สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วัสดุผสมคอนกรีตและเศษโฟม

CONCRETE MIXED WITH USED FOAM

โดย

นาย ปีใหม่ อาจสาคร

นาย อัศวิน เลิศโสภา

นาย โอภาส วิศรุตธรรม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36771
วัน, เดือน, ปี 2 8 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE MIXED WITH USED FOAM

MR.PEEMAI ADDSAKORN

MR.ASAWIN LERTSOPA

MR.OPAS VISARUTTUM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONKUT 'S INSTITUTE OF TECNOLOGY LADKRAGANG

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ วัสดุผสมคอนกรีตและเศษโฟม

นักศึกษา	นาย อัศวิน เลิศโสภา	รหัสประจำตัว	39014670
	นาย โอภาส วิศรุตธรรม	รหัสประจำตัว	39014691
	นาย ปีใหม่ อาจสาคร	รหัสประจำตัว	39014326
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ ลายมือชื่อ

ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ

อ.ศิลป์ชัย จานสุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร. แดง เหรียญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	วัสดุผสมคอนกรีตและเศษโฟม
	CONCRETE MIXED WITH USED FOAM
นักศึกษา	นาย ปีใหม่ อาจสาคร
	นาย อัศวิน เลิศโสภา
	นาย โอภาส วิศรุตธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์และทางด้านกายภาพของคอนกรีตที่ผสมด้วยเศษโฟมที่เหลือใช้ในธรรมชาติ โดยการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและ ASTM ในลักษณะการแทนที่ของหินด้วยโฟมโดยปริมาตรที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์โดยการทดสอบกำลังรับแรงอัด กับทดสอบกำลังรับแรงดึง และ การทดสอบความต้านทานต่อโมเมนต์ดัด เมื่อได้ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์แล้ว ทำการเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำเป็นผนังมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพโดยทำการทดสอบความสามารถในการทนไฟ และความสามารถในด้านการยึดหน่วงของวัสดุ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปวิเคราะห์หาความเหมาะสมทางด้านกำลังของคอนกรีตผสมด้วยเศษโฟมที่เหลือใช้ในธรรมชาติที่อัตราส่วนต่างๆต่อการนำไปทำเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างชนิดต่างๆ และสามารถวิเคราะห์ว่าคอนกรีตผสมเศษโฟมที่อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำเป็นผนังมีความทนไฟและมีการยึดหน่วงต่อเหล็กเสริมอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	CONCRETE MIXED WITH USED FOAM
Name	:	MR.PEEMAI ADDSAKORN
		MR.ASAWIN LERTSOPA
		MR.OPAS VISARUTTUM
Field	:	CONSTRUCTION ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	ASST.PROF.SIRIWAT CHAICHANA

ABSTRACT

This project is mechanical and physical qualification testing of combined material of concrete and used foam from environment. By testing under industrial product standard and American standard of testing material (ASTM), Material is displaced volume of rock by volume of used foam in varying of foam-rock percentage. Border of mechanical testing is compressive strength testing, Tensile strength testing, Bending strength testing. After get fully data of mechanical testing, then choose suitable percentage of foam-rock for wall making to test in physics. Border of physical testing is fire resistance test, Bonding test. Data from testing can be analyzed to find suitability in strength of vary percentage of combined material of concrete and used foam in the way to apply for many type of building structural member. And can be analyzed of which percentage is the most suitable for fire resistance and bonding of combined material.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมก่อสร้าง โดยศึกษา เรื่องคุณสมบัติของวัสดุผสมระหว่างคอนกรีตและเศษโฟมเหลือใช้ ซึ่งจำเป็นต้องทราบข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับวัสดุและมาตรฐานที่ใช้ในการทำโครงงานพิเศษนี้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ

- อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา สจล.
- โรงปฏิบัติการเซรามิก ภาควิชาศิลปอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.
- ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- บริษัท โฟร์พัฒนา จำกัด
- ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ในความอนุเคราะห์ดังกล่าว นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ถ้าไม่ได้รับคำปรึกษาจาก **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริวัฒน์ ไชยชนะ** ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ได้ให้ความรู้ ความเข้าใจ คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินงานวิจัยตลอดจนได้กรุณาตรวจสอบโครงงานพิเศษนี้ และผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ ที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ อันทำให้โครงงานพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณเพื่อน ๆ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ช่วยเหลือด้านแรงงานและด้านกำลังใจ จนกระทั่งโครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์

นาย ปีใหม่ อาจสาคร
นาย อัศวิน เลิศโสภา
นาย โอภาส วิศรุตธรรม
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	**1**
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	**2**
	หน้าอนุมัติ	**3**
	บทคัดย่อภาษาไทย	**4**
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**5**
	กิตติกรรมประกาศ	**6**
	สารบัญ	**7**
	สารบัญภาพ	**9**
	สารบัญตาราง	**12**
1.	**บทนำ**	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	14
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	15
	1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงงาน	15
	1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	17
2.	**วรรณกรรมปริทัศน์**	
	2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลองทำวัสดุผสมระหว่าง คอนกรีตกับเศษโฟมเหลือใช้	18
	2.2 การทดสอบทางกลศาสตร์	
	2.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	20
	2.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึง	21
	2.2.3 การทดสอบกำลังรับแรงดัด	22
	2.3 การทดสอบทางกายภาพ	
	2.3.1 การทดสอบฉนวนกันเสียง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.1 การทดสอบป้องกันอัคคีภัย	28
	2.3.2 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของตะปู	36
3.	การดำเนินงานวิจัย	
	3.1 การคำนวณส่วนผสมคอนกรีต	38
	3.2 เครื่องมือที่ใช้	47
4.	**ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล**	
	4.1 ผลการทดสอบ	48
	4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	92
5	**สรุปผลการทดลอง**	**94**
6	**ภาพประกอบการทดลอง**	**98**
	ภาคผนวก ก. ข้อกำหนดเกี่ยวกับคอนกรีตในการใช้งานประเภทต่าง ๆ	**121**
	ภาคผนวก ข. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสม	**122**
	บรรณานุกรม	**140**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
1.	เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม ในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	56
2.	เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟม ในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	57
3.	เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักในการบ่ม 7 วัน ที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	58
4.	เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมกับ วัสดุมวลเบาชนิดต่าง ๆ	59
5.	เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมกับ คอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ	60
6.	เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของ คอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ	61
7.	เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม ในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	70
8.	เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟม ในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	71
9.	เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงต่อหน่วยน้ำหนักในการบ่ม 7 วัน ที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	72
10.	เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม ในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	80
11.	เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟม ในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	81
12.	เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงต่อหน่วยน้ำหนักในการบ่ม 7 วัน ที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
13	เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก่อนและหลังเผาที่ 75 %	84
14	เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมที่ 75 % โดยการเผา 0.5 , 1 และ 2 ชม.	86
15	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดหน่วงกับระยะเลื่อน	88
16	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราช้าง	98
17	มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด	98
18	โฟมขนาดเท่าหินเบอร์ 1	99
19	โม่ผสมคอนกรีต	99
20	ใส่โฟมเข้าไปในโม่ขณะผสม	100
21	ตรวจค่าความยุบตัวของคอนกรีตหลังผสมทุกครั้ง	100
22	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 15 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด	101
23	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 30 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด	102
24	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 45 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด	103
25	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 60 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด	104
26	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 75 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด	105
27	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 15 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง	106
28	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 30 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง	107
29	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 45 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง	107
30	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 60 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง	108
31	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 75 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง	109
32	ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 15 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดัด	109
33	ขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมรูปทรงกระบอก	110
34	ขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟมรูปทรงกระบอก	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
35	ขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตผสมโฟม	112
36	แบบหล่อตัวอย่างผนังสำหรับทดสอบความสามารถในการทนไฟ	113
37	ฉาบผิวหน้าให้เรียบหลังจากเทคอนกรีตลงแบบแล้ว	113
38	ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบการทนไฟหลังจากแกะแบบแล้ว	114
39	เตาเผาชิ้นงานชนิดควบคุมอุณหภูมิได้สำหรับทดสอบการทนไฟ	115
40	การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนไฟ	116
41	ทำการตัดชิ้นตัวอย่างหลังจากเผาแล้วให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ	117
42	ชิ้นตัวอย่างขนาด 5 x 5x 10 ซม. เพื่อเตรียมทดสอบกำลังรับแรงอัด	117
43	ชิ้นตัวอย่างที่ cap หัวแล้วหลังจากการเผา 0.5 ชม.	118
44	ชิ้นตัวอย่างที่ cap หัวแล้วหลังจากการเผา 1 ชม.	118
45	ชิ้นตัวอย่างที่ cap หัวแล้วหลังจากการเผา 2 ชม.	119
46	ขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการเผาไฟ	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 0 % โดยปริมาตรของหิน	49
2	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 15 % โดยปริมาตรของหิน	50
3	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 30 % โดยปริมาตรของหิน	51
4	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 45 % โดยปริมาตรของหิน	52
5	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 60 % โดยปริมาตรของหิน	53
6	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 75 % โดยปริมาตรของหิน	54
7	ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัด , หน่วยน้ำหนักและแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	55
8	เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด , หน่วยน้ำหนักและแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตมวลเบา	62
9	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 0 % โดยปริมาตรของหิน	63
10	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 15 % โดยปริมาตรของหิน	64
11	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 30 % โดยปริมาตรของหิน	65
12	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 45 % โดยปริมาตรของหิน	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
13	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 60 % โดยปริมาตรของหิน	67
14	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 75 % โดยปริมาตรของหิน	68
15	ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงดึง , หน่วยน้ำหนักและแรงดึงต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	69
16	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 0 % โดยปริมาตรของหิน	73
17	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 15 % โดยปริมาตรของหิน	74
18	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 30 % โดยปริมาตรของหิน	75
19	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 45 % โดยปริมาตรของหิน	76
20	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 60 % โดยปริมาตรของหิน	77
21	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 75 % โดยปริมาตรของหิน	78
22	ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัด , หน่วยน้ำหนักและแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	79
23	เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก่อนและหลังเผาที่ 75 %	83
24	เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมที่ 75 % โดยการเผา 0.5 , 1 และ 2 ชม.	85
25	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดหน่วงกับระยะเลื่อน	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา งานทางด้านวิศวกรรมเป็นส่วนหนึ่งที่เสริมในการที่จะพัฒนาประเทศ สำหรับงานด้านวิศวกรรมโยธาได้มีสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เกิดขึ้นอย่างมากมายและรวดเร็ว ดังนั้นในการที่จะสามารถค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตวัสดุสำหรับการก่อสร้างย่อมจะเป็นประโยชน์ในงานด้านนี้เป็นอย่างยิ่ง

ในปัจจุบันเศษโฟมที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมและครัวเรือน กำลังเป็นปัญหาที่สำคัญต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากโฟมที่เหลือใช้เหล่านี้มีปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ และใช้เวลานานมากในการที่จะย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงได้มีแนวความคิดในการที่จะนำเศษโฟมเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในงานด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมการก่อสร้าง

หินซึ่งเป็นวัสดุที่เราใช้ผสมคอนกรีตที่มีน้ำหนักมากที่สุด จึงมีความเหมาะสมที่จะนำเศษโฟมมาใช้แทนหินเนื่องจากโฟมมีน้ำหนักเบากว่าหิน เศษโฟมที่เหลือใช้ในธรรมชาติมาใช้ผสมเป็นมวลรวมหยาบที่ใช้ผสมเพิ่มในคอนกรีต เพื่อให้คอนกรีตที่ได้ออกมามีน้ำหนักเบาและมีราคาที่ถูกลงและยังเป็นการนำเศษวัสดุที่เหลือใช้ในธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ยากมาใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาเมื่อนำมาใช้เป็นคอนกรีตในงานก่อสร้างจะช่วยลดน้ำหนักของโครงสร้างลง สะดวกในการขนส่ง สะดวกในการทำงาน ลดขนาดหรือจำนวนของสิ่งก่อสร้างลง

ดังนั้น ถ้าสามารถผลิตคอนกรีตเบาได้ โดยสามารถทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำหรือเท่ากับต้นทุนในการผลิตคอนกรีตธรรมดา จะเป็นผลในเกิดความประหยัดในการก่อสร้างและคอนกรีตเบา ยังสามารถนำมาทำเป็นคอนกรีตสำเร็จรูปได้อีก เช่น คอนกรีตผนังสำเร็จรูป เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อศึกษาถึงถึงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุคอนกรีตผสมเศษโฟมที่เหลือใช้
2. เพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยการนำเศษโฟมที่เหลือใช้ซึ่งมีปริมาณมากและทำการกำจัดได้ยาก มาทำการผสมในคอนกรีต
3. เพื่อศึกษาและวิจัยถึงวัสดุชนิดใหม่เพื่อนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง
4. ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบติทางด้านกลศาสตร์และคุณสมบัติทางด้านกายภาพของผนังที่ทำจากวัสดุคอนกรีตผสมเศษโฟมกับผนังชนิดอื่นๆ ทั้งกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และกำลังรับโมเมนต์ดัด
5. ศึกษาความสามารถในการทนไฟและกำลังยึดหน่วงต่อเหล็กเสริมของผนังที่ทำจากวัสดุคอนกรีตผสมเศษโฟม

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงงาน

ในอาคารสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ น้ำหนักส่วนหนึ่งที่ใช้คิดคำนวณหาเนื้อที่หน้าตัดและขนาดของเหล็กเสริมเป็นน้ำหนักของตัวอาคารเอง ซึ่งถ้าหากสามารถทำให้ตัวอาคารมีน้ำหนักเบา ขนาดของโครงสร้างย่อมมีขนาดเล็กลง ทำให้ประหยัดราคาก่อสร้างลงได้มาก ดังนั้นจึงต้องใช้คอนกรีตเบา ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผลิตขึ้นเช่นเดียวกับคอนกรีตธรรมดา แต่ใช้วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบากว่า นอกจากนี้คอนกรีตเบายังใช้เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดาอีกด้วย คอนกรีตเบามีหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 300 – 1850 กก. ต่อ ลูกบาศก์เมตร

คอนกรีตเบาจำแนกตามหน่วยน้ำหนักได้เป็น

ก. คอนกรีตเบาชนิดทำฉนวน (Insulation Ligthweigth Concrete)

มีน้ำหนักตั้งแต่ 315 – 1100 กก. ต่อ ลูกบาศก์เมตร และมีกำลังต้านทานแรงอัดเมื่ออายุ 28 วันระหว่าง 7 - 70 กก. ต่อ ตารางเซนติเมตร

ข. คอนกรีตเบาชนิดทำเป็นโครงสร้าง (Structural Ligthweigth Concrete)

มีน้ำหนักระหว่าง 1400 – 1800 กก. ต่อ ลูกบาศก์เมตร และมีกำลังต้านทานแรงอัดเมื่ออายุ 28 วันไม่ต่ำกว่า 170 กก. ต่อ ตารางเซนติเมตร

ค. คอนกรีตชนิดกึ่งเบา (Semi - Ligthweigth Concrete)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีน้ำหนักตั้งแต่ 1800 –2050 กก. ต่อ ลูกบาศก์เมตร นำมาทำพวกคอนกรีตบล็อก สำหรับกำแพงรั้ว และใช้เป็นวัสดุทนไฟ กำลังต้านทานแรงอัดไม่ต่ำกว่า 170 กก. ต่อ ตารางเซนติเมตร

การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตเบาจะต่างกับวิธีใช้คอนกรีตน้ำหนักธรรมดา เพราะวัสดุผสมจะดูดน้ำที่ใช้ผสมไปส่วนหนึ่ง การคำนวณโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จึงค่อนข้างยาก โดยมากจึงเปลี่ยนใช้วิธีการหาปริมาณของซีเมนต์ที่ต้องใช้ต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร

คอนกรีตที่ใช้ผสมน้ำหนักเบาต้องการเวลาผสมมากกว่าคอนกรีตธรรมดา และวัสดุผสมนี้มีความโน้มเอียงที่จะเกิดการแยกแยะในขณะเทและอัดคอนกรีตมากกว่าธรรมดา ด้วยเหตุนี้จึงควรใช้สารกระจากกักฟองอากาศเข้าช่วย การแยกแยะในคอนกรีตเป็นผลมาจากการลอยตัวอันเนื่องมาจากค่าความยุบตัวสูงเกินไป หรือใช้เครื่องเขย่านานเกินไปหรือวิธีการจัดการอย่างอื่น ๆ

คอนกรีตเบาที่ทำขึ้นจากวัสดุผสมต่าง ๆ กัน จะมีน้ำหนักต่างกัน ซึ่งอาจมีความหนาแน่นตั้งแต่ 300 - 1850 กก. ต่อ ลูกบาศก์เมตร และมีกำลังอัดตั้งแต่ 3 - 400 กก. ต่อ ตารางเซนติเมตร กำลังต้านทานแรงอัดมีค่าขึ้นอยู่ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ได้ ถ้ามีความหนาแน่นสูง กำลังต้านทานแรงอัดก็สูงด้วย ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ก็มีส่วนต่อกำลังความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าต้องการกำลังอัด 210 กก. ต่อ ตารางเซนติเมตร ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ 235 – 400 กก. ต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร หรือ ถ้าต้องการกำลังอัด 310 กก. ต่อ ตารางเซนติเมตร ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ 330 – 490 กก. ต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร

<u>คุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตเบา</u> ได้แก่

1) คอนกรีตเบา ดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า

2) คอนกรีตเบา หดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5 – 40 % แต่คอนกรีตเบาที่ใช้วัสดผสมซึ่งเป็นผลผลิตจาก ดินเผา ดินดาล หรือตะกรัน จะหดตัวเล็กน้อย

3) คอนกรีตเบาอาจล้ามากกว่าคอนกรีตธรรมดา

4) ค่าปัวส์ซองเรโชของคอนกรีตเบาเท่ากับของคอนกรีตธรรมดา แต่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าประมาณ ½ - ¾ เท่าของคอนกรีตธรรมดา เมื่อมีค่ากำลังอัดประลัยเท่ากัน

5) คอนกรีตเบาเก็บเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่ถ้าดัดแปลงผิวของคอนกรีตใหม่แทนที่จะเก็บเสียง คอนกรีตเบาจะกลายเป็นฝาสำหรับสะท้อนเสียงได้สูงมาก

6) สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตเบาประมาณ $7x10^{6}$ - $14x10^{6}$ ต่อองศาเซนติเกรด ซึ่งน้อยกว่าค่าของคอนกรีตธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุคอนกรีตผสมเศษโฟมซึ่งได้แก่กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และกำลังรับโมเมนต์ดัด
2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอนกรีตผสมเศษโฟมซึ่งได้แก่ความสามารถในการทนไฟ และกำลังยึดหน่วงต่อเหล็กเสริม และกำลังยึดหน่วงต่อเหล็กเสริม
3. ศึกษาแนวทางในการทดสอบการดูดซับเสียงของผนังที่ทำจากวัสดุคอนกรีตผสมเศษโฟม
4. ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต โดยกำหนดกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 425 กก./ซม.^{2}
5. ทำการเปรียบเทียบคอนกรีตผสมเศษโฟมกับคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ ในด้านกำลังอัด หน่วยน้ำหนักและราคาของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
36771

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลองทำวัสดุผสมระหว่างคอนกรีตกับเศษโฟมเหลือใช้

- ปูนซีเมนต์

ปูนที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปรกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในสภาวะอากาศที่รุนแรง หรือในที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้เพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตรายที่คอนกรีตจะแตกร้าวเสียหาย ในการทดลองใช้ปูนตราช้าง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

- หิน

หิน มีอิทธิพลต่อคุณภาพของคอนกรีต สัดส่วนการผสม และในด้านความประหยัด หินที่จะใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตต้องสะอาด แข็งแรง และทนทาน มีเหลี่ยมคม ไม่ขยายตัวมาก มีสารที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุด

หินเป็นวัสดุที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม . ขึ้นไป หรือไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ได้

จากการทดลองคุณสมบัติของหินที่ใช้ในการผสมคอนกรีต มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

หินขนาด 1 นิ้ว

- ขนาดหิน	1 นิ้ว
- ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง	2.66
- อัตราการดูดซึม	0.38 %
- ปริมาณความชื้น	1.1 %
- โมดูลัสความละเอียด	5.08

- ทราย

ทราย เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีทั้งทรายบกและทรายทะเล ในการก่อสร้างใช้ทรายแม่น้ำ ทรายเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือสามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม.

จากการทดลองคุณสมบัติของทรายที่ใช้ในการผสมคอนกรีต มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

- ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราการดูดซึม 2.167 %
- ปริมาณความชื้น 2.04 %
- โมดูลัสความละเอียด 2.65

- โฟม

โฟมที่ใช้เรียกว่า Expandable Polystyrene (ESP) ซึ่งบรรจุอากาศประมาณ 98 % ผสมกับ Pentane โดยวิธีการพ่นไอน้ำ

คุณสมบัติของเม็ดโฟมพลาสติก (Expandable Polystyrene (ESP)

1. การนำความร้อนต่ำ

ESP เป็นวัสดุที่เหมาะสำหรับใช้เป็นฉนวน เนื่องจากมีคุณสมบัติกันความร้อนได้ดีกว่าค่าการนำความร้อน 0.032 W/M c การต้านทานความร้อน 31 m c/w

2. ทนทานต่อสภาพอากาศ สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในที่มีอุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิสูงสุดที่โฟมทนได้ เท่ากับ 75 ° c

3. อัตราการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 1 %

4. มีน้ำหนักเบา มีค่าความหนาแน่น (Density) เท่ากับ 40 กก./ม.^{3}

5. ค่า Compressive Stress At Yeild Point เท่ากับ $27 * 10^4$ N / M^2

6. ไม่ทนทานต่อสารเคมี โฟมจะเกิดการเสียหาย ผุกร่อน เมื่อโดนกรดและด่าง

- น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ต้องสะอาด ปราศจากกรด ด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม โดยปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนหรือจากโรงงานอุตสาหกรรม ถือว่ามีคุณภาพดีพอสำหรับงานคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทดสอบทางกลศาสตร์

2.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

(Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen)

ASTM : C 39-72

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างๆ กัน โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. แท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบรูปทรงกระบอก
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Meachine)
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6" และสูง 12"
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องผสมคอนกรีต
6. เครื่องมือวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง
7. เครื่องหล่อหมวก (capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การเตรียมสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ ๆ
2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉย ๆ ประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ค) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนการทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบบราบหรือไม่ ระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5% (หรือประมาณ 3 มม.) หากไม่อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าว ให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C 617 – 84

ง) การคำนวณ

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$f_c = \frac{P}{A}$$

โดย

f_c = กำลังอัดประลัยของแท่นคอนกรีต, กก./ซม^2

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

$= \frac{\pi D^2}{4}$ ซม.^{2}

2.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึง

(Test for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens)

ASTM : C 496 – 71 (1979)

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต จากการทดสอบที่กระทำทางอ้อม คือ การทดสอบหารปริแตกของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก เนื่องจากการทดสอบโดยตรงกระทำได้ยาก ซึ่งโดยทั่วไปกำลังปริแตกจะอยู่ภายใช่วง 5 – 12 % สูงกว่ากำลังรับแรงดึงโดยตรง

<u>วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ</u>

1 - 7 เช่นเดียวกันกับการทดสอบหากำลังอัดคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 ไม้รอง ทำด้วยไม้อัดหนา 1/8 " กว้างประมาณ 1" มีความยาวเท่ากับความยาวของแท่งตัวอย่างหรือยาวกว่าเล็กน้อย เพื่อช่วยให้น้ำหนักแผ่กระจายทั่วข้างของแท่งตัวอย่าง และเมื่อใช้ทดสอบครั้งหนึ่งแล้วไม่ควรใช้กับตัวอย่างอื่นอีก การทดลอง 1 ตัวอย่างใช้ไม้รอง 2 อัน

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การเตรียมแบบหล่อและการเตรียมแท่งตัวอย่าง เหมือนกับการทดสอบกำลังอัด

ข) การทดสอบกำลังดึง

1. ขีดแนวเส้นผ่านศูนย์กลางให้ยาวจรดหัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง
2. วัดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง เฉลี่ยจากการวัด 3 ค่า คือที่ใกล้ปลายทั้งสองและที่กึ่งกลางของแท่งตัวอย่าง พร้อมกับวัดความยาวเฉลี่ยจาก 2 ด้านตามแนวที่ขีดไว้
3. วางแท่งคอนกรีตในลักษณะนอนบนแท่นเครื่องกด ให้แนวเส้นที่ลากไว้อยู่ด้านบนและล่าง นำไม้รองมารองตรงเส้นทั้งด้านบนและล่าง ให้กึ่งกลางของไม้รองตรงแนวเส้น จากนั้นจึงเดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงกดจนกระทั่งคอนกรีตปริแตก

ค) การคำนวณ

กำลังดึงปริแตกของคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$T = \frac{2P}{\pi DL}$$

โดยที่

T = กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแท่งตัวอย่าง

P = แรงกระทำสูงสุดของแท่งตัวอย่าง

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเฉลี่ยแท่งตัวอย่าง

L = ความยาวเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง

2.2.3 การทดสอบกำลังดัดของคานคอนกรีต

(โดยการทดสอบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลางคานตัวอย่าง)

(Test for Flexural Strength of Concrete)

(Using simple Beam with Center – Poing Loading)

ASTM : C 293 – 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

เป็นการทดสอบหากำลังดัดของคอนกรีตด้วยคานตัวอย่าง ที่มีหน้าตัดขนาดเล็ก (เล็กกว่า 15x15 ซม. ลงมา)

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

เช่นเดียวกันกับการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต โดยใช้แรงกระทำสองจุด เปลี่ยนเพียงแบบหล่อมีขนาด 15 x 15 ซม.

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การเตรียมแบบหล่อและการเตรียมตัวอย่าง

เช่นเดียวกับการทดสอบกำลังดัดของคานคอนกรีต โดยใช้แรงกระทำสองจุด

ข) การทดสอบกำลังดัด

1. ให้จุดตัวอย่างคานที่จะทดสอบวางบนจุดที่รองรับ พร้อมกับแรงกระทำที่กึ่งกลางดังแสดงในรูป และเดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ กระทั่งคานทดสอบหัก
2. กำลังดัดของคาน หาได้ในรูปของโมดูลัสแตกร้าวจากสมการต่อไปนี้

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

โดยที่

P = แรงกระทำกึ่งกลางคานกระทั่งคานหัก

L = ระยะช่วงคานระหว่างที่รองรับ

b = ความกว้างเฉลี่ยของคานที่กึ่งกลาง

d = ความลึกเฉลี่ยของคานที่กึ่งกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การทดสอบทางกายภาพ

2.3.1 การทดสอบฉนวนกันเสียง

จากมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น Japanese Industrial Standard (JIS)
การแบ่งประเภทของฉนวนกันเสียงสำหรับอาคาร (JIS A 1419)

1.ขอบเขต

มาตรฐานอุตสาหรรมญี่ปุ่นฉบับนี้บ่งบอกถึงระดับของฉนวนกันเสียงและการแบ่งประเภท โดยสอดคล้องกับความต่างระดับความดันเสียงเฉลี่ยระหว่างห้องกับระดับเสียงกระทบพื้นของอาคาร ซึ่งจะเป็นมาตรฐานเพื่อที่จะประเมินความเป็นฉนวนกันเสียงอย่างเพียงพอสำหรับตึก

2. ลักษณะความถี่อ้างอิงและการออกแบบระดับฉนวนกันเสียง

2.1 ลักษณะความถี่อ้างอิง อาจเทียบได้กับโค้งอ้างอิง ของระดับฉนวนกันเสียง โดยพิจารณาถึงความต่างระดับความดันเสียงเฉลี่ยระหว่างห้องกับที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 1.

2.2 ลักษณะความถี่อ้างอิง อาจเทียบได้กับโค้งอ้างอิง ของระดับฉนวนกันเสียง โดยพิจารณาถึงระดับเสียงกระทบพื้นกับที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.

3.การแบ่งระดับฉนวนกันเสียง

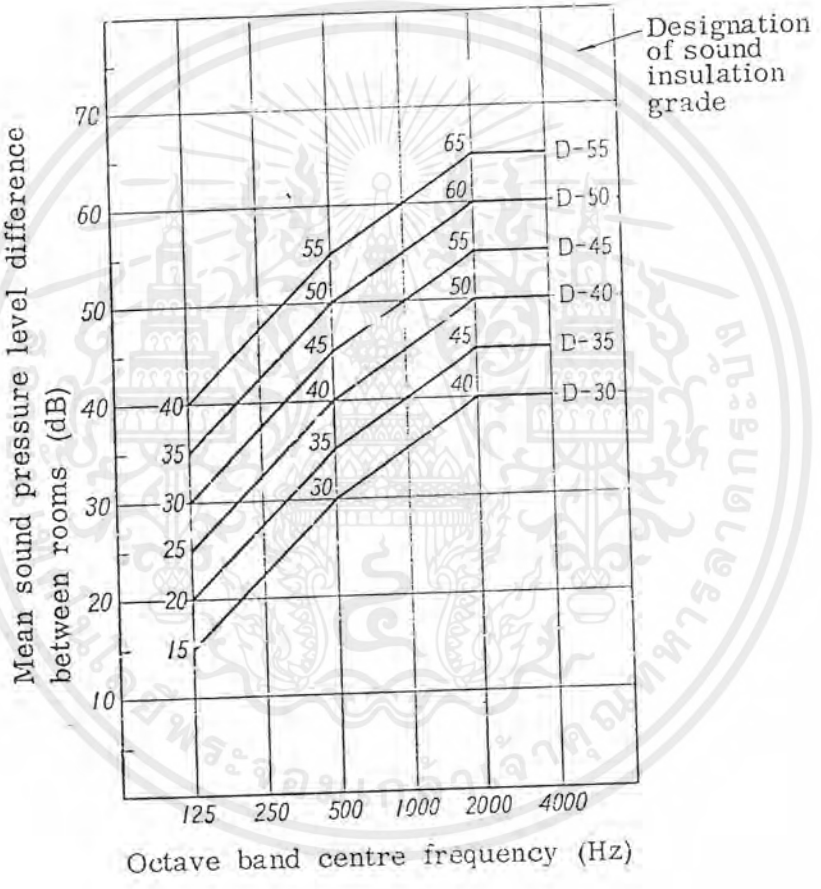
3.1 ระดับฉนวนกันเสียงโดยคำนึงถึงความต่างของระดับความดันเสียงเฉลี่ยกับห้อง พล็อตค่าที่ได้วัดหรือที่ได้ออกแบบไว้ของความต่างระดับความดันเสียงเฉลี่ยกับห้องที่ความถี่ Octave Band ด้วยความถี่กลางที่ 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz และ 4000 Hz ดังรูปที่ 1. และเมื่อค่าเกินโค้งอ้างอิงคงที่ในทุกความถี่แล้วระดับฉนวนกันเสียงจะถูกแสดงโดยการออกแบบที่โค้งอ้างอิงสูงสุดเหนือที่ได้กำหนดไว้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วค่าที่ได้วัดหรือค่าออกแบบสำหรับแต่ละคลื่นความถี่อาจเพิ่มอีก 2 dB

3.2 ระดับฉนวนกันเสียงโดยคำนึงถึงระดับเสียงกระทบพื้น สำหรับในแต่ละความแตกต่างของแหล่งเสียงกระทบ พล็อตค่าที่ได้วัดหรือที่ได้ออกแบบไว้ของระดับเสียงกระทบพื้นที่ความถี่ Octave Band ด้วยความถี่กลางที่ 63Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz และ 4000 Hz ดังรูปที่ 2. และเมื่อค่าต่ำกว่าโค้งอ้างอิงคงที่ในทุกความถี่แล้วระดับฉนวนกันเสียงจะถูกแสดงโดยการออกแบบที่โค้งอ้างอิงต่ำสุดเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

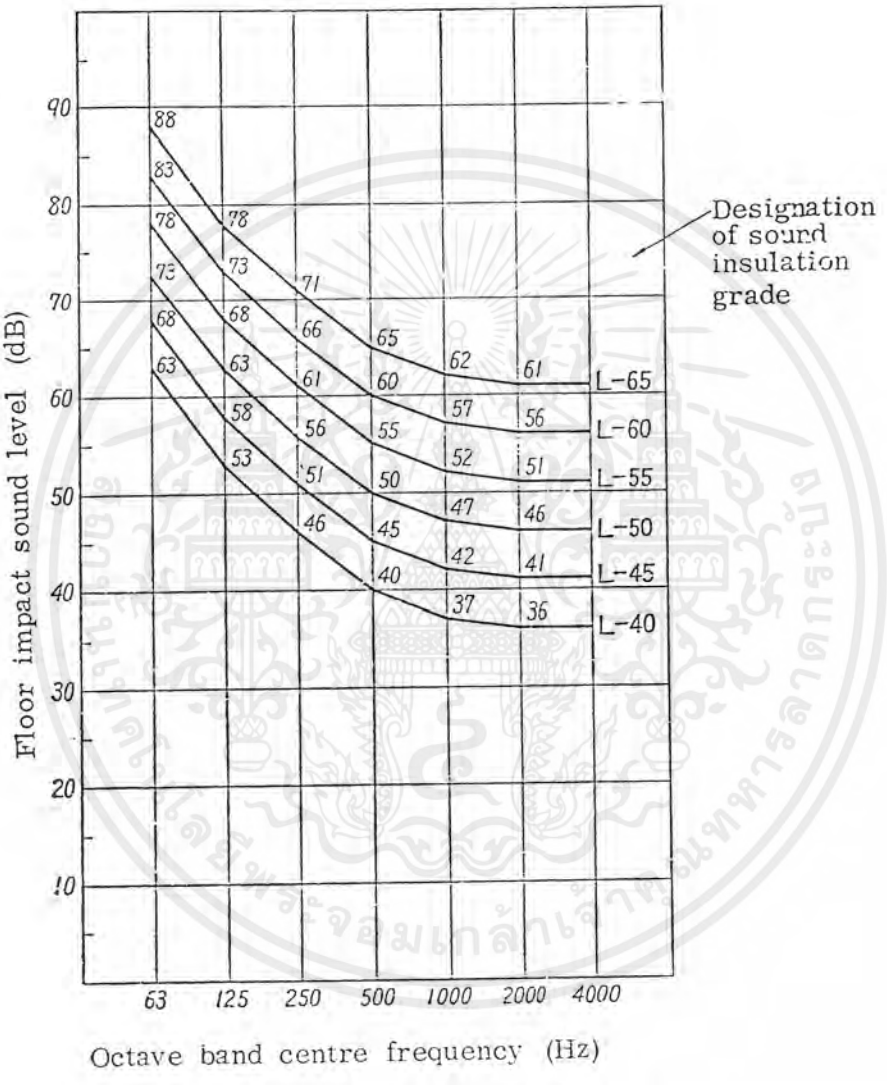
ที่ได้กำหนดไว้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วค่าที่ได้วัดหรือค่าออกแบบสำหรับแต่ละคลื่นความถี่ อาจเพิ่มอีก 2 dB

รูปที่ 1. ลักษณะความถี่อ้างอิงสำหรับการแบ่งระดับฉนวนกันเสียงโดยคำนึงถึงความต่างระดับความดันเสียงเฉลี่ยระหว่างห้องกับที่ได้ออกแบบไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2. ลักษณะความถี่อ้างอิงสำหรับการแบ่งระดับฉนวนกันเสียงโดยคำนึงถึงระดับเสียงกระทบพื้นกับที่ได้ออกแบบไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทฤษฎีของการวัดสำหรับระดับฉนวนกันเสียง

ทฤษฎีของการวัดเพื่อแบ่งระดับฉนวนกันเสียงจะเป็นดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีของการวัดสำหรับความต่างระดับความดันเสียงเฉลี่ยระหว่างห้องจะเป็นไปตามมาตรฐาน JIS A 1417.
2. ทฤษฎีของการวัดสำหรับระดับเสียงกระทบพื้นจะเป็นไปตามมาตรฐาน JIS A 1418. โดยอธิบายชนิดของเสียงกระทบอย่างชัดเจน

5. การแบ่งระดับฉนวนกันเสียง

การแบ่งระดับฉนวนกันเสียงจะแบ่งจาก ระดับ 1 ไปจนถึงระดับ 6 ตามความเป็นฉนวนกันเสียงจากสูงไปจนต่ำ และระดับจะสอดคล้องกับระดับฉนวนกันเสียงที่ได้ออกแบบไว้ดังตารางที่ 1.

