การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ

นางสาวปุณยิศา คืนดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PORTLAND CEMENT PRODUCTION AND ECONOMIC ANALYSIS FOR AIR POLLUTION TECHNOLOGY MANAGEMENT

Miss Phunyisa Kuendee

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ
โดย	นางสาว ปุณยิศา คีนดี
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปุณยิศา คันดี : การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ. (LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PORTLAND CEMENT PRODUCTION AND ECONOMIC ANALYSIS FOR AIR POLLUTION TECHNOLOGY MANAGEMENT) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศ.ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์,169 หน้า.

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และการแปลผล ในการวิจัยนี้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้หลักการ cradle-to-gate ซึ่งมีขอบเขตเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เท่านั้น ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และเพื่อแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจึงได้นำเทคโนโลยีในการจัดการมลพิษทางอากาศและมาตรการทางเศรษฐศาสตร์มาวิเคราะห์ใช้ โดยอ้างอิงมาตรการจากต่างประเทศมาเป็นแนวทางในการศึกษา

การบดวัตถุดิบในส่วนของการผลิตปูนซีเมนต์เป็นขั้นตอนที่เกิดปริมาณฝุ่นแขวนลอยมาก ส่วนการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นขั้นตอนที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตเจนออกไซด์มาก ดังนั้นในส่วนของการปรับปรุงกระบวนการผลิตจึงมีการรับของเสียจากอุตสาหกรรมอื่นเข้ามากำจัดภายในโรงงานเพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ยางรถยนต์ ฯลฯ โดยนำมาทดแทนเชื้อเพลิงที่หม้อเผา โดยสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 8 กก./ตันปูนซีเมนต์ และการใช้ระบบกำจัดฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต ถุงกรอง และระบบจับฝุ่นแบบเปียกเพื่อลดปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นซึ่งระบบกำจัดฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นมากที่สุด แต่มีต้นทุนสูง จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะใช้ค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) ที่อ้างอิงมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นมาตรการที่กดดันให้ลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศและเป็นแหล่งรายได้หลักของรัฐในการสนับสนุนและพัฒนาแนวทางการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ปุณยิศา คันดี

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่อที่ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ. รัชฎาวงศ์

4970788321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: CEMENT PRODUCTION PROCESS / LIFE CYCLE ASSESSMENT / LIFE CYCLE INVENTORY / LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT / EMISSION CHARGE

PHUNYISA KUENDEE : LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PORTLAND CEMENT PRODUCTION AND ECONOMIC ANALYSIS FOR AIR POLLUTION TECHNOLOGY MANAGEMENT. ADVISOR : PROF.SIRICHAN THONGPRASERT, PH.D. , CO-ADVISOR : ASST.PROF PICHAYA RACHDAWONG,PH.D.,169 pp.

Life cycle assessment (LCA) comprises four stages ; goal and scope, life cycle inventory, life cycle impact assessment and interpretation. In this research, LCA was used to assess environmental impacts of portland cement production, according to cradle-to-gate approach. The boundary of this work is cement production process. Most of data were secondary data obtained from the environmental impact assessment reports and environmental quality monitoring reports. The technology management and economical analysis was used for air pollution solution by reference international information.

Grinding of raw materials for cement production was found to generate large amount of suspended particulates. The fuel combustion generates large amount of carbon dioxide and oxides of nitrogen. Therefore, in the stage of life cycle improvement analysis the reception in other industrial waste such as used lubricating oil, tire, etc. to dispose of the cement plant for fuel replacement can substituted petroleum fuel in the combustion and reduces the emission of carbon dioxide 8 kg.co_2/ton cement and used electrostatic precipitators, bag filters and wet scrubbers are used for reduction of air pollutions that electrostatic precipitators is the most efficiency but it's costly. According to the economical analysis, used the emission charge that reference from the United States of America. This criteria force industrial factories to reduce the emission; moreover, it is the major government income source to support and develop the air pollution control.

Department : Industrial Engineering Student's Signature ปุณยิศา คืนดี

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2008 Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการทำวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและปรับปรุงเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดียิ่ง

และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รศ. ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (ประธานกรรมการ) รศ. สมชาย พวงเพิกศึก (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) และ ผศ.ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ (กรรมการ) ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ นายเสรี คืนดี (บิดา) และนางมาลินี คืนดี (มารดา) ที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่

1. บทนำ.....1
    1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
    1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....6
    1.3 ขอบเขตการวิจัย.....6
    1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....6
    1.5 ขั้นตอนและการดำเนินการ.....7

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....8
    2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA).....8
        2.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต.....9
        2.1.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม.....11
        2.1.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....14
        2.1.4 การแปลผล.....17
    2.2 เครื่องมือภายใต้หลักการทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....17
        2.2.1 เครื่องมือด้านการเงินการคลัง.....18
        2.2.2 การสร้างตลาดและใบอนุญาตซื้อขาย.....21
        2.2.3 เครื่องมือสร้างเสริมแรงจูงใจในการจัดการสิ่งแวดล้อม.....23
    2.3 การใช้มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดการปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและ
        สิ่งแวดล้อมของต่างประเทศ.....27

บทที่ หน้า

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....28
2.5 กรอบแนวคิดการวิจัย....42

3. ข้อมูลของโครงการที่เป็นกรณีศึกษา....45
3.1 ที่ตั้งโรงงาน....45
3.2 นโยบายสิ่งแวดล้อมของโรงงาน....45
3.3 กระบวนการผลิต....46
3.4 ผลิตภัณฑ์....49
3.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อม....50
3.6 การควบคุมภาวะมลพิษ....50
3.7 ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่อง....50

4. การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์....56
4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา....56
4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม....56
4.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์....62
4.4 การแปลผล....78

5. เทคโนโลยีเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ....83
5.1 เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precicitators)....84
5.2 ถุงกรอง (Fabric Filters) 97
5.3 เครื่องจับฝุ่นด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์ (Wet Collectors or Scrubbers) 104
5.4 ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคมลสาร....109
5.5 ค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีในการจัดการมลพิษทางอากาศ....110
5.6 ข้อดี - ข้อเสียของเทคโนโลยีแต่ละประเภท....110
5.7 มาตรการป้องกัน แก้ไข และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม....112

บทที่ หน้า

6. มาตรการทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ.....115
6.1 เครื่องมือเศรษฐศาสตร์ในการจัดการของเสียที่นำมาใช้ในประเทศไทย.....115
6.2 การประยุกต์ใช้สำหรับการจัดการมลพิษทางอากาศของต่างประเทศ.....122
6.3 ข้อดีข้อเสียในการนำเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการจัดการมลพิษทางอากาศ130
6.4 ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะในการใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์.....132
6.5 ข้อเสนอแนะในการนำเครื่องมือเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อม
ในประเทศไทย.....136
6.6 การประยุกต์ใช้แนวคิดทฤษฎีในการบริหารจัดการในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์.....138

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....142
7.1 สรุปผลการวิจัย.....142
7.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย.....143
7.3 ข้อเสนอแนะ.....144

รายการอ้างอิง.....145

ภาคผนวก.....148
ภาคผนวก ก ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม.....148
ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.....158
ภาคผนวก ข แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล.....160
ภาคผนวก ค รายละเอียดค่าใช้จ่ายสำหรับเทคโนโลยีเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ.....161
ภาคผนวก ง รูปการปฏิบัติตามมาตรการป้องกัน แก้ไข และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม.....164
ภาคผนวก จ ผลการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง.....165
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดโปรแกรม SimaPro 5.1.....166

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....169

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ค่ากำหนดปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์.....4
ตารางที่ 1.2 ผลกระทบหลักที่ควรพิจารณาของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์.....11
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลในการทำ Life Cycle Inventory (LCI) จากซีเมนต์ 1 kg ในโรงงานของประเทศ สวีเดน.....12
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....15
ตารางที่ 2.3 ความสำคัญของประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม.....17
ตารางที่ 2.4 เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์และข้อดีข้อเสีย.....26
ตารางที่ 2.5 เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์จำแนกตามกลุ่มและการใช้งาน.....27
ตารางที่ 2.6 การจำแนกประเภทของผลิตภัณฑ์ตามลักษณะการใช้งาน.....29
ตารางที่ 2.7 แสดงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แยกตามประเภทของผลิตภัณฑ์.....31
ตารางที่ 2.8 ผลของต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน.....40
ตารางที่ 3.1 ผลการตรวจวัดฝุ่นจากปล่อง (TSP) 51
ตารางที่ 3.2 ผลการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่อง (SO2) 52
ตารางที่ 3.3 ผลการตรวจวัดออกไซด์ของไนโตรเจนจากปล่อง (NO_x) 52
ตารางที่ 3.4 ผลการตรวจวัดโลหะหนักจากปล่อง (Heavy Metals) 53
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างประเภทของวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนำมาใช้เป็นชื้อเพลิงในเตาเผาซีเมนต์แบ่งตามประเภทของอุตสาหกรรม.....58
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างองค์ประกอบของยางรถยนต์ที่ใช้เผาทดแทนเชื้อเพลิง.....58
ตารางที่ 4.3 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตัน หลังจากใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิง.....61
ตารางที่ 4.4 แสดงการประเมินผลกระทบของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์.....62
ตารางที่ 4.5 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์..69
ตารางที่ 4.6 การประเมินประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญ.....75
ตารางที่ 4.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากการใช้วัสดุที่ไม่ใช้แล้วเข้าเตาเผาซีเมนต์....80

หน้า

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบมลพิษทางอากาศก่อนและหลังการใช้เชื้อเพลิงทดแทนจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน 1 ตัน.....82
ตารางที่ 5.1 การจัดการด้านสิ่งแวดล้อมในโรงงานปูนซีเมนต์.....83
ตารางที่ 5.2 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องเก็บฝุ่นประเภทต่างๆ.....110
ตารางที่ 6.1 รายละเอียดการให้เงินกู้ยืมของกองทุนสิ่งแวดล้อม.....118
ตารางที่ 6.2 มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้มีการศึกษาไว้ในประเทศไทยแล้วแต่ยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้.....120
ตารางที่ 6.3 ค่าปล่อยมลพิษทางอากาศในประเทศต่างๆ ปี พ.ศ.2545.....122
ตารางที่ 6.4 ใบอนุญาตปล่อยมลพิษทางอากาศที่ซื้อขายได้.....125
ตารางที่ 6.5 ค่าธรรมเนียมที่ไม่ยินยอมให้ปล่อยในประเทศต่างๆ.....126
ตารางที่ 6.6 การให้เงินช่วยเหลือและสนับสนุนในการควบคุมมลพิษทางอากาศ.....128
ตารางที่ 6.7 ค่าปล่อยมลพิษ(Emission Charge) ของประเทศสหรัฐอเมริกา.....129
ตารางที่ 6.8 เปรียบเทียบค่าปล่อยมลพิษทางอากาศก่อนและหลังใช้เชื้อเพลิงทดแทนจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน1 ตัน.....129
ตารางที่ 6.9 เทคโนโลยีแต่ละกระบวนการผลิตที่ให้ค่า SEC ต่ำที่สุด.....140
ตารางที่ 7.1 ค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีในการจัดการมลพิษทางอากาศ.....143

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี....2
รูปที่ 1.2 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์....3
รูปที่ 2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment,LCA)....9
รูปที่ 2.2 Project Future Gen....36
รูปที่ 2.3 แสดงต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost Model)....38
รูปที่ 2.4 แสดงเฟสของวัฏจักรชีวิตของชิ้นส่วนของสะพาน(D-distribution)....39
รูปที่ 2.5 แสดงการเชื่อมต่อแผ่นหินแบบ ECCและแบบ CC เสริมใยเหล็กแบบธรรมดา....39
รูปที่ 2.6 กรอบแนวคิดการวิจัยเรื่อง การใช้เชื้อเพลิงแบบใช้กากของเสียทดแทนมีผลให้ปริมาณมลพิษทางอากาศลดลง....42
รูปที่ 2.7 กรอบแนวคิดการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีและการจัดการมลพิษทางอากาศ....43
รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์....48
รูปที่ 4.1 สารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการย่อย 3 กระบวนการ....60
รูปที่ 4.2 การนำกากของเสียมาใช้ทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงานปูนซีเมนต์....81
รูปที่ 5.1 เครื่อง ESP แบบเก็บฝุ่นแห้งและขั้วโคโรน่าลบ....85
รูปที่ 5.2 Sketch ของ ESP แบบเก็บฝุ่นแห้งและใช้ขั้วโคโรน่า....86
รูปที่ 5.3 เครื่อง ESP แบบเปียก โคโรน่าขั้วลบ....86
รูปที่ 5.4 เครื่อง ESP แบบเปียก โคโรน่าขั้วบวก....87
รูปที่ 5.5 ขั้วปล่อยประจุ....88
รูปที่ 5.6 การไหลของกระแสก๊าซใน Plate-and Wire ESP....88
รูปที่ 5.7 การไหลของกระแสก๊าซใน Tubular ESP....89
รูปที่ 5.8 ขั้วปล่อยประจุแบบ Rigid Frame....89
รูปที่ 5.9 ชุด Transformer- Rectifier และชุดขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode)....90
รูปที่ 5.10 ลักษณะของ Field และ Chambers ใน ESP....90
รูปที่ 5.11 ชนิดของแผ่นเก็บ (Collection Plates)....91
รูปที่ 5.12 ถังพักของเครื่อง ESP....91
รูปที่ 5.13 Rapper แบบติดตั้งบนหลังคา (Roof- Mounted)....92

หน้า

รูปที่ 5.14 Rapper แบบติดตั้งด้านข้าง (Side- Mounted).....92
รูปที่ 5.15 ผลของสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นฝุ่นต่อค่า Migration Velocity.....93
รูปที่ 5.16 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชั้นฝุ่น.....94
รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของก๊าซ.....94
รูปที่ 5.18 Detacach Plume.....96
รูปที่ 5.19 Plume ที่เกิดไอควบแน่นหรือเกิดปฏิกิริยาเคมี.....97
รูปที่ 5.20 กลไกในการจับอนุภาค – การลอดผ่าน (Sieving).....98
รูปที่ 5.21 ถุงกรองและโครงยึด (Support).....99
รูปที่ 5.22 ถุงกรองแบบอากาศไหลย้อน (Reverse Air Fabric Filter).....100
รูปที่ 5.23 ถุงกรอง (Reverse Air Bag).....100
รูปที่ 5.24 ลักษณะการยึดถุงกรอง.....101
รูปที่ 5.25 ถังพัก (Hopper).....101
รูปที่ 5.26 วาล์วสำหรับระบายฝุ่น.....102
รูปที่ 5.27 ผ้าทอ (Woven Fabric).....103
รูปที่ 5.28 ผ้าสักหลาด (Felted Fabric).....103
รูปที่ 5.29 ส่วนประกอบของเวนทูรี่สครับเบอร์.....106
รูปที่ 5.30 เวนทูรี่สครับเบอร์และเครื่องดักละอองน้ำ.....107
รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ.....138
รูปที่ ง.1 ระบบดักฝุ่นชนิดถุงกรอง (BF) และระบบไฟฟ้าสถิต (ESP).....164
รูปที่ ง.2 Stock อุปกรณ์สำหรับระบบดักฝุ่นชนิดถุงกรอง (BF) และระบบไฟฟ้าสถิต (ESP)...164

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

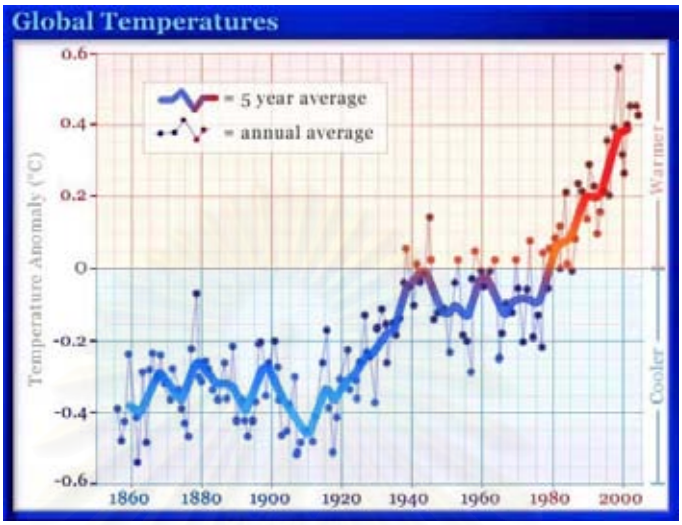
บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนนั้น เป็นปรากฏการณ์ที่ทั่วโลกต่างให้ความสนใจ อันเนื่องมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ไนตรัสออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ ที่มนุษย์ทุกๆคนมีส่วนร่วมก่อกันมาอย่างยาวนานและต่อเนื่องส่งผลให้โลกร้อนมากขึ้นแบบผิดปกติ

จากรายงานการประเมินครั้งที่ 3 ของ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Third Assessment Report) ระบุว่า ปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่สะสมอยู่ในบรรยากาศในหน่วยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คือ 378 ส่วนในล้านส่วน (Part per million, ppm.) ในขณะที่ปริมาณของก๊าซเรือนกระจกในยุคก่อนยุคอุตสาหกรรม (ก่อน ค.ศ. 1850) มีก๊าซเรือนกระจกอยู่ 280 ppm ผลของการที่มีก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นนี้มีผลให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น 0.6 °C ดังรูปที่ 1.1 สาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจควบคู่ไปกับการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม ซึ่งนอกจากก่อให้เกิดสารมลพิษปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว ยังส่งผลให้มีการใช้แหล่งทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลืองอีกด้วย เมื่อสิ่งแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลง หลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนมีความพยายามที่จะลดผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมโดยมีเป้าหมายที่จะลดปริมาณสารมลพิษที่เกิดขึ้นให้น้อยลง เดิมแนวทางในการลดปริมาณสารมลพิษจะเป็นการบำบัดปลายทาง (End-Of-Pipe) คือ บำบัดสารมลพิษที่เกิดขึ้น ต่อมาแนวความคิดได้เปลี่ยนจากการบำบัดมาเป็นการป้องกันการเกิดของเสีย (Pollution Prevention) ซึ่งมีหลักการพื้นฐานอยู่ที่การลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นแทนที่จะปล่อยให้เกิดของเสียแล้วทำการบำบัดภายหลัง หลักการนี้ถึงแม้ว่าเป็นแก้ไขที่ต้นเหตุ แต่ในบางครั้งการปรับปรุงกระบวนการต้องมุ่งเน้นเพียงเพื่อลดสารมลพิษที่เกิดขึ้นโดยตรง โดยไม่ได้คำนึงถึงสารมลพิษที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น การใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงแทนการใช้ถ่านหิน เนื่องจากก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดซึ่งเมื่อมีการเผาไหม้แล้วทำให้เกิดก๊าซมลพิษ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์น้อยกว่าจากการเผาไหม้ถ่านหิน แต่ถ้าพิจารณาต่อไปอาจพบว่าในการได้มาของก๊าซธรรมชาตินั้นอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการทำเหมืองถ่านหิน เนื่องจากมีการบุกรุกและใช้ทรัพยากรทางทะเล และอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์เป็นบริเวณกว้างต่อไป ดังนั้นการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ใดๆ ควรศึกษาถึงผลกระทบทั้งหมดในช่วงของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้

อย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด เป็นผลให้การพัฒนาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพอันจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development)



รูปที่ 1.1 ปริมาณของก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี

ที่มา: http://www.seed.slb.com/en/scictr/watch/climate_change/change.htm

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assesssment,LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่/แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

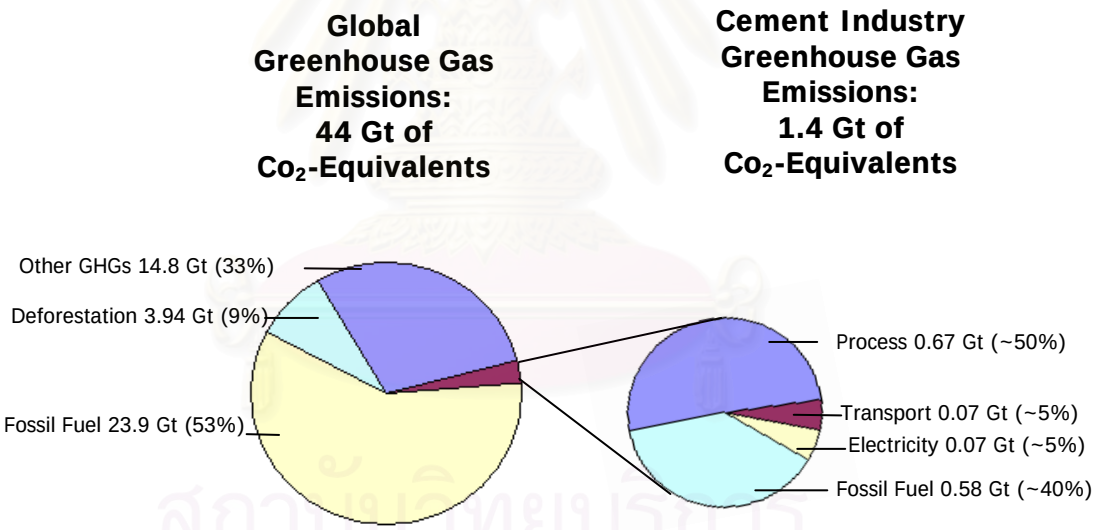
สำหรับแนวทางในการดำเนินการนั้น จะขึ้นอยู่กับกับรายละเอียดเฉพาะของแต่องค์กรเป็นหลัก แต่โดยหลักการแล้ว LCA จะทำการประเมินตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) แต่บางครั้งก็สามารถตัดทอนลดให้ลดลงได้ ตามเป้าหมาย และขอบเขตของการศึกษา (Cradle to Gate) แต่เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาถึงมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นโดยเน้นปริมาณ CO_2 ซึ่งส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เท่านั้น และเนื่องจากการใช้ปูนซีเมนต์เป็นโครงสร้างคอนกรีตจนถึงกระบวนการสิ้นสุดวัฏจักรคือการรื้อถอนเป็นซากคอนกรีตผลกระทบที่เกิดขึ้นจะเป็นส่วนของปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็น

การศึกษาแบบ Cradle to Gate ตามขอบเขตของงานวิจัยในครั้งนี้ นั่นคือศึกษาวัฏจักรชีวิตเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เท่านั้นซึ่งจะมุ่งเน้นปริมาณมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะ CO_2 ที่เกิดจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง

ในการวิจัยนี้ได้นำหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อประเมินผลกระทบของอุตสาหกรรมต่อสิ่งแวดล้อม โดยเลือกวิเคราะห์อุตสาหรรมการผลิตปูนซีเมนต์เนื่องจากอุตสาหรรมการผลิตปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 5% ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ดังรูปที่ 1.2 ซึ่งมากจากกระบวนการผลิตเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากในกระบวนการผลิตในขั้นตอน Calcination ซึ่งต้องใช้หินปูน ($CaCo_3$)เป็นวัตถุดิบในการผลิตซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

1 kg 0.56 kg + 0.44 kg



รูปที่ 1.2 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์

ที่มา : Ken Humphreys and Maha Mahasenan.Climate Change.World Business Council for Sustainable Development, 2002.

เนื่องจากมีการปล่อยปริมาณก๊าซที่เป็นมลพิษสูงในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ดังนั้นจึงมีประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์ พ.ศ. 2549 อาศัยอำนาจตามความในข้อ 16 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ.

2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศไว้ คือ อากาศที่สามารถระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์ ต้องมีค่าปริมาณของสารเจือปนไม่เกินที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 1.1 ซึ่งการกำหนดปริมาณสารเจือปนในอากาศนี้จึงทำให้ต้องมีการพิจารณาผลกระทบหลักตามมา โดยมีประเด็นที่ควรพิจารณาในการติดตามตรวจสอบการดำเนินโครงการสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ซึ่งทำให้มีการลงทุนสูงขึ้นจึงทำให้มีผลกระทบต่อต้นทุน ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 ค่ากำหนดปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์

โรงงานปูนซีเมนต์ซึ่งมีการระบายอากาศเสียออกจากหน่วยการผลิตดังต่อไปนี้	**ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ**		
	ฝุ่นละออง (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	**ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)**	**ออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)**
1. หม้อเผาปูนซีเมนต์ทั่วไป (grey cement kiln)	ไม่เกิน 120	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 500
2. หม้อเผาปูนซีเมนต์ขาว (white cement kiln)	ไม่เกิน 120	ไม่เกิน 500	ไม่เกิน 500
3. หม้อเย็น (clinker cooler)	ไม่เกิน 120	-	-
4. หม้อบดปูน (clinker grinding mill)	ไม่เกิน 120	-	-
5. หม้อบดถ่านหิน (coal grinding mill)	ไม่เกิน 120	-	-
6. หน่วยการผลิตอื่น ๆ กรณีไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง กรณีมีการเผาไหม้เชื้อเพลิง	ไม่เกิน 400 ไม่เกิน 320	- ไม่เกิน 700	- ไม่เกิน 400

ที่มา : http://she.cpportal.net/Portals/0/Law-IND-092.pdf

ตารางที่ 1.2 ผลกระทบหลักที่ควรพิจารณาของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

อุตสาหกรรม	ผลิตภัณฑ์	ผลกระทบหลักที่ควรพิจารณา
อุตสาหกรรมทั่วไป	ปูนซีเมนต์	• **ด้านอากาศเสีย** (TSP, SO_2, NO_2, CO) **1) เตรียมและบดวัตถุดิบ** - ปิดคลุมสายพานลำเลียงอย่างมิดชิด - ติดตั้งอุปกรณ์ดักฝุ่นละอองแบบไฟฟ้าสถิตหรือถุงกรอง - ปลูกต้นไม้เป็นแนวป้องกันฝุ่นรอบกองวัตถุดิบ **2) เผาปูนเม็ด** - ติดตั้งอุปกรณ์ดักฝุ่นละอองแบบไฟฟ้าสถิตหรือถุงกรอง - สถิติการขัดข้องของอุปกรณ์ดักฝุ่น (EP trip) และมาตรการควบคุมเพื่อลดการแพร่กระจายของฝุ่นละออง **3) บดปูนซีเมนต์** -ติดตั้งอุปกรณ์ดักฝุ่นละอองแบบไฟฟ้าสถิตหรือถุงกรอง **4) บรรจุหีบห่อ** - ติดตั้งอุปกรณ์ดักฝุ่นละอองแบบถุงกรอง - ทำความสะอาดพื้นโรงงานอย่างสม่ำเสมอ **ข้อควรพิจารณา** : ควรสังเกตการสะสมของฝุ่นละอองบริเวณปล่อง ส่วนอาคารที่ห่างจากถนน และสังเกตการสะสมของฝุ่นละอองบนใบไม้และอาคาร โดยคำนึงถึงอิทธิพลจากน้ำฝน

ที่มา : สำนักงานนโยบายและวางแผนสิ่งแวดล้อม

เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์เป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งถูกนำมาใช้เป็นมาตรการเสริมและสนับสนุนการแก้ไขและจัดการปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ โดยมีการนำมาใช้ในหลายรูปแบบด้วยกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งแวดล้อมและความเหมาะสมของสถานการณ์ อย่างไรก็ดีเครื่องมือที่นำมาใช้เหล่านั้นต่างวางอยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน คือการสร้างกลไกราคาที่จะก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรและการพิทักษ์สิ่งแวดล้อม โดยกลไกราคาดังกล่าวอาจอยู่ในรูปของภาษี ค่าธรรมเนียม หรือค่าชดเชย หรือเกิดขึ้นจากระบบตลาดที่สร้างขึ้นตามเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ เนื่องจากมลพิษเป็นผลกระทบภายนอก (externalities) ซึ่งเกิดจากการที่ผู้ประกอบการผลักภาระค่าใช้จ่ายในส่วนที่ตนต้องรับผิดชอบให้กับสังคมเพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยมาตรการแต่ละรูปแบบจะช่วยกดดันให้ลดปริมาณการปล่อย

มลพิษทางอากาศและเป็นแหล่งรายได้หลักของรัฐในการสนับสนุนและพัฒนาแนวทางการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
2. เพื่อวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีและมาตรการในการจัดการมลพิษทางอากาศ

ขอบเขตของการวิจัย

1. กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่พิจารณาเป็นการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)
2. ในงานวิจัยนี้พิจารณาการศึกษาวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้การศึกษาแบบ Cradle to Gate นั่นคือศึกษาวัฏจักรชีวิตเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เท่านั้น ซึ่งจะมุ่งเน้นปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง
3. ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและใช้ในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data)
4. การวิเคราะห์มาตรการเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศอาจมีการใช้มาตรการการควบคุมจากรัฐมาเป็นเครื่องมือโดยอ้างอิงข้อมูลจากต่างประเทศที่เหมาะสมกับประเทศไทย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
2. เพื่อทราบถึงค่าใช้จ่ายสำหรับเทคโนโลยีเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ
3. เพื่อทราบถึงค่าใช้จ่ายจากมาตรการการควบคุมจากรัฐในการจัดการมลพิษทางอากาศที่เหมาะสมกับประเทศไทยเพื่อช่วยกดดันให้ลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศและเป็นแหล่งรายได้หลักของรัฐในการสนับสนุนและพัฒนาแนวทางการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศและอาจมีการประกาศใช้ในอนาคต
4. สามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

ขั้นตอนและการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
2. ศึกษาวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม(Life Cycle Inventory)

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์(Life Cycle Impact Assessment)

การแปลผล (Interpretation)

3. ศึกษาและวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจากการนำเทคโนโลยีมาจัดการมลพิษทางอากาศ
4. ศึกษาและวิเคราะห์มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ของต่างประเทศในการจัดการมลพิษสิ่งแวดล้อม
5. นำมาตรการทางเศรษฐศาสตร์ของต่างประเทศที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับประเทศไทย
6. สรุปผลการดำเนินงานและเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงหรือพัฒนาต่อไป
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

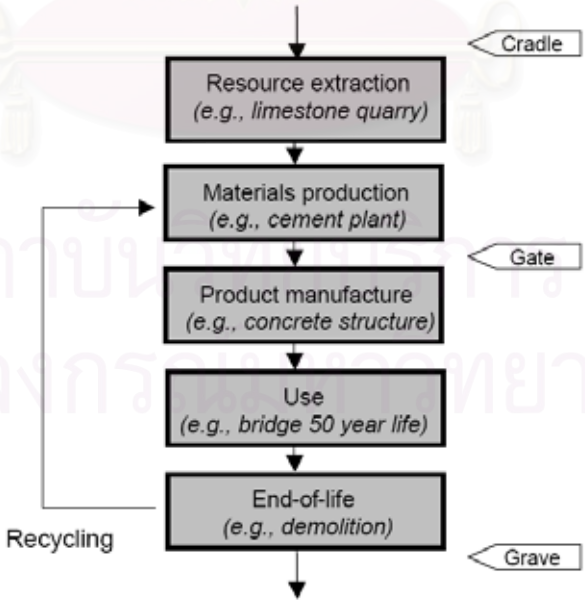
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) เป็นวิธีการหนึ่งในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการและกิจกรรมต่างๆ ซึ่งเป็นการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบและพลังงาน และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปล่อยสารมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ยังเป็นวิธีการที่ใช้ประกอบการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วย โดยการพิจารณาจะครอบคลุมลักษณะทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นแรกของกระบวนการผลิตที่มีการนำเอาทรัพยากรจากพื้นโลกมาใช้ (Cradle) จนถึงการผลิตปูนซีเมนต์, การใช้ปูนซีเมนต์เป็นโครงสร้างคอนกรีต, การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์ และจนถึงขั้นสิ้นสุดวัฏจักรคือการรื้อถอน ดังรูปที่ 2.1 (steven B. Young et al,2002) ซึ่งจะใช้มาตรฐาน ISO 14040 เป็นอนุกรมมาตรฐานสากลซึ่งมีการกำหนดแนวทาง การจัดหาหลักเกณฑ์ และคำแนะนำที่ต้องปฏิบัติสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการทำ LCA



รูปที่ 2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA)
ที่มา: Steven B. et al.,2002

อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 จาก International Organization for Standardization หรือ องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานจะใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) ซึ่งจะประกอบด้วย ISO 14040 , ISO 14041, ISO 14042, ISO 14043

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีลำดับขั้นตอนดังนี้ (Steven B. et al, 2002)

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope, ISO 14040)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม(Life Cycle Inventory, ISO 14041)
3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์(Life Cycle Impact Assessment, ISO 14042)
4. การแปลผล (Interpretation ,ISO 14043)

2.1.1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope, ISO 14040)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาจัดเป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการทำ LCA เพื่อให้เกิดความชัดเจนในวัตถุประสงค์ของการศึกษา และกำหนดระบบที่จะใช้ศึกษาให้ตรงตามความต้องการ ซึ่งจะมีอิทธิพลโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา ถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุมและไม่ดีพอจะทำให้การประเมินสารที่เข้าและสารที่ออกจากระบบหรือประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงระบบนั้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น

ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยการทำงาน (Functional unit) ขอบเขตระบบ (System boundary) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) ขอบเขตของการศึกษา

2.1.1.1 <u>ขอบเขตของการศึกษา (System boundary)</u>

เป็นตัวกำหนด ระบบ ขอบเขต ความต้องการข้อมูล สมมติฐาน และข้อจำกัดของข้อมูล โดยที่ควรมีการกำหนดรายละเอียดของขอบเขตที่เพียงพอ เพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างและความลึกในการวิเคราะห์นั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งขอบเขตทั้งหมดรวมทั้งลำดับขั้นและสมมติฐานควรกล่าวไว้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย ในบางครั้งอาจต้องกล่าวรวมถึงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ (ท้องถิ่น เชื้อชาติ ภูมิภาค ทวีปหรือทั่วโลก) และเวลา (ชีวิตของผลิตภัณฑ์และช่วงเวลาของข้อมูลที่นำมาศึกษา) ด้วย

วัตถุประสงค์ของการกำหนดขอบเขตของการศึกษาคือ เพื่อบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของการศึกษา LCA ซึ่งควรประกอบไปด้วย

- การกำหนดสิ่งที่จะศึกษาและหน่วยงานการทำงาน
- การกำหนดพารามิเตอร์ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- การบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายในการทำ LCA
- การกำหนดขอบเขตของเวลาในการดำเนินการ รวมทั้งเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในระบบผลิตภัณฑ์
- การปันส่วนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (allocation) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์

2.1.1.2 <u>หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function)</u>

การกำหนดขอบเขตการศึกษา LCA ควรระบุหน้าที่ และคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน เนื่องจากผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ อาจมีหน้าที่หลายอย่าง ตัวอย่างเช่น รองเท้า มีหน้าที่หลักคือใส่เพื่อป้องกันเท้า แต่ยังมีหน้าที่รองอื่นๆ ที่เป็นปัจจัยสำคัญ เช่น ใส่เพื่อเป็นแฟชั่น ใส่เพื่อความเหมาะสมกับชุดหรือเพื่อเป็นทางการ หรือใส่แล้วสะดวกสบายกับผู้ใช้ อีกตัวอย่างเช่น หน้าที่หลักของสีทาบ้าน คือทาเพื่อรักษาวัสดุที่เป็นตัวบ้าน แต่ยังมีหน้าที่รองอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น เพื่อความสวยงาม เป็นต้น ซึ่งหากต้องการศึกษา LCA ของผลิตภัณฑ์ที่โดยครอบคลุมทั้งหน้าที่หลักและหน้าที่รอง จะทำให้การศึกษาดังกล่าวมีความซับซ้อนและยากยิ่งขึ้น ดังนั้นหน้าที่ที่ถูกเลือกมาเพื่อทำการศึกษา LCA จะต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

2.1.1.3 <u>หน่วยการทำงาน (Functional Unit)</u>

หน่วยการทำงาน จะถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาเข้า และสารขาออกจากระบบ หน่วยการทำงานมีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่แตกต่างกันระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียวกัน ซึ่งหน่วยการทำงานมีได้หลายรูปแบบเช่น

- การผลิตกระป๋องอลูมิเนียม 1 กระป๋อง หรือ
- การผลิตกระป๋องอลูมิเนียมจากปริมาณวัตถุดิบ 1 ตันอลูมิเนียม
- การกำหนดปริมาณของสารซักฟอกที่จำเป็นสำหรับการซักล้างในครัวเรือน
- จำนวนมือที่ถูกทำให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลมร้อน
- ขวดพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำผลไม้ขนาด 2 ลิตร

2.1.1.4 ขอบเขตของระบบ (System boundary)

ขอบเขตของระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์ (product system) กับสิ่งแวดล้อม หรือกับระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยระบบผลิตภัณฑ์ คือ ระบบที่ถูกจำลองขึ้นจากกระบวนการย่อย (unit process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกันโดยอาศัยการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่ต้องนำไปบำบัดของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง ดังนั้นในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วย กระบวนการย่อย ผังการไหลของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ และผังการไหลออกของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

กรณีศึกษา LCA ต้องทราบว่าอะไรคือสิ่งที่จะทำการศึกษาและจะศึกษาอย่างไร ซึ่งผลของการศึกษาจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษานั่นเอง โดย LCA สามารถนำไปใช้กับเป้าหมายหลักๆ ที่มีความแตกต่างกัน ได้แก่

- เพื่อวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของการออกแบบข้อมูลในเชิงตัวเลขค่อนข้างมาก
- เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งต้องอาศัยความรู้ของระบบผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องและข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อ

2.1.2 **การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม** (Life Cycle Inventory, LCI,ISO14041)

เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอน การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ขั้นตอนนี้รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้า(inputs) และสารขาออก (outputs)จากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือการปล่อยของเสียออกสู่อากาศ น้ำและดิน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลในการทำ Life Cycle Inventory (LCI) จากซีเมนต์ 1 kg ในโรงงานของประเทศ สวีเดน

INPUTS		OUTPUTS	
Raw Materials		**Air Emissions**	
Explosives	0.27 g	Carbon dioxide	800 g
Grinding media	0.09 g	Particulate	0.16 g
Iron sulfate	9.2 g	Nitrogen oxides	1.9 g
Quartzite	46 g	Hydrocarbons	0.016 g
Waste oil	12 g	Ashes	0.0020 g
Limestone	1400 g	Cadmium	0.000010 g
Gypsum	46 g	Methane	0.31 g
		Carbon monoxide	0.78 g
		Chromium	0.000017 g
Energy		Copper	0.0000026 g
Coal	0.86 MJ	Mercury	0.0000035 g
Coke	1.5 MJ	Nitrous oxide	0.00000015 g
Diesel	0.058 MJ	PAH	0.00000034 g
Fossil fuel	0.93 MJ	Lead	0.0000087 g
Oil	0.016 MJ	Phenol	0.00000042 g
Waste fossil fuel	0.53 MJ	Sulfur dioxide	0.45 g
Electricity	0.47 MJ	Thallium	0.00010 g
		Volatile organic carbons	0.13 g
		Zinc	0.000013 g
		Water Emissions	
		COD	0.000087 g
		Total nitrogen	0.000014 g
		Oil	0.000030 g

ที่มา: Steven B. et al., 2002

ขั้นตอนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น มีดังนี้

2.1.2.1 <u>การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล</u>

การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล เริ่มจาก

- การร่างผังการไหลที่แสดงถึงกระบวนการย่อย (unit process) ทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย
- การอธิบายรายละเอียดของแต่ละกระบวนการย่อยและหาความสัมพันธ์ของการจัดกลุ่มข้อมูลในแต่ละกระบวนการย่อยๆนั้น
- กำหนดและระบุหน่วยที่ใช้ในการวัด
- อธิบายถึงเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลและเทคนิคในการคำนวณแต่ละกลุ่มข้อมูล เพื่อช่วยให้ทราบแหล่งที่มา และทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นว่ามีข้อมูลอะไรบ้างที่ต้องใช้เพื่อการศึกษา LCA ในครั้งนี้ ในการเก็บข้อมูลอาจเริ่มจากรายงานต่างๆ และสื่อสิ่งพิมพ์ที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งอ้างอิงได้ และควรจะมีการรายงานที่มาของ

ข้อมูลเป็นรายลักษณ์อักษรอย่างชัดเจน ในกรณีที่ต้องมีการจัดเตรียมข้อมูลเป็นพิเศษ หรือมีข้อมูลที่ผิดปกติแต่จำเป็นต้องใช้

- ข้อมูลที่เกี่ยวกับการป้อนวัตถุดิบเข้าไปในระบบเป็นสิ่งที่สำคัญ ข้อมูลที่จะเลือกใช้ควรตรวจสอบย้อนกลับไปถึงวัตถุดิบได้ รวมทั้งต้องมีข้อมูลของสารที่ออกจากระบบย่อยทั้งหมดและการปล่อยมลพิษต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อมด้วย นอกจากนี้ ควรรวมการขนส่งมาอยู่ภายในระบบด้วยเช่นกัน

2.1.2.2 <u>การเก็บรวบรวมข้อมูล</u>

เมื่อแบ่งกระบวนการทั้งระบบออกเป็นกระบวนการย่อยๆต่างๆ แล้ว จึงทำการรวบรวมข้อมูล โดยต้องแสดงรายละเอียดของสารขาเข้า (วัตถุดิบและพลังงาน) และสารขาออก (ผลิตภัณฑ์ ของเสีย มลสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ น้ำ และดิน) ซึ่งความยากง่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูลเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษา และควรหลีกเลี่ยงการนับซ้ำ (double counting) ตัวอย่างแบบฟอร์มที่ใช้เก็บข้อมูลแสดงอยู่ในรูปที่

ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพของสารขาเข้าและสารขาออก จะต้องมีการกำหนดว่ากระบวนการนั้นเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ใดพร้อมทั้งกำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงานด้วย เมื่อกระบวนการย่อยมีสารขาเข้าไปหลายชนิด (เช่น มีทางน้ำเข้าหลายที่เข้าไปในโรงบำบัดน้ำ) หรือสารขาออกหลายชนิด จะต้องมีขั้นตอนการปันส่วน (allocation) มาเกี่ยวข้องสำหรับพลังงานขาเข้าและขาออกก็ควรมีการกำหนดปริมาณในหน่วยของพลังงาน และบันทึกมวลหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงไว้

เมื่อพบว่ามีข้อมูลที่ไม่สามารถสืบหาได้โดยตรง ผู้วิจัยอาจใช้แหล่งข้อมูลอื่นๆ ดังต่อไปนี้

- ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นหรือนักออกแบบกระบวนการ
- การคำนวณทางวิศวกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและองค์ประกอบทางเคมีของกระบวนการ
- การประมาณจากกระบวนการหรือวัตถุดิบที่คล้ายกัน
- สิ่งตีพิมพ์และฐานข้อมูลแหล่งอื่น

แหล่งข้อมูลที่ใช้ประกอบการศึกษามี 2 แหล่ง คือ แหล่งข้อมูลปฐมภูมิและแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (CSA, 1994)

แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Sources) เป็นแหล่งข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิ จะได้จากโรงงานโดยตรง ซึ่งอาจเป็นรายงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตของโรงงาน

ข้อมูลปริมาณการผลิตในแต่ละวัน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลเฉพาะของแต่ละโรงงาน และเป็นข้อมูลที่แสดงถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบัน

แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Sources) เป็นแหล่งข้อมูลที่ประกอบด้วยฐานข้อมูลต่างๆ คือ หนังสือ เอกสารหรือรายงานที่ต้องเสนอให้แก่หน่วยงานราชการในแต่ละปี เป็นต้น ข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิเป็นข้อมูลทั่วไปที่ไม่เฉพาะเจาะจงเหมือนกับข้อมูลปฐมภูมิ แต่อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทำรายงานนั้นๆ ในการศึกษาจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ จะต้องพิจารณาถึงช่วงเวลาของข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูลด้วย

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory, LCI) จะสามารถพิจารณาได้ 2 ลักษณะคือ (Steven B. et al, 2002)

1. การศึกษาแบบ Cradel-to-gate ซึ่งในกรณีศึกษาปูนซีเมนต์จะศึกษาถึงการรวมเอาทรัพยากรทั้งหมดและความต้องการในการใช้พลังงานในการผลิตปูนซีเมนต์ เฉพาะภายในโรงงานเท่านั้น (gate)

2. การศึกษาแบบ Cradle-to-grave ซึ่งในกรณีศึกษาปูนซีเมนต์จะศึกษาทุกหน่วยของกระบวนการผลิตตั้งแต่ต้นกำเนิดของทรัพยากรจนถึงขั้นสุดท้ายของการกำจัด

2.1.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment, LCIA,ISO 14042)

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จัดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคในการจัดการข้อมูลด้านคุณภาพ และปริมาณเพื่อนำมาจำแนกและประเมินผลของสภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากองค์ประกอบของบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบนั้นมีขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ประกอบด้วย การจำแนกข้อมูลเข้าไปอยู่ในกลุ่มของผลกระทบ (Classification) และการทำ Characterization และขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม เช่น การเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีลักษณะสำคัญ ดังนี้

1. เป็นการมองประเด็นด้านการใช้ทรัพยากรและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์หนึ่งหรือหลายระบบ อย่างเป็นระบบ และมีมุมกว้าง

2. เป็นการนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการ มาทำการจัดกลุ่มผลกระทบและคัดเลือกตัวชี้วัดของกลุ่ม จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณเพื่อให้ทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญหรือก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงที่สุดและเกิดจากกระบวนการหรือขั้นตอนใดในระบบผลิตภัณฑ์

วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการประเมินผลกระทบ คือ การประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk Assessment) ซึ่งเป็นการประเมินที่ใช้เกณฑ์การพิจารณาจากโอกาสของการเกิดผลกระทบและความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น

โอกาสของการเกิดผลกระทบหรือความเป็นไปได้ที่จะเกิดผลกระทบ สามารถพิจารณาได้จากความถี่ของเหตุการณ์ในอดีตที่ผ่านมา หรือพิจารณาจากวิธีการทำงาน หรือระบบป้องกันที่ดี โอกาสของการเกิดผลกระทบก็น้อย โอกาสของการเกิดผลกระทบยังสามารถพิจารณาได้จากมาตรการติดตามตรวจสอบ เพราะถ้าหากมีการตรวจสอบอยู่เสมอก็จะทำให้ทราบปัญหาและสามารถหาทางแก้ไขและป้องกันได้ แต่ถ้าไม่มีการตรวจสอบเลยก็จะมีโอกาสเกิดปัญหาได้มาก นอกจากนั้นสถานะของสารยังสามารถบ่งบอกถึงโอกาสในการเกิดผลกระทบได้อีกทางหนึ่ง โดยก๊าซจะมีโอกาสเกิดปัญหามากกว่าของเหลว และของแข็ง ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น จะพิจารณาได้จากระดับความเป็นอันตรายของสารมลพิษ ปริมาณของสารมลพิษ และช่วงระยะเวลาที่ได้รับ ที่มีต่อผู้ที่ได้รับผลกระทบและต่อสิ่งแวดล้อม

จากหลักการของการประเมินความเสี่ยงสามารถกำหนดเป็นเกณฑ์การพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

	คะแนน
1. โอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความเป็นไปได้ (L_1)	
- ไม่มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ใช้วัตถุดิบ	1
- มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำหรือใช้วัตถุดิบเล็กน้อย	2
- มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปานกลางหรือใช้วัตถุดิบกานกลาง	4
- มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงหรือใช้วัตถุดิบค่อนข้างสูง	6
- ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในสภาวะการดำเนินงานปกติหรือใช้วัตถุดิบสูง	8
- การออกแบบกระบวนการส่งผลให้เกิดกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือใช้วัตถุดิบสูงมาก	10
2. ผลกระทบที่เกิดขึ้น ผลกระทบต่อความปลอดภัยและสุขอนามัยของคนหรือสัตว์เลี้ยงที่เกี่ยวข้อง (C_1)	
- ไม่มีผลกระทบ	
- ไม่เป็นพิษแต่อาจก่อให้เกิดการระคายเคือง	1
	2

	คะแนน
- มีการทำลายผิวหนังเล็กน้อย การทำลายเป็นไปอย่างช้าๆ	4
- ส่งผลกระทบอย่างช้าๆ แต่มีความรุนแรงค่อนข้างมาก	6
- ทำลายโครงสร้างของเซลล์	8
- อาจเป็นเหตุให้เสียชีวิต	10
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (C_2)	
- ไม่มีผลกระทบ	1
- ทำให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำ อากาศ หรือดิน เพียงเล็กน้อย สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้อย่างรวดเร็ว	2
- ระบบนิเวศวิทยาได้รับความเสียหายเพียงชั่วคราวและสามารถคืนสู่สภาพเดิมได้	4
- ระบบนิเวศวิทยาได้รับความเสียหายมาก ใช้เวลานานกว่าจะกลับสู่สภาพเดิม	6
- ถิ่นที่อยู่อาศัยของพืชหรือสัตว์ถูกทำลาย สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้เพียงบางส่วน	8
- ระบบนิเวศวิทยาถูกทำลายโดยสิ้นเชิง ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีกเลย	10
ปริมาณที่ปล่อยออกมา (C_3)	
- ไม่มีการปล่อยสารอันตราย	1
- ต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดตลอดระยะเวลาการทำงาน	2
- ต่ำกว่าระดับมาตรฐานในสภาวะการทำงานปกติ แต่อาจสูงกว่าเล็กน้อย (ไม่เกินร้อยละ 10 ของระดับมาตรฐาน)* ในสภาวะการทำงานที่ไม่ปกติ	4
- ต่ำกว่าระดับมาตรฐานในสภาวะการทำงานปกติ แต่อาจสูงกว่ามาก (สูงกว่าร้อยละ 10 ของระดับมาตรฐาน)* ในสภาวะการทำงานที่ไม่ปกติ	6
- สูงกว่าระดับมาตรฐานเล็กน้อย (ไม่เกินร้อยละ 10 ของระดับมาตรฐาน)* ในสภาวะการทำงานปกติ	8
- สูงกว่าระดับมาตรฐานมาก (สูงกว่าร้อยละ 10 ของระดับมาตรฐาน)* ในสภาวะการทำงานปกติ	10

* เกณฑ์การกำหนดใช้เฉพาะในงานวิจัยนี้

การพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นการพิจารณาขนาดความรุนแรงของผลกระทบควบคู่ไปกับโอกาสของการเกิดผลกระทบและปริมาณที่ได้รับ ดังนั้นการประเมินประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญ จึงเกิดจากการให้คะแนนของทั้งสามส่วนดังนี้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2542)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$S = (L_1)x(C_1+C_2)x(C_3)$$

โดยความสำคัญของประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสำคัญของประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม

ช่วงคะแนน	**นัยสำคัญ**
2 – 50	น้อยมาก
50 – 200	น้อย
200 – 400	ปานกลาง
400 – 1000	สูง
1000 – 2000	สูงมาก

2.1.4 การแปลผล (Interpretation ,ISO 14043)

ขั้นการแปลผลเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้รับจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA รวมถึงจัดทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้

การแปลผลการศึกษาประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ได้แก่

1) การจำแนกประเด็นที่สำคัญที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นการวิเคราะห์ LCI และ LCIA ของการทำ LCA

2) การประเมินค่า (evaluation) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ความอ่อนไหวของผลการศึกษา และความสอดคล้องของข้อมูล

3) การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะและรายงานผล

2.2 เครื่องมือภายใต้หลักการทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นนั้นในทางเศรษฐศาสตร์มองว่าเกิดจากการที่กลไกลราคาไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือที่เรียกว่าระบบตลาดล้มเหลว (market failures) เนื่องจากมลพิษเป็นผลกระทบภายนอก (externalities) ที่เกิดจากการที่ผู้ประกอบการผลักภาระค่าใช้จ่ายในส่วนที่ตนต้องรับผิดชอบให้กับสังคมเพื่อลดต้นทุนการผลิต

ประกอบกับทรัพยากรธรรมชาติเป็นสินค้าที่ไร้ราคา (free goods) และไม่สามารถกีดกันการเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ โอกาสที่ถูกทำลายหรือใช้อย่างไม่มีประสิทธิภาพจึงมีมาก

เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์เป็นวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ที่รัฐนำมาใช้แทรกแซงตลาดเพื่อพิทักษ์สิ่งแวดล้อม โดยเครื่องมือดังกล่าวอาจแบ่งเป็นกลุ่มดังนี้ (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม ,2541) 1) เครื่องมือทางด้านการเงินการคลัง 2) เครื่องมือทางการตลาด 3) เครื่องมือเสริมสร้างแรงจูงใจในการจัดการสิ่งแวดล้อม

2.2.1 **เครื่องมือทางด้านการเงินการคลัง**

การนำเครื่องมือในกลุ่มนี้มาใช้จะตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสามารถในการบำบัดมลพิษให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด เครื่องมือนี้เป็นการเรียกเก็บค่าตอบแทนจากการเข้าไปใช้ทรัพยากร และเรียกเก็บจากกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเป็นเสมือนการกำหนดราคาตลาดให้แก่ทรัพยากรและผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งอีกนัยหนึ่งก็คล้ายกันกับการเก็บภาษีเพื่อสะท้อนมูลค่าที่แท้จริงของทรัพยากร แต่การเก็บค่าธรรมเนียมจะให้ผลที่ชัดเจนกว่าในการบริหารจัดการ เนื่องจากผู้ใช้ทรัพยากรจะรู้สึกถึงผลที่เกิดขึ้นได้ชัดเจน อันมีผลต่อไปถึงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ใช้ทรัพยากรให้เป็นไปในทิศทางที่ต้องการ

ข้อดีของการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมอยู่ที่ความชัดเจนในการปรับพฤติกรรมของผู้ใช้ทรัพยากร และข้อดีที่ต่างไปจากการเก็บภาษี คือจะมีความคล่องตัวและยืดหยุ่นได้มากกว่า เนื่องจากไม่ต้องอิงระบบภาษี สามารถปรับเปลี่ยนอัตราที่เรียกเก็บให้สอดคล้องกับสถานการณ์ได้ง่ายกว่าภาษี และมีปัญหาน้อยกว่าในการกระจายค่าธรรมเนียมที่เรียกเก็บมาได้

ข้อเสียคือความยุ่งยากในการจัดตั้งระบบการเก็บ เริ่มตั้งแต่การเลือกฐานที่จะเก็บค่าธรรมเนียม การกำหนดอัตราให้สอดคล้องและสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการบริหารจัดการทรัพยากรที่กำหนดเป้าหมายไว้ การกำหนดหน่วยงานรับผิดชอบ และการจัดสรรและบริหารรายได้ที่เกิดจากค่าธรรมเนียม

เครื่องมือในกลุ่มนี้ได้แก่

2.2.1.1 <u>ระบบการเก็บค่าใช้บริการ / ค่าปล่อยมลพิษ (Charge System)</u>

เป็นระบบที่กำหนดให้ผู้ก่อมลพิษจะต้องจ่ายค่าใช้จ่ายหรือค่าใช้บริการจากสิ่งแวดล้อมโดยค่าใช้จ่ายนี้จะถูกบวกเข้าไปในการคำนวณต้นทุนและผลประโยชน์ของผู้ก่อมลพิษ

การนำระบบการเก็บค่าใช้บริการแบบนี้มาใช้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสามารถในการบำบัดมลพิษให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยแหล่งกำเนิดมลพิษใดไม่สามารถปฏิบัติตามที่กฎหมายกำหนดได้จะต้องจ่ายค่าปล่อยมลพิษ ซึ่งอัตราการจัดเก็บจะแตกต่างกันไปตาม

ชนิดประเภทและปริมาณมลพิษที่ปล่อยหรือส่งเข้าบำบัดหรือกำจัด การจัดเก็บในระบบนี้ประกอบด้วย 4 ลักษณะ คือ

1) ค่าใช้บริการ (User Charges)

User charges คือเงินที่จ่ายสำหรับต้นทุนในการบำบัดหรือกำจัดของเสียตามลักษณะของเสีย ว่ายากหรือง่ายต่อการบำบัดหรือกำจัด มีความเป็นพิษมากน้อยแค่ไหน หรือตามน้ำหนักหรือปริมาณของเสีย เช่น user charges ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการคำนึงถึงค่าเสียหายด้านสิ่งแวดล้อม การเก็บประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นการจ่ายให้กับแหล่งบำบัดมลพิษของรัฐโดยตรงที่พบเห็นแพร่หลายมากที่สุดคือการเก็บเงินค่าเก็บขนและกำจัดขยะมูลฝอย หรือการเก็บค่าดูดส้วม เป็นต้น ข้อดีของค่าใช้บริการคือ

- ค่าบริการนี้สามารถนำมาเป็นค่าใช้จ่ายที่ครอบคลุมการรวบรวมและการบำบัดหรือกำจัดของเสีย และค่าบริการนี้สามารถปรับเพิ่มลดได้สะดวก
- สร้างแรงจูงใจ เพราะผู้เสียค่าบริการเมื่อต้องเป็นผู้จ่ายเงินก็จะพยายามลดปริมาณการผลิตของเสีย

ข้อจำกัด สำหรับระบบนี้คือไม่ควรใช้กับสารพิษหรือสารอันตรายอันไม่ควรปล่อยลงสู่แหล่งน้ำอย่างเด็ดขาด

2) ค่าปล่อยมลพิษ (Effluent Charges หรือ Emission Charges)

Effluent Charges คือ เงินที่เรียกเก็บจากการปล่อยสารมลพิษสู่อากาศ แหล่งน้ำ หรือดิน และการทำให้เกิดมลพิษทางเสียง โดยที่ค่าปล่อยมลพิษนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณและลักษณะของสารมลพิษ รวมทั้งค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วการเก็บค่าปล่อยมลพิษประเภทนี้มักทำควบคู่กับมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมเพื่อควบคุมให้ได้มาตรฐานโดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เช่น (1) การคิดเงินเรียกเก็บตามเป้าหมายคุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น คุณภาพน้ำในแม่น้ำ หรือ (2) การคิดเงินเรียกเก็บขึ้นกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดมลพิษให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดให้ปล่อยได้ ข้อดีของค่าปล่อยมลพิษคือ

- เป็นแหล่งรายได้ในการบำบัดหรือกำจัดสารมลพิษ และสามารถปรับปรุงอัตราค่าปล่อยมลพิษได้ง่าย
- เป็นแรงจูงใจในการลดสารมลพิษในอากาศ แหล่งน้ำ ดิน และเสียง

3) ค่าธรรมเนียมผลิตภัณฑ์ (Product Charges)

เงินที่บวกเข้าไปในราคาของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดมลพิษในขั้นตอนของการผลิต หรือการบริโภค หรือในการกำจัด ค่าผลิตภัณฑ์นี้อาจจะกำหนดจากลักษณะหรือองค์ประกอบบาง

ประการของผลิตภัณฑ์ (เช่น ส่วนประกอบของซัลเฟอร์ในถ่านหิน)หรือจากตัวผลิตภัณฑ์ (เช่น ค่าถ่านหิน)

4) ค่าปรับ (Fine) ในกรณีที่ผู้ประกอบการไม่ดำเนินการบำบัดมลพิษ

โดยหลักการแล้วการกำหนดอัตราค่าปรับต้องไม่ต่ำกว่าต้นทุนส่วนเพิ่ม (marginal cost)ในการบำบัดมลพิษ ส่วนค่าปรับนั้นต้องไม่ต่ำกว่าอัตราค่าใช้บริการและควรจะสูงกว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการควบคุมมลพิษของผู้ประกอบการเอง ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ประกอบการซื้อเวลาในการพัฒนาระบบควบคุมมลพิษของตนเอง

2.2.1.2 ภาษี (Tax)

ภาษีที่เก็บอาจอยู่ในรูปภาษีสิ่งแวดล้อม โดยเก็บจากมลพิษที่ผู้ประกอบการทำให้เกิดขึ้นหรือการทำให้ฐานทรัพยากรเลวลง ซึ่งมีผลให้ผู้ประกอบการต้องลดการก่อมลพิษหรือชะลอการเข้าใช้ทรัพยากรลง หรือเก็บจากผลผลิตที่ได้มาจากกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรที่ยั่งยืน ซึ่งมีผลทางอ้อมทำให้ผู้บริโภคลดการบริโภคลง และทำให้ผู้ประกอบการต้องลดการผลิตลง ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังสามารถเรียกเก็บจากปัจจัยการผลิตที่เป็นปัจจัยสำคัญของกิจกรรมที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อม หรือเก็บจากการนำเข้า-การส่งออกสินค้าที่นำมาใช้ในการผลิตหรือกิจกรรมอื่นรวมทั้งการบริโภคที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ข้อดีของการใช้การเก็บภาษี คือ การที่สามารถวางระบบให้สอดคล้องไปกับระบบการเก็บภาษีที่มีใช้กันอยู่แล้ว ไม่สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายในการติดตามควบคุม ทั้งยังเป็นแหล่งรายได้ของรัฐ ข้อเสียคือการขาดความยืดหยุ่น ยากต่อการปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อม ซึ่งมีโอกาสที่จะเปลี่ยนแปลงไปได้ง่ายและรวดเร็ว นอกจากนั้นในขั้นแรกที่จะนำมาบังคับใช้ ก็จะประสบกับกระแสต่อต้านเนื่องจากประชาชนไม่ต้องการจ่ายภาษีมากขึ้น ผู้บริหารที่มาจากการเลือกตั้งก็อาจไม่ให้การยอมรับ เนื่องจากไม่ต้องการสร้างภาพลบให้แก่คะแนนนิยมของตน การเรียกเก็บภาษีจึงเป็นมาตรการที่ไม่ได้รับความนิยม แม้จะง่ายต่อการบริหารจัดการ เนื่องจากเป็นมาตรการที่ประชาชนผู้เสียภาษีไม่ยินดียอมรับ และแม้จะได้การยอมรับแล้วเมื่อนำมาปฏิบัติใช้ก็ยังมีปัญหาการขาดความยืดหยุ่น ยากต่อการปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับสถานการณ์

นอกจากการเรียกเก็บภาษีแล้ว รัฐยังอาจใช้โครงสร้างภาษีที่ต่างกัน (differentiatial tax structure) โดยเรียกเก็บภาษีจากกิจกรรมหรือสินค้าที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในทางลบมาก ในอัตราภาษีที่สูงกว่า เพื่อจูงใจให้ผู้ประกอบการลดกิจกรรมที่ทำลายสิ่งแวดล้อม

ภาษีที่มีการนำมาใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ได้แก่ การกำหนดภาษีผลผลิตหรือวัตถุดิบ (input / output tax) ภาษีจากการขายหรือภาษีสรรพสามิต (sale or excise

tax) และการตั้งอัตราภาษีให้ต่างกัน (tax differentiation) การใช้ระบบภาษีในการจัดการสิ่งแวดล้อมนี้มีวัตถุประสงค์ให้ผู้บริโภคและผู้ประกอบการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมไปสู่การบริโภคหรือการจัดการที่มีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมให้น้อยลง เหมาะสำหรับนำมาใช้กับแหล่งกำเนิดมลพิษเคลื่อนที่ (mobile sources) และที่ไม่สามารถกำหนดสถานที่ (non-point sources) เช่น ราคาน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วที่ถูกกว่าน้ำมันเบนซินมีสารตะกั่วก็เป็นการใช้มาตรการภาษีในสินค้าที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างกัน ประสิทธิภาพในการใช้ระบบนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการหาสินค้าทดแทน ถ้าสัดส่วนต้นทุนของสินค้าหรือปัจจัยที่ใช้มีน้อย การใช้มาตรการดังกล่าวก็จะมีผลน้อย แต่ถ้าสินค้ามีโอกาสทดแทนได้มาก และสัดส่วนของต้นทุนในด้านสิ่งแวดล้อมมีมาก มาตรการดังกล่าวก็จะมีประสิทธิภาพมาก สำหรับรายได้จากการเก็บภาษีจากการขายสินค้าก็อาจนำมาใช้ปรับปรุงสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสินค้านั้นได้โดยตรง

2.2.1.3 ค่าธรรมเนียมการบริหาร (Administration Fee)

หมายถึงเงินที่รัฐเรียกเก็บตามกฎหมาย ซึ่งมีหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการเก็บและกฎหมายที่รองรับ สำหรับการจัดเก็บค่าธรรมเนียมในการจัดการสิ่งแวดล้อมนั้นจะเรียกเก็บจากผู้ประกอบการหรือผู้ก่อมลพิษที่แสวงหากำไร โดยเรียกเก็บทันทีที่ยื่นขออนุญาตดำเนินการ ซึ่งอาจจ่ายเป็นก้อนเพียงครั้งเดียวหรือเป็นรายปีหรือทุกสิ้นงวดระยะเวลาที่กำหนดก็ได้

อัตราค่าธรรมเนียมที่เรียกเก็บจะแตกต่างกันตามขนาดของพื้นที่ ปริมาณ และชนิดของมลพิษ การจัดเก็บค่าธรรมเนียมดังกล่าวนี้รวมถึงการจัดเก็บค่าธรรมเนียมในการควบคุมและมอบอำนาจ (control and authorization fees) เช่น ค่าจดทะเบียนสารเคมี ค่าบริหารและบังคับใช้ ระเบียบต่างๆ เป็นต้น

2.2.2 **การสร้างตลาดและใบอนุญาตซื้อขาย** (Market creation and marketable permit)

การสร้างตลาดและใบอนุญาตซื้อขาย เป็นเครื่องมือที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานการสร้างระบบตลาดเกี่ยวกับการซื้อขายของเสียหรือสารมลพิษ ที่มีกลไกราคาเป็นตัวกำหนด รัฐเพียงแต่มีหน้าที่ในการส่งเสริมสนับสนุนให้กลไกตลาดทำงานอย่างมีระบบและต่อเนื่อง รวมทั้งติดตามเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ศูนย์แลกเปลี่ยนของเสีย (Waste Exchange Center) ธุรกิจอุตสาหกรรมของเสีย สำหรับ marketable permits นั้น สหรัฐอเมริกาได้มีการกำหนดปริมาณที่อนุญาต (Quotas, allowances) หรือเพดาน (ceilings) ของระดับมลพิษที่อุตสาหกรรมหนึ่งปล่อยได้ในแต่ละปีของทั้งประเทศ แล้วทำการจัดสรรใบอนุญาต (permits) ให้แหล่งกำเนิดมลพิษปล่อยมลพิษไปตามเป้าหมายสิ่งแวดล้อมที่กำหนดขึ้น หลังจากที่ได้รับใบอนุญาต หากสามารถจัดการลดการปล่อยมลพิษต่ำกว่าระดับที่ได้รับอนุญาต แหล่งกำเนิดก็สามารถจะนำส่วนต่างนี้ไปขายในตลาดที่

กำหนดได้ (ปัจจุบันมีการซื้อขายใบอนุญาตเหล่านี้ผ่าน Chicago Board of Trade หรือ ตลาดหลักทรัพย์ที่เมืองชิคาโก) ตัวอย่างที่เกิดขึ้นในสหรัฐอเมริกาในกรณีนี้ ได้แก่ ใบอนุญาตในการปล่อยสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ของบริษัทผลิตไฟฟ้าในรัฐต่างๆ

ประโยชน์ของใบอนุญาตซื้อขาย คือ

1. ประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับจากการควบคุมให้ปฏิบัติตามกฎหมาย
2. ไม่มีผลกระทบต่อการผลิตสินค้า
3. ใช้ในการจัดการมลพิษได้ทั่วประเทศ

เครื่องมือทางการตลาดที่สำคัญที่นำมาใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ได้แก่

2.2.2.1 <u>ระบบมัดจำ- คืนเงิน (Deposit-Refund System)</u>

เป็นระบบที่กำหนดให้มีการจ่ายค่ามัดจำ (deposit) สำหรับผลิตภัณฑ์หรือการผลิตที่มีศักยภาพในการก่อมลพิษ และจะได้รับเงินมัดจำคืน (refund) เมื่อนำผลิตภัณฑ์นั้นกลับคืนมา ณ สถานที่ที่กำหนดหลังจากการใช้หรือเมื่อเสร็จสิ้นการผลิต ตัวอย่างของเครื่องมือเศรษฐศาสตร์นี้ คือ ค่ามัดจำขวด ค่ามัดจำแบตเตอรี่ พันธบัตรที่นำมาประกัน (performance and assurance bonds) หรือมัดจำโดยบริษัทเหมืองแร่ บริษัทป่าไม้และบริษัทพัฒนาที่ดิน เป็นต้น

แนวคิดนี้เป็นการป้องกันปัญหามลพิษตั้งแต่เริ่มผลิตสินค้าจนถึงสิ้นสุดอายุการใช้งานของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ (life cycle approach) ซึ่งมีอย่างน้อย 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

1) ระบบมัดจำ – คืนเงิน โดยที่มีการประเมินของเสียไว้ล่วงหน้า ซึ่งผู้ประกอบการต้องมีการชำระเป็นรายปีหรือทุกสิ้นงวดระยะเวลาที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อเป็นการประกันว่าผู้ก่อมลพิษจะควบคุมและกำจัดมลพิษได้หมดและต่อเนื่อง ผู้ประกอบการยังจะต้องวางมัดจำเป็นเงินสดหรือพันธบัตรหรือหนังสือค้ำประกันลักษณะอื่นๆ อีกจำนวนหนึ่งไว้เป็นหลักประกันด้วย
2) ระบบคืนเงินมัดจำหรือเงินค่าประกันให้กับผู้บริโภค เช่น ในกรณีที่ซื้อสินค้าไปแล้วนำภาชนะบรรจุภัณฑ์กลับมาคืน ใช้กันมากในหลายประเทศกับบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดเครื่องดื่ม เพื่อการใช้ซ้ำหรือการแปรรูปใช้ใหม่

2.2.2.2 <u>ใบอนุญาตปล่อยมลพิษที่ซื้อขายได้ (Tradable pollution permits)</u>

การสร้างระบบตลาดเกี่ยวกับการซื้อขายของเสียหรือสารมลพิษโดยรัฐเป็นผู้ให้การสนับสนุน เช่น ศูนย์แลกเปลี่ยนของเสีย ธุรกิจซื้อขายของเสียซึ่งมีการกำหนดปริมาณที่อนุญาตหรือเพดานของระดับมลพิษที่อุตสาหกรรมหนึ่งสามารถปล่อยได้ในแต่ละปี แล้วทำการจัดสรรใบอนุญาตให้ปล่อยมลพิษนั้นๆ สามารถนำไปขายในตลาดที่กำหนดได้ หากสามารถจัดการลดการปล่อยมลพิษของตนลงต่ำกว่าระดับที่ได้รับอนุญาต

จุดเด่นที่สำคัญของสิทธิ์การทิ้งมลพิษนี้ คือ เป็นวิธีการที่ทำให้การบำบัดเสียต้นทุนต่ำที่สุดและยังเป็นการเพิ่มรายได้อีกด้วย วิธีการนี้จะสามารถบรรลุเป้าหมายด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าวิธีการเก็บเงินค่าปล่อยมลพิษ นอกจากนี้วิธีการนี้ยังมีความยืดหยุ่นในด้านเวลา มีสิ่งจูงใจให้ผู้ผลิตหาเทคโนโลยีใหม่ๆ ในการบำบัด มีการวิเคราะห์ที่ชี้ให้เห็นว่าวิธีนี้สามารถลดต้นทุนในการบำบัดได้ดีกว่าวิธีการเก็บค่าปล่อยมลพิษ

มาตรการสำหรับสิทธิ์ซื้อขายก็มีปัญหาในการดำเนินการเช่นกัน ประเด็กแรกคือการกำหนดความหมายที่ชัดเจนของ “สิทธิ์ในการปล่อยมลพิษ” ที่จะซื้อขายได้และการกำหนดพื้นที่ที่กระจายเอกสารสิทธิ์ในการปล่อยมลพิษในระยะเริ่มต้น นอกจากนี้เจ้าหน้าที่ยังต้องมีการติดตามตลาดของเอกสารสิทธิ์เพื่อทราบถึงความเคลื่อนไหวตลอดเวลา

2.2.2.3 <u>การประกันความเสี่ยงเสียหาย (Liability Insurance)</u>

วิธีการนี้บริษัทประกันภัยจะเป็นผู้รับผิดชอบความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นโดยเรียกเก็บค่าประกันความเสี่ยงจากผู้ที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมได้ โดยค่าธรรมเนียมในการประกันจะสะท้อนถึงขนาดและโอกาสของความเสียหายที่จะเกิดขึ้นอย่างแท้จริง นอกจากนี้ระบบนี้จะมีแรงจูงใจในรูปแบบของเบี้ยประกันที่ลดลงเมื่อผู้ทำประกันไม่ได้ก่อให้เกิดความเสียหายตามกำหนด

2.2.3 **เครื่องมือสร้างเสริมแรงจูงใจในการจัดการสิ่งแวดล้อม**

เป็นเครื่องมือที่กำหนดขึ้นเพื่อสร้างแรงจูงใจให้ผู้ก่อมลพิษหรือผู้ประกอบการที่ประสบปัญหาการควบคุมมลพิษให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของตน อาจอยู่ในรูป (1) เงินให้เปล่า (2) เงินกู้อัตราดอกเบี้ยต่ำ (3) การลดภาษีเพื่อให้ผู้ก่อลดปัญหามลพิษ (4) เงินกู้เพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อม เช่น การซื้อเครื่องมือหรือใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ (5) แรงจูงใจด้านภาษีอาจอยู่ในรูปของการให้ประโยชน์ด้านภาษีหรือการหักค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรเครื่องมือในการบำบัดมลพิษให้ดีขึ้น รัฐอาจให้ประโยชน์ด้านภาษีเมื่อโรงงานใช้ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีหรือทำการผลิตโดยปล่อยมลพิษน้อยที่สุด นอกจากนี้แรงจูงใจด้านภาษียังใช้ในการโยกย้ายโรงงานไปยังแหล่งใหม่เพื่อลดปัญหามลพิษ ขนาดของแรงจูงใจด้านภาษีขึ้นอยู่กับระบบและลักษณะการเก็บภาษี ทั้งนี้ประโยชน์ด้านภาษีควรให้เมื่อพบว่าการโยกย้ายทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายของผู้ประกอบการสูงและเป็นการเปลี่ยนรูปการใช้ประโยชน์ในทางที่ดีขึ้น ข้อดีคือการเคลื่อนย้ายทุนเพื่อใช้ในกิจกรรมที่ปลอดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและไม่ทำลายทรัพยากร ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการมีแรงจูงใจที่จะทำกิจการที่ไม่มีผลกระทบในทางลบ และสามารถแก้ไขความล้มเหลวของระบบตลาดได้ในระดับหนึ่ง ข้อเสียคือไม่สามารถทำให้ผู้ที่ก่อผลกระทบทางลบเข้ามารับภาระต้นทุนที่ตนเป็นต้นเหตุได้โดยตรง ทั้งรัฐยังต้องการจัดหากองทุนในการดำเนินการและ

บริหารจัดการ ตลอดจนการติดตามควบคุม ให้การใช้เงินเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นภาระที่เพิ่มขึ้น

เครื่องมือดังกล่าวมีรูปแบบต่างๆ ดังนี้

2.2.3.1 การให้เงินทุนช่วยเหลือหรือเงินให้เปล่า (Grant)

การอุดหนุนเงินช่วยเหลือเป็นการให้เงินที่ผู้รับการอุดหนุนไม่ต้องจ่ายคืน โดยที่ผู้ก่อมลพิษจะต้องมีการนำมาตรการที่นำไปสู่การลดมลพิษในอนาคตมาใช้ เช่น การให้เงินช่วยเหลือแก่ผู้ผลิตในการดำเนินการลดมลพิษและการให้เงินช่วยเหลือสำหรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้บริโภคให้หันมาใช้ผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดมลพิษลดลง เป็นต้น

2.2.3.2 การให้เงินกู้อัตราดอกเบี้ยต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในตลาดหรือซอฟท์โลน (Soft loan)

การให้เงินกู้ที่มีอัตราดอกเบี้ยต่ำกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในตลาดเป็นมาตรการหนึ่งที่สามารถชักจูงให้ผู้ก่อมลพิษปฏิบัติตามมาตรการลดมลพิษที่กำหนด โดยหันมาใช้วิธีการผลิตที่ไม่สะอาด เช่นการลงทุนในเทคโนโลยีที่ไม่ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมหรือการลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดมลพิษ เป็นต้น

2.2.3.3 การลดหย่อนภาษี (Tax Allowances)

เป็นการให้สิทธิประโยชน์ทางด้านภาษีกับผู้ก่อมลพิษเมื่อมีการนำมาตรการลดมลพิษมาใช้ หรือใช้วิธีการผลิตที่ไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อมเช่น การหักค่าเสื่อมราคาได้เร็วขึ้น การยกเว้นภาษีหรือค่าปล่อยมลพิษและการคืนเงินย้อนหลัง เป็นต้น

2.2.3.4 แรงจูงใจโดยการบังคับทางกฎหมาย [(Financial) Enforcement incentives]

เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ประเภทนี้เป็นเครื่องมือเศรษฐศาสตร์ทางอ้อม คือ เป็นเครื่องมือทางด้านกฎหมายมากกว่าทางเศรษฐศาสตร์โดยตรง กล่าวคือ การไม่ปฏิบัติตามกฎหมายจะ “ถูกลงโทษ” ไม่ว่าจะเป็นก่อนกระทำ (โดยการกำหนดให้จ่ายเงินคืนเมื่อมีการทำตามกฎหมาย) หรือหลังกระทำ (โดยการคิดค่าปรับเมื่อไม่ทำตามกฎหมาย) แรงจูงใจโดยการบังคับทางกฎหมายเป็นเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ที่ทำให้เกิดการทำตามกฎหมายเพราะเมื่อผู้ก่อมลพิษเลือกที่จะไม่ทำตามกฎหมายก็มีต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น เครื่องมือนี้มีหลายประเภท คือ

1) ค่าปรับ (Non- Compliance Fees)

เงินที่ผู้ก่อมลพิษต้องจ่ายเมื่อไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบที่มีอยู่ จำนวนค่าปรับจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับผลกำไรที่ได้จากการไม่ทำตามกฎหมาย และความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้น

2) พันธบัตรการปฏิบัติงาน (Performance Bonds)

การออกพันธบัตรเป็นเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่ช่วยลดภาระการกำจัดมลพิษโดยรัฐ ทั้งนี้ภาครัฐต้องเรียกเก็บเงินล่วงหน้าจากผู้ประกอบกิจกรรมที่อาจก่อมลพิษความเสียหายแก่ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม โดยเก็บในรูปของพันธบัตร ซึ่งการเก็บเงินก่อนโดยการออกพันธบัตรนี้ผู้ถือพันธบัตรสามารถนำพันธบัตรไปใช้เป็นหลักทรัพย์ได้ ผู้ประกอบการจะได้รับเงินคืนหลังจากเสร็จสิ้นกิจกรรม และพิสูจน์ได้ว่ากิจกรรมนั้นๆ ไม่ได้ก่อให้เกิดความเสียหายขึ้น

การออกพันธบัตรสามารถลดภาระค่าใช้จ่ายของภาครัฐลง เพราะให้เป็นภาระของผู้ประกอบการแทน ซึ่งเป็นการบังคับทางอ้อมให้ผู้ประกอบการให้ความสนใจที่จะประกอบกิจกรรมโดยไม่ให้เกิดผลกระทบทางลบแก่ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมให้มากที่สุด ทั้งนี้ผู้ประกอบการที่ไม่ก่อผลกระทบจะได้รับเงินคืนเต็มจำนวน จึงมีแรงจูงใจที่จะทำกิจกรรมโดยพยายามไม่ให้เกิดผลกระทบในทางลบให้มากที่สุด นับเป็นการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ได้ผลมากกว่าการให้ภาครัฐเข้ามาแก้ไขเพียงฝ่ายเดียว

ข้อเสียของวิธีการใช้การออกพันธบัตรอยู่ที่ความยากที่จะชักจูงให้ผู้ประกอบการยอมรับการเรียกเก็บเงินล่วงหน้า เนื่องจากเขาจะต้องจ่ายค่าเสียโอกาสของเงินจำนวนนี้ และวิธีการนี้ไม่สะดวกที่จะนำมาใช้กับผู้ประกอบการหรือผู้ก่อมลพิษรายย่อย

เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ต่างๆ ที่กล่าวนี้ ได้มีการนำมาใช้กันเป็นระยะเวลานานพอสมควรแล้วในต่างประเทศ โดยจากการทบทวนเอกสารพบว่าส่วนใหญ่เป็นการนำมาใช้ในประเทศพัฒนาแล้ว โดยเฉพาะประเทศในกลุ่ม Organization for Economic Co-operation and Development (OECD,1996) ขณะที่การนำมาใช้ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาพบว่ามีน้อยมาก สำหรับรูปแบบและลักษณะการนำมาใช้จะเป็นการใช้ร่วมกันระหว่างวิธีการบังคับและควบคุมโดยตรงกับเครื่องมืออื่นๆ และการใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากเครื่องมือต่างๆ จะมีความเหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม สังคมและโครงสร้างของสถาบันที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4 นอกจากนี้เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการจัดการปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมไม่ได้เกี่ยวข้องกับเฉพาะปัญหาคุณภาพสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอีกด้วย การใช้มาตรการรวมหลายๆ อย่างเพื่อจัดการด้านสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น (OCED, 1996)

ตารางที่ 2.4 เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์และข้อดีข้อเสีย

เครื่องมือ	ข้อดี	ข้อเสีย
ค่าใช้บริการ User Charges	เพิ่มรายได้ให้แก่รัฐ ค่าใช้จ่ายดำเนินการสูง	ต้องควบคุมให้ดี
ค่าปล่อยมลพิษ Effluent Charges	เพิ่มรายได้ให้แก่รัฐ จูงใจให้ลดมลพิษ จูงใจให้ใช้เทคโนโลยีใหม่	ดำเนินการซับซ้อนและ ค่าใช้จ่ายสูง
ค่าธรรมเนียมผลิตภัณฑ์ Product Charges	เพิ่มรายได้ให้แก่รัฐ ส่งเสริมให้สินค้าปลอดภัย	ต้องมีสินค้าและปัจจัย ทดแทนได้มาก
ค่าธรรมเนียมการบริหาร Administation Fee	เพิ่มรายได้ให้แก่รัฐ สนับสนุนการควบคุม	ใช้ได้จำกัด
ภาษีที่แตกต่าง Tax Difference	ส่งเสริมการใช้สินค้าปลอดภัย	ใช้ได้จำกัด
ใบอนุญาตซื้อขาย Marketable Permit	ส่งเสริมให้ลดต้นทุนของ ผู้ประกอบการเพิ่มรายได้ให้แก่ รัฐใช้เทคโนโลยีใหม่	มีค่าใช้จ่ายสูง ดำเนินการซับซ้อนและ ค่าใช้จ่ายสูง
การประกันความเสี่ยงเสียหาย Libility Insurance	จูงใจในการควบคุมต้นทุนใน การตรวจสอบต่ำ ส่งเสริมใช้ เทคโนโลยีใหม่	ต้องมีระบบตลาดดี ประเภทโรงงานคงเดิม
ระบบมัดจำ- คืนเงิน Deposit-Refund System	ส่งเสริมการแปรรูปใช้ใหม่ รัฐมีส่วนร่วมน้อย	เอกชนรับภาระบริหาร อาจมีของปลอมมาปะปน
ค่าปรับ Noncompliance Fee	ทำตามระเบียบมากขึ้น	ใช้ได้จำกัด
พันธบัตรการปฏิบัติงาน Performance Bond	จูงใจให้ปรับปรุง	ใช้ได้จำกัด

ที่มา : OCED., 1996

2.3 การใช้มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดการปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของต่างประเทศ

สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2541) ศึกษาได้ว่าเครื่องมือเศรษฐศาสตร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การเก็บค่าก่อมลพิษและการให้เงินอุดหนุน ส่วนประเทศที่ถือได้ว่ามีความก้าวหน้าและเป็นตัวอย่างที่ดีในการนำเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาใช้คือ ประเทศเยอรมนี ประเทศสวีเดน และประเทศเนเธอร์แลนด์ ทั้งนี้ประเทศต่างๆ ในโลกมีแนวโน้มที่จะใช้เครื่องมือเศรษฐศาสตร์ในการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมขึ้นเรื่อยๆ จากตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเอาเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาใช้สำหรับการจัดการมลพิษและการใช้ทรัพยากรบางประเภท

ตารางที่ 2.5 เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์จำแนกตามกลุ่มและการใช้งาน

MBI Category / Sectoral Concern	Market Creation	Fiscal Instrument	Charge System	Financial Instrument	Liability System	Deposit-refund System and Guarantee Bond
Air pollution	Tradable Emission permits	Emission charges		Technology Subsidies,low -interest loans		
Solid waste		Property taxes	Collection charges			Deposit-refund schemes
Hazardous waste			Collection charges	Waste Delivery incentives	Joint liability	Guarantee bond,deposite-refund schemes
Toxic chemicals		Tax differentiation			Legal liability liability insurance	Deposite-refund schemes
Water pollution	Tradable Emission permits	Effuent charges	User fees, wastewater Treatment fees	Low interest loans		

ที่มา: ADB.,1997

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุตสาหกรรมหลายประเภทได้นำเอาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น Anderson และคณะ (1998) ได้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตซอสมะเขือเทศโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Cradle to Gate ที่ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ การทำการเกษตร การผลิต (ซอส ไฟฟ้า และน้ำตาลดิบ) การขนส่ง การบรรจุหีบห่อ การบำบัดน้ำเสีย และการจัดการบรรจุภัณฑ์หีบห่อ ส่วนการผลิตอื่นๆ เช่น การผลิตขวดใส่ซอส การผลิตหมึก การผลิตกาว และการผลิตสี ไม่ได้นำมาพิจารณา สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่ได้จากโรงงาน การสัมภาษณ์ และรายงานด้านสิ่งแวดล้อม ในส่วนของการประเมินผลกระทบ Anderson และคณะ ได้แบ่งผลกระทบออกเป็น ผลกระทบที่ทำให้โลกร้อน (Globol Warming) การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Depletion) การเกิดฝนกรด (Acidification) ปรากฏการณ์ที่ทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Eutrophication) ปรากฏการณ์ Photochemical Oxidation และความเป็นพิษต่อมนุษย์ ซึ่งผลของการประเมินทางสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ผลกระทบต่อปรากฏการณ์ทำให้โลกร้อน ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการแปรรูปและการบรรจุหีบห่อเนื่องจากมีการใช้พลังงานมาก
2) การเกิดฝนกรด เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบวนการแปรรูป
3) ปรากฏการณ์ Photo- Oxidant ส่วนใหญ่เกิดจากการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอน ในขั้นตอนการบรรจุหีบห่อ
4) ปรากฏการณ์ Eutrophication จะมีผลกระทบมากในส่วนของการเกษตร เพราะฟอสฟอรัสและไนโตรเจนที่ปล่อยสู่อากาศมาจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตร
5) ความเป็นพิษต่อมนุษย์จะเกิดจากสารโลหะหนักที่ปนมากับปุ๋ยและอันตรายจากความร้อนที่เกิดขึ้นในส่วนของการผลิตไฟฟ้า

นอกจากนั้นในงานวิจัยของ Anderson และคณะ ยังกำหนดให้การใช้พลังงานเป็นดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมด้วย ซึ่งในส่วนของการเก็บรักษาภายในตู้เย็นเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานมากที่สุด โดยการใช้พลังงานของการเก็บรักษาภายในตู้เย็นเป็นเวลา 1 ปี จะใช้พลังงานเท่ากับกระบวนการในส่วนของการบรรจุและกระบวนการแปรรูปรวมกัน

Hanssen (1998) ได้รวบรวมผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในประเทศนอร์เวย์และสวีเดน โดยแบ่งผลิตภัณฑ์ต่างๆ ออกเป็น 5 กลุ่มตามลักษณะการใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ในงานวิจัยของ Hanssen นี้ ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งผลกระทบออกเป็น การลดลงของแหล่งวัตถุดิบที่ไม่สามารถผลิตขึ้นใหม่ได้ การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ ปรากฏการณ์โลกร้อน การเกิดฝนกรด ปรากฏการณ์ Photochemical Oxidation ปรากฏการณ์ Nitrification ความเป็นพิษต่อคน และความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดย Hanssen ได้สรุปผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ และผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิต ดังแสดงในตารางที่ 2.7 โดยผลการประเมินแสดงว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักร และในแต่ละกลุ่มของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน ขั้นตอนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือ การผลิตวัตถุดิบ การผลิต และการใช้ผลิตภัณฑ์ สำหรับการผลิตวัตถุดิบที่มีผลทำให้แหล่งพลังงานลดลง ทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อนและทำให้เกิดฝนกรด คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ 1,2 และ 4 สำหรับการใช้ผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ 1,3 และ 5 จะทำให้เกิด Photochemical Oxidation โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่ม 1 และ กลุ่ม 3 ในส่วนของการขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์พบว่าเกือบทุกกลุ่มที่ศึกษามีผลกระทบน้อย ยกเว้นในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 4 ซึ่งจะมีผลกระทบทำให้เกิดฝนกรด และทำให้เกิดปรากฏการณ์ Photochemical Oxidation สำหรับการบรรจุหีบห่อของเสียที่เกิดขึ้นจากการบรรจุหีบห่อมีผลกระทบน้อยมาก แต่ภายหลังการใช้งานแล้ว ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากหีบห่อของผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ 4 จะมีผลกระทบมาก สำหรับขั้นตอนการจัดการของเสียจะเกิดกากของเสียทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์เพราะกากของเสียที่สามารถนำกลับมาใช้ได้มีน้อย

ตารางที่ 2.6 การจำแนกประเภทของผลิตภัณฑ์ตามลักษณะการใช้งาน (Hanssen ,1998)

กลุ่มที่	ลักษณะของกลุ่มผลิตภัณฑ์	ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษา
1	ผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในการใช้งาน	สีที่ใช้ในทะเล, สีทาภายในที่ใช้ตัวทำละลาย,สีทาภายในที่ใช้ตัวทำละลาย
2	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเคลื่อนย้าย	สายไฟ, คอนกรีต, เก้าอี้ทำงาน
3	ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเคลื่อนย้ายและมีการใช้พลังงาน	แกนเหล็กของไดนาโม
4	ผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลื่อนย้ายและไม่มีการใช้พลังงาน	บรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์นม, บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากอลูมิเนียม, บรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม
5	ผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลื่อนย้ายและมีการใช้พลังงาน	เรือยนต์ที่ทำจากพลาสติกเสริมใยแก้ว

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตปูนซีเมนต์มากมาย โดยเฉพาะเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงาน และลดสารมลพิษที่เกิดขึ้น ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ไม่ได้พิจารณาถึงการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ตัวอย่างการลดพลังงานเช่น การใช้สารเติมแต่ง (additives) ได้แก่ ขี้เถ้า ขี้โลหะ อิฐหัก บดผสมกับปูนเม็ดเพื่อลดพลังงานต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้โดย Das et al (1997) การใช้กากของเสียเป็นเชื้อเพลิงเพื่อแทนที่การใช้ถ่านหินบางส่วน และการลดอุณหภูมิของการเกิดปูนเม็ดเพื่อลดพลังงานที่ใช้โดย Schneider M. และ Kuhlmann K. (1997) เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 แสดงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แยกตามประเภทของผลิตภัณฑ์

ผลกระทบ	Fossil Fuel Depletion					Global Warming					Acidification					Photochemical Oxidation					Solid Waste				
กลุ่มของผลิตภัณฑ์	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
การได้มาของวัตถุดิบ	●	●	○	●	○	●	●	○	●	○	●	●	○	●	◍	◍	●	◍	◍	○	○	◍	◍	○	○
การผลิต	●	◍	○	◍	○	◍	◍	○	○	○	◍	◍	○	○	◍	◍	◍	●	●	○	◍	◍	○	○	○
การขนส่ง	◍	◍	○	◍	○	◍	◍	○	◍	○	●	◍	○	●	○	◍	○	○	●	○	●	○	○	○	○
การบรรจุหีบห่อ	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	◍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
การใช้ผลิตภัณฑ์	○	◍	●	○	●	◍	○	●	○	●	◍	◍	●	○	●	●	◍	●	○	●	◍	◍	◍	○	○
การจัดการของเสีย	○	○	○	○	○	○	○	○	◍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◍	○	◍	●	◍	●	●

● ผลกระทบมาก

◍ ผลกระทบปานกลาง

○ ผลกระทบน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ของโรงงาน Blue Circle Cauldon Environmental Report (1998) ใช้เศษยางรถยนต์แทนปริมาณถ่านหินบางส่วน ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลงแล้ว ยังสามารถลดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ลงได้อีกด้วย สำหรับการลดอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาในเตาสามารถทำได้โดยเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ เช่น Sharp และคณะ (1999) ใช้เบไลท์ (Ca_2SiO_4) แทนเอไลท์ (Ca_3SiO_5) เนื่องจากซิลิกา 1 โมล ในเอไลท์ จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต 3 โมล แต่ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในเบไลท์ 1 โมล จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต 2 โมล และปฏิกิริยาการเกิดปูนเม็ดของเบไลท์ ใช้อุณหภูมิประมาณ 1200 ^{O}C ซึ่งน้อยกว่าการเกิดปฏิกิริยาของเอไลท์ ที่ใช้อุณหภูมิประมาณ 1450 ^{O}C ทำให้พลังงานที่ใช้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการน้อยลงด้วย ซึ่งทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยลงเช่นกัน Raina และ Janakiraman (1998) ใช้แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) หรือยิปซัม ($CaSO_4$) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของปูนเม็ด และเป็นการลดอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาลงด้วย

การลดปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต Hiroshi (1996) ได้เสนอวิธีการลดฝุ่นโดยการเปลี่ยนกระบวนการให้เป็นระบบปิด และติดอุปกรณ์แยกฝุ่นจากก๊าซที่ปล่อยออกมา ปริมาณของฝุ่นซึ่งส่วนมากมาจากขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ การเผา และการบดละเอียด สามารถลดได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์แยกฝุ่นที่เหมาะสมกับขนาดของฝุ่นที่แขวนลอยในก๊าซ วิธีการนี้สามารถลดปริมาณฝุ่นในก๊าซที่ออกจากหม้อเผาจาก 0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในปี ค.ศ.1970 ลงมาเหลือ 0.02 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในปี ค.ศ.1994 และ ธิดา ทัศนราพันธ์ (2543) ได้พิจารณาการเปลี่ยนหม้อบดละเอียดจาก Ball Mill หรือ Tube Mill เป็น Roller Mill โดยพิจารณาผลกระทบเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์อย่างเดียว พบว่าการใช้ Roller Mill จะเกิดฝุ่นมากขึ้น แต่ถ้าพิจารณาโดยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่าทั้งปริมาณฝุ่นแขวนลอย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยกว่าการใช้หม้อบดแบบ Ball Mill หรือ Tube Mill ส่วนการเปลี่ยนหม้อเผาจาก Long Dry Kiln มาเป็น Suspension Preheater Kiln หรือ Kiln with Dry Calcinator ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงเพียงเล็กน้อย แต่หม้อเผาทั้งสองชนิดเป็นหม้อเผาที่ใช้เชื้อเพลิง อย่างมีประสิทธิภาพจึงใช้เชื้อเพลิงในปริมาณน้อยกว่า ทำให้ผลกระทบจากการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีปริมาณลดลงมาก สำหรับการหาขนาดของวัตถุดิบที่เหมาะสมพบว่าถ้าพิจารณาผลกระทบเฉพาะการผลิตปูนซีเมนต์ การเปลี่ยนขนาดของวัตถุดิบไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบ แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุดิบใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงจึงทำให้เกิดผลกระทบจากการประเมินวัฏจักรชีวิตน้อยลง

นอกจากนั้น Hiroshi ทำการลดการปล่อยสารมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมโดยการประหยัดพลังงานและทรัพยากรธรรมชาติ ดังนี้

1) การสร้างกระบวนการผลิตใหม่ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ สามารถทำได้โดย

-ขยายขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ให้อัตราการผลิตใกล้เคียงกับปริมาณปูนซีเมนต์ที่ตลาดต้องการ

- เปลี่ยนไปใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยขึ้น

- ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยควบคุมการผลิต

- เลิกใช้อุปกรณ์ที่ล้าสมัย

วิธีการดังกล่าวสามารถลดการใช้พลังงานความร้อนลงจากประมาณ 5,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของปูนเม็ด (clinker) ในปี ค.ศ. 1960 ลงเหลือประมาณ 3,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของปูนเม็ดในปี ค.ศ. 1994 ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงจาก 125 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันปูนซีเมนต์ในปี ค.ศ. 1960 ลงเหลือประมาณ 100 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันปูนซีเมนต์ในปี ค.ศ. 1994

ในส่วนของการบดสามารถลดพลังงานที่ต้องใช้ลงโดยการปรับปรุงกระบวนการบดเช่น เพิ่ม pregrinder (roller mill) ก่อนที่จะทำการบดด้วย ball mill

2) การปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่ เพื่อลดพลังงานความร้อนที่ใช้สามารถทำโดยการปรับปรุงกระบวนการต่างๆ เช่น การลดความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีของปูนเม็ดและก๊าซร้อน การนำของเสียที่ได้กลับมาใช้ในกระบวนการ ซึ่งนอกจากจะลดพลังงานลงแล้วยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตลงด้วย

3) การนำของเสียกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต

หลักการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ของเสียที่จะนำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- มีราคาต่ำกว่าวัตถุดิบที่ใช้อยู่
- ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของปูนซีเมนต์
- ไม่ก่อให้เกิดสารมลพิษอื่นๆ
- มีปริมาณเพียงพอตลอดระยะเวลาการดำเนินการ

ของเสียที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงสามารถป้อนเข้าได้สองทางคือ ป้อนเข้าทางหัวเผาหลัก และป้อนในส่วนของ precalcinator โดยของเสียที่นำมาใช้ร่วมกับวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงต้องนำมาผสมกับวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงหลักก่อน ของเสียที่ละเอียดและเผาไหม้ได้ง่ายป้อนพร้อมกับถ่านหินที่บดละเอียดแล้ว ส่วนของที่หยาบและติดไฟยาก เช่น ฝุ่นจากระบบบำบัดป้อนพร้อมถ่านหินก่อนนำไปบดละเอียด

สำหรับการลดปริมาณฝุ่นที่เกิดจากการผลิตซีเมนต์ Kessler (1995) ได้แนะนำดังนี้

1) ทำการตรวจวัดหาแหล่งที่เกิดฝุ่น และทำการติดตั้งระบบควบคุม

2)เลือกวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์และคลอรีนน้อย หรือเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ

3) นำฝุ่นที่ดักได้มาป้อนเข้าเตาใหม่ แต่วิธีนี้อาจจะต้องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นด้วย

ส่วนในกรณีของการลดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) McQueen et al (1995) ได้เสนอวิธีการลดไนโตรเจนออกไซด์ไว้ดังนี้

1) ดัดแปลงกระบวนการเผาไหม้ โดยลดปริมาณอากาศที่เกินพอ (Excess Air) เพิ่มก๊าซหมุนเวียน (Flue Gas Recirculation) หรือลดอัตราส่วน ความเร็ว และปริมาณออกซิเจนของอากาศที่เข้าเตาช่วงต้น (Primary Air)

2) ลดอุณหภูมิของเปลวไฟที่หัวเผา (Low NO_x Bumer)

3)เพิ่มช่วงของการแคลไซน์ (Precalciner Firing Zone) วิธีการนี้สามารถลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ได้ แต่อาจเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นเช่นกัน

4) ใส่แอมโมเนีย (NH_3) หรือยูเรีย ในช่วงอุณหภูมิ 1,000-1,900 ^{O}F เพื่อให้อนุมูลของแอมโมเนีย (NH_2 radical) ทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์ หรือ ใส่แอมโมเนียในช่วงอุณหภูมิ 600- 750 ^{O}F เพื่อทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์ได้ก๊าซไนโตรเจนและน้ำ

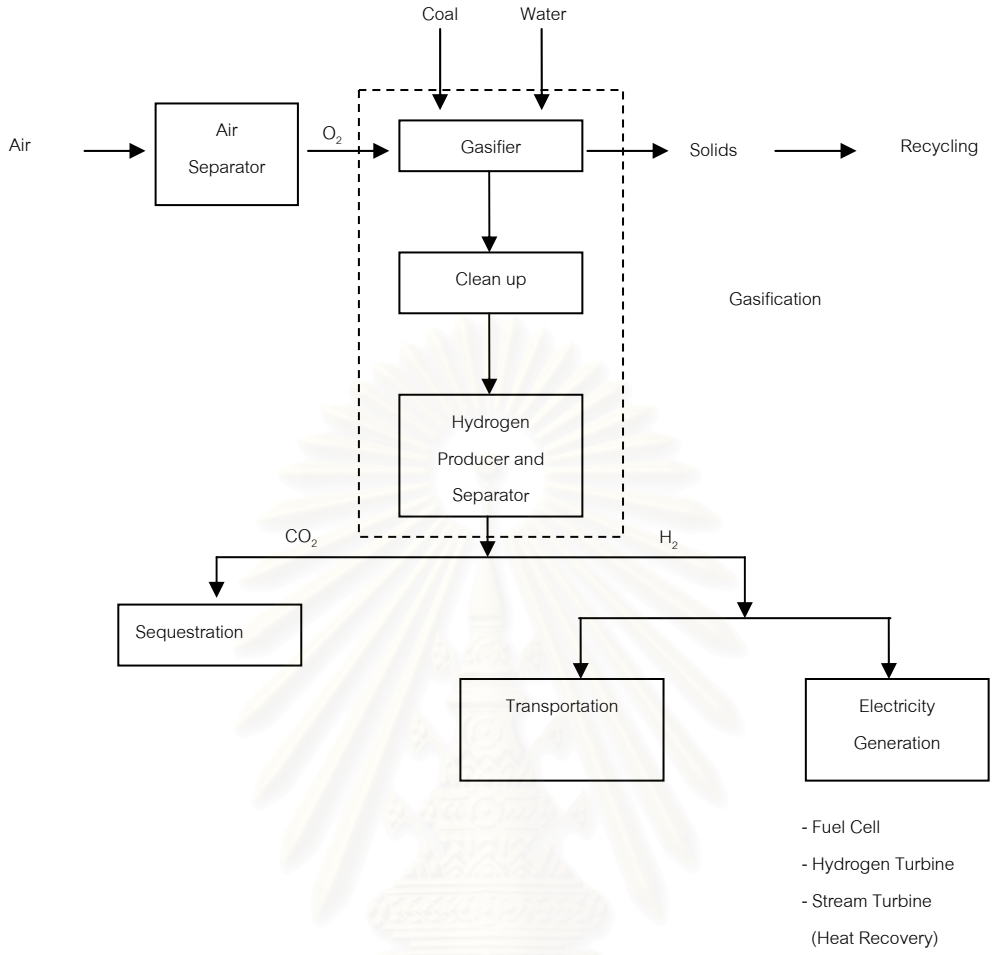
ศิริจันทร์ และ มานิจ (2550) ได้ศึกษาเรื่องโครงการเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด เทคโนโลยีหลักที่มีการวิจัยพัฒนา ได้แก่ เทคโนโลยีการเปลี่ยนให้เป็นก๊าซ (Gasification Technology) และเทคโนโลยีกังหัน (Turbine Technology) สำหรับเทคโนโลยีการเปลี่ยนเป็นก๊าซ เป็นเทคโนโลยีที่เปลี่ยนถ่านหิน หรือเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนให้เป็นก๊าซ เช่น คาร์บอนโมนอกไซด์ (Carbon Monoxide) ก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen) และผลพลอยได้ (Byproduct) ที่เป็นสารเคมีประเภทต่าง ๆ แล้วแต่องค์ประกอบของถ่านหิน หลังจากกำจัดละอองฝุ่นผงของถ่านหินและสารเคมีออก จะได้ก๊าซสังเคราะห์ (Synthesis gas) ที่เรียกว่า Syngas ซึ่งประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์และไฮโดรเจน ประมาณ 85% ส่วนที่เหลือจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน

Syngas ที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยผ่านระบบกังหันก๊าซความร้อนร่วม ซึ่งประกอบด้วยระบบกังหันก๊าซประสิทธิภาพสูง ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วใช้ความร้อนเหลือใช้ (Exhaust heat) จากกังหันก๊าซไปผลิตไอน้ำเพื่อผ่านเข้ากังหันไอน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม การใช้ Syngas ในการผลิตกระแสไฟฟ้านี้จะยังคงมีการปล่อยออกก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นเพื่อที่จะกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าถ่านหินสะอาดจึงต้องมีระบบการจำกัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย โดยที่ในการผลิต Syngas ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์กับไฮโดรเจน ในส่วนของก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์เมื่อใช้งานเสร็จจะรวมกับออกซิเจนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการการกำจัด ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซึ่งไม่มีผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจกและสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในด้านต่าง ๆ ได้ จึงมีความสนใจที่จะผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากถ่านหิน แล้วใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตกระแสไฟฟ้ารวมทั้งเมื่อมีเหลือก็จะสามารถนำไปใช้ในงานอื่น เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ทำให้ในขณะนี้ได้มีการวิจัยและพัฒนาการผลิตและการใช้งานก๊าซไฮโดรเจนเป็นงานหลักหนึ่งในด้านการวิจัยและพัฒนาพลังงานในสหรัฐอเมริกา

เพื่อให้สามารถวิจัยและพัฒนาแนวคิดที่จะนำไปสู่การผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหินโดยไม่มีการปล่อยออกก๊าซเรือนกระจกรัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้มีประกาศการลงทุนในโครงการ “Future Gen. Co- Production” ซึ่งจะเป็นโครงการ 10 ปีในวงเงิน 950 ล้านเหรียญสหรัฐ สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 275 เมกกะวัตต์ ที่มีการจับตรึง (Sequestration) 90% ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการวิจัยและพัฒนาจะประกอบด้วยงาน 5 ด้าน คือ เทคโนโลยีด้านระบบผลิตก๊าซ (Gasification system technology), การผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากถ่านหิน, กังหันก๊าซไฮโดรเจน, การผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell), และการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และตรึงไว้ในที่เก็บ (Storage) แบบต่าง ๆ รูปที่ 2.2 แสดงไดอะแกรมอย่างง่ายของโครงการ Future Gen

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 Project Future Gen

ที่มา : www.technologymedia.co.th

ถึงแม้ว่าการปรับปรุงกระบวนการผลิตในงานวิจัยนี้ข้างต้นจะช่วยลดพลังงานและสารมลพิษลงได้ แต่เมื่อพิจารณาตามหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่า การนำอุปกรณ์หรือวัตถุดิบใหม่เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตที่มีอยู่เดิม จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนอื่นๆ ในช่วงวัฏจักรชีวิตของการผลิต ซึ่งมักจะหมายความถึงความต้องการทางด้านพลังงานและวัตถุดิบที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับการเกิดสารมลพิษที่มากขึ้นด้วย ซึ่งสิ่งต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นโดยอ้อมจากการปรับปรุงกระบวนการเหล่านี้ไม่สามารถมองเห็นได้โดยง่าย แต่ต้องพิจารณาเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

Keoleian et al (2004) ได้ศึกษาเรื่องแบบจำลองต้นทุนตลอดอายุการใช้งานเพื่อการกำหนดค่าความทนทานของชิ้นส่วนสะพาน พบว่า ตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อม, เศรษฐกิจและทางสังคมนั้นแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของระบบพื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตในปัจจุบัน (ASCE

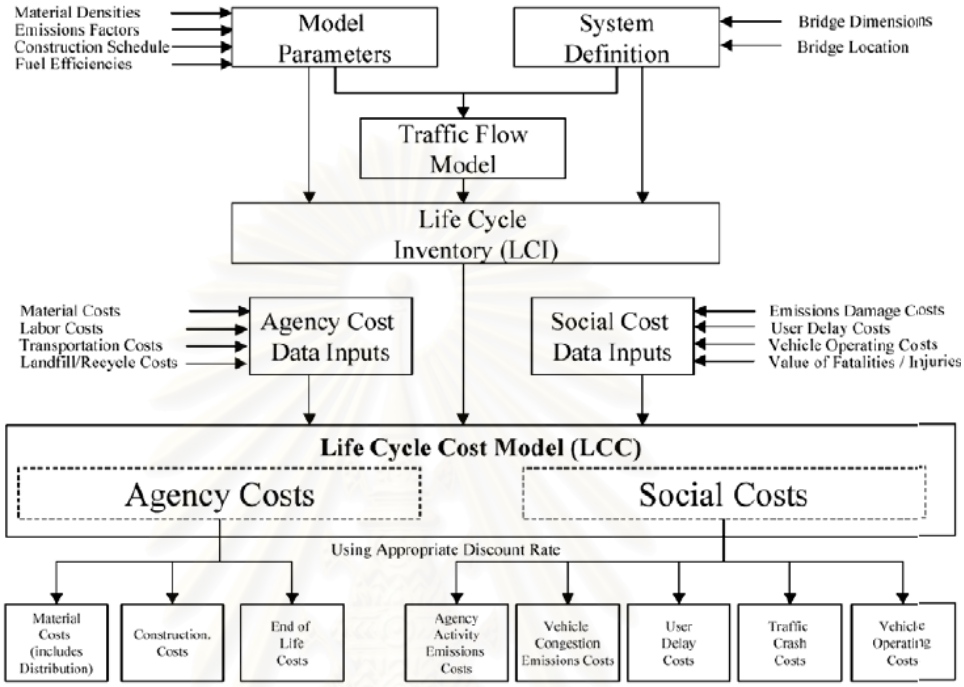
2001,TRIP 2002) ความเปราะ ความร่วนของคอนกรีตและขีดจำกัดของความทนทานของคอนกรีตนั้นนำไปสู่ ความล้มเหลวและการซ่อมแซมพื้นฐานโครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง มีการคาดคะเนว่า 1 ใน 3 ของทางหลวงของสหรัฐอเมริกานั้นอยู่ในสภาพที่ย่ำแย่ (ASEC,2001) ทำให้เกิดภาระทางสังคมซึ่งต้องใช้งบประมาณในการซ่อมแซมสูง และเกิดผลกระทบซึ่งเกิดจากการก่อสร้าง เช่น ความแออัดของจราจร พื้นฐานโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างและการบำรุงรักษาสิ่งก่อสร้างใหม่ที่เป็นอยู่ในขณะนี้นั้นนำไปสู่ผลลัพธ์สากลของการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีต ซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้เกิน 12 พันล้านตันต่อปี ปริมาณที่มากนี้แสดงให้เห็นถึงการหมุนเวียนที่มหาศาลของวัตถุดิบที่ใช้ระหว่างธรรมชาติกับมนุษย์ ซึ่งสิ่งนี้ถูกคาดหวังว่าจะมีการเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญที่จะเป็นเมืองมหานครของโลก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากปูนซีเมนต์เป็นสาเหตุให้เกิดการแผ่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทั่วโลกถึง 5% และหมายถึงระดับของ SO_2, NO_X , สารอนุภาค และมลพิษทางอากาศอื่นๆ ด้วย

ซึ่งงานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นถึงวัฏจักรชีวิตที่มีอยู่บนพื้นฐานของตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคม สำหรับการประเมินความมั่นคงของชิ้นสะพาน การศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบชิ้นของสะพาน 2 ระบบ คือ ระบบข้อต่อของคอนกรีตแบบธรรมดา (CC) และอีกแบบหนึ่งคือแบบคอนกรีตที่มาจากหลายส่วนประกอบ (ECC) ซึ่งระบบนี้มีความเป็นเอกลักษณ์ตรงที่มีวัสดุที่ทำมาจากไฟเบอร์กับการออกแบบโครงสร้างขนาดเล็ก ระบบนี้จะไม่เหมือนระบบอื่นเนื่องจากคอนกรีตประเภทนี้ จะมีการดึงตัวกันให้แน่นขึ้นมีการแตกตัวครั้งแรกคล้ายกับเหล็กที่มีการอ่อนตัวและได้มีการทดสอบแล้วว่า สามารถรับแรงดึงได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดาถึง 500-600 เท่า

<u>1.การนำเอาหลักการประเมินวัฏจักชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) มารวมกับแบบจำลองต้นทุน</u>

Keoleian et al (2004) ได้ศึกษาพบว่าแบบจำลองวัฏจักรชีวิตซึ่งเคยนำมาใช้ในการประเมินตัวชี้วัดด้านความมั่นคง ทนทานของพื้นฐานโครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง ซึ่งเกิดจากความรู้เบื้องต้น 2ส่วนประกอบกันคือ 1) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและการประเมินผลกระทบของการผลิตวัตถุดิบ, การก่อสร้าง, การใช้, การซ่อมแซม และการรื้อถอน 2) แบบจำลองต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของต้นทุนของธุรกิจ(agency costs) และต้นทุนทางสังคม (social costs) แสดงดังรูปที่ 2.3 ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่จะนำมาประเมินค่านั้นได้รวมเอาพลังงานและการใช้ทรัพยากรของวัตถุดิบ, การแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศและน้ำและการเกิดขยะ ต้นทุนของธุรกิจ ประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบ, ต้นทุนการก่อสร้าง, ต้นทุนการหมดอายุ ขณะที่ต้นทุนทางสังคมจะประกอบด้วย ต้นทุนในการบำบัดมลพิษที่เกิดจากกิจกรรมของธุรกิจ ,ความแออัดของจราจร, ความล่าช้าของผู้ใช้งาน, การชนของพาหนะและต้นทุนของการ

ดำเนินการด้านขนส่ง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ได้ถูกประเมินขึ้นเพื่อที่จะรองรับการใช้งานของสะพานที่มีอายุการใช้งานถึง 60 ปี ซึ่งต้องรองรับการไหลเวียนของจราจรถึง 35,000 คันต่อวันในแต่ละเส้นทาง



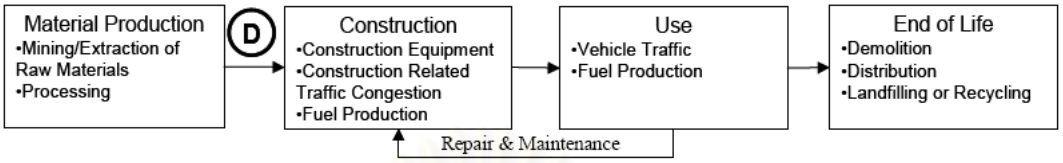
รูปที่ 2.3 แสดงต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost Model)

ที่มา: G.A. Keoleian et al., 2004

1.1 ระบบของสะพาน

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) มุ่งประเด็นที่การผลิตวัตถุดิบ, การก่อสร้าง,การใช้งานและการจัดการกับสิ่งก่อสร้างที่หมดอายุแล้วซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมชิ้นส่วนของสะพาน ดังรูปที่ 2.4 ดังนั้นการเริ่มต้นก่อสร้างสะพานจึงต้องใช้ทั้งสองระบบคือ ECC และ CC มาช่วยในการก่อสร้างซึ่งอยู่นอกเหนือในการศึกษาในครั้งนี้ สำหรับการประยุกต์แบบจำลอง LCA ครั้งนี้ ระยะเวลาของการใช้งานของชิ้นส่วนสะพานนี้ถูกคาดการณ์ว่าจะใช้งานได้ถึง 30 ปี สำหรับการใช้ระบบคอนกรีตแบบเสริมใยเหล็กแบบธรรมดา และจะใช้งานได้ถึง 60 ปี สำหรับการใช้ระบบ ECC แต่อายุการใช้งานได้เป็นสองเท่าของระบบ ECC นั้นยังไม่ได้รับการยืนยันที่ถูกต้องด้วยการสนับสนุนจากภาคสนามและการทดสอบจากห้องแล็ป รายละเอียดทางด้านคุณสมบัติและการออกแบบเหล่านี้มาจากการคาดการณ์ภายใต้เงื่อนไขโดยบริษัทที่เชี่ยวชาญทางด้านการก่อสร้าง

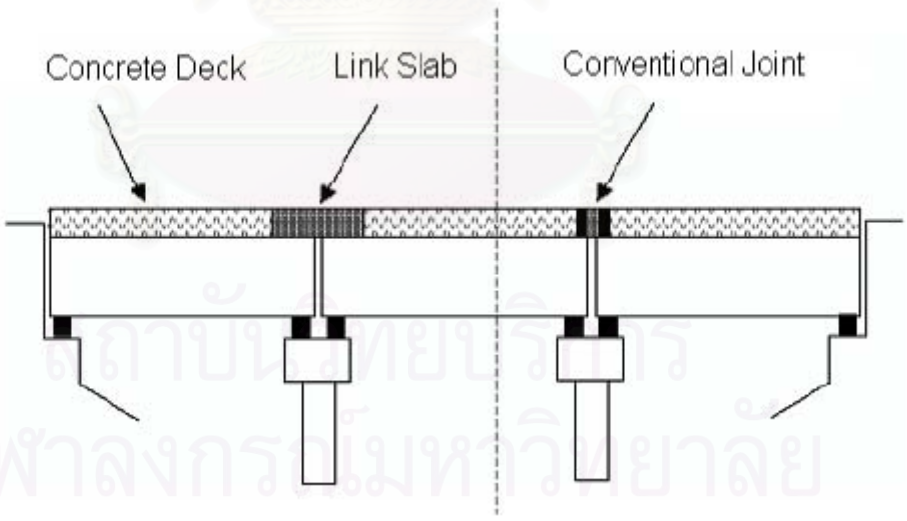
และผลจากการเรียนรู้นำร่อง ซึ่งสนับสนุนโดย มหาวิทยาลัยมิชิแกนสาขาการขนส่ง (Michigan Department of Transportation) (Li et al,2003)



รูปที่ 2.4 แสดงเฟสของวัฏจักรชีวิตของชิ้นส่วนของสะพาน(D-distribution)

ที่มา: G.A. Keoleian et al., 2004

แผ่นที่เชื่อม ECC นั้นมีความยาวถึง 3 เมตรและแผ่นนี้ถูกเทราดโดยตรงเพื่อติดกับคอนกรีตดังรูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อนั้นประกอบไปด้วย อุปกรณ์การขยายเหล็ก 2 ชิ้น ซึ่งมีแผ่นยางเชื่อมอยู่ระหว่างอุปกรณ์ 2 ชิ้นนี้ และมีหลักการ 3 อย่างที่ใช้เป็นหลักในการทำโครงสร้างสะพานใหม่ คือ การเปลี่ยนชิ้นส่วนสะพาน, การทำผิวหน้าของชิ้นส่วนสะพาน และการซ่อมแซมบำรุงรักษา



รูปที่ 2.5 แสดงการเชื่อมต่อแผ่นหินแบบ ECCและแบบ CC เสริมใยเหล็กแบบธรรมดา

ที่มา: G.A. Keoleian et al., 2004

G.A. Keoleian et al ได้วิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานแสดงในตารางที่ 2.8 ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานทั้งหมดของระบบ CC เป็นจำนวนเงินทั้งหมด 35.7 ล้านเหรียญ เมื่อเทียบกับระบบ ECC จะมีต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน 22.6 ล้านเหรียญ ระบบ ECC จะได้เปรียบมากกว่าระบบ CC ประมาณ 37%

ตารางที่ 2.8 ผลของต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน

	CC	ECC
Total Agency Cost	$751,058	$488,888
User Cost (time, fuel, crash)	$34,908,776	$22,074,667
Environmental Costs	$43,105	$23,399
Total Life Cycle Costs	$35,702,939	$22,586,954

ที่มา: G.A. Keoleian et al., 2004

สำหรับขยะที่เกิดขึ้นทั้งวัฏจักรชีวิต จากระบบ CC มีจำนวนถึง 3,970 ตัน และขยะจากระบบ ECC มีจำนวน 2,000 ตัน ซึ่งมีประมาณครึ่งหนึ่งของระบบ CC ซึ่งในทั้ง 2 ระบบ วัตถุดิบที่ใช้ทำสะพานเป็นส่วนประกอบหลักของขยะถึง 87% ในระบบ ECC และ 90% ในระบบ CC ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะนำคอนกรีตมาหมุนเวียนมาใช้ใหม่เพื่อลดขยะที่จะขึ้นซึ่งเสนอโดย ประธาน ธีรอัครวิภาส และอัคเดช พิศาบดินทร์ (2540) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตที่ผสมกับมวลรวมหยาบทั่วไปและคอนกรีตที่ใช้แทนวัสดุมวลรวมหยาบจากการย่อยคอนกรีตที่ใช้แล้ว ในอัตราส่วนแทนที่มวลรวมหยาบจากธรรมชาติร้อยละ 0,5,15 และ 30 โดยน้ำหนัก ทำการเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7,14,28 และ 90 วัน และกำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กในอัตราส่วนร้อยละ 50,100 โดยน้ำหนักที่อายุ 7,28 วัน

ผลการวิจัยพบว่า ค่าความละเอียดของมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยคอนกรีตใช้แล้วมีค่าความละเอียดสูงกว่าค่าความละเอียดของมวลรวมหยาบปกติ ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยคอนกรีตใช้แล้วมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบปกติ หน่วยน้ำหนักต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรของมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยคอนกรีตใช้แล้วมีค่าต่ำกว่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบปกติในด้านกำลังของคอนกรีตระหว่างคอนกรีตปกติกับคอนกรีตหมุนเวียนใช้ใหม่พบว่า

ก. ที่คอนกรีต 7 วัน ในอัตราส่วนทดแทนมวลรวมหยาบที่ร้อยละ 5 คอนกรีตหมุนเวียนใช้ใหม่มีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นจากคอนกรีตปกติร้อยละ 6.03 อัตราส่วนทดแทนมวลรวมหยาบที่ร้อยละ 15 และ 30 มีค่ากำลังอัดลดลงจากคอนกรีตปกติร้อยละ 2.52 และ 2.10 ตามลำดับ

ข. ที่คอนกรีต 14 วันในอัตราส่วนทดแทนมวลรวมหยาบที่ร้อยละ 5,15 และ 30 คอนกรีตหมุนเวียนใช้ใหม่มีค่ากำลังอัดลดลงจากคอนกรีตปกติร้อยละ 0.15,6.13 และ 6.20 ตามลำดับ

ค. ที่อายุคอนกรีต 28 วันในอัตราส่วนทดแทนมวลรวมหยาบที่ร้อยละ 5,15 และ 30 มีค่ากำลังอัดลดลงจากคอนกรีตปกติร้อยละ 1.50,1.92 และ 3.10 ตามลำดับ

ง. ที่อายุคอนกรีต 90 วัน ในอัตราส่วนทดแทนมวลรวมหยาบที่ร้อยละ 5 คอนกรีตหมุนเวียนใช้ใหม่มีค่ากำลังอัดเท่ากับคอนกรีตปกติ อัตราส่วนทดแทนมวลรวมหยาบที่ร้อยละ 15 และ 30 มีค่ากำลังอัดลดลงจากคอนกรีตปกติร้อยละ 1.49 และ 8.49 ตามลำดับ

ในด้านแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตระหว่างคอนกรีตปกติกับคอนกรีตหมุนเวียนใช้ใหม่ พบว่าที่อายุคอนกรีต 7 วันในอัตราส่วนทดแทนมวลรวมหยาบที่ร้อยละ 50 และ 100 คอนกรีตหมุนเวียนใช้ใหม่ มีค่าแรงยึดเหนี่ยวลดลงจากคอนกรีตปกติร้อยละ 3.28 และ 22.92 ตามลำดับ ที่อายุคอนกรีต 28 วันในอัตราส่วนทดแทนมวลรวมหยาบ ที่ร้อยละ 50 และ 100 คอนกรีตหมุนเวียนใช้ใหม่มีค่าแรงยึดเหนี่ยวลดลงจากคอนกรีตปกติร้อยละ 11.11 และ 14.18 ตามลำดับ

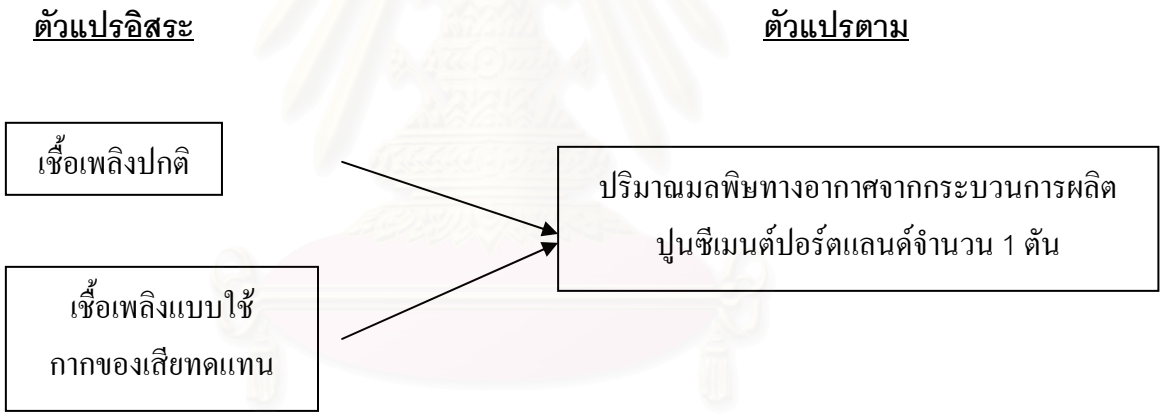
สุภาพ ตรีธัญญา (2542) ได้เสนอแนวทางเพิ่มเติมในเรื่องการนำคอนกรีตที่ใช้แล้วกลับมาแทนวัสดุมวลหยาบในงานก่อนสร้าง กรณีศึกษางานท่อระบายน้ำคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก โดยการศึกษาการนำคอนกรีตที่ใช้แล้วกลับมาแทนวัสดุมวลหยาบในงานก่อสร้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตใช้แล้ว 2) ศึกษาการนำคอนกรีตที่ใช้แล้วมาทดแทนมวลหยาบในการก่อสร้าง กรณีศึกษาท่อระบายน้ำคอนกรีตไม่เสริมเหล็กตาม มอก. 224-2533 และ มอก.566-2528 ขนาด 1/2,3/4 และ 1 นิ้ว ผลการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ที่ใช้แล้วที่นำมาเป็นวัสดุมวลหยาบในงานคอนกรีตพบว่าคุณสมบัติทางกลผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีต มอก. ที่ 566-2528 โดยมีค่าร้อยละการสึกกร่อนของมวลสาร (percentage of wear) เท่ากับร้อยละ 8.42 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานสมบัติมวลผสมคอนกรีตสำหรับงานคอนกรีตทั่วไปคือ ไม่เกินร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ดังนั้นวัสดุหยาบที่ได้จากคอนกรีตใช้แล้วสามารนำมาใช้แทนวัสดุมวลผสมคอนกรีตตามข้อกำหนดมาตฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีต มอก.566-2528 ได้

สำหรับการทดสอบท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็กมาทดแทนมวลหยาบในการก่อสร้างพบว่าท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็กที่มีขนาดของวัสดุมวลหยาบ 1/2 ,3/4 , และ 1 นิ้วเป็นส่วนผสมสามารถรับแรงกดได้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็กสำหรับงานระบายน้ำ มอก.224-2533 ที่มีค่ากำลังแรงอัด 2,653.06 กิโลกรัมต่อเมตร ซึ่งท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็กขนาด 1/2 ,3/4 , และ 1 นิ้ว มีค่ากำลังอัดสูงสุดเฉลี่ย 4,401.75, 4,496.25 และ 4,118.25 กิโลกรัมต่อเมตร ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าท่อคอนกรีตที่มีส่วนผสมมวลหยาบจากคอนกรีตใช้แล้วทั้ง 3 ขนาดสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้

กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดที่ 1

จากการสำรวจแนวคิด ทฤษฎี ตลอดจนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในต่างประเทศและในประเทศ ผู้วิจัยขอนำมาสังเคราะห์มาเป็นกรอบแนวคิดการวิจัย แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กรอบแนวคิดการวิจัยเรื่อง การใช้เชื้อเพลิงแบบใช้กากของเสียทดแทนมีผลให้ปริมาณมลพิษทางอากาศลดลง

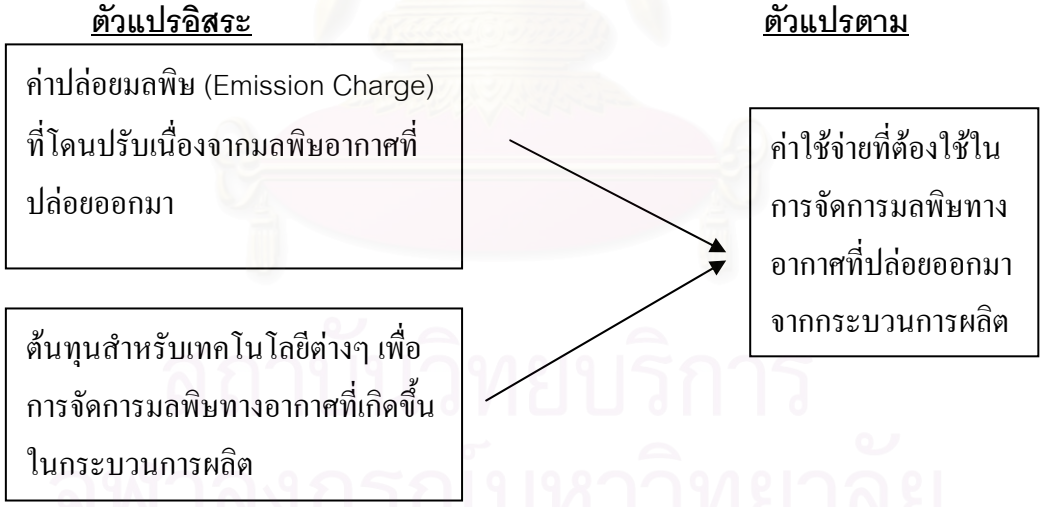
จากกรอบแนวคิดการวิจัยดังที่แสดงข้างต้น สามารถสรุปให้เห็นที่มาของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้ดังนี้

1. ตัวแปรตาม คือ ปริมาณมลพิษทางอากาศจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน 1 ตัน ซึ่งในการวัดตัวแปรตามนี้ ได้นำวิธีการตรวจวัดและค่ากำหนดปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์ที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535

2. ตัวแปรอิสระ คือ ประเภทเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน ได้แก่ เชื้อเพลิงปกติ และเชื้อเพลิงแบบใช้ของเสียทดแทน เหตุผลที่ผู้วิจัยได้หยิบยกตัวแปรด้านเชื้อเพลิงมาใช้เป็นตัวแปรอิสระในกรอบแนวความคิดที่ 1 นี้ ได้รับการสนับสนุนจากนักวิชาการหลายท่าน โดยเฉพาะที่สำคัญได้แก่ Das and Kanpal, Sharp and Yang, Schneider and Kuhlmann ที่ต่างเห็นพ้องต้องกันว่าในการลดสารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้กากของเสียเป็นเชื้อเพลิงเพื่อแทนที่การใช้ถ่านหินบางส่วน นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนจากข้อค้นพบในงานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ที่ได้จัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่พบว่าการนำกากของเสียไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์เป็นวิธีการที่ช่วยลดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นได้

กรอบแนวคิดที่ 2

จากการสำรวจแนวคิด ทฤษฎี ตลอดจนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในต่างประเทศและในประเทศ ผู้วิจัยขอนำมาสังเคราะห์มาเป็นกรอบแนวคิดการวิจัย แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กรอบแนวคิดการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีและการจัดการมลพิษทางอากาศ

จากกรอบแนวคิดการวิจัยดังที่แสดงข้างต้น สามารถสรุปให้เห็นที่มาของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้ดังนี้

1. ตัวแปรตาม คือ ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการจัดการมลพิษทางอากาศที่ปล่อยออกมา ซึ่งในการวัดตัวแปรตามนี้ ได้มาจากคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมด ซึ่งแยกเป็น 2 ลักษณะตามตัวแปรอิสระ คือค่าปรับทั้งหมดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปล่อยมลพิษและค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์นั้นๆ

2. ตัวแปรอิสระ คือ ค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน ได้แก่ ค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) และต้นทุนสำหรับเทคโนโลยีต่างๆเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ เหตุผลที่ผู้วิจัยได้หยิบยกตัวแปรด้านค่าใช้จ่ายมาใช้เป็นตัวแปรอิสระในกรอบแนวความคิดที่ 2 นี้ ได้รับการสนับสนุนจากนักวิชาการหลายท่าน โดยเฉพาะที่สำคัญได้แก่ Jurg Klarer,Jim McNicholas and Eva-Maria Knaus ที่ต่างเห็นพ้องต้องกันว่าในการลดสารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักเศรษฐศาสตร์จะใช้ค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) มาเป็นมาตรการหลักในการควบคุมมลพิษทางอากาศ เนื่องจากเป็นมาตรการที่เหมาะสมกับประเทศไทย ซึ่งเป็นมาตรการที่กดดันให้ลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ และตัวแปรอิสระอีกตัวแปรหนึ่งคือต้นทุนสำหรับเทคโนโลยีต่างๆเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่ได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบบำบัดมลพิษอากาศแบบต่างๆ ในอุตสาหกรรมโดย กชกร สุรเนาวรัตน์ ซึ่งตัวแปรอิสระทั้งสองเป็นค่าใช้จ่ายที่สำคัญสำหรับการจัดการมลพิษทางอากาศที่ปล่อยออกมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ข้อมูลโรงงานโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากโรงงานผลิตปูนซีเมนต์แห่งหนึ่ง อ.แก่งคอย จ.สระบุรี

3.1 ที่ตั้งโรงงาน

โรงงานแก่งคอย ตั้งอยู่บนที่ราบเหนือระดับน้ำทะเล 26 เมตร ที่ตำบลบ้านป่า อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ห่างจากกรุงเทพฯไปทางตะวันออกเฉียงเหนือราว 127 กิโลเมตร ทางด้านเหนือและตะวันออกของโรงงานเป็นแหล่งหินปูนที่ใช้เป็นวัตถุดิบป้อนโรงงาน ทางด้านตะวันตก ห่างไป 2 กิโลเมตร เป็นแม่น้ำป่าสัก

3.2 นโยบายสิ่งแวดล้อมของโรงงาน

โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยป้องกันภาวะมลพิษภายใต้นโยบายปรับปรุงสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง

ปรัชญาของโรงงาน คือ การพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อมในโรงงานให้ได้มาตรฐานสิ่งแวดล้อมตามที่รัฐบาลกำหนด

การจัดการสิ่งแวดล้อมเป็นการควบคุมและลดภาวะมลพิษ เช่น มลพิษจากฝุ่น เสียง น้ำเสีย และขยะที่เกิดจากกระบวนการผลิต การขนส่ง วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ ฯลฯ โดยมีวิธีการดังนี้

1. ควบคุมปริมาณฝุ่นในที่ทำงานและชุมชนโดยรอบให้อยู่ในมาตรฐานคุณภาพอากาศ
2. นำน้ำที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีกและบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้ง
3. ปรับปรุงสิ่งแวดล้อมทางเสียงในที่ทำงาน
4. นำขยะกลับมาใช้
5. ควบคุมการใช้พลังงาน (เชื้อเพลิงและไฟฟ้า)
6. ทำตามกฎหมายสิ่งแวดล้อมอย่างเคร่งครัด
7. ร่วมมือกับภาครัฐและองค์เอกชนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

โรงงานได้จัดทำเอกสารนโยบายสิ่งแวดล้อมของโรงงาน ซึ่งพนักงานทุกคนที่โรงงานแก่งคอยจะต้องปฏิบัติ นโยบายนี้เปิดเผยต่อสาธารณะ

3.3 กระบวนการผลิต

หินปูนและหินดินดานที่ขนมาจากเหมืองใกล้โรงงานจะผ่านเข้าเครื่องย่อยหินให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร และนำมาผสมกันในอัตราส่วน 3:1 วัตถุดิบที่บดละเอียดแล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บในไซโล ระบบนี้ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้แสงเอ็กซ์-เรย์ วัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะถูกลำเลียงกลับไปบดละเอียดใหม่ทำให้วัตถุดิบในไซโลเป็นเนื้อเดียวกัน วัตถุดิบอื่นที่ใช้เป็นส่วนน้อย คือ ดิน และศิลาแลง

วัตถุดิบที่บดละเอียดแล้วจะถูกลำเลียงขึ้นไปบนหออุ่นแล้วเข้าสู่หม้อเผาที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส โดยใช้แก๊สและน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง บางครั้งอาจใช้ถ่านหินลิกไนต์ด้วย ก้อนสีเทาเล็กๆ ที่ได้จากการเผา คือ ปูนเม็ด จะผ่านเข้าไปยังหม้อเย็นเพื่อให้ปูนเม็ดลดอุณหภูมิเหลือประมาณ 100 องศาเซลเซียส ลมที่ใช้เป่าให้ปูนเม็ดเย็นลงจะกลายเป็นลมร้อนสามารถนำกลับไปใช้ในการเผาได้อีก

ปูนเม็ดที่ได้จะนำมาผสมกับยิปซัมในอัตราส่วนร้อยละ 5 แล้วนำไปบดเป็นปูนซีเมนต์ผงเก็บไว้ในไซโล ในการบรรจุถุงเครื่องจักรสามารถบรรจุได้ 4,000 ถุง หรือ 200 ตันต่อชั่วโมง จากนั้นจึงลำเลียงลงในรถบรรทุกและรถไฟเพื่อส่งให้ลูกค้าในปริมาณมากหรือบรรจุถุงขนาด 50 กิโลกรัม

โดยโรงงานตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งหินปูนและหินดินดาน (หิน shale) ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้งในปัจจุบัน และมีเหมืองหินปูนและหินดินดานเป็นเหมืองของโรงงานเองซึ่งรายละเอียดโดยทั่วไปของโรงงานมีดังนี้

- เหมืองหินปูนเป็นเหมืองแบบ Semi Open Cut
- มีทั้งหมด 4 สายการผลิต กล่าวคือ มีทั้งหมด 4 หม้อเผา
- เป็นโรงงานที่ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานปรับคุณภาพของเสียรวม (ลำดับที่ 101) จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงมีการรับของเสีย (waste) เข้ามาจำกัดในโรงงานโดยใช้ทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ ดังนี้

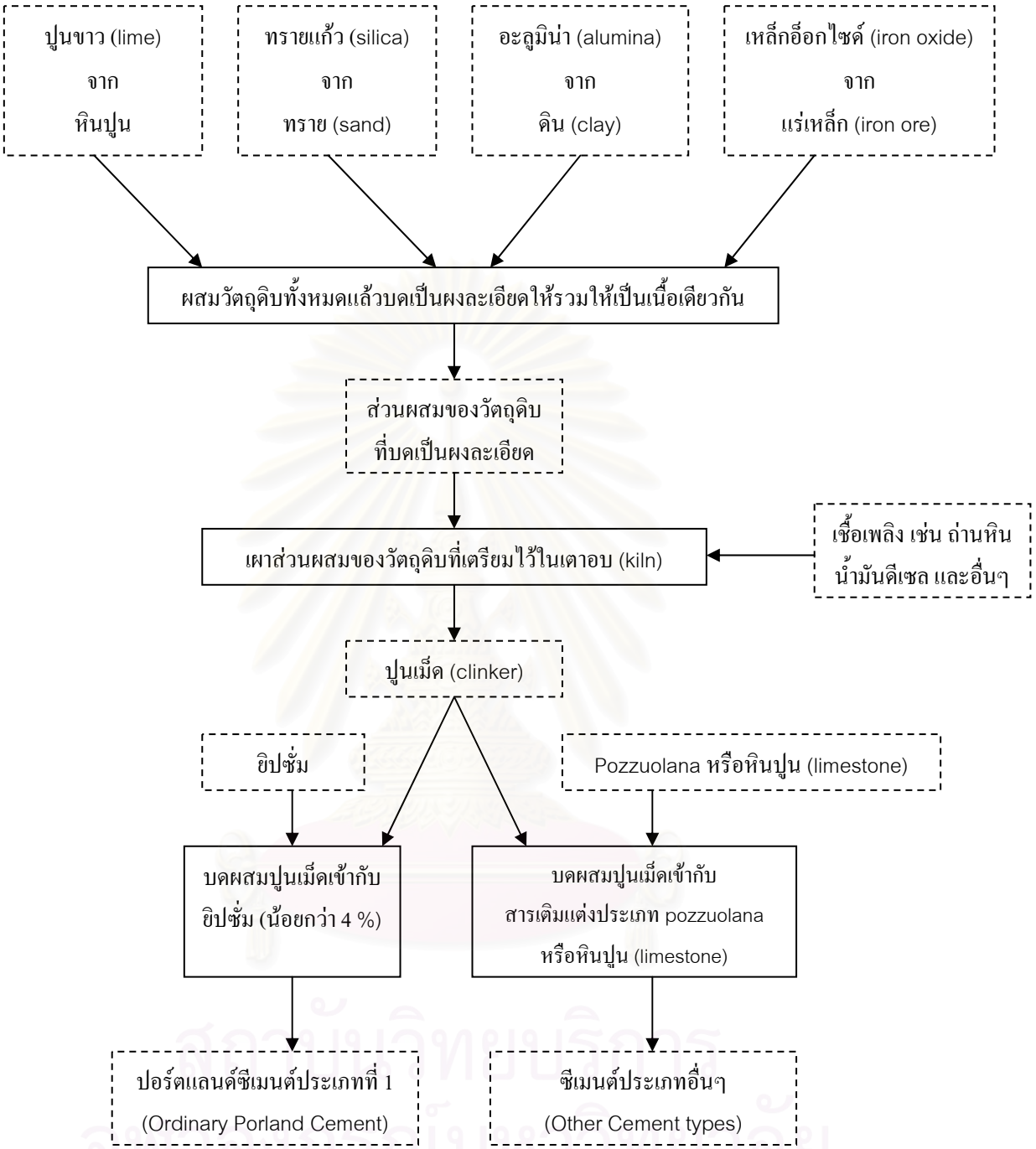
1. ของเสียที่นำมาทดแทนวัตถุดิบ ได้แก่ ฝุ่นเหล็ก (iron powder) โดยนำมาทดแทนแร่เหล็ก นอกจากนี้ยังมีทรายไส้แบบจากโรงเหล็กมาทดแทนซิลิกา (จากทราย)
2. ของเสียที่นำมาทดแทนเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ยางรถยนต์และแกลบ โดยนำมาทดแทนเชื้อเพลิงที่หม้อเผาปูนในกระบวนการเผา
3. ของเสียที่ไม่สามารถนำมาทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงได้ก็จะป้อนเข้าเตาเผาเพื่อกำจัด

- น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นน้ำหล่อเย็นสำหรับเครื่องจักร โดยมีการใช้ไฟฟ้าในการสูบน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตและใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

- ผลิตปูนเม็ด (Clinker) 2 ประเภท คือ Clinker Type I และ Clinker Type I/II ซึ่งมีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบกันเล็กน้อยโดยที่ Clinker Type I จะนำไปผลิตปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราเสือ และตราแรด ส่วน Clinker Type I/II จะนำไปผลิตเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I/II ดังรูปที่ 3.1

- มีโรงงานผลิตถุงบรรจุปูนเพื่อใช้บรรจุปูนถุง (50 กก.) นอกจากนี้ยังรับจ้างทำถุงบรรจุปูนเพื่อจำหน่ายไปยังโรงงานในเครือฯ และโรงงานอื่นอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

3.4 ผลิตภัณฑ์

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

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

3) ปูนซีเมนต์ตราแรด ผลิตโดยการนำปูนเม็ด มาบดผสมกับยิปซัมและหินปูนโดยที่มีอัตราส่วนผสมต่างไปจากปูนซีเมนต์ตราเสือ โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายจะมีจำหน่ายเฉพาะปูนซีเมนต์ผงบรรจุถุง (50 กิโลกรัม)

4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I/II จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณลักษณะอยู่ระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท II ผลิตโดยการนำปูนเม็ดมาบดผสมกับยิปซัม แต่ใช้ปูนเม็ดคนละประเภทกับปูนซีเมนต์ตราช้าง โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายจะมีจำหน่ายเฉพาะปูนซีเมนต์ผงเท่านั้น

- การบรรจุและจำหน่ายนั้นมีการจำหน่ายปูนทั้งแบบปูนซีเมนต์ผง (Bulk) และปูนซีเมนต์ถุง (50 กิโลกรัม) และขนส่งโดยรถบรรทุกปูนซีเมนต์ถุง รถเต้าบรรทุกปูนซีเมนต์ผง และรถไฟ ในส่วนของการจำหน่ายปูนซีเมนต์นั้น มีการจำหน่ายปูนภายในประเทศในรูปปูนซีเมนต์ผงตราช้าง ตราเสือ และปูนปอร์ตแลนด์ประเภท I/II และจำหน่ายในรูปปูนซีเมนต์ถุง ตราช้าง ตราเสือ และตราแรด นอกจากนี้ยังมีการจำหน่ายปูนไปยังต่างประเทศโดยจำหน่ายทั้งปูนซีเมนต์ผง ตราช้าง และปูนปอร์ตแลนด์ประเภท I/II และในรูปปูนซีเมนต์ถุงตราช้างและตราเสือ ซึ่งปูนซีเมนต์บรรจุถุงส่งออกนั้นจะบรรจุใส่ถุงคนละชนิดกับถุงที่จำหน่ายในประเทศเพื่อความปลอดภัยและสะดวกในการขนส่ง

- มีการจำหน่ายปูนเม็ด ให้กับโรงงานปูนซีเมนต์อื่นและส่งออกไปยังต่างประเทศ

3.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

3.5.1 มลพิษทางอากาศ

การปนเปื้อนในอากาศเกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ ข้อมูลการติดตามผลกระทบแสดงว่าบริเวณเขา Pun ซึ่งอยู่ห่างจากโรงงานไปทางเหนือราว 2 กิโลเมตร มีระดับคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์สูงเกินมาตรฐาน แต่บริเวณนี้ไม่มีผู้อยู่อาศัย

ฝุ่นละอองในอากาศจะมากขึ้นถ้าเครื่องดักฝุ่นทำงานไม่สมบูรณ์ จากการตรวจสอบตัวแบบจำลองการกระจายของลม หมู่บ้านในตำบลท่าคล้อ (Tha Khlo) น่าจะได้รับผลกระทบจากฝุ่นควันมากที่สุด

ภายในโรงงานมีฝุ่นเกินระดับมาตรฐานในบริเวณหม้อบดวัตถุดิบและสายพานลำเลียง คนงานต้องสวมหน้ากากป้องกันฝุ่นยังมีฝุ่นละอองจากการเก็บ การขนถ่าย การย่อยลิกไนต์ และมีความเสี่ยงต่อการลุกไหม้ของลิกไนต์ที่กองอยู่

โรงงานมีแผนจะขยายกำลังการผลิตซึ่งจะต้องใช้วัตถุดิบจากการระเบิดหินเป็นสองเท่า (มากกว่าวันละ 12,000 ตัน) ซึ่งจะเพิ่มฝุ่นละอองและเสียงจากการระเบิดหิน การวิ่งของรถบรรทุก และการผลิตซีเมนต์ ความสวยงามตามธรรมชาติจะหมดไปเนื่องจากการระเบิดหิน หมู่บ้านในตำบลท่าคล้อ ตำบลบ้านป่า และบ้านเตาปูน จะได้รับผลกระทบมากที่สุดจากการขยายการผลิต

3.6 การควบคุมภาวะมลพิษ

3.6.1 ฝุ่นควันในอากาศ

ฝุ่นควันจากเตาเผาจะผ่านเครื่องดักฝุ่นไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitators :ESP) ซึ่งต้องใช้ในสภาพที่มีความชื้น จึงอาจมีปัญหาเมื่อนำมาใช้กับการเผาปูนที่อุณหภูมิสูงซึ่งทำให้ความชื้นระเหยไปหมด เครื่อง ESP จึงทำงานได้ไม่สมบูรณ์ จำเป็นต้องมีผู้ชำนาญการใช้เครื่องนี้คอยดูแลบำรุงรักษาเครื่องให้ใช้งานได้ดีอยู่เสมอ นอกนั้นยังมีเครื่องกรองฝุ่นและเตาเผาก็เป็นชนิดที่มีระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวเอง

3.7 ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่อง

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องของโรงงานจำนวน 7 จุดตรวจวัด ได้แก่ ปล่องหม้อบดซีเมนต์ 1- 3 ปล่องหม้อเผา3 - 6 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2549 (ครั้งที่1/2549) ซึ่งเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 10,15,17,21-22 และ 28 มกราคม และวันที่ 5-8 ,11 และ 23

เมษายน 2549 เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องประจำปี 2548 ประจำปี 2547 และประจำปี 2546 (ครั้งที่ 2/2546) แสดงดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.4

ตารางที่ 3.1 ผลการตรวจวัดฝุ่นจากปล่อง (TSP) ประจำปี 2549 (ครั้งที่1/2549) เปรียบเทียบกับปี 2546 (ครั้งที่ 2/2546) ปี 2547 และปี 2548

จุดเก็บตัวอย่าง	ผลการตรวจวัด TSP (mg/m^3)											
	2/2546		1/2547		2/2547		1/2548		2/2548		1/2549	
	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.
ปล่องหม้อบดซีเมนต์ 1	70	56	165	121	190	25	17	96	18	6	18	49
ปล่องหม้อบดซีเมนต์ 2	234	459	359	147	69	17	24	หยุด	54	12	15	69
ปล่องหม้อบดซีเมนต์ 3	113	83	128	54	131	22	26	40	3	6	19	42
ค่ามาตรฐาน[I]	≤ 200											
ปล่องหม้อเผา3	140	79	31	หยุด	28	58	32	หยุด	94	38	36	64
ปล่องหม้อเผา4	38	17	81	47	23	17	37	109	45	26	59	57
ปล่องหม้อเผา5	73	50	37	13	83	20	71	91	18	หยุด	54	53
ปล่องหม้อเผา6	28	94	16	13	19	25	29	61	33	31	9	25
ค่ามาตรฐาน[II]	≤ 200											

ที่มา : ผลการตรวจวัดโดยห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน

หมายเหตุ

I : ค่ามาตรฐานที่ใช้มาจากประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานปูนซีเมนต์ (พ.ศ.2547)

II : ค่ามาตรฐานที่ใช้มาจากข้อกำหนดจากมติคณะกรรมการผู้ชำนาญการพิจารณารายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านโครงการอุตสาหกรรมของโรงงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ผลการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่อง (SO2) ประจำปี 2549 (ครั้งที่ 1/2549) เปรียบเทียบกับปี 2546 (ครั้งที่ 2/2546)-2548

จุดเก็บตัวอย่าง	ผลการตรวจวัด SO_2 (ppm)											
	2/2546		1/2547		2/2547		1/2548		2/2548		1/2549	
	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.
ปล่องหม้อเผา 3	ND	ND	ND	-	หยุด	ND	<1.3	หยุด	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3
ปล่องหม้อเผา 4	ND	ND	ND	-	5	หยุด	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3
ปล่องหม้อเผา 5	ND	ND	ND	-	หยุด	ND	<1.3	<1.3	<1.3	หยุด	<1.3	<1.3
ปล่องหม้อเผา 6	ND	ND	ND	-	ND	ND	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3
ค่ามาตรฐาน[1]	≤ 50											

ที่มา : ผลการตรวจวัดโดยห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน

หมายเหตุ

1 : ค่ามาตรฐานที่ใช้มาจากประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานปูนซีเมนต์ (พ.ศ. 2547)

ตารางที่ 3.3 ผลการตรวจวัดออกไซด์ของไนโตรเจนจากปล่อง (NO_x) ประจำปี 2549 (ครั้งที่ 1/2549) เปรียบเทียบกับปี 2546 (ครั้งที่ 2/2546) - 2548

จุดเก็บตัวอย่าง	ผลการตรวจวัด NO_x (ppm)											
	2/2546		1/2547		2/2547		1/2548		2/2548		1/2549	
	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.
ปล่องหม้อเผา 3	184	88	227	-	หยุด	326	131	หยุด	176	205	133	197
ปล่องหม้อเผา 4	125	123	340	-	236	หยุด	232	415	51	252	205	360
ปล่องหม้อเผา 5	187	42	220	-	หยุด	267	93	90	127	หยุด	125	232
ปล่องหม้อเผา 6	119	130	100	-	51	258	118	113	93	212	124	177
ค่ามาตรฐาน[1]	≤ 600											

ที่มา : ผลการตรวจวัดโดยห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน

หมายเหตุ

1 : ค่ามาตรฐานที่ใช้มาจากประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานปูนซีเมนต์ (พ.ศ. 2547)

ตารางที่ 3.4 ผลการตรวจวัดโลหะหนักจากปล่อง (Heavy Metals) ประจำปี 2549 (ครั้งที่ 1/2549) เปรียบเทียบกับปี 2546 (ครั้งที่2/2546) – 2548

รายการตรวจวัด		ค่ามาตรฐาน (mg/Nm^3)	ผลการตรวจวัด Heavy Metals (mg/Nm^3)											
			2/2546		1/2547		2/2547		1/2548		2/2548		1/2549	
			ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.
ปล่องหม้อนน 3	Arsenic	≤ 16[1]	0.0113	0.0688	0.1192	0.0839	0.0184	0.0346	0.6110	หยุด	0.0632	0.6623	0.1450	<0.0001
	Chromium	-[1]	<0.0012	<0.001	0.01	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	หยุด	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Lead	≤ 24[1]	<0.0012	<0.001	0.014	<0.001	<0.001	0.007	<0.001	หยุด	<0.001	0.045	<0.001	<0.001
	Cadmium	-[1]	0.0009	<0.0006	<0.0006	0.0010	<0.0005	<0.0005	<0.0006	หยุด	0.0012	<0.0006	<0.0006	<0.0006
	Mercury	≤ 2.4[1]	0.0135	0.007	0.0040	0.0045	0.014	0.005	0.027	หยุด	0.028	0.008	0.102	0.024
	Copper	≤ 24[1]	0.0027	0.0023	0.0013	<0.0006	<0.0005	<0.0005	<0.0006	หยุด	<0.0006	0.0009	<0.0006	<0.0006
	Nickel	-[1]	<0.0006	<0.0006	0.0029	0.0008	0.0010	<0.0005	<0.0006	หยุด	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.0025
	Zinc	-[1]	<0.0006	<0.0006	0.0287	0.0201	<0.0005	<0.0005	<0.0006	หยุด	0.0209	<0.0006	<0.0006	<0.0006
	Vanadium	-[1]	0.0086	<0.0005	0.0190	0.002	0.003	<0.001	<0.001	หยุด	<0.001	0.009	<0.001	0.002
	Thallium	-[1]	<0.0012	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	หยุด	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ปล่องหม้อนน 4	Arsenic	≤ 16[1]	0.1027	0.0773	0.1227	<0.0001	0.0270	0.0566	0.4186	0.1834	1.0564	0.6266	<0.0001	<0.0001
	Chromium	-[1]	<0.0013	<0.001	0.03	<0.0001	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	<0.001
	Lead	≤ 24[1]	<0.0013	<0.001	0.031	<0.0001	0.003	0.010	0.002	0.055	<0.001	0.029	0.014	0.030
	Cadmium	-[1]	<0.0006	0.0009	0.0011	<0.0007	<0.0006	<0.0005	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.0016
	Mercury	≤ 2.4[1]	0.0114	0.021	0.015	0.007	0.011	0.003	0.018	0.016	0.031	0.099	1.050	0.016
	Copper	≤ 24[1]	<0.0006	<0.0007	0.0048	<0.0007	0.0011	<0.0005	<0.0006	<0.0006	0.0017	0.0029	<0.0006	0.0011

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) ผลการตรวจวัดโลหะหนักจากปล่อง (Heavy Metals) ประจำปี 2549 (ครั้งที่ 1/2549) เปรียบเทียบกับปี 2546 (ครั้งที่2/2546) – 2548

รายการตรวจวัด		ค่ามาตรฐาน (mg/Nm^3)	ผลการตรวจวัด Heavy Metals (mg/Nm^3)											
			2/2546		1/2547		2/2547		1/2548		2/2548		1/2549	
			ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.
ปล่องหม้อหมาย 4 (ต่อ)	Nickel	-[1]	<0.0006	<0.0007	0.0094	0.0010	0.0166	<0.0005	<0.0006	<0.0006	0.0016	<0.0006	<0.0006	<0.0006
	Zinc	-[1]	<0.0006	<0.0007	0.0348	0.0020	<0.0006	<0.0005	<0.0006	<0.0006	0.0114	0.0245	0.1420	<0.0006
	Vanadium	-[1]	<0.0013	<0.001	0.020	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.006	0.004	0.004
	Thallium	-[1]	<0.0013	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ปล่องหม้อหมาย 5	Arsenic	≤ 16[11]	0.1065	0.0791	0.1354	0.1675	0.1275	0.0283	0.1336	0.4021	0.8086	หยุด	<0.0001	<0.0001
	Chromium	-[1]	0.0078	<0.001	0.022	<0.001	0.003	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	หยุด	<0.001	0.004
	Lead	≤ 24[11]	<0.0011	<0.001	0.015	<0.001	0.015	0.013	0.024	0.059	<0.001	หยุด	0.075	0.019
	Cadmium	-[1]	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0007	0.0009	<0.0005	0.0014	<0.0006	<0.0006	หยุด	0.0070	<0.0006
	Mercury	≤ 2.4[11]	0.0011	0.006	0.014	0.091	0.019	0.053	<0.001	0.028	0.014	หยุด	0.057	0.018
	Copper	≤ 24[11]	0.0066	<0.0006	0.00019	0.0018	<0.0006	<0.0005	0.0062	0.0019	<0.0006	หยุด	<0.0006	<0.0006
	Nickel	-[1]	<0.0006	<0.0006	0.0065	0.0283	0.0006	0.0005	<0.0006	<0.0006	<0.0006	หยุด	<0.0006	<0.0006
	Zinc	-[1]	0.0086	<0.0006	0.0307	0.007	<0.0006	<0.0005	0.0020	0.0136	0.0086	หยุด	<0.0006	0.0024
	Vanadium	-[1]	0.0123	<0.001	0.019	<0.001	0.003	<0.001	0.006	0.002	<0.001	หยุด	<0.001	0.003
	Thallium	-[1]	<0.0011	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	หยุด	0.005	<0.001

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) ผลการตรวจวัดโลหะหนักจากปล่อง (Heavy Metals) ประจำปี 2549 (ครั้งที่ 1/2549) เปรียบเทียบกับปี 2546 (ครั้งที่2/2546) – 2548

รายการตรวจวัด		ค่ามาตรฐาน (mg/Nm^3)	ผลการตรวจวัด Heavy Metals (mg/Nm^3)											
			2/2546		1/2547		2/2547		1/2548		2/2548		1/2549	
			ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ม.ค.	เม.ย.
ปล่องหม้อหมาย 6	Arsenic	≤ 16[II]	0.1082	0.0703	0.1264	0.0304	0.0186	0.0535	0.1812	0.3919	0.5077	0.8422	<0.0001	<0.0001
	Chromium	-[I]	0.0075	<0.001	0.013	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
	Lead	≤ 24[II]	<0.0011	0.003	0.014	<0.001	0.001	<0.001	0.021	0.065	<0.001	<0.001	0.282	<0.001
	Cadmium	-[I]	<0.0005	<0.0006	<0.0006	<0.0007	0.0008	<0.0005	0.0006	<0.0006	<0.0006	0.0076	<0.0006	<0.0006
	Mercury	≤ 2.4[II]	0.0171	0.0100	0.011	0.019	0.002	0.004	0.004	0.009	0.016	0.012	0.073	<0.001
	Copper	≤ 24[II]	0.0078	<0.0006	0.0011	<0.0007	<0.0005	<0.0005	<0.0006	0.0021	<0.0006	0.0018	<0.0006	0.0014
	Nickel	-[I]	<0.0005	<0.0006	0.0055	0.0016	<0.0005	<0.0005	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.0042
	Zinc	-[I]	0.0095	<0.0006	0.0255	0.0014	<0.0005	<0.0005	0.0147	0.00090	0.0025	<0.0006	<0.0006	0.0070
	Vanadium	-[I]	0.0118	<0.001	0.017	0.001	0.004	<0.001	0.004	0.004	<0.001	0.010	<0.001	<0.001
	Thallium	-[I]	<0.0011	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

ที่มา : ผลการตรวจวัดโดยห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมของโรงงาน

หมายเหตุ

I : ไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้

II : ค่ามาตรฐานที่ใช้มาจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน (พ.ศ.2548)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมาย หน้าที่ผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงานและปริมาณอ้างอิง ขอบเขตระบบ

4.1.1 เป้าหมายการศึกษา

1) เพื่อจัดทำฐานข้อมูลและบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทย โดยเฉพาะปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2) เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัฏจักรชีวิตเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

3) เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำกากของเสียไปรีไซเคิลใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเตาเผาปูนซีเมนต์

4.1.2 หน้าที่ของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง ที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการก่อสร้าง

4.1.3 หน่วยการทำงานและปริมาณอ้างอิง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I แบบผง ปริมาณ 1,000 กิโลกรัม (1 ตัน)

4.1.4 ขอบเขตของระบบ

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตของระบบ โดยประกอบด้วย 3 กระบวนการย่อย ดังนี้

1) การบดย่อยและทำกองวัตถุดิบผสม

2) การเผาทำปูนเม็ด

3) การนำมาบดเป็นผง

4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory)

กระบวนการนำของเสียหรือวัสดุไม่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมต่างๆ มากำจัดและรีไซเคิลโดยเข้าเตาเผาซีเมนต์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทนแทน มีพัฒนาการใช้กันอย่างแพร่หลายในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกา สืบเนื่องจากมาตรการของสหภาพยุโรปในเรื่องการเผาของเสียอันตราย ที่กำหนดให้

เผาของเสียอันตรายที่ไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (Nonchlorinated hazardous waste) โดยใช้อุณหภูมิสูงกว่า 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 วินาที ซึ่งในเตาเผาซีเมนต์จะมีอุณหภูมิขึ้นสูงถึง 1,450 องศาเซลเซียส และการเผาไหม้ของก๊าซจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 วินาที ประเทศไทยเริ่มนำกากของเสียอันตรายมาเผาในเตาเผาซีเมนต์ตั้งแต่ปี 2543

โรงงานปูนซีเมนต์แห่งนี้ได้ทำการนำกากของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิง ร้อยละ 3.4 ของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด ซึ่งวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่นำเข้าเตาเผาปูนซีเมนต์สามารถแบ่งตามประเภทของการนำไปใช้ได้ดังนี้

<u>การทดแทนเชื้อเพลิง</u>

1) วัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่จะนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงเดิม สามารถแบ่งย่อยได้ตามลักษณะและองค์ประกอบได้ ดังนี้ คือ

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

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

นอกจากนี้ ยังสามารถแบ่งวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาซีเมนต์ ออกตามประเภทของอุตสาหกรรม ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างองค์ประกอบของยางรถยนต์ที่ใช้เผาทดแทนเชื้อเพลิง

กรรมวิธีดำเนินการ กรณีเป็นยางรถเก๋ง สามารถนำเข้าไปในเตาเผาได้เลย แต่กรณีเป็นยางรถบรรทุกขนาดใหญ่ จะต้องตัดเป็น 4 ท่อนก่อน จากนั้นเผายางในเตาเผาซีเมนต์ซึ่งมีระดับความร้อนสูงถึง 1,450 องศาเซลเซียส ซึ่งเนื้อยางและเหล็กจะแทรกตัวเข้าไปในเนื้อซีเมนต์ ไม่มี

ส่วนเหลือหรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่นับว่าช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมได้อย่างมาก เพราะขยะที่เป็นยางรถยนต์นับว่าเป็นปัญหาอย่างมาก เนื่องจากมีขนาดใหญ่ ติดไฟง่ายและดับได้ยาก ยิ่งไปกว่านั้น การเผาไหม้ยางรถยนต์นอกเตาเผาจะก่อให้เกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปล่อยออกสู่อากาศ และก่อให้เกิดน้ำมันซึ่งจะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำอีกด้วย

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างประเภทของวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาซีเมนต์ แบ่งตามประเภทของอุตสาหกรรม (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย,2546)

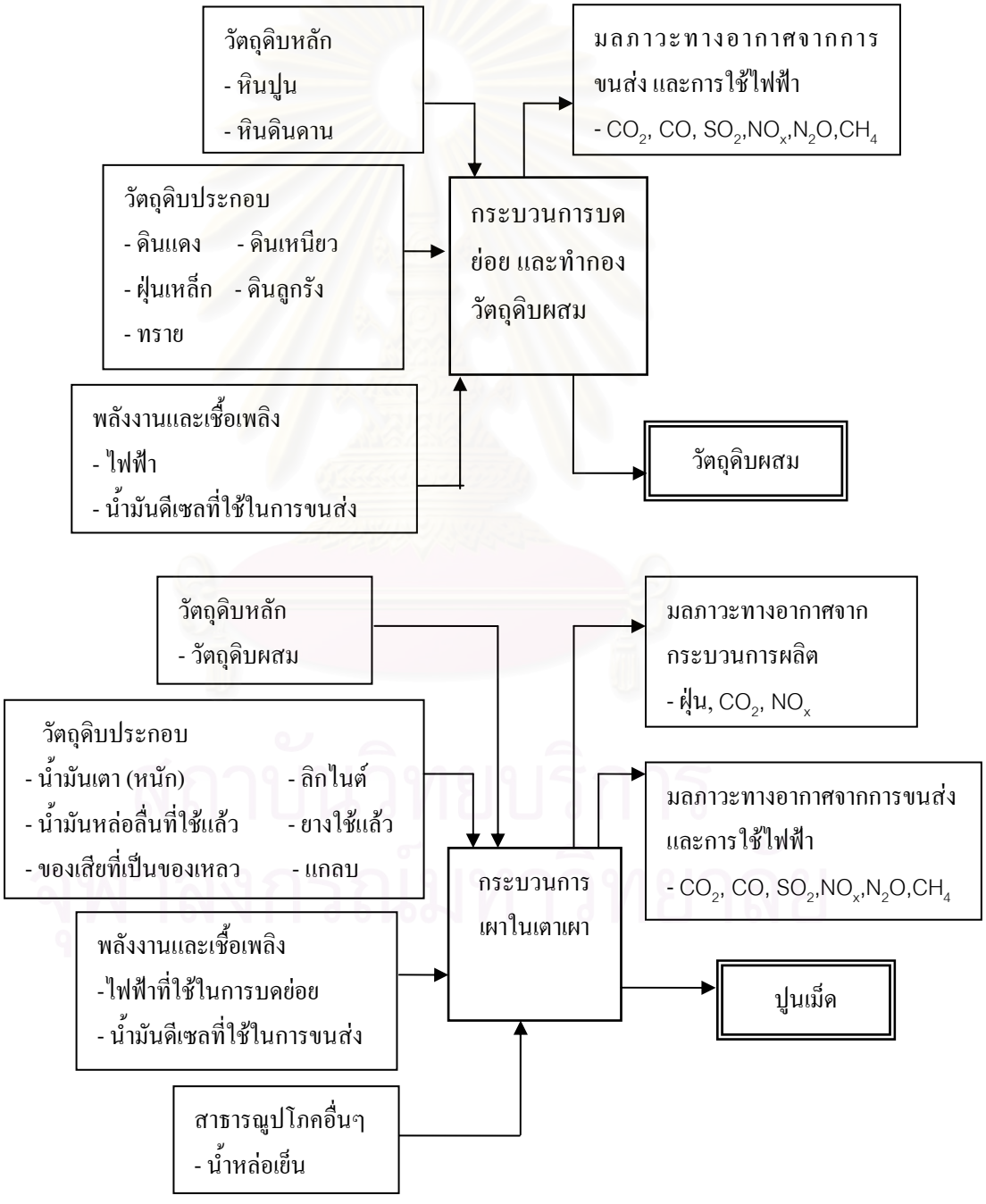
อุตสาหกรรม	ประเภทวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนำเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาซีเมนต์
กระดาษและเยื่อกระดาษ	ส่วนที่เหลือจากการบด ขี้เถ้าจากการเผา
การก่อสร้าง	ขี้เถ้าจากการเผา พลาสติก สารละลาย
ถลุง หลอมแร่	Waste board, ยิปซัม
กิจการเทศบาลส่วนท้องถิ่น	Sewage Sludge, ขี้เถ้าจากการเผาขยะทั่วไป
การผลิตอาหาร	พลาสติก ส่วนที่เหลือจากการกลั่น แก้ว
เหล็กกล้า	เศษเหล็ก ขี้เถ้า ฝุ่นที่ดักได้จากอุปกรณ์ดัก
เคมี	สารละลาย พลาสติก ตัวเร่งปฏิกิริยา
การกลั่นน้ำมัน	ดินเหนียว น้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้ว
ยานยนต์	ทรายจากการหล่อ สี, residue, ยางรถยนต์ใช้แล้ว
พลังงานไฟฟ้า	ยิปซัม ละอองขี้เถ้า ฝุ่น

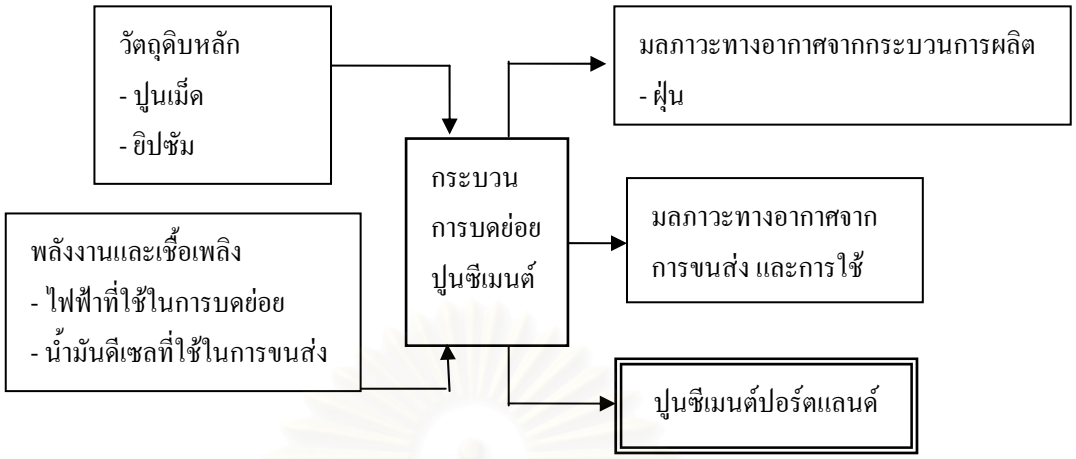
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างองค์ประกอบของยางรถยนต์ที่ใช้เผาทดแทนเชื้อเพลิง (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย,2546)

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยมวล
ยาง	36.0
Filler (soot, SiO_2)	37.0
ZnO	1.2
Softeners	3.0
ซัลเฟอร์	1.3
เหล็ก เศษผ้า	18.0
อื่นๆ	3.5
รวม	100.0

4.2.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการ

ผู้วิจัยได้ทำการระบุสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการย่อย 3 กระบวนการในขอบเขตของระบบ ที่ได้รับการปรับปรุงโดยการนำกากของเสียมาเป็นเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 4.1 จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลและการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วยการทำดุลมวลสาร โดยนำมาวิเคราะห์เทียบต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของกระบวนการย่อยและกระบวนการทำงาน





รูปที่ 4.1 สารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการย่อย 3 กระบวนการ

ข้อจำกัดของการศึกษา

ในต่างประเทศนั้นได้มีการศึกษาวิจัยเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลาหลายปีแล้วทำให้มีฐานข้อมูลของวัตถุดิบพื้นฐานต่างๆ อยู่มากมาย สำหรับในประเทศไทยนั้นการศึกษาวิจัยเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นทำให้ขาดฐานข้อมูล LCI ของการผลิตวัตถุดิบพื้นฐานบางชนิดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้งานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องอาศัยการอ้างอิงจากฐานข้อมูลต่างประเทศบางส่วน โดยใช้โปรแกรมการคำนวณการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ SimaPro เวอร์ชั่น 5.1 ซึ่งพัฒนาโดยบริษัท Pre Consultant ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งภายในโปรแกรมนี้จะประกอบด้วยฐานข้อมูล LCI ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตวัตถุดิบ ตามที่ได้เคยมีการศึกษา LCA มา

4.3.1.2 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการผลิต ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบปริมาณการใช้ทรัพยากรและปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ ตารางที่ 4.3 เป็นตัวอย่างบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง ซึ่งคำนวณจากการนำกากของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิง ร้อยละ 3.4 ของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ผง 1 ตัน เท่ากับ 973 กิโลกรัม ส่วนปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์มีน้อยมาก เนื่องจาก SO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินจะถูกจับไว้โดยแคลเซียม

ออกไซด์ (CaO_2) ในกระบวนการ alcinations กลายเป็นแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ผสมอยู่ในเนื้อปูนเม็ด โดยผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ผง 1 ตัน มีการปล่อย SO_2 เท่ากับ 0.101 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.3 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบผง 1 ตันหลังจากใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิง

สารขาเข้า		**สารขาออก**	
วัตถุดิบหลัก		**มลพิษทางอากาศ**	
หินปูน	1.190E+03 กก.	CO_2	9.730E+02 กก.
หินดินดาน	2.000E+02 กก.	CO	3.920E-02 กก.
ลิกไนต์	1.630E+02 กก.	SO_2	1.014E-01 กก.
ดินเหนียวที่มีค่าอลูมินาสูง	5.040E+01 กก.	NO_x	1.153E+00 กก.
ปิโตเลียมโค้ก	4.080 E+01 กก.	N_2O	2.460E-03 กก.
ดินลูกรัง	2.960 E+01 กก.	มีเทน	2.600E-01 กก.
แอนทราไซต์	3.890 E+00 กก.	VOC	2.040 E-02 กก.
ฝุ่นเหล็ก	3.240E+00 กก.	ฝุ่น (จากกระบวนการบดย่อยซีเมนต์)	2.373E-02 กก.
ของเสียที่เป็นของเหลว	2.320E+00 กก.	H_2S	1.380 E-05 กก.
ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท	1.940 E-01 กก.	ตะกั่ว	4.140E-06 กก.
ทราย	2.230E-02 กก.	แคดเมียม	6.530 E-07 กก.
น้ำมันหล่อลื่น	1.790 E-02 กก.	ทองแดง	4.920E-07 กก.
ดินระเบิด	1.220 E-02 กก.	โครเมียม	4.310E-07 กก.
ดินเหนียว	1.990 E-03 กก.	ปรอท	1.210E-07 กก.
		มลพิษทางน้ำ	
การใช้พลังงาน		คลอรีน	2.680 E-02 กก.
ถ่านหิน	6.91E+00 กก.	โซเดียม	1.500 E-02 กก.
ลิกไนต์	2.880E-01 กก.	COD	1.110E-02 กก.
ก๊าซธรรมชาติ	2.27E+01 ลบ.ม	BOD	1.090E-03 กก.
ก๊าซปิโตรเลียม	5.83E-02 ลบ.ม.	ซัลเฟต	4.820 E-03 กก.
น้ำมันดิบ	1.62E+00 กก.	ไขมัน	8.050 E-04 กก.
น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว	2.47E-05 ลบ.ม.	เหล็ก	6.050 E-04 กก.
น้ำมันดีเซลหมุนช้า	6.000E-01 กก.	สารแขวนลอย	2.590 E-04 กก.
น้ำมันเตา	8.140E-01 กก.	ไนเตรท	4.990E-05 กก.
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	1.170E+00 กก.	ฟอสเฟต	2.510E-05 กก.
ซากยางรถยนต์	7.170E-01 กก.	ตะกั่ว	2.700 E-06 กก.
แกลบ	3.590 E-01 กก.	ทองแดง	2.070 E-06 กก.
		แคดเมียม	1.330 E-07 กก.
		ปรอท	4.500 E-09 กก.

4.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment)

ในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การประเมินผลกระทบเบื้องต้นเพื่อหาประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม
2. การหาประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญ

4.3.1 การประเมินผลกระทบเบื้องต้นเพื่อหาประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม

ผู้วิจัยได้คัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (impact categories) ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (category indicators) ที่มีความสำคัญแสดง ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการประเมินผลกระทบของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

ที่	กลุ่มผลกระทบ	ตัวชี้วัด
1	การทำให้โลกร้อน	กำลังการแผ่รังสีอินฟราเรด (W/M^2)
2	การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ	การลดลงของการทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์
3	การออกซิเดชันที่เกิดจากแสง-เคมี	Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)
4	การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ	Deposition ÷ Acidification Critical Load
5	ภาระการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ	Nitrification potential (NP)
6	สุขภาพและสิ่งแวดล้อม	ปริมาณ Particle ของ sulfate

4.3.1.1 <u>การทำให้โลกร้อน</u>

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

สาเหตุที่เรียกว่าปรากฏการณ์เรือนกระจกเนื่องจากมีความคล้ายคลึงกับปรากฏการณ์ที่เกิดกับเรือนเพาะชำต้นไม้ ซึ่งเป็นอาคารที่กรุผนังรอบด้านและหลังคาด้วยกระจก จึงทำให้แสงแดดส่องผ่านเข้ามาภายในอาคารได้ เมื่อต้นไม้ที่ปลูกในเรือนเพาะชำทำการสังเคราะห์แสงแล้วคายไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาจะถูกกักอยู่ภายในอาคาร ซึ่งเป็นตัวช่วยดูดซับความร้อนจากแสงแดดไว้ ทำให้ภายในเรือนเพาะชำต้นไม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความอบอุ่นกว่าบรรยากาศภายนอก

ผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อโลกมีอุณหภูมิสูงและร้อนขึ้นโดยเฉพาะในบริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ซึ่งเป็นบริเวณที่ประกอบไปด้วยหิมะและน้ำแข็ง เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้น้ำแข็งละลายเป็นน้ำจำนวนมหาศาลและไหลลงสู่ทะเล ระดับน้ำทะเลจึงสูงขึ้น และอาจทำให้ในพื้นที่ต่างๆ ของโลกเกิดน้ำท่วมได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลและความแปรปรวนของภูมิอากาศ ส่งผลให้พืชและสัตว์ลดจำนวนลงและอาจเหลือเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ในสภาวะเช่นนี้

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น ไฟไหม้ป่า การจราจร การตัดไม้ทำลายป่า โดยในปัจจุบันกิจกรรมที่มนุษย์เป็นผู้ทำนั้นจะเร่งให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพราะว่ามีการเผาผลาญเชื้อเพลิงจำนวนมหาศาลเพื่อใช้ในกิจการอุตสาหกรรมสร้างความอบอุ่นภายในบ้าน รวมถึงการใช้ยานพาหนะเพื่อคมนาคมขนส่ง คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้โลกร้อน เพราะมีความสามารถในการดูดซับความร้อนได้ถึงร้อยละ 90 ส่วนอีกร้อยละ 10 จะเป็นของก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น โอโซน มีเทน ไนตรัสออกไซด์ แอมโมเนีย คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) เป็นต้น

4.3.1.2 <u>การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ</u>

โอโซน (O_3) เป็นก๊าซที่อยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นโลกเป็นระยะทาง 10-30 กิโลเมตร ทำหน้าที่ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ไม่ให้ลงมาสู่โลกมากเกินควรเพราะรังสีดังกล่าวเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันโอโซนชั้นบรรยากาศได้ถูกทำลายและลดลง โดยมีสาเหตุจากสารประกอบคลอรีนจำพวกคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) และสารประกอบโบรมีน (ฮาลอน) ที่มนุษย์สร้างขึ้น

คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) เป็นสารประกอบที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในทศวรรษ 1930 เป็นสารที่มีความเสถียรอย่างยิ่ง ไม่ค่อยติดไฟและไม่ค่อยเป็นพิษ ทำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำมาใช้งานอุตสาหกรรม แต่ความเสถียรของสารดังกล่าวทำให้คงอยู่ในบรรยากาศโดยไม่เสื่อมสลายเป็นระยะเวลานาน จนในที่สุดแผ่กระจายขึ้นไปถึงบรรยากาศชั้นสต

ราโตสเฟียร์ สาร CFCs นี้จะถูกรังสีอัลตร้าไวโอเลตทำให้แตกตัวปล่อยอะตอมคลอรีนอิสระออกมา คลอรีนอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยากับโอโซนในทันที ได้ก๊าซคลอรีนมอนอกไซด์ (CLO) กับก๊าซออกซิเจน (O_2) ซึ่งก๊าซคลอรีนมอนอกไซด์จะไปทำปฏิกิริยากับอะตอมของออกซิเจนเกิดเป็นโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนและปลดปล่อยอะตอมของคลอรีนอีกครั้ง ปฏิกิริยากับโอโซนที่เกิดขึ้นนี้จะวนไปเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องแบบลูกโซ่ ซึ่งพบว่าคลอรีนเพียง 1 อะตอมสามารถทำลายโอโซนได้ถึง 100,000 อะตอมเมื่อโอโซนบรรยากาศถูกทำลายลง รังสีอัลตร้าไวโอเล็ตจะเข้ามาสู่โลกได้มากขึ้นและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ส่งผลทำให้ผิวหนังไหม้ ตาพร่า ตาเป็นต้อ ผิวหนังเหี่ยวย่นก่อนวัยและเกิดมะเร็งผิวหนัง นอกจากนี้ ยังมีผลกระทบต่อพืชและสัตว์ เช่น ลดผลผลิตลง แพลงค์ตอนที่เป็นอาหารของสัตว์ต่างๆ ในทะเลลดลง ทำลายการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ เช่น ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นเนื่องจากน้ำแข็งในขั้วโลกละลาย ทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงเกิดพายุไต้ฝุ่นหรือเอลนิโน

ประเทศต่างๆ ได้เริ่มจำกัดและห้ามให้ใช้สาร CFCs ทำให้ปริมาณการใช้ลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากพิธีสารสอนทรีออลซึ่งเป็นข้อตกลงของกลุ่มประเทศสมาชิกองค์การสหประชาชาติด้านสิ่งแวดล้อมจำนวน 178 ประเทศ ที่เมืองมอนทรีออล ประเทศแคนาดา โดยในปี 2530 โดยมีมติให้ประเทศสมาชิกลดปริมาณการใช้สาร CFCs ลง และให้เลิกการผลิตและการใช้สาร CFCs ภายในปี 2543 และหันมาใช้สารทดแทนตัวใหม่ที่มีผลกระทบต่อบรรยากาศน้อยกว่าหรือไม่มีเลย โดยกำหนดให้กลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วลดการใช้สาร CFCs ลงร้อยละ 50 และ 85 ภายในปี 2538 และ 2540 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังกำหนดให้ประเทศสมาชิกลดปริมาณการใช้สาร CFCs ลงเหลือเพียง 0.3 กิโลกรัมต่อคนต่อปี

4.3.1.3 <u>การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี</u>

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

ผลกระทบจาก Photochemical smog มีดังนี้

1) ผลกระทบต่อพืช คือ ผิวใบถูกทำลาย ทำลายการสังเคราะห์แสงซึ่งส่งผลให้พืชเจริญเติบโตช้าลง ทำให้ใบไม้เปลี่ยนสีไปโดยมีจุดสีน้ำตาลเกิดขึ้นที่ใบทำให้หน่อออ่นตาย และผลสุดท้ายคือทำให้พืชตายทั้งหมด

2) ผลกระทบต่อมนุษย์ คือ ทำให้ดวงตาระคายเคือง ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง ทำอันตรายต่อปอดซึ่งเป็นปัญหาต่อการหายใจ และเป็นโรคระบบทางเดินหายใจเรื้อรัง

3) ผลกระทบต่อวัตถุ คือ จะกัดกร่อนและทำลายวัตถุต่างๆ ให้เสียหายเร็วขึ้น เช่น วัตถุจำพวกยาง ไนล่อน ใยผ้า และสี เป็นต้น

4.3.1.4 <u>การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ</u>

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

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

ออกไซด์ของซัลเฟอร์และออกไซด์ของไนโตรเจนที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่บรรยากาศ จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดซัลฟูริคและกรดไนตริคด้วยปฏิกิริยากับออกซิเจนและความชื้นแล้วตกกลับสู่พื้นดิน ต่อมาเกิดการสะสมของกรดขึ้น การตกสะสมของกรดเกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือ การตกสะสมเปียก (Wet Deposition) เป็นกระบวนการที่กรดซัลฟูริค และ กรดไนตริคในบรรยากาศรวมตัวกับเมฆ และต่อมากลายเป็นฝนตกลงสู่พื้นดิน ที่รู้จักกันในชื่อ ฝนกรด และการตกสะสมแห้ง (Dry Deposition) เป็นการตกของกรดในสภาวะที่ไม่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ การตกของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และอนุภาค/ละอองซัลเฟตและไนเตรท กรดที่แขวนลอยในบรรยากาศจะถูกพัดพาไปโดยลมและตกสะสมบนผิวดิน ต้นไม้ สิ่งก่อสร้าง รวมถึงการเข้าสู่ระบบการหายใจของมนุษย์ด้วย

ฝนกรดเมื่อตกลงมาในแหล่งน้ำและผืนดิน จะก่อให้เกิดผลกระทบต่างๆ ดังนี้

1) ผลกระทบต่อวัสดุ เนื่องจากสารประกอบซัลเฟอร์สามารถกัดกร่อนวัสดุและสิ่งก่อสร้างต่างๆ และเป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะ วัสดุก่อสร้างอื่นๆได้อีกหลากหลายชนิด รวมทั้งหินปูน หินอ่อน หินชนวน กระเบื้องหลังคา และปูนซีเมนต์
2) ผลกระทบต่อป่าไม้และธาตุอาหารพืช กล่าวคือ ฝนกรดเป็นพิษต่อพืชโดยตรง พืชที่ไวต่อกรดเมื่อถูกฝนกรดจะไหม้เป็นแผลและตายไป ส่งผลให้ป่าไม้ถูกทำลาย ผลิตผลของพืชเศรษฐกิจลดลง
3) ผลกระทบต่อดิน คือการตกสะสมของกรดทำให้ดินมีความเป็นกรดมากขึ้น ทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิด เช่น Ca, Mg และ K สูญเสียไป ความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงลดลง นอกจากนั้นทำให้ธาตุโลหะหนักในดิน เช่น แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) และธาตุโลหะหนักอื่นๆ ละลายออกมาได้มากขึ้น ทำให้ดินมีแนวโน้มที่เกิดมลพิษเนื่องจากการปนเปื้อนของโลหะหนักมากขึ้น มีผลต่อเนื่องให้พืชที่ปลูกในบริเวณดังกล่าวดูดโลหะหนักขึ้นไปสะสมไว้ในต้นและผลผลิตซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้
4) ผลกระทบต่อแหล่งน้ำ เมื่อฝนกรดตกลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้แหล่งน้ำมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น มีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของปลาเป็นอย่างมาก ต่อเนื่องถึงปลาและสัตว์น้ำต่างๆ เพราะแพลงตอนเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของปลาและสัตว์น้ำต่างๆ และในที่สุด ห่วงโซ่อาหารจะถูกทำลายไป
5) ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสุขภาพในด้านของระบบทางเดินหายใจเป็นหลัก โดยเฉพาะผู้ที่เป็นโรคหอบหืด จะได้รับผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระดับที่สูงกว่าผู้ที่มีสุขภาพปกติ ซึ่งผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสุขภาพของมนุษย์นั้นมีทั้งที่เป็นผลกระทบเฉียบพลันและเรื้อรัง

4.3.1.5 <u>ภาระการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ</u>

Eutrophication หรือที่เรียกว่าปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี เป็นมลภาวะทางน้ำอย่างหนึ่งซึ่งทำให้สภาวะของระบบนิเวศทางน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากมีความเข้มข้นของแร่ธาตุและสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำมากเกินไป

สารที่เป็นตัวการหลักของการเกิด Eutrophication คือ ฟอสเฟต (PO_4) รองลงมาคือ ไนเตรท (NO_3) ถึงแม้ว่า Eutrophication จะสามารถเกิดขึ้นได้เองจากธรรมชาติก็ตาม แต่

มนุษย์เองก็มีส่วนเร่งหรือทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นได้ โดยการเพิ่มแร่ธาตุสารอาหารและสารละลายอินทรีย์จากกิจกรรมต่างๆ ที่ทำลงไปในแหล่งน้ำ เช่น การใช้ปุ๋ยในการทำเกษตรกรรม เมื่อรดน้ำหรือฝนตกน้ำก็จะชะล้างหน้าดินที่มีแร่ธาตุและสารอาหารต่างๆ จากการใส่ปุ๋ยออกมาและไหลลงสู่แหล่งน้ำ น้ำที่ไหลซึมออกจากบ่อเกรอะ-บ่อซึมนั้นมีสารละลายอินทรีย์อยู่ การซักผ้าเพราะในผงซักฟอกที่ใช้จะมีสารฟอสเฟต (PO_4) อยู่เป็นจำนวนมากซึ่งช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น

ถ้าในแหล่งน้ำมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเกินกว่า 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดปัญหา Eutrophication ได้ แต่การเกิด Eutrophication เป็นเรื่องที่ซับซ้อน ซึ่งนอกจากจะต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสมากถึงระดับหนึ่งแล้ว ยังต้องประกอบด้วยปัจจัยอื่นๆ เช่น แสงแดด อัตราการไหลของน้ำ ระยะเวลากักเก็บน้ำ โดยปกติมักเกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของแหล่งน้ำระบบปิดเช่น ห้วย หนอง บึง บ่อ เนื่องจากมีแสงแดดอย่างพอเพียงจึงเป็นตัวช่วยเร่งกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้พืชน้ำจำพวกสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและปกคลุมไปทั่วผิวน้ำ เช่น ไฟโตแพลงตอน

ผลกระทบกับคุณภาพของแหล่งน้ำจากปรากฏการณ์ Eutrophication ได้แก่

1) พืชน้ำชนิดอื่นๆ ที่อยู่ใต้ผิวน้ำไม่สามารถรับแสงแดดเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ จึงไม่สามารถเติบโตได้และมีปริมาณลดลง พืชใต้น้ำเป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ เช่น ปู กุ้ง สัตว์น้ำวัยอ่อน หากพืชน้ำมีปริมาณลดลงจะส่งผลกระทบให้สัตว์น้ำพวกนี้ลดปริมาณลงด้วยเช่นกัน
2) การที่สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วยังต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ เพื่อช่วยในการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้สัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำเกิดภาวะขาดออกซิเจนและตายลง
3) หากต้องการนำน้ำในแหล่งน้ำนั้นมาใช้เพื่ออุปโภคหรือบริโภคก็ไม่สะดวกเพราะต้องทำการกำจัดสาหร่ายที่ติดมากับน้ำออกก่อน
4) ในบางกรณีสาหร่ายที่เติบโตนี้อาจเป็นชนิดที่มีพิษอยู่ถ้า หากนำน้ำนั้นมาใช้อาจเป็นอันตรายได้
5) ทำให้รสหรือกลิ่นของน้ำเปลี่ยนแปลงไป
6) แหล่งน้ำจะเปลี่ยนสีไปตามชนิดของสาหร่ายที่เจริญเติบโตซึ่งอาจเป็นสีเขียว น้ำเงิน ทำให้ทัศนียภาพเปลี่ยนไปนำมาซึ่งความไม่น่าดู เกิดผลกระทบต่อกิจการการท่องเที่ยว สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือกีฬาทางน้ำ

7) ในฤดูร้อนน้ำในแหล่งน้ำที่มีปริมาณน้อย เมื่อมีสาหร่ายเกิดขึ้นจำนวนมาก ส่วนที่ตายไปจะถูกย่อยสลายเป็นตะกอนตรมทำให้น้ำในระบบปิดตื้นเขินได้เร็วขึ้น

8) ในบางกรณีเกิดสารละลายอินทรีย์มากกว่าปกติ ทำให้กระบวนการย่อยสลายของพืชน้ำกลายเป็นระบบไม่ใช้ออกซิเจน น้ำในแหล่งน้ำนั้นก็เกิดการเน่าเสียและสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่อาจตายหมดได้

4.3.1.6 <u>สุขภาพและสิ่งแวดล้อม</u>

ก๊าซที่สำคัญในกลุ่ม Sulfur Oxide (SO_x) คือ Sulfur dioxide หรือ SO_2 ก๊าซนี้ละลายได้ดีในน้ำ และ Sulfur จะพบได้ในวัตถุดิบหลายประเภท เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน และอยู่สารประกอบของโลหะต่างๆได้แก่ อลูมิเนียม ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และเหล็ก ก๊าซ SO_x เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน เมื่อเวลาเผาไหม้ หรือเมื่อทำการสกัดน้ำมัน Gasoine ออกจากน้ำมันดิบหรือ เมื่อทำการสกัดโลหะจากสินแร่ ก๊าซ SO_2 จะละลายในไอของน้ำในรูปของกรด และเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุภาคอื่นๆที่อยู่ในอากาศ จะกลายเป็นซัลเฟต และสารประกอบอื่นๆที่จะมีผลต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม มากกว่าร้อยละ 65% ของก๊าซ SO_2 จะถูกปล่อยออกมาทางอากาศโดยถูกปล่อยออกมาจากเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการผลิตปูนซีเมนต์ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

ผลกระทบของ SO_x นั้นมีได้หลายรูปแบบขึ้นกับว่า SO_x จะไปทำปฏิกิริยาและเกิดสารประกอบอะไรในอากาศ และประชากลุ่มเสี่ยงได้แก่ เด็ก คนชรา และผู้ที่มีปัญหาของโรคระบบทางเดินหายใจ เช่นหอบหืด พวกที่ทำงานนอกบ้าน ซึ่งพอสรุปผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ดังนี้

1) การสูดก๊าซ SO_2 (Gaseous SO_2) ในปริมาณที่สูงแม้ระยะเวลาสัมผัสจะสั้นก็ตามจะทำให้เกิดการหายใจลำบากได้ชั่วขณะสำหรับผู้ที่เป็นหอบหืด หรือผู้ที่ทำงานกลางแจ้ง การสัมผัส SO_2 หรืออนุภาคของ SO_2 จะทำให้เกิดโรคของระบบทางเดินหายใจ และทำให้ผู้ที่เป็นโรคหัวใจมีอาการแย่ลง

2) การสูดอนุภาคของ SO_2 (SO2 Particles) ก๊าซ SO_2 จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่นๆในอากาศ ทำให้เกิดฝุ่นละอองเล็กๆของซัลเฟต ซึ่งเมื่อสูดฝุ่นละอองของซัลเฟตเข้าไป จะเข้าไปสะสมในปอดเมื่อสะสมมากขึ้นก็จะทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินหายใจ ทำให้มีปัญหาเรื่องการหายใจ การหายใจลำบาก และเกิดโรคของระบบทางเดินหายใจ อีกทั้งเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตก่อนเวลาอันควร

3) การลดทัศนวิสัยของการมองเห็น โดยเมื่อแสงหักเหหรือถูกดูดกลืนโดย กาซหรืออนุภาคของ SO_2 จะลดทัศนวิสัยของการมองเห็น โดยฝุ่นละอองซัลเฟตจะเป็นตัวลดทัศนวิสัยการมองเห็นได้มากกว่า

4) การทำให้เกิดฝนกรด ทั้ง SO2 และ Nitrogen oxide ทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆในอากาศทำให้เกิดกรดขึ้น ซึ่งเมื่อตกมาสู่พื้นโลกในรูปของฝน หิมะ หมอก น้ำค้าง หรือตกลงมาเป็นอนุภาคที่แห้งก็ตามจะทำให้เกิดฝนกรดขึ้น และลมสามารถที่จะพาฝนกรดเหล่านี้ไปได้ไกลถึงหลายร้อยไมล์

5) การทำลายพืชและแหล่งน้ำ ฝนกรดจะทำลายป่าหรือพืชผลทางเกษตรกรรม และทำให้ดินมีความเป็นกรด รวมถึงน้ำในแม่ลำคลอง หรือทะเลสาบมีความเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งทำให้นิเวศวิทยาไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นเป็นเวลานานจะทำให้ความหลากหลายทางชีวภาพของพืชและสัตว์ในระบบนิเวศน์เปลี่ยนแปลงไป

6) การทำลายทัศนียภาพ SO_2 ที่เป็นกรดจะกัดกร่อน บ้านเรือน อาคารสถานที่ รวมถึงสี ทำให้โบราณสถาน อนุสาวรีย์ต่างๆ เสียหายและไม่สวยงามเหมือนก่อน

เมื่อพิจารณาสารมลพิษที่เกิดขึ้นจากการผลิต และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสารมลพิษเหล่านั้น สามารถประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเบื้อต้นได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	วัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์
การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ	●
การใช้น้ำ	○
การใช้เชื้อเพลิง	●
การปนเปื้อนในอากาศ	●
การปนเปื้อนในน้ำ	○
การปนเปื้อนในดิน	○
มลพิษทางเสียง	◍
ผลกระทบจากความร้อน	◍
คุณภาพชีวิต	◍

ผลกระทบมาก ● ผลกระทบปานกลาง ◍ ผลกระทบน้อย ○

ผลกระทบจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

1) การใช้วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่เป็นหินที่ได้จากการทำเหมือง ผลกระทบจากการใช้วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ค่อนข้างมากเนื่องจาก การผลิตปูนซีเมนต์ต้องใช้หินปริมาณมากคือ ประมาณ 1.5 – 1.9 เท่าของน้ำหนักปูนเม็ด และวัตถุดิบเหล่านี้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป

2) การใช้เชื้อเพลิง

ในขั้นตอนของการเผาปูนเม็ดในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เป็นขั้นตอนที่เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 1450 องศาเซลเซียส) ดังนั้นจึงมีความต้องการเชื้อเพลิงปริมาณมาก โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ได้แก่ถ่านหินและน้ำมันเตา ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลักในการเผาปูนเม็ด สำหรับน้ำมันเตาจะใช้ในช่วงเริ่มเดินเครื่อง (Start Up) เท่านั้น ดังนั้นผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิง (ถ่านหิน) จึงมีผลกระทบค่อนข้างมาก

3) การใช้น้ำ

ผลกระทบจากการใช้น้ำในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มีน้อย เนื่องจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นน้ำที่มีการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ทำให้น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีปริมาณไม่มาก

ผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของอากาศมาก เนื่องจากเกิดฝุ่นแขวนลอยและสารมลพิษปล่อยสู่อากาศมาก ดังนี้

1) ฝุ่นแขวนลอย

แหล่งที่ก่อให้เกิดฝุ่นแขวนลอยได้แก่ หม้อบดวัตถุดิบ หม้อบดปูนซีเมนต์ หม้อเย็น และอุปกรณ์การขนส่งวัตถุดิบ โดยฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่มีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน เมื่อฝุ่นเหล่านี้เข้าสู่ระบบหายใจจะก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ และถ้าได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานอาจเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มีปริมาณมาก ดังนั้นโอกาสที่ร่างกายจะรับฝุ่นละอองเหล่านี้เข้าระบบทางเดินหายใจจึงมีมาก

2) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ปริมาณการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของซัลเฟอร์ในวัตถุดิบและเชื้อเพลิง และปริมาณเชื้อเพลิงและวัตถุดิบที่ถูกเผาไหม้

สำหรับกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการที่ใช้เชื้อเพลิงปริมาณมาก ดังนั้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จึงมีมาก

3) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เกิดได้ 2 ทาง คือ เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ และเกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 1300 องศาเซลเซียส) การผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิสูง จึงเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณมาก

4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากการเผาไหม้วัตถุดิบและเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตปูนเม็ด ซึ่งในวัตถุดิบมีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบมาก คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจึงมีมาก โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการกระบวนการเผาในเตาเผามีประมาณ 970 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้จะส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิในบรรยากาศของโลกและทำให้โลกร้อนขึ้นด้วย

5) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มีการควบคุมก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณน้อย

ผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำ

น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มีปริมาณน้อยมาก เนื่องจากน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วจะถูกหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ ยกเว้นกรณีที่มีการล้างย้อนระบบหล่อเย็น (Back Wash) ซึ่งทำประมาณเดือนละครั้ง หรือปีละ 1 ครั้ง และน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนจากเครื่องจักรนั้น ไม่ได้สัมผัสกับส่วนของเครื่องจักรที่มีปนเปื้อนน้ำมันโดยตรง ทำให้คุณภาพของน้ำเสียที่ปล่อยออกมาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดจึงสามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้เลย

ผลกระทบด้านเสียง

ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นอกจากเกิดสารมลพิษแล้ว ยังเกิดเสียงปล่อยออกมาด้วย โดยเสียงที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการผลิตเป็นเสียงที่มาจากการบดวัตถุดิบเป็นส่วนใหญ่ โดยในส่วนของกระบวนการผลิตที่มีเสียงจะมีผลกระทบต่อพนักงานที่เกี่ยวข้องน้อย เพราะถึงแม้ว่าจะมีเสียงดังมาก แต่กระบวนการผลิตดังกล่าวเป็นแบบอัตโนมัติ พนักงานที่จะเข้าไปทำงานในบริเวณนี้

จึงมีน้อยและใช้เวลาในแต่ละบริเวณน้อยด้วย นอกจากนั้นพนักงานที่เข้าไปยังใส่เครื่องป้องกันอันตรายทำให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นมีอันตรายน้อยลง

ผลกระทบจากความร้อน

สำหรับความร้อนที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้น มาจากส่วนของการเผาปูนเม็ด การลดความร้อนของปูนเม็ดในหม้อเย็น และสิ่งอำนวยประโยชน์อื่นๆ (utilities) เช่น หอทำความเย็น (Cooing Tower) เป็นต้น โดยในส่วนความร้อนจะมีผลกระทบต่อพนักงานที่เกี่ยวข้องน้อย เพราะพนักงานเข้าไปทำงานในบริเวณนี้ใช้เวลาในแต่ละบริเวณน้อยคือ พนักงานเข้าไปเพื่อตรวจเช็คอุปกรณ์เท่านั้น โดยใช้เวลาเข้าไปตรวจเช็คแต่ละครั้งประมาณ 5 – 10 นาที ซึ่งองค์กร National Institute for Occupation Safety and Health (NIOSH) ได้กำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมให้พนักงานทำงานสัมผัสกับความร้อน โดยถ้าอุณหภูมิความร้อนในร่างกาย (Wet Bulb Globe Temperature) มีค่าเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส จะสัมผัสกับความร้อนได้ไม่เกิน 20 นาที

ส่วนการนำพลังงานเหลือทิ้งจากโรงงานปูนซีเมนต์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า โดยความร้อนเหลือทิ้งจากการผลิตปูนซีเมนต์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 30 - 39 หน่วย ต่อการผลิตปูนเม็ด 1 ตัน คิดเป็นสัดส่วนสูงถึง 1 ใน 3 ของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ยิ่งไปกว่านั้น การใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากการผลิตปูนซีเมนต์ไม่ได้ก่อให้เกิดกระบวนการเผาไหม้เพิ่มเติมแต่อย่างใด จึงไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น และสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงฟอส-ซิลในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมในทางอ้อมอีกด้วย

ผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต

<u>ด้านเศรษฐกิจและสังคม</u>

การปนเปื้อนในอากาศเกิดจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ ข้อมูลการติดตามผลกระทบแสดงว่าบริเวณเขา Pun ซึ่งอยู่ห่างจากโรงงานไปทางเหนือราว 2 กิโลเมตร มีระดับซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์สูงเกินมาตรฐาน แต่บริเวณนี้ไม่มีผู้อยู่อาศัย ฝุ่นละอองในอากาศจะมากขึ้นถ้าเครื่องดักฝุ่นทำงานไม่สมบูรณ์ จากการตรวจสอบตัวแบบจำลองการกระจายของลม หมู่บ้านในตำบลท่าคล้อ (Tha Khlo) น่าจะได้รับผลกระทบจากฝุ่นควันมากที่สุด ดังนั้นทางโรงงานปูนซีเมนต์แห่งนี้จึงได้เข้าร่วมกิจกรรมเพื่อบริการสังคม เช่น การสร้างสาธารณูปโภค บริจาคทุนทรัพย์เพื่อการศึกษา ทำนุบำรุงศิลปวัฒนะธรรม บรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำบริโภค มีหน่วยแพทย์เคลื่อนที่เพื่อตรวจสุขภาพของประชาชนโดยรอบโครงการ เป็นต้น

ด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของพนักงาน

ผลการตรวจวัดอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ได้แก่ ระดับเสียงในสถานที่ทำงานพบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องมาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546 สำหรับจุดที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานนั้น ซึ่งโดยปกติแล้วพนักงานจะปฏิบัติงานอยู่ภายในห้องควบคุม และหากพนักงานจะออกไปปฏิบัติงานนอกห้องควบคุมจะต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Ear Plug) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดเสียงได้ประมาณ 20 dB(A) และเวลาในการเข้าปฏิบัติงาน ณ จุดที่มีเสียงดังเกินกว่า 90 เดซิเบล(เอ) นั้นเป็นระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น ซึ่งน้อยกว่า 8 ชั่วโมง นอกจากนี้ทางโครงการยังได้พยายามลดเสียงที่แหล่งกำเนิด เช่น ได้ทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักรให้มีสภาพที่ดีอยู่เสมอ ดังนั้นโรงงานอาจต้องทำการศึกษาหาวิธีการในการลดเสียงจากแหล่งกำเนิดในบริเวณอาคารหลังหม้อบดซีเมนต์เช่น ติดตั้งอุปกรณ์ช่วยลดเสียงที่เครื่องจักร หรือวัสดุดูดซับเสียงมาปิดคลอบเครื่องจักร

ผลจากการตรวจวัดคุณภาพฝุ่นจากปล่อง (TSP) ของหม้อบดซีเมนต์ 1-3 และ หม้อเผา 3-6 พบว่า มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานปูนซีเมนต์ (พ.ศ.2547) และทางโรงงานให้พนักงานทุกคนสวมหน้ากากป้องกันฝุ่นละอองและมีรถดูดฝุ่นตามพื้นถนนอีกด้วย

สำหรับผลการตรวจวัดระดับความร้อนในสถานที่ทำงาน พบว่าบางจุดมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานซึ่งโดยปกติส่วนใหญ่พนักงานจะปฏิบัติงานอยู่ภายในห้องควบคุม และมีเครื่องปรับอากาศและได้มีป้ายเตือนบริเวณที่มีความร้อนอย่างชัดเจน ซึ่งหากพนักงานจะออกไปปฏิบัติงานนอกห้องควบคุมจะต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ได้แก่ ชุดป้องกันความร้อน หน้ากาก และถุงมือป้องกันความร้อน เป็นต้น และโครงการได้ติดตั้งฉากป้องกันความร้อนระหว่างคนและ Preheater พร้อมทั้งมีการสับเปลี่ยนระยะการทำงานของพนักงานในบริเวณที่มีความร้อนเป็น 3 ครั้ง/วัน

สำหรับอุบัติเหตุภายในโรงงาน โครงการได้จัดให้มีการบันทึกอุบัติเหตุและการเจ็บป่วยเพื่อทำการประเมินถึงสาเหตุของการเกิดอุบัติ พร้อมทั้งมีวิธีการป้องกัน และแนวทางแก้ไข ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุประจำปี 2549 พบว่า มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น 5 ราย เป็น พนักงานบริษัท 5 รายมีอุบัติเหตุถึงขั้นหยุดงานซึ่งเป็นพนักงานบริษัท 1 ราย และมีอุบัติเหตุไม่ถึงขั้นหยุดงานซึ่งเป็นพนักงานบริษัท 4 ราย โดยส่วนใหญ่เป็นพนักงานส่วนผลิต ทั้งนี้โครงการได้ดำเนินการป้องกันและแก้ไข ได้แก่ ให้ จป.หน้างานตรวจพื้นที่ก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง พูด Safety Talk ก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง จัดอบรม Safety Talk และ KYT และรณรงค์ 3 เดือนแห่งความปลอดภัย อุบัติเหตุถึงขั้นหยุดงานเป็นศูนย์

โดยปฏิบัติงานตาม 10 กฎเหล็กร่วมกำจัด Near miss เป็นต้น โดยทั้งนี้โครงการได้ทำการบันทึกอุบัติเหตุ การวิเคราะห์ความรุนแรงพร้อมทั้งการดำเนินการแก้ไขในการเกิดอุบัติเหตุแต่ละครั้ง ทุกๆ ครั้ง

การตรวจสุขภาพพนักงานภายในโครงการปรับคุณภาพของเสียรวม ของ บริษัทปูนซิเมนต์ไทย(แก่งคอย) จำกัด ได้ดำเนินการตรวจสุขภาพทุกๆ 6 เดือน ซึ่งการตรวจสอบสุขภาพของพนักงาน ได้แก่

- สมรรถภาพของการได้ยิน
- สมรรถภาพการทำงานของปอด

ผลการตรวจสุขภาพพนักงาน โครงการปรับคุณภาพของเสียรวม ของ บริษัทปูนซิเมนต์ไทย(แก่งคอย) จำกัด ประจำปี 2549 เมื่อวันที่ 14-15 และ 16-31 มีนาคม 2549 โดยโรงพยาบาลเกษมราษฎร์ สระบุรี จำนวน 461 คน พบว่า พนักงานส่วนใหญ่มีสุขภาพปกติจำนวน 420 คน อาการผิดปกติทางกระดูก 16 คน ทางปอด 18 คน ทางหัวใจ 7 คน ซึ่งตรวจพบอาการที่ผิดปกติได้แก่ อาการกระดูกหักเก่าที่ไหปลาร้าขวาและกระดูกซี่โครงที่ 4-8 ด้านขวา,ขนาดหัวใจค่อนข้างโต ,กระดูกสันหลังคด, เยื่อหุ้มชายปอดด้านขวาหนา, รอยโรคเก่ามีแคลเซียมเกาะที่เยื่อหุ้มปอดด้านขวาแผลเป็นดึงรั้งที่ปอดกลีบบนด้านขวา, อาการที่เสี่ยงต่อการป่วยเป็นวัณโรค และกระดูกไหปลาร้าด้านซ้ายหักเก่า เป็นต้น

4.3.1.6 <u>ผลจากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม</u>

จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้การประเมินแบบวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ สามารถกำหนดเป็นประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบมากได้ดังนี้ คือ

1) การใช้วัตถุดิบ
2) การใช้เชื้อเพลิง
3) การปนเปื้อนในอากาศ
4) มลพิษทางเสียง

4.3.2 หานัยสำคัญของประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม

เมื่อกำหนดประเด็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจากผลการประเมินผลกระทบเบื้องต้นแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีการพิจารณาประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญ เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดเป้าหมายในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งการพิจารณาประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญนั้น ได้ใช้หลักการประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมในการให้

คะแนนความสำคัญของประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาจากปริมาณสารมลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตที่ได้จากผลการคำนวณ รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมของโรงงานต่างๆ และความรุนแรงของผกระทบ ซึ่งผลการให้คะแนนแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การประเมินประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญ

ประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม	โอกาสที่จะเกิด	ผลกระทบ			ค่านัยสำคัญ	นัยสำคัญ
	L_1	C_1	C_2	C_3	$S = (L_1)x(C_1+C_2)x(C_3)$	
- การใช้วัตถุดิบ	8	2	6	4	256	ปานกลาง
- การใช้เชื้อเพลิง	8	10	6	6	768	สูง
- การปนเปื้อนในอากาศ	8	10	6	6	768	สูง
- มลพิษทางเสียง	8	4	2	8	386	ปานกลาง

จากการประเมินความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อม พบว่ากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในขอบเขตของวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญ คือ ผลกระทบจากการปนเปื้อนสารมลพิษในอากาศ และผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิง สำหรับผลกระทบที่มีนัยสำคัญรองลงมา คือ ผลกระทบจากเสียงที่เกิดจากกระบวนการผลิต และผลกระทบจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ตามลำดับ ดังนี้

4.3.2.1 <u>ผลกระทบจากการใช้วัตถุดิบ</u>

การผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการที่ใช้วัตถุดิบมาก ซึ่งวัตถุดิบนี้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป ส่งผลกระทบให้ระบบนิเวศน์ได้รับความเสียหายต้องใช้ระยะเวลานานกว่าที่ระบบนิเวศน์จะกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ และการใช้วัตถุดิบเหล่านี้เกิดฝุ่นปริมาณมาก ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ โดยถ้าไม่มีการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นความเข้มข้นฝุ่นที่ปล่อยออกจากปล่องของโรงงานมีค่ามากกว่าระดับมาตรฐานมาก แต่เมื่อติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นแล้วความเข้มข้นฝุ่นที่ปล่อยออกมาอยู่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด สำหรับการใช้วัตถุดิบของกระบวนการผลิตไฟฟ้ามีผลกระทบน้อย เนื่องจากปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีปริมาณน้อยและผลกระทบจากการใช้สารเคมีดังกล่าวน้อย

4.3.2.2 <u>ผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิง</u>

การใช้เชื้อเพลิงมีผกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากทั้งกระบวนการผลิตไฟฟ้าและกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการที่ใช้ถ่านหินเป็นจำนวนมาก และถ่านหินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป นอกจากนั้นในกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินยังก่อให้เกิดสารมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตสิ่งแวดล้อม และมีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้นด้วย

4.3.2.3 ผลกระทบต่อคุณภาพของอากาศ

ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์มีผลกระทบต่อคุณภาพของอากาศมากโดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าและการผลิตปูนซีเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าและการผลิตปูนซีเมนต์ไม่เพียงแต่จะก่อให้เกิดฝุ่นที่มีปริมาณมากแล้ว ยังเกิดสารมลพิษปล่อยสู่อากาศด้วย ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยสารมลพิษที่ปล่อยออกมาจากปล่องของโรงงานที่ยังไม่ผ่านระบบบำบัดส่วนใหญ่มีปริมาณมากกว่าค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด (ฝุ่นแขวนลอย, ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์) สำหรับความรุนแรงของผลกระทบจากสารมลพิษเหล่านี้มีดังนี้

1) ผลกระทบจากฝุ่นแขวนลอย

ผลกระทบจากการได้รับฝุ่นแขวนลอยมักก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ แต่ฝุ่นแขวนลอยที่เกิดจากกระบวนการผลิตส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ทำให้อนุภาคฝุ่นบางส่วนสามารถเข้าไปในถุงลมของปอดได้ อนุภาคเหล่านี้อาจทำให้ปอดเป็นแผลและอาจถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ ฝุ่นแขวนลอยไม่เพียงแต่จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเท่านั้น ยังทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการมองเห็นด้วย เนื่องจากฝุ่นละอองสามารถหักเหและดูดกลืนคลื่นแสงที่เห็นได้ สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่สามารถสังเกตได้คือ การทำให้อาคาร เสื้อผ้า และสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ เกิดความสกปรก

2) ผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตมีความรุนแรงมากเนื่องจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อเยื่อบุทางเดินหายใจ ทำให้แรงด้านในระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น และผลกระทบจะมีความรุนแรงมากขึ้นถ้ามีอนุภาคของสารอื่นถูกสูดหายใจเข้าไปด้วย เช่น อนุภาคฝุ่น เพราะอนุภาคเหล่านี้จะดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เอาไว้ ทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไอออกไซด์สามารถผ่านเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ลึกกว่าปกติ และถ้าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับนี้ถูกออกซิไดซ์กลายเป็นกรดซัลฟิวริก ส่งผลให้ผู้ที่ได้รับก๊าซนี้ได้รับผลกระทบรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ สำหรับผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมถือว่ามีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อถูกแสงแดด จะถูกออกซิไดซ์กลายเป็น

ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และจะถูกดูดกลืนอย่างรวดเร็วโดยฝนหรือเมฆกลายเป็นกรดซัลฟิวริกหรือซัลเฟต ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของสม็อก (smog) ซึ่งจะไปบังแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นผิวโลก นอกจากนั้นกรดซัลฟิวริกยังมีสมบัติเป็นกรดจึงทำให้สิ่งก่อสร้างเกิดการชำรุดทรุดโทรม และกรดนี้จะกัดกร่อนวัตถุที่ทำด้วยโลหะ ทำให้โลหะขึ้นสนิมเร็วกว่าปกติด้วย

3) ผลกระทบจากก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

ผลกระทบจากก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีมาก เนื่องจากไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซที่สร้างความระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ ถ้าร่างกายได้รับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดอาการบวมน้ำในเนื้อเยื่อปอด และทำให้เกิดอาการเลือดออกในปอดตามมาภายหลัง ถ้าก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศมีความเข้มข้นสูงถึง 100 ส่วนในล้านส่วน อาจทำให้คนหรือสัตว์ตายได้ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้ดีมาก ดังนั้นเมื่อก๊าซไนโตรเจนออกไซด์สัมผัสกับละอองน้ำในอากาศ จะเกิดเป็นกรดไนตริกที่มีฤทธิ์กัดกร่อน จึงเป็นภัยต่อสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับกรดซัลฟิวริก

4) ผลกระทบจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถในการดูดซับแสงอาทิตย์ได้ดี ทำให้บรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่มากมีอากาศร้อน ส่งผลให้โลกร้อนหรือที่เรียกว่าปรากฏการณ์เรือนกระจก นอกจากนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงอาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนกับวัสดุที่ทำด้วยหินได้ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำหรือไอน้ำจะมีฤทธิ์เป็นกรด สำหรับผลกระทบจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตมีผลกระทบน้อย เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เป็นสารมลพิษ แต่เป็นก๊าซที่มีประโยชน์ต่อพืชและสิ่งมีชีวิตอื่น เพราะทำให้พืชเกิดการสังเคราะห์แสงได้ก๊าซออกซิเจนที่มนุษย์และสัตว์ใช้ในการหายใจ

5) ผลกระทบจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ผลกระทบจากการได้รับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่ก่อให้เกิดความระคายเคือง แต่เป็นก๊าซที่มีอันตรายต่อสุขภาพมาก เพราะเมื่อหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปในร่างกาย จะถูกปอดดูดซับและทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินหรือฮีโมโปรตีนในเลือดกลายเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน ซึ่งคาร์บอนมอนอกไซด์จะรวมตัวกับฮีโมโกลบิลได้ดีกว่าออกซิเจนทำให้ร่างกายขาดออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยปกติแล้วถ้ามนุษย์หายใจเอาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกาย ร่างกายจะทำการขับเพื่อให้เกิดความสมดุล แต่ถ้าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีมากกว่า 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศจะมีความเป็นพิษสูง โดยอาการของผู้ที่หายใจเอาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกายเริ่มแรกคือมีอาการเครียด หายใจเร็วกว่าปกติ เวียนศีรษะ กล้ามเนื้ออ่อนเพลีย ต่อมาจะมีอาการอาเจียน หน้ามืด ปวดชักกระตุก หมดสติ

และอาจตายได้ แต่กระบวนการเผาไหม้ถ่านหินในกระบวนการผลิตไฟฟ้าและกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มีการควบคุมระดับความเข้มข้นของก๊าซนี้อยู่ตลอดเวลา ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมามีผลกระทบไม่มาก

4.3.2.4 ผลกระทบจากเสียง

เสียงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานหรือผู้ที่อยู่รอบโรงงานโดยทำให้พนักงานเกิดความเครียดเมื่อได้ยินเสียงรบกวนอยู่ตลอดเวลา ทำให้ขาดสมาธิ ระบบหูเสื่อม ความดันโลหิตสูง ปวดหู หูตึงหรือหูหนวกได้ อันตรายของเสียงขึ้นกับปัจจัย 3 ประการ คือ ขนาดของเสียงหรือความดังของเสียง ระยะเวลาที่ได้รับเสียง และความถี่ของเสียง สำหรับในกระบวนการผลิตวัตถุดิบและกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ถึงแม้ว่าเป็นกระบวนการที่ส่งผลให้เกิดเสียงที่มีความดังมากกว่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดในสภาวะการทำงานปกติ แต่ระยะเวลาที่พนักงานได้รับเสียงน้อย ทำให้ผลกระทบจากเสียงมีน้อย

4.3.3 วิธีการกำจัดมลพิษทางอากาศ

เทคโนโลยีหลังการเผาไหม้เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อกำจัดมลภาวะที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ ได้แก่

- Flue gas desulfurization (FGD) เป็นระบบที่ใช้ในการกำจัดก๊าซ SOx ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ สามารถกำจัด SOx ได้มากกว่า 95%

- Denitification Technology เป็นการกำจัด NOx ที่ออกมาในก๊าซทิ้ง โดยผ่านไปในระบบ selective catalytic reduction หรือ selective non-catalytic reduction :ซึ่ง NOx จะสลายตัวเป็นไนโตรเจนและน้ำ ระบบนี้สามารถลด NOx ได้ประมาณ 60-90%

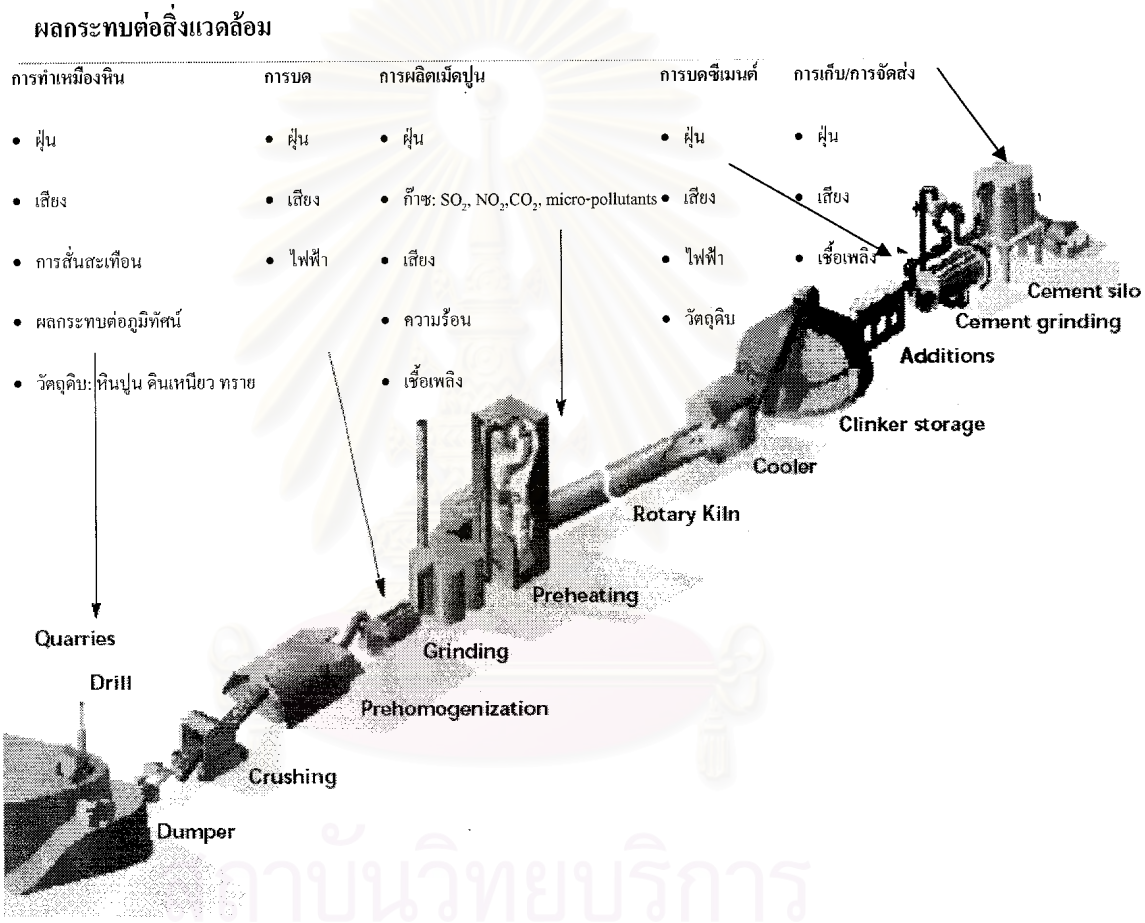
- Dust collection Technology เป็นระบบการกำจัดฝุ่นละออง โดยใช้ electrostatic precipitator ไซโคลน หรืออาจใช้อุปกรณ์ดักจับฝุ่นแบบถุงกรอง

4.4 การแปลผล (Interpretation)

4.4.1 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการและกิจกรรมต่างๆ ซึ่งเป็นการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบและพลังงาน และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปล่อยสารมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมในขั้นตอนต่างๆ นอกจากนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ยังเป็น

วิธีการที่ใช้ประกอบการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตอีกด้วยด้วย ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่า การใช้เชื้อเพลิงก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยสารมลพิษดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดที่เกิดจากการกระบวนการเผา ดังนั้นจึงหาวิธีการปรับปรุงในส่วนของเชื้อเพลิงเพื่อลดปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น



4.4.2 การเปรียบเทียบการนำของเสียมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงในโรงงาน

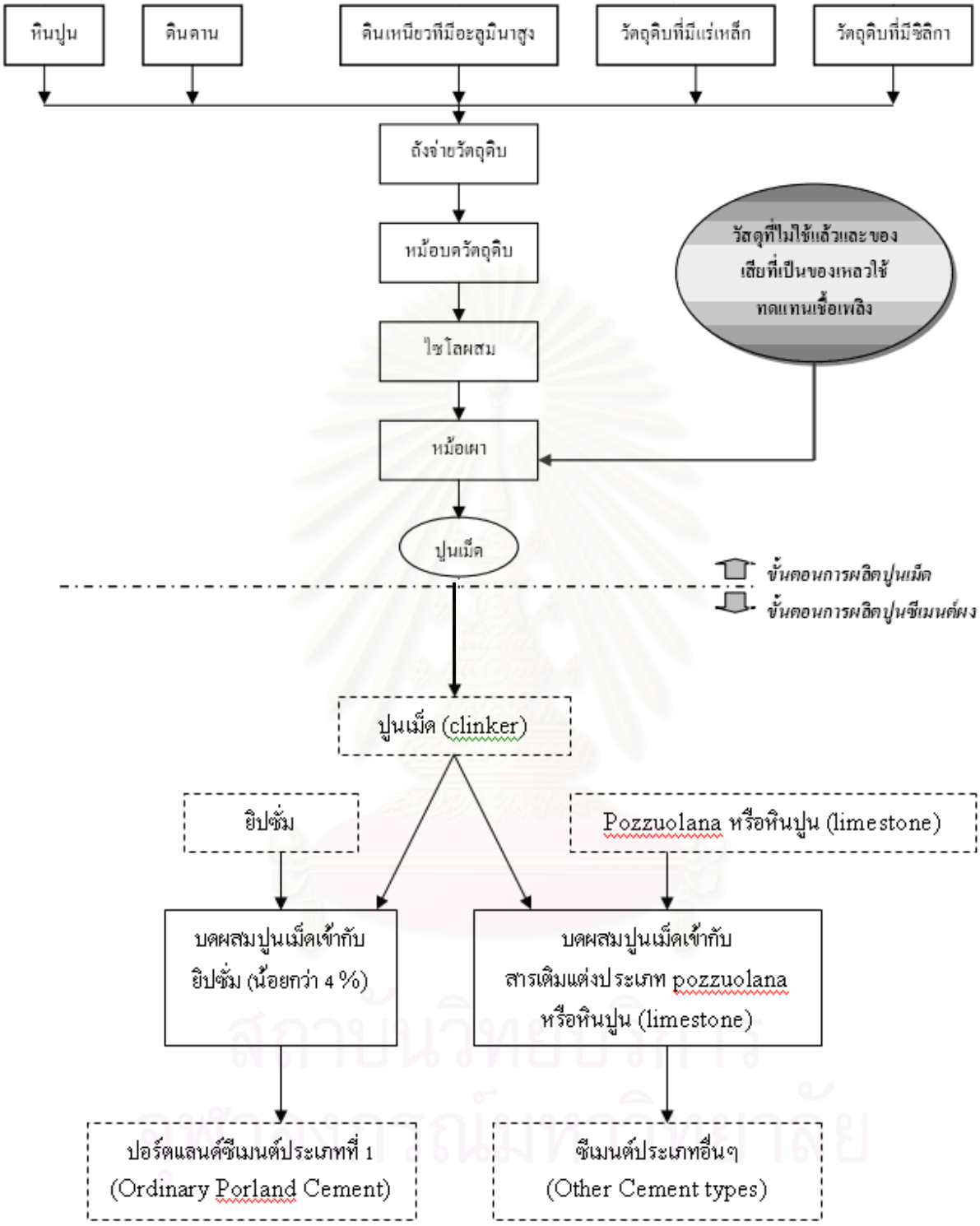
จากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และการประเมินผลกระทบของวัฏจักรชีวิตเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ทำให้ทราบว่ามลพิษทางอากาศที่ออกมาจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มากที่สุดคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้น และเนื่องจากโรงงานปูนซีเมนต์ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานปรับคุณภาพของเสียรวม (ลำดับที่ 101) จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำของเสียจากอุตสาหกรรมอื่นเข้ามากำจัดภายในโรงงานได้ จึงมีการรับของเสียเข้ามาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ยางรถยนต์ แกลบ โดยนำมาทดแทนเชื้อเพลิงที่หม้อเผาปูนในกระบวนการเผาเพื่อลดปริมาณก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ส่วนของเสียที่ไม่สามารถทดแทนเชื้อเพลิงได้ก็จะป้อนเข้าเตาเผาเพื่อกำจัด

โรงงานจะมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของเสียทุกชนิดที่นำเข้ามา โดยพิจารณาจากค่าความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติอื่นๆ เพื่อนำมาจัดประเภทของเสียว่าจะนำมาทดแทนเชื้อเพลิง หรือเผาเพื่อกำจัด (รูปที่ 4.2) การที่โรงงานนำของเสียเข้ามาทดแทนเชื้อเพลิงในโรงงานนอกจากจะสามารถลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงที่ไม่หมุนเวียนลงแล้ว ยังช่วยกำจัดกากอุตสาหกรรมให้กับประเทศไทยได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ของโรงงานปูนซีเมนต์พบว่ากระบวนการเผาโดยใช้เตาเผาซีเมนต์จะช่วยปรับสภาพความเป็นกรดและไปทำลายสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งไม่ได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากการใช้วัสดุที่ไม่ใช้แล้วเข้าเตาเผาซีเมนต์

ผลกระทบ	รายละเอียด
ฝุ่น	การใช้วัสดุที่มาทดแทนไม่ทำให้ฝุ่นที่ระบายออกจากปล่องเพิ่มขึ้นจากเดิม เนื่องจากการเผาไหม้บริเวณ Riser pipe, Precalciner Main Burner ซึ่งฝุ่นที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับโดยวัตถุดิบที่ไหลสวนทางลงมา
NO_x	การนำวัสดุที่มาทดแทนไม่ทำให้ Thermal NO_x ของโรงงานปูนซีเมนต์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากจะต้องควบคุมอุณหภูมิภายในหม้อเผาให้คงที่ตลอดเวลา
SO_2 และ HCl	SO_2 และ HCl ที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับเกือบทั้งหมดด้วย CaO, K2O และ Na2O จากวัตถุดินที่ป้อนเข้าไป ทำให้มีส่วนที่ระบายออกจากปล่องน้อยมากในทางทฤษฎี CaO อย่างเดียวเพียงพอต่อการดูดซับ SO_2 และ HCl ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด
โลหะหนัก	โลหะหนักบางส่วนจะรวมกันเป็น Clinker บางส่วนจะถูกระบายออกสู่บรรยากาศ ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณการปล่อยโดยไม่ให้เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด



รูปที่ 4.2 การนำกากของเสียมาใช้ทดแทนวัตถุดิบและเชื้อเพลิงในโรงงานปูนซีเมนต์

การเปรียบเทียบระหว่างการผลิตแบบใช้เชื้อเพลิงปกติกับการผลิตที่นำของเสีย (เช่น น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ซากยางรถยนต์) มาใช้ทดแทนน้ำมันเตาที่ใช้ในเตาเผาในปริมาณร้อยละ 3.4 ของเชื้อเพลิงทั้งหมด เนื่องจากปริมาณของเสียที่นำมาใช้ไม่สามารถทดแทนปริมาณเชื้อเพลิงในอัตราส่วน 1:1 ได้ ซึ่งข้อมูลมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการใช้เชื้อเพลิงทดแทนดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบมลพิษทางอากาศก่อนและหลังการใช้เชื้อเพลิงทดแทนจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน 1 ตัน

มลพิษทางอากาศ	เชื้อเพลิงปกติ	เชื้อเพลิงแบบใช้ของเสียทดแทน
CO_2	9.810E+02 กก.	9.730E+02 กก.
CO	3.920E-02 กก.	3.920E-02 กก.
SO_2	1.014E-01 กก.	1.014E-01 กก.
NO_x	1.153E+00 กก.	1.153E+00 กก.
N_2O	2.460E-03 กก.	2.460E-03 กก.
CH_4	2.600E-01 กก.	2.600E-01 กก.
ฝุ่นละออง	2.373E+00 กก.	2.373E+00 กก.

ตารางที่ 4.8 แสดงมลสารที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน 1 ตัน เมื่อเปรียบเทียบใน 2 กรณี คือ การใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิง พบว่าเมื่อมีการใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิงจะมีการปล่อยมลสารทางอากาศออกมาน้อยกว่า ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงแบบปกติจะมีการปล่อย CO_2 981 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์ ในขณะที่ถ้าใช้กากของเสียทดแทนเชื้อเพลิงร้อยละ 3.4 จะมีการปล่อย CO_2 เพียง 973 กิโลกรัมต่อตันปูนซีเมนต์

บทที่ 5
เทคโนโลยีเพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ

จากกฎหมายควบคุมมลพิษโรงงานอุตสาหกรรมที่เข้มงวดขึ้น ทำให้ผู้บริหารโรงงานต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบบำบัดก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้ง เพื่อจัดการปัญหาเหล่านี้โดยจะเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการลดมลพิษทางอากาศที่ปล่อยออกมาจากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ทำให้ทราบว่าการปนเปื้อนในอากาศเกิดจากฝุ่น คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ จากการตรวจสอบตัวแบบจำลองการกระจายของลมในบริเวณใกล้เคียงจะได้รับผลกระทบจากฝุ่นควันมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ในการบำบัดฝุ่นและมลพิษทางอากาศเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยฝุ่นควันจากเตาเผาจะผ่านเครื่องดักฝุ่นไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitators :ESP) นอกนั้นยังมีเครื่องกรองฝุ่นเป็นชนิดที่มีระบบกำจัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในตัวเอง ดังนั้นจึงมีการศึกษาการทำงานประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ได้แก่ อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precicitators) ถุงกรอง (Bag Filters) และเครื่องจับฝุ่นด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์ (Wet Scrubbers) ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การจัดการด้านสิ่งแวดล้อมในโรงงานปูนซีเมนต์

มลพิษและของเสีย	จุดที่ต้องควบคุม	ระบบบำบัด/การจัดการที่เหมาะสม
มลพิษอากาศ เช่น ฝุ่น	1. หม้อบด	ระบบจับฝุ่นด้วยถุงกรอง
	2. หม้อเผา	ระบบจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต
	3. ระบบลำเลียงต่างๆ	ระบบจับฝุ่นด้วยถุงกรอง
	4. หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน	ระบบดักฝุ่นแบบเปียก

5.1 เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitators)

5.1.1 หลักการทำงาน

เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (เรียกย่อว่า ESP) เป็นเครื่องมือที่ใช้แรงไฟฟ้าในการแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซโดยมีหลักการ คือ ใส่ประจุไฟฟ้าให้อนุภาค แล้วผ่านอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเข้าไปในสนามไฟฟ้าสถิต อนุภาคเหล่านี้จะเคลื่อนที่เข้าหาและถูกเก็บบนแผ่นเก็บซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าตรงกันข้ามกับของอนุภาค ESP มีประสิทธิภาพสูงในการเก็บอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพถึง 99.5% หรือสูงกว่า ความดันสูญเสียมีค่าต่ำ สามารถรับก๊าซร้อนในปริมาณมากได้ ปัจจุบันใช้ ESP อย่างแพร่หลายในการควบคุมมลพิษทางอากาศของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่โรงจักรไฟฟ้าและหม้อน้ำ (Boiler) โรงหล่อหลอมทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี โรงหล่อหลอมเหล็ก และเหล็กกล้า โรงปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม โรงงานผลิตสารเคมี เช่น กรดซัลฟูริค กรดฟอสฟอริกและอื่นๆ

หลักการทำงานของเครื่อง ESP แบ่งได้ 3 ขั้นตอน

- การใส่ประจุไฟฟ้าให้กับอนุภาค
- การเก็บอนุภาคที่มีประจุโดยใช้แรงไฟฟ้าสถิตจากสนามไฟฟ้า
- การแยกฝุ่นออกจากขั้วเก็บในเครื่อง ESP ไปยังถังพัก

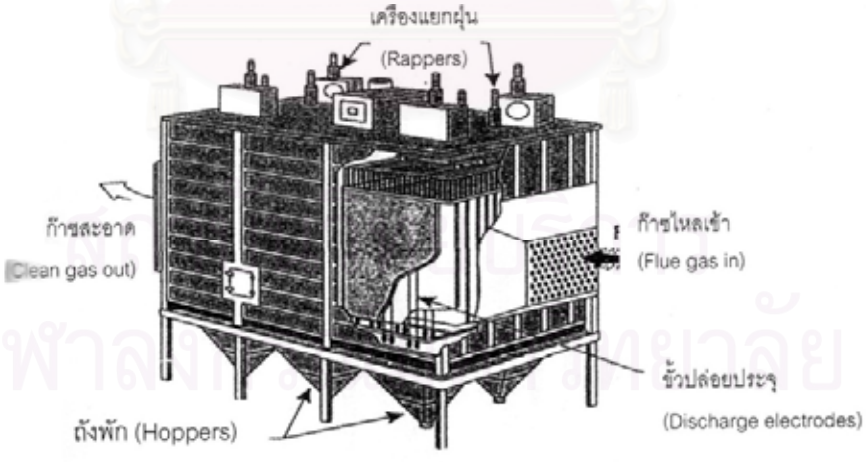
ใน ESP มีขั้วไฟฟ้า (Electrode) 2 ชนิด คือ ขั้วโคโรน่าหรือขั้วปล่อยประจุ (Corona or Discharge Electrode) ซึ่งมีหน้าตัดเล็ก เช่น เส้นลวด ปกติใช้ขั้วลบ และขั้วเก็บ (Collection Electrode) ซึ่งปกติต่อสายดินและมีพื้นที่ผิวกว้างในรูปแผ่น (Plate) หรือท่อ (Tube) รูปที่ 5.1 เป็นวิธีการทั่วไปในการจับอนุภาคในเครื่อง ESP แบบชั้นเดียว โดยใช้โคโรน่ากระแสตรงที่มีความต่างศักย์สูง ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 การที่ขั้วไฟฟ้ามีความต่างศักย์สูงนี้ ทำให้โมเลกุลของอากาศแตกตัวเป็นอิออนในบริเวณรอบๆ ขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode) ซึ่งจะเห็นเป็นโคโรน่า เนื่องจากมีแรงไฟฟ้าสถิตอยู่ พวกอิออนลบจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วเก็บ (Collection Electrode) ซึ่งต่อสายดินไว้ ในขณะที่อิออนของก๊าซ ซึ่งมีประจุลบชนกับอนุภาค ทำให้อนุภาคมีประจุลบ อนุภาคที่มีประจุเหล่านี้จะถูกแรงไฟฟ้าทำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วเก็บ เก็บ (Collection Electrode) ที่มีประจุบวกและสูญเสียประจุและเกาะติดที่นั่น ความเร็วที่อนุภาคเคลื่อนที่นี้เรียกว่า Migration หรือ Drift Velocity ขึ้นกับแรงไฟฟ้าที่กระทำบนอนุภาคและแรง Drag ที่เกิดขึ้นในขณะที่อนุภาคที่พยายามเคลื่อนที่ไปยังขั้วเก็บ อนุภาคที่เกาะติดขั้วไฟฟ้าเหล่านี้ เอาออกได้ โดยการเคาะให้หลุดและหล่นไปยังถังพักข้างล่าง (Rapping) หรือโดยการสั่น (Vibration)

5.1.2 **ชนิดของเครื่อง** ESP

เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- ชนิดเก็บฝุ่นแห้ง ขั้วโคโรน่าลบ (Dry, Negative Corona)
- ชนิดเก็บฝุ่นเปียก ขั้วโคโรน่าลบ (Wet, Negative Corona)
- ชนิดเก็บฝุ่นเปียก ขั้วโคโรน่าบวก (Wet, Positive Corona หรือ Two-Stage Precipitators)

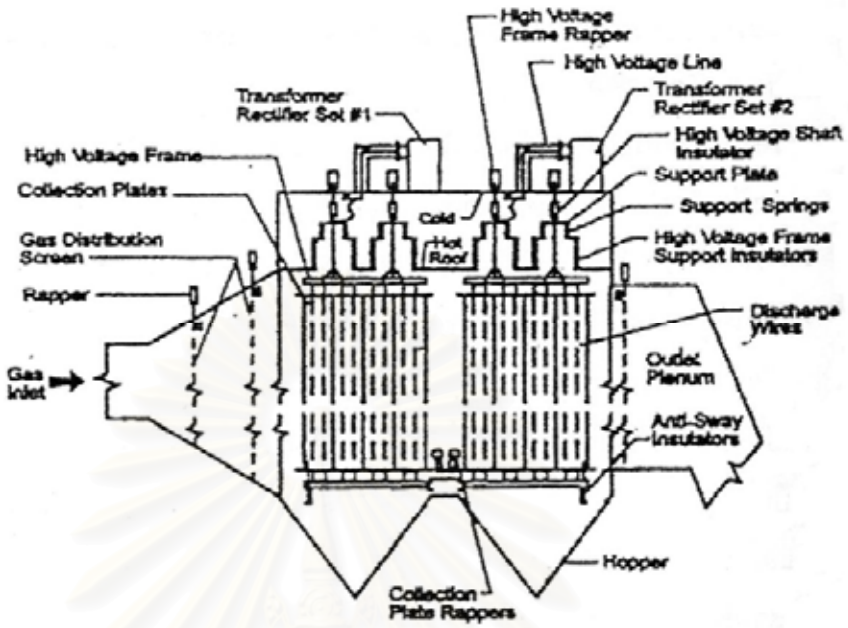
ในปัจจุบันชนิดของเครื่อง ESP ที่ใช้มากในอุตสาหกรรม เป็น ESP ซึ่งใช้โคโรน่าขั้วลบและเก็บฝุ่นแบบแห้ง ซึ่งเป็น Single-Stage Precipitator คือขั้วโคโรน่าและขั้วเก็บอยู่ในหน่วยเดียวกัน กรณีนี้เป็นที่เก็บฝุ่นแบบแห้ง และใช้ขั้วโคโรน่าเป็นขั้วลบ ส่วน ESP แบบเปียก (Wet, Negative Corona ESP) นั้นใช้เป็นสารชะฝุ่นที่เก็บได้ สำหรับ ESP ที่ใช้โคโรน่าเป็นขั้วบวกและเก็บฝุ่นแบบเปียก (Wet, Positive Corona ESP) หรือ Two-Stage Precipitators แยกขั้นตอนการใส่ประจุให้อนุภาคอยู่ใน Preionizer Section ส่วนการเก็บอนุภาคจะอยู่ใน section ถัดมา รูปที่ 5.1 และ 5.2 แสดง ESP ชนิดขั้วโคโรน่าลบ ส่วนรูปที่ 5.3 เป็น ESP แบบเปียก และรูปที่ 5.4 เป็น ESP แบบเปียกใช้ขั้วโคโรน่าบวก ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องดักฝุ่นที่เป็นแบบเก็บฝุ่นแห้งและใช้โคโรน่าลบ(Dry, Negative Corona) เท่านั้นเนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ใช้ ESP ชนิดนี้



รูปที่ 5.1 เครื่อง ESP แบบเก็บฝุ่นแห้งและขั้วโคโรน่าลบ

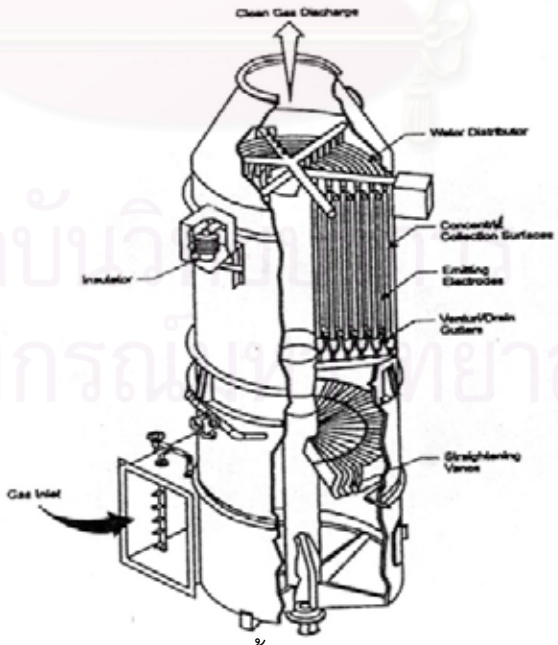
(Dry, Negative Corona Type Electrostatic Precipitator)

ที่มา: Richrads,1995



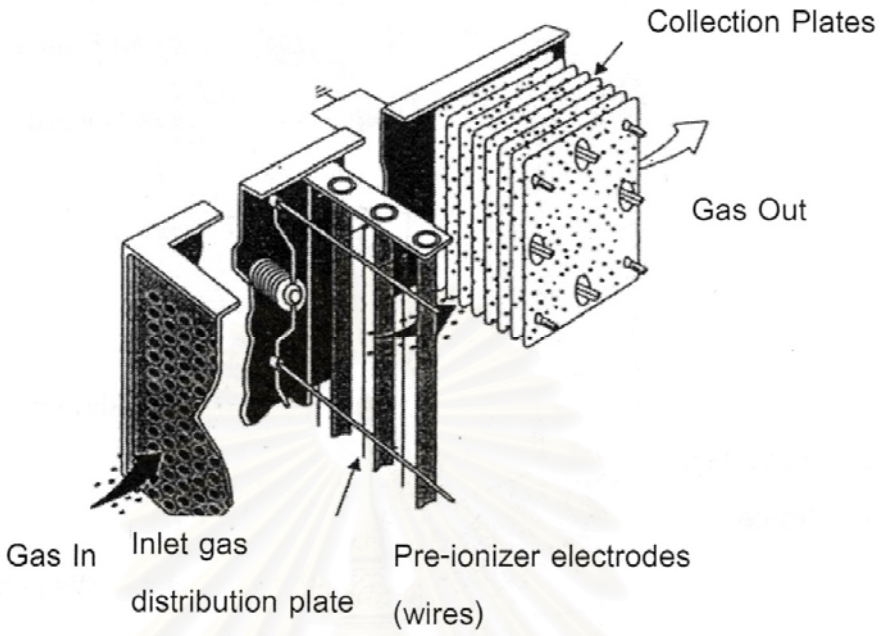
รูปที่ 5.2 Sketch ของ ESP แบบเก็บฝุ่นแห้งและใช้ขั้วโคโรน่า (Dry,Negative Corona ESP)

ที่มา: Richrads,1995



รูปที่ 5.3 เครื่อง ESP แบบเปียก โคโรน่าขั้วลบ (Wet Electrostatic Precipitator)

ที่มา: Richrads,1995



รูปที่ 5.4 เครื่อง ESP แบบเปียก โคโรน่าขั้วบวก (Wet, Positive Corona Precipitator)

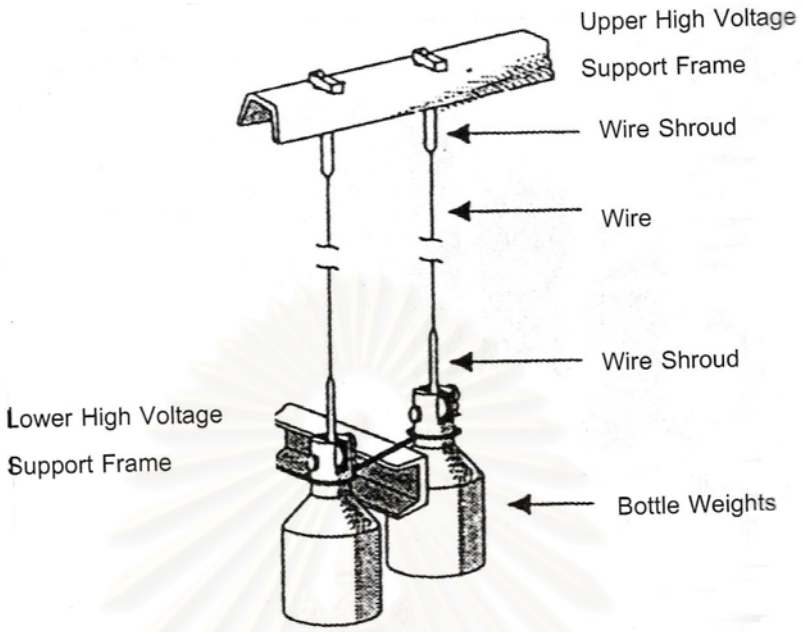
ที่มา: Richrads,1995

5.1.3 **ส่วนประกอบของเครื่อง** ESP

เครื่อง ESP มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 4 ส่วน คือ (รูปที่ 5.1)

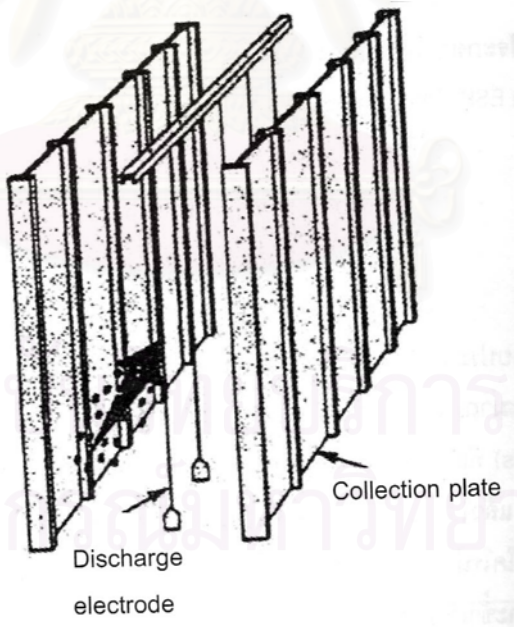
- ขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrodes)
- ขั้วเก็บ (Collection Electrodes)
- เครื่องแยกฝุ่น (Rappers)
- ถังพัก (Hopper)

ขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrodes) มีลักษณะเป็นเส้นลวด ส่วนใหญ่เป็นเส้นลวดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 ซม. ถ่วงด้วยน้ำหนัก (รูปที่ 5.5) เรียงเป็นแนวตรงกึ่งกลางระหว่างขั้วเก็บ (Collection Electrodes) ที่เป็นแผ่นหรือท่อ (รูปที่ 5.6 และ 5.7) ในบางแห่งใช้ลักษณะเป็นลวดขึงกับโครง (Rigid frame) (รูปที่ 5.8) แล้วใส่แรงดันไฟฟ้าสูง (High Voltage) ให้แก่ขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode) เพื่อให้เกิดการแตกตัวเป็น โคโรน่า ระบบจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการควบคุมสนามไฟฟ้าที่เกิดระหว่างขั้วปล่อยประจะและขั้วเก็บเรียกว่า T-R Set ประกอบด้วยเครื่อง Transformer และ Rectifier ซึ่งจะแปลงศักย์ไฟฟ้าจาก 400-480 โวลต์ เป็นประมาณ 50,000 โวลต์ และเปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรงส่งไปยัง Precipitator Field รูปที่ 5.9 แสดง Transformer-Rectifier Set



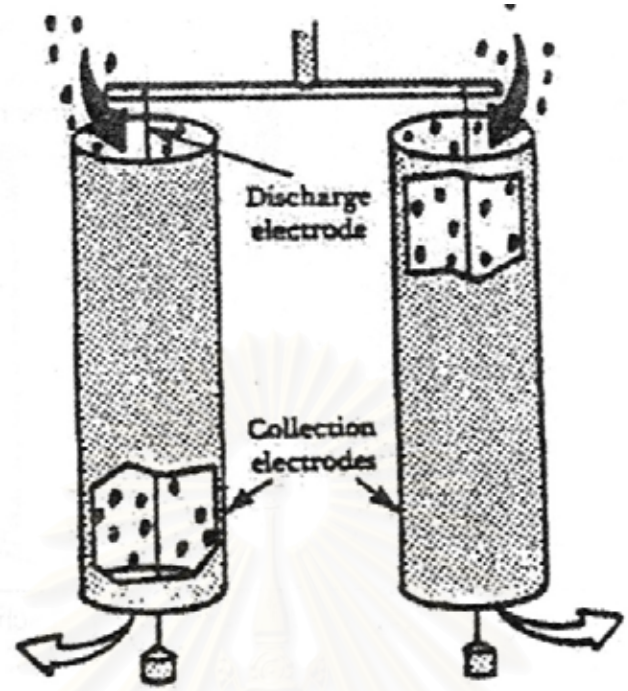
รูปที่ 5.5 ขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode)

ที่มา: Richrads,1995



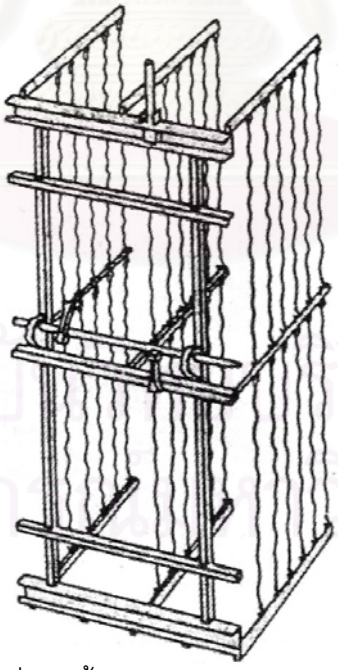
รูปที่ 5.6 การไหลของกระแสก๊าซใน Plate-and Wire ESP

ที่มา: Mycock et al, 1995



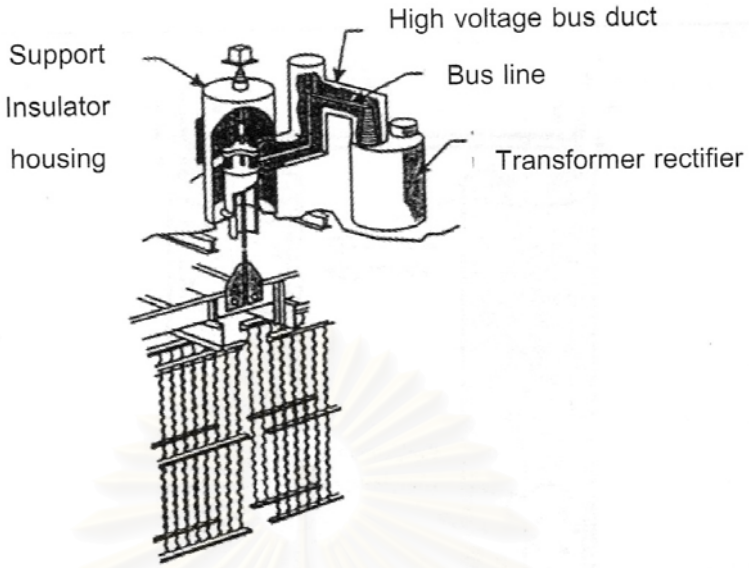
รูปที่ 5.7 การไหลของกระแสก๊าซใน Tubular ESP

ที่มา: Mycock et al, 1995



รูปที่ 5.8 ขั้วปล่อยประจุแบบ Rigid Frame

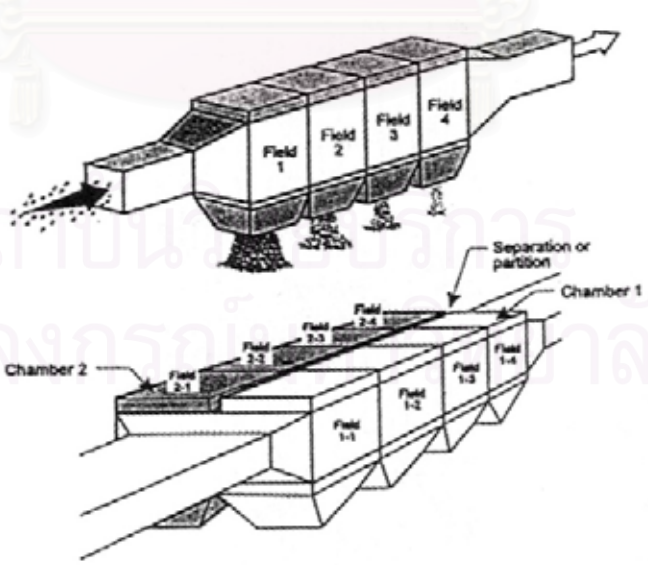
ที่มา: Mycock et al, 1995



รูปที่ 5.9 ชุด Transformer- Rectifier และชุดขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode)

ที่มา: Richrads,1995

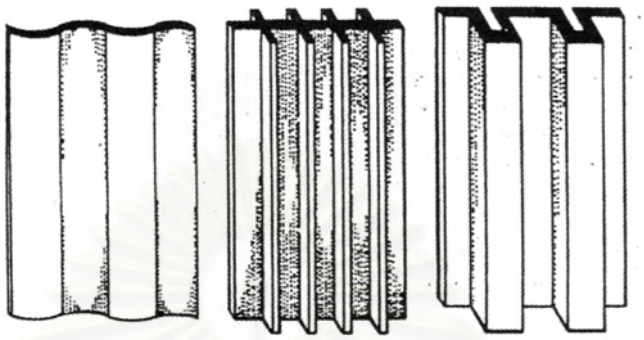
ประสิทธิภาพของเครื่อง ESP ขึ้นอยู่กับจำนวน Section หรือ Field เครื่อง ESP มักแบ่งออกเป็นหลาย Bus Section หรือ Field ในแต่ละ Bus Section จะมี Transformer-Rectifier Set ของตัวเอง เพื่อปรับขนาดของ Power Supply ให้เหมาะสมสำหรับแต่ละสภาวะการเดินเครื่องใน ESP รูปที่ 5.10 เป็นการแบ่ง Field และ Chamber ในเครื่อง ESP



รูปที่ 5.10 ลักษณะของ Field และ Chambers ใน ESP

ที่มา: Mycock et al, 1995

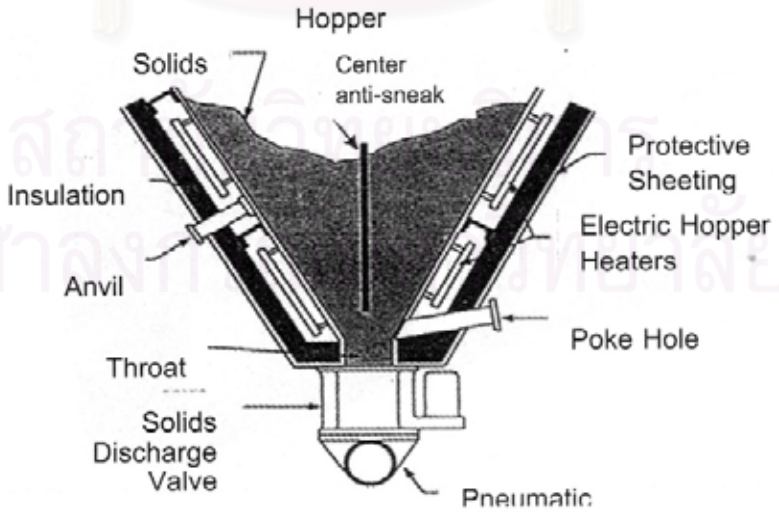
ขั้วเก็บ (Collection Electrodes) ส่วนใหญ่ใช้เป็นแผ่น (Plate) เนื่องจากทำให้รับปริมาณของก๊าซได้มาก และได้ประสิทธิภาพสูง ตัวอย่างรูปร่างของขั้วเก็บแสดงในรูป 5.11



รูปที่ 5.11 ชนิดของแผ่นเก็บ (Collection Plates)

ที่มา: Mycock et al, 1995

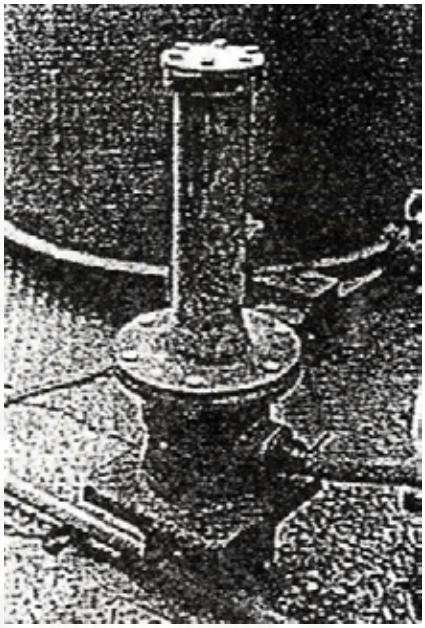
ถังพัก (Hopper) รูปที่ 5.12 แสดงส่วนประกอบของถังพักซึ่งปกติจะมีความชันมาก เพื่อให้ฝุ่นไหลไปที่วาล์วระบายฝุ่น (Solids Discharge Valve) และเข้าสู่ Pneumatic Line ตรงกลางถังพักมีแผ่น (Plate) เพื่อป้องกันมิให้กระแสก๊าซไม่ให้รับการบำบัดไหลผ่านส่วนบนของถังพัก แผ่นนี้เรียกว่า Anti-Sneakage Hopper Baffle นอกจากนี้มี Heater สำหรับทำให้ฝุ่นร้อน เพื่อช่วยในการถ่ายทิ้ง และมี Anti- Sneakage Hopper Baffle ที่ผนังด้านข้างของเครื่อง ESP ด้วย เพื่อป้องกันก๊าซที่ไม่ได้บำบัดไหลผ่านผนังด้านข้างของ ESP



รูปที่ 5.12 ถังพักของเครื่อง ESP

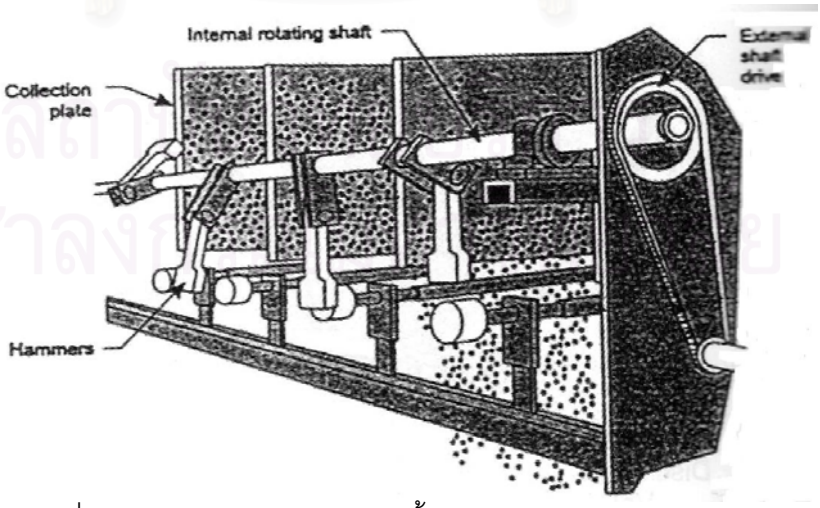
ที่มา: Richrads,1995

เครื่องแยกฝุ่น (Rapper) ใช้สำหรับเอาฝุ่นออกจากแผ่นเก็บ (Collection Plate) โครงของขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode Frame) และจากแผ่นที่ใช้กระจายการไหลของก๊าซ (Gas Distribution Plate) Rapper มี 2 ชนิด คือ ชนิดติดตั้งบนหลังคา (Roof-Mounted Rappers) (รูปที่ 5.13) และแบบติดตั้งบนด้านข้าง (Side- Mounted Rappers) (รูปที่ 5.14)



รูปที่ 5.13 Rapper แบบติดตั้งบนหลังคา (Roof- Mounted)

ที่มา: Richrads,1995



รูปที่ 5.14 แสดงRapper แบบติดตั้งด้านข้าง (Side- Mounted)

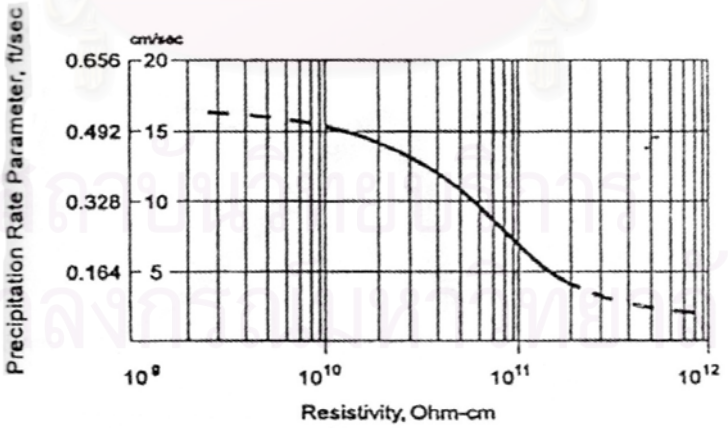
ที่มา: Richrads,1995

5.1.4 **สภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นฝุ่น** (Dust Layer Resistivity)

สภาพต้านทางไฟฟ้า (Resistivity) เป็นความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าของชั้นฝุ่นที่สะสมอยู่บนผิวของขั้วเก็บมีหน่วยเป็น ohm-cm ค่าความต้านทานไฟฟ้าของฝุ่นแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ สภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ (น้อยกว่า 5×10^{8} ถึง 5×10^{10} ohm.cm) และสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง (มากกว่า 5×10^{10} ohm.cm)

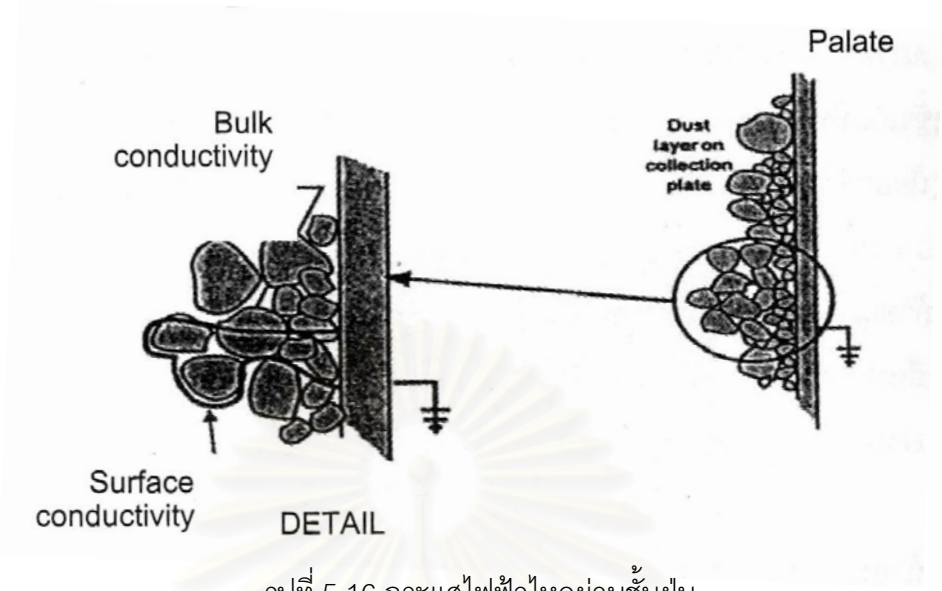
ถ้าอนุภาคมีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำจะถูกใส่ประจุได้ง่ายและเสียประจุได้ง่าย ดังนั้นเมื่อเกาะที่ขั้วเก็บแล้วจะสูญเสียประจุโดยเร็ว ทำให้ฝุ่นฟุ้งกลับเข้ากระแสก๊าซอีก ตัวอย่างได้แก่ Carbon Black และคาร์บอนที่ไม่ไหม้ (Unburned Carbon) ในขี้เถ้า วิธีการแก้ไขคือใส่แอมโมเนียเข้าในกระแสก๊าซเพื่อปรับสภาพต้านทานไฟฟ้า

ถ้าอนุภาคมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงจะรับประจุที่ใส่ให้ยากและสูญเสียยากเช่นกัน ดังนั้นเมื่อเข้าสัมผัสกับขั้วเก็บจะถูกดูดเอาไว้โดยไม่มีการถ่ายประจุให้ เมื่อชั้นของฝุ่นสะสมหนาขึ้นจะเกิดสนามไฟฟ้าเฉพาะขึ้น โดยฝุ่นที่อยู่ชั้นนอกจะมีประจุลบ ฝุ่นที่อยู่ตรงกลางเป็นกลาง และที่ขั้วเก็บเป็น Ground เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Back Corona กล่าวคือ เกิดประกายไฟขึ้นเป็นจุดๆ ทำให้ชั้นฝุ่นเกิดการแตกเป็นรูละเอียดเล็กๆ สร้าง Back Corona Discharge ขึ้น โดยการปล่อยอิออนบวกสวนทางเข้าหาเส้นลวดขั้วปล่อยประจุที่มีศักย์ไฟฟ้าลบ ทำให้โคโรน่าที่ปล่อยจากขั้วปล่อยประจุลดลง นั่นคือ ประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นลดลงด้วย ผลของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงต่อค่าความเร็วของอนุภาค (Migration Velocity) แสดงในรูปที่ 5.15 และ รูปที่ 5.16 แสดงกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชั้นฝุ่น



รูปที่ 5.15 ผลของสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นฝุ่นต่อค่า Migration Velocity

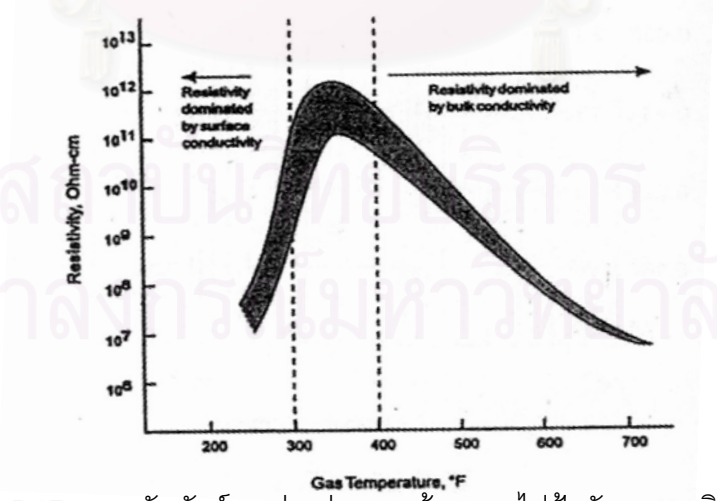
ที่มา : Richrads,1995



รูปที่ 5.16 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชั้นฝุ่น

ที่มา : Richrads,1995

สภาพต้านทานไฟฟ้าของฝุ่นนี้ลดลงได้โดยการปรับอุณหภูมิหรือความชื้นในกระแสก๊าซ ผลของอุณหภูมิต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของอนุภาคแสดงในรูปที่ 5.17 นอกจากนี้ยังพบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถช่วยลดค่าความต้านทานไฟฟ้าของฝุ่นได้ด้วย ปริมาณที่ใช้อยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 ppm สารตัวอื่นที่ใช้ปรับสภาพต้านทานไฟฟ้ายังมีกรดซัลฟิวริก แอมโมเนีย โซเดียมคลอไรด์ และโซดาแอช นอกจากนี้ฝุ่นขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาถ่านหินที่มีปริมาณซัลเฟอร์สูงจะมีค่าต้านทานไฟฟ้าต่ำลง



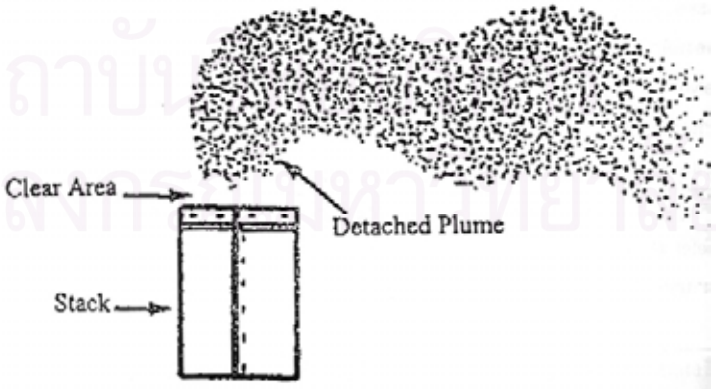
รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของก๊าซ

ที่มา : Richrads,1995

5.1.5 การตรวจสอบและการประเมินประสิทธิภาพ ESP

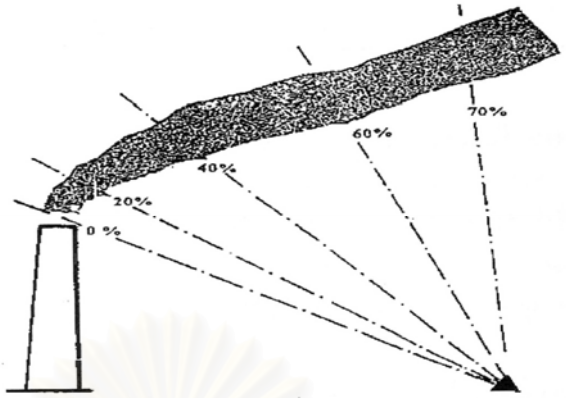
การตรวจสอบ	การประเมินประสิทธิภาพ
สภาพของอุปกรณ์	ตรวจดูสภาพการสึกกร่อน การกัดกร่อน หรือสภาพของเครื่องเสียหาย เครื่องวัดความทึบแสงในปล่อง (Transmissometer) เครื่องส่ง (Transmitter) และ Retroreflector)
การสังเกตการระบายของฝุ่นออกสู่ปล่อง	ถ้ามองเห็นว่ามีการระบายฝุ่นได้ชัด (Visible Emission) ควรจะดำเนินการตรวจสอบให้ละเอียด
การสังเกตและจดบันทึกเวลา ช่วยระยะเวลาและลักษณะของกลุ่มควันเป็นก้อนๆ แบบไม่ต่อเนื่อง (Puff) ที่ปล่อยออกมาเป็นระยะๆ	ถ้ามีการปล่อยกลุ่มควันเป็นก้อนๆ แบบไม่ต่อเนื่อง (Puff) ออกสู่ปล่องบ่อยๆ ครั้ง และ Transmissometer Strip Chart แสดงค่าความทึบแสงสูงสุด (Spike) บ่อยๆ ครั้งเมื่อเทียบกับภาวะปกติและค่าเฉลี่ย ความทึบแสง (Average Opacity) เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ แสดงว่าเกิดการพ่นฝุ่นจากปล่อง (Soot Blowing)
การสังเกตลักษณะผิดปกติของพลูม (ควันที่ปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่อง)	Detached Plume (รูปที่ 5.18) เกิดจากปัจจัยต่างๆ ของกระบวนการผลิต แต่ไม่ได้เกิดจากการทำงานผิดปกติของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบไฟฟ้าสถิต การเกิดไอควบแน่นหรือการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในพลูมจากรูปที่ 5.19 จะเห็นว่าค่าความทึบแสงของพลูมมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเกือบเท่ากับศูนย์ ณ ปลายปล่องจนกระทั่งเพิ่มขึ้นสูงกว่า 80% ทางด้านใต้ลม สาเหตุเนื่องมาจากการควบแน่นของไอหรือการเปิดปฏิกิริยาเคมีของก๊าซต่างๆ ภายในพลูมทำให้เกิดเป็นอนุภาคฝุ่นละอองขึ้น
การตรวจสอบการไหลซึมของอากาศ (Air Infiltration) เข้าไปในรอยเชื่อมและหน้าแปลนของที่เก็บฝุ่นละออง (Hopper) วาล์วสำหรับระบายฝุ่น	ให้เดินสำรวจรอบๆ เครื่อง ESP เพื่อหาแหล่งที่มาของการไหลซึมของอากาศ โดยฟังเสียงจากการเคลื่อนไหวของอากาศและสังเกตหารอยรั่วต่างๆ ที่มองเห็นได้อย่างชัดเจน

ละอองที่ดักจับได้ (Solid Discharge Valve) ฝาครอบช่องทางเข้าด้านข้างและด้านบน รอยต่อเผื่อการขยายตัว Rapper Shaft และท่อทางเข้า	
การตรวจสอบค่าศูนย์และค่า Span ของ Transmissometer และสัญญาณไฟแสดงสมรรถนะการทำงานของ Transmissometer	การตรวจสอบลักษณะนี้ก็เพื่อสังเกตว่า Transmissometer ยังทำงานปกติอยู่หรือเปล่า โดยไม่ต้องหยุดการทำงานของเครื่องติดตามตรวจสอบนี้ และดูสัญญาณไฟเตือนว่ามีปัญหาฝุ่นละอองเกิดขึ้นที่หน่วยใดบ้างหรือไม่
การตรวจสอบข้อมูลของ Transmissometer	เปรียบเทียบข้อมูลปัจจุบันของ Transmissometer Strip chart กับข้อมูลของ Transmissometer Strip Chart ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากปล่อง ซึ่งทำให้การทำงานของเครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตเป็นไปตามข้อกำหนด เพื่อระบุถึงปัญหาที่เกิดขึ้น
การตรวจสอบข้อมูลทางไฟฟ้าของ Transformer-Rectifier	เปรียบเทียบข้อมูลปัจจุบันของ Transformer-Rectifier กับข้อมูลของ Transformer-Rectifier ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากปล่อง เมื่อการทำงานของเครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตเป็นไปตามปกติ เพื่อระบุถึงปัญหาที่เกิดขึ้น



รูปที่ 5.18 Detacach Plume

ที่มา: นพภาพร และคณะ, 2544



รูปที่ 5.19 Plume ที่เกิดไอควบแน่นหรือเกิดปฏิกิริยาเคมี
ที่มา: นพภาพร และคณะ, 2544

5.2 ถุงกรอง (bag filter)

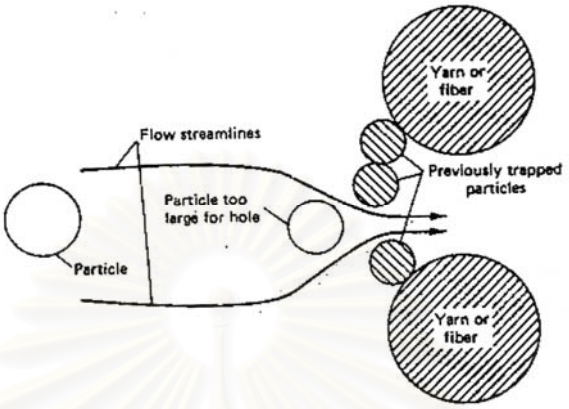
5.2.1 หลักการทำงาน

การกรองเป็นวิธีแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดวิธีหนึ่ง โดยทั่วไปเครื่องกรองคือโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ประกอบด้วยสารที่เป็นเม็ดเล็กหรือเส้นใย ซึ่งจะกักกันอนุภาคไว้และให้ก๊าซไหลผ่านช่องว่างของเครื่องกรอง สำหรับถุงกรองโดยปกติทำด้วยผ้าทอ (Woven Fabric) หรือผ้าสักหลาด (Felted Fabric) เป็นอุปกรณ์ที่แยกฝุ่นออกจากกระแสก๊าซที่มีประสิทธิภาพสูง คือ ช่วงขนาด 0.1 ไมครอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของอนุภาค 0.2 ถึง 0.5 ไมครอน ซึ่งดักจับยาก ชั้นฝุ่นที่สะสมอยู่บนผ้ากรองนี้จะช่วยกรองอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง เครื่องกรองแบบถุงต้องทำความสะอาดเป็นครั้งคราว

เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาผ้ากรอง อนุภาคอาจถูกจับเนื่องจากกลไกหลายอย่าง ได้แก่ การสกัดกั้น การกระทบ การแพร่ แรงไฟฟ้า แรงถ่วง และการลอดผ่าน (Sieving) ซึ่งเป็นกลไกที่อนุภาคถูกกัก เพราะมีขนาดใหญ่เกิดที่จะลอดผ่านช่องว่างได้ ดังรูปที่ 5.20

กลไกที่สำคัญที่สุดในการจับอนุภาคด้วยเส้นใย คือ การสกัดกั้น การกระทบและการแพร่ ส่วนแรงถ่วงและแรงไฟฟ้าอาจมีความสำคัญหรือไม่ก็ได้แต่ไม่มีกลไกการลอดผ่าน สำหรับถุงกรองนั้นส่วนใหญ่การจับอนุภาคเกิดขึ้นในมวลของอนุภาคที่สะสมเป็นเค้กอยู่บนและในผ้ากรอง นั่นคือกลไกหลักในการจับอนุภาค (การสกัดกั้น การกระทบ และการแพร่) มีผลในช่วงเวลาอันสั้นในระหว่างการกรองของแต่ละวงจรเท่านั้น เมื่อมีเค้กสะสมขึ้น การลอดผ่านจะเป็นกลไกที่สำคัญที่สุด

ดังนั้นถุงกรองสามารถจับฝุ่นขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะในช่วงขนาดของฝุ่น 0.2 ถึง 0.5 ไมครอน



รูปที่ 5.20 กลไกในการจับอนุภาค – การลอดผ่าน (Sieving)

ที่มา: Calvert et al, 1984

5.2.2 ลักษณะของหน่วยถุงกรอง (Baghouse)

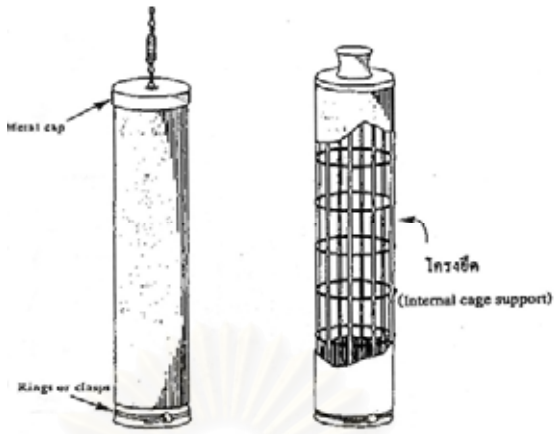
หน่วยถุงกรอง (Baghouse) ประกอบด้วยถุงกรองเป็นแถว ๆ อยู่ในหน่วยย่อย (Compartment) หลายหน่วย โดยปกติถุงกรองมีรูปร่างเหมือนท่อทำด้วยผ้าทอหรือผ้าสักหลาด ที่หัวและท้ายของถุงใช้ Metal Rings เป็นตัวยึดหรืออาจใช้ Cage เป็นโครงยึดของถุงก็ได้ ดังรูปที่ 5.21

ก๊าซที่มีฝุ่นเมื่อไหลผ่านถุงกรอง อนุภาคจะค้างบนผิวของผ้ากรองในขณะที่ก๊าซสะอาดถูกระบายสู่บรรยากาศ เมื่อชั้นฝุ่นสะสมจนหนาพอควรจะต้องทำความสะอาดถุงกรอง ทำให้ฝุ่นตกลงไปในถังพักซึ่งเอาออกโดยใช้ Pneumatic หรือ Screw Conveyor

ระบบการกรอง ในหน่วยถุงกรอง มีการออกแบบลักษณะการกรองเป็น 2 อย่างคือ

- ระบบการกรองภายใน (Interior Filtration) ก๊าซไหลเข้าเครื่องกรองทางด้านบน (Top) หรือด้านล่าง (Bottom) โดยผ่าน Cell Plate การกรองแบบนี้อนุภาคถูกจับภายในถุง ส่วนอากาศสะอาดจะไหลผ่านออกมาด้านนอก

- ระบบการกรองภายนอก (Exterior Filtration) กรณีนี้อนุภาคฝุ่นถูกจับที่ผิวด้านนอกของถุงกรอง เนื่องจากก๊าซไหลจากด้านนอกถุงผ่านไปยังด้านใน ดังนั้นต้องมี Cage หรือ Ring เป็นโครงยึดภายใน



รูปที่ 5.21 ถุงกรองและโครงยึด (Support)

ที่มา: Richards, 1995

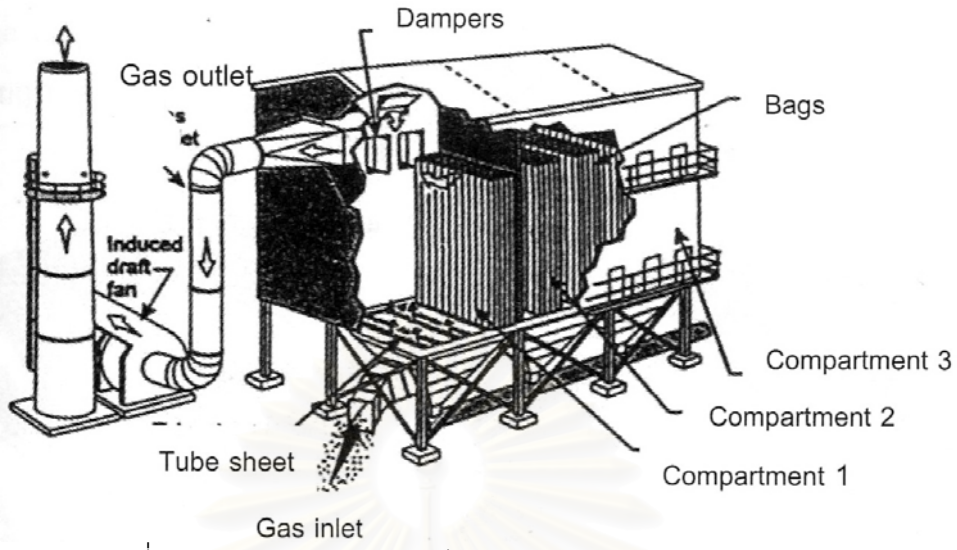
5.2.3 การทำความสะอาดถุงกรอง

วิธีการทำความสะอาดถุงกรองสามารถทำได้ 3 วิธี คือ ใช้กลไกการเขย่า (shaking) การให้อากาศย้อนกลับ (reverse air) และการพ่นลมที่มีความร้อนสูง (pulse jet) แต่ส่วนมากนิยมใช้วิธีการให้อากาศย้อนกลับ ซึ่งในขณะที่ทำความสะอาด Compartment นั้นจะหยุดเครื่องกรองอากาศที่กรองแล้วจะไหลผ่านถุงในทิศทางย้อนกลับ ลักษณะของถุงกรองแบบไหลย้อนนี้แสดงในรูปที่ 5.22

ถุงกรองที่ใช้แขวนบน Support Frame ซึ่งอยู่ใกล้ส่วนบนของ Compartment นั้นลักษณะถุงกรองชนิดอากาศไหลย้อน (Reverse Air Bag) จะเปิดที่ก้นถุง และปิดที่ส่วนบน ถุงดังกล่าวไม่มี cage ภายใน แต่มี ring เย็บติดกับถุงเพื่อกันมิให้ถุงแฟบขณะทำความสะอาด (รูปที่ 5.23) ถุงกรองจะติดบนแผ่นโลหะที่เรียกว่า Tube Sheet ด้วย Clamp และ Thimble (รูปที่ 5.24)

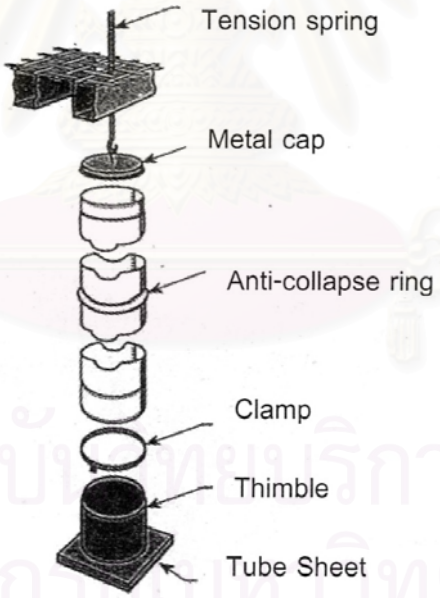
ก๊าซที่มีฝุ่นไหลเข้าหน่วยถุงกรองที่ตำแหน่งใกล้ด้านบนของถังพัก และไหลสู่ภายในถุงกรองแต่ละถุง ดังนั้นจะมีเค้กฝุ่นสะสมบนผิวด้านในของถุง เค้กฝุ่นนี้ช่วยในการกรองฝุ่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.22 ถุงกรองแบบอากาศไหลย้อน (Reverse Air Fabric Filter)

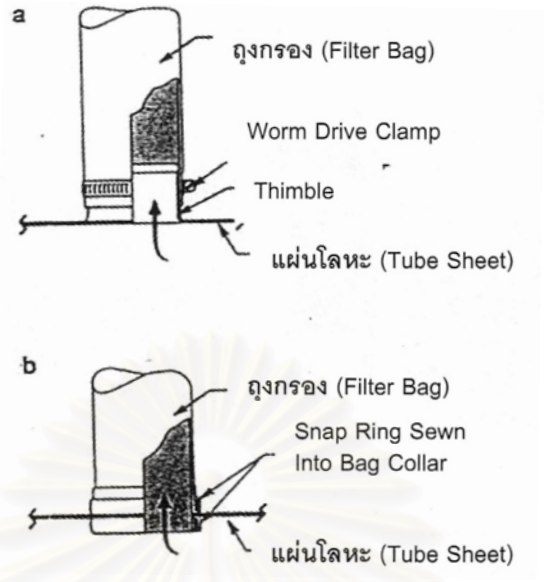
ที่มา: Richards, 1995



รูปที่ 5.23 ถุงกรอง (Reverse Air Bag)

ที่มา: Richards, 1995

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

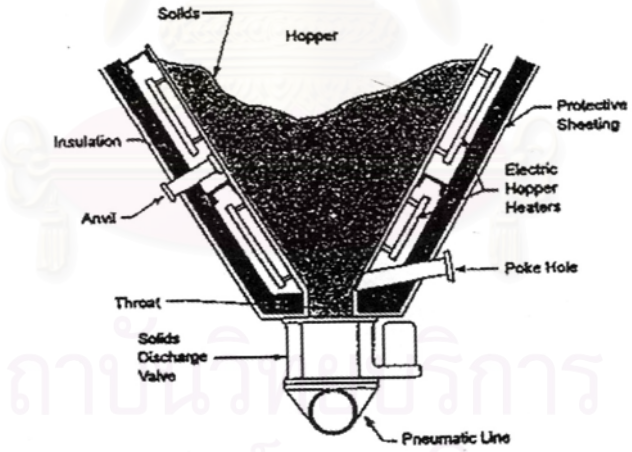


รูปที่ 5.24 ลักษณะการยึดถุงกรอง

(ก) การยึดถุงโดยใช้ Clamp-and Thimble

(ข) การยึดถุงโดยใช้ Snap Ring

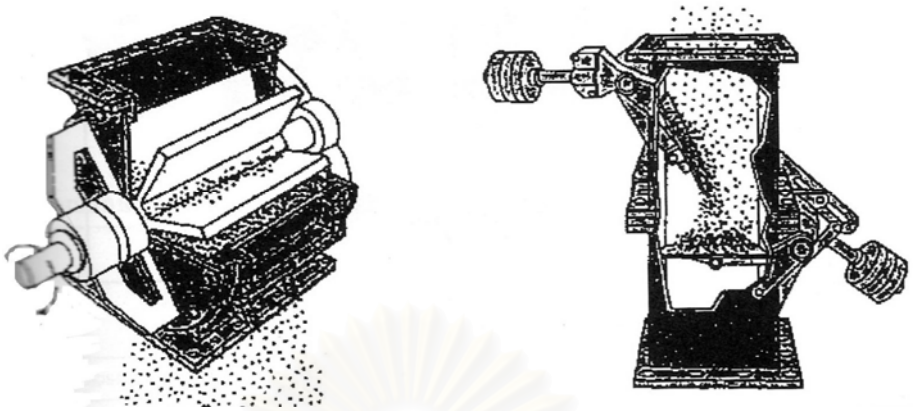
ที่มา: Richards, 1995



รูปที่ 5.25 ถังพัก (Hopper)

ที่มา: Richards, 1995

รูปที่ 5.25 แสดงตัวอย่างถังพัก (Hopper) ที่ใช้สำหรับรองรับฝุ่นที่หลุดจากถุงกรอง หลังจากทำความสะอาดแล้ว ฝุ่นที่กรองได้เอาออกโดยใช้ Pneumatic หรือ Scew Conveyor กับวาล์วสำหรับถ่ายฝุ่นระบบ Rotary Discharge Valve หรือ Double Flapper Valve (รูปที่ 5.26 (ก) และ (ข)) เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกไหลเข้าไปในหน่วยถุงกรอง



(ก) Rotary Discharge Valve (ข) Double Flapper Valve

รูปที่ 5.26 วาล์วสำหรับระบายฝุ่น

ที่มา: Richards, 1995

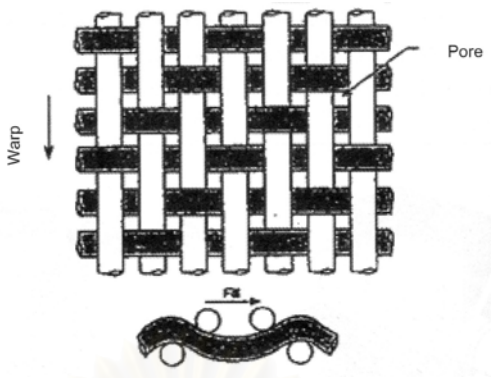
5.2.4 ตัวกลางสำหรับกรอง (Filter Media)

ตัวกลางสำหรับกรองหรือผ้ากรอง เป็นหัวใจสำคัญของถุงกรองมีหลายชนิด ต้องเลือกให้ได้เหมาะ ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของก๊าซ (เช่น ความชื้น สภาพเป็นกรดหรือด่าง) อุณหภูมิ ปริมาณฝุ่นเข้า (Dust Loading) คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของอนุภาคและก๊าซและวิธีการทำความสะอาดถุงกรอง ซึ่งอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์จะใช้ผ้ากรองแบบผ้าทอหรือผ้าสักหลาด เนื่องจากใยโลหะอาจถูกกัดกร่อนจากอนุภาคและก๊าซที่ปล่อยออกมา

ผ้ากรองทำมาจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ในรูปของ

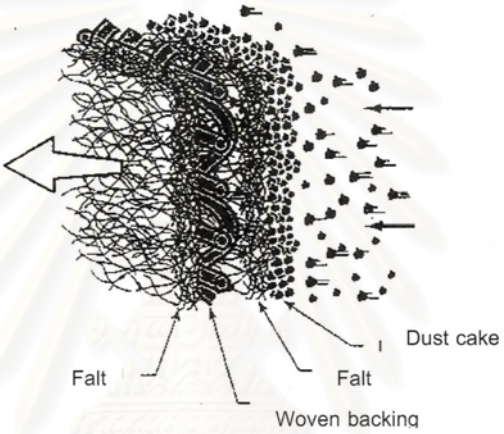
- ผ้าทอ (Woven Fabric) (รูปที่ 5.27)
- ผ้าสักหลาด (Felted Fabric) (รูปที่ 5.28)
- เยื่อ (Membrane)
- ใยโลหะ (Sintered Metal Fiber)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.27 ผ้าทอ (Woven Fabric)

ที่มา: Richards, 1995



รูปที่ 5.28 ผ้าสักหลาด (Felted Fabric)

ที่มา: Richards, 1995

5.2.5 การตรวจสอบและการประเมินประสิทธิภาพของถุงกรอง

การตรวจสอบ	การประเมินประสิทธิภาพ
สภาพของอุปกรณ์	ตรวจดูสภาพการสึกกร่อน การกัดกร่อน หรือสภาพถุงกรองฉีกขาด
การสังเกตการระบายฝุ่นออกสู่ปล่อง	ถ้ามองเห็นได้ชัดว่าฝุ่นระบายออกสู่ปล่อง (Visible Emission) แสดงว่าสมรรถนะการทำงานของถุงกรองไม่ดี การตรวจสอบควรประเมินปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับถุง ซึ่งประกอบไปด้วยการขัดกร่อน การกัดกร่อนทางเคมี ถุงไหม้หรือถูกทำลาย เนื่องจากสะเก็ดไฟหรืออุณหภูมิสูง และการทำความสะอาดอย่างไม่เหมาะสม เป็นต้น

การสังเกตฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive) ที่เกิดจากการขนย้ายวัสดุ (ถ้ามี Reentrainment เกิดขึ้น) และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต	ควรจดบันทึกฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive) ที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตต่างๆ อย่างละเอียด ควรตรวจสอบหาสาเหตุที่ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองต่ำ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการไหลซึมของอากาศ การวางตู้ดูดอากาศเสียผิดตำแหน่ง สายพานพัดลมลื่นไถล (ฟังจากเสียงดัง) ถุงกรองอุดตัน และประสิทธิภาพของการทำความสะอาดลดลง เป็นต้น
การวัดค่าความดันสูญเสีย (Static Pressure Drop) ที่ทางเข้าและทางออกของถุงกรอง	เปรียบเทียบค่าความดันสถิตลดกับค่าปกติที่ทำให้การทำงานของถุงกรองเป็นไปตามข้อกำหนด
การวัดอุณหภูมิของก๊าซขาเข้าและขาออก	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่สังเกตได้กับค่าอุณหภูมิจำกัดของผ้ากรองที่ใช้
การตรวจสอบการไหลซึมของอากาศ (Air Infiltration) เข้าไปในพัดลมเซลล์ฝาครอบช่องทางเข้าทั้งด้านบนและด้านข้าง ที่เก็บฝุ่นละออง (Hopper) วาล์วสำหรับปล่อยฝุ่นละอองที่ดักจับได้ (Solid Discharge Valve) ท่อทางเข้าและทางออก	ให้เดินสำรวจรอบๆ อุปกรณ์ว่าได้ยินเสียงการรั่วเกิดขึ้นหรือไม่ หรือทำการตรวจวัดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกที่ลดลง
วาล์วสำหรับปล่อยฝุ่นละอองที่ดักจับได้	ตรวจดูการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องและการเปิดออกอย่างต่อเนื่องของวาล์ว
การตรวจสอบบันทึกผลการล้มเหลวของถุงกรอง	ถ้าอัตราการล้มเหลวของถุงกรองมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าถุงกรองมีปัญหาทางด้านประสิทธิภาพ

5.3 **เครื่องจับฝุ่นด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์** (Wet Collectors or Scrubbers)

5.3.1 **หลักการทำงาน**

เครื่องจับฝุ่นแบบเปียก (Wet Collectors) หรือสครับเบอร์ (Scrubbers) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ของเหลวดักจับฝุ่นหรืออนุภาคขนาดเล็กอย่างมีประสิทธิภาพและจับก๊าซมลพิษจากกระแสก๊าซได้ในขณะเดียวกันโดยฉีดของเหลวเป็นฝุ่นละอองฝอยสู่กระแสก๊าซ หรือให้กระแสก๊าซไหลผ่านฟิล์มของเหลวด้วยความเร็วสูง หรือไหลผ่านชั้นวัสดุที่มีของเหลวเคลือบที่ผิว เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ใกล้

ละอองหรือหยดน้ำจะสัมผัสกับละอองน้ำด้วย กลไกหลัก 3 อย่าง คือ การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย การสกัดกั้น และการแพร่ โดยทั่วไปการกระทบเนื่องจากความเฉื่อยเป็นกลไกการจับอนุภาคที่สำคัญที่สุดของสครับเบอร์ เมื่อกระแสก๊าซมีความเร็วมากกว่า 0.3 เมตรต่อวินาที หยดน้ำที่จับอนุภาคไว้เหล่านี้จะถูกแยกออกจากกระแสก๊าซโดยแรงโน้มถ่วง หรือให้กระแทกแผ่นกั้น (Baffles) หรือโดยแรงเหวี่ยง

ในการดักฝุ่นด้วยสครับเบอร์มี 3 ขั้นตอน คือ

1. อนุภาคสัมผัสและดักจับด้วยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลว
2. แยกหยดของเหลวออกจากกระแสก๊าซ
3. บำบัดของเหลวที่จับฝุ่น (น้ำเสีย) ก่อนระบายทิ้ง

ในขั้นตอนแรกอนุภาคจะสัมผัสและถูกดักจับในเครื่องสครับเบอร์ ที่นิยมใช้มาก คือ เวนทูรี่สครับเบอร์ สครับเบอร์แบบเพลท หรือสครับเบอร์แบบสเปรย์ ในขั้นตอนที่ 2 ใช้เครื่องดักละอองน้ำ (Mist Eliminator) ที่ติดบนเครื่องสครับเบอร์เพื่อแยกหยดน้ำจากกระแสก๊าซ หลังจากนั้นในขั้นตอนที่ 3 ใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องตกตะกอน (Clarifier) เครื่องกรอง (Vacuum Filter) และบ่อพัก (Settling Pond) เพื่อบำบัดน้ำเสียที่ออกจากสครับเบอร์

5.3.2 **ส่วนประกอบของสคับเบอร์**

ระบบสครับเบอร์ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ปั๊ม พัดลม อุปกรณ์ป้อนสารเคมี ระบบท่อ และอุปกรณ์ตรวจวัด (Instrument) สำหรับสครับเบอร์ที่ใช้ดักจับฝุ่นที่มีขนาดเล็กมาก (เล็กกว่า 1 ไมครอน) มักติดตั้งอุปกรณ์สำหรับหล่อเย็นก๊าซก่อนเข้าสครับเบอร์และอุปกรณ์หล่อเย็นของเหลวเพื่อให้ไอน้ำควบแน่น สำหรับเครื่องดักละอองน้ำมีหลายชนิด ได้แก่ ไซโคลน, Chevron, Mesh pads และ Woven pads

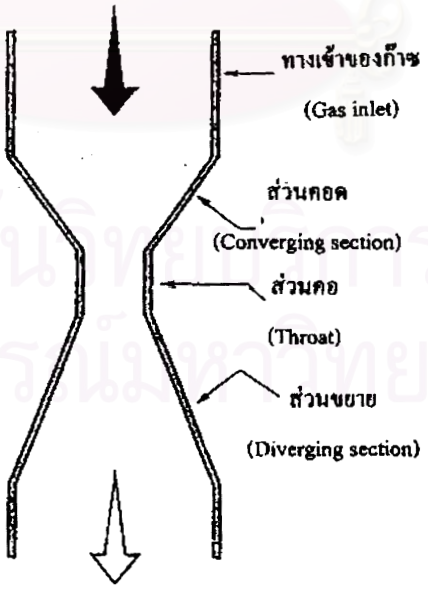
5.3.3 **ชนิดของสครับเบอร์**

ได้มีการจำแนกสครับเบอร์เป็นหลายประเภท ได้แก่

- สครับเบอร์แบบใช้กระแสก๊าซทำให้ของเหลวเป็นละอองฝอย (Gas-Atomized Scrubbers) เช่น Venturi Scrubbers, Rod Deck Scrubbers
- สครับเบอร์แบบใช้ของเหลวที่มีความดันสูงพ่นเป็นละอองฝอย (High Energy Liquid Atomization Scrubbers)
- สครับเบอร์แบบถาดหรือเพลท (Tray Tower Scrubbers) เช่น Impingement Tray Scrubbers
- สครับเบอร์แบบ Wet Ionizing (Wet Ionizing Scrubbers)

- สครับเบอร์แบบหอบรรจุวัสดุ (Packed-Bed Scrubbers)
- สครับเบอร์แบบบดเส้นใย (Fiber Bed Scrubbers)
- สครับเบอร์แบบสเปรย์ (Spray Tower Scrubbers)
- สครับเบอร์แบบใช้พลังงานกล (Mechanically Aided Scrubbers)
- สครับเบอร์แบบใช้หลักการควบแน่น (Condensation Scrubbers)

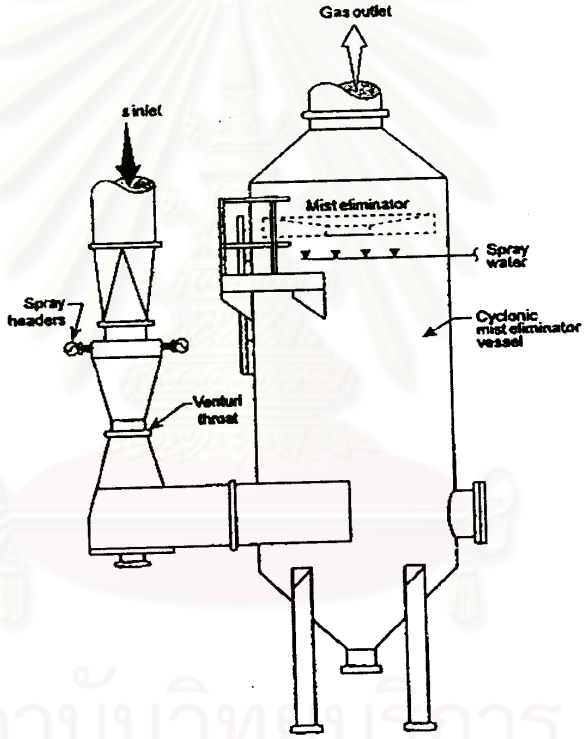
สครับเบอร์มีหลายชนิด ชนิดที่ง่ายที่สุดได้แก่ สครับเบอร์แบบสเปรย์ (Spray Tower Scrubbers) ใช้จับฝุ่นละอองและแก๊สที่มีขนาดใหญ่กว่าประมาณ 5 ไมครอน ส่วนสครับเบอร์ชนิดอื่น เช่น สครับเบอร์แบบเพลทหรือถาด (Tray Tower Scrubbers) สครับเบอร์ชนิด Mechanically Aided และ Wet Ionizing ใช้จับฝุ่นและแก๊สขนาดเล็กประมาณ 1 ไมครอน สครับเบอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการจับฝุ่นที่มีขนาดเล็ก (0.1 ถึง 1 ไมครอน) ซึ่งนำมาใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ได้แก่ เวนทูรี่ สครับเบอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือจับอนุภาคฝุ่นระบบเปียกที่ใช้มากที่สุด สครับเบอร์ชนิดนี้มักใช้กำจัดก๊าซและไอ แต่ใช้จับฝุ่นได้ด้วย เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงมากในการจับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และสามารถดูดซึมก๊าซได้ รูปที่ 5.29 แสดงส่วนประกอบของ Venturi Scrubbers คือ ส่วนคอด (Converging Section) ส่วนคอ (Throat) และ ส่วนขยาย (Diverging Section)



รูปที่ 5.29 ส่วนประกอบของเวนทูรี่สครับเบอร์

ที่มา: Richards, 1995

กระแสก๊าซไหลเข้าสู่เวนทูรี่ และมีของเหลวหรือน้ำพ่นตรงส่วนคอด (Converging Section) หรือที่ส่วนคอ (Throat) ซึ่งเป็นช่วงที่ก๊าซมีความเร็วสูงสุด ความเร็วของก๊าซที่ส่วนคอมีค่า 60-224 เมตรต่อวินาที กระแสก๊าซที่เข้ามาด้วยความเร็วสูงนี้จะทำให้ของเหลวเป็นละอองฝอยและมีความเร็ว อนุภาคถูกละอองน้ำจับไว้ด้วยกลไกการกระทบด้วยแรงเฉื่อย เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ของอนุภาคและหยดน้ำในส่วนคอมีค่าสูง ทำให้ประสิทธิภาพในการจับอนุภาคของเวนทูรี่สครับเบอร์มีค่าสูง และค่าความดันสูญเสียสูงด้วย หลังจากนั้นก๊าซไหลผ่านส่วนขยาย (Diverging Section) ความเร็วของก๊าซจะลดลงเนื่องจากแรงหน่วง และไหลผ่านเครื่องดักละอองน้ำ เช่น ไซโคลน (Cyclonic Mist Eliminator) เพื่อแยกฝุ่นหรือของเหลวจากกระแสก๊าซก่อนระบายทางปล่อง (รูปที่ 5.30)



รูปที่ 5.30 เวนทูรี่สครับเบอร์และเครื่องดักละอองน้ำ

ที่มา: Richards. 1995

สครับเบอร์ชนิดนี้จัดอยู่ในประเภท Gas-atomized Scrubbers ซึ่งหมายถึงสครับเบอร์ที่ใช้กระแสก๊าซที่มีความเร็วสูงทำให้ของเหลวเป็นละอองฝอย และจับฝุ่นด้วยการกระทบ ปริมาณของเหลวหรือน้ำที่ใช้ในสครับเบอร์ ส่วนใหญ่ระบุในค่าอัตราการไหลของของเหลวต่อก๊าซ (Liquid-to-Gas Ratio) ปกติมีค่าระหว่าง 0.5 ถึง 2.7 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร

5.3.4 การตรวจสอบและการประเมินประสิทธิภาพของสครับเบอร์

การตรวจสอบ	การประเมินประสิทธิภาพ
สภาพของอุปกรณ์	ตรวจดูสภาพการสึกกร่อน การกัดกร่อน หรือสภาพภายนอกที่จะทำให้เกิดการไหลซึมของอากาศขึ้น สำหรับระบบที่ทำงานภายใต้ความดันลบและทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับสารมลพิษลดลง
การสังเกตการระบายฝุ่นออกสู่ปล่อง	ถ้ามองเห็นได้ชัดว่ามีฝุ่นระบายออกทางปล่อง (Visible Emission) แสดงว่า สครับเบอร์มีปัญหา
การวัดค่าความดันสูญเสีย (Static Pressure Drop) ที่ทางเข้าและทางออกของสครับเบอร์	เปรียบเทียบค่าความดันสูญเสียที่อ่านได้กับค่าปกติที่ทำให้การทำงานของเครื่องสครับเบอร์เป็นไปตามกำหนด - ถ้าค่าความดันสูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าค่าอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น - ถ้าค่าความดันสูญเสียมีค่าลดลง แสดงว่าอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวมีค่าลดลง
การวัดค่าอัตราการไหลของของเหลว	เปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของของเหลวที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดอัตราการไหลซึ่งติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์กับค่าปกติที่กำหนด ถ้าค่าอัตราการไหลมีค่าลดลง แสดงว่าหัวฉีดอุดตัน
การวัดค่าความขุ่นของของเหลว	ถ้าค่าความขุ่นของของเหลวมีค่าปานกลางจนกระทั่งสูงแสดงว่าอาจมีปัญหาเกิดขึ้นกับหัวฉีด ใบพัดของเครื่องสูบน้ำและท่อได้
การวัดค่าความเป็นกรด ด่าง (ค่า pH) ของของเหลว ที่ไหลออกจากสครับเบอร์	เปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวที่มีค่าอยู่ระหว่าง 6 ถึง 10 (ซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกทำงานตามปกติ) หรือไม่ - ถ้าค่าความเป็นกรด – ด่างของของเหลวมีค่าน้อยกว่า 6 จะมีผลการดูดซึมก๊าซจำพวกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ เป็นต้น และอาจจะทำให้ตัวเครื่องสครับเบอร์เกิดการกัดกร่อนเร็วขึ้น

	- ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวมีค่าสูงกว่า 10 สารประกอบจำพวกแคลเซียมและแมกนีเซียมอาจตกตะกอน ซึ่งทำให้เกิดตะกรันที่ผนังของเครื่องสครับเบอร์
การวัดค่าความดันหัวฉีดสำหรับหอสเปรย์น้ำ ไซโคลนสครับเบอร์ และเวนทูรี่สครับเบอร์	เปรียบเทียบค่าความดันของหัวฉีดกับค่าปกติที่ทำให้การทำงาของสครับเบอร์เป็นไปตามข้อกำหนด
การวัดค่าความดันสูญเสียของเครื่องกำจัดละออง (Demister) สำหรับหอสเปรย์น้ำ เวนทูรี่สครับเบอร์	เปรียบเทียบค่าความดันสูญเสีย ของเครื่องกำจัดละอองน้ำกับค่าปกติที่กำหนดให้
การวัดค่าอุณหภูมิของก๊าซที่ทางเข้าและทางออกของเวนทูรี่สครับเบอร์	ในกรณีที่มีเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิวท่อทุกเส้นที่ไหลเข้าสู่คอของเวนทูรี่สครับเบอร์ ถ้าเส้นท่อเส้นหนึ่งมีอุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับเส้นท่ออื่นๆ อาจแสดงว่าเส้นท่อนั้นอุดตัน ซึ่งมีผลการระบายฝุ่นออกมาอย่างมาก ทั้งนี้เพราะการกระจายของเหลวไปยังก๊าซไม่เหมาะสม

5.4 ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคมลสาร

ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาควัดโดยเศษส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคทั้งหมดที่แยกออกโดย คิดขนาดต่างๆ รวมกัน ซึ่งเรียกว่าประสิทธิภาพการเก็บรวม (overall collection efficiency) ดังตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพการเก็บรวมนี้ใช้เป็นตัววัดระดับการทำงานของเครื่องมือทำความสะอาดก๊าซ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\eta_0 = 100 \ \frac{C_i - C_f}{C_i}$$

เมื่อ η_0 = ประสิทธิภาพการเก็บรวมของเครื่องมือ

C_i = ปริมาณหรือความเข้มข้นของอนุภาคที่เข้าเครื่องมือ

C_f = ปริมาณหรือความเข้มข้นของอนุภาคที่ออกจากเครื่องมือ

ตารางที่ 5.2 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องเก็บฝุ่นประเภทต่างๆ

ประเภทของเครื่องเก็บฝุ่น	ประสิทธิภาพ(%)
เครื่องเก็บฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต	95~99.5
เครื่องเก็บฝุ่นแบบถุงกรอง	90~99
เครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียก	75~99

ประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นยังขึ้นกับภาระเกินที่ใช้กับเครื่องเก็บฝุ่นและขึ้นกับว่าการบำรุงรักษาทำไว้ดีหรือไม่ ซึ่งจากตารางที่ 5.2 ถือเป็นค่าคร่าวๆ ของประสิทธิภาพแรกเริ่มในการเก็บฝุ่นเมื่อเดินเครื่องเก็บฝุ่นเหล่านี้ในสภาวะปกติ อายุใช้งานของเครื่องเก็บฝุ่นประเภทต่างๆ คือ 11 ปี สำหรับแบบเปียก และ 15 ปี สำหรับเครื่องเก็บฝุ่นแบบถุงกรอง และ แบบไฟฟ้าสถิต อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติจริง มักพบกรณีที่อายุใช้งานสั้นกว่าที่กล่าวมามากดังนั้น ในทางปฏิบัติระยะเวลา ที่แน่ใจได้ว่าประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นจะยังเป็นไปตามตารางที่ 5.2 นั้น คือประมาณ 1/2หรือ 1/3 ของตัวเลขอายุใช้งานข้างต้น สิ่งที่สำคัญคือ สมรรถนะของเครื่องเก็บฝุ่นจะแตกต่างกันมากหรือน้อยก็ยังขึ้นกับบริษัทผู้ผลิตอีกเช่นกัน ฉะนั้นก่อนการเลือกอุปกรณ์ควรตรวจสอบเงื่อนไขของการให้บริการ และการบำรุงรักษาอุปกรณ์เก็บฝุ่นอย่างละเอียด

5.5 ค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีในการจัดการมลพิษทางอากาศ

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะประกอบด้วย ค่าดำเนินการติดตั้งระบบ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของระบบ อ้างอิงราคาจากบริษัทจำหน่ายอุปกรณ์เครื่องเก็บฝุ่นแห่งหนึ่ง

ประเภทของเครื่องเก็บฝุ่น	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	
	ค่าดำเนินการติดตั้งระบบ	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของระบบ
เครื่องเก็บฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต	155,516,000	322,404
เครื่องเก็บฝุ่นแบบถุงกรอง	756,800	535,133
เครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียก	775,000	354,886

5.6 ข้อดี – ข้อเสียของเทคโนโลยีแต่ละประเภท

ชนิดของอุปกรณ์	ข้อดี	ข้อเสีย
เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต	* สามารถดักจับฝุ่นขนาดเล็ก(0.1 ไมครอน) ด้วยประสิทธิภาพสูง * ค่าใช่จ่ายในการเดินเครื่องต่ำ	* ต้นทุนสูง * ไม่สามารถปรับให้เดินเครื่องในสภาวะที่เปลี่ยนแปรได้

	เนื่องจากความดันสูญเสียของระบบมีค่าต่ำ(13 cm.H2O) * ดักจับฝุ่นที่มีฤทธิ์กัดกร่อนหรือ Tar Mist ได้	* ในบางกรณีต้องใช้สารปรับสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าของฝุ่น
ถุงกรอง	*ดับจับอนุภาค 0.2 ถึง 0.5 ไมครอน ซึ่งดักจับยาก * มีค่าความสูญเสียต่ำกว่าสครับเบอร์ เช่นในการจับฝุ่นขนาดเล็กจะมีค่าประมาณ 13- 50 cm.H2O เมื่อเทียบกับของสครับเบอร์ ซึ่งมีค่ามากกว่า 100 cm.H2O * ใช้ดักจับฝุ่นที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง * ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นไม่ขึ้นกับปริมาณฝุ่นที่เข้าสู่เครื่อง(Inlet Loading) * เดินเครื่องง่าย * ต้นทุนในการติดตั้งระบบต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ ESPและสครับเบอร์ * ขจัดปัญหาน้ำเสีย	* ใช้จับฝุ่นในกระแสก๊าซที่มีอุณหภูมิสูง(สูงกว่า 290องศาเซลเซียส) ไม่ได้ นอกจากต้องลดอุณหภูมิด้วย Pre-cooler หรือใช้ผ้ากรองชนิดพิเศษ * จับฝุ่นในกระแสก๊าซที่มีความชื้นสูงไม่ได้ * ฝุ่นที่มีคุณสมบัติเสียดสีจะทำให้ผ้ากรองสึกกร่อนเสียหาย * ถ้ามีฝุ่นขนาดใหญ่(ใหญ่กว่า 20 ไมครอน) มักใช้อุปกรณ์แยกฝุ่น เช่นไซโคลนเพื่อจับฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ ก่อนเข้าสู่หน่วยถุงกรอง * อายุถุงกรองจะสั้นเนื่องจากสภาพกรดด่างของฝุ่นหรือก๊าซ, ต้องการการบำรุงรักษามาก * มีขนาดใหญ่ ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก
เครื่องจับฝุ่นด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์	* ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย * ใช้ดักจับฝุ่นที่เหนียว ติดไฟได้ และฝุ่นที่กัดกร่อนได้ * จับฝุ่นและก๊าซได้ในขั้นตอนเดียว * ประสิทธิภาพจับฝุ่นไม่ขึ้นกับสภาพต้านทานไฟฟ้าของฝุ่น * ง่ายในการเดินเครื่อง มีส่วนเคลื่อนที่น้อย	* ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบสูงกว่าถุงกรองเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำ * มีน้ำเสียเกิดขึ้นและมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสีย

5.7 มาตรการป้องกัน แก้ไข และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	มาตรการป้องกัน แก้ไข และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม
การระบายฝุ่น	1. ต้องมีการดูแลรักษาอุปกรณ์บำบัดฝุ่นทั้งชนิดถุงกรองและระบบไฟฟ้าสถิต ให้อยู่ในสภาพดีเสมอ โดยใช้หลักการซ่อมบำรุง เมื่อครบกำหนดในลักษณะ Preventive Maintenance โดยตรวจเช็คอุปกรณ์บำบัดฝุ่นชนิดถุงกรอง 2 เดือน/ครั้ง และระบบไฟฟ้าสถิต 2 ครั้ง/ปี โดยมีการตรวจสอบรายละเอียดดังนี้ <u>อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต</u> - ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงสูงและอุณหภูมิของก๊าซที่เข้าระบบ - ควบคุมการทำความสะอาด Plate และ Electrode - ตรวจสอบสาเหตุและแก้ไขทันทีที่พบว่าปริมาณฝุ่นที่ออกจากระบบมากผิดปกติหรือกรณีอุปกรณ์ชำรุดเสียหาย - ซ่อมบำรุงตามกำหนดการหยุดหม้อเผาและตามความจำเป็น - เตรียมอุปกรณ์สำรองไว้เพื่อเปลี่ยนหรือซ่อมแซมส่วนที่ชำรุด - ตรวจสอบและซ่อมแซมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ, เครื่องตรวจวัดปริมาณ CO_2 และระบบควบคุม O_2 ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยควบคุมอุณหภูมิก๊าซเสียที่จะเข้าสู่ ESP ไม่ให้เกินช่วงดำเนินการของอุปกรณ์ (Raw Mill ไม่เกิน 130 ^{o}C, Coal Mill ไม่เกิน 90 ^{o}C, Cement Mill 90-100 ^{o}C และ Clinker Cooler 270-350 ^{o}C) เป็นต้น และมีปริมาณ CO_2 ไม่เกินร้อยละ 12 ในสภาพการทำงานปกติ <u>อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag Filter)</u> - ควบคุมความดันในอุปกรณ์ดักฝุ่นให้ได้ตามที่ออกแบบไว้ - ควบคุมระยะเวลาและความดันลมที่ใช้ในการเป่าทำความสะอาด - ตรวจสอบสาเหตุและหาทางแก้ไขทันทีที่พบว่ามีปริมาณฝุ่นปล่อยออกมามากผิดปกติ - จัดเตรียมถุงกรองสำรองจำนวนไม่น้อยกว่า 2000 ถุง

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	มาตรการป้องกัน แก้ไข และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม
การระบายฝุ่น(ต่อ)	2. ดูแลระบบดักฝุ่นที่ใช้ เพื่อรักษาประสิทธิภาพอายุการใช้งานและอื่นๆ เช่น ควบคุมระบบไฟฟ้าสำหรับป้อนอุปกรณ์ไฟฟ้าสถิต ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม หรือควบคุมอุณหภูมิของก๊าซที่จะระบายออกเครื่องดักฝุ่น ไม่ให้สูงเกินกว่าช่วงดำเนินการของอุปกรณ์เป็นต้น 3. จัดการอบรมและปลูกฝังให้บุคคลที่ควบคุมระบบบำบัดตระหนักถึงความสำคัญและทราบถึงผลต่อเนื่องที่จะเกิดขึ้นของระบบ และมีขั้นตอนการปฏิบัติที่เหมาะสมเมื่อเกิดปัญหากับอุปกรณ์บำบัด 4. ดูแลอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตให้อยู่ในสภาพดี 5. ดูแลระบบเผาไหม้ในเตาเผาให้เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์เพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ที่จะเข้าระบบไฟฟ้าสถิตให้มากที่สุด 6. ควบคุมความเข้มข้นฝุ่นก่อนระบายสู่ปล่องของหม้อเผา 3-6ให้มีความเข้มข้นไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พร้อมทั้งควบคุมการระบายฝุ่นทั้งหมด (TSP Loading) จากแหล่งกำหนดของโรงงานไม่ให้เกิน 119.76 ตัน/วัน 7. บันทึกสถิติการหยุดทำงานของอุปกรณ์ดักฝุ่นทุกตัวโดยให้บันทึกสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์เก็บฝุ่นหยุดทำงานแต่ละครั้ง 8.จัดทำแผนการหยุดหม้อเผาเพื่อการซ่อมบำรุงประจำปีในช่วงฤดูแล้งโดยการหยุดซ่อมทีละสายการผลิต 9.ควบคุมคุณภาพอากาศที่ระบายออกจากปล่องของโรงงานให้อยู่ในมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ทั้งในกรณีการดำเนินการเผากากของเสีย การดำเนินการผลิตปกติ (Normal Operation) รวมทั้งในกรณี ESP Trip

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	มาตรการป้องกัน แก้ไข และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม
การระบายฝุ่น(ต่อ)	10.Main ESP (Raw Mill & Kiln) และ Clinker Cooler ESP จะต้อง Operate ไม่ต่ำกว่า 2 Field ถ้า ESP Trip มากกว่าหรือเท่ากับ 2 Field ให้หยุดการผลิต 11. Coal Mill ESP และ Cement Mill ESP จะต้อง Operate ไม่ต่ำกว่า 1 Field ถ้า ESP Trip มากกว่า 1 Field ให้หยุดการผลิตในหน่วยนี้ 12. จัดให้มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองเพื่อจ่ายให้กับ ESP กรณีไฟฟ้าดับ 13. ต้องหยุดการผลิตเมื่อเครื่องดักฝุ่นทั้งแบบไฟฟ้าสถิตและแบบถุงกรองเกิดขัดข้องเกินครึ่งชั่วโมง 14. .ฝุ่นที่เกิดจากการจราจร เช่น รถบรรทุกวัตถุดิบให้ปิดช่องว่างของกระบะให้มิดชิดและไม่ให้บรรทุกล้นกระบะ 15. จัดให้มีการทำความสะอาดพื้นโดยรถดูดฝุ่นทุกวัน 16. ฝุ่นที่ได้จากระบบดักฝุ่นให้นำกลับไปใช้ใหม่ 17.โครงการจะต้องทำการติดตั้งระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องอัตโนมัติ (Continuous Emission Monitoring ; CEMs) บริเวณ Main Stack, Clinker Cooler Stack และ Cement Mill Stack

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
มาตรการทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการจัดการมลพิษทางอากาศ

6.1 เครื่องมือเศรษฐศาสตร์ในการจัดการของเสียที่นำมาใช้ในประเทศไทย

ในประเทศไทยเครื่องมือเศรษฐศาสตร์ในการจัดการของเสียยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายนัก จากอดีตที่ผ่านมาการจัดการของเสียอยู่ในแนวทางการจัดการของเสียที่ปลายท่อ คือการจัดการจะเน้นทางด้านกำจัดของเสียหรือมลพิษ และเป็นในลักษณะของการควบคุมจากรัฐ (C&C approach) เป็นกฎหมาย ระเบียบ ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันเครื่องมือเศรษฐศาสตร์ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากการจัดการของเสียที่ผ่านมาเป็นการดำเนินการโดยรัฐ ซึ่งต้องใช้งบประมาณมากในการจัดการให้มีระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวม หรือระบบการกำจัดขยะชุมชนและของเสียอุตสาหกรรม นอกจากนั้นรัฐยังประสบกับปัญหาการขาดแคลนบุคลากรในการควบคุมดูแลการปฏิบัติตามกฎหมาย และบุคลากรที่มีความรู้ทางด้านการจัดการของเสีย เพื่อแก้ไขปัญหาการเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมและมลพิษที่มีระดับอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต รัฐได้ประกาศใช้พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2535 โดยเน้นหลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter Pays Principle,PPP) และกำหนดให้เอกชนมีส่วนร่วมในการจัดการสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงการส่งเสริมให้มีการลงทุนทางด้านการจัดการของเสียให้มากขึ้น นอกจากนั้นรัฐยังจัดตั้งกองทุนสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เงินอุดหนุน และเงินกู้แก่เอกชนในการลงทุนด้านการจัดการของเสียอีกด้วยภายใต้หลักการ PPP และการส่งเสริมการลงทุนของเอกชน เพื่อลดภาระทางการเงินและข้อจำกัดในการดำเนินงานของรัฐในการจัดการสิ่งแวดล้อม เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์จึงเริ่มได้รับความสนใจจากรัฐมากขึ้นเป็นลำดับ

การจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษของประเทศไทยในปัจจุบัน นอกจากการใช้มาตรการสั่งการและควบคุมในรูปของการกำหนดค่ามาตรฐานควบคุมการระบายของเสีย มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม การควบคุมการบำบัด รวมถึงการกำหนดให้ผู้ก่อมลพิษและเจ้าของโรงงานต้องติดตั้งเครื่องมือบำบัดหรือกำจัดมลพิษเพื่อลดมลพิษก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว ยังผนวกกลไกและเครื่องมือทางด้านเศรษฐศาสตร์เข้ามาใช้ในการสนับสนุนการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อก่อให้เกิดการสร้างจิตสำนึกและความรับผิดชอบของผู้ก่อมลพิษในการจัดการสิ่งแวดล้อม รวมถึงการสร้างแรงจูงใจในการรักษาสิ่งแวดล้อมและการลดมลพิษของผู้ก่อมลพิษอีกทางหนึ่งด้วย

ในปัจจุบันพบว่าเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษในประเทศไทยมี 3 มาตรการ ได้แก่

1. มาตรการด้านการเงินการคลัง
2. เงินอุดหนุนจากกองทุนสิ่งแวดล้อม (subsidies)
3. มาตรการจูงใจทางภาษี (tax incentives)

6.1.1 มาตรการด้านการเงินการคลัง

ค่าธรรมเนียมน้ำเสีย เป็นกรณีตัวอย่างของการจัดเก็บค่าบริการในการรวบรวมและบำบัดน้ำเสียของเมืองพัทยา เทศบาลป่าตองจังหวัดภูเก็ต และของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยหรือของนิคมอุตสาหกรรมเอกชน

ค่าธรรมเนียมขยะและสิ่งปฏิกูล เป็นค่าบริการในการเก็บขยะและสิ่งปฏิกูลของเมือง เทศบาล และสุขาภิบาลต่าง ๆ

ค่าธรรมเนียมกากอุตสาหกรรมและกากสารพิษ คือ ค่าบริการในการขนส่ง บำบัดหรือกำจัด และฝังกลบของเสียจากอุตสาหกรรม

ค่าธรรมเนียมการเก็บค่าผ่านประตูแหล่งท่องเที่ยว เช่น ชายหาด เขตอุทยานแห่งชาติ

ค่าธรรมเนียมผลิตภัณฑ์ เช่น ราคาที่แตกต่าง (ลดลง)สำหรับการซื้อแบตเตอรี่ใหม่เมื่อมีการนำแบตเตอรี่เก่ามาแลกคืน

ค่าปรับ และ/หรือ การจำคุก (fine and/or imprisonment) เป็นการลงโทษกรณีไม่ปฏิบัติตามกฎหมาย เช่น ค่าปรับไม่เกิน 60,000 บาท หรือการจำคุกไม่เกิน 3 ปีในการทิ้งขยะบนทางหลวงตามพระราชบัญญัติทางหลวงแผ่นดิน พ.ศ. 2535 หรือค่าปรับไม่เกิน 200,000 บาทในการไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานหรือวิธีการในการควบคุมการปล่อยของเสีย สารมลพิษ หรือสิ่งที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เป็นต้น

6.1.2 เงินอุดหนุนจากกองทุนสิ่งแวดล้อม

การให้เงินอุดหนุนจากกองทุนสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นการใช้มาตรการเศรษฐศาสตร์ในทางบวกอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นเครื่องมือเสริมเพื่อสร้างแรงจูงใจในการจัดการสิ่งแวดล้อมแก่ผู้ก่อมลพิษ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการสนับสนุนการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของส่วนราชการ ราชการท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจและเอกชนในการจัดให้มีระบบบำบัดมลพิษ และกิจการที่ส่งเสริม ป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

การจัดสรรเงินทุนของกองทุนสิ่งแวดล้อมจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การจัดสรรในลักษณะเงินอุดหนุนและการจัดสรรในลักษณะเงินกู้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1.2.1 <u>การจัดสรรในลักษณะเงินอุดหนุน</u>

การจัดสรรในลักษณะเงินอุดหนุนที่ให้ต่อองค์กรต่างๆ นั้นมีเงื่อนไขกำหนดดังนี้

1) เป็นเงินอุดหนุนให้แก่ข้าราชการส่วนท้องถิ่นเพื่อใช้ในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียและอากาศเสีย ในกรณีที่มีความจำเป็นเร่งด่วนหรือมีความสอดคล้องกับนโยบายของรัฐด้านสิ่งแวดล้อมและแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ โดยมีการจัดสรรเป็นงบประมาณสมทบในกรณีที่ได้รับการจัดสรรงบประมาณแผ่นดินหรือเงินรายได้จากส่วนราชการท้องถิ่นไว้แล้วส่วนหนึ่ง

2) เป็นเงินอุดหนุนแก่ส่วนราชการ ราชการส่วนท้องถิ่นและองค์กรเอกชนด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อดำเนินกิจกรรมด้านส่งเสริมการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยในส่วนองค์กรเอกชนที่สามารถขอรับทุนสนับสนุนจากกองทุนสิ่งแวดล้อมเพื่อการดำเนินงานกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง ต้องจดทะเบียนเป็นองค์การเอกชนด้านการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติกับกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยวงเงินที่คณะกรรมการกองทุนสิ่งแวดล้อมจะพิจารณาให้การสนับสนุนแต่ละโครงการไม่เกิน 5 ล้านบาท

เงื่อนไขในการพิจารณาให้เงินอุดหนุนดังกล่าวนี้ กำหนดขึ้นเพื่อให้การจัดสรรเงินของกองทุนสิ่งแวดล้อมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดในการส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อม ซึ่งในระยะที่ผ่านมามีโครงการที่ได้รับเงินอุดหนุนในส่วนนี้มากมายหลายโครงการ

6.1.2.2 <u>การจัดสรรในลักษณะเงินกู้</u>

นอกจากการให้เงินอุดหนุนที่ให้แก่ส่วนราชการและองค์กรเอกชนด้านสิ่งแวดล้อมแล้วกองทุนสิ่งแวดล้อมยังมีการจัดสรรเงินในลักษณะเงินกู้ยืมที่มีอัตราดอกเบี้ยต่ำด้วย โดยการจัดสรรในลักษณะนี้จะเป็นการให้ความช่วยเหลือกลุ่มเป้าหมายในวงกว้างขึ้น กล่าวคือเปิดโอกาสให้เอกชนสามารถขอรับความช่วยเหลือในลักษณะนี้ได้ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้เอกชนกู้ยืมในกรณีที่บุคคลนั้นมีหน้าที่ตามกฎหมายที่จะต้องจัดให้มีระบบบำบัดอากาศเสียหรือน้ำเสีย ระบบกำจัดของเสียหรืออุปกรณ์อื่นใดเพื่อการควบคุมบำบัดหรือกำจัดมลพิษที่เกิดจากกิจกรรมหรือการดำเนินกิจการของตนเอง หรือบุคคลนั้นเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตให้ประกอบกิจการเป็นผู้รับจ้างให้บริการบำบัดของเสีย

นอกจากนี้ เพื่อเป็นการสร้างสิ่งจูงใจให้เกิดกระบวนการมีส่วนร่วมของภาคเอกชนให้มากยิ่งขึ้น กองทุนสิ่งแวดล้อมได้กำหนดให้มีเงินกู้ปลอดดอกเบี้ยร้อยละ 5 ของวงเงินกู้ที่ขอรับการสนับสนุน รวมทั้งสนับสนุนภาคเอกชนที่ไม่มีหน้าที่ตามกฎหมายที่จะต้องดำเนินการจัดการแก้ไขปัญหามลพิษอันเกิดจากกิจการแต่มีความตั้งใจที่จะร่วมแก้ไขปัญหา จะได้รับการสนับสนุนในอัตราดอกเบี้ยที่ต่ำลง คือ MLR (marginal lower rate) + 2.5 ถึง 3 ต่อปี รายละเอียดในการให้เงินกู้ยืมของกองทุนสิ่งแวดล้อมดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดการให้เงินกู้ยืมของกองทุนสิ่งแวดล้อม

ผู้มีสิทธิ์กู้ยืม	กิจกรรม	อัตราดอกเบี้ย MLR+	ระยะเวลาปลอดการชำระคืนเงินต้น	ระยะเวลาชำระหนี้
ราชการส่วนท้องถิ่น	การดำเนินการเพื่อจัดให้มีระบบบำบัดอากาศเสียหรืออุปกรณ์อื่นใดเพื่อการควบคุม บำบัดหรือกำจัดมลพิษสำหรับใช้ในกิจการส่วนท้องถิ่นนั้น	3	2 ปี	ไม่เกิน 10 ปี
รัฐวิสาหกิจหรือองค์การมหาชน	การดำเนินการเพื่อจัดให้มีระบบบำบัดอากาศเสียหรืออุปกรณ์อื่นใดเพื่อการควบคุม บำบัดหรือกำจัดมลพิษที่เกิดจากกิจการของรัฐวิสาหกิจและองค์การมหาชนนั้น	2.5 - 3	2 ปี	ไม่เกิน 7 ปี
เอกชนที่มีหน้าที่ตามกฎหมายที่จะต้องจัดให้มีระบบบำบัด	จัดให้มีระบบบำบัดอากาศเสียหรืออุปกรณ์อื่นใดเพื่อป้องกัน ควบคุม บำบัดหรือกำจัดมลพิษที่เกิดจากกิจกรรมหรือการดำเนินกิจการของตนเอง	1.5 – 2	2 ปี	ไม่เกิน 7 ปี

6.1.3 มาตรการจูงใจทางภาษี

มาตรการจูงใจทางภาษีนั้นเป็นเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์อีกประการหนึ่ง เนื่องจากภาษีที่ผู้ประกอบการต้องจ่ายให้แก่รัฐนั้นจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต ดังนั้นอัตราภาษีจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ผู้ผลิตจำเป็นจะต้องคำนึงถึงในการตัดสินใจในการดำเนินกิจกรรมทางเศรษฐกิจ มาตรการทางภาษีนั้นสามารถเป็นได้ทั้งมาตรการทางบวกทางลบ โดยในทางบวกนั้นจำให้

แรงจูงใจแก่ผู้ประกอบการโดยการยกเว้นภาษีหรือการลดหย่อยภาษีให้แก่ผู้ประกอบการในกิจการที่เป็นการส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกันการกำหนดอัตราภาษีในระดับสูงในการประกอบกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก็จะเป็นแรงผลักดันที่ทำให้ผู้ประกอบการหลีกเลี่ยงหรือหาทางเลือกใหม่ที่จะไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและมีอัตราภาษีที่ต่ำกว่า

ในปัจจุบันมาตรการทางภาษีที่มีความเกี่ยวข้องกับการจัดการสิ่งแวดล้อมนั้นมีดังนี้

6.1.3.1 <u>การยกเว้นภาษี (tax exemption)</u>

การยกเว้นภาษีเป็นวิธีการจูงใจให้ผู้ประกอบการสนใจที่จะลงทุนในกิจการนั้น ๆ มากขึ้นโดยที่รัฐยกเว้นการจัดเก็บภาษีเพื่อให้ต้นทุนในการดำเนินการต่ำ ซึ่งมาตรการยกเว้นภาษีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการมลพิษ ได้แก่

1) การยกเว้นภาษีศุลกากรในการนำเข้าเครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้ หรือวัสดุที่จำเป็นสำหรับใช้ในการติดตั้งโรงบำบัดหรือกำจัดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม และเครื่องจักรที่ใช้ในด้านรักษาสิ่งแวดล้อมและป้องกันมลพิษ

2) การยกเว้นภาษีเงินได้ของผู้ชำนาญการหรือผู้เชี่ยวชาญต่างชาติที่เข้าปฏิบัติงานติดตั้ง ตรวจสอบ ควบคุม หรือดำเนินงานระบบควบคุมมลพิษ

3) การให้สิทธิพิเศษด้วยการส่งเสริมการลงทุนและการยกเว้นภาษีรายได้ให้กับโรงงานอุตสาหกรรมที่จะไปตั้งอยู่ในเขตรัฐบาลกำหนด

6.1.3.2 <u>การสร้างความแตกต่างของอัตราภาษี (tax differentiation)</u>

การทำให้ภาษีมีอัตราไม่เท่ากันมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดแรงจูงใจในการเลือกบริโภคสินค้าและเป็นการกำหนดราคาสินค้าตามมลพิษที่เกิดขึ้นจากการบริโภคสินค้านั้น ๆ โดยกำหนดให้อัตราภาษีของสินค้าที่ก่อให้เกิดมลพิษสูงมีอัตราสูงกว่าสินค้าที่ก่อให้เกิดมลพิษต่ำ สำหรับสินค้าที่เกี่ยวข้องกับการก่อให้เกิดมลพิษอากาศที่มีการนำมาตรการทางภาษีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ รถยนต์และรถจักรยานยนต์

นอกจากนี้มาตรการที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน หน่วยงานต่าง ๆ ได้มีการศึกษาเพื่อใช้มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ในการแก้ไขและป้องกันปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม (ดังตารางที่ 6.2) อย่างไรก็ตามหลาย ๆ มาตรการที่ดีการศึกษาไว้ก็ยังไม่ได้มีการนำไปปฏิบัติหรือประยุกต์ใช้ เนื่องจากติดปัญหาด้านการแก้ไขกฎหมายที่ต้องใช้เวลานาน ปัญหาการด้านการเมือง และความ(ไม่)พร้อมของหน่วยงานปฏิบัติ เป็นต้น

ตารางที่ 6.2 มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้มีการศึกษาไว้ในประเทศไทยแล้วแต่ยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้

ปัญหาสิ่งแวดล้อม	เครื่องมือที่เสนอให้นำมาใช้
สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย	
มลพิษทางอุตสาหกรรม	- ค่าปล่อยมลพิษ (emission charge – EC) - ค่าธรรมเนียมจัดการมลพิษ (pollution management fee – PMF)
การจัดการบรรจุภัณฑ์	- ภาษี
การเพาะเลี้ยงสุกร	- มาตรการผสมผสานและ emission fee, registration fee
สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	
ทรัพยากรน้ำ	- การกำหนดราคาค่าน้ำ (water pricing)
มลพิษทางน้ำ	- ค่าธรรมเนียมการจัดการฝุ่น (user fee)
มลพิษทางอากาศ	- ค่าธรรมเนียมการจัดการฝุ่น (administrative fee)
สารพิษ	- ค่าธรรมเนียมการขึ้นทะเบียน (registration fee)
ของเสียอันตราย	- ค่าธรรมเนียมการจัดการของเสียอันตราย (administrative fee)
ขยะชุมชน	- การเรียกเก็บภาษีสินค้าที่แตกต่างกัน (product charges)
สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ป่าชายเลนอนุรักษ์	- มาตรการทางการคลัง (เช่น ภาษี เงินอุดหนุน) - มาตรการทางการเงิน (เช่น เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ การส่งเสริมด้านเงินทุน)
ชายหาดชายฝั่งทะเล ชายฝั่ง (น้ำเสียชุมชน ขยะชุมชนและน้ำเสียโรงงาน)	- ระบบการเก็บค่าปล่อยมลพิษ - มาตรการทางการเงิน - กองทุนสิ่งแวดล้อมระดับท้องถิ่น
ปะการัง	- ระบบการเก็บค่าปล่อยมลพิษ (เช่น ใบอนุญาตที่ซื้อขายได้ ค่าธรรมเนียมการใช้พื้นที่อนุรักษ์ทางทะเล) - มาตรการทางการเงิน
หญ้าและสาหร่ายทะเล	- มาตรการทางการคลัง - มาตรการทางการเงิน
แหล่งท่องเที่ยวทางทะเล	- ใบอนุญาตที่ซื้อขายได้ - มาตรการทางการคลัง

ปัญหาสิ่งแวดล้อม	เครื่องมือที่เสนอให้นำมาใช้
ทรัพยากรประมง	- การให้สิทธิในทรัพย์สิน - ใบอนุญาตที่ซื้อขายได้ (individual transferable quota) - ระบบค่าธรรมเนียม (เก็บจากเครื่องมือประมง หรือการทำประมง)
AEA Technology, HIID, TEI	
ขยะยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว	- ค่าผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์ (product charge on tire)
ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมชายฝั่งทะเลจากการทำนากุ้ง	- ค่าธรรมเนียมใบอนุญาตทำนากุ้ง (permit fee) – บาท/ไร่ ของพื้นที่บ่อเลี้ยง - พันธบัตรในการทำนากุ้ง (environmental performance bound) – บาท/ไร่ ของพื้นที่บ่อเลี้ยง - ค่าการเข้าถึงป่าชายเลน (differentiated access charge) ที่ไม่ใช่ป่าอนุรักษ์ – บาท/ไร่ของพื้นที่บ่อเลี้ยง - ค่าปล่อยมลพิษ (pollution charge) ต่อทุก 1 มก. ของ BOD ที่เกิดจากมาตรฐานกำหนด – บาท/ไร่/รุ่นที่จับ - ค่าปรับ (fine) กรณีไม่ปฏิบัติตามวิธีการทิ้งเลนจากการทำนากุ้ง บาท/ตัน - ค่าปรับ (fine) กรณีพื้นที่บ่อพักเลนหรือบ่อพักน้ำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด – บาท/ไร่ของพื้นที่ที่ไม่ได้มาตรฐาน - ค่าปรับ (fine) กรณีปล่อยน้ำเสียที่มีความเค็มสูพื้นที่ดิน – บาท/ไร่ของพื้นที่บ่อเลี้ยงที่มีการปล่อยน้ำเสีย - ค่าปรับ (fine) กรณีไม่ส่งรายงานการติดตามผลการปล่อยของเสียหลังการจับกุ้งเพื่อขาย ที่จัดทำโดย a third party – บาท/ไร่ ของพื้นที่บ่อเลี้ยง/ครั้ง - กองทุนย่อยเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (an aquaculture sub-fund) ในกองทุนสิ่งแวดล้อม

6.2 การประยุกต์ใช้สำหรับการจัดการมลพิษทางอากาศของต่างประเทศ

การใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในการควบคุมมลพิษอากาศนั้นได้มีการประยุกต์ใช้ในหลายๆประเทศทั่วโลกโดยเฉพาะในประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งชนิดและวิธีการในการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในประเทศเหล่านี้จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานการณ์ ในส่วนของเงินที่จัดเก็บได้นั้นก็มีการบริหารจัดการที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นความสำเร็จในการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดการมลพิษอากาศในต่างประเทศอยู่ในระดับที่แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งประสบการณ์และบทเรียนจากต่างประเทศเหล่านี้ล้วนเป็นประโยชน์ต่อประเทศไทย ในการพัฒนาระบบการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสมในการจัดการมลพิษอากาศต่อไป

6.2.1 ประสบการณ์ของต่างประเทศตามประเภทของเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์

รายละเอียดของการนำเอามาตรการหรือเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในแต่ละประเภทไปใช้มีดังนี้

6.2.1.1 <u>ค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge)</u> การเก็บค่ามลพิษทางอากาศ ซึ่งแต่ละประเทศได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ในการตรวจวัดแตกต่างกันออกไป ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) , คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) รองลงมาคือ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC), สารที่เป็นพิษ ฝุ่น เป็นต้น โดยแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆที่สำคัญคือ แหล่งอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ ค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บได้ส่วนใหญ่นำไปเข้ากองทุนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติของประเทศนั้นๆ เพื่อนำมาใช้แก้ปัญหามลพิษทางอากาศหรือใช้ประโยชน์ในกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น ประเทศแคนาดามีการตรวจวัดสารมลพิษเป็นประจำทุกปี และนำเงินที่จัดเก็บได้เข้ากองทุนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประเทศสาธารณรัฐเชค มีการตรวจวัดฝุ่น SO_2 , NOx , CO, VOC, สารที่มีพิษ โดยแบ่งตามขนาดของแหล่งมลพิษเป็นขนาดเล็กกลาง และใหญ่ เป็นต้น ค่าธรรมเนียมที่หลายประเทศใช้อยู่จะแสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่6.3 ค่าปล่อยมลพิษทางอากาศในประเทศต่างๆ ปี พ.ศ.2545

ประเทศ	รายละเอียดในการจัดเก็บ	อัตราการจัดเก็บ	หมายเหตุ
1.สาธารณรัฐเชค	ใบอนุญาตที่กำหนดการมีสารหรือวัตถุ	ค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บ 860-1,300 บาท/ ตัน	นำเงินเข้ากองทุนสิ่งแวดล้อม 100% เพื่อนำเงินมาวางแผนแก้ปัญหา

			มลพิษทางอากาศ
2.โปแลนด์	สารที่เป็นมลพิษ 62 ชนิด	● CO_2 : 1,610 บาท /ตัน สารที่เป็นพิษ : 2,250บาท/ตัน ● SO_2 : 10,170 บาท /ตัน ● NOx : 10,170 บาท/ตัน	นำเงินจัดเก็บได้เข้า ● เทศบาล จังหวัด 64% ● กองทุนสิ่งแวดล้อม 34%
3. แคนาดา (Quebec)	ทำรายงานประจำปีสำหรับสารมลพิษนานาชนิด	ค่าธรรมเนียมเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักสารมลพิษซึ่งอยู่ในช่วง 1-1,000 ตัน อัตราการจัดเก็บ 50 บาท / ตัน	นำเงินเข้ากองทุนสิ่งแวดล้อม
4. อิตาลี	การแพร่กระจายหรือการปล่อย SO_2 และ NOx	● SO_2 : 2,050 บาท/ตัน/ปี ● NOx : 100 บาท/ตัน/ปี	–
5. เกาหลี	● มลพิษที่เกินหลักเกณฑ์กำหนดไว้ ● เจ้าของอาคารขนาดใหญ่/พาหนะหรือเครื่องมือที่ใช้น้ำมันดีเซล	● ขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายในการบำบัดมลพิษที่เกิดขึ้น (ค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บได้ในปี 2539 ประมาณ 15,900 ล้านบาท) ● ขึ้นอยู่กับขนาดอาคาร ปริมาณ การปล่อยมลพิษหรือการใช้น้ำมันดีเซลในแต่ละปี	● นำเงินเข้ากระทรวงสิ่งแวดล้อม ● นำเงินเข้ากระทรวงสิ่งแวดล้อมและหน่วยงานราชการท้องถิ่น
6.สวีเดน	● NOx	เก็บจากเครื่องจักรที่ใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ในอัตรา 170 บาทต่อตันของ NOx (ค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บได้ในปี 2538 ประมาณ 2,100 ล้านบาท)	ค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บได้จะคืนให้โดยพิจารณาจากสัดส่วนของการปล่อยมลพิษออกมา ดังนั้นแต่ละโรงงานจึงพยายามปล่อย

			NOx ต่อหน่วยพลังงานปริมาณน้อยที่สุด เพื่อได้ค่าธรรมเนียมกลับคืนมามากที่สุด
7. สหรัฐอเมริกา	จัดเก็บค่าธรรมเนียมจากแหล่งอุตสาหกรรมขนาดกลางและใหญ่ พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ CO_2, SO_2 , NOx , CO, ฝุ่น	● CO_2 100 บาท/ตัน ● SO_2 1,250 บาท/ตัน ● NOx 1,040 บาท/ตัน ● CO 780 บาท/ตัน ● ฝุ่น 440 บาท/ตัน	การอนุมัติด้านการเงินในกิจกรรมที่มีประโยชน์

ที่มา: Jurg Klarer, Jim McNicholas and Eva-Maria Knaus, 1999.

หมายเหตุ : อัตราการแลกเปลี่ยนเงิน ณ วันที่ 9 มกราคม 2552

1 U.S. Dollar เท่ากับ 36.09 บาท

1 Polish Zloty เท่ากับ 9.66 บาท

1 Canadian Dollar เท่ากับ 28.11 บาท

1 EURO เท่ากับ 28.11 บาท

1 Swendish Krone เท่ากับ 4.13 บาท

6.2.1.2 <u>ใบอนุญาตปล่อยมลพิษทางอากาศที่ซื้อขายได้ (Tradable permits in air pollution)</u>

ประเทศที่มีการนำมาตรการการให้ใบอนุญาตการค้าเพื่อการปล่อยมลพิษมาใช้ได้แก่แคนาดา เดนมาร์ก โปแลนด์ และสหรัฐอเมริกา โดยอเมริกาเป็นประเทศแรกที่ประยุกต์ใช้ใบอนุญาตซื้อขายได้สำหรับการปล่อยมลพิษ (tradable permits, TPs) ซึ่งเป็นมาตรการอย่างหนึ่งในแผนในการป้องกันสิ่งแวดล้อม

ถึงแม้ว่า TPs จะถูกนำไปใช้ในหลายประเทศแล้วก็ตาม ดังตารางที่ 6.4 แต่ที่มีการใช้และประสบผลสำเร็จมีอยู่ 2 ประเภท คือ 1) TPs สำหรับฝนกรดส่วนใหญ่คือ โรงผลิตไฟฟ้าในแคลิฟอร์เนียมีโครงการลดมลพิษทางอากาศ โดยนำ TPs มาใช้ควบคุม SO_2 และ NOx ซึ่งได้ผลเป็นอย่างมาก 2) ใช้ควบคุมตะกั่วและสารที่ทำลายโอโซนก็ประสบความสำเร็จเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 6.4 ใบอนุญาตปล่อยมลพิษทางอากาศที่ซื้อขายได้

ประเทศ	รายละเอียดในการจัดเก็บ	อัตราการจัดเก็บ	หมายเหตุ
1. แคนาดา	ให้ใบอนุญาตกับผู้ใช้สารเคมี ผู้ปล่อยมลพิษ และผู้ประกอบการที่ใช้สารเคมีที่ทำลายโอโซน	–	เพื่อจำกัดการใช้สารเคมีที่ทำลายโอโซน *หมายเหตุ* ในรัฐออนตาริโอได้มีโครงการนำร่องโดยใช้ความสมัครใจ ในการควบคุมการแพร่กระจาย NOx และ VOC โดยนำไปใช้กับเครื่องจักที่ใช้พลังงานและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพื่อลดควันหรือเขม่าที่เกิดขึ้น
2. เดนมาร์ค	ใบอนุญาตในการปล่อย CO_2 จากโรงผลิตไฟฟ้า โดยเริ่มในปี พ.ศ. 2543	–	เพื่อลดการแพร่กระจาย CO_2
3. สวิตเซอร์แลนด์	การควบคุม VOC และ NOx จากโรงงานอุตสาหกรรม	–	–
4. สหรัฐอเมริกา	การค้าที่ทำให้เกิดฝนกรด คือ แหล่งอุตสาหกรรมประเภทโรงผลิตไฟฟ้า	เงินที่จัดเก็บได้ในปี พ.ศ. 2540 : 657.4 ล้านบาท จากธุรกิจ 1,429 แห่งที่ยอมให้ปล่อยมลพิษ	เพื่อลดการแพร่กระจาย SO_2 จากการผลิตไฟฟ้าถึง 50%

ที่มา: www.recyu.org

6.2.1.3 ค่าธรรมเนียมมลพิษที่ไม่ยินยอมให้ปล่อย (Non-compliance fees)

ในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมมลพิษในกรณีที่ผู้ประกอบการปล่อยสารพิษเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้สำหรับกรควบคุมมลพิษต่างๆ ได้แก่ น้ำเสีย ของเสีย เสียง การปล่อยน้ำมันลงทะเล และอากาศ เป็นต้น แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการจัดเก็บค่าธรรมเนียมมลพิษที่ไม่ยินยอมให้ปล่อยสำหรับมลพิษทางอากาศเท่านั้น ซึ่งประเทศที่นำมาตรการนี้ไปใช้ได้แก่ สาธารณรัฐเชค กรีซ ฮังการี และโปแลนด์ โดยจัดเก็บค่าธรรมเนียมกับมลพิษที่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด รายละเอียดดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ค่าธรรมเนียมที่ไม่ยินยอมให้ปล่อยในประเทศต่างๆ

ประเทศ	รายละเอียดในการจัดเก็บ	อัตราการจัดเก็บและเงินที่เก็บได้	หมายเหตุ
1. สาธารณรัฐเชค	แหล่งที่มีการเผาไหม้โดยปล่อยมลพิษทางอากาศออกมา โดยเฉพาะแหล่งอุตสาหกรรมขนาดกลางและใหญ่ รวมถึงการผลิตพลังงาน โดยมีแหล่งกำเนิดมลพิษถึง 502 แห่ง	ค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บได้ปี 2539 ประมาณ 470 ล้านบาท	เงินที่จัดเก็บได้เข้ากองทุนสิ่งแวดล้อม 100% และวางแผนเพื่อลดสารมลพิษที่มีการจัดเก็บค่าธรรมเนียม
2. กรีซ	แหล่งที่มีการเผาไหม้โดยปล่อยมลพิษทางอากาศออกมา โดยมีแหล่งกำเนิดมลพิษ 24 แห่ง	ค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บได้เฉลี่ย 40 ล้านบาท	ทำให้ทราบการแพร่กระจายมลพิษ ความเสียหายของสิ่งแวดล้อม และแหล่งกำเนิด
3. ฮังการี	จัดเก็บค่าธรรมเนียมกับอาคารหรือแหล่งอุตสาหกรรมที่ปล่อยมลพิษเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งบังคับใช้กับสารมลพิษมากกว่า	ค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บได้ประมาณ 18,160 ล้านบาท	เงินที่จัดเก็บได้นำเข้า ● กองทุนสิ่งแวดล้อม 70% ● งบประมาณ

	200 ชนิด พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ SO_2 , NOx , CO และฝุ่น (ทำรายงานด้วยตนเอง)		ย่อยของแผ่นดิน
4. โปแลนด์	เก็บค่าธรรมเนียมตามมลพิษที่ปล่อยออกมาทั้งแหล่งการค้าและไม่มีกิจกรรมค้าขาย พารามิเตอร์ที่เก็บค่าธรรมเนียมได้แก่ SO_2 , NOx	อัตราค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บ ● SO_2 : 41,000 บาท/ตัน ● NOx : 41,000บาท/ตัน	เงินที่จัดเก็บได้นำเข้า ● กองทุนสิ่งแวดล้อม 36% ● กองทุนย่อยภายใต้กองทุนสิ่งแวดล้อม 64%
5. บัลกาเรีย	แหล่งอุตสาหกรรมที่อยู่คงที่และแหล่งที่มีการผลิตพลังงาน พารามิเตอร์ที่เก็บค่าธรรมเนียมได้แก่ SO_2 , NOx , CO ,ฝุ่น, ทองแดง ,ตะกั่ว และฟีนอล	อัตราค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บ ● SO_2: 1,600 บาท/ตัน ● NOx : 350 บาท/ตัน ● ฟีนอล : 9,040 บาท/ตัน ● ฝุ่น : 240 บาท/ตัน ● เขม่า : 860 บาท/ตัน ● ตะกั่ว : 389,880 บาท/ตัน	เงินที่จัดเก็บได้นำเข้า ● กองทุนสิ่งแวดล้อม 70% ● กองทุนย่อยภายใต้กองทุนสิ่งแวดล้อม 30%

ที่มา: www.rec.org/REG/programs/SofiaInnitiatives/EcoInstruments/EIReport/sourcebook.html

6.2.1.4 การให้เงินช่วยเหลือหรือสนับสนุนในการป้องกันสิ่งแวดล้อม (Subsidies for environment protection)

มาตรการให้เงินช่วยเหลือหรือสนับสนุนเพื่อควบคุมมลพิษเป็นเครื่องมือเศรษฐศาสตร์ประเภทหนึ่งที่นำมาใช้จัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง ประเทศที่นำมาตรการนี้มาใช้ควบคุมมลพิษทางอากาศได้แก่ ออสเตรเลีย ฟินแลนด์ ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ สวีเดน และอเมริกา ซึ่งเงินช่วยเหลือหรือสนับสนุนของบางประเทศมีมากถึงร้อยละ 50 ของการลงทุน เช่น ฟินแลนด์ ขณะเดียวกันสหรัฐอเมริกาให้เงินกู้ยืมดอกเบี้ยต่ำสำหรับกิจกรรมที่ควบคุมมลพิษ ดังตารางที่ 6.6

ตาราง 6.6 การให้เงินช่วยเหลือและสนับสนุนในการควบคุมมลพิษทางอากาศ

ประเทศ	รายละเอียดในการให้เงินช่วยเหลือหรือสนับสนุน	อัตราการให้เงินช่วยเหลือหรือสนับสนุน
1. ออสเตรเลีย	ให้เงินช่วยเหลือและสนับสนุนกับชุมชนหรือหน่วยงานที่จำหน่ายสินค้าและบริการที่มีความสมัครใจในการตรวจวัดสิ่งแวดล้อม	ประมาณ 30- 35 % ของการลงทุน (สำหรับกิจการขนาดเล็กและขนาดกลาง)
2. ฟินแลนด์	สนับสนุนการใช้พลังงานสะอาดและการนำหลังงานกลับมาใช้ใหม่	มากถึง 50% ของการลงทุน
3. ฝรั่งเศส	สนับสนุนเกี่ยวกับการลงทุนในการประหยัดพลังงานและมลพิษทางอากาศ	–
4. เนเธอร์แลนด์	ความช่วยเหลือด้านมลพิษทางอากาศจะเน้นด้านการขนส่งคือ การส่งเสริมให้รถบัสของขนส่งมวลชนใช้พลังงานสะอาด	2,000 -18,000 DEF/bus ที่เครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลหรือก๊าซและมีน้ำหนักน้อยที่สุด 35 ตัน (งบประมาณที่สนับสนุน 10,100,000 DFL
5. สวีเดน	เป็นส่งเสริมให้ใช้เทคโนโลยีใหม่สำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuel) สนับสนุนให้บ้านเรือนลดการแพร่กระจายของสารอันตรายจากถังเชื้อเพลิง	ให้เงินทุนช่วยเหลือและเงินกู้ยืมดอกเบี้ยต่ำให้เงินทุนช่วยเหลือมากถึง 30% ในการลงทุนของบ้านเรือน
6. สหรัฐอเมริกา	ให้เงินสนับสนุนกับโรงงานที่มีโครงการในการป้องกันมลพิษ	การให้การช่วยเหลือหรือสนับสนุนในปี 2538กับโรงงาน 348 แห่ง เป็นจำนวนเงิน ประมาณ 4,500 ล้านบาท

ที่มา: www.rec.org/REG/programs/SofiaInnitiatives/EcoInstruments/EIReport/sourcebook.html

หมายเหตุ อัตราการแลกเปลี่ยนเงิน 1 U.S Dollar เท่ากับ 36.09 บาท (วันที่ 9 มกราคม 2552)

DFL หมายถึง Dutch Guider

ประเทศที่ถือได้ว่ามีความก้าวหน้าและเป็นตัวอย่างที่ดีในการนำเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาใช้คือ ประเทศสหรัฐอเมริกา แคนนาดา และสวีเดน โดยจะอ้างอิงข้อมูลจากประเทศสหรัฐอเมริกาเนื่องจากเป็นประเทศที่เป็นผลิตปูนซีเมนต์มากที่สุดในประเทศที่นำมาอ้างอิง ซึ่งมาตรการที่นำมาจัดการมลพิษทางอากาศ คือ ค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) มาเป็นมาตรการหลักในการควบคุมมลพิษทางอากาศ ดังตารางที่ 6.7 เนื่องจากเป็นมาตรการที่เหมาะสมกับประเทศไทย ซึ่งเป็นมาตรการที่กดดันให้ลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บสำหรับแหล่งอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ ค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บได้ส่วนใหญ่นำไปเข้ากองทุนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติของประเทศนั้นๆ และนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม มาเปรียบเทียบค่าปล่อยมลพิษทางอากาศก่อนและหลังใช้เชื้อเพลิงทดแทนที่สรุปมาแล้วในบทที่ 4 ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.7 ค่าปล่อยมลพิษ(Emission Charge) ของประเทศสหรัฐอเมริกา

ประเทศ	รายละเอียดในการจัดเก็บ	อัตราการจัดเก็บ	หมายเหตุ
สหรัฐอเมริกา	จัดเก็บค่าธรรมเนียมจากแหล่งอุตสาหกรรมขนาดกลางและใหญ่ พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ CO_2, SO_2, NOx, CO, ฝุ่น	● CO_2 100 บาท/ตัน ● SO_2 1,250 บาท/ตัน ● NOx 1,040 บาท/ตัน ● CO 780 บาท/ตัน ● ฝุ่น 440 บาท/ตัน	การอนุมัติด้านการเงินในกิจกรรมที่มีประโยชน์

ตารางที่ 6.8 เปรียบเทียบค่าปล่อยมลพิษทางอากาศก่อนและหลังใช้เชื้อเพลิงทดแทนจากผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวน1 ตัน

มลพิษทางอากาศ	เชื้อเพลิงปกติ	เชื้อเพลิงแบบใช้ของเสียทดแทน	ค่าปล่อยมลพิษ		ค่าปล่อยมลพิษที่ลดลง
			เชื้อเพลิงปกติ	เชื้อเพลิงแบบใช้ของเสียทดแทน	
CO_2	9.810E+02 กก.	9.730E+02 กก.	98.1 บาท	97.3 บาท	0.8 บาท
CO	3.920E-02 กก.	3.920E-02 กก.	0.0305 บาท	0.0305 บาท	-
SO_2	1.014E-01 กก.	1.014E-01 กก.	0.1267 บาท	0.1267 บาท	-
NO_x	1.153E+00 กก.	1.153E+00 กก.	1.1991 บาท	1.1991 บาท	-
ฝุ่นละออง	2.373E+00 กก.	2.373E+00 กก.	1.044 บาท	1.044 บาท	-

เมื่อนำมาคิดค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) จะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 0.8 บาท/ตันปูนซีเมนต์ ซึ่งปัจจุบันโรงงานผลิตปูนซีเมนต์แห่งนี้ จำกัดมีกำลังการผลิตปีละ 23.2 ล้านตัน ดังนั้นบริษัทจะลดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าปล่อยมลพิษที่ลดลงประมาณ 18.56 ล้านบาทต่อปี

6.3 ข้อดีข้อเสียในการนำเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการจัดการมลพิษทางอากาศ

จากประสบการณ์การนำเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการจัดการมลพิษทางอากาศในต่างประเทศ ซึ่งมีการใช้งานแตกต่างกันตามความเหมาะสม โดยในแต่ละมาตรการจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป ดังนี้

6.3.1. ค่าปล่อยมลพิษ (Emission charge)

ค่าปล่อยมลพิษนี้มีข้อดีอย่างเห็นได้ชัด คือ เป็นมาตรการที่กดดันให้ลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ โดยเก็บค่าธรรมเนียมการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในสวีเดนช่วยลดการปล่อยมลพิษสู่อากาศเป็นอย่างมาก ในขณะที่ไต้หวันได้มีการคาดการณ์ว่าการเก็บค่าปล่อยมลพิษจะช่วยให้คุณภาพอากาศดีขึ้นภายในระยะเวลา 5 ปี

นอกจากนั้นแล้วการเก็บค่าปล่อยมลพิษยังส่งผลดีในด้านเป็นแหล่งรายได้หลักของรัฐในการสนับสนุนและพัฒนาแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ รวมถึงการฟื้นฟูและรักษาสภาพแวดล้อม ดังตัวอย่างในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเก็บค่าปล่อยมลพิษเพื่อป้องกันการทำลายสภาพแวดล้อมเป็นแหลงรายได้สำคัญของรัฐในการสนับสนุน “Green Tax Package” ตามนโยบายพลังงานแห่งชาติ เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมหรือมวลชีวภาพ เป็นต้น โดยการเก็บค่าธรรมเนียมนี้ได้มีการปฏิบัติควบคู่กับมาตรการการกำหนดปริมาณการผลิต สารเคมีที่ก่อให้เกิดการทำลายชั้นโอโซนตามข้อตกลงในสนธิสัญญามอนทรีออล

เช่นเดียวกับประเทศในกลุ่มสแกนดิเนเวียซึ่งนำรายได้ส่วนนี้ไปใช้ในโครงการเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดและสะอาด นอกจากนั้นยังเป็นฐานรายได้สำคัญทำให้รัฐสามารถลดภาษีที่เรียกเก็บจากการทำงานได้บางส่วน เช่น มีการเก็บภาษีเงินได้ลดลงเมื่อมีการเก็บภาษีในการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่ภาษีทางอ้อมอื่น และภาษีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น

6.3.2 **ระบบในอนุญาตซื้อขายการปล่อยมลพิษ** (Tradable pollution permit system)

ระบบการซื้อขายใบอนุญาตปล่อยมลพิษมีข้อดีในการผลักดันให้ผู้ประกอบการที่มีการปล่อยมลพิษมากกว่าที่ได้รับอนุญาตให้มีการควบคุมและปรับปรุงการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมภายในสถานประกอบการ มิฉะนั้นจะต้องซื้อสิทธิในอนุญาตจากผู้ประกอบรายอื่นที่มีปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในใบอนุญาต โดยผู้ขายสิทธิในการปล่อยมลพิษสามารถกำหนดราคาในการซื้อขายได้ตามความต้องการ

อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีการนี้มีปัญหาบางประการในการดำเนินการ ปัญหาที่พบประการแรกคือระบบในการจักสรรใบอนุญาต ซึ่งหากไม่มีการจัดสรรที่ดีพออาจเกิดความไม่เป็นธรรมได้ เนื่องจากผู้ประกอบการที่ขออนุญาตก่อตั้งก่อนผูกขาดใบอนุญาต ทำให้เป็นปัญหาผู้มาทีหลัง ดังนั้นถึงแม้ว่าใช้ระบบการซื้อขายบอนุญาตปล่อยมลพิษจะสามารถในการควบคุมคุณภาพทางอากาศในสหรัฐอเมริกาอย่างได้ผล แต่ในการนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยนั้นยังต้องคำนึงถึงข้อจำกัดในด้านนี้ด้วย นอกจากนั้นวิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดในการดำเนินการที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ต้องมีโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก เพื่อให้ตลาดมีขนาดใหญ่เพียงพอในการทำให้เกิดการแข่งขันตามกลไกลทางการตลาด เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ปัญหาเป็นข้อด้อยในประการถัดมาของระบบการซื้อขายใบอนุญาตปล่อยมลพิษ ได้แก่ ปัญหาด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ซึ่งพบว่าค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากของระบบการซื้อขายสิทธิในการปล่อยสารมลพิษทางอากาศนี้อยู่ในระดับที่สูงกว่าที่มีการประเมินการไว้ นอกจากนั้นเงินลงทุนสำหรับการติดตามตรวจสอบนั้นก็อยู่ในระดับสูงเช่นกัน

ข้อเสียประการสุดท้าย คือ ในการดำเนินการภาครัฐจำเป็นจะต้องมีการศึกษาเพื่อรวบรวมข้อมูลในด้านศักย์ภาพในการรองรับสารมลพิษแต่ละประเภทที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมในแต่ละพื้นที่

6.3.3 **ค่าธรรมเนียมการจัดบริหาร** (Administative fee)

วิธีการนี้ข้อดีในหลายด้านคือ นอกจากจะเป็นแหล่งรายได้ให้แก่ภาครัฐแล้ว ยังมีข้อดีอื่น ๆ อีก ได้แก่ ความเป็นไปได้ในการจัดการและการบังคับใช้กฎหมาย รวมถึงให้ความเสมอภาคภาคแก่ผู้ประกอบการที่ปล่อยมลพิษในการรับภาระการจ่ายค่าธรรมเนียม นอกจากนั้น แล้ววิธีการเก็บค่าธรรมเนียมการจัดการมลพิษยังมีการใช้ข้อมูลทางเทคนิคน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบใบอนุญาตมลพิษ

หนึ่งในประเทศที่มีการนำวิธีการเก็บค่าธรรมเนียมการจัดการมลพิษไปใช้ ได้แก่ ประเทศไต้หวัน โดยมีการเก็บค่าธรรมเนียมจากทั้งรถยนต์และโรงงาอุตสาหกรรม โดยคิดค่าธรรมเนียม

ตามปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ นอกจากนั้นยังมีการเก็บค่าธรรมเนียมจากกิจกรรมการก่อสร้างด้วย ซึ่งได้มีการกำหนดการใช้จ่ายเงินจากการเก็บค่าธรรมเนียมไปใช้เพื่อการพัฒนาสภาพแวดล้อมและลดปัญหามลพิษ

6.3.4 **การสนับสนุน** (Subsidies)

การให้เงินช่วยเหลือเป็นวิธีที่แตกต่างจากวิธีการอื่น ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีแรงจูงใจในทางบวกให้ผู้ปล่อยมลพิษมีการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อลดปริมาณมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ในขณะที่วิธีการอื่น ๆ เป็นการผลักดันให้มีการปล่อยมลพิษลดลงเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจ่ายค่าธรรมเนียมต่างวิธีการนี้ได้มีการนำไปปฏิบัติอย่างได้ผลในประเทศเยอรมัน โดยรัฐบาลกำหนดมาตรการณ์ในการให้ความช่วยเหลือหรือเงินอุดหนุนแก่เจ้าของรถยนต์ที่ต้องติดตั้ง Catalytic converter ซึ่งทำให้มีรถยนต์ที่ติดตั้ง Catalytic converter เพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการให้เงินช่วยเหลือจะต้องมีการพิจารณาถึงความเหมาะสมและความคุ้มค่าในการลงทุน นอกจากนั้นการกำหนดจำนวนเงินช่วยเหลือก็มีความสำคัญ จะต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมและเพียงพอที่จะจูงใจให้มีการลดการปล่อยมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.4 ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะในการใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์

เป็นที่ทราบกันดีว่าหลักการทางเศรษฐศาสตร์เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการจัดการของเสีย แต่ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าวยังประสบปัญหามากมาย ทำให้สัมฤทธิผลของการใช้หลักการนี้ยังมีน้อยมาก อย่างไรก็ตามได้มีหลายหน่วยงานให้ความสำคัญกับการประยุกต์ใช้ โดยเร่งศึกษามาตรการหรือข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ เพื่อการใช้มีประสิทธิภาพ

ในทางวิชาการ เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์เป็นสิ่งจูงใจทางเศรษฐศาสตร์ที่ทำให้แหล่งกำเนิดของเสียลดการปล่อยของเสีย แต่จากประสบการณ์ของประเทศไทย เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ได้รับความสนใจในลักษณะของการหารายได้เข้ารัฐ เพื่อลดภาระทางด้านการเงินของรัฐในการจัดการของเสีย นอกจากนั้นเครื่องมือที่ใช้จะอยู่ในรูปแบบของการควบคุม คือเป็นค่าปรับหรือจำคุก และเป็นขั้นตอนของการใช้เครื่องมือในการจัดการของเสียที่ปลายท่อ คือกรณีที่มีการปล่อยของเสียออกมาสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว ส่วนการใช้เครื่องมือในการจัดการต้นทางหรือการป้องกันการเกิดของเสียในรูปแบบของค่าธรรมเนียมการใช้ผลิตภัณฑ์ หรือ ระบบมัดจำ ยังไม่นิยมนำมาใช้มากนัก ปัญหาการนำใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์นี้อาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

6.4.1 การให้ความสำคัญในการพัฒนา

ถ้าให้เลือกระหว่างความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจหรือการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม รัฐบาลไทยที่ผ่านมาให้ความสำคัญกับความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจมากกว่า ส่งผลให้เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วของภาคอุตสาหกรรม ทำให้ของเสียมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่บุคลากรและงบประมาณที่ใช้ในการจัดการมีการเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่า ทำให้เกิดความไม่สมดุลในทางปฏิบัติ

6.4.2 การขาดข้อมูลหรือฐานข้อมูล

การศึกษาการนำหลักการทางเศรษฐศาสตร์มาใช้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการผลิต ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต และการจัดการอื่น ๆ อีกมากมาย แต่ในปัจจุบันระบบข้อมูลพื้นฐานของประเทศยังล้าสมัยอยู่มาก ทำให้การใช้หลักการนี้เป็นไปได้ยากและยังไม่เกิดผล

- ข้อมูลด้านสารมลพิษ เกี่ยวกับประเภทที่จะควบคุม จำนวนที่มีการปล่อยออกมาเพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการจัดเก็บตามเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ต่าง ๆ
- ข้อมูลด้านผู้ก่อมลพิษ ว่าเป็นแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมหรือโรงงานใด มีพฤติกรรมในการจัดการของเสียในโรงงานอย่างไร
- ข้อมูลด้านผู้ให้บริการในการขนส่งและกำจัดของเสีย หรือให้บริการด้านการติดตามและตรวจสอบของเสียจากแหล่งกำเนิด หรือการให้บริการด้านเทคโนโลยีสะอาด

ข้อมูลหรือฐานข้อมูลเหล่านี้จะมีความสำคัญในการวางระบบจัดการสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่การคิดอัตราการจัดเก็บตามเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ และการปรับปรุงเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพ

6.4.3 การควบคุมขาดประสิทธิภาพ

- การควบคุมและการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศยังขาดประสิทธิภาพ กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่นั้นไม่สามารถบังคับใช้ หรือควบคุมให้เป็นไปตามกฎข้อบังคับได้ นอกจากนี้ยังขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้ ความเข้าใจในหลักการดังกล่าว
- การใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ที่ผ่านมาสำหรับประเทศไทย จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่ออุตสาหกรรมที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เช่น โรงงานน้ำตาล แต่ในปัจจุบันพบว่าโครงสร้างของอุตสาหกรรมไทยจะยังคงเป็นแบบกระจายตัวอยู่ทั่วไป ทำให้ภาระการบำบัดของเสียส่วนใหญ่ยังคงตกเป็นของภาครัฐอยู่

- มาตรฐานมลพิษหรือของเสียของประเทศยังไม่พอเพียง เช่น การขาดมาตรฐานน้ำเสียเฉพาะประเภทสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด ทำให้ไม่สามารถใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับทุกอุตสาหกรรมหรือกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษอย่างครบถ้วน
- ถึงแม้ว่าจะมีการออกกฎหมายโดยมีบทลงโทษทั้งปรับและจำ แต่การควบคุมดูแลให้เป็นไปตามกฎหมายมีไม่ทั่วถึง เนื่องจากการขาดแคลนกำลังคนและงบประมาณ ตลอดจนมีปัญหาการประสานงานระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ยังไม่สมบูรณ์ด้วย

6.4.4 **การกำกับดูแลโดยหน่วยงานของรัฐที่ไม่เป็นเอกภาพ**

เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มีหลายประเภท และมีหลายหน่วยงานในส่วนกลางและส่วนท้องถิ่นให้ความสนใจ หน่วยงานที่สำคัญได้แก่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กระทรวงอุตสาหกรรม) ซึ่งมีหน้าที่ทั้งในการส่งเสริมกิจกรรมทางเศรษฐกิจ (การผลิต) และควบคุมมลพิษที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และกรมควบคุมมลพิษ(กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) ซึ่งมีหน้าที่หลักในการควบคุมมลพิษทั้งจากโรงงานและชุมชน

กรมโรงงานอุตสาหกรรมมีหน้าที่ในการกำหนดอัตรา ดำเนินการจัดเก็บ ควบคุมบุคคลที่สามที่จะทำหน้าที่ติดตามและตรวจสอบการปล่อยของเสียของโรงงานอุตสาหกรรม และจัดทำข้อแนะนำในการจัดการของเสียในโรงงาน ซึ่งอำนาจหน้าที่ใหม่นี้ยังมีการรับรองและให้อำนาจตามกฎหมาย ในขณะเดียวกันกรมโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องส่งเสริมให้โรงงานสามารถประกอบกิจการได้ต่อไปซึ่งเป็นอำนาจหน้าที่ที่ได้รับตามกฎหมาย ในขณะเดียวกัน กรมควบคุมมลพิษซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบในการควบคุมมลพิษตามกฎหมายสิ่งแวดล้อมไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการควบคุมมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนั้นในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุมลพิษอุตสาหกรรมในที่สาธารณะ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หรือที่ดินภายนอกโรงงานก็ไม่มีหน่วยงานรัฐที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการกำกับดูแลโดยตรง

การกระจายอำนาจในการกำกับดูแลด้านเศรษฐกิจหรือสิ่งแวดล้อมให้กับองค์การบริหารส่วนท้องถิ่น จะมีความเป็นไปได้แค่ไหน โดยเฉพาะศักยภาพของท้องถิ่นในด้านความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ การติดตามและตรวจสอบ

6.4.5 **ระบบติดตามและตรวจสอบ** (monitoring and auditing)

ระบบติดตามและตรวจสอบ เป็นหัวใจสำคัญของการใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ การศึกษาต่าง ๆ ที่เสนอเครื่องมือ ได้เน้นถึงความสำคัญของระบบนี้ และได้เสนอให้มีบุคคลที่สามมาเป็นผู้มาแบ่งเบาภาระของหน่วยงานรัฐในการติดตามและตรวจสอบ

บุคคลที่สามจะมีจำนวนเพียงพอหรือไม่ ในปัจจุบันจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 3[1] มีอยู่ทั่วประเทศ ประมาณ 57,000 โรงงาน และอยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประมาณ 11,000 โรงงาน แต่บริษัทเอกชนที่ให้บริการด้านการติดตามและตรวจสอบมีเพียง 37 แห่งเท่านั้น (ตัวเลขปี 2545) ทีมีห้องปฏิบัติการ สำหรับมหาวิทยาลัยมีเพียง 40 แห่ง และวิทยาลัยอาชีวะก็มีเพียง 10 แห่งที่มีห้องปฏิบัติการทดลอง (ในส่วนของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นหน่วยงานติดตามและตรวจสอบโดยตรง ในปี พ.ศ. 2535 มีเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในการควบคุมสิ่งแวดล้อม ประมาณ 500 คน และห้องปฏิบัติการทดลองเพียง 1 ห้องเท่านั้น)

การพัฒนาระบบและกฎเกณฑ์ รวมไปถึงแนวทางในการติดตามและตรวจสอบของเสียในโรงงาน หน่วยงานใดเป็นผู้ดำเนินการ และกำหนดระยะเวลาดำเนินการ

6.4.6 การจัดตั้งกองทุนจำเพาะ(earmarked fund)ทางสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันการจัดการสิ่งแวดล้อมของไทยมีการจัดตั้งเป็นกองทุนสิ่งแวดล้อม แต่การศึกษาการใช้เครื่องมือเศรษฐศาสตร์ต่าง ๆ ได้เสนอให้มีการจัดตั้งกองทุนจำเพาะขึ้นมามากมาย เช่น กองทุนการจัดการมลพิษอุตสาหกรรม กองทุนยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว ฯลฯ และแต่ละกองทุนจำเพาะก็จะมีผู้ดูแลจัดการต่างกันไป

กองทุนเหล่านี้ควรจะจัดเก็บเป็นงบรายได้แยกกันเป็นกองทุนจำเพาะไปตามหน่วยงานต่าง ๆ หรือ เป็นกองทุนย่อยในกองทุนสิ่งแวดล้อม จึงจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดสรรเงินในการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศ

6.4.7 การขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ และบทบาทหน้าที่ของผู้ที่เกี่ยวข้องที่มีต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

ภาคประชาชน คนไทยมีความเข้าใจว่าของเสียเป็นสิ่งที่ธรรมชาติสามารถจะย่อยสลายได้เมื่อกาลเวลาผ่านไป และการจัดการของเสีย (ขยะและสิ่งปฏิกูล) เป็นหน้าที่โดยตรงของรัฐบาลและหน่วยงานรัฐในท้องถิ่น การรวบรวมและการบำบัดหรือกำจัดเป็นบริการของรัฐที่ต้องจัดให้กับประชาชน ดังนั้นภายใต้ความเข้าใจนี้จึงเป็นการยากที่จะนำเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์มาจูงใจให้ผู้ผลิตหรือผู้บริโภคทำการลดการปล่อยของเสีย

ภาคผู้ผลิต หลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่ายไม่เหมาะสมกับแนวความคิดหรือความเข้าใจเกี่ยวกับของเสียของคนไทยในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นแนวความคิดใหม่และการบริการด้านการจัดการของเสียก็เป็นสิ่งใหม่เช่นกัน ผลด้านบวกต่อสิ่งแวดล้อมจากบริการนี้ต้องใช้เวลา ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะให้คนไทยเข้าใจและยินดีจ่ายค่าบริการประเภทนี้ โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมหรือผู้ผลิตมีความคิดเห็นว่าค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตและอาจทำ

ให้เสียเปรียบในการแข่งขันในตลาดโลกได้ รวมทั้งการขาดความตระหนักในความรับผิดชอบของผู้ประกอบการต่อของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้นจากการประกอบการของตน ทำให้การใช้มาตรฐานทางเศรษฐศาสตร์ไม่ได้รับการยอมรับเท่าที่ควร

เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ มักจะถูกเข้าใจว่าเป็นการจัดเก็บเงินที่ไปเพิ่มภาระกับผู้ก่อมลพิษ โดยเฉพาะผู้ผลิตสินค้าและบริการ ทำให้เกิดความเสียเปรียบในการแข่งขันกับคู่แข่ง แต่ผู้เกี่ยวข้องตั้งแต่ ผู้กำหนดนโยบาย คือ นักการเมืองในสภาและข้าราชการ ตลอดจนเจ้าของโรงงานสหภาพแรงงาน ชาวบ้าน ยังมองแต่ผลประโยชน์ในด้านการผลิตและการบริโภค โดยไม่ยอมรับว่ากิจกรรมทางเศรษฐกิจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในที่สุดจะสะท้อนกลับมาที่สุขภาพและคุณภาพชีวิตของทุกคน ของเสียที่ปล่อยออกมาและกลายเป็นมลพิษนั้นก็กลายเป็นภาระของสังคมในที่สุด

6.5 ข้อเสนอแนะในการนำเครื่องมือเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

ในปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นตามภาวะการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมที่ขาดมาตรการในการวางแผนควบคุม ป้องกัน และแก้ไขปัญหาของเสียและมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิต จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันได้มีการเร่งดำเนินการเพื่อหามาตรการหรือแนวทางต่าง ๆ เพื่อเร่งบำบัดปัญหาที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น ทั้งการระดมความคิดและการร่วมมือกันศึกษาหามาตรการที่เหมาะสมสำหรับประเทศ การจัดระบบการจัดการในกระบวนการผลิตให้มีความเหมาะสม การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต และที่สำคัญคือการเร่งหามาตรการที่เหมาะสมในการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปกับการสร้างจิตสำนึกในการรับผิดชอบต่อของเสียหรือมลพิษที่เกิดขึ้นจากการผลิต ทั้งในรูปแบบของการกำหนดมาตรฐานสิ่งแวดล้อมและการควบคุมโดยรัฐ และแนวทางการสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐศาสตร์หรือการใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

การใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์เป็นแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีและมีประสิทธิภาพอีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากหลักการดังกล่าวนอกจากจะสามารถช่วยลดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังเปิดโอกาสให้แก่ผู้ประกอบการได้มีทางเลือกในการตัดสินใจเลือกใช้วิธีการในการบำบัดของเสียที่เหมาะสมกับตนเองมากที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างแรงจูงใจให้กับผู้ประกอบการให้เกิดความกระตือรือร้นที่จะแก้ไขปัญหาต่อไป

ข้อเสนอแนะในการนำเครื่องมือเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย คือ

1) ต้องมีการจัดทำฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศและเพื่อให้สาธารณะชนทราบเกี่ยวกับสถานการณ์ของปัญหามลพิษในระดับท้องถิ่น ในปัจจุบันได้เริ่มมีการจัดทำข้อมูลด้านมลพิษภายใต้โครงการ Public Disclosure ของกรมควบคุมมลพิษ ข้อมูลด้านมลพิษนี้ทำให้ผู้บริหารสามารถเข้าใจถึงสภาพปัญหาของมลพิษไปตามลุ่มน้ำ ประเภทของสารมลพิษ ประเภทอุตสาหกรรม และจำนวนแหล่งปล่อยมลพิษ

2) การประกาศใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่มีการศึกษาในรายละเอียด สามารถทำได้เป็นขั้นตอน (phasing) ที่ครอบคลุมพื้นที่เฉพาะหรือแหล่งปล่อยมลพิษขนาดใหญ่ เพื่อเป็นการให้โอกาสในการทดลองและปรับปรุงเครื่องมือให้เป็นที่ยอมรับของผู้เกี่ยวข้อง

3) ต้องมีการปฏิรูปสถาบันโดยเฉพาะทางกฎหมาย เพื่อกำหนดบทบาทหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ให้ชัดเจน โดยเฉพาะหน้าที่ในการจัดเก็บเงินและการบริหารแหล่งรายได้ที่เกิดขึ้น

4) การสร้างแรงสนับสนุนทางการเมืองในการใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ โดยการสร้างความโปร่งใสในด้านต่าง ๆ คือ

- ความโปร่งใสทางการเมือง โดยมีกลไกในการแสดงความคิดเห็น ความพึงพอใจในเครื่องมือโดยผู้เกี่ยวข้องก่อนมีการประกาศใช้ ซึ่งเป็นกลไกในรูปของ การเผยแพร่ข้อมูลต่อสาธารณชนหรือประชาพิจารณ์และการอภิปราย โต้แย้ง จากสาธารณชน

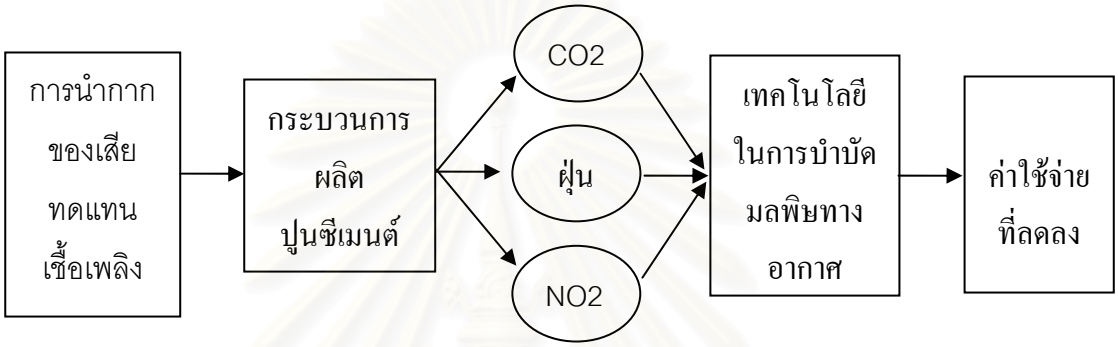
- ความโปร่งใสทางผลกระทบของนโยบาย โดยการแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ต่อภาระด้านต้นทุนของผู้ที่ต้องจ่าย

- ความโปร่งใสในการกำหนดเป้าหมายทางการเงิน โดยการกำหนดเป้าหมายของการใช้เงินจากรายได้ที่จัดเก็บจากเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์อย่างชัดเจนและมีการตรวจสอบได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.6 การประยุกต์ใช้แนวคิดทฤษฎีในการบริหารจัดการในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

จากแนวคิดทฤษฎีที่ได้กล่าวถึงมาทั้งหมดไม่ว่าจะเป็น เรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ค่าใช้จ่ายสำหรับเทคโนโลยีในการบำบัดมลพิษทางอากาศ และสุดท้าย คือ ค่าปรับสำหรับมาตรการในการจัดการมลพิษทางอากาศ ผู้วิจัยได้มีการศึกษาและประยุกต์เพิ่มเติมจากผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งทั้ง 3 หัวข้อล้วนมีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ

จากรูปที่ 6.1 ต้นทุนที่ลดลงเป็นสิ่งที่จูงใจให้ผู้ประกอบการได้คำนึงถึงปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น โดยมลพิษทางอากาศสามารถจัดการได้ 2 แนวทาง โดยทางโรงงานสามารถทำได้เอง ดังนี้

1. เปลี่ยนหรือปรับปรุงเชื้อเพลิง,วัตถุดิบ
2. ติดตั้งเทคโนโลยีในการบำบัดมลพิษทางอากาศ

ดังนั้นสิ่งที่ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนของมลพิษที่เกิดขึ้นเองได้ คือการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเชื้อเพลิง,วัตถุดิบ และติดตั้งเทคโนโลยีในการบำบัดมลพิษทางอากาศ แต่สิ่งที่รัฐบาลดำเนินการคือ กดดันให้ลดต้นทุนจากค่าปรับของมลพิษโดยใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ (Emission Charge)

สิ่งที่จูงใจโรงงาน คือ ต้นทุนรวมทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย

1. ต้นทุนของเชื้อเพลิงทดแทน
2. ต้นทุนของเทคโนโลยีบำบัดมลพิษทางอากาศ
3. ต้นทุนของค่าปรับสำหรับมาตรการการจัดการมลพิษทางอากาศ

ต้นทุนรวม = ต้นทุนของเชื้อเพลิงทดแทน+ ต้นทุนในการบำบัด + ต้นทุนของค่าปรับ - เงินที่ได้จากการขาย CO_2 (คาร์บอนเครดิต)

แต่เมื่อพิจารณาการปล่อยออกของก๊าซเรือนกระจกมีประมาณดังนี้

จากกระบวนการผลิต	ประมาณ 50%
จากการขนส่ง	ประมาณ 5%
จากการบริโภคพลังงานไฟฟ้า	ประมาณ 5%
จากการบริโภคเชื้อเพลิงฟอสซิล	ประมาณ 40%

ดังนั้นเราจึงไม่สามารถคิดค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) จากปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้เนื่องจากโรงงานจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงทำการประเมินการใช้พลังงานจำเพาะ SEC (Specific Energy Consumption) ซึ่งเป็นค่าดัชนีสำหรับชี้วัดปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต เพื่อเป็น SEC Benchmarking อ้างอิงสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เพื่อเป็นมาตรฐานในการจัดเก็บค่าปล่อยมลพิษ โดยถ้าใช้พลังงานในปริมาณมากกว่าค่าอ้างอิงหมายถึงมีการบริโภคพลังงานเกินค่ามาตรฐาน จึงต้องถูกจัดเก็บค่าปล่อยมลพิษ ในส่วนที่เกินออกมา

SEC เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$SEC = \frac{\text{Enegy Input(MJ,kWh)}}{\text{Product Output (ton)}}$$

โดยที่ SEC = ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน

Energy Input = ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้น

Product Output = ปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน

เมื่อพิจารณาเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่มีในปัจจุบันที่ให้ค่า SEC ต่ำที่สุดมาใช้งานแล้วดังตารางที่ 6.9 กำหนดเป็น SEC อ้างอิงของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ซึ่ง SEC Benchmarking ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์คือ 3.31 GJ/ton ซึ่งเท่ากับ 69.93 kWh/ton ซึ่งทุกๆ กิโลวัตต์-ชั่วโมงที่ใช้จะมีการปล่อยออกของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 500 กรัม (ศิริจันทร์, 2550)

ตารางที่ 6.9 เทคโนโลยีแต่ละกระบวนการผลิตที่ให้ค่า SEC ต่ำที่สุด

กระบวนการผลิต	เทคโนโลยี
บดวัตถุดิบ	Jaw Crusher
บดละเอียด	Roller Press - integral
การเผาเม็ดปูน	Short dry – preheat&precalciner
การบดซีเมนต์	Roller press/ball mill/high eff.

ปัจจุบันโรงงานผลิตปูนซีเมนต์แห่งนี้มีกำลังการผลิตปีละ 23.2 ล้านตัน ซึ่งใช้ปริมาณพลังงานเท่ากับ 1,622.37 GWh คิดเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 811,185 ตัน/ปี ซึ่งปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์นี้เป็นปริมาณที่มากสุดที่สามารถยอมให้ปล่อยได้โดยไม่เสียค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) แต่โรงงานผลิตปูนซีเมนต์แห่งนี้มีค่า SEC = 4.16 GJ/ton คิดเป็นปริมาณ CO_2 ที่ปล่อยออกเท่ากับ 1,019,524 ตัน CO_2/ปี ดังนั้นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยเกินค่ากำหนดเท่ากับ 208,339 ตัน CO_2/ปี ดังนั้นถ้าพิจารณาต้นทุนที่เกิดจาก CO_2 ทั้งหมดจะได้ดังนี้

ต้นทุนที่เกิดจาก CO_2 = ต้นทุนของเชื้อเพลิงทดแทน+ ต้นทุนในการบำบัด + ต้นทุนของค่าปรับ- เงินที่ได้จากการขาย CO_2 (คาร์บอนเครดิต)

1. ต้นทุนของเชื้อเพลิงทดแทน

1) แกลบ	402	บาท/ตัน
2) ซากยางรถยนต์	1,000	บาท/ตัน
3) น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว	3,000	บาท/ตัน
รวม	101,401,856	บาท/ปี

2. ต้นทุนในการบำบัด CO_2 โดยใช้ Scrubber

1) ค่าดำเนินการติดตั้งระบบ	70,454	บาท/ปี
2) ค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบ	354,886	บาท/ปี
รวม	425,340	บาท/ปี

3. **ต้นทุนของค่าปรับ** (Emission Charge) 100 บาท/ตัน

รวม 20,833,900 ล้านบาท/ปี

4. **เงินที่ได้จากการขาย CO_2 (คาร์บอนเครดิต)** 577 บาท/ตัน CO_2

รวม 107,091,200 บาท/ปี

∴ **ต้นทุนที่เกิดจาก CO_2** = 101,401,856+ 425,340 + 20,833,900 - 107,091,200 บาท /ปี

= 15,569,896 บาท/ปี

จากตัวเลขที่คำนวณมาข้างต้น ทำให้มองเห็นได้ว่า ต้นทุนที่เกิดจากค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) เป็นต้นทุนที่สูง ดังนั้นผู้ประกอบการจึงควรหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น เพื่อลดต้นทุนที่ต้องเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งกลุ่มอุตสาหกรรมคงไม่อาจหลีกเลี่ยงค่า Emission Charge ที่เป็นต้นทุนที่สูงนี้ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการศึกษา

1) ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่า การใช้เชื้อเพลิงก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยสารมลพิษดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตเจนออกไซด์ในปริมาณมาก และการบดวัตถุดิบในส่วนของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เป็นขั้นตอนที่เกิดปริมาณฝุ่นแขวนลอยมากที่สุด

2) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมทำให้ทราบว่ามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นมากที่สุดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณถึง 981 กก. จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I แบบผง ปริมาณ 1ตัน

3) การลดผลกระทบที่มีต่อปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยสู่อากาศสามารถทำได้โดยนำกากของเสียเข้ามาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว แกลบ ยางรถยนต์ เป็นต้น สามารถลดปริมาณ CO_2 จาก 981 กก. เหลือ 973 กก.ต่อตันปูนซีเมนต์

4) การใช้เทคโนโลยีในการจัดการมลพิษทางอากาศของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ คือ อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precicitators) ถุงกรอง (Bag Filters) และเครื่องจับฝุ่นด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์ (Wet Scrubbers) ซึ่งอุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตและถุงกรอง จะทำหน้าที่ในการกำจัดฝุ่นละออง แต่เครื่องจับฝุ่นด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์ทำหน้าที่ในกำจัดฝุ่นละอองและก๊าซเสียในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

5) อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precicitators) มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นมากที่สุด 95~99.5 % รองลงมา คือ ถุงกรอง (Bag Filters) มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น 90~99 % สุดท้ายคือ เครื่องจับฝุ่นด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์ (Wet Scrubbers) มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น 75~99 %

6) ค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีในการจัดการมลพิษทางอากาศ จะประกอบด้วย ค่าดำเนินการติดตั้งระบบ และค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบซึ่ง อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต จะ

มีค่าใช้จ่ายสูงที่สุด รองลงมา คือถุงกรอง สุดท้ายคือ เครื่องจับฝุ่นด้วยหยดน้ำหรือสครับเบอร์ จะมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีในการจัดการมลพิษทางอากาศ

ประเภทของเครื่องเก็บฝุ่น	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	
	ค่าดำเนินการติดตั้งระบบ	ค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบ
เครื่องเก็บฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต	155,516,000	322,404
เครื่องเก็บฝุ่นแบบถุงกรอง	756,800	535,133
เครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียก	775,000	354,886

7) จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะใช้ค่าปล่อยมลพิษ (Emission Charge) ที่อ้างอิงมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา ถ้านำมาใช้ในประเทศไทยในอนาคตจะสามารถลดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าปล่อยมลพิษที่ลดลงประมาณ 18.56 ล้านบาทต่อปี ซึ่งเป็นมาตรการที่กดดันให้ลดปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศและเป็นแหล่งรายได้หลักของรัฐในการสนับสนุนและพัฒนาแนวทางการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ

7.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

1) การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนและต้องการข้อมูลและความรู้เชิงเทคนิคเป็นอย่างมาก จึงเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลและใช้ในวงการอุตสาหกรรม

2) ในทางวิชาการ เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์เป็นสิ่งจูงใจทางเศรษฐศาสตร์ที่ทำให้แหล่งกำเนิดของเสียลดการปล่อยของเสีย แต่จากประสบการณ์ของประเทศไทย เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ได้รับความสนใจในลักษณะของการหารายได้เข้ารัฐ เพื่อลดภาระทางด้านการเงินของรัฐในการจัดการของเสีย นอกจากนั้นเครื่องมือที่ใช้จะอยู่ในรูปแบบของการควบคุม คือเป็นค่าปรับหรือจำคุก และเป็นขั้นตอนของการใช้เครื่องมือในการจัดการของเสียที่ปลายท่อ คือกรณีที่มีการปล่อยของเสียออกมาสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว ส่วนการใช้เครื่องมือในการจัดการต้นทางหรือการป้องกันการเกิดของเสียในรูปแบบของค่าธรรมเนียมการใช้ผลิตภัณฑ์ หรือ ระบบมัดจำ ยังไม่นิยมนำมาใช้มากนัก จึงเป็นการยุ่งยากที่จะนำมาปฏิบัติจริง

7.3 ข้อเสนอแนะ

1) จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยใช้การศึกษาแบบ Cradle-to-Gate คือ ศึกษาวัฏจักรชีวิตเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ควรขยายขอบเขตเป็นแบบ Cradle-to-Grave คือ จะต้องพิจารณาถึงการผลิตวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การนำไปใช้ การนำกลับมาใช้ใหม่ และการจัดการของเสียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปูนซีเมนต์

2) ในการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นควรมีการติดต่อประสานงานกับโรงงานที่ใช้ในการศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลปฐมภูมิที่สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3) ในการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น อาจมีการพัฒนาโดยใช้โปรแกรม (Software) มาช่วยในการคำนวณ

4) เมื่อมีการประเมินวัฏจักรชีวิตเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แล้ว ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวคิดของฉลากเขียว ที่เป็นกลยุทธ์หนึ่งในนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้การตลาดเป็นเครื่องมือ เพื่อผลักดันให้ผู้ผลิตอื่นๆ ต้องแข่งขันกับปรับปรุงคุณภาพของสินค้าหรือบริการของตนโดยคำนึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญเช่นกัน

5) เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมมาจากกระบวนการผลิตที่ต้องใช้หินปูนเป็นวัตถุดิบและจากการบริโภคพลังงานและเชื้อเพลิง การลดการปล่อยออกอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมของการเปลี่ยนวัตถุดิบจากหินปูนไปเป็นอย่างอื่น การใช้สัดส่วนเม็ดปูนในการผลิตซีเมนต์ให้น้อยลงโดยที่ยังคงมีคุณสมบัติของคอนกรีตไว้ได้

6) สำหรับเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดการมลพิษทางอากาศในประเทศไทยควรมีการแสดงความคิดเห็น ความพึงพอใจในเครื่องมือโดยผู้เกี่ยวข้องก่อนมีการประกาศใช้ ซึ่งอาจเป็นกลไกในรูปของ การเผยแพร่ข้อมูลต่อสาธารณชนหรือรประชาพิจารณ์ และการอภิปรายโต้แย้ง จากสาธารณชน โดยการแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ต่อภาระต้นทุนของผู้ที่ต้องจ่าย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธิดา ทัศนราพันธ์. การประเมินวัฏจักรของการผลิตปูนซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย, 2543.

นพภาพร พานิช และคณะ. คู่มือแนวทางการปฏิบัติงานด้านมลพิษทางอากาศสำหรับเจ้าหน้าที่ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม. โครงการวิเคราะห์แผนหลักของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในการลดปัญหามลพิษทางอากาศจากภาคอุตสาหกรรม. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ประธาน ธีรอัครวิภาส และอัคเดช พิศาบดินทร์. คอนกรีตหมุนเวียนใช้ใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2540.

พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์และคณะ. โครงการ การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม : รายงานฉบับสมบูรณ์. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และมานิจ ทองประเสริฐ. การลดก๊าซเรือนกระจก : งานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยี. 2550.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. เศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมกับการประยุกต์ใช้. ฉบับที่ 1. 2546.

สุภาพ ตรีธัญญา. การนำคอนกรีตที่ใช้แล้วกลับมาแทนวัสดุมวลหยาบในงานก่อสร้าง:กรณีศึกษางานท่อระบายน้ำคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหิดล, 2542.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. โครงการการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมระดับพื้นที่จากกิจกรรมเหมือนหินปูน โรงโม่หิน และอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในจังหวัดสระบุรี. 2537.

สำนักงานนโยบายและวางแผนสิ่งแวดล้อม. คู่มือติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมโครงการประเภทเหมืองแร่หินปูนและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์. 2544.

ภาษาอังกฤษ

A. Josa, A. Aguado, A. Heino, E. Byars ,and A. Cardim. Comparative analysis of available life cycle inventories of cement in the EU. 2004.

ADB. Strategy for the Use of Market-Based Instruments in Idonesia's Environmental Management. Environment Division. Office of Environment and Social Development. Asian Development. 1997.

Andersson ,K.,Ohlsson T.,and Olsson P. Screening Life cycle assessment (LCA) of tomato ketchup:a case study. Journal of Cleaner Production. (1998): 25-35.

Canadian Standard Association. Z760-94 Life Cycle Assessment Environmental Technology. 1994.

Das ,A.,and Kandpal T.C. Energy-Environment Implications of Cement Manufacturing in India: a Scenrio Analysis.International Journal of Energy Research.(1997): 56-67.

Ernst Worrell, Lynn Price, Nathan Martin, Chris Hendriks, and Leticia OzawaMeida. Carbondioxide Emission from The Global Cement Industry. 2001.

G.A. Keoleian, A. Kendall, R. Chandler, G.E. Helfand, M. Lepech, and V.C. Li. Lfe Cycle Cost Model for Evaluating the Sustainability of Bridge Decks. Master's Thesis. University of Michigan, 2004.

Hanssen ,J.O. Environmental impacts of product systems in a life cycle perspective: a survey of five product types based on life cycle assessments studies. 1998.

Ken Humphreys ,and Maha Mahasenan. Climate Change. World Business Council for Sustainable Development, 2002.

Kessler ,G.r. Cement Kiln Dust (CKD)Methods for Reduction and Control. IEEE Transactions on Industry Application, 1995.

Li,V.C.,Fischer,G.,Kim,Y.,Lepech,M.,Qian,S,Weimann,M.,and Wang,S. Durable link slabs for jointless bridge decks based on strain-hardening cementitious composites. 2003.

McQueen ,A.T.et al. Cement Kiln NOx Control. IEEE Transactions on Industry Applications, 1995.

Mycock, JC.,J.D. Mckenna and L.Theodore. Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology. Lewis Publisher, 1995.

OCED. Agricultural and Environmental Policies : Opportunities for Integration. 1996.

Raina , K., and Janakiraman L.K. Use of mineralizer in black meal process for improved clinkerization of energy.Cement and Concrete Research. 1998.

Richards,J. Control of Particulate Emissions. APTI Course 415, US.EPA. 1995.

Schneider ,M. ,and Kuhlmann K. Environmental Relevance of the Use of Secondary Constituents in Cement Production. ZKG International, 1997.

Sharp, J.H.,Lawrence C.D. ,and Yang R. Calcium Sulfoaluminate Cements Low-Energy Cements. Advances in Cement Research. 1999.

Steven B. Young, Shannon Turnbull, Andrea Russell. Substudy 6: What LCA Can Tell Us about the Cement Industry. Toward a Sustainable Cement Industry. World Business Council for Sustainable Development, 2002.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

1.ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดให้โรงงานประเภทต่างๆ ต้องติดตั้งเครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษ เพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติ พ.ศ. 2544

2. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์ พ.ศ. 2549

3. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรการควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
เรื่อง กำหนดให้โรงงานประเภทต่างๆ ต้องติดตั้งเครื่องมือ
หรืออุปกรณ์พิเศษ เพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศ
จากปล่องแบบอัตโนมัติ
พ.ศ. ๒๕๔๔

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๑๖ ตรี แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยข้อ ๓ แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ ๑๑ (พ.ศ. ๒๕๓๙) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ และมาตรา ๕๐ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมายรัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

เครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์พิเศษเพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติ หมายความว่า เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจากปล่องที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศแบบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง (Continuous Emission Monitoring Systems: CEMS) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

(๑) ส่วนการเก็บและส่งตัวอย่าง (Sampling interface/Sampling delivery system)

(๒) ส่วนการวิเคราะห์ (Analyzer)

(๓) ส่วนการจัดการข้อมูล (Data acquisition system)

ข้อ ๒ โรงงานประเภทต่างๆ ตามที่กำหนดในประกาศนี้ต้องติดตั้งเครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์พิเศษเพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติ ดังนี้

ลำดับที่	ขนาดของหน่วยการผลิตในโรงงาน	ประเภทโรงงาน	ค่าต่าง ๆ ของเครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์พิเศษที่ต้องตรวจวัด	หมายเหตุ
๑	หน่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตต่อหน่วยตั้งแต่ ๒๙ เมกกะวัตต์ (MW) ขึ้นไป	โรงงานลำดับที่ ๘๘ ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕) หรือ	ความทึบแสง หรือฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2)ออกไซด์	๑) หากเชื้อเพลิงไม่มีกำมะถันไม่ต้องตรวจวัด SO_2

		โรงงานลำดับอื่นๆ ที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษในทำนองเดียวกัน	ของไนโตรเจน (NO_X) ก๊าซออกซิเจน (O_2)	๒) หากเชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติ ไม่ต้องตรวจวัด SO_2 และความทึบแสงหรือฝุ่นละออง
๒	หม้อน้ำหรือแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีขนาด ๓๐ ตัน ไอน้ำต่อชั่วโมง หรือ ๓๐๐ เมกกะมิล-เลี่ยนบีทียู (MMBTU) ต่อชั่วโมงขึ้นไป	โรงงานทุกลำดับตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕)	ความทึบแสบ หรือฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2)ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X) ก๊าซออกซิเจน (O_2)	๑) หากเชื้อเพลิงไม่มีกำมะถันไม่ต้องตรวจวัด SO_2 ๒) หากเชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติ ไม่ต้องตรวจวัด SO_2 และความทึบแสงหรือฝุ่นละออง
๓	หน่วยผลิตซีเมนต์ ปูนขาว หรือปูนปลาสเตอร์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ทุกขนาดในส่วนของหม้อเผา (Kiln) และ Clinker cooler	โรงงานลำดับที่ ๕๗ ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕)	ความทึบแสง หรือฝุ่นละออง	-
๔	หน่วยผลิตเยื่อหรือกระดาษอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ทุกขนาดในส่วนของ Recovery furnace Lime kiln Digestor Brown stock washer Evaporator และ Condensate stripper system	โรงงานลำดับที่ ๓๘ ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕)	ความทึบแสง หรือฝุ่นละออง และTotal Reduced Sulfur (TRS)	-
๕	หน่วยกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมทุกขนาดในส่วนของ Fluid Catalytic Cracking Unit (FCCU) Fuel oil combustion unit Sulfur Recovery Unit (SRU)	โรงงานลำดับที่ ๔๙ ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕)	สำหรับ FCCU : ความทึบแสง หรือฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สำหรับ Fuel oil combustion unit: SO_2 และก๊าซออกซิเจน (O_2) สำหรับ SRU : SO_2 และ	-

			O_2	
๖	หน่วยถลุง หลอม หล่อ รีด ดึง หรือผลิตเหล็กหรือเหล็กกล้าในขั้นต้น ขนาด ๑๐๐ ตันต่อวันขึ้นไป ในส่วนของ Electric arc furnace หรือ Blast furnace หรือมีการ Preheat โดยน้ำมันเตา หรือ ถ่านหินเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน	โรงงานลำดับที่ ๕๙ ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕)	ความทึบแสง หรือ ฝุ่นละออง	-
๗	หน่วยถลุง ผสม ทำให้บริสุทธิ์ หลอม หล่อ รีด ดึง หรือผลิตโลหะ ในขั้นต้นซึ่งไม่ใช่เหล็กหรือเหล็กกล้าในส่วนของการถลุงทองแดง หรือสังกะสีทุกขนาดที่ใช้ Roaster Dryer ของการถลุงทองแดง หรือ Sintering machine ของการถลุงสังกะสี	โรงงานลำดับที่ ๖๐ ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕)	สำหรับ Roaster : ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สำหรับ Dryer ของการถลุงทองแดง : ความทึบแสง หรือฝุ่นละอองสำหรับ Sintering machine ของการถลุงสังกะสี : ความทึบแสง หรือฝุ่นละออง	-
๘	หน่วยหลอมตะกั่วทุกขนาดที่ใช้ Furnace Sintering machine หรือ Converter	โรงงานลำดับที่ ๖๐ ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕)	ความทึบแสง หรือ ฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	-
๙	หน่วยเตาเผาเพื่อปรับคุณภาพของเสียรวมในส่วนของเตาเผาทุกขนาด	โรงงานลำดับที่ ๑๐๑ ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕)	ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และอุณหภูมิ	-
๑๐	หน่วยผลิตกรดกำมะถันทุกขนาด	โรงงานลำดับที่ ๔๒ ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. ๒๕๓๕) หรือโรงงานลำดับอื่นๆ ที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษในทำนองเดียวกัน	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าต่างๆ ของเครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์พิเศษที่ต้องตรวจวัดมีหน่วยวัด ดังนี้

ค่าต่าง ๆ ของเครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์พิเศษที่ต้องตรวจวัด	หน่วยวัด
ความทึบแสง (Opacity)	ร้อยละ (%)
ฝุ่นละออง (Particulate)	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3)
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide: SO_2)	ส่วนในล้านส่วน (ppm)
ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of nitrogen: NO_x) วัดในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์	ส่วนในล้านส่วน (ppm)
ก๊าซออกซิเจน (Oxygen: O_2)	ร้อยละโดยปริมาตร (% by volume)
ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbon monoxide: CO)	ส่วนในล้านส่วน (ppm)
Total Reduced Sulfur (TRS)	ส่วนในล้านส่วน (ppm)
อุณหภูมิ (Temperature)	องศาเซลเซียส (°C)

ข้อ ๓ ข้อกำหนดเกี่ยวกับการติดตั้งเครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์พิเศษ เพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติ ตลอดจนค่าต่างๆ ที่ตรวจวัดวิเคราะห์ให้ใช้วิธีที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: U.S. ESPA) กำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ

ในการตรวจวัดความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศจากปล่องที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศอย่างต่อเนื่องแบบแบ่งคาบเวลา (Time sharing) สามารถใช้เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศชุดเดียวกันสำหรับปล่องที่มีมากกว่า ๑ ปล่อง แต่ไม่เกิน ๓ ปล่อง ทั้งนี้ คุณภาพอากาศที่ระบายออกจากปล่องเหล่านั้น ต้องมีคุณสมบัติและสภาวะที่คล้ายคลึงกัน เช่น กระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน ใช้เชื้อเพลิงประเภทเดียวกัน ค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศใกล้เคียงกัน

ข้อ ๔ การรายงานผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ ให้รายงานผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท อุณหูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (Dry basis) โดยมีปริมาตรอากาศส่วนเกิน (Excess air) ร้อยละ ๕๐ หรือมีปริมาตรออกซิเจนส่วนเกิน (Excess Oxygen) ร้อยละ ๗ และรายงานเป็นค่าเฉลี่ยทุกๆ ๑ ชั่วโมง อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ๒๔ ชั่วโมง โดยที่การรายงานผลการตรวจวัดต้องมีมูลค่าเกินกว่าร้อยละ

๘๐ ของช่วงเวลาทั้งหมดในแต่ละวัน (๐.๐๐ น. – ๒๔.๐๐ น.) หากมีเหตุขัดข้องไม่ว่ากรณีใดๆ และไม่สามารถรายงานผลการตรวจวัดได้ หรือมีข้อมูลน้อยกว่าร้อยละ ๘๐ ในวันนั้นๆ ให้รายงานสาเหตุและการแก้ไขปัญหามายังศูนย์รับข้อมูลของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ภายในวันเดียวกันหรือวันถัดไปโดยไม่เว้นวันหยุดราชการ

การส่งรายงานผลการตรวจวัดให้ส่งมายังศูนย์รับข้อมูลของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย หรือกรมควบคุมมลพิษ หรือกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยผ่านระบบเครือข่ายสื่อสารตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

ข้อ ๕ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับเฉพาะโรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมผาแดง นิคมอุตสาหกรรมตะวันออก นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย จังหวัดระยอง และโรงงานอื่นตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

ข้อ ๖ โรงงานที่ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานหลังวันที่ประกาศนี้มีผลบังคับใช้ ให้ติดตั้งเครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์พิเศษเพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติให้แล้วเสร็จก่อนแจ้งประกอบกิจการโรงงาน ในกรณีโรงงานที่ได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานก่อนวันที่ประกาศนี้มีผลบังคับใช้ ให้ติดตั้งให้แล้วเสร็จภายใน ๑ ปี

ทั้งนี้ ตั้งแต่วันถัดจากวันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๑ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๔๔

สุริยะ จึงรุ่งเรืองกิจ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์

พ.ศ. ๒๕๔๙

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๑๖ แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์ พ.ศ. ๒๕๔๗ ลงวันที่ ๑๕ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๔๗ ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ และให้ใช้ประกาศนี้แทน

ข้อ ๒ ในประกาศนี้

“โรงงานปูนซีเมนต์” หมายความว่า โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตซีเมนต์ ปูนขาวหรือปูนปลาสเตอร์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง

“อากาศที่ระบายออกจากโรงงาน” หมายความว่า อากาศที่ระบายออกจากปล่องหรือช่องหรือท่อระบายอากาศของโรงงานไม่ว่าผ่านระบบบำบัดหรือไม่ก็ตาม

ข้อ ๓ อากาศที่สามารถระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์ ต้องมีค่าปริมาณของสารเจือปนไม่เกินที่กำหนดไว้ ดังต่อไปนี้

โรงงานปูนซีเมนต์ซึ่งมีการระบายอากาศเสียออกจากหน่วยการผลิต ดังต่อไปนี้	**ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ**		
	ฝุ่นละออง (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	**ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)**	**ออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)**
๑. หม้อเผาปูนซีเมนต์ทั่วไป (grey cement kiln)	๑๒๐	๕๐	๕๐๐
๒. หม้อเผาปูนซีเมนต์ทั่วไป (white cement kiln)	๑๒๐	๕๐๐	๕๐๐
๓. หม้อเย็น (clinker cooler)	๑๒๐	-	-
๔. หม้อบดปูน	๑๒๐	-	-

(clinker grinding mill)			
๕. หม้อบดถ่านหิน (coal grinding mill)	๑๒๐	-	-
๖. หน่วยการผลิตอื่นๆ กรณีไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง กรณีมีการเผาไหม้เชื้อเพลิง	๔๐๐ ๓๒๐	- ๗๐๐	- ๔๐๐

ข้อ ๔ การวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์ อากาศที่ระบายออกในขณะประกอบกิจการโรงงานและหน่วยการผลิตตามข้อ ๓ มีการทำงานปกติ

ข้อ ๕ การตรวจวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานปูนซีเมนต์ ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองให้ใช้วิธี Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. ESPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๒) การตรวจวัดค่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้ใช้วิธี Determination of Sulfuric Acid Mist and Sulfur Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. ESPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

(๓) การตรวจวัดค่าปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปของไนโตรเจนไดออกไซด์ให้ใช้วิธี Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : U.S. ESPA) กำหนดไว้ หรือใช้วิธีตามมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

ข้อ ๖ การรายงานผลการตรวจวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ ให้รายงานผลดังต่อไปนี้

(๑) สำหรับหม้อเผาปูนซีเมนต์ทั่วไป (grey cement kiln) และหม้อเผาปูนซีเมนต์ขาว (white cement kiln) ให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่ ๗๖๐ มิลลิเมตรปรอท

อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (dry basis) โดยมีปริมาตรอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้ (excess air) ร้อยละ ๕๐ หรือมีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสียร้อยละ ๗

(๒) สำหรับหม้อเย็น (clinker cooler) หม้อบดปูน (clinker grinding mill) หม้อบดถ่านหิน (coal grinding mill) และหน่วยการผลิตอื่นๆ ให้คำนวณผลที่ความดัน ๑ บรรยากาศ หรือที่อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส ที่สภาวะแห้ง (dry basis) โดยมีปริมาตรออกซิเจนในอากาศเสีย ณ สภาวะจริงในขณะตรวจวัด

ทั้งนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓๑ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๔๙
โฆสิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
เรื่อง กำหนดให้โรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิต
เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ

เพื่อกำหนดให้โรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖๘ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ แก้ไขโดยมาตรา ๑๑๔ แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. ๒๕๔๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษจึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

“โรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิต” หมายความว่า โรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตซีเมนต์ทุกขนาดตามกฎหมายว่าด้วยโรงงานที่ใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยของเสียที่ใช้ต้องมีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นอันตรายตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน และ/หรือของเสียเคมีวัตถุตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตรายไม่เกินร้อยละสี่สิบ โดยให้คำนวณจาก

(๑) ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากเผาสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นอันตรายและ/หรือของเสียเคมีวัตถุที่นำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิง เทียบกับค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงทั้งหมด และ

(๒) น้ำหนักของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นอันตราย และ/หรือของเสียเคมีวัตถุที่นำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบ เทียบกับน้ำหนักของวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมด

“ของเสีย” หมายความว่า

(๑) สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วทั้งที่เป็น และ/หรือไม่เป็นอันตรายตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน แต่ไม่รวมถึงเศษพืช สัตว์ หรือไม้

(๒) ของเสียเคมีวัตถุตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตราย

ข้อ ๒ ให้โรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ

ข้อ ๓ ห้ามมิให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองโรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิตปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ เว้นแต่จะได้ทำการบำบัดอากาศเสียให้

เป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิต แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)

ข้อ ๔ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๘ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๔๙

เกษม สนิทวงศ์ ณ อยุธยา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข แบบฟอร์มการเก็บ

กระบวนการ : ..... **แผ่นข้อมูล**

สิ่งแวดล้อม

แหล่งข้อมูล : วันที่ : .....เดือน.....ปี

.....

สารขาเข้า (ข้อมูลต่อตันของผลิตภัณฑ์)		**สารขาออก (ข้อมูลต่อตันของผลิตภัณฑ์)**	
วัตถุดิบ	**ก.ก./ตัน**	**ผลิตภัณฑ์**	**ก.ก./ตัน**
วัตถุดิบจากธรรมชาติ		1.	.....
1.	.....	2.	.....
2.	.....	3.	.....
3.	.....	4.	.....
4.	.....	**ผลพลอยได้จากผลิตภัณฑ์**	**ก.ก./ตัน**
5.	.....	1.	.....
6.	.....	2.	.....
วัตถุดิบที่สั่งซื้อเข้ามา		3.	.....
1.	.....	4.	.....
2.	.....	**ของเสียประเภทของแข็ง**	**ก.ก./ตัน**
3.	.....	1.	.....
4.	.....	2.	.....
5.	.....	3.	.....
6.	.....	4.	.....
พลังงาน	**กิกะจูล/ตัน**	**ของเสียประเภทของเหลว**	**ก.ก./ตัน**
1.	.....	1.	.....
2.	.....	2.	.....
3.	.....	3.	.....
4.	.....	4.	.....
5.	.....	**สารขาออกด้านสิ่งแวดล้อม**	**ก.ก./ตัน**
6.	.....	*มลพิษที่ปล่อยไปสู่อากาศ*	
การขนส่ง	**ตัน.กม./ตัน**	1.	.....
(เส้นทาง น้ำหนักบรรทุก ระยะทาง)		2.	.....
1.	.....	3.	.....
2.	.....	4.	.....
3.	.....	*มลพิษที่ปล่อยไปสู่น้ำ*	
4.	.....	1.	.....
5.	.....	2.	.....
6.		3.	.....
สารขาเข้าอื่น ๆ	**...../ตัน**	4.	.....
1.	.....	*มลพิษที่ปล่อยไปสู่ดิน*	
2.	.....	1.	.....
3.	.....	2.	.....
4.	.....	3.	.....
5.	.....	4.	.....
6.	.....		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Bag filter Model	:	*PJBF-6/8/2000*	6	8	2000
Project Owner	:		Requirement: 4000 CFM		
System Designer	:				

Bag House	Qty	
Casing	1	Size 1,650 width x2,090 length x 5,045 height - Enamel coated
Bag type	48	"BWF-Needlona (TM)" PE/PPE501 size D=150 mm. x 1,500 mm.
Filtration area (sq.ft)		470.10 43.73 m2
Air filter & regulator	1	CKD Model W-4000" or equivalent Port RC 3/4"
Pulse timer	1	"ASCO" 6 station circuit board series 414PMB06 (use 4 spare 2)
Solenoid +Diaphragm set	6	"ASCO" SCG353A46 or equivalent outlet orifice port 1"
Pressure Diff.gauge	1	"Dwyer" Magnahelic series 2000 (Model 2010 range 0-10" WC.)
Discharge device	1	Dump bin 500x500x500 mm.
Discharge driven		NONE *** see optional rotary valve

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

161

Designation data					
Flow Capa.	4,000.00	CFM.			
Air to cloth ratio	8.51	Ft./Min	**2.60** Metre/Min		
Pulse interval	20-200	m.sec.			
Dwell Interval	2.0-60.0	sec.			
Feed air density require	18	CFM @ 4-6 Bar			
Compress air per shot	28	litre @ 4-6 Bar			
Pressure drop design	100	mm.Aq			
Blower(Price excluded)					
Type					
Blower capa.	4,000	CFM.	108.00 CMM		
Static pressure(stand-alone)	10.0	inch. WC			
Blower driven motor		Hp	3 phase 220/380 VAC		
Propose price	***189,000.00*** บาท	***29,500.00*** บาท	***-*** บาท	***-*** บาท	
Total	***218,500.00*** บาท	***Bag filter***	***Rotary 8"x8"-optional******	***Blower***	***Motor***

Remark:

Rotary valve cast iron RV200 outlet port 200x200 mm. With Geared motor 1 Hp(0.75Kw) 1: 20 ratio at ~~ 72 rpm

+ neoflex coupling direct drive

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ITEM	DESCRIPTION	QTY.	UNIT	UNTI/PRICE	AMOUNT
	SCRUBBER SYSTEM FOR 2 nd FLOOR				
1	FRP SCRUBBER	1	Unit	353,000.00	353,000.00
	Capacity : 5000 CFM				
	Dimension : ID 1400 x 4700 H (mm.)				
	Material : FRP (Vinyl Ester resin)				
2	FRP BLOWER	1	Unit	144,000.00	144,000.00
	Capacity : 5000 CFM				
	Static Pressour : 6 " wg				
	Motor : 10 Hp, 380 V, 50 Hz, 1400 rpm , IP 55.				
4	RECIRCULATION PUMP CAPACITY : 300 l/m	1	Unit	48,000.00	48,000.00
5	CHEMICAL FEED SYSTEM	1	Set	65,000.00	65,000.00
	PP Tank				
	pH Controller				
	Feed Pump				
6	FRP DUCT DIA. 600	12	M.	4,150.00	49,800.00
7	FRP DUCT DIA. 600	1	M.	5,700.00	5,700.00
8	FRP DUCT DIA. 450	4	M.	3,500.00	14,000.00
9	FRP DUCT DIA. 350	4	M.	2,650.00	10,600.00
10	FRP DUCT DIA. 300	20	M.	2,300.00	46,000.00
11	FRP DUCT DIA. 200	18	M.	1,500.00	27,000.00
12	FRP DUCT DIA. 100	2	M.	850.00	1,700.00
13	FRP ELBOW 90 DIA. 600	3	EA	7,950.00	23,850.00
14	FRP ELBOW 90 DIA. 350	1	EA	3,900.00	3,900.00
15	FRP ELBOW 90 DIA. 300	2	EA	2,750.00	5,500.00
16	FRP ELBOW 90 DIA. 200	9	EA	1,850.00	16,650.00
17	FRP ELBOW 45 DIA. 450	1	EA	4,700.00	4,700.00
18	FRP ELBOW 45 DIA. 300	1	EA	1,700.00	1,700.00
19	FRP ELBOW 45 DIA. 200	6	EA	1,150.00	6,900.00
20	FRP FLANGE DIA. 600	3	EA	2,900.00	8,700.00
21	FRP FLANGE DIA. 600	1	EA	2,100.00	2,100.00
22	FRP REDUCER DIA. 600 => 300	1	EA	6,600.00	6,600.00
23	FRP REDUCER DIA. 450 => 350	1	EA	2,850.00	2,850.00
24	FRP REDUCER DIA. 350 => 300	1	EA	2,400.00	2,400.00
25	FRP REDUCER DIA. 300 => 200	3	EA	1,700.00	5,100.00
26	FRP HOOD DIA. 250	7	EA	2,100.00	14,700.00
27	FRP HOOD DIA. 150	1	EA	1,200.00	1,200.00
28	FRP ADAPTER SIZE. 456 X 695 => 600 (W/F 456 x 695)	1	EA	6,900.00	6,900.00
29	PVC FLEXIBLE (IN - OUTLET BLOWER)	2	EA	2,000.00	4,000.00
30	FRP DAMPER DIA. 600	1	EA	11,800.00	11,800.00
31	TRANSPORTATION	1	Lot	18,000.00	18,000.00
32	MOBILE CRANE	1	Lot	12,000.00	12,000.00
33	TRAVELLING	1	Lot	10,000.00	10,000.00
34	ACCESSORIES	1	Lot	15,000.00	15,000.00
35	OVERLAY JOINTS	1	Lot	27,000.00	27,000.00
36	STEEL SUPPORT	1	Lot	25,000.00	25,000.00
37	SLING SUPPORT	1	Lot	5,000.00	5,000.00
38	INSTALLATION	1	Lot	50,000.00	50,000.00
39	ELECTRICAL SYSTEM	1	Lot	74,500.00	74,500.00
40	PVC PIPING SYSTEM	1	Lot	25,000.00	25,000.00
	Term & Conditions				
	30 % DOWN PAYMENT				
	50 % MATERIAL ON SITE		**PRICE**		**1,155,850.00**
	20 % TEST RUN SYSTEM		**VAT 7%**		**80,909.50**
			TOTAL		**1,236,759.50**

ภาคผนวก ง

รูปการปฏิบัติตามมาตรการป้องกัน แก้ไข และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

รูปที่ ง.1 : ระบบดักฝุ่นชนิดถุงกรอง (BF) และระบบไฟฟ้าสถิต (ESP)

รูปที่ ง.2 : Stock อุปกรณ์สำหรับระบบดักฝุ่นชนิดถุงกรอง (BF) และระบบไฟฟ้าสถิต (ESP)

ภาคผนวก จ ผลการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมงเมื่อวันที่ 14-15 ธันวาคม2549

เวลา	ระดับความดังของเสียง [เดซิเบล (เอ)]	
	Raw Mill Area	Cement Mill Area
วันที่ทำการตรวจวัด	15 ธันวาคม 2549	14 ธันวาคม 2549
ชั่วโมงที่ 1	104.9	100.1
ชั่วโมงที่ 2	105.6	100.2
ชั่วโมงที่ 3	105.6	99.9
ชั่วโมงที่ 4	105.4	99.9
ชั่วโมงที่ 5	105.1	100.3
ชั่วโมงที่ 6	105.2	100.7
ชั่วโมงที่ 7	104.2	100.4
ชั่วโมงที่ 8	104.3	100.5
Leq 8 hr	105.1	100.3
มาตรฐาน*,**	≯90	

ที่มา : * กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549
** ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2546

รายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัด : รุ่นของเครื่องมือตรวจวัด — Sound Level Meter, Model NL-21 Manufacturer by Rion

วันที่ : 15 ธันวาคม 2549
สถานี: บริเวณ Raw Mill Area — Serial No. 00153657 Certification Date : 19-20/04/2006
Calibration Sheet No. MTC No. EEL. BP.79/0149

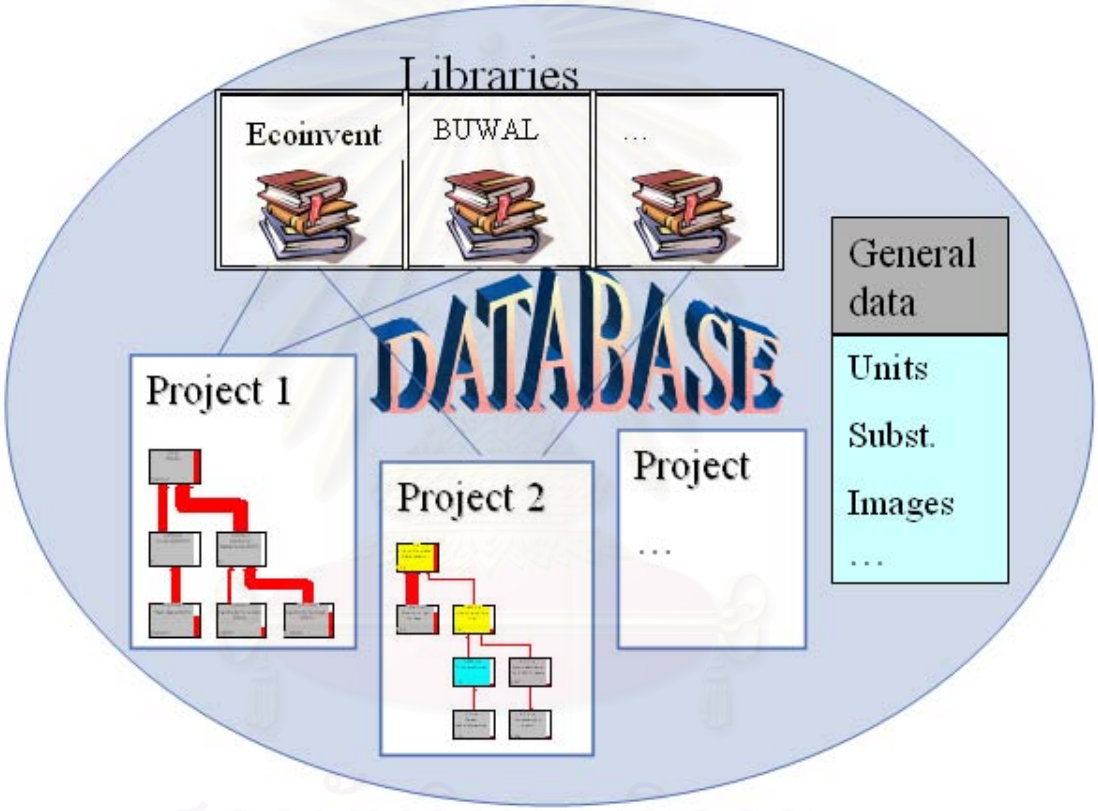
วันที่ : 14 ธันวาคม 2549
สถานี: บริเวณ Cement Mill Area — Serial No. 00153657 Certification Date : 19-20/04/2006
Calibration Sheet No. MTC No. EEL. BP.79/0149

รุ่นของอุปกรณ์สอบเทียบ — Sound Level Calibrator Model NC-73 Serial No. 10334276
Manufacturer by Rion

ระดับเสียงอ้างอิงในการสอบเทียบ — 93.60 dB(A)
ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดเสียง — 93.60 dB(A)

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดโปรแกรม SimaPro 5.1

Structure of SimaPro database



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SimaPro Libraries

Method library:

Methods: 14 Impact assessment methods

General libraries:

Australian data library: (Swiss) data for Packaging (1998)

Buwal 250: (Swiss) data for Packaging (1998)

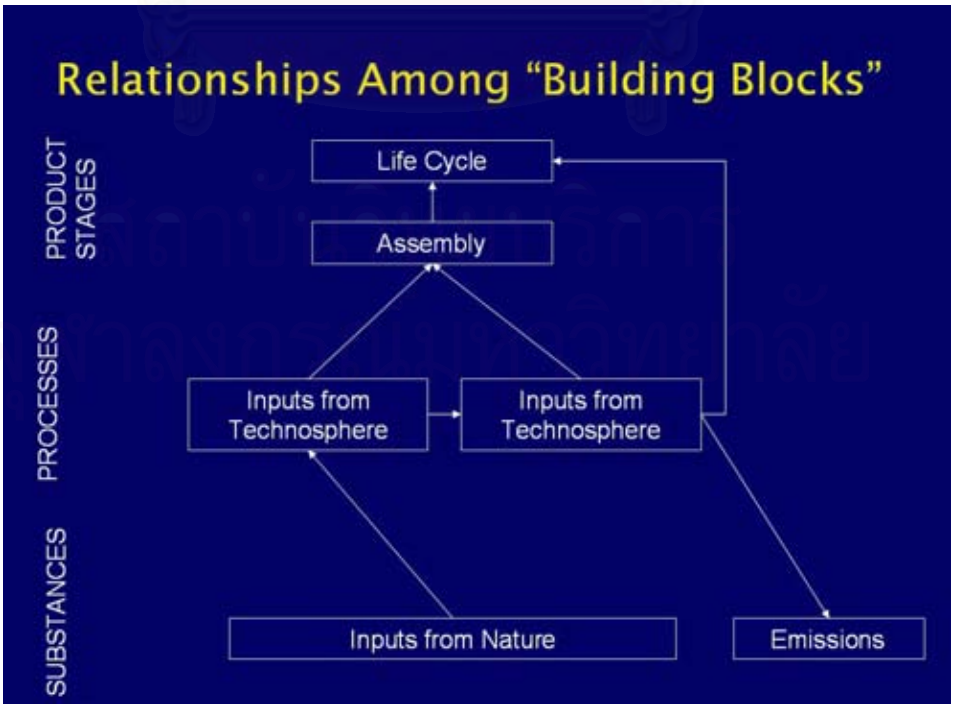
ETH-ESU (Swiss): Energy production for Europe (looped and system). Ecoinvent is the follow up of this dataset

Franklin: USA data for materials, energy and transport

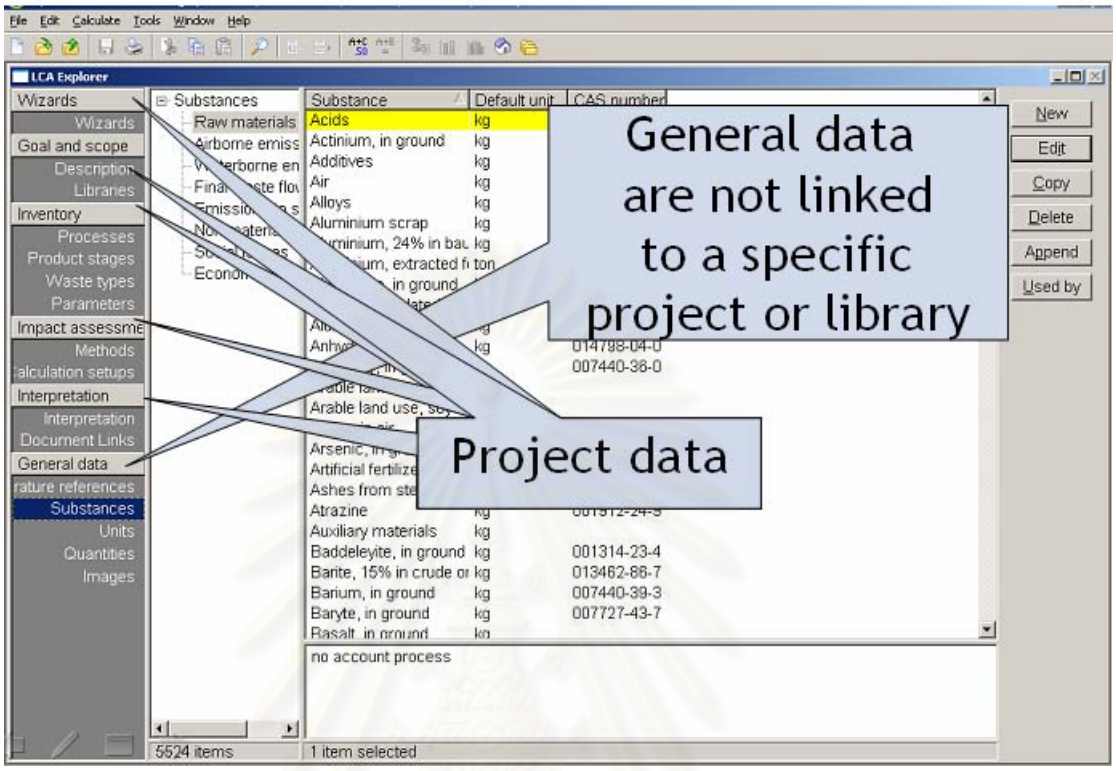
Idemat 2001: Material production. Most worldwide data. Recycling data only for Europe.

Industry data: Plastics, European data. Collected by industries.

LCA Food DK: data on basic food products produced and consumed in Denmark



SimaPro Explorer: General data



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปุณยิศา คืนดี เกิดเมื่อวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน ในปี พ.ศ. 2549 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย