การนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตเบา

นายศิชน คูณทอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UTILIZATION OF PLASTIC LABEL WASTE FOR MAKING LIGHT WEIGHT CONCRETE

Mr.Sichon Koonthong

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

520900

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตเบา
โดย	นายศิชน คูณทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.วิเชียร ชาลี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.วิเชียร ชาลี)

..... กรรมการ
(อาจารย์.ดร.ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชวีร์ ลีละวัฒน์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิขน คูณทอง : การนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตเบา(UTILIZATION OF PLASTIC LABEL WASTE FOR MAKING LIGHT WEIGHT CONCRETE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร.วิเชียร ชาลี, 108 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตเบาชนิดรับน้ำหนัก ซึ่งฉลากพลาสติกได้มาจากกระบวนการรีไซเคิลแก้ว โดยได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผสมคอนกรีตด้วยฉลากพลาสติกในมวลรวม ร้อยละ10, 20 และ 30 โดยปริมาตรของคอนกรีต เพื่อลดความหนาแน่นของคอนกรีตและกำจัดของเสีย โดยผ่านการย่อยให้ได้ขนาดไม่เกิน 2.36, 4.75 และ 9.4 มิลลิเมตร ใช้โฟมเป็นสารใส่เพิ่มเพื่อลดความหนาแน่น โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30, 0.35 และ 0.40 โดยน้ำหนัก การทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ หลังจากการบ่มในอากาศเป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน โดยหล่อตัวอย่างคอนกรีตเบาขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาใช้ในการผลิตคอนกรีตเบา โดยผลการทดสอบพบว่าขนาดของเสียประเภทฉลากพลาสติกสามารถแทนที่ลงในคอนกรีตเบาได้ร้อยละ 20 โดยปริมาตร ขนาดที่เหมาะสม คือ ขนาดระหว่าง 4.75 ถึง 9.4 มิลลิเมตร ผสมเข้าไปนั้นยังคงส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่า 110 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นค่ากำลังรับแรงอัดของผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก(มอก.57-2533) นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.35 จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้ของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตเบา เพื่อใช้ในงานวัสดุก่อสร้างได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ศิขน คูณทอง
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5070699621 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : PLASTIC LABEL WASTE/LIGHT WEIGHT CONCRETE / COMPRESSIVE STRENGTH

SICHON KOONTHONG : UTILIZATION OF PLASTIC LABEL WASTE FOR MAKING LIGHT WEIGHT CONCRETE.THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. PETCHPORN CHAWAKIT CHAREON,Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: WICHIAN CHALEE, Ph.D., 108 pp.

The objective of this research was to find the possibility of using plastic label waste as aggregate in light weight concrete product process. The plastic label waste used in this study was collected from the glass recycling process. The samples were produced from plastic label waste and foam mixture at 10, 20 and 30 % by volume of concrete to reduce the density and dispose the wastes. The plastic label were cut to obtain the difference size of 2.36, 4.75 and 9.4 mm., Foam was used as the admixture to reduce density in concrete process. The concrete was produced by mixing water with binder (W/B) ratios of 0.30, 0.35, and 0.40 by weight of concrete. Concrete specimens of 50 x 50 x 50 mm^3 were cast for compressive strength, density and water absorption tests at 7, 14 and 28 curing days. The results showed that the increases of plastic label reduce the compressive strength and density of concrete masonry blocks. However, the compressive strength of all concrete blocks, contained 20 percentage of plastic label by volume of concrete and the suitable size of plastic label waste was between 4.75 to 9.4 mm. was higher than 110 ksc which was suggested by TIS 57-2533 for hollow load bearing concrete masonry block. The result showed that the plastic label waste can apply to be an aggregate of light weight concrete in construction material.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Environmental Engineering Student's Signature Sichon koonthong

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

Academic Year : 2009 Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.วิเชียร ชาลี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำอธิบาย และช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องการปฏิบัติงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณท่านประธาน และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่า มาให้ความรู้ คำชี้แนะ ทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบริษัท แก้วกรุงไทย (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์วัตถุดิบในงานวิจัย รวมทั้งการอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานวิจัย และคุณ สุรชัย สุขตนเอง ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลเรื่องคอนกรีต และ คอนกรีตเบา

ขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัว คุณทอง ที่คอยสนับสนุนด้านเงินทุน และกำลังใจในการทำงาน และขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ มหาวิทยาลัยบรูพาทุกคน ที่คอยช่วยเหลือ และมีความปรารถนาดีมอบให้เสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูปภาพ..... ฑ

คำนิยาม..... ณ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 1

1.2 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ซีเมนต์..... 3

2.2 คอนกรีต..... 6

2.3 การผลิตคอนกรีตเบา..... 6

2.3.1 คอนกรีตเบาที่ใช้มวลรวมเบา..... 7

2.3.2 โฟมคอนกรีต..... 8

2.3.3 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมละเอียด..... 8

2.3.4 คอนกรีตเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ..... 9

2.4 น้ำ..... 14

2.5 มวลรวม..... 14

2.6 ของเสียพลาสติก..... 14

2.6.1 พลาสติก..... 15

2.6.2 ประเภทของพลาสติก..... 15

2.7 สารเคมีที่เป็นวัตถุดิบในการทำสี..... 18

2.8 โลหะหนัก..... 19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย..... 19

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 23

3.1 อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย..... 23

3.1.1 วัตถุดิบ..... 23

3.1.2 สารเคมี..... 23

3.1.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์..... 24

3.2 การดำเนินการวิจัย..... 26

3.2.1 วัสดุสำหรับงานวิจัย..... 26

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่างของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 26

3.2.1.2 การเตรียมวัสดุผสม..... 26

3.2.1.3 การออกแบบส่วนผสม..... 26

3.2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย..... 26

3.2.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 26

3.2.2.2 การจัดรหัสของชนิดและประเภทสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้ว..... 28

3.2.2.3 การหาความหนาแน่นของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 28

3.2.2.4 การหาองค์ประกอบของของเสียประเภทฉลากพลาสติก.. 29

3.2.2.5 การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ..... 29

3.2.3 การทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา 29

3.2.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด..... 29

3.2.3.2 การดูดซึมน้ำ..... 29

3.2.3.3 การหาความหนาแน่น..... 30

3.2.3.4 การหดตัวแบบแห้ง..... 30

3.2.3.5 การทดสอบหาค่าการสัมประสิทธิ์การนำความร้อน..... 30

3.2.4 ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นคอนกรีตเบา..... 31

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การวิเคราะห์งานวิจัย..... 31

บทที่ 4 ผลการวิจัยและ วิจารณ์ผลการทดลอง..... 32

4.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย..... 32

4.1.1 การหาปริมาณโลหะหนักในของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 32

4.1.2 จัดรหัสของชนิดและประเภทสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้ว..... 33

4.1.3 ความหนาแน่นของของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 33

4.1.4 องค์ประกอบของของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 33

4.1.5 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของมวลรวม..... 34

4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตคอนกรีตเบาโดยใช้ของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 34

4.2.1 กำลังรับแรงอัด..... 34

4.2.1.1 ผลของปริมาณการแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกต่อกำลังรับแรงอัด..... 34

4.2.1.2 ผลของขนาดของเสียประเภทฉลากพลาสติกต่อกำลังรับแรงอัด..... 36

4.2.1.3 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อกำลังรับแรงอัด..... 37

4.2.1.4 การพัฒนากำลังรับแรงอัดตามระยะเวลาบ่ม..... 38

4.2.2 การดูดซึมน้ำ..... 39

4.2.3 ค่าความหนาแน่น..... 41

4.2.4 การหดตัวแบบแห้ง..... 42

4.2.5 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน..... 43

4.3 วิเคราะห์ภาพรวมของคุณสมบัติคอนกรีตเบา..... 44

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำและกำลังรับแรงอัด..... 44

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด..... 45

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนและกำลังรับแรงอัด..... 46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาผลิตคอนกรีตเบา 46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 49
รายการอ้างอิง 51
ภาคผนวก 56
ภาคผนวก ก.วิธีการทดลอง 57
ภาคผนวก ข.ข้อมูลผลการทดลอง 70
ภาคผนวก ค รายการคำนวณ 98
ภาคผนวก ง มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง 100
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 108

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์..... 4
ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทของคอนกรีตเบาตามการใช้งาน..... 10
ตารางที่ 2.3 ค่าของการนำความร้อนคอนกรีตน้ำหนักเบา..... 11
ตารางที่ 2.4 ค่าความหนาแน่นและกำลังรับอัดสำหรับคอนกรีตเบาชนิดต่างๆ..... 12
ตารางที่ 2.5 ค่าของการหดตัวเมื่อแห้งสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา..... 13
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติและการใช้งานของพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด... 16
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด..... 17
ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติและการใช้งานของพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติ้งแต่ละชนิด..... 18
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมที่ใช้ผสมคอนกรีตเบา แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลาพลาสติก ปริมาณต่างๆ กัน ที่มีน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30, 0.35 และ0.40..... 27
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมที่ใช้ผสมคอนกรีตเบา แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติก ขนาดต่างๆ กัน ที่มีน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30, 0.35 และ0.40..... 28
ตารางที่ 4.1 ปริมาณโลหะหนักในของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 32
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 33
ตารางที่ 4.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด และการดูดซึมน้ำ..... 34
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบอัตราส่วนเปลี่ยนแปลงความยาว..... 43
ตารางที่ 4.5 ราคาของวัตถุดิบ..... 47
ตารางที่ 4.6 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตเบา..... 47
ตารางที่ 4.7 การคำนวนราคาคอนกรีตเบา..... 48
ตารางที่ ผ.1 การหาค่ากำลังรับแรงอัดให้กระทำในช่วงเวลาคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้..... 62
ตารางที่ ผ.2 อัตราส่วนผสม แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการ แทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 14 และ 28 วัน..... 71
ตารางที่ ผ.3 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการ แทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 7วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3..... 72
ตารางที่ ผ.4 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการ แทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 14วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3..... 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ผ.5 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3..... 74
ตารางที่ ผ.6 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 7วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35..... 75
ตารางที่ ผ.7 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35..... 76
ตารางที่ ผ.8 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35..... 77
ตารางที่ ผ.9 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40..... 78
ตารางที่ ผ.10 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40..... 79
ตารางที่ ผ.11 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40..... 80
ตารางที่ ผ.12 ค่าการดูดซึมน้ำแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ ต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 วัน..... 81
ตารางที่ ผ.13 ค่าการดูดซึมน้ำแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ ต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน..... 82
ตารางที่ ผ.14 ค่าการดูดซึมน้ำแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ ต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน..... 83
ตารางที่ ผ.15 อัตราส่วนผสมแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดต่างๆกันเวลาบ่ม 7 14 และ 28 วัน..... 84
ตารางที่ ผ.16 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆกันเวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3..... 85
ตารางที่ ผ.17 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆกันเวลาบ่ม 14 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3..... 86

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ผ.18 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3..... 87
ตารางที่ ผ.19 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35..... 88
ตารางที่ ผ.20 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35..... 89
ตารางที่ ผ.21 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35..... 90
ตารางที่ ผ.22 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40..... 91
ตารางที่ ผ.23 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40..... 92
ตารางที่ ผ.24 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40..... 93
ตารางที่ ผ.25 ค่าการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 วัน..... 94
ตารางที่ ผ.26 ค่าการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน..... 94
ตารางที่ ผ.27 ค่าการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน..... 95
ตารางที่ ผ.28 อัตราส่วนผสมที่แทนที่เพื่อทดสอบค่าการนำความร้อนเวลาบ่ม 28 วัน..... 95
ตารางที่ ผ.29 ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ..... 107
ตารางที่ ผ.30 ความชื้น 107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แผนภาพกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ..... 9
ภาพที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 25
ภาพที่ 3.2 ทรายละเอียด..... 25
ภาพที่ 3.3 ฉลากพลาสติก..... 25
ภาพที่ 3.4 ฉลากพลาสติกที่ใช้ในการวิจัย..... 25
ภาพที่ 3.5 สารเพิ่มฟองชนิดสกัดจากธรรมชาติ..... 25
ภาพที่ 3.6 แบบหล่อคอนกรีตขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร..... 25
ภาพที่ 3.7 เครื่องผลิตโฟม..... 25
ภาพที่ 3.8 โฟมที่ผสมลงในคอนกรีตเบา..... 25
ภาพที่ 3.9 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด..... 25
ภาพที่ 3.10 เครื่องเขย่าคัดขนาดฉลากพลาสติก..... 25
ภาพที่ 3.11 แบบหล่อคอนกรีตเพื่อทดสอบการนำความร้อน..... 25
ภาพที่ 3.12 แบบหล่อคอนกรีตเพื่อทดสอบการหดตัวแบบแห้ง..... 25
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อร้อยละการแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่เวลาบ่ม 28 วัน..... 36
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อความหนาแน่นที่เวลาบ่ม 28วัน..... 37
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อร้อยละการแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่เวลาบ่ม 28 วัน..... 38
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อขนาดของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่เวลาบ่ม 28 วัน..... 38
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อระยะเวลาในการบ่มที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 39
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อระยะเวลาในการบ่มที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.7 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่อระยะเวลาในการบ่ม โดยแทนที่ด้วยของเสียขนาดระหว่าง 2.36 ถึง 4.75 มิลลิเมตร..... 40
ภาพที่ 4.8 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่อระยะเวลาในการบ่มที่มีขนาดต่างๆ กัน..... 40
ภาพที่ 4.9 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่อร้อยละการแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดต่างๆ กัน ที่เวลาบ่ม 28 วัน..... 41
ภาพที่ 4.10 ความหนาแน่นต่อร้อยละการแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่เวลาบ่ม 28 วัน..... 42
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนต่อร้อยละโดยปริมาตรที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 44
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำต่อกำลังรับแรงอัด..... 45
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นต่อกำลังรับแรงอัด..... 45
ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนต่อกำลังรับแรงอัดที่ร้อยละการผสมต่างๆ กัน..... 46
ภาพที่ ผ.1 ลักษณะการกองของเสียประเภทฉลากให้เป็นรูปกรวยก่อนที่จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน..... 65
ภาพที่ ผ.2 การแบ่งของเสียประเภทฉลากเป็น 4 ส่วน และเลือกสุ่มมา 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกัน..... 65
ภาพที่ ผ.3 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน..... 96
ภาพที่ ผ.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของเสียประเภทฉลากพลาสติก..... 97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนิยาม

ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength) คือ แรงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตหลังบ่มในอากาศ ระยะเวลา 7,14 และ 28วัน ด้วยวิธีทดสอบ ASTM C109-07 (2008)

ค่าการหดตัว (drying shrinkage) คือ ค่าการหดตัวผิวแห้งของคอนกรีต หลังบ่มในน้ำ 24 ชั่วโมง ด้วยวิธีทดสอบ ASTM C506-07 (2008)

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) คือค่าการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาหลังบ่มในอากาศ 28 วันด้วยวิธีทดสอบ ASTM C177-04 (2008)

ค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption) คือ ค่าปริมาณน้ำที่คอนกรีตดูดซึมเข้าไปหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำขึ้นมาเช็ดด้วยผ้าหมาด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักหลังอบแห้ง ด้วยวิธีทดสอบ ASTM C128-07a, (2008)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยพยายามเร่งรัดพัฒนาประเทศให้มีความเจริญในด้านต่างๆ รวมทั้งการพัฒนาอุตสาหกรรม ปัญหาที่ตามมาอย่างมากคือ ปัญหาของเสียประเภทฉลากพลาสติกอันเนื่องมาจากกระบวนการบริโภคเป็นจำนวนมาก โดยฉลากประเภทพลาสติกเหล่านี้มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการหาวิธีการในการจัดการอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) การทำให้เสถียร (Stabilization) ก่อนส่งไปยังหลุมฝังกลบนิรภัย (Secure landfill) หรือ นำไปคัดแยกและนำไปใช้ซ้ำ (Recycle) เป็นการจัดการของเสียวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ของเสียประเภทพลาสติกมีการนำมาใช้ซ้ำค่อนข้างน้อยเพราะว่า เป็นวัสดุที่มีราคา ยากต่อการจัดเก็บและกำจัด อีกทั้งพื้นที่สำหรับฝังกลบมีอย่างจำกัดและต้องใช้เวลาในการรับผิดชอบดูแลนาน วิธีการกำจัดดังกล่าวจึงไม่ใช่วิธีเหมาะสมอีกต่อไป จึงมีแนวคิดในการจัดการกับของเสียประเภทนี้อย่างถูกวิธี เพื่อเป็นการแก้ปัญหาในระยะยาว เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตคอนกรีตเบา ก็เท่ากับเป็นการจัดการของเสียและเป็นการลดปริมาณของเสียอย่างดีอีกวิธีหนึ่ง งานนี้วิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ตลอดจนแนวทางในการนำของเสียอุตสาหกรรม ซึ่งได้แก่ ของเสียประเภทฉลากพลาสติก มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบา ร่วมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเอาของเสียประเภทฉลากพลาสติก ซึ่งเป็นของเสียจากภาคอุตสาหกรรมรีไซเคิลแก้ว มาใช้ประโยชน์ร่วมกับคอนกรีตเบา เพื่อเป็นการจัดการของเสียวิธีหนึ่ง ปัจจุบันของเสียประเภทพลาสติกนั้นมีเป็นจำนวนมาก และยังมีค่าจัดการค่อนข้างสูง ซึ่งหากจัดการของเสียประเภทนี้ได้แล้ว อาจใช้เพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้างได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติก มาใช้แทนที่ในมวลรวมเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในคอนมวลกรีตเบา โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน
2. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเสียประเภทฉลากพลาสติกแทนที่ลงในมวลรวม เพื่อใช้ในการผลิตคอนกรีตเบา
3. ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาที่มีการผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติก
4. ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการทำคอนกรีตเบา จากของเสียประเภทฉลากพลาสติก

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการนำกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้นำของเสียประเภทฉลากจากโรงงานรีไซเคิลแก้ว ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา มาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตเบา โดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาใช้แทนที่ในมวลรวม เพื่อผลิตคอนมวลกรีตเบาสำหรับงานก่อผนัง โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ของเสียประเภทฉลากพลาสติกประเภทโพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) จากกระบวนการล้างขวดแก้ว ที่นำมาจากจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยมีขนาดตั้งแต่ 2 ถึง 9 มิลลิเมตร
2. ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย วิเคราะห์ความหนาแน่นปกติ หาองค์ประกอบโลหะหนักในของเสียประเภทฉลากการกระจายขนาดคละ ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของวัสดุผสมของวัสดุผสม
3. ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ สารเพิ่มฟอง ชนิดสกัดจากธรรมชาติ (Natural Foaming agent)เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดน้ำหนักของคอนกรีตเบา
4. มีการทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยวิธี ASTM C 109-7 (2008) ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนโดยวิธี ASTM C 177-04 (2008) ทดสอบความหนาแน่น และ การหดตัวแบบแห้งโดยวิธี ASTM C 596-07 (2008)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ของเสียประเภทฉลากพลาสติกเป็นวัสดุผสม และใช้ในงานคอนกรีตเบาได้
2. เพิ่มทางเลือกในการจัดการและใช้ประโยชน์จากของเสียประเภทฉลากพลาสติก ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนรีไซเคิลขวดแก้ว โดยให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
3. สามารถนำข้อมูลและอัตราส่วนที่เหมาะสมไปปรับใช้ในงานคอนกรีตเบาได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 **ซีเมนต์** (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

ซีเมนต์ โดยทั่วไปหมายถึงวัสดุประสานซึ่งสามารถ ประสานยึดวัตถุชิ้นเล็กๆ เข้าด้วยกัน คำว่า ซีเมนต์หมายถึงซีเมนต์หลายประเภท แต่สำหรับงานวิศวกรรมโยธา และงานก่อสร้าง ซีเมนต์หมายถึงวัสดุผงละเอียดสีเทาเมื่อผสมน้ำแล้วจะสามารถใช้เป็นวัสดุประสานได้ โดยซีเมนต์ใช้เป็นวัสดุประสานเมื่อประมาณ 3000 ปีก่อนคริสตศักราช การพัฒนาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดย แอล เจ ไวแคต ในปี พ.ศ.2356 โดยการเผาส่วนผสมของหินชอร์ก และดินเหนียวที่ผ่านการบดละเอียดต่อมานาย โจเซฟแอสดิน ช่างก่อสร้างชาวลีดส์ ได้ จดสิทธิบัตรการผลิต "ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์" เมื่อวันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ.2367 อย่างไรก็ตามคุณภาพของปูนซีเมนต์ในสมัยนั้นยังไม่ดีนัก เนื่องจากอุณหภูมิในการเผายังต่ำ

คุณสมบัติของสารประกอบหลัก(วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ได้แก่ C_3S, C_2S, C_3A และC_4AF เนื่องจากมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 ทั้งยังมีสารประกอบอื่นๆ อีกเล็กน้อย โดยสารประกอบเหล่านี้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติและคุณภาพของปูนซีเมนต์

1. ไตรคัลเซียมซิลิเกต (C_3S) เป็นสารประกอบที่พบมากที่สุด รูปร่างเป็นผลึกเหลี่ยม มีสีเทาเข้ม คุณสมบัติของ C_3S เหมือนคุณสมบัติของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมงและจะมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในสองสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำปานกลาง ก่อตัวเร็วในไม่กี่ชั่วโมง และทนต่อซัลเฟต

2. ไดคัลเซียมซิลิเกต (C_2S) พบมากรองลงมาจาก C_3S มีลักษณะเป็นทรงกลม ให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นในระยะหลัง (14 ถึง 28 วัน) ทำปฏิกิริยากับน้ำค่อนข้างช้า ให้ความร้อนน้อย ทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต มีการหดตัวน้อย

3. ไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อตัวและแข็งเร็ว ให้ความร้อนมาก แต่ไม่ช่วยในด้านกำลังรับแรงอัดในระยะหลัง ทำให้ไม่คงที่ และไม่ทนต่อซัลเฟตและกำลังรับแรงอัดค่อนข้างต่ำหากเทียบกับ C_2S กับ C_3S

4. เตตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) เป็นส่วนประกอบที่พบน้อยที่สุด ไม่ค่อยมีส่วนร่วมในการพัฒนากำลังรับแรงอัดทั้งในระยะแรกและระยะหลัง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ มีสีเทา-ขาว โดยสารประกอบทั้ง 4 นี้มีคุณสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

แมงกานีสออกไซด์ (MgO) หากมีอยู่ในปูนซีเมนต์เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักจะก่อให้เกิดความไม่คงตัว โดยมีผลให้เกิดการขยายตัวในมอร์ตาและคอนกรีตส่งผลให้เกิดการแตกร้าว

ปูนขาวอิสระ(CaO) จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ หลังจากปูนซีเมนต์แข็งตัวแล้ว หากมีอยู่มากกว่าร้อยละ 3 จะส่งผลให้เกิดการก่อตัวช้า

ยิปซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$) ทำให้ปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติก่อตัวและแข็งตัวช้า หากมีอยู่มาก จะทำให้เกิดความไม่คงตัว และกำลังรับแรงอัดน้อยลง

โปรแตสเซียมออกไซด์ (K_2O) และโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ซึ่งเป็นด่างทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มในช่วงแรก แต่ลดลงในระยะหลัง คอนกรีตอาจแตกร้าวหากทำปฏิกิริยากับด่าง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ (วินิต ช่ออิเชียร, 2544)

คุณสมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว(ชั่วโมง)	ช้า(ชั่วโมง)	ทันทีทันใด	เร็วมาก(นาที)
2.การพัฒนากำลังอัด	เร็ว(วัน)	ช้า(อาทิตย์)	เร็วมาก (วันเดียว)	เร็วมาก (วันเดียว)
3. กำลังอัดประลัย	สูง	ค่อนข้างสูง	ต่ำ	ต่ำ
4. ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ปานกลาง (500 จูล/กรัม)	น้อย (250 จูล/กรัม)	สูงมาก (850 จูล/กรัม)	ปานกลาง (420 จูล/กรัม)
5. คุณสมบัติอื่นๆ	คุณสมบัติเหมือนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์	-	ไม่คงตัวในน้ำและถูกซัลเฟตทำลายได้ง่าย	ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

เมื่อผสมผงปูนกับน้ำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ จะเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) สารประกอบ C_3S และ C_2S ที่อยู่ในผงปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้สารประกอบซิลิเกรตไฮเดรต ($3CaO.2Sio_2.3H_2O$: $C_3S_2H_3$) และคัลเซียมไฮดรอกไซด์($Ca(OH)_2$)

$$2(3CaO.SiO_2)+6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O+3Ca(OH)_2$$

หรือ $$2C_3S+6H \rightarrow C_3S_2H_3+3Ca(OH)_2$$

$$2(2CaO.SiO_2)+4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O+Ca(OH)_2$$

หรือ $$2C_3S+4H \rightarrow C_3S_2H_3+3Ca(OH)_2$$

สารประกอบแคลเซียมซิลิเกรตไฮเดรต $C_3S_2H_3$ ทำให้ซีเมนต์เพสท์เกิดเป็นวุ้น (Gel) มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน มีความเหนียวคล้ายกาวแข็งตัวและยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสมส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ซีเมนต์เพสท์เป็นด่าง ช่วยป้องกันสนิมในเหล็กเสริม

สารประกอบ C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีทันใด ซึ่งอาจก่อให้เกิดการก่อตัวแบบผิดปกติ (False Set) จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันช้าลงเช่นเดียวกับ C_4AF

การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์จะหยุดลงเมื่อน้ำระเหยออกจากเมนต์เพสท์หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มจึงเป็นการป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีต เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นจึงถือว่าสำคัญในการพัฒนากำลังของคอนกรีต เช่น ถ้าคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดานั้นใช้เวลาบ่ม 1 เดือน จะพบว่าปูนซีเมนต์กับน้ำทำปฏิกิริยากันได้ถึงร้อยละ 80

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบ่งเป็น 5 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ปูนซีเมนต์แบบนี้นิยมใช้มากในงานคอนกรีต ประมาณได้ว่าปูนซีเมนต์ ร้อยละ 90 ที่ผลิตเป็นปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ใช้ในงานก่อสร้างปกติเช่น เสา คาน ฐานราก ถนน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะเวลาไม่รวดเร็วนักและให้ความร้อนปานกลาง

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้ความสูงไม่มากนัก ความร้อนที่เกิดขึ้นจึงเกิดขึ้นน้อยกว่าประเภทที่ 1 แต่ให้กำลังใกล้เคียงกัน เหมาะกับงานที่ทนต่อการทนซัลเฟตได้ปานกลาง

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทแข็งตัวเร็ว เป็นปูนซีเมนต์ประเภทที่ให้กำลังสูงในระยะเวลาแรก ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงเพราะมีปริมาณ C_3S สูงและ ความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 มาก เหมาะกับงานที่งานที่ต้องการใช้งานเร็ว เช่นงานซ่อมแซม

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้ความร้อนต่ำ ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำ เพราะมีปริมาณ C_3S ต่ำ โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 เหมาะกับงานประเภท เขื่อน-คอนกรีต หรือตอม่อขนาดใหญ่