ตารางที่ 1.

(1) การแบ่งระดับฉนวนกันเสียงโดยคำนึงถึงความต่างระดับความดันเสียงเฉลี่ยระหว่างห้อง

Sound insulation grade	D-55	D-50	D-45	D-40	D-35	D-30
Class	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6

(2) การแบ่งระดับฉนวนกันเสียงโดยคำนึงถึงระดับเสียงกระทบพื้นห้อง

Sound insulation grade	L-40	L-45	L-50	L-55	L-60	L-65
Class	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ

วัสดุ	ความถี่ Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
เซลโลกรีตอัดโฟม	0.05	0.05	0.08	0.5	0.53	0.34
เซลโลกรีตอัดโฟม	0.06	0.06	0.07	0.14	0.55	0.82
คอนกรีต	0.03	0.03	0.06	0.06	0.25	0.25
ยิบซั่มบอร์ดแผ่นเรียบ	0.03	0.03	0.07	0.11	0.17	0.25
อะคูสติคบอร์ด	0.03	0.05	0.09	0.14	0.45	0.61

2.3.2 การทดสอบการป้องกันอัคคีภัย

<u>ลักษณะและพฤติกรรมของอัคคีภัย</u>

ไฟเป็นอันตรายร้ายแรงอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความสูญเสียต่อทรัพย์สินและชีวิตมนุษย์ธรรมชาติของไฟเกิดจากการพัฒนาตัวเองของความร้อน แต่ไฟที่เกิดในอาคารส่วนใหญ่นั้นเกิดจากแหล่งเชื้อเพลิงที่ติดไฟเล็ก ๆ แล้วค่อย ๆ เพิ่มตัวขึ้นเรื่อย ๆ แหล่งเชื้อเพลิงหรือที่ให้ความร้อนต่าง ๆ นั้นบางอย่างอาจจะเป็นเปลวไฟจากไม้ขีดไฟ ความร้อนจากเตาเผาในโรงงาน หรืออาจจะเป็นเปลวไฟที่เกิดขึ้นจากการช็อตของไฟฟ้าก็เป็นได้เป็นต้น

อัตราการเพิ่มตัวเองของไฟโดยทั่ว ๆ ไปแล้วขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนที่เราป้อนเข้าไปนั่นคือสิ่งซึ่งสามารถติดไฟได้ทั้งหมดที่มีอยู่ภายในอาคาร กับอัตราของความร้อนที่กระจายออกมา ถ้าความร้อนที่ป้อนเข้าไปมีค่ามากกว่าความร้อนที่กระจายออกมาแล้วอัตราการเพิ่มตัวเองของไฟก็จะเพิ่มมากขึ้นได้

<u>ขบวนการเกิดเพลิงไหม้</u>

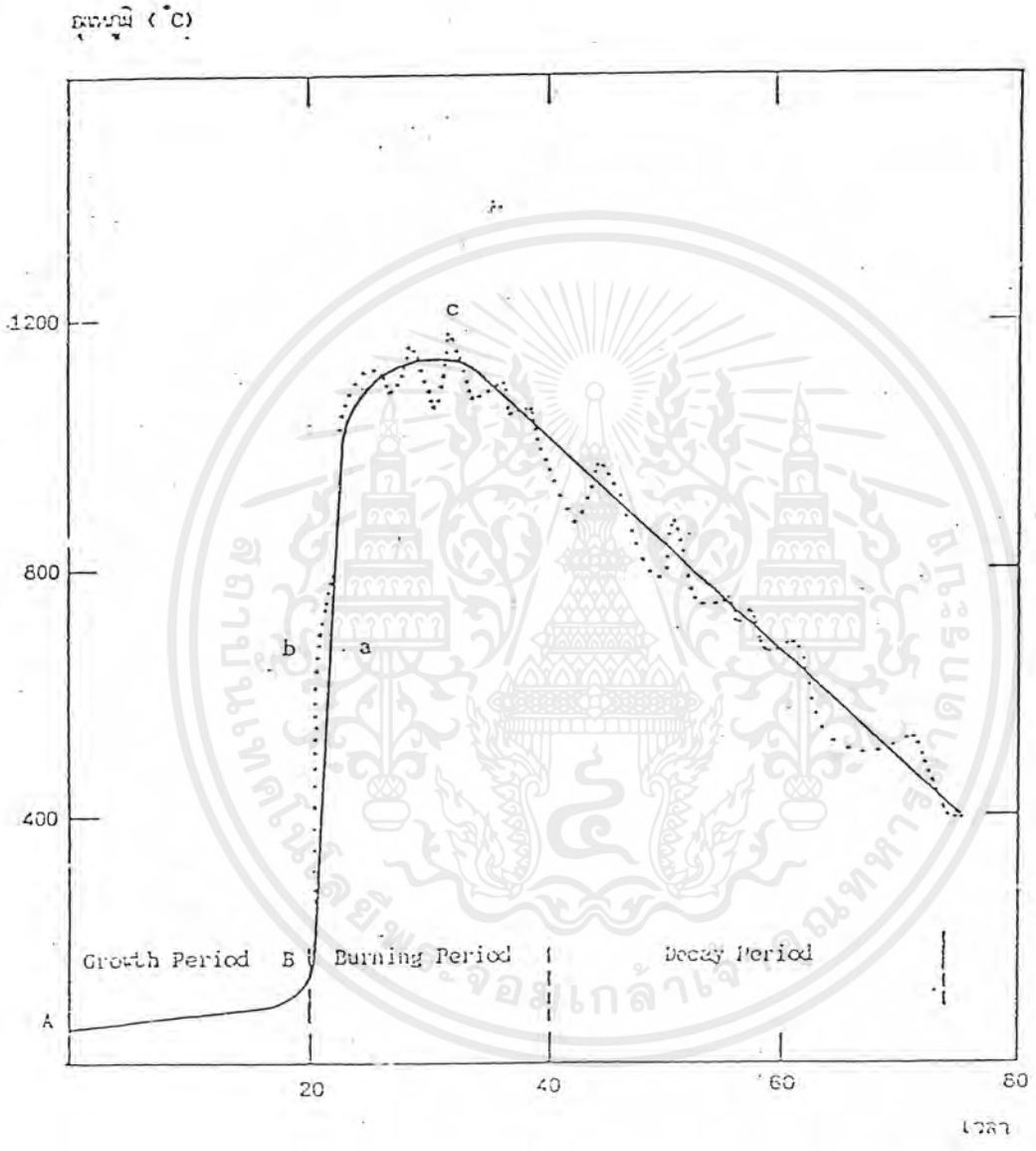
การเพิ่มตัวเองขึ้นของไฟจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วมาก ถ้าสภาวะแวดล้อมเอื้ออำนวยไปที่ไหม้ในอาคารภายในที่จำกัด เช่น ห้องทำงาน ห้องพักอาศัย ห้องเรียนที่อื่น ๆ ไฟจะสามารถกระจายลุกลามไปได้อย่างรวดเร็วหรือไม่ขึ้นกับว่าภายในห้องนั้นมีสิ่งที่ติดไฟได้สะสมอยู่เป็นปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยเท่าไรและมีการถ่ายเทอากาศได้ดีหรือไม่เพียงใด ดังนั้นจะเห็นว่าวัสดุอื่นหรือสิ่งอื่น ๆ ที่ติดไฟช้าหรือติดไฟได้ยากนั้นจึงอาจจะติดไฟได้ด้วยและจะเกิดขึ้นภายในเวลาเพียงไม่กี่นาทีเท่านั้น ซึ่งอุณหภูมิในตอนนั้นจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วมาก

จากกราฟแสดง พฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริงๆ เป็นกราฟแสดงพฤติกรรมของไฟในรูปความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาภายในห้องหนึ่งๆ ซึ่งมีเชื้อเพลิงจำนวนหนึ่งและมีการถ่ายเทอากาศแบบหนึ่ง เส้นกราฟ a เป็นกราฟของข้อมูลจริงๆ ที่เก็บมาได้ ส่วนกราฟ b เป็นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของกราฟ a ช่วง A-B เป็นช่วงก่อนที่จะเกิดเพลิงไหม้หมดทั้งห้องและเราเรียกช่วงนี้ว่า "ช่วงเริ่มก่อตัวของไฟ" (Growth period) ที่จุด b ช่วงเผาไหม้ (Burning period) จะเริ่มต้นขึ้น นั้นหมายความว่าภายในห้องนั้นได้เกิดเพลิงลุกไหม้จนทั่วหมดแล้ว ช่วงนี้ถือว่าการพัฒนาตัวเองของไฟได้เกิดขึ้นเต็มที่ อุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ว่าจะเกินในอัตราที่ลดลงเมื่อใกล้ถึงจุด c ซึ่งเป็นจุดที่ความร้อนที่ได้จากสิ่งที่ถูกเผาไหม้ไปกับความร้อนที่สูญเสียไปกับกำแพง และสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากันพอดี อุณหภูมิจะเริ่มลดลงเลยจุด c ไปถือว่าเป็นช่วงของการสลายตัว (Decay Period) แม้ว่าอุณหภูมิจะเริ่มลดลงแต่อุณหภูมิในช่วงนี้ยังสูงมากออยู่ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการพังทลายของการโครงสร้างได้ถ้าไหม้เป็นเวลานานๆ ติดต่อกันหลายๆ ชั่วโมง ในระหว่างมีลุกไหม้ในช่วงของการเผาไหม้หรือช่วงการสลายนั้น อาจจะมีการส่งผ่านความร้อนหรือการกระจายของไฟจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่งก็ได้ หรืออาจจะมีการแผ่เปลวไฟความร้อยไปยังตึกข้างเคียงอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงการก่อตัวของไฟ (Growth Period)

อุณหภูมิในช่วงนี้ค่อนข้างต่ำอยู่ดังนั้นจึงไม่ค่อยมีผลเท่าใดนักเวลาของช่วงนี้จะสำคัญกว่าช่วงเวลาอื่นๆ ทั้งนี้เรื่องมาจากว่าถ้าเวลาของช่วงนี้นานก็จะยังพอมีเวลาที่จะหลบหนีออกจากห้องหรือตัวตึกได้อย่างปลอดภัย และยังสามารถดับไฟได้ทันท่วงทีอีกด้วยเวลาของช่วงนี้จะนานเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเชื้อเพลิง ถ้าเชื้อเพลิงติดไฟได้ไวความร้อนที่ออกมาจะมากทำให้เวลาของช่วงนี้ก็จะน้อยตามไปด้วย พื้นที่ผิวของกำแพง เพดาน ก็มีผลกระทบต่อเวลาของช่วงการก่อตัวของไฟอีกก็คือระยะห่างของสิ่งที่ติดไฟภายในห้อง ขนาดและตำแหน่งของแหล่งกำเนิดไฟ ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดภายในห้อง ทิศทางและความเร็วของลม ขนาดและรูปร่างของห้องและปริมาณและขนาดของเชื้อเพลิงภายในห้อง

ช่วงของการเผาไหม้และช่วงการสลายตัว (Burning and Decay Period)

ระหว่างที่มีไฟกำลังไหม้อยู่ภายในห้องนั้น ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซที่มาจากสิ่งที่ติดไฟจะมีการเคลื่อนตัวลอยสูงขึ้นและออกไปทางส่วนบนของช่องเปิด หรือทางหน้าต่างส่วนอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอกก็จะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ทางส่วนล่างของช่องเปิดและเข้าร่วมในการเผาไหม้ต่อไป เหตุการณ์นี้เนื่องมาจากการเกิดความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศร้อนภายในและอากาศเย็นภายนอกนั่นเอง ตัวการที่มีส่วนช่วยให้ช่วงนี้เกิดได้ดีก็คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงและขนาดของช่องเปิดภายในห้องนั้น ถ้าช่องเปิดภายในมีขนาดใหญ่อัตราการเผาไหม้จะยิ่งสูง แต่ความเป็นจริงแล้วพื้นที่ผิวของสิ่งที่ติดไฟก็จะเห็นตัวควบคุมอัตราการเผาไหม้ด้วย สิ่งที่ติดไฟภายในอาคารส่วนใหญ่จะเห็นพวกเครื่องเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งในแต่ละห้องก็จะมีจำนวนแตกต่างกันไปและเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย อย่างไรก็ตามภายในอาคารหลาย ๆ แห่งจะมีพื้นที่ผิวของเฟอร์นิเจอร์อยู่อย่างเพียงพอ สรุปแล้วอัตราการถ่ายเทของอากาศภายในห้องจะเป็นตัวควบคุมอัตราการเผาไหม้ที่มีผลมากกว่าตัวการอื่นๆ

ดังนั้นจะเห็นว่าจากขบวนการของการพัฒนาตัวเองของไฟ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะไฟไหม้ การกระจายของไฟ ช่วงเวลาที่เกิดไฟไหม้ และอื่น ๆ อีกนั้นจะขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นหลายอย่างซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะไฟที่เกิดขึ้นภายในอาคารมีดังนี้

- ปริมาณของไฟ (Fire Load)
- ตำแหน่งที่อยู่ของปริมาณไฟ
- ชนิด รูปร่างและขนาดของเชื้อเพลิงหรือสิ่งซึ่งติดไฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พื้นที่ของช่องเปิดหรือหน้าต่าง
- อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์
- ขนาดของห้อง
- การนำความร้อนของโครงสร้าง
- ระดับการแผ่กระจายของไฟ

จากการศึกษา ที่ได้มีการค้นคว้าและทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเอาไว้แล้วนั้น พบว่าตัวแปรต่างๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นนี้ ตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลทำให้เส้นกราฟของไฟมีลักษณะต่างๆ กันไปก็คือปริมาณของไฟ และพื้นที่ช่องเปิด

ปริมาณไฟ (Fire Load)

ปริมาณของไฟนิยามว่าเป็น ปริมาณความร้อนที่วัดได้จากวัสดุซึ่งติดไฟได้ในห้องหนึ่ง หรืออาจนิยามปริมาณไฟว่าเป็น ปริมาณความร้อนของวัสดุซึ่งติดไฟต่อพื้นที่หนึ่งตารางหน่วยถ้าพูดถึงความหนาแน่นของปริมาณไฟนั่นก็คือ วัดภายในปริมาตรนั่นเอง ปกติแล้วค่าปริมาณไฟจะคิดต่อพื้นที่ผิวของห้อง

ในประเทศต่างๆ ได้มีการสำรวจเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของไฟในอาคารกันอย่างกว้างขวาง โดยทั่วไปแล้วปริมาณความร้อนของวัสดุซึ่งติดไฟนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำหนักของไม้ที่ให้ความร้อนออกมาเท่าๆ กันกับปริมาณความร้อนของวัสดุนั่นเอง ปริมาณไฟสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับกรกระจายของวัสดุในอาคารหรือตำแหน่งของวัสดุชนิดของห้องภายในอาคารและอื่นๆ อีก จากข้อมูลที่เก็บมาจากหลายๆ อาคารก็ได้ทำการลงความเห็นกันว่าค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของค่าปริมาณไฟในอาคารจะมีค่าไม่น้อยไปกว่า 10 ปอนด์ต่อพื้นที่หนึ่งตารางฟุตต่อหนึ่งชั่วโมง ซึ่งค่านี้ได้ถูกนำไปใช้กำหนดมาตรฐานไฟเพื่อใช้ในการทดสอบซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

เส้นโค้งมาตรฐานไฟและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ

(standard Fire Curve and basic Theory of Fire Severity)

การที่จะทราบว่าองค์อาคารที่ถูกไฟไหม้ไปแล้วนั้นจะมีพฤติกรรมอย่างไร จะสามารถต้านทานไปได้มากน้อยเพียงใดนั้นก็จะต้องมาจากการทดสอบทั้งสิ้น จากข้อมูลดังกล่าวที่เกิดขึ้นจริงกับอาคารต่างๆ ต่อมาจึงได้มีการค้นคว้าเพื่อหาหลักการที่จะใช้เป็นมาตรฐานไฟขึ้นมาใช้ ดังนั้นจึงได้มีการค้นคว้ากันในหลายๆ ประเทศ ตามสถาบันต่างๆ อาทิเช่น ASTM ISO และอื่นๆ อีกมากมาย ได้มีการแนะนำมาตรฐานไฟขึ้นมาใช้ทดสอบโดยมีการสร้างหลักการของ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (Temperature – Time Relation) เพื่อเลียนแบบไฟที่เกิดขึ้นจริงๆ กับอาคาร โดยนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจัยชาวอเมริกาชื่อ INGBERG ได้เสนอแนวความคิดในการสร้างเส้นโค้งมาตรฐานไฟ โดยเรียกว่า "แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ (Fire Load concept)"

FIRE LOAD CONCEPT

แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟมีข้อสมมุติฐานที่มีความสำคัญที่จะใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้คือ

1. ความทนทานไฟขององค์อาคารขึ้นกับ "ความรุนแรงของไฟ" เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ความรุนแรงของไฟสำหรับอาคารหรือที่ได้จากเตาไฟ ที่ใช้ในการทดสอบซึ่งลอกเลียนแบบไฟจริงๆ นั่นก็คือ พื้นที่ใต้กราฟอุณหภูมิกับเวลานั่นเอง
2. ความรุนแรงของไฟขึ้นอยู่กับ ความเข้มของปริมาณไฟ เพียงอย่างเดียว

การเปลี่ยนแปลงสีของคอนกรีตตามอุณหภูมิต่างๆ

คอนกรีตที่ถูกไฟเผาไปแล้วนั้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีผิวของคอนกรีตไปเป็นสีต่างๆ ตามระดับของอุณหภูมิต่างๆ

ตารางแสดงสีผิวของคอนกรีตเมื่อเวลาถูกไฟไหม้ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ กัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สีของคอนกรีต
300	ปกติไม่เปลี่ยนแปลง
300-600	ชมพู - แดง
600-950	เทาขาว (White - Gray)
950	เหลืองคล้ำ (Buff)

การตรวจสอบสอบอาคารที่เกิดชำรุดเนื่องจากถูกไฟไหม้

เมื่อเกิดไฟไหม้อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขึ้นมกจะมีปัญหาตามมาว่าโครงสร้างนั้นจะยังคงใช้งานได้ต่อไปโดยปลอดภัยหรือไม่ เพราะบางทีดูเผิน ๆ เหมือนกับว่าตัวโครงสร้างยังอยู่ในสภาพดี เว้นแต่แผ่นพื้นจะแอ่นบ้างและปูนฉาบมักจะกระเทาะออกมาเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติถ้านำแท่งคอนกรีตไปให้ความร้อนโดยตรงจะพบว่ากำลังตกลงไปมากดังจะเห็นได้จากผลการทดลองที่ประเทศเยอรมัน ใน พ.ศ. 2473 โดยใช้แท่งลูกบาศก์ขนาก 10 ถึง 15 ซม. บ่มชื้น 7 วัน แล้วให้ความร้อนเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ได้ผลดังนี้คือ

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	%การลดลงของกำลังอัด
300	12
500	50
670	82

แต่การทดลองดังกล่าว กระทำดับชิ้นส่วนเล็กๆ เท่านั้น ซึ่งเมื่อเผาไฟจะได้รับความร้อนจัดพร้อมกันทุกด้าน แต่ในโครงสร้างที่จริงไฟได้เผาเพียงบางส่วนบางด้านเท่านั้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ฉะนั้นกำลังของคอนกรีตในโครงสร้างอาจไม่ลดลงมากเหมือนที่ปรากฏในผลจากห้องทดลองขอบเขตของการทดลอง

- Strength ของคอนกรีตที่ใช้งานโดยทั่วไปมีค่า 180 ksc. (เพื่อให้คอนกรีตที่จะนำมาทดสอบมีกำลังการรับน้ำหนักเท่ากันหมดควรใช้คอนกรีตแบบ ready mixed เพื่อที่จะไม่เกิด error ขึ้นในการทดสอบเพราะว่าการ set การรับกำลังของคอนกรีตให้คงที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาการรับกำลังของคอนกรีตหลังการเผามิฉะนั้นคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบจะมีค่า strength ที่แตกต่างกันทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดและอาจยุ่งยากอย่างมาก) แต่ว่าไม่ได้รับการอนุมัติ
- ช่วงเวลาอุณหภูมิของการเผาไหม้เท่ากับ 400, 500 องศาเซลเซียส
- ช่วงเวลาการเผาในอุณหภูมิของการเผาคงที่ใช้เวลา 1, 2, 3, 4 ชั่วโมง
- ระยะเวลาการทดสอบหลังการบ่มในน้ำ 28 วัน การทดสอบครั้งละ 6 ตัวอย่าง

<u>กรรมวิธีการดำเนินการทดสอบ</u>

1. Designส่วนผสมของคอนกรีตโดยกำหนดUltimate Strengthที่28วัน 425 ksc
2. ทำการผสม แล้วเทใส่แบบหล่อรูปสี่เหลี่ยมขนาด30x30x5ซม.
3. ทิ้งเอาไว้ 1 วันถอดแบบออกแล้วบ่มทิ้งเอาไว้ในน้ำ 7 วันแล้วนำขึ้นจากน้ำแล้วนำมาอบแห้ง 1 วัน
4. จดบันทึกจำนวนหมายเลข, น้ำหนัก, ขนาดของแผ่นคอนกรีต
5. นำแผ่นคอนกรีตตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5, 1, 2 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการเผาคอนกรีตโดยใช้เตาที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง เพิ่มอุณหภูมิในเตาให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งคงที่ในระดับ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลาคงที่ตามที่กำหนดเอาไว้ จากนั้นดับไฟแล้วทิ้งคอนกรีตให้เย็นตัวลงในเตาเผา ทิ้งเอาไว้เป็นเวลา 1 วัน
7. หลังจากนั้นนำแผ่นคอนกรีตตัวอย่างที่ได้รับการเผาแล้วมาทำการผึ่งให้เย็นแล้วจึงนำมาทำการทดสอบการรับกำลังรับแรงอัด โดยการใช้เลื่อยไฟเบอร์ตัดชิ้นตัวอย่างให้ได้ขนาด 5 x 5 x 10 ซม.
8. ทำการ cap ชิ้นตัวอย่างให้เรียบทั้งสองด้าน
9. นำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัด
10. บันทึกผลการทดสอบเกี่ยวกับจำนวน, Strength, หมายเลข, น้ำหนัก และขนาดของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบ
11. บันทึกผลการทดสอบที่ได้เพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของตะปู

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดของคอนกรีตต่อตะปูเกลียวที่ฝังในผนังคอนกรีตตัวอย่างด้วยวิธีการดึง (Pull Out Test) ทั้งนี้เพราะผนังคอนกรีตทั่วไปส่วนใหญ่มักมีการฝังตะปูเกลียวพร้อมพุกเพื่อแขวนสิ่งของ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาเพื่อให้ผนังคอนกรีตผสมเศษโฟมที่ได้มีประสิทธิภาพเต็มที่ตามที่ได้ออกแบบไว้

กำลังในการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวเกิดจากการยึดติด (Adhesion) และแรงเสียดทาน (Friction) ของตะปูเกลียวกับซีเมนต์เพสท์ที่แข็งตัวแล้ว แต่มีความยากในการวัดค่าที่แท้จริงทั้งนี้เพราะมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง เช่น ถ้าคอนกรีตมีการแตกร้าวและน้ำซึมผ่านได้ง่ายจะมีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวด้วย นอกจากคุณสมบัติของเนื้อคอนกรีตแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วยคือ ขนาดของตะปูเกลียว น้ำหนักที่กระทำต่อตะปูเกลียว

ในทางปฏิบัตินั้นถือว่ากำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตต่อตะปูเกลียวมีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของคอนกรีต คือ เมื่อกำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น กำลังยึดเหนี่ยวของคอนกรีตจะเพิ่มตาม และพบว่ากำลังในการยึดเหนี่ยวลดลงอย่างมาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะ สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ไม่เท่ากันของตะปูเกลียวและคอนกรีต

<u>เครื่องมือ</u>

- เครื่องดึง ซึ่งสามารถให้แรงดึงเพื่อถอนตะปูเกลียวออกจากชิ้นทดสอบในเวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที
- ตะปูเกลียว ควรใช้ตะปูเกลียวหัวจมแบบผ่าที่เป็นไปตาม มอก.499 ขนาดระบุ 4.1 ความยาว40 มม.

<u>วิธีทดสอบ</u>

1. ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นให้ทดสอบ 3 แผ่น คือ ที่กึ่งกลางผิวหน้า 1 แห่ง และที่กึ่งกลางของขอบ 2 ขอบ ที่ประชิดกัน
2. ขันตะปูเกลียวลงในชิ้นทดสอบ ซึ่งได้เจาะรูนำและได้ตอกพุกลงไปแล้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 มม. ลึก 50 มม. ขันตะปูเกลียวลงไปจนกระทั่งจมลึกลงไปถึง 40 มม. ยกเว้นผิวหน้าของชิ้นทดสอบที่มีความหนาไม่ถึง 40 มม. ให้ขันตะปูเกลียวเท่ากับความหนาของชิ้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ตะปูเกลียวถอนจากชิ้นทดสอบ แรงที่ใช้ดึงจะต้องอยู่ในแนวเดียวกับตะปูเกลียวและตั้งฉากกับผิวหน้าหรือผิวขอบของชิ้นทดสอบ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งตะปูเกลียวถอนออกจากชิ้นทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และ ไม่เกิน 120 วินาที

<u>การรายงานผล</u>

รายงานค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

(Concrete Mixed Design)

ACI (211.1-77)

1. ขอบเขต

วิธีและหลักการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้ ใช้กับคอนกรีตปรกติทั่วไปที่ใช้ในโครงสร้างอาคาร และใช้สำหรับกำหนดให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เหมาะสมกับสภาพของการเท หรือหล่อในที่ (cast – in – place construction)

อย่างไรก็ตาม ถือว่าเป็นเพียงการประมาณอัตราส่วนในชั้นแรกเท่านั้น จำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบผลของอัตราส่วนนี้ จากห้องทดลองปฏิบัติการหรือในสนามและมีการปรับปรุงตามความจำเป็นและเหมาะสมกับคุณสมบัติของคอนกรีตตามต้องการ

2. กล่าวนำ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าคอนกรีตนั้น คือวัสดุผสมซึ่งมีวัสดุที่เป็นหลักอยู่ 2 ชนิด คือซีเมนต์มวลรวมคละ (หยาบและละเอียด) และน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมีสิ่งอื่นเพิ่มเติมเข้ามาอีกได้แล้วแต่ความต้องการ อาจจะเป็นการกระจายกักฟองอากาศ หรือสารผสมเพิ่ม (Admixtures) ต่างๆ

สำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น มีข้อควรคำนึงอยู่ 2 ข้อที่มีความสำคัญเท่าๆ กัน ข้อแรกคือ การประหยัดวัสดุที่สมเหตุสมผล อีกข้อหนึ่งก็คือความต้องการในความสามารถที่จะรับแรง ความสามารถในการทำงาน ตลอดจนความคงทน เป็นต้น

3. ความสัมพันธ์ขั้นมูลฐาน

จากที่ได้กล่าวนำไปแล้วว่าการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น ข้อที่ควรคำนึงอีกประการหนึ่งนอกจากการประหยัดแล้วก็คือ ความสามารถในการทำงาน กำลัง ความคงทน สิ่งต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน พอจะสรุปได้ย่อๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการทำงาน (Workability) คำนี้เหมือนจะทำให้คำจำกัดความลงไปอย่างแน่ชัดไม่ได้โดยทั่วไปเรามุ่งถึงคอนกรีตที่สามารถจะทำได้ง่ายสำหรับการผสม การขนส่ง การเทลงไปในแบบหล่อ การอัดแน่น การตกแต่ง ตลอดจนความแข็งแรงของคอนกรีต

ความข้นเหนียว (Consistency) กล่าวง่ายๆ ก็คือ ความเหลวหรือความเปียกของคอนกรีตสดนั้นเอง ความเหลวหรือความเปียกนี้สามารถตรวจสอบได้จากการยุบตัว (slump) คอนกรีตที่มีความยุบตัวสูงก็จะมีความเหลวมาก ความเหลวในที่นี้ไม่เกี่ยวกับคุณสมบัติความสามารถในการทำงานของคอนกรีต ในการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตนั้น ปริมาณน้ำที่จะใช้เป็นสิ่งสำคัญซึ่งขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายประการ

ความคงทน (Durability) คอนกรีตที่ดีจะต้องมีความสามารถในการคงทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ในขณะที่อยู่ในกำลังใช้งาน อาจจะเป็นอากาศหนาวจัดร้อนจัด ฝนตกหรือแดดออกหรือผลจากสารเคมี ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้ควรมีการใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อให้คอนกรีตเกิดความคงทนภายใต้สภาวะดังกล่าวให้การกำหนดค่า water – cement ratio ต่ำ ๆ อาจมีส่วนช่วยยืดอายุคอนกรีตให้คงทนขึ้นได้มาก

ความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบางชนิดอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้คุณสมบัติจากน้ำหนักของตัวมันเอง ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุหรือความหนาแน่นก็ควรจะให้เป็นไปตามต้องการ

4. ข้อมูลพื้นฐาน

ในขั้นตอนการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต จำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานบางอย่างจากวัสดุที่จะนำมาเป็นส่วนผสม ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบและละเอียดด้วยตะแกรง
2. ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ
3. ค่า Bulk specific gravities และค่าดูดซึมของมวลรวมคละ
4. ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้สำหรับการผสมคอนกรีต
5. ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดังกล่าวอาจกำหนดได้จากตารางคำนวณเช่นข้อมูลที่ 4 และ 5 อาจดูได้จากตารางที่จะกำหนดไว้ให้ หรือข้อมูลที่ 3 อาจไม่จำเป็นต้องทราบเลยก็สามารถจะหาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตได้เช่นกัน

5. ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนสำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีต ในที่นี้ควรกระทำไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด สิ่งแรกก็คือ ความต้องการหรือคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่จะใช้ ซึ่งมีดังนี้

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปริมาณซีเมนต์น้อยสุด
3. ปริมาณอากาศ
4. ค่ายุบตัว
5. ขนาดโตสุดของมวลรวมคละ
6. กำลังคอนกรีต
7. อาจมีความต้องการอื่นๆ อีกนอกเหนือจากการคำนวณ เช่น สารผสมเพิ่มและซีเมนต์ชนิดพิเศษ เหล่านี้เป็นต้น

ข้อมูลสำหรับความจำเป็นเบื้องต้นเหล่านี้ มีหลักและวิธีการปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่ายุบตัว : หากค่ายุบตัวไม่ได้มีกำหนดไว้ให้ในความต้องการของงาน อาจใช้ตามตารางที่ 1 ช่วยในการกำหนดได้ ค่ายุบตัวต่างๆ ที่คอนกรีตแน่น และเป็นส่วนผสมที่มีความข้นเหนียวเหมาะแก่สภาพงานอย่างยิ่ง

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดขนาดโตสุดของมวลรวม : มวลรวมคละที่มีขนาดเรียงประกอบด้วยขนาดใหญ่ที่มีจำนวนมาก ย่อมจะเกิดช่องว่างน้อยกว่ามวลรวมคละที่มีขนาดใหญ่ต้องการเนื้อปูนหรือมอร์ต้าน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม มีข้อกำหนดไว้ว่าขนาดของมวลรวมใหญ่สุดไม่ควรเกิน 1/5 เท่า ของขนาดโครงสร้างที่แคบที่สุด หรือ 1/3 เท่าของความหนาแน่นพื้น หรือ ¾ เท่าของระยะต่ำสุดของเหล็กเสริมที่อยู่ในแนวเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดปริมาณน้ำผสมและปริมาณอากาศ : ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่จะทำให้เกิดค่ายุบตัวตามกำหนดในขั้นตอนแรกนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดของรูปทรงและขนาดเรียงของมวลรวมคละ และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฟองอากาศอีกด้วย ในตารางที่ 2 เป็นตารางที่ช่วยในการประมาณการของจำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต สำหรับมวลรวมคละขนาดต่างๆ ทั้งเป็นคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตกักฟองอากาศ เนื่องจากขนาดและรูปร่างของมวลรวมที่อาจวัดได้ไม่แน่นอน อาจทำให้ค่าในตารางที่ให้ไว้ผิดพลาดไปบ้างเล็กน้อย แต่ก็คิดว่าจะยังคงถูกต้องเพียงพอสำหรับใช้ในการประมาณขั้นแรกนี้ และจำนวนน้ำหนักที่แตกต่างกันจากความที่น่าจะเป็นจริงเพียงเล็กน้อยนี้ ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเลย ทั้งนี้เพราะยังมีแฟคเตอร์อื่นๆ อีกมากมายนักที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 4 การเลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR): ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการในการผสมคอนกรีตนั้น มิใช่เพียงเพื่อให้คอนกรีตเกิดกำลังความต้องการเท่านั้น แต่ยังเพื่อช่วยให้เกิดความคงทนและสามารถที่จะตกแต่งได้อีกด้วย จะเห็นว่าค่า WCR เดียวกันจะทำให้คอนกรีตมีกำลังแตกต่างกันได้ ถ้าใช้มวลรวมคละหรือประเภทของซีเมนต์ที่แตกต่างกัน สิ่งนี้แหละที่ควรจะได้ก่อให้เกิดการปรับปรุงหรือแก้ไขค่า WCR ให้สอดคล้องกันกับวัสดุที่นำมาใช้งานจริงๆ สำหรับงานคอนกรีตต่างๆ คิดจากคอนกรีตที่ได้รับการบ่มอย่างดีในห้องปฏิบัติการครบ 28 วัน ซึ่งจากข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความนี้ แน่นอนเมื่อต้องการจะเลือกใช้ค่า WCR ในการทำงานจริงๆ ควรเลือกใช้ค่า WCR ของกำลังคอนกรีตที่สูงกว่าต้องการไว้บ้าง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ค่ากำลังเฉลี่ยในงานจริงต่ำกว่ากำหนด

สำหรับในสภาวะที่ทารุณเหลือหลาย (Severe condition) ค่า WCR ควรจะต่ำยิ่งขึ้น เพื่อที่จะทำให้กำลังของคอนกรีตได้ตามต้องการ ซึ่งถ้าเป็นสภาวะเช่นนี้ให้ดูตารางที่ 3 (ข)

ตารางที่ 1 - ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่างๆ

ประเภทงาน	ค่ายุบตัว ,ซม.	
	สูงสุด	ต่ำสุด
ฐานราก ค.ส.ล.	5	2
ฐานรากคอนกรีตล้วน,เคซองและผนังกันดิน	6	2
คานและกำแพง ค.ส.ล	10	2
เสา ค.ส.ล.	10	2
แผ่นพื้นและถนน	6	2
คอนกรีตขนาดใหญ่	6	2

- อาจเพิ่มค่ายุบตัวได้อีก 3 ซม. หากใช้กรรมวิธีอื่นทำให้คอนกรีตแน่น นอกจากวิธีตามปกติ

ตารางที่ 2- ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต

ค่ายุบตัวของคอนกรีต	ปริมาณน้ำ,กก./ม3 สำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมคละขนาดโตสุดเป็น มม.							
ซม.	10	12.5	20	25	40	50	70	150
คอนกรีตธรรมดา								
3 ถึง 5	205	200	185	180	150	155	145	125
8 ถึง 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 ถึง 18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณอากาศที่เกิดในคอนกรีตธรรมดา,%	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ

3 ถึง 5	180	175	165	150	145	140	135	120
8 ถึง 10	200	190	180	175	160	153	150	135
15 ถึง 18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณอากาศที่ควรให้มี,%	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณปริมาณซีเมนต์ : ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรนั้นขึ้นอยู่กับค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ที่ผ่านมา โดยที่จำนวนซีเมนต์จะเท่ากับจำนวนน้ำที่ใช้ผสม (ขั้นตอนที่ 3) หารด้วยค่า WCR (ขั้นตอนที่ 4)

$$\text{ปริมาณซีเมนต์} = \frac{\text{จำนวนน้ำที่ใช้ผสม}}{\text{ค่า WCR}}$$

ขั้นตอนที่ 6 การประเมินปริมาณมวลรวมหยาบ : ปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตหาได้จากตารางที่ 4 คูณด้วยหน่วยน้ำหนักแห้ง (dry unit weight) ของมวลรวมซึ่งมีหน่วยเป็น กก. ต่อ ม.3 จะเห็นว่าสำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานที่เท่ากันนั้น ปริมาณของมวลรวมหยาบขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมหยาบและค่า finess modulus ของมวลรวมละเอียดเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 7 การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียด : การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียดนั้น สามารถกระทำได้สองวิธีคือ วิธีน้ำหนัก(the weight method) หรือวิธีปริมาตร (the absolute volume method)

วิธีน้ำหนัก (the weight method) นี้เริ่มต้นจากน้ำหนักของคอนกรีตจะต้องถูกสมมติขึ้นก่อน โดยอาจประมาณเอาจากประสบการณ์ จากนั้นน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่ต้องการก็จะหาได้ง่าย จากการเอาน้ำหนักคอนกรีตสดหักออกจากน้ำหนักของคอนกรีตก็จะได้ค่าที่ใกล้เคียงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 (ก) – ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์

กำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน, กก./ซม.^{2}	อัตราส่วนน้ำ – ซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.48
250	0.62	0.55
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

- กำลังคอนกรีต คิดจากตัวอย่างทรงกระบอกขนาด ∅ 15x 30 ซม. บ่มชื้นจนได้อายุ 28 วัน ที่อุณหภูมิ 23 + 1.47 ° c ถ้าเทียบกับตัวอย่างลูกบาศก์ค่าจะสูงกว่าประมาณ 20%

ตารางที่ 3 (ข)- อัตราส่วนน้ำ – ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกชื้นตลอดเวลาหรือทนต่ออากาศหนาว	คอนกรีตสัมผัสน้ำทะเลหรือซัลเฟต
ชิ้นส่วนเล็กๆ อาทิ ราว, ขอบกั้น ,บัว,หรือหน้าตัด ที่มีระยะหุ้มต่ำกว่า 3 ซม. โครงสร้างทั่วไป	0.45 0.50	0.40* 0.45*

- ควรใช้คอนกรีตชนิดสารกระจายฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4- ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร

หินขนาดโตสุด มม.	ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของทรายที่มีค่าแห่งความละเอียดแตกต่างกัน			
	2.40	**2.50**	**2.80**	**3.00**
10	0.30	0.48	0.45	0.48
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.66	0.62	0.60
25	0.71	0.68	0.68	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.78	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

ค่าแห่งความละเอียดของทราย = ผลรวมของสัดส่วนสะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาด 0.149, 0.297, 0.593,

1.78, 2.38, และ 4.76 มม.

