การประเมินวัฏจักรชีวิตของคอนกรีตพรุน

นางสาว พรรณวิภา พงศ์นคินทร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF POROUS CONCRETE

Miss Panvipa Pongnakin

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินวัฏจักรชีวิตของคอนกรีตพรุน
โดย	นางสาว พรรณวิภา พงศ์นคินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.เปรมฤดี กาญจนปิยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.เปรมฤดี กาญจนปิยะ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิกะ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรรณวิภา พงศ์นคินทร์ : การประเมินวัฏจักรชีวิตของคอนกรีตพรุน
(LIFE CYCLE ASSESSMENT OF POROUS CONCRETE).
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์,
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. เปรมฤดี กาญจนปิยะ, 135 หน้า

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการพัฒนาคอนกรีตพรุนมาใช้แทนคอนกรีตทั่วไป โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตครอบคลุมข้อมูลการใช้ทรัพยากร และพลังงาน ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิต และการใช้งาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 วิธี Eco-Indicator 99 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว พบว่าคอนกรีตพรุนส่งผลกระทบโดยรวมน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป 3.026E-01 Pt (27.29%) โดยคอนกรีตพรุนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 8.061E-01 Pt ส่วนที่ส่งผลกระทบมากที่สุดได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิต 6.051E-01 Pt (75.07%) รองลงมาคือ การขนส่ง 2.006E-01 Pt (24.88%) สำหรับคอนกรีตทั่วไปส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 1.156 Pt ส่วนที่ส่งผลกระทบมากที่สุดได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิต 7.981E-01 Pt (71.98%) รองลงมาคือ การขนส่ง 3.104E-01 Pt (28.00%)

แนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ได้แก่ การปรับปรุงชนิดของอุปกรณ์และหาขนาดของวัตถุดิบที่เหมาะสมที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด การควบคุมฝุ่นละออง การนำวัสดุที่ไม่ใช้แล้วทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ และการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการประหยัดพลังงานและสรรหาพลังงานทดแทน ส่วนแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขนส่ง ได้แก่ การปรับเปลี่ยนวิธีการขนส่งจากการใช้รถบรรทุก ไปเป็นเรือขนส่งสินค้าหรือรถไฟ ซึ่งสามารถลดการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างมาก แต่ก็ขึ้นอยู่กับเส้นทาง และความเหมาะสมของสถานที่ในการขนส่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต พรรณวิภา พงศ์นคินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5170400321: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: LIFE CYCLE ASSESSMENT/ POROUS CONCRETE/ ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT

PANVIPA PONGNAKIN: LIFE CYCLE ASSESSMENT OF POROUS CONCRETE.

THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. ORATHAI CHAVANPARIT , Ph.D.,

THESIS CO-ADVISOR: PREMRUDEE KANCHANAPIYA, Ph.D., 135 pp.

The aim of this study is to conduct an environmental impact assessment of porous concrete in order to find an appropriate measure of developing porous concrete as a replacement to the ordinary concrete. The findings from applying Eco-indicator 99 which is part of SimaPro 7.2.4 confirms porous concrete have less environmental impact than ordinary concrete with the result obtained from the single score showing the difference at 3.026E-01 Pt (27.29%). The raw single score for porous concrete and ordinary concrete in relation to their environmental impact are recorded at 8.061E-01 Pt, and 1.156 Pt, respectively. The factors affecting porous concrete in relation to its environmental impact in ascending orders are how to obtain raw material and its production at 6.051E-01 Pt (75.07%), and transportation at 2.006E-01 Pt (24.88%). At the same time, the factors affecting ordinary concrete in relation to its environmental impact in ascending orders are how to obtain raw material and its production at 7.981E-01 Pt (71.98%), and transportation at 3.104E-01 Pt (28.00%). The finding reiterates that both porous concrete and ordinary concrete are affected by similar factors because of its true nature but at different degrees.

Having identified the main factors affecting the environmental impact of porous concrete, it is found that there are several ways to be adapted for minimization. We can modify the process of acquiring raw material and production by optimizing the type of equipment used, selecting an appropriate size of raw material that will be less energy consuming. The control of dust, the reuse of materials as the source of fuel and raw material – all are considered to be cost effective as well as energy saving and must be incorporated here as well. In relation to transportation, opting out of trucks for trains and freight ships can, to some extent, minimize the environment impact but the choice will depend on the route and its appropriateness of delivering the goods in time.

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

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

Academic Year: 2010 Co-Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ให้ความอนุเคราะห์ทุกท่าน ดังนี้

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และ ดร. เปรมฤดี กาญจนปิยะ ซึ่งได้สละเวลาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ คำแนะนำ และช่วยเหลือในงานวิจัยมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ อ าจารย์ ดร. ชนาธิป ผาริโน และอาจารย์ ดร.พรรณวดี สุวัฒิกะ

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ รวมถึงบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

คุณมนตรี ประเสริฐรุ่งเรือง และ ดร. ถนัดกิจ ชารีรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาเกี่ยวกับคอนกรีตพรุนด้วยดีมาโดยตลอด

เจ้าหน้าที่จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำงานวิจัย และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้การสนับสนุน และคอยผลักดันให้ กำลังใจ และเป็นแรงกระตุ้นให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 3

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2 .1 หลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์..... 5

2.1.1 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040..... 6

2.1.2 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต..... 9

2.1.2.1 ขอบเขตของระบบ..... 10

2.1.2.2 การกำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์..... 12

2.1.3 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม..... 1 3

2.1.3.1 การรวบรวมข้อมูล..... 13

2.1.4 การประเมินผลกระทบ..... 16

2.1.4.1 ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม..... 19

2.1.4.2 ผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์..... 21

2.1.4.3 การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ..... 21

2.1.4.4 ผลกระทบต่อสังคม..... 21

2.1.5 การแปลผลการศึกษา..... 24

2.2 ดัชนีด้านสิ่งแวดล้อม..... 25

2.3 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro..... 26

สารบัญ

หน้า

2.3.1 Eco-Indicator 99.....27
2.4 คอนกรีตพรุน..... 29
2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตพรุน..... 32
2.4.2 กระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน..... 36
2.5 คอนกรีต..... 39
2.5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต..... 39
2.5.2 กระบวนการผลิตคอนกรีต..... 40
2.5.3 คุณสมบัติของคอนกรีต..... 42
2.5.4 การนำคอนกรีตไปใช้งานด้านต่างๆ..... 43
2.5.5 การนำคอนกรีตไปใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์..... 44
2.6 การทำทางเดิน และทางเท้า..... 44
2.7 อาคารเขียว..... 45
2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 47
2.8.1 งานวิจัยด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต..... 47
2.8.2 งานวิจัยเกี่ยวกับปูนซีเมนต์และคอนกรีต..... 48
2.8.3 งานวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตพรุน..... 50
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 52
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 53
3.2 ขั้นตอนการวิจัย..... 53
3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต..... 53
3.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ..... 54
3.2.3 การประเมินผลกระทบ..... 54
3.2.4 การแปลผล..... 56
3.2.5 การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม..... 56
3.3 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4..... 56
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 61
4.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการ..... 62
4.1.1 การได้มาของวัตถุดิบ..... 62
4.1.2 ข้อมูลวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการขนส่ง..... 62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

4.1.3 กระบวนการผลิต..... 64
4.1.3.1 กระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน..... 64
4.1.3.2 กระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป..... 65
4.1.4 หน่วยงานก่อสร้าง..... 67
4.1.5 คุณภาพของผลิตภัณฑ์..... 70
4.1.6 การใช้งาน..... 70
4.2 การประเมินผลกระทบ..... 72
4.2.1 การกำหนดบทบาท..... 72
4.2.2 คะแนนเชิงเดี่ยว..... 73
4.3 การแปลผล..... 73
4.3.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิต..... 73
4.3.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งาน..... 88
4.3.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขนส่ง..... 95
4.3.4 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเทียบเป็นปริมาณ kg CO_2 eq..... 97
4.4 การตีความและประเมินเพื่อปรับปรุง..... 99
4.4.1 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง..... 99
4.4.2 เกณฑ์การพิจารณาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์..... 107
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 108
5.1 สรุปผลการวิจัย 108
5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยเพิ่มเติม..... 110

รายการอ้างอิง..... 111
ภาคผนวก..... 113
ภาคผนวก ก การคำนวณข้อมูล..... 114
ภาคผนวก ข Inventory Data..... 115
ภาคผนวก ค Comparing Ordinary Concrete with Porous Concrete..... 124
ภาคผนวก ง Emission Factor..... 126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 135

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของกลุ่มของข้อมูลและตัวแปร..... 14
ตารางที่ 2.2 ชื่อและหน่วยของสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลของกลุ่มผลกระทบทั่วไป..... 17
ตารางที่ 2.3 ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนจากก๊าซเรือนกระจก..... 20
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างเกณฑ์การพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม..... 22
ตารางที่ 2.5 ความสำคัญของประเด็นสิ่งแวดล้อม..... 23
ตารางที่ 2.6 กลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภท และปัจจัยของผลกระทบ..... 28
ตารางที่ 2.7 ค่า Normalization และ Weightingสำหรับแต่ละกลุ่มเป้าหมาย
หรือลักษณะการทำลาย 29
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป.....70
ตารางที่ 4.2 การบำรุงรักษาและตรวจสอบคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป..... 71
ตารางที่ 4.3 ปริมาณการใช้วัตถุดิบของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน..... 80
ตารางที่ 4.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตในขั้นตอนจำแนก
กลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท..... 80
ตารางที่ 4.5 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตทั่วไป
และคอนกรีตพรุน..... 81
ตารางที่ 4.6 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน. 82
ตารางที่ 4.7 ปริมาณผลกระทบที่ลดลงจากคอนกรีตพรุนเทียบกับคอนกรีตทั่วไป..... 83
ตารางที่ 4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตพรุน
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท..... 85
ตารางที่ 4.9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตทั่วไป
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท..... 85
ตารางที่ 4.10 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของกระบวนการผลิต
คอนกรีตพรุน 86
ตารางที่ 4.11 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน. 86
ตารางที่ 4.12 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของกระบวนการผลิต
คอนกรีตทั่วไป 87
ตารางที่ 4.13 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป.... 87
ตารางที่ 4.14 ปริมาณการใช้วัตถุดิบของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน..... 88

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.15 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของในการใช้งานคอนกรีตพรุน ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท 89
ตารางที่ 4.16 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของในการใช้งานคอนกรีตทั่วไป ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท 89
ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งาน ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท 92
ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบจากการใช้งาน..... 93
ตารางที่ 4.19 ปริมาณผลกระทบที่ลดลงจากการใช้คอนกรีตทั่วไปเทียบกับคอนกรีตพรุน..... 94
ตารางที่ 4.20 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตพรุน.... 94
ตารางที่ 4.21 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตทั่วไป... 94
ตารางที่ 4.22 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายผลกระทบของการใช้งาน คอนกรีตพรุน 95
ตารางที่ 4.23 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายผลกระทบของการใช้งาน คอนกรีตทั่วไป 95
ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งาน ในขั้นตอนจำแนก กลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท 95
ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบจากการขนส่ง..... 97
ตารางที่ 4.26 หน่วยเทียบเท่าของผลกระทบแต่ละประเภทที่นำมาพิจารณา..... 97
ตารางที่ 4.27 ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหน่วยเทียบเท่า kg CO_2 eq..... 98
ตารางที่ 4.28 ความคงทนของคอนกรีตเมื่อมีการใส่วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์.....101
ตารางที่ 4.29 คุณลักษณะและค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลประเภทต่างๆ..... 105
ตารางที่ 4.30 เปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบ ของการขนส่งทางเรือ รถไฟ และรถบรรทุก 106
ตารางที่ 4.31 การพิจารณาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์..... 107
ตารางที่ 5.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป.. 108
ตารางที่ 5.2 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป.....109
ตาราง ข-1 Inventory data for porous concrete from SimaPro 7.2.4..... 115
ตาราง ข-2 Inventory data for ordinary concrete from SimaPro 7.2.4..... 116
ตาราง ข-3 Inventory data for the production of 1 kg portland cement.....117

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง ข-4 Inventory data for the production of 1 kg crushed stone..... 118
ตาราง ข-5 Inventory data for the production of 1 kg sand.....119
ตาราง ข-6 Inventory data for the production of 1 kg superplasticizer..... 120
ตาราง ข-7 Inventory data for 1 kg tap water..... 121
ตาราง ข-8 Inventory data for 1 KWH electricity..... 122
ตาราง ข-9 Inventory data for truck 28 ton, transportation 1 tkm..... 123
ตาราง ค-1 Characterisation Comparing Ordinary Concrete with Porous Concrete..... 124
ตาราง ค-2 Single score Comparing Ordinary Concrete with Porous Concrete.....125
ตาราง ง-1 Characterisation (Eco-indicator 99 E/A)..... 126
ตาราง ง-2 Damage assessment (Eco-indicator 99 E/A)..... 130
ตาราง ง-3 Normalization- Weighting (Eco-indicator 99 E/A)..... 130
ตาราง ง-4 Global Warming Potentials (IPCC 2007 100-Year Time Horizon)..... 131

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน 14040..... 5
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต..... 7
รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ตราฉลากเขียวนานาประเทศ..... 8
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์..... 11
รูปที่ 2.5 ขั้นตอนทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการ..... 15
รูปที่ 2.6 คอนกรีตพรุนที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ นำไปใช้ปูพื้น และกำแพง..... 30
รูปที่ 2.7 คอนกรีตพรุนที่มีรูพรุนทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้..... 30
รูปที่ 2.8 การนำคอนกรีตพรุนไปใช้กับระบบระบายน้ำ..... 31
รูปที่ 2.9 การนำคอนกรีตพรุนไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้งาน..... 31
รูปที่ 2.10 การนำคอนกรีตพรุนไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับปลูกต้นไม้..... 31
รูปที่ 2.11 การใช้ประโยชน์คอนกรีตพรุนตามขนาดมวลรวมหยาบในแต่ละการประยุกต์ใช้งาน.. 34
รูปที่ 2.12 การบ่มความชื้นคอนกรีต..... 35
รูปที่ 2.13 วิธีการทำคอนกรีตพรุนให้แน่น..... 37
รูปที่ 2.14 สภาวะสุดท้ายของการอัดแน่นคอนกรีตพรุน..... 37
รูปที่ 2.15 สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน..... 38
รูปที่ 2.16 กระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน..... 38
รูปที่ 2.17 ลำดับการผสมคอนกรีต..... 39
รูปที่ 2.18 กระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ..... 40
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างพื้นคอนกรีตทั่วไป..... 43
รูปที่ 2.20 สัญลักษณ์อาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา..... 46
รูปที่ 3.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย..... 52
รูปที่ 3.2 โปรแกรม SimaPro 7.2.4..... 57
รูปที่ 3.3 การสร้างฐานข้อมูลใหม่ในโปรแกรม..... 58
รูปที่ 3.4 การเลือกวิธีวิเคราะห์ผลกระทบในโปรแกรม..... 58
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างแผนผังกระบวนการผลิต..... 59
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงแบบแผนภูมิ..... 59
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงแบบตาราง..... 60
รูปที่ 4.1 ขอบเขตของระบบทั้งหมดและขอบเขตที่ทำการศึกษา..... 61
รูปที่ 4.2 ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตพรุน..... 63

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 4.3 ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตทั่วไป..... 63
รูปที่ 4.4 ข้อมูลกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน..... 64
รูปที่ 4.5 ข้อมูลการผสมสารผสมเพิ่ม..... 64
รูปที่ 4.6 ข้อมูลการผสมปูนซีเมนต์ และหิน..... 65
รูปที่ 4.7 ข้อมูลการผลิตคอนกรีตพรุน..... 65
รูปที่ 4.8 ข้อมูลกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป..... 66
รูปที่ 4.9 ข้อมูลการผสมสารผสมเพิ่ม..... 66
รูปที่ 4.10 ข้อมูลการผสมหิน และทราย..... 66
รูปที่ 4.11 ข้อมูลการผสมปูนซีเมนต์ และมวลรวม..... 67
รูปที่ 4.12 ข้อมูลการผลิตคอนกรีตทั่วไป..... 67
รูปที่ 4.13 การเตรียมดินเพื่อปรับพื้นที่ก่อนเทคอนกรีตพรุน..... 68
รูปที่ 4.14 การปรับความหนาของชั้นดิน..... 68
รูปที่ 4.15 การบดอัดคอนกรีตพรุนด้วยลูกกลิ้ง..... 69
รูปที่ 4.16 การบ่มคอนกรีตด้วยฟิล์มพลาสติกคลุม..... 69
รูปที่ 4.17 การ ใช้เครื่องฉีดอัดน้ำแรงดันสูง เพื่อทำความสะอาดคอนกรีตพรุน..... 72
รูปที่ 4.18 ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน..... 74
รูปที่ 4.19 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน
ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท..... 74
รูปที่ 4.20 ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป..... 76
รูปที่ 4.21 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป
ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท..... 76
รูปที่ 4.22 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตพรุน..... 77
รูปที่ 4.23 แสดงสัดส่วน คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตพรุน..... 77
รูปที่ 4.24 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตทั่วไป..... 78
รูปที่ 4.25 แสดงสัดส่วน คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตทั่วไป..... 78
รูปที่ 4.26 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายของคอนกรีตพรุน..... 79
รูปที่ 4.27 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายของคอนกรีตทั่วไป..... 79
รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์
ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท..... 81

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบค่า คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบ
ของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน 82
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบค่า คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมาย
ของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน 83
รูปที่ 4.31 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้งานคอนกรีตพรุน
ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท..... 88
รูปที่ 4.32 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบจากการใช้งานคอนกรีตพรุน..... 90
รูปที่ 4.33 สัดส่วน แบบแยกประเภทผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตพรุน..... 90
รูปที่ 4.34 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบจากการใช้งานคอนกรีตทั่วไป..... 91
รูปที่ 4.35 สัดส่วน แบบแยกประเภทผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตทั่วไป..... 91
รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งาน
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท 92
รูปที่ 4.37 เปรียบเทียบ คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบ
จากการใช้งานคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป 93
รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขนส่ง
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท 96
รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบ คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบ
จากการใช้งานคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป 96
รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหน่วยเทียบเท่า kg CO_2 eq..... 98
รูปที่ 4.41 ค่า คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทผลกระทบ
ของการขนส่งทางเรือ รถไฟ และรถบรรทุก 106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาน้ำท่วมขังพื้นที่นอกอาคาร ทางเท้า และลานจอดรถ เนื่องจากการระบายน้ำไม่ทัน เป็นปัญหาที่มักเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และส่งผลกระทบต่อการเดินทางหรือการทำกิจกรรมต่างๆ คอนกรีตพรุน (Porous Concrete) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการระบายน้ำได้ดีเนื่องจากเป็นคอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียดทำให้มีรูพรุนขนาดใหญ่ที่ต่อเนื่องอยู่ภายใน สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างถนน ทางเดิน ทางเท้า และลานจอดรถ แทนการใช้งานคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตพรุน เป็นคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (คอนกรีตเขียว) ที่พืชสามารถเจริญเติบโตบนคอนกรีตพรุนได้ และมีความสามารถระบายน้ำได้เป็นอย่างดี ลดการก่อสร้างพื้นที่ทึบน้ำและลดปัญหาเรื่องการระบายน้ำ ปัญหาน้ำท่วม การไหลนองของน้ำฝน ทั้งยังมีความสามารถในการอัดขึ้นรูปบล็อกปูถนนได้ดี เพื่อใช้ในการทำพื้นผิวทางสำหรับทางเดิน ทางเท้า ลานอเนกประสงค์ ลานจอดรถยนต์ และงาน ที่รับแรงอัดไม่สูงมากนัก

จากการศึกษาพบว่าวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตเพื่อก่อสร้างถนน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ซึ่งกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยจากรายงานปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Green-house Gas Emission and Sinks) พบว่าในปี 2008 กิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรมทั้งหมดมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 334.5 $TgCO_2Eq.$ หรือ 5% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ซึ่งในจำนวนนี้มีปริมาณที่เกิดขึ้นจากการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Production) 41.1 $TgCO_2Eq.$ สำหรับข้อมูลภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมประเทศไทยปี 2553 อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีปริมาณการผลิตปูนเม็ด 38.79 ล้านตัน ส่วนการผลิตปูนซีเมนต์ (ไม่รวมปูนเม็ด) มีปริมาณการผลิต 36.22 ล้านตัน โดยเมื่อเทียบกับปีก่อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.72 และ 7.93 ตามลำดับ ซึ่งนอกจากจะก่อให้เกิดสารมลพิษปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมแล้วยังส่งผลในแง่การใช้แหล่งทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย จากเหตุดังกล่าว ทำให้เกิดแนว ความคิดในการป้องกันการเกิดของเสีย (Pollution Prevention) ซึ่งมีหลักการพื้นฐานอยู่ที่การลดปริมาณของเสียที่จะปล่อยให้เกิดขึ้น ดังนั้นการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ จึงต้องมีการศึกษา

ผลกระทบทั้งหมดในช่วงของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากร ธรรมชาติได้อย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างมีประสิทธิภาพอันนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development)

โดยงานวิจัยนี้ได้นำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) มาใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและระดับของผลกระทบด้านต่างๆ จากกระบวนการผลิตหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง และประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นในรูปของค่าน้ำหนักของผลกระทบ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการดำเนินงานให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตพรุน เปรียบเทียบกับคอนกรีตทั่วไป โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมิน การเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การ ใช้ทรัพยากร และพลังงานกระบวนการผลิต การขนส่ง และการใช้งาน เพื่อประเมิน ชนิดและปริมาณสารขาเข้า และสารขาออกทั้งหมดจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการพัฒนาคอนกรีตพรุนมาใช้แทนคอนกรีตทั่วไป ซึ่งมีความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ โดยการเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ คอนกรีตพรุน กับคอนกรีตทั่วไป ในการนำไปใช้เทพื้นทางเดิน และทางเท้า โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

1.2.2 เพื่อศึกษาระดับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ และสร้างดัชนีข้อมูลที่นำมาเป็นเครื่องมือช่วยในการหาสาเหตุและสัดส่วนของการเกิดผลกระทบ

1.2.3 เพื่อรวบรวมข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ และนำไปเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุที่คำนึงถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 พิจารณาการศึกษาวัฏจักรชีวิตของคอนกรีตพรุน โดย เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตทั่วไปที่ใช้ในการเทพื้นทางเดินทางเท้า งานวิจัยนี้มีขอบเขตการศึกษาพิจารณา ตั้งแต่ ขั้นตอน การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิต และการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน

1.3.2 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และใช้ในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ สำหรับคอนกรีต และคอนกรีตพรุนจะมีทั้งข้อมูลปฐมภูมิซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานผลิต และข้อมูลทุติยภูมิจากการหาข้อมูลจากงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.3.3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมใช้โปรแกรม SimaPro7.2.4 วิธี Eco-indicator 99 โดยพิจารณาหน่วยหน้าที่การทำงาน (Functional unit) ของคอนกรีตพรุนสำหรับใช้ในการเทพื้นทางเดินทางเท้า 1 ตารางเมตร x ความหนา 0.1 เมตร

1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา

1.4.1 การดำเนินงานก่อสร้างทางเดินและทางเท้า จะใช้วิธีเทคอนกรีนพรุนและคอนกรีตผสม เสร็จในพื้นที่หน้างาน แต่ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถเข้าไปทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่โครงการได้ การประเมินปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยจึงไม่ครอบคลุมถึงการปล่อยมลสารออกสู่บรรยากาศ แต่จะประเมินผลกระทบจากการใช้วัตถุดิบ และพลังงาน จากขั้นตอนกระบวนการผลิต การขนส่ง และการใช้งาน

1.4.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตพรุน โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 เป็นฐานข้อมูลจากต่างประเทศ (ประเทศเนเธอร์แลนด์) เนื่องจากฐานข้อมูลของประเทศไทยยังอยู่ในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ในบางประเด็นอาจมีเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากสถานการณ์ในประเทศไทย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงกระบวนการทำงานในแต่ละขั้นตอน การใช้งานวัตถุดิบ ทั้งด้านชนิดและปริมาณ การขนส่ง กระบวนการผลิต และการใช้งานผลิตภัณฑ์

1.5.2 สามารถบ่งชี้ขั้นตอนหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และบ่งชี้ประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด และแหล่งที่มาของผลกระทบสิ่งแวดล้อมครอบคลุมทุกขั้นตอนอย่างเป็นระบบ

1.5.3 เกิดการวิจัยและพัฒนา เพื่อให้สามารถวางแผน การบริหารจัดการ ลดผลกระทบ สิ่งแวด ล้อมของการผลิตคอนกรีตพรุน โดยใช้ดัชนีข้อมูลที่เป็นระบบได้อย่างเหมาะสม

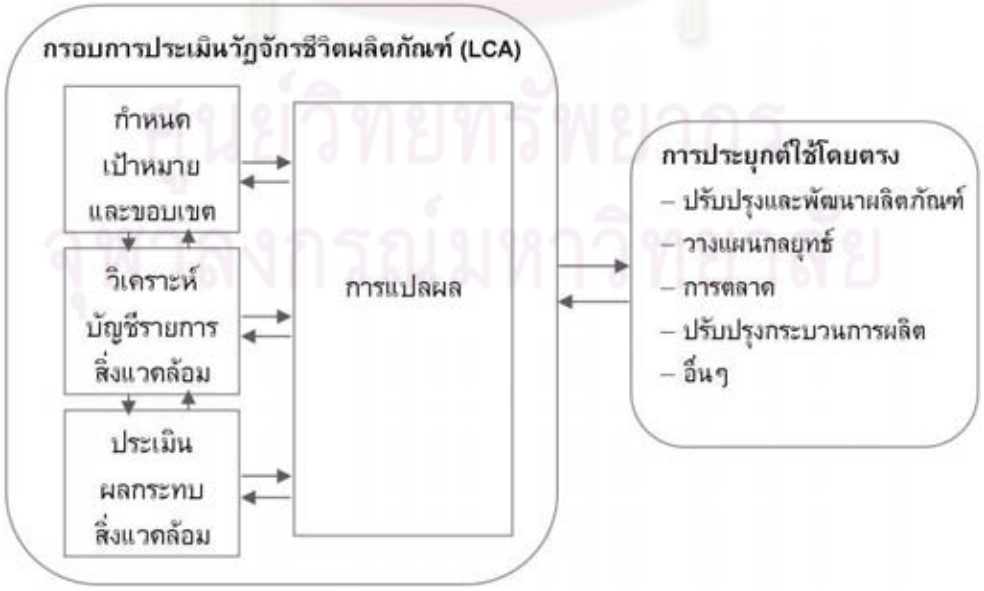
1.5.4 เกิดการลดภาวะมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศ โดยส่งเสริมให้มีการใช้วัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิต และการบริโภคอย่างมีประสิทธิภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) เป็นเครื่องมือ ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ในเชิงปริมาณ (Quantitative) โดยมีการพิจารณาตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน การบำรุงรักษา การใช้ซ้ำ (Reuse) การหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) รวมไปถึงการกำจัดขั้นสุดท้ายของเศษซากผลิตภัณฑ์หลังจากที่หมดอายุการใช้งาน (ดังรูปที่ 2.1) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle-to-Grave) โดยศึกษาถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งจัดเป็นเครื่องมือที่ดีในการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อมและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในหลายประเทศและหลากหลายอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือในผลการวิเคราะห์ มีความเป็นกลางในการป้อนข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจ และเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยให้องค์กรสามารถทราบระดับของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลดีต่อธุรกิจ ชุมชน และสิ่งแวดล้อมอันจะนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development)



รูปที่ 2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน 14040 (ISO 14040, 1997)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่คิดปริมาณการใช้พลังงาน และวัสดุต่างๆ รวมถึงมลพิษต่างๆ ที่ระบายสู่อากาศ น้ำ และดิน ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ทรัพยากร และการปลดปล่อยมลพิษเหล่านี้ ในองค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศ ได้จัดหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) เป็นมาตรฐานสากลอยู่ในอนุกรม ISO 14040

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นกระบวนการประเมินภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์กระบวนการหรือกิจกรรมโดยระบุจำแนกปริมาณพลังงาน และวัสดุที่ใช้รวมทั้งของเสียที่ปล่อย ออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อประเมินผลกระทบของพลังงานและวัสดุที่ใช้เหล่านี้ต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่อระบุปริมาณ และประเมินโอกาสที่จะปรับปรุงสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น การประเมินนี้รวมถึงวัฏจัก รชีวิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กระบวนการหรือกิจกรรม ตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบ การขนส่ง การจัดจำหน่าย การใช้งาน การใช้ซ้ำ การบำรุงรักษา การรีไซเคิล และการจัดการของเสีย (ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2551)

2.1.1 **อนุกรมมาตรฐาน** ISO 14040

ISO (International Organization For Standard) กล่าวว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเทคนิคในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หรือการบริการตลอดวงจรชีวิตเริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและพลังงานการขนส่ง การผลิตผลิตภัณฑ์ การบรรจุ การบำรุงรักษา การใช้งานและการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรือกล่าวได้ว่า พิจารณาทุกกระบวนการหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามลักษณะกลุ่มเป้าหมาย คือการใช้ทรัพยากร สุขภาพของมนุษย์และผลต่อระบบนิเวศ (ISO. 1997)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่ถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 7 ฉบับ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2546: 12-13) ดังรูปที่ 2.2 และมีรายละเอียดดังนี้

- ISO 14040 – Life cycle assessment – Principles and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการนิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

- ISO 14041 – Life Cycle assessment – Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory Analysis เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิเคราะห์ และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)
- ISO 14042 – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
- ISO 14043 – Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA
- ISO 14047 – Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life Cycle Impact Assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต
- ISO 14048 – Life Cycle Assessment – LCA Data Documentation format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA
- ISO 14049 – Life Cycle Assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

ที่มา:สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2546) คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์:13

ปัจจุบันหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ได้นำมาเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาจัดทำข้อกำหนดมาตรฐานสินค้าและบริการ ตัวอย่างเช่น สินค้าฉลากเขียว เป็นต้น โดยสินค้าฉลากเขียวถือเป็นกลยุทธ์หนึ่งในนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีสินค้าและบริการวางจำหน่ายในตลาดเป็นจำนวนมาก ฉลากเขียวที่ติดอยู่กับผลิตภัณฑ์จะเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคทราบว่าผลิตภัณฑ์เหล่านั้นเน้นคุณค่าทางสิ่งแวดล้อม ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ โดยหากมีการบริโภคผลิตภัณฑ์เหล่านี้มากขึ้น จะช่วยให้ผู้ผลิตรายอื่นๆ ต้องแข่งขันกัน ปรับปรุงคุณภาพสินค้าหรือบริการของตนเอง โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นนัยสำคัญ ในปัจจุบันประเทศไทยมีสินค้าที่ได้รับตราฉลากเขียวอยู่มากมาย เช่น แชมพู ผลิตภัณฑ์ล้างจาน เครื่องปรับอากาศ ถ่านไฟฉาย ผงซักฟอก คอมพิวเตอร์ ผลิตภัณฑ์กระเบื้องซีเมนต์มุงหลังคา เป็นต้น ตัวอย่างดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ตราฉลากเขียวนานาประเทศ (Eco-Label, 2009)

ผลิตภัณฑ์ทั้งหลายจะใช้ทรัพยากร และก่อมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดทุกช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีมากมายหลายรูปแบบ เนื่องจากประเภทของมลพิษที่ปล่อยออกมามีความหลากหลาย เช่น มลพิษระบายสู่อากาศ สู่น้ำ และดิน สิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ ประเภทของผลกระทบและความรุนแรงที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งวิธีการระบุความรุนแรงของผลกระทบนั้นต้องอาศัยการบ่งชี้เชิงปริมาณและทรัพยากร และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การบ่งชี้แหล่งที่มา ผลลัพธ์ของกระบวนการบ่งชี้จะทำให้ทราบถึงประเด็นปัญหาหลักด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

หากสามารถชี้ชัดได้ว่ามลพิษ และทรัพยากรตัวใดในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่เป็นปัญหาและทราบปริมาณที่มีส่วนในการก่อผลกระทบนั้นๆ ก็จะสามารถหาทางออกที่จะรับมือกับผลกระทบเหล่านี้ได้ ไม่ว่าจะโดยการลดการใช้วัสดุที่เป็นปัญหาหรือการใช้วัสดุที่มีลักษณะหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นปัญหาน้อยกว่ามาใช้ กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ เรียกว่า การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (EcoDesign) ซึ่งประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมจะถูกบูรณาการร่วมกับการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนั้น นักออกแบบและนักพัฒนาผลิตภัณฑ์จึงควรให้ความสำคัญในการทำความเข้าใจความรู้พื้นฐาน เกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก่อนที่จะพิจารณาถึงการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีขั้นตอนหลักๆ 4 ขั้นตอน ได้แก่

2.1.2 **การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต** (Goal and Scope Definition)

เป็นขั้นตอนการกำหนดว่าอะไรคือสิ่งที่จะทำการศึกษา ศึกษาเพื่ออะไร และจะศึกษาอย่างไร ซึ่งผลของการศึกษาจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) การกำหนดขอบเขตของระบบ (System boundary) หน่วยการทำงาน (Functional unit) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) ที่จะทำการศึกษา ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก เป็นปัจจัยโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษาเพราะถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ดีพอ จะทำให้ผลที่ได้จากการประเมินสารที่เข้าและสารที่ออกจากระบบ หรือประโยชน์ที่จะได้รับในการที่จะนำผลที่ได้ไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นให้ดีขึ้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น

การกำหนดขอบเขตของการศึกษา ควรอธิบายหรือมีการกำหนดอย่างเพียงพอ เพื่อให้แน่ใจว่ารายละเอียดการศึกษามีความเกี่ยวข้องและเพียงพอต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้

วัตถุประสงค์ของการกำหนดขอบเขตการศึกษาคือเพื่อบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของการศึกษา LCA ซึ่งควรประกอบไปด้วย

- การกำหนดสิ่งที่ศึกษาและหน่วยการทำงาน
- การกำหนดพารามิเตอร์ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

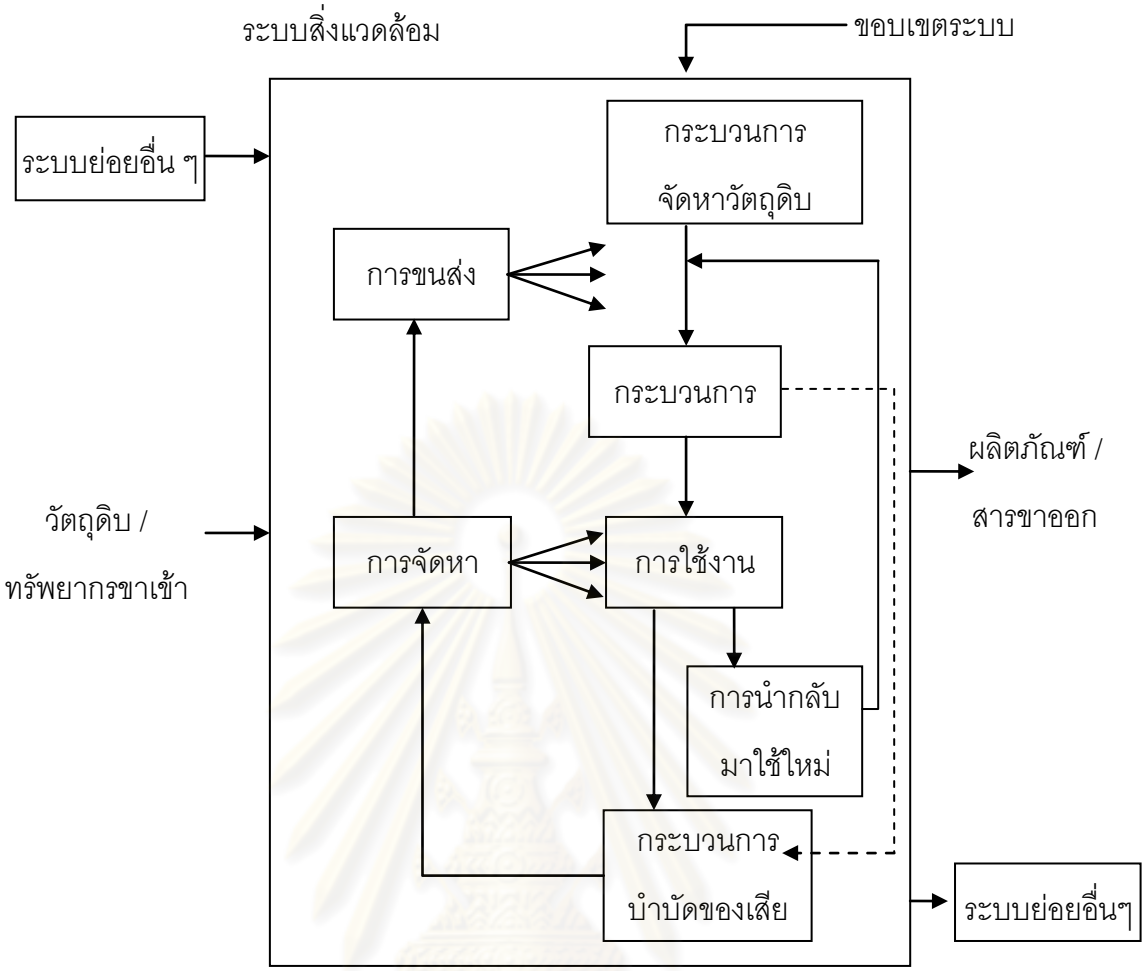
- การบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายในการทำ LCA
- การปันส่วนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Allocation) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์

2.1.2.1 **ขอบเขตของระบบ** (System boundaries)

ขอบเขตของระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) กับสิ่งแวดล้อมหรือกับระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยระบบผลิตภัณฑ์คือระบบที่ถูกจำลองขึ้นมาจากกระบวนการหน่วย (Unit Process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกันโดยอาศัยการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่ต้องนำไปบำบัดของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง ดังนั้นในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วยกระบวนการ ย่อยผังการไหลของทรัพยากรวัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ และผังการไหลออกของผลิต ภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

ขอบเขตที่กำหนดขึ้นในการศึกษาวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการ ศึกษาระบบผลิตภัณฑ์ และกระบวนการย่อย รวมถึงสารขาเข้า และสารขาออกที่เกี่ยวข้องในการศึกษาซึ่งในทางอุดมคติการทำ LCA จำเป็นต้องศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกทุกตัวที่เกี่ยว ข้องกับระบบผลิตภัณฑ์ แต่ในความเป็นจริงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลทรัพยากร และเวลาที่มีจำกัด ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตระบบจึงอาจมีการเลือกศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยการคัดเลือกว่าจะศึกษาข้อมูลใดหรือละเว้นไม่ศึกษาข้อมูลใด จำเป็นต้องมีเกณฑ์ประกอบในการตัดสินใจที่ชัดเจนและอธิบายได้

การจัดทำแผนภาพการไหลของกระบวนการ (Process Flow Diagram) ภายในระบบผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งจำเป็น และเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา เนื่องจากทำให้การระบุสารขาเข้า และสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์เป็นไปได้อย่างครบถ้วน ทำให้การวิเคราะห์ดุลมวลสารและ พลังงานของแต่ละกระบวนการเป็นไปได้อย่างถูกต้อง โดยการกำหนดขอบเขตของระบบการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะเริ่มตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการกำจัด การกำหนดขอบเขตลักษณะนี้เป็นการศึกษาแบบ “Cradle-to-Grave” แต่ขั้นตอนการวิเคราะห์กระบวนการผลิตบางครั้ง อาจจำกัดขอบเขตเฉพาะขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ และการผลิตเท่านั้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างขอบเขตของระบบสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ที่มา:International Standard ISO 14041, 1998

การกำหนดขอบเขตจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่าการกำหนดเป้าหมาย รายละเอียดในการกำหนดขอบเขต ได้แก่ การนิยามระบบผลิตภัณฑ์และการกำหนดขอบเขตการศึกษา การนิยามหน้าที่และหน่วยของผลิตภัณฑ์ และการกำหนดความต้องการด้านคุณภาพของข้อมูลและตัวแปรข้อมูลต่างๆ เป็นต้น ระบบผลิตภัณฑ์เป็นแนวคิดใหม่สำหรับนักออกแบบและนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ เนื่องจากปกตินักออกแบบมักจะมุ่งเน้นให้ความสำคัญกับเฉพาะตัวผลิตภัณฑ์เอง โดยไม่คำนึงถึงการจัดการกับส่วนประกอบ ชิ้นส่วน และวัสดุอื่นๆ ที่ถูกใช้สำหรับกิจกรรมในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบผลิตภัณฑ์แต่ไม่ได้เป็นตัวแทนของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

ระบบผลิตภัณฑ์ประกอบไปด้วย องค์ประกอบต่างๆ ที่เรียกว่า กระบวนการย่อย และกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การใช้วัตถุดิบจนถึงการกำจัดซากเมื่อหมดอา ยุใช้งาน

ในระบบผลิตภัณฑ์อาจมีกระบวนการต่างๆ จำนวนมาก บางครั้งอาจมีการพิจารณาเพียงกระบวนการที่มีความ สำคัญ เนื่องมาจากเหตุผลในเรื่องการปฏิบัติได้จริง นอกจากนี้ วัตถุประสงค์หลักประการหนึ่งของ LCA คือ การบ่งชี้กระบวนการหลักและกิจกรรมสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการใช้กฎการตัดสินใจที่จะตัดกระบวนการและกิจกรรมที่สำคัญน้อยกว่าออกไป โดยส่วนประกอบและวัสดุหลักๆ เท่านั้นที่จะถูกนำมาพิจารณา

2.1.2.2 การกำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Functional and Functional unit)

1) หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Functional)

ผลิตภัณ ฑ์อาจจะมีหน้าที่หลายอย่าง ซึ่งหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นที่อาจถูกเลือกมา เพื่อทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งขึ้นอยู่กับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตของการศึกษาจึงจำเป็นต้องระบุหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่กำลังทำการศึกษาให้ชัดเจน