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต เป็นปูนที่ทนซัลเฟตได้สูง เนื่องจากมี C_3A น้อยจึงทำปฏิกิริยากับซัลเฟตได้น้อยหรือไม่ได้เลย ทำให้ถูกกัดกร่อนจากซัลเฟตลดลง เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่อยู่ในที่มีเกลือหรือสารละลายซัลเฟต

2.2 **คอนกรีต** (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อการใช้งานด้านโครงสร้าง และเป็นวัสดุที่สามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะตามต้องการและเหมาะสมกับงาน ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบประการหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ คุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตสดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ของคอนกรีตนั้น คุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการได้แก่ ความสม่ำเสมอของส่วนผสม ความง่ายในการลำเลียงและขนส่งทำได้ง่าย เมื่อเทลงแบบสามารถอัดแน่นได้ง่ายโดยไม่เกิดการแยกตัว โดยทั่วไปคอนกรีต จะมีส่วนผสมผสมแยกต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ร้อยละ15 น้ำร้อยละ 14 ถึง 21 และฟองอากาศร้อยละ 3 นอกนั้นเป็นวัสดุผสมอื่นๆ สมบัติของคอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณภาพของซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำและซีเมนต์ ซีเมนต์เพสต์จะทำหน้าที่เสริมช่องว่างระหว่างวัสดุผสม หล่อลื่นคอนกรีตสดในขณะทำงาน ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัวและป้องกันการซึมผ่านของน้ำ (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2540)

2.3 **การผลิตคอนกรีตเบา** (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

ในอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ น้ำหนักส่วนหนึ่งจะใช้คำนวณหาขนาดเนื้อที่หน้าตัดและขนาดเหล็กเหล็กเสริมเป็นน้ำหนักของตัวอาคารเอง ซึ่งถ้าหากสามารถทำให้ตัวอาคารเบาลงได้ย่อมทำให้ขนาดโครงสร้างเล็กลง ทำให้ประหยัดราคาก่อสร้างลงได้ ซึ่งคอนกรีตเบามีวิธีการผลิตเช่นเดียวกับคอนกรีตธรรมดา แต่ใช้วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบากว่า นอกจากนี้คอนกรีตเบายังใช้เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่า คอนกรีตเบามีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 300 ถึง 1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

คอนกรีตเบาจำแนกตามหน่วยน้ำหนักได้เป็น

1.**คอนกรีตเบาชนิดทำฉนวน** (Insulating Lightweight Concrete) มีน้ำหนัก 315 ถึง 1,100 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร มีกำลังรับแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน ระหว่าง 7 ถึง 70 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร

2. **คอนกรีตเบาชนิดทำโครงสร้าง** (Structural Lightweight Concrete)) **มีน้ำหนัก** 1,400 ถึง 1,800 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร มีกำลังรับแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 170 กิโลกรัม ต่อ ตารางเซนติเมตร

3. **คอนกรีตชนิดกึ่งเบา** (Semi Lightweight Concrete) **มีน้ำหนัก** 1,800 ถึง 2,050 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร **ใช้ทำพวกคอนกรีตบล็อก** มีกำลังรับแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 120 กิโลกรัม ต่อ ตารางเซนติเมตร

2.3.1 **คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา** (Lightweight Aggregate) (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2540)

มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 65-1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เทียบกับ 1,000-1,750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ของมวลรวมปกติ หน่วยน้ำหนักของมวลเบาแต่ละชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 เราสามารถจำแนกมวลรวมเบาออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หิน เวอร์มิคูไลต์ เพอร์ไลต์ เพอร์ไมค์ และ สโคไลต์ ซึ่งเป็นพวกลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติเกิดขึ้นเวลาภูเขาไฟระเบิด มวลรวมชนิดนี้ใช้ผสมทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงนัก และมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก

2. มวลรวมเบาที่ได้จากกระบวนการผลิต เป็นมวลรวมที่ใช้ผลิตคอนกรีตมากที่สุด สามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิด

1) มวลรวมดินเหนียว ได้มาจากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ และนำไปเผาในหม้อเผา (Rotary Kiln) ที่ 1,200 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้จะมีการขยายตัวเนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์เกิดเป็นฟองอากาศอยู่ในเนื้อหิน ลักษณะของหินพวกนี้จะมีรูปร่างกลม แข็ง ผิวเรียบแน่นแต่เนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ

2) มวลรวมหินเชล ได้มาจากการนำดินดาน (Shale) มาผสมกับถ่านที่บดละเอียดแล้ว นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส วัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกัน และจะมีฟองอากาศถูกกักไว้ในเนื้อหิน ลักษณะจะเป็นหินที่มีความแข็งแรงมาก หลังจากที่เผามวลรวมทั้งสองนี้ได้แล้วจะนำมวลรวมเบาที่ได้ไปย่อยให้ได้ขนาดที่ต้องการ มวลรวมเบาชนิดนี้จะมีความแข็งแรงค่อนข้างดีจึงเป็นที่นิยมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

3) เถ้าลอยเผา ได้จากการนำเถ้าลอย ที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินแล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้อนุภาคของ เถ้าถ่านหิน เกาะกันผิวของมวลรวมชนิดนี้ค่อนข้างเรียบ

3. มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่การใช้ไม้หรือพลาสติกบางชนิด ใส่ผสมเข้าไปในคอนกรีต

4. มวลรวมที่ได้จากของเหลือของกระบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าหนัก (Furnace bottom ash) ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหรือได้จากการพ่นน้ำไปบน ตะกรันเหล็ก(Slag) ที่แข็งตัวหลังจากนั้นจะนำไปย่อย เพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ

2.3.2 **โฟมคอนกรีต** (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2540)

คอนกรีตประเภทนี้ได้จากการผสมฟองอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-1 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เกิดคอนกรีตเบา ได้โดยทำให้เกิดฟองอากาศเล็กๆ จำนวนมาก ในเนื้อคอนกรีต โดยใช้สารเคมีอันได้แก่ผงอลูมิเนียม (Aluminum Powder) ในปริมาณ 0.22 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ ปูนขาว ก่อให้เกิดฟองของไฮโดรเจน

คอนกรีตเบาที่ใช้สารก่อฟองอากาศ (Aerated Concrete) อาจผลิตโดยไม่ใช้ทรายในส่วนผสมซึ่งจะนำมาใช้ในการทำส่วนผสมซึ่งจะนำไปใช้ในการทำฉนวนป้องกันความร้อน หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตประเภทนี้ประมาณ 200-300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในกรณีที่ใช้ทรายจะมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 500-1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.3.3 **คอนกรีตไม่มีส่วนผสมละเอียด**

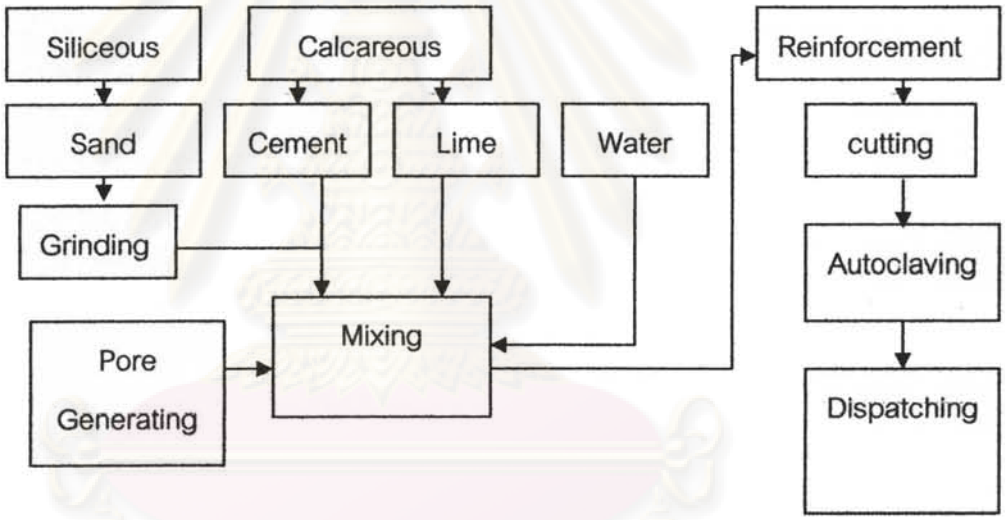
คอนกรีตประเภทนี้ได้จากการไม่ใส่ทรายลงในส่วนผสมนั่นคือมีเพียงหิน ซึ่งปกติจะใช้หินขนาดเดียว และมีน้ำปูนเคลือบอยู่หนาแน่นไม่เกิน 1-3 มิลลิเมตร จะพบว่าคอนกรีตประเภทนี้มีช่องว่างหรือโพรงอยู่มากส่งผลทำให้กำลังอัดค่อนข้างต่ำสำหรับหินชนิดหนึ่งๆ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตไม่มีส่วนผสมละเอียดจะขึ้นอยู่กับขนาดคละของหินเป็นหลัก หินที่มีขนาดเดียวจะมีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าหินที่มีส่วนคละประมาณร้อยละ 10

โดยทั่วไปหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตประเภทนี้อยู่ระหว่าง 1,600-2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ถ้าใช้มวลรวมเบา หน่วยน้ำหนักอาจเหลือเพียง 640 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การใช้งานคอนกรีตประเภทนี้ควรทำการจี้เขย่าคอนกรีตเข้าแบบเพียงเล็กน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำปูนไหลออกจากหิน เราสามารถวัดค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีตประเภทนี้ ซึ่งถือเป็นการเพียงพอแล้วรวมทั้งคอนกรีตประเภทนี้ไม่มีการแยกตัว จึงสามารถเทได้ทุกความสูงของแบบ กำลังอัดคอนกรีตประเภทนี้อยู่ระหว่าง 1.8-180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตซึ่งสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ ส่วนค่าอัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.38-0.52 เนื่องจากคอนกรีตมีการยึดเกาะเพียงเล็กน้อย จึงควรทิ้งให้นานพอสมควรเพื่อให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัด

คอนกรีตไม่มีส่วนละเอียดนี้ มักไม่ใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ถ้าต้องใช้ควรที่จะเคลือบเหล็กเสริมด้วยน้ำปูนให้หนาประมาณ 3 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะและใช้ปูนซีเมนต์ประมาณ 70-130 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นราคาของคอนกรีตประเภทนี้จึงต่ำมาก

2.3.4 **คอนกรีตเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ**(Autoclaved Aerated Lightweight Concrete, AAC) (ชาตรี สาวทรัพย์, 2551)

การผลิตคอนกรีตเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ มีองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ เนื้อซิลิกา(Siliceous) ได้แก่ มวลรวมละเอียดหรือทรายละเอียด ธาตุปูน (Calcareous) ได้แก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ ปูนขาว สุดท้าย คือ การพัฒนากำลัง (Reinforcement) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แผนภาพกระบวนการผลิตคอนกรีตเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (ชาตรี สาวทรัพย์, 2551)

ทั้งนี้คอนกรีตเบาอาจแบ่งตามประเภทการใช้งานได้อีก ตามตารางที่ 2.2 ซึ่งคอนกรีตเบาแต่ละแบบมีกำลังรับแรงอัด และ หน่วยน้ำหนักต่างกันขึ้นกับลักษณะการใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทของคอนกรีตเบาตามการใช้งาน(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2540)

ประเภท	กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	หน่วยน้ำหนัก (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Light Weight Aggregate Concrete)	180-400	1400-1800
คอนกรีตสำหรับงานก่อ (Masonry Concrete)	100-180	500-800
คอนกรีตสำหรับงานฉนวนความร้อน (Insulating Concrete)	10-100	น้อยกว่า 800

ประโยชน์ของคอนกรีตเบา (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2540)

คอนกรีตเบา นี้มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ดี เช่น มีน้ำหนักเบา ป้องกันความร้อน รวมทั้งยังป้องกันเสียงสะท้อนได้ดีอีกด้วย ข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดี

1. เป็นฉนวนความร้อนที่ดี
2. ลดน้ำหนักของโครงสร้าง
3. ลดขนาดของฐานรากเนื่องจากน้ำหนักรวมของสิ่งก่อสร้างลดลง
4. แรงดันที่เกิดขึ้นกับไม้แบบลดลง
5. น้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง

ข้อเสีย

1. ราคาสูงกว่าคอนกรีตทั่วๆ ไป
2. ต้องใส่ใจอย่างมากในด้านการผสมการลำเลียงการเทลงแบบมากกว่าคอนกรีตทั่วไป
3. จะมีการดูดซึมน้ำมากกว่าและก่อให้เกิด การหดตัว (Dry Shrinkage) สูง

สมบัติของคอนกรีตเบา(วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

1. คอนกรีตเบาดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า
2. คอนกรีตเบาหดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณร้อยละ 5 ถึง 40 แต่คอนกรีตเบาที่ใช้ในวัสดุผสม ซึ่งเป็นผลิตผลจาก ดินเผา ดินดาน หรือ ตระกรัน จะหดตัวน้อยลง
3. คอนกรีตเบาอาจล้ามากกว่าคอนกรีตธรรมดา

4. ค่าปัวซองเรโชของคอนกรีตเบาเท่ากับคอนกรีตธรรมดา แต่ค่าโมดูลัสยืดหนุ่นจะมีค่าเท่ากับ 0.5 ถึง 0.75 เท่าของคอนกรีตธรรมดา เมื่อมีกำลังรับแรงอัดเท่ากัน

5. คอนกรีตเบาเก็บเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่ถ้ามีการดัดแปลงผิวของคอนกรีตจะเปลี่ยนสมบัติเป็นสะท้อนเสียง

6. สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตเบาประมาณ $7x10^{6}$ ถึง $14x10^{6}$ ต่อ องศา-เซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา

7. คอนกรีตเบามีความต้านทานเพลิงไหม้ได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

ทั้งนี้สมบัติทางกายภาพต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 2.4 และ 2.5 โดยมีค่าต่างๆ คือ ค่าการนำความร้อน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบธรรมดา ความหนาแน่น และ ค่าการหดตัวของคอนกรีตเบา

ตารางที่ 2.3 ค่าของการนำความร้อนคอนกรีตน้ำหนักเบา (คันธนา สุยะพล และ คณะ, 2546)

วัสดุ	ความหนาแน่นของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การเป็นตัวนำความร้อน (วัตต์/ม.เคลวิน)
คอนกรีตมีฟองอากาศ (Aerated concrete)	400-800	0.3-0.2
เอ็กแพนด์เด็ด เวอร์มิคูไลต์และเพอร์ไลต์ (Expanded Vermiculite and perlite)	400-1,120	0.11-0.29
เพอร์ไมค์(Permice)	720-1,280	0.14-0.36
โฟม สแลก (Foam slag)	960-1,520	0.22-0.48
ดินเหนียว	960-1,200	0.33-0.46
อิฐ	1,040-1,520	0.35-0.58
คอนกรีตอัดแน่น	2,320	1.20-1.70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ค่าความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเบาชนิดต่างๆ (คันธนา สุยะพล และ คณะ, 2546)

ชนิดของคอนกรีต	มวลรวม	ความหนาแน่นของมวลรวม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ความหนาแน่นของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กำลังรับแรงอัดลูกบาศก์เมื่ออายุ 28 วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
คอนกรีตฟองอากาศ			400-800	14-49
คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาอัดแน่นบางส่วน	เอ็กแพนด์เด็ด เวอร์มิคูไลต์	64-120	400-1,120	5-35
	เพอร์ไลต์	320-880	720-1,120	14-49
	เพอร์ไมค์	480-960	960-1,520	14-56
	โฟมสแลก	640-960	1,120-1,280	28-70
	ซินเทอร์ พัลเวอร์ไลซ์ ฟูเอล แอช	560-1,040	960-1,520	56-84
	ดินเหนียวหรือหินเชล	720-1,040	1,040-1,520	21-70
คอนกรีตไม่มีมวลรวมละเอียด	มวลรวมจากวัสดุธรรมชาติ	1,360-1,600	1,600-1,920	42-140
	คอนกรีตมวลเบา	480-1,040	880-1,200	28-70
คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้าง	เพอร์ไมค์	480-880	1,040-1,600	105-210
	โฟม	480-960	1,680-2,080	105-420
	ซินเทอร์ พัลเวอร์ไลซ์ ฟูเอล แอช	640-960	1,360-1,760	140-420
	ดินเหนียวหรือเชลสแลก	560-1,040	1,360-1,840	140-420
คอนกรีตธรรมดา	กรวด	1,600	2,240	280

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 ค่าของการหดตัวเมื่อแห้งสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา (คันธนา สุยะพล และคณะ, 2546)

วัสดุ (Material)	การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) ร้อยละการหดตัว
คอนกรีตไม่มีมวลรวมละเอียด	0.013
มวลรวมจากวัสดุธรรมชาติ	0.013
คอนกรีตเบา	0.025
คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา	0.025
เอ็กแพนด์เด็ด เวอร์มิคูไลต์ (Expanded Vermiculate)	0.25-0.35
เพอร์ไมค์ (Permice)	0.04-0.10
โฟม สแลก (Foam slag)	0.03-0.07
ซินเทอร์ พัลเวอร์ไลซ์ ฟูเอล แอซ (Sintered pulverized fuel ash)	0.04-0.07
ดินเหนียว	0.04-0.07
อิฐ	0.04-0.08
คอนกรีตฟองอากาศ	0.05
คอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป (Precast)	0.05
คอนกรีตอัดแรง ที่หน้างาน (In-situ)	0.5
คอนกรีตธรรมดา	0.5
คอนกรีตผสมกรวดแน่น	0.035

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 **น้ำ** (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตหากมีสารแปลกปลอม เจือปนอยู่มากเกินไปอาจก่อปัญหาด้านระยะเวลาในการก่อตัว การหดตัวของคอนกรีต การมีรอยคราบเกลือ อยู่ที่ผิวคอนกรีต และส่งผลให้กำลังต่ำลง สารแปลกปลอมเหล่านี้แบ่งเป็น

1. สารแขวนลอย น้ำไม่ควรมีสารแขวนลอยเกิน 2000 ส่วนในล้านส่วน เพราะคอนกรีต จะหดตัวเพิ่มขึ้นและบางครั้งอาจเกิดคราบเกลือที่บริเวณผิวคอนกรีต ถ้าหากน้ำที่ผสมคอนกรีตมีความขุ่นมากควรทิ้งให้ตกตะกอนก่อนที่จะนำน้ำนั้นมาผสมคอนกรีต สารแขวนลอยจำพวกสาหร่ายมักจะไม่ตกตะกอนและส่งผลให้กำลังลดลงได้

2. สารละลายอนินทรีย์ น้ำที่มีสารอนินทรีย์เล็กน้อยสามารถผสมลงในคอนกรีตได้อย่างปลอดภัย ยกเว้น โซเดียมและแอมโมเนียมซัลไฟด์ที่มีปริมาณเกิน 1000 ส่วนในล้านส่วน ทำให้การก่อตัวเร็วขึ้น กำลังและความทนทานลดลง เกลือบางชนิดสามารถใช้เป็นสารผสมเพิ่มได้ดี แต่อย่างไรก็ตามการใช้น้ำเค็มผสมลงในคอนกรีตจะทำให้ผิวหน้าคอนกรีตดูสกปรก

3. สารละลายอินทรีย์ สารละลายในน้ำตามธรรมชาติ ส่วนมากเป็น กรดแทนนิก และ กรดฮิวมิก ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีของปูนซีเมนต์ช้าลง สารเคมีบางประเภททำให้เกิดฟองอากาศในคอนกรีต เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ

2.5 **มวลรวม** (Aggregate) (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

คอนกรีตประกอบด้วย มวลรวมประมาณร้อยละ 75 ของปริมาตรทั้งหมด ดังนั้นคุณสมบัติของมวลรวมจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของคอนกรีตสด และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่ผสม อาทิเช่น ทราย กรวด ทรายส่วนมากได้แก่ทรายจากแม่น้ำ ส่วนหินย่อยได้จากการย่อยหินขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง จนเหมาะสำหรับใช้ผสมทำคอนกรีต ยังมีมวลรวมจากผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ตะกรันเตาถลุงเหล็ก อิฐย่อย และมวลรวมที่ทำขึ้นพิเศษ เช่น มวลรวมที่ทำจากดินเหนียว

2.6 **ของเสียพลาสติก**

ของเสียพลาสติกที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นฉลากพลาสติก ที่เกิดขึ้นจากโรงงานรีไซเคิลแก้ว ปริมาณเฉลี่ยวันละ 400-500 กิโลกรัมต่อวัน ทางโรงงานต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดโดยการฝังกลบ ซึ่งเป็นการไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2.6.1 **พลาสติก** (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544)

ในปัจจุบันพลาสติกมากกว่าร้อยละ 99 ผลิตหรือกำเนิดมาจากแหล่งวัตถุดิบที่ไม่สามารถหาทดแทนได้ ได้แก่ แหล่งวัตถุดิบปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ แนพธา และถ่านหินซึ่งถูกใช้เป็นทั้งแหล่งให้พลังงานและแหล่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิต แหล่งวัตถุดิบดังกล่าวนอกจากจะใช้แล้วหมดไปแล้ว กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้ยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมอีกด้วย แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่คำนึงถึงการนำไปใช้เป็นแหล่งให้พลังงานและแหล่งวัตถุดิบ ในการผลิตวัสดุ โดยเฉพาะจำพวกพลาสติกเพื่อลดการใช้วัตถุดิบปิโตรเลียมและทดแทนต่อไปในที่สุด ทั้งนี้นอกจากสามารถแก้ปัญหาเรื่องการขาดแคลนด้านวัตถุดิบแล้ว ยังช่วยบรรเทาเรื่องผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมด้วยการบริโภคพลาสติกซึ่งผลิตจากวัตถุดิบทางปิโตรเคมีทั่วโลก มีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 ต่อปี คิดเป็นปริมาณ 200 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นปริมาณการบริโภคของประชากรสูงถึง 80–100 กิโลกรัมต่อคนต่อปี แต่ความสามารถในการนำขยะพลาสติกหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ยังอยู่ในระดับต่ำเพียงร้อยละ 30 โดยเฉพาะประเทศไทยที่มีขยะพลาสติกที่ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั่วประเทศไม่ต่ำกว่า 2.2 ล้านตันต่อปี

2.6.2 **ประเภทของพลาสติก**

การจำแนกประเภทของพลาสติกตามลักษณะและสมบัติของพอลิเมอร์ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมพลาสติก และ เทอร์โมเซ็ต

-เทอร์โมพลาสติกวัสดุประเภทนี้ส่วนใหญ่มักได้จากปฏิกิริยา แอดดิชันพอลิเมอไรเซชัน พลาสติกในกลุ่มนี้จะอ่อนนิ่มจนไหลได้เมื่อได้รับความร้อนเพียงพอ และเมื่อเย็นลงจะกลับแข็งคงรูปเช่นเดิม จะเป็นเช่นนี้เสมอ ไม่ว่าจะทำกี่ครั้งก็ตาม ได้แก่ พอลิเอทิลีน พอลิโพรไพลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน โดยคุณสมบัติและตัวอย่างผลิตภัณฑ์ นั้นแสดงในตารางที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ

-เทอร์โมเซ็ต เป็นวัสดุที่ได้จากปฏิกิริยาคอนเดนเซชันพอลิเมอไรเซชัน พลาสติกประเภทนี้จะอ่อนนิ่มจนไหลได้เมื่อได้รับความร้อนเพียงพอในครั้งแรก และเมื่อเย็นลงจะกลับแข็งคงรูป แต่จะทำได้เพียงครั้งเดียว ไม่สามารถทำได้หลายครั้งเหมือนกับวัสดุเทอร์โมพลาสติก ตัวอย่างของพลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ เบกกาไลต์ เมลามีน ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ซิลิโคน ทั้งนี้ตัวอย่างคุณสมบัติ และวิธีการใช้งานผลิตภัณฑ์ ในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติและการใช้งานของพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544)

ชนิดพลาสติก	คุณสมบัติ	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
โพลิเอทิลีน (Polyethylene)	- ลอยน้ำ ไขมันซึมผ่านได้ - ผิวลื่นน้ำเกาะไม่ติด - เป็นลอยขูดขีดได้ง่าย - ยืดตัวได้มาก ฉีกขาดยาก	- ถุงพลาสติก ดอกไม้เทียม - ภาชนะบรรจุของใช้ในครัวเรือน - ภาชนะบรรจุของเหลว - เครื่องมือแพทย์
โพลิโพรพิลีน (Polypropylene)	- ลอยน้ำ - ทนต่อการขูดขีดได้ - ยืดหยุ่นดี แข็งแกร่ง - ไขมันซึมผ่านได้	- หลอดพลาสติก - ถุงบรรจุอาหารร้อน - สายไฟฟ้าเคเบิ้ล - กล่องแบตเตอรี่
โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride)	- กันการซึมของไอน้ำและก๊าซได้ดี - เมื่อติดไฟจะเกิดกรดเกลือปนกับควัน ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบหัวใจ - สิ่งสกปรกไม่เกาะติด -ทนต่อกรดด่างและน้ำมันเครื่องและไขมัน	- ท่อน้ำ - ฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า - หนังเทียม - กระเบื้องยาง - ขวดน้ำมันพืช
โพลิสไตรีน (Polystyrene)	- โปร่งใส - ทำปฏิกิริยากับน้ำมันเบนซิน - ทนต่อสารเคมี กรดและด่างชนิดอ่อนได้	- โฟมแข็ง - ตะเกียบ แปรงสีฟัน - ถังบรรจุเครื่องดื่ม
โพลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate)	- ทนต่อแรงกระแทก - โปร่งใส - ผิวแข็ง ไม่ทนกรดด่างแก่	- แผ่นป้ายโฆษณา - แว่นตา - เลนส์
โพลีเอไมด์ (Polyamide)	- เหนียวและขยายตัวได้มาก - ไม่ทนกรดและด่างแก่ - ทนต่อการเสียดสี - ทนต่อความร้อน ดูดซึมน้ำได้ดี	- เฟือง เรือนแบริ่ง - ใบพัดลม - เชือก เอ็น - ค้อนพลาสติก
โพลีออกซีเมทิลีน (Polyoxymethylene)	- แข็งแกร่งและเหนียว - ไม่ทนต่อไขมัน	- เฟือง - ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
โพลิคาร์บอเนต (Polycarbonate)	- แข็งที่สุดในบรรดาพลาสติกโปร่งใส - ทนต่ออุณหภูมิ และ กรดด่าง	-โคมไฟสาธารณะ -แว่นกันแดด เลนส์เครื่องใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด(ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, 2549)

ชนิดโพลิเมอร์	ความต้านทานแรงดึง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ร้อยละการยืดตัว	มอดูลัสยืดหยุ่น (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	แรงกระแทกไอซอด (ฟุต.ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
โพลิเอทิลีน(Polyethylene)					
ความหนาแน่นต่ำ	3,000	800	40,000	0.92	9.0
ความหนาแน่นสูง	5,000	130	180,000	0.96	4.0
โพลิโพรพิลีน (Polypropylene)	6,000	700	220,000	0.90	1.0
โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride)	9,000	100	600,000	1.40	2.0
โพลิสไตรีน (Polystyrene)	8,000	60	450,000	1.06	0.4
โพลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethylmethacrylate)	12,000	5	450,000	1.22	0.5
โพลีเอไมด์ (Polyamide)	12,000	300	500,000	1.14	2.1
โพลีออกซีเมทิลีน (Polyoxymethylene)	12,000	75	520,000	1.42	2.3
โพลิคาร์บอเนต (Polycarbonate)	11,000	130	400,000	1.20	16.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติและการใช้งานของพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติ้งแต่ละชนิด (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544)

