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิงและใช้ยับยั้งจากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในโรงผลิตไฟฟ้ามาทดแทนการใช้ยับยั้งแบบปกติในโรงงาน (สัดส่วนการใช้กำหนดตามค่าเฉลี่ยของกรณีศึกษา) โดยคิดภาระทางสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ และปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีได้เกือบทั้งหมด ในขณะที่ลดผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อนได้ร้อยละ 3.7 ผลกระทบด้านการเกิดการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมีได้ร้อยละ 39.8 และผลกระทบด้านการเกิดการก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำได้ร้อยละ 32.5

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงและยับยั้งแบบปกติ กับการใช้ของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิงและใช้ยับยั้งสังเคราะห์ทดแทนยับยั้งแบบปกติ โดยไม่คิดภาระทางสิ่งแวดล้อม จากรูปที่ 4.17 พบว่าคล้ายคลึงผลที่ได้ในรูปที่ 4.16 แต่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นลดน้อยลง เนื่องจากคำนวณโดยไม่มีค่าภาระทางสิ่งแวดล้อมติดมากับยับยั้งสังเคราะห์

รูปที่ 4.17 ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงและยิปซัมแบบปกติ กับการใช้ของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิงและใช้ยิปซัมสังเคราะห์ทดแทนยิปซัมแบบปกติ โดยไม่คิดภาระทางสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 4.18 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้ยิปซัมแบบปกติ และการทดแทนด้วยยิปซัมสังเคราะห์ ประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 99



จากรูปที่ 4.18 เมื่อลองประเมินผลกระทบด้วยวิธี Eco-Indicator 99 ในเรื่องการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าการนำยิปซัมสังเคราะห์ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในโรงผลิตไฟฟ้ามาทดแทนการใช้ยิปซัมแบบปกติในกระบวนการผลิต สามารถช่วยลดผลกระทบด้านใช้ประโยชน์จากที่ดินได้อย่างชัดเจน คือลดลงร้อยละ 93.67 ซึ่งค่าผลกระทบที่ได้จากการคำนวณแบบคิดภาระทางสิ่งแวดล้อมและไม่คิดภาระจะเท่ากันคือร้อยละ 6.33 เนื่องจากปัจจัยเกี่ยวข้องมีเพียงการไม่ใช้ที่ดินมาทำเหมืองยิปซัม

4.6 ฉลากสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

4.6.1 แนวคิดของฉลากสิ่งแวดล้อม (Eco-Labeling)

การตลาดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือการตลาดสีเขียว (green marketing) นับเป็นกลยุทธ์หนึ่งของภาคธุรกิจเพื่อความยั่งยืนในแผนปฏิบัติการ 21 ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา นานาประเทศรวมทั้งประเทศไทยเริ่มมีสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหรือสินค้าสีเขียว (green products) วางขายในตลาดมากขึ้น เช่น เสื้อผ้าไม่ฟอกย้อม น้ำมันไร้สารตะกั่ว กระจกพลาสติกย่อยสลายได้เองในแสงอาทิตย์ ตู้เย็นประหยัดไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล ฯลฯ

อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคจำนวนมากยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของการบริโภคกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากขาดการรับรู้ข้อมูลข่าวสารอย่างถูกต้องและเพียงพอ จึงมีแนวคิดที่จะให้ผู้ผลิตได้ดำเนินการเผยแพร่ข้อมูลสินค้าและบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแก่ผู้บริโภคอย่างจริงจังและต่อเนื่อง ผ่านการโฆษณาประชาสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ รวมถึงการติดฉลากสินค้าและข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยกระตุ้นและส่งเสริมให้ผู้บริโภคเกิดความเข้าใจและหันมาใช้สินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นอันจะนำไปสู่การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในระยะยาวอย่างยั่งยืนได้

ฉลากสิ่งแวดล้อม หรือ ฉลากเขียว ถือเป็นกลยุทธ์หนึ่งในนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้การตลาดเป็นเครื่องมือ เนื่องจากมีสินค้าและบริการวางจำหน่ายในตลาดเป็นจำนวนมาก ฉลากเขียวที่ติดอยู่กับผลิตภัณฑ์จะเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคทราบว่าผลิตภัณฑ์นั้นเน้นคุณค่าทางสิ่งแวดล้อม ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ในส่วนผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายจะได้รับผลประโยชน์ในแง่กำไรเนื่องจากการบริโภคผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมากขึ้น ผลักดันให้ผู้ผลิตรายอื่นๆ ต้องแข่งขันกันปรับปรุงคุณภาพของสินค้าหรือบริการของตน โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

4.6.2 ประเภทของฉลากสิ่งแวดล้อม

ฉลากสิ่งแวดล้อมแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม: ฉลากสิ่งแวดล้อม (Environmental Management: Environmental Labeling, 1402X) ได้แก่

ฉลากเขียวประเภทที่ 1 เป็นฉลากที่รับรองโดยบุคคลที่ 3 (third party) เช่น รัฐบาล องค์กรอิสระ หรือรัฐบาลร่วมกับองค์กรอิสระ โดยมอบให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติ

ตรงกับข้อกำหนดทางสิ่งแวดล้อมที่องค์กรกำหนดขึ้น ซึ่งมีหลายข้อ (multiple criteria) โดยการออกข้อกำหนดนั้นจะพิจารณาจากวงจรผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Consideration) ในปัจจุบันนอกจากประเทศไทยแล้วยังมีประเทศอื่นๆ ที่ทำโครงการฉลากเขียวซึ่งจะมีชื่อเรียกของฉลากสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันไป เช่น ประเทศเยอรมนีจะเรียกว่า Blue Angel ประเทศญี่ปุ่นจะเรียกว่า Eco Mark ประเทศสหรัฐอเมริกาจะเรียกว่า Green Seal กลุ่มประเทศในสหภาพยุโรปหรือ EU จะเรียกว่า Flower

ฉลากเขียวประเภทที่ 2 เป็นฉลากที่ผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย ผู้นำเข้า ผู้ค้าปลีก ฯลฯ ติดให้กับผลิตภัณฑ์ของตน เพื่อแสดงว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย แต่ไม่ได้รับการรับรองจากองค์กรกลาง (self-declared environmental claims) ตัวอย่างของฉลากเขียวประเภทที่ 2 ได้แก่ การอ้างว่าสามารถลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ สามารถรีไซเคิลได้ ลดการใช้พลังงาน สามารถนำมาใช้ใหม่หรือเติมได้ เป็นต้น

ฉลากเขียวประเภทที่ 3 เป็นฉลากหรือประกาศที่ผู้ผลิตให้ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณแก่ผู้บริโภค ไม่ว่าจะเป็นผู้บริโภคแบบองค์กรอุตสาหกรรม หรือผู้บริโภคทั่วไปก็ตาม เพื่อให้ผู้บริโภคนำข้อมูลมาใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกเสนอในรูปของ parameters ต่างๆ ที่ได้มาจากการศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เช่น ปริมาณการใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน การเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต เป็นต้น และในการทำฉลากเขียวประเภทที่ 3 นี้ต้องผ่านการตรวจสอบจากบุคคลที่ 3 แต่ไม่จำเป็นที่จะให้บุคคลที่ 3 เป็นผู้ให้การรับรอง (certification body)

ฉลากเขียวทั้ง 3 ประเภทนั้น ต่างก็มีข้อดีและข้อด้อย รวมกลุ่มเป้าหมายของผู้ใช้หรือเป้าประสงค์ที่จะแสดงฉลากให้รับทราบแตกต่างกัน โดยในแต่ละประเภทมีคุณลักษณะเฉพาะดังนี้

	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3
ข้อดี	- สัญลักษณ์ฉลากให้พบเห็นได้ง่าย ทำให้การตัดสินใจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์มีความรวดเร็วยิ่งขึ้น - มีความน่าเชื่อถือเพราะได้รับการรับรองจากบุคคลที่ 3	- ยืดหยุ่นต่อการเข้าถึงความต้องการของตลาด - ใช้เป็นเครื่องมือทางธุรกิจในการแข่งขัน เพราะทำได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อย	- แสดงข้อมูลด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ - มีความน่าเชื่อถือ - การตัดสินใจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่แสดงให้ทราบ
ข้อด้อย	- แสดงเฉพาะสัญลักษณ์ของฉลากเท่านั้น ไม่ได้อธิบายว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากนั้นมีข้อดีทางด้านสิ่งแวดล้อมอย่างไร	- ความน่าเชื่อถือมีน้อย - ให้ข้อมูลแก่ผู้บริโภคด้านเดียว และ อาจ ไม่ คร อ บ ค ล ม ผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากผลิตภัณฑ์	- มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ข้อมูล - ข้อมูลที่แสดงนั้นผู้บริโภคทั่วไปอาจเข้าใจได้ยาก - การหาข้อมูลเก่าที่จะนำมาใช้

	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3
	- ไม่มีความเกี่ยวข้องกับลักษณะเด่นของบริษัท		วิเคราะห์นั้นอาจมีไม่เพียงพอ
กลุ่มเป้าหมาย	เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้บริโภคทั่วไป และมีหน้าที่การใช้งานง่ายๆ	เป็นผลิตภัณฑ์ทั่วไป ที่ใช้ได้ทั้งผู้บริโภคหรือการจัดซื้อระหว่างอุตสาหกรรม	ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรม

4.6.3 ผลการจัดทำฉลากเขียวประเภทที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

เนื่องจากฉลากเขียวประเภทที่ 3 ต้องใช้ผลจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) จึงทำให้มีความยุ่งยากมากในการจัดทำ โดยเฉพาะการเลือก **parameter** และการทวนสอบ (**verification**) ความถูกต้องของข้อมูล จึงยังเป็นฉลากที่ไม่ค่อยแพร่หลายนัก โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา อย่างไรก็ตาม ปัจจุบัน องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (**International Organization for Standardization: ISO**) โดย คณะอนุกรรมการวิชาการที่ 3 ภายใต้คณะวิชาการที่ 207 (**ISO/TC 207 / SC3**) กำลังร่างมาตรฐานฉลากเขียวประเภทที่ 3 (**ISO/CD 14025.1 Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures**) ซึ่งคาดว่าจะสามารถตีพิมพ์เป็นมาตรฐานได้ในปี 2549

ในขณะเดียวกัน คณะอนุกรรมการวิชาการที่ 3 ภายใต้คณะวิชาการที่ 59 (**ISO/TC 59 / SC3**) ก็กำลังร่างมาตรฐานฉลากเขียวประเภทที่ 3 สำหรับผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ โดยเฉพาะ (**CD 21930 Building construction - Sustainable Building – Environmental declaration of building products**) ซึ่งคาดว่าจะสามารถตีพิมพ์เป็นมาตรฐานได้ในปี 2549 เช่นกัน อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยไม่สามารถหาร่าง **CD 21930** มาประกอบการเลือก **parameter** สำหรับใช้ทดลองจัดทำฉลากเขียวประเภทที่ 3 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ เนื่องจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทยไม่ได้สมัครเข้าร่วมเป็นกรรมการผู้ร่างมาตรฐาน จึงทำให้ไม่มีสิทธิในการรับเอกสาร คณะผู้วิจัยจึงได้ทดลองร่างฉลากเขียวประเภทที่ 3 ตาม **Norwegian Environmental Product Declaration** ของ **Norcem Industry Cement** ซึ่งส่งมาโดย **Mr. Sverre Fossdal** จาก **Norwegian Building Research Institute** ประเทศนอร์เวย์ ซึ่งเป็นเลขานุการคณะ **ISO/TC 59/SC3** ด้วย

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

บริษัท ปูนซีเมนต์เพื่อคนไทย จำกัด



รายละเอียดของผลิตภัณฑ์

	ที่มาของ วัตถุดิบ	น้ำหนัก (ก.ก.)
หินปูน	การทำเหมือง	1,200
หินดินดาน	การทำเหมือง	200
ทราย	ทั่วไป	40
ดินลูกรัง	ทั่วไป	30
ยิปซัม	ทั่วไป และผลพลอยได้ จากโรงไฟฟ้า	40
ฝุ่นเหล็ก	กากของเสีย	3

ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดหาวัตถุดิบ

- จัดหาวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบที่อยู่ใกล้โรงงาน
- นำกากของเสียจากอุตสาหกรรมอื่นมาทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงาน

ผลิตโดย :

บริษัท ปูนซีเมนต์เพื่อคนไทย จำกัด

บุคคลติดต่อ : นายวุฒิ รักไทย

โทรศัพท์ : 0-2503-3333

โทรสาร : 0-2504-4826

e-mail : portlandforThais@co.th

ข้อมูลเบื้องต้น :

ส่วนต่างๆ ของวัฏจักรชีวิตจะครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเป็นผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

หน่วยของผลิตภัณฑ์ : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน ชนิด
บรรจุถุง

ปีที่ทำการศึกษา : 2546

ที่มาของแหล่งข้อมูล : ข้อมูลการผลิตปูนซีเมนต์ในปี 2544 และ 2545 และการผลิตไฟฟ้าของ โครงการ "LCA for Asian Countries" โดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยร่วมกับ JEMAI ประเทศญี่ปุ่น

ที่ตั้งของการผลิตปูนซีเมนต์ : สระบุรี

ผลกระทบที่ทำการประเมินด้วยวิธี Eco-Indicator 95 :

- การทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ
- ปัญหาโลกร้อน
- ฝนกรด
- การลดลงของทรัพยากร
- ปฏิกิริยาการนำน้ำเปลี่ยนสี
- การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี

ข้อมูลจำเพาะอื่นๆ ของบริษัท

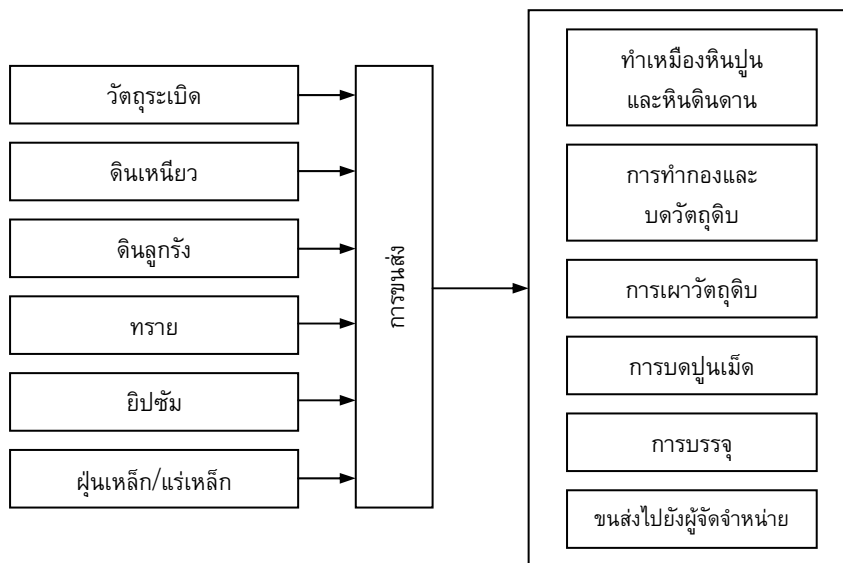
- ส่วนประกอบของโลหะหนักในปูนซีเมนต์ เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 15 เล่ม 1-2532) และมีปริมาณไม่มากไปกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดิน
- การนำของเสียมาทดแทนวัตถุดิบและพลังงาน จะเพิ่มปริมาณโลหะหนักในปูนเม็ดและปูนซีเมนต์ขึ้นอีกเล็กน้อย ซึ่งไม่เป็นนัยสำคัญที่จะทำให้การนำปูนซีเมนต์ไปใช้แล้วเกิดปัญหาโลหะหนัก
- ปูนซีเมนต์มีความสามารถในการเก็บกักโลหะหนักได้ นอกจากนี้การนำปูนซีเมนต์ไปใช้งานส่วนใหญ่จะนำปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ไปใช้จึงไม่มีการรั่วไหลของโลหะหนัก

ข้อมูลทางเทคนิค

กระบวนการผลิต :

ในกระบวนการหลักคือ

- การทำเหมืองหินปูน และหินดินดาน ซึ่งอยู่ในบริเวณที่ตั้งโรงงาน
- การบดย่อยทำวัสดุดิบผสม โดยเพิ่มเติมวัสดุดิบผสมต่างๆ เช่น ดินเหนียว ทราย ดินลูกรัง แร่เหล็ก
- การเผาวัสดุดิบผสมด้วยอุณหภูมิสูง (1450°C) เพื่อให้กลายเป็นปูนเม็ด ซึ่งมีการนำกากของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิง (เช่น น้ำมันใช้แล้ว ยางรถยนต์ที่ไม่ได้คุณภาพ แกลบ)
- นำปูนเม็ดมาทำเป็นปูนซีเมนต์โดยใช้วิธีการบด รวมกับ ยิปซัม ที่ถูกใส่เพิ่มเข้าไป ซึ่งยิปซัมบางส่วนจะเป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนวัสดุดิบในโรงงานปูนซีเมนต์ได้
- การบรรจุปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลงบรรจุภัณฑ์ปริมาณ 50 กก.
- การขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังผู้จัดจำหน่าย
- บริษัท ปูนซีเมนต์เพื่อคนไทย จำกัด ได้รับการรับรอง มาตรฐาน ISO 9001 ISO 14001 และมอก. 18001



กฎของการปันส่วน :

- การนำของเสียมาทดแทนวัสดุดิบและเชื้อเพลิงจะไม่คิดผลกระทบจากการได้มาซึ่งของเสียนั้น แต่จะคิดผลกระทบจากการขนส่งและลำเลียงของเสียนั้นเข้ากระบวนการผลิต
- การนำยิปซัมที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไฟฟ้าจะคิดผลกระทบโดยการปันส่วนซึ่งอิงตามผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์ และคิดผลกระทบที่เกิดจากการขนส่งยิปซัมเหล่านี้มายังโรงงานปูนซีเมนต์ด้วย

การใช้ทรัพยากร

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต :

ปริมาณที่ใช้ (ก.ก.) / ตันของปูนซีเมนต์	
ทรัพยากรใหม่ , ที่สามารถเกิดขึ้นใหม่	0
ทรัพยากรที่ถูกแปรใช้ใหม่ , ที่สามารถเกิดขึ้นใหม่	0
ทรัพยากรใหม่ , ไม่สามารถเกิดขึ้นใหม่	
➢ หินปูน	1200
➢ หินดินดาน	200
➢ ทราาย	40
➢ ดินลูกรัง	30
➢ ยิปซัม	40
ทรัพยากรที่ถูกแปรใช้ใหม่ , ไม่สามารถเกิดขึ้นใหม่	
ฝุ่นเหล็ก	3
ส่วนประกอบอื่นๆ	0

จำนวนน้ำหนักรวมของวัตถุดิบทั้งหมด : 1,513 ก.ก. / ตันของปูนซีเมนต์

คิดเป็น 96% ของวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์

ไม่ได้รวมการใช้ทรัพยากรที่ดินและน้ำ

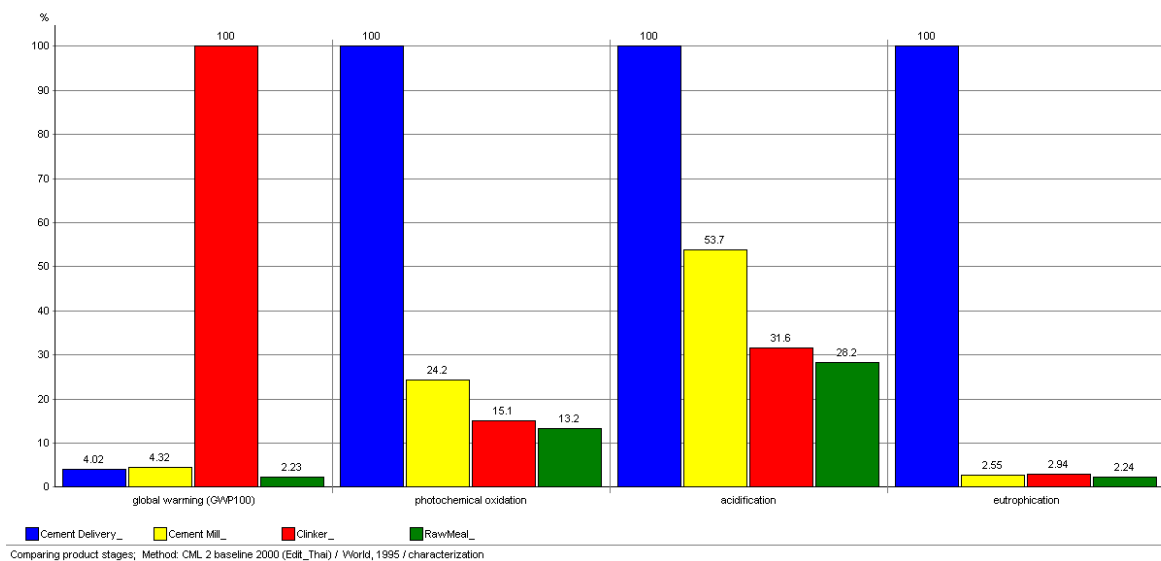
การใช้พลังงาน

พลังงานทั้งหมดที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตต่อตันของปูนซีเมนต์

รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย
ถ่านหิน	0.006	ตัน
ลิกไนต์	0.140	ตัน
น้ำมันเตา	0.001	ตัน
น้ำมันดีเซล (ในการขนส่ง)	0.968	ลิตร
ไฟฟ้า	96.510	กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกมาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

	การทำวัตถุดิบผสม	การเผาปูนเม็ด	การบดปูนเม็ด	การขนส่งไปยัง ผู้จัดจำหน่าย
มลพิษทางอากาศ (กิโลกรัมต่อตัน):				
CO ₂	2.000E+01	9.090E+02	4.200E+01	3.570E+01
CH ₄	1.070E-03	1.280E-03	2.580E-01	2.200E-02
N ₂ O	6.050E-04	6.740E-04	1.180E-03	1.310E-03
SO ₂	1.860E-02	2.080E-02	3.380E-02	6.570E-02
NOx	7.860E-02	9.200E-01	1.360E-01	6.800E-01
NM VOC	3.660E-03	4.620E-03	1.210E-02	1.220E-01
CO	9.710E-03	1.170E-02	1.790E-02	2.030E-01
NH ₃	4.490E-06	5.910E-06	2.240E-05	2.010E-04
มลพิษทางน้ำ (กิโลกรัมต่อตัน):				
COD	4.040E-06	5.320E-06	1.010E-04	1.810E-04



การบำบัดของเสีย

บริษัท ปูนซีเมนต์เพื่อนคนไทย จำกัด เป็นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ ซึ่งผู้บริโภคจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับใช้งานอื่นต่อไป ซึ่งโดยหลักๆ ใช้ทำคอนกรีตในงานก่อสร้าง เช่น โครงสร้าง อาคาร วัสดุก่อสร้างประเภทต่างๆ หรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังนั้นการบำบัดของเสียหลังจากใช้งานในขั้นสุดท้ายจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับบริษัท ฯ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์นั้นไม่จัดว่าเป็นของเสียอันตราย แม้ว่าจะอยู่ในรูปปูนซีเมนต์ผง ปูนเหลว หรือคอนกรีตก็ตาม

ข้อมูลอ้างอิง

อ้างอิงจากการศึกษาวิจัยเรื่อง “โครงการการจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory for Cement Product and Steel Making towards Sustainable Development)” ของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ร่วมกับบริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยในปี 2546-47

บทที่ 5

อุตสาหกรรมเหล็ก (Iron) และเหล็กกล้า (Steel)

เหล็กและเหล็กกล้าจัดเป็นวัสดุพื้นฐานที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การพัฒนาด้านการผลิตเหล็กจึงเป็นไปอย่างต่อเนื่องตามความต้องการผลิตภัณฑ์เหล็กในตลาดที่สูงขึ้นทุกวัน อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าจัดได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากเกี่ยวพันกับภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมอื่น ๆ มากมาย เริ่มตั้งแต่ อุตสาหกรรมเหมืองแร่ ธุรกิจขนส่งขนาดใหญ่ ไปจนถึงภาคการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ ซึ่งต้องใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กเป็นวัตถุดิบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมก่อสร้าง ยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเฟอร์นิเจอร์

5.1 ประเภทของอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก

อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตเหล็กขั้นต้น อุตสาหกรรมผลิตเหล็กขั้นกลาง และอุตสาหกรรมผลิตเหล็กขั้นปลาย (รูปที่ 5.1)

การผลิตเหล็กขั้นต้น

เป็นการนำสินแร่เหล็ก (Iron Ore) ที่ได้จากเหมืองมาผ่านกระบวนการเผา (Sintering) การทำเป็นเม็ด (Pelletization) และการถลุงตามลำดับ ผลิตภัณฑ์เหล็กที่ได้มี 2 แบบ ได้แก่ เหล็กถลุง (Pig Iron) และเหล็กพูน (Sponge Iron หรือ Direct Reduced Iron) โดยทั่วไปสามารถแบ่งกรรมวิธีการผลิตเหล็กขั้นต้นออกได้เป็น 3 วิธีใหญ่ ๆ ได้แก่

- (1) การถลุงเหล็กโดยใช้เตาถลุงแบบพ่นลม (Blast Furnace) เป็นกรรมวิธีการถลุงเหล็กแบบเก่า ซึ่งเป็นการใช้อากาศร้อนพ่นเข้าไปในเตาถลุงโดยใช้ถ่านโค้ก (coke) ซึ่งผลิตได้จากถ่านหิน (coal) มาเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ เหล็กที่ได้จากการถลุงด้วยวิธีนี้จะเรียกว่าเหล็กถลุง
- (2) การถลุงเหล็กด้วยวิธีลดออกซิเจนโดยตรง (Direct Reduction) เป็นกรรมวิธีการถลุงเหล็กแบบใหม่ที่เกิดขึ้นและดำเนินการมากกว่า 45 ปี โดยวิธีกรณี้เป็นการใช้ก๊าซที่เป็น Reduction gas เช่น ก๊าซธรรมชาติ ทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิง และทำให้เกิดปฏิกิริยาลดออกซิเจน ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับสินแร่เหล็กจะได้เหล็กที่มีรูปพูน ซึ่งเรียกว่าเหล็กพูน

- (3) การถลุงเหล็กด้วยวิธี Smelting Reduction เป็นกรรมวิธีการถลุงเหล็กแบบใหม่ที่พัฒนามาจากเตาถลุงแบบพ่นลม แต่เป็นการใช้ถ่านหินสำหรับการทำปฏิกิริยาลดออกซิเจนกับสินแร่เหล็กโดยตรง แทนแบบเดิมซึ่งเป็นการใช้ถ่านโค้ก อันจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งมาจากการกระบวนการผลิตถ่านโค้กลงไปได้ ซึ่งปัจจุบันวิธีการนี้ยังไม่มีมีการใช้มากนักในท้องตลาดและกำลังอยู่ในช่วงของการพัฒนาต่อไป

อย่างไรก็ตามเหล็กขั้นต้นที่ผลิตได้เหล่านี้จะยังใช้ประโยชน์อะไรไม่ได้เนื่องจากมีสารไม่บริสุทธิ์บางชนิดเจือปนอยู่ รวมถึงยังมีปริมาณคาร์บอนในเหล็กที่สูงเกินไป จึงต้องนำไปผ่านกระบวนการผลิตเหล็กขั้นกลางต่อไป

การผลิตเหล็กขั้นกลาง

เป็นกระบวนการผลิตเหล็กกล้าโดยอาศัยการหลอมเหล็กและการหล่อเหล็กตามลำดับวัตถุประสงค์สำหรับการผลิตเหล็กขั้นกลางนั้นแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กถลุง เหล็กพูน และเศษเหล็ก (scrap) สามารถจำแนกกรรมวิธีการหลอมเหล็กออกได้เป็น 3 วิธีการใหญ่ ๆ ได้แก่

- (1) การหลอมในเตาออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace: BOF) เป็นกระบวนการผลิตเหล็กกล้า โดยการนำเอาเหล็กถลุงที่มีความร้อนอยู่แล้วจากเตาถลุงแบบพ่นลม หรือบางครั้งอาจใช้เศษเหล็กเข้าไปผสมด้วยบางส่วน ใส่เข้าไปในเตาหลอม แล้วจึงทำการพ่นออกซิเจนเข้าไปในเตา และเติมฟลักซ์ (fluxes) เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเหล็ก ควบคุมปริมาณซิลเฟอร์ ฟอสฟอรัส รวมถึงควบคุมการกัดกร่อนที่ผนังเตาหลอม โดยฟลักซ์ที่ใช้ส่วนมากได้แก่ CaO และ MgO โดยการหลอมในเตาออกซิเจนนี้เป็นกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากภายนอกเข้ามาเพิ่ม แต่อาศัยพลังงานจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งการหลอมในเตาออกซิเจนนี้สามารถจำแนกได้เป็นหลายประเภทตามตำแหน่งการพ่นออกซิเจนเข้าไปในเตา เช่น การพ่นจากด้านบนเตา (top blown) การพ่นจากด้านใต้เตา (bottom blown) และการพ่นจากทั้งด้านบนและด้านล่างของเตา (combination blown)
- (2) การหลอมในเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace: EAF) เป็นกระบวนการผลิตเหล็กกล้าโดยใช้เศษเหล็กเป็นวัตถุดิบหลัก (บางครั้งอาจนำเหล็กถลุงหรือเหล็กพูนมาผสมบางส่วน) โดยนำเศษเหล็กมาทำการหลอมในการหลอมมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านแท่งอิเล็กโทรดวางอยู่ด้านบนของเตาหลอม เพื่อทำให้เกิดความร้อนจากการอาร์คไฟฟ้าระหว่างปลายของอิเล็กโทรดกับผิวเหล็ก ทำให้เหล็กในเตาร้อนจนถึงจุดหลอมเหลวซึ่งใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง ในระหว่างการหลอมจะมีการเติมวัตถุดิบ

เข้าไปอีกประมาณ 1-2 ครั้ง เมื่อเหล็กหลอมเหลวจนเป็นน้ำเหล็ก (molten steel) จะมีการเติมฟลักซ์เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำเหล็ก และมีการฉีดพ่นออกซิเจนเหลวเข้าไปในเตาหลอมเพื่อให้ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้ความร้อนภายในเตาหลอมสูงขึ้นช่วยให้การหลอมเหลวเร็วยิ่งขึ้น