2) หน่วยการทำงาน (Functional unit)

ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ มีความสำคัญสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบผลของการประเมินวัฏจักชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารที่เข้าและออกจากระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ซึ่งหน่วยการทำงานมีได้หลายรูปแบบสำหรับเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดหน่วยหน้าที่จะประกอบด้วย

- ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์
- ความคงทนของผลิตภัณฑ์
- คุณสมบัติพื้นฐาน

3) คุณภาพของข้อมูล (Data quality)

ต้องมีการกำหนดคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการใช้ ในการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษา ซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพนั้นย่อมส่งผลต่อคุณภาพของ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทสรุปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่กำลังทำการศึกษา คุณภาพของข้อมูลสามารถอธิบายและประเมินได้ภายใต้ประเด็นดังต่อไปนี้

- คุณภาพของข้อมูลในบัญชีรายการ
- ช่วงเวลาในการศึกษา
- ระดับพื้นที่ของการศึกษา เช่น ระดับโลก ระดับภูมิภาค
- เทคโนโลยีของการศึกษา
- แหล่งที่มาของข้อมูล
- วิธีการได้มาของข้อมูล
- ความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูลรวมถึงการเป็นตัวแทนของข้อมูล

2.1.3 **การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม** (Life Cycle Inventory)

การจัดทำบัญชีรายการ เป็นขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการก็คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้ควรอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย และควรประกอบด้วยรายละเอียดของกระบวนการผลิต ผังการไหลของกระบวนการ และลักษณะข้อมูล ดังนี้

2.1.3.1 **การรวบรวมข้อมูล**

การทำบัญชีรายการจะต้องทำการ เก็บรวบรวม ข้อมูลในแต่ละขั้นตอน และคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ขั้นตอนนี้รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้า และสารขาออกจากผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาถึงค่าปริมาณของทรัพยากร และพลังงานที่ใช้หรือการปล่อยของเสียที่เกิดขึ้นออกสู่อากาศ น้ำ และดิน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีรายละเอียดแสดงให้เห็นขั้นตอนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งความยากง่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูลจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษา และควรหลีกเลี่ยงการนับซ้ำ เมื่อพบว่ามีข้อมูลที่ไม่สามารถสืบหาได้โดยตรง อาจใช้แหล่งข้อมูลอื่นๆ เช่น การคำนวณทางวิศวกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและองค์ประกอบทางเคมีของกระบวนการ การประมาณจากกระบวนการหรือวัตถุดิบที่คล้ายกัน หรือสิ่งตีพิมพ์และฐานข้อมูลแหล่งอื่น เป็นต้น

มลพิษสู่อากาศ น้ำ และดิน เป็นสารมลพิษที่เกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์และถูกปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม ทรัพยากรที่ถูกใช้จะรวมวัตถุดิบและวัสดุเสริมที่ใช้ในการผลิตและการใช้งานผลิตภัณฑ์ พวกที่ถูกใช้เพื่อการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงและไฟฟ้าถือว่าเป็นทรัพยากรที่ถูกใช้เช่นเดียวกัน มลพิษทั้งหมดที่เกิดขึ้นและทรัพยากรต่างๆ ที่ถูกใช้เรียกว่า ตัวแปรบัญชีรายการ (Inventory Parameter) การรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณสำหรับตัวแปรบัญชีรายการจะเรียกว่า การวิเคราะห์บัญชีรายการ จะแสดงรายการตัวแปรบัญชีรายการพร้อมกับค่าของตัวแปรเหล่านั้นตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของกลุ่มของข้อมูลและตัวแปร
ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2551

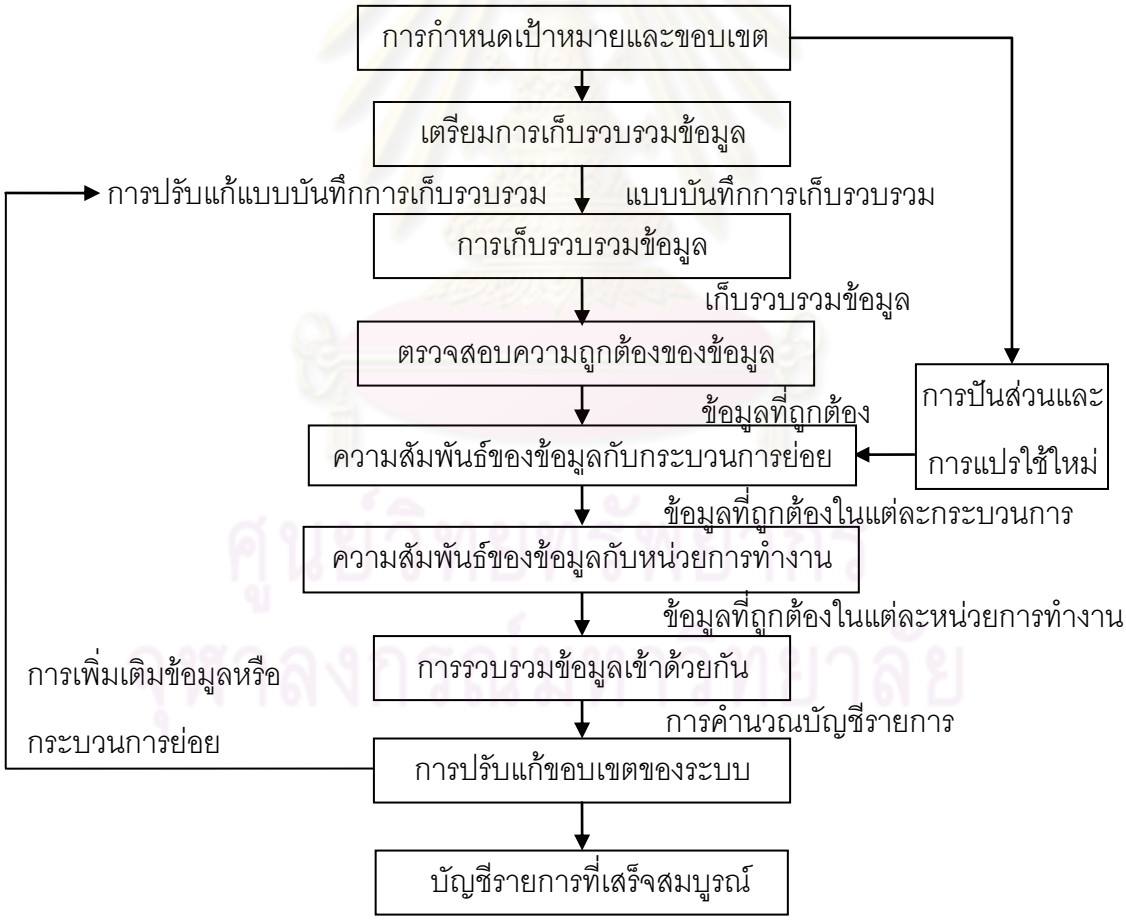
กลุ่มประเภท	ตัวแปรบัญชีรายการ
มลพิษสู่อากาศ	CO_2 CH_4
มลพิษสู่น้ำ	ฟีนอล ฟอสเฟต ไนเตรท
มลพิษสู่ดิน	ขยะของเสีย
ทรัพยากร	แร่เหล็ก น้ำมันดิบ

แหล่งของข้อมูลที่ใช้ประกอบการศึกษา มี 2 แหล่ง คือ

- แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Sources) เป็นข้อมูลที่ได้จากโรงงานโดยตรง ซึ่งอาจเป็นรายงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตของโรงงาน ข้อมูลปริมาณการผลิตในแต่ละวัน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลเฉพาะของแต่ละโรงงาน และเป็นข้อมูลที่แสดงถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบัน
- แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Sources) เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยฐานข้อมูลต่างๆ หนังสือ เอกสารหรือรายงานที่ต้องเสนอให้แก่หน่วยงานราชการในแต่ละปี เป็นต้น ข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิเป็นข้อมูลทั่วไปที่ไม่เฉพาะเจาะจงเหมือนกับข้อมูลปฐมภูมิ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทำรายงานนั้นๆ ในการศึกษาจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ จะต้องพิจารณาถึงช่วงเวลาของข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูลด้วย

การเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจาก คุณภาพ ความถูกต้อง และความละเอียดของข้อมูลจะแสดงถึงความน่าเชื่อถือของผลการประเมิน โดยข้อมูลที่รวบรวมได้นอกจากจะครอบ คลุมทุกส่วนของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แล้ว (ดังรูปที่ 2.5) ยังต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ข้อมูลต้องมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากแหล่งที่มาของข้อมูล วิธีการได้ข้อมูลหรือวิธีการตรวจวัด เป็นต้น
- ข้อมูลต้องมีความสมบูรณ์ (Completeness) เป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ทางสถิติ คือ มีค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น และสามารถใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดได้
- ช่วงเวลาที่ได้ข้อมูลต้องมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่ทำการศึกษา คือ อาจเป็นเวลาเดียวกัน (ปีเดียวกัน) หรือใกล้เคียงกันก็ได้ เช่น ข้อมูลในส่วนของเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการ

ที่มา:International Standard ISO 14041, 1998

2.1.4 **การประเมินผลกระทบ** (Impact Assessment)

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยใช้ข้อมูลจากสารขาเข้าและสารขาออกรวมถึงมลพิษที่เกิดขึ้นจากตัวแปรบัญชีรายการจะถูกประเมิน โดยการประเมินผลกระทบตามอนุกรม ISO 14041 จะแบ่งหัวข้อหลักๆ ที่ต้องดำเนินการ คือ การจำแนกประเภทของผลกระทบ (Classification) การกำหนดบทบาทและบ่งชี้ปริมาณในแต่ละกลุ่มของผลกระทบ (Characterization) และการให้น้ำหนักความสำคัญแก่แต่ละประเภท (Weighting) โดยการให้น้ำหนักความสำคัญเชิงสัมพันธ์แก่กลุ่มผลกระทบ โดยอาศัยคุณค่าทางสังคม จริยธรรมและการเมือง ผลกระทบที่ถูกให้น้ำหนักแล้วจะเป็นตัวแทนของผลกระทบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสะท้อนคุณค่าทางสังคม ผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตแบ่งได้ดังนี้

เมื่อตัวแปรบัญชีรายการ ได้รับการจำแนกออกไปตามกลุ่มผลกระทบที่เกี่ยวข้อง แล้วความสามารถในการส่งผลกระทบเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละตัวแปรบัญชีรายการที่มีต่อกลุ่มผลกระทบหนึ่ง จะถูกแปลงให้เป็นปริมาณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลให้เป็นผลกระทบ ผลการแปลงให้เป็นปริมาณในเชิงตัวเลข ก็คือ ผลกระทบที่มีต่อกลุ่มผลกระทบนั้น กระบวนการแปลงให้เป็นปริมาณนี้เรียกว่า การแปลงข้อมูลให้เป็นผลกระทบ

ก่อนที่จะหาค่าเป็นปริมาณ หรือแปลงข้อมูลให้เป็นความสามารถในการส่งผลกระทบเชิงสัมพัทธ์ของตัวแปรบัญชีรายการต่อกลุ่มผลกระทบที่เกี่ยวข้อง จะต้องมีแนวคิดเรื่องห่วงโซ่ระหว่างตัวแปรบัญชีรายการ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยปกติหลักปฏิบัติของ LCA จะกำหนดว่าผลกระทบใดที่ถูกเลือกใน LCIA (Life Cycle Impact Assessment) เนื่องจากวัตถุประสงค์คือ เพื่อหาปริมาณของความสามารถในการส่งผลกระทบเชิงสัมพัทธ์ของตัวแปรแต่ละตัวที่มีต่อผลกระทบ ดังตารางที่ 2.2

ผลกระทบที่ผ่านการแปลงข้อมูล (Impact Category) เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ เขตพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่ได้รับผลกระทบอาจเป็นระดับท้องถิ่น ภูมิภาค หรือระดับโลก เช่น ภาวะโลกร้อนเป็นผลกระทบระดับโลก การทำให้เกิดฝนกรดเป็นผลกระทบระดับภูมิภาค และการออกซิเดชั่นที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมีเป็นผลกระทบระดับท้องถิ่น

ตารางที่ 2.2 ชื่อและหน่วยของสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลของกลุ่มผลกระทบทั่วไป

ที่มา:ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2551

กลุ่มผลกระทบ	สัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูล	
	ชื่อ	หน่วย
การทำให้โลกร้อน	ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน	กรัม CO_2 เทียบเท่า/กรัม
การทำลายชั้นโอโซน	ศักยภาพในการทำลายชั้นโอโซน	กรัม CFC11 เทียบเท่า/กรัม
การทำให้เกิดฝนกรด	ศักยภาพในการทำให้เกิดฝนกรด	กรัม SO_2 เทียบเท่า/กรัม
การทำให้แร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นผิดปกติ	ศักยภาพในการทำให้แร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นผิดปกติ	กรัม PO_4^{3-} เทียบเท่า/กรัม
การออกซิเดชั่นที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี	ศักยภาพในการทำให้เกิดการออกซิเดชั่นจากปฏิกิริยาแสง-เคมี	กรัม C_2H_4 เทียบเท่า/กรัม
การทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถทดแทนได้ลดลง	ศักยภาพในการทำให้ทรัพยากรที่ไม่สามารถทดแทนได้ลดลง	1/ปี*

*คือหน่วย การใช้ทรัพยากรที่ i ทั่วโลก(กก./ปี) / ขนาดแหล่งสำรองทรัพยากร i (กก.)

กำหนดให้ผลกระทบของกลุ่มผลกระทบจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งหมดในเขตพื้นที่หนึ่งมีค่าเป็น N หากผลกระทบที่ผ่านการแปลงข้อมูลของกลุ่มผลกระทบของผลิตภัณฑ์จากขอบเขตพื้นที่เดียวกันถูกหารด้วย N ก็จะทราบถึงความสามารถในการส่งผลกระทบที่เป็นสัดส่วนของผลกระทบจากผลิตภัณฑ์ที่มีต่อผลกระทบทั้งหมดในเขตพื้นที่นั้น ค่าของความสามารถในการส่งผลกระทบที่เป็นสัดส่วนจะถูกเรียกว่า ผลกระทบที่ผ่านการเทียบหน่วย (Normalized impact) ของผลิตภัณฑ์ แล ะจะถูกเรียกว่า ค่าการเทียบหน่วยอ้างอิง (Normalization reference)

- **การจำแนกประเภท** (Classification)

เป็นการจำแนกข้อมูลสารขาเข้า และสารขาออกไปยังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆ เช่น มีเทน (CH_4) จัดอยู่ในรูปผลกระทบประเภทการทำให้โลกร้อนขึ้น หรือ Climate Change บางสารสามารถจัดเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภท การจัดการเกี่ยวกับปัญหานี้สามารถทำได้โดย กรณีแรก SO_2 เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ และภาวะความเป็นกรด ซึ่งผลกระทบไม่ได้เกิดในเวลาเดียวกัน ปริมาณของ SO_2 จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ร้อยละ 50 ของสุขภาพมนุษย์ และร้อยละ 50 ของภาวะความเป็นกรด กรณีที่สอง SO_2 เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านการลดลงของชั้น

โอโซน และภาวะความเป็นกรด ซึ่งผลกระทบเกิดในเวลาเดียวกัน ปริมาณของ NO_2 จะคิดเป็นร้อยละ 100 ของการลดลงของชั้นโอโซน และร้อยละ 100 ของภาวะความเป็นกรด

- **การกำหนดบทบาท (Characterization)**

เป็นการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในรูปตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ Characterization factor ในการคูณ เพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบ และรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ ดังสมการ

$$EPj = Qj \times EFij$$

โดยที่ EPj (Environmental impact potential) คือ ศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ (kg substance equivalent)

Qj (Quantity of substance) คือ ปริมาณมลสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EPij (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent / kg substance j)

- **การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)**

เป็นการแสดงขนาดผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ โดยการเปรียบเทียบกับผลผลิตหรือบริการที่ต้องการอ้างอิง โดยในงานวิจัยนี้จะมีการพิจารณาเปรียบเทียบกับพื้นที่เป็นตารางเมตร

$$NPj = EPj / (T \times ERj)$$

โดยที่ NPj (Normalized environment impact potential) คือ ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์ (person)

T (Lifetime of product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

ERj (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อหนึ่งปี (kg substance equivalent / person / year)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **การให้น้ำหนัก** (Weighting)

เป็นการให้ความสำคัญลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ และการใช้ทรัพยากร จากนั้นรวมค่าของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทให้เป็นคะแนนเดี่ยว

$$WPj = WFj \times NPj$$

โดยที่ WPj (Weighted environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญ (person for target year, Pt.)

WFj (Weighting factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

2.1.4.1 ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

สำหรับกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อโลก และมีความเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ในการประเมินผลกระทบตัวแปรบัญชีรายการ ประกอบด้วยกลุ่มหลัก ดังนี้

1) ภาวะโลกร้อน (Global Warming: GW)

เกิดจากชั้นบรรยากาศของโลกถูกห่อหุ้มด้วยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และยานยนต์ ทำให้กั้นรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวโลกไม่ให้สะท้อนกลับขึ้นสู่อวกาศ

บรรยากาศโลกตามธรรมชาติประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งมีคุณสมบัติดูดกลืนความร้อน ทำให้โลกอบอุ่นและเอื้อให้สิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ในโลกได้ แต่กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์โดยเฉพาะหลังยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมา การใช้พลังงานฟอสซิล (fossil fuel) การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ ทำให้ก๊าซเรือนกระจก ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศปริมาณมากบรรยากาศโลกดูดกลืนความร้อนไว้มากขึ้น เกิดเป็นภาวะเรือนกระจกหรือโลกร้อน นำมาสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งก๊าซแต่ละชนิดจะมีศักยภาพในการเกิดก๊าซเรือนกระจกไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนจากก๊าซเรือนกระจก (IPCC, 2001)

ก๊าซเรือนกระจก	ช่วงชีวิต (ปี)	ศักยภาพการเกิดโลกร้อน
1. คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	500	1
2. มีเทน (CH_4)	12	23
3. ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	114	296
4. คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs)	45 – 1,700	4,600 – 14,000
5. ไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFCs)	2 – 19	120 – 2,400
6. ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	3 – 260	12 – 12,000
7. ซัลเฟอร์เฮกซาฟลูโอไรด์ (SF_6)	320	22,200

2) การทำลายชั้นโอโซน (Ozonelayer Depletion: OD)

เป็นปรากฏการณ์ที่สารประกอบเคมีโดยเฉพาะสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) ไปทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศที่ช่วยป้องกันรังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV) จากดวงอาทิตย์ ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์ คือ เกิดโรคมะเร็งทางผิวหนัง

3) ภาวะความเป็นกรด (Acidification: AD)

การเกิดความเป็นกรดในดิน และแหล่งน้ำส่วนหนึ่งมากจากการเกิดภาวะฝนกรดซึ่งเกิดจากการปล่อยมลพิษจากรถยนต์และโรงงานต่างๆ ที่มีการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และแอมโมเนียทำให้เกิดการปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศทำปฏิกิริยากับน้ำหรือไอน้ำเกิดการออกซิไดซ์กลายเป็นกรด ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้าง และพืชให้ได้รับความเสียหาย

การเกิดกรดซัลฟูริกจากก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

$$SO_3(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(l)$$

การเกิดกรดไนตริกจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

$$NO_2 + OH^- \rightarrow HNO_3$$

4) ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในแหล่งน้ำ (Eutrophication: EU)

เป็นสภาวะที่แหล่งน้ำมีสารอาหารประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากเกินไป เกิดจากการปล่อยสารอาหารของพืชมากเกินกว่าสมดุล เช่น ไนเตรต ฟอสเฟต โปแตสเซียม เป็นต้น ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชตระกูลสาหร่าย (Algae) ในแหล่งน้ำอย่างรวดเร็ว และทำให้เกิดความไม่สมดุลของสารอาหารของพืชระหว่างในน้ำและในดิน ความสามารถในการส่องผ่านของแสงลงสู่น้ำลดลง ทำให้เกิดสภาวะการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนในน้ำที่ผิดปกติ คือ ออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงมากช่วงกลางวันและลดต่ำมากตอนกลางคืน เป็นเหตุให้สิ่งมีชีวิตในน้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

2.1.4.2 **ผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์**

โดยทั่วไปพิจารณาจากความเป็นพิษของสารมลพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่ได้รับ เช่น ปริมาณของโลหะหนัก โดยพิจารณาจากค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถจะรับได้

2.1.4.3 **การลดลงของแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ**

การพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ พิจารณาจากความสำคัญของแหล่งทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป ความสามารถในการทดแทนแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ ผลกระทบของน้ำใต้ดิน และผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดของสัตว์น้ำ เป็นต้น

2.1.4.4 **ผลกระทบต่อสังคม**

ผลกระทบที่มีต่อสังคมพิจารณาจากผลกระทบที่ส่งผลรบกวนต่อชุมชน เช่น การเกิดเสียง และกลิ่น อัตราความเสี่ยง และผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงด้านเศรษฐกิจ เป็นต้น

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เป็นการบ่งบอกถึงลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินอาจประเมินในเชิงปริมาณหรือคุณภาพก็ได้ วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้คือการประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk Assessment) ซึ่งเป็นการประเมินที่ใช้เกณฑ์การพิจารณาจากโอกาสของการเกิดผลกระทบและความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น

โอกาสของการเกิดผลกระทบหรือความเป็นไปได้ที่จะเกิดผลกระทบ สามารถพิจารณาได้จากความถี่ของเหตุการณ์ในอดีตที่ผ่านมา หรือพิจารณาจากวิธีการทำงาน หรือระบบป้องกันการเกิดเหตุการณ์ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ถ้ามีการทำงานที่ชัดเจน หรือระบบป้องกันที่ดี โอกาสของการเกิดผลกระทบก็น้อย โอกาสของการเกิดผลกระทบยังสามารถพิจารณาได้จากมาตรการ

ติดตามตรวจสอบ เพราะถ้าหากมีการตรวจสอบอยู่เสมอก็จะทำให้ทราบปัญหาและสามารถหาทางแก้ไขและป้องกันได้ แต่ถ้าไม่มีการตรวจสอบเลยก็จะมีโอกาสเกิดปัญหาได้มาก นอกจากนั้นสถานะของสารยังสามารถบ่งบอกถึงโอกาสในการเกิดผลกระทบได้อีกทางหนึ่ง โดยก๊าซจะมีโอกาสเกิดปัญหามากกว่าของเหลว และของแข็ง ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น จะพิจารณาได้จากระดับความเป็นอันตรายของสารมลพิษ ปริมาณของสารมลพิษ และช่วงระยะเวลาที่ได้รับ ที่มีต่อผู้ที่ได้รับผลกระทบและต่อสิ่งแวดล้อม

จากหลักการในการประเมินความเสี่ยง สามารถกำหนดเป็นเกณฑ์การพิจารณาผลกระทบสิ่งแวด ล้อมได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างเกณฑ์การพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (ธิดา, 2543)

รายการ	คะแนน
1. โอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	
1.1 ความเป็นไปได้ (L1)	
- ไม่มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ใช้วัตถุดิบ	1
- มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำหรือใช้วัตถุดิบเล็กน้อย	2
- มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปานกลางหรือใช้วัตถุดิบปานกลาง	4
- มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงหรือใช้วัตถุดิบค่อนข้างสูง	6
- ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในสภาวะการดำเนินงานปกติหรือใช้วัตถุดิบสูง	8
- การออกแบบกระบวนการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือใช้วัตถุดิบสูงมาก	10
2. ผลกระทบที่เกิดขึ้น	
2.1 ผลกระทบต่อความปลอดภัยและสุขอนามัยของคนหรือสัตว์ (C1)	
- ไม่มีผลกระทบ	1
- ไม่เป็นพิษแต่อาจก่อให้เกิดการระคายเคือง	2
- มีการทำลายผิวหนังเล็กน้อย การทำลายเป็นไปอย่างช้าๆ	4
- ส่งผลกระทบอย่างช้าๆ แต่มีความรุนแรงค่อนข้างมาก	6
- ทำลายโครงสร้างของเซลล์	8
- อาจเป็นเหตุให้เสียชีวิต	10
2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (C2)	
- ไม่มีผลกระทบ	1
- ทำให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำ อากาศ หรือดินเล็กน้อย คืนสู่สภาพเดิมได้อย่างรวดเร็ว	2

- ระบบนิเวศวิทยาได้รับความเสียหายเพียงชั่วคราวและสามารถคืนสู่สภาพเดิมได้	4
- ระบบนิเวศวิทยาได้รับความเสียหายมาก ใช้เวลานานกว่าจะกลับสู่สภาพเดิม	6
- ถิ่นที่อยู่อาศัยของพืชหรือสัตว์ถูกทำลาย สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้เพียงบางส่วน	8
- ระบบนิเวศวิทยาถูกทำลายโดยสิ้นเชิง ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีกเลย	10
2.3 ปริมาณที่ปล่อยออกมา (C3)	
- ไม่มีการปล่อยสารอันตราย	1
- ต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดตลอดระยะเวลาการทำงาน	2
- ต่ำกว่ามาตรฐานในสภาวะการทำงานปกติ แต่อาจสูงกว่าในสภาวะที่ไม่ปกติ	
- ไม่เกินร้อยละ 10 ของระดับมาตรฐาน*	4
- สูงกว่าร้อยละ 10 ของระดับมาตรฐาน*	6
- สูงกว่าระดับมาตรฐานในสภาวะการทำงานปกติ	
- ไม่เกินร้อยละ 10 ของระดับมาตรฐาน*	8
- สูงกว่าร้อยละ 10 ของระดับมาตรฐาน*	10

*ค่าที่ใช้กำหนดขึ้นเพื่อใช้เฉพาะในงานวิจัยนี้เท่านั้น

การพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นการพิจารณาขนาดความรุนแรงของผลกระทบควบคู่ไปกับโอกาสของการเกิดผลกระทบและปริมาณที่ได้รับ ดังนั้นการประเมินประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญจึงเกิดจากการให้คะแนนของทั้งสามส่วนดังนี้

$$S = (L1) \times (C1+C2) \times (C3)$$

โดยความสำคัญของประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความสำคัญของประเด็นสิ่งแวดล้อม (ธิดา, 2543)

ช่วงคะแนน	นัยสำคัญ
2 - 50	น้อยมาก
51 - 200	น้อย
201 - 400	ปานกลาง
401 - 1000	สูง
1001 - 2000	สูงมาก

2.1.5 **การแปลผลการศึกษา** (Life Cycle Interpretation)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยวัตถุดิบ และกิจกรรมต่างๆ ที่มีความสำคัญทางสิ่งแวดล้อมหรือที่เรียกว่าประเด็นหลัก จะได้รับการบ่งชี้ประเด็นหลักต่างๆ เป็นผลลัพธ์ที่สำคัญที่สุดเรื่องหนึ่งของการศึกษา และจะเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมของผลิต ภัณฑ์โดยการบ่งชี้จุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบใหม่ โดยการสรุปผลจะต้องมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่เราตั้งไว้

การแปลผลการศึกษา ประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

1) การจำแนกประเด็นหลักที่สำคัญ

ประเด็นหลักจะถูกบ่งชี้ด้วยการใช้ผลกระทบที่ผ่านการแปลงข้อมูล โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปตารางประกอบไปด้วยแถวและสดมภ์ต่างๆ แต่ละแถวจะเป็นตัวแปรต่างๆ และในแต่ละสดมภ์จะมีกระบวนการหน่วยย่อยและกิจกรรมต่างๆ สำหรับกลุ่มผลกระทบหนึ่งๆ แล้วทำการหารแต่ละค่าของผลกระทบด้วยผลรวมของผลกระทบทั้งหมด และคำนวณค่าเป็นร้อยละ ซึ่งจะแสดงค่าเชิงสัมพัทธ์ของความสามารถในการก่อผลกระทบของแต่ละประเด็นที่มีต่อผลกระทบทั้งหมด ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วยการใช้เกณฑ์ที่กำหนดเอง

2) การประเมินค่า (Evaluation)

เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

3) การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะ และรายงานผล

นอกจากการบ่งชี้ประเด็นหลัก ขั้นตอนการแปลความหมายยังรวมมาตรการตรวจสอบและประเมินต่างๆ ที่จะประเมินผลลัพธ์ของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในแง่ของความสมบูรณ์ ความแปรปรวน และความสม่ำเสมอรวมถึงขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการเพื่อวิเคราะห์หาวิธีการในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยต้องกำหนดเป้าหมายที่แน่ชัดก่อน จากนั้นจึงทำการหาวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสมและสอดคล้องกับเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

การปรับปรุงกระบวนการเป็นการพิจารณาที่มีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจะต้องเข้าใจผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของวัฏจักร การเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนหนึ่งอาจส่งผลต่อขั้นตอน

อื่น ๆ ได้ซึ่งขั้นตอนของการปรับปรุงกระบวนการคล้ายกับการออกแบบกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง

แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการ ได้แก่

- การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น
- การเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบหรือพลังงาน
- การเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้วัตถุดิบ การผลิต หรือพลังงาน
- การปรับปรุงระบบการขนส่งหรือขนถ่ายผลิตภัณฑ์
- การปรับปรุงเทคนิคการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น

2.2 **ดัชนีด้านสิ่งแวดล้อม**

ดัชนีด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Indicators: EPIs) มี 3 ประเภท ได้แก่

- ดัชนีสิ่งแวดล้อมด้านการจัดการ (Management Performance Indicators: MPI) เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงระดับการบริหารงานด้านสิ่งแวดล้อมภายในโรงงาน เช่น การฝึกอบรมพนักงานในด้านสิ่งแวดล้อม การปฏิบัติตามนโยบายและแผนงานด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น
- ดัชนีสิ่งแวดล้อมระดับปฏิบัติการ (Operational Performance Indicators: OPI) เป็นดัชนีที่บ่งชี้ผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมในระดับปฏิบัติการ เช่น ปริมาณการใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิง ปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยออกมา จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซ้ำหรือรีไซเคิลได้ เป็นต้น
- ดัชนีสภาวะแวดล้อม (Environmental Condition Indicators: ECI) เป็นดัชนีที่บ่งชี้สภาพสิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่น ภูมิภาค ประเทศ และระดับโลก เพื่อช่วยให้องค์กรเข้าใจผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นหรือมีแนวโน้มว่าอาจเกิดขึ้นได้อย่างดีขึ้น เช่น ลักษณะและคุณภาพของแหล่งน้ำ คุณภาพของอากาศ ปริมาณและคุณภาพทรัพยากร การเกิดช่องโหว่ของโอโซน การเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน เป็นต้น

การจัดทำดัชนีด้านสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบผลการปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรในอดีตกับปัจจุบัน และใช้เป็นบรรทัดฐานให้กับโรงงานในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และใช้เป็นตัวแทนในการพิจารณาลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม แต่เป้าหมายการหาดัชนีสิ่งแวดล้อมอาจมีความแตกต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน

การกำหนดดัชนีด้านสิ่งแวดล้อมจะพิจารณาจากสารมลพิษที่เกิดขึ้น ที่สามารถเป็นตัวแทนบ่งบอกคุณภาพของประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมนั้นได้ เมื่อได้ดัชนีแล้วจะต้องกำหนดหน่วยวัดเพื่อสามารถนำไป เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากโรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกันได้ เช่น การใช้วัตถุดิบ มีหน่วยวัดคือ ตันวัตถุดิบต่อตันผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

2.3 **โปรแกรมสำเร็จรูป** SimaPro

จากตารางการเปรีย บเทียบข้างต้นจะเห็นได้ว่าโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มีการวิเคราะห์ผลกระทบตามระบบ ISO มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบมีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปตารางหรือกราฟ เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับวิศวกรสิ่งแวดล้อม วิศวกรออกแบบ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ ใช้ระยะเวลาในการศึกษาไม่มาก มีการปรับปรุงข้อมูล นอกจากนี้แล้วสามารถสังเกตได้ว่ามีโปรแกรม LCA อื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ SimaPro แต่ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือราคาและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณลิขสิทธิ์ที่ขายได้ของโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในงานวิจัยนี้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีความเหมาะสมในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจาก PRe'Consultants ประเทศเนเธอร์ แลนด์ เพื่อใช้ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ทำการศึกษาเป็น การนำเอาขั้นตอนต่างๆ ของการทำประเมินวัฏจักรชีวิตมาจัดอย่างเป็นระบบ โดยข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรม เพื่อที่ผู้ใช้จะนำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมสามารถนำไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่วไป (Pre' Consultants. 2007)

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถแบ่งออกดังนี้

1. กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขต วัตถุประสงค์ของการประเมินผล
2. การรวบรวมข้อมูล: เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรมหรือข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น
3. การประเมินผลกระทบ: โปรแกรมมีวิธีการประเมินมาตรฐานหลายแบบ เช่น EPS 2000, Eco-indicator 95, Eco-indicator 99, EDIP เป็นต้น

โดย ขั้นตอนในการประเมินผลกระทบของโปรแกรมสามารถแบ่งออกดังนี้

- Characterization: การจำแนกผลกระทบของวัตถุดิบพลังงานหรือสิ่งต่างๆ ที่มีส่วนในการผลิตว่ามีผลกระทบอย่างไรอาทิ เช่น CO_2 ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนขึ้น เป็นต้น

- Damage Assessment: การแปลข้อมูลที่ทำการ Characterization ให้อยู่ในรูปของผลกระทบหลัก 3 ทาง คือ ผลกระทบต่อมนุษย์ นิเวศวิทยา และการเสื่อมสลายของทรัพยากร

- Normalization: การหาความสำคัญของศักยภาพของแต่ละผลกระทบที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของสังคมในภาพรวม

- Weighting: การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นอัตราส่วนของความสำคัญ (Weighting Factor) ขึ้นกับผู้ประเมิน

4. การแปลความหมายข้อมูล: การนำเอาผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูลและการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมายตามขอบเขตที่ระบุ

2.3.1 Eco-Indicator 99

วิธีการประเมินค่าทางผลกระทบสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี เช่น EDIP method (Environmental Design of Industrial Products) พัฒนาโดย Wenzel (1997) EPS method พัฒนาโดย Centre for Environmental Assessment of products and material Systems และ Eco-Indicator 99 พัฒนาโดย PRe'Consultants (1999) โดยวิธี Eco-Indicator ถูกใช้อย่างแพร่หลายและมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับ สนุนข้อมูลสำหรับข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Phylipsen; et al. 2002) นอกจากนี้ยังถูกใช้เพื่อช่วยเหลือกระบวนการการออกแบบในการคัดเลือกวัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ขั้นตอนการหาค่าการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธี Eco-Indicator 99

1) วัตถุดิบ พลังงาน ของเสีย จะถูกแจกแจงประเภทของผลกระทบซึ่งมีทั้งหมด 11 ประเภท
2) ผลกระทบทั้ง 11 ประเภทจะถูกจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมาย
3) การให้น้ำหนักหรือความสำคัญและคะแนนเป็นคะแนนเดี่ยว

สำหรับกลุ่มเป้าหมายและประเภทของผลกระทบมีดังนี้

Human Health (สุขภาพมนุษย์) แสดงหน่วยเป็น DALY (disability-adjusted life years) ดัชนีนี้กำหนดโดย World Bank และ WHO ประกอบด้วย

- สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)
- ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance)
- ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance)
- สารแผ่รังสี (Radiation)
- ภาวะโลกร้อน (Climate change)
- การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion)

Ecosystem (ระบบนิเวศวิทยา) แสดงในหน่วยสัดส่วนการสูญหายของความหลากหลายของสิ่งมี ชีวิตต่อพื้นที่ เนื่องจากผลกระทบหรือภาระทางสิ่งแวดล้อมแสดงหน่วยเป็น PDF/m^2/year (Potentially disappeared fraction) ประกอบด้วย

- ภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification/Eutrophication)
- ความเป็นพิษ (Ecotoxicity)
- การใช้พื้นที่ (Land use)

Resource depletion (การลดลงของทรัพยากร) การใช้ทรัพยากรนำไปสู่การลดลงของทรัพยากรหรือปริมาณที่เหลืออยู่ทั้งในรูปของสินแร่ และเชื้อเพลิงแสดงหน่วยเป็นปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่หรือเชื้อเพลิง แสดงหน่วยเป็น MJ surplus energy ประกอบด้วย

- การใช้สินแร่ (Mineral)
- การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel)

ตารางที่ 2.6 กลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภท และปัจจัยของผลกระทบ

ที่มา: Phylipsen; et al. (2002)

กลุ่มเป้าหมายของการทำลาย; หน่วย	ประเภทของผลกระทบ	สสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ
Human Health; DALYs (Disability Adjusted Life Years)	Carcinogenic	Arsenic, Cadmium, Nickel
	Respiration of organic	Methane, Benzene, Xylene
	Respiration of inorganic	CO, SO_x, NH_3
	Radiation	Nuclear energy production
	Climatechange	CO_2, Methane, CFCs
	Ozone depletion	CFCs, HFCs
Ecosystem Quality; PDF (Potentially Disappeared Fraction)	Acidification/Eutrophication	SO_x, NO_x, NH_3
	Ecotoxicity	Heavy metal, Benzene
	Land use	Grassiand, Woods
Resource Depletion; (MJ surplus energy)	Mineral	Copper, Nickel, Zinc
	Fossil fuel	Crude oil, Coal

ตารางที่ 2.7 ค่า Normalization และ Weightingสำหรับแต่ละกลุ่มเป้าหมายหรือลักษณะการทำลาย

ที่มา: โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4

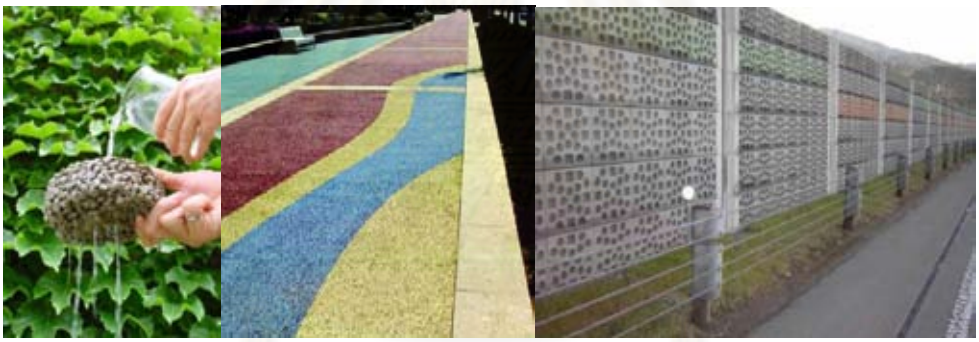
Damage Categories	Pre' Consultant Normolization factor	Pre' Consultant Weighting factor
Human Health	64.7	400
Ecosystem Quality	1.95E-04	400
Resource Depletion	1.68E-04	200

2.4 **คอนกรีตพรุน**

คอนกรีตพรุน (Pervious Concrete) เป็นคอนกรีตที่มีเฉพาะมวลรวมหยาบ (Aggregate) แต่จะไม่มีมวลรวมละเอียดในส่วนผสมเพื่อต้องการให้มีรูพรุนขนาดใหญ่ที่ต่อเนื่องอยู่ภายใน ซึ่งยังคงมีความ สามารถในการยึดเกาะกันของมวลรวมในคอนกรีตในทุกๆ ผิวสัมผัส โดยมีคุณสมบัติที่น้ำหรือของเหลวสามารถซึมผ่านได้ มีความสามารถในการอุ้มน้ำ คอนกรีตพรุนได้ถูกคิดค้นและพัฒนาในประเทศอังกฤษและอเมริกาเป็นเวลามากกว่า 30 ปี เพื่อใช้ในงานคอนกรีตที่รักษาสภาพสิ่งแวดล้อม และนำมาใช้ในรูปแบบที่หลากหลาย คอนกรีตพรุนได้รับความสนใจเป็นอย่างมากโดยเฉพาะใน

อเมริกาและประเทศญี่ปุ่น กล่าวคือ ได้นำคอนกรีตพรุนมาใช้สำหรับงานปูผิวถนน ใช้ในการดาดคลองและพื้น (รูปที่ 2.6) ที่สามารถทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงอยู่ได้ อาทิ พืชและสัตว์ขนาดเล็ก (รูปที่ 2.7) สามารถใช้ในงานวิศวกรรมอื่นๆ เช่น ใช้เป็นฉนวนความร้อน ด้านการเก็บเสียงและด้านการระบายน้ำ (รูปที่ 2.8) รวมทั้งสามารถทำพื้นผิวทางสำหรับเดินเท้า และสำหรับยวดยานพาหนะ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงงานปรับแต่งภูมิสถาปัตย์อื่นๆ อาทิ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับพื้นผิวที่สัมผัสกับน้ำอยู่เสมอ เช่น ห้องน้ำสาธารณะ บันได เฉลียงนอกบ้าน และทางเดินในสวนหย่อม เพื่อป้องกันการลื่นล้มได้เป็นอย่างดีเนื่องจากคอนกรีตพรุนมีการระบายน้ำได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการใช้คอนกรีตพรุนจะมีความสำคัญและเป็นที่แพร่หลายในอนาคต

นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้พื้นผิวทางจราจรที่ทำจากคอนกรีตพรุนสามารถลดการสะสมความร้อน และลดการสะท้อนกลับของความร้อนออกมาสู่บรรยากาศได้ดีกว่าการใช้คอนกรีตปกติ ดังนั้นการใช้คอน กรีตพรุนสำหรับผิวทาง โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ๆ จึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดี สำหรับการลดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.6 คอนกรีตพรุนที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ นำไปใช้ปูพื้น และกำแพง

ที่มา: Ramcrete, 2009

รูปที่ 2.7 คอนกรีตพรุนที่มีรูพรุนทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้

ที่มา: Ramcrete, 2009

รูปที่ 2.8 การนำคอนกรีตพรุนไปใช้กับระบบระบายน้ำ

ที่มา: Ramcrete, 2009

รูปที่ 2.9 การนำคอนกรีตพรุนไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้งาน

ที่มา: Ramcrete, 2009

รูปที่ 2.10 การนำคอนกรีตพรุนไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับปลูกต้นไม้