ชนิดพลาสติก	คุณสมบัติ	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
เมลามีนฟอร์มาดีไฮด์ (Melamineformadehyde)	- ทนความร้อนได้สูง - ทนต่อการขีดข่วน	- ของใช้ในบ้าน ถ้วย ชาม ช้อน และอุปกรณ์ไฟฟ้า
อันแซททูเอส โพลีเอสเตอร์ (Unsaturated Polyester)	- แข็งแรงและทนทานมาก - เหนียว - โปร่งใส	- ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส - ผลิตภัณฑ์พลาสติกห่อ - ฟิล์มถ่ายรูป ฟิล์มภาพยนตร์ - ขวดบรรจุของเหลว

2.7 สารเคมีที่เป็นวัตถุดิบในการทำสี

เนื่องจากฉลากนั้นล้วนเต็มไปด้วยสีต่างๆ องค์ประกอบของสีนั้นประกอบไปด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ มากมาย ซึ่งถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป ก็จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ การปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตสีนั้น ผู้ปฏิบัติสามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัยได้ถ้าผู้ปฏิบัติงานนั้นปฏิบัติตามคำแนะนำด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับสีอย่างเคร่งครัด

สารเคมีที่เป็นวัตถุดิบ (Raw materials)

ก. เม็ดสี หรือ รงควัตถุ หรือ สารให้สี (Pigments)

ส่วนที่ทำให้เกิดสี และในบางกรณีเม็ดสีเป็นตัวป้องกันการเกิดสนิม เช่น ซิงค์ฟอสเฟตซิงค์ออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ โมลิบเดตเรด ไทเทเนียมไดออกไซด์ และโลหะหนักอื่น ๆ ได้แก่ ตะกั่ว โครเมียม ปรอท มีทั้งที่เป็นผงสี เกล็ด

ข. ตัวทำละลาย (Solvent)

ใช้เป็นตัวทำละลายส่วนประกอบอื่น ๆ ช่วยให้สีแห้งเร็วและเรียบ โดยทั่วไปตัวทำละลายจะประกอบด้วยน้ำ หัวน้ำนม น้ำมันสน โทลูอีน แนปทา ไซลีน เอสเตอร์ คีโตน หรือ ไกลคอลอีเทอร์ เอทานอล เป็นต้น

ค. เรซิน (Resin)

สารที่ทำหน้าที่เป็นเรซิน หรือส่วนเนื้อสี มีทั้งที่อยู่ในรูปของเหลว ของแข็ง หรือ สารละลาย โดยช่วยเพิ่มความเรียบของสีในการเกาะติดพื้นผิวและทำให้สีติดทนทาน เช่น แอลคีนเรซิ่น โพลียูรีเทนเรซิ่น อีพอกซีเรซิ่น

ง. สารเติมแต่ง หรือ สารเพิ่มคุณภาพ (Additive)

สารที่ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มคุณภาพ ช่วยให้สีมีคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น คงทนต่อสภาพอากาศ ง่ายในการทำความสะอาด ป้องกันการเกิดเชื้อรา ทำให้สีไม่เป็นฟอง และป้องกันการบูดของสี

จ. สารมัธยันตร์ (Intermediate หรือ Solution)

เป็นสารละลายที่เตรียมขึ้นเองจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตภายในโรงงาน

2.8 โลหะหนัก (เกศสุชา พูลคำ, 2537)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 โดยลักษณะทั่วไปของโลหะหนักจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ ยกเว้น ปรอท ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาวสะท้อนแสงได้ดี และเหนียวสามารถตีเป็นแผ่นได้ ส่วนคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีเลขออกซิเดชัน (Oxidation number) ได้หลายค่า จึงสามารถรวมกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อโลหะหนักรวมตัวกับสารอินทรีย์ (Organ metallic compound) ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตโดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร เมื่อมีโลหะเหล่านี้แพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้ และมีผลต่อการเมตาบอลิซึมของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจทำให้เกิดความพิการและเสียชีวิตได้

2.9 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

การศึกษาเรื่องคอนกรีตเบา เริ่มมากกว่า 50 ปีในต่างประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่ในระยะแรกจะเป็นคอนกรีตเบาประเภท วัสดุมวลรวมเบา สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่นหล่อเป็นก้อนสี่เหลี่ยมสำหรับนำไปก่อกำแพง การหล่อเป็นผนัง พื้นหลังคา เป็นต้น

นัฐวุฒิ ทิพย์โยธา และคณะ (2550) คอนกรีตเบาแบบเซลลูล่าเป็นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟองอากาศซึ่งเกิดจากการเติมโฟมเหลวที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตแทนการใช้หินหรือมวลรวมหยาบ โดยคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตเบาแบบเซลลูล่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความหนาแน่นหรือปริมาณฟองอากาศที่เติมเข้าไป บทความนี้นำเสนอผลการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเบาแบบเซลลูล่าที่ค่าความหนาแน่นเปียกเท่ากับ 800 ถึง 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40 0.45 และ 0.50 และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 และ 2:1 ทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน

ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตเบาแบบเซลลูล่ามีค่ากำลังรับแรงอัดระหว่าง 15 ถึง 230 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และยังศึกษาถึงการออกแบบอัตราส่วนผสม การเตรียมเครื่องมือและวัสดุ และกระบวนการผลิตคอนกรีตเบาแบบเซลลูล่าด้วยวิธีใช้โฟมเหลวคงรูป การออกแบบอัตราส่วนผสมใช้วิธีกำหนดค่าความหนาแน่นที่ต้องการตามวัตถุประสงค์ของการนำคอนกรีตเบาไปใช้งาน การเตรียมเครื่องมือและวัสดุที่เหมาะสม และกรรมวิธีการผสมที่ถูกต้องจะทำให้ได้คอนกรีตเบาแบบเซลลูล่าที่มีความสม่ำเสมอและได้คุณภาพ

บวร อิศรางกูร ณ อยุธยาและ คณะ (2550) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการการใช้เพอร์ไลต์ในการผลิตคอนกรีตเบาอบไอน้ำ (Autoclave aerated concrete: AAC) เพื่อแทนที่ทราย ซึ่งเพอร์ไลต์มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยซิลิกาและอลูมินาเป็นหลัก มีอนุภาคขนาดเล็กน้ำหนักเบา โดยการแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และ 30 ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดและค่ากำลังรับแรงดัด จะแปรผกผันกับปริมาณของเพอร์ไลต์ และได้ศึกษาการนำตาข่ายใยแก้วมาใช้ร่วมกับการผลิตคอนกรีตเบาอบไอน้ำ เพื่อเสริมการรับแรงแทนตะแกรงลวดเหล็กกล้าเชื่อมติดเสริมคอนกรีต เพราะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นสูง น้ำหนักเบา ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าตำแหน่งของตาข่ายใยแก้วที่มีระยะห่างจากผิวหน้าของคอนกรีตแตกต่างกันมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงดัด แตกต่างกัน ในขณะเดียวกันตำแหน่งของตาข่ายใยแก้วกลับไม่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัด

Bederina และคณะ (2007) ได้ทำการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตโดยได้ผสมวัสดุเหลือใช้ และ ของเสียประเภทต่างๆ ลงไป โดยในตัวอย่างนี้ใช้ขี้เลื่อยซึ่งขี้เลื่อยนี้ มีความหนาแน่นประมาณ 100 กิโลกรัมต่อลูกบาศ์กเมตร และใช้โปรแกรมทำนายการนำความร้อนของคอนกรีต และได้ผลการทดลองดังนี้ การเพิ่มขี้เลื่อยลงในคอนกรีตสามารถลดความหนาแน่นของตัวอย่างลงได้ ทั้งนี้ยังลดการนำความร้อนของตัวอย่างคอนกรีตลงด้วย โดยการทดลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุก่อผนังได้

Demirboga (2007) ได้ศึกษาถึงกำลังรับแรงอัด และการนำความร้อน โดยใช้แร่บางประเภทเป็นวัสดุผสม เช่น ซิลิก้าฟูม เถ้าลอย และ เถ้าของเตาหลอม โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อผสมของเสียเข้าไปแล้ว พบว่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง โดยกำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด คือ เมื่อแทนที่เถ้าของเตาหลอมร้อยละ 15 โดยมวลคอนกรีต Batayneh และคณะ (2007) ศึกษาถึงวิธีการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งจากการรื้อทำลายพวก คอนกรีต แก้ว และพลาสติก ในแหล่งก่อสร้าง เพื่อทำการลดปริมาณของเสียชนิดใดชนิดหนึ่ง โดยงานวิจัยนี้นำวัสดุเหลือทิ้งแทนที่วัสดุในคอนกรีตปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ โดยเศษวัสดุที่นำมาศึกษานั้นได้ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยประกอบด้วย แก้ว พลาสติก และซากคอนกรีต ซึ่งกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่นั้นไม่เพียงแต่ช่วยอนุรักษ์ธรรมชาติ แต่ยังช่วยลดปริมาณของขยะที่ต้องนำไปกำจัด ในงานวิจัยนี้ใช้แก้ว

และพลาสติก แทนที่ถึงร้อยละ 20 ของมวลรวมละเอียด ในขณะที่ซากคอนกรีตที่ผ่านการบดมาแล้วนั้น แทนที่ถึงร้อยละ 20 ของมวลรวมหยาบ โดยผลการทดลองสรุปว่าวัสดุเหล่านี้สามารถแทนที่ลงในคอนกรีตได้ โดยไม่ทำให้กำลังรับแรงอัดและแรงดัดเปลี่ยนไป

Ismail และAL-Hashmi (2007) ทำการวิจัยโดยที่ใช้ของเสียพลาสติกแทนที่ลงในคอนกรีตเพื่อหาประสิทธิภาพของการแทนที่ทรายด้วยพลาสติก ที่ร้อยละ 10 15และ 20 และผสมกับคอนกรีต การทดลองทั้งหมดทำที่อุณหภูมิห้อง โดยการทดลองทั้งหมดประกอบด้วย การทดสอบการยุบตัว ความหนาแน่นแบบเปียก ความหนาแน่นแห้ง กำลังรับแรงอัด และ กำลังรับแรงดัดและโก่งตัว โดยใช้เวลาในการบ่มคอนกรีตที่ 3, 7, 14 และ 28 วัน เพื่อใช้ในการทดสอบนี้ โดยผลการทดลองว่าพลาสติกสามารถแทนที่ลงในคอนกรีต และ สามารถใช้เป็นวัสดุผสมเพื่อลดต้นทุนในในงานก่อสร้างได้

Unal และ คณะ (2007) ได้ศึกษาถึงการเป็นฉนวนกันความร้อนของ คอนกรีตเบากำลังต่ำ โดยในการทดสอบได้ใช้อัตตราน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.15 ได้ความหนาแน่นระหว่าง 900 ถึง 1,190 กิโลกรัมต่อลูกบาศ์กเมตร กำลังรับแรงอัดระหว่าง 25 ถึง 80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เวลาบ่ม 7 ถึง 56 วัน โดยผลของการนำความร้อนที่มีค่าดีที่สุดคือ มีค่าระหว่าง 0.23 วัตต์/เมตร/องศาเคลวิน

Byung และคณะ (2008) เป็นการศึกษาที่ต้องการแก้ปัญหาด้านขยะพลาสติก และเศษคอนกรีต โดยพลาสติกที่ใช้เป็นประเภทโพลีเอสเตอร์ (Polyester) และ มวลรวมที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่ (recycled concrete aggregates) โดยในแง่กำลังและการทนต่อการสึกกร่อนกรดและ เบส โดยในการทดลอง จะเปลี่ยนค่าอัตราส่วน ของมวลรวมหยาบและละเอียดที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่ เปรียบเทียบกับ มวลรวมหยาบและปกติ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่ากำลัง กราฟอัตราส่วนระหว่างความเค้นกับความเครียด และ การทนต่อการสึกกร่อนของกรดนั้นแทบจะไม่มีความแตกต่างระหว่างมวลรวมที่นำกลับมาใช้ใหม่ และมวลรวมแบบปกติเลยยกเว้นในตัวอย่างที่ใช้มวลรวมที่นำกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมด ที่จะการทนต่อการสึกกร่อนของกรดได้น้อย

Payakapo P. และ Payakapo M. (2008)ได้ทำการศึกษาโดยใช้พลาสติกประเภทเทอร์-โมเซตติ้ง แทนที่ลงในคอนกรีตเบา โดยคอนกรีตเบานี้ไม่ได้นำไป ใช้ในส่วนของงานโครงสร้าง โดยส่วนผสมที่ใช้คือ พลาสติก ทราย น้ำ ซึ่งใส่ผงอลูมิเนียมและเถ้าลิกไนซ์ เป็นสารใส่เพิ่ม ซึ่งผลการทดลองออกมาคือ มีค่ากำลังรับแรงอัด 4.14 เมกกะปาสคาล และ ความหนาแน่นแห้ง 1,395 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่ามาตรฐานนี้ผ่านมาตรฐานของ ASTM C129 Type II

Yesilata และคณะ (2009) ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ของเสียประเภทขวดโพลิเอทิลีน และ เศษยางมาผสมลงในคอนกรีต นำมาทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยทำ

การทดลองใส่ของเสีย 5 การทดลอง โดยใส่ของเสียประเภท ยาง 1 การทดลอง ใส่ของเสียประเภทขวดโพลิเอทีลีนที่มีรูปทรงต่างๆ กัน 3 การทดลอง และตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ปืนตัวควบคุม 1 การทดลอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าของเสียประเภทยางและของเสียประเภทขวดโพลิเอทีลีนที่ผสมลงในคอนกรีต สามารถเพิ่มคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้นได้ ประมาณร้อยละ 10.52 ถึง 18.16

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า มีการทดลองวิจัย เพื่อใช้ของเสียต่างๆ เช่น แร่ธาตุต่างๆ แก้ว เศษของคอนกรีต และของเสียประเภทพลาสติก สามารถแทนที่ลงในทรายเพื่อใช้ในการทำคอนกรีต และคอนกรีตเบาแบบต่างๆ โดยสามารถแทนที่ลงในทรายได้ปริมาณต่างๆ กัน เช่น หากแทนที่พลาสติกประเภทโพลีเอสเตอร์โดยพบว่าสามารถแทนที่ได้ประมาณร้อยละ 20 โดยมวลของทราย หรือ แทนที่พลาสติกประเภทโพลีเอททีลีน ร่วมกับพลาสติกประเภท โพลีสไตลีนแทนที่ได้ประมาณร้อยละ 10 ถึง 15 โดยมวลของทราย หรือ เมื่อใช้ของเสียประเภทอื่นๆแทนที่จะสามารถแทนที่ทรายได้มากที่สุดไม่เกินร้อยละ 50 โดยมวลของทราย

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะของเสียประเภทฉลากพลาสติกแทนที่ ลงในมวลรวม อย่างไรก็ตามการแทนที่ด้วยของเสียต่างๆ อาจมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำลง ขึ้นอยู่กับลักษณะของเสียที่ผสม เช่น ความหนาแน่น ขนาด รูปทรง และความถ่วงจำเพาะ ซึ่งของเสียแต่ละประเภทจะมีลักษณะเฉพาะตัวต่างกันไป โดยกำลังรับแรงอัดที่ลดลง นั้นเป็นเพราะของเสียเป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำลง ทั้งนี้การแทนที่ของเสียส่งผลต่อการใช้งานในแง่อื่นๆไม่มากนัก เช่น กำลังรับแรงดัด การดูดซึมน้ำ และการหดตัวแบบแห้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติก จากกระบวนการรีไซเคิลแก้ว มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผสมเพื่อทำคอนกรีตเบาสำหรับงานก่อผนัง งานวิจัยนี้สามารถแบ่งงานทดลองออกเป็น 4 การทดลอง คือ ส่วนแรกเป็นการเตรียมวัสดุ ได้แก่การเตรียมของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดต่างๆ กัน ปูนซีเมนต์และมวลรวม การทดลองที่ 2 เป็นการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัสดุ ได้แก่การกระจายขนาดของอนุภาค ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ การทดลองที่ 3 เป็นการทดสอบการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตคอนกรีตเบา เช่น ปริมาณและขนาดที่เหมาะสม ระยะเวลาในการบ่ม ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด การทดสอบการนำความร้อน สุดท้ายเป็นการประมาณค่าใช้จ่ายในเบื้องต้นการผลิตคอนกรีตเบา โดยการทำวิจัยที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการคอนกรีตภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

3.1 อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบ

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ตราช้าง(Ordinary Portland Cement, OPC) ตามมาตรฐาน มอก. เล่ม1 (2532) ดังแสดงในภาพที่ 3.1
- ทรายแม่น้ำ จากจังหวัดชลบุรี ดังแสดงในภาพที่ 3.2
- ของเสียฉลากพลาสติกจากกระบวนการรีไซเคิลบรรจุภัณฑ์แก้ว จ.พระนครศรีอยุธยา โดยของเสียเป็นพลาสติกประเภท โพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) มีความหนาแน่นประมาณ 80-100 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร มีขนาดไม่เกิน 9.4, 4.75 และ 2.36 มิลลิเมตร ดังแสดงภาพที่ 3.3 และ 3.4 แสดงของเสียประเภทฉลากพลาสติก ที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรง เบอร์ 4, 8 และ 3/8 นิ้ว

3.1.2 สารเคมี

- โซเดียมซิเตรท
- กรดซัลฟิวริก
- กรดไนตริก
- น้ำกลั่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

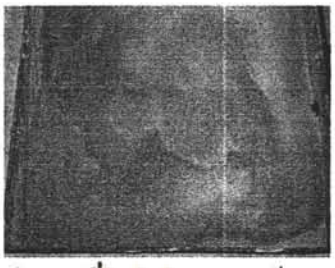
- สารเพิ่มฟอง ชนิด สกัดจากธรรมชาติ (Natural Foaming agent) เป็นสารประกอบประเภทโปรตีน สกัดจากพืช โดยโฟมที่ได้มีความหนาแน่นประมาณ 70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากบริษัท K BLOCK ดังแสดงภาพที่ 3.5

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

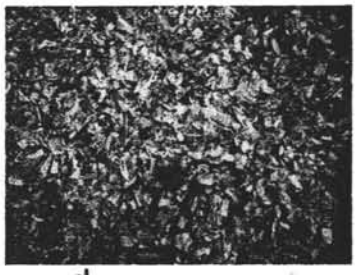
- เครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง หน่วยกรัม
- กระบอกตวง: ขนาด 500 มิลลิลิตร อ่านค่าได้ละเอียด 10 มิลลิลิตร
- เครื่องผสม (Mixer) มอร์ตา และคอนกรีต
- นาฬิกาจับเวลา
- ตู้อบไฟฟ้า
- แท่งกระทุ้ง (Temper): ขนาดหน้าตัด 0.5 x 0.5 ตารางนิ้ว ยาว 5-6 นิ้ว ปลายตัดเรียบ
- เกรียง: ทำด้วยเหล็กแบน ขอบสันเกรียงเป็นเส้นตรงยาว 100 ถึง 150 มิลลิเมตร
- แบบหล่อตัวอย่างลูกบาศก์: ขนาด 5 เซนติเมตร หรือ 2 นิ้ว (ภาพที่ 3.6)
- เครื่องผลิตโฟมเหลวคงรูป (Foam Generator)(ภาพที่ 3.7) และ โฟมหลังจากผสม (ภาพที่ 3.8)
- เครื่องทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดก้อนตัวอย่าง: น้ำหนักกดสูงสุด 150 ตัน (ภาพที่ 3.9)
- เครื่องเขย่าคัดขนาด (Sieve Shaker) ซึ่งประกอบด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ ขนาดเบอร์ 3/8 นิ้ว ขนาดเบอร์ 4 เบอร์ 8 ถาดรอง (pan) ภาพที่ 3.10
- แบบหล่อตัวอย่างเพื่อที่ใช้ทดสอบค่าการนำความร้อนและเพื่อทดสอบการหดตัวแบบแห้ง ขนาด 15 x 15 x 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ ขนาด 7.5 x 7.5 x 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 3.11 และ 3.12)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

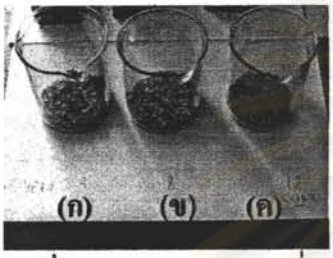
ภาพที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



ภาพที่ 3.2 ทรายละเอียด

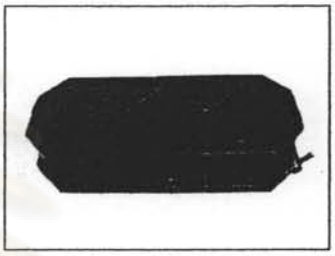


ภาพที่ 3.3 ฉลากพลาสติก



ภาพที่ 3.4 ฉลากพลาสติกที่ใช้ในการวิจัย(ก) 9.4 มม. (ข) 4.75 มม.(ค) 2.3 มม.

ภาพที่ 3.5 สารเพิ่มฟองชนิดสกัดจากธรรมชาติ



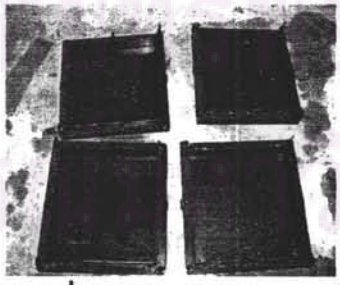
ภาพที่ 3.6 แบบหล่อคอนกรีตขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ภาพที่ 3.7 เครื่องผลิตโฟม

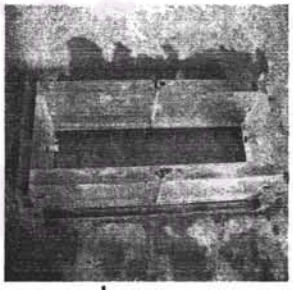
ภาพที่ 3.8 โฟมที่ผสมลงในคอนกรีตเบา

ภาพที่ 3.9 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

ภาพที่ 3.10 เครื่องเขย่าคัดขนาดฉลากพลาสติก



ภาพที่ 3.11 แบบหล่อคอนกรีตเพื่อทดสอบการนำความร้อน



ภาพที่ 3.12 แบบหล่อคอนกรีตเพื่อทดสอบการหดตัวแบบแห้ง

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 วัสดุสำหรับงานวิจัย

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่างของเสียประเภทฉลากพลาสติก

นำของเสียมาคัดของเสียประเภทอื่นๆ เช่น หลอดดูดน้ำ ก้นบุหรี่ เป็นต้น นำไปบดเพื่อให้ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 นำส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์การชะละลายโลหะหนักตามมาตรฐาน USEPA 3050 (ภาคผนวก ก.1)

3.2.1.2 การเตรียมวัสดุผสม

ล้างทรายด้วยน้ำสะอาด แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียสแล้วนำมาคัดขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4

3.2.1.3 การออกแบบส่วนผสม

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุผสม ทำการออกแบบส่วนผสมโดยใช้อัตราส่วน น้ำต่อวัสดุประสาน 0.30, 0.35 และ 0.40 แทนที่มวลรวมด้วยฉลากของเสียประเภทฉลากพลาสติกร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยปริมาตรคอนกรีต และมีขนาดต่างๆ กัน 3 ขนาดคือ ขนาดเล็กกว่า 9.4 มิลลิเมตร ขนาดระหว่าง 4.75 ถึง 2.36 มิลลิเมตร และ ขนาดเล็กกว่า 2.36 มิลลิเมตร และคำนวณปริมาณโฟมที่ผสมในคอนกรีต (ภาคผนวก ก.9) โดยแบ่งส่วนผสมออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ส่วนผสมที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกปริมาณต่างๆ กัน (ตารางที่ 3.1) และ ส่วนผสมที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดต่างๆ กัน (ตารางที่ 3.2)

3.2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.2.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในของเสียประเภทฉลากพลาสติก

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีกรดไนตริกเข้มข้นวิธีการเตรียมตัวอย่างดังแสดงใน(ภาคผนวก ก.1) ที่วิเคราะห์จากน้ำชะละลายโลหะหนักทั้งหมดที่คาดว่าจะมีในของเสียประเภทฉลาก คือ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม เซเลเนียม โครเมียม สารหนู นิกเกิล และทองแดง และนำค่ามาวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักโดยเปรียบเทียบกับค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) และ Soluble Threshold Limit Concentration (STLC)ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2548 (ภาคผนวก ง.1)

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมที่ใช้ผสมคอนกรีตเบา แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกปริมาณต่างๆ กัน ที่มีน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30, 0.35 และ 0.40

ตัวอย่างที่	ส่วนผสม						อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	ปริมาตรรวม (ลบ.ม.)
	ปูนซีเมนต์ (กก.)	ทราย (กก.)	น้ำ (กก.)	โฟม (กก.)	ปริมาณของเสียที่แทนที่ (กก.)	ขนาดของเสีย (มม.)		
A	400	600	86	40	0	4.75	0.3	1.02
B	400	600	93.1	32.9	8	4.75	0.3	1.02
C	400	600	100.1	25.9	16	4.75	0.3	1.03
D	400	600	107.1	18.9	24	4.75	0.3	1.03
E	400	600	111	35	0	4.75	0.35	0.97
F	400	600	118	28	8	4.75	0.35	0.98
G	400	600	125	21	16	4.75	0.35	0.98
H	400	600	132	14	24	4.75	0.35	0.99
I	400	600	132.4	33.6	0	4.75	0.4	0.97
J	400	600	139.4	26.6	8	4.75	0.4	0.98
K	400	600	146.4	19.6	16	4.75	0.4	0.98
L	400	600	153.4	12.6	24	4.75	0.4	0.99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมที่ใช้ผสมคอนกรีตเบา แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดต่างๆ กัน ที่มีน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30, 0.35 และ 0.40

ตัวอย่างที่	ส่วนผสม						อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	ปริมาตรรวม (ลบ.ม.)
	ปูนซีเมนต์ (กก.)	ทราย (กก.)	น้ำ (กก.)	โฟม (กก.)	ปริมาณของเสียที่แทนที่ (กก.)	ขนาดของเสีย (มม.)		
M	400	600	76	50	16	9.4	0.3	1.35
N	400	600	76	50	16	4.75	0.3	1.35
O	400	600	76	50	16	2.36	0.3	1.35
P	400	600	96	50	16	9.4	0.35	1.37
Q	400	600	96	50	16	4.75	0.35	1.37
R	400	600	96	50	16	2.36	0.35	1.37
S	400	600	116	50	16	9.4	0.4	1.39
T	400	600	116	50	16	4.75	0.4	1.39
U	400	600	116	50	16	2.36	0.4	1.39

3.2.2.2 การจัดรหัสของชนิดและประเภทสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้ว

การจัดรหัสของชนิดและประเภทสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้และสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้ว สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม 2548 ถูกแบ่งออกเป็น 19 หมวดหมู่ และมีการกำหนดรหัสเฉพาะของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยใช้รหัสเลข 6 หลัก โดยตัวเลขแต่ละหลักมีการแบ่งคือ เลข 2 หลักแรกแสดงถึงประเภทของการประกอบกิจการ หรือชนิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เลข 2 หลักกลาง แสดงถึงกระบวนการเฉพาะในการประกอบกิจการนั้น ๆ ที่ทำให้เกิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หรือเป็นชนิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเลข และ 2 หลักสุดท้าย แสดงถึงลักษณะเฉพาะของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้น