- (3) การหลอมในเตาโอเพนฮาร์ท (Open-hearth Furnace) เป็นกรรมวิธีแบบเก่าซึ่งปัจจุบันไม่ค่อยมีการใช้งานแล้ว เนื่องจากเป็นเตาที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ เมื่อเทียบกับเตาออกซิเจนและเตาอาร์คไฟฟ้า วิธีการหลอมเป็นการนำเอาเหล็กถลุงใส่เข้าไปในใจกลางของเตา เมื่อวัตถุติดเริ่มหลอมเหลวซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงก็จะพ่นออกซิเจนเข้าไปในห้องเผาไหม้ เพื่อให้การหลอมเหลวของเหล็กเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่อเหล็กหลอมเหลวเป็นน้ำเหล็กแล้วก็จะเติมฟลักซ์เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกจากน้ำเหล็ก

น้ำเหล็กที่ได้ภายหลังการหลอมในเตาจะผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเหล็ก (refining) แล้วจึงนำมาผ่านกระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง (continuous casting) ซึ่งเป็นกระบวนการเทน้ำเหล็กที่ผลิตได้ลงสู่แม่พิมพ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ต้องการ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตเหล็กชั้นกลางจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ เหล็กแท่งยาว (Billet) เหล็กแท่งใหญ่ (Bloom, Beam, Blanks) และเหล็กแท่งแบน (Slab)

การผลิตเหล็กชั้นปลาย

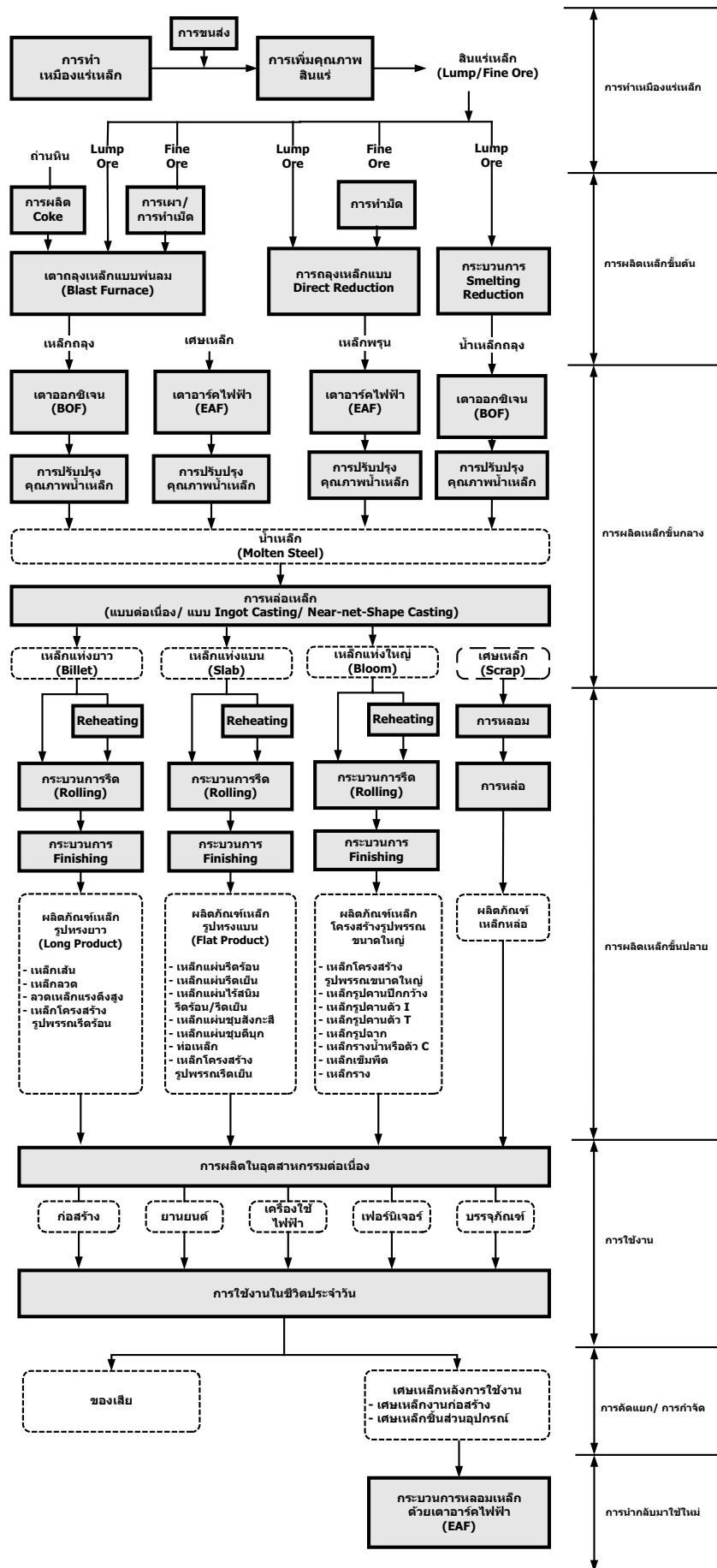
เป็นขั้นตอนการแปรรูปเหล็กแท่งที่ได้จากการผลิตเหล็กชั้นกลางรวมไปถึงเศษเหล็ก เนื่องจากเหล็กแท่งที่ผ่านการหล่อมาแล้วจะมีความแข็งและเปราะ ดังนั้นในการนำไปใช้ประโยชน์จึงต้องมีการนำไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่กระบวนการอบเหล็ก (re-heating) แล้วต่อด้วยกระบวนการรีดเหล็ก (rolling) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เหล็กที่มีขนาดและคุณสมบัติตามที่ต้องการ ซึ่งกรรมวิธีการรีดเหล็กมีทั้งการรีดร้อน การรีดเย็น และการรีดซ้ำ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เหล็กที่ได้ อาจถูกนำไปใช้ได้เลยหรือถูกนำไปผ่านกรรมวิธีอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การอบอ่อน (annealing) การทำความสะอาดผิวเหล็ก (pickling) การขึ้นรูป (forming) ไปจนถึงการตกแต่งผิว (surface treatment) ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นปลายอาจจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่

- (1) กลุ่มผลิตภัณฑ์เหล็กรูปทรงยาว (Long Products) เช่น เหล็กเส้น เหล็กหลอด เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน
- (2) กลุ่มผลิตภัณฑ์เหล็กรูปทรงแบน (Flat Products) เช่น เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดเย็น เหล็กแผ่นรีดเย็น เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กแผ่นเคลือบต่าง ๆ

- (3) กลุ่มผลิตภัณฑ์เหล็กรูปทรงอื่น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขนาดใหญ่ เช่น เหล็กคาน เหล็กรูปฉาก และผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อหรือขึ้นรูปต่าง ๆ

ดังตัวอย่างของการผลิตเหล็กขึ้นปลาย เช่น เหล็กแท่งยาว (billet) จะผ่านกระบวนการรีดเพื่อรีดเป็นเหล็กเส้น เหล็กหลอด หลอดเหล็กสำหรับคอนกรีตอัดแรง เหล็กแท่งใหญ่จะถูกรีดเป็นเหล็กรูปโครงสร้างรูปพรรณ ส่วนเหล็กแท่งแบนจะถูกนำไปผลิตเป็นเหล็กแผ่น ซึ่งในการผลิตขึ้นปลาย ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะถูกแปรรูปให้มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น ท่อ น็อต สกรู ไข แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี เป็นต้น

รูปที่ 5.1 แผนภาพกระบวนการผลิตเหล็กครบวงจร



5.2 วิวัฒนาการด้านการผลิตเหล็กของไทย

การพัฒนาเทคโนโลยีและการเติบโตของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยได้เริ่มต้นอย่างจริงจังภายหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ยุติลง โดยในปี 2491 บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ได้สร้างเตาพ่นลมเพื่อถลุงแร่เหล็กเป็นเหล็กถลุงและเตาโอเพนฮาร์ทเพื่อนำเอาเหล็กถลุงมาผลิตเป็นเหล็กกล้า (Steel) เป็นครั้งแรก ต่อมาจึงได้มีการตั้งโรงรีดเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต พร้อมกับการขยายการผลิตเหล็กถลุงสำหรับผลิตเหล็กกล้าเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ แต่อย่างไรก็ตามการผลิตเหล็กกล้าทั้งหมดยังคงไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศ รัฐบาลในสมัยนั้นจึงได้ริเริ่มที่จะจัดตั้งโรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าขึ้นเอง โดยในปี 2500-2501 จึงได้เริ่มมีการสำรวจแหล่งแร่เหล็กทั่วประเทศอย่างเป็นทางการครั้งแรก และในช่วงเวลานี้เองที่ได้เริ่มมีอุตสาหกรรมเหล็กแผ่นเคลือบขึ้นในประเทศไทย เช่น อุตสาหกรรมเหล็กแผ่นเคลือบดีบุก อุตสาหกรรมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี เป็นต้น ต่อมาภายหลังปี 2503 ได้มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็กเส้นอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้มีโรงงานผลิตเหล็กเส้นเกิดขึ้นอีกหลายสิบโรง ซึ่งล้วนแต่เป็นโรงงานผลิตเหล็กรีดซ้ำ ดำเนินการผลิตโดยนำวัตถุดิบที่เป็นเศษเหล็กชั้นดีที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมาตัดให้ได้ขนาดเหมาะกับการรีด หลังจากนั้นจึงนำไปรีดเป็นเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตชนิดรีดซ้ำสำหรับใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

ในระหว่างปี 2505-2506 ได้มีการสำรวจแหล่งแร่เหล็กในประเทศไทยเพื่อจัดสร้างโรงงานถลุงแร่เหล็กเพิ่มเติม พบว่ามีแหล่งแร่เหล็กที่มีศักยภาพอยู่ 4 แห่ง คือ จังหวัดกาญจนบุรี ฉะเชิงเทรา เลย และปราจีนบุรี โดยแหล่งแร่เหล็กที่เขาค้อมคริม จ.กาญจนบุรี เป็นแหล่งแร่ที่สำคัญที่สุด ปริมาณแร่สำรองที่พบแน่นอนในขณะนั้นประมาณ 5 ล้านเมตริกตัน แต่การจัดตั้งโรงถลุงแร่เหล็กดังกล่าวควรมีขนาดกำลังการผลิตปีละ 130,000 เมตริกตัน ซึ่งขณะนั้นต้องใช้เงินลงทุนนับพันล้านบาท ประกอบกับปริมาณแร่เหล็กสำรองพบว่ายังคงไม่เพียงพอที่จะป้อนโรงถลุงได้จนคุ้มทุนจึงไม่มีการดำเนินการขึ้นแต่อย่างใด

อย่างไรก็ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็กยังคงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตใหม่ ๆ โดยในปี 2510 ได้เริ่มเกิดอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าที่มีเตาหลอมขึ้นในประเทศไทย ดำเนินการผลิตเหล็กกล้าด้วยเตาอาร์คไฟฟ้าโดยใช้เศษเหล็กเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเหล็กแท่งเล็ก สำหรับนำไปรีดเป็นเหล็กเส้นและเหล็กหลอดเพื่อจำหน่ายต่อไป ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตนี้เองที่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญสำหรับการผลิตเหล็กกล้าในประเทศไทย โดยทดแทนโรงถลุงแร่เหล็กที่มีอยู่ในขณะนั้นประมาณ 4 บริษัท ซึ่งได้รับผลกระทบเนื่องจากผู้ผลิตเหล็กได้มีการนำเข้าเหล็กถลุงจากต่างประเทศแทนเหล็กถลุงที่ผลิตได้ภายในประเทศไทย ทำให้บริษัทผู้ผลิตเหล็กถลุงในประเทศไม่สามารถแข่งขันในด้านราคาได้เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่า และต้องหยุด

กิจการถลุงแร่เหล็กตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2525 เป็นต้นมา และก็ไม่มีการผลิตเหล็กถลุงในประเทศอีกเลย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตเหล็กในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการผลิตเหล็กขึ้นปลาย ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุด คือ เหล็กแผ่นรีดร้อนและเหล็กแผ่นรีดเย็น รองลงมาได้แก่เหล็กเส้น โดยในช่วงปี 2536-2540 มีผู้ผลิตเหล็กรีดซ้ำขนาดกลางและขนาดย่อมเปิดดำเนินการเพิ่มขึ้นจำนวนมาก ขณะเดียวกันผู้ผลิตเหล็กทรงแบนรายใหญ่หลายรายได้ขยายการลงทุนผลิตเหล็กขึ้นปลายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามการขยายตัวของธุรกิจก่อสร้างและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ทำให้จำนวนโรงงานผลิตเหล็กขึ้นปลายปี 2541 มีจำนวนประมาณ 188 โรง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่สำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศตลอดหลายปีที่ผ่านมา รัฐบาลจึงได้ให้ความสำคัญกับภาคอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศเป็นอย่างมาก เห็นได้จากการกำหนดนโยบายส่งเสริมการลงทุนเพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถแข่งขันได้ในตลาด ไปจนถึงนโยบายเพื่อให้มีการผลิตเหล็กโดยเสรี แต่อย่างไรก็ตาม ราคาของผลิตภัณฑ์เหล็กภายในประเทศรัฐบาลก็ยังคงมีมาตรการควบคุมเพื่อให้มีราคาที่เหมาะสมและป้องกันไม่ให้ผู้ประกอบการผลิตเหล็กเอาเปรียบผู้บริโภคด้วยเช่นกัน

5.3 ภาวะอุตสาหกรรมเหล็ก

5.3.1 ภาวะอุตสาหกรรมเหล็กของโลก

ผลผลิตและความต้องการผลิตภัณฑ์เหล็กของโลกตามรายงานของ IISI (International Iron and Steel Institute) พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอด 5 ปีหลังสุดแต่เป็นการเติบโตที่ไม่สูงนักเนื่องจากภาวะซบเซาของเศรษฐกิจโลกโดยเฉพาะในช่วงปี 2544 (ตารางที่ 5.1)

ตารางที่ 5.1 สถิติปริมาณการผลิตเหล็กของโลกในระหว่างปี 2541-2545

ประเทศ	ปริมาณการผลิต (ล้านตัน)				
	ปี 2541	ปี 2542	ปี 2543	ปี 2544	ปี 2545
จีน	114.1	123.7	127.2	150.9	181.6
ญี่ปุ่น	93.5	94.2	106.4	102.9	107.7
สหรัฐอเมริกา	97.3	96.3	101.5	90.1	92.2
รัสเซีย	45.5	83.1	59.1	59.0	59.8

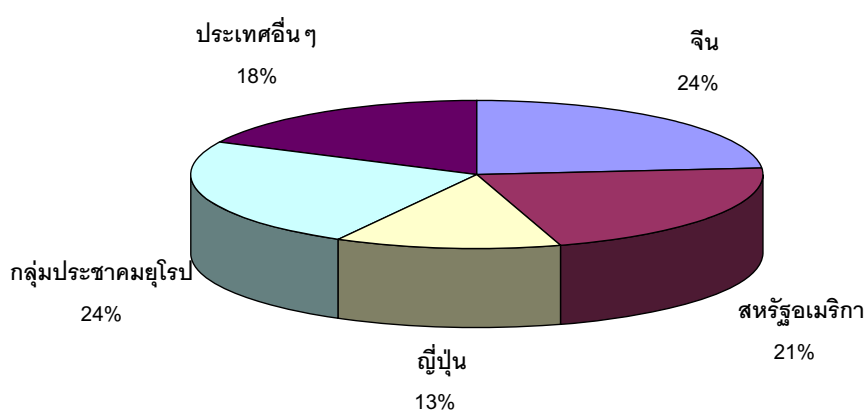
ประเทศ	ปริมาณการผลิต (ล้านตัน)				
	ปี 2541	ปี 2542	ปี 2543	ปี 2544	ปี 2545
เกาหลีใต้	39.9	41.0	43.1	43.9	45.4
เยอรมนี	44.1	42.1	46.4	44.8	45
ยูเครน	N/A	N/A-	31.4	33.1	33.4
บราซิล	25.8	25.0	27.9	26.7	29.6
อินเดีย	23.9	24.3	26.9	27.3	28.8
อิตาลี	25.8	24.9	26.7	26.5	26.1
ประเทศอื่น ๆ	225.3	217.1	30.8	22.3	22.3
รวมปริมาณผลผลิต	760.4	772.1	847.2	850.3	902.2

ที่มา: International Iron and Steel Institute (ปี พ.ศ. 2545)

ประเทศผู้ผลิตเหล็กที่สำคัญของโลก ได้แก่ จีน ซึ่งมีผลผลิตมากที่สุดในโลกโดยมีสัดส่วนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 20 ของปริมาณผลผลิตรวมทั้งโลก รองลงมาได้แก่ ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา โดยมีสัดส่วนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 12 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตรวมของ 3 ประเทศข้างต้นคิดเป็นร้อยละ 42 ของปริมาณผลผลิตเหล็กรวมทั้งโลก สำหรับประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตเหล็กอยู่ที่ประมาณ 2.3 ล้านตันในปี 2545 หรือจัดเป็นอันดับที่ 38 ของโลก

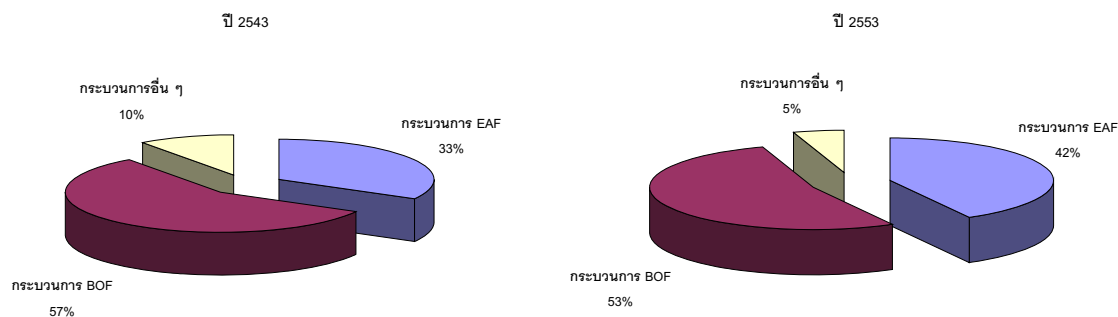
ด้านความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กโดยรวมของโลกพบว่า ประเทศจีนก็ยังคงเป็นประเทศที่มีความต้องการใช้เหล็กมากที่สุด โดยมีปริมาณการบริโภคเหล็ก 141.2 ล้านตันในปี 2543 หรือคิดเป็นร้อยละ 24 ของปริมาณการบริโภคเหล็กโดยรวมทั้งโลก รองลงมาได้แก่ สหรัฐอเมริกาคิดเป็นร้อยละ 21 ในขณะที่ประเทศในกลุ่มประชาคมยุโรปมีปริมาณการบริโภคเหล็กรวมกันทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 24 (รูปที่ 5.2)

รูปที่ 5.2 สัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์ใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กของโลก ปี 2543



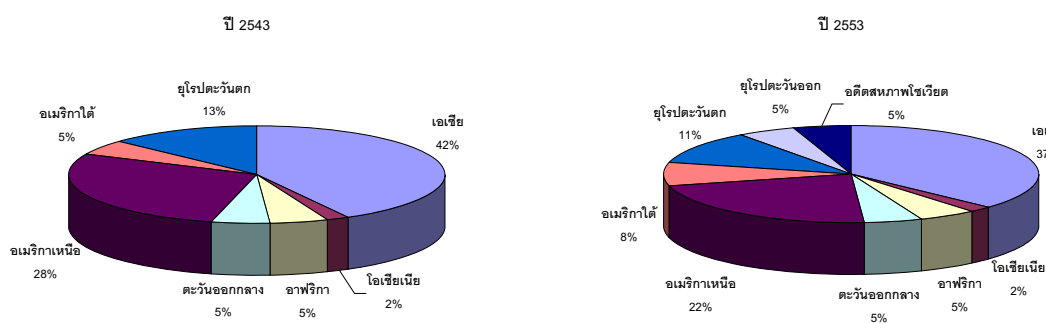
หากจำแนกผลิตภัณฑ์เหล็กของโลกตามเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ การผลิตแบบใช้เตาออกซิเจน (BOF) การผลิตแบบใช้เตาอาร์คไฟฟ้า (EAF) และการผลิตแบบอื่น ๆ เช่น เตาไอเพนฮาร์ท จากการศึกษาแนวโน้มของเทคโนโลยีการผลิตเหล็กปัจจุบันและในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้า ของ J.P.Birat (2000) พบว่า ในปี 2543 มีผลิตภัณฑ์เหล็กที่ได้จากการผลิตโดยใช้เตา BOF อยู่ที่ร้อยละ 57 ของผลผลิตเหล็กทั้งหมดของโลก รองลงมาได้แก่ผลิตภัณฑ์จากเตา EAF อยู่ที่ร้อยละ 33 แต่คาดการณ์ว่าในอีก 10 ปีข้างหน้าเทคโนโลยีการผลิตเหล็กแบบเก่าจะถูกเลิกใช้งานและเปลี่ยนมาใช้เตาอาร์คไฟฟ้าแทน ซึ่งจะเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์เหล็กที่ได้จากการใช้เตาอาร์คไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับปี 2543 ในขณะที่ผลผลิตเหล็กจากการใช้เตาออกซิเจนจะมีปริมาณคงที่ ซึ่งทั้งหมดนี้ทำให้คาดว่าในปี 2553 สัดส่วนของผลผลิตเหล็กที่ได้จากเตาอาร์คไฟฟ้าจะสูงขึ้นอยู่ที่ร้อยละ 42 ของผลผลิตเหล็กทั้งหมดทั้งโลก ในขณะที่สัดส่วนของผลผลิตที่ได้จากเตาออกซิเจน และกระบวนการอื่น ๆ จะลดลง (รูปที่ 5.3)

รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบสัดส่วนผลผลิตหลักของโลกแยกตามเทคโนโลยีการผลิตระหว่างปี 2543 และแนวโน้มอีก 10 ปีข้างหน้า



จากการสำรวจยังพบว่าในปี 2543 ผลผลิตหลักที่ได้จากการใช้เตาอาร์คไฟฟ้า มาจากประเทศในกลุ่มเอเชียมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 42 รองลงมาได้แก่ ประเทศในกลุ่มอเมริกาเหนือ และยุโรปตะวันตก โดยมีสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 28 และ 43 ตามลำดับ แต่คาดว่าในอีก 10 ปีข้างหน้า จะมีผลผลิตหลักที่ได้จากการใช้เตาอาร์คไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะมาจากประเทศในกลุ่มยุโรป ตะวันออก และประเทศในกลุ่มอดีตสหภาพโซเวียตซึ่งแต่เดิมยังไม่มีการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวนี้ จะมีการเปลี่ยนกระบวนการผลิตแบบเก่ามาใช้แบบเตาอาร์คไฟฟ้าแทน (รูปที่ 5.4)

รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบสัดส่วนผลผลิตหลักที่ได้จากกระบวนการ EAF ของประเทศต่าง ๆ ระหว่างปี 2543 และแนวโน้มอีก 10 ปีข้างหน้า



5.3.2 ภาวะอุตสาหกรรมเหล็กของไทย

อุตสาหกรรมผลิตเหล็กของไทยมีเพียงการผลิตเหล็กชั้นกลางและชั้นปลายเท่านั้น ยังไม่มีการผลิตเหล็กชั้นต้นภายในประเทศแต่อย่างใด เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งแร่เหล็กอยู่ในปริมาณน้อย ประกอบกับราคาเหล็กถลุงที่นำเข้าจากต่างประเทศนั้นมีราคาต่ำกว่าการลงทุนผลิตเหล็กชั้นต้นเองในประเทศ โดยในช่วงปี 2537–2538 มีผู้ประกอบการที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนจำนวน 6 ราย แต่จนถึงปัจจุบันยังไม่มีรายใดดำเนินการผลิตได้ โดยพบว่าผู้ได้รับการส่งเสริมฯ 3 รายได้ชะลอโครงการออกไปโดยไม่มีกำหนด ขณะที่อีก 3 รายได้ขอยกเลิกโครงการโดยสิ้นเชิง ดังนั้น วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตเหล็กชั้นกลางและเหล็กชั้นปลายในประเทศส่วนใหญ่จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทั้งในรูปของเหล็กถลุง เศษเหล็ก และผลิตภัณฑ์เหล็กในรูปอื่น แล้วจึงนำมาผ่านกระบวนการหลอม การหล่อ และการรีดเป็นรูปแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล็กที่ผลิตได้เกือบทั้งหมดเป็นการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการใช้ภายในประเทศเป็นหลัก (ตารางที่ 5.2)

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กของไทยแบ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ชนิดของผลิตภัณฑ์	จำนวนโรงงาน	เทคโนโลยีการผลิต	กำลังการผลิต (ล้านตัน/ปี)	สถานที่ตั้งโรงงาน
เหล็กชั้นต้น	เหล็กถลุง	1	Blast Furnace	3.4	ระยอง
	เหล็กพูน	1	Inmetco	1.00	ชลบุรี
		2	Midrex	1.20, 0.75	ระยอง, ระยอง
		2	Fastmet	1.80, 0.90	ประจวบคีรีขันธ์, ระยอง
	รวม	6			
เหล็กชั้นกลาง	เหล็กแท่งยาว	6	Electric Arc Furnace	2.38	ระยอง, ลพบุรี, เพชรบุรี,
	เหล็กแท่งใหญ่	3	Electric Arc Furnace	0.46	สมุทรปราการ, ชลบุรี
	เหล็กแท่งแบน	1	Electric Arc Furnace	0.06	
	รวม	10			
เหล็กชั้นปลาย	เหล็กเส้น	95	N/A	4.87	N/A
	เหล็กหลอด	6	N/A	1.09	N/A
	เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ	20	N/A	N/A	N/A
	เหล็กแผ่นรีดร้อน	4	N/A	6.00	N/A
	เหล็กแผ่นรีดเย็น	3	N/A	2.50	N/A
	เหล็กแผ่นเคลือบผิว	7	N/A	0.90	N/A
	เหล็กท่อ	40	N/A	0.81	N/A
	เหล็กรูปพรรณชนิดขึ้นรูปเย็น	15	N/A	N/A	N/A
	รวม	188			

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม (2544)

อุตสาหกรรมผลิตเหล็กชั้นกลาง

ปัจจุบันมีผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางประเภทเหล็กแท่งยาว จำนวน 11 ราย มีกำลังการผลิตรวมทั้งสิ้น 2.4 ล้านตัน กรรมวิธีการผลิตของทุกรายเป็นการใช้เตาอาร์คไฟฟ้า วัตถุดิบหลักในการหลอมเป็นเหล็กแท่งยาว ได้แก่ เศษเหล็กซึ่งมีทั้งที่เป็นเศษเหล็กในประเทศและที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยเหล็กแท่งยาวเกือบทั้งหมดที่ผลิตได้จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเหล็กเส้นและเหล็กทวดของผู้ผลิตรายเดียวกัน เนื่องจากผู้ผลิตส่วนมากมีการผลิตต่อเนื่องถึงผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นปลายด้วย

อนึ่ง การผลิตเหล็กแท่งใหญ่ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตเป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขนาดใหญ่ ปัจจุบันมีผู้ผลิตจำนวน 3 ราย ขณะที่การผลิตเหล็กแท่งแบน ซึ่งเป็นวัตถุดิบพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กทรงแบน อีกหลายชนิดนั้น ปัจจุบันมีผู้ผลิตในประเทศเพียงรายเดียวโดยเริ่มทดลองการผลิตในปี 2543 มีกำลังการผลิตประมาณ 58,000 ตัน ดังนั้นเหล็กแท่งแบนเกือบทั้งหมดที่ใช้ในประเทศขณะนี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยนำเข้าจากประเทศรัสเซียมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ยูเครน จีน และบราซิล (ตารางที่ 5.3)

ตารางที่ 5.3 สถิติปริมาณการผลิตเหล็กชั้นกลางของไทย ปี 2538-2543

รายการ	ปริมาณการผลิต (ตัน)					
	ปี 2538	ปี 2539	ปี 2540	ปี 2541	ปี 2542	ปี 2543
เหล็กแท่งยาว (Billet)^{1/}						
- กำลังการผลิต	2,183,000	2,148,000	2,381,000	2,440,000	2,380,000	2,380,000
- ปริมาณการผลิต	1,627,488	1,556,709	1,503,745	1,279,833	1,167,778	1,186,010
- การใช้กำลังการผลิต(ร้อยละ)	74.55	72.47	63.16	52.45	48.90	49.80
เหล็กแท่งใหญ่ (Blooms, Beam Blanks)^{2/}						
- ปริมาณการผลิต	423,450	458,182	465,705	290,800	306,380	461,569
รวมปริมาณการผลิต	2,050,938	2,014,891	1,969,450	1,570,633	1,474,158	1,647,579

ที่มา: 1/ ทีมสถิติภาคการผลิตและการคลัง สายนฐานข้อมูล ธนาคารแห่งประเทศไทย

2/ กองโลหกรรม กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมผลิตเหล็กชั้นปลาย

ในช่วงปี 2539-2541 ซึ่งเป็นช่วงภาวะซบเซาของธุรกิจก่อสร้างและภาวะวิกฤติเศรษฐกิจ ทำให้ความต้องการผลิตภัณฑ์เหล็กของไทยลดลงอย่างมาก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ได้ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่ออุตสาหกรรมผลิตเหล็กของไทย เป็นเหตุให้ผู้ประกอบการจำนวนมากต้องหยุดดำเนินการชั่วคราวหรือปิดดำเนินการเลยเพราะมีปัญหานี้เสีย (NPL) และขาดเงินทุนหมุนเวียน ขณะที่ผู้ประกอบการรายใหม่ที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนจำนวนมากได้ขอยกเลิกหรือชะลอโครงการลงทุน จนกระทั่งในปี 2542-2543 ซึ่งเศรษฐกิจไทยเริ่มฟื้นตัวและการส่งออกของอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่ใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กเป็นวัตถุดิบ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ขยายตัวในเกณฑ์สูงขึ้น ได้ส่งผลให้การผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กฟื้นตัวตามไปด้วยโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นปลาย

ตารางที่ 5.4 สถิติปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นปลายของไทย ปี 2538-2544

รายการ	ปริมาณ(ตัน)						
	ปี 2538	ปี 2539	ปี 2540	ปี 2541	ปี 2542	ปี 2543	ปี 2544
กลุ่มเหล็กทรงยาว	2,085,873	2,204,526	2,279,952	1,504,827	1,838,200	1,766,920	1,966,105
- เหล็กเส้น	1,578,867	1,651,599	1,671,743	1,137,812	1,420,000	1,355,628	1,536,663
- เหล็กหลอด	283,651	324,436	397,684	236,366	295,264	284,101	286,917
- เหล็กหลอดแรงดึงสูง	223,355	228,491	210,525	130,649	122,936	127,191	142,525
กลุ่มเหล็กทรงแบน	2,328,867	2,405,878	2,132,479	1,847,907	3,416,135	4,812,369	4,560,032
- เหล็กแผ่นรีดร้อน	1,137,901	1,150,953	913,296	665,179	1,520,000	2,241,330	1,894,920
- เหล็กแผ่นรีดเย็น	-	-	63,157	395,445	970,000	1,508,402	1,534,126
- ท่อเหล็ก	549,785	605,468	511,623	329,871	374,152	477,665	489,378
- เหล็กแผ่นชุบสังกะสี	370,033	387,457	387,000	251,012	301,553	368,554	434,125
- เหล็กแผ่นเคลือบดีบุก	271,148	262,000	257,403	206,400	250,430	216,418	207,483
รวม	4,414,740	4,610,404	10,257,200	3,352,734	5,254,335	6,579,289	6,526,137

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (2544)

ในปี 2544 แม้ว่าการบริโภคเหล็กโดยรวมของไทยมีปริมาณ 9.5 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2543 ประมาณร้อยละ 2 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อศึกษาถึงภาวะการผลิตและการค้าผลิตภัณฑ์เหล็กของภาคอุตสาหกรรมเหล็กของไทยในปี 2544 พบว่ามีการอ่อนตัวลงจากปีก่อนเล็กน้อยตามความตกต่ำของเศรษฐกิจโลก ประกอบกับปัญหาการขยายผลิตภัณฑ์เหล็กดัดราคากันเองในตลาดทั่วโลกเนื่องจากมีสต็อกส่วนเกินในตลาดสูง ปัญหาการกีดกันทางการค้าของสหรัฐซึ่งเป็นตลาดใหญ่

สำหรับการส่งออกของไทย รวมถึงปัญหาการปรับโครงสร้างหนี้ของผู้ประกอบการบางรายที่ยังยื้อเยื้ออยู่ เหล่านี้ส่งผลให้ปริมาณการผลิตเหล็กโดยรวมทั้งสิ้นมีปริมาณ 6.9 ล้านตัน ลดลงจากปี 2543 ร้อยละ 8 โดยเฉพาะเหล็กแผ่นรีดร้อนปรับตัวลดลงจากปีก่อนถึงร้อยละ 15.5 ซึ่งเกิดจากผลกระทบของการทุ่มตลาดจากประเทศผู้ผลิตในแถบยุโรปตะวันออกและเอเชียซึ่งมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เหล็กทรงยาวมีการผลิตเพิ่มขึ้นจากปีก่อนถึงร้อยละ 11.3 ตามการฟื้นตัวของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ในประเทศ (ตารางที่ 5.4)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการผลิตเหล็กชั้นปลาย (ตารางที่ 5.4) กับกำลังการผลิต (ตารางที่ 5.5) พบว่า การใช้กำลังการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็กของไทยในปี 2544 ยังคงอยู่ในระดับต่ำเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 43 เท่านั้น โดยกลุ่มเหล็กแผ่นชุบสังกะสีมีอัตราการใช้กำลังการผลิตสูงสุดร้อยละ 72 รองลงมาได้แก่กลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบดีบุกอยู่ที่ร้อยละ 68 และกลุ่มเหล็กแผ่นรีดร้อนมีอัตราการใช้กำลังการผลิตต่ำที่สุดเพียงร้อยละ 32 ในขณะที่กลุ่มเหล็กทรงยาว อันได้แก่ เหล็กเส้น เหล็กหลอด และเหล็กหลอดแรงดึงสูง มีอัตราการใช้กำลังการผลิตอยู่ที่ร้อยละ 41 43 และ 33 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 สถิติกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นปลายของไทย ปี 2538-2544

รายการ	ปริมาณ(ตัน)						
	ปี 2538	ปี 2539	ปี 2540	ปี 2541	ปี 2542	ปี 2543	ปี 2544
กลุ่มเหล็กทรงยาว	3,584,400	3,637,400	4,985,000	4,985,000	4,877,000	4,877,000	4,877,000
- เหล็กเส้น	2,794,400	2,799,400	3,839,400	3,839,400	3,791,400	3,791,400	3,791,400
- เหล็กหลอด	448,000	493,000	738,000	720,000	660,000	660,000	660,000
- เหล็กหลอดแรงดึงสูง	342,000	345,000	425,600	425,600	425,600	425,600	425,600
กลุ่มเหล็กทรงแบน	4,013,800	4,122,200	5,272,200	9,217,200	10,217,200	10,217,000	10,217,000
- เหล็กแผ่นรีดร้อน	2,400,000	2,400,000	2,400,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000
- เหล็กแผ่นรีดเย็น	-	-	1,200,000	1,500,000	2,500,000	2,500,000	2,500,000
- ท่อเหล็ก	753,800	862,200	812,200	812,200	812,200	812,200	812,200
- เหล็กแผ่นชุบสังกะสี	555,000	555,000	555,000	600,000	600,000	600,000	600,000
- เหล็กแผ่นเคลือบดีบุก	305,000	305,000	305,000	305,000	305,000	305,000	305,000
รวม	7,598,200	7,759,600	10,257,200	14,202,200	15,094,200	15,094,200	15,094,200

ที่มา: อ่างจากกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรมในการสอบถามจากผู้ประกอบการ

การนำเข้าและส่งออกผลิตภัณฑ์เหล็กของไทย

การนำเข้าเหล็กของไทยในปี 2544 มีปริมาณ 8.1 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 2.4 เป็นผลจากการทุ่มตลาดของผู้ผลิตเหล็กต่างประเทศ และส่วนหนึ่งเป็นผลจากความต้องการนำเข้าเหล็กคุณภาพดีบางประเภทมาใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมยานยนต์ ขณะที่การส่งออกผลิตภัณฑ์เหล็กของไทยในปี 2544 มีปริมาณทั้งสิ้นประมาณ 1.8 ล้านตัน ซึ่งลดลงจากปีก่อนถึงร้อยละ 18.6 อันเป็นผลจากการที่สหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นตลาดหลักของไทยได้ประกาศได้ส่วนการอุดหนุนการส่งออกและการทุ่มตลาดสินค้าเหล็กแผ่นรีดร้อนจากไทยและประเทศผู้ผลิตอื่น ๆ ทำให้เกิดการกีดกันทางการค้าอย่างเข้มงวดขึ้น ประกอบกับฮ่องกงและจีนได้ลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์เหล็กจากไทยลงมาก แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เหล็กที่ส่งออกมากที่สุดยังคงเป็นเหล็กแผ่นรีดร้อนและเหล็กแผ่นรีดเย็นมีปริมาณรวมทั้งสิ้น 574,151 ตัน โดยลดลงจากปีก่อนร้อยละ 43.1 และ 39.0 ตามลำดับ (ตารางที่ 5.6)

ตารางที่ 5.6 สถิติการนำเข้าและส่งออกผลิตภัณฑ์เหล็กของไทย ปี 2542-2544

รายการ	ปริมาณการนำเข้า (ตัน)			ปริมาณการส่งออก		
	ปี 2542	ปี 2543	ปี 2544	ปี 2542	ปี 2543	ปี 2544
เหล็กวัตถุดิบ	796,149	1,054,095	809,990	91,341	115,747	125,850
- เหล็กถลุง ^{1/}	139,451	312,763	113,478	15,316	15,787	13,561
- เศษเหล็ก	629,698	741,332	696,512	76,025	99,960	102,465
เหล็กชั้นกลาง	3,190,960	2,736,852	2,791,792	257	33,191	9,824
เหล็กชั้นปลาย	3,970,841	3,990,926	4,382,909	1,284,355	1,968,409	1,355,587
กลุ่มเหล็กทรงยาว	530,768	593,696	602,149	411,931	539,574	428,910
- เหล็กเส้น	124,542	165,629	177,739	135,665	75,885	73,875
- เหล็กหลอด	334,455	323,388	329,709	8,148	28,062	13,855
- เหล็กหลอดแรงดึงสูง	41,372	40,238	54,214	55,978	116,070	76,408
- เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ	30,399	64,441	40,487	212,140	319,557	264,772
กลุ่มเหล็กทรงแบน	3,440,073	3,397,230	3,780,760	872,424	1,428,835	926,677
- เหล็กแผ่นรีดร้อนและรีดเย็น	2,811,350	2,741,580	3,088,090	567,571	1,009,792	574,151
- ท่อเหล็ก	164,522	112,517	135,669	189,880	285,327	229,861
- เหล็กแผ่นเคลือบผิว(ชุบโลหะ)	464,201	543,133	557,001	113,973	133,716	1,221,665
อื่น ๆ	74,077	86,843	69,124	14,761	75,151	294,216
รวมทั้งหมด	8,005,027	7,868,716	8,053,815	1,390,714	2,192,498	1,785,477

1/ เป็นการส่งออกในด้านการค้า และจากการนำเข้า (re export)

ที่มา: กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง และกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์

5.4 วัตถุดิบ และสาธารณูปโภคที่สำคัญในการผลิต

5.4.1 เหล็กวัตถุดิบ (Iron/Scrap)

เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งแร่เหล็กในปริมาณน้อยและไม่มีอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กขึ้นต้นภายในประเทศ ดังนั้นเหล็กถลุง (Pig Iron) ที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตเหล็กของไทยจึงต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด ในขณะที่เศษเหล็กซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้านั้น แม้ว่าปัจจุบันจะมีนำเศษเหล็กในประเทศหมุนเวียนกลับมาใช้ในปริมาณมากแล้วก็ตาม แต่ปริมาณดังกล่าวก็ยังคงไม่เพียงพอกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรมผลิตเหล็กของไทยจึงยังคงต้องมีการนำเข้าเศษเหล็กมาจากต่างประเทศเช่นเดียวกัน โดยแหล่งนำเข้าเหล็กถลุงที่สำคัญของไทย ได้แก่ จีน อินเดีย และบราซิล ขณะที่ญี่ปุ่น และไต้หวัน จัดเป็นแหล่งนำเข้าเศษเหล็กที่สำคัญของประเทศไทย (ตารางที่ 5.7)

เศษเหล็กที่ป้อนเข้าสู่เตาอาร์คไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เศษเหล็กจากงานโลหะ เช่น เศษเหล็กจากการตัดหรือเศษเหล็กที่ได้จากกระบวนการผลิตอื่น ๆ เช่น การผลิตรถยนต์ และเศษเหล็กที่ได้จากซากเหลือทิ้งของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่หมดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้านี้ยังจำเป็นต้องมีการใช้เหล็กถลุงหรือเหล็กพูนเพิ่มเข้ามาเป็นวัตถุดิบด้วยเช่นกัน เนื่องจากเศษเหล็กข้างต้นจะมีส่วนประกอบของแร่โลหะต่ำ และประกอบกับราคาของเศษเหล็กมีราคาที่แปรปรวนมาก

ตารางที่ 5.7 สัดส่วนการนำเข้าและส่งออกวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเหล็กของไทย ปี 2544

ทรัพยากร	การนำเข้า	การส่งออก
เหล็กถลุง (Pig Iron)	จีน 43.87% อินเดีย 24.73% บราซิล 23.88%	- - -
เศษเหล็ก (Scrap)	ญี่ปุ่น 45.67% ไต้หวัน 19.19% อิตาลี 8.89%	ญี่ปุ่น 39.16% ไต้หวัน 26.77% เกาหลี 17.54%

ทรัพยากร	การนำเข้า	การส่งออก
เฟอร์โรอัลลอยด์	จีน 66.18% แอฟริกาใต้ 11.99% ญี่ปุ่น 5.97%	จาไมก้า 50% มาเลเซีย 45.21% ฮ่องกง 4.79%

ที่มา: ข้อมูลสถิติการนำเข้าและส่งออก กรมศุลกากร (2544)

5.4.2 พลักซ์ และอัลลอยด์

พลักซ์ที่ใช้เติมลงไปนํ้าเหล็ก โดยปกติก็คือแร่ชนิดต่าง ๆ ที่มีสมบัติเป็นกรดและด่าง (เช่น SiO_2 และ CaO) ซึ่งเติมลงไปเพื่อดั่งสิ่งปนเปื้อนออกจากนํ้าเหล็กระหว่างการหลอมเหล็กให้อยู่ในรูปของกากซีเหล็ก ซึ่งพลักซ์ที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเหล็กของไทย ได้แก่ โดโลไมต์ (Dolomite) ซึ่งเป็นแร่ที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนต มีสมบัติทางธรณีวิทยาและปฏิกิริยาเคมีในทิศทางเดียวกันกับหินปูน ในอุตสาหกรรมเหล็กของไทยจะนำโดโลไมต์มาจากเหมืองภายในประเทศเป็นหลัก โดยโดโลไมต์จะถูกเติมเข้าไปเพื่อช่วยปรับปรุงองค์ประกอบกากซีเหล็ก และช่วยต้านทานการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างอิฐทนไฟกับนํ้าเหล็กในกระบวนการหลอมที่มีอุณหภูมิสูง

อัลลอยด์ที่เติมเข้าไปในกระบวนการผลิตเหล็กก็เพื่อปรับปรุงให้เหล็กที่ผลิตได้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามความต้องการไปใช้งานต่อไป เช่น ความแข็ง ความเหนียว ความต้านทานการกัดกร่อน เป็นต้น โดยอัลลอยด์ที่ใช้ในการผลิตเหล็กมีมากมายและแตกต่างกันไป เช่น คาร์บอน (C) แมงกานีส (Mn) ซิลิคอน (Si) โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) อลูมิเนียม (Al) แคลเซียม (Ca) โบรอน (B) โคบอลต์ (Co) โมลิบดีนัม (Mo) ไททาเนียม (Ti) และอื่น ๆ

5.4.3 พลังงาน

พลังงานที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมผลิตเหล็กของไทยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้าเป็นสาธารณูปโภคที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลาง โดยปัจจุบันภายในโรงงานผลิตเหล็กมักจะมีสถานีไฟฟ้าย่อย (Sub-Station) เพื่อรับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตมาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และส่งต่อมายังระบบสายส่ง (Electricity Grid

Mix) ทั้งของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ส่วนของเชื้อเพลิงที่สำคัญในกระบวนการผลิตเหล็กได้แก่ ก๊าซ LPG น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตา ซึ่งในปี 2544 พบว่าภาคอุตสาหกรรมเหล็กของไทยมีการใช้ก๊าซ LPG 60,740,000 ลิตร (คิดเป็นร้อยละ 1.6 ของปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ทั้งหมด) น้ำมันดีเซล 25,343,000 ลิตร (คิดเป็นร้อยละ 0.17 ของปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลทั้งหมด) และน้ำมันเตา 232,758,000 ลิตร (คิดเป็นร้อยละ 5.08 ของปริมาณการใช้น้ำมันเตาทั้งหมด)

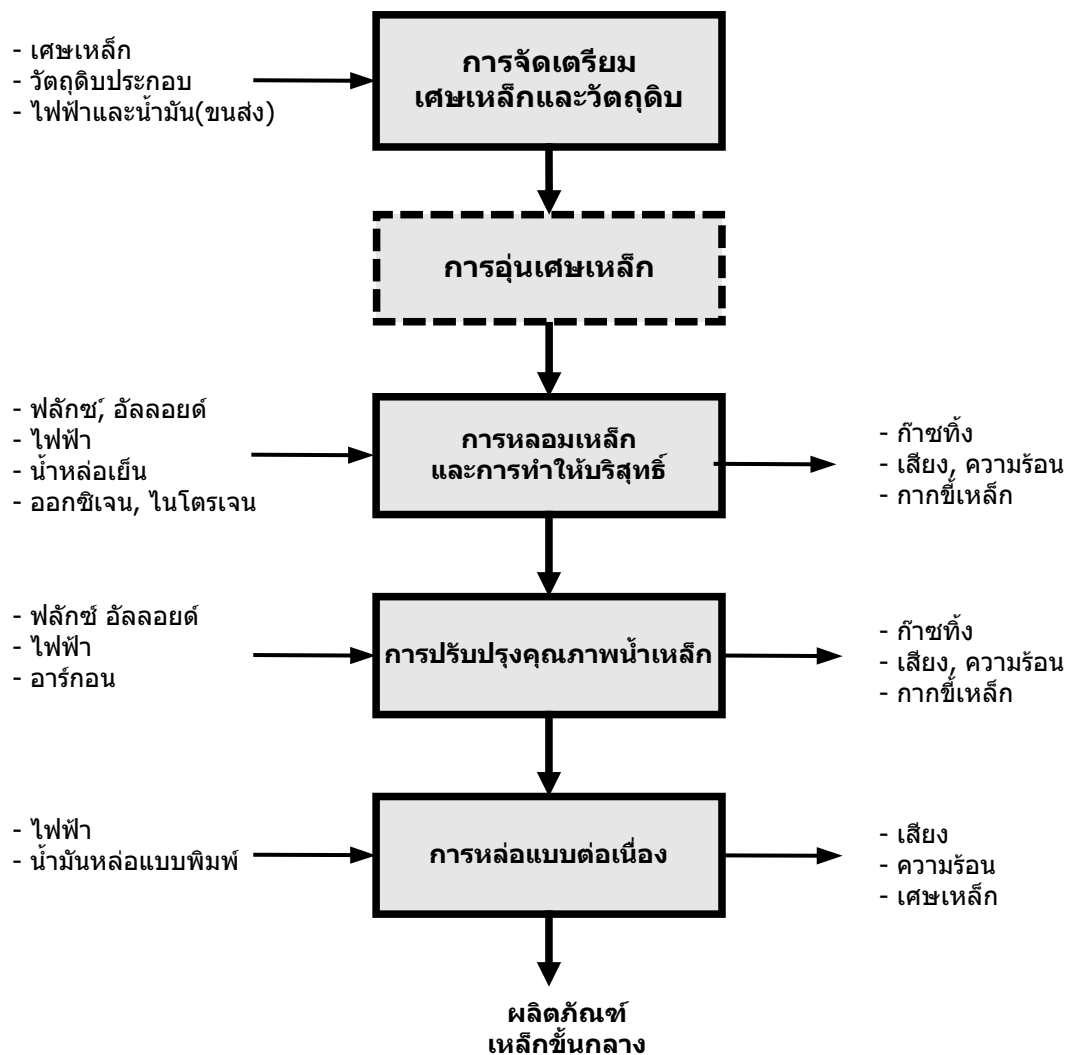
5.4.4 ออกซิเจน และก๊าซเฉื่อย

ออกซิเจนจะถูกนำไปผลิตก๊าซออกซิเจน ไนโตรเจน และอาร์กอน ซึ่งเป็นสารอุปโภคที่จำเป็นต้องใช้ในหลายขั้นตอนของกระบวนการผลิตเหล็ก ดังนั้นหลายโรงงานจึงมีการตั้งโรงผลิตออกซิเจนภายในโรงงานเอง หรืออาจมีโรงผลิตออกซิเจนในบริเวณใกล้เคียงโรงงาน เพื่อแก้ปัญหาการขาดความต่อเนื่องของออกซิเจนที่จะใช้งาน โดยโรงงานผลิตออกซิเจนนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ไอน้ำ และน้ำหล่อเย็นในกระบวนการผลิต

5.5 กระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลาง

กระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลาง (รูปที่ 5.5) ในที่นี้ขอกล่าวถึงการผลิตเหล็กโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า เพราะเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานได้มากกว่าการผลิตเหล็กโดยใช้เตาถลุงแบบพ่นลมควบคู่ไปกับเตาหลอมออกซิเจนเมื่อเทียบต่อ 1 ตันของเหล็กที่ผลิตได้ เนื่องจากอุตสาหกรรมผลิตเหล็กชั้นกลางของไทยทั้งหมดใช้เตาอาร์คไฟฟ้าในการผลิต

รูปที่ 5.5 กระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า



ผลิตภัณฑ์เหล็กที่ได้จากเตาอาร์คไฟฟ้าอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เหล็กกล้าปกติ หรือที่เรียกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel) ซึ่งจะหมายถึงรวมถึง low alloyed steel ด้วย และเหล็กกล้าประเภท high alloyed steels โดยกระบวนการผลิตเหล็กกล้าปกติ จะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

5.5.1 การจัดเก็บและการเตรียมวัตถุดิบ

การจัดเก็บเศษเหล็กวัตถุดิบมักต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ทำหลังกาและปูพื้นรองรับอย่างเหมาะสม แต่บางโรงงานจะใช้เป็นพื้นที่โล่งไม่มีหลังกา สำหรับวัตถุดิบอื่น ๆ ได้แก่ ฟลักซ์ ซึ่งมีทั้งแบบผงและแบบก้อน ปูนขาว คาร์บอน อัลลอยด์ (alloys) สารเติมแต่ง และอิฐทนไฟ เหล่านี้ล้วนต้องเก็บในบริเวณที่มีการปกคลุมมิดชิด หากเป็นผงก็ควรมีถุงที่ปิดสนิทหรือมีการจัดเก็บในไซโล และการขนส่งต้องเป็นไปอย่างระมัดระวังซึ่งบางแห่งอาจใช้ระบบลมในการขนส่ง

5.5.2 การอุ่นเศษเหล็ก (Scrap preheating)

การอุ่นเศษเหล็กเป็นเทคนิคใหม่ที่มีการพัฒนาขึ้นมาสำหรับกระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า โดยเป็นการนำความร้อนจากก๊าซทิ้ง (off gas) ที่เกิดขึ้นจากเตาอาร์คไฟฟ้ากลับมาใช้อุ่นเศษเหล็กที่ป้อนเป็นวัตถุดิบ ซึ่งปัจจุบันมีโรงงานมากกว่า 20 แห่งทั่วโลกที่ใช้เทคนิคนี้ในการผลิต

5.5.3 การป้อนวัตถุดิบ (Charging)

การป้อนเศษเหล็กลงในเตาอาร์คไฟฟ้าแยกออกได้เป็น 3 ช่วง ช่วงแรกเศษเหล็กที่ได้จัดเตรียมใส่ Bucket แล้วจะถูกเข็นยกขึ้นไปเทลงในเตาอาร์คไฟฟ้า จากนั้นอิเล็กโทรดที่วางอยู่ด้านบนของเตาหลอมจะถูกยกขึ้น พร้อมกับการปิดฝาเตาแล้วจึงเริ่มขั้นตอนการชาร์ตโดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านอิเล็กโทรดที่ค่อย ๆ กดลงในเตาหลอม ทำให้เกิดความร้อนจากการอาร์คของแท่งอิเล็กโทรดและกระแสไฟฟ้าจะเดินผ่านมายังวัตถุดิบที่อยู่ในเตาหลอม ก่อให้เกิดการอาร์คไฟฟ้าระหว่างปลายของอิเล็กโทรดกับผิวของเหล็กจนเศษเหล็กหลอมตัวเป็นน้ำเหล็ก จากนั้นจึงทำการเติมฟลักซ์ เช่น ปูนขาว และแร่โดโลไมต์ลงไปในเตาเพื่อช่วยกำจัดสิ่งเจือปนออกจากน้ำเหล็กออกมาในรูปของกากขี้เหล็ก (slag) เมื่อเศษเหล็กละลายเป็นน้ำเหล็กหมดแล้วจึงมีการป้อนวัตถุดิบและปฏิบัติเหมือนเดิมเป็นครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ต่อไป ซึ่งโดยปกติในการใส่เศษเหล็กครั้งแรกจะป้อนเศษเหล็กลงในเตาประมาณร้อยละ 50-60 ของกำลังผลิตของเตาหลอม จากนั้นการป้อนครั้งที่ 2 และ 3 จึงลดลงตามลำดับ

5.5.4 การหลอมเหล็กและการทำให้บริสุทธิ์ (Arc Furnace melting and refining)

ในช่วงเริ่มของการหลอม กำลังไฟฟ้าที่ใส่ลงไปในการจะไม่สูงนักเพื่อป้องกันการเสียหายของผนังเตาและการสูญเสียความร้อนของแก๊สอิเล็กโตรดขณะที่ยังไม่ได้จมลงไปในเศษเหล็ก และเมื่อเกิดการอาร์คไฟฟ้าขึ้นจะกับเศษเหล็ก เศษเหล็กที่อยู่รอบ ๆ แก๊สอิเล็กโตรดจะทำหน้าที่เหมือนโล่ป้องกันผนังและลดการสูญเสียความร้อนลงได้ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าในการอาร์คจึงสามารถเพิ่มขึ้นได้จนการหลอมเสร็จสมบูรณ์ โดยในช่วงระหว่างการหลอมนั้นส่วนมากจะมีการใช้ Oxygen lance หรือ Oxy-fuel burner เข้าไปช่วยให้การหลอมเสร็จสมบูรณ์เร็วขึ้น ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้อาจเป็นก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน นอกจากนี้แก๊สออกซิเจนอาจถูกพ่นลงในสื่อน้ำเหล็กได้โดย nozzle ที่อยู่ด้านใต้หรือด้านของของเตาอาร์คไฟฟ้า

ปัจจุบันการใช้ออกซิเจนสำหรับกระบวนการหลอมเหล็กเป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากช่วยลดปริมาณคาร์บอนภายในน้ำเหล็กและกำจัดองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการ เช่น ฟอสฟอรัส แมงกานีส ซิลิคอน และซัลเฟอร์ นอกจากนี้เมื่อออกซิเจนทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จะเกิดการคายความร้อนขึ้น อันจะช่วยเพิ่มความร้อนในเตาและประหยัดเชื้อเพลิงในการหลอมเหล็ก อย่างไรก็ตาม ผลของการฉีดออกซิเจนเข้าไปในเตาจะทำให้เกิดแก๊สและฝุ่นต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ อนุภาคออกไซด์ของเหล็ก และฝุ่น นอกจากนี้แก๊สอาร์กอนหรือแก๊สเฉื่อยอื่น ๆ อาจถูกฉีดเข้าในช่วงของการหลอม เพื่อช่วยให้อุณหภูมิมีความสมดุลและช่วยให้เกิดการกวนภายในเตาหลอม ซึ่งการทำให้เกิดสภาวะสมดุลของกากขี้เหล็กกับน้ำเหล็กภายในเตา

5.5.5 การเทน้ำเหล็กและการเทกากขี้เหล็ก

ในโรงงานที่ไม่มีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก (Refining) พนักงานจะทำการเติมอัลลอยด์และสารเติมแต่งลงไปจนถึงน้ำเหล็กในช่วงก่อน/ระหว่างการเทน้ำเหล็ก สารเติมแต่งที่ใส่ลงไปจะทำให้เกิดไอระเหย (fume) สูงขึ้นในระหว่างการเทน้ำเหล็ก กากขี้เหล็กจะถูกแยกก่อนทำการเทน้ำเหล็กโดยการเอียงเตาไปข้างหน้า/ข้างหลัง และเทกากขี้เหล็กลงในถังหรือลงบนพื้นซึ่งอยู่ต่ำกว่าเตา ปัจจุบันน้ำเหล็กจะถูกเทจากด้านล่างของเตาทำให้มีกากขี้เหล็กติดไปกับถังน้อยที่สุด

5.5.6 การปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก

การปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กหรือบางที่เรียกว่า “ladle treatment” เป็นกระบวนการทำน้ำเหล็กที่ได้จากเตาอาร์คไฟฟ้าให้ได้คุณภาพตามต้องการก่อนจะส่งไปสู่กระบวนการหล่อเหล็กต่อไป ซึ่งมีทั้งแบบที่ใช้ระบบสูญญากาศ (vacuum generation system) และแบบที่ใช้ระบบอาร์คไฟฟ้า (arc heating unit) โดยในช่วงนี้จะมีการใช้ก๊าซเฉื่อยและเติมอัลลอยด์แบบผงลงไปในน้ำเหล็ก

5.5.7 การจัดการกากขี้เหล็ก

โดยปกติสิ่งที่เกิดควบคู่กับการเทกากขี้เหล็ก คือ ฝุ่นและควัน กากขี้เหล็กซึ่งยังร้อนจะถูกชุดออกมาและถูกทำให้เย็นโดยการสเปรย์น้ำก่อนที่จะนำมาบดและคัดเลือกเพื่อที่จะนำโลหะกลับมาใช้ (ในกรณีที่มีกระบวนการนำกากขี้เหล็กกลับมาใช้ใหม่) หรืออาจถูกจัดเก็บและนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไป (ในกรณีที่ไม่มีกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่)

5.5.8 การหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting)

โดยปกติน้ำเหล็กจะถูกนำมาผ่านกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เหล็กเป็นแท่งที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น เหล็กแท่งยาว เหล็กแท่งใหญ่ และเหล็กแท่งแบน โดยน้ำเหล็กจะถูกเทจากถัง Ladle ลงสู่ถัง Tundish ซึ่งทำหน้าที่บ่อนและควบคุมอัตราการป้อนน้ำเหล็กลงในแม่พิมพ์ทองแดงซึ่งถูกหล่อเย็นด้วยน้ำให้มีปริมาณที่เหมาะสม นอกจากนี้เพื่อป้องกันการแข็งตัวของผิวแท่งเหล็กที่กำลังหล่อ แม่พิมพ์จึงต้องมีการสั่นในทิศทางเดียวกับการไหลและต้องมีความเร็วมากกว่าความเร็วของการหล่อ และต้องหล่อขึ้นแม่พิมพ์ด้วยผงหล่อลื่นหรือน้ำมันพืช แท่งเหล็กที่เคลื่อนตัวออกจากแม่พิมพ์อย่างต่อเนื่องจะถูกทำให้เย็นโดยการพ่นละอองน้ำเข้าไปโดยตรง เมื่อแท่งเหล็กแข็งตัวสมบูรณ์แล้ว จะทำการตัดแท่งเหล็กให้มีขนาดตามต้องการโดยใช้เครื่องตัดแบบอัตโนมัติ

สำหรับกระบวนการผลิตเหล็กประเภท high alloyed and special steels นั้น ขั้นตอนการผลิตจะมีความต่อเนื่องและซับซ้อนมากกว่าการผลิตเหล็กกล้าคาร์บอนแบบปกติทั่วไป โดยมีความแตกต่างในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก (ladle treatment) และมีกระบวนการอื่นมาเพิ่มมากขึ้น เช่น กระบวนการกำจัดกำมะถัน (desulfurization) กระบวนการกำจัดก๊าซที่ละลายอยู่ เช่น ไนโตรเจนและไฮโดรเจน และกระบวนการกำจัดคาร์บอน (ด้วยวิธี Argon-Oxygen-Decarburisation หรือ Vacuum-Oxygen-Decarburisation) เป็นต้น

5.6 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า แบ่งได้เป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานและด้านการปล่อยของเสียหรือมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย มลสารทางอากาศ ได้แก่ ฝุ่น ก๊าซ และควัน มลสารทางน้ำ ได้แก่ น้ำเสียจากระบบทำความเย็นซึ่งน้ำเหล่านี้อาจมีสารเคมีในระบบหล่อเย็นตกค้างอยู่ นอกจากนี้ยังมีกากของเสีย ได้แก่ กากขี้เหล็ก (Slag) ที่เกิดจากการหลอมเหล็ก เศษวัสดุในกระบวนการผลิต เช่น อิฐทนไฟ เป็นต้น มลพิษเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการจัดการอย่างถูกต้องเหมาะสม (ตารางที่ 5.8)

ตารางที่ 5.8 ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของการผลิตเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า

ปัญหาสิ่งแวดล้อม	แหล่งกำเนิด	รายละเอียด
ด้านการใช้ทรัพยากร		
1) การใช้ไฟฟ้า	ตลอดกระบวนการผลิต	ไฟฟ้าเป็นสาขานโยบายที่สำคัญที่สุดในการผลิตเหล็ก มีการใช้ในทุกกระบวนการตั้งแต่การขนส่งเศษเหล็ก การหลอมเหล็ก การปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก การหล่อเหล็ก ไปจนถึงระบบสนับสนุนการผลิตต่าง ๆ เช่น ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบบำบัดฝุ่น และอื่น ๆ
2) การใช้เชื้อเพลิง	การหลอมเหล็ก การเผาเตา	การผลิตเหล็กมีการใช้เชื้อเพลิง เช่น LPG หรือก๊าซธรรมชาติ เพื่อช่วยในกระบวนการหลอมเหล็กเร็วขึ้น รวมถึงใช้เผาเตา/ภาชนะใส่น้ำเหล็กเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงเพียงพอกับการใช้งาน
ด้านการปล่อยของเสีย		
1) ฝุ่นและไอระเหย	การหลอมเหล็ก การปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก	ฝุ่นจากการผลิตเหล็กมีทั้งฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ และฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (PM10) ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานในสถานที่ทำงาน ที่มาของฝุ่นเกิดจากกระบวนการหลอมเศษเหล็ก การเติมฟลักซ์และอัลลอยด์เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก โดยองค์ประกอบภายในของฝุ่นจะพบว่ามีความคมและไม่แน่นอน ขึ้นกับเศษเหล็กที่นำมาเป็นวัตถุดิบ (โดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบดังตารางที่ 5.9) ฝุ่นที่เกิดจากการหลอมเศษเหล็กอาจมีโลหะหนักผสมอยู่ซึ่งขึ้นกับเศษเหล็กที่นำมาใช้งาน

ปัญหาสิ่งแวดล้อม	แหล่งกำเนิด	รายละเอียด
		ไอระเหยมีที่มาเช่นเดียวกับฝุ่น แต่เกิดจากเศษเหล็กวัตถุดิบที่อาจมีพลาสติกหรือสารเคมีประเภทอื่น ๆ เคลือบหรือปนอยู่ ดังนั้นเมื่อสารเคมีเหล่านี้ถูกความร้อนในกระบวนการหลอมจึงก่อให้เกิดไอระเหยสารเคมีขึ้น
	การจัดเก็บและเตรียมวัตถุดิบ	การจัดเก็บเศษเหล็กวัตถุดิบมักต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งบางโรงงานอาจใช้เป็นพื้นที่โล่งไม่มีหลังคาและไม่มีการปูพื้นบริเวณดังกล่าว ซึ่งอาจนำไปสู่การปนเปื้อนมลพิษทางดิน
	การอุ่นเศษเหล็ก	การอุ่นเศษเหล็กโดยการนำความร้อนจากก๊าซทิ้ง (off gas) ที่เกิดขึ้นจากเตาอาร์คไฟฟ้ากลับมาใช้อุ่นเศษเหล็กที่ป้อนเป็นวัตถุดิบ ซึ่งอาจก่อให้เกิด Emission ในปริมาณที่สูงขึ้นกว่าเดิมโดยเฉพาะพวกสารประเภท aromatic organohalogen compounds ดังเช่น PCDD/F, chlorobenzenes, PCB, PAH และสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่มีอยู่ในเศษเหล็ก เช่น สี พลาสติก น้ำมันหล่อลื่น และสารอินทรีย์อื่น ๆ
2) ก๊าซเสีย	การหลอมเหล็ก การปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก	ก๊าซเสียจากการผลิตเหล็ก ประกอบด้วย CO ₂ , NO _x , SO ₂ และ CO ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างคาร์บอนที่อยู่ในเชื้อเพลิง สารปรุงแต่ง เศษเหล็ก และแท่งอิเล็กโทรด (ซึ่งเป็นแกรไฟต์) กับออกซิเจนที่ฉีดเข้าไปในเตาหลอมเหล็ก
3) ของเสีย (ของแข็ง)	การหลอมเหล็ก การปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก	1) กากซีเหล็ก (slag) เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟลักซ์ที่เติมลงไปกับสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเหล็ก และจับตัวลอยอยู่บริเวณผิวด้านบนของน้ำเหล็กซึ่งจะถูกแยกออกไปเพื่อกำจัดต่อไป (องค์ประกอบดังตารางที่ 5.10)
		2) ฝุ่นที่ถูกดักได้จากระบบบำบัดฝุ่นของโรงงาน เช่น ฝุ่นที่แยกได้จากไซโคลน และฝุ่นที่ถูกดักได้จากถุงกรอง ซึ่งองค์ประกอบของฝุ่นที่ดักได้นี้จะเป็นเช่นเดียวกับองค์ประกอบของฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการหลอมเหล็ก
		3) เศษวัสดุจากการผลิต ซึ่งจัดเป็นของเสียอันตรายเนื่องจากการปนเปื้อนสารเคมีและโลหะหนักต่าง ๆ เช่น เศษอิฐทนไฟ เป็นต้น

ปัญหาสิ่งแวดล้อม	แหล่งกำเนิด	รายละเอียด
4) น้ำเสีย	กระบวนการหล่อเย็น	น้ำเสียจากการผลิตเหล็กมีน้อยมาก เนื่องจากการใช้น้ำส่วนใหญ่เพื่อเป็นน้ำหล่อเย็นอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เตาหลอม และแบบหล่อ (mold) เป็นต้น ซึ่งน้ำเหล่านี้จะถูกหมุนเวียนผ่านหอทำความเย็นและนำกลับไปใช้ใหม่ อย่างไรก็ตาม จะมีการถ่ายน้ำเก่าทิ้งออกไปบางส่วนพร้อมกับการเติมน้ำใหม่เข้าระบบโดยน้ำเสียจะเกิดจากน้ำหล่อเย็นที่มีค่าความเข้มข้นของสารองค์ประกอบเกินกว่ามาตรฐานของระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้
5) มลภาวะทางเสียง	การจัดเก็บและการเตรียมเศษเหล็ก การหลอมเศษเหล็ก	มลภาวะทางเสียงเป็นปัญหาสำคัญของกระบวนการผลิตเหล็ก การเกิดเสียงดังในช่วงการจัดเก็บและการเตรียมเศษเหล็ก ช่วงการเริ่มหลอมเศษเหล็กโดยการอาร์คด้วยแท่งอิเล็กโทรด นอกจากนี้ยังมีเสียงดังจากการทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ โดยระดับเสียงโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 90 – 125 dB(A)

ตารางที่ 5.9 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นที่ตกโดยถุงกรองจากการผลิตเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า

องค์ประกอบ (% โดยน้ำหนัก)	ผลตรวจวิเคราะห์ จากโรงงานผลิต เหล็กกล้าของไทย	ค่าอ้างอิงจากการผลิตเหล็กต่างประเทศ	
		เหล็กกล้า carbon/low alloyed steel	เหล็กกล้า highalloyed /Stainless steel
IRON	24.500	25-50	30-40
ZINC	23.300	10.0-35.0	2.0-10.0
LEAD	1.910	0.8-6	0.5-2
CADMIUM	0.025	0.02-0.1	0.01-0.08
COPPER	0.120	0.15-0.4	0.01-0.3
NICKEL	0.017	0.02-0.04	2.0-4.0
CHROMIUM OXIDE	0.200	0.2-1	10.0-20.0
POTASSIUM OXIDE	2.685	1.2-1.5	n/a
SODIUM PENTAOXIDE	2.800	1.5-1.9	n/a
VANADIUM	0.010	0.02-0.05	0.1-0.3
COBALT	ND	0.001-0.002	n/a
CALCIUM OXIDE	9.310	4.0-15.0	5.0-17.0

องค์ประกอบ (% โดยน้ำหนัก)	ผลตรวจวิเคราะห์ จากโรงงานผลิต เหล็กกล้าของไทย	ค่าอ้างอิงจากการผลิตเหล็กต่างประเทศ	
		เหล็กกล้า carbon/low alloyed steel	เหล็กกล้า highalloyed /Stainless steel
ALUMINIUM OXIDE	0.925	0.3-0.7	1.0-4.0
MAGNESIUM OXIDE	2.415	1.0-5.0	2.0-5.0
SILICA OXIDE	0.870	1.5-5.0	7.0-10.0
SULPHUR	2.880	0.5-1.0	0.1-0.3
MANGANESE OXIDE	1.765	2.5-5.5	3.0-6.0
ARSENIC	ND	0.003-0.08	n/a
MERCURY	0.001	0.0001-0.001	n/a
PHOSPHORUS PENTAOXIDE	ND	0.2-0.6	0.01-0.1
FLUORINE	0.075	0.02-0.9	0.01-0.05
HYDROGEN FLUORIDE	0.075	n/a	n/a
CHLORIDE	3.470	1.5-4.0	n/a
HYDROGEN CHLORIDE	3.570	n/a	n/a
CARBON	2.930	0.5-2.0	0.5-1.0

ND : NON-DETECTABLE(COBALT<0.01%, ARSENIC<0.001%, PHOSPHORUS PENTAOXIDE<0.01%)

n/a : Not available

ที่มา: EUROFER EAF, 1997; Hoffmann, 1997; Strohmeier, 1996 และผลตรวจวิเคราะห์ฝุ่นจากโรงงานผลิตเหล็กชั้น
กลางของไทย 1 แห่ง

ตารางที่ 5.10 องค์ประกอบทางเคมีของกากซีเหล็กจากการผลิตเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า

องค์ประกอบ (% โดยน้ำหนัก)	ผลตรวจวิเคราะห์ จากโรงงานผลิตเหล็กกล้าของไทย		ค่าอ้างอิงจาก การผลิตเหล็กต่างประเทศ	
	กากซีเหล็ก จากเตา EAF	กากซีเหล็ก จากเตา LHF	กากซีเหล็ก จากเตา EAF	กากซีเหล็ก จากเตา LHF
IRON	15.800	1.190	10.0-32.0	≤2.0-5.0
CALCIUM OXIDE	17.800	58.200	25.0-45.0	30.0-50.0
CHROMIUM OXIDE	0.250	0.040	1.0-2.0	≤0.5
ZINC OXIDE	0.200	0.040	0.02	n/a
COPPER OXIDE	0.014	0.003	0.03	n/a
NICKEL OXIDE	0.006	0.004	0.01-0.4	n/a

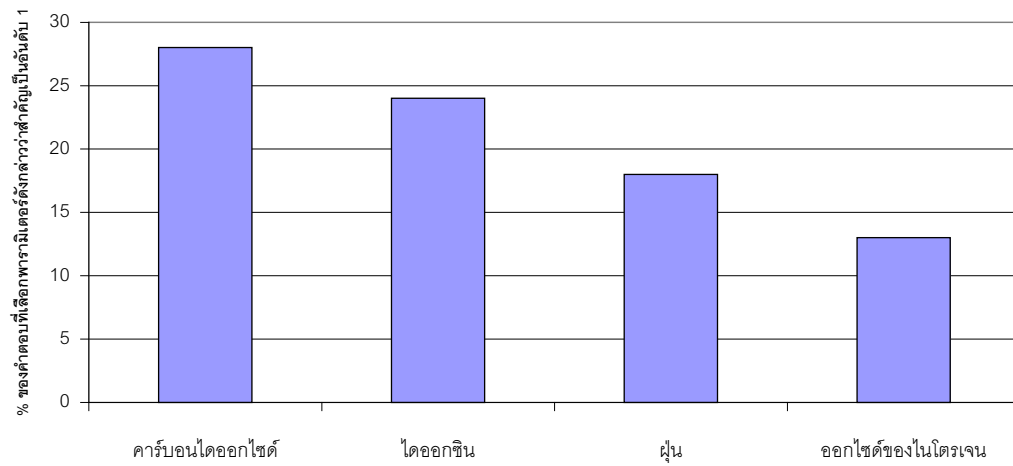
องค์ประกอบ (% โดยน้ำหนัก)	ผลตรวจวิเคราะห์ จากโรงงานผลิตเหล็กกล้าของไทย		ค่าอ้างอิงจาก การผลิตเหล็กต่างประเทศ	
	กากซีเหล็ก จากเตา EAF	กากซีเหล็ก จากเตา LHF	กากซีเหล็ก จากเตา EAF	กากซีเหล็ก จากเตา LHF
SODIUM PENTAOXIDE	0.005	0.080	n/a	n/a
POTASSIUM OXIDE	0.190	0.030	0.11	n/a
SILICA OXIDE	2.510	0.260	10.0-18.0	10.0-20.0
MAGNESIUM OXIDE	5.040	10.550	4.0-13.0	7.0-18.0
MANGANESE OXIDE	3.580	1.620	4.0-12.0	≤1.0-5.0
ALUMINIUM OXIDE	4.360	2.020	3.0-8.0	3.0-12.0
TITANIUM OXIDE	5.780	3.180	0.3	n/a
VANADIUM PENTAOXIDE	0.030	0.020	0.11-0.25	n/a
SULPHUR	0.060	0.170	0.02	n/a
CARBON			0.33	n/a
PHOSPHORUS PENTAOXIDE	ND	ND	0.01-0.6	n/a

ND : NON-DETECTABLE(PHOSPHORUS PENTAOXIDE<0.01%)

ที่มา: EUROFER EAF, 1997; Hoffmann, 1997; Strohmeier, 1996 และผลตรวจวิเคราะห์ฝุ่นจากโรงงานผลิตเหล็กชั้นกลางของไทย 1 แห่ง

อย่างไรก็ตามจากผลการสำรวจเพื่อจัดลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า ณ ปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้า โดย J.P.Birat (2000) โดยให้ผู้ประกอบการเลือกพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะมีความสำคัญเพียงตัวเดียว เช่น ฝุ่น CO, CO₂, NO_x, SO_x, VOC, ไดออกซิน (Dioxin) โลหะหนักต่าง ๆ สารอินทรีย์อื่น ๆ และเสียง พบว่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญอันดับแรก ได้แก่ CO₂ รองลงมาได้แก่ ไดออกซิน และฝุ่น (ดังรูปที่ 5.6)

รูปที่ 5.6 ผลการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับกระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาอาร์คไฟฟ้า



ที่มา: J.P.Birat (2000)

บทที่ 6

การศึกษา LCA ในอุตสาหกรรมเหล็ก

ภาคอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าในหลายประเทศได้มีความสนใจในการนำ LCA ไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ ของตนเองให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น โดยปี 1996 International Iron and steel Institute (IISI) ได้เริ่มดำเนินโครงการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) ของอุตสาหกรรมผลิตเหล็กทั่วโลก หรือที่รู้จักในโครงการ “IISI Worldwide Life Cycle Inventory (LCI) Study for Steel Product” และได้มีการปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยอย่างต่อเนื่อง จนปัจจุบันพบว่าได้มีการจัดทำ LCI ของผลิตภัณฑ์เหล็กไปแล้วจำนวน 14 ผลิตภัณฑ์ ครอบคลุมผลิตภัณฑ์สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ ก่อสร้าง และบรรจุภัณฑ์ โดยมีข้อมูลมากกว่า 50 โรงงาน แบ่งออกเป็นการผลิตเหล็กแบบครบวงจร 34 แห่ง การผลิตเหล็กแบบเตาอาร์คไฟฟ้า 13 แห่ง และการผลิตเหล็กแบบการหล่อออกซิเจนโดยตรง 3 แห่ง หรือแบ่งตามที่ตั้งของโรงงานได้เป็นโรงงานแถบยุโรป 28 แห่ง ตะวันออกไกล 12 แห่ง และอื่น ๆ ได้แก่ อเมริกาเหนือ ยุโรปตะวันออก และแอฟริกาจำนวน 10 แห่ง หรือทั้งหมดรวมกันคิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณการผลิตเหล็กทั่วโลก (ไม่รวมกลุ่มสหภาพโซเวียตเดิมและจีน)

6.1 ตัวอย่างการศึกษา LCA และการจัดทำ LCI ในภาคอุตสาหกรรมเหล็กของประเทศต่าง ๆ

ในประเทศออสเตรเลีย บริษัท BHP ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตเหล็กใหญ่ที่สุดของประเทศ มีกำลังการผลิตเหล็กกล้าวัตถุดิบ (crude steel) 9.2 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 91 ของกำลังการผลิตเหล็กกล้าวัตถุดิบทั้งประเทศ ได้เริ่มดำเนินการทำ LCA ในปี พ.ศ. 2536 โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาตนเองให้เป็นผู้นำในระดับนานาชาติ บริษัทฯ ได้ทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล็ก เริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ เช่น การทำเหมืองถ่านหินและแร่เหล็ก ไปจนถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่หมดสภาพซึ่งในที่นี้คือการนำไปรีไซเคิล ซึ่งผลของการศึกษาทำให้ทางบริษัทฯ ทราบได้ถึงปริมาณของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต พลังงานที่ใช้ระหว่างการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำที่ใช้ระหว่างการผลิต และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมารีไซเคิลได้ ซึ่งผลการศึกษาเหล่านี้สามารถนำไปใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ ได้อย่างดี

การทำ LCA ของภาคอุตสาหกรรมผลิตเหล็กและเหล็กกล้าในประเทศอินเดียได้เริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยเป็นการร่วมมือศึกษาระหว่างโรงงานผลิตเหล็กแบบ integrated steel plant จำนวน 3 แห่งกับกระทรวงสิ่งแวดล้อมและป่าไม้ เพื่อนำผลไปใช้ในการทำเบนช์มาร์กึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับนานาประเทศ ทั้งในเรื่องของการใช้วัตถุดิบและพลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าที่ผลิตได้ และเรื่องของปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการคำนวณที่ได้มาตรฐานสากล ซึ่งผลของการศึกษาได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยอาศัยแนวคิดการผลิตที่สะอาด (cleaner production) เช่น การลดของเสียที่แหล่งกำเนิด การปรับปรุงระบบจัดการ การปรับปรุงวิธีปฏิบัติงาน และอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

6.2 ฐานข้อมูล LCI ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมผลิตเหล็กในต่างประเทศ

ในต่างประเทศได้มีการศึกษา รวบรวม และจัดทำฐานข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเหล็ก เหล็กกล้าและผลิตภัณฑ์เหล็กชนิดต่าง ๆ ไว้หลายแห่งด้วยกัน ดังตัวอย่างเช่น

- ฐานข้อมูลจากการศึกษาของ Tellus Institute ร่วมกับ CSG ในเรื่อง “การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตและการกำจัดภาชนะบรรจุและนโยบายสาธารณะ” ประเทศสหรัฐอเมริกา ปี 1992
- ฐานข้อมูลของ Boustead และ Hancock จาก “คู่มือการวิเคราะห์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม” มหาวิทยาลัย Open University สำนักพิมพ์ Milton Keynes, Ellis Horwood ปี 1979.

นอกจากนี้ยังมีฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเหล็กและสามารถพบได้ในซอฟต์แวร์สำหรับประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีขายอยู่ทั่วไป ดังเช่น ตารางที่ 6.1 และ 6.2

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเหล็กและรายละเอียด

ฐานข้อมูล	รายละเอียด
1. Tellus	ชุดข้อมูลบอกรายละเอียดของกระบวนการย่อย (unit process) ที่มีอยู่ในขอบเขตของการผลิตเหล็กด้วยวิธี BOS รายละเอียดข้อมูลประกอบด้วยรายการวัตถุดิบและพลังงานขาเข้า และรายการสารขาออก (output emission) เทียบต่อดัชนีผลิตภัณฑ์ และมีการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการควบคุมกับกรณีไม่มีการควบคุม emissions. โดยชุดข้อมูล ประกอบด้วย บัญชีรายการ (LCI) ของกระบวนการรีไซเคิล และกระบวนการ de-tinning ของเศษเหล็ก แต่จะไม่มีข้อมูลของกระบวนการผลิตเหล็กขั้นปลาย (Finishing)
2. PIRa Int	ฐานข้อมูล PIRA Environmental Management Systems (PEMS) จัดทำโดยบริษัท PIRA International ในชุดซอฟต์แวร์ของ PEMS ชุดข้อมูลแบ่งการผลิตเหล็กออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ steel ingots และ tinplate ข้อมูลประกอบด้วย inventory ของแต่ละกระบวนการในระบบอย่างสมบูรณ์ ตั้งแต่ปริมาณการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และการปล่อยของเสีย ซึ่ง inventory ที่ถูกจัดทำขึ้นมานี้จะยึดตามหลักการของ LCA ดังนั้นข้อมูลจะไม่มีการแยกอ้างอิงโดยลำพัง แต่จะเป็นข้อมูลเฉลี่ยของยุโรปในสถานะที่คาดว่าจะน่าเชื่อถือได้
3. Buwal 250	ฐานข้อมูล BUWAL 250 จัดทำขึ้นโดย EMPA St. Gallen ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ปี 1990 จัดจำหน่ายโดย Pre'Consultants ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro 5.1 ชุดข้อมูลบอก inventory data สำหรับกระบวนการย่อยอย่างละเอียดมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูล output emissions แต่จะมีบางกระบวนการขาดหายไป เช่น การทำเหมืองแร่และการถลุงแร่เหล็ก เป็นต้น ชุดข้อมูลที่ศึกษาเน้นเรื่องการผลิต tinplate โดยใช้เศษเหล็กจากกระบวนการรีไซเคิล โดยแยกเป็นแบบมีและไม่มีกระบวนการ de-tinning.
4. IVAM	ฐานข้อมูล IVAM Environmental Research ของมหาวิทยาลัย Amsterdam จัดจำหน่ายโดย Pre'Consultants ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro 4.0S ชุดข้อมูลบอกถึงการผลิตเหล็กอย่างละเอียดมาก ครอบคลุมทุกขั้นตอนของการผลิตเหล็กแบบ BOS และประกอบด้วยรายละเอียดของข้อมูลกระบวนการ finishing จำนวนมากแยกตามแต่ละชนิดผลิตภัณฑ์ แต่ยังไม่มีการผลิตเหล็กจากเศษเหล็ก
5. IDEMAT2001	ฐานข้อมูล IDEMAT 2001 จัดทำขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์จากมหาวิทยาลัย Delft University of Technology ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่พัฒนามาจาก IDEMAT 96 จัดจำหน่ายโดย Pre'Consultants ในซอฟต์แวร์ของ SimaPro 5.1 ชุดข้อมูลบอกเพียงเฉพาะการผลิตเหล็กขั้นกลาง ทั้งแบบที่ผลิตจากสินแร่เหล็กและแบบที่ผลิตจากเศษเหล็ก โดยจะเป็นข้อมูลภาพรวมตลอดทั้งการผลิต ไม่มีรายละเอียดของกระบวนการย่อย แต่ขอบเขตการจัดทำ LCI จะรวมถึง การทำเหมืองแร่ด้วย
6. Data Archieve	ฐานข้อมูล Data Archieve มีอยู่ใน SimaPro 5.1 โดยเป็นฐานข้อมูลเก่า (ปี 1990) ที่รวบรวมมาจากซอฟต์แวร์ SimaPro 4.0 เดิม โดยรวบรวมมาจากทั้งฐานข้อมูลของ

ฐานข้อมูล	รายละเอียด
	BUWAL132 ฐานข้อมูลของ Chalmers, Van den Bergh en Jurgens และอื่น ๆ โดยชุดข้อมูลนี้เป็นชุดข้อมูลเก่าที่รวบรวมมาจากฐานข้อมูลเก่าต่าง ๆ เช่น PWMI, BUWAL132, Chalmers, Van den Bergh en Jurgens และอื่น ๆ ซึ่งอาจจัดว่าค่อนข้างล้าสมัย แต่ก็สามารถใช้เป็นข้อมูลทดแทนได้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลอ้างอิงอื่น ๆ เลย โดยชุดข้อมูลประกอบด้วย inventory ของกระบวนการผลิตเหล็กครอบคลุมเกือบทุกกระบวนการยกเว้นกระบวนการ finishing ที่มีจำกัดอยู่ และบางข้อมูลได้มีการคำนึงถึงขั้นตอนของการรีไซเคิลภายในระบบของกระบวนการผลิตเหล็กด้วย
7. ETH-ESU96 (ทั้งแบบ System Process และแบบ Unit Process)	ฐานข้อมูล ETH-ESU96 เป็นฐานข้อมูลบัญชีรายการด้านพลังงานสำหรับ Swiss และ Western European situation มีอยู่ใน SimaPro 5.1 ชุดข้อมูลนี้มุ่งเน้นในเรื่องของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งในการนำไปใช้งานกรณีที่ความต้องการรายละเอียดใน unit process ย่อยขอแนะนำให้ใช้ข้อมูลใน ETH-ESU 96 แบบ system process เนื่องจากจะเพิ่มความเร็วในการคำนวณ และไม่เกิดความซับซ้อนในโครงสร้างของ Loop เมื่อทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 6.2 รายการฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเหล็ก

	กระบวนการผลิตย่อย (Unit Process)	ฐานข้อมูล						
		Tellus	PIRA Int.	Buwal 250	IVAM	IDEMA T 2001	Data Archieve	ETH- ESU96 (S/U)
1	IRON ORE MINING AND PROCESSING	x	x	N/A	x	N/A	x	x
2	IRON ORE PELLETISING	N/A	x	N/A	x	N/A	x	x
3	IRON ORE SINTERING	X	x	N/A	x	N/A	x	x
4	IRON PRODUCTION (CRUDE IRON)	N/A	N/A	N/A	N/A	x	x	x
5	SCRAP (IRON)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x
6	SCRAP (STAINLESS STEEL)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x
7	COAL MINING AND PREPARATION	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A
8	COKE PRODUCTION	X	x	N/A	x	N/A	x	N/A
9	LIMESTONE MINING AND PROCESSING	X	x	x	x	N/A	x	N/A
10	LIME PRODUCTION	X	N/A	x	N/A	x	x	x
11	DOLOMITE MINING AND PROCESSING	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12	FEROMANGANESE MINING AND PROCESSING	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
13	FLUORSPAR MINING AND PROCESSING	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
14	FELDSPAR MINING AND PROCESSING	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A
15	OXYGEN PRODUCTION	N/A	N/A	x	N/A	N/A	x	x
16	ARGON PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x
17	METHANE PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A
18	SULPHURIC ACID (H2SO4) PRODUCTION	N/A	x	x	N/A	N/A	N/A	x
19	HYDROCHLORIC ACID (HCL) PRODUCTION	N/A	x	x	N/A	x	N/A	x
20	PIG IRON PRODUCTION (BLAST FURNACE)	X	x	N/A	x	x	x	N/A

	กระบวนการผลิตย่อย (Unit Process)	ฐานข้อมูล						
		Tellus	PIRA Int.	Buwal 250	IVAM	IDEMA T 2001	Data Archieve	ETH- ESU96 (S/U)
21	STEEL PRODUCTION (BOS) (VIRGIN STEEL)	X	x	N/A	N/A	x	x	N/A
22	STEEL PRODUCTION FROM 23% SCRAP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A
23	STEEL PRODUCTION FROM 100% SCRAP	N/A	N/A	N/A	N/A	x	x	N/A
24	STEEL PRODUCTION FROM 20% RECYCLED STEEL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A
25	STEEL RECYCLING (40% SCRAP) IN BOS	X	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
26	HIGH ALLOY STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x
27	LOW ALLOY STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x
28	STEEL FOR MACHINERY PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A
29	CAST STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A	x
30	CAST IRON PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A
31	CONSTRUCTION STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A
32	STEEL DRAW (VERY LOW CARBON) PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A
33	HIGH GRADE STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A
34	HIGH TEMPERATURE STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A
35	LOW TEMPERATURE STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A
36	STEEL APPLIED FOR SPRING PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A
37	CONVERTER STEEL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x
38	STEEL SHEET PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	x	x	N/A
39	STAINLESS STEEL PRODUCTION	X	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A
40	OXYSTEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A
41	COLDROLLED STEEL PRODUCTION	N/A	x	N/A	x	N/A	N/A	N/A
42	HOTROLLED STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A
43	GALVANIZED STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A
44	PRECOATED STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A
45	POWDER COATED STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A
46	ZINC COATED STEEL PRODUCTION	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A
47	HOT STRIP MILL	N/A	x	N/A	x	N/A	N/A	N/A
48	SKIN PASS MILL	N/A	x	N/A	x	N/A	N/A	N/A
49	TIN ORE MINING AND PROCESSING	N/A	x	N/A	x	N/A	N/A	N/A
50	TINPLATED STEEL PRODUCTION	N/A	x	x	N/A	N/A	x	N/A
51	TIN PLATED STEEL FROM 20% SCRAP (WITHOUT DE-TINNING)	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
52	TIN PLATED STEEL FROM 20% SCRAP (WITH DE-TINNING)	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
53	TIN PLATED STEEL FROM 50% SCRAP (WITHOUT DE-TINNING)	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
54	TIN PLATED STEEL FROM 50% SCRAP (WITH DE-TINNING)	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
55	TIN PLATED STEEL FROM 80% SCRAP (WITHOUT DE-TINNING)	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
56	TIN PLATED STEEL FROM 80% SCRAP (WITH DE-TINNING)	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
57	TIN PLATED STEEL FROM 100% SCRAP (WITHOUT DE-TINNING)	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
58	TIN PLATED STEEL FROM 100% SCRAP (WITH DE-TINNING)	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
59	TIN PLATED STEEL 20% USE OF RECYCLED TIN PLATE SCRAP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A