ที่มา: Ramcrete, 2009

2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตพรุน

วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตคอนกรีตพรุน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) หิน (Crushed Stone) น้ำ สารเคมีผสมเพิ่ม ได้แก่ สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) รวมทั้งวัตถุดิบอื่นๆ ได้แก่ สารผสมเพิ่มพิเศษ วัสดุเชื่อมประสาน หินธรรมชาติ วัสดุเคลือบหน้า และเคลือบเงา

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สารผสมที่มีสัดส่วนพอเหมาะระหว่างสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เมื่อนำปูนซีเมนต์มาผสมกับมวลรวมหยาบ (Aggregate) เช่น หิน และน้ำ ในอัตราส่วนที่พอเหมาะจะเกิดการแข็งตัว ให้กำลังอัดที่สูงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง โดยสรุปแล้วปูนซีเมนต์ก็คือสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้มวลรวมหยาบเกาะตัวกันแน่นขึ้นเพื่อประโยชน์ในการใช้ แบ่งเป็น 5 ประเภท

ประเภท 1 (Normal Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะกับงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือคอนกรีตทั่วๆ ไป ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม เช่น คาน เสา พื้น ถนน เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสด่างจากดินหรือน้ำ

ประเภท 2 (Modified Portland Cement) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้เมื่อผสมน้ำจะคายความร้อนออกมาน้อยกว่าประเภทธรรมดา และมีความต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้บ้าง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ตอม่อขนาดใหญ่ สะพาน ท่าเทียบเรือ และเขื่อนในบริเวณที่ถูกน้ำเค็ม

ประเภท 3 (High-early Strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีความละเอียดมากกว่า เป็นผลทำให้แข็งตัวและรับแรงได้เร็ว นิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องแข่งกับเวลา หรือในกรณีที่ต้องการถอดหรือรื้อแบบเร็วกว่าปกติ เช่น เสาเข็ม พื้นถนนที่จราจรคับคั่ง เป็นต้น

ประเภท 4 (Low-heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดพิเศษที่เหมาะกับงานที่ต้องการควบคุมทั้งปริมาณและอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วน ผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ จึงนิยมใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำ

ประเภท 5 (Sulfate-resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช้ากว่าประเภทอื่นๆ มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้สูง เหมาะกับงานก่อสร้างบริเวณดินเค็ม หรือใกล้กับทะเล

เมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำจะเป็นของเหลวมีความหนืดเรียกว่า เพสต์ (Paste) ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนกาวประสานมวลรวมเข้าไว้ด้วยกัน เมื่ออายุมากขึ้นเพสต์ก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นกึ่งเหลวกึ่งแข็งและในเวลาต่อมาก็จะกลายเป็นของแข็งในที่สุด ซึ่งจะสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุที่เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเวลาหนึ่งความสามารถรับกำลังอัดก็จะเริ่มคงที่

การที่ปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำแล้วเกิดการก่อตัวและแข็งตัวของปูนซีเมนต์ขึ้น เรียกว่า การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration) ซึ่งเกิดจากสารประกอบในซีเมนต์ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นจะรู้สึกว่าร้อนขึ้นเมื่อสัมผัสกับปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ

$$\text{Cement} + \text{Water} \longrightarrow \text{C-S-H (gel)} + Ca(OH)_2 + \text{Heat}$$

โดยที่ Cement = แทนสารประกอบต่าง ๆ ในปูนซีเมนต์

C-S-H gel = แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต เป็นองค์ประกอบที่ให้กำลังกับคอนกรีต

$Ca(OH)_2$ = ผลที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก (pH = 12.5) ช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดีมาก

Heat = ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

ปูนซีเมนต์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งทำหน้าที่รับกำลังอัดและปูนขาว ($Ca(OH)_2$) ซึ่งมีประมาณ 20-25% โดยเป็นส่วนที่ไม่สามารถรับแรงอัดได้ ถ้านำปอซโซลาน (Pozzolan) ผสมลงในคอนกรีตก็จะช่วยเปลี่ยนปูนขาวส่วนเกินนี้ให้เป็น (C-S-H) นั่นคือจะสามารถรับแรงอัดได้มากขึ้น ดังสมการ

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 \text{ จาก Pozzolan} + \text{Water} \longrightarrow \text{C-S-H (gel)}$$

เมื่อไมโครซิลิกา (Microsilica) มี SiO_2 อยู่สูงถึงกว่า 90% ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร็วมากทำให้การพัฒนากำลังอัดทั้งช่วงต้น และช่วงปลายเป็นไปได้เร็วกว่าคอนกรีตทั่วๆไป นอกจากนี้ไมโครซิลิกาเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก โดยเล็กกว่าซีเมนต์ 100 เท่า ดังนั้นจะไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ (Microfiller Effect) ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นสูงมาก เป็นผลดีทั้งด้านกำลังอัด และด้านความทนทาน

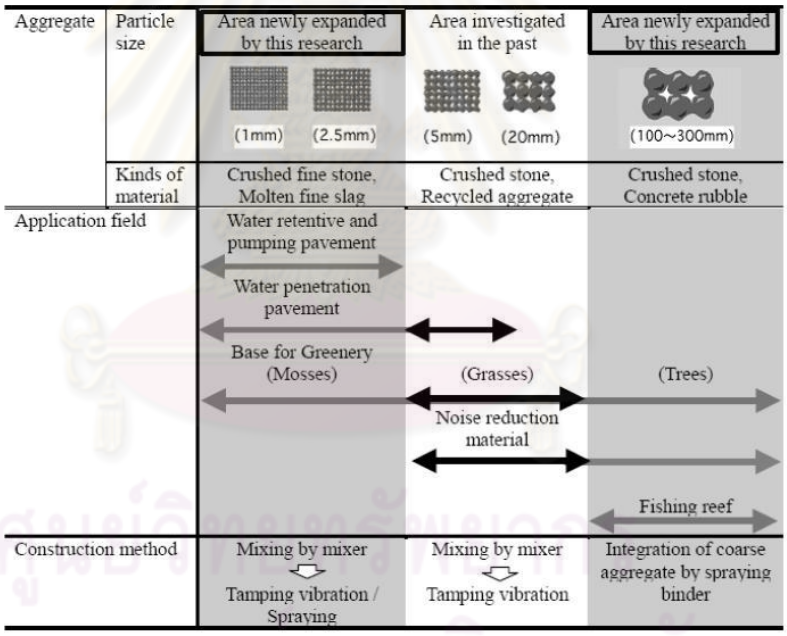
วัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่ระบบของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบด้วยหิน และเชื้อเพลิง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตนอกจากจะได้ปูนซีเมนต์ตามที่ต้องการแล้ว ยังเกิดสารมลพิษออกมาด้วย โดย สารมลพิษที่สำคัญที่ปล่อยออกมาจากโรงงาน ประกอบด้วยฝุ่นละอองที่เกิดจากการบดย่อยวัตถุดิบและการบดปูนซีเมนต์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตเม็ดปูนด้วย นอกจากนี้ยังมีมลพิษทาง ด้านเสียง น้ำเสียและความร้อนเกิดขึ้นจากการผลิตปูนซีเมนต์ด้วย

2) หิน

โดยทั่วไปหิน (Crushed Stone) ที่ใช้ในงานคอนกรีต อาจเป็นหินโม่ที่ผ่านโรงโม่ และผ่านตะแกรงได้ขนาด ชนิดของหินก็อนุโลมให้ใช้ได้ ซึ่งดูแล้วไม่เป็นหินที่ผุ ถ้าเทจากรถลงพื้นที่สะอาดเรียบไม่ปนดิน อาจมีฝุ่นของหินปนอยู่ แต่พออนุโลมได้ว่าสะอาดไม่ต้องล้าง ถ้าเป็นโครงสร้างที่บางก็ควรลดขนาดของหินให้เล็กลงหรือพิจารณาเพิ่มซีเมนต์ขึ้นอีก เพื่อให้เคลือบหุ้มเม็ดหินได้ทั่วถึง

หินจะทำหน้าที่เป็นมวลรวมหยาบ กระจายอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีตช่วยให้คอนกรีตมีความทนทานและยังลดการยืดหดตัวของคอนกรีตอีกด้วย คุณสมบัติของมวลรวมควรพิจารณา เช่น ความแข็งแรง ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี การต้านทานแรกกระแทกและการเสียดสี มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อย เป็นต้น



รูปที่ 2.11 การใช้ประโยชน์คอนกรีตพรุนตามขนาดมวลรวมหยาบในแต่ละการประยุกต์ใช้งาน

ที่มา: S. Hatanaka, 2006

3) น้ำ ในการผลิตคอนกรีต และคอนกรีตพรุน น้ำทำหน้าที่ 3 ประการ

- ใช้ผสมในการทำคอนกรีต

ทำหน้าที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์ หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้ เคลือบหิน (และทรายในคอนกรีตทั่วไป) ให้เปียก เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

- ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น

คอนกรีตจำเป็นต้องได้รับการบ่มทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการเทและควรบ่มต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังตามต้องการ หลักการทั่วไปของการบ่มที่ดีจะต้องสามารถป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นไม่ว่าจะด้วยความร้อนหรือลม ไม่ให้คอนกรีตร้อนหรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต และไม่ถูกชะล้างโดยน้ำฝนหลังจากเทคอนกรีตเสร็จใหม่ๆ เป็นต้น

ในกรณีทั่วไปคอนกรีตต้องได้รับการป้องกันจากการสูญเสียความชื้นจากแสงแดดและลม หลังจากเสร็จสิ้นการเทจนกระทั่งคอนกรีตเริ่มแข็งแรง และหลังจากที่คอนกรีตเริ่มแข็งแรงแล้วผิวหน้าของคอนกรีตที่สัมผัสกับบรรยากาศยังต้องคงความเปียกชื้นอยู่ ซึ่งอาจทำได้ด้วยการปกคลุมด้วยกระสอบเปียกน้ำ หรือฉีดน้ำให้ชุ่ม เป็นต้น โดยกระสอบที่ใช้ควรมีความหนาพอสมควรเพื่อป้องกันไม่ให้แห้งเร็วเกินไป และต้องรดน้ำให้เปียกชุ่มอยู่ตลอดเวลาการบ่มด้วย ระยะเวลาการบ่มขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของวัสดุที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

คอนกรีตที่ไม่ได้รับการบ่มอย่างถูกต้องจะไม่มีการพัฒนากำลังเท่าที่ควร เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต้องการน้ำ นอกจากนั้นการสูญเสียความชื้นจากผิวหน้าของคอนกรีตที่ไม่ได้รับการบ่มจะทำให้เกิดการแตกร้าวด้วย

รูปที่ 2.12 การบ่มความชื้นคอนกรีต

ที่มา: ถนัดกิจ และคณะ, 2551

- ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก

สิ่งที่ควรคำนึงถึง คือ ต้องเป็นน้ำที่สะอาด เช่น น้ำประปา เพราะจะมีผลต่อซีเมนต์เพสต์ และการผสมคอนกรีตยิ่งใช้น้ำน้อยคอนกรีตก็จะมีคุณภาพดี ถ้าใช้น้ำมากกำลังจะตก ความแข็งแรงจะลดลง (การใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำจึงทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงคุณภาพดีขึ้นได้) หากมีน้ำมากไปจะก่อให้เกิดผลเสียกับคอนกรีตได้ เช่น การเยิ้ม (Bleeding), การแยกตัว (Segregation), การยืดหดตัว (Shrinkage), ช่องว่าง (Void)

4) น้ำยาผสมคอนกรีต

ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน อาทิเช่น เวลาการก่อตัว (Setting Time) ความสามารถในการเทได้ กำลังอัด เป็นต้น

น้ำยาลดน้ำ (Water-Reducing Admixture, Plasticizer) ในการผสมคอนกรีตเราควรจะใช้น้ำส่วนเกินให้น้อยที่สุด เพื่อที่จะได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี แข็งแรง ทนทาน แต่การใช้น้ำน้อยจะทำให้คอนกรีตแห้ง เทเข้าแบบยาก การใส่น้ำยาลดน้ำจะช่วยให้เราผสมคอนกรีตโดยใช้น้ำส่วนเกินน้อยแต่คอนกรีตเหลวเทง่าย

น้ำยาลดน้ำอย่างมาก (High Range Water Reducing Admixture, Super Plasticizer) ในการผสมคอนกรีตยิ่งใช้น้ำน้อยเท่าไร คอนกรีตก็จะยิ่งมีคุณภาพดี กำลังสูง เนื้อแน่น ฉะนั้นในกรณีที่ต้องการคอนกรีตที่มีคุณภาพสูง เช่น งานคอนกรีตอัดแรงในโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูปจะใช้น้ำยาประเภทนี้

2.4.2 **กระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน**

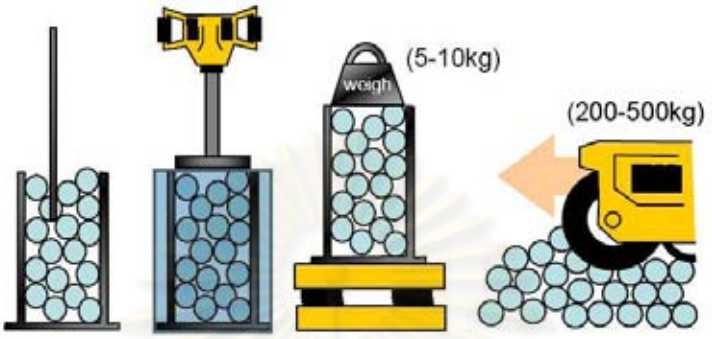
วัสดุสำหรับใช้ผสมคอนกรีตพรุนประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หิน น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต เมื่อผสมวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันจะเรียกชื่อวัสดุต่างๆ ที่ผสมกันดังนี้

ปูนซีเมนต์ผสมน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)

ซีเมนต์เพสต์ผสมมวลรวมหยาบ (หินปูน) เรียกว่า คอนกรีตพรุน (Porous Concrete)

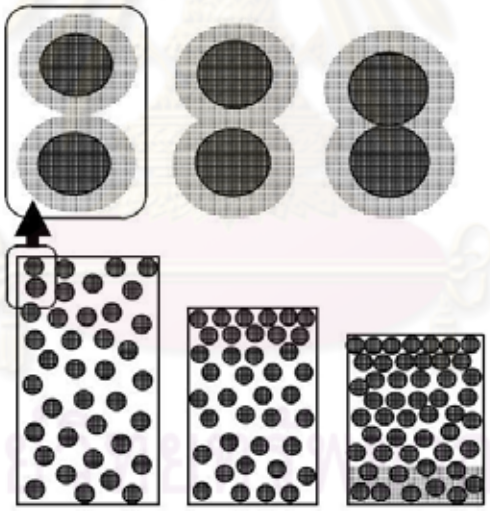
ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตพรุนจะเริ่มจากการเตรียมซีเมนต์เพสต์ โดยผสมในเครื่องผสมมอร์ตาร์ (Hobart) จากนั้นนำมาผสมต่อกับมวลรวมหยาบในเครื่องผสมคอนกรีตพรุนที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 5-10 นาที จากนั้นทำตัวอย่างคอนกรีตพรุนให้แน่นโดยการอัดลงแบบ ซึ่ง

สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับขนาดมวลรวมหยาบ ปริมาณคอนกรีตพรุน และพลังงานที่ใช้ในการทำให้แน่น ในการทดสอบอาจใช้วิธีการทำให้แน่นโดยใช้แท่งกระทุ้งจำนวน 2 ชั้นๆ ละ 10 ครั้ง และการเขย่าสั่นที่ผิว (Surface vibrating compaction) จนมวลรวมหยาบเชื่อมต่อกัน และเคลือบด้วยซีเมนต์เพสต์ ดังรูปที่ 2.10 และ 2.11



รูปที่ 2.13 วิธีการทำคอนกรีตพรุนให้แน่น

ที่มา: ถนัดกิจ และคณะ, 2551



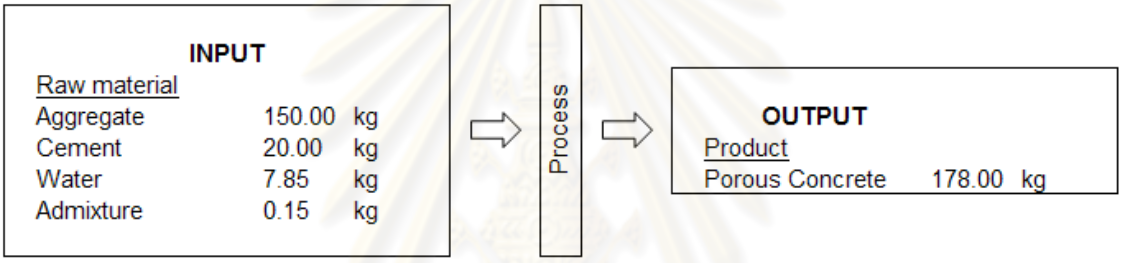
รูปที่ 2.14 สภาวะสุดท้ายของการอัดแน่นคอนกรีตพรุน

ที่มา: ถนัดกิจ และคณะ, 2551

หลังจากที่คอนกรีตพรุนแน่นแล้ว ทำการบ่มคอนกรีตพรุนเพื่อรักษาระดับปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของคอนกรีตพรุน โดยเฉพาะในช่วงอายุเริ่มต้นของคอนกรีตพรุนให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เพื่อลดการแตกร้าว และทำให้คอนกรีตมีกำลังและความคงทนสูง เนื่องจากปัญหาที่พบบ่อยในการก่อสร้างหรือเทพื้นคอนกรีตในสภาพอากาศร้อนหรือมีลมพัดแรง คือ การแตกร้าวของคอนกรีต

ในขณะที่กำลังแข็งตัว อันเกิดจากการขาดการบ่มคอนกรีต หรือการบ่มล่าช้าเกินไป การบ่มคอนกรีตนั้นก็คือการป้องกันการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีต ควรควบคุมปัจจัยที่ทำให้มีการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีตมากเกินไป ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิคอนกรีตสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และความเร็วลมแรง ระยะเวลาการบ่มเป็นช่วงเวลาที่ดำเนินการบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ ชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มในคอนกรีต สัดส่วนผสมคอนกรีต กำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ต้องการ

การบ่มในสภาพอากาศร้อน ควรเพิ่มเติมการบ่มในระยะแรกภายหลังการแต่งผิวหน้าแล้วเสร็จและผิวหน้าคอนกรีตเริ่มแห้ง เพื่อป้องกันการแตกร้าวจากการหดตัวในขณะที่กำลังแข็งตัว การบ่มระยะเริ่มต้นทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารลดการระเหย การพ่นน้ำ การทำที่กำบังแสงแดดและลม



รูปที่ 2.15 สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน

รูปที่ 2.16 กระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน

2.5 คอนกรีต

จากอดีตถึงปัจจุบันคอนกรีต (Concrete) ยังคงเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความนิยมใช้งาน ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีความเหมาะสมกว่าวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ทั้งด้านราคาและด้านคุณสมบัติต่าง ๆ และอาจแยกพิจารณาคอนกรีตออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ส่วนที่เป็นตัวประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต

2) ส่วนที่เป็นมวลรวม ได้แก่ หิน ทราย หรือกรวด

เมื่อนำวัสดุต่างๆ ของคอนกรีตมาผสมกัน ดังรูปที่ 2.14 คอนกรีตจะเป็นของเหลวที่มีความหนืดเวลาหนึ่งซึ่งสามารถนำไปเทลงแบบหล่อตามที่ต้องการได้ เมื่ออายุมากขึ้นคอนกรีตก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นกึ่งเหลวกึ่งแข็ง และในเวลาต่อมาก็จะเป็นของแข็งในที่สุดซึ่งสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเวลาหนึ่งความสามารถรับกำลังอัดก็จะเริ่มคงที่

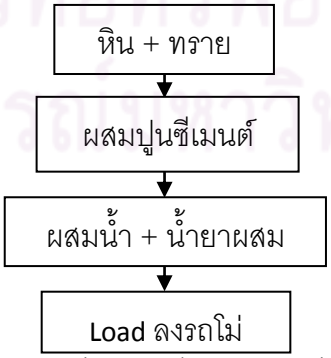
2.5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต

โดยทั่วๆ ไปวัสดุสำหรับใช้ผสมคอนกรีตประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีตเมื่อผสมวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันจะเรียกชื่อวัสดุต่างๆ ที่ผสมกันดังนี้

ปูนซีเมนต์ผสมน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)

ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย เรียกว่า มอร์ตาร์ (Mortar)

มอร์ตาร์ผสมกับหินหรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)



*ความเร็วการโม่ 2-6 รอบต่อนาที ป้องกันไม่ให้คอนกรีตก่อตัวก่อนลงหน้างาน

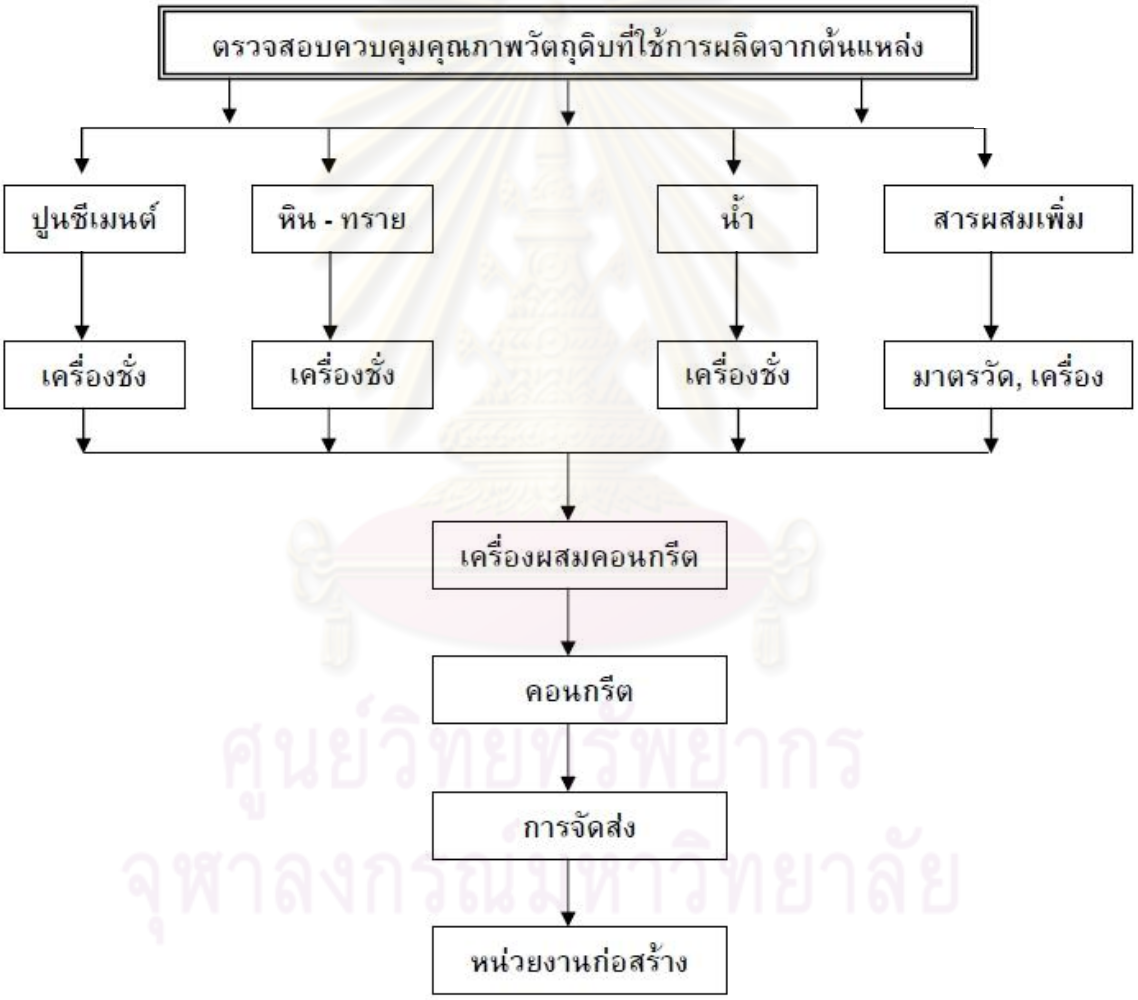
รูปที่ 2.17 ลำดับการผสมคอนกรีต

ที่มา: ทีพีไอ คอนกรีต, 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.2 กระบวนการผลิตคอนกรีต

กระบวนการผลิตเริ่มจากการลำเลียงหิน ทราย ปูนซีเมนต์ ผ่านเครื่องชั่งได้น้ำหนักถูกต้องตามสัดส่วนผสมที่ออกแบบไว้ ในขั้นตอนนี้จะต้องคำนึงถึงสภาพความชื้นของหิน และทรายด้วย เพราะอาจไม่อยู่ในสภาพที่ออกแบบหรือสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ซึ่งจะต้องปรับน้ำหนักหิน ทราย และน้ำให้ถูกต้อง ส่วนน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตจะชั่งหรือตวงแล้วนำเข้าผสมกันในเครื่องผสมคอนกรีต ซึ่งจะผสมคอนกรีตตามเวลาที่กำหนด ด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ คอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะถูกลำเลียงลงสู่รถผสมคอนกรีตเพื่อนำไปส่งยังหน่วยงานก่อสร้าง ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.18 กระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

ที่มา: ทีพีไอ คอนกรีต, 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การผสมคอนกรีต (Mixing) การวัดส่วนผสมอาจทำได้ 2 วิธี คือ การตวงส่วนผสมโดยปริมาตร และการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก การชั่งน้ำหนักจะให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำกว่าการตวงปริมาตรมาก จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่ งานคอนกรีตกำลังอัดปานกลาง -สูง การผสมคอนกรีตต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 1 นาทีต่อการผสมคอนกรีต 0.75 ลูกบาศก์เมตร หรือน้อยกว่า และต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นอีกไม่น้อยกว่า 15 วินาทีต่อจำนวนคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 0.75 ลูกบาศก์เมตร

ในกรณีที่มีการผสมซ้ำเป็นช่วงๆ ประมาณ 2-3 ชั่วโมง จะไม่เป็นผลเสียต่อกำลังและความทนทาน แต่ความสามารถเทได้จะลดลงถ้าไม่มีการป้องกันการสูญเสียน้ำหรือความชื้นจากเครื่องผสม ถ้าเติมน้ำลงไปกำลังอัดจะต่ำลง และมีการหดตัว (Shrinkage) เพิ่มขึ้น

การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีตที่ดี คือ การเทเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีส่วนผสมสม่ำเสมอ ไม่มีการแยกตัว ไม่ควรเทคอนกรีตให้กระทบโดยตรงกับเหล็กเสริมหรือข้างแบบ ควรเทคอนกรีตลงมาตรงๆ และไม่ควรให้คอนกรีตไหลไปในแนวราบเป็นระยะทางไกล ยกเว้นในกรณีของคอนกรีตไหลซึ่งถูกออกแบบโดยมีการควบคุมการแยกตัว ถ้าพบว่ามีการแยกตัวของคอนกรีตหลังเริ่มการเทคอนกรีต จะต้องมีการแก้ไขทันที

ในกรณีที่แบ่งเทคอนกรีตต่อเนื่องกันเป็นชั้นๆ คอนกรีตที่เทใหม่ในชั้นบนควรเททับก่อนที่คอนกรีตชั้นล่างจะเริ่มก่อตัว ในกรณีที่แบบมีความสูงมาก ไม่ควรเทคอนกรีตโดยปล่อยให้คอนกรีตตกอิสระจากส่วนบนที่สุดของแบบ แต่ควรใช้วิธีการใดๆ เช่น สายพาน รางเท (Chute) ถัง หรือต่อท่อเพื่อให้ระยะตกอิสระของคอนกรีตไม่เกิน 1.5 เมตร

ถ้าตรวจพบการเยิ้มของคอนกรีตระหว่างการเทคอนกรีต ควรหยุดเทจนกว่าจะกำจัดน้ำที่เยิ้มออกมาบนผิวคอนกรีตให้หมดก่อนที่จะเทคอนกรีตทับชั้นบนต่อไป

การลำเลียงคอนกรีต

วิธีลำเลียงคอนกรีตที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับสถานที่ผสมคอนกรีตและบริเวณที่จะทำการเทคอนกรีตโดยควรเลือกวิธีที่ไม่ทำให้คอนกรีตแยกตัว ตามข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับเดียวกับบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงการโดยคนงาน รถเข็น รถผสมคอนกรีต สายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น
2. เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับสูงกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงการโดยราง สายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น
3. เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับต่ำกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงการโดยใช้รอก ลิฟท์ รถเครน ทาวเวอร์เครน สายพานลำเลียงหรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น
4. เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ห่างจากบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ต้องใช้วิธีการลำเลียงโดยรถโม่ขนคอนกรีตมาส่งที่หน่วยงาน และลำเลียงต่อไปสู่บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสม

2.5.3 **คุณสมบัติของคอนกรีต**

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการโดยทั่วไป คือ ในสภาพเหลวต้องมีความสามารถเทได้ (Workability) ไม่มีการแยกตัว (Segregation) ใช้พลังงานในการทำงานน้อย ในสภาพที่แข็งตัวแล้วจะต้องมีกำลัง (Strength) สูงพอ ทึบน้ำ (Impermeability) หดตัวน้อย ปราศจากรอยแตกร้าวภายในไม่มีโพรง หรือช่องว่างจากการเท บางกรณีที่มีจากใช้งานที่ต้องสัมผัสกับน้ำตลอดเวลา คอนกรีตที่ไม่มีการกระจายตัวของเม็ดซีเมนต์ดีพอ และคอนกรีตที่ไม่มีความทึบน้ำพอ น้ำก็จะสามารถซึมผ่านตามช่องว่างที่ต่อเนื่องออกมาได้ จึงจำเป็นต้องใช้น้ำยากันซึม (Water Proof) เพื่อช่วยลดอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ของคอนกรีตและลดรูโพรงหลังการบ่มทำให้ลดการซึมผ่านของน้ำลง

คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตสด เป็นคอนกรีตที่หลังจากผสมวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันแล้วอยู่ในสภาพเหลว และยังสามารถเทเข้าแบบได้โดยยังไม่เกิดการเริ่มก่อตัว (Stiffening Time) ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อกำลัง และความทนทานของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว คือ ความสามารถเทได้ (Workability) คือความสามารถในการเทคอนกรีตเข้าแบบให้แน่น และไม่เกิดการแยกตัวของส่วนผสม การแยกตัว (Segregation) คือการแยกออกของส่วนประกอบต่างๆ ในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ การยึดเกาะ (Cohesion) คือการที่เนื้อคอนกรีตสามารถจับรวมตัวกันเป็นกลุ่ม หรือแยกออกจากกันได้ยาก การข้นเหลว (Consistency) คือสภาพความเหลวของคอนกรีต ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นส่วนใหญ่โดยการทดสอบต่างๆ เช่น ค่ายุบตัว การไหล การเยิ้ม (Bleeding) คือการ

แยกตัวชนิดหนึ่ง เป็นการแยกตัวในแนวดิ่งโดยที่วัสดุผสมที่หนักจะจมลงด้านล่าง และวัสดุผสมที่เบาจะลอยตัวขึ้นด้านบนสู่ผิวของคอนกรีต

คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว คือ กำลังอัด (Compressive Strength) ความหนาแน่น (Density) ความทึบน้ำ (Impermeability) ความคงทน (Durability) ความต้านทานต่อการขัดสี (Resistance to Abrasion) ตัวอย่างของคอนกรีตทั่วไปดังรูปที่ 2.19

รูปที่ 2.19 ตัวอย่างพื้นคอนกรีตทั่วไป

สำหรับงานคอนกรีตผสมเสร็จ อาจมีการเพิ่มสารผสมคอนกรีตอื่นๆ นั่นคือ เถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง (By Product) ที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า มีลักษณะเป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียด ซึ่งลอยตัวขึ้นมาพร้อมกับอากาศร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินที่บดละเอียดจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) และจะถูกส่งต่อไปยังถังเก็บเถ้าลอยที่ได้ จากการเผาไหม้นี้ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของซิลิกา และอลูมินา ในการออกแบบส่วนใหญ่จะใช้เถ้าลอยประมาณ 10-50% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ได้ออกแบบไว้

2.5.4 การนำคอนกรีตไปใช้งานด้านต่าง ๆ

คอนกรีตสำหรับงานพิเศษ จะต้องมีการตรวจสอบทั้งคุณสมบัติคอนกรีตในสภาพเหลว และสภาพเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว โดยจะเน้นเฉพาะพฤติกรรมพิเศษที่ออกแบบตามวัตถุประสงค์ของงานนั้นๆ ดังตัวอย่างเช่น งานซ่อม คอนกรีตจะต้องมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

- คืบตัวและหดตัวน้อย (Non - Shrink / Low shrinkage)

- มีกำลังเริ่มแรกสูง (High Early Strength)
- มีความไหลลื่นดีแทรกซึมทุกจุด (Flowbility)
- ต้านแรงร่วม แรงกดแรงเฉือนได้ดี (Shear / Compression)
- มีการยึดเกาะคอนกรีตได้ดี (High Flexural Strength)

งานคอนกรีตไหล ควรจะต้องมีคุณสมบัติหลัก คือ

- ไหลได้ด้วยตัวเอง (Self Compacted)
- ไม่แยกตัว (Non - Seggregation)
- อุณหภูมิต่ำ (Low Thermal)
- ก่อตัวช้า (Long Setting)
- และมีช่วงเวลาทำงานได้นาน (Low Slump Loss)

การใช้คอนกรีตแนวใหม่

เทคโนโลยีคอนกรีตในช่วงหลายปีข้างหน้า จะมีแนวโน้มของตลาดตามขนาดและลักษณะของงาน ซึ่งช่วงการพัฒนาที่ผ่านมาจะเน้นเฉพาะอาคาร ที่พักอาศัย ถนน พื้น และสิ่งปลูกสร้างเป็นส่วนใหญ่ แต่ในการก่อสร้างในช่วงต่อไป จะเป็นงานในกิจกรรม ทางด้าน สาธารณูปโภคหรือโครงสร้างพื้นฐานมากขึ้น เช่น สนามบิน ถนนหนทาง สะพาน ทางด่วน รถไฟฟ้า โรงงานไฟฟ้า หรือโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.5.5 การนำคอนกรีตไปใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์

ปัจจุบันมีการนำคอนกรีตไปใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์อย่างหลากหลาย เพื่อตอบรับทุกรูปแบบการใช้งาน และช่วยเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง เช่น การใช้คอนกรีตสำเร็จรูปสำหรับงานตกแต่ง การก่อสร้างงาน ลานอเนกประสงค์ ท่อระบายน้ำคอนกรีต บ่อพัก รางยู คันหิน เสาไฟ ท่อเหลี่ยม บล๊อกหญ้า รั้วสำเร็จรูป พื้นสำเร็จรูป แผ่นทางเท้า ท่อดันลอด เป็นต้น

2.6 การทำทางเดิน และทางเท้า

การทำทางเดินที่ใช้กันบ่อยๆ ควรจะมีความแข็งแรงและมีขนาดที่กว้างพอ ซึ่งการปูพื้นทางเดินเท้าส่วนใหญ่จะจ้างผู้รับเหมามาปูให้ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- ร่างแบบโดยรอบใช้เทคนิคการร่างแบบสำหรับวางแผ่นปูถนน และใช้แนวหรือวัดระดับน้ำเพื่อทำแนวลาดได้ถูกต้อง

- การขุดและอัดแน่นด้วยดินเหนียว ขุดดินออกมาให้มีความลึกพอประมาณ 1 นิ้ว ปูพื้นก็ควรใช้ระดับสูงขึ้น 1 นิ้ว ขุดเอาดินออก เพื่อสำหรับการทำขอบและทำทางตามความลึกที่ขุดให้พอดีกับการจัดวาง ปรับระดับความสูงของพื้นผิวให้พอเหมาะ

- การทำขอบ ให้ทำเส้นขอบเพื่อยึดเป็นแนวในการทำขอบ ในการก่อแนวอิฐ นำอิฐวางแล้วใช้ด้ามเกียงทุบอัดให้แน่นวางอิฐชิด ๆ กัน โดยใช้ด้ามเกียงปาดปูนตอกอัด

- คลุมหน้างานด้วยผ้าใบ ก่อนทำการอัดทรายอีกชั้น

- ทำการปูกระเบื้องคอนกรีตหรือเทคอนกรีตพรุนที่ผสมเสร็จแล้วจากมุมใดมุมหนึ่ง และเริ่มปูเป็นแนวด้วยใช้เส้นแนวยึดวางในแนวดิ่ง เพื่อตรวจความเสมอกันของพื้นที่

- บ่มคอนกรีตทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการเทและควรบ่มต่อไปจนกระทั่งได้พื้นคอนกรีตมีกำลังตามต้องการ

2.7 อาคารเขียว

อาคารเขียว (Green Building) คือการดำเนินการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของอาคาร โดยมุ่งเน้นให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ได้แก่ เป็นอาคารประหยัด พลังงาน ประหยัดการใช้ น้ำ และใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ลดผลกระทบต่อผู้ใช้ทางด้านสุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม โดยการคัดเลือกที่ตั้งอาคาร ออกแบบ ก่อสร้าง ใช้งาน บำรุงรักษา และรื้อถอน ที่ดีกว่า ตลอดอายุการใช้งานของอาคาร ซึ่งการดำเนินการทั้งหมดจะไม่มีกฎหมายหรือกฎเกณฑ์บังคับ เกิดจากความต้องการของผู้ประกอบการเอง

มาตรฐานอาคารเขียว (Leadership in Energy and Environment Design, LEED) โดยสภาอาคารเขียวจากสหรัฐอเมริกา (U.S. Green Building Council) ก่อตั้งโดยกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ สถาปนิก วิศวกร นักธุรกิจ นักการตลาด นักพัฒนาที่ดิน และผู้ผลิตวัสดุก่อสร้าง เป็นมาตรฐานที่จะใช้ประเมินเพื่อรับรองว่าอาคารที่ออกแบบก่อสร้างอยู่นั้น จะไม่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมากจนเกินไป และยกย่องส่งเสริมผู้ที่พยายามลดภาวะโลกร้อน ซึ่งหลักเกณฑ์ดังกล่าวได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก อาคารต่างๆ ทั่วโลกต่างเข้าร่วมดำเนินกิจกรรม เพื่อการประหยัดพลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อให้ได้รับการรับรองเป็นอาคารเขียว

รูปที่ 2.20 สัญลักษณ์อาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา

ที่มา: USGBC, 2009

หลักเกณฑ์ในการประเมินอาคารเขียวนั้น กำหนดเกณฑ์พิจารณาไว้ 6 เรื่อง ดังนี้

1. ที่ตั้งอาคาร จะต้องมีการพิจารณาว่าที่ตั้งของอาคารส่งผลกระทบต่อนิเวศวิทยาหรือไม่ และมีการพิจารณาด้านการใช้ประโยชน์จากทำเลที่ตั้ง จะต้องเพิ่มพื้นที่สีเขียว ป้องกันการเกิดปัญหาน้ำท่วมล้น และลดปรากฏการณ์เมืองร้อน (Heat Island Effect) บริเวณโดยรอบมีระบบขนส่งมวลชนที่เหมาะสมหรือไม่

2. การใช้พลังงาน และการใช้วัสดุก่อสร้าง อาคารเขียวจะต้องก่อสร้างจากวัสดุช่วยลดการใช้พลังงาน เป็นวัสดุในท้องถิ่นเพื่อให้เกิดการขนส่งน้อยที่สุด หรือหากเป็นวัสดุรีไซเคิลจะได้รับการพิจารณามากที่สุด

3. ระบบการใช้น้ำ ต้องมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลถึงน้ำเสียที่จะเกิดขึ้น เมื่อใช้น้ำน้อยลง รวมทั้งน้ำที่ใช้แล้วต้องนำกลับมาใช้ใหม่ด้วย อาทิ ห้ามใช้น้ำประปารดน้ำต้นไม้โดยเด็ดขาด น้ำสำหรับรดต้นไม้ต้องเป็นน้ำเสียจากอาคารนำมาผ่านการบำบัดแล้ว รวมทั้งประสิทธิภาพการใช้น้ำจากสุขภัณฑ์ ก๊อกน้ำ และผลิตภัณฑ์ประกอบอื่นๆที่ได้รับการออกแบบให้มีการประหยัดน้ำและยังคุณภาพการใช้งานได้เป็นอย่างดี

4. สภาพแวดล้อมในอาคาร ต้องมีความเหมาะสม ต้องมีแสงสว่างเพียงพอกับความต้องการของผู้อยู่อาศัยในอาคาร ไม่มีฝุ่น เชื้อโรค องค์ประกอบในการก่อสร้างต้องไม่ปล่อยสารพิษออกมา เช่น พรม หรือสีจะต้องไม่มีสารระเหยที่เป็นอันตราย เป็นต้น

5. ผู้อยู่อาศัยในอาคารต้องมีคุณภาพชีวิตที่ดี อาศัยอยู่อย่างสบายในภาวะที่เหมาะสม

6. ต้องสร้างด้วยนวัตกรรม หรือเทคโนโลยีใหม่

2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเรื่องนี้ มีจุดประสงค์เพื่อนำมาประกอบ การพิจารณาและใช้เป็นแนวทางในการวิจัย เพื่อช่วยให้งานวิจัยครั้งนี้มีความสมบูรณ์ที่สุด โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสามารถสรุปโดยย่อได้ดังนี้

2.8.1 งานวิจัยด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต

สุรศักดิ์ วิทย์ศลาพงษ์ (2548) ทำการรวบรวมฐานข้อมูลการใช้ทรัพยากร พลังงานและของเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักร และทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นที่ใช้ในบ้านชนิดหนึ่ง มีประตู ขนาด 6.3 ลูกบาศก์ฟุต โดยใช้โปรแกรม SimaPro 6.0 และใช้วิธี EDIP (Envronmental Design of Industrial Products) ผลการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการใช้งานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (83%) เนื่องจากการใช้งานปริมาณไฟฟ้าสูงตลอดอายุการใช้งาน รองลงมาคือ ขั้นตอนการผลิตคอมเพรสเซอร์ (5.31%) และขั้นตอนการฉีดโฟมในตัวโครงตู้ (3.56%)