3.2.2.3 การหาความหนาแน่นของเสียประเภทฉลากพลาสติก

ชั่งน้ำหนักถังตวงเปล่าแล้วจดบันทึกไว้ สุ่มของเสียประเภทฉลากประมาณ 1 ลบ.ม. คลุกเคล้าของเสียประเภทฉลากให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตักของเสียประเภทฉลากใส่ภาชนะปริมาตร 60 กิโลกรัม ตวงมูลฝอยให้เต็ม ยกภาชนะตวงของเสียประเภทฉลากให้สูงจากพื้นดิน

ประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้กระแทกกับพื้นครบ 3 ครั้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักจะทราบน้ำหนักของเสียประเภทฉลากกับน้ำหนักถังตวง

การคำนวณ

$$\text{ค่าความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของเสียประเภทฉลากสุทธิ}}{\text{ปริมาตรของถังตวง}}$$

3.2.2.4 การหาองค์ประกอบของของเสียประเภทฉลากพลาสติก

นำตัวอย่างของเสียประเภทฉลากที่สุ่มมาจากของเสียประเภทฉลากพลาสติก มาหาองค์ประกอบโดยวิธีการแบ่ง 4 ส่วน (Quartering) จากปริมาณที่โรงงานปล่อยออกมาประมาณ 400-500 กิโลกรัมต่อวัน (ดังแสดงในภาคผนวก ก.8) แบ่งจนเหลือประมาณ 50-100 กิโลกรัม คัดเลือกเฉพาะของเสียประเภทฉลาก

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของเสียประเภทฉลาก} = \frac{\text{น้ำหนักของเสียประเภทฉลาก} \times 100}{\text{น้ำหนักขยะรวม}}$$

3.2.2.5 การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ

ทดลองหาความถ่วงจำเพาะของทราย (ภาคผนวก ก.6) การดูดซึมน้ำของมวลรวมและของเสียประเภทฉลากพลาสติก (ภาคผนวก ก.3) เพื่อใช้ในการออกแบบส่วนผสม

3.2.3 การทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตเบา

3.2.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดนั้นใช้เครื่องทดสอบน้ำหนักกดสูงสุด 150 ตัน ที่มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยวิธีทดสอบ ASTM C109-07 โดยใช้ตัวอย่างที่มีขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนเพื่อหาปริมาณของเสียพลาสติกที่เหมาะสมโดยทดสอบ 12 อัตราส่วน (ตารางที่ 3.1)หลังจากนั้นจึงทดสอบหาขนาดของเสียที่มีความเหมาะสม 9 อัตราส่วน อัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง (ตารางที่ 3.2)

3.2.3.2 การดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำ ที่มหาวิทยาลัยบูรพา ตามมาตรฐาน ด้วยวิธีทดสอบC128-07a ตัวอย่างที่มีขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยนำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเข้าเตาอบที่

อุณหภูมิ 105 – 110 °ซ นาน 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างและแช่ตัวอย่างคอนกรีตให้จมอยู่ในน้ำนาน 24 ชั่วโมง แล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างเร็ว และชั่งน้ำหนัก ภายใน 5 นาที คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจากน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตหลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ลบด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้ง หารด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้ง ทั้งหมดคูณด้วย 100 จะได้ค่าการดูดซึมน้ำเป็นเปอร์เซ็นต์ ของคอนกรีตวัดค่าในทุกๆ อัตราส่วนผสม อัตราส่วนละ 1 ตัวอย่าง

3.2.3.3 **การหาความหนาแน่น**

การทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักด้วยวิธีทดสอบ ASTM C29โดยการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดลองหารด้วยปริมาตรของก้อนตัวอย่างทดลอง โดยทำการวัดค่าในทุกๆ อัตราส่วนผสม อัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ค่าความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างสุทธิ}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง}}$$

3.2.3.4 **การหดตัวแบบแห้ง**

การทดสอบค่าการหดตัวแบบแห้งด้วยวิธีทดสอบ ASTM C596-07 โดยจะทำการหล่อตัวอย่าง มอร์ต้า ขนาด 7.5 x 7.5 x 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร วัดค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงที่เวลาต่าง ๆ กันคือ 4, 11, 18 และ 25 วัน เทียบกับความยาวก่อนการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทดสอบโดยเครื่องมือจาก ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จำนวน 2 อัตราส่วน อัตราส่วนละ 1 ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบระหว่างการแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติก โดยแทนที่ ณ จุดเหมาะสม เทียบกับ การไม่แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกเลย

3.2.3.5 **การทดสอบหาค่าการสัมประสิทธิ์การนำความร้อน**

ทำการหล่อตัวอย่าง มอร์ต้า ขนาด 15 x 15 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวนอัตราส่วนละ 1 ตัวอย่าง ทำการบ่มที่อายุ 28 วัน จากนั้นจะนำตัวอย่างไปทดสอบที่ศูนย์ทดสอบเครื่องมือวัด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยวิธีทอสอบ ASTM C-177-04 อัตราส่วนผสมในตารางที่ ผ.28จำนวน 6 อัตราส่วน อัตราส่วนละ 1 ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบว่าอัตราการเพิ่มเมื่อมีการแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

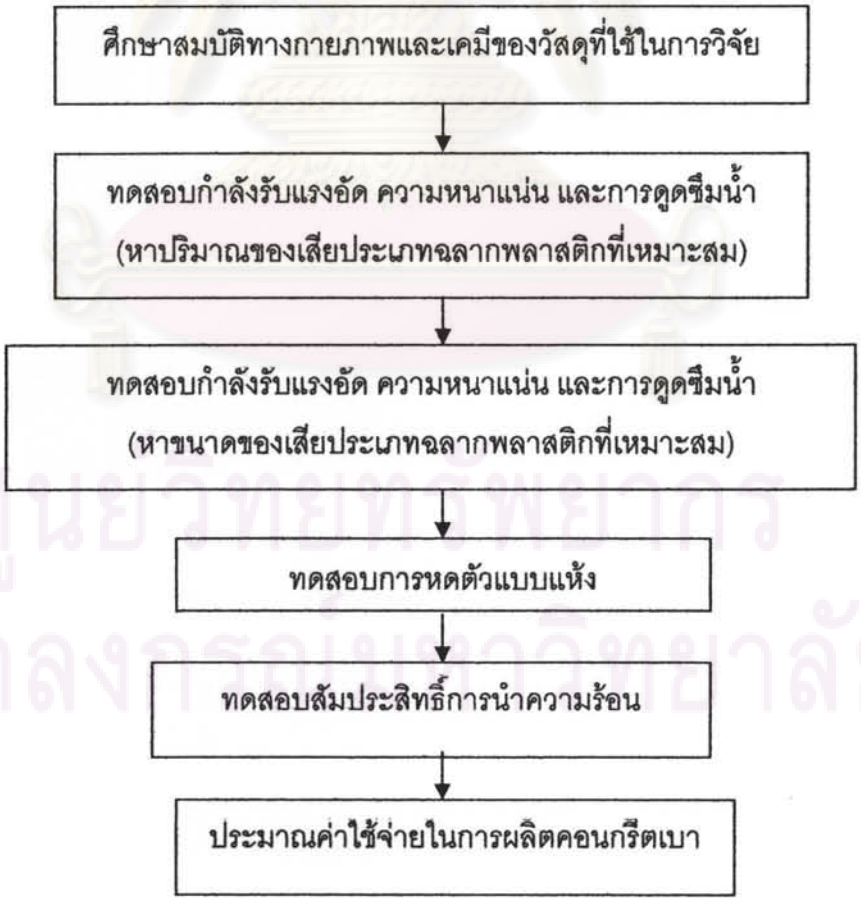
3.2.4 ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำของเสียประเภทฉลากมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นคอนกรีตเบา

ประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตเบา และ เปรียบเทียบกับคอนกรีตเบาประเภทเดียวกัน ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ตลอดจนคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัดของเสียประเภทฉลาก ในหน่วยราคาบาทต่อตันของเสีย และนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างได้

3.3 การวิเคราะห์งานวิจัย

ในการศึกษาหาสัดส่วนปริมาณ และขนาดที่เหมาะสม ของของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่แทนที่ลงในคอนกรีตเบา โดยวิเคราะห์จาก กำลังอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การหดตัวแบบแห้ง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ในแง่ของกำลังรับแรงอัด เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบในการใช้งาน และสามารถประยุกต์ใช้เป็นวัสดุก่อในงานก่อสร้างได้

แผนผังการทดลอง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาผลิตคอนกรีตเบา ได้แบ่งการทดลองแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ วัสดุสำหรับการวิจัย สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตเบาโดยใช้ของเสียประเภทฉลากพลาสติก และ ประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาผลิตคอนกรีตเบา โดยผลการวิจัยได้ผลต่างๆ ดังนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

4.1.1 การหาปริมาณโลหะหนักในของเสียประเภทฉลากพลาสติก

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วย วิธีกรดไนตริกเข้มข้นโดยทดสอบตามมาตรฐาน U.S.EPA.3050 ที่วิเคราะห์ จากน้ำชะละลายผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดที่คาดว่าจะมีในของเสียประเภทฉลากพลาสติกจากการทบทวนงานวิจัย ทั้งสิ้น 8 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) และ Soluble Threshold Limit Concentration (TTLC) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2548 ดังนั้นของเสียประเภทฉลากพลาสติกจึงไม่จัดอยู่ในของเสียอันตรายซึ่งการวิเคราะห์นี้ไม่จำเป็นต้องทดสอบด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) (ภาคผนวก ง.1)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของเสียประเภทฉลากพลาสติก

ปริมาณโลหะหนัก	มิลลิกรัม/ลิตร *	มาตรฐาน STLC** มิลลิกรัม/ลิตร ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ 2548	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	มาตรฐาน TTLC*** มิลลิกรัม/กิโลกรัม ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ 2548
ปรอท	< 0.04	0.2	nd	20
ตะกั่ว	0.652	5	65.2	1,000
แคดเมียม	0.052	1	5.2	100
เซเลเนียม	< 0.15	1	nd	100
โครเมียม+6 โครเมียม+3	0.974	5 (+6) 5 (+3)	97.4	500 (+6) 2,500 (+3)
สารหนู	< 0.05	5	nd	500
นิกเกิล	0.067	20	6.7	2,000
ทองแดง	0.325	25	32.5	2,500

nd = ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้

หมายเหตุ * มิลลิกรัม/ลิตร เป็นค่าความเข้มข้นที่ทาง ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีวิเคราะห์

** มิลลิกรัม/ลิตร เป็นค่าความเข้มข้นของสารในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด ใช้ในการเทียบกับมาตรฐาน Soluble Threshold Limit Concentration (STLC)

*** มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็นค่าความเข้มข้นของสารในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ใช้ในการเทียบกับมาตรฐาน Total Threshold Limit Concentration (TTLC)

4.1.2 จัดรหัสของชนิดและประเภทสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้ว (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

จากการวิเคราะห์รหัสของเสียประเภทฉลากซึ่งไม่ใช่ของเสียอันตราย จัดหมวดหมู่โดยใช้รหัสเลข 6 หลักคือ 06 08 99 รหัส เลขสองหลักแรกคือ 06 แสดงว่าเป็น ของเสียจากกระบวนการผลิตสารอนินทรีย์ต่าง ๆ (Wastes from inorganic chemical processes) สำหรับรหัส สองหลักกลาง แสดงว่าเป็น ของเสียจากกระบวนการผลิต การผสมตามสูตร การจัดส่ง และการใช้งานธาตุซิลิคอนและอนุพันธ์ของธาตุซิลิคอน (wastes from the MFSU of silicon and silicon derivatives) เมื่อนำมาวิเคราะห์เลข 2 หลักท้ายพบว่า ไม่มีรหัสเลข 6 หลักที่เหมาะสมในหมวดอื่นๆ ยกเว้นรหัสที่มีเลข 2 รหัสสุดท้ายเป็น 99 จึงสรุปรหัส 6 ตัว คือ 06 08 99

4.1.3 ความหนาแน่นของของเสียประเภทฉลากพลาสติก

จากงานวิจัยพบว่าของเสียประเภทฉลาก มีค่าความหนาแน่นรวม(bulk density)เท่ากับ 0.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรโดยวิธีตามมาตรฐาน ASTM C29 (ภาคผนวก ก.2)

4.1.4 องค์ประกอบของของเสียประเภทฉลากพลาสติก

การวิเคราะห์องค์ประกอบของของเสียประเภทฉลากพลาสติก โดยพบว่ามีปริมาณฉลากของเสียประมาณ ร้อยละ 95 โดยมวล ซึ่งมีสิ่งเจือปนประเภทอื่นๆ เช่น เศษดินทราย เศษแก้ว หลอดดูดน้ำ และอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของของเสียประเภทฉลากพลาสติก

ชนิดของเสีย	ร้อยละโดยมวล
ฉลากพลาสติก	94.8
เศษดิน ทราย	2.6
เศษแก้ว	1.8
หลอดดูดน้ำ	0.3
อื่นๆ	0.5

4.1.5 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของทราย

ทรายที่ใช้ในการทดลองนี้ มีค่าความถ่วงจำเพาะในสภาพแห้งเท่ากับ 2.57 และ ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวที่ผิวแห้ง 2.59 และ มีค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏเท่ากับ 2.61

โดยค่าที่ศึกษานี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ได้ศึกษาไว้ ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร (2539) โดยทรายที่ใช้กันโดยทั่วไปจะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.65 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองส่วนทรายมีค่า 2.57 ถึง 2.61 ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้มีการศึกษาไว้ โดยการวิเคราะห์ใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM C128-93 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สำหรับวัสดุผสมละเอียด ใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM C127-88 ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก พบว่าค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำของทรายมีค่า 0.84 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด และการดูดซึมน้ำ

ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง[1]	2.57 $\pm$ 0.01
ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวที่ผิวแห้ง[2]	2.59 $\pm$ 0.01
ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะปรากฏ[3]	2.61 $\pm$ 0.01
ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (%)	0.84 $\pm$ 0.02

หมายเหตุ [1]ค่าที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°ซ

[2]รูพรุนอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่ผิวแห้ง

[3]แห้งในอากาศ แต่มีน้ำในรูพรุน

4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตคอนกรีตเบาโดยใช้ของเสียประเภทฉลากพลาสติก

4.2.1 กำลังรับแรงอัด

4.2.1.1 ผลของปริมาณการแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกต่อกำลังรับแรงอัด

จากการศึกษากำลังรับแรงอัดหลังจากบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 28 วัน พบว่าของเสียที่แทนที่ลงในตัวอย่างคอนกรีตนั้นมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงอย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 4.1 จากการทดลองเพิ่มปริมาณของเสียประเภทฉลากพลาสติกลงในตัวอย่าง โดยเพิ่มจากร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยปริมาตร พบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงในทุกๆ ตัวอย่าง และทุกๆ ระยะเวลาบ่ม ทั้งนี้เป็นเพราะของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่แทนที่ลงในตัวอย่างไม่มีองค์ประกอบใดๆ ที่สามารถช่วยให้กำลังรับแรงอัดต่ำเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด กำลังรับแรงอัดที่ลดลงนี้เป็นเพราะ 2 เหตุผล

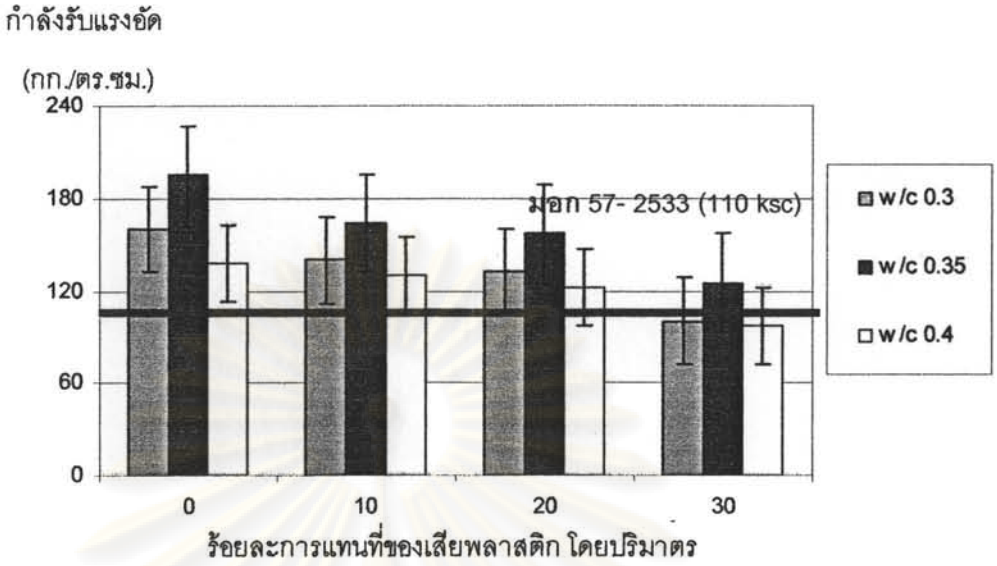
คือ ความหนาแน่นที่ลดลงทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง และ อีกสาเหตุนึงเป็นเพราะว่าตัวของเสียประเภทฉลากพลาสติกเองที่ทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยหากพิจารณาจากภาพที่ 4.1 แล้วจะพบว่าปริมาณของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่แทนที่ได้สูงสุด โดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า 110 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คือสามารถแทนที่ได้ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร โดยพบว่าคอนกรีตเบานี้ไม่สามารถ เปรียบเทียบกับคอนกรีตเบาแบบอบไอน้ำที่ใช้ในปัจจุบันได้ เนื่องจากเป็นคอนกรีตเบาต่างชนิดกันและความหนาแน่นไม่ผ่านมาตรฐาน ดังนั้นจึงเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดนี้ เปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก 57-2533) ซึ่งผลการทดลอง เป็นไปในทำนองเดียวกับ

Ismail และAL-Hashmi (2007) ทำการวิจัยโดยที่ใช้ของเสียพลาสติกประเภทโพลีเอททีลีนและโพลีสไตลีนแทนที่ ที่มีขนาดประมาณ 15 ถึง 40 มิลลิเมตร โดยแทนที่ลงประมาณร้อยละ 0 ถึง 20 โดยมวลของทราย โดยจากการทดสอบพบว่า เมื่อแทนที่ทรายด้วยของเสียของเสีย พบว่าของเสียมีแนวโน้มลดลง จากความหนาแน่น 2,400 เป็น 2,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยกำลังรับแรงอัดลดลงจากประมาณ 400 เป็น 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

Payakapo P. และ Payakapo M (2008) ทำการวิจัยโดยใช้ของเสียประเภทพลาสติกประเภทเทอร์โมเซ็ตติ้ง ของเสียนี้มี ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.48 โดยลงในคอนกรีตมวลเบาชนิดอบไอน้ำโดยแทนที่ลงร้อยละ 50 ถึง 90 โดยมวลปูนซีเมนต์ โดยพบว่าความหนาแน่นของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงจากประมาณ 1,500 เป็น 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยกำลังรับแรงอัดลดลงจากประมาณ 55 เป็น 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้เป็นเพราะว่าตัวพลาสติกนี้มีผลทำให้การยึดเกาะระหว่างของเสียและปูนซีเมนต์มีค่าน้อยกว่า การยึดเกาะระหว่างปูนซีเมนต์กับทราย

นรารัชต์พร นวลสวรรค์ (2551) ใช้ของเสียประเภทกระดาษลงในคอนกรีตบล็อกปูประสาน ที่อัตราส่วน โดยใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 โดยแทนที่ลงประมาณร้อยละ 3 โดยมวลทรายปูนซีเมนต์ โดยความหนาแน่นของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงจากประมาณ 2,100 เป็น 1,900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าของเสียประเภทต่างๆ มีผลในทำนองเดียวกันคือทำให้ความหนาแน่นของตัวอย่างลดลง และทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง แตกต่างกันคือปริมาณที่แทนที่ได้ ซึ่งประเภทของเสียนั้นมีผลทำให้ความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด ลดลงต่างๆกันนั่นเอง

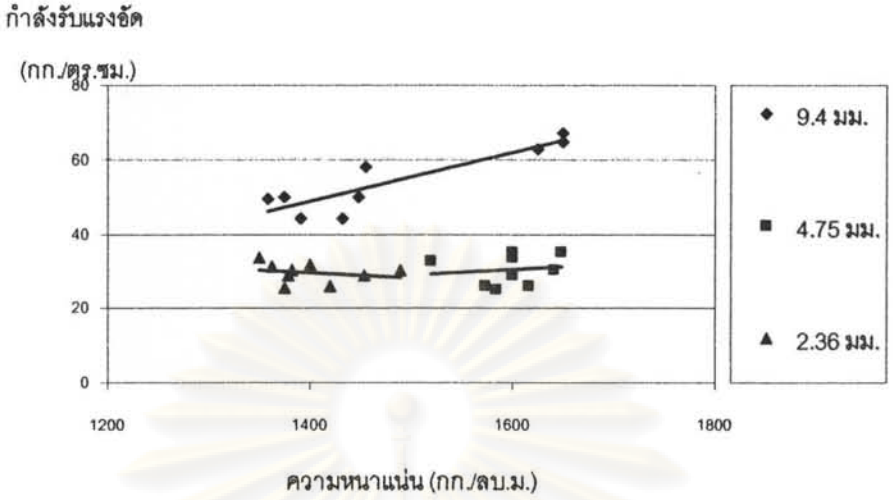


ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อร้อยละการแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่เวลาบ่ม 28 วัน

4.2.1.2 ผลของขนาดของเสียประเภทฉลากพลาสติกต่อกำลังรับแรงอัด

การทดลองเพื่อหาขนาดที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดหลังจากบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 28 วัน โดยได้เปลี่ยนแปลงส่วนผสม โดยใช้อัตราส่วนตามตารางที่ 3.2 โดยใช้ปริมาณอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่าเดิม แต่เพิ่มโฟมให้เพิ่มมากขึ้นแล้วลดปริมาณน้ำโดยมีความมุ่งหวังเพื่อจะให้ความหนาแน่นของตัวอย่างลดลง จากการทดลองพบว่า เมื่อแทนที่ทุกๆ ตัวอย่างด้วยปริมาณของเสียร้อยละ 20 โดยปริมาตรคอนกรีต แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่มีขนาดต่างๆ กัน พบว่า ขนาดที่เหมาะสมต่อการแทนที่ในคอนกรีตเบาที่สุดคือ ขนาดเล็กกว่า 9.4 แต่ใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร เพราะเมื่อพิจราณาจากความหนาแน่นที่เท่ากัน พบว่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าทั้งสองขนาดอย่างชัดเจน ที่ทุกๆ ช่วงความหนาแน่นดังภาพที่ 4.2 ทั้งนี้เหตุผลเป็นเพราะว่าขนาดของเสียที่ใหญ่กว่านั้นอาจส่งผลในแง่ของการยึดเกาะระหว่างวัสดุประสานกับมวลรวมได้ดีกว่าของเสียที่มีขนาดเล็ก จึงส่งผลให้คอนกรีตเบาที่แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดที่ใหญ่กว่านั้นมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า ของเสียที่มีขนาดเล็กนั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อความหนาแน่น ที่เวลาบ่ม 28 วัน

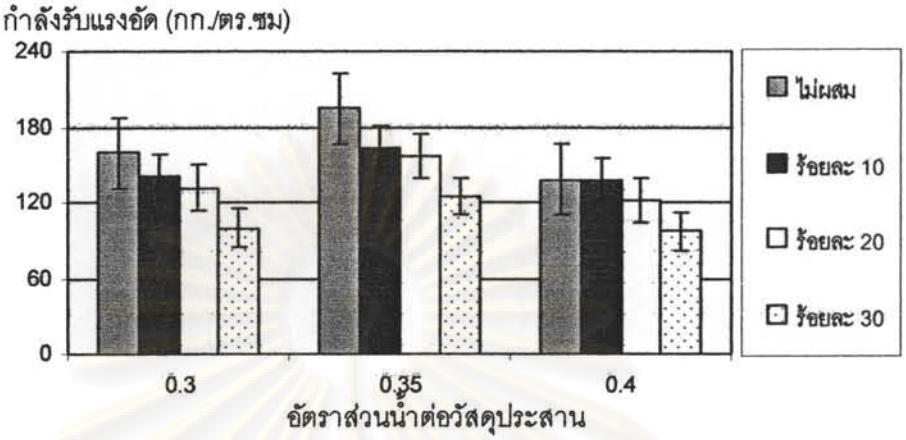
4.2.1.3 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อกำลังรับแรงอัด

ทำการศึกษาโดยหล่อตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แปรผันอัตราส่วนของเสียประเภทฉลากต่อมวลรวม ที่ ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยปริมาตรของคอนกรีต มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.30, 0.35 และ 0.40 หลังจากบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 28 วัน เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดเป็นเกณฑ์ พบว่าเมื่อแปรผันค่าของเสียประเภทฉลาก และแปรผันอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ร้อยละ 0.35 และไม่ได้ผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติก มีกำลังรับแรงอัดที่ทดสอบมีค่ามากที่สุดเนื่องจากไม่มีสิ่งเจือปนของวัสดุผสม และหลังจากผสมของเสียไปแล้ว ค่ากำลังรับแรงอัดที่ส่วนผสมต่างๆ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ที่เหมาะสมคือ 0.35 และปริมาณพลาสติกที่เหมาะสม คือ แทนที่ได้ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตรของคอนกรีต ในการทดลองค่ากำลังรับแรงอัดแสดงดังภาพที่ 4.3

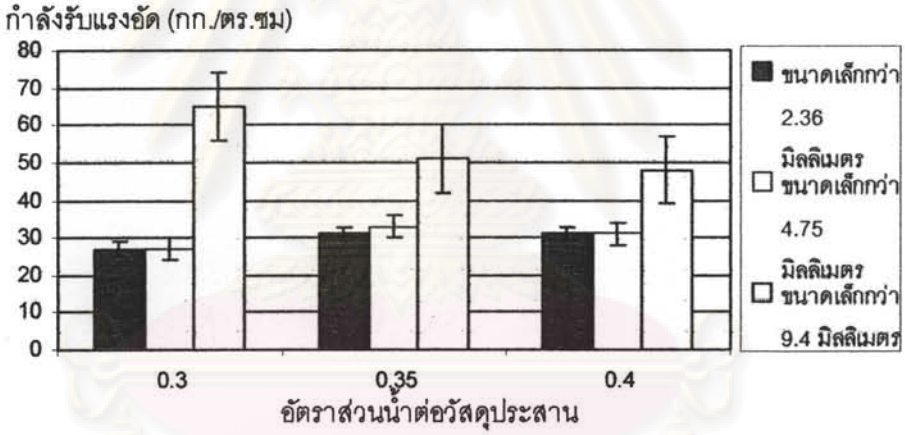
เมื่อมีการทดสอบในอัตราส่วนต่างๆกันเพื่อหาขนาดของเสียประเภทฉลากพลาสติก พบว่าได้ผลในลักษณะเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 4.4 ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมนั้นสามารถอธิบายได้ว่าปริมาณน้ำที่ผสมมีผลกับกำลังรับแรงอัดโดยปริมาณน้ำที่น้อยเกินไป จะไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ส่วนปริมาณน้ำที่มากเกินไป จะทำให้คอนกรีตเบาที่ผสมนั้นมีความเหลวเกินไป