	กระบวนการผลิตย่อย (Unit Process)	ฐานข้อมูล						
		Tellus	PIRA Int.	Buwal 250	IVAM	IDEMA T 2001	Data Archieve	ETH- ESU96 (S/U)
60	TIN PLATED STEEL 23% USE OF RECYCLED TIN PLATE SCRAP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A
61	TIN PLATED STEEL 50% USE OF RECYCLED TIN PLATE SCRAP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A
62	TIN PLATED STEEL 100% USE OF RECYCLED TIN PLATE SCRAP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	x	N/A
63	ECCS (ELECTROLITIC CHROME COATED) STEEL SHEET	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	x
64	ECCS STEEL USE OF 20% SCRAP	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
65	ECCS STEEL USE OF 50% SCRAP	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
66	ECCS STEEL USE OF 80% SCRAP	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
67	ECCS STEEL USE OF 100% SCRAP	N/A	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A
68	STEEL PICKLING (H2SO4)	N/A	x	N/A	x	N/A	N/A	N/A
69	STEEL PICKLING (HCL)	N/A	x	N/A	x	N/A	N/A	N/A
70	INGOT CASTING	N/A	x	N/A	x	N/A	N/A	N/A
71	CONTINUOUS CASTING	N/A	x	N/A	x	N/A	N/A	N/A
72	REFRACTORY RECYCLING	N/A	x	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	รวมจำนวนกระบวนการผลิตย่อย	9	21	20	20	17	22	16

สำหรับโปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ SimaPro[®] เวอร์ชัน 5.1 ที่ใช้ในการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตเหล็กครั้งนี้ มีฐานข้อมูลมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเหล็กและบรรจุอยู่ในโปรแกรม ได้แก่ ฐานข้อมูล BUWAL 250, IDEMAT2001, Data Archive และ ETH-ESU96 (ทั้งแบบ System และ Unit Process)

6.3 ฐานข้อมูลการผลิตเหล็กของประเทศไทย

สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยได้มีการจัดทำบัญชีรายการต้นทุนเบื้องต้นของการผลิตเหล็กประเภทต่าง ๆ ในประเทศไทย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตเหล็กที่ทำการศึกษานี้ มีความแตกต่างกันเพียงรายละเอียดในด้านสาขาออกที่เกิดขึ้นจากการผลิตและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ที่บัญชีรายการต้นทุนการผลิตเหล็กดังกล่าวจะไม่ได้วิเคราะห์ถึง (ตารางที่ 6.3 และ 6.4)

ตารางที่ 6.3 การผลิตเหล็กประเภท Hot Rolled Bar

รายการสารขาเข้า	หน่วย	เหล็กแท่งยาว (Billet)	Hot Rolled Bar
		% Scrap to Billet Yield 87.054%	Overall Yield 84.007%
Direct Material Input			
Scrap	Ton/TP	1.15	1.19
Credit Return Scrap	Ton/TP	- 0.05	- 0.07
Total Material	Ton/TP	1.10	1.12
Consumable Material			
Silico-Manganese	Kg./TP	11.59	12.01
Al-kill	Kg./TP	0.41	0.42
Recarburizer	Kg./TP	0.59	0.62
Burnt Lime	Kg./TP	30.77	31.89
Bunt Dolomite	Kg./TP	15.38	15.94
Fluorspar	Kg./TP	3.08	3.19
Injection Carbon/Coke	Kg./TP	15.38	15.94
Oxygen	Nm ³ /TP	36.70	38.53
Argon	Nm ³ /TP	0.10	0.10
Nitrogen	Nm ³ /TP	4.10	4.25
Electrodes & Nipples	Kg./TP	2.56	2.66
Casting Oil	USD/TP	0.10	0.10
Refractory-Reheating Furnace	USD/TP	8.37	8.68
Utilities and Energy			
Electricity – Direct	KW-Hr/TP	546.82	695.98
Allocated – Electricity	KW-Hr/TP	84.05	107.46
Natural Gas	Gcal/TP	0.11	0.13
Bunker Oil	Gcal/TP	-	0.47
Process Water	m ³ /TP	0.41	2.43

หมายเหตุ :

- กระบวนการผลิต Hot Rolled Bar นี้เป็นการนำเหล็กแท่งยาว (Billet) ที่เย็นแล้วมาผ่านกระบวนการทำให้ร้อนใหม่โดยเข้าเตา Heat Furnace ทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้อาจมีค่าสูงกว่าปกติ
 - TP หมายถึง ตันผลิตภัณฑ์ (ton product)
- ที่มา: สถาบันเหล็กและเหล็กกล้า (2546)

ตารางที่ 6.4 การผลิตเหล็กประเภท Hot Rolled Coil (Strip)

รายการสารขาเข้า	หน่วย	เหล็กแท่งแบน (Slab)	Hot Rolled Coil
		% Scrap to Slab Yield 87.628%	Overall Yield 84.561%
Direct Material Input			
Scrap	Ton/TP	0.91	0.95
Pig Iron	Ton/TP	0.23	0.24
Credit Return Scrap	Ton/TP	- 0.05	- 0.07
Total Material	Ton/TP	1.09	1.12
Consumable Material			
Ferro Manganese HC	Kg./TP	2.59	2.69
Ferro Manganese MC	Kg./TP	1.12	1.16
Al-kill	Kg./TP	2.92	3.02

รายการสารขาเข้า	หน่วย	เหล็กแท่งแบน (Slab)	Hot Rolled Coil
		% Scrap to Slab Yield 87.628%	Overall Yield 84.561%
Recarburizer	Kg./TP	0.60	0.62
Ca Si	Kg./TP	0.37	0.38
Ca Fe	Kg./TP	0.13	0.14
Burnt Lime	Kg./TP	41.19	42.68
Bunt Dolomite	Kg./TP	21.62	22.41
Injection Carbon/Coke	Kg./TP	16.48	17.07
Oxygen	Nm ³ /TP	39.93	42.38
Argon	Nm ³ /TP	1.13	1.17
Nitrogen	Nm ³ /TP	4.12	4.27
Electrodes & Nipples	Kg./TP	2.57	2.67
Casting Oil	USD/TP	0.10	0.10
Refractory-Reheating Furnace	USD/TP	7.34	7.76
Utilities and Energy			
Electricity – Direct	KW-Hr/TP	497.38	620.60
Allocated – Electricity	KW-Hr/TP	115.27	139.81
Natural Gas	Gcal/TP	0.06	0.37
Bunker Oil	Gcal/TP	0.10	0.11
Process Water	m ³ /TP	0.56	2.59

หมายเหตุ :

1) กระบวนการผลิต Hot Rolled Coil เป็นกระบวนการต่อเนื่องโดยนำ Slab ที่ยังร้อนอยู่มาเข้า Tunnel Furnace ต่อเนื่องเลย

3) TP หมายถึง ตันผลิตภัณฑ์ (ton product)

ที่มา: สถาบันเหล็กและเหล็กกล้า (2546)

บทที่ 7

ผลการศึกษาการทำ LCI ของผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลาง

การจัดทำ Life Cycle Inventory (LCI) ของผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางนี้ มีรูปแบบของการศึกษาโดยเลือกโรงงานตัวอย่าง 1 โรงงานเพื่อตรวจวัดและเก็บข้อมูลปฐมภูมิของการผลิตเหล็กชั้นกลางของโรงงานดังกล่าว จากนั้นจึงดำเนินการจัดทำและวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับบัญชีรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโรงงานตัวอย่างที่ได้รับกับข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางจากแหล่งข้อมูลอ้างอิงอื่น ๆ ภายนอกต่อไป

7.1 การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา

7.1.1 เป้าหมายของการศึกษา

เพื่อจัดทำบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษของผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าของไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากประเทศไทยยังขาดฐานข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์และวัสดุพื้นฐานต่าง ๆ เช่น เหล็กกล้า กระดาษ ปูนซีเมนต์ ทำให้การพัฒนาองค์ความรู้และการต่อยอดการศึกษาเรื่องของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) เป็นไปอย่างยากลำบาก และต้องพึ่งพาฐานข้อมูลของต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ซึ่งฐานข้อมูลดังกล่าวอาจไม่เป็นตัวแทนของข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

7.1.2 กลุ่มผู้นำไปใช้ประโยชน์ต่อ (Target audience)

- 1) โรงงานที่เข้าร่วมโครงการฯ สามารถนำฐานข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของตนเองให้มีประสิทธิภาพและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากโรงงาน
- 2) ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมปลายน้ำและนักวิชาการสามารถนำผลการศึกษาไปต่อยอดในเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 3) ภาครัฐได้ทราบถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กกล้า ซึ่งประเทศไทยในฐานะประเทศกำลังพัฒนาที่ได้ลงนามเข้าร่วมเป็นภาคีและให้สัตยาบันในกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UN

Framework Convention on Climate Change) ในปี พ.ศ. 2538 จะต้องจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในประเทศทั้งหมดเสนอต่อสหประชาชาติ

7.1.3 การประยุกต์ใช้

ระเบียบวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาเพื่อจัดทำ LCI ของวัสดุอื่น ๆ เช่น สังกะสี อลูมิเนียม ตะกั่ว ทองแดง อันจะนำไปสู่การพัฒนาฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย และช่วยส่งเสริมให้เกิดภาคอุตสาหกรรมได้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตในการพัฒนากระบวนการผลิต และกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่อไปในอนาคต อันจะนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

7.2 ขอบเขตการศึกษา

7.2.1 คำจำกัดความของระบบ

ผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางที่ศึกษา ได้แก่ เหล็กแท่งยาว (Billet) ที่ผลิตจากกระบวนการหลอมด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า โดยมีวัตถุดิบเป็นเศษเหล็ก (scrap) ภายในประเทศร้อยละ 100

7.2.2 หน่วยการทำงาน

หน่วยการทำงานของการศึกษานี้ คือ ผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลาง ประเภทเหล็กแท่งยาว (ขนาดกว้าง 3 นิ้ว หนา 3 นิ้ว ยาว 80 เซนติเมตร) ปริมาณ 1 กิโลกรัม

7.2.3 ขอบเขตของระบบ

ขอบเขตของระบบที่ทำการศึกษา (รูปที่ 7.1) เป็นกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลาง อันได้แก่ เหล็กแท่งยาว ด้วยกระบวนการเตาอาร์คไฟฟ้าของโรงงานตัวอย่าง 1 โรงงาน โดยเป็นการศึกษาในรูปแบบ “gate-to-gate” เริ่มตั้งแต่ขั้นตอน การขนส่งเศษเหล็กมายังโรงงาน การนำเศษเหล็กวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า ต่อมาจึงนำน้ำเหล็กที่ได้ส่งเข้าสู่เตา Ladle Heat Furnace เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก แล้วจึงนำน้ำเหล็กที่มีคุณภาพตาม

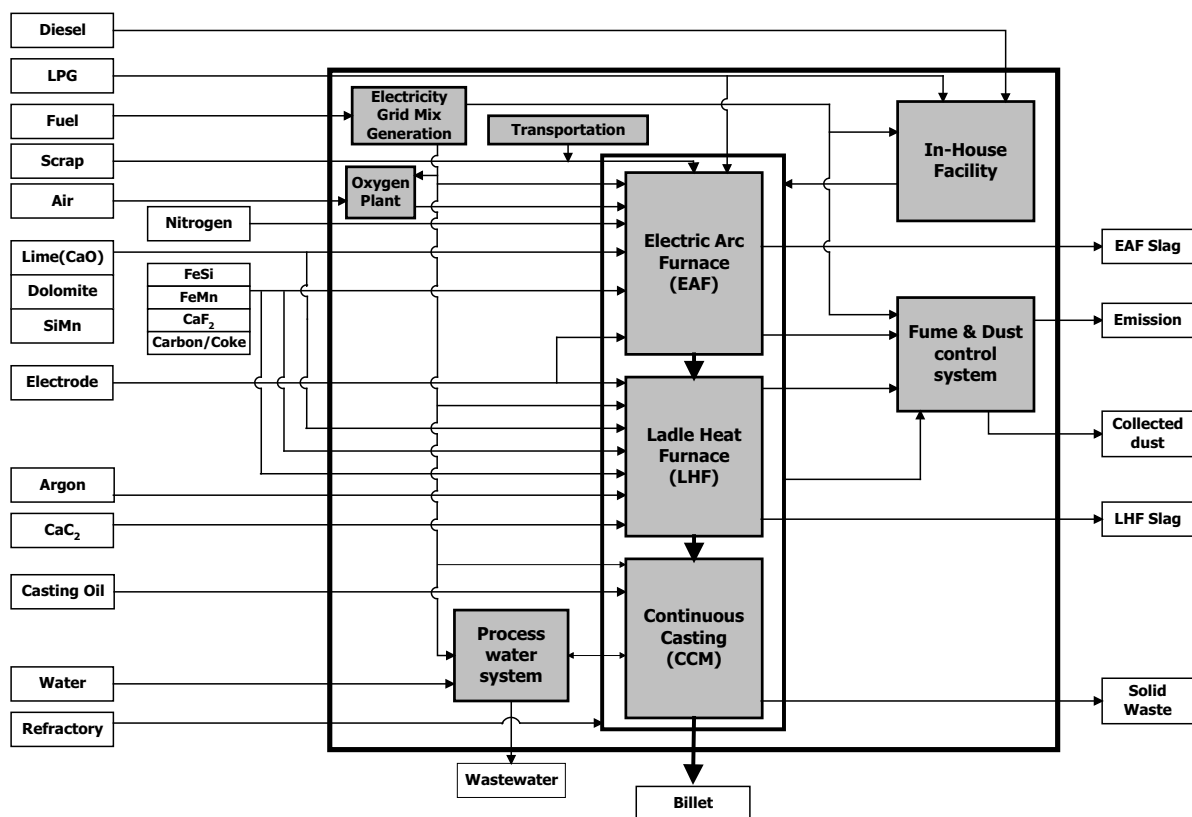
ต้องการส่งเข้าสู่กระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง รวมถึงศึกษาในระบบย่อยอื่น ๆ (sub system) ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเหล็กของโรงงาน ได้แก่

- กระบวนการหลอมเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า
- กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก
- กระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง
- ระบบน้ำเพื่อสนับสนุนการผลิต
- ระบบดักฝุ่นและไอระเหย
- หน่วยสนับสนุนการผลิต (เช่น ระบบเครนและสายพาน รถฟอร์คลิฟต์ และรถบรรทุก)

นอกเหนือจากการศึกษาในระบบย่อยภายในโรงงานข้างต้น ยังมีการศึกษาต่อเนื่องไปถึงระบบย่อยอื่นที่อยู่นอกเหนือขอบเขตของโรงงาน แต่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต โดยจะอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากโรงงานตัวอย่างเป็นหลัก ประกอบกับการตั้งสมมติฐานที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และฐานข้อมูล LCI ของต่างประเทศประกอบ ระบบย่อยที่ทำการพิจารณาเพิ่มเติมได้แก่

- การขนส่งเศษเหล็กมายังโรงงาน
- การผลิตออกซิเจน
- การผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบสายส่ง
- การผลิตวัตถุดิบและสารเคมีอื่น ๆ

รูปที่ 7.1 ขอบเขตระบบที่ทำการศึกษา



หมายเหตุ

	หมายถึง ขอบเขตของระบบ
	หมายถึง ระบบย่อย (Sub-System)/กระบวนการผลิตย่อย (Unit Process)
	หมายถึง ขอบเขตรวมของ 3 กระบวนการหลักในการผลิตเหล็ก

7.2.4 แหล่งที่มาของข้อมูล และสมมติฐาน

การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางนี้ อาศัยแหล่งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนี้

1) ข้อมูลการผลิตเหล็กกล้าประเภทเหล็กแท่งยาว เป็นข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมมาจากโรงงานขนาดกลาง 1 โรงงาน ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคม 2546 (รวมเวลา 3 เดือน)

2) ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตและไฟฟ้าที่ใช้ผลิตวัตถุดิบอื่น ๆ ใช้ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) ของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าแบบ Grid Mix ของไทย ที่ได้มีการศึกษาไว้ในโครงการ “LCA for Asian Countries” โดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ร่วมกับ JEMAI ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าแบบ Grid Mix ของไทยจะมุ่งเฉพาะ Airborne Emission ที่คำนวณได้จากข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และโรงผลิตไฟฟ้าเอกชนจำนวน 2 แห่งในปี 2544 เนื่องจากที่โรงงานตัวอย่างมีสถานีไฟฟ้าย่อย (Sub-Station) ตั้งอยู่ภายในโรงงาน โดยรับไฟฟ้ามาจากระบบสายส่ง

3) บัญชีข้อมูลด้านการขนส่งเศษเหล็กและวัตถุดิบเข้ามายังโรงงาน

3.1 การเศษเหล็ก

อาศัยข้อมูลจากผู้รับซื้อและจำหน่ายเศษเหล็กรายใหญ่ 4 รายที่นำเศษเหล็กมาส่งที่โรงงาน โดยคำนวณระยะทางเฉลี่ย ขนาดรถบรรทุก น้ำหนักบรรทุก และปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้

3.2 การขนส่งวัตถุดิบ

เป็นกระบวนการย่อยที่ตัดออกจากการศึกษา เนื่องจากวัตถุดิบและสารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิต เช่น อัลลอยด์และฟลักซ์ บางส่วนนำมาจากแหล่งภายในประเทศ แต่ส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศจีนเนื่องจากเป็นประเทศที่มีแหล่งแร่ธาตุและทรัพยากรอยู่มากทำให้ราคาวัตถุดิบเหล่านี้ค่อนข้างถูก ดังนั้นจึงไม่มีรายละเอียดในการขนส่ง

สมมติฐาน: แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

กรณีศึกษาที่ 1 ไม่คำนึงถึงเรื่องของการขนส่งเศษเหล็กและวัตถุดิบอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิต เนื่องจากขาดข้อมูลที่ชัดเจน เพราะเศษเหล็กที่ใช้เป็นวัตถุดิบนั้นมาจากแหล่งต่าง ๆ ทั่วประเทศ มีตั้งแต่เศษเหล็กขนาดเล็กทั่วไป เช่น ชิ้นส่วนเครื่องใช้และเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ที่หมดอายุการใช้งานซึ่งพบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน และชิ้นส่วนเศษเหล็กที่เหลือจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม

อื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ไปจนถึงเศษเหล็กขนาดใหญ่ เช่น ชากเครื่องจักรขนาดใหญ่ กระบวนการที่ทำให้ได้มาของเศษเหล็กก็มีความซับซ้อนหลายทอดเริ่มตั้งแต่คนเก็บขยะรายเล็ก จนส่งมาถึงผู้รับซื้อขยะรายใหญ่แล้วจึงส่งไปถึงโรงงานผลิตเหล็ก

กรณีศึกษาที่ 2 คิดเฉพาะการขนส่งเศษเหล็กจากผู้ขายรายใหญ่เข้ามาส่งที่โรงงาน โดยไม่คำนึงช่วงการขนส่งเศษเหล็กระหว่างผู้ขายรายย่อยต่าง ๆ ที่มาส่งให้แก่ผู้ขายรายใหญ่ และมีรูปแบบจำลองของการขนส่ง ดังนี้

ตารางที่ 7.1 ข้อมูลการขนส่งของโรงงานและแบบจำลองที่ใช้งาน

รายละเอียด	ผู้ขาย 1	ผู้ขาย 2	ผู้ขาย 3	ผู้ขาย 4	
สัดส่วนการจัดหาเศษเหล็ก วัตถุดิบเข้าโรงงาน (ร้อยละ)	33.16	26.88	5.31	34.65	
สถานที่ตั้งของผู้ขาย	ลำโพงใต้ สมุทรปราการ	ลำโพงใต้ สมุทรปราการ	พระประแดง สมุทรปราการ	นครราชสีมา	วังน้อย อยุธยา
ระยะทางจากผู้ขาย-โรงงาน (กิโลเมตร)	92	92	102	340	182
รูปแบบการขนส่ง	รถ 10 ล้อ รถพ่วง 18 ล้อ	รถ 10 ล้อ	รถ 10 ล้อ	รถ 10 ล้อ รถพ่วง 18 ล้อ	รถ 10 ล้อ รถพ่วง 18 ล้อ
น้ำหนักเฉลี่ยต่อการขนส่ง (ตัน/รอบ)	10 ตัน 25 ตัน	10 ตัน	10 ตัน	10 ตัน 25 ตัน	10 ตัน 25 ตัน
เชื้อเพลิงที่ใช้	ดีเซล	ดีเซล	ดีเซล	ดีเซล	ดีเซล
แบบจำลองระบบการขนส่ง	1) อ้างอิงจากฐานข้อมูลการขนส่งของ ETH-ESU96 โดยแบบจำลองของระบบขนส่งดังกล่าวแบ่งประเภทการขนส่งทางถนนโดยรถบรรทุกออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ รถบรรทุกขนาด 16 ตัน ขนาด 28 ตัน และขนาด 40 ตัน โดยวิเคราะห์ที่ 40% ของขนาดการบรรทุก ดังนั้นทำให้รถบรรทุกขนาด 28 ตัน และ 40 ตัน จึงมีขนาดการบรรทุกอยู่ที่ 11 ตันและ 16 ตันตามลำดับ ซึ่งจะใกล้เคียงกับขนาดการบรรทุกของรถ 10 ล้อ และรถพ่วงของผู้ขายเศษเหล็กให้โรงงาน 2) เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันดีเซลตามฐานข้อมูลของ ETH-ESU96				

หมายเหตุ

- 1) สมมติให้เศษเหล็กของผู้ขาย 4 ส่งมาจากอยุธยาและนครราชสีมาเท่านั้น
- 2) สมมติให้ผู้ขาย 1 และผู้ขาย 4 ขนส่งเศษเหล็กมาให้โรงงานโดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ และรถพ่วงเท่านั้นในสัดส่วนที่เท่ากัน

จากสมมติฐานสรุปได้ว่า เศษเหล็ก 1 ตันที่เข้าโรงงาน จะมาจากการขนส่งโดยรถบรรทุก 10 ล้อ 90.62 ตัน-กิโลเมตร และมาจากการขนส่งโดยรถไฟ 45.22 ตัน-กิโลเมตร (ตารางที่ 7.2)

ตารางที่ 7.2 ข้อมูลการขนส่งเทียบต่อ 1 ตันของเศษเหล็กที่เข้าโรงงาน

รายการ	ผู้ขาย 1	ผู้ขาย 2	ผู้ขาย 3	ผู้ขาย 4		รวม
ปริมาณเศษเหล็กแยกตามผู้ขาย (ตัน)	0.3316	0.2688	0.0531	0.17325	0.17325	1.000
ระยะทางขนส่ง (กิโลเมตร)	92	92	102	340	182	
รวมคิดเป็น (ตัน-กิโลเมตร)	30.5072	24.7296	5.4162	58.9050	31.5315	
- ขนส่งโดยรถ 10 ล้อ	15.2536	24.7296	5.4162	29.4525	15.76575	90.61765
- ขนส่งโดยรถไฟ	15.2536			29.4525	15.76575	45.21825

4) ปริมาณสารที่ปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการผลิต ได้แก่ ฝุ่น CO CO_2 SO_x NO_x และกากซีเมนต์ (slag) ที่เกิดขึ้นได้มาจากการตรวจวัดที่โรงงานตัวอย่างในเดือนมิถุนายน 2546

5) น้ำมันดีเซลที่ใช้ในกระบวนการขนส่งเศษเหล็กและระบบสนับสนุนอื่น ๆ ภายในโรงงาน อ้างอิงจากฐานข้อมูล ETH-ESU ซึ่งเป็นข้อมูล LCI ของน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการกลั่นในยุโรป

6) ก๊าซออกซิเจน อาร์กอน และไนโตรเจนที่ใช้ในกระบวนการผลิตเหล็ก อ้างอิงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตออกซิเจน อาร์กอน และไนโตรเจน (ไม่มีวัตถุดิบอื่น) จากฐานข้อมูล LCI ของการผลิตออกซิเจนของ BUWAL250 ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตออกซิเจนโดยการอัดอากาศที่ความดัน 6-7 บาร์ ผ่านเข้าสู่หอแยกส่วน (gas separation column) เพื่อทำการแยกออกซิเจนออกมา และฐานข้อมูล LCI ของการผลิตอาร์กอนและไนโตรเจนของ ETH-ESU96 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตไนโตรเจนโดยการทำให้อากาศเย็นตัวลงถึงจุดที่สามารถแยกของเป็นก๊าซเหลวได้

7) น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเหล็กส่วนใหญ่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น การหล่อเย็นเตาอาร์คไฟฟ้า การหล่อเย็นแบบพิมพ์ (Molds) ของกระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง และเป็นระบบปิดโดยมีการหมุนเวียนน้ำที่ร้อนกลับมาเข้าหอทำความเย็น (Cooling Tower) เพื่อให้เย็นและนำกลับไปใช้งานใหม่อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ในการผลิตอาจมีการใช้น้ำโดยตรงบ้าง เช่น ใช้ฉีดพ่นเพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซทิ้งและกากซีเมนต์ (slag) ที่ออกจากเตาหลอม รวมถึงใช้ในการฉีดพ่นเหล็กแท่งยาว (ซึ่งในส่วนจะมีการนำน้ำมาผ่านระบบกรองทรายและกลับไปใช้ใหม่

เช่นกัน) สำหรับการศึกษาดัชนีวิเคราะห์ภาพรวมของระบบผลิตและหมุนเวียนน้ำทั้งโรงงานและคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการใช้ไฟฟ้าเท่านั้น โดยนำปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในระบบน้ำทั้งหมดซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดโดยตรง มาคำนวณเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเหล็ก (ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ไปก็คือปริมาณน้ำที่เดิมเข้าสู่ระบบในกรณีที่ระบบมีการสูญเสียไป)

สมมติฐาน: ร้อยละ 66 ของน้ำ ใช้ในกระบวนการหลอมเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า และอีกร้อยละ 34 ใช้ในกระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง ไม่นับน้ำที่ใช้ในสาธารณูปโภคอื่น ๆ รอบโรงงานเนื่องจากมีปริมาณน้อยมาก

8) น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเหล็กมีปริมาณน้อย เนื่องจากการใช้น้ำในการผลิตเกือบทั้งหมดเป็นระบบปิด น้ำเสียเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ความเข้มข้นของของแข็งในน้ำหมุนเวียนในระบบมีค่าสูงเกินกว่าที่จะนำไปหมุนเวียนใช้ใหม่ ก็จะมีการปล่อยน้ำทิ้งออกบางส่วนจากหอทำความเย็น ข้อมูลสมบัติของน้ำเสียมาจากการตรวจวัดโดยตรง โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ออกจากระบบหอทำความเย็น และพิจารณาเฉพาะบางพารามิเตอร์ เช่น pH, BOD, COD, TDS และ Oil & Grease

สมมติฐาน: ร้อยละ 30 ของน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นน้ำเสีย (ปริมาณและสมบัติของน้ำเสียนี้แสดงผลอยู่ในระบบย่อยของ Process Water System)

9) ฝุ่นและไอระเหยเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของการผลิตเหล็กขั้นกลาง โดยเกิดจากกระบวนการหลอมเหล็กในเตาอาร์คไฟฟ้า และกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กในเตา LHF ดังนั้นระบบดักฝุ่นจึงเป็นระบบย่อยที่มีความสำคัญ ในการศึกษาได้แยกระบบดักฝุ่นและไอระเหยนี้เป็นระบบย่อยหนึ่งและพิจารณาถึงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เทียบกับปริมาณฝุ่นที่เข้าระบบ โดยข้อมูลปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นเกือบทั้งหมดเป็นค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในโรงงานตัวอย่าง (ยกเว้นปริมาณฝุ่นที่ถูกดูดขึ้นทางปล่องด้านหลังคา ซึ่งในที่นี้อาศัยการคำนวณ) ระบบดักฝุ่นและปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการผลิตของโรงงานตัวอย่างมีรายละเอียดดังรูปที่ 7.2

10) บัญชีข้อมูลของปูนขาว (CaO) ที่ใช้ในการผลิตเหล็ก อ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI ของ BUWAL 250 ซึ่งเป็นการผลิตปูนขาวโดยกระบวนการ calcination ของหินปูนภายในเตาเผาปูน พลังงานที่ใช้อยู่ระหว่าง 3,500-7,800 เมกะจูลต่อตันปูนขาว ซึ่งการผลิตปูนขาว 1 กิโลกรัมนั้นต้องใช้หินปูน 2 กิโลกรัม (ไม่คิดการขนส่งและที่มาของพลังงานในกระบวนการผลิตปูนขาว) ประกอบกับอ้างอิงข้อมูลการทำเหมืองหินปูนจากข้อมูลการทำเหมืองของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) สาขาลำปาง

11) อัลลอยด์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเหล็กเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กของโรงงานนั้น ประกอบด้วย Silicon manganese, Ferrosilicon (75%Si), Ferromanganese และ Calcium Carbide ในการศึกษาอ้างอิงวิธีประมาณปริมาณการปล่อยมลพิษจากการผลิตอัลลอยด์ดังกล่าวตาม “Revised 196 IPCC Guidelines for GHG Inventories” (ยกเว้น Calcium Carbide เนื่องจากมีปริมาณการใช้น้อยและข้อมูลในการวิเคราะห์ไม่เพียงพอ) โดยการประมาณนี้จะมุ่งเน้นเฉพาะ GHG Emission ที่สำคัญซึ่งพบว่า CO₂ เป็น emission ที่มีนัยสำคัญมากที่สุดจากการผลิตเฟอร์โรอัลลอยด์ดังกล่าว มีค่า Emission Factor ในการคำนวณดังตาราง 7.3

ตารางที่ 7.3 Emission Factor สำหรับ CO₂ จากการผลิต Ferro Alloy

ประเภทของ Ferro Alloy	Emission Factor (ตัน CO ₂ /ตันผลิตภัณฑ์)
Ferrosilicon – 50%Si	2 – 2.7
Ferrosilicon – 75%Si	3.9
Ferrosilicon – 90%Si	4.8 – 6.5
Silicon metal ¹⁾	4.3
Ferromanganese	1.6
Silicon manganese	1.7
Ferrochromium	1.3
Ferrochromium-silicon	n/a

¹⁾ ผู้ผลิตเกือบทุกรายมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ไบโอคาร์บอน (bio-carbon) ในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ (ซึ่งอาจใช้ค่า 1.6 ตัน bio-CO₂/ตันซิลิคอน เป็นค่าต่ำสุดและค่านี้จะไม่รวมอยู่ใน emission factor ที่ระบุในตาราง)

ที่มา: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook

12) อิฐทนไฟ (Refractory) ที่มีการใช้งานเพื่อซ่อมแซมเตาหลอมและถังบรรจุน้ำเหล็กนั้น มีหลากหลายชนิดซึ่งมีสมบัติต่างกันไป จากข้อมูลปฐมภูมิพบว่ามากกว่าร้อยละ 90 ของอิฐทนไฟ ที่ใช้งานจะประกอบด้วย MgO 97%, CaO 2%, SiO_2 0.5% และ Fe_2O_3 0.5% โดยประมาณ เช่นเดียวกับแท่งอิเล็กโทรดซึ่งมีองค์ประกอบของแกรไฟต์ (graphite) เป็นหลัก โดยในการศึกษานี้ไม่คำนึงถึงองค์ประกอบเหล่านี้

สมมติฐาน: แท่งอิเล็กโทรดที่ใช้งานเป็นแกรไฟต์ร้อยละ 100

13) บัญชีข้อมูลของก๊าซ LPG อ้างอิงจากฐานข้อมูลของ IDEMAT 2001 ซึ่งเป็นกระบวนการกลั่นโดยมี LPG เป็นผลพลอยได้ (By-product) ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ของ LPG ที่ผลิตได้เท่ากับ 24.4 เมกะจูลต่อลิตร หรือเท่ากับ 45.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

14) บัญชีข้อมูลของคาร์บอน/โค้ก (Coke) ที่ใช้ในการผลิตเหล็กอ้างอิงจากฐานข้อมูลของ SPIN ที่มีอยู่ในชุดข้อมูล Data Archive ใน SimaPro 5.1 ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตโค้กที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมเหล็กโดยเฉพาะ

15) บัญชีข้อมูลของหน่วยสนับสนุนการผลิตมีขอบเขตประกอบด้วย การใช้ไฟฟ้าในระบบ เตาหลอม สายพาน และระบบควบคุม และการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งได้แก่ LPG ที่ใช้ในการเผาถ่าน้ำเหล็ก และซ่อมแซมอุปกรณ์ และน้ำมันดีเซลที่ใช้สำหรับการขนส่งภายในโรงงาน โดยทั้งหมดเป็นข้อมูลปฐมภูมิของโรงงานตัวอย่าง

16) ปริมาณและองค์ประกอบภายในของกากซีเหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเหล็กเป็นข้อมูลปฐมภูมิ โดยพบว่าร้อยละ 91.5 เกิดจากกระบวนการหลอมเศษเหล็กในเตาอาร์คไฟฟ้า และอีกร้อยละ 8.5 เกิดจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กในเตา LHF (ผลตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของกากซีเหล็ก ตารางที่ 7.7)

17) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง LPG และน้ำมันดีเซล ในส่วนของหน่วยสนับสนุนการผลิต อ้างอิงค่า CO_2 emission intensities (ตารางที่ 7.4) จากโครงการ “LCA for Asian Countries” โดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ร่วมกับ JEMAI ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นการคำนวณจากองค์ประกอบและค่าความร้อนเฉลี่ยของก๊าซเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

สมมติฐาน: การเผาไหม้ของการใช้เชื้อเพลิง LPG และน้ำมันดีเซล ในกิจกรรมต่าง ๆ ของหน่วยสนับสนุนการผลิตเป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์

ตารางที่ 7.4 ค่าความร้อนเฉลี่ย และ CO₂ emission coefficient ของการเผาไหม้

เชื้อเพลิง	ค่าความร้อนเฉลี่ย	ความหนาแน่น (kg/liter)	CO ₂ emission (kg- CO ₂ /kg)
crude oil	8,680 kcal/l	0.86	2.968
heavy oil	9,500 kcal/l	0.99	2.878
HSD	8,700 kcal/l	0.87	2.875
Gasoline	7,520 kcal/l	0.75	2.816
LPG	14,187 kcal/kg	-	3.553

ที่มา: ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2545)

7.2.5 โปรแกรมฐานข้อมูล (Database Software)

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางนี้ คณะผู้วิจัยใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากโรงงานตัวอย่าง 1 โรงงานเป็นพื้นฐาน และทำการวิเคราะห์จัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตเหล็กชั้นกลางดังกล่าว โดยใช้โปรแกรมการคำนวณการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ SimaPro[®] เวอร์ชัน 5.1 ซึ่งพัฒนาโดยบริษัท PRe Consultant ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งภายในโปรแกรมนี้จะประกอบด้วยฐานข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตวัตถุดิบต่าง ๆ ตามที่ได้เคยมีการศึกษา LCA มา (ฐานข้อมูลส่วนใหญ่มาจากการศึกษา LCA ในยุโรป) ซึ่งในการศึกษานี้จะอ้างถึงฐานข้อมูลดังกล่าวบางส่วน

7.2.6 ข้อจำกัดของการศึกษา

เนื่องจากประเทศไทยยังขาดฐานข้อมูล LCI ของการผลิตวัตถุดิบพื้นฐานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้งานในกระบวนการผลิตเหล็ก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องอาศัยการอ้างอิงจากฐานข้อมูลต่างประเทศบางส่วน เช่น ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro[®] เวอร์ชัน 5.1 ซึ่งเก็บตัวเลขจากผู้ผลิตในยุโรปเป็นส่วนใหญ่มาประกอบการศึกษา ซึ่งบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางที่ได้รับจากการศึกษานี้จะมีรายละเอียดมุ่งเน้นในเรื่องของบัญชีรายการการปล่อยก๊าซที่เกี่ยวข้องกับก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มากที่สุด เพราะเป็นประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลก ประกอบกับเป็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนจากการผลิตเหล็กชั้นกลางของไทย

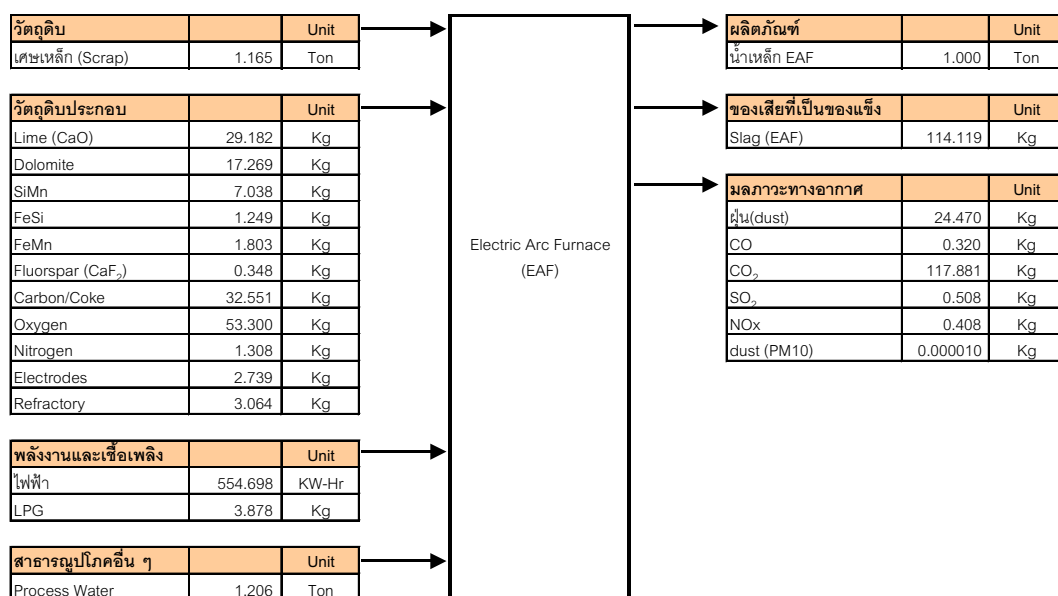
อย่างไรก็ตามบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางนี้เป็นผลมาจากข้อมูลปฐมภูมิของโรงงานตัวอย่างเพียง 1 โรงงาน ซึ่งช่วงเวลาระหว่างการศึกษานี้เป็นช่วงที่โรงงานยังดำเนินการผลิตไม่ต่อเนื่องและไม่เต็มประสิทธิภาพ ทำให้ผลของข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าปกติทั่วไปเมื่อเทียบกับแหล่งข้อมูลทุติยภูมิอื่น (เช่น ข้อมูลอ้างอิงจากสถาบันเหล็กและเหล็กแห่งประเทศไทย)

7.3 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตเหล็กชั้นกลาง

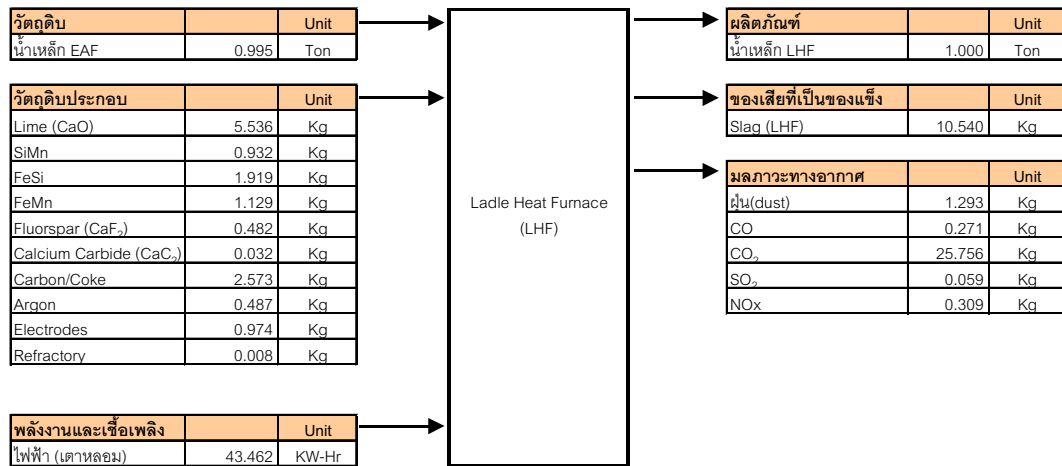
7.3.1 รายการการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาวของโรงงานตัวอย่าง ประกอบด้วย กระบวนการหลอมเหล็ก กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก กระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง และระบบสนับสนุนการผลิตอื่น ๆ เมื่อนำมาวิเคราะห์เทียบต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของแต่ละกระบวนการ/ระบบย่อย สรุปได้ผลดังรูปที่ 7.3 – 7.6

รูปที่ 7.3 กระบวนการหลอมเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า

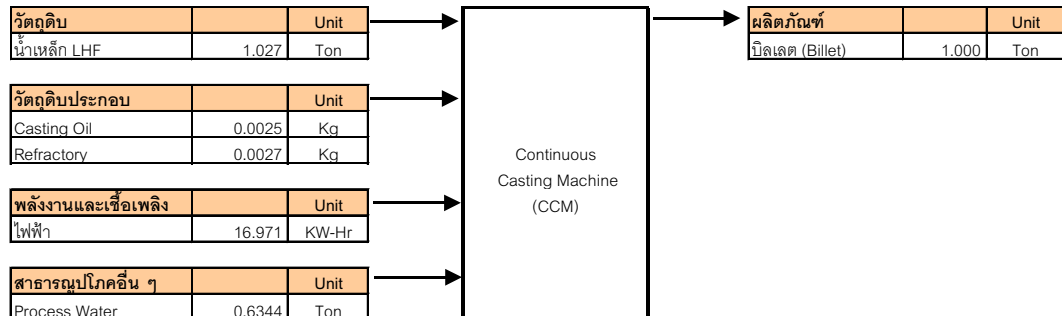


รูปที่ 7.4 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กด้วยเตา LHF

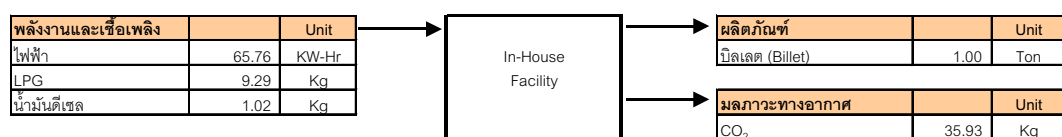


* คำนวณมลสารในภาพรวมกระบวนการนี้อาจคาดเคลื่อนเล็กน้อยเนื่องจากการประมาณการของเสียที่ออกจากการผลิต

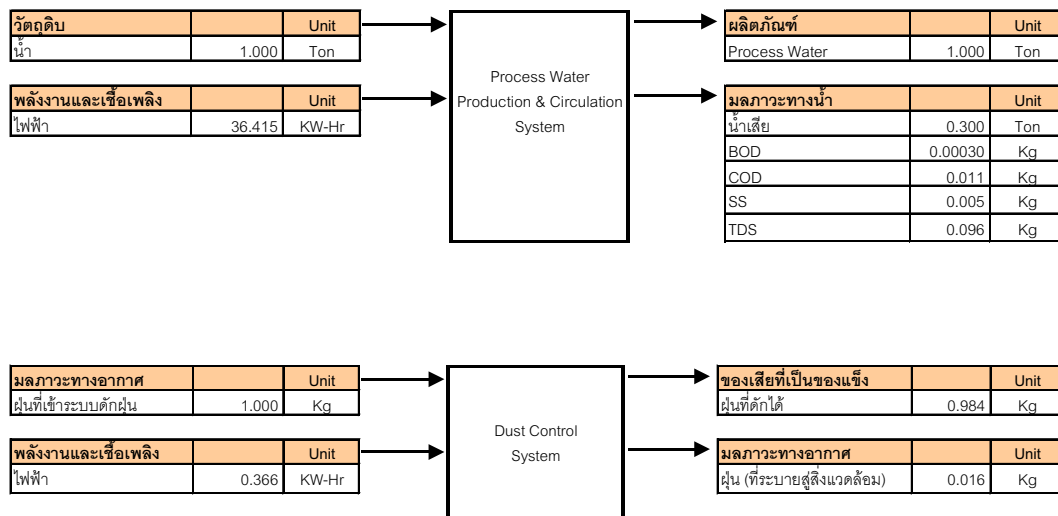
รูปที่ 7.5 กระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 7.6 ระบบย่อยแสดงปริมาณการใช้ทรัพยากรสนับสนุนการผลิต



รูปที่ 7.7 ระบบผลิตและหมุนเวียนน้ำและระบบควบคุมฝุ่นและไอระเหย



7.3.2 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตเหล็กขั้นกลางโดยเปรียบเทียบเป็น 2 กรณีศึกษา ระหว่าง กรณีศึกษาที่ 1 : ไม่คิดการขนส่งเศษเหล็ก และกรณีศึกษาที่ 2 : เป็นการคำนึงถึงการขนส่งเศษเหล็กเข้ามาโรงงานตัวอย่างโดยอาศัยสมมติฐานดังที่กล่าวมาข้างต้น ได้ผลเปรียบเทียบของทั้ง 2 กรณีศึกษา ดังตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาวเทียบต่อ 1 กิโลกรัม

	รายการด้านสิ่งแวดล้อม	ประเภท	หน่วย	เหล็กแท่งยาว (ไม่รวมการขนส่ง เศษเหล็ก)	เหล็กแท่งยาว
1	baryte	Raw	kg	5.110E-06	4.560E-05
2	bauxite	Raw	kg	5.660E-06	9.760E-05
3	bentonite	Raw	kg	6.470E-07	1.290E-05
4	calcium carbide	Raw	kg	3.290E-05	3.290E-05
5	casting oil	Raw	kg	2.500E-06	2.500E-06
6	chromium (in ore)	Raw	kg	1.760E-08	3.600E-06
7	clay	Raw	kg	8.300E-07	1.960E-04
8	coal	Raw	kg	4.798E-02	4.983E-02
9	cobalt (in ore)	Raw	kg	3.250E-12	2.330E-11
10	copper (in ore)	Raw	kg	4.310E-08	5.570E-06

11	crude oil	Raw	kg	1.475E-02	2.390E-02
12	diesel oil (high speed)	Raw	m3	1.840E-07	1.840E-07
13	dolomite	Raw	kg	1.760E-02	1.760E-02
14	energy (undef.)	Raw	MJ	3.740E-01	3.740E-01
15	energy from hydro power	Raw	MJ	1.031E-03	6.568E-03
16	ferromanganese	Raw	kg	3.000E-03	3.000E-03
17	ferrosilicon (75%Si)	Raw	kg	3.250E-03	3.250E-03
18	fluorspar (CaF2)	Raw	kg	8.510E-04	8.510E-04
19	gas from oil production	Raw	m3	2.000E-06	2.000E-06
20	graphite	Raw	kg	3.800E-03	3.800E-03
21	gravel	Raw	kg	7.600E-06	3.030E-02
22	heavy oil (THA overall)	Raw	m3	9.580E-06	9.580E-06
23	iron (in ore)	Raw	kg	2.585E-05	9.497E-04
24	lead (in ore)	Raw	kg	4.270E-09	2.550E-05
25	lignite	Raw	kg	1.692E-01	1.703E-01
26	lime (CaO)	Raw	kg	6.280E-05	6.280E-05
27	limestone	Raw	kg	7.880E-02	7.880E-02
28	lubricant	Raw	kg	4.540E-07	4.540E-07
29	magnesium oxide	Raw	kg	3.050E-03	3.050E-03
30	manganese (in ore)	Raw	kg	3.700E-09	1.390E-06
31	marl	Raw	kg	1.110E-05	1.040E-03
32	methane	Raw	kg	1.310E-06	1.529E-05
33	molybdene (in ore)	Raw	kg	6.510E-13	7.100E-12
34	natural gas	Raw	m3	1.691E-01	1.693E-01
35	nickel (in ore)	Raw	kg	1.200E-08	2.020E-06
36	palladium (in ore)	Raw	kg	8.410E-14	8.500E-12
37	petroleum gas ETH	Raw	m3	7.600E-05	7.030E-04
38	platinum (in ore)	Raw	kg	9.510E-14	1.030E-11
39	reservoir content ETH	Raw	m3y	1.380E-06	1.200E-04
40	rhenum (in ore)	Raw	kg	8.970E-14	7.330E-12
41	rhodium (in ore)	Raw	kg	8.940E-14	9.170E-12
42	rock salt	Raw	kg	3.010E-07	4.110E-04
43	sand	Raw	kg	1.780E-06	2.760E-05
44	scrap	Raw	kg	1.195E+00	1.195E+00
45	silicon (in SiO2)	Raw	kg	1.570E-05	1.570E-05
46	silicon manganese	Raw	kg	8.150E-03	8.150E-03
47	silver	Raw	kg	1.220E-10	1.220E-10
48	silver (in ore)	Raw	kg	3.500E-09	3.120E-08
49	tin (in ore)	Raw	kg	2.020E-09	1.740E-08
50	turbine water ETH	Raw	m3	3.330E-04	2.930E-02
51	uranium (in ore)	Raw	kg	1.596E-08	8.810E-08
52	water	Raw	kg	1.910E+00	2.140E+00
53	wood	Raw	kg	1.800E-06	1.800E-06
54	wood (dry matter) ETH	Raw	kg	2.060E-07	8.390E-05
55	zeolite	Raw	kg	2.780E-09	2.780E-09
56	zinc (in ore)	Raw	kg	3.850E-10	4.060E-07
57	1,2-dichloroethane	Air	kg	3.630E-12	3.630E-12
58	acetaldehyde	Air	kg	3.920E-10	2.620E-09
59	acetic acid	Air	kg	1.770E-09	1.170E-08
60	acetone	Air	kg	3.910E-10	2.600E-09
61	acrolein	Air	kg	1.070E-13	1.220E-11
62	Al	Air	kg	1.130E-08	8.220E-08
63	aldehydes	Air	kg	4.780E-07	4.780E-07

64	alkanes	Air	kg	2.490E-08	2.530E-07
65	alkenes	Air	kg	1.110E-09	1.270E-08
66	ammonia	Air	kg	2.910E-07	3.180E-07
67	As	Air	kg	4.720E-09	1.310E-08
68	B	Air	kg	8.490E-09	4.950E-08
69	Ba	Air	kg	1.550E-10	1.210E-09
70	Be	Air	kg	1.550E-12	1.360E-11
71	benzaldehyde	Air	kg	3.670E-14	4.180E-12
72	benzene	Air	kg	1.350E-07	5.230E-07
73	benzo(a)pyrene	Air	kg	2.160E-09	2.270E-09
74	Br	Air	kg	5.690E-10	5.350E-09
75	butane	Air	kg	8.870E-08	7.800E-07
76	butene	Air	kg	2.100E-09	2.570E-07
77	Ca	Air	kg	7.900E-09	1.080E-07
78	carbon black	Air	kg	1.160E-05	1.160E-05
79	Cd	Air	kg	3.330E-10	2.280E-09
80	CFC-11	Air	kg	3.060E-13	2.320E-11
81	CFC-114	Air	kg	8.070E-12	6.120E-10
82	CFC-116	Air	kg	1.340E-11	1.010E-09
83	CFC-12	Air	kg	6.580E-14	4.980E-12
84	CFC-13	Air	kg	4.120E-14	3.130E-12
85	CFC-14	Air	kg	1.070E-10	9.110E-09
86	CH4	Air	kg	1.710E-05	1.710E-05
87	CO	Air	kg	7.960E-04	8.820E-04
88	CO2	Air	kg	8.540E-01	8.830E-01
89	cobalt	Air	kg	1.280E-10	1.340E-09
90	Cr	Air	kg	2.340E-09	4.100E-09
91	Cu	Air	kg	2.770E-10	8.830E-09
92	CxHy	Air	kg	1.270E-03	1.270E-03
93	CxHy aromatic	Air	kg	2.910E-07	2.930E-07
94	cyanides	Air	kg	2.020E-12	2.730E-10
95	dichloroethane	Air	kg	1.520E-12	1.550E-10
96	dichloromethane	Air	kg	8.730E-14	1.470E-11
97	dioxin (TEQ)	Air	kg	4.250E-17	3.930E-15
98	dust	Air	kg	1.050E-03	1.050E-03
99	dust (coarse)	Air	kg	1.080E-06	1.080E-06
100	dust (coarse) process	Air	kg	7.820E-08	9.800E-06
101	dust (PM10)	Air	kg	1.020E-08	1.020E-08
102	dust (PM10) mobile	Air	kg	2.060E-08	1.310E-05
103	dust (PM10) stationary	Air	kg	1.890E-07	5.280E-06
104	dust (SPM)	Air	kg	9.740E-06	9.740E-06
105	ethane	Air	kg	2.780E-08	2.420E-07
106	ethanol	Air	kg	7.840E-10	5.160E-09
107	ethene	Air	kg	5.620E-09	7.810E-06
108	ethylbenzene	Air	kg	3.090E-09	2.360E-08
109	ethyne	Air	kg	1.590E-11	9.320E-10
110	F2	Air	kg	6.820E-08	6.820E-08
111	Fe	Air	kg	6.700E-09	1.080E-07
112	fluoranthene	Air	kg	2.150E-08	2.150E-08
113	formaldehyde	Air	kg	2.820E-09	2.020E-08
114	H2	Air	kg	5.040E-08	5.040E-08
115	H2S	Air	kg	9.740E-06	9.790E-06
116	HALON-1301	Air	kg	4.410E-10	4.010E-09

117	HCFC-21	Air	kg	1.010E-11	6.700E-08
118	HCFC-22	Air	kg	7.260E-14	5.520E-12
119	HCl	Air	kg	1.340E-07	9.380E-07
120	He	Air	kg	7.660E-08	7.090E-07
121	heptane	Air	kg	2.070E-08	1.800E-07
122	hexachlorobenzene	Air	kg	6.020E-17	4.360E-14
123	hexane	Air	kg	4.340E-08	3.770E-07
124	HF	Air	kg	1.310E-08	1.200E-07
125	HFC-134a	Air	kg	1.410E-24	1.220E-20
126	Hg	Air	kg	3.940E-11	4.390E-10
127	I	Air	kg	2.720E-10	2.240E-09
128	K	Air	kg	2.290E-09	1.690E-07
129	La	Air	kg	4.450E-12	3.560E-11
130	methane	Air	kg	5.970E-06	5.690E-05
131	methanol	Air	kg	8.430E-10	6.120E-09
132	Mg	Air	kg	4.030E-09	3.070E-08
133	Mn	Air	kg	3.240E-10	4.330E-08
134	Mo	Air	kg	4.870E-11	5.330E-10
135	MTBE	Air	kg	5.900E-13	1.340E-09
136	N ₂	Air	kg	6.000E-10	7.010E-08
137	N ₂ O	Air	kg	3.640E-05	3.930E-05
138	Na	Air	kg	3.070E-09	2.990E-08
139	Ni	Air	kg	4.100E-09	2.810E-08
140	NM VOC	Air	kg	2.750E-05	2.750E-05
141	non methane VOC	Air	kg	8.640E-06	1.250E-04
142	NO _x	Air	kg	1.970E-03	1.970E-03
143	NO _x (as NO ₂)	Air	kg	7.360E-04	1.010E-03
144	P	Air	kg	1.230E-10	1.230E-10
145	P-tot	Air	kg	4.530E-11	1.330E-09
146	PAH's	Air	kg	2.600E-11	2.030E-09
147	Pb	Air	kg	1.520E-08	1.100E-07
148	pentachlorobenzene	Air	kg	1.610E-16	1.170E-13
149	pentachlorophenol	Air	kg	2.600E-17	1.890E-14
150	pentane	Air	kg	1.120E-07	9.690E-07
151	phenol	Air	kg	1.200E-12	1.820E-11
152	propane	Air	kg	8.850E-08	7.680E-07
153	propene	Air	kg	4.250E-09	7.220E-08
154	propionic acid	Air	kg	2.680E-11	1.900E-10
155	Pt	Air	kg	3.440E-14	7.820E-11
156	Sb	Air	kg	6.320E-12	1.010E-10
157	Sc	Air	kg	1.670E-12	1.230E-11
158	Se	Air	kg	1.320E-10	3.480E-09
159	Si	Air	kg	2.730E-09	2.210E-07
160	silicates	Air	kg	2.660E-08	2.660E-08
161	Sn	Air	kg	3.820E-12	6.000E-11
162	SO ₂	Air	kg	1.180E-03	1.180E-03
163	SO _x (as SO ₂)	Air	kg	2.620E-06	7.550E-05
164	Sr	Air	kg	1.820E-10	1.310E-09
165	tetrachloromethane	Air	kg	3.730E-13	3.890E-11
166	Th	Air	kg	9.680E-12	2.930E-11
167	Ti	Air	kg	4.950E-10	3.490E-09
168	Tl	Air	kg	4.660E-13	8.110E-12
169	toluene	Air	kg	1.070E-07	2.100E-07

170	trichloromethane	Air	kg	4.020E-14	4.080E-12
171	U	Air	kg	4.370E-12	2.550E-11
172	unspecified emission	Air	kg	9.190E-06	9.190E-06
173	V	Air	kg	1.120E-08	7.590E-08
174	vinyl chloride	Air	kg	2.320E-12	2.730E-11
175	xylene	Air	kg	1.130E-07	3.930E-07
176	Zn	Air	kg	2.380E-08	8.740E-07
177	Zr	Air	kg	3.070E-13	1.270E-11
178	1,1,1-trichloroethane	Water	kg	2.620E-15	2.890E-11
179	acenaphthylene	Water	kg	4.580E-12	4.040E-10
180	Acid as H ⁺	Water	kg	5.730E-11	5.730E-11
181	acids (unspecified)	Water	kg	2.070E-11	3.200E-09
182	Ag	Water	kg	3.510E-11	3.710E-10
183	Al	Water	kg	3.020E-07	3.340E-06
184	alkanes	Water	kg	7.510E-09	6.730E-08
185	alkenes	Water	kg	6.930E-10	6.210E-09
186	AOX	Water	kg	2.340E-10	2.000E-09
187	As	Water	kg	6.480E-10	7.070E-09
188	B	Water	kg	2.370E-09	1.960E-08
189	Ba	Water	kg	1.700E-07	1.570E-06
190	baryte	Water	kg	1.010E-06	9.040E-06
191	Be	Water	kg	2.240E-13	2.860E-12
192	benzene	Water	kg	7.520E-09	6.950E-08
193	BOD	Water	kg	7.000E-07	8.710E-07
194	calcium compounds	Water	kg	3.030E-07	3.030E-07
195	calcium ions	Water	kg	2.170E-06	2.280E-05
196	Cd	Water	kg	8.530E-11	1.870E-08
197	chlorinated solvents (unspec.)	Water	kg	5.960E-13	1.050E-10
198	chlorobenzenes	Water	kg	1.220E-17	6.880E-14
199	Cl-	Water	kg	3.350E-05	5.510E-04
200	Co	Water	kg	5.870E-10	6.530E-09
201	COD	Water	kg	2.130E-05	2.330E-05
202	Cr	Water	kg	2.710E-09	2.710E-09
203	Cr (III)	Water	kg	7.710E-10	3.740E-08
204	Cr (VI)	Water	kg	7.360E-13	4.000E-12
205	crude oil	Water	kg	1.790E-07	1.790E-07
206	Cs	Water	kg	5.770E-11	5.170E-10
207	Cu	Water	kg	2.670E-09	2.180E-08
208	CxHy	Water	kg	4.950E-07	4.970E-07
209	CxHy aromatic	Water	kg	3.460E-08	3.090E-07
210	CxHy chloro	Water	kg	1.430E-12	1.430E-12
211	cyanide	Water	kg	2.800E-10	5.960E-09
212	di(2-ethylhexyl)phthalate	Water	kg	8.910E-17	2.270E-13
213	dibutyl p-phthalate	Water	kg	4.630E-16	4.090E-14
214	dichloroethane	Water	kg	2.600E-12	8.140E-11
215	dichloromethane	Water	kg	4.460E-10	4.140E-09
216	dimethyl p-phthalate	Water	kg	2.910E-15	2.570E-13
217	dissolved organics	Water	kg	4.940E-10	4.940E-10
218	dissolved solids	Water	kg	1.790E-04	1.790E-04
219	dissolved substances	Water	kg	8.730E-07	2.100E-06
220	DOC	Water	kg	3.020E-11	3.740E-09
221	ethyl benzene	Water	kg	1.390E-09	1.240E-08
222	fats/oils	Water	kg	1.020E-06	9.570E-06

223	fatty acids as C	Water	kg	2.820E-07	2.610E-06
224	Fe	Water	kg	4.890E-07	3.280E-06
225	fluoride ions	Water	kg	7.890E-09	2.210E-07
226	formaldehyde	Water	kg	2.420E-14	3.480E-11
227	glutaraldehyde	Water	kg	1.250E-10	1.110E-09
228	H2	Water	kg	1.330E-08	1.330E-08
229	H2S	Water	kg	1.870E-11	1.210E-09
230	hexachloroethane	Water	kg	1.740E-17	1.770E-15
231	Hg	Water	kg	2.170E-10	2.730E-10
232	HOCL	Water	kg	2.640E-09	1.450E-08
233	I	Water	kg	5.770E-09	5.170E-08
234	K	Water	kg	3.750E-07	3.530E-06
235	metallic ions	Water	kg	1.330E-08	1.330E-08
236	Mg	Water	kg	3.460E-07	3.520E-06
237	Mn	Water	kg	1.030E-08	1.020E-07
238	Mo	Water	kg	1.020E-09	1.050E-08
239	MTBE	Water	kg	4.840E-14	1.100E-10
240	N-tot	Water	kg	1.650E-07	1.080E-06
241	N organically bound	Water	kg	2.010E-08	1.610E-07
242	Na	Water	kg	1.920E-05	3.340E-04
243	NH3	Water	kg	1.330E-07	1.330E-07
244	NH3 (as N)	Water	kg	9.280E-08	8.000E-07
245	Ni	Water	kg	1.660E-09	1.910E-08
246	nitrate	Water	kg	4.650E-08	2.140E-06
247	nitrite	Water	kg	4.160E-11	2.930E-09
248	OCI-	Water	kg	1.570E-10	1.200E-08
249	P-compounds	Water	kg	2.700E-11	2.610E-10
250	P-tot	Water	kg	5.010E-13	5.010E-13
251	PAH's	Water	kg	1.110E-09	7.620E-09
252	Pb	Water	kg	5.550E-09	4.380E-08
253	phenol	Water	kg	3.180E-10	3.180E-10
254	phenols	Water	kg	6.890E-09	6.900E-08
255	phosphate	Water	kg	1.830E-08	2.130E-07
256	Ru	Water	kg	5.570E-10	5.150E-09
257	S	Water	kg	6.390E-11	6.390E-11
258	salt	Water	kg	7.780E-07	7.780E-07
259	salts	Water	kg	5.100E-08	3.880E-06
260	Sb	Water	kg	4.920E-12	7.870E-11
261	Se	Water	kg	1.540E-09	1.700E-08
262	Si	Water	kg	4.950E-10	5.080E-09
263	Sn	Water	kg	3.900E-12	1.870E-11
264	SO3	Water	kg	1.450E-10	4.550E-08
265	Sr	Water	kg	3.530E-07	3.170E-06
266	sulphate	Water	kg	1.350E-06	3.280E-05
267	sulphates	Water	kg	3.020E-06	3.020E-06
268	sulphide	Water	kg	1.830E-09	1.630E-08
269	suspended solids	Water	kg	9.330E-06	9.330E-06
270	suspended substances	Water	kg	1.940E-07	1.940E-07
271	tetrachloroethene	Water	kg	2.060E-15	2.100E-13
272	tetrachloromethane	Water	kg	3.150E-15	3.210E-13
273	Ti	Water	kg	1.760E-08	2.050E-07
274	TOC	Water	kg	8.950E-07	8.280E-05
275	toluene	Water	kg	6.260E-09	5.720E-08

276	tributyltin	Water	kg	5.670E-11	5.760E-10
277	trichloroethene	Water	kg	4.420E-13	1.360E-11
278	trichloromethane	Water	kg	4.780E-13	4.940E-11
279	triethylene glycol	Water	kg	3.020E-11	3.740E-09
280	undissolved substances	Water	kg	2.980E-06	2.840E-05
281	V	Water	kg	1.640E-09	1.740E-08
282	vinyl chloride	Water	kg	5.850E-16	5.960E-14
283	VOC as C	Water	kg	1.950E-08	1.800E-07
284	W	Water	kg	3.780E-12	7.930E-11
285	waste water (vol)	Water	m3	5.600E-04	5.600E-04
286	xylene	Water	kg	5.440E-09	4.970E-08
287	Zn	Water	kg	6.940E-09	9.130E-08
288	collected dust	Solid	kg	2.590E-02	2.590E-02
289	final waste (inert)	Solid	kg	7.090E-05	7.090E-05
290	high active nuclear waste	Solid	m3	2.540E-12	2.540E-12
291	inorganic general	Solid	kg	1.590E-06	1.590E-06
292	low,med. act. nucl. waste	Solid	m3	1.510E-10	1.510E-10
293	produc. waste (not inert)	Solid	kg	2.780E-02	2.780E-02
294	slag	Solid	kg	6.630E-06	6.630E-06
295	slag (EAF)	Solid	kg	1.170E-01	1.170E-01
296	slag (LHF)	Solid	kg	1.080E-02	1.080E-02
297	Al (ind.)	Soil	kg	6.380E-08	5.940E-07
298	As (ind.)	Soil	kg	2.550E-11	2.380E-10
299	C (ind.)	Soil	kg	1.980E-07	1.840E-06
300	Ca (ind.)	Soil	kg	2.550E-07	2.380E-06
301	Cd (ind.)	Soil	kg	1.100E-12	4.370E-11
302	Co (ind.)	Soil	kg	1.520E-12	1.350E-11
303	Cr (ind.)	Soil	kg	3.190E-10	2.980E-09
304	Cu (ind.)	Soil	kg	7.590E-12	6.750E-11
305	Fe (ind.)	Soil	kg	1.270E-07	1.190E-06
306	Hg (ind.)	Soil	kg	2.080E-13	1.890E-12
307	Mn (ind.)	Soil	kg	2.550E-09	2.380E-08
308	N	Soil	kg	5.870E-11	5.570E-10
309	Ni (ind.)	Soil	kg	1.140E-11	1.010E-10
310	oil (ind.)	Soil	kg	4.810E-08	4.350E-07
311	oil biodegradable	Soil	kg	3.230E-12	1.160E-09
312	Pb (ind.)	Soil	kg	3.460E-11	3.120E-10
313	phosphor (ind.)	Soil	kg	3.260E-09	3.060E-08
314	S (ind.)	Soil	kg	3.830E-08	3.570E-07
315	Zn (ind.)	Soil	kg	1.030E-09	9.590E-09
316	Ag110m to air	Non mat.	Bq	3.990E-10	3.020E-08
317	Ag110m to water	Non mat.	Bq	2.720E-06	2.050E-04
318	alpha radiation to water	Non mat.	Bq	3.220E-10	2.440E-08
319	Am241 to air	Non mat.	Bq	7.430E-09	5.630E-07
320	Am241 to water	Non mat.	Bq	9.780E-07	7.420E-05
321	Ar41 to air	Non mat.	Bq	8.670E-04	6.540E-02
322	Ba140 to air	Non mat.	Bq	1.550E-09	1.200E-07
323	Ba140 to water	Non mat.	Bq	4.900E-09	4.100E-07
324	beta radiation to air	Non mat.	Bq	5.010E-11	4.090E-09
325	C14 to air	Non mat.	Bq	5.980E-04	4.540E-02
326	C14 to water	Non mat.	Bq	4.950E-05	3.760E-03
327	Cd109 to water	Non mat.	Bq	2.840E-11	2.370E-09
328	Ce141 to air	Non mat.	Bq	3.700E-11	2.800E-09

329	Ce141 to water	Non mat.	Bq	7.330E-10	6.130E-08
330	Ce144 to air	Non mat.	Bq	7.890E-08	5.990E-06
331	Ce144 to water	Non mat.	Bq	2.240E-05	1.700E-03
332	Cm (alpha) to air	Non mat.	Bq	1.180E-08	8.930E-07
333	Cm (alpha) to water	Non mat.	Bq	1.290E-06	9.820E-05
334	Cm242 to air	Non mat.	Bq	3.920E-14	2.960E-12
335	Cm244 to air	Non mat.	Bq	3.550E-13	2.690E-11
336	Co57 to air	Non mat.	Bq	6.850E-13	5.160E-11
337	Co57 to water	Non mat.	Bq	5.030E-09	4.210E-07
338	Co58 to air	Non mat.	Bq	1.130E-08	8.550E-07
339	Co58 to water	Non mat.	Bq	4.250E-06	3.350E-04
340	Co60 to air	Non mat.	Bq	1.690E-08	1.280E-06
341	Co60 to water	Non mat.	Bq	2.170E-04	1.650E-02
342	Conv. to industrial area	Non mat.	m2	1.100E-07	1.100E-07
343	Cr51 to air	Non mat.	Bq	1.400E-09	1.060E-07
344	Cr51 to water	Non mat.	Bq	1.080E-07	9.010E-06
345	Cs134 to air	Non mat.	Bq	2.820E-07	2.140E-05
346	Cs134 to water	Non mat.	Bq	5.010E-05	3.800E-03
347	Cs136 to water	Non mat.	Bq	2.630E-11	2.200E-09
348	Cs137 to air	Non mat.	Bq	5.450E-07	4.130E-05
349	Cs137 to water	Non mat.	Bq	4.610E-04	3.500E-02
350	Fe59 to air	Non mat.	Bq	1.550E-11	1.170E-09
351	Fe59 to water	Non mat.	Bq	8.680E-11	7.260E-09
352	Fission and activation products (RA) to water	Non mat.	Bq	2.930E-06	2.210E-04
353	H3 to air	Non mat.	Bq	6.160E-03	4.660E-01
354	H3 to water	Non mat.	Bq	1.470E+00	1.110E+02
355	heat losses to air	Non mat.	MJ	9.320E-03	9.320E-03
356	heat losses to soil	Non mat.	MJ	8.920E-06	8.920E-06
357	heat losses to water	Non mat.	MJ	1.870E-04	1.870E-04
358	I129 to air	Non mat.	Bq	2.120E-06	1.610E-04
359	I129 to water	Non mat.	Bq	1.420E-04	1.070E-02
360	I131 to air	Non mat.	Bq	2.360E-07	1.860E-05
361	I131 to water	Non mat.	Bq	9.370E-08	7.250E-06
362	I133 to air	Non mat.	Bq	1.320E-07	9.970E-06
363	I133 to water	Non mat.	Bq	2.250E-08	1.880E-06
364	I135 to air	Non mat.	Bq	1.980E-07	1.490E-05
365	K40 to air	Non mat.	Bq	1.140E-06	1.000E-04
366	K40 to water	Non mat.	Bq	3.550E-06	2.830E-04
367	Kr85 to air	Non mat.	Bq	3.660E+01	2.770E+03
368	Kr85m to air	Non mat.	Bq	4.330E-05	3.490E-03
369	Kr87 to air	Non mat.	Bq	1.940E-05	1.530E-03
370	Kr88 to air	Non mat.	Bq	1.730E-03	1.300E-01
371	Kr89 to air	Non mat.	Bq	1.360E-05	1.090E-03
372	La140 to air	Non mat.	Bq	9.860E-10	7.480E-08
373	La140 to water	Non mat.	Bq	1.020E-09	8.490E-08
374	land use (sea floor) II-III	Non mat.	m2a	7.730E-05	7.210E-04
375	land use (sea floor) II-IV	Non mat.	m2a	7.980E-06	7.440E-05
376	land use II-III	Non mat.	m2a	5.250E-05	5.190E-04
377	land use II-IV	Non mat.	m2a	2.820E-06	7.510E-04
378	land use III-IV	Non mat.	m2a	1.950E-06	1.520E-03
379	land use IV-IV	Non mat.	m2a	2.160E-08	6.590E-07
380	Mn54 to air	Non mat.	Bq	4.050E-10	3.070E-08

381	Mn54 to water	Non mat.	Bq	3.320E-05	2.520E-03
382	Mo99 to water	Non mat.	Bq	3.430E-10	2.870E-08
383	Na24 to water	Non mat.	Bq	1.510E-07	1.260E-05
384	Nb95 to air	Non mat.	Bq	7.160E-11	5.410E-09
385	Nb95 to water	Non mat.	Bq	2.790E-09	2.320E-07
386	Np237 to air	Non mat.	Bq	3.880E-13	2.950E-11
387	Np237 to water	Non mat.	Bq	6.250E-08	4.740E-06
388	Occup. as industrial area	Non mat.	m2a	7.380E-05	7.380E-05
389	Pa234m to air	Non mat.	Bq	2.360E-07	1.790E-05
390	Pa234m to water	Non mat.	Bq	4.370E-06	3.320E-04
391	Pb210 to air	Non mat.	Bq	6.620E-06	5.520E-04
392	Pb210 to water	Non mat.	Bq	2.830E-06	2.250E-04
393	Pm147 to air	Non mat.	Bq	2.000E-07	1.520E-05
394	Po210 to air	Non mat.	Bq	9.920E-06	8.440E-04
395	Po210 to water	Non mat.	Bq	2.830E-06	2.250E-04
396	Pu alpha to air	Non mat.	Bq	2.360E-08	1.790E-06
397	Pu alpha to water	Non mat.	Bq	3.880E-06	2.950E-04
398	Pu238 to air	Non mat.	Bq	8.850E-13	6.680E-11
399	Pu241 Beta to air	Non mat.	Bq	6.480E-07	4.910E-05
400	Pu241 beta to water	Non mat.	Bq	9.660E-05	7.330E-03
401	Ra224 to water	Non mat.	Bq	2.780E-03	2.570E-02
402	Ra226 to air	Non mat.	Bq	8.430E-06	6.520E-04
403	Ra226 to water	Non mat.	Bq	2.360E-02	1.420E+00
404	Ra228 to air	Non mat.	Bq	5.580E-07	4.930E-05
405	Ra228 to water	Non mat.	Bq	5.570E-03	5.150E-02
406	radio active noble gases to air	Non mat.	Bq	5.190E-05	4.330E-03
407	radioactive substance to air	Non mat.	Bq	1.300E+03	1.300E+03
408	radioactive substance to water	Non mat.	Bq	1.200E+01	1.200E+01
409	radionuclides (mixed) to water	Non mat.	Bq	2.110E-09	1.610E-07
410	Rn220 to air	Non mat.	Bq	5.210E-05	4.240E-03
411	Rn222 (long term) to air	Non mat.	Bq	5.250E+01	3.980E+03
412	Rn222 to air	Non mat.	Bq	5.790E-01	4.340E+01
413	Ru103 to air	Non mat.	Bq	4.050E-12	3.090E-10
414	Ru103 to water	Non mat.	Bq	1.650E-09	1.370E-07
415	Ru106 to air	Non mat.	Bq	2.360E-06	1.790E-04
416	Ru106 to water	Non mat.	Bq	2.360E-04	1.790E-02
417	Sb122 to water	Non mat.	Bq	4.900E-09	4.100E-07
418	Sb124 to air	Non mat.	Bq	1.100E-10	8.280E-09
419	Sb124 to water	Non mat.	Bq	7.010E-07	5.350E-05
420	Sb125 to air	Non mat.	Bq	1.400E-11	1.110E-09
421	Sb125 to water	Non mat.	Bq	4.000E-08	3.340E-06
422	Sr89 to air	Non mat.	Bq	7.090E-10	5.350E-08
423	Sr89 to water	Non mat.	Bq	1.110E-08	9.270E-07
424	Sr90 to air	Non mat.	Bq	3.890E-07	2.950E-05
425	Sr90 to water	Non mat.	Bq	4.710E-05	3.580E-03
426	Tc99 to air	Non mat.	Bq	1.650E-11	1.250E-09
427	Tc99 to water	Non mat.	Bq	2.480E-05	1.880E-03
428	Tc99m to water	Non mat.	Bq	2.310E-09	1.940E-07
429	Te123m to air	Non mat.	Bq	1.780E-09	1.340E-07
430	Te123m to water	Non mat.	Bq	2.070E-10	1.730E-08
431	Te132 to water	Non mat.	Bq	8.480E-11	7.090E-09
432	Th228 to air	Non mat.	Bq	4.720E-07	4.180E-05
433	Th228 to water	Non mat.	Bq	1.110E-02	1.030E-01

434	Th230 to air	Non mat.	Bq	2.620E-06	1.980E-04
435	Th230 to water	Non mat.	Bq	6.830E-04	5.180E-02
436	Th232 to air	Non mat.	Bq	2.990E-07	2.650E-05
437	Th232 to water	Non mat.	Bq	6.630E-07	5.270E-05
438	Th234 to air	Non mat.	Bq	2.360E-07	1.790E-05
439	Th234 to water	Non mat.	Bq	4.400E-06	3.340E-04
440	U alpha to air	Non mat.	Bq	8.450E-06	6.410E-04
441	U alpha to water	Non mat.	Bq	2.860E-04	2.160E-02
442	U234 to air	Non mat.	Bq	2.830E-06	2.150E-04
443	U234 to water	Non mat.	Bq	5.840E-06	4.420E-04
444	U235 to air	Non mat.	Bq	1.370E-07	1.040E-05
445	U235 to water	Non mat.	Bq	8.700E-06	6.600E-04
446	U238 to air	Non mat.	Bq	3.650E-06	2.870E-04
447	U238 to water	Non mat.	Bq	1.480E-05	1.130E-03
448	waste heat to air	Non mat.	MJ	1.030E-02	4.420E-01
449	waste heat to soil	Non mat.	MJ	3.200E-06	2.820E-04
450	waste heat to water	Non mat.	MJ	4.860E-04	1.060E-02
451	Xe131m to air	Non mat.	Bq	8.930E-05	7.030E-03
452	Xe133 to air	Non mat.	Bq	2.620E-02	1.980E+00
453	Xe133m to air	Non mat.	Bq	1.320E-05	9.970E-04
454	Xe135 to air	Non mat.	Bq	4.470E-03	3.420E-01
455	Xe135m to air	Non mat.	Bq	4.420E-04	3.550E-02
456	Xe137 to air	Non mat.	Bq	1.100E-05	8.690E-04
457	Xe138 to air	Non mat.	Bq	1.200E-04	9.620E-03
458	Y90 to water	Non mat.	Bq	5.670E-10	4.730E-08
459	Zn65 to air	Non mat.	Bq	1.740E-09	1.320E-07
460	Zn65 to water	Non mat.	Bq	3.190E-07	2.670E-05
461	Zr95 to air	Non mat.	Bq	2.590E-11	1.960E-09
462	Zr95 to water	Non mat.	Bq	2.000E-06	1.520E-04

ตารางที่ 7.6 ผลตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการผลิตเหล็กเหล็กแท่งยาว

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลตรวจวิเคราะห์		ค่าเฉลี่ย
		ฝุ่นจาก ไซโคลน	ฝุ่นจากถุง กรอง	
Iron	%w/w Fe	28.500	20.500	24.500
Zinc	%w/w Zn	15.900	30.700	23.300
Lead	%w/w Pb	1.080	2.740	1.910
Cadmium	%w/w Cd	0.020	0.030	0.025
Copper	%w/w Cu	0.110	0.130	0.120
Nickel	%w/w Ni	0.019	0.014	0.017
Chromium Oxide	%w/w Cr ₂ O ₃	0.170	0.230	0.200
Potassium Oxide	%w/w K ₂ O	1.470	3.900	2.685
Sodium Pentaoxide	%w/w Na ₂ O ₅	2.070	3.530	2.800
Vanadium	%w/w V	0.010	0.010	0.010
Cobalt	%w/w Co	ND	ND	ND
Calcium Oxide	%w/w CaO	14.790	3.830	9.310
Aluminium Oxide	%w/w Al ₂ O ₃	1.350	0.500	0.925
Magnesium Oxide	%w/w MgO	2.240	2.590	2.415

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลตรวจวิเคราะห์		ค่าเฉลี่ย
		ฝุ่นจาก ไซโคลน	ฝุ่นจากถุง กรอง	
Silica Oxide	%w/w SiO ₂	1.330	0.410	0.870
Sulphur	%w/w S	0.290	5.470	2.880
Manganese Oxide	%w/w MnO	1.530	2.000	1.765
Arsenic	%w/w As	ND	ND	ND
Mercury	%w/w Hg	0.001	0.001	0.001
Phosphorus Pentaoxide	%w/w P ₂ O ₅	ND	ND	ND
Fluorine	%w/w F	0.050	0.100	0.075
Hydrogen Fluoride	%w/w HF	0.050	0.100	0.075
Chloride	%w/w Cl	3.480	3.460	3.470
Hydrogen Chloride	%w/w HCl	3.580	3.560	3.570
Carbon	%w/w Fe	3.230	2.630	2.930

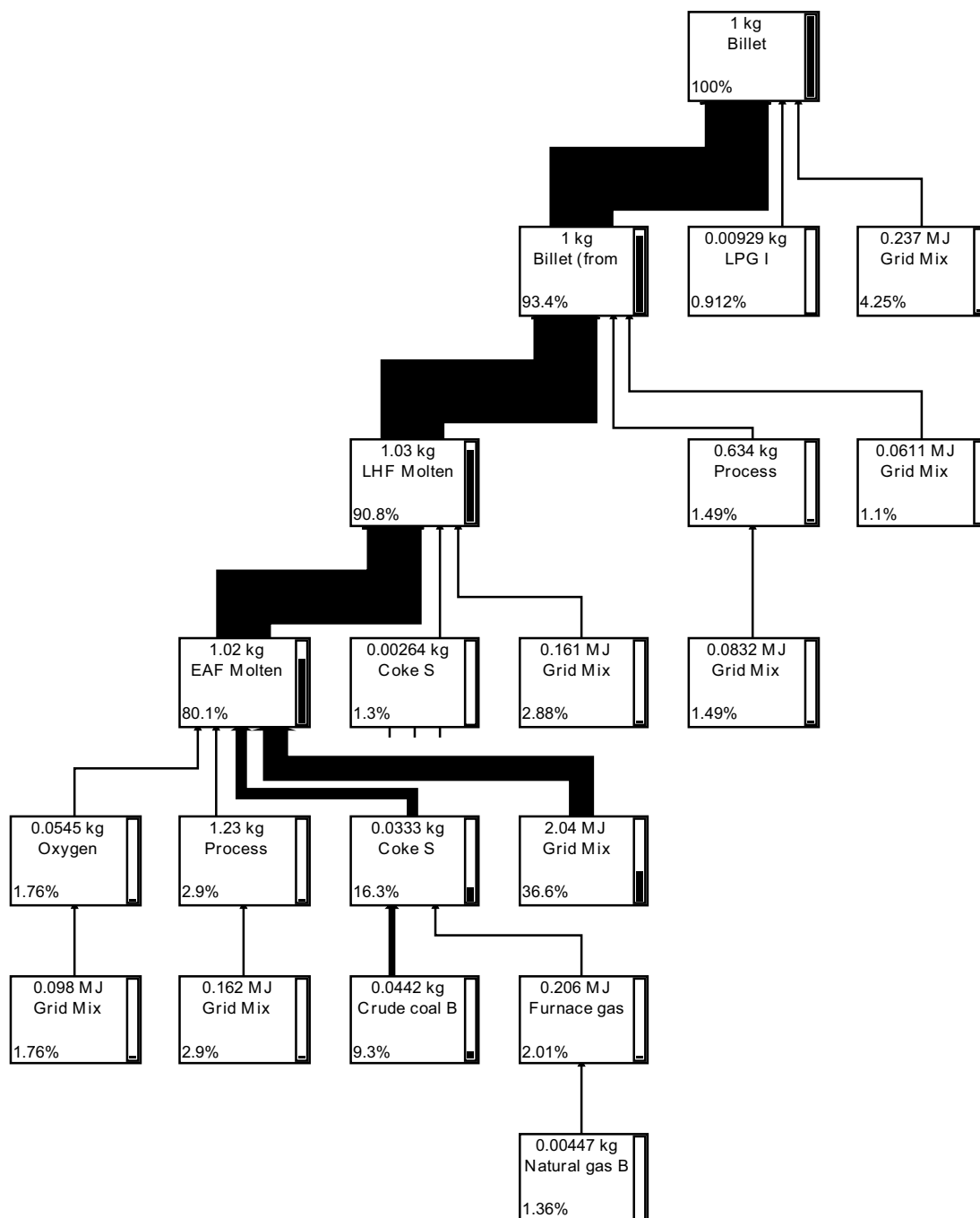
ND : Non-Detectable (Cobalt<0.01%, Arsenic<0.001%, Phosphorus Pentaoxide<0.01%)

ตารางที่ 7.7 ผลตรวจวิเคราะห์ห้องค้ประกอบของกากซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเหล็กแท่งยาว

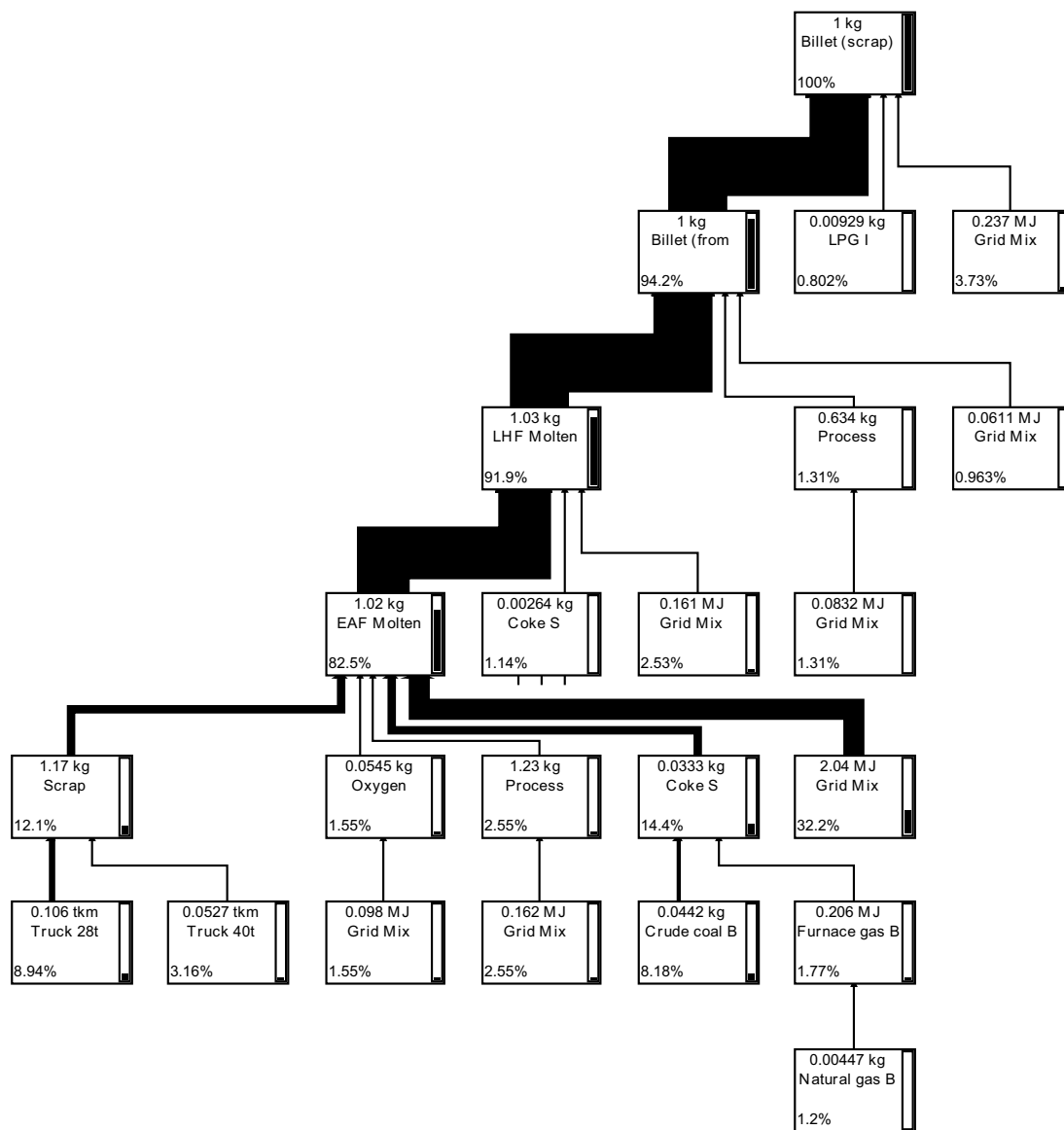
พารามิเตอร์	หน่วย	ผลตรวจวิเคราะห์	
		กากซีเมนต์จาก กระบวนการ EAF	กากซีเมนต์จาก กระบวนการ LHF
Iron	%w/w Fe	15.800	1.190
Calcium Oxide	%w/w CaO	17.800	58.200
Chromium Oxide	%w/w Cr ₂ O ₃	0.250	0.040
Zinc Oxide	%w/w ZnO	0.200	0.040
Copper Oxide	%w/w CuO	0.014	0.003
Nickel Oxide	%w/w NiO	0.006	0.004
Sodium Pentaoxide	%w/w Na ₂ O ₅	0.005	0.080
Potassium Oxide	%w/w K ₂ O	0.190	0.030
Silica Oxide	%w/w SiO ₂	2.510	0.260
Magnesium Oxide	%w/w MgO	5.040	10.550
Manganese Oxide	%w/w MnO	3.580	1.620
Aluminium Oxide	%w/w Al ₂ O ₃	4.360	2.020
Titanium Oxide	%w/w TiO ₂	5.780	3.180
Vanadium Pentaoxide	%w/w V ₂ O ₅	0.030	0.020
Sulphur	%w/w S	0.060	0.170
Carbon	%w/w C	ND	ND
Phosphorus Pentaoxide	%w/w P ₂ O ₅	ND	ND

ND : Non-Detectable (Phosphorus Pentaoxide <0.01%)

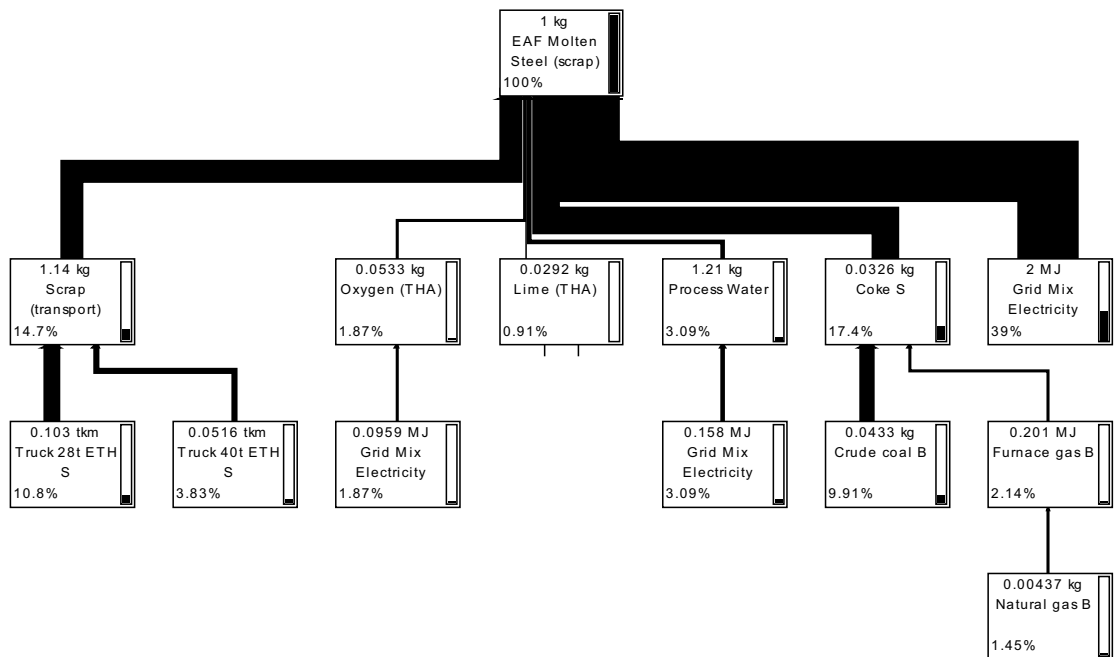
รูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ของกระบวนการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม (ไม่รวมการขนส่งเศษเหล็ก)



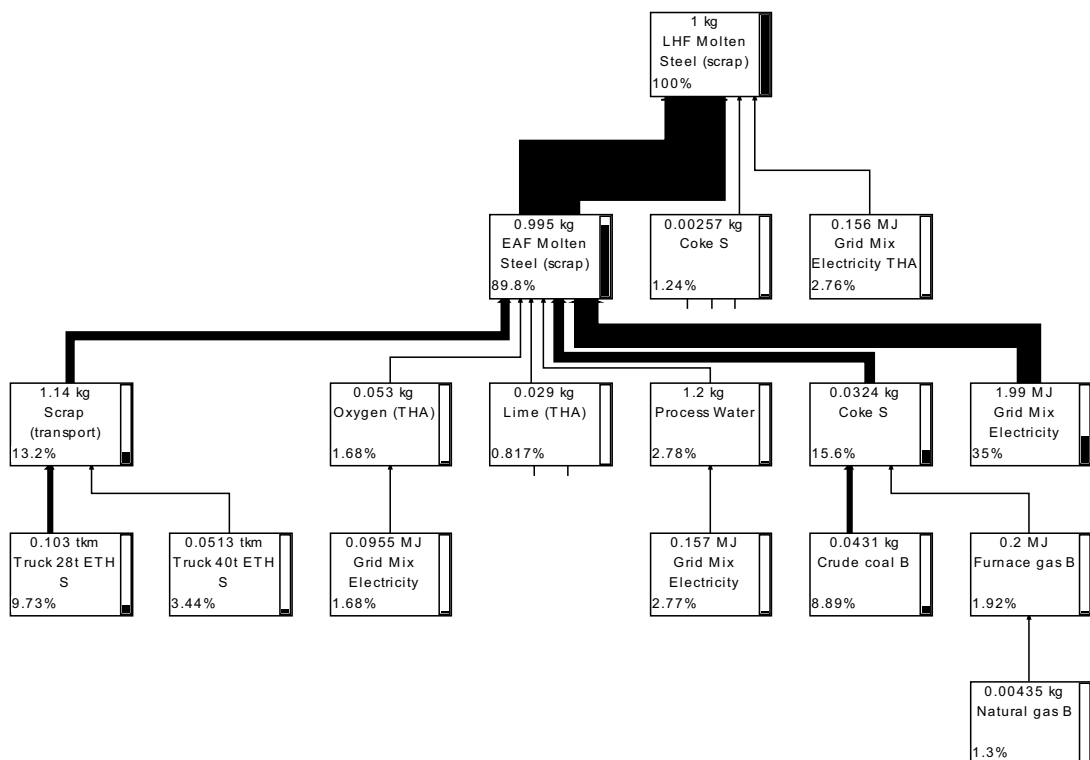
รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ของกระบวนการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม



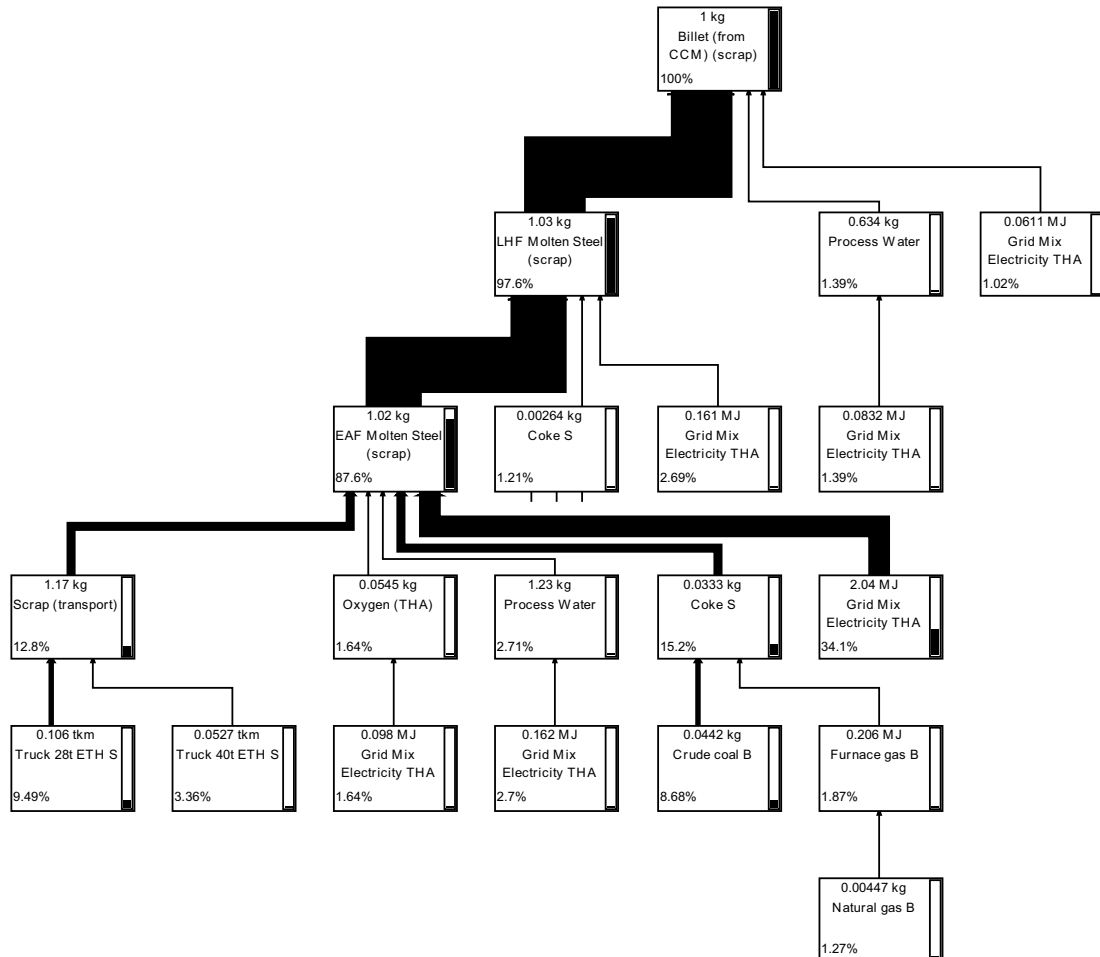
รูปที่ 7.10 ความสัมพันธ์ของการผลิตน้ำเหล็กจากเตาอาร์คไฟฟ้า ปริมาณ 1 กิโลกรัม



รูปที่ 7.11 ความสัมพันธ์ของการผลิตน้ำเหล็กหลังจากเตา LHF ปริมาณ 1 กิโลกรัม



รูปที่ 7.12 ความสัมพันธ์ของการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม ภายหลังจากจากระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่อง (แต่ยังไม่ได้รวมการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงของระบบ In-House Facility

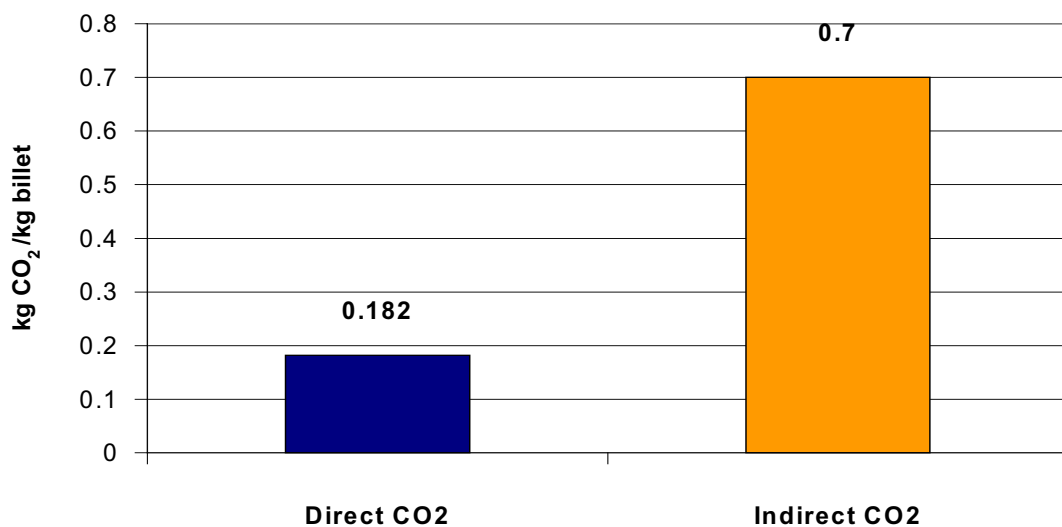


7.4 สรุปผลการศึกษา

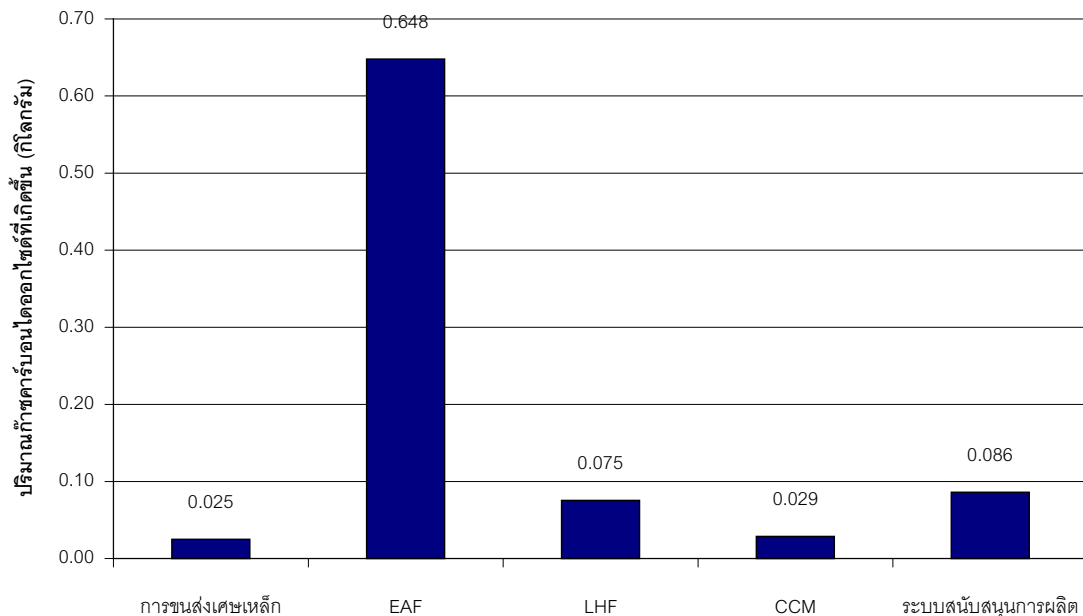
บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาวของโรงงานตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบเป็น 2 กรณีศึกษา ระหว่าง กรณีศึกษาที่ 1 : ไม่คิดการขนส่งเศษเหล็ก และกรณีศึกษาที่ 2 : เป็นการคำนึงถึงการขนส่งเศษเหล็กเข้ามาโรงงานตัวอย่าง พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาวมีค่าเท่ากับ 0.854 และ 0.883 กิโลกรัม ตามลำดับ อันแสดงให้เห็นว่าการขนส่งเศษเหล็กวัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อการเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลของกรณีศึกษาที่ 2 สามารถจำแนกปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นได้เป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกระบวนการผลิตของโรงงานเท่ากับ 0.182 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว (คิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด) ขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยอ้อมมีค่าเท่ากับ 0.700 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว (ร้อยละ 79 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด) ดังรูปที่ 7.13

รูปที่ 7.13 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยตรงและโดยอ้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม



รูปที่ 7.14 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม แยกตามกระบวนการย่อย



จำแนกตามกระบวนการย่อยพบว่ากระบวนการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า (EAF Process) เป็นกระบวนการสำคัญที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (รูปที่ 7.14) มีปริมาณเท่ากับ 0.640 กิโลกรัมต่อการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม รองลงมาได้แก่ระบบสนับสนุนการผลิตอื่น ๆ ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 0.086 กิโลกรัมต่อการผลิตเหล็กแท่งยาว 1 กิโลกรัม

การใช้ไฟฟ้าในการผลิตเหล็กแท่งยาวเป็นสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยคิดเป็นร้อยละ 62.50 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือเท่ากับ 0.552 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว) ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานเพื่อให้เกิดการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาคอุตสาหกรรมผลิตเหล็กชั้นกลางด้วยวิธีใช้เตาอาร์คไฟฟ้านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายของโรงงานได้อีกทางหนึ่งเนื่องจากพบว่าค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้ามีความสำคัญเป็นอันดับ 2 รองจากค่าใช้จ่ายด้านเศษเหล็กวัตถุดิบ

บทที่ 8

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยโครงการ “การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม” ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าและศึกษาวิจัยผลกระทบของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ตลอดวัฏจักรชีวิต เป็นระยะเวลา 1 ปี (มกราคม ถึง ธันวาคม 2546) สามารถสรุปได้ว่า

1) LCA เป็นเครื่องมือการจัดการสิ่งแวดล้อมที่มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัญหาสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีการวิเคราะห์และคำนวณครอบคลุมทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ไม่ใช่เฉพาะแต่กระบวนการผลิตในโรงงานเท่านั้น ทำให้เกิดผลลัพธ์เชิงปริมาณที่ชัดเจน โรงงานสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงนำไปใช้สำหรับการทำเบนช์มาร์กিংเพื่อพัฒนาตนเองต่อไป อย่างไรก็ตาม LCA เป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนและต้องการข้อมูลและความรู้เชิงเทคนิคเป็นอย่างมาก จึงเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการเผยแพร่ไปสู่วงการอุตสาหกรรม

2) ข้อมูลบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการเกิดมลพิษที่ได้จากโครงการนี้ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน (background database) ให้แก่นักวิจัยและกลุ่มอุตสาหกรรมศึกษาต่อ ยอดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเป็นองค์ประกอบ ที่สำคัญคือการได้ทราบถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตและจำหน่ายปูนซีเมนต์และการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กกล้า ทำให้สามารถนำไปจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในประเทศไทย เพื่อเสนอต่อสหประชาชาติตามที่ไทยได้ลงนามเข้าร่วมเป็นภาคีและให้สัตยาบันในกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

3) การใช้ฐานข้อมูลนี้ในการประเมินการปล่อย Greenhouse Gases (GHG) ของกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากเป็นการศึกษา LCI ในผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทปอร์ตแลนด์เท่านั้น แต่ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์มีหลายชนิดและมีส่วนผสมของวัตถุดิบต่างกัน เช่น ปูนฉาบจะผสมทรายกับยิปซัมมากขึ้นเนื่องจากไม่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างมากนัก ทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตและพลังงานที่มาจากการผลิตวัตถุดิบที่ใช้แตกต่างไปจากฐานข้อมูล ระยะเวลาในการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานและขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังผู้จัดจำหน่ายก็เป็นตัวแปรที่สำคัญ

เนื่องจากยิ่งไกลยิ่งต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมาก จึงทำให้ปล่อย GHG ออกมามากตามด้วย ตลอดจนการจัดการด้านเทคโนโลยีสะอาดและนโยบายการใช้พลังงานหมุนเวียนภายในโรงงาน ก็เป็นตัวแปรต่อปริมาณ GHG ที่ปล่อยออกมา อย่างไรก็ตาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นปูนโครงสร้างที่ใช้ทั่วไปในการก่อสร้าง และโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ในประเทศไทย จะอยู่ในบริเวณจังหวัดสระบุรี ค่าเฉลี่ยการขนส่งระหว่างแก่งคอย ลำปาง กรุงเทพฯ จึงเป็นตัวแทนระยะทางของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทยได้ ดังนั้น ผลงานวิจัยจึงสามารถนำไปใช้ต่อยอดในการศึกษาได้เป็นอย่างดี

4) อุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ นับว่าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการใช้ทรัพยากรและเชื้อเพลิงมากกว่าอุตสาหกรรมอื่นๆ แม้ว่ากระบวนการผลิตนั้นจะจัดว่าไม่ค่อยซับซ้อนเท่าใดนัก พลังงานที่ใช้หลักๆ คือ เชื้อเพลิง และไฟฟ้า เชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้น เกือบทั้งหมดจะอยู่ที่กระบวนการเผาในเตาเผา โดยเชื้อเพลิงหลักของอุตสาหกรรมนี้คือ ลิกไนต์ ซึ่งในบางโรงงานได้มีการทดลองนำเชื้อเพลิงชนิดอื่นแทน เช่น ถ่านหิน ปีโตรเลียมโค้ก แอนทราไซต์ แต่ก็ยังไม่แพร่หลายนัก นอกจากนี้ยังต้องใช้น้ำมันเตาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการจุดเตาเผาอีกด้วย จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการศึกษานี้พบว่า ในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันตลอดจนการขนส่งไปยังผู้จัดจำหน่ายมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกมา 973 กิโลกรัม (แบบไม่บรรจุถุง) และ 980 กิโลกรัม (แบบบรรจุถุง) กระบวนการที่ปล่อยก๊าซ CO₂ ออกมามากที่สุดคือกระบวนการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ด ซึ่งผลกระทบเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงและไฟฟ้า โดยในกระบวนการนี้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีของการเผาหินปูนให้เป็นปูนเม็ด และมีการปล่อยก๊าซ CO₂ ออกมาด้วย โดยในการเผาเพื่อให้ได้ปูนเม็ด 1 ตัน จะเกิดก๊าซ CO₂ ประมาณ 909 กิโลกรัม

5) จากการศึกษาเมื่อเทียบต่อดัชนีของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์แล้วพบว่ากระบวนการที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดคือ กระบวนการบดย่อยซีเมนต์ซึ่งเป็นการนำปูนเม็ดมาบดย่อยรวมกับยิปซัมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ รองลงมาคือกระบวนการเผาในเตาเผา ซึ่งไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการนี้มีปริมาณมากเนื่องจากต้องมีการเตรียมลิกไนต์เพื่อนำเข้าไปเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา ซึ่งต้องมีการบดลิกไนต์ให้ละเอียดก่อนนำไปเป็นเชื้อเพลิง โดยที่กระบวนการบดย่อยวัตถุดิบนั้นจะมีการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่ากระบวนการเผาในเตาเผาเพียงเล็กน้อย

6) โรงงานปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ได้มีการรับกากของเสียจากอุตสาหกรรมอื่นเข้ามาใช้เพื่อทดแทนเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมต่างๆ ยางรถยนต์ที่ไม่ได้คุณภาพหรือซากยาง แต่กากของเสียที่นำมาเชื้อเพลิงเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้อยู่หลายด้าน เช่น ปริมาณความร้อน ปริมาณโลหะหนักหรือสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในกากของเสียนั้นๆ ทำให้ไม่สามารถนำมาทดแทนเชื้อเพลิงได้ในปริมาณมากนัก ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการนำกากของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงในเตาเผาปูน เทียบกับการใช้เชื้อเพลิงแบบปกติทั้งหมด พบว่าการ

น้ำหนักของเสียมาทดแทนเชื้อเพลิงนั้น สามารถช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ โดยมีการปล่อยก๊าซ CO₂ เพียง 973 กิโลกรัม จากเดิมถ้ามีการใช้เชื้อเพลิงทั้งหมดจะปล่อยก๊าซ CO₂ ปริมาณ 981 กิโลกรัม และยังลดภาระในการกำจัดกากของเสียให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้อีกทางหนึ่ง ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถนำมาทดแทนเชื้อเพลิงได้ในปริมาณมาก แต่คาดว่าอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์น่าจะมีการศึกษาและทดลองการนำกากของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงได้ในปริมาณที่มากกว่าเดิมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของปูนเม็ดที่ผลิตออกมา ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนนโยบายของรัฐในการส่งเสริมเรื่องดังกล่าว เพื่อลดภาระพื้นที่การจัดเก็บและทำลายกากของเสียลง

7) การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำยิปซัมสังเคราะห์ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มาทดแทนวัตถุดิบสำหรับกระบวนการบดย่อยซีเมนต์เทียบกับการใช้ยิปซัมทั่วไป ในปริมาณร้อยละ 100 ในการผลิต พบว่าการนำยิปซัมสังเคราะห์มาทดแทนการใช้ยิปซัมแบบปกติจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า คือเมื่อคิดภาระทางสิ่งแวดล้อม จะมีการปล่อย CO₂ 978 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ แต่ถ้าไม่คิดภาระสิ่งแวดล้อม จะมีการปล่อย CO₂ 976 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นกับระยะทางในการขนส่งยิปซัมสังเคราะห์มายังโรงงานด้วย เพราะมีการใช้พลังงานทางอ้อมอีกรูปแบบหนึ่งคือ น้ำมันดีเซล

8) ในการขนส่งวัตถุดิบต่างๆ มายังโรงงานและใช้ในการขนส่งปูนซีเมนต์ไปยังผู้จำหน่าย มีการใช้พลังงานคือน้ำมันดีเซล ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันตามปริมาณในการใช้งานและระยะทางในการขนส่ง แต่ก็จัดว่าเป็นประเด็นสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน

9) จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เหล็กแท่งยาวของโรงงานตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นรวมทั้งสิ้น 0.883 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว ซึ่งจำแนกได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกระบวนการผลิตของโรงงานเท่ากับ 0.182 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว (คิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด) ขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยอ้อมมีค่าเท่ากับ 0.700 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว (ร้อยละ 79 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด) จากการศึกษพบว่าการใช้ไฟฟ้าในการผลิตเหล็กแท่งยาวเป็นสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยคิดเป็นร้อยละ 62.50 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือเท่ากับ 0.552 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมเหล็กแท่งยาว) ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานเพื่อให้เกิดการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของภาคอุตสาหกรรมผลิตเหล็กชั้นกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า

8.2 ข้อเสนอแนะจากการดำเนินโครงการ

1) LCA เป็นวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน ต้องการข้อมูลพื้นฐานเป็นจำนวนมากและหลากหลาย แต่เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์และในระดับโลกกำลังส่งเสริมให้มีการวิจัยด้าน LCA อย่างมาก ประเทศไทยจึงควรเตรียมพร้อมนักวิจัยและอุตสาหกรรมด้วยการทำแผนที่เส้นทาง (Road Map) การจัดทำฐานข้อมูลอุตสาหกรรมเพื่อการศึกษา และการนำ LCA ไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม โดยเชิญผู้ที่เกี่ยวข้องมาระดมความคิด สรรหาเจ้าภาพที่จะเป็นหน่วยงานกลางทำหน้าที่ประสานงานและจัดสรรงบประมาณในการศึกษา ตลอดจนเร่งประชาสัมพันธ์ไปยังสมาคมอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ และเชิญชวนเข้าร่วมให้ข้อมูล

2) การเก็บข้อมูล LCI หรือทำ gate-to-gate life cycle inventory ควรเริ่มจากวัสดุพื้นฐาน (basic materials) ที่มีการใช้ทั่วไปในการผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปก่อน เช่น กระจก พลาสติก ชนิดต่างๆ (PE, PVC, PP, PET, ABS) แก้ว อะลูมิเนียม ทองแดง ยาง น้ำมันเชื้อเพลิง เช่น ดีเซล เบนซิน น้ำมันเตา จากนั้น จึงศึกษาวัสดุประเภทอื่นๆ ต่อไป

3) ในการพัฒนาฐานข้อมูล LCI ในลักษณะ gate to gate นั้น จะเป็นการรวบรวมข้อมูลเฉพาะปริมาณ/มวลของสารเข้าที่เข้าไปในโรงงานหนึ่ง ๆ และสารขาออก ณ จุดสิ้นสุดการดำเนินงานของโรงงาน เช่น การขนส่งผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปออกนอกโรงงานไปยังโรงงานอื่น หรือผู้ค้าย่อย หรือผู้บริโภค ทั้งนี้ เพื่อเป็นการตัดตอนช่วงการเก็บข้อมูล และให้ได้มาซึ่งฐานข้อมูลที่สมบูรณ์ครบถ้วนในแต่ละช่วงชีวิต อย่างไรก็ตาม การพัฒนาฐานข้อมูล LCI แบบ gate-to-gate จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากนักวิจัยและภาคอุตสาหกรรม ตั้งแต่โรงงานต้นน้ำ (upstream) ไปจนถึงโรงงานปลายน้ำ (downstream) ของอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งๆ เช่น ถ้าต้องการฐานข้อมูล LCI ของเหล็กรีดเย็น ต้องเก็บข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมมากกว่า 4 ประเภท ตั้งแต่ (1) เหมืองสินแร่เหล็ก (2) โรงงานที่ผลิตเหล็กขั้นต้น (3) โรงงานที่นำเหล็กขั้นต้นไปหลอมเป็นเหล็กขั้นกลาง (4) โรงงานผลิตเหล็กขั้นปลาย และ (5) กลุ่มโรงงานผลิต facilities ต่างๆ เช่น ไฟฟ้า น้ำมัน ดีเซล น้ำ ฯลฯ การเก็บข้อมูลอาจเป็นในรูปของการขอความร่วมมือจากโรงงานในภาคอุตสาหกรรมนั้นๆ โดยตรงเพื่อเข้าไปสำรวจและตรวจวัด หรือขอความร่วมมือผ่านไปยังสมาคมของอุตสาหกรรมนั้นๆ หรือผ่านชมรมของสภาอุตสาหกรรม โดยมีการออกแบบใบเก็บข้อมูลตามที่ต้องการ และให้สมาคมฯ หรือชมรมฯ เป็นผู้ขอร่วมสมาชิกให้เก็บข้อมูลตามใบเก็บข้อมูลดังกล่าว ซึ่งวิธีการนี้ใช้ในการทำฐานข้อมูล LCI ของประเทศญี่ปุ่น

4) เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการนำร่องที่จัดทำฐานข้อมูลเพื่อการศึกษา LCA ของประเทศไทย ทำให้ยังได้ข้อมูลไม่สมบูรณ์มากนัก แต่นักวิจัยที่สนใจทำ LCA สามารถนำฐานข้อมูลที่ได้จากโครงการฯ ไปศึกษาวิจัยต่อยอดได้ เช่น การศึกษาการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดอื่นๆ ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย คอนกรีตผสมเสร็จ หรืออาจศึกษา LCA ในส่วนของข้อมูลที่ยังขาดอยู่ เช่น ดีเซลที่ใช้ในการขนส่ง การใช้วัตถุดิบ การผลิตกระดาษกราฟ

5) ในการทำโครงการวิจัยที่มีการทำงานร่วมกันระหว่างนักวิจัยและบริษัทเอกชนนั้น มีจุดเด่นและข้อได้เปรียบในแง่ที่โจทย์วิจัยจะเป็นสิ่งที่ทั้งสองฝ่ายต่างต้องการศึกษา จึงทำให้เกิดการทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิด ตั้งแต่การกำหนดวัตถุประสงค์โครงการ วิธีการเก็บข้อมูล และการพัฒนาทิศทางการวิจัย ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เชื่อถือได้และผลงานวิจัยที่ทั้งสองฝ่ายต่างนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังเช่นในโครงการนี้ โรงงานที่เข้าร่วมโครงการได้ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการเก็บข้อมูล เจ้าหน้าที่ของโรงงานที่ได้รับการมอบหมายให้ประสานงานโครงการได้เรียนรู้หลักการทำ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน ISO 14040 และโรงงานได้รับฐานข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และเหล็กกล้า อย่างละเอียด เพื่อใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของโรงงานต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการจัดการพลังงาน ในขณะที่นักวิจัยได้เรียนรู้ถึงวิธีการเก็บข้อมูลในโรงงาน การนำเสนอข้อมูลให้กับทุกภาคส่วนของโรงงาน และสร้างฐานข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และเหล็กกล้า ในระดับประเทศ เพื่อใช้ในการศึกษา LCA ต่อไป