ปริญญ์ บุญกนิษฐ์ และคณะ (2549) ทำการศึกษาการ ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตบัลลาสอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผลการพิจารณาพบว่าก่อนการทำการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ดังกล่าวมีชิ้นส่วนหลักที่ควรเร่งทำการปรับปรุงก่อน 2 ลำดับแรก คือ ชิ้นส่วนโครงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติก (Poly Carbonate, PC) และหม้อแปลง (Choke) บนแผ่นอุปกรณ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB) โดยผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุงด้วยวิธีการ Eco-Indicator 99 แบบ Single Score อยู่ที่ค่าระดับผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ 55.3 mPt และหลังทำการปรับปรุงโดยทำการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนโครงผลิตภัณฑ์เป็นอลูมิเนียม และทำการปรับปรุงออกแบบหม้อแปลงด้วยการ Chamfer Core Choke พบว่ามีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลง เหลือ 30.9 mPt ซึ่งแสดงให้เห็นไ ด้ว่าการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ในระดับแนวความคิด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม ลดลงได้กว่า 24.4 mPt หรือลดลงประมาณ 44% ซึ่งผลลัพท์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว มีโอกาสประสบความสำเร็จมากทางด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงแนวคิดการออกแบบ

กฤติยา และคณะ (2550) ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานและความคงทนของคอนกรีตและคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) พบว่าผง

หินปูนหรือผงแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ที่มีจุดเด่นในการเร่งการก่อตัว และเร่งการพัฒนากำลังของคอนกรีต ทั้งยังมีข้อดีในเรื่องการลดการเยิ้มน้ำ ลดการหดตัว เพิ่มความต้านทานซัลเฟต และความต้านทานกรด อีกทั้งมีราคาต่ำกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้น จึงเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ที่น่าจะมีอนาคตสดใสอีกชนิดหนึ่ง

การใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในงานปูนซีเมนต์และคอนกรีตสามารถลดการใช้พลังงานในการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เชื้อเพลิงในการเผาวัตถุดิบเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ จะมีผลในการลดการปล่อยก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ลงได้อีกด้วย เพราะวัสดุทดแทนเหล่านั้นไม่จำเป็นต้องเผา แต่สามารถผสมกับปูนซีเมนต์ได้เลย ซึ่งข้อดีของการใช้วัสดุดังกล่าวจะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต ประหยัดพลังงาน ลดมลภาวะ และปรับเปลี่ยนสมรรถนะของปูนซีเมนต์ได้

Claus และคณะ (2007) ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงจากกระบวนการผลิตเม็ดปูนซีเมนต์ พบว่ามากกว่า 50-60% ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาเกิดจากกระบวนการ Calcination หรือการทำให้หินปูนมีอุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิตเม็ดปูน (Clinker) ซึ่งเป็นผลผลิตในขั้นต้นจากการเผาวัตถุดิบ ก่อนที่จะนำไปบดละเอียดเป็นซีเมนต์ และอีกประมาณ 50% เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และยังพบว่าอุตสาหกรรมซีเมนต์ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 5% ของทั้งหมดทั่วโลก

2.8.2 งานวิจัยเกี่ยวกับปูนซีเมนต์และคอนกรีต

ประชุม และคณะ (2550) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากบล็อกปูพื้นเพื่อลดอุณหภูมิภายนอกอาคาร โดยออกแบบให้เป็นบล็อกประกอบ 2 ชั้น ทดสอบอุณหภูมิผิวหน้าด้วยอินฟาเรดเทอร์โมมิเตอร์เปรียบเทียบกับบล็อกปูพื้นชนิดอื่น ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะพบว่า ลักษณะพื้นผิวแห้ง แผ่นบล็อกประกอบที่ชั้นล่างเป็นอิฐมอญตันมีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด ส่วนลักษณะพื้นที่เปียก ศิลาแลงมีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด และในพื้นที่มีความชื้น บล็อกประกอบที่ชั้นล่างเป็นอิฐมวลเบามีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด ซึ่งสรุปโดยรวมแล้วได้ว่า บล็อกประกอบที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นสามารถช่วยลดอุณหภูมิผิวหน้าได้ดีกว่าวัสดุอื่นในทุกสภาพแวดล้อม จึงมีแนวโน้มที่จะนำไปพัฒนาและผลิตเป็นบล็อกปูพื้นสำหรับลดอุณหภูมิบริเวณภายนอกอาคารได้ต่อไป

นิตย์รดี ดอเล๊าะ (2552) ได้ศึกษาการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ ในงานอุตสาหกรรมด้านวัสดุก่อสร้างที่เรียกว่า วัสดุมวลเบา ซึ่งเป็นพัฒนาการต่อยอดจากอิฐมอญหรืออิฐแดง มีส่วนผสมจากธรรมชาติ

ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซั่ม น้ำ และสารกระจายฟองอากาศ เป็นต้น มีส่วนผสมพิเศษในอัตราที่เป็นสูตรเฉพาะตามขนาดของอิฐมวลเบา อิฐมวลเบามีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีฟองอากาศถึง 75% ไม่ดูดซึมน้ำหรือดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐมอญ 4 เท่า ป้องกันความร้อนได้ดี นอกจากนี้อิฐมวลเบาได้รับการพัฒนาเพื่อตอบสนองในเรื่องของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยมีการนำวัสดุจากธรรมชาติและวัสดุเหลือใช้นำมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งแนวโน้มการใช้อิฐมวลเบาในด้านการก่อสร้างในประเทศไทยจะแพร่หลายมากขึ้น

Caijun และคณะ (2008) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์คอนกรีต พบว่าวัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต เช่น ปูนซีเมนต์ หินปูน เถ้าลอย จะสามารถปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ มาออกจากกระบวนการผลิตได้ นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ ผลกระทบจากอุณหภูมิ ความดัน ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่ม อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผลิต ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่แตกต่างกันไป

Levinson และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสีต่างๆ ของกระเบื้องปูพื้นภายในบ้านพักอาศัย สีกระเบื้องหลังคา สีทาภายนอกของผนัง และสีกระเบื้องปูพื้น ที่มีผ ลต่อการดูดกลืนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิว เกิดการสะสมความร้อน และถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้าน ผลจากการศึกษาสมบัติทางความร้อนและการทดลองพบว่า วัสดุเดียวกันที่มีสีเข้มดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้มาก จึงทำให้เกิดการสะสมความร้อน และถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บ้านมากกว่าสีอ่อน เนื่องจากการถ่ายความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารหรือบ้านพักอาศัย ส่วนใหญ่เป็นช่วงเวลากลางวัน ทำให้เกิดการสะสมความร้อนของส่วนประกอบต่างๆ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในบ้านสูงขึ้นด้วย

Natesan และคณะ (2007) กล่าวว่าอุตสาหกรรมซีเมนต์มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 5% ของปริมาณการปล่อยทั้งหมดของโลก และพบว่ามีส่วนสำคัญในการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ อุตสาหกรรมซีเมนต์มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 900 kg/1000 kg ของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จากปัจจัยการปล่อยที่มาจากการผลิตซีเมนต์ ทำให้มีการจัดตั้งนโยบายฉุกเฉินจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศกับอุตสาหกรรมผลิตซีเมนต์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างกลยุทธ์ในการตอบสนองต่อความเสี่ยงในการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอุตสาหกรรมซีเมนต์ในอนาคต

Pulselli และคณะ (2007) พบว่าผลผลิตปูนซีเมนต์ทั่วโลกมีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี 1950 โดยมีปริมาณ 2.1 พันล้านตันในปี 2004 คิดเป็นค่าเฉลี่ยประมาณ 7-8 % ต่อปี และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเท่าตัวในเวลาไม่ถึง 20 ปี โดยมีประเทศผู้ผลิตหลักๆ คือ ประเทศจีน และประเทศอินเดีย ซึ่งเทียบเป็น 44 % และ 6 % ของปริมาณผลผลิตปูนซีเมนต์ทั่วโลก ส่วนในแถบยุโรปมีปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์อยู่ที่ประมาณ 11% ของปริมาณผลผลิตปูนซีเมนต์ทั่วโลก

2.8.3 งานวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตพรุน

ยุวดี และคณะ (2550) ศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตพรุนที่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นบล็อกปูถนนได้ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ด้านกำลังรับแรงอัด ความซึมน้ำ และความสามารถในการอัดขึ้นรูปบล๊อกของบล็อกปูถนน ส่วนผสมใช้หินกรวดที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ASTM และเลือกใช้หินกรวดที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 2 (3/8”), เบอร์ 4 และเบอร์ 8 มาผสมกัน โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 18%, 20% และ 22% โดยน้ำหนักหิน และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.35 และ 0.40 จากการวิจัยพบว่าส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ใช้สัดส่วนคละของหินกรวดที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 2 และเบอร์ 8 อย่างละเท่าๆ กันโดยน้ำหนักหิน และส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ใช้สัดส่วนคละของหินกรวดที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 2, เบอร์ 4 และเบอร์ 8 อย่างละเท่าๆ กันโดยน้ำหนักหิน และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 20% และ 22% โดยน้ำหนักหิน จะมีความสามารถในการอัดขึ้นรูปบล็อกปูถนนได้ดี และส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 ซีเมนต์เพสต์จะเคลือบผิวมวลรวมได้ดี

ถนัดกิจ และคณะ (2551) ศึกษาการประยุกต์ใช้งาน และการผลิตคอนกรีตพรุนที่ค่าอัตราส่วนความพรุน 20% โดยใช้มวลรวมหยาบขนาด ½ นิ้ว เพื่อศึกษาความสามารถในการรับแรงและค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน รวมทั้งคุณสมบัติของการเป็นคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ที่พืชสามารถเจริญเติบโตบนคอนกรีตพรุนได้และได้ทำการทดสอบในภาคสนามเพื่อทำพื้นผิวทางสำหรับเดินเท้าและสำหรับยวดยานพาหนะขนาดเล็ก พบว่าคอนกรีตพรุนมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน 4.52 cm/s กำลังอัดที่ 28 วันมีค่า 205.6 ksc ซึ่งเป็นช่วงค่ากำลังที่ใช้งานได้มีความสามารถในการรับแรง เหมาะกับงานรับแรงอัดที่ไม่สูงมากนัก เช่น ลานจอดรถขนาดเล็ก ทางเท้า เป็นต้น รวมทั้งมีคุณสมบัติที่น้ำสามารถซึมผ่านได้เป็นอย่างดี เหมาะกับงานที่ต้องการระบายน้ำได้เร็ว มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พืชสามารถเจริญเติบโตได้

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์สำหรับการผลิตคอนกรีตพรุน ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.20 – 0.36 ผลการทดสอบพบว่า คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ สารผสมเพิ่มและเวลาในการผสม โดยซีเมนต์เพสต์ที่มีความหนืดสูงและค่าการไหลสูงมีความเหมาะสมในการผลิตคอนกรีตพรุน ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำที่ 0.20 – 0.25 ใช้สารลดน้ำพิเศษ 1.0% และใช้เวลาในการผสมที่ 270 วินาที

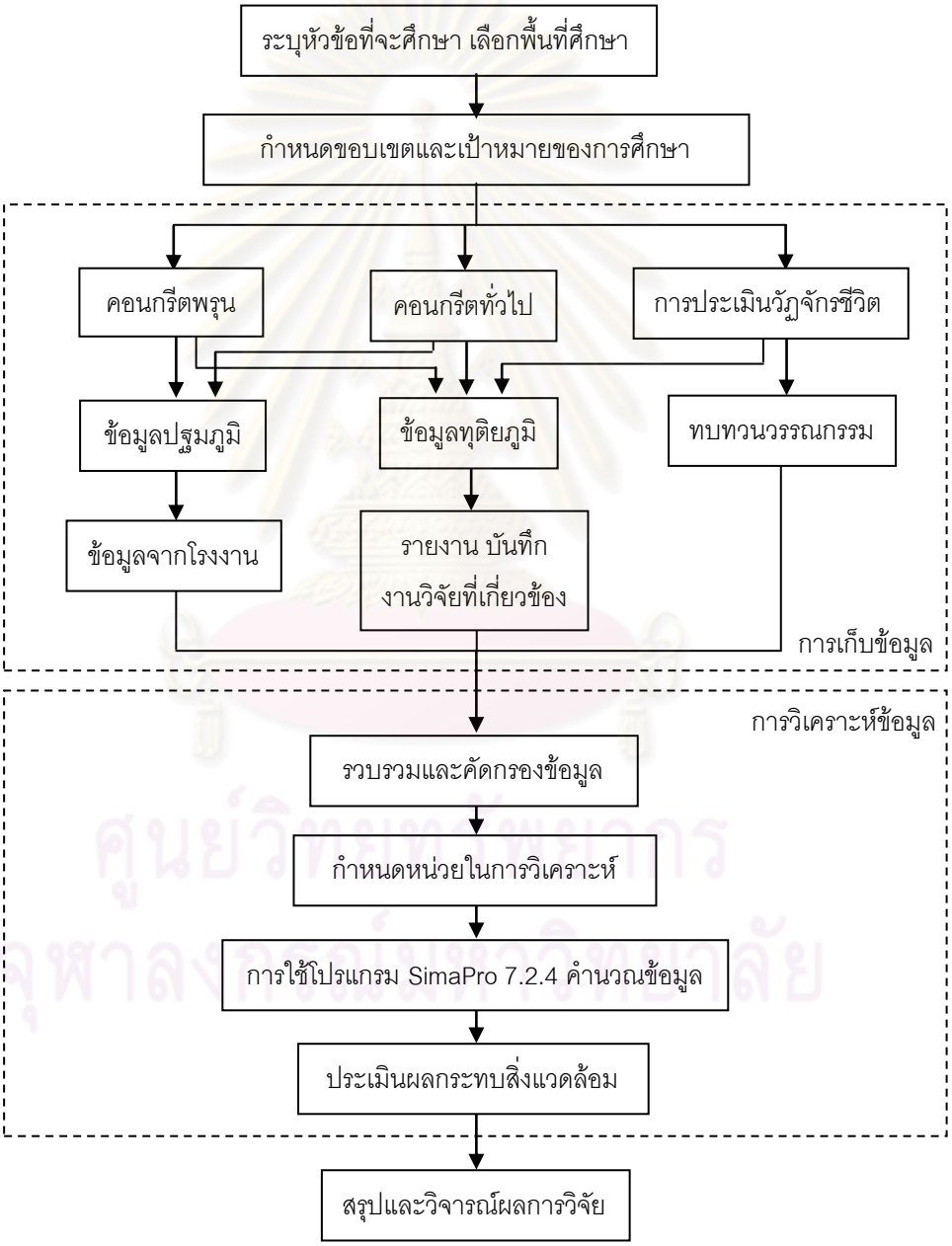
ศูนย์วิชาการคอนกรีตซีแพค (2553) ได้มีการออกแบบคอนกรีตพรุน ให้ มีช่องว่างภายในที่ต่อเนื่อง (Interconnection Void) ขนาดตั้งแต่ 2 - 8 มม. ซึ่งขนาดช่องว่างเหล่านี้จะทำหน้าที่ให้น้ำไหลผ่านได้สะดวก การเตรียมดิน (Subgrade) ก่อนที่จะเริ่มเทคอนกรีต ชั้นดินเดิมต้องถูกอัดแน่น (90-96% Standard Proctor) ปูหินปูนหรือกรวดที่มีความสะอาดขนาด 1"-3/4" บดอัดให้มีความหนาอยู่ระหว่าง 6"-12" (150-300 มม.) จะทำให้คอนกรีตพรุน มีกำลังอัดประมาณ 140 กก./ตร.ซม จากการทดสอบพบว่าคอนกรีตพรุนเหมาะสำหรับการก่อสร้างหลายๆ ประเภท โดยเฉพาะพื้นที่ต้องการการระบายน้ำได้ดี เช่น พื้นลานจอดรถ , ลานบริเวณรอบที่พักอาศัย พื้นบริเวณรอบสระว่ายน้ำ ถนนในหมู่บ้าน (Light Traffic) และถนนภายในสนามกอล์ฟ เป็นต้น

Tamai และคณะ (2000) กล่าวถึงการใช้งาน และลักษณะของคอนกรีตที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือที่เรียกว่า คอนกรีตพรุน (Porous Concrete) ซึ่งน้ำและอากาศสามารถผ่านได้อย่างอิสระ ต่างจากคอนกรีตทั่วไป (Ordinary Concrete) แต่คุณสมบัติของคอนกรีตพรุน เช่น ความแข็งแรงทนทาน ก็จะด้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตพรุนมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง โดยสามารถควบคุมโดยใช้ความหนา และโครงสร้างของแผ่นคอนกรีตพรุน ส่วนที่น่าสนใจคือคุณสมบัติการดูดซึมก๊าซ NO_x ที่ทำให้การดูดซับเสียงดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้กับสิ่งมีชีวิต และทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์ โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บนผิวด้านในและด้านนอกของคอนกรีตพรุน งานวิจัยนี้ยังศึกษาการนำไปใช้ทดสอบการเจริญเติมโตของหญ้า วัชพืช และเฟิร์นในคอนกรีตพรุน พบว่าพืชสามารถเจริญเติบโตในคอนกรีตพรุนได้ จากผลที่ได้ทำให้คอนกรีตพรุนนั้นน่าจะเป็นแนวคิดที่ดีในการนำไปใช้เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตของ คอนกรีตพรุน การวิจัยจะวิเคราะห์และศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้ทรัพยากรและพลังงานใน การผลิตคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป รวมถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยมีแผนการดำเนินงานวิจัยดังรูป



รูปที่ 3.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4

2. โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

วิธีการวิจัยการประเมินวัฏจักรชีวิต ดำเนินการตามขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตในอนุกรมมาตรฐาน 14040 ซึ่งมี 4 ขั้นตอน คือ 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) 2) การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory Analysis) 3) การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment) 4) การแปลผล (Interpretation) 5) การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 วิธี Eco-Indicator 99 สำหรับประมวลผลข้อมูล และประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

ประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ตลอดวัฏจักรชีวิตของคอนกรีตพรุน โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 วิธี Eco-Indicator 99 เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์

ขอบเขตของงานวิจัยที่พิจารณาจะมีขอบเขตการพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิต และการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน โดยไม่รวมการกำจัดซากหลังการใช้งาน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบ่งกลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกเป็น 3 กลุ่มผลกระทบ ได้แก่ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศและการลดลงของทรัพยากร และทั้ง 3 กลุ่มแบ่งประเภทผลกระทบออกเป็น 11 ประเภท โดยจะทำการวิเคราะห์ลงไปยังกระบวนการผลิตของแต่ละขั้นตอน เพื่อหาว่าขั้นตอนใดในกระบวนการผลิตที่สิ่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

หน่วยหน้าที่ของการศึกษา (Functional Unit) กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบที่ศึกษา ในงานวิจัยนี้หน่วยหน้าที่ของการศึกษา คือการผลิตคอนกรีตพรุน เพื่อใช้กับพื้นที่ 1 ตารางเมตร

การเก็บรวบรวมข้อมูลจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานผลิต และการเก็บรวบรวมมาจากบทความจากเอกสารทางวิชาการระดับนานาชาติ วิทยานิพนธ์และดุษฎีนิพนธ์ในประเทศไทย และการใช้ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบสำเร็จรูป

3.2.2 **การวิเคราะห์บัญชีรายการ** (Inventory Analysis)

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม จากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณเพื่อหาจำนวนสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System)

การรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ สามารถสืบค้นได้จาก บทความวิชาการ งานวิจัยที่ผ่านมา และการเก็บรวบรวมโดยผู้ดำเนินงานในโรงงานผลิต ได้แก่ ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตของโรงงาน ชนิดและปริมาณของวัตถุดิบ และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต การดำเนินการควบคุมการเกิดของเสียและการจัดการของเสีย ไปจนถึงมาตรการติดตามตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์จัดเป็นข้อมูลประเภททุติยภูมิ โดย การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยจะใช้วิธีกรอกแบบสอบถามข้อมูล และสัมภาษณ์จากผู้ปฏิบัติงานในโรงงานผลิต เกี่ยวกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน และคอนกรีตปูพื้น นอกจากนี้ยังสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมจากบทความวิชาการ และงานวิจัยที่ผ่านมา

สำหรับข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิต จะอ้างอิงจากคู่มือเครื่องจักร (Specification) ที่เกี่ยวข้องในการผลิต โดยที่จะใช้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากที่สุดที่เครื่องจักรจะใช้เป็นตัวคำนวณในการหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิต

3.2.3 **การประเมินผลกระทบ** (Impact Assessment)

จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียหรือสารขาเข้าและขาออก จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยจำแนกจัดกลุ่ม และเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลไว้ใช้ในการแปลผลกระทบของระบบผลิตภัณฑ์ต่อไป

ในงานวิจัยนี้ ผลจากการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และของเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของคอนกรีตพรุน 1 ตารางเมตร ถูกนำไปคำนวณเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 วิธี Eco-Indicator 99 ซึ่งประกอบด้วยการจำแนกกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Classification) และการตีค่าผลกระทบของแต่ละกลุ่ม (Characterization) ซึ่งอาจรวมถึงการเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เพื่อให้ได้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) โดยดัชนีชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มีทั้งหมด 11 กลุ่ม ได้แก่

1) ภาวะโลกร้อน (Climate Change)

2) การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Depletion)

3) สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)

4) ความเป็นพิษ (Ecotoxicity)

5) สารแผ่รังสี (Radiation)

6) ภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification / Eutrophication)

7) การใช้พื้นที่ (Land use)

8) การใช้สินแร่ (Mineral)

9) การใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuel)

10) การหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of Organic Substance)

11) การหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance)

ในงานวิจัยนี้จะเลือกพิจารณากลุ่มที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด 5 ประเภท จาก 3 กลุ่มผลกระทบ ซึ่งถือว่าเป็นประเด็นสำคัญของผลกระทบที่เกิดจากคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป รายละเอียดในตาราง ค-2 โดยดัชนีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เลือกพิจารณาในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1) ภาวะโลกร้อน (Climate Change)

2) ความเป็นพิษ (Ecotoxicity)

3) ภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification / Eutrophication)

4) การใช้เชื้อเพลิง (Fossil Fuel)

5) การหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance)

3.2.4 **การแปลผล** (Interpretation)

ขั้นตอนนี้เป็นการแปลผลจากขั้นตอนของการประเมินผลกระทบ ทำให้ทราบถึงแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยสามารถชี้ได้อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและควรมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุง ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการหาแนวทางในการออกแบบพัฒนากระบวนการ ในการผลิตวัสดุปูพื้นที่คำนึงถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสม และสามารถลดผลกระทบจากกิจกรรมต่างๆ ของกระบวนการผลิตได้

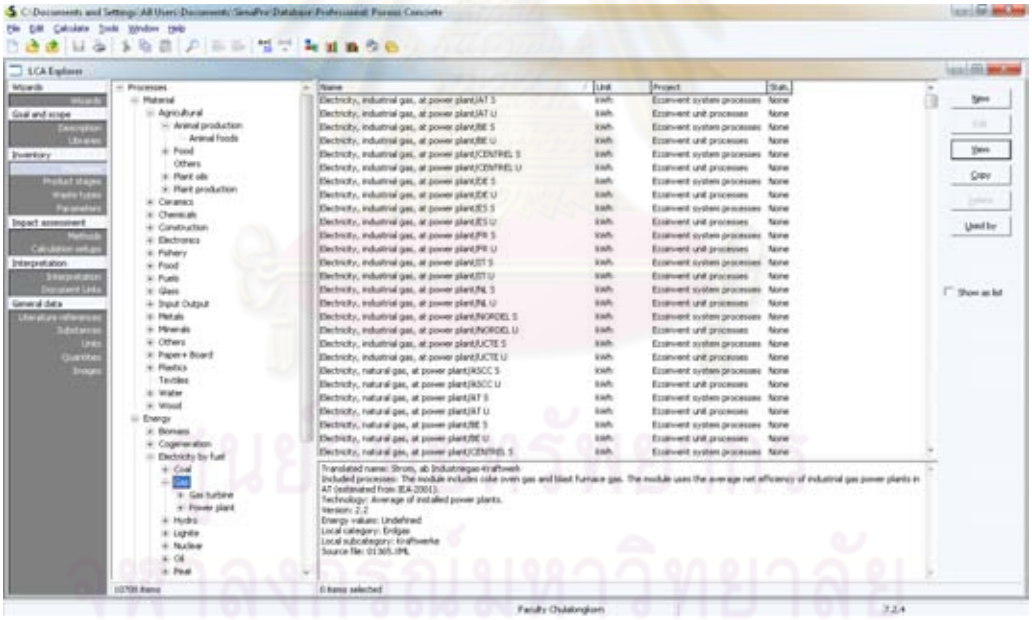
3.2.5 **การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม**

การศึกษาแนวทางการปรับปรุง เพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตคอนกรีตพรุน จากการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาการเลือกใช้วัตถุดิบ กระบวนการผลิตจากโรงงาน และการนำคอนกรีตพรุนไปในใช้งานปูพื้นภายนอกอาคาร และลานจอดรถ โดยสามารถชี้ชัดลงไปได้อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และควรมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงในแต่ละขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ มีความ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถลดผลกระทบจากกิจกรรมต่างๆ ของกระบวนการผลิต และการใช้งานผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุด

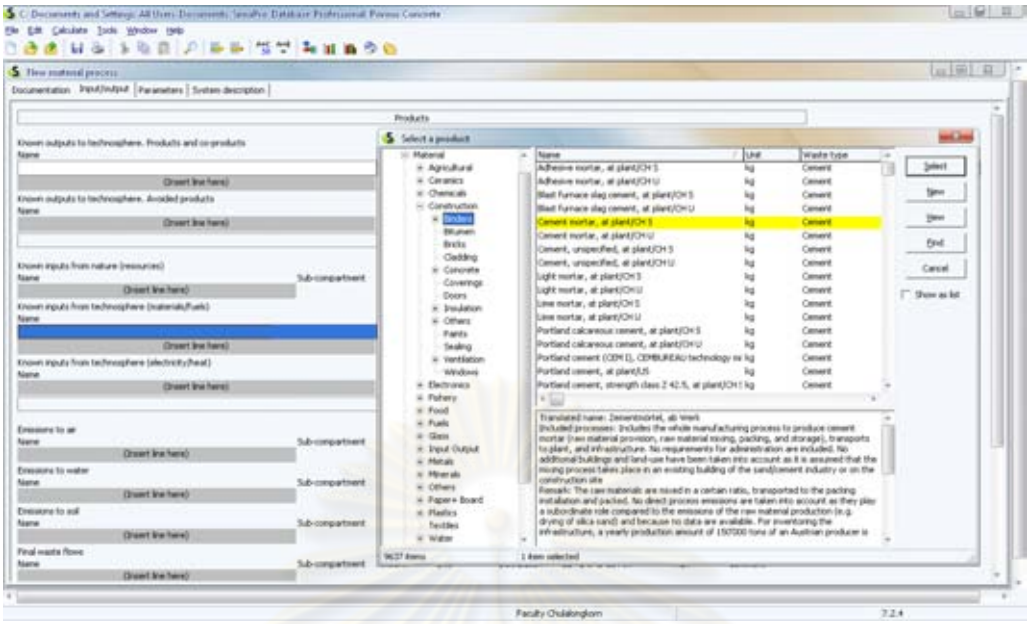
3.3 **โปรแกรมสำเร็จรูป** SimaPro 7.2.4

การจัดทำบัญชีรายการ โดยการกำหนดขอบเขตของกระบวนการที่จะศึกษา ได้แก่ การเลือกกระบวนการของระบบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ประเภทของเสีย การใช้พลังงาน เพื่อนำไปคำนวณเกี่ยวกับสมดุลมวลสาร และสมดุลพลังงานของระบบที่ศึกษา รายละเอียดดังนี้

รูปที่ 3.2 โปรแกรม SimaPro 7.2.4

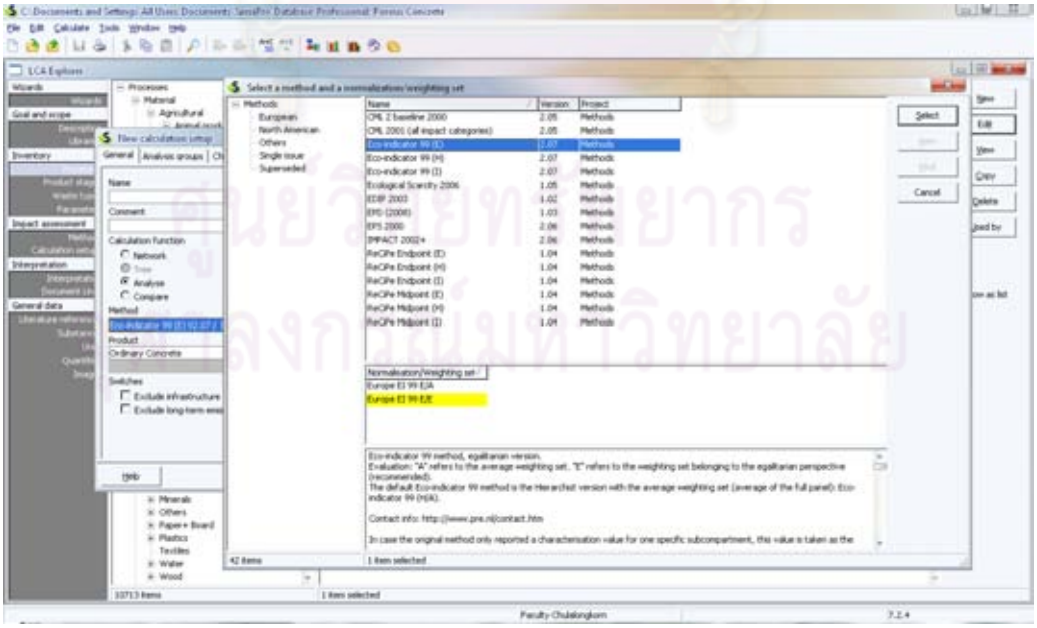


รูปที่ 3.2 รายละเอียดฐานข้อมูลในโปรแกรม SimaPro 7.2.4

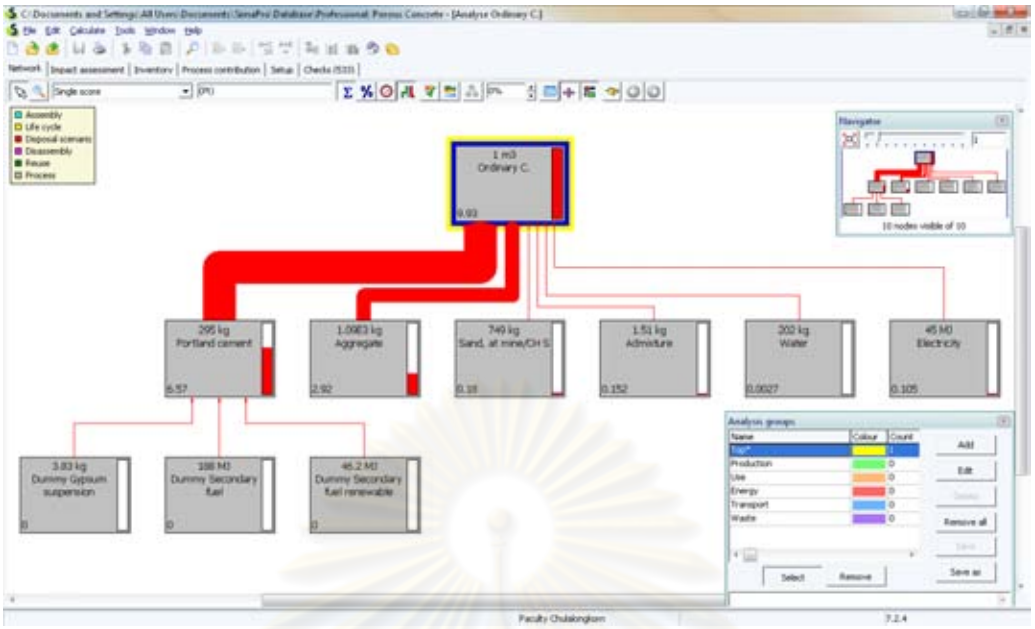


รูปที่ 3.3 การสร้างฐานข้อมูลใหม่ในโปรแกรม

โปรแกรมจะสามารถคำนวณสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของระบบที่ศึกษา จากการระบุรายละเอียดในแต่ละกระบวนการ โดยต้องทำการเลือกวิธีวิเคราะห์ และโปรแกรมจะแสดงผลในรูปแผนผังดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 เพื่อบ่งชี้สัดส่วนของปริมาณการใช้ทรัพยากรหรือพลังงานในแต่ละกระบวนการ

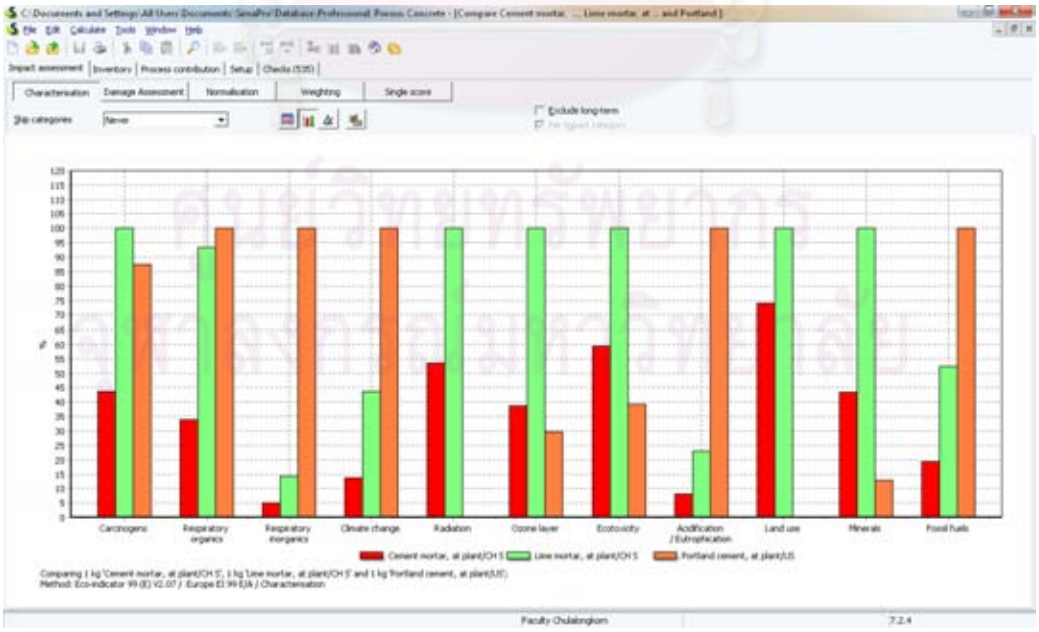


รูปที่ 3.4 การเลือกวิธีวิเคราะห์ผลกระทบในโปรแกรม

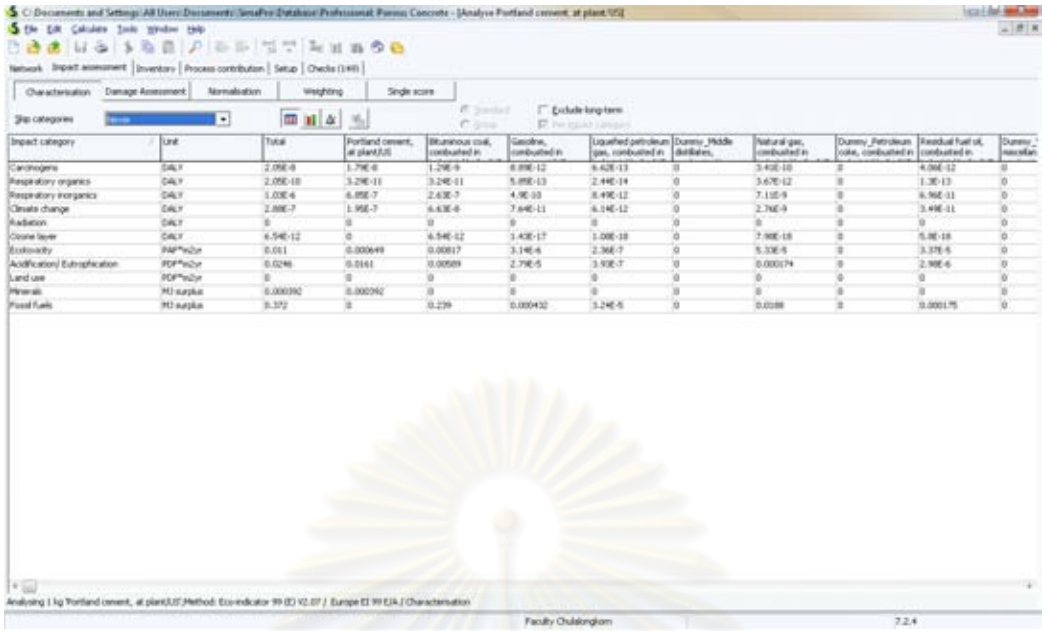


รูปที่ 3.5 ตัวอย่างแผนผังกระบวนการผลิต

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม จะแสดงผลตามรายการผลกระทบในแต่ละกระบวนการตามที่ได้ระบุไว้ข้างต้น โดยแสดงผลแบบกราฟ แผนภูมิ และตาราง ซึ่งผู้วิจัยสามารถกำหนดรูปแบบที่ต้องการได้ และสามารถเพิ่มหรือเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูล หรือปรับเปลี่ยนรายละเอียดในขั้นตอนการคำนวณผลกระทบของโปรแกรมได้ด้วย



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงแบบแผนภูมิ



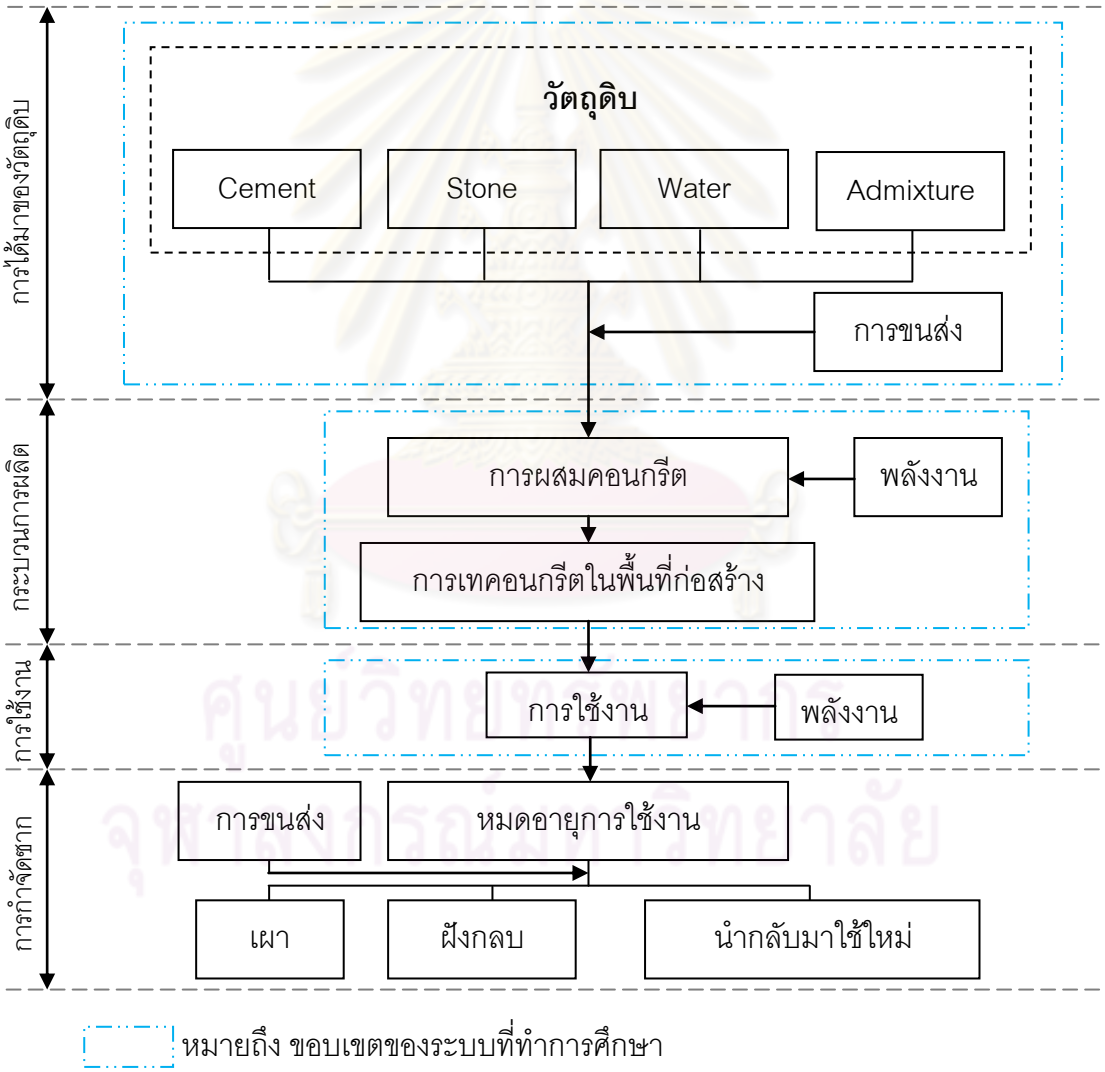
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงแบบตาราง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นงานวิจัยที่จำเป็นต้องใช้ฐานข้อมูลวัตถุดิบเป็นจำนวนมาก ในงานวิจัยนี้จะใช้ฐานข้อมูลจากต่างประเทศ ซึ่งได้จากโปรแกรม SimaPro 7.2.4 เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวของประเทศไทยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ไม่มากนัก งานวิจัยนี้จะพิจารณาการศึกษาโดยพิจารณาการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิต หน่วยงานก่อสร้าง และการใช้งาน ขอบเขตของระบบทั้งหมดและขอบเขตที่ทำการศึกษาดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขอบเขตของระบบทั้งหมดและขอบเขตที่ทำการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis: LCI)

จากขั้นตอนการทำบัญชีรายการ ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลปริมาณสารขาเข้า และสารขาออกของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน เพื่อนำไปประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยวิธีการ Eco-indicator 99 ซึ่งประเมินผลกระทบ 3 กลุ่ม ได้แก่ สุขภาพมนุษย์ (Human Health) ระบบนิเวศ (Ecosystem Quality) และการลดลงของทรัพยากร (Resource Depltion) โดยผลการประเมินจะแสดงออกเป็นการกำหนดบทบาท (Characterization) และคะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) โดยกระบวนการในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 การได้มาของวัตถุดิบ

เป็นขั้นตอนตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบออกมาจากแหล่งธรรมชาติ จนกระทั่งกลายเป็นวัตถุดิบที่พร้อมเริ่มต้นในกระบวนการผลิต โดยที่งานวิจัยนี้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบจะอ้างอิงจากฐานข้อมูล LCI ในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4

สำหรับสถานที่ในการเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตโดยขอความร่วมมือด้านการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องการจากโรงงานผู้ผลิตคอนกรีตพรุน นั่นคือ บริษัท รุ่งเรืองแอ็ดมินนิสเตรชั่น แอนด์ แมนเนจเม้น จำกัด โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์จัดเป็นข้อมูลประเภทปฐมภูมิและทุติยภูมิ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการวิจัย องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็น ซึ่งสืบค้นจากรายงาน บทความ หนังสือ หรืองานวิจัยที่ผ่านมา

2) ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณ – ลักษณะการได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ทรัพยากร และพลังงานที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป

4.1.2 ข้อมูลวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการขนส่ง

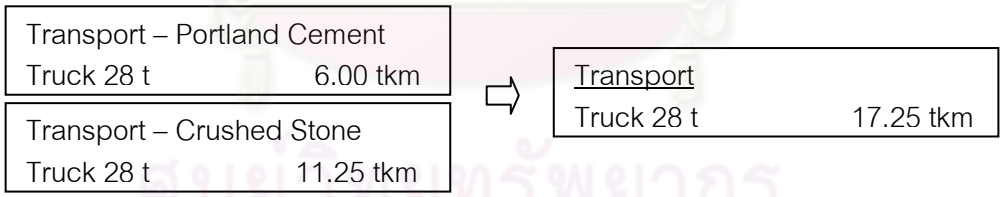
จากการเก็บรวบรวมข้อมูล และการกำหนดขอบเขตการวิจัย ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลจาก บริษัท รุ่งเรืองแอ็ดมินนิสเตรชั่น แอนด์ แมนเนจเม้น จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิตคอนกรีตพรุน ตั้งอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น รายละเอียดข้อมูลวัตถุดิบ และการขนส่งวัตถุดิบไปยังสถานที่ก่อสร้างมีดังนี้

- ปูนซีเมนต์ จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาชนิดที่ 1 (Normal Portland Cement) ได้จากโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ขนส่งโดยใช้รถบรรทุก 28 ตัน คิดน้ำหนักบรรทุกปูนซีเมนต์เท่ากับ 20 กิโลกรัมสำหรับผลิตคอนกรีตพรุน 1 ตารางเมตร และ 29.5 กิโลกรัมสำหรับคอนกรีตทั่วไป 1 ตารางเมตร ส่งไปยังอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ระยะทาง 300 กิโลเมตร

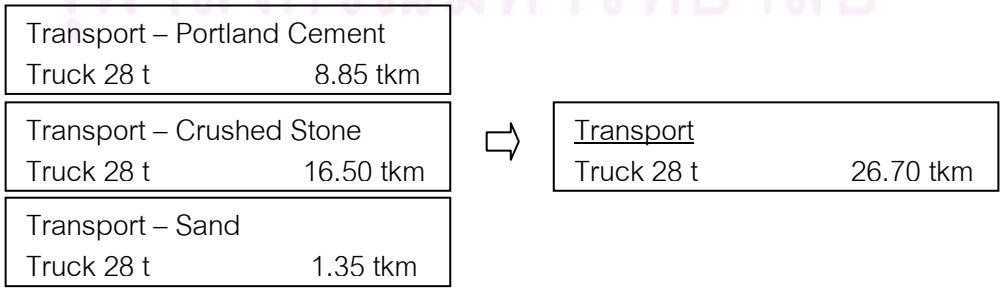
- หิน เลือกใช้หินที่มีขนาดคละช่วงแคบๆ (เลือกใช้หินขนาด 3/8" - No.16 ตามมาตรฐาน ASTM C33 หรือ Size 89 ตามมาตรฐาน ASSHOTO) ซึ่งได้จากโรงโม่หิน อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ขนส่งโดยใช้รถบรรทุก 28 ตัน คิดน้ำหนักบรรทุกหินเท่ากับ 150 กิโลกรัมสำหรับผลิตคอนกรีตพรุน 1 ตารางเมตร และ 110 กิโลกรัมสำหรับคอนกรีตทั่วไป 1 ตารางเมตร ส่งไปยังอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ระยะทาง 75 กิโลเมตร

- ทราย สำหรับงานคอนกรีตเทพื้นจะใช้ทรายเม็ดหยาบขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.07 – 4.75 มิลลิเมตร ซึ่งได้จากอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ขนส่งโดยใช้รถบรรทุกขนาด 28 ตัน คิดน้ำหนักบรรทุกทรายเท่ากับ 45 กิโลกรัมสำหรับคอนกรีตทั่วไป 1 ตารางเมตร ระยะทาง 30 กิโลเมตร

- น้ำ ได้จากน้ำประปา จากระบบสาธารณูปโภคสาธารณะ



รูปที่ 4.2 ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตพรุน



รูปที่ 4.3 ข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตทั่วไป

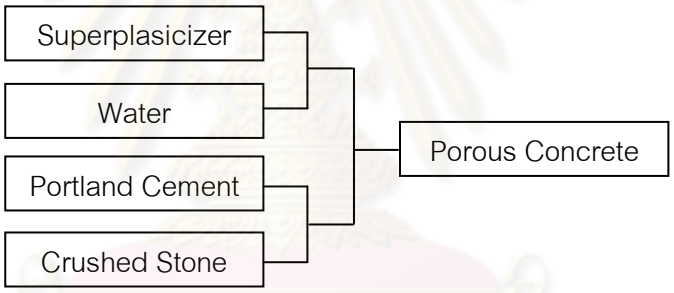
4.1.3 กระบวนการผลิต

4.1.3.1 กระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน

เป็นขั้นตอนตั้งแต่การนำเอาวัตถุดิบชนิดต่างๆ มาผลิตเป็นคอนกรีตพรุน โดยวัตถุดิบสำหรับใช้ผสมคอนกรีตพรุนประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หิน น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต การผสมวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันมีรายละเอียดดังนี้

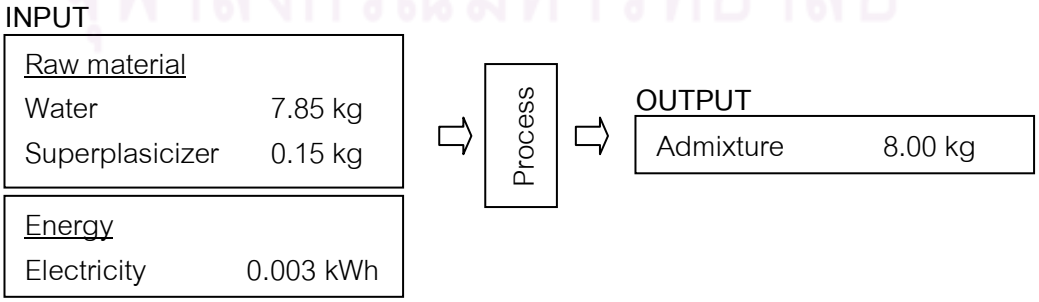
- ผสมน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ได้เป็น สารผสมเพิ่ม (Admixture)
- ผสมปูนซีเมนต์ และมวลรวมหยาบ (หิน)
- ผสมปูนซีเมนต์ และมวลรวมหยาบ (หิน) กับสารผสมเพิ่ม (Admixture)

ได้เป็นคอนกรีตพรุน (Porous Concrete)



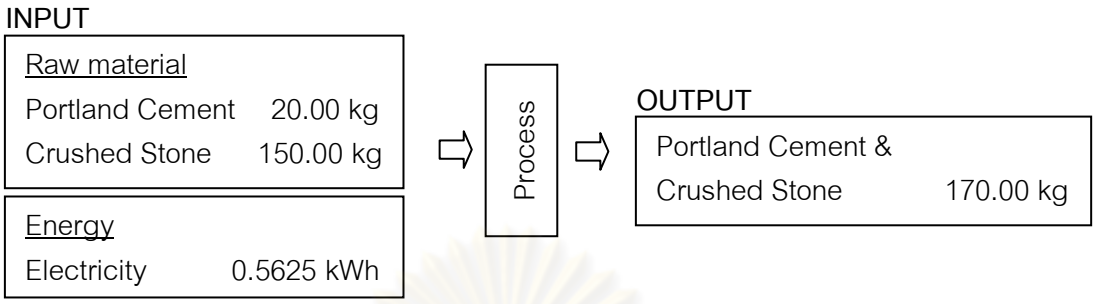
รูปที่ 4.4 ข้อมูลกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน

กระบวนการผลิตสารผสมเพิ่มจะทำการผสมน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต โดยใช้ปั๊มน้ำ ขนาด 3.75 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 5 วินาที ซึ่งคิดเป็นค่าการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.003 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังในรูปที่ 4.5



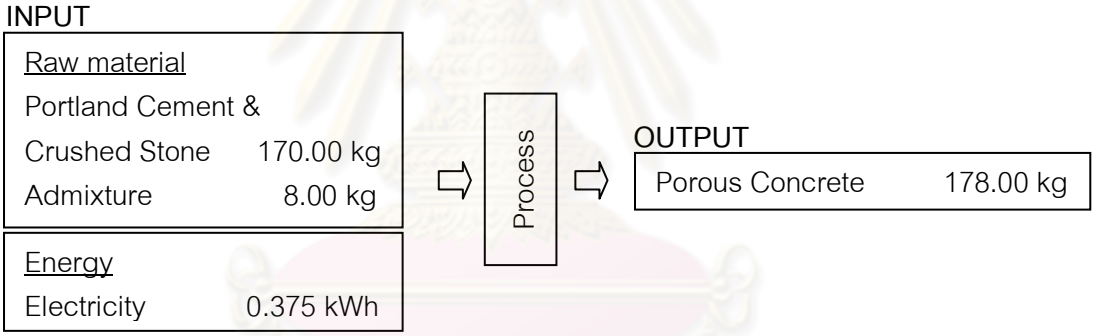
รูปที่ 4.5 ข้อมูลการผสมสารผสมเพิ่ม

กระบวนการผสมปูนซีเมนต์ และมวลรวมหยาบ (หิน) โดยใช้มอเตอร์ขับแกนเพลา ขนาด 22.5 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 1.5 นาที ซึ่งคิดเป็นค่าการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.5625 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ข้อมูลการผสมปูนซีเมนต์ และหิน

กระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน (Porous Concrete) จะทำการผสมปูนซีเมนต์ หิน กับสารผสมเพิ่ม (Admixture) เข้าด้วยกัน โดยใช้มอเตอร์ขับแกนเพลา ขนาด 22.5 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ซึ่งคิดเป็นค่าการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.375 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังในรูปที่ 4.7



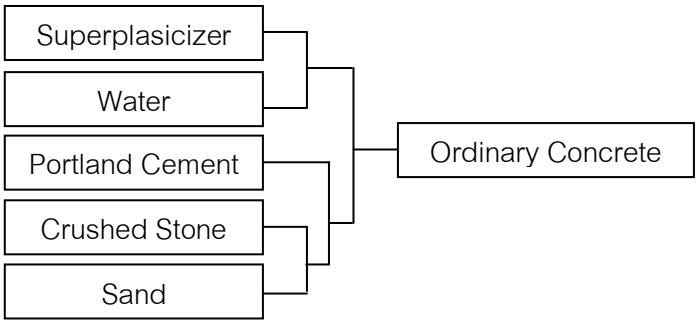
รูปที่ 4.7 ข้อมูลการผลิตคอนกรีตพรุน

4.1.3.2 กระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป

พิจารณาตั้งแต่การนำเอาวัตถุดิบชนิดต่างๆ มาผลิตเป็นคอนกรีต โดย วัตถุดิบที่ใช้สำหรับผสมคอนกรีตประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต การ ผสมวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันมีรายละเอียดดังนี้

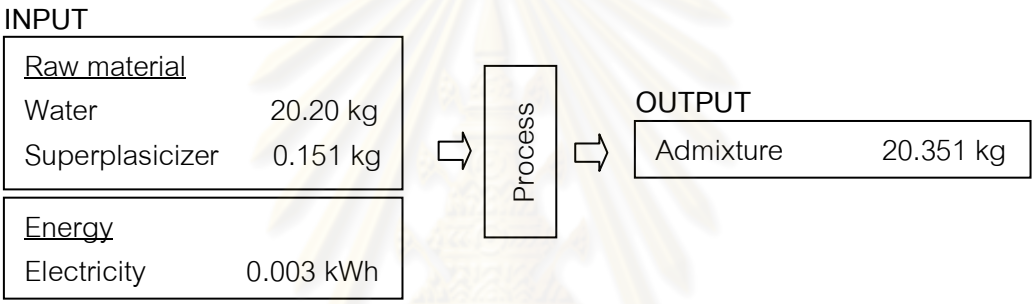
- ผสมน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ได้เป็น สารผสมเพิ่ม (Admixture)
- ผสมหิน และทราย ได้เป็น มวลรวม (Aggregate)
- ผสมปูนซีเมนต์ และมวลรวม (Aggregate)

  แล้วนำไปผสมต่อกับ สารผสมเพิ่ม (Admixture) ได้เป็นคอนกรีต (Ordinary Concrete)



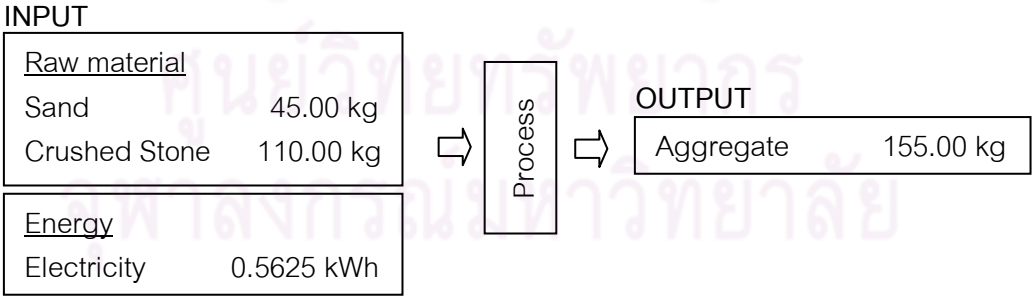
รูปที่ 4.8 ข้อมูลกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป

กระบวนการผลิตสารผสมเพิ่มจะทำการผสมน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต โดยใช้ปั๊มน้ำ ขนาด 3.75 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งคิดเป็นค่าการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.003 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังในรูปที่ 4.9



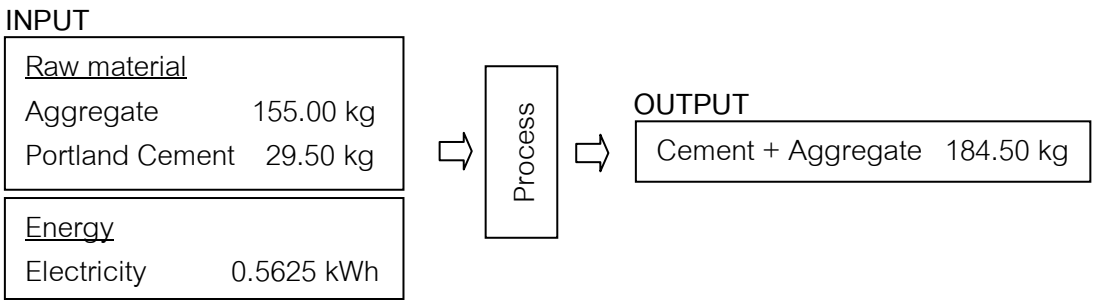
รูปที่ 4.9 ข้อมูลการผสมสารผสมเพิ่ม

กระบวนการผสมหิน และทราย โดยใช้มอเตอร์ขับแกนเพลา ขนาด 22.5 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 1.5 นาที ซึ่งคิดเป็นค่าการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.5625 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังในรูปที่ 4.10



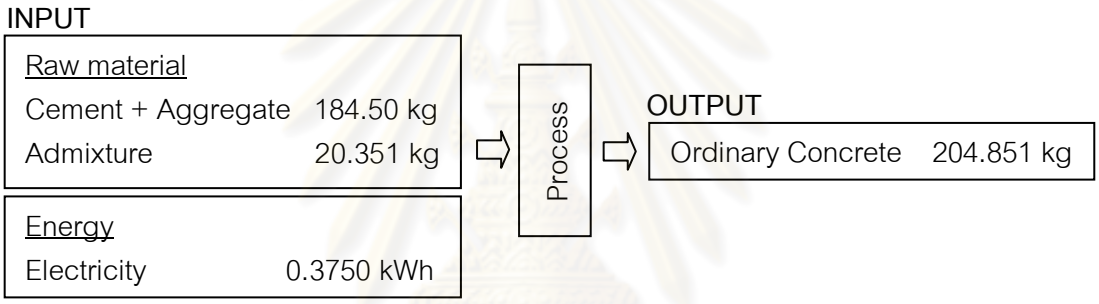
รูปที่ 4.10 ข้อมูลการผสมหิน และทราย

กระบวนการผสมปูนซีเมนต์ และมวลรวม โดยใช้มอเตอร์ขับแกนเพลา ขนาด 22.5 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 1.5 นาที ซึ่งคิดเป็นค่าการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.5625 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ข้อมูลการผสมปูนซีเมนต์ และมวลรวม

กระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป (Ordinary Concrete) จะทำการผสมปูนซีเมนต์ หิน ทรายกับสารผสมเพิ่ม (Admixture) เข้าด้วยกัน โดยใช้มอเตอร์ขับแกนเพลา ขนาด 22.5 กิโลวัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ซึ่งคิดเป็นค่าการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.375 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ข้อมูลการผลิตคอนกรีตทั่วไป

4.1.4 หน่วยงานก่อสร้าง

ขั้นตอนการก่อสร้าง ประกอบด้วย การเตรียมดิน การเตรียมชั้นรองผิวทาง การเทคอนกรีต และการบ่มคอนกรีตพรุน รายละเอียดมีดังนี้

1) การเตรียมดิน (Subgrade) ก่อนที่จะเริ่มเทคอนกรีต ชั้นดินเดิมต้องถูกถมและบดอัดแน่นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการทรุดตัว และ เกิดความเสียหายของชั้นคอนกรีตพรุน โดยมีการวางระดับ และวางกั้นแนวสำหรับพื้นที่บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตพรุน

รูปที่ 4.13 การเตรียมดินเพื่อปรับพื้นที่ก่อนเทคอนกรีตพรุน

2) การเตรียมชั้นรองผิวทาง (Subbase) ควรปูหินปูนหรือกรวด ให้มีความหนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.3 เมตร ขึ้นกับลักษณะของดินเดิม เพื่อช่วยในการระบายน้ำให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

รูปที่ 4.14 การปรับความหนาของชั้นดิน

3) การเทคอนกรีต (Pouring) เมื่อคอนกรีตถูกเทออกมาจากรถโม่แล้ว จะต้องทำการบดอัดโดยการใช้ลูกกลิ้ง ซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีขนาดช่องว่างที่เหมาะสมและสามารถระบายน้ำได้ดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.15 การบดอัดคอนกรีตพรุนด้วยลูกกลิ้ง

4) การบ่ม (Curing) หลังจากขั้นตอนการเทเรียบร้อย ต้องคลุมด้วยฟิล์มพลาสติกคลุมทันที และบ่มชื้นต่อเนื่องอย่างน้อย 7-14 วัน

รูปที่ 4.16 การบ่มคอนกรีตด้วยฟิล์มพลาสติกคลุม

จากขั้นตอนการก่อสร้างคอนกรีตพรุนจะเห็นว่า อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการก่อสร้างพื้นคอนกรีตพรุนนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก และไม่มีอุปกรณ์ใดที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิง นอกจากนี้อุปกรณ์ทั้งหมดยังสามารถนำไปใช้งานใหม่ได้ในการก่อสร้างครั้งต่อไป จึงสามารถประเมินได้ว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากหน่วยงานก่อสร้างนั้นมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ และขั้นตอนกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน หรือหากในงานก่อสร้างมีการป้องกันการเกิดมลพิษที่ได้มาตรฐาน เช่น มีการลดการปล่อยมลพิษทางน้ำใน

ระหว่างการก่อสร้าง โดยมีการดักหน่วงน้ำและแยกน้ำก่อนปล่อยสู่รางระบายน้ำ (ตามมาตรฐานโรงงานคอนกรีต) มีการลดการปล่อยมลพิษอากาศในระหว่างการก่อสร้าง โดย Aggregate ทั้งหมดต้องถูกล้างฝุ่นจนสะอาด ทำให้สามารถลดปริมาณฝุ่นละอองลงได้อย่างมาก

4.1.5 **คุณภาพของผลิตภัณฑ์**

จากขั้นตอนการก่อสร้างและการทดสอบเบื้องต้นของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป

กำลังอัดมาตรฐาน สำหรับงานถนนทางเท้าทั่วไป	คอนกรีตพรุน กำลังอัดที่ 28 วัน	คอนกรีตทั่วไป กำลังอัดที่ 28 วัน
180-240 ksc	205.6 ksc	ไม่ต่ำกว่า 240 ksc

*หน่วยค่ากำลังอัด ksc ย่อมาจาก กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

สำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตพรุน นอกเหนือจากคอนกรีตทั่วไป ได้แก่ ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำได้ จากผลการทดสอบพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 4.52 เซนติเมตรต่อวินาที และมีค่าอัตราส่วนโพรงเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์

จากคุณสมบัติดังกล่างข้างต้นจะเห็นว่าทั้งคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป มีค่ากำลังอัดเกินกว่ามาตรฐานงานทางเดินทางเท้าทั่วไป แต่คอนกรีตพรุนจะมีความสามารถรับแรงอัดน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป แต่ด้วยความสามารถในการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุนที่ไม่มีในคอนกรีตทั่วไป จึงทำให้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งสอง คอนกรีตพรุนจึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่าแต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เพื่อใช้ในการตัดสินใจร่วมด้วย

4.1.6 **การใช้งาน**

การใช้งาน การบำรุงรักษา ตรวจสอบคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบการใช้งานทางเดินเท้าภายนอกอาคาร ในช่วงระยะเวลา 30 ปี พบว่าคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป มีรายละเอียดของการใช้งานและการบำรุงรักษา แตกต่างกันดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงการบำรุงรักษาและตรวจสอบคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป

การบำรุงรักษา	คอนกรีตพรุน	คอนกรีตทั่วไป
-การตรวจสอบในระยะเริ่มต้น	-ทุกเดือนเป็นเวลา 3 เดือนหลังจากติดตั้ง	-ทุกเดือนเป็นเวลา 3 เดือนหลังจากติดตั้ง
-ตรวจสอบว่าถนนคอนกรีตพรุนปราศจากตะกอนอุดตัน	-ทุกเดือน	-ไม่ต้องตรวจสอบ
-ใช้เครื่องฉีดอัดน้ำแรงดันสูง เพื่อให้ถนนคอนกรีตพรุนปราศจากตะกอนอุดตัน	-ถนนสาธารณะ 4 ครั้ง/ปี -ลานหรือพื้นจอดรถในบ้าน 2 ครั้ง/ปี	-ไม่ต้องใช้เครื่องอัดน้ำแรงดันสูง
-ตรวจสอบผิวถนนว่าเกิดการชำรุดหรือหลุดร่อน	-ทุกปี	-ทุกปี
-ตรวจสอบให้มั่นใจว่าคอนกรีตสามารถระบายน้ำฝนได้	-ทุกปี	-ทุกปี

ในการใช้งานคอนกรีตพรุนนั้น หากพบว่าคอนกรีตพรุนมีตะกอนอุดตัน จำเป็นต้องมีการใช้เครื่องฉีดอัดน้ำแรงดันสูง สำหรับใช้ในการฉีดล้างพื้นคอนกรีตพรุน เครื่องฉีดอัดน้ำแรงดันสูงที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องฉีดอัดน้ำที่มีการใช้งานกันในบ้านเรือนโดยทั่วไป โดยเป็นรุ่นที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากำลัง 1.3 กิโลวัตต์ แรงดันสูงสุด 100 บาร์ อัตราไหล 6 ลิตรต่อนาที

งานวิจัยนี้จะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น จากการใช้งานเครื่องอัดฉีดแรงดันสูงเพื่อใช้ในการทำความสะอาดสิ่งอุดตันในพื้นคอนกรีตพรุน และการใช้สายยางฉีดน้ำเพื่อใช้ทำความสะอาดพื้นคอนกรีตทั่วไป โดยจะคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเป็นเวลา 1 นาทีต่อการทำความสะอาดพื้น 1 ตารางเมตร โดยการทำความสะอาดตะกอนอุดตันที่ต้องมีการทำความสำอาดอย่างน้อย 2 ครั้งต่อปี

รูปที่ 4.17 การใช้เครื่องฉีดอัดน้ำแรงดันสูง เพื่อทำความสะอาดคอนกรีตพรุน

4.2 **การประเมินผลกระทบ** (Impact Assessment)

สำหรับการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม จะใช้วิธีการ Eco-indicator 99 ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับ โดยประเมินถึงกลุ่มเป้าหมายที่ได้รับผลกระทบทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ และการลดลงของทรัพยากร โดยผลการประเมินจะแสดงออกเป็นลักษณะดังนี้

4.2.1 **การกำหนดบทบาท** (Characterization)

ผลจากการกำหนดบทบาทจะทำให้ทราบได้ว่า กระบวนการผลิตหรือวัตถุดิบที่กำลังสนใจนั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทใดบ้าง ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ ในกรณีที่ต้องการลดผลกระทบประเภทใดประเภทหนึ่ง ซึ่งกลุ่มเป้าหมายทั้ง 3 กลุ่ม จะแสดงเป็นหน่วยต่างๆ ดังนี้

1) สุขภาพมนุษย์ (Human Health) หน่วยเป็น DALYs (Disability Adjusted Life Years) หมายถึง การสูญเสียการมีสุขภาพที่ดี (ปีที่สูญเสียไปเพราะตายก่อนถึงวัยอันควร + ปีที่สูญเสียไปเพราะเจ็บป่วยหรือพิการ) ซึ่งหนึ่งหน่วยจะเท่ากับการสูญเสียช่วงอายุของการมีสุขภาพที่ดีไปจำนวน 1 ปี

2) ระบบนิเวศวิทยา (Ecosystem Quality) หน่วยเป็น PDF (Potentially Disappeared Fraction) หมายถึง สัดส่วนการสูญหายของความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตต่อพื้นที่

3) การลดลงของทรัพยากร (Resource Depletion) หน่วยเป็น MJ surplus energy หมายถึง การลดลงของทรัพยากรหรือปริมาณที่เหลืออยู่ทั้งในรูปของสินแร่และเชื้อเพลิง (MJ เท่ากับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการสกัดแร่หรือเชื้อเพลิง)

4.2.2 **คะแนนเชิงเดี่ยว** (Single Score)

เป็นการแสดงค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของแต่ละกระบวนการหรือวัตถุดิบ เพื่อพิจารณาว่ากระบวนการใดหรือวัตถุดิบใดมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งสามารถแสดงได้ทั้งผลกระทบแบบกลุ่มเป้าหมายหรือแสดงผลกระทบแบบแยกประเภท ซึ่งค่าคะแนนเชิงเดี่ยวจะแสดงเป็นหน่วย Pt (Person for target year) ซึ่งหน่วย Pt เกิดจากกระบวนการหาขนาดของผลกระทบที่ต้องการจะรวมค่าในกลุ่มผลกระทบต่างๆ ที่มีหน่วยต่างกัน โดยการหาค่ากลาง ดังนั้นหน่วย Pt จะหมายถึง การแสดงจำนวนเท่าของค่ากลาง โดยที่จะสามารถรู้ว่าค่านั้นมีค่ามากหรือน้อยจะต้องทำการเปรียบเทียบกับค่ากลางหรือใช้การเปรียบเทียบกับค่า Pt ด้วยกัน

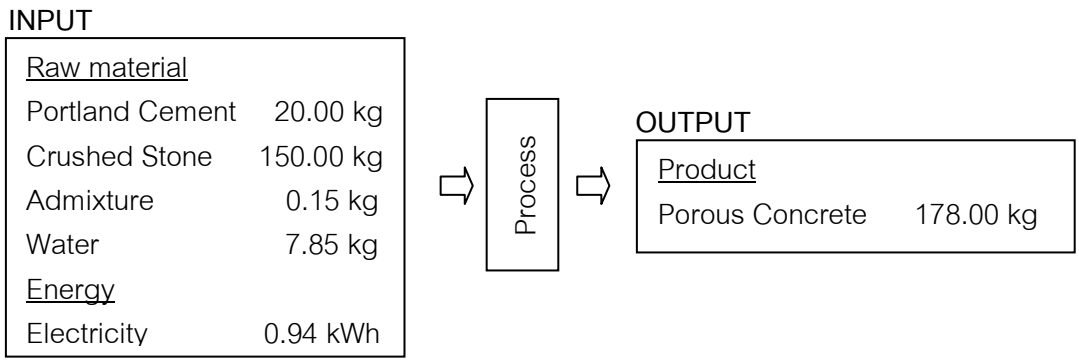
4.3 **การแปลผล** (Interpretation)

จากการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูล ผลิตภัณฑ์คอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

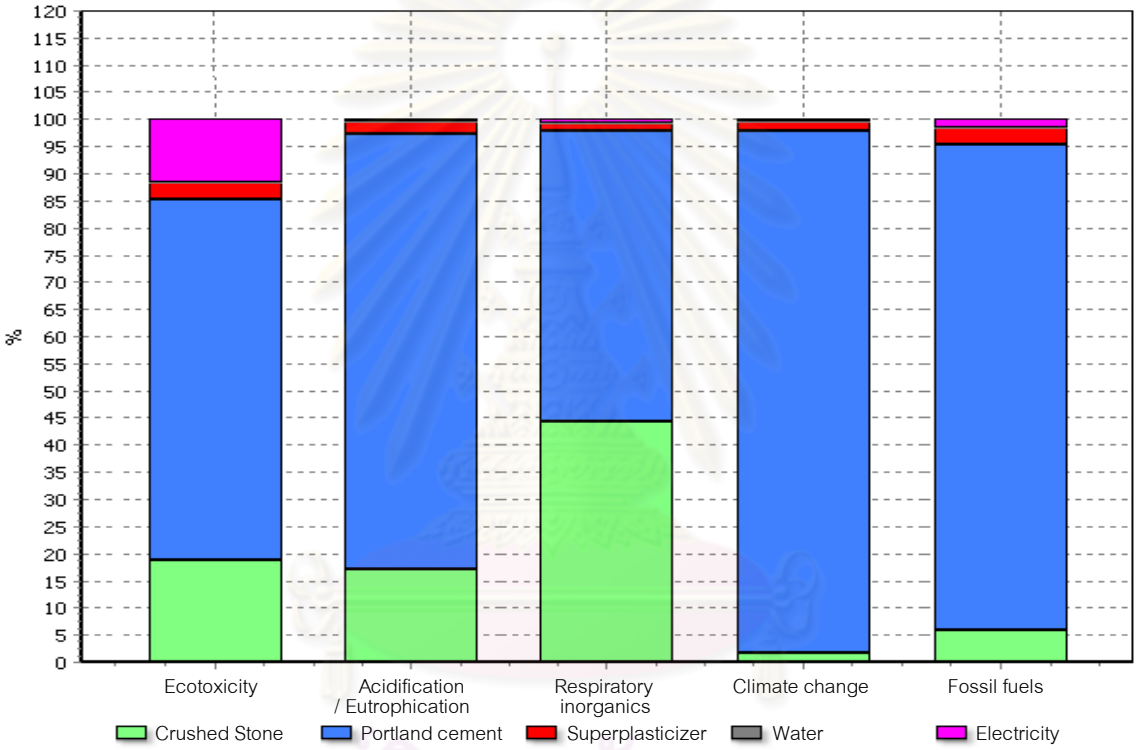
4.3.1 **ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิต**

สำหรับการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้ จะวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยรวมผลกระทบจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ และพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อวิเคราะห์ว่าการได้มาของวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านใดมากที่สุด

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณสารขาเข้า สารขาออก และพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป สำหรับใช้เทพื้นทางเท้า 1 ตารางเมตร โดยนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4 วิธีการ Eco-indicator 99 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) และการหาสัดส่วน คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.18 ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน



รูปที่ 4.19 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน

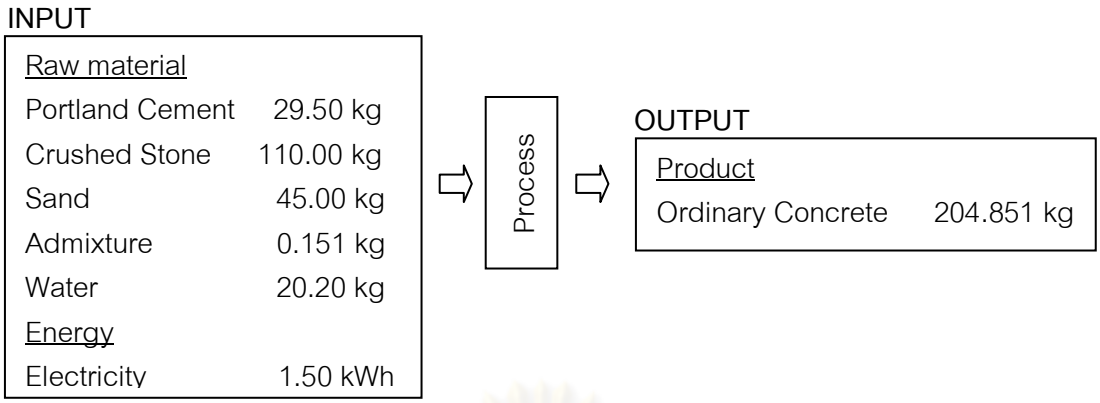
ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท

จากรูปที่ 4.19 ส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆมากที่สุดในทุกด้าน ได้แก่ การใช้ปูนซีเมนต์ (Portland cement) รองลงมาคือการใช้หิน (Crushed Stone) ส่วนการใช้ทรายในคอนกรีตทั่วไป และการใช้ไฟฟ้าจากทั้งสองผลิตภัณฑ์ส่งผลกระทบด้านความเป็นพิษ (Ecotoxicity) มากที่สุด

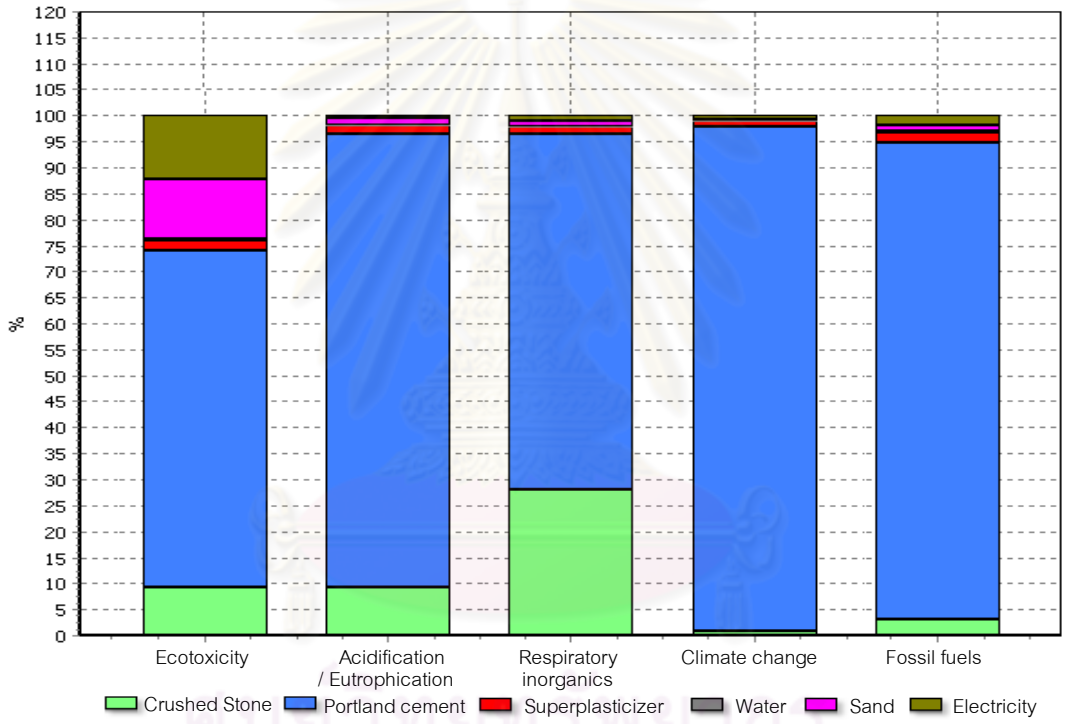
ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทนั้นจะมีความหมายและหน่วยที่แตกต่างกัน โดยจะอธิบายผลกระทบสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตพรุนเท่านั้น ส่วนคอนกรีตทั่วไปจะแสดงค่าในตารางเท่านั้นเนื่องจากความหมายของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละผลิตภัณฑ์จะมีความหมายที่เหมือนกัน แตกต่างกันที่ค่าของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเท่านั้น ซึ่งความหมายของค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตพรุน สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 1.038E-05 DALY หมายถึง คอนกรีตพรุนทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร เท่ากับ 1.038E-05 ปี
2. ภาวะโลกร้อน (Climate Change) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 3.932E-06 DALY หมายถึง คอนกรีตพรุนทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากภาวะโลกร้อน เท่ากับ 3.932E-06 ปี
3. ความเป็นพิษ (Ecotoxicity) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 2.855E-01 PAF*m^2yr หมายถึง คอนกรีตพรุนจะทำให้ในพื้นที่ 1 ตารางเมตรมีสัดส่วนของพืชที่มีโอกาสได้รับผลกระทบเท่ากับ 28.55% ของพื้นที่ 1 ตารางเมตรต่อปี
4. ภาวะความเป็นกรด /สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification / Eutrophication) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 2.967E-01 PDF*m^2yr หมายถึง คอนกรีตพรุนจะทำให้ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร มีสัดส่วนการสูญหายของพืชเท่ากับ 29.67% ของพื้นที่ 1 ตารางเมตรต่อปี
5. การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 5.961E+0 MJ surplus หมายถึง คอนกรีตพรุนจะส่งผลให้ระดับของเชื้อเพลิงในอนาคตลงลง เท่ากับ 5.961 MJ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



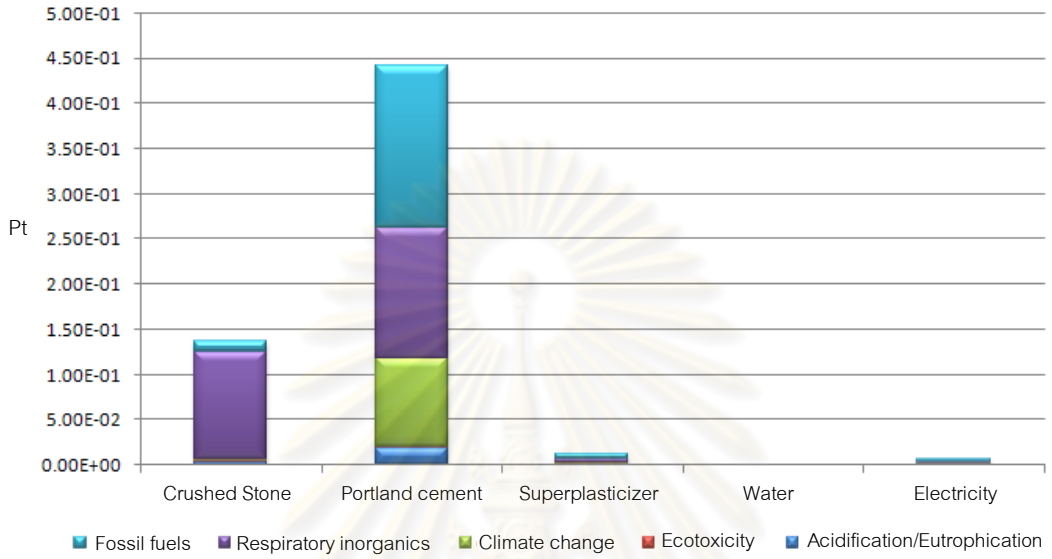
รูปที่ 4.20 ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป



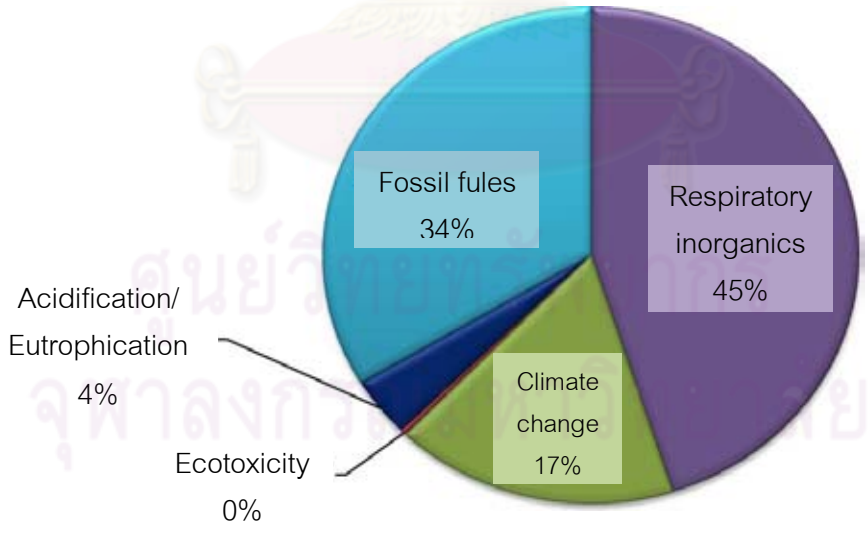
รูปที่ 4.21 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป
ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท

จากรูปที่ 4.21 ส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆมากที่สุดในทุกด้าน ได้แก่ การใช้ปูนซีเมนต์ (Portland cement) รองลงมาคือการใช้หิน (Crushed Stone) ส่วนการใช้ทราย (Sand) และการใช้ไฟฟ้า (Electricity) ส่งผลกระทบด้านความเป็นพิษ (Ecotoxicity) มากที่สุด

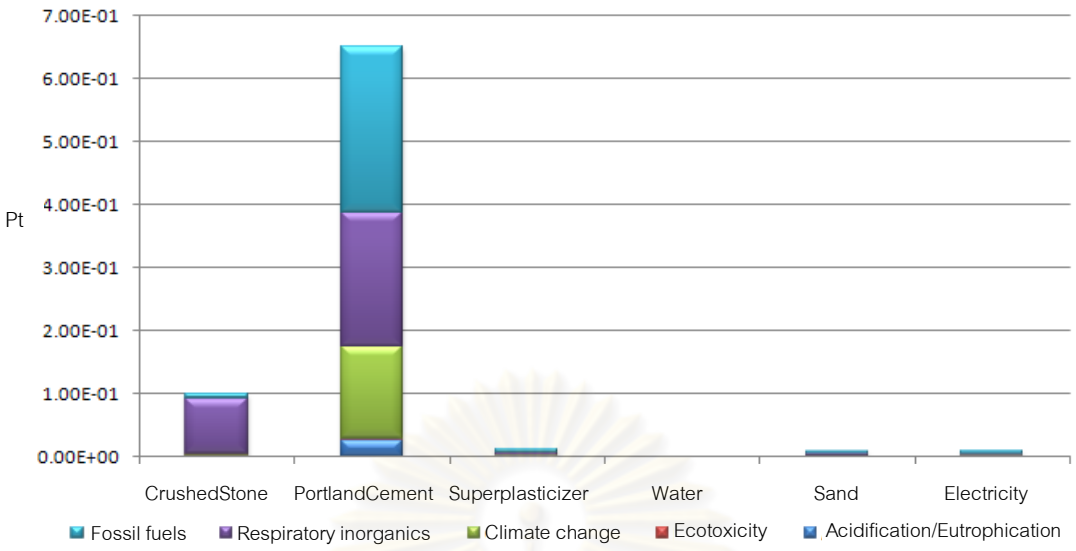
ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) จะทำการให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เพื่อแบ่งลำดับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบแต่ละประเภทที่นำมาใช้ในการผลิต ดังแสดงในรูป 4.22 และ 4.23



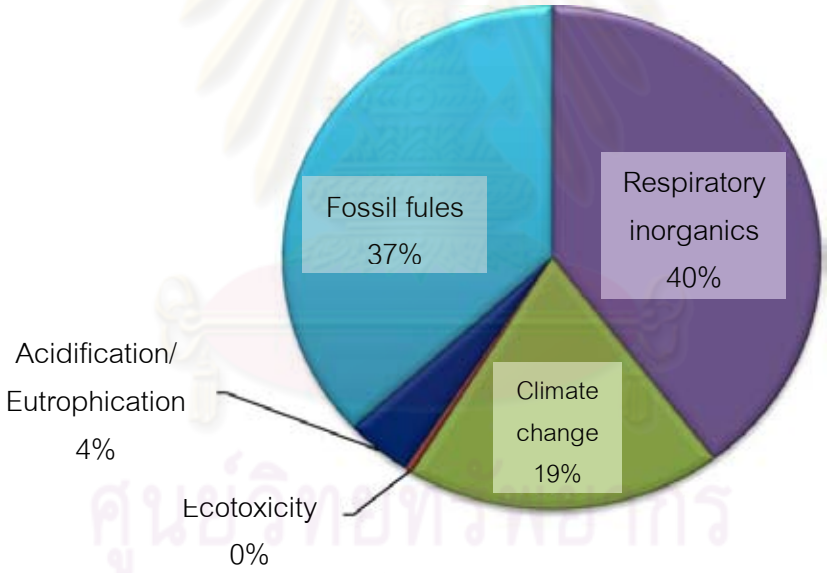
รูปที่ 4.22 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตพรุน



รูปที่ 4.23 แสดงสัดส่วนคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตพรุน



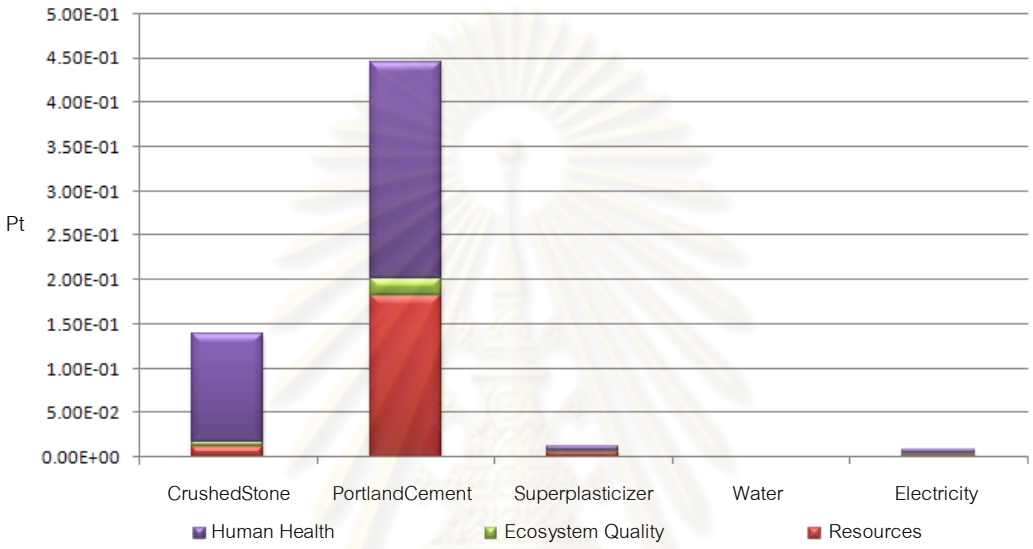
รูปที่ 4.24 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตทั่วไป



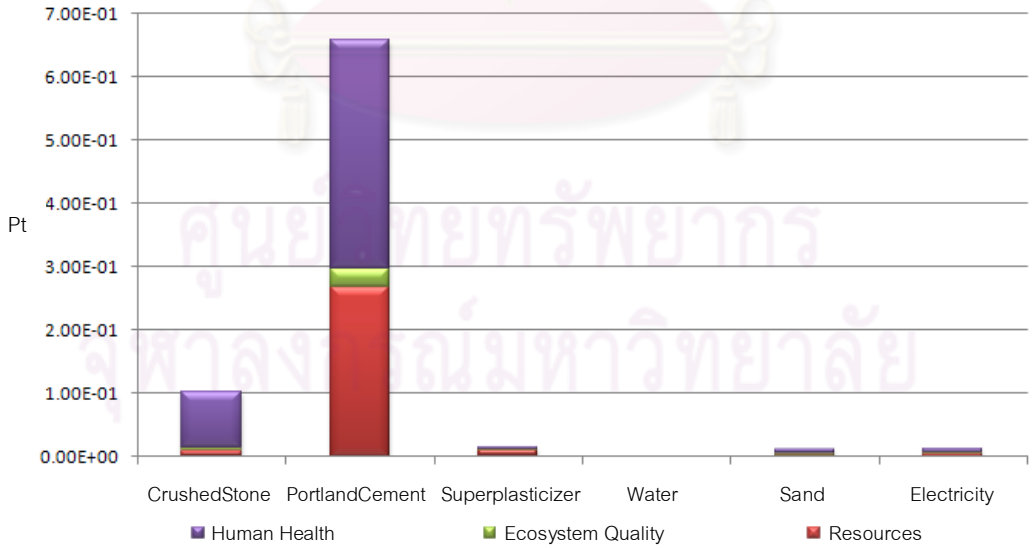
รูปที่ 4.25 แสดงสัดส่วนคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตทั่วไป

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เพื่อบ่งชี้ภาระทางสิ่งแวดล้อมพบว่า ส่วนประกอบหลักที่ก่อให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด จากคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไปจะเหมือนกัน คือ ปูนซีเมนต์ (Portland Cement) รองลงมาได้แก่ หิน (Crushed Stone) โดยส่งผลกระทบต่อ การหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance) มากที่สุด รองลงมาทำให้เกิดผลกระทบด้านการใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) และภาวะโลกร้อน (Climate Change)

จากการพิจารณาขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) หากพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกกลุ่มเป้าหมายจะพบว่า ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีค่ามากที่สุดจากคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป ได้แก่ สุขภาพมนุษย์ (Human Health) รองลงมาคือ การลดลงของทรัพยากร (Resource Depletion) ซึ่งพบว่ากระบวนการได้มาของวัตถุดิบและกระบวนการนำปูนซี เมนต์มาใช้จะส่งผลกระทบมากที่สุดดังรูปที่ 4.26 และ 4.27



รูปที่ 4.26 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายของคอนกรีตพรุน



รูปที่ 4.27 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายของคอนกรีตทั่วไป

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการที่ได้ทำการศึกษาแต่ละกระบวนการผลิต และการได้มาของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตพรุนนั้น จะทำให้สามารถทราบถึงสาเหตุหรือปัจจัยที่ส่งผลกระทบทาง

ด้านสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆได้ ซึ่งเมื่อทราบถึงสาเหตุหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ แล้วนั้น ทำให้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วัตถุดิบ หรือกระบวนการผลิตในอนาคตให้สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆได้

เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุนกับคอนกรีตทั่วไป

ในขั้นตอนนี้จะเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการใช้วัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตพรุน (Porous Concrete) และคอนกรีตทั่วไป (Ordinary Concrete) เพื่อบ่งชี้ภาระทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภท รายละเอียดดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณการใช้วัตถุดิบของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน (หน่วยเป็นกิโลกรัม)

ที่มา: บริษัท รุ่งเรืองแอ็ดมินนิสเตรชั่น แอนด์ แมนเนจเม้น จำกัด, 2553

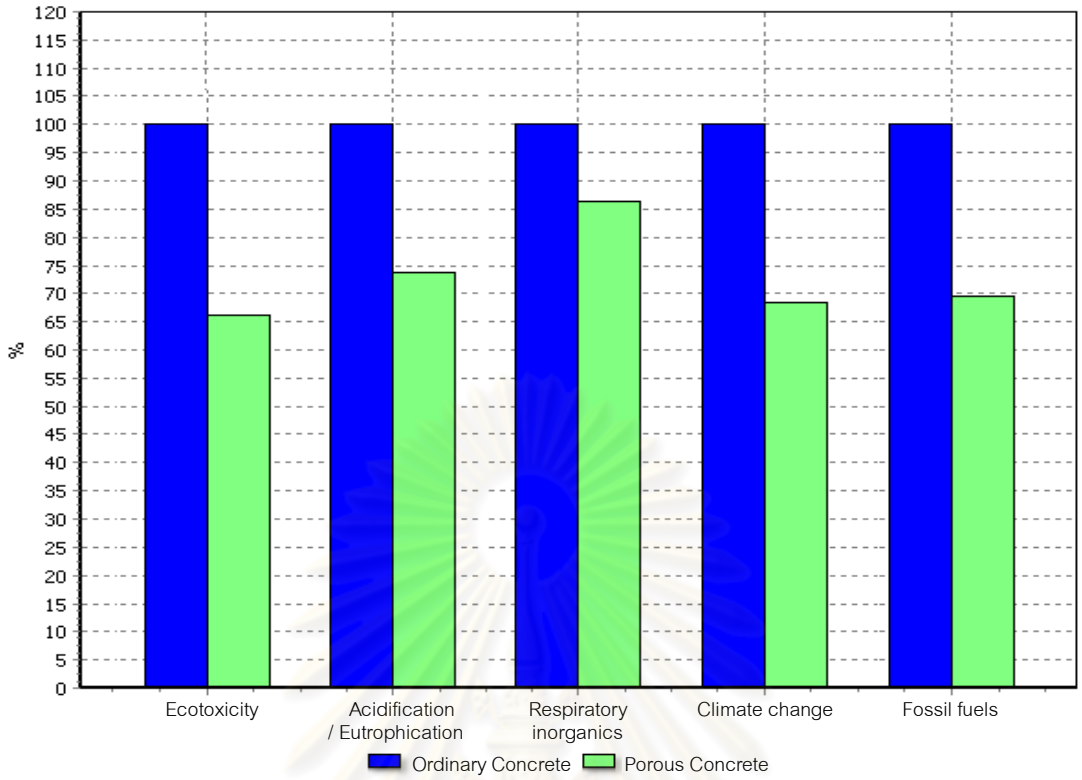
Raw material	Ordinary Concrete	Porous Concrete
Crushed Stone	110	150
Portland Cement	29.5	20
Sand	45	0
Water	20.2	7.85
Admixture	0.151	0.15

จากตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณการใช้วัตถุดิบของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน หน่วยเป็นกิโลกรัม ค่าในตารางเป็นปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการก่อสร้างพื้นทางเดิน และทางเท้า พื้นที่ 1 ตารางเมตร ที่ความหนา 0.1 เมตร ซึ่งคอนกรีตพรุนจะไม่มีการใชทรายเป็นวัตถุดิบ แต่จะมีปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์มากกว่า และใช้หินน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยผลจากการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป รายละเอียดดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท

Impact category	Unit	Ordinary Concrete	Porous Concrete
Respiratory inorganics	DALY	1.201E-05	1.038E-05
Climate change	DALY	5.749E-06	3.932E-06
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4.313E-01	2.855E-01
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	4.025E-01	2.967E-01
Fossil fuels	MJ surplus	8.573E+00	5.961E+00



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท

ขั้นตอนการพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ที่ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบและแบ่งลำดับผล กระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภท มีรายละเอียดดังนี้

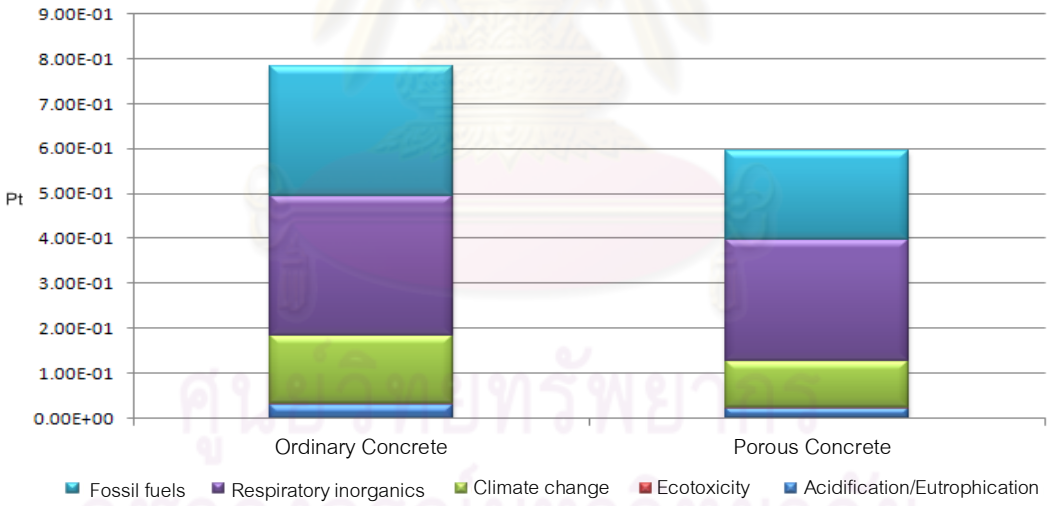
ตารางที่ 4.5 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน

Impact category	Unit	Ordinary Concrete	Porous Concrete
Total	Pt	7.981E-01	6.051E-01
Respiratory inorganics	Pt	3.107E-01	2.686E-01
Climate change	Pt	1.488E-01	1.018E-01
Ecotoxicity	Pt	3.364E-03	2.227E-03
Acidification/ Eutrophication	Pt	3.140E-02	2.315E-02
Fossil fuels	Pt	2.881E-01	2.003E-01

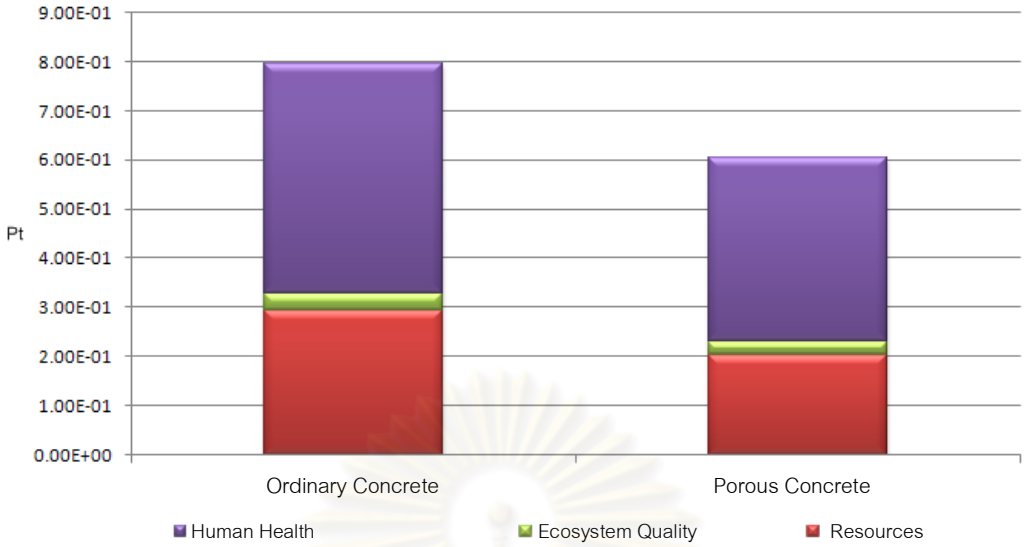
ตารางที่ 4.6 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน

Damage category	Unit	Ordinary Concrete	Porous Concrete
Total	Pt	7.981E-01	6.051E-01
Human Health	Pt	4.664E-01	3.750E-01
Ecosystem Quality	Pt	3.615E-02	2.667E-02
Resources	Pt	2.928E-01	2.034E-01

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าค่า คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบภาระทางสิ่งแวดล้อมที่มากที่สุด ได้แก่ ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance) รองลงมาคือ การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) และภาวะโลกร้อน (Climate Change) ตามลำดับ หากพิจารณา แบบแยก กลุ่มเป้าหมายจะส่งผลกระทบด้าน สุขภาพมนุษย์ (Human Health) มากที่สุด รายละเอียดการเปรียบเทียบค่า คะแนนเชิงเดี่ยว ของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุนดังรูปที่ 4.29 และ 4.30



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมาย
ของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน

จากขั้นตอนเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยว จะเห็นว่าในขั้นตอนกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยคอนกรีตทั่วไปมีค่าคะแนน เชิงเดี่ยว เท่ากับ 7.981E-01 Pt ส่วนคอนกรีตพรุนมีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวเท่ากับ 6.051E-01 Pt ซึ่งคิดเป็น 75.82% ของภาระทางสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตทั่วไป คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง 24.18% จากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตพรุนเทียบกับคอนกรีตทั่วไปแยกตามประเภทผลกระทบ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณผลกระทบที่ลดลงจากคอนกรีตพรุนเทียบกับคอนกรีตทั่วไป

ประเภทผลกระทบ	ปริมาณผลกระทบที่ลดลง (%)
Respiratory inorganics	13.55
Climate change	31.60
Ecotoxicity	33.81
Acidification/ Eutrophication	26.28
Fossil fuels	30.47

จากการศึกษาถึงการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) โดยทำการแยกศึกษาในแต่ละกระบวนการผลิต จากขนาดผลกระทบจากตารางที่ 4.8 – 4.13 ทำให้เห็นว่าขั้นตอนที่

ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ได้แก่ ขั้นตอนการได้มาและการใช้งานปูนซีเมนต์ รองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการการได้มาและการใช้งานหิน และหากพิจารณาการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน (Climate change) มาจากขั้นตอนการการได้มาและการใช้งานปูนซีเมนต์

เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) และการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านภาวะโลกร้อน โดยทำการแยกศึกษาในแต่ละกระบวนการผลิตของวัตถุดิบแต่ละชนิด ทำให้เห็นได้ว่าขั้นตอนที่มีค่าคะแนนเชิงเดี่ยวมากที่สุด ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ รองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการขนส่ง และขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบหรือผลิตหิน

จากการศึกษาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการได้มาของวัตถุดิบแต่ละประเภท จะทำให้ทราบถึงสาเหตุหรือปัจจัยที่ส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆได้ ซึ่งเมื่อทราบถึงสาเหตุหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ แล้วนั้น ทำให้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วัตถุดิบหรือกระบวนการผลิตในอนาคตให้สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตพรุน ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท

Impact category	Unit	Total	Crushed Stone	Portland cement	Superplasticizer	Water	Electricity
Respiratory inorganics	DALY	1.038E-05	4.587E-06	5.578E-06	1.461E-07	9.943E-10	6.794E-08
Climate change	DALY	3.932E-06	6.750E-08	3.785E-06	5.629E-08	2.728E-10	2.257E-08
Ecotoxicity	PAF*m2yr	2.855E-01	5.393E-02	1.894E-01	8.590E-03	5.683E-04	3.305E-02
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2.967E-01	5.069E-02	2.383E-01	6.231E-03	2.078E-05	1.475E-03
Fossil fuels	MJ surplus	5.961E+00	3.490E-01	5.328E+00	1.881E-01	9.685E-04	9.544E-02

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตทั่วไป ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท

Impact category	Unit	Total	Crushed Stone	Portland cement	Superplasticizer	Water	Sand	Electricity
Respiratory inorganics	DALY	1.201E-05	3.364E-06	8.228E-06	1.471E-07	2.559E-09	1.570E-07	1.084E-07
Climate change	DALY	5.749E-06	4.950E-08	5.583E-06	5.667E-08	7.019E-10	2.265E-08	3.601E-08
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4.313E-01	3.955E-02	2.793E-01	8.647E-03	1.462E-03	4.960E-02	5.274E-02
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	4.025E-01	3.718E-02	3.515E-01	6.272E-03	5.347E-05	5.148E-03	2.354E-03
Fossil fuels	MJ surplus	8.573E+00	2.559E-01	7.858E+00	1.894E-01	2.492E-03	1.150E-01	1.523E-01

ตารางที่ 4.10 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน

Impact category	Unit	Total	Crushed Stone	Portland cement	Superplasticizer	Water	Electricity
Total	Pt	6.051E-01	1.393E-01	4.454E-01	1.238E-02	1.048E-04	7.889E-03
Respiratory inorganics	Pt	2.686E-01	1.187E-01	1.444E-01	3.782E-03	2.573E-05	1.758E-03
Climate change	Pt	1.018E-01	1.747E-03	9.797E-02	1.457E-03	7.059E-06	5.840E-04
Ecotoxicity	Pt	2.227E-03	4.206E-04	1.477E-03	6.700E-05	4.433E-06	2.578E-04
Acidification/ Eutrophication	Pt	2.315E-02	3.954E-03	1.859E-02	4.860E-04	1.621E-06	1.151E-04
Fossil fuels	Pt	2.003E-01	1.172E-02	1.790E-01	6.322E-03	3.254E-05	3.207E-03

ตารางที่ 4.11 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน

Damage category	Unit	Total	Crushed Stone	Portland cement	Superplasticizer	Water	Electricity
Total	Pt	6.051E-01	1.393E-01	4.454E-01	1.238E-02	1.048E-04	7.889E-03
Human Health	Pt	3.750E-01	1.217E-01	2.436E-01	5.432E-03	5.542E-05	4.189E-03
Ecosystem Quality	Pt	2.667E-02	5.538E-03	2.007E-02	6.149E-04	1.451E-05	4.379E-04
Resources	Pt	2.034E-01	1.211E-02	1.817E-01	6.329E-03	3.489E-05	3.262E-03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทผลกระทบของกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป

Impact category	Unit	Total	Crushed Stone	Portland cement	Superplasticizer	Water	Sand	Electricity
Total	Pt	7.981E-01	1.022E-01	6.570E-01	1.521E-02	2.697E-04	1.082E-02	1.259E-02
Respiratory inorganics	Pt	3.107E-01	8.706E-02	2.129E-01	3.807E-03	6.622E-05	4.064E-03	2.806E-03
Climate change	Pt	1.488E-01	1.281E-03	1.445E-01	1.467E-03	1.817E-05	5.863E-04	9.320E-04
Ecotoxicity	Pt	3.364E-03	3.085E-04	2.179E-03	6.745E-05	1.141E-05	3.869E-04	4.113E-04
Acidification/ Eutrophication	Pt	3.140E-02	2.900E-03	2.742E-02	4.892E-04	4.171E-06	4.015E-04	1.836E-04
Fossil fuels	Pt	2.881E-01	8.598E-03	2.640E-01	6.364E-03	8.373E-05	3.863E-03	5.117E-03

ตารางที่ 4.13 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกกลุ่มเป้าหมายของกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป

Damage category	Unit	Total	Crushed Stone	Portland cement	Superplasticize	Water	Sand	Electricity
Total	Pt	7.981E-01	1.022E-01	6.570E-01	1.521E-02	2.697E-04	1.082E-02	1.259E-02
Human Health	Pt	4.649E-01	8.923E-02	3.594E-01	3.935E-03	1.426E-04	5.493E-03	6.685E-03
Ecosystem Quality	Pt	3.620E-02	4.061E-03	2.960E-02	6.674E-04	3.733E-05	1.134E-03	6.987E-04
Resources	Pt	2.970E-01	8.883E-03	2.680E-01	1.060E-02	8.978E-05	4.188E-03	5.205E-03

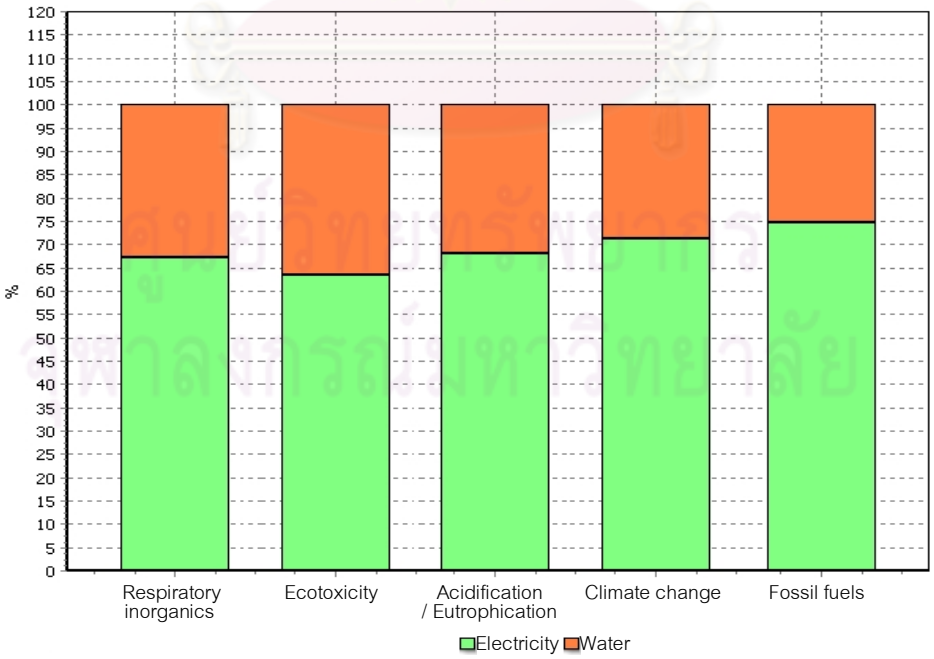
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งาน

งานวิจัยนี้จะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น จากการใช้งานคอนกรีตพรุน ซึ่งจะต้องมีการใช้เครื่องอัดฉีดแรงดันสูง เพื่อทำความสะอาดตะกอนอุดตันโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากำลัง 1.3 กิโลวัตต์ แรงดันสูงสุด 100 บาร์ อัตราไหล 6 ลิตรต่อนาที โดยมีการใช้งานเป็นเวลา 1 นาทีต่อการทำความสะอาดพื้นคอนกรีตพรุน 1 ตารางเมตร โดยการทำความสะอาดที่ต้องทำอย่างน้อย 2 ครั้งต่อปี คิดเป็นเวลาทั้งหมด 2 นาทีต่อการทำความสะอาดคอนกรีตพรุนพื้นที่ 1 ตารางเมตรต่อปี ปริมาณการใช้น้ำ 12 กิโลกรัม และการใช้ไฟฟ้า 0.043 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนการใช้งานคอนกรีตทั่วไปนั้นสามารถทำความสะอาดโดยไม่จำเป็นต้องเครื่องอัดฉีดแรงดันสูงก็ได้ คือทำความสะอาดโดยใช้สายฉีดน้ำแบบธรรมดาเท่านั้น ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำ 24 กิโลกรัมในเวลา 2 นาที สำหรับการใช้งานคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไปรายละเอียดดังตารางที่ 4.6 และผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งานมีดังนี้

ตารางที่ 4.14 ปริมาณการใช้วัตถุดิบของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน

Raw material	Ordinary Concrete	Porous Concrete
Water (kg)	24	12
Electricity (kwh)	-	0.043



รูปที่ 4.31 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้งานคอนกรีตพรุน

ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท

จากรูปที่ 4.31 ส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ มากที่สุด จากการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า รายละเอียดของผลกระทบในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาทดังตารางที่ 4.15 และ 4.16

ตารางที่ 4.15 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของในการใช้งานคอนกรีตพรุน
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท

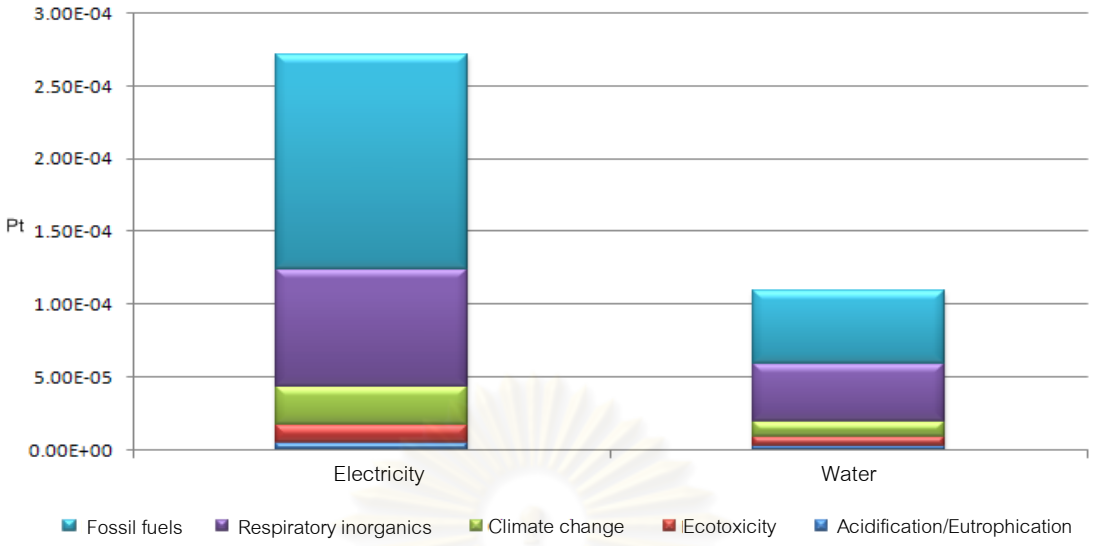
Impact category	Unit	Total	Electricity	Water
Respiratory inorganics	DALY	4.628E-09	3.108E-09	1.520E-09
Climate change	DALY	1.449E-09	1.032E-09	4.170E-10
Ecotoxicity	PAF*m2yr	2.380E-03	1.512E-03	8.687E-04
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	9.925E-05	6.748E-05	3.177E-05
Fossil fuels	MJ surplus	5.846E-03	4.366E-03	1.480E-03

ตารางที่ 4.16 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของในการใช้งานคอนกรีตทั่วไป
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท

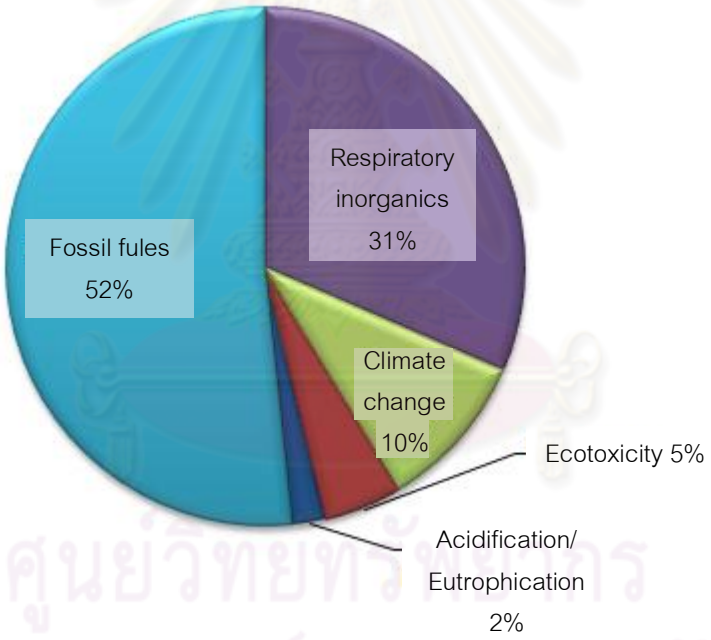
Impact category	Unit	Total	Water
Respiratory inorganics	DALY	3.040E-09	3.040E-09
Climate change	DALY	8.340E-10	8.340E-10
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1.737E-03	1.737E-03
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	6.353E-05	6.353E-05
Fossil fuels	MJ surplus	2.961E-03	2.961E-03

จากตาราง 4.15 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการใช้งานคอนกรีตพรุน ส่วนที่ส่งผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์มากที่สุดคือ การหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance) มีค่าเท่ากับ 4.628E-09 DALY ส่วนที่ส่งผลกระทบด้าน ระบบนิเวศวิทยา มากที่สุดคือ ความเป็นพิษ (Ecotoxicity) มีค่าเท่ากับ 2.380E-03 PAF*m^2yr และส่วนที่ส่งผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากร คือ การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) มีค่าเท่ากับ 5.846E-03 MJ surplus

ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท (Characterization) จะทำการให้ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) เพื่อทำการแบ่งลำดับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบแต่ละประเภทที่นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตพรุน เพื่อที่จะสามารถทำให้เห็นถึงระดับของผลกระทบในแต่ละส่วนได้ รายละเอียดมีดังนี้

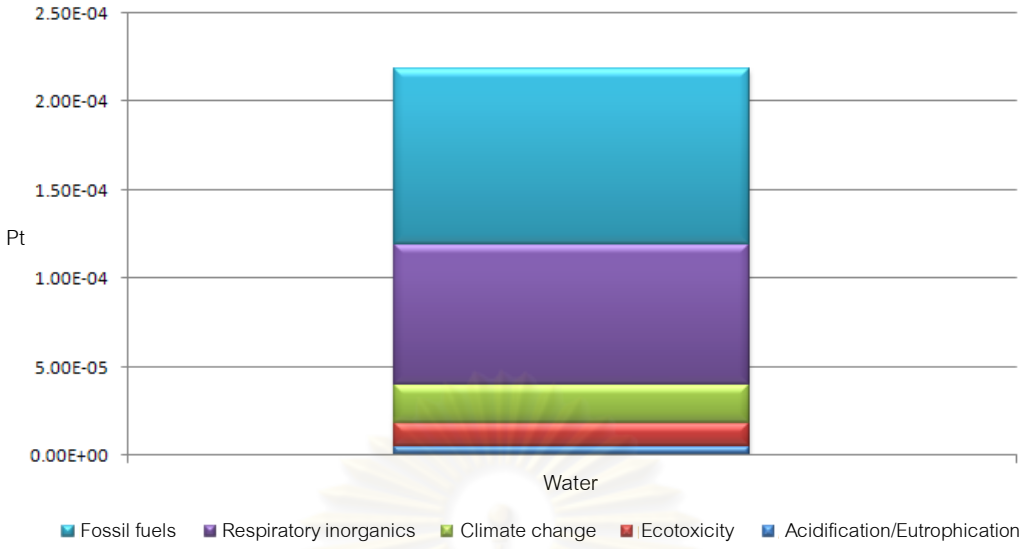


รูปที่ 4.32 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบจากการใช้งานคอนกรีตพรุน

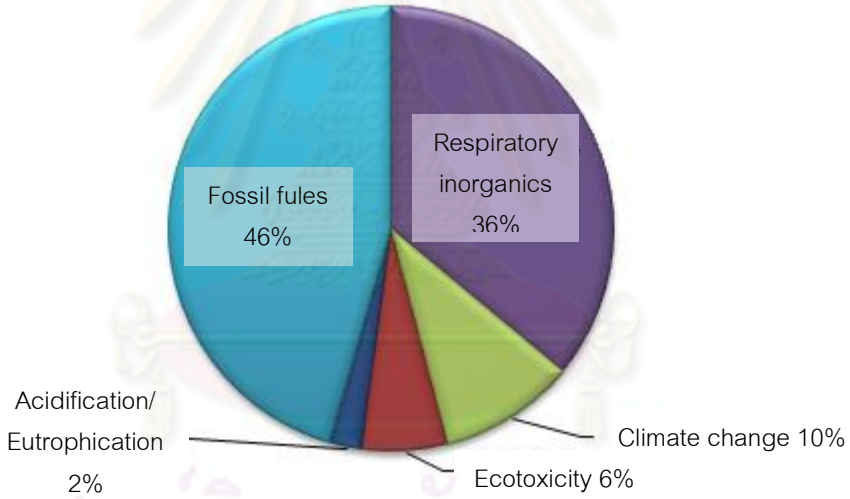


รูปที่ 4.33 สัดส่วนแบบแยกประเภทผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตพรุน

จากรูปที่ 4.32 และ 4.33 เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) โดยทำการเปรียบเทียบกับค่ากลางในหน่วย Pt เพื่อบ่งชี้ภาระทางสิ่งแวดล้อมพบว่าส่วนที่ก่อให้เกิดภาระทางสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด คือ การใช้ไฟฟ้า รองลงมาได้แก่ การใช้น้ำ โดยส่งผลกระทบด้านการใช้เชื้อเพลิงสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 52 % รองลงมาคือ การหายใจจากอนินทรีย์สาร มีค่าเท่ากับ 31 % และภาวะโลกร้อน มีค่าเท่ากับ 10%



รูปที่ 4.34 คะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบจากการใช้งานคอนกรีตทั่วไป



รูปที่ 4.35 สัดส่วนแบบแยกประเภทผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตทั่วไป

จากรูปที่ 4.34 และ 4.35 เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) โดยทำการเปรียบเทียบกับค่ากลางในหน่วย Pt เพื่อบ่งชี้ภาระทางสิ่งแวดล้อมพบว่า จากการใช้งานคอนกรีตทั่วไปจะส่งผลกระทบด้านการใช้เชื้อเพลิงสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 46% รองลงมาคือการหายใจจากอนินทรีย์สาร มีค่าเท่ากับ 36% และภาวะโลกร้อน มีค่าเท่ากับ 10%

เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป จากรูปที่ 4.32 – 4.35 พบว่ามีแนวโน้มในการก่อให้เกิดผลกระทบในลักษณะเดียวกัน คือ ก่อให้เกิด

ผลกระทบด้านการใช้เชื้อเพลิงมากที่สุด รองลงมาคือ ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร ภาวะโลกร้อน ความเป็นพิษ และภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ ตามลำดับ

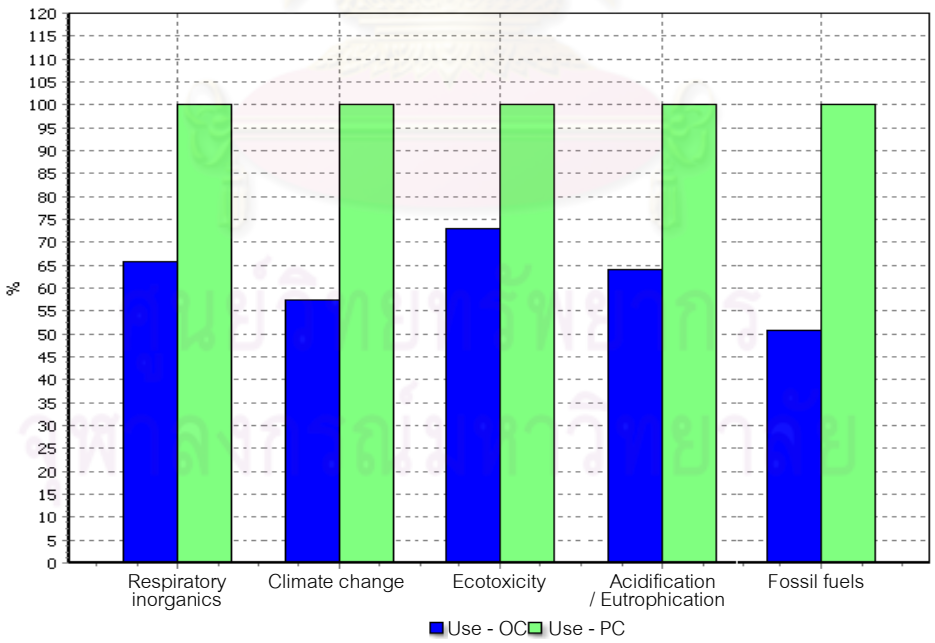
เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งานคอนกรีตพรุนกับคอนกรีตทั่วไป

ในขั้นตอนนี้จะเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการใช้งานคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป เพื่อบ่งชี้ภาระทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภท รายละเอียดดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งาน
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท

Impact category	Unit	Use – OC*	Use – PC**
Respiratory inorganics	DALY	3.040E-09	4.628E-09
Climate change	DALY	8.340E-10	1.449E-09
Ecotoxicity	PAF*m2yr	1.737E-03	2.380E-03
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	6.353E-05	9.925E-05
Fossil fuels	MJ surplus	2.961E-03	5.846E-03