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2547) กล่าวว่าเมื่อกำหนดปูนซีเมนต์และมวลรวมมาให้ กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสม เทเข้าแบบ หรือเขย่าให้แน่นอย่างเต็มที่ และบ่มอย่างถูกวิธี จะขึ้นกับอัตราส่วนน้ำ ต่อปูนซีเมนต์ อัตราปูนซีเมนต์ต่อมวล ขนาดคละ ผิวของมวล

และรูปร่าง ความแข็งและกำลังของมวลรวม จะสามารถกำลังต้านทานของคอนกรีตได้จาก อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อร้อยละการแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่เวลาบ่ม 28 วัน

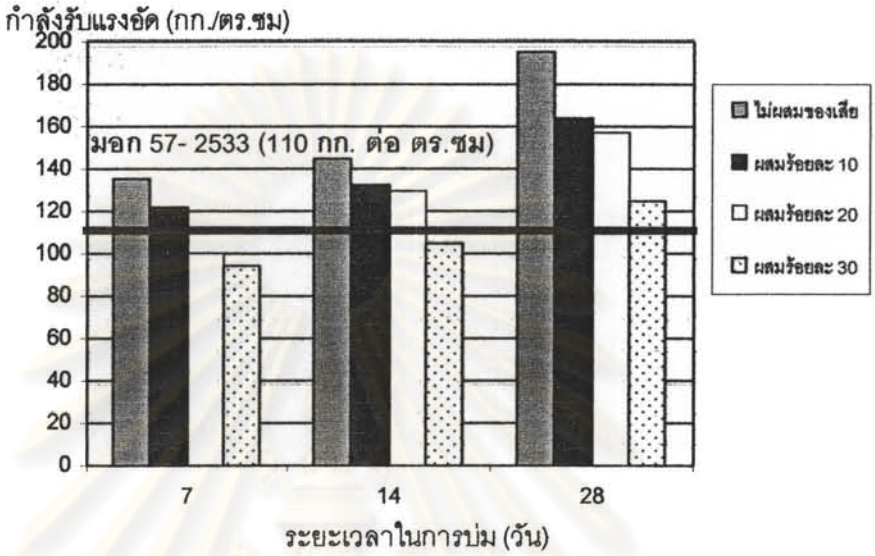


ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อขนาดของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่เวลาบ่ม 28 วัน

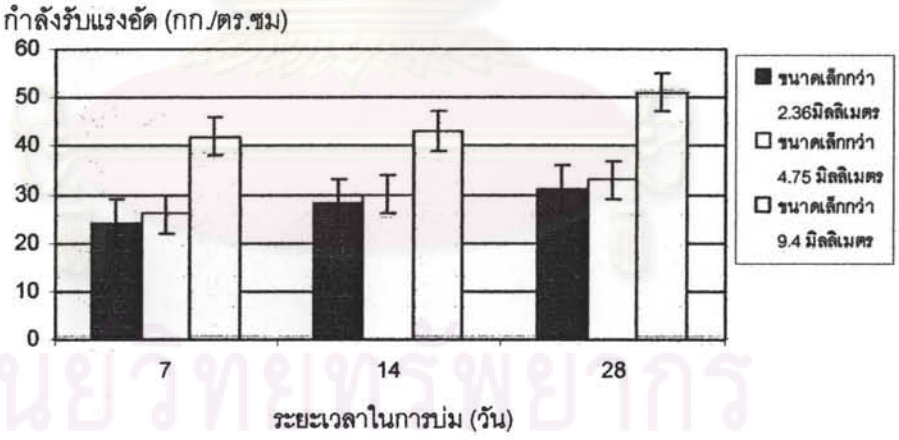
4.2.1.4 การพัฒนากำลังรับแรงอัดต่อระยะเวลาบ่ม

การศึกษาเวลาในการบ่มที่มีผลต่อ กำลังรับแรงอัด โดยผสมของเสียปริมาณต่างๆ กันและผสมน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 และผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติกลงร้อยละ 20 โดยปริมาตร พบว่าระยะเวลาบ่มมีผลในการเพิ่มกำลังรับแรงอัด ในทุกตัวอย่างคือเวลาในการบ่มจะเพิ่มมากในช่วง 7 วันแรกและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น หลังจากบ่มแล้ว 28 วัน ทั้งนี้ของเสียที่ผสมลงไปนั้นมีผลไม่มากนักต่อพฤติกรรมการเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต หลังจากบ่ม 7,14 และ 28 วันเลย ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6 เมื่อมีการเปลี่ยนส่วนผสมแล้วใช้ขนาดของเสียขนาด

ต่างๆ กัน คือขนาดเล็กกว่า 2.36,ขนาดใหญ่กว่า 2.36 แต่เล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่กว่า 4.75 แต่เล็กกว่า 9.4 มิลลิเมตร แล้วได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.6 คือ ขนาดของเสียไม่มีผลต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัด



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อระยะเวลาในการบ่มและอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35

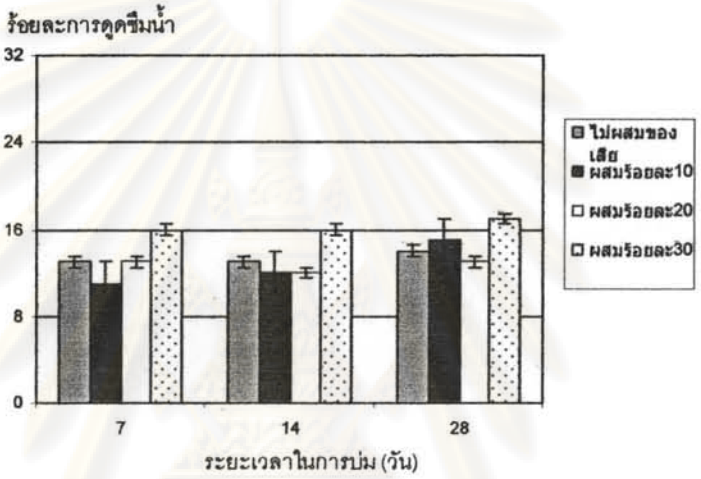


ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อระยะเวลาในการบ่มและอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35

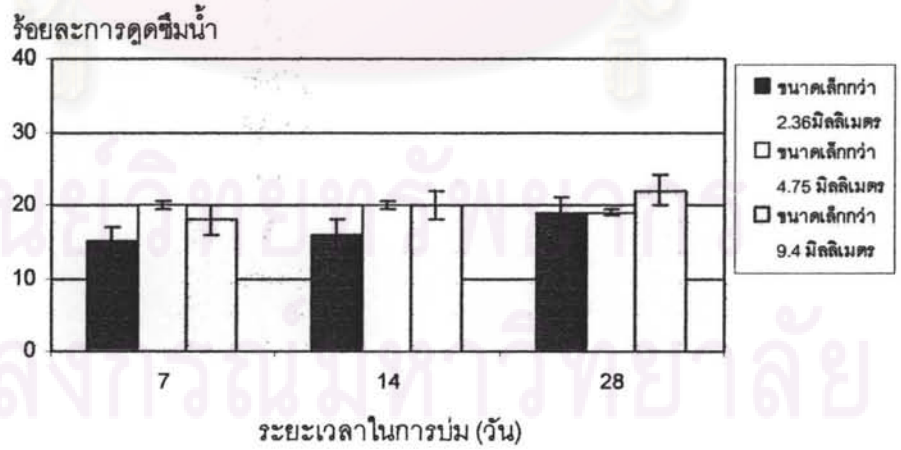
4.2.2 การดูดซึมน้ำ

จากภาพที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการดูดซึมน้ำของตัวอย่าง ของก้อนคอนกรีตเบา ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน และแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดระหว่าง 4.75 ถึง

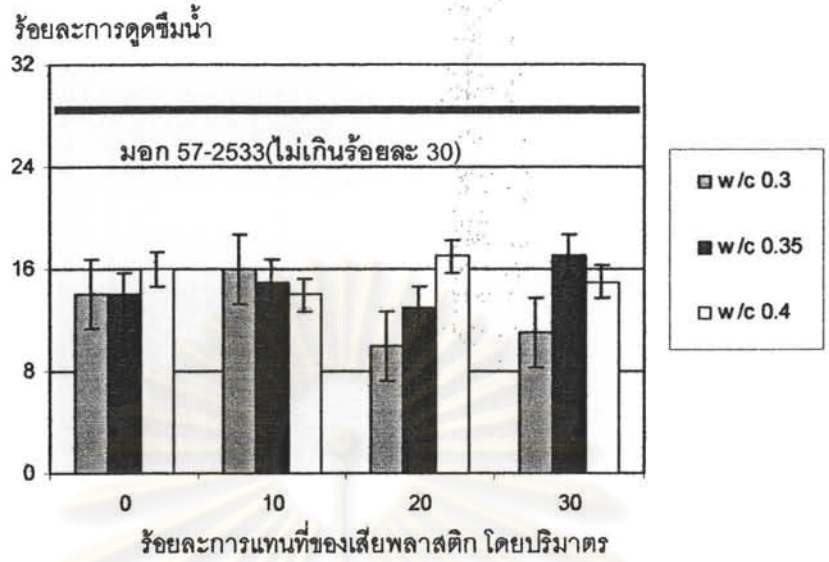
9.4 มิลลิเมตร พบว่ามื่อมีเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น ร้อยละการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ เป็นเพราะว่าตัวคอนกรีตต้องการใช้น้ำในปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมากขึ้นนั่นเอง จึงทำให้ก้อนคอนกรีตดูดซึมน้ำมากขึ้น ขนาดของของเสียที่แทนที่เล็กลงจึงไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำ และจากภาพ 4.9 แสดงร้อยละการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตเบาที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของเสียลงในคอนกรีตเบาเพิ่มขึ้นแล้ว ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากของเสียประเภทฉลากพลาสติกนี้มีการดูดซึมน้ำน้อยมาก ซึ่งจากการทดสอบเมื่อเทียบกับค่าการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก 57-2533) แล้วพบว่าค่าดังกล่าวได้ผ่านมาตรฐานในทุกๆ ค่า



ภาพที่ 4.7 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่อระยะเวลาในการบ่มต่างๆกัน โดยแทนด้วยฉลากของเสียที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.36 แต่เล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.8 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่อระยะเวลาในการบ่มต่างๆ กัน



ภาพที่ 4.9 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่อร้อยละการแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกต่างๆ กัน ที่เวลาบ่ม 28 วัน

ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดทำให้ทราบว่า การใช้ของเสียผสมลงในคอนกรีตเบานั้นสามารถทำได้ แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถแทนที่ลงไปได้มากนัก ทั้งนี้เป็นเพราะการที่แทนที่ของเสียลงไปทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงนั่นเอง โดยของเสียที่แทนที่ได้ประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร และขนาดที่พอเหมาะคือขนาดใหญ่กว่า 4.75 แต่เล็กกว่า 9.4 มิลลิเมตร และเวลาที่พอเหมาะในการบ่มตัวอย่าง คือ ระยะเวลาในการบ่มอย่างน้อย 28 วัน

ผลการทดลองดังกล่าวค่อนข้างสอดคล้องและเป็นไปตาม งานวิจัยหลายๆ ชิ้นงานที่ได้ทำการศึกษาไว้เช่น Payakapo P. และ Payakapo M. (2008) Jo และคณะ (2008) และ Ismail และ AL-Hashmi (2007) ซึ่ง งานวิจัยเหล่านี้ได้ผลในทำนองเดียวกันคือ สามารถใช้ของเสียแทนที่ลงในคอนกรีต เพื่อใช้ในงานก่อสร้างได้ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยทั้งหลายขั้นต้นสามารถ แทนที่ของเสียได้น้อยกว่าหากเทียบร้อยละโดยมวล ทั้งนี้มีสาเหตุที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย คือ ปัจจัยที่หนึ่ง คือ การที่ใช้ของเสียต่างประเภทกัน โดยลักษณะเฉพาะตัวของของเสียนั้นต่างกัน เช่น ความหนาแน่น องค์ประกอบทางเคมี ทำให้กำลังรับแรงอัดไม่ลดต่ำลงมากดังเช่นการทดลองนี้ ปัจจัยที่สอง ชิ้นงานคอนกรีตที่ทำเป็นคนละประเภทกัน เช่น เป็นการใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้าง หรือคอนกรีตปูประสาน หากนำมาเปรียบเทียบกับ คอนกรีตเบาทำให้เปรียบเทียบผลได้ไม่ชัดเจน

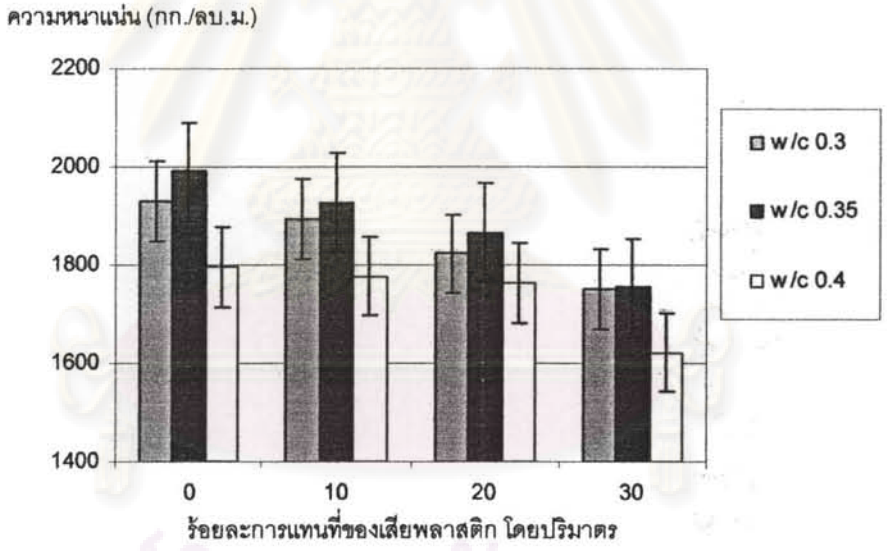
4.2.3 ค่าความหนาแน่น

การทดลองเรื่องความหนาแน่นของตัวอย่างทรงลูกบาศก์ ที่เวลาบ่มต่างๆ กันคือ 7, 14 และ 28 วัน แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดระหว่าง 4.75 ถึง 9.4 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่

ทำการทดลอง มีค่าระหว่าง 1,600-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ซึ่งพบว่าปริมาณของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่แทนที่ลงในมีผลต่อความหนาแน่นคือทำให้ความหนาแน่นลดลง เมื่อมีการแทนที่เพิ่มขึ้น

เมื่อออกแบบส่วนผสมเพื่อใช้ในการทดลองเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมพบว่า ความหนาแน่นลดลง ซึ่งมีค่าระหว่าง 1,300-1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าขนาดของเสียประเภทฉลากพลาสติก มีผลต่อความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด ซึ่งขนาดที่เหมาะสมต่อการแทนที่ในคอนกรีตเบาที่สุดคือ ขนาดเล็กกว่า 9.4 แต่ใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับ เพราะเมื่อพิจราณาจากความหนาแน่นที่เท่ากัน พบว่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า ส่วนขนาดที่เหมาะสมรองลงมาคือ ขนาดระหว่าง 2.36 ถึง 4.75 มิลลิเมตร และ ขนาดเล็กกว่า 2.36 มิลลิเมตร ตามลำดับ หากพิจารณาจะพบว่าผลเป็นเช่นเดียวกับขนาดของเสียที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดทั้งนี้เป็นเพราะว่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นมีการแปรผันตรงซึ่งกันและกัน

โดยปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นคือ เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกแล้วความหนาแน่นก็จะลดลง และอีกปัจจัยหนึ่งคือ ขนาดของเสียที่เล็กลงก็จะส่งผลให้ความหนาแน่นลดลงเช่นกัน



ภาพที่ 4.10 ความหนาแน่นต่อร้อยละการแทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติก ที่เวลาบ่ม 28 วัน

4.2.4 การหดตัวแบบแห้ง

ผลการทดลองพบว่า การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่ทำการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างตัวอย่างที่ผสมและไม่ได้ผสมของเสียฉลากพลาติก โดยมีค่าการหดตัวแบบแห้งร้อยละ 0.024 ถึง 0.047 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งหมายความว่า ตัวอย่างที่ทดลองมีการหดตัวแบบแห้งมีค่าการหดตัวน้อย และสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้

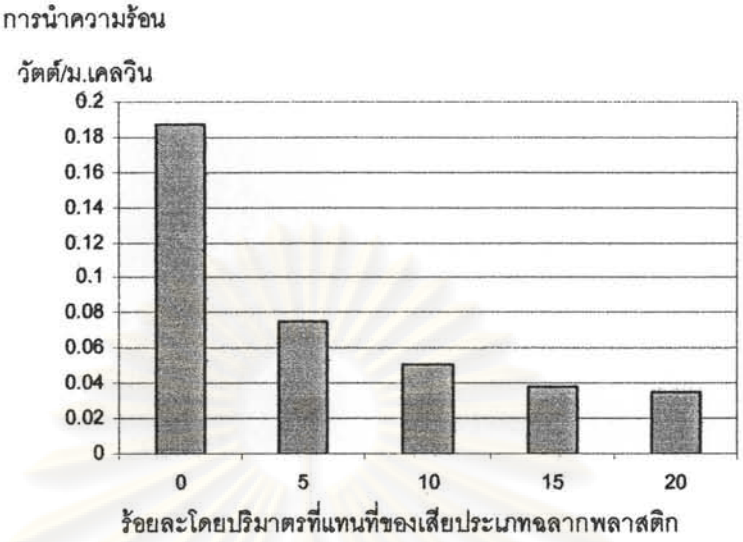
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบอัตราส่วนเปลี่ยนแปลงความยาว

เวลาในการบ่ม (วัน)	การหดตัวแบบแห้ง เมื่อผสมของเสีย ร้อยละ 20 โดยปริมาตร (ไมโครเมตร)	ร้อยละการหดตัวแบบแห้ง	การหดตัวแบบแห้ง เมื่อไม่ใส่ของเสีย (ไมโครเมตร)	ร้อยละการหดตัวแบบแห้ง
1	100	0.03	72	0.024
4	115	0.038	80	0.027
11	137	0.045	109	0.036
18	140	0.047	113	0.037
25	141	0.047	115	0.038

4.2.5 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนโดยวิธี ASTM C-177-04 แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดระหว่าง 4.75 ถึง 9.4 มิลลิเมตร และใช้เวลาในการบ่ม 28 วัน ซึ่งโดยปกติแล้วค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ คอนกรีตเบาจะมีค่าประมาณ 0.08 ถึง 0.15 วัตต์/ม.เคลวิน Payakapo P.และ Payakapo M. (2008) จากการทดลองพบว่าปริมาณของเสียที่แทนที่มีผลต่อการนำความร้อนของคอนกรีตเบาอย่างชัดเจน คือของเสียประเภทพลาสติกสามารถทำให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งการลดลงนี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มของพลาสติกนั้นมีผลทำให้การเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้น โดยพบว่าสามารถลดการนำความร้อนลงจาก 0.2 เป็น 0.05 วัตต์/ม.เคลวิน (ภาคผนวก ข) ทั้งนี้การเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้นเป็นไปได้ 2 สาเหตุ คือ การเกิดฟองอากาศที่เพิ่มขึ้นในคอนกรีต และ ของเสียประเภทฉลากพลาสติกสามารถเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่ามวลรวม ด้วยปัจจัยทั้งสองนี้จึงทำให้การแทนที่พลาสติกส่งผลให้การเป็นฉนวนกันความร้อนดีขึ้นนั่นเอง ดังแสดงในภาพที่ 4.11

ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มของค่าการเป็นฉนวนกันความร้อน คือ ช่องว่างในคอนกรีต และ คุณสมบัติเฉพาะตัวของของเสียประเภทฉลากพลาสติก ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับตัวคอนกรีตเบาที่มีขายตามท้องตลาดแล้ว คอนกรีตเบาที่แทนที่ร้อยละ 15 และ 20 นั้นมีค่าการนำความร้อนที่น้อยกว่าอย่างชัดเจน



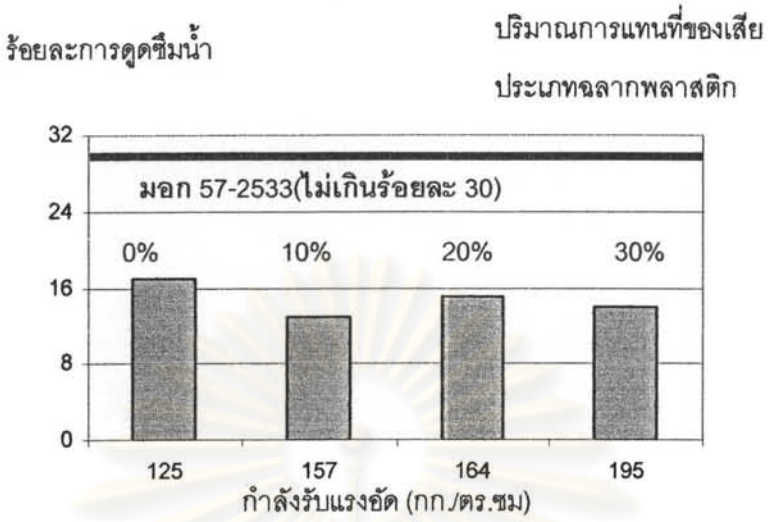
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนต่อร้อยละโดยปริมาตรที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติก

จากผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียว กับ Yesilata และคณะ (2009) ได้ทดลองใช้ของเสียประเภทพลาสติกประเภทโพลิเอทิลีนและเศษยางรถยนต์ทำเป็นวัสดุผสมลงคอนกรีต โดยของเสียที่แทนที่มีรูปทรงต่างๆ กัน 5 รูปแบบ จากนั้นจึงนำตัวอย่างมาทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าของเสียประเภทฉลากพลาสติกโพลิเอทิลีนและเศษยางรถยนต์ สามารถเพิ่มคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ประมาณร้อยละ 10.52 ถึง 18.16 ซึ่งปัจจัยที่มีผลกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนคือปริมาณของเสียที่ทดแทน ประเภทของเสียและรูปทรงของเสียที่ทดแทน

4.3 วิเคราะห์ภาพรวมของคุณสมบัติคอนกรีตเบา

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำและกำลังรับแรงอัด

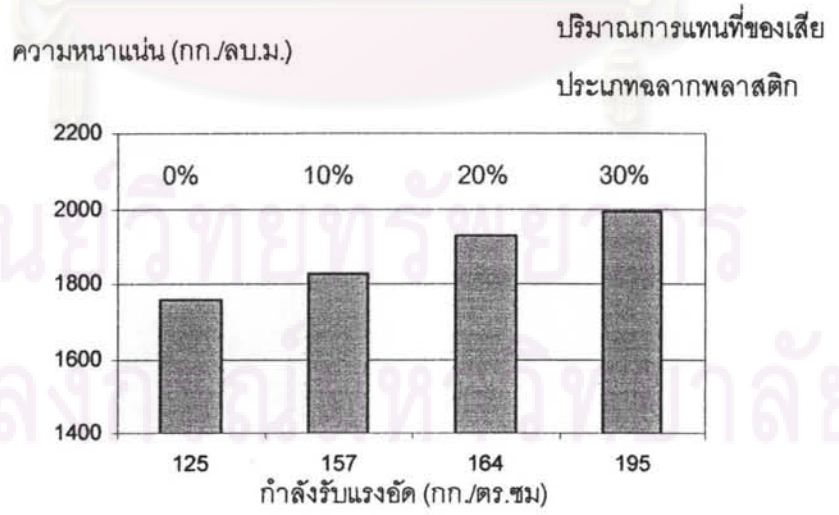
จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำและกำลังรับแรงอัดโดยวิเคราะห์ค่าโดยใช้อัตราน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 และมีการแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกร้อยละ 0 ถึง 20 โดยปริมาตร แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดระหว่าง 4.75 ถึง 9.4 มิลลิเมตร และใช้เวลาบ่ม 28 วัน นั้นพบว่าการเพิ่มการแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกลงในคอนกรีตเบา ไม่มีผลให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นหรือลดลง และการดูดซึมน้ำไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดเช่นกัน โดยกำลังรับแรงอัดที่ต่างกันมีค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าของเสียประเภทฉลากพลาสติกนั้นมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำต่อกำลังรับแรงอัด

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัด

จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดโดยค่าโดยใช้อัตราน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดระหว่าง 4.75 ถึง 9.4 มิลลิเมตร และใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน โดยค่าที่ส่งผลดีต่อคอนกรีตเบา คือ ความหนาแน่นต่ำและกำลังรับแรงอัดสูงหรือไม่ทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง อย่างไรก็ตามผลการทดลองคือเมื่อมีการเพิ่มการแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติก มีแนวโน้มทำให้ความหนาแน่น และ กำลังรับแรงอัดต่ำลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณการแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติก ดังแสดงในภาพที่ 4.13



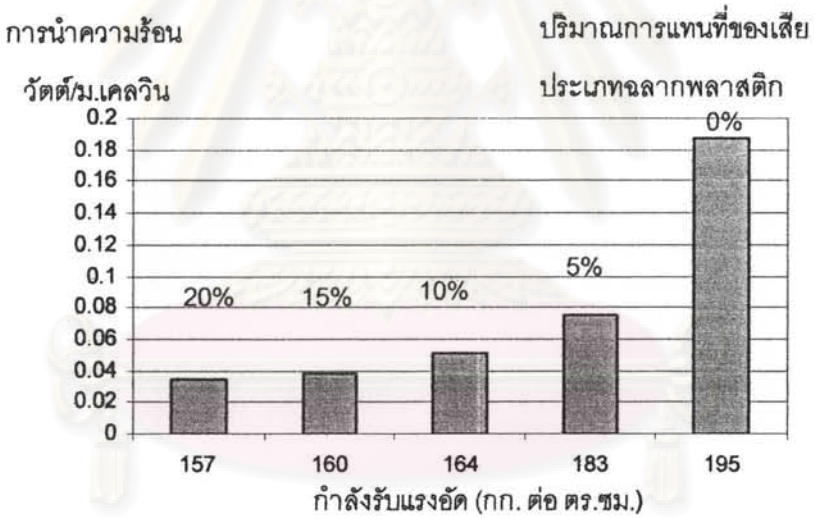
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นต่อกำลังรับแรงอัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนและกำลังรับแรงอัด

จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนและกำลังรับแรงอัดโดยค่าโดยใช้อัตราน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดระหว่าง 4.75 ถึง 9.4 มิลลิเมตร และใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.14 ทั้งนี้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน มีความสันพันธ์กันคือ กำลังรับแรงอัดที่น้อย มีค่าการนำความร้อนที่น้อยเช่นกัน เหตุผลเป็นเพราะ ของเสียประเภทพลาสติกที่แทนที่ส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง ทำให้เกิดช่องว่างในคอนกรีตเบาและทำให้การนำความร้อนน้อยลงนั่นเอง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มการแทนที่ฉลากของเสียประเภทฉลากพลาสติกลงในคอนกรีตเบา ทำให้กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นต่ำลดลง แต่ส่งผลให้การเป็นฉนวนกันความร้อนดีขึ้น โดยพอจะอธิบายได้ว่าการเพิ่มฉลากของเสียประเภทฉลากพลาสติก ส่งผลสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามกลับทำให้สามารถของกำลังรับแรงอัดได้ต่ำลง



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนต่อกำลังรับแรงอัดที่ร้อยละการผสมต่างๆ กัน

4.4 ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำของเสียประเภทฉลากมาผลิตคอนกรีตเบา

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้คำนึงถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างจริง ด้วยดังนั้นจึงต้องมีคำนวณ ราคาค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัสดุในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยแสดงราคาวัสดุผสมในหน่วยราคาต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ ซึ่งมีสัดส่วนดังตารางที่ 4.6 และนำอัตราส่วนที่ออกแบบดังกล่าวไปประเมินราคาในการผลิตคอนกรีตเบา (เดือน เมษายน พ.ศ. 2552)

ตารางที่ 4.5 ราคาของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	หน่วยราคา (บาทต่อกิโลกรัม)
ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	2.40
ทราย	0.20
น้ำ	0.02
โฟม	100

ตารางที่ 4.6 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตเบา

รายการ	อัตราส่วนที่ใช้
น้ำต่อวัสดุประสาน	0.35
ร้อยละของเสียที่แทนที่	20
ขนาดของเสีย (มิลลิเมตร)	4.75
ร้อยละโฟมโดยปริมาตร	40
เวลาในการบ่ม (วัน)	28

คำนวณราคาต้นทุนการผลิตคอนกรีตเบา

คอนกรีตเบา มีหลายๆ ขนาดต่างๆ กัน โดยการคำนวณจะใช้ขนาดในการคำนวณต้นทุน คือขนาด 600 มิลลิเมตร x 200 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยคอนกรีตเบาที่ขายตามท้องตลาดนั้นมีน้ำหนักต่อก้อนประมาณ 8 กิโลกรัม เมื่อคำนวนค่าใช้จ่ายต่อก้อนแล้ว จึงได้รายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 4.7 โดยพิจารณาในส่วนผสมที่เหมือนกัน แต่ส่วนผสมแรกไม่ผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติก และส่วนผสมถัดมามีการผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติก โดยพบว่าการผสมทำให้ราคาของคอนกรีตบล็อกลดลงประมาณก้อนละ 0.70 บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 การคำนวณราคาคอนกรีตเบา

วัสดุ	คอนกรีตบล็อกที่มีไม่ผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติก		คอนกรีตบล็อกที่ผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติก	
	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	7.2	17.28	6	14.4
ทราย	6	2.16	9	1.8
น้ำ	2.4	0.48	2	0.04
โฟม	-	-	0.03	3
ฉลากของเสียประเภทฉลากพลาสติก	-	-	0.2	-
รวม		19.92		19.24

หมายเหตุ - ไม่ได้ผสมลงในส่วนผสมคอนกรีตเบาหรือไม่มีมูลค่า

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่ของค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตเบาแล้วจะพบว่าการผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติก นั้นสามารถทำให้ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตเบาลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามการผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติกลงไป ทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงเช่นเดียวกัน

ผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ของเสียประเภทฉลากพลาสติกนั้นสามารถแทนที่ลงในคอนกรีต เพื่อใช้ทำคอนกรีตเบาได้ โดยพบว่าปริมาณของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่แทนที่ได้สูงสุดสามารถแทนที่ได้ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร และของเสียขนาดที่เหมาะสมคือขนาด ใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร แต่เล็กกว่า 9.4 มิลลิเมตร โดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า 110 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่าการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าร้อยละ 30 เมื่อทำการบ่ม 28 วัน ซึ่งเป็นค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำนี้ เทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มอก 57-2533

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติก มาใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัสดุประสาน มาใช้ทำคอนกรีตเบา โดยมีผลการทดลองต่างๆ ดังนี้

1. ของเสียประเภทฉลากพลาสติกสามารถแทนที่ลงในคอนกรีตเบาได้ โดยการแทนที่มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยทำให้คุณสมบัติ ทางกำลังรับแรงอัดต่ำลง การหดตัวแบบแห้ง ไม่แตกต่างกับคอนกรีตเบาปกติ และการนำความร้อนลดลง โดยกำลังที่ลดลงเกิดจากของเสียประเภทฉลากพลาสติกทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นลดลง ทั้งนี้ขนาดของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่มีขนาดใหญ่เมื่อแทนที่ลงในคอนกรีตเบา พบค่ากำลังรับแรงอัดของอนกรีตเบามากกว่าของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดเล็ก เพราะของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดใหญ่มีค่าการยึดเกาะระหว่างอนุภาคดีกว่าขนาดเล็ก

2. อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติก มาใช้ในการผสมเพื่อทำคอนกรีตเบา คือ อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ ต่อ ทราย เท่ากับ 1:1.5 โดยน้ำหนัก และ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 และสามารถผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติกลงไปได้ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตรขนาดระหว่าง 4.75 ถึง 9.4 มิลลิเมตร

3. สมบัติทางกายภาพของคอนกรีตเบาที่ผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติกนั้นมีสมบัติใกล้เคียงกับคอนกรีตเบา ในแง่ของลักษณะภายนอก กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำ

4. คอนกรีตเบาที่ผสมด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกมีต้นทุนต่อก้อน ประมาณ 19.24 บาทต่อก้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประโยชน์ในทางประยุกต์ใช้

จากการทดลองพบว่าการใช้ของเสียประเภทฉลากพลาสติก สามารถแทนที่ลงในคอนกรีตเบา ดังนั้นจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

1. การประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม อาจเปลี่ยนไปใช้ในงานก่อสร้างอื่นๆ เช่น งานวิศวกรรมฐานราก เพราะหากใช้ในงานที่ใกล้ชิดกับมนุษย์มากนักอาจไม่เป็นที่นิยม ด้วยสาเหตุที่อาจไม่เป็นที่พอใจเรื่องความสวยงาม และ ความกังวลเรื่องความปลอดภัย

2. ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่แทนที่ลงในมวลรวมนั้น พบว่าเมื่อผสมของเสียประเภทฉลากพลาสติกแล้วพบว่ามีกำลังลดลงค่อนข้างมาก แต่ราคาวัสดุที่ลดลงค่อนข้างน้อย อาจไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ดังนั้นหากจะมีการศึกษาต่อ อาจมีการศึกษาในแง่การใช้เป็นฉนวนความร้อน โดยไม่ผสมลงไปในคอนกรีต โดยตรงเพื่อไม่ให้คอนกรีตนั้นเสียกำลังรับแรงอัดไป

3. การศึกษาเรื่องการนำเอาของเสียมาใช้ร่วมกับคอนกรีต หรือ คอนกรีตเบา หากพิจารณาในแง่ของกำลังรับแรงอัด สามารถใช้ร่วมกับของเสียอื่นๆ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือทางกายภาพ ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ มวลรวมละเอียดหรือมวลรวมหยาบ น่าจะไม่ทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำลงมากนัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกศสุชา พูลคำ. 2537. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คันธนา สุยะพล ปรีชา แก้วสรรค์ และ ภารกิจ ละอองทอง. 2546. คอนกรีตมวลเบาผสมกระดาษปริญญานิพนธ์. ภาควิชาก่อสร้างและงานไม้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชาตรี สาวทรัพย์. 2551.การใช้ประโยชน์เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลในการผลิตคอนกรีตมวลเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. 2540. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค.

นรารัชต์พร นวลสวรรค์. 2551. การนำของเสียประเภทฉลากมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน-ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นัฐวุฒิ ทิพย์โยธา เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย ธนภร ทวีวุฒิ และวิวัฒน์ พัวทัศนานนท์. 2550. การออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า.การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 4, สมาคมคอนกรีตไทย, อุบลราชธานี, ตุลาคม 2551

บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา พนม สนิทบุญ วันวิสาข์ เจติย์ภัทรนาท และ โยธิน อึ่งกูล. 2550. การศึกษาการใช้เพอร์ไลต์ที่เหมาะสมกับคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ . การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 4, สมาคมคอนกรีตไทย, อุบลราชธานี, ตุลาคม 2551.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2547. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สมาคมคอนกรีตไทย.

ผุสดี แพทย์นุเคราะห์. 2546. การนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วและควอร์เตอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงค์ชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสีรีมาโซล แบล็ค บี มาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนัง.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุวรัตน์ ช้อนพิมพ์ และวรรณพร ธีระศิลป์. 2551. การทำคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากเถ้าถ่านหิน ปริญญานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วินิต ช่อวิเชียร. 2544. คอนกรีตเทคโนโลยี.พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สัมพันธ์พาณิชย์.

วรวุฒิ หะมาน. 2546. การนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาใช้ทำคอนกรีตบล็อก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2544. พลาสติก 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สกายบุ๊กส์.

อุดมผล พืชน์ไพบูลย์. 2546. เทคนิคการวิเคราะห์น้ำ น้ำเสีย และขยะมูลฝอย. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก.57-2533 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2531. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 1. กำหนดวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัด ฝังทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2548. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม.ฉบับที่ 1. การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.

สำนักดัชนีเศรษฐกิจ, ราคาวัสดุก่อสร้าง. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://www.price.moc.go.th (2551, ตุลาคม 15)

บริษัท ฟินิกซเอสดีเอส จำกัด, ตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อตารางเมตร.[ออนไลน์].2553 แหล่งที่มา:www.k-block.com/products.php (2553, มกราคม 28)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

American Society for Testing and Materials. 1996. Standard specification for concrete aggregates. C33-93. Annual book of ASTM standard vol.04.02 section 4:10-16.

American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for bulk unit weight and voids in Aggregate. C29. Annual book of ASTM standard vol.04.02 section 4:21-26.

American Society for Testing and Materials. 2008. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in or 50-mm cube specimens). C109-07. Annual book of ASTM standard vol.04.01 section 4:78-86.

American Society for Testing and Materials. 2008. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate.C127-07. Annual book of ASTM standard vol.04.02 section 4:77-82.

American Society for Testing and Materials. 2008. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate.C128-07a. Annual book of ASTM standard vol.04.02 section 4:83-89.

American Society for Testing and Materials. 2008. Standard specification for Portland cement. C 150-07. Annual book of ASTM standard vol.04.01 section 4:150-155.

American Society for Testing and Materials. 2008. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. C127-07 . Annual book of ASTM standard vol.04.02 section 4:77-82.

American Society for Testing and Materials. 2008. Standard test method for steady-state. Heat flux measurements and thermal transmission properties by mean of the guarded–hot plate apparatus.C177-04. Annual book of ASTM standard vol.04.06 section 4:21-42.

American Society for Testing and Materials. 2008. Standard test method for Dry Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement. C596-07. Annual book of ASTM standard vol.04.01 section 4:342-344.

Batayneh M., Marie I., and Asi I. 2007. Use of selected waste materials in concrete mixes. Waste management. 27: 1870-1876

Bashar T., and Ghassan N. 2008. Properties of concrete contains mixed colour waste recycled glass as sand and cement replacement. Construction and Building Materials. 22 : 713–720.

Bederina, M., Marmoret, L., Mazreb, K., Bali A., and Queneudec, M. 2007. Effect of the addition of wood shaving on thermal conductivity of sand concretes: Experimental study and modeling. Construction and building material, 21: 662-668.

Byung W. J., Seung Kook P., and Jong C. P. 2008. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. Construction and Building Materials. 22 : 2281–2291.

Demirboga, R. 2007.Thermal conductivity and compressive strength of concrete incorporation with mineral admixtures. Building and Environmental, 42: 2467-2471.

Edgell, K. 1989. USEPA Method Study 37-SW-846 method 3050 Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring Systems Laboratory Cincinnati, OH.

Engineer & Science Co., Ltd., and Systems Engineering Co., Ltd.1989. Nation Hazardous Waste Management Plan Office of the Nation Environmental Board, Ministry of Science. Technology and Energy, Kingdom of Thailand.

Ismail, Z. Z., and AL-Hashmi, E. A. 2007, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, Waste Management 28: 2041-2047

LaGrega, M.D., Buckingham, P. L., and Evans, J.C. 1994. Stabilization and solidification. In P.H. King (ed.), Hazardous waste management, pp. 641-704. Singapore: McGraw-Hill book.

Payakapo P., and Payakapo M. 2008. Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete. Waste Management 28: 1581–1588.

Shamaran M., Christianto H., and Yaman I. 2005 (October). The effect chemical admixture and mineral additives on the properties of self compacting mortar. Cement and concrete composites.

Shannag M.J., and Yeginobali, A. 1995. (April). Properties of pastes, mortars and concretes containing natural pozzolan. Cement and concrete research vol. 25 no. 3: 647-657.

Yesilata, B. Isiker, Y., and Turgut, P. 2009. Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET. Construction and building material, 23: 1878-1882.

Unal, O., Uygunoglu, T., and Yildiz, A. 2007.Investigation of properties of low strength light weight concrete for thermal insulation. Building and Environmental, 42: 548-590.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
วิธีการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเสียจากฉลาก ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น

อ้างอิงตามมาตรฐานวิธีมาตรฐานของ USEPA.3050

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมด ในของเสียประเภทฉลากโดยย่อยของเสียจากฉลากในกรดไนตริกอย่างรุนแรงดังนี้

1. นำตัวอย่างของเสียจากฉลาก 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เติมกรดไนตริกผสมน้ำกลั่น (อัตราส่วน 1:1) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร.แล้วนำบีกเกอร์มาตั้งบนเตา อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ประมาณ 10 นาที
3. รอจนตัวอย่างเย็นแล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร แล้วนำมาตั้งบนเตาอีกประมาณ 30 นาที
4. รอจนตัวอย่างเย็น แล้วจึงเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และเติม 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 มิลลิลิตร
5. นำบีกเกอร์มาตั้งบนเตา รอจนกระทั่งฟองอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาเปอร์ออกไซด์หายไป แล้วค่อยๆ เติม 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทีละ 1 มิลลิลิตร จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศ
6. ตั้งบีกเกอร์บนเตาต่อไปจนกระทั่งเหลือปริมาตรกรดประมาณ 2 มิลลิลิตร
7. นำบีกเกอร์ลงจากเตาแล้วเติมน้ำกลั่นประมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน รอจนตัวอย่างเย็น
8. นำน้ำที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42
9. นำน้ำที่ได้มาเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.2 การหาค่าหน่วนน้ำหนักและช่องว่างของวัสดุผสม

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C29, 2008

1. ทำโดยการใส่มวลรวมในถังเหล็กทรงกระบอก

2. ชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาตรถัง แล้วคำนวณหาค่าหน่วยน้ำหนัก (Bulk Unit Weight) จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมวลรวมกับปริมาตรของถัง

3. ค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตรนั้นเป็นค่าหน่วยน้ำหนักแบบ Bulk Unit Weight ทั้งนี้เพราะในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถทำให้มวลรวมอัดแน่นในเนื้อคอนกรีตจนไม่มีช่องว่างระหว่างมวลรวมได้ (Voids)

การคำนวณ

$$\text{ค่าความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างสุทธิ}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.3 การหาค่าการดูดซึมน้ำของทรายและของเสียประเภทฉลาก

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C128-07a, 2008

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้วัสดุประมาณ 1 กิโลกรัม ในถาดขนาดพอเหมาะ เทน้ำให้ท่วมวัสดุเล็กน้อย ทิ้งไว้ให้ดูดซึมเป็นเวลา 24 $\pm$ 4 ชั่วโมง

2. เกลี่ยตัวอย่างวัสดุให้ทั่วถาดทิ้งไว้กลางแจ้ง ที่มีลมพัดและกวนตัวอย่างเป็นระยะๆ เพื่อให้แห้งทั่วกันจนกระทั่งวัสดุเริ่มไหลได้อย่างอิสระ (Free flow)

3. เทตัวอย่างใส่แบบหล่อกรวยมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบน 40$\pm$ 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางล่าง 90 $\pm$ 3 มิลลิเมตร และสูง 75 $\pm$ 3 มิลลิเมตร แล้วกระทุ้งเบาๆ ที่ผิวหน้า

4. ดึงแบบหล่อออกในแนวดิ่ง ถ้าวัสดุยังคงรูปกรวยอยู่แสดงว่ายังมีความชื้นอยู่ที่ผิว นำไปไว้กลางแจ้งอีกครั้งและกวนเป็นระยะๆ

5. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 และ 4 จนกว่าเมื่อยกแบบหล่อกรวยออกตัวอย่างวัสดุยุบตัวหรือล้ม (ถือว่าวัสดุในขณะนี้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

6. ชั่งน้ำหนักของวัสดุที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งและอบแห้ง

7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุ

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = [(B-A) / A] \times 100$$

โดยที่ A = น้ำหนักของวัสดุอบแห้ง(Oven dry weight)

B = น้ำหนักของวัสดุที่สภาวะอิ่มตัวที่ผิวแห้ง (Saturated surface dry weight)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.4 การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C109-07 , 2008

ขั้นตอนการทดลอง

เตรียมแบบหล่อตัวอย่าง

1. ทาน้ำมันบางๆ ที่ผิวด้านในของแบบหล่อกับฐาน
2. ทาน้ำมันชนิดเข้มข้นหรือจารบีระหว่างตัวแบบหล่อกับฐาน
3. เช็ดน้ำมันส่วนเกินออกจากแบบหล่อ
4. ใช้จารบีทารอยต่อระหว่างแบบหล่อกับฐานที่ด้านนอก

การหล่อก้อนตัวอย่าง

1. หล่อก้อนตัวอย่างโดยใช้ขนาดแบบหล่อ 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยชั่งวัสดุที่ใช้ตามอัตราส่วนที่ต้องการทดสอบโดยให้ ได้ปริมาณ 3 ตัวอย่าง ในแต่ละการผสม
2. การผสมใช้วิธีการผสมโดยเครื่องผสม โดยผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน
3. เอาส่วนผสมลงในแบบหล่อ ภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 วินาที หลังการผสมแล้ว การหล่อจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกหนา ประมาณ 1 นิ้ว แล้วใช้แท่งกระทุ้ง ชั้นละ 16 ครั้งโดย 8 ครั้ง แรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลังให้แรงกระทุ้งพอประมาณ และเท่ากันตลอด ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที เติมส่วนผสมชั้นที่ 2 ให้ เลยขอบแบบหล่อเล็กน้อย และใช้มือป้องขณะกระทุ้งใช้ แท่งกระทุ้ง กระทุ้ง 16 ครั้ง เช่นเดียวกับครั้งแรก เมื่อเสร็จแล้วให้ใช้เกรียงปาด ส่วนเกินออกในลักษณะคล้ายเลื่อย

4.หลังจากหล่อเสร็จให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันที และถอดแบบในเวลา 24 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างต่อจนครบระยะเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยค่าความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตารางที่ ผ.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.1 การหาค่ากำลังรับแรงอัดให้กระทำในช่วงเวลาคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

เวลาที่ทดสอบ	ช่วงเวลาคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
1 วัน	± ½ ชั่วโมง
3 วัน	± 1 ชั่วโมง
7 วัน	± 3 ชั่วโมง
28 วัน	± 12 ชั่วโมง

นำก้อนตัวอย่างที่จะทดสอบ วัดพื้นที่หน้าตัดที่จะให้แรงกด โดยใช้ด้านที่สัมผัสกับแบบหล่อ เช็ดผิวหน้าทั้ง 2 ด้าน ให้สะอาดปราศจากเม็ดทราย ผิวหน้าของเครื่องมือทั้ง 2 ด้านที่สัมผัสกับก้อนตัวอย่างจะต้องเรียบ ในการให้กดกับแท่งตัวอย่าง จะต้องอยู่ในแนวศูนย์กลางของเครื่อง โดยเวลาที่ใช้ในการทดสอบควรอยู่ที่ 20 – 80 วินาที

การคำนวณ

บันทึกค่าแรงกดสูงสุดจากเครื่องกดและคำนวณในหน่วยของ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยให้คำนวณความละเอียดถึง 0.1 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร หรือกิโลปาสคาล โดยคำนวณความละเอียดถึง 10 กิโลปาสคาล

ก้อนตัวอย่างที่ไม่สมบูรณ์ในการทดสอบแต่ละครั้ง หากมีผลการทดสอบของก้อนตัวอย่างใดที่มีค่าเบี่ยงเบนเกินกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย ควรตัดผลการทดสอบนั้นออกและนำก้อนใหม่มาวัดแทน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.5 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C150-07, 2008

ขั้นตอนการทดลอง

1. เติมน้ำมันก๊าซลงในขวดชาเตอร์ลิเอร์ จนกระทั่งน้ำมันก๊าด อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 มิลลิลิตร

2. บันทึกค่าปริมาตร อุณหภูมิและน้ำหนักน้ำมันก๊าด

3. ชั่งน้ำหนักซีเมนต์ให้มีความละเอียดอย่างน้อย 0.05 กรัม (ประมาณ 64 กรัม สำหรับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ที่มีอุณหภูมิเดียวกันกับ อุณหภูมิของน้ำมันก๊าด

4. เติมปูนซีเมนต์ลงในขวดแก้วทีละน้อย ระวังอย่าให้ปูนซีเมนต์ติดข้างขวด เมื่อปูนซีเมนต์จมอยู่ในน้ำมันก๊าดทั้งหมด จึงปิดฝา (Ground Glass Stopper) แล้วไล่อากาศโดยเอียงขวด เป็นวงกลมในแนวราบแล้วกลิ้งไปมาอย่างช้าๆ จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศขึ้นมาจากน้ำมันก๊าดอีก

5. วางขวดแก้วตั้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิอีกครั้ง จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดคงที่และแตกต่างกับที่อ่านครั้งแรกไม่เกิน 0.2 องศาเซลเซียส จึงบันทึกค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าด นำไปชั่งบันทึกค่าน้ำหนัก เสร็จแล้วนำขวดไปล้างโดยใช้น้ำมันก๊าด

การคำนวณ

ความหนาแน่นของซีเมนต์ (Density of Cement)

$$\rho = Wc / Vc$$

ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (Specific Gravity of Cement)

$$Gc = Wc/ (Vc) * (\gamma w)$$

โดยที่ Wc = น้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ใช้ (กรัม)

Vc = ปริมาตรของปูนซีเมนต์จากการแทนที่ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

γw = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (มีค่าเท่ากับ 1 กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.6 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของทราย

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C128-07a, 2008

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำมวลรวมหยาบที่เก็บมาประมาณ1,000 กรัม โดยวิธีการแบ่งสี่ (Method of Quartering) ร่อนเอาส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

2. ชั่งน้ำหนักของวัสดุจนคงที่ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งและอบที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งให้เย็นประมาณ 1-3 ชั่วโมง

3. จากนั้นนำมวลรวมหยาบไปแช่ไว้ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. เป่ามวลรวมด้วยเครื่องเป่าผมจนอยู่ในสภาวะไหลอิสระ (Free – Flowing)

5. การทดสอบสภาวะไหลอิสระทำโดยการเทมวลรวมละเอียดลงในกรวยทรายจนเต็ม แล้วกระทุ้งเบาๆ จำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกกรวยขึ้นตรงๆ หากมีความชื้นที่ผิวอยู่ยังคงเป็นรูปกรวย ให้ใช้เครื่องเป่าจนอยู่ในสภาพไหลอิสระ ซึ่งเรียกว่าสภาวะอิ่มตัวที่ผิวแห้ง

6. เทมวลรวมลงไปในกระบอกตวง 500 กรัม จนถึงขีดระดับประมาณ 450 มล.

7.นำกระบอกตวง ตามข้อที่6 ไปแช่ในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ประมาณ 23$\pm$ 1.7 องศาเซลเซียส แล้วเขย่ากระบอกตวงเพื่อไล่ฟองอากาศออกเติมน้ำจนถึงระดับ 500 มล. แล้วทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่

8. ชั่งหาน้ำหนักกระบอกตวง มวลรวมและน้ำทั้งหมด

9.เทมวลรวมละเอียดออกจากกระบอกตวงใส่ในถาดโลหะ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ (อบประมาณ 24 ชั่วโมง) จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 – 1 ½ ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่แห้ง

10. ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำที่ระดับ 500 มล. ที่มีอุณหภูมิประมาณ 23 องศาเซลเซียส

การคำนวณ

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ (Oven-Dried) ได้จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด(Oven-Dried) = A / (B-C)

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมอบแห้ง (กรัม)

B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ (กรัม)

C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งชั่งในน้ำ (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.7 วิธีการสุ่มและวิเคราะห์ตัวอย่างของเสียประเภทฉลากเบื้องต้น

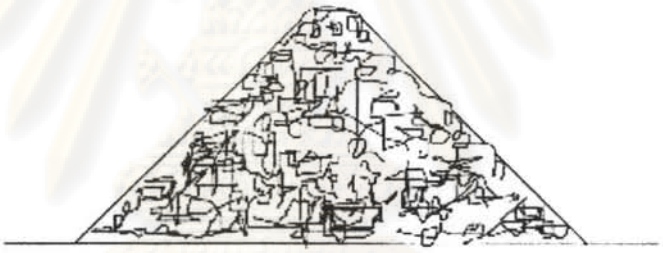
โดยวิธีแบ่งสี่ส่วน (Quartering Method) อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ (2546)

ขั้นตอนการทดลอง

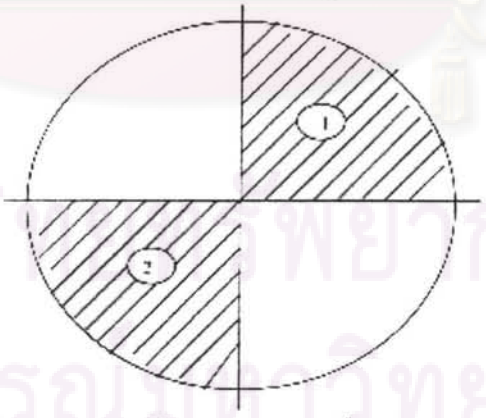
1. นำมูลฝอยมากักเก็บรวมๆ กันประมาณ 1 ลบ.ม. นำไปทดสอบความหนาแน่น แล้วคลุกเคล้ากันให้มากที่สุด ประมาณ 1 ลบ.ม. นำไปทดสอบความหนาแน่น แล้วมาคลุกเคล้ากันให้มากที่สุด

2.แบ่งกองของเสียประเภทฉลากออกเป็น 4 ส่วน โดยเลือกตัวอย่างด้านตรงกันข้ามมารวมกันแล้วคลุกให้เข้ากันอีกหนเพื่อให้องค์ประกอบต่างๆ กระจายอย่างทั่วถึง

3.ส่วนที่เหลือแยกไปทิ้ง จากนั้นทำเรื่อยๆ ตามวิธีที่ 2 จนเหลือตัวอย่าง 50 ลิตร จากนั้นนำมูลฝอยจำนวนนี้ไปทำการแยกองค์ประกอบ และวิเคราะห์ลักษณะอื่นๆ ต่อไป



ภาพที่ ผ.1 ลักษณะการกองของเสียประเภทฉลากให้เป็นรูปกรวยก่อนที่จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน



ภาพที่ ผ.2การแบ่งของเสียประเภทฉลากเป็น 4 ส่วน และเลือกสุ่มมา 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.8 ราคาวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย(www.price.moc.go.th [2008, October])

- ทรายละเอียด	ลูกบาศก์เมตรละ	362.50 บาท
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	ถุงละ	115.30 บาท
- คอนกรีตบล็อกก่อผนังมวลเบา		
ขนาด 20 x 60 x 7.5 ซม. ตราซุปเปอร์บล็อก	ราคาตารางเมตรละ	210.00 บาท
ขนาด 20 x 60 x 10.0 ซม. ตราซุปเปอร์บล็อก	ราคาตารางเมตรละ	280.00 บาท
ขนาด 20 x 60 x 7.5 ซม. ตราคิวคอน	ราคาตารางเมตรละ	195.00 บาท
ขนาด 20 x 60 x 10.0 ซม. ตราคิวคอน	ราคาตารางเมตรละ	260.00 บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ภาคผนวก ก.9</u> การออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตเบา

นัฐวุฒิ ทิพย์โยธา และคณะ (2550)

ขั้นตอนการออกแบบอัตราส่วนผสม

1. กำหนดปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมต่อครั้ง (ใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์)
2. คำนวณหาน้ำหนักของทรายที่ต้องใช้จากอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ที่กำหนดไว้
3. คำนวณหาน้ำหนักของน้ำที่ต้องใช้จากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่กำหนดไว้
4. คำนวณปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุผสมทั้งหมด,V_T

   เมื่อ $V_T = V_C + V_S + V_W$ (1)

   V_C คือ ปริมาตรเนื้อแท้ของซีเมนต์ (ลบ.ม.)

