

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็ก

นางสาววิภาศรี เรืองเนตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF COAL GASIFICATION FOR REHEATING FURNACE

Miss Wipasri Rueangnet

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็ก
โดย	นางสาววิภาศรี เรืองเนตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จริญญากรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ญัฐเดช เพ็องวรวงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จริญญากรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ญัฐเดช เพ็องวรวงค์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตติน แดงเที่ยง)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยณรงค์ จักรธรานนท์)

วิภาศรี เรื่องเนตร : การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน เพื่อใช้กับเตาเผาเหล็ก (LIFE CYCLE ASSESSMENT OF COAL GASIFICATION FOR REHEATING FURNACE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร. พงษ์ธร จรรย์ญากรณ์ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.ดร. ญัฐเดช เพ็ญวรวงศ์, 96 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อให้ความรื้อนกับเตาเผาเหล็ก โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment; LCA) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โดยทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน ด้านภาวะความเป็นกรด และด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำ โดยในงานวิจัยนี้มีหน้าที่การใช้ (Functional Unit) คือปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานต่อการถลุงเหล็ก 1 ตัน และใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Eco-Indicator 95 โดยทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาซึ่งมีขั้นตอนย่อยเพียงขั้นตอนเดียวคือ ขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงซึ่งมีขั้นตอนย่อยสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินและขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง เพื่อเปรียบเทียบถึงความเหมาะสมในแง่ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทดังกล่าว

จากผลการวิจัยพบว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด รองลงมาคือด้านภาวะความเป็นกรดและด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำ ตามลำดับ โดยมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 0.051 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน ซึ่งมากกว่าค่าคะแนนเชิงเดี่ยวที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินซึ่งมีค่าคะแนนเท่ากับ 0.037 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน ดังนั้นหากต้องการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดก็ควรเลือกใช้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาเผาเหล็ก เนื่องจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวที่แสดงให้เห็นถึงความรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า อย่างไรก็ตามค่าคะแนนเชิงเดี่ยวดังกล่าวยังไม่ได้คิดรวมปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินเข้าไปด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5270836421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS : LIFE CYCLE ASSESSMENT / COAL GASIFICATION / ACIDIFICATION /

WIPASRI RUEANGNET: LIFE CYCLE ASSESSMENT OF COAL GASIFICATION FOR REHEATING FURNACE. ADVISOR: ASSOC. PROF. PONGTORN CHARUNYAKORN, Ph.D., CO-ADVISER: ASST. PROF. NATTADATE FUANGWORAWONG, Ph.D., 96 pp.

This research studies environmental impact including global warming, acidification and eutrophication of fuel combustion for reheating furnace by use of life cycle assessment (LCA). The functional unit of this research is the quantity of fuel and emission for reheating 1 ton steel. This thesis use of Eco-Indicator 95 method to impact assessment. Comparison of fuel oil combustion cycle that has one process is fuel oil combustion process and syngas combustion cycle that have two processes are coal gasification process and syngas combustion process.

The results show that the fuel oil combustion cycle has the highest environmental impact on global warming and the single score of this cycle is 0.051 point per person which is greater than the single score of coal-to-syngas combustion cycle (at 0.037 point per person). This means the syngas combustion cycle has lower environmental impact than fuel oil combustion cycle. However, the single score for coal-to-syngas combustion cycle does not include the Hydrogen Sulfide (H₂S) emission from coal gasification.

Department : Mechanical Engineering..... Student's Signature

Field of Study : Mechanical Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year : 2012..... Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรรย์ญากรณ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐเดช เพ็ญวรวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสสำคัญในการทำงานวิจัยฉบับนี้ รวมถึงความกรุณาในการสั่งสอน ให้ความรู้ คำแนะนำ และ ประสพการณ์อันล้ำค่าต่างๆ ที่มีคุณค่าเป็นอย่างยิ่งกับผู้วิจัย อันเป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แดงเที่ยง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยณรงค์ จักรธรานนท์ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และถ่ายทอดความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้ทำงานวิจัยชิ้นนี้จนกระทั่ง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์เสร็จสิ้น

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณฐานิพงษ์ จากบริษัทปูนขาวและแร่ที่เอื้อเพื่อข้อมูลที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และคุณกะมนต์ สุดยอด ที่ได้สนับสนุนด้านข้อมูลที่เกี่ยวกับเตาเผาเหล็ก สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาวที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังในการทำงานวิจัยนี้จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึงคุณวัชระ วัฒนสิงห์ คุณนริศ วงศ์ทยานุวัตร และเพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือตลอดมา ขอขอบพระคุณทุกท่านด้วยใจจริง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	18
3.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment).....	18
3.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal Definition and Scoping).....	19
3.1.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory).....	21
3.1.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment).....	22
3.1.3.1 การจำแนกจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม(Classification).....	25
3.1.3.2 การกำหนดศักยภาพ (Characterization).....	25
3.1.3.3 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization).....	26
3.1.3.4 การให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting).....	27
3.1.4 การแปลผล (Interpretation).....	27

4.3.3 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization).....	54
4.3.4 การให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting).....	55
4.4 การแปลความหมายของผลการประเมิน (Interpretation).....	56
บทที่ 5 ผลการวิจัย	58
5.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis: LCI).....	58
5.1.1 วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา.....	58
5.1.2 วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง.....	60
5.1.2.1 ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน.....	61
5.1.2.2 ขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง.....	62
5.2 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment).....	64
5.2.1 การจำแนกข้อมูลตามกลุ่มประเภทของผลกระทบ (Classification)...	65
5.2.2 การกำหนดศักยภาพ (Characterization).....	65
5.2.2.1 ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming).....	65
5.2.2.2 ผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด (Acidification)...	66
5.2.2.3 ผลกระทบด้านภาวะการเพิ่มแร่ธาตุในแหล่งน้ำ (Euthophication).....	67
5.2.3 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization).....	68
5.2.4 การให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting).....	71
5.3 การแปลผล (Interpretation).....	75
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	78
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	78
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
รายการอ้างอิง	80
ภาคผนวก	82
ภาคผนวก ก ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	83
ภาคผนวก ข การคำนวณมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้า.....	94
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	96

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาในงานวิจัยนี้.....	6
2.2	แสดงที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน.....	8
2.3	แสดงส่วนประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์...	11
2.4	แสดงคุณสมบัติของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้.....	11
2.5	สิ่งที่เข้ามาในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์และสิ่งที่ออกมาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์.....	13
3.1	แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีต่าง ๆ.....	23
3.2	แสดงค่าศักยภาพของผลกระทบในด้านต่าง ๆ.....	26
3.3	แสดงคุณสมบัติของถ่านหินชนิดต่าง ๆ.....	29
3.4	แสดงคุณสมบัติของน้ำมันเตา.....	36
4.1	แสดงพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาในงานวิจัยนี้.....	40
4.2	ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการทำบัญชีรายการขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา.....	43
4.3	ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการทำบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง.....	45
4.4	ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการทำบัญชีรายการขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง..	47
4.5	แสดงตัวชี้วัดที่บ่งชี้ความรุนแรงของปัญหาแต่ละประเภท.....	48
4.6	แสดงค่า Global Warming Potential (GWP) ที่ระยะเวลา 100 ปี.....	50
4.7	แสดงค่า Acidification Potential (AP) ของแก๊สชนิดต่าง ๆ.....	52
4.8	แสดงค่า Euthophication Potential (EP) ของตัวชี้วัดชนิดต่าง ๆ.....	53
4.9	Normalization values ของประเทศในทวีปยุโรป.....	55
4.10	Weighting factor.....	56
5.1	แสดงรายละเอียดของระบบเตาเผาเหล็กที่ทำการศึกษา.....	59
5.2	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าและขนาดสำหรับเตาเผาเหล็กขนาด 30 ตันต่อชั่วโมง	59
5.3	ปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา.....	60
5.4	ปริมาณมลพิษ (Emission) ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา.....	60
5.5	ปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน.....	61
5.6	ปริมาณมลพิษ (Emission) ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง.....	62

ตารางที่	หน้า
5.7	ปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง..... 62
5.8	ปริมาณมลพิษ (Emission) ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง.... 63
5.9	ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงในหน่วยกิโลกรัมต่อตัน..... 63
5.10	ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา (Cycle 1) และวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง (Cycle 2)..... 64
5.11	แสดงคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของขั้นตอนย่อยทั้งหมดที่ทำการศึกษา.. 73
ก-1	ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน..... 84
ก-2	ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านกรดลงของชั้นโอโซน..... 85
ก-3	ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรด..... 86
ก-4	ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำ..... 87
ก-5	ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่เกี่ยวกับโลหะหนัก..... 88
ก-6	ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่เกี่ยวกับสารก่อมะเร็ง..... 89
ก-7	ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่เกี่ยวกับควันในฤดูหนาว... 90
ก-8	ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่เกี่ยวกับควันในฤดูร้อน.... 91
ก-9	ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่เกี่ยวกับยาฆ่าแมลง..... 93
ข-1	แสดง Emission ที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าผ่านระบบสายส่ง..... 95

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงขอบเขตระบบของการผลิตกระแสไฟฟ้าแก๊สซิพีเคชันของไม้โตเร็ว.....	9
2.2	ขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์.....	12
2.3	แสดงขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้ง 8 เทคโนโลยี.....	15
2.4	แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตหลังจากหาขนาดและน้ำหนักผลกระทบ.....	16
2.5	แสดงขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตจากงานวิจัยของ Maria Luiza Grillo Reno.....	17
3.1	แสดงขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต.....	19
3.2	แสดงขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบ Eco-Indicator 95.....	24
3.3	เตาปฏิกรณ์แบบอากาศไหลขึ้น.....	31
3.4	เตาปฏิกรณ์แบบอากาศไหลลง.....	32
3.5	เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด.....	33
3.6	เตาปฏิกรณ์แบบเอ็นเทรนโพล์.....	34
3.7	เตาแบบผลักดัน (Pusher Type Furnace).....	35
4.1	วัฏจักรการเผาไหม้น้ำมันเตา.....	39
4.2	วัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง.....	39
4.3	แสดงขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา.....	42
4.4	แสดงขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง.....	44
4.5	แสดงขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง.....	46
5.1	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของ Cycle 1 และ Cycle 2.....	66
5.2	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดของ Cycle 1 และ Cycle 2...	67
5.3	การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะการเพิ่มของแร่ธาตุในแหล่งน้ำของ Cycle 1 และ Cycle 2.....	68
5.4	ขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา.....	69
5.5	ขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง...	69
5.6	การเปรียบเทียบขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจาก Cycle 1 และ Cycle 2....	70
5.7	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังการให้น้ำหนักความสำคัญ.....	72
5.8	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่าง Cycle 1 และ Cycle 2.....	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ปัญหาจากการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติเป็นปัญหาสำคัญที่มนุษย์กำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ สาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจนำไปสู่การขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม ซึ่งนอกจากก่อให้เกิดการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นแล้ว ยังก่อให้เกิดการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย ทำให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนมีความพยายามที่ต้องการจะลดผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม โดยแนวทางในอดีตมุ่งเน้นไปที่การลดปริมาณมลพิษซึ่งเป็นการบำบัดที่ปลายทาง แต่ในปัจจุบันแนวทางในการแก้ไขเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม กระทำโดยการป้องกันการเกิดของเสียจากกระบวนการแทนที่จะปล่อยให้เกิดของเสียแล้วทำการบำบัดในภายหลัง หลักการนี้ถึงแม้ว่าเป็นการแก้ไขที่ต้นเหตุ แต่ในบางกรณีการมุ่งเน้นเพียงเพื่อลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรงเท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงมลพิษที่อาจเกิดขึ้นจากกิจกรรมหรือกระบวนการอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการได้มาซึ่งวัตถุดิบหรือพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั้นๆ เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใดๆ จึงควรศึกษาถึงผลกระทบทั้งหมดในช่วงของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ จะทำให้ทราบถึงแหล่งที่มาของมลพิษได้อย่างชัดเจน เพื่อให้การปรับปรุงกระบวนการผลิตเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพและมีการแก้ไขปัญหาได้ตรงประเด็น ซึ่งจะช่วยให้สามารถใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

อุตสาหกรรมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความจำเป็นสำหรับต่อ ยอดอุตสาหกรรมอื่นๆ จึงทำให้เหล็กกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการสูง กระบวนการผลิตเหล็กเป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานในปริมาณมาก ดังนั้นเมื่อความต้องการเหล็กเพิ่มสูงขึ้น ความต้องการพลังงานจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในกระบวนการผลิตเหล็กนั้นเตาเผาเหล็ก (Reheating Furnace) เป็นหนึ่งในอุปกรณ์สำคัญที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงมาก เมื่อมีปริมาณการใช้พลังงานสูง ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการจัดหาเชื้อเพลิงจึงสูงขึ้นตามไปด้วยส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเหล็กสูงขึ้น ปัจจุบันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาเผาเหล็กในประเทศไทยนั้นมีทั้งน้ำมันเตาและแก๊สธรรมชาติ สำหรับโรงงานเหล็กที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติอาจจะยังไม่มีปัญหานัก แต่สำหรับโรงงานที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงจะได้รับผลกระทบอย่างมาก เนื่องจากน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงและมีราคาที่ไม่แน่นอน ทำให้โรงงานไม่สามารถควบคุมต้นทุนการผลิตได้ จึงทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องพยายามหาวิธีที่จะเปลี่ยนจากการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงไปเป็น

อย่างอื่นแทน ดังนั้นการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (Coal Gasification) จึงกลายเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง

เนื่องจากถ่านหินมีราคาถูก และมีค่าพลังงานความร้อนสูง อีกทั้งยังจัดหาได้ง่าย แต่ทว่าถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่อาจส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม งานวิจัยชิ้นนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อนำแก๊สเชื้อเพลิงไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาเผาเหล็ก โดยใช้ระเบียบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์(Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติต่อผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก

2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติต่อมลพิษที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก สำหรับใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในเชิงสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก โดยใช้การศึกษาแบบ Gate-to-Gate ซึ่งพิจารณาขั้นตอนต่างๆที่เกิดขึ้นภายในโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กเท่านั้น โดยมีขั้นตอนย่อยที่ทำการศึกษาจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาหนึ่งขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตาเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก และมีขั้นตอนย่อยที่ทำการศึกษาจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน และขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก

2. จัดทำบัญชีรายการ (Inventory List) ตลอดวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก

3. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ จากการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติตลอดวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็กด้วยวิธี Eco-Indicator 95

4. ทำการศึกษาโดยไม่พิจารณารวมถึงการขนส่งทุกประเภท เครื่องจักรทุกชนิด และการบำรุงรักษาเครื่องจักรในทุกๆระยะเวลา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและบัญชีรายการเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผาเหล็ก
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ สำหรับเตาเผาเหล็ก
3. เพื่อเป็นเครื่องบ่งชี้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผาเหล็ก
4. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผาเหล็กให้มีประสิทธิภาพเชิงสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระเบียบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)
2. ศึกษาขั้นตอนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผาเหล็ก ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน และขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงในเตาเผาเหล็กหรือเตาอุตสาหกรรม
3. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้น้ำมันเตาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาเผาเหล็ก
4. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกในแต่ละขั้นตอนย่อยของวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก
5. จัดทำบัญชีรายการ (Inventory List) ของวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก

6. กำหนดประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สนใจแล้วทำการศึกษารายละเอียด
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากทุกขั้นตอนย่อยตลอดวัฏจักรชีวิต
8. สรุปและวิจารณ์ผลจากการวิเคราะห์ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะ
9. นำเสนอวิทยานิพนธ์และเผยแพร่งานวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักรภพ นาคฤทธิ์ [1] ทำการเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตระหว่างการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% และ 99.5% พิจารณาเฉพาะการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย โดยดำเนินการตามแนวทางที่ใช้ใน GREET Model และใช้ระเบียบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ การศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาใน 3 ประเด็นหลัก คือ วัฏจักรพลังงาน วัฏจักรแก๊สเรือนกระจก และ วัฏจักรมลพิษ ตลอดวงจรชีวิตของเชื้อเพลิง โดยวงจรชีวิตของเชื้อเพลิง (FTW) ประกอบด้วย Feedstock-to-Tank (FTT) คือ ขั้นตอนต่างๆของการผลิตเชื้อเพลิงตั้งแต่เริ่มต้นจากวัตถุดิบจนถึงขั้นสุดท้ายที่ถึงเชื้อเพลิงในรถยนต์ ซึ่งมีขั้นตอนย่อยดังนี้ การผลิตอ้อย การผลิตน้ำตาล การผลิตเอทานอลและการขนส่งเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ กับ Tank-to-Wheel (TTW) คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงานจากถังเชื้อเพลิงลงสู่พื้นถนนผ่านล้อ ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ส่วนใหญ่จะพิจารณาจากข้อมูลในระดับทุติยภูมิที่มีการเก็บรวบรวมและเผยแพร่โดยหน่วยงานต่างๆ ซึ่งผู้ศึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม โดยมีพารามิเตอร์ที่จะพิจารณาดังตารางที่ 2.1

สำหรับวัฏจักรพลังงานจะพิจารณา

- Total energy use (all energy sources)
- Fossil energy use (petroleum, natural gas, coal)
- Petroleum use

สำหรับวัฏจักรแก๊สเรือนกระจกจะพิจารณา

- Carbon dioxide [CO₂]
- Methane [CH₄]
- Nitrous oxide [N₂O]

สำหรับวัฏจักรมลพิษจะพิจารณา

- Carbon monoxide [CO]
- Nitrogen oxides [NO_x]
- PM10

ตารางที่ 2.1 แสดงพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาในงานวิจัยนี้ [1]

พลังงาน	แก๊สเรือนกระจก	แก๊สมลพิษ
1. Total energy use (all energy source)	1. CO ₂	1. VOC
2. Fossil energy use (Petroleum, Natural gas and Coal)	2. CH ₄ 3. N ₂ O	2. CO 3. NO _x
3. Petroleum use		4. PM10 5. SO _x

ผู้ศึกษาได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆในแต่ละขั้นตอนย่อย โดยแบ่งประเภทของข้อมูลเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลปฐมภูมิ คือ ข้อมูลที่ได้จากการสอบถามและสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนย่อยนั้นๆ และ ข้อมูลทุติยภูมิ คือ ข้อมูลที่ถูกเก็บและรวบรวมไว้แล้วโดยหน่วยงานต่างๆ หรือข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาทำคำนวณเพื่อหาพารามิเตอร์ที่ต้องการและทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อไป

กฤษกร เจียมจรัสศิลป์ [2] ได้ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสิ่งผงชนิด โพลีเอสเตอร์-อีพอกซี ซึ่งเป็นสิ่งผงที่มีการใช้งานอย่างมากในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยผู้ศึกษาได้ใช้เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ในการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้ได้ทราบค่าเชิงปริมาณและแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของสิ่งผง เช่น การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก การลดลงของชั้นโอโซน และภาวะความเป็นกรด เป็นต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาใช้โปรแกรม SimaPro 5.1 วิธี Eco-Indicator 95 เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดขอบเขตของระบบที่ทำการศึกษาคือครอบคลุมตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง (วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ และ ของเสีย) การใช้งาน และการกำจัด โดยได้แบ่งวัฏจักรชีวิตของสิ่งผงออกเป็น 6 ขั้นตอนได้แก่

1. การผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในวัฏจักรชีวิตของสีผง เช่น เรซิน ผงสี การเติมแต่ง และสารเคมีชนิดต่างๆ เป็นต้น

2. การผลิตสีผง

3. การเคลือบสีผงกับชิ้นงาน

4. การใช้งานสีผงที่เคลือบอยู่บนชิ้นงาน

5. การกำจัด

6. การขนส่ง

โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบพลังงาน และของเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของสีผง 1 กิโลกรัม

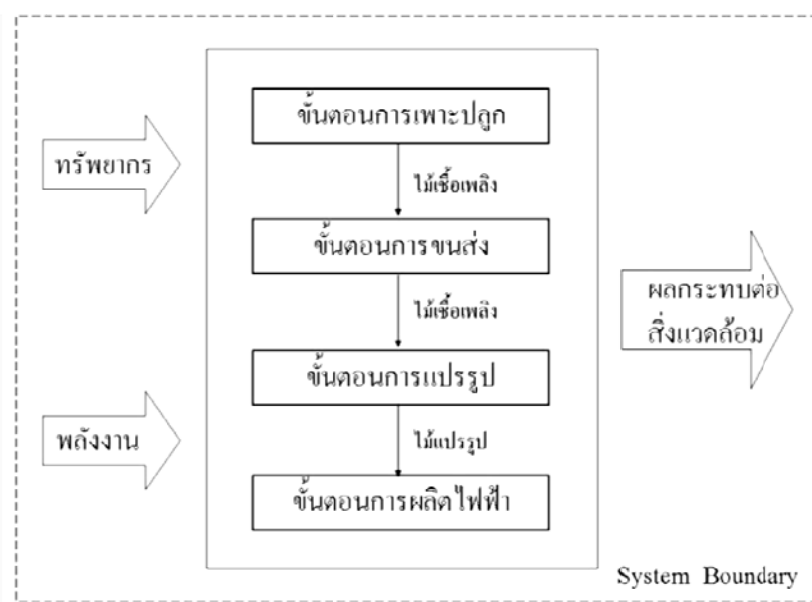
ตารางที่ 2.2 แสดงที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน [2]

ขั้นตอนตลอด วัฏจักรชีวิต	เก็บข้อมูลจาก โรงงาน	สอบถามจาก ผู้เกี่ยวข้อง	งานวิจัย/ เอกสารอ้างอิง	ฐานข้อมูล SimPro 5.1
การผลิตวัตถุดิบ				
(Raw Material Production)				
-การผลิต เรซิน ฮาร์ดเดนเนอร์ ฟิลเลอร์ ผงสี สารเติมแต่งและอื่นๆ			[7,8]	●
การผลิตสีผง (Manufacturing)				
-การผสมวัตถุดิบ (Premixing)	●			
-การบดวัตถุดิบ (Extruding)	●			
-การหล่อเย็น (Cooling)	●			
-การบดสี (Milling)	●			
-การบรรจุสีผง (Packing)	●			
การเคลือบสีผงกับชิ้นงาน Coating)				
-การเตรียมพื้นผิวชิ้นงานให้มีสภาพ เหมาะกับการเคลือบสี (Pretreatment)	●			
-การเคลือบสีผงกับชิ้นงาน (Powder Coated with Workplece)	●			
การใช้งาน (Use)				
		●		
การกำจัด (Disposal)				
-การทำให้เป็นของแข็ง (Solidification)	●			
-การฝังกลบ (Landfill)	●			
-การบำบัดน้ำชะ (Leachate Treatment)	●			
การขนส่ง (Transportation)				
-การใช้พลังงานในการขนส่ง				●
-ระยะทางเฉลี่ยในการขนส่ง	●	●		

ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ ผู้ศึกษาได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ เพื่อหาจำนวนสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของระบบ ซึ่งรายละเอียดที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน ผู้ศึกษาได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เช่น สอบถามข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ค้นคว้าจากงานวิจัย รวบรวมข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิต และใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 5.1 โดยมีรายละเอียดแหล่งที่มาของข้อมูลในขั้นตอนต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลในทุกกระบวนการและทุกขั้นตอนเรียบร้อยแล้ว ผู้ศึกษาจึงนำข้อมูลที่ได้นำไปทำการคำนวณเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรม SimaPro 5.1 วิธี Eco-Indicator 95 ซึ่งประกอบด้วยการจำแนกกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Classification) และการตีค่าผลกระทบของแต่ละกลุ่ม (Characterization) แล้วจึงนำผลการประเมินมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาว่าขั้นตอนใดที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและทางแก้ไขต่อไป

ชนาภา วรรณศรี [3] วิจัยเกี่ยวกับความเหมาะสมในการนำเทคโนโลยีแก๊สซิพีเคชั่นมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้กระถินยักษ์เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากประเทศไทยในเขตภาคเหนือมีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชโตเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระถินยักษ์ซึ่งมีค่าความร้อนที่ความชื้น 60% เท่ากับ 12.3 MJ/kg โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานทรัพยากรธรรมชาติ วัตถุประสงค์ และสารเคมีต่าง ๆ รวมไปถึงการปล่อยมลพิษและการเกิดขยะในขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกไม้ ขั้นตอนการขนส่ง ขั้นตอนการแปรรูปไม้ และขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งนับรวมตั้งแต่กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงไปจนถึงการนำเอาแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ไปเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้ในการปั่นกระแสไฟฟ้า จากนั้นจึงนำฐานข้อมูลที่ได้ใช้ในการประเมินพลังงานที่ใช้ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยเทคนิคสมมูลพลังงาน การประเมินวัฏจักรชีวิต และการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตตามลำดับ

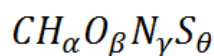


รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตระบบของการผลิตกระแสไฟฟ้าแก๊สซิพีเคชั่นของไม้โตเร็ว [3]

ในการศึกษาคั้งนี้ผู้ศึกษาได้ทำการแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ การศึกษาศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไมโตเร็วด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชัน การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค (Life Cycle Assessment: LCA) และการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค (Life Cycle Costing: LCC)

เป้าหมายในการประเมินวัฏจักรชีวิตของการศึกษาคั้งนี้เพื่อวิเคราะห์พลังงานสุทธิและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชันของไมโตเร็ว ซึ่งมีกำลังการผลิตไฟฟ้า 100 kW และมีอายุการใช้งานของเครื่องจักร 10 ปี โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ด้วยวิธี EDIP/UMIP 97 จากการศึกษาพบว่าผลกระทบโดยรวมที่เกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้ามีผลกระทบเท่ากับ 1.66×10^{-4} Pt หรือ 1.66×10^{-4} Pt/กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดคือ ขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 1.17×10^{-4} Pt ซึ่งคิดเป็น 70% ของผลกระทบทั้งหมด ขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบรองลงมาคือขั้นตอนการแปรรูปไม้เชื้อเพลิง ซึ่งมีค่าผลกระทบเท่ากับ 4.43×10^{-5} Pt ซึ่งคิดเป็น 27% ของการเกิดผลกระทบทั้งหมด ในขณะที่ขั้นตอนการขนส่งก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 3.40×10^{-6} Pt คิดเป็น 2% ของผลกระทบที่เกิดทั้งหมด และขั้นตอนการเพาะปลูกนั้นก่อให้เกิดผลกระทบน้อยที่สุดคือ 2.14×10^{-6} Pt คิดเป็น 1% ของผลกระทบทั้งหมด เมื่อพิจารณาจากประเภทของผลกระทบที่เกิดขึ้นพบว่า ประเภทของผลกระทบที่เกิดมากที่สุด 2 อันดับแรกคือ Ecotoxicity to Water Chronic (EWC): การสะสมสารพิษในน้ำ และ Ecotoxicity to Water Acute (EWA): การเกิดสารพิษในน้ำแบบเฉียบพลัน ซึ่งคิดเป็น 32.57% และ 31.63% ของประเภทผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด

นริศ วงศ์ยานุวัตร [4] สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้ในเตาอุตสาหกรรม โดยใช้หลักสมดุลความร้อนและสมดุลเคมีเพื่อคำนวณหาปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง และส่วนประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง โดยใช้ถ่านหินอินโดนีเซียที่ผลิตได้จากประเทศอินโดนีเซียเป็นวัตถุดิบหลักในการทดลอง ซึ่งแทนได้ด้วยสูตรเคมีต่อไปนี้ ซึ่งจะนำไปทำปฏิกิริยากับอากาศและไอน้ำ จึงจะได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบดังตารางที่ 2.3



ซึ่งจะนำไปทำปฏิกิริยากับอากาศและไอน้ำ จึงจะได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบดังตารางที่ 2.3 โดยแก๊สเชื้อเพลิงนี้ผลิตได้จากเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชนิดไหลขึ้น

โดยใช้ถ่านหินอินโดมิโนโคเป็นวัตถุดิบหลัก และมีคุณสมบัติของแก๊สเชื้อเพลิงแสดงอยู่ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [4]

Gas Component	Mole (%)
CO	12.08
CO ₂	10.79
H ₂	13.00
CH ₄	4.14
N ₂	38.29
H ₂ O	21.70

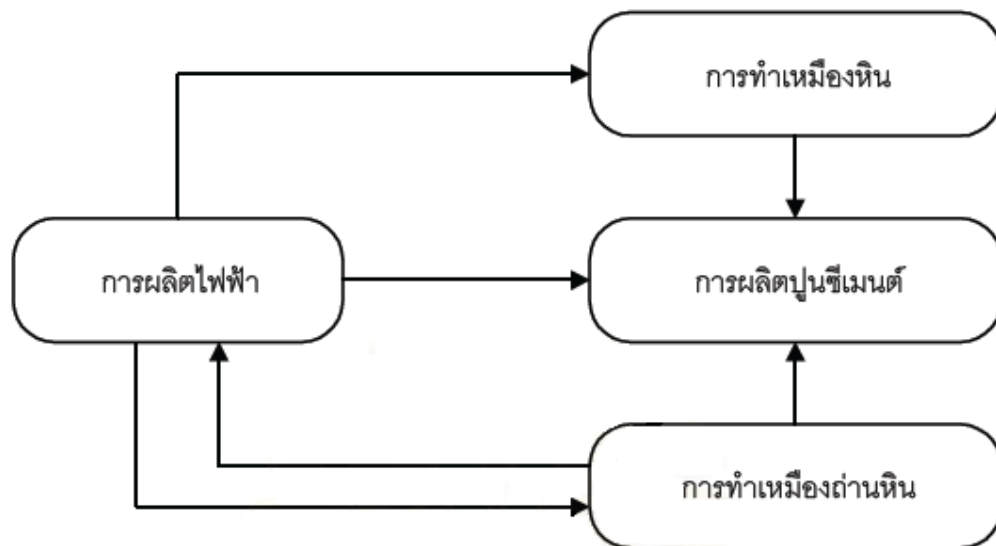
ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ [4]

Syngas Properties	Data
Steam/Coal ratio (SC)	1
Air/Coal ratio (AC)	2.91
Low Heating value of gas (MJ/kg)	20.68
Coal gas efficiency (%)	82.78
% carbon conversion	100
Reaction Temperature (K)	952.25

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้พบว่า หลักการสมดุลทางความร้อนเคมีสามารถใช้อธิบายระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดีและสามารถคำนวณหาค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงสูงสุดเมื่อเกิด Carbon conversion 100% ได้ ซึ่งหมายความว่า

คาร์บอนของแข็งในระบบจะหมดตัวลงพอดี นั่นก็หมายความว่าเราจะสามารถใช้ประโยชน์จากถ่านหินได้เต็มที่ และในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าในการใช้แก๊สเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงให้เตาเผาเหล็กขนาด 50 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งพบว่าหากใช้แก๊สเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงให้กับระบบดังกล่าวจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงได้ 20,957 ถึง 22,551 บาทต่อชั่วโมง (ราคาถ่านหินเท่ากับ 3.56 บาทต่อกิโลกรัม และราคาน้ำมันเตาเท่ากับ 22.47 บาทต่อลิตร)

ธิดา ทศนราพันธ์ [5] ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้หลักการแบบ Cradle to Gate ซึ่งครอบคลุมขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ ได้แก่ การผลิตไฟฟ้า การทำเหมืองถ่านหิน การทำเหมืองหิน และการผลิตปูนซีเมนต์ ดังรูปต่อไปนี้ โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาส่วนใหญ่เป็นข้อมูลแบบทฤษฎีที่ได้มาจากรายงานผลด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ซึ่งตารางที่ 2.5 แสดงสารขาเข้าและสารขาออกของระบบนี้ นอกจากการประเมินวัฏจักรชีวิตแล้ว งานวิจัยนี้ยังได้มีการจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณหาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตปูนซีเมนต์อีกด้วย



รูปที่ 2.2 ขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์ [5]

ตารางที่ 2.5 สิ่งที่เข้ามาในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์และสิ่งที้ออกมาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ [5]

สิ่งที่เข้ามาในกระบวนการผลิต (Inputs)	สิ่งที่ออกจากกระบวนการผลิต (Outputs)
<ul style="list-style-type: none"> - หิน (หินปูน หินดินดาน ดินเหนียว ศิลาแลง แร่เหล็ก หินเชล และทราย) - น้ำ - ไฟฟ้า - เชื้อเพลิง - อากาศ 	<ul style="list-style-type: none"> - ปูนซีเมนต์ - ฝุ่นละออง - แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ - แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ - แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ - แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ - น้ำเสีย - เสียง - ความร้อน

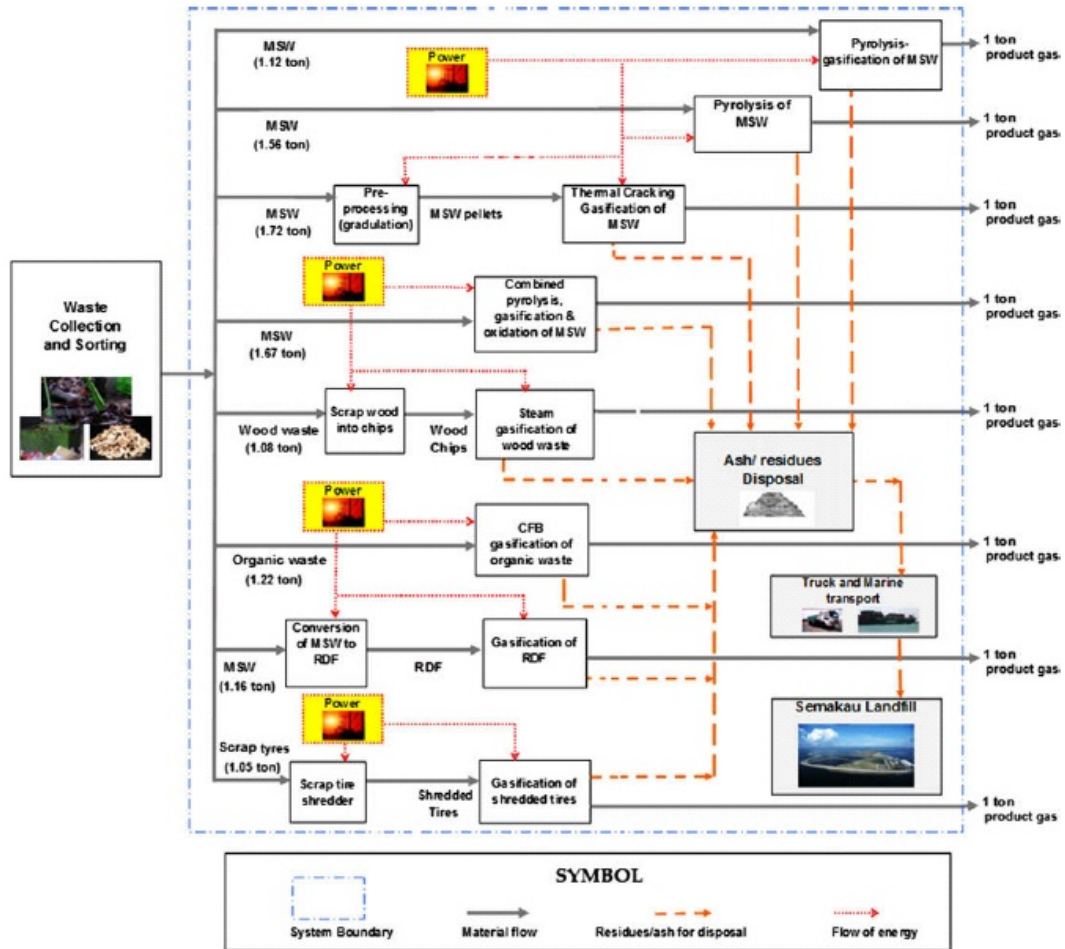
หลังจากศึกษาพบว่า มีฝุ่นแขวงลอยที่เกิดจากการบดวัตถุดิบในขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ ส่วนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ก็เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทดลองเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อให้มีการใช้ไฟฟ้าลดลงเพื่อช่วยลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้า

Hsien H. Hhoo [6] ได้ศึกษากระบวนการกำจัดขยะ (Multiple Solid Waste; MSW) ให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่นำไปภายในประเทศสิงคโปร์ เนื่องจากสิงคโปร์เป็นประเทศมีลักษณะภูมิประเทศเป็นเกาะ มีพื้นที่จำกัด ดังนั้นเมื่อมีจำนวนขยะที่มากขึ้นก็ต้องหาพื้นที่ในการทิ้งขยะเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้สูญเสียที่ดินไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นเทคโนโลยีที่จะช่วยในการกำจัดขยะ โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันถึง 8 เทคโนโลยี ได้แก่

1. Pyrolysis-gasification of MSW
2. Pyrolysis of MSW
3. Thermal cracking gasification of granulated MSW

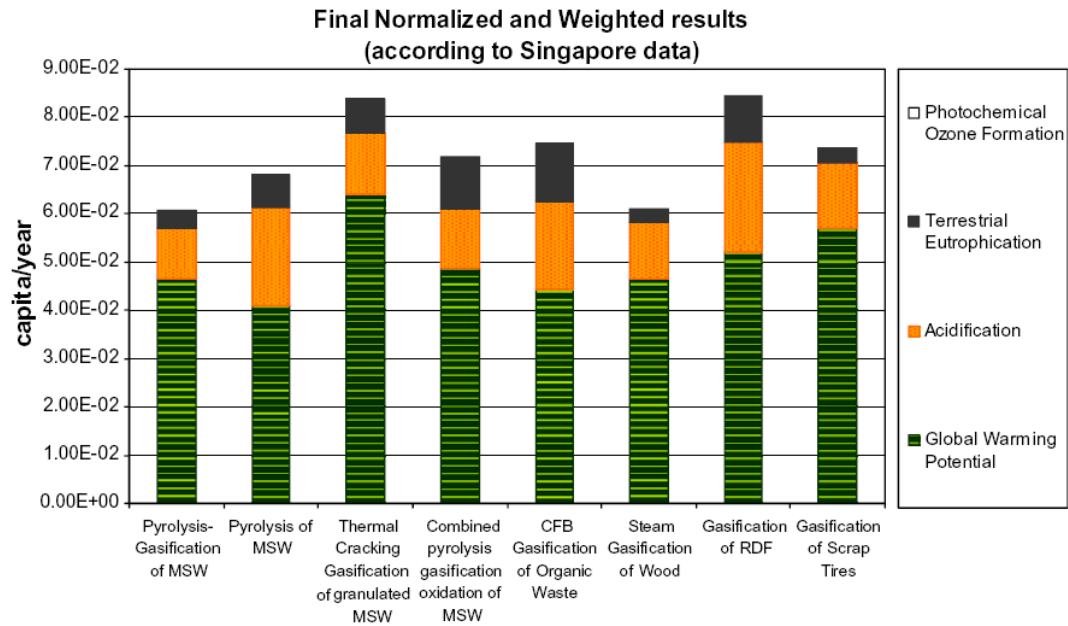
4. Combined pyrolysis (gasification and oxidation of MSW)
5. Steam gasification of wood
6. Circulating fluidized bed (CFB) gasification of organic wastes
7. Gasification of RDF
8. Gasification of tyres

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นกรด ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ และ Ozone Photochemical Formation โดยการศึกษาผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนพิจารณาพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไนตรัสออกไซด์ ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นแก๊สเรือนกระจก โดยทำการวัดปริมาณของแก๊สทั้งหมดในหน่วยค่าเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂-equivalent: CO₂-Equiv.) สำหรับผลกระทบต่อด้านภาวะความเป็นกรดจะพิจารณาเฉพาะแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ไฮโดรคลอไรด์ (HCl) และไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) ผลกระทบด้านที่สามคือด้านภาวะการเพิ่มแร่ธาตุในน้ำ โดยพิจารณาปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์เพียงอย่างเดียว ผลกระทบด้านสุดท้ายด้านการก่อตัวของ Ozone Photochemical จะพิจารณามลพิษจากแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะใช้ค่า Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) เป็นค่ามาตรฐานในการวัดปริมาณมลพิษผลกระทบต่อด้านนี้



รูปที่ 2.3 แสดงขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้ง 8 เทคโนโลยี [6]

ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าขนาดของผลกระทบ (Normalization) และ ค่าการให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting) ที่คำนวณได้จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของประเทศสิงคโปร์ ซึ่งหลังจากคิดขนาดผลกระทบและให้ค่าน้ำหนักแล้วจะเห็นได้ว่าเมื่อคิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากทุกเทคโนโลยีแล้ว ภาวะโลกร้อนคือผลกระทบที่ส่งผลกระทบต่อโลกมากที่สุด รองลงมาคือภาวะความเป็นกรด และภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ ตามลำดับ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 โดยเทคโนโลยีที่สร้างปัญหาหรือส่งผลกระทบต่อโลกมากที่สุดคือ เทคโนโลยี Thermal Cracking Gasification of Granulated MSW และเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อโลกน้อยที่สุดคือเทคโนโลยี Steam Gasification of Wood

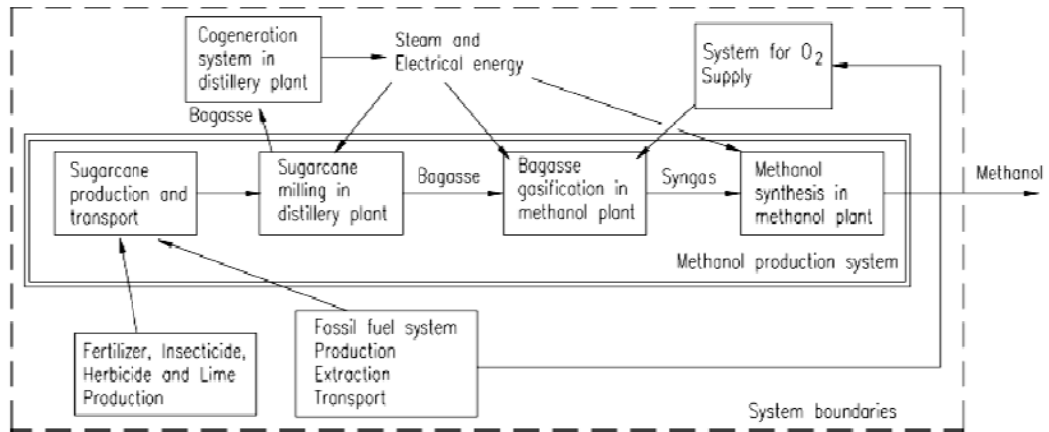


รูปที่ 2.4 แสดงผลการประเมินวัฏจักรชีวิตหลังจากหาขนาดและน้ำหนักผลกระทบ [6]

Arnold Tukker [7] ได้วิเคราะห์เปรียบเทียบการประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อมระหว่าง การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) และการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) พบว่าการทำ EIA เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นเฉพาะส่วนโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม และการทำ LCA เป็นการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยมีการพิจารณาผลกระทบทั้งในด้านสุขอนามัยของมนุษย์ ด้านการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ด้านคุณภาพของระบบนิเวศวิทยา และด้านภาวะโลกร้อนด้วย

Maria Luiza Grillo Reno [8] ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตมีเทนโดยใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบหลัก โดยศึกษาผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อน ซึ่งมีปริมาณการผลิตอยู่ที่ 100,000 ตันต่อปี แล้วนำผลการประเมินไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ รูปที่ 2.5 แสดงขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตในครั้งนี้โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็นดังนี้

1. ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวอ้อยและการขนส่ง
2. ขั้นตอนการบดเพื่อให้เป็นชานอ้อย
3. นำชานอ้อยไปเป็นผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น
4. ได้มีเทนสังเคราะห์



รูปที่ 2.5 แสดงขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตจากงานวิจัยของ Maria Luiza Grillo Reno [8]

จากการศึกษาพบว่าแก๊สมีเทนที่ได้จากขาน้อยสามารถใช้แทนมีเทนที่ได้จากแก๊สธรรมชาติได้ โดยมีค่าอัตราส่วนพลังงานต่อเชื้อเพลิงสูงกว่าแก๊สมีเทนที่ได้แก๊สธรรมชาติและถ่านหิน ในส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการผลิตทั้งกระบวนการแก๊สซิพีเคชั่นและการผลิตแก๊สมีเทนสังเคราะห์มีมลพิษเป็นจำนวนมาก เช่น ซีอีเอ็ม น้ำมันนาร์ฟูละออง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์และภาวะโลกร้อน แต่ก็สามารถลดผลกระทบดังกล่าวได้โดยการทำความสะอาดแก๊สก่อนหรือติดตั้งระบบดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ capture) ที่ขั้นตอนการสังเคราะห์แก๊สมีเทน

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment)

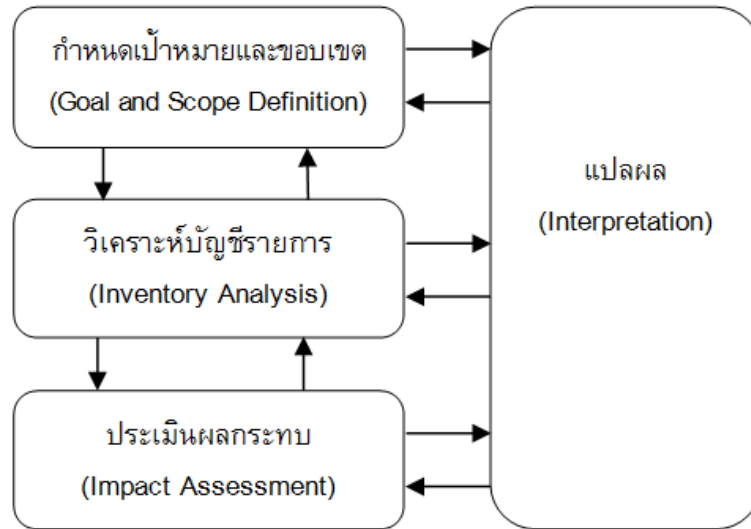
การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) ของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือการบริการ คือการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หรือการบริการนั้นๆ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เป็นการพิจารณาทั้งระบบตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุปริมาณสารขาเข้า (Inputs) ซึ่งก็คือทรัพยากร วัสดุ สารเคมี และพลังงานที่ใช้ในทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต รวมระบุปริมาณสารขาออก (Outputs) ซึ่งได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ของเสีย มลสารทางอากาศ มลสารทางน้ำของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงระบบนิเวศ สุขอนามัยของมนุษย์ และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยนำผลจากการประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงระบบของผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์กลายเป็นผลิตภัณฑ์สีเขียว (Green Product) โดยแท้จริง

องค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization; ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร” ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถนำมาใช้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ออกแบบกระบวนการผลิต และออกแบบการบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (EcoDesign) เพื่อเตรียมความพร้อมในการรองรับมาตรการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมของกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรปและประเทศพัฒนาอื่นๆ

ที่มาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

สืบเนื่องจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 ทำให้ประเทศต่างๆ มีนโยบายการประหยัดพลังงานซึ่งส่งผลต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงถูกพัฒนาขึ้นและขยายรวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบจากมลพิษและของเสียที่เกิดขึ้น ต่อมาภาครัฐของประเทศต่างๆ ได้ให้ความสนใจในการศึกษานี้มากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของ

ปัญหาที่ต่างประเภทกันเช่น การทำให้โลกร้อนขึ้นและการลดลงของทรัพยากร เป็นต้น โดยรูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักและมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

3.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal Definition and Scoping)

ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมาย (Goal) การกำหนดขอบเขตของระบบ (System Boundary) และการกำหนดหน่วยการใช้งาน (Functional Unit) ซึ่งขั้นตอนนี้มีความสำคัญโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา จึงนับว่าเป็นขั้นตอนนี้ที่มีความสำคัญมาก เพราะหากกำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุม อาจทำให้การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตทำได้โดยยากและไม่ตรงประเด็นตามที่ต้องการ

การกำหนดเป้าหมาย คือการกำหนดสิ่งที่จะทำการศึกษาว่าจะทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ ระบบการผลิต หรือการบริการใดๆให้ชัดเจน และระบุเป้าหมายที่ชัดเจนว่าจะนำผลจากการประเมินไปใช้ประโยชน์ด้านใด เช่น เพื่อนำผลการประเมินที่ได้ไปปรับปรุงระบบการผลิต หรือเพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการประเมินจากผลิตภัณฑ์อื่น ซึ่งจุดประสงค์ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละงานวิจัยก็มีเป้าหมายที่แตกต่างกันออกไป รวมถึงการกำหนดกลุ่มผลกระทบที่ต้องการทำการศึกษาด้วย โดยกลุ่มผลกระทบแต่ละชนิดอาจสร้างความเสียหายได้หลายด้าน เช่น ความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์ ความเสียหายในเชิง

คุณภาพของระบบนิเวศ ความเสียหายในเชิงการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งสามารถจำแนกแบ่งกลุ่มผลกระทบตามประเภทของความเสียหายได้ดังนี้

- ความเสียหายในเชิงสุขภาพของมนุษย์ (Human Health)
 - ผลกระทบจากการลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Depletion)
 - ผลกระทบจากปริมาณโลหะหนัก (Heavy Metals)
 - ผลกระทบจากสารก่อมะเร็ง (Carcinogenics)
 - ผลกระทบจากปริมาณหมอกควันในฤดูร้อน (Summer Smog)
 - ผลกระทบจากปริมาณหมอกควันในฤดูหนาว (Winter Smog)
- ความเสียหายในเชิงคุณภาพของระบบนิเวศ (Ecosystem Quality)
 - ผลกระทบจากปริมาณยาฆ่าแมลง (Pesticides)
 - ภาวะโลกร้อน (Global Warming)
 - ภาวะความเป็นกรด (Acidification)
 - ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Euthrophication)
- ความเสียหายในเชิงการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ (Resource Depletion)
 - การใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuel)

การกำหนดขอบเขตของระบบ คือการกำหนดขอบเขตของระบบผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษาโดยมีการระบุขั้นตอนหลักและขั้นตอนย่อยตลอดวัฏจักรชีวิต รวมถึงระบุสารขาเข้าและสารขาออกจากทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับระบบที่จะทำการศึกษา กำหนดสมมติฐานและข้อจำกัดของการศึกษา กำหนดกรอบการศึกษาว่าจะทำการศึกษาแบบ Cradle to Grave, Cradle to Gate, Gate to Gate, Gate to Grave และกำหนดหน่วยการใช้งาน (Functional Unit)

หน่วยการใช้งานเป็นสิ่งที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นขอบเขตในการเก็บรวบรวมข้อมูลสารเข้าและสารออกจากระบบ เพื่อให้ได้ผลการประเมินอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน อาจเป็นหน่วยวัด

ทางกายภาพ เช่น ต้น กิโลกรัม เมตร ลิตร เมกกะจูล ฯลฯ ซึ่งหน่วยงานใช้งานจะต้องประกอบด้วยลักษณะ 3 ประการ ดังนี้

1. ปริมาณของผลิตภัณฑ์ (Quantity)
2. ความทนทานของผลิตภัณฑ์ (Durability)
3. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Quality)

3.1.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory)

ขั้นตอนนี้เป็น การเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนหรือกระบวนการต่างๆตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา โดยในขั้นตอนนี้มีการจัดทำบัญชีรายการ (Inventory List) ซึ่งก็คือ ข้อมูลบัญชีรายการที่แสดงปริมาณสารขาเข้า (Input) เช่น ทรัพยากร วัสดุ สารเคมี และพลังงานที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน เป็นต้น และสารขาออก (Output) เช่น ผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และมลพิษต่างๆที่เกิดขึ้นจากแต่ละขั้นตอนเช่นกัน แล้วนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรมาใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนถัดไป ซึ่งข้อมูลดังกล่าวอาจได้มาจากการตรวจวัดจริง จากการคำนวณ หรือ ได้มาจากแหล่งอ้างอิงข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยแหล่งที่มาของข้อมูลดังกล่าวสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภท ประเภทแรกข้อมูลปฐมภูมิและประเภทที่สองข้อมูลทุติยภูมิ

ประเภทแรกข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Sources) คือข้อมูลที่ได้จากโรงงานโดยตรง ซึ่งอาจเป็นรายงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตของโรงงานเช่น ปริมาณอัตราการผลิตในแต่ละวัน ประเภทและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบ ข้อมูลไอเสียจากการตรวจวัด หรือ ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน/เดือน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลเฉพาะของแต่ละโรงงาน และเป็นข้อมูลที่แสดงถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบัน

ประเภทที่สองข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Sources) เป็นแหล่งข้อมูลประกอบด้วยฐานข้อมูลต่าง ๆ หนังสือ เอกสารหรือรายงานที่ที่ต่อเสนอให้แก่หน่วยงานราชการในแต่ละปี เป็นต้น ข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิเป็นข้อมูลทั่วไปที่ไม่เฉพาะเจาะจงเหมือนกับข้อมูลปฐมภูมิ แต่อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทำรายงานนั้น ๆ ในการศึกษาจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ จะต้องพิจารณาถึงช่วงเวลาของข้อมูลแหล่งที่มาของข้อมูลด้วย และรายละเอียดของข้อมูลเหล่านั้นด้วย แต่หากระบบที่ทำการศึกษาเป็นระบบเฉพาะหรือเป็นระบบที่ยังไม่มีการตรวจวัดปริมาณมลพิษ (Emission) ก็จะสามารถหาปริมาณมลพิษได้จากสมการที่

3.1 โดยค่า Emission Factor สามารถหาได้จากองค์กรเพื่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น องค์กร Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC หรือ U.S. Environmental Protection Agency; USEPA

$$\text{Emission} = \sum(\text{EF}_{abc} \times \text{Activity Data}_{abc}) \quad (3.1)$$

โดย	EF	คือ	Emission Factor (Kg/TJ)
	Activity Data	คือ	Energy Input (TJ)
	a	คือ	Fuel type
	b	คือ	Sector-activity
	c	คือ	Technology type

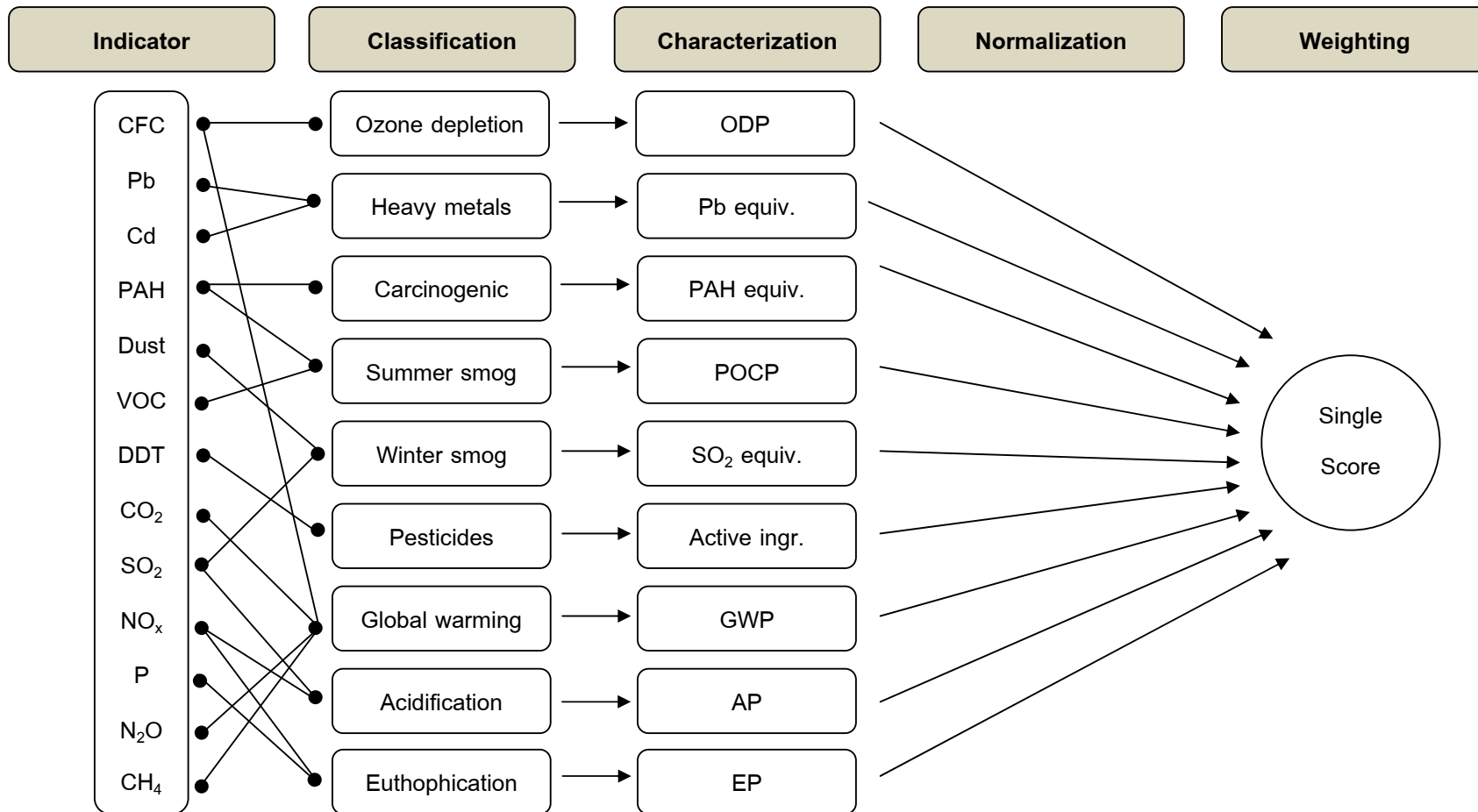
3.1.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment)

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ คือการนำข้อมูลจากบัญชีรายการ (Inventory List) ที่ได้จัดทำไว้แล้วในขั้นตอนก่อนหน้ามาวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ซึ่งการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก็มีหลากหลายวิธี โดยแต่ละวิธีก็มีหลักการและขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไป เช่น Eco-Indicator 95, Eco-Indicator 99, CML92 หรือ EDIP96 เป็นต้น ซึ่งในแต่ละวิธีก็จะให้ผลการประเมินที่แตกต่างกัน โดยขั้นตอนและวิธีการที่แตกต่างกันนั้นแสดงอยู่ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีต่างๆ [9]

Assessment Method	Steps Included			
	Characterization	Damage Assessment	Normalization	Weighting
Eco-Indicator 95	✓		✓	✓
Eco-Indicator 99	✓	✓	✓	✓
CML 92	✓		✓	
CML baseline 2000	✓		✓	✓
Ecopoints 97	✓		✓	✓
EDIP 96	✓	✓		✓
EPS 2000				

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการประเมินแบบ Eco-Indicator 95 ซึ่งเป็นวิธีการประเมินแบบ Single Score โดยพิจารณาหลากหลายปัจจัยได้แก่ น้ำหนักของวัสดุ กระบวนการผลิต กระบวนการขนส่ง และการใช้พลังงาน และพิจารณาความเสียหายต่อระบบนิเวศ ความเสียหายต่อสุขภาพมนุษย์ และความเสียหายเกี่ยวกับภาวะโลกร้อน แต่ไม่พิจารณารวมถึงผลกระทบที่เกิดการใช้ที่ดิน ผลกระทบที่เกิดจากการใช้เสียง และผลกระทบจากการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยขั้นตอนของวิธีนี้คือ เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในบัญชีรายการเรียบร้อยทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตแล้ว ต้องนำข้อมูลจากบัญชีรายการมาจำแนกจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Classification) แล้วจึงนำข้อมูลที่จัดกลุ่มเรียบร้อยแล้วมากำหนดศักยภาพ (Characterization) หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) ในแต่ละด้าน ขั้นตอนสุดท้ายนำข้อมูลมาให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting) เพื่อให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบด้านต่างๆ โดยรูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบ Eco-Indicator 95 ซึ่งจะแสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในหัวข้อย่อยถัดไป



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบ Eco-Indicator 95

3.1.3.1 การจำแนกจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Classification)

เป็นการจำแนกสารขาเข้าและสารขาออกไปยังกลุ่มผลกระทบแต่ละประเภท เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ถูกจัดอยู่ในกลุ่มผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน, แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_x) ถูกจัดอยู่ในกลุ่มผลกระทบ 3 ด้าน คือ ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance) ผลกระทบจากการก่อตัวของ Photochemical Oxidation และผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด (Acidification) หรือแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ถูกจัดอยู่ในกลุ่มผลกระทบ 4 ด้าน คือ ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance) ผลกระทบจากการก่อตัวของ Photochemical Oxidation ผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด (Acidification) และผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Euthophication)

3.1.3.2 การกำหนดศักยภาพ (Characterization)

เป็นการนำข้อมูลที่ได้รับการจำแนกแล้วว่าจะก่อให้เกิดผลกระทบด้านใด มาแปลงหน่วยของข้อมูลให้อยู่ในรูปของค่าเทียบเท่าความสามารถที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านนั้น เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละด้านที่ระดับต่างกัน ดังนั้นจึงต้องนำมาเทียบกับสารพื้นฐานหรือค่าเทียบเท่าของผลกระทบในด้านนั้นๆ ก่อน (Equivalency Factor: EF) โดยหน่วยมาตรฐานที่ใช้เทียบเท่าศักยภาพของผลกระทบในด้านต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 เมื่อทราบค่าศักยภาพแล้วก็สามารถคำนวณหาความสามารถที่ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านนั้นๆ ได้จากสมการที่ 3.2 [10]

$$EP_j = \sum(Q_i \times EF_{ij}) \quad (3.2)$$

โดย	EP _j (Environmental Impact Potential)	คือ	ค่าศักยภาพผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ
	Q _i (Quantity of Substance)	คือ	ปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา
	EF _{ij} (Equivalency Factor)	คือ	ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าศักยภาพของผลกระทบในด้านต่างๆ

Impact Categories	Equivalent of Factor; EF	Equivalent Unit
Photochemical Oxidation	Photochemical Oxidation Creation Potential; POCP	kg C ₂ H ₂ equiv.
Ozone Depletion	Ozone Depletion Potential; ODP	kg CFC11 equiv.
Acidification	Acidification Potential; AP	kg SO ₂ equiv.
Euthophication	Euthophication Potential; EP	kg PO ₄ ³⁻ equiv.
Global Warming	Global Warming Potential; GWP	kg CO ₂ equiv.
Resource Depletion	World Reserves	-

3.1.3.3 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)

เนื่องจากในขั้นตอนการกำหนดศักยภาพเป็นเพียงการบอกระดับความรุนแรงของสารใดๆที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละด้าน โดยไม่สามารถบอกได้ถึงความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมว่าผลกระทบด้านไหนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากัน ดังนั้นการหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) จะช่วยให้มองเห็นความสำคัญของผลกระทบแต่ละด้านได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณระดับความสำคัญของผลกระทบแต่ละด้านได้จากสมการต่อไปนี้ [10]

$$NP_j(\text{product}) = \frac{EP_j}{ER_j} \quad (3.3)$$

โดย NP_j (Normalization Impact Potential) คือ ค่าขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ

ER_j (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนต่อปี

3.1.3.4 การให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting)

การให้น้ำหนักผลกระทบเป็นขั้นตอนการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะมีความสำคัญแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ [10]

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (3.4)$$

โดย WP_j (Weighted Environmental Impact Potential) คือ
ค่าความรุนแรงของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Pt)

WF_j (Weighting Factor) คือ
ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ

3.1.4 การแปลผล (Interpretation)

การแปลผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นกระบวนการสุดท้ายของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยนำผลการศึกษาจากทั้ง 3 ขั้นตอนก่อนหน้ามาวิเคราะห์เพื่อสรุป รวบรวมตีความหมาย และสาเหตุของปัญหา ซึ่งจะทำให้ทราบว่าขั้นตอนใดในวัฏจักรชีวิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด อันจะนำไปเป็นแนวทางในการดำเนินการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงและพัฒนากระบวนการผลิตหรือขั้นตอนต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการ

3.2 กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification Process)

3.2.1 กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง หรือเรียกอีกอย่างว่า กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่น เศษไม้ ชังข้าวโพด ชานอ้อย ถ่านหิน เป็นต้น ให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่จุดติดไฟและมีค่าความร้อนสูงโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี (Thermo-chemical Reaction) ซึ่งสามารถเรียกแก๊สเชื้อเพลิงนี้ได้หลายแบบ เช่น แก๊สสังเคราะห์ (Syngas) แก๊สผลิตภัณฑ์ (Producer Gas) โดยแก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวจะมีส่วนประกอบหลักเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), แก๊สไฮโดรเจน (H₂), แก๊สมีเทน (CH₄) ดังแสดงในสมการที่ 3.5 โดยจะทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในสภาวะที่มีการจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจน (O₂) ซึ่งจะทำให้เกิดการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete

Combustion) เพราะหากมีแก๊สออกซิเจนเพียงพอหรือมากเกินไปจะกลายเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Complete Combustion) จะทำให้มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ ซึ่งไม่ติดไฟออกมาก็จะทำให้ประสิทธิภาพของแก๊สลดลง โดยแก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้อื่นๆต่อไปได้



3.2.2 เชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

3.2.2.1 ชีวมวล

ชีวมวลคือเชื้อเพลิงแข็งที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นสารที่ได้มาจากพืชและสัตว์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยสามารถให้คำจำกัดความของชีวมวลได้ว่า “ชีวมวลคือคำบัญญัติสำหรับทรัพยากรสัตว์ พืช และของเสียที่เกิดจากสัตว์และพืชซึ่งสะสมอยู่ในปริมาณหนึ่ง ไม่รวมทรัพยากรฟอสซิล” [11]

ข้อได้เปรียบของการใช้ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงาน

- 1) ชีวมวลส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร อุตสาหกรรม หรือขยะจากชุมชน ดังนั้นการใช้พลังงานจากชีวมวลจึงไม่รบกวนหรือทำลายทรัพยากรธรรมชาติเหมือนแหล่งพลังงานอื่นๆ นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยกำจัดขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย
- 2) ชีวมวลมีปริมาณมากจนอาจกล่าวได้ว่าไม่มีวันหมดไปจากโลกได้ เพราะเมื่อมีการใช้ชีวมวลไปก็จะมีการผลิตชีวมวลขึ้นมาทดแทนใหม่ได้ทันที
- 3) การเผาไหม้แก๊สที่ผลิตได้จากชีวมวลจะก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทอื่น
- 4) ความหลากหลายของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลสามารถนำไปแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงประเภทต่างๆได้มากกว่าแหล่งพลังงานอื่นๆ

3.2.2.2 ถ่านหิน

ถ่านหินเกิดจากการทับถมของซากพืชเป็นระยะเวลาหลายร้อยล้านปี มีส่วนประกอบที่สำคัญคือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยถ่านหินที่เกิดจากแต่ละที่ก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเกิด ชนิดของพืชที่ทับถม และสภาวะแวดล้อม เช่น

อุณหภูมิและความดัน สำหรับตารางที่ 3.3 จะแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านหินชนิดต่างๆ โดยแบ่งถ่านหินออกเป็น 5 ชนิด ดังนี้

- 1) ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite)
- 2) ถ่านหินบิทูมินัส (Bituminous)
- 3) ถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub-bituminous)
- 4) ถ่านหินลิกไนต์ (Lignite)
- 5) ถ่านพีท (Peat)

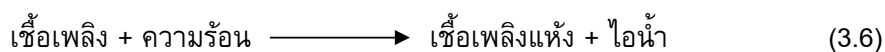
ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของถ่านหินชนิดต่างๆ

Coal	Heating Value (kcal/kg)	Moisture (%)	Ash (%)
Anthracite	6,500-8,000	5-8	5-12
Bituminous	5,500-6,500	8-15	1-12
Sub-bituminous	4,500-5,500	24-30	1-10
Lignite	3,000-4,000	30-38	15-20
Peat	3,000-4,000	40-50	10

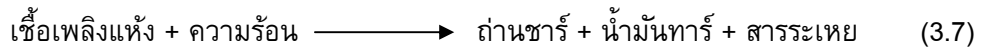
3.2.3 ปฏิกริยาภายในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสามารถแบ่งโซนการเกิดปฏิกริยาได้ออกเป็น 4 โซน มีรายละเอียดดังนี้

โซนการอบแห้ง (Drying Zone) เป็นขั้นตอนการลดความชื้นของเชื้อเพลิง หลังจากผ่านโซนนี้เชื้อเพลิงจะมีความชื้น ขนาด และน้ำหนักลดลง ภายในโซนนี้จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 100 – 200 องศาเซลเซียส



โซนการกลั่นสลายหรือไพโรไลซิส (*Devolatilization* หรือ *Pyrolysis*) เมื่อเชื้อเพลิงได้รับความร้อนสารระเหย (Volatile Matter) ที่อยู่ในเชื้อเพลิงก็จะเกิดการสลายตัวและเกิดเป็นเมทานอล กรดน้ำส้ม และน้ำมันทาร์ (Tar) อุณหภูมิในโซนนี้จะมีค่าประมาณ 200 – 500 องศาเซลเซียส ส่วนของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากผ่านกระบวนการนี้คือ ถ่านชาร์ (Char)



โซนการเกิดการเผาไหม้ (*Combustion Zone* หรือ *Oxidation Zone*) ในโซนนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง โดยภายในโซนจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 900 – 1,200 องศาเซลเซียส ภายหลังจากการเกิดโซนนี้จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และไอน้ำ

โซนการรีดักชัน (*Reduction Zone*) ในโซนนี้จะเกิดปฏิกิริยา Boundouard Reduction, Steam Gasification, Water Gas Shift Reaction และ Methanation ซึ่งเป็นทั้งปฏิกิริยาดูดความร้อน, ดูดความร้อน, คายความร้อน และคายความร้อน ตามลำดับ โดยในโซนนี้จะมีอุณหภูมิระหว่าง 500 – 900 องศาเซลเซียส

3.2.4 เตาปฏิกรณ์ (Gasifier)

เตาปฏิกรณ์คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งในปัจจุบันก็มีให้เลือกอยู่หลายประเภท และมีความแตกต่างกันในด้านประสิทธิภาพการทำงาน คุณภาพแก๊สที่ได้ รูปแบบของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ การควบคุมและการบำรุงรักษา

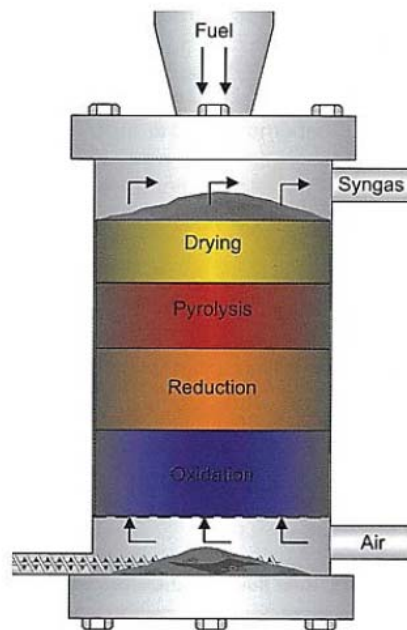
โดยประเภทที่ใช้งานง่ายและเป็นที่ยอมรับสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed Bed Gasifier) เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Gasifier) และเตาปฏิกรณ์แบบเอ็นเทรนโฟล (Entrained Flow Gasifier) โดยแสดงรายละเอียดของเตาปฏิกรณ์แต่ละประเภทไว้ดังนี้

3.2.4.1 เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed Bed Gasifier)

เป็นเตาปฏิกรณ์ประเภทที่ได้รับการพัฒนามาอย่างยาวนานและเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีหลักการทำงาน คือ เชื้อเพลิงแข็ง (อาจจะใช้ชีวมวล) จะถูกป้อนจากด้านบนของเตา แล้วเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องจนได้แก๊สเชื้อเพลิงในที่สุด ข้อดีของเตาประเภทนี้คือ

สามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ได้ เตาปฏิกรณ์ประเภทนี้แบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิดตามทิศทางการไหลของอากาศ ได้แก่

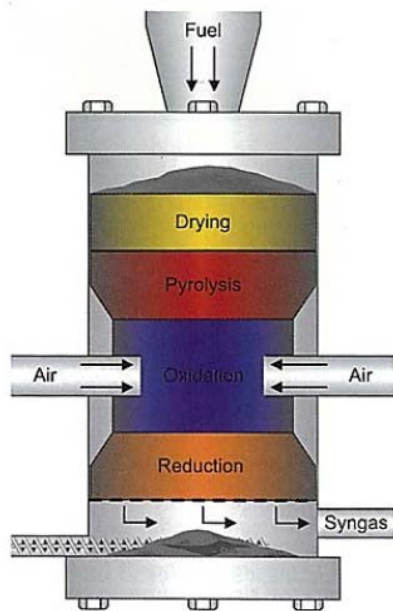
3.2.4.1.1 เตาปฏิกรณ์แบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier)



รูปที่ 3.3 เตาปฏิกรณ์แบบอากาศไหลขึ้น

รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของเตาปฏิกรณ์แบบอากาศไหลขึ้น ซึ่งเตาชนิดนี้จะมีลักษณะทิศทางการไหลของอากาศสวนทางกับทิศทางการป้อนเชื้อเพลิง โดยอากาศจะถูกป้อนผ่านตะแกรงด้านล่างของเตา โดยแก๊สเชื้อเพลิงจะไหลออกจากทางด้านบนของเตา ส่วนเชื้อเพลิงจะถูกป้อนจากทางด้านบนของเตา แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาชนิดนี้จะมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูง แต่แก๊สที่ได้จะสกปรกเพราะมีพวกสารระเหยปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาชนิดนี้จึงเหมาะที่จะไปใช้ในกระบวนการที่ต้องการการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) แต่ก่อนนำแก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวไปใช้ช่วยผ่านระบบการทำความสะอาดก่อนเพื่อลดสารระเหยและน้ำมันหาร์ท

3.2.4.1.2 เตาปฏิกรณ์แบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier)



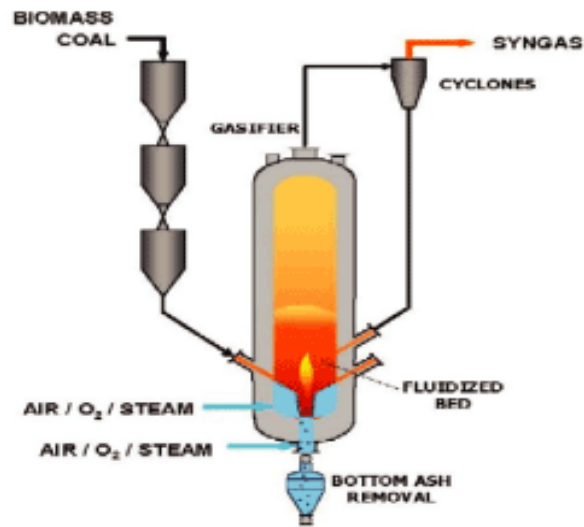
รูปที่ 3.4 เตาปฏิกรณ์แบบอากาศไหลลง

เตาชนิดนี้อากาศกับเชื้อเพลิงจะไหลในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากเชื้อเพลิงจะถูกป้อนจากด้านบน ส่วนอากาศจะถูกป้อนเข้าบริเวณกลางเตา แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาชนิดนี้จะสะอาดกว่าเตาแบบอากาศไหลขึ้น แต่จะมีอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่า และจะมีปริมาณขี้เถ้าสูงกว่าด้วย เนื่องจากทางออกของแก๊สอยู่บริเวณด้านล่างของเตา ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.2.4.2 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Gasifier)

เตาประเภทนี้มีหลักการทำงานก็คือ การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาจะอาศัยตัวกลาง เช่น ทราย กรวด วัสดุเซรามิก ซึ่งตัวกลางที่อยู่บริเวณด้านล่างของเตาปฏิกรณ์จะถูกทำให้ร้อนแล้วเป่าให้ลอยขึ้นสู่ด้านบน ดังนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้จึงจำเป็นต้องทำให้มีขนาดเล็กลงก่อน เมื่อป้อนเชื้อเพลิงเข้าไปในระบบ เชื้อเพลิงจะเคลื่อนตัวชนกับตัวกลางที่ร้อนและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจนเกิดการเผาไหม้ และกลายเป็นแก๊สอย่างรวดเร็ว และเนื่องจากเตาประเภทนี้มีระบบที่

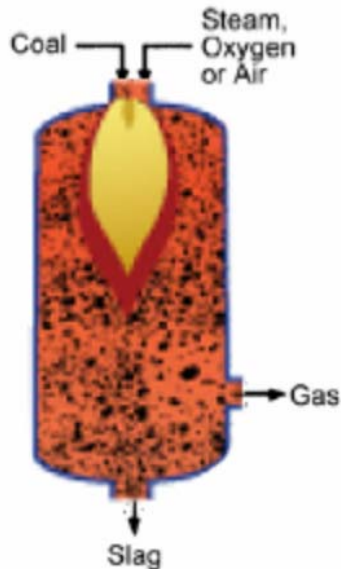
ซับซ้อนและมีความจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงขนาดเล็กจึงทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและเวลาในการทำให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กลง จึงทำให้เตาประเภทนี้ไม่เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก



รูปที่ 3.5 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด

เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (รูปที่ 3.5) เป็นระบบที่มีขั้นตอนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงในบริเวณเดียวกัน จึงทำให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีสิ่งเจือปน เช่น ผุ้ละอองขนาดเล็ก น้ำมันหาร์ สารประกอบไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และอัลคาไลน์ ดังนั้นก่อนที่จะนำแก๊สเชื้อเพลิงไปใช้ จึงต้องนำแก๊สเชื้อเพลิงมาผ่านกระบวนการทำความสะอาดก่อนเพื่อให้ได้แก๊สที่มีสิ่งเจือปนน้อยที่สุด แม้ว่าเตาประเภทนี้จะมีระบบที่ซับซ้อนกว่าแบบเบดนิ่ง แต่มีข้อดีตรงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ให้สม่ำเสมอทั่วกันได้ง่ายกว่า

3.2.4.3 เตาปฏิกรณ์แบบเอ็นเทรนโฟล์ (Entrained Flow Gasifier)



รูปที่ 3.6 เตาปฏิกรณ์แบบเอ็นเทรนโฟล์

รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของเตาปฏิกรณ์แบบเอ็นเทรนโฟล์ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาชนิดนี้จะแตกต่างจากเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาชนิดอื่น ๆ ที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ เนื่องจากเตาชนิดนี้ต้องใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านหินและน้ำ หรือสามารถเรียกได้อีกแบบว่า Coal-water Slurry ซึ่งจะต้องใช้ถ่านหินที่มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นหากเลือกใช้เตาชนิดนี้ก็ต้องเตรียมค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานและเวลาไว้สำหรับขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงด้วย โดยเตาชนิดนี้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาของถ่านหินและอุณหภูมิภายในเตาสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับเตาชนิดอื่น โดยเตาชนิดนี้สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิมากกว่า 1200 องศาเซลเซียส

3.3 เตาเผาเหล็ก (Reheating Furnace)

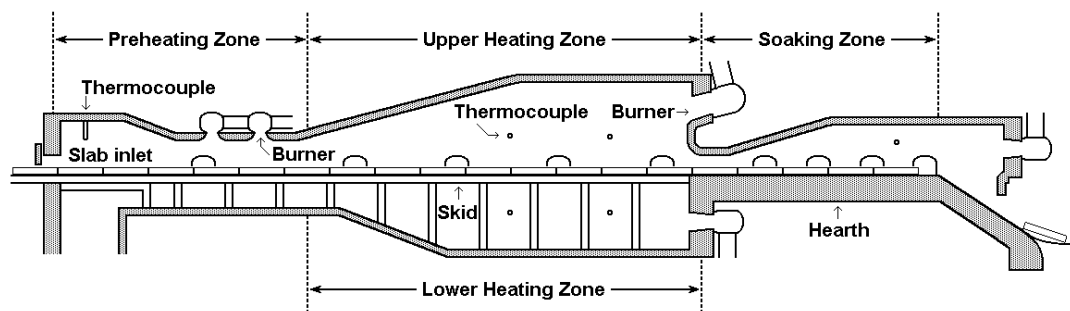
เตาเผาเหล็ก คือเตาอุตสาหกรรมที่มีหน้าที่ในการให้ความร้อนแก่เหล็กก่อนนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปอื่นๆ ซึ่งในปัจจุบันใช้น้ำมันเตาและแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยภายในเตาสามารถแบ่งกระบวนการได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

- 1) Preheat คือ ส่วนที่อุ่นเหล็กโดยใช้ความร้อนที่เหลือจากไอเสีย
- 2) Heating คือ ส่วนที่ให้ความร้อนกับเหล็กจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

3) Soaking คือ ส่วนที่รักษาอุณหภูมิของเหล็กให้คงที่ตลอดทั่วทั้งชิ้นงาน

สำหรับเตาเผาเหล็กที่นิยมใช้ในปัจจุบันจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะโดยแบ่งตามการป้อนชิ้นงาน (เหล็กแท่ง) ได้ดังนี้

เตาแบบผลักดัน (Pusher Type Furnace) เตาประเภทนี้ชิ้นงานจะเคลื่อนที่ตามแนวขวางโดยการผลักชิ้นงานต่อเนื่อง ดังนั้นชิ้นงานจะต้องมีหน้าตัดที่เป็นสี่เหลี่ยมเท่านั้น โดยภายในเตาจะมีจำนวนชิ้นงานที่คงที่ตลอดเวลาดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เตาแบบผลักดัน (Pusher Type Furnace) [12]

เตาแบบคานเลื่อน (Walking Beam Furnace) เตาประเภทนี้จะมีราคาและค่าบำรุงรักษาสูงกว่าเตาแบบผลักดัน เนื่องจากกลไกการเคลื่อนที่ชิ้นงานมีความสลับซับซ้อนมากกว่าประเภทแรก แต่เตาประเภทนี้มีข้อดีคือชิ้นงานจะไม่สัมผัสพื้นเตาดังนั้นพื้นเตาจึงเกิดการสึกกร่อนช้าและมีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าเนื่องจากช่องเปิดเตามีขนาดเล็ก

เตาแบบพื้นเลื่อน (Roller-hearth Furnace) เตาประเภทนี้มักใช้กับกระบวนการรีดร้อนแบบ Hot Charge คือจะทำการรีดชิ้นงานต่อเนื่องจากการหล่อเหล็กโดยไม่ปล่อยให้อุณหภูมิของชิ้นงานลดลง ภายในเตาประเภทนี้ชิ้นงานจะเคลื่อนที่ตามแนวยาวโดยอาศัยการหมุนของลูกกลิ้ง (Roller) ที่อยู่ใต้ชิ้นงาน

3.4 น้ำมันเตา

น้ำมันเตา (Fuel Oil, Heavy Fuel Oil, Residual Fuel) เป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญที่สุดในระบบอุตสาหกรรม เนื่องจากมีราคาค่อนข้างถูกกว่าเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ และให้ค่าความร้อนสูง น้ำมันเตาเป็นผลิตภัณฑ์ในส่วนตกค้างที่ได้จากโรงกลั่นเนื่องจากเป็นส่วนที่หนักและชั้นเหนียวมากที่สุด ซึ่งได้แสดงคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเตาไว้ในตารางที่ 3.4 โดยส่วนใหญ่แล้วน้ำมันเตาจะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาเผา เตาหลอม หรือหม้อน้ำในอุตสาหกรรม

ต่างๆ และเนื่องจากน้ำมันเตามีสถานะเป็นของเหลวจึงมีข้อดีตรงที่มีสามารถขนถ่ายและจัดเก็บได้สะดวกกว่าเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะอื่นๆ

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันเตา [13]

คุณสมบัติ	ค่า	หน่วย
มวลโมเลกุล (MW)	5.329	kg/kmol
ความถ่วงจำเพาะ (SG)	0.96	-
ความจุความร้อนจำเพาะ (C_p)	1.884	kJ/kg.K
ความร้อนเชื้อเพลิงสูง (HHV)	42.1	MJ/liter
ความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ (LHV)	39.6	MJ/liter

จากการที่น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงที่มีการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท จึงทำให้มีความต้องการใช้น้ำมันที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงมีการแบ่งน้ำมันเตาสามารถออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ตามความหนืดของน้ำมัน ได้แก่

1. น้ำมันเตาใส (Light Fuel Oil; LFO) จะมีความหนืดไม่เกิน 80 CST ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เกิดการเผาไหม้ง่ายและมีปริมาณตะกอนน้อยกว่าน้ำมันเตาเกรดอื่นๆ ดังนั้นจึงมีราคาแพงกว่า น้ำมันเตาเกรดนี้จึงเหมาะที่จะใช้กับหัวเผาที่ออกมาเพื่อใช้กับเชื้อเพลิงที่ต้องการการเผาไหม้สะอาด ไม่มีเขม่า ควันดำ และกำมะถันสูง
2. น้ำมันเตากลาง (Medium Fuel Oil; MFO) จะมีความหนืดไม่เกิน 180 CST ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หากใช้น้ำมันเตาเกรดนี้จำเป็นจะต้องสร้างระบบการส่งน้ำมันที่มีประสิทธิภาพและต้องสามารถกรองสิ่งสกปรกได้ด้วย
3. น้ำมันเตาหนัก (Heavy Fuel Oil; HFO) จะมีความหนืดไม่เกิน 280 CST ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งถือได้ว่ามีความหนืดที่สูงมาก ดังนั้นหากมีความจำเป็นต้องใช้น้ำมันเตาเกรดนี้ จะต้องเพิ่มระบบอุ่นน้ำมันเตาในถังเก็บ และติดตั้งปั๊มสำหรับขนถ่ายน้ำมันไปเผาไหม้ แล้วยังต้องมีระบบกรองสิ่งสกปรกที่ดีอีกด้วย ซึ่งอาจทำให้โรงงานต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบที่เหมาะสมเพื่อใช้กับน้ำมันเตาเกรดนี้

บทที่ 4

ระเบียบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้ระเบียบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โดยได้แบ่งการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็นสองส่วนดังนี้ ส่วนแรกวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเตาซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก (Reheating Furnace) และส่วนที่สองวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มาจากระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (Coal Gasification) เพื่อนำไปใช้ให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็กเช่นกัน

โดยนำผลการวิเคราะห์จากทั้งสองส่วนมาเปรียบเทียบกัน เพื่อพิจารณาความเหมาะสมและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ตามระเบียบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal Definition and Scoping)

4.1.1 การกำหนดเป้าหมาย

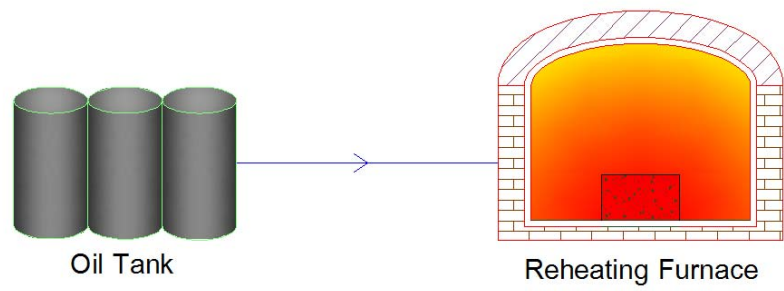
งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก โดยศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างเชื้อเพลิงสองชนิดคือน้ำมันเตาและแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มาจากระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน โดยนำผลจากการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบความเหมาะสมและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อนำไปเป็นเหตุผลการตัดสินใจเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งจะช่วยลดอัตราการเกิดมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมเหล็กต่อไปได้ในอนาคต

4.1.2 การกำหนดขอบเขต

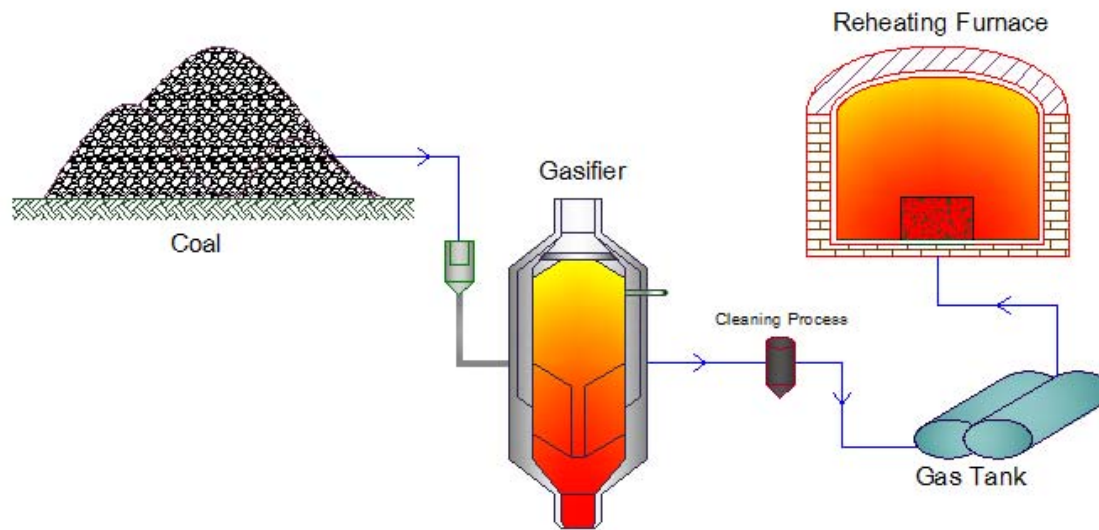
ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงปริมาณจากการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติที่มีต่อผลผลิตและมลพิษที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยการใช้งาน (Functional Unit) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการเผาไหม้เชื้อเพลิงสองชนิดเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก โดยทำการศึกษาแบบ Gate to Gate ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นภายในโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กเท่านั้น ซึ่งแบ่ง

การศึกษาออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเตา เรียกส่วนนี้ว่า **วัฏจักรการเผาไหม้น้ำมันเตา** ซึ่งภายในวัฏจักรนี้ประกอบด้วยขั้นตอนเพียงขั้นตอนเดียว คือขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตาเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็กดังแสดงในรูปที่ 4.1 ส่วนที่สองศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง เรียกส่วนนี้ว่า **วัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง** ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (Coal Gasification) และขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ในการศึกษาครั้งนี้จะไม่พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆซึ่งจัดเป็นต้นทุนคงที่ เช่น เตาปฏิกรณ์ อาคาร สถานที่ เครื่องจักร เครื่องมือ เนื่องจากต้องการทราบผลกระทบที่เกิดโดยตรงจากการใช้พลังงานเท่านั้น จากการศึกษาพบว่าขั้นตอนต่างๆที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้มีความจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าในการดำเนินงานทุกขั้นตอน ดังนั้นนอกจากขั้นตอนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มการวิเคราะห์มลพิษที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการใช้ไฟฟ้าด้วย ส่วนมลพิษที่เกิดจากการคมนาคมขนส่งทุกชนิดจะไม่นำมาคิดในงานวิจัยนี้ เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะผลกระทบที่เกิดขึ้นภายในโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กเท่านั้น



รูปที่ 4.1 วัฏจักรการเผาไหม้น้ำมันเตา



รูปที่ 4.2 วัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

กำหนดให้หน่วยการใช้งานในงานวิจัยนี้ หมายถึง ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานต่อการอุ่นเหล็ก 1 ตันโดยตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาในงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วยสารขาเข้าและสารขาออกจากวัฏจักรการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่ออุ่นเหล็ก 1 ตัน

ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาในงานวิจัยนี้

สารขาเข้า (Inputs)	สารขาออก (Outputs)
<p>พลังงาน</p> <ul style="list-style-type: none"> - เชื้อเพลิง - ไฟฟ้า 	<p>ผลิตภัณฑ์</p> <ul style="list-style-type: none"> - พลังงานความร้อน <p>มลสารทางอากาศ</p> <ul style="list-style-type: none"> - แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) - แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) - แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N₂O) - แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) - แก๊สมีเทน (CH₄) - แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

เนื่องจากงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้โดยทั่วไปในปัจจุบันคือน้ำมันเตาและแก๊สธรรมชาติ ดังนั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆในขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตาจึงสามารถหาได้จากโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่มีการดำเนินงานอยู่จริง แต่ในปัจจุบันสำหรับในประเทศไทยนั้น การเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มาจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็กนั้น ยังไม่มีการดำเนินงานจริง ดังนั้นข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ได้อาจมาจากแหล่งอ้างอิงที่เชื่อถือได้

4.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

ในหัวข้อนี้ มีการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory List) ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้า เช่น ทรัพยากร วัสดุ สารเคมี และพลังงานที่ใช้ ในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต และสารขาออก เช่น ผลิตภัณฑ์ และมลสารทางอากาศ ที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตเช่นกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้จัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งมีขั้นตอนย่อยในแต่ละวัฏจักรที่ต้องทำการศึกษาดังนี้

วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตามี 1 ขั้นตอนย่อย ได้แก่

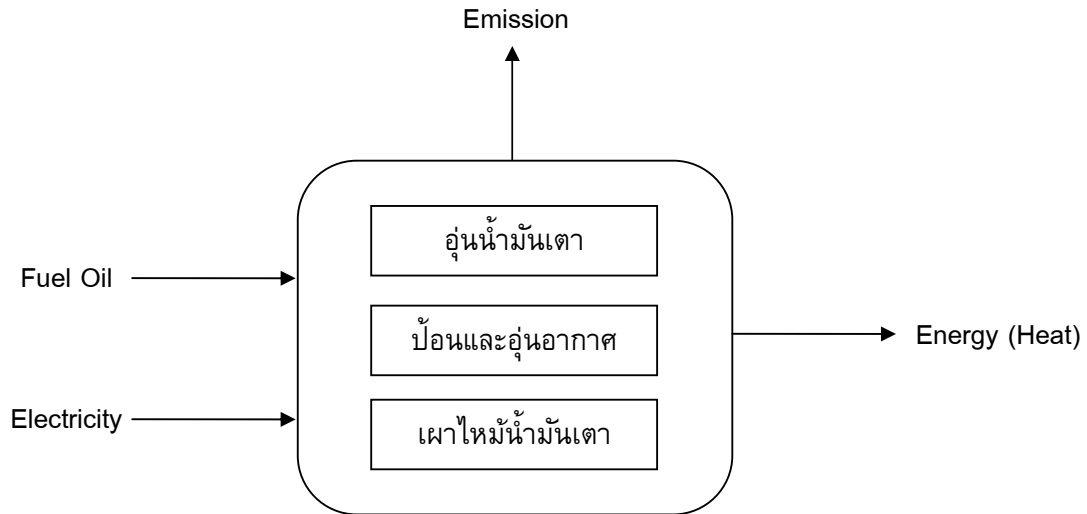
- ขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา (Fuel Oil Combustion)

วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงมี 2 ขั้นตอนย่อย ได้แก่

- ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (Coal Gasification)
- ขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง (Syngas Combustion)

โดยแหล่งที่มาของข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากขั้นตอนย่อยต่าง ๆ นั้น สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภท ประเภทแรกข้อมูลปฐมภูมิ คือข้อมูลที่ได้มาจากการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้อง และประเภทที่สองข้อมูลทุติยภูมิ คือข้อมูลพื้นฐานทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนต่างๆในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งมีการจัดเก็บไปแล้วโดยบุคคลหรือหน่วยงานอื่นเพื่อจุดประสงค์บางประการ โดยมีรายละเอียดการเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งตามขั้นตอนต่างๆดังนี้

4.2.1 บัญชีรายการขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา



รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา

รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา โดยระบบเตาเผาเหล็กของโรงงานที่ทำการศึกษาคือแบบผลักดัน (Pusher Type Furnace) ซึ่งเริ่มจากการอุ่นน้ำมันเตาภายในถังเก็บน้ำมันโดยใช้ Heater เพื่อลดความหนืดและเตรียมอุณหภูมิของน้ำมันเตาให้พร้อมสำหรับการเผาไหม้ หลังจากนั้นก็จะมีการขนถ่ายน้ำมันเข้าสู่ระบบเผาไหม้ด้วย Pump ในขณะเดียวกัน Bolwer จะทำหน้าที่ดูดอากาศที่อุณหภูมิห้องเพื่อเข้ามาเตรียมการเผาไหม้ หลังจากนั้นน้ำมันเตาผ่านกระบวนการเผาไหม้เรียบร้อยแล้วก็จะให้พลังงานความร้อนออกมาเพื่อให้ความร้อนกับชิ้นงาน (เหล็ก) จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ จากนั้นระบบไฮดรอลิคจะช่วยผลักชิ้นงานที่ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้วออกจากเตาเผาเหล็กแล้วจึงผลักชิ้นงานใหม่เข้ามาแทนที่ชิ้นงานที่นำออกไปจากเตาเผาเหล็ก

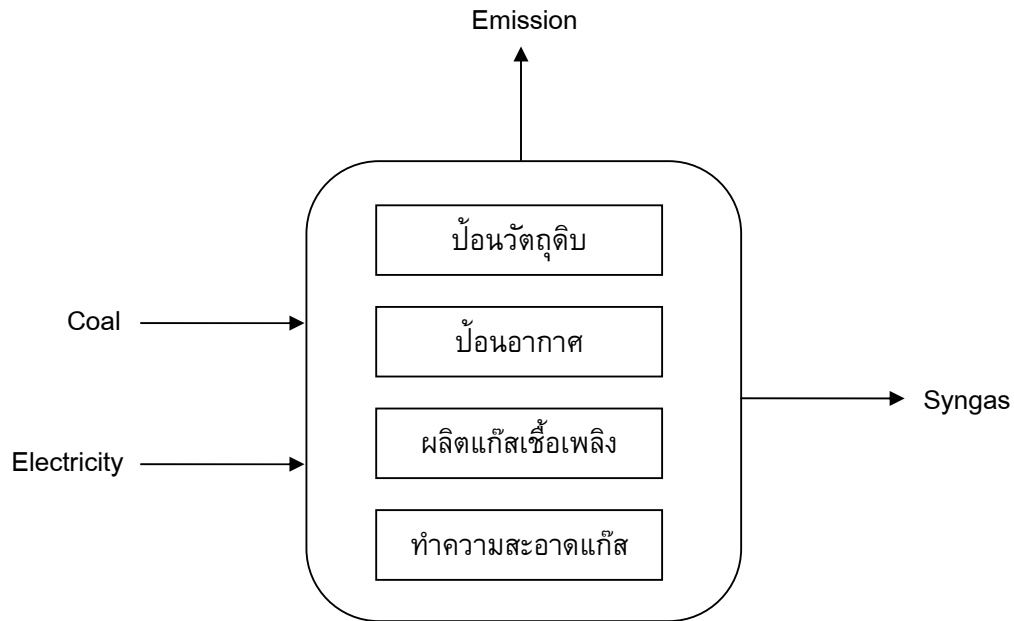
ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลสารขาเข้าจะพิจารณาจากพลังงานที่ใช้ในระบบซึ่งก็คือเชื้อเพลิงของเตาเผาเหล็ก โดยในขั้นตอนนี้เชื้อเพลิงที่ใช้คือน้ำมันเตาซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะปริมาณการใช้น้ำมันเตาโดยไม่พิจารณาปริมาณมลพิษที่เกิดจากการผลิตน้ำมันเตาเพราะต้องการศึกษาเฉพาะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นภายในโรงงานเท่านั้น และเนื่องจากภายในระบบการเผาไหม้น้ำมันเตา มีอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ต้องใช้ไฟฟ้าในการดำเนินการ อันประกอบด้วย Heater, Oil Pump, Bolwer และ Motor of Hydraulic System ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ภายในระบบด้วย

ส่วนข้อมูลสารขาออกจากขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตาประกอบด้วยการผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันเตา ซึ่งก็คือพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ในการอุ่นเหล็กและมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้น้ำมันเตารวมถึงมลพิษที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าภายในระบบอีกด้วย โดยตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลที่จำเป็นในการทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนนี้

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการทำบัญชีรายการขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา

รายการ	ประเภท	กลุ่มย่อย	ข้อมูลที่จำเป็น
สารขาเข้า	พลังงาน	เชื้อเพลิง	<ul style="list-style-type: none"> - ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ - ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อกำลังการผลิต - อัตรากำลังการผลิต
		ไฟฟ้า	<ul style="list-style-type: none"> - อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า - ขนาดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิด - ชั่วโมงการทำงาน - จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้
สารขาออก	ผลิตภัณฑ์	พลังงานความร้อน	<ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอุ่นเหล็กต่อกำลังการผลิต
	มลสารทางอากาศ	<ul style="list-style-type: none"> - แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) - แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) - แก๊สไนโตรสออกไซด์ (N₂O) - แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) - แก๊สมีเทน (CH₄) - แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) 	<ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณมลสารทางอากาศต่อกำลังการผลิต

4.2.2 บัญชีรายการขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน โดยระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ศึกษาใช้เตาปฏิกรณ์แบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) ระบบเริ่มต้นด้วยการป้อนวัตถุดิบเข้าเตาปฏิกรณ์ ภายในเตาก็จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2.3 จนกระทั่งได้แก๊สเชื้อเพลิงซึ่งยังไม่บริสุทธิ์หากนำไปเผาไหม้อาจทำให้เกิดมลพิษสูง ดังนั้นจึงต้องนำแก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวไปผ่านกระบวนการทำความสะอาดก่อน แล้วจึงนำไปเก็บไว้ในถังเก็บแก๊สเพื่อรอการเผาไหม้หรืออาจนำไปเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ได้ทันที

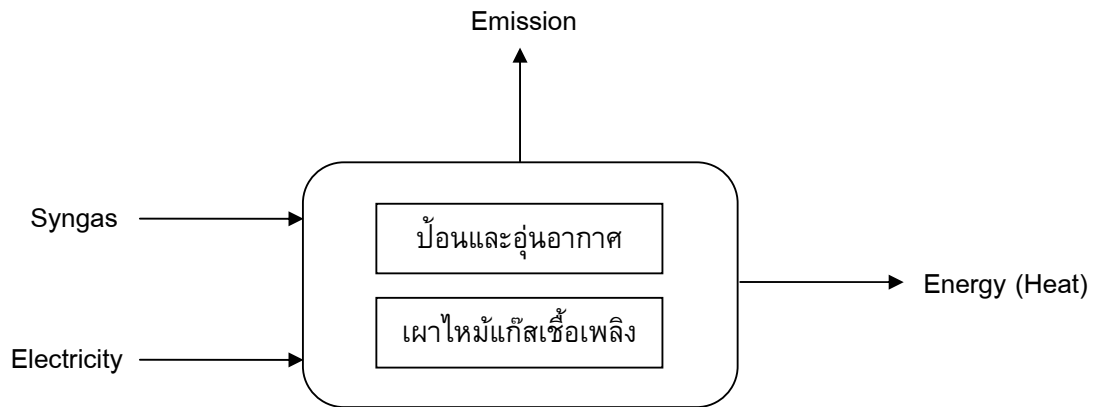
สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลสารขาเข้าสำหรับขั้นตอนนี้จะพิจารณาปริมาณการใช้ถ่านหินซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการ แต่จะไม่พิจารณารวมไปถึงมลพิษที่เกิดขึ้นจากการได้มาซึ่งถ่านหินนั่นก็คือขั้นตอนการทำเหมืองถ่านหินเพราะถ่านหินส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมภายในประเทศไทยจะถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศเพราะฉะนั้นจึงไม่ถือว่ามลพิษที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการทำเหมืองถ่านหินส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายในโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก นอกจากนี้ถ่านหินแล้วระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีความจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าเนื่องจากการใช้งานอุปกรณ์สำหรับป้อนอากาศหรือ Blower เพื่อนำอากาศเข้าไปเตรียมพร้อมสำหรับกระบวนการเผาไหม้ภายในเตาปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ภายในระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วย

ส่วนข้อมูลสารขาออกจากชั้นตอนนี้ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากชั้นตอนซึ่งก็คือแก๊สเชื้อเพลิง และมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้าภายในระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง โดยตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลที่จำเป็นในการจัดทำบัญชีรายการของชั้นตอนนี้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการทำบัญชีรายการชั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

รายการ	ประเภท	กลุ่มย่อย	ข้อมูลที่จำเป็น
สารขาเข้า	ทรัพยากร	ถ่านหิน	- ชนิดและคุณสมบัติต่างๆของถ่านหิน - ปริมาณถ่านหินที่ใช้ต่อปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้
	พลังงาน	ไฟฟ้า	- อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า - ขนาดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ - ชั่วโมงการทำงาน - จำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้
สารขาออก	ผลิตภัณฑ์	แก๊สเชื้อเพลิง	- ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ - ค่าความร้อน - ส่วนประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง
	มลสารทางอากาศ	- แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) - แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) - แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O) - แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂) - แก๊สมีเทน (CH ₄) - แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x)	- ปริมาณมลสารทางอากาศต่อกำลังการผลิต

4.2.3 บัญชีรายการขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มาจากขั้นตอนก่อนหน้านี้ โดยนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ส่งเข้ากระบวนการเผาไหม้ในเตาเผาเหล็ก ในขณะที่เดียวกัน Bolwer ก็จะทำหน้าที่ดูดอากาศเพื่อป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้ เมื่อแก๊สเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้เรียบร้อยแล้วก็จะให้พลังงานความร้อนออกมา ซึ่งพลังงานดังกล่าวนี้จะถูกนำไปให้ความร้อนกับชิ้นงาน (เหล็ก) จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ หลังจากนั้นระบบไฮดรอลิกก็จะช่วยผลักดันชิ้นงานที่ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้วออกจากเตาเผาเหล็กแล้วผลัดชิ้นงานใหม่เข้ามาแทนที่ชิ้นงานที่นำออกไปจากเตาเผาเหล็ก ซึ่งปัจจุบันขั้นตอนทั้งหมดที่กล่าวมานี้ยังไม่มี การดำเนินงานจริงในประเทศไทย ดังนั้นข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในขั้นตอนนี้จึงได้มาจากงานวิจัยต่างๆ และฐานข้อมูลอ้างอิง โดยมีการกำหนดให้ใช้ข้อมูลด้านไฟฟ้าเหมือนกับขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา ดังนั้นข้อมูลสารขาเข้าในขั้นตอนนี้จึงพิจารณาเฉพาะปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้เหล็กและปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเผาไหม้เท่านั้น

ส่วนสารขาออกที่ได้จากขั้นตอนนี้ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงซึ่งก็คือพลังงานความร้อน มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงโดยรวมปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วย และมลพิษที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนนี้ ซึ่งได้แสดงข้อมูลที่จำเป็นในการจัดทำบัญชีรายการของขั้นตอนนี้ไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการทำบัญชีรายการขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

รายการ	ประเภท	กลุ่มย่อย	ข้อมูลที่จำเป็น
สารขาเข้า	พลังงาน	แก๊สเชื้อเพลิง	<ul style="list-style-type: none"> - ส่วนประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง - คุณสมบัติของแก๊สเชื้อเพลิง - ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้
		ไฟฟ้า	<ul style="list-style-type: none"> - อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า - ขนาดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิด - ชั่วโมงการทำงาน - จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้
สารขาออก	ผลิตภัณฑ์	พลังงานความร้อน	- ปริมาณความร้อนที่ได้
	มลสารทางอากาศ	<ul style="list-style-type: none"> - แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) - แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) - แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N₂O) - แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) - แก๊สมีเทน (CH₄) - แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) 	- ปริมาณมลสารทางอากาศต่อกำลังการผลิต

4.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการประเมินแบบ Eco-Indicator 95 ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อจัดการข้อมูลในบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory List) เพื่อนำมาจำแนกและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ทรัพยากร และสุขภาพของมนุษย์ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การจำแนกข้อมูลตามกลุ่มประเภทของผลกระทบ

(Classification) การกำหนดศักยภาพ (Characterization) การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) และการให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting) ดังแสดงในรูปที่ 3.2

4.3.1 การจำแนกข้อมูลตามกลุ่มประเภทของผลกระทบ (Classification)

งานวิจัยนี้ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 3 ประเภท คือ ผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน (Global Warming) ผลกระทบต่อภาวะความเป็นกรด (Acidification) และผลกระทบต่อภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Euthophication) ซึ่งในแต่ละประเภทของผลกระทบก็จะมีสารหรือตัวชี้วัดที่เป็นตัวบ่งชี้ความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนนั้นมีตัวชี้วัดที่บ่งบอกความรุนแรงของปัญหาอยู่ 3 ชนิด คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน แก๊สไนตรัสออกไซด์ ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นแก๊สเรือนกระจกทั้งสิ้น ส่วนปัญหาด้านภาวะความเป็นกรดนั้น มีแก๊สไนตรัสออกไซด์ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และแก๊สไนโตรเจนออกไซด์เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ความรุนแรงของปัญหาเนื่องจากปัญหาประเภทนี้เกิดจากภาวะฝนกรดซึ่งเกิดจากการปล่อยมลพิษจากรถยนต์และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งสารพิษเหล่านี้จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของไอน้ำในก้อนเมฆและก่อให้เกิดเป็นฝนกรดในที่สุด และเมื่อฝนตกสารพิษต่างๆที่อยู่ในฝนกรดก็จะลงสู่พื้นดิน แม่น้ำ และทะเล ซึ่งฝนกรดนี้จะทำปฏิกิริยากับหินปูนที่มีอยู่ในอาคารต่างๆทำให้เกิดการสึกกร่อน และเมื่อน้ำฝนซึมลงสู่พื้นดินก็จะเข้าไปทำลายแร่ธาตุที่มีประโยชน์ไปด้วย ซึ่งส่งผลให้ต้นไม้และพืชมีการเจริญเติบโตช้า และอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ที่บริโภคพืชเหล่านั้นไปด้วย และผลกระทบด้านสุดท้ายภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ มีตัวชี้วัดที่บ่งชี้ความรุนแรงของปัญหาคือของแก๊สไนโตรเจนออกไซด์เพราะภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำเกิดจากการปล่อยสารอาหารของพืชไปสู่สภาพแวดล้อมเกินสมดุลจึงเป็นผลให้มีสารอาหารของพืชมากเกินไปและก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชสาหร่ายในแหล่งน้ำอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 4.5 แสดงตัวชี้วัดที่บ่งชี้ความรุนแรงของปัญหาแต่ละประเภท [14]

ประเภทของผลกระทบ	ตัวชี้วัด
ภาวะโลกร้อน	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
ภาวะความเป็นกรด	SO ₂ , NO _x
ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ	NO _x

4.3.2 การประเมินศักยภาพการเกิดผลกระทบ (Characterization)

และเนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถึง 3 ประเภท มีตัวชี้วัดที่พิจารณาถึง 5 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถในการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่เท่ากัน ดังนั้นหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงได้มีการศึกษาและกำหนดค่ามาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณศักยภาพความรุนแรงของผลกระทบในแต่ละด้านขึ้น ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อย่อยถัดไป

4.3.2.1 ปัญหาผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน

อย่างที่ทราบโดยทั่วไปว่าปัญหาภาวะโลกร้อนเกิดจากปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ชั้นบรรยากาศของโลกมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน แก๊สไนตรัสออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เหลือสะสมอยู่มากเกินไป ซึ่งปกติแล้วแก๊สเหล่านี้มีหน้าที่คล้ายผ้าห่มให้กับโลกในเวลากลางคืน หมายถึงแก๊สเหล่านี้จะช่วยกักเก็บพลังงานความร้อนที่โลกได้สะสมไว้ในตอนกลางวันไม่ให้เกิดการถ่ายเทออกไปสู่อวกาศในช่วงกลางคืน แต่หากแก๊สเหล่านี้มีปริมาณมากเกินไปก็หมายความว่าโลกจะกักเก็บพลังงานความร้อนได้มากขึ้นซึ่งไม่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่บนโลก ดังนั้นแก๊สเรือนกระจกเหล่านี้จึงทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของโลกให้พอเหมาะ เพราะฉะนั้นหากโลกมีการสะสมแก๊สเหล่านี้มากเกินไปก็จะก่อให้เกิดสภาวะอุณหภูมิภายในโลกสูงขึ้นและเป็นสาเหตุที่ทำให้โลกร้อนขึ้นได้

องค์กร Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC ได้กำหนดให้ Global Warming Potential (GWP) เป็นค่าศักยภาพในการดูดกลืนพลังงานความร้อน โดยแก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิดจะมีค่าศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนที่ไม่เท่ากัน โดยมีการกำหนดให้ค่าการดูดกลืนความร้อนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นค่ามาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบ ในระยะเวลาที่กำหนด เช่น 20ปี 100ปี หรือ 500ปี ซึ่งสามารถคำนวณค่า GWP ได้จากสมการที่ 4.1 แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะนิยมใช้ค่า GWP ของแก๊สเรือนกระจกที่ระยะเวลา 100ปี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6

$$GWP_i = \frac{\int_0^T a_i \cdot c_i(t) \cdot dt}{\int_0^T a_{CO_2} \cdot c_{CO_2}(t) \cdot dt} \quad (4.1)$$

- โดย a_i คือ การดูดกลืนพลังงานความร้อนต่อความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของแก๊ส i
- $c_i(t)$ คือ ความเข้มข้นของแก๊ส i ณ.เวลา t หลังจากปล่อยแก๊ส
- T คือ จำนวนปีที่ต้องการ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Global Warming Potential (GWP) ที่ระยะเวลา 100 ปี

Indicator	Global Warming Potential: GWP_i (kg CO ₂ -equiv./kg)
CO ₂	1
CH ₄	11
N ₂ O	270
CFCs	5000
Other VOC	11
CF ₄	>4.5
C ₂ F ₆	>6.2

ที่มา: Heijungs, R. [15]

เมื่อจัดทำบัญชีรายการและจำแนกข้อมูลตามกลุ่มผลกระทบเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถคำนวณหาศักยภาพความรุนแรงในการปล่อยแก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิดโดยเปรียบเทียบกับหน่วยมาตรฐานได้จากสมการด้านล่างนี้

$$\text{Greenhouse [kg CO}_2\text{-equiv.]} = GWP_i \text{ [kg CO}_2\text{-equiv./kg]} \times m_i \text{ [kg]} \quad (4.2)$$

- โดย GWP_i คือ ค่าศักยภาพในการดูดกลืนพลังงานความร้อนของแก๊ส i
- m_i คือ ปริมาณแก๊ส i ในหน่วยกิโลกรัม

4.3.2.2 ปัญหาผลกระทบต่อด้านภาวะความเป็นกรด

ปัญหาด้านภาวะความเป็นกรดนั้นเกิดจากแก๊สที่เป็นกรดถูกปล่อยออกมาในอากาศ ซึ่งอาจเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเมื่อแก๊สพิษเหล่านี้ลอยขึ้นไปในอากาศก็จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของไอน้ำในก้อนเมฆและเมื่อก้อนเมฆรวมตัวกันก็จะก่อให้เกิดเป็นฝนกรดในที่สุด และเมื่อฝนกรดตกลงมา สารพิษต่างๆที่อยู่ในน้ำฝนก็จะลงสู่พื้นดิน แม่น้ำ ทะเล และเมื่อน้ำฝนซึมลงสู่พื้นดินสารพิษที่อยู่ในน้ำฝนก็จะเข้าไปทำลายแร่ธาตุ สารอาหารที่มีประโยชน์ในพื้นดิน ซึ่งส่งผลให้ต้นไม้และพืชมีการเจริญเติบโตที่ช้าลง และอาจส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของสัตว์ที่บริโภคพืชผักเหล่านั้นไปด้วย สำหรับอาคารบ้านเรือนซึ่งมีส่วนประกอบเป็นหินปูนนั้น ก็จะมีการสึกกร่อนของตัวอาคารเนื่องมาจากน้ำฝนที่เป็นกรดจะทำปฏิกิริยากับ หินปูนที่เป็นส่วนประกอบของอาคารทำให้เกิดการสึกกร่อนได้

Acidification Potential (AP) คือค่าศักยภาพความเป็นกรดของแก๊สพิษที่ถูกปล่อยออกมาเช่น แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ กรดไฮโดรคลอริก แอมโมเนีย และไฮโดรเจนฟลูออไรด์ โดยแก๊สพิษแต่ละชนิดก็จะมีค่าแนวโน้มศักยภาพความเป็นกรดที่แตกต่างกันออก ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าศักยภาพดังกล่าวได้จากสมการที่ 4.3 โดยตารางที่ 4.7 ได้แสดงค่าศักยภาพความเป็นกรดที่คำนวณไว้แล้วของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ กรดไฮโดรคลอริก แอมโมเนีย และไฮโดรเจนฟลูออไรด์

$$AP_i = \frac{V_i \cdot M_i}{V_{SO_2} \cdot M_{SO_2}} \quad (4.3)$$

โดย	V_i	คือ ค่าศักยภาพความเป็นกรดของสาร i
	M_i	คือ มวลของสาร i
	V_{SO_2}	คือ ค่าศักยภาพความเป็นกรดของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์
	M_{SO_2}	คือ มวลของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Acidification Potential (AP) ของแก๊สชนิดต่าง ๆ

Indicator	Acidification Potential (AP _i) (kg SO ₂ -equiv./kg)
SO ₂	1
NO	1.07
NO _x	0.7
NH ₃	1.88
HCl	0.88
HF	1.6

ที่มา: Heijungs, R. [15]

การคำนวณหาศักยภาพความเป็นกรดของแก๊สชนิดต่าง ๆ สามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้

$$\text{Acidification [kg SO}_2\text{-equiv.]} = \text{AP}_i \text{ [kg SO}_2\text{-equiv./kg]} \times m_i \text{ [kg]} \quad (4.4)$$

โดย AP_i คือ ค่าศักยภาพความเป็นกรดของแก๊ส i

m_i คือ ปริมาณแก๊ส i ในหน่วยกิโลกรัม

4.3.2.3 ปัญหาผลกระทบต่อด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

Euthrophication หรือที่รู้จักกันดีว่าเป็นปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่แหล่งน้ำอุดมไปด้วยแร่ธาตุอาหารของพืชน้ำจืดพวกสาหร่ายมากเกินไป โดยเฉพาะฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ซึ่งอาจเกิดจากการเกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรมก็ได้ เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้สาหร่ายเกิดการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น และส่งผลให้สัตว์น้ำตายเพราะมีปริมาณออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอ และเมื่อมีสาหร่ายในปริมาณมากก็จะทำให้แสงอาทิตย์ไม่สามารถส่องไปยังใต้มันน้ำได้ ซึ่งจะทำให้พืชใต้น้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้และตายในที่สุด เมื่อพืชในน้ำตาย สัตว์น้ำก็จะขาดแหล่งอาหาร ก็จะเป็นสาเหตุให้สัตว์น้ำเกิด

การเจริญเติบโตช้าและตายในที่สุด และเมื่อพืชใต้น้ำและสัตว์น้ำตายก็จะทำให้น้ำทั้งเน่าเสียและตื้นเขินเนื่องจากการทับถมของซากพืชและซากสัตว์น้ำซึ่งจะทำให้ระบบนิเวศภายใต้ น้ำเปลี่ยนแปลงไปในที่สุด

Euthophication Potential (EP) คือ ค่าศักยภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำของตัวชี้วัดแต่ละชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีค่าศักยภาพในการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำที่แตกต่างกัน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.5 และในตารางที่ 4.8 ได้แสดงค่าศักยภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำและดินของตัวชี้วัดชนิดต่างๆที่นิยมใช้ในการคำนวณศักยภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ

$$EP_i = \frac{\frac{Y_i}{M_i}}{\frac{Y_{PO_4^{3-}}}{M_{PO_4^{3-}}}} \quad (4.5)$$

โดย Y_i คือ stoichiometric coefficient ของสสาร i หรือ PO_4^{3-}

M_i คือ Molecular mass ของสสาร i หรือ PO_4^{3-}

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า Euthophication Potential (EP) ของตัวชี้วัดชนิดต่างๆ

Indicator	Euthophication Potential (EP) (kg PO_4^{3-} -equiv./kg)
NO_2	0.13
NO_x	0.13
N	0.42
PO_4^{3-}	1
P	3.06

ที่มา: Heijungs, R. [15]

การคำนวณหาศักยภาพของภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำในตัวชี้วัดแต่ละชนิดสามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้

$$\text{Euthophication [kg PO}_4^{3-} \text{equiv.]} = \text{EP}_i \text{ [kg PO}_4^{3-} \text{-equiv./kg]} \times m_i \text{ [kg]} \quad (4.6)$$

โดย EP_i คือ ค่าศักยภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำของแก๊ส i

m_i คือ ปริมาณแก๊ส i ในหน่วยกิโลกรัม

สำหรับค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นๆ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

4.3.3 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)

การหาขนาดของผลกระทบจะช่วยแสดงให้เห็นถึงความรุนแรงของผลกระทบภายในประเทศหรือภายในทวีปได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เนื่องจากค่า Normalization คือค่าที่ใช้เป็นค่าอ้างอิงปริมาณการใช้พลังงานและมลพิษที่เกิดขึ้นต่อประชากรทั้งหมดในทวีป โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-Indicator 95 ซึ่งวิธีนี้มีการคิดค้นและพัฒนาโดยใช้ฐานข้อมูลการปล่อยมลพิษจากกิจกรรมต่างๆ ของประเทศในทวีปยุโรปซึ่งมีประชากรประมาณ 497 ล้านคนเป็นค่าอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ โดยตารางที่ 4.9 ได้แสดงค่า Normalization Value ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆ ต่อประชากร 1 คน

ตารางที่ 4.9 Normalization values ของประเทศในทวีปยุโรป

Impact Categories	Normalization Value	Unit
Global Warming	1.31×10^4	GWP kg
Ozone Layer Depletion	9.26×10^{-1}	ODP kg
Acidification	1.13×10^2	AP kg
Euthophication	3.82×10^1	NP kg
Heavy Metals	5.43×10^{-2}	Pb eq.kg
Carcinogens	1.09×10^{-2}	PAH eq.kg
Winter Smog	9.46×10^1	SO ₂ eq.kg
Summer Smog	1.79×10^1	POCP kg
Pesticides	9.66×10^{-1}	Active ingr.kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

4.3.4 การให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting)

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ก็คือ เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบทั้ง 3 ด้านที่ทำการศึกษา (Global Warming, Acidification, Euthophication) จากทั้งสองวัฏจักรชีวิต โดยจะแสดงผลออกมาเป็นคะแนนเดี่ยว (Single Score) เพื่อให้เห็นว่าวัฏจักรชีวิตใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากัน ซึ่งโดยหลักการของการให้น้ำหนักผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-Indicator 95 จะให้ความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละด้านไม่เท่ากัน เนื่องจากวิธีนี้จะใช้หลักการกำหนดเป้าหมายของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขึ้นมาก่อนที่จะให้ค่าความสำคัญ (Distance-to-Target) เพื่อให้บรรลุจนถึงเป้าหมายที่ตั้งไว้ให้ได้ ตัวอย่างเช่น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนซึ่งในปัจจุบันอุณหภูมิของโลกมีการเพิ่มขึ้น 0.2 °C ต่อ 10ปี และด้วยนโยบายในปัจจุบันจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 0.3 °C ต่อ 10ปี ซึ่งจะส่งผลกระทบในหลายพื้นที่มาก ดังนั้นเพื่อรักษาระบบนิเวศให้เสื่อมลงเพียง 5% จึงจำเป็นต้องให้น้ำหนักสำหรับผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนเท่ากับ 2.5 เท่า เพื่อรักษาระบบ

นี้เวศให้เสื่อมลงเพียง 5% ส่วนผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดก็มิหลักการในการให้ค่าน้ำหนักที่คล้ายคลึงกัน โดยต้องใช้แฟคเตอร์ 10 เท่า เพื่อรักษาการเสื่อมลงของสภาพแวดล้อมไม่ให้เกิน 5% โดยตารางที่ 4.10 ได้แสดงค่าน้ำหนักผลกระทบแต่ละประเภทไว้

ตารางที่ 4.10 Weighting Factor

Impact Categories	Weighting factor
Global Warming	2.5
Ozone Layer Depletion	100
Acidification	10
Euthopication	5
Heavy Metals in Air	5
Heavy Metals in Water	5
Carcinogenic	10
Winter Smog	5
Summer Smog	2.5
Pesticides	25

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

4.4 การแปลความหมายของผลการประเมิน (Interpretation)

ขั้นตอนนี้เป็นกรนำผลการศึกษาที่ได้รับจากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากทุกขั้นตอนย่อยมาวิเคราะห์เพื่อสรุป ตีความหมายและหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งจะทำให้ทราบว่าวัฏจักรใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และผลกระทบด้านใดที่เกิดขึ้นมากที่สุด รวมไปถึงจะทราบว่าขั้นตอนย่อยใดในทั้งสองวัฏจักรชีวิตที่ทำการประเมินแล้วส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยผลการประเมินวัฏจักรชีวิตดังกล่าวจะถูกนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เพื่อลดผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต หรือเพื่อเป็นแนวทางในการหันมาเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็กเพื่อให้กระบวนการเผาเหล็กส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง

บทที่ 5

ผลการวิจัย

5.1 การวิเคราะห์วัฏจักรรายการ (Life Cycle Inventory Analysis: LCI)

ในหัวข้อนี้ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกจากขั้นตอนย่อยทั้งหมดที่ทำการศึกษา อันประกอบด้วย ขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน และขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง โดยปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดแสดงในหน่วยจำนวนต่อการอุ่นเหล็ก 1 ตัน ซึ่งก็คือหน่วยการใช้งาน (Functional Unit) ของงานวิจัยนี้ รวมไปถึงรายละเอียดของระบบที่ทำการศึกษาหรือเก็บข้อมูลในแต่ละขั้นตอน โดยกำหนดให้ใช้อักษรภาษาอังกฤษแทนวัฏจักรชีวิตและขั้นตอนต่างๆ เพื่อความสะดวกในการอธิบาย ดังนี้

วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา	:	Cycle 1
วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง	:	Cycle 2
ขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา	:	Fuel Oil Combustion
ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน:		Coal Gasification
ขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง	:	Syngas Combustion

5.1.1 วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา

วัฏจักรชีวิตนี้ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยหนึ่งขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา ซึ่งขั้นตอนนี้มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับระบบเตาเผาเหล็กที่ใช้ประกอบการพิจารณาแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 โดยปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของขั้นตอนนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 ส่วนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับมลพิษ (Emission) ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยปริมาณมลพิษที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าและปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้น้ำมันเตา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.4 โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาจากขั้นตอนนี้ได้รับความอนุเคราะห์มาจากโรงงานตัวอย่างแห่งหนึ่งที่มีกระบวนการรีดเหล็กแบบ Hot Charge ซึ่งก็คือเมื่อชิ้นงาน (Slab) ออกมาจาก Continuous Caster ก็จะเริ่มกระบวนการรีดร้อนต่อทันทีโดยไม่ปล่อยให้ชิ้นงานอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดของระบบเตาเผาเหล็กที่ทำการศึกษา

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ประเภทของเตาเผาเหล็ก	เตาแบบพื้นเลื่อน (Roller-hearth furnace)
อัตราการผลิตเหล็ก	25 ตันต่อชั่วโมง
เชื้อเพลิงที่ใช้	น้ำมันเตาเกรด C
อัตราการบริโภคเชื้อเพลิง	700 ลิตรต่อ ชั่วโมง

สำหรับข้อมูลอุปกรณ์ที่ไฟฟ้าที่ใช้ภายในระบบเตาเผาเหล็กได้แสดงไว้ตารางที่ 5.2 ซึ่งข้อมูลด้านนี้ได้มาจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กที่มีอัตราการผลิตเหล็กเท่ากับ 30 ตันต่อชั่วโมง และเดินระบบ 21 ชั่วโมงต่อวัน ยกเว้น Heater ที่เดินเครื่อง 24 ชั่วโมงต่อวัน เนื่องจากต้องทำการอุ่นน้ำมันเตาตลอดเวลา โดยได้แสดงวิธีการคำนวณมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนนี้ไว้ใน ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 5.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าและขนาดสำหรับเตาเผาเหล็กขนาด 30 ตันต่อชั่วโมง

อุปกรณ์	ขนาด (kW)	จำนวน
Motor of blower	55	1
Heater	7	4
Motor of pump	4	3
Motor of hydraulic system	22	2

ตารางที่ 5.3 ปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา

List	Type	Quantity	Unit
Input	Fuel Oil	28	Lt/T
	Electricity	3.748	kWh/T
Output	Energy(heat)	1155.8	MJ/T

ตารางที่ 5.4 ปริมาณมลพิษ (Emission) ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา

Emission	Electricity [kg/T]	FO combustion [kg/T]	Total emission [kg/T]
CO	0.0006	0.3250	0.3256
CO ₂	1.9506	90.6176	92.5682
CH ₄	0.0040	0.0043	0.0083
NO _x	0.0047	0.2167	0.2214
N ₂ O	0.00002	0.0009	0.0009
SO _x	0.0058	0.1734	0.1792

ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 5.3 และ 5.4 คือปริมาณสารขาเข้าและสารออกจากกระบวนการเผาไหม้น้ำมันเตาสำหรับอุณหภูมิจำนวน 1 ตัน ซึ่งเป็นหน่วยหน้าที่การใช้งาน (Functional Unit) ของการศึกษาครั้งนี้

5.1.2 วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

วัฏจักรชีวิตนี้ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน และขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา โดยได้แสดงรายละเอียดปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกรวมถึงปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรนี้ไว้ในหัวข้อย่อยถัดไป

5.1.2.1 ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน

ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในการวิเคราะห์บัญชีรายการจากขั้นตอนนี้เป็นข้อมูลที่ได้มาจากงานวิจัยของคุณนริศ วงศ์ทยานุวัตร [4] ซึ่งได้จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้ในเตาอุตสาหกรรม โดยมีรายละเอียดของระบบแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และ 2.4 โดยข้อมูลปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของขั้นตอนนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.5 และเนื่องจากขั้นตอนเป็นการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อนำไปเผาไหม้ต่อ ดังนั้นแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ทั้งหมดจึงถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงไม่มีข้อมูลของมลพิษที่ออกจากระบบ ส่วนปริมาณมลพิษ (Emission) ที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้าภายในระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.6 ดังนั้นมลพิษที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินนี้จึงหมายถึงมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้าภายในระบบเท่านั้น

ตารางที่ 5.5 ปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน

List	Type	Quantity	Unit
Input	Coal	58.6	kg/T
	Electricity	5.97	kWh/T
Output	Syngas	304.3	m ³ /T

โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กับขั้นตอนนี้ได้แก่ Motor of Blower ขนาด 2 แรงม้า และ Motor สำหรับระบบบ่อนวัตถุคิบบขนาด 3 แรงม้า ซึ่งได้ข้อมูลมาจากโรงงานแห่งหนึ่งที่มีการใช้งานระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อนำแก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวมาเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนในกระบวนการผลิต โดยได้แสดงปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนนี้ไว้ในตารางที่ 5.6 เช่นกัน

ตารางที่ 5.6 ปริมาณมลพิษ (Emission) ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

Emission	Electricity [kg/T]	Coal gasification [kg/T]	Total emission [kg/T]
CO	0.0010	0	0.0010
CO ₂	3.1070	0	3.1070
CH ₄	0.0064	0	0.0064
NO _x	0.0075	0	0.0075
N ₂ O	0.00003	0	0.00003
SO _x	0.0092	0	0.0092

5.1.2.2 ขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

เนื่องจากขั้นตอนนี้ยังไม่มีการทำงานจริงในประเทศไทย ดังนั้นข้อมูลปริมาณสารขาเข้าจึงใช้ข้อมูลที่ได้มาจากขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน ส่วนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนนี้ได้มาจากงานวิจัยมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง [16] และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.7-5.8 ตามลำดับ โดยข้อมูลทั้งหมดคือปริมาณสารขาเข้าและสารออกจากกระบวนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงสำหรับอุณหภูมิ 1 ตัน

ตารางที่ 5.7 ปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (Outputs) ของขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

List	Type	Quantity	Unit
Input	Syngas	304.32	m ³ /T
	Electricity	3.748	kWh/T
Output	Energy (heat)	1211.8	MJ/T

ตารางที่ 5.8 ปริมาณมลพิษ (Emission) ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

Emission	Electricity [kg/T]	Syngas combustion [kg/T]	Total emission [kg/T]
CO	0.0006	0.0209	0.0215
CO ₂	1.950	138.151	140.1016
CH ₄	0.0040	n/a	0.0040
NO _x	0.0047	0.0469	0.0516
N ₂ O	0.00002	n/a	0.00002
SO ₂	0.0058	0.0417	0.0475

ตารางที่ 5.9 แสดงปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง โดยรวมปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินและขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงไว้ด้วยกัน

ตารางที่ 5.9 ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงในหน่วยกิโลกรัมต่อตัน

Emission	Coal Gasification	Syngas Combustion	Total Emission
CO	0.0010	0.0215	0.0225
CO ₂	3.1070	140.1016	143.2086
CH ₄	0.0064	0.0040	0.0104
NO _x	0.0075	0.0516	0.0591
N ₂ O	0.00003	0.00002	0.00005
SO _x	0.0092	0.0475	0.0567

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 5.10 เห็นได้ชัดเจนว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คือมลพิษที่มีปริมาณมากที่สุดจากทั้งสองวัฏจักร โดยวัฏจักรการเผาไหม้น้ำมันเตา (Cycle 1) มีปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 92.56 กิโลกรัมต่อการอุ่นเหล็ก 1 ตัน และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง (Cycle 2) เท่ากับ 143.2086 กิโลกรัมต่อการอุ่นเหล็ก 1 ตันเช่นกัน ส่วนมลพิษที่มีปริมาณน้อยที่สุดคือ แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ซึ่งวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงมีปริมาณการปล่อยแก๊สชนิดนี้ออกมาน้อยกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา

ตารางที่ 5.10 ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา (Cycle 1) และวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง (Cycle 2)

Emission	Cycle 1 [kg]	Cycle 2 [kg]
CO	0.3256	0.0225
CO ₂	92.5682	143.2086
CH ₄	0.0083	0.0104
NO _x	0.2214	0.0591
N ₂ O	0.0009	0.00005
SO _x	0.1792	0.0567

5.2 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการประเมินแบบ Eco-Indicator 95 เพื่อจัดการข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ได้จัดทำมาแล้วในขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การจำแนกข้อมูลตามกลุ่มประเภทของผลกระทบ (Classification) การกำหนดศักยภาพ (Characterization) การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) และการให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting)

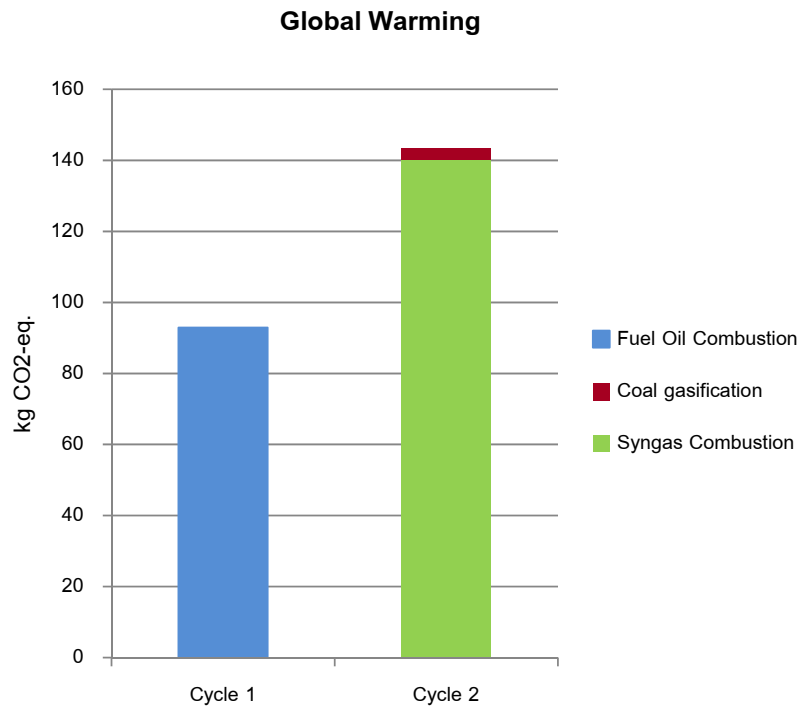
5.2.1 การจำแนกข้อมูลตามกลุ่มประเภทของผลกระทบ (Classification)

งานวิจัยนี้ทำการเก็บรวบรวมสสารหรือตัวชี้วัดทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สมีเทน (CH₄) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N₂O) และแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) โดยสสารแต่ละชนิดมีหน้าที่เป็นตัวชี้วัดของผลกระทบแต่ละด้านที่แตกต่างกันดังตารางที่ 4.6 โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สมีเทน (CH₄) และแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N₂O) เป็นตัวชี้วัดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) ส่วนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เป็นตัวชี้วัดผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด (Acidification) นอกจากนี้ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ก็ยังคงเป็นตัวชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำ (Euthrophication) อีกด้วย สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นๆ ที่มีตัวชี้วัดนอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาแล้วจึงไม่ได้รับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านนั้นๆจากงานวิจัยนี้

5.2.2 การกำหนดศักยภาพ (Characterization)

5.2.2.1 ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming)

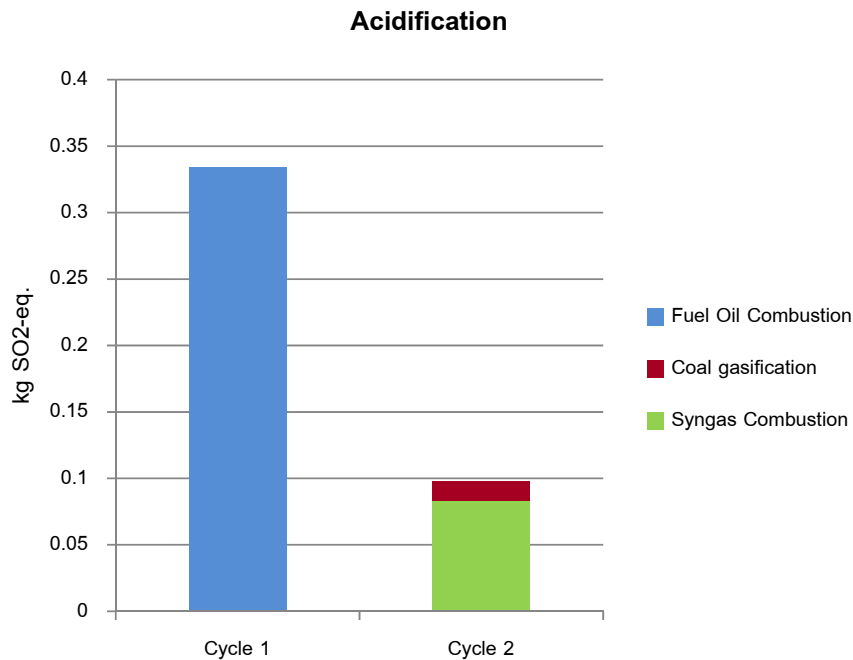
ผลจากการกำหนดศักยภาพตัวชี้วัดของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาซึ่งมีขั้นตอนย่อยเพียงขั้นตอนเดียวคือขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนน้อยกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงประมาณ 1.5 เท่า โดยหากพิจารณาที่วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง (Cycle 2) เพียงอย่างเดียวจะพบว่าขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากกว่าขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินอย่างมาก



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของ Cycle 1 และ Cycle 2

5.2.2.2 ผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด (Acidification)

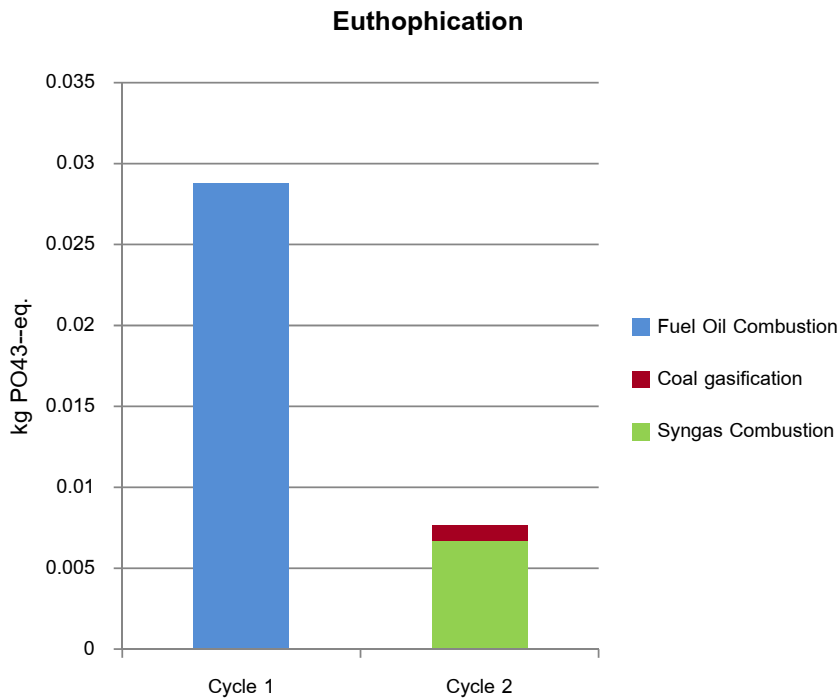
รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรดของวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา (Cycle 1) และ วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง (Cycle 2) ซึ่งจากรูปนี้จะเห็นได้ว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรดมากกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง และหากพิจารณาเฉพาะวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่า ขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรดน้อยกว่าขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง แต่อย่างไรก็ตามนอกจากแก๊สซัลเฟอร์ออกไซด์และแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ที่เป็นตัวชี้วัดศักยภาพในการเกิดผลกระทบด้านนี้แล้ว กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินยังคงก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) โดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบซัลเฟอร์ในถ่านหิน ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำค่าปริมาณการปล่อยแก๊สดังกล่าวมาคิดเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดของ Cycle 1 และ Cycle 2

5.2.2.3 ผลกระทบด้านภาวะการเพิ่มแร่ธาตุในแหล่งน้ำ (Euthopication)

หลังจากนำข้อมูลจากบัญชีรายการมากำหนดศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำแล้วพบว่า วัฏจักรการเผาไหม้น้ำมันเตามีความสามารถในการก่อให้เกิดภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำมากกว่าวัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงถึงประมาณ 3 เท่า แต่หากพิจารณารูปที่ 5.3 ให้ละเอียดยิ่งขึ้นจะพบว่าขั้นตอนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินมีความสามารถในการก่อให้เกิดภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำน้อยกว่าขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่อยู่ในวัฏจักรเดียวกันอย่างมาก

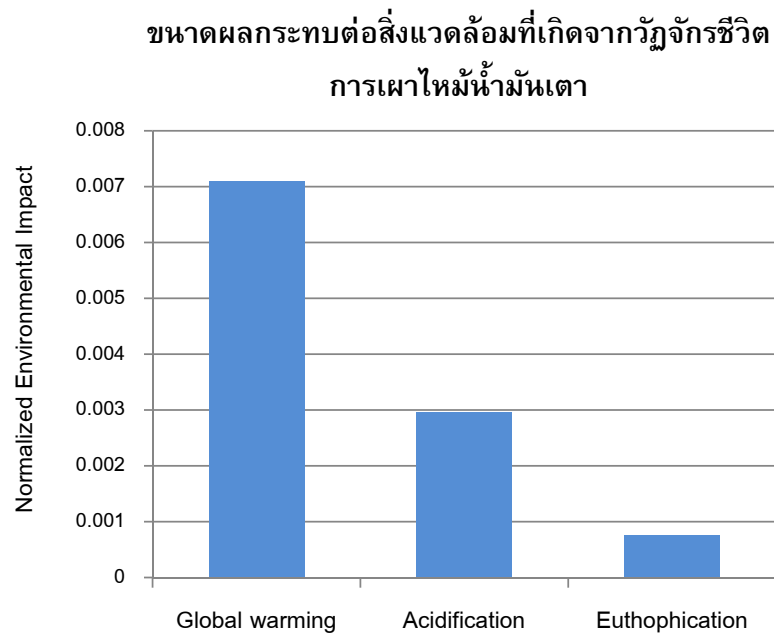


รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะการเพิ่มของแร่ธาตุในแหล่งน้ำของ Cycle 1 และ Cycle 2

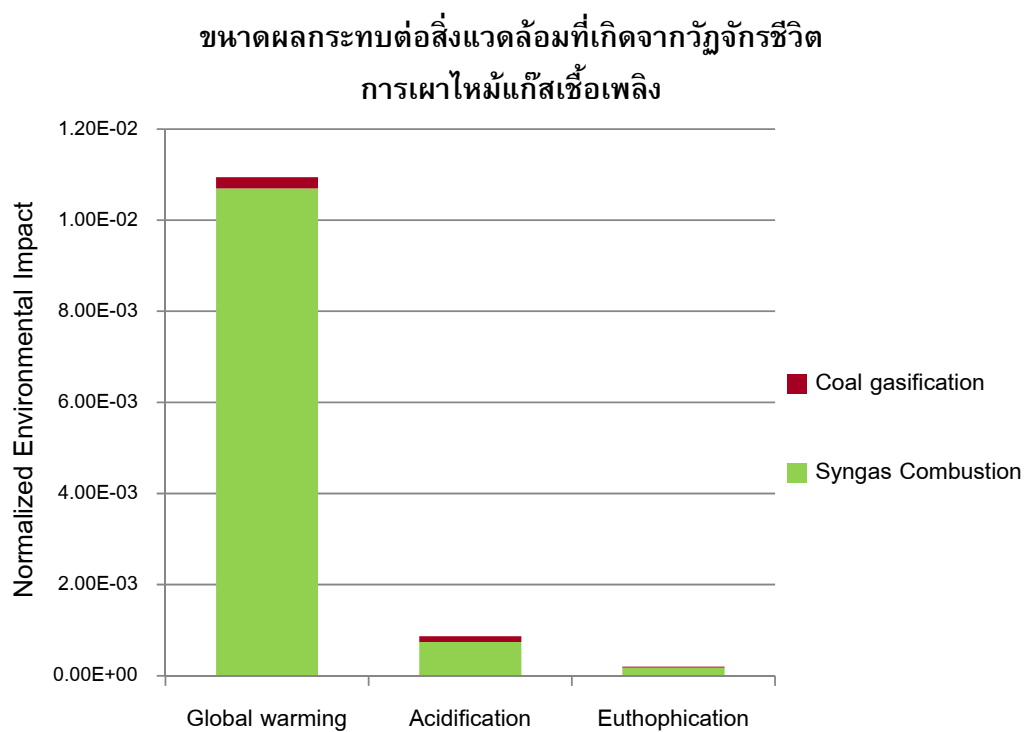
5.2.3 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)

จากขั้นตอนการกำหนดศักยภาพที่ได้แสดงรายละเอียดไปในหัวข้อที่แล้ว ต่อไปนี้จะเป็นการนำข้อมูลที่ผ่านการกำหนดศักยภาพมาแปลงค่าเพื่อให้กลายเป็นชุดข้อมูลในหน่วยเดียวกัน เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นกรด และภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงได้ โดยรูปที่ 5.4-5.5 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 3 ด้านที่ทำการศึกษาในวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด ซึ่งส่งผลกระทบมากกว่าด้านภาวะความเป็นกรดประมาณเกือบ 2 เท่า และด้านที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในวัฏจักรชีวิตคือด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำ ซึ่งมีขนาดที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบในด้านอื่นๆ



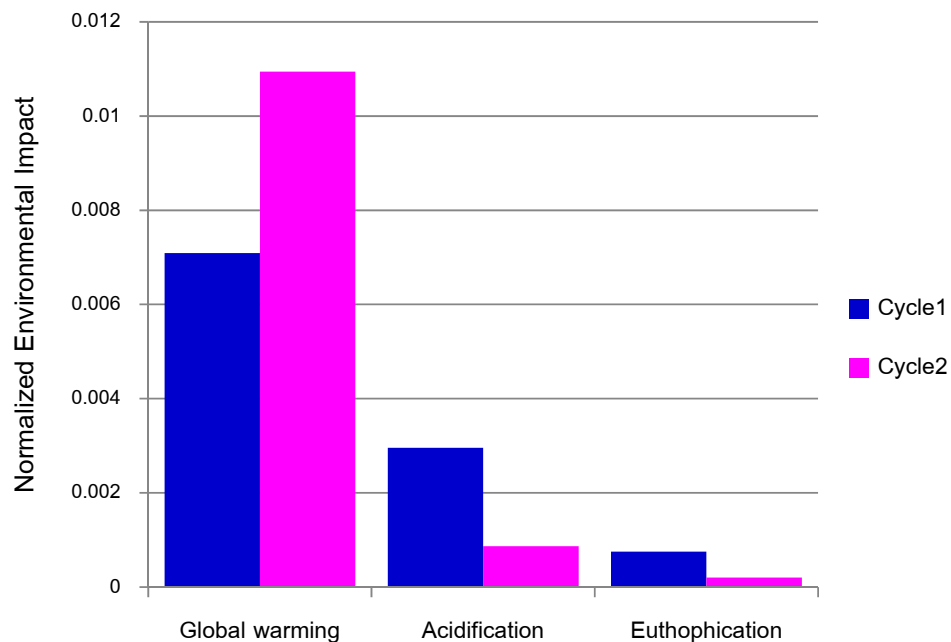
รูปที่ 5.4 ขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา



รูปที่ 5.5 ขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 5.5 ซึ่งแสดงขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นกรด และภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง จะเห็นว่าวัฏจักรนี้ส่งผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง โดยผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมีขนาดผลกระทบมากกว่าผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดถึง 11 เท่า เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีตัวชี้วัดผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดเพียงสองชนิดคือซัลเฟอร์ออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ซึ่งไม่ได้มีการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินเข้าไปด้วย ดังนั้นผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตนี้มีจึงสาเหตุหลักมาจากขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดในวัฏจักรชีวิตนี้คือผลกระทบด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำ ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับผลกระทบด้านอื่นๆในวัฏจักรชีวิตนี้

การเปรียบเทียบขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจาก
Cycle 1 และ Cycle 2



รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจาก Cycle 1 และ Cycle 2

รูปที่ 5.6 คือการนำขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา (Cycle 1) และวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง (Cycle 2) มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงส่งผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน

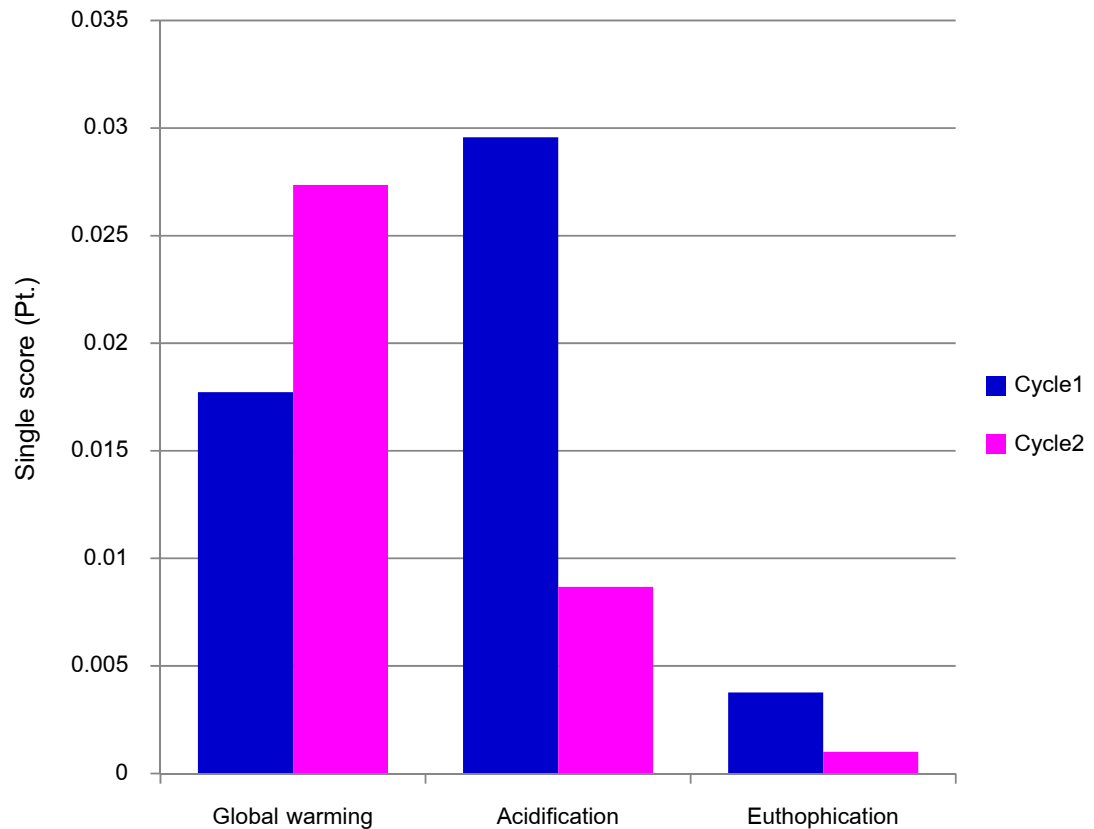
มากกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาประมาณ 1.5 เท่า ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านอื่น ๆ ซึ่งก็คือ ด้านภาวะความเป็นกรดและด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำนั้น ปรากฏว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สทั้งสองด้าน

5.2.4 การให้น้ำหนักผลกระทบ (Weighting)

การให้น้ำหนักผลกระทบจัดทำขึ้นเพื่อบอกรายถึงความสำคัญหรือความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละด้าน ซึ่งผลกระทบในแต่ละด้านก็จะมีผลสำคัญหรือมีความรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมที่ไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 4.11 โดยรูปที่ 5.7 เป็นการเปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน ด้านภาวะความเป็นกรด และด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำ ซึ่งจากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนน้อยกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง ส่วนผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดและผลกระทบด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำพบว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านดังกล่าวมากกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ชัดเจนว่า จากเดิมก่อนที่จะมีการให้น้ำหนักความสำคัญหรือความรุนแรงของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.6 ผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตามีขนาดความรุนแรงของผลกระทบน้อยกว่าผลกระทบในด้านอื่น ๆ แต่หลังจากมีการให้น้ำหนักความสำคัญหรือความรุนแรงของปัญหาตามแบบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Eco-Indicator 95 แล้ว จะเห็นได้ว่าผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดมีขนาดความรุนแรงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งทำให้ผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตากลายเป็นผลกระทบด้านที่ก่อให้เกิดปัญหา หรือก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังการให้น้ำหนักความสำคัญ



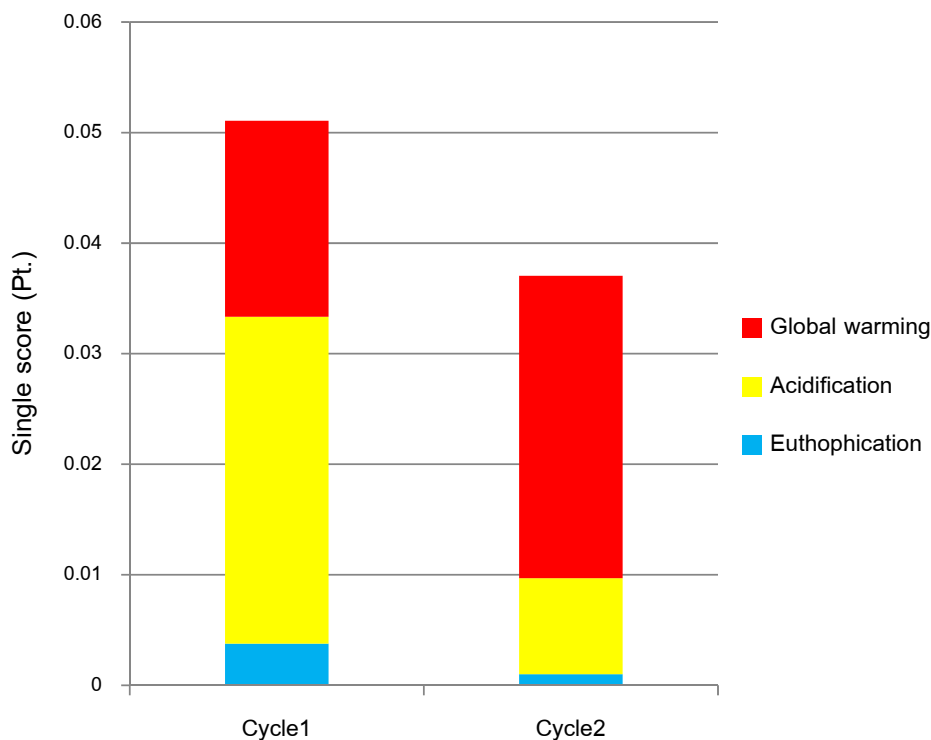
รูปที่ 5.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังการให้น้ำหนักความสำคัญ

ในหน้าถัดไปจะแสดงตารางที่ 5.11 ซึ่งนำเสนอข้อมูลคะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) ของขั้นตอนย่อยทั้งหมดที่ทำการศึกษา จะเห็นได้ว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตามีคะแนนเชิงเดี่ยวจากการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.0013 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน ซึ่งคิดเป็น 2.55% จากผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมดในวัฏจักรชีวิต ส่วนวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงมีคะแนนเชิงเดี่ยวจากการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.0066 ซึ่งคิดเป็น 17.84% จากผลกระทบทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในวัฏจักรชีวิต จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวจากการใช้ไฟฟ้าสูงถึง 17.84% ซึ่งประมาณได้ว่าเป็นหนึ่งในหกส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

ตารางที่ 5.11 แสดงคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของขั้นตอนย่อยทั้งหมดที่ทำการศึกษา

Impact	Unit	Cycle 1		Cycle 2			
		Fuel Oil Combustion		Coal Gasification		Syngas Combustion	
		Electricity	FO Combustion	Electricity	Coal gasification	Electricity	Syngas combustion
Global Warming	Pt	3.82×10^{-4}	173.47×10^{-4}	6.08×10^{-4}	0	3.82×10^{-4}	2.64×10^{-4}
Acidification	Pt	8.03×10^{-4}	287.69×10^{-4}	12.79×10^{-4}	0	8.03×10^{-4}	65.95×10^{-4}
Euthophication	Pt	0.81×10^{-4}	36.87×10^{-4}	1.28×10^{-4}	0	0.81×10^{-4}	7.98×10^{-4}
Total	Pt	12.65×10^{-4}	498.04×10^{-4}	20.15×10^{-4}	0	12.65×10^{-4}	337.57×10^{-4}
		510.69×10^{-4}		20.15×10^{-4}		350.23×10^{-4}	
		370.38×10^{-4}					

การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่าง Cycle 1 และ Cycle 2



รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่าง Cycle 1 และ Cycle 2

การเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆระหว่างวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.8 จากรูปจะเห็นได้ชัดเจนว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งวัฏจักรการเผาไหม้น้ำมันเตามีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 0.051 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน จากผลการวิจัยพบว่าวัฏจักรชีวิตนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรดมากที่สุด รองลงมาคือด้านภาวะโลกร้อน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำน้อยที่สุด ส่วนค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงมีคะแนนเท่ากับ 0.037 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน โดยผลกระทบด้านที่มีปริมาณความรุนแรงมากที่สุดที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรนี้คือผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงถึง 73.86% ของผลกระทบทั้งหมดภายในวัฏจักรชีวิต และผลกระทบด้านที่มีปริมาณความรุนแรงรองลงมาคือผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดและผลกระทบด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำตามลำดับ

5.3 การแปลผล (Interpretation)

จากการศึกษาพบว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตามีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อน ด้านภาวะความเป็นกรดและด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำดังนี้ 92.9002 กิโลกรัมเทียบเท่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.3342 กิโลกรัมเทียบเท่าแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ 0.0288 กิโลกรัมเทียบเท่าฟอสเฟต ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลมาศึกษาถึงขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตนี้ปรากฏว่า วัฏจักรชีวิตนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด รองลงมาคือด้านภาวะความเป็นกรดและด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำตามลำดับ ซึ่งผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนมีขนาดความรุนแรงมากกว่าผลกระทบต่อด้านภาวะความเป็นกรดประมาณเกือบ 2 เท่า จากนั้นเมื่อนำข้อมูลไปผ่านขั้นตอนการให้น้ำหนักความสำคัญหรือความรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมพบว่าในสภาวะแวดล้อมจริงๆ วัฏจักรชีวิตนี้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรดมากที่สุด ซึ่งผลกระทบต่อด้านนี้มีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 0.0296 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน ซึ่งมีปริมาณความรุนแรงมากกว่าผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนเกือบ 2 เท่า เหตุผลที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเดิมที่ผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนมีความรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากลับกลายเป็นผลกระทบต่อด้านภาวะความเป็นกรดมีความรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าก็เพราะว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Eco-Indicator 95 ได้กำหนดให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบที่เกิดต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรดถึง 10 เท่า ในขณะที่ให้ความสำคัญของผลกระทบที่เกิดจากด้านภาวะโลกร้อนเพียง 2.5 เท่า ดังนั้นหากมีขนาดของผลกระทบในปริมาณที่เท่ากัน ผลกระทบในด้านภาวะความเป็นกรดจะสร้างความเสียหายให้กับสิ่งแวดล้อมได้มากกว่า

สาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนก็คือปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนตรัสออกไซด์ และแก๊สมีเทนที่ถูกปล่อยออกมาจากขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตา ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วพบว่า ขั้นตอนการเผาไหม้น้ำมันเตามีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปล่อยออกมาเท่ากับ 92.5682 กิโลกรัม และมีปริมาณแก๊สไนตรัสออกไซด์และแก๊สมีเทนปล่อยออกมาเท่ากับ 0.00089 กิโลกรัม และ 0.00832 กิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งถือได้ว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากขั้นตอนนี้มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณแก๊สมลพิษอื่นๆ และด้วยปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับที่กล่าวมานี้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในวัฏจักรชีวิตนี้ จากข้อมูลในส่วนนี้จะเห็นได้ว่า หากต้องการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตนี้ ก็ควรหาวิธีลดปริมาณการใช้น้ำมันเตาและลดปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเตา

การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันแก๊สเชื้อเพลิงพบว่าวัฏจักรนี้มีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นกรดและด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำดังนี้ 143.3379 กิโลกรัมเทียบเท่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.0980 กิโลกรัมเทียบเท่าแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ 0.0077 กิโลกรัมเทียบเท่าฟอสเฟต ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลมาแปลงให้อยู่ในหน่วยเดียวกันเพื่อศึกษาถึงขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตนี้ปรากฏว่า วัฏจักรชีวิตนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากขั้นตอนการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง โดยผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตนี้มีขนาดต่างกับผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดมากถึง 11 เท่า ต่อมาเมื่อมีการให้น้ำหนักความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมจากวัฏจักรชีวิตนี้พบว่า ถึงแม้จะมีการให้น้ำหนักของผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดถึง 10 เท่า แต่ผลกระทบด้านนี้ก็ยังคงมีความรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่มีการให้น้ำหนักความรุนแรงอยู่ที่ 2.5 เท่า โดยค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนและด้านภาวะความเป็นกรดมีคะแนนเท่ากับ 0.0274 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน และ 0.0087 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน ตามลำดับ

จากข้อมูลในย่อหน้าที่แล้วแสดงให้เห็นว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด ดังนั้นหากต้องการลดปริมาณความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ควรลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าในวัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง และจากผลการศึกษาพบว่าค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของการใช้ไฟฟ้าในวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวจากการใช้ไฟฟ้าสูงถึง 17.84% ของค่าคะแนนเชิงเดี่ยวที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตนี้ทั้งหมด ดังนั้นหากต้องการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตนี้ก็ควรลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากทุกขั้นตอนในวัฏจักรชีวิตนี้ด้วย

หลังจากนำข้อมูลผ่านขั้นตอนการให้น้ำหนักความรุนแรงที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงแล้วนำมาเปรียบเทียบเพื่อศึกษาถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้เชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็กแล้วพบว่า จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตามีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 0.051 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน ซึ่งมีความรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 0.037 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน ดังนั้นหากต้องการเลือกใช้เชื้อเพลิงสำหรับเตาเผาเหล็กที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดก็ควรเลือกใช้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงถ่านหิน เนื่องจากผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นอย่าง

ชัดเจนแล้วว่ากระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงหรือวัฏจักรการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวน้อยกว่ากระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้น้ำมันเตาหรือวัฏจักรการเผาไหม้น้ำมันเตา ซึ่งหมายความว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆรวมกันมากกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาและวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินเพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็กพบว่า ในขั้นตอนการทำบัญชีรายการของทั้งสองวัฏจักรชีวิตพบว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คือมลพิษที่ถูกปล่อยออกมามากที่สุดจากทั้งสองวัฏจักรชีวิต สำหรับผลการวิเคราะห์ศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนพบว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตามีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านนี้น้อยกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง แต่สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรดและด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำพบว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสองด้านนี้มากกว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหิน

จากการศึกษาถึงระดับของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆพบว่า วัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด ซึ่งมากกว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรดประมาณ 2.5 เท่า และวัฏจักรชีวิตนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำน้อยที่สุด

สำหรับวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินจากการศึกษาถึงระดับของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วพบว่า วัฏจักรชีวิตนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดและมากกว่าผลกระทบต่อด้านภาวะความเป็นกรดถึง 11 เท่า ส่วนผลกระทบต่อด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำนั้นยังคงเป็นผลกระทบต่อด้านที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเช่นเดิม

สืบเนื่องจากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Eco-Indicator 95 นั้น จะใช้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเป็นตัวชี้วัดความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม และจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสำหรับเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนกับเตาเผาเหล็ก (สำหรับเหล็ก 1 ตัน) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 0.037 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน ซึ่งน้อยกว่าค่าคะแนนเชิงเดี่ยวที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตาที่มีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 0.051 คะแนนต่อประชากรหนึ่งคน ดังนั้นหากต้องการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดก็ควรเลือกใช้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินที่ผลิตจากกระบวนการผลิต

แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินแทนการเลือกใช้น้ำมันเตาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาเผาเหล็ก เนื่องจากผลการศึกษาค่าใช้จ่ายแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนแล้วว่ากระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวน้อยกว่ากระบวนการเผาไหม้น้ำมันเตาซึ่งหมายความว่ากระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินหรือวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากระบวนการเผาไหม้น้ำมันเตาหรือวัฏจักรชีวิตการเผาไหม้น้ำมันเตา อย่างไรก็ตาม ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวดังกล่าวยังไม่ได้อิงปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินเข้าไปด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาเพียงผลกระทบที่เกิดขึ้นภายในโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กเท่านั้น โดยไม่ได้ศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบนั้นก็คือน้ำมันเตาและถ่านหิน ดังนั้นหากมีการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบด้วยก็จะทำให้ได้ผลการประเมินที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้น
2. เนื่องจากระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินเพื่อนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากถ่านหินไปเผาไหม้เพื่อความร้อนกับเตาเผาเหล็กยังไม่มี การดำเนินงานจริงในประเทศไทย ดังนั้นข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ที่เกี่ยวข้องกับระบบดังกล่าวจึงได้มาจากระบบที่มีการดำเนินงานใกล้เคียงกันกับระบบดังกล่าว เพราะฉะนั้นหากสามารถทำการทดลองเพื่อให้ได้ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนดังกล่าวได้จริง จะทำให้ผลการประเมินมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น
3. เนื่องจากงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการประเมินแบบ Eco-Indicator 95 ซึ่งไม่ถือว่ามีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นหนึ่งในตัวชี้วัดผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด ดังนั้นหากต้องการผลการประเมินที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น อาจมีการเปลี่ยนรูปแบบวิธีการประเมินที่มีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นหนึ่งในตัวชี้วัดก็ได้

รายการอ้างอิง

- [1] จักรภพ นาคฤทธิ์. การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตระหว่างการใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% และ 99.5% ในภาคการขนส่งของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [2] กฤษกร เจียมจำรัสศิลป์ และคนอื่นๆ. การประเมินวัฏจักรสีผง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15.
- [3] ชนาภา วรรณศรี. การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สซีพีเคชั่นของไม้โตเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- [4] นริศ วงศ์ทยานวัตร. แบบจำลองสมดุลทางความร้อนเคมีของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินสำหรับเตาอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- [5] ธิดา ทศนราพันธ์. การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [6] Hsien, H.K. Life cycle impact assessment of various waste conversion technologies. Waste Management 29(2009) : 1892-1900
- [7] Tukker, A. Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. Journal of Environmental Impact Assessment Review 20(2000) : 435-456
- [8] Reno, M.L.G. et al. and others. A LCA (Life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. Energy 36(2011) : 3716-3726.
- [9] โอมฤทธิ์ ทาระบุตร. การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของคอมเพรสเซอร์แบบหมุนโดยใช้โปรแกรมไซมาโปร 5.1 และโปรแกรมกานี 4.0. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.
- [10] วราลักษณ์ มาลี. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของชุดหอเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.
- [11] กระทรวงเกษตร. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย. The Japan Institute of energy, (2008).

- [12] Marino, P. et al. Control of pusher furnaces for steel slab reheating using a numerical model. [ออนไลน์]. 2004. แหล่งที่มา:
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0327-07932004000400008&script=sci_arttext [14 สิงหาคม 2555]
- [13] เอกรัชฎ์ สมเรียวงค์กุล. การศึกษาเชิงตัวเลขของการแจกแจงอุณหภูมิในแท่งเหล็กบริเวณทางออกของเตาเผาเหล็กโดยคำนึงถึงผลจากการสูญเสียความร้อนที่ช่องเปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- [14] Goedkoop, M. The Eco-indicator 95 – Weighting method for environmental effect that damage, National Reuse of Waste Research Program, Pre-consultants, NL.
- [15] Heijungs, R. et al. Environmental Life Cycle Assessment of Products: Guide, Ed., CML (Center of Environmental Science), Leiden (1992).
- [16] Kevin, J. et al. Emissions from syngas combustion. Combustion Science and Technology, (2008) : 1117-1136.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ ก-1 ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน

Class: greenhouse effect, Unit GWP			
Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Air	1,1,1-trichloroethane	100	kg
Air	CFC (hard)	7100	kg
Air	CFC (soft)	1600	kg
Air	CFC-11	3400	kg
Air	CFC-113	4500	kg
Air	CFC-114	7000	kg
Air	CFC-115	7000	kg
Air	CFC-12	7100	kg
Air	CFC-13	13000	kg
Air	CO ₂	1	kg
Air	dichloromethane	15	kg
Air	HALON-1211	4900	kg
Air	HALON-1301	4900	kg
Air	HCFC-123	90	kg
Air	HCFC-124	440	kg
Air	HCFC-141b	580	kg
Air	HCFC-142b	1800	kg
Air	HCFC-22	1600	kg
Air	HFC-125	3400	kg
Air	HFC-134a	1200	kg
Air	HFC-143a	3800	kg
Air	HFC-152a	150	kg
Air	methane	11	kg
Air	N ₂ O	270	kg
Air	tetrachloromethane	1300	kg
Air	trichloromethane	25	kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

ตารางที่ ก-2 ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการลดลงของชั้นโอโซน

Class: ozone depletion. Unit: ODP			
Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Air	1,1,1-trichloroethane	0.12	kg
Air	CFC (hard)	1	kg
Air	CFC (soft)	0.055	kg
Air	CFC-11	1	kg
Air	CFC-113	1.07	kg
Air	CFC-114	0.8	kg
Air	CFC-115	0.5	kg
Air	CFC-12	1	kg
Air	CFC-13	1	kg
Air	HALON-1201	1.4	kg
Air	HALON-1202	1.25	kg
Air	HALON-1211	4	kg
Air	HALON-1301	16	kg
Air	HALON-2311	0.14	kg
Air	HALON-2401	1.25	kg
Air	HALON-2402	7	kg
Air	HCFC-123	0.02	kg
Air	HCFC-124	0.022	kg
Air	HCFC-141b	0.11	kg
Air	HCFC-142b	0.065	kg
Air	HCFC-22	0.055	kg
Air	HCFC-225ca	0.025	kg
Air	HCFC-225cb	0.033	kg
Air	methyl bromide	0.6	kg
Air	tetrachloromethane	1.08	kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

ตารางที่ ก-3 ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะความเป็นกรด

Class: acidification, Unit: AP			
Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Air	ammonia	1.88	kg
Air	HCL	0.88	kg
Air	HF	1.6	kg
Air	NO	1.07	kg
Air	NO2	0.7	kg
Air	NOx	0.7	kg
Air	SO2	1	kg
Air	SOx	1	kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

ตารางที่ ก-4 ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะการเพิ่มของแร่ธาตุ
ในแหล่งน้ำ

Class: Nutriphication, Unit: NP			
Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Air	ammonia	0.33	kg
Air	nitrate	0.42	kg
Air	NO	0.2	kg
Air	NO ₂	0.13	kg
Air	NO _x	0.13	kg
Air	phosphate	1	kg
Water	COD	0.22	kg
Water	NH ₃	0.33	kg
Water	NH ₄ ⁺	0.33	kg
Water	N _{tot}	0.42	kg
Water	phosphate	1	kg
Water	P _{tot}	3.06	kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

ตารางที่ ก-5 ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่เกี่ยวกับโลหะหนัก

Class: heavy metals, Unit: Pb equivalent			
Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Air	Cadmium oxide	50	kg
Air	Cd	50	kg
Air	Heavy metals	1	kg
Air	Hg	1	kg
Air	Mn	1	kg
Air	Pb	1	kg
Water	As	1	kg
Water	B	0.03	kg
Water	Ba	0.14	kg
Water	Cd	3	kg
Water	Cr	0.2	kg
Water	Cu	0.005	kg
Water	Hg	10	kg
Water	Mn	0.02	kg
Water	Mo	0.14	kg
Water	Ni	0.5	kg
Water	Pb	1	kg
Water	Sb	2	kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

ตารางที่ ก-6 ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่เกี่ยวกับสารก่อมะเร็ง

Class: carcinogenesis, Unit: PAH equivalent			
Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Air	As	0.044	kg
Air	benzene	0.000011	kg
Air	benzo[a]pyrene	1	kg
Air	Cr (6+)	0.44	kg
Air	CxHy aromatic	0.000011	kg
Air	ethylbenzene	0.000011	kg
Air	fluoranthene	1	kg
Air	Ni	0.44	kg
Air	PAH	1	kg
Air	tar	0.000011	kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

ตารางที่ ก-7 ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่เกี่ยวกับควันใหญ่ดูหนาว

Class: winter smog, Unit: SO2 equivalent			
Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Air	Dust (SPM)	1	kg
Air	SO2	1	kg
Air	Soot	1	kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

ตารางที่ ก-8 ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านควันในฤดูร้อน

Class: summer smog, Unit: PCOP			
Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Air	1,1,1-trichloroethane	0.021	kg
Air	1,2-dichloroethane	0.021	kg
Air	acetone	0.178	kg
Air	acetylene	0.168	kg
Air	alcohols	0.196	kg
Air	aldehydes	0.443	kg
Air	benzene	0.189	kg
Air	caprolactam	0.761	kg
Air	chlorophenols	0.761	kg
Air	crude oil	0.398	kg
Air	CxHy	0.398	kg
Air	CxHy aliphatic	0.398	kg
Air	CxHy aromatic	0.761	kg
Air	CxHy chloro	0.021	kg
Air	dichloromethane	0.021	kg
Air	diethyl ether	0.398	kg
Air	diphenyl	0.761	kg
Air	ethanol	0.268	kg
Air	ethane	1	kg
Air	ethylene glycol	0.196	kg
Air	ethylene oxide	0.377	kg
Air	formaldehyde	0.421	kg
Air	hexachlorobiphenyl	0.761	kg
Air	hydroxy compounds	0.377	kg
Air	Isopropanol	0.196	kg
Air	ketones	0.326	kg

ตารางที่ ก-8 ค่าสัมประสิทธิ์ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านควันทันในฤดูร้อน (ต่อ)

Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Air	methane	0.007	kg
Air	methyl ethyl kethone	0.473	kg
Air	methyl mercaptane	0.377	kg
Air	naphthalene	0.761	kg
Air	non methane VOC	0.416	kg
Air	PAH	0.761	kg
Air	pentane	0.408	kg
Air	petrol	0.398	kg
Air	phenol	0.761	kg
Air	phthalic acid anhydride	0.761	kg
Air	propene	0.42	kg
Air	propene	1.03	kg
Air	propionaldehyde (propanal)	0.603	kg
Air	styrene	0.761	kg
Air	terpentine	0.377	kg
Air	tetrachloromethane	0.021	kg
Air	toluene	0.563	kg
Air	trichloroethene	0.066	kg
Air	vinylacetate	0.223	kg
Air	vinylchloride	0.021	kg
Air	VOC	0.398	kg
Air	xylene	0.85	kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

ตารางที่ ก-9 ค่าศักยภาพของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านที่เกี่ยวกับยาฆ่าแมลง

Class: pesticides Unit: Active substance			
Cat.	Substance	Weight factor	Unit
Water	desinfectants	1	kg
Water	fungicides	1	kg
Water	herbicides	1	kg
Water	insecticides	1	kg

ที่มา: Goedkoop. M. [14]

ภาคผนวก ข

การคำนวณมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ ข-1 แสดงค่า Emission ที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ เช่นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle Power Plant) โรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Steam Power Plant) โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส (Gas Turbine Power Plant) และโรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel Power Plant) ซึ่งมีประสิทธิภาพรวมเท่ากับ 45%, 35%, 25% และ 30% ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้แก่ แก๊สธรรมชาติ ถ่านหินลิกไนต์ น้ำมันเตา และน้ำมันดีเซล โดยตารางที่ ข-1 แสดงปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้า 1 kW-h ซึ่งปริมาณไฟฟ้างกล่าวได้มาจาก 1.718 kW-h ของเชื้อเพลิง (แก๊สธรรมชาติ ลิกไนต์ น้ำมันเตา และน้ำมันดีเซล)

ตารางที่ ข-1 แสดง Emission ที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าในหน่วย Btu หรือ กรัม ต่อ mmBtu ของไฟฟ้า

สสาร	ค่า Emission ของสสาร
CO (g)	0.155
NO _x (g)	1.138
SO _x (g)	1.382
CH ₄ (g)	0.966
N ₂ O (g)	0.00503
CO ₂ (g)	468.386

ที่มา: จักรภพ นาคฤทธิ์ [1]

หลังจากคำนวณปริมาณมลพิษที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว จะต้องคิดการสูญเสียพลังงานจากระบบส่งไฟฟ้าอีก 10% โดยการหารค่าต่างๆที่คำนวณได้ด้วย 0.9 จึงจะได้ปริมาณมลพิษที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าอย่างแท้จริง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิภาศรี เรืองเนตร เกิดเมื่อวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกลการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 โดยงานวิจัยได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25