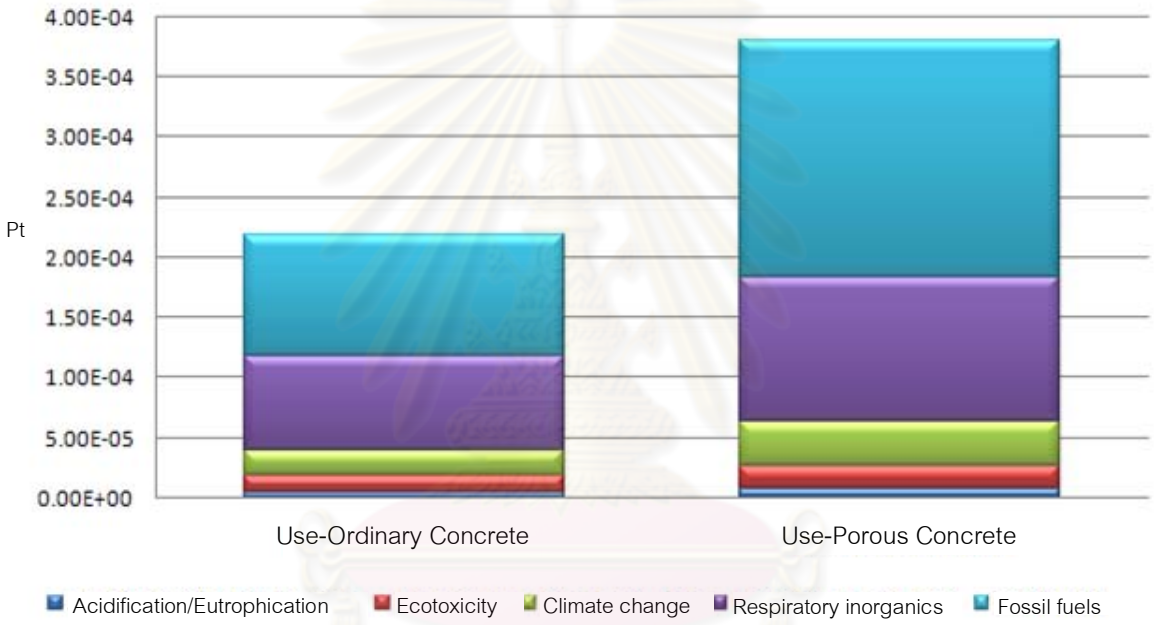
* OC: Ordinary Concrete, ** PC: Porous Concrete



รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งาน
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบจากการใช้งาน

Impact category	Unit	Use - OC	Use - PC
Total	Pt	2.183E-04	3.800E-04
Respiratory inorganics	Pt	7.867E-05	1.198E-04
Climate change	Pt	2.158E-05	3.751E-05
Ecotoxicity	Pt	1.355E-05	1.857E-05
Acidification/ Eutrophication	Pt	4.955E-06	7.741E-06
Fossil fuels	Pt	9.949E-05	1.964E-04



รูปที่ 4.37 เปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบ
จากการใช้งานคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป

จากข้อมูลข้างต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบจากการใช้งานคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท และขั้นตอนการเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยว จะเห็นว่าในขั้นตอนการใช้งานนั้น คอนกรีตพรุนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าคอนกรีตทั่วไปในทุกด้าน โดยหากพิจารณาผลจากการใช้งานคอนกรีตทั่วไปจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้งานคอนกรีตพรุน 42.55% คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากผลกระทบแต่ละประเภทของคอนกรีตทั่วไปเทียบกับคอนกรีตพรุน ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 แสดงปริมาณผลกระทบที่ลดลงจากการใช้คอนกรีตทั่วไปเทียบกับคอนกรีตพรุน

ประเภทผลกระทบ	ปริมาณผลกระทบที่ลดลง (%)
Respiratory inorganics	34.31
Climate change	42.46
Ecotoxicity	27.01
Acidification/ Eutrophication	35.99
Fossil fuels	49.35

นอกจากผลกระทบที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว ในการทำความสะอาดคอนกรีตพรุนซึ่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกิดจากการใช้เครื่องอัดฉีดน้ำแรงดันสูง โดยคิดระยะเวลาที่ควรทำอย่างน้อย 2 ครั้งต่อปี แต่ในการใช้งานจริงอาจจะไม่ได้มีการใช้เครื่องอัดฉีดแรงดันสูง และมีการล้างพื้นคอนกรีตพรุนน้อยครั้งกว่าหรือบ่อยกว่านี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้พื้นที่ ว่าสามารถเกิดการอุดตันที่ทำให้ต้องทำความสะอาดได้บ่อยครั้งแค่ไหน และหากมีสิ่งสกปรกอื่นๆ เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นๆ ที่ทำให้จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการทำความสะอาดมากกว่า 1 นาทีต่อตารางเมตร ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้งานคอนกรีตพรุนในระยะเวลา 1 ปี ที่ได้จากการประเมินข้างต้นก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นหรือลดน้อยลงไปได้

ตารางที่ 4.20 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตพรุน

Impact category	Unit	Total	Electricity	Water
Total	Pt	5.211E-04	3.609E-04	1.602E-04
Respiratory inorganics	Pt	1.198E-04	8.043E-05	3.934E-05
Climate change	Pt	3.751E-05	2.672E-05	1.079E-05
Ecotoxicity	Pt	1.857E-05	1.179E-05	6.776E-06
Acidification/ Eutrophication	Pt	7.741E-06	5.264E-06	2.478E-06
Fossil fuels	Pt	1.964E-04	1.467E-04	4.974E-05

ตารางที่ 4.21 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตทั่วไป

Impact category	Unit	Total	Water
Total	Pt	3.205E-04	3.205E-04
Respiratory inorganics	Pt	7.867E-05	7.867E-05
Climate change	Pt	2.158E-05	2.158E-05
Ecotoxicity	Pt	1.355E-05	1.355E-05
Acidification/ Eutrophication	Pt	4.955E-06	4.955E-06
Fossil fuels	Pt	9.949E-05	9.949E-05

ตารางที่ 4.22 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตพรุน

Damage category	Unit	Total	Electricity	Water
Total	Pt	5.211E-04	3.609E-04	1.602E-04
Human Health	Pt	2.763E-04	1.916E-04	8.472E-05
Ecosystem Quality	Pt	4.221E-05	2.003E-05	2.218E-05
Resources	Pt	2.025E-04	1.492E-04	5.333E-05

ตารางที่ 4.23 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกกลุ่มเป้าหมายผลกระทบของการใช้งานคอนกรีตทั่วไป

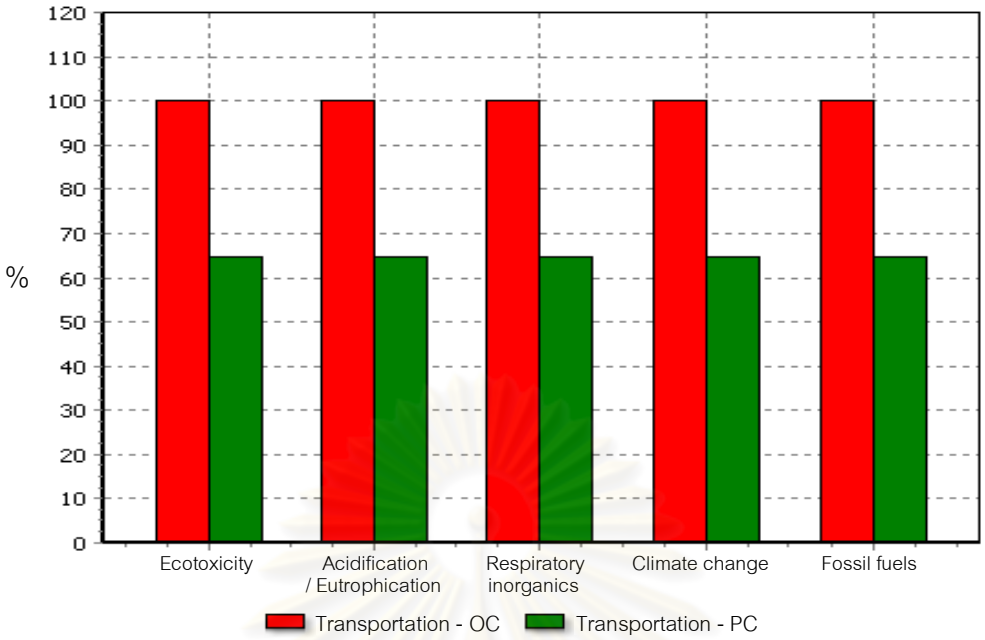
Damage category	Unit	Total	Water
Total	Pt	3.205E-04	3.205E-04
Human Health	Pt	1.694E-04	1.694E-04
Ecosystem Quality	Pt	4.436E-05	4.436E-05
Resources	Pt	1.067E-04	1.067E-04

4.3.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขนส่ง

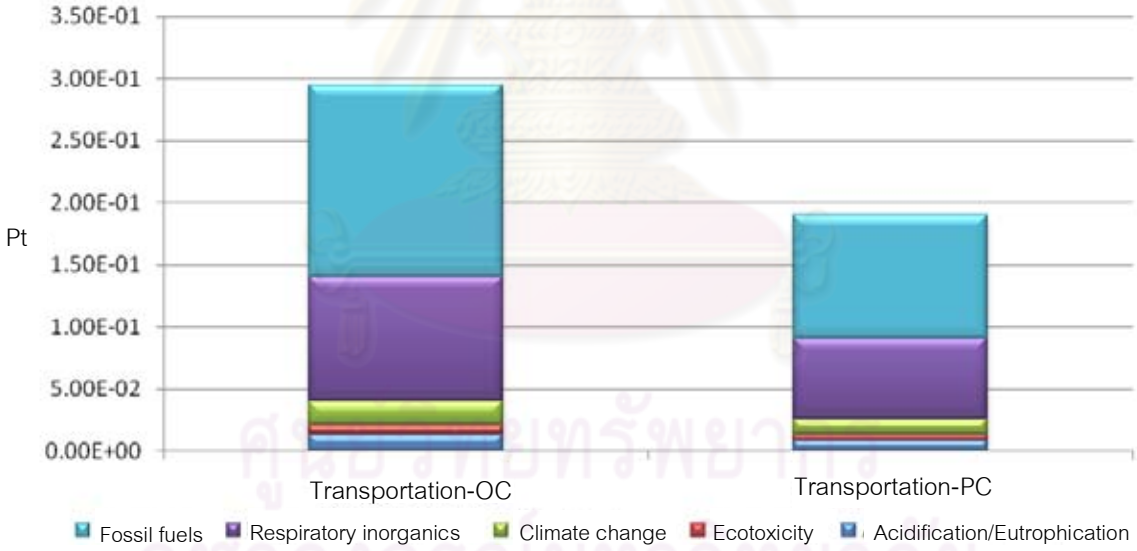
ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาโดยการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการขนส่งคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป เพื่อบ่งชี้ภาระทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภท รายละเอียดดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้งาน
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท

Impact category	Unit	Transportation-OC	Transportation-PC
Respiratory inorganics	DALY	3.851E-06	2.488E-06
Climate change	DALY	7.647E-07	4.940E-07
Ecotoxicity	PAF*m2yr	9.445E-01	6.102E-01
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	1.700E-01	1.098E-01
Fossil fuels	MJ surplus	4.599E+00	2.971E+00



รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขนส่ง
ในขั้นตอนจำแนกกลุ่มผลกระทบและกำหนดบทบาท



รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบ
จากการใช้งานคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุน

จากขั้นตอนเปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยว จะพบว่าในขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตทั่วไปส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าคอนกรีตพรุน โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการใช้เชื้อเพลิงมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร และภาวะโลกร้อน ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงพบว่า การ

ขนส่งวัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิตคอนกรีตพรุน ส่งผลกระทบน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป 35.39% รายละเอียดดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวแบบแยกประเภทผลกระทบจากการขนส่ง

Impact category	Unit	Transportation-OC	Transportation-PC	%
Total	Pt	3.104E-01	2.006E-01	100
Respiratory inorganics	Pt	9.966E-02	6.439E-02	32.10
Climate change	Pt	1.979E-02	1.279E-02	6.37
Ecotoxicity	Pt	7.367E-03	4.760E-03	2.37
Acidification/ Eutrophication	Pt	1.326E-02	8.566E-03	4.27
Fossil fuels	Pt	1.545E-01	9.983E-02	49.77

ในขั้นตอนการขนส่งที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ เป็นค่าที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบจากโรงงานผลิตวัสดุก่อสร้างแต่ละประเภทมายังพื้นที่ก่อสร้างที่ได้ทำการเก็บข้อมูล หากมีการเปลี่ยนแปลงสถานที่ก่อสร้าง และแหล่งที่มาของวัสดุที่นำมาใช้ก็จะทำให้ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการขนส่งคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป จากการประเมินข้างต้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นหรือลดน้อยลงไปได้

4.3.4 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเทียบเป็นปริมาณ kg CO_2 eq

จากการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ มีการวิเคราะห์หน่วยเทียบเท่าในด้านต่างๆ อยู่ด้วยกันหลายประเภท สามารถอธิบายดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 หน่วยเทียบเท่าของผลกระทบแต่ละประเภทที่นำมาพิจารณา

Impact category	Emissions	Equivalency
Climate change	CO_2, CH_4, N_2O, CO	kg CO_2 eq
Respiratory inorganics	Particulate matter	PM
Acidification/ Eutrophication	SO_2, NO_x, N_2O	kg SO_2 eq, kg PO_4^- eq
Ecotoxicity	Pasticides, Metals, Industrial compounds	Kg 1,4-DB eq
Fossil fuels	MJ surplus/m^3	MJ

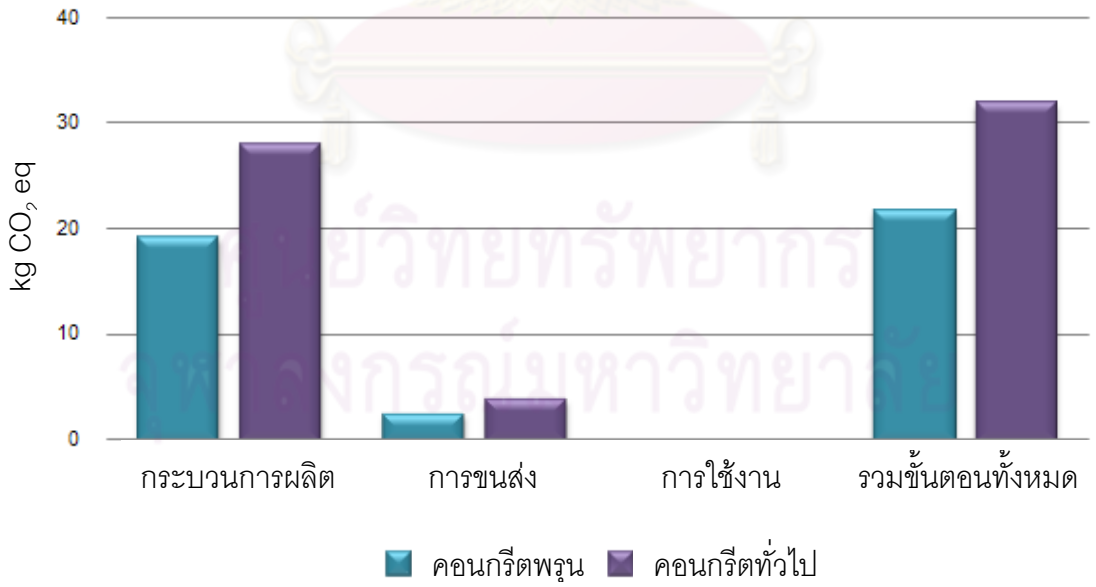
โดยงานวิจัยนี้จะพิจารณาผลกระทบด้านกลุ่มผลกระทบการทำให้โลกร้อน โดยสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลศักยภาพในการทำให้โลกร้อน เทียบเป็นหน่วยกิโลกรัม CO_2 เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

จากข้างต้นหากพิจารณาจากการรวมผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปของหน่วยเทียบเท่า kg CO_2 eq ในขั้นตอนกระบวนการผลิต และการใช้งานของคอนกรีตพรุน และคอนพรีตทั่วไป มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหน่วยเทียบเท่า kg CO_2 eq

ขั้นตอนที่พิจารณา	คอนกรีตพรุน	คอนกรีตทั่วไป
กระบวนการผลิต	19.29	28.11
การขนส่ง	2.52	3.90
การใช้งาน	7.62E-3	4.48E-3
รวมขั้นตอนทั้งหมด	21.82	32.01

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวมจากขั้นตอนกระบวนการผลิต การขนส่ง และการใช้งานต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรของคอนกรีตทั่วไปมีค่ามากกว่าคอนกรีตพรุน เท่ากับ 10.19 kg CO_2 eq โดยส่วนที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ กระบวนการผลิต รองลงมาคือ การขนส่ง ผลการเปรียบเทียบผลกระทบในแต่ละขั้นตอนดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหน่วยเทียบเท่า kg CO_2 eq

ตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการจัดสรรที่ดิน เพื่อประโยชน์เกี่ยวกับการคมนาคม การจราจร และความปลอดภัย ทางเดินและทางเท้าของถนนด้านที่ใช้เป็นทางเข้าออกสู่ที่ดินที่ทำการจัดสรรที่ดินเพื่อ

ที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรม ต้องจัดสรรที่ดินให้มีทางเดินและทางเท้ามีความกว้างทางเดินและทางเท้าสุทธิ ไม่ต่ำกว่า 60 เซนติเมตร จากข้อกำหนดดังกล่าว สามารถกล่าวได้ว่า หากในอนาคตมีการเปลี่ยนการก่อสร้างทางเดินและทางเท้า โดยมีการนำคอนกรีตพรุนมาใช้แทนคอนกรีตทั่วไป ในการก่อสร้างทางเท้า 1 กิโลเมตร หรือคิดเป็นพื้นที่ 600 ตารางเมตร จะทำให้สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านผลกระทบการทำให้โลกร้อนที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคต เท่ากับ 6,114 kg CO_2 eq หรือสามารถลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้ถึง 31.83 %

4.4 การตีความและประเมินเพื่อปรับปรุง

จากผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนที่ผ่านมา ชี้ให้เห็นว่า แหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เกิดจากขั้นตอนการใช้ ได้มาของ ปูนซีเมนต์ รองลงมาคือขั้นตอนการขนส่ง ดังนั้นแนวทางในการลดผลกระทบจึงควรมุ่งเน้นไปที่การ ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากทั้งสองส่วนนี้ โดยเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงเบื้องต้น ซึ่งควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปอีก เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การเลือกใช้วัตถุดิบ และการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงอื่นๆ

4.4.1 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง

สำหรับข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง ที่น่าจะสามารถนำมาใช้เพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับการผลิตคอนกรีตพรุน สามารถสรุปแนวทางได้ดังนี้

ปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต และการใช้งานปูนซีเมนต์

การใช้งานปูนซีเมนต์ในกระบวนการผลิตคอนกรีตนั้น สามารถใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิต ได้แก่ การใช้ เถ้าลอย ผงหินปูน ผงซิลิกา การใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์เป็นสิ่งที่สมควรให้การสนับสนุน เพราะไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนการผลิตในเรื่องของราคาวัสดุได้ แต่ยังสามารถลดการใช้พลังงานในการผลิต โดยเฉพาะการใช้เชื้อเพลิงในการเผาวัตถุดิบเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ได้โดยตรงตามอัตราส่วนที่ถูกแทนที่ ซึ่งจะมีผลในการลดการปล่อยก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้อีกด้วย

เมื่อพิจารณากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ การบดวัตถุดิบในส่วนของการผลิตปูนซีเมนต์เป็นขั้นตอนที่เกิดปริมาณฝุ่นแขวนลอยมาก และเป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด ส่วนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เป็นขั้นตอนที่ก่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มาก ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่มีการลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยมีการปรับปรุงชนิดของอุปกรณ์และหาขนาดของวัตถุดิบที่เหมาะสมที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด ได้แก่ การเปลี่ยนหม้อบดละเอียดจาก Ball Mill หรือ Tube Mill เป็น Roller Mill และ เปลี่ยนหม้อเผาจาก Long Dry Kiln มาเป็น Suspension Preheater Kiln หรือ Kiln with Dry Calcinator

โดยมีงานวิจัยและพัฒนาวัสดุผสมคอนกรีตประเภทอื่นๆ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือต้องการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น และเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีความทนทานรวมทั้งต้องการให้ได้คอนกรีตที่มีราคาเหมาะสมด้วย โดยได้มีการนำวัสดุอื่นๆ มาผสม ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย มีดังนี้

- Pulverized Fuel Ash (PFA) เป็นของแข็งเม็ดกลมลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินที่บดละเอียดในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า

- Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBS) เป็นของเหลือ (By-Product) ของกระบวนการผลิตเหล็ก โดยใช้เตาหลอม Slag ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลจากการหลอมตัวของคัลเซียมออกไซด์จากหินปูนกับซิลิกอน และอลูมินาจากแท่งเหล็กและถ่าน Coke

- Microsilica (MS) หรือ Silica Fume เป็นของเหลือ (By-Product) ของขบวนการผลิต Silicon Metal หรือ Ferrosilicon Alloy โดยเมื่อวัตถุดิบได้รับความร้อน เกิดการหลอมตัวจะเกิดไอของซิลิกอนโมโนออกไซด์ลอยตัวขึ้น ไอเหล่านี้จะถูกดักจับได้และทำให้เย็นตัว ได้เป็นอนุภาคที่ขนาดเล็กมากของ Amorphous Silica โดยมีขนาดเล็กกว่าเม็ดซีเมนต์ประมาณ 100 เท่า หลังจากนั้นจะถูกส่งไปบรรจุในไซโลและแยกใส่ถุงออกจำหน่าย

การผลิตปูนซีเมนต์นั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการระเบิด การโม่และบดหิน เป็นต้น และการเผาปูน 1 ตัน จะต้องใช้ถ่านหินประมาณ 220 กิโลกรัม คิดเป็นค่าใช้จ่ายประมาณ 100 บาท ดังนั้นถ้าลดการใช้ซีเมนต์ลงได้ 1 ล้านตัน/ปี จะสามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงได้ถึง 100 ล้านบาท/ปีทีเดียว

ในทวีปยุโรปและอเมริกาได้มีการนำวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมกลับมาใช้อีก เช่น ในอุตสาหกรรมก่อสร้างเพื่อเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตัวอย่างวัสดุดังกล่าวได้แก่ ขี้เถ้าลอยที่มาจากถ่านหิน (fly ash) ผงควันซิลิกา (silica fume) จากการผลิต silicon chip ตะกรันเหล็ก ground granulated blast-furnace slag (GGBS) จากการผลิตเหล็ก และแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จากการตกผลึกใหม่ของหินปูนที่ผ่านกระบวนการโม่บดย่อยให้ละเอียด โดยใช้โม่แบบเดียวกับที่ใช้ในการบดปูนซีเมนต์ (Ball Mill) ซึ่งเป็นหลักการที่จะนำวัสดุที่เหลือใช้ในประเทศมาพัฒนาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ทั้งนี้เพื่อช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่และนำมาให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ตารางที่ 4.28 ความคงทนของคอนกรีตเมื่อมีการใส่วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์

Item	Cementitious			Compressive Strength (Ksc.)			
	Cement	Fly Ash	$CaCO_3$	18 Hrs.	1 Day	7 Day	28 Day
1	100%	-	-	124	210	260	340
2	75%	25%	-	120	143	248	306
3	75%	10%	15%	128	154	256	310

จากตารางพบว่าคอนกรีตที่มีการใส่วัสดุทนแทนปูนซีเมนต์เป็นขี้เถ้าลอย และแคลเซียมคาร์บอเนตนั้น มีกำลังอัดที่ 28 วันผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับงานถนนทางเท้าทั่วไป โดยสามารถลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากปูนซีเมนต์ได้ 25%

สำหรับแนวทางอื่นๆ ในการปรับปรุง ที่น่าจะสามารถนำมาใช้ และควรได้รับการสนับสนุนเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การควบคุมฝุ่นละออง การนำวัสดุที่ไม่ใช้แล้วทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ และการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า รายละเอียดมีดังนี้

- การควบคุมฝุ่นละออง ในการดำเนินการผลิตปูนซีเมนต์ ทั้งจากกระบวนการทำเหมือง การผลิต การกองเก็บ และการขนส่ง ควรมีการดำเนินการติดตั้งเครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) ซึ่งเป็นระบบดักฝุ่นที่ทันสมัยที่สุด ในการดักฝุ่นจากปล่องหม้อเผาปูนซีเมนต์ และปล่องหม้อเย็น และติดตั้งเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag Filter) ในจุดอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดฝุ่น และกำหนดให้มีการบำรุงรักษาอุปกรณ์แบบป้องกัน (Preventive Maintenance) เพื่อให้เครื่องดักฝุ่นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา สำหรับบริเวณที่ไม่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องดักฝุ่น ควรจะจัดทำเป็นระบบปิด เพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง เช่น ยุ้งเก็บวัตถุดิบและระบบลำเลียงวัตถุดิบ

- การลดการใช้พลังงานไฟฟ้า นอกจากการปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และความร้อนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แล้ว การควบคุมกระบวนการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติยังเป็นวิธีการหนึ่งที่พนักงานสามารถควบคุมผ่านแผงควบคุม ให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนตามที่กำหนดได้โดยตรง เพื่อให้สามารถควบคุมการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงได้อย่างถูกต้อง แม่นยำในช่วงที่ต้องการได้ตลอดเวลา โดยนำระบบ Advance Process Control (APC) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถปรับกระบวนการผลิตให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง สามารถลดการเบี่ยงเบนของค่าต่างๆ ในกระบวนการผลิตและส่งผลให้สามารถลดอัตราการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิง ทำให้การใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประหยัดพลังงาน

ปัจจุบันมีการศึกษาและพัฒนาหาแนวทางการใช้พลังงานทดแทน การลงทุนเพื่อประหยัดพลังงาน และใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า โดยมีโครงการประหยัดพลังงานและสรรหาพลังงานทดแทนที่ดำเนินการในปัจจุบัน ดังนี้

- การติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าจากลมร้อนเหลือใช้ ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (Water-Heat Power Generation) ในโรงงานปูนซีเมนต์ เพื่อใช้แทนการซื้อพลังงานไฟฟ้า เชื้อเพลิงฟอสซิล ลิกไนต์ ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ จากข้อมูล SCG ที่เริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในไตรมาสที่ 2 ปี พ.ศ. 2551 ทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าใช้เองได้ร้อยละ 25 และลดการซื้อไฟฟ้าจากภายนอกได้ประมาณปีละ 1,600 ล้านบาท รวมทั้งช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กว่าปีละ 300,000 ตัน

- การลดปริมาณการใช้พลังงาน จากข้อมูลบริษัทในธุรกิจเคมีภัณฑ์ ลดการใช้พลังงานใน Turbine ของ Propylene Refrigeration Compressor ด้วยการเพิ่มระบบ MP Ethylene ซึ่งช่วยละระดับความดันในท่อขนส่งที่สูงเกินความจำเป็น ช่วยลดการใช้พลังงานได้ถึงร้อยละ 8 หรือกรณีที่ใช้พัดลมดูดอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในกระบวนการผลิตผลึกกรดเทเรพทาลิก โดยติดตั้งเครื่องปรับความเร็วที่มีมอเตอร์ขับพัดลมดูดอากาศ ทำให้สามารถปรับกำลังลมให้สอดคล้องกับอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้ค่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ต้องการเป็นจุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ช่วยลดการใช้พลังงานได้ถึงร้อยละ 1.2

- การลดการสูญเสียความร้อนจากระบบการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำกลับคืน (Recovery Boller) ด้วยการปรับปรุงระบบลมป้อนเข้าห้องเผาไหม้ โดยสร้าง Turbulence ให้อยู่ในระดับสูงกว่าเดิม และหลีกเลี่ยงการปะทะกันของอากาศให้มากที่สุด ทำให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในเตา

ส่งผลให้เผาได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้น้ำมันเตา และลดปริมาณน้ำมันเตาที่ต้องนำมาใช้ในการเผาไหม้ได้ถึง 1.7 ล้านลิตรต่อปี

การนำวัสดุที่ไม่ใช้แล้วทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ

อุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ต้องใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตจำนวนมาก ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่เก็บเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) ได้แก่ ถ่านหิน และน้ำมันเตาเป็นหลัก ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงประเภทใช้แล้วหมดไป (Non-Energy Renewable) และเชื้อเพลิงประเภทนี้ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นปริมาณมาก ในกรณีที่ดำเนินการผลิตในประเทศไทย ก็จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในด้านการทำเหมืองถ่านหิน การขนส่ง และการใช้งาน ดังนั้นจึงควรมีการใช้เชื้อเพลิงทดแทนอื่นที่มีประสิทธิภาพ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ได้แก่ การใช้วัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรม (Industrial Waste) และการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass)

<u>วัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรม (Industrial Waste)</u>

ในปัจจุบันแนวคิดที่พยายามนำขยะอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ใหม่เพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างกำลังเป็นที่นิยมและได้รับความสนใจอย่างมาก เช่น การใช้เถ้าลอยเป็นสารทดแทนปูนซีเมนต์ เพื่อก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด (W. Mairaing, 2002) การนำมาใช้เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน (S. Nontananandh et.al., 2004) การผลิตปูนซีเมนต์จากขยะโรงงานอุตสาหกรรม (เกศรินทร์ และสกลวรรณ, 2550; P. Garces et.al., 2008) ซึ่งหลักการดังกล่าวนอกจากจะช่วยลดมลภาวะที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของขยะอุตสาหกรรมอีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการผลิตปูนซีเมนต์สังเคราะห์จากขยะอุตสาหกรรม โดยเลือกขยะที่มีศักยภาพเหมาะสมมาใช้เป็นวัตถุดิบขั้นต้น ในขั้นตอนกระบวนการผลิตสารเชื่อมประสาน เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง จากการคัดเลือกชนิดของขยะ และผสมในสัดส่วนต่างๆ กันโดยใช้ค่าไฮเดรชั่นโมดูลัสเริ่มต้นเป็นเกณฑ์กำหนด พบว่าเปลือกหอยแครง ผงหินปูน ตะกอนประปา และปูนขาว ที่อัตราส่วน 5:50:25:20 ตามลำดับ มีความเหมาะสมสามารถผลิตปูนซีเมนต์สังเคราะห์ได้ในปริมาณที่สูงที่สุด และมีคุณสมบัติด้านกำลังอัดที่ 28 วันเท่ากับ 34.21 ksc (ณพล และคณะ, 2552)

<u>การใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass)</u>

ชีวมวล(Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานอาจจะทำโดย นำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงาน

ความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลเล่านี้มีแหล่งที่มาต่างๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (wood and wood residues) หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน ตัวอย่างเช่น

- แกลบ (Rice Husk) ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสารในโรงสีข้าว
- ฟางข้าว (Rice Straw) ได้จากกระบวนการเก็บเกี่ยวข้าวเปลือกจากนาข้าว
- ชานอ้อย (Bagasse) ได้จากกระบวนการหีบอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาลทรายในโรงน้ำตาล
- เศษไม้-ปีกไม้ (Wood Waste) ขี้เลื่อย (Saw Dust) และเปลือกไม้ (Bark) ได้จากกระบวนการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสในโรงเลื่อยและโรงแปรรูปไม้
- เส้นใยปาล์ม (Palm Fiber) ทะลายปาล์ม (Palm Empty Bunch) และ กะลาปาล์ม (Palm Shell) ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
- เหง้ามันสำปะหลัง (Tapioca Rhizome) ได้จากการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังสดในไร่มัน
- ซังข้าวโพด(Corncob) ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดข้าวโพดออกจากฝักข้าวโพด

เนื่องจากในขั้นตอนของการเจริญเติบโตของพืชนั้น พืชได้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ และแร่ธาตุต่างๆ เพื่อเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อให้ได้ออกมาเป็นมวลสารของพืช ที่ประกอบด้วยธาตุองค์ประกอบหลักได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช และเมื่อนำพืชหรือชีวมวลดังกล่าวมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเผาไหม้ให้ได้พลังงาน คาร์บอน (C) ที่สะสมอยู่ในชีวมวลจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งก็จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืชต่อไป ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการนำพลังงานที่สะสมในชีวมวลมาใช้ประโยชน์จึงเป็นการใช้พลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) สามารถช่วยลดผลกระทบที่มีอยู่ในปัจจุบันจากปรากฏการณ์โลกร้อน (Global Warming) ได้

การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล สามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำหรือน้ำมันร้อนใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานต่างๆ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่งที่กล่าวมาข้างต้น หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ และเนื่องจากต้นทุนพลังงานจากชีวมวล ซึ่งก็คือ ราคาของชีวมวลเทียบกับพลังงานที่ได้จากชีวมวล ยังมีราคาถูกเทียบกับต้นทุนพลังงานจากการใช้น้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเตา จึงได้มีการนำชีวมวลต่างๆ มาใช้ทดแทนน้ำมันเตาเพื่อผลิตพลังงานความร้อนอย่างแพร่หลาย และยังเป็นการสนับสนุนการใช้เศษวัสดุการเกษตรในประเทศเพื่อลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลต่างๆ

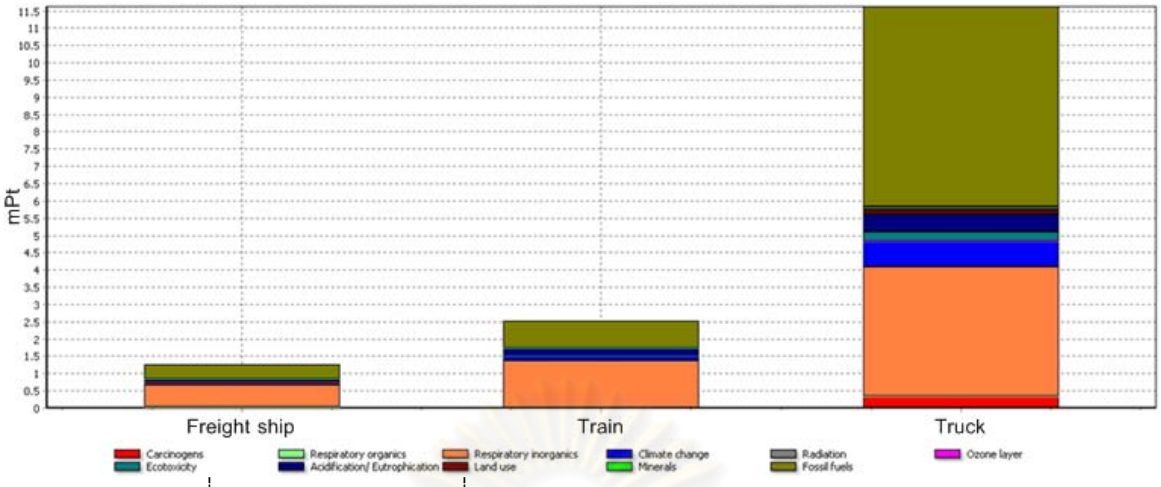
ตารางที่ 4.29 คุณลักษณะและค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลประเภทต่างๆ
ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม

คุณสมบัติชีวมวลต่างๆ	Moisture %	Ash %	Volatile Matter %	Fixed Carbon %	Higher Heating Value kJ/kg	Lower Heating Value kJ/kg
แกลบ	12.00	12.65	56.46	18.88	14,755	13,517
ฟางข้าว	10.00	10.39	60.70	18.90	13,650	12,330
ชานอ้อย, Bagasse	50.73	1.43	41.98	5.86	9,243	7,368
ใบอ้อย	9.20	6.10	67.80	16.90	16,794	15,479
ไม้ยางพารา	45.00	1.59	45.70	7.71	10,365	8,600
เส้นใยปาล์ม	38.50	4.42	42.68	14.39	13,127	11,400
กะลาปาล์ม	12.00	3.50	68.20	16.30	18,267	16,900
ทะลายปาล์ม	58.60	2.03	30.46	8.90	9,196	7,240
ต้นปาล์ม	48.40	1.20	38.70	11.70	9,370	7,556
ทางปาล์ม	78.40	0.70	16.30	4.60	3,908	1,760
ซังข้าวโพด	40.00	0.90	45.42	13.68	11,298	9,615
ลำต้นข้าวโพด	41.70	3.70	46.46	8.14	11,704	9,830
เหง้ามันสำปะหลัง	59.40	1.50	31.00	8.10	7,451	5,494
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	60.00	2.44	28.00	9.56	6,811	4,917

ปรับเปลี่ยนกระบวนการขนส่ง

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้ พบว่าการขนส่งวัตถุดิบนั้นก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูง แนวทางในการปรับปรุงที่น่าจะทำได้คือปรับเปลี่ยนวิธีการขนส่ง โดยเปลี่ยนจากการขนส่งวัตถุดิบด้วยรถบรรทุก เป็นการขนส่งโดยใช้รถไฟ หรือเรือขนส่งสินค้าแทน รายละเอียดการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 4.41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.41 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทผลกระทบของการขนส่งทางเรือ รถไฟ และรถบรรทุก

จากรูปที่ 4.41 การประเมินค่าคะแนนเชิงเดี่ยวแสดงให้เห็นว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสูงที่สุด ได้แก่ การขนส่งโดยใช้รถบรรทุก พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.163E-02 Pt รองลงมาคือการขนส่งโดยรถไฟ มีค่าเท่ากับ 2.524E-03 Pt และวิธีการขนส่งที่ก่อให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดคือการขนส่งโดยเรือขนส่งสินค้า มีค่าเท่ากับ 1.247E-03 Pt รายละเอียดดังตารางที่ 4.30

การเปลี่ยนแปลงวิธีการขนส่งนี้สามารถลดการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างมาก แต่การที่จะเปลี่ยนการขนส่งจากการใช้รถบรรทุก ไปเป็นเรือขนส่งสินค้าหรือรถไฟนั้นอาจต้องคำนึงถึงเส้นทางการขนส่งด้วย เนื่องจากการเปลี่ยนไปขนส่งไปเป็นทางเรือหรือรถไฟอาจทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนเส้นทางการขนส่งหรือต้องใช้วิธีการขนส่งร่วมกันหลายวิธี ซึ่งส่งผลให้ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมนั้นไม่ได้มีค่าลดลงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังนั้น เพื่อที่จะทำการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีนี้จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ได้วิธีการขนส่งวัตถุดิบที่ลดการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

ตารางที่ 4.30 เปรียบเทียบค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) แบบแยกประเภทผลกระทบของการขนส่งทางเรือ รถไฟ และรถบรรทุก

Impact category	Unit	Freight ship	Train	Truck
Total	Pt	1.247E-03	2.524E-03	1.163E-02
Respiratory inorganics	Pt	6.470E-04	1.365E-03	3.732E-03
Climate change	Pt	5.828E-05	1.202E-04	7.412E-04
Ecotoxicity	Pt	3.699E-05	1.337E-06	2.759E-04
Acidification/ Eutrophication	Pt	7.604E-05	2.327E-04	4.966E-04
Fossil fuels	Pt	3.955E-04	7.910E-04	5.787E-03

4.4.2 เกณฑ์การพิจารณาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์

จากการรวบรวมข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ สามารถวิเคราะห์เกณฑ์เปรียบเทียบในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุที่คำนึงถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.31 การพิจารณาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์

เกณฑ์การพิจารณา	คอนกรีตพรุน	คอนกรีตทั่วไป	หมายเหตุ
การใช้ทรัพยากร	✓		- คอนกรีตพรุนมีการใช้วัตถุดิบ และพลังงานในกระบวนการผลิตน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป 13.11% และ 37.33% ตามลำดับ
คุณภาพของผลิตภัณฑ์		✓	- กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทั่วไป 240-280 ksc ซึ่งสูงกว่าคอนกรีตพรุน 35-75 ksc
การใช้งาน	✓		- คอนกรีตพรุนมีคุณสมบัติน้ำซึมผ่านได้ดี ลดการสะสมความร้อน และพืชสามารถเจริญเติบโตได้
การดูแลรักษา		✓	- คอนกรีตพรุนมีการใช้ไฟฟ้าในการทำความสะอาด 0.043 kwh/ปี ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่าการใช้งานคอนกรีตทั่วไป 162.6%
อายุการใช้งาน		✓	- คอนกรีตทั่วไปมีความคงทนกว่าคอนกรีตพรุน โดยอาจมีอายุการใช้งานนานถึง 40-50 ปี ส่วนคอนกรีตพรุนอาจมีอายุการใช้งาน 30-40 ปี
การนำไป reuse/recycle	✓		- วัตถุดิบทั้งหมดสามารถคืนสภาพเป็น Aggregate ที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบผสมใหม่ได้ทั้งหมด
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์		✓	- คอนกรีตพรุนมีราคาแพงกว่าคอนกรีตทั่วไป ทั้งในส่วนของตัวผลิตภัณฑ์ และการใช้งาน
ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม	✓		- คอนกรีตพรุนมีรูพรุนที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ มีการใช้วัตถุดิบ และกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลข้างต้น เกี่ยวกับเกณฑ์การพิจารณาเพื่อเลือกใช้ผลิตภัณฑ์จะพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภท มีทั้งข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภคในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับความต้องการ โดยสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการประกอบการตัดสินใจเพื่อเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาระดับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการวิเคราะห์จะใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 ในการช่วงวิเคราะห์และประเมินผลทางสิ่งแวดล้อม ด้วยวิธี Eco-indicator 99 ในการเปรียบเทียบปริมาณทรัพยากรและพลังงานที่ต้องใช้ รวมถึงปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และการใช้งาน คอนกรีตพรุนโดยทำการเปรียบเทียบกับคอนกรีตทั่วไป ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลการดำเนินงาน สร้างพื้นที่สำหรับเป็นทางเดิน ทางเท้า และลานอเนกประสงค์ โดยคำนวณในรูปต่อหน่วยก่อสร้างพื้นที่ 1 ตารางเมตร ผลจากการวิจัยระบบการประเมินวัฏจักรชีวิตของคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป สามารถสรุปได้เป็นประเด็น ดังตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป

ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ทั้งหมด	%	กระบวนการผลิต	%	การขนส่ง	%	การใช้งาน	%
คอนกรีตพรุน	Pt	8.061E-01	100	6.051E-01	75.07	2.006E-01	24.88	3.800E-04	0.05
คอนกรีตทั่วไป	Pt	1.156E+00	100	7.981E-01	71.98	3.104E-01	28.00	2.183E-04	0.02

จากตารางข้างต้นพบว่า เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) พบว่า คอนกรีตพรุนส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยรวมน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป ซึ่งจากตารางพบว่า สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลงได้ 3.026E-01 Pt หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมลงได้มีค่าเท่ากับ 27.29% โดยขั้นตอนที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดจากผลิตภัณฑ์คอนกรีตพรุน ได้แก่ กระบวนการผลิต ซึ่งส่งผลกระทบมีค่าเท่ากับ 6.051E-01 Pt (75.07%) และกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป ซึ่งผลกระทบมีค่าเท่ากับ 7.981E-01 Pt (71.98%)

เมื่อพิจารณาเฉพาะผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนที่ส่งผลกระทบมากที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไปสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าคะแนนเชิงเดี่ยวของกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไป

ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ทั้งหมด	%	หิน	%	ปูนซีเมนต์	%	ทราย	%
คอนกรีตพรุน	Pt	6.051E-01	100	1.393E-01	23.02	4.454E-01	73.61	-	-
คอนกรีตทั่วไป	Pt	7.981E-01	100	1.022E-01	12.81	6.570E-01	82.32	1.082E-02	1.36

จากตารางข้างต้นพบว่า เมื่อพิจารณาค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ในขั้นตอนกระบวนการผลิตผลกระทบสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตพรุนน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป ซึ่งสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลงได้ 1.930E-01 Pt หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สามารถลดลงได้จากกระบวนการผลิตเท่ากับ 24.18% โดยขั้นตอนที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดจากกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ส่งผลกระทบมีค่าเท่ากับ 4.454E-01 Pt (73.61%) และกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ส่งผลกระทบมีค่าเท่ากับ 6.570E-01 Pt (82.32%)

จากงานวิจัยนี้จะเห็นว่า การใช้งานคอนกรีตพรุนนั้นมีข้อด้อยตรงที่จำเป็นต้องมีการใช้พลังงานจากเครื่องอัดฉีดน้ำแรงดันสูง ในการทำความสะอาดสิ่งอุดตันเพื่อรักษาคุณสมบัติของคอนกรีตพรุนให้คงความสามารถในการระบายน้ำได้ ซึ่งถือเป็นข้อดีของผลิตภัณฑ์คอนกรีตพรุนที่เหนือกว่าคอนกรีตทั่วไป สำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตพรุนที่ถือเป็นข้อดีกว่าคอนกรีตทั่วไปมีดังนี้

- สามารถควบคุมการซึมผ่านและสามารถกำหนดทิศทางและปริมาณการระบายน้ำได้
- สามารถลดปริมาณการสะสมความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตทั่วไปกว่าร้อยละ 50
- อากาศสามารถที่จะถ่ายเทในรูพรุนของคอนกรีตได้
- สามารถอุ้มน้ำหรือดูดซึมน้ำได้ (ขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบของวิศวกร)
- มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พืชสามารถเจริญเติบโตได้ (ขึ้นกับการออกแบบ)
- สามารถใช้กรองน้ำหรืออากาศเพื่อให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นได้
- น้ำหนักเบากว่าคอนกรีตโดยทั่วไป

สำหรับข้อด้วยของคอนกรีตพรุนเมื่อเทียบกับคอนกรีตทั่วไป นั่นคือ ค่ากำลังรับแรงอัดที่น้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป เนื่องจากเป็นคอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียดอยู่ภายใน ทำให้มีความสามารถในการรับแรงเพื่อทำพื้นผิวทางสำหรับเดินเท้า ยวดยานพาหนะขนาดเล็ก และงานรับแรงอัดไม่สูงมากนัก

5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยเพิ่มเติม

5.2.1 ปริมาณมลสารที่ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมควรระบุทั้งมลสารทางอากาศ มลสารทางน้ำ และมลสารทางดิน จึงจะเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิต ฉะนั้น ควรมีการตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่โครงการ เพื่อศึกษาปริมาณการระบายมลสารออกสู่บรรยากาศจากการขั้นตอนกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไปด้วย

5.2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต ในช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการได้มาซึ่งวัตถุดิบส่วนใหญ่จากฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 7.2.4 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในประเทศแถบยุโรป ซึ่งอาจไม่ตรงกับประเทศไทยนัก ดังนั้น ควรใช้ฐานข้อมูลของประเทศไทยในการประเมินวัฏจักรชีวิต จากโรงงานที่ทำการผลิตวัตถุดิบ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้สอดรับกับสถานการณ์ในประเทศไทย และได้ผลการประเมินที่สมบูรณ์มากขึ้น

5.2.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of Inorganic Substance) เป็นประเด็นหลักในการเกิดผลกระทบทั้งหมดต่อสิ่งแวดล้อมจาก กระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน และคอนกรีตทั่วไป ดังนั้นจึงควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการควบคุมฝุ่นละอองที่เหมาะสมกับแต่ละโรงงาน เพื่อช่วยให้สามารถวางแผนการจัดการเลือกระบบที่จะก่อให้เกิดการ ฝุ่นละอองออกสู่อากาศได้อย่างเป็นรูปธรรมยิ่งขึ้น

5.2.4 ควรมีการประเมินวัฏจักรชีวิต ของคอนกรีตพรุนไปจนถึงขั้นตอนหลังจากหมดอายุการใช้งาน และการจำกัดซากจากการดำเนินโครงการที่ตั้งไว้ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นในภาพรวมทั้งหมดจากผลิตภัณฑ์คอนกรีตพรุนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2551LCA : เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว .จำนวนพิมพ์ 2000 เล่ม. กรุงเทพ : หจก.ส.เจริญการพิมพ์

ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2545คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง จำกัด.

ถนัดกิจ ชารีรัตน์ ปริญญา จินดาประเสริฐ และฮาทานากะชิจิมิทซู. 2551. คอนกรีตพรุน คอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม.การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13 : MAT-069.

ถนัดกิจ ชารีรัตน์ ปริญญา จินดาประเสริฐ และฮาทานากะชิจิมิทซู. 2551. คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์สำหรับการผลิตคอนกรีตพรุน.การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 4.

ธิดา ทัศนราพันธ์.2543. การประเมินวัฏจักรของการผลิตปูนซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด. 2551คอนกรีตเทคโนโลยี กรุงเทพมหานคร.

ยุวดี หิรัญ,พีรพงษ์ ศิวินา และสุรชาติ ราโชติ. 2550. การศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับผลิตบล็อกปูผิวทางระบายน้ำได้.การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 3 : MAT-145.

วิมเมอร์, วูฟกัง. 2551.การประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจแปลโดย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ศูนย์เทคโนโลยีแห่งชาติและวัสดุแห่งชาติ2552. คู่มือก้าวแรกต้องเข้าใจกฎระเบียบอย่างถ่องแท้ RoHs Compliance. กรุงเทพ : ศูนย์เทคโนโลยีแห่งชาติและวัสดุแห่งชาติ.

เอกพล อัครภาณิชย์กร2546. สมบัติของวัสดุผิวทางระบายน้ำเพื่อใช้ในประเทศไทยวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Baumann, Y. 1994. Life Cycle Assessment – A comparison of three methods for impact analysis and evaluation. Journal of Cleaner Production. 2: 13-20.

Chindaprasirt, P., Hatanaka, S., Chareerat, T., Mishima, N. and Yuasa, Y., 2007. Cement paste characteristics and porous concrete properties. Construction and Building Materials. 22 : 894-901.

Claus, P., and Maria, G. 2007. The CO_2 uptake of concrete in a 100 year perspective. Cement and Concrete Research. 37: 1348-1356.

CPAC. 2010. CPAC Concrete Academy "CPAC Porous Concrete"[online]. Available from : http://www.cpacacademy.com/index.php?tpid=0145. [2011, February 21].

Deborah, N.H., and Thomas, D.E. 2008. A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. Journal of Cleaner Production. 17: 668-675.

EPA. 2008. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emission and Sinks: 1990-2008. U.S. Environmental Protection Agency. Released for printing: April 15,2010.

Foster, S.J., Bailey, C.G., Burgess, I.W., and Plank, R.J. 2004. Experimental behaviour of concrete floor slabs at large displacement. Engineering Structure. 26: 231-247.

ISO 14041. 1998. Environmental management. Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analysis, ISO.

Jain, A.K., and Chouhan, J.S. 2008. Pervious concrete pavement: Meeting environmental challenges. Excellence in Concrete Construction through Innovation. 553-558.

Jeannette, S. 2005. Life Cycle Assessment of Concrete. Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies. LUND University.

Lee, K.M., and Park, P. 2001. Application of Life-Cycle Asessment to Type III Environmental Declarations. Environmental Management. 28: 533-546.

Mark, G., Andy, S., and Michiel, O. 2006. Introduction to LCA with SimaPro 7. Netherlands: Pre' Consultants.

Paine, J. 1992. Portland Cement Pervious Pavement Construction. Concrete Construction. 655-659.

Paul, D.T., Michael, L.L., and David, J.A. 2004. Pervious Concrete Pavement. National Ready Mixed Concrete Association.

Pulselli, R.M., Simoncini, E., Ridolfi, R., and Bastianoni, S. 2008. Specific emergy of cement and concrete. Ecological Indicators. 8: 647-656.

Wimmer, W., Strasser, C.H., and Pamminger, R. 2003. Integrating environmental customer demands in product development. Combining QFD and the ECODESIGN Product.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
การคำนวณข้อมูล

การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิต

สำหรับวิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิตคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไปนั่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$A \times B \times \frac{1\ hr}{60\ min} \qquad (1)$$

เมื่อ : A = ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักร; หน่วย กิโลวัตต์

B = จำนวนเวลาการใช้งานเครื่องจักร; หน่วย นาที

จากสมการที่ 1 จะเป็นค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขั้นตอนกระบวนการผลิต เพื่อป้อนเข้าสู่โปรแกรมในพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kwh)

การคำนวณปริมาณการขนส่งวัตถุดิบไปยังโครงการก่อสร้าง

สำหรับวิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิตคอนกรีตพรุนและคอนกรีตทั่วไปนั่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$T \times D \times \frac{1\ ton}{10^3\ kg} \qquad (2)$$

เมื่อ : T = น้ำหนักของวัตถุดิบ; หน่วย กิโลกรัม

D = ระยะทางในการขนส่ง; หน่วย กิโลเมตร

จากสมการที่ 2 จะเป็นค่าปริมาณการขนส่งวัตถุดิบจากโรงงานผลิตวัตถุดิบไปยังพื้นที่โครงการก่อสร้าง เพื่อป้อนเข้าสู่โปรแกรมในขั้นตอนการขนส่งหน่วยเป็นตันกิโลเมตร (tkm)

ภาคผนวก ข

Inventory Data

ตาราง ข-1 Inventory data for porous concrete from SimaPro 7.2.4

Raw material	Unit	Load
Calcite, in ground	kg	176.21
Energy, from coal	MJ	25.44
Energy, from gas, natural	MJ	7.55
Energy, from oil	MJ	30.13
Gas, natural, in ground	l	60.23
Metamorphous rock, graphite containing, in ground	kg	13.14
Oil, crude, in ground	g	100.98
Peat, in ground	mg	4.83
Water, unspecified natural origin/kg	kg	23.32
Emissions to air		
Aluminium	g	1.77
Ammonia	g	1.49
Carbon dioxide	g	103.50
Carbon monoxide	mg	315.00
Nitrogen oxides	g	43.71
Sulfur dioxide	g	21.92
Sulfur oxides	mg	990.00
VOC, volatile organic compounds	mg	15.29
Xylene	mg	24.79
Emissions to water		
BOD5, Biological Oxygen Demand	g	1.43
Chloride	g	41.13
Iron	g	3.51
Magnesium	g	1.35
Particulates, > 10 um	g	3.70
Sulfate	g	14.80
Emissions to soil		
Ammonia	mg	18.01
Calcium	mg	16.08
Carbon	mg	10.22
Chloride	mg	21.53
Oils, unspecified	mg	449.42
Phosphate	mg	10.29
Waste		
Construction waste	g	4.20
Mineral waste, from mining	kg	12.93
Radioactive tailings	g	3.10
Rejects	g	172.97
Waste returned to mine	g	228.80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-2 Inventory data for ordinary concrete from SimaPro 7.2.4

Raw material	Unit	Total
Calcite, in ground	kg	148.66
Energy, from coal	MJ	37.52
Energy, from gas, natural	MJ	11.12
Energy, from oil	MJ	44.44
Gravel, in ground	kg	46.87
Metamorphous rock, graphite containing, in ground	kg	19.38
Natural aggregate	kg	1.39
Oil, crude, in ground	g	104.86
Water, unspecified natural origin/kg	kg	34.38
Emissions to air		
Carbon dioxide	g	104.19
Carbon monoxide, fossil	g	65.00
Methane	g	17.31
Nitrogen	mg	623.40
Nitrogen oxides	g	59.80
Particulates, > 10 um	g	13.58
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	g	8.04
Sulfur dioxide	g	32.16
Sulfur oxides	mg	996.60
Emissions to water		
Chloride	g	59.28
COD, Chemical Oxygen Demand	g	3.22
Iron	g	5.17
Particulates, > 10 um	g	5.45
Sodium, ion	g	8.80
Sulfate	g	22.67
Emissions to soil		
Ammonia	mg	26.56
Calcium	mg	18.41
Chloride	mg	31.35
Oils, unspecified	mg	462.02
Phosphate	mg	15.16
Strontium	mg	16.77
Waste		
Construction waste	g	6.14
Mineral waste, from mining	kg	19.07
Rejects	g	254.81
Waste returned to mine	g	337.48
Waste, unspecified	g	920.75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-3 Inventory data for the production of 1 kg portland cement

Raw material	Unit	Total
Calcite, in ground	kg	1.31
Carbon dioxide, in air	g	1.22
Energy, from coal, brown	kJ	317.91
Energy, from gas, natural	kJ	376.07
Gypsum, in ground	g	40.34
Metamorphous rock, graphite containing, in ground	g	656.67
Natural aggregate	g	47.09
Soil, unspecified, in ground	g	8.56
Water, unspecified natural origin/kg	kg	1.16
Emissions to air		
Ammonia	mg	39.14
Carbon dioxide, land transformation	g	885.11
Carbon monoxide, fossil	g	2.14
Hydrogen chloride	mg	19.87
Hydrogen fluoride	mg	1.36
Methane	mg	580.20
Nitrogen	mg	21.12
Nitrogen oxides	g	1.79
Particulates, < 2.5 um	mg	31.28
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	mg	90.68
Emissions to water		
BOD5, Biological Oxygen Demand	mg	1.33
COD, Chemical Oxygen Demand	mg	56.77
Iron	mg	175.35
Particulates, > 10 um	mg	184.53
Sodium, ion	mg	161.01
Sulfate	mg	189.52
TOC, Total Organic Carbon	mg	12.01
Waste		
Construction waste	mg	204.54
Mineral waste, from mining	g	646.11
Radioactive tailings	mg	141.89
Rejects	g	8.61
Slags	mg	10.47
Waste returned to mine	g	11.44
Waste, unspecified	g	31.21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-4 Inventory data for the production of 1 kg crushed stone

Raw material	Unit	Total
Calcite, in ground	kg	1.00
Carbon dioxide, in air	mg	16.24
Coal, hard, unspecified, in ground	mg	67.70
Energy, gross calorific value, in biomass	J	168.96
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	kJ	1.57
Gravel, in ground	mg	94.18
Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	mg	43.93
Oil, crude, in ground	mg	557.36
Water, salt, sole	mm^3	485.07
Wood, soft, standing	mm^3	13.44
Emission to air		
Aluminium	mg	11.70
Ammonia	mg	4.68
Carbon monoxide, fossil	mg	12.77
Heat, waste	kJ	32.21
Methane, fossil	mg	1.62
Nitrogen oxides	mg	45.81
Particulates, > 10 um	mg	121.26
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	mg	48.17
Sulfur dioxide	mg	3.27
Emission to water		
BOD5, Biological Oxygen Demand	mg	7.71
Calcium, ion	mg	5.12
Chloride	mg	18.98
COD, Chemical Oxygen Demand	mg	8.09
Magnesium	mg	2.11
Oils, unspecified	mg	2.35
Silicon	mg	5.49
Sulfate	mg	14.89
TOC, Total Organic Carbon	mg	2.49
Emission to soil		
Oils, unspecified	mg	2.47
Phosphorus	ng	872.20
Strontium	ng	164.44
Tebutam	pg	526.81
Teflubenzuron	pg	841.08
Tin	pg	410.87
Zinc	ng	371.47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-5 Inventory data for the production of 1 kg sand

Raw material	Unit	Total
Clay, unspecified, in ground	mg	160.34
Coal, brown, in ground	mg	156.20
Coal, hard, unspecified, in ground	mg	194.64
Gas, natural, in ground	cm^3	107.58
Gravel, in ground	kg	1.04
Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	mg	117.56
Oil, crude, in ground	mg	523.26
Water, turbine use, unspecified natural origin	l	24.54
Emission to air		
Carbon dioxide, biogenic	mg	49.51
Carbon dioxide, fossil	g	2.29
Carbon monoxide, fossil	mg	8.38
Heat, waste	kJ	52.71
Methane, fossil	mg	2.66
Nitrogen oxides	mg	18.03
Particulates, < 2.5 um	mg	1.88
Particulates, > 10 um	mg	1.25
Sulfur dioxide	mg	4.52
Emission to water		
Calcium, ion	mg	16.74
Chloride	mg	20.04
COD, Chemical Oxygen Demand	mg	7.99
DOC, Dissolved Organic Carbon	mg	2.51
Heat, waste	kJ	1.16
Silicon	mg	14.99
Sodium, ion	mg	15.36
Sulfate	mg	50.08
TOC, Total Organic Carbon	mg	2.52
Emission to soil		
Chromium VI	ng	632.32
Copper	ng	403.14
Glyphosate	ng	21.92
Heat, waste	J	62.66
Oils, biogenic	ng	615.03
Oils, unspecified	mg	2.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-6 Inventory data for the production of 1 kg superplasticizer

Raw material	Unit	Load
Crede oil (feedstock)	kg	0.091
Natural gas (feedstock)	kg	1E-04
Water	kg	7.4
Energy		
Natural Gas	MJ	1.7
Crude oil	MJ	3.2
Oil, crude, in ground	MJ	8.2
Peat, in ground	MJ	2.9
Emissions to air		
Carbon dioxide	kg	0.69
Carbon monoxide	g	2.1
HC	g	2.2
CH_4	g	1.2
Methanol	g	1.1
NOx	g	3.5
SOx	g	6.6
Benzene	G	0.0026
Heavy metals	mg	0.26
Nickel	mg	0.28
Mercury	mg	0.01
Emissions to water		
Barium	mg	8.8
Copper	mg	0.28
Formaldehyde	g	0.09
Nickel	mg	0.28
PAH's	mg	0.023
Waste		
Non-hazardous waste	g	28
Hazardous waste	g	1.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-7 Inventory data for 1 kg tap water

Raw material	Unit	Total
Calcite, in ground	mg	60.47
Carbon dioxide, in air	mg	30.62
Clay, unspecified, in ground	mg	23.75
Coal, brown, in ground	mg	29.80
Coal, hard, unspecified, in ground	mg	27.49
Energy, gross calorific value, in biomass	J	317.91
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	J	595.99
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m^3	mm^3	283.47
Gas, natural, in ground	cm^3	11.18
Gravel, in ground	mg	376.02
Oil, crude, in ground	mg	10.00
Water, turbine use, unspecified natural origin	l	3.76
Emission to air		
Carbon dioxide, biogenic	mg	23.42
Carbon dioxide, fossil	mg	153.87
Heat, waste	kJ	5.23
Emission to water		
Aluminium	mg	3.44
Calcium, ion	mg	28.17
Chloride	mg	5.96
Heat, waste	J	143.59
Silicon	mg	1.69
Sodium, ion	mg	1.69
Sulfate	mg	9.23
Emission to soil		
Barium	ng	139.12
Carbon	ng	921.92
Heat, waste	J	9.99
Potassium	ng	372.10
Silicon	ng	448.37
Sodium	ng	586.00
Sulfur	ng	214.70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-8 Inventory data for 1 kwh electricity

Raw material	Unit	Total
Carbon dioxide, in air	g	2.29
Clay, unspecified, in ground	mg	174.86
Coal, brown, in ground	g	9.93
Coal, hard, unspecified, in ground	g	5.82
Energy, gross calorific value, in biomass	kJ	17.17
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	kJ	402.83
Energy, solar, converted	J	587.17
Gas, natural, in ground	l	3.48
Gravel, in ground	g	4.12
Oil, crude, in ground	g	1.20
Emission to air		
Carbon dioxide, biogenic	g	2.23
Carbon dioxide, fossil	g	30.17
Heat, waste	MJ	1.30
Methane, fossil	mg	55.04
Nitrogen oxides	mg	56.17
Particulates, < 2.5 um	mg	10.48
Particulates, > 10 um	mg	25.39
Sulfur dioxide	mg	98.85
Emission to water		
BOD5, Biological Oxygen Demand	mg	16.51
Calcium, ion	mg	521.81
Chloride	mg	166.30
COD, Chemical Oxygen Demand	mg	18.11
Heat, waste	kJ	45.52
Magnesium	mg	250.93
Potassium, ion	mg	152.67
Sodium, ion	mg	274.42
Emission to soil		
Boron	ng	559.00
Chromium	ng	641.64
Copper	ng	545.01
Lead	ng	135.98
Oils, unspecified	mg	5.17
Strontium	ng	503.80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-9 Inventory data for truck 28 ton, transportation 1 tkm

Raw material	Unit	Total
Clay, unspecified, in ground	g	1.39
Coal, hard, unspecified, in ground	g	5.33
Energy, gross calorific value, in biomass	kJ	4.31
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	kJ	22.13
Gravel, in ground	g	192.63
Oil, crude, in ground	g	41.67
Water, turbine use, unspecified natural origin	l	159.23
Emission to air		
Carbon dioxide, fossil	g	130.90
Carbon monoxide, fossil	mg	358.90
Methane, fossil	mg	185.91
Particulates, < 2.5 um	mg	43.01
Particulates, > 10 um	mg	39.67
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	mg	24.57
Sulfur dioxide	mg	146.84
Emission to water		
BOD5, Biological Oxygen Demand	mg	361.97
Calcium, ion	mg	329.83
COD, Chemical Oxygen Demand	mg	387.65
DOC, Dissolved Organic Carbon	mg	123.36
Heat, waste	kJ	37.74
Oils, unspecified	mg	109.84
Silicon	mg	332.31
Sodium, ion	mg	925.70
Sulfate	mg	962.47
TOC, Total Organic Carbon	mg	123.78
Emission to soil		
Calcium	mg	3.58
Carbon	mg	2.67
Chloride	mg	187.40
Heat, waste	kJ	1.01
Iron	mg	2.75
Oils, unspecified	mg	109.35
Sodium	mg	2.08

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

Comparing Ordinary Concrete with Porous Concrete

Method: Eco-indicator 99 (E) V2.07 / Europe EI 99 E/A

ตาราง ค-1 Characterisation Comparing Ordinary Concrete with Porous Concrete

Impact category	Unit	Ordinary Concrete	Porous Concrete
Carcinogens	DALY	2.224E-07	1.491E-07
Respiratory organics	DALY	1.094E-08	8.201E-09
Respiratory inorganics	DALY	1.201E-05	1.038E-05
Climate change	DALY	5.749E-06	3.932E-06
Radiation	DALY	3.128E-08	1.943E-08
Ozone layer	DALY	1.466E-09	1.015E-09
Ecotoxicity	PAF*m2yr	4.313E-01	2.855E-01
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	4.025E-01	2.967E-01
Land use	PDF*m2yr	1.778E-02	1.665E-02
Minerals	MJ surplus	1.399E-01	9.397E-02
Fossil fuels	MJ surplus	8.573E+00	5.961E+00

ตาราง ค-2 Single score Comparing Ordinary Concrete with Porous Concrete

Impact category	Unit	Ordinary Concrete	Porous Concrete
Total	Pt	7.981E-01	6.051E-01
Carcinogens	Pt	5.756E-03	3.859E-03
Respiratory organics	Pt	2.830E-04	2.122E-04
Respiratory inorganics	Pt	3.107E-01	2.686E-01
Climate change	Pt	1.488E-01	1.018E-01
Radiation	Pt	8.094E-04	5.029E-04
Ozone layer	Pt	3.793E-05	2.628E-05
Ecotoxicity	Pt	3.364E-03	2.227E-03
Acidification/ Eutrophication	Pt	3.140E-02	2.315E-02
Land use	Pt	1.387E-03	1.299E-03
Minerals	Pt	4.701E-03	3.157E-03
Fossil fuels	Pt	2.881E-01	2.003E-01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตาราง ค-1 แสดงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอนการจำแนกกลุ่มผลกระทบและการกำหนดบทบาท แบบแยกประเภทผลกระทบ ของคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตพรุนจากขั้นตอนกระบวนการผลิต โดยความหมายของค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอีก 6 กลุ่มที่ไม่ได้นำไปพิจารณาร่วมด้วย สำหรับค่าผลกระทบของคอนกรีตพรุนสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) จะเห็นได้ว่าค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 2.224E-07 DALY หมายถึง คอนกรีตพรุนทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดีเนื่องจากผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง เท่ากับ 2.224E-07 ปี

2. ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of Organic Substance) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 1.094E-08 DALY หมายถึง คอนกรีตพรุนทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร เท่ากับ 1.094E-08 ปี

3. สารแผ่รังสี (Radiation) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 3.128E-08 DALY หมายถึง คอนกรีตพรุนทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากสารแผ่รังสี 3.128E-08 ปี

4. การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone Depletion) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 1.466E-09 DALY หมายถึง คอนกรีตพรุนทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสการมีสุขภาพดี เนื่องจากการลดลงของชั้นโอโซน เท่ากับ 1.466E-09 ปี

5. การใช้พื้นที่ (Land use) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 1.778E-02 PDF*m^2yr หมายถึง คอนกรีตพรุนจะทำให้ในพื้นที่ 1 ตารางเมตรเกิดสัดส่วนการสูญหายของพื้นที่ (สูญเสียความสามารถในการปลูกพืช) เท่ากับ 1.77% ของพื้นที่ 1 ตารางเมตรต่อปี

6. การใช้สินแร่ (Mineral) คอนกรีตพรุนมีค่าเท่ากับ 1.399E-01 MJ surplus หมายถึง คอนกรีตพรุนจะส่งผลให้ต้องใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อชดเชยสินแร่ที่มีระดับลดลงในอนาคต เท่ากับ 1.399E-01 MJ (ต้องใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อแสวงหาหรือขุดแร่ เนื่องจากปริมาณสินแร่ที่ลดลงจากการใช้ในปัจจุบัน)

ภาคผนวก ง

Emission Factor

ตาราง ง-1 Characterisation (Eco-indicator 99 E/A)

Substance	Compartment		
	Air	Soil	Water
Impact category: Respiratory inorganics (DALY/kg)			
Ammonia	0.000085		
Carbon monoxide	7.31E-07		
Carbon monoxide, biogenic	7.31E-07		
Carbon monoxide, fossil	7.31E-07		
Nitric oxide	0.000137		
Nitrogen dioxide	8.91E-05		
Nitrogen oxides	8.91E-05		
Particulates	0.00011		
Particulates, < 10 um	0.000375		
Particulates, < 10 um (mobile)	0.000375		
Particulates, < 10 um (stationary)	0.000375		
Particulates, < 2.5 um	0.0007		
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0.000375		
Particulates, diesel soot	0.0007		
Particulates, SPM	0.00011		
Particulates, unspecified	0.00011		
Sulfate	5.46E-05		
Sulfur dioxide	5.46E-05		
Sulfur oxides	5.46E-05		
Sulfur trioxide	4.37E-05		
Impact category: Climate change (DALY/kg)			
Butane	6.28E-07		
Butane, perfluoro-	0.0016		
Butane, perfluorocyclo-, PFC-318	0.0019		
Carbon dioxide	2.1E-07		
Carbon dioxide, fossil	2.1E-07		
Carbon dioxide, land transformation	2.1E-07		
Carbon monoxide	3.22E-07		
Carbon monoxide, fossil	3.22E-07		
Chloroform	8.4E-07		
Dinitrogen monoxide	0.000069		
Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	0.00034		
Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	0.000052		

Substance	Compartment		
	Air	Soil	Water
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	0.000029		
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	-4.3E-05		
Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	0.00078		
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	0.00027		
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	0.00063		
Ethane, 1,1,2-trifluoro-, HFC-143	0.000063		
Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-, HFC-134	0.00021		
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	0.00218		
Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	0.000085		
Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	6.6E-06		
Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	0.00229		
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	0.002		
Ethane, pentafluoro-, HFC-125	0.00058		
Hexane, perfluoro-	0.0016		
Methane	4.4E-06		
Methane, biogenic	3.8E-06		
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	0.000272		
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	-0.0071		
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	0.00028		
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	0.00311		
Methane, dichloro-, HCC-30	1.9E-06		
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	0.0014		
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	0.000044		
Methane, difluoro-, HFC-32	0.00014		
Methane, fluoro-, HFC-41	0.000031		
Methane, fossil	4.4E-06		
Methane, iodotrifluoro-	2.1E-07		
Methane, tetrachloro-, CFC-10	-0.00026		
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	0.0014		
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	0.00022		
Methane, trifluoro-, HFC-23	0.0026		
Pentane, 2,3-dihydroperfluoro-, HFC-4310mee	0.00027		
Pentane, perfluoro-	0.0017		
Propane	6.29E-07		
Propane, 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoro-, HFC-227ea	0.0006		
Propane, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-236fa	0.0014		
Propane, 1,1,2,2,3-pentafluoro-, HFC-245ca	0.00012		
Propane, perfluoro-	0.0016		
Sulfur hexafluoride	0.0053		

Substance	Compartment		
	Air	Soil	Water
Impact category: Ecotoxicity (PAF*m^2yr / kg)			
Arsenic	5920	25.5	114
Atrazine	2090	1.49	506
Azinphos-methyl	110000	3.55	8870
Bentazone	73.3	0.166	0.581
Benzene	0.0275	4.97	0.48
Benzene, 1,2,3-trichloro-	0.351	24.1	1.56
Benzene, 1,2,4-trichloro-	0.254	22.6	1.39
Benzene, 1,3,5-trichloro-	1.29	11.9	2.73
Benzene, hexachloro-	388	28.2	455
Benzo(a)pyrene	1420	72500	368
Cadmium	96500	99400	4800
Carbendazim	24000	23.4	1630
Chromium	41300	42400	687
Chromium VI	41300	42400	687
Chromium, ion	41300	42400	687
Copper	14600	15000	1470
Dichlorvos	16.1	0.00752	1.81
Dichromate	331		
Dioxins	1320000	2090000	1870000
Diquat		0.684	
Diquat dibromide	23900	0.684	1180
Diuron	44300	0.407	2310
DNOC	81.9	0.0617	6.73
Fentin acetate	6770	3.84	7850
Fluoranthene	0.437	80	39.6
Heavy metals, unspecified	2552		
Lead	25400	129	73.9
Lindane	21.6	13.8	104
Malathion	1170	0.279	1640
Maneb	384	2.61	6.23
Mecoprop	0.779	2.79E-05	0.135
Mecoprop-P		2.79E-05	
Mercury	8290	16800	1970
Metallic ions, unspecified			3.57
Metals, unspecified	2552		
Metamitron	378	0.00203	3.77
Methabenzthiazuron	3070	3.15	143
Metribuzin	4920	0.491	31.8
Mevinfos	21300	2.09	673

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Substance	Compartment		
	Air	Soil	Water
Monolinuron	1060	4.38	104
Monolinuron		2970	
Nickel	71000	73200	1430
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	0.0078		0.021
Parathion	605	0.324	2480
Phenol, pentachloro-	133	0.0127	251
Phthalate, dibutyl-	1.13	11.4	16.2
Phthalate, dioctyl-	0.0194	0.267	6.37
Polychlorinated biphenyls	807	8350	2580
Simazine	14400	3.87	603
Sodium dichromate	16400		273
Thiram	2260	9.96	8740
Toluene	0.0024	0.679	1.73
Trifluralin	10.9	0.207	780
Zinc	28900	29800	163
Impact category: Acidification/ Eutrophication (PDF*m^2yr / kg)			
Ammonia	15.57		
Nitrate	5.713		
Nitric oxide	8.789		
Nitrogen dioxide	5.713		
Nitrogen oxides	5.713		
Sulfate	1.041		
Sulfur dioxide	1.041		
Sulfur oxides	1.041		
Sulfur trioxide	0.8323		
Impact category: Fossil fuels (MJ surplus / kg)			
Coal, 18 MJ per kg, in ground	1.25		
Coal, 26.4 MJ per kg, in ground	1.83		
Coal, 29.3 MJ per kg, in ground	2.04		
Coal, brown, 10 MJ per kg, in ground	0.61		
Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	0.488		
Coal, brown, in ground	0.5385		
Coal, feedstock, 26.4 MJ per kg, in ground	1.83		
Coal, hard, unspecified, in ground	1.32		
Energy, from coal	0.0696		
Energy, from coal, brown	0.061		
Energy, from gas, natural	0.089		
Energy, from oil	0.083		
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/kg	3.9		
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	3.196		

Substance	Compartment		
	Air	Soil	Water
Gas, natural, 30.3 MJ per kg, in ground	2.7		
Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	3.12		
Gas, natural, 36.6 MJ per m3, in ground	3.26		
Gas, natural, 46.8 MJ per kg, in ground	4.17		
Gas, natural, feedstock, 35 MJ per m3, in ground	3.12		
Gas, natural, feedstock, 46.8 MJ per kg, in ground	4.17		
Gas, natural, in ground	3.063		
Oil, crude, 38400 MJ per m3, in ground	3190		
Oil, crude, 41 MJ per kg, in ground	3.4		
Oil, crude, 42 MJ per kg, in ground	3.49		
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	3.54		
Oil, crude, 42.7 MJ per kg, in ground	3.54		
Oil, crude, feedstock, 41 MJ per kg, in ground	3.4		
Oil, crude, feedstock, 42 MJ per kg, in ground	3.49		
Oil, crude, in ground	3.5899		

ตาราง ง-2 Damage assessment (Eco-indicator 99 E/A)

Damage category	Impact category	Factor	Unit
Human Health	Carcinogens	1	DALY / DALY
(DALY)	Respiratory organics	1	DALY / DALY
	Respiratory inorganics	1	DALY / DALY
	Climate change	1	DALY / DALY
	Radiation	1	DALY / DALY
	Ozone layer	1	DALY / DALY
Ecosystem Quality	Ecotoxicity	0.1	PDF*m^2yr / PAF*m^2yr
(PDF*m2yr)	Acidification/ Eutrophication	1	PDF*m^2yr / PDF*m^2yr
	Land use	1	PDF*m^2yr / PDF*m^2yr
Resources	Minerals	1	MJ surplus / MJ surplus
(MJ surplus)	Fossil fuels	1	MJ surplus / MJ surplus

ตาราง ง-3 Normalization- Weighting (Eco-indicator 99 E/A)

Damage category	Normalization	Weighting
Human Health	64.7	400
Ecosystem Quality	1.95E-04	400
Resources	1.68E-04	200

ตาราง ง-4 Global Warming Potentials (IPCC 2007 100-Year Time Horizon) Unit: $kgCO_2eq/kg$

Substance	Factor
1-Propanol, 3,3,3-trifluoro-2,2-bis(trifluoromethyl)-, HFE-7100	2.970E+02
Butane, 1,1,1,3,3-pentafluoro-, HFC-365mfc	7.940E+02
Butane, perfluoro-	8.860E+03
Butane, perfluorocyclo-, PFC-318	1.030E+04
Carbon dioxide	1.000E+00
Carbon dioxide, fossil	1.000E+00
Carbon dioxide, land transformation	1.000E+00
Chloroform	3.100E+01
Dimethyl ether	1.000E+00
Dinitrogen monoxide	2.980E+02
Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	2.310E+03
Ethane, 1-chloro-2,2,2-trifluoro-(difluoromethoxy)-, HCFE-235da2	3.500E+02
Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	7.250E+02
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	1.240E+02
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	1.460E+02
Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	4.470E+03
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	1.430E+03
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	6.130E+03
Ethane, 1,1,2-trifluoro-, HFC-143	3.530E+02
Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-, HFC-134	1.100E+03
Ethane, 1,2-dibromotetrafluoro-, Halon 2402	1.640E+03
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	1.000E+04
Ethane, 1,2-difluoro-, HFC-152	5.300E+01
Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	6.090E+02
Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	7.700E+01
Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	7.370E+03
Ethane, fluoro-, HFC-161	1.200E+01
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	1.220E+04
Ethane, pentafluoro-, HFC-125	3.500E+03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Substance	Factor
Ether, 1,1,1-trifluoromethyl methyl-, HFE-143a	7.560E+02
Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-347mcc3	5.750E+02
Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-347mcf2	3.740E+02
Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl methyl-, HFE-254cb2	3.590E+02
Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356mec3	1.010E+02
Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcc3	1.100E+02
Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcf2	2.650E+02
Ether, 1,1,2,3,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcf3	5.020E+02
Ether, 1,2,2-trifluoroethyl trifluoromethyl-, HFE-236ea2	9.890E+02
Ether, 1,2,2-trifluoroethyl trifluoromethyl-, HFE-236fa	4.870E+02
Ether, 2,2,3,3,3-Pentafluoropropyl methyl-, HFE-365mcf3	1.100E+01
Ether, di(difluoromethyl), HFE-134	6.320E+03
Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245cb2	7.080E+02
Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245fa1	2.860E+02
Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245fa2	6.590E+02
Ether, ethyl 1,1,2,2-tetrafluoroethyl-, HFE-374pc2	5.570E+02
Ether, nonafluorobutane ethyl-, HFE569sf2 (HFE-7200)	5.900E+01
Ether, pentafluoromethyl-, HFE-125	1.490E+04
Hexane, perfluoro-	9.300E+03
HFE-227EA	1.540E+03
HFE-236ca12 (HG-10)	2.800E+03
HFE-338pcc13 (HG-01)	1.500E+03
HFE-347pcf2	5.800E+02
HFE-43-10pccc124 (H-Galden1040x)	1.870E+03
Methane	2.500E+01
Methane, biogenic	2.200E+01
Methane, bromo-, Halon 1001	5.000E+00
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	1.890E+03
Methane, bromodifluoro-, Halon 1201	4.040E+02
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	7.140E+03
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	1.810E+03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Substance	Factor
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	1.440E+04
Methane, dibromo-	1.540E+00
Methane, dichloro-, HCC-30	8.700E+00
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	1.090E+04
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	1.510E+02
Methane, difluoro-, HFC-32	6.750E+02
Methane, fluoro-, HFC-41	9.200E+01
Methane, fossil	2.500E+01
Methane, iodotrifluoro-	4.000E-01
Methane, monochloro-, R-40	1.300E+01
Methane, tetrachloro-, CFC-10	1.400E+03
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	7.390E+03
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	4.750E+03
Methane, trifluoro-, HFC-23	1.480E+04
Nitrogen fluoride	1.720E+04
Pentane, 2,3-dihydroperfluoro-, HFC-4310mee	1.640E+03
Pentane, perfluoro-	9.160E+03
Propane, 1,1,1,2,2,3-hexafluoro-, HFC-236cb	1.340E+03
Propane, 1,1,1,2,3,3-hexafluoro-, HFC-236ea	1.370E+03
Propane, 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoro-, HFC-227ea	3.220E+03
Propane, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-236fa	9.810E+03
Propane, 1,1,2,2,3-pentafluoro-, HFC-245ca	6.930E+02
Propane, 1,1,3,3-tetrafluoro-, HFC-245fa	1.030E+03
Propane, 1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoro-, HCFC-225cb	5.950E+02
Propane, 3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoro-, HCFC-225ca	1.220E+02
Propane, perfluoro-	8.830E+03
Propane, perfluorocyclo-	1.734E+04
Sulfur hexafluoride	2.280E+04
Trifluoromethylsulfur pentafluoride	1.770E+04

ตัวอย่างการคำนวณค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Person for target year, Pt.)

จากข้อมูล Inventory data ในตาราง ข-3 การคำนวณค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับปริมาณ Carbon dioxide, land transformation ที่ปล่อยสู่บรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 885.11 กรัมต่อ 1 กิโลกรัมปูนซีเมนต์ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มผลกระทบ Climate Change รายละเอียดขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

- การกำหนดบทบาท (Characterization) นำปริมาณมลสารที่ปล่อยออกมา (kg) คูณกับค่าเทียบของสารที่ทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากตาราง ง-1

EPj = Qj x Efij
= 0.885 kg x 2.1E-07 DALY/kg
= 1.86E-07 DALY

- การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) นำค่าจากการกำหนดบทบาท (DALY) คูณกับค่า Damage assessment (1/DALY) จากตาราง ง-2 และค่า Normalization จากตาราง ง-3

NPj = 1.86E-07 DALY x 1 /DALY x 64.7
= 1.20E-05

- การให้น้ำหนัก (Weighting) นำค่าขนาดของผลกระทบ คูณกับค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากตาราง ง-3

WPj = NPj x WFj
= 1.20E-05 x 400
= 4.81E-03 Pt

เมื่อได้ปริมาณค่าศักยภาพผลกระทบจากปริมาณ Carbon dioxide, land transformation ในหน่วย Pt หรือค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.81E-03 Pt ต้องทำการคำนวณปริมาณผลกระทบทั้งหมด จากข้อมูลสารทุกประเภท จากผลการคำนวณพบว่า การได้มาของปูนซีเมนต์ 1 กิโลกรัมนั้น จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารที่ปล่อยสู่บรรยากาศเท่ากับ 1.32E-02 Pt และมีค่าผลกระทบรวมในทุกประเภทเท่ากับ 2.23E-02 Pt หรือมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารที่ปล่อยสู่บรรยากาศเท่ากับ 2.63E-02 Pt และมีค่าผล กระทบรวมในทุกประเภทเท่ากับ 4.45E-01 Pt สำหรับคอนกรีตพรุนจากการใช้ปูนซีเมนต์ 20 กิโลกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว พรรณวิภา พงศ์นคินทร์ เกิดวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2530 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 25 50 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย