สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเบื้องต้นการนำตาข่ายเส้นใยคาร์บอนมาเสริมความแข็งแรง ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

PRELIMINARY STUDY ON USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

โดย

นายจรัญ รักพันธ์

นายทัศไนย เชาวลิตประพันธ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62814
วัน,เดือน,ปี 22 ส.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRELIMINARY STUDY ON USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

MR.CHARUN RUKPAN

MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาเบื้องต้นการนำตาข่ายเส้นใยคาร์บอนมาเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	
	PRELIMINARY STUDY ON USING CARBONFIBER MESH FOR STRENG THENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE	
นักศึกษา	นายจรัญ รักพันธ์	รหัสประจำตัว 45010092
	นายทัศไนย เชาวลิตประพันธ์	รหัสประจำตัว 45010303
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.สุพจน์ ศรีนิล	
	ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์เกษม อมันตกุล ผศ.อำนวย พานิชกุลพงศ์ ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร ดร.คมสัน มาลีสี	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาเบื้องต้นการนำตาข่ายเส้นใยคาร์บอนมาเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก PRELIMINARY STUDY ON USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE
นักศึกษา	นายจรัญ รักพันธ์ นายทัศไนย เชาวลิตประพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.สุพจน์ ศรีนิล ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

วัสดุคอมโพสิทเส้นใยคาร์บอนอีพอกซี่(CFEC) เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการเสริมความสามารถการรับแรงของพื้น และ คาน คอนกรีต แต่เนื่องจากเส้นใยคาร์บอนมีราคาแพงมาก เพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีกรรมวิธีในการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน จึงทำให้เป็นข้อจำกัดของการนำมาใช้งาน ดังนั้นการใช้เส้นใยคาร์บอนอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการนำตาข่ายเส้นใยคาร์บอนมาเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการเสริม การรับแรงดัดของแผ่นพื้นขนาด 120 x 45 x 7.5 cm. สำหรับการเสริมด้วยเส้นใยคาร์บอนแบบแถบกว้าง 45cm. 3 ตัวอย่าง เสริมด้วยเส้นใยคาร์บอนแบบตาข่ายเส้นใยโดยมีระยะห่างระหว่างเส้นใย 5, 10, 15 และ 20 cm. อย่างละ 3 ตัวอย่าง โดยมีปริมาณเส้นใย เท่ากัน แต่มีการเสริม CMEC แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ การเสริมแบบแปะใต้ท้องพื้น และการเสริมแบบใส่เข้าไปในแผ่นพื้น และนำไปทดสอบแรงดัดแบบจุดเดียว

ในการศึกษาพบว่าเสริมเส้นใยแบบตาข่ายแบบแปะใต้ท้องพื้น มีประสิทธิภาพเสริมความสามารถรับแรงได้ 170% โดยระยะห่างระหว่างเส้นใยไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ การเสริมCMEC แบบใส่ในแผ่นพื้นมีประสิทธิภาพเฉลี่ยได้ 490% โดยระยะห่างระหว่างเส้นใยน้อยมีประสิทธิภาพมากกว่า ขณะที่การเสริมแบบ CFEC มีประสิทธิภาพ 660% แต่มีราคาแพงกว่าแบบตาข่าย 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : PRELIMINASTUDY ON USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

Name : MR.CHARUN RUKPAN

MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : ASST.PROF. SUPOJ SRINIL

: ASST.PROF. LEAMTHONG LAOKHONGTHAVORN

ABSTRACT

Carbon fiber epoxy composite, CFEC, Material is used to reinforce structural capacity of beams and slabs. Because it is imported from aboard and produced with sophisticated process, so using CFEC is costly and limited. By considering these reasons, effectively using CFEC is the key. Hence this research aims to preliminarily study on effectiveness of using carbon fiber mesh epoxy composite, CMEC, material for strengthening reinforced concrete structure. It was done by comparing incremental load capacity of 120 x 45 x 7.5 cm. concrete slabs which were reinforced with CFEC and CMEC. CFEC reinforcement used 45 cm. width band carbon and CMEC used 1 cm. width band carbon with 5, 10, 15 and 20 cm. spacing of each meshes, three specimens. Summarizing width of carbon fiber band of each CMEC mesh patterns are equal. For CMEC, there were two types of reinforcement, one was attaching CMEC on the tension surface of slab, another was laying CMEC in the middle thickness of slab. Three specimens were used for each of reinforcement pattern and three point bending testings were done for all of these specimens.

By the result, CMEC reinforcements slab with attaching carbon mesh on bottom surface of slab has 170% load capacity whose mesh spacing doesn't significantly effect to load capacity of specimens. CMEC reinforcements slab with laying carbon mesh in the middle of slab thickness can get 490% load capacity which decreasing mesh spacing can get more load capacity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Whereas CFEC has 660% load capacity but its cost of material is more 60% expansive than CMEC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ไม่มีคำกล่าวใดที่สามารถใช้บ่งบอกถึงความกรุณาและความอนุเคราะห์ของท่านอาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ได้ ตลอดระยะเวลาของการศึกษานี้ท่านได้ให้คำแนะนำแนวทางในการศึกษาโครงงานพิเศษให้เกิดประโยชน์ สามารถนำโครงงานพิเศษไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงให้ความรู้ที่ไม่สามารถหาได้ในตำราเล่มใดในโลก อีกทั้งท่านได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งของท่านทั้งในเวลาราชการและนอกเวลาราชการ เพื่อให้ความดูแก่ผู้จัดทำโครงงานอย่างใกล้ชิดของการศึกษาตั้งแต่เริ่มต้นการศึกษา ออกแบบขั้นตอนการศึกษา ช่วยเหลือในช่วงการทดสอบ การวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ รวมถึงดูแลความเรียบร้อยของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณอาจารย์สุพจน์ ศรีนิลอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงานพิเศษ อีกทั้ง อาจารย์เกษม อมันตกุล อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์ อาจารย์คมสัน มาลีสี คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษที่ได้ให้คำชี้แนะและคำสั่งสอนที่มีประโยชน์อย่างมากมายในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบคุณ คุณธนวรรธน์ มาประจง บริษัท กรุ๊ปเมคคอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่เอื้อเฟื้อผลิตภัณฑ์เส้นใยคาร์บอน รวมถึงให้ความรู้และข้อมูลเส้นใยคาร์บอน

ขอขอบคุณ นายนัฏพล วัฒนมั่นคง, นาย บัญชา อุกทยารักษ์ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ รวมถึงให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านแรงงานในช่วงการหล่อตัวอย่างทดสอบและการทดสอบตัวอย่างด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้จะขาดเสียมิได้สำหรับคำขอบคุณแด่บุพการีของผู้จัดทำโครงงาน ตั้งแต่การสั่งสอน อบรมเลี้ยงดู ทำให้มีทุกวันนี้ได้ จนถึงความช่วยเหลือที่ท่านมีในระหว่างทำโครงงานทั้งเป็นกำลังใจและกำลังทุนทรัพย์ รวมทั้งความรักที่มีให้แก่บุตรเสมอมา

นายจรัญ รักพันธ์

นายทัศไนย เชาวลิตประพันธ์

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ช
	สารบัญ	ซ
	สารบัญตาราง	ฌ
	สารบัญภาพ	ฐ
1	**บทนำ**	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4. สมมติฐาน	2
	1.5. ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา	2
	1.6. วิธีการศึกษา	4
2	**วรรณกรรมปริทัศน์**	
	2.1. กล่าวนำ	8
	2.2. นิยามและคำจำกัดความ	8
	2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยคาร์บอน	12
	2.4 อีพอกซี่	13
	2.5 การใช้เหล็กตะแกรงสำหรับงานคอนกรีต	17
	2.6 อีพอกซี่เสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอน	18
	2.7 การประยุกต์ใช้เส้นใย (Fiber) ในงานคอนกรีต	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.8 การประยุกต์ใช้เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) ในงานซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต	19
	2.9 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีตโดยวิธี (Flexural Tensile Test)	20
3	**การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ**	
	3.1 การเตรียมตัวอย่าง	22
	3.1.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	22
	3.1.2 การเตรียมตัวอย่างเส้นใยในลักษณะของตาข่าย	24
	3.1.3 การออกแบบแผ่นพื้นสำหรับการทดสอบ	28
	3.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล	29
	3.2.1 คุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยคาร์บอน	29
	3.2.2 คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเส้น	32
	3.2.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต (Compressive StrengthTest)	34
	3.2.4 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตล้วน คอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนในลักษณะต่างๆ โดยวิธี(Flexural Strength Test)	39
4	**ผลการศึกษาและการวิเคราะห์**	
	4.1 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ	51
	4.1.1 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอน	51
	4.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติของอีพอกซี่	52
	4.2 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์การรับแรงดัดของแผ่นพื้น	53
	4.2.1 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน	53
	4.2.2 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนแบบเต็มแผ่นและตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้าน	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	นอกฉาบด้วยอีพอกซี่	
	4.2.3 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่	55
	4.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของการเสริมเส้นใยแต่ละชนิด	56
	4.3.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กด้านในและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านใน	56
	4.3.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมแผ่นเส้นใยคาร์บอนด้านนอกและตาข่ายเส้นใยด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่	56
5	**สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ**	
	5.1 สรุปผลการศึกษา	61
	5.2 ข้อเสนอแนะในการใช้งานและการผลิตเส้นใยคาร์บอน	61
	5.2.1 การใช้งาน	62
	5.2.2 การผลิตเส้นใยคาร์บอน	63
	บรรณานุกรม	64
	ภาคผนวก	ผ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1.1.	แสดงจำนวนแผ่นพื้นคอนกรีตที่ใช้ทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด	3
1.2.	แสดงจำนวนแผ่นพื้นคอนกรีตที่ใช้ทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด	4
2.1.	แสดงคุณสมบัติของลวดตะแกรงเหล็ก (WWF)	11
4.1.	แสดงคุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอน	52
4.2.	แสดงคุณสมบัติของอีพอกซี่	52
4.3.	แสดงปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับตาข่ายเส้นใยคาร์บอนแบบต่างๆ	53
4.4.	แสดงการเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กด้านในและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน	57
4.5.	แสดงการเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมแผ่นเส้นใยคาร์บอนด้านนอกและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่	58
5.1.	ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยคาร์บอนในลักษณะตาข่ายกับการใช้เหล็กเสริมในคอนกรีต	62
5.2.	ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างการใช้เส้นใยคาร์บอนในลักษณะตาข่ายกับการใช้เส้นใยคาร์บอนแบบเต็มแผ่น	63
ผ1	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตล้วน	ผ2
ผ2	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 5cm.	ผ3
ผ3	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 10cm.	ผ4
ผ4	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 15cm.	ผ5
ผ5	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 20cm.	ผ6
ผ6	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเหล็ก @ 10cm	ผ7
ผ7	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 5cm. ฉาบอีพอกซี่	ผ8
ผ8	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 10cm. ฉาบอีพอกซี่	ผ9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ9	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 15cm.ฉาบอีพอกซี่	ผ10
ผ10	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 20cm. ฉาบอีพอกซี่	ผ11
ผ11	แสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนเต็มแผ่นด้านนอกฉาบอีพอกซี่	ผ12
ผ12	ผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตฉาบอีพอกซี่	ผ13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1.	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	7
2.1.	แสดงลักษณะของเส้นใย	8
2.2.	แสดงลักษณะของเส้นใยคาร์บอนแบบต่างๆ	9
2.3.	แสดงWire mesh ชนิดต่างๆ	11
2.4.	แสดงขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตใยคาร์บอนที่มีความแข็งแรงและโมดูลัสสูงจากพอลิอะครีโลไนไทรล์ (PAN) พรีเคอเซอร์	12
2.5.	แสดงอีพอกซี่ส่วนที่เป็น Part A และ Part B	14
2.6.	แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Wire mesh ในงาน Ferrocement	17
2.7.	แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Wire mesh หุ้มองอาคารเหล็ก	18
2.8.	แสดงลักษณะการนำเส้นใยคาร์บอนไปใช้ในงานซ่อมคานที่ชำรุด	19
2.9.	แสดงลักษณะการนำเส้นใยคาร์บอนไปใช้ในงานซ่อมพื้นที่ชำรุด	20
3.1.	แสดงวัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมตาข่ายเส้นใย	25
3.2.	แสดงการตัดเส้นใยคาร์บอน	26
3.3.	แสดงลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ตัดเป็นแถบแล้ว	26
3.4.	แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะ @ 5 เซนติเมตร	27
3.5.	แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะ @ 10 เซนติเมตร	27
3.6.	แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะ @ 15 เซนติเมตร	27
3.7.	แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะ @ 20 เซนติเมตร	27
3.8.	แสดงการจับเส้นใยคาร์บอนเพื่อทำการทดสอบหาแรงดึง	30
3.9.	แสดงชิ้นส่วนวัสดุที่ใช้สำหรับทดสอบเพื่อหากำลังรับแรงดึง	30
3.10.	เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึงของเส้นใยคาร์บอน	31
3.11.	แสดงระยะการยึดเหล็กเส้นเพื่อใช้ในการทดสอบ	33
3.12.	เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)	35
3.13.	แสดงการตรวจสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต	36
3.14.	แสดงการแตรียมแบบหล่อคอนกรีตสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัด	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.15.	แสดงการตำคอนกรีตสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัด	37
3.16.	แสดงก้อนตัวอย่างรูปลูกบาศก์	38
3.17.	แสดงการทดสอบคอนกรีตรับแรงอัด	38
3.18.	แสดงการเตรียมแบบหล่อแผ่นพื้นคอนกรีต	40
3.19.	แสดงการจัดวางเหล็กเสริมพื้นคอนกรีต	41
3.20.	แสดงการเทคอนกรีตแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	42
3.21.	แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอน	43
3.22.	แสดงการทำระดับที่จะวางตาข่ายเส้นใยคาร์บอนในแบบหล่อ	43
3.23.	แสดงการเทคอนกรีตชั้นแรกและการวางตาข่ายเส้นใยคาร์บอน	44
3.24.	แสดงการเทคอนกรีตชั้นที่สองทับเส้นใย	44
3.25.	แสดงการแต่งหน้าผิวคอนกรีตให้เรียบ	45
3.26.	แสดงผิวคอนกรีตที่แต่งหน้าเรียบร้อยแล้ว	45
3.27.	แสดงการเตรียมแผ่นพื้นก่อนนำไปเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอก	47
3.28.	แสดงการเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่	48
3.29.	แสดงการวางตัวอย่างบนเครื่องทดสอบ	49
3.30.	แสดงการทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอก	49
3.31.	แสดงการทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอก	50
4.1.	แผนภูมิแสดงค่าการรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีต	59
4.2.	แผนภูมิแสดงค่าการรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีต	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. กล่าวนำ

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คอนกรีตจัดว่าเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้งานมาอย่างยาวนานทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการก่อสร้างอย่างแพร่หลาย หนึ่งในนั้นก็คือ คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) ซึ่งเป็นรูปแบบการก่อสร้างที่มีข้อได้เปรียบกว่ารูปแบบอื่นๆ ในหลายๆ ด้านโดยมีหลักการคือ การรับกำลังอัดด้วยคอนกรีตและการรับกำลังดึงด้วยเหล็กเสริมหลัก อย่างไรก็ตามการก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ยังมีข้อด้อยอยู่บ้างบางประการ จึงมีการพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีในการก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเรื่อยมา มีทั้งการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตเอง เช่น การใส่สารผสมเพิ่มในคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวเร็ว เป็นต้น หรือ การพัฒนาวิธีการก่อสร้าง เช่น การใช้คอนกรีตอัดแรงเพื่อให้คอนกรีตรับแรงได้มากขึ้น เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีความทันสมัยและเหมาะสมกับการใช้งานในสภาพต่างๆมากขึ้น

1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สำหรับประเทศไทย ระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กยังคงเป็นที่นิยมใช้กันในการก่อสร้างเนื่องจากราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบโครงสร้างเหล็กอีกทั้งวัสดุที่นำมาใช้ผลิตคอนกรีตสามารถหาได้จากทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศ อย่างไรก็ตามคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีกำลังรับแรงดึงต่ำกว่าแรงอัดมาก เมื่อเกิดแรงดึงขึ้นในโครงสร้างอาจทำให้เกิดการแตกร้าวของเนื้อคอนกรีตได้ ซึ่งนำไปสู่การชำรุดของโครงสร้าง ในปัจจุบันการแก้ปัญหาการชำรุดของโครงสร้างกระทำโดยการนำแผ่นเส้นใยคาร์บอนซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถต้านทานแรงดึงได้สูง มาช่วยเสริมในลักษณะแผ่นหรือแถบ และฉาบทับด้วยอีพอกซี่เพื่อช่วยรับแรงดึงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างที่ชำรุด แต่เนื่องจากการที่แผ่นเส้นใยคาร์บอน มีราคาแพงและต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งในยุคที่ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาการขาดดุลการค้าอย่างหนัก ดังนั้นการที่จะใช้งานวัสดุเหล่านี้ก็ต้องใช้งานให้เต็มประสิทธิภาพเพื่อไม่ให้เกิดการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งเกิดจากการซ้อนทับกันของแผ่นเส้นใยคาร์บอนในการนำไปใช้งานในลักษณะแผ่นหรือแถบ จึงเป็นเรื่องที่น่าศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยคาร์บอน มาถักเป็นตาข่ายแล้วนำไปใช้แทนการใช้แผ่นเส้นใยคาร์บอนในลักษณะแผ่นหรือแถบ ในการซ่อมแซมการชำรุดของโครงสร้างเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยให้มีมากขึ้น นอกจากนี้เพื่อเป็นการไม่ให้การใช้เส้นใยคาร์บอน มีขีดจำกัดเพียงแค่การนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานซ่อมแซมโครงสร้างที่เกิดการชำรุดเท่านั้น จึงมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยคาร์บอนมาถักเป็นตาข่ายแล้วนำไปใช้งานในลักษณะเหมือนตะแกรงเหล็กเสริมกันแตกร้าวในงานคอนกรีต เพื่อช่วยให้การใช้งานของ เส้นใยคาร์บอนมีความหลากหลายมากขึ้น

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการศึกษามีดังนี้

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยคาร์บอนมาถักเป็นตาข่ายรับแรงดึงในแผ่นพื้นในลักษณะเหมือนเหล็กตะแกรง
2. ศึกษาการใช้เส้นใยคาร์บอนที่ถักเป็นตาข่ายแทนการใช้แผ่นเส้นใยคาร์บอนในลักษณะแผ่นหรือแถบในงานซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.4. สมมติฐาน

สมมติฐานของการศึกษามีดังนี้

1. การใช้ตาข่ายเส้นใยคาร์บอนรับแรงดึงในแผ่นพื้นแทนการใช้เหล็กตะแกรงสามารถเพิ่มความแข็งแรงและลดรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นได้
2. การใช้ตาข่ายเส้นใยคาร์บอนสามารถใช้แทนแผ่นเส้นใยคาร์บอนในงานซ่อมแซมโครงสร้างที่ชำรุดได้และ มีแนวโน้มที่จะใช้เส้นใยได้มีประสิทธิภาพมากกว่า

1.5. ขอบเขตของการศึกษา

เพื่อให้การศึกษาเป็นไปตามวัตถุประสงค์สองประการข้างต้น จึงได้วางขอบเขตการศึกษาสำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆไว้ดังนี้

1.5.1. สำหรับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยคาร์บอนที่ถักเป็นตาข่ายในลักษณะเดียวกับเหล็กเสริมในแผ่นพื้น ในการศึกษานี้มุ่งเน้นที่การศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านในเปรียบเทียบกับแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทดลองให้ระยะห่างของเส้นใยที่เสริมในคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 5, 10, 15, 20 เซนติเมตร ซึ่งแผ่นพื้นคอนกรีตที่ใช้ทดสอบมีขนาด 0.45 x 1.20 x 0.075 เมตร และมีระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างแผ่นพื้นคอนกรีตเท่ากับ 28 วัน สามารถดูรายละเอียดของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบได้จากตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนแผ่นพื้นคอนกรีตที่ใช้ทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด

ลักษณะของตัวอย่างแผ่นพื้นคอนกรีต	จำนวนแผ่นพื้นคอนกรีต
แผ่นพื้นคอนกรีตล้วน	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 6 มิลลิเมตร	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านในระยะเรียงเท่ากับ 5 เซนติเมตร	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านในระยะเรียงเท่ากับ 10 เซนติเมตร	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านในระยะเรียงเท่ากับ 15 เซนติเมตร	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านในระยะเรียงเท่ากับ 20 เซนติเมตร	3
รวม	18 ตัวอย่าง

1.5.2. สำหรับวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยคาร์บอนที่ถักเป็นตาข่าย ในลักษณะเป็นแผ่นหรือแถบเส้นใยคาร์บอน ในงานซ่อมแซมโครงสร้างที่เกิดการชำรุด ในการศึกษานี้มุ่งเน้นที่การศึกษาด้านกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนเสริมด้วยแผ่นเส้นใยคาร์บอนในลักษณะแผ่นหรือแถบด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ เปรียบเทียบกับพื้นคอนกรีตล้วนเสริมด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ โดยทดลองให้ระยะห่างของตาข่ายเส้นใยมีค่าเท่ากับ 5, 10, 15, 20 เซนติเมตร ซึ่งแผ่นพื้นคอนกรีตที่ใช้ทดสอบมีขนาด 0.45 x 1.20 x 0.075 เมตร และ มีระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างแผ่นพื้นคอนกรีตเท่ากับ 28 วัน สามารถดูรายละเอียดของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบได้จากตารางที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แสดงจำนวนแผ่นพื้นคอนกรีตที่ใช้ทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด

ลักษณะของตัวอย่างแผ่นพื้นคอนกรีต	จำนวนแผ่นพื้นคอนกรีต
แผ่นพื้นคอนกรีตล้วน	3
แผ่นพื้นคอนกรีตฉาบอีพอกซี่	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกเต็มแผ่น	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกระยะเรียงเท่ากับ 5 เซนติเมตร	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกระยะเรียงเท่ากับ 10 เซนติเมตร	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกระยะเรียงเท่ากับ 15 เซนติเมตร	3
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกระยะเรียงเท่ากับ 20 เซนติเมตร	3
รวม	21 ตัวอย่าง

1.6. วิธีการศึกษา

สำหรับวิธีการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1.6.1. วิธีการทดสอบ

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้ ก็คือการเปรียบเทียบคุณสมบัติกำลังรับแรงดัดระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตที่เสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านในกับแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนและแผ่นพื้นเสริมเหล็กตะแกรง และเปรียบเทียบคุณสมบัติกำลังรับแรงดัดระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตที่เสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่กับแผ่นพื้นคอนกรีตที่เสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกแบบเต็มแผ่นฉาบด้วยอีพอกซี่กับแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนและแผ่นพื้นคอนกรีตฉาบอีพอกซี่ ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณสมบัติที่ใช้เปรียบเทียบจะได้จากการทดสอบดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) ของแท่งคอนกรีตตัวอย่างรูปทรงกระบอก (Cylinder) ตามมาตรฐาน ASTM : C 39-72 ; ASTM Cylinder Test for Compressive Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีต โดยวิธี Flexural Strength ใช้มาตรฐาน ASTM C78 (Standard Test for Flexural Strength of concrete)
3. การทดสอบความต้านทานแรงดึงของเส้นใยคาร์บอนตามมาตรฐาน ASTM D-3039
4. การทดสอบความต้านทานแรงดึงของเหล็กเส้นกลมใช้มาตรฐานการทดสอบตาม มอก. 244 เล่ม 4-2525 (การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า เล่ม 4 การทดสอบเหล็กกล้าโดยการดึง)

การทดสอบในแบบแรกต้องมีการเตรียมตัวอย่างทดสอบตามแบบมาตรฐานตามที่กำหนด โดยในการทดสอบจะเป็นการทดสอบคอนกรีตล้วนทั้งหมด ส่วนการทดสอบแบบที่สองจะแบ่งการทดสอบออกเป็นสองชุด ชุดแรก จะประกอบด้วย แผ่นพื้นคอนกรีตล้วน แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านใน และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ชุดที่สอง จะประกอบด้วย แผ่นพื้นคอนกรีตล้วนเสริมเส้นใยคาร์บอนในลักษณะแผ่นหรือแถบด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ และ แผ่นพื้นคอนกรีตล้วนเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ ซึ่งตัวอย่างทดสอบในแต่ละชุดจะต้องควบคุมให้ส่วนผสมพื้นฐานของคอนกรีต มีสัดส่วนที่เท่ากันในแต่ละการทดสอบ เพื่อที่จะสามารถนำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกันได้

1.6.2. ขั้นตอนการศึกษา

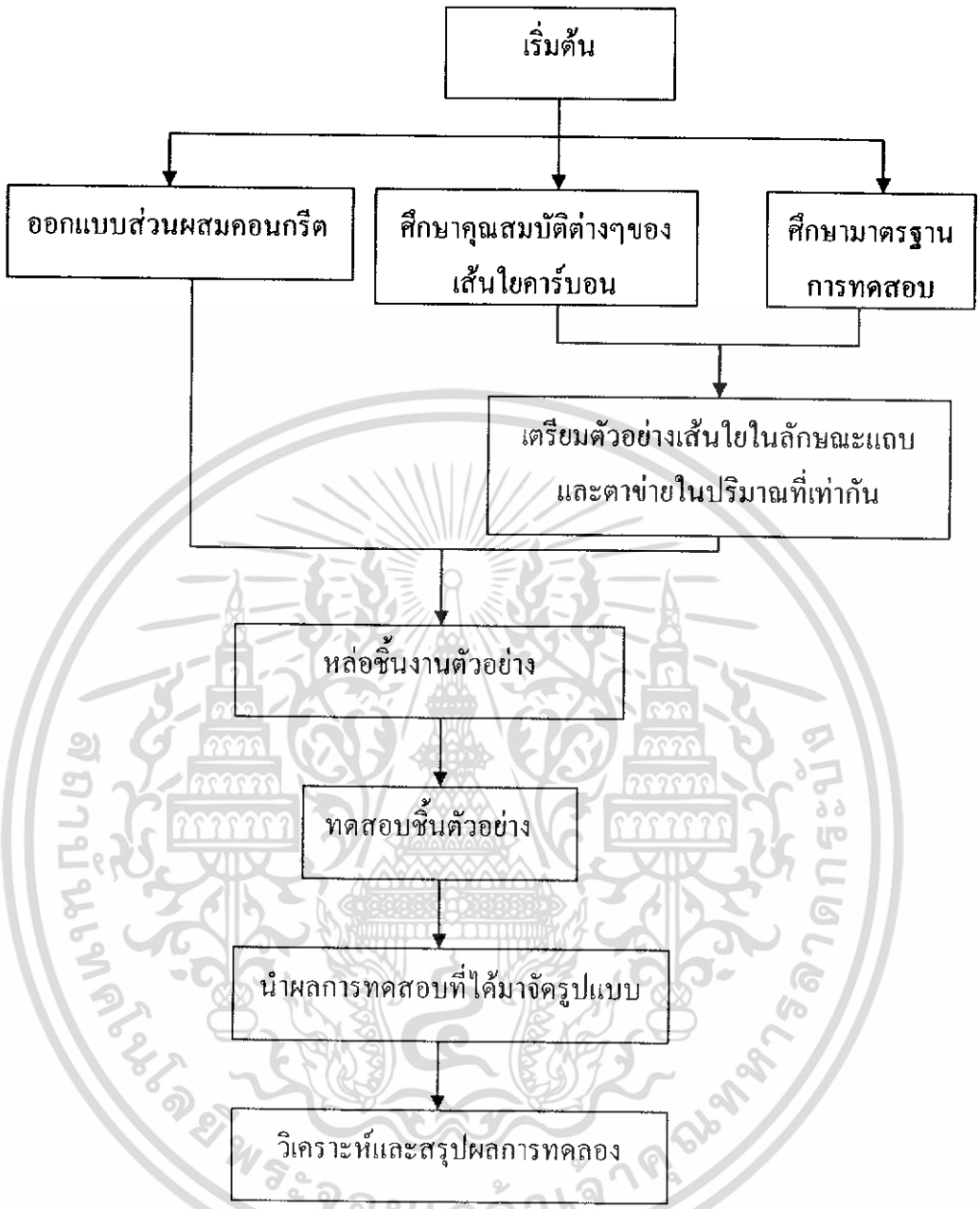
ขั้นตอนในการศึกษาสามารถแสดงเป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน (Flow Chart) ได้ดังรูปที่ 1.1.

โดยรายละเอียดขั้นตอนในการศึกษาในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน มีดังต่อไปนี้ คือ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต จะใช้คอนกรีตต้านทานกำลังอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทรงกระบอก (Cylinder) โดยการใช้คอนกรีตผสมเสร็จเพื่อควบคุมเนื้อคอนกรีตให้มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกตัวอย่าง การศึกษาคุณสมบัติต่างๆของเส้นใยคาร์บอนจะศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติในการต้านทานแรงดึงของเส้นใยคาร์บอนซึ่งในส่วนนี้อาจใช้คุณสมบัติที่ได้รับจากโรงงานผู้ผลิต การศึกษามาตรฐานการทดสอบจะใช้มาตรฐานการทดสอบตามหัวข้อที่ 1.6.1 การเตรียมตัวอย่างเส้นใยคาร์บอน โดยจะตัดเส้นใยคาร์บอนให้มีลักษณะเป็นแถบและเส้นเพื่อนำมาถักเป็นตาข่าย ส่วนการหล่อชิ้นงานตัวอย่างจะประกอบด้วย ลูกปูนทรงลูกบาศก์ (Cube) 18 ตัวอย่าง โดยทำการทดสอบการรับแรงอัดที่อายุ 1 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง ที่อายุ 3 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง ที่อายุ 7 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง ที่อายุ 14 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง ที่อายุ 21 วันจำนวน 3 ตัวอย่าง และ ที่อายุ 28 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง แผ่นพื้นคอนกรีตล้วนขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง แผ่นพื้นคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านในขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตร จำนวน 12 ตัวอย่าง แผ่นพื้นคอนกรีตล้วนเสริมเส้นใยคาร์บอนในลักษณะแผ่นหรือแถบฉาบด้วยอีพอกซี่ ขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตรจำนวน 3 ตัวอย่าง แผ่นพื้นคอนกรีตล้วนเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ ขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตร จำนวน 12 ตัวอย่าง โดยแผ่นพื้นทั้งหมดจะทำการทดสอบที่อายุคอนกรีต 28 วัน นำตัวอย่างมาทดสอบหากำลังรับแรงดัดตามมาตรฐานที่กล่าวไว้ใน หัวข้อที่ 1.6.1.และนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบค่าความเค้นดัดของพื้นตัวอย่างในแต่ละกรณี โดยมีพื้นคอนกรีตล้วนเป็นตัวอ้างอิง นำผลที่ได้มาสรุปความเป็นไปได้ของการเสริมเส้นใยคาร์บอนในลักษณะตะแกรง และจัดทำรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1. แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

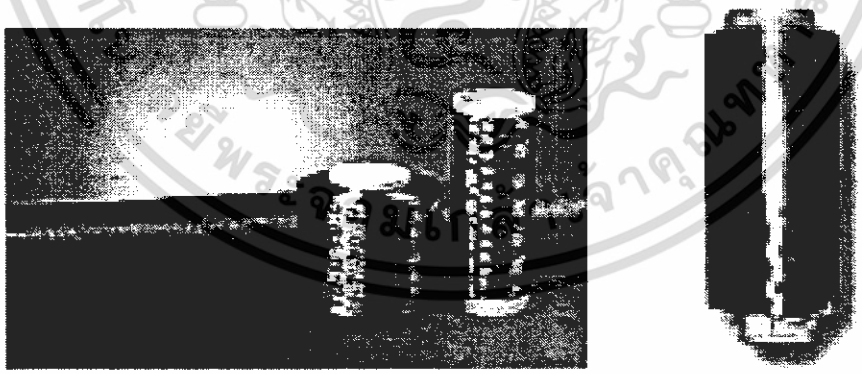
บทที่2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงคำนิยามและคำจำกัดความ ความหมายของคำต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ทำการศึกษา มีการรวบรวมประเด็น แนวคิด ระเบียบวิธีของงานวิจัยหรือเอกสาร สิ่งตีพิมพ์ต่างๆ ที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย หรือวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อให้ผู้ศึกษาได้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาได้ง่ายยิ่งขึ้น

2.2. นิยามและคำจำกัดความ

เส้นใย (Fiber) หมายถึงวัสดุหรือสารใดๆทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ และต้องเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุด ไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก (ประกิตศาสตร์ ประสงค์จรรยา และ สิทธิชัย บังใบ, 2543)

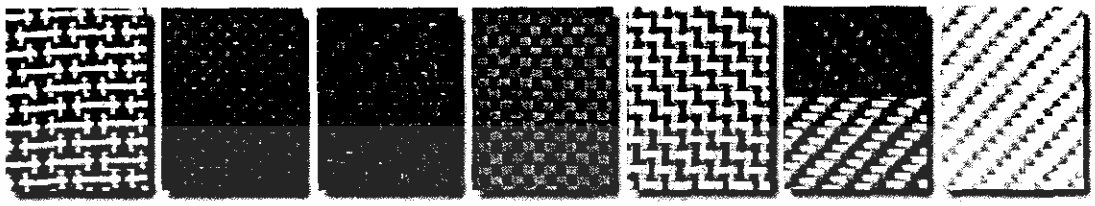


รูปที่2.1. แสดงลักษณะของเส้นใย (www.askn.co.th/sourch/carbon)

เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) เส้นใยคาร์บอนเป็นเส้นใยที่ส่วนใหญ่ผลิตมาจากพอลิอะครีโลไนไทรล์ (PAN) หรือน้ำมันดิบ โดยจะถูกดึงให้ออกมาเป็นเส้นรวมกันเป็นโครงสร้างที่เป็นลักษณะเป็นโครงข่ายในแต่ละเส้นใยคาร์บอน แล้วจะถูกเผาเพื่อกำจัดออกซิเจน ไนโตรเจน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจน ตอนเริ่มจะเป็นเส้นใยคาร์บอน ซึ่งมีคุณสมบัติรับแรงดึงได้สูงมากคือ 3,800 – 4,500 MPa มีค่า Modulus of Elasticity สูง มีน้ำหนักเบา ใช้สำหรับเสริมกำลังและงานซ่อมแซมของคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 2.2. แสดงลักษณะของเส้นใยคาร์บอนแบบต่างๆ (www.askn.co.th/sourch/carbon)

อีพอกซี่ (Epoxy) เป็นวัสดุเทอร์โมเซตทิง (Thermosetting) ชนิดหนึ่งของวัสดุพอลิเมอร์ วัสดุจำพวกนี้ยึดติดกับวัสดุอื่นได้ดี ทนต่อสารเคมีและสิ่งแวดล้อม มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีและเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีอีกด้วย ใช้สำหรับทำวัสดุผสมเสริมแรงร่วมกับเส้นใยคาร์บอนในงานเสริมแรงและงานซ่อมแซมรอยแตกของคอนกรีต

คอนกรีต (Concrete) เป็นวัสดุวิศวกรรมหลักที่ใช้ในการก่อสร้าง วิศวกรโยธาใช้คอนกรีตในการออกแบบก่อสร้างเช่น สร้างสะพาน อาคาร เขื่อน กำแพง มีคุณสมบัติง่ายต่อการออกแบบและเปลี่ยนแปลงได้ง่าย สามารถหล่อได้ ประหยัดราคาถูก มีความทนทาน ป้องกันไฟได้ สามารถนำไปประกอบหรือสร้างที่บริเวณงานได้ สามารถออกแบบหรือสร้างให้สวยงามได้และมีการเสริมกำลังหรืองานซ่อมแซมได้ง่าย แต่คอนกรีตมีกำลังรับแรงดึงได้ต่ำ ความอ่อนตัวหรือความเหนียวต่ำและมีการหดตัวบ้าง

วัสดุผสม (Composite Material) เป็นสิ่งใดก็ได้ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันสองชนิดขึ้นไปตั้งแต่ในระดับอะตอมของวัสดุ จนถึงขนาดใหญ่เช่นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งทำให้วัสดุมีคุณสมบัติที่ดีเป็นพิเศษหรือมีลักษณะสำคัญแตกต่างไปจากเดิม สำหรับการศึกษานี้จะศึกษาวัสดุผสมระหว่างคอนกรีตกับเส้นใยคาร์บอนและคอนกรีตกับเหล็ก

Wire Mesh ในงานวิศวกรรมมักหมายความถึง ตะแกรงเหล็ก (Steel wire) หรือตะแกรงเหล็กชุบดีบุกหรือสังกะสี (Galvalnized steel wire mesh) ซึ่งอาจเป็นเหล็กเส้นเล็กๆ ที่นำมาถักประสานกันให้มีช่องเปิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือหกเหลี่ยม (Woven Mesh of Squared or Hexagonal Opening) หรืออาจหมายถึง เหล็กเส้นเล็กๆ ที่ทำให้เกิดช่องเปิดโดยวิธีการเชื่อมประสาน (Welded

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wiremesh) และตะแกรงที่เกิดจากการกรีดเหล็กแผ่นให้เป็นรอยขาดเล็กๆ เยื้องกันแล้วดึงหรือยืด (Expansion) แผ่นเหล็กนั้นจนปรากฏเป็นตะแกรงเหล็กที่มีช่องเปิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนหรือหกเหลี่ยม (Tortoise Shaped)

Mesh จำนวนของช่องเปิด (Opening) ต่อความยาว 1 นิ้ว โดยวัดระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของเส้นเหล็กหรือโลหะ

Wire Diameter ความหนาของเส้นเหล็กหรือโลหะ

Opening ขนาดช่องเปิด ระยะห่างระหว่างเหล็กแต่ละเส้น

Open Area Percent สัดส่วน (ร้อยละ) ของพื้นที่ช่องเปิด

Warp Wire Diameter (WWD) or Long Wire Diameter (LWD) คือ ระยะห่างระหว่างเส้นเหล็กหรือโลหะตามแนวยาวของแผ่นหรือม้วนตะแกรง

Shute Wire Diameter or Short Wire Diameter (SWD) คือ ระยะห่างระหว่างเหล็กหรือลวดตามขวางของแผ่นหรือม้วนตะแกรง

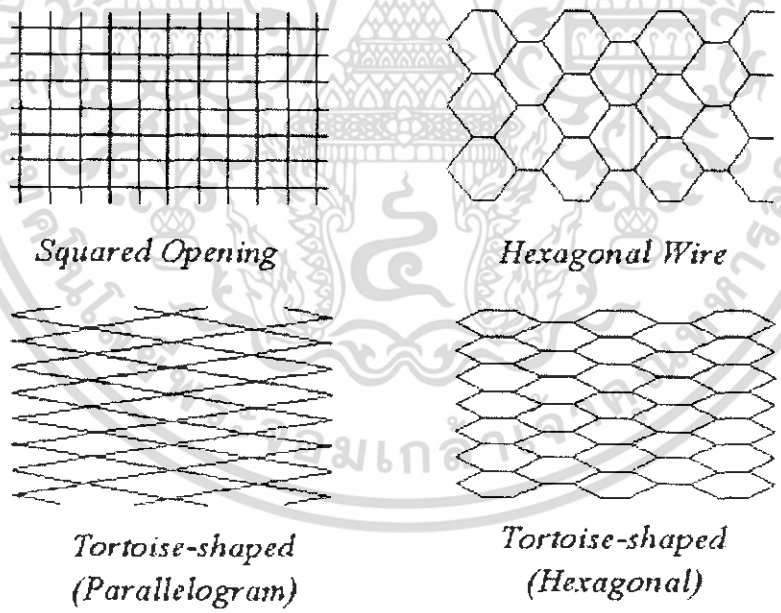
Welded Wire Fabric; WWF คือลวดตะแกรงเหล็ก ได้จาก Cold Drawn Steel Wire ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือ พื้นที่ภาคตัดขวาง ต่างๆ วาง ประสานกันเชื่อม ยึดให้ติดกัน ณ รอยสัมผัส โดยมีช่องเปิด (Opening) ต่างๆ กัน ตามขนาดระบุ นำมาใช้สำหรับเสริมคอนกรีต เพื่อป้องกันการหดตัว (Temperature Steel) หรือ ป้องกันการแตกร้าวในงานคอนกรีต อาทิเช่น งานผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็ก หุ้มองค์อาคารเหล็กเพื่อเป็นฉนวนความร้อน และ ป้องกันอัคคีภัย อาจกล่าวได้ว่า Welded Wire Fabric มีความหมายกว้างกว่า และ ครอบคลุม คำว่า Wire Mesh (ACI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1. แสดงคุณสมบัติของลวดตะแกรงเหล็ก (WWF)

SPECIFICATION OF WELDED STEEL WIRE(WIRE MESH)			COLD-DRAWN
Description	SIW 's Standard	International Standard	International Standard
DIAMETER	3-10 mm.	Plain TIS 373-2531	TIS 747-2531
SPACING	10-50 mm.	ASTM A185-1997	ASTM A82-1994
WIDTH	1.0-3.6 mm.	Ribbed TIS 926-2533	TIS 943-2533
LENGTH	Max 50 m.	ASTM A497-1979	ASTM A496-1995a
YIELD STRENGTH	5,500 kgf/cm^2	Both Sheet and roll	
TENSILE STRENGTH	6,000 kgf/cm^2		

ที่มา : www.thaiengineering.com/sourch



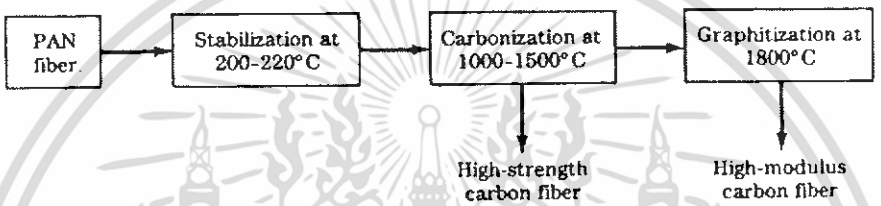
รูปที่ 2.3.แสดงWire mesh ชนิดต่างๆ(www.thaiengineering.com/sourch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยคาร์บอน

โดยทั่วไปเส้นใยคาร์บอนผลิตมาจาก PAN-precursor ด้วยกระบวนการ 3 ขั้นตอน ด้วยกันคือ

1. กระบวนการทำให้เสถียร (Stabilization)
2. กระบวนการทำให้เกิดคาร์บอน (Carbonization)
3. กระบวนการทำให้เป็นแกรไฟต์ (Graphitization)



รูปที่ 2.4. แสดงขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตใยคาร์บอนที่มีความแข็งแรงและโมดูลัสสูงจากพอลิอะคริโลไนไทรล์ (PAN) พรีเคอเซอร์

ขั้นตอนแรก เป็นกระบวนการทำให้เสถียร (Stabilization Stage) ขั้นตอนนี้เส้นใย PAN จะถูกดึงให้ยืดเป็นเส้นตรง โดยให้เส้นใยแต่ละเส้นขนานกับแกนเส้นใย แล้วทำให้เกิดออกซิเดชั่นด้วยอากาศที่อุณหภูมิประมาณ 200- 220^{0}C (392 – 428 ^{0}F) ทั้งๆ ที่ยังดึงอยู่

ขั้นที่สอง เป็นกระบวนการทำให้เกิดคาร์บอน (Carbonization) ซึ่งเป็นการผลิตเส้นใยคาร์บอนที่มีความแข็งแรงสูง กระบวนการนี้ต่อมาจากกระบวนการแรก โดยเส้นใย PAN ที่เสถียรจะถูกเผาจนกระทั่งกลายเป็นเส้นใยคาร์บอนด้วยการกำจัดออกซิเจน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนจากเส้นใย PAN การเผาให้กลายเป็นคาร์บอนนี้ตามปกติจะเผาที่อุณหภูมิ 1000–1500^{0}C (1832–2732^{0}F) ในบรรยากาศของแก๊สเฉื่อยในระหว่างการเกิดกระบวนการที่เปลี่ยนเป็นคาร์บอนนี้เส้นใยนั้นจะเปลี่ยนเป็นเส้นใยเล็ก ๆ หรือเป็นแถบ (Ribbon) คล้ายแกรไฟต์ ขึ้นในแต่ละเส้นใยซึ่งทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่สาม การทำให้เส้นใยเป็นแกรไฟต์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับเพิ่มอีลาสติกมอดูลัสจากการที่มีความแข็งแรงสูง ในระหว่างที่มีการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1800^{0}C (3272 ^{0}F) เส้นใยแต่ละเส้นจะมีการเปลี่ยนโครงสร้างกายเป็นผลึกคล้ายแกรไฟต์เพิ่มขึ้น

เส้นใยคาร์บอนที่ผลิตจากวัสดุ PAN พรีเคอเซอร์ จะได้ Tensile Strength อยู่ประมาณ 340 – 460 ksi (2.34 – 3.17 GPa) และมีอีลาสติกมอดูลัสอยู่ในช่วงประมาณ 28 – 60 Msi (193 – 413 GPa) และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อให้อุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น จนถึงค่าประมาณ 60 Msi (431 GPa) เพื่อให้ได้เส้นใยคาร์บอนที่มีอีลาสติกมอดูลัสสูงๆ การจัดตัวของโครงสร้างตามแนวแกนของ basal planes แบบแกรไฟต์ ให้ขนานกับแกนของเส้นใยให้เกิดขึ้นมากๆ จึงต้องเผาให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 1200^{0}C แล้วทำให้ tensile strength ลดลงทีน้อยๆ ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น การที่ tensile strength ลดลง ขณะที่เผาให้อุณหภูมิสูงขึ้นเชื่อว่าจะเป็นสาเหตุที่ให้เกิดช่องว่างหรือรอยแตกขึ้นในเนื้อหรือบนผิวของเส้นใย

ความหนาแน่นเส้นใยคาร์บอน-PAN และเส้นใยแกรไฟต์-PAN จะมีค่าประมาณ 1.7 – 2.1 กรัม/ซม.^{3} โดยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 – 10 ไมโครเมตร (μm) กลุ่มเส้นใยคาร์บอนประมาณ 6000 เส้น เรียกว่า โท (tow)

2.4 อีพอกซี่

2.4.1 วิวัฒนาการของอีพอกซี่

อีพอกซี่เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการเกาะยึดกับวัสดุต่าง ๆ ได้ดี สามารถนำเอาไปประยุกต์ใช้กับการซ่อมแซมวัสดุประเภทต่าง ๆ เช่น โลหะ แก้ว กระเบื้อง พลาสติก คอนกรีต และไม้ได้ดี โดยทำเป็นมอร์ตาร์ (Mortar) อุดรูรั่วหรือเชื่อมประสานรอยแตกร้าวของคอนกรีตได้ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของอีพอกซี่ได้เริ่มต้นประมาณปี ค.ศ. 1934 และเริ่มนำมาใช้งานด้านการผลิตภัณฑ์ โดยนักเคมีสวิสเซอร์แลนด์หลังจากนั้นสารอีพอกซี่ก็เริ่มต้นใช้งานในอุตสาหกรรมมากขึ้น ในประมาณปี ค.ศ. 1943 มีการพัฒนามากขึ้นตามความต้องการของตลาด โดยมีการผลิตอีพอกซี่ชนิดใหม่ ๆ มากขึ้นตามความต้องการของการใช้งาน โดยมีบริษัท Union Carbide Co – Operation และบริษัท CIBA ในช่วงนี้มีการใช้งานมากทั้งในยุโรปและอเมริกา ปัจจุบันการพัฒนาเกี่ยวกับสารอีพอกซี่ยังคงดำเนินต่อไปและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ลักษณะของอีพอกซี่

สารอีพอกซี่เกิดจากการผสมกับระหว่างส่วนที่เป็นยาง (Resin) ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่า "Part A" และตัวทำให้แข็ง (Hardener) เรียกโดยทั่วไปว่า "Part B" ส่วนผสมทั้งสองชนิดจะขายแยกกันและมีสีต่างกัน สารอีพอกซี่เป็นสาร Thermosetting plastic กล่าวคือ จะมีความแข็งมากหลังจากการบ่มแล้ว และจะมีกำลังสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการรักษาให้อยู่ในสภาพชื้น สารประกอบอนินทรีย์นี้จะมีความคงทนทั้งทางด้านเคมีและฟิสิกส์ ต้องการความร้อนในการบ่มและแข็งตัว ไม่หลอมเหลวและเป็นฉนวนไฟฟ้าภายหลังจากแข็งตัวแล้ว สารอีพอกซี่เช่นนี้ อาจจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวทำให้แข็ง (Hardener) สารผสมเพิ่ม (Filler) และสารทำให้ยืดหยุ่น (Flexibilizer)

รูปที่ 2.5.แสดงอีพอกซี่ส่วนที่เป็น Part A และ Part B

2.4.3 ชนิดของอีพอกซี่

2.4.3.1 ชนิดของอีพอกซี่ แบ่งโดยลักษณะการใช้งาน

ชนิดของอีพอกซี่ แบ่งชนิดโดยพิจารณาจากลักษณะการใช้งาน โดยทั่วไปมี 3 ชนิดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชนิดที่ I (Type 1) ใช้สำหรับยึดเหนี่ยวคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว (Hardened Concrete) และวัสดุอื่น ๆ กับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว
2. ชนิดที่ 2 (Type 2) สำหรับยึดเหนี่ยววัสดุสำหรับต้านการการไถล (Skid resistant materials) กับคอนกรีตเก่าหรือเป็นตัวเชื่อมประสานในอีพอกซี่มอร์ตา อีพอกซี่คอนกรีต
3. ชนิดที่ 3 (Type 3) สำหรับยึดเหนี่ยวคอนกรีตสดกับคอนกรีตเก่า

2.4.3.2 ชนิดของอีพอกซี่ แบ่งโดยพฤติกรรม

การแบ่งออกเป็นเกรดต่าง ๆ กำหนดโดยอาศัยพฤติกรรม เช่น ความหนืด (Viscosity) และความข้นเหลว (Consistency) ที่ต้องการ เช่น

1. เกรด 1 เป็นวัสดุที่มีความหนืดต่ำ ใช้กับการซ่อมรอยแตกร้าวด้วยการพ่น
2. เกรด 2 เป็นวัสดุที่มีความหนืดปานกลาง ใช้สำหรับงานทั่ว ๆ ไป
3. เกรด3เป็นวัสดุที่มีความหนืดสูงไม่ย้อยตัวขณะใช้งาน (Nonsagging Consistency material) สำหรับใช้กับงานที่อยู่เหนือศีรษะ (Overhead work) หรือ ยึดเหนี่ยวผิวที่ขาดการยึดเกาะ (Nonmoving Surface)

2.4.4 คุณสมบัติทางกลของอีพอกซี่

วิศวกรโยธามักจะพบกับปัญหา ในการเลือกใช้อีพอกซี่ที่เหมาะสม สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงก็คือ คุณสมบัติที่ต้องการในระหว่างการฉีดและหลังจากที่อีพอกซี่แข็งตัวแล้วทั้งนี้จะสัมพันธ์ถึงความหนืดในระหว่างการฉีด ผลกระทบของอุณหภูมิในระหว่างการฉีด ระยะเวลาในการบ่ม ช่วงเวลาในการที่จะมีความเพิ่มความหนืดอย่างรวมเร็ว (Gelling time) การหดตัวระหว่างการบ่ม

ในระหว่างสารอีพอกซี่หลายชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปเป็นความรับผิดชอบของวิศวกร ที่จะเลือกว่าชนิดใดจะเหมาะที่สุดในการซ่อมแซมรอยแตกร้าวของคอนกรีต โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารอีพอกซี่ อีพอกซี่จะมีกำลังลดลงเมื่อโดนความร้อน และมีจุดหลอมเหลวประมาณ 4 -500 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 งานที่เหมาะสมในการใช้อีพอกซี่เป็นตัวประสาน มีดังนี้

1. ใช้เป็นตัวต้านทานการเสียดทานและปกคลุมผิวหน้าของพื้นคอนกรีต
2. เป็นตัวป้องกันการซึมผ่านของน้ำ
3. เป็นสารประกอบที่ใช้ปะผิวหน้าต่าง ๆ เพื่อทำการซ่อมแซม
4. อุดรอยร้าวและเชื่อมรอยต่อต่าง ๆ
5. ใช้เป็นตัวประสานระหว่างคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วให้ติดกับคอนกรีตเดิม
6. ใช้อัดเข้าไปตามช่องว่างแทนการอัดน้ำปูน
7. ให้ทำเครื่องหมายจราจร ทาป้องกันผิวคอนกรีตจากการสึกกร่อน เนื่องจากสารเคมี
8. ยึดเหล็กหรือโลหะอื่น ๆ ให้ติดกับคอนกรีต
9. รับแรงเฉือน สำหรับโครงสร้างสำเร็จรูป

2.4.6 ข้อดีและข้อเสียของอีพอกซี่

1. ข้อดี

1. มีแรงยึดเกาะ (Cohesion) ภายในตัวเองสูงมาก เมื่อมีการบ่มให้ถูกวิธีซึ่งจะทำให้ยึดเกาะกับวัสดุอื่นได้ดี
2. เนื่องจากในอีพอกซี่จะมีสารพวก Epoxide, Hydroxyl, Amine และอื่น ๆ ซึ่งทำให้อีพอกซี่มีคุณสมบัติในการยึดเกาะระหว่างผิววัสดุต่างชนิดกันได้เป็นอย่างดี
3. มีความสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 500 F
4. มีความแข็งแรงมาก (100% Solid) เมื่อแข็งตัวแล้วจะเสมือนหนึ่งของแข็ง
5. มีการยึดเกาะหด ขยายตัวต่ำมาก (Low Shrinkage) ประมาณ 1%
6. มีการคืบตัวน้อย
7. ต้านทานความชื้นและการทำละลาย
8. มีความต้านทานทางเคมีสูง

2. ข้อเสีย

1. บางชนิดเป็นพิษต่อร่างกาย คือทำให้เกิดอาการอักเสบต่อผิวหนังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

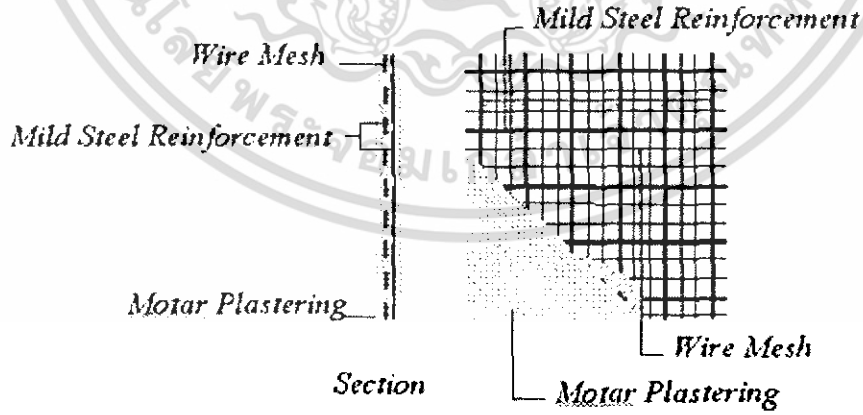
2. ราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ

2.4.7 การประยุกต์ใช้อีพอกซี่

อีพอกซี่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยใช้เคลือบเพื่อป้องกันการขูดขีดและป้องกันกรด ด่าง สารเคมี รวมทั้งเคลือบตกแต่งต่างๆ เพราะอีพอกซี่มีคุณสมบัติที่ดีในความเหนียวแน่น สมบัติเชิงกลดีและทนทานต่อสารเคมี ที่ใช้ประโยชน์กันโดยทั่วไป ได้แก่ การใช้เคลือบตัวถังรถยนต์ เครื่องมือ ของใช้ที่สำคัญๆ เป็นต้น ในด้านงานโยธาจะนำมาใช้ซ่อมแซมอาคารคอนกรีตที่แตกร้าว

2.5 การใช้เหล็กเส้นตะแกรงสำหรับงานคอนกรีต

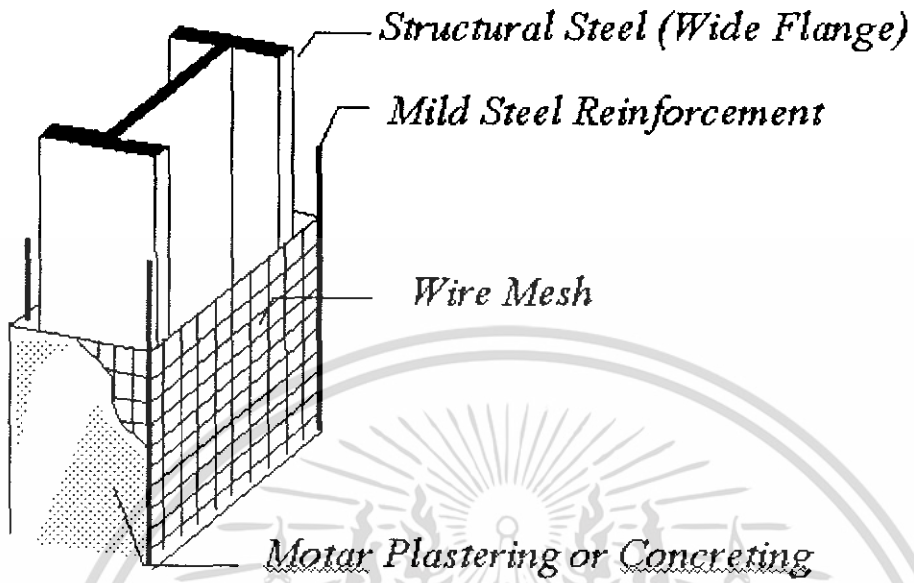
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการรับแรงดึงที่ต่ำมาก และแม้ว่าในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้เหล็กเสริมหลักในการรับแรงดึงที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง ที่บริเวณผิวของโครงสร้างก็อาจเกิดรอยแตกร้าวขึ้นได้ อันจะทำให้ความแข็งแรงทนทานของโครงสร้างลดลง ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะลดรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่ผิวของโครงสร้างเหล่านี้ขึ้น โดยการใช้วัสดุที่มีความสามารถในการรับแรงดึงสูงปูที่บริเวณผิวของโครงสร้างเพื่อรับแรงดึงที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้ วัสดุที่นิยมใช้มากชนิดหนึ่งก็คือ เหล็กตะแกรง (Wire Mesh) ซึ่งสามารถลดรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพในแทบทุกโครงสร้าง ตัวอย่างของเหล็กตะแกรงในโครงสร้างต่างๆเป็นดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.6. แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Wire mesh ในงาน Ferrocement

(www.thaiengineering.com/sourch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62814



รูปที่ 2.7.แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Wire mesh หุ้มองอาคารเหล็ก

(www.thaiengineering.com/sourch)

2.6 อีพอกซี่เสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอน

วัสดุผสมเส้นใยคาร์บอน ส่วนที่เป็นเส้นใยคาร์บอนเป็นตัวช่วยให้คุณสมบัติทนต่อแรงดึงได้สูงและมีความแข็งสูง ขณะที่ตัวอีพอกซี่เป็นตัวยึดเส้นใยและช่วยให้ทนทานต่อแรงกระแทกอีกด้วย ข้อได้เปรียบที่สำคัญที่สุดของเส้นใยคาร์บอนก็คือ มีความแข็งแรงและมีมอดูลัสอีลาสติกซิตีสูงมาก รวมทั้งมีความหนาแน่นต่ำ ด้วยเหตุผลเหล่านี้วัสดุผสมเส้นใยคาร์บอนจึงนำมาใช้แทนโลหะ ซึ่งช่วยลดน้ำหนักเป็นอย่างดี

2.7 การประยุกต์ใช้เส้นใย (Fiber) ในงานคอนกรีต

ถึงแม้ว่าจะมีการแก้ปัญหาการแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการใช้เหล็กตะแกรงหรือ Wire Mesh แล้วก็ตาม แต่ก็มิได้เป็นการเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงแต่อย่างใด ทำให้ไม่สามารถควบคุมการแตกร้าวในคอนกรีตได้ทั้งหมด นอกจากนี้การใช้เหล็กตะแกรงยังเป็นการเพิ่มขั้นตอนในการก่อสร้างอีก ทำให้ใช้เวลาในการก่อสร้างมากขึ้นและเพิ่มต้นทุนในการก่อสร้างใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของค่าแรงและค่าวัสดุด้วย จึงมีการพัฒนาเทคนิคการใช้เส้นใย เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีตขึ้น โดยเส้นใยที่ใช้มีหลายประเภทด้วยกัน

2.8 การประยุกต์ใช้เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) ในงานซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต

เส้นใยคาร์บอนเป็นวัสดุอีกประเภทหนึ่งที่มีกำลังรับแรงดึงได้สูง แต่มีราคาแพง เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้การนำไปใช้งานยังอยู่ในขอบเขตที่จำกัด คือ การนำไปใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างที่ชำรุดเท่านั้น สำหรับการซ่อมแซมโครงสร้างที่ชำรุดจะใช้เส้นใยคาร์บอนในลักษณะที่เป็นแผ่นหรือเป็นแถบ ซึ่งการนำเส้นใยคาร์บอนไปใช้ลักษณะนี้ทำให้ไม่สามารถใช้งานเส้นใยคาร์บอนไม่เต็มประสิทธิภาพและเป็นการสิ้นเปลือง จึงมีการนำเส้นใยคาร์บอนมาทำให้เป็นตาข่าย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเส้นใยคาร์บอนและให้โครงสร้างสามารถรับแรงดึงได้มากขึ้นอีกทั้งยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย

รูปที่ 2.8.แสดง ลักษณะการนำเส้นใยคาร์บอนไปใช้ในงานซ่อมคานที่ชำรุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9. แสดงลักษณะการนำเส้นใยคาร์บอนไปใช้ในงานซ่อมพื้นที่ชำรุด

2.9 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีตโดยวิธี Flexural Tensile Test

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดจะนำค่าแรงประลัยไปหาค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture) ซึ่งหาได้ตามสมการ (2.1.)

$$R = \frac{PL}{bd^2} \qquad (2.1.)$$

R = โมดูลัสการแตกร้าว (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P = น้ำหนักกดสูงสุด (กิโลกรัม)

L = ความยาวของคาน (เซนติเมตร)

b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน(เซนติเมตร)

d = ความลึกเฉลี่ยของคาน(เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแผ่นพื้นมักจะต้องรับโมเมนต์ที่เกิดจากแรงกระทำภายนอกและแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักกระทำของแผ่นพื้น ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นพื้นจะทดสอบความสามารถต้านทานแรงดัดเป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

คุณสมบัติเชิงกลเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ ซึ่งมีความแตกต่างกันไปในวัสดุแต่ละชนิด เราจะต้องศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เพื่อสามารถนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในบทนี้จะกล่าวถึงการเตรียมตัวอย่างและศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยคาร์บอน,เหล็กเส้นกลม, อีพอกซี่, แผ่นพื้นคอนกรีต, แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน, แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก,แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ และแผ่นพื้นคอนกรีตฉาบด้วยอีพอกซี่โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก., ASTM และ British Standard

3.1.การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ในการการออกแบบโครงสร้างผู้ออกแบบจะใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตค่าหนึ่งในการออกแบบ และใช้ค่านี้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตเรียกว่ากำลังต่ำสุด(Minimum Strength) โดยจะออกแบบให้คอนกรีตมีกำลังเท่ากับกำลังต่ำสุดเลยไม่ได้ เพราะในการผลิตคอนกรีตนั้นค่ากำลังจะไม่คงที่ขึ้นอยู่กับการควบคุมคุณสมบัติและสัดส่วนของวัสดุตลอดจนการผลิต ดังนั้นการออกแบบส่วนผสมจะมุ่งไปที่กำลังเฉลี่ย (Mean Strength) ซึ่งสูงกว่ากำลังต่ำสุด โดยจะเผื่อค่าความผันแปรดังกล่าวไว้ ซึ่งถ้าการควบคุมการผลิตคอนกรีตไม่ดีจะทำให้ค่ากำลังแปรผันมากทำให้ต้องออกแบบให้กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตมีค่าสูงซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีราคาแพง

ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตเราจะต้องทราบค่าแปรผันนี้จากข้อมูลเดิมของผู้ที่ทำการผลิต ถ้าข้อมูลมีมากจะทำให้การออกแบบส่วนผสมมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งโดยทั่วๆ ไปมักจะกำหนดเอาค่ากำลังเฉลี่ยของแท่งทดสอบต่ำกว่ากำลังต่ำสุดเป็นจำนวนร้อยละห้าและร้อยละหนึ่ง

การผสมปูนซีเมนต์, ทราย, หิน และน้ำ ตามอัตราส่วนที่กำหนดเพื่อให้เป็นคอนกรีตที่มีคุณภาพได้นั้น ต้องทำการผสมให้ถูกต้องจะได้มีความสามารถรับกำลังตามที่ต้องการได้ แม้ว่าการออกแบบส่วนผสมจะมีวัสดุที่คุณภาพดีอย่างไรก็ตาม ถ้าการผสมทำได้ไม่ถูกต้องก็มีผลทำให้คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียกำลังไปได้และการตวงส่วนผสมให้ถูกต้องมีคุณภาพควรตวงแบบน้ำหนักมากกว่าการตวงแบบปริมาตรเพราะการตวงแบบปริมาตรมีการผิดพลาดของวัสดุมากกว่า

การทดลองนี้ต้องการคอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยกำหนดให้

- โอกาสที่คอนกรีตตัวอย่างที่มีกำลังต่ำกว่าที่ออกแบบไว้มีจำนวนไม่เกิน 5 % (k=1.645)
- ค่า s = 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ = 3.15
- มวลรวมหยาบขนาดโตสุดเท่ากับ = 20 มิลลิเมตร มีความถ่วงจำเพาะ = 2.70 ค่าการดูดซึม = 0.5% และมีหน่วยน้ำหนัก (แห้งและอัดแน่น) เป็น 1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะ = 2.60 ค่าการดูดซึม = 2.7% และมีโมดูลัสความละเอียด = 2.80

<u>ขั้นตอนการออกแบบ</u>

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. กำลังที่ต้องผลิต = $f_c^{'} + ks$

   $= 240 + (1.645 \times 30) = 290$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2. ใช้ขนาดมวลรวมโตสุด 20 มิลลิเมตร ค่ายุบตัว 8-10 เซนติเมตร ไม่ใช้สารกักกระจายฟองอากาศจะได้ปริมาณน้ำเท่ากับ 200 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร
3. กำลังคอนกรีต = 290 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 0.56
4. ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการเท่ากับ $\frac{200}{0.56} = 357$ กิโลกรัม
5. ปริมาณมวลรวมหยาบ

   เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียดเท่ากับ 2.80

   ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเท่ากับ 20 มิลลิเมตร

   $\therefore$ ปริมาตรของมวลรวมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นเท่ากับ 0.62 ลูกบาศก์เมตร

   น้ำหนักของหินเท่ากับ 1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

   $\therefore$ น้ำหนักมวลรวมหยาบที่ใช้เท่ากับ 0.62 x 1600 = 992 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปริมาณมวลรวมละเอียด

ปริมาณน้ำเท่ากับ	$\frac{200}{1.3}$	=	0.20 ลูกบาศก์เมตร
ปริมาณซีเมนต์เท่ากับ	$\frac{357}{3.15\times10^{3}}$	=	0.113 ลูกบาศก์เมตร
ปริมาตรมวลรวมหยาบเท่ากับ	$\frac{992}{2.7\times10^{3}}$	=	0.367 ลูกบาศก์เมตร
ฟองอากาศเท่ากับ	0.02 x 1	=	0.020 ลูกบาศก์เมตร
∴ ปริมาตรส่วนผสมทั้งหมด (ยกเว้นทราย)		=	0.70 ลูกบาศก์เมตร
ปริมาตรทรายที่ต้องใช้เท่ากับ	1 – 0.7	=	0.30 ลูกบาศก์เมตร
ปริมาณทรายแห้งเท่ากับ	$0.3 \times 2.6 \times 10^{3}$	=	780 กิโลกรัม

7. ส่วนผสมคอนกรีตใน 1 ลูกบาศก์เมตร เป็นดังนี้

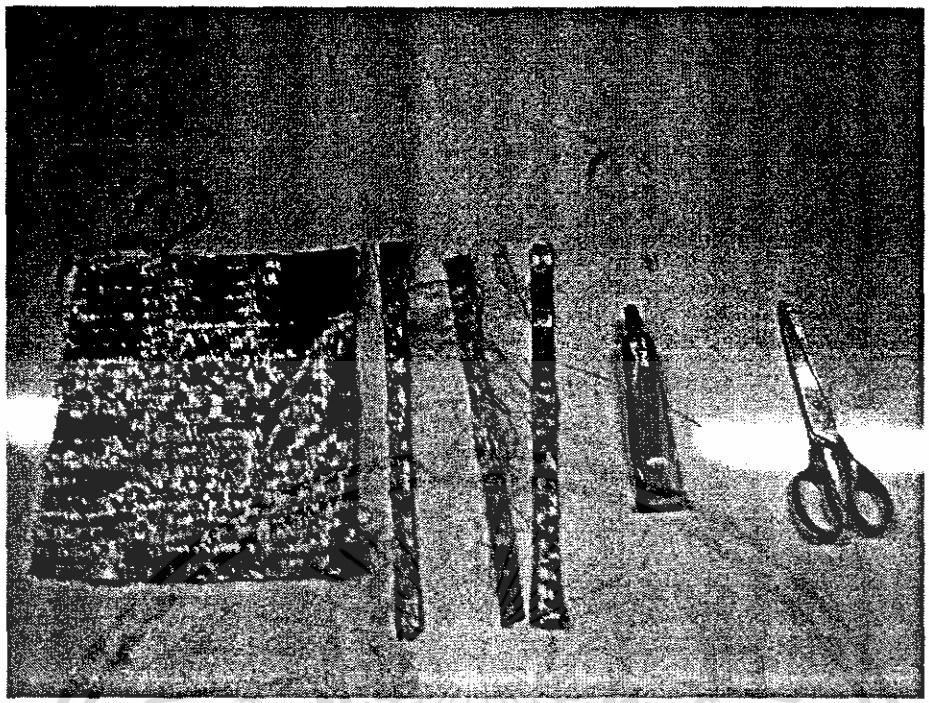
ซีเมนต์	=	357	กิโลกรัม
น้ำ	=	200	กิโลกรัม
ทราย	=	780	กิโลกรัม
หิน	=	992	กิโลกรัม
∴ น้ำหนักรวมทั้งหมด	=	2329	กิโลกรัม

3.1.2. การเตรียมตัวอย่างเส้นใยในลักษณะของตาข่าย

<u>วัสดุและอุปกรณ์</u>

1. แผ่นเส้นใยคาร์บอน
2. กรรไกร
3. กาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.แสดงวัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมตาข่ายเส้นใย

<u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

1.ใช้กรรไกรตัดเส้นใยคาร์บอนตามแนวความยาวของเส้นใยคาร์บอนโดยการตัดนั้นจะตัดให้มีขนาดความกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร ซึ่งแผ่นเส้นใยคาร์บอนจะมีเส้นซึ่งเส้นนี้ใช้สำหรับยึดเส้นใยคาร์บอนให้เป็นแผ่นใหญ่การตัดจะตัดตามแนวเส้นนี้

2.ตัดเส้นใยคาร์บอนให้มีความยาว 2 แบบคือ แบบที่ 1 ตัดให้มีความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร จำนวน 576 เส้น และ แบบที่ 2 ตัดให้มีความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร จำนวน 240 เส้น

3.วางเส้นใยคาร์บอนตามแนวเส้นบนแบบที่ตีเส้นไว้ซึ่งเส้นแต่ละเส้นจะมีระยะห่าง 5, 10, 15และ20 เซนติเมตร

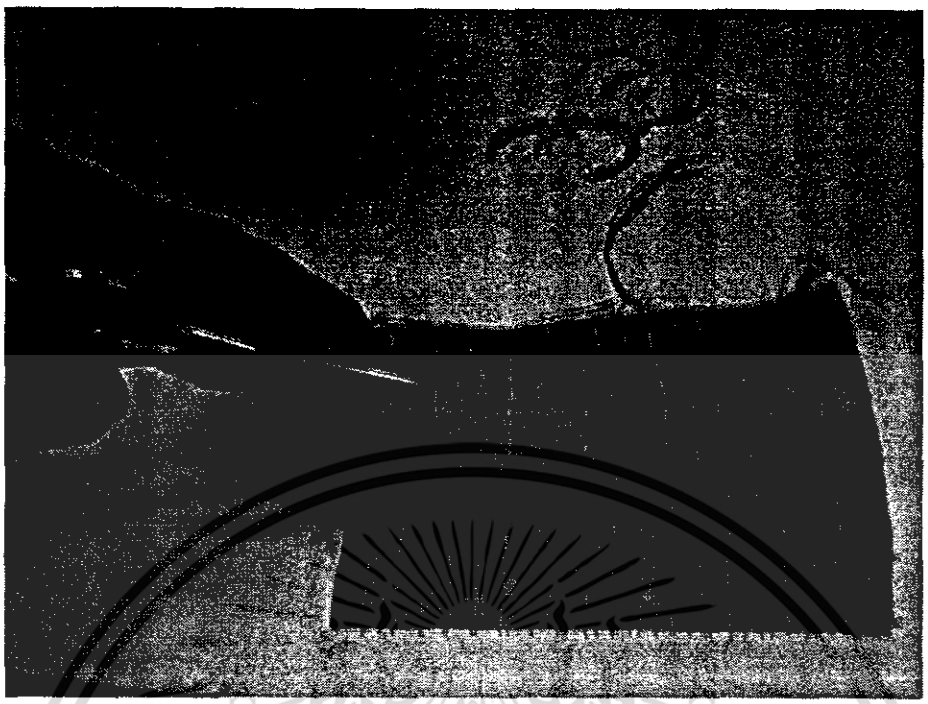
4.ทากาวบนเส้นใยคาร์บอนเพื่อให้เส้นใยคาร์บอนตามขวางและเส้นใยคาร์บอนตามยาวยึดติดกันควบคุมปริมาณกาวอย่าให้มากหรือน้อยจนเกินไป

5. เรียงเส้นใยคาร์บอนจนครบตามแนวเส้นที่ขีดไว้

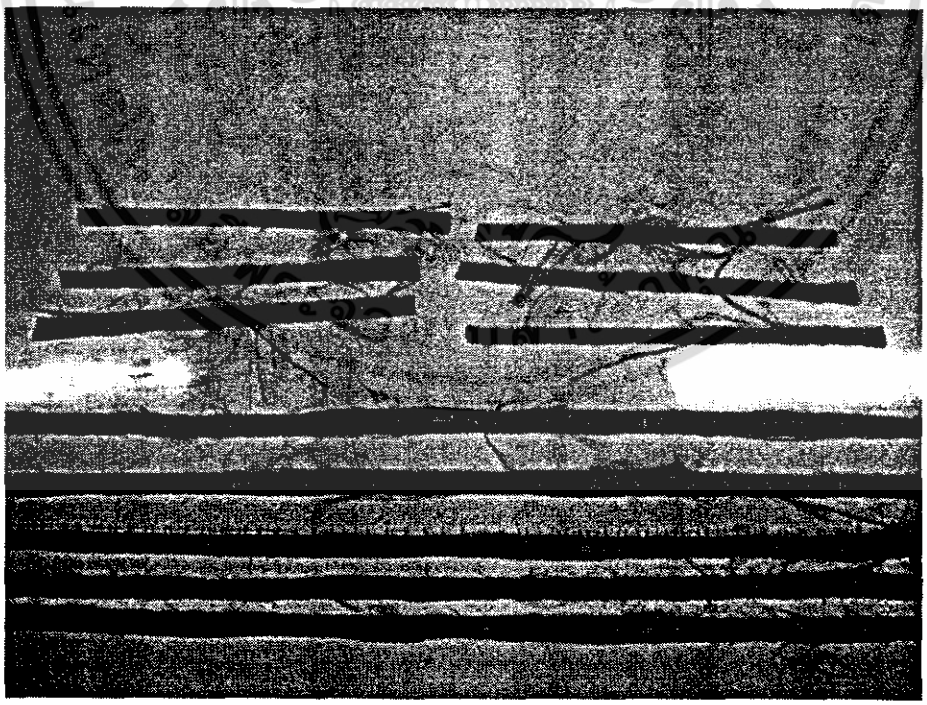
6. ถักตาข่ายเส้นใยคาร์บอนแต่ละระยะห่างละ 3 ชุด

7. นำตาข่ายเส้นใยคาร์บอนแต่ละแผ่นไปชั่งหาน้ำหนัก เพื่อควบคุมปริมาณเส้นใยของตาข่ายแต่ละแบบให้มีปริมาณใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

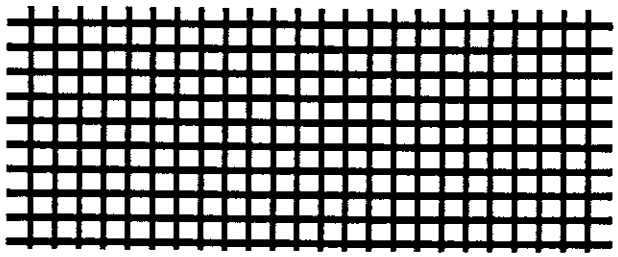


รูปที่ 3.2.แสดงการตัดเส้นใยคาร์บอน

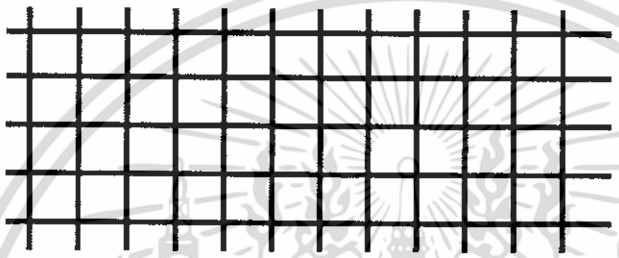


รูปที่ 3.3.แสดงลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ตัดเป็นแถบแล้ว

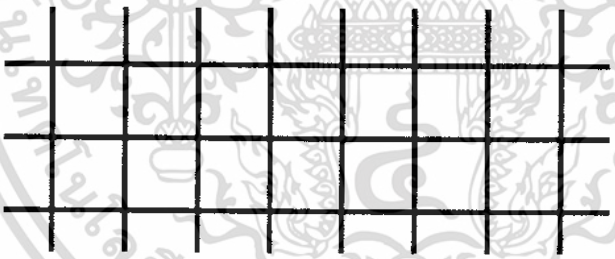
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



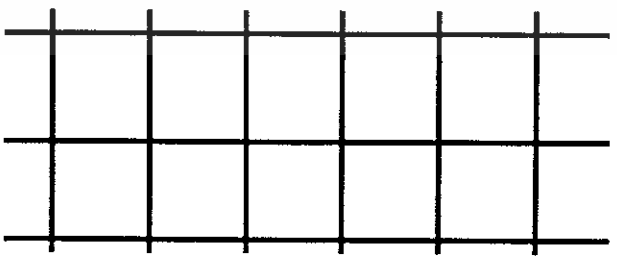
รูปที่ 3.4. แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะ @ 5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.5.แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะ @ 10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.6. แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะ @ 15 เซนติเมตร



รูปที่ 3.7.แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะ @ 20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3. การออกแบบแผ่นพื้นสำหรับการทดสอบ

กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

ขนาดของพื้นคอนกรีต 1.20 x 0.45 x 0.075 ม.

ค่าการอัดประลัยของคอนกรีต fc = fc' = 240 ksc

กำลังการรับแรงดึงของเหล็ก fs = fy = 2400 ksc

กำลังการรับแรงดึงของเส้นใยคาร์บอน = 10620 ksc

การคำนวณการเสริมเหล็กหรือเส้นใยคาร์บอนให้เป็นกรณีของ Single Reinforce คือ Tensil Stress Control

ค่า elastic modulus ของคอนกรีต เหล็ก และเส้นใยคาร์บอน

$$E_c = 15{,}210\sqrt{fc'}$$
$$= 2.20\times10^{5} \text{ ksc}$$

$$Es = 2.01\times10^{6} \text{ ksc}$$

$$Ecarbon = 2.3\times10^{6} \text{ ksc}$$

หาค่า n

$$n_s = \frac{Es}{Ec} = 9.14$$

$$n_{\text{เส้นใยคาร์บอน}} = \frac{Ef}{Ec} = 10.45$$

หาค่า k

$$k_s = \frac{nfc}{nfc + fs} = 0.475$$

$$k_f = \frac{nfc}{nfc + f_f} = 0.191$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า j

$$j_s = 1 - \frac{k}{3} = 0.842$$

$$j_f = 1 - \frac{k}{3} = 0.936$$

หาค่า R

$$R_s = \frac{1}{2} f_c kj = 47.99$$

$$R_f = \frac{1}{2} f_c kj = 21.45$$

การคำนวณให้ค่าโมเมนต์ที่สามารถรับได้ของคอนกรีตเท่ากับค่าโมเมนต์ที่สามารถรับได้ของเส้นใยคาร์บอนและตะแกรงเหล็ก

$$M_{max} = M_c = Rbd^2$$

ดังนั้นต้องเสริมเหล็ก เพื่อให้

$$A_s f_s (jd) < Rbd^2$$

$$\therefore A_s < \frac{Rbd^2}{f_s jd}$$

$$As < 5.34 cm^2$$

$$\therefore A_f < \frac{Rbd^2}{f_f jd}$$

$$A_f < 0.485 cm^2$$

นั่นคือ ต้องเสริมเหล็กไม่เกิน 5.34 ตารางเซนติเมตร

ต้องเสริมเส้นใยคาร์บอนไม่เกิน 0.485 ตารางเซนติเมตร

3.2. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

3.2.1. คุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเส้นใยคาร์บอนจะเป็นการทดสอบการรับแรงดึงเป็นหลัก เนื่องจากเส้นใยคาร์บอนจะมีลักษณะลื่นทำให้การจับเส้นใยทำได้ยาก จึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับจับเป็นพิเศษดังแสดงใน รูปที่ 3.8.

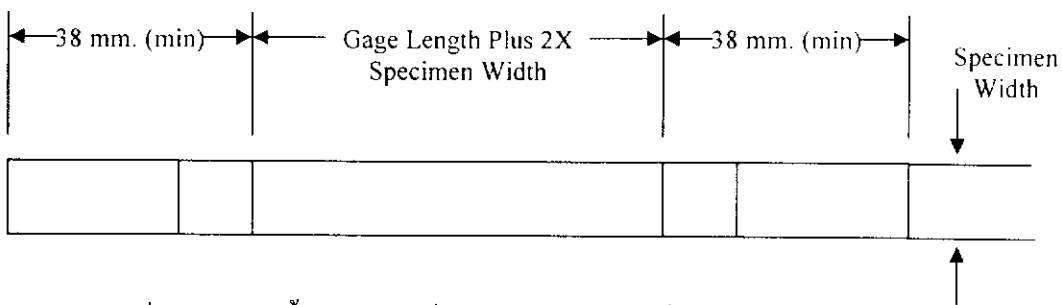
รูปที่ 3.8. แสดงการจับเส้นใยคาร์บอนเพื่อทำการทดสอบหาแรงดึง

<u>วัสดุและอุปกรณ์</u>

1. Micrometers
2. Testing Machine
3. Fixed member
4. Grips
5. Strain
6. Extension Indicator

<u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะนำแผ่นเส้นใยคาร์บอนมาตัดให้ได้ขนาดดังรูปที่ 3.9.



รูปที่ 3.9. แสดงชิ้นส่วนวัสดุที่ใช้สำหรับทดสอบเพื่อหากำลังรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10.เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึงของเส้นใยคาร์บอน

การทดสอบ

สำหรับการทดสอบการต้านทานแรงดึงใช้มาตรฐาน ASTM D-3039 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบ
2. เปิดเครื่องทดสอบโดยควบคุมความเร็วในการดึงตัวอย่างให้มีอัตราสม่ำเสมอประมาณ 16.7 – 33.4 เมตรต่อนาที
3. คำนวณหาแรงดึงจาก สมการที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = \frac{P}{bd} \qquad (3.1)$$

S = ultimate tensile strength (เมกกะปาสคาล)

P = maximum load (นิวตัน)

B = ความกว้าง (เมตร)

D = ความหนา (เมตร)

3.2.2. คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเส้น

การทดสอบแรงดึงของเหล็กเส้นเนื่องจากแรงดึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กเส้น ซึ่งค่าของแรงดึงนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณและออกแบบงานคอนกรีตเสริมเหล็กต่างๆ มาตรฐานที่ใช้สำหรับการทดสอบ คือ มอก. 20-2543 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม

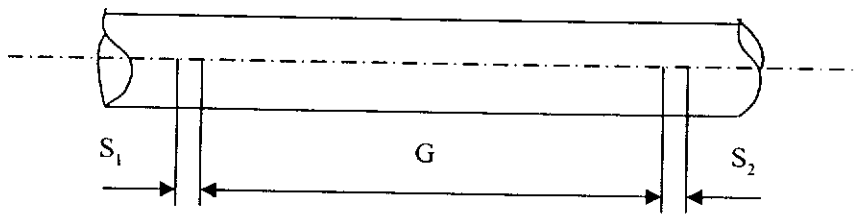
<u>วัสดุและอุปกรณ์</u>

1. เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. เครื่องวัดความยาว
4. เหล็ก RB6 จำนวน 3 เส้น

<u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

1. เตรียมชิ้นทดสอบโดยชิ้นทดสอบต้องเป็นไปตามสภาพเดิมของเหล็กเส้นโดยไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนแต่อย่างใด
2. ตัดเหล็กเส้นให้มีความยาวเท่ากับ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง
3. จับยึดชิ้นทดสอบที่มีความยาวพิกัดและระยะห่างระหว่างหัวจับกับจุดพิกัด ตามรูปที่ 3.11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.11. แสดงระยะการยึดเหล็กเส้นเพื่อใช้ในการทดสอบ

เมื่อ G คือ ความยาวพิกัด เท่ากับ 5D

S_1 และ S_2 คือ ระยะห่างระหว่างหัวจับกับจุดพิกัด ไม่น้อยกว่า 0.25D

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง

<u>การทดสอบ</u>

การทดสอบใช้มาตรฐานการทดสอบตาม มอก. 244 เล่ม 4-2525 (การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า เล่ม 4 การทดสอบเหล็กกล้าโดยการดึง)

1. วัดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างและบันทึกค่า
3. ขีดเส้นที่เหล็กเส้นเพื่อวัดการยืดตัว
4. นำเหล็กเส้นเข้าเครื่องทดสอบ ตรวจสอบการยึดจับให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะทดสอบ
5. เปิดเครื่องทดสอบ โดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักการดึงให้มีอัตราสม่ำเสมอ
6. ดึงตัวอย่างทดสอบจนขาด บันทึกค่าแรงที่ได้ นำค่าแรงดังกล่าวและพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่ได้มาหาค่าความต้านทานแรงดึงตามสมการ 3.2.

$$\text{ความต้านทานแรงดึง} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)}}{\text{พื้นที่ภาคตัดขวาง (ตารางมิลลิเมตร)}} \qquad (3.2.)$$

หน่วยที่ใช้วัดทั่วไปคือ เมกกะพาสคาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3. การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต (Compressive Strength Test)

กำลังต้านทานแรงอัดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต เนื่องจากพบว่ากำลังต้านทานหรือการรับแรงแบบอื่นของคอนกรีต เช่น กำลังต้านทานแรงดึง, กำลังต้านทานแรงดัด, กำลังต้านทานแรงเฉือนและกำลังต้านแรงยึดเหนี่ยวล้วนเป็นสัดส่วนกับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต และด้วยเหตุที่กำลังต้านทานแรงอัดมีค่ามากกว่ากำลังต้านทานแรงดึงหลายเท่า ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจึงออกแบบโดยพิจารณาให้คอนกรีตรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว ส่วนแรงดึงที่เกิดขึ้นจะให้เสริมเหล็กซึ่งหล่ออยู่ในคอนกรีตทำหน้าที่ต้านทาน

<u>วัสดุและอุปกรณ์</u>

1. เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. ถัง
4. แบบหล่อมาตรฐานขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร จำนวน 18 อัน
5. เกรียงเหล็ก
6. พลั่ว
7. ช้อนตัก
8. เหล็กตำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายกลมมน
9. คอนกรีตกำลังอัดประลัย 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

<u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

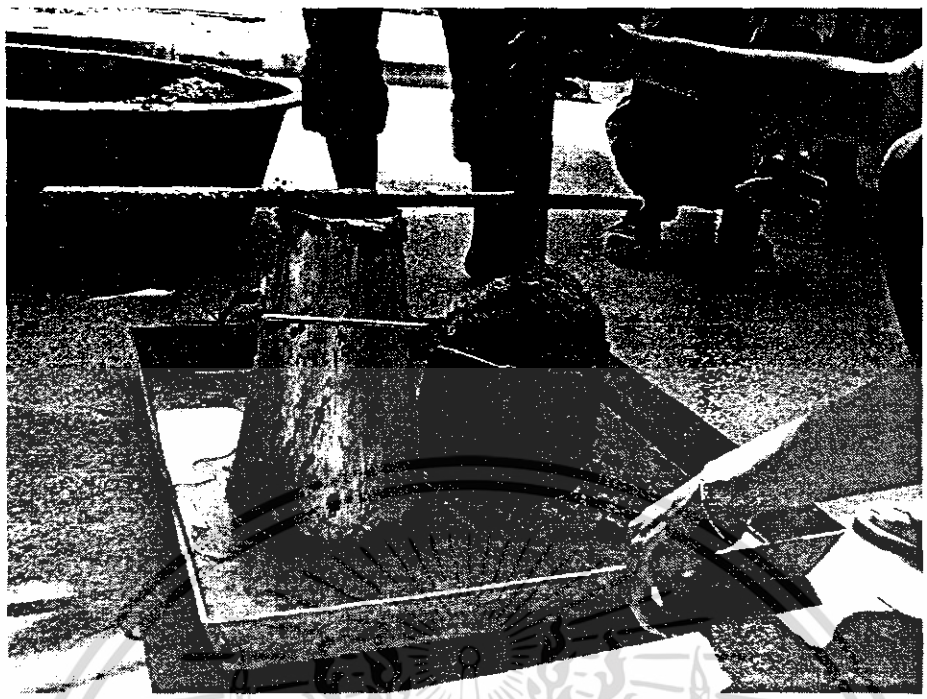
ใช้มาตรฐาน BS 1881 : PART 3 ; Method of Making and Specimens. โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมแบบหล่อก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15เซนติเมตร ทำความสะอาดและทาน้ำมัน
2. นำคอนกรีตที่เตรียมไว้มาตักใส่ในแบบหล่อจำนวน 18 ตัวอย่าง สำหรับทดสอบกำลังอัดที่ 1, 3, 7, 14, 21, 28 วัน การตักคอนกรีตจะแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆ กัน แต่ละชั้นให้ตำด้วยเหล็กตำ 35 ครั้ง เมื่อตำชั้นสุดท้ายเสร็จปาดผิวหน้าให้เรียบด้วยเกรียง
3. ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในบ่อบ่มตามเวลาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12. เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13. แสดงการตรวจสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

รูปที่ 3.14.แสดงการแตรียมแบบหล่อคอนกรีตสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15. แสดงการตำคอนกรีตสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบ

การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดใช้มาตรฐาน BS 1881-116:1983; Standard Test Methods for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes. โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. วัดและบันทึกค่าความสูง ความกว้าง และความยาวของก้อนตัวอย่างทดสอบ
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทดสอบและบันทึกค่า
3. นำแท่งตัวอย่างวางบนกึ่งกลางของแท่นทดสอบโดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด
4. เปิดเครื่องทดสอบ โดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอประมาณ 1.4 –3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
5. กดแท่งตัวอย่างจนพัง บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ นำค่าน้ำหนักดังกล่าวและพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่ได้มาหาค่ากำลังอัดประลัยตาม สมการ 3.3.

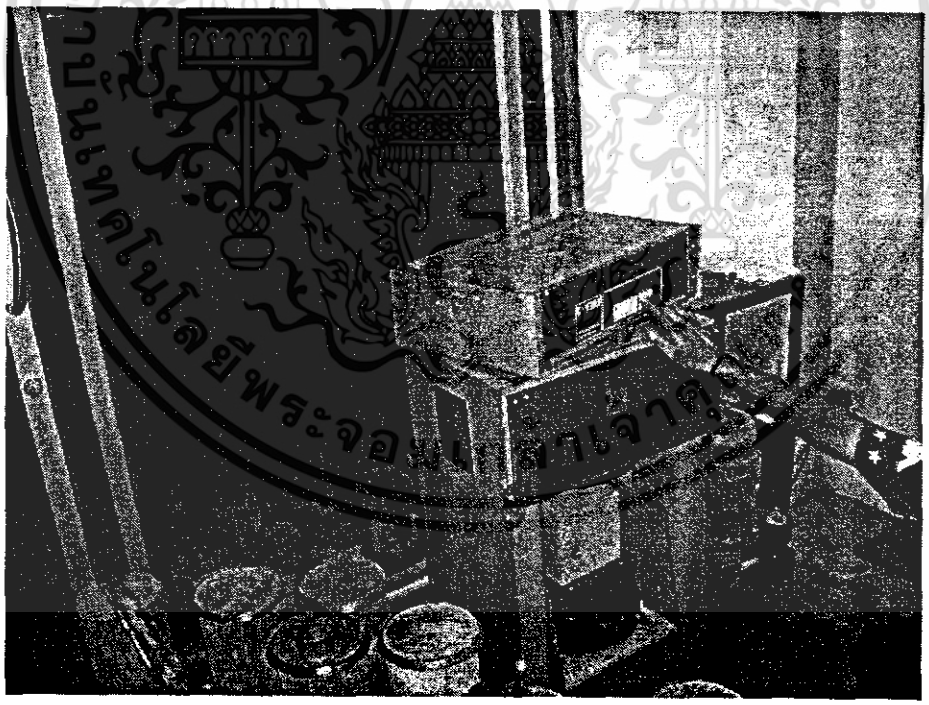
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}} \qquad (3.3.)$$

หน่วยที่ใช้วัดทั่วไป คือ

1. กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Ksc.)
2. นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร. (N/mm^2)

รูปที่ 3.16. แสดงก้อนตัวอย่างรูปลูกบาศก์



รูปที่ 3.17. แสดงการทดสอบคอนกรีตรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตล้วน, คอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนในลักษณะต่างๆ โดยวิธี(Flexural Strength Test)

แผ่นพื้นในปัจจุบันมักเสริมด้วยเหล็กเส้นซึ่งการใช้เหล็กเส้นยังมีข้อด้อยอยู่หลายประการเช่น การจัดเก็บเหล็กเส้นต้องใช้พื้นที่มาก,ต้องจัดเก็บในที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก, เหล็กที่ใช้ต้องไม่เป็นสนิม, น้ำหนักมาก, การขนย้ายลำบาก, เป็นต้น ถ้าสามารถนำวัสดุที่มีความสามารถรับแรงดึงได้ดี, ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ, น้ำหนักเบา, สามารถม้วนหรือพับเก็บได้ทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการเก็บมาใช้แทนเหล็กเส้นได้จะเกิดความสะดวกในการทำงานมากยิ่งขึ้น "เส้นใยคาร์บอน" ซึ่งปรกติจะใช้ในงานซ่อมแซมคอนกรีต เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น และจะเป็นการดีไม่น้อยหากสามารถใช้เส้นใยคาร์บอนในลักษณะของตาข่ายแทนการใช้เส้นใยคาร์บอนในลักษณะเป็นแผ่นหรือแถบในงานซ่อมแซมคอนกรีตเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

โดยปรกติแผ่นพื้นมักจะต้องรับโมเมนต์ที่เกิดจากแรงกระทำภายนอกและแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของแผ่นพื้นเอง ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นพื้นจะทดสอบความสามารถต้านทานแรงดัดเป็นสำคัญ

<u>วัสดุและอุปกรณ์</u>

1. เครื่อง UTM (Universal Testing Machine)
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. คอนกรีตกำลังอัดประลัย 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
4. แบบหล่อพื้นขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075
5. เกรียงเหล็ก
6. พลั่ว
7. ช้อนตัก
8. เหล็กตำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายกลมมน
9. กระบะ
10. เส้นใยคาร์บอน
11. เหล็ก RB6

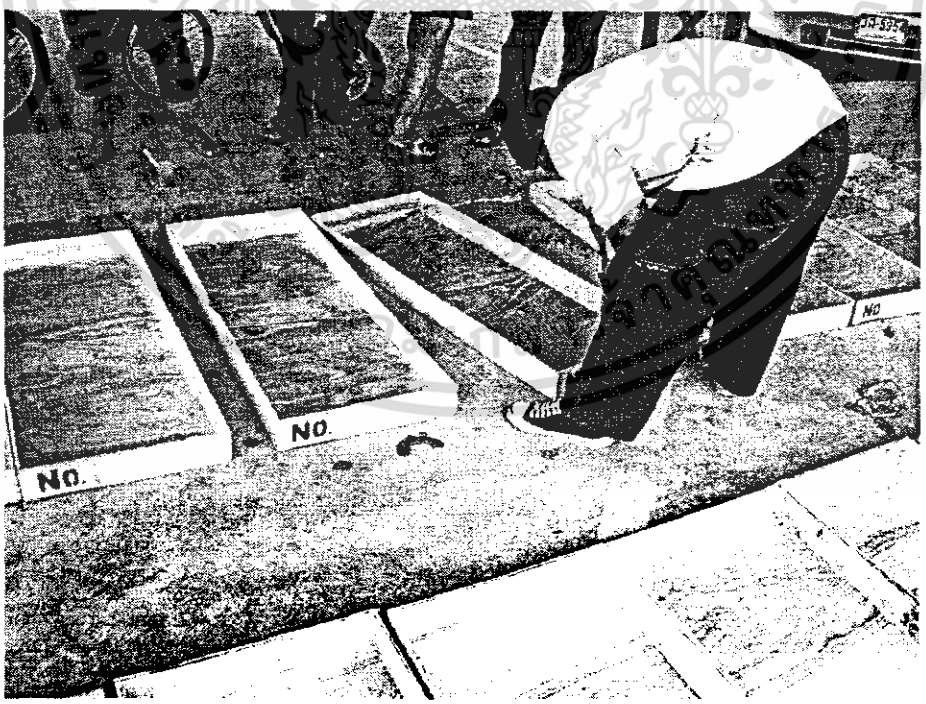
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมตัวอย่าง

การทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตลักษณะตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบแบ่งเป็น 6 กรณีคือ พื้นคอนกรีตล้วน, พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก, พื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนไว้ด้านในลักษณะเป็นตาข่าย, พื้นคอนกรีตฉาบด้วยอีพอกซี่, พื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนไว้ด้านนอกในลักษณะเป็นตาข่ายฉาบด้วยอีพอกซี่และพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนไว้ด้านนอกในลักษณะเป็นแผ่น ฉาบด้วยอีพอกซี่ การเตรียมตัวอย่างแผ่นพื้นมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังนี้

กรณี 1 การเตรียมตัวอย่างพื้นคอนกรีตล้วน

1. เตรียมแบบหล่อพื้นขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตร ทำความสะอาดและทาน้ำมัน
2. เทคอนกรีตลงในแบบหล่อโดยแบ่งการเทออกเป็นสองชั้นๆละเท่าๆกันแต่ละชั้นต้องตำด้วยเหล็ก ตำให้ทั่ว
3. ปาดหน้าแผ่นพื้นให้เรียบ
4. หล่อพื้นคอนกรีตล้วนจำนวน 3 ตัวอย่าง
5. ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปบ่มโดยการคลุมด้วยกระสอบและรดน้ำเป็นเวลา 28 วัน

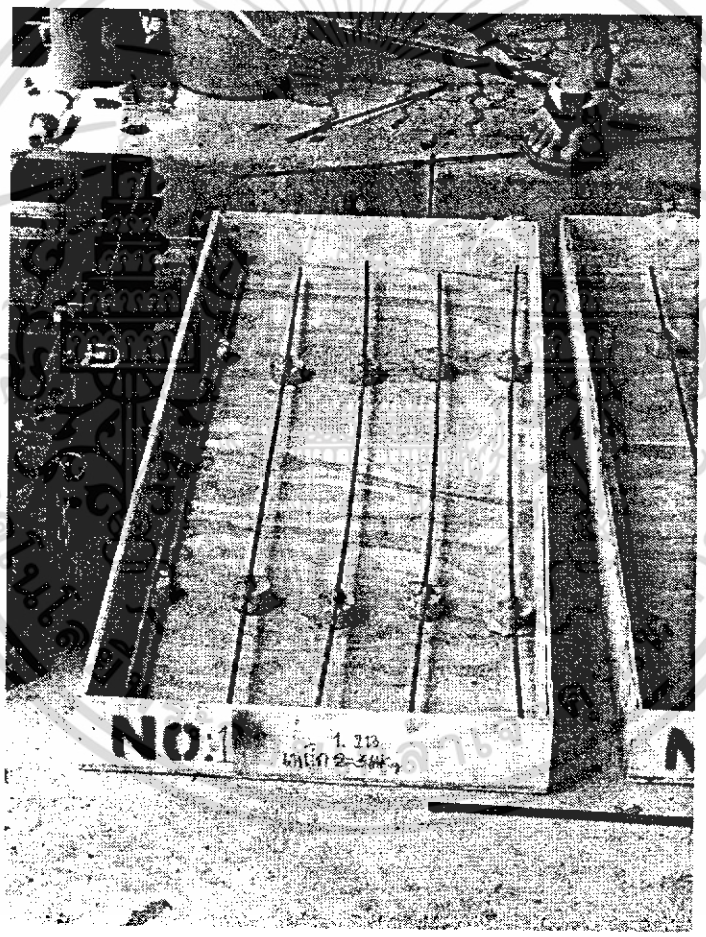


รูปที่ 3.18.แสดงการเตรียมแบบหล่อแผ่นพื้นคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 2 การเตรียมตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ตัดเหล็กยาว 1.00 ม.
2. เตรียมแบบหล่อพื้นขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตร ทำความสะอาดและทาน้ำมัน
3. เทคอนกรีตลงในแบบหล่อหนาประมาณ 2.5 เซนติเมตร
4. วางเหล็กจำนวน 5 เส้นตามแนวยาวของแบบ โดยเหล็กเส้นแต่ละเส้นจะวางห่างกัน 10 เซนติเมตร
5. เทคอนกรีตทับไปจนเต็มแบบหล่อ ปาดหน้าแผ่นพื้นให้เรียบ
6. หล่อพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 3 ตัวอย่าง
7. ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปบ่มโดยการคลุมด้วยกระสอบและรดน้ำเป็นเวลา 28 วัน



รูปที่ 3.19.แสดงการจัดวางเหล็กเสริมพื้นคอนกรีต

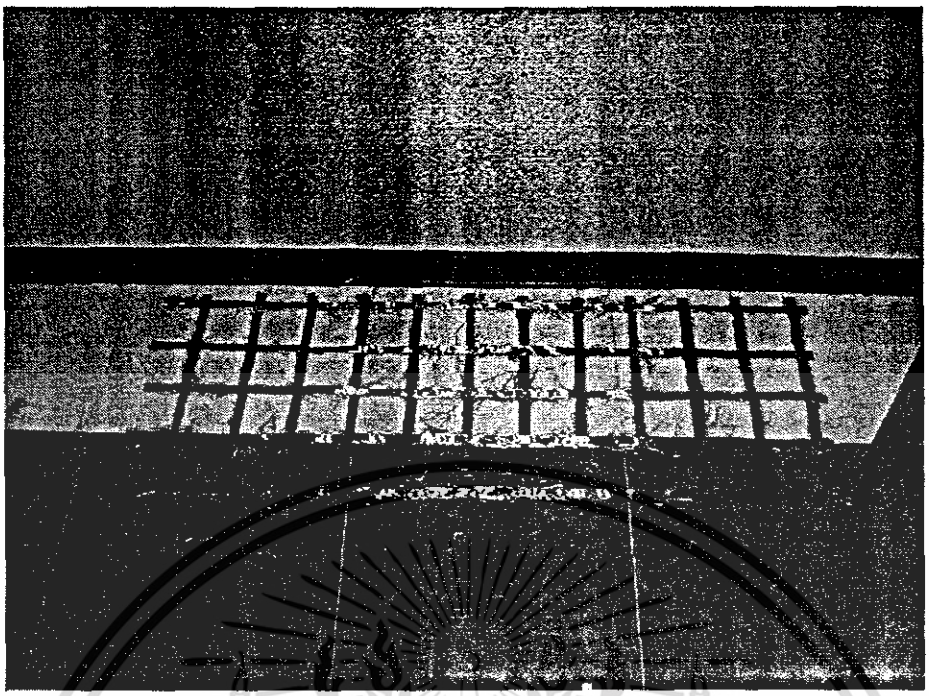
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20.แสดงการเทคอนกรีตแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

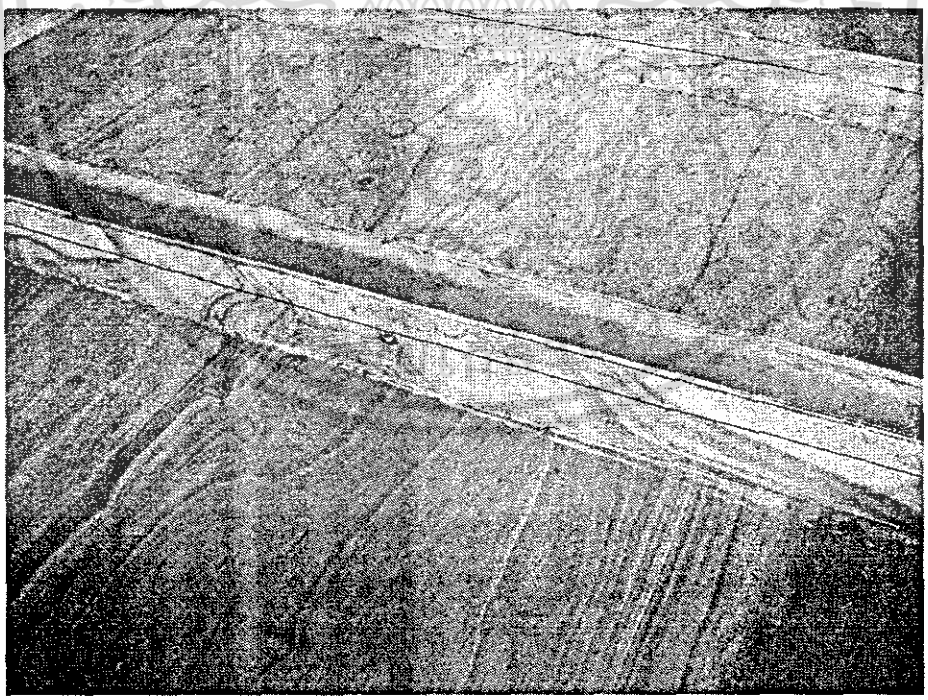
กรณี 3 การเตรียมตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนไว้ด้านในลักษณะเป็นตาข่าย

1. ตัดเส้นใยคาร์บอนให้มีขนาด 1.20 x 0.01 เมตร
2. นำเส้นใยคาร์บอนที่ตัดแล้วมาสานกันให้เป็นตาข่าย ซึ่งจะมีระยะห่างของตาข่ายคือ 5, 10, 15และ20 เซนติเมตร โดยแต่ละแผ่นที่สานกันจะมีขนาด 1.20 x 0.45 เมตร ในแต่ละระยะห่างจะมีจำนวนระยะห่างละ 3 แผ่น
3. เทคอนกรีตลงในแบบหล่อหนาประมาณ 2.5 เซนติเมตร
4. ปูแผ่นเส้นใยคาร์บอนลงบนผิวของคอนกรีต
5. เทคอนกรีตทับไปจนเต็มแบบหล่อ ปาดหน้าแผ่นพื้นให้เรียบ
6. หล่อพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนจำนวน ระยะห่างละ 3 ตัวอย่าง เป็นจำนวนทั้งหมด 12 ตัวอย่าง
7. ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปบ่มโดยการคลุมด้วยกระสอบและรดน้ำเป็นเวลา 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

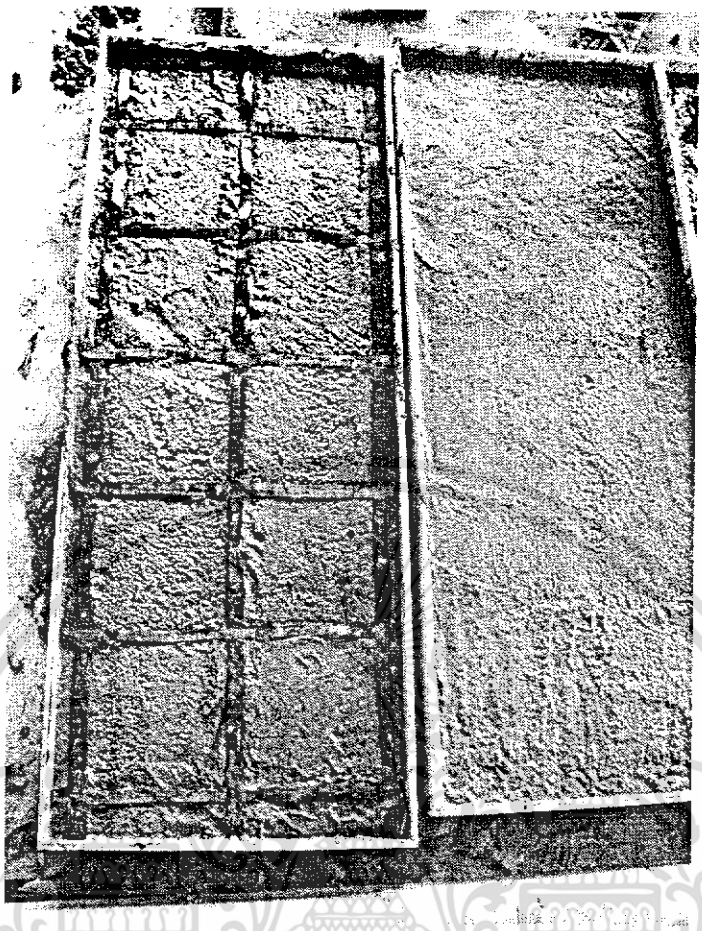


รูปที่ 3.21.แสดงลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอน

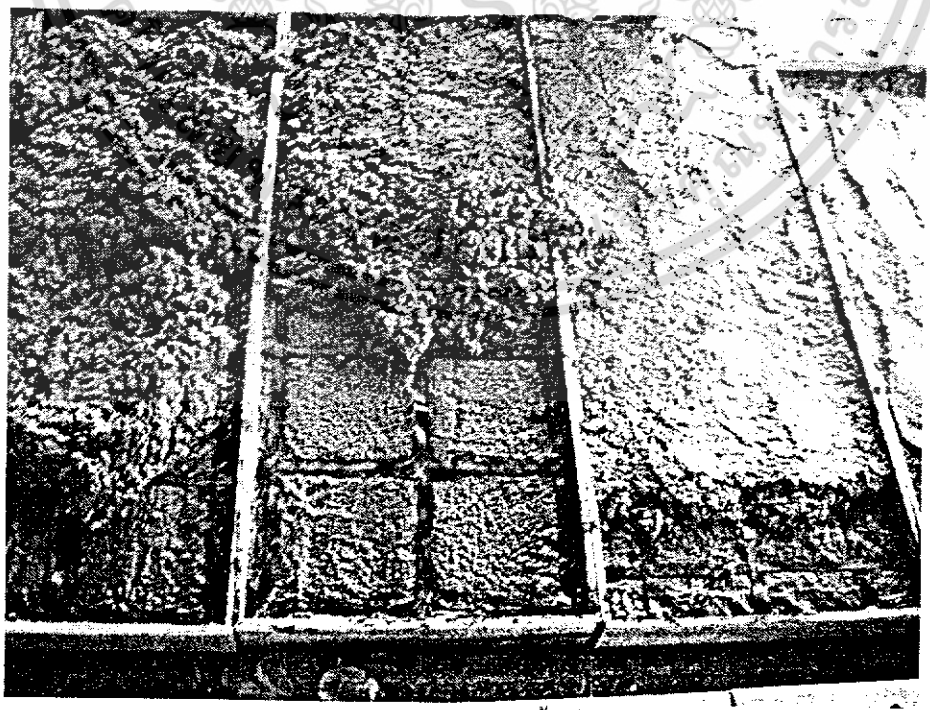


รูปที่ 3.22.แสดงการทำระดับที่จะวางตาข่ายเส้นใยคาร์บอนในแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



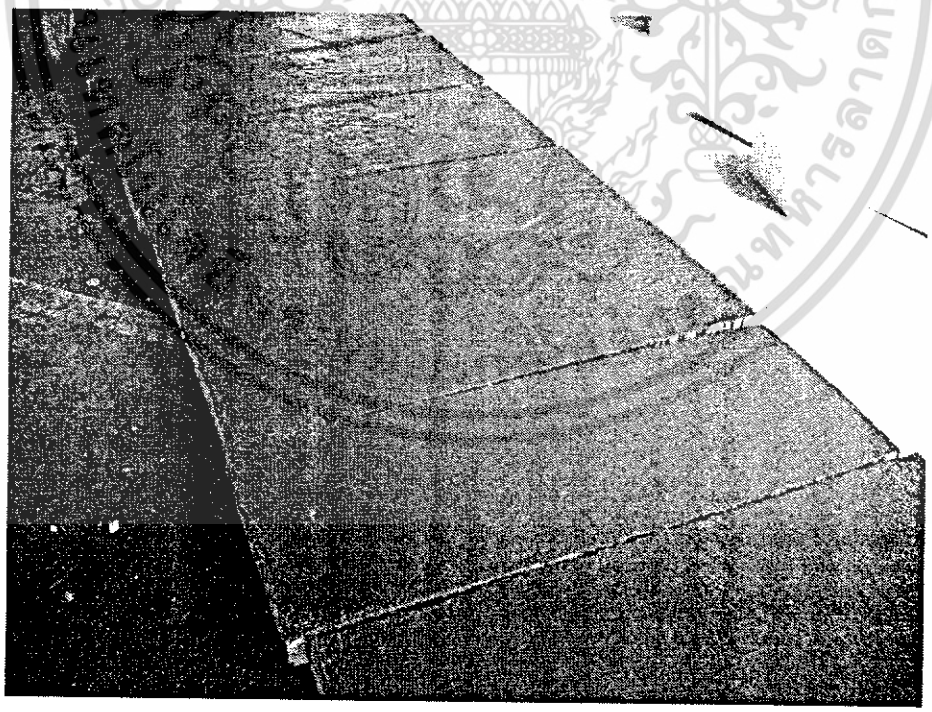
รูปที่ 3.23.แสดงการเทคอนกรีตชั้นแรกและการวางตาข่ายเส้นใยคาร์บอน



รูปที่ 3.24.แสดงการเทคอนกรีตชั้นที่สองทับเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25.แสดงการแต่งหน้าผิวคอนกรีตให้เรียบ



รูปที่ 3.26.แสดงผิวคอนกรีตที่แต่งหน้าเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 4 การเตรียมตัวอย่างพื้นคอนกรีตฉาบด้วยอีพอกซี่

1. เตรียมพื้นคอนกรีตขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตร ที่มีอายุครบ 28 วัน มาทำความสะอาดผิวหน้าและปล่อยให้แห้ง
2. ผสมอีพอกซี่ตามอัตราส่วนที่กำหนดจากผู้ผลิต
3. ทาอีพอกซี่ลงบนผิวหน้าของแผ่นพื้น
4. ทาอีพอกซี่จำนวน 3 แผ่น ปล่อยไว้เป็นเวลา 2 วัน

กรณี 5 การเตรียมตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกลักษณะเป็นตาข่ายฉาบด้วยอีพอกซี่

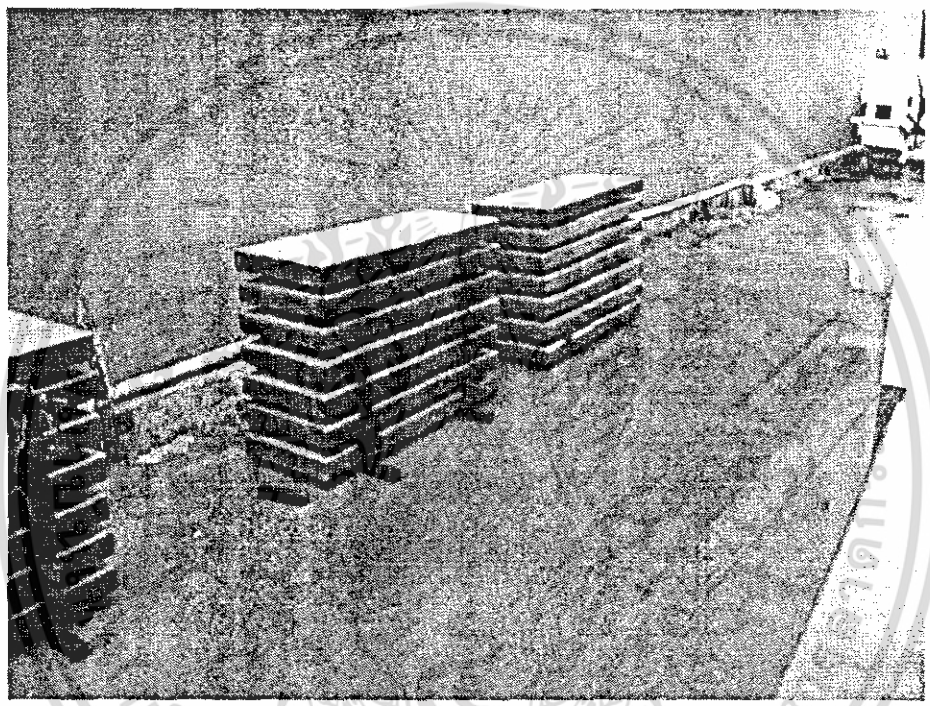
1. ตัดเส้นใยคาร์บอนให้มีขนาด 1.20 x 0.01 เมตร
2. นำเส้นใยคาร์บอนที่ตัดแล้วมาสานกันให้เป็นตาข่าย ซึ่งจะมีระยะห่างของตาข่ายคือ 5, 10, 15 และ20 เซนติเมตร โดยแต่ละแผ่นที่สานกันจะมีขนาด 1.20 x 0.45 เมตร ในแต่ละระยะห่างจะมีจำนวนระยะห่างละ 3 แผ่น
3. เตรียมพื้นคอนกรีตขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตร ที่มีอายุครบ 28 วัน มาทำความสะอาดผิวหน้าและปล่อยให้แห้ง
4. ผสมอีพอกซี่ตามอัตราส่วนที่กำหนดจากผู้ผลิต
5. ทาอีพอกซี่ลงบนผิวหน้าของแผ่นพื้นปล่อยทิ้งไว้ 30 นาที
6. ทาอีพอกซี่ลงบนเส้นใยคาร์บอนที่สานไว้แล้วโดยทาให้เส้นใยคาร์บอนเปียกชุ่มทิ้งไว้ 30 นาที
7. หลังจาก 30 นาทีนำเส้นใยคาร์บอนที่ทาด้วยอีพอกซี่ปูลงบนแผ่นพื้นคอนกรีตที่ทาด้วยอีพอกซี่
8. ดึงเส้นใยคาร์บอนให้ตึง ปาดผิวหน้าให้เรียบ
9. ทาอีพอกซี่ระยะห่างละ 3 ตัวอย่าง เป็นจำนวนทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ปล่อยไว้เป็นเวลา 2 วัน

กรณี 6 การเตรียมตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกลักษณะเป็นแผ่นฉาบด้วยอีพอกซี่

1. ตัดเส้นใยคาร์บอนให้มีขนาด 1.20 x 0.45 เมตร
2. เตรียมพื้นคอนกรีตขนาด 1.20 x 0.45 x 0.075 เมตร ที่มีอายุครบ 28 วัน มาทำความสะอาดผิวหน้าและปล่อยให้แห้ง
3. ผสมอีพอกซี่ตามอัตราส่วนที่กำหนดจากผู้ผลิต
4. ทาอีพอกซี่ลงบนผิวหน้าของแผ่นพื้นปล่อยทิ้งไว้ 30 นาที
5. ทาอีพอกซี่ลงบนแผ่นเส้นใยคาร์บอน โดยทาให้แผ่นเส้นใยคาร์บอนเปียกชุ่มทิ้งไว้ 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หลังจาก 30 นาทีนำแผ่นเส้นใยคาร์บอนที่ทาด้วยอีพอกซี่ปูลงบนแผ่นพื้นคอนกรีตที่ทาด้วยอีพอกซี่
7. ดึงเส้นใยคาร์บอนให้ตึง ปาดผิวหน้าให้เรียบ
8. ทาอีพอกซี่จำนวน 3 ตัวอย่าง ปล่อยไว้เป็นเวลา 2 วัน



รูปที่ 3.27แสดงการเตรียมแผ่นพื้นก่อนนำไปเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอก

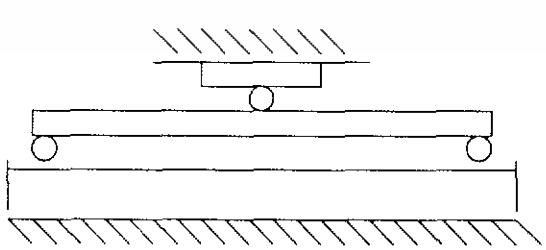
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.28.แสดงการเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่

การทดสอบ

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตใช้วิธี Flexural Strength ใช้มาตรฐาน ASTM : C78 (Standard Test Methods for Flexural Strength of Concrete) มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

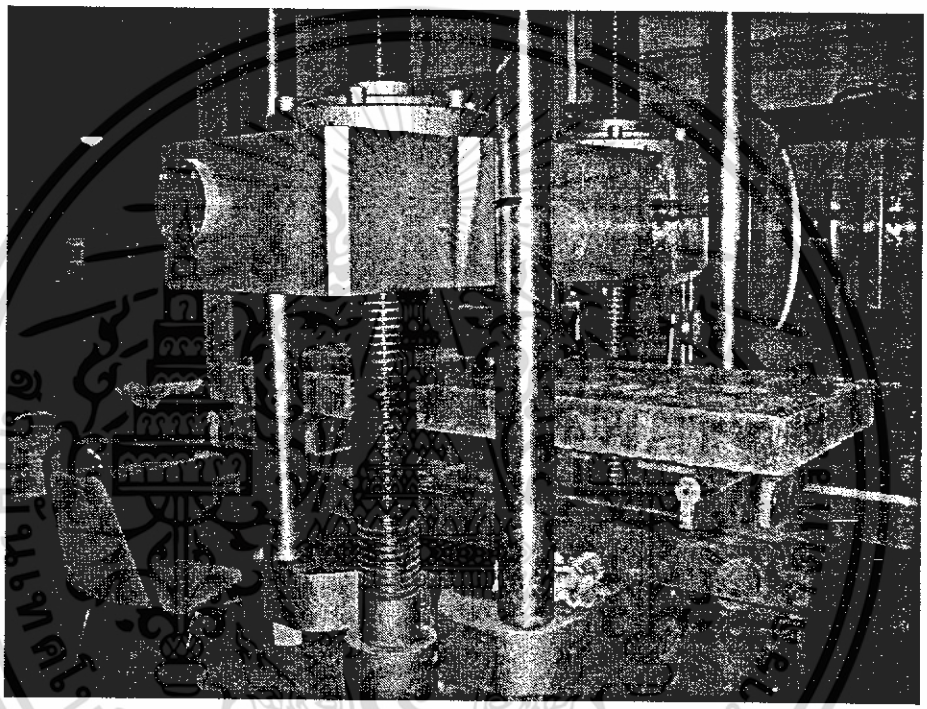
1. นำแผ่นพื้นตัวอย่างติดเข้ากับเครื่องทดสอบ
2. แบ่งตัวอย่างตามยาวโดยเหลือบริเวณปลายไว้สองส่วนส่วนละ 10 เซนติเมตร ส่วนภายในที่เหลือแบ่งเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ส่วนละ 50 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29. แสดงการวางตัวอย่างบนเครื่องทดสอบ

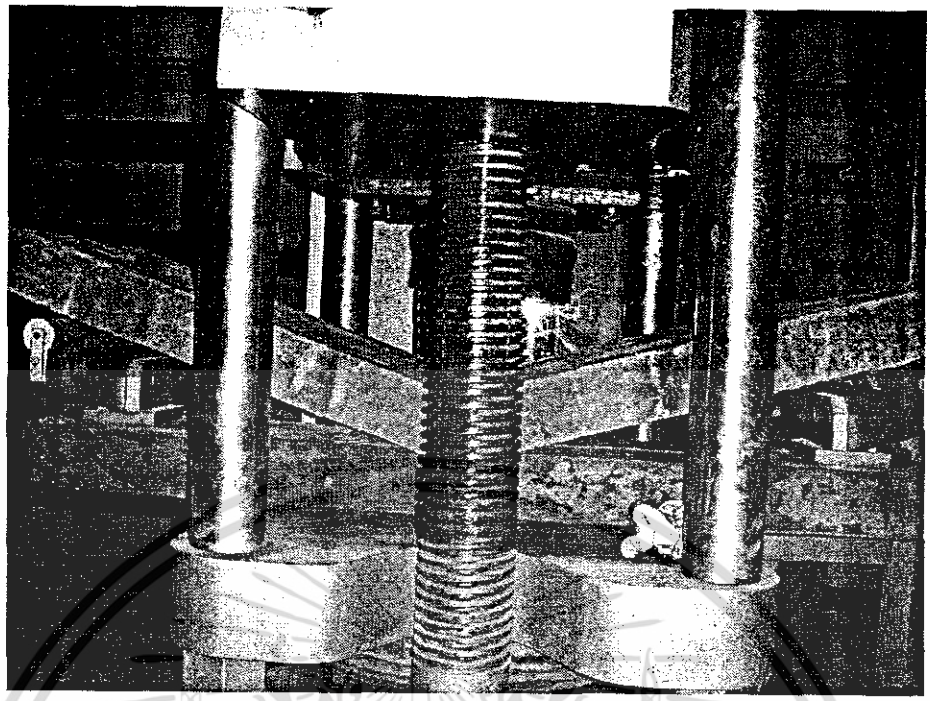
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วางตัวอย่างบนแท่นโดยให้รอยขีดอยู่ตรงกับฐานของแท่น
4. ปรับแท่นกดด้านบนมาวางบนตัวอย่างโดยให้ตรงรอยขีดเช่นกัน
5. เปิดเครื่องทดสอบโดยควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอประมาณ 0.14–0.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
6. กดตัวอย่างจนพัง บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้เพื่อนำไปคำนวณหากำลังดัด
7. คำนวณหากำลังต้านทานแรงดัดจากสมการ 2.1



รูปที่ 3.30. แสดงการทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31. แสดงการทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

สำหรับผลการศึกษาและการวิเคราะห์ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ โดยส่วนแรก เป็นผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ ได้แก่ คุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอน, คุณสมบัติของอีพอกซี่ ส่วนที่สอง เป็นการศึกษาคุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้น ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาคุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตล้วน, คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนฉาบด้วยอีพอกซี่, คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก, คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านในที่ระยะห่างต่างๆ, คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกที่ระยะห่างต่างๆและคุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกแบบเต็มแผ่น ส่วนที่สาม เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของการเสริมเส้นใยชนิดต่างๆ

4.1 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

สำหรับผลการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ สามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอน

การทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอนใช้ผลการทดสอบตามบริษัทผู้ผลิตเนื่องจากไม่สามารถทดสอบเส้นใยคาร์บอนได้ เนื่องจากไม่มีเครื่องมือสำหรับยึดจับเส้นใยคาร์บอนขณะทดสอบแรงดึงได้เพราะเส้นใยคาร์บอนมีลักษณะมันและลื่น สำหรับคุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอนมีดังตารางที่ 4.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. แสดงคุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอน

TYPICAL DRY FIBER PROPERTIES	
Tensile Strength	550,000 psi (3.79 GPa)
Tensile Modulus	33.4 x 10^6 psi (230 GPa)
Ultimate Elongation	1.7%
ความหนาแน่น	0.063 lbs. / $in.^3$ (1.74 g / cm^3)
Weight per sq. yd.	8.84 oz. (300 g / m^2)
Fiber thickness	0.005 5 in. (0.127 mm)

ที่มา:เอกสารจากบริษัท กรุ๊ปเมคคอร์ปอเรชั่น จำกัด

4.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติของอีพอกซี่

ตารางที่ 4.2. แสดงคุณสมบัติของอีพอกซี่

EPOXY MATERIAL PROPERTIES		
Curing Schedule 72 hours post cure at 140 °F (60 °C).		
PROPERTY	ASTM METHOD	TYPICAL TEST VALUE*
Tg 140 °F (60 °C). Post Cure (24 hours)	D-4065	180 °F (82 °C).
Tensile Strength , psi	D-638 Type 1	10,500 psi (72.4 MPa)
Tensile Modulus , psi	D-638 Type 1	461,000 psi (3.18 GPa)
Elongation Percent	D-638 Type 1	5.0%
Flexural Strength , psi	D-790	17,900 psi (123.4 MPa)
Flexural Modulus . psi	D-790	452,000 psi (3.12 GPa)

ที่มา: เอกสารจากบริษัท กรุ๊ปเมคคอร์ปอเรชั่น จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์การรับแรงดัดของแผ่นพื้น

4.2.1 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน

จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ 28 วันกำลังรับแรงดัดประลัยของแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนมีค่าเท่ากับ 22.45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 6 มิลลิเมตร ระยะรียง 10 เซนติเมตร สามารถรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยได้เท่ากับ 170.79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะเรียงเท่ากับ 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร สามารถรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยได้เท่ากับ142.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 132.89 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 128.71 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 127.24 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

จากผลการทดสอบดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าการเสริมคอนกรีตด้วยเส้นใยคาร์บอนสามารถเพิ่มกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนได้ซึ่งกำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้นคิดเป็น 534.38 เปอร์เซ็นต์ 491.93 เปอร์เซ็นต์ 473.31 เปอร์เซ็นต์ 466.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจะสังเกตเห็นว่า เมื่อระยะห่างของเส้นใยเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณหน้าตัดของเส้นใยเท่าเดิมกำลังรับแรงดัดของแผ่นคอนกรีตก็จะลดลงด้วยแต่จะไม่แตกต่างกันมาก ส่วนแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีกำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 660.75เปอร์เซ็นต์ จะสังเกตุเห็นว่ากำลังรับแรงดัดของ แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยจะสามารถในการรับแรงดัดได้ดีในระดับหนึ่ง เนื่องจากการเสริมคอนกรีตด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอน ในบางครั้งขณะทำการเทคอนกรีตเส้นใยจะเกิดการหย่อนตัว และการกำหนดให้ระยะฝังของเส้นใยอยู่ในตำแหน่งที่ทำการตามที่ออกแบบเอาไว้ กระทำได้ด้วยความยากลำบาก เนื่องจากไม่สามารถนำลูกปูนมารองได้ เพราะเส้นใยจะเกิดการหย่อนตัว ต้องทำการเทคอนกรีตก่อน 1 ชั้นแล้ววางเส้นใยลงไปแล้วเทคอนกรีตทับ ทำให้ระยะฝังที่กำหนดคลาดเคลื่อนไปบ้าง นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของเส้นใยคาร์บอนกับเนื้อคอนกรีตเนื่องจากผิวของเส้นใยคาร์บอนเรียบและค่อนข้างลื่น โดยลักษณะการวิบัติของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กเสริมจะรับแรงดึงจนถึงจุดครากก่อนที่คอนกรีตจะวิบัติเนื่องจากแรงอัด ส่วนคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนจะวิบัติในลักษณะที่เหมือนกัน

4.2.2 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนแบบเต็มแผ่นและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบอีพอกซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ 28 วัน กำลังรับแรงดัดประลัยของแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนมีค่าเท่ากับ 22.45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนคอนกรีตที่เสริมด้วยแผ่นเส้นใยคาร์บอนแบบเต็มแผ่นด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่สามารถรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยได้ เท่ากับ 186.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนคอนกรีตที่เสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะเรียงเท่ากับ 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตรด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ สามารถรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยได้เท่ากับ 61.43 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 63.46 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 60.39 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 63.41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนพื้นคอนกรีตที่ฉาบด้วยอีพอกซี่ อย่างเดียวมีกำลังรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยได้เท่ากับ 58.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากผลการทดสอบดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าการเสริมคอนกรีตด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะเรียงเท่ากับ 5 เซนติเมตร, 10เซนติเมตร, 15 เซนติเมตร, 20 เซนติเมตร ด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดัดให้กับแผ่นพื้นคอนกรีตล้วนได้ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 173.63 เปอร์เซ็นต์ 182.67 เปอร์เซ็นต์ 168.99 เปอร์เซ็นต์ 182.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ กำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเส้นใยคาร์บอนเต็มแผ่นด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ ที่มีกำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 792 เปอร์เซ็นต์แล้ว จะได้ว่ากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนขนาดต่างๆฉาบด้วยอีพอกซี่ จะมีกำลังรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยน้อยกว่า กำลังรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเส้นใยคาร์บอนเต็มแผ่นฉาบด้วยอีพอกซี่ แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ กำลังรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยของแผ่นพื้นคอนกรีตที่ฉาบด้วยอีพอกซี่อย่างเดียว จะเห็นว่ากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อนำเส้นใยมาใช้ในลักษณะของตาข่ายขนาดต่างๆ ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของเส้ยใยกับผิวของคอนกรีตลดน้อยลงด้วย เป็นผลให้เมื่อแผ่นพื้นคอนกรีตรับแรงดัด การส่งแรงจากแผ่นพื้นไปสู่เส้นใยคาร์บอนโดยอาศัยอีพอกซี่เป็นตัวเชื่อมก็จะลดลงด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเส้นใยคาร์บอนเต็มแผ่นฉาบด้วยอีพอกซี่ ทำให้ในการทดสอบเมื่อแผ่นพื้นมีกำลังรับแรงดัดได้ค่าหนึ่งซึ่งมากกว่ากำลังรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยของแผ่นพื้นคอนกรีตที่ฉาบด้วยอีพอกซี่อย่างเดียว แต่น้อยกว่ากำลังรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเส้นใยคาร์บอนเต็มแผ่นฉาบด้วยอีพอกซี่ แผ่นพื้นคอนกรีตก็จะเกิดการวิบัติขึ้นเนื่องจาก อีพอกซี่ส่งแรงไปให้เส้นใยคาร์บอนช่วยรับได้น้อยลง โดยลักษณะการวิบัติของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมแผ่นเส้นใยคาร์บอนเต็มแผ่นฉาบด้วยอีพอกซี่ จะเกิดขึ้นเมื่อแผ่นคอนกรีตรับแรงดัดแล้วส่วนที่เป็นอีพอกซี่ ก็จะส่งถ่ายแรงดังกล่าวให้เส้นใยคาร์บอนรับแรงส่วนที่เป็นแรงดึงโดยเมื่อแผ่นคอนกรีตรับแรงดัดได้ค่าหนึ่งแล้วจะเกิดการวิบัติขึ้นตรงส่วนที่เป็นอีพอกซี่ก่อน ทำให้เส้นใยคาร์บอนบางส่วนหลุดออกจากแผ่นคอนกรีตก่อนที่เส้นใยจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาดออกจากกัน ในส่วนของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนฉาบด้วยอีพอกซี่ก็จะมีลักษณะการวิบัติที่เหมือนกัน แต่ส่วนที่เป็นอีพอกซี่ส่งถ่ายแรงให้เส้นใยคาร์บอนช่วยรับแรงส่วนที่เป็นแรงดึงได้น้อยลงจึงทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตรับแรงดัดได้น้อยลงซึ่งปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับตาข่ายเส้นใยคาร์บอนแบบต่างๆที่เป็นเหตุให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับตาข่ายเส้นใยคาร์บอนมีค่าลดลง ได้แสดงดังตารางที่ 4.3. ซึ่งถ้าหากสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดเรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับตาข่ายเส้นใยคาร์บอนได้ การเสริมคอนกรีตด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบอีพอกซี่ ก็จะมีแนวโน้มที่จะสามารถรับแรงได้มากกว่าการเสริมคอนกรีตด้วยแผ่นหรือแถบเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบอีพอกซี่ เนื่องจากค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนมีค่ามากกว่าแบบแผ่นหรือแถบเส้นใยคาร์บอน เพราะตาข่ายเส้นใยคาร์บอนจะมีแถบที่หนากว่าเส้นใยคาร์บอนแบบแผ่น

ตารางที่4.3.แสดงปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับตาข่ายเส้นใยคาร์บอนแบบต่างๆ

ลักษณะการเสริมเส้นใยคาร์บอน	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับเส้นใยคาร์บอน
เสริมแบบเต็มแผ่น	100.00
เสริมแบบตาข่ายเส้นใย @ 5 เซนติเมตร	40.00
เสริมแบบตาข่ายเส้นใย @ 10 เซนติเมตร	20.00
เสริมแบบตาข่ายเส้นใย @ 15 เซนติเมตร	13.33
เสริมแบบตาข่ายเส้นใย @ 20เซนติเมตร	10.00

4.2.3 คุณสมบัติกำลังต้านทานแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านในและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่

จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ 28 วัน คอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านในที่มีระยะเรียงเท่ากับ 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร สามารถรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยได้เท่ากับ142.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 132.89 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 128.71กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 127.24 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนคอนกรีตที่เสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ที่มีระยะเรียงเส้นใยเท่ากับ 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร สามารถรับแรงดัดประลัยเฉลี่ยได้เท่ากับ 61.43 กิโลกรัมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเซนติเมตร 63.46 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 60.39กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 63.41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

จากผลการทดสอบดังกล่าว จะเห็นว่าคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนไว้ภายในเนื้อคอนกรีตมีกำลังรับแรงดัดได้มากกว่า คอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ เนื่องจาก การเสริมเส้นใยคาร์บอนไว้ภายในเนื้อคอนกรีตจะทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างเนื้อคอนกรีตกับเส้นใยคาร์บอนมีมากกว่าการนำแผ่นคอนกรีตมาเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่

4.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของการเสริมเส้นใยแต่ละชนิด

4.3.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กด้านในและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านใน

จากการทำการวิเคราะห์ราคาของแผ่นพื้นแต่ละแบบพบว่าราคาของแผ่นพื้นตัวอย่างจะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่ใช้ซึ่งจะแสดงไว้ในตารางที่ 4.4.

4.3.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมแผ่นเส้นใยคาร์บอนด้านนอกและตาข่ายเส้นใยด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่

จากการทำการวิเคราะห์ราคาของแผ่นพื้นแต่ละแบบพบว่าราคาของแผ่นพื้นตัวอย่างจะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของตาข่ายเส้นใยที่ใช้ซึ่งจะแสดงไว้ในตารางที่ 4.5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.4. แสดงการเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กด้านใน และ แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใย คาร์บอนด้านใน

ลักษณะของแผ่นพื้น	ปริมาณเส้นใยที่ใช้ (ตรม.)	ราคา/ตรม. (บาท)	ราคา (บาท)	กำลังรับแรงดัด (ksc)	ราคา/กำลังรับแรงดัด (บาท/ksc)	หมายเหตุ
คอนกรีตเสริมเหล็ก	-	-	33	170.79	0.19	
คอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใย @ 5 เซนติเมตร	0.12	1500	180	142.42	1.26	
คอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใย@ 10 เซนติเมตร	0.12	1500	180	132.89	1.35	
คอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใย@ 15 เซนติเมตร	0.12	1500	180	128.71	1.39	
คอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใย@ 20 เซนติเมตร	0.12	1500	180	127.24	1.41	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.5. แสดงการเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพและราคาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมแผ่นเส้นใยคาร์บอนด้านนอกและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่

ลักษณะของแผ่นพื้น	ปริมาณเส้นใยที่ใช้ (ตรม.)	ราคา/ตรม. (บาท)	ราคา (บาท)	กำลังรับแรงดัด (ksc)	ราคา/กำลังรับแรงดัด (บาท/ksc)	หมายเหตุ
คอนกรีตเสริมแผ่นเส้นใยคาร์บอน	0.54	1500	810	186.18	4.35	
คอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใย @ 5 เซนติเมตร	0.12	1500	180	61.43	2.93	
คอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใย@ 10 เซนติเมตร	0.12	1500	180	63.46	2.83	
คอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใย@ 15 เซนติเมตร	0.12	1500	180	60.39	2.95	
คอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใย@ 20 เซนติเมตร	0.12	1500	180	63.41	2.83	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 แสดงค่าแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมกับน้ำที่ผ่านการรีไซเคิลจากโรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4.2. แผนภูมิแสดงค่าการรับแรงอัดของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1สรุปผลการศึกษา

การเสริมคอนกรีตด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ โดยมีระยะห่างของเส้นใยเท่ากับ 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดัดให้กับแผ่นพื้นคอนกรีตได้ใกล้เคียงกัน แต่กำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ทั้ง 4 แบบก็ยังต่ำกว่ากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเส้นใยคาร์บอนแบบเต็มแผ่นด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ และแผ่นพื้นคอนกรีตที่เสริมด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่ มีค่าแรงดัดใกล้เคียงกับแผ่นพื้นคอนกรีตฉาบด้วยอีพอกซี่อย่างเดียวจึงอาจจะสันนิษฐานได้ว่าแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนด้านนอกฉาบด้วยอีพอกซี่วิบัติเพราะอีพอกซี่ไม่สามารถรับแรงได้เนื่องจากตาข่ายเส้นใยคาร์บอนหลุดจากแผ่นพื้นคอนกรีตทำให้ตาข่ายเส้นใยคาร์บอนยังรับแรงไม่เต็มที่

ในส่วนของการเสริมคอนกรีตด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนภายใน โดยมีระยะห่างของเส้นใยเท่ากับ 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดัดให้กับแผ่นพื้นคอนกรีตได้ใกล้เคียงกัน โดยแผ่นพื้นคอนกรีตที่เสริมด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่มีระยะห่างของเส้นใยเท่ากับ 5 เซนติเมตร สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดัดให้กับแผ่นพื้นคอนกรีตได้มากที่สุด แต่กำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนภายในทั้ง 4 แบบยังต่ำกว่ากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่เสริมในเนื้อคอนกรีตต้องการระยะหุ้มที่น้อยกว่าเหล็กตะแกรงมาก คือ ตาข่ายเส้นใยคาร์บอนต้องการระยะหุ้มประมาณ 5 มิลลิเมตรเท่านั้น แต่ตะแกรงเหล็กต้องการระยะหุ้มถึง 3 เซนติเมตรทำให้สามารถลดปริมาณคอนกรีตและลดน้ำหนักขององค์อาคารไปได้มาก

5.2 ข้อเสนอแนะในการใช้งานและการผลิตเส้นใยคาร์บอน

5.2.1 การใช้งาน

การใช้เส้นใยคาร์บอนเสริมภายในเนื้อคอนกรีตในลักษณะของตาข่าย มีลักษณะคล้ายคลึงกับคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ในการใช้เส้นใยคาร์บอนเสริมภายในเนื้อคอนกรีตควรระวัง การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หย่อนตัวของเส้นใยและความลึกประสิทธิผลอาจคลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไว้ได้ ในการนำไปใช้งานมีทั้งข้อดีและข้อเสียเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งได้แสดงดังตารางที่ 5.1.

ในส่วนของเส้นใยคาร์บอนที่เสริมภายนอกเนื้อคอนกรีตในลักษณะของตาข่ายและฉาบด้วยอีพอกซี่พบว่าจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยคาร์บอนเข้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตโดยมีอีพอกซี่ เป็นตัวเชื่อมอาจจะแก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนชั้นของตาข่าย เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับตาข่ายเส้นใยให้มีปริมาณมากขึ้น ในการนำไปใช้งานก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียเหมือนกัน ซึ่งได้แสดงดังตารางที่ 5.2.

ตารางที่5.1.ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่าง การใช้เส้นใยคาร์บอนในลักษณะตาข่าย กับการใช้เหล็กเสริมในคอนกรีต

คุณสมบัติ	เส้นใยคาร์บอนในลักษณะตาข่าย	เหล็ก	หมายเหตุ
น้ำหนัก	100 g	1330 g	
ความสะดวกในการจัดเก็บและการขนส่ง	สะดวกใช้พื้นที่น้อย	ไม่สะดวกใช้พื้นทีมาก	
ราคา	600 บาท/ตรม.	55 บาท/เส้น	
กำลังรับแรงดัด	142.42 ksc @ 5 ซม.	170.79 ksc	
	132.89 ksc @ 10 ซม.		
	128.71 ksc @ 15 ซม.		
	127.24 ksc @ 20 ซม.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2.ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่าง การใช้เส้นใยคาร์บอนในลักษณะตาข่าย กับการใช้เส้นใยคาร์บอนแบบเต็มแผ่น

คุณสมบัติ	แบบตาข่าย	แบบเต็มแผ่น	หมายเหตุ
ปริมาณเส้นใยคาร์บอน	40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวคอนกรีต	100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวคอนกรีต	
กำลังรับแรงดัด	61.43 ksc (@ 5 ซม.)	186.18 ksc	
	63.46 ksc (@ 10 ซม.)		
	60.39 ksc (@ 15 ซม.)		
	63.41 ksc (@ 20 ซม.)		
ราคา	600 บาท/ตรม.	1500 บาท/ตรม.	
ความยืดหยุ่นในการใช้งาน	มาก	น้อย	สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานได้

5.2.2 การผลิตตาข่ายเส้นใยคาร์บอน

เส้นใยคาร์บอนที่ใช้ในงานซ่อมแซมอาคารที่ชำรุดซึ่งมีใช้ในปัจจุบันจะมีลักษณะเป็นแผ่นเส้นใยที่มีผิวค่อนข้างลื่น ดังนั้นหากจะมีการผลิตในรูปแบบของตาข่ายเส้นใยเพื่องานคอนกรีตโดยเฉพาะจะต้องมีการปรับเปลี่ยนบางประการ เช่น เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวบริเวณผิวของเส้นใยคาร์บอนให้มีมากขึ้นโดยการผูกเส้นใยให้เป็นปม เป็นต้น และสำหรับการผลิตตาข่ายเส้นใยคาร์บอนที่ใช้ในงานพื้นทางเดียวตามแนวขวางอาจไม่ใช้เส้นใยคาร์บอนก็ได้ อาจใช้วัสดุอื่นเพื่อความประหยัด เพราะตามแนวขวางของตาข่ายเส้นใยคาร์บอนไม่ได้อยู่ในแนวแรงของแผ่นพื้น

5.2.3 การประยุกต์การใช้งานตาข่ายเส้นใยคาร์บอน

การเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนในแผ่นพื้นสามารถนำไปใช้กับงานแผ่นพื้นคอนกรีตที่บางมากๆซึ่งการเสริมเหล็กอาจทำไม่ได้เพราะเหล็กต้องการระยะหุ้มมาก แต่การเสริมคอนกรีตด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนต้องการระยะหุ้มเพียง 3-5 มิลลิเมตร เพราะไม่มีปัญหาการผุกร่อนจากสนิมและมีความทนทานต่อเพลิงไหม้ และการเสริมคอนกรีตด้วยตาข่ายเส้นใยคาร์บอนจะทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตมีระยะแขนของโมเมนต์มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการรับแรงของแผ่นพื้นมีค่ามากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร,2540. พิมพ์ครั้งที่5. คอนกรีตเทคโนโลยี.กรุงเทพฯ: บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุ ก่อสร้างจำกัด
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร,2543. พิมพ์ครั้งที่3 คู่มือทดสอบหิน ทรายและคอนกรีต. กรุงเทพฯ:บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุ ก่อสร้างจำกัด
- วินิต ช่อวิเชียร,2539.พิมพ์ครั้งที่8.คอนกรีตเทคโนโลยี.กรุงเทพฯ:วินิต ช่อวิเชียร.
- แม้น อมรสิทธ์ , สมชัย อัครทิวา,2545.วัสดุวิศวกรรม,กรุงเทพฯ:แมคกรอ- ฮิล
- ประกิตศาสน์ ประสงค์จรรยา และ สิทธิชัย บังใบ, 2543. แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเส้นใยพลาสติก.ปริญญานิพนธ์ ภาควิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- URL:http://www.thaiengineering.com
- BS1881-116 : 1983 ; Standard Test Methods for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes, British Standards Institute, 1983.
- ASTM C78-01 ; Standard Test Methods for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), Annual Book of ASTM Standards Vol 04.02, American Society for Testing and Materials, 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ1 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตล้วน

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

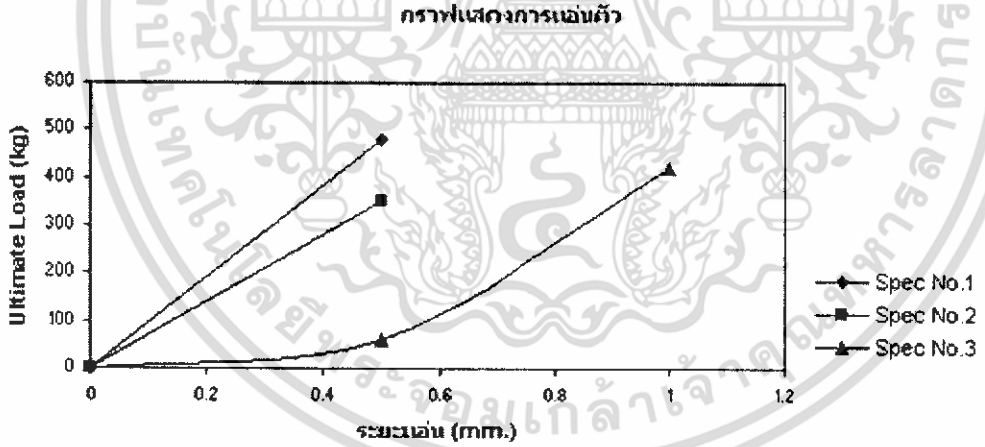
FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

TEST DATE : 18/01/2006

TEST SPECIMEN : คอนกรีตล้วน

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.5 x 7.8	120.2	100	28	481	26.06	
2	45.8 x 7.9	120.1	100	28	351	18.42	
3	45.5 x 7.8	120.4	100	28	422	22.86	
					Ave.	22.45	



TESTED BY

: MR.CHARUN RUKPAN

: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY

: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

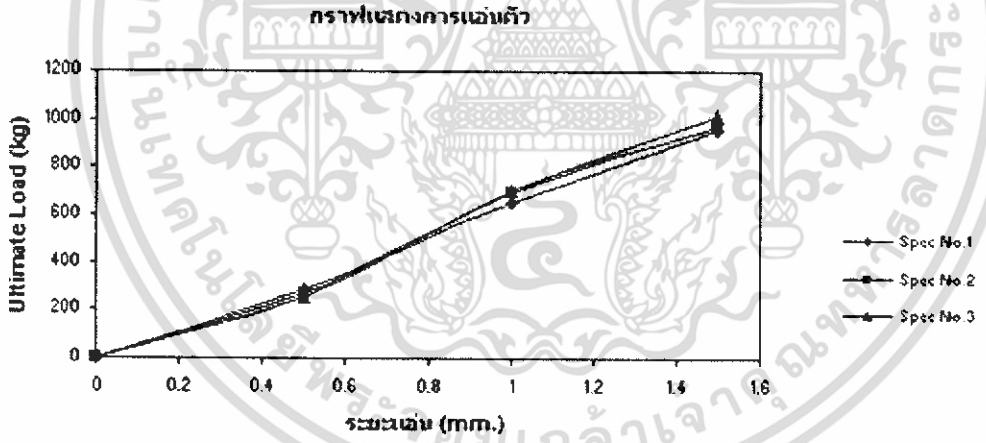
ตารางที่ ผ2 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 5cm.

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

FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE
TEST DATE : 18/01/2006
TEST SPECIMEN : คอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 5cm

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.6 x 7.8	120.5	100	28	955	142.21	d = 4.7
2	45.5 x 7.8	120.3	100	28	976	139.65	d = 4.8
3	45.4 x 7.7	120.4	100	28	1014	145.41	d = 4.8
					Ave.	142.42	



TESTED BY
: MR.CHARUN RUKPAN
: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY
: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ3 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 10cm.

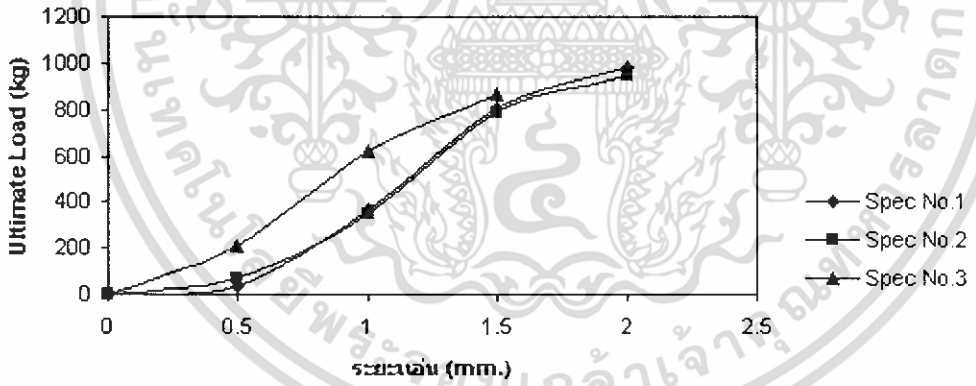
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LARDKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 326 - 9974

FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE
TEST DATE : 18/01/2006
TEST SPECIMEN : คอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 10 cm

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.4 x 7.8	120.4	100	28	982	140.82	d = 4.8
2	45.5 x 8.2	120.5	100	28	943	129.48	d = 4.9
3	45.7 x 7.9	120.6	100	28	864	128.38	d = 4.7
					Ave.	132.89	

กราฟแสดงการแอ่นตัว



TESTED BY
: MR.CHARUN RUKPAN
: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY
: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ4 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 15cm.

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

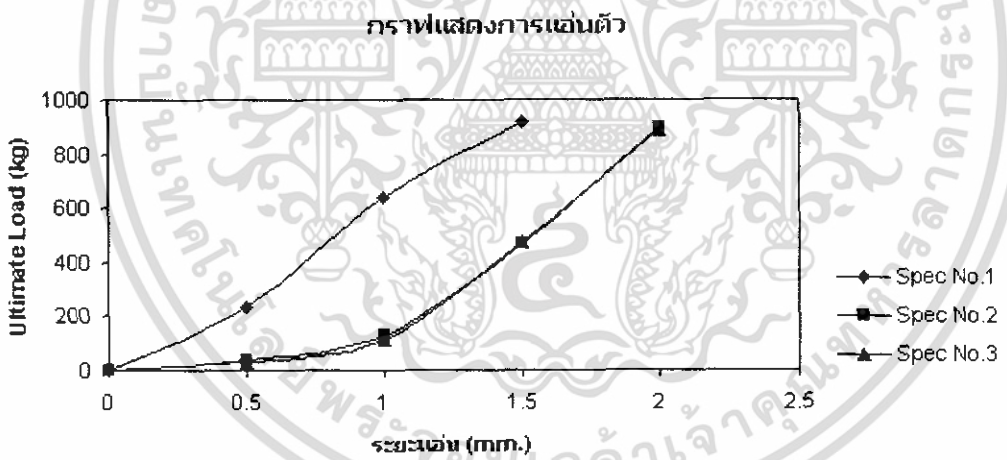
FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

TEST DATE : 18/01/2006

TEST SPECIMEN : คอนกรีดเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 15 cm

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.5 x 8.0	120.5	100	28	921	131.78	d = 4.8
2	45.7 x 8.0	120.5	100	28	894	132.84	d = 4.7
3	45.6 x 7.9	120.5	100	28	887	121.52	d = 4.9
					Ave.	128.71	



TESTED BY

: MR.CHARUN RUKPAN

: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY

: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ5 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 20cm.

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

FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

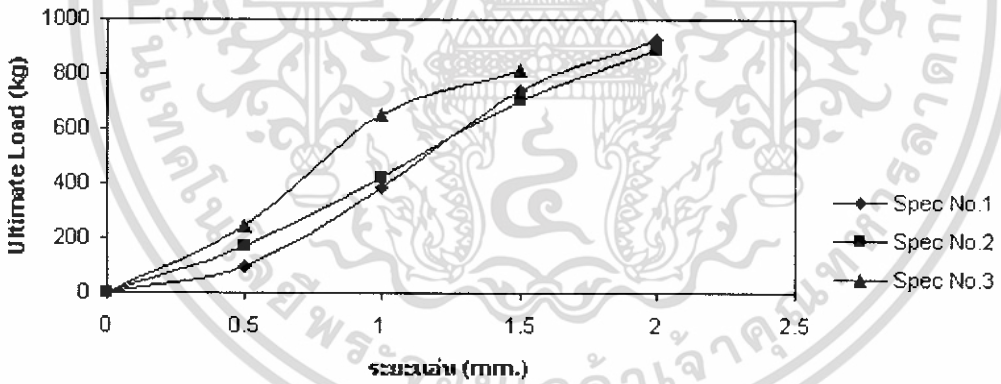
PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

TEST DATE :

TEST SPECIMEN : คอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านใน @ 20 cm

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.3 x 7.9	120.4	100	28	927	127.84	d = 4.9
2	45.3 x 7.8	120.5	100	28	888	127.62	d = 4.8
3	45.7 x 7.8	120.2	100	28	814	126.27	d = 4.6
					Ave.	127.24	

กราฟแสดงการแอ่นตัว



TESTED BY

: MR.CHARUN RUKPAN

: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY

: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ6 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเหล็ก @ 10cm

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

FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

TEST DATE : 18/01/2006

TEST SPECIMEN : คอนกรีตเสริมเหล็ก @ 10 cm

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.8 x 7.8	120.2	100	28	1429	166.61	d = 5.3
2	45.6 x 7.6	120.7	100	28	1373	160.78	d = 5.3
3	45.7 x 8.0	120.2	100	28	1524	184.99	d = 5.2
					Ave.	170.79	

TESTED BY

: MR.CHARUN RUKPAN
: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY

: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

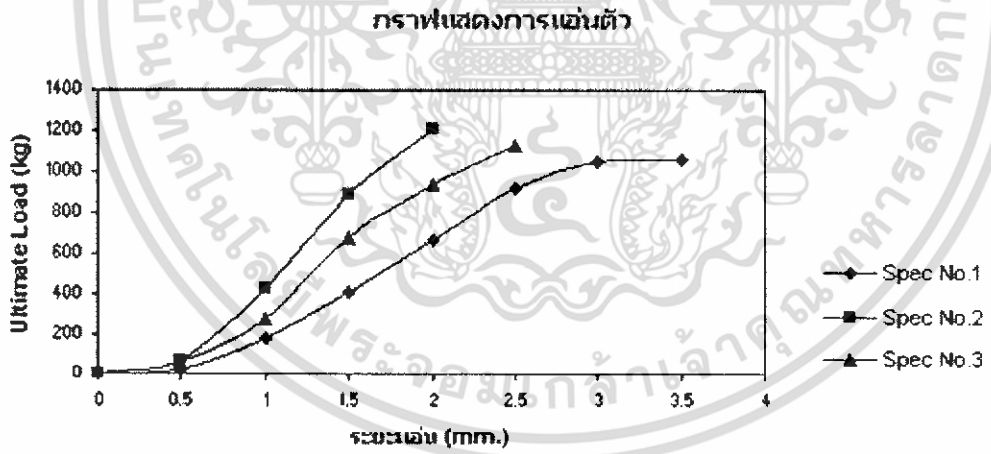
ตารางที่ ผ7 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 5cm.
ฉาบอีพอกซี่

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

FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE
TEST DATE : 18/01/2006
TEST SPECIMEN : คอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 5 cm.ฉาบอีพอกซี่

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.0 x 7.8	120	100	28	1060	58.07	d = 7.8
2	45.2 x 7.8	120.4	100	28	1208	65.89	d = 7.8
3	45.1 x 7.9	120.3	100	28	1132	60.32	d = 7.9
					Ave.	61.43	



TESTED BY
: MR.CHARUN RUKPAN
: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY
: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ8 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 10cm. ฉาบอีพอกซี่

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

FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

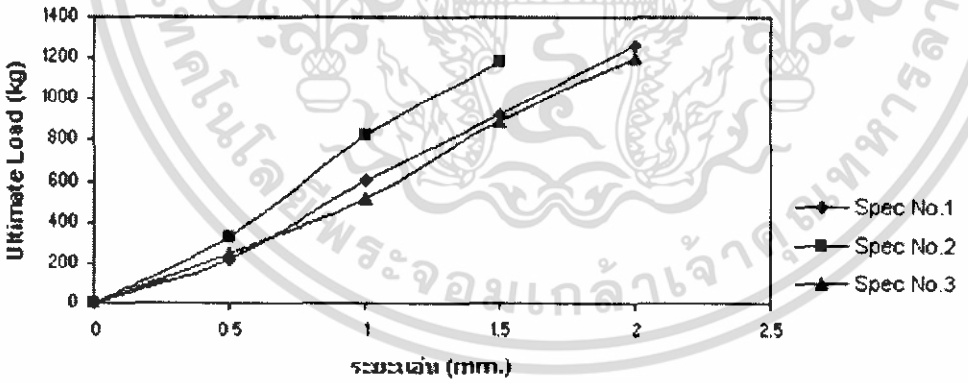
PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

TEST DATE : 18/01/2006

TEST SPECIMEN : คอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 10 cm.ฉาบอีพอกซี่

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.3 x 8.1	120.4	100	28	1258	63.49	d = 8.1
2	45.2 x 8.0	120.4	100	28	1178	61.08	d = 8.0
3	45.1 x 7.8	120.3	100	28	1204	65.82	d = 7.8
					Ave.	63.46	

กราฟแสดงการแอ่นตัว



TESTED BY

: MR.CHARUN RUKPAN

: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY

: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ9 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 15cm. ฉาบอีพอกซี่

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

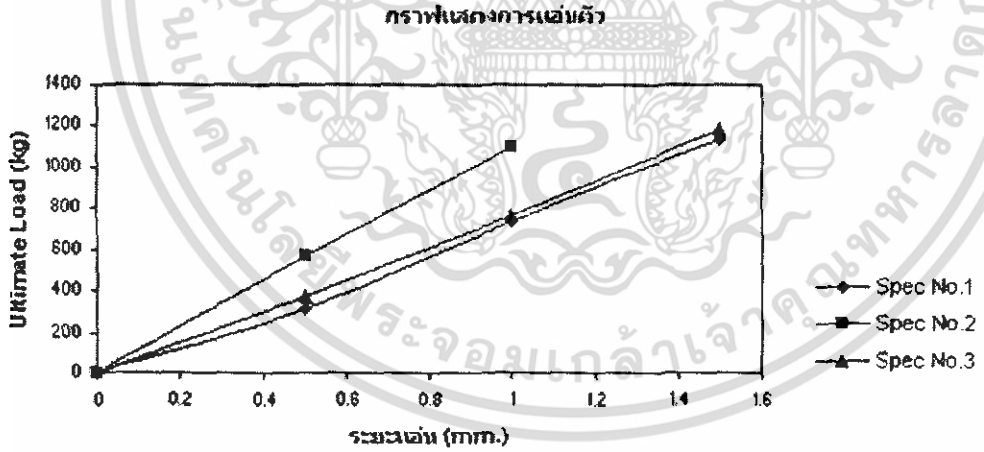
FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

TEST DATE : 18/01/2006

TEST SPECIMEN : คอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 15 cm.ฉาบอีพอกซี่

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.0 x 7.8	120	100	28	1140	62.46	d = 7.8
2	45.0 x 7.9	120.4	100	28	1095	58.48	d = 7.9
3	45.1 x 8.1	120.1	100	28	1188	60.22	d = 8.1
					Ave.	60.39	



TESTED BY
: MR.CHARUN RUKPAN
: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY
: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ10 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 20cm. ฉาบอีพอกซี่

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

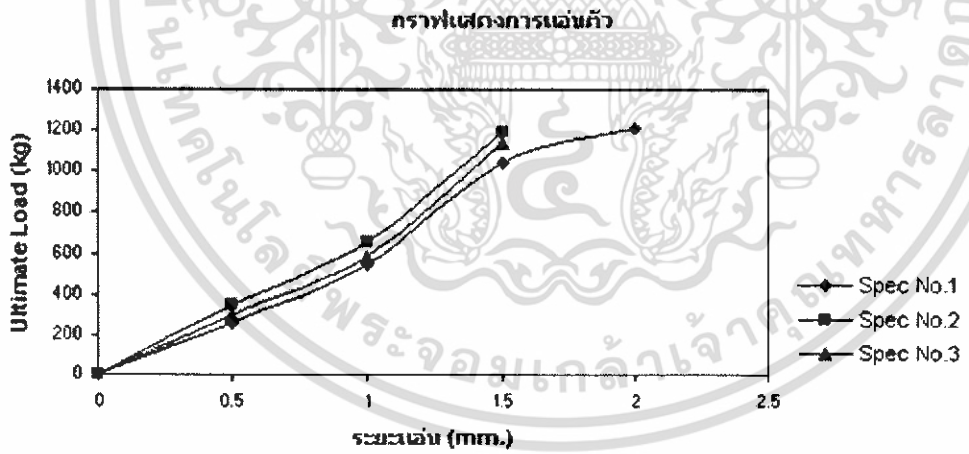
FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

TEST DATE : 18/01/2006

TEST SPECIMEN : คอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอก @ 20 cm.ฉาบอีพอกซี่

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.3 x 7.8	120.3	100	28	1212	65.96	d = 7.8
2	45.0 x 7.9	120.2	100	28	1187	63.39	d = 7.9
3	45.2 x 7.9	120.4	100	28	1145	60.88	d = 7.9
					Ave.	63.41	



TESTED BY

: MR.CHARUN RUKPAN

: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY

: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ11 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยคาร์บอนเต็มแผ่นด้านนอกฉาบอีพอกซี่

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

FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

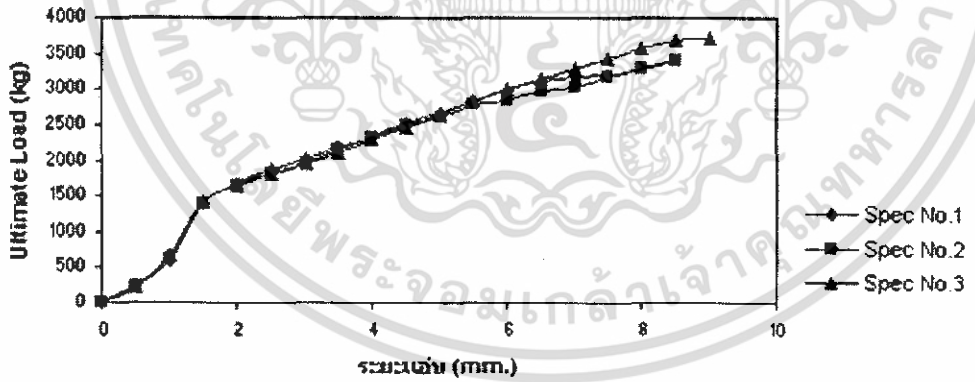
PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

TEST DATE : 18/01/2006

TEST SPECIMEN : คอนกรีดเสริมเส้นใยคาร์บอนด้านนอกเต็มแผ่นฉาบอีพอกซี่

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.3 x 7.8	120.3	100	28	3214	174.92	d = 7.8
2	45.0 x 7.9	120.4	100	28	3403	181.75	d = 7.9
3	45.3 x 7.8	120.3	100	28	3709	201.86	d = 7.8
					Ave.	186.18	

กราฟแสดงการเฉ่นตัว



TESTED BY

: MR.CHARUN RUKPAN

: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY

: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

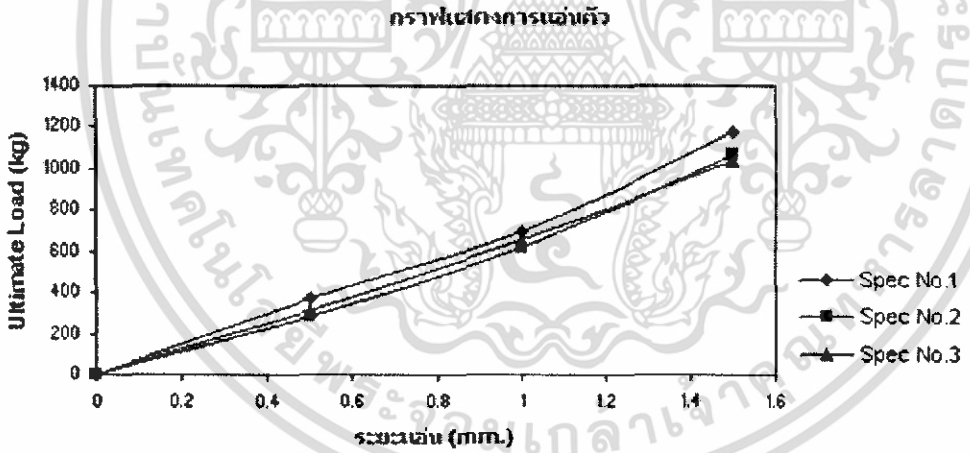
ตารางที่ ผ12 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตฉาบอีพอกซี่

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

FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (Center - Point Loading)

PROJECT : USING CARBONFIBER MESH FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE STRUCTURE
TEST DATE : 18/01/2006
TEST SPECIMEN : คอนกรีตฉาบอีพอกซี่

SPEC NO.	CROSS SECTION (cm x cm)	LENGTH (cm)	SPAN (cm)	AGE (days)	ULTIMATE LOAD (kg)	MODULUS OF RUPTURE (ksc)	REMARK
1	45.2 x 8.0	120	100	28	1177	61.03	d = 8.0
2	45.1 x 7.8	120.4	100	28	1065	58.22	d = 7.8
3	45.1 x 7.9	120.1	100	28	1037	55.26	d = 7.9
					Ave.	58.17	



TESTED BY
: MR.CHARUN RUKPAN
: MR.THADSANAI CHAOWALITPRAPAN

APPROVE BY
: MR.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้