   V_S คือ ปริมาตรเนื้อแท้ของทราย (ลบ.ม.)

   V_W คือ ปริมาตรน้ำ (ลบ.ม.)

   เมื่อ $V = M/(G\rho w)$ (2)

   V คือ ปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ (ลบ.ม.)

   M คือ น้ำหนักของวัสดุ (กก.)

   G คือ ความถ่วงจำเพาะเนื้อแท้ของวัสดุ
5. คำนวณหาปริมาตรที่ต้องการ V_R

   เมื่อ $V_R = M_T/\rho_R$ (3)

   M_T คือ น้ำหนักของวัสดุทั้งหมด (กก.)

   ρ_R คือ ความหนาแน่นที่ต้องการ (กก./ลบ.ม.)
6. คำนวณหาปริมาตรฟองโฟมเหลวที่ต้องใช้ V_F

   เมื่อ $V_F = V_R - V_T$ (4)
7. คำนวณหาปริมาณน้ำรวมน้ำยาโฟมที่ต้องใช้ในการผสม, M_{F+W}

   เมื่อ $M_{F+W} = V_F * 1000 / Q_F$ (5)
8. คำนวณหาปริมาณน้ำยาโฟมที่ใช้, M_F

   เมื่อ $M_{WF} = M_{F+W} / ((W:F)+1)$ (6)
9. คำนวณหาปริมาณน้ำสำหรับผสมน้ำยาโฟม, M_{WF}

   เมื่อ $M_{WF} = M_{F+W} / ((W:F)+1)$ (7)
10. ปรับแก้อัตราส่วนผสม เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักของน้ำและน้ำยาโฟม
11. ปรับแก้อัตราส่วนผสม เนื่องจากความชื้นของทราย
12. ทดลองผสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.10 การทดสอบการนำความร้อน

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C177-04, 2008

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมเครื่องมือที่จะใช้ทดสอบ ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิ แบบ Radiator แท่นยึดอุปกรณ์ เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) นาฬิกาจับเวลา ปากกาเมจิก หนังยาง

2. ทำเครื่องหมายบนก้อนทดสอบ โดยใช้ปากกาเมจิก ทำเครื่องหมายไว้ที่จุดกึ่งกลางของก้อนทดสอบ เพื่อใช้จะเป็นจุดในการวัดอุณหภูมิ

3. เปิดเครื่องให้ความร้อน ที่ตั้งอุณหภูมิเครื่องไว้ที่ 150 องศาเซลเซียส เครื่องวัดอุณหภูมิไปยึดกับแท่นอุปกรณ์ ให้สูงจากเครื่องให้ความร้อน ประมาณ 50 เซนติเมตร ใช้หนังยางรัดบริเวณให้สามารถยิงลำแสงบนจุดที่จะทำการทดสอบได้ และปรับหน่วยของการวัดอุณหภูมิ เป็นองศาเซลเซียส โดยทำการทดลองในห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลาที่ทำการทดลอง

4. วัดอุณหภูมิห้อง บันทึกค่าไว้ แล้ววัดอุณหภูมิ เครื่องวัดอุณหภูมิเครื่องให้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิ สูงถึง 150 องศาเซลเซียส ให้นำก้อนทดสอบมาวางบนก้อนทดสอบ แล้วจึงอ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้

5. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ให้เริ่มทำการจับเวลา และทำการจดบันทึกเวลา เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 35-45 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิ ได้ตามต้องการจึงหยุดการทดลอง

6. ทำการทดสอบก้อนทดสอบต่อไป โดยจัดการทดสอบให้ลำแสงของ เครื่องวัดอุณหภูมิตกที่กึ่งกลางก้อนทดสอบที่ทำเครื่องหมายไว้เสมอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.11 การทดสอบความเปลี่ยนแปลงความยาว

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C177-04, 2008

1. เตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน โดยในการทดลองนี้ใช้ตัวอย่างขนาด 10 x 10 x 30 ตารางเซนติเมตร
2. เทตัวอย่างลงในแบบและทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
3. ทำการบ่มไว้ 48 ชั่วโมง $\pm$ 30 นาที ในสภาพแช่น้ำ
4. ถอดแบบออกจากตัวอย่าง
5. ทำการวัดค่าหลังจากถอดแบบ และวัดค่าที่ 4, 11,\18 และ 25 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ภาคผนวก ข.1</u> ตารางแสดงอัตราส่วนกำลังรับแรงอัด

ภาคผนวก ข.1 ตารางแสดงอัตราส่วนกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ ผ.2 อัตราส่วนผสม ที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กัน เวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ส่วนผสม						อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	ปริมาตรรวม (ลบ.ม.)
	ปูนซีเมนต์ (กก.)	ทราย (กก.)	น้ำ (กก.)	โฟม (กก.)	ปริมาณของเสียที่แทนที่ (กก.)	ขนาดของเสีย (มม.)		
A	400	600	86	40	0	4.75	0.3	1.02
B	400	600	93.1	32.9	8	4.75	0.3	1.02
C	400	600	100	25.9	16	4.75	0.3	1.03
D	400	600	107	18.9	24	4.75	0.3	1.03
E	400	600	111	35	0	4.75	0.35	0.97
F	400	600	118	28	8	4.75	0.35	0.98
G	400	600	125	21	16	4.75	0.35	0.98
H	400	600	132	14	24	4.75	0.35	0.99
I	400	600	132	33.6	0	4.75	0.4	0.97
J	400	600	139	26.6	8	4.75	0.4	0.98
K	400	600	146	19.6	16	4.75	0.4	0.98
L	400	600	153	12.6	24	4.75	0.4	0.99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.3 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กัน เวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
	A1	5.0*5.0*5.0	125.0	252.0	2016.0	24.5	99.90
0%	A2	5.0*5.0*5.0	125.0	245.0	1960.0	30.0	122.32
	A3	5.0*5.0*5.0	125.0	242.0	1936.0	27.8	113.35
		ค่าเฉลี่ย	125.0	246.3	1970.7	27.4	111.9
		S.D	0.0	5.1	41.1	2.8	11.3
10%	B1	5.0*5.0*5.0	125.0	203.0	1624.0	29.4	119.9
	B2	5.0*5.0*5.0	125.0	210.0	1680.0	22.6	92.2
	B3	5.0*5.0*5.0	125.0	213.0	1704.0	26.0	106.0
		ค่าเฉลี่ย	125.0	208.7	1669.3	26.0	106.0
		S.D	0.0	5.1	41.1	3.4	13.9
20%	C1	5.0*5.0*5.0	125.0	232	1856.0	22.8	92.97
	C2	5.0*5.0*5.0	125.0	229	1832.0	21	85.63
	C3	5.0*5.0*5.0	125.0	222	1776.0	30.1	122.73
		ค่าเฉลี่ย	125.0	227.7	1821.3	24.6	100.4
		S.D	0.0	5.1	41.1	4.8	19.6
30%	D1	4.9*5.0*5.0	122.5	213.0	1738.8	20.8	84.81
	D2	5.0*5.0*5.0	125.0	219.0	1752.0	23.2	94.60
	D3	5.0*5.0*5.0	125.0	216.0	1728.0	24.8	101.12
		ค่าเฉลี่ย	124.2	216.0	1739.6	22.9	93.5
		S.D	1.4	3.0	12.0	2.0	8.2

ตารางที่ ผ.4 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
	A1	5.0*5.0*5.0	125.0	244.0	1952.0	30.8	125.6
0%	A2	5.1*5.0*5.0	130.1	242.0	1860.8	33.6	131.7
	A3	5.1*5.0*5.0	130.1	236.0	1814.7	29.2	114.4
		ค่าเฉลี่ย	128.4	240.7	1875.8	31.2	123.9
		S.D	2.9	4.2	69.9	2.2	8.7
10%	B1	5.0*5.0*5.0	125.0	215.0	1720.0	30.0	122.3
	B2	5.0*5.0*5.0	125.0	214.0	1712.0	32.8	133.7
	B3	5.0*5.0*5.0	125.0	220.0	1760.0	36.0	146.8
		ค่าเฉลี่ย	125.0	216.3	1730.7	32.9	134.3
		S.D	0.0	3.2	25.7	3.0	12.2
20%	C1	5.0*5.0*5.0	125.0	232	1856.0	32.6	132.9
	C2	5.0*5.0*5.0	125.0	240	1920.0	35	142.7
	C3	5.0*5.0*5.0	125.0	230	1840.0	26.1	106.4
		ค่าเฉลี่ย	125.0	234.0	1872.0	31.2	127.4
		S.D	0.0	5.3	42.3	4.6	18.8
30%	D1	4.9*5.0*5.0	122.5	215.0	1755.1	36.2	150.6
	D2	5.0*5.0*5.0	125.0	221.0	1768.0	25.1	102.3
	D3	5.0*5.0*5.0	125.0	224.0	1792.0	36.5	148.8
		ค่าเฉลี่ย	124.2	220.0	1771.7	32.6	133.9
		S.D	1.4	4.6	18.7	6.5	27.4

ตารางที่ ผ.5 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
	A1	5.0*5.0*5.0	125.0	250.0	2000.0	44.8	182.7
0%	A2	5.0*5.0*5.0	125.0	241.0	1928.0	39.0	159.0
	A3	5.0*5.0*5.0	125.0	233.0	1864.0	34	138.6
		ค่าเฉลี่ย	125.0	241.3	1930.7	39.3	160.1
		S.D	0.0	8.5	68.0	5.4	22.0
10%	B1	5.0*5.0*5.0	125.0	246.0	1968.0	40.0	163.1
	B2	5.0*5.0*5.0	125.0	235.0	1880.0	34.5	140.7
	B3	5.0*5.0*5.0	125.0	229.0	1832.0	29.0	118.2
		ค่าเฉลี่ย	125.0	236.7	1893.3	34.5	140.7
		S.D	0.0	8.6	69.0	5.5	22.4
20%	C1	5.0*5.0*5.0	125.0	222.0	1776.0	38.6	157.4
	C2	5.0*5.0*5.0	125.0	238.0	1904.0	31.6	128.8
	C3	5.0*5.0*5.0	125.0	224.0	1792.0	27	110.1
		ค่าเฉลี่ย	125.0	228.0	1824.0	32.4	132.1
		S.D	0.0	8.7	69.7	5.8	23.8
30%	D1	5.0*5.0*5.0	125.0	228.0	1824.0	22.1	90.11
	D2	5.0*5.0*5.0	125.0	211.0	1688.0	28.5	116.21
	D3	5.0*5.0*5.0	125.0	218.0	1744.0	23	93.78
		ค่าเฉลี่ย	125	219.0	1752.0	24.5	100.0
		S.D	0.0	8.5	68.4	3.5	14.1

ตารางที่ ผ.6 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
	E1	5.0*5.0*5.0	125.0	236.0	1888.0	31.6	128.85
0%	E2	5.0*5.0*5.0	125.0	238.0	1904.0	38.4	156.57
	E3	5.0*5.0*5.0	125.0	259.0	2072.0	29.2	119.06
		ค่าเฉลี่ย	125.0	244.3	1954.7	33.1	134.8
		S.D	0.0	12.7	101.9	4.8	19.5
10%	F1	5.0*5.0*5.0	125.0	252.0	2016.0	29.0	118.25
	F2	5.0*5.0*5.0	125.0	252.0	2016.0	27.2	110.91
	F3	5.0*5.0*5.0	125.0	237.0	1896.0	33.6	137.00
		ค่าเฉลี่ย	125.0	247.0	1976.0	29.9	122.1
		S.D	0.0	8.7	69.3	3.3	13.5
20%	G1	5.0*5.0*5.0	125.0	229.0	1832.0	27.7	112.95
	G2	5.0*5.0*5.0	125.0	247.0	1976.0	26.1	106.42
	G3	5.0*5.0*5.0	125.0	222.0	1776.0	19.7	80.33
		ค่าเฉลี่ย	125.0	232.7	1861.3	24.5	99.9
		S.D	0.0	12.9	103.2	4.2	17.3
30%	H1	4.9*5.0*5.0	122.5	185.0	1510.2	20.4	84.88
	H2	4.9*5.0*5.0	122.5	195.0	1591.8	20.8	86.54
	H3	4.9*5.0*5.0	122.5	195.0	1591.8	26.7	111.09
		ค่าเฉลี่ย	122.5	191.7	1564.6	22.6	94.2
		S.D	0.0	5.8	47.1	3.5	14.7

ตารางที่ ผ.7 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
	E1	5.1*5.0*5.0	127.5	236.0	1851.0	35.5	141.9
0%	E2	5.1*5.0*5.0	127.5	235.0	1843.1	35.8	143.1
	E3	5.1*5.0*5.0	127.5	252.0	1976.5	30.2	120.7
		ค่าเฉลี่ย	127.5	241.0	1890.2	33.8	135.2
		S.D	0.0	9.5	74.8	3.2	12.6
10%	F1	5.0*5.0*5.0	125.0	235.0	1880.0	35.1	143.12
	F2	5.0*5.0*5.0	125.0	253.0	2024.0	30.2	123.14
	F3	5.0*5.0*5.0	125.0	248.0	1984.0	32.0	130.48
		ค่าเฉลี่ย	125.0	245.3	1962.7	32.4	132.2
		S.D	0.0	9.3	74.3	2.5	10.1
20%	G1	4.9*5.0*5.0	122.5	235.0	1918.4	29.5	122.74
	G2	4.9*5.0*5.0	122.5	235.0	1918.4	37.4	155.61
	G3	4.9*5.0*5.0	122.5	226.0	1844.9	27.2	113.17
		ค่าเฉลี่ย	122.5	232.0	1893.9	31.4	130.5
		S.D	0.0	5.2	42.4	5.4	22.3
30%	H1	4.9*5.0*5.0	122.5	205.0	1673.5	25.4	105.68
	H2	4.9*5.0*5.0	122.5	195.0	1591.8	22.5	93.62
	H3	4.9*5.0*5.0	122.5	186.0	1518.4	27.6	114.83
		ค่าเฉลี่ย	122.5	195.3	1594.6	25.2	104.7
		S.D	0.0	9.5	77.6	2.6	10.6

ตารางที่ ผ.8 ค่ากำลังรับแรงอัด ด้วยแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
	E1	5.1*5.0*5.0	122.5	247.0	2016.3	42.5	176.83
0%	E2	5.1*5.0*5.0	122.5	237.0	1934.7	52.5	218.44
	E3	5.1*5.0*5.0	122.5	248.0	2024.5	45.6	189.73
		ค่าเฉลี่ย	122.5	244.0	1991.8	46.9	195.0
		S.D	0.0	6.1	49.7	5.1	21.3
10%	F1	5.0*5.0*5.0	125.0	243.0	1944.0	37.1	151.27
	F2	5.0*5.0*5.0	125.0	242.0	1936.0	33.8	137.82
	F3	5.0*5.0*5.0	125.0	238.0	1904.0	49.5	201.83
		ค่าเฉลี่ย	125	241.0	1928.0	40.1	163.6
		S.D	0.0	2.6	21.2	8.3	33.8
20%	G1	4.9*5.0*5.0	122.5	226.0	1844.9	38.2	158.94
	G2	4.9*5.0*5.0	122.5	222.0	1812.2	41.3	171.84
	G3	4.9*5.0*5.0	122.5	238.0	1942.9	33.6	139.80
		ค่าเฉลี่ย	122.5	228.7	1866.7	37.7	156.9
		S.D	0.0	8.3	68.0	3.9	16.1
30%	H1	4.9*5.0*5.0	122.5	208.0	1698.0	27.1	112.75
	H2	4.9*5.0*5.0	122.5	214.0	1746.9	34.2	142.30
	H3	4.9*5.0*5.0	122.5	223.0	1820.4	28.7	119.41
		ค่าเฉลี่ย	122.5	215.0	1755.1	30.0	124.8
		S.D	0.0	7.5	61.6	3.7	15.5

ตารางที่ ผ.9 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
	I1	5.0*5.0*5.0	125.0	230.0	1840.0	25.2	102.75
0%	I2	5.0*5.0*5.0	125.0	227.0	1816.0	21.9	89.30
	I3	5.0*5.0*5.0	125.0	205.0	1640.0	21.4	87.26
		ค่าเฉลี่ย	125.0	220.7	1765.3	22.8	93.1
		S.D	0.0	13.7	109.2	2.1	8.4
10%	J1	5.0*5.0*5.0	122.5	213.0	1738.8	25.2	104.85
	J2	5.0*5.0*5.0	122.5	221.0	1804.1	20.9	86.96
	J3	5.0*5.0*5.0	122.5	221.0	1804.1	24.6	102.35
		ค่าเฉลี่ย	122.5	218.3	1782.3	23.6	98.1
		S.D	0.0	4.6	37.7	2.3	9.7
20%	K1	5.0*5.0*5.0	122.5	205.0	1673.5	23.5	97.78
	K2	5.0*5.0*5.0	122.5	223.0	1820.4	18.7	77.80
	K3	5.0*5.0*5.0	122.5	222.0	1812.2	26.8	111.51
		ค่าเฉลี่ย	122.5	216.7	1768.7	23.0	95.7
		S.D	0.0	10.1	82.6	4.1	16.9
30%	L1	4.9*5.0*5.0	122.5	195.0	1591.8	15.6	64.91
	L2	4.9*5.0*5.0	122.5	205.0	1673.5	18.8	78.22
	L3	4.9*5.0*5.0	122.5	200.0	1632.7	14.4	59.91
		ค่าเฉลี่ย	122.5	200.0	1632.7	16.3	67.7
		S.D	0.0	5.0	40.8	2.3	9.5

ตารางที่ ผ.10 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
	I1	5.0*5.0*5.0	125.0	219.0	1752.0	23.1	94.19
0%	I2	5.0*5.0*5.0	125.0	233.0	1864.0	26.7	108.87
	I3	5.0*5.0*5.0	125.0	212.0	1696.0	22	89.70
		ค่าเฉลี่ย	125.0	221.3	1770.7	23.9	97.6
		S.D	0.0	10.7	85.5	2.5	10.0
10%	J1	5.0*5.0*5.0	122.5	218.0	1779.6	27.6	114.83
	J2	5.0*5.0*5.0	122.5	232.0	1893.9	25.1	104.43
	J3	5.0*5.0*5.0	122.5	225.0	1836.7	29.5	122.74
		ค่าเฉลี่ย	122.5	225.0	1836.7	27.4	114.0
		S.D	0.0	7.0	57.1	2.2	9.2
20%	K1	5.0*5.0*5.0	122.5	206.0	1681.6	18.9	78.64
	K2	5.0*5.0*5.0	122.5	207.0	1689.8	28	116.50
	K3	5.0*5.0*5.0	122.5	213.0	1738.8	22	91.54
		ค่าเฉลี่ย	122.5	208.7	1703.4	23.0	95.6
		S.D	0.0	3.8	30.9	4.6	19.2
30%	L1	4.9*5.0*5.0	122.5	196.0	1600.0	18.8	78.22
	L2	4.9*5.0*5.0	122.5	207.0	1689.8	14.8	61.58
	L3	4.9*5.0*5.0	122.5	202.0	1649.0	23.9	99.44
		ค่าเฉลี่ย	122.5	201.7	1646.3	19.2	79.7
		S.D	0.0	5.5	45.0	4.6	19.0

ตารางที่ ผ.11 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
	I1	5.0*5.0*5.0	122.5	214.0	1746.9	28.2	117.33
0%	I2	5.0*5.0*5.0	122.5	226.0	1844.9	41.5	172.67
	I3	5.0*5.0*5.0	122.5	220.0	1795.9	29.5	122.74
		ค่าเฉลี่ย	122.5	220.0	1795.9	33.1	137.6
		S.D	0.0	6.0	49.0	7.3	30.5
10%	J1	5.0*5.0*5.0	122.5	210.0	1714.3	34.0	141.46
	J2	5.0*5.0*5.0	122.5	225.0	1836.7	34.4	143.13
	J3	5.0*5.0*5.0	122.5	218.0	1779.6	26.4	109.84
		ค่าเฉลี่ย	122.5	217.7	1776.9	31.6	131.5
		S.D	0.0	7.5	61.3	4.5	18.8
20%	K1	5.0*5.0*5.0	122.5	223.0	1820.4	26.8	111.51
	K2	5.0*5.0*5.0	122.5	213.0	1738.8	26.3	109.43
	K3	5.0*5.0*5.0	122.5	212.0	1730.6	34.7	144.38
		ค่าเฉลี่ย	122.5	216.0	1763.3	29.3	121.8
		S.D	0.0	6.1	49.7	4.7	19.6
30%	L1	4.9*5.0*5.0	122.5	203.0	1657.1	22.4	93.20
	L2	4.9*5.0*5.0	122.5	189.0	1542.9	18.7	77.80
	L3	4.9*5.0*5.0	122.5	204.0	1665.3	28.7	119.41
		ค่าเฉลี่ย	122.5	198.7	1621.8	23.3	96.8
		S.D	0.0	8.4	68.5	5.1	21.0

ตารางที่ ผ.12 ค่าการดูดซึมน้ำที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 วัน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	การดูดซึมน้ำ (กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม).
A	224	243	8.48	241.21
B	194	220	13.40	218.45
C	228	249	9.21	247.18
D	224	245	9.38	243.21
E	224	254	13.39	252.21
F	228	253	10.96	251.18
G	219	248	13.24	246.25
H	181	210	16.02	208.55
I	189	210	11.11	208.49
J	214	235	9.81	233.29
K	205	235	14.63	233.36
L	196	224	14.29	222.43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.13 ค่าการดูดซึมน้ำที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 14 วัน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	การดูดซึมน้ำ (กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม).
A	223	250	12.11	248.22
B	224	258	15.18	256.21
C	234	258	10.26	256.13
D	230	254	10.43	252.16
E	220	248	12.73	246.24
F	222	249	12.16	247.22
G	211	236	11.85	234.31
H	179	208	16.20	206.57
I	216	244	12.96	242.27
J	210	233	10.95	231.32
K	199	227	14.07	225.41
L	198	225	13.64	223.42

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.14 ค่าการดูดซึมน้ำที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	การดูดซึมน้ำ (กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม).
A	221	252	14.03	250.23
B	200	232	16.00	230.40
C	234	258	10.26	256.13
D	225	250	11.11	248.20
E	217	248	14.29	246.26
F	222	255	14.86	253.22
G	214	241	12.62	239.29
H	183	214	16.94	212.54
I	206	239	16.02	237.35
J	210	240	14.29	238.32
K	218	254	16.51	252.26
L	196	226	15.31	224.43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.15 อัตราส่วนผสม ที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ส่วนผสม						อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	ปริมาตรรวม (ลบ.ม.)
	ปูนซีเมนต์ (กก.)	ทราย (กก.)	น้ำ (กก.)	โฟม (กก.)	ปริมาณของเสียที่แทนที่ (กก.)	ขนาดของเสีย (มม.)		
M	400	600	76	50	16	9.4	0.3	1.35
N	400	600	76	50	16	4.75	0.3	1.35
O	400	600	76	50	16	2.36	0.3	1.35
P	400	600	96	50	16	9.4	0.35	1.37
Q	400	600	96	50	16	4.75	0.35	1.37
R	400	600	96	50	16	2.36	0.35	1.37
S	400	600	116	50	16	9.4	0.4	1.39
T	400	600	116	50	16	4.75	0.4	1.39
U	400	600	116	50	16	2.36	0.4	1.39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.16 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3

ขนาดของเสีย (มิลลิเมตร)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
9.4	M1	5.0*5.0*5.0	125.0	186.0	1488.0	7.9	32.21
	M2	5.0*5.0*5.0	125.0	184.0	1472.0	11.4	46.48
	M3	5.0*5.0*5.0	125.0	191.0	1528.0	12.1	49.34
		ค่าเฉลี่ย	125.0	187.0	1496.0	10.5	42.7
		S.D	0.0	3.6	28.8	2.3	9.2
4.75	N1	5.0*5.0*5.0	125.0	182.0	1456.0	4.5	18.35
	N2	5.0*5.0*5.0	125.0	189.0	1512.0	3.0	12.23
	N3	5.0*5.0*5.0	125.0	201.0	1608.0	3.2	13.05
		ค่าเฉลี่ย	125.0	190.7	1525.3	3.6	14.5
		S.D	0.0	9.6	76.9	0.8	3.3
2.36	O1	4.8*5.0*5.0	120.0	161	1341.7	3.2	13.05
	O2	4.8*5.0*5.0	120.0	161	1341.7	3.2	13.05
	O3	4.8*5.0*5.0	120.0	164	1366.7	3	12.23
		ค่าเฉลี่ย	120.0	162.0	1350.0	3.1	12.8
		S.D	0.0	1.7	14.4	0.1	0.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.17 ค่ากำลังรับแรงอัด ด้วยแทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 14วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
9.4	M1	5.0*5.0*5.0	125.0	181.0	1448.0	14.4	58.7
	M2	5.0*5.0*5.0	125.0	206.0	1648.0	16.7	68.1
	M3	5.0*5.0*5.0	125.0	208.0	1664.0	14.9	60.8
		ค่าเฉลี่ย	125.0	198.3	1586.7	15.3	62.5
		S.D	0.0	15.0	120.4	1.2	4.9
4.75	N1	5.0*5.0*5.0	125.0	194.0	1552.0	4.8	19.6
	N2	5.0*5.0*5.0	125.0	196.0	1568.0	5.2	21.2
	N3	5.0*5.0*5.0	125.0	191.0	1528.0	6.2	25.3
		ค่าเฉลี่ย	125.0	193.7	1549.3	5.4	22.0
		S.D	0.0	2.5	20.1	0.7	2.9
2.36	O1	4.8*5.0*5.0	120.0	161.0	1341.7	5.2	21.2
	O2	4.9*5.0*5.0	122.5	164.0	1338.8	5.4	22.0
	O3	4.8*5.0*5.0	120.0	157.0	1308.3	6.0	24.5
		ค่าเฉลี่ย	120.8	160.7	1329.6	5.5	22.6
		S.D	1.4	3.5	18.5	0.4	1.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.18 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนด้วยที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 28วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3

