สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิฐระบบล็อคในตัวโดยใช้คอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

(INTERLOCKING BLOCK USING CONCRETE MIXED RECYCLED PLASTIC)

T042405

โดย

นางสาวเยาวรัตน์ ตั้งติวิริยะ

นาย อุกฤษ ปัจฉิม

เลขหมู่..........

เลขทะเบียน 42405

วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545

.b..........

.i..........

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERLOCKING BLOCK USING CONCRETE MIXED RECYCLED PLASTIC

MISS YAOWARAT TANGTIWIRIYA
MR.UKRIS PATCHIM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	อิฐระบบล็อคในตัวโดยใช้คอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล (INTERLOCKING BLOCK USING CONCRETE MIXED RECYCLED PLASTIC)		
นักศึกษา	นางสาวเยาวรัตน์ ตั้งติวิริยะ	รหัสประจำตัว	40010626
	นายอุกฤษ ปัจฉิม	รหัสประจำตัว	40011017
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สกุล ห่อวโนทยาน		

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล	(ลายมือชื่อ)
อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	(ลายมือชื่อ)
อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	(ลายมือชื่อ)
อาจารย์ ดร.สกุล ห่อวโนทยาน	สกุล ห่อวโนทยาน

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.แดง เหรียญสุวรรณ)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	อิฐระบบล็อคในตัวโดยใช้คอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล INTERLOCKING BLOCK USING CONCRETE MIXED RECYCLED PLASTIC
นักศึกษา	นางสาวเยาวรัตน์ ตั้งติวิริยะ นายอุกฤษ ปัจฉิม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สกุล ห่อวโนทยาน
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการก่ออิฐบล็อคระบบล็อคในตัวและทดสอบคุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์ของคอนกรีตที่ผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล โดยทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอัตราส่วนต่างๆ ตามมาตราฐาน ASTM เมื่อได้ข้อมูลการทดสอบทางด้านกลศาสตร์แล้ว ทำการเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมทั้งด้านน้ำหนักและด้านการรับกำลัง มาใช้ในการทำอิฐบล็อคระบบล็อคในตัว และทำการก่ออิฐเพื่อศึกษาการใช้งานจริง โดยสามารถสรุปได้ว่า การผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลลงในคอนกรีตสามารถช่วยลดน้ำหนักของคอนกรีตลงได้จริงและน้ำหนักของคอนกรีตจะยิ่งน้อยลงเมื่อผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลด้วยอัตราส่วนที่มากขึ้น โดยที่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตนั้นก็จะลดลงตามอัตราส่วนผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน เราจึงสามารถนำคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลนี้มาทำอิฐบล็อคระบบล็อคในตัวได้ โดยเลือกอัตราส่วนผสมที่ 70 % โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	INTERLOCKING BLOCK USING CONCRETE MIXED RECYCLED PLASTIC
Name	:	MISS.YAOWARAT TANGTIWIRIYA
		MR.UKRIS PATCHIM
Field	:	CONSTRUCTION ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	DR.SAKUL HOVANOTAYAN

ABSTRACT

This project is study the machanism of Interlocking Block System and testing the mechanical qualification of concrete mixed with recycled plastic.By testing the compressive strength of concrete mixed with recycled plasticin several rate under the American Standard of Testing Material (ASTM).Then we choose the percent that suitable with the unit weight and the compressive strength of concrete to make the interlocking block.We can conclude that concrete mixed with recycled plasticcan decrease the weight of normal concrete and compressive strength too.So we can use this concrete mixed with recycled plasticto make the interlocking block by choosing the rate of 70% by volume of total aggreate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมก่อสร้าง โดยศึกษาเรื่องการอิฐระบบล็อคในตัวโดยผสมเม็ดพลาสติกลงในคอนกรีต ซึ่งจำเป็นต้องทราบข้อมูลต่างๆ และขอความอุปการะด้านวัสดุที่ใช้ในการทำโครงงานพิเศษนี้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ

1. อาจารย์วิภู ศรีสืบสาย อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวอุตสาหการ,สจล.
2. คุณสิทธิเดช ปลั่งวุฒิกุล บริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด
3. คุณประสิทธิ์ ชาญสิทธิโชค บริษัท ปิโตรเคมีกัล ไทย จำกัด
4. คุณประพันธ์ คลองสกุลสุข บริษัท ประพันธ์พลาสติก อินดัสตรี้
5. คุณรุ่งระวี ถาวรพานิช บริษัท โพลิเมอร์ มาร์เก็ตติ้ง จำกัด

ในความอนุเคราะห์ดังกล่าว นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ หากไม่ได้รับคำปรึกษาจาก อาจารย์ ดร.สกุล ห่อวโนยาน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ผู้ซึ่งได้ให้ความรู้ ความเข้าใจ คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินการวิจัยตลอดจนได้กรุณาตรวจสอบโครงงานพิเศษนี้

นางสาวเยาวรัตน์ ตั้งติวิริยะ
นายอุกฤษ ปัจฉิม
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกนอก	ก
	ปกใน	ข
	บทคัดย่อ	ง
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฎ
1	**บทนำ**	**1**
	1.1 สิ่งจูงใจในการศึกษา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
	1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
2	**ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงงาน**	**3**
	2.1 อิฐบล็อคระบบล็อคในตัว	3
	2.1.1 การแยกประเภทของระบบการก่ออิฐโดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ	3
	2.1.2 ข้อได้เปรียบ	4
	2.1.3 ข้อจำกัด	4
	2.2 ผลงานการศึกษาค้นคว้าที่ผ่านมาเกี่ยวกับ Interlocking Block	5
	2.2.1 แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาอิฐบล็อคระบบล็อคในตัว	6
	2.2.2 การตรวจสอบเกี่ยวกับการทดลอง	8
	2.2.3 แรงอัดตามแนวแกน	8
	2.2.4 แรงเยื้องศูนย์	10
	2.2.5 แรงยึดหยุ่น	13
	2.3 คอนกรีตมวลเบา	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.4 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา	18
	2.4.1 ประเภทของมวลรวมเบา	18
	2.4.2 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากมวลรวมเบา	22
	2.4.3 ข้อระวังในการใช้งาน	23
	2.5 โฟมคอนกรีต	24
	2.5.1 การผสมโฟมคอนกรีต	24
	2.5.2 คุณสมบัติที่สำคัญของโฟมคอนกรีต	24
	2.6 คอนกรีตไม่มีส่วนละเอียด	25
	2.7 คุณสมบัติทั่วๆ ไปของคอนกรีตเบา	25
	2.8 ข้อดีและข้อเสียของคอนกรีตเบา	26
	2.9 สรุปการผลิตคอนกรีตเบา	27
3	**วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**	**28**
	3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	28
	3.1.1 เม็ดพลาสติกรีไซเคิล	28
	3.1.1.1 พลาสติก	29
	3.1.1.2 พลาสติกรีไซเคิล	30
	3.1.2 หิน	32
	3.1.3 ปูนซีเมนต์	33
	3.1.4 น้ำ	33
	3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	33
4	**การออกแบบและการทำแบบหล่อ**	**36**
	4.1 แนวคิดในการออกแบบ	36
	4.2 การออกแบบและขั้นตอนการทำแบบหล่อ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.3 การประกอบแบบหล่อ	44
5	**ขั้นตอนการทดสอบ**	**48**
	5.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	48
	5.2 การทำก้อนอิฐบล็อคและก้อนคอนกรีตทดสอบ	49
	5.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	51
	5.4 การก่ออิฐ	53
	5.5 ผลการทดสอบ	59
6	**วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ**	**72**
	6.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	72
	6.2 สรุปผลการทดสอบ	73
	6.3 ข้อเสนอแนะ	74
	รายการอ้างอิง	
	บรรณานุกรม	
	ภาคผนวก ก การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	ผก1
	ภาคผนวก ข การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสม	ผข1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	กำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐและชิ้นส่วนกำแพง	10
2.2	ผลการทดสอบของแรงเยื้องศูนย์ด้วย SILBLOCK-1	12
2.3	แรงรับแรงยึดหยุ่นของการก่อ	15
2.4	การเปรียบเทียบหน่วยแรงที่ยอมให้ในแรงยึดหยุ่น	16
2.5	การจำแนกประเภทของคอนกรีตเบาตามการนำไปใช้งาน	17
2.6	ประเภทและคุณสมบัติของมวลรวมเบา	21
2.7	ข้อดี – ข้อเสียของคอนกรีตเบา	26
5.1	การคำนวณส่วนผสมคอนกรีต	49
5.2	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติก รีไซเคิล 50% โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	60
5.3	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติก รีไซเคิล 60% โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	61
5.4	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติก รีไซเคิล 70% โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	62
5.5	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติก รีไซเคิล 80% โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	63
5.6	ค่าโดยเฉลี่ยของผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสม เม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ % ต่างๆ	64
6.1	เปอร์เซ็นต์ของหน่วยน้ำหนักที่ลดลงจากคอนกรีตปกติ	73
ผ.ก.1	ค่าการยุบตัวที่เหมาะกับงานประเภทต่างๆ	ผก3
ผ.ก.2	วิธีการวัดค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีต	ผก8
ผ.ก.3	ค่าคงที่ k และค่าร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c'	ผก11
ผ.ก.4	สรุปสาเหตุของการผันแปรของกำลังอัด	ผก12
ผ.ก.5	ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ	ผก13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.6	ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ	ผก15
ผ.ก.7	ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนดต่างๆ	ผก15
ผ.ก.8	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้ สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง	ผก16
ผ.ก.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต	ผก16
ผ.ก.10	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต	ผก17
ผ.ก.11	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ	ผก17
ผ.ข.1	ขนาดของภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก	ผข7
ผ.ข.2	แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ	ผข9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	การแยกประเภทของระบบการก่ออิฐโดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ	5
2.2	ก)รายละเอียดของระบบ SILBLOCK-1	7
2.2	ข)รายละเอียดของระบบ SILBLOCK-2	7
2.3	ระบบการก่อด้วย SILBLOCK-1	7
2.4	การก่อระบบ T-Joint ด้วยระบบ SILBLOCK-2	8
2.5	หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของระบบการก่อแบบเก่ากับแบบไม่ต้องใช้ปูนก่อ	9
2.6	การจัดการรับแรงอัดเยื้องศูนย์	11
2.7	ผลกระทบของแรงเยื้องศูนย์บนความจุรับกำลังอัด(e_1/e_2=0)	13
2.8	ผลกระทบของแรงเยื้องศูนย์บนความจุรับกำลังอัด(e_1/e_2=1)	13
2.9	การทดสอบแรงยึดหยุ่น	15
2.10	ลักษณะภายใน PUMICE	18
2.11	ลักษณะผิวภายนอกและภายในของ Expanded Clay	19
2.12	มวลรวมเบาประเภท Expanded Shale	20
2.13	Sintered Fly Ash	20
2.14	ลักษณะของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบที่ผลิตจาก PFA	21
2.15	ลักษณะมวลรวมที่ได้จากของเหลือ	22
2.16	การนำมวลรวมเบามาใช้งาน	23
2.17	การผลิตคอนกรีตเบา	27
3.1	โครงสร้างการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ในงานด้านพลาสติก	29
3.2	สัญลักษณ์แสดงการแยกชนิดของพลาสติก	31
3.3	ขั้นตอนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล	31
3.4	เครื่องผสมคอนกรีตขนาดเล็ก	33
3.5	ช้อนตักคอนกรีต เกรียงและเหล็กกระทุ้ง	34
3.6	เครื่องร่อนแยกหิน	34
3.7	แบบหล่อทรงลูกบาศก์	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.8	แบบหล่อก้อนอิฐแบบล็อคในตัว	35
4.1	อิฐแนวข้าง(Strecher Unit)	37
4.2	อิฐแทรก (Jamp Unit	37
4.3	อิฐมุม(Corner Unit)	37
4.4	รายละเอียดของขนาดก้อนอิฐ	38
4.5	รูปแปลนของแบบหล่อ	38
4.6	รูปที่ใช้เพื่อออกแบบแผ่นเหล็กดัดรูปตัว Z และตัว L	39
4.7	แผ่นเหล็กประกอบ (ประกอบจากตัว Z แชะตัว L แล้ว)	39
4.8	แผ่นเหล็กรองด้านล่าง	40
4.9	แผ่นเหล็กแบบด้านข้าง แผ่นที่1	40
4.10	แผ่นเหล็กแบบด้านข้างแผ่นที่ 2	40
4.11	เครื่องตัดแผ่นเหล็ก	41
4.12	เครื่องดัดแผ่นเหล็ก	42
4.13	รูปแสดงหน้าจอที่ตั้งโปรแกรมของเครื่อง CNC	42
4.14	เครื่อง CNC	43
4.15	แสดงการดัดแผ่นเหล็กด้วยเครื่อง CNC	43
4.16	เทปกาวสองหน้าติดโลหะแบบบางพิเศษของบริษัท 3M	44
4.17	ส่วนประกอบของแผ่นเหล็กดัด	44
4.18	แผ่นเหล็กรองด้านล่างและแผ่นเหล็กด้านข้าง	45
4.19	เหล็กตัว Z และแผ่นเหล็กสี่เหลี่ยม	45
4.20	การเสียบแผ่นเหล็กดัด	46
4.21	แบบหล่อที่ประกอบเสร็จแล้ว	46
4.22	แบบหล่อคอนกรีต	47
5.1	ขั้นตอนการหล่อบล็อคคอนกรีต	50
5.2	ตัวอย่างก้อนคอนกรีตลูกบากศ์ผสมพลาสติกที่ใช้ทดสอบกำลังอัด	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.3	เครื่อง UTM (ใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัด)	53
5.4	รูปขยายของอิฐแบบครึ่งก้อนกับแบบเต็มก้อนที่วางในชั้นแรก	54
5.5	การก่ออิฐชั้นแรก	54
5.6	ขยายรายละเอียดของการวางอิฐมุม	55
5.7	การวางอิฐชั้นที่ 2	55
5.8	แสดงการจุ่มอิฐลงในมอร์ต้า	56
5.9	การวางอิฐมุมในชั้นที่ 3	56
5.10	การวางอิฐแทรก	57
5.11	การวางอิฐครึ่งก้อน	57
5.12	รูปขยายการวางอิฐมุมที่ปลายกำแพง	58
5.13	กำแพงที่ก่อด้วยอิฐบล็อคแบบล็อคในตัว	58
5.14	ก้อนคอนกรีตก่อนการทดสอบ	59
5.15	ก้อนคอนกรีตหลังการทดสอบ	59
5.16	กราฟแรงประลัยของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล	65
5.17	ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล	66
5.18	แผนภูมิแท่งแสดงหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล	67
5.19	ค่ากำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนักคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล	68
5.20	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของ คอนกรีตเบาชนิดต่างๆ	69
5.21	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของ คอนกรีตเบาชนิดต่างๆ	70
5.22	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนัก ของคอนกรีตต่างๆ	71
ผ.ก.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตรส่วนน้ำต่อซีเมนต์	ผก7
ผ.ก.2	แผนภาพออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา	ผก14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการก่ออิฐระบบ Interlocking Block หรือ "อิฐบล็อคระบบล็อคในตัว" โดยผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลลงในคอนกรีตที่ใช้ทำบล็อคเพื่อลดน้ำหนักของก้อนอิฐ

1.1 สิ่งจูงใจในการศึกษา

ปัจจุบันนี้ อุตสาหกรรมการก่อสร้างมีความต้องการเป็นอย่างมากที่จะลดเวลาในการก่อสร้างลง โดยพยายามเร่งรัดขั้นตอนการก่อสร้างในหลายๆ ด้าน ขั้นตอนการก่ออิฐฉาบปูนก็เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่ใช้เวลาในการทำงานมาก เนื่องจากต้องใช้แรงงานคนมากและยังช้าเพราะต้องใช้ปูนในการเชื่อมก้อนอิฐทุกก้อนเข้าด้วยกัน ในเบื้องต้นได้มีการพยายามแก้ปัญหาโดยเพิ่มขนาดของก้อนอิฐ (ใช้อิฐบล็อคแทนอิฐมอญ) แต่ยังคงมีความต้องการที่จะเร่งอัตราการก่อสร้างมากขึ้นไปอีกจึงนำไปสู่การพัฒนาของการการก่ออิฐระบบ INTERLOCK ซึ่งเป็นการก่ออิฐระบบใหม่ที่ไม่จำเป็นต้องใช้มอร์-ต้า ในการเชื่อมต่อก้อนอิฐระหว่างกัน ต่างกับการก่ออิฐในระบบเก่า จึงทำให้ทำงานได้ง่าย สะดวกและรวดเร็วกว่า และยังได้หน้างานที่สะอาดอีกด้วย และหากเราพัฒนามากขึ้นไปอีกโดยใช้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาในการทำก้อนอิฐ ก็จะทำให้งานทำงานยิ่งง่ายขึ้น รวมทั้งโครงสร้างรับน้ำหนักน้อยลงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายโดยรวม

เนื่องจากการก่ออิฐระบบ INTERLOCK เป็นระบบใหม่ที่ยังไม่ค่อยมีใช้ในประเทศไทย เราจึงควรที่จะศึกษาการนำอิฐระบบนี้มาใช้ ส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลเป็นวัสดุที่ผลิตจากกระบวนการรี-ไซเคิล การนำเม็ดพลาสติกชนิดนี้มาใช้ จึงเป็นอีกทางหนึ่งในการช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกของโลกซึ่งไม่สามารถถูกกำจัดไปได้ในเวลาอันสั้น และยังเป็นการส่งเสริมให้มีการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ได้ เราจึงน่าจะลองนำเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมาใช้ในการผสมกับคอนกรีตเพื่อทำก้อนอิฐล็อคในตัวนี้ เพื่อช่วยลดน้ำหนักของก้อนอิฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษาโครงงานพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1) เพื่อศึกษาถึงวิธีการใช้งานของระบบ Interlocking Block
2) สามารถสร้างก้อนอิฐที่มีมวลเบาโดยการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลได้
3) สามารถหาอัตราส่วนของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลต่อน้ำหนักของคอนกรีต ที่จะทำให้ได้ก้อนอิฐที่มีน้ำหนักเบาและมีความเหมาะสมต่อการรับกำลังในการนำมาทำเป็นก้อนอิฐมากที่สุด (ประมาณ100-180 ksc จากการทดสอบกำลังอัดด้วยรูปทรงลูกบาศก์)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของโครงงานพิเศษนี้คือ

1) ศึกษาการก่ออิฐระบบล็อคในตัวระบบ SILBLOCK-2 ในเรื่องของวิธีการก่อสร้างและขั้นตอนการก่ออิฐ
2) หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลลงในคอนกรีต โดยการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอัตราส่วน 50% 60% 70% และ 80% ของมวลรวมทั้งหมดโดยไม่ใส่ทราย เพื่อให้คอนกรีตเป็นคอนกรีตเบา (ประเภทไม่มีส่วนผสมละเอียด) ใช้ก้อนคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. เป็นก้อนทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงงาน

ในการศึกษาโครงงานพิเศษนี้ ประยุกต์จากแนวคิดที่สำคัญ 2 เรื่องด้วยกัน คือ

1) อิฐบล็อคระบบล็อคในตัว (Interlocking Block)
2) คอนกรีตมวบเบา (Light Weight Concrete)

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 อิฐบล็อคระบบล็อคในตัว (Interlocking Block)

เป็นที่รู้กันดีว่าอุสาหกรรมการก่อสร้างมีความต้องการเป็นอย่างมากที่จะเร่งรัดขั้นตอนการก่อสร้างที่เป็นส่วนของการก่ออิฐฉาบปูนลง เนื่องด้วยวิธีการทำแบบเดิมต้องใช้แรงงานคนมากและยังช้าเนื่องจากต้องใช้ปูนในการเชื่อมก้อนอิฐทุกก้อนเข้าด้วยกัน ในเบื้องต้นจึงได้มีการพยายามแก้ปัญหาโดยเพิ่มขนาดของหน่วยการก่ออิฐ ใช้บล็อคแทนที่อิฐมอญ เพื่อลดปริมาณจุดเชื่อมต่อก้อนอิฐโดยใช้ปูนลง ซึ่งในการนี้การใช้ปูนก่อจะถูกกำหนดให้มีปริมาณจำกัดต่อจำนวนชั้นที่สามารถก่อได้ใน 1 วัน

ต่อมามีความต้องการที่จะเร่งอัตราการก่อสร้างมากขึ้นไปอีก จึงนำไปสู่การพัฒนาของการก่อสร้างในระบบการก่ออิฐแบบใหม่ มีการนำอิฐบล็อคที่ล็อคในตัวแบบพิเศษมาใช้เหมือนกับก้อนอิฐแบบเก่า โดยรับเอาวิธีการอัดน้ำปูนเป็นบางส่วนจากแบบเก่ามาใช้และจำเป็นต้องมีการยึดเหนี่ยวผิว-หน้าเป็นอย่างยิ่ง อิฐบล็อคล็อคในตัวนั้นต่างจากก้อนอิฐแบบเก่าในแง่ที่ว่า อิฐแต่ละก้อนอยู่ด้วยกันได้โดยอาศัยลักษณะเด่นของรูปทรงทางเรขาคณิตของแต่ละก้อน โดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ

2.1.1 การแยกประเภทของระบบการก่ออิฐโดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ

ระบบการก่ออิฐ โดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ ได้ถูกพัฒนาและใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลก(แตก-ต่างกันในด้านรูปทรงทางเรขาคณิตของบล็อค, ระบบการล็อค, วัสดุที่ใช้และการประยุกต์ใช้) ดังรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 อิฐบล็อคล็อคในตัวที่ผลิตในทางการค้าส่วนมากจะมีรูปทรง วัสดุที่ใช้และลักษณะทางมิติที่หลาย-หลาก แต่นับว่าเป็นระบบเดียวกันไม่เปลี่ยนแปลง เราจึงสามารถแยกประเภทได้อีกเป็น

1) อิฐบล็อคล็อคในตัวอย่างสมบูรณ์ (มีการยึดทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง)
2) อิฐบล็อคที่ล็อคกันเพียงบางส่วน (มีการยึดในแนวดิ่ง)

และเพื่อเพิ่มการรับแรงทางด้านข้างจึงได้นำการอัดน้ำปูนมาใช้ด้วย เพื่อเป็นแรงยึดที่ผิวหน้า (โดยใช้ไฟเบอร์กลาสหรือเรซินฉีดเป็นฟิล์มบางๆ)

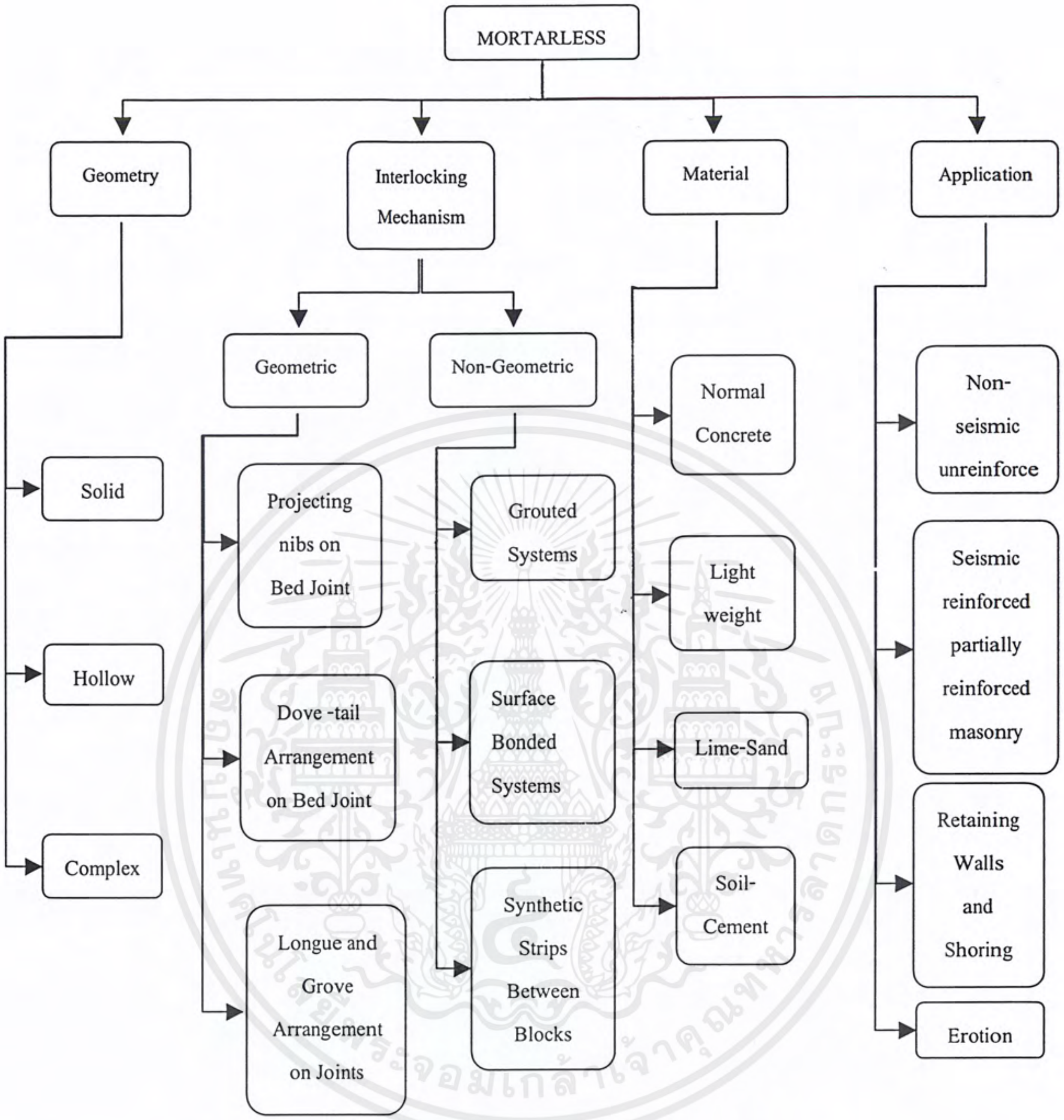
2.1.2 ข้อได้เปรียบ

ข้อได้เปรียบของระบบการก่ออิฐโดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ คือ กำจัดขั้นตอนที่ต้องใช้ปูนก่อออกไป การก่อสร้างทำได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ราคาค่าก่อสร้างลดลงและยังช่วยลดความเสียหายเนื่อง-จากความหลากหลายของฝีมือแรงงานและการซึมผ่านของความชื้นลงด้วย แต่การที่ไม่มีปูนก่อก็ทำให้แรงต้านทานทางด้านข้างในทั้ง 2 แนวแกนในก้อนอิฐหมดไปด้วย โดยจะเริ่มมีการแตกร้าวเนื่องจากแรงกดที่ระดับต่ำลงกว่ากำลังรับแรงเดิมของมันเอง การมีปูนก่อแบบการก่ออิฐเดิมนั้นทำให้มีแรงต้าน-ทานแรงอัดตามแนวแกนด้วย

2.1.3 ข้อจำกัด

การที่ไม่ใช้ปูนก่อ บังคับให้ต้องมีความคลาดเคลื่อนทางมิติให้น้อยที่สุด สำหรับบล็อคแต่ละก้อน เพื่อให้ผู้ใช้มั่นใจได้ว่าแรงกระจายที่กระทำสามารถถูกส่งผ่านไปยังชั้นถัดๆ ไปได้ ราคาของอิฐบล็อคล็อคในตัวสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด และยังต้องทำบล็อครูปร่างพิเศษด้วย (อิฐแทรกและอิฐมุม) การวางแผนงานในตอนเริ่มต้นและการเก็บรายละเอียดอย่างรอบคอบจึงมีความจำเป็นมาก ในระบบที่มิได้มีการล็อคอย่างสมบูรณ์จะต้องมีการยึดเหนี่ยวภายนอกในระหว่างการก่อสร้างด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การแยกประเภทของระบบการก่ออิฐ โดยไม่ต้องใช้ปูนก่อ

2.2 ผลงานการศึกษาค้นคว้าที่ผ่านมาเกี่ยวกับ Interlocking Block

แม้ว่าจะมีการรายงานเกี่ยวกับระบบอิฐบล็อคล็อคในตัวอยู่จำนวนหนึ่ง ผลการทดลองเกี่ยวกับเรื่องเรื่องพฤติกรรมของลักษณะภายนอกก็ยังคงมีจำนวนน้อย การพัฒนาเรื่อยๆ มาของอิฐบล็อคล็อคในตัว แสดงให้เห็นว่าอิฐบล็อคล็อคในตัวมีรูปร่างหลากหลายมากซึ่งทำให้ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบและด้วยแบบทางเรขาที่ละเอียดเช่นนั้น (คือมี ลิ้นและร่อง) บังคับให้ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการผลิตโดยใช้เครื่องจักรและด้วยความต่อเนื่องของรอยต่อในแนวดิ่งและราบจากด้านในสู่ผิวด้านนอก ทำให้มีการประเมินการว่า จะต้องมีความต้องการที่จะพัฒนาอิฐบล็อคล็อคในตัวให้มีรูปทรงง่ายๆ เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางโครงสร้างและแสดงออกโดยเน้นด้านประโยชน์ใช้สอย

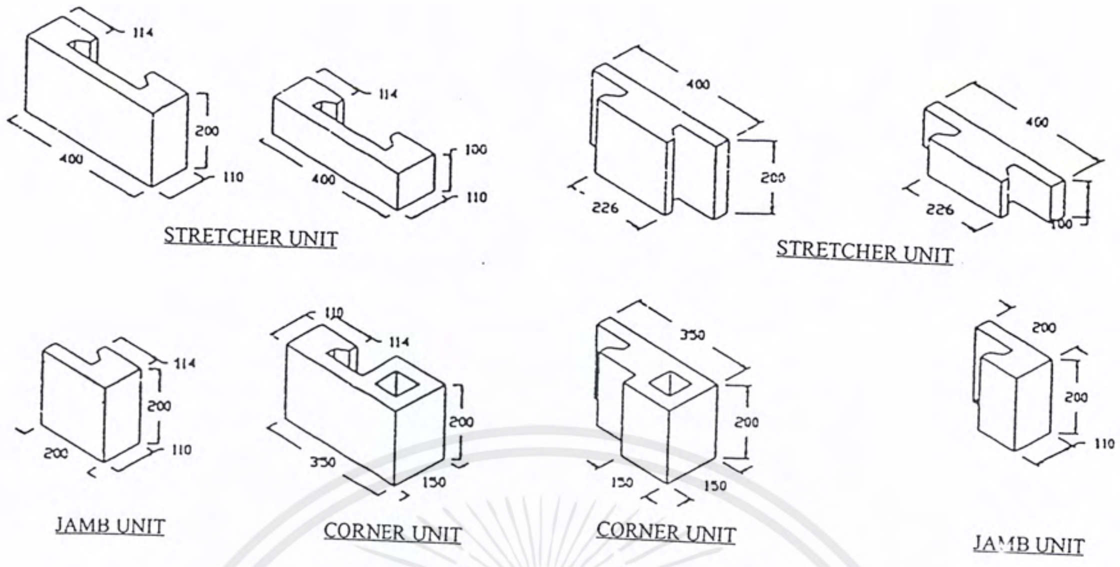
2.2.1แนวความคิดในการออกแบบและพัฒนาอิฐบล็อคระบบล็อคในตัว

