



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การประเมินความเหมาะสมของเชื้อเพลิงทางเลือก
ที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์
โดยใช้หลักการบัญชีสิ่งแวดล้อมและการประเมินวงจรชีวิต

โดย เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์ และคณะ

มิถุนายน 2551

สัญญาเลขที่ RDG5050004

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การประเมินความเหมาะสมของเชื้อเพลิงทางเลือก
ที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์
โดยใช้หลักการบัญชีสิ่งแวดล้อมและการประเมินวงจรชีวิต

คณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร.เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. อ.ดร.ฉัตรเพชร ยศพล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. น.ส.เหมือนจิตต์ วิเชษฐะพงษ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG5050004

ชื่อโครงการ : การประเมินความเหมาะสมของเชื้อเพลิงทางเลือก ที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ โดยใช้หลักการบัญชีสิ่งแวดล้อมและการประเมินวงจรชีวิต

ชื่อนักวิจัย: ผศ.ดร.เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อ.ดร.ฉัตรเพชร ยศพล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

น.ส.เหมือนจิตต์ วิเชษฐพงษ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail Address : netnapid@kku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 1 ตุลาคม 2549- 31 มิถุนายน 2551

คำหลัก: การประเมินวงจรชีวิต หลักการบัญชีสิ่งแวดล้อม ก๊าซเรือนกระจก เชื้อเพลิงทางเลือก อุตสาหกรรมซีเมนต์

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการประเมินวงจรชีวิต สำหรับเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้เชื้อเพลิงลิกไนต์ และเชื้อเพลิงทางเลือกอีก 7 ชนิด ในขั้นตอนการเผาปูนเม็ดในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยทำการรวบรวมข้อมูลทุกข้อมูจากโรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์ และผู้กำจัดกากของเสีย และรวบรวมข้อมูลปฐภูมิจากการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการแล้วจึงนำมาประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตามขั้นตอนของการประเมินวงจรชีวิต

ผลการศึกษาพบว่า การใช้เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดจะส่งผลให้เกิดผลกระทบในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนมากที่สุด ในปริมาณ 1290.976 Kg CO₂ eq./ 1 ตันปูนซีเมนต์ และขยะพลาสติกประเภทโพลิเมอร์ จะส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดใน 3 กลุ่ม ได้แก่ ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด ศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มของธาตุอาหารในน้ำ และศักยภาพในการทำให้เกิดหมอกควันพิษ ในปริมาณ 494.73 Kg SO₂ eq. 110.89 Kg N eq. และ 30.55 Kg VOC eq. / 1 ตันปูนซีเมนต์ ตามลำดับ

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการจัดการของเสียพบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสียในเตาเผาปูนซีเมนต์มีมากกว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดของเสียโดยการฝังกลบ และการเผาในทุกกลุ่มผลกระทบ ทั้งนี้การใช้เชื้อเพลิงทางเลือกหรือเชื้อเพลิงปกติจะส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่การใช้เชื้อเพลิงทางเลือกจะลดการใช้เชื้อเพลิงลิกไนต์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงประเภทใช้แล้วหมดไปลงได้ และเป็นการลดของเสียที่จะนำไปเผาและฝังกลบได้

ผลจากการวิจัยครั้งนี้ผู้ผลิตปูนซีเมนต์สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้เชื้อเพลิงทางเลือกจากกากของเสียที่รับกำจัด และผู้ผลิตกากของเสียสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการตัดสินใจเลือกวิธีในการบำบัดกากของเสียได้

Abstract

Project Code : RDG5050004

Project Title : The Feasibility Evaluation of Alternative Mixed Fuels in Cement Industry
Using Environmental Accounting and Life Cycle Assessment Approaches

Investigator : Netnapid Tantemsapya, Khon Kaen University
Chatpet Yossapol Suranaree, University of Technology
Muanchit Wichettapong, Khon Kaen University

E-mail Address : netnapid@kku.ac.th

Project Period : 1 October 2006-31 June 2008

Keywords : Life Cycle Assessment, Environmental Accountant, Greenhouse Gases,
Alternative Fuel, Cement Industry

In this research, Life Cycle Assessment (LCA) was applied for environmental impact comparison between fossil fuel and seven alternative fuels of cement production process. Three type of data were exploited, secondary data from cement manufacturing, waste generator and primary data from laboratory experiment, then used for environmental impact analysis followed LCA procedure.

Results show that, mixture of all alternative fuels cause most impact in terms of Global Warming potential equal to 1290.976 Kg CO₂ eq./ 1 ton of cement. Polymer and monomer cause most impact in 3 categories which are, Acidification Potential, Eutrophication Potentail and Photochemical Smog Potential equals to 494.73 Kg SO₂ eq., 110.89 Kg N eq. and 30.55 Kg VOC eq. / 1 ton of cement, respectively.

Environmental impact assessment analysis for waste management method shows that, environmental impact occurs from co-disposal with cement kiln causes more environmental impact than dispose in landfill or incinerator. There was no significant different between using lignite nor alternative fuel. However, using alternative fuel will reduce lignite usage which is non renewable resource and reduce amount of waste to be treated by incinerator and landfill.

Finding form this research can be use by cement producer for decision making of alternative fuel selection. In addition, waste generator can be use such data for decision making in waste treatment method.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีทั้งด้านเงินทุนสนับสนุน และข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1-2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	1-3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	1-3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	1-5
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment - LCA)	2-1
2.1.1 ความหมายของการประเมินวงจรชีวิต	2-1
2.1.2 ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินวงจรชีวิต	2-2
2.2 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์	2-9
2.3 การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิต ในประเทศไทย	2-11
2.4 การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์	2-12
2.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการผลิตปูนซีเมนต์	2-16
2.6 กากของเสียที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก	2-19
2.6.1 คุณลักษณะของกากของเสียที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก	2-19
2.6.2 สถานการณ์ในปัจจุบันของกากของเสียที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก	2-20
2.7 สรุปการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	2-22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 รูปแบบการวิจัย	3-1
3.2 วิธีการวิจัย	3-1
3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา	3-1
3.2.2 การทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory)	3-2
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา	4-1
4.1.1 การประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือก	4-1
4.1.2 ขอบเขตการศึกษา	4-1
4.2 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม	4-1

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
4.2.1 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในการผลิต	4-2
4.2.2 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเชื้อเพลิงทางเลือก	4-3
4.2.3 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการจัดกากของเสียอุตสาหกรรม	4-12
4.3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	4-17
4.3.1 การคัดเลือก	4-17
4.3.2 การจำแนกกลุ่มผลกระทบ	4-18
4.3.3 การกำหนดบทบาท หรือความสามารถที่ทำให้เกิดผลกระทบ	4-24
4.4 การตีความและแปลผล	4-32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	5-1
5.1.1 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการผลิตปูนซีเมนต์	5-1
5.1.2 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์	5-2
5.2 การนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์	5-3
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	5-3

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2-1 กรอบการดำเนินงานของ LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO14000	2-3
รูปที่ 2-2 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์	2-10
รูปที่ 2-3 ขอบเขตของระบบที่ทำการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์	2-14
รูปที่ 3-1 ขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และการประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์	3-3
รูปที่ 3-2 ขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวงจรชีวิตการจัดการกากของเสีย	3-4
รูปที่ 3-3 ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการเผาปูนเม็ด	3-4
รูปที่ 3-4 เตาเผา	3-7
รูปที่ 3-5 เครื่องวัดแก๊สแบบอัตโนมัติ	3-8
รูปที่ 3-6 ตัวอย่างกากของเสียก่อนเผา	3-8
รูปที่ 3-7 แท่งวัดก๊าซ	3-9
รูปที่ 3-8 ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากการกำจัดของเสียโดยการฝังกลบ	3-10
รูปที่ 3-9 ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากการกำจัดของเสียโดยการเผา	3-11
รูปที่ 3-10 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก	3-15
รูปที่ 3-11 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวิธีการกำจัดกากของเสีย	3-16
รูปที่ 4-1 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์ เป็นเชื้อเพลิง	4-2
รูปที่ 4-2 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ทางเลือก น้ำมันใช้แล้ว 5 % พลังงานจากลิกไนต์ 95 %	4-8
รูปที่ 4-3 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ทางเลือก น้ำมันแวกซ์ 5 % พลังงานจากลิกไนต์ 95 %	4-8
รูปที่ 4-4 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ทางเลือก ยางรถยนต์เก่า 5% พลังงานจากลิกไนต์ 95 %	4-9
รูปที่ 4-5 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ทางเลือก เศษยาง 5% พลังงานจากลิกไนต์ 95 %	4-9
รูปที่ 4-6 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ทางเลือก ขยะถุงพลาสติกจากชุมชน 5% พลังงานจากลิกไนต์ 95 %	4-9
รูปที่ 4-7 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ทางเลือก เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า 5% พลังงานจากลิกไนต์ 95 %	4-10

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4-8 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือก ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ 5% พลังงานจากถ่านหิน 95 %	4-10
รูปที่ 4-9 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดรวมกันเท่ากับ 5 % และพลังงานจากถ่านหิน 95 %	4-11
รูปที่ 4-10 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสียโดยการฝังกลบ	4-16
รูปที่ 4-11 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาขยะ	4-16
รูปที่ 4-12 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน	4-25
รูปที่ 4-13 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง	4-26
รูปที่ 4-14 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล	4-28
รูปที่ 4-15 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะหมอกควันพิษ	
รูปที่ 4-16 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสีย 1 ตัน	4-31
รูปที่ 4-17 การเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการกากของเสีย	4-35

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2-1 กลุ่มผลกระทบที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทย	2-7
ตารางที่ 3-1 กากของเสียที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์	3-5
ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติเฉพาะของกากของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก	3-6
ตารางที่ 3-3 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามดัชนีชี้วัด ของแต่ละกลุ่มผลกระทบ	3-13
ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ (ปริมาณเชื้อเพลิงทางเลือก 30 กรัม)	4-3
ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เชื้อเพลิงทางเลือกชนิดเดียวในปริมาณที่จะให้พลังงานความร้อน เท่ากับ 5%	4-4
ตารางที่ 4-3 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดเผารวมกันในปริมาณที่จะให้พลังงาน ความร้อนเท่ากับ 5%	4-5
ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาลิกไนต์ในห้องปฏิบัติการ อัตราการลดลงของมลพิษอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination	4-6
ตารางที่ 4-5 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านการเทียบอัตราการลดลงของมลพิษอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination กรณีที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดเดียว 5%	4-7
ตารางที่ 4-6 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านการเทียบอัตราการลดลงของมลพิษอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination กรณีที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกันให้ได้ 5%	4-7
ตารางที่ 4-7 องค์ประกอบของมูลฝอยที่เข้าสู่เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต	4-11
ตารางที่ 4-8 องค์ประกอบของมูลฝอยที่เข้าสู่เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต	4-14
ตารางที่ 4-9 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสีย 1 ตัน	4-15
ตารางที่ 4-10 กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่นำมาพิจารณาในการประเมินวงจรชีวิต เชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์	4-18
ตารางที่ 4-11 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของ การผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินลิกไนต์	4-19
ตารางที่ 4-12 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทน้ำมันใช้แล้ว	4-19
ตารางที่ 4-13 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทน้ำมันแวกซ์	4-20

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4-14 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทยางรถยนต์เก่า	4-20
ตารางที่ 4-15 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทเศษยาง	4-21
ตารางที่ 4-16 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทขยะถุงพลาสติกจากชุมชน	4-21
ตารางที่ 4-17 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทเศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า	4-22
ตารางที่ 4-18 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภท ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์	4-22
ตารางที่ 4-19 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยใช้เชื้อเพลิงทุกชนิดเผาผลาญร่วมกัน	4-23
ตาราง ที่ 4-20 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของการจัดการการของเสียด้วยการฝังกลบมูลฝอย 1 ตัน	4-23
ตาราง ที่ 4-21 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของการจัดการการของเสียด้วยการเผาในเตาเผาขยะมูลฝอย	4-24
ตารางที่ 4-22 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน	4-25
ตารางที่ 4-23 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง	4-26
ตารางที่ 4-24 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด	4-27
ตารางที่ 4-25 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ	4-28
ตารางที่ 4-26 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะหมอกควันพิษ	4-29

ตารางที่	สารบัญตาราง	หน้า
ตารางที่ 4-27	ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน	4-33
ตารางที่ 4-28	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสีย 1 ตัน แบ่งตามกลุ่มผลกระทบ	4-30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

การพัฒนาอุตสาหกรรมในประเทศไทยที่ผ่านมา ส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง แต่ผลที่ตามมานอกจากความเจริญแล้ว ยังมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลือง รวมถึงการเกิดมลพิษต่างๆ ทั้งทางอากาศ ทางน้ำ ทางเสียง และกากของเสียอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก กรมควบคุมมลพิษ (2551) คาดว่าในปี 2550 มีของเสียในภาคอุตสาหกรรมซึ่งประกอบด้วย ของเสียประเภทแก้ว กระจก พลาสติก เหล็ก อลูมิเนียม และยาง ประมาณ 13.46 ล้านตัน ซึ่งกระทรวงอุตสาหกรรมจะเป็นผู้ควบคุมการดำเนินงานจัดการของเสียดังกล่าว โดยกากของเสียอุตสาหกรรมนั้นจะถูกนำไปกำจัดโดยวิธีการต่างๆ เช่น การฝังกลบปลอดภัย การเผาในเตาเผาขยะ คัดแยกและนำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงการส่งออกไปต่างประเทศ และการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ของเสียเหล่านี้ถูกนำกลับมาแปรรูปใช้ใหม่/ใช้ซ้ำ และใช้เป็นเชื้อเพลิง

การนำกากของเสียอุตสาหกรรมไปกำจัดในเตาเผาปูนซีเมนต์มีความเป็นไปได้ โดยการนำของเสียมาเป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนสำหรับการผลิต โดยกากของเสียที่ใช้ได้แก่ ยางรถยนต์ สี และสารละลายในอุตสาหกรรมสี สารละลายและสารหล่อลื่นในงานโลหะ สารละลายในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ กาว หมึก ของเสียจากอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง ยาฆ่าแมลง น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ฯลฯ (บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน), 2549) ทั้งนี้เนื่องจากเตาเผาปูนซีเมนต์ที่ใช้ในปัจจุบันมีขนาดใหญ่ และเผาได้ที่อุณหภูมิสูงมากพอที่จะทำลายสารอินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (Giugliano & Cernuschi, 2003) นอกจากนี้เตาเผาปูนซีเมนต์ยังสามารถรองรับการทำลายของเสียอันตรายได้เป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีกำลังการผลิตที่สูง (Kongrut, 2003)

หากมีการเปิดโอกาสให้โรงงานผลิตปูนซีเมนต์กำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม จะมีความสามารถมากพอที่จะกำจัดกากของเสียในประเทศไทยทั้งหมด(กรมควบคุมมลพิษ, 2545) ในปี พ.ศ.2545 รัฐบาลได้สนับสนุนให้มีการใช้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานหรือวัตถุดิบดั้งเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันในการผลิตปูนซีเมนต์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือโครงการ AFR (Alternative Fuels and Raw Materials) ซึ่งภายในปี พ.ศ.2545 เพียงปีเดียวกากของเสียอุตสาหกรรมถูกกำจัดโดยวิธีนี้มากถึง 100,000 ตัน

กรมควบคุมมลพิษรายงานว่าในปี 2550 ได้มีการนำยางรถยนต์มาเผาเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาปูนซีเมนต์ ประมาณ 7,200 ตัน หรือร้อยละ 2 ของปริมาณของเสียประเภทยางที่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในด้านของประเภทของกากของเสียที่จะส่งผลกระทบต่อทั้งด้านการผลิต และด้านสิ่งแวดล้อม

ในการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกนั้น ได้มีการศึกษาและรายงานโดยหลายหน่วยงาน โดยการประเมินความเหมาะสมในด้านการประเมินวงจรชีวิตและบัญชีสิ่งแวดล้อม เป็นเครื่องมือประเมินที่มีประสิทธิภาพ และสามารถที่จะใช้ตอบคำถามทั้งในแง่วิชาการ ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ และ สาธารณะชน (Young et al., 2002) โดยการประเมินวงจรชีวิต จะช่วยวิเคราะห์และสร้างความมั่นใจในการเลือกใช้เชื้อเพลิงทางเลือกที่เป็นกากของเสียอุตสาหกรรม เพื่อให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาและสุขภาพ ตลอดทั้งวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งและการจำหน่าย การนำมาใช้งานการกำจัดหลังหมดอายุใช้งาน และบัญชีสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นบัญชีที่แสดงสารสนเทศเกี่ยวกับผลกระทบของสิ่งแวดล้อมและผลการปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรธุรกิจจะทำให้ทราบถึงต้นทุนที่แท้จริงเกี่ยวกับด้านสิ่งแวดล้อมเมื่อนำผลจากการวิเคราะห์ทั้งสองด้านมาประเมินด้วยกัน จะได้ข้อมูลที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้เชื้อเพลิงทางเลือก ทั้งนี้ในประเทศไทยได้มีการศึกษาถึงค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ และคุณสมบัติของกากของเสียอุตสาหกรรมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนโดยพิจารณาจากค่าความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาณ และคุณสมบัติอื่นๆ แต่ก็ยังไม่เคยมีการศึกษาถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการนำกากของเสียอุตสาหกรรมเหล่านี้มาใช้ในกระบวนการเผาปูนซีเมนต์

ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการคัดเลือกเชื้อเพลิงทางเลือกมาจากกากของเสียอุตสาหกรรมที่บริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์รับมากำจัด และจะทำการรวบรวมข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก มาจัดทำเป็นบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์ แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ มาทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยใช้หลักการประเมินวงจรชีวิตเป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางที่จะประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมที่มีความต้องการจะนำกากของเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้หลักการประเมินวงจรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษาผลกระทบ โดยมีวัตถุประสงค์ย่อย ดังนี้

- 1) เพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดต่างๆ และ บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสีย โดยการฝังกลบ การเผาในเตาเผาขยะ และการเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในเตาเผาปูนซีเมนต์

- 2) เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกชนิดต่างๆ และเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการจัดการของเสีย โดยการฝังกลบ การเผาในเตาเผาขยะ และการเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในเตาเผาปูนซีเมนต์ โดยใช้หลักการประเมินวงจรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1) การใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในเตาเผาปูนซีเมนต์ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงปกติในเตาเผาปูนซีเมนต์
- 2) การนำของเสียมาเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการกำจัดของเสีย จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม น้อยกว่าการกำจัดโดยวิธีปกติทั่วไป (เตาเผา/ฝังกลบ)

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1) เนื่องจากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงปกติ คือลิกไนต์ ไปเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่เป็นกากของเสียอุตสาหกรรม จะดำเนินการเฉพาะในขั้นตอนการเผาปูนเม็ด ดังนั้นขอบเขตของการศึกษาจึงจะจำกัดที่เฉพาะกระบวนการเผาปูนเม็ดเท่านั้น
- 2) ในการศึกษาครั้งนี้จะเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงปกติ คือลิกไนต์ กับ เชื้อเพลิงทางเลือก 7 ชนิด ได้แก่ น้ำมันใช้แล้ว (Used oil) น้ำมันแวกซ์ (Wax oil) ยางรถยนต์เก่า (Used tired) เศษยาง (Rubber waste) ขยะประเภทพลาสติกจากชุมชน เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า (Rubber waste from shoe manufacturing) และ ขยะพลาสติกประเภทโพลิเมอร์ (Polymer and monomer) ทั้งนี้ เชื้อเพลิงทางเลือกทั้ง 7 ชนิด คัดเลือกมาจากเชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมในแง่ของ ปริมาณ ค่าพลังงานความร้อน และหลักเกณฑ์การคัดเลือกเชื้อเพลิงทางเลือกของบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์
- 3) ข้อมูลที่ทุติยภูมิใช้ใน และตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นของบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด(มหาชน)
- 4) ในการเปรียบเทียบการจัดการของเสีย จะทำการเปรียบเทียบ 3 ประเด็น คือ การฝังกลบ การเผาในเตาเผาขยะ และการเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในเตาเผาปูนซีเมนต์ โดยข้อมูลการจัดการของเสียโดยการฝังกลบ การเผาในเตาเผาขยะ อ้างอิงข้อมูลของเทศบาลนครภูเก็ต (Wanichpongpan, 2005)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- 1) ฐานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดต่างๆ และ บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสีย
- 2) ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกชนิดต่างๆ และ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการจัดการกากของเสีย

ทั้งนี้โรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมาช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์ และยังเป็นข้อมูลให้กับผู้ผลิตกากของเสีย ที่จะใช้ในการตัดสินใจเลือกวิธีการกำจัดของเสีย โดยพิจารณาจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงภาพรวมของการประเมินวงจรชีวิต ซึ่งประกอบด้วยความหมายของการประเมินวงจรชีวิต ขั้นตอนการประเมินวงจรชีวิต ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตปูนซีเมนต์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวงจรชีวิตทั้งในและต่างประเทศ

2.1 การประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment - LCA)

2.1.1 ความหมายของการประเมินวงจรชีวิต

การประเมินวงจรชีวิต เป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาผลกระทบของสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวงจรชีวิต ตั้งแต่การออกแบบ การสกัดวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน รวมทั้งการกำจัดทิ้ง โดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงระบบนิเวศ สุขอนามัยของชุมชน และปัญหาสิ่งแวดล้อมโลก (ปราณี พันธุมสินชัย , 2541)

SETAC (2000) ได้นิยามการประเมินวงจรชีวิตไว้ว่าเป็น “กระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณารวมถึงกระบวนการผลิต รวมถึงกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในลักษณะวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะรวมถึงวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการต่างๆ ในการผลิต การบำรุงรักษา การนำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยที่ยึดหลักของระบบนิเวศวิทยา สุขอนามัย และการนำทรัพยากรสิ้นเปลืองมาใช้เป็นหลัก”

การประเมินวงจรชีวิต เป็นเครื่องมือของการจัดการสิ่งแวดล้อมชนิดหนึ่ง ที่สามารถนำมาช่วยประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากการประเมินวงจรชีวิต แล้วยังมีเทคนิคอื่นๆ ที่สามารถนำมาประเมินการจัดการสิ่งแวดล้อมได้ เทคนิคในการประเมินการจัดการสิ่งแวดล้อมแต่ละวิธีมีเป้าหมายและความเหมาะสมในการเลือกใช้แตกต่างกัน โดยเทคนิคในการประเมินการจัดการสิ่งแวดล้อม ได้แก่การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Evaluation) การตรวจประเมินพื้นที่ (Site-Related Environmental Auditing) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment) เนื่องจากการประเมินวงจรชีวิตจะไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อเศรษฐกิจหรือสังคม ดังนั้นการประเมินวงจรชีวิต อาจไม่เหมาะกับสถานการณ์ทุกๆ ครั้ง และในการศึกษารั้งนี้ ไม่ได้พิจารณาถึงผลกระทบต่อเศรษฐกิจหรือสังคม จึงสามารถนำการประเมินวงจรชีวิต มาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้

การประเมินวงจรชีวิตเป็นหัวข้อสำคัญที่ถูกบรรจุอยู่ในมาตรฐาน ISO 14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) อนุกรมของ ISO 14000 ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวงจรชีวิต (ISO14040, 2000) ดังนี้ คือ

ISO 14040 : 1997 Environmental Management Life Cycle Assessment - Principle and Performance

ISO 14041 : 1998 Environmental Management Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory analysis

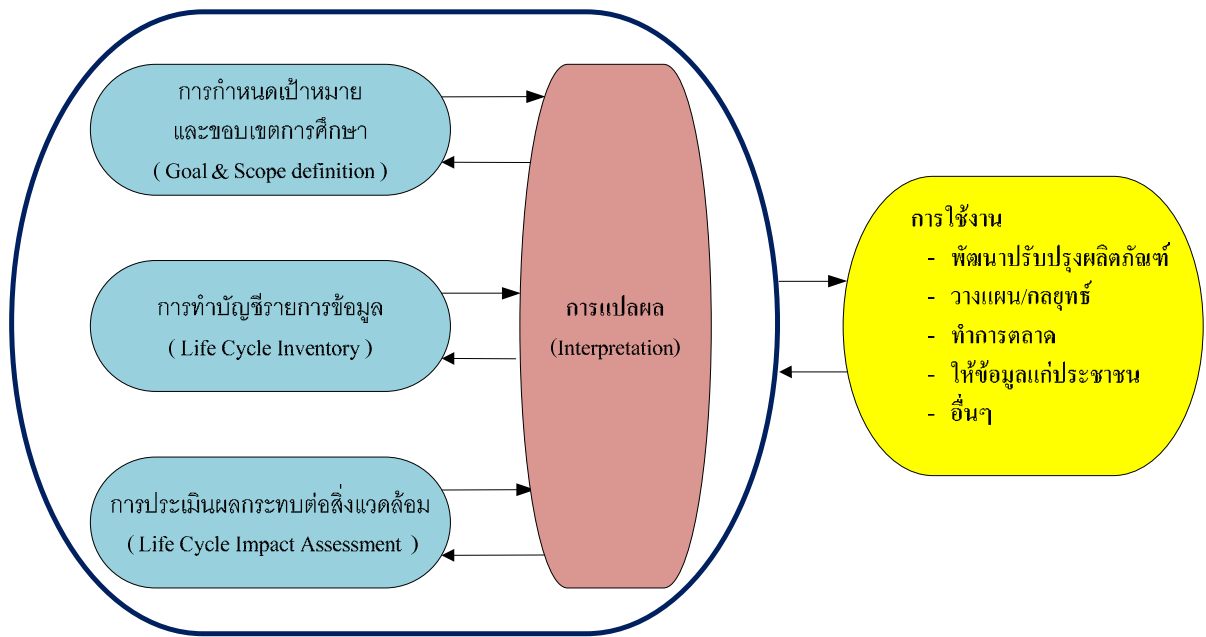
ISO 14042 : 2000 Environmental Management Life Cycle Assessment - Impact Assessment

ISO 14043 : 2000 Environmental Management Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation

2.1.2 ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินวงจรชีวิต

การประเมินวงจรชีวิตเพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานสามารถดำเนินการได้หลายวิธี (SETAC, 1999) แต่อย่างไรก็ตาม ใน ISO ได้กำหนดให้การประเมินวงจรชีวิตมีขั้นตอนการดำเนินการ 4 ขั้นตอน คือ 1) การกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย เป็นขั้นตอนแรกในการทำการประเมินวงจรชีวิต คือ การกำหนดเป้าหมายหรือการกำหนดวัตถุประสงค์รวมทั้งพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา 2) การทำบัญชีรายการข้อมูลสิ่งแวดล้อม คือการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา 3) การประเมินผลกระทบ เป็นการนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากการทำบัญชีรายการข้อมูล มาทำการจัดกลุ่มผลกระทบและคัดเลือกตัวชี้วัดของกลุ่ม จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณเพื่อให้ทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญหรือก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงที่สุดและเกิดจากกระบวนการหรือขั้นตอนใดในระบบผลิตภัณฑ์ 4) การแปลผล หมายถึงการนำผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูล และการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้

จากรูป การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา จะทำให้ได้ขอบเขตของการประเมินวงจรชีวิต และนำมาสู่การเก็บข้อมูลภายใต้ขอบเขตที่กำหนด จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม แล้วจึงจะนำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมมาทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยจะทำการประเมินตามขั้นตอนของการประเมินวงจรชีวิต เมื่อทราบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นแล้วจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการแปลผลและนำไปสู่การประยุกต์ใช้



รูปที่ 2-1 กรอบการดำเนินงานของ LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO14000 (ISO 14040, 1997)

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition)

ขั้นตอนแรกในการทำ การประเมินวงจรชีวิต คือ การกำหนดเป้าหมายหรือการกำหนดวัตถุประสงค์รวมทั้งพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา การนำผลไปใช้และผู้รับที่ต้องการสื่อผลการศึกษา ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะในส่วนของการทำงานการประเมินวงจรชีวิต จะขึ้นอยู่กับ การกำหนดเป้าหมาย ซึ่งผลการวิเคราะห์อาจผิดพลาดถ้าเป้าหมายไม่ได้ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสม เป้าหมายเป็นหัวใจของการศึกษารายละเอียดและการสรุปผลรายงานเพราะจุดมุ่งหมายจะทำให้เราสามารถแยกแยะความสำคัญของส่วนต่างๆของเนื้อหาได้

การกำหนดขอบเขต (Scope Definition)

การกำหนดขอบเขต คือการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของการประเมินวงจรชีวิต ซึ่งควรประกอบไปด้วย การกำหนดสิ่งที่จะศึกษา รวมทั้งการกำหนดหน้าที่หรือสิ่งที่ผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ (Functional Unit) การออกแบบระบบอ้างอิงหรือผลิตภัณฑ์อ้างอิง เพื่อแสดงให้เห็นวัตถุประสงค์ของการศึกษา การออกแบบตัวแปรการประเมินทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของการประเมินวงจรชีวิต และการบ่งชี้ขอบเขตการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของการประเมินวงจรชีวิต

การกำหนดขอบเขตประกอบไปด้วย

1.1 ขอบเขตของระบบ (System Boundary)

ขอบเขตของระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยที่ระบบผลิตภัณฑ์ (System) หมายถึงหน่วยที่รวบรวมวัตถุดิบและพลังงานที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นหน่วยงาน (Unit-Process) ต่างๆที่ทำหน้าที่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง โดยที่สามารถแบ่งกระแสขั้นต้น (Elementary Flow) ของวัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่างๆ

1.2 หน้าที่และหน่วยการทำงานของระบบ (Function and Functional Unit)

ระบบอาจมีหน้าที่หลายอย่าง และหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นที่อาจถูกเลือกมาเพื่อทำการศึกษ การประเมินวงจรชีวิต ซึ่งขึ้นกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษ ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตของการศึกษาจึงจำเป็นต้องระบุหน้าที่ของระบบที่กำลังทำการศึกษาให้ชัดเจนด้วย หน่วยการทำงาน (Functional Unit) ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับสิ่งเข้าและออกจากระบบ มีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของการประเมินวงจรชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน

1.3 คุณภาพของข้อมูลที่ต้องการ

เนื่องจากการศึกษาด้านการประเมินวงจรชีวิต ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นการระบุรายละเอียดและระดับคุณภาพของข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อเป็นฐานในการหาข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการใช้ผลของการประเมินวงจรชีวิต เพื่อเปรียบเทียบซึ่งกันและกัน การกำหนดคุณภาพของข้อมูลตามมาตรฐานควรคำนึงถึงประเด็นดังต่อไปนี้

- ช่วงระยะเวลาที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงเวลาใดและระยะเวลาในการเก็บข้อมูล
- พื้นที่ที่ต้องการศึกษา
- เทคนิคที่ต้องการศึกษา
- ความถูกต้อง สมบูรณ์ ของข้อมูล และต้องเป็นข้อมูลที่เป็นตัวแทนของสภาพที่เป็นจริง
- แหล่งที่มาของข้อมูล ว่าเป็นข้อมูลจากกระบวนการใดเป็นข้อมูลการผลิตจริงหรือเป็นข้อมูลสถิติ ข้อมูลเป็นตัวแทนของโรงงานเดียวหรือเป็นตัวแทนของภาพรวมอุตสาหกรรม
- ความหลากหลายและความไม่แน่นอนของข้อมูลว่าข้อมูลที่นำมาศึกษา

2) การทำบัญชีรายการข้อมูล (Life Cycle Inventory)

การทำบัญชีรายการข้อมูล คือการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ซึ่งอาจรวมถึง ทรัพยากรที่ใช้ การปล่อยของเสียออกสู่อากาศ น้ำและดิน ข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเรียนรู้จากข้อมูลที่เก็บมาได้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งอาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูล หรือประเด็นปัญหา เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายของการศึกษาที่ได้ตั้งเอาไว้ ขั้นตอนในการทำบัญชีรายการข้อมูลประกอบด้วย (Van den Berg et al., 1995)

- การสร้างผังแสดงกระบวนการ
- การรวบรวมข้อมูล
- การกำหนดขอบเขตของระบบ
- การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 การสร้างผังแสดงกระบวนการ

งานแรกที่ต้องทำในการทำบัญชีรายการข้อมูล คือจะต้องระบุกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในรูปของผังแสดงกระบวนการ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นหนึ่งจำเป็นต้องมีกระบวนการทางด้านการผลิตหลายขั้นตอน เช่น ไฟฟ้าและสินค้าที่ใช้เป็นการลงทุน ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นผลผลิตจากกระบวนการอื่นๆ อีกที โดยกระบวนการทั้งหมดเริ่มจากการดึงวัตถุดิบและพลังงานจากสิ่งแวดล้อม แล้วผ่านขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตและการบริโภค และจบลงที่การกำจัด เมื่อผลิตภัณฑ์นั้นถูกส่งไปจัดการยังโรงบำบัดของเสียเพื่อถอดและรีไซเคิลบางส่วนอาจถูกนำมาใช้ใหม่และส่วนอื่นที่เป็นของเสียก็จะถูกเผาทิ้ง ดังนั้นการกำจัดก็เกี่ยวข้องกับหลายกระบวนการ ซึ่งจำเป็นต้องใช้วัสดุ และพลังงาน ท้ายที่สุด วัสดุมวลเข้าทั้งหมดจากสิ่งแวดล้อมจะถูกเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการทางด้านการผลิต และกลับสู่สิ่งแวดล้อมโดยการปล่อยออกสู่น้ำ อากาศและดิน ทั้งนี้การนำกลับมาใช้ใหม่ทำให้วัสดุมีบทบาทในระบบของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น และยังถ้ามีการนำกลับมาใช้ใหม่แพร่หลายมากขึ้น การทำการประเมินวงจรชีวิต จากจุดเกิดถึงจุดสิ้นสุดอย่างสมบูรณ์ก็ยิ่งซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

2.2 การรวบรวมข้อมูล

ขั้นที่สองในการทำบัญชีรายการข้อมูล คือ การรวบรวมข้อมูลสำหรับแต่ละขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนที่แตกต่างกันสามารถแยกเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ เช่น ข้อมูลการผลิตวัตถุดิบหลายๆ ชนิด สามารถนำมารวมกันได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต เห็นได้ว่าในแต่ละขั้นตอนมักเชื่อมโยงกันด้วยขั้นตอนของการขนส่ง การวิเคราะห์สามารถพิจารณาได้ละเอียดมากขึ้นขึ้นอยู่กับขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้

2.3 การกำหนดขอบเขตของระบบ

หลังจากที่ผังแสดงกระบวนการได้ทำขึ้นแล้ว และข้อมูลของมวลเข้าและออก สำหรับในแต่ละขั้นตอนได้ถูกรวบรวมไว้แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือกำหนดขอบเขตของระบบ ซึ่งขอบเขตของระบบสามารถถกกันกรองได้ เช่น การตัดสินใจในการเลือกขั้นตอนของวงจรชีวิตหรือการยกเว้นข้อมูลของวัตถุดิบบางอย่างที่ไม่เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากเท่าใดนัก ทำให้ขั้นตอนที่สำคัญในวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์เด่นชัดขึ้น

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในขั้นตอนสุดท้ายของการทำบัญชีรายการข้อมูล จำเป็นต้องมีการปรับมวลเข้า/ออกจากแต่ละขั้นตอนโดยใช้ตัวประกอบสัดส่วน (Scaling Factors) กับค่าที่สัมพันธ์กับหน่วยวัดผลงานของระบบ การรวมข้อมูลทั้งหมดจะทำให้เกิดตารางบัญชีรายการข้อมูล (Inventory Table) ตารางนี้ถูกแปลออกมาเป็นมวลเข้า/ออกด้านสิ่งแวดล้อม เช่นปริมาณไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์จะถูกแปลออกมาเป็นตัวเลขการใช้ทรัพยากรและการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

3) การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment)

เป็นการนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากการทำบัญชีรายการข้อมูล มาทำการจัดกลุ่มผลกระทบและคัดเลือกตัวชี้วัดของกลุ่ม จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณเพื่อให้ทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญหรือก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงที่สุดและเกิดจากกระบวนการหรือขั้นตอนใดในระบบผลิตภัณฑ์

การประเมินผลกระทบ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอนดังนี้ (ISO14042, 2000)

3.1 การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (Selecting)

การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ หมายถึง การเลือกข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกระบวนการแต่ละช่วงในวงจรชีวิต ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ข้อมูลการใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน การปล่อยของเสียออกจากกระบวนการ จากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทยนั้น กลุ่มผลกระทบที่ถูกนำมาใช้ ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 กลุ่มผลกระทบที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทย

งานวิจัย	Impact category										
	Global Warming	Ozone Depletion	Acidification	Eutrophication	Photochemical Smog	Ecotoxicity	Human Toxicity	Bulk waste ,Slags/Ashes	Hazadous Waste	Resources	Land Use
การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้า เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)	x	x	x	x							x
การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์ (ธิดา ทศนราพันธ์ ,2539)	x									x	
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (นรินทร์ รอดประเสริฐ, 2548)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นพานิชย์ (เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล, 2544)	x	x								x	
การประเมินวัฏจักรชีวิตและวิเคราะห์ต้นทุนของการกลั่นเอทานอล (ธีรันทา ฤทธิมณี, 2545)	x		x		x						
ของวัฏจักรชีวิตของกล่องกระดาษ (อรุณี องค์กรมงคลกุล, 2545)	x		x	x	x			x			
LCI Data for Electricity Grid Mixes (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2003)	x										
Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Landfill (Wanida Wanichpongpan, 2005)	x										

3.2 การจำแนกกลุ่มผลกระทบ (Classification) ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษาที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้าง และเกิดขึ้นในกระบวนการใด โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการทำบัญชีรายการข้อมูลมาใช้วิเคราะห์ และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดอย่างเป็นหมวดหมู่ ผลลัพธ์ของการทำแบบจำลองของบัญชีรายการข้อมูลในแต่ละประเภทของผลกระทบนี้จะเป็นผลรวมของตัวบ่งชี้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากแต่ละประเภท ซึ่งจะแสดงถึงภาระทางสิ่งแวดล้อมในขั้นต้นและข้อมูลการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ (นงศ์นุช พงศ์ชัยวิบูลย์, 2547)

3.3 การแปลงข้อมูลเป็นค่าความสามารถในการก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization) เป็นการทำแบบจำลองของบัญชีรายการข้อมูลในแต่ละประเภทของกลุ่มผลกระทบโดยการพิจารณาจากดัชนีชี้วัดของแต่ละกลุ่มผลกระทบ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบในแต่ละกลุ่มตัวชี้วัด(Characterization Factor)

3.4 การเทียบหน่วย (Normalization) ขั้นตอนในการหาความสำคัญของศักยภาพของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม ขั้นตอนนี้จะทำการเทียบหาค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งาน และสัดส่วนของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นๆต่อคนต่อปี

3.5 การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) คือการจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่ เช่นผลกระทบต่อสุขภาพและอนามัยของมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา และ ผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ

3.6 การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เป็นขั้นตอนการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น การให้น้ำหนักนั้นมีจุดประสงค์เพื่อการจัดอันดับการเลือก จัดกลุ่มผลลัพธ์ของประเภทผลกระทบที่ต่างกันอัตราส่วนของความสำคัญ (Weighting Factor) ขึ้นกับผู้ประเมิน

3.7 การวิเคราะห์คุณภาพข้อมูล (Data Analysis) เป็นการพิจารณาทบทวนข้อมูล และอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่

4) การแปลผล (Life Cycle Interpretation)

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนการนำผลจากการทำบัญชีรายการ และการ ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมารวมกัน เพื่อหาข้อสรุปตามเป้าหมายวัตถุประสงค์ และ ขอบเขตของการศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาเพื่อพิจารณาทบทวนข้อมูล และอาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด การแปลผลวงจรชีวิตนั้นจะเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการประเมินวงจรชีวิต โดยจะต้องตรวจสอบว่าข้อสรุปที่ได้ตรงกับวัตถุประสงค์ รวมไปถึงสมมติฐานอื่นๆหรือไม่

2.2 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ จำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก และกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (บริษัท ซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547)

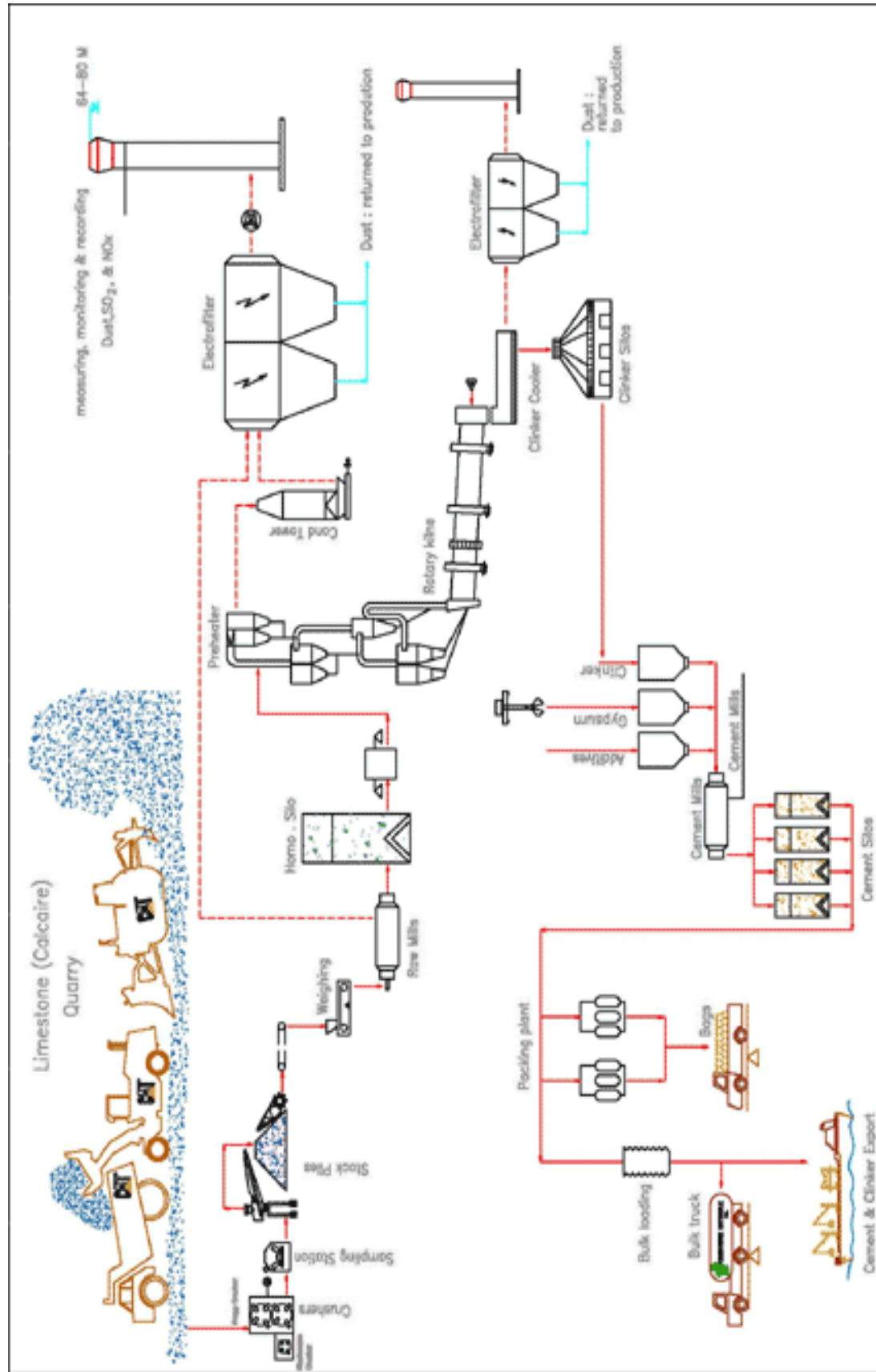
1) กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) คือกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เช่น ดินขาว (Marl) ดินเหนียว (Clay) มาบดผสมกันในสภาพที่เปียก และเติมน้ำเพิ่มลงไปในส่วนที่พอเหมาะ เพื่อช่วยในการบดผสม วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมประมาณ 30-40% มีลักษณะเหลวและไหลได้เรียกว่า Slurry หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผา ในสภาพที่มีความชื้นสูง และใช้ความร้อนไล่ความชื้นใน Slurry ออกให้หมดก่อนที่จะเผาต่อเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

2) กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) คือกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ เช่น หินปูน (Limestone) หินดินดาน (Shale) ดินลูกรัง (Laterite) และทราย (Sand) มาบดผสมในสภาพที่แห้ง และในระหว่างการบดจะใช้ลมร้อน ที่เหลือจากระบบหม้อเผาช่วยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผา ในสภาพที่แห้งเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

3) ในปัจจุบัน โรงงานปูนซีเมนต์ไทยทุกโรงงานใช้กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง เพราะเป็นวิธีที่ใช้พลังงานความร้อนต่ำกว่า ช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาได้ดีกว่า และยังสามารถควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ได้ง่ายกว่า

โดยที่กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Cementerie nationale Co Ltd., n.d.) จะมีขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ 6 ขั้นตอนหลัก ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2-2 และมีรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการผลิต ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนั้น วัตถุดิบหลักคือหินปูนโดยหินปูนจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลง และในขั้นตอนนี้จะมีการผสมวัตถุดิบต่างๆ เข้าด้วยกัน ก่อนที่จำนำวัตถุดิบที่ผ่านการผสมและย่อย (Crushed) จะถูกลำเลียงเข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบ (Raw Material Mill) วัตถุดิบสำเร็จ ซึ่งผ่านการบดและการคัดแยก จนได้ขนาดตามที่ต้องการจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายแป้ง จะถูกลำเลียงไปเก็บในไซโล เพื่อป้อนเข้าหม้อเผาต่อไป วัตถุดิบจะผ่านขั้นตอนการทำให้วัตถุดิบร้อนก่อนเข้าสู่กระบวนการเผา โดยวัตถุดิบจะถูกทำให้ร้อนโดยก๊าซร้อน จนมีอุณหภูมิประมาณ 800 °C ก่อนจะป้อนเข้าสู่กระบวนการเผา



ที่มา : บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวงจำกัด(มหาชน)

รูปที่ 2-2 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

ซึ่งภายในหม้อเผามีอุณหภูมิสูงถึง 1800 °C โดยเชื้อเพลิงหลักได้แก่ Petroleum Coke (Pet Coke) หรือ น้ำมัน วัตถุดิบจะถูกเผาจนมีอุณหภูมิสูง 1450 °C วัตถุดิบที่ถูกเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เกิดเป็นปูนเม็ด ปูนเม็ดจะถูกทำให้เย็นตัวลงด้วยอากาศ จนเหลืออุณหภูมิประมาณ 70 °C และความร้อนที่ออกมาที่อากาศเหล่านี้จะถูกนำไปหมุนเวียนใช้ใหม่ โดยบางส่วนถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการให้ความร้อนกับอากาศ (Preheated Secondary Air) ก่อนที่จะนำเข้าสู่การเผาไหม้ในเตาเผาปูนซีเมนต์ หลังจากที่ผ่านมาการทำให้เย็นลงแล้ว ปูนเม็ดจะถูกลำเลียงโดยสายพานเข้าสู่พื้นที่สำหรับจัดเก็บเพื่อรอเข้าสู่กระบวนการบรรจุและจำหน่ายต่อไป

2.3 การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทย

มีหน่วยงานหลายหน่วยงาน ที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากได้มีการตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ของตน ตัวอย่างการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการศึกษาในประเทศไทย เช่น

การประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก (อรุณี องค์กรมงคลกุล และคณะ, 2001) ในการศึกษา นี้ กล่องกระดาษที่ผลิต ใช้ และทิ้ง ในประเทศไทย ถูกนำมาใช้เป็น ผลิตภัณฑ์ ตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ทุกขั้นตอนของวงจรชีวิตของกล่องกระดาษ ตั้งแต่ ขั้นตอนการปลูกต้นไม้ การผลิตเยื่อกระดาษ การผลิตกระดาษและกล่อง การใช้ การนำกลับมาใช้ใหม่ และ สุดท้าย ที่การนำไปทิ้งในสถานที่ทิ้งขยะมูลฝอย โดยกลุ่มผลกระทบที่ได้ทำการประเมิน คือ ภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นกรด การมีสารอาหารของพืชในน้ำเกินสมดุล การเกิดหมอกควันทางเคมี การเกิดขยะ และการลดลงของออกซิเจน สรุปแล้วผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกล่องกระดาษลูกฟูกมีแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ คือ การฝังกลบ การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการอบแห้งกระดาษ ขยะจากกระบวนการผลิตกระดาษแข็งและกล่องกระดาษลูกฟูก การลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทำได้โดย กล่องกระดาษควรจะนำมาใช้ซ้ำ (Recycle) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

การประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการศึกษาในประเทศไทย อีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ คือ การประเมินวงจรชีวิตของ Flue Gas Desulphurization System (Sampattagul et al., 2004) ซึ่งจะทำการศึกษาผลกระทบการแพร่กระจายของมลพิษออกสู่อากาศให้อยู่ในรูปของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเปรียบเทียบการใช้และไม่ใช้ Flue Gas Desulphurization System ในโรงไฟฟ้าลิกไนต์ ซึ่งวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี LCA-NETS โดยจะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้าน การใช้พลังงาน การใช้วัตถุดิบ และการปล่อยน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ผลการวิเคราะห์พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น กับต้นทุนที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าเมื่อไม่มีการใช้ Flue Gas Desulphurization System

ผลิตภัณฑ์อีกชนิดในประเทศไทยที่ได้มีการประเมินวงจรชีวิตคือหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18 วัตต์ สองรุ่น (นรรัตน์ รอดประเสริฐ, 2548) คือรุ่นมาตรฐานและรุ่นซูปเปอร์ โดยมีขอบเขตของการศึกษาในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิต ขั้นตอนการขนส่งและ

ขั้นตอนการใช้งาน โดยใช้ฐานข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากโปรแกรม SimaPro 5.1 และใช้วิธี Environmental Design Industrial Products (EDIP) พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเป็นพิษทางดินเรื้อรัง ในขั้นตอนการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นมาตรฐานและรุ่นซูเปอร์เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศคิดเป็น 100% และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลดลงของทรัพยากรในขั้นตอนการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นมาตรฐานและรุ่นซูเปอร์เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ของทรัพยากร โดยผลการวิจัยนี้สามารถระบุถึงสาเหตุหลักของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละช่วงชีวิตของหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ทั้งสองรุ่น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงการออกแบบและผลิตหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพมากขึ้น และให้ผลิตภัณฑ์นี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ในประเทศไทยอีกหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ปมทอง มาลากุล(2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ฐานข้อมูลการประเมินวงจรชีวิตระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทย ประเมินวงจรชีวิตการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบ Grid Mix ในประเทศไทย ประเมินวงจรชีวิตโรตารีคอมเพรสเซอร์ ประเมินวงจรชีวิตตู้เย็นพาณิชย์ เป็นต้น และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย(2546) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ฐานข้อมูลการประเมินวงจรชีวิตเหล็กกล้า การประเมินวงจรชีวิตอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น โทรทัศน์ และเครื่องปรับอากาศ ฐานข้อมูลการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ หทัยชนก นัตถพร(2551) ได้ทำการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ข้าว พบว่า ศักยภาพที่ทำให้เกิด สภาวะโลกร้อน มากที่สุดในขั้นตอนการขนส่งของผลิตภัณฑ์ข้าวที่ โดยมีสาเหตุจากการใช้เชื้อเพลิงในขั้นตอนการขนส่ง ส่วนศักยภาพที่ทำให้เกิดฝนกรด จะเกิดจากขั้นตอนการสีข้าวในโรงสี มากที่สุด เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแห่งประเทศไทยในการสีข้าว ส่วนศักยภาพที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ มีอัตราการปล่อยก๊าซมลพิษ เนื่องมาจากกิจกรรมการใช้ปุ๋ยและสารเคมี ในการปราบศัตรูพืช และศักยภาพในการทำให้พลังงานและทรัพยากรลดลง เมื่อมีการใช้ไฟฟ้ามากขึ้นจึงทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง แต่ในปัจจุบันมีการนำการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวมาพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ทำให้มีทางเลือกในการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์เพิ่มขึ้น

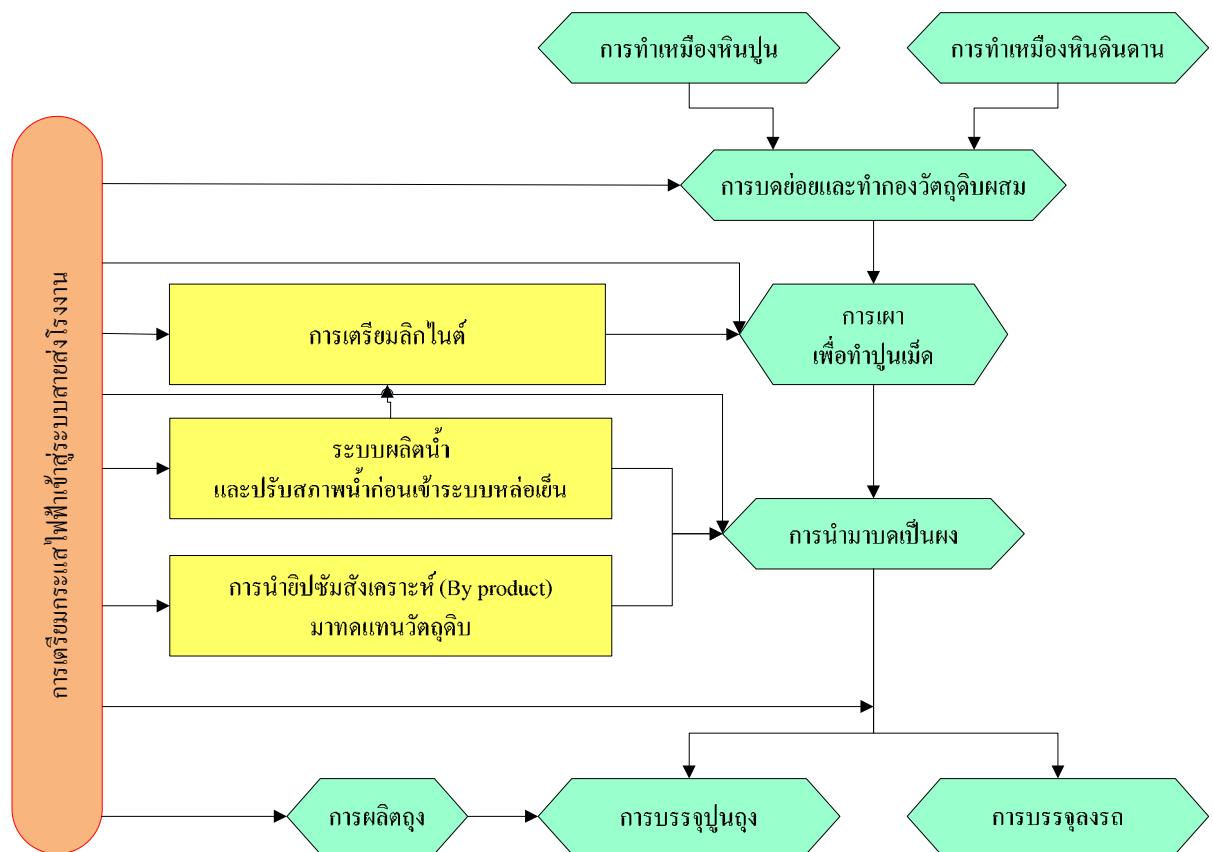
2.4 การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์

จากการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยผู้ผลิตปูนซีเมนต์ (บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน), 2547) พบว่า อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เนื่องจากในการะบวนการผลิตมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และเชื้อเพลิง เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อให้ทราบว่าการะบวนการผลิตในขั้นตอนใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ดังนั้นจึงได้มีการนำการประเมินวงจรชีวิต มาใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาผลกระทบของสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

ทั้งนี้ เนื่องจากผู้ผลิตปูนซีเมนต์ ได้ตระหนักถึงผลกระทบ และได้หาทางป้องกันการเกิดมลพิษเหล่านั้น จึงได้มีการทำการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น และทั้งยังหามาตรการที่จะลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตลงด้วย เพื่อให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติประเภทใช้แล้วหมดไป ให้ลดน้อยลง และเพื่อให้การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตลดลง จึงได้มีการหาเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทน มาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงประเภทใช้แล้วหมดไป (พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์, 2547) โดยการศึกษาการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ ครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตของระบบ (System Boundary) ที่จะทำการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ ไว้เป็น 12 กระบวนการย่อยโดยเริ่มต้นตั้งแต่การทำเหมืองวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ การผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต ไปจนถึงขั้นตอนการผลิตปูนเม็ด และการบรรจุปูนเม็ด ดังได้แสดงไว้ใน รูปที่ 2-2

ทั้งนี้การศึกษาในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากโรงงานตัวอย่าง 2 โรงงานเป็นพื้นฐาน และทำการวิเคราะห์จัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ดังกล่าว โดยใช้โปรแกรมการคำนวณการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ SimaPro 5.1 โดยการคำนวณจากสภาพการณ์จริงที่มีการนำกากของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิง ร้อยละ 3.4 ของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ 1 ตันแบบบรรจุถุงขนาด 50 กิโลกรัม เท่ากับ 980 กิโลกรัม และแบบไม่บรรจุถุง เท่ากับ 973 กิโลกรัม และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์มีน้อยมาก เนื่องจาก SO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินจะถูกจับไว้โดยแคลเซียมออกไซด์ (CaO_2) ในกระบวนการ Calcinations กลายเป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ผสมอยู่ในเนื้อปูนเม็ด

ความสัมพันธ์ของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Load) ที่เกิดจากสารขาเข้าในแต่ละกระบวนการย่อย ทั้งนี้กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดคือ กระบวนการผลิตปูนเม็ด โดยมีภาระทางสิ่งแวดล้อมประมาณร้อยละ 94 ของภาระทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ซึ่งเมื่อนำกระบวนการผลิตปูนเม็ดมาพิจารณาต่อเนื่อง พบว่า กระบวนการ Calcination ซึ่งเป็นกระบวนการที่หินปูนถูกเผาแล้วทำปฏิกิริยาให้เกิดก๊าซ CO_2 เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือร้อยละ 56.4 รองลงมาได้แก่ การใช้ลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา โดยมีภาระทางสิ่งแวดล้อมร้อยละ 24.7



รูปที่ 2-3 ขอบเขตของระบบที่ทำการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์
(พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์, 2547)

ตัวแทนผู้ผลิตปูนซีเมนต์ในต่างประเทศเองก็ตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเช่นกัน (UK Environment Agency, 1999) โดยตัวแทนผู้ผลิตปูนซีเมนต์ 3 แห่งในสหภาพยุโรปได้คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ประกอบกับต้นทุนด้านพลังงานในการผลิตปูนซีเมนต์ที่สูงมาก จึงได้มีการนำของเสีย ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนขึ้น เพื่อลดต้นทุนทางด้านพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก โดย ของเสียที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนนั้นมาจากหลายแหล่ง และมีหลายชนิดด้วยกัน มีทั้งที่เป็นของเสียจากชุมชน และที่เป็นกากของเสียจากอุตสาหกรรม โดยของเสียที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนนั้นจะคัดเลือกจากคุณสมบัติทางเคมี เช่น ค่าพลังงานความร้อน และเชื้อเพลิงทางเลือกที่เป็นที่นิยมมากที่สุดก็คือ สารทำลายต่างๆ โดยแหล่งที่มาของสารทำลายเหล่านี้ คือ ใช้เป็นส่วนผสมของสูตรของสารทำลาย หรือ สารละลายที่ใช้เพื่อทำความสะอาด หรือใช้ขั้นตอนการเตรียมสารเคมี ซึ่งสารละลายเหล่านี้แบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ได้ ดังนี้

- Polyether Oils รวมถึง สารประกอบ Aliphatic และสารประกอบ Aromatic เช่น Metal Cutting Oils , Special Lubricants เป็นต้น

- Ester Oils คือพวกที่มีองค์ประกอบของ Carboxylic Acid หรือ น้ำมัน/สารหล่อลื่นในเครื่องยนต์ไอพ่น
- Phosphoric Acid Esters เช่น น้ำยาดับเพลิง
- Silicone Compound และสารที่มีส่วนประกอบของ Silicone Oils
- Halogenated Compound รวมถึง Chlorinated Paraffins และ Chlorinated Material

และเชื้อเพลิงทดแทนชนิดอื่นๆ เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล กากน้ำมัน แหล่งที่มาของของเสียที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเหล่านี้ เช่น

- เป็นของเหลวที่เกิดการปนเปื้อน จนไม่เหมาะที่จะนำกลับไปใช้ใหม่
- เกิดจากกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดเป็นผลผลิตพลอยได้ ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
- ส่วนที่เหลือจากการกลั่นตัวและไม่เกิดประโยชน์หากไม่ผ่านการแปรรูปใหม่
- น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม
- วัตถุดิบ ที่หมดอายุแล้ว
- กากตะกอนจากถังทำความสะอาด
- สารที่ใช้ทำความสะอาด หรือใช้ในการบำรุงรักษา
- สารที่มีการหกหล่น
- กากตะกอนจากระบบบำบัด

หลังจากที่ได้มีการนำของเสียจากอุตสาหกรรมมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งของเสียจากอุตสาหกรรมที่นิยมนำมาใช้กันมากก็คือของเสียประเภทตัวทำละลาย จึงได้มีการศึกษาประเมินวงจรชีวิตการกำจัดตัวทำละลาย และทำการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดตัวทำละลาย (UK Environment Agency , 1999) ด้วยวิธีการกำจัด 3 วิธีการ คือ การใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก การเผาทิ้ง การนำกลับมาใช้ซ้ำ ขอบเขตของระบบจะเริ่มต้นเมื่อ ของเสียถูกนำมาทิ้ง การขนส่งของเสีย การกำจัดด้วย 3 วิธีข้างต้น จนถึงการจัดของเสียที่เหลือในขั้นตอนสุดท้าย โดยแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นจะเป็นข้อมูลจริงที่ได้จากผู้ผลิตปูนซีเมนต์ บางข้อมูลที่ไม่ได้มีการสำรวจไว้ก็จะทำการรวบรวมจากเอกสารอ้างอิงที่เป็นแหล่งข้อมูลประเภท ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

จากข้อมูลเกี่ยวกับวงจรชีวิตของของเสียประเภทตัวทำละลายที่รวบรวมมานั้นจะทำการแสดงผลในส่วนของ บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบ ซึ่งผลที่จะแสดง เช่น

- ปริมาณสารเข้าออก เช่น ข้อมูลการใช้ถ่านหิน น้ำมัน แก๊ส การใช้วัตถุดิบในการผลิตพลังงาน โดยใช้ Standard Energy Model ในการหาข้อมูล
- พลังงานที่ใช้ แบ่งเป็น เชื้อเพลิงประเภท พลังงานที่ทดแทนไม่ได้ เชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิต เชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง

- การแพร่กระจายของสารมลพิษสู่ น้ำ อากาศ การเกิดของเสีย

สรุปผลการประเมินวงจรชีวิตของการกำจัดตัวทำละลายพบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการนำของเสียประเภทตัวทำละลายมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ทดแทนการใช้ ถ่านหิน และ Pet Coke นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิด และคุณภาพของของเสียประเภทตัวทำละลายด้วย แต่ถ้าให้มีการนำของเสียประเภทตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ ก็ยังไม่สามารถกำจัด ของเสียประเภทตัวทำละลายได้ทั้งหมด ส่วนที่เหลือที่ไม่สามารถนำไปใช้ซ้ำได้ยังคงมีอยู่ถึง 60%

ดังนั้นหากมีการนำของเสียประเภทตัวทำละลายมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการนำไปใช้ซ้ำ หากเปรียบเทียบระหว่างการนำของเสียประเภทตัวทำละลายมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน กับการเผากำจัดของเสียประเภทตัวทำละลาย พบว่าการนำของเสียประเภทตัวทำละลายมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนจะทำให้การแพร่กระจายของสารมลพิษลดลง และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงประเภทพลังงานที่ทดแทนไม่ได้ ก็ลดลงด้วย

2.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการผลิตปูนซีเมนต์

มีการศึกษาถึงผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ (Danis et al., 2000) เช่นการเกิด CO₂ จากกระบวนการผลิตปูนเม็ด และได้มีการกำหนดค่า CO₂ Emission Factor เนื่องจาก CO₂ เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก และจากการศึกษาแนวทางที่จะลดการแพร่กระจายของ CO₂ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ มีแนวทางที่สำคัญ 3 แนวทางก็คือ

1. การใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ในที่นี้จะหมายถึงเทคโนโลยีการผลิตแบบแห้ง ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตแบบแห้งนั้นจะใช้พลังงานน้อยกว่า และสามารถควบคุมคุณภาพของปูนเม็ดได้ดีกว่าการผลิตแบบเปียก ดังนั้นจึงสามารถลดการแพร่กระจายของ CO₂ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้อีกด้วย
2. การใช้เชื้อเพลิงทดแทนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เนื่องจากปริมาณ CO₂ ที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้อยู่ที่ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงประเภท ฟอสซิลเท่านั้นแต่จะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงนั้นๆด้วย ดังนั้นถ้าสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอน น้อยๆแล้วก็จะสามารถลดการเกิด CO₂ ลงได้ด้วย เช่นการเปลี่ยนจากถ่านหินมาใช้ก๊าซธรรมชาติหรือเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดอื่นที่มีปริมาณคาร์บอน น้อยกว่าถ่านหิน
3. การปรับปรุงองค์ประกอบของซีเมนต์ เช่น การใช้วัสดุทดแทนในกระบวนการผลิตซีเมนต์เป็นที่ทราบแล้วว่ากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ต้องใช้วัสดุและพลังงานจำนวนมากเนื่องจาก กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ มีกระบวนการต่างๆหลายขั้นตอน ซึ่งกิจกรรมต่างๆเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและ

ทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งนี้ ผู้ผลิตปูนซีเมนต์ ได้ตระหนักถึงผลกระทบ และได้หาทางป้องกันการเกิดมลพิษเหล่านั้น (UK Environment Agency, 2005) อีกทั้งยังหามาตรการที่จะลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตลงด้วย เพื่อให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติประเภทใช้แล้วหมดไปให้ลดน้อยลง จึงได้มีการหาเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทน มาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงประเภทใช้แล้วหมดไป (Mokrzycki et al., 2003) โดยเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนที่กล่าวถึงนี้ได้แก่ กากของเสียอุตสาหกรรม ซึ่งประโยชน์ที่จะเกิดแก่สังคม สิ่งแวดล้อม และผลดีในเชิงเศรษฐศาสตร์

ลักษณะเด่นของการกำจัดกากอุตสาหกรรมในเตาเผาปูนซีเมนต์ (บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน), 2549) เช่น

- สามารถนำพลังงานในกากของเสียกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างสมบูรณ์
- อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาปูนซีเมนต์สูงถึง 1,800 °C กอปรกับความยาวของเตา (98 เมตร) จึงทำให้ของเสียและก๊าซที่เกิดจากการเผาถูกเผาในเตาเป็นเวลานาน ซึ่งพอเพียงที่จะทำให้ลายสารพิษในกากอุตสาหกรรมได้เกือบทุกประเภท
- วัตถุดิบหลักในการผลิตซีเมนต์คือหินปูน และหินปูนเป็นหนึ่งในวัสดุ ซึ่งสามารถปรับสภาพสารพิษหรือสารอันตรายได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- สารอินทรีย์ต่างๆจะถูกทำลายจนหมดสิ้น แร่หรือโลหะต่างๆจะถูกดูดซับเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่เสถียร ส่งผลให้ไม่มีเถาถ่านที่ต้องถูกกำจัดอีกครั้ง และไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
- ลดการเกิดมลภาวะทางอากาศ เมื่อเทียบกับการเผาไหม้วิธีอื่นและยังช่วยลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก

เกณฑ์ในการคัดเลือกกากอุตสาหกรรมเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ (Mokrzycki and Uliasz, 2003) มีดังต่อไปนี้

- องค์ประกอบทางด้านเคมีจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานเพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น คลอรีน (Cl) น้อยกว่าร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก กำมะถัน (S) น้อยกว่า ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และ แคดเมียม (Cd) น้อยกว่าร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก เป็นต้น
- ค่าพลังงานความร้อนของกากอุตสาหกรรมดังกล่าวจะต้องไม่ต่ำกว่า 500 Kcal/kg และต้องคงที่เพียงพอเพราะในกระบวนการเผาปูนเม็ดนั้นจะต้องมีการควบคุมกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้คงที่และเหมาะสมเพื่อให้ได้ปูนเม็ดที่มีส่วนผสมทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน
- ลักษณะทางกายภาพจะต้องไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของเตาเผาปูนซีเมนต์ และต้องง่ายต่อการขนส่ง และมีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการใช้

กากของเสียที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ (Kaantee et al., 2004) จะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่

1. ก๊าซ เช่น แก๊สชีวภาพ แก๊สจากหลุมฝังกลบ เป็นต้น
2. ของเหลว เช่น น้ำใช้แล้ว สารทำละลาย ของเสียพวกสารเคมี ของเสียพวกปิโตรเคมี เศษสี แกลบ เป็นต้น
3. ของแข็ง เช่น ยางรถยนต์ เศษไม้ พลาสติก กระดาษ ยางรถยนต์ที่หล่อไม่สมบูรณ์ กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ ฝาคือบดเตอรี แกลบ กากของเสียที่นำมาใช้แทนเชื้อเพลิง เป็นต้น

จากตัวอย่างของกากของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ จะเห็นว่า ยางรถยนต์เก่าก็เป็นหนึ่งในตัวเลือกของกากของเสียที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ (Mokrzycki et al., 2003) ดังนั้นจึงได้จึงได้มีการศึกษาผลกระทบของการใช้ยางรถยนต์เก่ามาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในอุตสาหกรรมซีเมนต์ โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบจากการกำจัดยางรถยนต์เก่าโดยวิธี Cryogenic Pulversation Process และ Mechanical Pulversation Process เทียบกับนำยางรถยนต์เก่ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์โดยใช้ดัชนีชี้วัด Eco-Indicator'95 พบว่า วิธีการที่เป็นส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดก็คือการนำยางรถยนต์เก่ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก เนื่องจากสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการต่างๆได้ และสามารถลดการเกิด CO₂จากกระบวนการผลิตได้ด้วย

กระบวนการนำกากของเสียอุตสาหกรรมต่างๆ มากำจัดและรีไซเคิลโดยเตาเผาปูนซีเมนต์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนนั้นมีการพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลายในสหรัฐอเมริกาและทวีปยุโรป(Corti, Lombardi, 2004) และพบว่า การใช้เชื้อเพลิงทางเลือกนั้นช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากการแพร่กระจายมลพิษออกสู่อากาศจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ได้ และยังช่วยลดของเสียที่จะนำไปกำจัดโดยการเผาลงได้ถึง 50% ลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และดำเนินการของเตาเผาได้ และยังลดพื้นที่ที่ใช้ในการฝังกลบได้ด้วย

2.6 กากของเสียที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก

2.6.1 คุณลักษณะของกากของเสียที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก

ในแต่ละปีประเทศไทยมีปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมมากกว่า 3 ล้านตัน จึงนับว่าเป็นโอกาสที่ดีที่เตาเผาปูนซีเมนต์ จะมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาการจัดการกากอุตสาหกรรมของประเทศได้อย่างครบวงจร โดย การแบ่งกลุ่มกากอุตสาหกรรมตามการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบทดแทนหรือเชื้อเพลิงทดแทน ซึ่งหลักที่ใช้ในการแบ่งประเภทกากอุตสาหกรรม เช่น ค่าความร้อน ค่าความชื้น คุณสมบัติในการใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน คุณสมบัติในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการศึกษาวิเคราะห์กากอุตสาหกรรมจำนวน 1,000 รายการ

กากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน (Seyler et al., 2005) ได้แก่ เศษผ้า กากสี เรซิน เศษยาง แผงวงจรไฟฟ้า พลาสติกปนเปื้อน กระดาษ กาว ถ่านกัมมันต์ ผงสี ตัวกรองซีล้อย และกากอุตสาหกรรมที่มีคุณสมบัติในการใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนได้แก่ ผงเหล็ก ผงทราย ผงทรายที่ส่วนประกอบของหินปูน อิฐทนไฟ

จากตัวอย่างกากของเสียอุตสาหกรรม 1,000 รายการ (เจตพล เอมมณี , 2547) พบว่ากากอุตสาหกรรมที่ไม่ผ่านเกณฑ์คิดเป็นร้อยละ 33.9 ของทั้งหมด และกากอุตสาหกรรมที่ผ่านเกณฑ์คิดเป็นร้อยละ 66.1 ของทั้งหมดแต่โดยทั่วไปแล้ว กากของเสียหรือวัสดุที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนจะเป็นพวก ยางรถยนต์เก่า เศษไม้ น้ำมันเครื่องใช้แล้ว และสารทำลายใช้แล้ว สิ่งต่างๆเหล่านี้สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ได้เป็นอย่างดี กากของเสียหรือวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นก็มีข้อจำกัดในการนำมาใช้คือ จะต้องไม่มีการปนเปื้อนของสารพิษที่เป็นอันตรายบางประเภท เช่น พีซีบี (PCBs – Polychlorinated Biphenyls) วัสดุติดเชื้อจากโรงพยาบาล สารกัมมันตภาพรังสี กระเบื้องใยหิน รวมทั้งขยะจากครัวเรือนทั่วไปที่ยังไม่ผ่านการคัดแยก เป็นต้น

เมื่อมีการนำของเสียอันตรายมาเผารวมเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ (Guo, Eckert, 1996) นับว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยในการกำจัดของเสียอันตราย แต่ก็ยังมีปัจจัยที่ควรคำนึงถึงเมื่อมีการเผาของเสียอันตราย นั่นคือโลหะหนักที่ปนเปื้อน (Greenpeace, 2002) จากผลการวิจัยพบว่าปริมาณโลหะหนักที่ปนออกมานั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนักด้วย แต่ส่วนใหญ่พบว่าการปนเปื้อนนั้นไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สำหรับสารปนเปื้อนประเภทอื่นๆ เช่น คลอรีน ซัลเฟอร์ และโลหะหนักนั้น ได้กำหนดค่ามาตรฐานการปนเปื้อนที่ยอมรับได้สำหรับสารแต่ละชนิดไว้ โดยเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นนี้ ได้รับการเห็นชอบและผ่านการรับรองจากหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง

อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญที่ต้องตระหนักถึง คือ ค่าพลังงานความร้อน (Calorific Value) ของเชื้อเพลิงทดแทนดังกล่าว (Kaantee et al., 2004) ว่าจะต้องมีความเหมาะสม เนื่องจากทางฝ่ายผลิตจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิความร้อนในการเผาให้มีความเหมาะสมและสม่ำเสมอเพียงพอต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิง

2.6.2 สถานการณ์ในปัจจุบันของกากของเสียที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก

ในปี 2548 มีปริมาณขยะมูลฝอย ทั้งประเทศประมาณ 14.63 ล้านตัน ลดลงจากปี 2547 ประมาณ 0.3 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) สัดส่วนของปริมาณขยะมูลฝอยที่ลดลงจากปี 2547 เนื่องจากกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นแหล่งผลิตขยะมูลฝอยที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ มีนโยบายที่จะลดปริมาณขยะมูลฝอยให้ได้ร้อยละ 10 และมีการดำเนินกิจกรรมลด และคัดแยกขยะมูลฝอยทั้งของกรุงเทพมหานครเองและของหน่วยงานส่วนกลางต่างๆ เช่น การดำเนินโครงการเรียกคืนซากบรรจุภัณฑ์ และรณรงค์ลดการใช้พลาสติกและโฟมในห้างสรรพสินค้าและร้านสะดวกซื้อในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลโดยกรมควบคุมมลพิษ

แม้ว่าภาครัฐจะให้ความสำคัญต่อการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอย แต่ในอนาคตมีแนวโน้มว่าจะประสบปัญหามากยิ่งขึ้น เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น ขยะมูลฝอยมีองค์ประกอบซึ่งยากต่อการกำจัดมากยิ่งขึ้น การต่อต้านของประชาชนในการก่อสร้างสถานที่บำบัดและกำจัดขยะมูลฝอย เป็นต้น กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจึงได้มีนโยบายเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย โดยให้มีการคัดแยกขยะมูลฝอยเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ สร้างระบบกำจัดขยะแบบผสมผสาน ที่เน้นการนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ย และผลิตพลังงานทดแทน โดยขณะนี้กรมควบคุมมลพิษร่วมกับสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคอยู่ระหว่างการดำเนินการกำหนดรูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกลุ่มพื้นที่

ซึ่งการกำจัดมูลฝอยที่ใช้อยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน ได้แก่ การรีไซเคิล การเผา และการฝังกลบ การฝังกลบก็มีทั้งการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล ที่ใช้ในการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนทั่วไป และการฝังกลบปลอดภัยหรือ Secured Landfill ซึ่งการฝังกลบปลอดภัยซึ่งเป็นทางออกสุดท้ายสำหรับกากของเสียอันตรายที่ผ่านการบำบัดพิษมาเรียบร้อยแล้ว สำหรับของเสียอันตรายที่เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถถูกย่อยสลายได้ การบำบัดพิษที่เราทำมาข้างต้นก็จะเป็นเพียงการเก็บกักสารพิษไว้ในรูปที่ไม่สามารถออกมาสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมได้เท่านั้นเอง ซึ่งวิธีการเก็บกักสารพิษก็ไม่มีความปลอดภัยมากมาย อาจมีเหตุการณ์ไม่คาดฝันที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารพิษออกมาได้ตลอดเวลา ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องหาวิธีเก็บกักกากของเสียอันตรายที่เราบำบัดพิษแล้วให้คงสภาพที่ไม่มีการรั่วไหลให้นานที่สุด วิธีหนึ่งที่นิยมทำกันมาช้านานก็คือ การฝังกลบ

การเลือกสถานที่สำหรับการฝังกลบ (AL-Khatib et al., 2007) สถานที่ที่เหมาะสมกับการนำมาทำเป็นหลุมฝังกลบคือสถานที่ที่ไม่มีประโยชน์ในเชิงอื่นๆ แล้ว และอยู่ห่างไกลจากชุมชน ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนต่อชีวิตความเป็นอยู่ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉิน อยู่สูงจากระดับน้ำใต้ดิน เพื่อป้องกันการปนเปื้อน อยู่ห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนทางผิวดิน

การกำจัดของเสียด้วยการฝังกลบนั้นทำให้เกิดแก๊สจากหลุมฝังกลบ (Landfill Gas) (Lombardi et al., 2006) ซึ่งมีองค์ประกอบของคือ มีเทน (CH_4) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในหลุมฝังกลบ และ CH_4 นั้นยังส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน นับว่าแก๊สจากหลุมฝังกลบนั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก แต่ถ้าหากมีการจัดการที่ดี เช่น การรวบรวมเพื่อ

นำไปผลิตพลังงานแล้วจะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากแก๊สจากหลุมฝังกลบ และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย

และการกำจัดของเสียอีกวิธีหนึ่งคือ การเผากำจัดโดยเตาเผาของเสียอันตราย (Emek, Kara, 2007) หากเปรียบเทียบวิธีกำจัดทั้งสองวิธีนี้แล้ว พบว่าต้นทุนในการก่อสร้างเตาเผาของเสียอันตรายน้อยกว่า ต้นทุนค่าดำเนินการของหลุมฝังกลบปลอดภัย การกำจัดของเสียด้วยการเผานั้นสามารถกำจัดสารพิษสารก่อมะเร็ง และขยะติดเชื้อได้ และยังช่วยลดปริมาณของเสียที่จะนำไปฝังกลบได้อีกด้วย อีกทั้งการแพร่กระจายของมลพิษออกสู่อากาศยังลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการฝังกลบ

ได้มีการศึกษาความเหมาะสม โดยการเปรียบเทียบวงจรชีวิตของการกำจัดกากอุตสาหกรรมด้วยการเผาทิ้ง กับการเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมซีเมนต์ (Danis et al., 1999) โดยตัวอย่างกากอุตสาหกรรมที่นำมาใช้คือ ยางรถยนต์ใช้แล้ว และพบว่ากลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การเกิด CH_4 การเกิดสารก่อมะเร็ง การเกิดก๊าซเรือนกระจก การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศโลก การเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน นั้นจะเกิดจากการกำจัดของเสียด้วยการเผา มากกว่าเกิดจากการเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมซีเมนต์ ส่วนในกลุ่มผลกระทบ การเกิดปรากฏการณ์ฝนกรด หมอกพิษ นั้นจะเกิดจากการเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมซีเมนต์มากกว่าเกิดจากการกำจัดของเสียด้วยการเผา

การจัดการของเสียอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันก็คือการนำกากของเสียกลับมารีไซเคิล อย่างเช่น ในประเทศไนจีเรียที่ประสบปัญหาเรื่องของการจัดการของเสียทั้งระบบ (Kofoworola, 2007) ตั้งแต่การรวบรวม การขนส่ง จนถึงการจัดด้วยวิธีการฝังกลบ ซึ่งถ้าแยกประเภทของเสียที่เกิดขึ้นนั้นพบว่าของเสียส่วนใหญ่เป็น กระจก พลาสติก แก้ว และโลหะ ซึ่งล้วนแล้วแต่สามารถนำมารีไซเคิลได้ทั้งสิ้น และเมื่อมีการรณรงค์ให้มีการรีไซเคิล จะเกิดผลดีตามมาเช่น ลดปริมาณขยะที่ต้องนำไปฝังกลบ สามารถยืดอายุหลุมฝังกลบออกไปได้อีก และยังสร้างรายได้ให้กับประชาชนที่มีอาชีพเกี่ยวกับการคัดแยกขยะอีกด้วย

ของเสียที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปรีไซเคิลอีกอย่างหนึ่งก็คือ ขวดน้ำพลาสติก (Arena et al., 2003) หรือพลาสติกประเภท PET และ PE ได้มีการศึกษาความเหมาะสมในการกำจัดของเสียทั้งสองชนิดนี้โดยใช้การประเมินวงจรชีวิตพบว่า หากมีการนำ พลาสติกพวก PET และ PE มาทำการรีไซเคิลจะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเม็ดพลาสติกลงได้ และลดการใช้พลังงานในการผลิตเม็ดพลาสติกและขวดพลาสติกได้ถึง 178% และลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 53%

ในประเทศไทยนั้นก็มีการจัดการของเสียในขั้นตอนสุดท้ายหลายวิธี เช่นการฝังกลบ การเผาในเตาเผาขยะ การรีไซเคิล ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการจัดการกากของเสียในแต่ละวิธี (Gheewala et al., 2003) เพื่อศึกษาว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากวิธีการใดมากน้อยกว่ากัน และผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการกำจัดกากของเสีย 1 ตันในแต่ละวิธีการโดยกรณีศึกษาที่จังหวัดภูเก็ต โดย

พิจารณาในกลุ่มผลกระทบสภาวะโลกร้อน การเกิดหมอกควันพิษ การเกิดฝนกรด การเกิดปฏิกิริยาธาตุเกินสมดุล พบว่า การกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกลุ่ม การเกิดฝนกรด และการเกิดปฏิกิริยาธาตุเกินสมดุล สูงที่สุด การกำจัดกากของเสียโดยการฝังกลบทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกลุ่ม สภาวะโลกร้อน และการเกิดหมอกควันพิษ สูงที่สุด

ในปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการศึกษาถึงค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ และคุณสมบัติของกากของเสียอุตสาหกรรมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนโดยพิจารณาจากค่าความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาณ และคุณสมบัติอื่นๆ แต่ ยังไม่เคยมีการศึกษาถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการนำกากของเสียอุตสาหกรรมเหล่านี้มาใช้ในกระบวนการเผาปูนซีเมนต์

2.7 สรุปการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การประเมินวงจรชีวิต เป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาผลกระทบของสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวงจรชีวิต ตั้งแต่การออกแบบ การสกัดวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน รวมทั้งการจัดทิ้ง โดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงระบบนิเวศ สุขอนามัยของชุมชน และปัญหาสิ่งแวดล้อมโลก

การประเมินวงจรชีวิต สามารถกระทำได้โดยมีขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอนคือ คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การทำบัญชีรายการข้อมูลสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การแปลผล และการใช้งาน

ในปัจจุบันได้มีหน่วยงานหลายหน่วยงาน ที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากได้มีการตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ของตน ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ก็เป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และเชื้อเพลิง เป็นจำนวนมากก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยได้มีการทำการศึกษาและทำการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ พบว่า กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดคือ กระบวนการ Calcination ซึ่งเป็นกระบวนการที่หินปูนถูกเผาแล้วทำปฏิกิริยาให้เกิดก๊าซ CO₂ รองลงมาได้แก่ กระบวนการผลิตปูนเม็ด โดยใช้ลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา

ทั้งนี้ผู้ผลิตปูนซีเมนต์ ตระหนักถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ และในอุตสาหกรรมซีเมนต์นั้นยังมีต้นทุนด้านพลังงานที่สูงมาก จึงมีการนำของเสีย ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนขึ้น เพื่อลดต้นทุนทางด้านพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย แต่ยังไม่เคยมีผู้ผลิตรายใดได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้จะใช้หลักการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาใช้ในกระบวนการเผาปูนซีเมนต์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์และทดลอง โดยได้ทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาในการวิเคราะห์การประเมินวงจรชีวิตของเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ โดยเก็บข้อมูลปฐมภูมิ จากการทำการทดลองเผาากของเสียที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเพื่อเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศที่เกิดจากการเผาากของเสีย ข้อมูลทุติยภูมิ คือการรวบรวมข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์ และแหล่งต่างๆ เช่น พื้นที่ฝังกลบขยะจังหวัดขอนแก่น เป็นต้น โดยมีวิธีการวิจัยเป็นไปตามขั้นตอนของการประเมินวงจรชีวิต 4 ขั้นตอน คือ

- 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)
- 2) การทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory) โดยจะเก็บข้อมูลทั้งในรูปแบบปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ เพื่อนำมาจัดทำเป็นบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์
- 3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวงจรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment) โดยจะนำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์มาทำการประเมินการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ขอบเขตการดำเนินงานจะครอบคลุมเฉพาะช่วงการเผาปูนเม็ดเท่านั้น
- 4) การแปลผล (Interpretation) โดยจะนำผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวงจรชีวิตของเชื้อเพลิงทางเลือก มาทำการแปลผล

3.2 วิธีการวิจัย

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

3.2.1.1 เป้าหมายในการวิจัย เป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้ คือ การประเมินวงจรชีวิต ของเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ โดยเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการนำเอากากของเสียต่างกัน 7 ชนิดโดยใช้เกณฑ์คือปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้ และค่าพลังงานความร้อนมากกว่า 500 Kcal มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในเตาเผาปูนซีเมนต์ และเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ กับการกำจัดกากของเสียด้วยวิธีปกติที่ใช้ในปัจจุบัน

3.2.1.2 ขอบเขตของการศึกษา การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ในปกตินั้นต้องทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำการศึกษา โดยศึกษาตั้งแต่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน จนถึงการจัดเมื่อหมดอายุการใช้งาน

อย่างไรก็ตาม ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์นั้น ผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจะเหมือนกันทุก

กระบวนการในวงจรชีวิต แต่จะมีความแตกต่างกันเพียงจุดเดียว นั่นก็คือ มลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผาเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาปูนเม็ดเท่านั้น เพราะมลพิษอากาศที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงในการเผาปูนเม็ด เพราะฉะนั้นขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้จึงทำการศึกษาเพียงกระบวนการเผาปูนเม็ดเตาเผา โดยขอบเขตของการวิจัยได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-1

การจัดการกากของเสียแต่ละวิธีการ จะมีขั้นตอนในการจัดการแตกต่างกันไป เช่น การขนส่ง การบดย่อยขยะ การเก็บรวบรวมแก๊สที่เกิดขึ้น เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละวิธีการได้ จึงต้องกำหนดขอบเขตการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการกากของเสีย โดยขอบเขตของการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการกากของเสียคือ ขั้นตอนการเผาในเตาเผา ขั้นตอนการฝังกลบ และขั้นตอนการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3-2

3.2.2 การทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory)

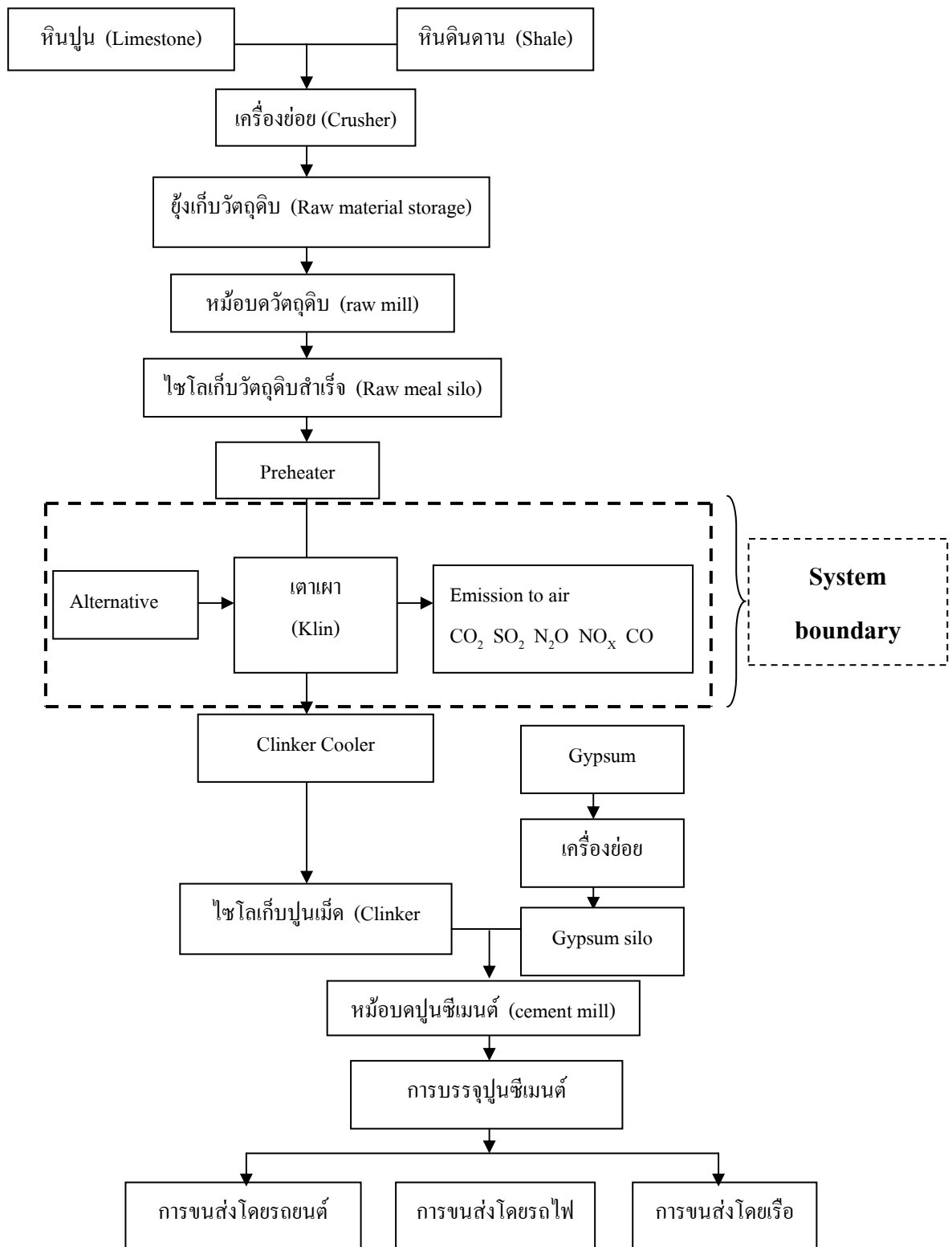
ในการศึกษาครั้งนี้การทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมจะทำการเก็บข้อมูลจากสองส่วนหลัก ได้แก่ 1) กระบวนการเผาปูนเม็ดโดยใช้เชื้อเพลิงปกติ และเชื้อเพลิงทางเลือก และ 2) การกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม มีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตปูนเม็ด

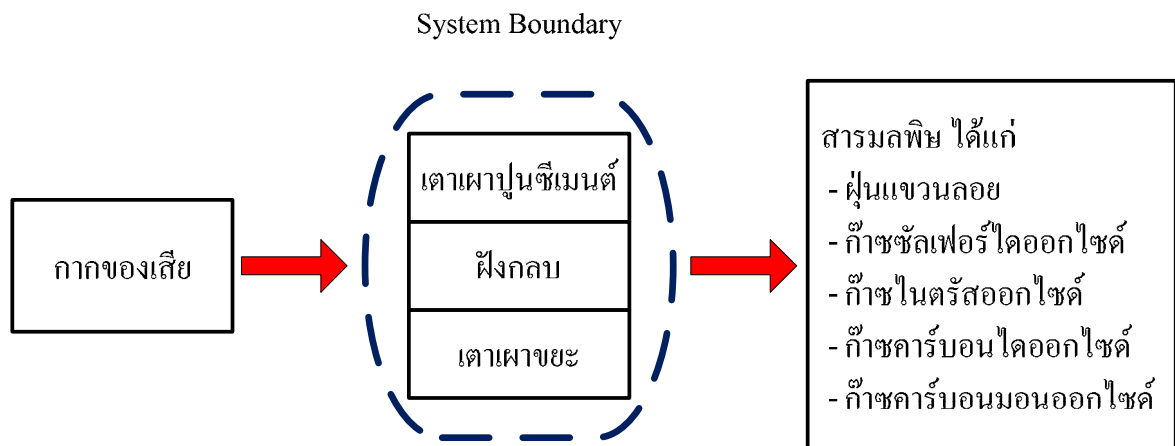
ในกระบวนการเผาปูนเม็ดนั้น มีสารขาเข้า คือ วัตถุดิบ เชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า และสารขาออกคือ ปูนเม็ด และมลพิษอากาศชนิดต่างๆ ดังแสดงไว้ใน รูปที่ 3-3 โดยปกติเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการผลิตคือ ถ่านหินลิกไนต์ แต่ในการศึกษาครั้งนี้ มีการนำเชื้อเพลิงทางเลือกมาใช้ในกระบวนการผลิตปูนเม็ดด้วย ทำให้สารขาออกมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงทางเลือก

ดังนั้นข้อมูลที่จำเป็นในการทำบัญชีรายการได้แก่ ข้อมูลสารขาเข้า ได้แก่ ปริมาณของวัตถุดิบที่เข้าสู่เตาเผาปูนซีเมนต์ ปริมาณเชื้อเพลิงเช่นถ่านหิน น้ำมันเตา ปริมาณและสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบทางเลือก ปริมาณไฟฟ้า โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถหาได้จากข้อมูลทุติยภูมิของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์โดยตรง

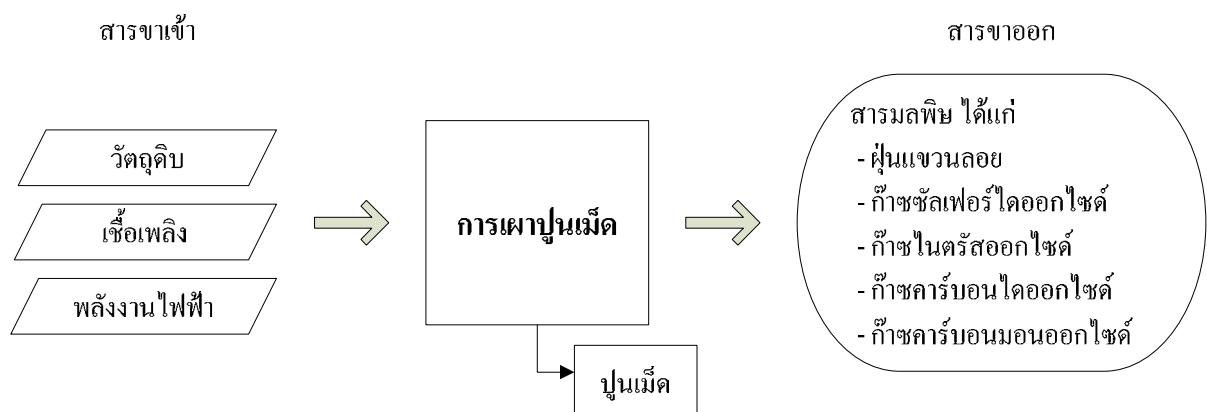
ข้อมูลสารขาออกที่ใช้ในการทำบัญชีรายการ ได้แก่ ปริมาณปูนเม็ด ซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์โดยตรง และ ปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยออกสู่อากาศ ได้แก่ ผุ่ณแขวนลอย SO_2 , N_2O , NO_2 , CO_2 และ CO ซึ่งข้อมูลนี้จะได้มาจาก ค่าการตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องควัน ที่เกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์ และจากการทดลองเผากากของเสียจริงในห้องปฏิบัติการ รายละเอียดการทดลองในห้องปฏิบัติการ แสดงไว้ในหัวข้อ 3.2.2.3



รูปที่ 3-1 ขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และการประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์



รูปที่ 3-2 ขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวงจรชีวิตการจัดการกากของเสีย



รูปที่ 3-3 ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการเผาปูนเม็ด

ข้อมูลข้างต้นจะถูกนำมาสร้างตารางแสดงบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในเตาเผาปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการ ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตในการศึกษา ทำให้ทราบปริมาณการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมจากระบบผลิตภัณฑ์

3.2.2.2 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือก

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากโรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์ พบว่ากากของเสียที่โรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์รับกำจัดนั้นมีมากกว่า 150 ชนิด แต่มีประมาณ 20 ชนิดที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนได้ ในแง่ของปริมาณ และคุณสมบัติที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 กากของเสียที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์

ลำดับ	ชนิดของกากของเสีย	ปริมาณที่รับกำจัด (ตัน/ปี)	การนำไปใช้	Heating value (Kcal)
1	Used oil		ทดแทนเชื้อเพลิง	10,468
2	Wax oil	857.51	ทดแทนเชื้อเพลิง	10,096
3	Used tired	663.92	ทดแทนเชื้อเพลิง	8,716
4	Rubber waste	614.91	ทดแทนเชื้อเพลิง	7,575
5	ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน		ทดแทนเชื้อเพลิง	5,432
6	Rubber waste from shoe manufacturing	970.33	ทดแทนเชื้อเพลิง	5,075
7	Plastic Waste	1,115.25	ทดแทนเชื้อเพลิง	4,971
8	Used diatomite	1,146.58	ทดแทนเชื้อเพลิง	4,096
9	Polymer and monomer	1,798.83	ทดแทนเชื้อเพลิง	3,689
10	Waste tanned leather	630.63	ทดแทนเชื้อเพลิง	3,240
11	Mold resin	644.40	ทดแทนเชื้อเพลิง	2,035
12	Electric equipment	736.51	ทดแทนเชื้อเพลิง	1,695
13	Rag and fabric material	933.75	ทดแทนเชื้อเพลิง	1,064
14	Fly Ash & Bottom Ash	103,438.40	ทดแทนวัตถุดิบ	0
15	Wastewater	7,514.31	เผาทิ้ง	0
16	Siliceous corrective material	4,621.38	ทดแทนวัตถุดิบ	0
17	Other raw mix corrective material	2,264.03	ทดแทนวัตถุดิบ	0
18	Contaminated sand and soil	1,546.16	ทดแทนวัตถุดิบ	0
19	Sand clay & Dust	1,338.25	ทดแทนวัตถุดิบ	0
20	Waste machine emulsion	1,257.10	เผาทิ้ง	0

ที่มา:บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด(มหาชน)

และจากกากของเสียอุตสาหกรรม 20 ชนิดนี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกมา 7 ชนิด กากของเสีย โดยพิจารณาเลือกจาก ค่าพลังงานความร้อน ได้แก่ น้ำมันใช้แล้ว น้ำมันแวกซ์ ยางรถยนต์เก่า เศษยาง ขยะประเภทพลาสติกจากชุมชน เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า และ ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ ทั้งนี้กากของเสียทั้ง 7 ชนิดเป็นกากของเสียที่โรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์มีความสนใจที่จะศึกษาในแง่ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในการศึกษาครั้งนี้ จะมีการใช้น้ำกากของเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก ใน ซึ่งเชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้คัดเลือกมาทั้ง 7 ชนิด ก็มีองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติพื้นฐานทั่วไปแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจะมีมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาแตกต่างกันไปด้วย และข้อมูลมลพิษอากาศเหล่านี้ไม่เคยมีการรวบรวมไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเผาเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในการเผาปูนเม็ดในห้องปฏิบัติการ ดังรายละเอียดการทำงาน ในหัวข้อ 3.2.2.3

3.2.2.3 การทดลองเผาเชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการ

เนื่องจากไม่มีข้อมูลมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด จึงจำเป็นต้องทำการทดลองเผาเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในการเผาปูนเม็ดในเตาเผาในห้องปฏิบัติการ เพื่อเก็บข้อมูล ปริมาณ และองค์ประกอบของมลพิษอากาศที่เกิดขึ้น โดยการทดลองเผาเชื้อเพลิงทางเลือกในห้องปฏิบัติการนั้น เป็นการจำลองสภาพการเผาปูนเม็ดในเตาเผาปูนซีเมนต์ให้ใกล้เคียงกับสภาวะจริงที่สุด เพื่อเปรียบเทียบค่ามลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผาเชื้อเพลิงทางเลือก

อย่างไรก็ตามการเผาเชื้อเพลิงทางเลือกในห้องปฏิบัติการนั้น มีการทดลองเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสภาวะจริง และการเผาในห้องปฏิบัติการนั้นก็ไม่ได้เกิดกระบวนการ Calcination เหมือนกับที่เกิดในเตาเผาปูนซีเมนต์ แต่สามารถหาสัดส่วนการลดลงของมลพิษอากาศที่เกิดจากกระบวนการ Calcination ได้ โดยการเปรียบเทียบมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาลิกไนต์ในห้องปฏิบัติการ เทียบกับการเผาลิกไนต์ในเตาเผาปูนซีเมนต์ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของมลพิษอากาศที่เกิดขึ้น คือ สัดส่วนการลดลงของมลพิษอากาศที่เกิดจากกระบวนการ Calcination

1) วัสดุ

(1.1) กากของเสียจากโรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์ 7 ชนิด ที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง โดยกากของเสียที่ได้คัดเลือกมามีคุณสมบัติเฉพาะของกากของเสียแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติเฉพาะของกากของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก

ลำดับ	ชนิดของกากของเสีย	Heating value (Kcal)	ลักษณะทาง กายภาพ	ความเป็นอันตราย
1	น้ำมันใช้แล้ว (Used oil)	10,468	ของเหลว	ของเหลวติดไฟได้
2	น้ำมันแว็กซ์ (Wax oil)	10,096	ของเหลว	ของเหลวติดไฟได้
3	ยางรถยนต์เก่า (Used tired)	8,716	ของแข็ง	ของแข็งติดไฟได้ง่าย
4	เศษยาง (Rubber waste)	7,575	ของแข็ง	ของแข็งติดไฟได้ง่าย
5	ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน	5,432	ของแข็ง	ของแข็งติดไฟได้ง่าย
6	เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า (Rubber waste from shoe manufacturing)	5,075	ของแข็ง	ของแข็งติดไฟได้ง่าย
7	ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ (Polymer and monomer)	4,971	ของแข็ง	ของแข็งติดไฟได้ง่าย

2) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

(2.1) เตาเผา Electrical Furnace เตาได้อุณหภูมิสูงสุด 1,200 องศาเซลเซียส โดยมีการต่อท่อด้านบนของเตาเพื่อทำการตรวจวัดมลพิษอากาศ และปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3-4 เตาเผา

(2.2) เครื่องวัดแก๊สแบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ Testo 350 – XL ซึ่งสามารถตรวจวัดแก๊สได้ 5 ชนิด คือ CO , CO_2 , N_2O , NO_2 และ SO_2 ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงาน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 3-5 เครื่องวัดแก๊สแบบอัตโนมัติ

3) วิธีการทดลอง

(3.1) นำตัวอย่างกากของเสียมาทำการย่อยให้ได้ขนาด แล้วนำไปชั่งให้ได้ชนิดละ 30 กรัม ตั้งตัวอย่างการเตรียมกากของเสียก่อนนำไปเผา
รูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 ตัวอย่างกากของเสียก่อนเผา

(3.2) เมื่อได้ตัวอย่างกากของเสียที่ผ่านการเตรียมในขั้นตอนที่ 3.1 แล้ว จึงจะนำกากของเสียมาทำการทดลองเผาในเตาเผาห้องปฏิบัติการ โดยเปิดเตาเผาและตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาที่ 1,000 องศาเซลเซียส รอจนกว่าเตาเผาจะมีอุณหภูมิตามที่ตั้งไว้ หลังจากนั้นจึงนำกากของเสียเข้าไปเผาเป็นเวลา 45 นาที โดยจะทำการเผากากของเสีย ครั้งละ 1 ชนิด และทำการตรวจวัดแก๊สในขณะที่ทำการเผาไปด้วย

(3.3) การตรวจวัดแก๊สโดยเครื่องวัดแก๊สแบบอัตโนมัติ เมื่อนำกากของเสียเข้าสู่เตาเผาแล้ว จะต้องนำแท่งวัดก๊าซที่ติดมากับเครื่อง (รูปที่ 3-7) เสียบเข้าไปในบริเวณช่องระบายอากาศของเตาเผา เครื่องวัดจะทำงานโดยอัตโนมัติซึ่งจะทำการตรวจวัดค่าและทำการบันทึก ทุกๆ 3 นาที



รูปที่ 3-7 แท่งวัดก๊าซ

(3.4) เนื่องจากเครื่องวัดแก๊สแบบอัตโนมัติ นั้น ไม่มีเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ จึงทำให้ไม่สามารถคำนวณปริมาณแก๊สทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผา โดยใช้วิธีการคำนวณจากอัตราการไหลได้ ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงปริมาณแก๊สทั้งหมดที่เกิดขึ้นจึงต้องทำการทดลองเผาอีกครั้ง และตรวจวัดปริมาณแก๊สด้วยการแทนที่น้ำ โดยต่อท่อทองแดงขนาด 2/4 นิ้ว ระบายอากาศจากระบายอากาศ และต่อเข้ากับถุงพลาสติกดำ เพื่อทำการเก็บแก๊สทั้งหมดที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงนำถุงพลาสติกดำไปทำการแทนที่น้ำ เพื่อหาปริมาณอากาศภายในถุงพลาสติก

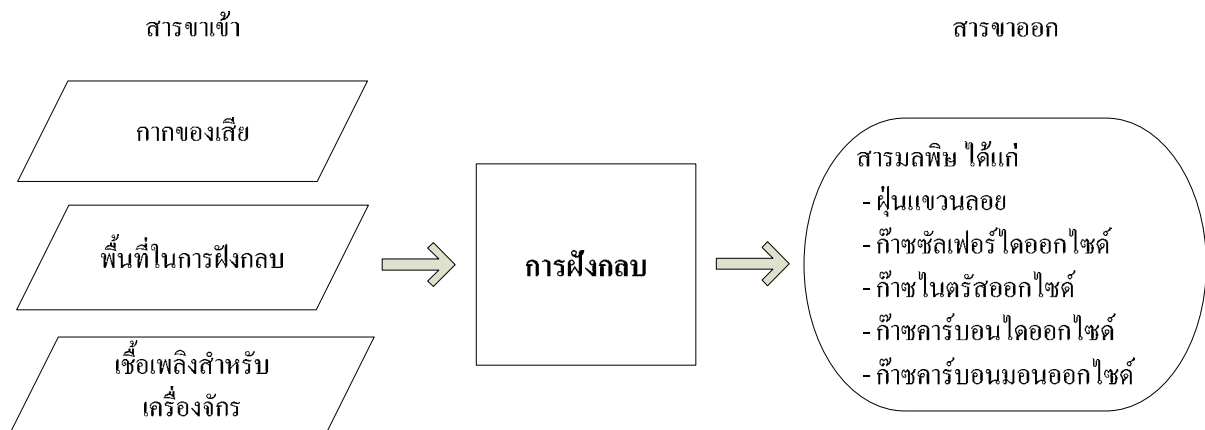
ข้อมูลจากการทดลองนี้ ได้นำมาใช้หาปริมาณมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์

3.2.2.4 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมที่ใช้ อยู่ในปัจจุบัน

การกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมในปัจจุบัน เป็นการกำจัดโดยการเผา การฝังกลบ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงจะรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมทั้งสองรูปแบบ

ข้อมูลที่จำเป็นในการทำบัญชีรายการการกำจัดกากของเสีย ได้แก่ ข้อมูลสารขาเข้า เช่น ปริมาณของเสียที่นำไปกำจัด พื้นที่ที่ใช้ในการฝังกลบ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องจักรต่างๆ เช่น น้ำมันรถ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในเตาเผาขยะ หรือปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผา และข้อมูลสารขาออก ได้แก่ มลภาวะทางอากาศ เช่น CH_4 ที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบ, SO_2 , NO_2 , CO_2 และ CO ที่เกิดจากเตาเผาขยะ ข้อมูลเกี่ยวกับการกำจัดกากของเสียนั้นจะเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่มาจาก กรมควบคุมมลพิษ หรือเป็นการรวบรวมข้อมูลที่มาจากรายงานการวิจัยต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง และข้อมูลปฐมภูมิจากผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมโดยตรง ซึ่งรายละเอียดการเก็บข้อมูลในแต่ละส่วน จะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

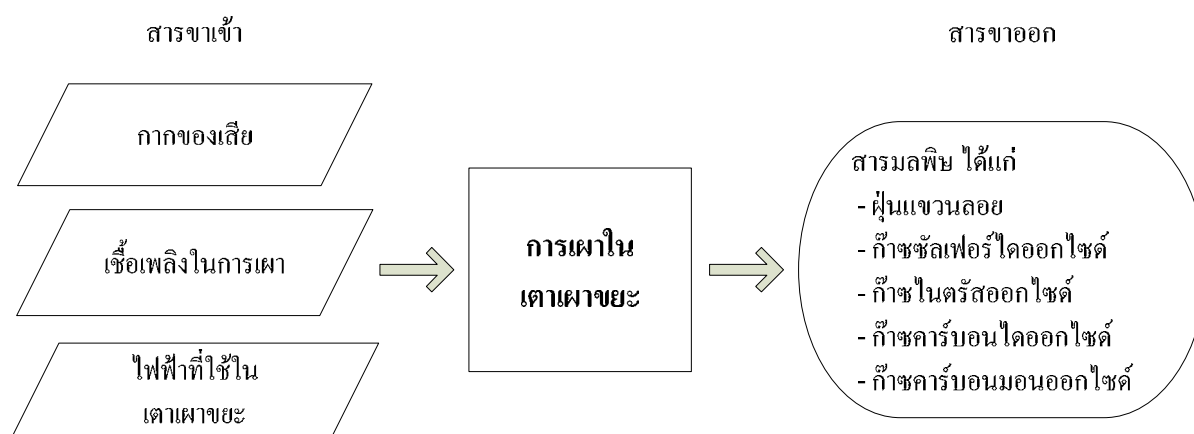
1) การฝังกลบมูลฝอย มีสารขาเข้าและสารขาออก แสดงดังรูปที่ 11 โดยข้อมูลที่ใช้ในการทำบัญชีรายการการกำจัดกากของเสียโดยการฝังกลบ ได้แก่ ข้อมูลสารขาเข้า เช่น ปริมาณของเสียที่นำไปกำจัด พื้นที่ที่ใช้ในการฝังกลบ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องจักรต่างๆ ข้อมูลสารขาออก ได้แก่ มลภาวะทางอากาศ ที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบ



รูปที่ 3-8 ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากการกำจัดของเสียโดยการฝังกลบ

ในการศึกษาในครั้งนี้ ใช้กรณีตัวอย่างของพื้นที่ฝังกลบเทศบาลนครขอนแก่น และเทศบาลนครภูเก็ตมาใช้ในการศึกษา (Liamsanguan and Gheewala; 2005) โดยข้อมูลจากพื้นที่ฝังกลบเทศบาลนครขอนแก่น ได้แก่ ปริมาณขยะที่เก็บขนสู่หลุมฝังกลบในแต่ละวัน จำนวนรถ และปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเก็บขน เป็นต้น

2) การกำจัดของเสียโดยการเผา มีสารขาเข้าและสารขาออก แสดงดังรูปที่ 12 ข้อมูลที่จำเป็นในการทำบัญชีรายการการกำจัดกากของเสียโดยการเผา ได้แก่ ข้อมูลสารขาเข้า เช่น ปริมาณของเสียที่นำไปกำจัด น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องจักรต่างๆ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในเตาเผาขยะ หรือปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผา และข้อมูลสารขาออก เช่น มลภาวะทางอากาศ เช่น SO_2 , NO_2 , CO_2 และ CO ที่เกิดจากการเชื้อเพลิงในเตาเผา



รูปที่ 3-9 ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกจากการกำจัดของเสียโดยการเผา

ในการศึกษาในครั้งนี้ใช้กรณีตัวอย่างของการเผากำจัดมูลฝอยของเทศบาลนครภูเก็ตมาใช้ในการศึกษาค้นคว้า(Liamsanguan and Gheewala; 2005)

หลังจากได้ข้อมูลจากกรณีศึกษาทั้งสองกรณีแล้ว ข้อมูลข้างต้นจะถูกนำมาสร้างตารางบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการต่าง ๆ ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบปริมาณการใช้ทรัพยากรและปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์

3.2.3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม มีขั้นตอน ตั้งแต่ การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ การจำแนกกลุ่มผลกระทบ และการกำหนดบทบาท โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.2.3.1 การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ

ก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้น จะต้องทำการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ ที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบก่อน ซึ่งหลักเกณฑ์ที่ผู้วิจัยใช้ในการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ คือจะทำการคัดเลือกจากกลุ่มผลกระทบที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทย ในประเทศไทยไม่มีการกำหนดและข้อบังคับในการ

คัดเลือกกลุ่มผลกระทบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาเลือกจากความถี่ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มักนำมา พิจารณาในการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทย จากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทยนั้น กลุ่มผลกระทบที่ถูกนำมาใช้ มีทั้งหมด 11 กลุ่ม ได้แก่ ศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด ศักยภาพในการทำให้เกิดปฏิกิริยาธาตุอาหารในน้ำเพิ่มขึ้น ศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะหมอกควันพิษ ศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง เป็นต้น (ดังตารางที่2-1) ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้ได้คัดเลือกกลุ่มผลกระทบที่จะทำการศึกษา โดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดของกลุ่มผลกระทบว่ามีดัชนีตัวใดบ้างที่สอดคล้องกับข้อมูลจากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือก และความถี่ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มักนำมา พิจารณาในการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทย และแนวโน้มของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ว่ามีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับกลุ่มผลกระทบใดบ้าง ซึ่งกลุ่มผลกระทบที่ได้ทำการคัดเลือกมา ได้แก่

1) สภาวะโลกร้อน CO_2 , N_2O , CH_4 และ CFC ที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกในบรรยากาศ ซึ่งก๊าซเหล่านี้ทำหน้าที่เหมือนกระจก คือยอมให้ความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้าไปได้ แต่จะสะท้อนความร้อนกลับออกไปได้น้อย ทำให้ความร้อนแผ่ปกคลุมบริเวณผิวโลก อุณหภูมิที่ผิวโลกจึงสูงขึ้นมากกว่าปกติและนำมาซึ่งภาวะโลกร้อน

2) การเกิดฝนกรด เกิดจากปัญหามลพิษอันเกิดจากกระบวนการเผาผลาญของสารฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน แก๊ส การผลิตไฟฟ้าหรืออีกกิจกรรมหลายๆประเภท รวมทั้งรถยนต์ ซึ่งจากการเผาผลาญนี้จะทำให้เกิดมลพิษอากาศจำพวก SO_x , NO_x เมื่อรวมกับฝนที่ตกลงมา จะทำให้เกิดกรดพวกซัลฟูริกและไนตริก ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายกัดกร่อน ทำลายพืชผลทางการเกษตร แหล่งน้ำ มีผลต่อความเป็นอยู่ของผู้นคนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ

3) ปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ เป็นมลภาวะทางน้ำซึ่งทำให้สภาวะของระบบนิเวศทางน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากมีความเข้มข้นของแร่ธาตุและสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำมากเกินไป โดยสารที่เป็นตัวการหลักของการเกิด Eutrophication คือ ฟอสเฟต รองลงมาคือไนเตรท ถึงแม้ว่า Eutrophication จะสามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ แต่มนุษย์ก็มีส่วนที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ได้โดยการเพิ่มแร่ธาตุสารอาหารจากกิจกรรมต่างๆ ลงไปในแหล่งน้ำทำให้พืชน้ำจืดสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและปกคลุมไปทั่วผิวน้ำ เป็นผลให้พืชน้ำชนิดอื่นที่อยู่ใต้ผิวน้ำไม่สามารถรับแสงแดดเพื่อใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ จึงไม่สามารถเติบโตได้และมีปริมาณลดลง

4) การเกิดหมอกควันพิษ จะเกิดในขณะที่มีสภาพอากาศมีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูง และมีแสงอาทิตย์เป็นตัวการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่วนมากจะมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ของยานพาหนะ

5) การทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง มนุษย์ต้องพึ่งพาและใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในหลายๆด้าน เพื่อการดำรงชีวิต และการอยู่รอด ทรัพยากรธรรมชาติมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปรวมทั้งปริมาณทรัพยากรแต่ละชนิดมากน้อยไม่

เท่ากัน เราจึงควรระมัดระวังในการใช้ทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพเพื่อที่จะได้มีทรัพยากรใช้อย่างเพียงพอ

3.2.3.2 การจำแนกกลุ่มผลกระทบ

หลังจากที่ทำการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบแล้ว จะทำการจำแนกกลุ่มผลกระทบ โดยจะพิจารณาจากมลพิษที่เกิดขึ้นจากทุกกระบวนการที่ได้ทำการศึกษานำมาเปรียบเทียบกับดัชนีชี้วัดของกลุ่มผลกระทบแต่ละกลุ่มว่ามี ก๊าซใดที่เข้ากับกลุ่มผลกระทบใด ดังตารางที่ 3-3 ตัวอย่างการจำแนกกลุ่มผลกระทบตามดัชนีชี้วัด ของแต่ละกลุ่มผลกระทบ และผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ ได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 3-3 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามดัชนีชี้วัด ของแต่ละกลุ่มผลกระทบ

ดัชนีชี้วัด	กลุ่มผลกระทบ			
	Global Warming	Acidification	Eutrophication	Photochemical Smog
CO ₂	X			
CO	X			X
NO _x		X	X	X
N ₂ O	X	X	X	X
CH ₄	X			
SO _x		X		
NM VOC				X
NH ₄		X	X	
CFC	X			
NH ₄		X	X	
P			X	

3.2.3.3 การกำหนดบทบาทหรือความสามารถที่ทำให้เกิดผลกระทบ

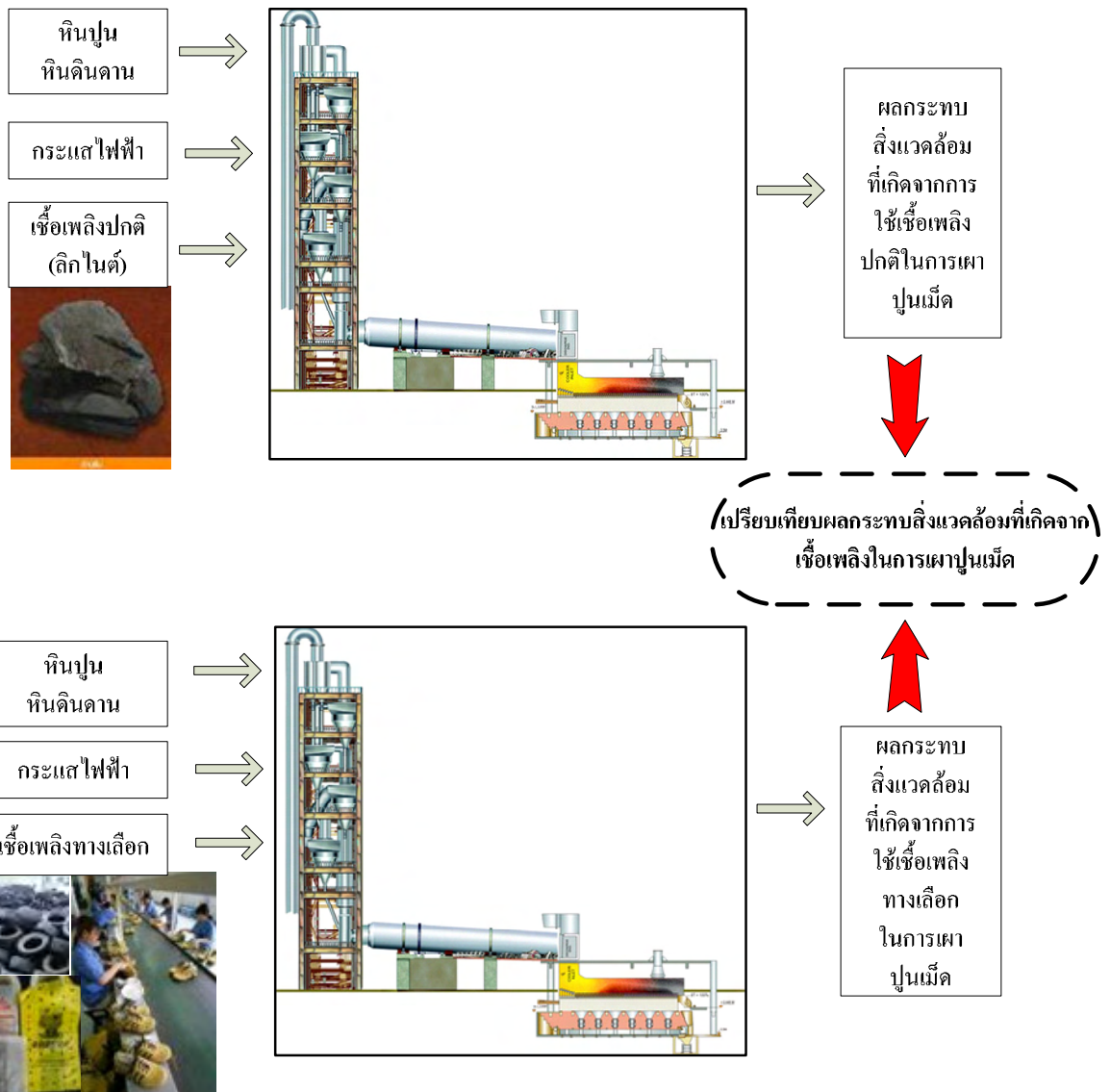
การกำหนดบทบาทของกลุ่มผลกระทบ ทำให้ได้มาซึ่งบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ข้อมูลผ่านการแปลงจากปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการ ให้อยู่ในรูปของค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ข้อมูลสารขาเข้าและขาออกในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์จะถูกจำแนกให้เข้าอยู่ ในกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของสารขาเข้าและสารขาออกที่เป็นสาเหตุของกลุ่ม ผลกระทบนั้น ๆ ขั้นตอนการกำหนดบทบาทหรือความสามารถที่ทำให้เกิดผลกระทบ จะนำไปสู่การแปลผลหรือการตีความ ผลสรุปที่ได้สุดท้าย ก็คือฐานข้อมูลวงจรชีวิต และฐานข้อมูลบัญชีสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์ และนำฐานข้อมูลวงจรชีวิต และฐานข้อมูลบัญชีสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์ มาทำการเปรียบเทียบว่าเชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์ชนิดใด ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปใช้ และสามารถเลือกวิธีการกำจัดกากของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดด้วย

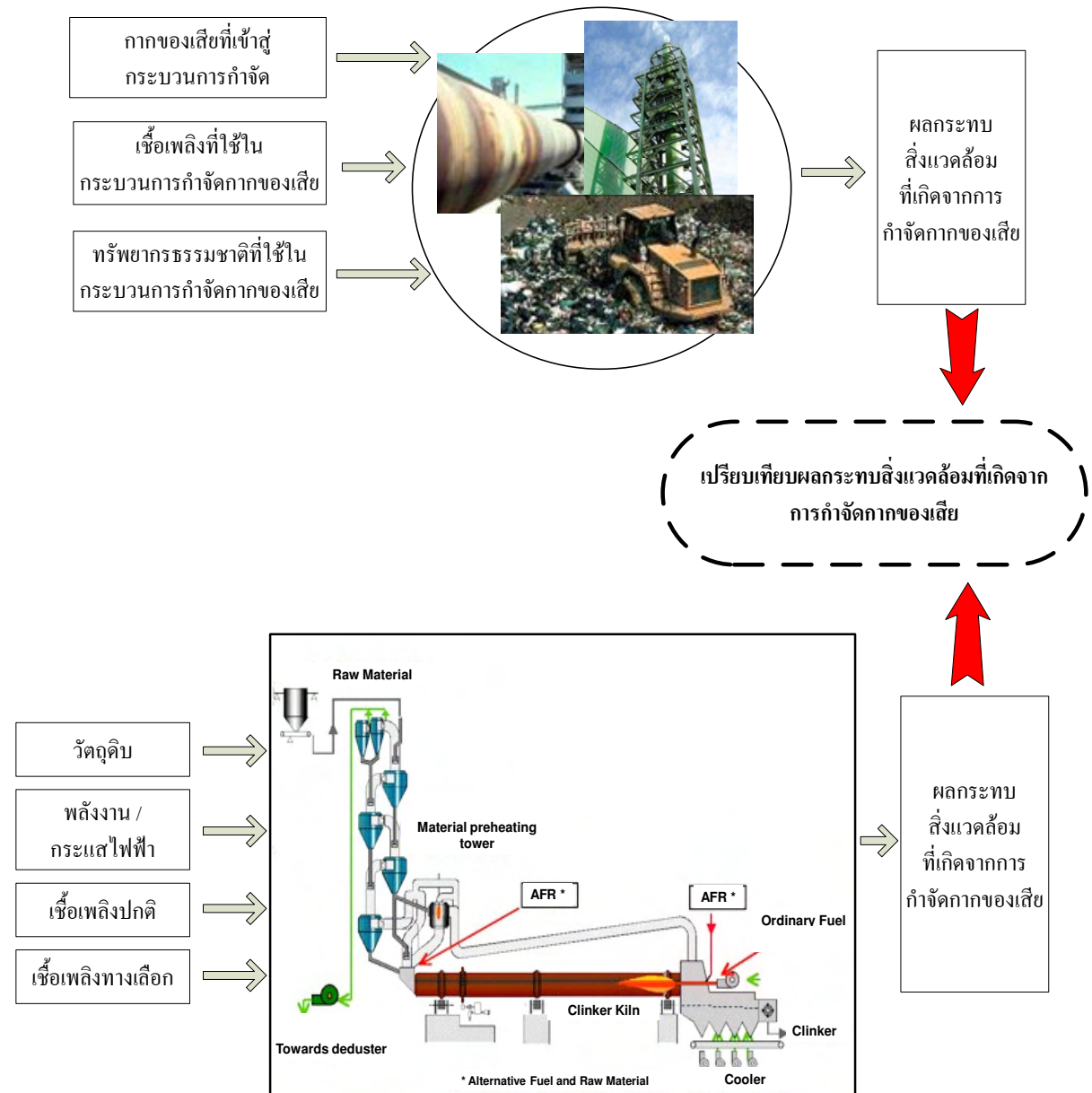
3.2.3 การแปลผลการประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือกและการประเมินวงจรชีวิตการจัดการกากของเสีย

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนการนำผลจากการทำบัญชีรายการและการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมารวมกัน เพื่อหาข้อสรุปตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษาที่ระบุไว้ ในรูปการอธิบายที่สามารถสื่อความเข้าใจและสอดคล้องกับสถานการณ์ในปัจจุบันเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์สูงสุด ในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการแปลผล โดยการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมใน 2 กรณี คือ

- 1) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงปกติในการผลิตปูนซีเมนต์ กับการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์ ดังรูปที่ 3-10
- 2) เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวิธีการจัดการกากของเสีย ระหว่างการกำจัดโดยการฝังกลบ การเผาในเตาเผาขยะ และการกำจัดโดยการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-10 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก



รูปที่ 3-11 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวิธีการกำจัดกากของเสีย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

4.1.1 การประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือก

การประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์นั้น มีเป้าหมายเพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงปกติและเชื้อเพลิงทางเลือกที่เป็นกากของเสียอุตสาหกรรม และเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ กับการกำจัดกากของเสียด้วยวิธีปกติที่ใช้ในปัจจุบัน โดยมุ่งเน้นการพิจารณาปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นโดยจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม เพื่อแปลงข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการ ให้อยู่ในรูปของค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

4.1.2 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการศึกษาของการวิจัยในครั้งนี้ แบ่งย่อยได้ 2 ขอบเขตคือ

1. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์มีขอบเขตของการวิจัยคือกระบวนการเผาปูนเม็ด
2. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการกากของเสีย มีขอบเขตของการวิจัยคือ ขั้นตอนการเผาในเตาเผา ขั้นตอนการฝังกลบ และขั้นตอนการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์

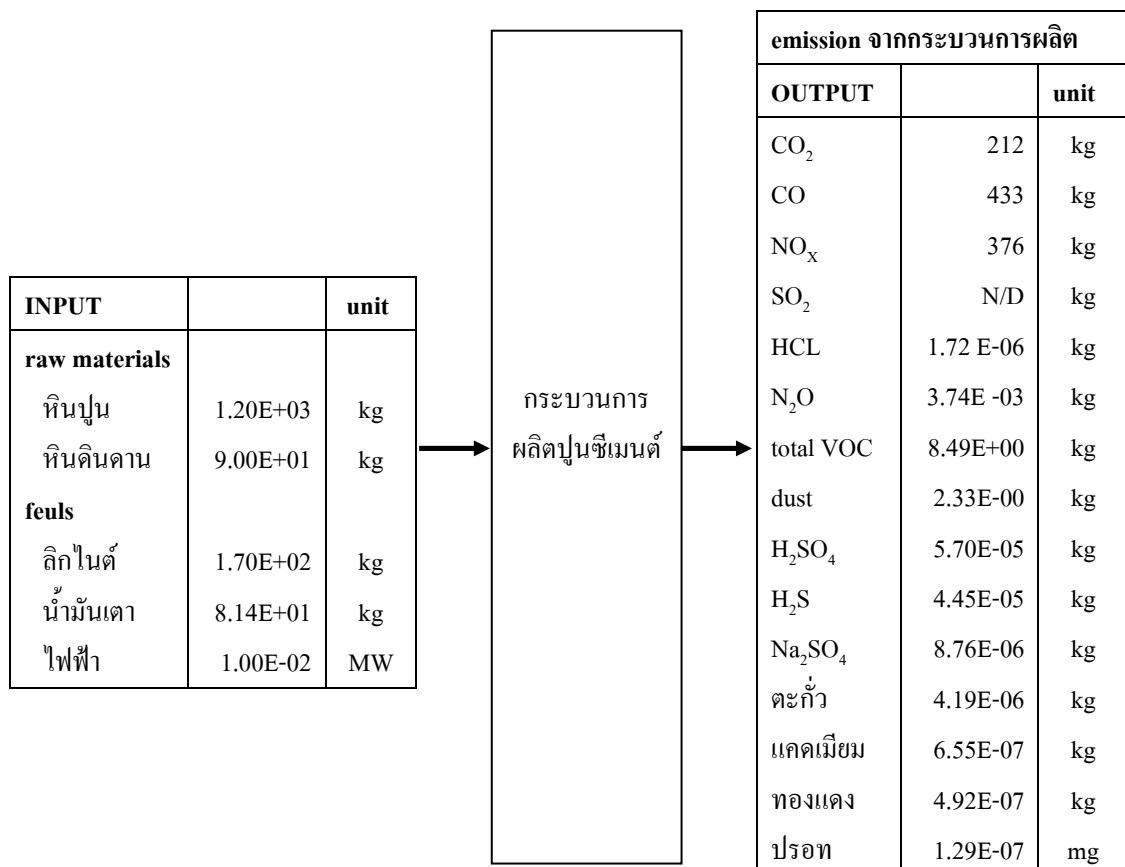
4.2 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมนั้น เป็นขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูลสำคัญต่างๆที่จำเป็นในขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะทำการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบปริมาณการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ต่อหน่วยการผลิตที่สนใจ ในที่นี้หน่วยการผลิตคือ ปูนซีเมนต์ 1 ตัน

4.2.1 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในการผลิต

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลกระทบนั้น อาศัยแหล่งข้อมูลปฐมภูมิจากโรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์ และข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารอ้างอิง โดยข้อมูลที่จำเป็นในการทำบัญชีรายการในส่วนของการเผาปูนเม็ด ได้แก่ ข้อมูลสารขาเข้า ได้แก่ ปริมาณของวัตถุดิบที่เข้าสู่เตาเผาปูนซีเมนต์ ปริมาณเชื้อเพลิงเช่นถ่านหิน น้ำมันเตา ปริมาณและสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบทางเลือก ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเผาปูนเม็ด และ ข้อมูลสารขาออก ได้แก่ ปริมาณปูนเม็ด และปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยออกสู่อากาศ ซึ่งได้แก่ SO₂ , N₂O , NO₂ , CO₂ และ CO

หลังจากได้ข้อมูลข้างต้นแล้ว นำมาสร้างตารางแสดงบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ ดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป จะแสดงบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของกระบวนการเผาปูนเม็ด ปริมาณ 1 ตัน ซึ่งประกอบไปด้วยสารขาเข้า คือวัตถุดิบ ได้แก่หินปูนที่เป็นวัตถุดิบหลัก ในปริมาณ 1200 กิโลกรัม หินดินดานที่เป็นวัตถุดิบรอง ปริมาณ 900 กิโลกรัม และพลังงานที่เข้าสู่กระบวนการ ได้แก่ ลิกไนต์ที่เป็นเชื้อเพลิงหลัก ปริมาณ 169.77 กิโลกรัม เชื้อเพลิงรองลงมาก็คือ น้ำมันเตา แต่จะใช้ในปริมาณไม่มากนัก รวมถึงไฟฟ้าประมาณ 0.01 เมกกะวัตต์ สารขาออกได้แก่ CO ที่มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 212 กิโลกรัม รองลงมาก็คือ NO_x มีปริมาณ 376 กิโลกรัม และ CO₂ ปริมาณ 212 กิโลกรัม นอกจากนี้ยังมี HCl N₂O และสารโลหะหนักอีกเล็กน้อย

4.2.2 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเชื้อเพลิงทางเลือก

จากที่ได้กล่าวไว้แล้วว่า ไม่เคยได้มีการศึกษาข้อมูลองค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงทางเลือก ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องทำการทดลองเผาเชื้อเพลิงทางเลือกในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการโดยการทดลองจะเผาเชื้อเพลิงทางเลือกในปริมาณ 30 กรัม เป็นเวลา 45 นาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ (ปริมาณเชื้อเพลิงทางเลือก 30 กรัม)

เชื้อเพลิง	CO ₂ (Kg)	CO (Kg)	NO _x (Kg)	SO _x (Kg)	N ₂ O (Kg)
ลิกไนต์	3.80E-02	7.94E-02	6.76E-02	1.56E-02	6.89E-07
น้ำมันใช้แล้ว	5.92E-02	7.47E-02	6.80E-02	2.38E-02	8.72E-07
น้ำมันแวกซ์	7.64E-02	5.46E-02	3.71E-02	3.99E-02	8.96E-07
ยางรถยนต์เก่า	5.11E-02	2.63E-02	1.30E-02	1.39E-02	7.02E-07
เศษยาง	5.41E-02	1.98E-02	8.64E-02	2.08E-02	6.24E-07
ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน	6.10E-02	1.69E-02	7.46E-02	2.70E-02	5.03E-07
เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า	5.82E-02	2.04E-02	9.74E-02	2.55E-02	7.06E-07
ขยะพลาสติกประเภทโฟลิมเมอร์	3.98E-02	4.20E-02	2.41E-02	3.58E-02	5.37E-07

การนำเชื้อเพลิงทางเลือกมาใช้อุตสาหกรรมซีเมนต์นั้น ไม่ได้มีการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกทดแทนเชื้อเพลิงปกติทั้ง 100 % แต่จะมีการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกทดแทนเชื้อเพลิงปกติคิดเป็น 5% ของค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเผาปูน ซึ่งปกติแล้ว การเผาปูนเม็ด 1 ตัน จะต้องใช้พลังงานในการเผาปูนเม็ด 730,000 กิโลแคลอรี และพลังงาน 5%ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด 1 ตัน เท่ากับ 36,500 กิโลแคลอรี

จากข้อมูลองค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ (ตารางที่ 11) จะนำมาคำนวณหาปริมาณมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก ในปริมาณที่ใช้จริง (ให้พลังงานในการเผาปูนเม็ด 5%ของพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในการเผาปูนเม็ด 1 ตัน) โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 พลังงาน 5 % ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด 1 ตัน มาจากการเชื้อเพลิงทางเลือกครั้งละ 1 ชนิด ซึ่งสามารถคำนวณผลขององค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดทั้งหมด ดังตารางที่ 4-2

ปริมาณเชื้อเพลิงทางเลือกที่ให้พลังงาน 5 % ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด 1 ตัน คำนวณจาก สมการที่ 1

$$\text{ปริมาณเชื้อเพลิงทางเลือกที่ให้พลังงาน 5 \%} = \frac{730,000 * 0.05}{\text{ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงทางเลือก}} \dots\dots\dots(1)$$

ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เชื้อเพลิงทางเลือกชนิดเดียวในปริมาณจะให้พลังงานความร้อนเท่ากับ 5%

เชื้อเพลิง	ปริมาณเชื้อเพลิง ทางเลือกกรณีที่ใช้ เชื้อเพลิงชนิดเดียว (kg)	CO ₂ (Kg)	CO (Kg)	NO _x (Kg)	SO _x (Kg)	N ₂ O (Kg)
น้ำมันใช้แล้ว	3.49	6.8907	13.6052	26.8623	53.0373	104.7178
น้ำมันแวกซ์	3.62	9.2203	23.4847	59.8169	152.3569	388.0616
ยางรถยนต์เก่า	4.19	7.1408	12.1698	20.7404	35.3469	60.2402
เศษยาง	4.82	8.6942	15.6824	28.2874	51.0242	92.0361
ขยะประเภท ถุงพลาสติกจากชุมชน	6.72	13.6659	27.7911	56.5164	114.9325	233.7282
เศษยางจาก อุตสาหกรรมรองเท้า	7.19	13.9522	27.0744	52.5380	101.9502	197.8349
ขยะพลาสติกประเภท โพลีเมอร์	7.34	9.7433	12.9334	17.1681	22.7892	30.2509

กรณีที่ 2 เผาเชื้อเพลิงทุกชนิดรวมกันเพื่อให้ได้พลังงาน 5 % ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด 1 ตัน โดยแต่ละชนิดจะมีปริมาณที่ให้พลังงานเท่ากันซึ่งจะเท่ากับ ชนิดละ 0.714 % ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด 1 ตัน ซึ่งจะมีค่าองค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดทั้งหมด ดังตารางที่ 4-3

ปริมาณเชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดเผารวมกันที่ให้พลังงาน 5 % ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด 1 ตัน คำนวณจาก สมการที่ 2

$$\text{ปริมาณเชื้อเพลิงทางเลือกที่ให้พลังงาน 5 \%} = \frac{730,000 * (0.05/7)}{\text{ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงทางเลือก}} \dots\dots\dots(2)$$

ตารางที่ 4-3 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดเผารวมกันในปริมาณที่จะให้พลังงานความร้อนเท่ากับ 5%

เชื้อเพลิง	ปริมาณเชื้อเพลิง					
	ทางเลือก กรณีที่เชื้อเพลิงทุก ชนิดผสมกัน (kg)	CO ₂ (Kg)	CO (Kg)	NO _x (Kg)	SO _x (Kg)	N ₂ O (Kg)
น้ำมันใช้แล้ว	0.50	6.33E-01	1.68E+00	3.78E+00	1.97E+00	4.52E-05
น้ำมันแวกซ์	0.52	1.03E+00	2.56E+00	5.80E+00	4.60E+00	1.34E-04
ยางรถยนต์เก่า	0.60	1.53E+00	2.78E+00	3.44E+00	4.56E+00	1.36E-04
เศษยาง	0.69	1.18E+00	1.03E+00	4.47E-01	2.07E-01	4.84E-06
ขยะประเภท ถุงพลาสติกจากชุมชน	0.96	1.73E+00	1.14E+00	3.30E+00	2.29E+00	4.75E-05
เศษยางจาก อุตสาหกรรมรองเท้า	1.03	2.09E+00	1.18E+00	2.93E+00	2.63E+00	4.41E-05
ขยะพลาสติกประเภท โพลีเมอร์	1.05	2.04E+00	1.39E+00	4.50E+00	3.83E+00	9.01E-05
รวม	5.35	7.10E+00	9.95E+00	7.98E+00	9.52E+00	1.71E-04

ข้อมูลจากตารางที่ 4-3 ไม่สามารถนำมาสร้างเป็นบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมได้โดยตรง เนื่องจากในกระบวนการเผาปูนเม็ดยังจะมีขั้นตอนของการเผาวัตถุดิบจนเกิดแคลเซียมออกไซด์ (CaO₂) ซึ่งเรียกว่ากระบวนการ Calcination ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีการทำปฏิกิริยากันของสารมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาปูนซีเมนต์ กับแคลเซียมออกไซด์ ทำให้มลพิษอากาศที่เกิดขึ้น ถูกดักจับและบำบัดจนสภาพความเป็นพิษที่มีลดลง

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจะต้องมีการทดลองเผา ลิกไนต์ ภายใน เพื่อที่จะนำผลของการตรวจวัดมลพิษอากาศจากการเผาลิกไนต์ที่ได้ในห้องปฏิบัติการ ไปเปรียบเทียบกับค่า

มลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผาปูนเม็ดในเตาเผาจริง ซึ่งจะทำให้ได้สัดส่วนการลดลงของมลพิษที่เกิดจากกระบวนการ Calcination โดยสัดส่วนการลดลงของมลพิษอากาศที่เกิดจากกระบวนการ Calcination แสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาปูนเม็ดในห้องปฏิบัติการอัตรา การลดลงของมลพิษอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination

	CO ₂ (Kg)	CO (Kg)	NO _x (Kg)	SO _x (Kg)	N ₂ O (Kg)
มลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากสภาวะจริง	212.00	433.00	376.00	N/D	0.0037
มลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	215.048	449.396	382.27	88.442	0.0039
อัตราการลดลงของมลพิษอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination	98.70 %	96.35 %	98.36 %	100 %	94.87 %

อัตราการลดลงของมลพิษอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination ที่ได้จากการทดลอง มีค่าประมาณ 94.87% - 98.70% เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิตที่แสดงประสิทธิภาพของกระบวนการ Calcination ว่าสามารถบำบัดมลพิษอากาศได้ถึง 99% แล้วจะเห็นว่าผลจากการทดลองมีความใกล้เคียงกับประสิทธิภาพจริงของกระบวนการ Calcination แต่ในส่วน ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นผู้วิจัยให้ค่าอัตราการลดลงของมลพิษอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination ที่ 100% เนื่องจากกระบวนการผลิตจริงนั้นไม่พบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในมลพิษอากาศที่เกิดขึ้น

จากค่าอัตราการลดลงของมลพิษอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination ที่ได้จะนำมาคำนวณหาองค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ ที่ผ่านการเทียบอัตราการลดลงของมลพิษอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination เพื่อให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่ามลพิษอากาศที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจริง ดังแสดงในตาราง ที่ 4-5 และตารางที่ 4-6

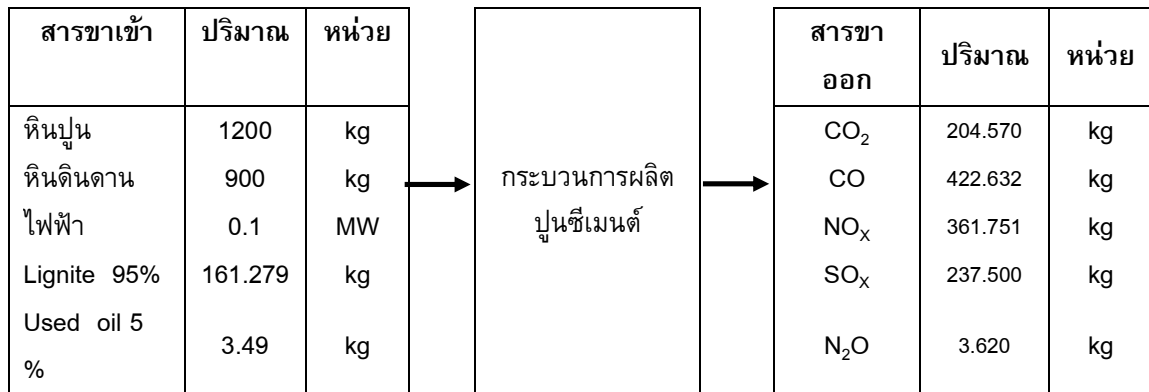
ตารางที่ 4-5 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านการเทียบอัตราการลดลงของมลพิษทางอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination กรณีที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดเดียว 5%

เชื้อเพลิง	CO ₂ (Kg)	CO (Kg)	NO _x (Kg)	SO _x (Kg)	N ₂ O (Kg)
น้ำมันใช้แล้ว	1.590	9.878	10.483	53.037	84.305
น้ำมันแวกซ์	2.128	17.051	23.343	152.357	312.416
ยางรถยนต์เก่า	1.648	8.836	8.094	35.347	48.497
เศษยาง	2.006	11.386	11.039	51.024	74.095
ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน	3.154	20.177	22.055	114.932	188.167
เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า	3.220	19.657	20.503	101.950	159.271
ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์	2.248	9.390	6.700	22.789	24.354

ตารางที่ 4-6 องค์ประกอบของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านการเทียบอัตราการลดลงของมลพิษทางอากาศเนื่องจาก กระบวนการ Calcination กรณีที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกันให้ได้ 5%

เชื้อเพลิง	CO ₂ (Kg)	CO (Kg)	NO _x (Kg)	SO _x (Kg)	N ₂ O (Kg)
น้ำมันใช้แล้ว	1.46E-01	1.22E+00	1.47E+00	0.00E+00	3.64E-05
น้ำมันแวกซ์	2.37E-01	1.86E+00	2.26E+00	0.00E+00	1.08E-04
ยางรถยนต์เก่า	3.53E-01	2.02E+00	1.34E+00	0.00E+00	1.10E-04
เศษยาง	2.71E-01	7.49E-01	1.74E-01	0.00E+00	3.89E-06
ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน	4.00E-01	8.31E-01	1.29E+00	0.00E+00	3.83E-05
เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า	4.83E-01	8.54E-01	1.14E+00	0.00E+00	3.55E-05
ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์	4.70E-01	1.01E+00	1.76E+00	0.00E+00	7.25E-05
เชื้อเพลิงทุกชนิดเผารวมกัน	1.46E-01	1.22E+00	1.47E+00	0.00E+00	3.64E-05

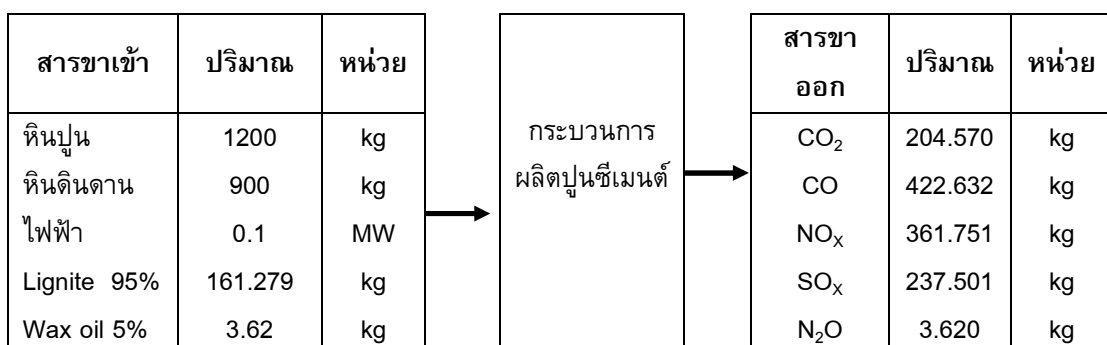
และเมื่อได้ข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว นำมาสร้างตารางแสดงบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นั้นจะแบ่ง ได้ 2 บัญชี หลักๆ คือ บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว 5 % และพลังงานจากลิกไนต์ 95 % และ บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดรวมกันเท่ากับ 5 % และพลังงานจากลิกไนต์ 95 % ดังรูปที่ 4-2 ถึงรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-2 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือก น้ำมันใช้แล้ว 5 % พลังงานจากลิกไนต์ 95 %

จากรูปบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือก น้ำมันใช้แล้ว 5 % พลังงานจากลิกไนต์ 95 % จะแสดงข้อมูล สารขาเข้า คือ หินปูนและหินดินดานที่เป็นวัตถุดิบหลัก และเชื้อเพลิงปกติคือลิกไนต์ 161.79 กิโลกรัมซึ่งให้พลังงาน 95%ในการเผาปูนเม็ด และเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้คือ Used oil ปริมาณ 3.49 กิโลกรัม ให้พลังงานเท่ากับ 5% ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด สารขาออกจากกระบวนการ ได้แก่ CO₂ , CO , NO_x , SO_x และ N₂O ซึ่งสารขาออกที่ปริมาณมากที่สุดก็คือ CO ปริมาณ 422.632 กิโลกรัม

ในรูปที่ 4-2 ถึงรูปที่ 4-9 แสดงบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือก 5 % พลังงานจากลิกไนต์ 95 % เช่นเดียวกับในรูปที่ 16 แต่จะเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้จาก น้ำมันใช้แล้ว ไปเป็น น้ำมันแวกซ์ ยางรถยนต์เก่า เศษยาง ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ และพลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดรวมกันเท่ากับ 5 % ตามลำดับ



รูปที่ 4-3 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือก น้ำมันแวกซ์ 5 % พลังงานจากลิกไนต์ 95 %

สารขาเข้า	ปริมาณ	หน่วย	กระบวนการ ผลิตปูนซีเมนต์	สารขา ออก	ปริมาณ	หน่วย
หินปูน	1200	kg		CO ₂	204.571	kg
หินดินดาน	900	kg		CO	422.631	kg
ไฟฟ้า	0.1	MW		NO _x	361.751	kg
Lignite 95%	161.279	kg		SO _x	237.500	kg
Used tired	4.19	kg		N ₂ O	3.621	kg
5%						

รูปที่ 4-4 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง
ทางเลือก ยางรถยนต์เก่า 5% พลังงานจากลิกไนต์ 95 %

สารขาเข้า	ปริมาณ	หน่วย	กระบวนการ ผลิตปูนซีเมนต์	สารขา ออก	ปริมาณ	หน่วย
หินปูน	1200	kg		CO ₂	204.570	kg
หินดินดาน	900	kg		CO	422.631	kg
ไฟฟ้า	0.1	MW		NO _x	361.751	kg
Lignite 95%	161.279	kg		SO _x	237.500	kg
Rubber waste	4.82	kg		N ₂ O	3.620	kg
5%						

รูปที่ 4-5 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง
ทางเลือก เศษยาง 5% พลังงานจากลิกไนต์ 95 %

สารขาเข้า	ปริมาณ	หน่วย	กระบวนการ ผลิตปูนซีเมนต์	สารขา ออก	ปริมาณ	หน่วย
หินปูน	1200	kg		CO ₂	204.570	kg
หินดินดาน	900	kg		CO	422.631	kg
ไฟฟ้า	0.1	MW		NO _x	361.751	kg
Lignite 95%	161.279	kg		SO _x	237.500	kg
ถุงพลาสติก 5%	6.72	kg		N ₂ O	3.620	kg

รูปที่ 4-6 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง
ทางเลือก ขยะถุงพลาสติกจากชุมชน 5% พลังงานจากลิกไนต์ 95 %

สารขาเข้า	ปริมาณ	หน่วย	กระบวนการ ผลิตปูนซีเมนต์	สารขา ออก	ปริมาณ	หน่วย
หินปูน	1200	kg		CO ₂	204.570	kg
หินดินดาน	900	kg		CO	422.632	kg
ไฟฟ้า	0.1	MW		NO _x	361.751	kg
Lignite 95%	161.279	kg		SO _x	237.500	kg
Rubber waste from shoe manu. 5%	7.19	kg		N ₂ O	3.620	kg

รูปที่ 4-7 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง
ทางเลือก เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า 5% พลังงานจากถ่านหิน 95 %

สารขาเข้า	ปริมาณ	หน่วย	กระบวนการ ผลิตปูนซีเมนต์	สารขา ออก	ปริมาณ	หน่วย
หินปูน	1200	kg		CO ₂	204.570	kg
หินดินดาน	900	kg		CO	422.633	kg
ไฟฟ้า	0.1	MW		NO _x	361.752	kg
Lignite 95%	161.279	kg		SO _x	237.500	kg
Polymer and monomer 5%	7.34	kg		N ₂ O	3.620	kg

รูปที่ 4-8 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง
ทางเลือก ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ 5% พลังงานจากถ่านหิน 95 %

สารขาเข้า	ปริมาณ	หน่วย		
หินปูน	1200	kg		
หินดินดาน	900	kg		
ไฟฟ้า	0.1	MW		
ลิกไนต์ 95%	161.279	kg		
น้ำมันใช้แล้ว 0.714%	0.5	kg		
น้ำมันแวกซ์ 0.714%	0.52	kg		
ยางรถยนต์เก่า 0.714%	0.6	kg		
เศษยาง 0.714%	0.69	kg		
ถุงพลาสติกจากชุมชน 0.714%	0.96	kg		
เศษยางจากกระบวนการผลิตรองเท้า 0.714%	1.03	kg		
ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ 0.714%	1.05	kg		

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

สารขาออก	ปริมาณ	หน่วย
CO ₂	204.570	kg
CO	422.633	kg
NO _x	361.752	kg
SO _x	237.500	kg
N ₂ O	3.620	kg

รูปที่ 4-9 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดรวมกันเท่ากับ 5 % และพลังงานจากลิกไนต์ 95 %

จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน โดยใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ที่ใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในกระบวนการเผาปูนเม็ด

เชื้อเพลิง		CO ₂ (Kg)	CO (Kg)	NO _x (Kg)	SO _x (Kg)	N ₂ O (Kg)
ลิกไนต์ 95%	น้ำมันใช้แล้ว 5%	204.74400	422.83600	361.85900	237.54500	3.62240
	น้ำมันแวกซ์ 5%	204.57013	422.63276	361.75098	237.50001	3.62001
	ยางรถยนต์เก่า 5%	204.57007	422.63047	361.75103	237.50003	3.62001
	เศษยาง 5%	204.57005	422.63068	361.75082	237.50003	3.62004
	ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน 5%	204.57008	422.63074	361.75143	237.50005	3.62005
	เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า 5%	204.57010	422.63155	361.75133	237.50007	3.62007
	ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ 5%	204.57021	422.63270	361.75185	237.50001	3.62007
	เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกัน 5%	204.57021	422.63283	361.75228	237.50007	3.62007

จากตารางจะเห็นว่า ความแตกต่างของปริมาณมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกนั้น แทบจะไม่มีมีความแตกต่างกันเลยนั้นเพราะเราพิจารณาจาก Functional Unit ที่กำหนด แต่เมื่อพิจารณาว่ากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในแต่ละวันมีมากถึง 10,000 ตัน ปริมาณมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นย่อมมากขึ้นตามไปด้วย

จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์ พบว่ามลพิษอากาศที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ CO รองลงมาคือ NO_x โดยเชื้อเพลิงทางเลือกที่ทำให้เกิด CO มากที่สุดคือ น้ำมันแวกซ์ มีปริมาณเท่ากับ 422.63276 kg และเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิด NO_x มากที่สุดคือ ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ มีปริมาณเท่ากับ 361.75185 kg เมื่อพิจารณารายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกพบว่าเหตุที่ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ ทำให้เกิดมลพิษอากาศมากที่สุดเนื่องจากขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ มีค่าพลังงานความร้อนต่ำที่สุด จึงต้องใช้ในปริมาณมากที่สุดเพื่อให้ค่าพลังงานความร้อนเท่ากับเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดอื่น

4.2.3 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม

ข้อมูลที่ใช้เป็นในการทำบัญชีรายการในส่วนของการกำจัดกากของเสีย ได้แก่ ข้อมูลสารขาเข้า เช่น ปริมาณของเสียที่นำไปกำจัด พื้นที่ที่ใช้ในการฝังกลบ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องจักรต่างๆ เช่น น้ำมันรถ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในเตาเผาขยะ หรือปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผา

ข้อมูลสารขาออก เช่น มลภาวะทางอากาศ เช่น ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในหลุมฝังกลบ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดจากเตาเผาขยะ

ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ ไม่สามารถหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการฝังกลบกากของเสียอุตสาหกรรมได้โดยตรง จึงใช้ข้อมูลของพื้นที่ฝังกลบเทศบาลนครขอนแก่น และเทศบาลนครภูเก็ต มาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

4.2.3.1 พื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลนครขอนแก่น

พื้นที่ฝังกลบขยะของจังหวัดขอนแก่นนั้นอยู่ห่างจากตัวจังหวัดไป 17 กิโลเมตร เปิดใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ.2511 มีพื้นที่ 98 ไร่ ตั้งอยู่ที่ บ้านคำบอน ถนนมิตรภาพ ขอนแก่น – อุดรธานี กิโลเมตรที่ 17 ตำบลโนนทัน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น รองรับขยะปริมาณวันละ 150 ตัน มีองค์ประกอบของขยะ หลักๆ ได้แก่ เศษอาหาร คิดเป็นร้อยละ 30.58 พลาสติกคิดเป็นร้อยละ 18.35 โลหะคิดเป็นร้อยละ 11.01 และแก้วคิดเป็นร้อยละ 9.17 เป็นต้น

ข้อมูลจากพื้นที่ฝังกลบขยะของจังหวัดขอนแก่น ที่นำมาใช้ในการประเมินวงจรชีวิตการจัดการกากของเสีย เช่น ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสำหรับรถเก็บขนขยะ เป็นต้น

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสำหรับรถเก็บขนขยะ สามารถคำนวณจากจำนวนรถขนขยะและ ระยะทางในการเก็บขนจริง โดยจำนวนรถเก็บขนขยะของจังหวัดขอนแก่นมีทั้งหมด 6

ประเภท ได้แก่ รถขยะเปิดข้างเทท้าย 4 ลบ.หลา 9 คัน รถขยะเปิดข้างเทท้าย 9-12 ลบ.หลา 4 คัน รถขยะเปิดข้างเทท้าย 12-15 ลบ.หลา 6 คัน รถอัดขยะ 4 คัน รถคอนเทนเนอร์ 4 คัน หัวลากเทลเลอร์ 2 คัน ระยะทางในการเก็บขนรวมทั้งหมด 2,140 กิโลเมตรต่อวัน ใช้น้ำมันเฉลี่ย 565.87 ลิตรต่อวัน

4.2.3.1 การจัดการขยะมูลฝอยในจังหวัดภูเก็ต

จังหวัดภูเก็ตมีปริมาณขยะมูลฝอยในแต่ละวันเท่ากับ 370 ตัน/วัน แต่ระบบการจัดการขยะมูลฝอยนั้นสามารถรองรับได้เพียง 250 ตัน/วันเท่านั้น รูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ต มี 3 วิธีการคือ การฝังกลบ การเผา และการรีไซเคิล โดยองค์ประกอบของเสียในเขตจังหวัดภูเก็ตประกอบด้วย เศษอาหารคิดเป็นร้อยละ 44.13 พลาสติกคิดเป็นร้อยละ 15.08 ไม้/แก้วคิดเป็นร้อยละ 14.93 และกระดาษคิดเป็นร้อยละ 14.74 โดยเทศบาลนครภูเก็ต ได้แบ่งสัดส่วนของเสียที่จะนำไปกำจัด ได้ ดังนี้ ขยะมูลฝอย 71% จะเข้าสู่กระบวนการเผาโดยเตาเผาขยะ 26% จะนำไปฝังกลบ และ 3% จะถูกนำไปรีไซเคิล

พื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ตนั้นมีพื้นที่ 120.63 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ 5 พื้นที่ แต่ละ พื้นที่แบ่งเป็น 3 ชั้น สูงชั้นละ 2 เมตร ในชั้นที่ 1 ของทุกพื้นที่ได้มีการฝังกลบขยะจนเต็มหมดแล้ว ความหนาแน่นในการบดอัดขยะ 550 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ดินในการกลบทับในแต่ละวันหนา 0.2 เมตรมีระบบการรวบรวมแก๊สที่เกิดจากหลุมฝังกลบ ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และมีการบำบัดน้ำชะขยะด้วยระบบ บ่อผึ่ง และ บ่อดกตะกอน

ข้อมูลจากพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ตที่นำมาใช้ในการประเมินวงจรชีวิตการจัดการกากของเสีย เช่น ปริมาณแก๊สที่เกิดจากหลุมฝังกลบ เป็นต้น

เตาเผาขยะมูลฝอยจังหวัดภูเก็ตนั้น สามารถเผาขยะได้ 250 ตันต่อวัน เป็นเตาเผาไฟฟ้า มีการจัดการมลพิษที่เกิดจากการเผา โดยใช้ Dry Scrubber เป็นตัวดักจับก๊าซที่เกิดขึ้น พลังงานที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า แล้วนำกลับมาใช้ในเตาเผาเอง ได้วันละ 2.5 เมกกะวัตต์ องค์ประกอบของมูลฝอยที่เข้าสู่เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต ดังแสดงในตารางที่ 4-8 มูลฝอยที่เข้าสู่เตาเผา มีค่าความชื้น 30.59 – 55.56 %

ตารางที่ 4-8 องค์ประกอบของมูลฝอยที่เข้าสู่เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต

องค์ประกอบมูลฝอย	ร้อยละ
พลาสติก	15.08
เศษอาหาร	18.12
ไม้/แก้ว	13.65
กระดาษ	11.45
เหล็ก/โลหะต่างๆ	3.44
เศษผ้า	3.06
ยาง	1.85
ของเสียที่ไม่สามารถเผาได้	15.44
อื่นๆ	8.72

ที่มา : เทศบาลนครภูเก็ต, 2548

ข้อมูลจากเตาเผาขยะของจังหวัดภูเก็ตที่นำมาใช้ในการประเมินวงจรชีวิตการจัดการกากของเสีย เช่น ปริมาณแก๊สที่เกิดจากการเผาขยะ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเตาเผา และเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาขยะ เป็นต้น

เมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวแล้ว นำมาสร้างตารางแสดงบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสีย โดยในตารางจะแสดงปริมาณการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน และการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสีย โดยบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสีย แสดงในตารางที่ 4-9

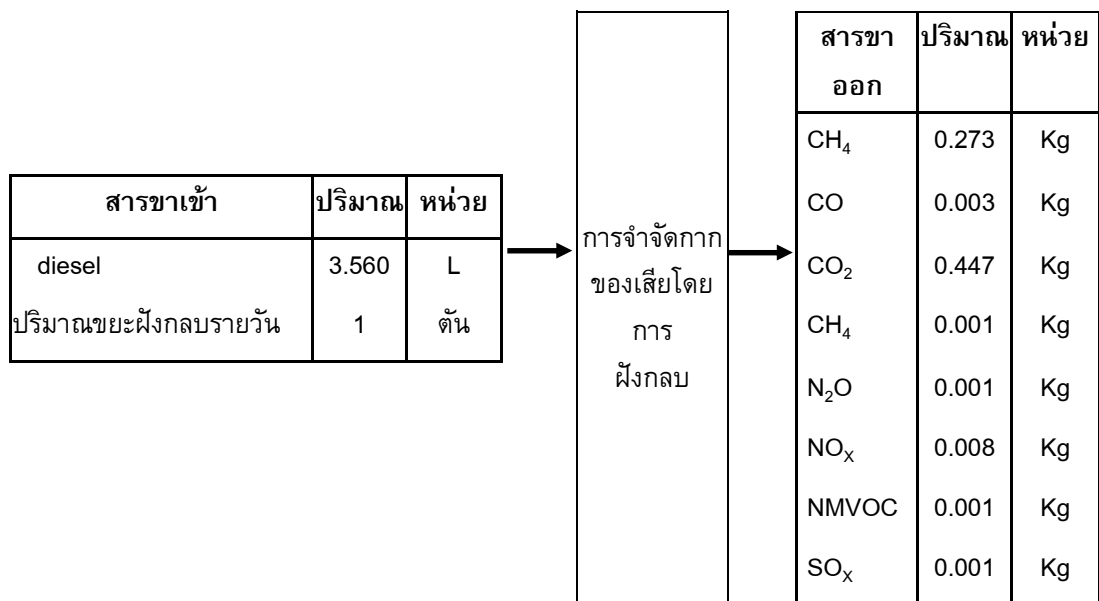
จากตารางที่ 4-9 สามารถสรุปบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสีย 1 ตัน ได้ 2 บัญชี คือ บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสียโดยการฝังกลบ และบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสียโดยการเผา

บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสียโดยการฝังกลบ ดังแสดงในรูปที่ 24 มีข้อมูล สารขาเข้า คือ ปริมาณของเสีย 1 ตัน น้ำมันเชื้อเพลิง 3.6 ลิตรต่อตันของเสีย สารขาออก เช่น ก๊าซ CO_2 ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด คือ 0.27 กิโลกรัม รองลงมาคือ CH_4 ปริมาณ 0.47 กิโลกรัม

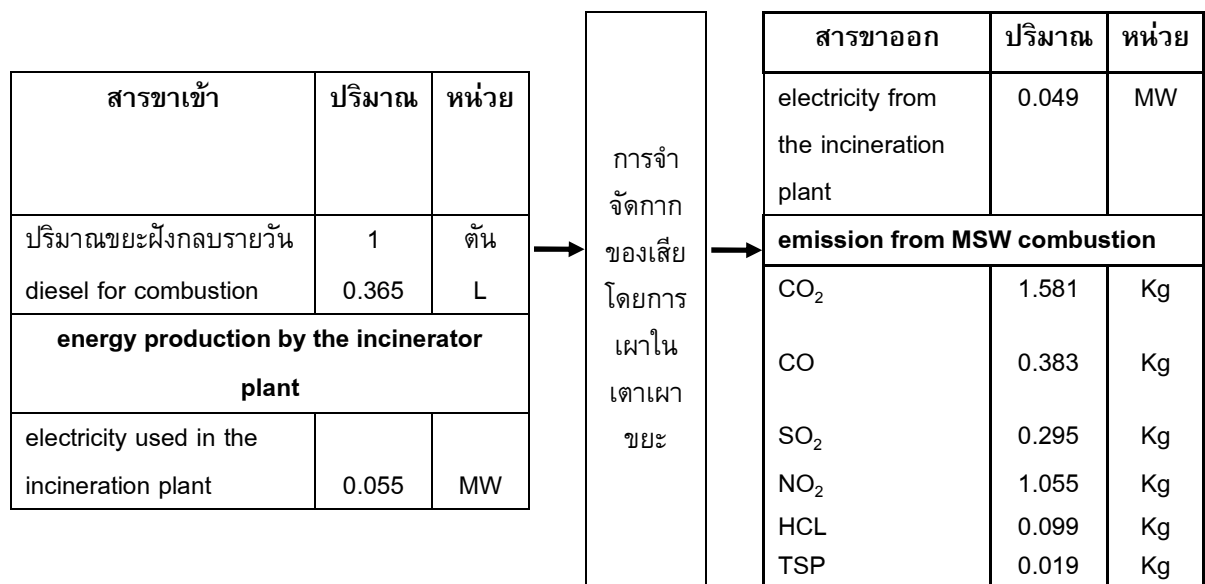
บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสียโดยการเผา มีข้อมูล สารขาเข้า คือ ปริมาณของเสีย 1 ตัน น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาขยะ 0.3650 ลิตร และ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเตาเผาขยะ 0.055 เมกกะวัตต์ สารขาออก เช่น พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ของขยะ 0.049 เมกกะวัตต์ ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งก๊าซที่มีปริมาณมากที่สุด คือ คาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ เท่ากับ 1.58 กิโลกรัม บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสียโดยการเผา แสดงในรูปที่ 4-10

ตารางที่ 4-9 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสีย 1 ตัน

environmental burdens	unit	incinerator	landfilling
Input			
ปริมาณขยะฝังกลบรายวัน	ตัน/วัน		1.60E+02
energy consumption			
น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถเก็บขยะ	L		3.56E+00
diesel for combustion	L	3.65E-01	
ไฟฟ้า	MW	5.53E-02	
Output			
electricity from the incineration plant	MW	4.99E-02	
emission from MSW combustion			
fossil CO ₂ (MSW combustion)	Kg	1.58E+00	
CO	Kg	3.83E-01	
SO ₂	Kg	2.95E-01	
NO ₂	Kg	1.08E+00	
HCL	Kg	9.93E-02	
TSP	Kg	1.86E-02	
emission from MSW spreading			
CH ₄ (from MSW degradation)	Kg		2.73E-01
CO	Kg		2.54E-03
CO ₂	Kg		4.47E-01
CH ₄	Kg		2.60E-05
N ₂ O	Kg		1.87E-05
NO _x	Kg		7.73E-03
NM VOC	Kg		1.11E-03
SO _x	Kg		1.39E-04



รูปที่ 4-10 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสียโดยการฝังกลบ



รูปที่ 4-11 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาขยะ

4.3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

วิธีในการประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ นี้ได้ทำการประเมินตามวิธีอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 โดยแบ่งขั้นตอนในการประเมินได้ 4 ขั้นตอน คือ การกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย การทำบัญชีรายการข้อมูล การประเมินผลกระทบ และการแปลผล

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ได้ทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากการใช้กากของเสียมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเตาเผาปูนซีเมนต์ การใช้เชื้อเพลิงปกติในเตาเผาปูนซีเมนต์ การกำจัดกากของเสียด้วยการฝังกลบ การกำจัดกากของเสียด้วยวิธีการเผาในเตาเผาขยะ และการกำจัดกากของเสียด้วยการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์

ในการวิจัยนี้สามารถแบ่งกลุ่มผลกระทบได้เป็น 3 ด้านคือ กลุ่มผลกระทบต่อระบบนิเวศ กลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และกลุ่มผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร เพื่อพิจารณาว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญ หรือรุนแรงที่สุด โดยได้ทำการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบที่จะนำมาใช้แสดงผลทั้งสิ้น 5 กลุ่มผลกระทบ

4.3.1 การคัดเลือก

ถึงแม้ว่าในประเทศไทยจะมีการศึกษา และทำการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ในหลายๆประเภท แต่ก็ยังไม่เคยมีการศึกษาวงจรชีวิตของเชื้อเพลิงทางเลือกโดยตรง

ดังนั้นการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบที่มีความเหมาะสมกับการประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ จึงอาศัยเกณฑ์ คือ ศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทยนั้น และกลุ่มผลกระทบที่นิยมใช้ในการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทย มีทั้งหมด 11 กลุ่ม(รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1) ได้แก่ สภาวะโลกร้อน การลดลงของชั้นโอโซน การเกิดฝนกรด ปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ การเกิดหมอกควันพิษ การเกิดสารมลพิษปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม การเกิดความเป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์ การเกิดกากของเสียและซีเมนต์ การเกิดของเสียอันตราย การทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง การใช้พื้นที่ ซึ่งกลุ่มผลกระทบที่ถูกนำมาใช้นั้น เป็นกลุ่มผลกระทบที่เป็นที่สนใจในประเทศไทย และได้มีงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์หลายชิ้นใช้กลุ่มผลกระทบเหล่านี้ในการศึกษา

และในงานวิจัยในครั้งนี้เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบพิจารณาจาก ดัชนีชี้วัดในแต่ละกลุ่มผลกระทบ และจากกลุ่มผลกระทบนิยมใช้ในการประเมินวงจรชีวิตในประเทศไทย ด้วย จึงได้คัดเลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมเหล่านี้มา 4 กลุ่ม คือ 1) สภาวะโลกร้อนโดยมีดัชนีชี้วัด เช่น CO_2 , N_2O , CH_4 และ CFC 2) การเกิดฝนกรด โดยมีดัชนีชี้วัด เช่น SO_x , NO_x 3) การเกิดปฏิกิริยาธาตุอาหารในน้ำเพิ่มขึ้นโดยมีดัชนีชี้วัด เช่น N_2O , NO_x 4) การเกิดหมอกควันพิษโดยมีดัชนีชี้วัด เช่น CO และ 5)การทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง โดยกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่นำมาพิจารณาในการประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ แสดงไว้ใน ตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 กลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่นำมาพิจารณาในการประเมินวงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือกในอุตสาหกรรมซีเมนต์

Environmental Impact Category	Unit
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq.
Acidification Potential (AP)	kg SO ₂ eq.
Eutrophication Potential (EP)	kg N eq.
Photochemical Smog Potential (PSP)	kg VOC eq.
Abiotic Depletion	Kg Sb eq.

4.3.2 การจำแนกกลุ่มผลกระทบ

หลังจากที่ทำการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบแล้ว จะพิจารณาสารออกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่ได้ทำการศึกษา แล้วนำมาเปรียบเทียบกับดัชนีชี้วัดของกลุ่มผลกระทบ ว่ามีก๊าซใดที่เข้ากับกลุ่มผลกระทบใดและทำการจำแนกกลุ่มผลกระทบตามดัชนีชี้วัดของแต่ละกลุ่มผลกระทบ โดยทำการจำแนกกลุ่มผลกระทบตามดัชนีชี้วัดของแต่ละกลุ่มผลกระทบ ดังแสดงในตาราง ที่ 4-11 ถึง ตารางที่ 4-19

จากตารางที่ 4-11 ถึงตารางที่ 4-19 สามารถสรุปได้ว่าสารออกจากการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้เชื้อเพลิงทางเลือก มีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศเป็นสำคัญ โดยมี สารมลพิษ ได้แก่ CO₂ CO NO_x SO_x N₂O และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผลกระทบ ศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน การเกิดฝนกรด ปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล น้ำหมอกควันพิษ และทรัพยากรธรรมชาติลดลง

ตารางที่ 4-11 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินลิกไนต์

วงจรชีวิตการผลิต ปูนซีเมนต์	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
ลิกไนต์ (kg)	169.770				
น้ำมันเตา (kg)	81.400				
ไฟฟ้า (Mw)	0.010				
OUTPUT					
CO ₂ (kg)		212			
CO (kg)		433			433
NO _x (kg)			376	376	376
SO ₂ (kg)					
total VOC (kg)					8.490

ตารางที่ 4-12 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทน้ำมันใช้แล้ว

วงจรชีวิตเชื้อเพลิง ทางเลือก น้ำมันใช้แล้ว	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
น้ำมันใช้แล้ว (kg)					
ลิกไนต์ (kg) 95%	161.270				
ไฟฟ้า (Mw)	0.010				
OUTPUT					
CO ₂ (kg)		204.571			
CO (kg)					422.632
NO _x (kg)			361.751	361.752	361.752
SO ₂ (kg)			237.501		
N ₂ O (kg)		3.620	3.620	3.620	3.620

ตารางที่ 4-13 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทน้ำมันแวกซ์

วงจรชีวิตเชื้อเพลิง ทางเลือก น้ำมันแวกซ์	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
น้ำมันแวกซ์ (kg)					
ลิกไนต์ (kg)	161.270				
ไฟฟ้า (Mw)	0.010				
OUTPUT					
CO ₂ (kg)		204.570			
CO (kg)					422.632
NO _x (kg)			361.751	361.751	361.751
SO ₂ (kg)			237.501		
N ₂ O (kg)		3.620	3.620	3.620	3.620

ตารางที่ 4-14 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทยางรถยนต์เก่า

วงจรชีวิตเชื้อเพลิง ทางเลือก ยางรถยนต์เก่า	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
ยางรถยนต์เก่า (kg)					
ลิกไนต์ (kg)	161.270				
ไฟฟ้า (Mw)	0.010				
OUTPUT					
CO ₂ (kg)		204.571			
CO (kg)					422.631
NO _x (kg)			361.751	361.751	361.751
SO ₂ (kg)			237.501		
N ₂ O (kg)		3.620	3.620	3.620	3.620

ตารางที่ 4-15 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทเศษยาง

วงจรชีวิตเชื้อเพลิง ทางเลือก เศษยาง	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
เศษยาง (kg)					
ลิกไนต์ (kg)	161.270				
ไฟฟ้า (Mw)	0.010				
OUTPUT					
CO ₂ (kg)		204.570			
CO (kg)					422.631
NO _x (kg)			361.751	361.751	361.751
SO ₂ (kg)			237.500		
N ₂ O (kg)		3.620	3.620	3.620	3.620

ตารางที่ 4-16 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทขยะถุงพลาสติกจากชุมชน

วงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือก ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน (kg)					
ลิกไนต์ (kg)	161.270				
ไฟฟ้า (Mw)	0.010				
OUTPUT					
CO ₂ (kg)		204.570			
CO (kg)					422.631
NO _x (kg)			361.751	361.751	361.751
SO ₂ (kg)			237.500		
N ₂ O (kg)		3.620	3.620	3.620	3.620

ตารางที่ 4-17 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภทเศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า

วงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือก เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า					
(kg)					
ลิกไนต์ (kg)	161.270				
ไฟฟ้า (Mw)	0.010				
OUTPUT					
CO ₂ (kg)		204.570			
CO (kg)					422.632
NO _x (kg)			361.751	361.751	361.751
SO ₂ (kg)			237.500		
N ₂ O (kg)		3.620			

ตารางที่ 4-18 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ประเภท ขยะพลาสติกประเภทโพลิเมอร์

วงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือก ขยะพลาสติกประเภทโพลิ เมอร์	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
ขยะพลาสติกประเภท					
โพลิเมอร์ (kg)					
ลิกไนต์ (kg)	161.270				
ไฟฟ้า (Mw)	0.010				
OUTPUT					
CO ₂ (kg)		204.570			
CO (kg)					422.633
NO _x (kg)			361.752	361.752	361.752
SO ₂ (kg)			237.500		
N ₂ O (kg)		3.620	3.620	3.620	3.620

ตารางที่ 4-19 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยใช้เชื้อเพลิงทุกชนิดเผารวมกัน

วงจรชีวิตเชื้อเพลิงทางเลือก ทุกชนิดเผารวมกัน	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดเผารวมกัน					
5%					
ลิกไนต์ (kg)	161.270				
OUTPUT					
CO ₂ (kg)		204.570			
CO (kg)					422.632
NO _x (kg)			361.752	361.752	361.752
SO ₂ (kg)			237.500		
N ₂ O (kg)		3.620	3.620	3.620	3.620

ตาราง ที่ 4-20 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการการของเสียด้วยการการฝังกลบมูลฝอย 1 ตัน

วงจรชีวิตการจัดการการของ เสียด้วยการฝังกลบ	การลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
พื้นที่ในการฝังกลบ (ลบ.ม.)	0.007				
น้ำมันรถเก็บขน (ลิตร)	162				
OUTPUT					
CH ₄ (from MSW degradation) (Kg)		2.730E-01			2.739E-01
CO (Kg)					2.541E-03
CO ₂ (Kg)		4.471E-01			
N ₂ O (Kg)		1.871E-05	1.871E-05	1.871E-05	1.871E-05
NO _x (Kg)			7.730E-03	7.730E-03	7.730E-03
NMVOC (Kg)					1.110E-03
SO _x (Kg)			1.399E-04		

ตาราง ที่ 4-21 การจำแนกกลุ่มผลกระทบตามข้อมูลในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการการของเสียด้วยการเผาในเตาเผาขยะมูลฝอย มูลฝอย 1 ตัน

วงจรชีวิตการจัดการการของเสียด้วยเผาในเตาเผาขยะ	การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ	GWP	AP	EP	PSP
INPUT					
electricity from the incineration plant (MW)	- 0.055				
energy production by the incinerator plant	+ 0.049				
OUTPUT					
SO ₂ (Kg)			0.295		
NO ₂ (Kg)			1.580	1.580	
CO ₂ (Kg)		0.221			
CO (Kg)					0.0013
CH ₄ (Kg)		1.288E-05			1.288E-05
N ₂ O (Kg)		9.255E-06			
NO _x (Kg)			3.821E-03	3.821E-03	
NM VOC (Kg)					5.530E-04
SO _x (Kg)			6.860E-05		

4.3.3 การกำหนดบทบาท หรือความสามารถที่ทำให้เกิดผลกระทบ

ขั้นตอนการกำหนดบทบาท หรือความสามารถที่ทำให้เกิดผลกระทบ จะนำไปสู่การแปลผลหรือการตีความ ฐานข้อมูลบัญชีสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์ จำถูกนำมาเปรียบเทียบว่าเชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตปูนซีเมนต์ชนิดใด ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปใช้ และสามารถเลือกวิธีการกำจัดกากของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดด้วย

4.3.3.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน

การพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อม จะคำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมจากการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน โดยจะทำการพิจารณา ใน 5 กลุ่มผลกระทบ ได้ผลดัง ตารางที่ 23 ถึงตารางที่ 27

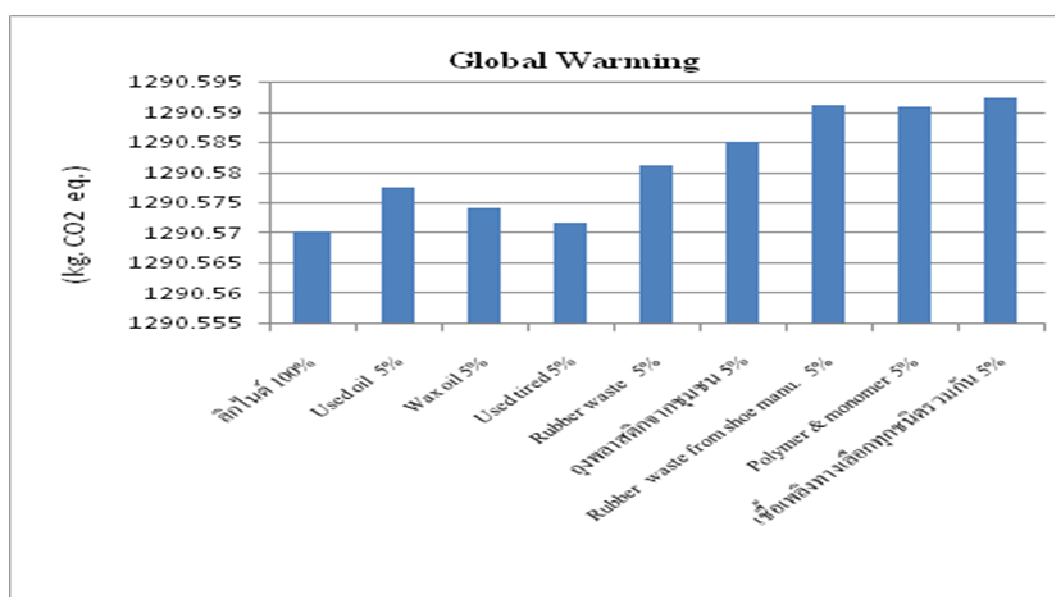
1.) ศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน

การผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน โดยใช้เชื้อเพลิงปกติ 95% ร่วมกับเชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกัน 5% จะทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนมากที่สุด เท่ากับ 1,290.59226 kg CO₂ eq. รองลงมาคือเชื้อเพลิงปกติ 95% ร่วมกับเชื้อเพลิง

ทางเลือกประเภท เศษยางจากกระบวนการผลิตรองเท้า 5% ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนมากที่สุด เท่ากับ 1,290.59110 kg CO₂ eq.

ตารางที่ 4-22 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน

วงจรชีวิต	Global Warming (kg. CO ₂ eq.)	สัดส่วนเทียบกับการใช้ลิ้นไนด์ 100%
ลิ้นไนด์ 100%	1290.57001	100 %
ลิ้นไนด์ 95% + น้ำมันใช้แล้ว 5%	1,290.57737	เพิ่มขึ้น 0.00057 %
ลิ้นไนด์ 95% + น้ำมันแวกซ์ 5%	1,290.57403	เพิ่มขึ้น 0.00031 %
ลิ้นไนด์ 95% + ยางรถยนต์เก่า 5%	1,290.57157	เพิ่มขึ้น 0.00012 %
ลิ้นไนด์ 95% + เศษยาง 5%	1,290.58115	เพิ่มขึ้น 0.00086 %
ลิ้นไนด์ 95% + ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน 5%	1,290.58508	เพิ่มขึ้น 0.00117 %
ลิ้นไนด์ 95% + เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า 5%	1,290.59110	เพิ่มขึ้น 0.00163 %
ลิ้นไนด์ 95% + ขยะพลาสติกประเภทโพลิเมอร์ 5%	1,290.59091	เพิ่มขึ้น 0.00162 %
ลิ้นไนด์ 95% + เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกัน 5%	1,290.59226	เพิ่มขึ้น 0.00172 %



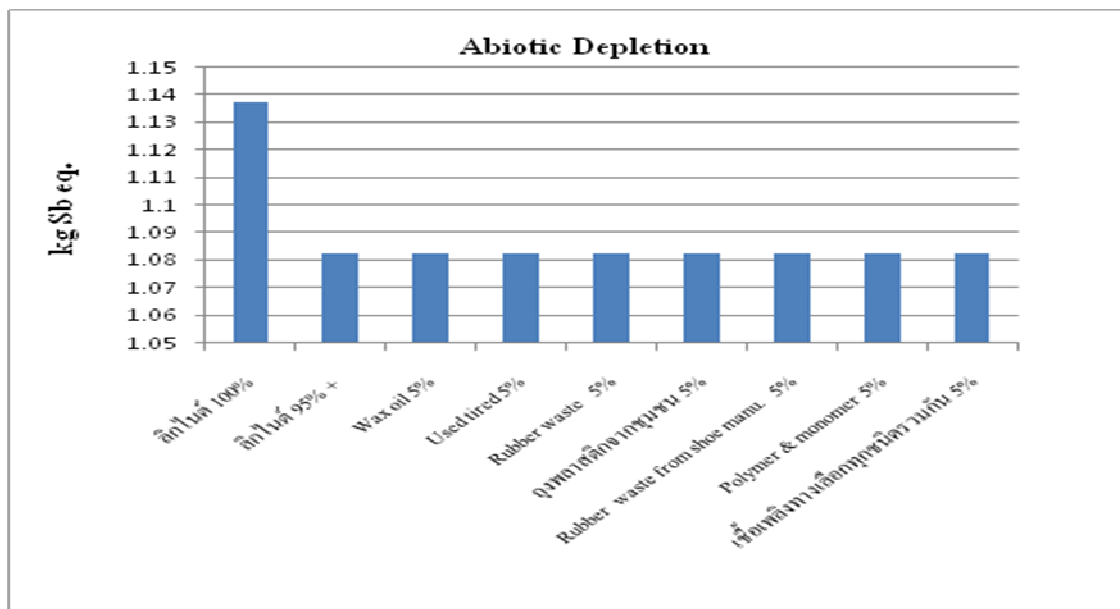
รูปที่ 4-12 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน

2.) ศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง

การผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน โดยใช้เชื้อเพลิงปกติ 100% ทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกลุ่มศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลงเท่ากับ 1.13746 kg Sb eq.

ตารางที่ 4-23 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง

วงจรชีวิต	Abiotic Depletion (kg Sb eq.)	สัดส่วนเทียบกับ การใช้ลิignite 100%
ลิignite 100%	1.13746	100 %
ลิignite 95% + น้ำมันใช้แล้ว 5%	1.082183	ลดลง 4.85969 %
ลิignite 95% + น้ำมันแวกซ์ 5%	1.082183	ลดลง 4.85969 %
ลิignite 95% + ยางรถยนต์เก่า 5%	1.082183	ลดลง 4.85969 %
ลิignite 95% + เศษยาง 5%	1.082183	ลดลง 4.85969 %
ลิignite 95% + ขยะประเภทพลาสติกจากชุมชน 5%	1.082183	ลดลง 4.85969 %
ลิignite 95% + เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า 5%	1.082183	ลดลง 4.85969 %
ลิignite 95% + ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ 5%	1.082183	ลดลง 4.85969 %
ลิignite 95% + เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกัน 5%	1.082183	ลดลง 4.85969 %



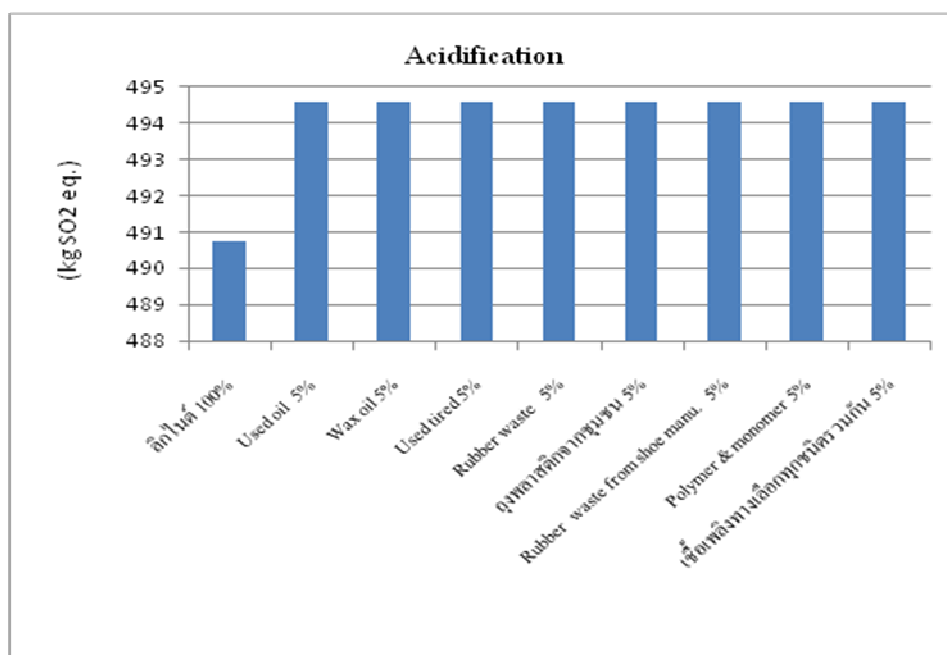
รูปที่ 4-13 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง

3.) ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด

ผลกระทบในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรดนั้น การใช้เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิด มีแนวโน้มในการทำให้เกิดผลกระทบในกลุ่มนี้ใกล้เคียงกัน ยกเว้นแต่การใช้เชื้อเพลิงปกติ คือ ลิกไนต์ 100% จะมีแนวโน้มการเกิดผลกระทบในกลุ่มนี้น้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ คือ 490.725 kg SO₂ eq.

ตารางที่ 4-24 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด

วงจรชีวิต	Acidification (kg SO ₂ eq.)	สัดส่วนเทียบกับการใช้ลิกไนต์ 100%
ลิกไนต์ 100%	490.72500	100 %
ลิกไนต์ 95% + น้ำมันใช้แล้ว 5%	494.59923	เพิ่มขึ้น 0.78949 %
ลิกไนต์ 95% + น้ำมันแวกซ์ 5%	494.59911	เพิ่มขึ้น 0.78947 %
ลิกไนต์ 95% + ยางรถยนต์เก่า 5%	494.59916	เพิ่มขึ้น 0.78948 %
ลิกไนต์ 95% + เศษยาง 5%	494.59904	เพิ่มขึ้น 0.78945 %
ลิกไนต์ 95% + ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน 5%	494.59950	เพิ่มขึ้น 0.78955 %
ลิกไนต์ 95% + เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า 5%	494.59948	เพิ่มขึ้น 0.78954 %
ลิกไนต์ 95% + ขยะพลาสติกประเภทโฟลิมเมอร์ 5%	494.59978	เพิ่มขึ้น 0.78960 %
ลิกไนต์ 95% + เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกัน 5%	494.60014	เพิ่มขึ้น 0.78968 %



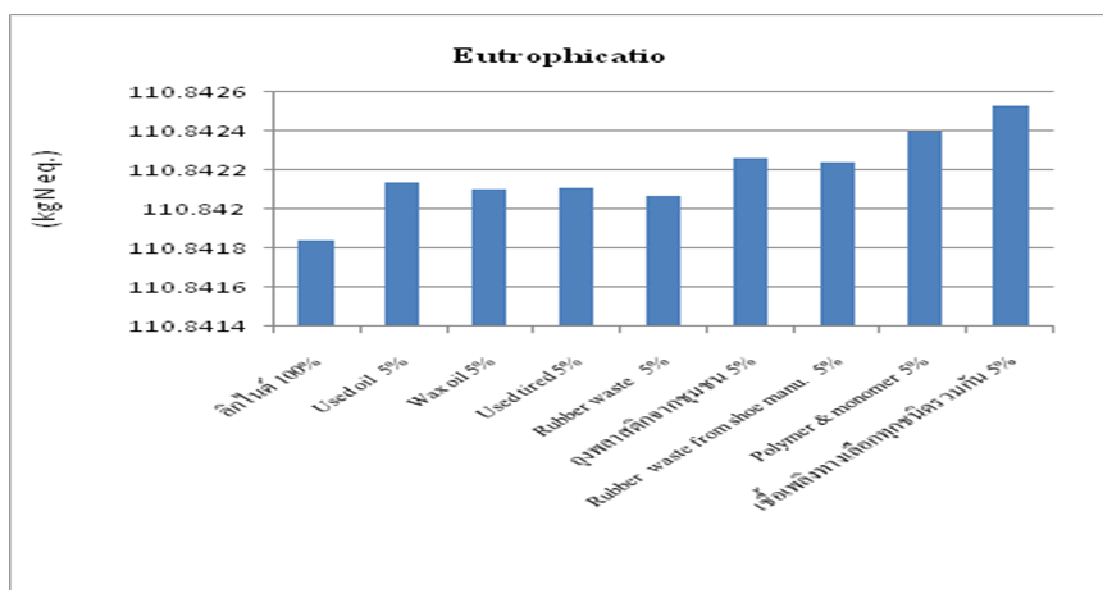
รูปที่ 4-13 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด

4.) ศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ

ผลกระทบในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำนั้น การผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน โดยใช้เชื้อเพลิงปกติ 95% ร่วมกับเชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิด ผสมกัน 5% จะทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำมากที่สุด เท่ากับ 110.84253 kg N eq รองลงมาคือเชื้อเพลิงปกติ 95% ร่วมกับเชื้อเพลิงทางเลือกประเภท ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ 5% ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม 110.84240 kg N eq

ตารางที่ 4-25 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ

วงจรชีวิต	Eutrophication (kg N eq.)	สัดส่วนเทียบกับการใช้ลิแกนด์ 100%
ลิแกนด์ 100%	110.84184	100 %
ลิแกนด์ 95% + น้ำมันใช้แล้ว 5%	110.84214	เพิ่มขึ้น 0.00027 %
ลิแกนด์ 95% + น้ำมันแวกซ์ 5%	110.84210	เพิ่มขึ้น 0.00023 %
ลิแกนด์ 95% + ยางรถยนต์เก่า 5%	110.84211	เพิ่มขึ้น 0.00024 %
ลิแกนด์ 95% + เศษยาง 5%	110.84207	เพิ่มขึ้น 0.00021 %
ลิแกนด์ 95% + ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน 5%	110.84226	เพิ่มขึ้น 0.00038 %
ลิแกนด์ 95% + เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า 5%	110.84224	เพิ่มขึ้น 0.00036 %
ลิแกนด์ 95% + ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ 5%	110.84240	เพิ่มขึ้น 0.00051 %
ลิแกนด์ 95% + เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกัน 5%	110.84253	เพิ่มขึ้น 0.00062 %



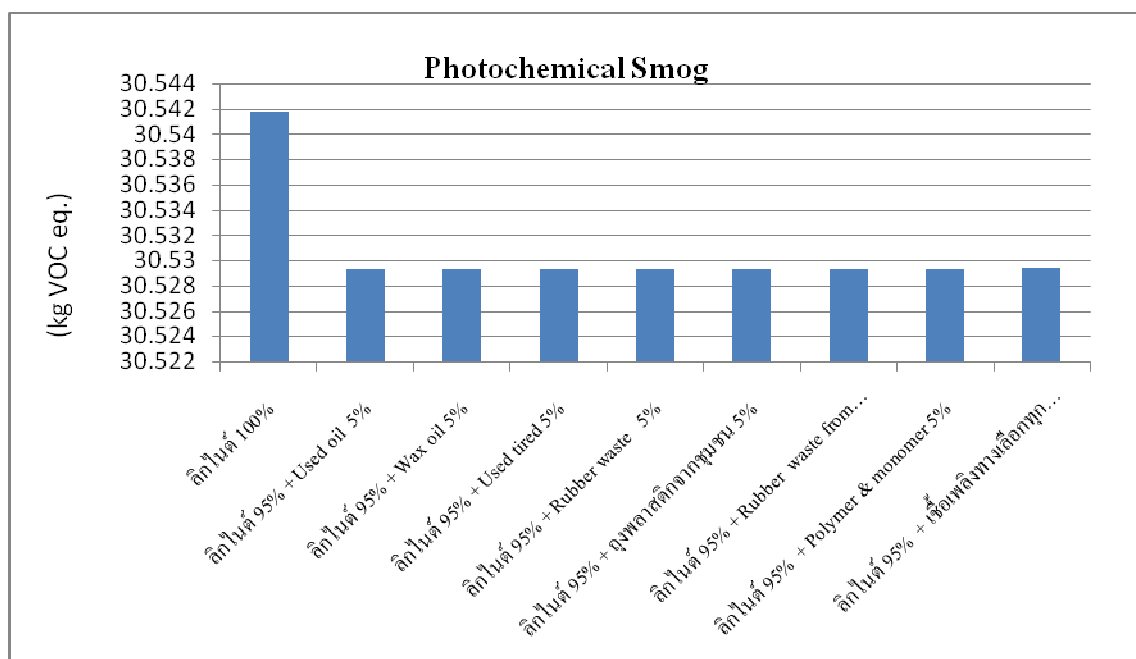
รูปที่ 4-14 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ

5.) ศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะหมอกควันพิษ

การผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน โดยใช้เชื้อเพลิงปกติ 100% ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะหมอกควันพิษเท่ากับ 30.54182 kg VOC eq. การใช้เชื้อเพลิงทางเลือกชนิดอื่น ๆ นั้นจะส่งผลกระทบในกลุ่มนี้ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-26 แสดงค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะหมอกควันพิษ

วงจรชีวิต	Photochemical Smog (kg VOC eq.)	สัดส่วนเทียบกับการใช้ลิกไนต์ 100%
ลิกไนต์ 100%	30.54182	100 %
ลิกไนต์ 95% + น้ำมันใช้แล้ว 5%	30.52928	ลดลง 0.04106 %
ลิกไนต์ 95% + น้ำมันแวกซ์ 5%	30.52927	ลดลง 0.04109 %
ลิกไนต์ 95% + ยางรถยนต์เก่า 5%	30.52927	ลดลง 0.04109 %
ลิกไนต์ 95% + เศษยาง 5%	30.52925	ลดลง 0.04116 %
ลิกไนต์ 95% + ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน 5%	30.52931	ลดลง 0.04096 %
ลิกไนต์ 95% + เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า 5%	30.52930	ลดลง 0.04099 %
ลิกไนต์ 95% + ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ 5%	30.52934	ลดลง 0.04086 %
ลิกไนต์ 95% + เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกัน 5%	30.52938	ลดลง 0.04073 %



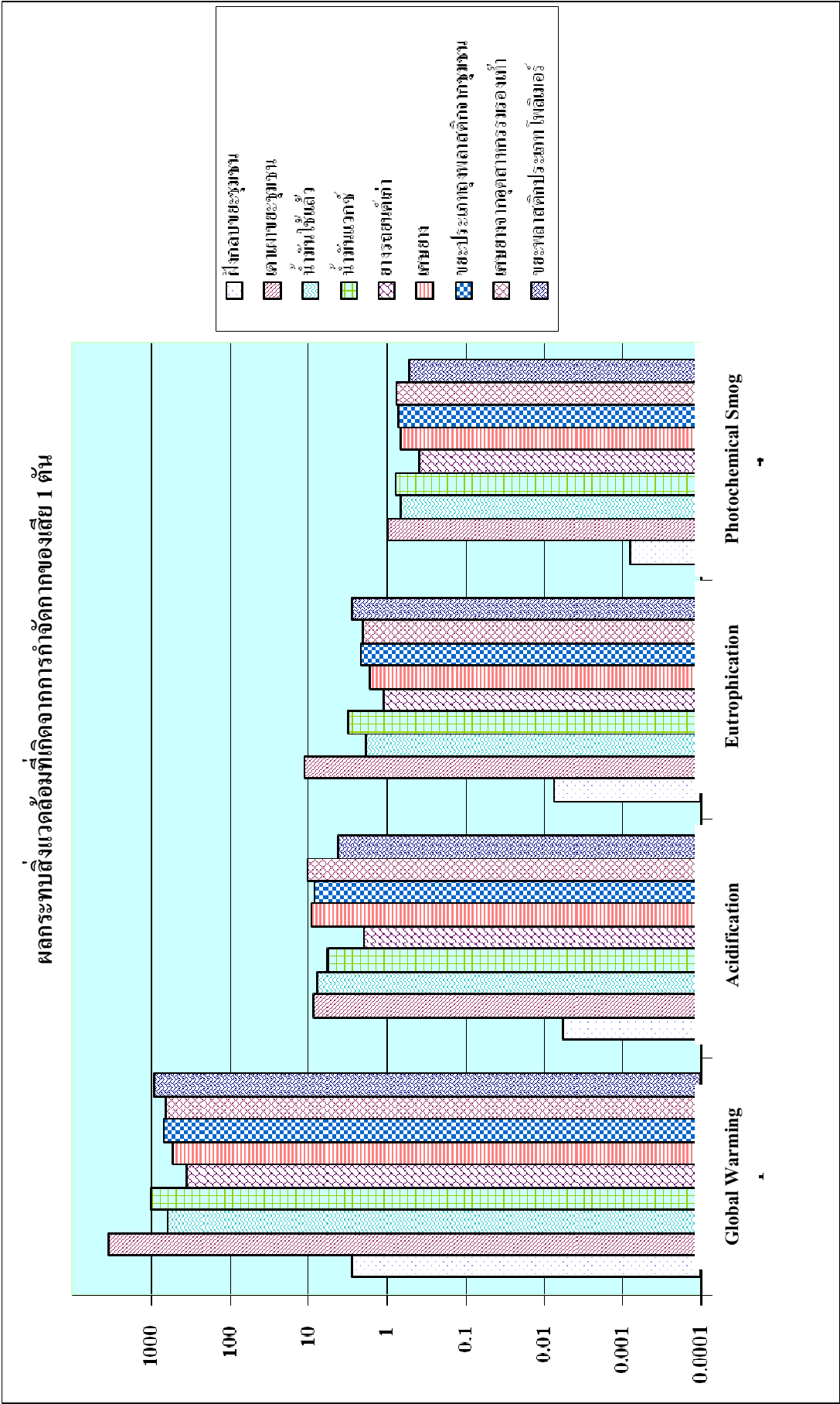
รูปที่ 4-15 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะหมอกควันพิษ

4.3.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสีย 1 ตัน

การนำกากของเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกนั้น นอกจากจะช่วยลดกากของเสียที่จะต้องนำไปกำจัดในพื้นที่ฝังกลบ และเตาเผาขยะแล้ว ยังช่วยลดการใช้ลิแกนด์ ที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติประเภทใช้แล้วหมดไปลงอีกด้วย ดังนั้นจึงได้มีการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมจากการกำจัดกากของเสีย 1 ตัน เพื่อประเมินความเหมาะสมของการกำจัดกากของเสียในวิธีการต่างๆ โดยจะทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมใน 4 กลุ่มผลกระทบ ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 4-27 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสีย 1 ตัน แบ่งตามกลุ่มผลกระทบ

กลุ่มผลกระทบ	Global Warming	Acidification	Eutrophication	Photochemical Smog
	(kg. CO ₂ eq.)	(kg SO ₂ eq.)	(kg N eq.)	(kg VOC eq.)
ฝังกลบ	2.766	0.00557	0.007262	0.000797
เตาเผา	3474.221	8.40101	10.8852	0.972792
เผาในเตาเผาปูนซีเมนต์				
น้ำมันใช้แล้ว	12,024.55	149.03	37.29	13.14
น้ำมันแวกซ์	20,016.04	112.57	62.43	15.19
ยางรถยนต์เก่า	6,979.87	39.35	21.73	7.66
เศษยาง	10,433.04	178.42	32.59	13.33
ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน	13,513.09	164.58	42.25	14.15
เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า	12,784.05	203.36	39.95	15.04
ขยะพลาสติกประเภทโพลีเมอร์	17,970.03	84.69	56.09	10.31



รูปที่ 4-16 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการกำจัดกากของเสีย 1 ตัน

จากรูปที่ 4-16 แสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสีย 1 ตัน การกำจัดกากของเสียประเภท น้ำมันแวกซ์ ในเตาเผาปูนซีเมนต์ จะทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในกลุ่มศักยภาพที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนคือ เท่ากับ 400,320.803 kg CO₂ eq. ศักยภาพที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำเท่ากับ 1,248.633 kg N eq. และ ศักยภาพที่ทำให้เกิดหมอกควันพิษ ในปริมาณ 303.769 kg VOC eq.

ส่วนศักยภาพที่ทำให้เกิดฝนกรดนั้น มีผลกระทบมากที่สุดเนื่องมาจากการกำจัดกากของเสียประเภท เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า ในเตาเผาปูนซีเมนต์ คือ ประมาณ 4,067.173 kg SO₂ eq.

จะพบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ มากกว่าผลกระทบจากการกำจัดกากของเสียโดยการเผา และการฝังกลบ

4.4 การตีความและแปลผล

จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่า การผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน โดยใช้เชื้อเพลิงทางเลือกผสมกับเชื้อเพลิงปกติ ในปริมาณ 5%ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด จะทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ในกลุ่มการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน การทำให้เกิดฝนกรด การทำให้เกิดปฏิกิริยา Eutrophication การทำให้เกิดหมอกควันพิษ และการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง ดังตารางที่ 4-26

ตารางที่ 4-28 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน

วงจรชีวิต	Global warming	เทียบกับ การใช้ ลิกไนต์ 100%	Abiotic depletion	เทียบกับ การใช้ ลิกไนต์ 100%	Acidification	เทียบกับ การใช้ ลิกไนต์ 100%	Eutrophication	เทียบกับ การใช้ ลิกไนต์ 100%	Photochemical smog	เทียบกับ การใช้ ลิกไนต์ 100%
ลิกไนต์ 100%	1290.57001	100 %	1.13746	100 %	490.72500	100 %	110.84184	100 %	30.54182	100 %
ลิกไนต์ 95% + น้ำมันใช้แล้ว 5%	1290.57737	เพิ่มขึ้น 0.00057 %	1.08218	ลดลง 4.85969 %	494.59923	เพิ่มขึ้น 0.78949 %	110.84214	เพิ่มขึ้น 0.00027 %	30.52928	ลดลง 0.04106 %
ลิกไนต์ 95% + น้ำมันแวกซ์ 5%	1290.57403	เพิ่มขึ้น 0.00031 %	1.08218	ลดลง 4.85969 %	494.59911	เพิ่มขึ้น 0.78947 %	110.84210	เพิ่มขึ้น 0.00023 %	30.52927	ลดลง 0.04109 %
ลิกไนต์ 95% + ยางรถยนต์เก่า 5%	1290.57157	เพิ่มขึ้น 0.00012 %	1.08218	ลดลง 4.85969 %	494.59916	เพิ่มขึ้น 0.78948 %	110.84211	เพิ่มขึ้น 0.00024 %	30.52927	ลดลง 0.04109 %
ลิกไนต์ 95% + เศษยาง 5%	1290.58115	เพิ่มขึ้น 0.00086 %	1.08218	ลดลง 4.85969 %	494.59904	เพิ่มขึ้น 0.78945 %	110.84207	เพิ่มขึ้น 0.00021 %	30.52925	ลดลง 0.04116 %
ลิกไนต์ 95% + ขยะถุงพลาสติก จากชุมชน 5%	1290.58508	เพิ่มขึ้น 0.00117 %	1.08218	ลดลง 4.85969 %	494.59950	เพิ่มขึ้น 0.78955 %	110.84226	เพิ่มขึ้น 0.00038 %	30.52931	ลดลง 0.04096 %
ลิกไนต์ 95% + เศษยางจาก อุตสาหกรรมรองเท้า 5%	1290.59110	เพิ่มขึ้น 0.00163 %	1.08218	ลดลง 4.85969 %	494.59948	เพิ่มขึ้น 0.78954 %	110.84224	เพิ่มขึ้น 0.00036 %	30.5293	ลดลง 0.04099 %
ลิกไนต์ 95% + ขยะพลาสติก ประเภทโพลีเมอร์ 5%	1290.59091	เพิ่มขึ้น 0.00162 %	1.08218	ลดลง 4.85969 %	494.59978	เพิ่มขึ้น 0.78960 %	110.84240	เพิ่มขึ้น 0.00051 %	30.52934	ลดลง 0.04086 %
ลิกไนต์ 95% + เชื้อเพลิง ทางเลือกทุกชนิดผสมกัน 5%	1290.59226	เพิ่มขึ้น 0.00172 %	1.08218	ลดลง 4.85969 %	494.60014	เพิ่มขึ้น 0.78968 %	110.84253	เพิ่มขึ้น 0.00062 %	30.52938	ลดลง 0.04073 %

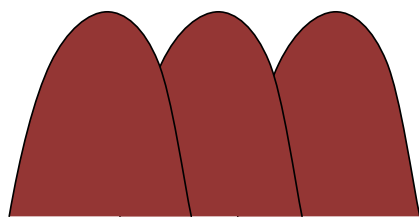
จากตารางที่ 4-28 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นมีความแตกต่างกันน้อยมาก เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มผลกระทบ พบว่าความแตกต่างจากการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ค)

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการเลือกใช้เชื้อเพลิงทางเลือกหรือเชื้อเพลิงปกติ ก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกนั้น ใช้ในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณของเชื้อเพลิงปกติ แต่ในกลุ่มผลกระทบ ศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลงการใช้เชื้อเพลิงลิกไนต์ 100% ทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกลุ่มศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลงมากที่สุดเท่ากับ 1.13746 kg Sb eq. ซึ่งข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกก็คือ สามารถลดการใช้เชื้อเพลิง ลิกไนต์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงประเภทใช้แล้วหมดไปลงได้

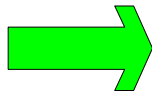
เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก โดยทำการเพิ่มปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ตั้งแต่ 5% ไปจนถึง 30% (ภาคผนวก ง) พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น มีความแตกต่างกันที่ระบับนัยสำคัญ 0.05% โดยที่ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก และกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ทำการศึกษา

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมการกำจัดกากของเสีย นั้น พบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดของเสียในเตาเผาปูนซีเมนต์ มีมากกว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสียโดยการฝังกลบ และการเผา ในทุกกลุ่มผลกระทบ

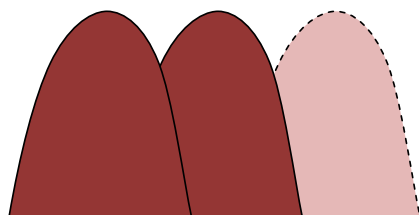
อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ ก็จะช่วยลดมลพิษ และของเสียที่จะต้องนำไปเผา และฝังกลบได้ ดังรูปที่ 4-17 แสดงตัวอย่างผลกระทบที่เกิดจากการกำจัดกากของเสียประเภทพลาสติกโดยเตาเผาปูน และเตาเผาขยะ



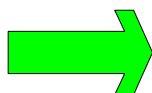
กากของเสีย



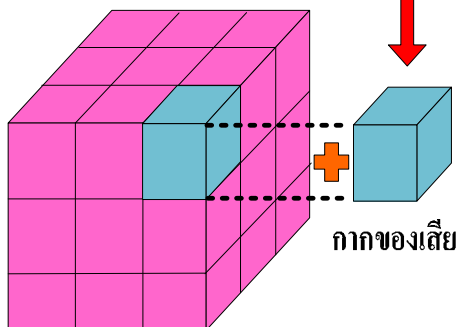
ฝังกลบ + เผา



กากของเสีย



ฝังกลบ + เผา

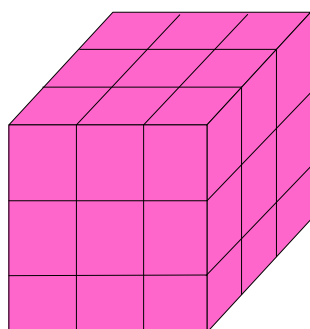


ลูกไนต์

กากของเสีย



ปูนซีเมนต์



ลูกไนต์



ปูนซีเมนต์

รูปที่ 4-17 การเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการกากของเสีย

จากรูปที่ 4-17 ยกตัวอย่างกรณีของกลุ่มผลกระทบการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน จะเห็นว่าเมื่อไม่มีการนำกากของเสียมากำจัดในเตาเผาปูนซีเมนต์ จะมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นจาก 2 แหล่ง คือ ผลที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงลิแกไนต์ 100% ในเตาเผาปูนซีเมนต์โดยเกิดผลกระทบในกลุ่มสภาวะโลกร้อน เท่ากับ 1,290.57 kg CO₂ eq. และ ผลที่เกิดจากการเผาขยะถุงพลาสติกในเตาเผาขยะจะเกิดผลกระทบในกลุ่มสภาวะโลกร้อน เท่ากับ 173.71 kg CO₂ eq. ดังนั้นปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกลุ่มสภาวะโลกร้อนจะเกิดขึ้น เท่ากับ 1,464.28 kg CO₂ eq. แต่เมื่อมีการนำกากของเสียมากำจัดในเตาเผาปูนซีเมนต์ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจะเหลือแหล่งที่มาเพียงแห่งเดียว เนื่องจากได้นำขยะถุงพลาสติกมาเผาในเตาเผาปูนแล้ว ผลกระทบจากการเผาในเตาเผาขยะก็จะไม่เกิดขึ้น อีกทั้งผลกระทบจากการใช้ลิแกไนต์ ก็จะลดลงเนื่องจากปริมาณการใช้ลิแกไนต์ลดลง 5% ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกลุ่มสภาวะโลกร้อนจะเกิดขึ้น เท่ากับ 1,291.0751 kg CO₂ eq. และปริมาณขยะถุงพลาสติกที่ต้องนำไปเผาในเตาเผา จะลดลงถึง 3.5 ตันต่อวัน แต่เนื่องจากการเผากากของเสียในเตาเผาขยะ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ วันละ 4.9 เมกกะวัตต์ ถ้ามีการนำกากของเสียไปกำจัดในเตาเผาปูนการผลิตกระแสไฟฟ้าจะลดลงเหลือ 4.83 เมกกะวัตต์ ทั้งนี้ปริมาณมลพิษที่ลดลงจะขึ้นอยู่กับชนิดของขยะที่นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการนำกากของเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกกลุ่มผลกระทบที่ทำการศึกษาไม่แตกต่างจากการใช้เชื้อเพลิงปกติในการเผาปูนซีเมนต์ ยกเว้นในกลุ่มของการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติประเภทใช้แล้วหมดไป พบว่าการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกสามารถลดการใช้ลิแกไนต์ต่อปีลงได้ในปริมาณมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกนั่นเอง

และในส่วนการกำจัดกากของเสียโดยเตาเผาปูนซีเมนต์ ถึงแม้ว่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการกำจัดกากของเสียโดยการเผา และฝังกลบ แต่ถ้ามีการนำกากของเสียมากำจัดโดยเตาเผาปูนซีเมนต์ ก็จะสามารถลดปริมาณกากของเสียที่ต้องนำไปกำจัดโดยการฝัง ซึ่งจะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานหลุมฝังกลบได้ และยังลดปริมาณของเสียที่เข้าสู่เตาเผาขยะ ทำให้ปริมาณมลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผาลดลงได้อีกด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การประเมินวงจรชีวิตกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ จะเป็นการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการนำเอากากของเสียต่างกัน 7 ชนิดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในเตาเผาปูนซีเมนต์ ของเสียเหล่านั้นได้แก่ น้ำมันใช้แล้ว (Used oil) กากน้ำมัน (Wax oil) ยางรถยนต์เก่า (Used tired) เศษยาง (Rubber waste) ขยะประเภทถุงพลาสติกจากชุมชน เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า (Rubber waste from shoe manufacturing) และ ขยะพลาสติกประเภทโพลิเมอร์ (Polymer and monomer)

โดยขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาเพียงกระบวนการเผาปูนเม็ด เนื่องจากผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจะเหมือนกันทุกกระบวนการในวงจรชีวิตของเชื้อเพลิงทุกชนิด แต่จะมีความแตกต่างกันเพียงจุดเดียว นั่นก็คือ มลพิษอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผาเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาปูนเม็ดเท่านั้น เพราะมลพิษอากาศที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงในการเผาปูนเม็ด ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ขอบเขตของการศึกษามีเพียงกระบวนการเผาปูนเม็ดเท่านั้นโดยมีหน่วยการทำงานที่พิจารณา คือ การผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน

และเพื่อศึกษาความเหมาะสมของการกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ จึงได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ กับการกำจัดกากของเสียด้วยวิธีปกติที่ใช้ในปัจจุบันโดยมีหน่วยการทำงานที่พิจารณา คือ ของเสียที่นำไปกำจัด 1 ตัน

การประเมินวงจรชีวิตการผลิตปูนซีเมนต์ ไม่ได้ทำการพิจารณาทางเทคนิค และทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากในทางเทคนิคนั้น โรงงานผู้ผลิตได้พิจารณาในเบื้องต้นมาบ้างแล้ว เช่น การเลือกกากของเสียมาใช้เชื้อเพลิงทางเลือกจะคัดเลือกจาก เป็นกากของเสียที่ง่ายต่อการขนส่งมายังโรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์ และไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

5.1.1 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการผลิตปูนซีเมนต์

เมื่อพิจารณาจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ พบว่าการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดจะพบปัญหาการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุด โดยเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิด CO มากที่สุดคือ การใช้ลิกันต์ 100% ซึ่งจะทำให้เกิด CO ถึง 422.84 กก. รองลงมาคือก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยเกิดจากการใช้ลิกันต์ 100% ถึง 361.86 กก. จากข้อมูลจะพบว่าการใช้ลิกันต์ 100% จะส่งผลให้เกิดก๊าซที่เป็นมลพิษอากาศมากที่สุด เนื่องมาจากปริมาณการใช้ลิกันต์นั้นมีถึง 95% แต่เชื้อเพลิงทางเลือกมีการใช้เพียง 5% เท่านั้น

บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการกำจัดกากของเสีย แบ่งเป็น บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสียโดยการฝังกลบและบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสีย

โดยการเผา ในการฝังกลบของเสียปริมาณของเสีย 1 ตันจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรในหลุมฝังกลบ 3.6 ลิตรต่อตันของเสีย มีก๊าซ CH_4 เกิดขึ้นมากที่สุด ปริมาณ 0.47 กิโลกรัม รองลงมาคือ CO_2 ในปริมาณ 0.27 กิโลกรัม และบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการจัดการกากของเสียโดยการเผา ของเสีย 1 ตัน ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาขยะ 0.3650 ลิตร และ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเตาเผาขยะ 0.055 เมกกะวัตต์ แต่จะมีพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ของขยะ 0.049 เมกกะวัตต์ ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งก๊าซที่มีปริมาณมากที่สุด คือ CO_2 จากการเผาไหม้ เท่ากับ 1.58 กิโลกรัม

และเมื่อเปรียบเทียบการกำจัดกากของเสียทั้ง 3 วิธีการ พบว่ามลพิษอากาศทุกชนิดที่เกิดจากการกำจัดกากของเสียโดยการเผาในเตาเผาปูนซีเมนต์ มีมากกว่าการกำจัดโดยการฝังกลบ และการเผา

5.1.2 เปรียบเทียบผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

การผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน โดยใช้เชื้อเพลิงทางเลือกผสมกับเชื้อเพลิงปกติ จะทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ในกลุ่มการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนในปริมาณ 1290.5 ถึง 1291.2 kg CO_2 eq. การทำให้เกิดฝนกรด ในปริมาณ 490.6 ถึง 490.7 kg SO_2 eq. การทำให้เกิดปฏิกิริยา Eutrophication ในปริมาณ 110.84 ถึง 110.84 kg N eq. และการทำให้เกิดหมอกควันพิษ 30.53 ถึง 30.54 kg VOC eq. โดยปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้น จะขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงที่ใช้ แต่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันน้อยมาก จนไม่มีนัยสำคัญเลยแต่ถ้าพิจารณาที่กลุ่มผลกระทบการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลงแล้วจะพบว่าการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกจะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงลิแกไนต์ ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติประเภทใช้แล้วหมดไปลงได้ และถ้าพิจารณาจากปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์ที่ในแต่ละวันมีการผลิตถึง 10,000 ตัน แล้วละก็สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินลิแกไนต์ที่ลดลงก็จะมากตามไปด้วย และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ตั้งแต่ 5% ไปจนถึง 30% พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นนั้นจะมากขึ้นตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกด้วย

การนำกากของเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกนั้น แม้ว่าจะส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าการกำจัดโดยการเผาและฝังกลบ แต่การนำกากของเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกนั้นจะช่วยลดกากของเสียที่จะต้องนำไปกำจัดในพื้นที่ฝังกลบ และเตาเผาลงได้ และยังช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการกำจัดของเสียลงไปได้อีกด้วย

5.2 การนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์

ปัจจุบัน ปริมาณก๊าซเรือนกระจก 3% ของทั้งโลกมีที่มาจากอุตสาหกรรม ผลิตปูนซีเมนต์ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิง ประเภทถ่านหินเป็นหลัก ดังนั้นการนำเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนมาใช้ ก็จะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน และลดการปล่อยก๊าซที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมลงได้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ถึงแม้ว่าการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกจะทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงปกติ แต่ความแตกต่างของผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นมีน้อยมากเมื่อเทียบกับหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา เมื่อพิจารณาว่าการผลิตปูนซีเมนต์จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก เพื่อแปรสภาพวัตถุดิบ ซึ่งเชื้อเพลิงที่บริษัท ใช้มาตั้งแต่อดีตก็คือ ถ่านหินและลิกไนต์ คาดว่าการนำเชื้อเพลิงทดแทนมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ทั่วโลก สามารถลดการใช้ถ่านหินได้มากกว่า 3 ล้านตันต่อปี ซึ่งนั่นหมายถึงการช่วยลดการปล่อยก๊าซปฏิกิริยาเรือนกระจกลงได้อย่างมาก และต้นทุนค่าพลังงานเป็นสัดส่วนที่มากเมื่อเทียบกับต้นทุนรวม ของการผลิต ปูนซีเมนต์ ดังนั้นการลดต้นทุนด้านพลังงานโดยใช้เชื้อเพลิงทดแทน จะเป็นการสร้างความสามารถในการแข่งขัน ให้กับภาคอุตสาหกรรม ภายในประเทศได้ และเตาเผาปูนซีเมนต์ยังสามารถรองรับการทำลายของเสียอันตรายได้เป็นจำนวนมาก จนมีความสามารถมากพอที่จะกำจัดกากของเสียในประเทศไทยทั้งหมดได้

ผลการศึกษาการประเมินวงจรชีวิตการผลิตปูนซีเมนต์ในครั้งนี้สามารถนำไปแสดงเป็นรายงานสิ่งแวดล้อมของทางโรงงานผู้ผลิตปูนซีเมนต์ได้ ว่าโรงงานมีการผลิตที่ใส่ใจและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และผู้ผลิตรายอื่นที่ต้องการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก สามารถนำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก ไปใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกใช้เชื้อเพลิงทางเลือกได้

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน เช่น ไม่สามารถทำการทดลองเผาเชื้อเพลิงทางเลือก ในสถานะที่เหมือนกับกระบวนการเผาปูนเม็ดในเตาเผาปูนซีเมนต์จริงได้ เนื่องจากในเตาเผาปูนซีเมนต์นั้นจะมีกระบวนการต่างๆ เกิดขึ้นเนื่องจากจากการเผาหินปูนที่อุณหภูมิสูง โดยหินปูนที่ถูกเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดเป็นปูนเม็ด และมลพิษอากาศจากการเผาไหม้จะถูกบำบัดโดยกระบวนการแคลซิเนชันในเตาเผาปูนซีเมนต์ แต่ในการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นไม่สามารถทำการเผาในอุณหภูมิที่เหมือนในเตาเผาจริง อีกทั้งไม่ได้มีการเผาหินปูนร่วมกับเชื้อเพลิงด้วย ทำให้กระบวนการแคลซิเนชันไม่สามารถเกิดขึ้นในเตาเผาในห้องปฏิบัติการได้ อีกทั้งข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการของเสียในประเทศไทยนั้นยังมีไม่เพียงพอ ทำให้ผู้วิจัยต้องนำข้อมูลการจัดการของเสียครัวเรือนมาใช้ในการเปรียบเทียบแทน

ผู้ที่สนใจจะทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตของเชื้อเพลิงทางเลือก ควร มีอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล เช่น ควรมีเตาทดลองที่สามารถจำลอง สภาวะการทำงานของเตาเผาปูนซีเมนต์ได้จริง หรือควรมีแหล่งข้อมูลที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการ ศึกษา เช่น ข้อมูลมลพิษอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในเตาเผาปูนซีเมนต์ จาก บริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์โดยตรง เป็นต้น

สำหรับผู้ที่ต้องการนำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ไปทำการศึกษา เพื่อต่อยอดงานวิจัยนั้น ควรมี การทำการศึกษาในส่วนของ เชื้อเพลิงทางเลือกชนิดอื่นๆ ที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นที่ต้องการต่อไปใน อนาคต หรือทดลองนำข้อมูลการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม มาทำการเปรียบเทียบผลกระทบ สิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น กับการจัดการกากของเสียในเตาเผาปูนซีเมนต์ เพื่อให้ผู้ผลิตที่เป็นต้นกำเนิด กากของเสียอุตสาหกรรมใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกวิธีการกำจัดกากของเสียต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ.สรุปรูปสถานการณ์มลพิษ 48. [ออนไลน์] 2005 [อ้างเมื่อ 10 มีนาคม 2550]. จาก
<http://www.pcd.go.th/public/Publications>
- กรมควบคุมมลพิษ.สรุปรูปสถานการณ์มลพิษ 50. [ออนไลน์] 2007 [อ้างเมื่อ 10 มีนาคม 2550]. จาก
<http://www.pcd.go.th/public/Publications>
- เจตพล เอมมณี. การจัดการกากอุตสาหกรรม: การจัดการกากอุตสาหกรรมในมุมมองการเผากำจัดใน
อุตสาหกรรมซีเมนต์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2547.
- ณรงค์สุข พฤฒิชัย. การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรตารีคอมเพรสเซอร์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2547.
- ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด(มหาชน). Environmental Solutions through
co-processing. [ออนไลน์] 2007 [อ้างเมื่อ 10 มีนาคม 2550]. จาก<http://www.siamcitycement.com/about/environmental/ecosiam/ecosiam.aspx?lang=th>
- พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์, อธิวัตร จิรจรียาเวช, วัชรพงษ์ ศิลาลิครักษา, วุฒิพงษ์ ปรีดาภักทรพงษ์ และ
บุญถม สุภาพพันธ์. คู่มือการจัดการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ภายใต้โครงการการ
จัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการ
สิ่งแวดล้อม. นนทบุรี: ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม; 2547.
- ปราณี พันธุมสินชัย. ISO14000 อนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมฉบับใหม่ พร้อมกฎหมาย
สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย; 2548.
- เศรษฐ์ สัมภิตตกุล. การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นพานิชย์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกลและพลังงาน]. เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2544.
- หทัยชนก นัตถาพร. การประเมินวงจรชีวิตเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ข้าว. [วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม]. นครราชสีมา: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2551.
- American National Standards Institute. Environmental Management Life Cycle Assessment: Principles
And Framework. [n.p]; 1997.
- Andrea corti and lidia Lombardi. End life tyres: Alternative final disposal processes compared by LCA.
Energy 29; 2004. p. 2089–2108.
- Umberto Arena, Maria Luara Mastellone, Floriana Perugini. Life Cycle Assessment Of Plastic Packing
Recycling System. Int J LCA; 2003. p. 92–98.
- Chalita Liamsanguan. Life Cycle Assessment Of Integrated Solid Waste Management In Phuket. [Doctor
of philosophy Thesis in Engineering]. Bangkok: The Graduate School of Energy and
Environment King Monkut's University of Technology Thonburi; 2005.
- Christina Seyler. Life Cycle Inventory for Use of Waste Solvent as Fuel Substitute in the Cement
Industry. Int J LCA; 2005. p. 120 – 130.

- Corti A, Lombardi L. End Life Tyres: Alternative Final Disposal Processes Compared By LCA. *Energy*; 2004. p. 2089-2108.
- Danis S. **Comparison Between The Incineration And The Co-Combustion In Cement Plants Of Industrial Wastes Using A Life Cycle Approach.** [online] 1999[cite 23 April 2007]
. Available from: http://www2.ulg.ac.be/cior-fsa/publicat/7lca_iw.pdf
- _____. **Use of LCI For The Decision-Making Of A Belgian Cement producer: A Common Methodology For Accounting CO2 Emission Related To The Cement Life Cycle.** [online] 2000 [cite 23 April 2007]. Available from: http://www2.ulg.ac.be/cior-fsa/publicat/8lca_cem.pdf
- Emek E, Kara YK. Hazardous Waste Management Problem: The Case Study For incineration. *Computer And Operations Research* 37; 2007. p. 1424-1441.
- Environment Agency. **Substitute fuels protocol for use on cement and lime kilns.** [online] 11 August 1999 [cite 9 June 2007]. Available from: http://www.wbcdcement.org/pdf/tf2/sfp_ppc2_131890.pdf
- Greenpeace. **Burning Hazardous Wastes In Cement Ki'** . [online] 2002 [cite 9 June 2007]. Available from: <http://archive.greenpeace.org/toxics/documents/altdetoxCement.pdf>
- Guo Q, Eckert J. Heavy Metal Outputs From A Cement Kiln Co-Fired With Hazardous Waste Fuels. *Journal Of Hazardous Materials* 51; 1996. p. 47-65.
- Issam A. Al-Khatib, Hassan A. Arafat, Thabet Basheer, Hadeel Shawahneh, Ammar Salahat, Jaafar Eid, et al. Trends And Problems Of Solid Waste Management In Developing Countries: A Case Study In Seven Palestinian Districts. *Waste Management*; 2007. p. 1910-1919.
- Kaantee U. Cement manufacturing using alternative fuels and the advantages of process modeling. *Fuel process technology*; 2004. p. 293-301.
- Kofoworola O.F. **Recovery and recycling practices in municipal solid waste management in Lagos, Nigeria.** *Waste Management*; 2007. p. 1139-1143.
- Lombardi L, Carnevale E, Corti A. **Greenhouse Effect Reduction And Energy Recovery From Waste Landfill.** *Energy* 31; 2006. p. 3208-3219.
- Mokrzycki E, Uliasz A. **Alternative Fuels For The Cement Industry.** *Apply Energy*; 2003. p. 95-100.
- _____. **Use Of Alternative Fuels In The Polish In Cement Industry.** *Apply Energy*; 2003. p. 101-111.
- Rodprasert N, Tantemsapya N, Yossapol C, Wirojanagud W, **Environmental Impact Evaluation of Flurescent Lamp Using Life Cycle Assessment.** Proceeding of the International Conference in Hazardous Waste Management for a Sustainable Future; 12 January 2006; Century Park Hotel. Bangkok, Thailand; 2006.
- Sate Sampattagul. Life Cycle Considerations of the Flue Gas Desulphurization Systemat a Lignite-Fired Power Plant in Thailand. *Int J LCA* 2004. p. 387 - 393.
- Thai LCA Network. **การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.** [ออนไลน์] 2001 [อ้างเมื่อ 10 มีนาคม 2546]. จาก <http://doi.eng.cmu.ac.th/Thailca>

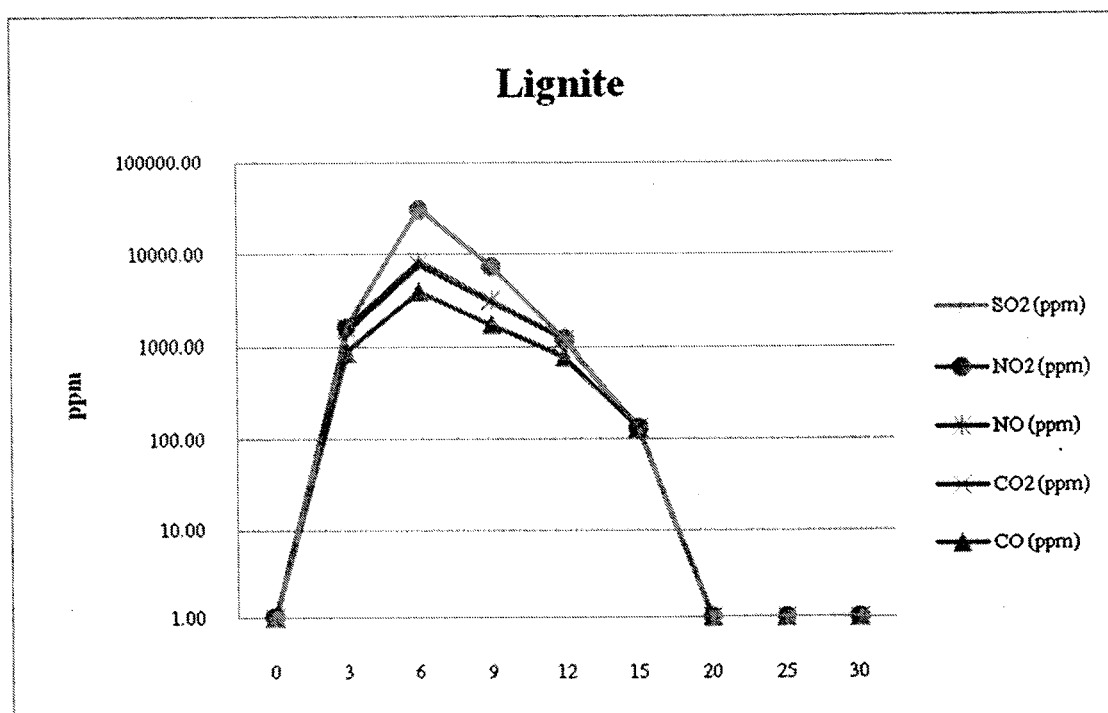
Wanida Wanichpongpan. **LifeCycle Assessment Of Municipal Solid Waste Landfill: A Case Study In Thailand.** [Master Thesis in Engineering]. Bangkok: The Graduate School of Energy and Environment King Monkut's University of Technology Thonburi; 2004.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดลองเผาเชื้อเพลิงทางเลือกในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 34 ผลการทดลองเผา lignite ในห้องปฏิบัติการ

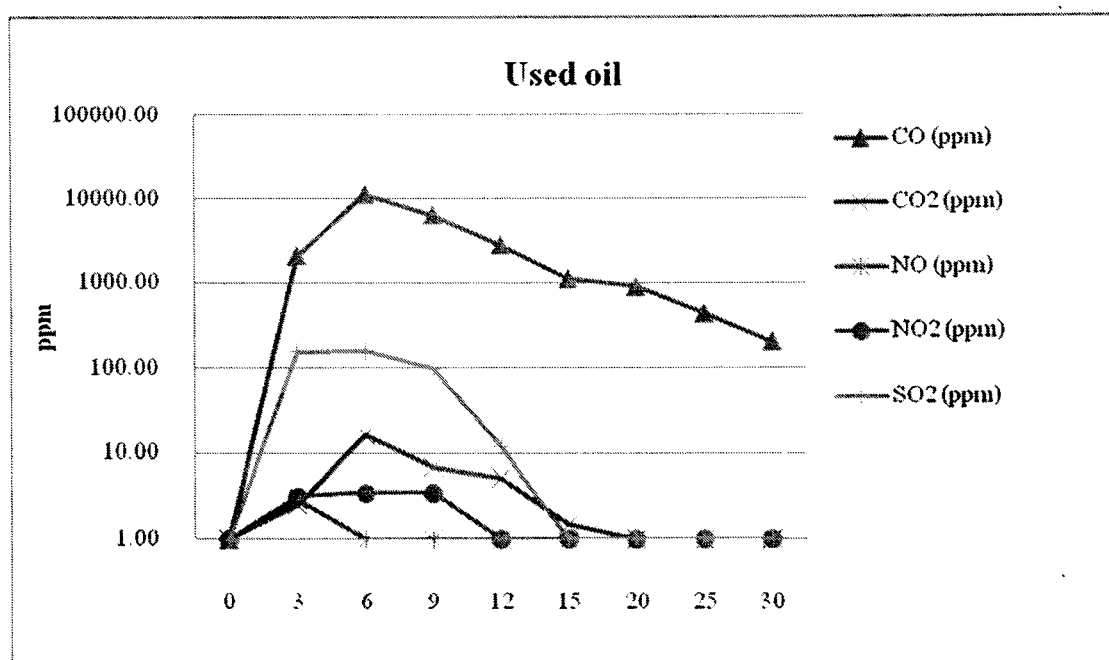
ชนิดของกากของเสีย	เวลาที่บันทึก (นาที)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
ลิกไนต์	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	886.83	576.80	144.20	0	0
	6	3937.44	3786.00	757.20	22716	0
	9	1726.78	1344.20	103.40	4136	0
	12	793.56	396.78	0.00	0	0
	15	133.25	0.00	0.00	0	0
	20	0.00	0.00	0.00	0	0
	25	0.00	0.00	0.00	0	0
	30	0.00	0.00	0.00	0	0



ภาพที่ 33 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดมลพิษอากาศจากการเผาเชื้อเพลิงลิกไนต์ในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 35 ผลการทดลองเผาน้ำมันใช้แล้วในห้องปฏิบัติการ

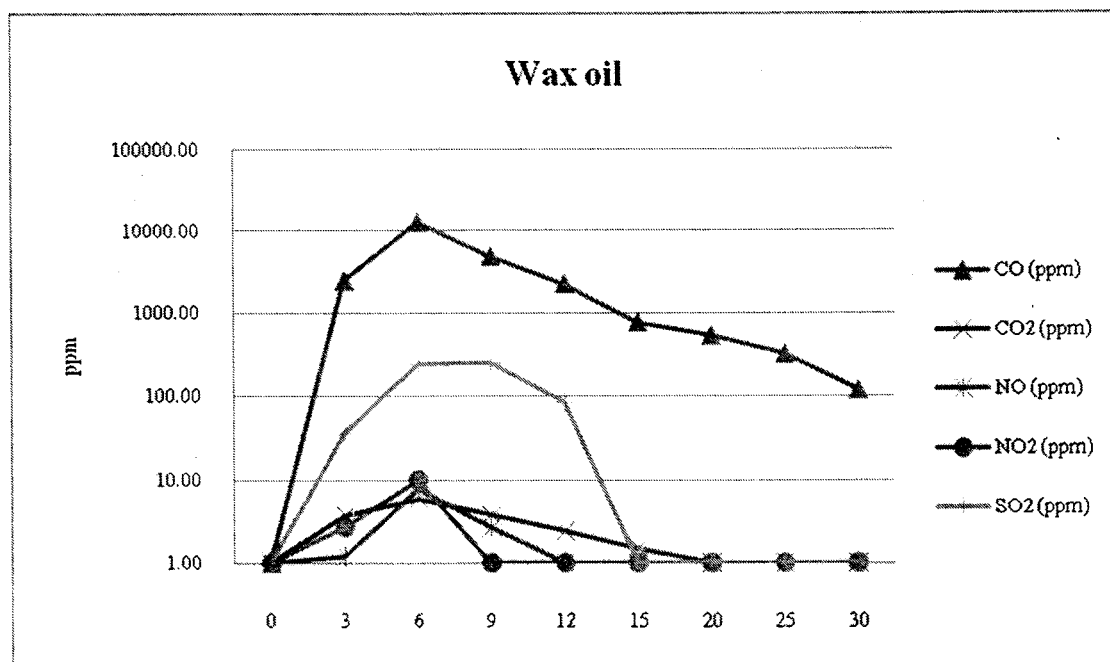
ชนิดของกากของเสีย	เวลาที่บันทึก (นาที)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
น้ำมันใช้แล้ว	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	2154.00	2.58	3.00	3.3	156
	6	11736.00	16.50	0.00	3.6	162
	9	6606.00	7.11	0.00	3.6	99
	12	2916.00	5.28	0.00	0	12
	15	1140.00	1.50	0.00	0	0
	20	920.00	0.00	0.00	0	0
	25	450.00	0.00	0.00	0	0
	30	210.00	0.00	0.00	0	0



ภาพที่ 34 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดมลพิษอากาศจากการเผาน้ำมันใช้แล้วในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 36 ผลการทดลองเผาไหม้แก๊สในห้องปฏิบัติการ

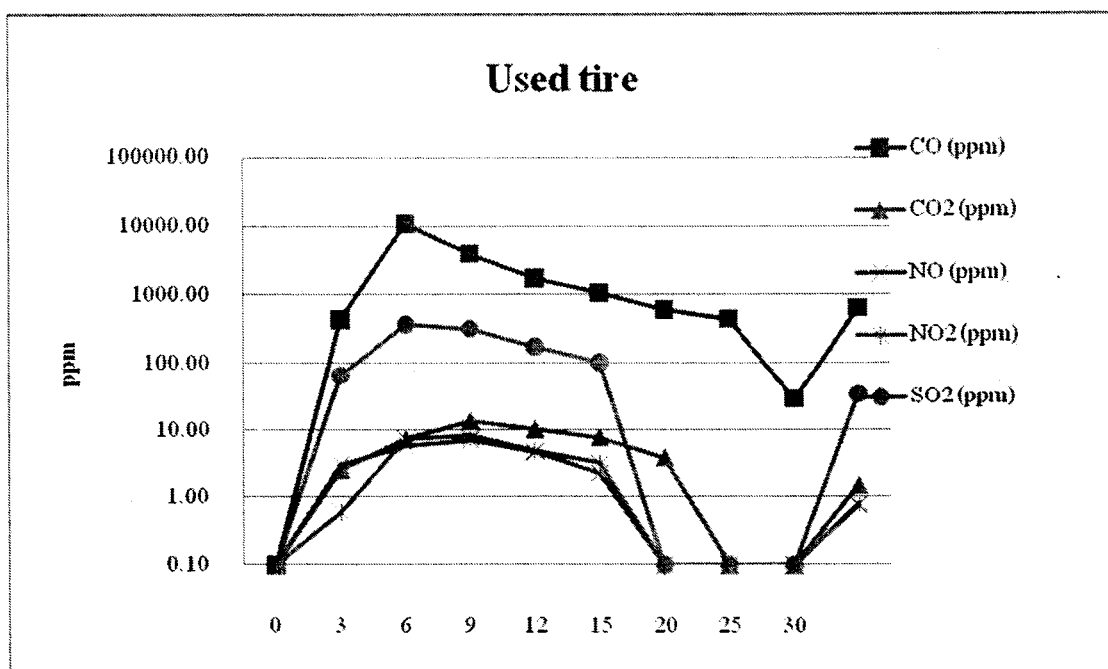
ชนิดของกากของเสีย	เวลาที่บันทึก (นาที)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
น้ำมันแก๊ส	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	2475.00	3.69	1.20	2.7	36
	6	12762.00	5.88	7.80	10.2	246
	9	4860.00	3.78	2.70	0	252
	12	2268.00	2.40	0.00	0	84
	15	780.00	1.50	0.00	0	0
	20	540.00	0.00	0.00	0	0
	25	325.00	0.00	0.00	0	0
	30	100.00	0.00	0.00	0	0



ภาพที่ 35 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดมลพิษอากาศจากการเผาน้ำมันแก๊สในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 37 ผลการทดลองเผายางรถยนต์เก่าในห้องปฏิบัติการ

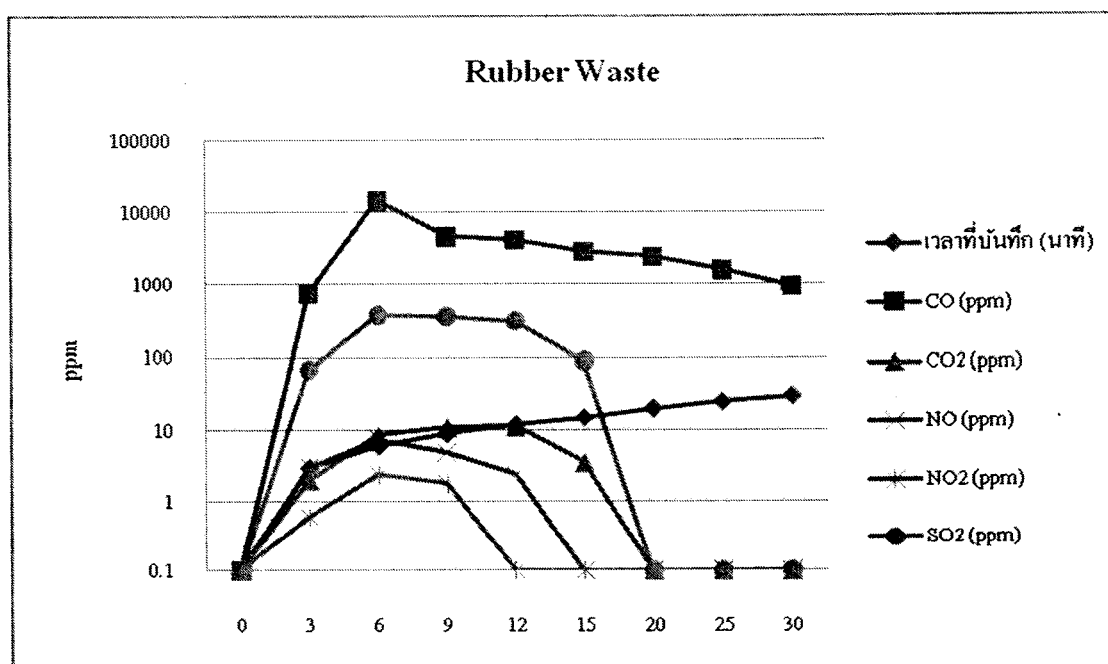
ชนิดของกากของเสีย	เวลาที่บันทึก (นาที)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
ยางรถยนต์เก่า	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	441.00	2.61	3.00	0.6	69
	6	11172.00	7.50	5.88	7.38	378
	9	4068.00	13.95	7.11	8.28	324
	12	1776.00	10.44	4.68	4.92	180
	15	1080.00	7.95	2.25	3.3	105
	20	620.00	4.00	0.00	0	0
	25	450.00	0.00	0.00	0	0
	30	30.00	0.00	0.00	0	0



ภาพที่ 36 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดมลพิษอากาศจากการเผายางรถยนต์เก่าในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 38 ผลการทดลองเผาเศษยางในห้องปฏิบัติการ

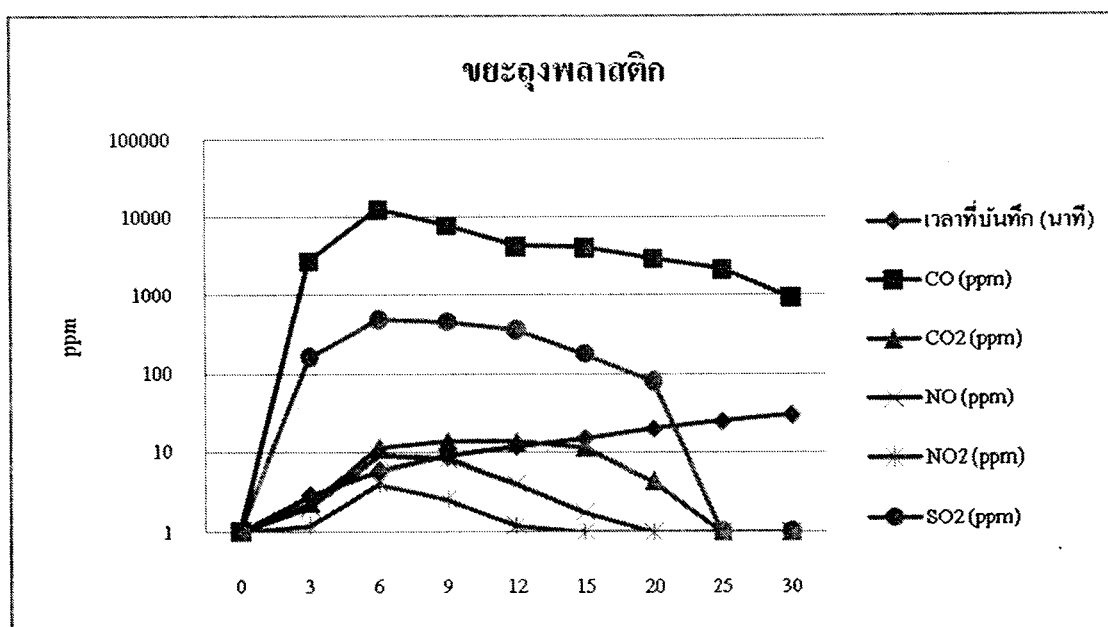
ชนิดของกากของเสีย	เวลาที่บันทึก (นาที)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
เศษยาง	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	756.00	2.01	3.00	0.6	69
	6	14868.00	8.52	7.38	2.4	378
	9	4716.00	10.98	4.86	1.8	360
	12	4224.00	11.40	2.40	0	312
	15	2940.00	3.60	0.00	0	90
	20	2480.00	0.00	0.00	0	0
	25	1625.00	0.00	0.00	0	0
	30	960.00	0.00	0.00	0	0



ภาพที่ 37 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดมลพิษอากาศจากการเผาเศษยางในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 39 ผลการทดลองเผาขยะพลาสติกในห้องปฏิบัติการ

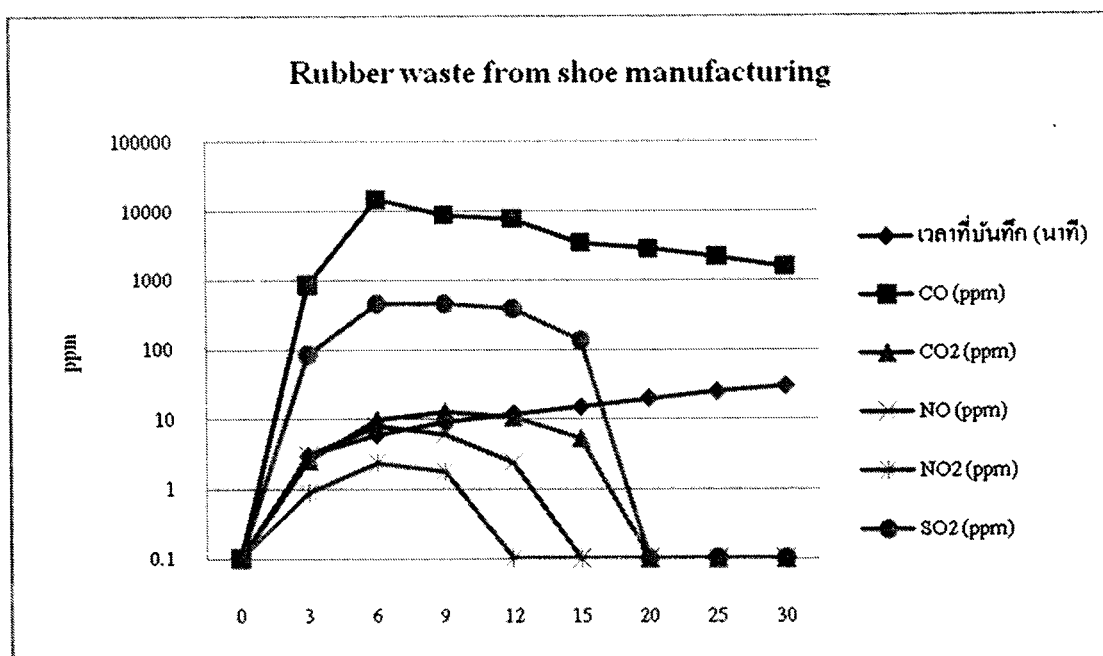
ชนิดของกากของเสีย	เวลาที่บันทึก (นาที)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
ขยะพลาสติก	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	2778.00	2.40	2.10	1.2	162
	6	12840.00	11.58	9.18	4.2	492
	9	7875.00	14.04	8.46	2.7	459
	12	4272.00	13.80	4.20	1.2	360
	15	4110.00	11.70	1.80	0	180
	20	2980.00	4.60	0.00	0	80
	25	2175.00	0.00	0.00	0	0
	30	930.00	0.00	0.00	0	0



ภาพที่ 38 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดมลพิษอากาศจากการเผาขยะพลาสติกในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 40 ผลการทดลองเผาเศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้าในห้องปฏิบัติการ

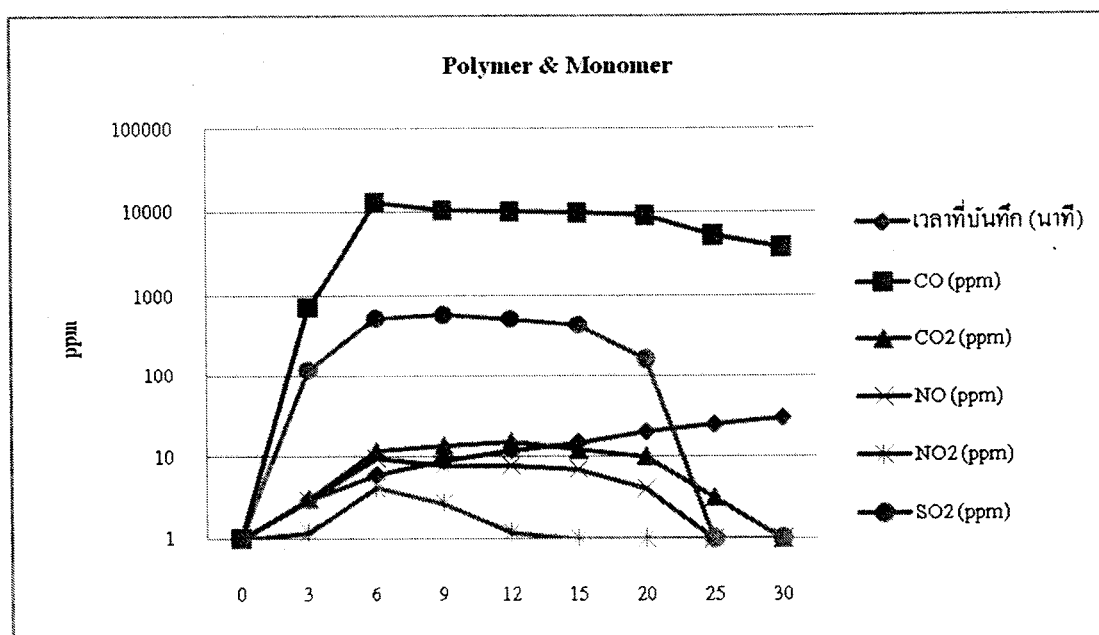
ชนิดของกากของเสีย	เวลาที่บันทึก (นาที)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
เศษยางจาก อุตสาหกรรมรองเท้า	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	861.00	2.58	3.00	0.9	84
	6	15204.00	9.78	8.04	2.4	450
	9	8847.00	12.69	6.03	1.8	459
	12	7884.00	10.56	2.40	0	384
	15	3540.00	5.25	0.00	0	135
	20	2880.00	0.00	0.00	0	0
	25	2225.00	0.00	0.00	0	0
	30	1590.00	0.00	0.00	0	0



ภาพที่ 39 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดมลพิษอากาศจากการเผาเศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้าในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 41 ผลการทดลองเผาพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ในห้องปฏิบัติการ

ชนิดของกากของเสีย	เวลาที่บันทึก (นาที)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₂ (ppm)
พลาสติกประเภทโพลีเมอร์	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	705.00	3.12	3.00	1.2	117
	6	12864.00	11.94	9.78	4.2	510
	9	10224.00	13.86	8.01	2.7	576
	12	10008.00	15.36	7.92	1.2	504
	15	9525.00	12.30	7.20	0	420
	20	8960.00	10.20	4.20	0	160
	25	5275.00	3.25	0.00	0	0
	30	3810.00	0.00	0.00	0	0

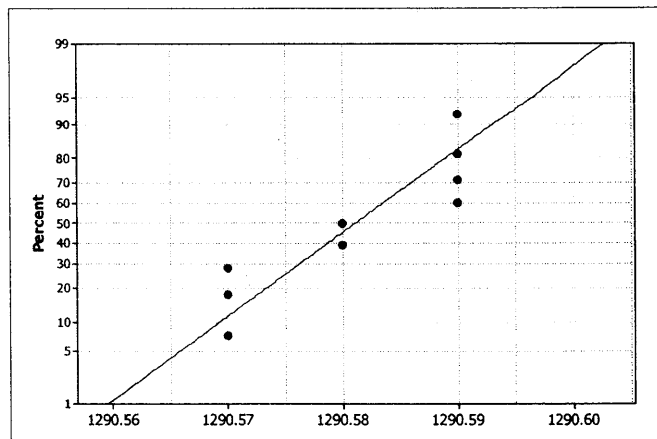


ภาพที่ 40 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดมลพิษอากาศจากการเผาพลาสติกประเภทโพลีเมอร์ในห้องปฏิบัติการ

ภาคผนวก ข

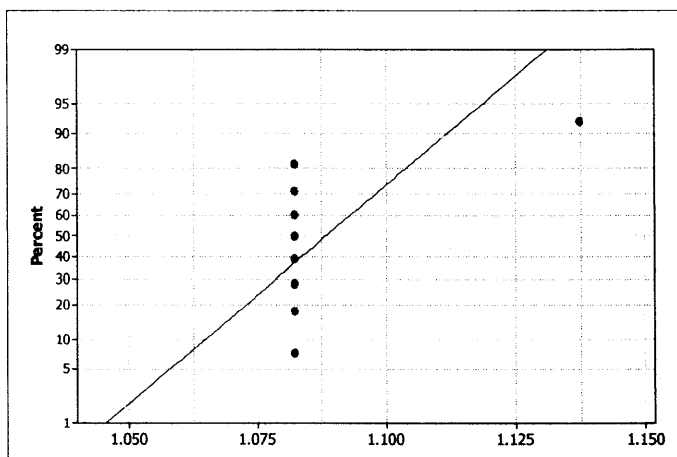
การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ของผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (Minitab) โดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มผลกระทบ ดังภาพที่ 41 ถึงภาพที่ 45



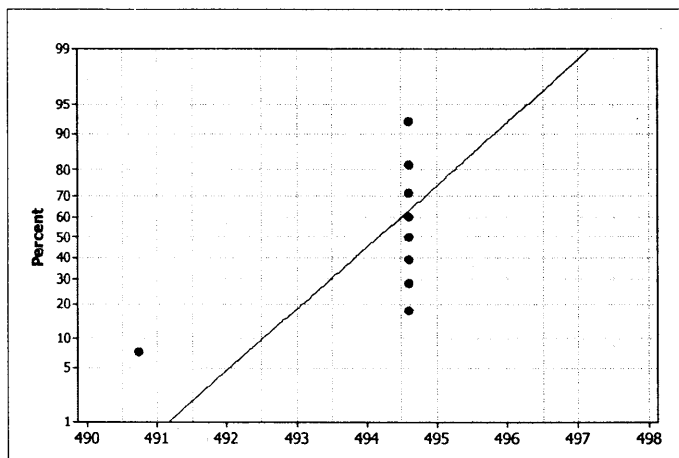
ภาพที่ 41 การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของกลุ่มผลกระทบ ศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน

จากกราฟจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1291 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.009278 จากข้อมูลไม่มีตัวไหน ออกนอกช่วง แสดงว่า ในกลุ่มผลกระทบศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนนั้นเชื่อเพลิงทุกชนิดจะส่งผลกระทบต่อกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



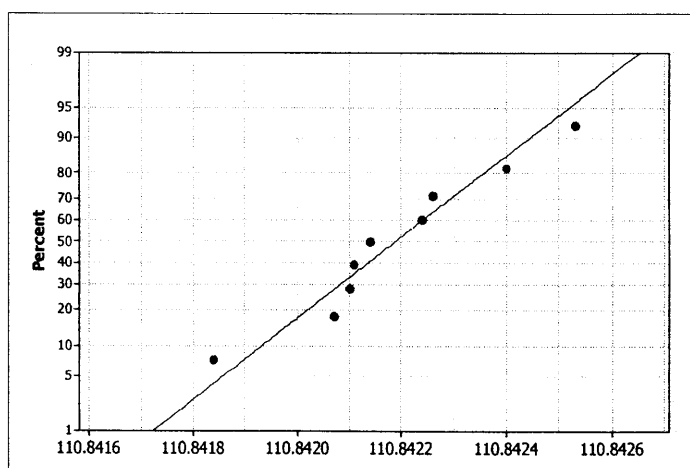
ภาพที่ 42 การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของกลุ่มผลกระทบ ศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลง

จากกราฟจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.088 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.01843 จากข้อมูลไม่มีตัวไหน ออกนอกช่วง แสดงว่า ในกลุ่มผลกระทบศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลงนั้นเชื่อเพลิงทุกชนิดจะส่งผลกระทบต่อกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



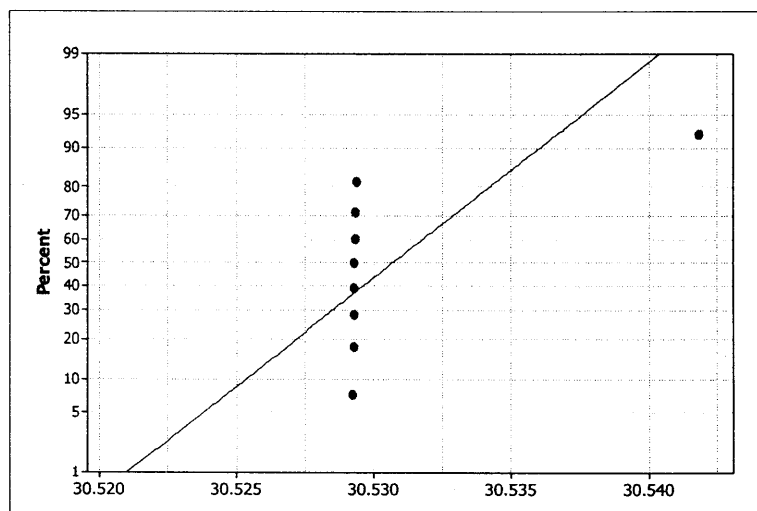
ภาพที่ 43 การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของกลุ่มผลกระทบ ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด

จากกราฟจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 494.2 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.291 จากข้อมูลไม่มีตัวไหนออกนอกช่วง แสดงว่า ในกลุ่มผลกระทบศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรดนั้นเชื้อเพลิงทุกชนิดจะส่งผลกระทบในกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 44 การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของกลุ่มผลกระทบ ศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ

จากกราฟจะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 110.8 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0002003 จากข้อมูลไม่มีตัวไหนออกนอกช่วง แสดงว่า ในกลุ่มผลกระทบศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำนั้นเชื้อเพลิงทุกชนิดจะส่งผลกระทบในกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 45 การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของกลุ่มผลกระทบศักยภาพในการทำให้เกิดหมอกควันพิษ

จากกราฟจะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.53 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.004174 จากข้อมูลไม่มีตัวไหนออกนอกช่วง แสดงว่า ในกลุ่มผลกระทบศักยภาพในการทำให้เกิดหมอกควันพิษนั้นเชื้อเพลิงทุกชนิดจะส่งผลกระทบในกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคผนวก ค

ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเพิ่มปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก

ตารางที่ 42 ปริมาณผลกระทบในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (Kg CO₂ eq.)

เชื้อเพลิงทางเลือก	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Lignite 100%	1290.5700	1290.5700	1290.5700	1290.5700	1290.5700	1290.5700
Lignite 95% + น้ำมันใช้แล้ว	1290.8158	1291.0616	1291.3074	1291.5531	1291.7989	1292.0447
Lignite 95% + น้ำมันแวกซ์	1290.7107	1290.8514	1290.9921	1291.1328	1291.2735	1291.4142
Lignite 95% + ยางรถยนต์เก่า	1290.6281	1290.6862	1290.7443	1290.8024	1290.8606	1290.9187
Lignite 95% + เศษยาง	1290.9407	1291.3113	1291.6820	1292.0527	1292.4233	1292.7940
Lignite 95% + ขยะ ถุงพลาสติก	1291.0751	1291.5801	1292.0852	1292.5902	1293.0953	1293.6003
Lignite 95% + เศษยางจาก อุตสาหกรรมรองเท้า	1291.2754	1291.9808	1292.6862	1293.3916	1294.0970	1294.8024
Lignite 95% + พลาสติก ประเภทโพลีเมอร์	1291.2712	1291.9724	1292.6737	1293.3749	1294.0761	1294.7773
Lignite 95% + เชื้อเพลิง ทางเลือกทุกชนิดผสมกัน	1290.9757	1291.3817	1291.7876	1292.1935	1292.5993	1293.0052

ตารางที่ 43 ปริมาณผลกระทบในกลุ่มศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรธรรมชาติลดลงที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (Kg Sb eq.)

เชื้อเพลิง	lignite 100%	lignite 95%	lignite 90%	lignite 85%	lignite 80%	lignite 75%	lignite 70%
ลิกไนต์	4898.300	4653.385	4408.470	4163.555	3918.640	3673.725	3428.810

ตารางที่ 44 ปริมาณผลกระทบในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรดที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
(Kg SO₂ eq.)

เชื้อเพลิงทางเลือก	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Lignite 100%	490.7250	490.7250	490.7250	490.7250	490.7250	490.7250
Lignite 95% + น้ำมันใช้แล้ว	494.6869	494.7753	494.8638	494.9522	495.0407	495.1291
Lignite 95% + น้ำมันแวกซ์	494.6695	494.7406	494.8117	494.8827	494.9538	495.0249
Lignite 95% + ยางรถยนต์เก่า	494.6792	494.7599	494.8407	494.9214	495.0022	495.0829
Lignite 95% + เศษยาง	494.6652	494.7321	494.7989	494.8658	494.9326	494.9995
Lignite 95% + ขยะถุงพลาสติก	494.7118	494.8252	494.9386	495.0520	495.1654	495.2788
Lignite 95% + เศษยางจาก อุตสาหกรรมรองเท้า	494.7122	494.8259	494.9397	495.0534	495.1672	495.2810
Lignite 95% + พลาสติกประเภท โพลีเมอร์	494.7337	494.8690	495.0043	495.1396	495.2749	495.4102
Lignite 95% + เชื้อเพลิงทางเลือก ทุกชนิดผสมกัน	494.6970	494.7956	494.8942	494.9928	495.0914	495.1900

ตารางที่ 45 ปริมาณผลกระทบในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในน้ำ
ที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (Kg N eq.)

เชื้อเพลิงทางเลือก	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Lignite 100%	110.8418	110.8418	110.8418	110.8418	110.8418	110.8418
Lignite 95% + น้ำมันใช้แล้ว	110.8750	110.9082	110.9414	110.9746	111.0079	111.0411
Lignite 95% + น้ำมันแวกซ์	110.8713	110.9009	110.9304	110.9599	110.9895	111.0190
Lignite 95% + ยางรถยนต์เก่า	110.8729	110.9039	110.9350	110.9661	110.9971	111.0282
Lignite 95% + เศษยาง	110.8671	110.8923	110.9176	110.9429	110.9681	110.9934
Lignite 95% + ขยะถุงพลาสติก	110.8859	110.9299	110.9740	111.0181	111.0622	111.1062
Lignite 95% + เศษยางจาก อุตสาหกรรมรองเท้า	110.8832	110.9246	110.9660	111.0074	111.0489	111.0903
Lignite 95% + พลาสติกประเภท โพลีเมอร์	110.8988	110.9557	111.0127	111.0697	111.1266	111.1836
Lignite 95% + เชื้อเพลิงทางเลือก ทุกชนิดผสมกัน	110.8798	110.9179	110.9560	110.9940	111.0321	111.0702

ตารางที่ 46 ปริมาณผลกระทบในกลุ่มศักยภาพในการทำให้เกิดหมอกควันพิษที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (Kg VOC eq.)

เชื้อเพลิงทางเลือก	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Lignite 100%	30.5418	30.5418	30.5418	30.5418	30.5418	30.5418
Lignite 95% + น้ำมันใช้แล้ว	30.5384	30.5476	30.5567	30.5659	30.5751	30.5843
Lignite 95% + น้ำมันแวกซ์	30.5374	30.5456	30.5538	30.5620	30.5702	30.5784
Lignite 95% + ยางรถยนต์เก่า	30.5379	30.5465	30.5552	30.5639	30.5725	30.5812
Lignite 95% + เศษยาง	30.5361	30.5430	30.5499	30.5568	30.5637	30.5706
Lignite 95% + ขยะถุงพลาสติก	30.5413	30.5534	30.5655	30.5776	30.5897	30.6018
Lignite 95% + เศษยางจากอุตสาหกรรมรองเท้า	30.5404	30.5517	30.5630	30.5742	30.5855	30.5968
Lignite 95% + พลาสติกประเภทโพลีเมอร์	30.5448	30.5604	30.5761	30.5917	30.6073	30.6229
Lignite 95% + เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดผสมกัน	30.5396	30.5501	30.5606	30.5711	30.5815	30.5920