ตารางที่ 5- น้ำหนักคอนกรีตสด

ขนาดโตสุดของหินที่ใช้ มม.	น้ำหนักคอนกรีตสด, กก./ม^3	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
10	2285	2180
12.5	2318	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2485	2400
150	2506	2435

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับน้ำหนักคอนกรีต ถ้าต้องการจะคำนวณให้ได้ค่าจริง จะหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$U_M = 10\,G_a(100-A) + C_m\left(1-\frac{G_a}{G_c}\right) - W_m(G_a - 1)$$

ที่ซึ่ง

U_M = น้ำหนักคอนกรีตสุด, กก./ม^3

G_a = ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของมวลรวมคละ (หยาบ + ละเอียด)

G_c = ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ (ทั่วไปเท่ากับ 3.15)

A = ปริมาณอากาศ , %

W_m = ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับผสมคอนกรีต, กก./ม^3

C_m = ปริมาณซีเมนต์, กก./ ม^3

สำหรับวิธีปริมาตร (the absolute volume method) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาปริมาณของมวลรวมละเอียดที่ได้ค่าแน่นอนขึ้นไปอีก ซึ่งแน่นอนย่อมเกี่ยวข้องกับปริมาตรส่วนผสมต่างๆ ที่อยู่ในคอนกรีต ในที่นี้คือ น้ำ , อากาศ , ซีเมนต์ และมวลหยาบ นำปริมาตรเหล่านี้ไปหักออกจากปริมาตรของคอนกรีต ก็จะได้เป็นปริมาตรของมวลรวมละเอียด ปริมาตรของวัสดุต่างๆ ที่อยู่ในคอนกรีต อาจหาได้โดยเอาน้ำหนักหารด้วยความหนาแน่นของตัวมันเอง

ขั้นตอนที่ 8 การปรับค่าสำหรับความชื้นในมวลรวมคละ : ปริมาณของมวลรวมคละที่ได้จากการชั่งน้ำหนักนั้น จะต้องอยู่ในขอบข่ายของความชื้นที่อนุญาตให้ในมวลรวมคละ โดยทั่วไปมวลรวมคละจะต้องมีความชื้น โดยจะมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ถูกซึมและเคลือบผิวอยู่ ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะใส่เข้าไปผสมจะต้องลดลงตามจำนวนของความชื้นในมวลรวมคละ

จากข้อมูล

ความหนาแน่นของหิน	= 2680	กก./ลบ.ม.
ความหนาแน่นหลวมของหิน	= 1600	กก./ลบ.ม
ความหนาแน่นของโฟม	= 40	กก./ลบ.ม.
ปริมาตรCylinderขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15ซ.ม. สูง30ซ.ม.	= 0.0053	ลบ.ม.
ปริมาตรCubeขนาด15x15x15ซ.ม.	= 0.003375	ลบ.ม.
ปริมาตรBeamขนาด15x15x60ซ.ม.	= 0.0135	ลบ.ม.
ขนาดมวลรวมใหญ่สุด(ของหินและโฟม)	= 25	มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะคำนวณได้ดังนี้

1. Design Strength ที่ 28วัน เท่ากับ 425 ksc ดังนั้น ใช้ water cement ratio ที่ 0.4

2. Design Slump เท่ากับ 3-5 ซม.

3. ขนาดมวลรวมใหญ่สุด(ของหินและโฟม)เท่ากับ 25 มม. ใช้น้ำ 195 กก.

4. จาก WCR = 0.4 และ น้ำ = 195 กก. เพราะฉะนั้นจะต้อง ใช้ปูน 487.5 กก.

5. จากขนาดมวลรวมใหญ่สุด(ของหินและโฟม)เท่ากับ 25 มม. จะได้น้ำหนักคอนกรีตสดประมาณ 2375 กก.

6. จากขนาดมวลรวมใหญ่สุด(ของหินและโฟม)เท่ากับ 25 มม.และความถ่วงจำเพาะของหินเท่ากับ 2680 กก./ลบ.ม. จะได้ปริมาตรมวลรวมหลวมเท่ากับ 0.68 ลบ.ม.

7. โดยจากความหนาแน่นหลวมของหิน 1600 กก./ลบ.ม. จะได้น้ำหนักหินเท่ากับ 0.68x1600 = 1088กก.

และความหนาแน่นหิน 2680 กก./ลบ.ม. จะหาปริมาตรมวลรวมได้ = 0.68x1600/2680 = 0.406 ลบ.ม.

8. ดังนั้นจะได้น้ำหนักทรายเท่ากับ

= น้ำหนักคอนกรีตสด-(น้ำหนักน้ำ+น้ำหนักปูน+น้ำหนักหิน)

= 2375 - (195+487.5+1088)

= 604.5 กก.

จากข้อมูลทั้งหมดโดยใช้ข้อมูลข้างต้นจะได้ปริมาณวัสดุต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม. เท่ากับ..

น้ำ	195	กก.
ปูน	487.5	กก.
ทราย	604.5	กก.
มวลรวมหยาบ	0.406	ลบ.ม.

วิธีการคำนวณปริมาณน้ำหนักหินและโฟม

จากปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.406 ลบ.ม.

ปริมาตรโฟม = $\frac{Ax0.406}{100}$ ลบ.ม.

น้ำหนักของโฟม = $\frac{Ax0.406x40}{100}$ กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรหิน = $\frac{(100-A)x0.406}{100}$ ลบ.ม.

น้ำหนักของหิน = $\frac{(100-A)x0.406x2680}{100}$ กก.

Unit weight = 195+487.5+604.5+B+C กก./ลบ.ม.

การคำนวณปริมาณน้ำปูนที่ต้องเพิ่มเนื่องจากการดูดน้ำของโฟม

เพิ่มน้ำ = B x 8.06 กก.

เพิ่มปูน = $\frac{B \times 8.06}{0.4}$ กก.

ต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.

A	%foam per mass	0	15	30	45	60	75
B	foam (kg)	0	2.436	4.872	7.308	9.744	12.18
C	rock (kg)	1088	925	762	598	435	272
	unit weight (kg/cu.m.)	2375	2214	2054	1893	1732	1571
	Add water	0.0	19.6	39.3	58.9	78.6	98.2
	Add cement	0.0	49.1	98.2	147.3	196.5	245.6

3.2 เครื่องมือที่ใช้

1. โม่คอนกรีต เป็นโม่ผสมชนิดเอียง Tilting Drum Mixer มีถังผสมเป็นรูปกรวย ตะหมุนในลักษณะเอียง เทคอนกรีตได้เป็นกลุ่มก้อน มีการแยกตัวของคอนกรีตน้อยและสามารถทำความสะอาดและกำหนดจำนวนการผสมได้สะดวก ใบพายในโม่มีรูปร่างคล้ายใบพัดทำให้กระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุได้ทั่วถึง เดินเครื่องด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 2 เฟส ความจุคอนกรีตประมาณ 7 ล.บ.ฟุต ความเร็วของถังหมุน 25 รอบ / นาที มอเตอร์ 5 แรงม้า

2. แบบหล่อชิ้นตัวอย่าง ทดสอบรับแรงอัด แบบหล่อที่ใช้หล่อแท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบแรงอัดและแรงดึงเป็นแบบหล่อมาตรฐาน Cyclinder ASTM C –192 ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. และแบบหล่อสำหรับทดสอบแรงดัดขนาด 60x15x15. ซม.

3. ตะแกรงร่อนทราย หิน ตะแกรงร่อนทราย หิน ใช้เบอร์ 4 และ pan

4. เครื่องมือวัด ใช้เวอร์เนีย ฟุตเหล็ก เพื่อวัดขนาดของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่หล่อก่อนจะทดสกำลังรับแรงอัด

5. เครื่องชั้งน้ำหนัก ใช้ทั้งแบบตาชั่งน้ำหนักสำหรับชั่งวัสดุที่มีน้ำหนักไม่มาก และเครื่องชั่งสำหรับชั่งวัสดุที่มีน้ำหนักมาก

6. เครื่อง Universal Testing Machine มีระบบการทำงาน Hydraulics ควบคุมความเร็วด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้หากำลังอัดของคอนกรีต โดยมีความละเอียดสูง

7. ตู้อบ ใช้ในการทดลองทนความร้อน

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete compressive strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam ɔer Mass : 0%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Compressive Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.87	30	13.02	4	3	48	276.4	2499.1
2	14.9	30	12.99	4	3	52	298.2	2483.4
3	14.92	30	12.89	4	3	60	343.2	2457.6
4	14.9	30	12.9	4	5	63	361.3	2466.2
5	14.96	30	13.04	4	5	60	341.3	2473.0
6	14.93	30	13.05	4	7	60	342.7	2484.8
7	14.92	30	12.98	4	7	63.2	361.5	2474.8
8	14.94	30	13	4	7	58.9	336.0	2472.0
9	14.92	30	13.14	4	7	58.2	332.9	2505.3

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 0 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete compressive strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

'ercent of foam per Mass : 15%

Specimen No.	Diment ons (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Compressive Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.98	30	11.7	4	3	26	147.5	2212.9
2	14.93	30	11.8	4	3	33	188.5	2246.8
3	14.92	30	11.7	4	3	32	183.0	2230.8
4	14.95	30	11.55	4	5	39	222.2	2193.3
5	14.88	30	11.45	4	5	35	201.3	2194.8
6	14.87	30	11.59	4	7	28	161.2	2224.7
7	14.89	30	11.02	4	7	39	224.0	2109.6
8	14.94	30	11.87	4	7	41	233.9	2257.1
9	14.91	30	11.67	4	7	33	189.0	2228.0

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 15 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete compressive strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 30%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Compressive Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.97	30	10.3	5	3	25.5	144.9	1950.7
2	14.96	30	10.22	5	3	27	153.6	1938.2
3	14.89	30	10.2	5	3	27	155.1	1952.6
4	14.97	30	10.34	5	5	26	147.7	1958.3
5	14.99	30	10.46	5	5	28	158.7	1975.7
6	14.97	30	10.66	5	7	27	153.4	2018.9
7	14.89	30	10.26	5	7	29	166.5	1964.1
8	14.87	30	10.34	5	7	28	161.2	1984.7
9	14.96	30	10.59	5	7	25	142.2	2008.3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 30 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete compressive strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 45%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Compressive Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.98	30	9.58	4	3	20	113.5	1811.9
2	14.98	30	9.54	4	3	18	102.1	1804.4
3	14.97	30	9.53	4	3	18	102.3	1804.9
4	14.99	30	9.22	4	5	19	107.7	1741.5
5	14.87	30	9.13	4	5	19	109.4	1752.5
6	14.95	30	9.55	4	7	21	119.6	1813.5
7	14.94	30	9.69	4	7	22	125.5	1842.6
8	14.93	30	9.39	4	7	20	114.2	1787.9
9	14.92	30	9.51	4	7	19	108.7	1813.2

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 45 % โดยปริมาตรของหิน

PROJEC' : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete compressive strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 60%

Spc imen	Dimentions (cm)		Weight	Slump	Ages	Ultimate load	Compressive	Weight per
1.o.	Cross Section	Height	(kg)	(cm)	(days)	(ton)	Strength (ksc)	Volume (kg/cu.m)
1	14.97	30	8.56	4.5	3	12	68.2	1621.2
2	14.97	30	8.11	4.5	3	13	73.9	1536.0
3	14.89	30	8.32	4.5	3	15	86.1	1592.7
4	14.85	30	9.01	4.5	5	15	86.6	1734.1
5	14.96	30	8.21	4.5	5	15.5	88.2	1557.0
6	14.91	30	8.32	4.5	5	15	85.9	1588.4
7	14.91	30	8.65	4.5	7	16	91.6	1651.4
8	14.93	30	8.12	4.5	7	15	85.7	1546.1
9	14.92	30	7.92	4.5	7	17	97.2	1510.0

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 60 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete compressive strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 75%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Compressive Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.92	30	7.58	16	3	10	57.2	1445.2
2	14.89	30	7.43	16	3	7	40.2	1422.3
3	14.98	30	7.68	16	3	9	51.1	1452.6
4	14.96	30	6.45	16	5	10	56.9	1223.2
5	14.91	30	6.69	16	5	9	51.5	1277.2
6	14.95	30	7.54	16	7	9	51.3	1431.8
7	14.88	30	6.87	16	7	11	63.3	1316.9
8	14.87	30	7.11	16	7	13	74.9	1364.7
9	14.92	30	6.88	16	7	14	80.1	1311.8

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟม 75 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete compressive strength test

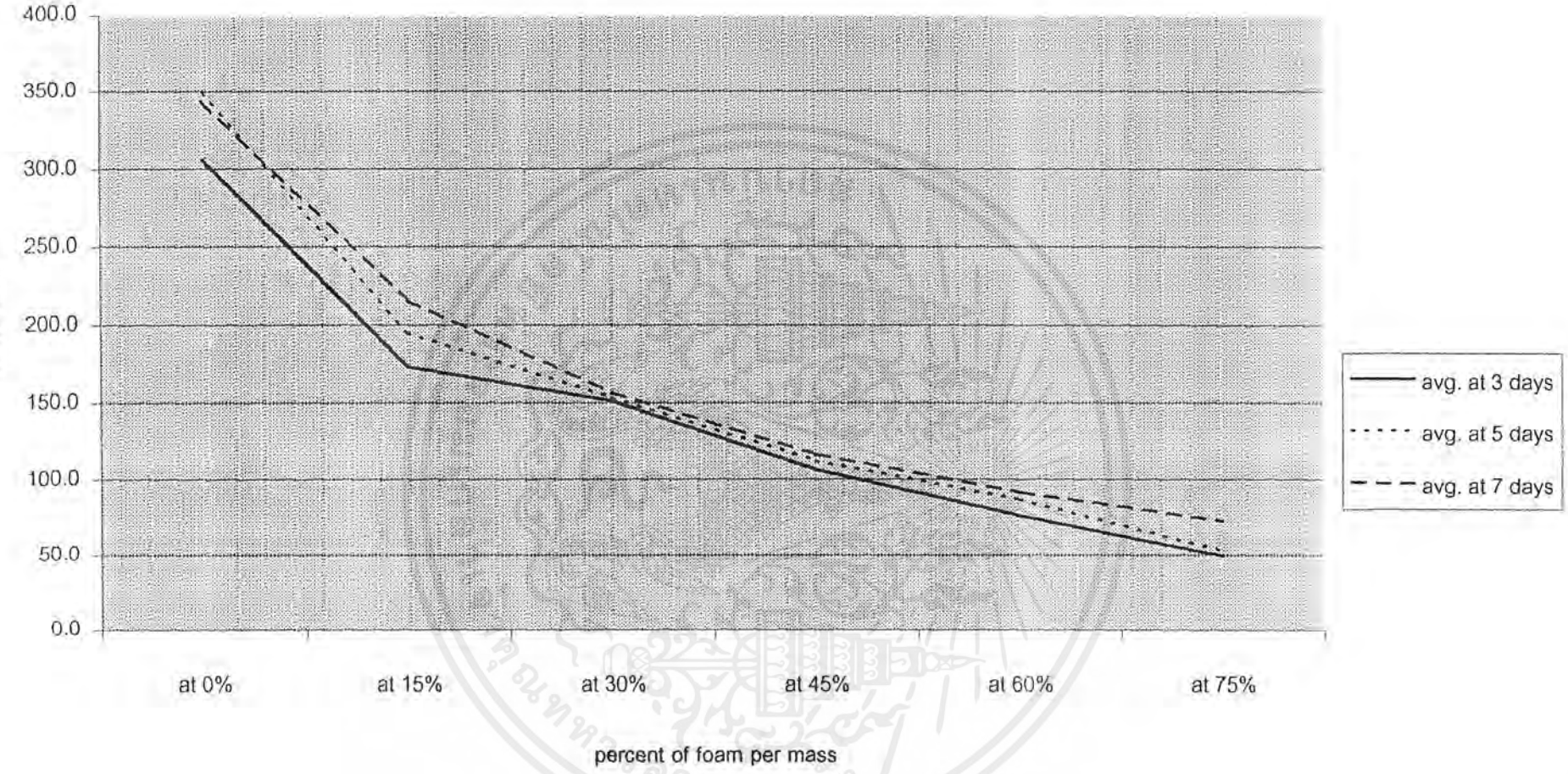
TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Compressive Strength	at 0%	at 15%	at 30%	at 45%	at 60%	at 75%
avg. at 3 days	305.9	173.0	151.2	106.0	76.1	49.5
avg. at 5 days	348.5	194.9	153.3	112.2	86.9	53.2
avg. at 7 days	343.5	215.6	156.7	116.1	91.5	72.7

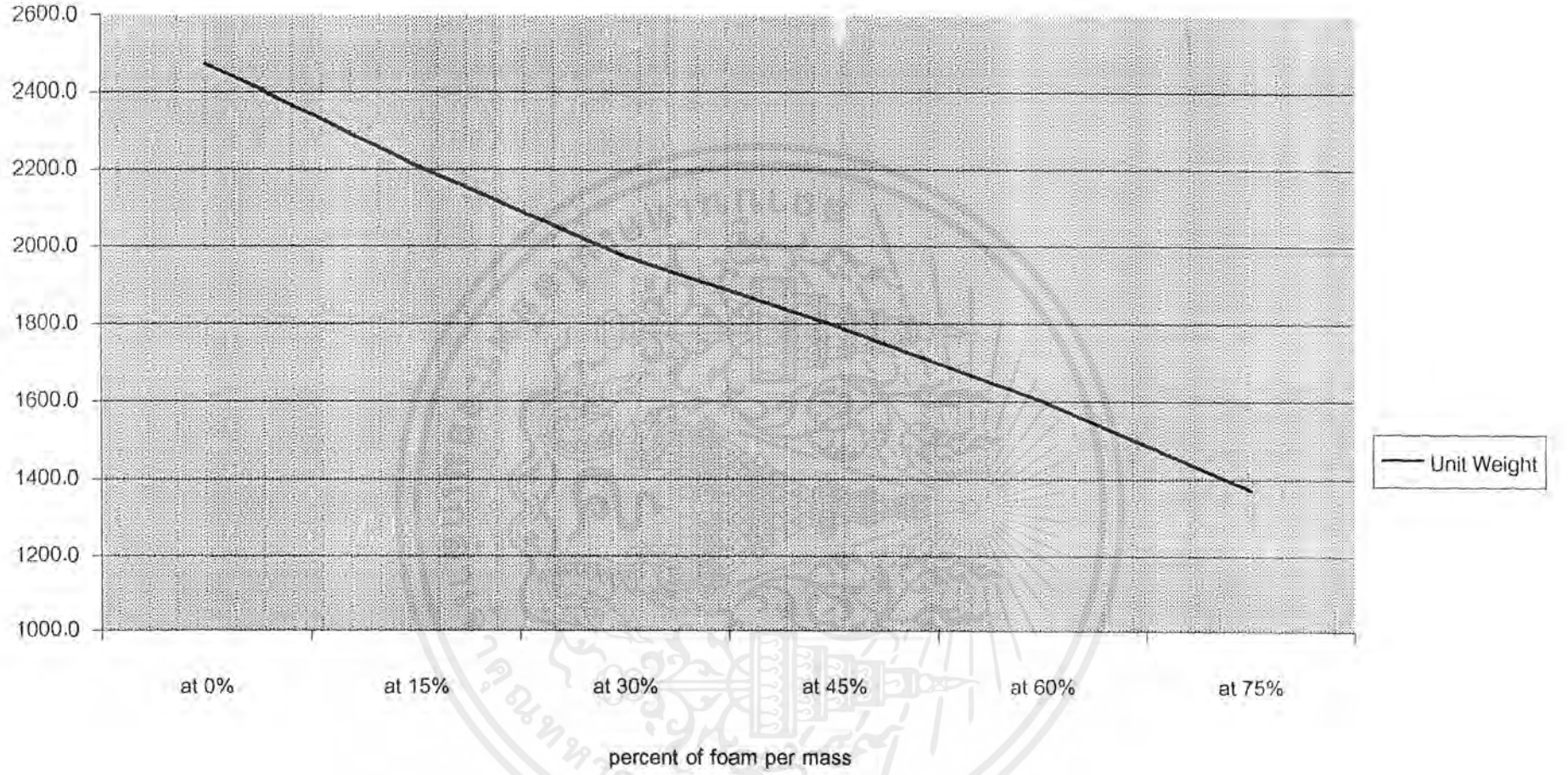
Unit Weight	at 0%	at 15%	at 30%	at 45%	at 60%	at 75%
avg. at 3 days	2480.0	2230.2	1947.2	1807.1	1583.3	1440.0
avg. at 5 days	2474.6	2204.3	1984.3	1769.2	1626.5	1310.8
avg. at 7 days	2477.2	2197.1	1989.2	1814.7	1595.3	1366.0
Unit Weight	2477.3	2210.5	1973.6	1797.0	1601.7	1372.3

Strength per Unit Weight	at 0%	at 15%	at 30%	at 45%	at 60%	at 75%
avg. at 7 days	0.13864	0.097541	0.079382	0.064629	0.057138	0.052999

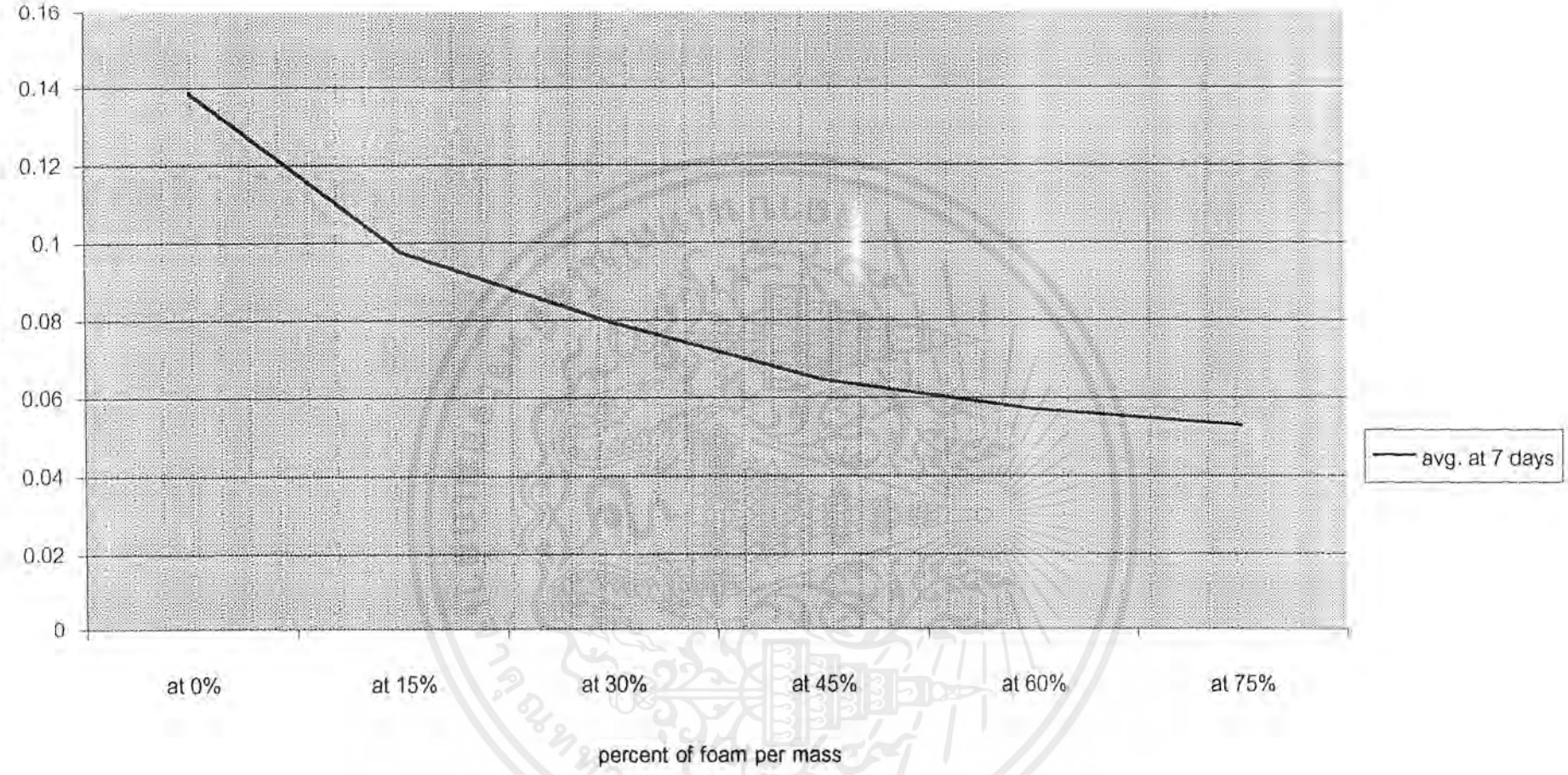
ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัด , หน่วยน้ำหนักและแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมที่เปอร์เซนต์ต่าง ๆ



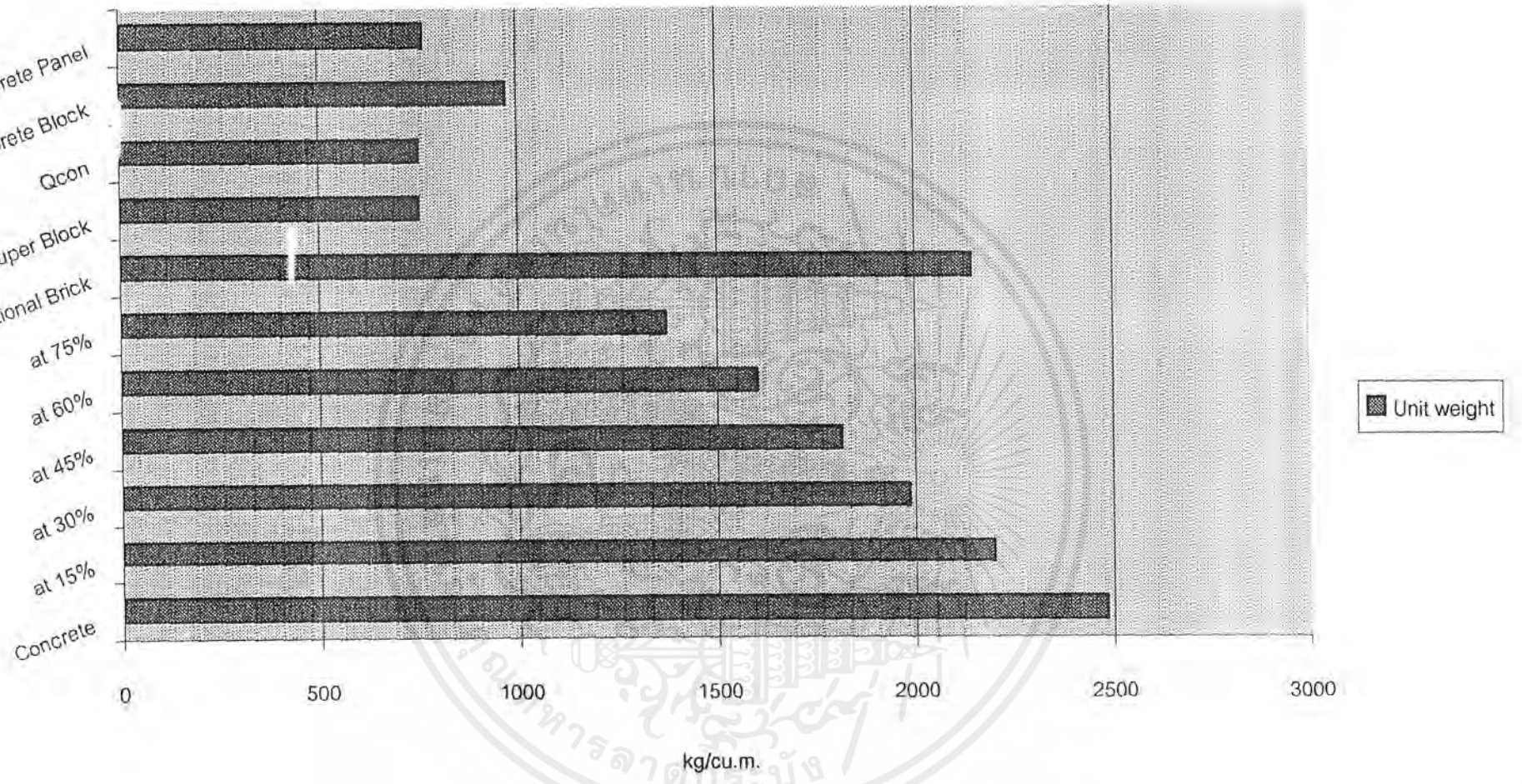
รูปที่ 1 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ



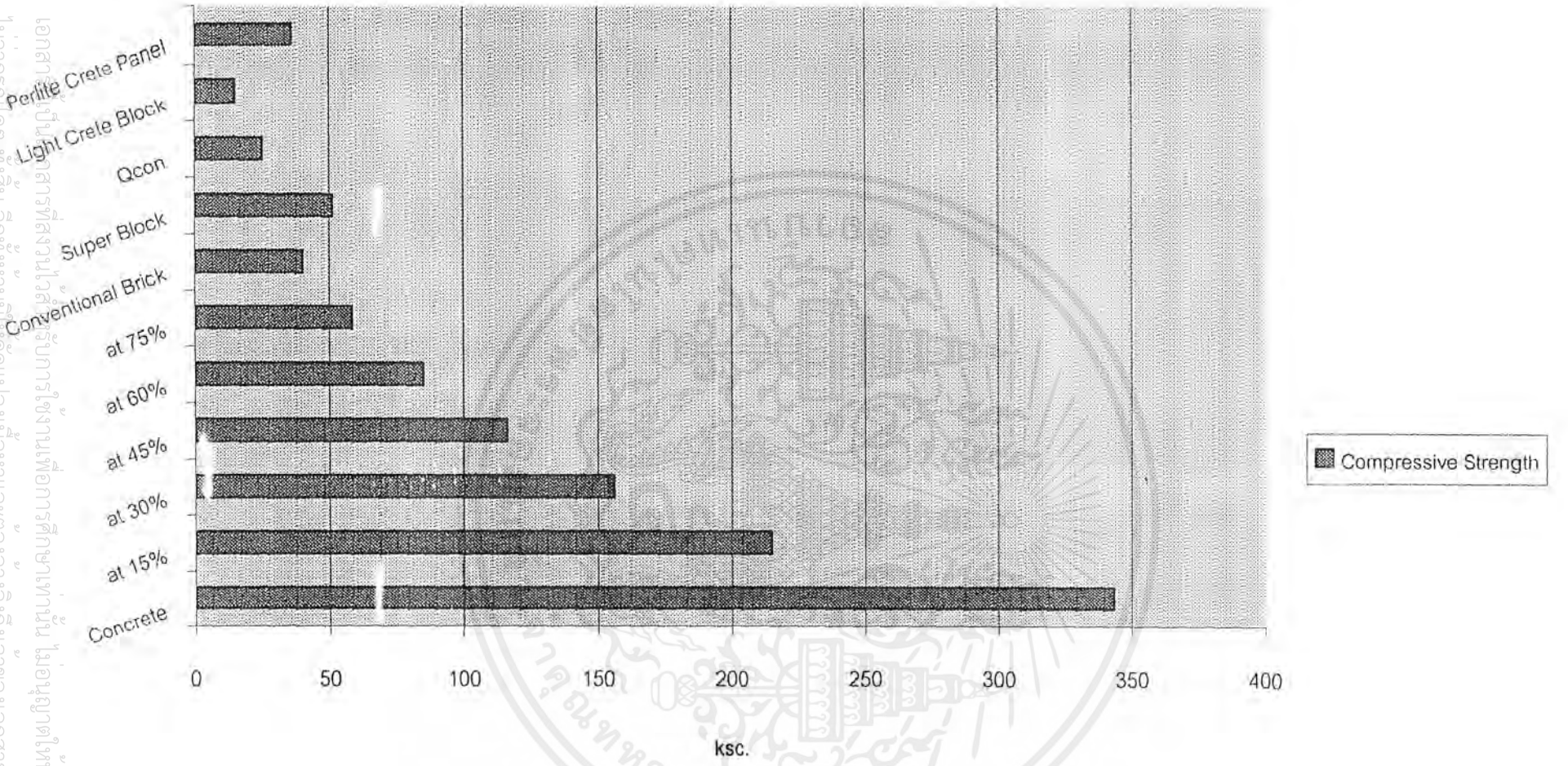
รูปที่ 2 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ



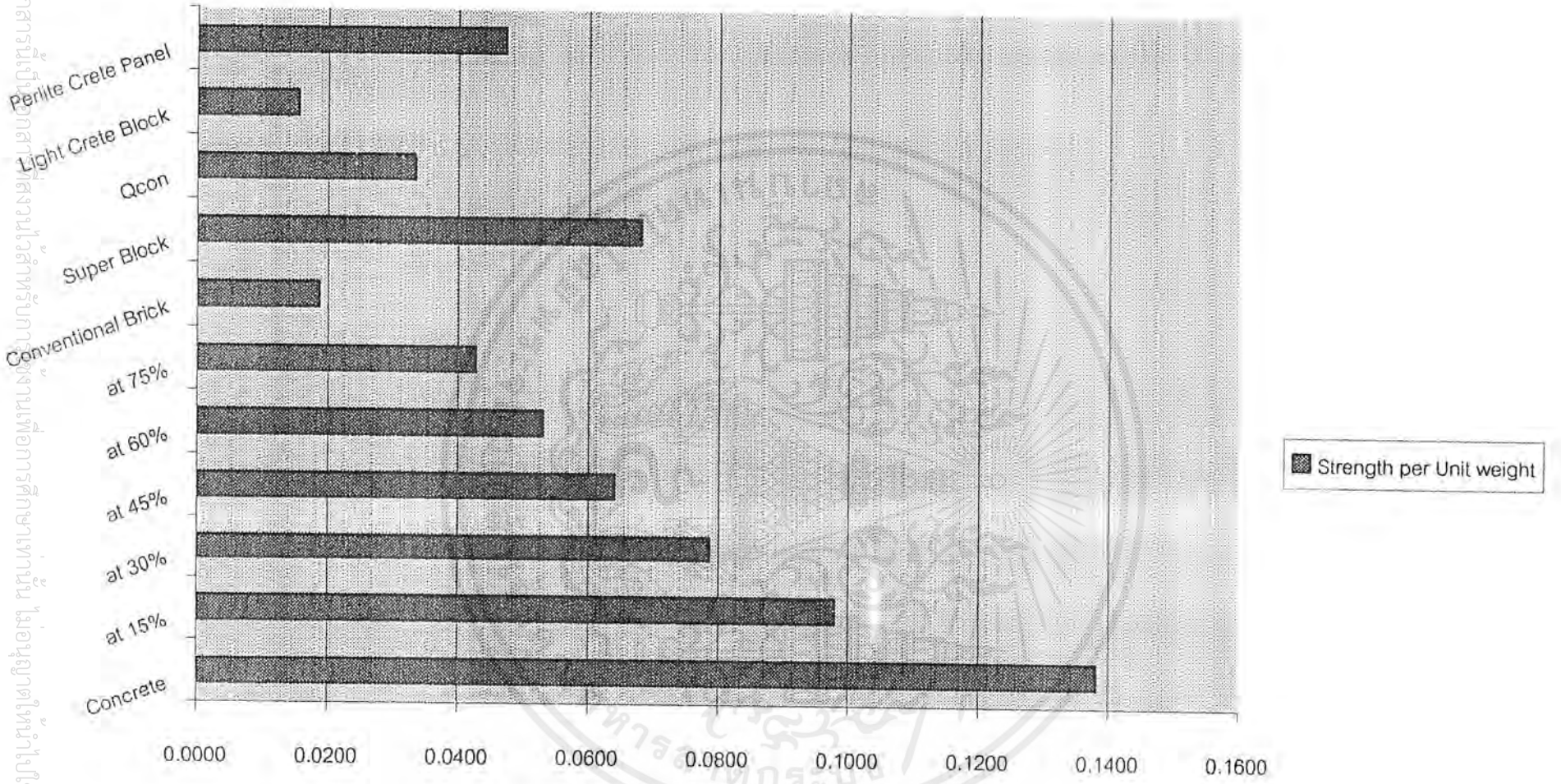
รูปที่ 3 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักในการบ่ม 7 วัน ที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ



รูปที่ 4 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 5 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 6 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ

Material	Unit weight	Compressive Strength	Strength per Unit weight
Concrete	2484	343	0.1381
at 15%	2198	215	0.0978
at 30%	1985	156	0.0786
at 45%	1814	116	0.0639
at 60%	1601	84.8	0.0530
at 75%	1372	58.5	0.0426
Conventional Brick	2143	40	0.0187
Super Block	750	51	0.0680
Qcon	750	25	0.0333
Light Crete Block	972	15	0.0154
Perlite Crete Panel	764	36	0.0471

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด , หน่วยน้ำหนักและแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตมวลเบาที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete tensile strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 0%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Tensile Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.96	30	13.02	4	3	20.31	28.8	2469.2
2	14.99	30	13	4	3	25.49	36.1	2455.5
3	14.93	30	12.88	4	3	21.15	30.1	2452.4
4	14.92	30	12.87	4	5	26.8	38.1	2453.8
5	14.96	30	12.91	4	5	22.75	32.3	2448.3
6	14.92	30	12.89	4	5	26.13	37.2	2457.6
7	14.92	30	12.98	4	7	23.34	33.2	2474.8
8	14.9	30	13.03	4	7	27	38.5	2491.0
9	14.9	30	12.99	4	7	21.14	30.1	2483.4

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 0 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete tensile strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 15%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Tensile Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.96	30	11.67	7	3	16.78	23.8	2213.1
2	14.93	30	11.67	7	3	15.22	21.6	2222.1
3	14.93	30	11.75	7	3	14.42	20.5	2237.3
4	14.95	30	11.69	7	5	22	31.2	2219.9
5	14.96	30	11.08	7	5	19.5	27.7	2101.3
6	14.95	30	11.07	7	5	24	34.1	2102.2
7	14.95	30	11.67	7	7	23	32.6	2216.1
8	14.97	30	11.56	7	7	25	35.4	2189.4
9	14.98	30	11.44	7	7	19	26.9	2163.7

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 15 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete tensile strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 30%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Tensile Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.9	30	10.32	3	3	13.5	19.2	1972.9
2	14.98	30	10.33	3	3	13	18.4	1953.8
3	14.99	30	10.32	3	3	14	19.8	1949.3
4	14.89	30	10.4	3	5	16	22.8	1990.9
5	14.92	30	10.32	3	5	17	24.2	1967.6
6	14.94	30	10.41	3	5	14	19.9	1979.5
7	14.94	30	10.46	3	7	17	24.1	1989.0
8	14.93	30	10.21	3	7	17	24.2	1944.1
9	14.91	30	10.23	3	7	16.5	23.5	1953.1

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 30 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete tensile strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 45%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Tensile Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Sect on	Height						
1	14.92	30	9.57	4	3	10	14.2	1824.6
2	14.94	30	9.26	4	3	10.5	14.9	1760.8
3	14.93	30	9.4	4	3	9.5	13.5	1789.8
4	14.91	30	9.45	4	5	9.5	13.5	1804.2
5	14.97	30	9.22	4	5	12	17.0	1746.2
6	14.99	30	9.56	4	5	11	15.6	1805.8
7	14.91	30	9.27	4	7	13	18.5	1769.8
8	14.93	30	9.54	4	7	12.5	17.8	1816.5
9	14.97	30	9.51	4	7	12.5	17.7	1801.1

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 45 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete tensile strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 60%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Tensile Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.94	30	7.82	4.5	3	7	9.9	1487.0
2	14.95	30	7.98	4.5	3	8	11.4	1515.4
3	14.93	30	7.85	4.5	3	7.5	10.7	1494.7
4	14.91	30	7.9	4.5	5	8	11.4	1508.3
5	14.93	30	8.01	4.5	5	8	11.4	1525.2
6	14.97	30	7.71	4.5	5	9	12.8	1460.2
7	14.92	30	7.98	4.5	7	10.5	14.9	1521.5
8	14.97	30	7.82	4.5	7	11	15.6	1481.0
9	14.98	30	7.25	4.5	7	10	14.2	1371.3

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 60 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete tensile strength test

TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Percent of foam per Mass : 75%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Tensile Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Height						
1	14.95	30	6.48	16	3	4	5.7	1230.5
2	14.92	30	6.11	16	3	3	4.3	1164.9
3	14.9	30	7.24	16	3	4	5.7	1384.1
4	14.94	30	6.98	16	5	5	7.1	1327.3
5	14.99	30	6.89	16	5	4	5.7	1301.4
6	14.97	30	6.55	16	5	5	7.1	1240.5
7	14.99	30	7.08	16	7	6	8.5	1337.3
8	14.9	30	6.64	16	7	4.5	6.4	1269.4
9	14.95	30	6.42	16	7	5	7.1	1219.1

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟม 75 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete tensile strength test

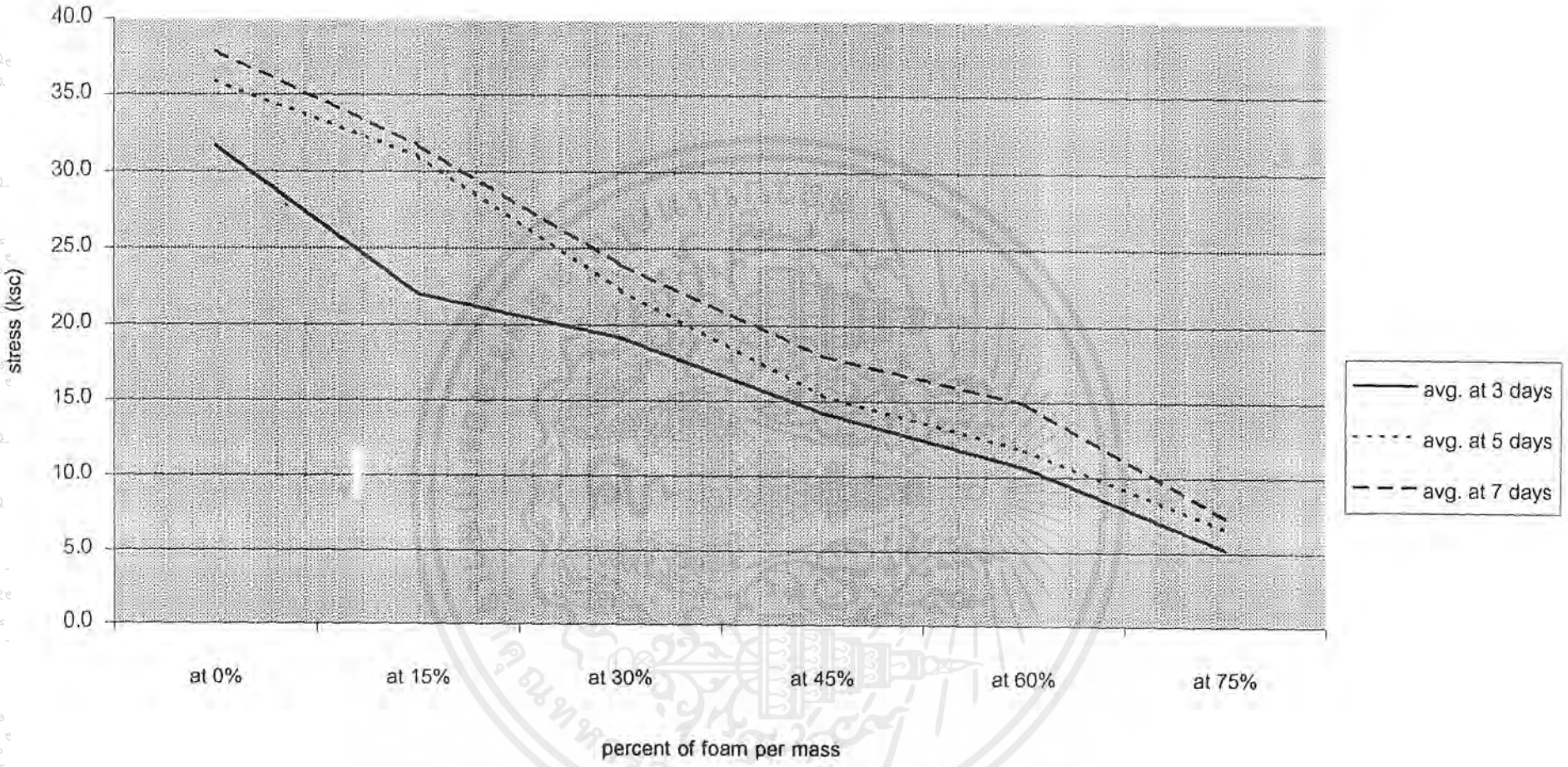
TYPE OF SAMPLE : Cylinder

Tensile Strength	at 0%	at 15%	at 30%	at 45%	at 60%	at 75%
avg. at 3 days	31.7	22.0	19.2	14.2	10.7	5.2
avg. at 5 days	35.9	31.0	22.3	15.4	11.8	6.6
avg. at 7 days	37.9	31.7	23.9	18.0	14.9	7.3

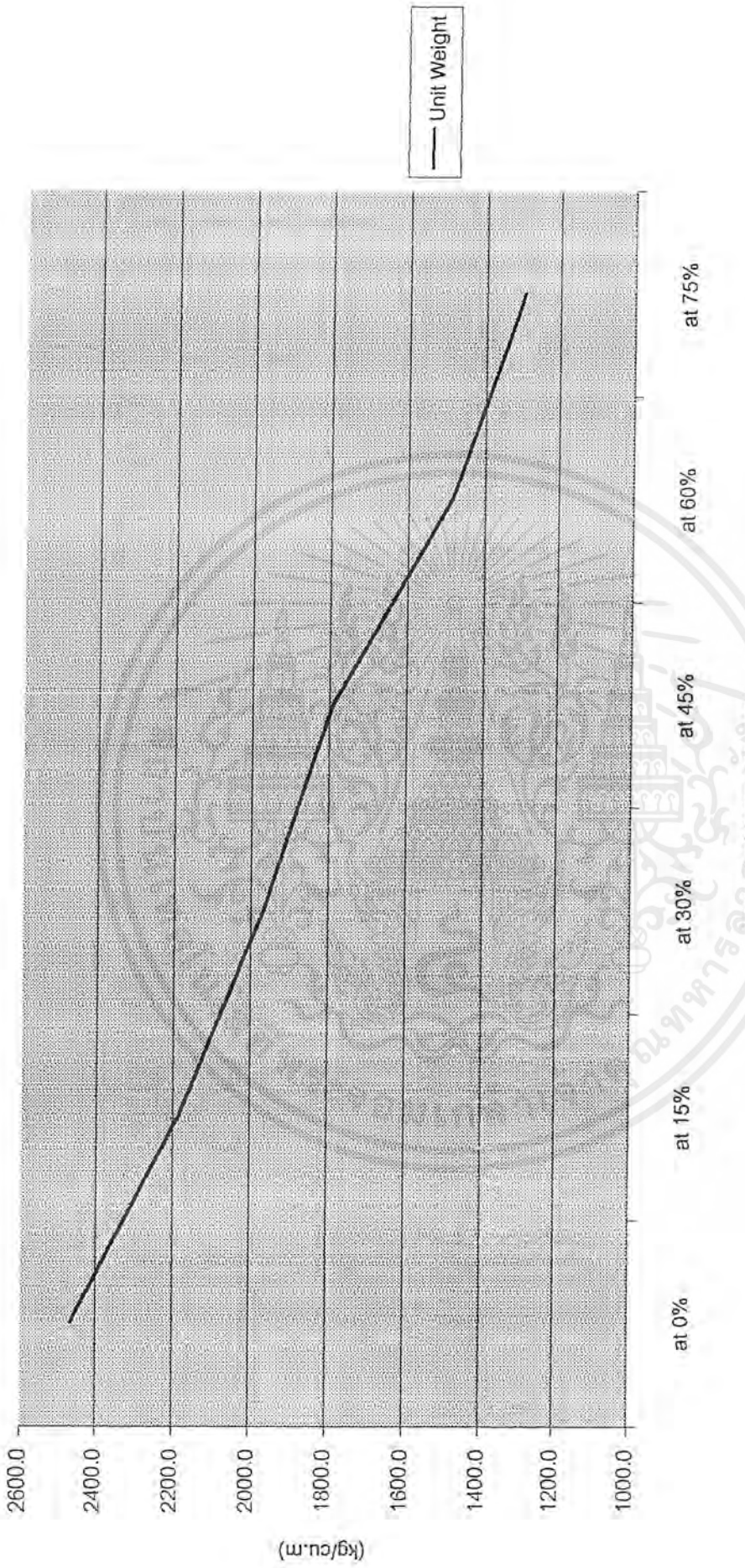
Unit Weight	at 0%	at 15%	at 30%	at 45%	at 60%	at 75%
avg. at 3 days	2459.0	2224.2	1958.7	1791.8	1499.0	1259.9
avg. at 5 days	2453.3	2141.1	1979.3	1785.4	1497.9	1289.7
avg. at 7 days	2483.1	2189.7	1962.0	1795.8	1457.9	1337.6
Unit Weight	2465.1	2185.0	1966.7	1791.0	1484.9	1295.7

Strength per Unit Weight	at 0%	at 15%	at 30%	at 45%	at 60%	at 75%
avg. at 7 days	0.015248	0.014462	0.012197	0.010021	0.010218	0.005482

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงดึง , หน่วยน้ำหนักและแรงดึงต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมที่เปอร์เซนต์ต่าง ๆ

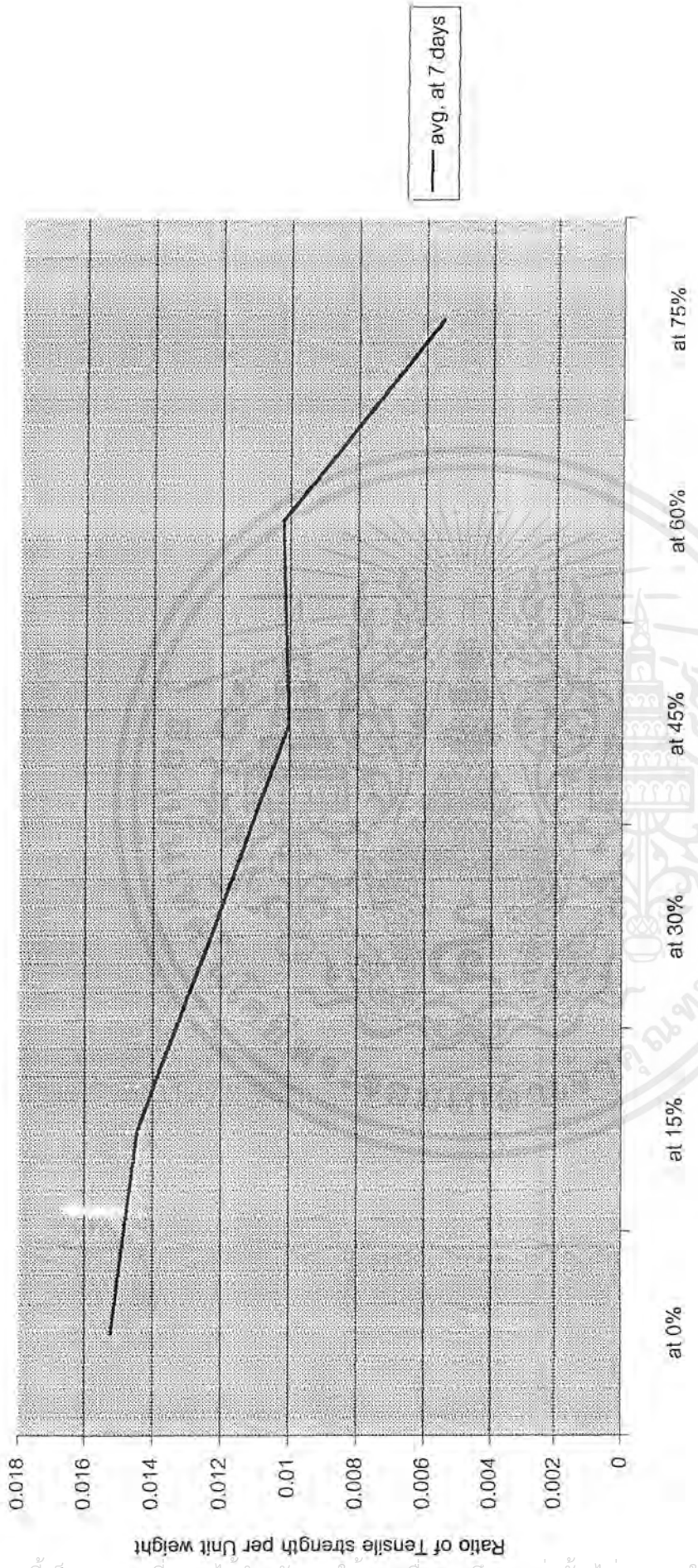


รูปที่ 7 ปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟมในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ



รูปที่ 8 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงต่อหน่วยน้ำหนักในการบ่ม 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete bending strength test

TYPE OF SAMPLE : Beam

Percent of foam per Mass : 0%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (kg)	Bending Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Length						
1	15 x 15	55	32.3	10.5	3	1367	33.4	2610.1
2	15 x 15	55	31.8	10.5	3	1452	35.5	2569.7
3	15 x 15	55	31.7	10.5	3	1535	37.5	2561.6
4	15 x 15	55	32.1	10.5	5	1583	38.7	2593.9
5	15 x 15	55	32.4	10.5	5	1541	37.7	2618.2
6	15 x 15	55	32.6	10.5	5	1659	40.6	2634.3
7	15 x 15	55	32.9	10.5	7	2168	53.0	2658.6
8	15 x 15	55	32.4	10.5	7	2246	54.9	2618.2
9	15 x 15	55	32.3	10.5	7	1729	42.3	2610.1

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมโฟม 0 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete bending strength test

TYPE OF SAMPLE : Beam

Percent of foam per Mass : 15%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (kg)	Bending Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Length						
1	15 x 15	55	27.6	4	3	1522	37.2	2230.3
2	15 x 15	55	28.2	4	3	1663	40.7	2278.8
3	15 x 15	55	28.3	4	3	1610	39.4	2286.9
4	15 x 15	55	28.3	4	5	1588	38.8	2286.9
5	15 x 15	55	27.9	4	5	1687	41.2	2254.5
6	15 x 15	55	27.4	4	5	1698	41.5	2214.1
7	15 x 15	55	27.8	4	7	1857	45.4	2246.5
8	15 x 15	55	27.6	4	7	1522	37.2	2230.3
9	15 x 15	55	28.2	4	7	1799	44.0	2278.8

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมโฟม 15 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete bending strength test

TYPE OF SAMPLE : Beam

Percent of foam per Mass : 30%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (kg)	Bending Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Length						
1	15 x 15	55	26.2	3.5	3	1289	31.5	2117.2
2	15 x 15	55	26.3	3.5	3	1298	31.7	2125.3
3	15 x 15	55	26	3.5	3	1271	31.1	2101.0
4	15 x 15	55	26.8	3.5	5	1303	31.9	2165.7
5	15 x 15	55	26.7	3.5	5	1316	32.2	2157.6
6	15 x 15	55	26.6	3.5	5	1309	32.0	2149.5
7	15 x 15	55	26.1	3.5	7	1355	33.1	2109.1
8	15 x 15	55	26.9	3.5	7	1401	34.2	2173.7
9	15 x 15	55	25.8	3.5	7	1321	32.3	2084.8

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมโฟม 30 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete bending strength test

TYPE OF SAMPLE : Beam

Percent of foam per Mass : 45%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (kg)	Bending Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Length						
1	15 x 15	55	24.8	5	3	1021	25.0	2004.0
2	15 x 15	55	24.5	5	3	1011	24.7	1979.8
3	15 x 15	55	25	5	3	998	24.4	2020.2
4	15 x 15	55	25.1	5	5	1212	29.6	2028.3
5	15 x 15	55	25.4	5	5	1151	28.1	2052.5
6	15 x 15	55	24.9	5	5	1199	29.3	2012.1
7	15 x 15	55	25.1	5	7	1301	31.8	2028.3
8	15 x 15	55	24.6	5	7	1224	29.9	1987.9
9	15 x 15	55	25.1	5	7	1298	31.7	2028.3

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมโฟม 45 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete bending strength test

TYPE OF SAMPLE : Beam

Percent of foam per Mass : 60%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (kg)	Bending Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Length						
1	15 x 15	55	23.1	6	3	898	22.0	1866.7
2	15 x 15	55	23	6	3	991	24.2	1858.6
3	15 x 15	55	23.5	6	3	1025	25.1	1899.0
4	15 x 15	55	22.9	6	5	998	24.4	1850.5
5	15 x 15	55	22.7	6	5	1010	24.7	1834.3
6	15 x 15	55	22.6	6	5	1005	24.6	1826.3
7	15 x 15	55	22.8	6	7	1121	27.4	1842.4
8	15 x 15	55	23.1	6	7	1242	30.4	1866.7
9	15 x 15	55	23.3	6	7	1082	26.4	1882.8

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมโฟม 60 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete bending strength test

TYPE OF SAMPLE : Beam

Percent of foam per Mass : 75%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages (days)	Ultimate load (kg)	Bending Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/cu.m)
	Cross Section	Length						
1	15 x 15	55	20.2	16	3	705	17.2	1632.3
2	15 x 15	55	20.7	16	3	885	21.6	1672.7
3	15 x 15	55	21.5	16	3	988	24.2	1737.4
4	15 x 15	55	19.4	16	5	975	23.8	1567.7
5	15 x 15	55	19.9	16	5	1001	24.5	1608.1
6	15 x 15	55	20.4	16	5	906	22.1	1648.5
7	15 x 15	55	20.5	16	7	1241	30.3	1656.6
8	15 x 15	55	21.5	16	7	1165	28.5	1737.4
9	15 x 15	55	21	16	7	1026	25.1	1697.0

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมโฟม 75 % โดยปริมาตรของหิน

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete bending strength test

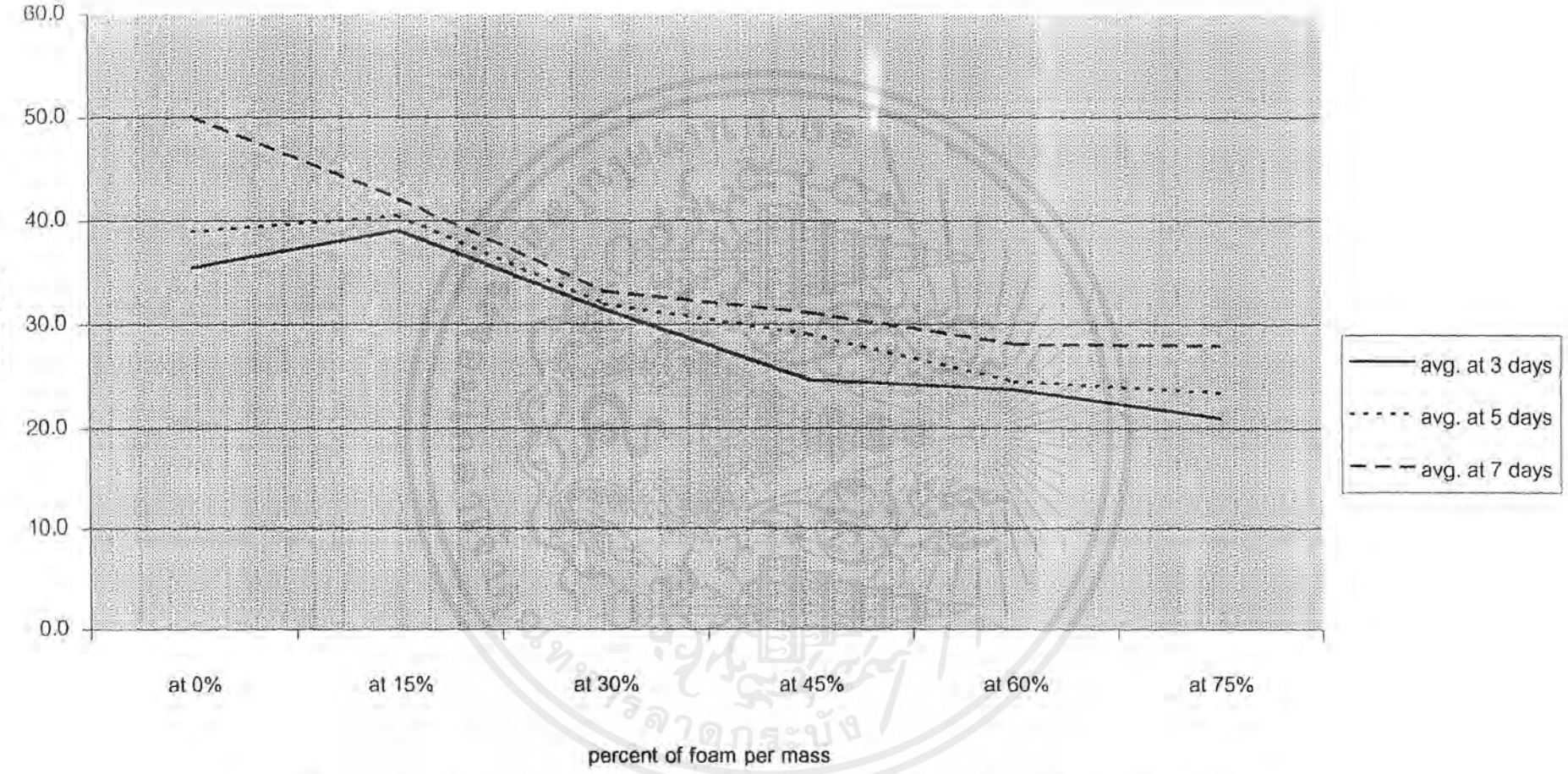
TYPE OF SAMPLE : Beam

Bending Strength	at 0%	at 15%	at 30%	at 45%	at 60%	at 75%
avg. at 3 days	35.5	39.1	31.4	24.7	23.7	21.0
avg. at 5 days	39.0	40.5	32.0	29.0	24.6	23.5
avg. at 7 days	50.1	42.2	33.2	31.2	28.1	28.0

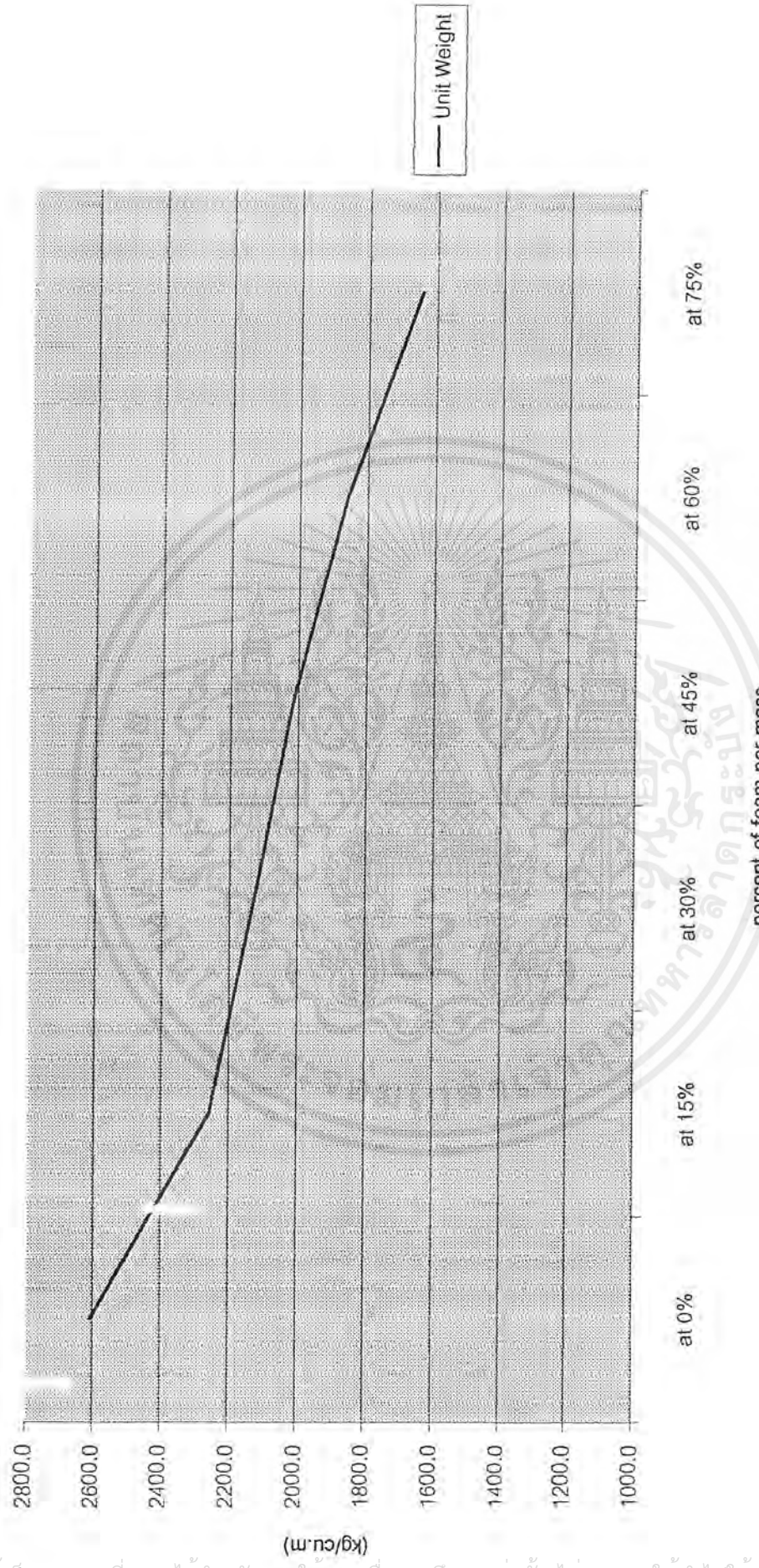
Unit Weight	at 0%	at 15%	at 30%	at 45%	at 60%	at 75%
avg. at 3 days	2580.5	2265.3	2114.5	2001.3	1874.7	1680.8
avg. at 5 days	2615.5	2251.9	2157.6	2031.0	1837.0	1608.1
avg. at 7 days	2629.0	2251.9	2122.6	2014.8	1864.0	1637.7
Unit Weight	2608.3	2256.3	2131.5	2015.7	1858.6	1642.2

Strength per Unit Weight	at 0%	at 15%	at 30%	at 45%	at 60%	at 75%
avg. at 7 days	0.019039524	0.018736184	0.01565092	0.015460662	0.015059429	0.017075329

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยขวางกำลังรับแรงดัด , หน่วยน้ำหนักและแรงดัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมที่เปอร์เซนต์ต่าง ๆ

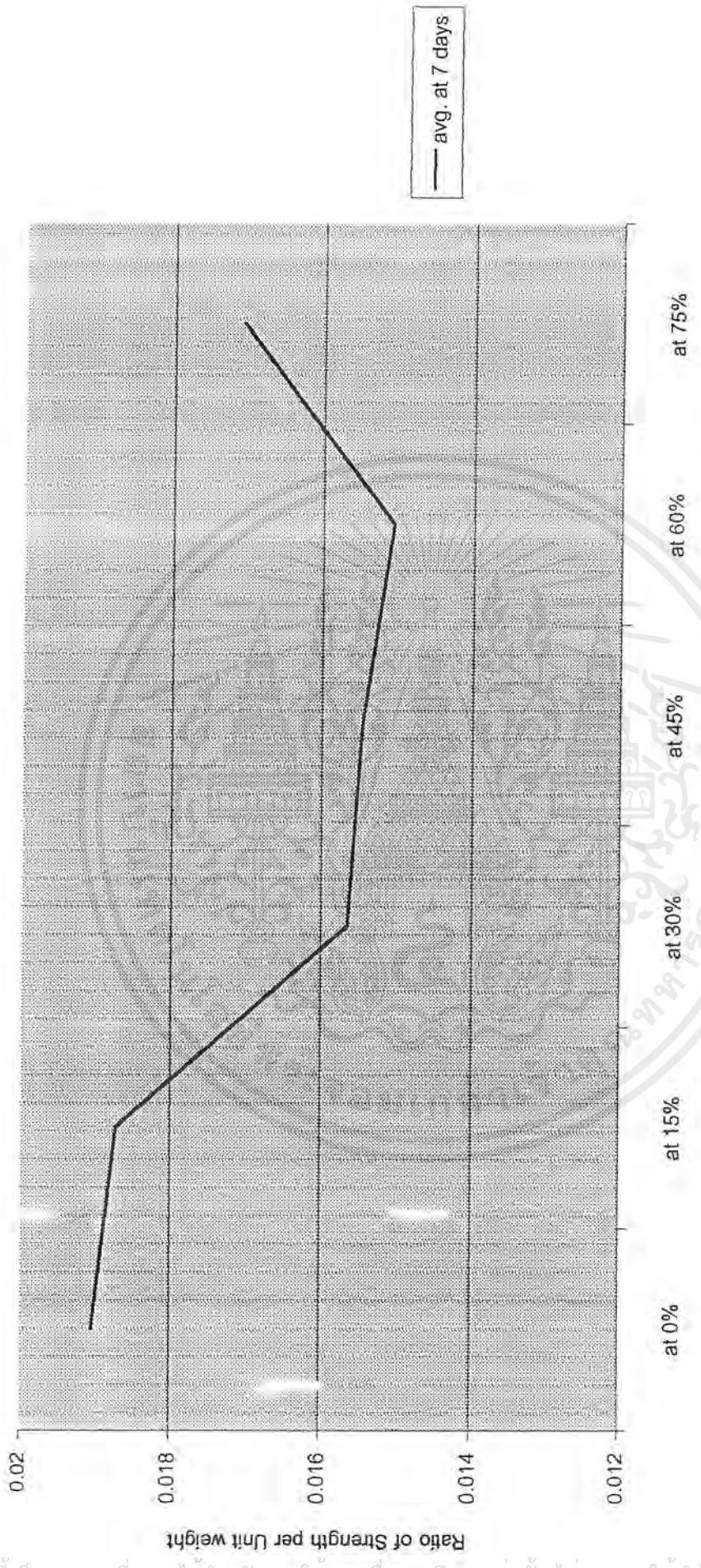


รูปที่ 10 เปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมโฟมในการบ่ม 3 , 5 และ 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ



รูปที่ 11 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคานคอนกรีตผสมโฟมในการม่ม 3 , 5 และ 7 วัน ที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมในการบ่ม 7 วันที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

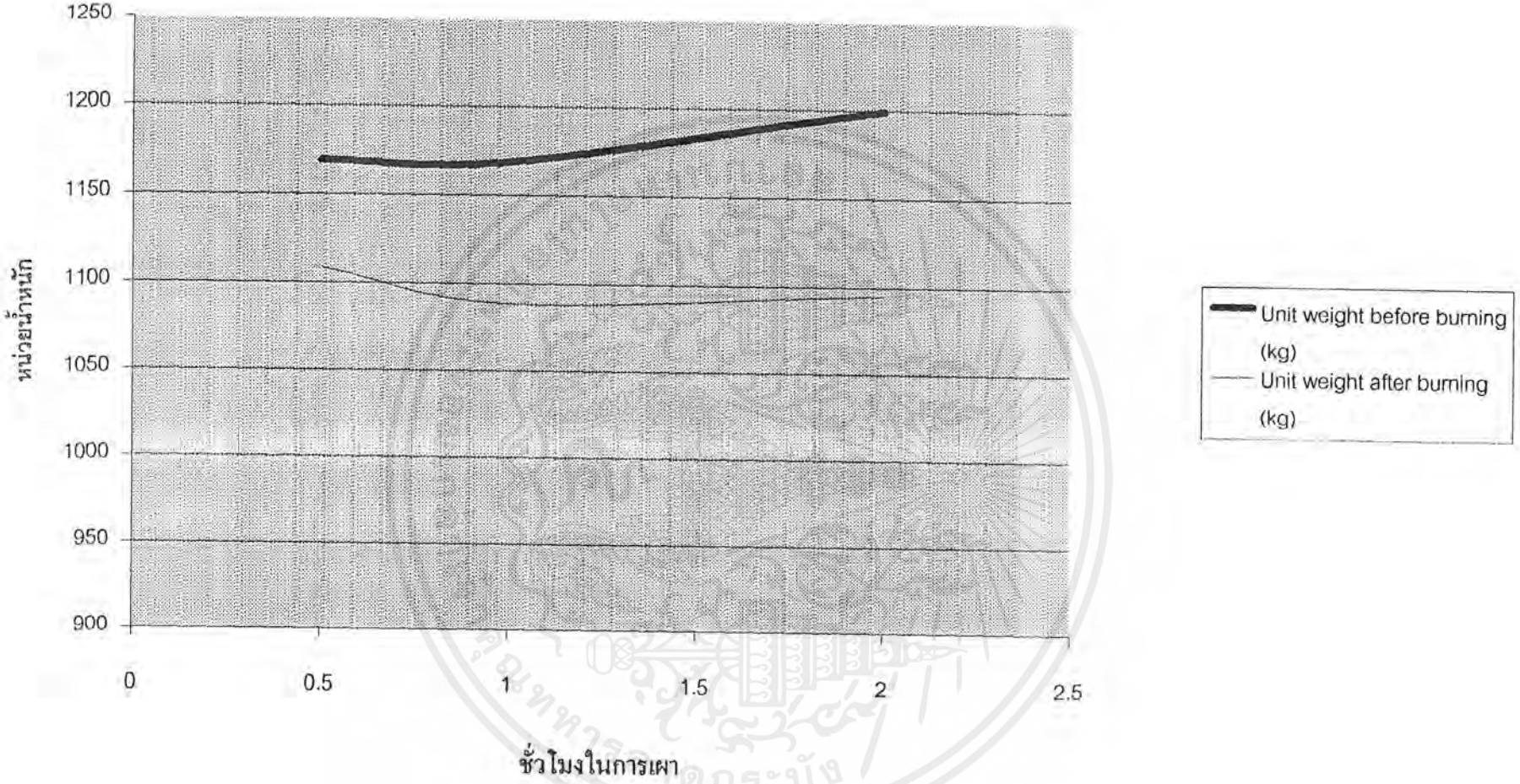
TESTING : Concrete condition after burning test

TYPE OF SAMPLE : Rectagle Plate

Percent of foam per Mass : 75%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Slump (cm)	Ages (days)	Burning (hours)	Weight before burning (kg)	Weight after burning (kg)	Unit weight before burning (kg)	Unit weight after burning (kg)	Description
	Cross Section	Height								
1	30x30	5	10	7	0.5	6.8	6.51	1135	1087	
2	30x30	5	10	7	0.5	7.19	6.76	1200	1129	มีรูพรุนเล็กน้อย
3	30x30	5	10	7	0.5	7.01	6.65	1170	1110	ยังมีเศษโฟมเหลือบ้าง
4	30x30	5	10	7	1	6.91	6.23	1154	1040	
5	30x30	5	10	7	1	7.18	6.44	1199	1075	มีรูพรุนปานกลาง
6	30x30	5	10	7	1	6.9	6.18	1152	1032	เศษโฟมไหม้เกือบหมด
7	30x30	5	10	7	2	7.23	6.56	1207	1095	
8	30x30	5	10	7	2	7.03	6.47	1174	1080	มีรูพรุนมาก
9	30x30	5	10	7	2	7.29	6.65	1217	1110	เศษโฟมไหม้จนหมด

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก่อนและหลังเผาที่ 75 %



รูปที่ 13 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก่อนและหลังเผาที่ 75 %

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

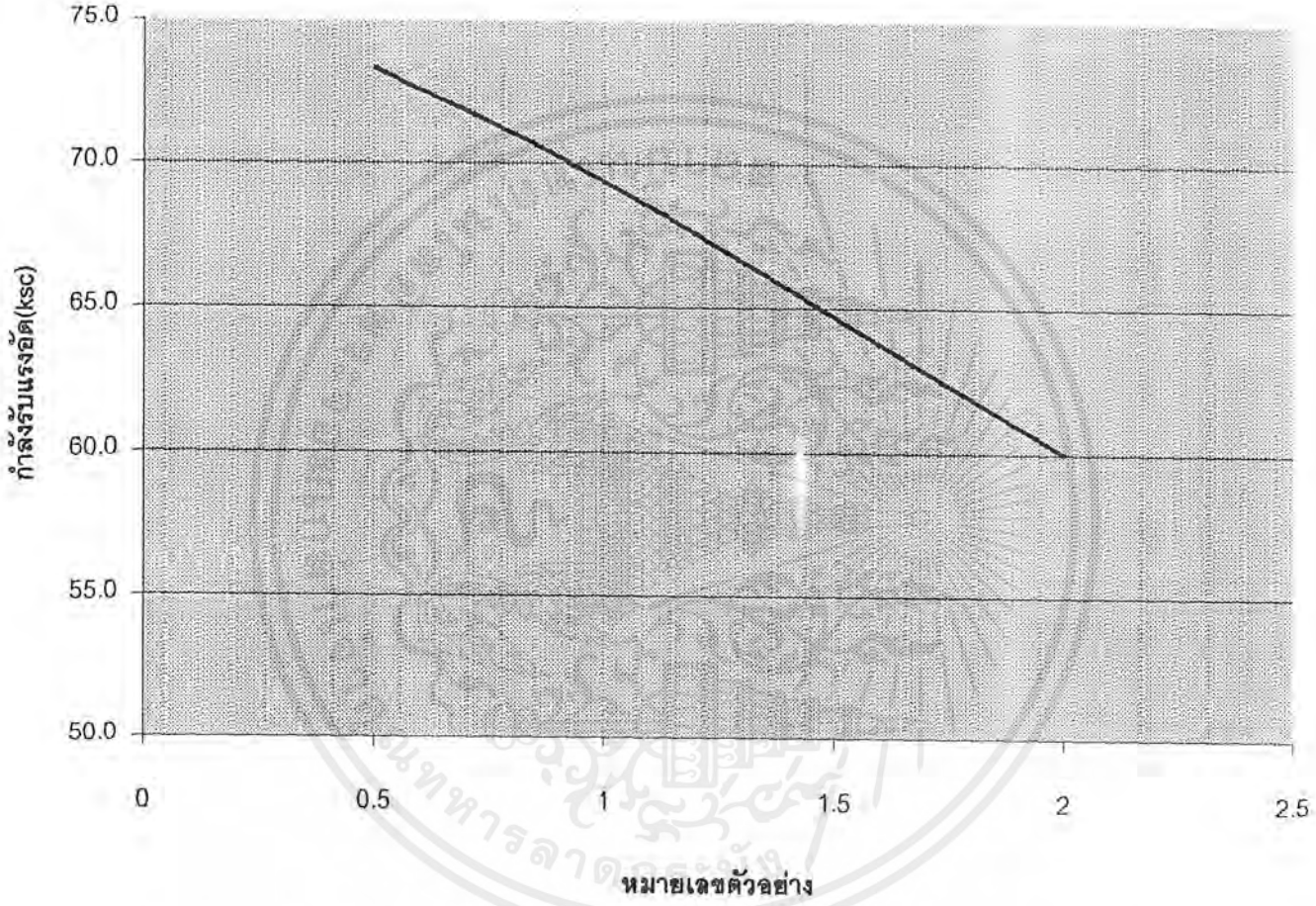
TESTING : Concrete compressive strength test after burning

TYPE OF SAMPLE : Rectagle Plate

Percent of foam per Mass : 75%

Specimen No.	Dimentions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Hour	Ages (days)	Ultimate load (ton)	Compressive Strength (ksc)
	Cross Section	Height						
1	5	10	0.28	10	0.5	7	1.9	76.0
2	5	10	0.27	10	0.5	7	1.8	72.0
3	5	10	0.28	10	0.5	7	1.8	72.0
4	5	10	0.28	10	1	7	1.7	68.0
5	5	10	0.28	10	1	7	1.7	68.0
6	5	10	0.26	10	1	7	1.8	72.0
7	5	10	0.27	10	2	7	1.6	64.0
8	5	10	0.29	10	2	7	1.4	56.0
9	5	10	0.27	10	2	7	1.5	60.0

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมที่ 75 % โดยการเผา 0.5 , 1 และ 2 ชม.



รูปที่ 14 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมที่ 75 % โดยการเผา 0.5 , 1 และ 2 ชม.

PROJECT : Combine material of concrete and used foam

TESTING : Concrete bonding test

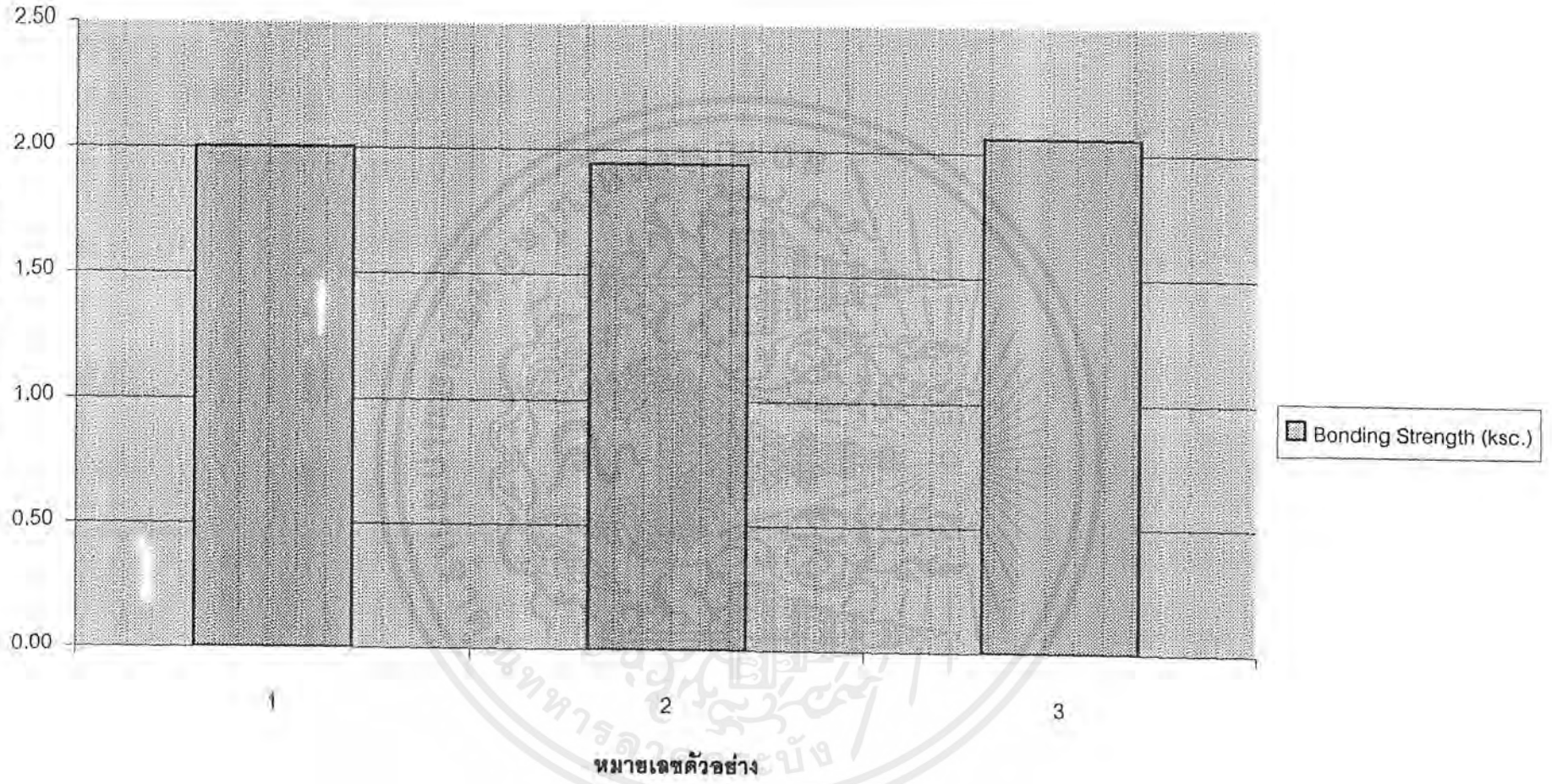
Percent of foam per Mass : 75%

DATA : Slump 10 cm.

Ages 14 days

Specimen	Diameter(mm.)	Depth (mm.)	Location	Load (kg.)	Bonding Strength (ksc.)
1	55	40	กึ่งกลางชิ้นทดสอบ	138.3	2.00
2	55	40	ขอบชิ้นทดสอบ	134.4	1.95
3	55	40	ขอบชิ้นทดสอบ	142.1	2.06
เฉลี่ย				138.3	2.00

ตารางที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดหน่วงกับระยะเลื่อน



รูปที่ 15 กราฟแสดงกำลังรับแรงถอนตะปูของผนังคอนกรีตผสมเศษโฟมที่ 75%

4.1 ผลการทดลอง

จากตารางที่7 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟม

ที่ 0 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 305.9 ksc หน่วยน้ำหนัก 2480.0 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 348.5 ksc หน่วยน้ำหนัก 2474.6 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 343.5 ksc หน่วยน้ำหนัก 2484.0 กก./ลบ.ม.

ที่ 15 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 173.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 2230.2 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 194.9 ksc หน่วยน้ำหนัก 2204.3 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 215.6 ksc หน่วยน้ำหนัก 2198.2 กก./ลบ.ม.

ที่ 30 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 151.2 ksc หน่วยน้ำหนัก 1947.2 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 153.3 ksc หน่วยน้ำหนัก 1984.3 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 156.7 ksc หน่วยน้ำหนัก 1985.7 กก./ลบ.ม.

ที่ 45 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 106.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 1807.1 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 112.5 ksc หน่วยน้ำหนัก 1769.2 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 116.1 ksc หน่วยน้ำหนัก 1814.6 กก./ลบ.ม.

ที่ 60 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 115.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 1771.6 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 117.5 ksc หน่วยน้ำหนัก 1776.2 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 117.3 ksc หน่วยน้ำหนัก 1765.6 กก./ลบ.ม.

ที่ 75 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 49.5 ksc หน่วยน้ำหนัก 1440.0 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 53.2 ksc หน่วยน้ำหนัก 1310.8 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 72.7 ksc หน่วยน้ำหนัก 1317.7 กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟม

ที่ 0 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 31.7 ksc หน่วยน้ำหนัก 2459.0 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 35.9 ksc หน่วยน้ำหนัก 2453.3 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 33.9 ksc หน่วยน้ำหนัก 2483.1 กก./ลบ.ม.

ที่ 15 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 22.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 2224.2 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 31.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 2141.1 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 31.7 ksc หน่วยน้ำหนัก 2189.7 กก./ลบ.ม.

ที่ 30 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 19.2 ksc หน่วยน้ำหนัก 1958.7 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 23.3 ksc หน่วยน้ำหนัก 1979.3 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 23.9 ksc หน่วยน้ำหนัก 1962.0 กก./ลบ.ม.

ที่ 45 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 14.2 ksc หน่วยน้ำหนัก 1791.8 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 15.4 ksc หน่วยน้ำหนัก 1785.4 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 18.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 1795.8 กก./ลบ.ม.

ที่ 60 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 15.9 ksc หน่วยน้ำหนัก 1770.3 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 16.8 ksc หน่วยน้ำหนัก 1763.5 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 18.4 ksc หน่วยน้ำหนัก 1767.0 กก./ลบ.ม.

ที่ 75 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 5.2 ksc หน่วยน้ำหนัก 1259.9 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 6.6 ksc หน่วยน้ำหนัก 1289.7 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 7.3 ksc หน่วยน้ำหนัก 1337.6 กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 21 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟม

ที่ 0 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 35.5 ksc หน่วยน้ำหนัก 2580.5 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 39.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 2615.5 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 50.1 ksc หน่วยน้ำหนัก 2629.0 กก./ลบ.ม.

ที่ 15 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 39.1 ksc หน่วยน้ำหนัก 2265.3 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 40.5 ksc หน่วยน้ำหนัก 2251.9 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 42.2 ksc หน่วยน้ำหนัก 2251.9 กก./ลบ.ม.

ที่ 30 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 31.4 ksc หน่วยน้ำหนัก 2114.5 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 32.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 2157.6 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 33.2 ksc หน่วยน้ำหนัก 2122.6 กก./ลบ.ม.

ที่ 45 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 24.7 ksc หน่วยน้ำหนัก 2001.3 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 29.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 2031.0 กก./ลบ.ม

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 31.2 ksc หน่วยน้ำหนัก 2014.8 กก./ลบ.ม

ที่ 60 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 23.7 ksc หน่วยน้ำหนัก 1874.7 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 24.6 ksc หน่วยน้ำหนัก 1837.0 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 28.1 ksc หน่วยน้ำหนัก 1864.0 กก./ลบ.ม.

ที่ 75 %

บ่มที่ 3 วัน กำลังรับแรงอัด = 21.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 1680.8 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 5 วัน กำลังรับแรงอัด = 23.5 ksc หน่วยน้ำหนัก 1608.1 กก./ลบ.ม.

บ่มที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด = 28.0 ksc หน่วยน้ำหนัก 1337.7 กก./ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- จากรูปที่ 1 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของโฟมเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง เนื่องจากโฟมมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าหินเมื่อนำมาใช้ผสมแทนหินจึงทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ

โดยจากกราฟมีการเปรียบเทียบเวลาในการบ่ม โดยแบ่งเป็น 3, 5, 7 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งเวลาในการบ่มมากก็ยิ่งได้กำลังรับแรงอัดประลัยมากขึ้น เนื่องจากปูนซีเมนต์ทำปฏิกริยากับน้ำนานขึ้น

- จากรูปที่ 2 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของโฟมเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง เนื่องจากโฟมมีหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าหินมาก เมื่อนำมาใช้ผสมแทนหินจึงทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ได้มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ
- จากรูปที่ 3 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของโฟมเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง หมายความว่าความแข็งแกร่งของคอนกรีตผสมโฟมจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเศษโฟมที่ใช้มีค่ามากขึ้น

ซึ่งจากรูปที่ 1 จะพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โฟมเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดก็จะมีค่าลดลง และจากรูปที่ 2 จะพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โฟมเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักก็จะมีค่าลดลงเช่นกัน แต่จากรูปที่ 3 เมื่อนำกำลังรับแรงอัดมาหารด้วยหน่วยน้ำหนักจะพบว่าจะมีแนวโน้มที่ลดลง แสดงว่าในแต่ละขั้นของการลดปริมาณโฟม กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มที่จะลดลงมากกว่าหน่วยน้ำหนัก

- จากรูปที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ พบว่าหน่วยน้ำหนักที่ได้ของคอนกรีตผสมโฟมที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ จะมีค่าน้อยกว่าอิฐแต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ จะพบว่าแม้แต่ที่เปอร์เซ็นต์โฟมที่ 75% ก็ยังมีหน่วยน้ำหนักมากกว่าคอนกรีตมวลเบาที่นำมาเปรียบเทียบ อาจเนื่องจากมีโฟมในส่วนผสมน้อยเกินไป หรือเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต
- จากรูปที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ พบว่ากำลังรับแรงอัดที่ได้ของคอนกรีตผสมโฟมที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ จะมีค่ามากกว่าอิฐและคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ ด้วย อาจเนื่องจากมีซีเมนต์เพสท์มากกว่าคอนกรีตมวลเบาชนิดอื่น ๆ
- จากรูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมกับคอนกรีตมวลเบาชนิดต่าง ๆ พบว่ากำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักที่ได้ของคอนกรีตผสมโฟมที่ทุกเปอร์เซ็นต์จะมีค่ามากกว่าของคอนกรีตมวลเบาทุกชนิด ยกเว้นกำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักที่ได้ของคอนกรีตผสมโฟมที่ 75% จะมีค่าน้อยกว่า Super Block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากซีเมนต์เพสท์ที่มากกว่าคอนกรีตมวลเบาชนิดอื่น และปริมาณวัสดุมวลเบาที่แทนที่หินน้อยกว่าคอนกรีตมวลเบาชนิดอื่น

- จากรูปที่ 7 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของโฟมเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟมก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง เนื่องจากโฟมมีกำลังรับแรงดึงต่ำกว่าหินเมื่อนำมาใช้ผสมแทนหินจึงทำให้กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตที่ได้มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ

โดยจากกราฟมีการเปรียบเทียบเวลาในการบ่ม โดยแบ่งเป็น 3, 5, 7 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งเวลาในการบ่มมากก็ยิ่งได้กำลังรับแรงดึงประลัยมากขึ้น เนื่องจากปูนซีเมนต์ทำปฏิกริยากับน้ำนานขึ้น

- จากรูปที่ 8 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของโฟมเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง เนื่องจากโฟมมีหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าหินมาก เมื่อนำมาใช้ผสมแทนหินจึงทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ได้มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ
- จากรูปที่ 9 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของโฟมเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดึงต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง หมายความว่าความแข็งแกร่งของคอนกรีตผสมโฟมจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเศษโฟมที่ใช้มีค่ามากขึ้น

ซึ่งจากรูปที่ 7 จะพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โฟมเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดึงก็จะมีค่าลดลง และจากรูปที่ 8 จะพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โฟมเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักก็จะมีค่าลดลงเช่นกัน แต่จากรูปที่ 9 เมื่อนำกำลังรับแรงดึงมาหารด้วยหน่วยน้ำหนักจะพบว่าจะมีแนวโน้มที่ลดลง แสดงว่าในแต่ละขั้นของการลดปริมาณโฟม กำลังรับแรงดึงมีแนวโน้มที่จะลดลงมากกว่าหน่วยน้ำหนัก

- จากรูปที่ 10 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของโฟมเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมโฟมก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง เนื่องจากโฟมมีกำลังรับแรงดัดต่ำกว่าหินเมื่อนำมาใช้ผสมแทนหินจึงทำให้กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่ได้มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ

โดยจากกราฟมีการเปรียบเทียบเวลาในการบ่ม โดยแบ่งเป็น 3, 5, 7 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งเวลาในการบ่มมากก็ยิ่งได้กำลังรับแรงดัดมากขึ้น เนื่องจากปูนซีเมนต์ทำปฏิกริยากับน้ำนานขึ้น

- จากรูปที่ 11 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของโฟมเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง เนื่องจากโฟมมีหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าหินมาก เมื่อนำมาใช้ผสมแทนหินจึงทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ได้มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ
- จากรูปที่ 12 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของโฟมเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมโฟมก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง หมายความว่าความแข็งแกร่งของคอนกรีตผสมโฟมจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเศษโฟมที่ใช้มีค่ามากขึ้น

ซึ่งจากรูปที่ 10 จะพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โฟมเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดัดก็จะมีค่าลดลง และจากรูปที่ 11 จะพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โฟมเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักก็จะมีค่าลดลงเช่นกัน แต่จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 12 เมื่อนำกำลังรับแรงดัดมาหารด้วยหน่วยน้ำหนักจะพบว่าจะมีแนวโน้มที่ลดลง แสดงว่าในแต่ละขั้นของการลดปริมาณโฟม กำลังรับแรงดัดมีแนวโน้มที่จะลดลงมากกว่าหน่วยน้ำหนัก

- จากรูปที่ 13 เป็นการทดสอบทางกายภาพโดยใช้เปอร์เซ็นต์ของโฟมที่ 75 % เนื่องจากมีค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นผนังมากกว่าที่เปอร์เซ็นต์อื่น ๆ

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อใช้เวลาเผามากขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักก่อนเผากับหลังเผาจะมีค่าต่างกันมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากยิ่งเผามากโฟมก็ยิ่งละลายออกไปมากรวมทั้งความชื้นจากตัวคอนกรีตเองด้วย

- จากรูปที่ 14 เป็นการทดสอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างที่ตัดออกมาจากแผ่นผนังคอนกรีตผสมโฟม โดยจะเห็นได้ว่ายิ่งใช้เวลาในการเผามากยิ่งจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดต่ำลงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากยิ่งเผามากโฟมก็ยิ่งละลายทำให้เกิดโพรงมากในเนื้อคอนกรีต อีกทั้งคอนกรีตก็ได้รับความเสียหายจากการเผาด้วย

- จากรูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดหน่วงกับระยะเลื่อนตัวของเหล็กเสริม DB 12 ในคอนกรีตผสมโฟมรูปทรงลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ลบ.ซม. จากมาตรฐานจะพบว่าระยะเลื่อนตัวของเหล็กไปถึง 25 มม. ก่อนเหล็กมีค่าความเค้นถึงจุดคลาก และก่อนที่คอนกรีตจะแตกร้าว ดังนั้น จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าแรงยึดหน่วงที่ 25 มม. จะประมาณเท่ากับ 6.5 กก./ตร.ซม.

แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมโฟม (f_c' = 425 กก./ตร.ซม.) ซึ่งมีค่าแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 19.67 กก./ตร.ซม. จะพบว่ามีค่าน้อยกว่ามาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากโฟมมีค่าแรงยึดหน่วงต่ำและความพรุนที่มากกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมโฟม

5. สรุปผลการทดลอง

<u>กำลังรับแรงอัด</u>

จากการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้อัตราส่วนของเศษโฟม แทนปริมาณมวลรวมหยาบโดยปริมาตรที่ 0% , 15% , 30% , 45% , 60% และ 75% พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของเศษโฟมลงไปในส่วนผสมมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง และเมื่อระยะเวลาในการบ่มนานขึ้นกำลังของคอนกรีตที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

โฟมเป็นวัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบามากและโดยลักษณะของเม็ดโฟมที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นเหลี่ยมคมอันเนื่องมาจากการบิ เมื่อทำการผสมในคอนกรีตอย่างทั่วถึงทำให้เศษโฟมมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและเศษโฟมที่ใช้ในการทดสอบไม่มีผลต่อการก่อตัวของคอนกรีตทำให้การก่อตัวของคอนกรีตเป็นไปอย่างปกติ

คอนกรีตที่นำมาผสมเศษโฟมที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ นำมาทดสอบแรงกด เมื่อกำลังรับแรงอัดถึงจุดสูงสุดแล้วคอนกรีตจะเกิดการพังทลาย มีข้อสังเกตุจากการทดสอบว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเศษโฟมจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอซึ่งอาจสัณนิษฐานได้ว่าโฟมมีคุณสมบัติการยืดหยุ่นตัวมาก

<u>กำลังรับแรงดึง</u>

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยวิธี Spliting Test เมื่อเพิ่มปริมาณของเศษโฟมแทนมวลรวมหยาบโดยปริมาตร 0% , 15% , 30% , 45% , 60% และ 75% จะพบว่าค่ากำลังรับแรงดึงประลัยจะมีค่าลดลง และหลังจากที่ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงจนชิ้นทดสอบเกิดการพังทลายแล้วนำชิ้นตัวอย่างมาทำการแยกผ่าซีกตามรอยแตกด้วยมือพบว่า ที่เปอร์เซ็นต์ของเศษโฟมที่สูงจะยังคงรูปอยู่และทำการแยกออกได้ยาก เนื่องจากเศษโฟมที่กระจายตัวอยู่ภายในมีลักษณะเหมือนเส้นใยที่ยึดเหนี่ยวชิ้นส่วนที่แตกและพังทลายไม่ให้แยกออกจากกัน

ระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มมากขึ้นทำให้กำลังรับแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและเมื่อปริมาณของเศษโฟมเพิ่มขึ้นทำให้หน่วยน้ำหนักมีค่าลดลงอย่างมากเนื่องจากเศษโฟมที่ผสมแทนมวลรวมหยาบมีน้ำหนักเบากว่ามาก

<u>กำลังรับแรงดัด</u>

จากการเปรียบเทียบกำลังรับโมเมนต์ดัดของคานคอนกรีตผสมเศษโฟมโดยการทดสอบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลางคานตัวอย่างพบว่า ปริมาณของเศษโฟมที่เปอร์เซ็นต์สูง ๆ กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยจะลดลง และที่ระยะการบ่มที่นานขึ้นกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของคานคอนกรีตจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้น

จากการทดสอบคานคอนกรีตล้วนที่มิได้ทำการผสมเศษโฟม เมื่อเกิดรอยแตกร้าวที่ผิวล่างของคานจะเกิดการพังทลายอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อปริมาณของเศษโฟมเพิ่มขึ้นคานจะเกิดการแตกร้าวและพังทลายช้ากว่า เนื่องจากเศษโฟมที่กระจายอยู่บริเวณหน้าตัดแตกร้าวมีการยึดเกาะตัวกันอยู่แม้ว่าคอนกรีตจะแตกออกจากกัน จนกระทั่งเมื่อการแตกร้าวมีมากขึ้นจนน้ำหนักของคานคอนกรีตมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของเศษโฟม คานก็จะแตกออกจากกันเป็น 2 ท่อน

<u>ความสามารถในการทนไฟ</u>

จากการทดสอบความสามารถในการทนไฟของคอนกรีตผสมเศษโฟมโดยการนำคอนกรีตผสมเศษโฟมที่ 75 % ไปหล่อเป็นแผ่นขนาด 30x30x5 ซม. ทำการบ่มทิ้งเอาไว้ในน้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อนำขึ้นมาจากน้ำแล้วทำการผึ่งแดดให้แห้งเป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปอบในเตาอบเพื่อไล่ความชื้นออกจากเนื้อคอนกรีตเพราะเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงคอนกรีตอาจเกิดการระเบิดภายในเตาเผาได้เนื่องจากน้ำบริเวณผิวคอนกรีตจะกลายเป็นไอและระเหยออกไปได้ง่าย ที่บริเวณที่อยู่ภายในเข้าไปไอน้ำจะถูกไล่เข้าแทนใน เมื่อผิวแห้งคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเปราะไอน้ำข้างในออกมาไม่ได้ เมื่ออัตราความร้อนเพิ่มมากขึ้นแรงดันภายในที่มากกว่าภายนอกจะพยายามดันคอนกรีตออกทุกทิศทาง

จากการทดสอบเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาขึ้นจนถึง 300 องศาเซลเซียสแล้วทำการคงอุณหภูมิไว้ อิทธิพลความรุนแรงของไฟจะสามารถกำหนดได้จากช่วงระยะเวลาของการเผาโดยทำการคงอุณหภูมิไว้ที่ 0.5 , 1 และ 2 ชม. ผลการทดสอบพบว่าที่ 0.5 ชม. กำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตขนาด 10x10x5 ซม. มีค่าเพิ่มขึ้น 1.8 % แต่เมื่อระยะเวลาในการเผาที่นานขึ้นคือที่ 1 และ 2 ชม. กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง 3.71 % และ 14.2 % ตามลำดับ แสดงว่าระยะเวลาของการเผาไหม้จะทำให้เกิดความอ่อนแอของชิ้นตัวอย่างขึ้นเรื่อย ๆ จนอาจทำให้เกิดการทำลายของชิ้นตัวอย่างได้หากมีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายชั่วโมง

จากผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตหลังการเผา เมื่อทำการเผาเป็นระยะเวลานานขึ้นหน่วยน้ำหนักจะมีค่าลดลงอันเนื่องจากไอน้ำภายในคอนกรีตได้ระเหยไปหมดเศษโฟมภายในได้หลอมละลายและระเหยเป็นไอออกจากคอนกรีตและการกระเทาะแตกของผิวคอนกรีตอันเนื่องมาจากความร้อน สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีผลทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลง

<u>แรงยึดหน่วง</u>

จากการทดสอบกำลังยึดหน่วงของคอนกรีตผสมเศษโฟมที่ 75 % จะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.5 กก./ตร.ซม.และค่ากำลังยึดหน่วงของคอนกรีตล้วนที่กำลังรับแรงอัดเท่ากับ 343.5 กก./ตร.ซม. มีค่าเท่ากับ 63.28 กก./ตร.ซม.(จากกราฟมาตรฐานของ ACI) ซึ่งจะเห็นว่าค่าแรงยึดหน่วงมีค่าลดลงถึง 89.73 % เนื่องจากเศษโฟมที่กระจายอยู่ในเนื้อคอนกรีตในส่วนที่สัมผัสกับเหล็กเสริมไม่สามารถยึดเหนี่ยวเหล็กเสริมไว้ได้เลย โดยส่วนที่ยึดหน่วงเหล็กเสริมไว้ได้มีเพียงส่วนที่สัมผัสกับคอนกรีตเท่านั้น ดั้งนั้นเมื่อมีปริมาณเศษโฟมในเนื้อคอนกรีตมากขึ้น โอกาสที่เหล็กเสริมจะสัมผัสกับโฟมจะมากขึ้นด้วย ทำให้แรงยึดหน่วงต่อเหล็กมีแนวโน้มที่จะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบราคาวัสดุต่อหนึ่งตารางเมตร

ใช้ คอนกรีตต่อหนึ่งตารางเมตร		0.05x1x1	= 0.05 ลบ.ม.
เพราะฉะนั้นใช้	น้ำ	0.05(195+98.2)	= 14.66 กก.
	ปูน	0.05(487.5+245.6)	= 36.65 กก.
	ทราย	0.05(604.5)	= 30.22 กก.
	หิน	0.05(272)	= 13.6 กก.
	โฟมเหลือใช้	0.05(12.2)	= 0.61 กก.

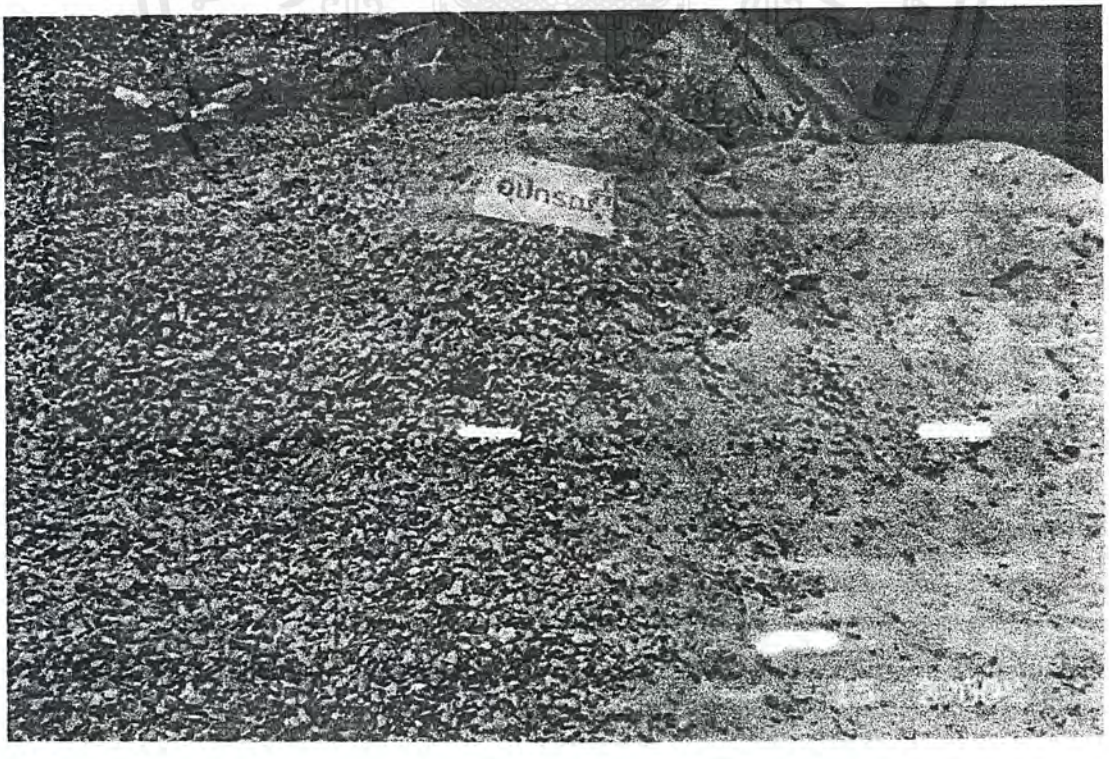
ดังนั้นรวมราคาได้ดังนี้ต่อ 1 (ตารางเมตร)

วัสดุ	ปริมาณ	ราคาต่อหน่วยน้ำหนัก	ราคาวัสดุ
น้ำ	14.66 กก.	0.01 บาท/กก.	0.146 บาท/ตร.ม.
ปูน	36.65 กก.	2.5 บาท/กก.	92 บาท/ตร.ม.
ทราย	30.22 กก.	0.2 บาท/กก.	6.044 บาท/ตร.ม.
หิน	13.6 กก.	0.2 บาท/กก.	2.72 บาท/ตร.ม.
โฟมเหลือใช้	0.61 กก.	2 บาท/กก.	1.22 บาท/ตร.ม.
ค่าแรง			100 บาท/ตร.ม.
# รวมราคาวัสดุและค่าแรง		⟹	**200 บาท/ตร.ม.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

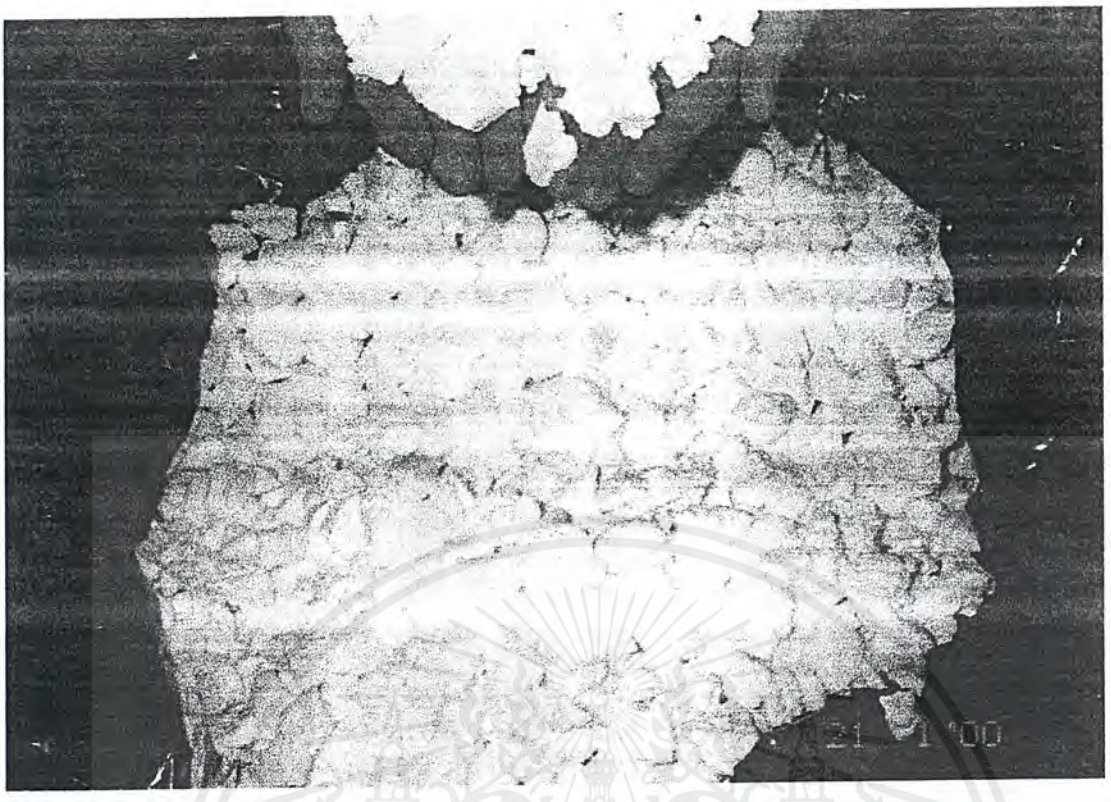
6. ภาพประกอบผลการทดลอง

รูปที่ 16 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราช้าง



รูปที่ 17 มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

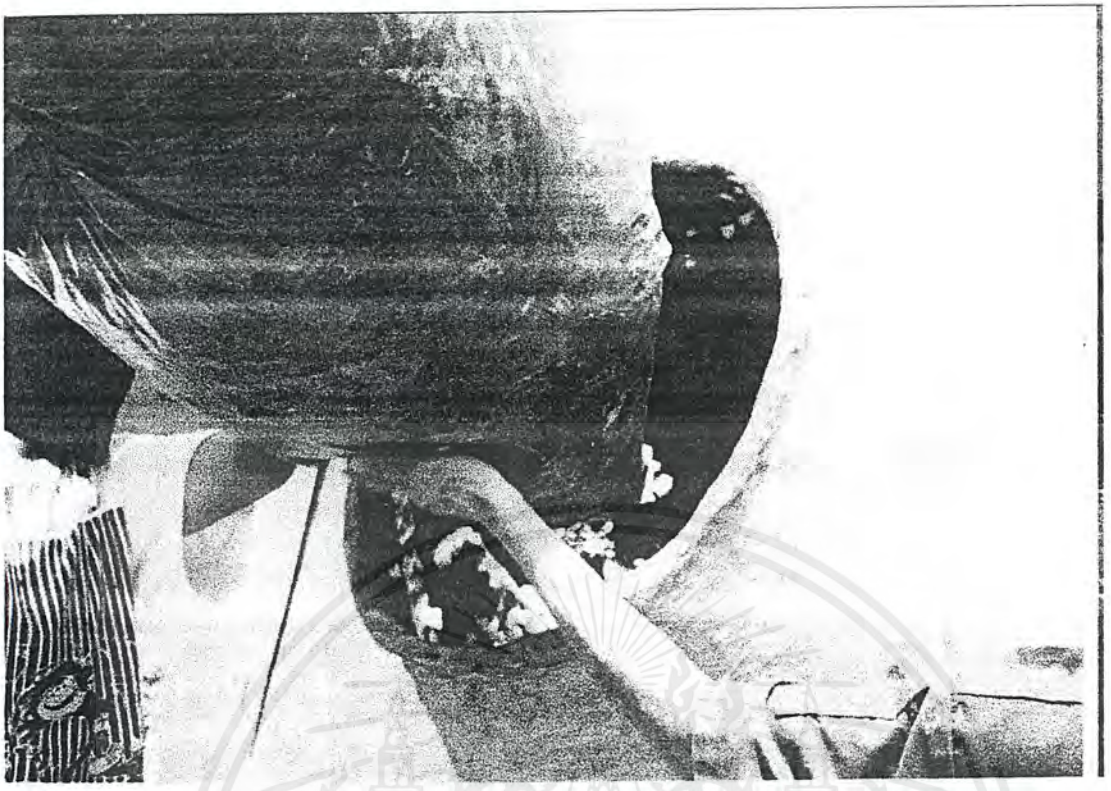
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



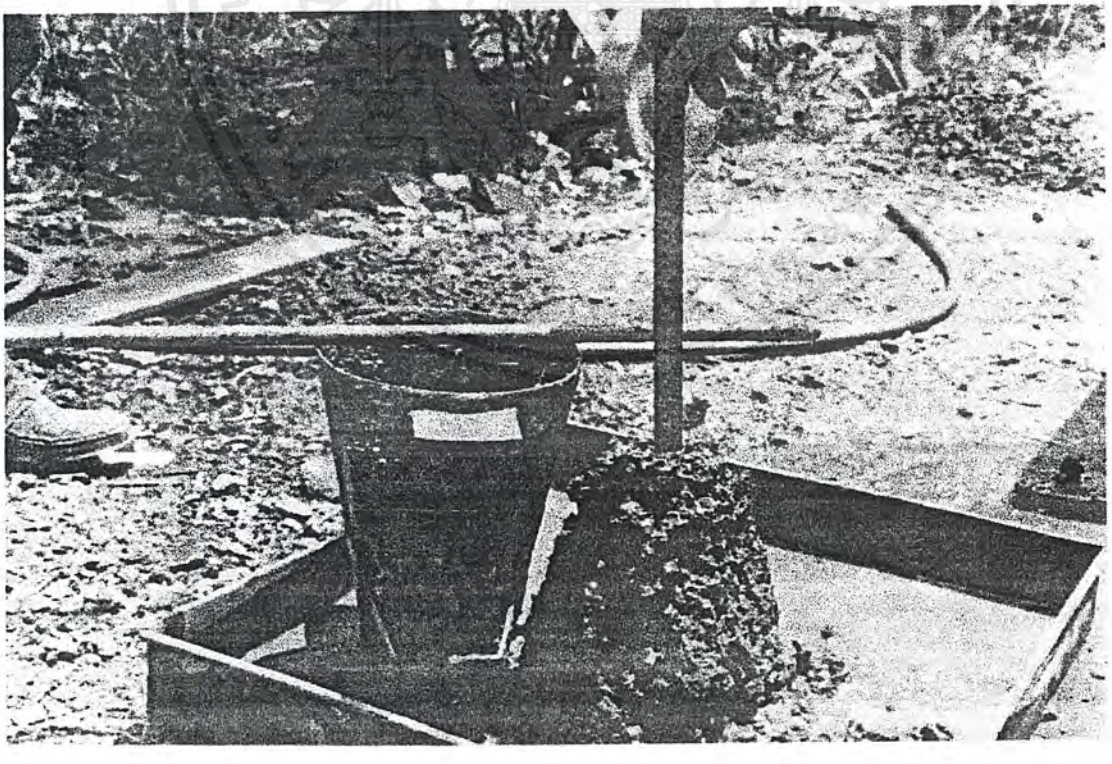
รูปที่ 18 โฟมขนาดเท่าหินเบอร์ 1

รูปที่ 19 โม่ผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

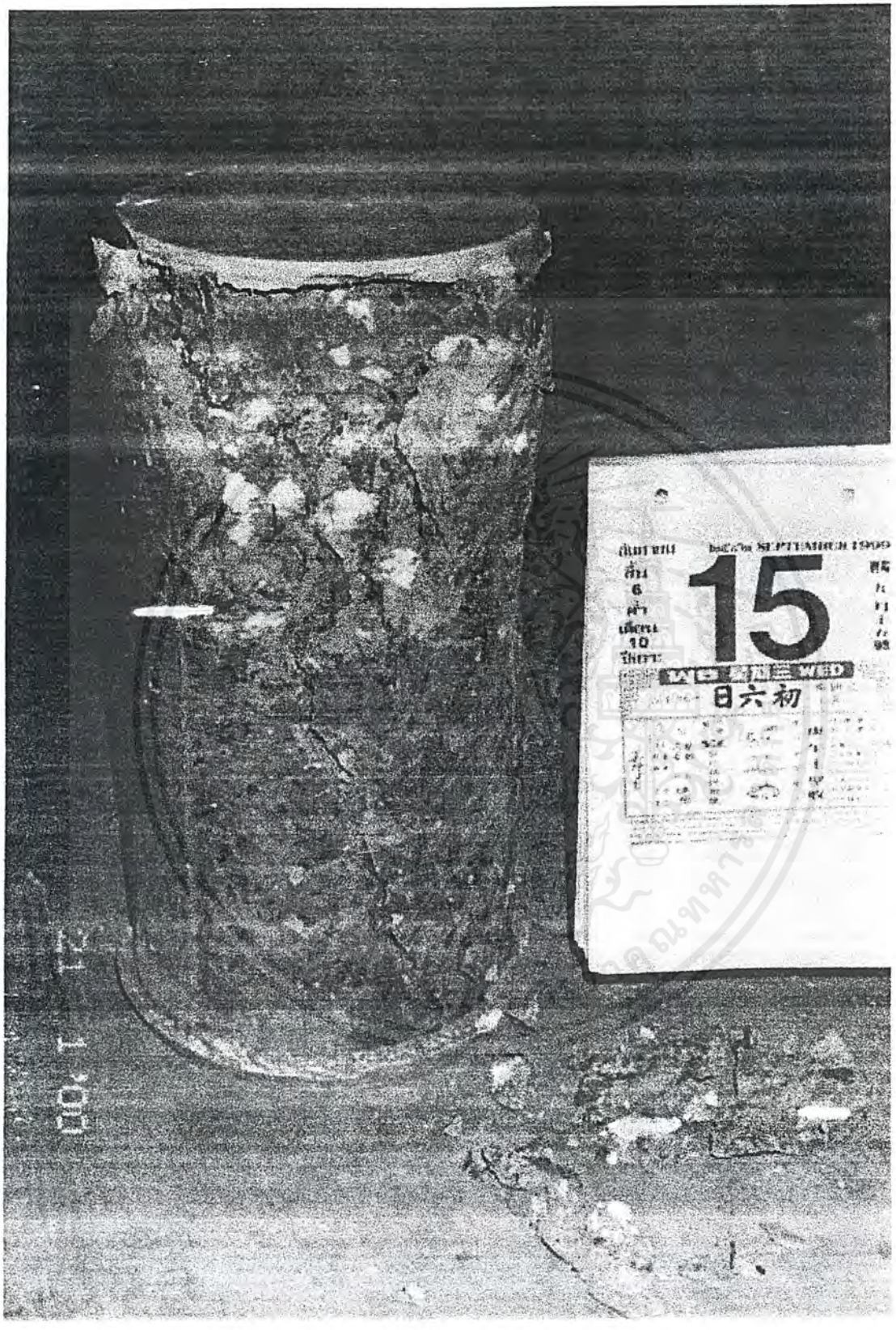


รูปที่ 20 ใส่โฟมเข้าไปในโม่ขณะผสม



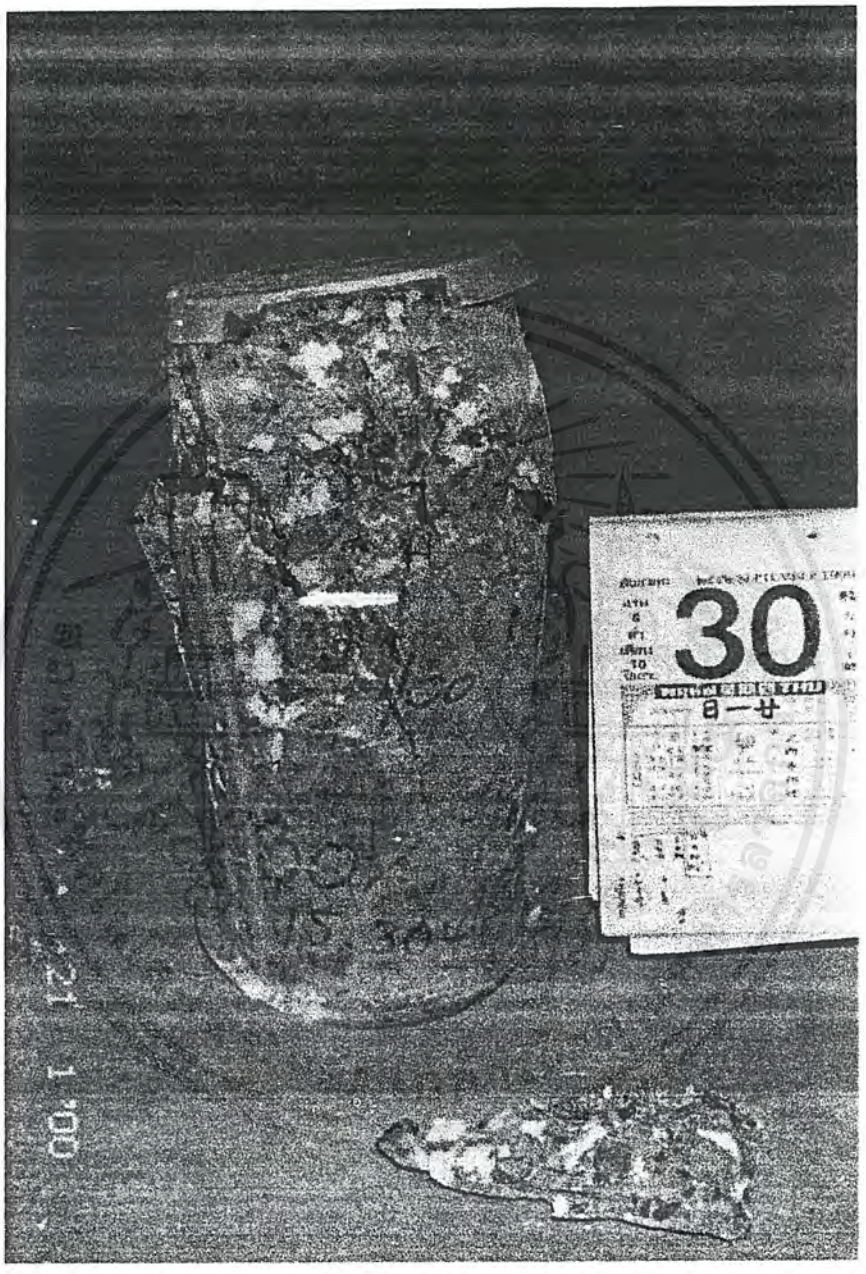
รูปที่ 21 ตรวจค่าความยุบตัวของคอนกรีตหลังผสมทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



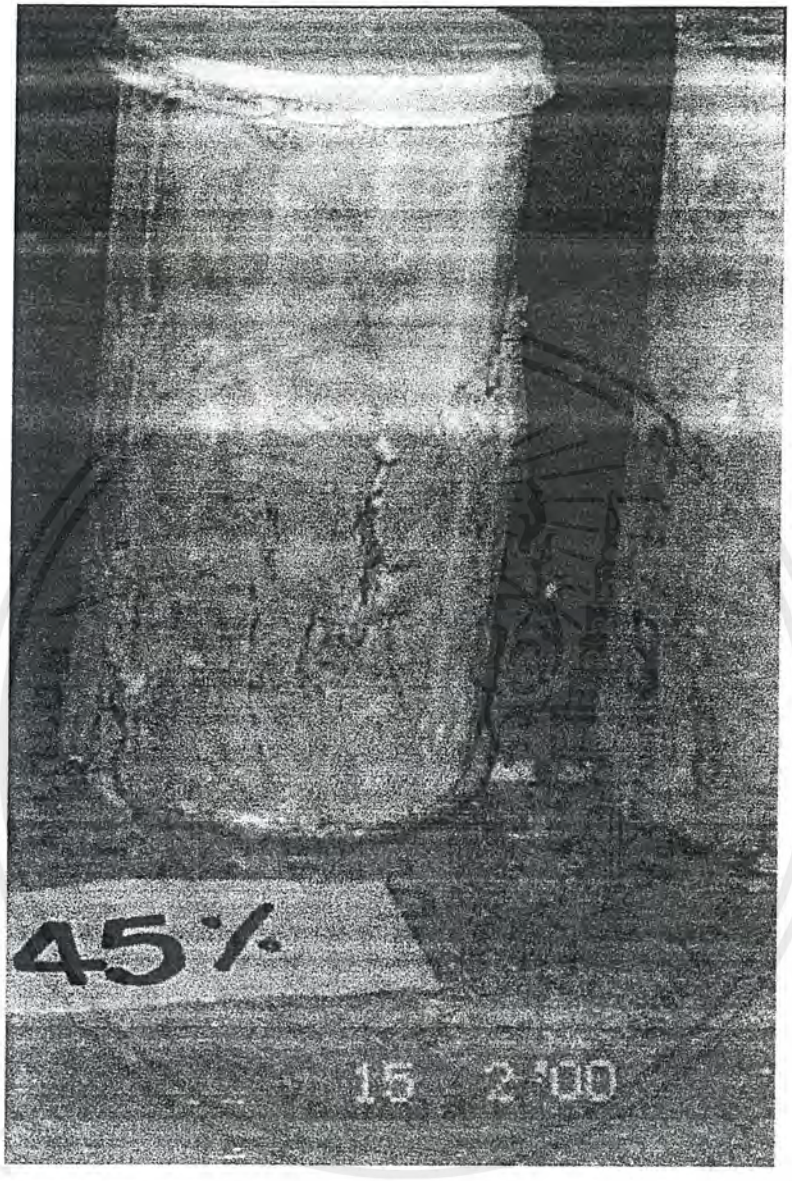
รูปที่ 22 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 15 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



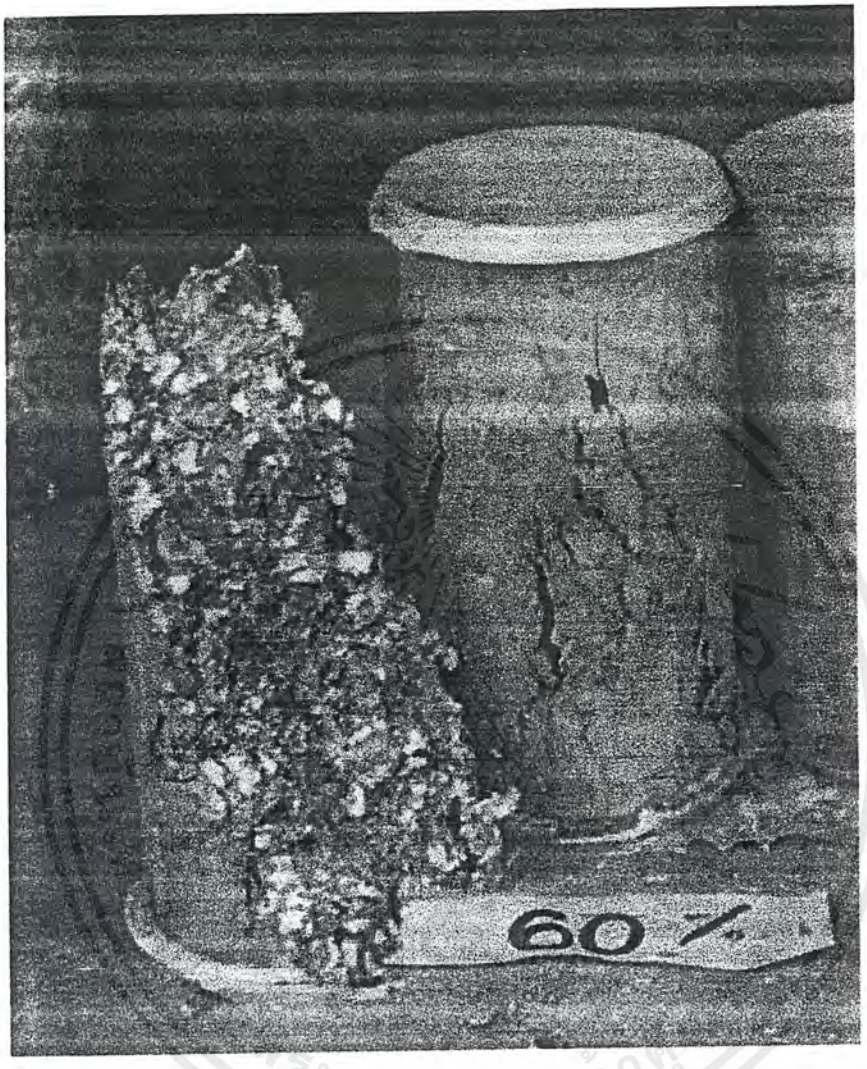
รูปที่ 23 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 30 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 24 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 45 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

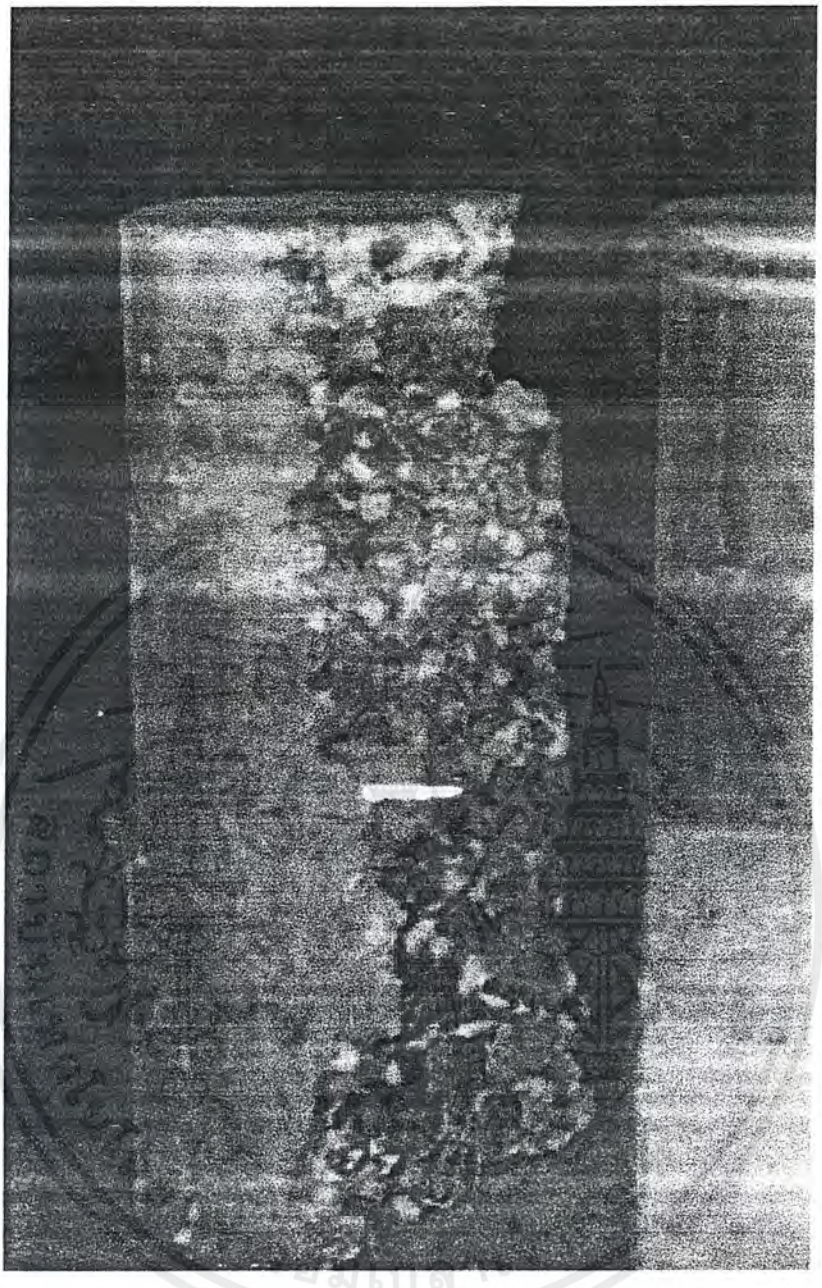


รูปที่ 25 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 60 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

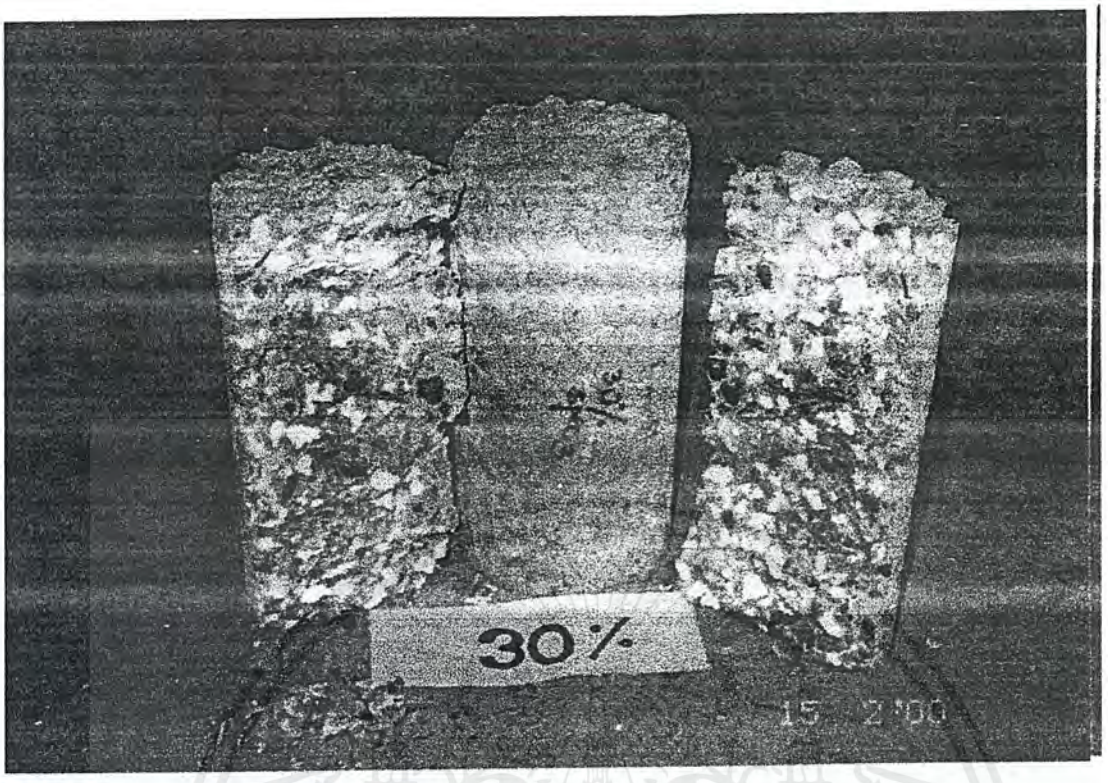
รูปที่ 26 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 75 % หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

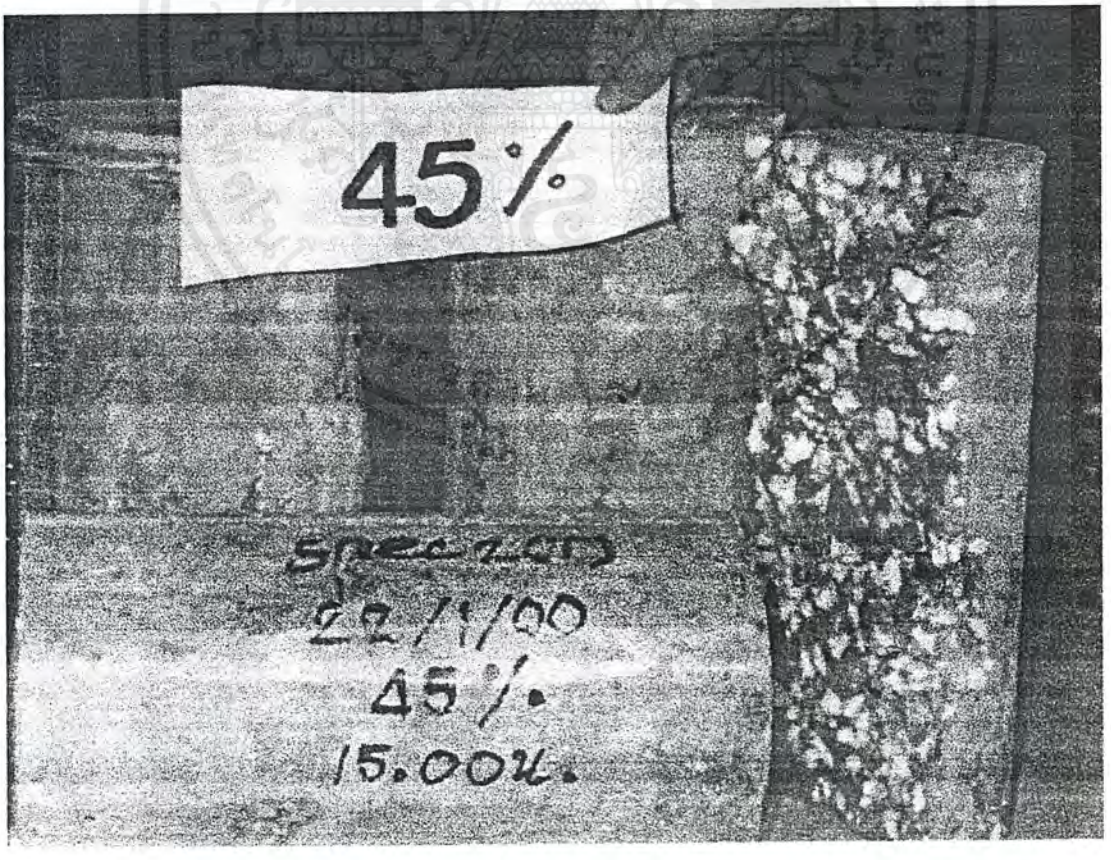


รูปที่ 27 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 15 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

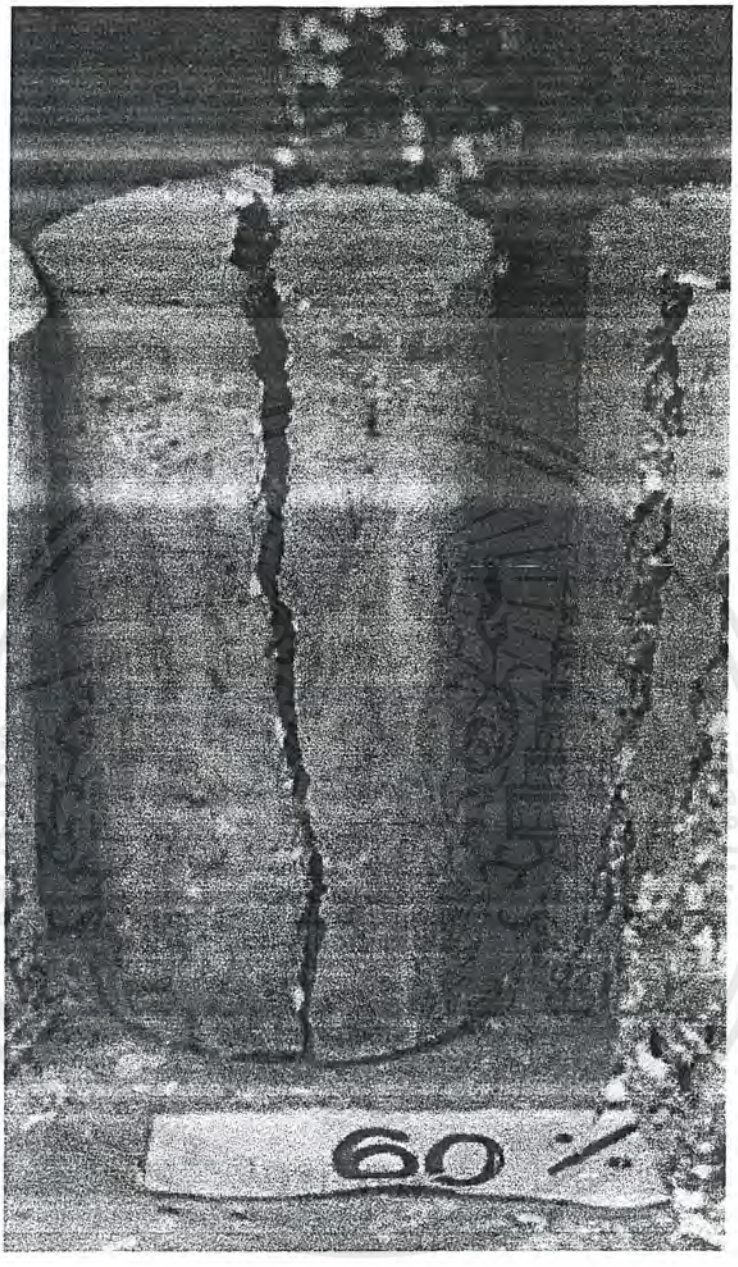


รูปที่ 28 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 30 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง



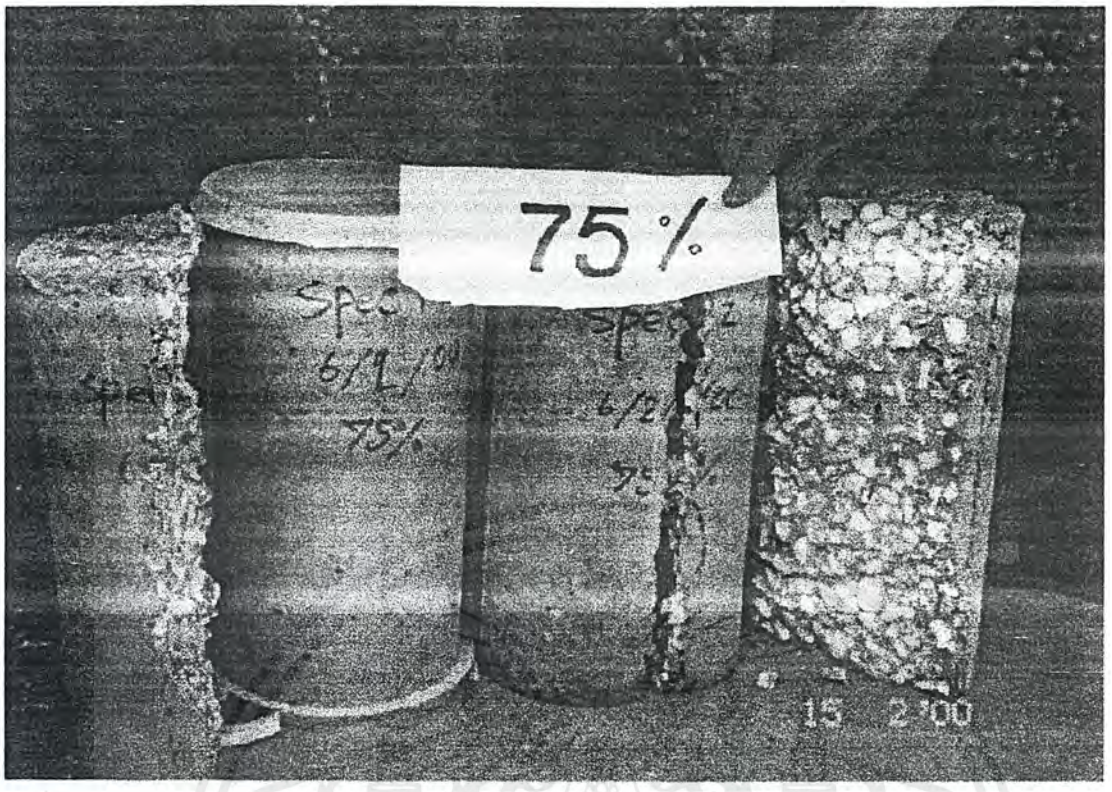
รูปที่ 29 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 45 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

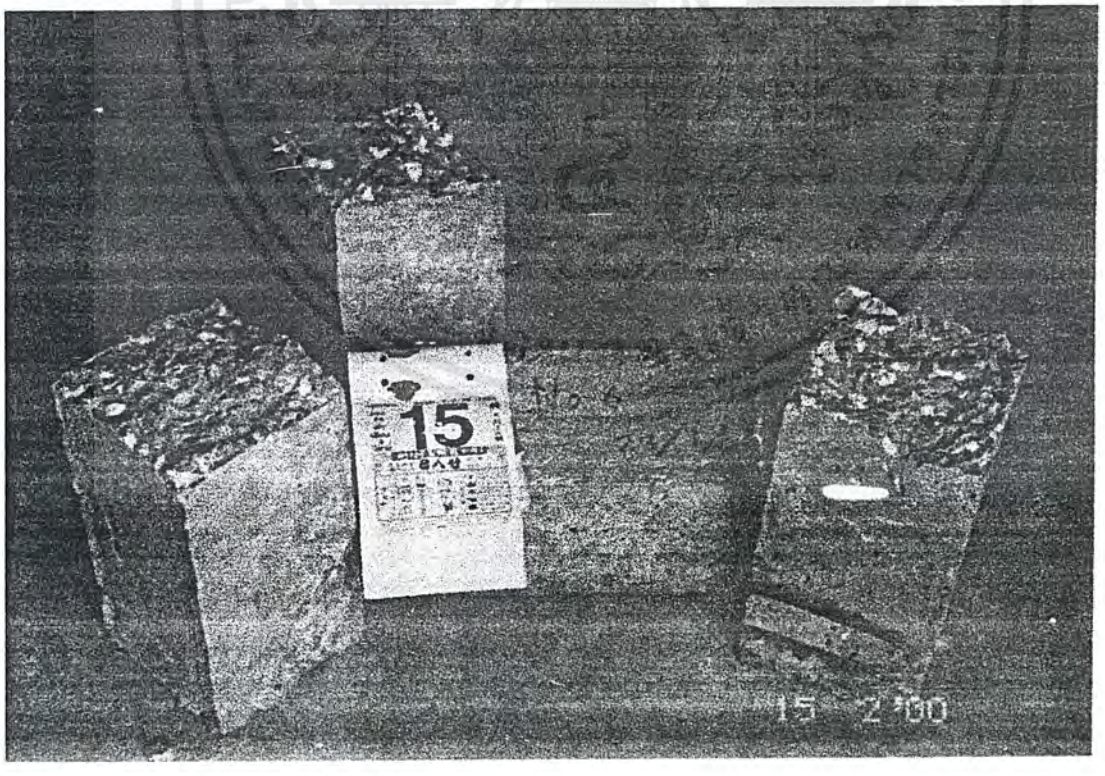


รูปที่ 30 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 60 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

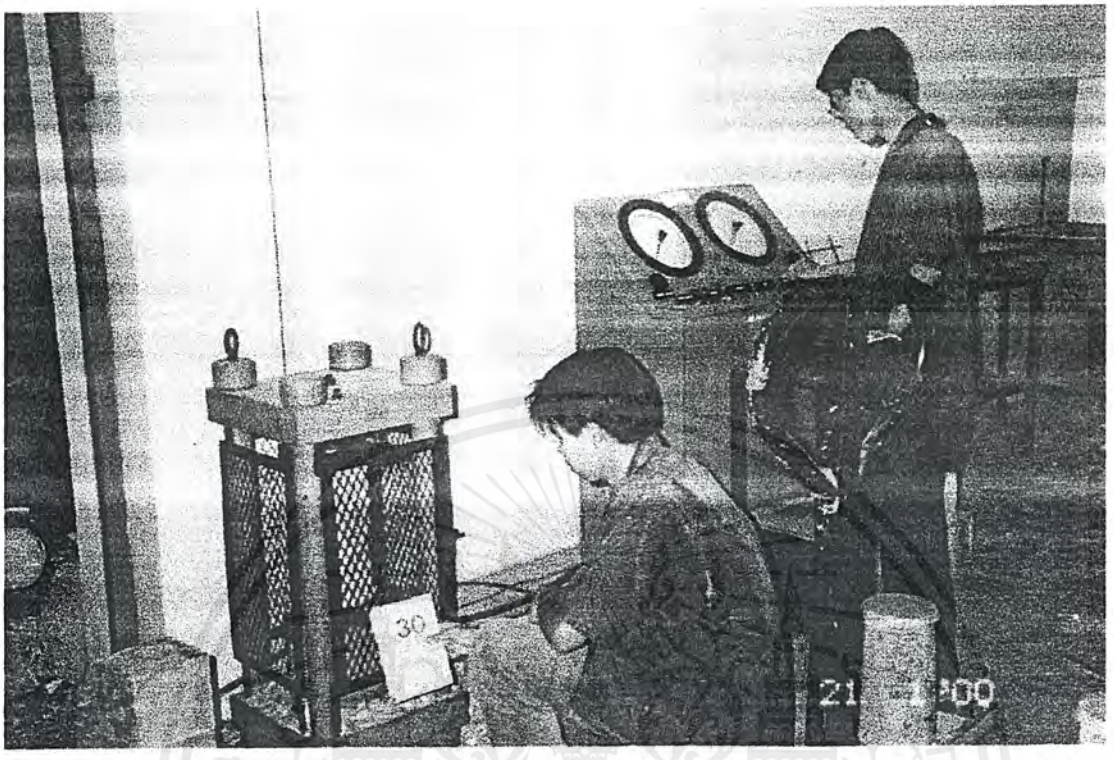


รูปที่ 31 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 75 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดึง



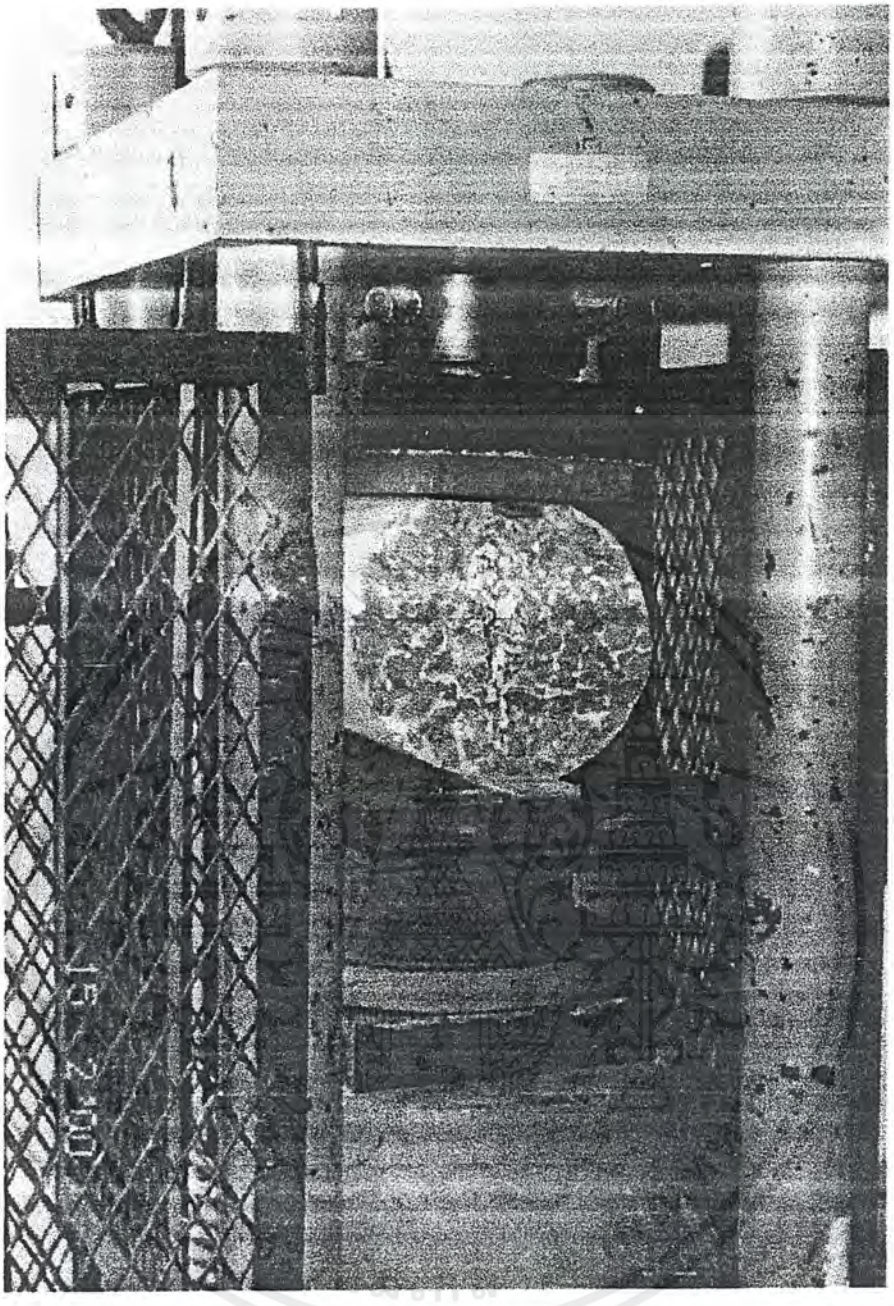
รูปที่ 32 ตัวอย่างคอนกรีตผสมโฟมที่ 15 % หลังทดสอบกำลังรับแรงดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



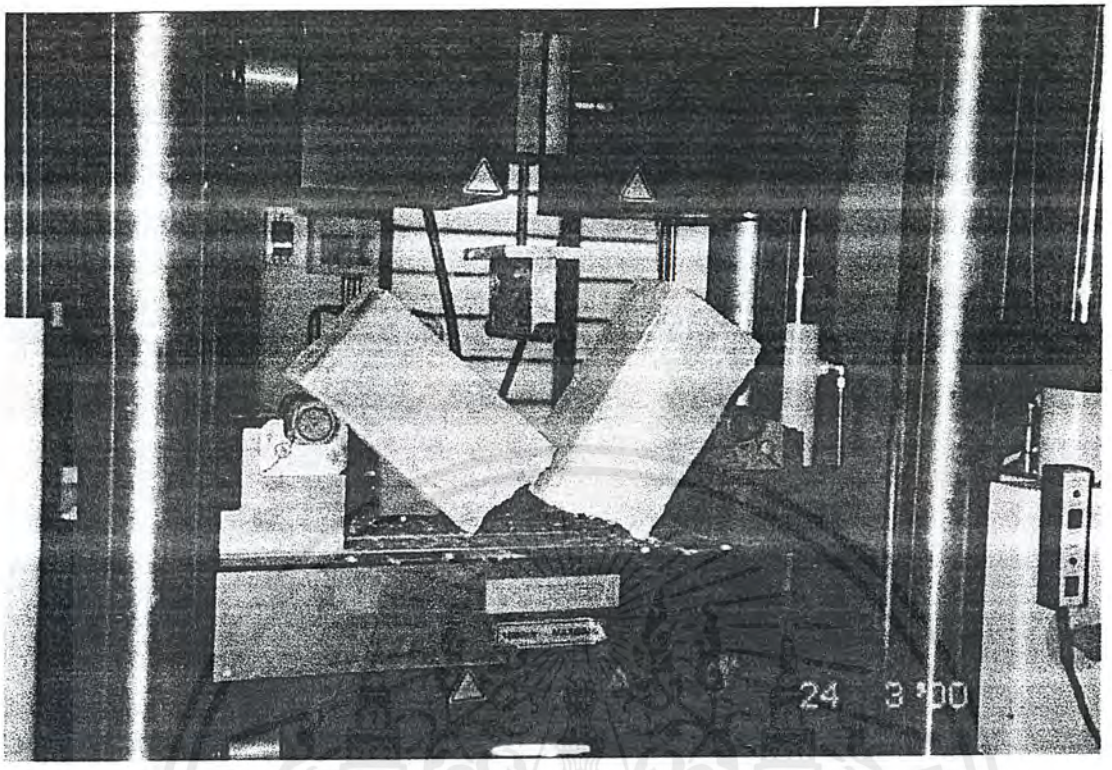
รูปที่ 33 ขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโฟมรูปทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



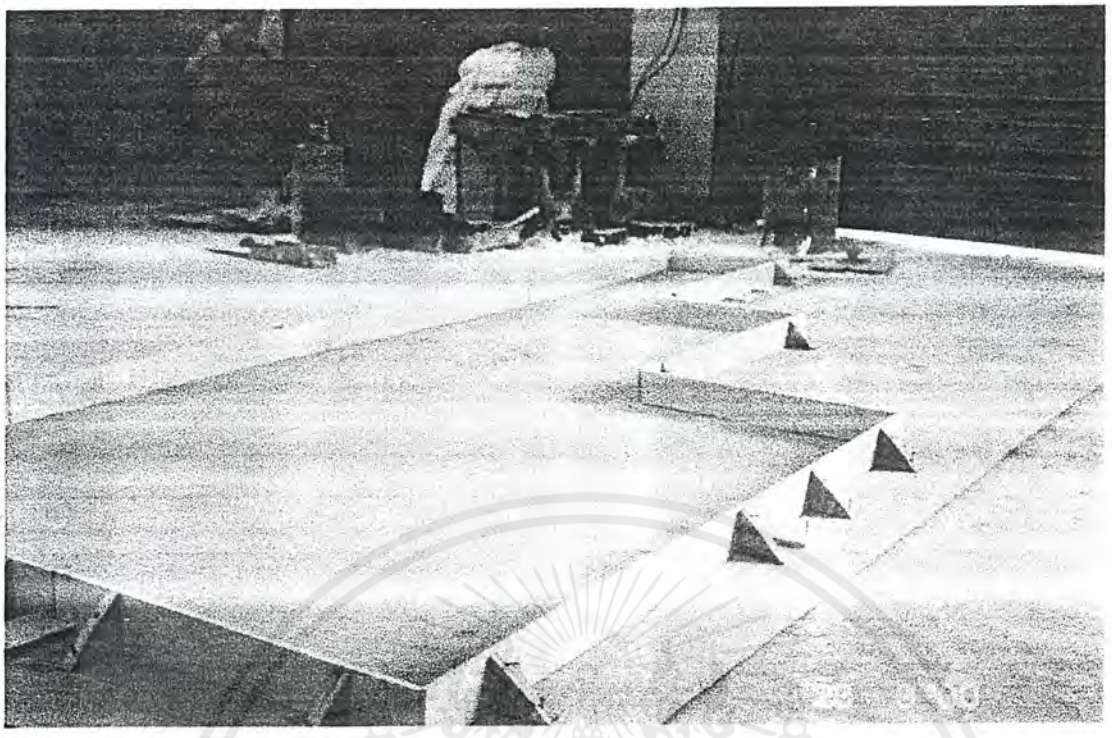
รูปที่ 34 ขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมโฟมรูปทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

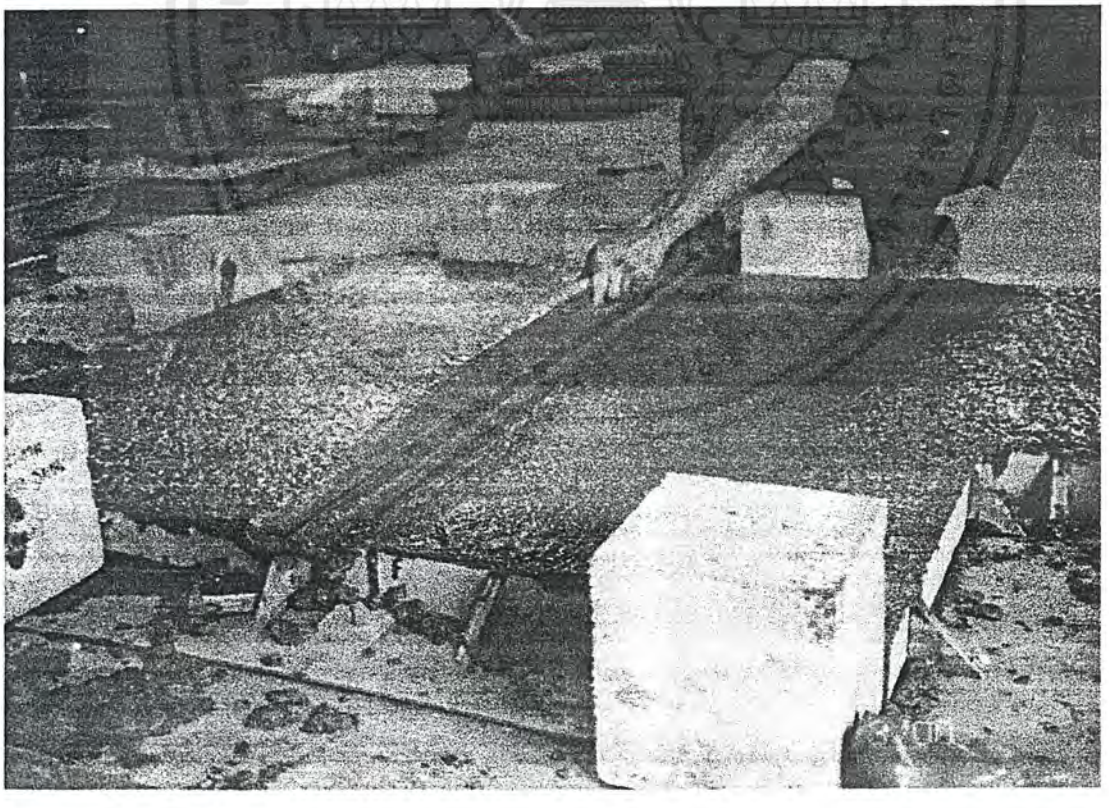


รูปที่ 35 ขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตผสมโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

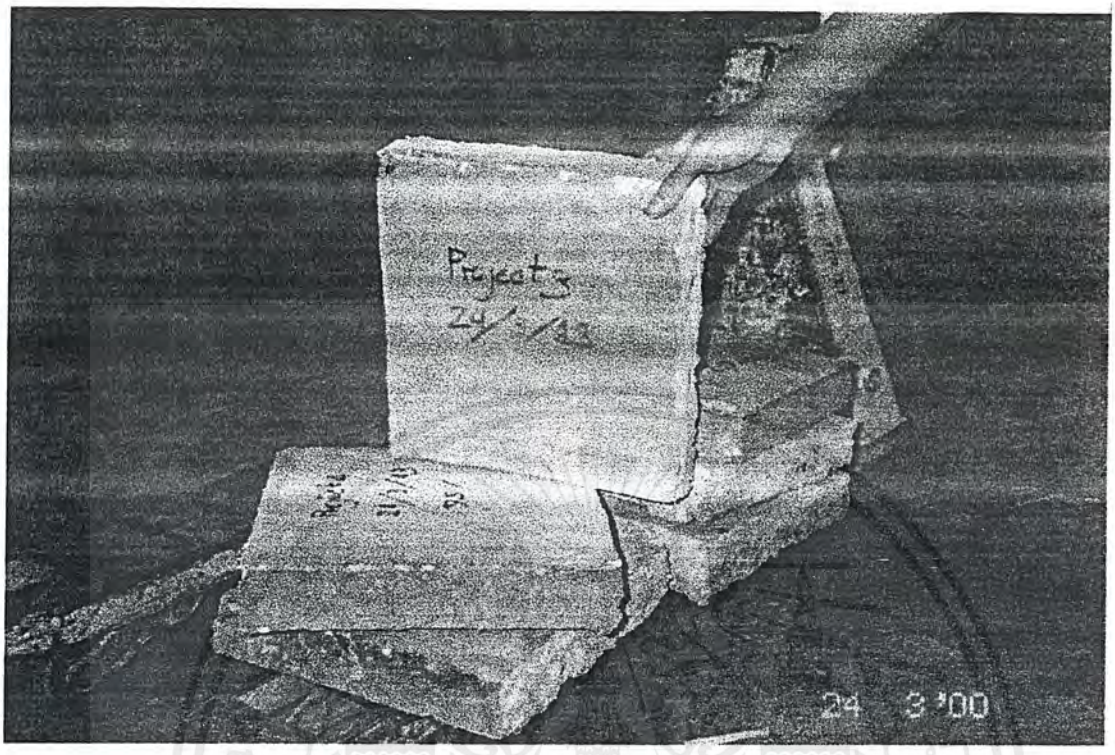


รูปที่ 36 แบบหล่อตัวอย่างผนังสำหรับทดสอบความสามารถในการ[illegible]



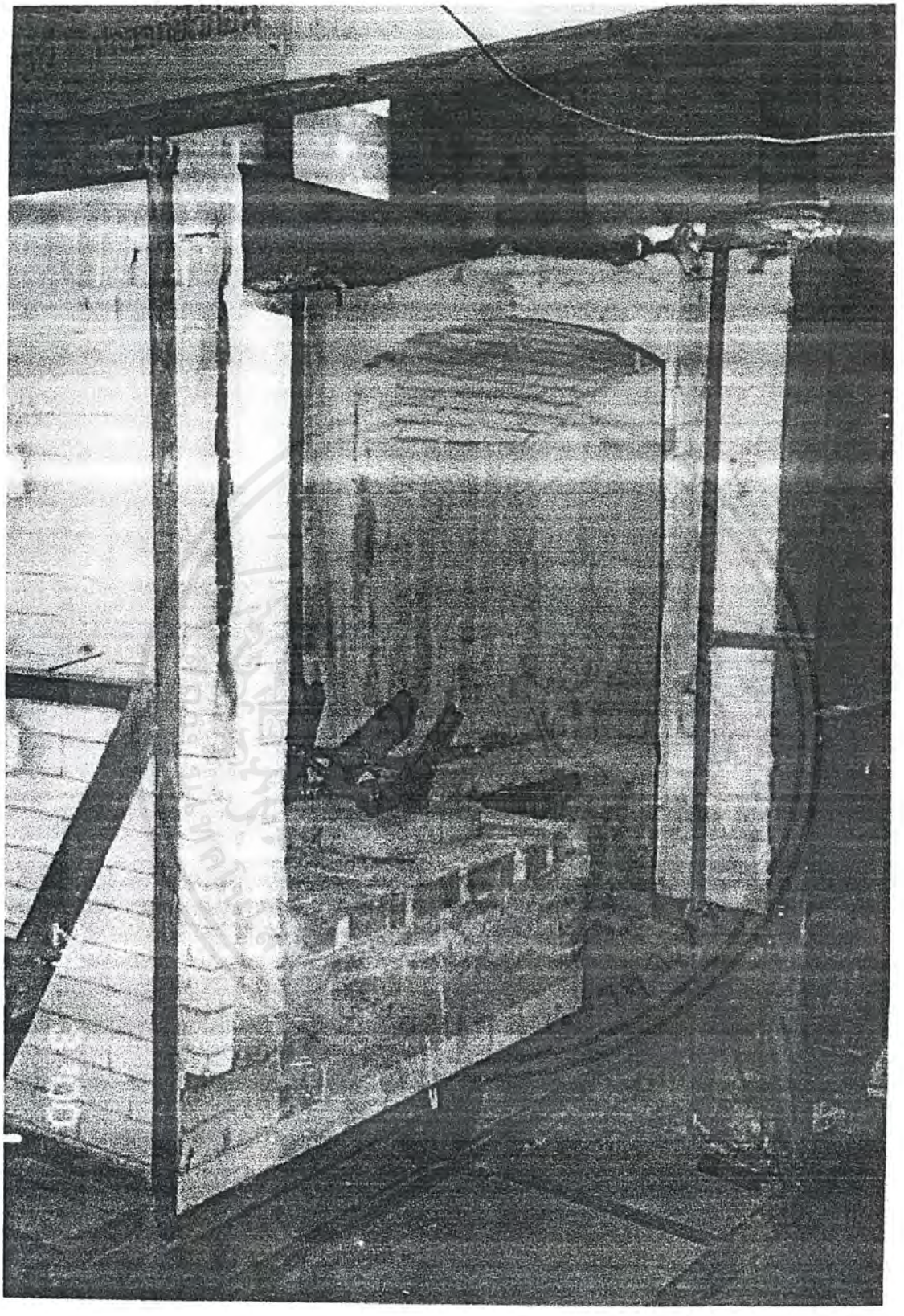
รูปที่ 37 ฉาบผิวหน้าให้เรียบหลังจากเทคอนกรีตลงแบบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 38 ชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบการทนไฟหลังจากแกะแบบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



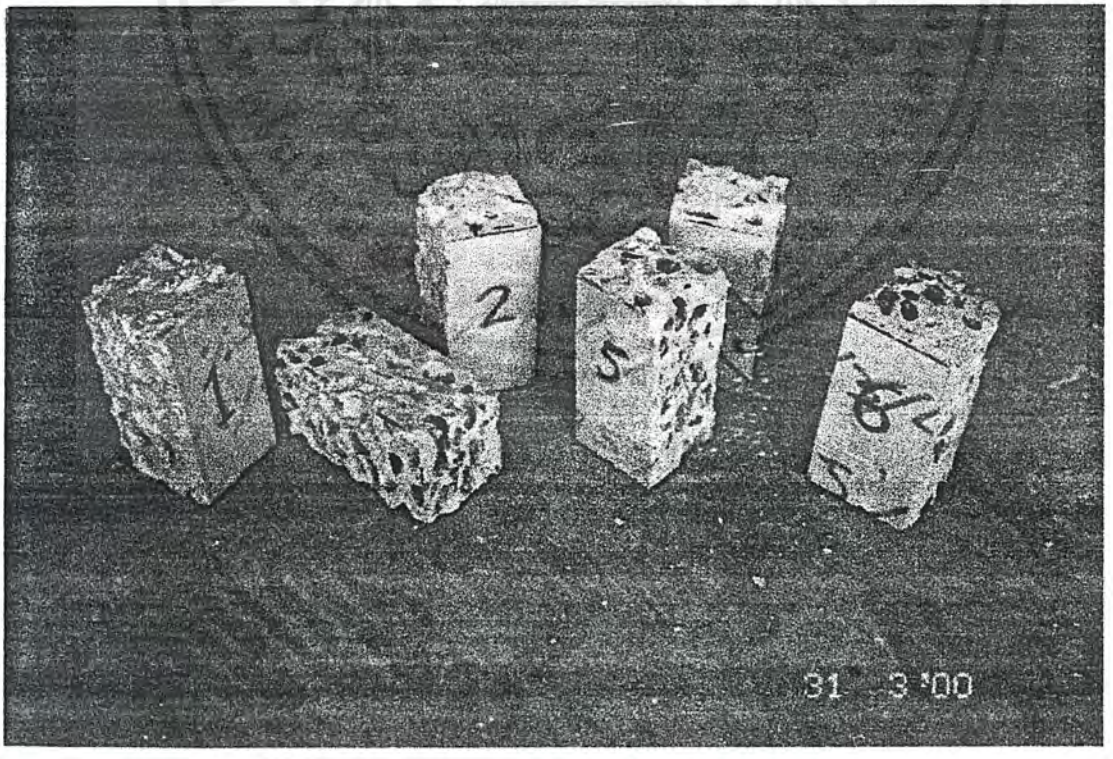
รูปที่ 39 เตาเผาชิ้นงานชนิดควบคุมอุณหภูมิได้สำหรับทดสอบการทนไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 43 การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนไฟ

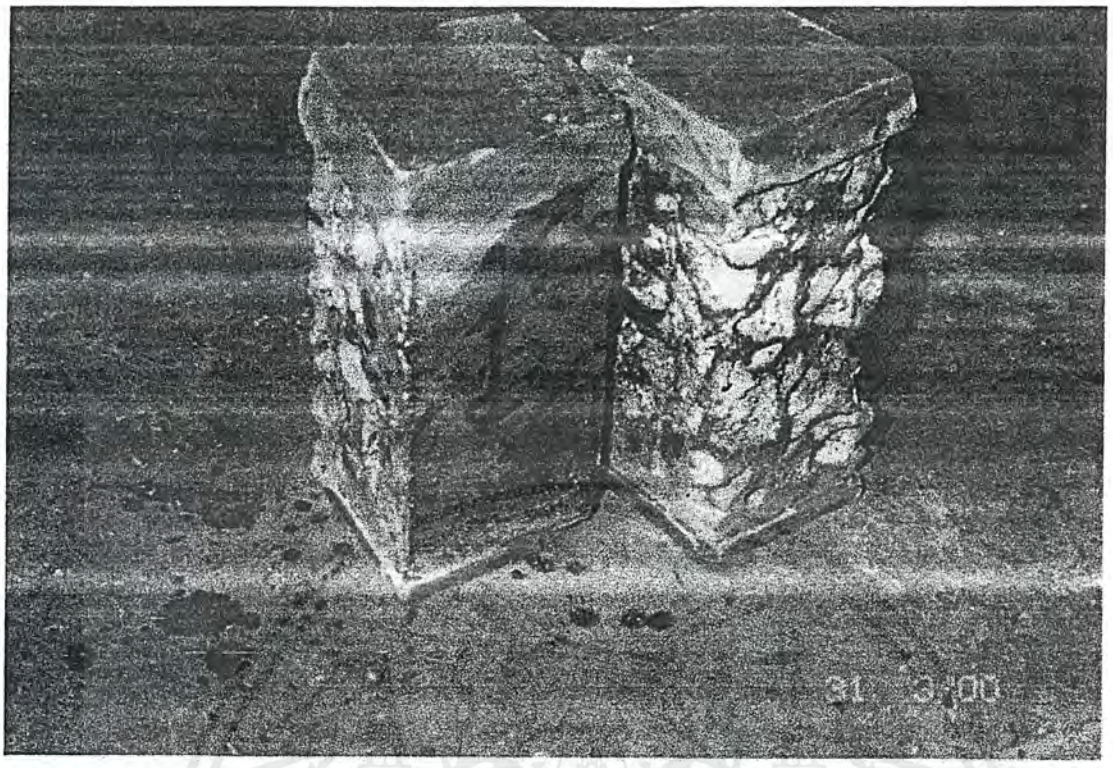
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 41 ทำการตัดชิ้นตัวอย่างหลังจากเผาแล้วให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

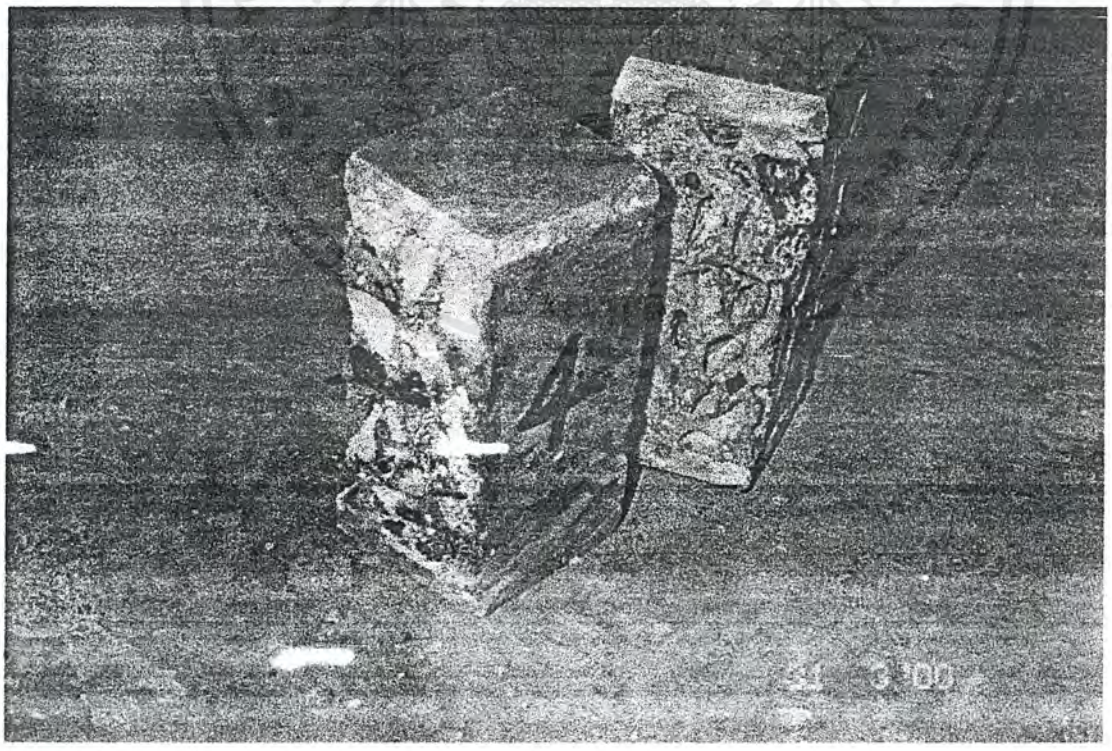


รูปที่ 42 ชิ้นตัวอย่างขนาด 5 x 5x 10 ซม. เพื่อเตรียมทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

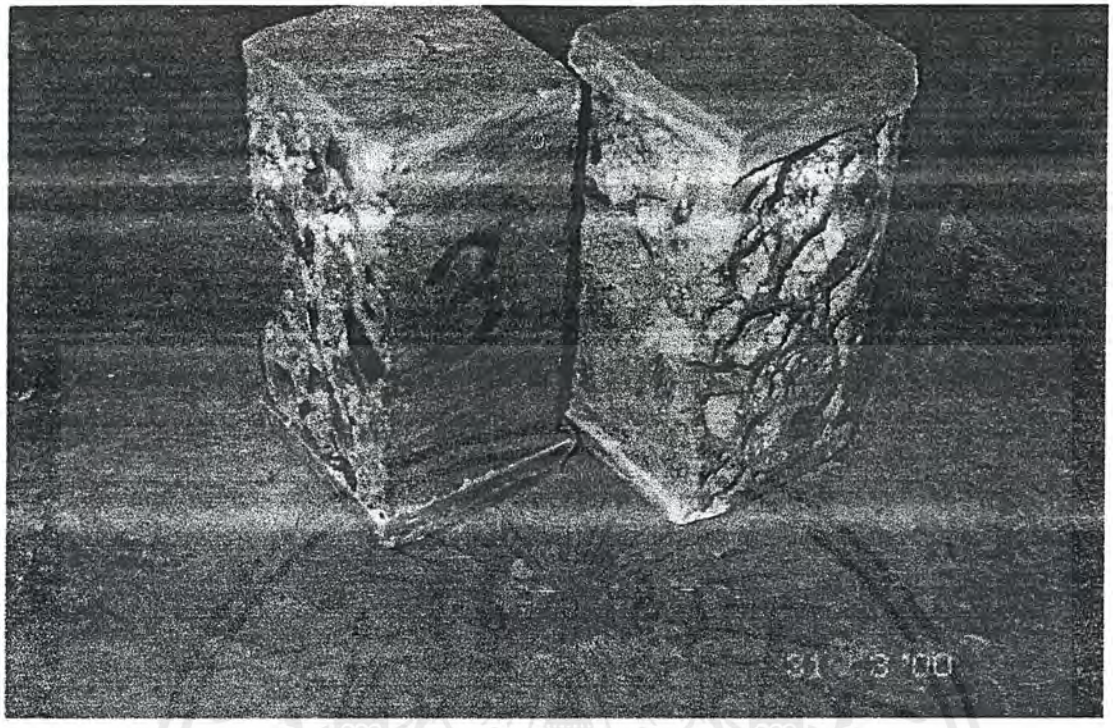


รูปที่ 43 ชิ้นตัวอย่างที่ cap หัวแล้วหลังจากการเผา 0.5 ชม.



รูปที่ 44 ชิ้นตัวอย่างที่ cap หัวแล้วหลังจากการเผา 1 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 45 ชิ้นตัวอย่างที่ cap หัวแล้วหลังจากการเผา 2 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 46 ขณะทำการทดลอบกำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการเผาไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ข้อกำหนดเกี่ยวกับคอนกรีตในการใช้งานประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 1
การแบ่งประเภทคอนกรีตและเกณฑ์กำหนดเกี่ยวกับกำลังอัด

ชนิดของการก่อสร้าง	ประเภท	ค่าต่ำสุดของกำลังอัดของแท่งกรพบอกคอนกรีตหลังเทแล้ว 28 วัน กก./ซม^2
ฐานรากและเสาคาน คานซอย ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหนาตั้งแต่ 15 ซม. ขึ้นไป แผ่นพื้นและถังเก็บ	ก	210
ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กที่บางกว่า 10 ซม. และครีบ ค.ส.ล.	ข	180
ผนังทั่วไป บ่อเกรอะบ่อซึม และคอนกรีตหยาบ 1:3:5	ค	-

ตารางที่ 2
ค่าการยุบตัวสำหรับงานก่อสร้างชนิดต่าง ๆ

ชนิดของการก่อสร้าง	ค่าการยุบ ซม.	
	สูงสุด	ต่ำสุด
ฐานราก	4	2
แผ่นพื้น คาน ผนัง ค.ส.ล.	6	3
เสา	10	5
ครีบ ค.ส.ล. และผนังเบา	10	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่ใช้กับคอนกรีต

ชนิดของการก่อสร้าง	ขนาดใหญ่สุด ซม.
ฐานราก เสาและคาน	4
ผนัง ค.ส.ล. หนาตั้งแต่ 15 ซม. ขึ้นไป	4
ผนัง ค.ส.ล. หนาตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไป	2
แผ่นพื้น ครีบ ค.ส.ล. และผนังกั้นห้อง ค.ส.ล.	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสม

ภาคผนวก ข.1

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

(Test for Specific Gravity)

A S T M : C 150 – 84

วัตถุประสงค์

เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ คือ อัตราส่วนของน้ำหนักซีเมนต์ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับเนื้อแท้ของตัวมันเอง ซีเมนต์แต่ละชนิดจะมีความถ่วงจำเพาะเฉพาะตัวคงที่เสมอไป เมื่อใดที่ซีเมนต์เสื่อมคุณภาพลง ความถ่วงจำเพาะจะต่ำกว่าปกติและเราจะรู้ว่า ซีเมนต์นี้จะใช้ได้หรือไม่จากการลดลงของความถ่วงจำเพาะนี้เอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีตและนำค่าไปเทียบกับค่ามาตรฐานของซีเมนต์แต่ละชนิด ซึ่งปรกติความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.10-3.20

วัสดุและการจัดเตรียมตัวอย่าง

1. ซีเมนต์ ซีเมนต์ที่นำมาใช้ทดสอบเปรียบเทียบแต่ละชนิด ควรเป็นซีเมนต์ใหม่ยังไม่เสื่อมคุณภาพหรือจับเป็นก้อนแข็ง หากเป็นซีเมนต์ใหม่ให้ตักออกจากถุงหรือภาชนะเก็บได้เลยตามจำนวนที่ต้องการ (ประมาณครั้งละ 100 กรัม) หากเป็นซีเมนต์เก่าให้เลือกตักออกจากส่วนตอนกลางถุงหรือภาชนะเก็บในปริมาณ 5 กก. แล้วนำมาทำเป็น Quartering คือ การเก็บตัวอย่างแบบแบ่งเป็นสี่แล้วเลือกเอาเฉพาะสองส่วนตรงข้ามมาใช้ หรือนำมาแบ่งเป็นสี่ส่วนซ้ำอีก เพื่อให้เหลือปริมาณที่ต้องการ

2. น้ำมันก๊าด หรือน้ำมันเบนซิน ประมาณ 500 มล.

อุปกรณ์การทดลอง

1. ขวดแก้วสำหรับหาความถ่วงจำเพาะของเลอซาทาเลีย (La Chatalie) เป็นขวดแก้วใส หน้าตัดเป็นรูปวงกลม ลักษณะคอขวดเป็นก้านยาวและมีกระเปาะเล็ก ๆ ก่อนจะถึงก้นขวดซึ่งเป็นกระเปาะลมใหญ่ ความจุของขวดแก้วนี้ประมาณ 290 มล.

2. ตาชั่ง (ความละเอียดอย่างต่ำ 0.2 กรัม)

3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถ้วยตวงหรือกรวยก้านยาว
5. ลวดแยง
6. ผ้าแห้งหรือแผ่นยาง
7. เทอร์โมมิเตอร์

ขั้นตอนการทดลอง

1. เช็ดขวดแก้วให้สะอาด แล้วเติมน้ำมันก๊าดหรือเบนซินลงในขวดแก้ว ให้ปริมาณอยู่ระหว่าง 250 มล. และ 251 มล.

2. ใช้ผ้าถูน้ำมันที่ค้างอยู่ภายในช่องหลอดตีบให้หมด เสร็จแล้วนำขวดแก้วลงแช่ในน้ำที่ทราบอุณหภูมิอย่างน้อย 30 นาที จึงยกขึ้นมาอ่านระดับของน้ำมันครั้งแรกโดยให้ค่าที่อ่านได้เป็น N1 เนื่องจากระดับของน้ำมันก๊าดไม่เรียบตรงเหมือนน้ำธรรมดาระดับผิวของน้ำมันก๊าดนั้นจะเว้าเป็นรูปโค้งหงาย ดังนั้น การอ่านระดับให้วัดที่จุดต่ำสุดของส่วนโค้ง

3. ค่อย ๆ เติมซีเมนต์ที่จัดเตรียมไว้ทีละน้อยลงในขวดแก้ว มีข้อควรระวังคือ อย่าให้ซีเมนต์หกและอย่าให้มีสารอื่นเจือปน ถึงตอนนี้ระดับของน้ำมันก๊าดหรือเบนซินจะสูงขึ้นมาถึงคอขวดส่วนบน เมื่อเรียบร้อยแล้วให้กลิ้งขวดแก้วไปมาเพื่อไล่ฟองอากาศ การกลิ้งควรใช้ผ้าหรือแผ่นยางนุ่ม ๆ รองรับ และข้อสำคัญคือ ควรปิดจุกขวดขวดแก้วเสียก่อนเพื่อป้องกันการกระฉอกของน้ำมัน

หมายเหตุ ก่อนถึงขั้นตอนนี้ หากเกรงว่าซีเมนต์จะขาดไปจากที่เตรียมไว้ ให้นำขวดแก้วที่เติมน้ำมันก๊าดแล้วไปชั่งบันทึกน้ำหนักเสียก่อน และเมื่อเติมซีเมนต์แล้วจึงนำไปชั่งอีกครั้ง จะได้น้ำหนักที่แท้จริงของซีเมนต์ในขวดแก้ว

4. จากนั้นนำไปแช่ในน้ำที่ทราบอุณหภูมิ นานประมาณ 30 นาที ก่อนยกขวดแก้วขึ้นให้ทำการตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำเสียก่อนว่า แตกต่างจากการวัดครั้งแรกเกิน 0.2 ^{a}C หรือไม่หากเกินจะต้องรอจนกว่าอุณหภูมิจะลดหรือเพิ่มให้อยู่ภายในขอบเขตที่กล่าวแล้ว จึงจะยกขวดแก้วขึ้นมาได้ และอ่านระดับของน้ำมันก๊าดอีกครั้งหนึ่ง โดยให้เป็นค่า N2

5. ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์จะได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลองดังกล่าวสองครั้ง ค่าที่ได้จะต้องไม่ต่างกันเกิน 0.01 โดยการแทนค่าเพื่อหาความถ่วงจำเพาะจากสมการต่อไปนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (Sp gr)} = \frac{\text{น้ำหนักซีเมนต์ที่แท้จริงในขวดแก้ว}}{\text{ปริมาตรน้ำมันก๊าดส่วนที่เพิ่ม (N2 – N1)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.2

การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

(Sieve Analysis of Fine and Coarese Aggregates)

A A S H T O : T 27 – 28

A S T M : C 136 –84

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดมวลรวมคละ โดยใช้ตะแกรงขนาดมาตรฐานสำหรับหาค่าพิกัดความละเอียด (Fineness Molulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือ มวลรวมยิ่งหยาบค่าพิกัดความละเอียดก็ยิ่งสูงขึ้น

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลรวมละเอียด คือ ทราย ประมาณ 500 กรัม
2. มวลรวมหยาบ คือ หินหรือกรวด ประมาณ 1000 กรัม
3. ตะแกรงขนาดมาตรฐาน เบอร์ 4 หรือ 3/16" , 8 , 16, 30, 50 และ 100 สำหรับทราย
4. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 3" , 2 ½" , 2" , 1 ½" , 1" , ¾ " , ½ " , 3/8" , และ No. 4 สำหรับหินหรือกรวด
5. เครื่องเขย่าตะแกรง ชนิดมอเตอร์หรือมือหมุน สำหรับทราย
6. เครื่องเขย่าตะแกรง ชนิดมอเตอร์ สำหรับหินหรือกรวด
7. ตาชั่งขนาดใหญ่ วัดได้ละเอียดถึง 0.1 %
8. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การหาส่วนขนาดคละของทราย

1. เตรียมทรายสำหรับทดสอบด้วยการตรวจดูว่าชื้นหรือไม่ ปรกติควรเป็นทรายที่แห้ง หากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน

2. เตรียมชุดของตะแกรงด้วยการทำความสะอาด ไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่องชั่งน้ำหนักตระแกรงทุกขนาดและบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับพร้อมถาดรองอยู่ล่างสุด

3. ค่อย ๆ เททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้วลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถึงขณะนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่าง ๆ จะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่าง ๆ เช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่งและจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดต่อไป

ข) การหาส่วนขนาดคละของหิน

1. เตรียมหินสำหรับทดลอง หากเป็นหินขนาดเล็กคือมีขนาดโตสุดไม่เกิน 1 " ให้ใช้ประมาณ 5 กก. แต่หากเป็นหินใหญ่ควรใช้ประมาณ 20 กก.

2. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทราย ตั้งแต่ ข้อ 2 – 4

<u>หมายเหตุ</u>

1. ค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวม จะหาได้จากผลรวมของอัตราที่ค้างอยู่บนตะแกรงทั้งหมดหารด้วย 100

$$(\text{Sand})\ \text{F.M.} = \frac{(\text{Cumulative \% retained})}{100}$$

$$(\text{Coarse})\ \text{F.M.} = \frac{(\text{Cumulatice \% retain , including No. 4} + 500)}{100}$$

2. ทรายทั่วไปแบ่งเป็นทรายละเอียดมาก ทรายละเอียดและทรายหยาบแต่ละชนิดมีค่าพิกัดความละเอียดแตกต่างกันดังนี้

ทรายละเอียดมาก	ค่า F.M.	=	0.50 – 1.50
ทรายละเอียด	ค่า F.M.	=	0.50 – 1.50
ทรายหยาบ	ค่า F.M.	=	0.50 – 1.50

สำหรับทรายที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าพิกัดความละเอียดอยู่ระหว่าง 2.3 – 3.1

3. หินหรือกรวดที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าพิกัดความละเอียดระหว่าง 5.5 – 8

4. ในการทำ Mix Design ใช้ค่า F.M. ของทรายเป็นหลัก เนื่องจากมีผลทาง Workability มาก ทรายที่มีความละเอียดมาก (F.M. ต่ำ) จะทำงานได้ดีกว่า ค่า F.M. ทรายที่ใช้จริง ๆ จะต้องไม่ต่างจากที่กำหนดใน Mix Design เกินกว่า 0.2 เพราะจะทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับ F.M. ของกรวดหินไม่ใช้ใน Mix Design

5. นอกจากนี้ ยังสามารถตรวจสอบการเรียงตัวของมวลรวมว่า เหมาะสมหรือไม่จากการพล็อตกราฟของ grading curve และเทียบกับเส้นกร๊าฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงมาตรฐานส่วนคละของมวลรวม

ก. สำหรับมวลรวมละเอียด (ทราย)

ขนาดตะแกรง	ค่าอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง
3/8"	100
No. 4	95 –100
No. 8	80 – 100
No. 16	50 – 85
No. 30	25 – 60
No. 50	10 – 30
No. 100	2 – 10

ข. สำหรับมวลรวมหยาบ (หินหรือกรวด)

ขนาดตะแกรง / ขนาดของมวลรวมหยาบ	ค่าอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง						
	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100
1 ½"	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
1"	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
¾"	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
½"	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.3

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของรวมละเอียด

(Test for Specific Gravity and Absorbtion of Fine Aggregate)

A S T M : C 128 - 84

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมละเอียด เช่น ทรายภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง นอกจากนี้หินหรือกรวดที่มีขนาดเล็กไม่เกิน ¾ " ก็สามารถใช้วิธีการทดสอบได้เช่นเดียวกัน

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ทราย ประมาณ 1200 – 1500 กรัม ที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
2. พิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) ซึ่งประกอบด้วยขวดโหลแห้งสำหรับบรรจุขนาด 14 ควๅอต ที่มีฝาปิดในแนวราบสนิทแน่นกับปากขวด
3. ตาชั่งวัดละเอียดถึง 0.1 กรัม
4. เครื่องวัดอุณหภูมิ
5. เตาอบ
6. โถแก้วกันความชื้น

ขั้นตอนการทดลอง

1. แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็นสองส่วนเท่าๆกันชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าแทนด้วย B

2. นำทรายส่วนหนึ่งเข้าเตาอบให้แห้งสนิทประมาณ 1 ซม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติ จึงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าแทนด้วย A

3. เทน้ำที่ทราบอุณหภูมิลงในขวอพิคโนมิเตอร์ให้สูงประมาณ ¾ ของขวดนำทรายส่วน B เติมลงไป เขย่าหรือคนให้ทั่วเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้เต็มพอดีปากขวดพร้อมกับทำให้ไม่มีอากาศเหลืออยู่เลยเช่นเดียวกัน แล้วจึงปิดฝาแก้ว นำไปชั่งและบันทึกค่าแทนด้วย W

4. จากนั้นจึงนำค่าต่าง ๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถ่วงจำเพาะ (เมื่อวัสดุแห้งสนิท) $= \frac{A}{W_C + B - W}$

ความถ่วงจำเพาะ (ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) $= \frac{B}{W_C + B - W}$

อัตราการดูดซึม $= \frac{B - A}{B} * 100\ \%$

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งสนิท

B = น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

W_C = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปากขวด

W = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.4

การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

(Test for Specific Gravity and Absorbtion of Coarse Aggregates)

A S T M : C 127 - 84

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมหยาบ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต วิธีนี้เรียกว่า Suspension Method

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลรวมหยาบประมาณ 5 กก. ได้มาจากการแบ่งสี่ และคัดเอามวลรวมหยาบที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ออก
2. ตะกร้าลวดตาข่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 ซม. และสูงประมาณ 60 ซม. สามารถใส่มวลรวมได้ประมาณ 5 กก.
3. เตาอบ
4. ตาชั่งขนาดใหญ่
5. ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4
6. โถแก้วกันความชื้น

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดลอง ด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหรือเศษอื่น ๆ ที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด และตักทิ้งไว้ประมาณ 1 – 3 ซม.

2. จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 ซม.

3. นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงผ้าผืนใหญ่ ๆ ที่สามารถดูดซับน้ำได้กลิ้งวัสดุไปมาเพื่อให้ผ่าซับน้ำจนสังเกตด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิววัสดุ แม้ว่าที่จริงแล้วผิวยังจะชื้นอยู่ก็ตาม หรือถ้าวัสดุเป็นก้อนใหญ่มากอาจจับมาเช็ดเป็นก้อน ๆ ไปก็ได้ แต่ต้องระวังไม่ได้เกิดการระเหยหายไปของน้ำขณะอยู่ในขั้นตอนนี้

4. วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้จะเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ให้นำตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้ แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวดและทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันทีและบันทึกค่าไว้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิระหว่าง 100 – 110 องศา ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติอีกประมาณ 1 – 3 ชม. จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

6. จากนั้นให้นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ) $= \frac{A}{A - C}$

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) $= \frac{B}{B - C}$

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (เมื่อวัสดุแห้งสนิท) $= \frac{A}{B - C}$

อัตราการดูดซึม $= \frac{B - A}{A} * 100\%$

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.5
การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม
(Test For Unit Weight of Aggregate)
A S T M : C 29 – 76

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ไม่ว่าจะเป็นทราย หิน หรือมวลรวมผสมก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. มวลรวม อาทิ ทราย หินและกรวด
2. ตาชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.3 % ของน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ
3. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาวประมาณ 60 ซม. มีปลายด้านกระทุ้งมนเป็นลักษณะครึ่งวงกลม
4. ภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก อาจเป็นภาชนะโลหะรูปทรงกระบอก ผิวเรียบ ควรมีมือจับทั้งสองข้าง ขนาดของภาชนะต้องเป็นไปตามตารางข้างล่างนี้

ปริมาตร (ลิตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (มม.)	ความสูงภายใน (มม.)	ความหนาน้อยสุด		ขนาดโตสุดของมวลรวม (มม.)
			ก้นภาชนะ (มม.)	ผนังข้าง (มม.)	
3	155 ± 2	160 ± 2	5.0	2.5	12.5
10	205 ± 2	305 ± 2	5.0	2.5	25.0
15	255 ± 2	295 ± 2	5.0	3.0	37.5
30	355 ± 2	305 ± 2	5.0	3.0	100.0

ขั้นตอนการทดลอง

ก.) การหาหน่วยน้ำหนักของน้ำ

1. เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็มและทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมเปิดฝาด้วยแผ่นกระจกใส
2. วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำไปคำนวณหาหน่วนน้ำหนัก โดยเทียบจากตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาค่าแฟคเตอร์ (ความจุ) ของภาชนะ โดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำในภาชนะด้วยหน่วยน้ำหนักของน้ำ

ข) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

1. โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Rodding procedure) วิธีนี้เหมาะสมสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มม. (1 1/2")

ตารางแสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ		กก./ม.^{3}	ปอนด์ / ลบ.ฟุต
F	C		
60	15.6	969.01	62.336
65	18.3	998.53	62.336
70	21.1	997.97	62.301
73.4	23.0	997.53	62.274
75	23.9	997.32	62.261
80	26.7	996.60	62.261
85	29.4	995.80	62.166

1.1 เทมวลรวมที่จะทดสอบลงในภาชนะที่ชั่งน้ำหนักเรียบร้อย แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ให้หนาประมาณ 1/3 ของความสูงของภาชนะเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ และใช้เหล็กกระทุ้ง ๆ ให้เกือบถึงก้น โดยแผ่กระจายให้ทั่งผิวหน้ารวม 25 ครั้ง จากนั้นเติมมวลรวมลงไปอีกเป็นชั้นที่ 2 ทำการกระทุ้งเช่นเดียวกันและเติมลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้าย กระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกับแนวขอบบนของภาชนะอย่าให้ปุ่มหรือโปนเป็นอันขาด

1.2 ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าว เพื่อคำนวณหาน้ำหนักเฉพาะของมวลรวมโดยแท้ โดยชั่งให้ได้ความละเอียดถึง 0.1 % แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่น

2. โดยวิธีกระแทกภาชนะ (Jigging Procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตเกินกว่า 37.5 มม. แต่ไม่เกิน 100 มม.

2.1 แบ่งมวลรวมใส่ภาชนะเป็น 3 ชั้น เช่นเดียวกับวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง แต่วิธีนี้ภาชนะควรถูกนำมาวางบนพื้นที่แข็ง เช่น พื้นคอนกรีต เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวมแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละชั้นแล้วให้เอียงภาชนะ เพื่อให้ด้านตรงข้างสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 50 มม. และปล่อยให้ตกลงกระแทกพื้น เป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่งเพื่อให้ด้านที่ติดพื้นตอนแรกนั้น ยกลอยขึ้นมา 50 มม. บ้าง และปล่อยให้ตกกระทบพื้นอีก 25 ครั้งเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ชั้น จึงปาดผิวหน้ามวลให้เรียบไม่ให้ปูดหรือบุ๋มแล้วนำไปชั่ง

2.2 เมื่อได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมแล้ว คูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก) ก็จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่นชนิดเดียวกัน

ค) การหาค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

1. แฟคเตอร์หรือความจุภาชนะ หาได้จากสมการ

$$V = \frac{W_W}{R_W}$$

โดยที่

V = ความจุของภาชนะ , ลบ.ม.

W_W = น้ำหนักของน้ำในภาชนะ , กก.

R_W = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน , กก/ลบ.ม.

2. หน่วยน้ำหนักของมวลรวม หาได้จากสมการ

$$R_A = \frac{W_A}{V_A}$$

โดยที่

R_A = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม , กก./ลบ.ม.

W_A = น้ำหนักของมวลรวม , กก.

V_A = ปริมาตรของมวลรวม , ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.6

การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying)

ASTM: C 566-67

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาอัตราของความชื้นทั้งหมดที่มีอยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำให้ได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหนับชั่งผสม

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. มวลรวม ใช้ปริมาณ 4-6 กก. สำหรับมวลรวมหยาบ และประมาณ 0.5 กก. สำหรับมวลรวมละเอียด
2. ตาชั่ง ที่วัดละเอียดถึง 0.1 %
3. เตาเผา
4. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง เช่น ปี๊บ
5. แท่งเหล็ก สำหรับคนมวลรวม

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมชื้นที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุนำไปใส่ หรือวางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนมวลรวมเป็นระยะๆ เพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึงกัน

2. เมื่อมวลรวมแห้งสนิทดีแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสูตร

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

โดยที่

P = ปริมาณความชื้น , %

W = น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา

D = น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม จะหาได้จากค่าแตกต่างระหว่างปริมาณความชื้นรวม กับอัตราการดูดซึมของมวลรวมนั้นเอง

ตารางแสดงค่าใกล้เคียงของปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวม

สภาพของมวลรวม	ปริมาณความชื้น, %
กรวดหรือหินอ่อนชื้น	1.5 – 2
ทรายเปียกมาก	5 - 8
ทรายเปียกธรรมดา	2 - 4
ทรายชื้น	0.5 - 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.7
การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด
(Test for Slump of Fresh Concrete)
ASTM : C 143-78

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตนั้น หากมากไปหรือน้อยเกินไป ก็จะเป็นเหตุให้คอนกรีตเสียกำลังเมื่อแข็งตัวเต็มที่ คอนกรีตที่มีปริมาตรน้ำผสมมากก็จะมีการยุบตัวค่อนข้างสูง วิธีนี้สามารถทดสอบได้ทั้งห้องปฏิบัติการและในสนาม

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. คอนกรีต ที่ผสมเสร็จใหม่ๆ ด้วยอัตราซีเมนต์ : ทราย : หิน ต่างๆกันตามต้องการ
2. แบบทดสอบมาตราฐานที่ทำด้วยโลหะ ซึ่งซีเมนต์ไม่ยึดเกาะผิว ลักษณะเป็นแบบรูปกรวยกลมปลายเปิดทั้งสองด้าน โดยปลายส่วนที่เป็นฐานสำหรับงานสัมผัสพื้น จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 203 มม. (8") และรูปกรวยจะสอบเล็กลงจนเหลือเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายด้านบน 102 มม. (4") แบบมีความสูง 305 มม. (12") แผ่นโลหะที่นำมาทำเป็นแบบดังกล่าว ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 1.61 มม. (0.06") และมีที่สำหรับเท่าเหยียบและมือจับอยู่ตรงข้ามกันทั้งสองด้าน
3. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. (5/8") และมีความยาวประมาณ 600 มม. ปลายด้านกระทุ้งจะเป็นมนโค้งครึ่งวงกลม
4. เกรียงเหล็ก
5. ไม้บรรทัดเหล็ก

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมพื้นสำหรับวางกรวยควรเป็นพื้นที่แข็ง ราบเรียบและไม่ดูดซึมน้ำเมื่อวางกรวยเรียบร้อยแล้ว ใช้เท้าทั้งสองข้างเหยียบกดลงบนที่สำหรับเท้าเหยียบให้แน่น
2. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ เทใส่ในกรวย โดยเทแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรเฉลี่ยเท่าๆ กัน และแต่ละชั้นให้ใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง การกระทุ้งชั้นล่างสุดให้พยายามกระทุ้งด้วยการตั้งท่อนเหล็กให้ตรง ขณะกระทุ้งบริเวณรอบศูนย์กลางกรวย และเอียงเหล็กตามขอบกรวยเมื่อกรทุ้งแถวขอบกรวย การกระทุ้งชั้นบนสุด ให้พยายามเติมคอนกรีตให้เต็มแบบตลอดเวลาที่กระทุ้ง เสร็จแล้วปาดผิวให้เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่อยๆ ยกกรวยขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วสม่ำเสมอ อย่าให้กรวยเอียงหรือก่อให้การบิดใดๆ ในคอนกรีตเป็นอันขาด ยกกรวยให้พ้นภายใน 5 – 10 วินาที และเวลาตั้งแต่เริ่มเทคอนกรีตลงในกรวยจนถึงขั้นสุดท้ายนี้ไม่ควรเกิน 2 ½ วินาที
4. ให้วัดระยะการยุบตัวของคอนกรีตทันที โดยนำกรวยที่ยกออกแล้วมาวางข้างๆ เอาเหล็กกระทุ้งวางพาดบนขอบกรวย ให้ปลายเหล็กยื่นเข้ามาเหนือตัวอย่างคอนกรีตที่ยุบตัว แล้วใช้บรรทัดเหล็กวัดระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.8

การทดสอบการดูดซึมของโฟม

(Test for Absorbtion of form)

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของโฟม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่จะใช้ในการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. โฟม ใช้ปริมาณ 25 กรัม
2. ตาชั่ง ที่วัดละเอียดถึง 0.1 %
3. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง เช่น ถัง
4. น้ำ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของโฟมแห้งที่จะนำมาทดสอบ
2. ชั่งน้ำหนักน้ำพร้อมถังโดยใส่น้ำประมาณ ½ ถัง
3. นำโฟมที่เตรียมไว้ใส่ลงในถัง นำตะแกรงลวดกดโฟมให้จมลงในน้ำทั้งหมด ทิ้งไว้ 1 ชม.
4. นำโฟมออกแล้วชั่งน้ำหนักถังและน้ำที่เหลือ
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของโฟมได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซนต์การดูดซึม} = \frac{\text{น้ำหนักถังและน้ำในตอนแรก} - \text{น้ำหนักถังและน้ำที่เหลือ}}{\text{น้ำหนักโฟม}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ , 2538 . ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี . พิมพ์ครั้งที่ 1
- วินิต ช่อวิเชียร , 2539 . คอนกรีตเทคโนโลยี . พิมพ์ครั้งที่ 8 .
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม Thai Industrial Standard มอก. 1334 – 2539 . การทดสอบความทนไฟชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคาร .สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- Japanese Industrial Standard (JIS) , 1979 . Classification of Air – borne and Impact Sound Insulation for Buildings JIS A 1419 .
- ชัชวาล เศรษฐบุตร , 2539 . Concrete Technology . พิมพ์ครั้งที่ 4 .
- ศิริพงษ์ อุทัยวงศ์แก้ว และ อาวุธ เจริญวัฒนานนท์ , 2533 . การเปลี่ยนแปลงการรับกำลังของคอนกรีตหลังการเผา . ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- กาญจนา ออมกระโทก และ อารีรัตน์ สุทธิ , 2536 . วัสดุผสมสำหรับคอนกรีตเบา . ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- บริษัท เซลโลกรีตไทย จำกัด . ชนิดของแผ่นเซลโลกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้