ปริมาณของเสียที่แทนที่ (ร้อยละ)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
9.4	M1	4.9.0*5.0*5.0	122.5	202.0	1649.0	15.9	64.8
	M2	4.9.0*5.0*5.0	122.5	202.0	1649.0	16.5	67.3
	M3	4.9.0*5.0*5.0	122.5	199.0	1624.5	15.4	62.8
		ค่าเฉลี่ย	122.5	201.0	1640.8	15.9	65.0
		S.D	0.0	1.7	14.1	0.6	2.2
4.75	N1	5.0*5.0*5.0	125.0	198.0	1584.0	6.1	24.9
	N2	5.0*5.0*5.0	125.0	202.0	1616.0	6.4	26.1
	N3	5.0*5.0*5.0	125.0	200.0	1600.0	7.1	29.0
		ค่าเฉลี่ย	125.0	200.0	1600.0	6.5	26.6
		S.D	0.0	2.0	16.0	0.5	2.1
2.36	O1	4.8*5.0*5.0	120.0	172.0	1433.3	6.0	24.5
	O2	4.8*5.0*5.0	120.0	165.0	1375.0	6.2	25.3
	O3	4.9*5.0*5.0	122.5	178.0	1453.1	7.0	28.5
		ค่าเฉลี่ย	120.8	171.7	1420.5	6.4	26.1
		S.D	1.4	6.5	40.6	0.5	2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.19 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 7 วันอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35

ขนาดของเสีย (มิลลิเมตร)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
9.4	P1	5.0*5.0*5.0	125.0	179.0	1432.0	10.9	44.4
	P2	5.0*5.0*5.0	125.0	171.0	1368.0	12.4	50.6
	P3	5.0*5.0*5.0	125.0	178.0	1424.0	8.0	32.6
		ค่าเฉลี่ย	125.0	176.0	1408.0	10.4	42.5
		S.D	0.0	4.4	34.9	2.2	9.1
4.75	Q1	5.0*5.0*5.0	125.0	190.0	1520.0	7.1	29.0
	Q2	5.0*5.0*5.0	125.0	209.0	1672.0	6.4	26.1
	Q3	5.0*5.0*5.0	125.0	208.0	1664.0	5.7	23.2
		ค่าเฉลี่ย	125.0	202.3	1618.7	6.4	26.1
		S.D	0.0	10.7	85.5	0.7	2.9
2.36	R1	4.8*5.0*5.0	120.0	164.0	1366.7	6.0	25.5
	R2	4.8*5.0*5.0	120.0	156.0	1300.0	6.2	26.3
	R3	4.9*5.0*5.0	122.5	161.0	1314.3	5.1	21.2
		ค่าเฉลี่ย	120.8	160.3	1327.0	5.8	24.3
		S.D	1.4	4.0	35.1	0.6	2.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.20 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 14 วันอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3

ขนาดของเสีย (มิลลิเมตร)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
9.4	P1	5.0*5.0*5.0	125.0	166.0	1328.0	10.5	42.8
	P2	5.0*5.0*5.0	125.0	177.0	1416.0	10.1	41.2
	P3	5.0*5.0*5.0	125.0	174.0	1392.0	10.9	44.4
		ค่าเฉลี่ย	125.0	172.3	1378.7	10.5	42.8
		S.D	0.0	5.7	45.5	0.4	1.6
4.75	Q1	5.0*5.0*5.0	125.0	210.0	1680.0	6.6	26.9
	Q2	5.0*5.0*5.0	125.0	203.0	1624.0	7.0	28.5
	Q3	5.0*5.0*5.0	125.0	196.0	1568.0	8.2	33.4
		ค่าเฉลี่ย	125.0	203.0	1624.0	7.3	29.6
		S.D	0.0	7.0	56.0	0.8	3.4
2.36	R1	4.8*5.0*5.0	120.0	156.0	1300.0	7.4	31.4
	R2	4.7*5.0*5.0	117.5	165.0	1404.3	5.5	23.9
	R3	4.9*5.0*5.0	122.5	164.0	1338.8	6.9	28.7
		ค่าเฉลี่ย	120.0	161.7	1347.7	6.6	28.0
		S.D	2.5	4.9	52.7	1.0	3.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.21 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กันเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35

ขนาดของเสีย (มิลลิเมตร)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
9.4	P1	5.0*5.0*5.0	125.0	182.0	1456.0	14.2	57.9
	P2	5.0*5.0*5.0	125.0	179.0	1432.0	10.8	44.0
	P3	5.0*5.0*5.0	125.0	181.0	1448.0	12.2	49.7
		ค่าเฉลี่ย	125.0	180.7	1445.3	12.4	50.6
		S.D	0.0	1.5	12.2	1.7	7.0
4.75	Q1	5.0*5.0*5.0	125.0	205.0	1640.0	7.4	30.2
	Q2	5.0*5.0*5.0	125.0	200.0	1600.0	8.2	33.4
	Q3	5.0*5.0*5.0	125.0	206.0	1648.0	8.6	35.1
		ค่าเฉลี่ย	125.0	203.7	1629.3	8.1	32.9
		S.D	0.0	3.2	25.7	0.6	2.5
2.36	R1	4.8*5.0*5.0	120.0	166.0	1383.3	7.1	30.2
	R2	4.8*5.0*5.0	120.0	168.0	1400.0	7.4	31.4
	R3	4.7*5.0*5.0	117.5	175.0	1489.4	7.0	30.4
		ค่าเฉลี่ย	119.2	169.7	1424.2	7.2	30.7
		S.D	1.4	4.7	57.0	0.2	0.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.22 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40

ขนาดของเสีย (มิลลิเมตร)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
9.4	S1	5.0*5.0*5.0	125.0	174.0	1392.0	8.2	33.4
	S2	5.0*5.0*5.0	125.0	170.0	1360.0	11.2	45.7
	S3	5.0*5.0*5.0	125.0	172.0	1376.0	8.0	32.6
		ค่าเฉลี่ย	125.0	172.0	1376.0	9.1	37.2
		S.D	0.0	2.0	16.0	1.8	7.3
4.75	T1	5.0*5.0*5.0	125.0	192.0	1536.0	4.2	17.1
	T2	5.0*5.0*5.0	125.0	201.0	1608.0	4.0	16.3
	T3	5.0*5.0*5.0	125.0	200.0	1600.0	3.8	15.5
		ค่าเฉลี่ย	125.0	197.7	1581.3	4.0	16.3
		S.D	0.0	4.9	39.5	0.2	0.8
2.36	U1	4.8*5.0*5.0	120.0	157.0	1308.3	2.8	11.9
	U2	4.8*5.0*5.0	122.5	161.0	1314.3	2.9	12.1
	U3	4.9*5.0*5.0	122.5	165.0	1346.9	3.2	13.3
		ค่าเฉลี่ย	121.7	161.0	1323.2	3.0	12.4
		S.D	1.4	4.0	20.8	0.2	0.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.23 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 14 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40

ขนาดของเสีย (มิลลิเมตร)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
9.4	S1	5.0*5.0*5.0	125.0	168.0	1344.0	10.8	44.0
	S2	5.0*5.0*5.0	125.0	172.0	1376.0	9.8	40.0
	S3	5.0*5.0*5.0	125.0	170.0	1360.0	10.4	42.4
		ค่าเฉลี่ย	125.0	170.0	1360.0	10.3	42.1
		S.D	0.0	2.0	16.0	0.5	2.1
4.75	T1	5.0*5.0*5.0	125.0	196.0	1568.0	6.0	24.5
	T2	5.0*5.0*5.0	125.0	200.0	1600.0	6.4	26.1
	T3	5.0*5.0*5.0	125.0	182.0	1456.0	6.8	27.7
		ค่าเฉลี่ย	125.0	192.7	1541.3	6.4	26.1
		S.D	0.0	9.5	75.6	0.4	1.6
2.36	U1	4.8*5.0*5.0	120.0	162.0	1350.0	5.1	21.7
	U2	4.9*5.0*5.0	120.0	161.0	1341.7	4.8	20.4
	U3	4.9*5.0*5.0	122.5	167.0	1363.3	6.1	25.4
		ค่าเฉลี่ย	120.8	163.3	1351.6	5.3	22.5
		S.D	1.4	3.2	10.9	0.7	2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.24 ค่ากำลังรับแรงอัด แทนที่ด้วยของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40

ขนาดของเสีย (มิลลิเมตร)	ตัวอย่างที่	ขนาด	ปริมาตร (ลบ.ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)	แรงกด (กิโลนิวตัน)	กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตร.ซม.)
9.4	S1	5.0*5.0*5.0	125.0	170.0	1360.0	12.1	49.3
	S2	5.0*5.0*5.0	125.0	174.0	1392.0	10.8	44.0
	S3	5.0*5.0*5.0	125.0	172.0	1376.0	12.2	49.7
		ค่าเฉลี่ย	125.0	172.0	1376.0	11.7	47.7
		S.D	0.0	2.0	16.0	0.8	3.2
4.75	T1	5.0*5.0*5.0	125.0	200.0	1600.0	8.6	35.1
	T2	4.9.0*5.0*5.0	122.5	196.0	1600.0	8.0	32.6
	T3	5.0*5.0*5.0	125.0	190.0	1520.0	6.4	26.1
		ค่าเฉลี่ย	124.2	195.3	1573.3	7.7	31.3
		S.D	1.4	5.0	46.2	1.1	4.6
2.36	U1	4.8*5.0*5.0	120.0	162.0	1350.0	7.3	31.0
	U2	4.9*5.0*5.0	122.5	169.0	1379.6	8.1	33.7
	U3	4.9*5.0*5.0	122.5	167.0	1363.3	6.9	28.7
		ค่าเฉลี่ย	121.7	166.0	1364.3	7.4	31.1
		S.D	1.4	3.6	14.8	0.6	2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.25 ค่าการดูดซึมน้ำที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 7 วัน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	การดูดซึมน้ำ (กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม).
M	191	218	14.14	216.47
N	178	206	15.73	204.58
O	160	198	23.75	196.72
P	161	190	18.01	188.71
Q	182	219	20.33	217.54
R	160	185	15.63	183.72
S	163	164	0.61	162.70
T	184	220	19.57	218.53
U	158	198	25.32	196.74

ตารางที่ ผ.26 ค่าการดูดซึมน้ำที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 14 วัน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	การดูดซึมน้ำ (กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม).
M	161	192	19.25	190.71
N	178	206	15.73	204.58
O	159	188	18.24	186.73
P	179	215	20.11	213.57
Q	174	210	20.69	208.61
R	170	198	16.47	196.64
S	180	218	21.11	216.56
T	178	215	20.79	213.58
U	158	205	29.75	203.74

ตารางที่ ผ.27 ค่าการดูดซึมน้ำที่แทนที่ของเสียประเภทฉลากพลาสติกที่ขนาดต่างๆ กัน เวลาบ่ม 28 วัน

ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	การดูดซึมน้ำ (กิโลกรัม ต่อ ลบ.ม).
M	175	200	14.29	198.60
N	182	216	18.68	214.54
O	160	202	26.25	200.72
P	172	210	22.09	208.62
Q	178	211	18.54	209.58
R	168	200	19.05	198.66
S	174	214	22.99	212.61
T	178	215	20.79	213.58
U	160	205	28.13	203.72

ตารางที่ ผ.28 อัตราส่วนผสมที่แทนที่เพื่อทดสอบค่าการนำความร้อนเวลาบ่ม 28 วัน

ตัวอย่างที่	ส่วนผสม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร. องศาเคลวิน)	ปริมาตรรวม (ลบ.ม.)
	ปูนซีเมนต์ (กก.)	ทราย (กก.)	น้ำ (กก.)	โฟม (กก.)	ปริมาณของเสียที่แทนที่ (กก.)	ขนาดของเสีย (มม.)		
1	400	600	76	50	16	0	0.0352	1.35
2	400	600	76	50	12	9.36	0.0384	1.30
3	400	600	76	50	8	9.36	0.0512	1.25
4	400	600	76	50	4	9.36	0.0752	1.20
5	400	600	76	50	0	9.36	0.1878	1.15
6	400	600	76	50	4	4.75	วัดไม่ได้	1.20

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทรศัพท์ 0-2470-9671-3, 0-2470-9664-7 โทรสาร 0-2428-3374 http://www.kmutt.ac.th

ที่ กธ 5810/53021

27 พฤศจิกายน 2552

เรื่อง แจ้งผลการวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของฉนวนกันความร้อน จำนวน 6 ชุดตัวอย่าง

เรียน คุณศิขน คูณทอง (ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของฉนวนกันความร้อน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน จำนวน 6 ชุดตัวอย่าง เสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM. C-177 ดังรายงานผลต่อไปนี้

ลำดับที่	ประเภทของตัวอย่าง	ค่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K-Value), (W./m.K.)	วัดที่ความหนาของชิ้นงาน, (mm.)	น้ำหนักของชิ้นงาน, (gm.)	ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Kg/m^3.)
1.	No. 1	0.0352	32.1	0.9593	1,195.39
2.	No. 2	0.0384	29.0	0.9852	1,358.80
3.	No. 3	0.0512	29.0	1.0796	1,489.20
4.	No. 4	0.0752	29.1	1.1716	1,610.40
5.	No. 5	0.1878	28.0	1.0846	1,549.60
6.	No. 6	วัดไม่ได้	33.2	1.3115	1,580.00

สภาวะที่ใช้ทดสอบ

1. อุณหภูมิของ Cold Plate , °C = 10.0 – 10.8
2. อุณหภูมิของ Hot Plate , °C = 37.7 – 37.8
3. อุณหภูมิบรรยากาศ, °C = 27.0 – 27.5
4. ขนาดของชิ้นงานที่ทดสอบ , Cm^2 = 15.8×15.8

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายอ่อนฮา นนท์พละ)
ผู้วิเคราะห์/นักวิทยาศาสตร์

(ผศ.นิธิ บุรณจันทร์)
ผู้อำนวยการ
สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(นางสาวละเอียด เฟื่องโสภา)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการทดสอบ

ภาพที่ ผ.3 แสดงผลการทดสอบค่าการนำความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานเลขที่ ICP-075 / 2551 หน้าที่ 1 / 1

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง สารละลาย รหัสใบส่งตัวอย่าง **512084**

เจ้าของตัวอย่าง นางสาว นรารัชดิพร นวลสวรรค์
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ Hg Pb Cd Se Cr As Ni Cu

วิธีวิเคราะห์ ICP atomic emission spectrometry

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer;
Perkin Elmer model PLASMA-1000

วันที่วิเคราะห์ 10 กรกฎาคม 2551

ผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ (µg/ml)							
	Hg	Pb	Cd	Se	Cr	As	Ni	Cu
JA ฉลากพลาสติก	< 0.04	0.652	0.052	< 0.15	0.974	< 0.05	0.067	0.325
นิว ฉลากกระดาษ	< 0.04	0.088	< 0.003	< 0.15	2.033	< 0.05	0.086	0.371

..... ผู้วิเคราะห์
(นายอุทัย ดิยะวิสุทธิ์ศรี)

หมายเหตุ ผลการทดสอบฉบับนี้ เป็นผลการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ส่งทดสอบ ณ. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เท่านั้น

ภาพที่ ผ.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของเสียประเภทฉลากพลาสติก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
รายการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ภาคผนวก ค.1</u> การคำนวนส่วนผสม (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

การคำนวนเลือกใช้ตัวอย่าง A

เลือกใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย = 1 : 1.5

ปูนซีเมนต์ : ทราย = 400 : 600

(ยุวรัตน์ ซ้อนพิมพ์ และ วรรณพร ธีระศิลป์, 2551)

และ เลือกใช้อัตราน้ำต่อวัสดุผสานเท่ากับ = 0.30

หาปริมาณโฟมส่วนผสมจาก คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

ปูนซีเมนต์	(400÷(3.15x1000))	=	0.13	ลบ.ม.
ทราย	(600÷(2.6x1000))	=	0.23	ลบ.ม.
ปริมาตรที่เหลือ	1-(0.33)	=	0.67	ลบ.ม

ออกแบบให้มีค่าความหนาแน่นไม่เกิน 1200 ลบ.ม.

โดยปริมาณน้ำที่ผสมคือ น้ำ+ โฟม		=	0.67	ลบ.ม
ปริมาตรโฟม	(40÷(0.070))	=	0.57	ลบ.ม.
ปริมาตรน้ำ	1-(0.91)	=	0.09	ลบ.ม.

ดังนั้นจึงได้ส่วนผสมที่มีอัตราส่วนผสม ที่มีปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.30

คือ	ปูนซีเมนต์	400	กก. ต่อ ลบ.ม
	ทราย	600	กก. ต่อ ลบ.ม..
	น้ำ	86	กก. ต่อ ลบ.ม..
	โฟม	40	กก. ต่อ ลบ.ม..

หมายเหตุ อัตราน้ำต่อวัสดุผสานเท่ากับ น้ำ+ โฟม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.1 ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548

อ้างอิงตาม ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนพิเศษ 11 ง (หน้า46-50)

ข้อ 5 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน ที่กำหนดไว้ดังนี้

5.1 เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน พบว่ามีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (mg/kg; wet weight) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration(TTLC) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

แอนติโมนี และ/หรือสารประกอบแอนติโมนี (Antimony and/or antimony compounds)	500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารหนู และ/หรือสารประกอบของสารหนู (Arsenic and/or arsenic compounds)	500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แร่ใยหินหรือแอสเบสตอส (Asbestos)	1.0	(ร้อยละ)
แบเรียม และ/หรือสารประกอบแบเรียม (ยกเว้นแบไรท์และแบเรียมซัลเฟต) (Barium and/or barium compounds (excluding barite and barium sulfate)	10,000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เบริลเลียม และ/หรือสารประกอบเบริลเลียม (Beryllium and/or beryllium compounds)	75	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียม และ/หรือสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and/or cadmium compounds)	100	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารประกอบของโครเมียมเฮกซาวาเลนท์ (Chromium (VI) compounds)	500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โครเมียม และ/หรือ สารประกอบของโครเมียมไตรวาเลนท์ (Chromium and/or chromium (III) compounds)	2,500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โคบอลท์ และ/หรือ สารประกอบของโคบอลท์ (Cobalt and/or cobalt compounds)	8,000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทองแดง และ/หรือ สารประกอบทองแดง (Copper and/or copper compounds)	2,500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์ (Fluoride salts)	18,000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตะกั่ว และ/หรือสารประกอบตะกั่ว (Lead and/or lead compounds)	1,000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท (Mercury and/or mercury compounds)	20	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โมลิบดินัม และ/หรือสารประกอบโมลิบดินัม (ไม่รวมโมลิบดินัมไดซัลไฟด์) (Molybdenum and/or molybdenum compounds; excluding molybdenum disulfide)	3,500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
นิเกิล และ/หรือสารประกอบนิเกิล (Nickel and/or nickel compounds)	2,000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ซิลิเนียม และ/หรือสารประกอบซิลิเนียม (Selenium and/or selenium compounds)	100	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เงิน และ/หรือสารประกอบของเงิน (Silver and/or silver compounds)	500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ธาลเลียม และ/หรือสารประกอบธาลเลียม (Thallium and/or thallium compounds)	700	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
วาเนเดียม และ/หรือสารประกอบวาเนเดียม (Vanadium and/or vanadium compounds)	2,400	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี (Zinc and/or zinc compounds)	5,000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แอลดริน (Aldrin)	1.4	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
คลอเดน (Chlordane)	2.5	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ดีดีที ดีดีอี หรือ ดีดีดี (DDT, DDE, DDD)	1.0	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
2,4-ดี (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid)	100	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ดีลดริน (Dieldrin)	8.0	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไดออกซิน (Dioxin (2,3,7,8-TCDD))	0.01	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เอนดริน (Endrin)	0.2	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	4.7	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
คีโปน (Kepone)	21	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Lead compounds, organic)	13	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ลินเดน (Lindane)	4.0	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมททอกซีคลอร์ (Methoxychlor)	100	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไมเร็ก (Mirex)	21	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	17	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โพลีคลอริเนตเต็ดไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyls (PCBs))	50	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทอกซาฟีน (Toxaphene)	5	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไตรโคโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	2,040	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ซิลเว็ก (Silvex; 2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid)	10	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(หมายเหตุ - ค่าที่กำหนดของสารอนินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบ

- ในกรณีของแอสเบสตอสและโลหะธาตุ ค่าที่กำหนดไว้ให้ใช้กับสารที่อยู่ในสภาพร่วนเป็นผงละเอียดเท่านั้น ทั้งนี้ แอสเบสตอส จะรวมถึง chrysotile amosite crocidolite tremolite anthophyllite และ actinolite)

5.2 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดแล้ว มีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (mg/L) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Soluble Threshold LimitConcentration (STLC) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

สารหนู และ/หรือสารประกอบของสารหนู (Arsenic and/or arsenic compounds)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
แบเรียม และ/หรือสารประกอบแบเรียม (ยกเว้นแบไรท์และแบเรียมซัลเฟต) (Barium and/or barium compounds (excluding barite and barium sulfate)	100	มิลลิกรัมต่อลิตร
เบริลเลียม และ/หรือสารประกอบเบริลเลียม (Beryllium and/or beryllium compounds)	0.75	มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม และ/หรือสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and/or cadmium compounds)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
สารประกอบของโครเมียมเฮกซาวาเลนท์ (Chromium (VI) compounds)	5	มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม และ/หรือ สารประกอบของโครเมียมไตรวาเลนท์ (Chromium and/or chromium (III) compounds)	5	มิลลิกรัมต่อลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โคบอลท์ และ/หรือ สารประกอบของโคบอลท์ (Cobalt and/or cobalt compounds)	80	มิลลิกรัมต่อลิตร
ทองแดง และ/หรือ สารประกอบทองแดง (Copper and/or copper compounds)	25	มิลลิกรัมต่อลิตร
สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์ (Fluoride salts)	180	มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว และ/หรือสารประกอบตะกั่ว (Lead and/or lead compounds)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท (Mercury and/or mercury compounds)	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
โมลิบดินัม และ/หรือสารประกอบโมลิบดินัม (ไม่รวมโมลิบดินัมไดซัลไฟด์) (Molybdenum and/or molybdenum compounds; excluding molybdenum disulfide)	350	มิลลิกรัมต่อลิตร
นิเกิล และ/หรือสารประกอบนิเกิล (Nickel and/or nickel compounds)	20	มิลลิกรัมต่อลิต
ซิลิเนียม และ/หรือสารประกอบซิลิเนียม (Selenium and/or selenium compounds)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เงิน และ/หรือสารประกอบของเงิน (Silver and/or silver compounds)	5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ธาลเลียม และ/หรือสารประกอบธาลเลียม (Thallium and/or thallium compounds)	7.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
วาเนเดียม และ/หรือสารประกอบวาเนเดียม (Vanadium and/or vanadium compounds)	24	มิลลิกรัมต่อลิตร
สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี (Zinc and/or zinc compounds)	250	มิลลิกรัมต่อลิตร
แอลดริน (Aldrin)	0.14	มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอเดน (Chlordane)	0.25	มิลลิกรัมต่อลิตร
ดีดีที ดีดีอี หรือ ดีดีดี (DDT, DDE, DDD)	0.1	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4-ดี (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid)	10	มิลลิกรัมต่อลิตร
ดีลดริน (Dieldrin)	0.8	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไดออกซิน (Dioxin (2,3,7,8-TCDD))	0.001	มิลลิกรัมต่อลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอนดริน (Endrin)	0.02	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	0.47	มิลลิกรัมต่อลิตร
คีโปน (Kepone)	2.1	มิลลิกรัมต่อลิตร
ลินเดน (Lindane)	0.4	มิลลิกรัมต่อลิตร
เมททอกซีคลอร์ (Methoxychlor)	10	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไมเร็ก (Mirex)	2.1	มิลลิกรัมต่อลิตร
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	1.7	มิลลิกรัมต่อลิตร
โพลีคลอริเนตเต็ดไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyls (PCBs))	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ทอกซาฟีน (Toxaphene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	204	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซิลเว็ก (Silvex; 2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร

(หมายเหตุ – ค่าที่กำหนดของสารอนินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบ)

5.3 การทดสอบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยนำมาสกัดด้วยวิธี WasteExtraction Test (WET) จะทำขึ้นก็ต่อเมื่อ ค่าความเข้มข้นทั้งหมด (Total Concentration) ของสารอันตรายใดๆ มีค่าไม่เกินค่า TTLC แต่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่า STLC ของสารนั้นที่กำหนดในเมื่อต้องการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้น ไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ภาคผนวก ง.2</u> มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2533)

คอนกรีตบล็อก (hollow concrete block or hollow concrete masonry unit) หมายถึง ก้อนคอนกรีตทำจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และจะมีสารอื่น และจะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ สำหรับก่อผนังหรือกำแพง มีรูหรือโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน และมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิที่ระนาบขนานกับผิวธารน้อยกว่าร้อยละ 76 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน

ชั้นคุณภาพ คอนกรีตบล็อกแต่ละประเภท แบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ

ชั้นคุณภาพ ก ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือระดับดิน โดยไม่มีการป้องกันผิวแต่อย่างใด ใช้สัญลักษณ์ ก

ชั้นคุณภาพ ข ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งที่ต่ำกว่าและเหนือระดับดิน แต่มีการป้องกันผิว ใช้สัญลักษณ์ ข

ชั้นคุณภาพ ค ใช้ทั่วไปสำหรับกำแพงภายใน และกำแพงภายนอกเหนือระดับดิน ที่ทำการป้องกันความเสียหายเนื่องจากดินฟ้าอากาศและใช้ทั่วไปสำหรับกำแพงภายใน ใช้สัญลักษณ์ ค

ลักษณะทั่วไป ของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรงและปราศจากรอยแตกร้าวหรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อครับน้ำหนักอย่างถูกต้อง หรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลัง หรือความคงทนถาวร รอยร้าวเล็กน้อยที่เกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติ หรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากกรรมวิธีจากการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

คอนกรีตบล็อกที่ต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยบิ่น รอยร้าวหรือตำหนิอื่นๆ ถ้าในการสั่งคราวหนึ่งมีก้อนซึ่งมีรอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มิลลิเมตร เป็นจำนวนไม่มากกว่า ร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ

ความต้านทานแรงอัด และการดูดกลืนน้ำ ของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ต้องเป็นไปตามตารางที่ ผ. 29 ปริมาณความชื้น เฉพาะคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักแบบควบคุมความชื้น ต้องเป็นไปตามตารางที่ ผ. 30

ตารางที่ ผ.29 ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)				การดูดกลืนน้ำ สูงสุด เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)			
	เฉลี่ยจากพื้นที่รวม		เฉลี่ยจากพื้นที่สุทธิ		น้ำหนักคอนกรีตเมื่อออบแห้ง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)			
	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน	1,761 ถึง 1,840	1,841 ถึง 1,920	1,921 ถึง 2,000	มากกว่า 2,000
ก	70	55	140	110	208	192	176	160
ข	70	55	-	-	256	240	224	208
ค	50	40	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ผ.30 ความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักแบบควบคุมความชื้น)

การหดตัวทางยาว ร้อยละ	ความชื้น สูงสุด ร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย ร้อยละ		
	น้อยกว่า 50	50 ถึง 75	มากกว่า 75
0.03 และน้อยกว่า	35	40	45
มากกว่า 0.03 ถึง 0.45	30	35	40
มากกว่า 0.45	20	30	35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ศิชน คูณทอง อายุ 26 ปี เกิดวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2526 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เมื่อปี 2548 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย