สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์กับซีเมนต์มอร์ต้า

# STUDY ON BONDING STRENGTH IMPROVEMENT BETWEEN POLYESTER PLASTIC FIBER AND CEMENT MORTAR

โดย

นางสาวจุฑามาศ สุบงกช

นายพงษ์พัฒน์ ทองเปี่ยม

นายเมธาวัฒน์ บุญพิทักษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50302
วัน,เดือน,ปี 28 เม.ย. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STUDY ON BONDING STRENGTH IMPROVEMENT BETWEEN POLYESTER PLASTIC FIBER AND CEMENT MORTAR

MISS. JUTHAMARD SUBONGKOT

MR.PONGPAT TONGPIAM

MR.METHAWAT BOONPITAK

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

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

| | | | |
|---|---|---|---|
| หัวข้อโครงงานพิเศษ | การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์กับซีเมนต์มอร์ต้า | | |
| นักศึกษา | นางสาวจุฑามาศ สุบงกช | รหัสประจำตัว | 42010478 |
| | นายพงษ์พัฒน์ ทองเปี่ยม | รหัสประจำตัว | 42010570 |
| | นายเมธาวัฒน์ บุญพิทักษ์ | รหัสประจำตัว | 42010596 |
| หลักสูตร | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต | สาขาวิชา | วิศวกรรมโยธา |
| ภาควิชา | วิศวกรรมโยธา | | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล | | |
| | อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร | | |

| คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| อ.สุพจน์ ศรีนิล<br>อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร<br>อ.อุบะ ศิริแก้ว | |

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นายสุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| หัวข้อโครงงานพิเศษ | การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์กับซีเมนต์มอร์ต้า<br>STUDY ON BONDING STRENGTH IMPROVEMENT BETWEEN POLYESTER PLASTIC FIBER AND CEMENT MORTAR |
| นักศึกษา | นางสาวจุฑามาศ สุบงกช<br>นายพงษ์พัฒน์ ทองเปี่ยม<br>นายเมธาวัฒน์ บุญพิทักษ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อ.สุพจน์ ศรีนิล<br>อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร |
| ระดับการศึกษา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา |
| ภาควิชา | วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| ปีการศึกษา | 2545 |

# บทคัดย่อ


การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อทำการพัฒนาคุณสมบัติของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกให้ดีขึ้นโดยการทำการเพิ่มพันธะให้กับเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์แล้วทำการเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่ได้เสริมเส้นใย, ซีเมนต์มอร์ต้าที่เสริมเส้นใย และซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยที่ทำการเพิ่มพันธะ และศึกษาหาเปอร์เซ็นต์เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ผสมกับซีเมนต์มอร์ต้าแล้วเพิ่มกำลังรับแรงดึงได้ดีที่สุด

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยพลาสติก และซีเมนต์ผสมเส้นใยพลาสติกตามมาตรฐาน British Standard (BS 6432:1984) จากการศึกษาพบว่า กำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่เสริมพันธะและเส้นใยพลาสติกไม่เสริมพันธะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเรียงตัวที่ไม่สม่ำเสมอของเส้นใยในชิ้นตัวอย่าง โดยค่ากำลังรับแรงดัดมากที่สุดอยู่ที่การเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ 4 % โดยมีค่ามากกว่าซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่เสริมเส้นใยประมาณ 55.29 %



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| Title | : | STUDY ON BONDING STRENGTH IMPROVEMENT BETWEEN POLYESTER PLASTIC FIBER AND CEMENT MORTAR |
| Name | : | MISS.JUTHAMARD SUBONGKOT |
| | | MR.PONGPAT TONGPIAM |
| | | MR.METHAWAT BOONPITAK |
| Field | : | CIVIL ENGINEERING |
| Department | : | CIVIL ENGINEERING |
| Faculty | : | ENGINEERING |
| Advisor | : | MR.SUPOJ SRINIL |
| | | MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN |


# ABSTRACT


This research aims to improve the bonding strength of the cement mortar by reinforcing the plastic fiber (PF). The values of the flexural strength of the cement mortar, PF cement mortar and bonding PF cement mortar were compared. The optimum content of the plastic fiber at the highest strength of PF cement mortar was determined.

The testing method was based on British Standard (BS 6432:1984). The results show that there is insignificantly difference in the values of those strength. And the optimum content of the plastic fiber depicted the highest value of the flexural strength is 4%. This amount of the plastic fiber can reinforced cement mortar with about 55.29% increase of the flexural strength at those values obtained from cement mortar samples.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้จะสำเร็จมิได้เลยหากขาดบุคคลผู้หนึ่งผู้ใดที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล ที่ได้ให้คำแนะนำแนวทางในการศึกษาโครงงานพิเศษให้เกิดประโยชน์ สามารถนำโครงงานพิเศษไปใช้ระโยชน์ในงานก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขอขอบคุณ อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร ที่ได้สละเวลาในการให้คำปรึกษาและดูแลโครงงานพิเศษอย่างใกล้ชิดทั้งในและนอกเวลาราชการ รวมทั้งดูแลความเรียบร้อยของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว หนึ่งในคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษที่ได้ให้คำชี้แนะและคำสั่งสอนที่มีประโยชน์อย่างมากมายในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบคุณ คุณดำรง ศักดิ์ เจนกิจเจริญชัย ผู้จัดการโรงงานและพนักงานฝ่ายโรงงาน บริษัท สยามเน็ท อินดัสทรีส์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเตอร์ และให้การสนับสนุนเส้นใยพลาสติกเพื่อใยในโครงงานพิเศษนี้ ขอขอบคุณ คุณปรเมศวร์ เหลือเทพ และคุณเอก กุลตั้งเจริญ ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับซีเมนต์เสริมเส้นใยพลาสติกสำหรับวัสดุตกแต่ง และคำแนะนำในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ควบคุมงานปฏิบัติการทดสอบทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องเครื่องมือในการทำงาน ตลอดจนการให้คำแนะนำและวิธีการใช้เครื่องมือทดสอบ

สุดท้ายนี้จะขาดเสียมิได้สำหรับคำขอบพระคุณแด่บุพการีของผู้จัดทำโครงงาน ตั้งแต่การสั่งสอน การเลี้ยงดู ทำให้มีทุกวันนี้ได้ จนถึงความช่วยเหลือที่ท่านมีในระหว่างทำโครงงานทั้งเป็นกำลังใจและกำลังทุนทรัพย์ รวมทั้งความรักที่มีให้แก่บุตรเสมอมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งครอบครัวสุบงกช ที่ให้ความเอื้อเฟื้อเครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน ตลอดจนให้การดูแลเรื่องอาหารการกินระหว่างการทำโครงงาน

นางสาวจุฑามาศ สุบงกช
นายพงษ์พัฒน์ ทองเปี่ยม
นายเมธาวัฒน์ บุญพิทักษ์
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| บทที่ | เรื่อง | หน้า |
|---|---|---|
| | **ปกใน (ภาษาไทย)** | ก |
| | ปกใน (ภาษาอังกฤษ) | ข |
| | **หน้าอนุมัติ** | ค |
| | **บทคัดย่อภาษาไทย** | ง |
| | **บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** | จ |
| | **กิตติกรรมประกาศ** | ฉ |
| | **สารบัญ** | ช |
| | **สารบัญตาราง** | ฎ |
| | **สารบัญรูป** | ฒ |
| **1** | **บทนำ** | |
| | 1.1. กล่าวนำ | 1 |
| | 1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 2 |
| | 1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา | 3 |
| | 1.4. สมมติฐาน | 3 |
| | 1.5. ขอบเขตการศึกษา | 4 |
| | 1.6. วิธีการศึกษา | 6 |
| **2** | **วรรณกรรมปริทัศน์** | |
| | 2.1. กล่าวนำ | 9 |
| | 2.2. นิยามและคำจำกัดความ | 9 |
| | 2.3. การผลิตโพลิเอสเทอร์ | 10 |
| | 2.3.1. การผลิตโพลิเมอร์ (polymerization) | 11 |
| | 2.3.2. การอัดเส้นใย (Fiber Spinning) | 11 |
| | 2.3.3. การดึงยืด (Drawing) | 11 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| บทที่ | เรื่อง | หน้า |
|---|---|---|
| | 2.4. สมบัติทางกายภาพของเส้นใยโพลิเอสเทอร์ | 12 |
| | 2.4.1. สมบัติทางกายภาพของเส้นใยโพลิเอสเทอร์ | 12 |
| | 2.4.2. การใช้งานของโพลิเอสเทอร์ในงานต่าง ๆ | 13 |
| | 2.5. การประยุกต์ใช้เส้นใยในงานก่อสร้าง | 14 |
| | 2.5.1. การนำเส้นใยมาประยุกต์ใช้งานในปัจจุบัน | 15 |
| | 2.5.2. ประเภทของงานที่ใช้เส้นใยเป็นส่วนประกอบ | 16 |
| **3** | **การศึกษาด้านคุณสมบัติเชิงกล** | |
| | 3.1. การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก | 22 |
| | 3.2. การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดซีเมนต์มอร์ต้าร์ผสมเส้นใยพลาสติกเสริมพันธะ | 25 |
| | 3.3. การทดสอบกำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์กับเส้นใยพลาสติก | 26 |
| **4** | **ผลการศึกษาและการวิเคราะห์** | |
| | 4.1. ผลการศึกษา | 28 |
| | 4.1.1. ผลการศึกษากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยโพลีเอสเตอร์ | 28 |
| | 4.1.2. ผลการศึกษากำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าและซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยโพลิเอสเตอร์ | 29 |
| | 4.2. การวิเคราะห์ผลการศึกษา | 33 |
| | 4.2.1. การวิเคราะห์กำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยโพลีเอสเตอร์ | 33 |
| | 4.2.2. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าและซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยโพลิเอสเตอร์ | 34 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| บทที่ | เรื่อง | หน้า |
|---|---|---|
| | 4.2.1.1. การเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์เสริมเส้นใยกับซีเมนต์มอร์ต้าล้วน | 34 |
| | 4.2.2.2. การเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดมีพันธะกับซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดไม่มีพันธะ | 36 |
| | 4.3. การพิจารณาการรับกำลังของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดมีพันธะกับซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดไม่มีพันธะ | 37 |
| | 4.4. การพิจารณาการแอ่นตัวของซีเมนต์เสริมเส้นใย | 41 |
| **5** | **การศึกษาด้านคุณสมบัติเชิงกล (เพิ่มเติม)** | |
| | 5.1. สาเหตุและข้อสันนิษฐานการศึกษาเพิ่มเติม | 44 |
| | 5.2. การควบคุมการทดสอบตามข้อสันนิษฐาน | 45 |
| | 5.3. การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก | 45 |
| **6** | **ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ (เพิ่มเติม)** | |
| | 6.1. สมมติฐานในการทดสอบ | 50 |
| | 6.2. ผลการทดสอบ | 50 |
| | 6.3. สรุปผลการทดสอบ | 51 |
| | 6.4. การตรวจสอบชิ้นตัวอย่าง | 52 |
| | 6.5. เหตุผลที่การทดสอบไม่เป็นไปตามสมมติฐาน | 56 |
| **7** | **สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ** | |
| | 7.1. สรุปผลการศึกษา | 58 |
| | 7.2. การใช้งานของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเตอร์ | 59 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| บทที่ | เรื่อง | หน้า |
|---|---|---|
| | 7.2.1. ลักษณะเด่นของการใช้เส้นใยพลาสติกโพลีเอสเตอร์ผสมในซีเมนต์มอร์ต้า | 59 |
| | 7.2.2. การประยุกต์ใช้งาน โดยแบ่งตามประเภทการใช้งาน | 59 |
| | 7.3. ข้อเสนอแนะและการพัฒนา | 60 |
| | **หนังสืออ้างอิง** | 62 |
| | **ภาคผนวก ก.** ผลการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์กับซีเมนต์มอร์ต้า | ผก1 |
| | **ภาคผนวก ข.** ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข1 |
| | **ภาคผนวก ค.** ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค1 |
| | **ภาคผนวก ง.** ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผง1 |
| | **ภาคผนวก จ.** ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผจ1 |
| | **ภาคผนวก ฉ.** แผนภูมิและกราฟวิเคราะห์ผลการทดลอง | ผฉ1 |
| | **ภาคผนวก จ.** รูปแสดงการทดสอบ | ผช1 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | ชื่อตาราง | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1. | แสดงจำนวนตัวอย่างเส้นใยสำหรับการทดสอบหา Bonding Strength | 4 |
| 1.2. | แสดงจำนวนแท่งทดสอบหา Flexural Strength ของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใย | 5 |
| 2.1. | ข้อมูลจากบริษัทดูปองท์ แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของการคืนตัวกลับระหว่างเส้นใยโพลิเอสเทอร์และไนลอน | 12 |
| 3.1. | ตารางแสดงอัตราส่วนคละมวลละเอียด | 27 |
| 4.1. | แสดงค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าล้วนและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสตอร์ที่ทำการเสริมพันธะและไม่ทำการเสริมพันธะที่อายุการบ่มตัวอย่าง 7 วัน | 33 |
| 4.2. | แสดงค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าล้วนและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสตอร์ที่ทำการเสริมพันธะและไม่ทำการเสริมพันธะที่อายุการบ่มตัวอย่าง 28 วัน | 33 |
| 4.3. | แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่ทำการเสริมเส้นใยที่อายุการบ่มตัวอย่าง 7 วัน | 35 |
| 4.4. | แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่ทำการเสริมเส้นใยที่อายุการบ่มตัวอย่าง 28 วัน | 35 |
| 4.5. | แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มกำลังแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ทำการเสริมพันธะเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่ทำการเสริมพันธะ | 36 |
| 4.6. | แสดงค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้และระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบที่ระยะการบ่ม 7 วัน | 41 |
| 4.7. | แสดงค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้และระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบที่ระยะการบ่ม 28 วัน | 42 |
| 6.1. | แสดงผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดคานขนาด 10.5×5×40 ซม. | 51 |
| 6.2 | แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดัดที่ได้ | 51 |
| 6.3. | แสดงค่า Deflection ที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทั้ง 3 แบบ | 54 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | ชื่อตาราง | หน้า |
|---|---|---|
| ผ.ก.1. | ตารางแสดงผลกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ | ผก2 |
| ผ.ก.2. | ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ | ผก3 |
| ผ.ข.1. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าแบบไม่เสริมเส้นใย ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข2 |
| ผ.ข.2. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 1% ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข3 |
| ผ.ข.3. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 2% ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข4 |
| ผ.ข.4. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 3% ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข5 |
| ผ.ข.5. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 4% ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข6 |
| ผ.ข.6. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 1% ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข7 |
| ผ.ข.7. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 2% ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข8 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | ชื่อตาราง | หน้า |
|---|---|---|
| ผ.ข.8. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 3% ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข9 |
| ผ.ข.9. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 4% ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผข10 |
| ผ.ค.1. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า แบบไม่เสริมเส้นใย ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค2 |
| ผ.ค.2. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 1% ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค3 |
| ผ.ค.3. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 2% ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค4 |
| ผ.ค.4. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 3% ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค5 |
| ผ.ค.5. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 4% ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค6 |
| ผ.ค.6. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 1% ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค7 |
| ผ.ค.7. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 2% ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค8 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | ชื่อตาราง | หน้า |
|---|---|---|
| ผ.ค.8. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 3% ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค9 |
| ผ.ค.9. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้า ผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 4% ที่อายุการบ่ม 28 วัน | ผค10 |
| ผ.ง.1. | แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผง2 |
| ผ.จ.1. | แสดงผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด 3 จุด ของคานซีเมนต์มอร์ต้า แบบไม่เสริมเส้นใย ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผจ2 |
| ผ.จ.2. | แสดงผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด 3 จุด ของคานซีเมนต์มอร์ต้า เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผจ3 |
| ผ.จ.3. | แสดงผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด 3 จุด ของคานซีเมนต์มอร์ต้า เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ ที่อายุการบ่ม 7 วัน | ผจ4 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | ชื่อรูป | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1. | แสดงแท่งลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 ซม$^3$ สำหรับการทดสอบหา Bonding Strength | 4 |
| 1.2. | แสดงตัวอย่างซีเมนต์เสริมเส้นใยสำหรับการทดสอบหา Flexural Strength | 5 |
| 1.3. | แสดงขั้นตอนการศึกษาซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก | 8 |
| 2.1. | แสดงอุตสาหกรรมการใช้งานของพลาสติกและเส้นใยชนิดต่าง ๆ | 14 |
| 2.2. | แสดงลักษณะของเส้นใยแก้ว | 16 |
| 2.3. | ขยายลักษณะการแตกตัวของฉนวนใยแก้วซึ่งการแตกตัวจะแตกตามขวาง ซึ่งยังคงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง | 17 |
| 2.4. | ขยายลักษณะการแตกตัวของAsbestosซึ่งจะแตกตัวเป็นรากต้นไม้ทำให้มีขนาดเล็กจนสามารถเข้าไปในโพรงอากาศขั้นในได้ | 17 |
| 2.5. | แสดงการใช้งานของกระเบื้องโปร่งแสง | 18 |
| 2.6. | แสดงการใช้งานของซีเมนต์เสริมใยแก้ว | 19 |
| 2.7. | แสดงลวดลายผนังเบา จี.อาร์.ซี. รูปแบบต่างๆ | 20 |
| 2.8. | แสดงการนำหลังคา จี.อาร์.ซี. มาใช้ในงานก่อสร้าง | 21 |
| 3.1. | แสดงการทดสอบซีเมนต์ด้วยวิธี Flexural Strength Test | 24 |
| 3.2. | แสดงลักษณะของเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเตอร์เสริมพันธะ | 25 |
| 4.1. | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงดัดของ ซีเมนต์มอร์ต้าล้วน | 38 |
| 4.2. | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงดัดของ ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสเตอร์ที่ไม่เสริมพันธะ | 39 |
| 4.3. | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงดัดของ ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสเตอร์ที่เสริมพันธะ | 40 |
| 5.1. | แสดงลักษณะตัวอย่างคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ | 49 |
| 6.1. | แสดงการวิเคราะห์การแอ่นตัวของคาน | 54 |
| ผ.ช.1. | แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม | ผช2 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | ชื่อรูป | หน้า |
|---|---|---|
| ผ.ช.2. | แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีปมที่หัวท้าย ซึ่งมีความยาว 5 ซม. ต่อเส้น สำหรับการทดสอบ Flexural Strength | ผช2 |
| ผ.ช.3. | แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีปมที่หัวท้าย ซึ่งมีความยาว 5 ซม. ต่อเส้นสำหรับการทดสอบ Flexural Strength | ผช3 |
| ผ.ช.4. | แสดงส่วนผสมในการทำตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม | ผช3 |
| ผ.ช.5. | แสดงการผสมซีเมนต์มอร์ต้า | ผช4 |
| ผ.ช.6. | แสดงตัวอย่างเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม แบบไม่เสริมพันธะสำหรับการทดสอบ Bonding Test | ผช4 |
| ผ.ช.7. | แสดงตัวอย่างเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเตอร์หน้าตัดกลม มีปมหัวท้ายสำหรับการทดสอบ Bonding Test | ผช5 |
| ผ.ช.8. | แสดงการหล่อชิ้นตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ Bonding Test | ผช5 |
| ผ.ช.9. | แสดงชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ Bonding Test | ผช6 |
| ผ.ช.10. | แสดงการทดสอบเพื่อหาค่า Bonding Stress | ผช6 |
| ผ.ช.11. | แสดงขณะเส้นใยหลุดออกจากชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ Bonding Test | ผช7 |
| ผ.ช.12. | แสดงแบบหล่อในการทำแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม | ผช7 |
| ผ.ช.13. | แสดงการหล่อแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมสำหรับ Flexural Strength Test | ผช8 |
| ผ.ช.14. | แสดงแท่งชิ้นตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ หน้าตัดกลมสำหรับ Flexural Strength Test | ผช8 |
| ผ.ช.15. | แสดงเครื่องทดสอบ Flexural Strength Test สำหรับแท่งซีเมนต์มอร์ต้า เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม | ผช9 |
| ผ.ช.16. | แสดงขณะทดสอบ Flexural Strength สำหรับแท่งซีเมนต์มอร์ต้า เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม | ผช9 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | ชื่อรูป | หน้า |
|---|---|---|
| ผ.ช.17. | แสดงแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมหลังจากทดสอบ Flexural Strength | ผช10 |
| ผ.ช.18. | แสดงหน้าตัดแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมหลังการทดสอบ Flexural Strength | ผช10 |
| ผ.ช.19. | แสดงการหล่อชิ้นตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ Compressive Strength | ผช11 |
| ผ.ช.20. | แสดงชิ้นตัวอย่างสำหรับบาการทดสอบ Compressive Strength | ผช11 |
| ผ.ช.21. | แสดงเครื่องทดสอบ Compressive Strength สำหรับซีเมนต์มอร์ต้า | ผช12 |
| ผ.ช.22. | แสดงการวิบัติที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ Compressive Strength | ผช12 |
| ผ.ช.23. | แสดงชิ้นตัวอย่างที่เกิดการวิบัติจากการทดสอบ Compressive Strength | ผช13 |
| ผ.ช.24. | แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมไม่มีพันธะเพื่อการทดสอบ Flexural Strength จากแท่งตัวอย่างคานซีเมนต์มอร์ต้า | ผช13 |
| ผ.ช.25. | แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมมีพันธะเพื่อการทดสอบ Flexural Strength จากแท่งตัวอย่างคานซีเมนต์มอร์ต้า | ผช14 |
| ผ.ช.26. | แสดงแบบหล่อในการทำแท่งตัวอย่างคานซีเมนต์มอร์ต้า | ผช14 |
| ผ.ช.27. | แสดงการหล่อแท่งตัวอย่างคาน โดยเทซีเมนต์มอร์ต้ารอง 0.5 ซม. เพื่อเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม | ผช15 |
| ผ.ช.28. | แสดงการเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะในการหล่อคานตัวอย่างทดสอบ | ผช15 |
| ผ.ช.29. | แสดงการเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเตอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะในแท่งคานตัวอย่างทดสอบ | ผช16 |
| ผ.ช.30. | แสดงการหล่อแท่งคานตัวอย่างทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม | ผช16 |
| ผ.ช.31. | แสดงแท่งคานตัวอย่างทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเตอร์หน้าตัดกลม | ผช17 |
| ผ.ช.32. | แสดงแท่งคานตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์เพื่อการทดสอบ Flexural Strength | ผช17 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | ชื่อรูป | หน้า |
|---|---|---|
| ผ.ช.33. | แสดงเครื่องทดสอบ Flexural Strength ของตัวอย่าง-คานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ | ผช18 |
| ผ.ช.34. | แสดงการวิบัติที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ Flexural Strengthของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบไม่มีพันธะ | ผช18 |
| ผ.ช.35. | แสดงการวิบัติที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ Flexural Strength ของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบมีพันธะ | ผช19 |
| ผ.ช.36. | แสดงหน้าตัดของแท่งคานตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบมีพันธะ หลังจากทำการทดสอบ Flexural Strength | ผช19 |
| ผ.ช.37. | แสดงการวิบัติหลังการทดสอบFlexural Strength ของคานซีเมนต์มอร์ต้าล้วน | ผช20 |
| ผ.ช.38. | แสดงการวิบัติหลังการทดสอบFlexural Strength ของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบไม่มีพันธะ | ผช20 |
| ผ.ช.39. | แสดงการวิบัติหลังการทดสอบFlexural Strength ของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบมีพันธะ | ผช21 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1. กล่าวนำ

ในยุคโลกาภิวัฒน์ การก่อสร้างได้วิวัฒนาการไปมาก โดยที่วิศวกรของไทยเราไม่อาจอยู่นิ่งเฉย โดยไม่ขวนขวายหาความรู้ใส่ตนเองอีกต่อไปได้ เพราะความก้าวหน้าได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วมากจากแรงผลักดันในหลายกระแส เช่น ทางการค้าของ WTO (World Trade Organization) ซึ่งพยายามจะผลักดันให้การประกอบวิชาชีพวิศวกรรมเป็นการค้าบริการอย่างหนึ่ง และอยู่ในรูปของ ISO 9000 ซึ่งเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพด้วยการบริหารและประกันคุณภาพของงานบริการ ซึ่งการก่อสร้างและงานวิศวกรรมที่ปรึกษาถือเป็นส่วนหนึ่งของการแข่งขันในวัฏจักรของปลาใหญ่กินปลาเล็กหรือประเทศที่พัฒนาไปก่อนก็จะกีดกันผู้ที่ด้อยโอกาสกว่า

คอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาตั้งเดิมยาวนานหลายร้อยปี ซึ่งมีหลายคนมักจะคิดว่าไม่มีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาอีก เพราะมีวัตถุดิบคือ หิน ปูน ทราย และน้ำ ผสมกันจนเป็นคอนกรีตให้ได้กำลังที่ 28 วัน ในพิกัดที่เหมาะสมถือว่าพอเพียงแล้ว แต่ในสภาพความเป็นจริงงานคอนกรีตหรือเทคโนโลยีของคอนกรีตไม่เคยหยุดยั้งเลยแต่กลับวิวัฒนาการคืบหน้าไปอย่างมากในช่วง 20 ปีหลังนี้ เริ่มตั้งแต่คอนกรีตกำลังสูง , คอนกรีตไหล , คอนกรีตสมรรถนะสูง , คอนกรีตเพิ่มความอดทน และคอนกรีตเพื่องานพิเศษ เป็นต้น (เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ , 2538)

นับตั้งแต่ที่คอนกรีตได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตมาโดยตลอด เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุเปราะที่มีคุณภาพด้อยในด้านกำลังรับแรงดึง การพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตจึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต โดยได้มีการพัฒนาคอนกรีตอย่างต่อเนื่องจนได้ค้นพบระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมาจวบจนปัจจุบัน เทคโนโลยีในการก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในปัจจุบันจึงมีความทันสมัยและเหมาะสมกับการใช้งานในสภาพต่าง ๆ มากขึ้น จนกระทั่งได้มีการวิจัยคอนกรีตเสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete) ซึ่งจะใช้เศษวัสดุชิ้นเล็ก ๆ ผสมลงไปในคอนกรีต เพื่อให้เศษวัสดุเหล่านี้เพิ่มความเหนียวแก่คอนกรีต ในงานวิจัยหลาย ๆ งาน แสดงว่าการเสริมเส้นใยในคอนกรีตไม่เพียงแต่ทำให้คอนกรีตมีความเหนียวเพิ่มขึ้นและกำลังรับแรงดึงดีขึ้นเท่านั้น หากแต่ยังทำให้คุณสมบัติด้านอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคอนกรีตดีขึ้นด้วย และคาดว่าในอนาคตอาจจะเป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถใช้งานได้ดีกว่าเหล็กที่ใช้เสริมในคอนกรีต

**1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา**

ปรเมศวร์ เหลือเทพ และ เอก กุลตั้งเจริญ (2544) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ซีเมนต์เสริมเส้นใยพลาสติกสำหรับวัสดุตกแต่งสำเร็จรูป พบว่า การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเส้นใยพลาสติกชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเส้นใยแก้ว พบว่า เส้นใยแก้วมีกำลังรับแรงดึงสูงกว่าเส้นใยพลาสติกที่รับแรงดึงได้สูงสุด คือ เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์หน้าตัดกลม คิดเป็น 15.89 % ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้แทนเส้นใยแก้ว แต่เมื่อนำไปผสมและทดสอบในซีเมนต์เสริมเส้นใยพลาสติกชนิดต่าง ๆ แล้วพบว่า เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์หน้าตัดกลม โพลิโพรพิลีนหน้าตัดกลม และโพลิโพรพิลีนหน้าตัดรูปดาว สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดึงได้ประมาณ 40 % โดยผสมเส้นใยพลาสติก 1 – 4 % แต่ถ้าเพิ่มปริมาณมากกว่านี้ พบว่า การเพิ่มกำลังรับแรงดึงมีค่าลดต่ำลง เนื่องจาก เส้นใยจะไปแทนที่เนื้อซีเมนต์ ทำให้หน้าตัดซีเมนต์ที่ทำหน้าที่รับแรงลดลง แต่เมื่อนำไปผสมเป็นคอนกรีต โดยใช้เส้นใยพลาสติกโพลิโพรพิลีนหน้าตัดแบน 0.25 % กลับพบว่า ไม่สามารถเพิ่มทั้งกำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงดึง และกำลังต้านทานแรงดัดได้ แต่จากการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์กับเส้นใยชนิดต่าง ๆ พบว่า เส้นใยโพลิโพรพิลีนทำปมมีค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์กับเส้นใยมากที่สุด ซึ่งมากกว่าเส้นใยแก้วเสียอีก จึงคิดว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์กับเส้นใยน่าจะผลต่อกำลังของคอนกรีต

จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น การทดสอบในครั้งนี้จึงขอเลือกชนิดของเส้นใยขึ้นมาทดสอบเพียงชนิดเดียว โดยเลือกเส้นใยโพลิเอสเทอร์หน้าตัดกลม เนื่องจากมีความสามารถในการรับแรงดึงสูง ที่สุด รองจากเส้นใยแก้วเท่านั้น และคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น กำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์มีค่าสูงมากพอและน่าจะมีความเป็นไปได้ในการทดสอบ

จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวจะพบว่า ปม มีส่วนสำคัญในการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว จึงคิดว่าน่าจะเพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยพลาสติกกับซีเมนต์มอร์ต้า เนื่องจากเส้นใยพลาสติกมีผิวที่เรียบและลื่น การทดสอบครั้งนี้จึงจะทำการเพิ่มพันธะโดยการผูกปมที่บริเวณหัว-ท้ายของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา**

การศึกษาซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านทานการรับกำลังของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใย โดยการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยพลาสติกและซีเมนต์มอร์ต้า โดยการเพิ่มพันธะให้กับเส้นใยกับซีเมนต์มอร์ต้า ซึ่งมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของกำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเพิ่มพันธะโดยการผูกปมและเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ทำการเพิ่มพันธะกับซีเมนต์มอร์ต้า
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการต้านทานการรับกำลังของซีเมนต์มอร์ต้าล้วน ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ และซีเมนต์มอร์ต้าที่ผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่มีการเสริมแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่เพิ่มพันธะและเส้นใยปกติกับซีเมนต์มอร์ต้า เพื่อทำการสรุปผลให้ได้ว่าพันธะมีผลหรือไม่
3. เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยในงานต่าง ๆ

**1.4. สมมติฐาน**

สมมติฐานของการศึกษามีดังนี้

1. กำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่เพิ่มพันธะมีค่ามากกว่า เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้เพิ่มพันธะ
2. การผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ลงไปในซีเมนต์มอร์ต้า จะทำให้ความสามารถในการรับกำลังได้เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ ซีเมนต์มอร์ต้าล้วน และการเพิ่มปริมาณเส้นใยจะทำให้ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์สามารถรับกำลังได้มากขึ้น จนถึงจุด ๆ หนึ่งที่การเพิ่มปริมาณเส้นใยไม่ทำให้กำลังเพิ่มได้ แต่จะทำให้กำลังของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยลดลง
3. ความสามารถในการรับกำลังของซีเมต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเสริมพันธะมีค่ามากกว่า ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้เพิ่มพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5. ขอบเขตการศึกษา

เพื่อให้การศึกษาเป็นไปตามวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ประการข้างต้น จึงได้วางขอบเขตสำหรับวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ไว้ดังนี้

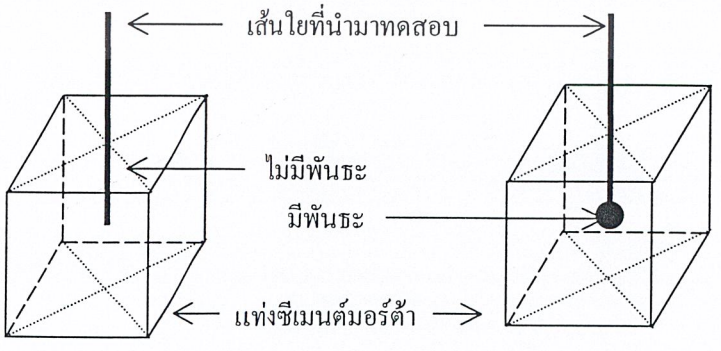
### 1.5.1. สำหรับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

เนื่องจากลักษณะผิวภายนอกของเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์มีความลื่น จึงต้องศึกษาผลกระทบจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับซีเมนต์มอร์ต้าว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร

ในการศึกษาเริ่มจากการเลือกวิธีการเพิ่มพันธะให้กับเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ โดยเลือกการผูกปมที่หัว-ท้ายของเส้นใย จากนั้นทำการทดสอบหากำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยว (Bonding Strength) โดยเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเพิ่มพันธะกับเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้เพิ่มพันธะ สามารถดูรายละเอียดของจำนวนและขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบได้จากตารางที่ 1.1. และรูปที่ 1.1. ตามลำดับ

ตารางที่ 1.1. แสดงจำนวนตัวอย่างเส้นใยสำหรับการทดสอบหา Bonding Strength

| ชนิดเส้นใย | จำนวนตัวอย่าง |
|---|---|
| เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเพิ่มพันธะโดยการผูกปม | 15 |
| เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้ทำการเพิ่มพันธะ | 15 |
| | รวม 30 ตัวอย่าง |




รูปที่ 1.1. แสดงแท่งลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 ซม$^3$ สำหรับการทดสอบหา Bonding Strength

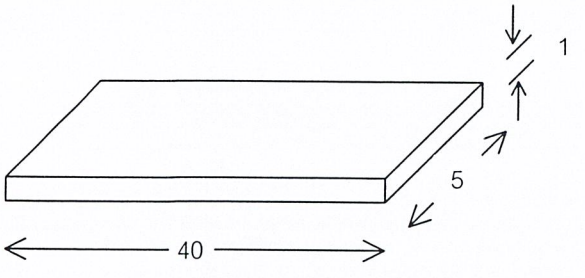
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5.2. สำหรับวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

สำหรับการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์เส้นใยพลาสติกที่ผสมลงในซีเมนต์มอร์ต้า แล้วทำให้เพิ่มความสามารถในการรับกำลังดึงของซีเมนต์มอร์ต้าได้มากที่สุด และการศึกษากำลังระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่เพิ่มพันธะกับซีเมนต์มอร์ต้าว่าให้ผลที่มากกว่ากำลังระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ไม่ได้เพิ่มพันธะกับซีเมนต์มอร์ต้าหรือไม่ โดยการทำการศึกษาเปรียบเทียบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength) ของแท่งตัวอย่างระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าล้วน ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ และ ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเพิ่มพันธะ โดยทดลองใช้ปริมาณเส้นใยชนิดต่าง ๆ ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0, 1, 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถดูรายละเอียดของจำนวนและขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบได้จากตารางที่ 1.2. และรูปที่ 1.2. ตามลำดับ

ตารางที่ 1.2. แสดงจำนวนแท่งทดสอบหา Flexural Strength ของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใย

| เปอร์เซ็นต์เส้นใยในซีเมนต์มอร์ต้า | จำนวนตัวอย่าง | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 1% | 2% | 3% | 4% |
| ซีเมนต์มอร์ต้าล้วน | 15 | - | - | - | - |
| ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ไม่เพิ่มพันธะ | - | 15 | 15 | 15 | 15 |
| ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเพิ่มพันธะ | - | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | | | | รวม | 135 ตัวอย่าง |




รูปที่ 1.2. แสดงตัวอย่างซีเมนต์เสริมเส้นใยสำหรับการทดสอบหา Flexural Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5.3. สำหรับวัตถุประสงค์ข้อที่ 3

จากการทดสอบ ความสามารถการต้านทานแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับซีเมนต์มอร์ต้า และผลของการเพิ่มพันธะต่อกำลังต้านทานแรงของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกแล้ว จะนำมาศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ โดยการนำคุณสมบัติของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยที่ได้มาวิเคราะห์ถึงข้อดี-ข้อเสียว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใดในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานประเภทต่าง ๆ

## 1.6. วิธีการศึกษา

สำหรับวิธีการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

### 1.6.1. วิธีการทดสอบ

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้ คือ การเปรียบเทียบคุณสมบัติกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ และซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเพิ่มพันธะ เพื่อพิสูจน์ว่า พันธะมีผลต่อการเพิ่มกำลังการรับแรงของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์หรือไม่ ซึ่งคุณสมบัติที่ใช้เปรียบเทียบได้จากการทดสอบดังต่อไปนี้

1. การทดสอบกำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยว (Bonding Strength) ในแท่งซีเมนต์มอร์ต้าขนาด 5×5×5 ซม ตามมาตรฐาน ASTM: E1512-01 ; Standard Test Methods for Testing Bond Performance of Bended Anchors.
2. กำลังต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ในแท่งซีเมนต์มอร์ต้าขนาด 1×5×40 ซม$^3$ ตามมาตรฐาน BS6432 : 1984 PART 6 ; Standard Test Methods for Determining Properties of Glass Fiber Reinforced Cement Material.

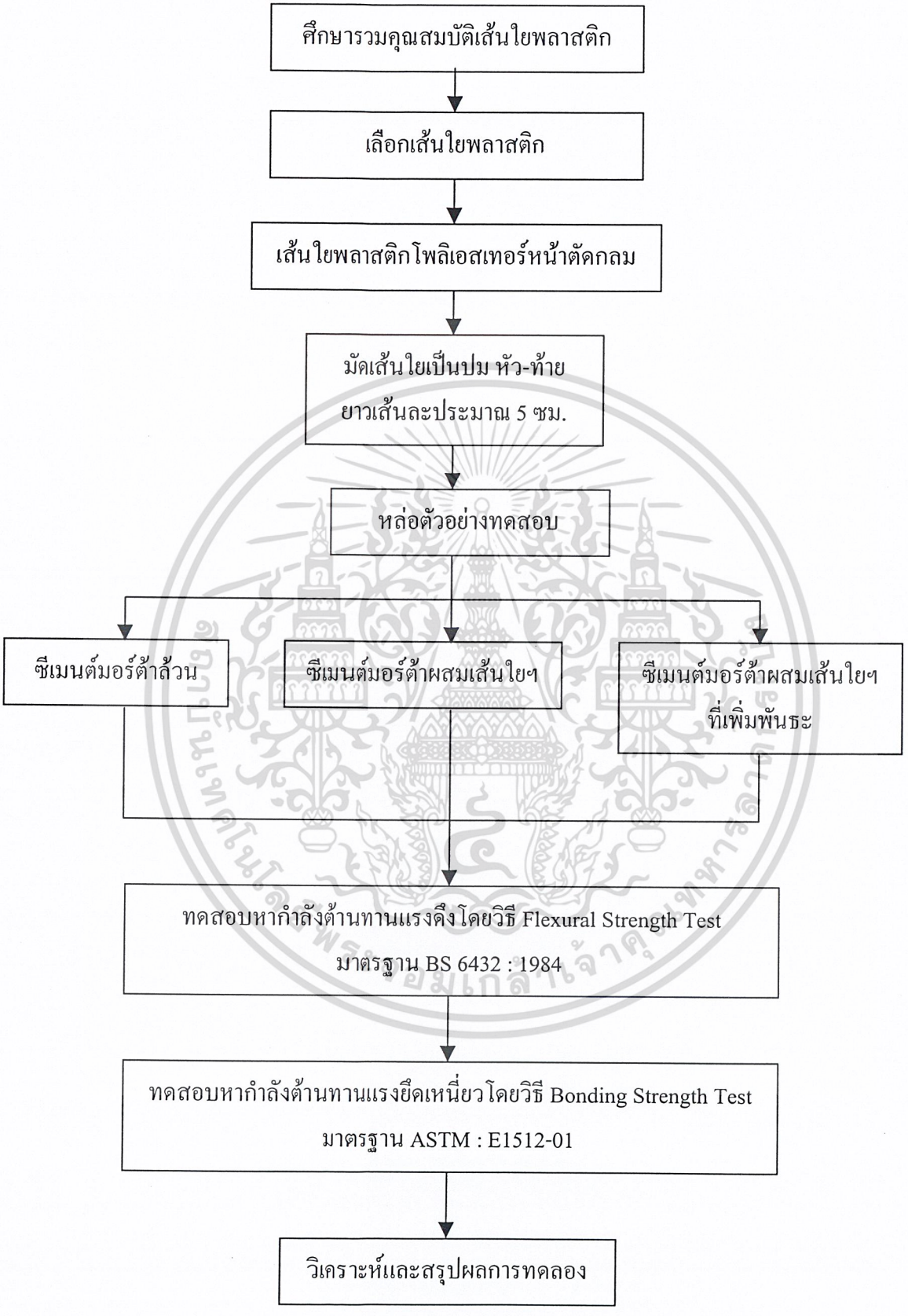
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.6.2. ขั้นตอนการศึกษา**

ขั้นตอนในการศึกษาสามารถแสดงเป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน (Flow Chart) ได้ดังรูปที่ 1.3. ซึ่งแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนหลัก ๆ ส่วนรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน สามารถศึกษาได้จากบทต่อ ๆ ไปในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 1.3. แสดงขั้นตอนการศึกษาซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# วรรณกรรมปริทัศน์

## 2.1. กล่าวนำ

เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้ จะทำการศึกษาเกี่ยวกับซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก ที่มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับซีเมนต์และเส้นใยพลาสติก และเพื่อให้ผู้ที่ได้ศึกษางานวิจัยนี้ได้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้นกล่าวถึงคำนิยามและคำจำกัดความ และความหมายของคำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำการศึกษาครั้งนี้ รวมไปถึงทฤษฎี แนวคิด ระเบียบวิธีของงานวิจัยหรือเอกสาร ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง หรือวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

## 2.2. นิยามและคำจำกัดความ

**เส้นใย (Fiber)**

ในที่นี้หมายถึงวัสดุที่ผสมเพิ่มในซีเมนต์มอร์ต้าและคอนกรีต เพื่อช่วยให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น เช่น ความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น รอยแตกร้าวลดลง ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสีดีขึ้น

**เส้นใยพลาสติก (Plastic Fiber)**

คือ เส้นใยที่ใช้พลาสติกเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เส้นใยพลาสติกที่ใช้ผสมมีหลายชนิดด้วยกัน สำหรับในการศึกษานี้ได้ใช้เส้นใยพลาสติก 2 ประเภท ประเภทแรก คือ เส้นใยพลาสติกโพลีโพรพิลีน และอีกประเภท คือ เส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ โดยเส้นใยดังกล่าวนิยมนำมาทำแปรงขัดและเชือก เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีผลิตภายในประเทศจำนวนมาก (ปรเมศวร์ เหลือเทพ และ เอกกุล ตั้งเจริญ , 2544)

**เส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ (Polyester)**

คือ โพลิเมอร์ของเส้นใยที่หมู่คาร์บอกซิลิกของสารอะโรแมติกซึ่งรวมทั้งของเทเรฟทาลิกหรือของไฮดรอกซีเบนโซเอท ถูกแทนที่อย่างน้อย 85 % โดยน้ำหนัก เกิดเป็นสารเอสเทอร์โมเลกุลยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลิเอสเทอร์เป็นโพลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาแบบควบแน่น ระหว่างสารไดคาร์บอกซิลิกกับสารไดไฮดริกแอลกอฮอล์ โพลิเอสเตอร์ที่ผลิตออกสู่ตลาดในปัจจุบันที่นิยมใช้กันมากคือ Polyethylene terephthalate (PET)

เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ ผลิตจากเม็ดพลาสติกโพลิเอสเทอร์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตร ถึง 1.50 มิลลิเมตร มีรูปร่างหน้าตัดหลายแบบเช่น วงกลม สามเหลี่ยม รูปแฉกดาว เป็นต้น

**เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์เสริมพันธะ**

ในที่นี้หมายถึง การเสริมพันธะให้กับเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ ซึ่งเป็นเส้นใยพลาสติกที่นำมาทำการทดสอบในครั้งนี้ การเพิ่มพันธะที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ทำโดยวิธี นำเส้นใยจำนวน 5-6 เส้นมาทำการมัดรวมกันเป็นปมหัว-ท้าย โดยระยะระหว่างปมมีค่าประมาณ 5 ซม.

**ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใย (Fiber-Reinforced Cement)**

คือ ซีเมนต์มอร์ต้าที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพโดยการใส่เส้นใย (fiber) ชนิดต่าง ๆ แล้วแต่คุณสมบัติที่ต้องการผสมลงในเนื้อซีเมนต์มอร์ต้า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้าให้มีค่าสูงขึ้น วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นเส้นใยมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน เช่น เหล็ก , แก้ว , โพลิเมอร์ , เซรามิก , ใยหิน (Asbestos) และเส้นใยจากธรรมชาติ เป็นต้น (ประกิตศาสน์ ประสงค์จรรยาและสิทธิชัย บังใบ, 2543)

**2.3. การผลิตโพลิเอสเทอร์**

การผลิตโพลิเอสเทอร์มี 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

1. การผลิตโพลิเมอร์ (Polymerization)
2. การอัดเอ็นเส้นใย (Fiber Spinning)
3. การดึงยืด (Drawing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.1. การผลิตโพลิเมอร์ (Polymerization)**

โพลิเอสเทอร์เป็นโพลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาแบบควบแน่น (Condensation polymerization) ระหว่างสารไดคาร์บอกซิลิกแอซิดกับสารไดไฮดริกแอลกอฮอล์ โพลิเอสเทอร์ที่ผลิตออกสู่ตลาดในปัจจุบันที่นิยมใช้กันมากคือ Polyethylene terephthalate (PET) , Poly 1-4 cyclohexane dimethyl terephthalate (PCDT) และ Polyethylene oxybenzoate (PEB)

โพลิเอสเทอร์ที่ผลิตได้จะถูกปล่อยออกมาเป็นแถบยาวแล้วตัดเป็นชิ้น (Chips) เล็ก ๆ ขนาด $4 \times 4$ มม$^2$ เพื่อส่งไปยังขั้นตอนอัดเป็นเส้นใยต่อไป

**2.3.2. การอัดเส้นใย (Fiber Spinning)**

การอัดเส้นใยโพลิเมอร์เป็นแบบหลอมเหลว (Melt spinning) โดยส่งชิ้นโพลิเอสเทอร์ที่แห้งลงไปในหม้อหลอม กรองและอัดเป็นเส้นผ่านหัวอัด เมื่อเส้นใยกระทบอากาศที่เย็นภายนอกจะแข็งตัว เส้นใยจะถูกส่งต่อไปม้วนเข้าหลอดเพื่อจะส่งต่อไปยังเครื่องดึงยืดต่อไป

**2.3.3. การดึงยืด (Drawing)**

การดึงยืดเส้นใยที่อัดออกมาเป็นเส้นแล้ว เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อจะทำให้ได้เส้นใยที่มีสมบัติที่ดี คือ มีความเหนียวแข็งแรงและความละเอียดเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่า ของความยาวเดิม เมื่อเย็นลงก็จะนำไปผ่านกรรมวิธีขั้นต่อไปเช่น นำไปบิดเกลียวเป็นเส้นด้าย หรือถ้าต้องการนำไปทำเป็นใยสั้น ก็ต้องนำไปผ่านเครื่องทำให้เกิดรอยหยิกตามเส้นคล้ายขนแกะ แล้วตัดให้ได้ความยาวตามต้องการ

พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาผ่านการหลอมให้เหลวเพื่อเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นของการปั่นเส้นใย โดยกระบวนการผลิตแบบหลอมเหลว อัดผ่านหัวรีดที่กำหนดรูปแบบของรูให้ได้ตามต้องการมีลักษณะแตกต่างกันไปทั้งชนิดทรงกลม สามเหลี่ยมมุมมน ห้ากลีบ หกกลีบ หรือแปดกลีบ เป็นต้น เส้นใยที่ได้ออกมาจะสู่กระบวนการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มความแข็งแรงด้วยการยืดดึงที่ต้องทำในขณะร้อนหรือที่เรียกว่าการยืดดึงร้อน (hot drawing) ขณะเดียวกันเส้นใยอาจจะถูกทำเทกซ์เจอร์ไปในเวลาเดียวกัน คือ การทำ draw-texturing ลดขั้นตอนการทำงาน ประหยัดเวลา ลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งสามารถทำการควบคุมทคุณภาพได้อย่างดีด้วย (นวลแข ปาลิวนิช , 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4. สมบัติทางกายภาพของเส้นใยโพลิเอสเทอร์

### 2.4.1. สมบัติทางกายภาพของเส้นใยโพลิเอสเทอร์

1. ลักษณะภายนอก เป็นเส้นใยผิวเรียบ พื้นที่หน้าตัดมีหลายแบบส่วนมากเป็นวงกลม ดังนั้น จึงดูเป็นแท่งยาว โดยมีความยาวแตกต่างกันออกไปตามความต้องการใช้งาน โดยทั่วไปมีสีเป็นสีขาว และมีความมันหลายระดับ ตั้งแต่สว่าง กึ่งทึบ และทึบ
2. ความแข็งแรง มีความแข็งแรง และทนทานต่อการขัดถูดี ไม่ว่าอยู่ในสภาพแห้งหรือสภาพเปียกก็ตาม และไม่มีการยืดตัวเมื่อถูกความชื้น
3. สภาพยืดหยุ่น อยู่ในระดับปานกลางไปจนถึงดี โดยทั่วไปโพลิเอสเทอร์เป็นเส้นใยที่ไม่มีสภาพยืดหยุ่น หรือการยืดตัวดีนัก โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงจะกลับคืนสภาพไม่ดี ในขณะที่ถ้ามีการยืดตัวเพียงเล็กน้อยจะสามารถคืนกลับตัวได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับไนลอน

ตารางที่ 2.1. ข้อมูลจากบริษัทดูปองท์ แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของการคืนตัวกลับระหว่างเส้นใยโพลิเอสเทอร์และไนลอน

| เปอร์เซ็นต์การยืดดึงออกของเส้นใย | เปอร์เซ็นต์การคืนตัวกลับ | |
|---|---|---|
| | พอลิเอสเทอร์ 56 | ไนลอน 200 |
| 1 | 91 | 81 |
| 3 | 76 | 88 |
| 5 | 63 | 86 |
| 15 | 40 | 77 |

4. การคืนตัวจากแรงอัด อยู่ในระดับดีมากทนทานต่อการยับทั้งในสภาพแห้งและเปียก
5. ความสามารถในการดูดซึมความชื้น ค่อ นข้างต่ำมาก โดยมีความสามารถในการดูดซึมความชื้นอยู่ระหว่าง 0.4-0.8 % เท่านั้นเอง
6. ผลจากความร้อน ขึ้นกับชนิดของโพลิเอสเทอร์ ซึ่งเริ่มเกิดการเหนียวหรืออ่อนตัวลงที่อุณหภูมิ 440 – 468 °F (227-242 °C)
7. การติดไฟ เมื่อโพลิเอสเทอร์ถูกเปลวไฟจะคล้ายไนลอน คือ เกิดการหดหนีเปลวไฟเล็กน้อย แต่ไม่มีเปลวไฟติด จากนั้นเกิดการหลอมตัวและจับตัวเป็นหยด เมื่อเย็นตัวก็จะแข็งเป็นเม็ดดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ความถ่วงจำเพาะ แล้วแต่ชนิดของโพลิเอสเทอร์ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.22 – 1.38
(วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2542)

**2.4.2. การใช้งานของโพลิเอสเทอร์ในงานต่าง ๆ**

สามารถนำโพลิเอสเทอร์ไปใช้งานต่าง ๆ ได้มากมายนับจากเสื้อผ้าสวมใส่เพื่อความสวยงาม เสื้อผ้าทำงาน เสื้อสูท ไปจนถึงพรม นับเป็นเส้นใยที่มีความเข็งแรงสูง ทำเส้นด้าย เทกซ์เจอร์

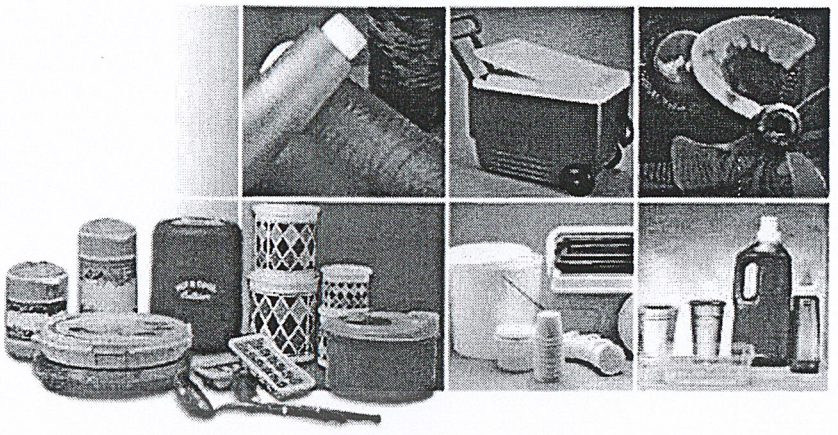
นอกจากนั้นพัฒนาการของโพลิเอสเทอร์ยังครอบคลุมไปถึงการดัดแปลงให้มีคุณสมบัติ ที่ดีขึ้นภายหลังกระบวนการผลิตเส้นใยแล้ว ก่อให้เกิดการใช้งานตามมาอีกมากมาย เกิดเส้นด้ายหลากหลายชนิดดังต่อไปนี้

เส้นด้ายใยยาว หรือ ด้ายฟิลาเมนท์ (filament yarn) มีการผลิตทั้งชนิดเส้นใยเดี่ยว (monofilament) และเส้นด้ายควบ (multifilament yarn) โดยปริมาณและทิศทางของการตีเกลียวขึ้นอยู่กับการใช้งาน ทำให้สามารถกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการได้ล่วงหน้า และยังสามารถทำให้มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ เพื่อใช้งานด้านอุตสาหกรรมได้อีกด้วย

เส้นด้ายชนิดเทกซ์เจอร์ ผลิตจากเส้นด้านใยยาวที่ควบกันหลายเส้น โดยเริ่มจากเส้นด้ายชนิด POY มาผ่านกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างของเส้นด้านมีความฟูตัว เส้นใยไม่เรียงเกาะกันแน่นจนเกินไป โครงสร้างของเส้นด้ายดูคล้ายเส้นด้ายชนิดที่ทำจากส้นใยสั้น ก่อให้เกิดสมบัติที่ดีขึ้น มีผิวสัมผัสที่ดี นุ่มนวล ระบายอากาศได้ดีและดูดซึมความชื้นได้เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังแลดูสวยงามขึ้นด้วย ทั้งนี้กระบวนการปรับปรุงให้ได้เส้นด้ายชนิดเทกซ์เจอร์จะเรียกกันว่า การทำเทกซ์เจอร์ไรเซชัน (Texturization) บางตำราเรียกเส้นด้ายนี้ว่า Textured Filament Yarn

เส้นด้ายที่ทำจากเส้นใยสั้นเรียกว่าเส้นด้ายปั่น (spun yarn) เป็นเส้นด้ายที่เกิดจากการนำเส้นใยสั้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เกิดการหยิกงอในโครงสร้างมาปั่นเป็นเส้นด้ายที่มีขนาดความละเอียดแตกต่างกันไปตามความต้องการของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1. แสดงอุตสาหกรรมการใช้งานของพลาสติกและเส้นใยชนิดต่าง ๆ

**2.5. การประยุกต์ใช้เส้นใยในงานก่อสร้าง**

ในปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่าการใช้งานเส้นใยต่าง ๆ ในส่วนของการก่อสร้างโดยตรงยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก อาจจะเนื่องมาจากว่า เทคโนโลยี ซีเมนต์เสริมเส้นใย นี้ยังเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เพิ่มเกิดในประเทศไทยไม่นานเท่ากับคอนกรีตเสริมเหล็ก

การใช้งานของซีเมนต์เสริมเส้นใยในปัจจุบัน ส่วนมากก็ยังใช้อยู่ในรูปของ GRC (Glass Reinforced Cement) หรือ ซีเมนต์เสริมใยแก้ว

ในปัจจุบันวัสดุ GRC (Glass fiber Reinforced cement) เป็นที่นิยมมากในงานวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม ยกตัวอย่างที่พบเห็นได้บ่อยครั้ง ได้แก่ กำแพงกั้นเสียงตามทางด่วน (Noise Barrier) และวัสดุตกแต่งอาคาร เช่น บัว คิ้ว เป็นต้นคุณสมบัติของวัสดุ GRC ที่สำคัญต่าง ๆ ได้แก่ ความแข็งแรงทนทาน และน้ำหนักเบา และวัสดุ GRC นี้ประกอบได้ด้วยส่วนผสมที่สำคัญคือ เส้นใยแก้วสังเคราะห์ (Glass fiber) ซึ่งมีราคาสูง และหาได้ยาก ทำให้วัสดุ GRC มีราคาสูงตามไปด้วย

**คุณสมบัติของใยแก้ว**

ใยแก้วเป็นชื่อที่ใช้เพื่อผลิตไฟเบอร์ซึ่งแก่นสารของไฟเบอร์ก็คือแก้ว แก้วเป็นวัสดุชนิดหนึ่งทำมาจากซิลิโคนไดออกไซด์ กับออกไซด์ของโลหะต่างๆ และส่วนประกอบอื่นๆ ผ่านการหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายไฟเบอร์จัดเป็นอนุภาคด้วยขนาดความยาว ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางในอัตราเกณฑ์ 3 ต่อ 1 หรือมากกว่า

**การนำไปใช้**

ใยแก้วส่วนใหญ่ถูกผลิตขึ้นเพื่อเป็นฉนวนความร้อนและฉนวนกันเสียงสะท้อนในงานก่อสร้างและโครงสร้างเรือในปี ค.ศ. 1980 ใยแก้วประมาณ 80% ถูกผลิตขึ้นเพื่อเป็นฉนวนใช้ในบ้าน ใยแก้วในรูปใยบรรจุถุง นำไปเทลงในพื้นที่ที่กำหนด เช่น ระหว่างรองพื้นกระดานในเพดาน ในระบบปั๊มและระบบแอร์ก็มีความต้องการใช้ฉนวนเหมือนกัน ใยแก้วและไฟเบอร์กล๊าส ถูกใช้เพื่อเป็นฉนวนต้านความร้อน ท่อโลหะมักจะหุ้มด้วยไฟเบอร์กล๊าสเช่นกัน เส้นผ่าศูนย์กลางของไฟเบอร์กล๊าส (0.005 - 3.8 mm) ได้ถูกนำมาใช้ในอากาศ, กรองของเหลวและไฟเบอร์กล๊าสถูกใช้ในเตาหลอมโลหะและระบบปรับอากาศ ตัวกรองไฟเบอร์กล๊าส ถูก นำไปใช้ในการผลิตเครื่องดื่ม, การปรุงยา, กระดาษ, เป็นตัวกรองในสระว่ายน้ำและประโยชน์ใช้งานอย่างอื่นอีกมากมาย

**2.5.1. การนำเส้นใยมาประยุกต์ใช้งานในปัจจุบัน**

ปัจจุบันการนำเส้นใยมาใช้ในงานคอนกรีตยังไม่เป็นที่นิยม แต่มีการนำเส้นใยมาใช้ในการผลิตชิ้นงานซีเมนต์สำเร็จรูป โดยใช้เส้นใยแก้วมาเสริมในซีเมนต์ เรียกว่า ซีเมนต์เสริมเส้นใยแก้ว ในการผลิตชิ้นงานจากซีเมนต์เสริมเส้นใยแก้วมีกรรมวิธีในการผลิต 2 ขั้นตอน คือ

1. การพ่น (Spraying) โดยการพ่นซีเมนต์ ทราย และใยแก้ว ซึ่งอยู่ในสภาพของเหลวลงไปบนแบบหล่อ (Mould) รอจนแห้งแข็งตัวแล้วจึงถอดออกจากแบบ นำไปบ่มจนได้ความแข็งแกร่งเต็มที่ เช่น แผ่นหลังคา ผนังสำเร็จรูป เป็นต้น
2. การหล่อ (Premixing) คือ การผสมซีเมนต์ ทราย และใยแก้วให้เข้ากันก่อน แล้วจึงเติมน้ำจนได้สัดส่วนที่ต้องการก่อนจะนำไปหล่อลงในแบบ

(ปรเมศวร์ เหลือเทพ และ เอก กุลตั้งเจริญ , 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.2. ประเภทของงานที่ใช้เส้นใยเป็นส่วนประกอบ**

**1. งานฉนวนกันความร้อน**

ฉนวนใยแก้วคือ วัสดุป้องกันความร้อน และดูดซับเสียง ผลิตจาก การหลอมแก้วด้วยอุณหภูมิสูงถึง 1,200 C จนกลายเป็นน้ำแก้ว แล้วปั่น ออกมาเป็นเส้นใย โดยพ่นกาวให้เส้นใยยึดเกาะกัน ซึ่งทำให้เกิดโพรง อากาศมากมายอยู่ด้านใน โดยวัตถุดิบที่ นำ มาใช้จะเป็นวัตถุประเภทเศษแก้ว, เศษกระจกใส ซึ่งเป็นการนำทรัพยากร เหลือใช้ มาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

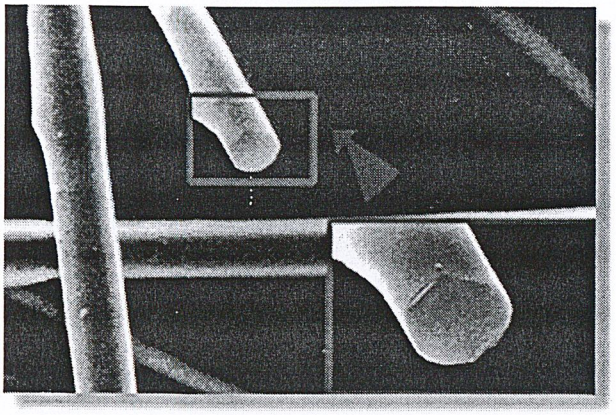
วัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนทุกชนิดทำงานบนหลักการที่ว่า "ความร้อนเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูง ไปยังอุณหภูมิที่ต่ำกว่า" ฉนวนใยแก้วจะทำหน้าที่ชะลอการเคลื่อนที่ของความร้อนนี้โดยโพรงอากาศมากมายที่อยู่ด้านใน ซึ่งโพรงอากาศเหล่า นี้เป็นโพรงอากาศที่หยุดนิ่ง ทำให้อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลที่หยุดนิ่งได้ยาก จึงทำให้ความร้อน ส่งผ่านฉนวนใยแก้ว ไปได้ยากเช่นเดียวกัน และหากฉนวนใยแก้วมีความหนามากขึ้น ก็ส่งผลให้จำนวนโพรงอากาศ ในฉนวนใยแก้วมีจำนวนมาก ดังนั้นคุณสมบัติการกันความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

รูปที่ 2.2. แสดงลักษณะของเส้นใยแก้ว

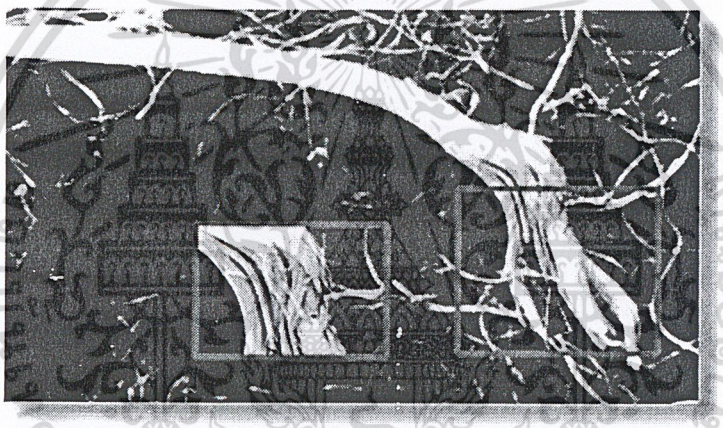
จากการศึกษาวิจัยพบว่า วัสดุที่จะผ่านเข้าไปในระบบโพรงอากาศชั้นใน และก่อให้เกิดมะเร็งได้นั้นจะต้องมี เส้นผ่านศูนย์กลาง ที่เล็กว่า 3 ไมครอน ซึ่งวัสดุฉนวนใยแก้วมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-7 ไมครอน ซึ่งมีขนาดใหญ่จนไม่สามารถหลุด เข้าไปในโพรงอากาศขั้นในของมนุษย์ได้ นอกจากนี้วัสดุประเภทฉนวนใยแก้ว เมื่อมีการแตกหักก็จะแตกหักตามขวาง ไม่แตกปลายเหมือนวัสดุประเภท Asbestos จึงทำให้ไม่ยึดเกาะกับอวัยวะใดๆสามารถขับถ่ายโดยการจามออกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.3. ขยายลักษณะการแตกตัวของฉนวนใยแก้วซึ่งการแตกตัวจะแตกตามขวาง ซึ่งยังคงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง



รูปที่ 2.4. ขยายลักษณะการแตกตัวของAsbestosซึ่งจะแตกตัวเป็นรากต้นไม้ ทำให้มีขนาดเล็กจนสามารถเข้าไปในโพรงอากาศชั้นในได้

ฉนวนใยแก้วอาจสร้างความระคายเคืองต่อผิวหนังของผู้ที่สัมผัสฉนวนใยแก้วโดยตรง ซึ่งการระคายเคืองผิวหนังนี้เกิดขึ้นเนื่องจากผิวหนังชั้นนอกถูกทิ่มตำ โดยเส้นใยแก้วแต่อย่างไรก็ตาม อาการเหล่านี้มักจะเกิดแก่ช่างหรือคนงาน ที่สัมผัสใยแก้วโดยตรง

**คุณสมบัติทั่วไปของฉนวนใยแก้ว**

- **กันความร้อน**ได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากโพรงอากาศที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก
- **ดูดซับเสียง**ฉนวนใยแก้วสามารถลดเสียงรบกวนจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



50302

- **อายุการใช้งานยาวนาน**ฉนวนใยแก้วผลิตจากวัสดุที่ไม่เสื่อมสภาพและไม่เป็นอาหารของสัตว์แมลงและเชื้อราคงสภาพความเป็นฉนวนได้ยาวนานนับ 10ปี
- **ไม่ลามไฟ**เนื่องจากเศษแก้วและเศษกระจกที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตนั้นเป็นวัสดุประเภทไม่ลามไฟดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใส่สารไม่ลามไฟดังเช่นฉนวนกันความร้อนในบางประเภทซึ่งสารไม่ลามไฟดังกล่าวหากเจอกับสภาพความชื้นที่มีอยู่มากในประเทศไทยก็จะทำให้สารดังกล่าวมีอายุการใช้งานสั้นลงประมาณ 1-2ปี

(บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด , 2546)

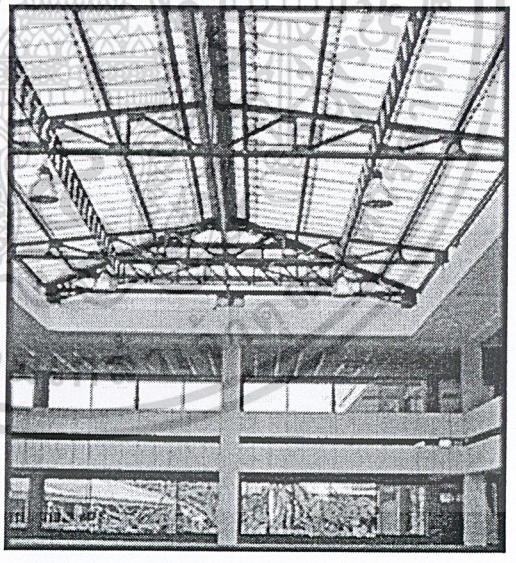
**2. กระเบื้องโปร่งแสง**

กระเบื้องโปร่งแสง เป็นวัสดุมุงหลังคาโปร่งแสงที่มีหลายสีสันให้เลือก ใช้ได้กับงานทุกลักษณะ ด้วยคุณสมบัติโปร่งแสงจึงช่วยกรองแสงธรรมชาติให้สว่างแก่สถานที่ที่ต้องการ สามารถใช้ร่วมกับกระเบื้องลอนต่าง ๆ คือ ลอนคู่ , ลอนเล็ก , ลอนใหญ่ บานเกล็ด และแผ่นเรียบลอนพรีม่า, ลอนกลาง การใช้ประโยชน์กระเบื้องโปร่งแสงช่วยลดประมาณการใช้ไฟฟ้าลง ส่งผลให้ประหยัดพลังงานและช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

**คุณสมบัติและประโยชน์**

- ปราศจากการขุ่นมัว
- อายุการใช้งานยาวนาน
- ประหยัดค่าไฟฟ้า
- ให้ความสว่างนวลตา
- ง่ายต่อการติดตั้ง

(บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด , 2546)

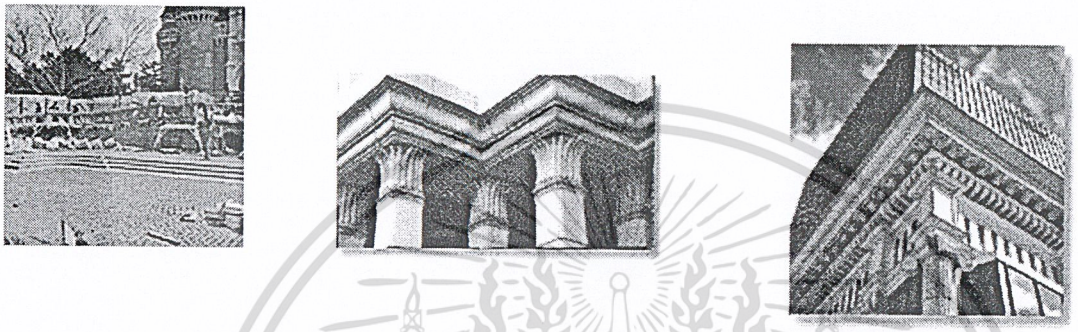


รูปที่ 2.5. แสดงการใช้งานของกระเบื้องโปร่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. ซีเมนต์เสริมใยแก้ว (Glass Reinforced Cement , GRC.)**

มีผิวสวยและน้ำหนักเบา สามารถขึ้นรูปเป็นลักษณะต่างๆ ได้ง่าย มีคุณสมบัติพิเศษที่ช่วยกันความร้อนและกันเสียงได้ เหมาะกับโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งไม่ได้รับน้ำหนักมาก อีกทั้งยังเหมาะที่จะใช้ทำผนังภายนอกเพื่อใช้งานตกแต่ง (เยนเนอรัล เอนยิเนียริ่ง บมจ. , 2546)



รูปที่ 2.6. แสดงการใช้งานของซีเมนต์เสริมใยแก้ว

การใช้งานในส่วนของซีเมนต์เสริมใยแก้วยังสามารถแบ่งออกได้เป็น

**3.1. ผนังเบา จี.อาร์.ซี.**

เป็นผนังที่มีความหนาเฉลี่ย 12-18 มม. และมีน้ำหนักประมาณ 40-50 กก./ตร.ม. ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งสำหรับงานก่อสร้าง และสถาปัตยกรรมของอาคารทั่วไป เพราะเป็นผนังที่มีน้ำหนักเบา พร้อมทั้งสามารถสร้างจุดเด่น หรือลักษณะเฉพาะให้กับอาคารนั้นได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของผนังภายนอกและตกแต่งอาคารได้เหนือกว่าวัสดุที่ใช้ทำผนังอาคารอื่นๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

**รูปแบบของผลิตภัณฑ์**

แม่แบบที่ใช้ผลิต ต้องมีการคัดเลือกวัสดุเพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ เช่น แม่แบบทำด้วยโลหะ ,ไม้ ,ไฟเบอร์กลาส หรือยางสังเคราะห์ ซึ่งสามารถจะทำให้ผิวได้รูปแบบอย่างอิสระ เช่น มีผิวเรียบ หรือลวดลายต่างๆ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผิวที่มีลวดลายแกะสลัก,ลายปูนปั้น
2. ผิวรูปทรงเรขาคณิต,โค้งมน,บัวเชิงผนัง
3. ผิวลวดลายซับซ้อน,ลายหินตามธรรมชาติ

นอกจากนี้ยังสามารถทำผิวที่บุด้วยกระเบื้องชนิดต่างๆ , ผิวทรายล้าง และกรวดล้าง

(a) (b)

รูปที่ 2.7. แสดงลวดลายผนังเบา จี.อาร์.ซี. รูปแบบต่างๆ

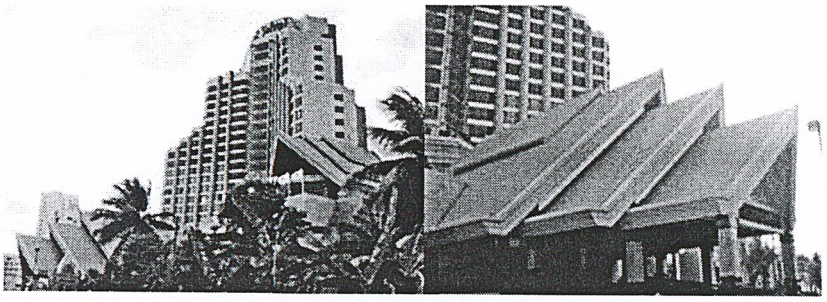
**3.2 หลังคา จี.อาร์.ซี.**

**ประเภทของหลังคา**

หลังคา จี.อาร์.ซี. สามารถผลิตได้ 2 รูปแบบ ดังนี้

1. **แบบแผ่นเรียบ** จะผลิตเป็นหลังคากระเบื้องว่าวและเป็นแผ่นทางเดินเท้า มีผิว เป็นลวดลายธรรมชาติเหมือนหิน โดยทำให้มีสีหรือเป็นผิวทรายล้าง
2. **แบบแผ่นมีลอน** สามารถผลิตให้ดูเหมือนหลังคากระเบื้องและทำสีผิวหลังคาให้มองดูเหมือนของจริงสามารถติดตั้งด้วยการตอกตะปูธรรมดาทั่วไปมีความแข็งแรงพอ โดยไม่ทำให้เกิดการแตกร้าว ขณะดำเนินการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โรงแรมโซฟีเทล

รูปที่ 2.8 แสดงการนำหลังคา จี.อาร์.ซี. มาใช้ในงานก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การศึกษาด้านคุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกลเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามวัสดุแต่ละชนิด เราจะต้องศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเพื่อสามารถนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ และซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์เสริมพันธะ โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM และ British Standard

**การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์**

**3.1. การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์**

เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน BS6432 : 1984 PART 6 ; Standard Test Methods for Determining Properties of Glass Fiber Reinforced Cement Material. โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. เครื่องผสมซีเมนต์
4. แบบหล่อขนาด 1×5×40 ซม.
5. เกรียงเหล็ก
6. ช้อนตัก
7. ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1
8. ทรายละเอียด
9. น้ำสะอาด
10. เส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเตรียมตัวอย่าง**

ใช้มาตรฐาน BS6432 : 1984 PART 3 ; Method of Making and Curing Test Specimens. โดยมีขั้นตอนดังนี้

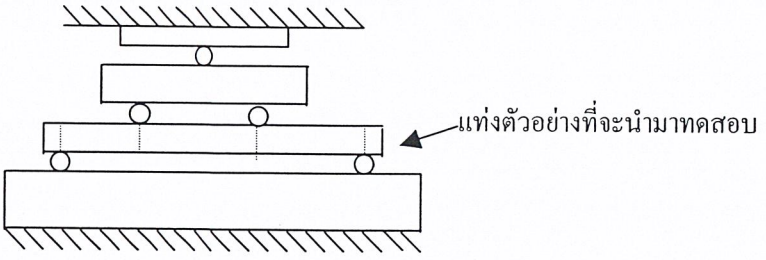
1. ตัดเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมเป็นเส้น แต่ละเส้นยาวประมาณ 5 ซม.
2. เตรียมแบบหล่อแท่งตัวอย่างขนาด 1×5×40 ซม. ทำความสะอาดและทาน้ำมัน
3. นำปูนซีเมนต์ ทรายผสมกันในเครื่องผสม ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยน้ำหนักใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อน้ำเท่ากับ 0.33 โดยใช้ทรายตามอัตราส่วนคละที่กำหนด ดังตารางที่ 3.1.
4. ตักซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบหล่อจำนวน 15 ตัวอย่าง สำหรับทดสอบกำลังดึงที่ 28 วัน ปาดผิวหน้าให้เรียบด้วยเกรียง
5. ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชม. แล้วนำไปบ่มในบ่อบ่มตามเวลาที่กำหนด
6. ทำซ้ำข้อ 3–5 แต่ผสมเส้นใยพลาสติกพลาสติกโพลีเอสเทอร์ในซีเมนต์มอร์ต้าโดยใช้อัตราส่วนเส้นใยต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

**การทดสอบ**

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของซีเมนต์ผสมเส้นใยพลาสติกโดยวิธี Flexural Strength ใช้มาตรฐาน BS6432: 1984 PART 6; Standard Test Methods for Determining Properties of Glass Fiber Reinforced Cement Material. โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำแท่นทดสอบตัวอย่างคานติดเข้ากับเครื่องทดสอบ
2. แบ่งตัวอย่างตามยาวโดยเหลือบริเวณปลายไว้สองส่วนส่วนละ 7.5 ซม. ส่วนภายในที่เหลือแบ่งเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน ส่วนละ 8.3 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3.1.
3. วางตัวอย่างบนแท่นโดยให้รอยขีดอยู่ตรงกับฐานของแท่น
4. ปรับแท่นกดด้านบนมาวางบนตัวอย่าง โดยให้ตรงรอยขีดเช่นกัน
5. เปิดเครื่องทดสอบ โดยควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอประมาณ 3 มม./นาที
6. กดก้อนตัวอย่างจนพัง บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้เพื่อนำไปคำนวณหากำลังดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.1. แสดงการทดสอบซีเมนต์ด้วยวิธี Flexural Strength Test

7. คำนวณหากำลังต้านทานแรงดัดจากสมการ (3.1.) และ (3.2.)

$$R = \frac{P_1 l}{bd^2} \qquad (3.1.)$$

R = Limit of Proportionality (LOP, กก./ซม.$^2$)

$P_1$ = น้ำหนักที่ LOP (กก.)

L = ความยาว Span (ซม.)

b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน (ซม.)

d = ความลึกเฉลี่ยของคาน (ซม.)

$$R = \frac{P_2 l}{bd^2} \qquad (3.2.)$$

R = Modulus of Rupture (MOR, กก./ซม.$^2$)

$P_2$ = น้ำหนักสูงสุด (กก.)

L = ความยาว Span (ซม.)

B = ความกว้างเฉลี่ยของคาน (ซม.)

D = ความลึกเฉลี่ยของคาน (ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2. การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์เสริมพันธะ**

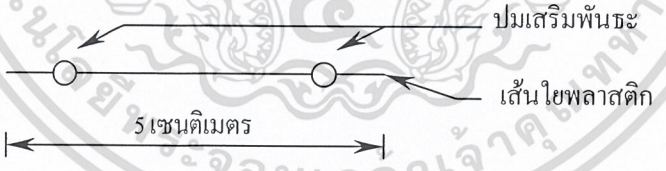
เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน BS6432 : 1984 PART 6 ; Standard Test Methods for Determining Properties of Glass Fiber Reinforced Cement Material. โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบดังนี้

**วัสดุและอุปกรณ์**

ใช้วัสดุอุปกรณ์เหมือนกับการเตรียมตัวอย่างดังหัวข้อ 3.1.

**การเตรียมตัวอย่าง**

ใช้มาตรฐาน BS6432 : 1984 PART 3 ; Method of Making and Curing Test Specimens. การเตรียมตัวอย่างเหมือนกับในหัวข้อ 3.2.1. แต่ทำการเตรียมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์เสริมพันธะ โดยการนำเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์มาประมาณ 5 เส้น แล้วทำการผูกปมที่ปลายทั้งสองด้าน โดยให้เส้นใยมีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร ดังรูป 3.2. แล้วจึงใช้เส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์เสริมพันธะมาผสมกับซีเมนต์มอร์ต้าในอัตราส่วนเส้นใยต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก




รูปที่ 3.2. แสดงลักษณะของเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเตอร์เสริมพันธะ

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกเสริมพันธะ โดยวิธี Flexural Strength ใช้มาตรฐาน BS6432 : 1984 PART 6 ; Standard Test Methods for Determining Properties of Glass Fiber Reinforced Cement Material. มีขั้นตอนเหมือนการทดสอบในหัวข้อ 3.1. แล้วนำค่าแรงดึงประลัยไปคำนวณหากำลังต้านทานแรงดัดตามสมการ (3.1.) และ (3.2.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์กับเส้นใยพลาสติก

เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM : E1512-01 ; Standard Test Methods for Testing Bond Performance of Bonded Anchors. โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบดังนี้

**วัสดุและอุปกรณ์**

1. เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. เครื่องผสมซีเมนต์
4. แบบหล่อขนาด 5×5×5 ซม.
5. เกรียงเหล็ก
6. ช้อนตัก
7. ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1
8. ทรายละเอียด
9. น้ำสะอาด
10. เส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์
11. เส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ทำการเสริมพันธะ(ผูกปมที่ปลาย)

**การเตรียมตัวอย่าง**

ใช้มาตรฐาน ASTM : E1512-01 ; Standard Test Methods for Testing Bond Performance of Bonded Anchors. โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดเส้นใย เส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ จำนวน 15 เส้น แต่ละเส้นยาวประมาณ 10 ซม.และตัดเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ อีกจำนวน 15 เส้น แต่ละเส้นทำการผูกปมที่ปลายข้างหนึ่ง โดยมีความยาวแต่ละเส้นประมาณ 10 ซม.
2. เตรียม แบบหล่อแท่งตัวอย่างขนาด 5×5×5 ซม. จำนวน 30 ชิ้นงาน ทำความสะอาดและทาน้ำมัน
3. นำปูนซีเมนต์และทรายผสมกันในเครื่องผสมในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อน้ำเท่ากับ 0.33 โดยใช้ทรายตามอัตราส่วนคละที่กำหนด ดังตารางที่ 3.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตักซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบหล่อและจุ่มเส้นใย 1 เส้นไว้ตรงกลางและส่วนเส้นใยที่เสริมพันธะ ทำการจุ่มด้านที่ผูกปมลงในซีเมนต์มอร์ต้า โดยจุ่มให้เส้นใยลึกลงในเนื้อซีเมนต์มอร์ต้าประมาณ 4 ซม. จำนวน 15 ตัวอย่างต่อเส้นใยปรกติและเส้นใยเสริมพันธะ สำหรับทดสอบกำลังดึงที่ 28 วัน ปาดผิวหน้าให้เรียบด้วยเกรียง
5. ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชม. แล้วนำไปบ่มในบ่อบ่มตามเวลาที่กำหนด

**การทดสอบ**

การทดสอบกำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์กับเส้นใย ใช้มาตรฐาน ASTM : E1512-01 ; Standard Test Methods for Testing Bond Performance of Bonded Anchors. มีขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปทดสอบกำลังรับแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง
2. บันทึกค่าแรงดึงประลัยของเส้นใยและคำนวณกำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวจากสมการ (3.3.)

$$\text{กำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยว} = \frac{\text{แรงดึงประลัย}}{\text{พื้นที่ผิวของเส้นใยที่ฝังในซีเมนต์}} \qquad (3.3.)$$

ตารางที่ 3.1. ตารางแสดงอัตราส่วนคละมวลละเอียด

| ขนาดตะแกรง | เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง |
|---|---|
| 3/8 นิ้ว (9.5 มิลลิเมตร) | 100 |
| เบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) | 95 – 100 |
| เบอร์ 8 (2.36 มิลลิเมตร) | 80 – 100 |
| เบอร์ 16 (1.18 มิลลิเมตร) | 50 – 85 |
| เบอร์ 30 (600 ไมโครเมตร) | 25 – 60 |
| เบอร์ 50 (300 ไมโครเมตร) | 10 – 30 |
| เบอร์ 100 (150 ไมโครเมตร) | 2 – 10 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

สำหรับผลการศึกษาและการวิเคาะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ แบ่งออกเป็น ส่วนแรกเป็นผลการศึกษาและการวิเคราะห์กำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยโพลิเอสเทอร์และส่วนที่สองเป็นผลการศึกษาและการวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้าและซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยโพลิเอสเทอร์ซึ่งได้แก่ การเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์เสริมเส้นใยกับซีเมนต์มอร์ต้าล้วน และ การเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดมีพันธะกับซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดไม่มีพันธะ

## 4.1. ผลการศึกษา

จากการทดสอบจะพบว่าผลการทดสอบในแต่ละตัวอย่างส่วนมากจะมีค่าใกล้เคียงกันแต่จะมีค่าบางค่าที่แตกต่างจากค่าอื่นมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการขจัดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการทดสอบ ดังนั้นจึงจะต้องทำการตัดค่าบางค่าที่ผิดปกติออก โดยใช้เกณฑ์ที่ทำการตัดคือ ตัดค่าที่น้อยกว่า 20 % ของค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้ออกและทำการวิเคราะห์ค่าที่ได้มากที่สุดว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด ถ้าค่านั้นมีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมากก็ให้ทำการตัดออกด้วย

### 4.1.1. ผลการศึกษากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยโพลิเอสเทอร์

จากการทดสอบ กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยโพลีเอสเตอร์และกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยโพลิเอสเทอร์ที่ทำการผูกปมได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ผ.ก.1. และ ตารางที่ ผ.ก.2. ตามลำดับ

ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยโพลิเอสเทอร์จำนวนตัวอย่างทดสอบ 11 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 2.86 ksc

ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยโพลิเอสเทอร์ผูกปมจำนวนตัวอย่างทดสอบ 14 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 4.70 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.1.2. ผลการศึกษากำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าและซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยโพลิเอสเทอร์**

1. จากการทดสอบการรับกำลังแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้าล้วน ที่อายุการบ่มเป็นเวลา 7 วัน ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ผ.ข.1

ซีเมนต์มอร์ต้าล้วน จำนวนตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 43.58 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 7 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 44.87 ksc

2. จากการทดสอบการ รับกำลังแรงดึงของซีเมนต์เสริมผสมเส้นใยโพลิเอสเทอร์ โดยใช้เส้นใยในอัตราส่วน 1 , 2 , 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มเป็นเวลา 7 วันได้ผลการทดสอบ ดังตารางที่ ผ.ข.2.-ผ.ข.5. ตามลำดับ

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นโพลิเอสเทอร์ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 43.21 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 3 , 7 และ 8 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 49.13 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสเทอร์ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 50.99 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ไม่ต้องทำการตัดตัวอย่างใดออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 50.99 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสเตอร์ในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 11 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 53.33 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 5 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 53.33 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสเทอร์ในปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 71.86 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ไม่ต้องทำการตัดตัวอย่างออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 69.53 ksc

3. จากการทดสอบการรับกำลังแรงดึงของซีเมนต์เสริมผสมเส้นใยโพลิเอสเตอร์เสริมพันธะ (เส้นใยผูกปม) โดยใช้เส้นใยในอัตราส่วน 1 , 2 , 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มเป็นเวลา 7 วัน ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ผ.ข.6.- ผ.ข.9. ตามลำดับ

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสเตอร์เสริมพันธะในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 47.44 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 4 , 5 และ 7 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 50.73 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสเตอร์เสริมพันธะในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 50.83 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 2 และ 8 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 52.33 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสเตอร์เสริมพันธะในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 53.30 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 1 และ 4 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 56.24 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลิเอสเตอร์เสริมพันธะในปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 62.87 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออกจะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 2 , 4 และ 9 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 69.84 ksc

4. จากการทดสอบการรับกำลังแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าล้วน ที่อายุการบ่มเป็นเวลา 28 วัน จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง เกิดการแตกหักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ผ.ค.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเมนต์มอร์ต้าล้วน จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง เกิดการแตกหักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 56.58 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 4 ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 58.01 ksc

5. จากการทดสอบการรับกำลังแรงดึงของซีเมนต์ผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ โดยใช้เส้นใยในอัตราส่วน 1, 2 , 3 และ4 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มเป็นเวลา 28 วัน ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ผ.ค.2.- ผ.ค.5. ตามลำดับ

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 50.36 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 8 และ 13 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 54.62 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 53.81 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 1 , 9 และ 12 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 55.46 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง เกิดการแตกหักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ จำนวน 2 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 56.16 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 4 และ 7 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 60.62 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ในปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 60.61 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 6 และ 12 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 62.35 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากการทดสอบการรับกำลังแรงดึงของซีเมนต์ผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์เสริมพันธะ (เส้นใยผูกปม) โดยใช้เส้นใยในอัตราส่วน 1 , 2 , 3 และ4 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มเป็นเวลา 28 วัน ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ผ.ค.6.- ผ.ค.9. ตามลำดับ

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์เสริมพันธะในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง เกิดการแตกหักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ จำนวน 2 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 52.71 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 7 และ 9 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 56.43 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์เสริมพันธะในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 54.08 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 5 , 6 และ 13 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 56.74 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์เสริมพันธะในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 58.60 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 12 และ 14 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 61.84 ksc

ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์เสริมพันธะในปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง เกิดการแตกหักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ จำนวน 1 ตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 62.91 ksc หากทำการเลือกตัดตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างที่ 2 ออก ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงดัด เท่ากับ 64.73 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. แสดงค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าล้วนและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่ทำการเสริมพันธะและไม่ทำการเสริมพันธะ ที่อายุการบ่มตัวอย่าง 7 วัน

| ปริมาณเส้นใยโพลีเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์) | ไม่ทำการเสริมพันธะ(ksc) | ทำการเสริมพันธะ(ksc) |
|---|---|---|
| 0 | 44.87 | 44.87 |
| 1 | 49.13 | 50.73 |
| 2 | 50.99 | 52.33 |
| 3 | 53.33 | 56.24 |
| 4 | 69.53 | 69.68 |

ตารางที่ 4.2. แสดงค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าล้วนและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่ทำการเสริมพันธะและไม่ทำการเสริมพันธะ ที่อายุการบ่มตัวอย่าง 28 วัน

| ปริมาณเส้นใยโพลีเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์) | ไม่ทำการเสริมพันธะ(ksc) | ทำการเสริมพันธะ(ksc) |
|---|---|---|
| 0 | 58.01 | 58.01 |
| 1 | 54.62 | 56.43 |
| 2 | 55.46 | 56.74 |
| 3 | 60.62 | 61.84 |
| 4 | 62.35 | 64.73 |

## 4.2. การวิเคราะห์ผลการศึกษา

### 4.2.1. การวิเคราะห์กำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยโพลิเอสเทอร์

จากการทดสอบการรับกำลังแรงยึดเหนี่ยว โดยทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของเส้นใยที่จุ่มปลายในซีเมนต์มอร์ต้า เพื่อเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยที่ไม่เสริมพันธะ และเส้นใยที่ทำการเสริมพันธะ จากผลการศึกษาพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการรับแรงดึงของเส้นใยที่ผูกปมมีค่ามากกว่าเส้นใยที่ไม่ผูกปมอยู่ เท่ากับ 64.62% จะเห็นได้ว่าการเสริมพันธะโดยการผูกปมให้กับเส้นใยพลาสติก มีผลต่อกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์ผสมเส้นใย แสดงให้เห็นว่าการเสริมพันธะให้กับเส้นใยพลาสติก เป็นการทำให้เส้นใยมีความสามารถในการรับกำลังได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
2. จากพฤติกรรมการรับกำลังเพื่อทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างเส้นใยที่ไม่ผูกปมกับเส้นใยที่ผูกปม จะพบว่า

2.1. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยที่ไม่ผูกปมกับซีเมนต์มอร์ต้า

ค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวมีค่าน้อยกว่าความสามารถในการรับแรงดึงของตัวเส้นใย เนื่องจากเมื่อเพิ่มกำลังแรงดึงมากขึ้น เส้นใยจะค่อย ๆ หลุดออกจากซีเมนต์มอร์ต้าก่อนที่เส้นใยจะขาด ทำให้เส้นใยรับกำลังแรงดึงได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ค่าแรงดึงที่ได้จึงลดลง

2.2. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยที่ผูกปมกับซีเมนต์มอร์ต้า

เมื่อเพิ่มกำลังแรงดึงมากขึ้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยที่ผูกปมกับซีเมนต์มอร์ต้าสูงขึ้นตาม จนกระทั่งค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยที่ผูกปมกับซีเมนต์มอร์ต้า มีค่ามากกว่าความสามารถในการรับแรงดึงของเส้นใย จะทำให้เส้นใยขาดก่อนที่จะหลุดออกมา แสดงให้เห็นว่าเส้นใยสามารถรับกำลังได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ได้จึงมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยที่ไม่ผูกปม

**4.2.2. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าและซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยโพลีเอสเทอร์**

**4.2.2.1. การเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์เสริมเส้นใยกับซีเมนต์มอร์ต้าล้วน**

จากผลการทดสอบจะพบว่า การทดสอบตัวอย่างทั้งตัวอย่างที่บ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน และ 28 วัน จะเห็นว่า ผลที่ได้มีค่าสอดคล้องกัน จะเห็นว่า ค่ากำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าซีเมนต์ผสมเส้นใยจะมีค่ามากกว่ามอร์ต้าซีเมนต์มอร์ต้าล้วน และค่าจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่ผสมกับซีเมนต์มอร์ต้า จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณเส้นใย 4 เปอร์เซ็นต์ ให้กำลังรับแรงดัดสูงสุด หากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าล้วน จะได้ ดังตารางที่ 4.3. และ 4.4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3. แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มกำลังรับแรงดัดของการซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใย เทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่ทำการเสริมเส้นใย ที่อายุการบ่มตัวอย่าง 7 วัน

| ปริมาณเส้นใยโพลีเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์) | ไม่ทำการเสริมพันธะ (เปอร์เซ็นต์) | ทำการเสริมพันธะ (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|
| 1 | 9.49 | 13.06 |
| 2 | 13.64 | 16.63 |
| 3 | 18.85 | 25.34 |
| 4 | 54.96 | 55.29 |

ตารางที่ 4.4. แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มกำลังรับแรงดัดของการซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใย เทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าล้วน ที่อายุการบ่มตัวอย่าง 28 วัน

| ปริมาณเส้นใยโพลีเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์) | ไม่ทำการเสริมพันธะ (เปอร์เซ็นต์) | ทำการเสริมพันธะ (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|
| 1 | -5.84* | -2.72* |
| 2 | -4.40* | -2.19* |
| 3 | 4.50 | 6.60 |
| 4 | 7.48 | 11.58 |

หมายเหตุ * ค่ากำลังรับแรงของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยมีค่าต่ำกว่ากำลังของซีเมนต์มอร์ต้าล้วน

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การเสริมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ในซีเมนต์มอร์ต้าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการรับกำลังแรงดัดแก่ชิ้นงานซีเมนต์มอร์ต้า

**การพิจารณาพฤติกรรมการรับแรงของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์**

จากกราฟที่ 4.1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าล้วน จะเห็นว่าเมื่อแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้ารับกำลังเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเกิดการวิบัติ ซึ่งการวิบัติที่เกิดขึ้นนั้นเป็นไปอย่างฉับพลัน และเมื่อทำการเสริมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ในซีเมนต์มอร์ต้า โดยเส้นใยโพลีเอสเทอร์มีคุณสมบัติในการรับกำลังดึงและมีการยืดตัวสูง ดังนั้นเมื่อทำการผสมเส้นใยในซีเมนต์มอร์ต้า จึงทำให้ได้พฤติกรรมการรับกำลังดังกราฟที่ 4.2. และ 4.3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ 4.2. และ 4.3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่ไม่เสริมพันธะและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่เสริมพันธะ ตามลำดับ เมื่อแท่งซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยรับกำลังเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเกิดการรอยแตกที่แท่งตัวอย่าง จะพบว่าแท่งตัวอย่างยังคงสามารถรับกำลังได้ต่อไป ทำให้ได้ค่ากำลังรับแรงดัดที่สูงขึ้น ซึ่งค่าที่ได้นั้นมากกว่าค่ากำลังรับแรงดัดในซีเมนต์มอร์ต้าล้วน นอกจากนี้การแอ่นตัวก่อนที่จะเกิดการวิบัติก็ยังมากกว่าซีเมนต์มอร์ต้าล้วนด้วย

**4.2.2.2. การเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดมีพันธะกับซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดไม่มีพันธะ**

จากการทดสอบจะพบว่า จากการทดสอบตัวอย่างที่ทำการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน จะได้ค่ากำลังรับแรงเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยที่ไม่ทำการเสริมพันธะดังตารางที่ 4.3.

ตารางที่ 4.5. แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ทำการเสริมพันธะเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่ทำการเสริมพันธะ

| เปอร์เซ็นต์เส้นใย(%) | กำลังรับแรงโดยคิดเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น(%) | |
|---|---|---|
| | 7 วัน | 28 วัน |
| 1 | 3.26 | 3.31 |
| 2 | 2.63 | 1.98 |
| 3 | 5.46 | 2.01 |
| 4 | 0.22 | 3.82 |

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเสริมพันธะให้กับเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่ใช้ในการผสมในซีเมนต์มอร์ต้า จะได้ค่ากำลังรับแรงดัดมากกว่าการรับกำลังของซีเมนต์มอร์ต้าไม่เสริมการพันธะเพียงเล็กน้อย หรือมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน ทำให้ผลการทดสอบมีผลสรุปที่ไม่ชัดเจน จึงต้องทำการพิจารณาผลการศึกษาที่ได้

**การพิจารณาการกระจายตัวของเส้นใยพลาสติกในซีเมนต์มอร์ต้า**

1. ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่มีการเสริมพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่ไม่เสริมพันธะ ในซีเมนต์มอร์ต้า เส้นใยจะแยกตัวอยู่เป็นเส้นเดี่ยว หากคิดที่น้ำหนักเท่ากันเมื่อเทียบกับเส้นใยเสริมพันธะ เส้นใยแบบไม่เสริมพันธะจะมีจำนวนเส้นที่มากกว่า ดังนั้นจะทำให้เส้นใยชนิดนี้มีการกระจายตัวได้ดีกว่า เมื่อนำไปผสมกับซีเมนต์มอร์ต้า โดยเส้นใยจะการกระจายตัวทั่วทั้งหน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ ทำให้เส้นใยเพิ่มประสิทธิภาพการรับกำลังของแท่งตัวอย่างทั่วทั้งหน้าตัด

2. ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยเสริมพันธะ

เนื่องจากเส้นใยจะรวมตัวกันเป็นมัด ๆ ละประมาณ 5 – 7 เส้น ต่อหนึ่งชิ้นเส้นใยที่จะทำการผสม ดังนั้นที่น้ำหนักเท่ากันเมื่อเทียบกับแบบไม่เสริมเส้นใย เส้นใยแบบเสริมพันธะจะมีจำนวนเส้นน้อยกว่าชนิดแรกอยู่มาก และเมื่อนำไปผสมกับซีเมนต์มอร์ต้า จะทำให้การกระจายตัวของเส้นใยในซีเมนต์มอร์ต้าไม่ดีเท่าชนิดไม่ทำการเสริมพันธะ ถ้าปริมาณของเส้นใยมีค่าน้อยจะทำให้บางหน้าตัดมีเส้นใยกระจายตัวอยู่น้อย และย่อมทำให้หน้าตัดดังกล่าวเกิดวิบัติได้ง่าย แต่หากเพิ่มปริมาณเส้นใยให้สูงขึ้นย่อมจะทำให้เส้นใยมีการกระจายตัวได้ดีทั่วทั้งหน้าตัด ซึ่งจะทำให้เพิ่มความสามารถในการรับกำลังได้มากกว่าชนิดไม่เสริมพันธะ

## 4.3. การพิจารณาการรับกำลังของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดมีพันธะกับซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยชนิดไม่มีพันธะ

1. ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่มีการเสริมพันธะ

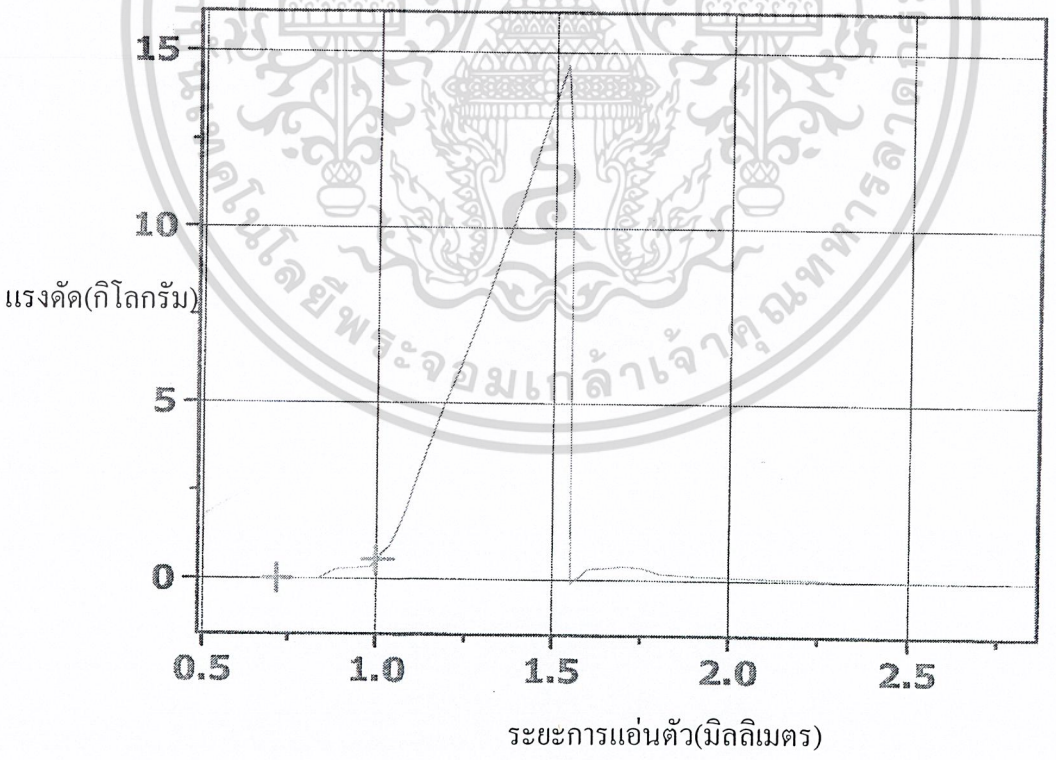
จากกราฟที่ 4.2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่ไม่เสริมพันธะ จะเห็นว่าเมื่อแท่งทดสอบรับกำลังเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนกระทั่งเกิดรอยแตกที่แท่งทดสอบ กำลังจะลดลง แต่ยังไม่เกิดการวิบัติในทันที แท่งทดสอบจะสามารถรับกำลังได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยพลาสติกที่ผสมในตัวซีเมนต์มอร์ต้า แต่เมื่อกำลังเพิ่มขึ้น เกินกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยที่ไม่เสริมพันธะกันซีเมนต์มอร์ต้า ทำให้เส้นใยหลุดออกจากซีเมนต์มอร์ต้าก่อนที่จะรับกำลังได้เต็มประสิทธิภาพของเส้นใย ทำให้กำลังลดลง แต่แท่งตัวอย่างยังคงสามารถรับกำลังต่อไปแต่เนื่องจากเส้นใยพลาสติกที่ยังไม่หลุดจากซีเมนต์มอร์ต้า ทำให้ได้พฤติกรรมการรับแรงขึ้นลงดังที่แสดงในกราฟ 4.2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยเสริมพันธะ

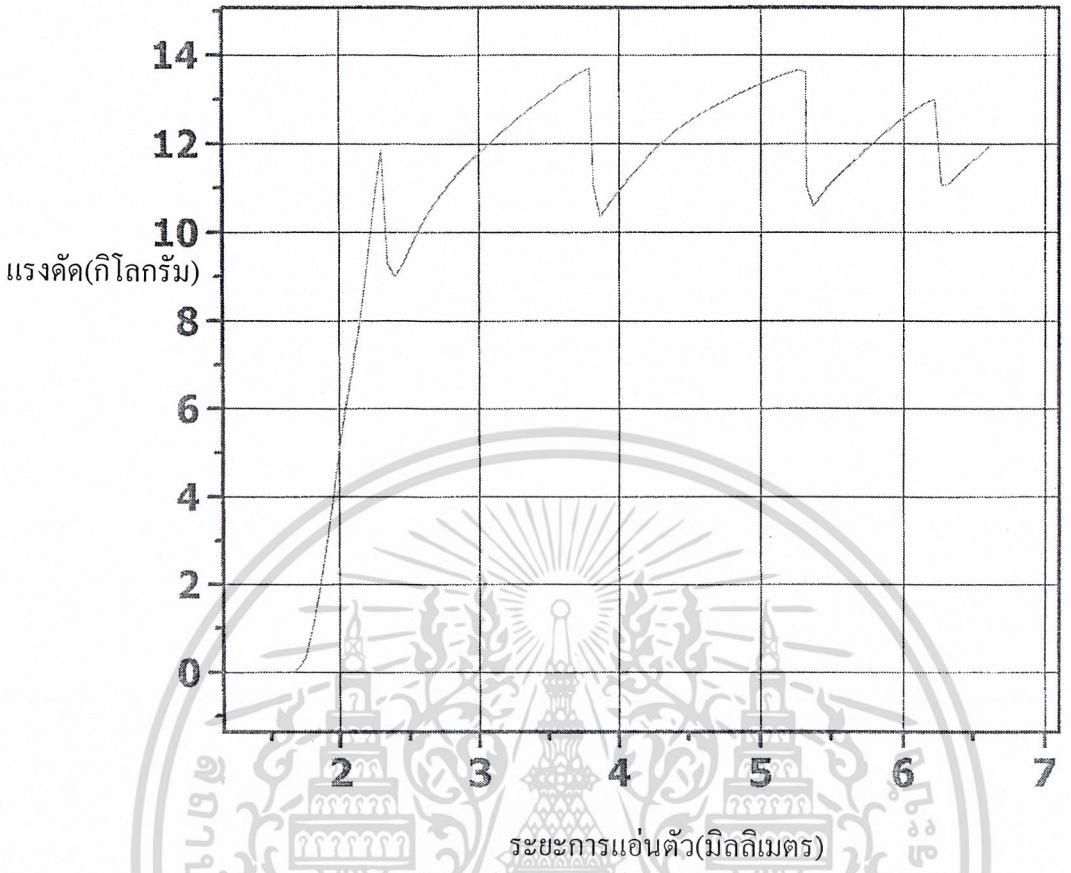
จากกราฟที่ 4.3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่เสริมพันธะ จะเห็นว่าพฤติกรรมในการรับกำลังในช่วงแรกจะเหมือนแบบไม่เสริมพันธะ จนกระทั่งเมื่อแท่งทดสอบสามารถรับกำลังได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยพลาสติกที่ผสมในตัวซีเมนต์มอร์ต้า เส้นใยโพลเอสเทอร์ที่เสริมพันธะจะมีค่าแรงยึดเหนี่ยวกับซีเมนต์มอร์ต้ามากกว่าแบบไม่เสริมพันธะ ทำให้พฤติกรรมการรับแรงของแท่งตัวอย่างเนื่องจากเส้นใยเสริมพันธะเป็นไปอย่างต่อเนื่องและการใช้เส้นใยอย่างเต็มประสิทธิภาพของเส้นใย

จากตาราง 4.5. จะพบว่าค่ากำลังรับแรงของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยที่ทำการเสริมพันธะจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับกำลังรับแรงของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเสริมใยที่ไม่ทำการเสริมพันธะ จากการศึกษาอาจเกิดเนื่องจากแท่งตัวอย่างที่ทำการทดสอบเกิดการวิบัติที่ตัวซีเมนต์มอร์ต้าก่อนที่จะเส้นใยจะรับกำลัง หรือเกิดการวิบัติที่แรงอัด ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้เป็นค่าที่เกิดจากการวิบัติของซีเมนต์มอร์ต้า ทำให้ค่าที่ได้ทั้งซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่มีการเสริมพันธะและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่เสริมพันธะมีค่าไม่แตกต่างกัน(0 - 5 เปอร์เซ็นต์)



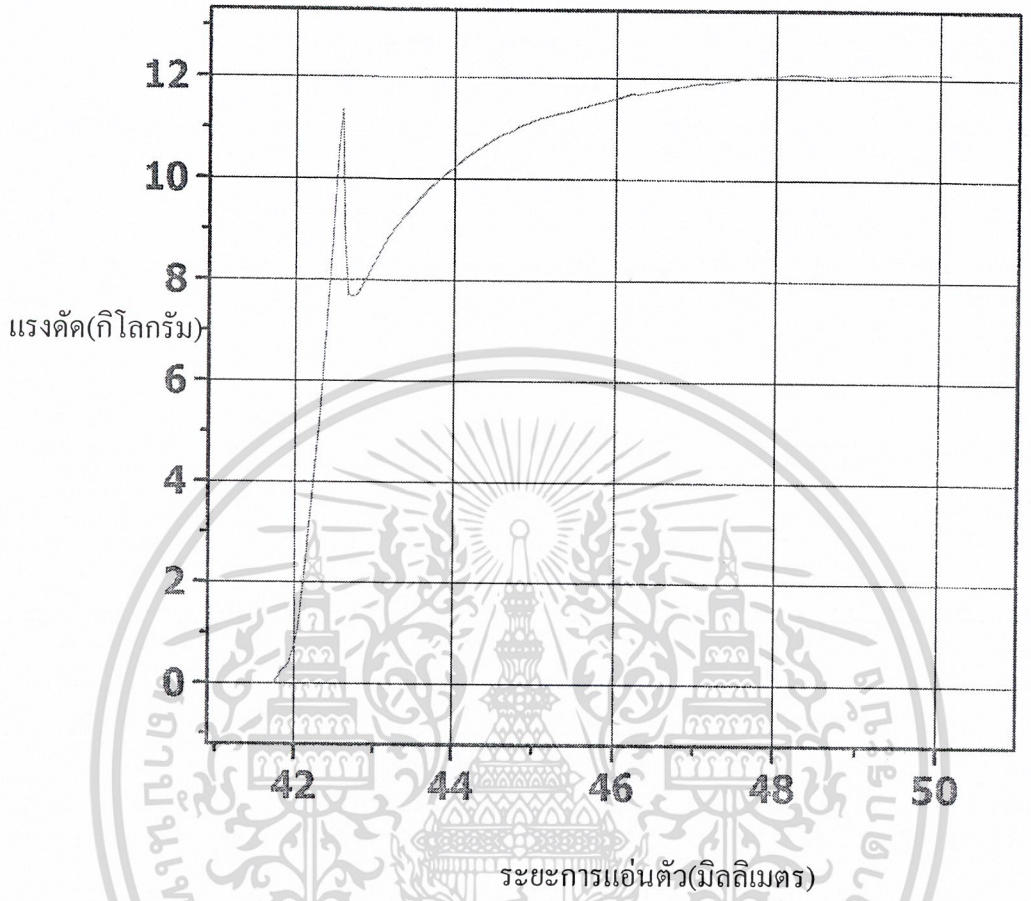

รูปที่ 4.1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถ
ในการรับแรงดัดของ ซีเมนต์มอร์ต้าล้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่ไม่เสริมพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีเอสเทอร์ที่เสริมพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.4. การพิจารณาการแอ่นตัวของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใย(Deflection)**

เมื่อทำการวิเคราะห์การแอ่นตัวจะได้ค่าระยะการแอ่นตัวของชิ้นตัวอย่าง เพื่อทำการตรวจสอบเปรียบเทียบกับระยะการแอ่นตัวที่ยอมให้ ดังแสดงในตารางที่ 4.6. และ 4.7.

ตารางที่ 4.6. แสดงค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้และระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบที่ระยะการบ่ม 7 วัน

| ปริมาณเส้นใยโพลีเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์) | L/360 (เซนติเมตร) | ไม่เสริมพันธะ (เซนติเมตร) | เสริมพันธะ (เซนติเมตร) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.069 | 0.047 | 0.047 |
| 1 | 0.069 | 0.044 | 0.043 |
| 2 | 0.069 | 0.066 | 0.052 |
| 3 | 0.069 | **0.081** | **0.124** |
| 4 | 0.069 | **0.155** | **0.296** |

หมายเหตุ ระยะการแอ่นตัว (Deflection) $= \frac{PL^3}{48I}$

ระยะการแอ่นตัวที่ยอมให้ (Allowable Deflection) $= \frac{L}{360}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7. แสดงค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้และระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบ ที่ระยะการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณเส้นใยโพลีเอสเทอร์ (เปอร์เซ็นต์) | L/360 (เซนติเมตร) | ไม่เสริมพันธะ (เซนติเมตร) | เสริมพันธะ (เซนติเมตร) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.069 | 0.046 | 0.046 |
| 1 | 0.069 | 0.050 | 0.040 |
| 2 | 0.069 | 0.064 | 0.052 |
| 3 | 0.069 | **0.084** | **0.093** |
| 4 | 0.069 | **0.094** | **0.093** |

หมายเหตุ ระยะการแอ่นตัว (Deflection) $= \frac{PL^3}{48I}$

ระยะการแอ่นตัวที่ยอมให้ (Allowable Deflection) $= \frac{L}{360}$

จากผลการทดสอบการแอ่นตัวของชิ้นตัวอย่าง จะพบว่า ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ทำการเสริมพันธะและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่ทำการเสริมพันธะ ที่ปริมาณเส้นใยโพลีเอสเทอร์ 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าการแอ่นตัวมากกว่าระยะการแอ่นตัวที่ยอมให้ ซึ่งการแอ่นตัวดังกล่าว ทำให้ชิ้นตัวอย่างเกิดการวิบัติก่อนที่เส้นใยที่เสริมในซีเมนต์มอร์ต้าจะรับกำลังอย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้จึงค่ากำลังรับแรงดัดเนื่องจากการวิบัติของตัวอย่างทดสอบก่อนที่เส้นใยจะเสริมกำลัง ทำให้ค่าการรับกำลังมีค่าใกล้เคียงกัน และจากที่เส้นใยในชิ้นตัวอย่างยังเสริมกำลังไม่เต็มประสิทธิภาพ ทำให้ผลการทดสอบระหว่างเส้นใยไม่เสริมพันธะและไม่เสริมพันธะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

จากการพิจารณาข้างต้น จึงต้องทำการทดสอบอ้างอิงเพิ่มเติม เพื่อให้เห็นค่ากำลังรับแรงดัดของทั้งสองแบบอย่างชัดเจนโดยการออกแบบการทดสอบให้เป็นไปตามสมมุติฐานข้างต้นดังต่อไปนี้

- การทดสอบจะออกแบบให้แท่งทดสอบเกิดการวิบัติที่เส้นใยที่เสริมเข้าไปก่อนการวิบัติของซีเมนต์มอร์ต้า กล่าวคือให้ก่อนการวิบัติเนื่องจากแรงดึงก่อนการวิบัติจากแรงอัด
- การออกแบบป้องกันการแอ่นตัวของแท่งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การจัดเส้นใยให้อยู่ในระนาบเดียวกันและให้มีปริมาณการกระจายตัวที่เท่ากันในซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่มีการเสริมพันธะและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่เสริมพันธะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# การศึกษาด้านคุณสมบัติเชิงกล(เพิ่มเติม)

เนื่องจากผลการทดสอบความสามารถรับกำลังแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ทำการเสริมพันธะและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่ทำการเสริมพันธะมีผลการทดสอบมีค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้ผลการศึกษาไม่สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ผลการทดสอบและข้อสรุปของวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน

**5.1. สาเหตุและข้อสันนิษฐานการศึกษาเพิ่มเติม**

จากการศึกษาและวิเคราะห์การทดสอบการรับกำลังของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยตามบทที่ 3 และ 4 จะได้ข้อสันนิษฐานของผลการทดสอบที่ให้ค่าใกล้เคียงกันของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ทำการเสริมพันธะและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่ทำการเสริมพันธะดังนี้

1. เนื่องจากแท่งตัวอย่างที่ทำการทดสอบที่มีขนาด 1 × 5 × 40 เซนติเมตร ด้วยขนาดความหนาที่บาง เมื่อทำการรับกำลังแรงดัด แท่งตัวอย่างจะเกิดการวิบัติที่ตัวซีเมนต์มอร์ต้าหรือเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงอัด ก่อนที่จะเกิดการวิบัติเนื่องจากการรับแรงดึงของเส้นใย จึงทำให้ผลการทดสอบที่ได้นั้นไม่ได้เป็นค่าการรับกำลังเนื่องจากเส้นใยพลาสติกที่ทำการเสริมในซีเมนต์มอร์ต้า ดังนั้นจึงไม่สามารถได้ผลการทดสอบที่ชัดเจน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับกำลังของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ทำการเสริมพันธะและซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยที่ไม่ทำการเสริมพันธะ
2. จากการทดสอบจะพบว่า เมื่อทำการพิจารณาการกระจายตัวของเส้นใยโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเสริมพันธะและไม่ทำการเสริมพันธะจะพบว่า เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่เท่ากัน เส้นใยโพลิเอสเทอร์ที่ไม่ทำการเสริมพันธะจะมีจำนวนเส้นมากกว่าเส้นใยโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเสริมพันธะ ทำให้มีการกระจายตัวในแท่งทดสอบได้ดีกว่าเส้นใยที่ทำการเสริมพันธะ ดังนั้นในบางหน้าตัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่ทำการเสริมพันธะจะมีปริมาณของเส้นใยที่ช่วยในการรับกำลังอยู่ต่ำ จึงทำให้เกิดการวิบัติได้ง่ายในบริเวณดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.2. การควบคุมการทดสอบตามข้อสันนิษฐาน**

เพื่อให้ผลการทดสอบที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และข้อสรุปที่ถูกต้องชัดเจน ดังนั้น จึงทำการทดสอบเพิ่มเติม โดยการควบคุมการทดสอบตามข้อสันนิษฐานดังกล่าว

1. ทำการคำนวณออกแบบความลึกของแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใย โดยออกแบบให้เกิดการวิบัติที่แรงดึงของเส้นใย ก่อนที่จะเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงดัด
2. กำหนดจำนวนเส้นใยโพลิเอสเทอร์ต่อแท่งทดสอบ เพื่อจำกัดการกระจายตัวของเส้นใยให้เท่ากันทุกแท่งตัวอย่างทดสอบ
3. จัดเรียงเส้นใยให้อยู่ในระนาบรับกำลังดึงเดียวกัน เพื่อใช้ประสิทธิในการรับกำลังดึงของเส้นใยอย่างเต็มประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ความชัดเจนของผลการทดสอบของเส้นใยที่เสริมพันธะและไม่เสริมพันธะ

**5.3. การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก**

เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน BS6432 : 1984 PART 6 ; Standard Test Methods for Determining Properties of Glass Fiber Reinforced Cement Material. โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบดังนี้

**วัสดุและอุปกรณ์**

1. เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. เครื่องผสมซีเมนต์
4. แบบหล่อคานขนาด 10.5×5×40 ซม.
5. เกรียงเหล็ก
6. ช้อนตัก
7. ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1
8. ทรายละเอียด
9. น้ำสะอาด
10. เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**จำนวนตัวอย่าง**

| | |
|---|---|
| แท่งซีเมนต์มอร์ต้าล้วน | จำนวน 6 ตัวอย่าง |
| แท่งซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยโพลิเอสเทอร์ | จำนวน 6 ตัวอย่าง |
| แท่งซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยโพลิเอสเทอร์เพิ่มพันธะ | จำนวน 6 ตัวอย่าง |

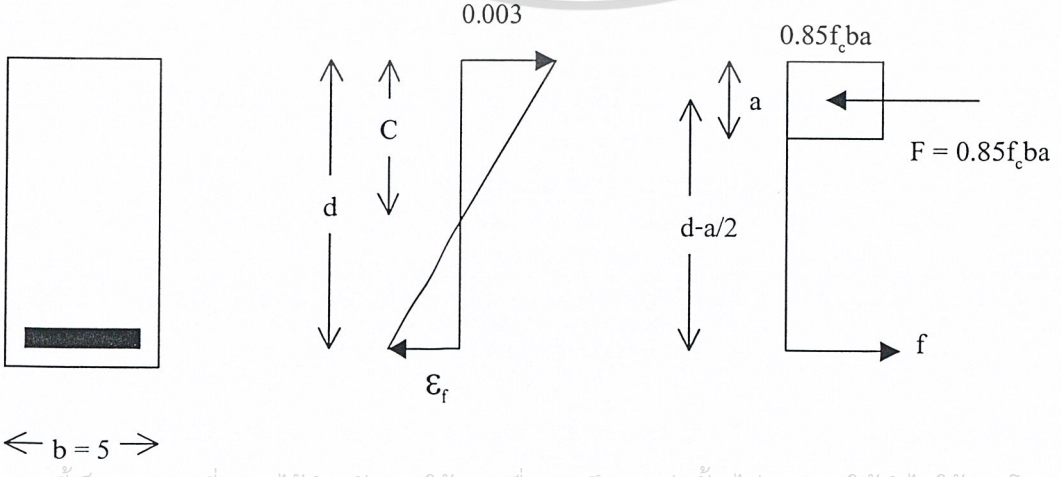
**การออกแบบตัวอย่างทดสอบ**

ในการออกแบบความหนาของตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบจะทำการออกแบบโดยใช้หลักการเดียวกันกับการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

ค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ มีดังนี้

1. ค่า $f_c$ = 175 ksc. (ได้จากค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้ามาตรฐาน เนื่องจากไม่ได้ทำการทดสอบหาค่าแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าในอัตราส่วนที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้)
2. ค่าแรงดึงของเส้นใย = 1.076 kg/เส้น (ได้จากการหาค่าเฉลี่ยของแรงดึงของเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ ที่ทำการทดสอบในปี 2544 โดย คุณปรเมศวร์ เหลือเทพ และ คุณเอก กุลตั้งเจริญ)
3. สมมติให้ใช้จำนวนเส้นใย 150 เส้นต่อตัวอย่าง 1 ชิ้น
4. กำหนดความกว้างชิ้นตัวอย่าง = 5 ซม. (เพื่อให้เท่ากับตัวอย่างเดิมทำให้สามารถวางบนเครื่องทดสอบได้ง่าย)
5. ความยาวตัวอย่างทดสอบ = 40 ซม.

**การคำนวณ**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f เส้นใย = 1.076 kg / เส้น

ใช้เส้นใยจำนวน 150 เส้น ดังนั้น f เส้นใย = 150×1.076 = 161.49 kg

แรงดึง = แรงอัด (5.1)

$f_{เส้นใย} = 0.85 f_c ba$

แทนค่า

$161.49 = 0.85 \times 175 \times 5 \times a$

จะได้ a = 0.217 ซม.

$a = \beta C$ ; $C = \frac{0.217}{0.85} = 0.2554$ ($\beta = 0.85$)

ให้ $\varepsilon_f$ = ε ของเส้นใย = $\frac{f_y}{E}$ (5.2)

โดยที่ fy = 3429 ksc

E = 30020.78 ksc (ได้จากค่าเฉลี่ยจากการทดสอบในปี 2544 โดย คุณปรเมศวร์ เหลือเทพ และคุณเอก กุลตั้งเจริญ)

จะได้ $\varepsilon_f = \frac{3429}{30020.78} = 0.1142$

จากสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{0.003}{C} = \frac{\varepsilon_f}{d - C} \quad (5.3)$$

$$\frac{0.003}{0.2554} = \frac{0.1142}{d - 0.2554}$$

จะได้ d = 9.97 ซม.

เลือกใช้ Covering 0.5 ซม .

ดังนั้นจะได้ขนาดตัวอย่างทดสอบเป็นคานสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 10.5×5×40 ซม.

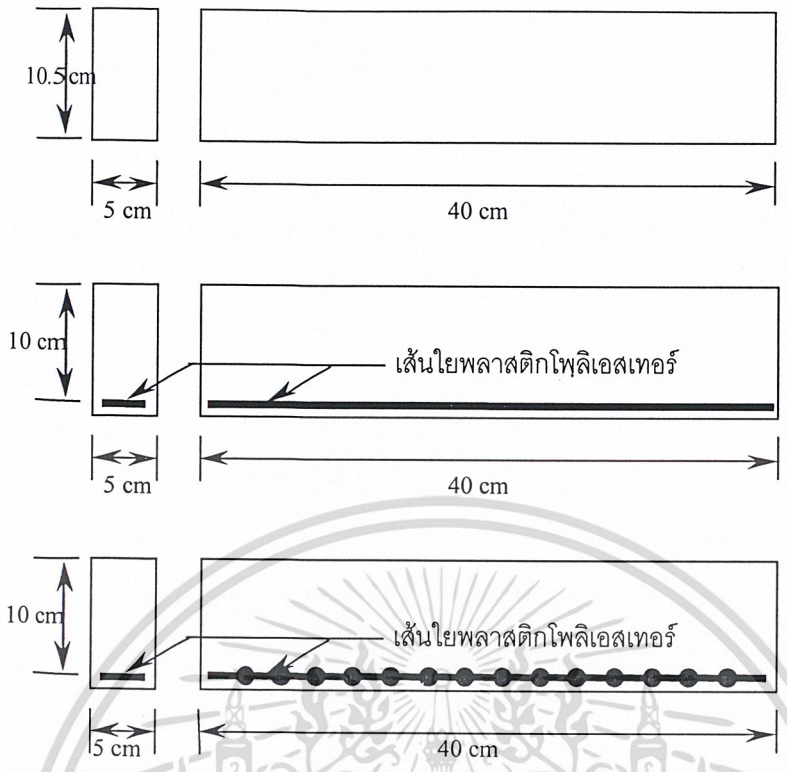
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเตรียมตัวอย่าง**

ใช้มาตรฐาน BS6432 : 1984 PART 3 ; Method of Making and Curing Test Specimens. โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์หน้าตัดกลมเป็นเส้นมาเสริมพันธะ ทำการจัดกลุ่มเส้นใย 5 เส้นผูกปม ระยะห่างประมาณ 5 เซนติเมตร ตลอดเส้นความยาวเส้นใย
2. จากการคำนวณความสูงของแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า โดยออกแบบให้เกิดการวิบัติที่เส้นใยพลาสติกที่เสริมก่อนซีเมนต์มอร์ต้าจะวิบัติ เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดึงของเส้นใยที่ไม่เสริมพันธะและที่เสริมพันธะ จะได้ขนาดตัวอย่างทดสอบเป็นคานสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 10.5×5×40 ซม.
3. เตรียมแบบหล่อแท่งตัวอย่างขนาด 10.5×5×40 ซม. จำนวน 18 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น คานซีเมนต์มอร์ต้าล้วน คานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์และคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์เสริมพันธะ จำนวนตัวอย่าง ๆ ละ 6 ตัวอย่าง ทำความสะอาดและทาน้ำมัน
4. นำปูนซีเมนต์ ทรายผสมกันในเครื่องผสม ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยน้ำหนักใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อน้ำเท่ากับ 0.33 โดยใช้ทรายตามอัตราส่วนคละที่กำหนด ดังตารางที่ 3.1
5. ตักซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบหล่อ ให้มีความสูง ประมาณ 0.5 เซนติเมตร
6. นำเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ จำนวน 150 เส้นต่อตัวอย่าง จำนวน 6 ตัวอย่าง และ เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์เสริมพันธะ จำนวน 30 กลุ่มเส้นใย ต่อตัวอย่าง จำนวน 6 ตัวอย่าง วางบนมอร์ต้า โดยจัดเรียงให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัด
7. ทำการใส่ซีเมนต์มอร์ต้าเหนือเส้นใย มีความสูง 10 เซนติเมตร หรือจนกระทั่งเต็มแล้วทำการปาดให้เรียบด้วยเกรียง ดังรูปที่ 5.1.
8. ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่งโมง แล้วนำไปบ่มในบ่อบ่มเป็นเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5.1. แสดงลักษณะตัวอย่างคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์

**การทดสอบ**

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกเสริมพันธะโดยวิธี Flexural Strength ใช้มาตรฐาน BS6432 : 1984 PART 6 ; Standard Test Methods for Determining Properties of Glass Fiber Reinforced Cement Material. มีขั้นตอนเหมือนการทดสอบในหัวข้อ 3.1. แล้วนำค่าแรงดึงประลัยไปคำนวณหากำลังต้านทานแรงดัดตามสมการ (3.1.) และ (3.2.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# ผลการศึกษาและการวิเคราะห์(เพิ่มเติม)

## 6.1. สมมติฐานในการทดสอบ

จากการทดสอบเพื่อพิสูจน์ว่า พันธะมีผลต่อการเพิ่มกำลังของซีเมนต์มอร์ต้า โดยการออกแบบชิ้นงานตัวอย่างให้เกิดการวิบัติที่แรงดึง หรือส่วนของเส้นใยนี้ ตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ในตอนแรก เนื่องจากการทดสอบในตัวอย่างมาตรฐานแบบแรกขนาด 1×5×40 ซม. นั้น เมื่อทดสอบแล้วคาดว่าชิ้นส่วนตัวอย่างวิบัติเนื่องจากแรงที่กระทำมีค่ามากกว่าความสามารถรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า โดยที่ในส่วนของกำลังรับแรงดึงยังไม่ได้ออกแรง กล่าวคือ เส้นใยที่ผสมลงไป ยังไม่ได้รับกำลังอย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นถ้าเพิ่มความลึกของชิ้นตัวอย่างให้เกิดการวิบัติของแรงดึงและแรงอัดพร้อมกัน หรือเกิดการวิบัติที่แรงดึงก่อน แล้วนำตัวอย่างนี้ไปทดสอบ น่าจะพบความแตกต่างของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์และซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่เพิ่มพันธะ

## 6.2. ผลการทดสอบ

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานทั้งสามชนิดตัวอย่าง คือ คานซีเมนต์มอร์ต้าไม่เสริมเส้นใย , คานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ และคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเพิ่มพันธะ ดังผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ ผ.จ.1. , ผ.จ.2. และ ผ.จ.3. ตามลำดับ ผลการทดสอบได้ว่า กำลังที่ทดสอบได้จากตัวอย่างทั้ง 3 นั้น มีค่าดังนี้

คานซีเมนต์มอร์ต้าไม่เสริมเส้นใย ตามตารางที่ ผ.จ.1. จะเห็นว่ามีชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบเพียง 4 ชิ้น เนื่องจาก ชิ้นงานอีก 2 ชิ้น เกิดการเสียหายก่อนนำมาทดสอบ และค่าที่ได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างทั้ง 4 ชิ้นนี้มีค่ากำลังดัดใกล้เคียงกัน จึงเลือกใช้ค่าทั้ง 4 เป็นผลการทดสอบได้ค่ากำลังรับแรงดัด 45.24 ksc.

คานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ ตามตารางที่ ผ.จ.2. จะเห็นว่ามีชิ้นงานตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 6 ชิ้น และค่าที่ได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างทั้ง 6 ชิ้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

48.56 ksc. จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดสอบไม่สามารถตัดตัวอย่างทดสอบออกได้ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของการทดสอบกำลังรับแรงดัดนี้จะมีค่าอยู่ที่ 48.56 ksc.

คานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่ทำการเพิ่มพันธะ ตามตารางที่ ผ.จ.3. จะเห็นว่ามีชิ้นงานตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 6 ชิ้น และค่าที่ได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างทั้ง 6 ชิ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 41.26 ksc หากทำการเลือกตัดชิ้นงานที่มีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ย 20 % ออก จะได้ว่า ต้องทำการตัดตัวอย่างชิ้นที่ 6 ออก เนื่องจากมีค่าแตกต่างมากที่สุดออก ดังนั้นค่าเฉลี่ยของการทดสอบกำลังรับแรงดัดนี้จะมีค่าอยู่ที่ 43.85 ksc.

ตารางที่ 6.1. แสดงผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดคานขนาด 10.5×5×40 ซม.

| ชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบ | ค่ากำลังรับแรงดัด (ksc.) |
|---|---|
| ซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่ได้เสริมเส้นใย | 45.24 |
| ซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ | 48.56 |
| ซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่เสริมพันธะ | 43.85 |

**6.3. สรุปผลการทดสอบ**

จากการทดสอบจะได้ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงดัดดังตารางที่ 6.1. ถ้านำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ทั้งสองชนิดกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่ได้ทำการเสริมเส้นใย จะได้ดังนี้

ตาราง 6.2. แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดัดที่ได้

| ชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบ | ค่ากำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่ได้เสริมเส้นใย (%) |
|---|---|
| ซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ | 4.42 |
| ซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่เสริมพันธะ | -7.38 |

หมายเหตุ เครื่องหมาย - แสดงถึงค่าที่ได้มีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าไม่ต่างกันมาก ทำให้ไม่สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ในตอนแรก ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทดสอบในครั้งนี้

## 6.4. การตรวจสอบชิ้นตัวอย่าง

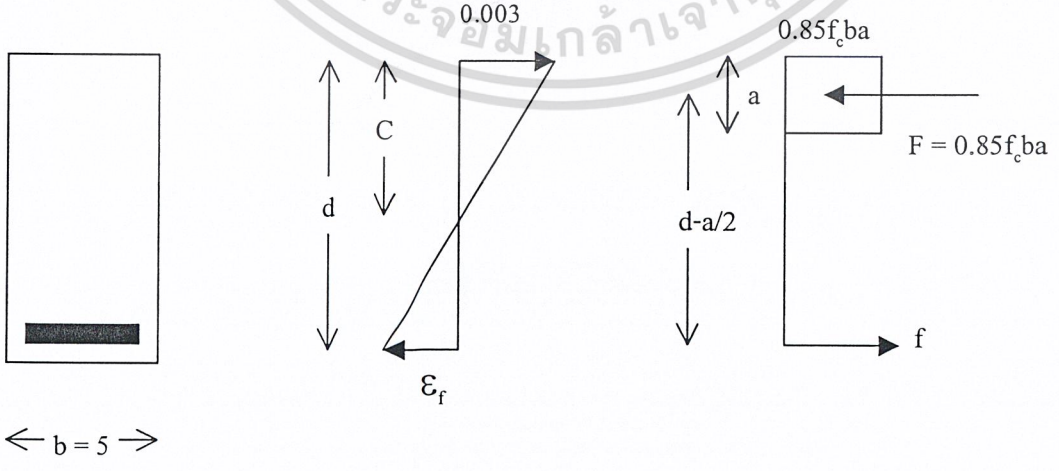
ทำการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างว่าเกิดการวิบัติเนื่องจากสาเหตุใด จึงทำให้ค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าไม่แตกต่างกัน

### 1. วิเคราะห์ Compressive Control

จากการออกแบบชิ้นตัวอย่างในตอนแรก เนื่องจากไม่ทราบค่าหน่วยแรงของซีเมนต์มอร์ต้า จึงได้เลือกค่าหน่วยแรงของซีเมนต์มอร์ต้าจากมาตรฐานของซีเมนต์มอร์ต้าที่ค่า 175 ksc แต่จากการเก็บตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้ทำชิ้นงานตัวอย่าง แล้วทดสอบหาค่า Compressive Stress ตามมาตรฐาน ASTM C109-92 นั้นพบว่า มีค่า Compressive Stress อยู่ที่ 560 ksc. ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่าค่าที่ใช้คำนวณถึง 3.2 เท่า แสดงว่า ค่ากำลังของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้น 3.2 เท่า ดังนั้น ค่าความสามารถในการรับแรงอัดจะมีค่ามากกว่าความสามารถในการรับแรงดึงถึง 3.2 เท่า

หากทำการวิเคราะห์เป็นค่าให้เห็นจะได้ค่าดังนี้

**การคำนวณ** (วิเคราะห์แบบเดิม)




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f เส้นใย = 1.076 kg / เส้น

ใช้เส้นใยจำนวน 150 เส้น ดังนั้น f เส้นใย = 150×1.076 = 161.49 kg

แรงดึง = แรงอัด (6.1)

$f_{เส้นใย} = 0.85 f_c ba$

แทนค่า

$161.49 = 0.85 \times 560 \times 5 \times a$

จะได้ a = 0.0678 ซม.

$a = \beta C$ ; $C = \frac{0.0678}{0.65} = 0.10433$ ($\beta = 0.65$)

ให้ $\varepsilon_f$ = $\varepsilon$ ของเส้นใย = $\frac{f_y}{E}$ (6.2)

โดยที่ fy = 3429 ksc

E = 30020.78 ksc (ได้จากค่าเฉลี่ยจากการทดสอบในปี 2544 โดย คุณปรเมศวร์ เหลือเทพ และคุณเอก กุลตั้งเจริญ)

จะได้ $\varepsilon_f = \frac{3429}{30020.78} = 0.1142$

จากสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{0.003}{C} = \frac{\varepsilon_f}{d - C} \quad (6.3)$$

$$\frac{0.003}{0.10433} = \frac{0.1142}{d - 0.10433}$$

จะได้ d = 4.076 ซม.

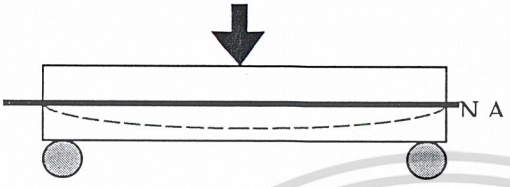
เลือกใช้ Covering = 0.5 ซม .

ดังนั้นจะได้ขนาดตัวอย่างทดสอบเป็นคานสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 4.6 ×5×40 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าคานที่ออกแบบมาในตอนแรกมีขนาดใหญ่เกินไป เนื่องจากใช้ค่า $f_c$ น้อยเกินไปมาก ทำให้ในส่วนของซีเมนต์มอร์ต้ารับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ส่วนที่รับแรงดึง (ส่วนของเส้นใยปริมาณเท่าเดิม)ยังค งเดิม ดังนั้น การวิบัติจะเกิดขึ้นที่ส่วนที่รับแรงดึงหรือที่ส่วนของเส้นใยก่อน

**2. วิเคราะห์ Deflection Control**




$$\text{Deflection} = \frac{PL^3}{48EI}$$

รูปที่ 6.1 แสดงการวิเคราะห์การแอ่นตัวอย่างคาน

วิเคราะห์หาค่า Deflection ที่เกิดขึ้นในคานตัวอย่างทั้ง 3 แบบ ได้ผลดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3. แสดง ค่า Deflection ที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทั้ง 3 แบบ

| ค่า Deflection ที่เกิดขึ้น | | | |
|---|---|---|---|
| ซีเมนต์มอร์ต้าไม่เสริมเส้นใย (ซม.) | เสริมเส้นใยไม่เสริมพันธะ (ซม.) | เสริมเส้นใยที่เสริมพันธะ (ซม.) | ค่า Deflection ที่ยอมให้ (ซม.) |
| 0.0747 | 0.0812 | 0.0932 | 0.0694 |

จะเห็นได้ว่า ค่า Deflection ที่เกิดขึ้นในตัวอย่างคานทั้ง 3 มีค่าเกินค่าที่ยอมให้ ดังนั้นสรุปได้ว่า ตัวอย่างทั้ง 3 เกิดการวิบัติที่ Deflection คือ เมื่อซีเมนต์มอร์ต้ารับแรงได้ถึงค่าหนึ่งแล้วจะทำให้คานเกิดการแอ่นตัว เมื่อแอ่นตัวเกิดค่าที่ยอมให้แล้ว คานก็จะเกิดการแตกที่บริเวณท้องคาน จากนั้นรอยแตกจะลึกเข้าไปจนถึงเส้นใยและถึงแกนสะเทินของคานทำให้เกิดการวิบัติของคานอย่างรวดเร็ว คานจึงไม่สามารถรับแรงได้อีก โดยที่ในส่วนของเส้นใยยังไม่ได้ทำหน้าที่ในการรับแรงดึงอย่างเต็มประสิทธิภาพ ทำให้ค่าของตัวอย่างทั้ง 3 แบบมีค่าแทบจะไม่แตกต่างกันเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การคำนวณ**

หากนำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบคานตัวอย่างทั้ง 3 นี้มาวิเคราะห์หาแรงกระทำสูงสุดที่คานทั้ง 3 ตัวนี้จะสามารถรับได้โดยที่ไม่เกิดการวิบัติที่ Deflection จะได้ค่าดังนี้

1. ค่าแอ่นตัวมากสุดที่ยอมให้

$$\Delta_{allow} = \frac{25}{360} = 0.0694 \text{ ซม.}$$

2. E ได้มาจากการทดสอบคานตัวอย่างทั้ง 3 แบบ และเลือกเอาค่าที่มากที่สุดเพื่อที่จะได้ค่า P ที่ยอมให้น้อยที่สุด ดังนั้นเลือกค่า E = 8325 kg/cm$^2$
3. I ได้จากค่าเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 10.5×5×40 ซม.

$$I = \frac{1}{12} \times 5 \times 10^3 = 416.67 \text{ ซม.}^4$$

4. L ค่ามาตรฐานของระยะห่าง Span = 25 ซม.

คำนวณจากสูตร $\Delta = \dfrac{PL^3}{48EI}$ (6.4)

ดังนั้นจะได้ $P = \dfrac{48 \times 8325 \times 416.67 \times 0.0694}{25^3}$

$= 739.53 \text{ kg}$

**วิเคราะห์**

ค่าแรงดึงที่นำมาคำนวณในตอนแรกที่ได้จากเส้นใยจำนวน 150 เส้น คิดเป็นค่าแรงดึง 161.4 kg ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า P ที่คำนวณได้ ถ้าพิจารณาคร่าว ๆ จะพบว่า แรงดึงที่ใช้คำนวณจะไม่ทำให้เกิดการวิบัติจาก Deflection และ Compression แต่ค่าที่ผิดจากความเป็นจริงคือค่า $f_c$ ในตอนแรกที่นำมาจากค่าเฉลี่ยของซีเมนต์มอร์ต้าคือ 175 ksc ทำให้คานที่ออกแบบในตอนแรกมีขนาดใหญ่เกินถึงประมาณ 3 เท่าตัว

เมื่อคานมีขนาดใหญ่ขึ้นถึง 3 เท่าตัว ดังนั้นค่า Flexural Strength ที่ทดสอบได้จากคานดังกล่าวจะมีค่ามากกว่าที่ออกแบบ โดยค่าที่ได้จากการเฉลี่ยของการทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าไม่เสริมเส้นใยพลาสติก , ซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก และซีเมนต์มอร์ต้าที่เสริมเส้นใยพลาสติกที่ทำปม จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอยู่ที่ 921.17 , 967.52 และ 866.7 kg ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่า Flexural Strenght ที่ได้นี้มีค่ามากกว่าค่าแรงกดมากสุดที่จะทำให้เกิดการแอ่นตัวเป็นไปตามกำหนด ดังนั้น จะทำให้ได้ผลคือ ค่า Deflection ที่เกิดในคานทั้ง 3 แบบนี้มีค่าเกินค่าที่ยอมให้ได้

จากการคำนวณตอนต้น จะพบว่า ถ้าใช้เส้นใยพลาสติกเสริมจำนวน 150 เส้น คานตัวอย่างทดสอบที่ควรจะนำมาใช้ทดสอบคือ คานขนาด 4.6×5×40 ซม. จึงจะสามารถควบคุมไม่ให้เกิดการวิบัติที่ Deflection และ Compression ได้

ถ้าจะใช้คานที่ความลึก 10 ซม.

$$\frac{0.003}{C} = \frac{0.1142}{10 - C} \tag{6.5}$$

$$0.003(10 - C) = 0.1142C$$

$$C = 0.256$$

$$a = \beta C = 0.65 \times 0.256 = 0.1664$$

แรงดึง = แรงอัด = $0.85 \times 560 \times 5 \times 0.1164 = 395.989$ kg

ดังนั้นต้องใช้เส้นใย = $\frac{396}{1.076} = 368$ เส้น เพื่อที่จะให้ได้แรงดึงตามที่กำหนด

**6.5. เหตุผลที่การทดสอบไม่เป็นไปตามสมมติฐาน**

1. การที่ตัวอย่างคานที่ใช้ทดสอบไม่สามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้อย่างเพียงพอ เกิดจากค่า $f_c$ ที่กำหนดในตอนแรก ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่เป็นจริงถึง 3 เท่า เนื่องจากในตอนแรกไม่มีการทดสอบหาค่า Compressive Strength ของซีเมนต์มอร์ต้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จึงได้ใช้ค่าเฉลี่ยมาตรฐานของค่าซีเมนต์มอร์ต้าปกติแทน ดังนั้นการคำนวณต่าง ๆ จึงเกิดการผิดพลาดมาก ทำให้การควบคุมการเกิด Deflection ไม่ได้ คานจึงเกิดการวิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การที่เส้นใยพลาสติกและซีเมนต์ไม่ได้ทำงานร่วมกันอย่างเต็มประสิทธิภาพ หมายความว่า เมื่อมีแรงมากระทำ ส่วนของซีเมนต์มอร์ต้าจะทำหน้าที่ในการรับแรงอัด และส่วนของเส้นใยพลาสติกจะทำหน้าที่ในการรับแรงดึง เหมือนกับคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้น เมื่อทำการทดสอบการรับแรงดัด เมื่อแรงกดมีค่ามากกว่าความสามารถในการรับแรงดึงที่ซีเมนต์มอร์ต้าในส่วนที่เป็น Covering จะทำการรับได้ ซีเมนต์มอร์ต้าในส่วนนี้จะเกิดการวิบัติและทำให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบรับกำลังไม่ได้อีก
3. การที่ซีเมนต์มอร์ต้าไม่ได้หุ้มเส้นใย ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับซีเมนต์มอร์ต้ามีค่าลดลง เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสในส่วนที่ติดกันของเส้นใยจะไม่เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับซีเมนต์มอร์ต้า ทำให้ประสิทธิภาพในการรับแรงดัดมีค่าลดน้อยลง
4. การเรียงตัวของเส้นใยมีลักษณะเป็นแถบกว้างตลอดความกว้างของตัวอย่างทดสอบ เปรียบเสมือนเส้นใยเป็นแผ่นพลาสติกบาง ๆ ที่กั้นทำให้เกิดการแยกตัวของซีเมนต์มอร์ต้าส่วนที่เป็น Covering และส่วนที่อยู่เหนือเส้นใยขึ้นไป
5. ช่องว่างอากาศ (Void) ที่เกิดขึ้นในส่วนของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยทั้งสองชนิดมีมากกว่าซีเมนต์มอร์ต้าล้วน เนื่องจาก ในการเทซีเมนต์มอร์ต้าในชิ้นตัวอย่างของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยได้ทำการกระทุ้งซีเมนต์น้อยกว่าซีเมนต์มอร์ต้าล้วนเนื่องจากเกรงว่าการกระทุ้งจะทำให้เส้นใยที่เสริมลงไปเปลี่ยนตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 7
# สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

## 7.1 สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบค่ากำลังต้านทานแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าและเส้นใยโพลิเอสเทอร์นั้น ได้ผลการทดสอบคือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ไม่มีเสริมพันธะ และค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้ากับเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ที่เสริมพันธะได้ค่าดังนี้ 2.86 และ 4.70 kg ตามลำดับ ทำให้สรุปได้ว่า การเพิ่มพันธะให้กับเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้าและเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ได้มากถึง 64.62 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ไม่เสริมเส้นใย

จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าล้วน , ซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใย และซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยที่ผูกปม สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ให้กับซีเมนต์มอร์ต้า ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าได้ดี โดยจากการทดสอบจะพบว่าที่การเสริมเส้นใยที่ปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ จะให้กำลังรับแรงดัดสูงที่สุดคือ ประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่ไม่เสริมเส้นใย (ค่าที่ได้จากการทดสอบแรงดัดของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก ที่อายุการบ่ม 7 วัน) โดยมีอัตราการเพิ่มประสิทธิภาพการรับกำลังตามปริมาณเส้นใยที่ผสมในซีเมนต์มอร์ต้า
2. จากผลการทดสอบที่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนที่จะนำไปหาข้อสรุปของการเสริมพันธะให้กันเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับกำลังของชิ้นงาน จึงทำให้การทดสอบไม่สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์การวิจัยได้อย่างชัดเจน

**สาเหตุของการทดสอบที่ทำให้ผลการศึกษาไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์**

1. การเกิด Compression Control ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบมีความหนาน้อยเกินไป ทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดมีค่าน้อยกว่าความสามารถในการรับแรงดึงของเส้นใย ทำให้ชิ้นตัวอย่างเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิบัติที่ส่วนของแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าโดยที่เส้นใยที่เสริมลงไปยังไม่รับกำลังอย่างมีประสิทธิภาพ

2. เกิด Deflection Control ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบมีความหนามากเกิน ทำให้ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานมีค่ามากเกินค่าที่มากที่สุดที่จะทำให้ค่าการแอ่นตัวไม่เกินค่าที่ยอมให้ได้ของซีเมนต์มอร์ต้า จึงทำให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติเนื่องจากการแอ่นตัว ก่อนที่เส้นใยจะรับกำลังอย่างเต็มประสิทธิภาพ ทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงเนื่องจากคุณสมบัติของซีเมนต์มอร์ต้าเอง

## 7.2 การใช้งานของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์

### 7.2.1 ลักษณะเด่นของการใช้เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ผสมในซีเมนต์มอร์ต้า

1. เมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าที่มีขนาดเท่ากัน ชิ้นงานที่ผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ จะสามารถรับกำลังได้มากขึ้น ซึ่งการรับกำลังนั้น ซีเมนต์มอร์ต้าผสม เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์จะมีเส้นใยเป็นตัวช่วยเสริมกำลังต่อไปอีก หลังจากที่ค่าการรับกำลังตกลงในช่วงแรก ในขณะที่ซีเมนต์มอร์ต้าล้วน เมื่อรับกำลังจนถึงขณะหนึ่งก็จะเกิดการวิบัติอย่างฉับพลัน
2. ช่วยลดการแตกร้าวของชิ้นงาน ซึ่งเหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการความสวยงาม มีพื้นผิวที่เรียบ
3. ช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก ชิ้นงานไม่เปราะและไม่แตกง่าย
4. ช่วยยืดระยะเวลาก่อนการพังทลาย เพราะมีการแอ่นตัวซึ่งเป็นผลจากเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์
5. ราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ GRC ในขณะที่คุณสมบัติคล้ายคลึงกัน

### 7.2.2. การประยุกต์ใช้งาน โดยแบ่งตามประเภทการใช้งาน

1. งานที่ต้องการความสวยงาม มีความเรียบร้อย

เนื่องจากชิ้นงานที่เป็นซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ มีผิวเรียบ ทนต่อการแตกร้าวและการขยายตัว ซึ่งเป็นผลจากอุณหภูมิ ยกตัวอย่างชิ้นงาน เช่น บัว คิ้ว อิฐประดับ อิฐก่อ อิฐโชว์ ผนัง รั้ว ฯลฯ

2. งานที่รับกำลังไม่มาก และมีลักษณะโครงสร้างที่พิเศษ

ลักษณะตัวโครงสร้างไม่เหมาะสำหรับการวางเหล็กเสริม หรือในพื้นที่ที่ยากต่อการใช้มวลรวมหยาบ เช่น หิน เป็นส่วนผสมในคอนกรีต ซึ่งสามารถใช้ซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์แทนได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการรับกำลังได้ดีกว่าซีเมนต์มอร์ต้าล้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. งานที่ผิวสัมผัสต้องสัมผัสกับสารเคมีหรือกรดเกลือ

ตัวอย่างเช่น งานก่อสร้างในทะเล ซึ่งกรดเกลือจะทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมในคอนกรีต ส่งผลให้โครงสร้างเกิดความเสียหายได้ ในขณะที่เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์นั้น ทนต่อกรดเกลือ มีคุณสมบัติเหมาะสมในการใช้งานในสภาวะเช่นนี้ได้

4. งานที่ต้องรองรับการกระแทก

ซีเมนต์มอร์ต้านั้นมีคุณสมบัติไม่เปราะหรือแตกหักยาก และป้องกันการแตกร้าวได้ดี จึงนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่น การหุ้มคอนกรีตบริเวณที่ต้องรับแรงกระแทกบ่อยๆ ตัวอย่างชิ้นงาน ได้แก่ บล็อกปูถนน ตัวหนอน ฯลฯ

5. ส่วนของโครงสร้างที่บาง หรือโค้งผิวบาง

โครงสร้างลักษณะบางหรือผิวโค้ง ทำการขึ้นรูปได้ยากจากซีเมนต์มอร์ต้าล้วน แต่ถ้ามีการผสมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์เข้าไปด้วยแล้ว จะช่วยให้การยึดเกาะของซีเมนต์มอร์ต้าและเส้นใยดีขึ้น ส่งผลให้ขึ้นรูปได้ง่าย และลดความเสียหายได้อีกด้วย

**7.3. ข้อเสนอแนะและการพัฒนา**

1. การเรียงตัวของเส้นใยในซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ จะมี 2 ลักษณะ คือ ลักษณะขวาง และขนานกับแนวการรับแรง ทำให้เกิดลักษณะการรับแรงที่ต่างกัน คือ ในการที่เส้นใยเรียงตัวในทิศทางขนานกับแนวการรับแรง จะช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานกำลังของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ ส่วนการเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางขวางกับแนวการรับแรง จะไม่ช่วยเพิ่ม แต่กลับจะลดความสามารถในการต้านทานกำลังลงอีกด้วย

ดังนั้น หากต้องการให้เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการรับกำลัง ควรพยายามจัดเรียงตัวของเส้นใยให้อยู่ในแนวทิศทางการรับแรงให้มากที่สุด

2. จากการทดสอบพบว่าการเพิ่มจำนวนเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ ทำให้ความสามารถในการรับกำลังของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยมากขึ้น และพบว่าบริเวณที่เกิดการวิบัติ จะเป็นบริเวณหน้าตัดที่มีจำนวนเส้นใยอยู่ปริมาณน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น หากต้องการให้ซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์รับกำลัง ได้ดีที่สุด ควรพยายามกระจายเส้นใยให้อยู่ในชิ้นงานอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การกระจายการรับกำลังแต่ละหน้าตัดของชิ้นงานเกิดสูงสุด

3. จากการผูกปมเพื่อเสริมพันธะให้แก่เส้นใยพลาสติกโพลิเอสเทอร์ โดยนำเส้นใยจำนวน 5-6 เส้น มาผูกปมรวมกัน ดังนั้น จะทำให้มัดของเส้นใยมีจำนวนน้อยลง เมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผูกปม จึงทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ บางหน้าตัดจะมีเส้นใยอยู่น้อย หรือเส้นใยจะรวมกันอยู่เป็นมัด ทำให้การรับกำลังเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

ดังนั้น การพัฒนาควรเสริมพันธะที่เส้นใยทุกเส้น เพื่อที่จะทำให้การกระจายตัวสม่ำเสมอมากขึ้น การเสริมพันธะอาจทำโดยการผูกปมทุกเส้น หรือทำการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยให้ขรุขระขึ้นก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# หนังสืออ้างอิง


- ดำรงศักดิ์ เจนกิจเจริญชัย, 13 พฤศจิกายน 2544. ผู้จัดการโรงงาน, บริษัท สยามเน็ท จำกัด. สัมภาษณ์.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2542. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่5, กรุงเทพฯ : บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้างจำกัด.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2543. คู่มือการทดสอบหิน ทรายและคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่3, กรุงเทพฯ : บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้างจำกัด.
- นวลแข ปาลิวนิช , 2542. ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย. ฉบับปรับปรุงใหม่ , กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- บริษัท พรีเมียร์ โพรดักส์ จำกัด. BUILDING MATERIAL PRODUCTS DIVISION. <URL:http://www.geocities.com/ppthailand/PPTHAILAND/HOME.htm>
- ประกิตศาสน์ ประสงค์จรรยา และ สิทธิชัย บังใบ, 2543. แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยพลาสติก. ปริญญานิพนธ์ ภาควิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปรเมศวร์ เหลือเทพ และ เอก กุลตั้งเจริญ, 2544. ซีเมนต์เสริมเส้นใยพลาสติกสำหรับวัสดุตกแต่งสำเร็จรูป. ปริญญานิพนธ์ ภาควิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วินิต ช่อวิเชียร, 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ : วินิต ช่อวิเชียร.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา , 2542 . วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ , 2538. คอนกรีตแนวใหม่. <URL:http://www.thaiengieering.com/>
- ASTM C78-01 ; Standard Test Methods for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), Annual Book of ASTM Standards Vol 04.02, American Society for Testing and Materials, 2001.
- ASTM D638-01 ; Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics, Annual Book of ASTM Standards Vol 08.01, American Society for Testing and Materials, 2001.
- ASTM E1512-01 ; Standard Test Methods for Testing Bond Performance of Bonded Anchors, Annual Book of ASTM Standards Vol 04.11, American Society for Testing and Materials, 2001.
- BS1881-116 : 1983 ; Standard Test Methods for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes, British Standards Institute, 1983.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# หนังสืออ้างอิง


- BS6432 : 1984 ; Standard Test Methods for Determining Properties of Glass Fiber Reinforced Cement Material, British Standards Institute, 1984.
- P.K.mallick, 1993. Fiber-reinforced composites. 2nd Ed., New York : Marcel Dekker.
- Texas Fiberglass Group, January 11, 2002. Alkali Resistant Fiberglass Roving For Reinforced Cement. <URL:http://www.fiberglass.to/products.htm>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

## ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์กับซีเมนต์มอร์ต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.1. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้า
กับเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

BONDING TEST FOR FIBER REINFORCED CEMENT

PROJECT :

SAMPLE FROM :

TEST METHOD : ASTM E1512-01 Test Date : 16-Mar-03

TEST SPECIMEN: Polyester Fibre

| Speciment No. | Max. Load (kgf.) | Contact Area ($cm.^2$) | Bonding Stress (ksc.) | Remarks |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.86 | 0.2512 | 3.42 | |
| 2 | 0.49 | 0.2512 | 1.95 | |
| 3 | 0.59 | 0.2512 | 2.35 | |
| 4 | 0.61 | 0.2512 | 2.43 | |
| 5 | 1.03 | 0.2512 | 4.10 | |
| 6 | 0.71 | 0.2512 | 2.83 | |
| 7 | 0.46 | 0.2512 | 1.83 | |
| 8 | 0.81 | 0.2512 | 3.22 | |
| 9 | 0.57 | 0.2512 | 2.27 | |
| 10 | 0.72 | 0.2512 | 2.87 | |
| 11 | 1.04 | 0.2512 | 4.14 | |
| | | Ave. | 2.86 | |

Denote:

L = Length of fiber 4.00 cm.

A = Contact Area = $\pi$DL $=\pi$x0.02x4.00 0.2512 $cm^2$

Test By : Mr.Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 16-Mar-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.2. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์มอร์ต้า
กับเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

BONDING TEST FOR FIBER REINFORCED CEMENT

PROJECT :
SAMPLE FROM :
TEST METHOD : ASTM E1512-01 Test Date : 16-Mar-03
TEST SPECIMEN: Bonding Polyester Fibre

| Speciment No. | Max. Load (kgf.) | Contact Area ($cm.^2$) | Bonding Stress (ksc.) | Remarks |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.36 | 0.2512 | 5.41 | เส้นใย |
| 2 | 1.03 | 0.2512 | 4.10 | ขาดก่อน |
| 3 | 1.32 | 0.2512 | 5.25 | ที่จะหลุด |
| 4 | 1.36 | 0.2512 | 5.41 | ออกจาก |
| 5 | 1.29 | 0.2512 | 5.14 | ซีเมนต์ |
| 6 | 1.09 | 0.2512 | 4.34 | มอร์ต้า |
| 7 | 1.37 | 0.2512 | 5.45 | |
| 8 | 1.39 | 0.2512 | 5.53 | |
| 9 | 1.12 | 0.2512 | 4.46 | |
| 10 | 1.09 | 0.2512 | 4.34 | |
| 11 | 0.92 | 0.2512 | 3.66 | |
| 12 | 1.28 | 0.2512 | 5.10 | |
| 13 | 0.93 | 0.2512 | 3.70 | |
| 14 | 0.98 | 0.2512 | 3.90 | |
| | | Ave. | 4.70 | |

Denote:

L = Length of fiber 4.00 cm.
A = Contact Area = $\pi$DL =$\pi$x0.02x4.00 0.2512 $cm^2$

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.
2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

Test By : Mr.Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot
Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 16-Mar-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

## ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ ที่อายุการบ่ม 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.1. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าแบบไม่เสริมเส้นใย ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT

**PROJECT** :

**SAMPLE FROM** :

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984.

**TEST SPECIMEN** : Cement Mortar

เลขที่นำส่ง

วันที่นำส่ง

วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 48.50 | 10.40 | 400.00 | 432.30 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 7.87 | | 37.51 | 2,142.64 | Using |
| 2 | | 51.60 | 11.54 | 400.00 | 467.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 13.19 | | 47.99 | 1,964.01 | the |
| 3 | | 51.15 | 10.33 | 400.00 | 444.70 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 7.77 | | 35.59 | 2,104.07 | cross- |
| 4 | | 51.15 | 10.89 | 400.00 | 471.50 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.31 | | 42.49 | 2,116.16 | head |
| 5 | | 51.20 | 10.00 | 400.00 | 436.00 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.77 | | 52.59 | 2,128.91 | speed = |
| 6 | | 51.09 | 10.61 | 400.00 | 459.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 9.37 | | 40.73 | 2,121.06 | 3.00 |
| 7 | | 50.65 | 10.45 | 400.00 | 456.60 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 7.38 | | 33.36 | 2,156.65 | mm per |
| 8 | | 51.25 | 10.33 | 400.00 | 445.60 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.16 | | 51.02 | 2,104.22 | minute |
| 9 | | 53.55 | 10.52 | 400.00 | 460.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 12.09 | | 51.00 | 2,045.37 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 43.58 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf — Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf — Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 18-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.2. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 1% ที่อายุการบ่ม 7 วัน

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**
**FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY**
**LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216**

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** : เลขที่นำส่ง

**SAMPLE FROM** : วันที่นำส่ง

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

**TEST SPECIMEN:** Polyester Fibre Reinforced Cement Material (1% by fiber weight per cement weight)

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume $kg/m^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 51.55 | 10.52 | 400.00 | 452.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.64 | | 51.01 | 2,087.38 | Using |
| 2 | | 50.90 | 10.37 | 400.00 | 436.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.11 | | 50.74 | 2,065.99 | the |
| 3 | | 51.78 | 11.01 | 400.00 | 436.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 7.95 | | 31.66 | 1,915.46 | cross- |
| 4 | | 51.95 | 10.96 | 400.00 | 475.70 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 9.56 | | 38.30 | 2,088.70 | head |
| 5 | | 52.04 | 11.26 | 400.00 | 485.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 12.93 | | 48.99 | 2,070.07 | speed = |
| 6 | | 51.95 | 11.31 | 400.00 | 496.30 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 13.59 | | 51.13 | 2,111.72 | 3.00 |
| 7 | | 52.90 | 10.60 | 400.00 | 464.40 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 6.49 | | 27.30 | 2,070.48 | mm per |
| 8 | | 51.39 | 10.96 | 400.00 | 455.70 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 8.67 | | 35.11 | 2,022.69 | minute |
| 9 | | 51.29 | 10.78 | 400.00 | 477.60 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 13.02 | | 54.61 | 2,159.50 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 43.21 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf — Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf — Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 18-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.3. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 2% ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT

**PROJECT** :

**SAMPLE FROM** :

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984.

**TEST SPECIMEN:** Polyester Fibre Reinforced Cement Material (2% by fiber weight per cement weight)

เลขที่นำส่ง

วันที่นำส่ง

วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume $kg/m^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 50.75 | 9.03 | 400.00 | 416.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 9.71 | | 58.66 | 2,270.48 | Using |
| 2 | | 51.10 | 9.75 | 400.00 | 422.30 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.11 | | 52.03 | 2,119.02 | the |
| 3 | | 51.20 | 9.57 | 400.00 | 421.40 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 8.22 | | 43.82 | 2,150.07 | cross- |
| 4 | | 53.32 | 11.00 | 400.00 | 456.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 13.56 | | 52.54 | 1,944.52 | head |
| 5 | | 51.90 | 8.84 | 400.00 | 416.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 7.40 | | 45.61 | 2,271.71 | speed = |
| 6 | | 51.92 | 10.11 | 400.00 | 438.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.58 | | 49.84 | 2,090.35 | 3.00 |
| 7 | | 51.97 | 9.90 | 400.00 | 412.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.21 | | 55.02 | 2,006.31 | mm per |
| 8 | | 48.98 | 9.55 | 400.00 | 418.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 8.93 | | 49.98 | 2,238.33 | minute |
| 9 | | 52.00 | 9.26 | 400.00 | 413.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 9.17 | | 51.41 | 2,145.29 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 50.99 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf — Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf — Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 18-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.4. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 3% ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** :

**SAMPLE FROM** :

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984.

**TEST SPECIMEN:** Polyester Fibre Reinforced Cement Material (3% by fiber weight per cement weight)

เลขที่นำส่ง

วันที่นำส่ง

วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume $kg/m^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 51.24 | 10.36 | 400.00 | 435.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.34 | | 47.00 | 2,052.38 | Using |
| 2 | | 52.26 | 9.43 | 400.00 | 422.70 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.78 | | 57.99 | 2,144.33 | the |
| 3 | | 51.14 | 11.26 | 400.00 | 486.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 13.27 | | 51.17 | 2,113.45 | cross- |
| 4 | | 52.34 | 9.81 | 400.00 | 413.00 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 9.97 | | 49.48 | 2,010.89 | head |
| 5 | | 51.44 | 10.24 | 400.00 | 444.40 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 14.06 | | 65.17 | 2,109.18 | speed = |
| 6 | | 51.85 | 10.25 | 400.00 | 438.60 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.97 | | 50.34 | 2,063.17 | 3.00 |
| 7 | | 52.04 | 11.28 | 400.00 | 479.40 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 15.23 | | 57.50 | 2,041.70 | mm per |
| 8 | | 52.28 | 9.68 | 400.00 | 423.30 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.01 | | 56.19 | 2,091.11 | minute |
| 9 | | 52.09 | 10.27 | 400.00 | 444.10 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.50 | | 47.78 | 2,075.37 | |
| 10 | | 50.05 | 11.51 | 400.00 | 467.30 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 14.22 | | 53.61 | 2,027.95 | |
| 11 | | 52.33 | 9.64 | 400.00 | 410.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 9.80 | | 50.38 | 2,035.84 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 53.33 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf — Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf — Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 18-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.5. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 4% ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT

**PROJECT** :

**SAMPLE FROM** :

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984.

**TEST SPECIMEN:** Polyester Fibre Reinforced Cement Material (4% by fiber weight per cement weight)

เลขที่นำส่ง
วันที่นำส่ง
วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 50.65 | 10.47 | 400.00 | 432.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 15.95 | | 71.82 | 2,040.80 | Using |
| 2 | | 51.73 | 10.04 | 400.00 | 454.10 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.98 | | 52.64 | 2,185.82 | the |
| 3 | | 52.30 | 8.65 | 400.00 | 412.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 12.97 | | 82.86 | 2,281.19 | cross- |
| 4 | | 51.70 | 10.32 | 400.00 | 457.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 19.07 | | 86.58 | 2,145.56 | head |
| 5 | | 49.66 | 9.75 | 400.00 | 426.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.51 | | 60.95 | 2,200.61 | speed = |
| 6 | | 49.95 | 9.84 | 400.00 | 447.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 17.02 | | 87.98 | 2,274.63 | 3.00 |
| 7 | | 52.35 | 10.02 | 400.00 | 470.70 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 13.00 | | 61.83 | 2,243.36 | mm per |
| 8 | | 50.60 | 10.57 | 400.00 | 452.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.66 | | 51.56 | 2,116.51 | minute |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 69.53 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf — Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf — Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 18-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.6. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 1% ที่อายุการบ่ม 7 วัน

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**
**FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY**
**LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216**

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** :

**SAMPLE FROM :**

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984.

**TEST SPECIMEN:** Bonding Polyester Fibre Reinforced Cement Material (1% by fiber weight per cement weight)

เลขที่นำส่ง

วันที่นำส่ง

วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume $kg/m^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 51.50 | 9.82 | 400.00 | 426.40 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 9.30 | | 46.82 | 2,107.84 | Using |
| 2 | | 51.45 | 10.50 | 400.00 | 440.00 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 12.23 | | 53.90 | 2,036.19 | the |
| 3 | | 52.40 | 11.39 | 400.00 | 496.50 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 13.51 | | 49.68 | 2,079.72 | cross- |
| 4 | | 51.40 | 10.91 | 400.00 | 448.50 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.52 | | 42.99 | 1,999.47 | head |
| 5 | | 51.50 | 11.75 | 400.00 | 484.50 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.65 | | 37.45 | 2,001.65 | speed = |
| 6 | | 51.45 | 10.15 | 400.00 | 424.50 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.64 | | 54.90 | 2,032.20 | 3.00 |
| 7 | | 51.85 | 9.22 | 400.00 | 407.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 7.42 | | 42.09 | 2,129.45 | mm per |
| 8 | | 51.50 | 10.01 | 400.00 | 445.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.22 | | 49.51 | 2,159.01 | minute |
| 9 | | 52.10 | 9.40 | 400.00 | 438.70 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 9.13 | | 49.58 | 2,239.45 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 47.44 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 18-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.7. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 2% ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** :

**SAMPLE FROM** :

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984.

**TEST SPECIMEN:** Bonding Polyester Fibre Reinforced Cement Material (2% by fiber weight per cement weight)

เลขที่นำส่ง

วันที่นำส่ง

วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume $kg/m^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 51.14 | 10.37 | 400.00 | 441.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.03 | | 50.14 | 2,079.87 | Using |
| 2 | | 49.62 | 9.88 | 400.00 | 423.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 9.04 | | 46.66 | 2,161.67 | the |
| 3 | | 50.29 | 10.27 | 400.00 | 455.10 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.72 | | 50.53 | 2,202.90 | cross- |
| 4 | | 50.95 | 10.36 | 400.00 | 472.60 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.18 | | 51.11 | 2,238.36 | head |
| 5 | | 49.65 | 10.48 | 400.00 | 449.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.97 | | 50.29 | 2,161.12 | speed = |
| 6 | | 52.50 | 9.68 | 400.00 | 440.40 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 12.11 | | 61.54 | 2,166.47 | 3.00 |
| 7 | | 51.64 | 9.64 | 400.00 | 419.30 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 10.28 | | 53.55 | 2,105.72 | mm per |
| 8 | | 52.56 | 9.77 | 400.00 | 444.30 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 8.94 | | 44.55 | 2,163.05 | minute |
| 9 | | 51.92 | 10.60 | 400.00 | 466.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.45 | | 49.07 | 2,117.74 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 50.83 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 18-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.8. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 3% ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT

**PROJECT** :

**SAMPLE FROM** :

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984.

**TEST SPECIMEN**: Bonding Polyester Fibre Reinforced Cement Material (3% by fiber weight per cement weight)

เลขที่นำส่ง

วันที่นำส่ง

วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume $kg/m^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 51.46 | 11.17 | 400.00 | 452.40 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.22 | | 43.69 | 1,967.61 | Using |
| 2 | | 51.25 | 10.97 | 400.00 | 460.10 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 15.23 | | 61.74 | 2,045.93 | the |
| 3 | | 53.55 | 10.87 | 400.00 | 468.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 12.86 | | 50.81 | 2,013.87 | cross- |
| 4 | | 52.85 | 11.13 | 400.00 | 476.40 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.09 | | 42.35 | 2,024.75 | head |
| 5 | | 52.17 | 10.13 | 400.00 | 440.10 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 14.88 | | 69.49 | 2,081.91 | speed = |
| 6 | | 52.00 | 11.87 | 400.00 | 488.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 14.60 | | 49.82 | 1,979.78 | 3.00 |
| 7 | | 51.79 | 11.36 | 400.00 | 493.20 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 12.40 | | 46.38 | 2,095.75 | mm per |
| 8 | | 51.55 | 10.76 | 400.00 | 455.90 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 12.59 | | 52.74 | 2,054.80 | minute |
| 9 | | 52.18 | 11.23 | 400.00 | 478.50 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 16.51 | | 62.72 | 2,041.45 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 53.30 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 18-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.9. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 4% ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT

**PROJECT** : เลขที่นำส่ง

**SAMPLE FROM** : วันที่นำส่ง

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

**TEST SPECIMEN:** Bonding Polyester Fibre Reinforced Cement Material (4% by fiber weight per cement weight)

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume $kg/m^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 51.60 | 11.51 | 400.00 | 496.40 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 18.62 | | 68.10 | 2,089.52 | Using |
| 2 | | 51.45 | 10.95 | 400.00 | 475.70 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.54 | | 46.77 | 2,110.93 | the |
| 3 | | 51.27 | 10.15 | 400.00 | 456.60 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 15.46 | | 73.17 | 2,193.55 | cross- |
| 4 | | 51.56 | 11.39 | 400.00 | 496.50 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 14.29 | | 53.41 | 2,113.60 | head |
| 5 | | 52.00 | 11.46 | 400.00 | 489.30 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 18.24 | | 66.77 | 2,052.71 | speed = |
| 6 | | 52.13 | 11.31 | 400.00 | 491.10 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 14.83 | | 55.60 | 2,082.38 | 3.00 |
| 7 | | 52.28 | 10.91 | 400.00 | 478.70 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 20.88 | | 83.89 | 2,098.18 | mm per |
| 8 | | 52.18 | 10.61 | 400.00 | 460.80 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 11.17 | | 47.54 | 2,080.81 | minute |
| 9 | | 51.44 | 10.37 | 400.00 | 441.60 | 3/11/03 | 3/18/03 | 7 | | 15.61 | | 70.55 | 2,069.61 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 62.87 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 18-Mar-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค

## ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ ที่อายุการบ่ม 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.1. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าแบบไม่เสริมเส้นใย
ที่อายุการบ่ม 28 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** :

**SAMPLE FROM :**

**TEST METHOD :** BS 6432 :1984.

**TEST SPECIMEN:** Cement Mortar

เลขที่นำส่ง

วันที่นำส่ง

วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 51.35 | 12.32 | 400.00 | 500.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 18.28 | | 58.63 | 1,979.43 | Using |
| 2 | | 51.39 | 11.23 | 400.00 | 469.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 16.63 | | 64.15 | 2,032.98 | the |
| 3 | | 51.76 | 11.40 | 400.00 | 482.00 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 16.70 | | 62.07 | 2,042.15 | cross- |
| 4 | | 51.50 | 11.63 | 400.00 | 492.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 8.36 | | 30.00 | 2,056.95 | head |
| 5 | | 50.95 | 9.95 | 400.00 | 453.00 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.05 | | 59.72 | 2,233.94 | speed = |
| 6 | | 51.59 | 10.23 | 400.00 | 456.10 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.32 | | 61.74 | 2,161.58 | 3.00 |
| 7 | | 49.66 | 10.55 | 400.00 | 449.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.18 | | 55.09 | 2,146.35 | mm per |
| 8 | | 50.20 | 10.33 | 400.00 | 461.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 9.45 | | 44.15 | 2,226.45 | minute |
| 9 | | 52.43 | 9.82 | 400.00 | 446.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.65 | | 52.66 | 2,166.60 | |
| 10 | | 51.45 | 10.15 | 400.00 | 460.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.43 | | 72.78 | 2,205.02 | |
| 11 | | 50.60 | 9.71 | 400.00 | 458.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.24 | | 58.96 | 2,336.21 | |
| 12 | | 50.80 | 11.05 | 400.00 | 442.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.65 | | 59.05 | 1,969.84 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 56.58 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 16-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.2. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 1% ที่อายุการบ่ม 28 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** : เลขที่นำส่ง

**SAMPLE FROM** : วันที่นำส่ง

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

**TEST SPECIMEN:** Polyester Fibre Reinforced Cement Material (1% by fiber weight per cement weight)

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m³ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 51.35 | 11.42 | 400.00 | 535.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.35 | | 57.35 | 2,283.08 | Using |
| 2 | | 51.65 | 10.80 | 400.00 | 487.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.90 | | 61.83 | 2,186.19 | the |
| 3 | | 52.19 | 8.74 | 400.00 | 421.10 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 9.35 | | 58.63 | 2,307.95 | cross- |
| 4 | | 51.60 | 10.41 | 400.00 | 451.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.02 | | 49.27 | 2,099.95 | head |
| 5 | | 49.90 | 13.47 | 400.00 | 522.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 19.56 | | 54.01 | 1,944.87 | speed = |
| 6 | | 51.55 | 8.27 | 400.00 | 429.00 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 7.27 | | 51.55 | 2,515.72 | 3.00 |
| 7 | | 52.45 | 11.49 | 400.00 | 496.10 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 8.69 | | 31.37 | 2,057.99 | mm per |
| 8 | | 50.57 | 12.00 | 400.00 | 513.10 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 18.18 | | 62.41 | 2,113.82 | minute |
| 9 | | 51.05 | 10.83 | 400.00 | 485.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.96 | | 45.76 | 2,194.45 | |
| 10 | | 52.28 | 10.62 | 400.00 | 470.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.56 | | 57.49 | 2,118.55 | |
| 11 | | 51.20 | 1.19 | 400.00 | 460.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.43 | | 40.67 | 2,011.16 | |
| 12 | | 51.43 | 11.39 | 400.00 | 497.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 4.86 | | 18.21 | 2,124.49 | |
| 13 | | 51.60 | 10.98 | 400.00 | 482.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.90 | | 55.86 | 2,130.37 | |
| 14 | | 51.53 | 11.31 | 400.00 | 486.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.97 | | 60.57 | 2,086.03 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 50.36 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 16-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.
2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.3. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 2% ที่อายุการบ่ม 28 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** :

**SAMPLE FROM :**

**TEST METHOD :** BS 6432 :1984.

**TEST SPECIMEN:** Polyester Fibre Reinforced Cement Material (2% by fiber weight per cement weight)

เลขที่นำส่ง

วันที่นำส่ง

วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 52.56 | 11.09 | 400.00 | 488.40 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 7.28 | | 28.15 | 2,094.73 | Using |
| 2 | | 51.44 | 12.70 | 400.00 | 548.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 16.86 | | 50.80 | 2,098.23 | the |
| 3 | | 51.28 | 12.73 | 400.00 | 549.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 20.59 | | 61.94 | 2,105.56 | cross- |
| 4 | | 50.94 | 12.14 | 400.00 | 520.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.50 | | 51.61 | 2,104.99 | head |
| 5 | | 50.51 | 11.82 | 400.00 | 500.00 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.53 | | 55.02 | 2,093.70 | speed = |
| 6 | | 50.30 | 11.88 | 400.00 | 506.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.63 | | 44.48 | 2,118.18 | 3.00 |
| 7 | | 52.05 | 12.92 | 400.00 | 502.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 19.05 | | 54.81 | 1,868.81 | mm per |
| 8 | | 49.61 | 11.41 | 400.00 | 464.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.42 | | 44.20 | 2,052.82 | minute |
| 9 | | 50.95 | 11.31 | 400.00 | 429.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.87 | | 49.37 | 1,864.23 | |
| 10 | | 50.50 | 10.72 | 400.00 | 482.40 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.30 | | 61.60 | 2,227.72 | |
| 11 | | 51.27 | 10.50 | 400.00 | 478.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.67 | | 69.31 | 2,223.99 | |
| 12 | | 51.94 | 13.17 | 400.00 | 554.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 19.49 | | 54.09 | 2,026.90 | |
| 13 | | 50.95 | 12.31 | 400.00 | 522.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 18.65 | | 60.39 | 2,083.48 | |
| 14 | | 51.60 | 12.17 | 400.00 | 515 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 20.31 | | 66.44 | 2,050.25 | |
| 15 | | 51.35 | 12.90 | 400.00 | 535.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 18.78 | | 54.94 | 2,022.52 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 53.81 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 16-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.
2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.4. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 3% ที่อายุการบ่ม 28 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** : เลขที่นำส่ง

**SAMPLE FROM** : วันที่นำส่ง

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

**TEST SPECIMEN:** Polyester Fibre Reinforced Cement Material (3% by fiber weight per cement weight)

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume $kg/m^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 52.00 | 11.94 | 400.00 | 511.40 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.14 | | 51.06 | 2,059.17 | Using |
| 2 | | 49.70 | 9.51 | 400.00 | 454.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 9.98 | | 55.51 | 2,406.13 | the |
| 3 | | 52.90 | 10.00 | 400.00 | 454.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.81 | | 74.72 | 2,148.39 | cross- |
| 4 | | 49.70 | 10.88 | 400.00 | 455.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 6.88 | | 29.24 | 2,104.54 | head |
| 5 | | 49.70 | 8.52 | 400.00 | 375.10 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.03 | | 69.50 | 2,214.58 | speed = |
| 6 | | 52.20 | 10.50 | 400.00 | 484.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 16.01 | | 69.55 | 2,210.36 | 3.00 |
| 7 | | 52.05 | 11.21 | 400.00 | 495.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 8.92 | | 34.09 | 2,124.32 | mm per |
| 8 | | 50.00 | 10.62 | 400.00 | 463.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.08 | | 44.69 | 2,183.62 | minute |
| 9 | | 50.45 | 10.60 | 400.00 | 452.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.68 | | 55.92 | 2,114.46 | |
| 10 | | 51.75 | 10.87 | 400.00 | 472.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 17.58 | | 71.88 | 2,099.92 | |
| 11 | | 51.40 | 10.65 | 400.00 | 449.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.95 | | 59.82 | 2,053.76 | |
| 12 | | 51.50 | 9.24 | 400.00 | 445.10 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 8.67 | | 49.30 | 2,338.40 | |
| 13 | | 51.49 | 10.13 | 400.00 | 450.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.70 | | 64.82 | 2,161.16 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 56.16 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.
2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 16-Mar-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.5. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ 4% ที่อายุการบ่ม 28 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** : เลขที่นำส่ง

**SAMPLE FROM** : วันที่นำส่ง

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

**TEST SPECIMEN:** Polyester Fibre Reinforced Cement Material (4% by fiber weight per cement weight)

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 49.50 | 13.00 | 400.00 | 505.40 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 26.92 | | 80.45 | 1,963.48 | Using |
| 2 | | 50.55 | 12.40 | 400.00 | 494.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 18.17 | | 58.44 | 1,973.05 | the |
| 3 | | 51.35 | 11.32 | 400.00 | 490.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.70 | | 55.85 | 2,108.70 | cross- |
| 4 | | 51.65 | 10.40 | 400.00 | 474.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.27 | | 63.86 | 2,209.30 | head |
| 5 | | 52.30 | 12.72 | 400.00 | 493.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 20.23 | | 59.77 | 1,854.55 | speed = |
| 6 | | 52.20 | 12.02 | 400.00 | 492.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.63 | | 51.81 | 1,962.33 | 3.00 |
| 7 | | 50.60 | 11.45 | 400.00 | 433.00 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.92 | | 60.00 | 1,868.41 | mm per |
| 8 | | 50.00 | 12.28 | 400.00 | 481.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 18.41 | | 61.04 | 1,959.69 | minute |
| 9 | | 51.29 | 12.13 | 400.00 | 481.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 20.87 | | 69.14 | 1,935.23 | |
| 10 | | 51.78 | 10.25 | 400.00 | 467.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.78 | | 54.13 | 2,200.68 | |
| 11 | | 51.44 | 10.37 | 400.00 | 455.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.44 | | 60.74 | 2,133.35 | |
| 12 | | 51.85 | 11.59 | 400.00 | 460.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.34 | | 47.88 | 1,916.16 | |
| 13 | | 50.50 | 12.68 | 400.00 | 497.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 22.33 | | 68.75 | 1,941.55 | |
| 14 | | 51.33 | 11.66 | 400.00 | 457.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 17.24 | | 61.76 | 1,910.17 | |
| 15 | | 50.30 | 11.42 | 400.00 | 461.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.87 | | 56.67 | 2,009.40 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 60.69 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 16-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.
2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.6. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 1% ที่อายุการบ่ม 28 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** : เลขที่นำส่ง

**SAMPLE FROM** : วันที่นำส่ง

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

**TEST SPECIMEN**: Bonding Polyester Fibre Reinforced Cement Material (1% by fiber weight per cement weight)

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 50.90 | 11.29 | 400.00 | 472.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.51 | | 55.91 | 2,057.30 | Using |
| 2 | | 51.15 | 13.08 | 400.00 | 543.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 20.79 | | 59.39 | 2,029.77 | the |
| 3 | | 50.90 | 11.09 | 400.00 | 478.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.94 | | 59.66 | 2,119.65 | cross- |
| 4 | | 51.19 | 11.22 | 400.00 | 488.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.54 | | 52.53 | 2,125.44 | head |
| 5 | | 51.65 | 9.60 | 400.00 | 465.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.10 | | 58.30 | 2,346.02 | speed = |
| 6 | | 51.30 | 10.00 | 400.00 | 445.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.02 | | 53.70 | 2,171.05 | 3.00 |
| 7 | | 51.80 | 10.00 | 400.00 | 427.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 4.58 | | 22.10 | 2,064.67 | mm per |
| 8 | | 51.18 | 10.79 | 400.00 | 479.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.58 | | 56.98 | 2,171.19 | minute |
| 9 | | 57.58 | 10.28 | 400.00 | 462.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.32 | | 42.40 | 1,953.38 | |
| 10 | | 51.89 | 11.92 | 400.00 | 528.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.07 | | 51.10 | 2,136.12 | |
| 11 | | 51.36 | 11.86 | 400.00 | 503.00 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 18.71 | | 64.75 | 2,064.42 | |
| 12 | | 51.88 | 10.70 | 400.00 | 494.40 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.24 | | 55.73 | 2,226.56 | |
| 13 | | 51.80 | 9.92 | 400.00 | 486.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.74 | | 52.67 | 2,365.45 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 52.71 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 16-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.7. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 2% ที่อายุการบ่ม 28 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** : เลขที่นำส่ง

**SAMPLE FROM** : วันที่นำส่ง

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

**TEST SPECIMEN:** Bonding Polyester Fibre Reinforced Cement Material (2% by fiber weight per cement weight)

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 52.23 | 10.73 | 400.00 | 491.40 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.12 | | 58.70 | 2,192.08 | Using |
| 2 | | 51.40 | 10.35 | 400.00 | 456.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.12 | | 59.57 | 2,145.25 | the |
| 3 | | 51.95 | 10.97 | 400.00 | 456.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.55 | | 58.18 | 2,002.57 | cross- |
| 4 | | 49.95 | 11.99 | 400.00 | 460.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.50 | | 43.52 | 1,922.27 | head |
| 5 | | 51.63 | 13.47 | 400.00 | 492.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 16.66 | | 44.46 | 1,770.42 | speed = |
| 6 | | 51.53 | 10.57 | 400.00 | 470.40 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.66 | | 54.97 | 2,159.10 | 3.00 |
| 7 | | 51.40 | 9.95 | 400.00 | 431.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.53 | | 56.64 | 2,110.75 | mm per |
| 8 | | 51.55 | 11.25 | 400.00 | 481.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.27 | | 50.85 | 2,076.95 | minute |
| 9 | | 51.24 | 10.38 | 400.00 | 454.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.89 | | 53.84 | 2,137.27 | |
| 10 | | 51.65 | 11.15 | 400.00 | 465.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.46 | | 56.30 | 2,022.06 | |
| 11 | | 50.85 | 10.33 | 400.00 | 436.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.48 | | 57.50 | 2,078.89 | |
| 12 | | 50.80 | 11.07 | 400.00 | 477.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.22 | | 45.06 | 2,123.65 | |
| 13 | | 52.60 | 11.89 | 400.00 | 504.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 16.59 | | 55.77 | 2,015.46 | |
| 14 | | 51.90 | 10.20 | 400.00 | 445.30 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 13.35 | | 61.81 | 2,102.93 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 54.08 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf — Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf — Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 16-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.
2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.8. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 3% ที่อายุการบ่ม 28 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** : เลขที่นำส่ง

**SAMPLE FROM** : วันที่นำส่ง

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

**TEST SPECIMEN:** Bonding Polyester Fibre Reinforced Cement Material (3% by fiber weight per cement weight)

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 51.00 | 10.62 | 400.00 | 462.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.39 | | 53.85 | 2,136.65 | Using |
| 2 | | 51.40 | 13.75 | 400.00 | 561.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 25.92 | | 66.68 | 1,985.14 | the |
| 3 | | 51.45 | 9.62 | 400.00 | 448.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.39 | | 54.55 | 2,263.87 | cross- |
| 4 | | 52.00 | 9.00 | 400.00 | 423.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.24 | | 60.78 | 2,263.89 | head |
| 5 | | 51.80 | 7.57 | 400.00 | 417.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 8.05 | | 67.80 | 2,659.86 | speed = |
| 6 | | 51.20 | 11.84 | 400.00 | 515.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 17.56 | | 61.16 | 2,126.33 | 3.00 |
| 7 | | 52.00 | 12.07 | 400.00 | 502.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 20.46 | | 67.52 | 2,002.34 | mm per |
| 8 | | 51.38 | 10.52 | 400.00 | 478.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.92 | | 56.80 | 2,211.77 | minute |
| 9 | | 52.24 | 11.32 | 400.00 | 523.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 20.42 | | 76.26 | 2,213.13 | |
| 10 | | 52.20 | 11.25 | 400.00 | 483.00 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.62 | | 55.32 | 2,056.19 | |
| 11 | | 52.10 | 11.53 | 400.00 | 481.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 18.67 | | 67.39 | 2,005.53 | |
| 12 | | 51.78 | 12.27 | 400.00 | 520.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 12.63 | | 40.50 | 2,046.93 | |
| 13 | | 51.54 | 11.32 | 400.00 | 479.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 17.00 | | 64.35 | 2,055.94 | |
| 14 | | 51.23 | 9.87 | 400.00 | 473.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 6.90 | | 34.56 | 2,342.58 | |
| 15 | | 51.45 | 11.80 | 400.00 | 482.50 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 14.75 | | 51.47 | 1,986.87 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 58.60 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 16-Mar-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.
2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.9. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ 4% ที่อายุการบ่ม 28 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

**FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT**

**PROJECT** : เลขที่นำส่ง

**SAMPLE FROM** : วันที่นำส่ง

**TEST METHOD** : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

**TEST SPECIMEN:** Bonding Polyester Fibre Reinforced Cement Material (4% by fiber weight per cement weight)

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 50.60 | 11.57 | 400.00 | 460.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.58 | | 57.50 | 1,967.32 | Using |
| 2 | | 51.15 | 11.00 | 400.00 | 440.70 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 9.61 | | 38.82 | 1,958.14 | the |
| 3 | | 50.60 | 11.60 | 400.00 | 442.10 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 15.31 | | 56.21 | 1,883.01 | cross- |
| 4 | | 50.85 | 12.19 | 400.00 | 468.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 19.25 | | 63.69 | 1,890.74 | head |
| 5 | | 51.90 | 11.57 | 400.00 | 530.80 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 20.29 | | 73.01 | 2,209.89 | speed = |
| 6 | | 52.00 | 11.80 | 400.00 | 518.20 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 19.70 | | 68.02 | 2,111.31 | 3.00 |
| 7 | | 51.00 | 12.50 | 400.00 | 512.00 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 19.26 | | 60.42 | 2,007.84 | mm per |
| 8 | | 51.50 | 13.05 | 400.00 | 532.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 25.51 | | 72.71 | 1,982.29 | minute |
| 9 | | 51.04 | 10.03 | 400.00 | 435.10 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 10.77 | | 52.44 | 2,124.80 | |
| 10 | | 50.90 | 11.13 | 400.00 | 460.90 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 16.31 | | 64.67 | 2,033.92 | |
| 11 | | 51.68 | 11.14 | 400.00 | 472.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 17.86 | | 69.62 | 2,052.23 | |
| 12 | | 50.80 | 9.82 | 400.00 | 421.10 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 11.42 | | 58.28 | 2,110.33 | |
| 13 | | 51.58 | 11.43 | 400.00 | 534.60 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 21.97 | | 81.51 | 2,266.95 | |
| 14 | | 52.23 | 10.98 | 400.00 | 504.00 | 2/16/03 | 3/16/03 | 28 | | 16.08 | | 63.84 | 2,184.54 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 62.91 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf — Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf — Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, mm

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.
2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 16-Mar-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

## ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ของซีเมนต์มอร์ต้า ที่อายุการบ่ม 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ง.1. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 326 - 9974

BONDING TEST FOR FIBER REINFORCED CEMENT

PROJECT :
SAMPLE FROM :
TEST METHOD : ASTM C109-92 Test Date : **11-Apr-03**
TEST SPECIMEN: Cement Mortar

| Speciment No. | Weight (g) | Max. Load (kgf.) | Stress (ksc.) | Remarks |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 261.80 | 14150.00 | 565.90 | Using |
| 2 | 259.30 | 13420.00 | 536.70 | the |
| 3 | 257.40 | 13670.00 | 546.80 | cross |
| 4 | 262.50 | 13740.00 | 549.60 | head |
| 5 | 268.50 | 14690.00 | 587.70 | speed = |
| 6 | 256.40 | 14220.00 | 568.70 | 10.00 |
| 7 | 258.50 | 13440.00 | 537.70 | mm per |
| 8 | 256.30 | 14290.00 | 571.60 | minute |
| 9 | 263.20 | 13690.00 | 547.70 | |
| 10 | 261.10 | 14170.00 | 566.80 | |
| 11 | 262.20 | 14640.00 | 585.50 | |
| 12 | 266.10 | 13720.00 | 548.60 | |
| | | Ave. | 559.44 | |

Denote:

Test By : Mr.Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Note:
1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.
2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

Approved By :
Mr. Laemthong Laokhongthavorn
Date 11-Apr-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก จ

## ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ ที่อายุการบ่ม 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.จ.1. แสดงผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด 3 จุด ของคานซีเมนต์มอร์ต้าร์
แบบไม่เสริมเส้นใย ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT

PROJECT :
SAMPLE FROM :
TEST METHOD : BS 6432 :1984.
TEST SPECIMEN: Cement Mortar Material

เลขที่นำส่ง
วันที่นำส่ง
วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 52.00 | 107.00 | 400.00 | 4,677.80 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 973.80 | | 46.82 | 2,101.82 | Using the cross-head speed = 10.00 mm per minute |
| 2 | | 53.20 | 106.90 | 400.00 | 4,754.80 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 963.70 | | 45.29 | 2,090.18 | |
| 3 | | 47.60 | 105.90 | 400.00 | 4,329.70 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 914.50 | | 48.03 | 2,147.31 | |
| 4 | | 51.00 | 106.00 | 400.00 | 4,532.80 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 832.70 | | 40.82 | 2,096.19 | |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 45.24 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf — Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf — Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, = 100.00 mm.

Test By : Mr. Methawat Boonpitak
Mr. Pongpat Tongpiam
Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 02-Apr-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.จ.2. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของคานซีเมนต์มอร์ต้าร์เสริมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT

PROJECT :

SAMPLE FROM :

TEST METHOD : BS 6432 :1984.

TEST SPECIMEN: Polyester Fibre Reinforced Cement Material

เลขที่นำส่ง

วันที่นำส่ง

วันที่รับผล

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume $kg/m^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 54.10 | 105.10 | 400.00 | 4,657.10 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 743.10 | | 34.34 | 2,047.65 | Using the |
| 2 | | 50.00 | 108.70 | 400.00 | 4,653.60 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 738.70 | | 36.94 | 2,140.57 | crosshead |
| 3 | | 48.20 | 111.30 | 400.00 | 4,390.00 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 1161.00 | | 60.22 | 2,045.80 | speed = |
| 4 | | 48.60 | 110.00 | 400.00 | 4,476.20 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 1323.00 | | 68.06 | 2,093.25 | 10.00 |
| 5 | | 50.50 | 105.60 | 400.00 | 4,378.70 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 1095.00 | | 54.21 | 2,052.72 | mm per |
| 6 | | 49.50 | 108.50 | 400.00 | 4,409.60 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 744.30 | | 37.59 | 2,052.60 | minute |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 48.56 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, = 100.00 mm.

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, $kg/cm^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak

Mr. Pongpat Tongpiam

Ms. Juthamard Subongkot

Approved By : Mr. Laemthong Laokhongthavorn

Date 02-Apr-03

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.จ.3. แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด 3 จุด ของคานซีเมนต์มอร์ต้าร์เสริมเส้นใยพลาสติก โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ ที่อายุการบ่ม 7 วัน

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2326 - 4216

FLEXURAL STRENGTH TEST FOR FIBRE REINFORCED CEMENT

PROJECT : เลขที่นำส่ง

SAMPLE FROM : วันที่นำส่ง

TEST METHOD : BS 6432 :1984. วันที่รับผล

TEST SPECIMEN: Bonding Polyester Fibre Reinforced Cement Material

| Spec. No. | Code | Width (mm) | Thickness (mm) | Length (mm) | Weight (g) | Date of Cast (m/d/y) | Date of Test (m/d/y) | Ages (days) | Load LOP (kgf) | Load Max (kgf) | Stress LOP (ksc) | Stress MOR (ksc) | Weight per Volume kg/m$^3$ | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 50.60 | 106.50 | 400.00 | 4,368.60 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 824.90 | | 40.76 | 2,026.67 | Using the |
| 2 | | 50.80 | 107.40 | 400.00 | 4,560.90 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 848.40 | | 41.75 | 2,089.89 | crosshead |
| 3 | | 49.20 | 107.90 | 400.00 | 4,374.60 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 1016.00 | | 51.63 | 2,060.12 | speed = |
| 4 | | 48.20 | 109.10 | 400.00 | 4,344.90 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 805.10 | | 41.76 | 2,065.61 | 10.00 |
| 5 | | 48.40 | 108.50 | 400.00 | 4,255.80 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 839.10 | | 43.34 | 2,026.03 | mm per |
| 6 | | 49.60 | 105.40 | 400.00 | 4,349.50 | 3/26/03 | 4/2/03 | 7 | | 561.80 | | 28.32 | 2,079.97 | minute |
| | | | | | | | | | | Ave. | | 41.26 | | |

Denote:

LOP : Load at Limit of Proportionality ($P_1$), kgf

MOR: Modulus of Rupture (Max. Load) ($P_2$), kgf

L = The major span, = 250.00 mm.

l = The minor span, = 83.33 mm.

b = The specimen width, mm

d = The specimen thickness, = 100.00 mm.

Stress at LOP = $P_1L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Stress at MOR = $P_2L/(bd^2)$, kg/cm$^2$

Test By : Mr. Methawat Boonpitak

Mr. Pongpat Tongpiam

Ms. Juthamard Subongkot

Note:

1) CERTIFICATION APPLIES TO TEST SAMPLES ONLY.

2) NO ERASURE OR ALTERATIONS.

Approved By :

Mr. Laemthong Laokhongthavorn

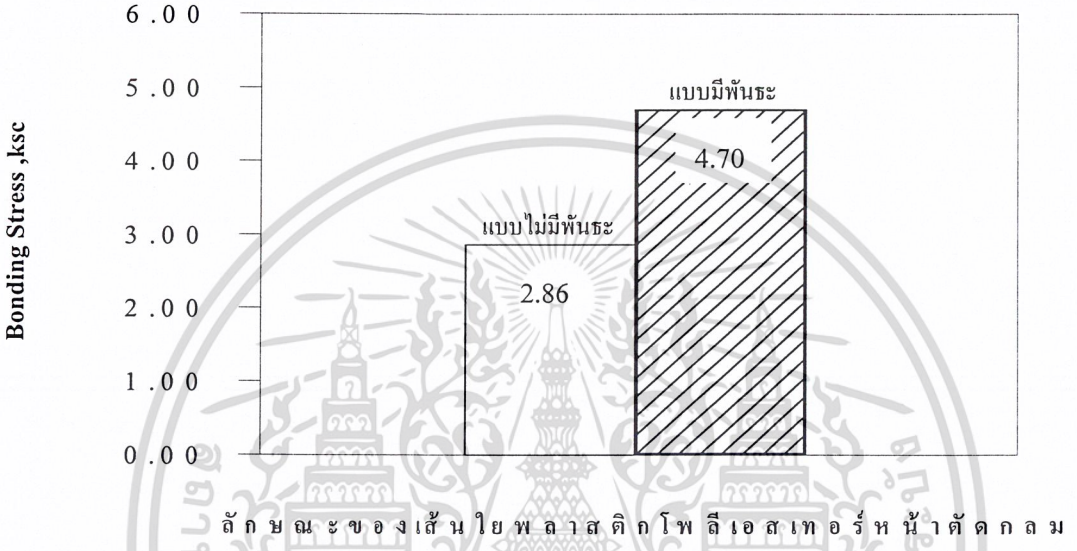
Date 02-Apr-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฉ

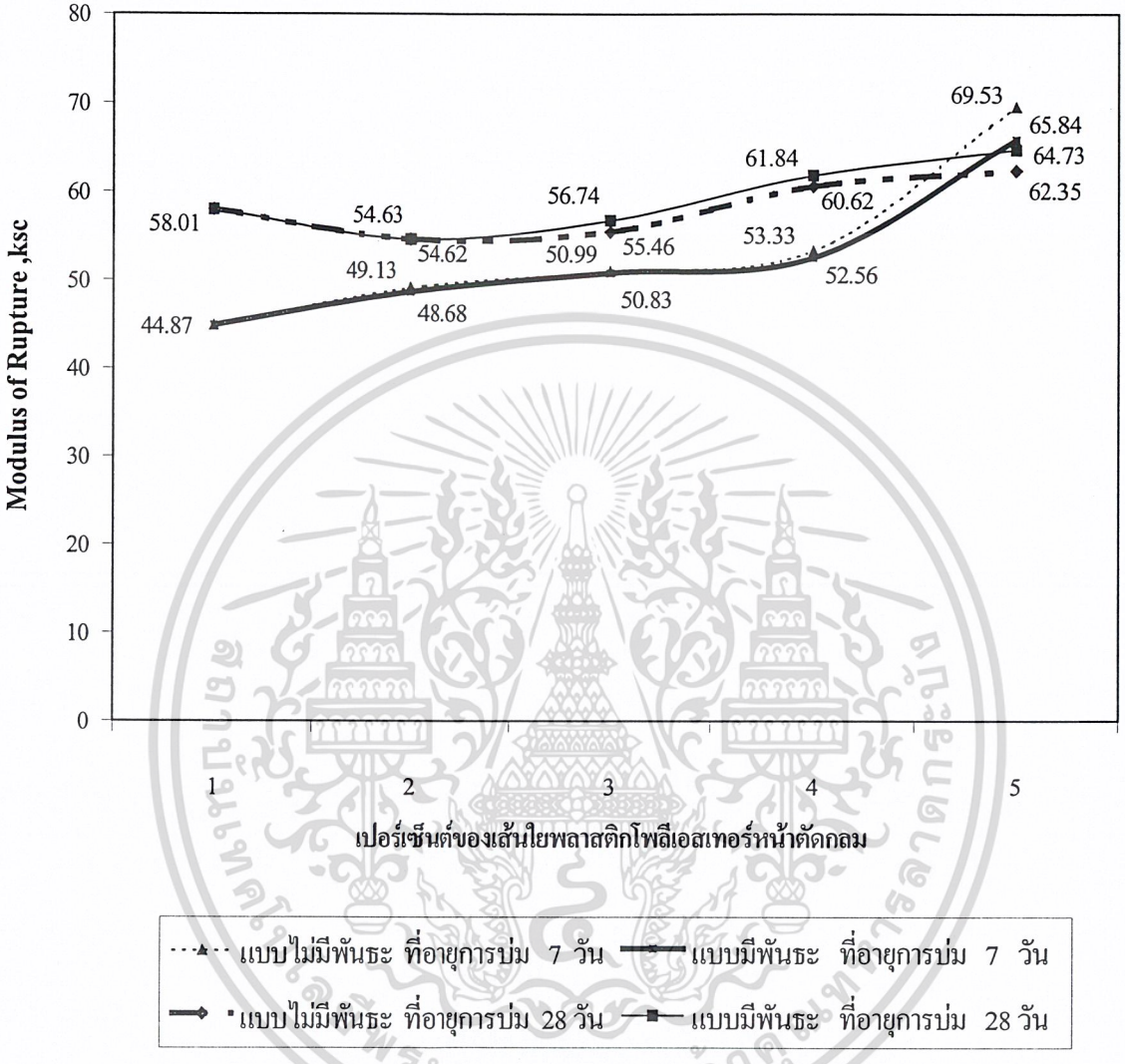
## แผนภูมิและกราฟวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



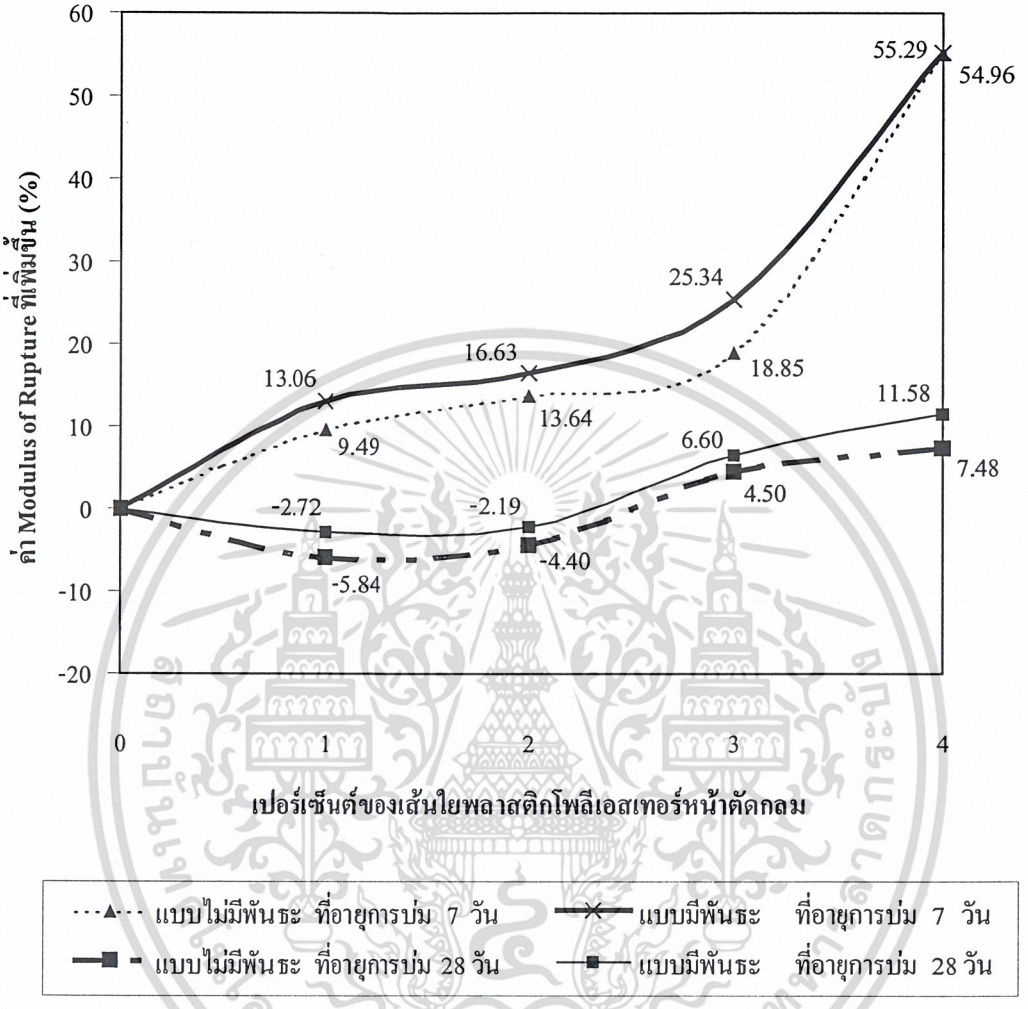

รูปที่ ผ.ฉ.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์กับค่า Bonding Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



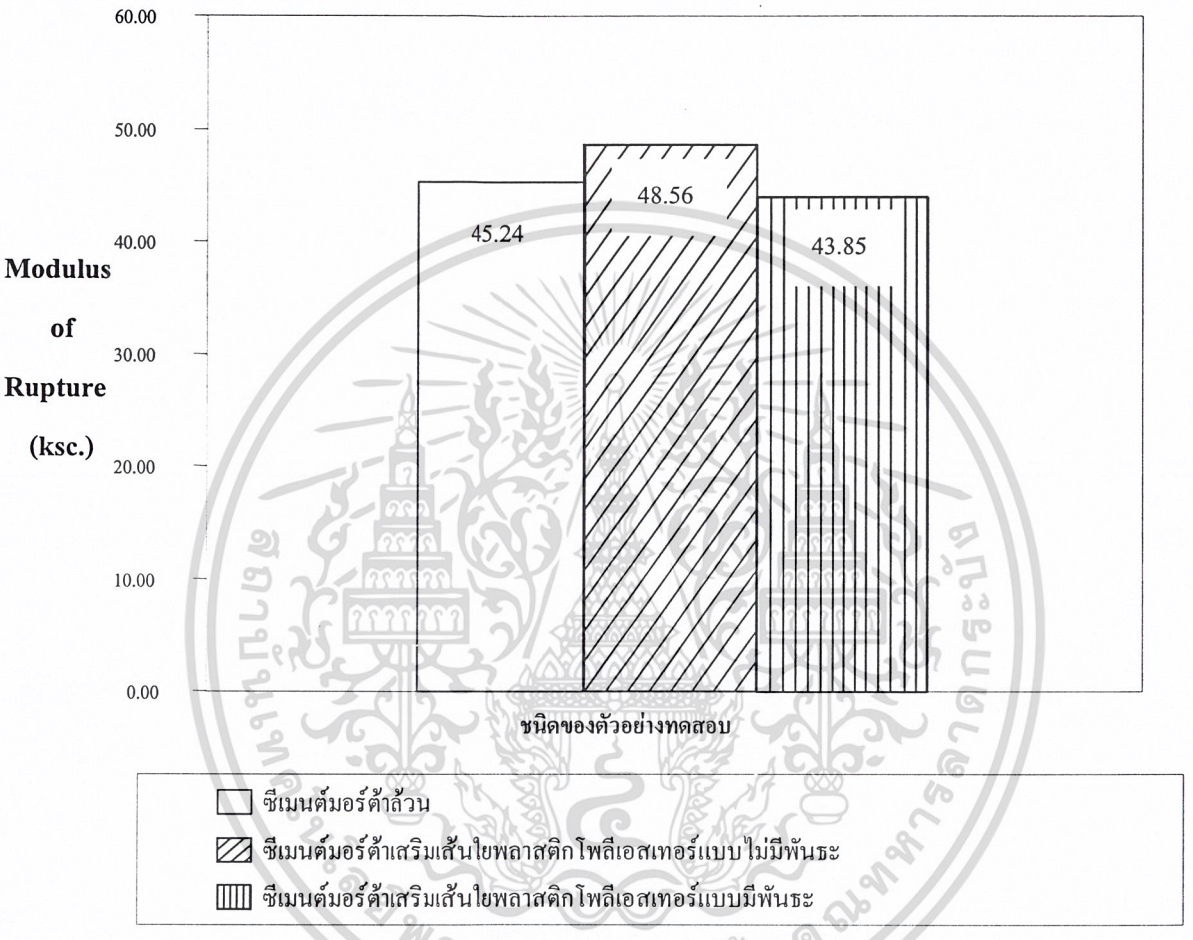

รูปที่ ผ.ฉ.2. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมในซีเมนต์มอร์ต้ากับค่า Modulus of Rupture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ ผ.ฉ.3. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์กับเปอร์เซ็นต์ค่า Modulus of Rupture ที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



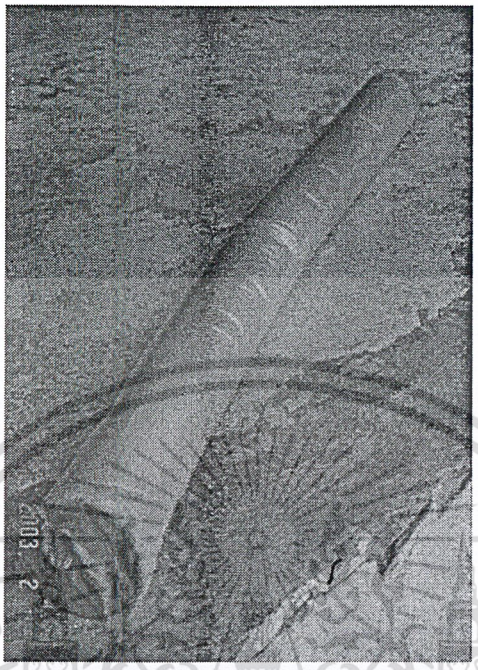

รูปที่ ผ.ฉ.4. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Rupture กับลักษณะการเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ในคานซีเมนต์มอร์ต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ช

## รูปแสดงการทดสอบ

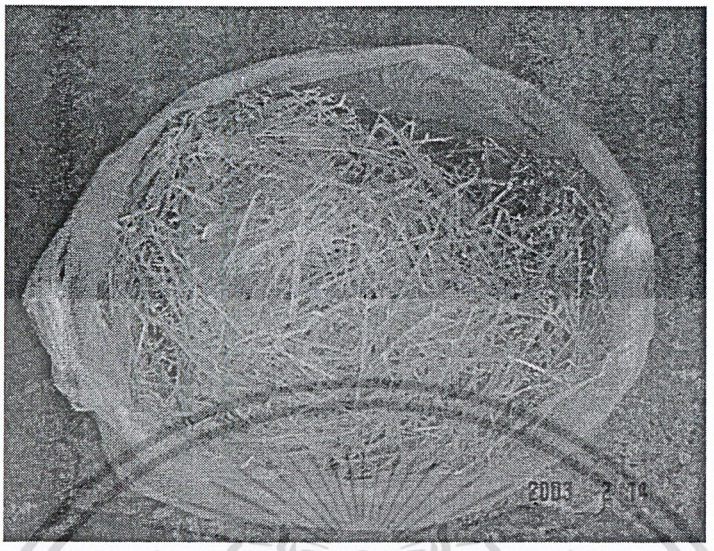
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ช.1. แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม

รูปที่ ผ.ช.2. แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีปมที่หัวท้าย
ซึ่งมีความยาว 5 ซม. ต่อเส้น สำหรับการทดสอบ Flexural Strength

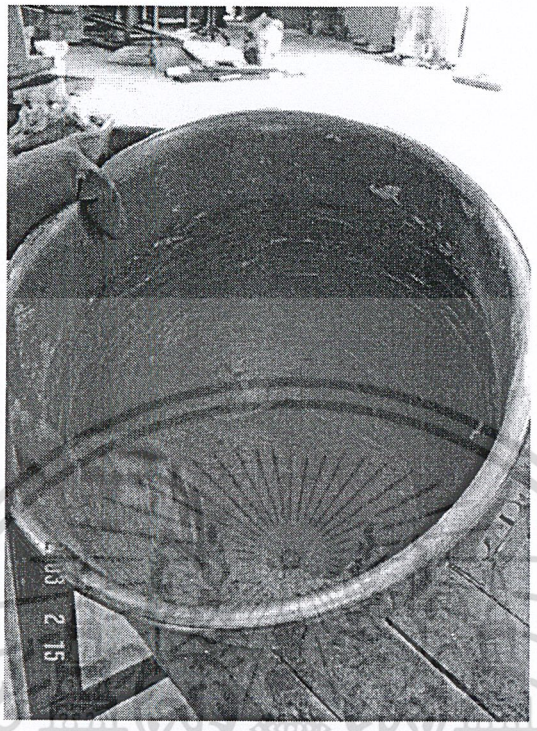
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



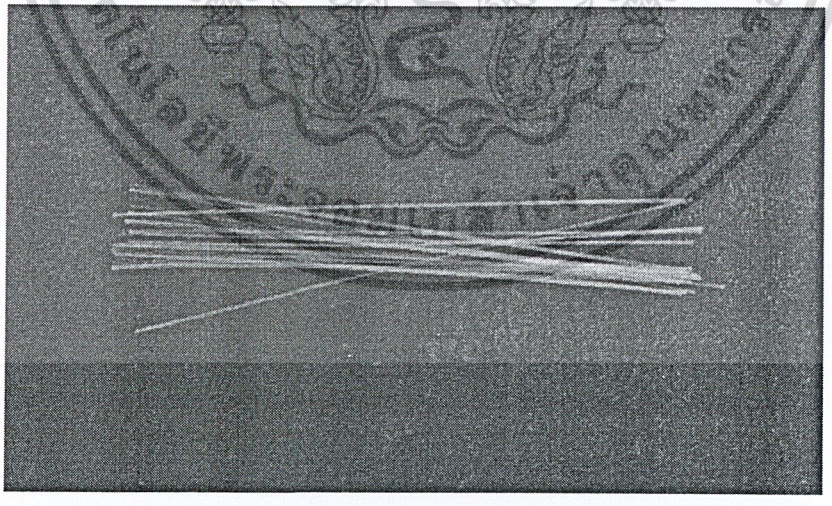
รูปที่ ผ.ช.3. แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีปมที่หัวท้าย
ซึ่งมีความยาว 5 ซม. ต่อเส้นสำหรับการทดสอบ Flexural Strength

รูปที่ ผ.ช.4. แสดงส่วนผสมในการทำตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า
เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

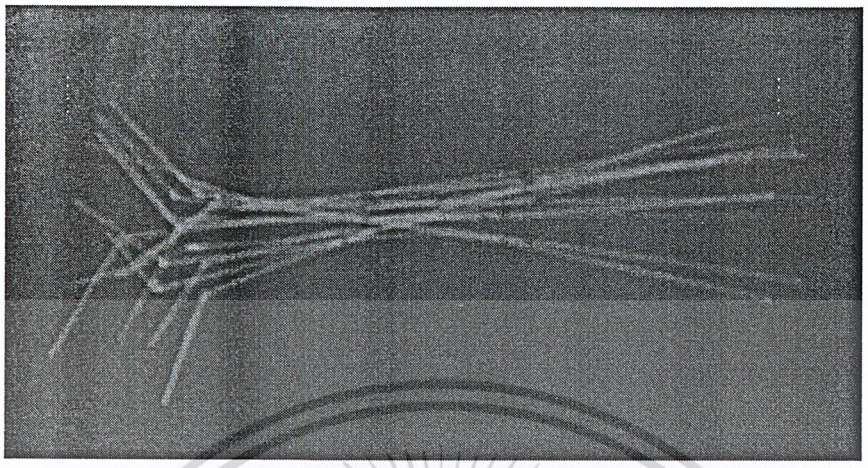


รูปที่ ผ.ช.5. แสดงการผสมซีเมนต์มอร์ต้า

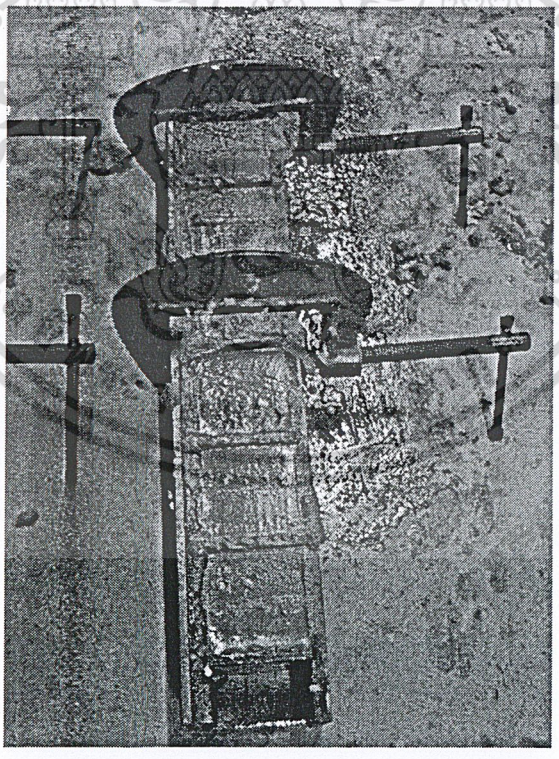


รูปที่ ผ.ช.6. แสดงตัวอย่างเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม
แบบไม่เสริมพันธะสำหรับการทดสอบ Bonding Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

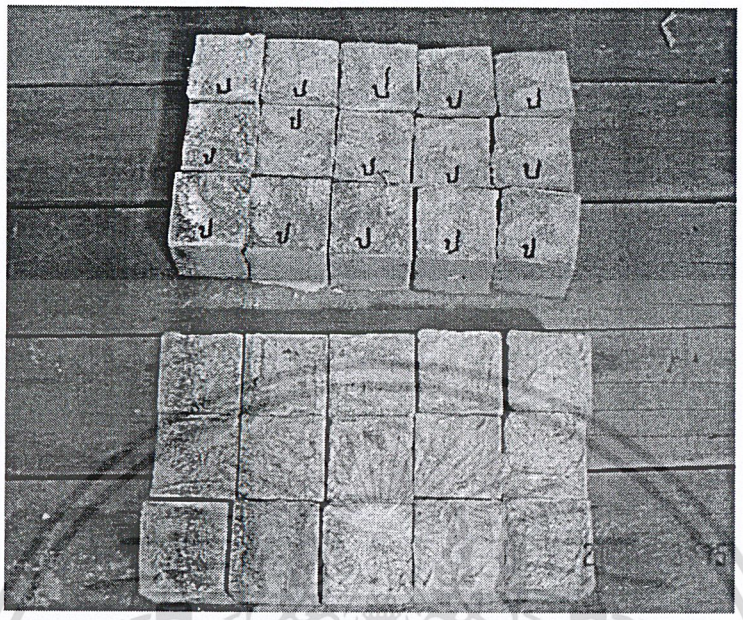


รูปที่ ผ.ช.7. แสดงตัวอย่างเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม
แบบเสริมพันธะสำหรับการทดสอบ Bonding Test

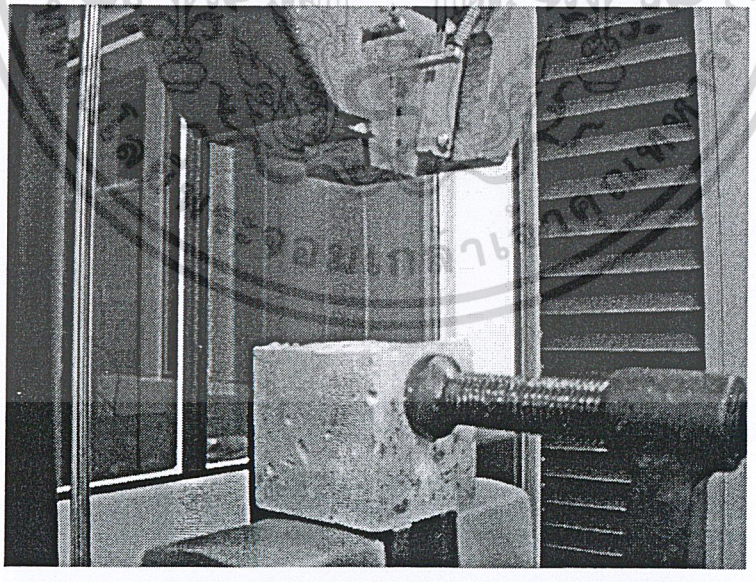


รูปที่ ผ.ช.8. แสดงการหล่อชิ้นตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ Bonding Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

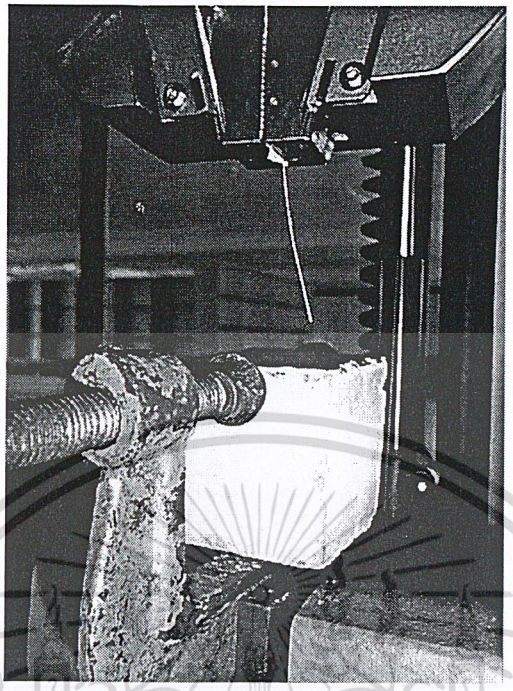


รูปที่ ผ.ช.9. แสดงชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ Bonding Test



รูปที่ ผ.ช.10. แสดงการทดสอบเพื่อหาค่า Bonding Stress

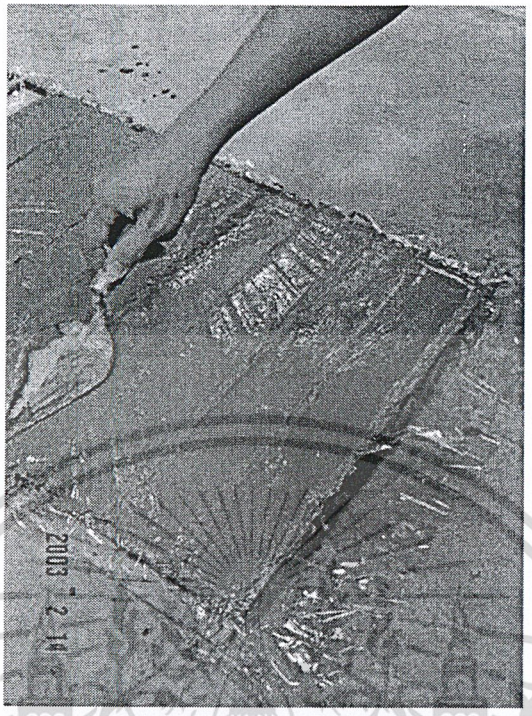
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



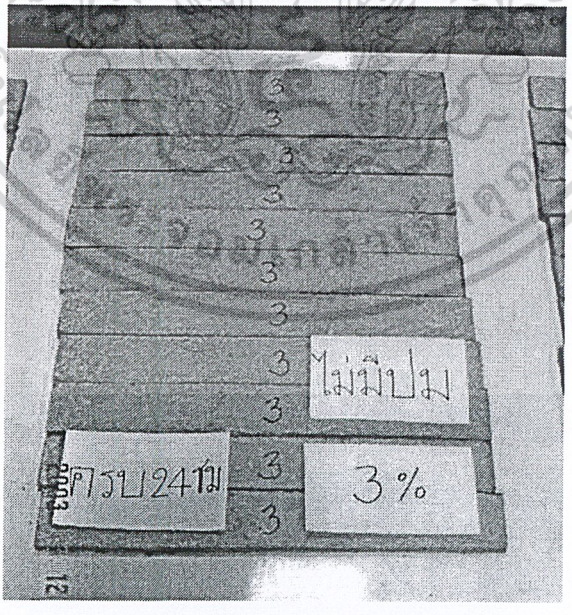
รูปที่ ผ.ช.11. แสดงขณะเส้นใยหลุดออกจากชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ Bonding Test

รูปที่ ผ.ช.12. แสดงแบบหล่อในการทำแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า
เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

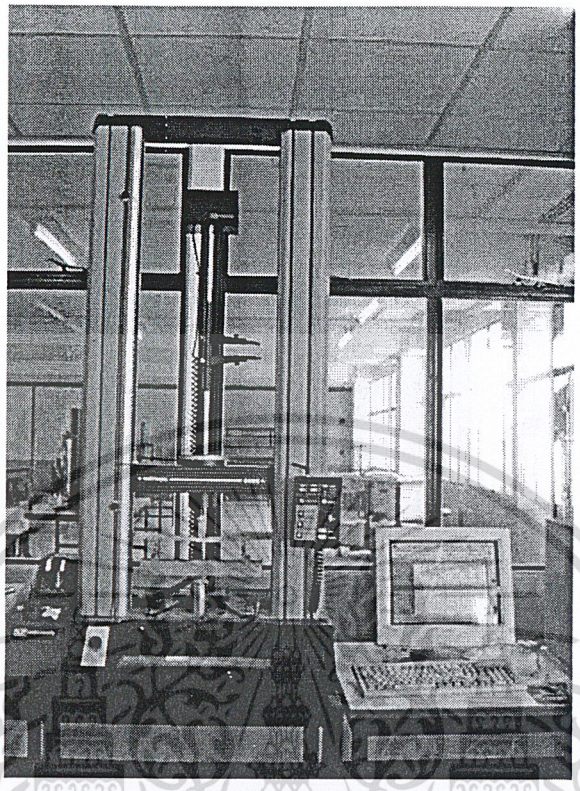


รูปที่ ผ.ช.13. แสดงการหล่อแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า
เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมสำหรับ Flexural Strength Test

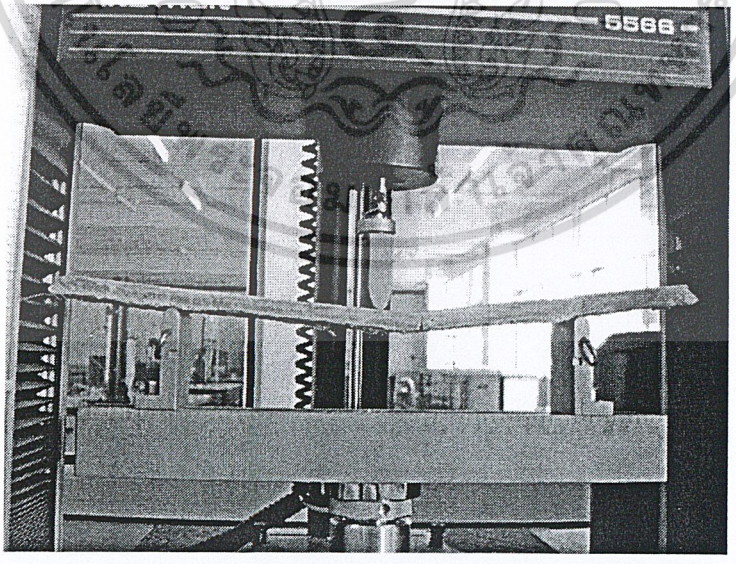



รูปที่ ผ.ช.14. แสดงแท่งชิ้นตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้า
เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมสำหรับ Flexural Strength Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

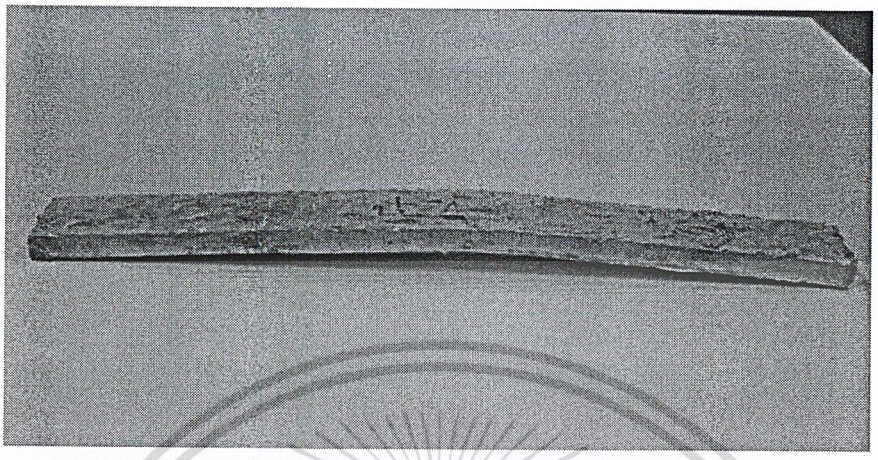


รูปที่ ผ.ช.15. แสดงเครื่องทดสอบ Flexural Strength Test สำหรับแท่งซีเมนต์มอร์ต้า
เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม

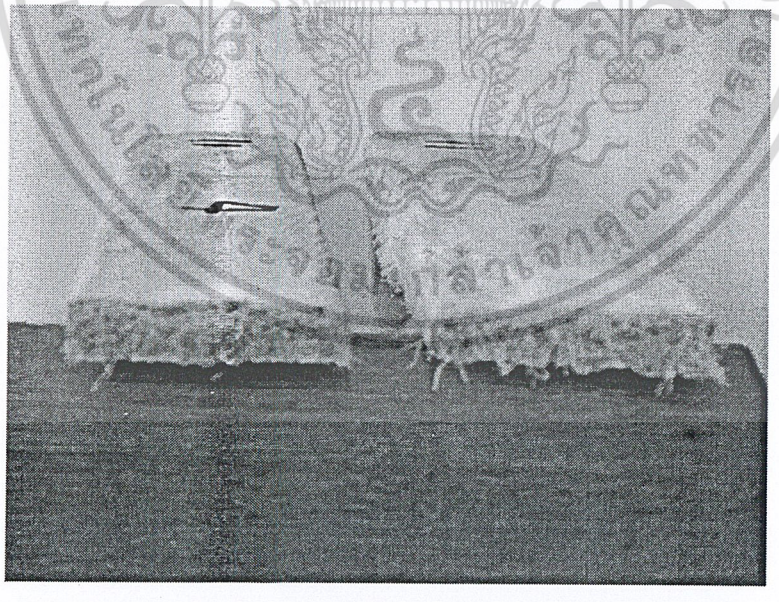



รูปที่ ผ.ช.16. แสดงขณะทดสอบ Flexural Strength สำหรับแท่งซีเมนต์มอร์ต้าร์
เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

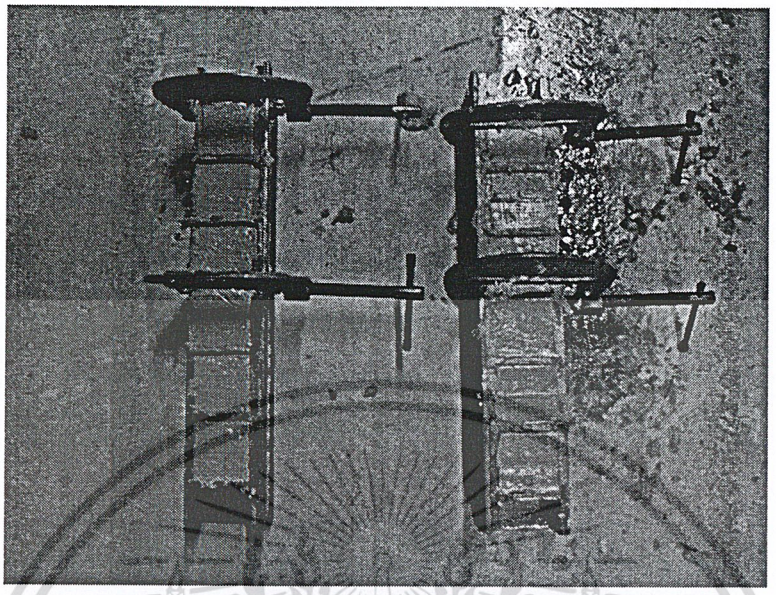


รูปที่ ผ.ช.17. แสดงแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก
โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมหลังจากทดสอบ Flexural Strength

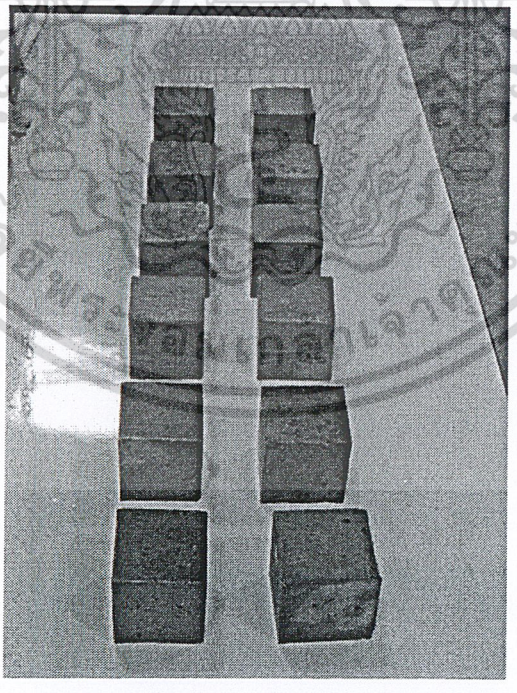


รูปที่ ผ.ช.18. แสดงหน้าตัดแท่งตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติก
โพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมหลังการทดสอบ Flexural Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

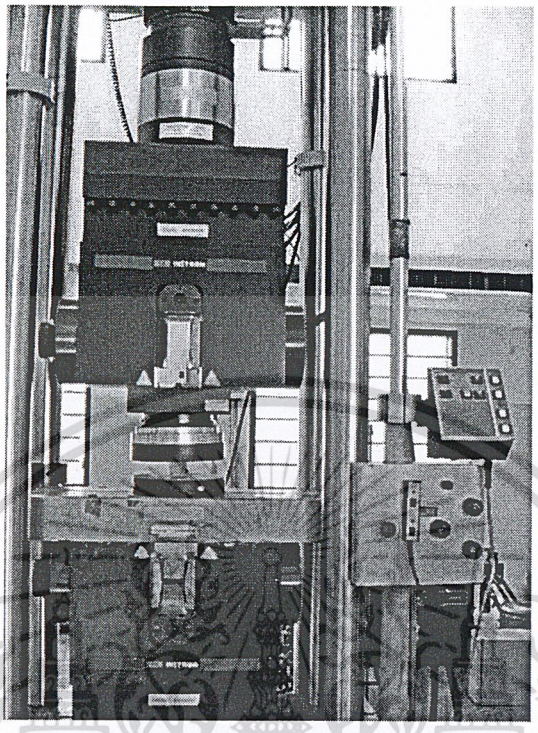


รูปที่ ผ.ช.19. แสดงการหล่อชิ้นตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ Compressive Strength

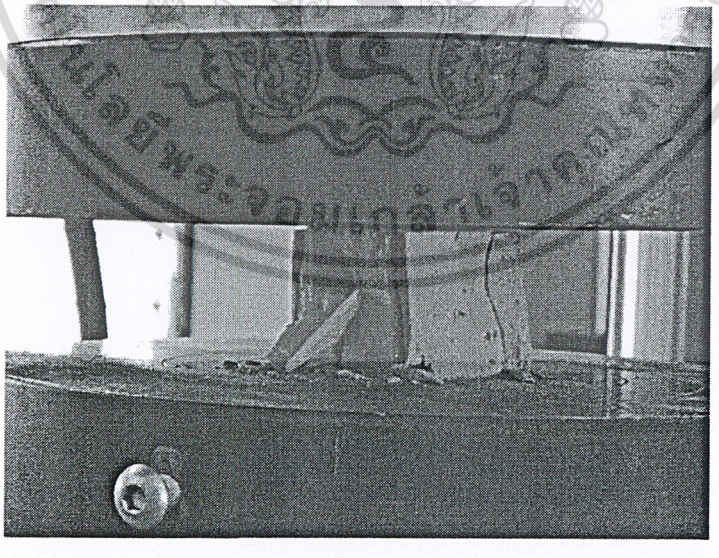


รูปที่ ผ.ช.20. แสดงชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ Compressive Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

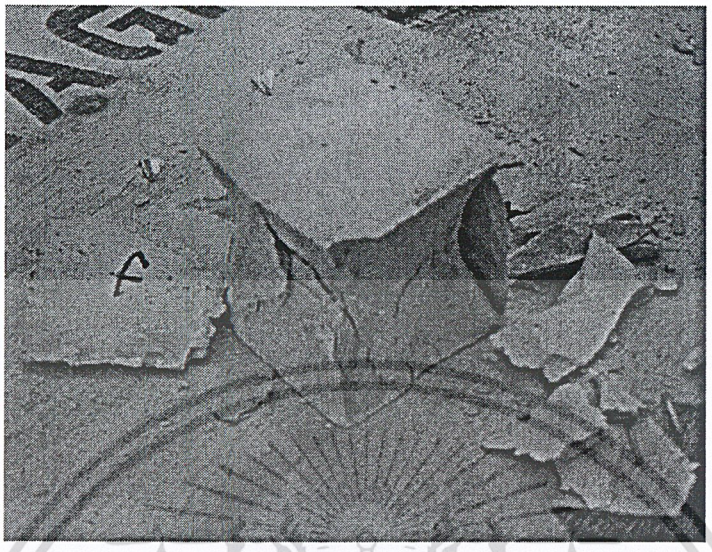


รูปที่ ผ.ช.21. แสดงเครื่องทดสอบ Compressive Strength สำหรับซีเมนต์มอร์ต้า

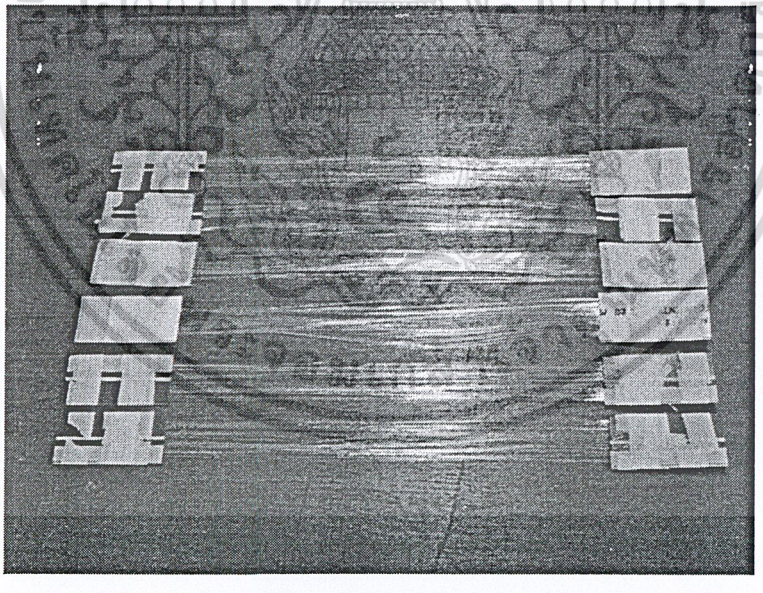


รูปที่ ผ.ช.22. แสดงการวิบัติที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ Compressive Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

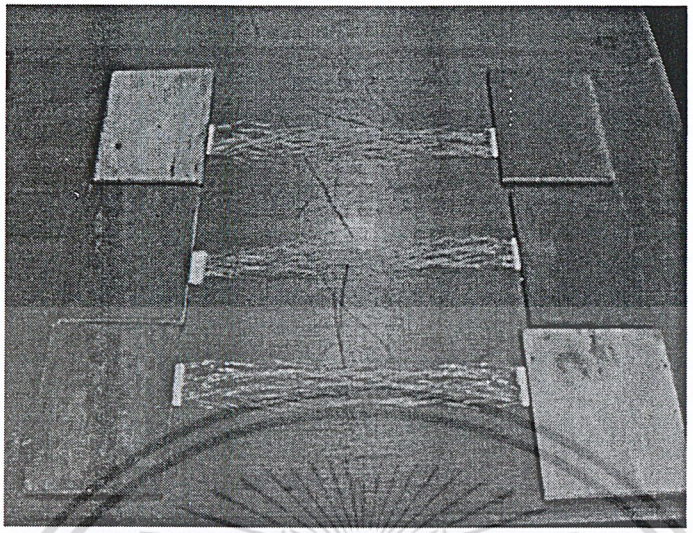


รูปที่ ผ.ช.23. แสดงชิ้นตัวอย่างที่เกิดการวิบัติจากการทดสอบ Compressive Strength



รูปที่ ผ.ช.24. แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบไม่มีพันธะ
เพื่อการทดสอบ Flexural Strength จากแท่งตัวอย่างคานซีเมนต์มอร์ต้า

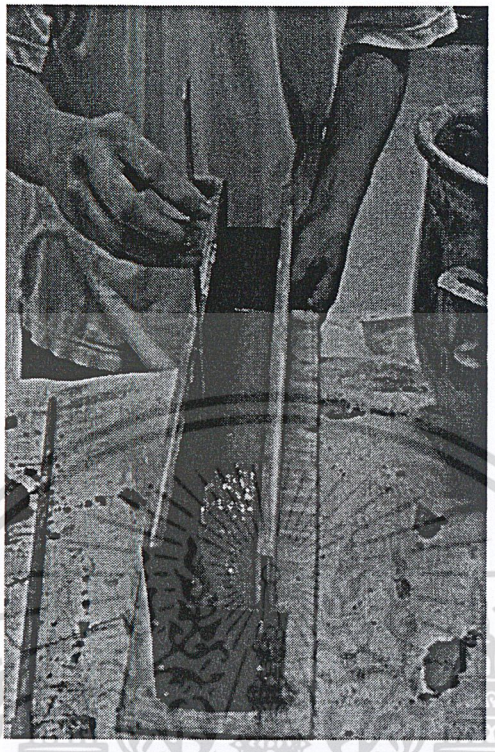
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



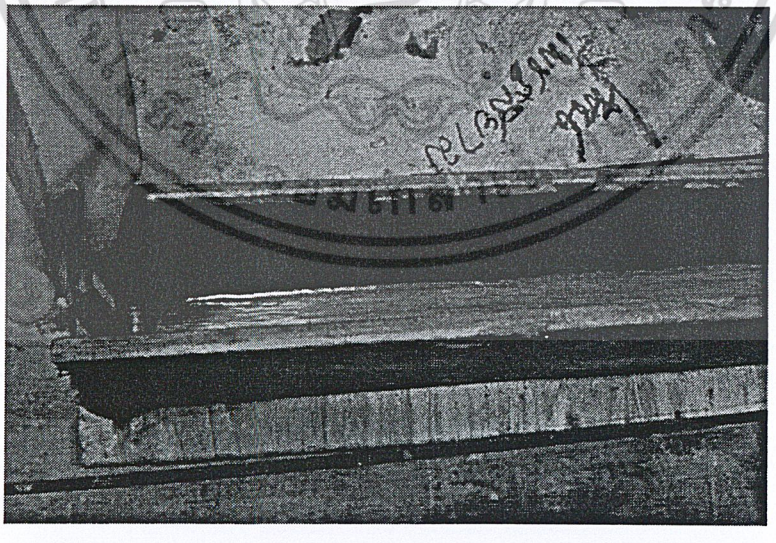
รูปที่ ผ.ช.25. แสดงเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลมแบบมีพันธะ
เพื่อการทดสอบ Flexural Strength จากแท่งตัวอย่างคานซีเมนต์มอร์ต้า

รูปที่ ผ.ช.26. แสดงแบบหล่อในการทำแท่งตัวอย่างคานซีเมนต์มอร์ต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

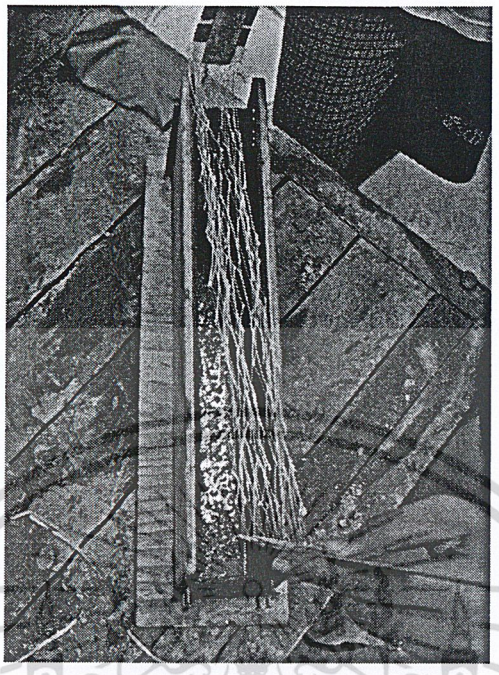


รูปที่ ผ.ช.27. แสดงการหล่อแท่งตัวอย่างคาน โดยเทซีเมนต์มอร์ต้า
รอง 0.5 ซม. เพื่อเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม

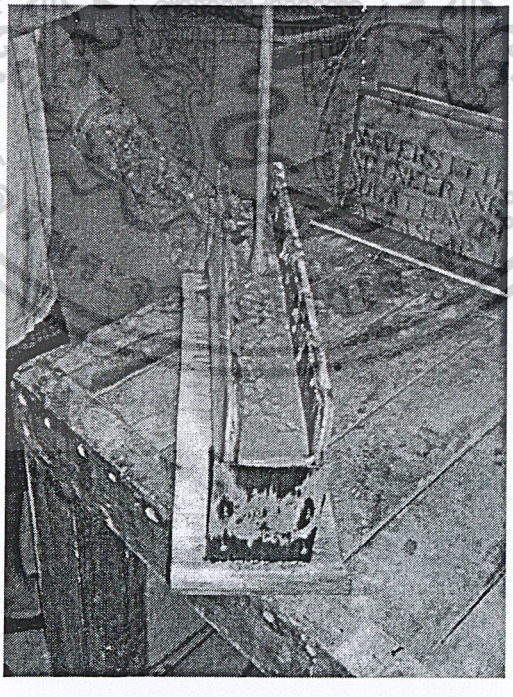


รูปที่ ผ.ช.28. แสดงการเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม
แบบไม่มีพันธะ ในการหล่อคานตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

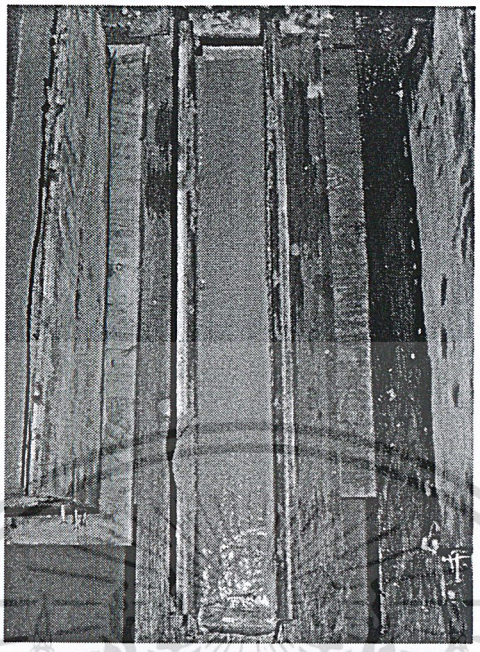


รูปที่ ผ.ช.29. แสดงการเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม
แบบมีพันธะ ในแท่งคานตัวอย่างทดสอบ

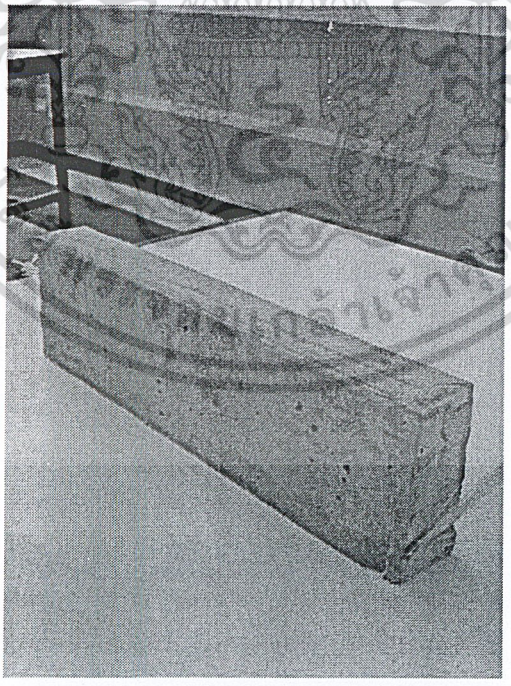


รูปที่ ผ.ช.30. แสดงการหล่อแท่งคานตัวอย่างทดสอบซีเมนต์มอร์ต้า
เสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์หน้าตัดกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

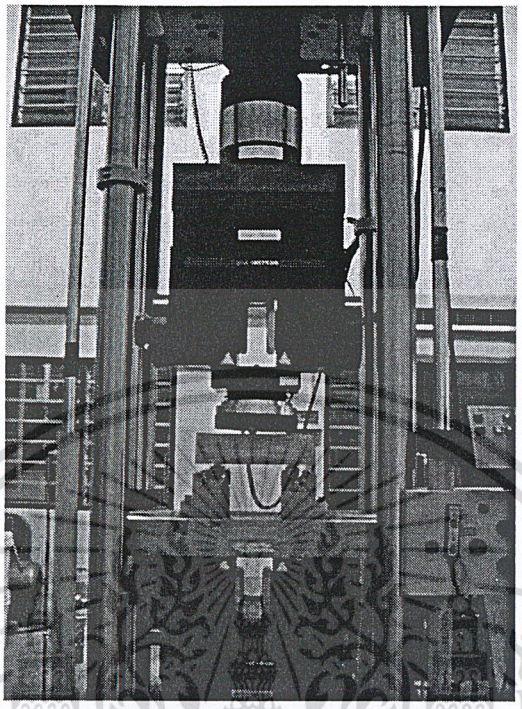


รูปที่ ผ.ช.31. แสดงแท่งคานตัวอย่างทดสอบซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเตอร์หน้าตัดกลม

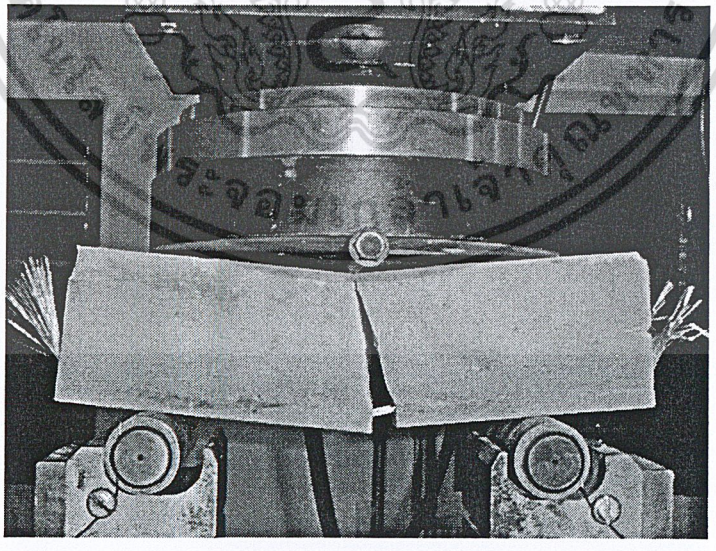


รูปที่ ผ.ช.32. แสดงแท่งคานตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์ เพื่อการทดสอบ Flexural Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

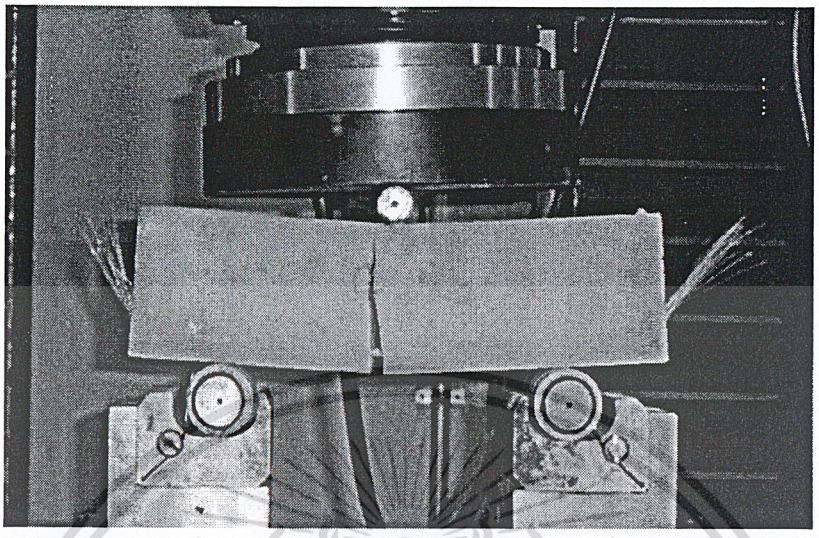


รูปที่ ผ.ช.33. แสดงเครื่องทดสอบ Flexural Strength ของตัวอย่าง-
คานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์



รูปที่ ผ.ช.34. แสดงการวิบัติที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ Flexural Strength
ของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบไม่มีพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ช.35. แสดงการวิบัติที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ Flexural Strength ของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบมีพันธะ

รูปที่ ผ.ช.36. แสดงหน้าตัดของแท่งคานตัวอย่างซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบมีพันธะ หลังจากทำการทดสอบ Flexural Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ช.37. แสดงการวิบัติหลังการทดสอบ Flexural Strength
ของคานซีเมนต์มอร์ต้าแบบไม่เสริมเส้นใย

รูปที่ ผ.ช.38. แสดงการวิบัติหลังการทดสอบFlexural Strength
ของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบไม่มีพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ผ.ช.39. แสดงการวิบัติหลังการทดสอบFlexural Strength
ของคานซีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยพลาสติกโพลีเอสเทอร์แบบมีพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้