ให้นิยามว่าเกณฑ์ต่างๆ ต่อไปนี้เป็นมูลฐาน ระบบการก่ออิฐบล็อคล็อคในตัว 2 แบบ คือ IITM-SILBLOCK 1-2 (Solid Inter-Locking BLOCK พัฒนาโดยสถาบัน Indian Institute of Technology Mardras) ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ คือ :

1) ความเรียบง่ายของรูปร่าง
2) จำนวนที่จำกัดของรูปร่างบล็อคพื้นฐาน
3) ล็อคได้โดยไม่ต้องมีลิ้นหรือร่องมาเกี่ยวข้อง
4) ล็อคทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ
5) รอยต่อที่ไม่มีความต่อเนื่องจากด้านในสู่ด้านนอก
6) เป็นผลิตภัณฑ์ที่คุ้มค่ากว่าระบบอิฐแบบเก่า

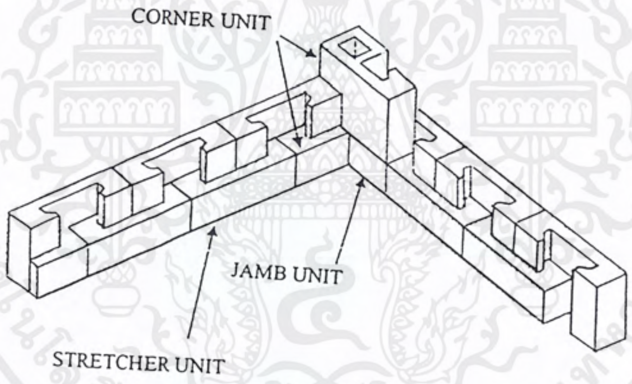
ระบบนี้ประกอบด้วยรูปร่างมาตราฐาน 3 แบบคือ ตัวstretcher , ตัวjamp , และตัวปิด-มุม ซึ่งมี 2 ขนาดคือ แบบเต็มก้อน (200 มม.) และครึ่งก้อน (100 มม.) รายละเอียดของขนาดและภาพแบบไอโซเมตริกของ IITM-SILBLOCK 1-2 แสดงในรูปที่ 2.2 (ก) และ (ข) รูปแบบของแต่ละกลุ่มอยู่ในรูปที่ 2.3 และ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

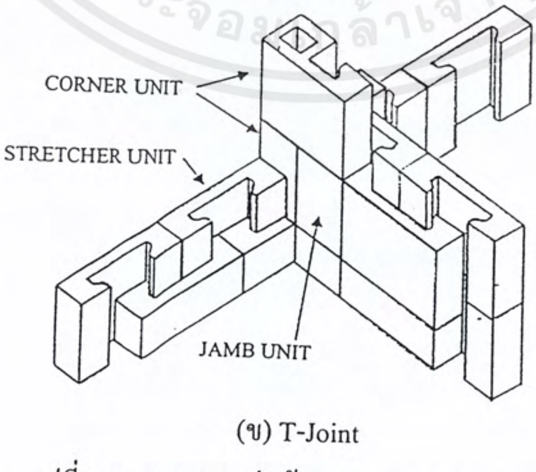


(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 : (ก) รายละเอียดของระบบ SILBLOCK – 1 : (ข) รายละเอียดของระบบ SILBLOCK – 2



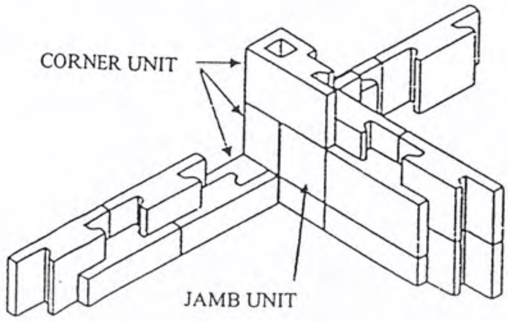
(ก) L-Joint



(ข) T-Joint

รูปที่ 2.3 ระบบการก่อด้วย SILBLOCK – 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การก่อระบบ T-Joint ด้วยระบบ SILBLOCK – 2

แต่ละกลุ่มเป็นกำแพงที่เริ่มก่อด้วยหน่วยอิฐแบบครึ่งก้อนในด้านหนึ่ง (ด้านในหรือด้านนอกก็ได้) และอิฐแบบเต็มก้อนในอีกด้านหนึ่ง โดยวางบนปูนด้วยเพื่อความแน่นหนา ต่อมาใช้อิฐแบบเต็มก้อนกับทั้งด้านในและด้านนอกและในท้ายที่สุดปิดด้วยอิฐแบบครึ่งก้อน ตัวอย่างของรายละเอียดที่มุมแสดงอยู่ในรูปที่ 2.3 และ 2.4 ช่องที่เป็นรูของตัวปิดมุมนั้นสามารถอัดน้ำปูนลงไปได้หากต้องการและเพื่อเพิ่มความมั่นใจในขณะก่อ การก่อทั้ง 2 แบบจะมีการยึดเหนี่ยวผิวหน้าโดยใช้สเปรย์มอร์ต้าฉีดด้วยปืนฉีด และ/หรือจุ่มผิวล่างของบล็อคแต่ละก้อนลงในมอร์ต้าเหลวเพื่อช่วยกระจายแรง นับว่าเป็นการใช้ปูนก่อบางๆ

2.2.2 การตรวจสอบเกี่ยวกับการทดลอง

แผนการการทดลองประกอบด้วย การทดสอบอิฐ SILBLOCK ที่ก่อแบบแห้งเพื่อสังเกตุพฤติกรรมภายใต้แรงอัดตามแนวแกน,แรงเยื้องศูนย์,และการยึดหยุ่น บล็อคที่ต้องใช้ทั้งหมด (ตัว stretcher 630 ก้อน , ตัวjamp 550 ก้อน) หล่อโดยใช้แบบไม้ วัสดุที่ใช้คือ OPC ที่มีแรงต้านทานการกด 47 Mpa , ทรายแม่น้ำที่มีโมดูลัสความละเอียด 2.78 และมวลรวมบดขนาดใหญ่สุด 12 มม. ส่วนผสมมี 2 แบบคือ 1:2:4 (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คือ 0.55) และ 1:3:5 (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คือ 0.6) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของแต่ละส่วนผสมถูกเลือกมาเพื่อบรรลุการเทลงแบบและเพื่อความเรียบของผิว

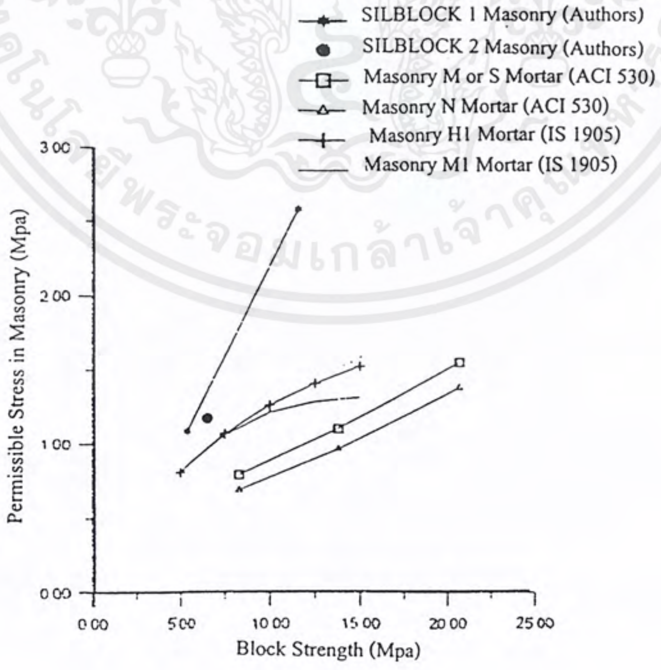
2.2.3 แรงอัดตามแนวแกน

ทดสอบโดยใช้ส่วนของผนัง 10 ชิ้นของ SILBLOCK-1 (แต่ละส่วนผสมมี 5 ชิ้น) และ SILBLOCK-2 5 ชิ้นขนาดสูง 600 มม. และยาว 600 มม. เป็นแบบแห้งและมีการหล่อปิดทั้งด้านบนและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านล่าง ทดสอบในแรงอัดผลของแรงอัดตามแนวแกนแสดงในตารางที่ 2.1 การแตกหักเกิดขึ้นทีละน้อยโดยเริ่มแตกที่แรงประมาณ 71-74 % เชื่อว่าเนื่องจากผิวระหว่างบล็อคที่อยู่ติดๆ กัน ในระบบการก่ออิฐแบบเก่าการแตกร้าวจะเริ่มจากการแยกทางแนวดิ่งของก้อนอิฐที่เกิดจากแรงดึงตามแนวแกนทั้ง 2 แกน ทำให้มีสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพเพียง(prism-to-brick strength ratio) 0.3-0.4 ผลกระทบนี้ไม่เกิดในการก่ออิฐแบบไม่ต้องใช้ปูน ซึ่งทำให้ได้ผลคือสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพสูงขึ้น (ตารางที่ 2.1) สะท้อนให้เห็นอิทธิพลของความหลากหลายของอัตราส่วนรูปร่างระหว่างบล็อคก้อนเดี่ยวกับส่วนของผนัง

การเปรียบเทียบในด้านค่าแรงที่ยอมให้ของการก่ออิฐ SILBLOCK ทำโดยการก่ออิฐบล็อคแบบเก่า (ACI 530-92 และ IS:1905-87) หลังจากใส่ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงสำหรับอัตราส่วน h/t ของส่วนของผนัง [สำหรับอัตราส่วน h/t เท่ากับ 4 ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง คือ 1.15 (ACI 530)] และ safety factor คือ 4 (รูปที่ 2.5) สำหรับจุดประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบ,ปูน H_1 และ M_1 ของ IS:1905 ได้ถูกพิจารณาว่าเท่ากับเป็นปูน S และ N ของ ACI 530 สังเกตุได้ว่าแรงที่ยอมให้ของแรงอัดตามแนวแกนของอิฐบล็อคที่ล็อคในตัวสูงกว่าอิฐแบบเก่า



รูปที่ 2.5 หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของระบบการก่อแบบเก่ากับแบบไม่ต้องใช้ปูนก่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 กำลังรับแรงอัดของก้อนอิฐและชิ้นส่วนกำแพง(Anand and Ramamurthy,2000)

Mean block strength (mean of 6 specimens) (MPa)	Wallette Strength (Mpa)		Efficiency factor (wallette-to-block strength ratio)
	Individual	Mean	
(1)	(2)	(3)	(4)
(a) SILBLOCK-1			
5.42	3.82	3.77	0.70
	3.89		
	3.71		
	3.36		
	4.09		
11.59	9.17	8.97	0.77
	8.89		
	8.84		
	9.16		
	8.02		
(a) SILBLOCK-1			
6.58	3.67	4.07	0.62
	4.17		
	3.92		
	4.17		
	4.42		

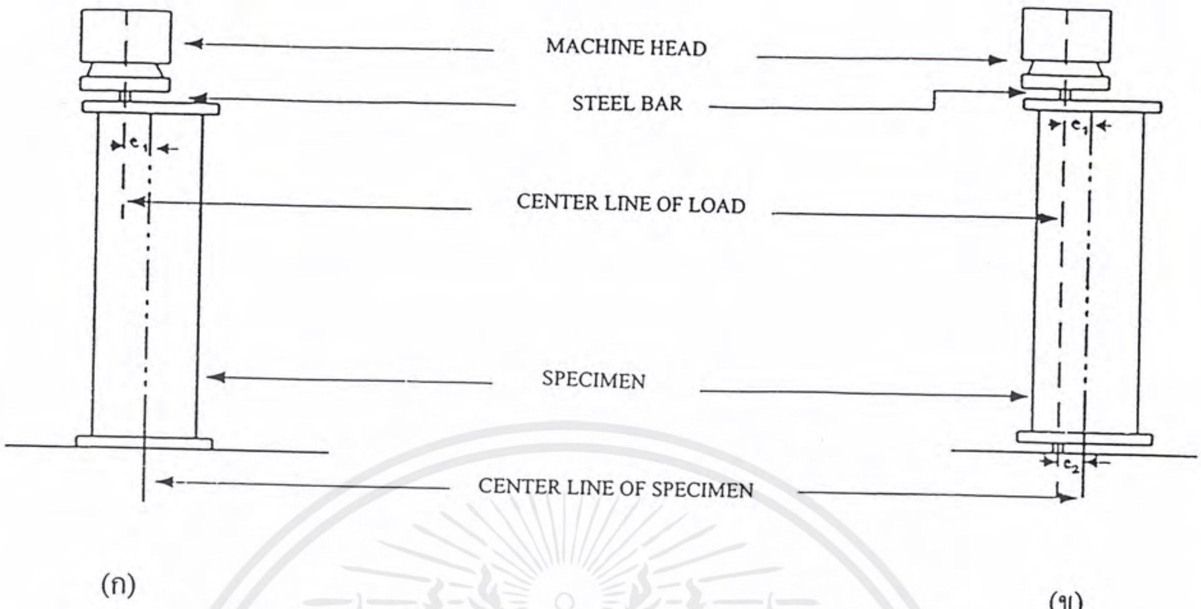
2.2.4แรงเยื้องศูนย์

ทดสอบโดยใช้ส่วนของผนัง 15 ชิ้น ซึ่งมีอัตราส่วน h/t เท่ากับ 4 (ยาว 400 มม. สูง 600 มม. หนา 1มม.) เป็นแบบ SILBLOCK –1 ทุกๆ 3 ชิ้นจะถูกนำไปทดสอบแรงเยื้องศูนย์ที่ 0 , t/6, และ t/3

ซึ่ง; 1) $e_1/e_2 = 0$ [รูป 2.6 (ก)]

2) $e_1/e_2 = 1$ [รูป 2.6 (ข)]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การจัดการรับแรงอัดเยื้องศูนย์ : (ก) แรงเยื้องศูนย์ด้านบน : (ข) แรงเยื้องศูนย์ด้านล่าง

สำหรับเงื่อนไข " flat end " ผลแสดงอยู่ในตารางที่ 2.2

ซึ่ง; t = ความหนาของหน่วยการก่ออิฐ

e_1 = ระยะเยื้องศูนย์ของแรงด้านบน

e_2 = ระยะเยื้องศูนย์ของแรงด้านล่าง

เป็นไปตามที่คาดไว้ที่การเยื้องศูนย์เท่ากับ t/6 ได้เกิดการแตกร้าวบนด้านที่ถูกกดตลอดผิวระหว่างบล็อคที่อยู่ต่อเนื่องกัน และที่ t/3 การแตกแยกถูกสังเกตุเห็นตามแนวผิวของบล็อคที่อยู่ต่อเนื่องกันบนด้านที่ถูกแรงดึงร่วมกับแรงอัดที่ผิว หน่วยแรงอัด f'_{mc} (ในบริเวณที่รวมยอด) ถูกคำนวณ (สูตรในตารางที่2.2) บนมูลฐานข องพฤติกรรมการยืดหยุ่นเชิงเส้นสมมุติให้หน้าตัดเป็นอิฐแข็งที่หน่วยแรงดึงเป็นศูนย์ (Drysdale et. al. 1994 อ้างถึงใน Anand & Ramamurthy,2000) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 พร้อมด้วยอัตราส่วนของหน่วยแรงอัดที่การเยื้องศูนย์ที่ให้มาต่อหน่วยแรงอัดตามแนวแกน f'_m (คือ, $k= f'_{mc}/f'_m$) เนื่องจากการยึดกันทางกาย-ภาพของบล็อค ,การเพิ่มขึ้นอย่างมากของการแตกหักของโครงสร้าง สำหรับ การเยื้องศูนย์ที่ t/6 ประมาณ 75-80% เทียบกับ 43% ของการก่ออิฐแบบเก่า (Drysdale and Hamid 1983 อ้างถึงใน Anand & Ramamurthy,2000)

รูปที่ 2.7 และ2.8 แสดงการเปรียบเทียบของตัวแปรการลดความจุ (อัตราส่วนของแรงเยื้องศูนย์กับแรงตามแกน) ได้จากการทดสอบบนการก่ออิฐโดยไม่ต้องใช้ปูนที่ e_1/e_2=0 และ e_1/e_2=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบของแรงเยื้องศูนย์ด้วย SILBLOCK – 1 (Anand and Ramamurthy,2000)

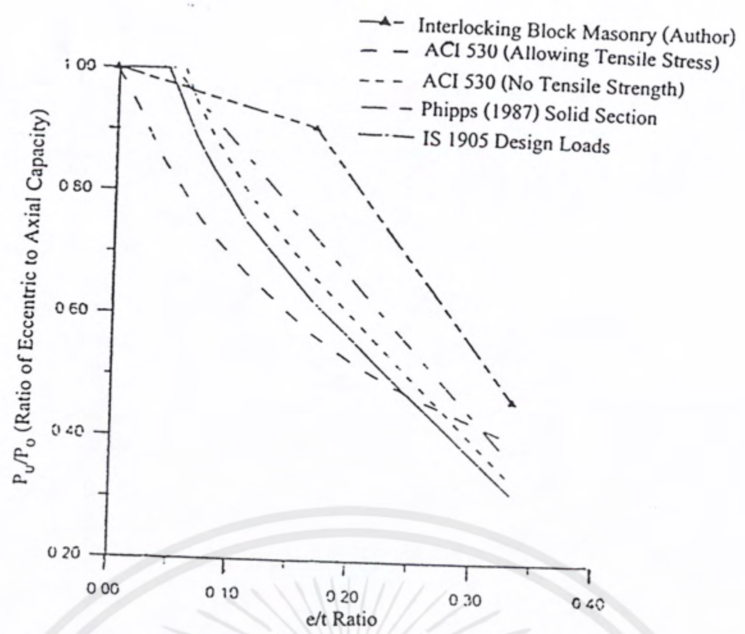
(กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของก้อนอิฐ = 8.03 Mpa)

Series (1)	Eccentricity At top (e_1) (2)	Eccentricity At bottom (e_2) (3)	Ultimate Lode (kN) Individual (4)	Ultimate Lode (kN) Mean (5)	P_u/P_o (6)	f'_{mc} (MPa) (7)	$k = f'_{mc}/f'_m$ (8)
1	0	0	360	$P_u = 358.3$	-	5.97	-
			350			(f'_m)	
			365				
2	t/6	0	340	$P_u = 325.0$	0.91	10.83	1.81
			305				
			330				
3	t/6	t/6	340	313.3	0.87	10.44	1.75
			280				
			320				
4	t/3	0	170	166.7	0.47	11.11	1.86
			150				
			18				
5	t/3	t/3	140	141.7	0.40	9.45	1.58
			155				
			130				

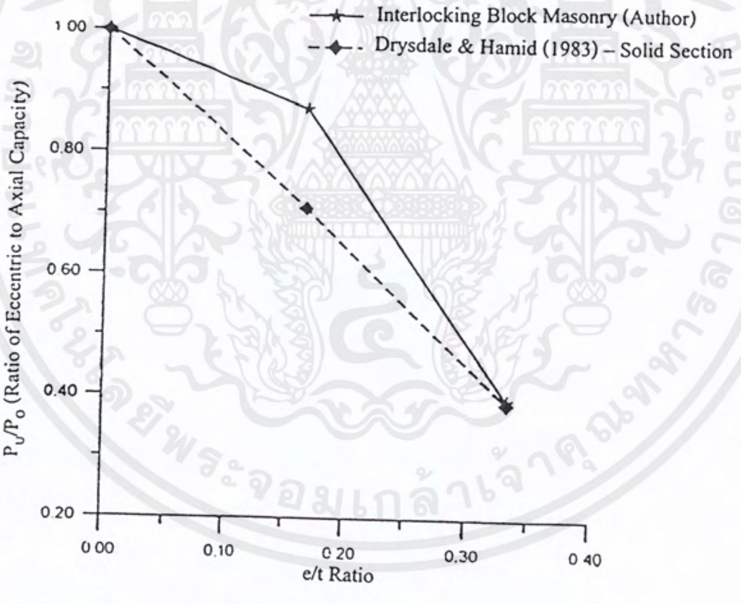
Note: $f'_{mc} = \frac{P}{bt}\left(1 + \frac{6e}{t}\right)$ for $0 < e < t/6$

and $f'_{mc} = \frac{P}{bt\left(\frac{3}{4}\left(1 - 2\frac{e}{t}\right)\right)}$ for $t/6 < e < t/3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.7 ผลกระทบจากแรงเยื้องศูนย์บนความจุรับกำลังอัด($e_1/e_2 = 0$)



รูปที่ 2.8 ผลกระทบจากแรงเยื้องศูนย์บนความจุรับกำลังอัด($e_1/e_2 = 1$)

2.2.5 แรงยึดหยุ่น

ส่วนของผนัง 6 ชิ้น เป็น SILBLOCK-1 และ SILBLOCK-2 3 ชิ้น ยาว 800 มม. สูง 800 มม. ใช้เพื่อทดสอบแรงยึดหยุ่นตั้งฉากกับความยาวของอิฐและส่วนของผนังในจำนวนเดียวกันยาว 1200 มม. และสูง 800 มม. ใช้เพื่อทดสอบแรงยึดหยุ่นขนานกับความยาวของอิฐ การทดสอบภายใต้แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

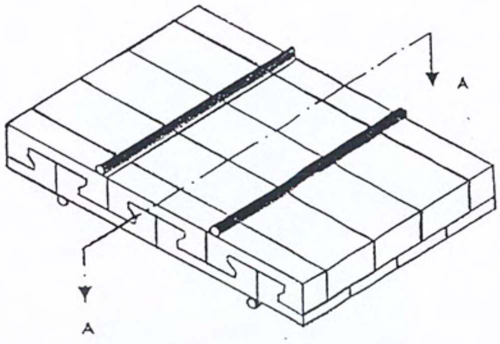
400 kn ภายใต้แรงกระทำ 3 จุด (รูปที่ 2.9)

เมื่อแรงกระทำตั้งฉากกับความยาวของอิฐ แรงดึงจะเกิดในแนวขนานกับความยาวของอิฐเนื่องจากเกิดการพังโดยก้อนอิฐแยกออกตามแนวขวาง(หนา 40 มม.) บนด้านรับแรงดึง[คือ ตามแนว A-A ในรูปที่ 2.9(ก)] สำหรับกรณีแรงกระทำขนานกับความยาวของอิฐ แรงดึงจะเกิดในแนวตั้งฉากกับความยาวของอิฐ [ตามแนว B-B ในรูปที่ 2.9(ข)] รอยต่อที่แห้งของอิฐบล็อคที่ล็อคในตัวยอมให้เกิดการหมุนเล็กน้อยในก้อนอิฐเองก่อนที่จะถึงค่าโมเมนต์สูงสุด ค่าหน่วยแรงยืดหยุ่นแสดงอยู่ในตารางที่ 2.3 ซึ่งมีฐานอยู่บนหน้าตัดขอด้านที่เกิดการพัง แม้ว่าความต้านทานรวมทั้งหมดของหน้าตัดเป็นเพียงส่วนหนึ่งของหน้าตัดผนัง

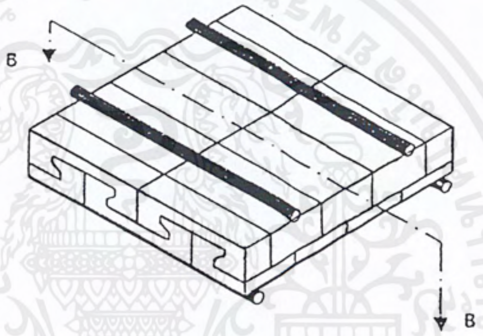
ตารางที่ 2.3 แสดงถึงหน่วยแรงยืดหยุ่นของการผนังด้วย SILBLOCK-2 ว่าน้อยกว่าการก่อผนังด้วย SILBLOCK-1 บล็อคหน้าตัดรูปตัวไอ สามารถทนต่อผลของการยืดในตัวซึ่งมาจากบล็อครูป channel ของ SILBLOCK-1 การเปรียบเทียบของค่าหน่วยแรงยืดหยุ่นยอมให้ของระบบการก่ออิฐแบบเก่าสำหรับโค๊ด (ACI 530 และ IS:1905) กับที่ได้จากการก่ออิฐบล็อคที่ล็อคในตัว(ใช้safety factor เท่ากับ 3) ซึ่งได้รับจากการนำเสนอการศึกษานี้แสดงอยู่ในตารางที่ 2.4

ในระบบการก่ออิฐแบบเก่าการแตกร้าวที่เกิดจากแรงดึงตั้งฉากกับความยาวของอิฐจะมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหน่วยการก่อกับปูนก่อ เนื่องจากหน่วยแรงยืดหยุ่นของบล็อคนั้นสูงกว่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างบล็อคกับปูนความจุการยืดหยุ่นของ SILBLOCK-1 เปรียบเทียบได้ว่าสูงกว่าการก่ออิฐที่ต้องใช้ปูนภายใต้แรงกระทำเดียวกันนี้ ความจุการยืดหยุ่นของการก่ออิฐที่ต้องใช้ปูนนั้นก็สูงกว่าเมื่อแรงดึงขนานกับความยาวของอิฐด้วย เนื่องจากการแตกร้าวขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวพอๆ กับหน่วยแรงยืดหยุ่นของหน่วยการก่อและการต้านทานแรงบิดของปูนก่อซึ่งต่างกับการก่ออิฐแบบเก่าที่หน่วยแรงการพังทลายของการก่อ SILBLOCK-1 นั้น สูงสำหรับแรงดึงปกติกว่าแรงดึงแบบขนาน ซึ่งอาจจะเนื่องจากแรงต้านทานต่อการแตกร้าวของพื้นที่หน้าตัดที่มากกว่า สำหรับในกรณีง่ายๆ นั้นจะเทียบระหว่างหน้าตัดB-B กับหน้าตัดA-A (รูปที่ 2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แรงดึงขนานกับความยาวของอิฐ



(ข) แรงดึงตั้งฉากกับความยาวของอิฐ

รูปที่ 2.9 การทดสอบแรงยึดหยุ่น

ตารางที่ 2.3 แรงรับแรงยึดหยุ่นของการก่อ(Anand and Ramamurthy,2000)

Mean compressive strength of block (Mpa)	ULTIMATE FLEXURAL STRENGTH (MPa)			
	Tension Normal to Bed Jiont		Tension Parallel to Bed Jiont	
	Individual	Mean	Individual	Mean
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(a) SILBLOCK-1				
5.42	0.47	0.48	0.21	0.21
	0.49		0.19	
	0.49		0.22	
11.59	0.69	0.68	0.30	0.29
	0.67		0.28	
	0.70		0.30	
(b) SILBLOCK-2				
6.58	0.31	0.31	0.16	0.15
	0.31		0.15	
	0.32		0.15	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบหน่วยแรงที่ยอมให้ในแรงยึดหยุ่น

Type of construction (1)	Mean block strength (Mpa) (2)	Mortar strength (Mpa) (3)	Allowable Flexural Stress (Mpa) Tension normal to bed joint (4)	Tension parallel to bed joint (5)	Remarks (6)
SILBLOCK-1	5.42	--	0.16	0.07	Mortarless masonry
	11.59	--	0.23	0.10	(present study)
SILBLOCK-2	6.58		0.11	0.05	Mortarless masonry
					(present study)
conventional		5.2	0.21	0.41	N Mortar (ACI 530-92)
masonry		12.4	0.28	0.55	S Mortar (ACI 530-92)
		17.2	0.28	0.55	M Mortar (ACI 530-92)
	-10.0	5.0	0.07	0.14	M1 Mortar (IS 1905-87)
	-7.5	3.0	0.05	0.10	M2 Mortar (IS 1905-87)

สรุปแล้วก็คือ ระบบการก่ออิฐบล็อคที่ล็อคในตัวนั้นเป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้นอกจากการก่ออิฐฉาบปูน เนื่องจากมันช่วยเร่งขั้นตอนการก่อสร้างและยังแสดงให้เห็นว่าดีกว่าหรือสามารถเปรียบในทางโครงสร้างบทสรุปต่อไปนี้ตั้งอยู่บนสิ่งที่สัมพันธ์กัน และนำไปประยุกต์ใช้ได้กับเรื่องเกี่ยวกับตัวแปรในการตรวจสอบ

1) ระบบการก่ออิฐบล็อคที่ล็อคในตัวให้ผลลัพธ์ที่เกี่ยวเนื่องกับค่าตัวแปรสัมประสิทธิ์ที่สูงขึ้นกว่าในแรงอัดตามแนวแกนของระบบการก่ออิบแบบเก่า
2) การก่อ SILBLOCK ให้ผลของอัตราความจุของแรงเยื้องศูนย์ต่อแรงตามแนวแกนที่สูงขึ้นกว่าแบบเก่า
3) ความจุรับแรงยึดหยุ่นของการก่อ SILBLOCK แบบมาตราฐานสูงกว่าแบบขนานกับความยาวของอิฐ
4) ระบบการยึดในตัวที่ดีกว่าของอิฐบล็อคที่ล็อคในตัวแบบ channel (SILBLOCK-1) เทียบกับแบบตัว-ไอของ SILBLOCK-2 นำไปสู่การเทียบได้ว่า SILBLOCK-1มีความจุการรับแรงยึดหยุ่นสูงกว่า
5) ประสิทธิภาพของการก่อ SILBLOCK-1ภายใต้แรงดึงยึดหยุ่นที่ตั้งฉากกับความยาวของอิฐ สามารถเทียบได้กับการก่ออิฐแบบเก่า ในขณะที่จะลดลงในกรณีของแรงดึงที่ขนานกับความยาวของอิฐ

2.3 คอนกรีตมวลเบา(Lightweight Concrete)

ในอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ น้ำหนักส่วนหนึ่งที่ใช้คิดคำนวณหาเนื้อที่หน้าและขนาดของเหล็กเสริมเป็นน้ำหนักของตัวอาคารเอง ซึ่งถ้าหากสามารถทำให้ตัวอาคารมีน้ำหนักเบา ขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โครงสร้างย่อมมีขนาดเล็กลง ทำให้ประหยัดราคาก่อสร้างลงได้มากดังนั้นจึงเริ่มมีความต้องการใช้คอนกรีตเบา ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผลิตขึ้นเช่นเดียวกับคอนกรีตธรรมดา แต่ใช้วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบากว่าวัสดุปกติ (หิน,ทราย เป็นต้น)

คอนกรีตเบา เป็นคอนกรีตที่นิยมในต่างประเทศมาเป็นเวลานาน ซึ่งนำไปใช้ในการก่อสร้างตั้งแต่ทำเป็นฉนวนกันความร้อน จนถึงใช้เป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น พื้น,เสา,คานฐานรากและผนังอาคาร เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานโครงสร้างที่สำคัญ คือ ลดน้ำหนักของอาคาร ส่งผลให้เป็นการประหยัดต้นทุนโดยรวม

สำหรับในประเทศไทย ได้มีการวิจัยและพัฒนาคอนกรีตประเภทนี้มาเป็นเวลานาน แต่ความต้องการใช้งานคอนกรีตเบาในช่วงที่ผ่านมายังมีน้อย ปัจจุบันอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ มีความสูงเพิ่มขึ้น ผู้ออกแบบได้ให้ความสนใจที่จะใช้คอนกรีตเบานี้มากขึ้น

คอนกรีตเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามวัสดุที่ใช้คือ

1) คอนกรีตที่ใช้มวลเบา (Light-Weight Aggregate)
2) โฟมคอนกรีต (Aerated or Foam Concrete)
3) คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Fines Concrete)

แต่หากจำแนกคอนกรีตเบาตามการนำไปใช้งาน เราจะสามารถแบ่งคอนกรีตเบาออกได้เป็น 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การจำแนกประเภทของคอนกรีตเบาตามการนำไปใช้งาน(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2536)

ประเภท	กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ (กก./ตร.ซม.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
คอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete)	180-480	1400-1800
คอนกรีตสำหรับงานก่อ (Masonry Concrete)	100-180	500-800
คอนกรีตสำหรับงานฉนวนกันความร้อน (Insulating Concrete)	10-100	น้อยกว่า 800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42405

2.4 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา

มวลรวมเบา (Lightweight Concrete) มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 60-1000 กก./ลบ.ม. เทียบกับ 1100-1750 กก./ลบ.ม ของมวลรวมปกติ หน่วยน้ำหนักของมวลรวมเบาแต่ละชนิดแวดงไว้ใน ตารางที่ 2.6

2.4.1 ประเภทของมวลรวมเบา

เราสามารถจำแนกมวลรวมเบาออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

1) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หิน Vermiculite, Perlite, Pumice และ Scoria ซึ่งเป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ เกิดขึ้นเวลาภูเขาไฟระเบิด มวลรวมชนิดนี้ใช้ผสมทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมากนักและมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก

รูปที่2.10 ลักษณะภายใน PUMICE

2) มวลรวมเบาที่ได้จากการผลิต เป็นมวลรวมเบาที่ใช้ผลิตคอนกรีตมากที่สุด สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.1) Expanded Clay Aggregate

ได้จากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศและนำไปเผาในหม้อไฟ(Rotary Kiln) ที่ 1200 $^{\circ}$C ณ อุณหภูมินี้จะมีการขยายตัวเนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์เกิดเป็นฟองอากาสอยู่ในเนื้อหิน ลักษณะของหินพวกนี้จะมีรูปร่างกลม, แข็ง ผิวเรียบแน่น แต่เนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ

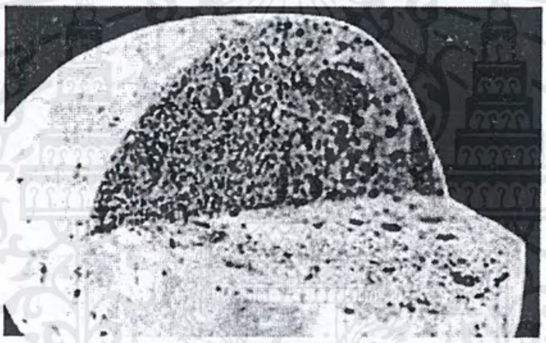
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) Expanded Shale Aggregate

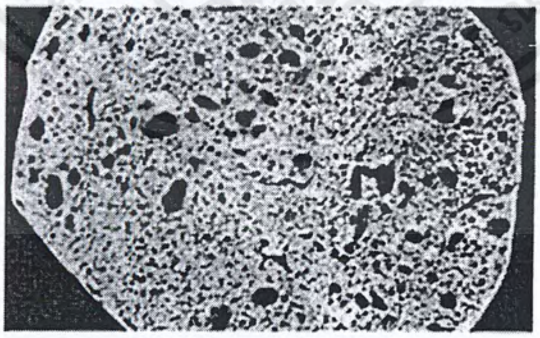
ได้จากการนำดินดาน (Shale) มาผสมกับถ่านที่บดละเอียดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C วัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกันและจะมีฟองอากาศถูกกักไว้ภายในเนื้อหิน ลักษณะจะเป็นหินที่มีความแข็งมาก หลังจากที่เผามวลรวมทั้ง 2 นี้ได้ที่แล้ว จะนำมวลรวมเบาที่ได้ไปย่อยให้ได้ขนาดที่ต้องการ มวลรวมเบาชนิดนี้จะมีความแข็งแรงค่อนข้างดี จึงเป็นที่นิยมใช้ผลิตคอนกรีต-เบา

2.3) Sintered Fly Ash

ได้จากการนำเอา Fly Ash หรือ PFA ที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่นหินไปทำให้เป็นเม็ดก่อน แล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1400 °C ณ อุณหภูมินี้อนุภาคของ Ash จะเกาะกัน ผิวของมวลรวมเบาชนิดนี้ค่อนข้างเรียบ



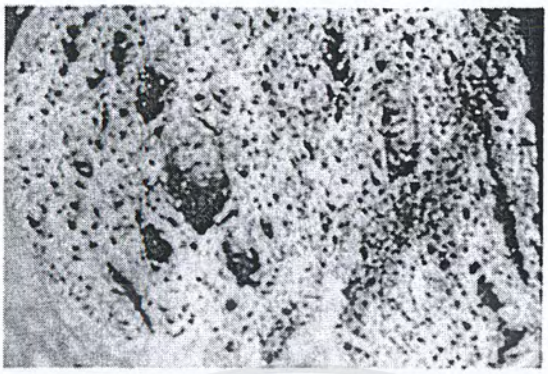
ภายนอก



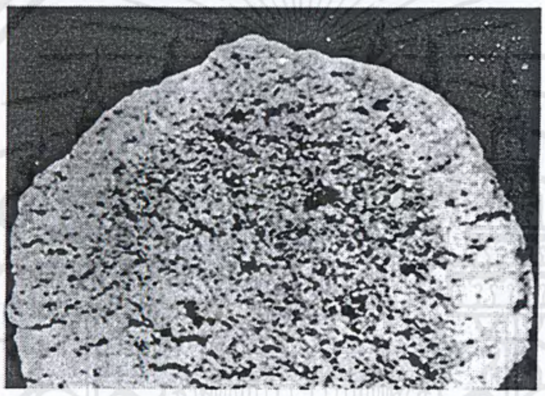
ภายใน

รูปที่ 2.11 ลักษณะผิวภายนอกและภายในของ Expanded Clay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 มวลรวมเบาประเภท Expanded Shale



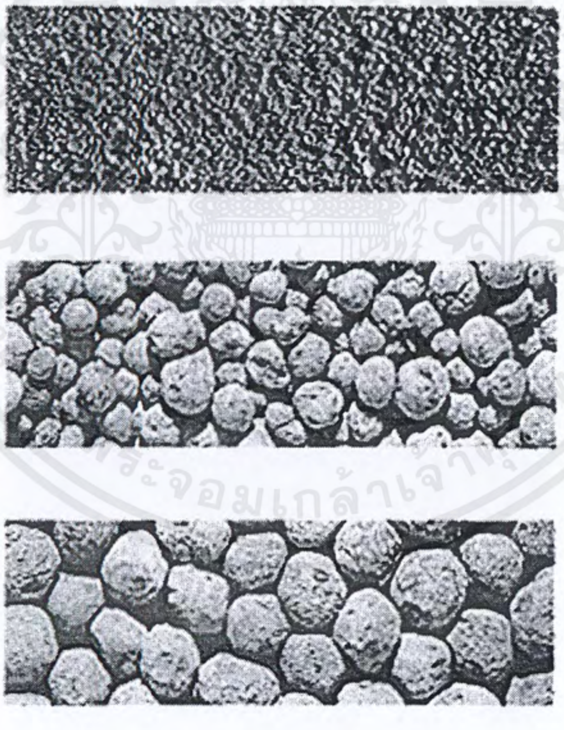
รูปที่ 2.13 Sintered Fly Ash

3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือพลาสติกบางชนิด ใส่ผสมเข้าไปในคอนกรีต
4) มวลรวมที่ได้จากของเหลือของขบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าที่หนัก (Fumace Bottom Ash) ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง หรือ ได้จากการพ่นน้ำไปบน Slag ที่หลอมเหลว อันจะก่อให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อ Slag ที่แข็งตัว หลังจากนั้นจะนำไปย่อย เพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ประเภทและคุณสมบัติของมวลรวมเบา(ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2536)

วัสดุ	หน่วยน้ำหนัก มวลรวมเบา (กก./ลบ.ม.)	แหล่งกำเนิด	หน่วยน้ำหนัก คอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	กำลังอัดรูป ทรงลูกบาศก์ (กก./ตร.ซม.)	การดูดซึม (%)
Expanded Clay	550-1050	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	1100-1850	180-450	5-15
Expanded Shale					
Fomed Slag	650-900	สังเคราะห์	1100-1850	180-450	5-25
Sintered Fly ash	600-1000	สังเคราะห์	1350-1900	180-450	14-24
Vermiculite	65-200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	400-950	8-35	20-35
Perlite	65-200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	550-800	7-42	10-50
Pumice	-	ธรรมชาติ	800-1300	50-60	สูงมาก
Crushed Stone	1450-1750	ธรรมชาติ	2250-2400	240-550	0.5-2.0



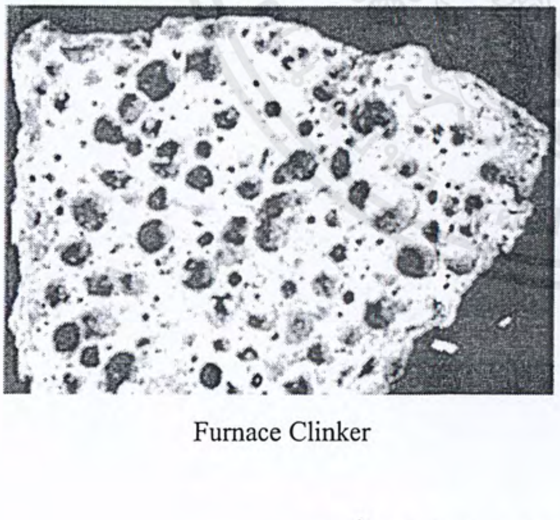
รูปที่ 2.14 ลักษณะของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบที่ผลิตจาก PFA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

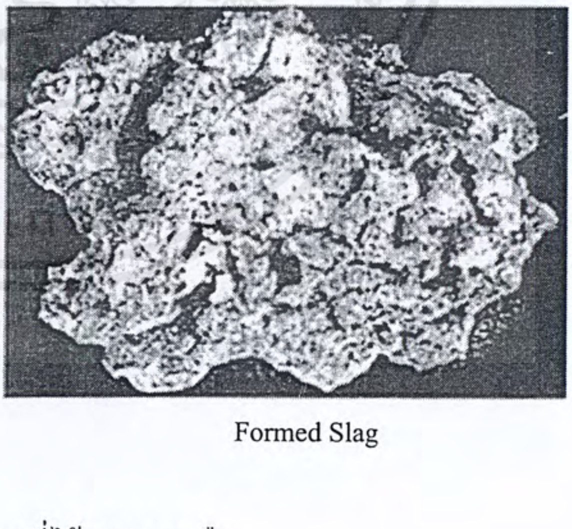
2.4.2 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากมวลรวมเบา

คอนกรีตที่ผลิตจากมวลรวมเบาจะมีคุณสมบัติดังนี้

1) หน่วยน้ำหนัก หรือ ความหนาแน่น 300-1800 กก./ลบ.ม.
2) กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 4-480 กก./ตร.ซม.
3) ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้เท่ากับคอนกรีตปกติ จนถึงสูงกว่าปกติถึง 70 %
4) ในปริมาณความสามารถเทได้เท่ากัน คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา จะมีค่ายุบตัวน้อยกว่าคอนกรีตทั่วๆ ไป
5) การนำความร้อนต่ำ เหมาะที่จะนำไปทำเป็นฉนวนความร้อน รวมทั้งยังมีสัมประสิทธิการขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำด้วย
6) การดูดซึมน้ำสูง
7) ค่า Modulus of Elasticity ต่ำ
8) ความสามรถทนไฟได้ดี
9) กำลังและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตต่ำ
10) Tensile Strain มากกว่าคอนกรีตปกติ
11) Creep จะเหมือนกับคอนกรีตทั่วๆ ไป



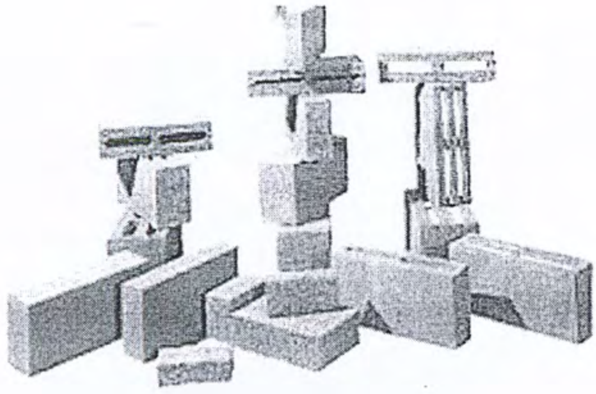
Furnace Clinker



Formed Slag

รูปที่ 2.15 ลัยณะมวลรวมที่ได้จากของเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ทำคอนกรีตบล็อค

ทำผลิตภัณฑ์ทนไฟ

รูปที่ 2.16 การนำมวลรวมเบามาใช้งาน

2.4.3 ข้อระวังในการใช้งาน

1) การแยกตัว คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา ถ้าส่วนผสมมีค่ายุบตัวมากหรือมีการจี้เขย่ามากเกินไป คอนกรีตจะเกิดการแยกตัว โดยมวลรวมเบาจะลอยตัวสู่บริเวณผิว การแต่งผิวหน้าทำได้ยาก
2) การดูดซึมน้ำ มวลรวมเบาจะดูดซึมน้ำมาก ดังนั้นผู้ออกแบบส่วนผสมต้องนำปัจจัยนี้มาพิจารณาและเลือกสัดส่วนผสมให้เหมาะสม รวมทั้งควรกำหนดใธีผสมและเลือกใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นการขจัดปัญหาเรื่องการดูดซึมน้ำของคอนกรีตประเภทนี้
3) การผสม การผสมที่ไม่ถูกวิธีหรือใช้เวลาผสมที่นานเกินไปอาจทำให้มวลรวมเบาแตก
4) ความทนทาน ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ผู้ออกแบบต้องระมัดระวังเรื่องการกัดกร่อนเหล็กเสริม เนื่องจากความลึกที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยา Carbonation สูงเป็น 2 เท่าของคอนกรีตปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โฟมคอนกรีต

คอนกรีตประเภทนี้ได้จากการผสมฟองอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-1 มิลลิเมตร หรือที่เรียกว่า ”โฟม” ลงในคอนกรีต

2.5.1 การผสมโฟมคอนกรีต

การผสมมี 2 วิธี คือ

1) ผสมสารทำให้เกิดโฟม (Foaming Agent) ลงในส่วนผสม
2) ทำให้เกิดโฟมก่อนแล้วผสมกับมอร์ต้า

นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เกิด Aerated Concrete ได้โดยการทำให้เกิดฟองอากาศเล็กๆ จำนวนมากในเนื้อคอนกรีต โดยใช้สารเคมีอันได้แก่ “ผงอะลูมิเนียม”(Aluminium Powder) ในปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ซึ่งจะทำปฏิกริยากับ $Ca(OH)_2$ ก่อให้เกิดฟองของไฮโดรเจน

Aerated Concrete อาจผลิตโดยไม่ใช้ทรายในส่วนผสม ซึ่งจะนำไปมช้ในการทำฉนวนป้องกันความร้อน หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตประเภทนี้ประมาณ 200-300 กก./ลบ.ม. และในกรณีที่ใช้ทรายจะมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 500-1100 กก./ลบ.ม.

2.5.2 คุณสมบัติที่สำคัญของโฟมคอนกรีต

โฟมคอนกรีตมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1) กำลังอัดและความสามรถนำความร้อนจะแปรผันโดยตรงต่อหน่วยน้ำหนัก
2) กำลังอัดจะเพิ่มขึ้น ถ้าทำการบ่มโดยวิธีใช้ไอน้ำที่มีความดันสูง (Autoclaving)
3) มีความสารถทนไฟได้ดีกว่าคอนกรีตปกติ
4) การดูดซึมน้ำสูง
5) สามารถเลื่อยหรือตอกตะปูได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 คอนกรีตไม่มีส่วนละเอียด

คอนกรีตประเภทนี้ได้จากการไม่ใส่ทรายลงในส่วนผสม นั่นคือมีเพียงหิน ซึ่งปกติจะใช้หินขนาดเดียว และมีน้ำปูนเคลือบอยู่หนาแน่นไม่เกิน 1-3 มม. จะพบว่าคอนกรีตประเภทนี้มีช่อง-ว่างหรือโพรงอยู่มาก ส่งผลให้กำลังอัดค่อนข้างต่ำ สำหรับหินชนิดหนึ่งๆ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตไม่มีส่วนละเอียดจะขึ้นอยู่กับขนาดคละของหินเป็นหลัก หินที่มีขนาดเดียวจะมีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าหินที่มีส่วนคละประมาณ 10 %

โดยทั่วไปหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตประเภทนี้ อยู่ระหว่าง 1600-2000 กก./ลบ.ม. แต่ถ้าใช้มวลรวมเบาทำ หน่วยน้ำหนักอาจเหลือเพียง 640 กก./ลบ.ม. การใช้งานคอนกรีตประเภทนี้ควรทำการจี้เขย่าอัดคอนกรีตเข้าแบบเพียงเล็กน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำปูนไหลออกจากหิน เราสามารถวัดค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีตประเภทนี้ โดยการตรวจสอบด้วยสายตาว่าน้ำปูนเคลือบผิวหินอย่างทั่วถึงหรือไม่ ซึ่งถือเป็นการเพียงพอแล้ว รวมทั้งคอนกรีตประเภทนี้ไม่มีการแยกตัว จึงสามารถเทได้ทุกความสูงของแบบ

กำลังอัดของคอนกรีตประเภทนี้อยู่ระหว่าง 18-180 กก./ตร.ซม. ขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำ-หนักของคอนกรีต ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณปูนที่ใช้ ส่วนค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.38-0.52 เนื่องจากคอนกรีตนี้มีการยึดเกาะกันเพียงเล็กน้อย จึงควรทิ้งไม้แบบไว้นานพอสมควรเพื่อให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัด

คอนกรีตไม่มีส่วนละเอียดนี้มักไม่ใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ถ้าต้องใช้ควรที่จะเคลือบเหล็กเสริมด้วยน้ำปูนให้หนาประมาณ 3 มม. เพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะและป้องกันการกัดกร่อน วิธีที่ง่ายที่สุดในการเคลือบเหล็กเสริม คือ การใช้วิธีพ่น (Shotcreting) โดยทั่วไปจะใช้ปูนซีเมนต์ประมาณ 70-130 กก./ลบ.ม. ดังนั้นราคาคอนกรีตประเภทนี้จึงต่ำมาก

2.7 คุณสมบัติทั่วๆไป ของคอนกรีตเบา

คอนกรีตเบามีคุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้

1) คอนกรีตเบา ดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากมีรูพรุนมากกว่า
2) คอนกรีตเบา หดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5 – 40 % แต่คอนกรีตเบาที่ใช้วัสดุผสมซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผลิตผลจาก ดินเผา ดินดาล หรือตะกรัน จะหดตัวน้อยลง

3) คอนกรีตเบาอาจล้ามากกว่าคอนกรีตธรรมดา
4) ค่าปัวส์ซองเรโชของคอนกรีตเบาเท่ากับของคอนกรีตธรรมดา แต่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าประมาณ ½ - ¾ เท่าของคอนกรีตธรรมดา เมื่อมีค่ากำลังอัดประลัยเท่ากัน
5) คอนกรีตเบาเก็บเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่ถ้าดัดแปลงผิวของคอนกรีตเสียใหม่ แทนที่จะเก็บเสียงคอนกรีตนี้จะกลายเป็นฝาสำหรับสะท้อนเสียงได้สูงมาก
6) สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตเบาประมาณ $7 \times 10^{6} – 14 \times 10^{6}$ ต่อองศาเซนติเกรด ซึ่งน้อยกว่าค่าของคอนกรีตธรรมดา คอนกรีตเบามีความต้านทานเพลิงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา
7) คอนกรีตเบามีความต้านทานเพลิงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

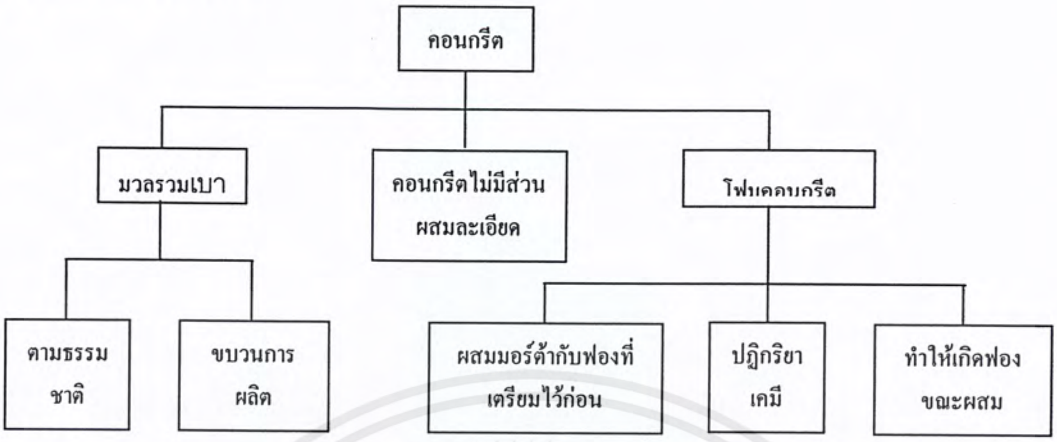
2.8 ข้อดีและข้อเสียของคอนกรีตเบา

ตารางที่ 2.7 ข้อดี – ข้อเสียของคอนกรีตเบา

ข้อดี	ข้อเสีย
1)เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี	1)ราคาสูงกว่าคอนกรีตทั่วไป
2)ลดน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้าง	2)ต้องใส่ใจอย่างมากในด้าน
3)ลดขนาดของฐานรากเนื่องจากน้ำหนัก	การผสม,การลำเลียง,การเท
รวมของสิ่งก่อสร้างลดลง	ลงแบบ มากกว่าคอนกรีตทั่วไป
4)แรงดันที่เกิดขึ้นกับไม้แบบลดลง	3)มีการดูดซึมน้ำมากและ
5)น้ำหนักของคอนกรีตลดลงเป็นการเพิ่ม	ก่อให้เกิดการหดตัว(Drying
ประสิทธิภาพในการขนส่ง	Shrinkage) สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 สรุปการผลิตคอนกรีตเบา



รูปที่ 2.17 การผลิตคอนกรีตเบา

การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนรีตเบาจะต่างกับวิธีที่ใช้คอนกรีตธรรมดาเพราะวัสดุผสมจะดูดน้ำที่ใช้ผสมส่วนหนึ่งไป การคำนวณโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จึงค่อนข้างยาก โดยมากจึงเปลี่ยนใช้วิธีหาปริมาณของซีเมนต์ที่ต้องใช้ต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร

คอนกรีตที่ใช้ผสมน้ำหนักเบาต้องการเวลาผสมมากกว่าคอนกรีตธรรมดา และวัสดุผสมนี้มีความโน้มเอียงที่จะเกิดการแยกแยะในขณะเทและอัดคอนกรีตมากกว่าธรรมดา ด้วยเหตุนี้จึงควรใช้สารกระจายกักฟองอากาศเข้าช่วยการแยกแยะในคอนกรีตเป็นผลมาจากการลอยตัวเนื่องมาจากค่าความยุบตัวสูงเกินไป หรือใช้เครื่องเขย่านานเกินไปหรือวิธีการจัดการอย่างอื่นๆ

คอนกรีตเบาที่ทำขึ้นจากวัสดุผสมต่างๆ กันจะมีน้ำหนักต่างกัน ซึ่งอาจมีความหนาแน่นตั้งแต่ 300 – 1850 กก.ต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่ากำลังอัดตั้งแต่ 3 – 400 กก.ต่อตารางเซ็นติเมตร กำลังต้านทานแรงอัดมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ได้ ถ้ามีความหนาแน่นสูงกำลังต้านทานแรงอัดก็สูงด้วย ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ก็มีส่วนต่อกำลังความแข็งแรงของคอนกรีตเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าต้องการกำลังอัด 210 กก.ต่อตารางเซ็นติเมตร ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ 235 – 400 กก.ต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร หรือถ้าต้องการกำลังอัด 310 กก.ต่อตารางเซ็นติเมตร ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ 330 – 490 กก.ต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ก็คือวัสดุทั้งหมดที่ใช้ผสมคอนกรีต ซึ่งคอนกรีตที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นคอนกรีตเบาที่ไม่มีส่วนผสมละเอียด คือ ไม่ใส่ทราย และเราจะใส่เม็ดพลาสติกรีไซเคิลลงไปเพื่อลดน้ำหนักของคอนกรีตลงไปอีก

ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้น จะกล่าวถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผสมคอนกรีตและทำก้อนอิฐบล็อคและก้อนคอนกรีตทดสอบ

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1) เม็ดพลาสติกรีไซเคิล
2) ปูนซีเมนต์
3) หิน
4) น้ำ

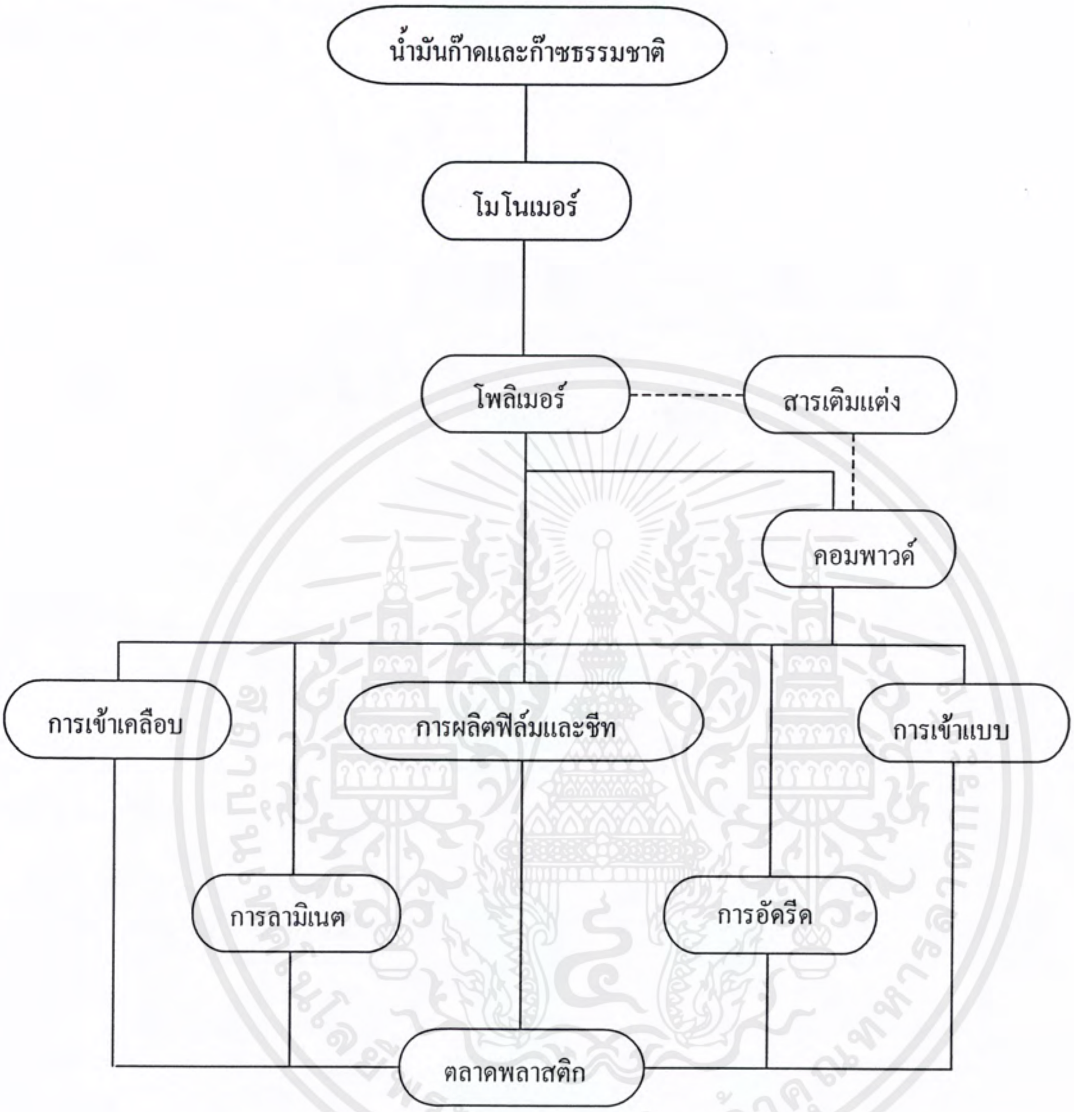
3.1.1 เม็ดพลาสติกรีไซเคิล

ก่อนอื่นจะขอกล่าวถึงเม็ดพลาสติกที่เป็นพลาสติกใหม่ ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า พลาสติก ในปัจจุบันนี้นับว่าพลาสติกเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากที่สุด พลาสติกเป็นวัตถุดิบที่ถูกใช้ทำเป็นอุปกรณ์ต่างๆ มากมายเนื่องจากมีความทนทาน ความยืดหยุ่นสูง ส่วนมากราคาถูก สิ่งที่ทำจากพลาสติกที่มีให้เห็นโดยง่ายก็เช่น ขวดน้ำ, ถุงพลาสติก, ภาชนะต่างๆ รวมไปถึงอุปกรณ์จำพวก โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น กล่าวคือเราจะต้องใช้พลาสติกทุกๆ วันไม่ในทางใดก็ทางหนึ่ง ฉะนั้นพลาสติกจึงเป็นวัสดุที่มีความสำคัญอย่างมาก

แต่ข้อเสียที่สำคัญที่สุดของพลาสติกก็คือเราไม่สามารถที่จะทำลายมันได้ด้วยวิธีทั่วๆ ไป เหมือนขยะชนิดอื่น หากฝังดินก็ต้องใช้เวลานับร้อยปีในการสลายตัว และหากเผาก็เป็นการทำลายชั้น-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรยากาศและยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์อีกด้วย ฉะนั้นการนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (Recycle) จึงนับว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะช่วยลดจำนวนขยะพลาสติกให้น้อยลง



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ในงานด้านพลาสติก

3.1.1.1 พลาสติก

สามารถแบ่งประเภทของพลาสติกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1) เทอร์โมพลาสติก เป็นกลุ่มที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในประเทศไทยมากกว่าเทอร์โมเซต เนื่องจากสามารถนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ได้และเสียค่าใช้จ่ายในการตกแต่งน้อยกว่า มีความเหนียวดี สามารถทำให้มีความบางได้ตามต้องการ น้ำหนักเบา มีรอบในการผลิตน้อยจึงผลิตได้เร็ว ทำให้ได้ผลผลิตสูง สามารถให้สีได้หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เทอร์โมเซต มีคุณสมบัติไม่สามารถนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ได้ ไม่ค่อยหดตัว มีความแข็งตึง ต้านทานการยืดครากได้ดีเยี่ยม สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องการให้สี ความใสและการหล่อเข้าแบบ

แต่หากแบ่งพลาสติกตามลักษณะการใช้งานจะแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

(1) พลาสติกใช้งานทั่วไป
(2) พลาสติกวิศวกรรม
(3) Speacialty Plastic

พลาสติกใช้งานทั่วไปที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นจำพวก โพลิโพรพิลีน โพลิเอทิลีน โพลิสไตรีน โพลิไวนิลคลอไรด์ โพลิเมทิล เมทาคริเลต อะคริลิก เอบีเอส เอสเอเอ็น หรือแซน เป็นต้น

สำหรับพลาสติกวิศวกรรมที่เริ่มเข้ามามีบทบาทในประเทศไทย ได้แก่ โพลิออกซิเมทิลีน (POM) โพลิคาร์บอเนต โมดิฟายด์ โพลิโพรพิลีนออกไซด์ โพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต โพลิบิวทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นต้น ลักษณะเด่นของพลาสติกวิศวกรรมที่ต่างจากพลาสติกใช้งานทั่วไป คือ พลาสติกวิศวกรรมจะมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่า มีน้ำหนักเบาสามารถปรับแต่งได้เหมือนโลหะ

Speacialty Plastic เป็นพลาสติกชนิดพิเศษที่นอกเหนือจากพลาสติก 2 กลุ่มแรก เช่น เทฟลอน เป็นต้น

3.1.1.2 พลาสติกรีไซเคิล

ปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมนับวันจะเป็นปัญหาที่ทุกคนให้ความสนใจ โดยเฉพาะพลาสติกที่ใช้แล้วหรือที่เรียกกันว่าขยะพลาสติก วิธีการจัดการขยะพลาสติกมีหลายวิธี ได้แก่

1) การฝังกลบ
2) การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ มีหลายแบบ ได้แก่
   2.1) การหมุนเวียนในรูปสารเคมี (Chemical Recycle)
   2.2) การนำมาหลอมใหม่ (Mechanical Recycle) วิธีนี้เป็นที่นิยมในเมืองไทย
   2.3) การเผา (Incineration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ มีข้อดีหลายประการ คือ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดพลาสติกได้และช่วยประหยัดพลังงาน แต่เนื่องจากขยะพลาสติกมักจะประกอบไปด้วยพลาสติกหลายชนิด จึงมีการกำหนดสัญลักษณ์และตัวเลขแสดงชนิดพลาสติกไว้บนภาชนะเพื่อความสะดวกในการแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกัน สัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยมที่ประกอบจากลูกศรสามเส้นมีตัวเลขอยู่ตรงกลางสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 สัญลักษณ์แสดงการแยกชนิดพลาสติก

การรีไซเคิลพลาสติกทำได้หลายวิธี ได้แก่

- การเปลี่ยนกลับไปเป็นโมโนเมอร์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ดพลาสติก
- การเผาให้ได้เป็นพลังงาน
- การนำมาหลอมใหม่

โดยสรุปแล้ว การผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิลนั้นมีขั้นตอนดังนี้

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของเม็ดพลาสติกมีข้อดีหลายประการคือ

- น้ำหนักเบา 0.6 กรัม/ซม^3
- ทนความร้อนได้ดี
- ทนต่อสารเคมี
- มีความคงรูป
- มีความยืดหยุ่น

คุณสมบัติเหล่านี้ ทำให้น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผสมคอนกรีตโดยเฉพาะน้ำหนักที่เบาของเม็ดพลาสติกน่าจะช่วยทำให้น้ำหนักของคอนกรีตลดลง

เม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ใช้ผสมคอนกรีตในโครงงานนี้ มีลักษณะที่เป็นเหลี่ยมมุมที่ค่อนข้างบิดเบี้ยว ขนาดประมาณ 3 x 3 มม. สีดำ

3.1.2 หิน

หินเป็นวัสดุที่มีผลต่อคุณภาพของคอนกรีต หินที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องสะอาด แข็งแรงทนทาน มีเหลี่ยมคม มีสารที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุด

ในการทดลองนี้จะใช้หินขนาด 12 มม.หรือ ½ นิ้ว ผสมในคอนกรีต ที่เลือกใช้หินขนาดเล็ก เนื่องจากต้องการให้เกิดช่องว่างไม่มากนักเพราะคอนกรีตที่ไม่มีส่วนผสมละเอียดจะเกิดช่องว่างมากต้องใส่สารกักกระจายฟองอากาศแต่การทดลองของเราไม่ได้ใช้สารกักกระจายฟองอากาศ

จากการทดสอบ คุณสมบัติของหินที่ใช้ คือ

- ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง	2.7
- อัตราการดูดซึม	0.35 %
- ปริมาณความชื้น	0.94 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ปูนซีเมนต์

ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) มักจะใช้ในการก่อสร้างทั่วๆ ไปที่ไม่ต้องการคุณภาพเป็นพิเศษ ไม่อยู่ในสภาวะอากาศที่รุนแรงหรือมีอันตรายจากซัลเฟต หรือความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นไม่มีผลนักต่อโครงสร้าง

ในการทดลองนี้ใช้ปูนตราช้าง

3.1.4 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตต้องเป็นน้ำสะอาด ปราศจากสารเจือปนที่จะทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง เช่น กรด ด่าง เป็นต้น โดยปกติถือว่าน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่มีคุณภาพดีพอสำหรับใช้ผสมคอนกรีต

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) เครื่องผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.4 เครื่องผสมคอนกรีตขนาดเล็ก

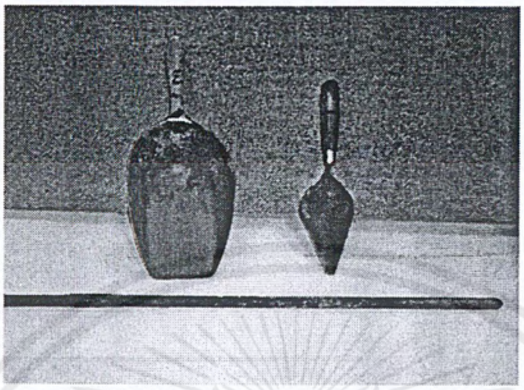
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ช้อนตักคอนกรีต

(3) เกรียง

(4) เหล็กกระทุ้ง



รูปที่ 3.5 ช้อนตักคอนกรีต เกรียงและเหล็กกระทุ้ง

(5) ถังน้ำ

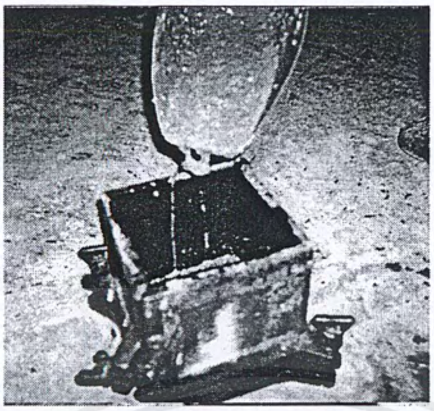
(6) ถาด

(7) เครื่องร่อนแยกหิน

รูปที่ 3.6 เครื่องร่อนแยกหิน

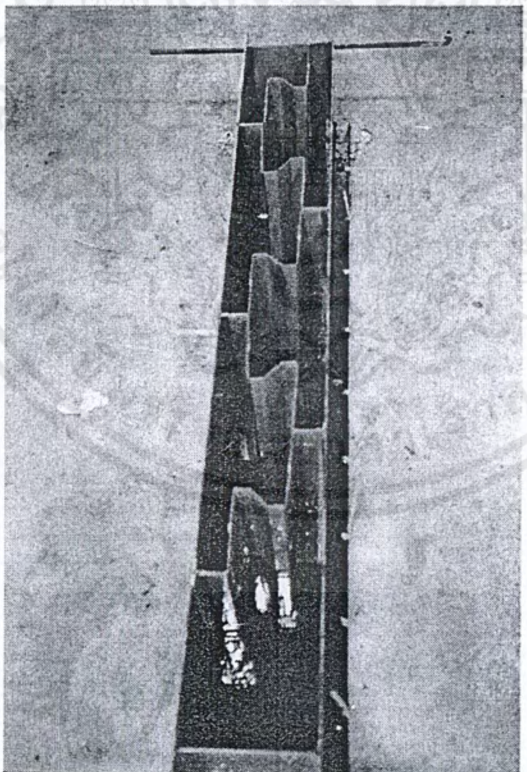
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(8) แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15



รูปที่ 3.7 แบบหล่อทรงลูกบาศก์

(9) แบบหล่อก้อนอิฐล็อคในตัวเอง



รูปที่ 3.8 แบบหล่อก้อนอิฐแบบล็อคในตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบและการทำแบบหล่อ

ในการศึกษาโครงงานพิเศษนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องทำก้อนอิฐบล็อคแบบล็อคในตัวออกมาเพื่อศึกษาการใช้งานจริง ฉะนั้นจึงต้องทำแบบหล่อเพื่อที่จะใช้ในการหล่อคอนกรีตให้เป็นรูป-ร่างของก้อนอิฐที่ต้องการ

4.1 แนวคิดในการออกแบบ

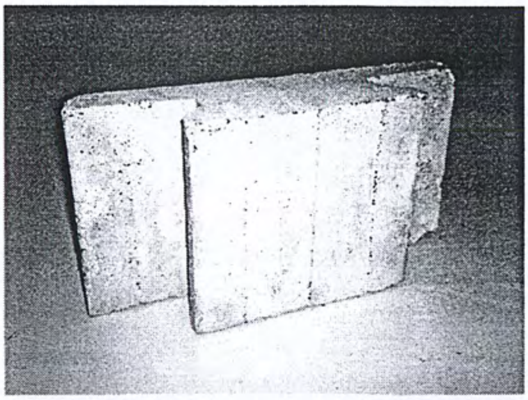
แบบหล่อมีความสำคัญมากในการทำก้อนอิฐแบบล็อคในตัว เนื่องจากก้อนอิฐชนิดนี้ต้องการความแม่นยำของขนาดและรูปร่างอย่างมากเพื่อที่จะต่อกันได้อย่างแนบสนิท การออกแบบแบบหล่อจึงต้องทำให้มีความถูกต้องมากที่สุด ทั้งทางด้านรูปร่างและขนาดของก้อนอิฐ ฉะนั้นแนวคิดในการออกแบบ คือ

1) ออกแบบให้แบบหล่อมีความแข็งแรงมากพอที่จะต้านทานแรงดันของคอนกรีตได้โดยไม่ทำให้รูป-ร่างที่ต้องการผิดไป ดังนั้นจึงเลือกใช้เหล็กทำเป็นแบบหล่อ เนื่องจากเหล็กเป็นวัสดุที่มีความแข็งมาก มีความทนทาน สามารถนำมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง จึงเป็นการประหยัดค่าวัสดุอีกด้วย
2) ออกแบบให้แบบหล่อสามารถหล่อก้อนอิฐได้ทีละหลายๆ ก้อน เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการทำ เนื่องจากต้องใช้ก้อนอิฐจำนวนมากในการทำโครงงาน

4.2 การออกแบบและขั้นตอนการทำแบบหล่อ

1) ศึกษาลักษณะรูปร่างของก้อนอิฐ
2) ออกแบบให้แบบหล่อเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเราจะซอยให้เป็นรูปอิฐบล็อคแต่ละก้อนได้โดย ใช้แผ่นเหล็กที่ถูกดัดให้เป็นรูปของอิฐแล้ว เสียบคั่นให้ประกอบกันกลายเป็นรูปร่างของ บล็อค ทำให้สามารถหล่อก้อนอิฐได้ทีละ 4 – 5 ก้อน รวมทั้งตัวjamp และตัวปิดมุมด้วย นั้นก็คือแบบหล่อประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 อิฐแนวข้าง(Strecher Unit)

รูปที่ 4.2 อิฐแทรก (Jamp Unit)

รูปที่ 4.3 อิฐมุม(Corner Unit)

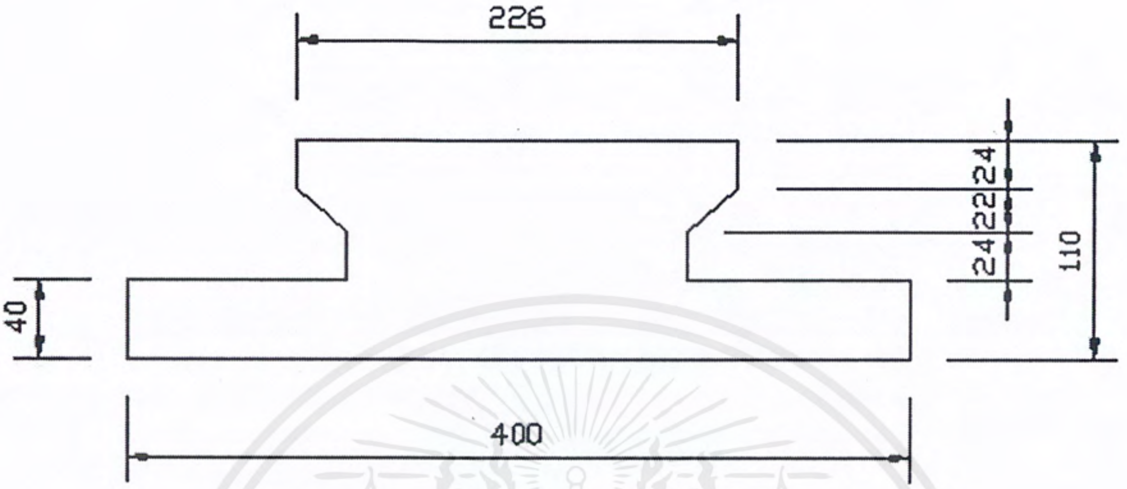
2.1) แผ่นเหล็กดัดเสียบ ประกอบขึ้นจากตัวแผ่นเหล็กซึ่งดัดเป็นรูปตัว Z,1 ชิ้นและรูปตัว L,2 ชิ้น ติดกันด้วยเทปกาวสองหน้าที่ใช้ติดโลหะแบบบางพิเศษของบริษัท 3M ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

2.2) แผ่นเหล็กเสียบด้านข้าง เป็นแผ่นเหล็กเรียบๆ ขนาด 150 x 200 มม. ใช้เสียบที่หัวแบบทั้ง 2 ด้าน (ดูรายละเอียดจากหัวข้อ" การประกอบแบบ ")

2.3) แผ่นเหล็กรองด้านล่าง ซึ่งเจาะรูเป็นระยะเท่าๆ กันดังรูปที่ 4.8 เพื่อใส่น็อตยึดกับแผ่นแบบด้าน-ข้าง

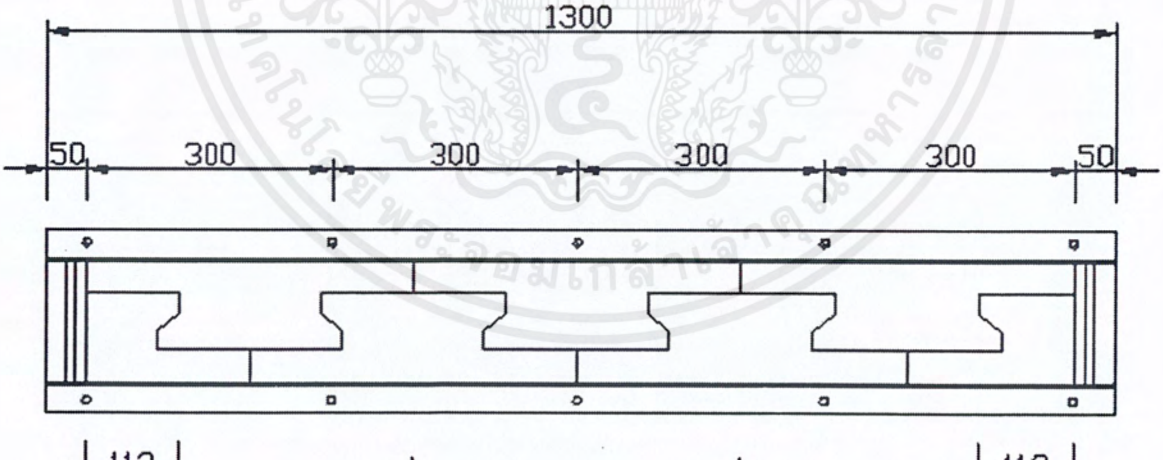
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4) แผ่นเหล็กแบบด้านข้าง มี 2 แผ่นเจาะรูเป็นระยะเท่าๆ กันเพื่อใส่น็อตยึดกับแผ่นรองด้านล่าง แต่ระยะของร่องเสียบแผ่นเหล็กดัดต่างกัน ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



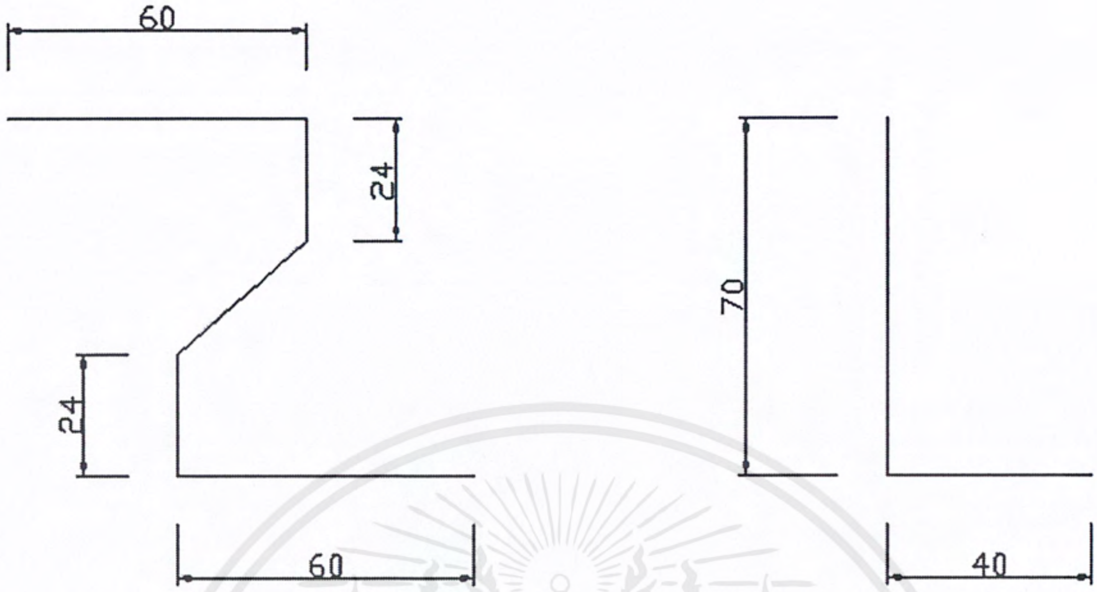
รูปที่ 4.4 รายละเอียดของขนาดก้อนอิฐ

*หมายเหตุ : ระยะบอกขนาดของทุกรูปมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

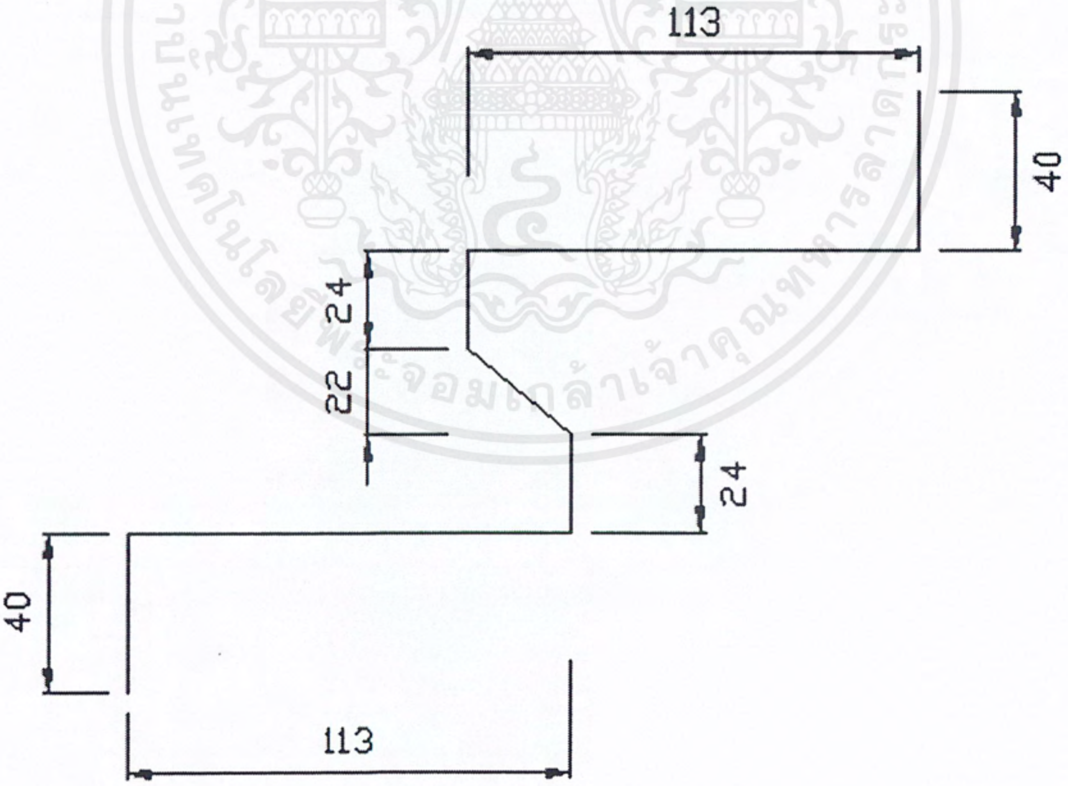


รูปที่ 4.5 รูปแปลนของแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

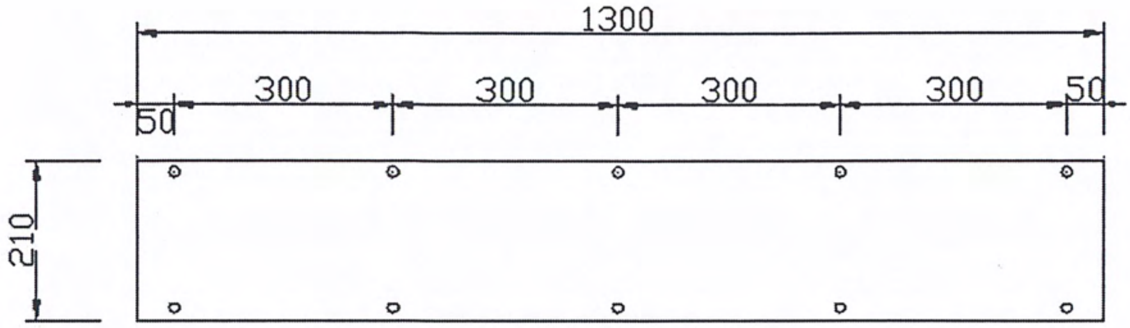


รูปที่ 4.6 รูปที่ใช้เพื่อออกแบบแผ่นเหล็กดัดรูปตัว Z และตัว L

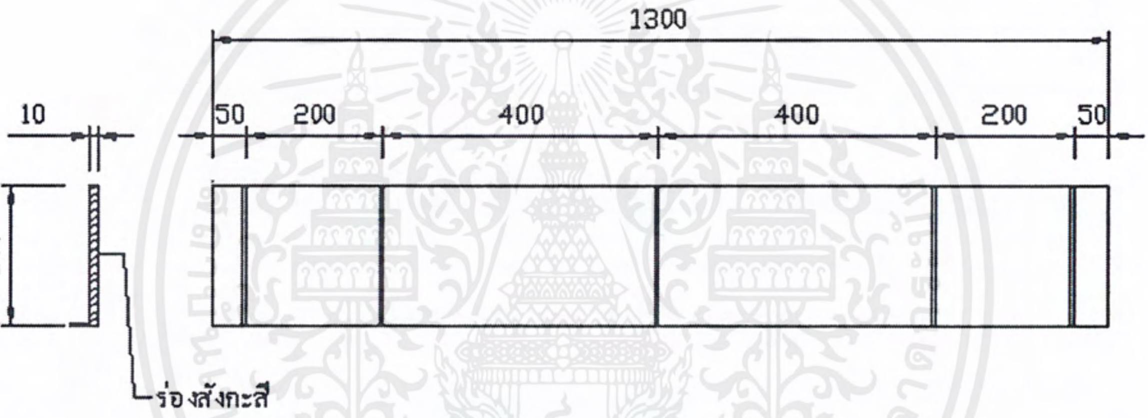


รูปที่ 4.7 แผ่นเหล็กประกอบ (ประกอบจากตัว Z และตัว L แล้ว)

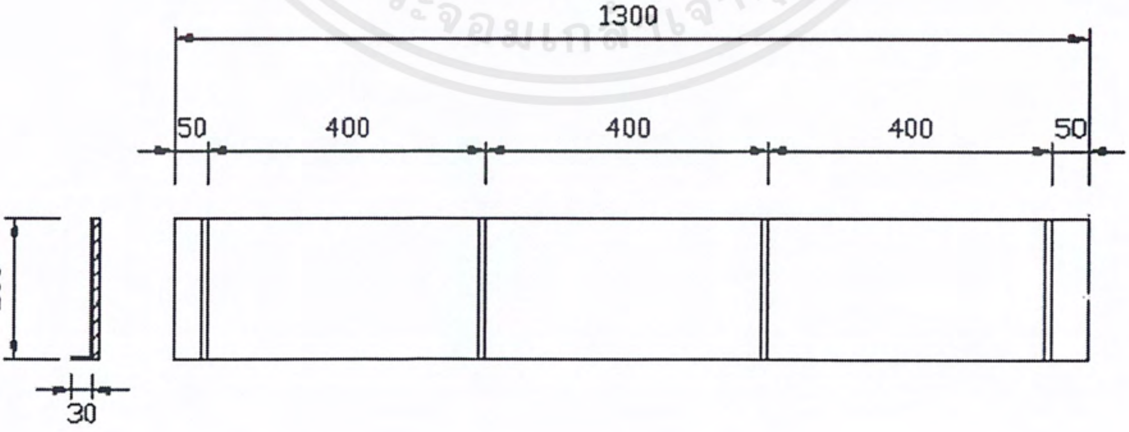
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แผ่นเหล็กรองด้านล่าง



รูปที่ 4.9 แผ่นเหล็กแบบด้านข้าง แผ่นที่1



รูปที่ 4.10 แผ่นเหล็กแบบด้านข้างแผ่นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) จากนั้นเริ่มขั้นตอนการทำโดย ตัดแผ่นเหล็กให้ได้ขนาดตามต้องการ คือ

แผ่นเหล็กหนา 1 มม. ตัดตามขนาดและจำนวนดังนี้

- ขนาด 150 x 200 มม. จำนวน 2 แผ่น
- ขนาด 110 x 200 มม. จำนวน 12 แผ่น (เพื่อทำเป็นตัว L)
- ขนาด 205 x 200 มม. จำนวน 6 แผ่น (เพื่อทำเป็นตัว Z)

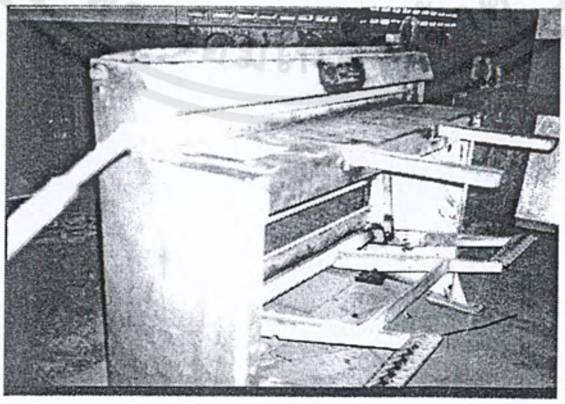
แผ่นสังกะสีหนา 0.5 มม. (ใช้ทำเป็นร่อง) ตัดตามขนาดและจำนวนดังนี้

- ขนาด 20 x 200 มม. จำนวน 18 แผ่น

ในการตัดเหล็ก เราต้องวัดขนาดของแผ่นเหล็กให้ถูกต้องแน่นอน แล้วจึงนำไปตัด โดยใช้เครื่องตัดเหล็ก ดังรูปที่ 4.11

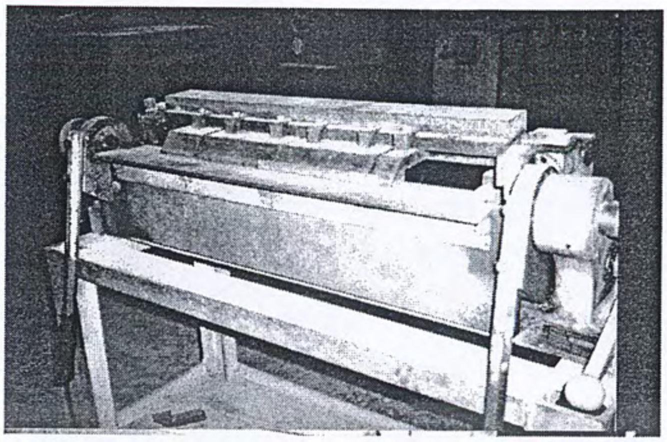
4) จากนั้นจึงนำแผ่นเหล็กเหล่านั้นไปดัด โดยแผ่นสังกะสีดัดให้เป็นมุมฉาก แต่เนื่องจากไม่ต้องการความละเอียดของมุมมากนักจึงดัดด้วยเครื่องธรรมดาได้ ดังรูปที่ 4.12

แผ่นเหล็กหนา 1 มม. เป็นส่วนที่เราจะนำไปทำเป็นเหล็กตัว Z และตัว L ซึ่งความถูกต้องของรูปร่างของเหล็กตัว Z และตัว Lนี้ มีผลต่อรูปร่างของก้อนอิฐโดยตรง จึงจำเป็นต้องดัดให้ได้ความแม่นยำของขนาด ,รูปร่าง ,และมุม อย่างมาก ดังนั้นจึงจะดัดแผ่นเหล็กหนา 1 มม. นี้ด้วยเครื่อง CNC ซึ่งให้ความละเอียดและแม่นยำสูง



รูปที่ 4.11 เครื่องตัดแผ่นเหล็ก

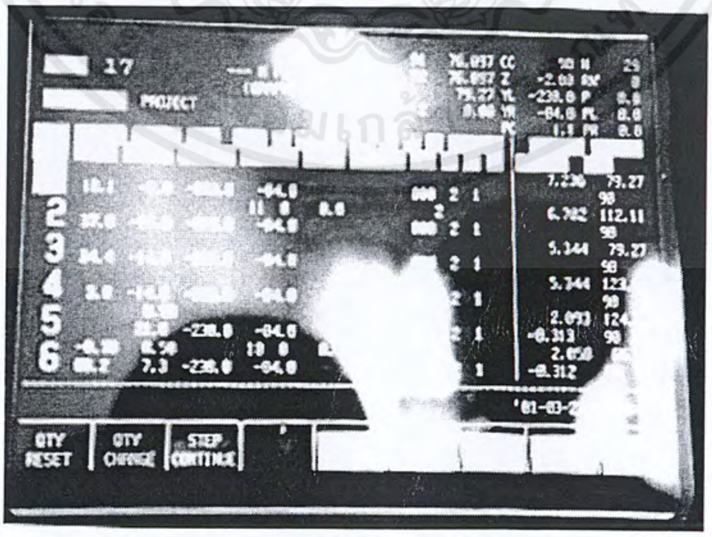
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 เครื่องดัดแผ่นเหล็ก

เครื่อง CNC มีหลายชนิดและหลายประเภท ซึ่งใช้กับงานหลายประเภทแตกต่างกัน เครื่อง CNC ที่เราใช้ในการดัดแผ่นเหล็กนี้ เป็นเครื่องจักรที่ทำงานด้านเครื่องกลร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ใช้สำหรับดัดเหล็กโดยเฉพาะ ฉะนั้นชิ้นงานที่ได้ออกมาจึงมีความละเอียดสูง สามารถกำหนดระยะต่างๆ ได้และยังให้มุมที่ต้องการดัดอย่างถูกต้อง โดยทำงานตามลำดับดังนี้

4.1) ป้อนข้อมูลลงในเครื่อง เพื่อตรวจว่ารูปร่างการดัดที่เราต้องการนั้น เครื่องสามารถทำให้ได้หรือไม่และโดยวิธีใด ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 หากตรวจสอบแล้วไม่ผ่านก็ต้องทำการแก้ไข โดยแก้ที่ขนาดของแผ่นเหล็ก (ออกแบบใหม่)

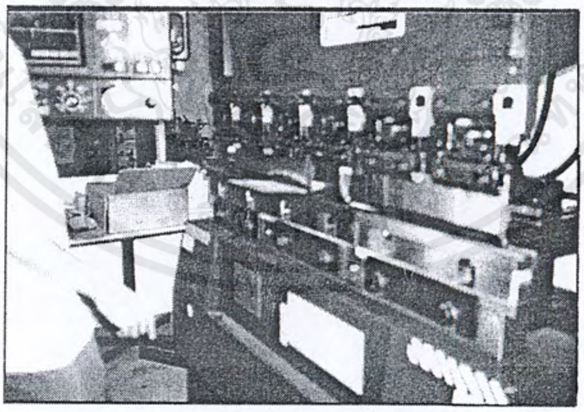


รูปที่ 4.13 รูปแสดงหน้าจอที่ตั้งโปรแกรมของเครื่อง CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 เครื่อง CNC

4.2) เมื่อได้โปรแกรมที่ถูกต้องที่สุดแล้วก็ทำการดัดรูปร่างของแผ่นเหล็ก ตามวิธีที่ได้มาจากข้อ 1) ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงการดัดแผ่นเหล็กด้วยเครื่อง CNC

4.3) เมื่อได้แผ่นเหล็กดัดตามต้องการแล้ว ต่อมานำเหล็กตัว Z และตัวL มาต่อกันให้เป็นแผ่นเหล็ก-ดัดที่สมบูรณ์ โดยใช้ด้วยเทปกาวสองหน้าติดโลหะแบบบางพิเศษ

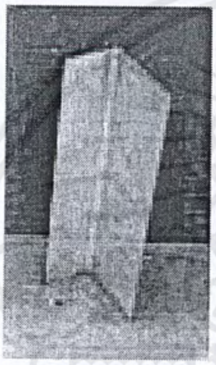
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

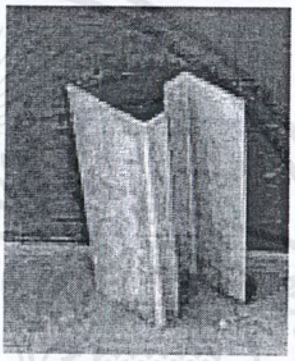
รูปที่ 4.16 เทปกาวสองหน้าติดโลหะแบบบาง พิเศษของบริษัท 3M

วิธีการใช้ : เช็ดบริเวณที่ต้องการติดด้วยแอลกอ-ฮอลร์ ติดเทปกาวทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วจึงนำไปใช้

คุณสมบัติ : ใช้ติดโลหะเท่านั้น ให้ความเหนียวและทนทานต่อแรงดึงสูง



(ก) เหล็กดัดรูปตัว L



(ข) เหล็กดัดรูปตัว Z

รูปที่ 4.17 ส่วนประกอบของแผ่นเหล็กดัด

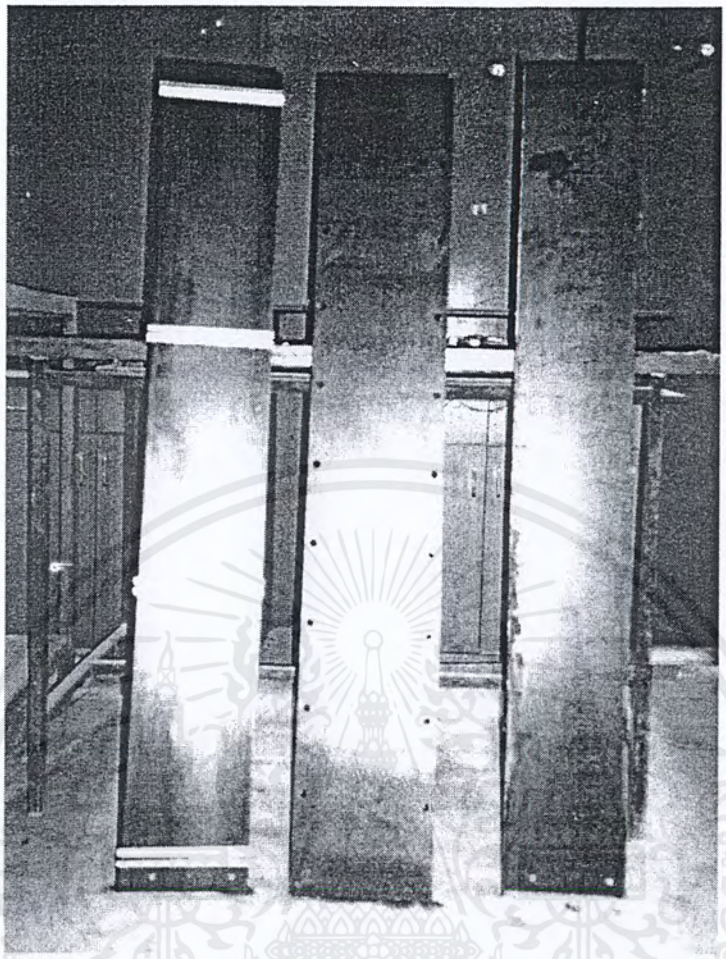
5) ส่วนการทำแผ่นเหล็กรองด้านล่างและแผ่นเหล็กแบบด้านข้างนั้นเครื่องมือที่มีภายในภาควิศวกรรมเครื่องกลไม่สามารถทำได้ จึงต้องว่าจ้างให้ร้านเหล็กทำ

4.3 การประกอบแบบหล่อ

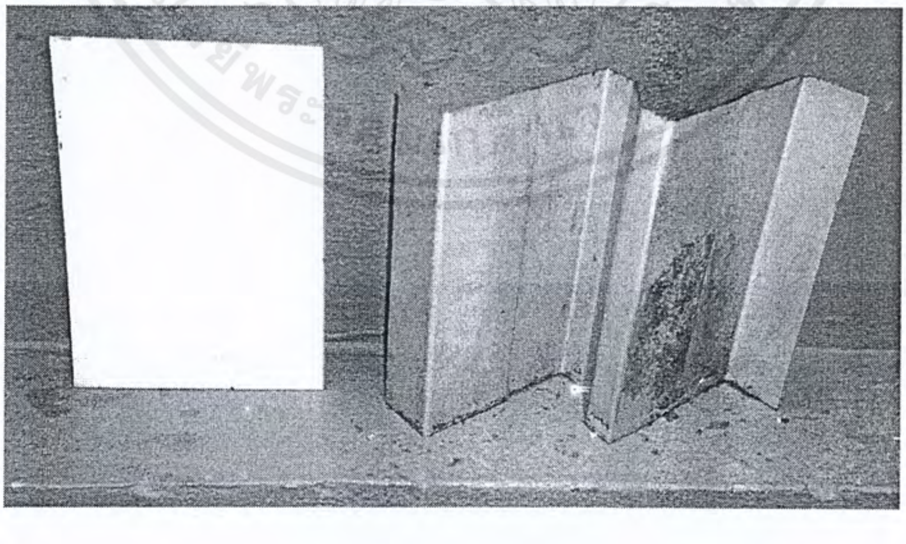
การประกอบแบบหล่อทำตามขั้นตอนดังนี้

1) นำเหล็กที่ออกแบบไว้มาทาน้ำมันสำหรับป้องกันคอนกรีตติดเหล็กหลังจากคอนกรีตแห้ง
2) ประกอบแผ่นเหล็กยาวทั้ง 3 แผ่น โดยยึดแผ่นด้านข้างกับแผ่นพื้นด้วยสกรู และยึดแผ่นข้างทั้งสองเข้าด้วยกัน
3) หลังจากประกอบเหล็กแผ่นยาวทั้งสามแผ่นแล้ว ให้เสียบเหล็กรูปตัว Z ทั้งหมดลงไปในแบบ เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนการประกอบแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

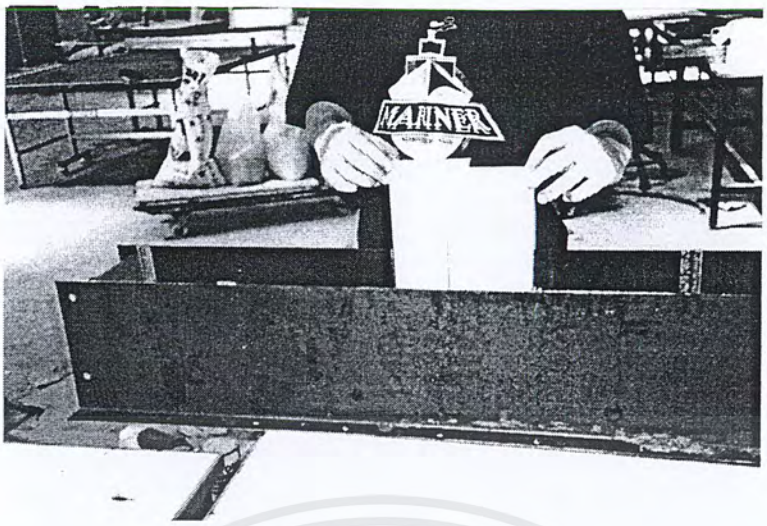


รูปที่ 4.18 แผ่นเหล็กรองด้านล่างและแผ่นเหล็กด้านข้าง

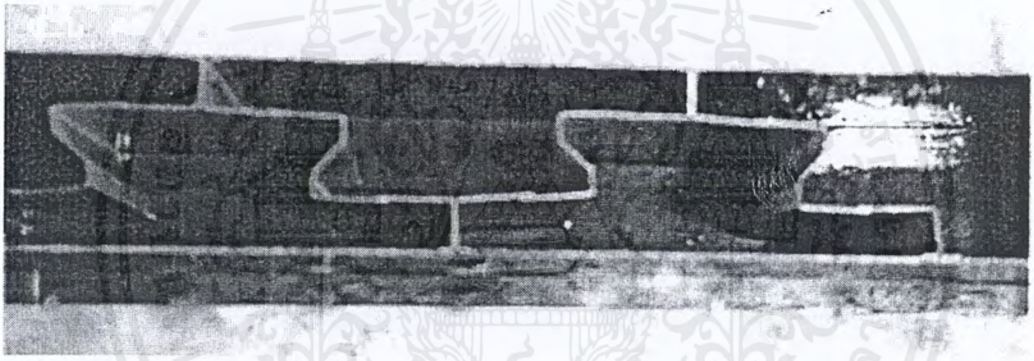


รูปที่ 4.19 เหล็กตัว Z และแผ่นเหล็กสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



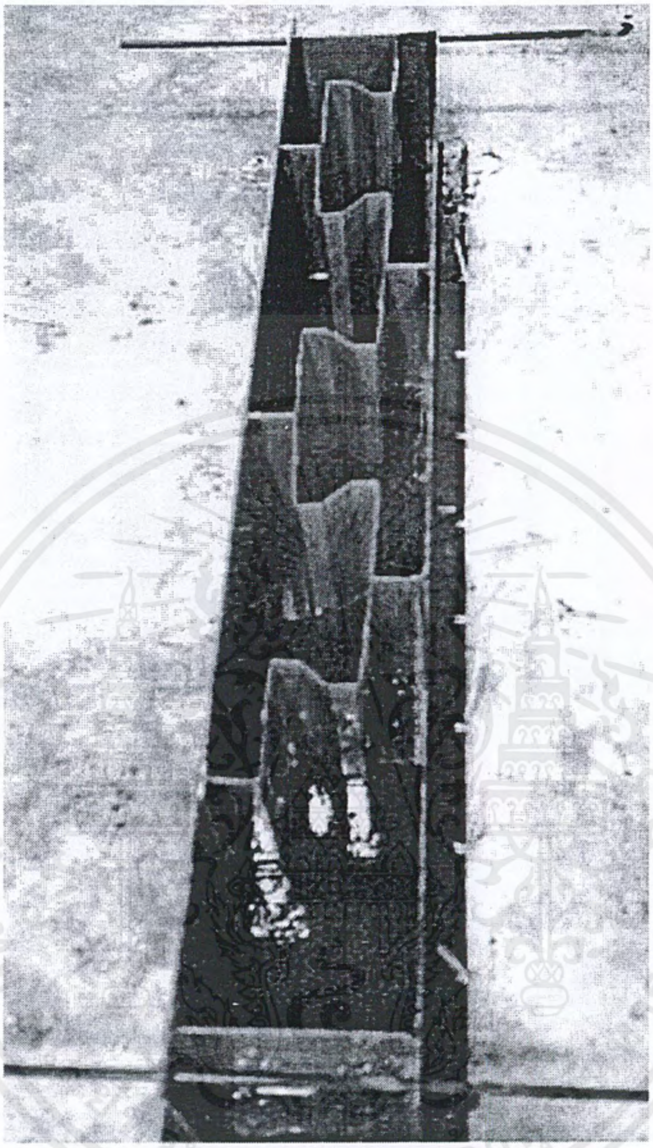
รูปที่ 4.20 การเสียบแผ่นเหล็กดัด



รูปที่ 4.21 แบบหล่อที่ประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แบบหล่อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบ

เนื่องจากโครงงานนี้ ต้องการศึกษาเพียงกำลังรับแรงอัด ของคอนกรีตเบาแบบไม่มีส่วนผสมละเอียดที่ใส่เม็ดพลาสติกรีไซเคิล เท่านั้น จึงทำเพียงการทดสอบกำลังรับแรงอัดซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

การออกแบบทำตามมาตราฐานอเมริกา ในภาคผนวก กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 3.15 และใช้มวลรวมหยาบ คือ หิน ขนาดโตสุด 12 มม. ความถ่วงจำเพาะ 2.70 ออกแบบตามขั้นตอนดังนี้

1) ออกแบบให้มีกำลังอัดที่ 28 วัน เป็น 350 กก./ตร.ซม. ซึ่งหากเป็นคอนกรีตปกติจะให้กำลังอัดที่เวลาบ่ม 7 วันประมาณ 250 กก./ตร.ซม. แต่เนื่องจากเป็นคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลจึงคาดว่ากำลังอัดจะน้อยลงอีกเป็นประมาณ 200 กก./ตร.ซม. ซึ่งนับว่าเป็นค่ากำลังอัดที่ใช้ได้หากนำคอนกรีตนี้ไปทำเป็นอิฐบล็อค
2) จากข้อมูลที่ ผก.5 เลือกใช้ค่าความยุบตัว 8-10 ซม.
3) จากตารางที่ ผก.7 เมื่อขนาดโตสุดของหินเป็น 12 มม. ค่าความยุบตัว 8-10 มม. โดยไม่ใส่สารกักกระจายฟองกาอาศ จะได้ว่าปริมาณน้ำที่ต้องใช้ = 215 ลิตร/คอนกรีต 1 ลบ.ม.
4) จากตารางที่ ผก.9 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลังอัด 350 ksc จะได้อัตรส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ = 0.48
5) ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ = 215/0.48 = 448 กก.
6) หาปริมาณของมวลรวมทั้งหมด

	ปริมาตรของน้ำ	= 215 / 1000	= 0.215 ม^3
	ปริมาตรของซีเมนต์	= 448 / 3.15 x 1000	= 0.1422 ม^3
ดังนั้น	ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมด	= 0.215 + 0.1422	= 0.6572 ม^3
	ปริมาตรรวมทั้งหมดของมวลรวม	= 1 – 0.6572	
		= 0.3428 ม^3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) หาปริมาณของหินและเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ใช้ตามเปอร์เซ็นต์ต่างๆ

ตารางที่ 5.1 การคำนวณส่วนผสมคอนกรีต

% เม็ดพลาสติกรีไซเคิลในมวลรวม	ปริมาตรของเม็ดพลาสติก (กก.)[a]	น้ำหนักของเม็ดพลาสติก (กก./ม^3)[b]	ปริมาตรของหิน (กก.)[c]	น้ำหนักของหิน (กก./ม^3)[d]
50%	0.1714	102.84	0.1714	462.78
60%	0.20568	123.408	0.20568	555.336
70%	0.23996	143.976	0.23996	647.892
80%	0.27424	164.544	0.27424	740.448

a = 0.3528 x (% เม็ดพลาสติกรีไซเคิลในมวลรวม)

b = a x น้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล(กก./ม^3)

c = 0.3528 x (1- % เม็ดพลาสติกรีไซเคิลในมวลรวม)

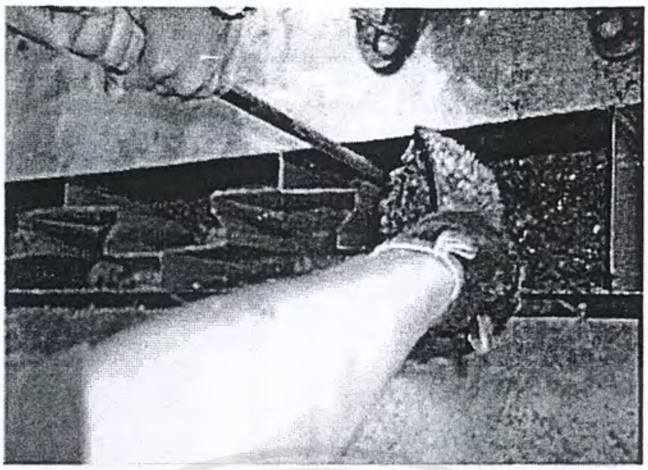
d = c x น้ำหนักของหิน(2.7x1000=2700กก./ลบ.ม.)

5.2 การทำก้อนอิฐบล็อคและก้อนคอนกรีตทดสอบ

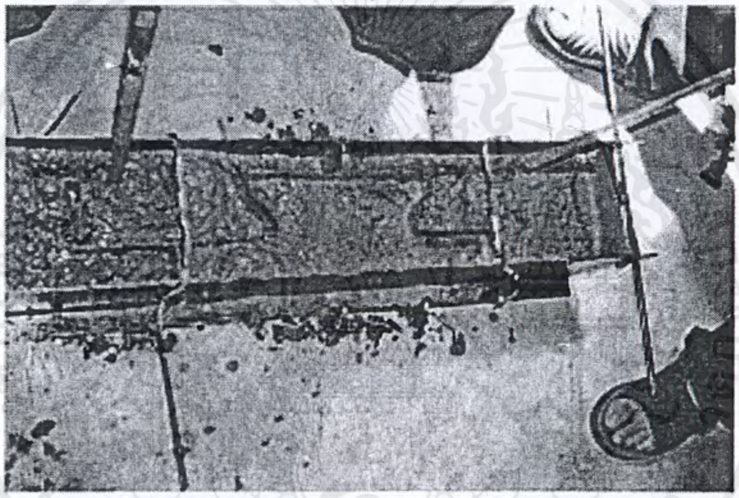
1) ผสมคอนกรีตตามส่วนผสมที่ออกแบบไว้
2) หล่อก้อนปูนสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. เพื่อนำไปทดสอบหาค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีตเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน
3) หล่อก้อนอิฐเพื่อนำไปใช้ก่อกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

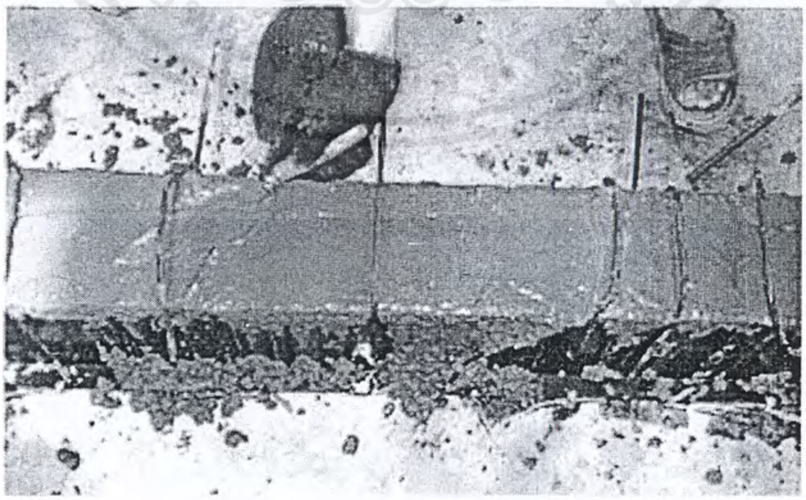
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการหล่อบล็อคคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ทดสอบตามมตราฐาน ASTM : C 39-72 (Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen)

5.3.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงลูกบากศ์มาตราฐาน ASTM

5.3.2 วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1) คอนกรีตสำหรับทดสอบ
2) เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Meachine)
3) แบบหล่อคอนกรีตรูปลูกบากศ์ ทำด้วยโลหะ ขนาดกว้าง 6 นิ้ว (15 ซม.) ยาว 6 นิ้ว และสูง 6 นิ้ว
4) เครื่องชั่งน้ำหนัก
5) เครื่องผสมคอนกรีตขนาดเล็ก
6) เครื่องมือวัดขนาด

5.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) ทำความสะอาดแบบอย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันที่ผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
2) ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีตหรือขณะกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น
3) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

    3.1) สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็ก-กระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

4) ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในที่ร่มประมาณ 25 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

5) การทดสอบกำลังอัด การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นมาจากน้ำเมื่อครบอายุ ซึ่งในการทดสอบนี้จะใช้เวลาบ่ม 7 วัน (ตามที่มาตราฐานอเมริกาแนะนำ) เนื่องจาก ต้องการกำลังอัดประมาณ 200 กก./ตร.ซม.

6) การคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต หาได้จากสมการที่ 5.1

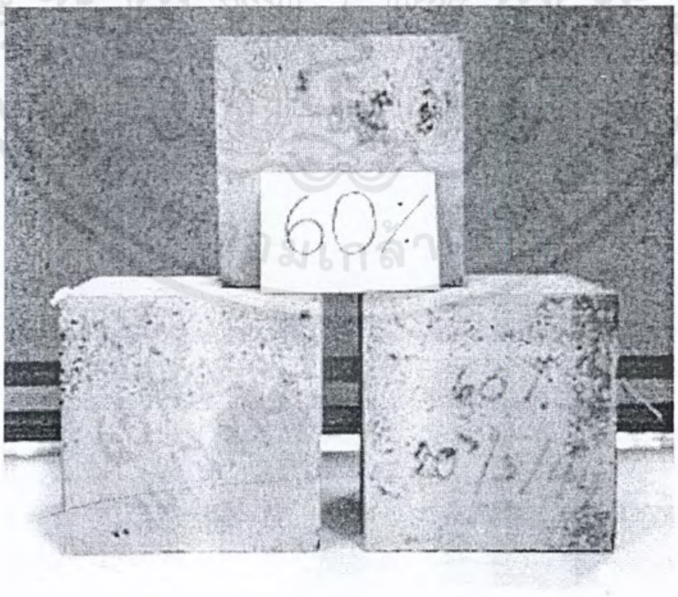
$$f_c = \frac{P}{A} \qquad \text{(สมการที่ 5.1)}$$

โดย ;

f_c = กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต, กก. / ซม^2

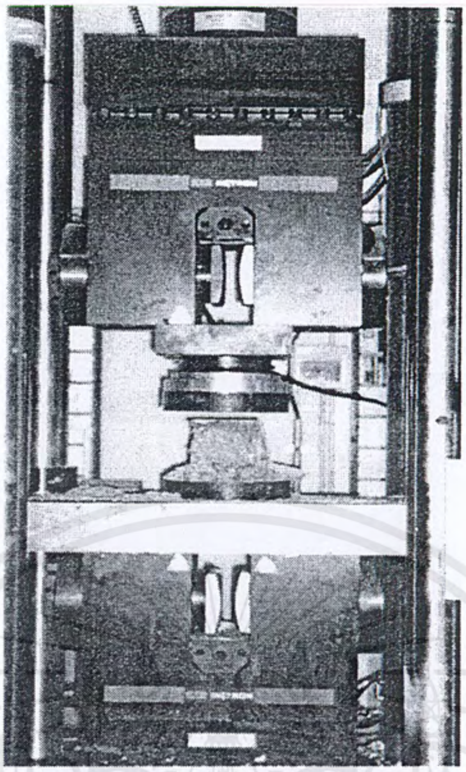
P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ผสมพลาสติกที่ใช้ทดสอบกำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



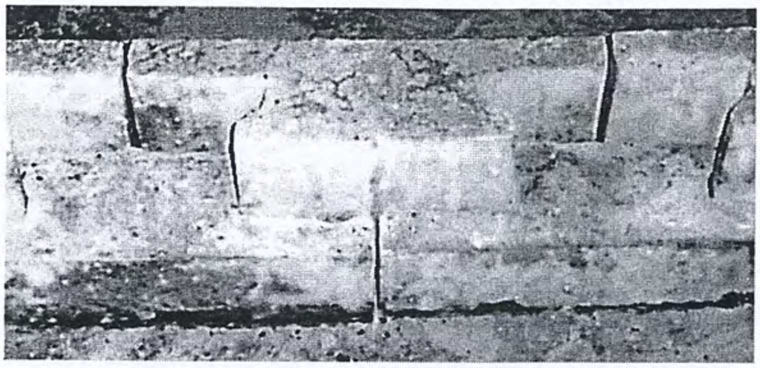
รูปที่ 5.3 เครื่อง UTM (ใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัด)

5.4 การก่ออิฐ

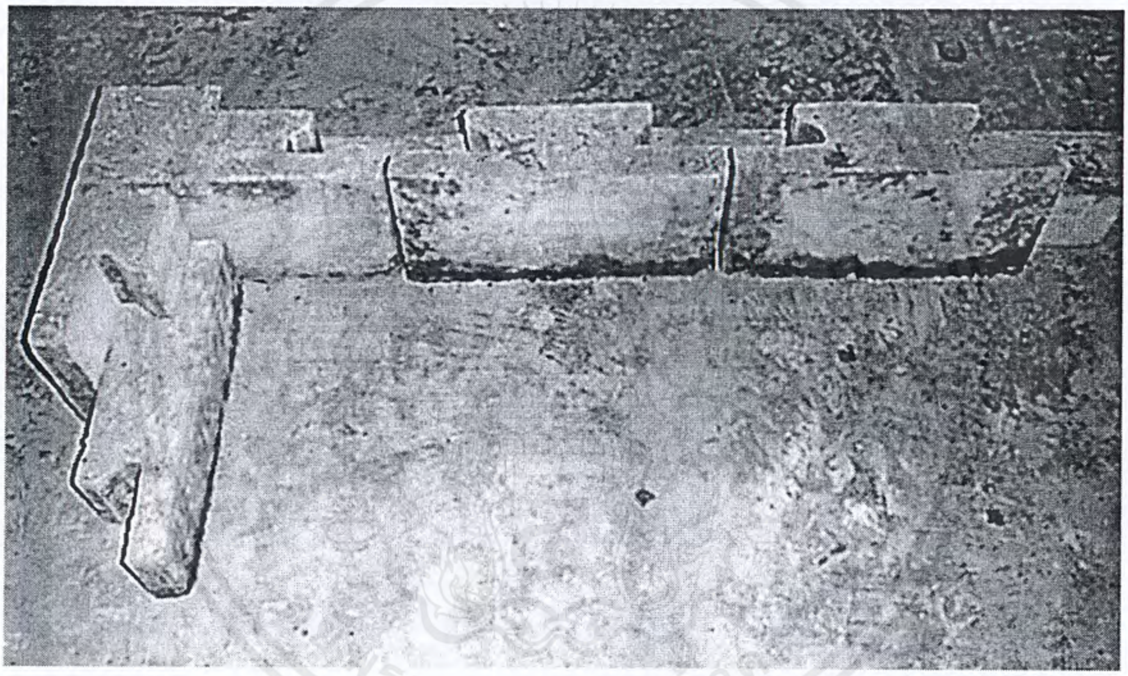
ขั้นตอนการก่ออิฐบล็อคแบบล็อคในตัวนั้นไม่ยุ่งยาก จะอธิบายด้วยรูปโดยสมมุติว่าต้องการก่ออิฐสูง 3 ชั้น ดังต่อไปนี้

1) เริ่มจากวางอิฐขนาดครึ่งก้อน ณ จุดที่ต้องการก่อกำแพงและวางอิฐขนาดเต็มก้อนที่ด้านตรงข้าม โดยจะฉาบมอร์ต้าบางๆ ณ บริเวณที่จะก่อก่อนหรือไม่ก็ได้
2) ขั้นต่อมาจะวางอิฐแบบเต็มก้อนในชั้นต่อๆ ไปหรือหากต้องการแน่ใจในความแข็งแรงมากขึ้น ก่อนที่จะวางอิฐในชั้นที่ 2 ก็สามารถนำอิฐนั้นไปจุ่มมอร์ต้าเหลวก่อนแล้วค่อยนำไปก่อได้
3) เมื่อวางอิฐชั้นที่ 2 ครบแล้ว ทำการวางอิฐมุมของชั้นที่ 3 ต่อไป โดยให้แนวของอิฐมุมในชั้นที่ 3 ตั้งฉากกับของชั้นที่ 1
4) เมื่อวางอิฐมุมแล้วใช้อิฐแทรกวางเพื่อทำการก่ออิฐต่อไป
5) วางอิฐแบบครึ่งก้อนเป็นอันสิ้นสุดการก่ออิฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

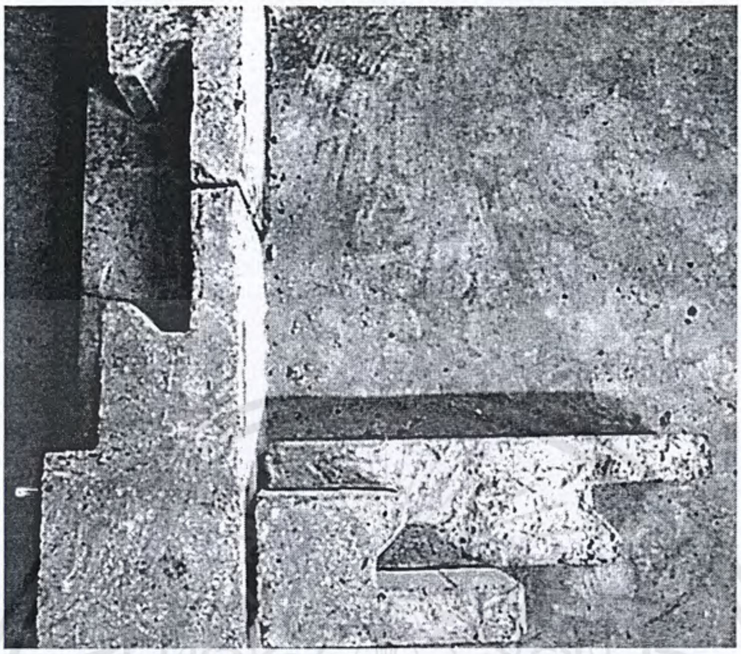


รูปที่ 5.4 รูปขยายของอิฐแบบครึ่งก้อนกับแบบเต็มก้อนที่วางในชั้นแรก



รูปที่ 5.5 การก่ออิฐชั้นแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

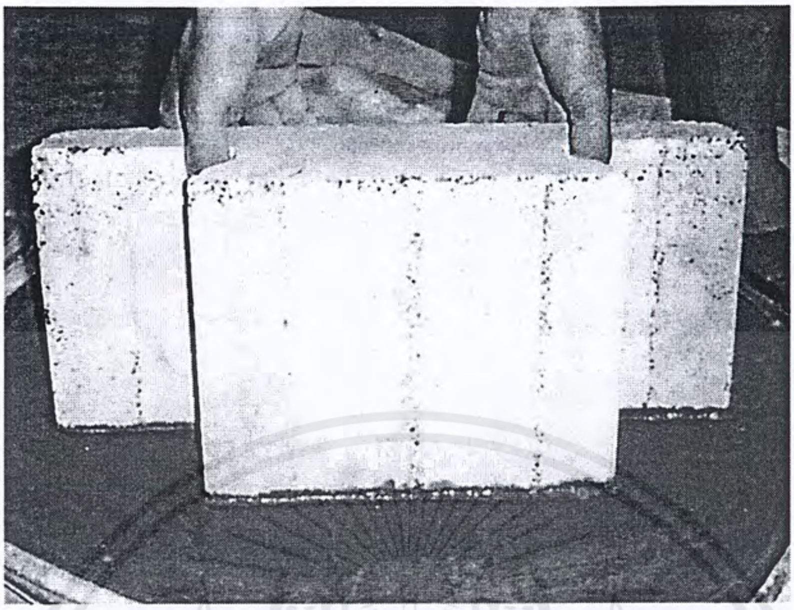


รูปที่ 5.6 ขยายรายละเอียดของการวางอิฐมุม

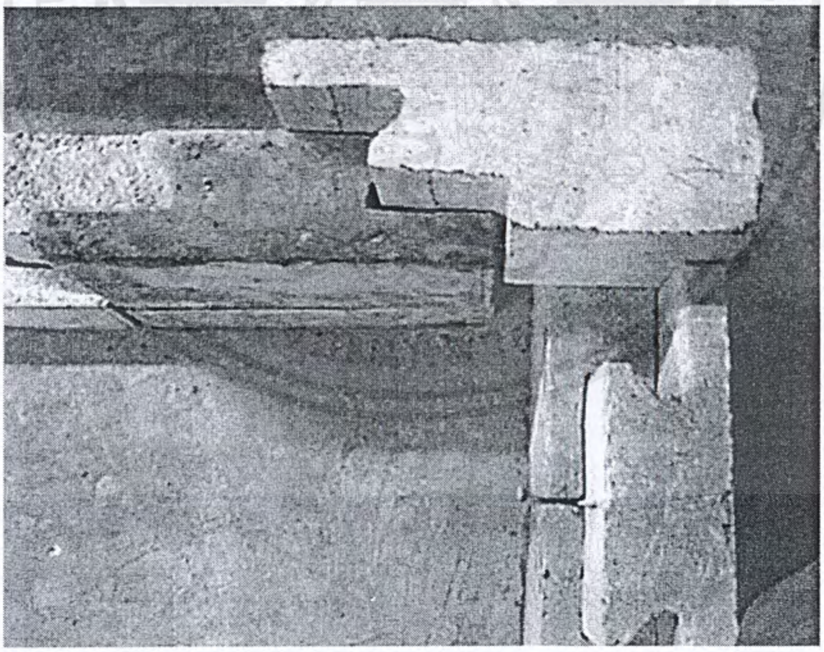
รูปที่ 5.7 การวางอิฐชั้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



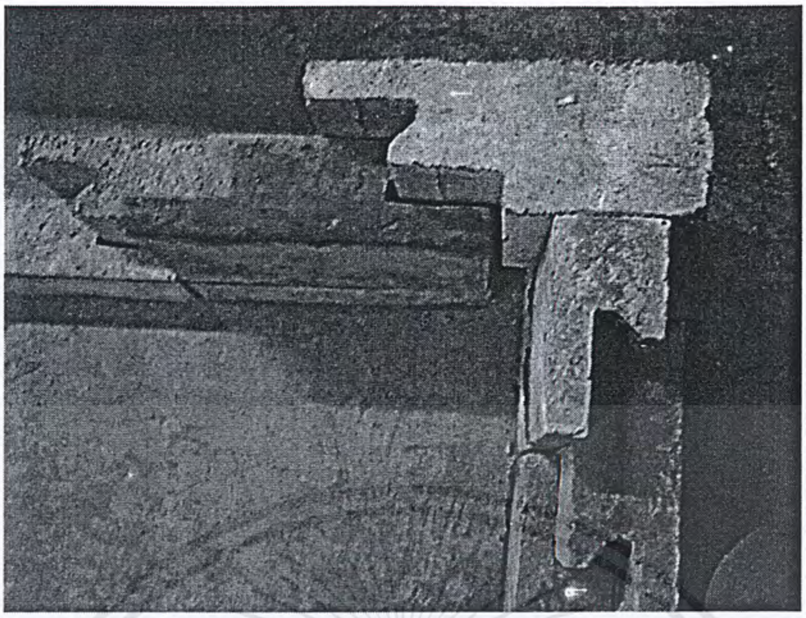
รูปที่ 5.8 แสดงการจุ่มอิฐลงในมอร์ต้า



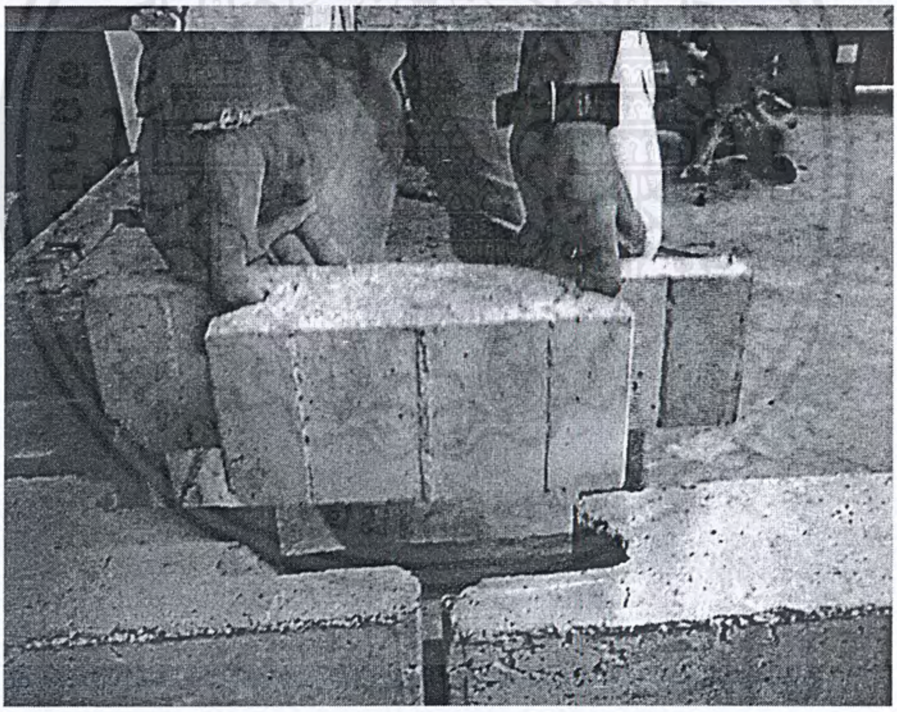
รูปที่ 5.9 การวางอิฐมุมในชั้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

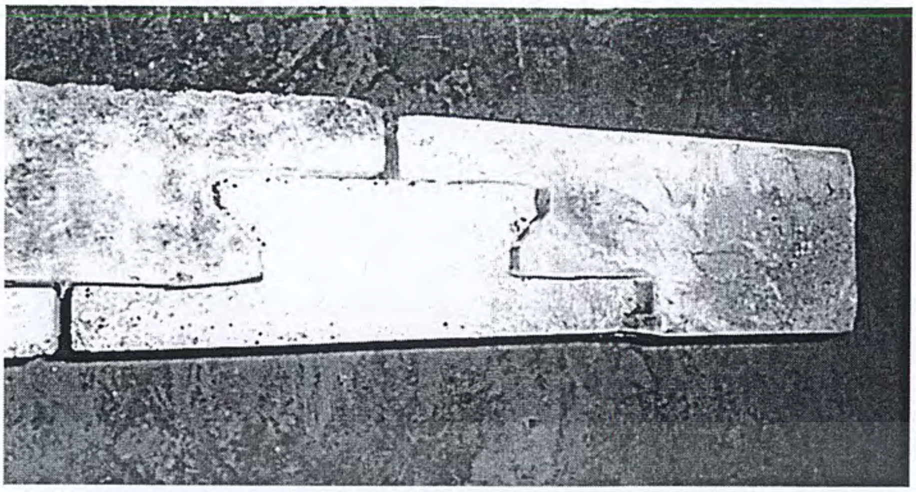


รูปที่ 5.10 การวางอิฐแทรก

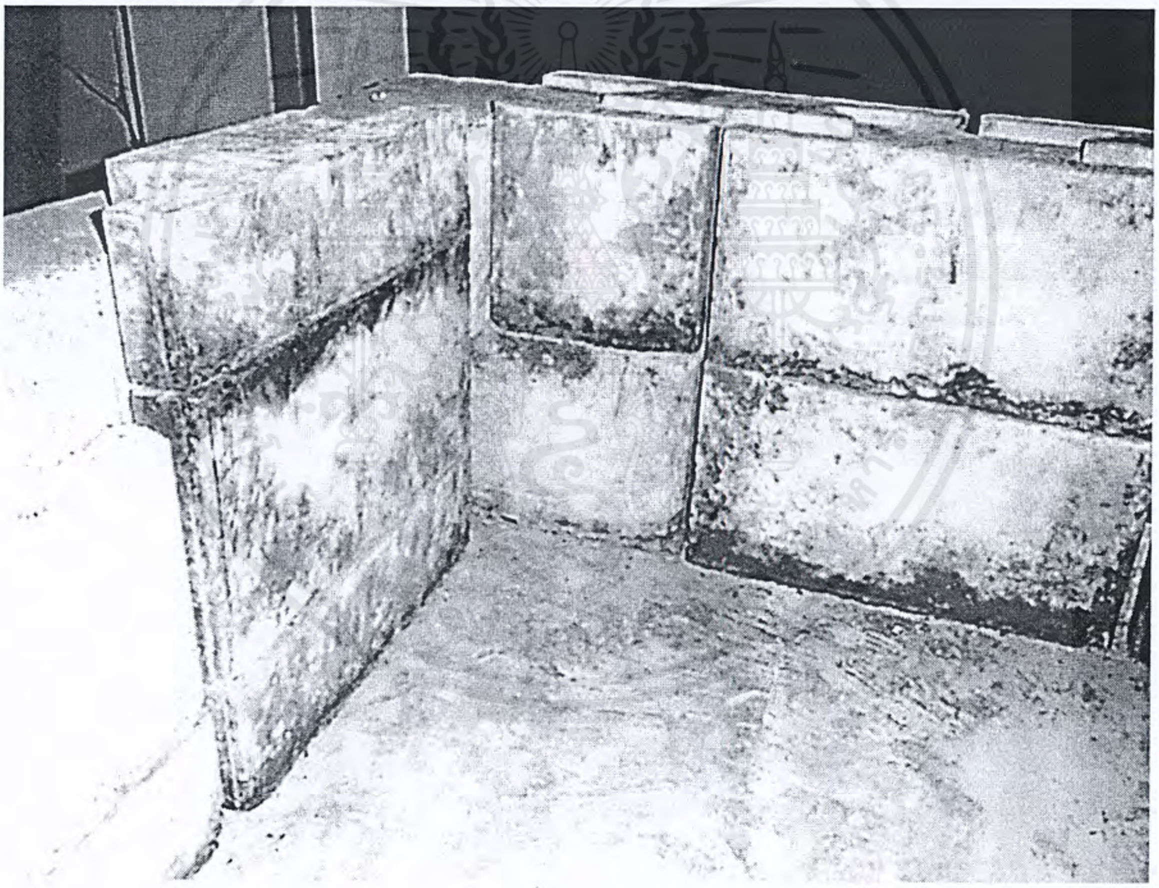


รูปที่ 5.11 การวางอิฐครึ่งก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 รูปขยายการวางอิฐมุมที่ปลายกำแพง

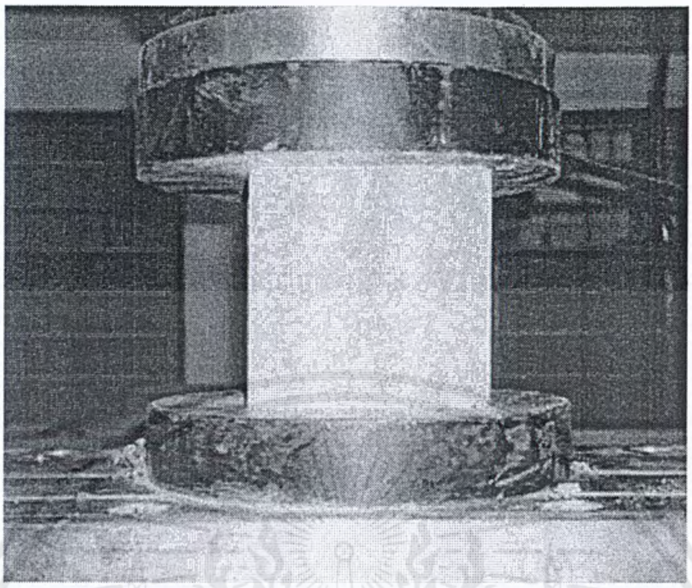


รูปที่ 5.13 กำแพงที่ก่อด้วยอิฐบล็อคแบบล็อคในตัว

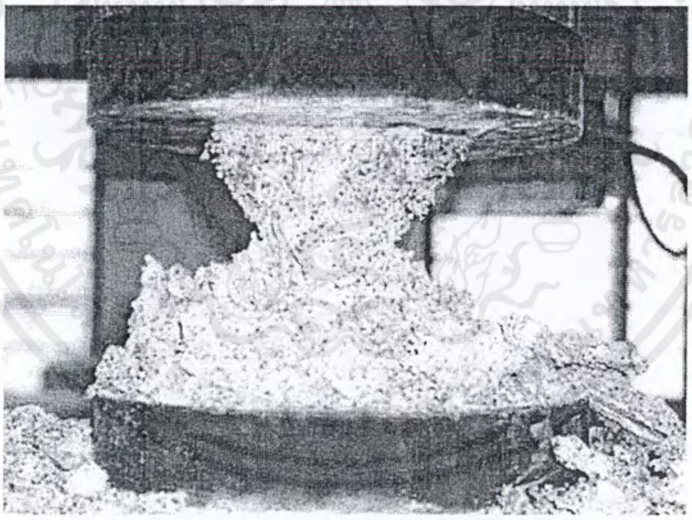
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดสอบ



รูปที่ 5.14 ก้อนคอนกรีตก่อนการทดสอบ



รูปที่ 5.15 ก้อนคอนกรีตหลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 50%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load (kg)	Max Displacement	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High						
1	0.0225	0.149	7	2087.99	7	47280	1.795	210.133
2	0.02235	0.15	7.1	2117.82	7	45950	2.001	205.593
3	0.02235	0.149	7	2102.01	7	46870	1.886	209.709
ค่าเฉลี่ย	0.0224	0.149333	7.033	2102.61	7	46700	1.894	208.478

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50 % โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 60%

Speciment	Dimention		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load (kg)	Max Displacement	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High						
1	0.022201	0.15	6.5	1951.86	7	32960	1.973	148.462
2	0.0222	0.149	6.5	1965.05	7	31690	1.982	142.748
3	0.02235	0.148	6.3	1904.59	7	32910	1.94	147.248
ค่าเฉลี่ย	0.02225	0.149	6.43	1940.50183	7	32520	1.965	146.153

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60 % โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 70%

Speciment	Dimention		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load (kg)	Max Displacement	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High						
1	0.0222	0.15	6.1	1831.83	7	27360	2.064	123.243
2	0.02235	0.149	5.9	1771.69	7	27140	2.126	121.432
3	0.022201	0.149	5.8	1753.35	7	26870	2.348	121.031
ค่าเฉลี่ย	0.02225	0.149333	5.93	1785.62537	7	27123.3333	2.179	121.902

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 70 % โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 80%

Speciment	Dimention		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load (kg)	Max Displacement	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High						
1	0.022052	0.149	5.3	1613.03	7	23650	1.849	107.247
2	0.02235	0.149	5.5	1651.58	7	22710	1.864	101.611
3	0.02235	0.15	5.3	1580.91	7	23120	1.855	103.445
ค่าเฉลี่ย	0.022251	0.1493	5.367	1615.17132	7	23160	1.856	104.101

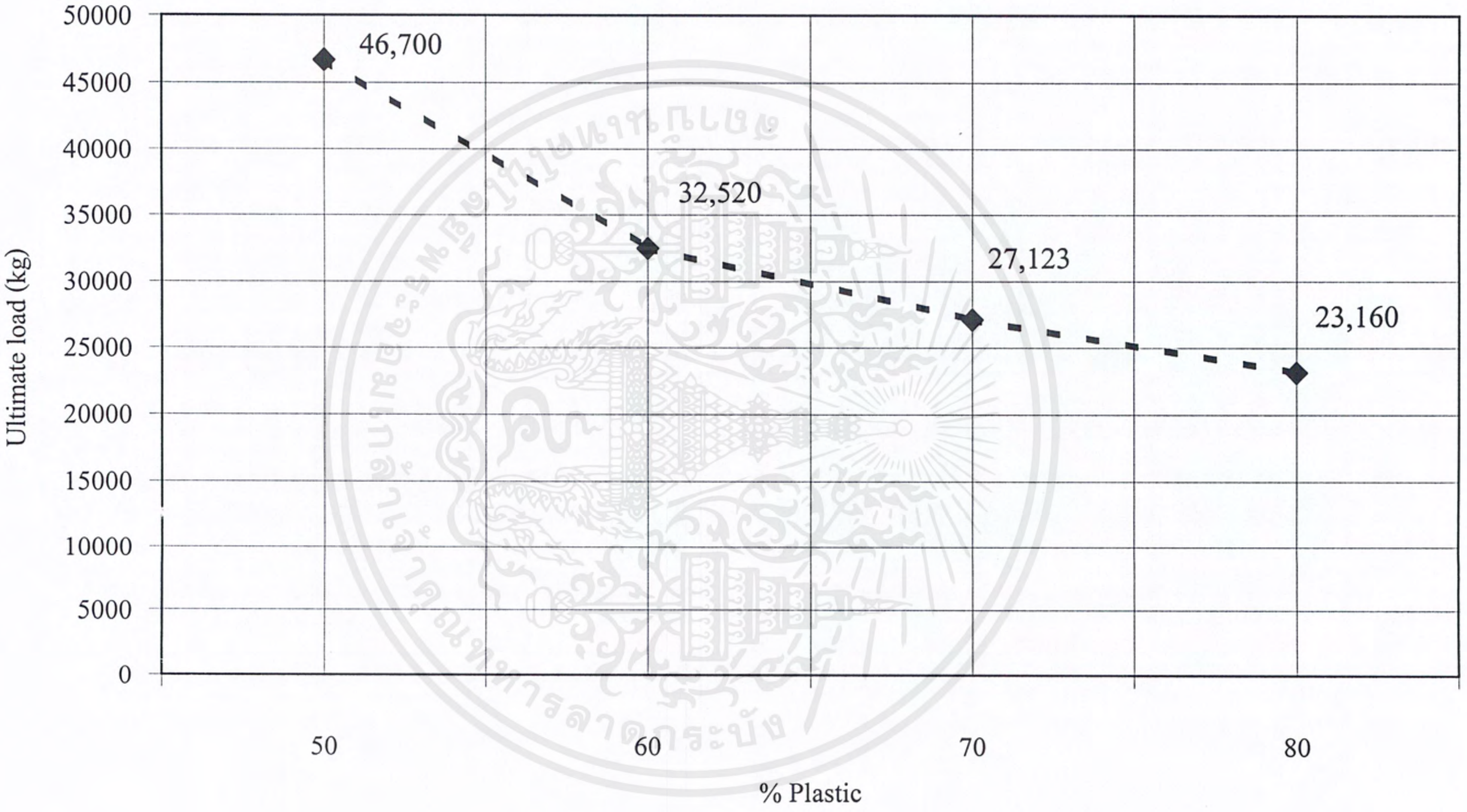
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80 % โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% Plastic	Dimention		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load (kg)	Max Displacement	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High						
50	0.0224	0.1493	7.033	2102.61	7	46700	1.894	208.478
60	0.02225	0.149	6.43	1940.50	7	32520	1.965	146.153
70	0.02225	0.1493	5.93	1785.63	7	27123.33	2.179	121.902
80	0.02225	0.1493	5.367	1615.17	7	23160	1.856	104.101

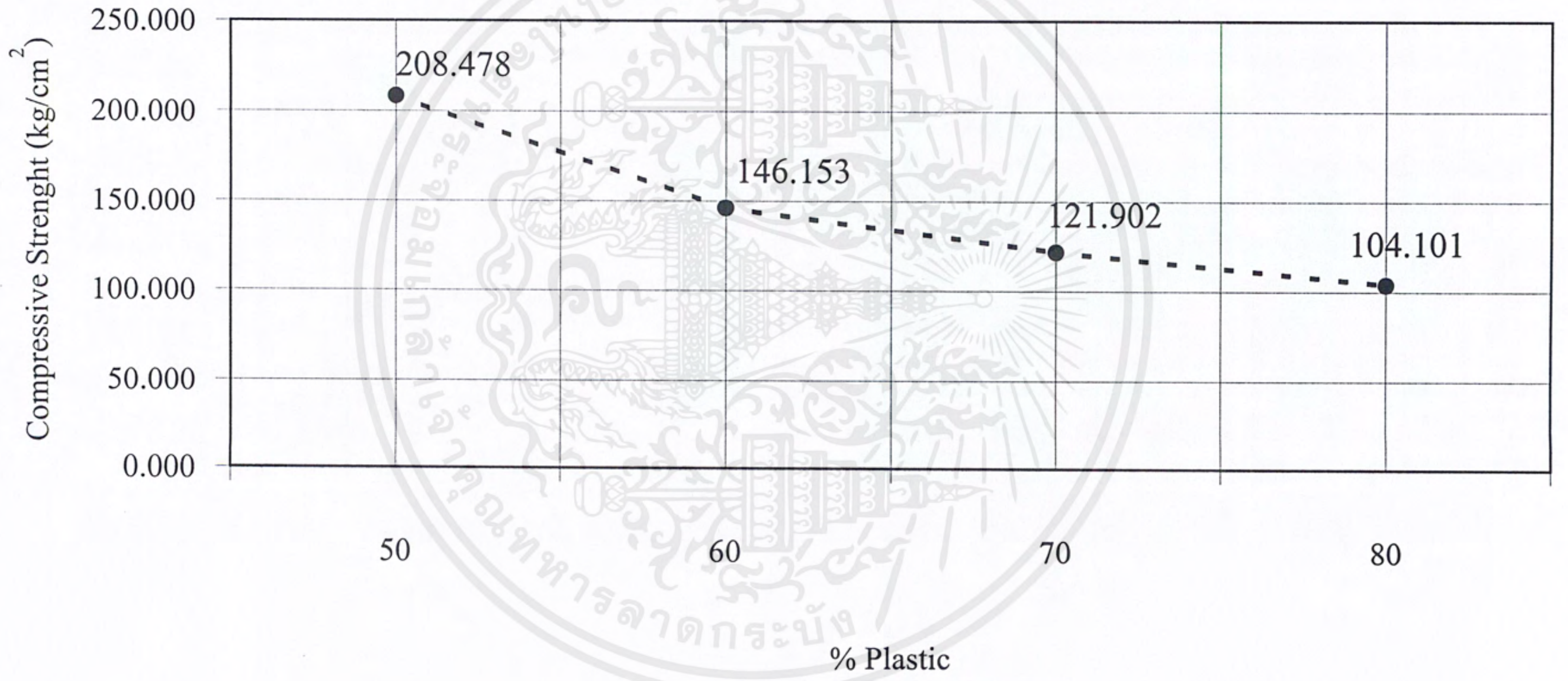
ตารางที่ 5.6 ค่าโดยเฉลี่ยของผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ % ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



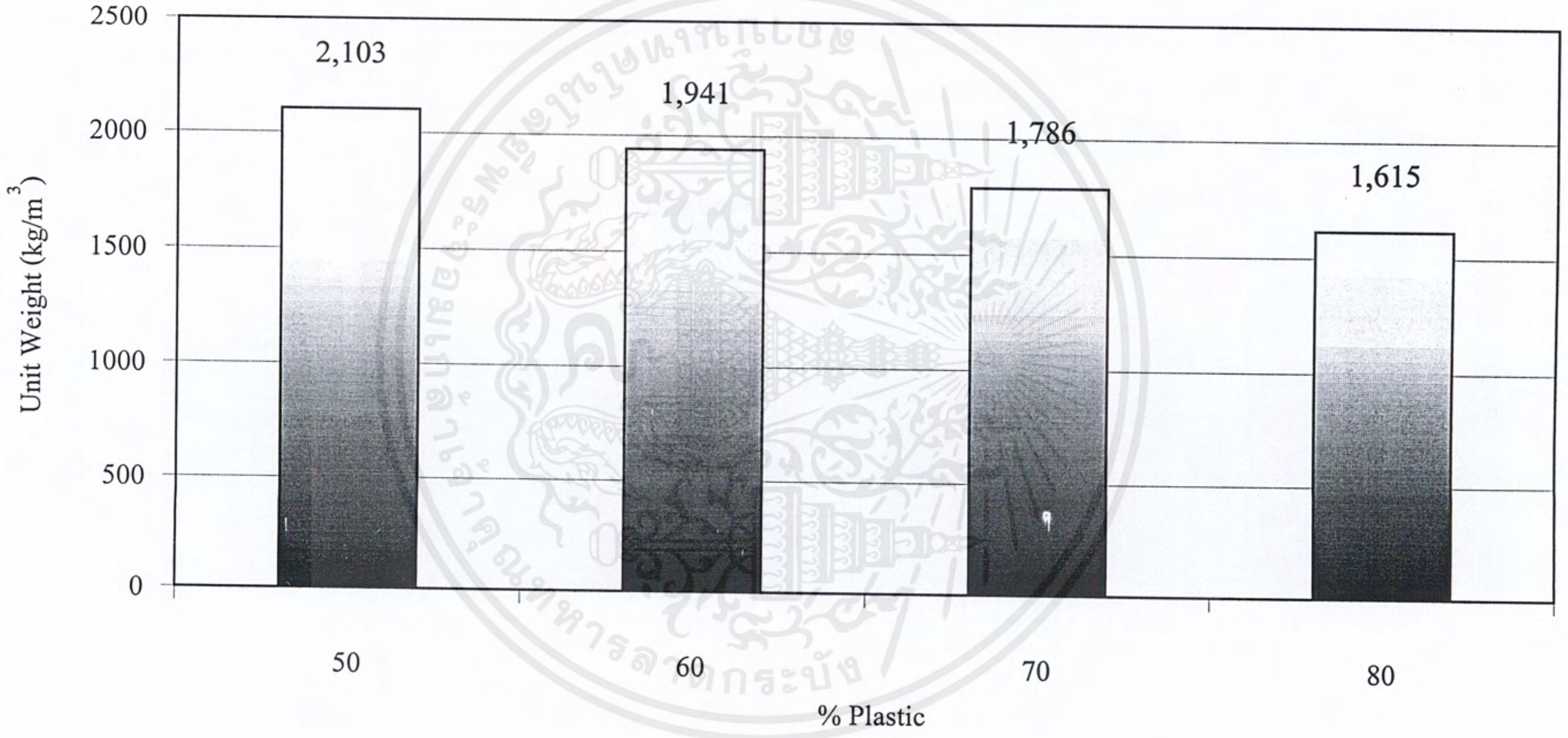
รูปที่ 5.16 กราฟแรงประลัยของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



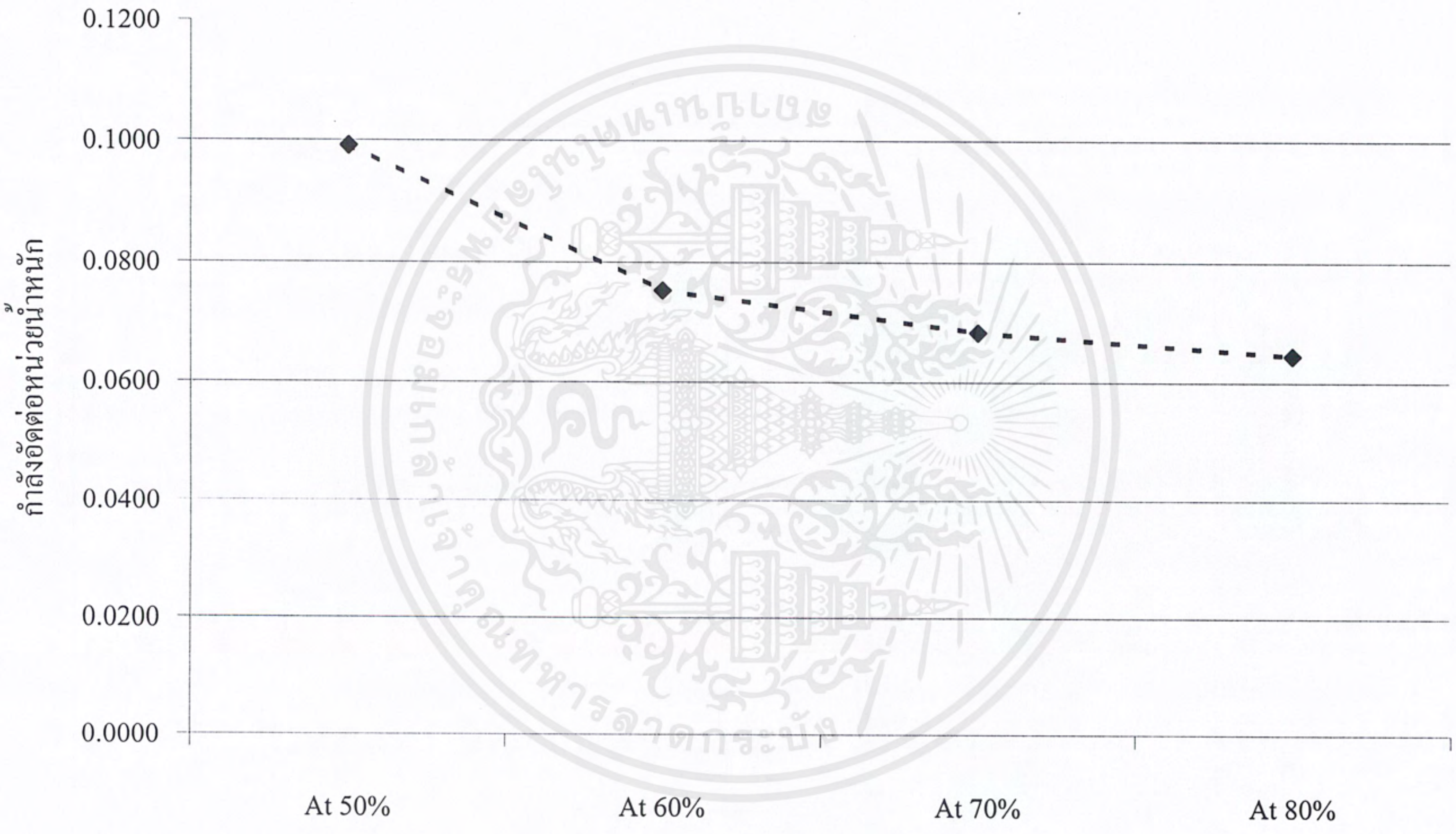
รูปที่ 5.17 ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



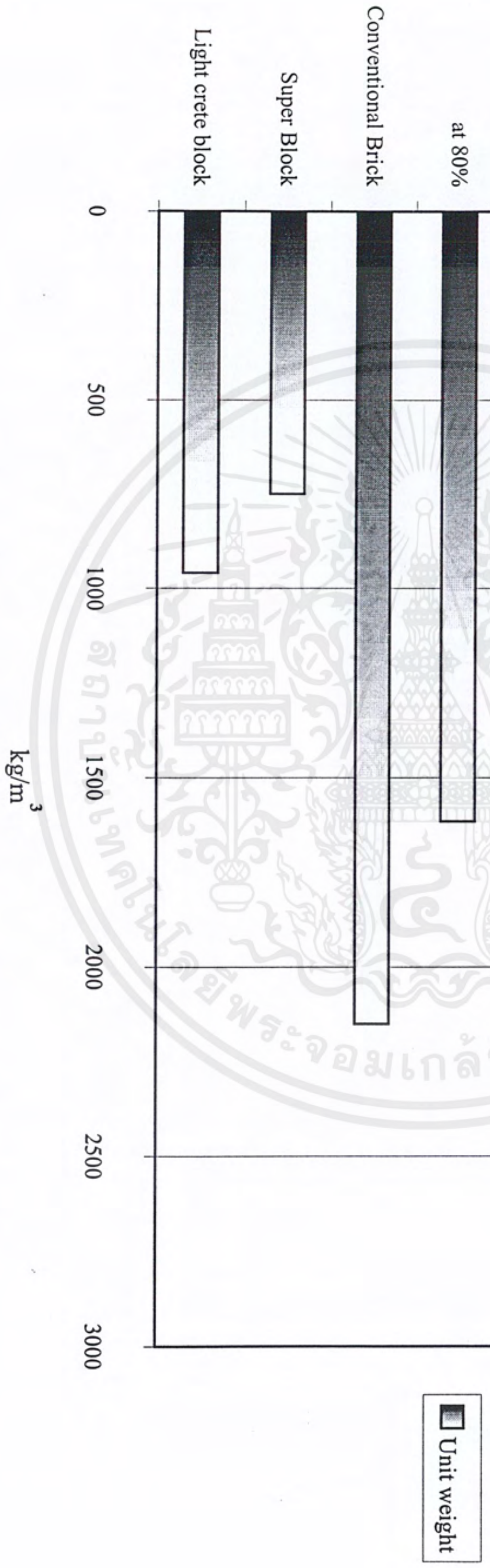
รูปที่ 5.18 แผนภูมิแท่งแสดงหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



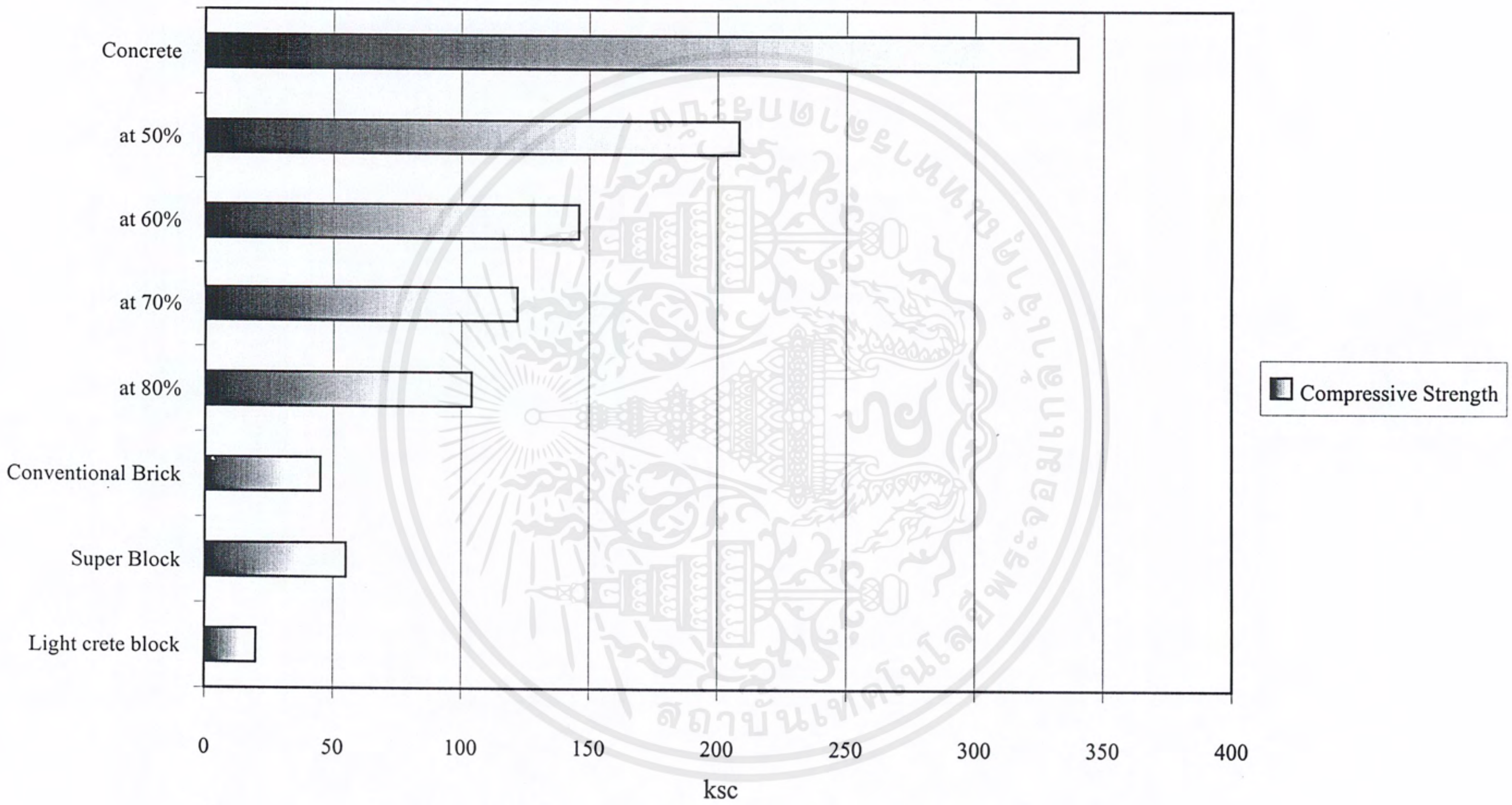
รูปที่ 5.19 ค่ากำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



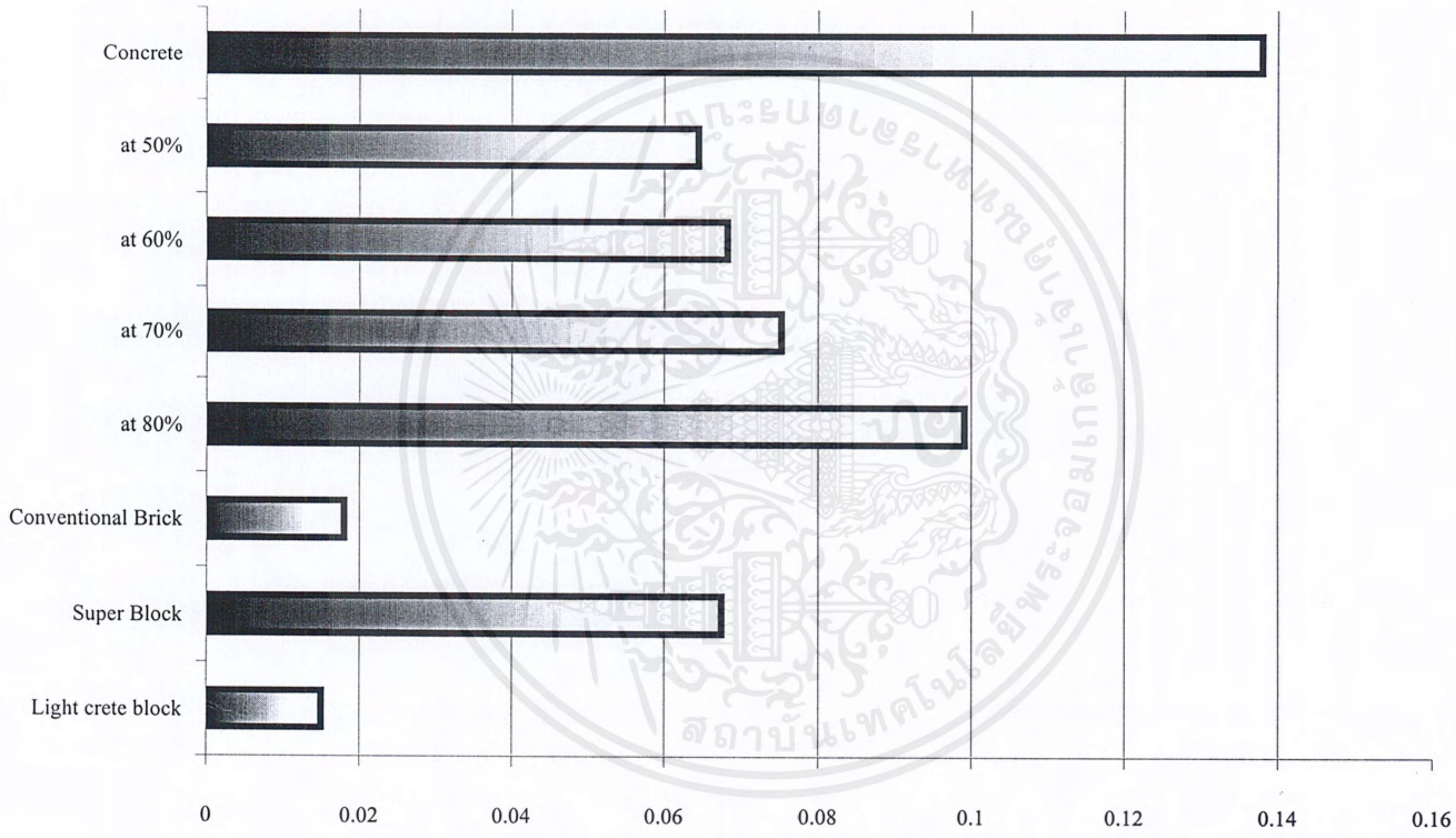
รูปที่ 5.20 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเบาชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเบาชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่ผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50% 60% 70% และ 80% โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด สามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

6.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากรูปที่ 5.14 และ 5.15 จะเห็นได้ว่าลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์นั้น นับว่าเป็นลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างที่ถูกต้อง คือ แตกเป็นรูปปิรามิด หรือเรียกว่า Explosive failure ฉะนั้นค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบ จึงถือว่าเป็นค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดจริงของคอนกรีต

จากรูปที่ 5.16 และ 5.17 เมื่อผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอัตราส่วนมากขึ้น ค่าแรงประลัยและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะลดลง คาดว่าเนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าหิน เมื่อผสมลงในคอนกรีตมากขึ้นจึงทำให้คอนกรีตนั้นมีกำลังรับแรงอัดลดลงจึงทำให้ค่าแรงประลัยลดลงด้วย แต่อัตราการลดนั้นมีแนวโน้วน้อยลง (จากการที่เส้นกราฟมีความชันลดลง) แสดงว่า เมื่อผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลจนถึงค่าหนึ่งกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากและกำลังรับแรงอัดของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลก็มีค่าสูงอยู่พอส มควร

จากรูปที่ 5.18 จะเห็นว่า หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีน้ำหนักเบากว่าหินและทรายเมื่อผสมลงในคอนกรีตมากขึ้น จึงทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักน้อยลงกว่าคอนกรีตปกติ

จากรูปที่ 5.19 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล จะเห็นว่าความชันของเส้นกราฟมีค่าน้อยลง จึงวิเคราะห์ว่าการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลลงในคอนกรีตส่งผลต่อการลดน้ำหนักมากกว่าการลดกำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.20 เป็นการเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลกับคอนกรีตมวลเบาอื่นๆ พบว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตปกติและน้อยกว่าอิฐธรรมดา แต่มากกว่าคอนกรีตเบาอื่นแม้ว่าจะใส่เม็ดพลาสติกถึง 80 % ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเนื่องมาจากเทคโนโลยีการผลิต

จากรูปที่ 5.21 เป็นการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลกับคอนกรีตมวลเบาอื่นๆ พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมากกว่าอิฐธรรมดาและมากกว่าคอนกรีตเบาชนิดอื่นๆ อาจจะเนื่องมาจากมีซีเมนต์เพลสมากกว่าคอนกรีตมวลเบาชนิดอื่นๆ

จากรูปที่ 5.22 เป็นการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลกับคอนกรีตมวลเบาอื่นๆ จะเห็นว่าคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ มีค่ากำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตปกติ แต่ก็มากกว่าอิฐธรรมดาและมากกว่ามวลเบาอื่น ยกเว้นที่ 50% ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักน้อยกว่า Super Block เล็กน้อย

6.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมด สรุปได้ว่าการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลลงในคอนกรีตที่ 50% 60% 70% และ 80% โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด ทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักน้อยลงและกำลังรับแรงอัดลดลงด้วย

ตารางที่ 6.1 เปอร์เซ็นต์ของหน่วยน้ำหนักที่ลดลงจากคอนกรีตปกติ

% Plastic	Unit Weight คอนกรีตผสมเม็ดพลาสติก	Unit Weight คอนกรีตปกติ	% ของหน่วยน้ำหนักที่ลดลงจากคอนกรีตปกติ
50	2103	2400	12.38
60	1941	2400	19.13
70	1786	2400	25.58
80	1615	2400	32.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานควรจะเป็น 80% เพราะยังสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ (อยู่ในช่วง 100-180 ksc ตามตารางที่ 2.5) และมีน้ำหนักเบาที่สุด แต่หากคำนึงถึงด้านราคาในการผลิตแล้ว ควรจะเลือกคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 70% มาใช้ในการทำอิฐ

จากการวิเคราะห์ดังกล่าว เราเลือกที่จะผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ 70% เพื่อทำเป็นก้อนอิฐ ส่วนน้ำหนักก้อนอิฐที่หล่อออกมานั้น

- อิฐแนวข้างมีน้ำหนักประมาณ 9 กิโลกรัมต่อ 1 ก้อน เทียบกับคอนกรีตปกติที่ หนักประมาณก้อนละ 13 กก.
- อิฐตัวแทรกมีน้ำหนักประมาณ 6 กิโลกรัมต่อ 1 ก้อน เทียบกับคอนกรีตปกติที่หนักประมาณก้อนละ 8.5 กก.
- อิฐมุมมีน้ำหนักประมาณ 11 กิโลกรัมต่อ 1 ก้อน เทียบกับคอนกรีตปกติที่หนักประมาณก้อนละ 16.7 กก.

เมื่อนำก้อนอิฐมาลองก่อเป็นกำแพงแล้ว พบว่าน้ำหนักก้อนอิฐที่เบาขึ้นช่วยให้การทำงานทำได้ง่าย สะดวกและรวดเร็วขึ้นมาก นั่นแสดงให้เห็นว่าการลดน้ำหนักของคอนกรีตส่งผลดีต่อการทำงานของระบบอิฐบล็อคแบบล็อคในตัว

6.3 ข้อเสนอแนะ

1) ในอนาคตหากค่าจ้างแรงงานสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าก่อสร้างสูงขึ้นตามไปด้วย ระบบก้อนอิฐแบบล็อคในตัวสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานที่ต้องใช้ฝีมือลงได้ เนื่องจากระบบก้อนอิฐแบบล็อคในตัวไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีฝีมือดีในการทำงานก็สามารถได้ผลงานที่มีคุณภาพ
2) เนื่องจากความต้องการใช้พลาสติกนั้นมีเพิ่มมากขึ้น ตามจำนวนประชากรโลก ขยะพลาสติกจึงมีแนวโน้มที่จะมรมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งขยะพลาสติกนั้นเป็นขยะที่ไม่สามารถทำลายได้ง่ายๆ ในเวลาอันสั้น โครงงานนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการใช้ Plastic Recycle และลดปริมาณขยะพลาสติกลงได้
3) เหมาะที่จะใช้กับโครงการณ์ก่อสร้างที่มีข้อจำกัดในด้านเวลา เนื่องจากระบบก้อนอิฐแบบล็อคในตัวเป็นระบบที่สามารถสร้างได้เร็วและได้ผลงานที่ดีมีคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่1, (กรุงเทพฯ : เดอะพริ้นท์ อินเตอร์เนชั่นแนล, 2536), 87-95 และ 120-142

- K.B. Anand and K. Ramamurthy, "Development and Performance Evaluation of Interlocking-Block Masonry", Journal of Architectural Engineering No.11 : 45-51.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- K.B. Anand and K. Ramamurthy, 2000. Development and Performance Evaluation of Interlocking-Block Masonry. Journal of Architectural Engineering No.11 : 45-51.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2536. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : เดอะพริ้นท์ อินเตอร์เน-ชั่นแนล
- กาญจนา ออมกระโทก และ อารีรัตน์ สุทธิ , 2536. วัสดุผสมสำหรับคอนกรีตเบา. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาบัณฑิต. โครงงานพิเศษ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อัศวิน เลิศโสภา โอภาส วิศรุตธรรม และ ปีใหม่ อาจสาคร , วัสดุผสมคอนกรีตและเศษโฟม. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาบัณฑิต. โครงงานพิเศษ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ผ.ก.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

เป้าหมายหลักของการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตหรือการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต มีด้วยกัน 2 ประการคือ

1) เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสมอันได้แก่ ปูน ซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ น้ำยาผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนด และวัตถุประสงค์ของการใช้งาน
2) คำนวณหาสัดส่วนผสมของวัสดุผสมนี้ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามขอกำหนด และการใช้งานทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ในราคาที่เหมาะสมที่สุด

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายข้างต้น ผู้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การหาได้ของวัสดุผสมคอนกรีต
2) การผันแปรในคุณสมบัติของวัสดุผสม
3) ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนผสมกับธรรมชาติของวัสดุผสม
4) การผันแปรของคุณสมบัติที่ต้องการในสภาพการใช้งาน

ผ.ก.2 ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการออกแบบ

การออกแบบและเลือกใช้คอนกรีตให้เหมาะกับงานก่อสร้างนั้น ที่จะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ซึ่งอาจกระทบต่อการเลือกใช้ คอนกรีตประเภทนั้นๆ โดยสามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ประการ คือ

1) ปัจจัยด้านราคา
2) ปัจจัยด้านเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ก.3 ปัจจัยด้านเทคนิค

วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาปัจจัยด้านเทคนิค ซึ่งแบ่งตามสภาพของคอนกรีตได้เป็น 2 ประการ คือ

1) สภาพที่คอนกรีตยังเหลวอยู่
2) สภาพที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

ผ.ก.3.1 สภาพที่คอนกรีตยังเหลวอยู่

ปัจจัยที่ต้องพิจารณา มีอยู่2 ประการ คือ

1) ความสามารถเทได้
2) การอยู่ตัว

โดยผู้ออกแบบควรเลือกคอนกรีตที่มีคุณสมบัติดังนี้

- มีความเหลวเพียงพอต่อการใช้งาน คือ คอนกรีตสามารถไหลลื่นเข้าไปเต็มทุกๆ ส่วนของแบบหล่อ
- ต้องไม่แยกตัวระหว่างการขนย้ายหรือการเท
- ต้องสามารถอัดตัวแน่นในแบบหล่อได้อย่างดี

วิธีการใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตที่ใช้กันแพร่หลาย คือ การวัดค่ายุบตัว ตัวอย่างค่ายุบตัวที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างทั่วๆ ไปในประเทศไทย แสดงในตารางที่ ผ.ก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.1 ค่าการยุบตัวที่เหมาะกับงานประเภทต่างๆ

งานก่อสร้าง	ค่ายุบตัว
โครงสร้างทั่วไป	7.5 ± 2.5
เสาหรือผนังบาง	10.0 ± 2.5
งานที่เทด้วยคอนกรีตปั๊ม	10.0 ± 2.5
เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่	มากกว่า 15.0
โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า 15.0

สำหรับปัจจัยด้านการอยู่ตัว หมายถึงคอนกรีตจะคงความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีตตลอดการใช้งาน โดยไม่เกิดการแยกตัวและไม่เกดการเยิ้ม ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการวัดการอยู่ตัว โดยทั่วไปจะใช้การสังเกตุเป็นหลัก

ผ.ก.3.2 สภาพที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

ปัจจัยที่ต้องพิจารณา มีปัจจัยสำคัญที่ผู้ออกแบบต้องพิจารณา 2 ประการ คือ

1) กำลัง
2) ความคงทน

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญรองลงมาอีก 2 ประการ คือ

1) การเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก
2) การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก

โดยทั่วไป กำลังเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและคุณภาพของคอนกรีตก็จะพิจารณาจากกำลังอัด ในหลายๆ กรณี คุณสมบัติอื่นๆ อาจมีความสำคัญมากกว่า เช่น คอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่ต้องป้องกันน้ำหรือถังเก็บน้ำ จำเป็นต้องมีคุณสมบัติสำคัญ คือ มีการซึมผ่านของน้ำและอากาศต่ำ และมีการหดตัวต่ำ การเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์เพื่อเพิ่มกำลังอัดจะส่งผลให้เกิดการหดตัวมากซึ่งมีผลเสียอย่างมากต่อคุณสมบัติด้านความคงทนและการซึมผ่านของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตจะแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ คือ ชนิดของโครงสร้างและสภาพแวดล้อมขณะใช้งานในหลายๆ กรณี ข้อกำหนดจะเกี่ยวข้องกับ

1) กำลังอัดต่ำสุดที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปใช้เป็นข้อกำหนดหลักในงานคอนกรีต
2) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด เพื่อความทนทานของโครงสร้าง
3) ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำสุดเพื่อความทนทานของโครงสร้าง
4) ปริมาณปูนซีเมนต์สูงสุดเพื่อลดการแตกร้าวในโครงสร้างขนาดใหญ่
5) ความหนาแน่นต่ำสุด เพื่องานก่อสร้างบางประเภทเช่นเขื่อนหรือโครงสร้างป้องกันรังสีต่างๆ

แต่ยังมีข้อกำหนดซึ่งระบุคุณสมบัติเฉพาะของคอนกรีตที่ต้องการ เช่น

1) กำหนดให้ได้กำลังอัดในเวลารวดเร็วใช้สำหรับงานซ่อมแซม,งานถอดไม้แบบเร็ว หรืองานคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น
2) กำหนดให้สามารถทนทานซัลเฟตได้ดี
3) กำหนดให้มีความเหลวมากหรือป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี เป็นต้น

ผ.ก.4 ปัจจัยด้านราคา

นอกจากปัจจัยด้านเทคนิคแล้ว ผู้ออกแบบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาปัจจัยด้านราคาด้วย ซึ่งไม่ใช่เฉพาะค่าวัสดุแต่รวมไปถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการกองเก็บวัสดุดิบ การชั่งตวง การผสม การลำเลียง ค่าใช้จ่ายในการเท และทำให้คอนกรีตแน่น รวมไปถึงค่าควบคุมงานคอนกรีต โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผ.ก.4.1 วัสดุ

คอนกรีตประกอบด้วย หิน ทราย ซีเมนต์ น้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต หรืออาจมีวัสดุเพิ่มช่วยปรับปรุงให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับราคาที่ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงได้แก่

1) การหาได้ของวัสดุพื้นฐาน

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุพื้นฐานในภูมิภาคนั้นๆ ว่าหาได้หรือไม่ เพราะถ้าจำเป็นต้องหาแหล่งอื่นค่าใช้จ่ายโดยรวมอาจจะสูงมาก ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้ออกแบบต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ จำเป็นอยางยิ่งที่จะต้องใช้คอนกรีตที่มีความร้อนจากปฏิกริยาไฮเดรชั่นต่ำ แต่ในประเทศไทยไม่มีการผลิตซีเมนต์ประเภทความร้อนต่ำ (ประเภท 4) ผู้ออกแบบจะต้องดัดแปลงส่วนผสมคอนกรีต เช่น ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตหรือในบางภูมิภาคของประเทศไทยสามารถหากรวดได้ง่ายและราคาถูกว่าหินย่อย ดังนั้นอาจกำหนดให้ใช้กรวดแทนหินย่อยได้โดยคุณสมบัติอื่นๆ เช่น กำลัง-อัด , ความสามารถเทได้ ต้องได้ตามข้อกำหนดของงาน เป็นต้น

2) การผันแปรของคุณภาพวัสดุ

วัถุดิบที่มีความผันแปรของคุณภาพมาก เมื่อนำมาใช้ผสมเป็นคอนกรีต จะก่อให้เกิดต้นทุนการควบคุมที่สูง เพื่อที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด

ผ.ก.4.2 สัดส่วนผสม

วัสดุพื้นฐานต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น จะส่งต่อราคาของคอนกรีต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

1) ลักษณะทั่วไปของวัสดุผสม

วัสดุผสมที่ลักษณะแตกต่างกัน จะส่งผลต่อสัดส่วนเพื่อให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตตามต้องการ เช่น หินที่มีรูปร่างกลมมน จะใช้น้ำปริมาณน้อยกว่าหินที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมหรือที่มีลักษณะแบนหรือทรายที่มีความละเอียดจะใช้น้ำที่มากกว่าทรายหยาบ เมื่อต้องการคอนกรีตที่ความ-สามารถเทได้เท่าๆ กันนั่นคือ ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมจะแตกต่างกันราคาคอนกรีตก็จะแตกต่างกันด้วย

2) ชนิดของโครงสร้าง

โครงสร้างคอนกรีตที่มีความสำคัญมากๆ เช่น เขื่อนหรือผนังห้องปฏิกรณ์ปรมาณู การออกแบบจำเป็นต้องใช้คอนกรีตที่มีส่วนเผื่อ มากกว่าคอนกรีตโครงสร้างทั่วๆ ไป เพื่อให้ได้ความทน-ทานที่สูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อราคาคอนกรีต เป็นต้น

ผ.ก.4.3 วิธีการทำงาน

ขบวนการลำเลียงวัตถุดิบ วิธีการผสม การลำเลียงคอนกรีตสู่สถานที่เทรวมทั้งการทำให้คอนกรีตอัดแน่น ล้วนแต่กระทบต้นทุนของคอนกรีต ที่ผู้ออกแบบต้องนำมาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ก.4.4 การควบคุมงานคอนกรีต

ต้นทุนการควบคุมงานคอนกรีตรวมตั้งแต่ต้นทุนการควบคุมคุณภาพคอนกรีต ณ หน่วยงานก่อสร้าง จนเริ่มใช้งานโครงสร้างนั้น

ผ.ก.5 ความสัมพันธ์ที่มีประโยชน์ในการออกแบบ

ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อการออกแบบ คือ

ผ.ก.5.1 กำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

สำหรับวัสดุผสมคอนกรีตที่กำหนดให้ ค่ากำลังจะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ตาม Ablam's Law ดังนี้

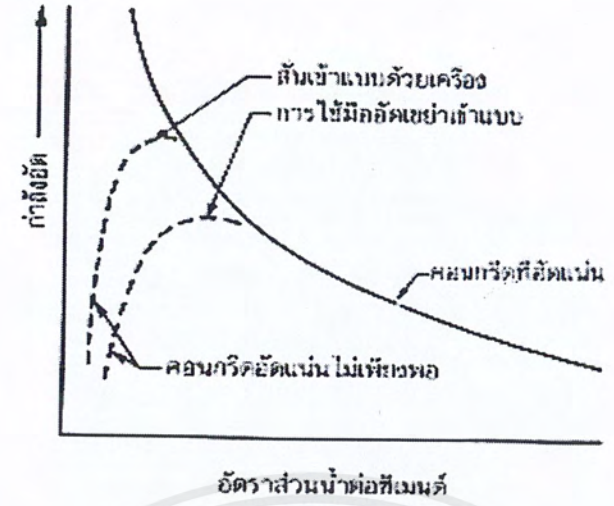
$$f_{cm} = \frac{A}{B^{1.5w/c}} \qquad \text{(ผ.ก.1)}$$

โดย ;

- f_{cm} คือ ค่ากำลังอัดของคอนกรีต ณ อายุที่กำหนด
- A คือ ค่าคงที่
- B คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของซีเมนต์และค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก

ตามสมการนี้ จะพบว่ากำลังอัดจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ค่าความสัมพันธ์นี้ สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ ผ.ก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตรส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ผ.ก.5.2 คุณสมบัติของมวลรวมกับปริมาณน้ำและความสามารถเทได้ของคอนกรีต

1) รูปร่างและลักษณะผิว

2) ขนาดและส่วนคละ

- ขนาดคละของมวลรวม
- ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม
- อัตราส่วนของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบ

3) ปริมาณความชื้น

- การดูดซึมของน้ำและความชื้นที่ผิว
- ภารเพิ่มขึ้นของปริมาตรของทราย

4) ความถ่วงจำเพาะ

5) หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดและส่วนคละของมวลรวม

ผ.ก.5.3 ความสามารถเทได้ของคอนกรีต

จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม กล่าวคือ ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น แต่ความสัมพันธ์นี้จะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง เมื่อคุณสมบัติของวัสดุผสมเปลี่ยนไป รวมทั้งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใช้วัสดุผสมพิเศษอื่นๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีหลายวิธี ผู้ออกแบบควรกำหนดวิธีที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ ผ.ก.2

ตารางที่ ผ.ก.2 วิธีการวัดค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีต

ประเภทของคอนกรีต	วิธีการวัดค่าความสามารถเทได้
1) คอนกรีตแข็งหรือกระด้างมาก	วัดโดยหาค่าเวลาVabe (Vabe Test)
2) คอนกรีตทั่วๆ ไป	วัดค่ายุบตัว (Slump Test)
3) คอนกรีตเหลวมาก	วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออก(Flow Test)

ผ.ก.5.4 ต้นทุนและประสิทธิภาพการใช้งาน

เป้าหมายที่สำคัญที่สุดของการหาสัดส่วนผสมคอนกรีต ก็เพื่อที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามข้อกำหนดและการใช้งาน ในราคาถูกที่สุด

โดยทั่วไปข้อกำหนดของงานคอนกรีต สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1) การกำหนดคุณสมบัติทั่วๆ ไป เช่น

- ค่ายุบตัวมาตราฐาน
- ค่ากำลังอัดทั่วๆ ไป
- ความทนทานทั่วๆ ไป

การที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ทำได้โดยกำหนดสัดส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำที่สุดและใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การกำหนดคุณสมบัติพิเศษ

- มีความสามารถเทได้สูงมากๆ
- เกิดความร้อนจากปฏิกริยาไฮเดรชั่นไม่สูงมาก
- กำลังอัดสูงหรือกำลังอัดสูงในเวลารวดเร็ว
- ความทนทานพิเศษต่างๆ เช่น ทนต่อซัลเฟต เป็นต้น

คอนกรีตพวกนี้อาจจำเป็นต้องใช้วัสดุพิเศษประเภทอื่นๆ เป็นส่วนผสมด้วย เช่น ปูน-ซีเมนต์และวัสดุทดแทนซีเมนต์ เช่น ปูนปอร์ตแลนด์ประเภท 3 ,ปูนปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟต (ประเภท 5), PFA , GGBS , หรือ MS

สารผสมเพิ่ม เช่น สารเร่งหรือหน่วงการก่อตัว, สารลดน้ำ, หรือสารลดน้ำจำนวนมาก, สารกักกระจายฟองอากาศ

มวลรวมพิเศษ เช่น มวลรวมหนัก, มวลรวมเบา, มวลรวมที่มีการหดตัวน้อยมาก

ผ.ก.6 ประเภทของสัดส่วนผสมคอนกรีต

สัดส่วนผสมคอนกรีตสามารถแยกประเภทได้ดังนี้

1) สัดส่วนผสมโดยปริมาตร

ผู้ออกแบบจะกำหนดอัตราส่วน โดยปริมาตรของปูนซีเมนต์, ทราย, หิน เช่น 1:2:4 คือ ใช้ปูน 1 ส่วน,ทราย 2 ส่วน,และหิน 4 ส่วนโดยปริมาตร วิธีการนี้เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็กๆ เท่านั้น

2) Prescribed Mix

วิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างหรือผู้รับเหมาจะกำหนดสัดส่วนผสมสำหรับโครงการก่อสร้างหนึ่งๆ รวมทั้งรับผิดชอบว่าสัดส่วนผสมนี้ จะสามารถผลิตเป็นคอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Designed Mix

ผู้ผลิตคอนกรีต เช่น ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ จะเป็นผู้กำหนดส่วนผสมเพื่อให้ตรงกับความต้องการตามข้อกำหนด รวมทั้งต้องรับผิดชอบต่อสัดส่วนผสมนี้ว่าเป็นไปตามความต้องการ

4) สัดส่วนผสมมาตราฐาน (Standard Mix)

ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ผลิตและเก็บรวบรวมคุณสมบัติของคอนกรีตมาเป็นเวลานาน จนได้ข้อมูลมากำหนดเป็นสัดส่วนผสมมาตรฐาน

ผ.ก.7 มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

ดังที่ได้ทราบแล้วว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความผันแปรเนื่องจากองค์ประกอบอื่นๆ มากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต จะต้องทำการทดสอบหาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ เก็บรวบรวมข้อมูล นำข้อมูลมาวิเคราะห์และใช้หลักวิชาสถิติมาช่วยในการออกแบบ โดยจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดสูงกว่าที่ข้อกำหนดของงานกำหนดไว้ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$f_{cr} = fc' + ks \qquad (ผ.ก.2)$$

โดย ; f_{cr} คือ Target Mean Strength หรือกำลังอัดเฉลี่ยที่ผู้ผลิตคอนกรีตต้องผลิต

fc' คือ กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

ks คือ ส่วนเผื่อซึ่งประกอบด้วยค่า

เมื่อ k คือ ค่าคงที่

s คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดจากก้อนตัวอย่าง 30 ค่าหรือมากกว่า

ค่า k ในสมการนี้ได้มาจากหลักวิชาสถิติในเรื่องเกี่ยวกับการแจกแจงความถี่มาตรฐาน โดยค่า k จะเพิ่มขึ้นถ้าต้องการให้กำลังอัดต่ำกว่าที่ต้องกาลดลง ดังแสดงค่าในตารางที่ ผ.ก.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.3 ค่าคงที่ k และค่าร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c'

ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า f_c'	ค่า k
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

ผ.ก.8 การผันแปรของกำลังอัด

ตามมาตรฐานการออกแบบคอนกรีต ค่าส่วนเผื่อจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด หรือค่าผันแปรของกำลังอัด นั่นเอง

การผันแปรของกำลังอัดคอนกรีต แบ่งได้เป็น 2 ประเด็นคือ

1) การผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต
2) การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ ผ.ก.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.4 สรุปสาเหตุของการผันแปรของกำลังอัด

การผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต (ผันแปรในขบวนการผลิต)	การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ (ผันแปรในขบวนการควบคุมคุณภาพ)
- การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	วิธีการสุ่มตัวอยางไม่เหมาะสม
- ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่ดีพอ	วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน
- ความชื้นในหินและทรายมีการเปลี่ยนแปลงมาก	- ปริมาณการกระทุ้ง
การผันแปรในปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสม	- การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง
- ส่วนขนาดคละของหินและทราย	- การดูแลตัวอย่างคอนกรีตสด
- วัสดุผสมมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ	การเปลี่ยนแปลงจากการบ่ม
การผันแปรในคุณภาพและอัตราส่วนผสมของวัสดุ	- อุณหภูมิ
- หิน, ทราย	- ความชื้น
- ซีเมนต์	วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี
	- การหล่อฝา
	- การทดสอบกำลังอัด

ผก.9 การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา

ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอเมริกานี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ กล่าวคือ

1) ปูนซีเมนต์

ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 188 แต่สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทั่วไป

2) มวลรวม

- ขนาดคละ ควรมีส่วนคละตามมาตรฐาน ASTM C 33
- ความถ่วงจำเพาะ ทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128

  หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

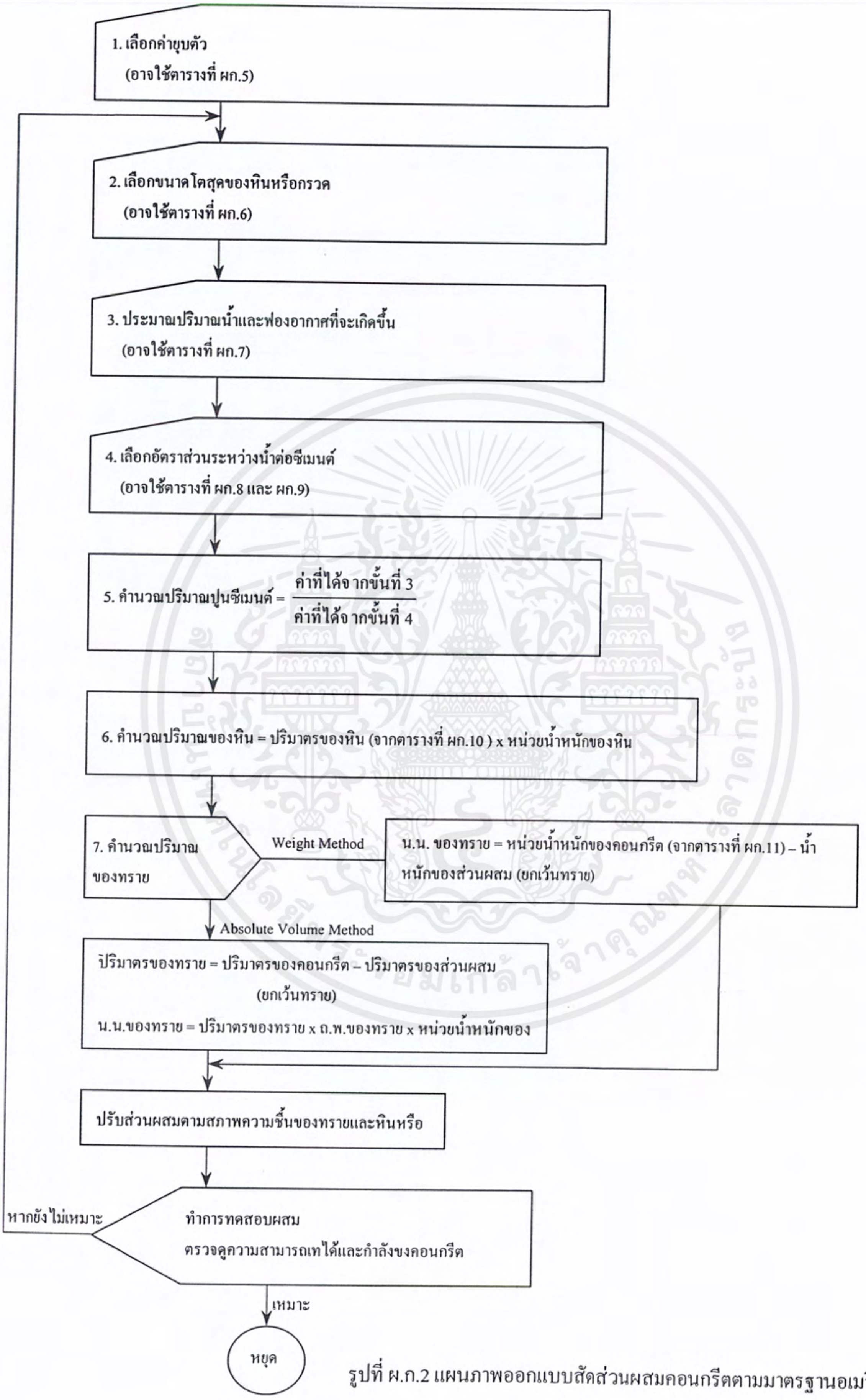
- ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 70 และ ASTM C 566
- ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 125
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 29

เมื่อทราบคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวแล้ว จึงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามขั้นตอนที่แสดงในแผนภาพรูปที่ ผ.ก.2

ตารางที่ ผ.ก.5 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่าความยุบตัว	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพงคอนกรีต	8	2
เสริมเหล็ก		
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	8	2
งานก่อสร้างใต้น้ำ		
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีต	10	2
เสริมเหล็ก		
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10	2
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริม	8	2
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.2 แผนภาพออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.6 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ขนาดความหนา ของโครงสร้าง (cm)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนังและเสา คสล.		ผนังคอนกรีต ไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีต รับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม	นิ้ว	มม	นิ้ว	มม	นิ้ว	มม
5.0-15.0	1/2 3/4	12.5-20	3/4	20	3/4 - 1	20-25	3/4 - 1 1/2	20-40
15.0-30.0	3/4 - 1 1/2	20-40	1 1/2	40	1 1/2	40	1 1/2 - 3	40-75
30.0-75.0	1 1/2 - 3	40-75	3	75	1 1/2 - 3	40-70	3	75
มากกว่า 75	1 1/2 - 3	40-75	6	150	1 1/2 - 3	40-75	3 - 6	75-150

ตารางที่ ผ.ก.7 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยับตัวและวัสดุผสมขนดต่างๆ

ค่าความยุบตัว (ซม.)	นกรีต 1 ม^3 สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	3/8 " (10 มม.)	1/2 " (12.5 มม.)	3/4 " (20 มม.)	1 " (25 มม.)	1 1/2 " (40 มม.)	2 " (50 มม.)	3 " (75 มม.)	6 " (150 มม.)

คอนกรีตที่ไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศ (Non Air Entraining Concrete)

3 - 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 - 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 - 18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

คอนกรีตที่มีสารกักกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)

3 - 5	170	175	165	160	145	140	135	120
8 - 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 - 18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.8 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้ สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลาหรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีตกักกระจายฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำทะเลหรือสัมผัสกับซัลเฟต
โครงสร้างบางๆที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่นๆ	0.50	0.45*

* ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก 0.05

ตารางที่ ผ.ก.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่ใส่สารกักกระจายฟองอากาศ	คอนกรีตใส่สารกักกระจายฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

หมายเหตุ:ค่าที่ใช้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงมาตราฐาน ϕ 15x30 ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.10 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่างๆ กัน			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8" (10 มม.)	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2" (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.6
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2" (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.7
2" (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ: ค่าที่กำหนดให้ เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วๆ ไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น เพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10%

ตารางที่ ผ.ก.11 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุดของหิน	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	
	คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกักกระจายฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้สารกักกระจายฟองอากาศ
3/8" (10 มม.)	2285	2190
1/2" (12.5 มม.)	2315	2235
3/4" (20 มม.)	2355	2280
1" (25 มม.)	2375	2315
1 1/2" (40 มม.)	2420	2355
2" (50 มม.)	2445	2375
3" (75 มม.)	2465	2400
6" (150 มม.)	2505	2435

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสม

ผ.ข.1 : การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

ผ.ข.1.1 วัตถุประสงค์

เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ คืออัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรเนื้อแท้ของตัวมันเอง ซีเมนต์แต่ละชนิดจะมีความถ่วงจำเพาะเฉพาะตัวคงที่เสมอไป เมื่อใดที่ซีเมนต์เสื่อมคุณภาพลง ความถ่วงจำเพาะจะต่ำกว่าปกติและเราจะรู้ว่าซีเมนต์นี้ใช้ได้หรือไม่จากการลดลงของความถ่วงจำเพาะนี้เอง ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทราบความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีต

ผ.ข.1.2 วัสดุและการจัดเตรียมตัวอย่าง

1) ซีเมนต์ ซีเมนต์ที่นำมาใช้ทดสอบเปรียบเทียบแต่ละชนิด ควรเป็นซีเมนต์ใหม่ยังไม่เสื่อมคุณภาพหรือจับเป็นก้อนแข็ง หากเป็นซีเมนต์ใหม่ให้ตักออกจากถุงหรือภาชนะเก็บได้เลยตามจำนวนต้องการ (ประมาณครั้งละ 100 กรัม) หากเป็นซีเมนต์เก่าให้เลือกตักจากส่วนตอนกลางถุงหรือภาชนะเก็บในปริมาณ 5 กก. แล้วนำมาทำ quartering คือ การเก็บตัวอย่างแบบแบ่งเป็น 4 ส่วนแล้วเลือกเอาเฉพาะสองส่วนตรงข้ามมาใช้ หรือนำมาแบ่งเป็นสี่ส่วนซ้ำอีก เพื่อให้เหลือปริมาณที่ต้องการ
2) น้ำมันก๊าด หรือน้ำมันเบนซิน ประมาณ 500 มิลลิลิตร

ผ.ข.1.3 อุปกรณ์การทดลอง

1) ขวดแก้วสำหรับหาความถ่วงจำเพาะของเลซาตาเลีย
2) ตาชั่ง (ความละเอียดอย่างต่ำ 0.2 กรัม)
3) ถ้วยตวง
4) ลวดแยง
5) ผ้าแห้งหรือแผ่นยาง
6) เทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ข.1.4 ขั้นตอนการทดลอง

1) เช็ดขวดแก้วให้สะอาด แล้วเติมน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันเบนซินลงในขวดแก้วให้ปริมาณอยู่ระหว่าง 250 มล. และ 251 มล.
2) ใช้ผ้าถูน้ำมันที่ค้างอยู่ภายในช่องหลอดตีบให้หมด เสร็จแล้วนำขวดแก้วแช่ลงในน้ำที่ทราบอุณหภูมิอย่างน้อย 30 นาที จึงยกขึ้นมาอ่านระดับของน้ำมันครั้งแรก โดยให้ค่าที่อ่านได้เป็น n_1 เนื่องจากระดับของน้ำมันก๊าดไม่เรียบตรงเหมือนน้ำธรรมดา ระดับผิวของน้ำมันก๊าดนั้นจะเว้าเป็นรูปโค้งหงาย ดังนั้น การอ่านค่าระดับให้วัดที่จุดต่ำสุดของส่วนโค้ง
3) ค่อยๆเติมซีเมนต์ที่จัดเตรียมไว้ทีละน้อยลงในขวดแก้ว มีข้อควรระวังคืออย่าให้ซีเมนต์หก และอย่าให้มีสารอื่นเจือปน ถึงตอนนี้ระดับของน้ำมันก๊าดหรือเบนซินจะสูงขึ้นมาถึงคอขวดส่วนบน เมื่อเรียบร้อยแล้วให้กลิ้งขวดไปมาเพื่อไล่ฟองอากาศ การกลิ้งควรใช้ผ้าหรือแผ่นยางนุ่มๆรองรับ และข้อสำคัญคือ ควรปิดจุกขวดแก้วเสียก่อนเพื่อป้องกันการกระฉอกของน้ำมัน

**หมายเหตุ : ก่อนถึงขั้นตอนนี้หากเกรงว่าซีเมนต์จะขาดไปจากที่ได้เตรียมไว้ ให้นำขวดแก้วที่เติมน้ำมันก๊าดแล้วไปชั่งบันทึกน้ำหนักเสียก่อน และเมื่อเติมวีเมนต์แล้วจึงนำไปชั่งอีกครั้ง จะได้น้ำหนักที่แท้จริงของซีเมนต์ในขวดแก้ว

4) จากนั้นนไปแช่ในน้ำที่ทราบอุณหภูมิ นานประมาณ 30 นาที ก่อนยกขวดแก้วขึ้นให้ทำการตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำเสียก่อนว่าแตกต่างจากการวัดครั้งแรกเกิน 0.2 °C หรือไม่ หากเกินจะต้องรอจนกว่าณหภูมิจะลดหรือเพิ่มให้อยู่ภานในขอบเขตที่กล่าวแล้วจึงจะยกขวดขึ้นมาได้และอ่านระดับของน้ำมันก๊าดอีกครั้งหนึ่ง โดยให้เป็นระดับ n_2
5) ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์จะได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลองดังกล่าว 2 ครั้ง ค่าที่ได้จะต้องไม่ต่างกันเกิน 0.01 โดยการแทนค่าเพื่อหาความถ่วงจำเพาะจากสมการข้างล่างนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักซีมนต์ที่แท้จริงในขวดแก้ว}}{\text{ปริมาตรน้ำมันก๊าดที่เพิ่ม}(n_2 - n_1)} \qquad (\text{ผ.ข.1})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ข.2 : การทดสอบหาส่วนคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

(Seive Analysis ofFine and Coarese Aggregates) ASTM : C 136

ผ.ข.2.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดของมวลรวมคละโดยใช้ตะแกรงขนาดมาตรฐาน สำหรับหาค่าพิกัดความละเอียด (Fineness modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือ มวลรวมยิ่งหยาบค่าพิกัดความละเอียดก็ยิ่งสูงขึ้น

ผ.ข.2.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) มวลรวมละเอียด คือทรายประมาณ 500 กรัม
2) มวลรวมหยาบ คือ หินหรือกรวด ประมาณ 1000 กรัม
3) ตะแกรงขนาดมาตรฐาน เบอร์ 4,8,16,30,50 และ 100 สำหรับทราย
4) ตะแกรงขนาดมาตรฐาน ขนาด 3" ,2" ,1" ,3/4" ,1/2" ,3/8" และ No. 4 สำหรับหินหรือกรวด
5) เครื่องเขย่าตะแกรง
6) ตาชั่งขนาดใหญ่
7) เตาอบ

ผ.ข.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

ผ.ข.2.3.1 การหาส่วนขนาดคละของทราย

1) เตรียมทรายสำหรับการทกสอบด้วยการตรวจดูว่าชื้นหรือไม่ ปกติควรเป็นทรายที่แห้ง หากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน
2) เตรียมชุดของตะแกรงด้วยการทำความสะอาดไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่อง ชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาดและบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับ พร้อมถาดรองอยู่ล่างสุด
3) ค่อยๆเททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้วลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที
4) ถึงขณะนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่างๆ จะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่างๆ เช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นนำไปชั่งและจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณาค่าพิกัดความละเอียดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ข.2.3.2 การหาส่วนขนาดคละของหิน

1) เตรียมหินสำหรับทดลอง หากเป็นหินขนาดเล็ก คือ มีขนาดโตสุดไม่เกิน ให้ใช้ประมาณ 5 กก. แต่หากเป็นหินใหญ่ควรใช้ประมาณ 20 กรัม
2) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทราย ตั้งแต่ข้อ 2-4

** หมายเหตุ : 1) ค่าพิกัดความละเอียดของมวลรวม จะหาได้จากผลรวมของอัตราที่ค้างอยู่บนตะแกรงทั้งหมดหารด้วย 100

2) ทรายสำหรับใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป ควรมีค่าพิกัดความละเอียดระหว่าง 2.3-3.1

3) หินหรือกรวดที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าพิกัดความละเอียดระหว่าง 5.5-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ข.3 : การหาความจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

(Test for Specific Gravity and Absorbtion of Coarse Aggregate) ASTM : C 127 – 77

ผ.ข.3.1 วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมของมวลรวมหยาบ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต

ผ.ข.3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) มวลรวมหยาบประมาณ 5 กก. ได้มาจากการแบ่งสี่ และคัดเอามวลรวมหยาบที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ออก
2) ตะกร้าลวดที่สามารถใส่มวลรวมได้ถึง 5 กก.
3) เตาอบ
4) ตาชั่งขนาดใหญ่
5) ตะแกรงเบอร์ 4
6) โถแก้วกันความชื้น

ผ.ข.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดลอง ด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหรือวัสดุอื่นๆ ที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชม.
2) จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลไม่น้อยกว่า 15 ชม.
3) นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงบนผ้าผืนใหญ่ๆ ที่สามารถดูดซับน้ำได้กลิ้งวัสดุไปมาเพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิววัสดุ แม้ว่าที่จริงแล้วผิวจะยังชื้นอยู่ก็ตาม หรือถ้าวัสดุเป็นก้นใหญ่มากอาจจับมาเช็ดเป็นก้อนๆ ไปก็ได้ แต่ต้องระวังไม่ให้เกิดการระเหยหายไปของน้ำขณะอยู่ในขั้นตอนนี้
4) วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้ จะเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ให้นำตัวอย่างนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้ แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวดและทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันที และบันทึกค่าไว้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิระหว่าง 100-110 องศา ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติอีกประมาณ 1-3 ชม. แล้วจึงชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

6) จากนั้นให้นำค่าต่างๆมาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ) = A/B-C

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) = B/B-C

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม (เมื่อวัสดุแห้งสนิท) = A/A-C

อัตราการดูดซึม = [(B-A)/A] x 100

โดยที่;

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ข.4 : การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

(Test for Unit Weight of Aggregate) ASTM : C 29 – 76

ผ.ข.4.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตรของมวลรวม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ผ.ข.4.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) มวลรวม
2) ตาชั่ง
3) เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาวประมาณ 60 ซม. มีปลายด้านกระทุ้งมนเป็นลักษณะครึ่งวงกลม
4) ภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก อาจเป็นภาชนะโลหะรูปทรงกระบอก ควรมีมือจับทั้งสองข้าง ขนาดของภาชนะต้องเป็นไปตามตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ ผ.ข.1 ขนาดของภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก

ปริมาตร ลิตร	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน มม.	ความสูงภายใน มม.	ความหนาน้อยสุด มม.		ขนาดโตสุดของมวลรวม มม.
			ก้นภาชนะ	ผนังข้าง	
3	153-157	158-162	5.0	2.5	12.5
10	203-207	303-307	5.0	2.5	25.0
15	253-257	293-297	5.0	3.0	37.0
30	353-357	303-307	5.0	3.0	100.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ข.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

ผ.ข.4.3.1 การหาหน่วยน้ำหนักของน้ำ

1) เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็มและทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมปิดฝาด้วยกระจกใส
2) วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก โดยเทียบจากตารางข้างล่างนี้
3) หาค่าแฟคเตอร์ของภาชนะโดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำด้วยน้ำหนักน้ำในภาชนะ

ผ.ข.4.3.2 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

1) โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Roding procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มม.

1.1) เทมวลรวมสำหรับทดลองในภาชนะให้สูงประมาณ 1/3 เท่า และเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบและใช้เหล็กกระทุ้งให้เกือบถึงก้น โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้ง จากนั้นใส่มวลรวมลงไปอีก 1/3 เท่าทำการกระทุ้งเช่นเดียวกันและใส่ลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้าย กระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกับแนวขอบของภาชนะอย่าให้บุ๋มหือโปนเป็นอันขาด

1.2) ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าว เพื่อคำนวณหาน้ำหนักเฉพาะของมวลรวมโดยแท้ โดยชั่งให้ได้ความละเอียดถึง 0.1% แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ 4.3.1 จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่น

2) โดยวิธีกระแทกภาชนะ (Jigging procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดเกินกว่า 37.5 มม.แต่ไม่เกิน 100 มม.

2.1) แบ่งเทมวลรวมใส่ภาชนะเป็น 3 ชั้น เช่นเดียวกับวิธีใช้เหล็กกระทุ้งแต่วิธีนี้ภาชนะควรนำมาวางบนพื้นที่แข็งเช่น พื้นคอนกรีต เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวมแต่ละชั้นแล้วให้เอียงภาชนะเพื่อให้ด้านตรงข้ามสูงขึ้นจากพื้นไม่เกิน 50 มม. และปล่อยให้ตกกระแทกพื้นเป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่งเพื่อให้ด้านที่ติดพื้นตอนแรกนั้นยกลอยขึ้นมา 50 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ้าง และปล่อยให้ตกกระแทกพื้นอีก 25 ครั้งเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ครั้ง จึงปาดผิวหน้ามวลให้เรียบ ไม่ให้ปูดหรือปุ๋มแล้วนำไปชั่ง

2.2) เมื่อได้น้ำหนักที่แท้ของมวลรวมแล้ว คูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ 4.3.1 ก็จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่นเช่นเดียวกัน

ตารางที่ ผข.2 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ °C	กก./ม^3
15.	999.
18.	998.
21.	997.
2	997.
23.	997.
26.	996.
29.	995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.ข.5 : การทดสอบหาปริมาตรความชื้นในมวลรวม

(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying) ASTM : C 566 – 67

ผ.ข.5.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาอัตราของปริมาณความชื้นทั้งหมดที่มีอยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำให้ได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับชั่งผสมคอนกรีต

ผ.ข.5.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) มวลรวม ใช้ประมาณ 4 – 6 กก. สำหรับมวลรวมหยาบและประมาณ 0.5 กก.สำหรับมวลรวมละเอียด
2) ตาชั่ง ที่วัดละเอียดถึง 0.1
3) เตาเผา
4) ภาชนะบรรจุตังอย่างเช่น ปี๊ป
5) แท่งเหล็ก สำหรับคนมวลรวม

ผ.ข.5.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมชื้นที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุ นำไปใส่หรือวางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิสม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนมวลเป็นระยะๆ เพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึงกัน
2) เมื่อมจลรวมแห้งสนิทดีแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง
3) ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมจะหาได้จากสมการที่ ผ.ข.2

$$P = 100(W - D)/D \qquad \text{(ผ.ข.2)}$$

โดยที่;

P = ปริมาตรความชื้น %
W = น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา
D = น้ำหนักมวลรวมหลังเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้