การใช้เส้นใยโพลีพรอพิลีนป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตทับหน้า

USAGE OF POLYPROPYLENE PREVENTS CRACKING IN TOPPING CONCRETE

นายจิรวัฒน์ อานุภาวธรรม

MR.JERAWAT ARNUPAVATHAM

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032493

การใช้เส้นใยโพลีพรอบพิลีนป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตทับหน้า

USAGE OF POLYPROPYLENE PREVENTS CRACKING IN TOPPING CONCRETE

นายจิรวัฒน์ อานุภาวธรรม

MR.JERAWAT ARNUPAVATHAM

โครงงานนิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USAGE OF POLYPROPYLENE PREVENTS CRACKING IN TOPPING CONCRETE

MR.JERAWAT ARNUPAVATHAM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การใช้เส้นใยโพลีพรอบพิลีนป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตทับหน้า
USAGE OF POLYPROPYLENE PREVENTS CRACKING IN TOPPING CONCRETE

นักศึกษา นายจิรวัฒน์ อานุภาวธรรม **รหัสประจำตัว** 321058
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สกุล ห่อวโนทยาน

คณะกรรมการการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ วิบูลย์ วุฒิญาณ อาจารย์ ศิลป์ชัย จานสุวรรณ	....

ภาควิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นายสุรัตน์ หวังเจริญ)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 10 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การใช้เส้นใยโพลีพรอบพิลีนป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตทับหน้า
นักศึกษา	นายจิรวัฒน์ อานุภาวธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สกุล ห่อวโนทยาน
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2535

บทคัดย่อ

การนำเส้นใยโพลีพรอบพิลีนมาใช้ในงานคอนกรีตแทนเหล็กตะแกรง ถือได้ว่าเป็นการนำการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ทางด้านเส้นใยโพลีเมอร์มาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างเพื่อให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว ซึ่งในงานก่อสร้างแล้วถือว่าเวลาเป็นสิ่งจำเป็นมาก ดังนั้นการใช้เส้นใยโพลีพรอบพิลีนผสมในคอนกรีตขณะโม่ หลังจากนั้นสามารถเทคอนกรีตทับหน้าได้เลยโดยไม่ต้องอาศัยเหล็กตะแกรง ซึ่งจะต้องเสียสถานที่ในการกองเก็บเหล็ก เสียเวลาในการตัดเหล็กให้ได้ตามขนาดต่างๆและผูกเหล็กซึ่งจะต้องใช้เวลามาก โดยที่คอนกรีตผสมเส้นใยโพลีพรอบพิลีนนี้สามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมอยู่ในระดับที่มีมาตรฐานข้อกำหนดและยอมรับได้ สามารถลดและป้องกันการแตกร้าวที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีตเองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Usage of polypropylene prevents cracking in topping concrete
Student	Mr.Jerawat Arnupavatham
project Advisor	Mr.Sakul Hovanotayan
Level of study	Bachelor of Engineering
Department	Civil Engineering Faculty of Engineering
Academic Year	1992

Abstract

Usage of polypropylene fiber in concrete work instead of wire mesh or temperature steel is considered useful in applying newly scientific development of polymeric science.This application in construction work can minimize working time and increase convenience.Time is assessed valuable in construction work,so usage of polypropylene mixing fresh concrete and placing it as topping concrete can safe time effectively.Because employing wire mesh takes a lot of time to proceed such as storage area,cutting,bending and also tieing up comparing to new procedure-using polypropylene filaments.That can perform very well in engineering properties and standard specifications.So in the future this method can rapidly popular in costruction area.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จลุล่วงของโครงงานพิเศษนี้มิได้มาจากตัวข้าพเจ้าเองทั้งหมด แต่ยังมาจากความช่วยเหลือของบุคคลต่างๆด้วย ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบคุณอย่างสูงไว้ณ ที่นี้ด้วย ขอขอบคุณ

อาจารย์สกุล เห่อวโนทยาน-อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์สืบศักดิ์ พรหมบุญ-บริษัท อินเตอร์ คอนซัลท์ จำกัด

บริษัท ไฟเบอร์ เอนเตอร์ไพร์ส จำกัด

ตลอดจนเพื่อนๆทุกๆคน ที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมถึงครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจตลอดมา

ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณบุคคลเหล่านี้อีกครั้งและจะระลึกถึงตลอดไป

นายจิรวัฒน์ อานุภาวธรรม

11 เมษายน 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	V
คำนิยามศัพท์ที่ใช้	VI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
1.2 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 วิธีการดำเนินโครงงานพิเศษ	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 คอนกรีตและส่วนผสมคอนกรีต	4
2.1 คอนกรีต	4
2.2 ปูนซีเมนต์	6
2.3 วัสดุผสม	7
2.4 น้ำ	13
2.5 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต	18
2.6 การผสม การลำเลียง การเทและการทำให้แน่น	29
2.7 การบ่มคอนกรีต	41
บทที่ 3 การเสียรูปและรอยร้าวของคอนกรีต	43
3.1 การเสียรูปของคอนกรีต	43
3.2 การเกิดรอยร้าว	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ไฟเบอร์ 53
4.1 โพลีเมอร์ 53
4.2 ไฟเบอร์ 53
4.3 คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ 55
4.4 จุดประสงค์การใช้คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ 57
4.5 กลศาสตร์ของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ 60
4.6 โพลีพรอบพิลีน 63

บทที่ 5 การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม 68

บทที่ 6 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 87

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 138
-เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้เหล็กตะแกรง กับโพลีพรอบพิลีน 140

หนังสืออ้างอิง 153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1ก. แสดงคอนกรีตสดที่ผสมเส้นใยโพลีพรอบพิลีนแล้ว 141

1ข. แสดงการบรรจุคอนกรีตลงแบบ 142

1 แท่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน 143

2 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของแท่งคอนกรีตล้วน 143

3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน 144

4 การทดสอบกำลังดึงปริแตกของแท่งคอนกรีตล้วน 145

5 การทดสอบกำลังดึงปริแตกของแท่งคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน 145

6,7 แสดงความสามารถของโพลีพรอบพิลีนในการยึดคอนกรีตให้ติดกัน ถึงแม้ว่าจะปริแตกแล้ว 146

8 ตัวอย่างมอร์ต้าสำหรับทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงโดยตรง 147

9 เครื่องทดสอบกำลังดึงโดยตรงของมอร์ต้า 147

10 ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของมอร์ต้าล้วน 148

11 ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของมอร์ต้าผสมโพลีพรอบพิลีน 148

12 แผ่นคอนกรีตล้วนหลังจากทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง ปรากฏว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้น 149

13 แผ่นคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน หลังจากทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 7 วัน ไม่ปรากฏรอยร้าวขึ้น 149

14 แสดงพื้นสำเร็จรูป SINGLE T. เมื่อมีเหล็กตะแกรง 150

15 พื้นสำเร็จรูปหลังจากเทคอนกรีตทับหน้าเสริมเหล็กตะแกรง 151

16 การทดสอบ UNIFORM LOAD บนพื้นสำเร็จรูปที่มีคอนกรีตทับหน้าเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน 152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่านิยามศัพท์

1. PLAIN CONCRETE (PC) หมายถึง คอนกรีตล้วน
2. POLYPROPYLENE (PP) หมายถึง เส้นใยโพลีพรอบพิลีน
3. MORTAR หมายถึง ซีเมนต์เพสท์ + ทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คอนกรีตที่ใช้ในงานคอนกรีตทับหน้าในปัจจุบันมีลักษณะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีคอนกรีตทำหน้าที่รับแรงอัด และมีเหล็กเสริมทำหน้าที่เป็น DISTRIBUTION STEEL แต่ข้อเสียของคอนกรีตคือทนต่อแรงดึงได้ต่ำ และเกิดการหดตัวภายในของคอนกรีตซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกร้าวขึ้นได้ รวมทั้งปัจจัยภายนอกเช่นความร้อนและอุณหภูมิก็มีส่วนทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้เช่นกัน ดังนั้นจึงมีการใช้เหล็ก DISTRIBUTION STEEL เข้ามาช่วยแก้ปัญหานี้ อย่างไรก็ตามการใช้ DISTRIBUTION STEEL ก็จะต้องคำนึงถึงเหล็กเสริม ระยะหุ้มเหล็ก การเก็บรักษาเหล็กและความรวดเร็วในการทำงาน สำหรับเหล็กแล้วจะต้องเสียเวลาในการผูกเหล็กจัดตำแหน่ง และต้องอาศัยเนื้อที่มากในการเก็บรักษา ดังนั้นจึงมีการนำเส้นใยโพลิเมอร์ ชนิด POLYPROPYLENE มาใช้ผสมกับคอนกรีต เนื่องจากเส้นใย POLYPROPYLENE มีคุณสมบัติทนทานต่อแรงดึง สามารถช่วยยึดรั้งคอนกรีตไว้ได้ในขณะที่คอนกรีตมีการหดตัวหรือขยายตัว ในปัจจุบันมีการใช้ระบบพื้นสำเร็จรูปกันมาก อย่างไรก็ตามก็ต้องเทคอนกรีตทับหน้าเช่นกัน ดังนั้นการใช้คอนกรีตเสริมเส้นใยเป็นคอนกรีตทับหน้า จึงให้ความสะดวกและประหยัดเวลา และสามารถใช้แทนคอนกรีตทับหน้าที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กได้เช่นเดียวกัน

วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางวิศกรรมของคอนกรีตทับหน้าในพื้นสำเร็จรูปที่เป็นคอนกรีตเสริมเส้นใย Polypropylene
2. เพื่อศึกษาวิธีการนำเอาเส้นใย Polypropylene มาใช้แทนเหล็กเสริมกันร้าว
3. เพื่อศึกษาถึงความสะดวกในการทำงาน และความประหยัดในการนำเอาคอนกรีตเสริมเส้นใยมาใช้ในงานก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

แนวความคิดที่จะใช้เกี่ยวกับการศึกษา คุณสมบัติทางวิศวกรรม ของคอนกรีตที่มีการเสริมวัสดุอื่น นอกจากเหล็กเพื่อช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงดีขึ้น รวมทั้งเปรียบเทียบกับการใช้เหล็กเสริมกันร้าว สำหรับทฤษฎีที่ใช้เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตเสริมเส้นใยและทฤษฎีคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมทั้งการปฏิบัติการในห้องทดลองเพื่อทดสอบหาค่ากำลังต่าง ๆ และสำหรับข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการออกแบบโครงงานพิเศษนี้จะรวบรวมจากบริษัทที่ดำเนินงานเกี่ยวข้อง หนังสือต่าง ๆ รวมทั้งเอกสารวิจัยการวิชาการเกี่ยวกับคอนกรีตเสริมเส้นใย

ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตเสริมเส้นใยที่จะนำมาใช้เป็นคอนกรีตทับหน้าแทนคอนกรีตเสริม Distribution steel

2. วิเคราะห์การนำเส้นใย Polypropylene มาเสริมคอนกรีต เพื่อสามารถใช้กับงานคอนกรีตทับหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย การใช้เส้นใย Polypropylene เสริมคอนกรีตทับหน้า กับการใช้เหล็กเสริมคอนกรีตทับหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ

วิธีการที่นำมาใช้

1. วิธีการเก็บข้อมูล จะเป็นไปในลักษณะของการทดลองปฏิบัติการจริง โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ทางวิศวกรรมของคอนกรีตทับหน้าที่เป็นคอนกรีตเสริมเส้นใยและรวบรวมข้อมูลจากบริษัทที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นี้ด้วย เพื่อประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล

2. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล จะเป็นการวิเคราะห์จากผลการทดลองที่ได้จริง จากการทดสอบคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรอบพีลีน แล้วนำมาพิจารณาเปรียบเทียบคอนกรีตทับหน้าที่เสริมเหล็กกันร้าว

อุปกรณ์ ที่จำเป็นต้องใช้เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความสามารถในการรับกำลังของคอนกรีต เช่น เครื่องทดสอบการรับแรงกด แรงดึงของคอนกรีต และอื่น ๆ เป็นต้น และอุปกรณ์นอกเหนือจากนี้ เช่น ถัง เครื่องผสมคอนกรีต พื้นสำเร็จรูป เส้นใยโพลีพรอบพีลีน ฟิล์ม กล้องถ่ายรูป

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้คือ คุณสมบัติของคอนกรีตเสริมเส้นใย ความเหมาะสมของคอนกรีตเสริมเส้นใย ที่จะนำมาใช้ในการป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต ความเหมาะสมที่จะนำมาใช้แทนเหล็กเสริมกันร้าวและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ สามารถศึกษาความเป็นไปได้ในเรื่องรูปแบบ ความสะดวกและราคา เพื่อที่จะนำมาใช้ในงานจริงรวมถึงประสิทธิภาพในการทำงานจริงของคอนกรีตเสริมเส้นใยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
คอนกรีตและส่วนผสมคอนกรีต

2.1 คอนกรีต

2.1.1 ลักษณะของคอนกรีต

คอนกรีต คือ วัสดุประกอบที่ได้จากการผสมซีเมนต์ ซึ่งเป็นตัวประสาน (Binder) กับทราย หิน หรือ กรวด และกับน้ำ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ทำให้ซีเมนต์มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานแทรกตามเม็ดทรายและก้อนหิน รวมตัวกันเป็นก้อนคอนกรีตในแบบหล่อ

คอนกรีต = วัสดุผสม + ตัวประสาน

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต = มวลรวมหยาบและละเอียด + ซีเมนต์เพสท์

มอร์ต้า = มวลรวมละเอียด + ซีเมนต์เพสท์

ซีเมนต์เพสท์ = ซีเมนต์ + น้ำ

เมื่อคอนกรีตอาจแยกออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ วัสดุผสม (Aggregates) และซีเมนต์เพสท์ (Paste) โดยทั่วไปวัสดุผสมยังแบ่งออกเป็นสองพวกคือ วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate) และวัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregate) วัสดุผสมละเอียดหมายถึง วัสดุที่มีขนาดเล็กที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ซึ่งได้แก่ ทราย ส่วนวัสดุผสมหยาบหมายถึง วัสดุผสมที่มีก้อนโตไม่ผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้แก่ หิน หรือ กรวด ซีเมนต์เพสท์ หรือที่เรียกว่า เพสท์ (Paste) ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ และ อากาศ

ในเนื้อคอนกรีตซีเมนต์เพสท์ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ จะทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยจะไปเคลือบหรือหุ้มเม็ดทรายและก้อนหินทั้งหมดและยึดให้ติดเข้าด้วยกันเป็นของแข็ง รวมทั้งจะไปอุดตามช่องว่างระหว่างเม็ดหินและทรายอีกด้วย ทำให้มีเนื้อแน่นขึ้น ฉะนั้นความแข็งแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของซีเมนต์เพสท์ด้วย

คุณภาพของซีเมนต์เพสท์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (Water-Cement Ratio) ที่ใช้ในส่วนผสม ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เรียกว่า ไฮเดรชั่น (Hydration) ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิและความชื้น ปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรก ๆ และช้าลงตามลำดับในตอนหลัง ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัดส่วนการผสมของคอนกรีตจะช่วยให้ได้คอนกรีตที่มีความข้นเหลวง่ายในการทำงาน และทำให้คอนกรีตที่แข็งตัวมีกำลังและความคงทนตามที่ต้องการ ปริมาณวัสดุสำหรับส่วนผสมค่าหนึ่ง ควรจะสม่ำเสมอในการผสมแต่ละครั้ง และตัววัสดุเองก็ควรจะสม่ำเสมอ และมีคุณภาพดีด้วย อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะใช้สัดส่วนการผสมให้ดีเพียงใด ถ้าการผสม การลำเลียง การเท การทำให้แน่น ตลอดจนการบ่มคอนกรีตทำได้ไม่ดีพอแล้ว ก็จะไม่ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามต้องการ การผสมควรจะผสมให้ทั่ว พอที่จะกระจายวัสดุต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ และกระจายซีเมนต์เพสท์ไปบนผิวของวัสดุผสมโดยทั่วถึง การลำเลียง การเท และการเขย่าคอนกรีตต้องพยายามไม่ให้เกิดการแยกตัวและในการเขย่าควรทำให้ทั่วถึง เพื่อจะได้ทำให้คอนกรีตไหลลงไปเต็มทุกส่วนของทรายเพื่อขับไล่อากาศและเพื่อไม่ให้หินรวมกันเป็นกระจุก

คอนกรีตใช้เป็นวัสดุโครงสร้างได้ดีกว่าวัสดุอื่น ๆ เช่น ไม้ หรือ เหล็ก เพราะสามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะและขนาดได้ตามต้องการไม่ต้องถูกจำกัด โครงสร้างคอนกรีตที่เห็นกันอยู่ทั่วไป ได้แก่ พื้น เสา อาคาร พื้นถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ และอื่น ๆ

โครงสร้างที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน มีทั้งชนิดที่หล่อกับที่และคอนกรีตสำเร็จรูปที่ผลิตเสร็จจากโรงงาน เช่น ระบบพื้นอาคาร เข็มสำหรับทำฐานราก

2.1.2 ประเภทของคอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้เป็นโครงสร้างอาจแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. คอนกรีตล้วน (Plain Concrete) ใช้แต่คอนกรีตอย่างเดียวล้วน ๆ ไม่มีวัสดุอื่นมาเสริมหรือประกอบเลย ได้แก่โครงสร้างที่มีแต่แรงอัด เช่น ฐานเครื่องจักรที่หนามาก ๆ หรือเขื่อนกันดิน ที่เป็นแบบใช้น้ำหนักเขื่อนต้านแรงดันของดิน (Gravity Wall) เป็นต้น

2. คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) ใช้เหล็กเส้นเสริมร่วมกับคอนกรีตโดยหล่ออยู่ในเนื้อคอนกรีต เป็นโครงสร้างที่มีทั้งแรงอัดและแรงดึง ส่วนใดของรูปตัดที่ต้องรับแรงอัดก็ให้คอนกรีตทำหน้าที่ต้านทานแรงอัด และส่วนใดที่ต้องรับแรงดึงก็ใช้เหล็กเสริมทำหน้าที่ต้านทานแรงดึง เนื่องจากคอนกรีตมีคุณสมบัติต้านทานแรงอัดได้ดีมาก แต่มีคุณสมบัติด้อยในการรับแรงดึง แต่เหล็กมีคุณสมบัติต้านทานแรงดึงและแรงอัดได้ดี ประกอบกับเหล็กและคอนกรีตมีสมประสิทธิ์การยืดหดตัวใกล้เคียงกัน ในปัจจุบันนี้ใช้โครงสร้างแบบคอนกรีตเสริมเหล็กเกือบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete) เป็นคอนกรีตที่ถูกอัดแรงไว้ก่อนใช้งานทำโดยดึงเหล็กที่ทนแรงดึงสูงให้ยืดออก แล้วตัดเหล็กปล่อยให้เหล็กที่จะพยายามหดตัวจากที่ยืด กลับคืนสู่สภาพเดิมอัดคอนกรีต จึงเรียกว่าคอนกรีตอัดแรง เป็นแบบที่เอาคอนกรีตมาใช้ประโยชน์หมดทั้งรูปตัดที่ทำคอนกรีตเสริมเหล็ก ช่วยให้ประหยัดขึ้น ใช้กับสะพานและอาคารเช่นในระบบนั้น เป็นต้น

4. คอนกรีตชนิดพิเศษ (Special Concrete) คือคอนกรีตที่มีการประยุกต์จากคอนกรีตปกติ เช่น คอนกรีตน้ำหนักเบา (Light Weight Concrete) คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ (Fiber-reinforced Concrete) ซึ่งปัจจุบันกำลังมีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในงานก่อสร้างให้ได้ผลและประหยัดยิ่งขึ้น

2.1.3 คุณสมบัติของคอนกรีต

ข้อดีและข้อเสียของคอนกรีต

ข้อดี	ข้อเสีย
สามารถหล่อให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้	มีความสามารถในการรับแรงดึงต่ำ
ประหยัด	มีการโค้งงอต่ำ
คงทนแข็งแรง	มีความไม่เสถียรในปริมาตร
ทนทานต่อไฟ	อัตราส่วนของกำลังต่อน้ำหนักต่ำ
สามารถทำให้เป็นรูปร่างที่สวยงามได้	

2.2 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลิตจากทรายส่วนผสมต่าง ๆ จนรวมตัวกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซี่ยมและอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้หมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และเป็นปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ด้วย ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าว เรียกว่า ไฮเดรชั่น (Hydration) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เมื่อผสมกับน้ำจะค่อย ๆ แข็งขึ้น จะเป็นของแข็ง ขบวนการนี้เรียกว่า การก่อตัวและการแข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Setting and Hardening) ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ยังผลให้เกิดความเหนียวและเกาะแน่นกับวัสดุผสม ความร้อนที่ได้จากการที่ซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกว่า Heat of Hydration จัดเป็นคาลอรีต่อกรัมของปูนซีเมนต์ สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาให้ความร้อนประมาณ 85 ถึง 100 คาลอรีต่อกรัม ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้บางส่วนจะหนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนจะอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูง คอนกรีตอาจเสียความแข็งแรงได้ และความร้อนนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงต่าง ๆ ภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งเป็นผลทำให้คอนกรีตแตกร้าว ในโครงสร้างคอนกรีตที่บางความร้อนสามารถถ่ายเทออกไปได้ แต่โครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่และหนา เช่น เขื่อนจะต้องมีวิธีการออกแบบให้มีการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต

การทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำจะหยุด เมื่อน้ำหนืออกจากซีเมนต์เพสท์หมดแล้ว จาก H.Rusch ปริมาณน้ำที่ต้องการในการทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างสมบูรณ์จะอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักซีเมนต์ คือ Water Cement Ratio อยู่ที่ 0.25 แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ปริมาณน้ำสามารถเข้าถึงทุกอนุภาคในส่วนผสมคอนกรีต สำหรับคอนกรีตธรรมดาแล้วอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ควรจะอยู่ในช่วง 0.40 ถึง 0.60 ความอยู่ตัว (Soundness) การแข็งตัวของซีเมนต์จะเกิดขึ้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากนัก อีกนัยหนึ่งคือ ปูนซีเมนต์จะคงตัวหรืออยู่ตัวดี (Soundness) นั่นเอง ความไม่อยู่ตัว (Unsoundness) ของปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว จะทำให้เกิดการขยายตัวในเนื้อคอนกรีต เนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับผลึกในส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ เป็นไปอย่างช้า ๆ หรือถูกหน่วงให้ช้า ทำให้เกิดการแตกร้าว และชำรุดเสียหายได้

2.3 วัสดุผสม (Aggregates)

หินย่อย กรวดและทรายรวมเรียกว่าวัสดุผสม ซึ่งเป็นหวกแร่ธาตุที่เฉื่อยไม่มีปฏิกิริยา อาจได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินอัคนี หินชั้นและหินแปร หรือทำเทียมขึ้นเช่นวัสดุผสมตะกรันเตาถลุง ในเนื้อคอนกรีตจะมีวัสดุผสมอยู่ประมาณสามในสี่ส่วน และเนื่องจากราคาของวัสดุผสมถูกกว่าของปูนซีเมนต์ ดังนั้นวัสดุผสมจึงมีส่วนทำให้ได้คอนกรีตราคาต่ำลง วัสดุผสมอาจเรียกว่าเป็นตัวแทรก (Filler Material) ในเนื้อคอนกรีตก็ได้

เอกสารนี้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้วัสดุผสมนี้ มีส่วนสำคัญที่จะช่วยทำให้ได้คอนกรีตที่ดี กล่าวคือ คุณสมบัติของหินและทรายจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต สัดส่วนของการผสมและในด้านความประหยัด วัสดุผสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต ต้องสะอาด แข็งแกร่ง ทนทาน มีเหลี่ยมคม ไม่ขยายตัวมาก มีสารที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุด วัสดุผสมที่ไม่ควรให้มีปะปนอยู่ได้แก่ วัสดุผสมที่อ่อน ปนง่าย พรุนและแยกได้เป็นชิ้น ๆ หรือพวกดินดานต่าง ๆ ซึ่งไม่ทนทานต่อดินฟ้าอากาศ วัสดุผสมต้องมีส่วนขนาดคละอยู่ภายในพิกัดกำหนด ซึ่งจะช่วยให้ได้คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ คุณภาพดี และประหยัด โดยทั่วไปจะแบ่งวัสดุผสมออกเป็น วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate) และวัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregate)

วัสดุผสมละเอียด หมายถึงทรายซึ่งเป็นวัสดุผสมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือที่สามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม. วัสดุผสมที่เล็กกว่านี้เรียกว่า ฝุ่น (Silt หรือ Clay)

ทรายเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งมีทั้งทรายที่เกิดเองบนบก เรียกว่าทรายบก ที่เกิดจากลำธาร แม่น้ำ เรียกว่าทรายแม่น้ำ ที่เกิดจากทะเล เรียกว่าทรายน้ำเค็ม โดยการแปรรูปหรือกระเทาะแบ่งส่วนมาจากหินและกรวด เช่น ถูกกระแสน้ำในลำธารแม่น้ำพัดพาไหลกลับไปกลับมาจนแตกละเอียดเป็นผงและมีขนาดต่าง ๆ กัน เช่น ทรายละเอียดเม็ดเล็ก (ทรายอยุธยา) ขนาด 0.5-1.5 มม. ใช้ในงานปูนสอ ปูนฉาบ ปูนถือ ทรายเม็ดกลาง (ทรายอ่างทอง) ขนาด 1-2 และ 3 มม. ใช้ในงานเทคอนกรีตปูนก่อที่ต้องรับแรงอัด ปูนฉาบผนังใต้ดิน พื้น ดานและงานคอนกรีตทั่วไป ทรายหยาบเม็ดใหญ่ (ทรายราชบุรี) ขนาด 2-4 มม. ใช้งานคอนกรีต เทพื้นฐานราก ฯลฯ และในที่ที่ต้องการให้รับแรงอัดมาก ๆ

วัสดุผสมหยาบ เป็นวัสดุที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไป หรือที่ไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ซึ่งได้แก่ กรวดและหินย่อยหรือหินโม่

2.3.1 คุณสมบัติของวัสดุผสม

หินและทรายที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีต ควรมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแกร่ง (Strength) วัสดุผสมจะต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต หินที่ใช้ทำคอนกรีตโดยทั่วไปถ้าเป็นหินที่มิได้ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงโดยสภาพดินฟ้าอากาศจะดีพอสำหรับผสมทำคอนกรีต เพราะกำลังรับแรงอัดของหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วไปสูงกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาก ความแข็งแรงอัดของหินมีค่าประมาณ 700 ถึง 3,500 กก./ซม.^{2}

2. ความทนทานต่อการสึกกร่อน (Abrasion resistance) เป็นตัวชี้ถึงคุณภาพของหินที่จะนำมาผสมทำคอนกรีตในงานที่ต้องทนต่อแรงกระแทกและเสียดสีมาก ๆ เช่น ทำพื้นหรือถนนคอนกรีตที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกมาก ๆ การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติข้อนี้โดยทั่วไปนิยมใช้วิธี Los Angeles Abrasion Test ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของหินที่สูญหายไปในการทดสอบกับขีดกำหนดตามความต้องการที่ระบุไว้

วัสดุผสมหยาบที่ใช้กับงานคอนกรีต ต้องมีการสึกหรอในการทดสอบลอสแองเจลิสไม่เกินร้อยละ 40

3. ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับความพรุน และอำนาจการดูดซึมของวัสดุผสม วัสดุผสมต้องมีรูพรุนพอที่จะดูดซึมน้ำ มีช่องว่างพอที่จะให้น้ำแข็งขยายตัวได้ในอากาศหนาว มิฉะนั้น จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

4. ความคงตัวต่อปฏิกิริยาทางเคมี (chemical Stability) วัสดุผสมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ วัสดุผสมในบางท้องถิ่นที่มีสารเคมีผสมอยู่ในเนื้อหินจะทำปฏิกิริยากับด่างในปูนซีเมนต์เกิดเป็นวุ้น และขยายตัวทำให้เกิดรอยร้าวทั่วไปในคอนกรีต ในกรณีที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุผสมเหล่านี้จะต้องใช้กับปูนซีเมนต์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของด่างต่ำ (Low-alkali Cement)

5. ลักษณะรูปร่างและผิว (Particle Shape and Suface Texture) มีความสำคัญต่อการควบคุม "ความสามารถเทได้" ของคอนกรีตที่ผสมใหม่ ๆ วัสดุผสมที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแง่เหลี่ยมคม วัสดุผสมที่เป็นแผ่นแบนหรือชิ้นยาว (Flat and Elongated Particales) ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เพราะต้องการน้ำในส่วนผสมมากกว่าวัสดุผสมที่มีก้อนกลม หรือรูปลูกบาศก์ เพื่อให้ได้ "ความสามารถเทได้" เท่า ๆ กัน ทำให้เปลืองซีเมนต์ลดกำลังและแรงยึดเหนี่ยวภายในก้อนคอนกรีต ปกติยอมให้มีวัสดุผสมแบบนี้ไม่เกินกว่า 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของวัสดุผสม ที่ใช้วัสดุผสมก้อนกลมช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการปูนซีเมนต์และน้ำในส่วนผสมน้อยกว่าวัสดุผสมที่มีก้อนเป็นแง่เป็นมุม แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนกับซีเมนต์เพสท์ต่ำกว่าวัสดุผสมที่มีผิวหยาบหรือด้านจะช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
032493

6. ความสะอาด (Cleanliness) วัสดุผสมต้องสะอาด มีสารที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุด สารเหล่านี้ได้แก่เปลือกหอย ขานอ้อย ถ่านหิน ถ่าน เศษไม้ ก้อนดิน โคลนเลน ถุงพลาสติก ฝุ่น หรือผงละเอียด (Silt) สิ่งเหล่านี้จะลดความทนทานและแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต บางครั้งอาจทำให้คอนกรีตแตกร้าว มีกำลังต่ำ แข็งตัวช้า หรือไม่แข็งเลย เกิดรอยเปื้อนหรือหลุดออกไปเป็นรูโพรง ปริมาณของสิ่งเจือปนที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตต้องไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณของสิ่งเจือปนในวัสดุผสมที่ยอมให้

สิ่งสกปรกที่เจือปน	เปอร์เซ็นต์ที่ยอมให้สูงสุดโดยน้ำหนัก	
	ในวัสดุผสมละเอียด	ในวัสดุผสมหยาบ
ดินเหนียว	1.00	0.25
ฝุ่นหรือผงละเอียด (Silt) ที่ลอดตะแกรงเบอร์ 200:		
1. คอนกรีตที่รับแรงเสียดสี	5.0	1.0
2. คอนกรีตทั่วไป	5.0	1.0
ถ่านหินหรือลิกไนท์:		
1. ในงานที่อวดผิวหน้า	0.5	0.5
2. คอนกรีตทั่วไป	1.0	1.0
วัสดุอ่อน (เช่น รากไม้ เศษไม้)	-	5.0

การขจัดสิ่งสกปรกที่เจือปนทำได้หลายวิธี เช่น ล้างน้ำ หรือร่อนผ่านตะแกรง การร่อนจะช่วยให้แยกสิ่งสกปรกชิ้นใหญ่ ๆ (เช่น เปลือกหอย ขานอ้อย ใบไม้ รากไม้ ถุงพลาสติก ออกได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีง่าย ๆ ในการตรวจเพื่อหาความสะอาดของทราย ทำได้โดยหยิบทรายขึ้นมาแล้วหรือขยี้บนฝ่ามือ ถ้าปรากฏว่ามีเชื้อดินแยกออกหรือมีสีติดฝ่ามือ ก็แสดงว่าเป็นทรายที่ไม่สะอาดพอ

สารอินทรีย์จากวัชพืชที่เจือปนอยู่ในทราย เช่น ตะไคร่น้ำ ใบไม้เน่า ฯลฯ เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เพราะจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเสียไปด้วย โดยอาจทำให้ซีเมนต์แข็งตัวช้าหรือไม่แข็งตัวเลยก็ได้ และบางทีจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงอย่างมาก การตรวจปริมาณสารอินทรีย์ในทรายอย่างคร่าว ๆ อาจใช้วิธีวัดความเข้มของสี (Colorimetric Test) ซึ่งทำได้โดยแช่ทรายชื้นลงในน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อย 3% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบของน้ำยากับสีมาตรฐาน ทรายที่ปราศจากสารอินทรีย์จะให้สีของสารละลายใสหรือสีเหลืองอ่อน ๆ แต่ถ้าสารละลายให้สีระหว่างสีเหลืองอ่อนกับสีน้ำตาล ก็ควรจะสงสัยในคุณภาพไว้ก่อน แต่ถ้าสีเข้มแสดงว่ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มาก ซึ่งไม่ควรนำมา

7. ความลดหลั่นของขนาดหรือส่วนขนาดคละ

คอนกรีตต้องมีความลดหลั่นของขนาดตามเกณฑ์กำหนด
ช่องว่างน้อย ช่วยให้ทำงานได้ง่าย ปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะต้องใช้กัน
เคลือบผิววัสดุผสมทั้งหมด และเติมเต็มช่องว่างที่เหลืออยู่เพื่อเชื่อมให้วัสดุผสมยึดติดกัน ทำให้คอนกรีตมีราคาถูกลง การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติข้อนี้ทำได้โดยใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Gradation Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 เกณฑ์กำหนดส่วนขนาดคละของวัสดุผสม (ASTM C 33)

ตะแกรงขนาด	ทราย	ค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่าง ๆ			
		หิน			
		ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง3/4 นิ้ว	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 1 นิ้ว	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 1.5นิ้ว	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 2 นิ้ว
2 นิ้ว				0	0-5
1 1/2 นิ้ว			0	0-5	-
1/3 นิ้ว		0	0-5	-	30-65
1/4 นิ้ว		0-10	-	30-65	-
2 นิ้ว		-	40-75	-	70-90
3/8 นิ้ว	0	45-80	-	70-90	-
เบอร์ 4	0-5	90-100	90-100	95-100	95-100
เบอร์ 8	0-20	95-100	95-100		
เบอร์ 16	15-50				
เบอร์ 30	40-75				
เบอร์ 50	70-90				
เบอร์ 100	90-98				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 น้ำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการทำคอนกรีต หากแบ่งออกตามสภาพการใช้งานจะได้ (ก) น้ำสำหรับผสมคอนกรีตให้มีความข้นเหลวทำงานง่าย (ข) น้ำสำหรับบ่มคอนกรีตให้แข็งตัวและมีกำลังรับแรงได้ตามต้องการและ (ค) น้ำสำหรับล้างวัสดุผสมให้สะอาดก่อนใช้ผสมทำคอนกรีต

2.4.1 น้ำสำหรับผสมคอนกรีต (Mixing Water)

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ppm. (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรด ด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม โดยปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนหรือจากตรงงานอุตสาหกรรมถือว่ามีคุณภาพดีพอสำหรับงานคอนกรีต ในกรณีสงสัย ให้ทำแท่งทดสอบใช้น้ำที่สงสัยและเปรียบเทียบกำลังอัด (ที่อายุ 7 และ 28 วัน) ของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้าที่ทำจากน้ำที่มีคุณภาพดี หากแท่งทดสอบที่ใช้น้ำที่สงสัยผสมให้กำลังอย่างน้อย 90 เปอร์เซ็นต์ ก็ถือว่าน้ำนั้นมีคุณภาพดีพอ

หน้าที่ของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ

1. ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียกเพื่อปูนซีเมนต์จะเข้าเกาะโดยรอบและแข็งตัวยึดให้ติดกันได้

2. ทำหน้าที่หล่อลื่นในวัสดุทั้ง 3 อย่างนี้ เกิดความเหลว สามารถเทและกระทุ้งหรือเกลี่ยเข้าแบบหล่อให้เป็นรูปต่าง ๆ ได้

3. ทำหน้าที่เข้าผสมกับปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาทางเคมีแล้วเกิดความร้อน ที่เรียกว่า Heat of Hydration ทำให้ผงซีเมนต์นั้นกลายเป็นวุ้น และเป็นซีเมนต์เหนียวซึ่งเป็นตัวประสานผิวระหว่างเม็ดของวัสดุผสม เกาะยึดกันแน่นเมื่อแข็งตัว

สารที่เจือปนอยู่ในน้ำ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการก่อตัวและกำลังของคอนกรีต ได้แก่ ฝุ่น หรือผง (Silt) น้ำมัน กรด ด่าง เกลือด่าง สารอินทรีย์ต่าง ๆ น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น สารต่าง ๆ เหล่านี้ยอมให้เจือปนอยู่ในน้ำได้ไม่เกินกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ปริมาณที่ยอมให้ของสารเจือปนในน้ำ

สารที่เจือปน	ปริมาณที่ยอมให้สูงสุด (ส่วนต่อล้าน)
เกลือ	
โซเดียมคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต	1,000
แคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต	400
แมกนีเซียมซัลเฟตและคลอไรด์	40,000
โซเดียมคลอไรด์	20,000
โซเดียมซัลเฟต	10,000
กรด	10,000
เกลือของแร่เหล็ก	40,000
ฝุ่นหรือผงหรืออนุภาคลอยตัว	2,000
น้ำทะเล	35,000
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	4,000
น้ำโสโครก	400
น้ำตาล	500
ตะไคร่น้ำ	1,000
โปแตสเซียมและโซเดียมไฮดรอกไซด์	0.5-1.0% (โดยน้ำหนักของซีเมนต์)
น้ำมัน	2.0% (โดยน้ำหนักของซีเมนต์)

คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต ถ้ามีโซเดียมคาร์บอเนตผสมอยู่เป็นปริมาณมาก จะทำให้คอนกรีตแข็งตัวเร็วเกินไป หรือถ้ามีโซเดียมและโปแตสเซียมไบคาร์บอเนตเกินกว่า 0.01% จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดต่ำลง และระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับจำนวนไบคาร์บอเนต ถ้ายอมให้มีคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตผสมอยู่ได้ไม่มากกว่า 1,000 ppm.(0.1%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลือของแร่เหล็ก (Iron Salt) ถ้ามีน้อยกว่า 4% หรือ 40,000 ppm. จะไม่ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงแต่อย่างใด

เกลือของแมกนีเซียม (Mg) ดีบุก (Sn) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) มีผลกระทบต่อระยะเวลาการก่อตัว และกำลังของคอนกรีตจะลดลง ถ้ามีได้ไม่เกิน 500 ppm.

โซเดียมคลอไรด์และซัลเฟต น้ำที่มีโซเดียมคลอไรด์ปนอยู่ไม่เกินกว่า 20,000 ppm อาจใช้ผสมทำคอนกรีตได้ ส่วนน้ำที่มีโซเดียมซัลเฟตปนอยู่ 0.5% จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดต่ำลง 4% แต่ถ้ามีปนอยู่ 1.0% จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงไปถึง 10% หากมีปนอยู่มากกว่า 1% (10,000 ppm.) จะทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลงไปมาก และไม่ควรนำมาใช้ผสมคอนกรีต

น้ำทะเล น้ำทะเลที่มีความเข้มข้นของเกลือ (NaCl, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$, $CaCl_2$) ละลายอยู่ไม่เกิน 35,000 ppm. (3.5%) สามารถใช้ผสมทำคอนกรีตได้ แต่จะทำให้กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตลดลง 10-20% แต่ถ้ามีปนอยู่ 5.0% จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง 30% โดยคอนกรีตจะให้กำลังแข็งแรงเร็วในระยะแรกและจะลดลงเมื่ออายุได้ 28 วัน ถ้าสามารถหาน้ำจืดมาใช้ผสมคอนกรีตได้ ก็ไม่ควรใช้น้ำทะเล ไม่ควรใช้น้ำทะเลในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้เพราะเหล็กเสริมจะเป็นสนิมและผุเร็ว ในงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในน้ำทะเล ควรมีคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมหนาไม่น้อยกว่า 7 ซม. ในงานคอนกรีตอัดแรงไม่ควรใช้น้ำทะเล หรือน้ำที่มีสารคลอไรด์ผสมคอนกรีต เพราะเหล็กเสริมที่ใช้จะเป็นสนิมโดยง่ายถ้าถูกกับสารคลอไรด์

สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการจะอวดผิวหน้า หรือจะทาสีหรือจะฉาบปูน หรือจะทำงานประดับอื่น ๆ อีก ไม่ควรใช้น้ำทะเลเป็นส่วนผสม เพราะอาจเกิดความชื้น และขี้เกลือขึ้นได้

กรดและด่าง น้ำที่มี HCl และ H_2SO_4 หรือกรดอื่น ๆ เจือปนอยู่ไม่เกิน 10,000 ppm. สามารถนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตได้ โดยไม่ทำให้กำลังของคอนกรีตเสียไป น้ำที่มี NaOH รวมอยู่ 0.5% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ก็จะไม่ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงเช่นกัน

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำโสโครก มีอันตรายต่อคอนกรีต น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีตะกอนประมาณ 4,000 ppm. อาจทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้ถึง 10% ยอมให้น้ำโสโครกได้ไม่เกิน 400 ppm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาล ถ้ามีน้ำตาลละลายปนอยู่ประมาณ 0.03-0.15% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะทำให้การก่อตัวช้าลง แต่ถ้ามีปนอยู่มากกว่า 0.20% จะทำให้การก่อตัวกลับเร็วขึ้น ยิ่งถ้ามีมากกว่า 0.25% การก่อตัวก็จะยิ่งเร็วขึ้นมาก และกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วันจะลดลง

น้ำมัน ในบางครั้งอาจมีน้ำมันปนอยู่ในน้ำ ซึ่งจะทำให้คุณภาพของคอนกรีตเสียไป ถ้าเป็นน้ำมันปิโตรเลียมบริสุทธิ์ โดยไม่มีน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์เจือปนอยู่ด้วย อาจจะไม่ทำให้กำลังของคอนกรีตผิดไป แต่อย่างไรก็ดี ถ้ามีน้ำมันปิโตรเลียมผสมอยู่ในน้ำมากกว่า 2% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ คอนกรีตจะมีกำลังลดลงมากกว่า 20%

ตะไคร่น้ำ มีผลเสียอย่างมากต่อกำลัง และการยึดเหนี่ยวของคอนกรีต และทำให้เกิดช่องว่างและรูพรุนในคอนกรีต ยอมให้มีได้ไม่เกินกว่า 1,000 ppm.

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตขึ้นอยู่กับส่วนผสมและคุณสมบัติของหิน ทรายและซีเมนต์ คอนกรีตจะแข็งแกร่ง ทนทาน มีรูโพรงหรือแน่นทึบก็ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใส่ลงไป ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตโดยมากจะบอกเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก ถ้าใส่น้ำมากเกินไปคุณภาพของคอนกรีตก็จะเลวลง เนื่องจากน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเคมีกับซีเมนต์จะเหยอออกไปเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ทำให้เกิดเป็นโพรงช่องว่างในเนื้อคอนกรีต จึงมีกำลังความแข็งแรงในด้านต่าง ๆ น้อยลง

ตารางที่ 4 กำลังอัดของคอนกรีตต่ำสุดสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ กัน

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	กำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ⌀15x30 ซม. เมื่ออายุ 28 วัน (กก. ต่อตาราง ซม.)	
	คอนกรีตที่ไม่ได้กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
0.35	420	335
0.40	350	280

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 กำลังอัดของคอนกรีตต่ำสุดสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ กัน (ต่อ)

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	กำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ⌀15x30 ซม. เมื่ออายุ 28 วัน (กก. ต่อตาราง ซม.)	
	คอนกรีตที่ไม่ได้กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
0.50	280	225
0.60	225	180
0.70	175	140
0.80	140	115

น้ำที่ต้องการใช้จริง ๆ เพื่อผสมกับปูนซีเมนต์ให้แข็งได้นั้นมีปริมาณน้อยกว่าที่ใช้ในการผสมคอนกรีตสำหรับใช้เทเข้าแบบมาก แต่ถ้าจะใช้น้ำเพียงแต่พอความต้องการของปูนซีเมนต์ดังกล่าว คอนกรีตจะแห้งมากเกินไป จนไม่สะดวกในการที่จะเทลงแบบและกระทุ้งให้เป็นรูปได้ ฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้น้ำมากเกินกว่าที่ปูนซีเมนต์ต้องการจริง ๆ แต่ต้องไม่ลืมว่าถ้าใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นเท่าใด กำลังของคอนกรีตก็ลดลงไปตามลำดับดังตารางที่ 1 ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับซีเมนต์อย่างเพียงพอและสมบูรณ์ต้องไม่น้อยกว่า 30% ของน้ำหนักของซีเมนต์ ในงานคอนกรีตบางอย่าง เช่น งานคอนกรีตเสริมเหล็กถ้ามีเหล็กมากจำเป็นต้องผสมคอนกรีตให้เหลวพอที่จะเทให้ลอดเข้าไปในระหว่างเหล็กได้ นั่นคือต้องใส่น้ำมากขึ้นและถ้าจะให้ได้กำลังคอนกรีตพอกับความต้องการ ต้องเพิ่มปูนซีเมนต์เข้าไป จำไว้เสมอว่าต้องทำให้ส่วนผสมเหลวพอกับความต้องการเท่านั้น อย่างทำให้เหลวมากเกินไปเพราะจะทำให้กำลังคอนกรีตลดลง หรือถ้าจะให้คงที่ก็ต้องเพิ่มปูนซึ่งเป็นการเปลืองโดยใช่เหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 น้ำสำหรับบ่มคอนกรีต (Water for Curing Concrete)

น้ำที่มีสารเจือปน เช่น ฝุ่น (Silt) น้ำมัน หรือเกลือ ผสมอยู่พอสมควรอาจใช้ในการบ่มคอนกรีตได้ โดยไม่ทำให้เกิดรอยเปื้อนหรือสีบนผิวคอนกรีต น้ำที่มีกรดหรือสารอินทรีย์เจือปนจะต้องได้รับการตรวจสอบก่อนนำไปใช้ จะต้องระวังสารอินทรีย์พวกกรดแทนนิค (tannic Acid) เกลือของแร่เหล็ก เพราะอาจก่อให้เกิดรอยเปื้อนเปรอะบนผิวคอนกรีต

2.4.3 น้ำสำหรับล้างวัสดุผสม (Washing Water)

การใช้น้ำที่มีสารเจือปน เช่นพวก ฝุ่น (Silt) เกลือ และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ล้างวัสดุผสมให้สะอาดก่อนที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตนั้น สารเจือปนเหล่านี้จะไปเคลือบอยู่บนผิวของวัสดุผสม และอาจเป็นสาเหตุให้เนื้อคอนกรีตผุกร่อน คอนกรีตแข็งตัวช้า หรือกำลังลดลง ฉะนั้นจึงควรเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างวัสดุผสมบ่อย ๆ เพราะเท่าที่พบเห็น การล้างจะใช้บุ้งกี๋ซึ่งใส่ หิน กรวด ทราย และจุ่มลงไปในถัง จนน้ำในถังนั้นดำเป็นโคลนก็ไม่ค่อยเปลี่ยนน้ำกัน ดังนั้นแทนที่จะทำให้วัสดุนั้นสะอาด ก็กลับสกปรกขึ้นไปอีก ปริมาณของสารเจือปนที่ยอมให้มีอยู่ในน้ำสำหรับล้างวัสดุผสมนั้นไม่แน่นอน ควรใช้วิธีทดลองและเปรียบเทียบโดยใช้น้ำที่มีสารเหล่านี้เจือปน และน้ำนะอาดล้างวัสดุผสมที่จะใช้ผสมทำคอนกรีตแล้วเปรียบเทียบหาผลเสียหายว่าเป็นอย่างไร

2.5 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต

2.5.1 การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต (Mix Design)

เป็นการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของส่วนประกอบแต่ละอย่างของคอนกรีตสำหรับงานหนึ่ง ๆ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีความข้นเหลวพอเหมาะและสะดวกในการทำงาน และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว มีกำลัง และความทนทานตามต้องการในราคาที่ประหยัดที่สุด

ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับใช้ในงานเล็ก ๆ ที่ถือว่าไม่สำคัญมากนัก อาจกำหนดได้เลยโดยอาศัยข้อมูลหรือสถิติต่าง ๆ ที่ได้ปฏิบัติมาแล้วเป็นเกณฑ์ เช่นใช้คอนกรีต 1:2:4 โดยปริมาตรหรือโดยน้ำหนัก ซึ่งหมายถึงใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน และหิน 4 ส่วน เป็นต้น แต่ในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ที่สำคัญ ควรออกแบบหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่จะใช้ตามสภาพของงาน ทั้งนี้เพื่อให้ได้กำลังของคอนกรีตที่ต้องการ และในราคาประหยัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต อาจทำได้โดยใช้วิธีทดลองผสม หรือใช้วิธีของ ACI ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาก แต่ในการผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่คำนวณได้นั้น จะให้ได้ผลตามความต้องการย่อมเป็นไปไม่ได้ ทั้งนี้เพราะวัสดุที่ใช้อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม และคุณสมบัติอาจไม่ตรงตามที่คำนวณ การหาสัดส่วนส่วนผสมที่ดีที่สุด นอกจากการคำนวณอย่างเดียวแล้วต้องทำการทดลองผสมจริงดูด้วย เพื่อตรวจสอบและคอยปรับสัดส่วน จนกว่าจะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

นอกจากนี้ การทดลองในห้องปฏิบัติการ ก็อาจให้ผลไม่ตรงกับการนำไปผสมใช้งานต่าง ๆ เหตุผลเนื่องจากเครื่องผสมในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป มีขนาดและลักษณะแตกต่างจากที่ทำเพื่อใช้งานจริง ๆ อนึ่ง ในการปฏิบัติงานจริง ๆ ยังมีผลเนื่องจากการลำเลียง การเทและสภาวะอากาศสิ่งเหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งสิ้น ดังนั้นการหาสัดส่วนผสมต้องใช้ทั้งความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีต รวมไปถึงข้อมูลจากการทดลองด้วย

2.5.2 องค์ประกอบในการพิจารณาหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต

การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต ควรคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ต่อไปนี้

กำลัง (Strength)

กำลังเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต กำลังของคอนกรีตมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงเฉือน และกำลังยึดเหนี่ยว เป็นต้น แต่ที่ต้องการและสำคัญที่สุดเพื่อใช้พิจารณาเลือกสัดส่วนการผสมคอนกรีตก็คือ กำลังรับแรงอัด เพราะกำลังรับแรงอย่างอื่นของคอนกรีต (ที่กล่าวแล้วข้างต้น) เป็นสัดส่วนกับกำลังรับแรงอัด โดยทั่วไปจะกำหนดค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาหนึ่ง เช่น เมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน เป็นต้น ค่าเฉลี่ยนี้ควรให้มีค่าสูงกว่าที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างประมาณ 15 - 25 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์หรือที่เรียกว่า Water-Cement Ratio มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาก ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มาก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตก็จะต่ำ ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์น้อยลง ค่ากำลังรับแรงอัดก็จะสูงขึ้น ในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนนี้ไว้คงที่แล้ว แม้ส่วนผสมอื่น ๆ จะเปลี่ยนไปบ้าง กำลังของคอนกรีตจะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ฉะนั้นจึงอาจกำหนดกำลังของคอนกรีตได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำและซีเมนต์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความทนทาน (Burability)

โดยทั่วไปคอนกรีตที่มีกำลังพอสมควรในภาวะปกติ จะมีความทนทานเป็นที่น่าพอใจ แต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่เปิดเผยรุนแรงต่าง ๆ เช่น โครงอาคารในน้ำทะเล ความทนทานจะน้อยลง อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ก็มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต สถาบันคอนกรีตของอเมริกัน ได้ให้ตารางอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

ความสามารถเทได้ (Workability)

คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ ควรมีความข้นเหลวพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบได้สะดวก หรือที่เรียกว่า มีความสามารถเทได้นั่นเอง สัดส่วนผสมที่ทำให้คอนกรีตเหลวเกินไป มีผลให้เกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงและเท อีกทั้งทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง ไม่คงทนถาวรและมีโอกาสแตกร้าวได้ง่าย

ความสามารถเทได้ขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดที่จะเทคอนกรีต และระยะห่างของเหล็กเสริม ถ้าหน้าตัดแคบและมีเหลี่ยมมุมมาก คอนกรีตจะต้องมีความสามารถเทได้สูง เพื่อความสะดวกในการทำงาน ความข้นเหลวที่พอเหมาะนี้ใช้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตเป็นเครื่องกำหนดแนวทางที่ใช้เป็นมาตรการหาความข้นเหลว หรือเทียบว่ามีน้ำมากน้อยแค่ไหนนั้นดูได้จากระยะการยุบตัวสำหรับคอนกรีตที่ใช้ในงานต่าง ๆ นั้น ควรทำเป็นประจำ เพื่อจะได้เนื้อคอนกรีตที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอกันตลอด

ขนาดโตสุดของวัสดุผสม

ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ความกว้างของหน้าตัดที่จะเทคอนกรีต และระยะห่างของเหล็กเสริมจะเป็นตัวกำหนดขนาดโตสุดของวัสดุผสมที่จะใช้ โดยทั่วไปจะพยายามใช้วัสดุผสมที่มีขนาดโตที่สุดเท่าที่จะยอมให้ได้ ทั้งนี้เพราะการใช้วัสดุผสมที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ จะทำให้ผิวที่สัมผัสกับซีเมนต์ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักน้อยลง นั่นคือปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะใช้ก็น้อยลงด้วย ทำให้ลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมลงด้วย เป็นเหตุให้กำลังของคอนกรีตสูงขึ้นและได้คอนกรีตราคาประหยัด อย่างไรก็ดี ขนาดโตสุดของวัสดุผสมไม่ควรโตกว่าสามในสี่ส่วนของระยะห่างของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม และต้องไม่เกินกว่า 1/5 เท่าของด้านแคบที่สุดของโครงอาคารที่จะเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนขนาดคละและลักษณะของวัสดุผสม

ส่วนขนาดคละของหินและทรายมีผลต่อสัดส่วนการผสม ส่วนผสมที่มีทรายหยาบอยู่มากจะทำให้ทำงานยาก แต่ถ้ามีทรายละเอียดอยู่มากก็จะทำให้ไม่ประหยัด ถ้าส่วนคละของหินไม่ดีจะต้องใช้ทรายมากขึ้นเพื่อช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น ถ้าทรายขาดขนาดใดขนาดหนึ่งไป จะทำให้แต่งหน้ายากเพราะทรายละเอียดจะต้องไปอุดตามช่องว่าง การกระจายขนาดควรอยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐาน เพื่อจะได้คอนกรีตที่เหลวมีความสามารถเทได้โดยใช้ปริมาณน้ำผสมน้อยลงและได้กำลังตามต้องการ

ลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุผสม อาทิเช่น ลักษณผิว รูปร่าง ความละเอียด ความชื้น ความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก ตลอดจนสิ่งที่เจือปนมากับวัสดุผสม มีผลโดยตรงกับอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสมต่อซีเมนต์ ในการคำนวณหาสัดส่วนผสม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ถึงชนิดและประเภทของวัสดุผสม

ทรายที่เหมะสำหรับทำคอนกรีตต้องมีเมล็ดคมและสะอาด ขนาดของทรายมีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต ถ้ามีขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 มากเกินไป (เกินกว่า 45 เปอร์เซ็นต์) จะทำให้เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้ามีทรายมีผ่านตะแกรงเบอร์ 100 มากเกินไป ปริมาณฟองอากาศจะลดลง ทรายที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 100 จะเป็นตัวเพิ่มความข้นเหนียวของคอนกรีต และช่วยไม่ให้ฟองอากาศต้องสูญเสียไปในระหว่างการผสม เท และแต่งหน้าคอนกรีต

หินที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบาง ไม่เหมาะที่ใช้ทำคอนกรีต หินที่มีผิวขระขระจะต้องการน้ำในส่วนผสมมากขึ้น

ปริมาณของวัสดุผสมในคอนกรีต

ในการทำคอนกรีต มักเลือกใช้ปริมาณของวัสดุผสมให้สูง แต่อยู่ในเกณฑ์ที่จะเทและทำงานง่ายโดยใช้ปริมาณน้ำผสมให้ต่ำ และให้ได้กำลังคอนกรีตออกมาตามต้องการ หินและทรายที่ใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต จะขึ้นอยู่กับ ขนาดโตสุดของวัสดุผสมนั้น และค่าความละเอียดของทราย

อัตราส่วนระหว่างทรายต่อหิน เป็นสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง ส่วนผสมที่มีทรายมากเกินไป (หินน้อย) จะช่วยให้ทำงานง่าย แต่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวง่าย ไม่ทนทานและไม่ประหยัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผสมที่มีหินมากเกินไป (ทรายน้อย) จะทำให้คอนกรีตเป็นรูโพรง เนื้อไม่แน่น และทำงานยาก อัตราส่วนระหว่างทรายต่อหินควรอยู่ระหว่าง 33-15 เปอร์เซ็นต์ สำหรับส่วนผสมที่ใช้ปูนซีเมนต์มากเกินไปจะทำให้คอนกรีตแตกร้าวง่ายไม่ทนทานและไม่ประหยัด

2.5.3 วิธีของ ACI

การคำนวณหาปริมาตรส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไปซึ่งหล่อกับที่ อาจจะดำเนินเป็นขั้น ๆ ตามวิธีการซึ่งเสนอโดยสถาบันคอนกรีตของอเมริกา (ACI 211.0-70) ดังต่อไปนี้ ซึ่งให้ผลค่อนข้างแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงและถูกต้อง ทั้งนี้จะต้องทราบถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตเสียก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียดและเปอร์เซ็นต์การดูดซึม เป็นต้น อีกทั้งวัสดุผสมต้องมีส่วนขนาดคละอยู่ในพิกัดกำหนดด้วย

1. เลือกค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน

ค่าความยุบตัวต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และให้ได้ความข้นเหลวพอทำงานได้สะดวก ในกรณีที่มิได้กำหนดค่าความยุบตัวมาให้ ค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงานเลือกใช้ได้จากตารางที่ 7.1

2. เลือกขนาดโตสุดของวัสดุผสม

ขนาดโตสุดของวัสดุผสม ไม่ควรเกินกว่า 1/5 ของส่วนแคบที่สุดของแบบ หรือ 1/3 ความหนาของแผ่นพื้น หรือ 3/4 ของขนาดความห่างของเหล็กเสริมที่น้อยที่สุด

ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบที่เหมาะสมกับประเภทการใช้งาน อาจเลือกได้จากตารางที่ 7.2

3. ประมาณปริมาณน้ำที่ผสมและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 7 ให้ปริมาณน้ำที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุด รูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม ในตารางดังกล่าว ยังให้ค่าปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในส่วนผสมคอนกรีตที่ไม่มีสารทำให้เกิดฟองอากาศ และปริมาณฟองอากาศที่ควรจะมีในส่วนผสมคอนกรีตเมื่อใส่สารทำให้เกิดฟองอากาศ

4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับลักษณะที่คอนกรีตนั้นถูกนำออกไปใช้งาน และกับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับวัสดุผสมที่จะใช้ผสมทำคอนกรีต ก็ให้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์จากตารางที่ 8 และ 9 ตารางที่ 8 ให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับประเภทงาน และสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ส่วนตารางที่ 9 ให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ต้องการ และให้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนดังกล่าวที่ต่ำที่สุดซึ่งหาได้จาก 2 ตารางนี้

5. คำนวรปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ในคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรย่อมหาได้ซึ่งเท่ากับ ปริมาณน้ำจากขั้นที่ 3 หารด้วยอัตราส่วนจากขั้นที่ 4 อย่างไรก็ดี ถ้ากำหนดปริมาณซีเมนต์ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตมาให้ก็ให้เลือกใช้ค่าที่มากที่สุดจากที่คำนวณได้ หรือที่กำหนดให้

6. คำนวณปริมาณวัสดุผสมหยาบ

ตารางที่ 10 แสดงปริมาตรของวัสดุหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น (Dry Rodded) ในส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งแตกต่างตามค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายที่ใช้ และขนาดโตที่สุดของหินที่ใช้ ปริมาณของวัสดุผสมหยาบคิดเป็นน้ำหนักมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัสดุผสมหยาบคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบนั้น

7. ประมาณปริมาณวัสดุผสมละเอียด

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ของส่วนผสมจนถึงลำดับที่ 6 แล้ว ปริมาณของวัสดุผสมละเอียดจะหาได้ดังนี้

ประมาตรเนื้อแท้ของวัสดุผสมละเอียด = ปริมาตรของคอนกรีต - ปริมาตรเนื้อแท้ส่วนผสมต่าง ๆ (ยกเว้นทราย)

โดยที่ ปริมาตรเนื้อแท้ (ซึ่งเป็นปริมาตรที่ไม่มีช่องว่างในเนื้อ) ของวัสดุคำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ และน้ำหนักของวัสดุ กล่าวคือ

$$\text{ปริมาตรเนื้อแท้} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}}$$

8. ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม

ตามปกติ วัสดุผสมที่ใช้งานจริงจะมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้ง ฉะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงต้องแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่ดิดมาและลดน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน ในกรณีที่วัสดุผสม แห้งกว่าสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้งจะต้องแก้ส่วนผสมเช่นเดียวกันในทางตรงกันข้าม

9. การปรับส่วนผสมด้วยการทดลองผสม

สัดส่วนของผสมต่าง ๆ ที่คำนวณแล้วเป็นเกณฑ์โดยประมาณทั้งสิ้น ซึ่งจะต้องตรวจสอบดูด้วย ถึงผลที่ได้ทั้งในด้านกำลังของคอนกรีตและความยากง่ายในการทำงานโดยการทดลองผสมจริง จากนั้นตรวจสอบดูหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ปริมาตรที่ใช้และปริมาณอากาศ แล้วจึงปรับส่วนผสมต่าง ๆ ให้เหมาะสมอีกครั้งหนึ่ง

ถ้าต้องการให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 ซม. จะต้องเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในส่วนผสม 2 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะมีผลให้กำลังของคอนกรีตน้อยลงหรือมากขึ้นตามไปด้วย ฉะนั้นถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังคงเดิม จะต้องปรับปริมาณปูนซีเมนต์หรือหินและทรายร่วมไปด้วย

ถ้าต้องการให้คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศมีปริมาณฟองอากาศเพิ่มขึ้น หรือลดลง 1 เปอร์เซ็นต์จะต้องลดหรือเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม 3 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 5 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ประเภทของงาน	ค่าความยุบตัว (ซม.)	
	ค่าสูงสุด*	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5.0	2.0

*อาจเพิ่มได้อีก 2 ซม. สำหรับการทำคอนกรีตให้แน่นตัวโดยวิธีการอื่น ที่นอกเหนือไปจากการใช้เครื่องสั่น (Vibrator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ขนาดความหนาของโครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนังและเสา คสล.		ผนังคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีตรับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0-15.0	.5-.75	12.5-20	.75	20	.75-1	20-25	.75-1.5	20-40
15.0-30.0	.75-1.5	20-40	1.5	40	1.5	40	1.5-3	40-75
30.0-75.0	1.5-3	40-75	3	75	1.5-3	40-75	3	75
มากกว่า 75.0	1.5-3	40-75	6	100	1.5-3	40-75	3-6	75-10

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม.^{3} สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ							
	3/8" 10 มม	1/2" 12.5มม	3/4" 20 มม.	1" 25 มม.	1 1/2" 40 มม.	2" 50 มม.	3" 75 มม.	6" 150 มม
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายอากาศ								
3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม.^{3} สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ							
	3/8" 10 มม	1/2" 12.5มม	3/4" 20 มม.	1" 25 มม.	1 1/2" 40 มม.	2" 50 มม.	3" 75 มม.	6" 150 มม
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ								
3-5	180	175	165	145	145	140	135	120
8-10	200	190	180	160	160	155	150	135
15-18	215	205	190	170	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

หมายเหตุ - ปริมาณน้ำที่แสดงนี้เป็นปริมาณสูงสุดสำหรับหินที่มีรูปร่างดี ช่วยให้ทำงานง่ายและลดหลั่นดีตามข้อกำหนด ถ้าจำเป็นต้องเพิ่มน้ำในส่วนผสม จะต้องเพิ่มปูนซีเมนต์ เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์คงที่ นอกจากผลการทดลองแสดงว่าคอนกรีตมีกำลังสูงเกินต้องการ

- ถ้าส่วนผสมต้องการน้ำน้อยกว่ากำหนด ยังไม่ควรลดปริมาณปูนซีเมนต์นอกจากการทดลองแสดงว่าคอนกรีตให้กำลังสูงกว่าต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีต-กระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำเค็ม หรือถูกกับซัลเฟต
โครงสร้างบาง ๆ ที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	0.50	0.45*

*ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (ประเภทสองหรือประเภทห้า) อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นี้ได้อีก 0.05

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (กก./ซม.^{2})	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน ϕ15x30 ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

ตารางที่ 10 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่าง ๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8" (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2" (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2" (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้นี้ เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การผสม การลำเลียง การเทและการทำให้แน่น

คอนกรีตจะมีเนื้อสม่ำเสมอ กำลัง และความทนทานตามต้องการ ก็ขึ้นอยู่กับวิธีการผสม การลำเลียง การเทและเขย่าคอนกรีต ตลอดจนการบ่ม ถึงแม้ว่าจะได้ออกแบบกำหนดสัดส่วนผสมของคอนกรีตให้ดีเพียงใดก็ตาม หากไม่ให้ความสนใจเกี่ยวกับวิธีการทำคอนกรีตดังกล่าวโดยการปฏิบัติให้ถูกต้อง ก็จะไม่ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามต้องการ

2.6.1 การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีต เป็นการนำวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม และน้ำมาผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อให้ได้เนื้อคอนกรีตที่สม่ำเสมอและมีความข้นเหลวที่พอเหมาะ อันจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี โดยน้ำจะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เป็นซีเมนต์เพสท์ และกระจายไปเคลือบหรือหุ้มอนุภาคของวัสดุผสม ซึ่งเมื่อแห้งจะแข็งตามต้องการอันเป็นผลร้ายต่องาน

ข้อสำคัญในขั้นต้นของการผสมคือ ต้องตรวจดูให้วัสดุผสม (ทั้งหยาบและละเอียด) ให้สะอาดเสียก่อน ถ้าไม่สะอาดก็ต้องร่อน หรือล้างออกและควรปล่อยให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปใช้ ข้อสองก็ต้องระวังในการตวงวัดปริมาณวัสดุให้ถูกต้องตามส่วน รวมทั้งน้ำด้วย

ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้กันในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 อย่าง คือ โดยปริมาตรและโดยน้ำหนัก การผสมโดยวัดปริมาตรทำได้ง่าย และอาจใช้ภาชนะ เช่น บุ้งกี๋ หรือถังตวง เป็นเครื่องตวงวัดก็ได้ แต่ผลที่ได้คลาดเคลื่อนได้มาก และไม่แน่นอนโดยเฉพาะการตวงวัดทรายซึ่งปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปได้มาก (ประมาณ 20-50 เปอร์เซ็นต์) ฉะนั้นจึงควรวัดส่วนผสมโดยน้ำหนักซึ่งจะให้ผลถูกต้องกว่า หลีกเลี่ยงความแตกต่างของส่วนผสมแต่ละครั้งได้ และถึงแม้ทรายจะชื้นหรือแห้งตัว น้ำหนักก็จะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย การวัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก มีวิธีการหลายอย่าง เช่น อาจใช้เครื่องชั่งเล็ก หรือเป็นเครื่องชั่งอัตโนมัติซึ่งติดอยู่กับเครื่องผสม หรืออาจใช้ถังมาตรฐานก็ได้

การผสมคอนกรีตอาจทำได้ด้วยมือ หรือด้วยเครื่องผสมก็ได้ และอาจทำได้ดีทั้งสองวิธี แต่โดยมากการผสมด้วยมือมักจะไม่ค่อยสม่ำเสมอและสู้เครื่องผสมไม่ได้ ปริมาณของส่วนผสมที่จะใช้ก็อาจได้จากการตวงวัดเป็นปริมาตรหรือใช้วิธีชั่งน้ำหนัก ซึ่งวิธีทั้งสองนี้ได้ผลคล้ายกันหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำได้ถูกต้องแน่นอน

การผสมด้วยมือ ควรตวงวัสดุผสมละเอียดลงไปในกะบะก่อนแล้วเกลี่ยให้แบนและชั่งปูนซีเมนต์ทับลงไปบนวัสดุผสมละเอียด และเกลี่ยทับ แล้วคลุกแห้ง ๆ ด้วยจอบหรือพลั่วจนปูนกับวัสดุผสมละเอียดเข้ากันสนิทเป็นสีเดียว ถ้ามีปูนเป็นก้อน ๆ ต้องบี้ให้แตกเป็นผงเสียก่อน เมื่อคลุกดีแล้วเกลี่ยให้แบนอีกที แล้วจึงตวงวัสดุผสมหยาบทับลงไป และเกลี่ยวัสดุผสมหยาบให้แบนทับบนปูนซึ่งผสมกับวัสดุผสมละเอียดให้ทั่ว และผสมแห้งอีกจนเคล้ากันดี แล้วก็เกลี่ยให้แบนอีก ต่อไปก็ค่อย ๆ โรยน้ำลงให้ทั่ว ปล่อยให้น้ำซึมซาบชั่วขณะ แล้วลงมือผสมจนคอนกรีตเข้าเนื้อกันดีดูเป็นสีเดียวกันหมด เมื่อผสมแล้วต้องใช้ให้หมดภายใน 30 นาที ถ้าเหลือไม่ควรจะนำไปใช้อีก

การผสมด้วยเครื่องผสม หรือที่เรียกว่าโม่ก็ใช้วิธีคล้ายกัน คือผสมปูนซีเมนต์กับวัสดุแห้ง ๆ เสียก่อน แล้วจึงเติมน้ำและผสมคลุกเคล้าให้ทั่วก่อนที่จะเทลงแบบ ภายในโม่จะมีแผ่นเหล็กกั้น (ใบพาย) ใช้ช่วยในการผสมและเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน เครื่องผสมนี้มีหลายขนาดตามความจุที่ต้องการ ในการผสมคอนกรีตแต่ละครั้งไม่ควรผสมเกินกว่าเครื่องผสมจะรับได้ และควรผสมด้วยอัตราเร็วคงที่ โดยหมุนไม่เร็วกว่า 30 รอบต่อนาที ควรตรวจสอบแผ่นเหล็กกั้นที่ใช้ช่วยในการผสมด้วย ถ้าหากชำรุดหรือสึกหรอมากเกินควร (ประมาณ 20 เซนติเมตร) หรือมีคอนกรีตแข็งติดกับแผ่นเหล็กกั้น จะทำให้การผสมไม่ดีและไม่มีประสิทธิภาพ ห้องเครื่องผสมจะต้องไม่มีรูรั่วน้ำไหลออกไปได้

เวลาที่ใช้ในการผสม ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของเครื่องผสม สำหรับเครื่องผสมที่มีสภาพดี และมีขนาดไม่โตกว่า 0.76 ลูกบาศก์เมตร (1 ลูกบาศก์หลา) เวลาในการผสมควรเป็น 1 นาที สำหรับคอนกรีตที่มีความข้นเหลวธรรมดา หรือ 1.5 นาที สำหรับคอนกรีตที่ค่อนข้างข้น การยืดเวลาผสมออกไปจะให้คอนกรีตที่แข็งแรงกว่า จะทำให้ความทึบน้ำของคอนกรีตดีขึ้น เวลาของการผสมจะเพิ่มขึ้นอีก 15 วินาที สำหรับความจุที่เพิ่มขึ้น 0.38 ลูกบาศก์เมตร (1/2 ลูกบาศก์หลา) หรือเศษของจำนวนนั้น เวลาที่ใช้ในการผสมนับตั้งแต่เมื่อใส่ส่วนผสมทุกอย่างลงในเครื่องผสมแล้ว โดยเติมน้ำเข้าไปหมดภายในเวลา 1 ใน 4 ของเวลาการผสมที่ต้องการ เวลาที่เทคอนกรีตออกจากเครื่องผสม ไม่ถือเป็นเวลาในการผสม ในทางปฏิบัติทั่วไปนิยมเติมน้ำเข้าไปก่อนเป็นปริมาณ 10% ของน้ำที่ต้องการ ส่วนน้ำที่เหลือต้องเติมเข้าไปด้วยความสม่ำเสมอพร้อมกับส่วนผสมที่แห้ง และอีก 10% สุดท้ายไว้เติมหลังจากส่วนผสมทั้งหมดได้ใส่เข้าเครื่องผสมเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ผสมคอนกรีตที่กระทำในรถผสม เช่น คอนกรีตผสมเสร็จ นับจากจำนานรอบที่โม่หมุนไป เพื่อให้ส่วนผสมสม่ำเสมอจะต้องผสมไม่น้อยกว่า 70 รอบ แต่ไม่เกิน 100 รอบ

ตารางที่ 11 เวลาที่ใช้ผสมคอนกรีตสำหรับความจุของเครื่องผสมต่าง ๆ

ความจุของเครื่องผสม (ลูกบาศก์เมตร)	เวลาผสม (นาที)
2 หรือน้อยกว่า	1 3/4
3 หรือน้อยกว่า	2 1/2
4 หรือน้อยกว่า	2 3/4
5 หรือน้อยกว่า	3

การผสมนานไม่มีผลที่จะไปลดกำลังของคอนกรีต ตราบเท่าที่คอนกรีตยังสามารถเทได้อยู่ อย่างไรก็ดีต้องไม่ลืมว่า การผสมมีสภาพเหมือนกับการโม่ ซึ่งบดส่วนผสมทำให้มีส่วนละเอียดเพิ่มมากขึ้น และเกิดความร้อนขึ้นอีกด้วย ซึ่งผลทั้งสองประการนี้เป็นเหตุให้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตลดลงจึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม เพื่อจะรักษาค่าความยุบตัวของคอนกรีตให้คงเดิม เพื่อให้เทได้สะดวก ฉะนั้นกำลังของคอนกรีตจะตกไป ตารางที่ 12 แสดงผลกระทบของเวลาที่ใช้ในการผสมคอนกรีตที่มีต่อค่าความยุบตัว ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อใช้เวลาผสมอยู่ในช่วง 10 นาทีแรก ค่าความยุบตัวจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่หากผสมนานกว่านี้ ค่าความยุบตัวจะลดลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ผลกระทบของเวลาที่ใช้ผสมคอนกรีตต่อค่าความยุบตัว

เวลาผสม, นาที	ค่าความยุบตัว, นิ้ว
2	5.0
5	4.9
10	4.7
15	4.1
30	3.4
60	2.5

การที่ปูนซีเมนต์จับตัวเป็นก้อนในเครื่องผสมคอนกรีต มีสาเหตุเกี่ยวเนื่องกับการใช้เครื่องมือ และลำดับการบรรจุวัสดุต่าง ๆ ลงในเครื่องผสม กล่าวคือ เกิดจากการใส่ทรายเปียก ๆ และปูนซีเมนต์ลงในเครื่องผสมก่อนที่จะใส่น้ำและหิน แผ่นเหล็กกั้นในเครื่องผสมสึกหรอ วัสดุผสมหรือปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้มีอุณหภูมิสูงเกินไป หรือในการใช้น้ำร้อนผสมคอนกรีตใส่วัสดุต่างๆ ลงในเครื่องผสมเร็วเกินไปหรือเกินกำลังของเครื่องผสม และการผสมในเครื่องผสมแบบที่ติดรถกระทำนานเกินไป

เมื่อหยุดพักการผสมเช่นในตอนกลางวัน ก็ควรล้างเครื่องผสมให้สะอาดทุกครั้งมิฉะนั้น ปูนที่เหลือค้างอยู่จะจับติดกับเครื่องผสมนั้น จะทำให้ล้างยากขึ้น ก่อนผสมใหม่ทุกครั้งไม่ควรให้มีคอนกรีตเก่าติดค้างอยู่ภายใน

คอนกรีตเมื่อผสมแล้วจะต้องใช้ภายใน 30 นาที หรือภายในกำหนดระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้น (nitial Setting Time) ยกเว้นกรณีที่ใช้สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Agent) ไม่ควรใช้คอนกรีตที่ผสมไว้นานเกินกำหนดนี้ แต่สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งได้จากการผสมคอนกรีตจากโรงงาน โดยวิธีผสมกับที่หรือผสมโดยรถผสม แล้วจึงส่งคอนกรีตไปเทโดยรถผสมหรือรถกวน จะต้องถ่ายคอนกรีตออกจากโม่ให้หมดภายในเวลา 90 นาทีหลังจากเริ่มผสม ทั้งนี้เพราะคอนกรีตที่ได้รับการผสมแล้วจะเริ่มก่อตัว และกระด้างขึ้น แต่จากการทดลองของผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า หากยังสามารถนำคอนกรีตที่ผสมไว้นานเกินกว่ากำหนดข้างต้น ไปเทลงในแบบหล่อได้โดยมิต้องเติมน้ำเพิ่มอีก กำลังของคอนกรีตจะไม่ลดลงแต่อย่างใด

2.6.2 การลำเลียงคอนกรีต

การลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมหรือจากจุดที่ผสมไปยังจุดที่จะเทลงแบบ ควรกระทำในลักษณะที่จะให้ได้คอนกรีตที่สม่ำเสมอก่อนเทลงแบบ โดยเสียค่าความยุบตัวน้อยที่สุด วิธีการลำเลียงคอนกรีตขึ้นอยู่กับชนิดของงาน เช่นงานเล็ก ๆ นิยมลำเลียงคอนกรีตโดยใช้กะบะล้อเข็น อย่างไรก็ดี การลำเลียงคอนกรีตมีอยู่หลายวิธี ซึ่งอาจใช้รางส่ง กะเช้า รถบรรทุก สายพาน หรือเครื่องมือที่ใช้ความดันและปั๊ม แต่ข้อสำคัญที่ควรระมัดระวังและเอาใจใส่ขณะลำเลียงคอนกรีตก็คือ อย่างให้เนื้อคอนกรีตเกิดการแยกตัว หรือมีการสูญเสียน้ำในส่วนผสมซึ่งเป็นเหตุให้คอนกรีตแห้งหรือกระด้างเกินไป

การแยกตัว เนื่องจากการลำเลียงจะเกิดขึ้นตามจุดที่คอนกรีตถูกเปลี่ยนจากภาชนะหนึ่งไปลงภาชนะหนึ่ง เช่น จากเครื่องผสมไปยังภาชนะขนถ่าย จากภาชนะขนถ่ายไปยังสายพานหรือรางลำเลียงคอนกรีต จากสายพานหรือรางลงไปยังจุดที่เทคอนกรีต เป็นต้น ดังนั้นตามจุดต่าง ๆ เหล่านั้นจึงควรมีอุปกรณ์ช่วยให้คอนกรีตรวมตัวไม่แยกออกจากกัน ดังรูปที่

เวลาที่ใช้ในการลำเลียงคอนกรีตก็เป็นเรื่องที่สำคัญเช่น กัน การลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมไปถึงงานที่เทคอนกรีตจะต้องไม่กินเวลามากจนเกินไปจนทำให้คอนกรีตแข็งตัวเสียก่อน

วิธีการลำเลียงคอนกรีต ทำได้โดย

การใช้ถังบรรจุคอนกรีต เหมาสำหรับจุดที่จะเทคอนกรีตอยู่ต่างระดับกับจุดผสมคอนกรีต

การใช้รถกะบะล้อเข็น เหมาะสำหรับงานในระดับราบ หรือระดับต่ำกว่าจุดผสม และเมื่อมีทางสำหรับเข็นรถได้สะดวก ควรหลีกเลี่ยงเมื่อต้องลำเลียงไปไกล ๆ เพราะอาจเกิดการแยกตัว เนื่องจากส่วนที่เป็นหินจะตกลงลงด้านล่าง ส่วน น้ำ-ปูน-ทราย จะอยู่ข้างบน แต่ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ก็อาจจะแก้ไขการแยกตัวโดยใช้ส่วนผสมค่อนข้างแห้งกว่าปกติ ใช้สารกระจายฟองกักอากาศ ผสมคอนกรีตอีกครั้งก่อนเทลงแบบ อัดลมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตก่อนเทลงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้รางส่งคอนกรีต เหมาะสำหรับจุดที่จะเทอยู่ต่ำกว่าจุดผสมมาก ๆ รางเทอาจเป็นรางเหล็กหรือรางไม้ก็ได้ และควรมีหน้าตัดกลมเพื่อป้องกันการสะสมของคอนกรีตตามมุมราง สิ่งที่ต้องระวังสำหรับการลำเลียงคอนกรีตด้วยวิธีนี้คือ ส่วนผสมของคอนกรีตจะต้องไม่แห้งเกินไปหรือเปียกเกินไป จะต้องหลดีที่ไหลในรางได้ง่ายและไม่เกิดการแยกตัวโดยทำชั้นหักเป็นชั้น ๆ ให้คอนกรีตไหลลงไปในที่ที่ต้องการอย่างสม่ำเสมอได้ เมื่อต้องลำเลียงคอนกรีตเป็นระยะทางยาว ๆ จะต้องทำสิ่งปกคลุม (ป้องกันแดดและลม) เพื่อลดการระเหยของน้ำ ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้คอนกรีตกระด้างเกินขนาด

การใช้สายพานส่งคอนกรีต วิธีนี้ใช้ได้ผลดีกับงานที่อยู่ทั้งระดับต่ำ สูงกว่า หรือในระดับเดียวกันกับจุดผสม การแยกแยะของวัสดุผสมในคอนกรีตมีไม่มากนัก ควรป้องกันแดดและลมด้วย โดยเฉพาะในวันที่มีอากาศร้อนเพื่อไม่ให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีต ทำให้คอนกรีตกระด้างเกินไป ต้องระวังการแยกแยะที่จุดเปลี่ยนและต้องตรวจรักษาตัวขูดให้อยู่ในสภาพดีเสมอ

การใช้ท่ออัดส่งหรือฉีด เป็นวิธีที่เหมาะกับงานท่อ อุโมงค์ โครงสร้างเปลือกบาง หรือโครงสร้างที่มีส่วนโค้งมาก ๆ ข้อเสียคือ จะมีการสูญเสียน้ำขณะพ่นหรือฉีดมาก ดังนั้น จึงต้องผสมน้ำและซีเมนต์มากกว่าปกติ ทำให้ราคาแพง และอาจเกิดการแตกร้าวจากการยึดหดตัวได้

การสูบส่งไปตามท่อ วิธีนี้เหมาะกับงานขนาดใหญ่ ต้องการคอนกรีตปริมาณมาก ๆ และมีสถานที่ทำงานจำกัด เช่น การเทตอม่อกลางน้ำ มีข้อดีคือสะดวก โดยอาจให้ท่อเลี้ยวโค้งหรือให้มีระยะยาวมากน้อยเท่าใดก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องสูบคอนกรีต แต่ต้องระวังอย่าใช้น้ำผสมมากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดการแยกตัวและจุกท่อให้ตัน ปกตินิยมใช้สารเคมีที่ช่วยให้เทได้ง่าย ผสมรวมด้วย เมื่อใช้ในการสูบส่งคอนกรีต

2.6.3 การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีต นับเป็นงานที่สำคัญตอนหนึ่ง เพราะมีผลต่อกำลังความแข็งแรงของโครงสร้างมาก ถ้าหากควบคุมการเทไม่ดีแล้ว อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ส่วนของอาคารได้ ถึงแม้ทำการผสมคอนกรีตนั้นดีเพียงไรก็ตาม

การเทคอนกรีตที่ดีคือ ต้องพยายามให้ได้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอ ไม่เกิดการแยกตัว ต้องทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น ไม่มีช่องว่างหรือรูโพรงเหมือนรังผึ้ง นอกจากนี้ยังรวมถึงการป้องกันไม่ให้แบบและเหล็กเสริมเคลื่อนที่ การให้การยึดเหนี่ยวที่ดีระหว่างชั้นต่าง ๆ ของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรอยร้าวน้อยที่สุด และให้มีรูปลักษณะสวยงาม มีผิวเรียบของโครงสร้างเมื่อถอดแบบแล้วด้วย คอนกรีตที่เทโดยถูกวิธีจะมีความทนทาน และมีอายุยืนยาวกว่า

การเทคอนกรีตจะต้องกระทำในช่วงเวลาที่คอนกรีตยังไม่เริ่มก่อตัวและสามารถไหลลงไปในช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมได้ ห้ามใช้คอนกรีตที่เริ่มก่อตัวแล้ว แม้แต่เพียงบางส่วนหรือคอนกรีตที่มีวัตถุอื่นปะปนอยู่ หรือคอนกรีตที่ทำให้เหลวใหม่ หรือคอนกรีตที่ผสมใหม่หลังจากผ่านการก่อตัวครั้งแรกไปแล้ว

การเตรียมการก่อนที่จะเทคอนกรีต จะต้องเตรียมพื้นรองรับคอนกรีตให้ดีเสียก่อน สำหรับงานคอนกรีตที่เทบนดิน จะต้องเก็บเศษหิน กากปูน ขยะ วัชพืช และสิ่งที่ไม่ต้องการออกให้หมด ปรับดินให้ได้ระดับและบดอัดให้แน่นด้วยเครื่องกระทุ้งหรือลูกกลิ้งหรือรถบด โดยทำเป็นชั้น ๆ ชั้นหนึ่ง ๆ หนาประมาณ 15 ซม. ในบริเวณที่เป็นดินเหลวเป็นโคลนหรือดินเดิมที่ไม่ดีพอต้องขุดออกหรือถางออกให้หมด และนำดินใหม่มาบดอัดให้แน่นเพื่อไม่ให้ยุบหรือทรุดตัว ก่อนเทคอนกรีตต้องทำพื้นให้ชุ่มชื้น เพื่อมิให้ดูดน้ำออกจากคอนกรีตที่จะเทและช่วยในการบ่มคอนกรีต ซึ่งอาจต้องให้ชุ่มชื้นลึกลงไปในดินประมาณ 10-15 เซนติเมตร ถ้าพื้นรองรับมีลักษณะดูดซึมน้ำได้ง่าย เช่น พื้นกรวด ทราย หินอ่อย ต้องป้องกันมิให้น้ำสูญเสียไปโดยใช้กระดาษหนา ๆ หรือวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่ซึมน้ำปิดทับไว้ สำหรับงานเทคอนกรีตในไม้แบบควรทาน้ำมันที่แบบหรือพรมน้ำให้ไม้แบบชุ่มเสียก่อนทำการเท เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากคอนกรีตเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ จะต้องตรวจดูความเรียบร้อยอื่น ๆ เช่น แบบหล่อและค้ำยัน ระดับพื้นคาน ศูนย์เสา อุปกรณ์และสิ่งที่จะฝังติดแน่นในคอนกรีต เหล็กเสริม เกี่ยวกับขนาด ระยะและตำแหน่ง ตลอดจนการงอของต่าง ๆ ต้องทำให้เรียบร้อยก่อนทำการเท มิฉะนั้นจะเป็นการลดกำลังของโครงสร้างลง

ในการเทคอนกรีตควรเทคอนกรีตเป็นชั้น ๆ ในแนวราบ โดยให้แต่ละชั้นมีความหนาเท่า ๆ กัน และไม่ควรเกินชั้นละ 45 ซม. ต้องกระทำต่อเนื่องกันตลอดทั้งพื้นที่ ในอัตราที่คอนกรีตซึ่งเทไปแล้วจะต่อกับคอนกรีตที่จะเทใหม่ยังคงสภาพเหลวพอที่จะเทต่อกันได้ ห้ามเทคอนกรีตต่อกับคอนกรีตซึ่งเทไว้แล้วเกิน 30 นาที แต่จะต้องทิ้งไว้ประมาณ 20 ชั่วโมง จึงจะเทต่อได้ เมื่อเทคอนกรีตลงในแบบหล่อแล้ว จะต้องกระทุ้งหรือสั่นคอนกรีตให้แน่นตัวเต็มแบบหล่อและจับเหล็กแน่น โดยต้องทำให้เสร็จก่อนที่คอนกรีตเริ่มต้นแข็งตัว มิฉะนั้นคอนกรีตจะเสียค่ายุบตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ทำงานยาก และจะได้คอนกรีตที่ไม่มีกำลังเต็มที่ คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะเอาไปใช้ไม่ได้ เป็นอันขาด และจะเอาไปปนกับคอนกรีตที่ผสมใหม่ไม่ได้ในวันที่มีอากาศร้อนจัดจะต้องระวังเรื่องนี้ให้มาก เพราะคอนกรีตเริ่มแข็งตัวเร็วเมื่ออากาศร้อนจัด

ในบางครั้ง เมื่อไม่สามารถเทคอนกรีตส่วนใดให้เสร็จได้ ก็ให้หยุดเทตามตำแหน่งที่จะทำให้ทำโครงเสียสร้างความแข็งแรงน้อยที่สุด ดังนี้

ก. สำหรับเสา ให้เทถึงระดับ 25 มิลลิเมตร ต่ำจากท้องคานหัวเสา

ข. สำหรับคาน ให้เทถึงกลางคาน

ค. สำหรับพื้น ให้เทถึงกลางแผ่น

การเทคอนกรีตทับไปบนคอนกรีตเก่าหรือหล่อเพื่อยึดกับเนื้อคอนกรีตเดิมนั้น จะต้องทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างพื้นและคอนกรีตใหม่ โดยขจัดเศษที่หลุดออกจากพื้นเดิมให้หมด ทำผิวหน้าให้ขรุขระ ขัดและล้างผิวหน้าให้สะอาด และก่อนเทคอนกรีตต้องราดน้ำทำผิวหน้าให้ชุ่มชื้น ควรเทมอร์ต้าลงไปชั้นหนึ่งก่อน โดยใช้ส่วนผสมเช่นเดียวกับคอนกรีตแต่ไม่มีหินในส่วนผสม ส่วนผสมต้องนุ่มพอที่จะแผ่ออกไปได้โดยง่าย ใช้ไม้กวาดให้แผ่กระจายทั่วผิวหน้าให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วจึงเทคอนกรีตต่อไปได้

การเทคอนกรีต มีหลายลักษณะ ซึ่งแตกต่างกันตามสภาพของงาน กล่าวคือ

ก. การเทในแบบซึ่งอยู่ในแนวตั้ง จะต้องระวังไม่ให้คอนกรีตไหลไปชนไม้แบบ เพราะจะเป็นเหตุให้วัสดุผสมต่าง ๆ เกิดการแยกตัว และบางทีก่อความเสียหายให้กับแบบได้

สำหรับแบบที่ไม่ลึกมากนัก อาจใช้การเทลงไปตรง ๆ หรือเทผ่านกรวยลงไปในแบบโดยตรงก็ได้ ข้อสำคัญ คือ อย่างเทคอนกรีตให้ตกลงเป็นมุม เพราะจะทำให้หินและมอร์ต้าแยกออกจากกัน อีกประการหนึ่งคือ ควรเทคอนกรีตเป็นชั้น ๆ หนาไม่เกินชั้นละ 45 ซม. ทั้งนี้เพราะการเทคอนกรีตเป็นกองสูง ๆ จะทำให้คอนกรีตไหลไปข้าง ๆ เกิดการแยกแยะขึ้น

สำหรับแบบที่มีความลึกและแคบ เช่น กำแพง หรือเสาสูง ๆ จะต้องเทโดยให้คอนกรีตพักตัวในกระเปาะ (Rocket) ข้างแบบเสียก่อน เพื่อบังคับให้คอนกรีตไหลเข้าไปในแบบช้า ๆ เป็นการป้องกันไม่ให้คอนกรีตตกสูงเกินไป ซึ่งช่วยลดการแยกแยะ ห้ามปล่อยคอนกรีตเข้าที่จากระยะสูงเกินกว่า 2 เมตร และสำหรับแบบที่ลึกมาก ๆ ควรเทมอร์ต้าลงไปก่อนจำนวนหนึ่ง เพราะเมื่อเทคอนกรีตจากระยะสูง วัสดุผสมหยาบมักจะตกลงมารวมกันอยู่ข้างล่าง ซึ่งถ้าไม่เทมอร์ต้าเตรียมไว้ก่อน ก็อาจเกิดเป็นโพรงได้ง่าย ส่วนคอนกรีตที่จะเทชั้นบน ๆ จะต้องผสมให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห้งกว่าชั้นล่าง ๆ เพราะเมื่อเทแล้ว น้ำจากชั้นล่างจะลอยขึ้นมาอยู่ในชั้นบน ถ้าหากผสมให้เท่ากันหมดเมื่อเทแล้ว ชั้นบนจะมีความเหลวมากกว่าที่กำหนด ทำให้หินจมลงไปในชั้นล่างเกิดการแยกตัวขึ้น และจะทำให้คอนกรีตเปลี่ยนสี ขาดความสวยงาม เสียคุณภาพ ตลอดจนความทนทาน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงอัตราการเทด้วย ถ้าเทเร็วเกินไปคอนกรีตตอนล่างยังไม่แข็งตัวพอ จะเกิดแรงดันซึ่งอาจทำให้แบบโก่งเสียรูปร่าง หรือถึงกับพังลงได้

ข. การเทในแบบซึ่งอยู่ในแนวนอน ควรเทคอนกรีตลงตรงใกล้จุดที่ต้องการที่สุดเท่าที่จะทำได้ ไม่ควรใช้คลาดใด ๆ โกยจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่น ๆ เป็นอันขาด เพราะจะทำให้เกิดการแยกแยะขึ้นได้ และควรเทคอนกรีตออกจากมุมใดมุมหนึ่งมาสู่จุดศูนย์กลางเสมอ ถ้าต้องการเทคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้งในตำแหน่งที่มีเหล็กเสริมอยู่หนาแน่น เช่นในคานที่รับน้ำหนักมาก ๆ ควรจะอัดน้ำปูนเคลือบเหล็กเสริมหรือใช้ส่วนผสมที่มีปูนซีเมนต์มาก และเหลว เทเคลือบผิวเหล็กเสียก่อนที่จะเทคอนกรีต

สำหรับแบบที่มีความลาดเอียง ควรเทคอนกรีตจากส่นต่ำสุดขึ้นไป ทั้งนี้ เพื่อป้องกันไม่ให้หินไหลลงมาลอกันทางด้านล่างเมื่อใช้เครื่องสั่นคอนกรีต ในการเทแผ่นพื้นกว้าง ๆ ควรเทคอนกรีตใหม่เข้าหาคอนกรีตที่เทแล้ว อย่าเทหนีออกไป ทั้งนี้ เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้คอนกรีตไหลไปเองโดยง่าย ไม่ควรเทคอนกรีตเพิ่มเข้าไปในแห่งเดียวจนไม่สามารถใช้เครื่องสั่นได้สะดวกและได้ผล ส่วนบนของชั้นหนึ่ง ๆ ที่เทนั้น ควรจะทำให้ได้ระดับหรืออย่างน้อยก็ให้ใกล้เคียงกัน

2.6.4 การทำคอนกรีตให้แน่น

ในขณะที่กำลังเทคอนกรีตอยู่หรือภายหลังการเทคอนกรีตแล้ว จะต้องทำคอนกรีตให้มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ โดยให้คอนกรีตไหลเข้าไปทุกซอกทุกมุมและหุ้มเหล็กเสริมโดยตลอด เพื่อป้องกันไม่ให้มีโพรงอากาศและเกิดรูพรุนในเนื้อคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว ทำให้ได้โครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรงมีกำลังรับน้ำหนักได้เต็มที่ มีการยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริมดี มีผิวเรียบเมื่อถอดแบบ ลดการหดตัวหรือการเปลี่ยนปริมาตรของคอนกรีตกันน้ำซึมได้ดี โพรงอากาศในคอนกรีตจะเป็นเหตุให้กำลังของคอนกรีตลดลง พบว่าถ้าเนื้อคอนกรีตมีรูโพรง 5% กำลังของคอนกรีตจะลดลง 30% และถ้ามีรูโพรง 2% กำลังของคอนกรีตจะลดลง 10%

วิธีการทำคอนกรีตให้แน่น ทำได้โดยการกระทุ้งคอนกรีตด้วยมือ (Hand Tamping) โดยใช้ไม้หรือเหล็กกระทุ้ง หรือใช้เครื่องสั่นคอนกรีต (Vibrator) หรือจะใช้เครื่องตบแต่งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ชนิดและความเหมาะสมของงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระทุ้งคอนกรีตด้วยมือ สำหรับคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้งควรใช้เครื่องมือที่มีหน้าแบน ๆ และหนักดบตรงผิวหน้า จนกระทั่งน้ำปูนปรากฏเป็นแผ่นบาง ๆ ขึ้นที่ผิวหน้านั้น แสดงว่าช่องว่างในคอนกรีตนั้นเต็มหมดแล้ว สำหรับคอนกรีตที่เหลวพอเทได้ ควรกระทุ้งให้ลึกถึงชั้นที่เทและเลยเข้าไปในชั้นคอนกรีตข้างใต้ชั้นนั้นด้วย การใช้พลั่วตบตามหน้าหรือใกล้ ๆ กับแบบตั้งจะช่วยให้ผิวคอนกรีตเรียบและลดรูซึ่งเกิดจากฟองอากาศด้วย

การใช้เครื่องสั่นคอนกรีต ในงานที่ต้องการกำลังคอนกรีตสูง คอนกรีตพวกนี้มักใส่น้ำน้อย ทำให้คอนกรีตแห้งมาก หรืองานชนิดที่มีเหล็กเสริมถี่มาก ทำให้การเทคอนกรีตเข้าไปในแบบลำบาก จะใช้แรงคนกระทุ้งให้แน่นก็ไม่ไหว งานดังกล่าวจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องสั่น

การทำคอนกรีตให้แน่นด้วยเครื่องสั่นนี้ มิได้หมายความว่าจะทำให้คอนกรีตแน่นดีและได้กำลังดีเสมอไป ทั้งนี้ต้องแล้วแต่การใช้เครื่องนี้ให้ถูกกับลักษณะของคอนกรีต ดังเช่นคอนกรีตที่เหลวมาก ถ้าใช้เครื่องสั่นนี้เข้าจะทำให้มอร์ต้าแยกออกมาจากหินและลอยขึ้นมาอยู่บนผิวหน้า ซึ่งทำให้คอนกรีตที่ผิวหน้านั้นกำลังตกไป เพราะขาดหิน ซึ่งอยู่แต่ข้างล่าง และนอกจากนี้ยังอาจทำให้ที่ผิวหน้านี้มีรอยแตกร้าวได้ง่าย เนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตอีกด้วย

เครื่องสั่นคอนกีตแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบสั่นภายใน และแบบสั่นภายนอก

แบบสั่นภายใน ได้แก่เครื่องสั่นชนิดจุ่มในคอนกรีต เป็นแบบที่นิยมใช้โดยทั่ว ๆ ไป สำหรับงานทั่วไป เพราะสะดวกในการใช้และได้ผลดี มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กกลม มีสายยางต่อไปถึงเครื่องที่ใช้สั่น ซึ่งจะเป็นเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ การทำงานนั้นใช้ปลายแหย่ลงไปในเนื้อคอนกรีตตรง ๆ (ณ จุดห่างกันประมาณ 50 ซม.) ด้วยน้ำหนักตัวมันเองจนสุดชั้นที่เทและเลยเข้าไปในชั้นใต้ (ภายใน 5 ถึง 15 วินาที) แล้วถอนออกอย่างช้า ๆ หากถอนออกเร็วอากาศจะตามขึ้นไม่ทันจะเกิดโพรงได้ ไม่ควรลากผ่านคอนกรีตเป็นอันขาด เพราะจะทำให้หิน ทราย ปูนแยกตัวจากกัน โดยน้ำปูนไหลไปข้างหน้าเหลือหินกองอยู่ทำให้ได้คอนกรีตไม่ดี และตรงใดที่เครื่องสั่นสามารถจมลงในคอนกรีตได้ด้วยน้ำหนักตัวมันเอง การเขย่าซ้ำจะมีประโยชน์มากเพราะช่วยขจัดการแตกร้าวของแนวราบ และการแตกร้าวจากการหดตัวอันเกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีตที่ติดค้างอยู่บนเหล็กเสริมและแบบที่ขรุขระได้ ข้อควรระวังคือพยายามไม่ให้เครื่องสั่นไปกระทบเหล็กเสริม เพราะอาจทำให้ตำแหน่งของเหล็กคลาดเคลื่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสั่นภายนอก มีทั้งชนิดสั่นบนผิวคอนกรีต และชนิดติดข้างแบบ เครื่องสั่นชนิดสั่นบนผิวคอนกรีตเหมาะสำหรับใช้กับงานทำถนนคอนกรีต พื้นคอนกรีตของอาคารต่าง ๆ เป็นเครื่องสั่นที่ติดอยู่กับไม้หรือเหล็กใช้สำหรับตบแต่งคอนกรีตที่ไม่หนานัก เช่น ไม่เกิน 20 ซม. ซึ่งจะลากไปตามแบบช่วยทำให้ผิวหน้าคอนกรีตเรียบและแน่น ส่วนเครื่องสั่นชนิดติดข้างแบบเหมาะกับงานชิ้นส่วนบาง ๆ หรือที่มีเหล็กเสริมแน่นซึ่งหัวจุ่มแหย่เข้าไปไม่ถึง มักใช้กับงานหล่อคอนกรีตสำเร็จ แต่มีข้อเสียคือ หลังงานจากเครื่องสั่นสะเทือนบางส่วน จะสูญเสียไปในตัวแบบ ทำให้ผลที่ได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควร อีกประการหนึ่งคือแบบหล่อต้องแข็งแรงพอที่จะรับความสั่นได้ โดยไม่ทำให้รูปร่างของโครงสร้างผิดไปจากที่กำหนด

การใช้เครื่องสั่นคอนกรีต ไม่ว่าชนิดใดก็ตาม การใช้ควรเว้นระยะสั้น ๆ ให้เพียงพอที่ส่วนคอนกรีตที่ถูกเขย่าแล้วเหลื่อมกันโดยไม่เว้นข้ามส่วนใดเลย และควรเขย่าจนคอนกรีตแน่นดีโดยทั่วถึง ซึ่งสังเกตได้จากการเคลื่อนไหวของผิวหน้าและเนื้อคอนกรีต จากลักษณะของซีเมนต์เพสท์ จากเสียงของเครื่องสั่นซึ่งจะเป็นเสียงเดียวสม่ำเสมอ และจากความรู้สึกที่มือของผู้บังคับเครื่อง การเขย่าเกินระยะนี้จะทำให้เกิดการแยกตัวโดยวัสดุผสมหยาบแยกตัวไปรวมกันกันที่กันแบบและน้ำปูนจะลอยอยู่ข้างบน สำหรับเครื่องสั่นที่มีความเร็ว 7000 รอบต่อนาที (rpm) ควรใช้เวลาสั่นแต่ละจุดประมาณ 5-15 วินาที โดยเว้นระยะห่างระหว่างจุดที่สั่นประมาณ 45 ถึง 70 เซนติเมตร

ข้อควรระวังในการใช้เครื่องสั่นคอนกรีต คือหมั่นตรวจตราและปรับความเร็วของเครื่องให้ได้ตามกำหนด แบบหล่อคอนกรีตต้องให้มั่นคงและไม่มีรูรั่ว มิฉะนั้นน้ำปูนจะไหลออกตามรูหรือรอยแตก ทำให้เกิดเป็นโพรงและเห็นก้อนหินตามร่องที่แตก อย่าเขย่าคอนกรีตเร็วเกินไปจนสั่นไม่ทัน อย่าใช้เครื่องสั่นคอนกรีตเพื่อแผ่คอนกรีตออกไปช้า ๆ

รอยต่อในคอนกรีต

รอยต่อในคอนกรีต แบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ รอยต่อสำหรับการขยายตัว และรอยต่อระหว่างงาน

รอยต่อสำหรับการขยายตัว เป็นรอยต่อที่มีแสดงไว้ในแบบการก่อสร้าง ซึ่งเผื่อไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการขยายตัวหรือหดตัว รอยต่อแบบนี้อาจประกอบด้วยแผ่นโลหะ แผ่นยางมะตอยสำเร็จรูป ไม้ ไม้คอร์ค ยาง หรือวัสดุอื่น หรืออาจจะทำเป็นร่องสำหรับใส่ลิ่ม หรือทำให้มีบังใบในคอนกรีตก็ได้ การทำเป็นร่องรูปตัววี จะช่วยป้องกันการแตกที่มักจะเกิดการขบกันที่รอยต่อในการขยายตัวได้ รอยต่อรวมทั้งสลักต้องวางให้ได้แนวอย่างระมัดระวัง คอนกรีตที่ยื่นออกมาเป็นครีบหรือเป็นลิ่มที่อาจเกิดขึ้นในขณะก่อสร้างควรขจัดออกให้หมด

รอยต่อระหว่างงาน เป็นรอยต่อระหว่างส่วนปลายของชั้นหรือการสิ้นสุดของงานประจำวัน ซึ่งต่างกับรอยต่อที่เผื่อไว้สำหรับการขยายตัว คือมิได้มีไว้เพื่อให้มีการเคลื่อนที่ได้ระหว่างส่วนของโครงสร้าง รอยต่อระหว่างงานนี้ ต้องกะตำแหน่งให้ดีทำให้ดีทำให้เรียบร้อยและเกาะยึดกันให้แน่น เพราะที่รอยต่อนี้เป็นจุดอ่อนแอ เมื่อคำนึงถึงความต้านทานน้ำซึม และการต้านทานลมฟ้าอากาศ

รอยต่อแบบนี้ ควรให้อยู่ในลักษณะที่จะทำให้โครงสร้างเสียความแข็งแรงน้อยที่สุด เช่น ในงานแผ่นพื้นและคานก็ควรให้รอยต่ออยู่ใกล้กับส่วนกลางของช่วงนั้น (ซึ่งเป็นที่เกิดแรงเฉือนน้อยที่สุด) และอยู่ในแนวดิ่งตั้งฉากกับแกนของพื้นหรือคาน ส่วนพื้นถนนควรให้รอยต่ออยู่ตรงกับรอยต่อที่เผื่อสำหรับการขยายหรือหดตัวตามที่ได้ออกแบบไว้ ที่รอยต่อควรมีผิวหยาบหรือใส่สลักหรือเดือยที่รอยต่อนั้น ๆ ด้วย

ก่อนเทคอนกรีตตรงจุดที่จะทำรอยต่อ ควรทำขอบของรอยต่อที่จะมองเห็นเป็นเส้นเรียบโดยวางแบบบังคับไว้หรือใช้ปาดออกก็ได้ และควรทำให้แบบติดกับรอยต่อให้แน่น นอกจากนี้ต้องทำความสะอาดที่ผิวของรอยต่อ ไม่ให้มีเศษคอนกรีตหลุดออกมา ตามมุมและริมขอบของคอนกรีตต้องไม่แตก การใช้ทรายเปียก ๆ ห่น จะช่วยขจัดชั้นที่สกปรกต่าง ๆ ได้ดี

สำหรับชั้นแรกในรอยต่อพื้นผิวราบ ควรเทมอร์ต้าที่มีส่วนผสมเดียวกับคอนกรีตเดิมลงไปก่อน และใช้เครื่องเขย่า ๆ ให้ทั่วคอนกรีตทั้งสองชนิด โดยให้เครื่องเขย่าทะลุถึงกันซึ่งแข็งทุก ๆ ครั้งที่แหย่ จะได้การเกาะยึดที่แข็งแรง ส่วนรอยต่อของคอนกรีตหลา หรืองานคอนกรีตขนาดใหญ่ ไม่จำเป็นต้องฉาบด้วยมอร์ต้าแต่อย่างใด ถ้ารอยต่อนั้นสะอาด ชื้น และปราศจากทรายการเขย่าคอนกรีตชั้นแรกซึ่งมีความยุบตัว 4 ถึง 5 ซม. สำหรับคอนกรีตหลา และระหว่าง 5 ถึง 8 ซม. สำหรับคอนกรีตชนิดอื่น ๆ ให้ทั่วถึงแล้ว จะได้การเกาะยึดที่แข็งแรง และน้ำซึมยากเท่า ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับพื้นผิวที่ตั้งตรง ๆ หรือชันมาก ๆ ตัวคอนกรีตเองก็ควรจะมีมอร์ต้าให้มากพอ และถ้าต้องการให้มีการเกาะยึดดี ควรถูกผิวคอนกรีตด้วยซีเมนต์ล้วน หรือน่นด้วยมอร์ต้าก่อนที่จะเทคอนกรีตใหม่สักเล็กน้อย คอนกรีตที่จะเทตรงรอยต่อควรจะอัดให้แน่น เพื่อทำให้มอร์ต้าออกมาอยู่ที่ผิวและควรถจัดหินที่รวมเป็นกระจุกเสียด้วย

การตกแต่ง การซ่อมแซมส่วนชำรุดที่ผิว

ผิวคอนกรีตที่ตกแต่งแล้ว จะต้องแน่นแข็ง และไม่หดตัวมากเกินไปจนอาจทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นที่ผิวได้ ผิวคอนกรีตจะต้องสามารถรับภาวะรุนแรงต่าง ๆ ได้ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการสึกหรอ

พื้นผิวที่ไม่ได้ใช้แบบหล่อ

สัดส่วนและความข้นเหลวของคอนกรีตก็ดี วิธีการอัดแน่นของคอนกรีตก็ดี ควรจะทำให้ได้พอที่มอร์ต้าขึ้นมาที่ผิวหอดีสำหรับการแต่งผิวหน้านั้น ถ้าส่วนผสมมีทรายมากเกินไป เปียกเกินไป หรือถ้าเทและแต่งคอนกรีตนั้นแน่นมากเกินไป ผิวคอนกรีตมักจะมีน้ำเยิ้มหรือมีชั้นมอร์ต้าหรือชั้นกากละเอียดหนาเกินไป คอนกรีตควรจะแผ่กระจายไปทั่วข้างหน้าของเครื่องปาด ในการตกแต่งตอนแรกควรแต่งผิวน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ ควรปล่อยให้น้ำซึ่งขึ้นมาอยู่บนผิวจากการ

2.7 การบ่มคอนกรีต

การบ่มหรือบำรุงคอนกรีต เป็นการควบคุมและป้องกันมิให้น้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ระเหยออกมาจากคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อและแข็งตัวแล้ว เร็วเกินไป เพื่อให้ได้คุณสมบัติในการรับแรงตามต้องการ

หลังจากเทคอนกรีต และทิ้งไว้จนผิวหน้าคอนกรีตหมาดแข็งปราศจากรอยแล้วจะต้องทำการบ่มทันทีด้วยวิธีที่ถูกต้อง โดยปกคลุมมิให้ถูกแดดหรือลมรัดน และมิให้ถูกรบกวนหรือสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะภายในระยะ 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ทั้งเป็นการป้องกันการสูญเสียน้ำจากคอนกรีตที่เทใหม่ ๆ มิฉะนั้นคอนกรีตจะเกิดการหดตัวเร็ว ทำให้เกิดแรงดึงที่ผิวที่กำลังจะแห้ง เป็นผลให้เกิดรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต ช่วงระยะเวลาที่ป้องกันและรักษาความชื้นนี้ไว้ภายหลังจากเทคอนกรีตลงแบบหล่อแล้วเรียกว่าระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต (Curing Period)

กำลังของคอนกรีตจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตราบเท่าที่ยังมีความชื้นให้ซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ต่อไปอีก กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วในระยะแรก และค่อย ๆ ช้าลงในเวลาต่อมา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิที่พอเหมาะ ดังแสดงในรูปที่ จากเส้นสัมพันธ์จะเห็นว่าหลังจากบ่มในอากาศแห้งแล้วบ่มชื้นต่อ กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้นอีก แต่คอนกรีตจะให้กำลังสูงสุดหากบ่มชื้นตลอดเวลา ซึ่งสภาพของงานก่อสร้างจริงไม่อาจจะบ่มชื้นตลอดเวลานาน ๆ ได้ ฉะนั้นจึงควรทำการบ่มชื้นให้ต่อเนื่องกันตั้งแต่ต้น

อุณหภูมิสำหรับบ่มคอนกรีต

อุณหภูมิที่ใช้บ่มคอนกรีตสำหรับคอนกรีตทั่ว ๆ ไป ควรอยู่ระหว่าง 15 C ถึง 39 C สำหรับงานคอนกรีตหลาควรใช้อุณหภูมิให้ต่ำลง เพราะปฏิกิริยาของน้ำกับปูนซีเมนต์นั้นให้ความร้อนออกมาเป็นจำนวนมากอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามไม่ควรบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C เพราะคอนกรีตจะแข็งตัวช้ามาก เมื่อบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงมากและอากาศแห้ง จะทำให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีตอย่างรวดเร็ว กำลังของคอนกรีตที่ได้จะต่ำ และอาจเกิดรอยแตกร้าวได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การเสียรูปและรอยร้าว
ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักกระทำ

3.1 การเสียรูปของคอนกรีต

3.1.1 การยืดหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage and Swelling of Concrete)

การหดตัว เป็นสาเหตุจากการสูญเสียน้ำโดยการระเหยหรือโดยปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ในขณะที่ซีเมนต์เพสท์อยู่ในสถานะพลาสติก มันจะมีการหดลงทางปริมาตรปริมาณ 1% ของปริมาตรซีเมนต์ ซึ่งการหดตัวแบบนี้รู้จักในนามว่า การหดตัวทางพลาสติก (Plastic Shrinkage) ซึ่งเกิดโดยการระเหยของน้ำบริเวณผิวหน้าของคอนกรีตหรือการดูดน้ำของคอนกรีตที่อยู่ต่ำลงไป การหดตัวชนิดนี้ทำให้เกิดความเค้นเนื่องจากแรงดึงขึ้น บริเวณผิวและเนื้อจากคอนกรีตมีการเป็นสถานะพลาสติกที่โค้งนั้น รอยร้าวเนื่องจากการหดตัวทางพลาสติกที่บริเวณผิวจึงเกิดขึ้นได้

การหดตัวทางพลาสติกสามารถเกิดขึ้นได้มาก โดยถ้ามีการระเหยน้ำมาก ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิของคอนกรีต ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ตามมาตรฐาน ACI 305.R-77 อัตราการระเหยของน้ำถ้ามากกว่า 0.5 kg/h/m^2 ของพื้นผิวที่เปิดโล่ง จะต้องมีการหลีกเลี่ยงสภาวะการณ์นี้เพื่อที่จะป้องกันการร้าวที่จะเกิดขึ้น คือจะต้องมีการป้องกันการหดตัวทางพลาสติกทันทีเมื่อมีการหล่อคอนกรีตเสร็จ

ถึงแม้ว่าจะไม่มีการสูยเสียน้ำออกไปจากคอนกรีตก็ตาม การหดตัวก็จะยังคงเกิดขึ้น ซึ่งการหดตัวชนิดนี้เรียกว่า Autogenous Shrinkage ซึ่งจะเกิดขึ้นเนื่องจากตัวมันเอง เกิดจากการสูญเสียน้ำไปในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ยกเว้นในโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่มากจะไม่สามารถเห็นได้เด่นชัด ค่าการหดตัวของ Autogenous นี้จะน้อยมาก โดยปกติแล้วประมาณ 50×10^{-6} ถึง 100×10^{-6}

ถ้ามีการให้น้ำอย่างต่อเนื่องแก่คอนกรีต ในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น คอนกรีตจะขยายตัวเนื่องจากการดูดซึมน้ำของซีเมนต์ ขบวนการที่เกิดนี้เรียกว่า การพองตัว (Swelling) ในคอนกรีตที่ผลิตจากวัสดุผสมปกติ ค่าการพองตัวจะน้อยกว่าค่าการหดตัวอยู่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 20 เท่า

3.1.2 การหดตัวขณะแห้ง (Drying Shrinkage)

การสูญเสียน้ำจากคอนกรีตที่แข็งตัว ซึ่งถูกเก็บไว้ในบริเวณอากาศที่ไม่อิ่มตัวเป็นสาเหตุให้เกิดการหดตัวขณะแห้ง (Drying Shrinkage) การหดตัวส่วนหนึ่งนี้จะไม่สามารถกลับคืนสู่รูปเดิมได้ และจะสามารถเห็นความแตกต่างได้จากส่วนที่กลับคืนรูปเดิมได้ รูป แสดงให้เห็นว่าค่าคอนกรีตถูกทิ้งไว้ในอากาศที่มีค่าความชันสัมพันธ์ค่าหนึ่งต่อจากนั้นจึงนำไปตั้งทิ้งไว้ในน้ำที่ในที่ ๆ มีความชันสูงกว่ามันจะหายตัวเนื่องจากการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสท์ การหดตัวขณะแห้งหลังจากที่มีการบ่มไว้ในเกณฑ์เป็นเวลานานจะไม่สามารถค้นพบได้หมด จะพบเพียง 40%-70% เท่านั้น แต่ก็ขึ้นอยู่กับอายุของคอนกรีตด้วย

รูปแบบของการเคลื่อนที่ของความชันภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาวะเปียกและสภาวะแห้งกลับไปกลับมา ซึ่งเป็นเหตุการณ์ธรรมชาติในทางปฏิบัติ รูป แสดงถึงขนาดของรอบของการเคลื่อนที่ของความชันซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เปียกและช่วงที่แห้ง และการสังเกตว่าการแห้งตัวนั้นช้ากว่าการเปียกมากทีเดียว ดังนั้นผลของการอยู่ในอากาศเป็นเวลานานๆ ก็อาจเปลี่ยนแปลงได้ ถ้ามีฝนตกลงมาเพียงครู่เดียว นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพันธ์และส่วนประกอบของคอนกรีตอีกด้วยรวมทั้งระดับของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

ในส่วนของการหดตัวที่ไม่สามารถคืนรูปได้นี้ จะเกี่ยวข้องกับการจัดรูปทางกายภาพและทางเคมีในวุ้นซีเมนต์เมื่อน้ำที่ดูดเอาไว้ถูกเอาออกไป รูปแบบทั่วไปจะเป็นไปดังนี้ เมื่อคอนกรีตแห้ง จะมีการสูญเสียของน้ำอิสระ ขบวนการนี้จะทำให้เกิดค่าความแตกต่างของความชื้นภายในโครงสร้าง จนกระทั่งโมเลกุลของน้ำถูกส่งจากผิวของแคลเซียมซิลิเกตไปสู่ช่องว่างและออกจากคอนกรีตไป ในเวลานี้ซีเมนต์เพสท์จะหดตัวแต่การหดตัวในทางปริมาตรจะไม่เทียบเท่ากับปริมาตรน้ำที่ออกไป เพราะว่าการสูญเสียปริมาณน้ำอิสระในเวลาแรกนั้นไม่ได้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเกิดรอยร้าว (Cracking)

รอยร้าวของคอนกรีตนอกเหนือจากรอยร้าวที่เกิดจากน้ำหนักที่กระทำแล้ว การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องมาจากการหดตัวและการผันแปรของอุณหภูมิมีความสำคัญมากเช่นกัน ซึ่งในโครงงานพิเศษนี้ได้มุ่งศึกษาเกี่ยวกับรอยร้าวเหล่านี้และวิธีป้องกันและลดการเกิดรอยร้าว ที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากคอนกรีตมีความสามารถทนทานต่อแรงดึงได้ต่ำมาก และมีแนวโน้มที่จะแตกได้สูง การเกิดรอยร้าวเหล่านี้จะต้องถูกควบคุมและทำให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด เพราะว่ารอยร้าวจะลดความทนทานและความสามารถในการทำงานของโครงสร้าง รวมทั้งทำให้เกิดความไม่สามารถที่ไม่พึงปรารถนาด้วย

รอยร้าวที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ที่ไม่ได้ถูกใช้เป็นโครงสร้าง (Non-Structural Cracks) เป็นรอยร้าวที่เกิดขึ้นมาเป็นเวลานานแล้ว และยอมรับเข้าเป็นธรรมชาติของตัวคอนกรีตเอง ซึ่งมีสาเหตุจากกำลังดันในเนื้อคอนกรีตเอง (Intrinsic Stress) ซึ่งมีค่ามาก เช่นความแข็งแรงของคอนกรีตในช่วงเวลาที่กำหนด ความกดดันเนื่องจากแรงภายนอกสามารถแก้ไขได้โดยทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ความกดดันภายใน หรือแรงภายในเนื้อคอนกรีตเอง ซึ่งเกิดจากการหดตัวนั้นได้เป็นปัญหาที่จะต้องถูกควบคุมมาเป็นเวลานานแล้ว

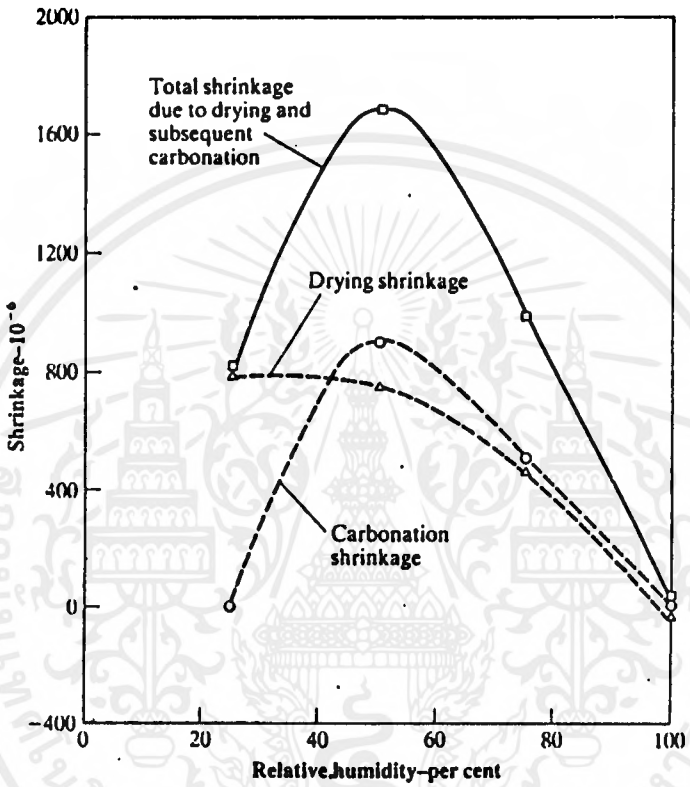
3.2.1 การหดตัวชนิดคาร์บอนเนชั่น (Carbonation shrinkage)

นอกเหนือจากการหดตัวขณะแห้งแล้ว คอนกรีตยังมี Carbonation Shrinkage อีก คาร์บอเนชั่น หมายถึงปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีต่อซีเมนต์ ก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ ที่พบอยู่ในอากาศทั่วไป เมื่อรวมกับความชื้นในอากาศ จะรวมตัวกันทำให้เกิดกรดคาร์บอนิก (Carbonic Acid) ซึ่งจะมีปฏิกิริยาโต้ตอบต่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH_2)$ ทำให้เกิดหินปูนขึ้น ($CaCO_3$) และสารประกอบของซีเมนต์อื่น ๆ ก็จะถูกสลายไปด้วย สิ่งที่เกิดร่วมด้วยในขบวนการ Carbonation คือการหดตัวของคอนกรีต ซึ่งเรียกว่า Carbonation Shrinkage

ปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นจะค่อย ๆ เกิดขึ้นจากผิวของคอนกรีตเข้าไปภายในแต่จะเป็นไปอย่างช้ามาก อัตราที่แท้จริงของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นขึ้นอยู่กับความสามารถในการซึมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีต ปริมาณความชื้น ปริมาณ CO_2 รวมทั้งความชื้นสัมพันธ์ด้วย เนื่องจากความสามารถในการซึมผ่านคอนกรีตถูกควบคุมโดย Water/Cement Ratio และประสิทธิภาพของการบ่ม คอนกรีตที่มี Water/Cement Ratio สูงและมีการบ่มไม่เพียงพอจะเกิดปฏิกิริยา Carbonation ได้ง่าย และปฏิกิริยา Carbonation เกิดได้ลึกไปในเนื้อคอนกรีต



รูปนี้แสดงถึงการหดตัวขณะแห้งของตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งถูกทิ้งไว้ให้แห้งในสภาวะที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ กัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นจะเพิ่มการหดตัวของคอนกรีต

3.2.2 ผลของแรงต้านและรอยร้าว (Effects of Restraint and cracking)

เนื่องจากความเค้นและความเครียดเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ดังนั้นการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ จึงทำให้เกิดความเค้นหรือแรงซึ่งมีผลกระทบต่อความเครียดที่ถูกจำกัดด้วย (Restrained Strain) ถ้าค่าแรงที่เกิดขึ้นนี้เกินกำลังความแข็งแรงของคอนกรีตก็จะทำให้เกิดรอยร้าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงต้านที่เกิดขึ้นนี้สามารถเกิดได้แข็งแรงอัดและแรงดึงได้ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเกิดกรณีเป็นเป็นแรงดึงเสียมากกว่าซึ่งถือว่าเป็นสาเหตุหลักของปัญหา แรงต้านที่เกิดขึ้นมีอยู่ 2 รูปแบบ คือแรงจากภายนอกและแรงจากภายใน แรงจากภายนอกเกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ของโครงสร้างของคอนกรีตบางส่วนหรือทั้งหมดของโครงสร้างที่อยู่ติดกันหรือการทรุดของฐานราก

สำหรับแรงต้านภายในเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นภายในโครงสร้าง ในการอธิบายผลของแรงจากภายนอก ให้พิจารณาจากชิ้นส่วนคอนกรีต ซึ่งปลายทั้งสองข้างถูกยึดไว้อย่างแน่นหนา ชิ้นส่วนนี้ถูกตั้งทิ้งไว้ในที่ ๆ มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น คอนกรีตไม่สามารถขยายตัวได้เนื่องจากมีการยึดไว้แล้ว จนกระทั่งเกิดความเค้นอัดขึ้นภายในชิ้นส่วนนี้ ซึ่งความเค้นเหล่านี้มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดของคอนกรีต เมื่ออุณหภูมิลดลงและคอนกรีตเย็นตัวลง ก็จะไม่สามารถหดตัวได้เนื่องจากมีการยึดปลายไว้เช่นเดียวกัน เมื่อปล่อยไว้เรื่อย ๆ ค่าความเค้นอัดจะหมดไป และทำให้เกิดค่าความเค้นดึงหรือแรงดึงขึ้นมา ถ้าอุณหภูมิค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ แล้ว ค่าแรงนี้จะค่อย ๆ ถูกทำให้หมดไปโดยการล้าของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม ขณะนี้คอนกรีตมีอายุมากขึ้นแล้วค่าการล้า (Creep) จึงน้อยจนกระทั่งค่าแรงดึงที่เกิดขึ้น มีค่ามากกว่ากำลังของคอนกรีตที่อายุนั้น ๆ ดังนั้นผลที่ตามมาคือรอยร้าวที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดโครงสร้างนั้น ๆ ถ้ามีการเสริมที่เพียงพอแล้วรอยร้าวก็ยังคงเกิดขึ้นอยู่เพียงแต่จะกระจายและเล็กกว่ามาก ซึ่งตรงกันข้ามกับคอนกรีตล้วนที่ไม่มีการเสริมจะเกิดรอยร้าวขึ้นเล็กน้อยแต่มีความกว้างมากกว่า

ตัวอย่างของแรงต้านภายใน ซึ่งเกิดขึ้นจากพลังงานความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ ความร้อนนี้ถูกทำให้กระจายออกไปจากผิวของคอนกรีต จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากันตลอดทั้งหน้าตัดโครงสร้าง เพราะว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของส่วนอื่น ๆ นอกจากความร้อนซึ่งทำให้เกิดความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิและแรงที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดรอยร้าวได้

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีอุณหภูมเข้ามาเกี่ยวข้องแล้ว ก็สามารถทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นได้เช่นกันเนื่องจากการล้าของคอนกรีตลดลงเมื่อเวลาผ่านไป อย่างไรก็ตามการล้า (Creeping) ของคอนกรีตก็มีส่วนช่วยในการป้องกันการร้าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ชนิดของรอยร้าว (Type of Cracking)

เราได้พูดถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดรอยร้าวแล้ว จากนั้นเราลองมาพิจารณารอยร้าวประเภทต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ โดยรอยร้าวที่จะพูดถึงนี้จะไม่เกี่ยวกับรอยร้าวที่เกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างรับน้ำหนัก แต่จะพูดถึงรอยร้าวที่เกิดจากภายในตัวของคอนกรีตเอง ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิดคือ

1. รอยร้าวทางพลาสติก (Plastic Cracks)

2. รอยร้าวเนื่องจากอุณหภูมิในระยะแรก (Early-age Thermal Cracks)

3. รอยร้าวเนื่องจากการหดตัวขณะแห้ง (Drying Shrinkage Cracks)

รอยร้าวทางพลาสติกเกิดขึ้นก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว (หลังจากเทคอนกรีตแล้วประมาณ 1-8 ชั่วโมง) อยู่ในรูปแบบของรอยร้าวเนื่องจากการยุบตัวทางพลาสติก (Plastic Settlement Cracks) และรอยร้าวเนื่องจากการหดตัวทางพลาสติก (Plastic Shrinkage Cracks) สาเหตุของรอยร้าวแบบแรกเกิดขึ้นเมื่อมีการยุบตัวของคอนกรีตเนื่องจากการเยิ้ม (Blceding) และสามารถเกิดจากการใช้เหล็กเสริมขนาดใหญ่ และระดับของเหล็กเสริมไม่เท่ากัน การลดรอยร้าวแบบนี้ เราสามารถเกิดจากการใช้เหล็กเสริมขนาดใหญ่ และระดับของเหล็กเสริมไม่เท่ากัน การลดรอยร้าวแบบนี้ เราสามารถใช้สารกักฟองอากาศ เพื่อที่จะลดการไหลเยิ้มและเพิ่มระยะหุ้มของเหล็กที่ขนานเอาไว้ให้มากขึ้น และจะต้องมีการสั่นเขย่าคอนกรีตที่เหมาะสม

ส่วนรอยร้าวเนื่องจากการหดตัวทางพลาสติก (Plastic Shrinkage Crack) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเกิดจากการสูญเสียน้ำไปจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

รอยร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal Cracking) คอนกรีตสดซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสูงกว่า และเกิดการแข็งตัวเร็วกว่า แต่กำลังที่ได้ในระยะยาวจะต่ำกว่า ยิ่งไปกว่านั้น ถ้าอุณหภูมิสูงแล้วยังมีความชื้นสัมพันธ์ต่ำ ก็จะเกิดการระเหยน้ำเร็วยิ่งขึ้นอีกด้วย ทำให้เกิดการเสียความสามารถในการใช้งาน เกิดการหดตัวทางพลาสติกมากขึ้น นอกจากนี้คอนกรีตสดที่มีอุณหภูมิสูงยังมีอันตรายเมื่อการนำไปเทคอนกรีตในโครงสร้างขนาดใหญ่มาก ๆ เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิมาก อีกทั้งความเย็นที่ตามมาก็ทำให้เกิดแรงดึงขึ้นภายในเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดรอยร้าวเนื่องจากอุณหภูมิได้ (thermal Cracking) รอยร้าวเหล่านี้อาจใช้เวลานานหลายสัปดาห์จึงจะเกิดขึ้นมาให้เห็น และสำหรับโครงสร้าง

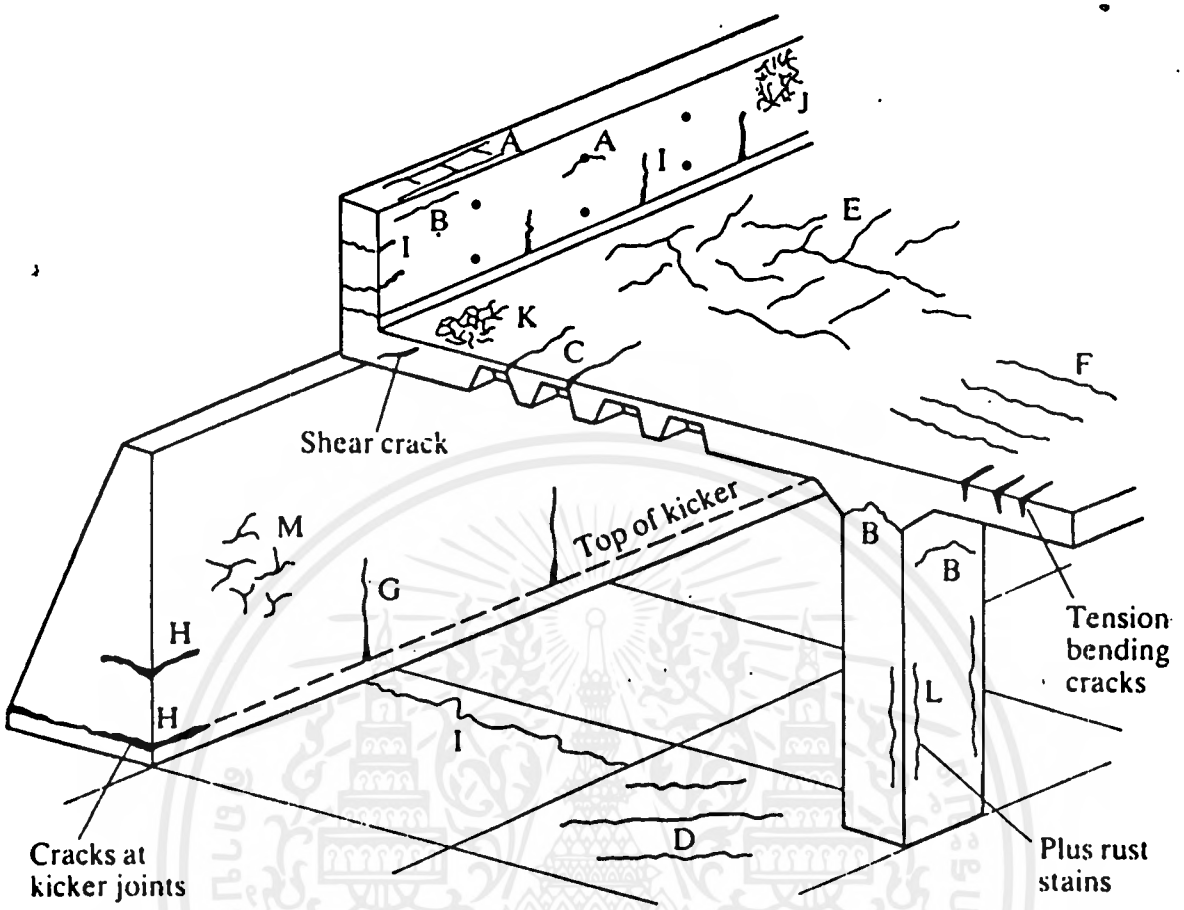
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตขนาดบางรอยร้าวเหล่านี้ก็สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงแรก ๆ เลยถ้ามีการเสริมกำลังไม่ดีพอ

รอยร้าวเนื่องจากการหดตัวขณะแห้ง (Drying Shrinkage Cracks) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงภายในซึ่งมาจากการหดตัวที่ไม่เท่ากันระหว่างที่ผิวและภายในของคอนกรีต รอยร้าวเนื่องจากการหดตัวขณะแห้งนี้ใช้เวลาเป็นสัปดาห์ถึงเป็นเดือนกว่าจะเกิดขึ้น รอยร้าวเหล่านี้จะลดได้ดีที่สุดคือลดการหดตัว และยิ่งไปกว่านั้นการจะมีการบ่มที่ดีพอเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต พร้อมทั้งมีการป้องกันมิให้มีแรงด้านจากภายนอกโดยการจัดให้มีข้อต่อน้ำเหมาะสม ความกว้างของรอยร้าวเนื่องจากการหดตัวสามารถควบคุมได้ โดยการเสริมเหล็กให้ใกล้กับผิวมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

รอยร้าวชนิดอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นได้มีสาเหตุมาจากการผุกร่อนเป็นสนิมของเหล็กเสริม และจากปฏิกิริยาจากสารอัลคาไลน์ รูปแบบของรอยร้าวเนื่องจากการหดตัวขณะแห้งของคอนกรีตคือรอยแยกที่ผิวบนกำแพงและพื้น ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อคอนกรีตที่ผิวมีปริมาณน้ำสูงกว่าคอนกรีตภายใน รอยแยกเหล่านี้จะเกิดขึ้นมาก่อนที่รอยร้าวเนื่องจากการหดตัวขณะแห้งจะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของรอยร้าวที่เกิดขึ้นจากสาเหตุต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกชนิดของรอยร้าวที่เกิดภายในคอนกรีต(รูปที่ 3.1)

ชนิดของรอยร้าว	สัญญลักษณ์	ตำแหน่งที่พบมากที่สุด	สาเหตุ	เวลาที่ปรากฏ
การยุบตัวทางพลาสติก	A	โครงสร้างที่หน้าตัดลึก	เกิดการเยิ้มมากเกินไป	10 นาที-3 ชม.
	B	หัวเสา		
	C	พื้นวาฟเฟิล		
การหดตัวทางพลาสติก	D	ถนนและพื้น	แห้งตัวเร็วเกินไปในช่วงแรก, เสริมเหล็กใกล้ผิวมากเกินไป	30 นาที-6 ชม.
	E	พื้น คสล.		
	F	พื้น คสล.		
การหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ	G	กำแพงหนา	เกิดความร้อนมากไป	1วัน-3 สัปดาห์
	H	พื้นหนา	ผลต่างของอุณหภูมิสูง	
การหดตัวขณะแห้ง	I	พื้นและกำแพงบาง	หดตัวมากเกินไป, การบ่มไม่ดี	หลายสัปดาห์
Crazing	J,K	พื้นและผิวฉาบ	ฉาบมากเกินไป, บ่มไม่ดี	1-7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกชนิดของรอยร้าวที่เกิดภายในคอนกรีต(รูปที่ 3.1 ต่อ)

ชนิดของรอยร้าว	สัญญลักษณ์	ตำแหน่งที่พบมากที่สุด	สาเหตุ	เวลาที่ปรากฏ
การเกิดสนิมของเหล็ก	L	คาน, เสาและพื้น	การหุ้มเหล็กไม่เพียงพอ	มากกว่า 2 ปี
ปฏิกิริยาของด่างและวัสดุผสม	M	ที่ชื้น	การทำปฏิกิริยาของด่างในซีเมนต์กับวัสดุผสม	มากกว่า 5 ปี

ที่มา:CONCRETE SOCIETY TECHNICAL REPORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ไฟเบอร์

4.1 โพลีเมอร์ (Polymer)

หมายถึงโมเลกุลที่ยาว ๆ ประกอบไปด้วยหน่วยเล็ก ๆ จำนวนมากซึ่งเรียกว่า Monomer เชื่อมต่อกันอยู่ทั้งสองข้าง โพลีเมอร์จะอยู่ในรูปของ พลาสติก (Plastics), ยาง (Rubbers) และไฟเบอร์ (Fibers) ในที่นี้จะขอมุ่งกล่าวถึงลักษณะและคุณสมบัติของไฟเบอร์เท่านั้น

4.2 ไฟเบอร์ (Fiber)

ไฟเบอร์ คือเส้นใยที่มีความยาว และมีพื้นที่หน้าตัดเล็กมาก หรือมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 μm. และมีค่า ASPECT RATIO (ความยาว/ความหนา, diameter) มากกว่า 100 ในขั้นแรกไฟเบอร์ได้มาจากพืชและสัตว์ จากนั้นจึงมีการผลิตไฟเบอร์สังเคราะห์ขึ้น เช่น Polymeic Fiber ถูกผลิตขึ้นมาในรูปแบบที่มีความยาวต่อเนื่อง (Continuous Length) โดยส่วนใหญ่ไฟเบอร์ตามธรรมชาติได้มาจากสิ่งมีชีวิต ไฟเบอร์จากสัตว์ เช่น ขนแกะ และไหม ไฟเบอร์จากพืช เช่น ฝ้าย (Cotton) และปอ (Flax) ส่วนไฟเบอร์จากสิ่งไม่มีชีวิต ได้แก่ ใยหิน (Asbestos) ปัจจุบันไฟเบอร์เหล่านี้ถูกนำมาผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ไนลอน, โพลีเอทีลีน การสังเคราะห์จะสามารถขยายคุณสมบัติของไฟเบอร์ให้มากขึ้นได้

การผลิตไฟเบอร์ไม่ว่าจะเป็นไฟเบอร์ชนิดใดก็ตาม ในขั้นแรกจะผลิตมาเป็น เส้นใย, ที่ต่อเนื่องเป็นจำนวนมาก เส้นใยแต่ละเส้นจะมีหน้าตัดเป็นวงกลมและมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-15 ไมโครเมตร ในแต่ละมัด จะมีประมาณ 1000-10000 เส้นใยขนาดของมัดมักกจะถูกกำหนดโดยมวลของไฟเบอร์ต่อหนึ่งหน่วยความยาว หรือเรียกว่า Linear Density หน่วยมาตรฐานที่ใช้คือ Tex = 1 g/km.

ลักษณะสำคัญของไฟเบอร์ที่นำมาใช้ในการออกแบบคือขนาดของไฟเบอร์ โดยขนาดจะถูกออกแบบมาเพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table : Tensile properties of single textile fibres

Material	Density/ kgm	Tensile modulus (bulk)/GNm	Tensile modulus (fibre)/GNm	Strength (bulk)/ MNm	Strength (fibre)/ MNm
Natural Polymer fibres					
Cotton	1520	-	6-10	-	300-800
Silk	1340	-	8-13	-	300-650
Wool	1300	-	3-4	-	100-200
Synthetic Polymer fibres					
Nylon 6,6	1140	2	1-5	80	400-750
PET	1380	3	12-19	54	600-800
Polypropylene	910	1.5	6.4	33	600
Mettallic wire					
Steel (piano wire)	7860	210	210	460	3000

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเส้นไฟเบอร์ชนิดต่าง ๆ

1. ยึดจับกับไฟเบอร์ด้วยกันได้

2. ป้องกันผิวของไฟเบอร์จากความเสียหายทางกลและสิ่งแวดล้อมได้

3. ทำให้เกิดพันธะระหว่างไฟเบอร์กับวัสดุที่นำไฟเบอร์ไปผสมด้วย

เนื่องจากไฟเบอร์มีความหนาแน่นต่ำ ดังนั้นคุณสมบัติทางกลของมันจึงเป็นที่น่าสนใจ เมื่อพิจารณาจากกราฟ รูป ระหว่าง Stress และ Strain จะเห็นว่า ค่า Slope ของไฟเบอร์บางชนิดมีค่าสูงกว่าโลหะปกติ ความจริงอันนี้ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะทำไฟเบอร์เหล่านี้ไปแทนที่เหล็กในงานก่อสร้าง

4.3 คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ (Fiber Reinforced Concrete)

คำจำกัดความของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ หมายถึง คอนกรีตที่เกิดจากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่วนผสมละเอียดและหรือส่วนผสมหยาบ และเส้นใยไฟเบอร์ มีชนิดของเส้นใยไฟเบอร์เป็นจำนวนมากที่ถูกค้นพบและมีความเหมาะสมกับงานคอนกรีต เส้นใยเหล่านี้สามารถได้จากธรรมชาติหรือผลิตขึ้นมา เช่น แก้ว, เหล็ก, คาร์บอน และโพลีเมอร์ ซึ่งไฟเบอร์เหล่านี้จะมีราคาและประสิทธิภาพในการทำงานแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของไฟเบอร์

4.3.1 ชนิดของไฟเบอร์ที่นำมาใช้กับงานคอนกรีต

ไฟเบอร์โลหะ (Steel Fiber) อาจถูกผลิตจากการตัดเส้นลวด หรือส่วนที่เหลือจากการหลอมโลหะ ไฟเบอร์ชนิดนี้มีความนิ่มและสามารถดัดเป็นรูปให้ไปได้หลายทิศทาง เพื่อที่จะเป็นส่วนช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Bond) ไฟเบอร์โลหะจะเกิดสนิมที่ผิวของคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตามก็จะมีความทนทานมากในมวลคอนกรีต

ไฟเบอร์กลาส (Glass Fiber) ส่วนใหญ่จะพบในรูปของเกลียวที่ถูกตัดเป็นท่อน ๆ ซึ่งแต่ละเกลียวจะประกอบไปด้วยเส้นใยประมาณ 100-400 เส้น ไฟเบอร์กลาสโดยปกติจะไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับคอนกรีต เนื่องจากความที่เป็นด่างอย่างสูงในคอนกรีตจะทำลายคุณสมบัติของไฟเบอร์ชนิดนี้อย่างรวดเร็ว ไฟเบอร์กลาสที่นำมาใช้กับงานคอนกรีตได้ถูกผลิตขึ้นมาให้ทนทานต่อด่างได้อย่างสูง (Highly Alkaline Resistant) อย่างไรก็ตามก็ยังมีการตรวจสอบผลการใช้ในระยะยาวอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟเบอร์ใยหิน (Asbestos Fiber) มีการใช้กับซีเมนต์เป็นเวลานานแล้ว โดยนำมาใช้ในการผลิตท่อและส่วนประกอบอื่น ๆ ของอาคาร เนื่องจากมีความต้านทานต่อการสึกกร่อนและการขูดขีดสูง อย่างไรก็ตามยังมีอันตรายต่อสุขภาพอยู่มากที่เกี่ยวข้องกับขบวนการผลิตและการใช้ไฟเบอร์ใยหินนี้

ไฟเบอร์โพลีเมอร์ (Polymeric Fibers) เช่น ไนลอน (Nylon) และพรอบ-พิลีน ((Propylene) ไฟเบอร์โพลีเมอร์ส่วนใหญ่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำ (Elastic Moduli) กว่าคอนกรีต ดังนั้นจึงไม่สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีตได้ แต่จะสามารถโรยเพิ่มความทนทานต่อการกระแทก (Impact) และการขูดขีด (Shatter) ได้เป็นอย่างดี

เคฟลาร์ (Kevlar) เป็นโพลีอาไมด์ที่มีกลิ่น (Aromatic Polyamide) มีค่ากำลังดึงและโมดูลัสยืดหยุ่นสูงและมีประสิทธิภาพที่ใช้ในการเสริมความแข็งแรงมาก แต่ในปัจจุบันยังมีราคาแพงอยู่มาก

ไฟเบอร์คาร์บอน (Carbon Fibers) มีค่ากำลังดึงสูงและโมดูลัสยืดหยุ่นสูงและราคาก็สูงด้วยเช่นกัน รวมทั้งยังสามารถทนทานต่อปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากซีเมนต์ได้และสามารถใช้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้เมื่อใช้ในลักษณะความยาวที่ต่อเนื่อง

ไฟเบอร์จากธรรมชาติ (Natural Organic Fibers) ได้จากเซลลูโลส ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เนื่องจากมีกำลังรับแรงดึงและโมดูลัสอีลาสติกต่ำ อีกทั้งยังย่อยสลายในสภาพแวดล้อมที่ชื้นและเป็นด่าง

4.3.2 ชนิดของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์จำแนกตามมาตรฐาน ASTM

คำนิยามของไฟเบอร์ตามมาตรฐาน ASTM หมายถึงเส้นใยที่ผอมและยาว อยู่ในรูปของมัด, ตาข่าย ไม่ว่าจะได้มาจากธรรมชาติหรือผลิตขึ้นมา และสามารถถูกนำไปกระจายให้ทั่วคอนกรีตที่ผสมขึ้นได้ โดยจำแนกตามชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตไฟเบอร์ ความสามารถในการทำงานของไฟเบอร์เสริมคอนกรีต โดยหลักแล้วขึ้นอยู่กับความเสียหายทางกายภาพของไฟเบอร์ที่เกิดในระหว่างผสมคอนกรีตและความสามารถในการทนต่อปฏิกิริยาเคมีจากด่างของซีเมนต์ ขนาดของการเพิ่มคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตผสมไฟเบอร์จะสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะของไฟเบอร์ที่นำมาใช้ เช่น ไฟเบอร์ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและความสามารถในการรับแรงดึงสูง เมื่อนำไปผสมในคอนกรีต จะทำให้คอนกรีตที่ได้มีความสามารถในการเพิ่มคุณสมบัติทางกลได้ดีกว่าไฟเบอร์ที่มีค่าโมดูลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยืดหยุ่นและความสามารถในการรับแรงดึงต่ำ ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตเสริมไฟเบอร์โลหะ (Steel Fiber-Reinforced Concrete) คือ คอนกรีตผสมด้วยสเตนเลส สตีล ไฟเบอร์ อัลลอยด์ของโลหะ ไฟเบอร์ หรือเหล็กผสมคาร์บอน ไฟเบอร์ ไฟเบอร์โลหะเหล่านี้ไม่เสียหายง่ายจากการผสมคอนกรีตหรือปฏิกิริยาทางเคมี จากด่าง ในซีเมนต์ ไฟเบอร์ที่ทำจากเหล็กผสมไฟเบอร์จะเกิดสนิมได้ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ทำให้เกิดสนิม

2. คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสหรือใยแก้ว (Glass Fiber - Reinforced Concrete) คือคอนกรีตที่มีส่วนผสมของไฟเบอร์กลาสหรือใยแก้วที่สามารถทนต่อด่างอัลคาไลน์ได้ ไฟเบอร์กลาสในคอนกรีตที่สัมผัสกับความชื้น ความเปียก มีความสามารถที่จะมีปฏิกิริยาต่อด่างในซีเมนต์ได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ไฟเบอร์สูญเสียกำลังไปได้ อีกทั้งยังมีผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งกลไกทั้งสองประการนี้ เป็นสาเหตุให้ความสามารถในการรับกำลัง ความเหนียว และความต้านทานต่อแรงกระแทก ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

ไฟเบอร์กลาสสามารถเสียหายได้เมื่อมีการผสมคอนกรีตด้วยวัสดุผสมหยาบ ถึงอย่างไรก็ตาม ก็มีการนำไฟเบอร์กลาสไปใช้ผสมมอร์ต้า หรือผลิตชิ้นส่วนบางโดยใช้ขบวนการพ่น

3. คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ใยสังเคราะห์ (Hyntheſic Fiber-Reinforced Concrete) หมายถึงคอนกรีตที่ผสมด้วยเส้นใยไฟเบอร์โพลีพรอบพีลิน หรือเส้นใยสังเคราะห์อื่นๆ ซึ่งถูกผลิตขึ้นมาแล้วสามารถมีอายุการใช้งานยาวนาน ทนต่อการพัง เสื่อมสลายได้เมื่อมีการสัมผัสกับความชื้นและด่างอัลคาไลน์หรือส่วนผสมทางเคมีชนิดอื่น ๆ

เส้นใยไฟเบอร์โพลีพรอบพีลินบริสุทธิ์ สามารถทนทานต่อซีเมนต์หรือสารผสมอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นสารเพิ่มฟองอากาศ หรือสารเคมีชนิดอื่น ๆ ไฟเบอร์ที่ทำจากโพลีเมอร์อื่น ๆ อาจจะมีการเสื่อมสลายได้เมื่อสัมผัสกับความชื้น ด่าง หรือสารเคมีด่าง ๆ ที่นำมาผสมกับคอนกรีต

4.4 จุดประสงค์ของการใช้ไฟเบอร์เสริมคอนกรีต

จุดประสงค์ในการเสริมคอนกรีตด้วยไฟเบอร์ เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดึง โดยการชะลอการเกิดของรอยร้าวที่เกิดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ขณะก่อตัว และใช้เพิ่มความเหนียวได้ จากรูป A แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงในการรับแรงดัดและความเหนียว เมื่อมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไฟเบอร์ที่ใช้ผสมคอนกรีตจะไม่มาก เพื่อให้การเสริมด้วยไฟเบอร์ได้รับผลประโยชน์มากที่สุด ค่าความยืดตัวที่จุดแตกหัก (Elongation at Failure) และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไฟเบอร์จะต้องมีค่าสูง ในตารางที่ จะแสดงถึงค่าเฉพาะต่าง ๆ ของไฟเบอร์

Table Typical properties of fibres

Type of fibre	Specific gravity	Tensile strength		Modulus of elasticity		Elongation at failure, per cent	Poisson's ratio
		MPa	psi	GPa	10^6 psi		
Crysotile asbestos	2.55	3 to 4.5	435 to 650	164	23.8	3	0.30
Alkali-resistant glass	2.71	2.0 to 2.8	290 to 410	80	11.6	2.0 to 3.0	0.22
Fibrillated polypropylene	0.91	0.65	95	8	1.2	8	0.29 to 0.46
Steel	7.84	1.0 to 3.2	145 to 465	200	29.0	3.0 to 4.0	0.30
Carbon	1.74 to 1.99	1.4 to 3.2	200 to 465	250 to 450	36.2 to 65.3	0.4 to 1.0	0.2 to 0.4
Kevlar	1.45	3.6	520	65 to 130	94.3 to 18.8	2.0 to 4.0	0.32

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของไฟเบอร์

ลักษณะอื่น ๆ ที่มีความสำคัญของไฟเบอร์ คือ

1. อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง
2. รูปร่างและผิวของไฟเบอร์
3. ความยาว
4. โครงสร้าง

การที่ไฟเบอร์สามารถทนทานต่อความเค้นได้มากที่สุด (σ_f) ขึ้นอยู่กับค่า อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect Ratio, L/d) โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์(1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ τ = คือค่าความยึดเหนี่ยวที่ผิว

d = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของไฟเบอร์

L = ความยาวของไฟเบอร์

L_c = ความยาววิกฤติของไฟเบอร์

ซึ่งถ้าความยาวของไฟเบอร์น้อยกว่าความยาววิกฤติแล้ว ($L < L_c$) ไฟเบอร์จะถูกดึงออกจากคอนกรีต เนื่องจากสูญเสียความยึดเหนี่ยว แต่ถ้าความยาวของไฟเบอร์มากกว่าความยาววิกฤติ ($L > L_c$) แล้วไฟเบอร์จะพังโดยแรงดึง โดยทั่วไปแล้วความยาวของไฟเบอร์ควรจะมากกว่าขนาดที่ใหญ่ที่สุดของอนุภาคของส่วนผสม

เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้กันมาโดยทั่วไปแล้ว คอนกรีตเสริมไฟเบอร์มีปริมาณซีเมนต์และมวลละเอียดผสมอยู่สูงกว่า มวลรวมหยาบจะมีขนาดเล็กเท่าที่เคยใช้กันมา ดังนั้นสำหรับการใช้คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ จะต้องมีการทดลองหาอัตราส่วนของส่วนผสมของไฟเบอร์ชนิดนั้น ๆ เพราะไฟเบอร์มีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณสมบัติและการนำไปใช้งานแตกต่างกัน ดังนั้นการปรับส่วนผสมต่าง ๆ จะต้องทำให้เกิดการนำไปใช้งานได้ (Work Abslity), ความแข็งแรง (Strength) และความทนทาน (Durability)

ความสามารถมนการทำงานของส่วนผสมที่มีไฟเบอร์ ซึ่งหมายถึงคอนกรีต จะลดลงเมื่อมีปริมาณไฟเบอร์ผสมอยู่มากขึ้น และมีค่า Aspect Ratio มากขึ้น

โดยนิยามแล้ว ความยาวของไฟเบอร์จะยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์มาก ถ้าไฟเบอร์มีค่า Aspect ratio มากขึ้น ความแข็งแรงของการเสริมด้วยไฟเบอร์ก็จะมากขึ้นด้วย ค่าความเค้นที่คอนกรีตได้รับส่วนใหญ่ก็จะถูกส่งผ่านไปสู่ไฟเบอร์จนถึงปลายเส้นใย ซึ่งมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อคุณสมบัติของสารที่ประกอบขึ้น ดังนี้

1. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของไฟเบอร์กับคอนกรีต
2. คุณสมบัติของไฟเบอร์
3. ขนาดและรูปร่างของไฟเบอร์
4. การรับแรงของไฟเบอร์
5. ขบวนการและเทคนิค
6. การกระจายของไฟเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงของไฟเบอร์ขึ้นอยู่กับจุดที่อ่อนแอที่สุด ซึ่งจะมาจากข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น ช่องว่าง, รอยแยก และความไม่ต่อเนื่องอื่น ๆ ไฟเบอร์ส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการรับแรงดึงสูง แต่จะโค้งงอได้ด้วยแรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าแรงเป็นแรงกดในแนวแกน จะต้องเป็นหน้าที่ของคอนกรีตที่จะรับแรงนั้นไปและป้องกันไฟเบอร์จากการโค้งงอ

4.5 กลศาสตร์ของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์

(Mechanics of Fiber Reinforced Concrete)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ ขึ้นอยู่กับ

1. อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect Ratio)
2. ความยาวประสิทธิผลน้อยที่สุด (Minimum Effective Length, L_m) คือค่าความยาวน้อยที่สุดซึ่งมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเมื่อเกิดรอยร้าวรอยแรก
3. ความยาววิกฤติ (Critical Length) คือความยาวซึ่งทำให้ไฟเบอร์ถูกดึงขาด มากกว่าถูกดึงหลุดออกจากคอนกรีต เมื่อมีรอยร้าวผ่านที่กึ่งกลางของเส้นใยไฟเบอร์ โดยที่สามารถประมาณความยาววิกฤติได้จากสมการ

$$L_c = \frac{d}{2\tau}\sigma_f$$

เมื่อ d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของไฟเบอร์

τ คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของคอนกรีตและไฟเบอร์

σ_f คือ ความเค้นหรือกำลังของไฟเบอร์

4. ตัวคูณประสิทธิภาพของไฟเบอร์ (Fiber Efficiency factor) คือประสิทธิภาพของไฟเบอร์ในการรับแรงดึงในทิศทางแต่ละทิศทาง ถ้ามีการกระจายของไฟเบอร์อย่างสมบูรณ์ ค่าประสิทธิภาพนี้จะเท่ากับ 0.411 เมื่อ 1 คือ ความยาวของไฟเบอร์ แต่ค่านี้ก็สามารถแตกต่างกันออกไปได้ โดยจะมีค่าประมาณตั้งแต่ 0.331-0.651

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

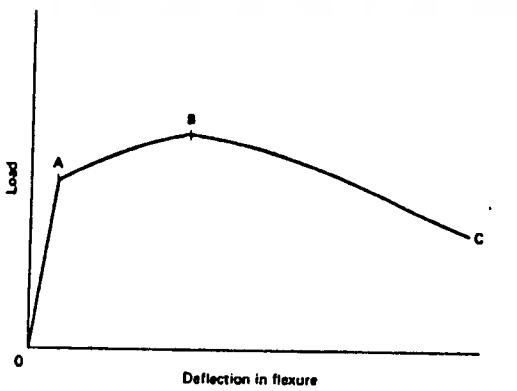
5. ระยะห่างของเส้นใยไฟเบอร์ (Spacing Factor) ถ้าไฟเบอร์อยู่ใกล้ชิดกันเพียงพอ ค่าของกำลังที่จะทำให้เกิดรอยร้าวรอยแรก (First Crack Strength) จะสูง เพราะว่าไฟเบอร์สามารถลดความเค้นได้ ซึ่งก็เท่ากับสามารถควบคุมการแตกร้าวได้เช่นกัน สมการรูปแบบสำหรับ Spacing factor คือ $S = 13.8d\sqrt{I/P}$

เมื่อ d คือเส้นผ่านศูนย์กลางไฟเบอร์ และ P คือ เปอร์เซ็นต์ไฟเบอร์โดยปริมาตร

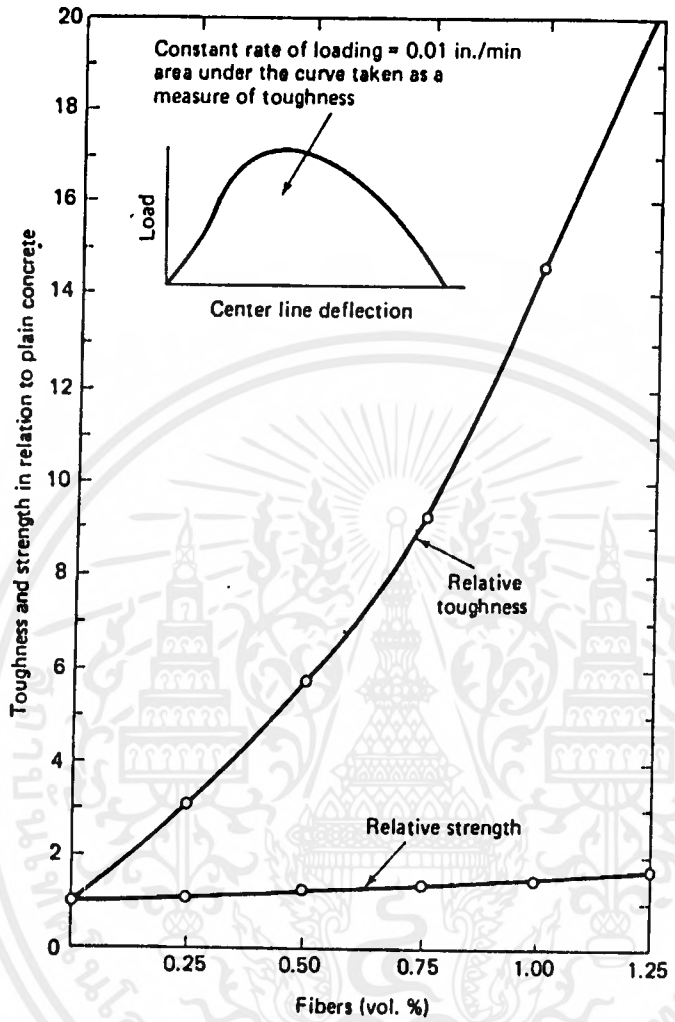
ค่ากราฟ Load-Deflection ที่เป็นแบบอย่างของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ในการรับแรงดัดดังแสดงในรูป

จุด A แสดงถึงน้ำหนักกระทำ ณ จุดที่ทำให้คอนกรีตเสริมไฟเบอร์เริ่มร้าว ซึ่งเราจะเรียกว่า "ค่ากำลังร้าวเริ่มแรก" (First-Crack Strength) ซึ่งโดยปกติแล้วจุดนี้จะใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดาซึ่งไม่ได้เสริมไฟเบอร์ ดังนั้น ส่วน OA จึงเป็นส่วนที่คล้ายกับทั้งคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ เมื่อคอนกรีตผสมไฟเบอร์เริ่มร้าวแล้ว น้ำหนักทั้งหมดของน้ำหนักที่กระทำจะถูกรับไว้โดยไฟเบอร์ ซึ่งยึดรอยร้าวอยู่ ส่วน AB เป็นส่วนที่แสดงถึงช่วงที่ยังคงมีการร้าวต่อไปของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ และเป็นช่วงที่ไฟเบอร์สูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตจนถึงดึงออกมา น้ำหนักกระทำมาสุด (จุด B) ขึ้นอยู่กับปริมาณของไฟเบอร์และรูปทรงของไฟเบอร์ ในระหว่างที่มีการให้น้ำหนักกระทำในช่วงนี้ ซึ่งทำให้แรงยึดเหนี่ยวของไฟเบอร์สูญเสียไป และอยู่ในวันที่ไฟเบอร์ถูกดึงออกมานี้ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าค่าความเค้นที่จุดคลากมาก ดังนั้นการขาดของไฟเบอร์จึงไม่เกิดขึ้นในช่วงที่กราฟลาดลงคือช่วง BC เมื่อคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กำลังร้าวต่อไป และเส้นใยไฟเบอร์ก็กำลังถูกดึงออก ถ้าเส้นในไฟเบอร์มีความยาวมากพอที่จะรักษาแรงยึดเหนี่ยวไว้ได้ เส้นใยเหล่านี้สุดท้ายก็อาจจะขาดได้ในช่วงนี้

Figure Typical load–deflection curve for fiber-reinforced concrete in flexure.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

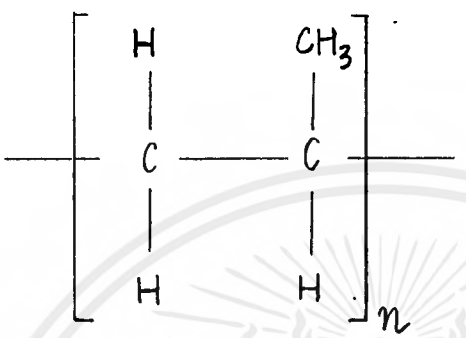


กราฟแสดงผลของปริมาณไฟเบอร์ที่มีต่อกำลังดัดและความเหนียว
ของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์สัมพัทธ์กับคอนกรีตล้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟเบอร์โพลีพรอบพิลีน(POLYPROPYLENE)

คือไฟเบอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งถูกสังเคราะห์มาจาก PROPYLENE GAS และ กลุ่มเมทิล มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ



คุณสมบัติของไฟเบอร์ชนิดนี้สัมพันธ์กับ ดัชนีการหลอมเหลว(Melt Index) น้ำหนักโมเลกุล(Molecular Weight) การเรียงตัวของโมเลกุล การกระจายน้ำหนักของโมเลกุล ลักษณะเด่นของโพลีพรอบพิลีนคือ ความหนาแน่นต่ำ ไม่ชืมน้ำ มีความต้านทานความร้อนสูง มีความแข็ง และต้านทานสารเคมีได้ ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติที่จะนำไปใช้เสริมความแข็งแรงได้

คุณสมบัติเฉพาะของโพลีพรอบพิลีนที่นำมาใช้ในการทดลอง

- ความหนาแน่น(Density)	910 kg/m^3
- อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio)	100
- ความยาว	20 mm.
- YOUNG'S MODULUS	$0.5*10^3$ ksi
- ความสามารถในการรับแรงดึง	80-110 ksi
- การยืดตัวสูงสุด	25%
- การดูดซึมน้ำ	0%
- จุดหลอมเหลว	160-170 c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความต้านทานต่อกรดและด่าง สูง
- การนำความร้อน ต่ำ
- การนำไฟฟ้า ต่ำ

นอกจากนี้ เส้นใยโพลีพรอบพิลีนที่นำมาใช้ในการทดลองทั้งหมด ถูกผลิตขึ้นมาในรูปของตาข่าย ซึ่งสามารถเพิ่มความสามารถในการยึดเหนี่ยวและรับแรงได้ดีขึ้น และช่วยลดปริมาณเส้นใยที่ต้องใช้ลง มากกว่าการใช้เส้นใยเป็นเส้นเดี่ยวๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเส้นใยโพลีพรอบพิลีน(POLYPROPYLENE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 แรงยึดเหนี่ยวภายในคอนกรีตเสริมไฟเบอร์

(Fiber Reinforced Concrete Bond)

ในระบบของสารประกอบเช่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ พฤติกรรมทางกลไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไฟเบอร์และคอนกรีตเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างส่วนประกอบทั้งสองอีกด้วย ซึ่งโดยธรรมชาติของการสัมผัสยึดเกาะของการใช้ซีเมนต์เป็นตัวประสานนั้นยังมีความซับซ้อนอยู่ เนื่องจากมีปฏิกิริยาเคมีบางอย่างซึ่งเกิดขึ้นระหว่างซีเมนต์และไฟเบอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น ความสามารถในการยึดเกาะระหว่างซีเมนต์กับไฟเบอร์แต่ละชนิดจึงแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับไฟเบอร์ เช่น

1. ไฟเบอร์เหล็ก (Steel Fiber) คุณสมบัติทางกลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการนำเหล็กมาใช้เป็นไฟเบอร์ เช่น การยึดติด, แรงเสียดทาน, ระบบ Enterlock และ ปฏิกิริยาเคมีบางอย่างที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

2. ไฟเบอร์กลาส (Glass Fiber) มีปฏิกิริยาบางอย่างเกิดขึ้นระหว่างซีเมนต์กับไฟเบอร์กลาส โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัลคาไลน์จะทำลายกำลังในการเสริมคอนกรีตด้วยไฟเบอร์-กลาส

3. ไฟเบอร์จากธรรมชาติ (Organic Fiber) แรงยึดเหนี่ยวจะขึ้นโดยตรงกับระบบ Interlocking

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ส่วนใหญ่นั้น ความเสียหายจะเกิดขึ้นจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและไฟเบอร์ ในการที่จะเพิ่มความสามารถในการยึดเหนี่ยวระหว่างไฟเบอร์กับคอนกรีตให้มากขึ้นนั้นจะต้องมีการดัดแปลงลักษณะของไฟเบอร์ เช่น ทำปลายเส้นใยไฟเบอร์ให้เป็นตะขอ หรือทำไฟเบอร์ให้เป็นตาข่าย

4.7 การผสมคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ (Fabrication of Fiber Reinforced Concrete)

วิธีการผสมไฟเบอร์ลงในคอนกรีตมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดสำหรับการผสมไฟเบอร์ลงในคอนกรีตธรรมดาคือใช้เครื่องผสมคอนกรีต ผสมคอนกรีตให้เข้ากันดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียก่อน จากนั้นจึงค่อย ๆ ใส่ไฟเบอร์ลงไป

สำหรับการผลิตแผ่นคอนกรีตบางที่มีไฟเบอร์กลาสผสม อาจมีการใช้สเปรย์ฉีดพ่น เมื่อผลิตแผ่นบางเหล่านี้ มีการใช้ปั๊มพิเศษและหัวพ่น ไฟเบอร์จะถูกผสมกับคอนกรีตแล้วถูกพ่นออกไปที่แบบหล่อ กรรมวิธีนี้นอกจากจะใช้กับไฟเบอร์กลาสแล้วยังสามารถใช้กับไฟเบอร์ที่ได้จากสารอินทรีย์ด้วย

จุดที่สำคัญอีกจุดหนึ่ง คืออัตราส่วนผสมของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์จะไม่เหมือนกับคอนกรีตธรรมดา เพราะถ้ายังมีส่วนผสมของไฟเบอร์มากเท่าไรก็จะยิ่งต้องการซีเมนต์เพสท์เป็นตัวยึดไฟเบอร์ให้ติดมากเท่านั้น โดยทางปฏิบัติแล้ว ขนาดของส่วนผสมหยาบขนาดโตสุดไม่ควรเกิน 10 มม. และค่า Aspect Ratio มักจะอยู่ในช่วงประมาณ 50-150

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว คุณสมบัติของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ขึ้นอยู่กับขนาด ชนิดของไฟเบอร์และขบวนการผลิตเส้นใยเหล่านี้ และเนื่องจากไฟเบอร์มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ดังนั้นจึงมีความต้องการน้ำสูง โดยเฉพาะไฟเบอร์กลาสจะมีความต้องการปริมาณน้ำสูงมาก และดูดน้ำได้มาก นอกเหนือจากนี้ จะต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบ โดยหลักทั่วไปแล้ว ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์จะลดลงถ้ามีปริมาณไฟเบอร์ผสมสูงขึ้น ค่า Aspect Ratio ของไฟเบอร์มากขึ้น หรือมีปริมาณส่วนผสมหยาบมากขึ้น

ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีใดที่จะสามารถกำหนดปริมาณไฟเบอร์ในคอนกรีตได้อย่างแม่นยำและเหมาะสมที่สุด ดังนั้นการกำหนดเปอร์เซ็นต์ของไฟเบอร์ในคอนกรีตที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือการพิจารณาจากค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด (Slump) และ Vebe Test นอกจากนี้ไฟเบอร์ยังมีส่วนช่วยลดการไหลเยิ้ม และเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวของส่วนผสมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การทดลอง
คุณสมบัติทางวิศวกรรม

1.การคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต(MIX DESIGN)

2.การทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีน

3.การทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีน

4.การทดสอบหากำลังดัดของคานคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีน

โดยทดสอบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลางคาน

5.การทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า

6.การทดสอบหากำลังรับแรงดึงโดยตรงของซีเมนต์มอร์ต้า

7.การทดสอบเพื่อศึกษารอยร้าวที่เกิดขึ้นของแผ่นคอนกรีต

8.การทดสอบการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

- คอนกรีตทับหน้าเสริมเหล็กตะแกรง

- คอนกรีตทับหน้าเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการทดลองตามมาตรฐาน ACI

1.กำหนดค่ายุบตัว 8-10 ซม.

2.กำหนดให้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม.(0.75 นิ้ว)

3.จากตารางแสดงปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและขนาดวัสดุผสมขนาดต่างๆ ปริมาณน้ำที่ต้องใช้คือ 200 ลิตร/ลบ.ม.ของคอนกรีต

4.จากตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลังอัดเฉลี่ย 200 กก./ซม^2 จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ต้องใช้=0.70

5.ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ = 200/0.70 = 286 กก./ลบ.ม.ของคอนกรีต

6.หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบ จากตารางแสดงปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีต เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายเท่ากับ 3.0 และขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม. จะได้ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งที่อัดแน่น =0.60 ลบ.ม. ต่อลบ.ม.ของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของหิน = 1600 กก./ลบ.ม. ดังนั้นวัสดุผสมหยาบที่ใช้เท่ากับ 0.60*1600 = 960 กก./ลบ.ม.ของคอนกรีต

7.หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม

ปริมาตรของน้ำ = 200/1000 = 0.2 ม^3

ปริมาตรซีเมนต์ = 286/(3.15*1000) = 0.09 ม^3

ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ = 960/(2.64*1000) = 0.367 ม^3

ปริมาตรของฟองอากาศ = 0.01*1 = 0.01 ม^3

ดังนั้นปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย = 0.667 ม^3

ปริมาตรทรายที่ต้องใช้ = 1-0.667 = 0.333 ม^3

น้ำหนักทรายที่ต้องใช้ = 0.333*2.63*1000 = 875 กก.

8.ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

ความชื้นมวลรวม = 4.14%

อัตราการดูดซึมของทราย = 0.66%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการดูดซึมของหิน = 0.38%

ปริมาณหิน = 960*1.042 = 1000 กก.

น้ำเคลือบผิวหิน = 4.14-0.38 = 3.76

น้ำเคลือบผิวทราย = 4.14-0.66 = 3.48

ปริมาณน้ำจริง = 200-(960*3.76/100)-(875*3.48/100)

= 200-36-30

= 134 กก.

ปริมาณส่วนผสมที่ใช้สำหรับคอนกรีต 1 ลบ.ม.

น้ำ	134	กก.
ซีเมนต์	286	กก.
หิน	1000	กก.
ทราย	912	กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมไฟเบอร์รอบพิลึน

(Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen)

ตามมาตรฐาน ASTM: C39-72

วัตถุประสงค์

เพื่อต้องการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมไฟเบอร์ที่อายุต่างๆกัน โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก ตามมาตรฐาน ASTM.

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. แท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบ
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไปเกาะติด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 12 นิ้ว
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องผสมคอนกรีต
6. เครื่องมือวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง
7. เครื่องหล่อหมวก (Capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุดขณะเท คอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข) การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตล้วน

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ ๆ

2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบและใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

3. ทั้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉย ๆ ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่ม โดยแช่ในถังบ่ม จนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ค) การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตผสมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน

1. ทำเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตล้วน หลังจากผสมคอนกรีตในโม่เรียบร้อยแล้ว ใส่เส้นใยโพลีพรอบพิลีนลงไปที่

อัตราส่วน 0.1% โดยปริมาตร ซึ่งเท่ากับ 910 กรัม ต่อลูกบาศก์เมตร กำหนดเป็น PP1

อัตราส่วน 0.2% โดยปริมาตร ซึ่งเท่ากับ 1,820 กรัม ต่อลูกบาศก์เมตร กำหนดเป็น PP2

อัตราส่วน 0.3% โดยปริมาตร ซึ่งเท่ากับ 2,730 กรัม ต่อลูกบาศก์เมตร กำหนดเป็น PP3

อัตราส่วน 0.4% โดยปริมาตร ซึ่งเท่ากับ 3,640 กรัม ต่อลูกบาศก์เมตร กำหนดเป็น PP4

อัตราส่วน 0.5% โดยปริมาตร ซึ่งเท่ากับ 4,550 กรัม ต่อลูกบาศก์เมตร กำหนดเป็น PP5

2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบและให้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทั้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉย ๆ ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออกนำแท่งคอนกรีตไปบ่ม โดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ ตัวอย่างคอนกรีต 1 ชุดมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ง) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีต ให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนทดสอบควรตรวจระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือไม่ ระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5 องศา หากไม่อยู่ในขอบเขตดังกล่าว ให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน

จ) การคำนวณ

ค่าความเกินอัดประลัยของแท่งคอนกรีตหาได้จากสูตร $f=P/A$

โดยที่ P = แรงการทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง, $A=\pi D^2/4$

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยจากการวัดสองทิศทางตั้งฉากกัน ที่กึ่งกลางความสูงของแท่งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมใยสังเคราะห์

(Test for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens)

ASTM: C496-90

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต จากการทดสอบที่กระทำทางอ้อม คือ การทดสอบการปริแตกของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก เนื่องจากการทดสอบโดยตรงกระทำได้ยากซึ่งโดยทั่วไปกำลังปริแตกจะอยู่ภายในช่วง 5-12% สูงกว่ากำลังแรงดึงโดยตรง

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. แท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบ
2. เครื่องมือ Universal Testing Machine
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" และสูง 12"
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องผสมคอนกรีต
6. เครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
7. เครื่องหล่อหมวก หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง
8. ไม้รอง ทำด้วยไม้อัดหนา 1/8" กว้างประมาณ 1" มีความยาวเท่ากับความยาวของแท่งตัวอย่าง หรือยาวกว่าเล็กน้อย เมื่อใช้ทดสอบครั้งหนึ่งแล้ว ไม่ควรใช้กับตัวอย่างอื่นอีก

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การเตรียมแบบหล่อและการเตรียมแท่งตัวอย่าง เหมือนกับการเตรียมการทดสอบกำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) การทดสอบกำลังดึงของแท่งตัวอย่างคอนกรีตล้วนและแท่งตัวอย่างคอนกรีตเสริมโพลีรอบพิลีน

1. ขีดแนวเส้นผ่านศูนย์กลางให้ยาวจรดหัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง
2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ยจากการวัด 3 ค่า คือที่ใกล้ปลายทั้งสองและที่กึ่งกลางของแท่งตัวอย่าง พร้อมกับวัดความยาวเฉลี่ยจาก 2 ด้านตามแนวที่ขีดไว้
3. วางแท่งคอนกรีตนอนบนเครื่องกด ให้แนวเส้นที่ลากไว้อยู่ด้านบนและล่างนำไม้มารองตรงเส้นทั้งด้านบนและล่าง ให้กึ่งกลางของไม้รองตรงแนวเส้น จากนั้นจึงให้แรงกระทำจนกระทั่งคอนกรีตปริแตก

ค) การคำนวณ

กำลังดึงปริแตกของคอนกรีต (Splitting Tensile Strength) จะหาได้จากสูตร

$$T = 2P/\pi DL$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบกำลังดัดของคานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน

(โดยการทดสอบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลางคาน)

Test for Flexural Strength of Concrete Beam with conter-point loading

ASTM: C 293-68

วัตถุประสงค์

เป็นการทดสอบหากำลังวัดของคอนกรีตด้วยคานตัวอย่างที่มีหน้าตัดขนาดเล็กตั้งแต่หน้าตัด 15x15 ซม. ลงมา

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. แท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบ
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
3. แบบหล่อคานคอนกรีตขนาด 15x15 ซม. ยาว 60 ซม.
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องผสมคอนกรีต
6. ไม้บรรทัด

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การเตรียมแบบหล่อและการเตรียมตัวอย่าง

เช่นเดียวกับการทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีต แต่สำหรับคานคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน มีข้อกำหนดดังนี้เมื่อเตรียมตัวอย่างคาน PP1 มีเส้นใยโพลีพรอบพิลีนผสมอยู่ 0.1% โดยปริมาตรคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรคาน =0.15x0.15x0.60 = 0.0135 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาณเส้นใยโพลีพรอบพิลีนที่ต้องใช้เท่ากับ 0.0135x9x3x100=36.45 กรัม

สำหรับคานตัวอย่าง 3 คาน

คาน PP2 มีเส้นใยโพลีพรอบพิลีนผสมอยู่ 0.2% โดยปริมาตรคอนกรีต

ปริมาณเส้นใยโพลีพรอบพิลีนที่ต้องใช้เท่ากับ = 72.9 กรัม

คาน PP3 มีเส้นใยโพลีพรอบพิลีนผสมอยู่ 0.3% โดยปริมาตรคอนกรีต

ปริมาณเส้นใยโพลีพรอบพิลีนที่ต้องใช้เท่ากับ =109.35 กรัม

คาน PP4 มีเส้นใยโพลีพรอบพิลีนผสมอยู่ 0.4% โดยปริมาตรคอนกรีต

ปริมาณเส้นใยโพลีพรอบพิลีนที่ต้องใช้เท่ากับ = 145.8 กรัม

คาน PP5 มีเส้นใยโพลีพรอบพิลีนผสมอยู่ 0.5% โดยปริมาตรคอนกรีต

ปริมาณเส้นใยโพลีพรอบพิลีนที่ต้องใช้เท่ากับ = 182.25 กรัม

ข) การทดสอบกำลังอัด

1. ให้จัดตัวอย่างคานที่จะทดสอบ วางบนจุดที่รองรับและแรงกระทำหนึ่งจุดที่กึ่งกลางคาน ดังรูป จากนั้นจึงค่อยๆเพิ่มแรงกระทำบนคานจนกระทั่งคานหัก
2. การวัดขนาดหน้าตัด ให้คิดเฉลี่ยจากการวัด 3 ค่า คือที่ปลายทั้งสองและที่กึ่งกลางคาน
3. การคำนวณกำลังดัดของคาน หาได้ในรูปของโมดูลัสแตกร้าวจากสมการต่อไปนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ P = แรงกระทำกึ่งกลางคานจนกระทั่งคานหัก

L = ระยะช่วงคานระหว่างที่รองรับ

b = ความกว้างเฉลี่ยของคานกึ่งกลาง

d = ความลึกเฉลี่ยของคานกึ่งกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า

(Test for Compressive strength of Hydraulic Cement Mortar)

ASTM: c 109-70

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า และซีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีพรอบพิลีนที่ปริมาณต่างๆกัน โดยการหล่อก้อนทดสอบรูปลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม.

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ซีเมนต์ประมาณ 500 กรัมสำหรับ 6 ตัวอย่าง
2. ทรายมาตรฐานที่คัดขนาดแล้ว
3. เส้นใยโพลีพรอบพิลีน 1.5,3.0,4.5,6 และ 7.5 กรัมสำหรับมอร์ต้า PP1, PP2,PP3,PP4 และ PP5 ตามลำดับ
4. ตะแกรง
5. แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม. ทำด้วยวัสดุที่ซีเมนต์ไม่ยึดเกาะ
6. หลอดแก้วกระทุ้ง หรือวัสดุอื่นที่ไม่ดูดซึมน้ำ ไม่สึกหรอเมื่อถูกเสียดสี และไม่เปราะหักง่าย อาทิ แท่งยางแข็ง ไม้ ที่มีขนาดหน้าตัดประมาณ 13x25 มม. และมีความยาวประมาณ 120 ถึง 150 มม. หน้าตัดของปลายที่ใช้กระทุ้งต้องตั้งฉากกับแกนยาวของแท่ง
7. เครื่องผสมมอร์ต้า
8. เกรียงเหล็ก
9. เครื่องทดสอบกำลังอัด อาจเป็นแบบไฮดรอลิคหรือแบบเกลียวหมุนโยกด้วยมือ
10. โต๊ะควบคุมการไหลพร้อมแบบกรวย (Flow Table)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบการเรียงขนาดของเม็ดทราย โดยใช้วิธีการร่อนทรายผ่านตะแกรง4 ขนาดคือเบอร์ 100,50,30 และ 16 โดยจะต้องมีเปอร์เซ็นต์ค้างบนตะแกรงประมาณ 90+2, 75+5, 2+2 และ 0 ตามลำดับ
2. การเตรียมอัตราส่วนของซีเมนต์และทรายมาตรฐาน ปรกติใช้อัตราส่วน 1และใช้ปริมาณ (w/c ratio) = 0.7
3. ผสมซีเมนต์มอร์ต้าด้วยเครื่องผสม ตามหลักการเดียวกันกับวิธีทดสอบที่ผ่านมา
4. สำหรับคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรอบพีลีน หลังจากผสมซีเมนต์มอร์ต้าแล้ว ให้ใส่เส้นใยตามปริมาณที่กำหนดในแต่ละตัวอย่าง
5. จากนั้นบรรจุซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบหล่อหลังจากชโลมน้ำมันในช่องแบบจนทั่วแล้ว จึงใส่ซีเมนต์มอร์ต้าลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงแบบ(1")แล้วใช้แท่งกระทุ้งมาตรฐาน กระทุ้งให้ได้ 32 ครั้งภายในเวลา 10 วินาที
6. จากนั้นใส่ซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบที่เหลือจนเต็ม และกระทุ้งอีก 32 ครั้งภายใน 10 วินาทีเสร็จแล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ ใช้ผ้าชุบน้ำพอหมาดคลุม และตั้งทิ้งไว้เฉยๆ เป็นเวลา 24 ชม. จึงแกะแบบนำแท่งตัวอย่างไปบ่มในน้ำ
7. ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างที่อายุ 28 วันการนำแท่งตัวอย่างขึ้นจากน้ำหากนำขึ้นมาก่อนเวลาทดสอบ 24 ชม. ให้คลุมด้วยผ้าหมาดไว้จนถึงเวลาทดสอบเช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง ปัดเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าออก ข้อควรระวังก็คือจะต้องให้ผิวหน้าเรียบจริงๆ หากโค้งหรือไม่สม่ำเสมอเพียงเล็กน้อย ให้ฝนกระดาษทรายน้ำละเอียด ถ้าโค้งหรือขรุขระมากไปไม่นำมาทดสอบ
8. การทดสอบนับจากการให้แรงอัดเพิ่มในแท่งทดสอบจนกระทั่งแตก จะต้องอยู่ภายในช่วงเวลา 20-80 วินาที
9. ทำเช่นนี้กับตัวอย่างโพลีพรอบพีลีนที่อัตราส่วนอื่นๆที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหากำลังรับแรงดึงโดยตรงของชีเมนต์มอร์ต้าและชีเมนต์มอร์ต้าเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน

(Test for Direct Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortar)

ASTM: C190-72

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อหากำลังรับแรงดึงของชีเมนต์มอร์ต้า เพื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงดึงมาตรฐานและหากำลังรับแรงดึงของชีเมนต์มอร์ต้าผสมเส้นใยโพลีพรอบพีลีนที่ปริมาณต่างๆกัน

<u>วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง</u>

1. ชีเมนต์ ประมาณ 1000 ถึง 1200 กรัมสำหรับการทดสอบ 6 ตัวอย่าง และประมาณ 1500 ถึง 1800 กรัม สำหรับการทดสอบ 9 ตัวอย่าง
2. ทรายมาตรฐาน ปรกติทรายมาตรฐานควรเป็นทรายจากอ๊อตตาวา ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 30
3. เส้นใยโพลีพรอบพิลีน 5.5,11.0,16.5,22, และ 27.5 กรัม สำหรับมอร์ตาร์ PP1,PP2,PP3,PP4 และ PP5 ตามลำดับ
4. ตะแกรงเบอร์ 20 และ 30
5. ตาชั่ง
6. Briquet Gang Molds ทำด้วยวัสดุที่ชีเมนต์ไม่ยึดเกาะ เช่น ทองเหลือง ภายในไม่มีช่องสำหรับบรรจุชีเมนต์มอร์ต้ารูปโค้งรีและคอดเล็กตรงกลาง
7. กระบอกแก้วตวงน้ำ
8. เกรียงเหล็ก
9. เครื่องผสมมอร์ต้าตามมาตรฐาน ASTM
10. เครื่องทดสอบกำลังดึง ที่มีความสามารถในการให้แรงดึงต่อตัวอย่างโดยต่อเนื่องในอัตรา 600+25 ปอนด์ต่อนาที
11. ถุงมือยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมซีเมนต์มอร์ต้ามาตรฐาน จากซีเมนต์ 1 ส่วนและทรายมาตรฐาน 3 ส่วน โดยน้ำหนัก ใช้เปอร์เซ็นต์ของน้ำเปรียบเทียบจากอัตราน้ำที่พอเหมาะกับความฟันเหลวของวุ้นซีเมนต์ จากตารางแสดงในหน้าถัดไป
2. การผสมซีเมนต์มอร์ต้า อาจผสมได้ 2 วิธีคือ
   2.1 ผสมด้วยมือ ให้คลุกเคล้าซีเมนต์และทรายเข้าด้วยกันบนภาชนะหรือพื้นที่สะอาดราบเรียบ และไม่ดูดซึมน้ำ เมื่อผสมกันได้ที่แล้วให้เกลี่ยรวมกันเป็นกอง และทำแอ่งตรงกลาง ค่อยๆรินๆ น้ำด้วยปริมาณที่คำนวณหรือเปรียบเทียบได้ ลงตรงกลางแอ่ง ใช้เกรียงเหล็กตักส่วนผสมรอบนอกเข้าไปในแอ่งให้หมดภายใน 30 วินาที แล้วจึงปล่อยทิ้งให้ส่วนผสมดูดซับน้ำอีก 30 วินาทีแล้วจึงใช้มือที่สวมถุงยางผสมคลุกเคล้าให้เป็นมอร์ต้าภายในเวลา 90 วินาที
   2.2 ผสมด้วยเครื่องผสมมอร์ต้า มีขั้นตอนดังต่อไปนี้
   - เทน้ำทั้งหมดลงในหม้อผสม
   - เทซีเมนต์ตามลงไป แล้วเปิดสวิชท์เดินเครื่องด้วยความเร็วต่ำ(140+ 5 rpm) เป็นเวลา 30 วินาที
   - เติมทรายที่เตรียมไว้ลงไปในหม้อผสมช้าๆ โดยที่ยังคงเดินเครื่องด้วยความเร็วเท่าเดิม เททรายให้หมดภายใน 30 วินาที
   - หยุดเครื่องอีก เพื่อพักมอร์ต้าไว้ 90 วินาที โดยที่ภายใน 15 วินาทีแรกให้รีบปาดส่วนที่เลอะข้างๆหม้อผสมลงให้หมด แล้วปิดฝา
   - เมื่อครบเวลาพัก จึงเดินเครื่องต่อด้วยความเร็วปานกลางเท่าเดิมต่อไปอีก 30 วินาที เป็นอันจบกระบวนการผสมมอร์ต้า
3. สำหรับคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน ให้ใส่ปริมาณเส้นใยโพลีพรอบพิลีนตามปริมาณที่กำหนดลงในส่วนผสมแล้วเดินเครื่องต่ออีก 3 นาที
4. การบรรจุซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบ
   4.1 ก่อนบรรจุซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบ ให้ทาเคลือบผิวด้านที่สัมผัสซีเมนต์ด้วยน้ำมันพืชบางๆเตรียมไว้ก่อน จึงค่อยๆอัดซีเมนต์มอร์ต้าลงไปให้เต็ม โดยไม่ต้องออกแรงกดใดๆ เมื่อเต็มแล้วจึงใช้หัวแม่มือกดลงไป โดยออกแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 6-9กก. จำนวน 12 ครั้งต่อช่องแบบ ซีเมนต์มอร์ต้าจะล้นขอบแบบขึ้นมาเล็กน้อย ใช้เกรียงเหล็กปาดแต่งให้เรียบ

4.2 นำแผ่นโลหะที่ทาน้ำมันพืชแล้วหรือแผ่นกระจกมาปิดประกบปากแบบไว้แล้วพลิกแบบกลับเอาด้านล่างขึ้น และอัดซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธีการเดิม

4.3 จากนั้นจึงเอาผ้าชุบน้ำพอหมาดๆมาปิดคลุม ตั้งทิ้งไว้ 20-24 ชั่วโมง จึงแกะแบบนำแท่งตัวอย่างไปบ่มในน้ำสะอาดให้ครบอายุตามต้องการ

5. เมื่อต้องการทดสอบตัวอย่างที่อายุครบกำหนด ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ผึ่งให้ผิวแห้งแล้วจึงนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องทดสอบ นำค่าที่ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐานที่แสดง

6. ทำเช่นนี้กับตัวอย่างโพลีพรอบพิลีนที่อัตราส่วนอื่นๆที่เหลือ

ค่ามาตรฐานสำหรับค่าแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้า

อายุ	ประเภทซีเมนต์		
	1	2	3
1 วันในอากาศชื้น (psi)			275
1 วันในอากาศชื้น 2 วันในน้ำ (psi)	150	125	375
1 วันในอากาศชื้น 6 วันในน้ำ (psi)	275	250	-
1 วันในอากาศชื้น 27วันในน้ำ (psi)	350	325	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเพื่อศึกษารอยร้าวที่เกิดขึ้นของแผ่นคอนกรีต

TEST FOR CRACK PANEL STUDIES

วัตถุประสงค์

เป็นการทดสอบเพื่อพิจารณารอยร้าวที่เกิดขึ้นหลังจากเทคอนกรีตแล้ว โดยรอยร้าวที่เกิดขึ้นนี้จะไม่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักที่กระทำ แต่เป็นรอยร้าวที่เกิดจากภายในคอนกรีตเอง โดยทดสอบจากแผ่นคอนกรีตล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. คอนกรีตสดที่ผสมเสร็จใหม่ๆ ตามอัตราส่วน ซีเมนต์:ทราย:หิน ตามที่คำนวณไว้
2. เส้นใยโพลีพรอบพิลีน 135 กรัม สำหรับแผ่นคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีน 3 แผ่น
3. แบบหล่อคอนกรีต รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 100 ซม. สูง 5.0 ซม. จำนวน 3 ชุดสำหรับคอนกรีตล้วนและอีก 3 ชุดสำหรับคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน
4. เกรียงเหล็ก
5. เกรียงไม้
6. ไม้บรรทัด

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมพื้นสำหรับวางแบบ ควรเป็นพื้นที่แข็ง ราบเรียบ
2. การเทคอนกรีต
   2.1 สำหรับคอนกรีตสดที่เป็นคอนกรีตล้วน หลังจากเทออกจากโม่แล้วให้เทใส่แบบแล้วกระทุ้งให้แน่น เกลี่ยหน้าให้สม่ำเสมอแล้วปรับให้เรียบ
   2.2 สำหรับคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีน หลังจากผสมคอนกรีตสดเสร็จแล้ว ให้ใส่เส้นใยโพลีพรอบพิลีนลงไปในโม่แล้วเดินเครื่องต่ออีก 5 นาที เพื่อให้เส้นใยกระจายไปทั่ว หลังจากนั้นจึงเทลงแบบแล้วกระทุ้งให้แน่น เกลี่ยคอนกรีตให้สม่ำเสมอ ปรับผิวหน้าให้เรียบ
3. สังเกตแผ่นพื้นคอนกรีตทั้ง 6 แผ่น แล้วบันทึกผลที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการรับน้ำหนักของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นต่อคอนกรีตทับหน้าที่เสริมด้วยลวดตาข่ายกับคอนกรีตทับหน้าที่เสริมด้วยเส้นใยโพลีพรอบพิลีน เมื่อมีน้ำหนักกระทำและพิจารณาความเหมาะสมที่จะนำเส้นใยโพลีพรอบพิลีนมาใช้ในงานคอนกรีตทับหน้า

วัสดุและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์การกด ถุงทราย บรรจุทรายถุงละ 25 กก. 40 ถุง
2. มาตรวัดความแอ่นตัว วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มม.
3. แท่นฐารหรือคานรองรับ
4. ระบบพื้นคอนกรีต
   4.1 เตรียมชิ้นส่วนคอนกรีตตัวอย่างประกอบระบบพื้น ประกอบด้วยชิ้นส่วนไม่น้อยกว่า 3 ชิ้น
   4.2 วิธีประกอบติดตั้งตัวอย่าง
   ปรับระดับหลังคานหรือแท่นฐารให้เรียบร้อย ก่อนจะวางชิ้นส่วนตัวอย่าง
   4.3 วัสดุทับหน้า
   4.3.1 คอนกรีตทับหน้าเสริมเหล็ก สำหรับตัวอย่างชุดที่1
   ให้วางเหล็กเสริมห่างกัน 20 ซม. ในการทดลองนี้ใช้เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ก่อนเทคอนกรีตทับหน้าต้องทำความสะอาดพื้นไม่ให้มีวัสดุแปลกปลอม เช่น ผง ขี้เลื่อย เนื้อคอนกรีตทับหน้าต้องมีส่วนผสมสม่ำเสมอและควรเทให้ต่อเนื่องกันตลอดพื้นที่
   4.3.2 คอนกรีตทับหน้าเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน สำหรับตัวอย่างชุดที่2
   ก่อนเทคอนกรีตให้ผสมเส้นใยโพลีพรอบพิลีนจำนวน 170 กรัม(0.1%) ลงในคอนกรีตสดแล้วเดินเครื่องต่ออีก 5 นาที ทำความสะอาดแผ่นพื้นให้ปราศจากสิ่งแปลกปลอม แล้วจึงเทคอนกรีตทับหน้าเสริมโพลีพรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิลึนให้สม่ำเสมอและต่อเนื่อง

ขั้นตอนการทดลอง สำหรับตัวอย่างชุดที่1และ2

1.ติดตั้งมาตรวัดความแอ่นตัวที่กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต และที่แท่นฐารทั้งสอง เพื่อใช้เปรียบเทียบการแอ่นตัว

2.เริ่มใส่น้ำหนักบนแผ่นคอนกรีตเป็นช่วงดังนี้คือ ร้อยละ 25 ร้อยละ 50 ร้อยละ 100 ร้อยละ 125 และ ร้อยละ 150 ของน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้ สำหรับแผ่นคอนกรีตแต่ละชั้นคุณภาพ หลังจากใส่น้ำหนักบรรทุกแต่ละค่าแล้วให้อ่านค่าความแอ่นตัวทันที และหลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 15 นาทีให้อ่านค่าความแอ่นตัวอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักบรรทุกช่วงต่อไป ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนครบช่วงการเพิ่มน้ำหนัก การใส่น้ำหนักบรรทุกต้องค่อยๆ ใส่ พยายามอย่าให้เกิดการกระแทกกับพื้นที่ทดสอบและการใส่น้ำหนักต้องใส่ให้สม่ำเสมอตลอดช่วงด้วย

3.เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจนถึงร้อยละ 150 ของน้ำหนักบรรทุกแล้ว ปล่อยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วอ่านค่าความแอ่นตัวอีกครั้งหนึ่ง

4.เริ่มปลดน้ำหนักบรรทุก โดยปฏิบัติเป็นขั้นตอนย้อนกลับกับตอนใส่น้ำหนักบรรทุกทุกประการ

5.อ่านค่าการคืนตัวอีกครั้งหนึ่ง หลังจากปลดน้ำหนักบรรทุกออกหมดแล้ว 24 ชั่วโมง

เกณฑ์การตัดสินสำหรับการทดสอบระบบพื้นคอนกรีต

1.ในช่วงน้ำหนักบรรทุกใดๆต้องไม่ปรากฏรอยร้าวกว้างเกิน 0.2 มม. ใต้ท้องแผ่นคอนกรีต หรือชั้นส่วนคอนกรีต

2.ความแอ่นตัว(Deflection)

2.1 ต้องไม่เกิน $L^2/20000t$

2.2 แต่ถ้าแอ่นตัวเกิน $L^2/20000t$ ต้องคืนตัวได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75

L=ความยาวประสิทธิผล

t=ระยะที่วัดจากส่วนล่างสุดถึงส่วนบนสุดของระบบพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

6.1ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน

(ตารางที่ 1-6)

จากผลการทดลองนี้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีนมีค่าใกล้เคียงกันมาก และค่านี้มีแนวโน้มลดลงเมื่อมี % ของ PP มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเสริม PP ในคอนกรีตไม่มีผลต่อการรับแรงอัด และถ้าผสมในปริมาณมากเกินไปก็จะเป็นผลเสียแก่คอนกรีตเองด้วย ซึ่งตามทฤษฎีการที่ค่าการรับกำลังอัดมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่มากขึ้น แต่ปริมาณซีเมนต์เพสท์ก็ยังคงเท่าเดิม ทำให้ไม่เพียงพอที่จะไปยึดเส้นใยได้ทั้งหมด เกิดช่องว่างและรอยที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อกันมาก ซึ่งถือว่าเป็นจุดอ่อนของคอนกรีตได้ ค่าการบุบตัวของคอนกรีตสดลดลงเมื่อมีปริมาณเส้นใย PP มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากต้องสูญเสียน้ำบางส่วนไปในการเคลือบผิวเส้นใยเหล่านี้

6.2ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงปริแตกของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน

(ตารางที่ 7-12)

จากผลการทดลองนี้ค่ากำลังรับแรงดึงปริแตกของคอนกรีตผสม PP ที่ 0.1% และ 0.2% โดยปริมาตรมีค่าสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตล้วนถึง 15% ซึ่งในส่วนนี้จะช่วยทำให้คอนกรีตมีความสามารถรับแรงดึงมากขึ้น กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตจะพัฒนาอย่างเร็วในช่วงสัปดาห์แรก และจะค่อยๆเพิ่มอีกเล็กน้อย ดังนั้นสาเหตุของการแตกร้าวภายในคอนกรีตเองที่จะเกิดในช่วงแรกๆหลังจากเทคอนกรีตแล้วจึงสามารถถูกลดและป้องกันได้

เมื่อปริมาณ PP มากขึ้น ความสามารถในการรับกำลังดึงลดลง ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากมีปริมาณไฟเบอร์มากเกินไป แต่ซีเมนต์เพสท์ยังคงเท่าเดิม ดังนั้นจึงเกิดการไม่ติดสนิทของอนุภาคภายในซีเมนต์ระหว่างคอนกรีตกับไฟเบอร์ รวมถึงวัสดุผสมต่างๆด้วย

หลังจากที่คอนกรีตล้วนปริแตกเมื่อถูกแรงกระทำสูงสุดแล้วก็จะแยกออกเป็น 2 ส่วน แต่สำหรับคอนกรีตผสม PP แล้วจะเกิดรอยแยกขึ้นเช่นกัน แต่จะไม่แยกหลุดออกมา ยังคงติดกันอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากมี PP คอยยึดเอาไว้ ดังนั้นการใช้เส้นใย PP จะแสดงให้เห็นถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสียหายที่เกิดขึ้นก่อนที่จะพัง

6.3ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของมอร์ต้า

(ตารางที่ 13-18)

จากการทดลองผลการรับกำลังอัดของมอร์ต้าล้วนและมอร์ต้าผสมโพลีนพรอบนิลีน ผลที่ได้คือค่าการรับกำลังอัดอยู่ในช่วงเดียวกันทั้งสิ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า PP ไม่ได้มีส่วนช่วยในการเพิ่มการรับกำลังอัดแต่อย่างใด และถ้ายิ่งใส่มากก็จะไปลดกำลังของมอร์ต้าได้ด้วย

6.4ผลการทดสอบกำลังดึงทางตรงของมอร์ต้า

(ตารางที่ 19-24)

จากผลการทดลอง เมื่อมอร์ต้าผสม PP 0.1% ค่ากำลังรับแรงดึงโดยตรงจะเพิ่มขึ้นถึง 16% และเมื่อผสม PP0.2% ค่ากำลังรับแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเป็น 28% เมื่อ % ของ PP มากขึ้น ค่ากำลังรับแรงดึงทางตรงก็ค่อยๆลดลง

อย่างไรก็ดี ค่ากำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าผสม PP ที่ % ต่างๆ ก็มีค่าสูงกว่ามอร์ต้าล้วน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้เส้นใย PP มีส่วนช่วยในการรับแรงดึงได้อย่างมีประสิทธิภาพทีเดียว สามารถป้องกันรอยร้าวที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากมีความสามารถในการยึดเหนี่ยวคอนกรีตไม่ให้แยกจากกันได้ ค่าแรงที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีต (Intrinsic stress) นี้ก็จะถูกถ่ายลงเส้นใย PP ไปจนถึงปลายเส้นใย ดังนั้น PP จึงมีส่วนรับแรงนี้ด้วย

6.5ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต

(ตารางที่ 25-27)

จากผลการทดลองค่าโมดูลัสแตกร้าว ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการรับกำลังดัดของคอนกรีต เมื่อคานคอนกรีตผสม PP 0.1% และ 0.2% ค่าโมดูลัสแตกร้าวเพิ่มขึ้นจากคานคอนกรีตล้วน 9% และ 4% ตามลำดับ เส้นใย PP มีส่วนช่วยเล็กน้อยในการเพิ่มกำลังรับแรงดัด

6.6ผลการทดสอบเมื่อศึกษารอยร้าวที่เกิดขึ้นของแผ่นคอนกรีต

(รูปที่12และ13)

จากผลการทดสอบเทแผ่นคอนกรีตล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริม PP 0.1% ปรากฏว่าหลังจากเวลาผ่านไป 3 ชม. เกิดรอยแยกเล็กๆ ขึ้นบนแผ่นคอนกรีตล้วน แต่ไม่พบในแผ่นคอนกรีตผสม PP หลังจากนั้น 6 ชม. รอยร้าวบนแผ่นคอนกรีตล้วนเกิดมากขึ้นและเห็นชัดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามยังไม่พบในแผ่นคอนกรีตผสม PP

เมื่อทิ้งแผ่นคอนกรีตไว้ 7 วัน แล้วพิจารณารอยร้าวที่เกิดขึ้น พบว่ารอยร้าวที่เกิดขึ้นบนแผ่นคอนกรีตล้วนกว้างขึ้นและยาวขึ้นกว่าเดิมอีกเล็กน้อย สำหรับแผ่นคอนกรีตผสม PP ยังไม่พบรอยร้าวขึ้นแต่ประการใด

ดังนั้นเส้นใยโพลีพรอบพิลีน (PP) จึงมีความสามารถช่วยป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตได้ เนื่องจากค่าแรงที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตเกิดขึ้นในช่วงไม่เกินแรงยึดเหนี่ยวของ PP กับซีเมนต์เพสท์

6.7ผลการทดสอบพื้นสำเร็จรูป

(ตารางที่ 28-29)

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อมีการเสริมเหล็กตะแกรงในคอนกรีตทับหน้า ค่าการโก่งตัวจะน้อยกว่า คอนกรีตทับหน้าเสริม PP แต่อย่างไรก็ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดให้ระยะโก่งตัวเฉลี่ยไม่เกิน $L^2/20,000t$ ซึ่งจากการคำนวณค่านี้มีค่าเท่ากับ 4 มม. และค่าการโก่งตัวเฉลี่ยที่เกิดขึ้นของพื้นสำเร็จรูปที่มีคอนกรีตทับหน้าเสริมเหล็กตะแกรงเท่ากับ 3.4 มม. และสำหรับพื้นสำเร็จรูปที่มีคอนกรีตทับหน้าเสริม PP เท่ากับ 3.7 มม. อย่างไรก็ตามค่าน้ำหนักที่ทดสอบกับพื้นนี้ตามมาตรฐานแล้วเท่ากับ 1.5 เท่าของน้ำหนักที่พื้นรับได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1080 กก. แต่ในการทดลองได้ทดลองที่ 1250 กก.ดังนั้นค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้นจึงมากกว่าที่ 1080 กก. เมื่อพิจารณาจากกราฟแสดง LOAD-DEFLECTION CURVE แล้วจะเห็นค่าการโก่งตัวที่ 1080 กก.มีค่าน้อยกว่าที่ 1250 กก. ซึ่งยังอยู่ในมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม แสดงว่าการใช้เส้นใย PP นี้สามารถนำมาใช้ในงานจริงได้

เมื่อเอาน้ำหนักออกจากพื้นแล้ว พิจารณารอยร้าวที่เกิดขึ้นบนพื้นทั้งสอง ปรากฏว่าไม่มีรอยร้าวขึ้นอย่างใด แต่ในคอนกรีตทับหน้าเสริมเหล็กตะแกรงจะพบรอยแยกเล็กๆ อยู่ซึ่งเกิดเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีตขณะกำลังก่อตัวนั่นเอง

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมา จะเห็นว่าเส้นใย PP มีส่วนช่วยในการเพิ่มกำลังดึงของคอนกรีต และสามารถป้องกันคอนกรีตจากการแตกร้าว เนื่องจากแรงภายในของคอนกรีตได้ อีกทั้งยังให้ความรวดเร็วและสะดวกในการทำงานอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height					ksc	Avg. ksc
1	Plain Concrete	172.63	30.7	13.03	8.0	1	17,080	99.0	
2	Plain Concrete	173.16	30.5	13.02	8.0	1	17,200	99.3	
3	Plain Concrete	172.33	30.4	13.11	8.0	1	17,020	98.7	99
1	Plain Concrete	173.45	30.2	13.02	8.0	7	36,660	211.3	
2	Plain Concrete	172.22	30.4	13.12	8.0	7	37,820	219.6	
3	Plain Concrete	173.11	30.5	13.10	8.0	7	37,320	215.6	215.5
1	Plain Concrete	170.28	30.1	13.06	8.0	14	39,400	231.4	
2	Plain Concrete	173.14	30.5	13.18	8.0	14	37,900	218.9	
3	Plain Concrete	173.22	30.6	13.25	8.0	14	39,200	226.3	225.5
1	Plain Concrete	172.28	30.4	13.19	8.0	28	43,200	250.0	
2	Plain Concrete	171.22	30.3	13.23	8.0	28	39,800	232.4	
3	Plain Concrete	173.77	30.4	12.96	8.0	28	46,800	269.3	
4	Plain Concrete	172.76	30.3	13.26	8.0	28	41,300	239.0	247.7

ตารางที่ 1

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height					ksc	Avg. ksc
1	PP1	173.52	30.4	12.89	7.0	1	18,200	104.8	
2	PP1	171.28	30.6	12.86	7.0	1	17,940	104.7	
3	PP1	171.30	30.5	12.98	7.0	1	17,630	103.0	104.17
1	PP1	174.62	30.3	13.04	7.0	7	39,600	226.7	
2	PP1	173.44	30.1	12.90	7.0	7	38,200	220.2	
3	PP1	172.56	30.3	13.00	7.0	7	38,560	223.5	223.46
1	PP1	173.36	30.2	12.73	7.0	14	40,300	232.5	
2	PP1	173.47	30.1	12.65	7.0	14	39,200	226.0	
3	PP1	171.62	30.1	12.56	7.0	14	40,100	233.6	230.7
1	PP1	174.52	30.4	12.69	7.0	28	42,000	240.6	
2	PP1	171.29	30.5	12.49	7.0	28	43,800	255.7	
3	PP1	173.28	30.4	12.61	7.0	28	44,840	258.7	251.7

Remark : Type of sample is Cylinder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height					ksc	Avg. ksc
1	PP2	173.40	30.6	12.90	7.0	1	18,000	103.8	
2	PP2	171.52	30.4	12.66	7.0	1	17,700	103.2	
3	PP2	174.66	30.2	12.86	7.0	1	17,420	99.7	102.2
1	PP2	174.38	30.5	13.04	7.0	7	39,000	223.7	
2	PP2	173.24	30.4	12.49	7.0	7	40,000	230.9	
3	PP2	173.46	30.5	12.64	7.0	7	39,800	229.5	228.0
1	PP2	171.65	30.2	12.56	7.0	14	38,800	226.0	
2	PP2	171.78	30.1	12.48	7.0	14	39,400	229.4	
3	PP2	173.23	30.1	12.72	7.0	14	40,200	232.0	229.0
1	PP2	174.36	30.3	12.65	7.0	28	40,000	229.4	
2	PP2	172.48	30.4	12.77	7.0	28	42,000	243.5	
3	PP2	173.00	30.4	12.66	7.0	28	39,660	229.3	234.1

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height					ksc	Avg. ksc
1	PP3	173.65	30.2	12.47	6.5	1	17,230	99.2	
2	PP3	172.28	30.4	12.63	6.5	1	18,260	106.0	
3	PP3	172.49	30.3	12.50	6.5	1	17,600	102.3	102.5
1	PP3	172.48	30.2	12.66	6.5	7	37,800	219.2	
2	PP3	173.56	30.5	12.43	6.5	7	37,540	216.3	
3	PP3	174.29	30.6	12.84	6.5	7	38,860	223.0	219.0
1	PP3	172.48	30.2	12.23	6.5	14	38,000	220.0	
2	PP3	171.44	30.1	12.40	6.5	14	36,000	210.0	
3	PP3	174.36	30.1	12.94	6.5	14	36,600	210.0	213.0
1	PP3	173.29	30.2	12.88	6.5	28	40,020	231.0	
2	PP3	172.25	30.3	12.80	6.5	28	39,800	231.0	
3	PP3	173.06	30.3	12.74	6.5	28	41,200	238.0	233.3

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height					ksc	Avg. ksc
1	PP4	172.46	30.2	12.63	6.0	1	16,520	95.8	
2	PP4	171.43	30.5	12.74	6.0	1	17,300	101.0	
3	PP4	173.58	30.2	12.90	6.0	1	17,460	100.0	99.0
1	PP4	173.26	30.1	12.55	6.0	7	39,000	225.1	
2	PP4	173.44	30.1	12.28	6.0	7	42,000	242.1	
3	PP4	172.33	30.0	12.64	6.0	7	41,560	241.2	236.1
1	PP4	173.26	30.2	12.64	6.0	14	39,930	230.0	
2	PP4	174.35	30.3	12.77	6.0	14	41,170	236.0	
3	PP4	171.02	30.2	12.58	6.0	14	40,030	234.0	233.0
1	PP4	171.77	30.4	12.55	6.0	28	43,200	251.5	
2	PP4	173.20	30.1	12.30	6.0	28	39,900	230.0	
3	PP4	172.15	30.1	12.41	6.0	28	42,560	247.2	243.0

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height					ksc	Avg. ksc
1	PP5	171.36	30.1	12.83	5.0	1	16,320	95.2	
2	PP5	172.48	30.3	12.85	5.0	1	16,770	97.2	
3	PP5	171.33	30.5	12.44	5.0	1	16,220	94.2	95.0
1	PP5	174.33	30.1	12.93	5.0	7	33,000	189.3	
2	PP5	172.40	30.1	12.87	5.0	7	34,260	198.7	
3	PP5	171.58	30.3	12.56	5.0	7	35,180	205.0	236.1
1	PP5	172.30	30.2	12.86	5.0	14	37,600	218.2	
2	PP5	171.56	30.4	12.83	5.0	14	38,800	226.1	
3	PP5	174.33	30.1	12.77	5.0	14	36,780	211.0	218.4
1	PP5	171.28	30.2	13.01	5.0	28	38,200	223.0	
2	PP5	171.30	30.2	12.65	5.0	28	38,400	224.0	
3	PP5	172.46	30.1	12.44	5.0	28	39,000	226.0	224.3

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE SPLITTING TENSILE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Tensile Strength	
		Diameter	Length					ksc	Avg. ksc
1	Plain Concrete	14.69	30.1	12.80	8.0	1	5,160	7.43	
2	Plain Concrete	14.93	30.3	12.87	8.0	1	5,430	7.64	
3	Plain Concrete	14.87	30.3	12.56	8.0	1	5,740	8.11	7.72
1	Plain Concrete	14.76	30.4	12.49	8.0	7	17,560	24.90	
2	Plain Concrete	14.23	30.1	12.40	8.0	7	15,980	23.75	
3	Plain Concrete	14.80	30.2	12.83	8.0	7	16,500	23.50	24.05
1	Plain Concrete	14.77	30.3	12.83	8.0	14	19,560	27.82	
2	Plain Concrete	14.82	30.2	12.76	8.0	14	20,030	28.50	
3	Plain Concrete	14.53	30.3	12.79	8.0	14	21,000	30.36	28.90
1	Plain Concrete	14.95	30.1	12.55	8.0	28	26,400	37.34	
2	Plain Concrete	14.87	30.1	12.43	8.0	28	21,300	30.30	
3	Plain Concrete	14.66	30.5	12.86	8.0	28	20,200	28.76	
4	Plain Concrete	14.90	30.3	12.80	8.0	28	24,600	34.68	32.77

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE SPLITTING TENSILE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Tensile Strength	
		Diameter	Length					ksc	Avg. ksc
1	PP1	14.66	30.1	12.41	7.0	1	5,900	8.51	
2	PP1	14.38	30.1	12.40	7.0	1	6,120	9.00	
3	PP1	14.42	30.2	12.55	7.0	1	6,160	9.00	8.84
1	PP1	14.55	30.3	12.38	7.0	7	18,420	26.60	
2	PP1	14.38	30.3	12.39	7.0	7	18,350	26.80	
3	PP1	14.71	30.4	12.44	7.0	7	19,020	27.10	26.80
1	PP1	14.32	30.2	12.88	7.0	14	19,900	29.30	
2	PP1	14.54	30.1	12.97	7.0	14	21,600	31.40	
3	PP1	14.16	30.1	12.63	7.0	14	23,040	34.40	31.70
1	PP1	14.35	30.2	12.41	7.0	28	26,420	38.80	
2	PP1	14.43	30.2	12.35	7.0	28	25,380	37.10	
3	PP1	14.67	30.2	12.66	7.0	28	25,400	36.50	37.40

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE SPLITTING TENSILE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Tensile Strength	
		Diameter	Length					ksc	Avg. ksc
1	PP2	14.88	30.1	12.87	7.0	1	6,000	8.53	
2	PP2	14.87	30.3	12.60	7.0	1	6,200	8.76	
3	PP2	14.56	30.2	12.54	7.0	1	6,240	9.03	8.77
1	PP2	14.33	30.1	12.38	7.0	7	21,000	31.00	
2	PP2	14.75	30.2	12.77	7.0	7	19,920	28.50	
3	PP2	14.26	30.3	12.55	7.0	7	18,530	27.30	29.00
1	PP2	14.60	30.1	12.88	7.0	14	22,000	31.80	
2	PP2	14.82	30.3	12.86	7.0	14	23,000	32.60	
3	PP2	14.56	30.2	12.74	7.0	14	22,600	32.70	32.40
1	PP2	14.39	30.1	12.85	7.0	28	24,300	35.70	
2	PP2	14.38	30.2	12.70	7.0	28	24,600	36.00	
3	PP2	14.71	30.2	12.54	7.0	28	25,000	35.80	35.83

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE SPLITTING TENSILE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Tensile Strength	
		Diameter	Length					ksc	Avg. ksc
1	PP3	14.37	30.2	12.88	6.5	1	5,960	8.74	
2	PP3	14.86	30.3	12.76	6.5	1	5,900	8.34	
3	PP3	14.95	30.3	12.53	6.5	1	5,860	8.23	8.43
1	PP3	14.88	30.5	12.73	6.5	7	16,560	23.23	
2	PP3	14.83	30.3	12.79	6.5	7	16,380	23.20	
3	PP3	14.71	30.4	12.69	6.5	7	16,200	23.06	23.16
1	PP3	14.48	30.2	12.76	6.5	14	19,200	28.00	
2	PP3	14.56	30.4	12.61	6.5	14	20,400	29.34	
3	PP3	14.93	30.3	12.38	6.5	14	19,460	27.38	28.24
1	PP3	14.85	30.5	12.59	6.5	28	22,000	31.00	
2	PP3	14.87	30.3	12.41	6.5	28	21,300	30.10	
3	PP3	14.61	30.4	12.66	6.5	28	22,400	32.10	31.10

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE SPLITTING TENSILE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Tensile Strength	
		Diameter	Length					ksc	Avg. ksc
1	PP4	14.56	30.4	12.50	6.0	1	5,740	8.25	
2	PP4	14.79	30.6	12.87	6.0	1	5,830	8.20	
3	PP4	14.81	30.3	12.61	6.0	1	5,800	8.23	8.23
1	PP4	14.86	30.4	12.39	6.0	7	15,400	21.70	
2	PP4	14.73	30.2	12.44	6.0	7	15,360	22.00	
3	PP4	14.58	30.3	12.83	6.0	7	16,320	23.50	22.4
1	PP4	14.89	30.2	12.81	6.0	14	20,200	28.60	
2	PP4	14.85	30.3	12.86	6.0	14	19,620	27.76	
3	PP4	14.71	30.3	12.93	6.0	14	19,400	27.70	28.02
1	PP4	14.63	30.4	12.74	6.0	28	21,000	30.00	
2	PP4	14.66	30.2	12.69	6.0	28	20,600	29.62	
3	PP4	14.90	30.1	12.71	6.0	28	21,320	30.30	29.96

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE SPLITTING TENSILE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Tensile Strength	
		Diameter	Length					ksc	Avg. ksc
1	PP5	14.60	30.4	12.86	5.0	1	5,400	7.74	
2	PP5	14.77	30.2	12.77	5.0	1	5,460	7.80	
3	PP5	14.81	30.3	12.86	5.0	1	5,530	7.85	7.80
1	PP5	14.36	30.1	12.69	5.0	7	14,460	21.30	
2	PP5	14.53	30.1	12.74	5.0	7	14,580	21.20	
3	PP5	14.67	30.5	12.60	5.0	7	14,900	21.20	21.23
1	PP5	14.38	30.3	12.77	5.0	14	21,000	30.70	
2	PP5	14.90	30.1	12.81	5.0	14	19,320	27.40	
3	PP5	14.67	30.4	12.95	5.0	14	19,460	27.80	28.63
1	PP5	14.68	30.1	12.83	5.0	28	21,320	30.70	
2	PP5	14.82	30.3	12.76	5.0	28	20,380	28.90	
3	PP5	14.75	30.2	12.59	5.0	28	21,350	30.50	30.00

Remark : *Type of sample is Cylinder*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MORTAR COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height				ksc	Avg. ksc
1	Plain Concrete	25.00	5.0	290	28	6,400	256	
2	Plain Concrete	24.80	4.9	293	28	6,445	260	
3	Plain Concrete	24.80	5.0	288	28	6,450	260	
4	Plain Concrete	25.00	5.0	294	28	6,510	260	
5	Plain Concrete	24.70	5.0	289	28	6,530	264	
6	Plain Concrete	25.00	4.9	291	28	6,470	258	260

Remark : *Type of sample is Cube*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MORTAR COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height				ksc	Avg. ksc
1	PP1	24.80	5.0	293	28	6,750	272	
2	PP1	24.90	4.9	292	28	6,400	257	
3	PP1	25.00	4.9	295	28	6,520	261	
4	PP1	25.00	5.0	290	28	6,480	260	
5	PP1	24.90	4.9	293	28	6,520	262	
6	PP1	25.00	5.1	292	28	6,480	259	262

Remark : Type of sample is Cube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MORTAR COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height				ksc	Avg. ksc
1	PP2	25.00	5.0	290	28	6,560	262.4	
2	PP2	25.00	5.0	292	28	6,540	261.0	
3	PP2	24.70	5.0	292	28	6,430	260.0	
4	PP2	24.90	5.0	294	28	6,520	264.0	
5	PP2	25.00	5.0	291	28	6,480	260.0	
6	PP2	25.00	5.0	293	28	6,340	253.6	260.0

Remark : *Type of sample is Cube*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MORTAR COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height				ksc	Avg. ksc
1	PP3	25.00	5.0	293	28	6,520	260	
2	PP3	25.00	5.0	290	28	6,430	257	
3	PP3	25.00	4.9	288	28	6,480	260	
4	PP3	24.80	5.0	286	28	6,470	260	
5	PP3	25.00	5.0	288	28	6,500	260	
6	PP3	24.80	5.0	285	28	6,460	260	258

Remark : *Type of sample is Cube*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MORTAR COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height				ksc	Avg. ksc
1	PP4	25.00	5.0	287	28	6,540	262	
2	PP4	25.00	4.9	286	28	6,400	256	
3	PP4	25.00	4.9	287	28	6,420	257	
4	PP4	24.90	4.9	286	28	6,410	257	
5	PP4	24.90	5.0	286	28	6,450	259	
6	PP4	25.00	5.0	285	28	6,280	251	257

Remark : *Type of sample is Cube*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MORTAR COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions (cm)		Weight (kg)	Ages days	Ultimate Load (kg)	Compressive Strength	
		Cross Section	Height				ksc	Avg. ksc
1	PP5	25.00	5.0	282	28	6,200	248	
2	PP5	25.00	5.0	282	28	6,240	250	
3	PP5	25.00	5.0	283	28	6,380	255	
4	PP5	25.00	4.9	284	28	6,370	255	
5	PP5	25.00	4.9	283	28	6,280	251	
6	PP5	25.00	5.0	282	28	6,240	250	252

Remark : *Type of sample is Cube*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอบกำลังดึงทางตรงของมอร์ต้า

DIRECT TENSILE STRENGTH OF MORTAR

ชุดตัวอย่างที่	หน้าตัด ($น^2$)	แรงดึง(ปอนด์)	กำลังดึง(psi)	เฉลี่ย
1	1.02*1.01	390	378.5	
2	1.01*1.01	345	338.2	
3	1.02*1.02	340	326.8	
4	1.01*1.02	320	310.6	
5	1.02*1.01	390	378.5	
6	1.03*1.00	380	369.0	
7	1.00*1.01	360	356.4	
8	1.00*1.02	355	348.0	
9	1.01*1.01	370	362.7	352

* TEST AT 28 DAYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังดึงทางตรงของมอร์ต้าผสมโพลีพรอพพีลีน 0.1%

DIRECT TENSILE STRENGTH OF MORTAR + PP 0.1% (PP1)

ชุดตัวอย่างที่	หน้าตัด (in^2)	แรงดึง(ปอนด์)	กำลังดึง(psi)	เฉลี่ย
1	1.01*1.02	450	436.8	
2	1.01*1.02	405	393.1	
3	1.00*1.02	450	441.1	
4	1.00*1.02	420	411.7	
5	1.02*1.01	420	407.6	
6	1.00*1.00	415	415.0	
7	1.01*1.01	390	382.3	
8	1.01*1.02	410	398.0	
9	1.01*1.00	400	396.0	409.8

* TEST AT 28 DAYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังดึงทางตรงของมอร์ต้าผสมโพลีพรอพพิลีน 0.2%

DIRECT TENSILE STRENGTH OF MORTAR + PP 0.2% (PP2)

ชุดตัวอย่างที่	หน้าตัด ($นิ้^2$)	แรงดึง(ปอนด์)	กำลังดึง(psi)	เฉลี่ย
1	1.00*1.00	460	460.0	
2	1.00*1.02	440	431.4	
3	1.02*1.01	470	456.2	
4	1.00*1.02	460	451.0	
5	1.00*1.01	475	470.3	
6	1.00*1.00	465	465.0	
7	1.00*1.01	445	440.6	
8	1.00*1.00	450	450.0	
9	1.01*1.00	460	455.4	453.3

* TEST AT 28 DAYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังดึงทางตรงของมอร์ต้าผสมโพลีพรอบพิลีน 0.3%

DIRECT TENSILE STRENGTH OF MORTAR + PP 0.3% (PP3)

ชุดตัวอย่างที่	หน้าตัด ($นิ้^2$)	แรงดึง(ปอนด์)	กำลังดึง(psi)	เฉลี่ย
1	1.02*1.01	440	427.1	
2	1.01*1.00	435	430.7	
3	1.00*1.00	430	430.0	
4	1.01*1.01	440	431.3	
5	1.01*1.00	420	415.8	
6	1.03*1.00	410	398.0	
7	1.01*1.01	425	416.6	
8	1.00*1.00	415	415.0	
9	1.00*1.01	430	425.7	421.1

* TEST AT 28 DAYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังดึงทางตรงของมอร์ต้าผสมโพลิพรอพพิลีน 0.4%

DIRECT TENSILE STRENGTH OF MORTAR + PP 0.4% (PP4)

ชุดตัวอย่างที่	หน้าตัด ($นิ้^2$)	แรงดึง(ปอนด์)	กำลังดึง(psi)	เฉลี่ย
1	1.02*1.01	415	402.8	
2	1.00*1.00	425	425.0	
3	1.02*1.00	440	431.4	
4	1.01*1.00	390	386.1	
5	1.02*1.01	410	399.0	
6	1.00*1.01	420	415.8	
7	1.00*1.01	410	405.9	
8	1.00*1.00	405	405.0	
9	1.00*1.01	400	396.0	407.4

* TEST AT 28 DAYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกำลังดึงทางตรงของมอร์ต้าผสมโพลีพรอพพิลีน 0.5%

DIRECT TENSILE STRENGTH OF MORTAR + PP 0.5% (PP5)

ชุดตัวอย่างที่	หน้าตัด ($นิ้^2$)	แรงดึง(ปอนด์)	กำลังดึง(psi)	เฉลี่ย
1	1.01*1.01	410	401.9	
2	1.00*1.01	400	396.0	
3	1.01*1.02	420	407.7	
4	1.01*1.00	405	401.0	
5	1.00*1.01	395	391.0	
6	1.01*1.00	390	386.1	
7	1.01*1.01	400	392.1	
8	1.00*1.02	390	382.3	
9	1.01*1.00	390	386.1	393.3

* TEST AT 28 DAYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST RESULTS OF FLEXURAL STRENGTH FOR PLAIN CONCRETE

SPECIMEN No.	WIDTH (cm)	DEPTH (cm)	LENGTH (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	AVERAGE
1	15.1	15.1	55	2,640	63.3	
2	15.2	15.1	55	2,700	64.3	
3	15.1	15.2	55	2,800	66.2	64.6

TEST RESULTS OF FLEXURAL STRENGTH FOR PLAIN CONCRETE+PP0.1%

SPECIMEN No.	WIDTH (cm)	DEPTH (cm)	LENGTH (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	AVERAGE
1	15.0	15.1	55	2,800	67.5	
2	15.1	15.1	55	2,980	71.4	
3	15.0	15.0	55	2,920	71.4	70.1

REMARK : TEST AT 28 DAYS WITH CENTER POINT LOADING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST RESULTS OF FLEXURAL STRENGTH FOR PLAIN CONCRETE+PP0.2%

SPECIMEN No.	WIDTH (cm)	DEPTH (cm)	LENGTH (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	AVERAGE
1	15.0	15.1	55	2,775	67.0	
2	15.2	15.1	55	2,800	66.6	
3	15.1	15.1	55	2,850	68.3	67.3

TEST RESULTS OF FLEXURAL STRENGTH FOR PLAIN CONCRETE+PP0.3%

SPECIMEN No.	WIDTH (cm)	DEPTH (cm)	LENGTH (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	AVERAGE
1	15.1	15.2	55	2,600	61.5	
2	15.0	15.1	55	2,450	59.1	
3	15.1	15.1	55	2,550	61.1	60.5

REMARK : TEST AT 28 DAYS WITH CENTER POINT LOADING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST RESULTS OF FLEXURAL STRENGTH FOR PLAIN CONCRETE+PP0.4%

SPECIMEN No.	WIDTH (cm)	DEPTH (cm)	LENGTH (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	AVERAGE
1	15.1	15.0	55	2,700	65.5	
2	15.1	15.1	55	2,500	60.0	
3	15.2	15.0	55	2,550	61.5	62.3

TEST RESULTS OF FLEXURAL STRENGTH FOR PLAIN CONCRETE+PP0.5%

SPECIMEN No.	WIDTH (cm)	DEPTH (cm)	LENGTH (cm)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	AVERAGE
1	15.1	15.2	55	2,600	61.5	
2	15.0	15.1	55	2,550	61.5	
3	15.1	15.0	55	2,650	64.3	62.4

REMARK : **TEST AT 28 DAYS WITH CENTER POINT LOADING**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNIFORM LOAD TEST OF SINGLE T. SLAB

WIRE MESH TOPPING CONCRETE

LOAD (kg)	DEFLECTION (mm x 0.01 mm) AT GUAGE No.					
	1		2		3	
	IMMEDIATE READING	AFTER 15 MIN READING	IMMEDIATE READING	AFTER 15 MIN READING	IMMEDIATE READING	AFTER 15 MIN READING
0	–	–	–	–	–	–
250	33	35	46	48	33	36
500	87	90	119	122	88	90
750	142	145	196	198	145	147
1000	200	206	277	282	202	208
1250	259	266	358	368	260	268
1250 (24 Hrs)	304		410		310	

UNIFORM LOAD TEST OF SINGLE T. SLAB

POLYPROPYLENE REINFORCED TOPPING CONCRETE

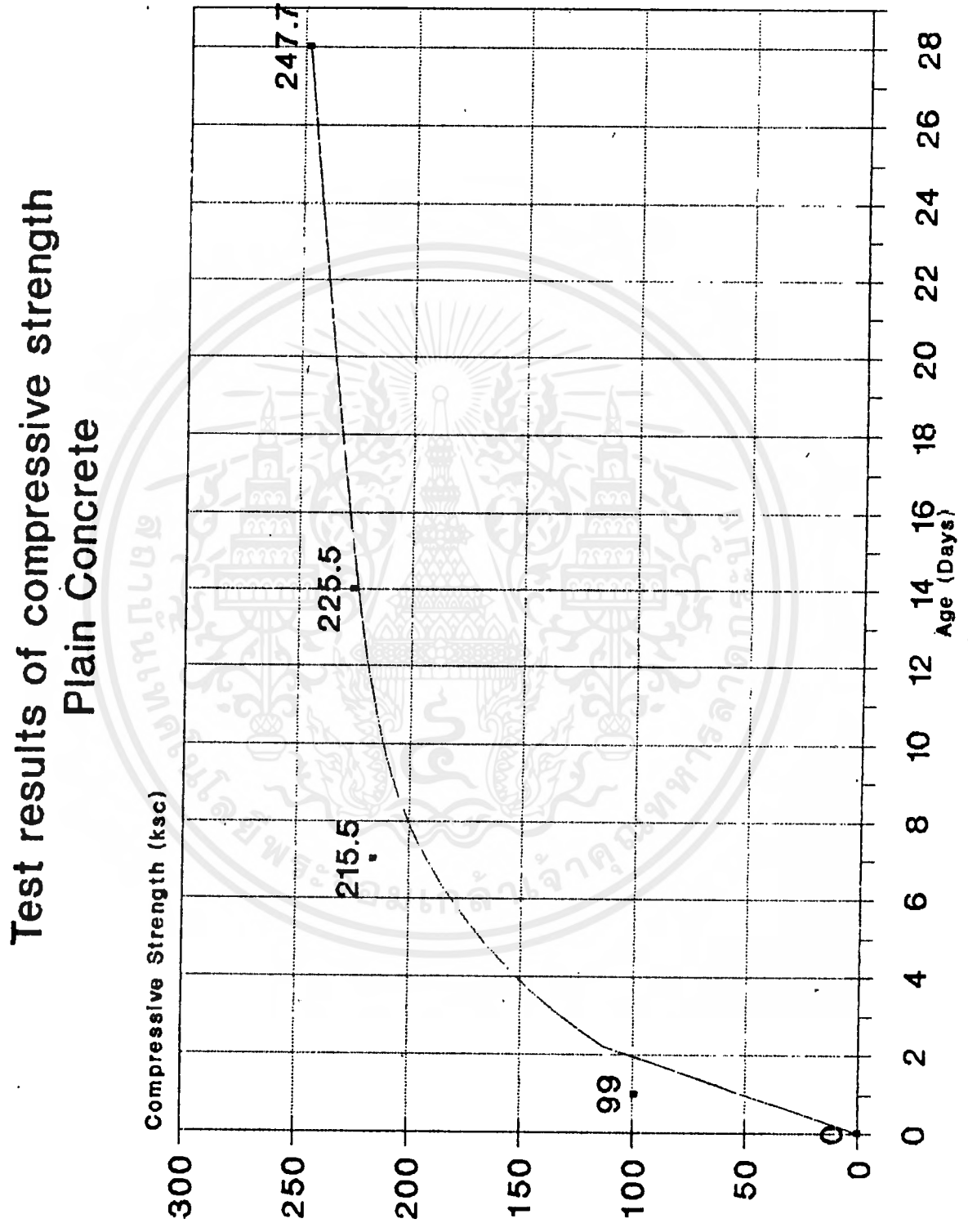
LOAD (kg)	DEFLECTION (mm x 0.01 mm) AT GUAGE No.					
	1		2		3	
	IMMEDIATE READING	AFTER 15 MIN READING	IMMEDIATE READING	AFTER 15 MIN READING	IMMEDIATE READING	AFTER 15 MIN READING
0	–	–	–	–	–	–
250	48	53	68	76	46	50
500	108	112	152	162	102	109
750	174	179	244	251	167	172
1000	142	245	333	348	230	238
1250	235	320	424	442	301	313
1250 (24 Hrs)	330		464		335	

RELATIVE ENGINEERING DATA

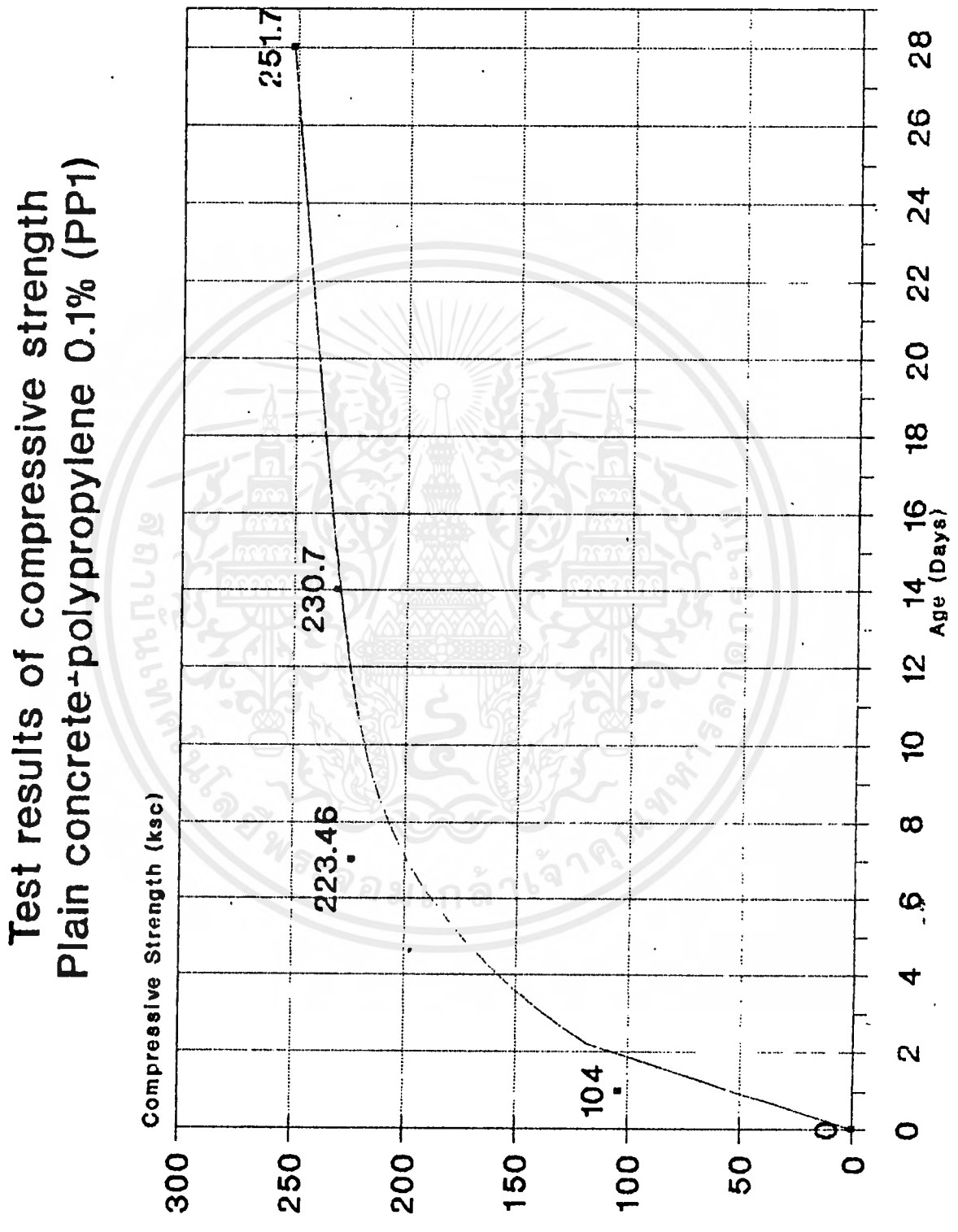
ITEM	PLAIN	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5
Compressive Strength (ksc)	247.7	251.7	234.1	233..3	243.0	224.3
Splitting Tensile (ksc)	32.77	37.40	35.83	31.10	29.96	30.00
Compressive Strength (ksc) (MORTAR)	260	262	260	258	257	252
Direct Tensile Strength (psi) (MORTAR)	352.0	409.6	453.3	421.1	407.4	393.8
Flexural Strength (ksc)	64.6	70.1	67.3	60.5	62.3	62.4

* TEST AT 28 DAYS

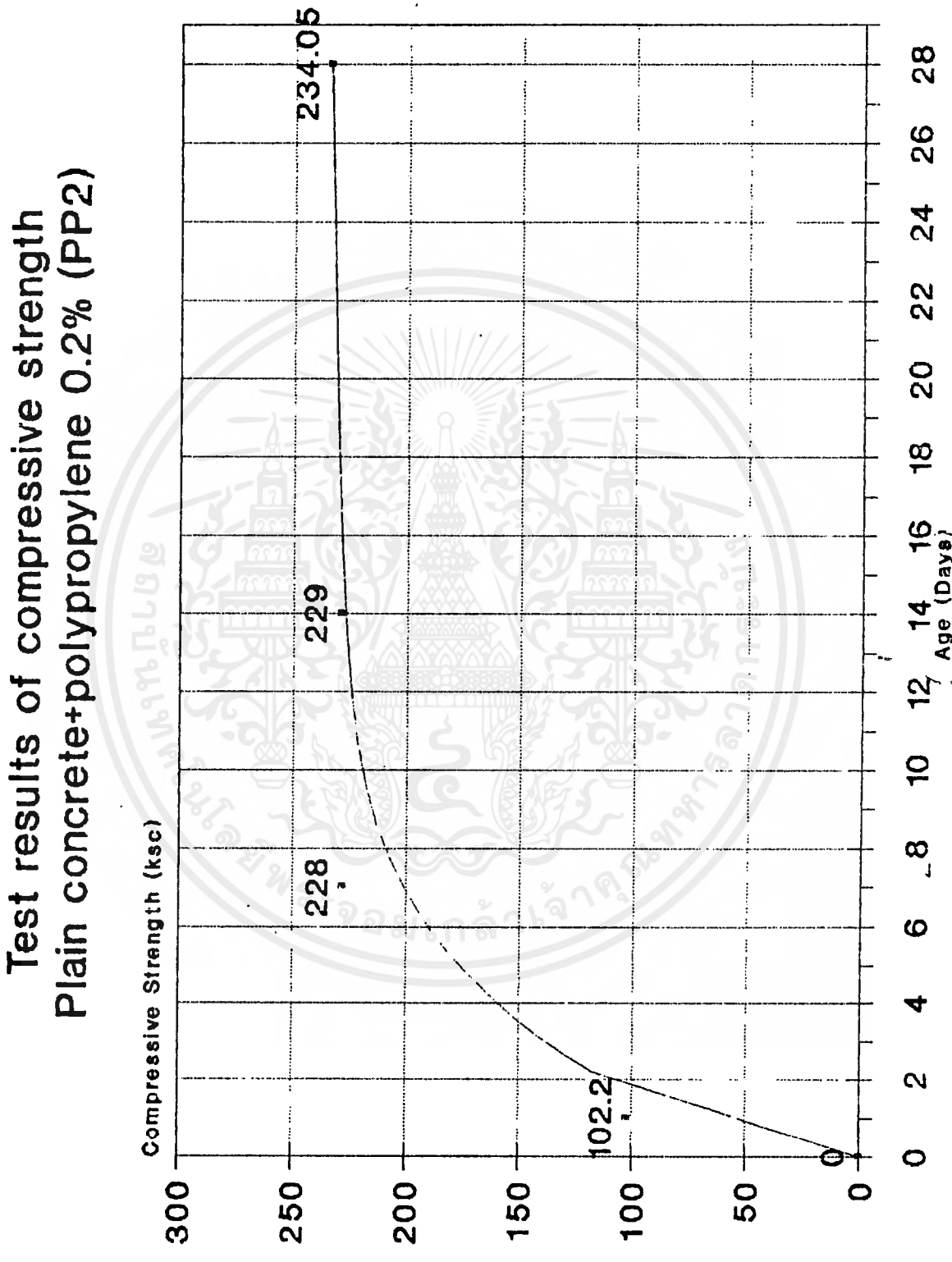
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



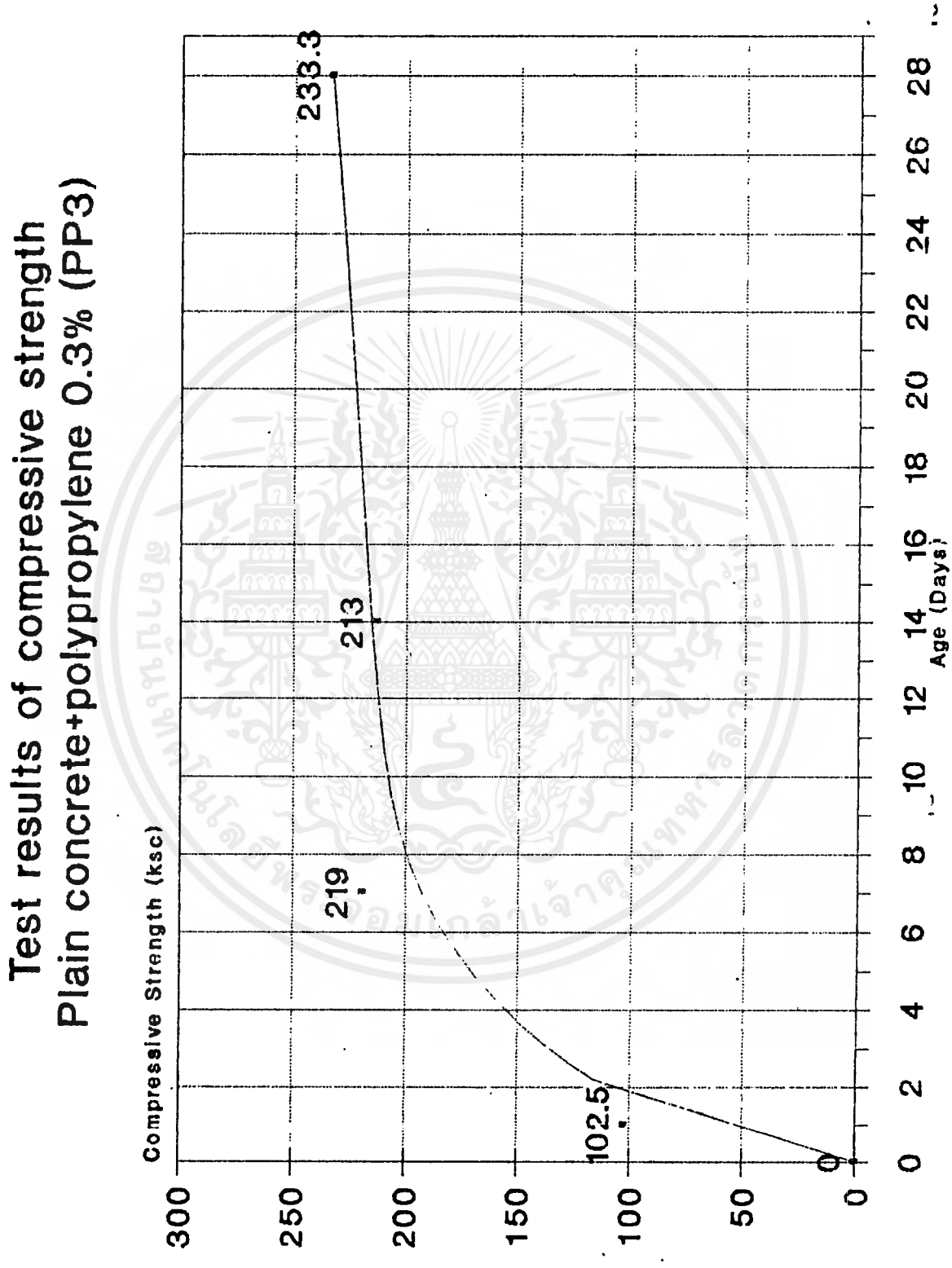
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



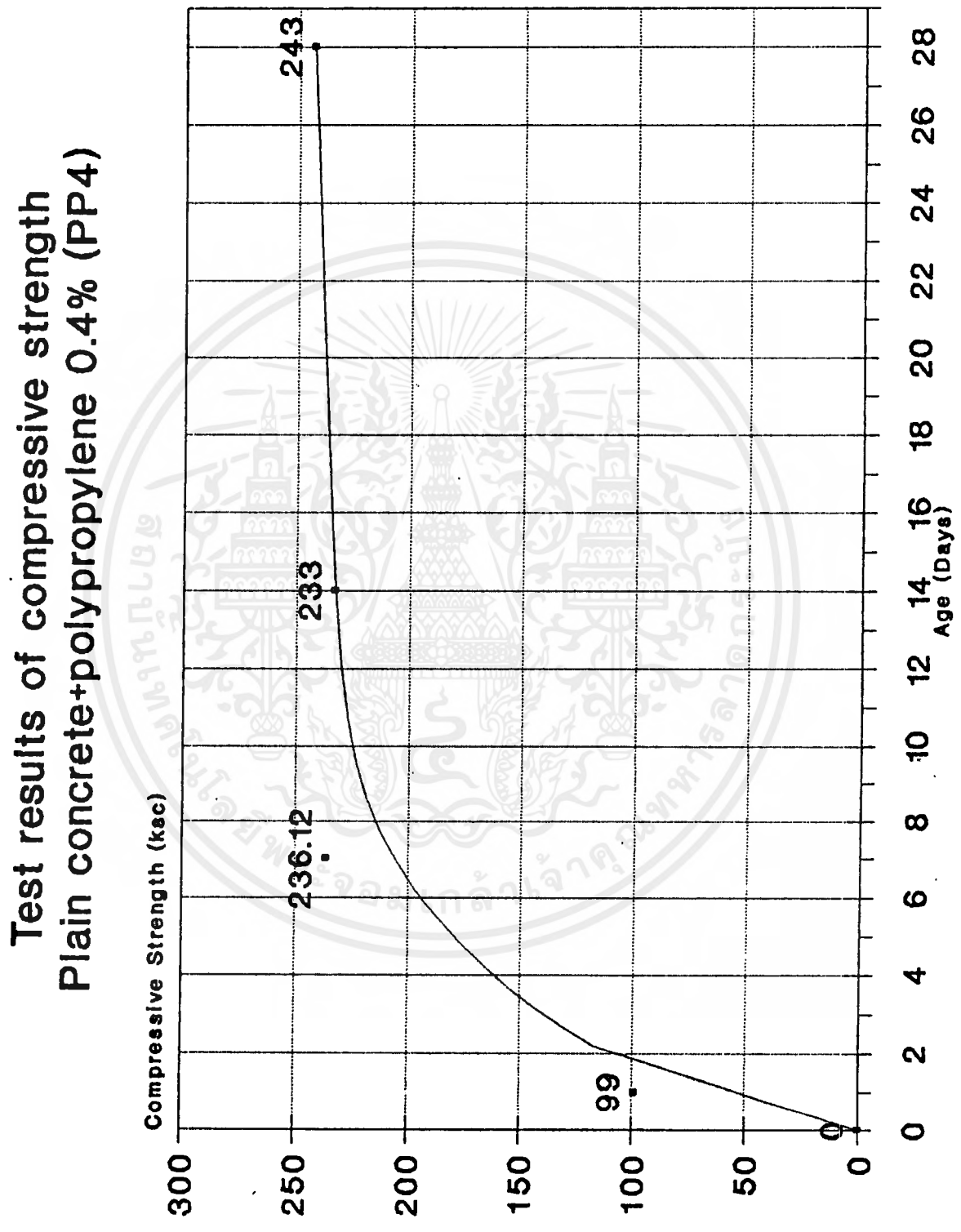
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



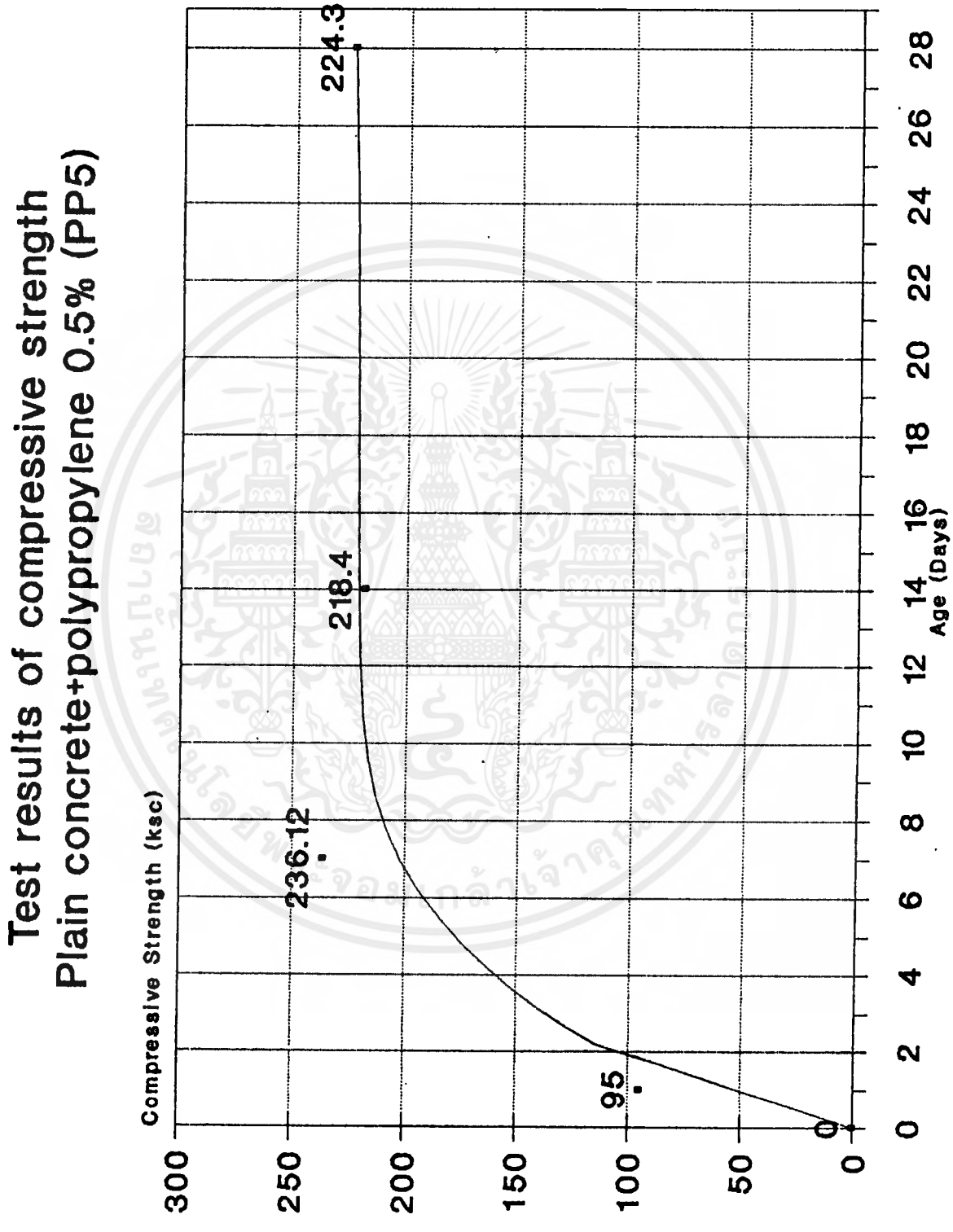
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



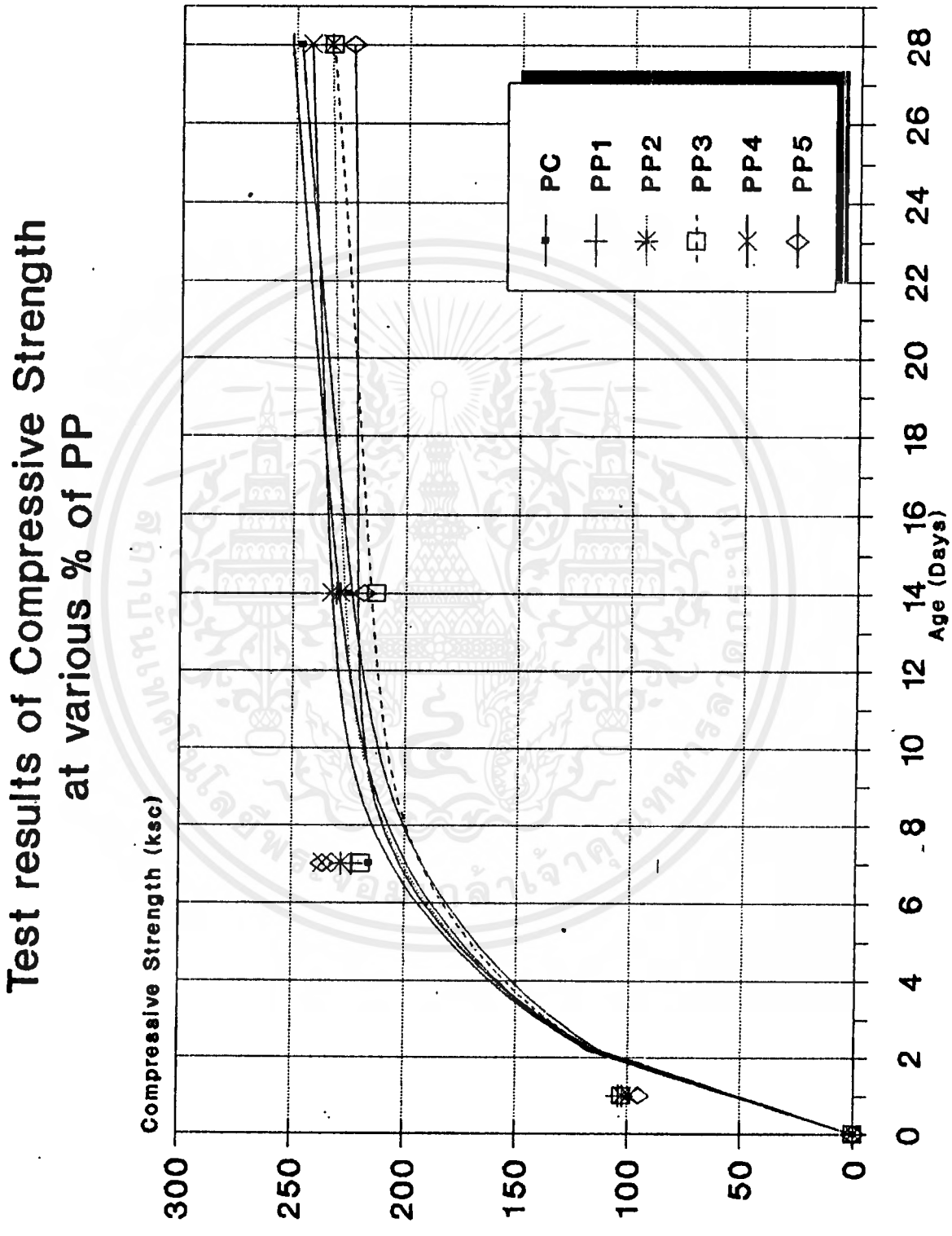
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



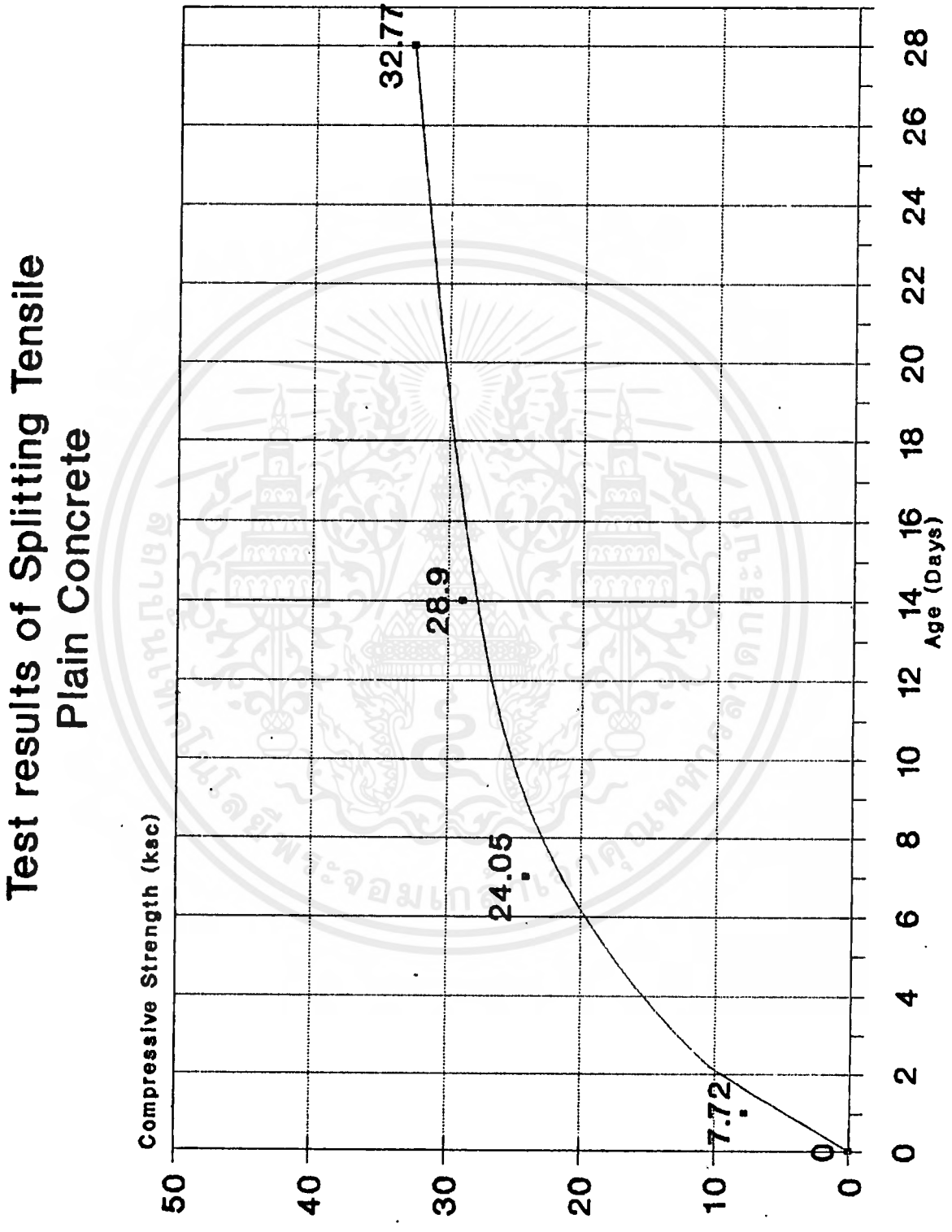
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



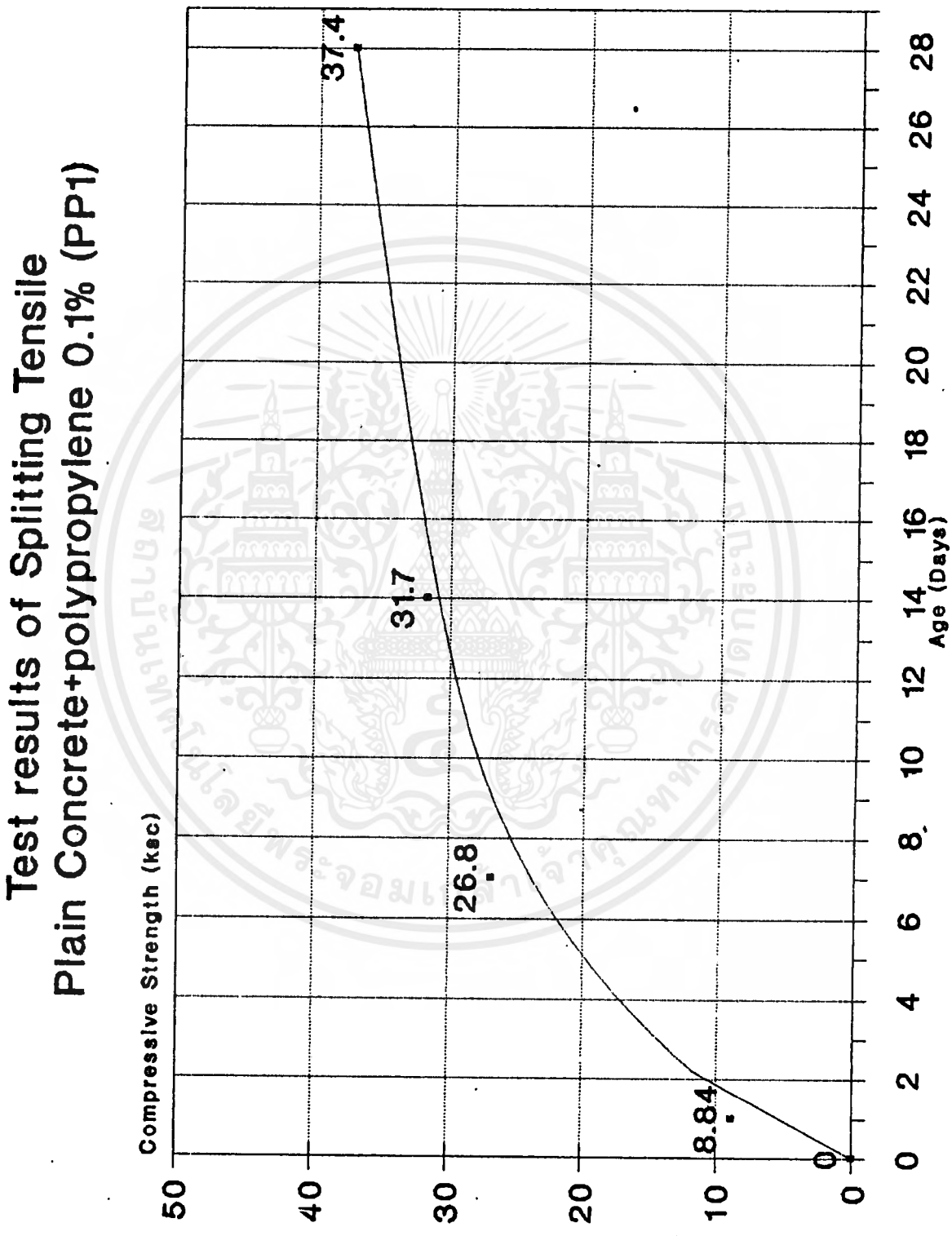
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



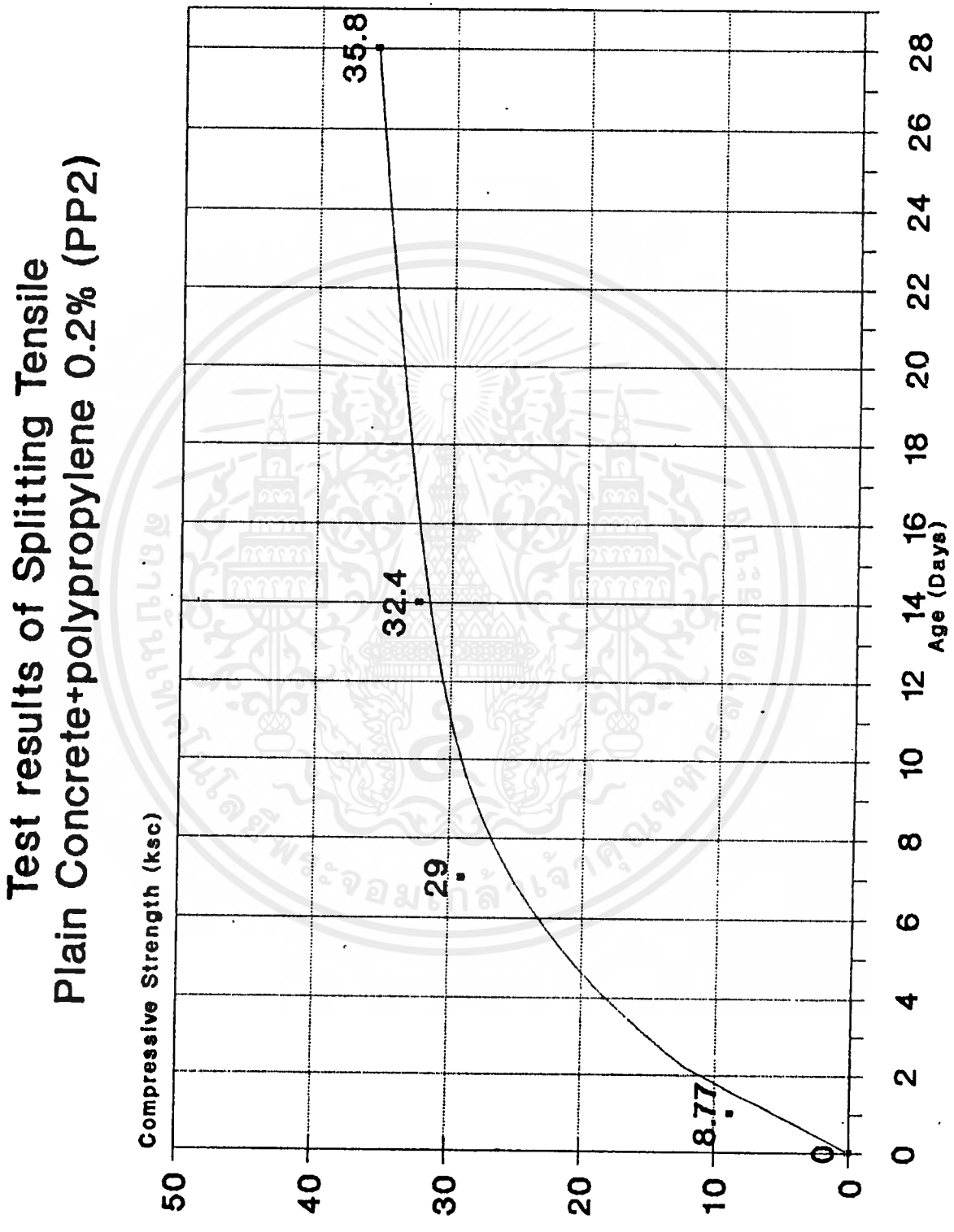
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



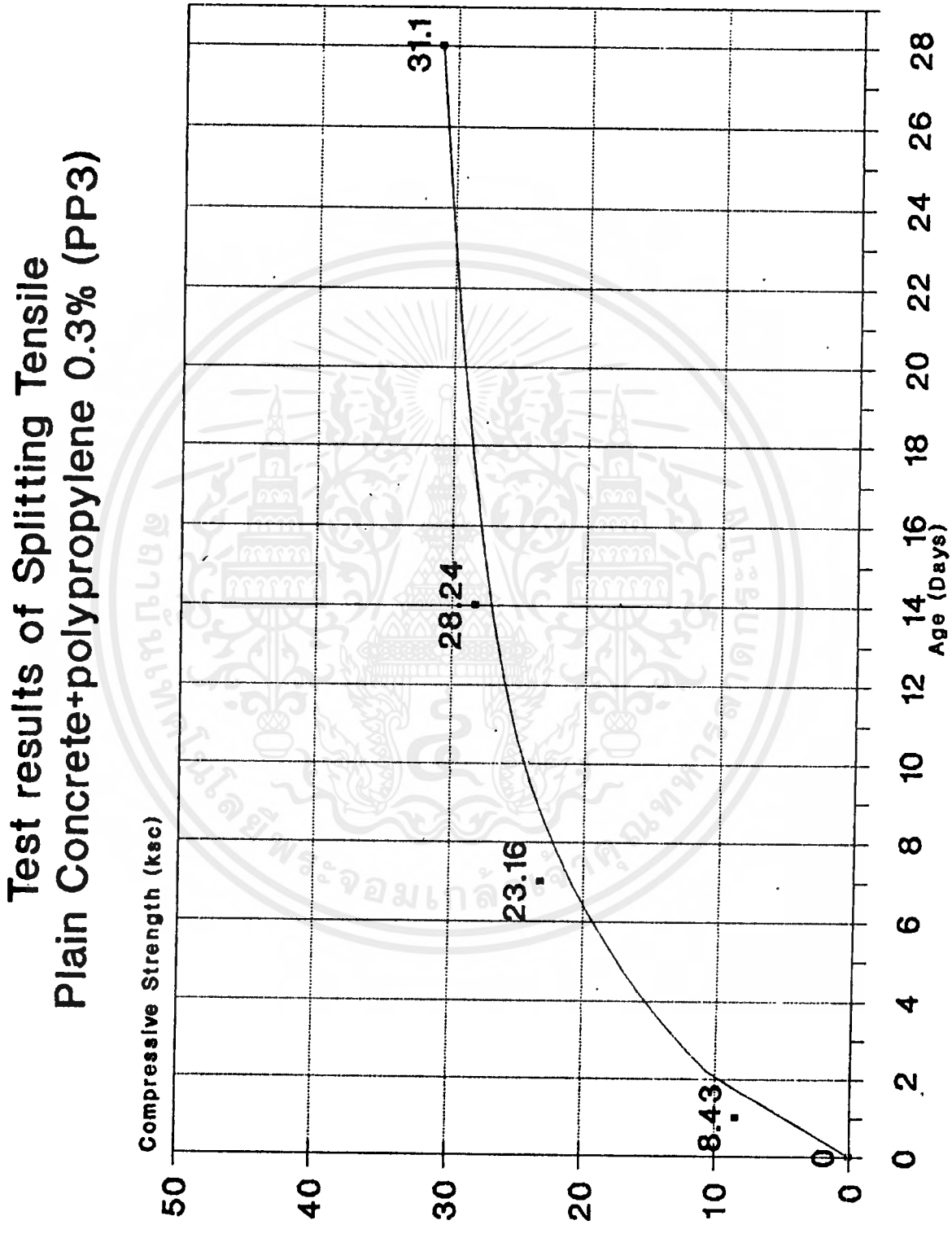
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



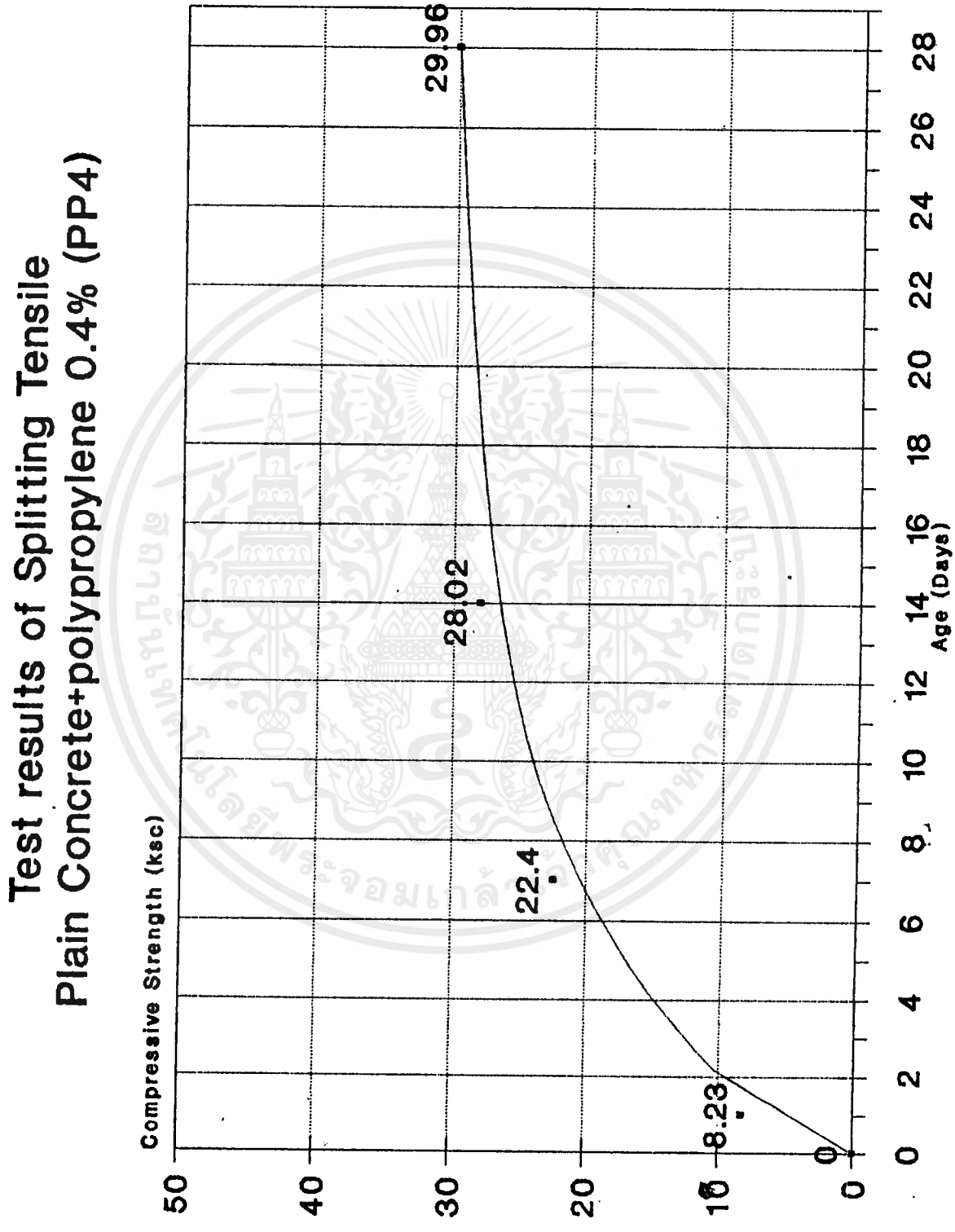
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



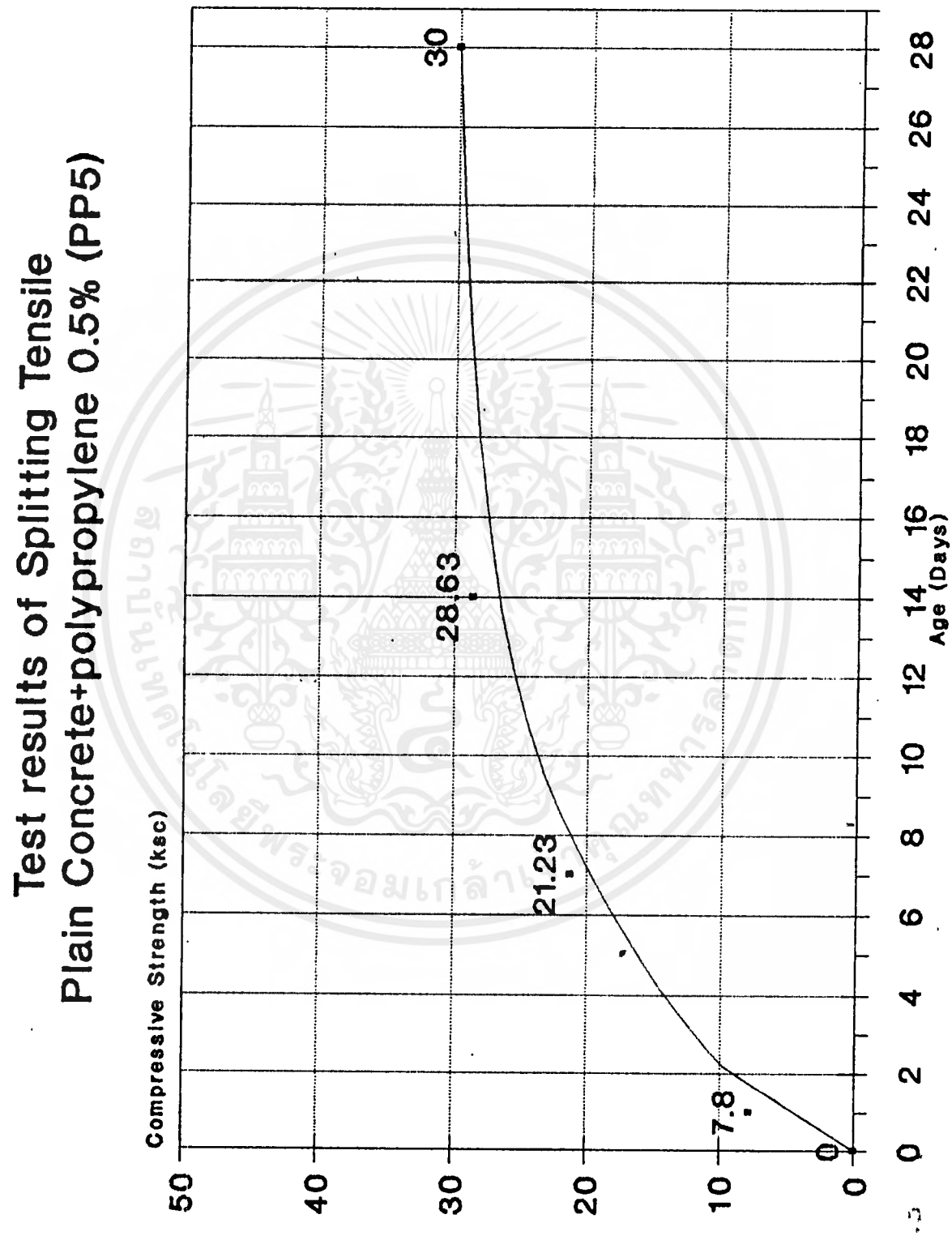
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



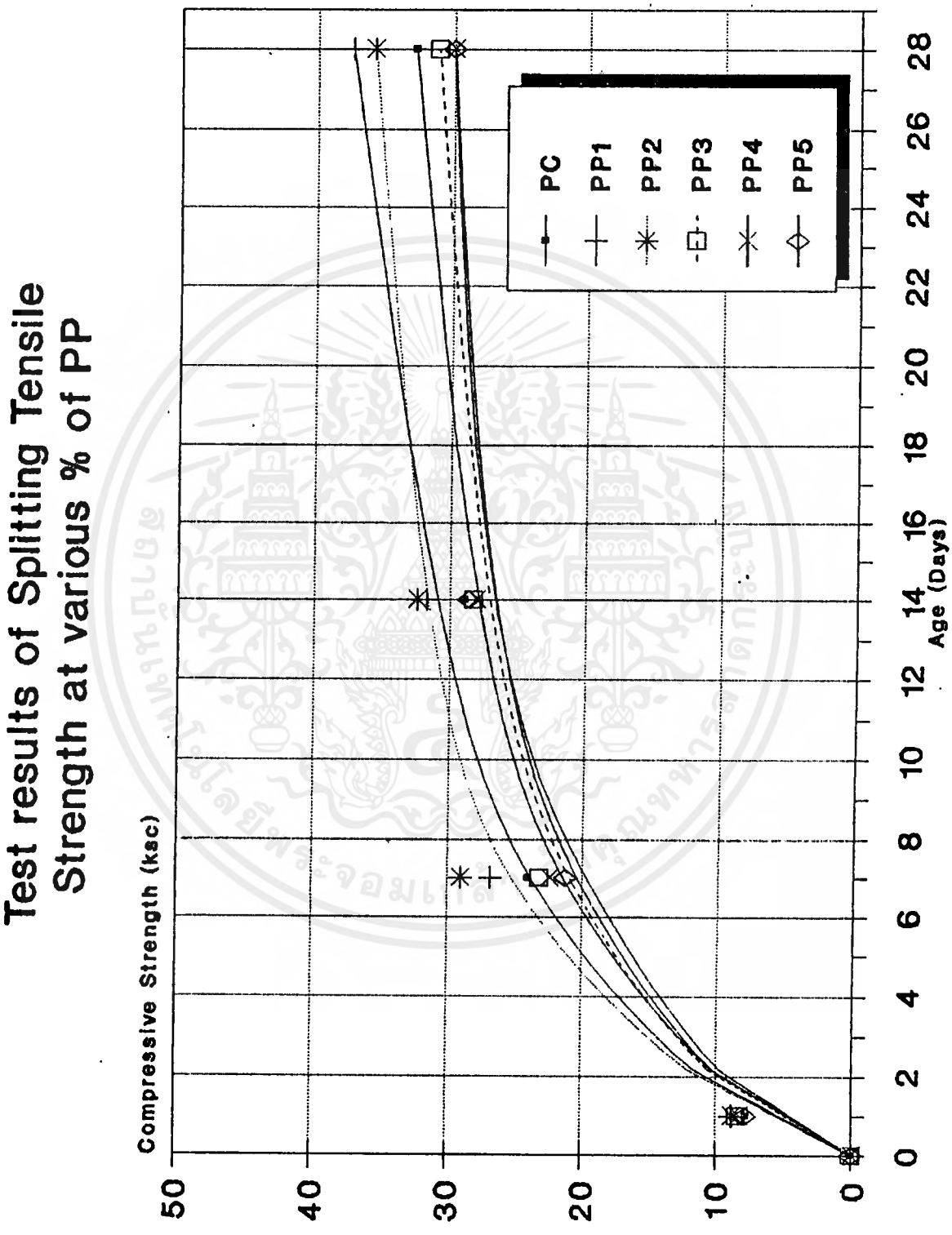
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



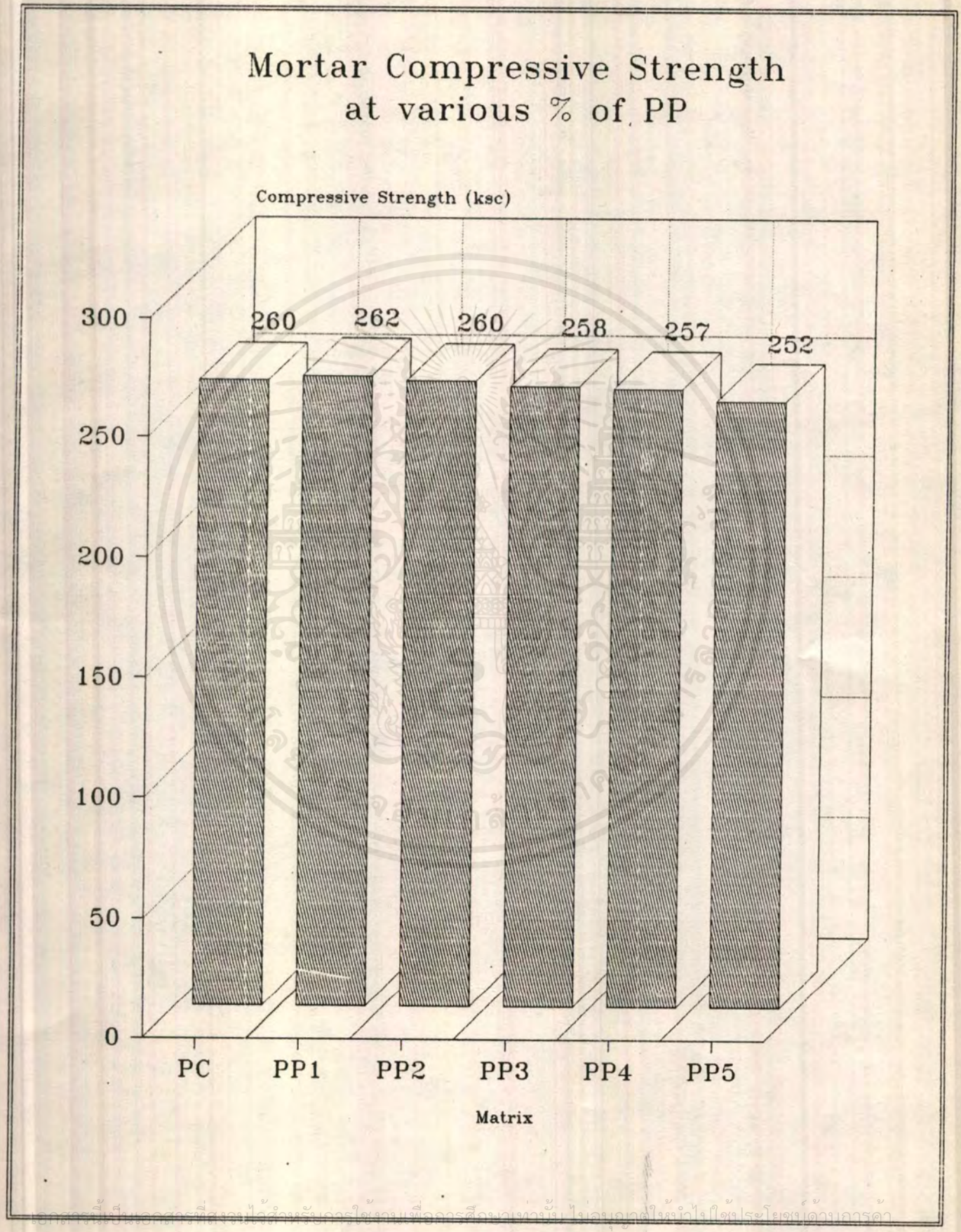
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



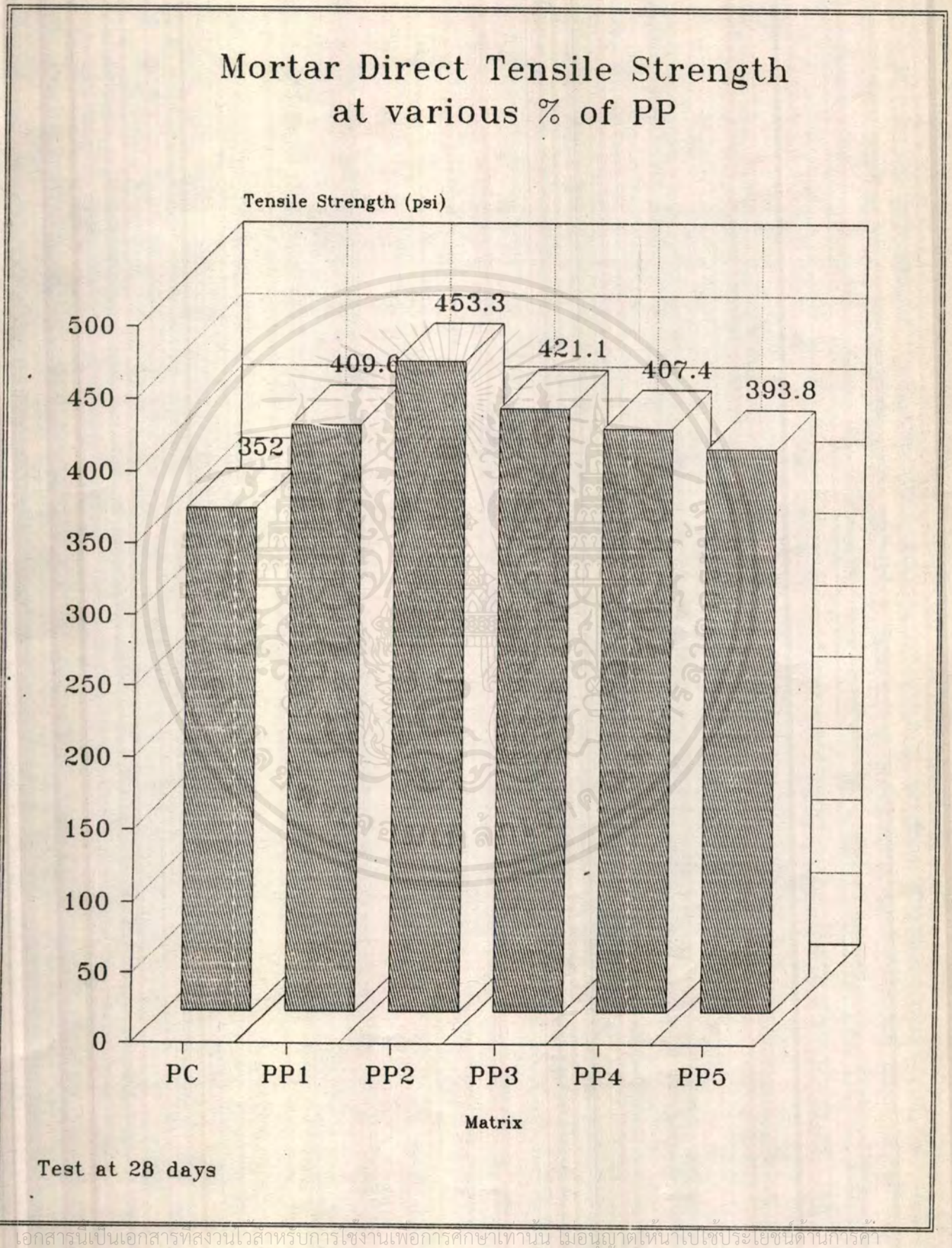
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



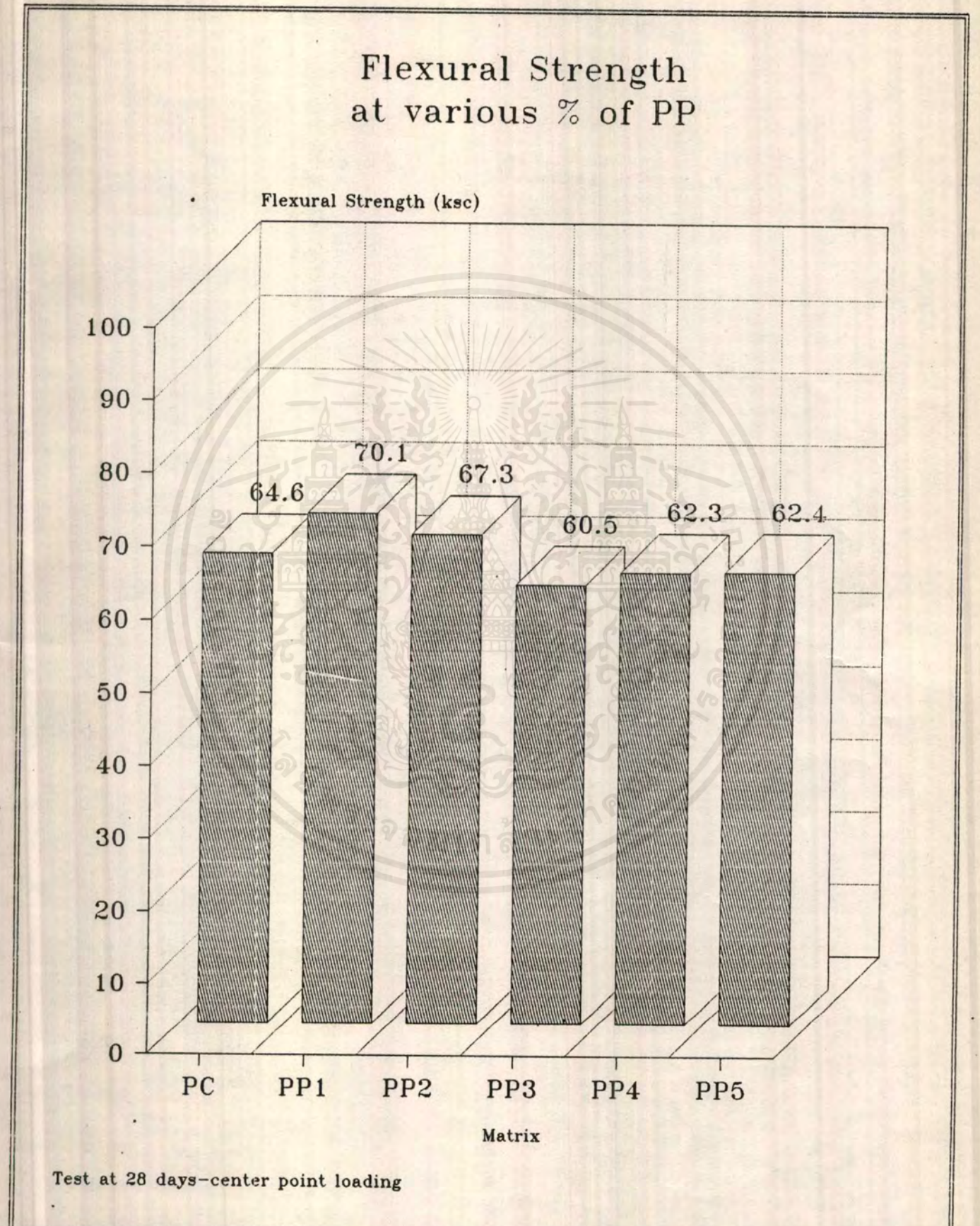
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



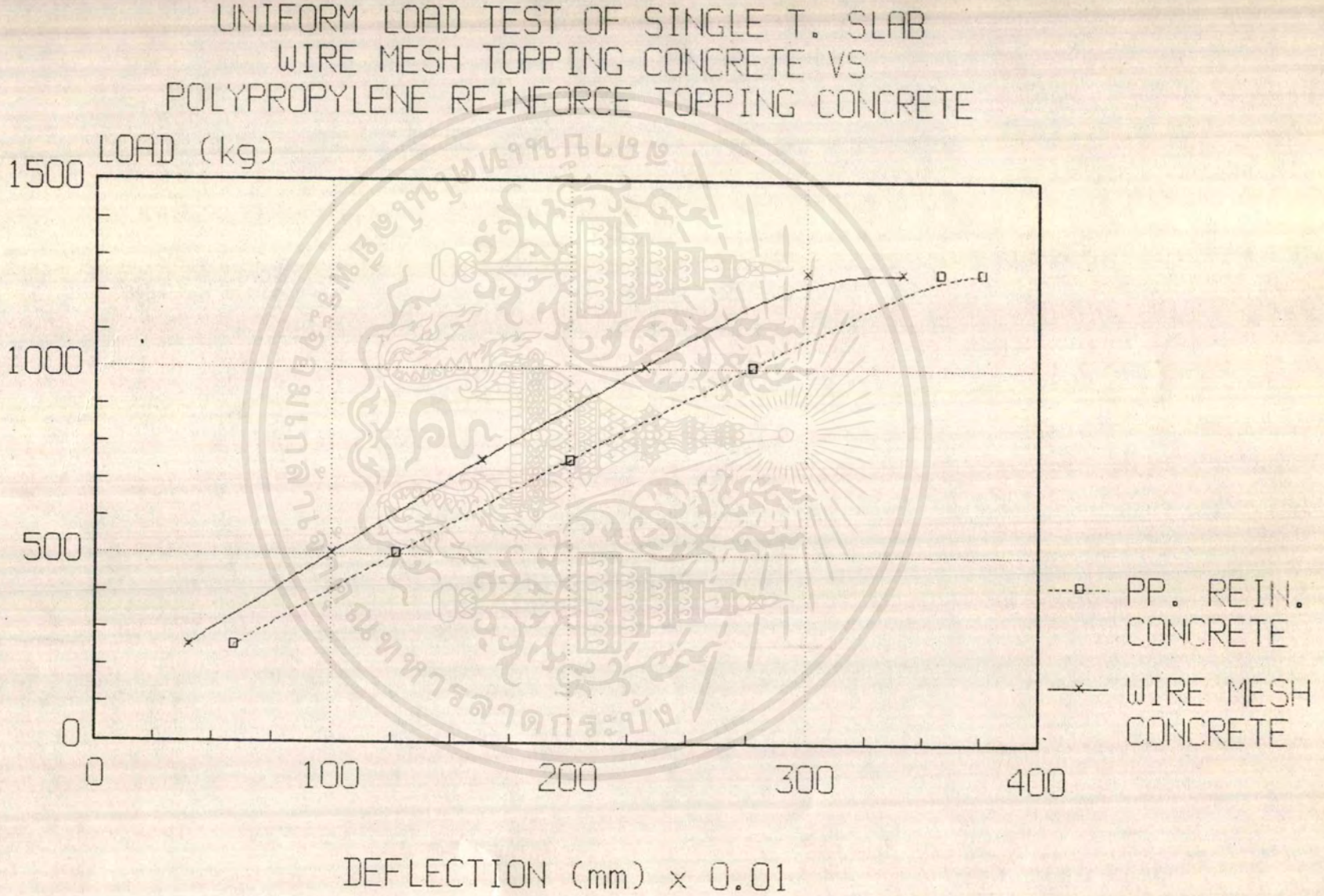
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


UNIFORM LOAD TEST OF SINGLE T. SLAB
WIRE MESH TOPPING CONCRETE VS
POLYPROPYLENE REINFORCE TOPPING CONCRETE
LOAD (kg)
1500
1000
500
0
0
100
200
300
400
PP. REIN. CONCRETE
WIRE MESH CONCRETE
DEFLECTION (mm) x 0.01

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงงานพิเศษเป็นโครงงานเกี่ยวกับการนำเส้นใยโพลีเมอร์ ที่มีชื่อว่าโพลีพรอบพิลีน มาใช้ในงานคอนกรีตทับหน้า ซึ่งการเทคอนกรีตทับหน้าในระบบนั้นสำเร็จรูปปัจจุบันนั้นต้องใช้เหล็กตะแกรงทำหน้าที่เป็นเหล็กกันร้าวเสริมอยู่ด้วย ในการปฏิบัติงานจริงจำเป็นจะต้องใช้เนื้อที่ในการกองเก็บเหล็ก และต้องใช้เวลาในการตัดเหล็ก งอเหล็กและผูกเหล็กด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าเราสามารถตัดส่วนนี้ไปได้ จะทำให้เราทำงานได้เร็วขึ้นมากทีเดียว ดังนั้นจึงมีการนำเอาเส้นใยโพลีเมอร์ชนิดนี้มาใช้ทำหน้าที่เป็นตัวกันร้าวแทน เนื่องจากคุณสมบัติของโพลีเมอร์ชนิดนี้มีความสามารถในการต้านทานแรงดึงได้ และมีความสามารถในการยึดเกาะกับคอนกรีตดี ทำให้การร้าวเนื่องจากการหดตัวหรือขยายตัวของคอนกรีตลดลงไปได้มาก ดังนั้นเนื้อหาของโครงงานพิเศษจึงเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ซึ่งจะทำให้เห็นผลว่าโพลีเมอร์ที่ชื่อโพลีพรอบพิลีนนี้สามารถทำหน้าที่แทนเหล็กเสริมกันร้าวได้อย่างดีทีเดียว การใช้โพลีเมอร์ชนิดนี้กับงานคอนกรีตทับหน้าของพื้นสำเร็จรูป สามารถผสมโพลีเมอร์ชนิดนี้ลงไปในโม่ผสมคอนกรีตได้ทันที แล้วเดินเครื่องให้ผสมเข้ากันดี จากนั้นก็สามารถเทเป็นคอนกรีตทับหน้าได้เลย ไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการผูกเหล็ก อีกทั้งสำหรับงานที่เร่งด่วน เส้นใยโพลีพรอบพิลีนนี้จึงมีความเหมาะสมอย่างมาก

สำหรับผลการทดลองที่ได้จากการทดลองโครงงานพิเศษนี้ ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือเปอร์เซนต์ของโพลีพรอบพิลีน ซึ่งเริ่มใช้ตั้งแต่ 0.1%,0.2%,0.3%,0.4% ถึง 0.5% จากการทดลองจะเห็นว่า ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีนนั้น จะไม่มีผลต่อกำลังอัดที่แตกต่างกันเท่าไรนัก ค่าที่ได้จะอยู่ใกล้เคียงกัน อีกทั้งยิ่งมีเปอร์เซนต์โพลีพรอบพิลีนสูง กำลังก็ยิ่งลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากซีเมนต์เพสท์คงที่ จึงไม่เพียงพอที่จะไปยึดเส้นใยเหล่านี้ให้ติดกับคอนกรีตได้ ทั้งยังทำให้คอนกรีตเสียกำลังอีก ซึ่งการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าและมอร์ต้าผสมโพลีพรอบพิลีนก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

การทดสอบกำลังรับแรงดึงปริแตกของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีน จะเห็นว่าความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นได้ถึง 15% ทีเดียวเมื่อมีการผสมโพลีพรอบพิลีนที่ 0.1% และเพิ่มได้ 9% เมื่อผสมโพลีพรอบพิลีน 0.2% จะเห็นว่าเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีพรอบพิลีนมีความสามารถในการช่วยรับแรงดึงของคอนกรีตได้ และจากการทดสอบกำลังดึงทางตรงของมอร์ต้าล้วนและมอร์ต้าผสมโพลีพรอบพิลีน ก็จะเป็นในลักษณะเดียวกันคือเมื่อเสริมด้วยโพลีพรอบพิลีนจะให้กำลังรับแรงดึงได้อย่างชัดเจนทีเดียว

การทดสอบรอยร้าวในแผ่นพื้น เปรียบเทียบระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนกับแผ่นพื้นคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน หลังจากเทคอนกรีตเสร็จแล้ว ดูรอยร้าวที่เกิดขึ้นจะพบรอยร้าวในแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำและการหดตัวขณะแห้ง ในขณะที่ไม่พบรอยร้าวในลักษณะนี้กับพื้นคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีน ซึ่งหลังจากนั้นทิ้งไว้ 7 วัน ก็จะพบว่ารอยร้าวที่แผ่นพื้นคอนกรีตล้วนมีความกว้างมากขึ้น และยังไม่พบรอยร้าวที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน ดังนั้นการใช้เส้นใยโพลีพรอบพิลีนจึงช่วยลดรอยร้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าแรงภายในของคอนกรีตได้

การทดลองเทคอนกรีตทำหน้าที่เสริมเหล็กตะแกรงกันร้าวกับเสริมโพลีพรอบพิลีนบนพื้นสำเร็จรูป SINGLE T. SLAB แล้วให้ UNIFORM LOAD จนถึง 1250 kg หรือเทียบเท่าปรมาณ 330 kg/m^2 ค่าการโก่งตัวของพื้นคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีนจะมีค่ามากกว่า แต่อย่างไรก็ดีก็อยู่ในช่วงที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้

จากที่กล่ามาจะเห็นได้ว่าผลของการทดสอบคอนกรีตเสริมโพลีพรอบพิลีนอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและสามารถนำมาใช้งานคอนกรีตทับหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้เหล็กตะแกรง กับโพลีพรอบพิลีนในคอนกรีตทับหน้า

กำหนดพื้นที่ 4.0*12.0 ม.

เหล็กตะแกรง

ขนาด 6 มม. ระยะห่าง 25 ซม.

ความยาวเหล็กที่ใช้ทั้งหมด = 421.7 ม.

น้ำหนักเหล็ก = 421.7 * .222 = 93.62 กก.

เหล็ก กก.ละ 13.50

ค่าเหล็ก = 1270 บาท

ค่าแรงคนงาน 2 คน(คนละ 90 บาท/วัน)= 180 บาท

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 1450 บาท + เวลาตัดเหล็ก,งอเหล็กและผูกเหล็ก 1 วัน

เส้นใยโพลีพรอบพิลีน

จากการทดลองใช้ PP ที่ปริมาณ 0.1% โดยมีปริมาตรคอนกรีต

0.1%โดยปริมาตร = 910 กรัม

ปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้ = 4.0*12.0*.05 = 2.4 m^3

ต้องใช้เส้นใย 2.4*910= 2180 g.

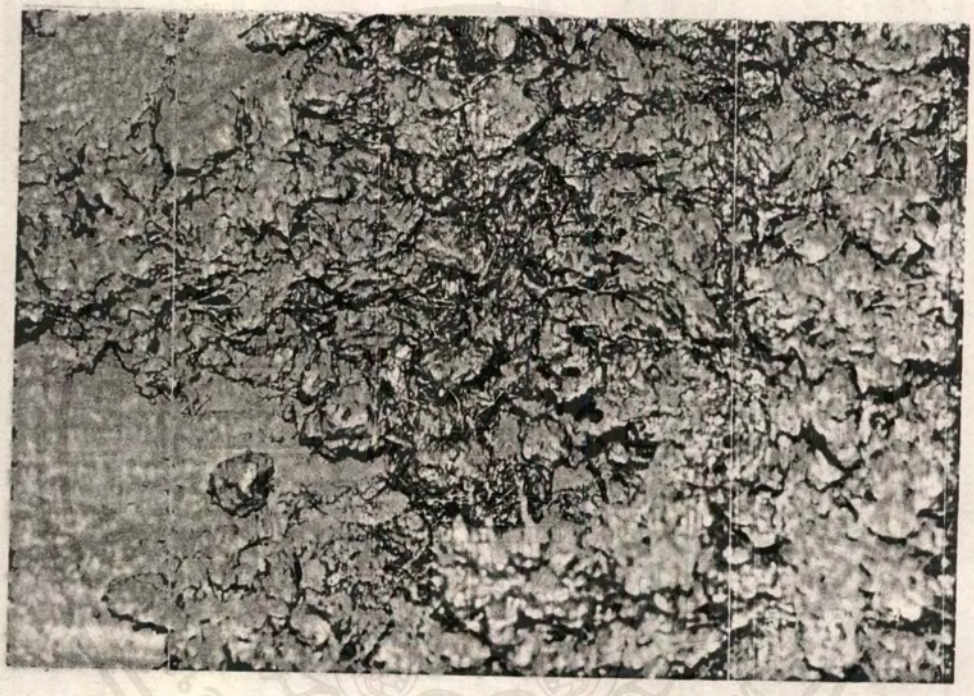
PP 150 g.ราคา 65 บาท

PP 2180 g.ราคา 946 บาท

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 946 บาท

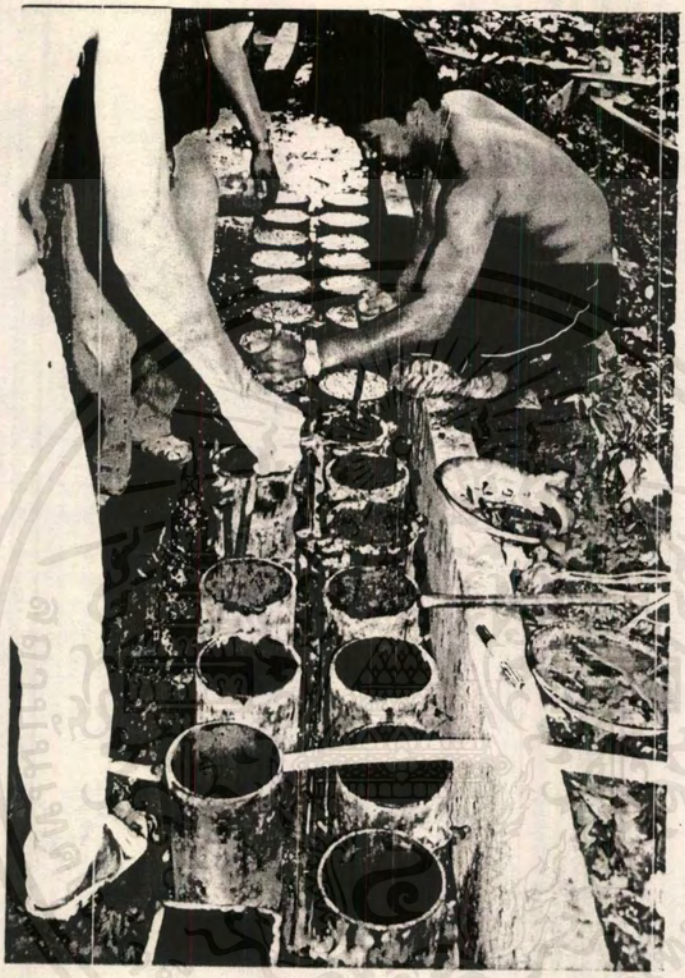
ประหยัดได้ 500 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



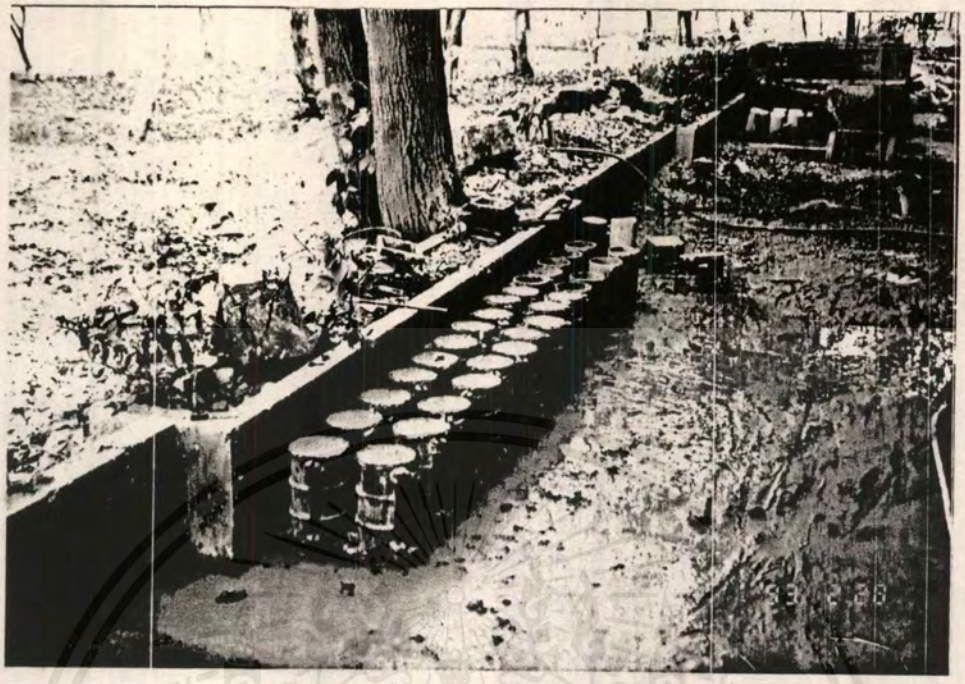
รูปที่ 1ก. แสดงคอนกรีตสดที่ผสมเส้นใยโพลีพรอบพิลีนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

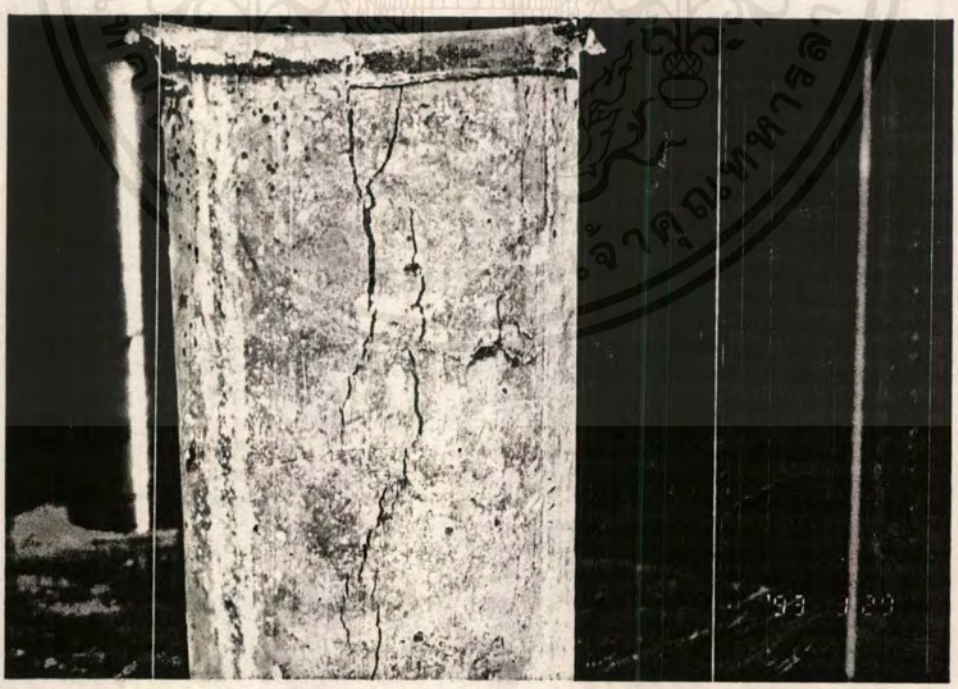


รูปที่ 1ข. แสดงการบรรจุคอนกรีตลงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

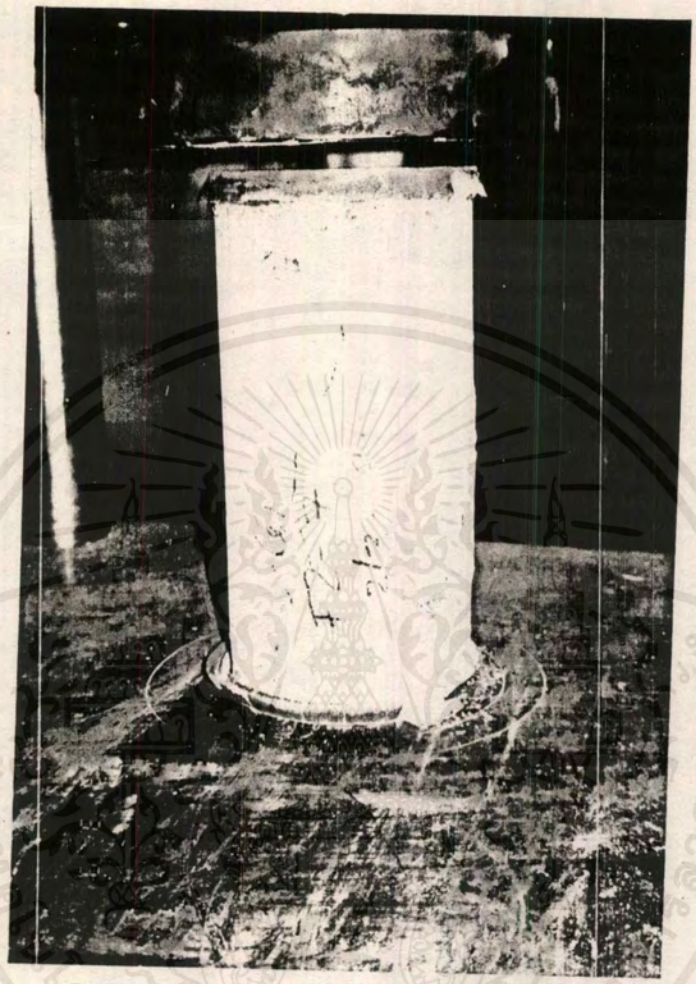


รูปที่ 1 แท่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน



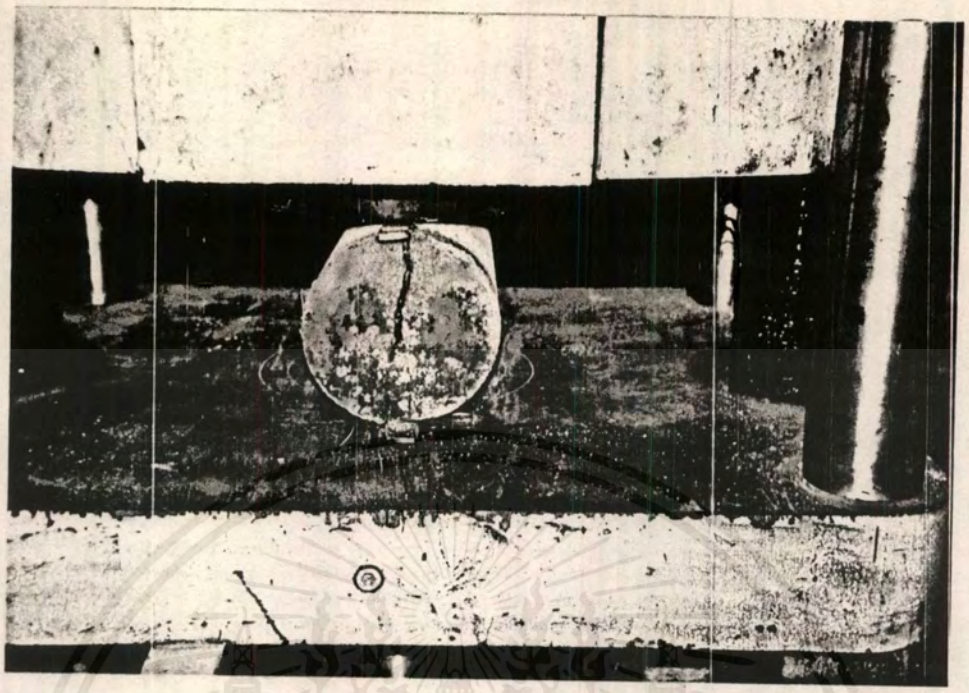
รูปที่ 2 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของแท่งคอนกรีตล้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน

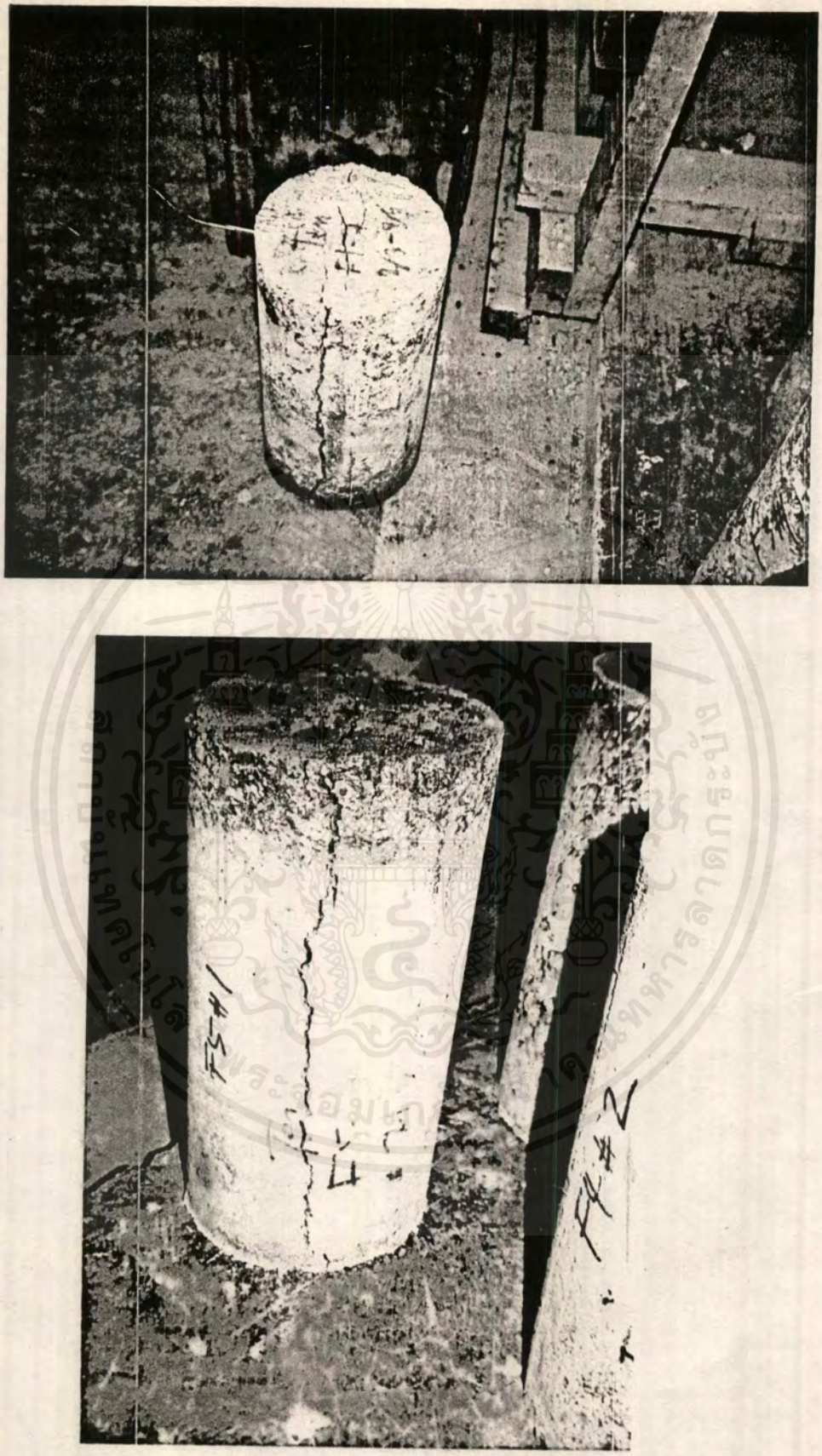
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การทดสอบกำลังดึงปริแตกของแท่งคอนกรีตล้วน

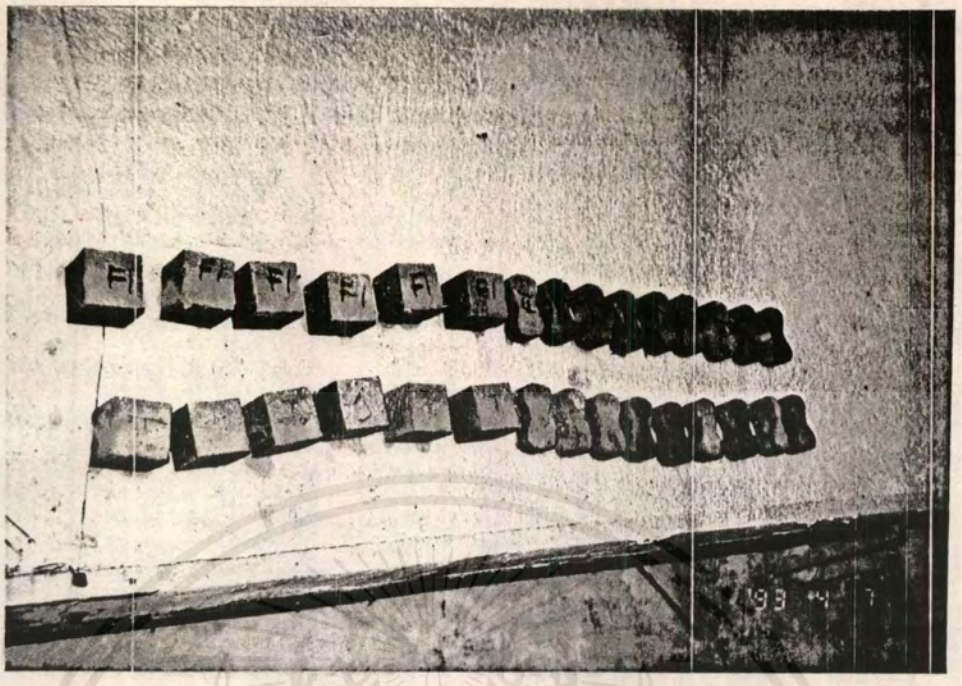
รูปที่ 5 การทดสอบกำลังดึงปริแตกของแท่งคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

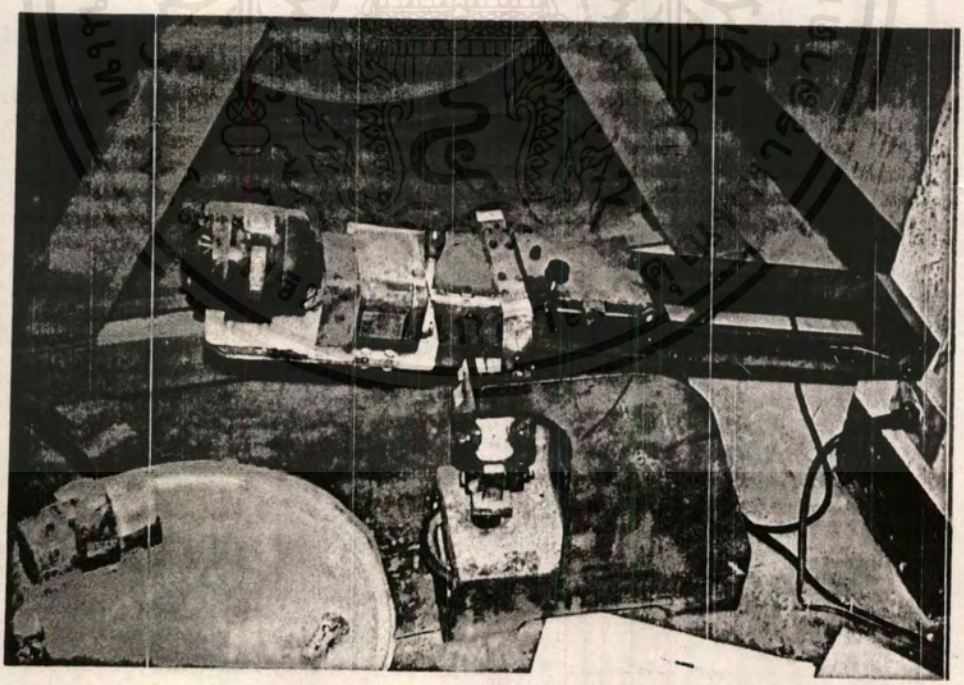


รูปที่ 6,7 แสดงความสามารถของโพลีเมอรอบนิลีนในการยึดคอนกรีต
ให้ติดกัน ถึงแม้ว่าจะปริแตกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

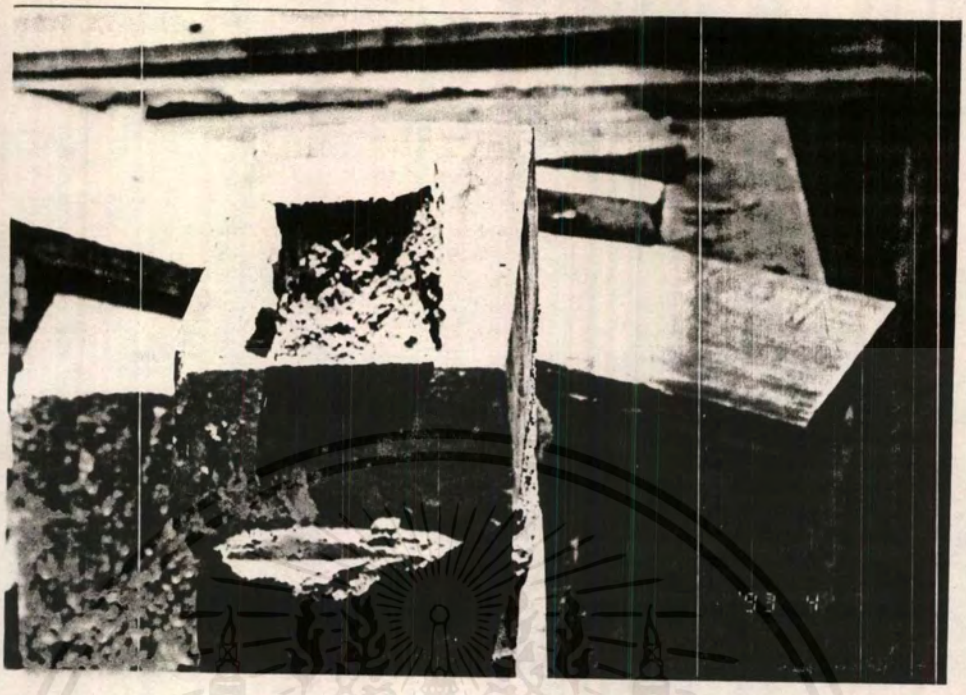


รูปที่ 8 ตัวอย่างมอร์ต้าสำหรับทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงโดยตรง



รูปที่ 9 เครื่องทดสอบกำลังดึงโดยตรงของมอร์ต้า

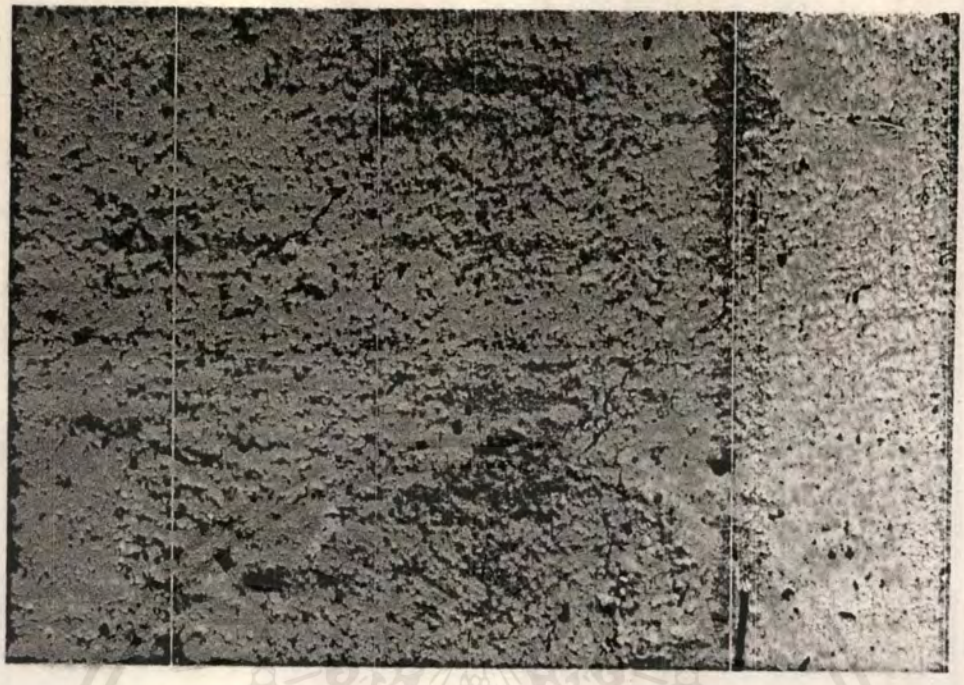
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของมอร์ต้าล้วน

รูปที่ 11 ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของมอร์ต้าผสมโพลีพรอบพิลีน

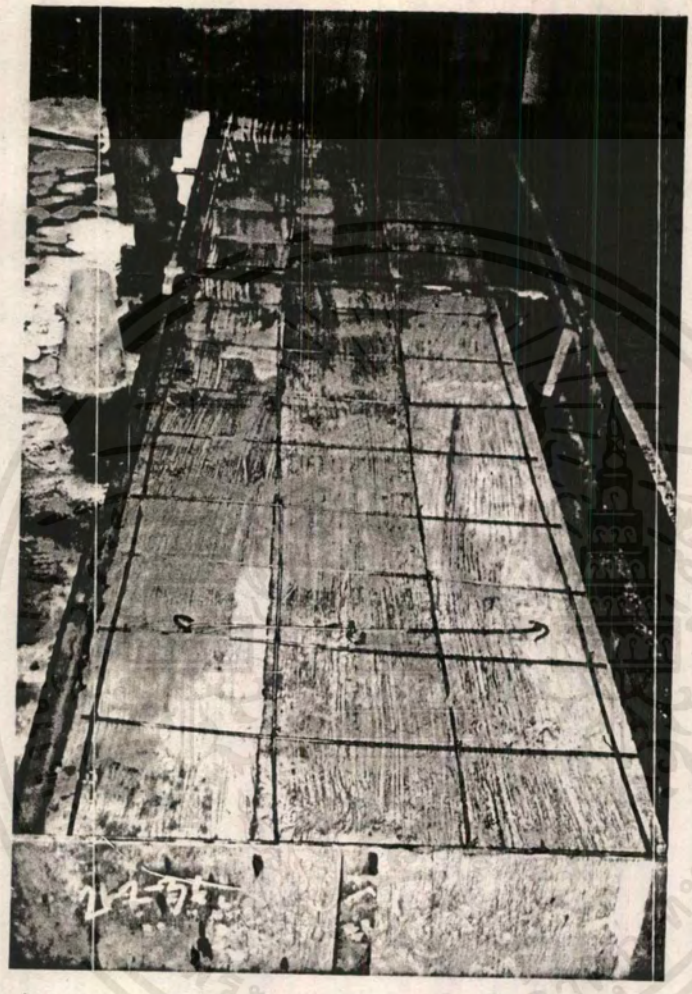
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แผ่นคอนกรีตด้านหลังจากทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง
ปรากฏว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้น

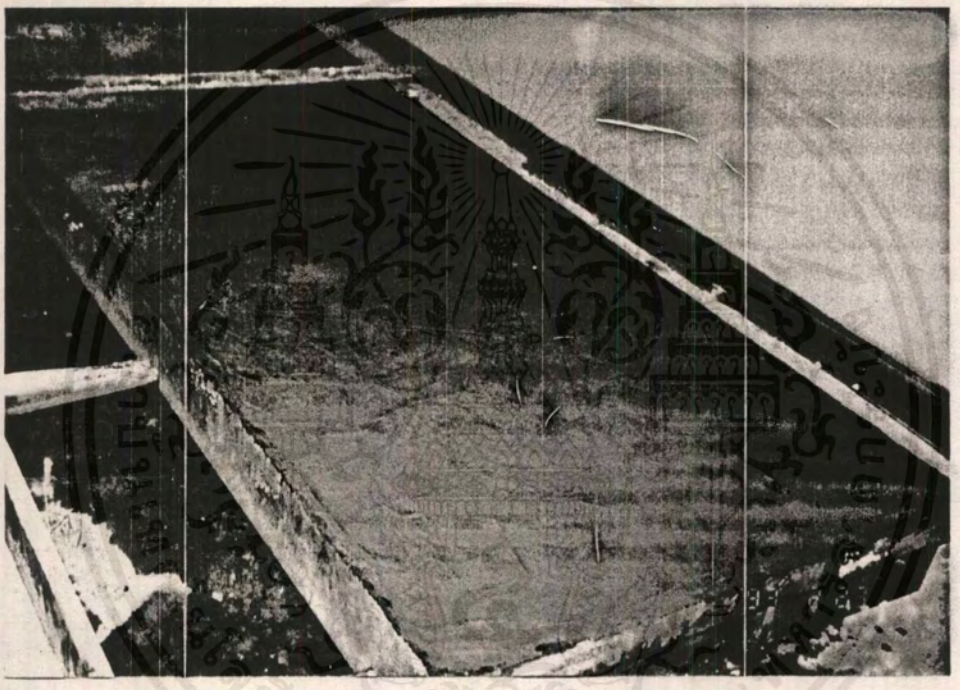
รูปที่ 13 แผ่นคอนกรีตผสมโพลีพรอบพิลีน หลังจากทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง
24 ชั่วโมง และ 7 วัน ไม่ปรากฏรอยร้าวขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



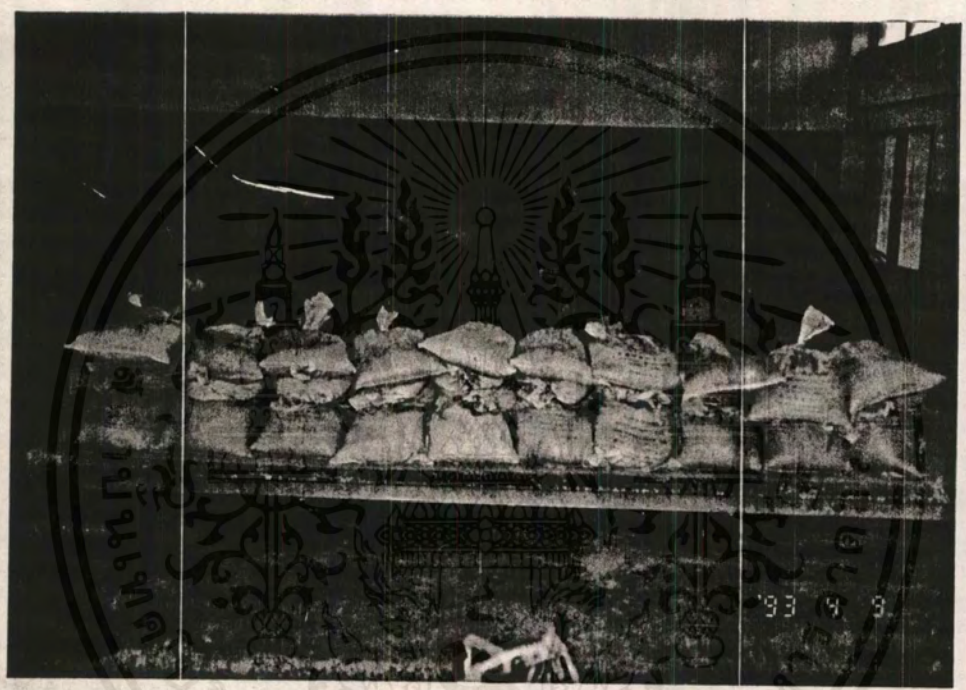
รูปที่ 14 แสดงพื้นสำเร็จรูป SINGLE T. เมื่อมีเหล็กตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 พื้นสำเร็จรูปหลังจากเทคอนกรีตทับหน้าเสริมเหล็กตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 การทดสอบ UNIFORM LOAD บนพื้นสำเร็จรูปที่มี
คอนกรีตทับหน้าเสริมเส้นใยโพลีพรอบพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : หจก.ป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2529.

ประณต กุลประสูตร. เทคนิคงานปูน-คอนกรีต. กรุงเทพฯ : บ.เอ็ม.พี.พับลิชชิ่ง จำกัด, 2535.

พิภพ สุนทรสมัย. ปฏิบัติการและควบคุมงานคอนกรีต. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ดวงกมล, 2535.

ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพ : พระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2535.

A.H.CARDON AND G.VERCHERY. MECHANICAL CHHARACTERISATION OF LOAD BEARING FIBER COMPOSITE LAMINATE. LONDON : ELSEVIER APPLIED SCIENCE PUBLISHERS, 1985

A.J.M.SPENCER. DEFORMATIONS OF FIBER-REINFORCED MATERIALS. OXFORD : CLARENDON PRESS, 1972

ALEC LEGGATT. GRP AND BUILDINGS. LONDON : BUTTERWORTHS, 1984

A.M.NEVILLE AND J.FRANCIS YOUNG. CONCRETE TECHNOLOGY. OXFORD : LONGMAN SCIENTIFIC AND TECHNICAL, 1987

EDWARD G. NAWY. REINFORCED CONCRETE A FUNDAMENTAL APPROACH. NEW JERSEY : PRENTICE HALL, 1990

MEL SCHWARTZ. COMPOSITE MATERIALS HANDBOOK. SINGAPORE : McGRAW-HILL, 1992

N.G.McCRUM,C.P.BUCKLEY AND C.B. BUCKNALL. PRINCIPLES OF POLYMER -ENGINEERING. OXFORD : OXFORD SCIENCE PUBLICATIONS, 1988

PETER C.POWELL. ENGINEERING WITH POLYMERS. LONDON : CHAPMAN AND HALL,1983

ROBERT M.JONES. MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS. SINGAPORE : McGRAW-HILL, 1975

SIDNEY MINDESS AND J.FRANCIS YOUNG . CONCRETE. NEW JERSEY : PRENTICE HALL, 1981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้