สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ออกแบบและก่อสร้างศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เมตร

DESIGN AND BUILD FOR A FERROCEMENT 4 METERS DIAMETER REST-HOUSE

T045840

โดย
นายชลัมพ์ สุขแสนชนานันท์
นายนพดล วุฒิวรศิริ

เลขหมู่..........
เลขทะเบียน 45840
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2546

.b..........
.i..........

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบและก่อสร้างศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เมตร

DESIGN AND BUILD FOR A FERROCEMENT 4 METERS DIAMETER REST-HOUSE

โดย

นายชลัมพ์ สุขแสนชนานันท์

นายนพดล วุฒิวรศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND BUILD A REST- HOUSE DIAMETER 4 METERS BY FERROCEMENT

MR.CHALUMP SUKSANCHANANUN

MR.NOPPADOL WUTTIVORASIRI

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ออกแบบและก่อสร้างศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เมตร		
นักศึกษา	นายชลัมพ์ สุขแสนชนานันท์	รหัสประจำตัว	41014593
	นายนพดล วุฒิวรศิริ	รหัสประจำตัว	41014639
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์		

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.สุพจน์ ศรีนิล	สุพจน์
ผศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์
ผศ.ดร.สกุล ห่อวโนทยาน	สกุล ห่อวโนทยาน
อ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	

ภาควิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.แดง เหรียญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ออกแบบและก่อสร้างศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เมตร
DESIGN AND BUILD FOR A FERROCEMENT 4 METERS DIAMETER REST-HOUSE

นักศึกษา นายชลัมพ์ สุขแสนชนานันท์
นายนพดล วุฒิวรศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลักสี่ประการ ประการแรกคือศึกษาการออกแบบของเฟอร์โรซีเมนต์ ประการที่สองคือการก่อสร้างเพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้จริง ประการที่สามคือการเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างที่ก่อสร้างจากเฟอร์โรซีเมนต์และการก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูน และประการสุดท้ายคือการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเฟอร์โรซีเมนต์

การออกแบบเฟอร์โรซีเมนต์ออกแบบคล้ายกับการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก และจากการศึกษาการออกแบบเฟอร์โรซีเมนต์ได้ก่อสร้างศาลาเฟอร์โรซีเมนต์รูปครึ่งวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เมตร มีความสูง 2 เมตร ซึ่งได้ความหนาของผนังและหลังคาเพียง 5 เซนติเมตรเท่านั้น อีกทั้งราคาค่าก่อสร้างต่อพื้นที่แบบเฟอร์โรซีเมนต์ที่ได้ยังถูกกว่าราคาค่าก่อสร้างที่ก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูน ทั้งนี้คิดเฉพาะราคาของวัสดุเท่านั้น ส่วนในเรื่องของกำลังของเฟอร์โรซีเมนต์ที่ได้จากการทดสอบได้ค่ากำลังรับแรงอัดของเฟอร์โรซีเมนต์ประมาณ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	DESIGN AND BUILD FOR A FERROCEMENT 4 METERS DIAMETER REST-HOUSE
Name	:	MR.CHALUMP SUKSANCHANANUN
		MR.NOPPADOL WUTTIVORASIRI
Field	:	CIVIL ENGINEERING
Department	:	CIVIL ENGINEERING
Faculty	:	ENGINEERING
Advisor	:	MR.SOMKIAT KHWANPRUK

ABSTRACT

The objectives of this special project consists of, first, studying the design of ferrocement, second, building a rest-house diameter 4 meters, third, comparing cost between ferrocement and reinforcement and fourth, studying the mechanical properties of ferrocement.

Ferrocement design process is similar to reinforcement design process. The 2 height, and 4 meters diameter rest- house was built by using ferrocement material. With high bending strength capability, its thickness was 5 cm. Ferrocement structure lets cheaper cost than reinforcement structure by comparing equal area. The result of a compressive strength testing revealed that the average value of the compressive strength of ferrocement was 100 ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

// กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับคำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจาก อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้แนวทาง คอยให้คำแนะนำ คำวิจารณ์ คอยช่วยเหลือตลอดเวลาการทำงาน และท่านได้เน้นให้ประพฤติตนโดยอุทิศให้กับงาน ซึ่งถือเป็นสิ่งอันมีค่าที่ผู้ประพันธ์ได้จากการศึกษา นอกเหนือจากวิชาความรู้และปริญญาที่ได้รับ ขอกล่าวคำขอบคุณอย่างซาบซึ้งและนับถือแด่ อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์

ถือเป็นเกียรติอันสูงส่งแก่ผู้ประพันธ์ที่ได้รับจากอาจารย์สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ อาจารย์สกุล ห่อวโนทยานในฐานะกรรมการสอบโครงการพิเศษ นอกจากนั้นทั้งอาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร และอาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง ซึ่งบุคคลเหล่านี้ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่กระจ่างชัดของท่านถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับความสำเร็จในงานนี้ ผู้ประพันธ์ได้เรียนรู้สิ่งต่างๆมากมายจากท่านและพึงระลึกถึงท่านอยู่เสมอในฐานะอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ

ขอขอบคุณอย่างซาบซึ้ง สำหรับความร่วมมือและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้ประพันธ์ได้รับจากคุณพรพรรณ เจ้าของร้านถ่ายเอกสาประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้กรุณาแนะนำช่างฝีมือดีมาช่วยสร้างสรรค์โครงการพิเศษนี้ให้ดียิ่งขึ้น

ขอบคุณเพื่อนภาควิศวกรรมโยธาทุกคนที่สร้างความสนุกสนาน เป็นกำลังใจตลอดจนแนะแนวทางแก้ปัญหา ขอบคุณความผูกพันและความรู้สึกดีๆที่มีให้กัน ความร่วมแรงร่วมใจ ความช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ตลอดระยะเวลาที่ร่ำเรียนมาด้วยกันในภาควิชาแห่งนี้ และขอบคุณวนิดา ลิขสิทธิพันธ์ ผู้ซึ่งเป็นแรงใจอันสำคัญให้กับผู้ประพันธ์มาโดยตลอด

ขอบคุณโครงงานพิเศษที่ช่วยให้รู้จักตนเองและคุณค่าของตนจากผลของงาน และท้ายที่สุดนี้คือ บิดาและมารดา ผู้ซึ่งให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน คอยสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน และให้กำลังใจเสมอมา

นายชลัมพ์ สุขแสนชนานันท์
นายนพดล วุฒิวรศิริ
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญภาพ	ฐ
	คำอธิบายสัญลักษณ์	ด
1	**บทนำ**	
	1.1. ความเป็นมา	1
	1.2. ที่มาของปัญหา	4
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	5
	1.4. ขอบเขตของการศึกษา	5
	1.5. คำจำกัดความ	5
	1.6. วิธีดำเนินการศึกษา	5
2	**วรรณกรรมปริทัศน์**	
	2.1. ความรู้เกี่ยวกับเฟอร์โรซีเมนต์	7
	2.2. การประยุกต์การใช้งาน	9
	2.3. วัสดุที่ใช้ทำเฟอร์โรซีเมนต์	9
	2.4. การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่ทำมาแล้ว	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	**การออกแบบประยุกต์เฟอร์โรซีเมนต์**	
	3.1. การออกแบบโดยวิธีหน่วยใช้แรงงาน	23
	3.2. การออกแบบโดยวิธีกำลังประลัย	24
	3.3. ข้อแนะนำสำหรับการออกแบบเฟอร์โรซีเมนต์	25
	3.4. การคำนวณหาค่าปริมาตรน้อยสุดของลวดตาข่ายและเหล็กเสริมในเฟอร์โรซีเมนต์	28
	3.5. การคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะลวดตาข่ายและเหล็กเสริม ที่ต้องมีในเฟอร์โรซีเมนต์	29
	3.6. การคำนวณหาค่าความกว้างรอยร้าวบนผิวเฟอร์โรซีเมนต์	29
	3.7. การออกแบบโครงสร้างเปลือกโค้งบาง	29
	3.7.1. ชนิดของแรงในโครงสร้างเปลือกบางรูปครึ่งทรงกลม	30
	3.7.2. สูตรการคำนวณ	31
	3.8. ขั้นตอนการคำนวณ	32
	3.9. ขั้นตอนการก่อสร้าง	36
4	**การศึกษาคุณสมบัติเชิงกล**	
	4.1. บทนำ	38
	4.2. การทดสอบเฟอร์โรซีเมนต์	38
	4.2.1. กำลังต้านทานแรงอัดและโมดูลัสหยืดหยุ่นของมอร์ต้า	40
	4.2.2. การทดสอบแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์	43
	4.2.3. การทดสอบแรงอัดของเฟอร์โรซีเมนต์	45
	4.3. การทดสอบแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์	49
	4.3.1. วัตถุประสงค์การทดลอง	49
	4.3.2. ลักษณะและขนาดที่ใช้ทดสอบเฟอร์โรซีเมนต์	49
	4.3.3. อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.3.4. วิธีการทดลอง	49
	4.3.5. ผลการทดลอง	50
	4.3.6. วิเคราะห์ผลการทดลอง	59
	4.3.7. สรุปผลการทดลอง	85
	4.4. การทดสอบกำลังของเฟอร์โรซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว	86
	4.4.1. วัตถุประสงค์การทดลอง	86
	4.4.2. วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ	86
	4.4.3. วิธีทดสอบ	86
	4.4.4. ผลการทดลอง	87
5	**การศึกษาด้านราคาของเฟอร์โรซีเมนต์**	
	5.1. บทนำ	88
	5.2. การสำรวจทางด้านราคา	88
	5.3. การเปรียบเทียบทางด้านราคา	92
	5.4. ราคาที่ใช้ระหว่างแบบเฟอร์โรซีเมนต์และแบบก่ออิฐฉาบปูน	95
	5.4.1. ราคาที่สร้างแบบเฟอร์โรซีเมนต์	95
	5.4.2. ราคาที่สร้างแบบก่ออิฐฉาบปูน	98
	บรรณานุกรม	
	ภาคผนวก ก. รูปแสดงขั้นตอนการก่อสร้าง	ผก1
	ภาคผนวก ข. รูปแสดงแผ่นตัวอย่างทดสอบเฟอร์โรซีเมนต์	ผข2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	ขนาดคละของทราย	11
2.2.	คุณสมบัติทั่วไปของลวดตาข่ายชนิดต่าง	16
2.3.	Brick Masonry Wall Panel	17
2.4.	Ferrocement Wall Panel Economic Analysis	18
2.5.	Ferrocement Roofing Units	18
2.6.	Reinforced Concrete Roof	19
4.1.	ค่าที่น้อยที่สุดของกำลังที่จุดครากและ effective modulas ของลวดตะแกรงและเหล็กเส้น	39
4.2.	ค่าที่ใช้ออกแบบของค่าประสิทธิผลของเหล็กเสริมตะแกรง η_o สำหรับแรงดึงและแรงดัด	40
4.3.	แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.ตัวอย่างที่1	50
4.4.	แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.ตัวอย่างที่2	51
4.5.	แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.ตัวอย่างที่3	52
4.6.	แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.ตัวอย่างที่1	53
4.7.	แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.ตัวอย่างที่2	54
4.8.	แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.ตัวอย่างที่3	55
4.9.	แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.ตัวอย่างที่1	56
4.10.	แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.ตัวอย่างที่2	57
4.11.	แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.ตัวอย่างที่3	58
4.12.	แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.No.1	59
4.13.	แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.No.2	60
4.14.	แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.No.3	61
4.15.	แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.No.1	62
4.16.	แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.No.2	63
4.17.	แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.No.3	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.18.	แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.No.1	65
4.19.	แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.No.2	66
4.20.	แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.No.3	67
4.21.	แสดงผลการทดสอบกำลังของเฟอร์โรซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว	87
5.1.	ราคาของลวดตะแกรงในอเมริกา	89
5.2 a.	ราคาของเฟอร์โรซีเมนต์ในอเมริกา	90
5.2 b.	ราคาของเฟอร์โรซีเมนต์ในอเมริกา	91
5.2 c.	ราคาของเฟอร์โรซีเมนต์ในอเมริกา	91
5.3.	เปรียบเทียบราคาของเฟอร์โรซีเมนต์ในแต่ละประเทศ	93
5.4.	เปรียบเทียบราคาและเปอร์เซ็นต์ของเฟอร์โรซีเมนต์ในแต่ละประเทศ	94
5.5.	สรุปราคาค่าก่อสร้างแบบเฟอร์โรซีเมนต์	97
5.6.	สรุปราคาค่าก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูน	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	HEXAGONAL WIRE MESH	14
2.2.	WELDED WIRE MESH	14
2.3.	WOVEN MESH	15
2.4.	EXPANDE METAL MESH	15
2.5.	WATSON MESH	15
2.6.	บ้านที่สร้างจากเฟอร์โรซีเมนต์	20
2.7.	บ้านที่สร้างจากเฟอร์โรซีเมนต์	20
2.8.	Ferrocement shell	21
3.1.	แสดงหน้าตัดที่เหมาะสมของเฟอร์โรซีเมนต์	27
3.2.	แสดงลักษณะแรงในโครงสร้างเปลือกบาง	30
3.3.	แสดงลักษณะแรงในโครงสร้างเปลือกบาง	31
4.1a.	การทดสอบแรงดึงที่แสดงคุณสมบัติของเหล็กเสริมตะแกรง (ทดสอบเหล็กตะแกรงอย่างเดียว)	41
4.1b.	การทดสอบแรงดึงที่แสดงคุณสมบัติของเหล็กเสริมตะแกรง (ทดสอบเหล็กเสริมตะแกรงที่หุ้มด้วยมอร์ต้า)	41
4.2.	กราฟความเค้นความเครียดเนื่องจากแรงดึงที่จากการทดลอง ลวดตะแกรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส	43
4.3.	ชนิดของโค้งความเค้นความเครียดเนื่องจากแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์	45
4.4.	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์กับการแอ่นตัวเนื่องจากแรงดัด	46
4.5.	แสดงกราฟน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวของเฟอร์โรซีเมนต์	46
4.6.	การทดสอบเฟอร์โรซีเมนต์	47
4.7.	การทดสอบแรงดัดของเฟอร์โรซีเมนต์และการแตกร้าวในพื้นที่ที่ถูกแรงดึง	48
4.8.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 90 cm. No.1)	68
4.9.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 90 cm. No.2)	69
4.10.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 90 cm. No.3)	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.11.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 60 cm. No.1)	71
4.12.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 60 cm. No.2)	72
4.13.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 60 cm. No.3)	73
4.14.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 30 cm. No.1)	74
4.15.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 30 cm. No.2)	75
4.16.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 30 cm. No.3)	76
4.17.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 90 cm.No.1)	77
4.18.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 90 cm.No.2)	78
4.19.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 90 cm.No.3)	79
4.20.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 60 cm.No.1)	80
4.21.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 60 cm.No.2)	81
4.22.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 60 cm.No.3)	82
4.23.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 30 cm.No.1)	83
4.24.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 30 cm.No.2)	84
4.25.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 30 cm.No.3)	85
ผ.ก.1.	แสดงการวางไม้แบบและดัดเหล็กให้เป็นรูปวงกลมที่ฐาน	ผก2
ผ.ก.2.	แสดงการขึ้นโครงเหล็กของศาลารูปครึ่งวงกลม	ผก3
ผ.ก.3.	แสดงเสาที่ทำจากเหล็กเส้นเพื่อให้ง่ายในการก่อสร้าง	ผก4
ผ.ก.4.	แสดงการเชื่อมเหล็กเส้นคาดตามขวางของโครงเหล็กของศาลา	ผก4
ผ.ก.5.	แสดงการเชื่อมเหล็กเส้นคาดตามขวางของโครงเหล็กของศาลา	ผก5
ผ.ก.6.	แสดงการเชื่อมเหล็กเส้นคาดตามขวางส่วนบนของโครงเหล็กของศาลา	ผก6
ผ.ก.7.	แสดงการเทพื้นคอนกรีตของศาลา	ผก6
ผ.ก.8.	แสดงพื้นคอนกรีตของศาลา	ผก7
ผ.ก.9.	แสดงการเพิ่มความสูงของโครงเหล็กของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์	ผก8
ผ.ก.10.	แสดงการเพิ่มเหล็กเส้นภายหลังจากการเพิ่มความสูงของโครงของศาลา	ผก8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ก.11.	แสดงการติดลวดตะแกรง(ลวดกรงไก่)	ผก9
ผ.ก.12.	แสดงการฉาบภายนอกของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์	ผก10
ผ.ก.13.	แสดงการผสมปูนเพื่อใช้ในการฉาบ	ผก11
ผ.ก.14.	แสดงการฉาบศาลาเฟอร์โรซีเมนต์	ผก11
ผ.ก.15.	แสดงการฉาบศาลาเฟอร์โรซีเมนต์	ผก12
ผ.ก.16.	แสดงการฉาบภายในของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์	ผก13
ผ.ก.17.	แสดงความหนาของเฟอร์โรซีเมนต์ภายหลังจากการฉาบเสร็จแล้ว	ผก14
ผ.ก.18.	แสดงศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ภายหลังจากการเสร็จ	ผก14
ผ.ก.19.	แสดงศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว	ผก15
ผ.ก.20.	แสดงความหนา ที่ได้หลังจากฉาบเสร็จแล้ว	ผก15
ผ.ก.21.	แสดงการรับน้ำหนักบรรทุกของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์	ผก16
ผ.ก.22.	แสดงผลงานที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว	ผก17
ผ.ข.1.	แสดงแบบหล่อแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์	ผข2
ผ.ข.2.	แสดงการเสริมลวดตะแกรงในแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์	ผข3
ผ.ข.3.	แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ที่หล่อเสร็จแล้ว	ผข4
ผ.ข.4.	แสดงการแกะแบบหล่อหลังจสกครบ 24 ชั่วโมง	ผข5
ผ.ข.5.	แสดงการบ่มแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ (7 วัน)	ผข6
ผ.ข.6.	แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.ที่พร้อมทดสอบ	ผข7
ผ.ข.7.	แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม. ที่พร้อมทดสอบ	ผข7
ผ.ข.8.	แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม. ที่พร้อมทดสอบ	ผข8
ผ.ข.9.	การทดสอบแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์	ผข8
ผ.ข.10.	การทดสอบแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์	ผข9
ผ.ข.11.	แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ ที่พังหลังจากทดสอบ	ผข9
ผ.ข.12.	แสดงการบันทึกค่าขณะทดสอบ	ผข10
ผ.ข.13.	แสดงการจัดวางแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ ที่ถูกต้องก่อนทดสอบ	ผข10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ก.14.	เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัดของเฟอร์โรซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว	ผข11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
Ac	พื้นที่หน้าตัด
I	โมเมนต์ความเฉื่อย
S	โมดูลัสหน้าตัด
K	โมเมนต์พื้นที่เหนือระนาบแรงเฉือน
b	ความกว้างหน้าตัด
i	ชนิดของน้ำหนักบรรทุก
Qi	น้ำหนักที่กระทำ
γi	ตัวคูณเพิ่ม
U	กำลังประลัยที่ต้องการ
Rn	กำลังต้านทานสูงสุดของโครงสร้างนั้น
ϕ	ตัวคูณลด
D	น้ำหนักบรรทุกคงที่
L	น้ำหนักบรรทุกจร
W	แรงลม
H	น้ำหนักจากแรงดันของโลก
T	ผลกระทบจากอุณหภูมิ
σry	yield strength ของลวดตาข่าย
fc’	ค่า strength ของ mortar จากการกดตัวอย่างแบบ cylinders
Vr	ปริมาตรน้อยสุดของลวดตาข่ายและเหล็กเสริม
Sr	ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของลวดตาข่ายและเหล็กเสริม
dw	เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตาข่าย
Er	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น
R	รัศมีทรงกลม
Nϕ	แรงกด ตามแนวยาว (meridional force)
Nθ	แรงกดตามแนวรัศมี(hoop force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
$(\sigma c)all$	ค่าความเค้นกดที่ยอมให้ในเฟอร์โรซีเมนต์
$(\sigma r)\ all$	ค่าความเค้นแรงดึงที่ยอมให้ของลวดตาข่าย
Ar	พื้นที่หน้าตัดตามขวางสุทธิของลวดตาข่าย
h	ความหนาเฟอร์โรซีเมนต์
W	ความกว้างรอยร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมา

ในปัจจุบันการใช้วัสดุและพื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ประหยัดที่สุด มีความสวยงาม กำลังเป็นที่ต้องการของประชาชนในขณะนี้ บ้านเป็นสิ่งที่สร้างความสบายใจและพึงพอใจให้กับผู้ที่อยู่อาศัยซึ่งในปัจจุบันบ้านมีราคาสูงมาก ดังนั้นจะต้องเลือกใช้วัสดุ เทคนิคการก่อสร้างให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ปัญหาของรูปแบบการก่อสร้างที่พักอาศัย ซึ่งขาดการพัฒนาเทคโนโลยี ราคาค่าวัสดุก่อสร้างที่สูงขึ้น และขาดแคลนแรงงานช่างฝีมือ ยิ่งทำให้สถานการณ์ดังกล่าวมีปัญหามากขึ้น อย่างไรก็ตาม วิศวกรต้องพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ของการออกแบบและการก่อสร้างบ้านราคาถูก และน่าอยู่ สามารถก่อสร้างด้วยความรวดเร็ว สภาพงานปัญหาจากทางด้านการก่อสร้างของการเคหะแห่งชาติที่พบนั้นอยู่ในสภาพเดียวกันซึ่งสามารถสรุปได้เป็น 5 ประเด็นหลักดังนี้

1. ปัญหาทางด้านคุณภาพและปริมาณ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 จนถึงปัจจุบันตัวเลขของการจดทะเบียนจัดตั้งบริษัทรับเหมาก่อสร้างสูงขึ้นมาก แม้ว่าตัวเลขของจำนวนบริษัทจะมีมากแต่โดยความเป็นจริงแล้ว การรับเหมาก่อสร้างในการเคหะแห่งชาติ บริษัทส่วนใหญ่ที่มารับเหมาจะเป็นบริษัทรับเหมาขนาดเล็ก ที่มีทุนจดทะเบียน มีพนักงานประจำไม่กี่คน การรับเหมาก่อสร้างจะใช้วิธีในการใช้พนักงานหรือช่างก่อสร้างจากกลุ่มงานเล็กๆ ใช้การเช่าเครื่องมือก่อสร้างจากที่ต่างๆ ซึ่งไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา งานที่รับเหมาจะเป็นเพียงงานขนาดเล็ก เช่น การก่อสร้างบ้านพักอาศัย หรืออาคารพาณิชย์จำนวนน้อยๆ

ในส่วนของบริษัทรับเหมาก่อสร้างขนาดใหญ่ที่มีทุนจดทะเบียนสูงแม้ว่าจะมีความได้เปรียบมากกว่าบริษัทรับเหมาขนาดเล็ก แต่ก็ยังคงประสบปัญหาอยู่บ้างไม่ว่าจะเป็นในด้านของการจัดหางานเพิ่มเติมเพื่อให้ช่างก่อสร้างมีงานทำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมักจะเป็นช่างที่มีฝีมือและมีความชำนาญงาน หรืออาจจะเป็นในด้านของการจัดหาผู้รับเหมาช่วง หรือผู้รับเหมารายย่อยมารับงานที่ตนเองประมูลได้ ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ การได้ผลงานจากช่างที่มีฝีมือและความชำนาญไม่พอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปัญหาทางด้านการออกแบบอาคารและวัสดุก่อสร้าง เมื่อพิจารณาในรอบศตวรรษที่ผ่านมาวิทยาการทางด้านการก่อสร้างได้มีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ โดยประสานกับการออกแบบทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม สามารถสรุปได้เป็น 3 ข้อหลัก ดังนี้

2.1 ด้านวัสดุก่อสร้าง การใช้วัสดุดั้งเดิมยังมีอยู่โดยเพิ่มการพัฒนาทางด้านการผลิตในวัสดุที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น หรือแม้แต่การคิดค้นวัสดุใหม่ ด้วยเทคนิคและวิธีการใหม่ แต่ยังมีปัญหาในด้านของราคาที่สูงของวัสดุใหม่ๆ

2.2 กรรมวิธีก่อสร้าง การนำเอาเครื่องมือเครื่องจักรที่ทันสมัยมาใช้ในงานก่อสร้าง ซึ่งมีผลต่อการลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ลดค่าแรงงาน และช่วยร่นระยะเวลาการก่อสร้างให้น้อยลง

2.3 กรรมวิธีการออกแบบ การนำเอาระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการออกแบบตลอดจนการคิดค้นวิธีออกแบบอื่นๆ เช่น การกำหนดมิติในการใช้เนื้อที่ของคน (HUMAN DIMENSION) หรือการออกแบบประสานทางพิกัด (MODULAR SYSTEM) เป็นต้น

แม้ว่าการพัฒนาการวิทยาการทางด้านการก่อสร้างจะมีการพัฒนาไปอย่างไม่หยุดยั้งซึ่งมีผลดีต่อทั้งสถาปนิกและวิศวกร ในการพัฒนาการออกแบบของแต่ละบุคคลให้มีความรวดเร็ว มีความผิดพลาดน้อย มีผลงานที่ดีขึ้น แต่ในรายละเอียดของการพัฒนาวิทยาการด้านการก่อสร้างประเภทนั้นยังไม่มีการนำมาใช้อย่างเต็มที่ทั้งในด้านการออกแบบและการก่อสร้าง โดยเฉพาะการออกแบบประสานทางพิกัด (MODULAR SYSTEM) เพราะการออกแบบโดยวิธีนี้จะมีความละเอียดในการพิจารณาขั้นตอนการออกแบบเพื่อให้สอดคล้องระบบการก่อสร้าง ตั้งแต่การพิจารณาขนาดของวัสดุ รูปแบบการติดตั้ง เพื่อให้มีการสิ้นเปลืองของวัสดุให้น้อยที่สุด การก่อสร้างในงานของการเคหะแห่งชาติยังคงใช้วิธีก่อสร้างในรูปแบบดั้งเดิมที่มีอยู่แล้วไม่มีผู้รับเหมารายใดที่ต้องการจะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างมากกว่าที่เป็นอยู่

3. ปัญหาทางด้านแรงงาน การรับเหมาก่อสร้างที่มีอยู่ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันยังคงต้องพึ่งแรงงานที่มีจากแรงงานในชนบทเป็นหลัก ซึ่งแรงงานเหล่านี้จะมีมาจากต่างจังหวัด โดยส่วนใหญ่จะเป็นผู้มีอาชีพทางการเกษตร เมื่อหมดฤดูทำนาก็จะอพยพตัวเองและครอบครัวมาหางานในเมืองหลวงโดยมุ่งเน้นไปยังแรงงานทางการก่อสร้าง แรงงานเหล่านี้เป็นแรงงานที่ทำงานได้ด้วยประสบการณ์จนมีความชำนาญในการทำงาน ถ้ามีความชำนาญมากก็จะสามารถเรียกค่าแรงได้มากขึ้น เช่น ช่างปูน ในการฉาบปูน ค่าแรงจะคิดจากผลงานที่ทำได้โดยทั่วไปค่าแรงจะอยู่ในช่วง 150-250 บาท ต่อวัน ช่างไม้มีค่าแรงอยู่ในช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200-300 บาทต่อวัน ช่างทาสีคิดราคาตามตารางเมตร และคุณภาพของสี ช่างไฟฟ้าคิดค่าแรงเป็นจุดๆละ 250-400 บาทต่อจุด

ปัญหาทางด้านแรงงานที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากความไม่เป็นมาตรฐานในการก่อสร้างของแรงงานแต่ละประเภทแล้ว การมีวันหยุดตามเทศกาลและการหยุดงานในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวก็ยังเป็นผลกระทบต่อระบบการก่อสร้างทำให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังพบว่าแรงงานที่มีฝีมือทางช่างดี ก็จะพยายามที่จะหาหนทางไปทำงานต่างประเทศเพราะสามารถหารายได้ ได้มากกว่า

แรงงานในประเทศไทยจะมีการหยุดงานตามเทศกาลต่างๆ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาในการก่อสร้าง ช่วงระยะเวลาในเทศกาลต่างๆ ใน 1 ปี มีดังนี้

1. เทศกาลปีใหม่
2. เทศกาลตรุษจีน
3. เทศกาลมาฆบูชา เริ่มทำนาปรัง
4. เทศกาลสงกรานต์
5. เทศกาลวันแรงงาน
6. เทศกาลเก็บเกี่ยวผลผลิตนาปรัง
7. เทศกาลเข้าพรรษา เริ่มทำนาปี
8. เทศกาลออกพรรษา เก็บเกี่ยวผลผลิตนาปี

4. ปัญหาทางด้านสถานที่ก่อสร้าง ในการพิจารณาถึงประเด็นปัญหาทางด้านสถานที่ก่อสร้างที่ประสบอยู่ในปัจจุบันสามารถพิจารณาได้ใน 2 กรณี คือ

4.1. ปัญหาทางด้านที่ตั้งของสถานที่ก่อสร้าง พิจารณาในประเด็นที่ว่าตัวของสถานที่ตั้งนั้นอยู่ไกลจากแหล่งจัดซื้อวัสดุ ซึ่งนำไปสู่ปัญหาทางด้านการขนย้ายวัสดุ การขนส่งวัสดุ เพื่อใช้ในการทำงานก่อให้เกิดความล่าช้า

4.2. ปัญหาทางด้านสภาพพื้นที่ของสถานที่ก่อสร้าง พิจารณาในประเด็นที่ว่า ถ้าพื้นที่ของสถานที่ก่อสร้างมีจำกัดไม่เพียงพอต่อการจัดทำที่กองวัสดุ อุปกรณ์ในการก่อสร้าง หรือการจัดเตรียมพื้นที่เพื่อรองรับจำนวนคนงานที่จะต้องอยู่ในโครงการ อันจะเป็นผลให้เกิดความเสียหายต่องานก่อสร้างในการเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นการจัดเช่าพื้นที่อื่น เพื่อใช้กองวัสดุอุปกรณ์ในการทำงาน หรือการเช่าพื้นที่เพื่อปลูกสร้างอาคารพักที่มีคนงานอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปัญหาทางด้านการขนส่ง สืบเนื่องมาจากปัญหาทางด้านสถานที่ก่อสร้างในข้อ 4 ในแง่ของการพิจารณาที่ตั้งของสถานที่ก่อสร้างที่อยู่ใกล้หรือไกลจากแหล่งจัดซื้อวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลซึ่งมีกฎหมายควบคุมในการขนส่งวัสดุก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นในด้านการกำจัดขนาดและน้ำหนักบรรทุกของวัสดุก่อสร้างเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการขนส่ง หรือการกำหนดเส้นทางให้กับรถบรรทุกในการขนส่งวัสดุ

นอกเหนือจากสภาพปัญหางานทางการก่อสร้างที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นยังคงมีปัญหาอื่นๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องในงานออกแบบและงานทางด้านการก่อสร้าง เช่น การประหยัดพลังงานภายในอาคารให้ได้มากที่สุด จากผลงานของการออกแบบยังคงใช้วัสดุหลายอย่างในการทำผนังอาคาร ไม่ว่าจะเป็นการก่ออิฐ การใช้ผนัง ค.ส.ล. การใช้กระจก ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุที่สะสมความร้อนได้ดีส่งผลให้มีการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นด้วยการใช้ระบบปรับอากาศ เพื่อปรับสภาพอุณหภูมิภายในอาคารให้มีความสบายเกิดขึ้น จากสภาพปัญหาดังกล่าวที่มีอยู่ในการก่อสร้าง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงศึกษาวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ (Ferrocement) โดยมีเป้าหมายเพื่อเป็นแนวทางในการเสนอวัสดุก่อสร้าง ที่สามารถใช้ได้กับการก่อสร้างที่พักอาศัยและระบบการก่อสร้างแบบท้องถิ่น ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนารูปแบบการก่อสร้างและรูปแบบที่อยู่อาศัยต่อไปเมื่อมีการปลูกสร้างกันมากขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาให้เกิดประสิทธิผลมากขึ้น จึงได้ทำการศึกษาวิธีการก่อสร้างเพื่อนอกจากจะได้ผลงานที่มีคุณภาพในราคาประหยัดด้วยระบบการก่อสร้างที่เป็นไปได้ เป้าหมายของการศึกษาจะได้แนวทางในการเสนอวัสดุก่อสร้างประเภทหนึ่ง ที่สามารถใช้ได้กับการก่อสร้างที่พักอาศัยและระบบก่อสร้างแบบท้องถิ่น

1.2. ที่มาของปัญหา

รายได้ของประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยในปัจจุบันโดย ปกติไม่สูงมากนัก เนื่องจากยังประกอบอาชีพที่ใช้แรงงาน แต่ข้างของเครื่องใช้กลับมีราคาแพง โดยเฉพาะพวกอสังหาริมทรัพย์ อาทิ ที่ดิน บ้าน รวมทั้งเครื่องมือเครื่องใช้ที่มีการออกแบบในลักษณะที่ใช้พื้นที่น้อย กะทัดรัด และออกแบบในลักษณะที่แปลกแตกต่างออกไป

เฟอร์โรซีเมนต์โดยปกติแล้วเหมาะสมที่จะสร้างที่อยู่อาศัยและสิ่งก่อสร้างที่ขนาดไม่ใหญ่มากนัก ซึ่งมักจะเป็นบุคคลที่มีรายได้ไม่สูงมากนัก อยู่ตามชนบท แต่ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก ดังนั้นจึงทำการศึกษาเพื่อออกแบบและก่อสร้างเพื่อเป็นแนวทางในการใช้วัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายมากนัก ดังนั้นจึงทำการศึกษาเพื่อออกแบบและก่อสร้างเพื่อเป็นแนวทางในการใช้วัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ต่อไปในอนาคต

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ออกแบบศาลาพักอาศัยด้วยเฟอร์โรซีเมนต์
2. ศึกษาขั้นตอน วิธีการก่อสร้าง และก่อสร้างศาลาพักอาศัยจากเฟอร์โรซีเมนต์
3. ทดสอบคุณสมบัติบางประการของเฟอร์โรซีเมนต์
4. เปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้างระหว่างศาลาพักอาศัยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เมตร สูง 2 เมตร กับระบบการก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูนที่มีพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

1. การออกแบบและก่อสร้างศาลาพักอาศัยจากเฟอร์โรซีเมนต์ ทดสอบคุณสมบัติบางประการของเฟอร์โรซีเมนต์
2. ประมาณหาต้นทุนการผลิต รวมทั้งเทคนิควิทยาการและสภาพการก่อสร้างทั่วไป ถือความเป็นไปได้ในปีพุทธศักราช 2544 เป็นสำคัญ

1.5. คำจำกัดความ

เพื่อความเข้าใจความหมายของข้อความต่างๆในการศึกษาให้เป็นในทางเดียวกัน ข้อกำหนดของศัพท์ที่จำเป็นในการเขียนรายงานปริญญานิพนธ์ดังต่อไปนี้

เฟอร์โรซีเมนต์ คือ วัสดุที่ผสมผสานกันระหว่าง ซีเมนต์ ทราย และน้ำ กับเหล็กเสริม ซึ่งเหล็กเสริมในเฟอร์โรซีเมนต์ เป็นเหล็กเสริมชนิดแผ่กระจายมีลักษณะเป็นตะแกรง(REINFORCING MESH) และอาจมีโครงเหล็กเสริม(SKELETON STEEL) เพื่อช่วยยึดเป็นระยะอีกด้วย

1.6. วิธีดำเนินการศึกษา

จากวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาที่กำหนด ผู้ทำการศึกษาจะได้ดำเนินกรรมวิธีในการศึกษาเป็นขั้นตอนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.1. ขั้นตอนการศึกษาข้อมูล

. การศึกษาถึงปัญหาการก่อสร้างต่างๆในปัจจุบันทั้งเรื่องวัสดุก่อสร้าง แรงงาน การขนส่งและอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

. การทำเฟอร์โรซีเมนต์ที่ได้รับการผลิตทั้งในอดีตและปัจจุบัน โดยพิจารณาถึงองค์ประกอบ ขนาดของชิ้นส่วน การก่อสร้าง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบต่อไป

. จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่จะพัฒนาการก่อสร้างด้วยเฟอร์โรซีเมนต์ต่อไป

1.6.2. ขั้นตอนการวิเคราะห์และวิจัย

เมื่อรวบรวมข้อมูลต่างๆ ได้แล้วผู้ทำการศึกษาจึงนำเอาข้อมูลทั้งหมดมาสรุปผลทำการวิเคราะห์หาความพอดีขององค์ประกอบของเฟอร์โรซีเมนต์ ขนาดการก่อสร้างและทำการวิจัยถึงปัญหาข้อดีและข้อเสียของเฟอร์โรซีเมนต์ และปัญหาต่างๆเพื่อนำเอาผลสรุปเหล่านี้มาใช้ในการพิจารณาประกอบการออกแบบต่อไป

1.6.3. ขั้นตอนในการออกแบบและผลิต

ผู้ทำการศึกษาได้แบ่งขั้นตอนนี้ออกเป็น 3 ขั้นตอนกล่าวคือ

1. ออกแบบให้สอดคล้องกับขนาดของศาลาที่ใช้ในปัจจุบัน
2. วิเคราะห์ส่วนประกอบของเฟอร์โรซีเมนต์ โดยอาศัยข้อมูลเบื้องต้น พิจารณาถึงขนาดของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ และการก่อสร้าง เพื่อหาทางลดต้นทุน และลดระยะเวลาการก่อสร้าง
3. นำผลที่ได้จากข้อ ก. และ ข. มาพิจารณาประกอบกันให้ได้ ศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่กำหนด

1.6.4. ขั้นตอนการประเมิณผล

มีการเปรียบเทียบราคาและระยะเวลาการก่อสร้างศาลาที่พักอาศัยจากเฟอร์โรซีเมนต์กับการก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูน ที่มีพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. ความรู้เกี่ยวกับเฟอร์โรซีเมนต์

เฟอร์โรซีเมนต์ (FERROCEMENT)คือ วัสดุที่ผสมผสานกันระหว่าง มอร์ต้ากับเหล็กเสริมซึ่งเหล็กเสริมใน เฟอร์โรซีเมนต์ เป็นเหล็กเสริมชนิดแผ่กระจาย มีลักษณะเป็นแผ่นกระจาย มีลักษณะเป็นตะแกรง (REINFORCING MESH) และอาจจะมีเหล็กเสริมโครง (SKELETAL STEEL) เพื่อช่วยยึดเป็นระยะ ๆ (โครงเคร่า) อีกด้วย จากนั้นนำส่วนผสมมอร์ต้า (MORTAR) บดอัดเข้าไปให้เต็มเนื้อที่ แล้วฉาบแต่งผิวให้เรียบ เสร็จแล้วบ่มตามกรรมวิธี จะได้ผนังหรือ โครงสร้างที่เรียกว่าเฟอร์โรซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติด้านการต้านทานต่อแรงอัดและแรงดึงสูง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี

2.1.1. ประวัติ

การใช้คอนกรีตและเหล็กจะใช้ในอาคารต่าง ๆ ตึกสูง สะพานถนน ตัวอย่างแรกของคอนกรีต คือ เรือที่ทำจากเฟอร์โรซีเมนต์ ของJOSEPH-LOUIS LAMBOT'S ชาวฝรั่งเศส ซึ่งเป็นคนแรกที่ออกแบบเรือโดยใช้การดัดเหล็กในปี 1847 ซึ่งถือว่าเป็นกำเนิดของคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในต้นปี 1940 PIER LUIGI NERVI นำเอาแนวคิดของเฟอร์โรซีเมนต์มาทำชิ้นส่วนวัสดุที่มีความเห็นอันหนึ่งอันเดียวกันและสามารถรับแรงได้ดีและในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 NERVI ก็สาธิตการใช้เฟอร์โรซีเมนต์ เป็นวัสดุในการทำเรือขนาดขับเคลื่อน 165 ตัน ชื่อ “IRENE” ด้วยเฟอร์โรซีเมนต์ หนา 1.4 นิ้ว น้ำหนักเบากว่าสร้างด้วยไม้ 5 % เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า 40 % และสามารถใช้งานได้ดีตลอดจนไม่ต้องดูแลรักษา

การใช้เฟอร์โรซีเมนต์ได้รับการยอมรับใช้เป็นวัสดุในการทำเรือ ในช่วงต้นของทศวรรษ1960 ในอังกฤษ นิวซีแลนด์และออสเตรเลีย ในปี 1966 เรือชื่อ “AWAHNEE”ของชาวอเมริกันที่ทำในนิวซีแลนด์ ยาว 53 ฟุต ได้เดินทางรอบโลกโดยสวัสดิภาพทำให้มีการทำเรือที่ทำจากเฟอร์โรซีเมนต์ ค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2. คุณลักษณะของเฟอร์โรซีเมนต์

ในปี 1947 NERVI ก็เริ่มสร้างอาคารโดยใช้เฟอร์ซีเมนต์ โดยสร้างอาคารเก็บของขนาดเล็กแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงและการใช้งานอเนกประสงค์ มีการสร้างโวล (VAULT)ขนาด 50ฟุต คลุมสระว่ายน้ำที่ ITALIAN NAVAL ACADEMY และก็สร้าง TURIN EXHIBITION HALLซึ่งเป็นอาคารยาว 300 ฟุต

2.1.2.1. ข้อเด่นของเฟอร์โรซีเมนต์

- สามารถทำเป็นรูปร่างต่างได้ตามต้องการ โดยอาศัยการดัดเหล็กเสริมโครง แล้วนำเหล็กเสริมแบบตะแกรงปูทับแล้วฉาบด้วยซีเมนต์ จะได้โครงสร้างที่เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามเหล็กเสริมโครง ซึ่งต่างจากคอนกรีตเหล็กเสริมทั่ว ๆ ไปที่ต้องควบคุมรูปร่างด้วยไม้แบบ
- การทำเฟอร์โรซีเมนต์ ไม่ต้องใช้โรงงาน และเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ต่าง ๆ แต่ใช้การผสมซีเมนต์ด้วยมือ
- ใช้วัสดุราคาต่ำ ราคาส่วนใหญ่อยู่ที่ค่าแรงงาน ซึ่งเหมาะสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนาเนื่องจากค่าแรงงานค่อนข้างถูก ปริมาณวัสดุน้อยกว่า อย่างอื่น เช่น คอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะเฟอร์โรซีเมนต์ มีความบางกว่าน้ำหนักน้อยกว่าทำให้ประหยัดค่าวัสดุ และการขนส่งลงได้มาก
- ความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับไม้ และน้ำหนักเบามากกว่ามากเมื่อเทียบกับเหล็ก มีกำลังอัด และแรงดึงได้สูง
- เฟอร์โรซีเมนต์มีความทนทานมากเนื่องจากไม่เน่า ไม่เป็นสนิม ไม่แตกร้าว หรือผุกร่อนได้ง่าย ซึ่งเฟอร์โรซีเมนต์นี้เหมาะกับการต่อเรือ เพราะความแข็งแกร่งจะเพิ่มตามอายุการใช้งาน ในขณะที่วัสดุอย่างอื่น ถ้านำมาทำเป็นเรือ ความแข็งแรงก็จะน้อยลง
- มีความต้านทานต่อสารเคมีต่าง ๆ ได้สูง ผิดกับเหล็กและโลหะอื่น ๆ ที่ถูกกัดกร่อน และเป็นสนิมได้ง่าย
- สามารถต้านทานต่อแรงกระแทก และเมื่อมีความเสียหาย ซีเมนต์มักจะไม่หลุดออกจากโครงสร้าง
- สามารถเก็บเสียง และทนต่อแรงสั่นสะเทือน
- เป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากเฟอร์โรซีเมนต์นำความร้อนได้ต่ำมาก ประมาณ 1 ใน 6 เหล็ก
- เฟอร์โรซีเมนต์ไม่ต้องการบำรุงรักษาเนื่องจากสามารถต้านทานต่อการเน่าเปื่อย การเป็นสนิม ความร้อน ความชื้น และการผุกร่อนต่อสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การซ่อมแซมทำได้ง่าย สะดวก ประหยัด โดยการทำความสะอาดรอยแตกร้าว แล้วนำมอร์ต้าโบกลงส่วนที่เสียหาย ซึ่งมักเป็นแห่ง ๆ เท่านั้น ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม และเวลาที่ใช้ต่ำมาก เฟอร์โรซีเมนต์ที่ได้รับการซ่อมแซมแล้วจะสามารถรับกำลังต่าง ๆ ได้ เหมือนเดิม

2.2. การประยุกต์การใช้งาน

เฟอร์ซีเมนต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานก่อสร้างต่าง ๆ ดังนี้

- เรือสินค้า และเรือหาปลา
- ท่อระบายความร้อน
- สะพาน
- แผ่นหลังคา
- ฝาผนัง
- ยุ้งฉางเก็บพืชผลการเกษตรกรรม
- พื้น
- ถังเก็บน้ำ
- แผ่นกระเบื้องในงานตกแต่ง
- เสาโทรศัพท์ และเสาไฟฟ้า
- ไม้แบบใช้ในงานก่อสร้าง
- เรือลากจูง
- เตาเผา
- ท่อน้ำและรางส่งน้ำเพื่อชลประทาน
- รั้ว
- งานซ่อมแซมบ่อ
- รางใส่อาหารและน้ำสำหรับสัตว์เลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. วัสดุที่ใช้ทำเฟอร์โรซีเมนต์

2.3.1. มอร์ต้า (MOTAR)

วัสดุยึดเกาะที่ใช้ในงานเฟอร์โรซีเมนต์ คือ มอร์ต้าซึ่งเป็นส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อทำให้สามารถรับแรงอัดได้สูง (COMPRESSIVE STRENGTH) ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ(IMPERMEAVILTY)ป้องกันสารเคมี (CHEMICAL RESISTANCE) และมีความสามารถในการทำงานได้ดี (WORK ABILITY)

ชนิดของซีเมนต์ที่นิยมใช้ในงานโครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์มีดังนี้

- ORDINARY PORTLAND CEMENT (TYPE1) นิยมใช้งานอย่างกว้างขวาง เพราะให้กำลังได้ดีโดยใช้ระยะเวลาไม่มากนักซึ่งเหมาะที่ใช้กับการรับกำลังในโครงสร้างอีกทั้งยังให้ความร้อนจากปฏิกิริยาเคมีไม่มากนัก
- HIGH EARLY STRENGTH CEMENT (TYPE3) นิยมใช้น้อยกว่า TYPE1 แต่ใช้กับงานที่ต้องการรับกำลังได้เร็วกว่า TYPE1 แต่กำลังรับแรงอัดประลัย (ULTIMATE STRENGTH)ก็ไม่มากไปกว่า TYPE1 มากนัก ใช้กับงานที่ต้องการถอดแบบเร็ว หรือกรณีที่ก่อสร้างในอุณหภูมิต่ำ
- PORTLAND BLAST-FURNACE CEMENT มีคุณสมบัติคล้าย TYPE 1 ได้จากการผสมตะกรัน (SLAG)บดละเอียด ผสมซีเมนต์ TYPE 1 ทำให้สามารถต่อต้านสารเคมีมากขึ้น เกิดความร้อนต่ำกว่า และได้กำลังช้ากว่า TYPE1 เล็กน้อย แต่กำลังรับแรงอัดประลัย ใกล้เคียงกับ TYPE 1

2.3.2. ทราย (SAND)

เป็นวัสดุเฉื่อยจะมีจำนวน 60% - 70 % ของปริมาณมอร์ต้า จะใช้ทรายธรรมชาติซึ่งอาจมีส่วนผสมของวัสดุหลายชนิดปนกันอยู่ต้องพิจารณาให้ดี มิฉะนั้นจะมีผลเสียต่อโครงสร้าง ทรายที่จะนำมาใช้ต้องมีขนาดคละที่ดี (WELL- GRADED SAND) เม็ดทรายมีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย และต้องมีความนสะอาดไม่มีอินทรีย์วัตถุเจือปน เช่น เศษไม้ ใบไม้ผุ ดิน วิธีง่ายที่ใช้ตรวจสอบปริมาณสิ่งเจือปน คือนำทรายตัวอย่างมาใส่ในขวดใสหนา 2 นิ้ว แล้วใส่น้ำให้ท่วมเหนือท้ายประมาณ 1 นิ้ว ปิดปากขวดเขย่าไปมาแล้วทิ้งไว้ให้ตกตะกอน สังเกตดูชั้นผิวหน้าของทายจะมีเศษผง หรือสิ่งเจือปนตกตะกอนอยู่ ถ้าหนามากกว่า 3/16 นิ้ว ไม่ควรนำทรายนั้นมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1. ขนาดคละของทราย

ขนาดตระแกรง	จำนวนที่ผ่านตระแกรง
3/8นิ้ว(9.5 มิลลิเมตร)	100
#เบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)	95-100
#เบอร์ 8 (2.36มิลลิเมตร)	80-100
#เบอร์ 16 (1.18 มิลลิเมตร)	50-85
#เบอร์ 30(600มิลลิเมตร)	25-60
#เบอร์ 50(300 มิลลิเมตร)	10-30
#เบอร์ 100(150 มิลลิเมตร	2-10

2.3.3. เสริมเหล็ก (REINFORCEING RODS OR SKELETAL SHEEL)

จุดประสงค์ที่ต้องเสริมเหล็กในโครงสร้าง ก็เพื่อทำหน้าที่เป็นโครงของโครงสร้างที่จะต้องถูกคลุมด้วยลวดตาข่ายทั้ง 2 ด้านเพื่อรับและกระจายแรงดึงที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างอันเกิดจาก

- การหดตัวของมอร์ต้า (SHINKAGE IN THE MORTAR) เกิดขณะที่มอร์ต้ากำลังจะแห้งและแข็งตัว การหดตัวนี้จะทำให้เกิดความเครียดตึงที่ผิวหน้าอันจะทำให้เกิดรอยร้าวเปลี่ยนไปคือ เป็นเฉพาะบริเวณผิวหน้าและขนาดเล็กมาก มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณ และการกระจายของเหล็กเสริม
- เนื่องจากแรงภายนอก (EXIERNAL LOAD) ตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างอาจจะเกิดแรงดัด (BENDING) และแรงบิด (TWISTING) อยู่เสมอซึ่งมอร์ต้าจะไม่สามารถรับแรงเหล่านี้ได้ด้วยตัวเอง จึงต้องมีการเสริมเหล็ก แต่ก็จะเกิดรอยแตกร้าว (CRACK) แต่จะควบคุมได้ด้วยปริมาณการกระจายและขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้ ชนิดของเหล็กที่ใช้ในโครงงานเป็นเหล็กเส้นที่นิยมใช้งานกันคือ
  (1) เหล็กกล้าละมุน (MILD STEEL)
  (2) เหล็กเหนียว (MEDIUM STEEL)
  (3) เหล็กรับแรงดึงสูง (HIGH TENSILE STEEL)

ความจริงเหล็กกล้าละมุนก็เพียงพอสำหรับรับแรงแต่นิยมใช้เหล็กรับแรงดึงสูงเพราะว่าเมื่อดัดเข้ารูปแล้วจะคงตัวดี ไม่บลิดเบี้ยวเสียรูป ขนาดทีใช้เส้นผ่าศูนย์กางประมาณ 6-12 มม.ทั้งเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามยาวและเหล็กตามขวาง ระยะห่าง(SPACING) ประมาณ 10-30 ซม .ซึ่งปริมาณของเหล็กเสริมไม่อาจคำนวณได้ แต่จะเสริมให้ระยะห่างมากที่สุดเท่าที่จะรองรับลวดตาข่ายให้ได้โครงเข้ารูปถูกต้องมากที่สุด

2.3.4. ลวดตาข่าย (RIENFORCING MESH OR WIIRE MESH)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเฟอร์โรซีเมนต์ ลวดตาข่ายนี้จะแตกต่างกันไปตามสถานที่ ทำโดยการนำเส้นลวดเล็ก ๆ มาถัก หรือเชื่อมติดกันเป็นแผ่นตาข่าย ซึ่งจะต้องสามารถดัดงอหรือเข้าโค้งทำมุมต่าง ๆ ได้ง่าย การเสริมทั้งสองด้านของเหล็กเสริม โดยลวดตาข่ายจะทำหน้าที่เป็นเสมือนแบบของมอร์ต้าที่ยังไม่แข็งตัวแต่เมื่อมอร์ต้าแข็งตัวแล้วลวดตาข่ายจะทำหน้าที่ป้องกันการแตกร้าวในมอร์ต้าและทำงานร่วมกับเหล็กเสริมในการรับแรงดึง แรงบิด มีหลายชนิด เช่น

2.3.4.1. HEXAGONAL WIRE MESH

นิยมใช้มากที่สุดเพราะราคาถูก สะดวกในการใช้งาน ทำจากลวดถักเป็นรูปหกเหลี่ยมมีทั้งชนิดอาบสังกะสีและไม่อาบสังกะสี ซึ่งกรณีอาบสังกะสีจะมีแรงยึดเหนี่ยว (BONDING) ระหว่างลวด และมอร์ต้าดีกว่าทั่วไป มักเรียกว่า ลวดกรงไก่ (CHICKEN WIRE MESH) ขนาดที่นำมาใช้งานเฟอร์โรซีเมนต์เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.0 มม . และความกว้างของช่องเปิด 10-25 มม.

2.3.4.2. WELDED WIRE MESH

ทำจากลวดแรงดึงต่ำ ถึงปานกลางนำมาเชื่อมติดกันเป็นตะแกรงสี่เหลี่ยม มีการอบสังกะสีจะมีความเข็งแรงมากกว่า HEXAGONAL WIRE MESH ขนาดที่นิยมใช้เบอร์ 18-19 และระยะห่าง 0.5 นิ้ว มีจุดอ่อนที่รอยเชื่อม ถ้ารอยเชื่อมไม่ดีจะหลุดได้ง่าย

2.3.4.3. WOVEN MESH

ทำจากลวดนำมาถักเป็นตะแกรงสี่เหลี่ยมไม่มีการเชื่อมตาข่าย ชนิดนี้ไม่ค่อยเรียบร้อยนัก เพราะเส้นลวดเคลื่อนที่ได้ง่าย ใช้งานได้ไม่ดีเท่า 2 ชนิดแรก ในการเข้าโค้งสามารถดึงให้ยึดและเข้ารูปได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.4. EXPENDED METAL MESH

ชนิดนี้ไม่ค่อยนำมาใช้งานในเฟอร์โรซีเมนต์ ทำจากแผ่นเหล็กบาง ๆ นำมาตัด แล้วจึงดึงให้เป็นช่องรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ไม่แข็งแรงเหมือนตาข่ายถักและเชื่อม แต่จะให้แรงยึดเหนี่ยวที่ดีขนาดของช่องเปิด 20-25 มิลลิเมตร

2.3.4.5. WATSON MESH

ทำจากลวดรับแรงดึงสูงและลวดธรรมดา นำมุกเป็นตารางถี่ ๆ สลับกันไป ซึ่งจะทำให้แข็งแรงไม่บิดงอเมื่อนำมาใช้กับงานเฟอร์โรซีเมนต์ มีผลดีคือ

(1) เนื่องจากความมั่นคงแข็งแรงจึงทำให้ลดความถี่ของการผูกมัดลงได้
(2) เนื่องจากรูค่อนข้างถี่ ซึ่งเสมือนกับการรวมหลาย ๆ ชั้นของลวดตาข่ายชนิดอื่น จึงปู เพียงข้างละ 1 ชั้นก็เพียงพอ
(3) ในโครงสร้างขนาดเล็กอาจไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็ก เพราะตัวลวดตาข่ายเอง ก็แข็งแรงอยู่แล้ว เพราะทำจากเหล็กลวดรับแรงดึงสูง จึงทำให้ลดความหนาของผนังลงได้

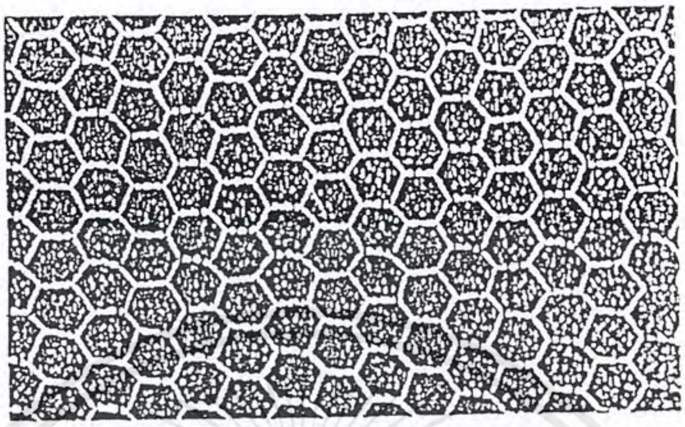
2.3.5. ลวดผูก (TYING WIRE)

ใช้สำหรับมัดลวดตาข่ายกับเหล็กเสริมหรือมัดโครงเหล็กเสริมในกรณีที่โครงสร้างมีขนาดเล็กไม่สามารถเชื่อมได้ ลวดที่ใช้ควรเป็นลวดอาบสังกะสีชนิดอ่อน (SOFT GALVANIZED WIRE) ขนาดเบอร์ 24-26 (ประมาณ 1.5 มม.) หรือบางทีอาจใช้เศษของลวดตาข่ายมัดก็ได้

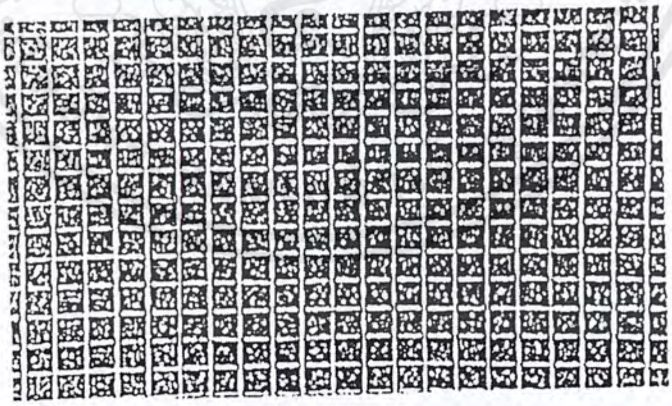
2.3.6. น้ำ(WATER)

น้ำที่ใช้ผสมมอร์ต้า อาจจะเป็นตัวลดกำลังของเฟอร์โรซีเมนต์ได้ถ้ามีคุณภาพไม่ดี สิ่งเจือปนอยู่ในน้ำจะมีผลต่อเวลาการแข็งตัว กำลังของมอร์ต้า ดังนั้นน้ำที่จะนำมาใช้ผสม หรือบ่มต้องสะอาดไม่มีดินโคลน กรดเกลือหรือ อินทรียวัตถุต่าง ๆ เจือปนมากนักอาจกล่าวได้ว่าน้ำที่ใช้นั้นควรจะสะอาดพอที่จะใช้ดื่มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

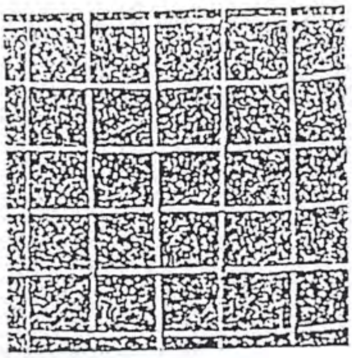


รูปที่ 2.1. HEXAGONAL WIRE MESH

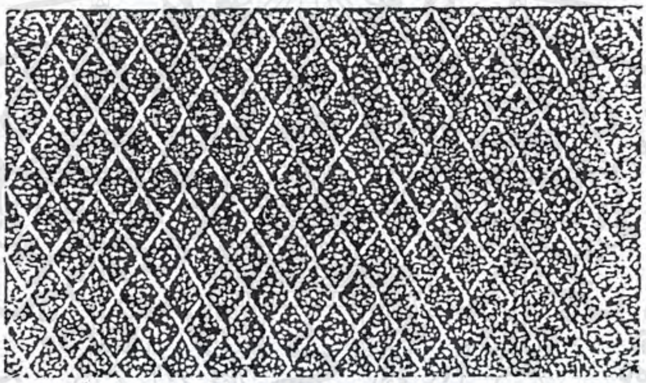


รูปที่ 2.2. WELDED WIRE MESH

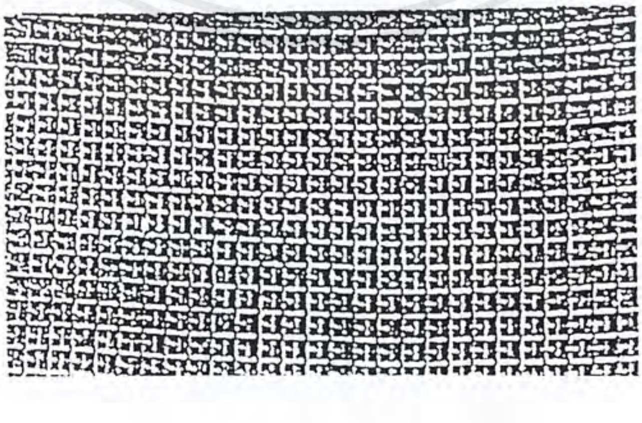
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3. WOVEN MESH



รูปที่ 2.4. EXPANDE METAL MESH



รูปที่ 2.5. WATSON MESH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.2. คุณสมบัติทั่วไปของลวดตาข่ายชนิดต่าง

Mesh type	Weight of one layer per unit area		Mesh thickness		Steel content		Estimate steel surface Per unit volume	
	kg/m^2	lb/ft^2	mm.	in.	kg/m^3	lb/ft^3	mm^2/mm^3	in^2/in^3
Hexagonal wire mesh 0.5" x 22 gauge	0.58	0.12	1.4	0.06	410	26	0.275	6.99
Square welded 0.5" x 0.5 x 19 gauge	1.08	0.22	2.0	0.08	540	34	0.248	6.30
Expanded metal Expamet TCG236	1.22	0.25	2.5	0.10	490	31	0.245	6.22
Watson mesh	3.53	0.72	5.5	0.22	605	38	0.236	5.99

2.3.7. สารผสมเพิ่ม (ADIMIXTURES)

เป็นสารที่นิยมใช้เพื่อที่จะเพิ่มคุณภาพบางประการของมอร์ต้า เช่น เพื่อความสามารถในการทำงาน (WORKABILITY) ลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ยืดเวลาการแข็งตัว ป้องกันการรั่วซึมของน้ำเป็นต้น สารผสมเพิ่มที่นิยมใช้กับงานเฟอร์โรซีเมนต์ คือ

- สารลดน้ำ (WATER – REDUCING ADMIXTURE)เป็นสารช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมจะทำให้มอร์ต้าที่มีกำลังดี อีกทั้งเป็นตัวช่วยเพิ่ม WORKABILITY ด้วย เพราะสารนี้จะทำให้เกิดฟองเล็ก ๆ มาก มายทำให้ลื่น ทำงานได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องใช้ปริมาณน้ำผสมมาก
- สารหน่วงเวลาการแข็งตัว (RETARDING ADMITURE)เป็นสารช่วยยืดระยะเวลาการแข็งตัวของมอร์ต้าออกไปจนทำให้ฉาบและตกแต่งได้ทันเวลา
- สารกันซึม (WATER PROOFING ADMIXTURE)ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- สารเพิ่มกำลัง (ACCELERATING ADMIXTURE)เป็นสารช่วยเพิ่มกำลังให้แก่มอร์ต้า แต่สารตัวนี้ไม่ได้รับความนิยมมากนัก เพราะสามารถกำหนดปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ (WATER – CEMENT RATIO) เป็นตัวเพิ่มกำลังให้แก่มอร์ต้าแทนได้

การใช้สารผสมเพิ่มต่าง ๆจะต้องอ่านคู่มือการใช้ และใช้ให้ถูกต้องจึงจะให้ประโยชน์ ถ้าการใช้ไม่รอบคอบอาจส่งผลร้ายมากกว่าผลดี ดังนั้นก่อนการนำไปใช้ ควรจะมีการหล่อตัวอย่างมอร์ต้าที่ผสมสารเพิ่มที่ต้องการ แล้วนำไปทดสอบให้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจเสียก่อน

2.4. การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่ทำมาแล้ว (สัมภาษณ์ ชนานิยม, 2539)

- Mahtew ได้ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับช่องตรงโครงเหล็กของเฟอร์โรซีเมนต์ และพบว่าเฟอร์โรซีเมนต์เหมาะมากที่จะใช้เป็นหลังคาหรือพื้นของอาคารพักอาศัย เพราะอากาศที่อยู่ในช่องของโครงเหล็กจะช่วยลดความร้อนจากภายนอกที่จะผ่านเข้าไปในอาคารพักอาศัย
- Ahmed and Dawood พบว่า shell-typeของเฟอร์โรซีเมนต์ เหมาะที่จะใช้เป็นส่วนประกอบของหลังคายิมเนเซียมเพราะต้นทุนถูกลง 20 % และลดเวลาในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังทนทานกว่า conventional asbestos cement และสังกะสี
- Anwar แสดงให้เห็นว่าเฟอร์โรซีเมนต์เหมาะสำหรับบ้านราคาถูกในปากีสถานโดยใช้ทำหลังคาและกำแพง เฟอร์โรซีเมนต์มีราคาถูกและทนทาน ตารางที่ 2.3 และ 2.4 เปรียบเทียบ Brick Masonry Wall และ Ferrocement Wall Panel Economic Analysis ตารางที่ 2.5 และ 2.6 เปรียบเทียบ Panel Ferrocement roofing units และ Reinforced concrete roof

ตารางที่ 2.3. Brick Masonry Wall Panel

No.	Item	Unit	Quantity	Unit Price(Rs.)	Total Price (RS)
1	Brick	pieces	990	1.00	990
2	Portland cement	bags	4.85	110.00	533.50
3	Sand	m3	0.75	45.00	333.75
Grand Total 1557.25 Cost per m2 173.03					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
45840

ตารางที่ 2.4. Ferrocement Wall Panel Economic Analysis

No.	Item	Unit	Quantity	UnitPrice (Rs.)	Total Price (Rs.)
1.	Steel 6mm. Dia. @ 300 mm.	m	66	3.40	224.4
2.	Steel 6 mm. Dia. For anchorage	m	10	3.40	34.00
3.	Wire mesh (2 layer)	m^2	18	20.00	360.00
4.	Binding wire	kg	1	20.00	20.00
5.	Portland cement	bags	4	110.00	440.00
6.	Sand	m^3	0.28	45.00	12.60
Grand Total 1091.00 Cost per m^2 121.00					

ตาราง 2.5. Ferrocement Roofing Units

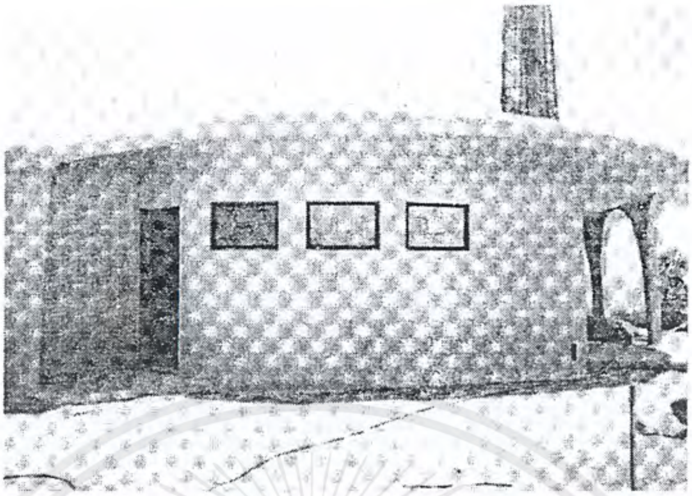
No.	Item	Unit	Quantity	UnitPrice (Rs.)	Total Price (Rs.)
1.	Longitudinal skeletal steel 4 mm. dia. (bottom)	m	75	1.40	105.00
2.	Longitudinal skeletal steel 4 mm. dia (sides)	m	110	1.40	154.00
3.	Transverse steel stirrups 3 mm. dia	m	80	0.84	67.20
4.	Binding wire	kg	1	20.00	20.00
5.	Portland cement	bags	5.5	110.00	605.00
6.	Sand	m^3	0.28	45.00	12.60
Gand Total 1713.80 Cost per m^2 190.40					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6. Reinforced Concrete Roof

No.	Item	Unit	Quantity	UnitPrice (Rs.)	Total Price (Rs.)
1.	Reinforcement steel 12.5 mm. dia 2 @ 250 mm. c/c	m	80	14.00	1120.00
2.	Portland cement	bags	6.5	110.00	715.00
3.	Sand	m^3	0.5	45.00	22.50
4.	Course aggregate	m^3	1.0	450.00	450.00
5.	Shuttering	m^2	9	10.00	90.00
Grand Total 2397.50 Cost per m^2 266.40					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6. บ้านที่สร้างจากเฟอร์โรซีเมนต์

- โดมินิกัน รีพลับลิกมีการสร้างบ้านโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์
- อินเดีย ที่เมือง Auroville ได้เริ่มสร้างบ้านที่ใช้เฟอร์โรซีเมนต์เป็นหลังคาเพราะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ
- ที่เมือง Jaipur ได้มีการปลูกสร้างโดมรูปปิรามิดโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์ เนื่องจากเฟอร์โรซีเมนต์มีน้ำหนักเบาและง่ายต่อการก่อสร้างงไม่ต้องใช้คนงานที่มีทักษะมาก
- หมู่บ้านHansol มีการใช้เฟอร์โรซีเมนต์เป็นชั้นกันน้ำทับหลังคาไม้อันเก่าซึ่งมีอายุการใช้งานถึง 20 ปี
- อินโดนิเซีย มีการสร้างโดมจากเฟอร์โรซีเมนต์ที่ Ujung Pandang และ Banda และยังมีการใช้กำแพงเฟอร์โรซีเมนต์สำหรับที่พักอาศัยใน South Sulawesi

รูปที่ 2.7. บ้านที่สร้างจากเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อิตาลี Nervi เป็นผู้เริ่มสร้างโกดังโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์ในปี 1945 ที่โรม นอกจากนี้ยังใช้เฟอร์โรซีเมนต์ในการสร้างโดม,หลังคาสเตเดียม, โรงละคร และร้านอาหาร
- เม็กซิโก ใช้เฟอร์โรซีเมนต์ในการทำโดม เพราะมีน้ำหนักเบา และลักษณะการติดตั้งช่วยเพิ่มความมั่นคงให้กับตัวโดมด้วย
- นิวซีแลนด์ Gainor Jackson สร้างบ้านพักอาศัยจากเผอร์โรซีเมนต์ ซึ่งเขาอ้างว่าสามารถประหยัดต้นทุนได้ถึง 30 %

รูปที่ 2.8. Ferrocement shell

- ที่ Swanson ทาวเวอร์ เมือง Auckland แผ่นกันแดดและช่องลมทำจากเฟอร์โรซีเมนต์ซึ่งใช้ได้ผลดีมาก
- ที่ West Plaza ตึกระฟ้าในเมือง Auckland ใช้เฟอร์โรซีเมนต์ทำกันสาดเพื่อเก็บน้ำฝนจากผนังรับน้ำหนัก
- ปาปัวนิวกินี มีการพัฒนาการสร้างบ้านากเฟอร์โรซีเมนต์เพื่อสนองความต้องการบ้านที่มีราคาถูกและต้านทานแผ่นดินไหวและพายุ ซึ่งบ้านที่สร้างจากเฟอร์โรซีเมนต์ซึ่งจะมีราคาประมาณ 4000 ดอลลาร์เท่านั้น
- ฟิลิปปินส์ บ้านพัก 22 หลัง ล้านพักของ Bishop โรงพยาบาล เป็นตัวอย่างการใช้เฟอร์โรซีเมนต์ในฟิลิปปินส์และแผ่นของเฟอร์โรซีเมนต์ยังใช้เป็นรั้วอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปอร์โตริโก เฟอร์โรซีเมนต์ใช้ทำหลังคา พื้น ผนัง ในโครงการบ้านราคาถูกของรัฐบาลแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ได้รับการทดสอบว่าเหมาะสมกับอากาศในเขตร้อน และมีการติดตั้งโรงงานทำแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์อยู่
- ศรีลังกา Building Research Institute of the Stale Engineering Corporation of Sri Lanha ได้พัฒนาส่วนประกอบของอาคารโดยบใช้เฟอร์โรซีเมนต์ เช่น แผ่นหลังคา ประตู หน้าต่าง และผนัง
- อเมริกา เฟอร์โรซีเมนต์ Shell ซึ่งใช้เป็นศูนย์ประชาสัมพันธ์
- รัสเซีย เฟอร์โรซีเมนต์ใช้ครั้งแรกเมื่อ 30 กว่าปีที่แล้ว เป็นหลังคารูปโค้งของตลาดแห่งหนึ่งในเลนินการ์ด หลังจากนั้นเมื่อมีการเริ่มพัฒนาการผลิตเฟอร์โรซีเมนต์จากแรงคนเป็นเครื่องจักรมากขึ้น ได้มีการใช้เฟอร์โรซีเมนต์ทั้งในภาคอุตสาหกรรม เกษตกรรม คมนาคม และการก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น หลังคาโค้งคาที่ทำโดยเฟอร์โรซีเมนต์ที่สถานีรถโดยสารในเลนินการ์ด เพดานเฟอร์โรซีเมนต์ในโรงงาน โรงนาเฟอร์โรซีเมนต์
- โถส้วมเฟอร์โรซีเมนต์ พัฒนาในประเทศไทยและบังคลาเทศ UNICEF ให้อู่เรือ Chittagong ในบังคลาเทศทำโถส้วมเฟอร์โรซีเมนต์สำหรับแจกจ่ายให้แก่คนในชนบท
- แท็งค์น้ำและถังส้วมซึม เฟอร์โรซีเมนต์ถือว่าเป็นวัสดุที่เหมาะสมมากที่จะทำแท็งค์และภาชนะบรรจุหลายรูปร่างหลายขนาด นิวซีแลนด์และอินเดียมีโรงงานและขายแท็งค์เฟอร์โรซีเมนต์หลายขนาด ในบังคลาเทศ อินโดนีเซีย มาเลเซีย ประเทศไทยและอเมริกามีแท็งค์เก็บน้ำเฟอร์โรซีเมนต์และถังส้วมซึมที่ทำจากเฟอร์โรซีเมนต์
- สระว่ายน้ำ ในต้นคริสตวรรษที่ 70 ได้มีการสร้างสระว่ายน้ำจากเฟอร์โรซีเมนต์ในนิวซีแลนด์
- สไลด์เด็กเล่น สไลด์เด็กเล่นเฟอร์โรซีเมนต์ในได้ประมาณ 2 ปี
- กระเบื้องตกแต่ง บริษัท Majima จำกัดในญี่ปุ่น คิดค้นกระเบื้องผังและพื้นจากเฟอร์โรซีเมนต์ด้านบนของกระเบื้องเฟอร์ซีเมนต์ดูเหมือนหินอ่อนอย่างดี แต่มีแบบอื่นๆ ด้วย มีรายงานว่ากระเบื้องเฟอร์โรซีเมนต์มีความแข็งแรงกว่าอิฐธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบประยุกต์เฟอร์โรซีเมนต์

การออกแบบเฟอร์โรซีเมนต์จะคล้ายกับการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมศาสตร์ทั่วๆไป โดยเฉพาะการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก และการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง โดยการออกแบบจะใช้พื้นฐานตัวเลขที่อยู่ในช่วงที่จำกัด ซึ่งช่วงที่จำกัดก็คือค่าที่อยู่ระหว่างค่าที่ยอมให้และค่าที่ไม่ยอมให้

3.1. การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

หลักเกณฑ์ของการคำนวณออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้แรงงาน คือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้น ต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าหน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ ตามข้อกำหนด

หน่วยแรงที่เกิดขึ้น $\leq$ หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้

$$\text{หน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้} = \frac{\text{Strength}}{\text{Safety factor}} \tag{3.1.}$$

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นหาค่าได้ดังนี้

$\frac{N}{Ac}$ สำหรับแรงดึง

$\frac{M}{S}$ สำหรับโมเมนต์ดัด

$\frac{VK}{Ib}$ สำหรับแรงเฉือน

โดยที่

Ac คือ พื้นที่หน้าตัด

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S คือ โมดูลัสหน้าตัด

K คือ โมเมนต์ของพื้นที่เหนือระนาบแรงเฉือน

b คือ ความกว้างหน้าตัด

การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ค่าความเค้นที่ยอมให้ที่ใช้กับคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถใช้ได้กับ ความเค้นที่ยอมให้สำหรับเฟอร์โรซีเมนต์ด้วย

3.2. การออกแบบโดยวิธีกำลังประลัย

หลักเกณฑ์การออกแบบ คือ การกระทำของน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว (factored load) หรือกำลังที่ต้องการ (required strength) ต้องมีค่าไม่เกินกว่ากำลังต้านทานที่ใช้ออกแบบ (design strength) ซึ่งเป็นกำลังต้านทานสูงสุดของส่วนโครงสร้างนั้น (nominal strength) ที่ถูกลดค่าหรือทอนกำลังลงด้วยตัวคูณลดกำลังต้านทาน (strength reduction faction) นั่นคือ

กำลังที่ใช้ออกแบบ (design strength) $\geq$ กำลังที่ต้องการ (required strength)

หรือ

$$U = \sum \gamma_i Q_i < \phi R_n \qquad (3.2.)$$

โดยที่

i = ชนิดของน้ำหนักบรรทุก

Q_i = น้ำหนักที่กระทำ

γ_i = ตัวคูณเพิ่ม

U = กำลังประลัยที่ต้องการ

R_n = กำลังต้านทานสูงสุดของโครงสร้างนั้น

ϕ = ตัวคูณลด

ϕR_n = กำลังที่ใช้ออกแบบ

จากการประชุมสัมมนาเฟอร์โรซีเมนต์นานาชาติครั้งที่ 6 ได้มีข้อแนะนำสำหรับการพิจารณาหาค่าน้ำหนักประลัย(U) เนื่องจากน้ำหนักหรือแรงกระทำต่างๆ ที่เพิ่มค่าแล้ว ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

U	=	2D+2L	(3.3.)
U	=	0.75(2D+2L+1.7W)	(3.4.)
U	=	0.9D+1.3W	(3.5.)
U	=	2D+2L+1.7H	(3.6.)
U	=	0.75(2D+1.4T+2L)	(3.7.)

โดยที่

D	คือ	น้ำหนักบรรทุกคงที่
L	คือ	น้ำหนักบรรทุกจร
W	คือ	แรงลม
H	คือ	น้ำหนักจากแรงดันของโลก
T	คือ	ผลกระทบจากอุณหภูมิ

สำหรับค่าตัวคูณลด(ϕ)ใช้ตามมาตรฐาน ACI เหมือนกับคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ

ϕ	=	0.9	สำหรับแรงดัดและแรงดึงตามแกน
ϕ	=	0.85	สำหรับแรงเฉือน
ϕ	=	0.7	สำหรับแรงกดตามแนวแกน

3.3. ข้อแนะนำสำหรับการออกแบบเฟอร์โรซีเมนต์

1. ค่าความเค้นที่ยอมให้ภายใต้น้ำหนักใช้งานสูงสุด

1.ความเค้นดึงของลวดตาข่าย ไม่เกิน 0.6 σ_{ry} หรือ 400 Mpa

เมื่อ σ_{ry} คือ ค่า yield strength ของลวดตาข่าย

2. ค่าความเค้นแรงกดมากสุดของ mortar ไม่เกิน 0.45 fc’

fc’ คือ ค่า strength ของ mortar จากการกดตัวอย่างแบบ cylinders

2. ความกว้างของรอยแตกร้าวมากสุดที่ยอมให้

1. โครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์สำหรับบรรจุน้ำ ไม่เกิน 0.05 mm.

2. โครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์ทั่วไป ไม่เกิน 0.1 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความหนาของเฟอร์โรซีเมนต์

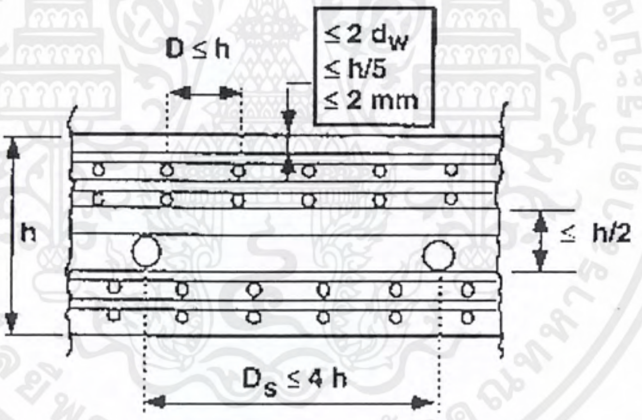
มีค่าระหว่าง 6-50 mm.

4. ช่องเปิดของลวดตาข่าย

ไม่ควรมากกว่าความหนาของเฟอร์โรซีเมนต์(h) และไม่เกิน 25 mm.

5. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ไม่ควรเกิน 50 % ของความหนาทั้งหมดของเฟอร์โรซีเมนต์ และระยะห่างของเหล็กเสริมไม่ควรมากกว่า 4 เท่าของความหนาเฟอร์โรซีเมนต์ (4h)



รูปที่ 3.1. แสดงหน้าตัดที่เหมาะสมของเฟอร์โรซีเมนต์

6. ปริมาตรน้อยสุดของลวดตาข่ายและเหล็กเสริม (Vr)

สำหรับโครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์ที่ไม่ใช่งานบรรจุน้ำ ไม่ควรน้อยกว่า 1.8 % และ โครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์ที่ใช้บรรจุน้ำ ไม่ควรน้อยกว่า 3.5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของลวดตาข่ายและเหล็กเสริม(Sr)

สำหรับโครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์ที่มไม่ใช่งานบรรจุน้ำ ไม่น้อยกว่า 0.8 cm^2/cm^3 และโครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์ที่ใช้บรรจุน้ำ ไม่น้อยกว่า 1.6 cm^2/cm^3 โดยไม่รวมเหล็กเสริม

8. จำนวนชั้นของลวดตาข่าย

ไม่ควรน้อยกว่า 2 ชั้น

9. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตาข่าย

ไม่ควรน้อยกว่า 2 mm. แต่ที่มีขายอยู่ทั่วไปประหว่าง 0.5-1 mm.

3.4. การคำนวณหาค่าปริมาตรน้อยสุดของลวดตาข่ายและเหล็กเสริม(Vr)ในเฟอร์โรซีเมนต์

$$Vr = \frac{V\ reinforcement}{V\ composit} \quad (3.8.)$$

ลวดตาข่ายสี่เหลี่ยมจัตุรัส

$$Vr = \frac{N\pi dw2}{2hD} \quad (3.9.)$$

โดยที่

N = จำนวนชั้นลวดตาข่าย

π = 3.14

dw = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตาข่าย

D = ระยะช่องของลวดตาข่าย

h = ความหนาของเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลวดตาข่ายรูปร่างอื่นๆ

$$Vr = \frac{N\,Wr}{h\,\gamma r} \qquad (3.10.)$$

โดยที่

N = จำนวนชั้นลวดตาข่าย

Wr = หน่วยน้ำหนักลวดตาข่าย (kg/m^2)

γr = ความหนาแน่นของลวดตาข่าย (kg/m^3)

h = ความหนาของเฟอร์โรซีเมนต์

3.5. การคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะลวดตาข่ายและเหล็กเสริม(Sr) ที่ต้องมีในเฟอร์โรซีเมนต์

$$Sr = \frac{4\,Vr}{dw} \qquad (3.11.)$$

โดยที่

Vr = ปริมาตรน้อยสุดของลวดตาข่ายที่คำนวณได้

dw = เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตาข่าย

3.6. การคำนวณหาค่าความกว้างรอยร้าวบนผิวเฟอร์โรซีเมนต์ (W)

สำหรับ ค่าความเค้นใช้งาน(σr) $\leq$ 345 Sr (Sr คิดด้านเดียว)

$$\text{ค่า } W_{max} = \frac{3500}{Er} \qquad (3.12.)$$

สำหรับ ค่าความเค้นใช้งาน(σr) > 345 Sr (Sr คิดด้านเดียว)

$$\text{ค่า } W_{max} = [175 + 3.69(\sigma r - 345\,Sr)]\,\frac{20}{Er} \qquad (3.13.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7. การออกแบบโครงสร้างเปลือกโค้งบาง (Shell Structure)

เป็นโครงสร้างที่บาง แข็ง เป็นรูปโค้ง โครงสร้างเปลือกบางมีลักษณะเฉพาะในการรับน้ำหนักที่เป็นแบบแรงกระจาย(distributed loads) ซึ่งคล้ายกับโครงสร้างหลังคา และไม่เหมาะที่จะนับแรงกระทำเป็นจุดได้ (concentrated loads)

3.7.1. ชนิดของแรงในโครงสร้างเปลือกบางรูปครึ่งทรงกลม

1. แรงตามยาว (meridional force) ซึ่งเป็นแรงกดตามแนวดิ่งทั้งหมด

2. แรงตามแนวรัศมี (hoop force) ซึ่งเป็นแรงที่ตั้งฉากกับ แรงตามยาว (meridional force) มีแรงทั้งแรงกดและแรงดึง โดยปกติจะแบ่งที่มุม 51องศา 49 ลิปดา วัดจากเส้นตั้งฉากแกนแนวดิ่ง โดยที่ส่วนด้านบนจะเป็นแรงกด (compresstion force)และด้านล่างจะเป็นแรงแบบดึง(tension force)

ถ้าโครงสร้างไม่มีแรงกระทำเป็นจุด (concentrated loads) ก็จะไม่เกิดแรงตัดในโครงสร้างเปลือกบาง เนื่องจากเกิดความสมดุลของแรงภายในทั้งสองในสภาวะรับแรงกระจาย(distributed loads)

3.7.2. สูตรการคำนวณ

แรง ตามแนวยาว (meridional force)

$$N\phi = \frac{Rw}{1+\cos\phi} \qquad (3.14.)$$

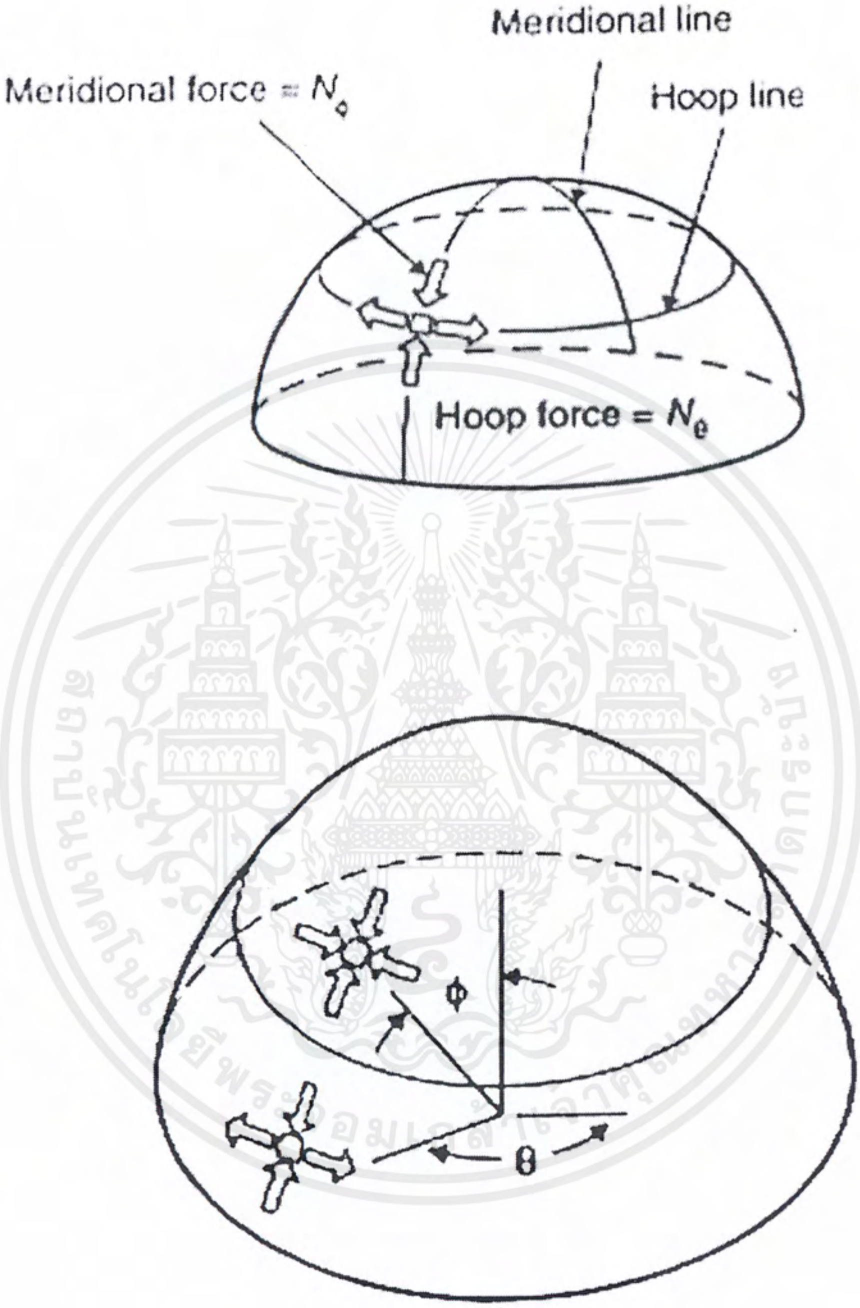
แรงตามแนวรัศมี(hoop forces)

$$N\theta = \frac{Rw(-1 + \cos\phi)}{1+\cos\phi} \qquad (3.15.)$$

ความเค้นตามแนวยาว (meridional stress)

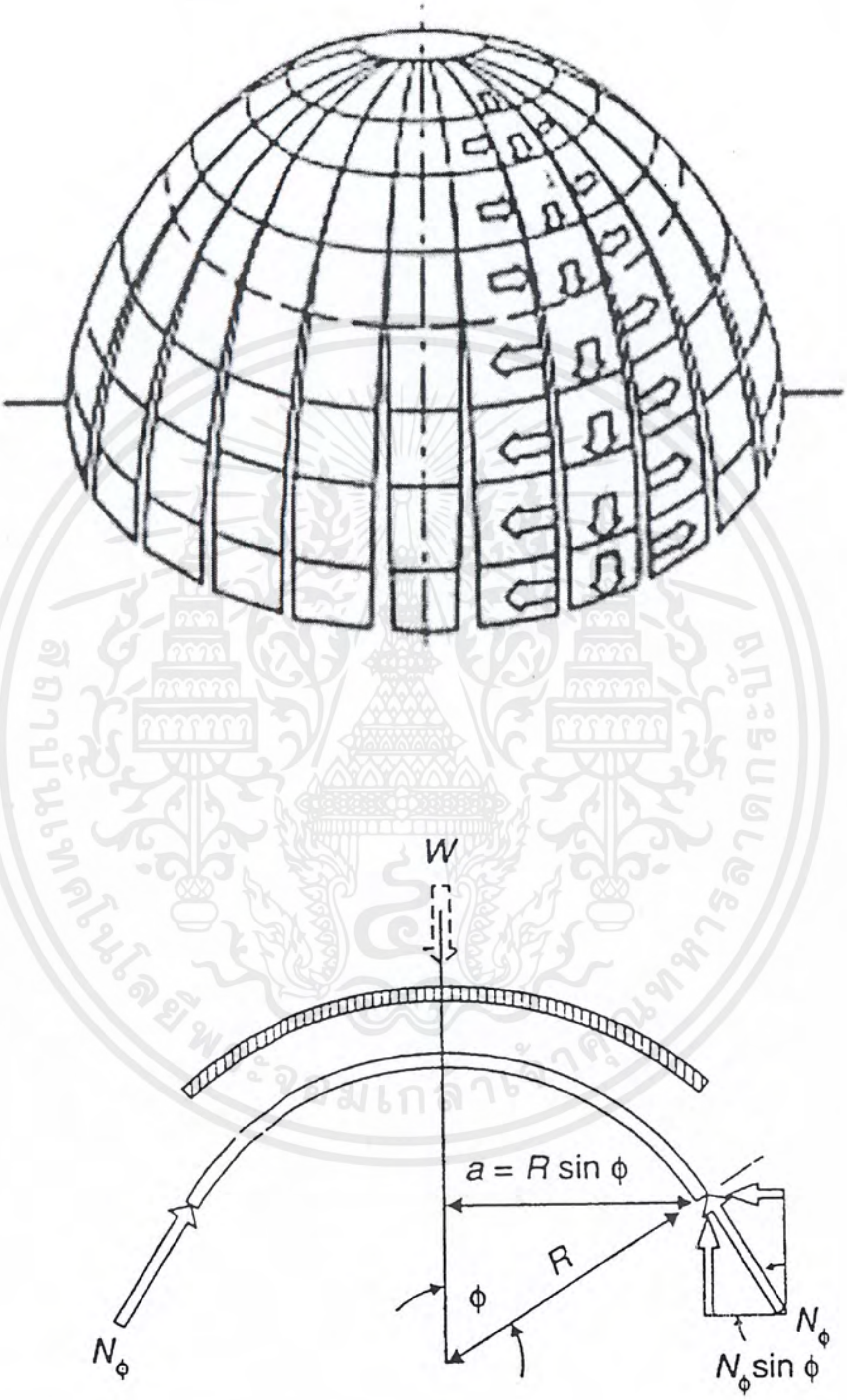
$$f\phi = \frac{N\phi}{t} \qquad (3.16.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.แสดงลักษณะแรงในโครงสร้างเปลือกบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3. แสดงลักษณะแรงในโครงสร้างเปลือกบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นตามแนวรัศมี (hoop stress)

$$f\theta = \frac{N\theta}{t} \qquad (3.17)$$

3.8.ขั้นตอนการคำนวน

ขั้นตอนการคำนวณออกแบบศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ครึ่งวงกลมขนาดรัศมี 2 ม. หนา 4 cm.รับน้ำหนักตัวเอง(dead loads) ที่เป็นแรงกระจาย (distribution loads) ไม่พิจารณาแรงดัด(bending forces)ในโครงสร้างแบบเปลือกบาง

กำหนด

ค่าน้ำหนักบรรทุกจร(live loads)แบบหลังคาเท่ากับ 50 kg/ m^2

ค่าหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าเท่ากับ 2080 kg/m^3

ความเค้นแรงกดของมอร์ต้า (fc') = 100 ksc = 9.81 MPa

ใช้ลวดตาข่ายชนิดเชื่อม(welded mesh)ช่องรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 12x12 mm. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm.

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(elastic modulus) Er = 159,000 Mpa

ค่า yield strength σry = 485 Mpa

ค่าความเค้นกดที่ยอมให้ในเฟอร์โรซีเมนต์ $(\sigma c)all$ = 0.45 fc' = 4.41 Mpa

ค่าความเค้นแรงดึงที่ยอมให้ของลวดตาข่าย (σr) all = 0.6 σry = 291 Mpa

วิเคราะห์หาแรงในโครงสร้างตามทฤษฎี โครงสร้างเปลือกบาง

น้ำหนักบรรทุกคงที่	D	=	(2080 x 0.04) + (7850 x 0.009)
		=	83.2 + 70.65 kg/ m^2
		=	816.2 + 693.07 N/ m^2
		=	1509.27 N/ m^2
น้ำหนักบรรทุกจร	L	=	50 kg/ m^2
		=	490.5 N/ m^2
น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด	D+L	=	2D + 2L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= (2 \times 1509.27) + (2 \times 490.5)$$

$$w = 3999.54\ N/m^2$$

จากสูตร

แรงกด ตามแนวยาว (meridional force)มากสุดที่ ϕ = 90 องศา

$$N\phi = \frac{Rw}{1+COS\ \phi}$$

แทนค่า

$$N\phi = \frac{2 \times 3999.54}{1 + COS\ 90}$$

$$= 7999\ N/m$$

แรงดึงตามแนวรัศมี(hoop forces)

$$N\theta = Rw\left(\frac{-1}{1+COS\ \phi} + COS\ \phi\right)$$

แทนค่า

$$= (2 \times 2613.4)\left(\frac{-1}{1+COS\ 90} + COS\ 90\right)$$

$$= -7999\ N/m \text{ (แรงดึง)}$$

พิจารณาหาความหนาน้อยสุดของเฟอร์โรซีเมนต์ (t)

$$t = \frac{T}{(\sigma c)all}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{7999}{4.41 \times 10^{6}}$$

$= 1.8 \times 10^{-3}$ m

$= 0.18$ mm $<$ ความหนาที่กำหนด 40 mm

พิจารณาพื้นที่หน้าตัดตามขวางสุทธิของลวดตาข่าย(Ar)

$$(Ar)require = \frac{T}{(\sigma r)\ all}$$

$$= \frac{7999}{291 \times 10^{6}}$$

$= 2.75 \times 10^{-5}$ m^2/m

$= 27.5$ mm^2/m

ให้ค่าพื้นที่หน้าตัดขวางลวดตาข่าย = 0.7854 mm^2

ลวดตาข่าย 1 เมตรมีจำนวนเส้น = 100/1.2 = 83 เส้น/เมตร

จำนวนลวดตาข่ายที่ต้องการ = $\frac{27.5}{0.7854}$

= 35 เส้น/ เมตร

ดังนั้นใช้ลวดตาข่าย 1 ชั้นก็พอ แต่ข้อกำหนดให้ใช้ลวดตาข่ายไม่น้อยกว่า 2 ชั้น

ดังนั้นใช้ลวดตาข่าย 2 ชั้น มีค่า Ar ใช้งาน = 2 x 83 x 0.7854

= 130 mm^2 / m

พิจารณาค่าปริมาตรน้อยสุดของลวดตาข่ายและเหล็กเสริม(Vr)ในเฟอร์โรซีเมนต์

จากสูตร $Vr = \frac{N\pi dw^2}{2\,h\,D}$ (ใช้เมื่อช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

$$Vr \text{ ลวดตาข่าย} = \frac{2 \times \pi \times 1^2 \times 100}{2 \times 40 \times 12}$$

$$= 0.65\ \%$$

$$Vr \text{ เหล็กเสริม} = \frac{2 \times \pi \times 9^2 \times 100}{2 \times 40 \times 200}$$ (ช่องว่างเหล็กเสริม 9 mm. = 20 cm.)

$$= 3.18\ \%$$

$$Vr \text{ รวม} = 0.65 + 3.18$$

$$= 3.38\ \% > 1.8\ \%$$

พิจารณาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะลวดตาข่ายและเหล็กเสริม(Sr) ที่ต้องมีในเฟอร์โรซีเมนต์

จากสูตร $$Sr = \frac{4\,Vr}{dw}$$

แทนค่า

$$Sr = \frac{4 \times 0.0338}{1}$$

$$= 0.135\ mm^2/mm^3$$

$$= 1.35\ cm^2/cm^3 > 0.8\ cm^2/cm^3$$

พิจารณาความกว้างรอยร้าวบนผิวเฟอร์โรซีเมนต์

ความเค้นใช้งานก่อนเกิดรอยร้าว(σr) $$= \frac{T}{Ar}$$

$$= \frac{7999}{130 \times 10^{-6}}$$

$$= 61.53\ \text{Mpa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า 345 x Sr (1 ด้าน) = $\frac{345 \times 1.35}{2}$

= 233 Mpa

ดังนั้น σr < 345 Sr

สูตรหาความกว้างรอยร้าว (W) ที่เกิด

$$W = \frac{3500}{Er}$$

แทนค่า $= \frac{3500}{159,000}$

= 0.022 mm. < 0.1 mm.(ความกว้างที่ยอม)

3.9. ขั้นตอนการก่อสร้าง

การก่อสร้างศาลาเฟอร์โรซีเมนต์รูปครึ่งวงกลมสามารถแบ่งเป็น 2 งานใหญ่ๆได้คือ งานเหล็ก และ งานปูน ซึ่งขั้นตอนการก่อสร้างสามารถปฏิบัติได้ดังนี้

1. เตรียมไม้ที่จะทำเป็นแบบไว้สำหรับดัดเหล็กเป็นรูปวงกลมซึ่งเป็นส่วนที่เป็นฐาน
2. ตอกตะปูให้เป็นรูปวงกลมโดยให้ระยะห่างของตะปูห่างกันพอประมาณ และตอกตะปูไว้เป็นคู่ๆเพื่อให้ง่ายต่อการดัด
3. ตัดเหล็กเส้น (ในที่นี้ใช้เหล็ก RB 9)ให้ได้ความยาวของเส้นรอบวงกลมที่ฐาน โดยเผื่อความยาวของเหล็กเส้นไว้เพื่อต่อทาบ
4. ดัดเหล็กเส้นที่ตัดไว้ตามตะปูที่ตอกไว้ และใช้ลวดเชื่อม เชื่อมให้เหล็กติดกัน
5. ทำตามข้อ 2 ถึง ข้อ 4 อีกแต่ทำวงกลมให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งทำอีกเพิ่มอีก 2 วง (จะทำวงกลมที่ฐานกี่วงแล้วแต่ขนาดของฐานที่ทำ)
6. ตัดเหล็กเส้นเป็นเส้นตรงและเชื่อมออกจากจุดศูนย์กลางไปตามแนวรัศมีเพื่อเชื่อมวงกลมแต่ละวงให้ติดกัน
7. ตัดเหล็กเส้นและเชื่อมทำเป็นเสาชั่วคราวเพื่อให้ง่ายแก่การขึ้นโครงเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ขึ้นโครงผนังและหลังคาโดยตัดเหล็กตามความยาวที่ได้คำนวณไว้เสร็จแล้วดัดเหล็กที่ตัดได้ให้โค้งเป็นรูปครึ่งวงกลมตามที่กำหนดไว้
9. เชื่อมเหล็กเส้นที่ดัดเรียบร้อยแล้วติดกับฐาน (ขณะที่ขึ้นโครงไม่ต้องกังวลว่าเหล็กที่ดัดไว้จะเสียรูปเพราะสามารถดัดตกแต่งได้หลังจากเชื่อมเสร็จแล้วได้)
10. ทำตามขั้นตอนที่ 8 โดยให้ระยะห่างของเหล็กเส้นแต่ละเส้นเป็น 20 ซม. (ได้จากการคำนวณ) และทำช่องเปิดของศาลาพร้อมกันไปด้วย
11. ตัดเหล็กเส้นและดัดให้โค้งพอประมาณ นำไปเชื่อมคาดตามขวางเพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยให้ระยะห่างของเหล็กเส้นที่คาดตามขวางเป็น 20 ซม. (ได้จากการคำนวณ)
12. ทำการเทพื้นของศาลาด้วยคอนกรีต
13. ทำการติดลวดตะแกรง(ลวดกรงไก่) โดยติดเป็น 2 ชั้น (ได้จากการคำนวณ) ด้านนอกกับด้านใน การติดลวดตะแกรงต้องติดให้ช่องของลวดตะแกรงเลื่อมกันและติดให้เรียบ โดยเทคนิคของการติดลวดตะแกรงให้เรียบไม่เป็นคลื่นทำได้โดย พยายามตัดลวดตะแกรงเป็นแผ่นเล็กๆแล้วติดไปเรื่อยๆ
14. ใช้ลวดผูกเหล็กผูกลวดตะแกรงทั้ง 2 ชั้นให้ติดกัน
15. ใช้ปูนฉาบ ฉาบผิวทั้งด้านในและด้านนอกให้เรียบ
16. ปล่อยทิ้งไว้จนเฟอร์โรซีเมนต์เซ็ทตัว และบ่มเฟอร์โรซีเมนต์โดยการฉีดน้ำให้ทั่วจนเฟอร์โรซีเมนต์มีกำลังเต็มที่
17. ตัดเสาที่ทำจากเหล็กเส้นออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การศึกษาด้านคุณสมบัติเชิงกล

4.1. บทนำ

คุณสมบัติสำคัญ 3 ประการที่ต้องใช้ทำนายผลของเฟอร์โรซีเมนต์ในเรื่องของแรงอัดและแรงดัด คือ

1. กำลังรับแรงดึงที่จุดคลาก(yield strength) ของลวดตะแกรง
2. The effective modulus ของลวดตะแกรงเพียงอย่างเดียวหรือลวดตะแกรงที่ถูกหุ้มด้วยซีเมนต์มอร์ต้า
3. ค่าประสิทธิผล(efficiency factor) ของลวดตะแกรง

ในการทดสอบจะกำหนดคุณสมบัติทั้ง 3 นี้สำหรับลวดตะแกรงแต่ละระบบที่ถูกอะบายในที่นี้ และค่าของแต่ละตัวอย่างได้แนะนำไว้ในตาราง 7.1 และ 7.2 เพื่อใช้ในการออกแบบ โดยเฉพาะได้อธิบายเป็นตัวอย่างที่ทดลองแรงดึงและแรงดัดของส่วนประกอบของเฟอร์โรซีเมนต์

4.2. การทดสอบเฟอร์โรซีเมนต์

ในส่วนนี้จะนำมาตรฐาน ACI สำหรับการออกแบบ การก่อสร้าง และการซ่อมแซมเฟอร์โรซีเมนต์ (ACI 549.1R)

การทดลองและการสังเกตมากมายที่ปกติแล้วจะทำระหว่างการออกแบบ การก่อสร้าง และหลังหลังจากการใช้งานแล้ว โดยเฉพาะโครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์ที่เหมาะสม ซึ่งจะรวมไปถึง 1.การทดสอบทางกายภาพ การทดสอบทางเคมี และการทดสอบคุณสมบัติทางกลของส่วนประกอบของวัสดุก่อนที่จะรวมกัน (water purity, sieve analysis ของทราย, กำลังของลวดตะแกรงเป็นต้น) 2. การทดสอบและควบคุมคุณสมบัติของมอร์ต้าสด เช่น slump,air content เป็นต้น 3. การทดสอบคุณสมบัติทางกลของเฟอร์โรซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว เช่น กำลังรับแรงดัด การแตกร้าว fatique การซึมผ่านได้ของน้ำ ความทนทาน เป็นต้น 4. ออกแบบการทดสอบของการส่งผลย้อนกลับและในขณะใช้งาน

การทดสอบ 5 แบบ ที่ทาง ACI ได้เสนอมาจะใช้ทำนายความแม่นยำได้เพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางกลของเฟอร์โรซีเมนต์ ซึ่งได้แก่ กำลังต้านทานแรงอัดของมอร์ต้า (compressive strength) โม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูลัสยืดหยุ่นของมอร์ต้า กำลังต้านทานต่อแรงดัดของคานเฟอร์โรซีเมนต์ ผลของความเค้น ความเครียดเนื่องจากแรงดึงของเหล็กเสริมตะแกรง (กำหนดเป็กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก) และผลของการยืดตัวเนื่องจากแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์ และการทดสอบสุดท้ายจะแบ่งกลุ่มของ effective modulus และ ค่าประสิทธิผลของเหล็กเสริมซึ่งเป็นลวดตะแกรงเมื่อถูกหุ้มด้วยซีเมนต์มอร์ต้า

ตารางที่ 4.1. ค่าที่น้อยที่สุดของกำลังที่จุดครากและ effective modulas ของลวดตะแกรงและเหล็กเส้น

		Woven squre wire mesh	Welded square wire mesh	Hexa-gonal wire mesh	Expanded metal lath	Longitu – dinal bars
Yield Strength (σ_{ry})	Mpa	450	450	310	310	414
	(ksi)	65	65	45	45	60
Effective Modulus (Er)	$(Er)_L$, Gpa	138	200	104	138	200
	(10^3 ksi)	20	29	15	20	29
	$(Er)_T$, Gpa	165	200	69	69	-
	(10^3 ksi)	24	29	10	10	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2. ค่าที่ใช้ออกแบบของค่าประสิทธิผลของเหล็กเสริมตะแกรง η_o สำหรับแรงดึงและแรงดัด

		Woven squre wire mesh	Welded square wire mesh	Hexa-gonal wire mesh	Expanded metal lath	Longitu – dinal bars
Global Effective Factor η_o	Longitudinal Direction η_L	0.50	0.50	0.45	0.65	1
	Transverse Direction η_T	0.50	0.50	0.30	0.20	0
	At $\theta = 45$ η_θ	0.35	0.35	0.30	0.30	0.70

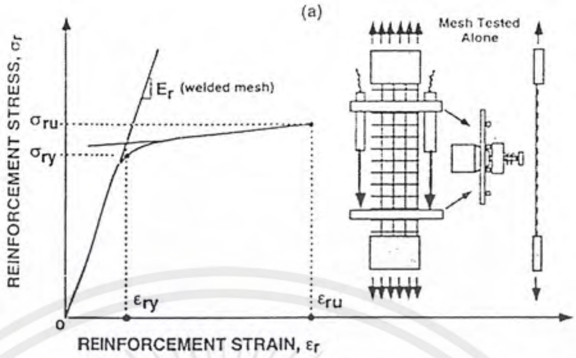
4.2.1. กำลังต้านทานแรงอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นของมอร์ต้า

กำลังต้านทานแรงอัด (compressive strength) และ โมดูลัสยืดหยุ่น (modulas of elasticcity) ของมอร์ต้าที่จะใช้ทำเป็นเฟอร์โรซีเมนต์ จะทดสอบโดยทำเป็นรูปทรงกระบอกขนาด 75x150 mm (3x6 นิ้ว) ซึ่งจะสอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM C 39 และ C469

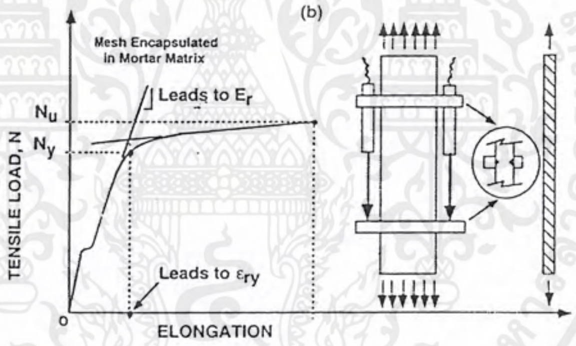
ลวดตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสหรือสี่เหลี่ยมมุมฉากแบบเชื่อมหรือแบบถักสามารถทดสอบแรงดึงได้โดยตรง (รูป 4.1 a) แต่ลวดตะแกรงรูปหกเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทดสอบโดยปราศจากซีเมนต์มอร์ต้าหุ้มได้ (รูป 4.1 b) ในกรณีหลังจะทำการทดสอบแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์ซึ่งจะอธิบายในส่วนของหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4.1a. การทดสอบแรงดึงที่แสดงคุณสมบัติของเหล็กเสริมตะแกรง (ทดสอบเหล็กตะแกรงอย่างเดียว)



รูปที่ 4.1b. การทดสอบแรงดึงที่แสดงคุณสมบัติของเหล็กเสริมตะแกรง (ทดสอบเหล็กตะแกรงที่หุ้มด้วยมอร์ต้า)

โดยปกติผลของลวดตะแกรงแบบเชื่อมติดกันจะใช้ในการออกแบบ ส่วนลวดตะแกรงแบบถักค่าโมดูลัสของลวดตะแกรงจะต่างจากลวดตะแกรงที่หุ้มด้วยซีเมนต์มอร์ต้า นอกจากนั้นถ้าลวดตะแกรงแบบถัก ถักไม่แน่นมันจะไม่ยืดหยุ่นหรือไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ในส่วนของการยืดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

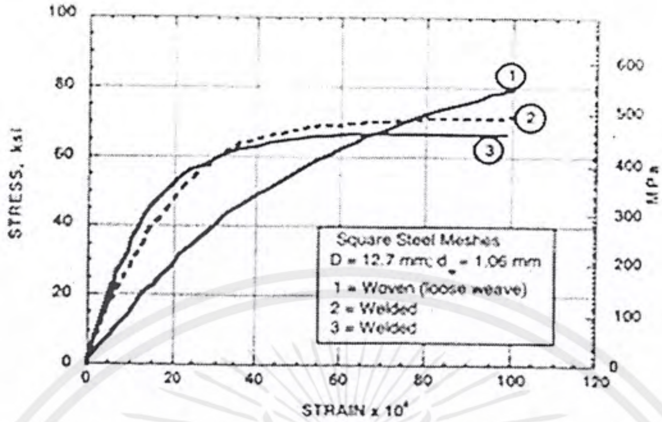
สำหรับลวดตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมมุมฉาก กำลังที่จุดคราก โมดูลัสความยืดหยุ่น และกำลังรับแรงดึงประลัย ได้มาจากการทดสอบแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างของลวดตะแกรง

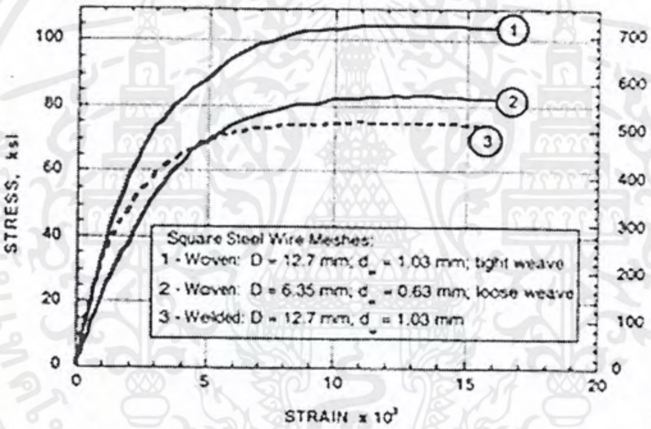
เมื่อได้ ตัวอย่างของลวดตะแกรงที่เลือกไว้สำหรับทดสอบ ซึ่งการทดสอบควรจะทำตามแนวทางต่อไปนี้

1. เตรียมตัวอย่างที่จะทดสอบโดยการฝังลวดตะแกรงในซีเมนต์มอร์ต้า โดยที่ปลายทั้งสองมากว่าความยาวที่น้อยที่สุดที่ความกว้างของตัวอย่าง ส่วนของลวดตะแกรงที่ไม่ถูกยึดจะแสดงการทดสอบตัวอย่าง
2. ความกว้างของตัวอย่างทดสอบไม่ควรจะน้อยกว่า 6 เท่าของช่องว่างของลวดตะแกรงโดยวัดตามน้ำหนักที่กระทำ
3. ความยาวอิสระของตัวอย่างทดสอบไม่ควรน้อยกว่า 3 เท่าของคาวมกว้างหรือ 150 mm (6 นิ้ว)
4. การวัดการยืดตัวควรจะบันทึกค่าในช่วง 1/2- 2/3 ของความยาวอิสระของตัวอย่างลวดตะแกรง
5. อัตราความเครียดควรจะทดสอบให้เสร็จสมบูรณ์ภายในเวลาประมาณ 15 นาทีหลังจากน้ำหนักบรรทุกกระทำ
6. ความเครียดที่จุดครากของลวดตะแกรงควรจะเป็นความเครียดของจุดที่ทับกันของเส้นสองเส้นโดยที่ เส้นหนึ่งวาดจุดเริ่มต้นของกราฟความเค้น-ความเครียด ส่วนอีกเส้นหนึ่งวาดผ่านจุดสุดท้ายของโค้ง ดังรูป 4.1 a

ตัวอย่างของโค้งความเค้น ความเครียดของลวดตะแกรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสจากการทดสอบแสดงดังรูป 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.2. กราฟความเค้นความเครียดเนื่องจากแรงดึงที่จากการทดลองลวดตะแกรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

4.2.2. ทดสอบแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์

การทดสอบแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์สามารถใช้ประโยชน์ในการกำหนด effective modulus ของลวดตะแกรง กำลังที่จุดประลัย และค่าประสิทธิผล (efficiency factor) ของเหล็กเสริม หรือกำลังที่จุดคราก

การทดสอบแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์ทำได้โดยบนตัวอย่างลวดตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่ขนาดใกล้เคียงกับที่ต้องการไปใช้เป็นเหล็กเสริมตะแกรงในเฟอร์โรซีเมนต์ การทดสอบตัวอย่างควรจะเพิ่มเหล็กเส้นที่บริเวณปลายจับ ส่วนตรงกลางตัวอย่างที่ไม่ได้ถูกยึดจับไว้ควรจะติดเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยืดตัว ประเภทของการยืดหดตัวและชนิดของการจัดตัวยึดที่จะกำหนดการยืดตัวแสดงไว้ในภาพ 4.1 b

โค้งของการน้ำหนักบรรทุกกับการยืดนำมาใช้เป็นโค้งของคาวมเค้น-ความเครียด เนื่องจากแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์ ชนิดของโค้งของความเค้น-ความเครียดที่ต่ำกว่าที่กำหนด แสดงในรูป 4.3 โค้งของความเค้น-ความเครียดจะถูกใช้กำหนดโมดูลัสความยืดหยุ่นของเฟอร์โรซีเมนต์ทั้งในสถานะที่แตกร้าวและไม่แตกร้าว คาวมชันเริ่มต้นของเส้น OA ให้ค่า $(Ec)_{uncracked}$ และความชันของ BC ให้ค่า $(Ec)_{cracked}$ นอกจากนั้น โค้งนี้สามารถใช้ประมาณค่า effective modulus ของระบบลวดตะแกรง (Er) ค่ากำลังที่จุดประลัย (σru) กำลังที่จุดคลาก (σry) และค่าประสิทธิผล (ηo) รูป4.3 แบ่งความสัมพันธ์ตามตัวแปร สมมุติน้ำหนักบรรทุกตามความยาวของลวดตะแกรง จะได้

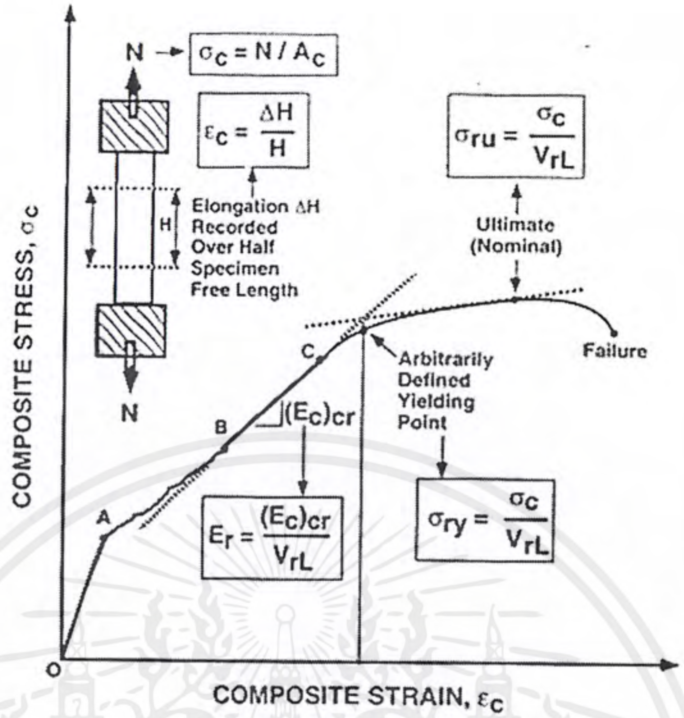
$$Ec = \frac{(Ec)cracked}{Vrl} \tag{4.1.}$$

$$\sigma_{ru} = \frac{\sigma_c}{Vrl} \tag{4.2.}$$

$$\sigma_{ry} = \frac{\sigma_c}{Vrl} \tag{4.3.}$$

โดยที่ σc คือ คาวมเค้นของเฟอร์โรซีเมนต์ที่จุดที่สนใจที่ซึ่งเท่ากับ N/Ac (รูป 4.3) และ Vrl คือ ปริมาตรส่วนหนึ่งของเหล็กเสริมตะแกรงตามความยาวในทิศทางเดียวกันหรือทิศทางอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3. ชนิดของโค้งความเค้นความเครียดเนื่องจากแรงดึงของเฟอร์โรซีเมนต์

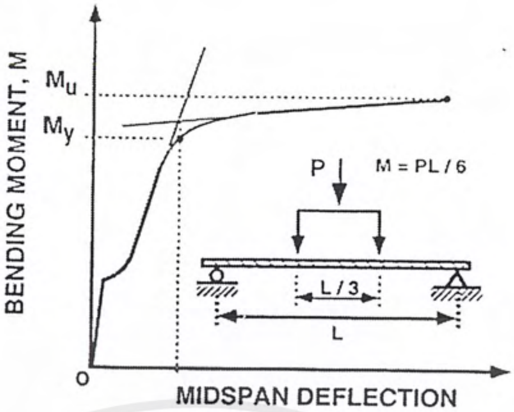
4.2.3. การทดสอบแรงอัดของเฟอร์โรซีเมนต์

ตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ควรจะทดสอบให้สอดคล้องกับความเหมาะสมของมาตรฐานการทดสอบ เช่น ASTM C78 วิธีทดสอบตามมาตรฐานสำหรับกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต โดยใช้ที่รองรับ (support) คล้ายคาน โดยน้ำหนัก 3 จุด (รูป 4.4) โดยเสนอว่า

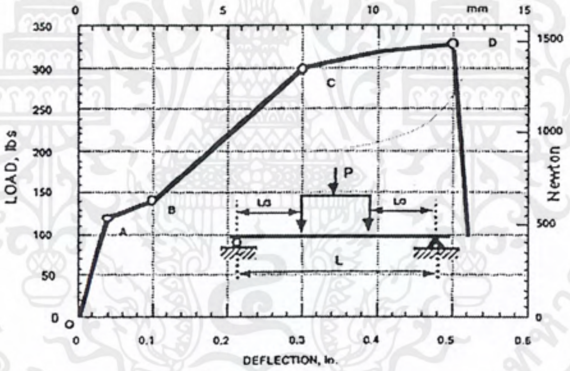
1. อัตราส่วนความยาวต่อความลึกของตัวอย่างคานไม่น้อยกว่า 15
2. ความกว้างไม่น้อยกว่า 6 เท่า ของช่องเปิดของลวดตะแกรงในทิศทางเดียวกับความยาว

   คาวมหนาของตัวอย่างควรจะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่ใช้ในการสร้างจริง การทดลองโค้งของน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวของเฟอร์โรซีเมนต์จะอธิบายการเปลี่ยนแปลง เช่น การแตกร้าว การคลาก การประลัย เป็นต้น แสดงดังรูป 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

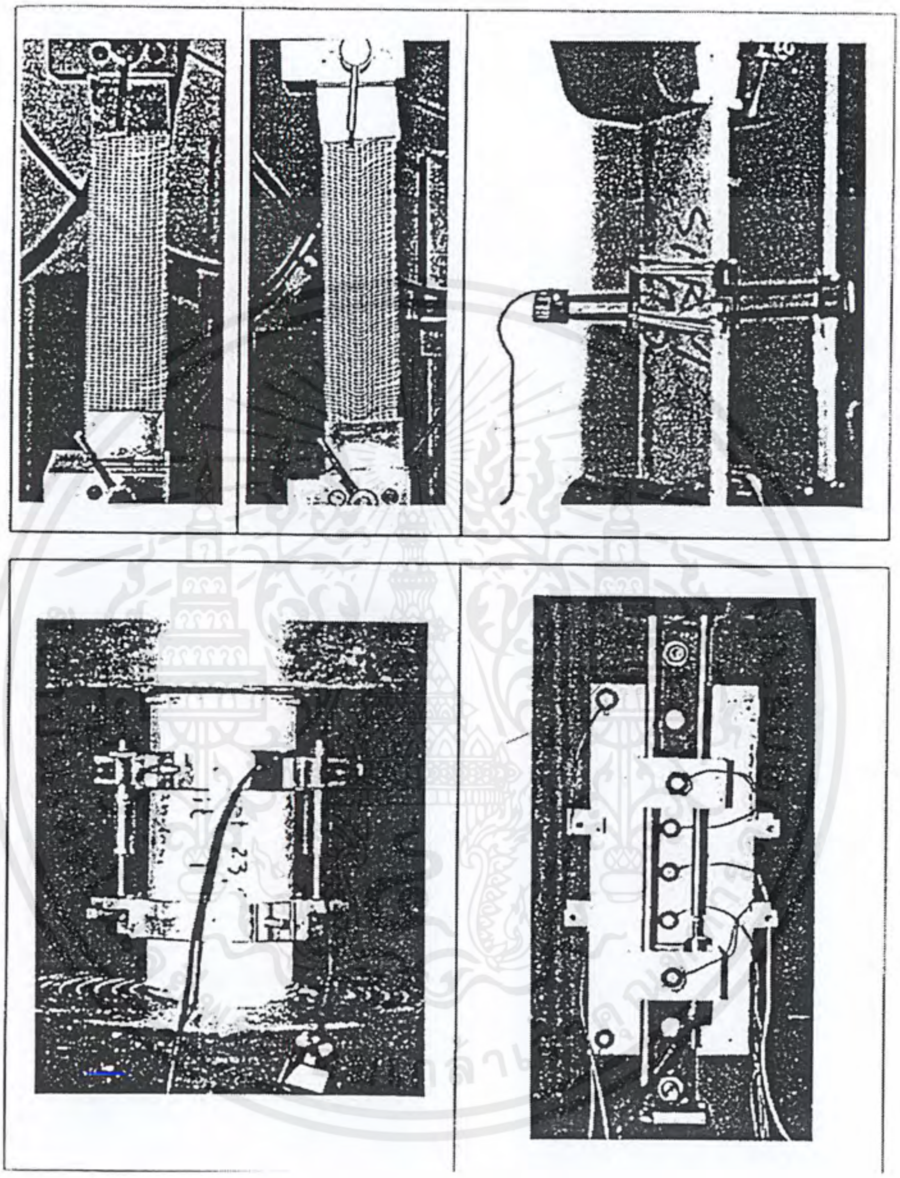


รูปที่ 4.4. แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโมเมนต์กับการแอ่นตัวเนื่องจากแรงดัด



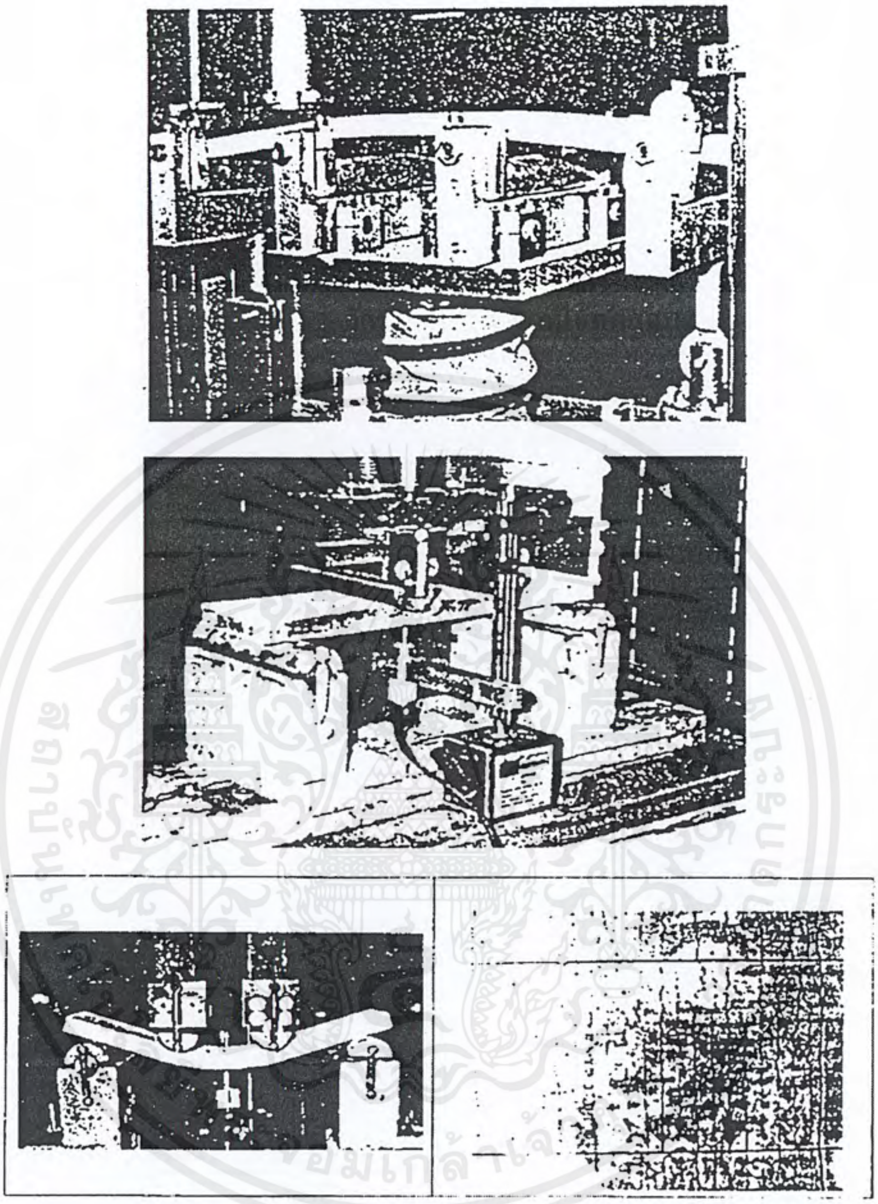
รูปที่ 4.5. แสดงกราฟน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวของเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6. การทดสอบเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7. การทดสอบแรงดัดของเฟอร์โรซีเมนต์และการแตกร้าวในพื้นที่ที่ถูกแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. การทดสอบแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์

4.3.1. วัตถุประสงค์

1. Bending Moment
2. Deflection

4.3.2. ลักษณะและขนาดที่ใช้ทดสอบเฟอร์โรซีเมนต์

ส่วนผสมของเฟอร์โรซีเมนต์ คือ ซีเมนต์ ทรายละเอียด ในอัตราส่วน 1: 2 และ ลวดตะแกรงขนาดช่อง 1 ซม. โดยวางซ้อน 2 ชั้น

ขนาดของแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ กว้าง 25 ซม. มีความยาว 3 ขนาด คือ 30 60 และ 90 ซม. ความหนา 5 ซม.

4.3.3. อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
2. Dial Gauge

4.3.4. วิธีการทดลอง

1. วัดปลายแผ่นทดสอบขนาด 25 x 30 ซม. เข้ามาข้างละ 5 ซม. เพื่อเป็นจุดว่าง Support (ทดสอบขนาดละ 3 ตัวอย่าง)
2. นำแผ่นทดสอบวางลงบนแท่น พร้อมวาง Loading Beam โดยมีความยาว 1/3 ของความยาวแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์
3. ติดตั้ง Dial Gauge เพื่อใช้ทดสอบ Deflecion
4. ทำการกดตัวอย่างแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์
5. จดบันทึกการทดลอง
6. เปลี่ยนขนาดความยาวแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์เป็น 60 ซม.และ 90 ซม. ตามลำดับ และทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 5 อีกครั้ง
7. ทำการวาดกราฟผลการทดลองจากทั้ง 3 ขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้และวิเคราะห์ผลการทดลอง

9. สรุปผลการทดลอง

4.3.5. ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3. แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.ตัวอย่างที่1

NO	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	AGE (days)	LOAD (kg.)	VERTICAL DISPLACMENT (x 0.01 mm.)
1	25 x 5	90	7	15	21
				30	25
				45	28
				60	32
				75	37
				90	41
				105	65
				120	66
				135	67
				150	68
				165	69
				180	70
				195	71
				210	72
				225	72
				240	77
				255	80
				270	82
				285	87 (crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4. แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.ตัวอย่างที่2

NO	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	AGE (days)	LOAD (kg.)	VERTICAL DISPLACMENT (x 0.01 mm.)
2	25 x 5	90	7	15	14
				30	19
				45	24
				60	31
				75	38
				90	51
				105	53
				120	55.5
				135	58
				150	60
				165	64
				180	65
				195	76
				210	78
				225	82
				240	88
				255	93
				270	100
				288	112 (crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5. แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.ตัวอย่างที่3

NO	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	AGE (days)	LOAD (kg.)	VERTICAL DISPLACMENT (x 0.01 mm.)
3	25 x 5	90	7	15	15
				30	18
				45	25
				60	30
				75	38.5
				90	51
				105	54
				120	55
				135	57
				150	60
				165	63
				180	65.5
				195	77
				210	78
				225	82
				240	86
				255	91
				270	102
				285	110 (crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6. แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.ตัวอย่างที่1

NO	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	AGE (days)	LOAD (kg.)	VERTICAL DISPLACMENT (x 0.01 mm.)
1	25 x 5	60	7	15	14
				30	28
				45	40
				60	45
				75	49
				90	56
				105	58
				120	60
				135	62
				150	64
				165	66
				180	69
				195	72
				210	74
				225	77
				240	78
				255	80 (crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7. แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.ตัวอย่างที่2

NO	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	AGE (days)	LOAD (kg.)	VERTICAL DISPLACMENT (x 0.01 mm.)
2	25 x 5	60	7	15	14
				30	16
				45	23
				60	25
				75	27
				90	37
				105	38
				120	39
				135	39.5
				150	40
				165	41
				180	43.5
				195	44.5
				210	45
				225	46.7
				240	48
				255	51.7
				270	54.1
				285	58.9
				300	61
				306	61 (crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8. แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.ตัวอย่างที่3

NO	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	AGE (days)	LOAD (kg.)	VERTICAL DISPLACMENT (x 0.01 mm.)
3	25 x 5	60	7	15	6.5
				30	9
				45	13
				60	16
				75	19
				90	26
				105	29
				120	30
				135	31
				150	31.5
				165	32
				180	35
				195	35
				210	35
				225	35
				240	35
				255	35.2
				270	36
				285	38
				300	38.1
				345	46 (crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9. แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.ตัวอย่างที่1

NO	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	AGE (days)	LOAD (kg.)	VERTICAL DISPLACMENT (x 0.01 mm.)
1	25 x 5	30	7	15	7.5
				30	11
				45	13
				60	15.5
				75	17.5
				90	20
				105	20.5
				120	21
				135	21.5
				150	22.5
				165	24
				180	30
				195	31
				210	32
				225	33.5
				240	34
				255	38
				270	41
				285	44
				300	46
				315	48.5
				330	51
				345	58
				360	59
				375	60
				390	64
				405	65
				570	75(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10. แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.ตัวอย่างที่2

NO	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	AGE (days)	LOAD (kg.)	VERTICAL DISPLACMENT (x 0.01 mm.)
2	25 x 5	30	7	15	11.5
				30	14.5
				45	18
				60	20.5
				75	24
				90	26
				105	29
				120	31
				135	33
				150	33.5
				165	34
				180	36
				195	36.5
				210	37
				225	37
				240	38
				255	39.5
				270	42
				285	42.5
				300	43
				315	43
				330	43.5
				345	44
				360	44.5
				375	45.5
				390	46
				405	46.5
				945	51(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11. แสดงผลการทดลองแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.ตัวอย่างที่3

NO	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	AGE (days)	LOAD (kg.)	VERTICAL DISPLACMENT (x 0.01 mm.)
3	25 x 5	30	7	15	11
				30	13.5
				45	15
				60	18.5
				75	22
				90	24
				105	28
				120	30
				135	32
				150	32.5
				165	33
				180	35
				195	36.5
				210	37
				225	37.5
				240	38
				255	39.5
				270	40
				285	41.5
				300	42
				315	43
				330	43.5
				345	44
				360	45
				375	45.5
				390	46.7
				405	48
				933	50(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.12. แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.No.1

NO.	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	LOAD (kg.)	MOMENT (PL/6) (kg.cm.)	DEFLECTION (x 0.01 mm.)
1	25 x5	80	15	200	21
		80	30	400	25
		80	45	600	28
		80	60	800	32
		80	75	1000	37
		80	90	1200	41
		80	105	1400	65
		80	120	1600	66
		80	135	1800	67
		80	150	2000	68
		80	165	2200	69
		80	180	2400	70
		80	195	2600	71
		80	210	2800	72
		80	225	3000	72
		80	240	3200	77
		80	255	3400	80
		80	270	3600	82
		80	285	3800	87(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13. แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.No.2

NO.	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	LOAD (kg.)	MOMENT (PL/6) (kg.cm.)	DEFLECTION (x 0.01 mm.)
2	25 x5	80	15	200	14
		80	30	400	19
		80	45	600	24
		80	60	800	31
		80	75	1000	38
		80	90	1200	51
		80	105	1400	53
		80	120	1600	55.5
		80	135	1800	58
		80	150	2000	60
		80	165	2200	64
		80	180	2400	65
		80	195	2600	76
		80	210	2800	78
		80	225	3000	82
		80	240	3200	88
		80	255	3400	93
		80	270	3600	100
2		80	288	3840	112(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14. แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.No.3

NO.	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	LOAD (kg.)	MOMENT (PL/6) (kg.cm.)	DEFLECTION (x 0.01 mm.)
3	25 x 5	80	15	200	15
		80	30	400	18
		80	45	600	25
		80	60	800	30
		80	75	1000	38.5
		80	90	1200	51
		80	105	1400	54
		80	120	1600	55
		80	135	1800	57
		80	150	2000	60
		80	165	2200	63
		80	180	2400	65.5
		80	195	2600	77
		80	210	2800	78
		80	225	3000	82
		80	240	3200	86
		80	255	3400	91
		80	270	3600	102
		80	285	3800	110(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15. แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.No.1

NO.	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	LOAD (kg.)	MOMENT (PL/6) (kg.cm.)	DEFLECTION (x 0.01mm.)
1	25 x5	50	15	125	14
		50	30	250	28
		50	45	375	40
		50	60	500	45
		50	75	625	49
		50	90	750	56
		50	105	875	58
		50	120	1000	60
		50	135	1125	62
		50	150	1250	64
		50	165	1375	66
		50	180	1500	69
		50	195	1625	72
		50	210	1750	74
		50	225	1875	77
		50	240	2000	78
		50	255	2125	80(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16. แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.No.2

NO.	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	LOAD (kg.)	MOMENT (PL/6) (kg.cm.)	DEFLECTION (x 0.01mm.)
2	25 x5	50	15	125	14
		50	30	250	16
		50	45	375	23
		50	60	500	25
		50	75	625	27
		50	90	750	37
		50	105	875	38
		50	120	1000	39
		50	135	1125	39.5
		50	150	1250	40
		50	165	1375	41
		50	180	1500	43.5
		50	195	1625	44.5
		50	210	1750	45
		50	225	1875	46.7
		50	240	2000	48
		50	255	2125	51.7
		50	270	2250	54.1
		50	285	2375	58.9
		50	300	2500	61
		50	306	2550	61(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17. แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม.No.3

NO.	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	LOAD (kg.)	MOMENT (PL/6) (kg.cm.)	DEFLECTION (x 0.01mm.)
3	25 x5	50	15	125	6.5
		50	30	250	9
		50	45	375	13
		50	60	500	16
		50	75	625	19
		50	90	750	26
		50	105	875	29
		50	120	1000	30
		50	135	1125	31
		50	150	1250	31.5
		50	165	1375	32
		50	180	1500	35
		50	195	1625	35
		50	210	1750	35
		50	225	1875	35
		50	240	2000	35
		50	255	2125	35.2
		50	270	2250	36
		50	285	2375	38
		50	300	2500	38.1
		50	345	2875	46(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18. แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.No.1

NO.	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	LOAD (kg.)	MOMENT (PL/6) (kg.cm.)	DEFLECTION (x 0.01 mm.)
1	25 x 5	20	15	50	7.5
		20	30	100	11
		20	45	150	13
		20	60	200	15.5
		20	75	250	17.5
		20	90	300	20
		20	105	350	20.5
		20	120	400	21
		20	135	450	21.5
		20	150	500	22.5
		20	165	550	24
		20	180	600	30
		20	195	650	31
		20	210	700	32
		20	225	750	33.5
		20	240	800	34
		20	255	850	38
		20	270	900	41
		20	285	950	44
		20	300	1000	46
		20	315	1050	48.5
		20	330	1100	51
		20	345	1150	58
		20	360	1200	59
		20	375	1250	60
		20	390	1300	64
		20	405	1350	65
		20	570	1900	75(crsck)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19. แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.No.2

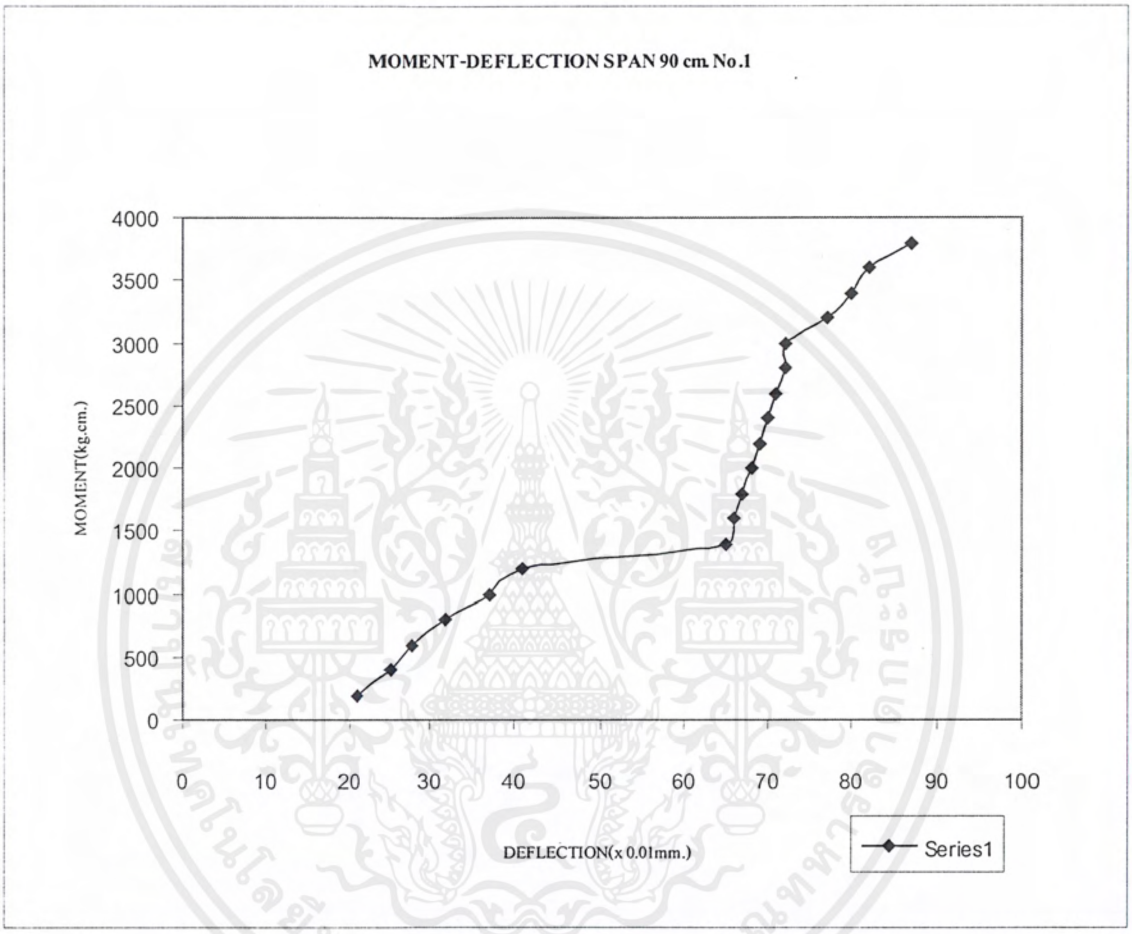
NO.	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	LOAD (kg.)	MOMENT (PL/6) (kg.cm.)	DEFLECTION (x 0.01 mm.)
2	25 x 5	20	15	50	11.5
		20	30	100	14.5
		20	45	150	18
		20	60	200	20.5
		20	75	250	24
		20	90	300	26
		20	105	350	29
		20	120	400	31
		20	135	450	33
		20	150	500	33.5
		20	165	550	34
		20	180	600	36
		20	195	650	36.5
		20	210	700	37
		20	225	750	37
		20	240	800	38
		20	255	850	39.5
		20	270	900	42
		20	285	950	42.5
		20	300	1000	43
		20	315	1050	43
		20	330	1100	43.5
		20	345	1150	44
		20	360	1200	44.5
		20	375	1250	45.5
		20	390	1300	46
		20	405	1350	46.5
		20	945	3150	51(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20. แสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม.No.3

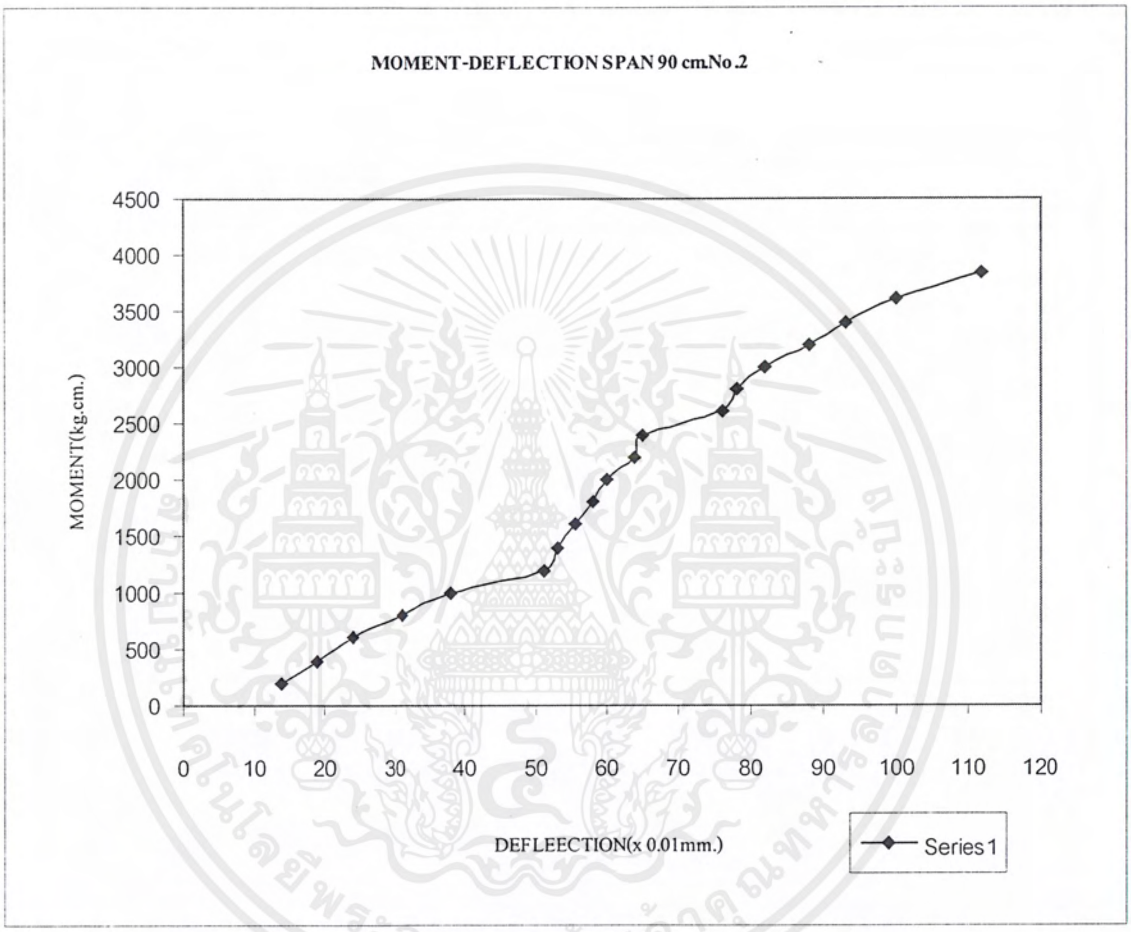
NO.	CROSSECTION (cm. x cm.)	LENGTH (cm.)	LOAD (kg.)	MOMENT (PL/6) (kg.cm.)	DEFLECTION (x 0.01 mm.)
3	25 x 5	20	15	50	11
		20	30	100	13.5
		20	45	150	15
		20	60	200	18.5
		20	75	250	22
		20	90	300	24
		20	105	350	28
		20	120	400	30
		20	135	450	32
		20	150	500	32.5
		20	165	550	33
		20	180	600	35
		20	195	650	36.5
		20	210	700	37
		20	225	750	37.5
		20	240	800	38
		20	255	850	39.5
		20	270	900	40
		20	285	950	41.5
		20	300	1000	42
		20	315	1050	43
		20	330	1100	43.5
		20	345	1150	44
		20	360	1200	45
		20	375	1250	45.5
		20	390	1300	46.7
		20	405	1350	48
		20	933	3110	50(crack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



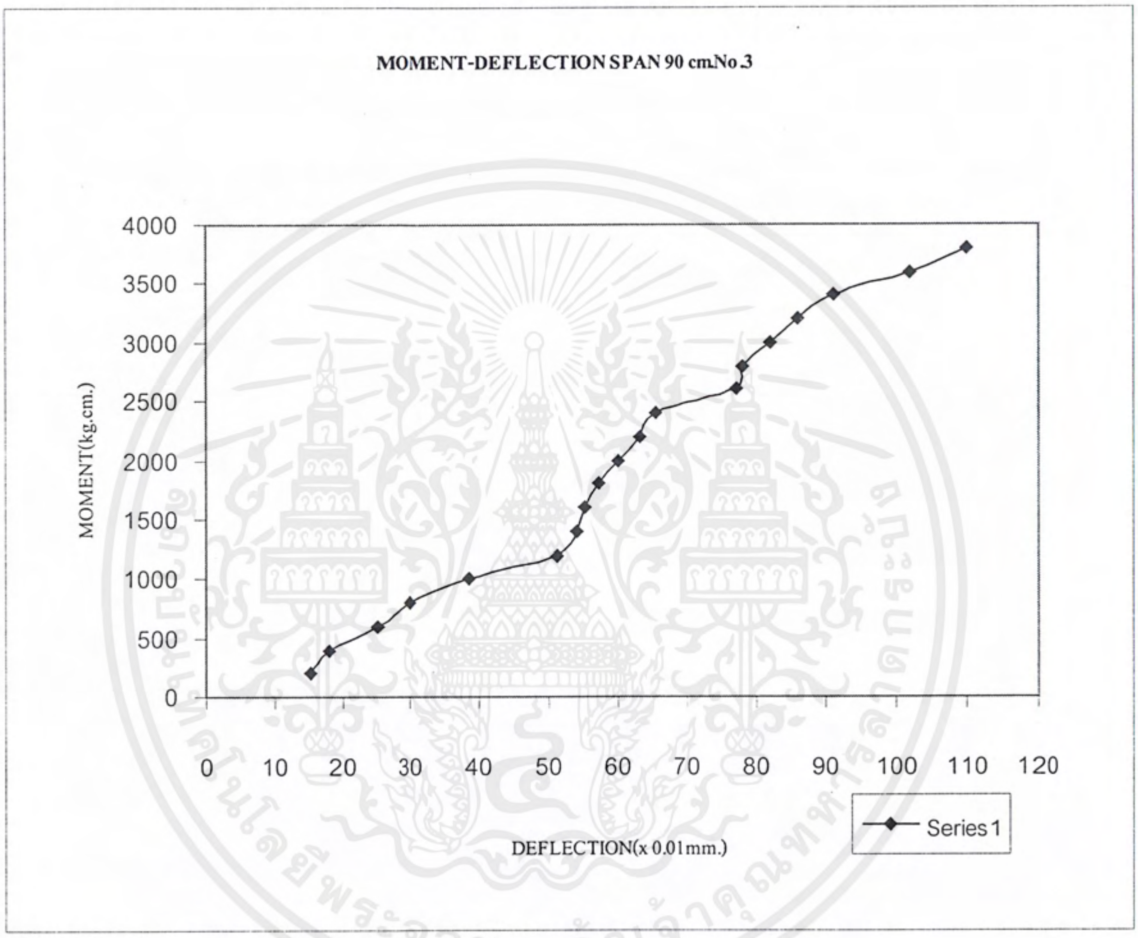
รูปที่ 4.8. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 90 cm. No.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



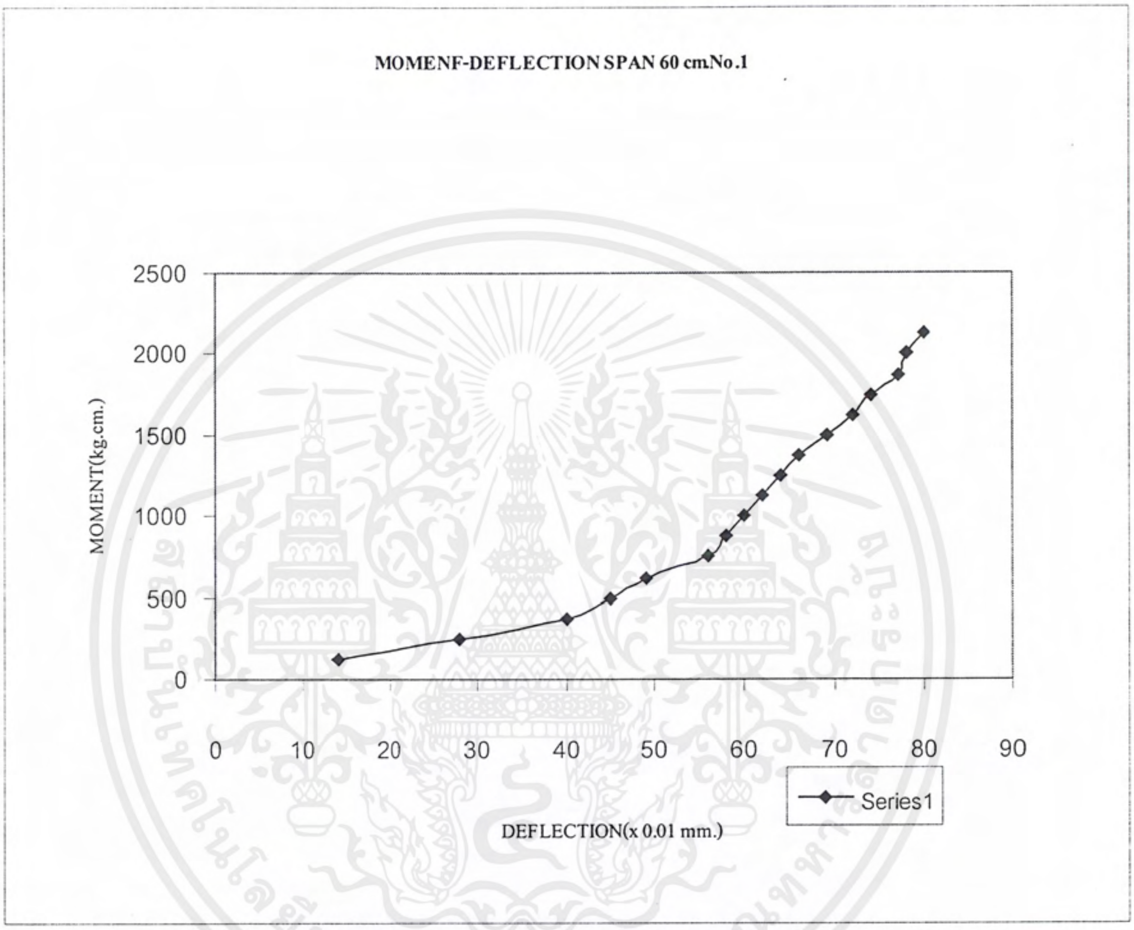
รูปที่ 4.9. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 90 cm. No.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



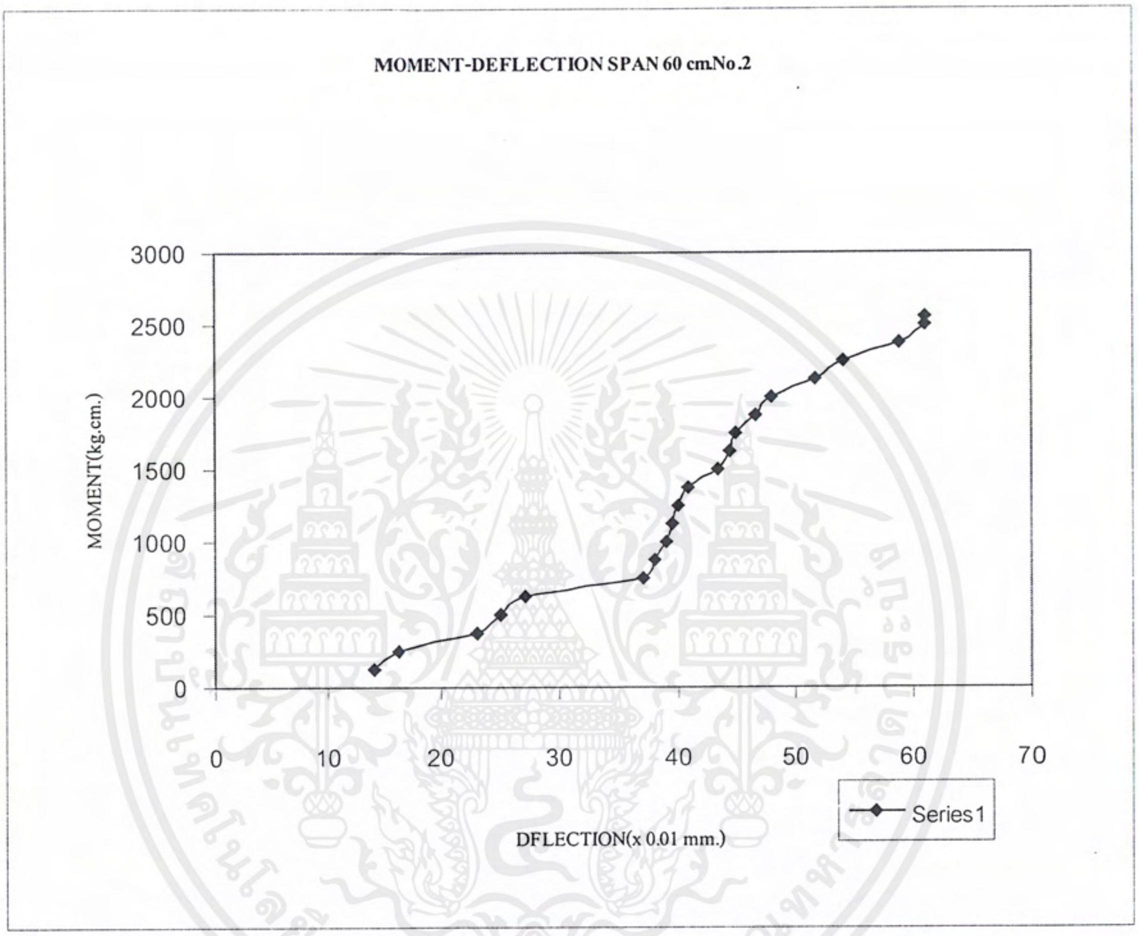
รูปที่ 4.10. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 90 cm. No.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



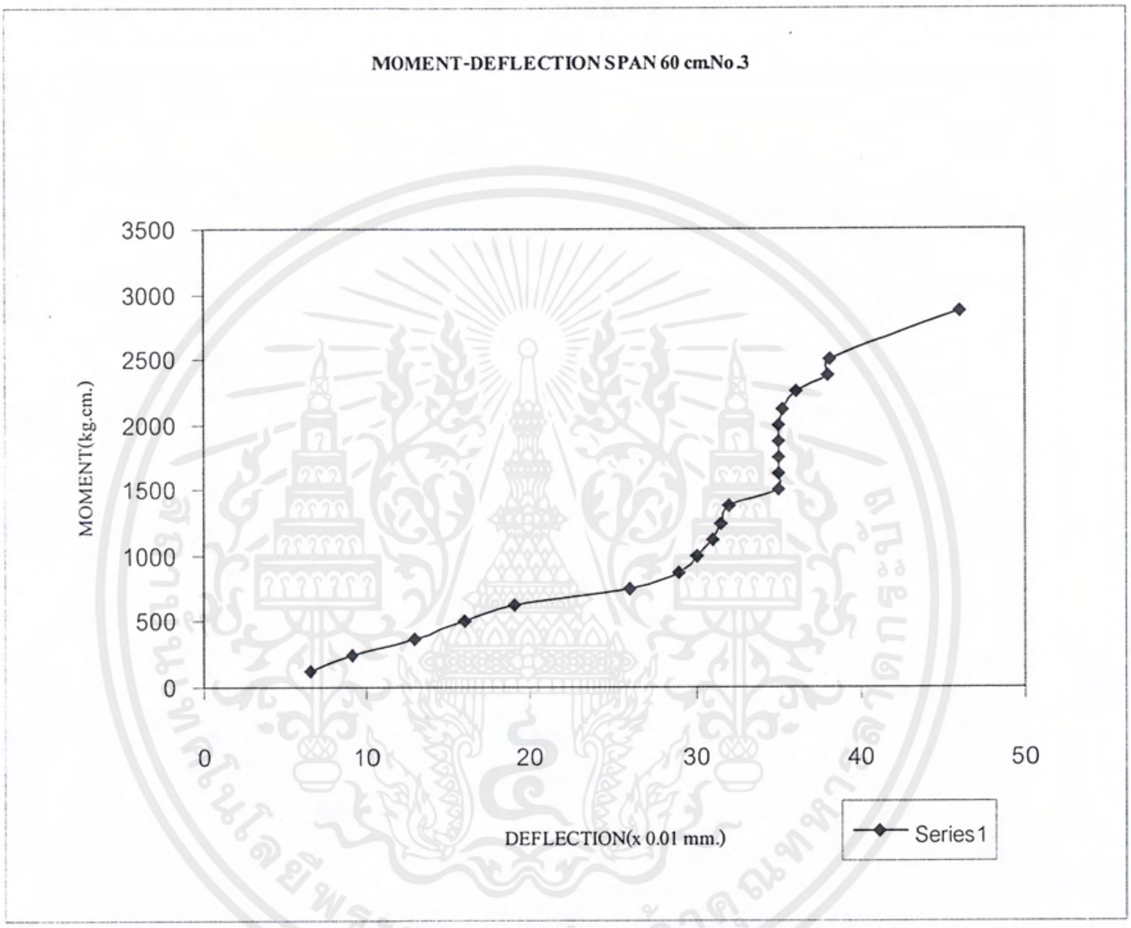
รูปที่ 4.11. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 60 cm. No.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



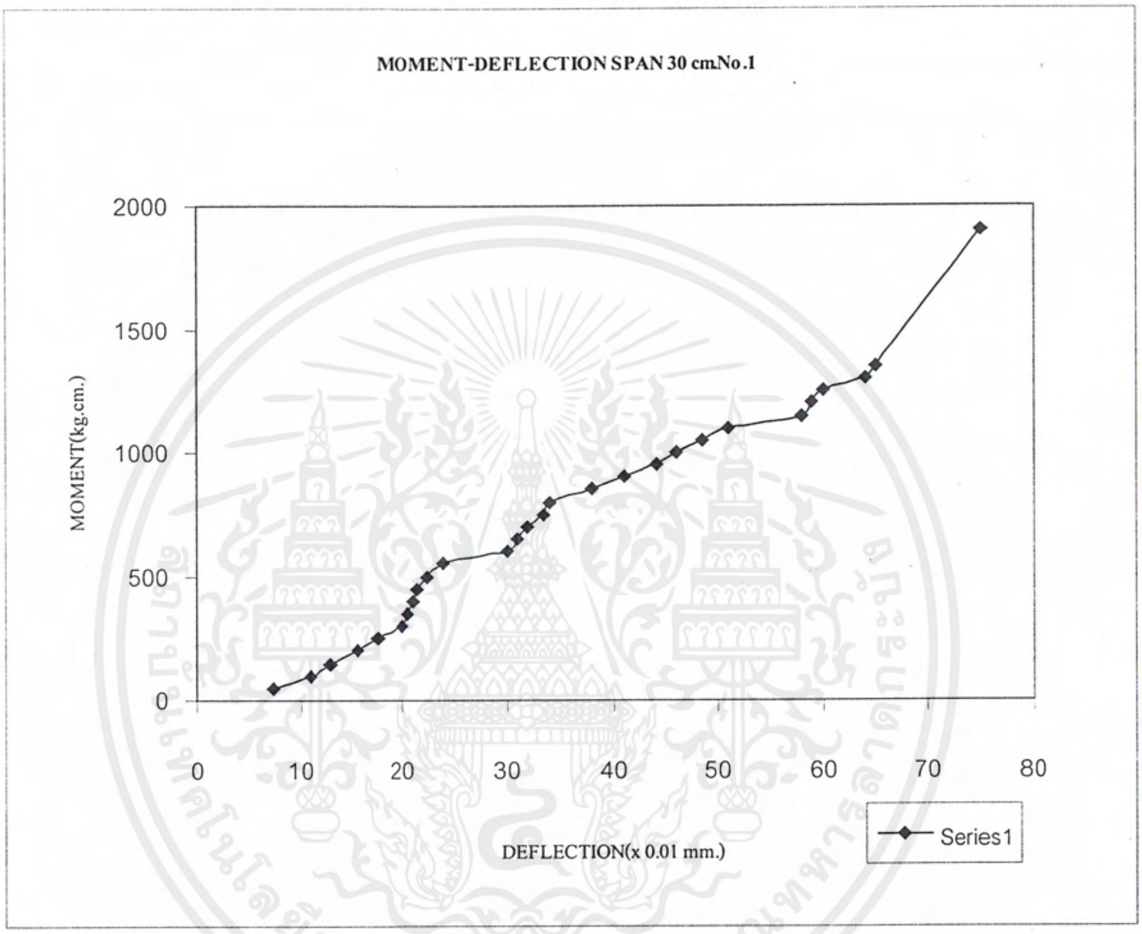
รูปที่ 4.12. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 60 cm. No.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



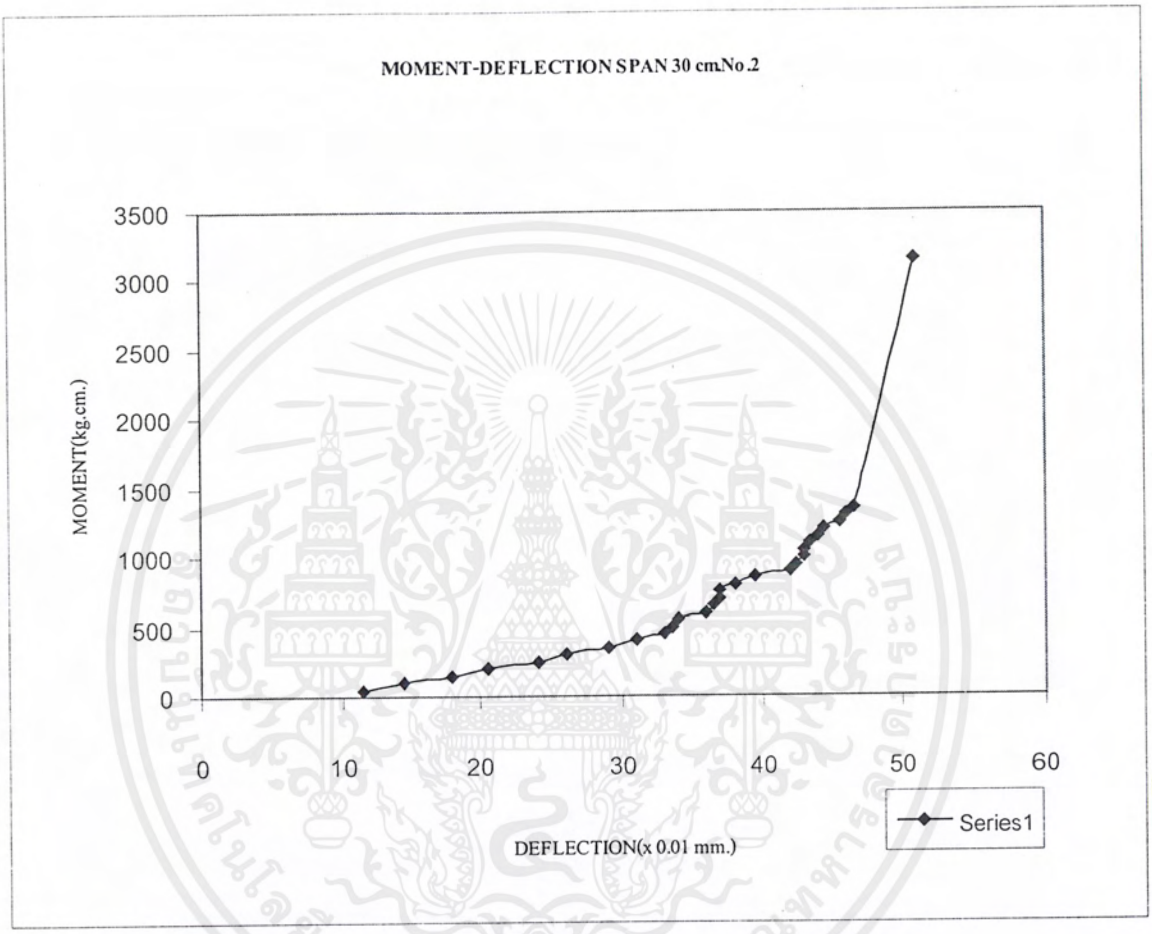
รูปที่ 4.13. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 60 cm. No.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



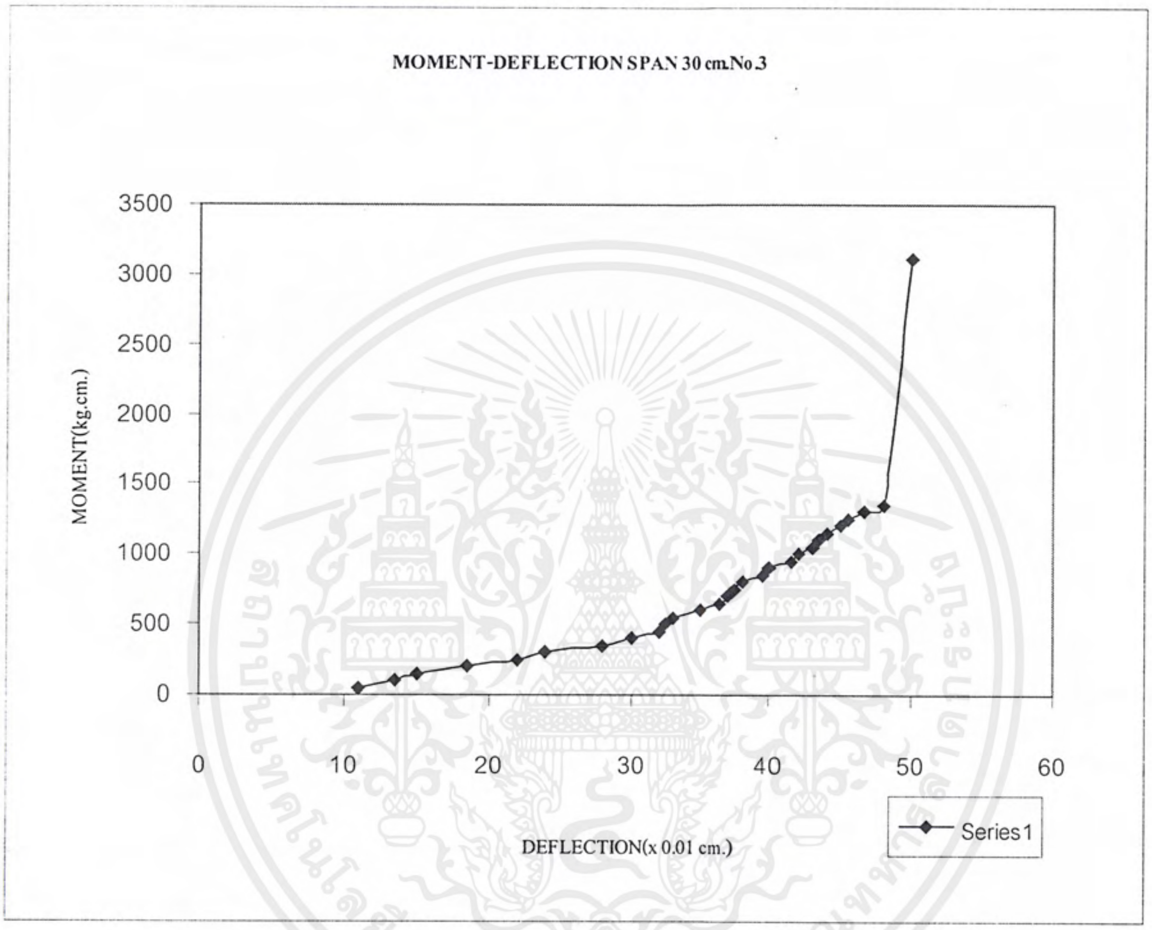
รูปที่ 4.14. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 30 cm. No.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



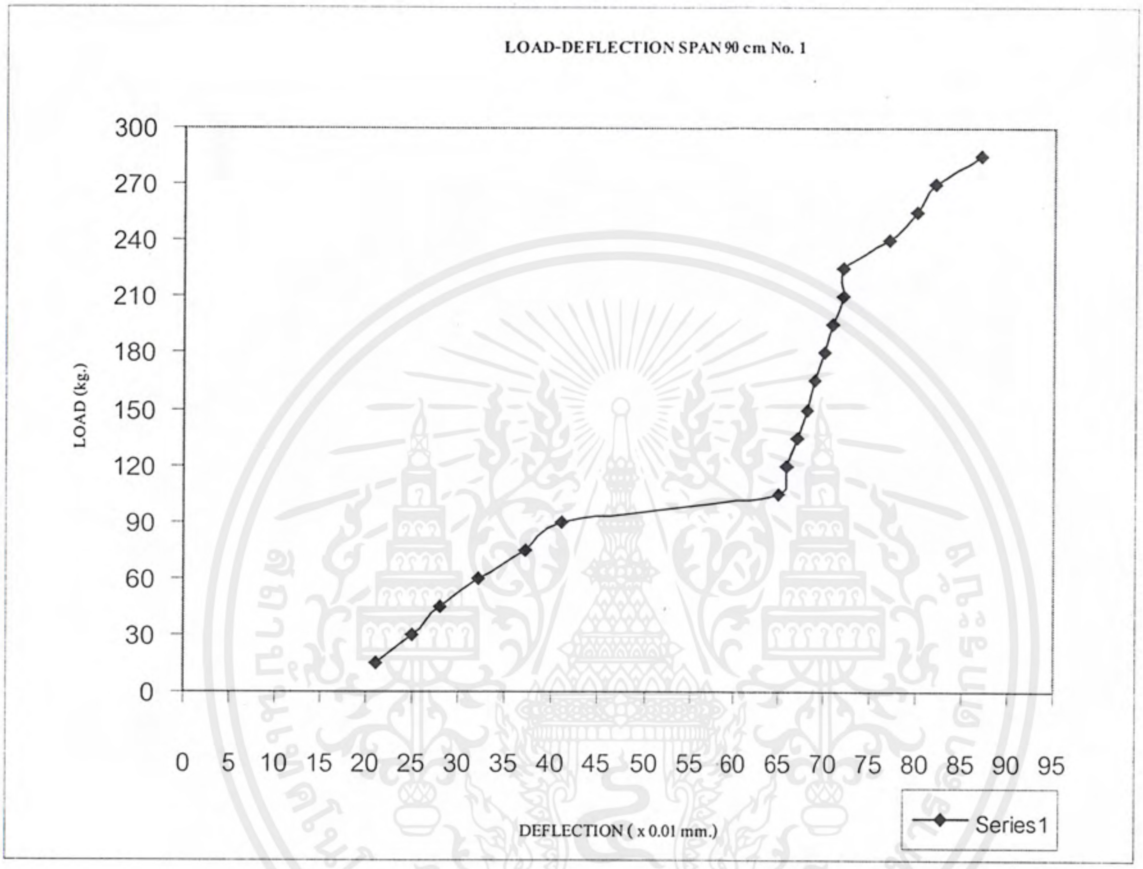
รูปที่ 4.15. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 30 cm. No.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



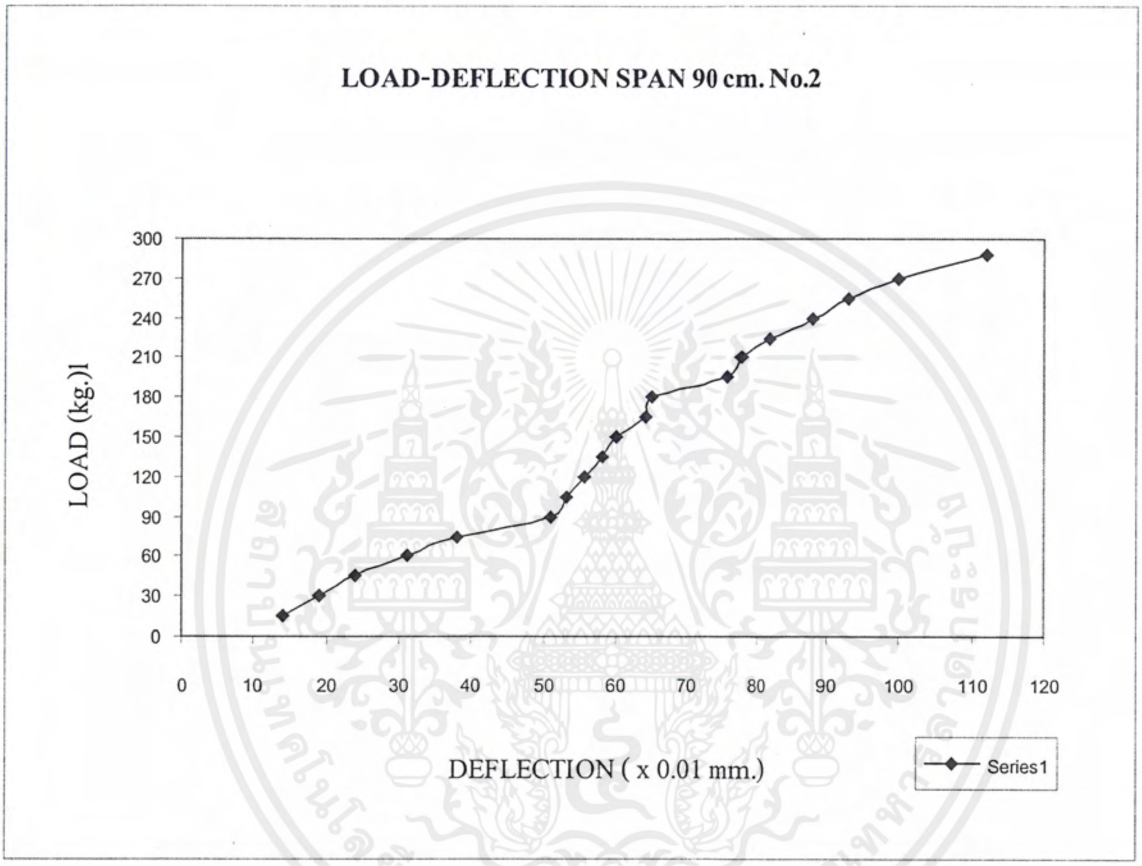
รูปที่ 4.16. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับระยะแอ่นตัว(Span 30 cm. No.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



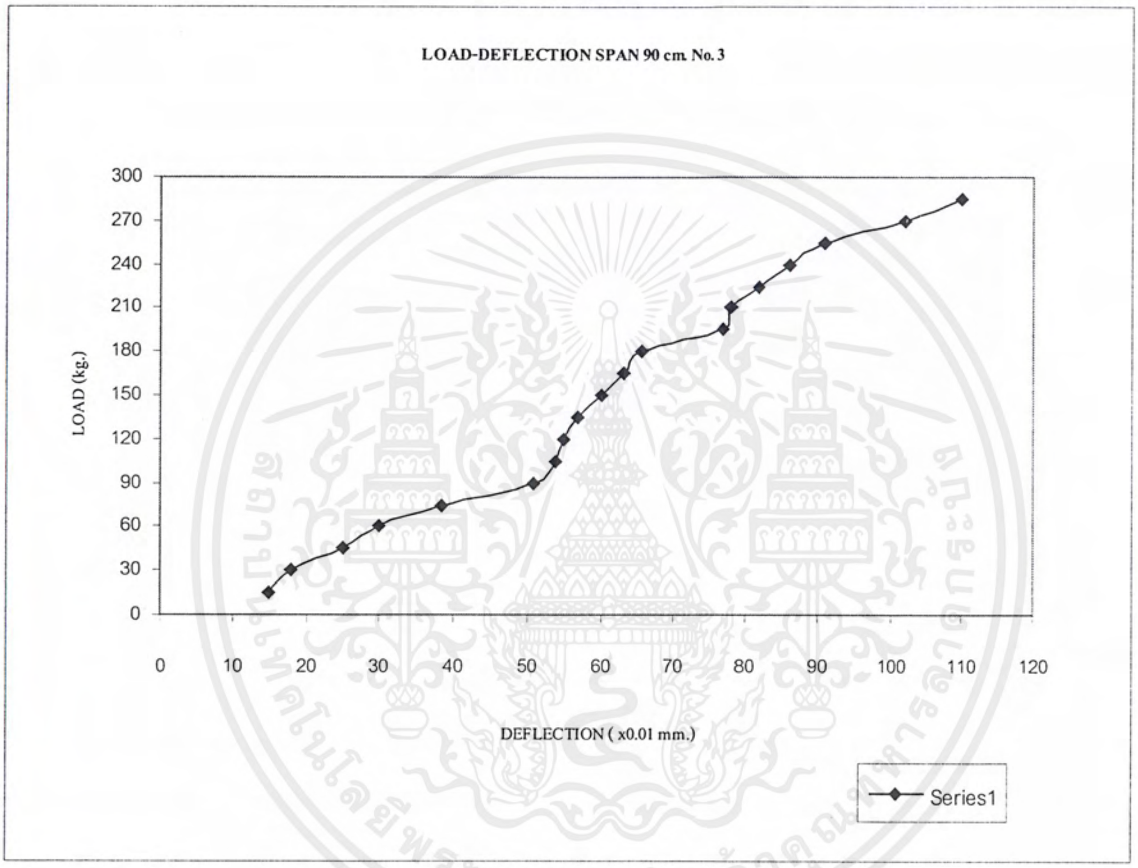
รูปที่ 4.17. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 90 cm.No.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



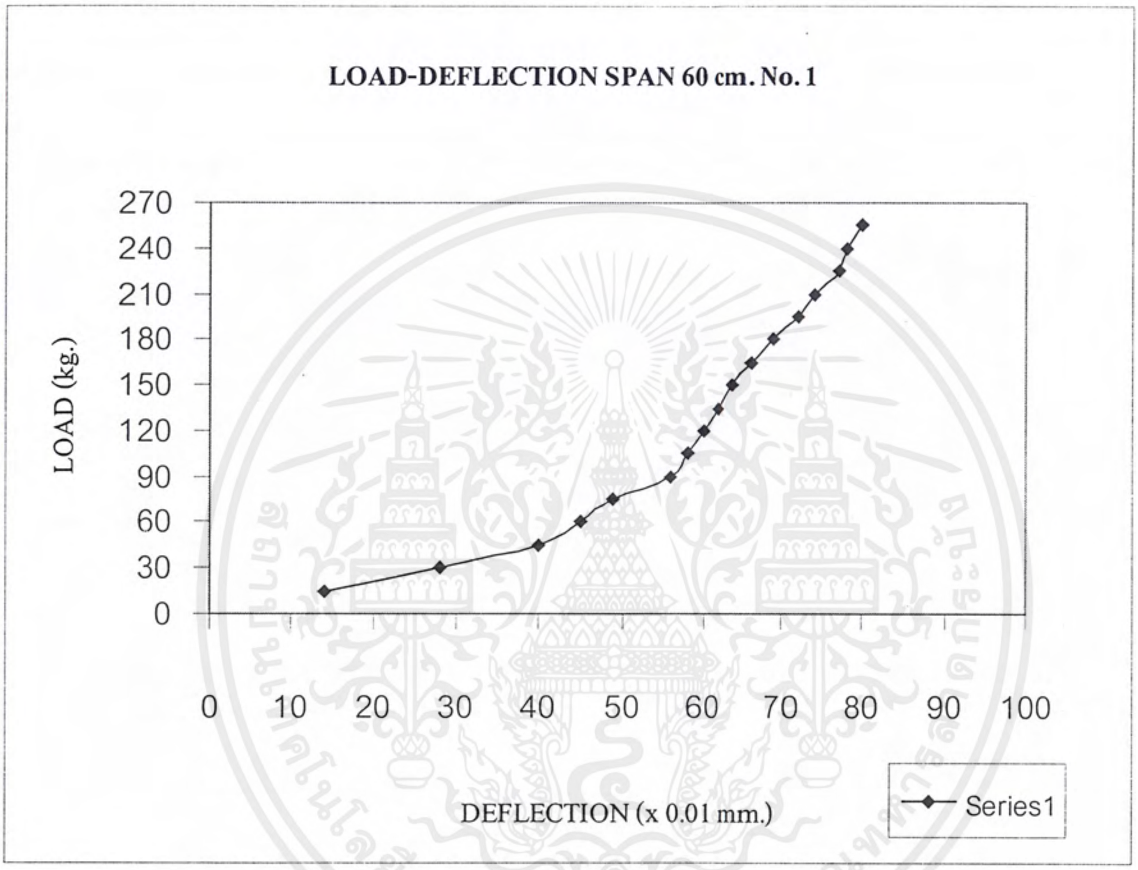
รูปที่ 4.18. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 90 cm.No.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



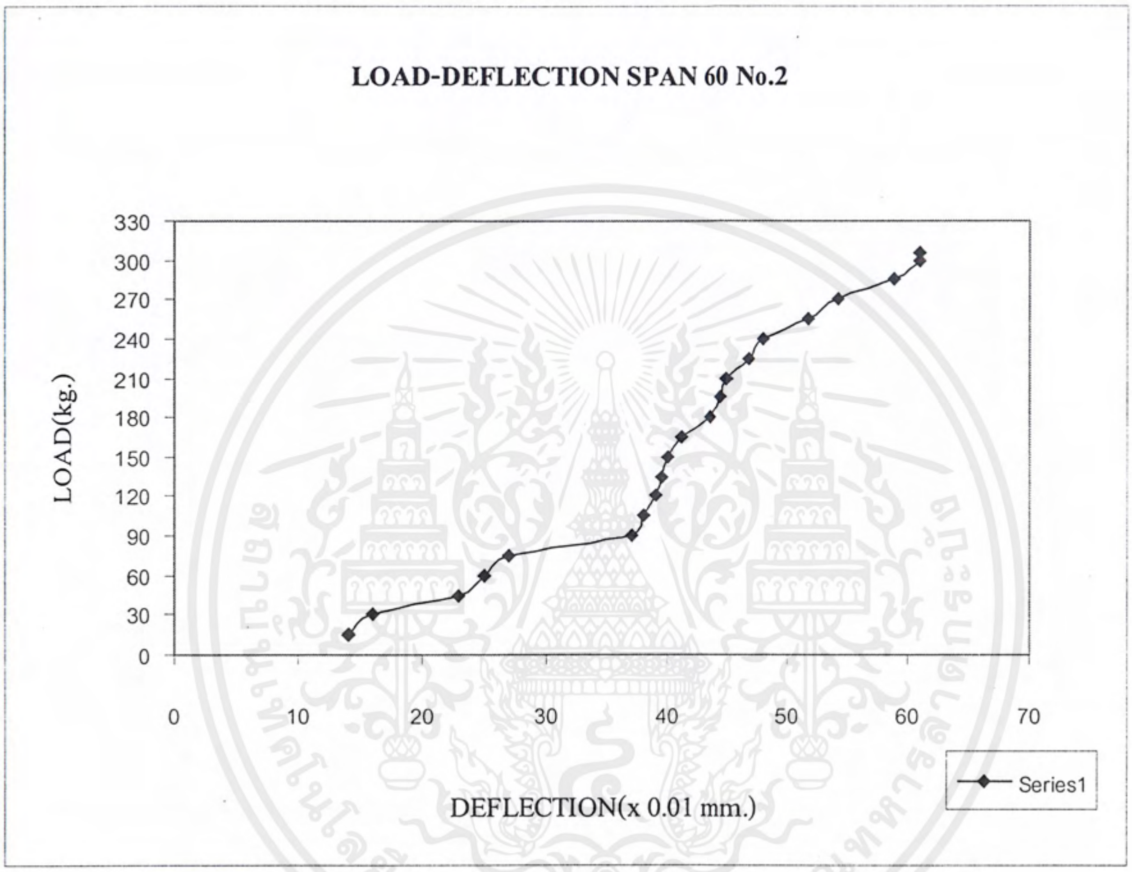
รูปที่ 4.19. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 90 cm.No.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



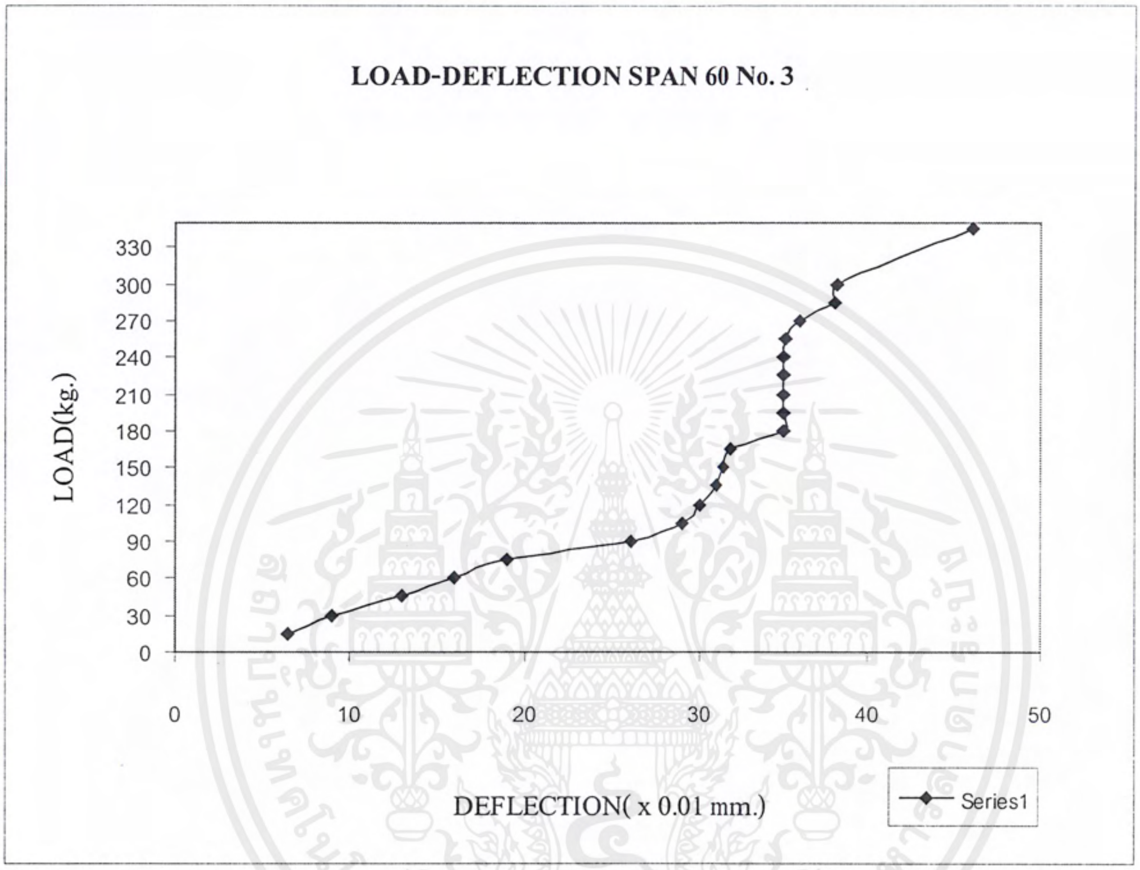
รูปที่ 4.20. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 60 cm.No.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



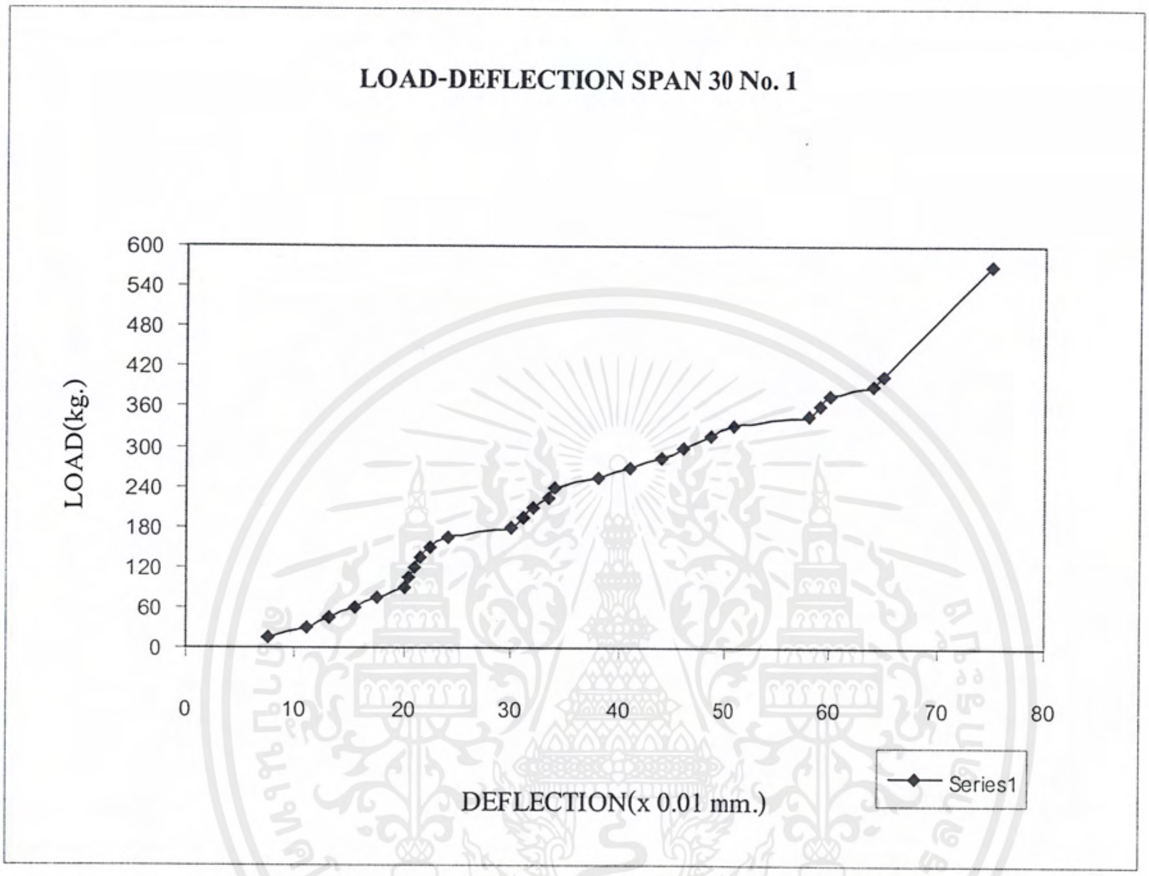
รูปที่ 4.21. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 60 cm.No.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



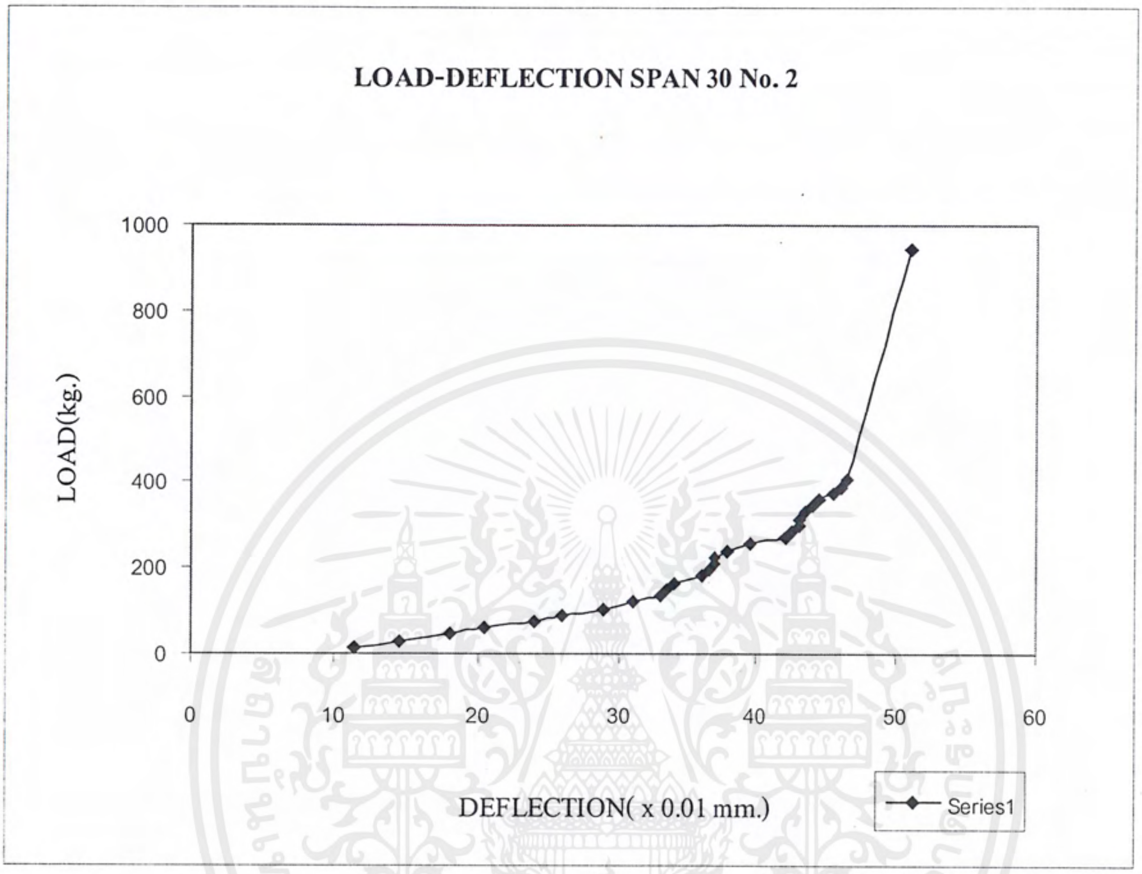
รูปที่ 4.22. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 60 cm.No.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



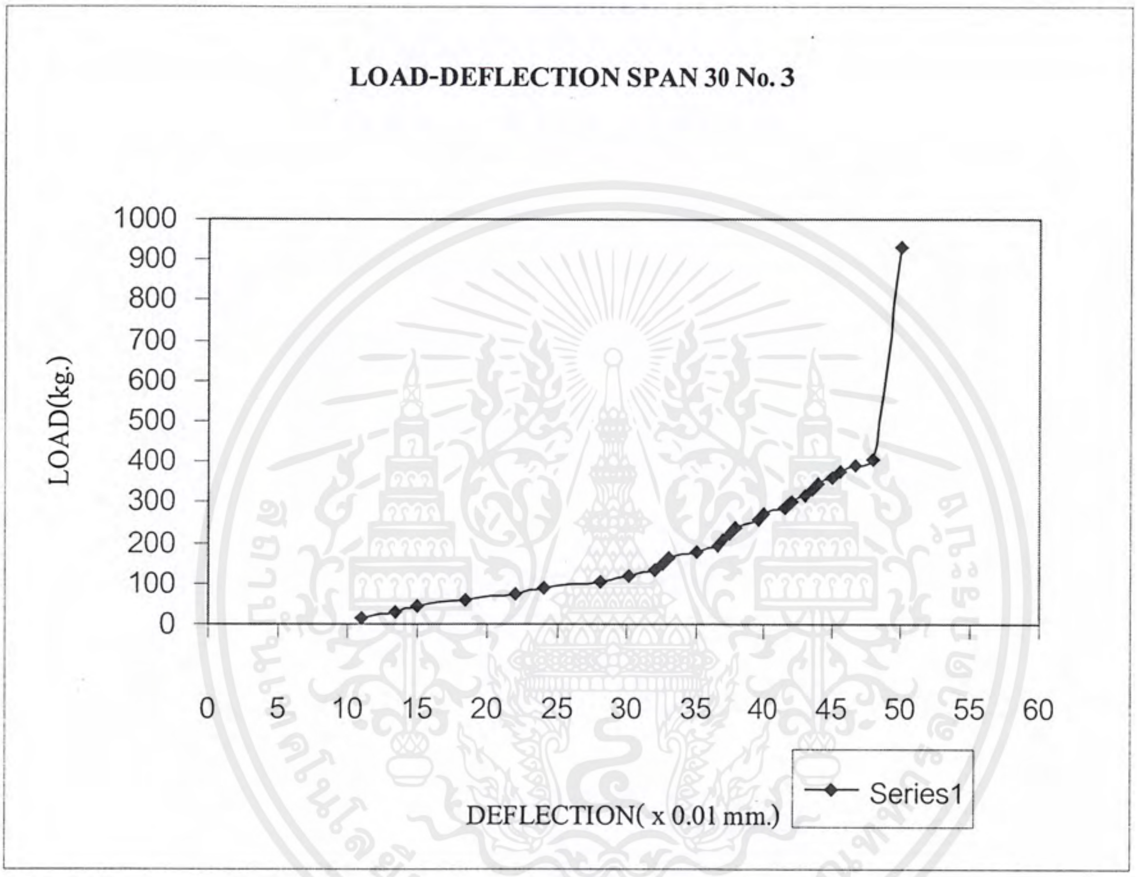
รูปที่ 4.23. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 30 cm.No.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 30 cm.No.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะแอ่นตัว (Span 30 cm.No.3)

4.3.7. สรุปผลการทดลอง

แผ่นพื้นเฟอร์โรซีเมนต์ขนาด 5 x 25 x 90 ซม. รับน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยได้ 286 กก. ระยะแอ่นตัวมากสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.03 มม. สำหรับโมเมนต์มากที่สุดขณะแตกร้าวคือ 3813.33 กก.ซม.

แผ่นพื้นเฟอร์โรซีเมนต์ขนาด 5 x 25 x 60 ซม. รับน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยได้ 302 กก. ระยะแอ่นตัวมากสุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.623 มม. สำหรับโมเมนต์มากที่สุดขณะแตกร้าวคือ 2516.67 กก.ซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นพื้นเฟอร์โรซีเมนต์ขนาด 5 x 25 x 30 ซม. รับน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยได้ 816 กก. ระยะแอ่นตัวมากสุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.587 มม. สำหรับโมเมนต์มากที่สุดขณะแตกร้าวคือ 2720 กก.ซม

4.4. การทดสอบกำลังของเฟอร์โรซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว

4.4.1. วัตถุประสงค์

เป็นการทดสอบเฟอร์โรซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว แบบที่เรียกว่าการทดสอบชนิดไม่ทำลาย เพื่อหากำลังของเฟอร์โรซีเมนต์ที่เป็นชิ้นส่วนประกอบของโครงสร้าง และไม่สามารถนำตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการได้

4.4.2. วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. อุปกรณ์ Schmidt Hammer เป็นลักษณะรูปทรงกระบอก มีก้านเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. ยื่นออกมาประมาณ 100 มม. สำหนับสัมผัสผิวเฟอร์โรซีเมนต์ ภายในกระบอกมีกลไกที่สำคัญคือ ขดลวดสปริง ก้อนน้ำหนัก และเข็มชี้บอกแรงสะท้อนกลับของสปริง วิธีใช้ให้กดปลายก้านเหล็กบนเฟอร์โรซีเมนต์ จนก้านจมหายเข้าไปในกระบอก จะได้ยินเสียงกระแทกแล้วกดปุ่มล็อก เพื่ออ่านค่าแรงสะท้อนจากเข็มที่ชี้บอก
2. แท่งหินกากเพชร สำหรับขัดผิวเฟอร์โรซีเมนต์ทดสอบ

4.4.3. วิธีทดสอบ

1. เลือกผิวเฟอร์โรซีเมนต์ที่จะทดสอบ ซึ่งอย่างน้อยควรมีความหนา 100 มม. ส่วนที่จะทดสอบควรจะยึดติดเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ผิวทดสอบจะต้องราบเรียบ ไม่มีรอยขรุขระ ไม่มีรูพรุน ผิวสะอาด ไม่สกปรก ไม่มีเศษฝุ่นหรือสารเคมีเกาะเคลือบ
2. หากมีความจำเป็นที่ต้องเตรียมผิวทดสอบ พื้นที่ผิวควรมีอย่างน้อย 150 มม. จะเป็นสี่เหลี่ยมหรือไม่เหลี่ยมก็ได้ ให้ใช้หินหยาบขัดผิวให้เรียบ สะอาด ถ้าต้องมีการล้างผิว จะต้องล้างก่อนทำการทดสอบ 24 ชั่วโมง พึงระลึกไว้ว่าเฟอร์โรซีเมนต์แห้ง จะให้ค่าแรงสะท้อนสูงกว่าเฟอร์โรซีเมนต์ชื้น เฟอร์โรซีเมนต์ที่จะทดสอบหากมีอายุเกิน 6 เดือน ให้สกัดผิวหน้าลึกประมาณ 5 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การใช้ Schmidt Hammer ยิงผิวเฟอร์โรซีเมนต์ที่เตรียมไว้แล้ว จะมีทิศทางของแนวสปริงต่างๆ อาทิ แนวราบ แนวตั้งขึ้น แนวกดลง และแกนจะต้องตั้งฉากกับแกนทดสอบ ค่า Rebound Number จะได้จากการอ่านค่าจากการยิงอย่างน้อย 10 ครั้ง เฉลี่ยทั่วบริเวณผิวทดสอบ (อย่าใกล้กันน้อยกว่า 25 มม.) และนำไปหาค่าเบี่ยงเบน เพื่อนำค่าที่ถูกต้องที่สุดไปเปรียบเทียบเป็นค่ากำลังของเฟอร์โรซีเมนต์ จากกราฟในคู่มือประกอบของ Hammer แต่ละรุ่น

4.4.4. ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.21. แสดงผลการทดสอบกำลังของเฟอร์โรซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว

No.	REBOUND NUMBER	DEVIATION	USED VALUE	HAMMER NO. N-34-106865
1.	22	+0.6	22	ANGLE 0°
2.	20	-1.4	20	AVERAGE VALUE FROM TEST
3.	22	+0.6	22	CYLINDRICAL STRENGTH OF
4.	19	-2.4	19	FERROCEMENT
5.	20	-1.4	20	FROM GRAPH 100 KSC
6.	22	+0.6	22	DISPERSION $\pm$ 40 KSC
7.	23	+1.6	23	
8.	22	+0.6	22	
9.	22	+0.6	22	
10.	22	+0.6	22	
AVERAGE VALUE			21.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การศึกษาด้านราคาของเฟอร์โรซีเมนต์

5.1. บทนำ

อุปสรรคอย่างหนึ่งของผู้ที่ต้องการใช้เฟอร์โรซีเมนต์ คือ เรื่องของการขาดแคลนข้อมูลทางด้านราคา ข้อมูลด้านราคาจะมีประโยชน์ โดยปกติแล้วจะสัมพันธ์กันระหว่าง โครงการในพื้นที่หนึ่งๆ ช่วงเวลาหนึ่ง และภายใต้สภาวะหนึ่งๆ เท่านั้น ซึ่งรายละเอียดของแต่ละตัวอย่างจึงหาได้ไม่ง่ายนัก ข้อมูลบางอย่างได้มาจากรายงานจากที่ต่างๆกัน

ในส่วนนี้จะเป็นการสรุปเรื่องของราคาที่ได้สำรวจในที่หนึ่งที่แบ่งข้อมูลพื้นฐานด้านราคาของเฟอร์โรซีเมนต์ โดยใช้ปี 1980 เป็นพื้นฐาน

5.2. การสำรวจทางด้านราคา

ตาราง 5.1 และ 5.2 จำเป็นอย่างมากในการอธิบายรูปแบบในแต่ละข้อมูลของราคาที่รวบรวมมา ข้อมูลที่แสดงในตารางนี้เป็นของมูลจากประเทศอเมริกาและเป็นตัวอย่างขายปลีกในเงินสกุลดอลลาร์ในปี 1980 ตารางสามารถปรับปรุงเพื่อใช้ในพื้นที่อื่นหรือประเทศอื่นได้ ตาราง 5.1 บอกเกี่ยวกับลวดตะแกรงที่ใช้ในเฟอร์โรซีเมนต์ ไม่เพียงบอกเป็นราคาต่อพื้นที่แต่ยังบอกเป็นราคาต่อหน่วยน้ำหนักด้วย

ในการพัฒนาส่วนประกอบของเฟอร์โรซีเมนต์ จากตาราง 5.2 a ถึง 5.2 c มีความจำเป็นในแต่ละประเทศที่ชนิดของลวดตะแกรงจะแพงกว่าทั่วๆไป ลักษณะพิเศษของเฟอร์โรซีเมนต์ สามารถนิยามได้โดยมีเกณฑ์ 2 เกณฑ์ คือ ความเค้นที่ยอมให้ในแรงดึง และ ค่าความกว้างของการแตกร้าวมากที่สุดที่ยอมให้หลังจากแตกร้าวด้วยแรง 400 500 800 1000 psi และความกว้างของการแตกร้าวมากที่สุด ถูกกำหนดให้ใช้ค่าเดียวกัน ซึ่งความกว้างของการแตกร้าวถูกจำกัดช่วงตั้งแต่ 0.025-0.075 mm ความต้องการในการออกแบบตาม ACI สำหรับการออกแบบ การก่อสร้าง และการซ่อมแซมเฟอร์โรซีเมนต์จะถูกกำหนดไว้ ส่วนความเค้นของแรงดึงที่ยอมให้ในการเสริมเหล็กจะถูกสมมุติให้เท่ากับ 60 % ของค่ากำลังที่จุดคลาก (yield strength)และค่า specificed yield strength ถูกสมมุติให้เท่ากับ 65 ksc (448 Mpa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่5.1. ราคาของลวดตะแกรงในอเมริกา

Types of reinforcement	Weight lb/ft 2 (Kg/m 2)	Estimate cost [a] in US $	
		Per ft 2 (m 2)	Per lb(kg) [b]
Square Mesh: • Woven; opening = 0.5 in. (12.5 mm) Gage 19, d_w = 0.41 in. (1.04 mm) $A_1 = 1320 \times 10^{-6}$ in² (0.85 mm²)	0.24 (1.18)	0.30 (3.23)	1.24 (2.74)
• Welded (same dimensions as above)	0.23 (1.13)	0.27 (2.91)	1.16 (2.58)
Square Mesh: • Woven; opening = 0.25 in. (6.4 mm) Gage 23; d_w = 0.025 in. (0.64 mm) $A_1 = 492 \times 10^{-6}$ in² (0.32 mm²)	0.21 (1.03)	0.31 (3.34)	1.48 (3.24)
Chicken Wire or Hexagonal Mesh: • Opening = 0.5 in. (12.5 mm); Gage 22	0.125 (0.61)	0.11 (1.19)	0.84 (1.95)
• Opening = 1 in. (25 mm); Gage 20	0.1 (0.49)	0.08 (0.86)	0.77 (1.76)
Expanded Metal Lath Mesh • Gage 24; 3.4 lb/yd² (1.8 kg/m²)	0.38 (1.86)	0.19 (2.05)	0.50 (1.10)
Welded Wire Fabric: • Gage 10, d_b = 0.135 in. (3.43 mm) Opening = 2 x 2 in. (50 x 50 mm)	0.60 (2.93)	0.17 (1.83)	0.28 (0.62)
• Gage 14; d_b = 0.08 in (2.03 mm) Opening = 1 x 1 in. (25 x 25 mm)	0.42 (2.05)	0.23 (2.48)	0.53 (1.21)
• Gage 14; d_b = 0.08 in (2.03 mm) Opening = 1 x 2 in. (28 x 50 mm)	0.305 (2.05)	0.16 (1.72)	0.305 (0.70)

[a] Retail prices, 1980.

[b] The cost of reinforcing bars for reinforced concrete was about $ 0.15 / lb ($ 0.33 / kg)

ในทุกกรณี ในการทำนายค่าความกว้างของการแตกร้าว ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ของระบบลวดตะแกรงแบบไม่ได้เชื่อม ถูกสมมุติว่ามากกว่าหรือเท่ากับ 20000 ksi (138000 Mpa) ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของลวดตะแกรงแบบเชื่อมและแบบถัก ถูกสมมุติให้เท่ากับ 29000 ksi (200000 Mpa) ตัวอย่างของการออกแบบส่วนประกอบของเฟอร์โรซีเมนต์ แสดงดังตาราง 5.2 a ถึง 5.2 c โดยสมมุติความหนา 0.2 นิ้ว (10 mm) ในกรณีที่ระบบการเสริมแตกต่างกัน เช่น ลวดตะแกรงแบบถัก และแผ่ขยายกว้างออกไป ไม่มี cost factor พิเศษเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ชนิดและโครงสร้างในแต่ละเฟอร์โรซีเมนต์ที่ใช้ แม้ว่ามีรูปแบบของแรงดึงซึ่งถูกสมมุติในการออกแบบส่วนประกอบเฟอร์โรซีเมนต์ในตาราง 5.2 แต่ทุกจุดประสงค์ในการใช้ค่า หน่วยแรงยืดหยุ่นที่ยอมให้เสมือนถือว่าเป็น 2 เท่า สำหรับแรงดึงที่ใช้ในการโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 a. ราคาของเฟอร์โรซีเมนต์ในอเมริกา

Composite thickness: h = 0.4 in. = 10 mm Mesh: square; opening = 0.5 in. (12.5 mm); Gage 19 d_w = 0.041 in. (1.04 mm); A_1 = 1320 x 10^{-6} in ^{2} (0.85 mm ^{2}) Welded fabric: square; opening = 2 in. (50 mm); Gage 10 d_b= 0.135 in. (3.43 mm); A_1 = 0.01433 in ^{2} (9.24 mm ^{2})				Estimated cost in US \$ per ft ^{2} (and m ^{2}) of composite				
	Reinforcement	Steel Content lb/cy; kg/m ^{3}	Mesh type	Mesh	Welded Wire Fabric	Mortar	Labor [b]	Total [b]
σ_a = 1000 psi or (6.9 MPa) $W_{max} \leq$ 0.001 in. or (0.025 mm)	4 layers of mesh	713 lb/cy or 423 kg/m^3	woven	1.2 (12.92)	-	0.08 (0.86)	0.14 (1.51)	1.42 (15.29)
			welded	1.08 (11.63)	-	0.08 (0.86)	0.14 (1.51)	1.30 (14.00)
σ_a = 1000 psi or (6.9 MPa) $W_{max} \leq$ 0.0014 in. or (0.035 mm)	2 layers of mesh + 1 layer of welded wire fabric	842 lb/cy or 500 kg/m^3	woven	0.60 (6.46)	0.17 (1.83)	0.08 (0.86)	0.10 (1.08)	0.95 (10.23)
			welded	0.60 (6.46)	0.17 (1.83)	0.08 (0.86)	0.10 (1.08)	0.95 (9.58)
σ_a = 500 psi or (3.45 MPa) $W_{max} \leq$ 0.003 in. or (0.075 mm)	2 layers of mesh mesh	357 lb/cy or 212 kg/m^3	woven	0.60 (6.46)	-	0.08 (0.86)	0.8 (0.86)	0.76 (8.18)
			welded	0.54 (5.81)	-	0.08 (0.86)	0.08 (0.86)	0.70 (7.6)

[a] σ_a = allowable composite stress in tension; W_{max} = maximum crack width.

[b] Factory-produced with shotcreting. Total cost may increase up to 100% for on-site construction.

ตารางที่ 5.2 b. ราคาของเฟอร์โรซีเมนต์ในอเมริกา

Composite thickness: t = - 0.4 in. (10 mm) Mesh: square; opening = 0.25 in. (12.5 mm); Gage 19 d_w = 0.041 in. (1.04 mm); A_1 = 1320 x 10^{-6} in ^{2} (0.85 mm ^{2}) Welded fabric. square, opening = 2 in. (50 mm); Gage 10 d_b = 0.135 in. (3.43 mm); A_1 = 0.01433 in ^{2} (9.24 mm ^{2})			Estimated cost in US \$ per ft ^{2} (and m ^{2}) of composite				
Specified Composite Performance [a]	Reinforcement	Steel Content lb/cy; kg/m ^{3}	Mesh	Welded Wire Fabric	Mortar	Labor [b]	Total [b]
σ_a = 800 psi or (5.5 MPa) $W_{max} \leq$ 0.001 in. or (0.025 mm)	4 layers of mesh	651 lb/cy or 386 kg/m^3	1.24 (13.35)	-	0.08 (0.86)	0.14 (1.51)	1.45 (15.61)
σ_a = 800 psi or (5.5 MPa) $W_{max} \leq$ 0.001 in. or (0.025 mm)	2 layers of mesh + 1 layer of welded wire fabric	812 lb/cy or 481 kg/m^3	0.62 (6.67)	0.17 (1.83)	0.08 (0.86)	0.10 (0.86)	0.97 (10.44)
σ_a = 400 psi or (2.75 MPa) $W_{max} \leq$ 0.0021 in. or (0.053 mm)	2 layers of mesh	326 lb/cy or 193 kg/m^3	0.52 (5.67)	-	0.08 (0.86)	0.08 (0.86)	0.78 (8.40)

[a] σ_a = allowable composite stress in tension; W_{max} = maximum crack width

[b] Factory-produced with shotcreting. Total cost may increase up to 100% for on-site construction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 c. ราคาของเฟอร์โรซีเมนต์ในอเมริกา

Composite thickness: $h = 0.4$ in. = 10 mm Expanded metal lath; Gage 24; 3.4 lb/yd² (1.8 kg/m²)			Estimated cost in US $ per ft² (and m²) of composite				
Specified Composite Performance [a]	Reinforcement	Steel Content lb/cy; kg/m³	Mesh	Welded Wire Fabric	Mortar	Labor [b]	Total [b]
σ_a = 1000 psi (6.9 mPa)	Four Layers	1224 lb/cy (726 kg/m³)	0.75 (8.07)	None	0.08 (0.86)	0.14 (1.51)	0.97 (10.44)
σ_a = 500 psi (3.45 MPa)	Two Layers	612 lb/cy (363 kg/m³)	0.36 (3.88)	None	0.08 (0.86)	0.14 (1.08)	0.54 (5.81)

[a] σ_a = allowable composite stress in tension; W_{max} = maximum crack width.

[b] Factory-produced with shotcreting. Total cost may increase up to 100% for on-site construction.

5.3. การเปรียบเทียบทางด้านราคา

ข้อมูลทางด้านราคาจะเปลี่ยนแปลงในแต่ละที่เมื่อพิจารณาจากราคาขายปลีกในประเทศ รัฐ หรือเมืองเดียวกันจะมีความแตกต่างกันมากในด้านราคาที่กล่าวมา ส่วนความแตกต่างอื่นๆ อาจจะถูกกำหนดโดยผลกระทบทางด้านเวลาและท้องถิ่นนั้นๆ ในอเมริกาผลกระทบทาด้านเวลาและท้องถิ่นได้ทำขึ้นเป็นบัญชีโดยใช้ดัชนีของราคาและตีพิมพ์ใน Engineering New Record แม้ว่าข้อมูลจากการสำรวจสามารถใช้และปรียบเทียบได้ในหลายทางและพยายามที่จะทำการแบ่งเป็นข้อสรุปและสรุปได้ตามทั้ง 2 ตาราง

ตาราง 5.3 เป็นการสรุปของราคาของเหล็กเสริมของเฟอร์โรซีเมนต์ในประเทศต่างๆ ข้อสังเกตหลายอย่างที่สัมพันธ์กับตาราง 5.3

1. เหล็กเสริมนั้นเป็นมาตรฐานในประเทศหนึ่งๆ อาจจะเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมกับประเทศอื่นๆ โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบระหว่างลวดตะแกรงแบบเชื่อมและแบบถัก เพราะฉะนั้นความเหมาะสมของชนิดของเหล็กเสริมคือ ราคาขายปลีก ตัวอย่างเช่น ลวดตะแกรงแบบถักรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ราคาเป็น 50 % ของอีกอย่างหนึ่งซึ่งเหมือนกันแต่ลวดตะแกรงแบบเชื่อมในอินเดียจะเป็น 110 % ของอเมริกา และ 300 % ในอังกฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สิ่งของอื่นๆซึ่งเหมือนกันทางตะวันออกไกลจะถูกกว่าทางตะวันตก ราคาในอเมริกาจะอยู่ระหว่างตะวันออกไกลกับยุโรปตะวันตก

3. ราคาของเหล็กเส้นสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กเป็น 0.33 ดอลลาร์ต่อกิโลกรัม (ราคาปี 1980) สังเกตจากตาราง 5.1 และ 5.3 ราคาต่อหน่วยน้ำหนักของลวดตะแกรงอาจขึ้นไปถึง 10 เท่าของเหล็กเส้นได้ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาเลือกชนิดของลวดตะแกรงที่ราคาถูกที่สุดประกอบเพื่อกำหนดใช้ในการดำเนินการ

ราคาและลำดับที่ให้ในตาราง 8.4 ไม่ได้สะท้อนความสัมพันธ์ของชนิดและรูปร่างของโครงสร้าง ราคาเกี่ยวเนื่องกับส่วนประกอบ รูปร่าง การผลิต ทักษะของแรงงาน ตัวอย่าง ในกรณีการรายงานจาก Jordan ซึ่งลักษณะพิเศษของโครงการนำไปใช้อ้างอิงเรื่องราคาของอังกฤษ

ตารางที่ 5.3. เปรียบเทียบราคาของเฟอร์โรซีเมนต์ในแต่ละประเทศ

	Unit costs in US $ / m², 1980								
	Square mesh 0.5 in. (12.5 mm) Gage 19 ϕ = 0.041 in. (1.04 mm)		*Square mesh [a] 0.25 in. (6.3 mm) Gage 23 ϕ = 0.025 in. (0.64 mm)*		*Chicken wire mesh [a] 0.5 in. (12.5 mm)*		*Expanded metal lath [e]*		*Welded wire fabric 2 x 2 in. (50 x 50 mm)*
	Welded	*Woven*	*Welded*	*Woven*	*Gage 19*	*Gage 22*	*1.8 kg/m² (6 x 10 mm)*	*1.3 kg/m² (11 x 22 mm)*	*Gage 10*
Canada	3.36	-	3.89	-	-	1.30	c	c	6.03
England	4.8	14[b]	5.6	16.95[b]	4.75[b]	-	c	6.27[b]	4.91
India	4.34	2.07	-	1.56	1.25	0.79	1.96	1.40	3.36
Jordan	4.67	-	-	5.46	-	-	-	-	-
Mexico	3.73	-	-	4.09	1.58	-	4.29	4.28	3.98
Singapore	-	2.4	-	-	1.22	0.61	-	-	-
Thailand[d]	1.5	1.75	-	1.5	1.0	-	-	-	2.5
USA	2.91	3.23	-	3.34	-	1.19	2.05	c	1.83

[a] When indicated gage was not available, closest gage was used.
[b] Special order for special project; normal cost is similar to cost in the U.S.
[c] Different grades and openings are available.
[d] These costs are significantly lower than in neighboring countries but are reported as given.
[e] Quality of expanded metal lath depends on production process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4. เปรียบเทียบราคาและเปอร์เซ็นต์ของเฟอร์โรซีเมนต์ในแต่ละประเทศ

	US $ / m^2, 1980	Percentage range of total cost (from higher to lower performance) attributed to:		
	Specified performance: σ_a = 1000 psi (6.9 MPa) $W_{max} \leq$ 0.001 in. (0.025 mm)	Reinforcement %	Mortar %	Labor %
England	33.4	58 to 46	4 to 6	38 to 48
India	9.9	86 to 82	7 to 9	7 to 9
Jordan	68[b]	23 to 26	3 to 4	74 to 72
Mexico	20.9	81 to 72	3 to 6	15 to 22
Thailand	15	41 to 40	18 to 20	41 to 40
Thailand	12[g]	33	25	42
U.S.A.	22 to 24.5[c]	59 to 53	4	37 to 44
	30 to 35[d]	42 to 35	4	54 to 61
	17 to 19.5[e]	76 to 66	6	18 to 28
	15.3[f]	84	6	10
	10.5[f,g]	66	15	19

[a]Using lowest cost available for mesh reinforcement (woven or welded).
[b]Special project; complex shape; skilled labor; no support work.
[c]Assuming on-site hand plastering.
[d]Assuming on-site shotcreting; small project.
[e]Assuming on-site shotcreting; large project; continuous production.
[f]Factory-produced with shotcreting.
[g]Using expanded metal lath as reinforcement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4. ราคาที่ใช้ระหว่างแบบเฟอร์โรซีเมนต์และแบบก่ออิฐฉาบปูน

5.4.1. ราคาที่สร้างแบบเฟอร์โรซีเมนต์

ในการคิดราคาของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ที่ได้ทำการก่อสร้างแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นพื้น ซึ่งเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. ส่วนที่เป็นผนังกับหลังคา ซึ่งเป็นเฟอร์โรซีเมนต์

5.4.1.1. ส่วนที่เป็นพื้น

MIX DESIGN

อัตราส่วนของการผสม 1:2:4 โดยน้ำหนัก ใช้น้ำ 30 ลิตร ต่อปูนซีเมนต์ 1 ถุง ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ 3.15 ความถ่วงจำเพาะของทราย 2.65 ความถ่วงจำเพาะของหิน 2.71

ซีเมนต์ 1 ถุง หนัก 50 กก. ใช้ทราย = 2x50 = 100 กก.

ใช้หิน = 4x50 = 200 กก.

ใช้น้ำ = 30 กก.

ปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ $= \dfrac{W}{(G\gamma_w)}$

ปริมาตรเนื้อแท้ของซีเมนต์ $= \dfrac{50}{(3.15)(1000)} = 0.0159\ m^3$

ปริมาตรเนื้อแท้ของทราย $= \dfrac{100}{(2.65)(1000)} = 0.038\ m^3$

ปริมาตรเนื้อแท้ของหิน $= \dfrac{200}{(2.71)(1000)} = 0.074\ m^3$

ปริมาตรเนื้อแท้ของน้ำ $= \dfrac{30}{(1)(1000)} = 0.03\ m^3$

รวม 0.0159+0.038+0.074+0.03 = 0.1579 m^3

ปริมาตรฟองอากาศ 1 % = 0.001579 m^3

รวม = 0.159 m^3

ปูนซีเมนต์ 1 ถุง ใช้คอนกรีต 0.159 m^3

ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ $= \dfrac{1}{(0.159)} = 6.29$ ถุง/ m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปูนซีเมนต์ = 6.29x50 = 314.5 กก.

ทราย = 2x314.5 = 629 กก.

หิน = 4x314.5 = 1258 กก.

ปริมาตรพื้นเท่ากับ = $\pi x(1.75)^2 x0.08 = 0.77\ m^3$

ใช้ซีเมนต์ = 0.77x0.29 = 4.84 ประมาณ 5 ถุง

ใช้ทราย = 629x0.77 = 484.33 กก.

หิน = 1258x0.77 = 968.66 กก.

$$\text{ใช้ทราย} = \frac{484.33}{1450} = 0.33\ m^3$$

$$\text{ใช้หิน} = \frac{968.66}{1450} = 0.67\ m^3$$

5.4.1.2. ส่วนที่เป็นผนังและหลังคา (เฟอร์โรซีเมนต์)

MIX DESIGN

วัสดุที่ใช้ผสมมอร์ต้า 1 m^3 อัตราการผสม 1:3 โดยน้ำหนัก ใช้น้ำ 30 ลิตรต่อปูนซีเมนต์ 1 ถุง (50 กก.) กำหนดให้ ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ 3.15 และความถ่วงจำเพาะของทราย 2.65 และความถ่วงจำเพาะของน้ำ 1

ปูนซีเมนต์ 1 ถุง หนัก 50 กก. ใช้ทราย = 3x50 = 150 กก.

และน้ำ 30 ลิตร = 30 กก.

$$\text{จากสูตรปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ} = \frac{W}{(G\gamma_w)}$$

$$\text{ปริมาตรเนื้อแท้ของซีเมนต์ที่ใช้} = \frac{50}{(3.15)(1000)} = 0.0159\ m^3$$

$$\text{ปริมาตรของทรายที่ใช้} = \frac{150}{(2.65)(1000)} = 0.057\ m^3$$

$$\text{ปริมาตรน้ำที่ใช้} = \frac{30}{(1)(1000)} = 0.03\ m^3$$

รวมปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ = 0.0159+0.057+0.03 = 0.1029 m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรฟองอากาศ 1% = 0.01x(0.1029) = 0.001029 m^3

รวมปริมาตรซีเมนต์ที่ใช้ = 0.104 m^3

ปริมาตรซีเมนต์ที่ใช้ (CEMENT FACTOR) = $\frac{1}{(0.104)}$ = 9.6 ถุง ใน1m^3

ใช้ทราย = 3x9.6x50 = 1440 กก.ต่อ1m^3

ปริมาตรของผนังที่ทำ = 0.727m^3

ใช้ปูนซีเมนต์ = 9.6x0.727 = 6.9 ประมาณ 7 ถุง

ใช้ทราย = 1440x0.727 = 1047 กก.

ทรายมีหน่วยน้ำหนัก = 1450 กก./ m^3

ใช้ทราย = 1047/1450 = 0.722 m^3

ตาราง 5.5. สรุปราคาค่าก่อสร้างแบบเฟอร์โรซีเมนต์

	วัสดุ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคา
พื้น	ปูนซีเมนต์	5 ถุง	110/ถุง	550
	ทรายหยาบ	0.33 คิว	270/คิว	89.1
	หิน	0.67 คิว	310/คิว	207.7
ผนังและหลังคา	ปูนซีเมนต์	7 ถุง	110/ถุง	770
	ทรายละเอียด	0.722 คิว	300/คิว	216.6
	ลวดตะแกรง	45 เมตร	30/เมตร	1350
	วัสดุ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคา
	ลวดผูกเหล็ก	2 กก.	12.5/กก.	25
	เหล็ก RB 9	15 เส้น	60/เส้น	900
	เหล็ก RB 6	5 เส้น	30/เส้น	150
	ลวดเชื่อม	1 กล่อง	75/กล่อง	75
รวม				4333.4

พื้นที่ทั้งหมด 25.13 ตร.ม. ดังนั้น ราคา = 4333.4/25.13=172.44 บาท/ตร.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2. ราคาที่สร้างแบบก่ออิฐฉาบปูน

5.4.2.1. ส่วนที่เป็นพื้น

MIX DESIGN

พื้นคอนกรีต ขนาด 4x4 เมตร หนา 7 ซม. มาตรส่วน 1:2:4 จากปูน 1 ถุง ให้คอนกรีต 0.159 m^3

ปริมาตรซีเมนต์ = $\frac{1}{(0.159)}$ = 6.29/ 1ถุง

ปริมาตรพื้น	= 1.12 m^3	
ใช้ซีเมนต์	= 1.12x6.26	= 7.04 ประมาณ 7 ถุง
ทราย	= 629x1.12	= 704.48 กก.
หิน	= 1258x1.12	= 1408.96 กก.

ใช้ทราย = $\frac{704.48}{(1450)}$ = 0.48 m^3

ใช้หิน = $\frac{1408.96}{(1450)}$ = 0.97 m^3

ตะแกรงเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม.@ 0.20 ม.
จำนวนพื้นที่ที่ใช้เท่ากับ 16 ตร.ซม. ราคาตารางเมตรละ 25 บาท

5.4.2.2. ส่วนที่เป็นผนัง

MIXDESIGN

ปูนฉาบ
ฉาบ 2 ด้าน หนาด้านละ 1 ซม.
พื้นที่ผิว 1 ด้านเท่ากับ 4x1 = 4 ตร.ซม.
4 ด้าน เท่ากับ 4x4 = 16 ตร.ซม.
ฉาบ 2 ด้าน ด้านในและด้านนอก เท่ากับ 2x16 = 32 ตร.ซม.
ปริมาตรปูนฉาบเท่ากับ 0.01x32 = 0.32 ลบ.ซม.
ใช้อัตราส่วน 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมปริมาตรเนื้อมอร์ต้าเท่ากับ 0.104 ลบ.ซม.

ปริมาตรซีเมนต์ที่ใช้ (CEMENT FACTOR) เท่ากับ $\frac{1}{(0.104)}$ = 9.6 ถุง/ลบ.ซม.

ใช้ทรายเท่ากับ 3x9.6x50 = 1440 กก./ลบ.ซม.
ใช้ปูนซีเมนต์เท่ากับ 9.6x0.32 = 3.07 ประมาณ 4 ถุง
ใช้ทรายละเอียดเท่ากับ 1440x0.32 = 460.8 กก.
ทรายมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1450 กก./ลบ.ซม.

ใช้ทรายเท่ากับ $\frac{460.8}{(1450)}$ = 0.318 ลบ.ซม.

อิฐมอญ ขนาด 7x16x3.5 ซม. ก่อแบบครึ่งแผ่น

พื้นที่ที่ก่อทั้งหมด 16 ตร.ซม. ใช้อิฐมอญจำนวน $\frac{16}{(0.16x0.035)}$ = 2858 ก้อน

ราคาอิฐมอญ 1000 ก้อน 400 บาท

5.4.2.3. โครงสร้างหลังคา

อะเสจั่ว ใช้ไม้ขาด 1 ½ x6 นิ้ว

ช่วงของเสา = 4.00 เมตร
เผื่อหัวท้ายและระยะที่เลยศูนย์กลางเสา = 0.50 เมตร
รวมความยาว = 4.50 เมตร
จำนวนอะเส 2 ตัว ใช้ความยาว 4.50x2 = 9.00 เมตร

อะเสด้านข้าง ใช้ไม้ขนาด 1 ½ x6 นิ้ว

ช่วงของเสา = 4.00 เมตร
ระยะยื่น = 1.00 เมตร
เผื่อหัวท้ายและต่อไม้ = 0.50 เมตร
รวมความยาว = 5.50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอะเส 2 ตัว ใช้ความยาว 5.50x2 = 11.00 เมตร

ขื่อไม้ ใช้ไม้ขาด 1 ½ x6 นิ้ว

ช่วงของเสา = 4.00 เมตร

ระยะจากศูนย์กลางถึงปลายขื่อ = 1.00 เมตร

เผื่ออีก = 0.50 เมตร

รวมความยาว = 5.50 เมตร

จำนวนขื่อ 2 ตัว ใช้ความยาว 5.50x2 = 11.00 เมตร

จันทัน ใช้ไม้ขาด 1 ½ x6 นิ้ว

ระยะความยาว = 3.10 เมตร

เผื่อ = 0.50 เมตร

รวมความยาว = 3.60 เมตร

จำนวนจันทัน 4 ตัว ใช้ความยาว 3.60x4 = 14.40 เมตร

ดั้ง ใช้ไม้ขาด 1 ½ x6 นิ้ว

ความยาว = 0.5 เมตร

จำนวดั้ง 2 ตัว ใช้ความยาว 0.5x2 = 1.00 เมตร

อกไก่ ใช้ไม้ขาด 1 ½ x6 นิ้ว

ช่วงของเสา = 4.00 เมตร

ระยะยื่น = 2.00 เมตร

เผื่อ = 0.2 เมตร

รวมความยาว = 6.20 เมตร

แป ใช้ไม้ขาด 1 ½ x3 นิ้ว

ความยาว = 6.20 เมตร

จำนวนแป 6 ตัว ใช้ความยาว 6.20x6 = 37.20 เมตร

สรุป ใช้ไม้ 1 ½ x6 นิ้ว ความยาวรวมทั้งหมด 52.6 เมตร

ใช้ไม้ 1 ½ x3 นิ้ว ความยาวรวมทั้งหมด 37.2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม้ยาง 1 ½ x6 นิ้ว ราคาเมตรละ 76 บาท

ไม้ยาง 1 ½ x3 นิ้ว ราคาเมตรละ 39 บาท

กระเบื้องลอนคู่ขนาด 50x120 ซม.

ใช้ทั้งหมด (600x600)/(50x120) = 60 แผ่น

เผื่อระยะซ้อนทับ 20 % จะได้ 60x1.2 = 72 แผ่น

ครอบมุมสันหลังคา

สันหลังคายาว 6 เมตร ครอบสันมีความยาว 57 ซม. ระยะซ้อนทับ 7 ซม. เหลือความยาว 50 ซม. ใช้ครอบสันจำนวน 600/50 = 12 แผ่น

เสาคอนกรีตสำเร็จรูป จำนวน 4 ต้น สูง 2 เมตร ต้นละ 180 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.6. สรุปราคาค่าก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูน

	วัสดุ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคา
พื้น	ซีเมนต์	7 ถุง	110/ถุง	770
	ทรายหยาบ	0.48 คิว	270/คิว	129.6
	หิน	0.97 คิว	310/คิว	300.7
	เหล็กเสริมสำเร็จ	16 ตร.ซม.	25/ตร.ซม.	400
เสา	เสาสำเร็จ4x4นิ้ว สูง 2 เมตร	4 ต้น	180/ต้น	720
หลังคา	ไม้ 1 ½ x6 นิ้ว	52.6 เมตร	76/เมตร	3997.6
	ไม้ 1 ½ x3 นิ้ว	37.2 เมตร	39/เมตร	1450.8
	กระเบื้องลอนคู่ ขนาด 50x120 ซม.	72 แผ่น	43/แผ่น	3096
	ครอบมุมสันหลังคา 15 องศา	12 แผ่น	38/แผ่น	456
ผนัง	อิฐมอญ ขนาด 7x16x3.5 ซม	2858 ก้อน	400/1000 ก้อน	1143.2
	ซีเมนต์	4 ถุง	110/ถุง	440
	ทรายละเอียด	0.318 คิว	300/คิว	95.4
รวม				12999.3

พื้นที่ทั้งหมด 68 ตร.ม. ดังนั้น ราคา = 12999.3/68 = 191.17 บาท/ตร.ม.

สรุป ราคาค่าก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบเป็นตารางเซ็นติเมตรของทั้งการก่อสร้างแบบเฟอร์โรซีเมนต์และ ก่อสร้างแบบก่ออิฐฉาบปูน จะได้ว่าราคาค่าก่อสร้างแบบเฟอร์โรซีเมนต์ถูกกว่าเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

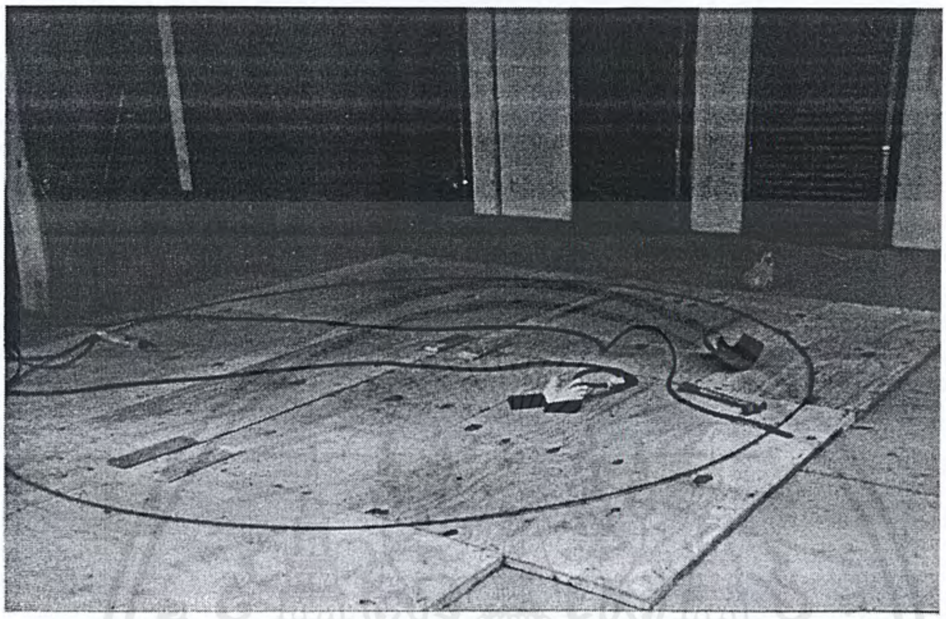
- วินิต ช่อวิเชียร, 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ : วินิต ช่อวิเชียร.
- วินิต ช่อวิเชียร, 2542. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ : วินิต ช่อวิเชียร
- ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2542. ปฏิบัติการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ : บริษัท เอส. เอส. บุ๊คเฮ้าส์ จำกัด
- ศูนย์สารนิเทศเฟอร์โรซีเมนต์ระหว่างชาติ(IFIC) สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ., 2527. โฟกัสเฟอร์โรซีเมนต์
- สัมภาษณ์ ชนานิยม, 2539. การศึกษาระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปเฟอร์โรซีเมนต์ สำหรับอาคารที่พักอาศัยแนวราบ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Antoine E. Naaman, 2000. Ferrocement & Laminated Cementitious Composites. 1st Ed.,USA. : Techno Press 3000.
- Daniel L. Schodek, 1998. Strutures. 3rd Ed., USA. : Prentice Hall
- Reported By IFS Committee 10 January 2001,2001. Ferrocement Model Code . 1st Ed.,Thailand : Asian Institute of Technology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

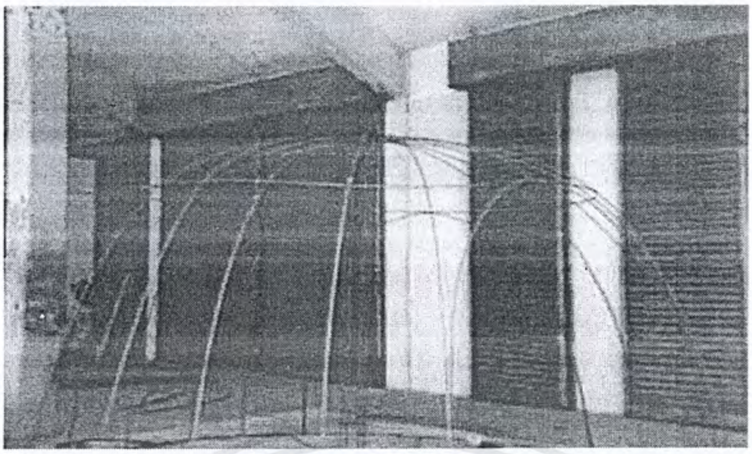
รูปแสดงขั้นตอนการก่อสร้าง

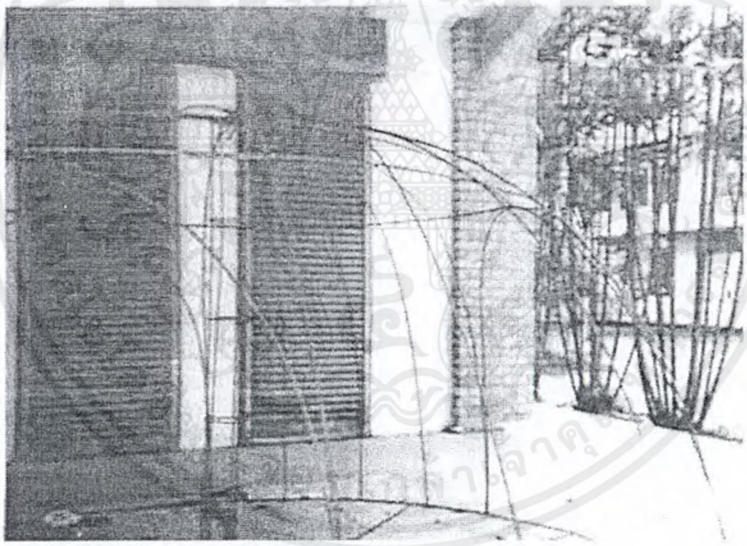
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก.1. แสดงการวางไม้แบบและดัดเหล็กให้เป็นรูปวงกลมที่ฐาน

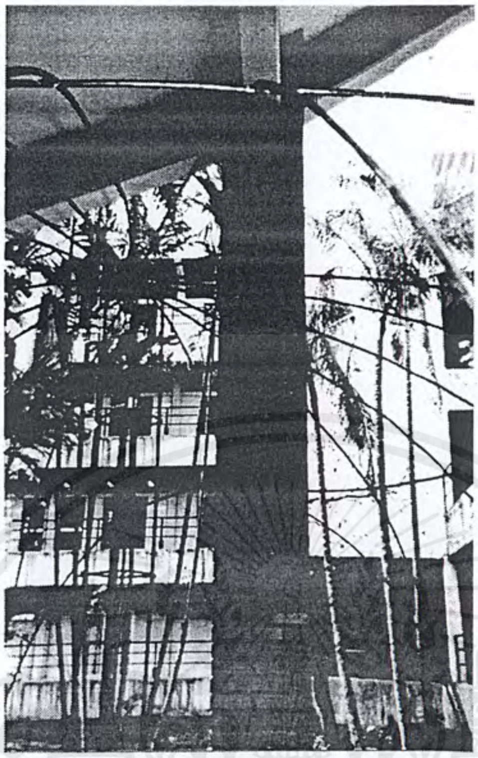
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



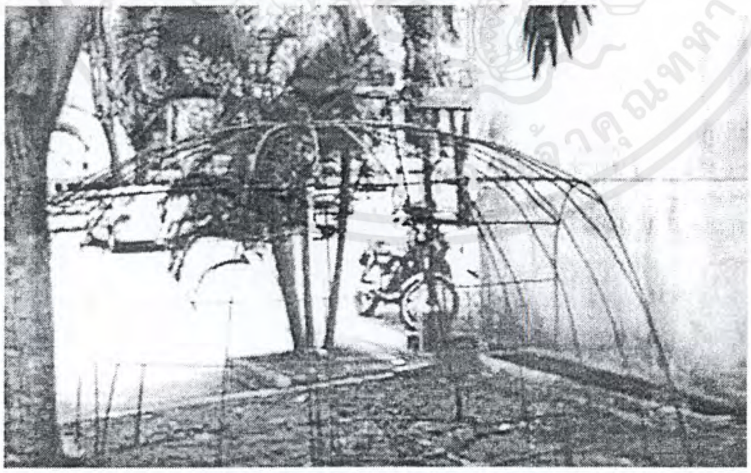


รูปที่ ผก.2. แสดงการขึ้นโครงเหล็กของศาลารูปครึ่งวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

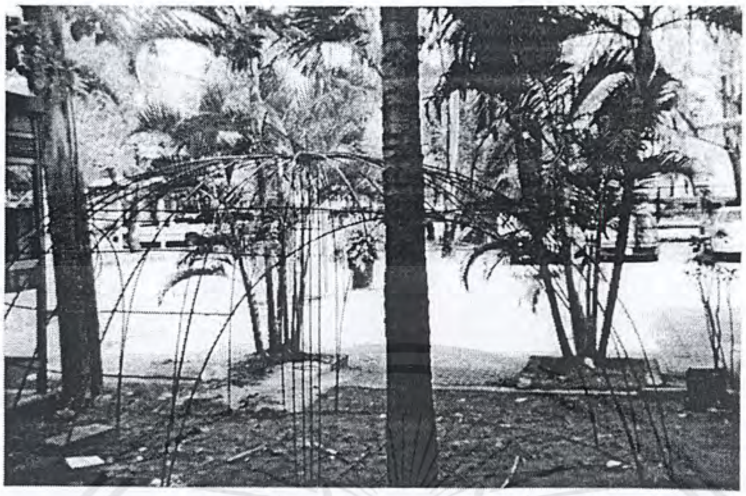


รูปที่ ผก.3. แสดงเสาที่ทำจากเหล็กเส้นเพื่อให้ง่ายในการก่อสร้าง



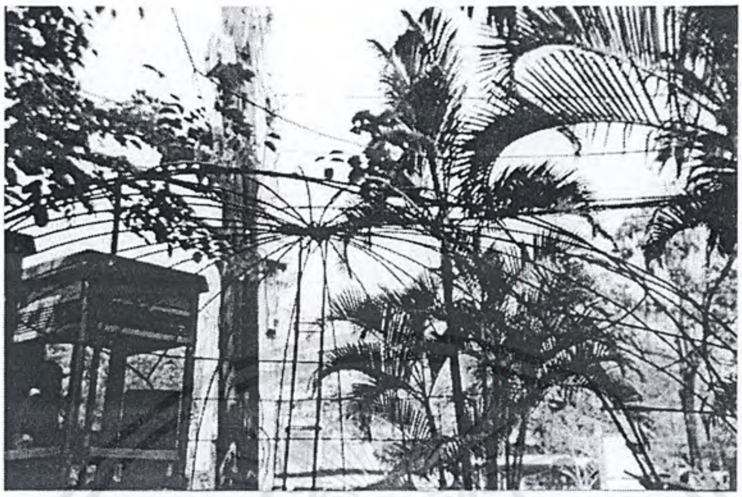
รูปที่ ผก.4. แสดงการเชื่อมเหล็กเส้นคาดตามขวางของโครงเหล็กของศาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

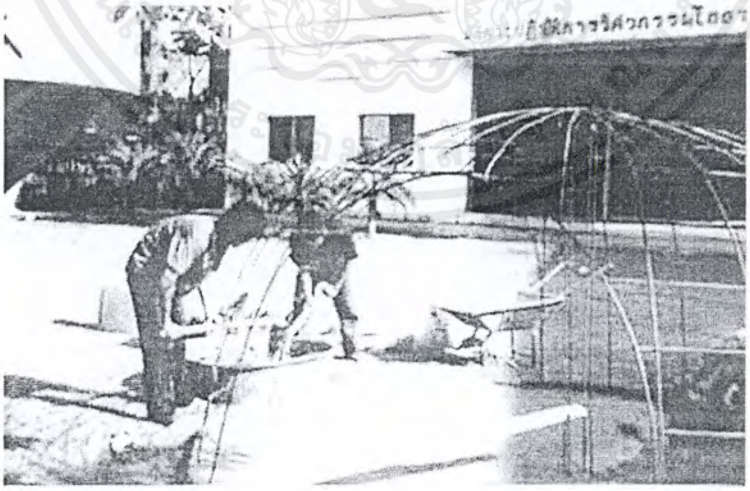


รูปที่ ผก.5. แสดงการเชื่อมเหล็กเส้นคาดตามขวางของโครงเหล็กของศาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

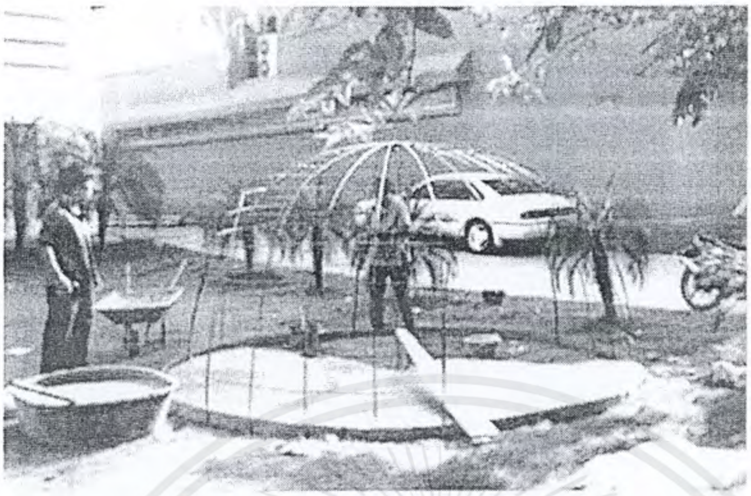


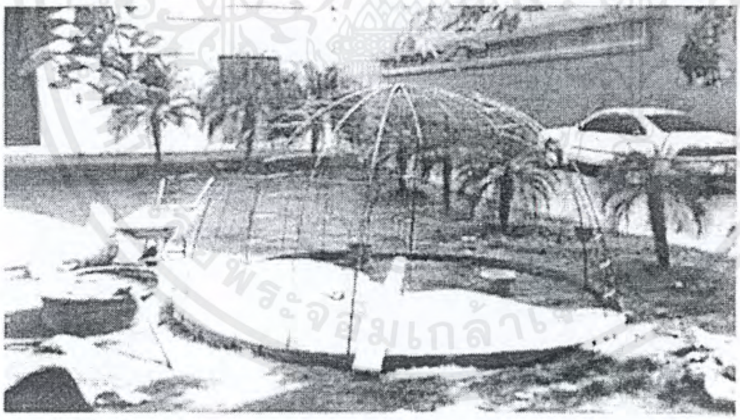
รูปที่ ผก.6. แสดงการเชื่อมเหล็กเส้นคาดตามขวางส่วนบนของโครงเหล็กของศาลา



รูปที่ ผก.7. แสดงการเทพื้นคอนกรีตของศาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

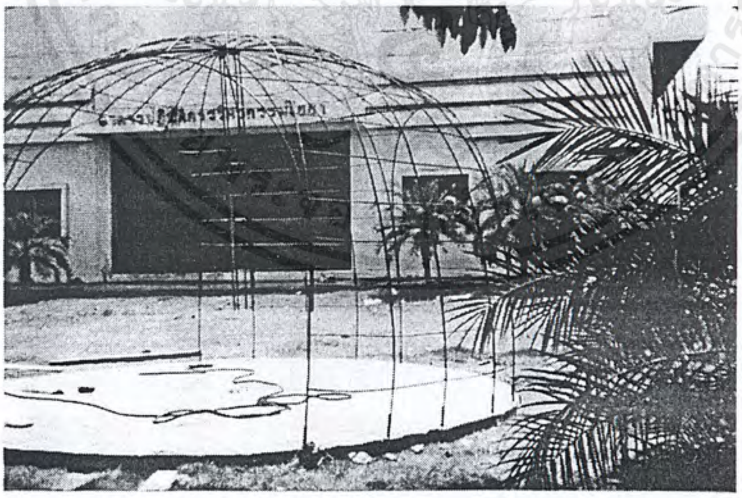




รูปที่ ผก.8. แสดงพื้นคอนกรีตของศาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

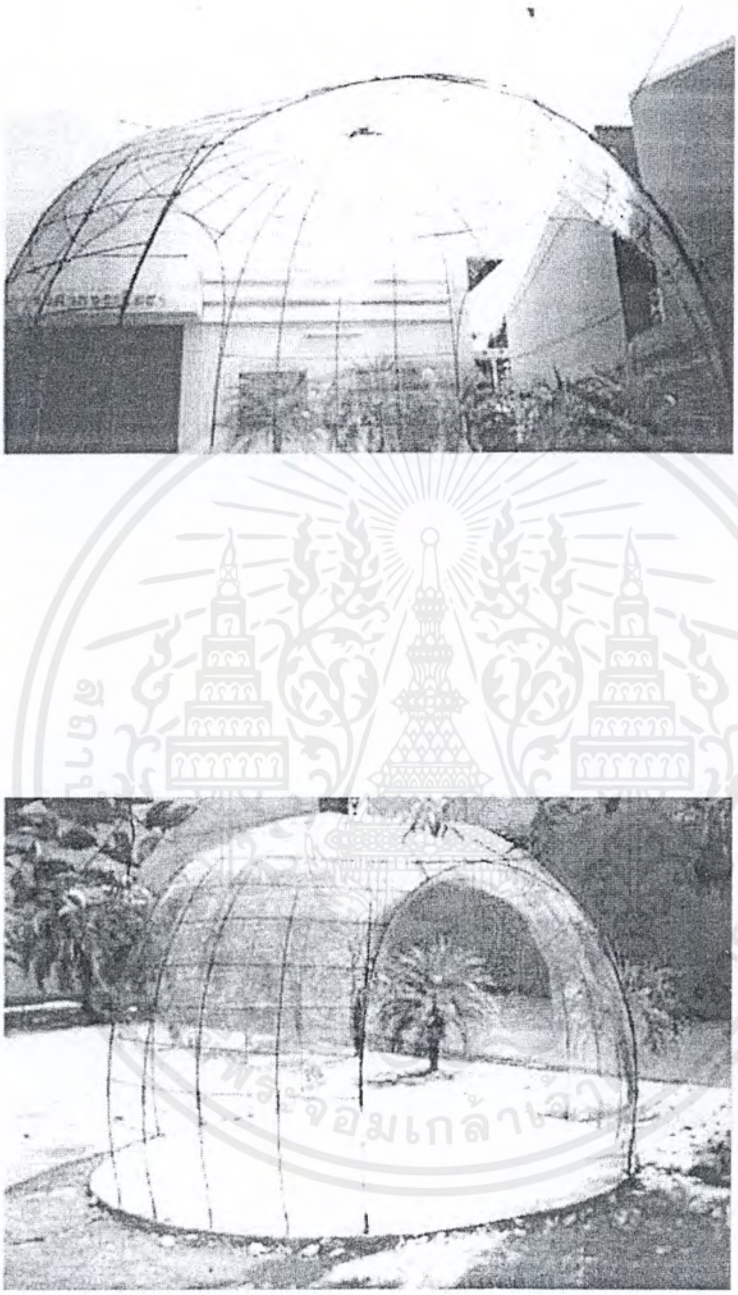
รูปที่ ผก.9. แสดงการเพิ่มความสูงของโครงเหล็กของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์



รูปที่ ผก.10. แสดงการเพิ่มเหล็กเส้นภายหลังจากการเพิ่มความสูงของโครงของศาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

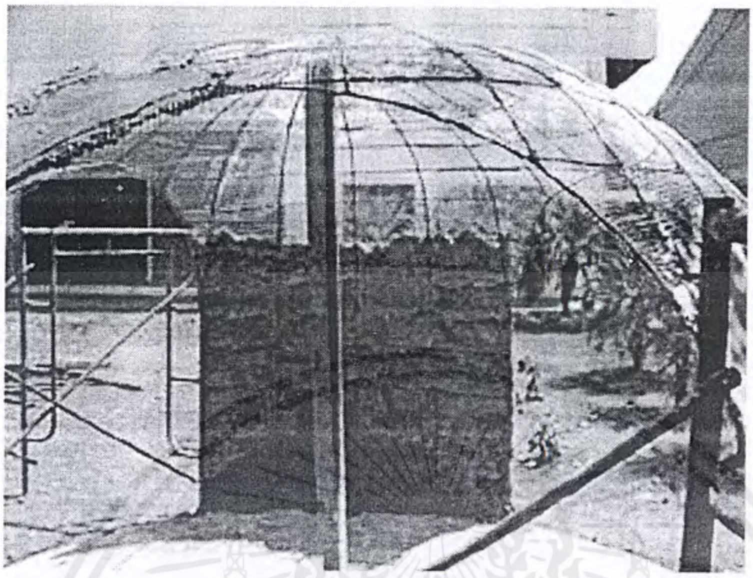
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

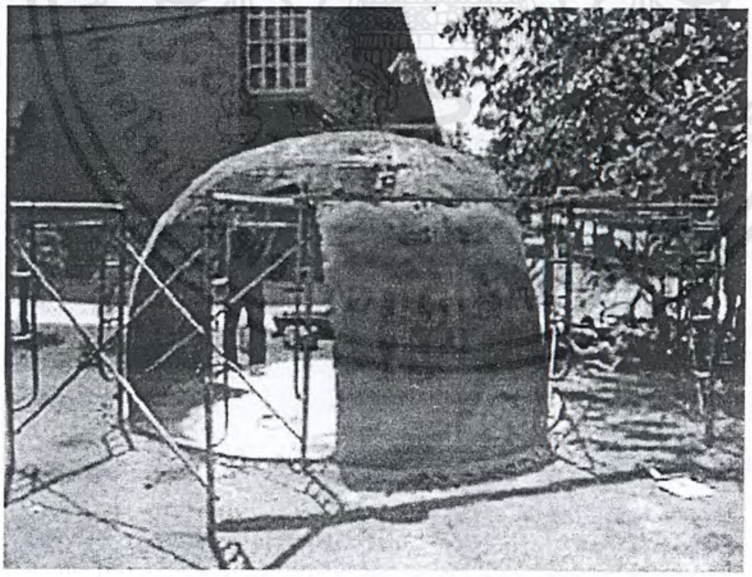


รูปที่ ผก.11. แสดงการติดลวดตะแกรง(ลวดกรงไก่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

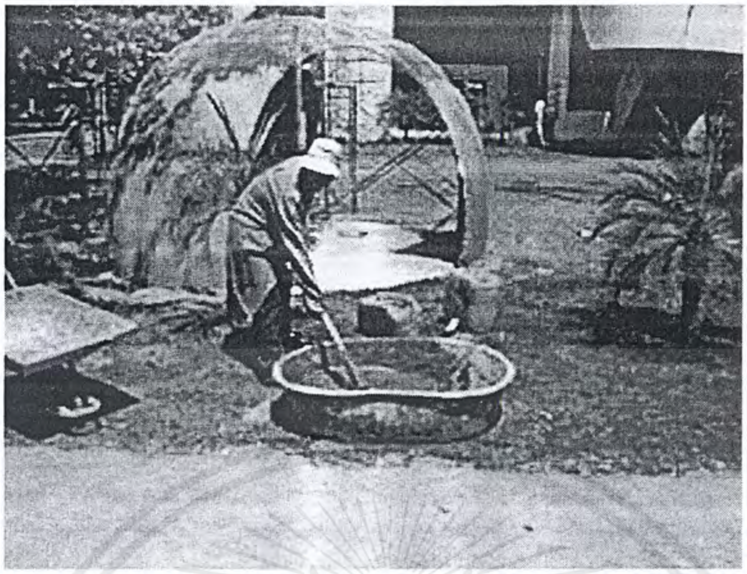
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ผก.12. แสดงการฉาบภายนอกของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์

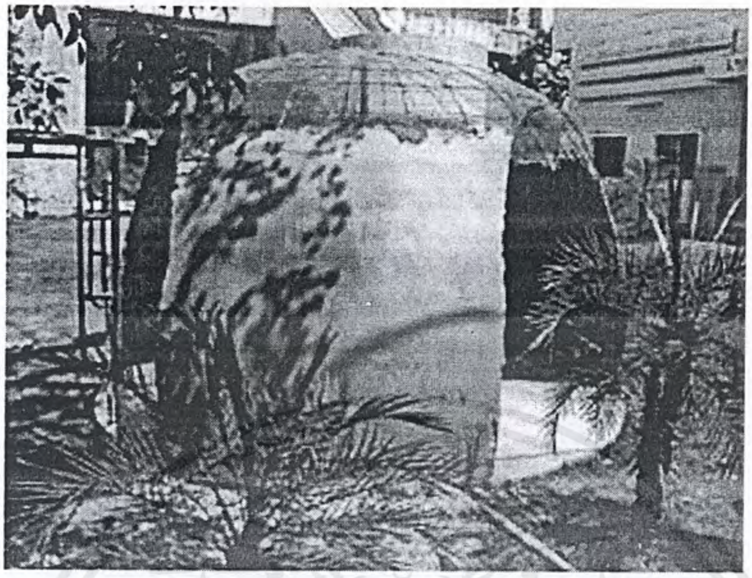
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

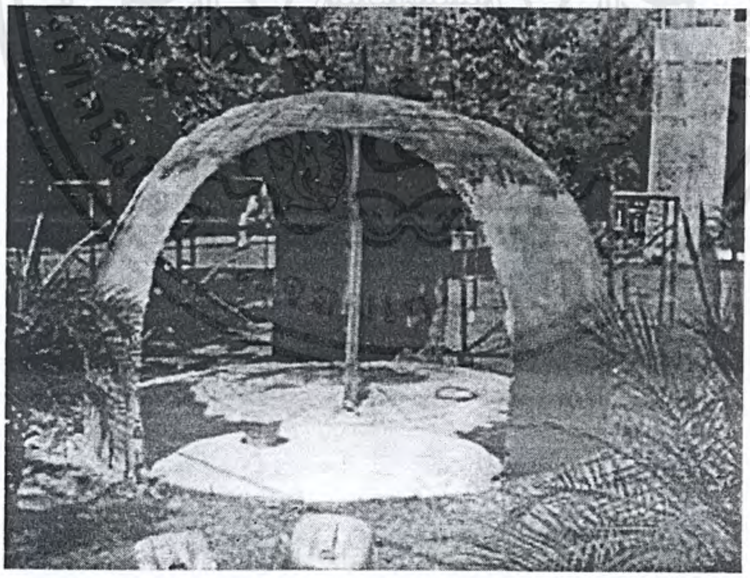


รูปที่ ผก.13. แสดงการผสมปูนเพื่อใช้ในการฉาบ

รูปที่ ผก.14. แสดงการฉาบศาลาเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





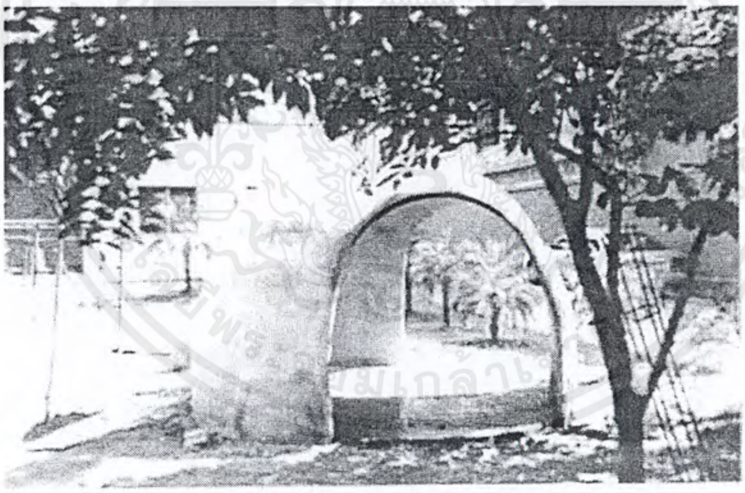
รูปที่ ผก.15. แสดงการฉาบศาลาเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.16. แสดงการฉาบภายในของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

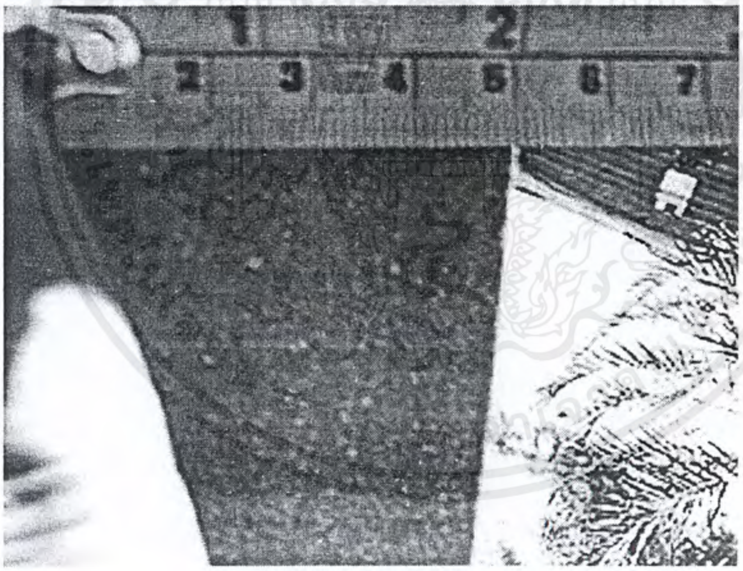
รูปที่ ผก.17. แสดงความหนาของเฟอร์โรซีเมนต์ภายหลังจากการฉาบเสร็จแล้ว



รูปที่ ผก.18. แสดงศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ภายหลังจากการเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.19. แสดงศาลาเฟอร์โรซีเมนต์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว



รูปที่ ผก.20. แสดงความหนา ที่ได้หลังจากฉาบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผก.21. แสดงการรับน้ำหนักบรรทุกของศาลาเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

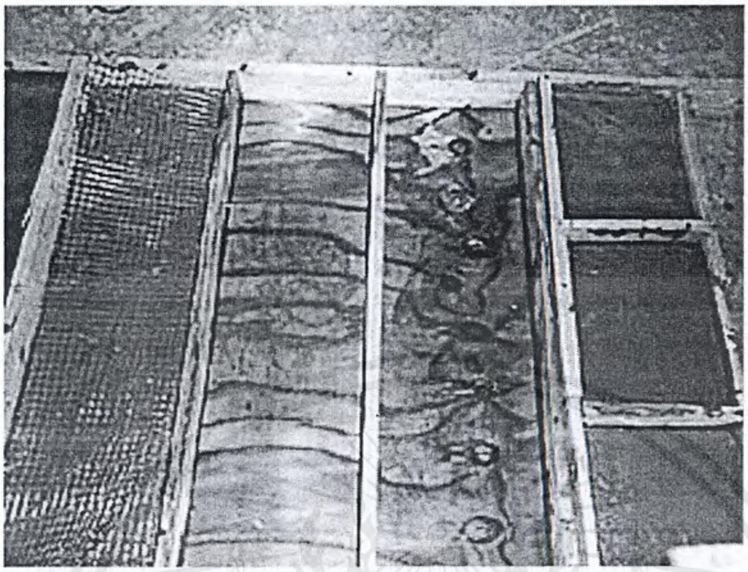
รูปที่ ผก.22. แสดงผลงานที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

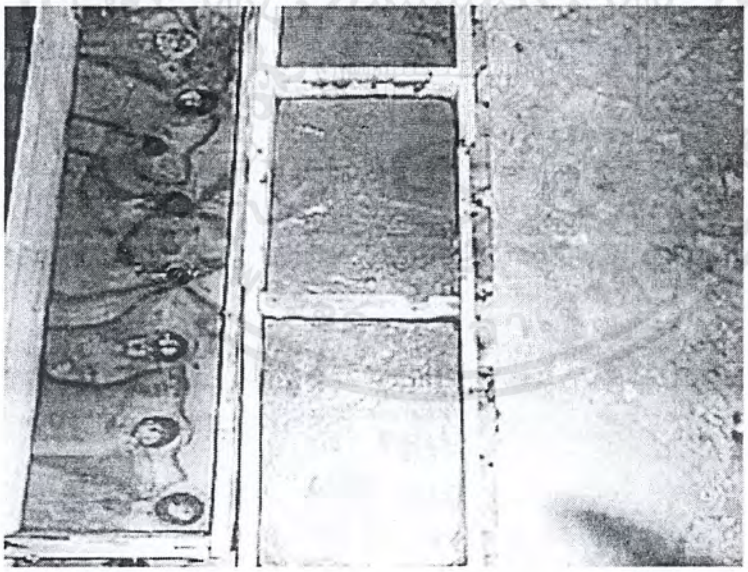
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รูปแสดงการทดสอบแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์

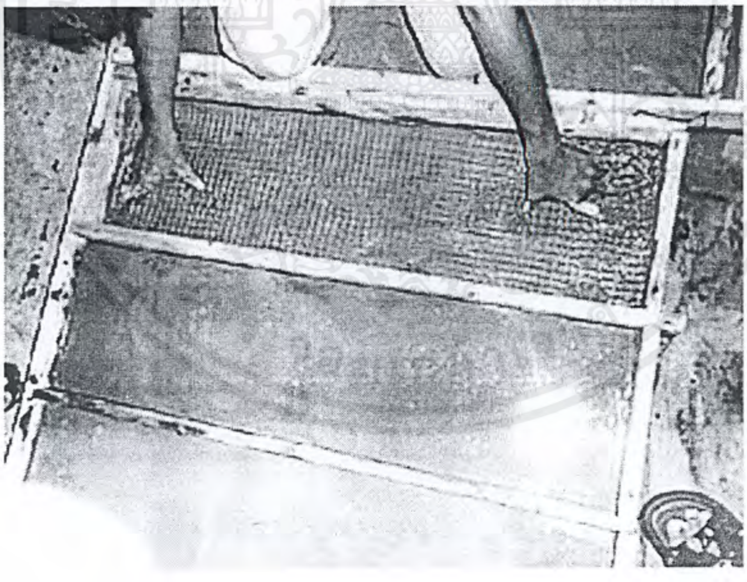
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





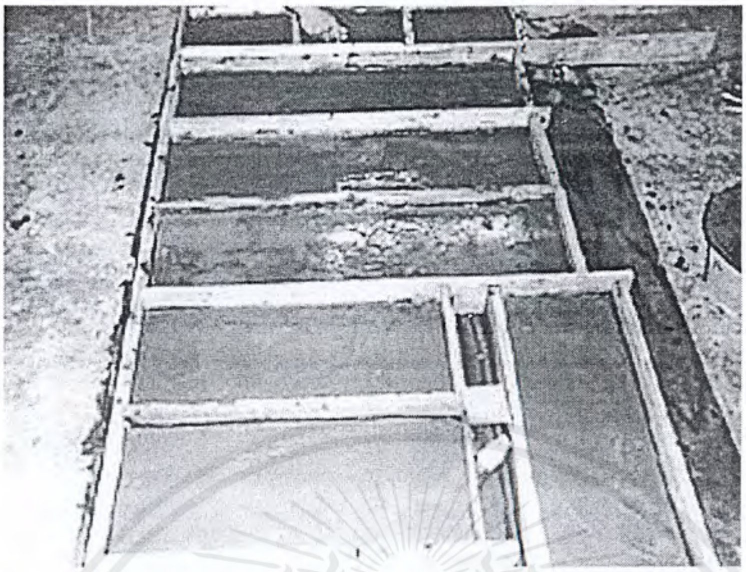
รูปที่ ผข.1. แสดงแบบหล่อแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์

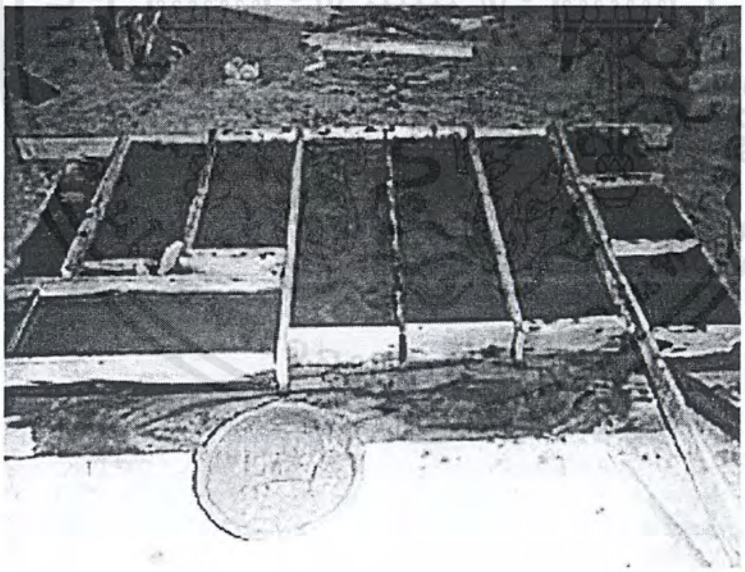
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข.2. แสดงการเสริมลวดตะแกรงในแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



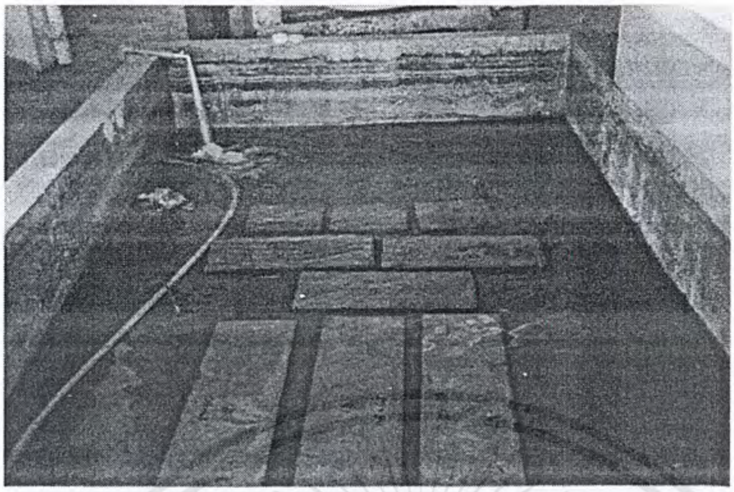


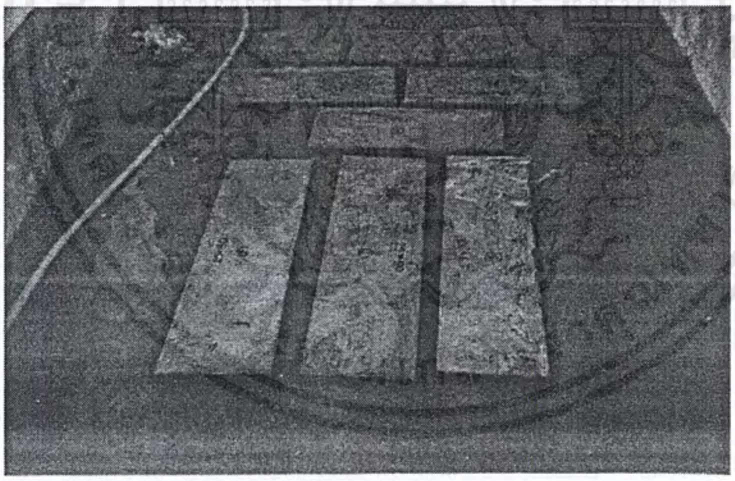
รูปที่ ผข.3. แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ที่หล่อเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผข.4. แสดงการแกะแบบหล่อหลังจากครบ 24 ชั่วโมง

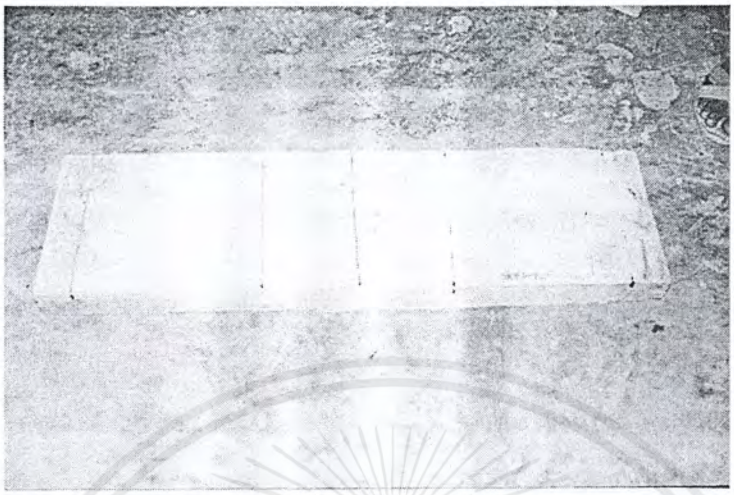
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ผข.5. แสดงการบ่มแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ (7 วัน)

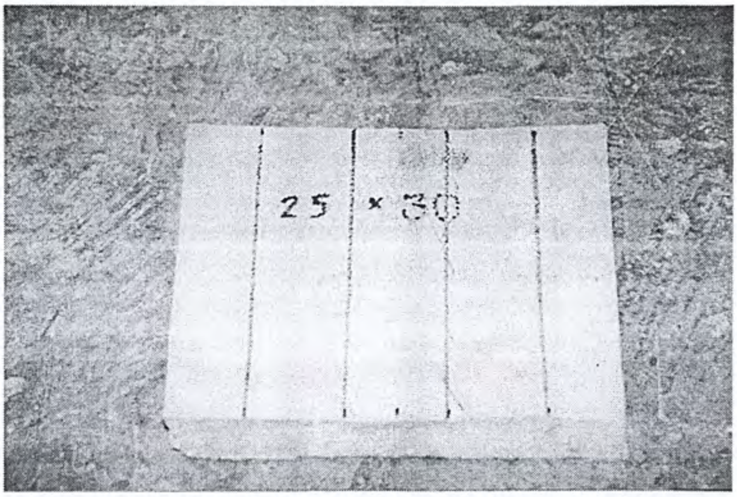
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



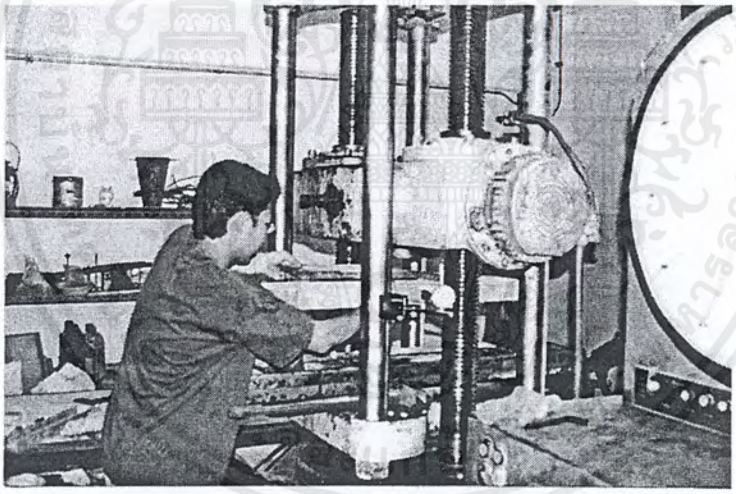
รูปที่ ผข.6. แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ Span 90 ซม.ที่พร้อมทดสอบ

รูปที่ ผข.7. แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ Span 60 ซม. ที่พร้อมทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

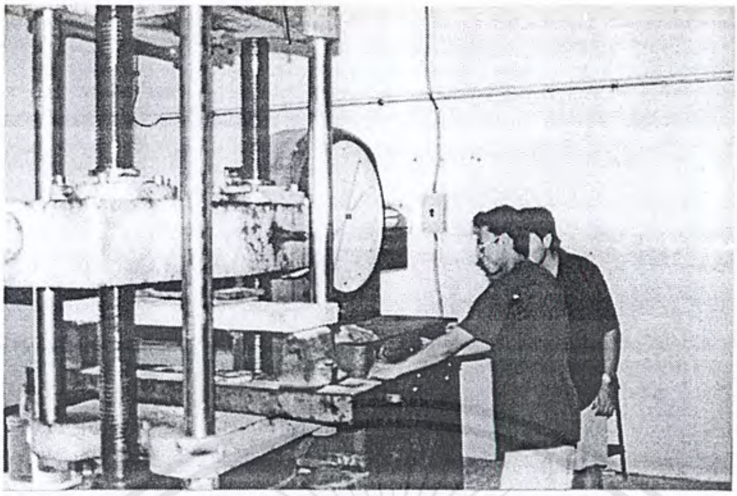


รูปที่ ผข.8. แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ Span 30 ซม. ที่พร้อมทดสอบ

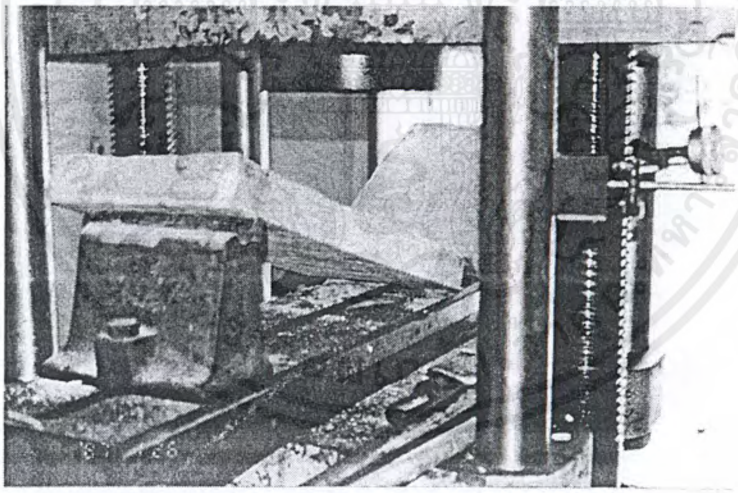


รูปที่ ผข.9. การทดสอบแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

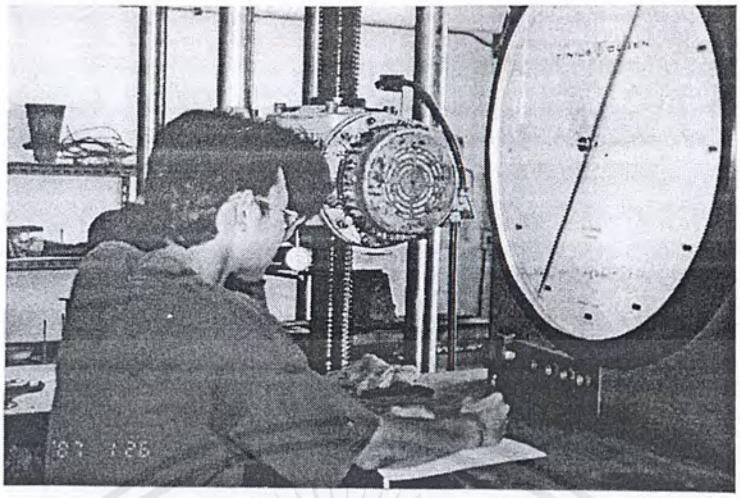


รูปที่ ผข.10. การทดสอบแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์

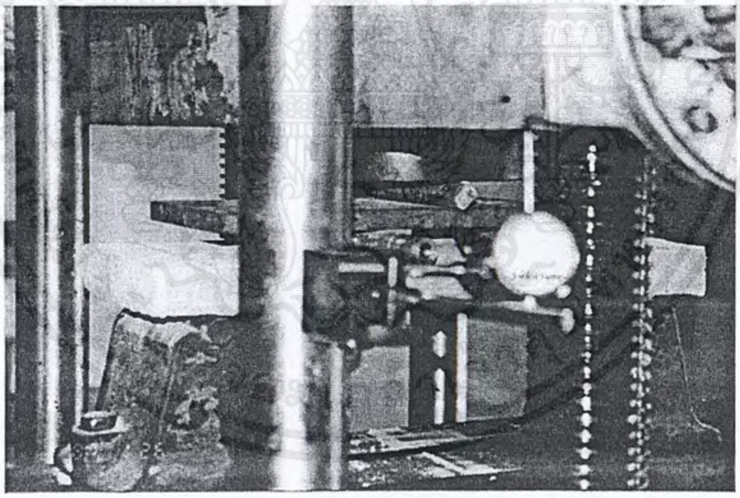


รูปที่ ผข.11. แสดงแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ ที่พังหลังจากทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

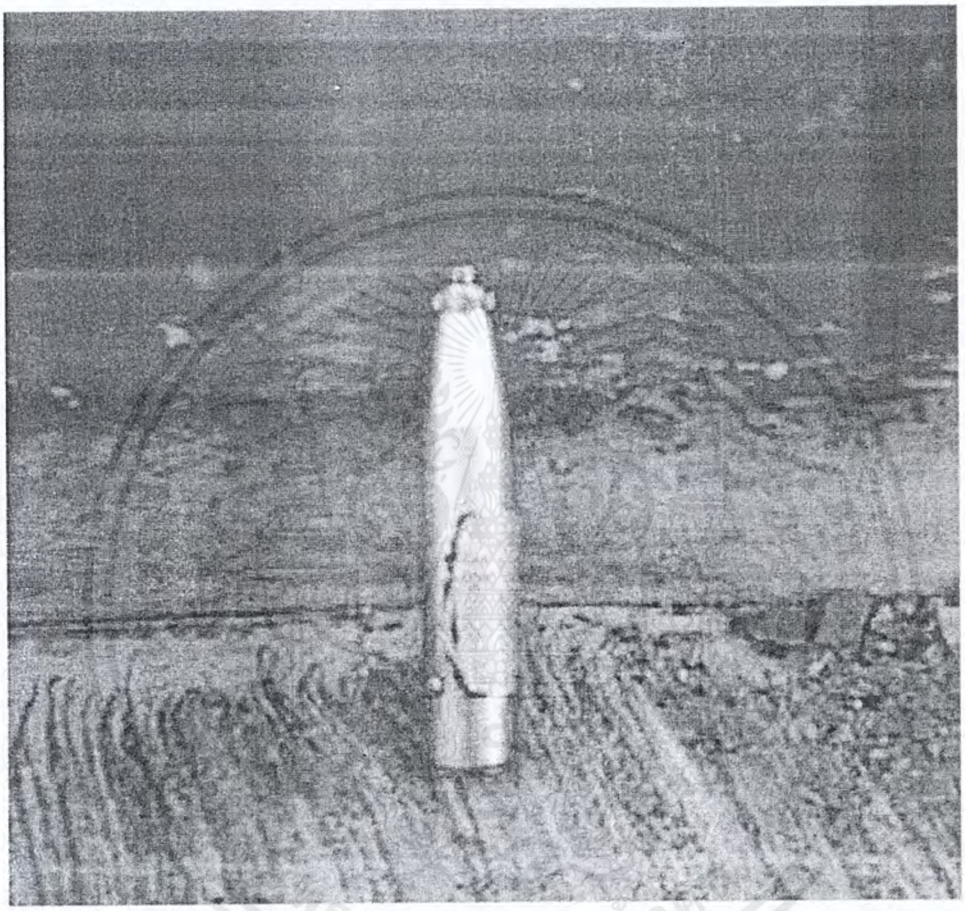


รูปที่ ผข.12. แสดงการบันทึกค่าขณะทดสอบ



รูปที่ ผข.13. แสดงการจัดวางแผ่นตัวอย่างเฟอร์โรซีเมนต์ ที่ถูกต้องก่อนทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข.14. เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัดของเฟอร์โรซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้