สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุผสมเหล็กกับอีพอกซี่สำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีต

STUDY ON EFFECTIVENESS ENHANCEMENT OF STEEL EPOXY COMPOSITE FOR CONCRETE REPAIRING

โดย

นายจักรพงศ์ ธีระอัมพรพันธุ์

นายโปรดปราน อุบลสถิตย์

วพ
ว2297
2551

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....83253
วัน,เดือน,ปี.....11 ส.ค. 2551

b.....11967808.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON EFFECTIVENESS ENHANCEMENT OF STEEL EPOXY COMPOSITE FOR CONCRETE REPAIRING

MR.JAKKAPONG TEERAUMPORNPUNT

MR.PRODPRAN UBOLSATHIT

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

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุผสมเหล็กกับอีพอกซี่สำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีต
นักศึกษา	นายจักรพงศ์ ธีระอัมพรพันธุ์ รหัสประจำตัว 47010087
	นายโปรดปราน อุบลสถิตย์ รหัสประจำตัว 47010465
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.สิริวัฒน์	ไชยชนะ	
ผศ.ดร.คมสัน	มาลีสี	
ดร.วุฒิชัย	ชาติพัฒนานันท์	
ผศ.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	
อ.ทรงกลด	แซ่อึ้ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.อำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 17 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุผสมเหล็กกับอีพอกซี่สำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีต STUDY ON EFFECTIVENESS ENHANCEMENT OF STEEL EPOXY FOR COMPOSITE CONCRETE REPAIRING
นักศึกษา	นายจักรพงศ์ ธีระอัมพรพันธุ์ นายโปรดปราน อุบลสถิตย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

วัสดุผสมเส้นใยคาร์บอน-อีพอกซี่ (CFEC) ได้ถูกนำมาใช้งานในวงการก่อสร้างอย่างมากในเรื่องของการเสริมความมั่นคงของโครงสร้าง แต่เส้นใยคาร์บอนต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้มีราคาแพง ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการใช้งาน ในขณะที่เหล็กมีกำลังรับแรงน้อยกว่าเส้นใยคาร์บอนประมาณ 3 เท่า แต่มีราคาถูกกว่าถึงประมาณ 40 เท่า ประกอบกับเหล็กมีการใช้งานทั่วไป สามารถผลิตและหาได้ง่ายกว่า ส่วนอีพอกซี่มีราคาแพงจึงผสมผงเบาเข้าไปเพื่อลดต้นทุน ดังนั้นในงานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวัสดุผสมเหล็กกับอีพอกซี่ ในการนำมาเสริมความมั่นคงของโครงสร้าง โดยทำการเปรียบเทียบหาอัตราส่วนอีพอกซี่:ผงเบาที่คุ้มค่าที่สุด และเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงดัดของคาน โดยทำการเสริมเหล็กในปริมาณหน้าตัดต่างๆและทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเสริมแรงต่อราคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	:	STUDY ON EFFECTIVENESS ENHANCEMENT OF STEEL EPOXY COMPOSITE FOR CONCRETE REPAIRING	
Name	:	MR.JAKKAPONG	THEERAUMPORNPUNT
		MR.PRODPRAN	UBOLSATHIT
Field	:	CIVIL ENGINEERING	
Department	:	CIVIL ENGINEERING	
Faculty	:	ENGINEERING	
Advisor	:	ASST.PROF.LAEMTHONG	LAOKHONGTHAVORN

ABSTRACT

Carbon fiber-epoxy composite (CFEC) has been used in construction field to strengthen structure. But it must be imported from another country, and the process to produce is very complicated, thus it is costly.

So the purpose of this research wants to study how to use steel-epoxy composite for reinforcement in the reinforced concrete structure. We compared the ratio of epoxy and filler for the best to worth the expense, this ratio is 1:1.25. Then we compared the flexural strength of concrete's span, 15x15x60 cm. by reinforced the steel in many case of cross section and compared the efficiency of reinforcement on each specimen in the both of strength and cost aspect. By considering the test results, steel ø 2 mm. 12ea with efficiency of 2 bath/ksc, compared with 1.99 bath/ksc of Pc-Wire ø 4 mm. 3ea. Steel ø 2 mm. 20ea with efficiency of 1.65 bath/ksc, compared with 1.28 bath/ksc of Pc-Wire ø 4 mm. 5ea. Steel ø 2 mm. 28ea with efficiency of 1.31 bath/ksc, compared with 1.10 bath/ksc of Pc-Wire ø 4 mm. 7ea. However we can increase efficiency of reinforcement by further research to use the appropriate type of epoxy and proportion of steel, to get more strength with lower cost.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษพิเศษนี้จะสำเร็จมิได้ หากขาดบุคคลผู้ที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ คืออาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร ที่ได้ให้คำแนะนำแนวทางในการศึกษาโครงงานพิเศษให้เกิดประโยชน์ และท่านได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและดูแลโครงงานพิเศษอย่างใกล้ชิดทั้งในและนอกเวลาราชการ รวมทั้งดูแลความเรียบร้อยของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณท่านคณะกรรมการโครงงานพิเศษ อาจารย์สิริวัฒน์ ไชยชนะ อาจารย์คมสัน มาลีสี และอาจารย์วุฒิชัย ชาติพัฒนานันท์ ที่ได้ให้คำชี้แนะและสั่งสอนที่มีประโยชน์อย่างมากมายในการทำงานและกาดำเนินชีวิต

ขอขอบคุณบริษัท กรุ๊ปเมค จำกัด และเจ้าหน้าที่ประจำบริษัท ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและวัสดุ คือ อีพอกซี่ ในโครงงานพิเศษนี้ ให้การแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินโครงงานพิเศษ ขอขอบคุณบริษัท ซีเพ็ค จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์วัสดุคอนกรีตผสมเสร็จ ที่ใช้ทำตัวอย่างในการทดสอบ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา สจล. ที่ได้ให้โอกาสศึกษาหาความรู้ที่เป็นประโยชน์ เจ้าหน้าที่ควบคุมงานปฏิบัติการทดสอบทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องเครื่องมือในการทำงาน ตลอดจนการให้คำแนะนำและวิธีการใช้เครื่องมือทดสอบ

ขอขอบคุณโครงการ IRPUS จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ได้ให้โอกาสสนับสนุนงบประมาณการวิจัยในการดำเนินโครงงานให้โครงงานพิเศษดำเนินไปได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ

สุดท้ายนี้จะขาดเสียมิได้สำหรับคำขอบพระคุณแด่บุพการีของผู้จัดทำโครงงานพิเศษ ตั้งแต่การสั่งสอน การเลี้ยงดู ทำให้มีทุกวันนี้ได้ จนถึงความช่วยเหลือที่ท่านมีในระหว่างทำโครงงานพิเศษทั้งเป็นกำลังใจและกำลังทุนทรัพย์ รวมทั้งความรักที่มีให้แก่บุตรเสมอมา

นายจักรพงศ์ ธีระอัมพรพันธุ์
นายโปรดปราน อุบลสถิตย์
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	ก
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
	กิตติกรรมประกาศ	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	ช
	สารบัญรูปภาพ	ญ
1	**บทนำ**	1
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของงานศึกษา	1
	1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
	1.4 ขอบเขตของการศึกษา	4
	1.5 วิธีการศึกษา	4
	1.6 แผนการศึกษา	6
	1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	7
2	**วรรณกรรมปริทัศน์**	8
	2.1 กล่าวนำ	8
	2.2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเส้นใย	8
	2.2.1 คำนิยามของเส้นใย	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.2.2 ประเภทของเส้นใย	8
	2.3 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวกับข้องอีพอกซี่	12
	2.3.1 คำนิยามของอีพอกซี่	12
	2.3.2 ชนิดของอีพอกซี่	12
	2.3.3 ข้อดีข้อเสียของอีพอกซี่เรซิน	13
	2.3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอีพอกซี่	13
	2.4 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผสม	15
	2.4.1 คำนิยามของวัสดุผสม	15
	2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผสม	15
3	การเก็บข้อมูลและการทดสอบ	17
	3.1 กล่าวนำ	17
	3.2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกล	17
	3.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	18
	3.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต	20
	3.2.3 การทดสอบความสามารถรับแรงดึงของลวดตาข่าย	21
	3.3 การเตรียมตัวอย่าง	24
	3.3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบรับแรงอัดของอีพอกซี่	24
	3.3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบรับแรงยึดเกาะของอีพอกซี่กับคอนกรีต	29
	3.3.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบการไหลของอีพอกซี่	35
	3.3.4 การคำนวณหาสัดส่วนการผสมคอนกรีตของตัวอย่างคานเพื่อใช้ในการทดสอบ Pull-off ออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา	40
	3.3.5 การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.3.6 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต	44
	3.3.7 การเตรียมตัวอย่างฉาบวัสดุผสม	46
	3.3.8 การคำนวณปริมาณการเสริม PC wire และลวดเหล็ก ในคานคอนกรีต	51
	3.4 การศึกษาคุณสมบัติด้านอื่นๆ	54
	3.4.1 การใช้งานของวัสดุผสมสำหรับงานเสริมแรงคอนกรีต	54
	3.4.2 ราคาวัสดุ	54
4	ผลการทดสอบวัสดุ	55
	4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึงของลวดเหล็ก และ ลวด PC wire	55
	4.2 ผลการทดสอบ Flow Table ของอีพอกซี่	56
	4.3 ผลการทดสอบกำลังอัดของอีพอกซี่	57
	4.4 ผลการทดสอบ Pull – Off Strength of Coating	59
	4.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก	61
	4.6 ผลการทดสอบการรับกำลังดัดของคานคอนกรีต	61
5	วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา	64
	5.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบลวดเหล็ก ø 2 mm. และ Pc-Wire ø 4 mm.	64
	5.2 สรุปผลการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก	65
	5.3 สรุปผลการทดลอง Flow Table	66
	5.4 สรุปผลการทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของอีพอกซี่	67
	5.5 สรุปผลผลการทดสอบ Pull – Off Strength of Coating	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	5.6 สรุปผลการทดสอบในการใช้งานในการรับแรงดัดของคานคอนกรีต	70
	5.7 สรุปผลการศึกษา	74
	เอกสารอ้างอิง	75
	บรรณานุกรม	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1.1	แสดงลักษณะการทดสอบและการเสริมแรงเพื่อใช้ในการทดลอง	5
1.2	แสดงแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	8
2.1	แสดงถึงชนิด,ขบวนการผลิตและมาตรฐานของตะแกรงเหล็ก	10
3.1	แสดงราคาที่ใช้เป็นวัสดุผสมสำหรับเสริมแรงคอนกรีต	54
4.1	แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของลวดชนิดต่างๆ	55
4.2	แสดงผลการทดสอบ Flow Table	56
4.3	แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของ Epoxy	57
4.4	แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของ Epoxy + Sand ในอัตราส่วนต่างๆ	57
4.5	แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของ Epoxy + Lime ในอัตราส่วนต่างๆ	58
4.6	แสดงผลการทดสอบ Pull – Off of Coating ของอีพอกซี่	59
4.7	แสดงผลการทดสอบ Pull – Off of Coating ของ Epoxy + Sand ในอัตราส่วนต่างๆ	59
4.8	แสดงผลการทดสอบ Pull – Off of Coating ของ Epoxy + Lime ในอัตราส่วนต่างๆ	60
4.9	แสดงผลการทดสอบ กำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอก	61
4.10	แสดงความสามารถในการรับแรงดัดของคานคอนกรีต	61
4.11	แสดงความสามารถในการรับแรงดัดของคานคอนกรีต ฉาบด้วย Epoxy + Filler 1:1.25	62
4.12	แสดงความสามารถในการรับแรงดัดของคานคอนกรีต เสริมลวดเหล็ก ø 2 mm.	62
4.13	แสดงความสามารถในการรับแรงดัดของคานคอนกรีต เสริมลวด Pc-Wire ø 4 mm.	63
5.1	แสดงผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึง ราคา และราคาต่อกำลังรับแรงดึงของเหล็กตะแกรง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
5.2	แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก	65
5.3	แสดงค่า ø เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที และ เปอร์เซ็นต์การไหลเทียบกับปูนฉาบ	66
5.4	แสดงผลการเปรียบเทียบราคา/กำลังที่เพิ่มขึ้นของ Epoxy + Filler ในอัตราส่วนต่างๆ	67
5.5	แสดงผลการทดสอบ Pull – Off of Coating ของ Epoxy + Sand ในอัตราส่วนต่างๆ	69
5.6	แสดงค่าเปรียบเทียบราคา/กำลังที่เพิ่มขึ้น ในพื้นที่หน้าตัดเหล็กๆ ที่เสริมคานคอนกรีต	70
5.7	สรุปประสิทธิภาพการใช้เส้นใยในการเสริมกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แผนภาพแสดงที่มาของปัญหาการศึกษา	3
1.2	แผนภาพแสดงแผนการศึกษา	6
2.1	แสดงชนิดต่างๆของตะแกรงเหล็ก	10
2.2	การใช้ตะแกรงเหล็กในงาน Ferro cement	11
2.3	การใช้ตะแกรงเหล็กในงานหุ้มองค์อาคารเหล็ก	11
2.4	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณผงเบากับความหนืดของ epoxy gel coat	14
3.1	ภาพแสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	18
3.2	แสดงภาพการวางตัวอย่างการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต	21
3.3	แสดงภาพชิ้นส่วนตัวอย่างลวด PC wire สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึง	22
3.4	แสดงภาพหัวขับลวดเหล็กสำหรับทดสอบกำลังรับแรงดึง	23
3.5	แสดงการทา Wax แบบหล่อ	25
3.6	แสดงตัวอย่างของ Wax ถอดแบบที่ใช้	25
3.7	แสดงตัวอย่างอีพอกซี่ ที่ผสมระหว่าง part A และ part B เสร็จแล้ว	26
3.8	แสดงตัวอย่างการผสมระหว่าง อีพอกซี่ และ ปูนขาว	26
3.9	แสดงตัวอย่างการผสมระหว่าง อีพอกซี่ และ ทราย	26
3.10	แสดงการหล่อส่วนผสมขนาด 5x5x5 cm. ระหว่างอีพอกซี่กับทราย	28
3.11	แสดงการหล่อส่วนผสมขนาด 5x5x5 cm ระหว่างอีพอกซี่กับปูนขาว	28
3.12	แสดงเครื่องมือ Pull – Off	29
3.13	แสดงเครื่องมือ Pull – Off	29
3.14	แสดงตัวอย่าง ดอลลี่และสลักเกลียว	30
3.15	แสดงถึงกาวพิเศษที่ใช้เป็นตัวประสาน ระหว่าง ดอลลี่ กับ พื้นผิวที่ทำการทดสอบ	30
3.16	แสดงภาพคานคอนกรีตที่สกัดผิวหน้าและทำอีพอกซี่กาวเชื่อมประสาน	31
3.17	แสดงภาพคานคอนกรีตซึ่งฉาบด้วยอีพอกซี่ กับ filler	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.18	แสดงภาพกาวPart A และ B ที่ใช้ทำการติด Dolly กับคาน	33
3.19	แสดงภาพ คานคอนกรีตที่ติดdolly เรียบร้อยแล้ว	33
3.20	แสดงภาพ การทดสอบ pull off	34
3.21	แสดงภาพ ตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบpull off แล้ว	34
3.22	แสดงภาพโมลทองเหลือง ที่ให้ทำการทดลอง Flow table	35
3.23	แสดงการเทส่วนผสม อีพอกซี่ part A	36
3.24	แสดงการเทส่วนผสม อีพอกซี่ part B	37
3.25	แสดงภาพอีพอกซี่ผสมกับทราย ที่ทำการทดสอบ flow table	38
3.26	แสดงภาพอีพอกซี่ผสมกับปูนขาว ที่ทำการทดสอบ flow table	38
3.27	แสดงภาพปูนฉาบ ที่ทำการทดสอบ flow table	39
3.28	แสดงภาพการเตรียมแบบเหล็ก โดยการทำความสะอาดและทาน้ำมัน	42
3.29	แสดงภาพการกระทุ้งคอนกรีต ของแบบหล่อ ทรงกระบอก	43
3.30	แสดงภาพไม้แบบที่ทำการแช่น้ำแล้ว	44
3.31	แสดงภาพคอนกรีตสำเร็จรูปที่ผสมโดยรถผสมคอนกรีตสำเร็จรูป	45
3.32	แสดงภาพการกระทุ้งคอนกรีตของแบบหล่อคาน	46
3.33	แสดงภาพการทาน้ำยา Epoxy ที่ทำหน้าที่เป็นกาวประสานเตรียมฉาบ	47
3.34	แสดงภาพการฉาบ Epoxy กับ Filler ชั้นที่ 1 หลังจากฉาบ Epoxy ที่เป็นกาวประสาน	48
3.35	แสดงภาพ การเสริมลวด เหล็ก PC wire และทำการฉาบครั้งที่ 2 ทับเพื่อปิดเหล็ก	49
3.36	แสดงภาพการวางลวดเหล็ก 2 mm. เพื่อเสริมคาน	50
5.1	แสดงภาพผลการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วย/กำลังรับแรงดึงระหว่าง ลวดเหล็ก ø 2 mm. และ Pc-Wire ø 4 mm.	65
5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับปริมาณ Filler	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.3	แสดงภาพผลการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วย / กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น	68
5.4	แสดงภาพผลการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วย / กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้น	72
5.5	แสดงการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมลวดเหล็ก ø 2 mm.	73
5.6	แสดงการวิบัติของคานคอนกรีตเสริม Pc-Wire ø 4 mm.	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

คอนกรีตเสริมเหล็ก ถือเป็นวัสดุผสม (Composite Material) แบบ Metal Ceramic Composite โดยจะเสริมในลักษณะที่มีเหล็กทำหน้าที่รับแรงดึง คอนกรีตเป็นวัสดุในกลุ่มเซรามิคที่ทำหน้าที่รับแรงอัด แต่วัสดุแบบนี้อาจเกิดความเสียหายได้ เนื่องจาก การรับแรงเกินกำลัง การกัดกร่อนของสภาวะแวดล้อม การเกิดสนิมเหล็ก การรับแรงที่ไม่ได้คำนวณออกแบบไว้ หรือการเกิดแผ่นดินไหว เป็นต้น แต่วัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นยังมีข้อดีคือสามารถซ่อมแซมได้ง่าย และสามารถเสริมกำลังในรูปแบบต่างๆ ที่หลากหลายได้ การเลือกใช้วัสดุผสมระหว่างเส้นใยคาร์บอน หรือเส้นใยแก้ว หรือเส้นใยอะรามิค (Aramid) กับอีพอกซี่ (Epoxy) มาใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีตเสริมเหล็ก ก็ถือเป็นลักษณะหนึ่งที่นิยมใช้ในการเสริมกำลังและใช้ในการซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากมีการใช้งานที่ง่าย และสะดวกในการซ่อมแซม

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของงานศึกษา

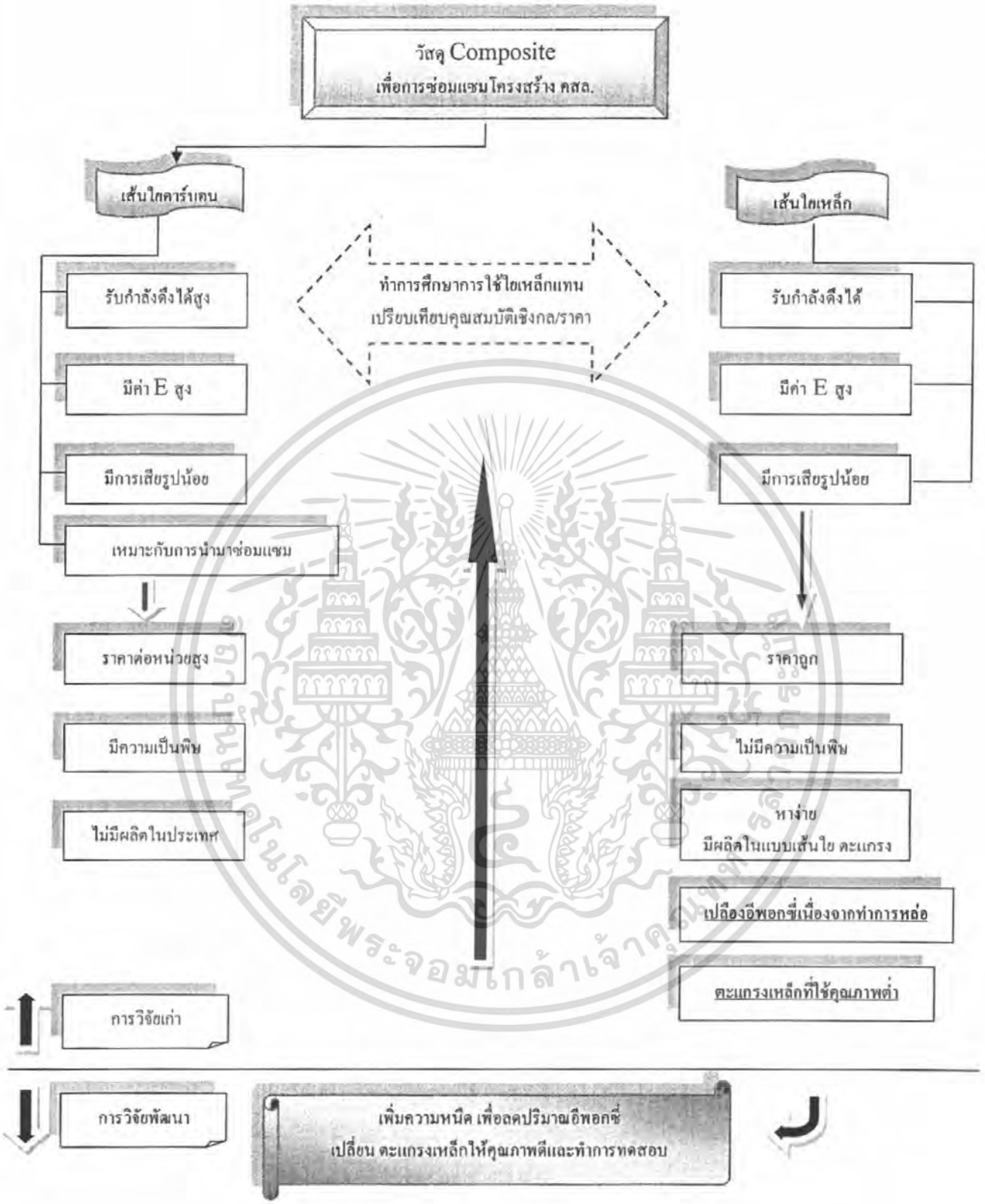
สำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีตเสริมเหล็กในปัจจุบันนั้น จะมีการเสริมกำลังโดยเลือกใช้วัสดุผสม (Composite Material) คือใช้เส้นใยกับอีพอกซี่เสริมกำลังคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดความเสียหายในกรณีต่างๆ เพราะเนื่องจาก เส้นใยคาร์บอนนั้นสามารถต้านกำลังแรงดึงได้สูงมีน้ำหนักเบาและง่ายต่อการซ่อมแซม แต่เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้เฉพาะในงานซ่อมแซม และต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงทำให้มีราคาสูง และมีการใช้งานที่จำกัด

จากโครงการวิจัย เรื่อง การศึกษานำวัสดุผสมเหล็กกับอีพอกซี่มาใช้แทนเส้นใยคาร์บอนกับอีพอกซี่สำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีต ประจำปี พ.ศ. 2548 นั้น ผลการศึกษาทำให้ได้พบว่า วัสดุผสมคาร์บอนกับอีพอกซี่ (Steel Epoxy Composite, SMC) สามารถนำมาใช้ในการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีต แทนวัสดุผสมคาร์บอนอีพอกซี่ (Carbon Fiber Epoxy Composite, CFEC) ได้ และมีต้นทุนต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตาม จากที่ได้นำวัสดุ SMC ไปใช้งานจริงพบว่า ยังสามารถที่จะวิจัยเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุนี้ได้อีก เพื่อให้มีความสามารถรับแรงต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้เพิ่มขึ้น มีราคาถูกลง และจากงานวิจัยที่ผ่านมานั้นเป็นเพียงการศึกษาในเบื้องต้น จึงใช้อีพอกซี่ประเภทเดียวในการศึกษา ซึ่งอีพรอกซี่ที่ใช้นั้นมีสภาพเหลว และมีความหนืดน้อย เมื่อนำไปใช้งานจริง จึงเกิดการเยิ้มมาก ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ้นเปลืองและไม่สะดวก นอกจากนั้นตะแกรงเหล็กที่นำมาใช้นั้น ยังมีปริมาณหน้าตัดเหล็กต่อความกว้างตะแกรงเหล็กน้อย มีผลทำให้ต้องนำตะแกรงมาทบกันหลายชั้น และการที่เรานำตะแกรงเหล็กมาทบกันหลายชั้นนั้น เราไม่สามารถที่จะนำอีพอกซี่มาฉาบเพื่อใช้เป็นตัวประสานได้จึงต้องใช้การหล่อแทนการฉาบ เพราะชั้นเหล็กตะแกรงมีความหนา ทำให้ตัวอีพรอกซี่ที่เหลวไม่สามารถยึดเกาะระหว่างตะแกรงเหล็กกับคอนกรีตได้ ทำให้สิ้นเปลืองอีพอกซี่ซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาสูง ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงของวัสดุ SMC ให้มากขึ้นและมีราคาถูกลง โดยการศึกษาส่วนผสมของอีพอกซี่ที่มีความเหมาะสมต่อการทำงาน และการเลือกใช้ตะแกรงเหล็กที่เหมาะสม เพื่อให้มีต้นทุนของวัสดุ SMC ถูก โดยสามารถสรุปที่มาของปัญหาได้ดังในแผนภาพที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงที่มาของปัญหาการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์

ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำวัสดุผสม ระหว่าง เหล็ก กับอีพอกซี่ มาใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีตเสริมเหล็กในลักษณะเดียวกับวัสดุผสมระหว่าง เส้นใยคาร์บอนกับอีพอกซี่ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรับแรงของวัสดุผสมกับราคาต่อหน่วยปริมาณที่ใช้

โดยทำการศึกษาประเด็นดังต่อไปนี้

1. ศึกษาหาส่วนผสมของอีพอกซี่ที่มีความเหมาะสมต่อการทำงาน โดยเน้นการลดปริมาณการใช้อีพอกซี่ให้มากที่สุดโดยการเติมวัสดุเฉื่อยลงในปริมาณที่เหมาะสม

2. ศึกษาการเลือกใช้ตะแกรงเหล็กที่เหมาะสม เพื่อให้มีปริมาณของเหล็กต่อความกว้างของตะแกรงมากที่สุด เพื่อให้มีต้นทุนของวัสดุ SMC ถูกที่สุดแต่มีประสิทธิภาพการรับแรงสูงสุด

1.4 ขอบเขตการศึกษาของโครงงานวิจัย

1. ทำการศึกษาเพื่อหาส่วนผสมของอีพอกซี่ที่ให้ความหนืดและการซึมเข้าคอนกรีตได้ดี โดยส่วนผสมที่ใช้ผสมในอีพอกซี่ ได้แก่ ทราย และ ปูนขาว

2. ทำการศึกษาถึงลักษณะหน้าตัดของลวดเหล็ก และ อัตราส่วน Filler ที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและแรงดัดสูงสุด เมื่อนำไปเสริมในทรงกระบอกและคานคอนกรีตตัวอย่าง

1.5 วิธีการศึกษา

1. ทำการศึกษาส่วนผสมอีพอกซี่ที่มีความเหมาะสมสำหรับวัสดุ SMC โดยการนำอีพอกซี่ มาผสมกับทราย และปูนขาว โดยผสมในอัตราส่วนอย่างละ 1 แล้วนำมาเทหล่อในแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม. ทิ้งไว้ให้แข็งตัวดี 24 ซม. นำมาทดสอบความหนาแน่น และความสามารถรับแรงอัด

2. ขณะที่หล่อตัวอย่างในข้อ 1 ให้ทำการทดสอบความสามารถการซึมเข้าเนื้อคอนกรีต โดยการทาส่วนผสมลงบนตัวอย่างคานคอนกรีตส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ซึ่ง 3 ตัวอย่างนี้มีกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 280 กก./ซม^2 และ ทำการทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องดึงดอลลี่

3. จากข้อ 1 และ 2 นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยการพลือตกราฟเพื่อหา ส่วนผสมของอีพอกซี่ที่เหมาะสม

4. นำเส้นใยที่มีความหนาแน่นของหน้าตัดเส้นใยต่อความกว้าง จำนวน 3 ขนาด มาทำการเสริมกำลังให้กับตัวอย่างคอนกรีต โดยแบ่งเป็นการทดสอบ ขนาด และ จำนวนตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 1.1 ทำการทดสอบคุณสมบัติวัสดุคอนกรีตที่เสริมแรงด้วยวัสดุผสม SMC ดังแสดงในตารางที่ 1.1 แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเปรียบเทียบเพื่อกำหนด หา ลักษณะเหล็กและ อัตราส่วน Filler ที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัด และแรงดัด สูงสุด

5.คำนวณค่าใช้จ่ายต้นทุนของตัวอย่างที่ทดสอบตามตารางที่ 1.1 ของแต่ละตัวอย่าง และนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกำลังที่เพิ่มขึ้น และ ต้นทุนของตัวอย่าง

6.นำผลอัตราส่วน Filler ที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้ ในข้อ 6 ไปผสมกับอีพอกซี่ที่นำไปทดสอบหาค่าความหนืด และจับเวลาระยะเวลาที่ใช้ในการเซทตัวของอีพอกซี่ เพื่อดูอัตราการเย็นตัวว่ามีความเหมาะสมในการทำงานหรือไม่ ถ้าหากการเย็นตัวช้าหรือเร็วไป ให้ปรับส่วนผสม Part B ของอีพอกซี่

7.เขียนรายงานการวิเคราะห์

ตารางที่ 1.1 แสดงลักษณะการทดสอบและการเสริมแรงเพื่อใช้ในการทดลอง

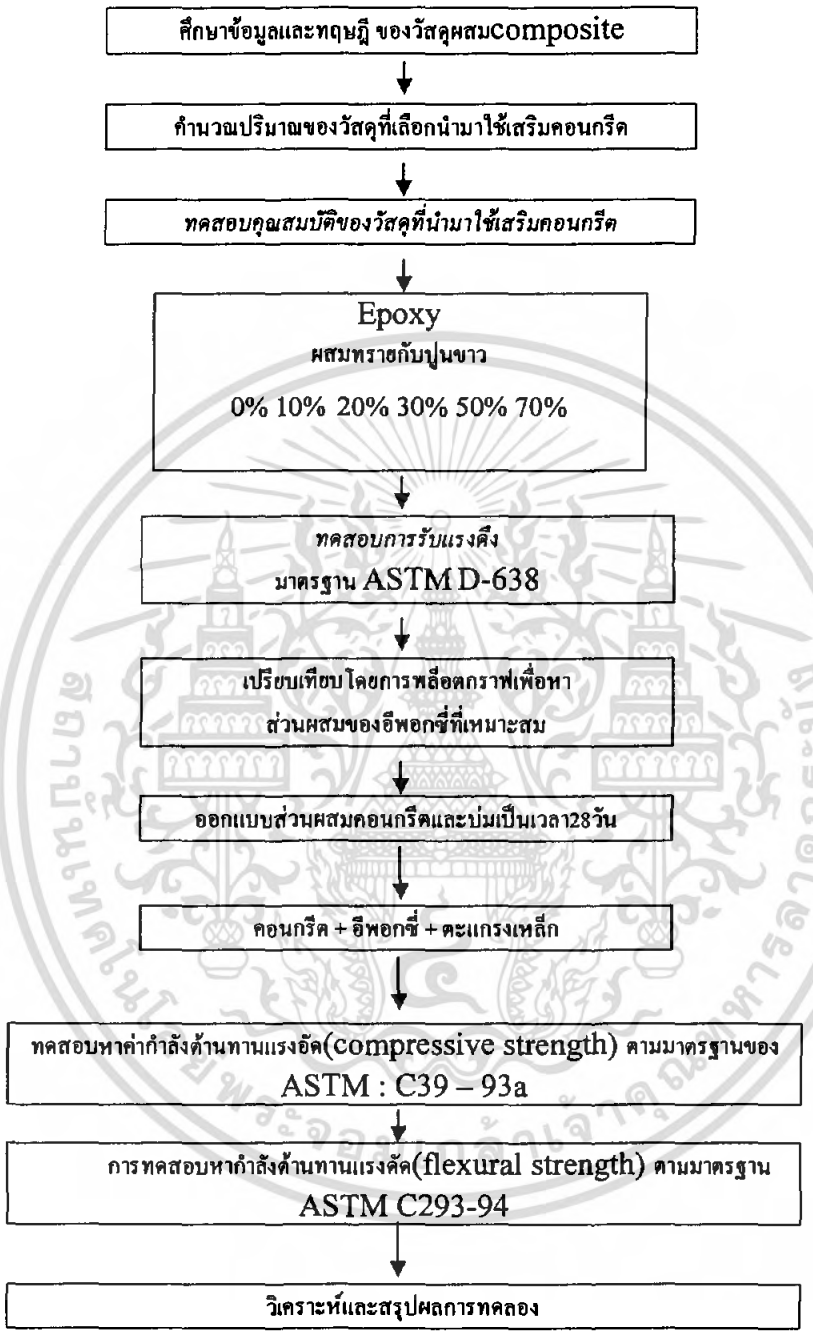
No.	การทดสอบ	ขนาดตัวอย่าง	การเสริมการรับแรง	%Filer ใน Epoxy	จำนวน
1	ความสามารถรับแรงดัด	คานคอนกรีต ขนาด ยาว 0.6 ม. หน้าตัด 15 ซม. กว้าง 15 ซม.	ไม่เสริม	A	3
			SMC ตะแกรงเหล็กหนาแน่น น้อย	A	3
			SMC ตะแกรงเหล็กหนาแน่น ปานกลาง	A-15%	3
				A	3
				A+15%	3
			SMC ตะแกรงเหล็กหนาแน่น มาก	A	3

<u>หมายเหตุ</u> A เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ Filler ที่เป็นทรายและ ปูนขาวในข้อ 3.

โดยวิธีการศึกษาสามารถสรุปได้เป็นแผนผังดังรูปที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนการศึกษา



รูปที่ 1.2 แสดงแผนการศึกษา

แผนการศึกษาแสดงถึงขั้นตอนการศึกษาโดยแบ่งเป็นสามส่วนหลักคือ 1.การหาส่วนผสมอีพอกซี่ที่เหมาะสม 2. การหาลักษณะและปริมาณเหล็กที่จะนำไปเสริมกำลัง 3.ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดค่าก่อสร้างในการเสริมโครงสร้างที่เสื่อมสภาพ ด้วยเส้นใยคาร์บอนโดยใช้วัสดุผสมเหล็กมาทดแทน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ต้องมีการบูรณะซ่อมแซมมากมาย ได้แก่ โบราณสถาน เจดีย์เก่า เช่น เจดีย์ที่วัดบูรฯ อาคารที่ทรุดและแตกร้าว เป็นต้น

2. ได้วัสดุใหม่สำหรับวงการก่อสร้าง ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีมากขึ้นกว่าเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยเปรียบเทียบต่อหน่วยน้ำหนักและราคา

3. สามารถขยายผลไปใช้กับงานกันการแตกร้าวของวัสดุซีเมนต์ และ วัสดุทางสถาปัตยกรรมอื่น ๆ ได้

4. ลดการนำเข้าเส้นใยคาร์บอน ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง เป็นวัสดุมีพิษเพราะเส้นใยคาร์บอนมีขนาดเล็กมาก เมื่อหายใจเข้าไปในปอด จะสะสมตัวและก่อพิษกับร่างกาย ถ้าหากสัมผัสถูกผิวจะเกิดอาการแพ้คัน และเป็นผื่นแดงขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวคำนิยาม และคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องในการศึกษาการใช้วัสดุผสม (Composite Material) ที่ได้มีการรวบรวมข้อมูล แนวคิด ทฤษฎี งานวิจัยที่มีผู้ศึกษาก่อนหน้านี้ เพื่อให้ได้รับความเข้าใจในเนื้อหาได้ง่ายขึ้น

2.2 งานวิจัย/ทฤษฎีที่เกี่ยวกับ เส้นใย

2.2.1 คำนิยามของเส้นใย

เส้นใย (Fiber) ในที่นี้หมายถึงวัสดุผสมที่ใช้ในงานเสริมแรงหรืองานซ่อมแซมในซีเมนต์มอร์ตาร์และคอนกรีต เพื่อช่วยให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เช่น มีความต้านทานต่อกำลังแรงอัดและแรงดัดได้เพิ่มขึ้น (แม้น อมรสิทธิ์ และ สมชัย อัครทิวา,2546)

เส้นใยที่ใช้ในคอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete) สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

1.เส้นใยอินทรีย์สาร ซึ่งเป็นเส้นใยที่ได้จากธรรมชาติ บางครั้งอาจมีการปรับปรุงขนาดและรูปร่างของเส้นใยก่อน เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ เช่น ขนสัตว์ เส้นใยที่ทำจากเศษไม้ชิ้นเล็กๆ เป็นต้น

2.เส้นใยอนินทรีย์สาร ซึ่งเป็นเส้นใยอนินทรีย์สาร เป็นสารใยที่ได้จากกรรมวิธีทางอุตสาหกรรม หรืออาจจะเป็นของเหลือที่เหลือใช้จากการผลิตทางอุตสาหกรรม

2.2.2 ประเภทของเส้นใย

เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) คือเส้นใยที่นำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการเสริมกำลังรับแรงคอนกรีตเส้นใยคาร์บอนได้มาจากแหล่งที่สำคัญ 2 แหล่งคือ พอลิอะครีไลไนไทรล์ (Polyacrylonitrile, PAN) กับยางมะตอย ซึ่งมีคุณสมบัติรับแรงดึงได้สูงมากคือ 3,800 – 4,500 Mpa มีค่า Modulus of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elasticity สูง มีน้ำหนักเบา สำหรับเสริมกำลังและงานซ่อมแซมของคอนกรีตเสริมเหล็ก (แม้น อมรสิทธิ์เและสมชัย อัครทิวา,2546)

เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เหล็กเส้นเล็กๆ นำมาถักหรือเชื่อมเป็นตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือหกเหลี่ยม เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผสมร่วมกับอีพอกซี่ในการเสริมกำลังของคอนกรีต เส้นใยเหล็กมีคุณสมบัติในการรับแรงดึงได้สูงมีค่า Modulus of Elasticity สูง สามารถยึดเกาะกับอีพอกซี่ได้เป็นอย่างดี สามารถหาได้ง่ายมีราคาถูก (www.thaiengineering.com)

เส้นใยแก้ว ใยแก้วที่นำมาใช้เสริมแรงพลาสติก เพื่อให้มีโครงสร้างแบบวัสดุผสมและใช้สำหรับทำแบบหรือแม่พิมพ์ (Molding compounds) วัสดุพวกนี้จะมีลักษณะเฉพาะที่ดีคือ มีความแข็งแรงสูง มีรูปทรงเสถียร เป็นฉนวนความร้อน-เย็นที่ดี ไม่ดูดความชื้น ทนทานต่อการผุกร่อน เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ขึ้นรูปง่าย และมีราคาค่อนข้างถูก

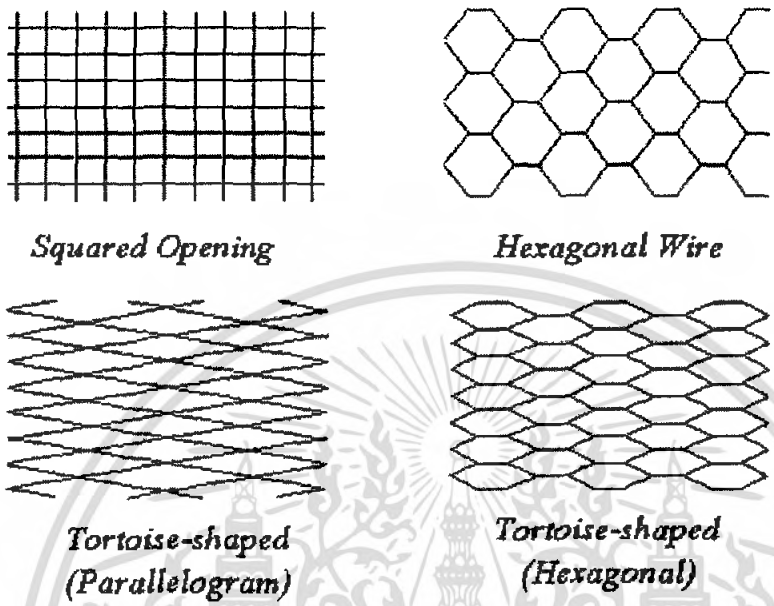
เส้นใยอะรามิด เป็นชื่อทั่วไปของอะโรมาติกพอลิอะไมด์ไฟเบอร์ เส้นใยอะรามิดเริ่มมีการแนะนำทางการค้า โดยบริษัท ดูปองท์ (Du pont) เมื่อปี 1972 ในชื่อว่าเคบลาร์(Kevlar) ในปัจจุบันเคบลาร์ที่ขายกันอยู่มี 2แบบ เคลาร์ 29 และ เคบลาร์ 49 เคบลาร์ 29เป็นชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ แต่เป็นเส้นใยอะรามิดที่มีความแข็งแรงสูง ซึ่งออกแบบมาเพื่อป้องกันกระสุนหรือขีปนาวุธใช้ทำเชือกและสายเคเบิ้ล ส่วนเคบลาร์49 มีสมบัติเฉพาะคือ มีความหนาแน่นต่ำแต่มีความแข็งแรงและมอดูลัสสูง ทำให้เคบลาร์ 49 นี้มีประโยชน์ในการเสริมแรงพลาสติก สำหรับงานสร้างเครื่องบิน สร้างเรือ รถยนต์ และนำไปประยุกต์ทางด้านอุตสาหกรรมอื่นๆ

เคบลาร์อะรามิด เป็นวัสดุผสมที่มีคุณภาพสูงนำไปประยุกต์ได้มากมายเพราะมีน้ำหนักเบา ความแข็งแรงและเหนียวสูง ทนทานต่อการชำรุด ความล้าและstress rupture ที่น่าสนใจอย่างยิ่งคือ วัสดุที่เป็นเคบลาร์ – อีพอกซี่ (Kevlar – epoxy) นี้นำไปใช้ทำส่วนประกอบต่างๆ ของกระสวยอวกาศ (space shuttle)

ตะแกรงเหล็ก (Wire Mesh) ในงานวิศวกรรมโยธามักหมายความถึง ตะแกรงเหล็ก (Steel wire) หรือตะแกรงเหล็กชุบดีบุกหรือสังกะสี (Galvanized steel wire mesh) ซึ่งอาจเป็นเหล็กเส้นเล็กๆ ที่นำถักประสานกันให้มี ช่องเปิดเป็น รูป สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือหกเหลี่ยม (Woven Mesh of Squared or Hexagonal Opening) หรืออาจหมายถึง เหล็กเส้นเล็กๆ ที่ทำให้เกิดช่องเปิดโดยวิธีการเชื่อมประสาน (Welded Wire mesh) และ ตะแกรงที่เกิดจากการกรีดเหล็กแผ่นให้เป็นรอยขาดเล็กๆ เยื้องกัน แล้วดึงหรือยืด (Expansion Steel) แผ่นเหล็กนั้นจนปรากฏเป็นตะแกรงเหล็กที่มีช่องเปิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน หรือหกเหลี่ยม (Tortoise Shaped) (www.thaiengineering.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wire Mesh ชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.1 แสดงชนิดต่างๆของตะแกรงเหล็ก

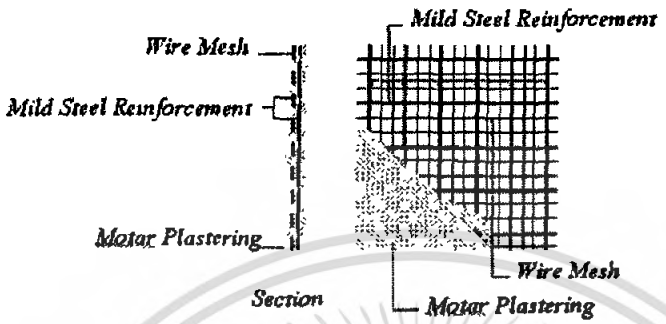
มาตรฐาน Wire Mesh

ตารางที่ 2.1 แสดงถึงชนิด,ขบวนการผลิตและมาตรฐานของตะแกรงเหล็ก (www.thaiengineering.com)

ชนิดและขบวนการผลิต	มาตรฐาน
WWF (Plain)	ASTM A 185-94, A 497-94a
WWF (Deformed)	ASTM A 496-94
เหล็กยืดผลิตจากเหล็กรีดร้อน	JIS G3131
เหล็กยืดผลิตจากเหล็กรีดเย็น	JIS 3141

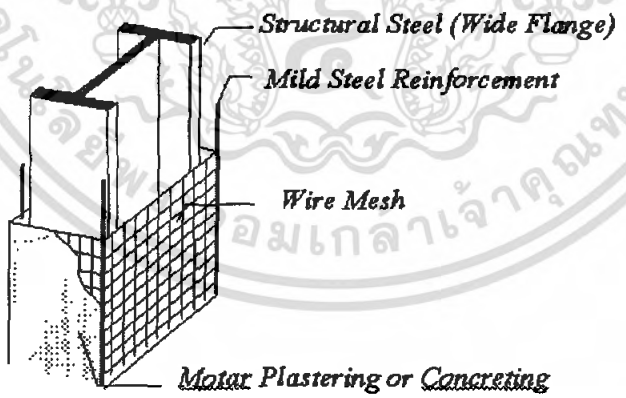
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Wire Mesh ในงาน Ferro cement



รูปที่ 2.2 การใช้ตะแกรงเหล็กในงาน Ferro cement

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Wire Mesh หุ้มองค์อาคารเหล็ก



รูปที่ 2.3 การใช้ตะแกรงเหล็กในงานหุ้มองค์อาคารเหล็ก (www.thaiengineering.com)

สมบัติของเส้นใยที่เหมาะสำหรับใช้เสริมแรงคอนกรีตควรมีลักษณะดังนี้

- **เส้นใยควรมีอีลาสติกมอดูลัสสูงเพื่อประสิทธิภาพในการเสริมแรง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เส้นใยควรจะมีความแข็งแรงสูง
- ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก
- เส้นใยควรจะเสถียร และรับความแข็งแรงขณะจัดเก็บและขึ้นรูปได้
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และพื้นที่ผิวของเส้นใยควรจะมีลักษณะเหมือนกัน

2.3 งานวิจัย/ทฤษฎีที่เกี่ยวกับ อีพอกซี่ (Epoxy)

2.3.1 คำนิยามของอีพอกซี่ (Epoxy)

อีพอกซี่ (Epoxy) เป็นวัสดุโพลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) ที่ใช้สำหรับทำวัสดุผสมเสริมแรงร่วมกับเส้นใยคาร์บอน หรือ ตะแกรง เหล็ก อีพอกซี่ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวยึดประสานเส้นใยและช่วยให้ทนทานต่อแรงกระแทก ใช้ในงานเสริมแรงและงานซ่อมแซมรอยแตกของคอนกรีต (http://Elec.chandra.ac.th)

2.3.2 ชนิดของอีพอกซี่ (Epoxy)

ชนิดของอีพอกซี่แบ่งชนิดโดยพิจารณาจากลักษณะการใช้งาน โดยทั่วไปมี 3 ชนิดดังนี้

- ชนิดที่ 1 (Type 1) ใช้สำหรับยึดเหนี่ยวคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว(Hardened Concrete)และวัสดุอื่นๆกับคอนกรีต
- ชนิดที่ 2 (Type 2)สำหรับยึดเหนี่ยววัสดุสำหรับต้านการไถล (Skip resistant materials) กับคอนกรีตเก่าหรือเป็นตัวเชื่อมประสานในอีพอกซี่มอร์ต้าร์ อีพอกซี่คอนกรีต
- ชนิดที่ 3 (Type 3) สำหรับยึดเหนี่ยวคอนกรีตสดกับคอนกรีตเก่า

ชนิดของอีพอกซี่แบ่งโดยพฤติกรรม

การแบ่งออกเป็นเกรดต่างๆ กำหนดโดยอาศัยพฤติกรรม เช่น ความหนืด(viscosity) และความข้นเหลว (consistency)ที่ต้องการเช่น

- เกรด 1 เป็นวัสดุที่ความหนืดต่ำ ใช้กับการซ่อมรอยแตกร้าวด้วยการพ่น
- เกรด 2 เป็นวัสดุที่มีความหนืดปานกลาง ใช้สำหรับงานทั่วไป
- เกรด 3 เป็นวัสดุที่มีความหนืดสูงไม่ย้อยตัวขณะใช้งาน(nonsagging consistency material) สำหรับใช้งานที่อยู่เหนือศีรษะ(overhead work) หรือ ยึดเหนี่ยวผิวที่ขาดการยึดเกาะ(Nonmoving Surface)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ข้อดีข้อเสียของ อีพอกซี่เรซิน

ข้อดี

- เนื่องจากในอีพอกซี่เรซินจะมีสารพวก Epoxide, Hydroxyl, Amine และอื่นๆซึ่งทำให้ อีพอกซี่เรซินมีคุณสมบัติในการยึดเกาะระหว่างผิววัสดุต่างชนิดกันเป็นอย่างดี
- มีแรงยึดเกาะ (Cohesion) ภายในตัวเองสูงมากเมื่อมีการบ่มให้ถูกวิธีซึ่งจะทำให้ยึดเกาะกับวัสดุอื่นๆ ได้ดี
- มีความแข็งแรงมาก (100% Solid) เมื่อแข็งตัวแล้วจะเสมือนหนึ่งของแข็ง
- มีการยึดเกาะหด ขยายตัวต่ำมาก (Low Shrinkage)ประมาณ 1 %
- มีการคืบตัวน้อย
- ต้านทานความชื้นและการทำลาย
- มีความต้านทานทางเคมีสูง
- มีความสามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 500 F°

ข้อเสีย

- บางชนิดเป็นพิษต่อร่างกาย คือทำให้เกิดอาการอักเสบต่อผิวหนังได้
- ราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ

2.3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอีพอกซี่

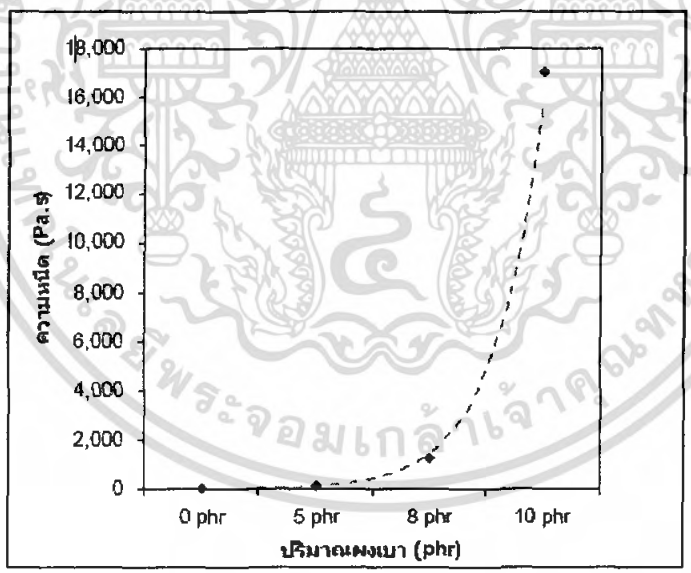
Gel coat เป็นสารเคลือบผิวที่สามารถใช้ในการเคลือบผิวmold สำหรับการผลิตข้องอเสริมแรง โดยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้องอที่ดีจะขึ้นกับผิว mold ต้นแบบ นั่นคือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับคุณภาพและคุณสมบัติของสารเคลือบผิว (Gel coat) ที่นำมาใช้ การพัฒนาคุณภาพของ gel coat จึงเป็นสิ่งสำคัญ งานวิจัยนี้เป็นการเตรียม gel coat จาก epoxy resin และศึกษาถึงอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียม epoxy gel coat ดังนี้ ปริมาณผงเบาที่เหมาะสม, อัตราส่วนของ curing agent และ accelerator ที่ใช้ รวมทั้งศึกษาถึงวิธีการลดฟองอากาศที่เกิดขึ้นในเนื้อของ epoxy gel coat และการเติมสารเติมแต่งประเภท Impact modifier (CTBN)เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของ epoxy gel coat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลของปริมาณผงเบาที่มีผลต่อความหนืด

(ชัยพฤกษ์ เกตเพ็ชร และ คนอื่นๆ,2547)

พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความหนืดของ Gel coat ในทิศทางที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงเบา และเมื่อนำมาพล็อตเป็นกราฟที่แสดงในรูปที่ 3 สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณผงเบาอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการเติมผงเบาลงไปใน epoxy resin นั้นจะทำให้อนุภาคของผงเบาเข้าไปขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลของ epoxy resin ทำให้สายโซ่โมเลกุลของ epoxy resin เคลื่อนไหวได้ยากขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ เมื่อแต่ละสายโซ่โมเลกุลเคลื่อนไหวได้ยากจึงส่งผลต่อสมบัติโดยรวมคือ การจะทำให้สายโซ่โมเลกุลทั้งหมดเคลื่อนที่(ไหล)จึงจำเป็นต้องใช้แรงมากขึ้นนั่นคือความสามารถในการต้านทานการไหลหรือความหนืดของทั้งระบบสูงขึ้นนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถใช้ผงเบาเป็นสารที่ช่วยในการปรับความหนืดของ epoxy gel coat ให้ได้ความหนืดตามต้องการ



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณผงเบากับความหนืดของ epoxy gel coat

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของผงเบาที่มากขึ้นทำให้ epoxy gel coat ที่ได้หนืดขึ้นและมีค่า Flexural modulus เพิ่มขึ้น อัตราส่วนระหว่าง curing agent และ accelerator ที่ต่างกันมีผลต่อ gel time และคุณสมบัติเชิงกลของ epoxy gel coat และการเติม Impact modifier(CTBN) ทำให้ Epoxy gel coat มีค่าImpact strength เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัย/ทฤษฎีที่เกี่ยวกับ วัสดุผสม (Composite Material)

2.4.1 คำนิยามของวัสดุผสม (Composite Material)

วัสดุผสม (Composite Material) เป็นสิ่งใดก็ได้ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันสองชนิดขึ้นไปตั้งแต่ในระดับอะตอมของวัสดุ จนถึงขนาดใหญ่เช่น คอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งทำให้วัสดุมีคุณสมบัติที่ดีเป็นพิเศษหรือมีลักษณะสำคัญแตกต่างไปจากเดิม ในการศึกษานี้จะกล่าวถึง วัสดุที่มีความสำคัญในงานวิศวกรรมก่อสร้าง เช่นเส้นใยคาร์บอน เส้นในพลาสติก เหล็ก คอนกรีต อีพอกซี่ เป็นต้น (แม้น อมรสิทธิ์และสมชัย อัครทิวา,2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุผสม(Composite Material) ได้แก่

- เส้นผ่านศูนย์กลาง ของเส้น ถ้าหากเส้นใยมีขนาดใหญ่ จะมีพื้นที่หน้าตัดรับแรงมากขึ้น
- ความยาวของเส้นใย ให้มีความยาวมากกว่าความยาววิกฤติ ซึ่งถ้าเส้นใยมีความยาว น้อยกว่านี้จะส่งผลทำให้เส้นใยรับแรงได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ
- ปริมาตรของเส้นใย ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้วัสดุผสมมีความสามารถในการรับแรงมากขึ้น
- การจัดเรียงตัวของเส้นใยในวัสดุผสม (Composite Material)

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ วัสดุผสม (Composite Material)

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมทางกายภาพของคอนกรีตผสมใยเหล็ก
(เสฏฐชัย พรกุลประสิทธิ์ และ คนอื่นๆ,2547)

โครงการนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมใยเหล็ก โดยใช้ใยเหล็กจากการกลึงเหล็กเพลาดำ ซึ่งมีขนาดความหนา 0.20-0.60 มิลลิเมตร ความกว้าง 1.50 – 3.50 มิลลิเมตร และความยาว 15.0 – 25.0 มิลลิเมตร โดยผสมใยเหล็กในอัตราส่วน 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.3 % โดยปริมาตรของคอนกรีต ผลพบว่าที่ปริมาณผสม 1.5 % ให้ผลดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตล้วน กำลังอัดเพิ่มขึ้น 5.7 % กำ ลังดึงแยกเพิ่มขึ้น 22.7 % โมดูลัสการแตกหักเพิ่มขึ้น 12.8 %

จากการทดสอบคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก พบว่ากำลังอัดและโมดูลัสการแตกหักไม่ได้แตกต่างจาก คอนกรีตล้วนมากนัก ในขณะที่กำลังต้านทานแรงดึงแยกเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 29% ที่ปริมาณการผสมเส้นใย 2%ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกทดสอบแรงดึงแยก ตัวอย่างจะไม่หลุดออกจากกันเป็น 2 ชิ้น เมื่อรับแรงดึงถึงจุดสูงสุดแต่ยังคงรับแรงดึงได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างคานทดสอบแรงดัด จากการวัดรอยแยกของคานทดสอบแรงดัดบริเวณท้องคานเมื่อรับน้ำหนักกระทำ สูงสุด พบว่าเมื่อผสมเส้นใยเหล็กมากขึ้นรอยแยกจะยิ่งมีขนาดเล็กลงแสดงให้เห็นว่าเส้นใยเหล็กสามารถลดรอยแตกร้าวและป้องกันการวิบัติทันทีทันใด ซึ่งคานคอนกรีตล้วนเมื่อรับกำลังถึงจุดสูงสุด จะขาดออกจากกันทันที

เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นในนำตาข่ายเส้นใยคาร์บอนมาเสริมความแข็งแรง ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(พันธกร ธนะรุ่งโรจน์กิจ และ วิชาญ โฆษิตเจริญกุล,2548)

วัสดุคอมโพสิทเส้นใยคาร์บอนอีพอกซี่(CFEC) เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการเสริมความสามารถรับแรงของพื้น และ คาน คอนกรีต แต่เนื่องจากเส้นใยคาร์บอนมีราคาแพงมาก เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีกรรมวิธีการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน จึงทำให้เป็นข้อจำกัดของการนำมาใช้งาน ดังนั้นการใช้เส้นใยคาร์บอนอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการนำตาข่ายเส้นใยคาร์บอนมาเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการเสริม การรับแรงดัดของแผ่นพื้นขนาด120 x 45 x 7.5 cm. สำหรับการเสริมด้วยเส้นใยคาร์บอนแบบแถบกว้าง 45 cm. 3 ตัวอย่าง เสริมด้วยเส้นใยคาร์บอนแบบตาข่ายเส้นใยโดยมีระยะห่างระหว่างเส้นใย 5, 10, 15 และ 20 cm. อย่างละ 3 ตัวอย่าง โดยมีปริมาณเส้นใย เท่ากัน แต่มีการเสริม CMEC แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ การเสริมแบบแปะใต้ท้องพื้น และการเสริมแบบใส่เข้าไปในแผ่นพื้น และนำไปทดสอบแรงดัดแบบจุดเดียวตรงกึ่งกลาง

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

การเสริมเส้นใยคาร์บอนแบบตาข่ายช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้เส้นใยคาร์บอนได้มากกว่าการเสริมแผ่นคาร์บอนแบบแถบ โดยเฉพาะการเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนในแผ่นพื้นจะมีประสิทธิภาพในการรับแรงมากกว่าการเสริมตาข่ายเส้นใยคาร์บอนแบบปะใต้ท้องพื้น และยังมีราคาถูกกว่า โดยระยะความกว้างช่องตาข่ายไม่มีผลสำหรับการเสริมตาข่ายแบบปะใต้ท้องพื้น แต่ระยะช่องตาข่ายที่ถี่จะช่วยให้การรับแรงของการเสริมตาข่ายเส้นใยแบบเสริมในพื้นดีกว่าช่องตาข่ายที่ห่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
การเก็บข้อมูลและการทดสอบ

3.1 กล่าวนำ

การเก็บข้อมูลและการทดสอบ จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบวัสดุในลักษณะเชิงกล และคุณสมบัติอื่นๆ เช่นราคาและการใช้งาน รวมถึงการเตรียมตัวอย่างการทดสอบให้เหมาะสมกับวิธีการทดลอง เพื่อให้ได้เข้าใจหลักการในการทดสอบพฤติกรรมแบบต่างๆ

3.2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกล

3.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen)

ก. มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐานการทดสอบ ASTM : C 39 – 93a

ข. วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ตามมาตรฐาน ASTM

ค. วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. คอนกรีตตัวอย่างสำหรับการทดสอบ
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm และสูง 30 cm
4. เครื่องชั่งน้ำหนักขนาดใหม่
5. เครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
6. เครื่องหล่อหมวก (Capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

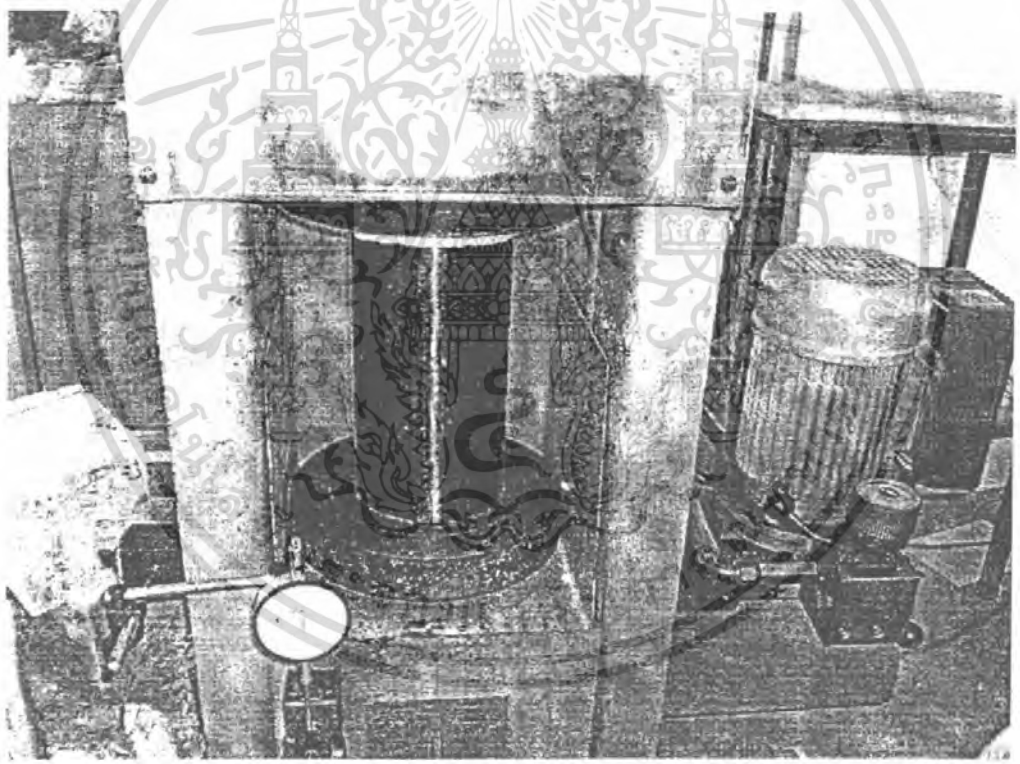
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

83253

ง. ขั้นตอนการทดสอบ

1. การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนการทดสอบตรวจสอบระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5 องศา (หรือประมาณ 3 มม. ใน 300 มม.) หากไม่อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าว ให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C 617-84 สำหรับระยะเส้นผ่านศูนย์กลางที่จะนำมาให้คำนวณ หาพื้นที่หน้าตัดให้ใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัดสองแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ที่ตำแหน่งกึ่งกลางแท่งทดสอบ



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การคำนวณ

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต จะหาได้จากสมการ 3.1

$$f_c = P/A \qquad (3.1)$$

โดยที่ f_c = กำลังอัดประลัยของแท่นคอนกรีต, ksc

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, kg

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ

= $\pi D^2/4$

จ. การประเมินผลกำลังอัดของคอนกรีต

เมื่อทดสอบกำลังอัดแล้วต้องดำเนินการประเมินผลโดยทำตามมาตรฐาน ACI 318RChapter E Concrete Quality , Mixing , and Placing หรือตามมาตรฐาน วสท. ภาค 3 เกณฑ์กำหนดในการก่อสร้าง ซึ่งมีวิธีการประเมินดังนี้

ค่ากำลังอัดที่ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

1. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดจากการทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกัน มากกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด (f'_c)

2. ค่ากำลังอัดแต่ละครั้งต่ำกว่ากำลังอัด(f'_c)ที่ต้องการได้ไม่เกิน 30 กก./ตร.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต (Test of Flexural Strength of Concrete)

โดยการทดสอบแรงกระทำจุดเดียวที่กึ่งกลาง (Test of Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Center – Point Loading)

ก. มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐานการทดสอบ ASTM : C293-94

ข. วัตถุประสงค์

เป็นการทดสอบหากำลังดัดของคานคอนกรีตด้วยคานตัวอย่าง ที่มีหน้าตัดขนาดเล็ก (เล็กกว่า 15x15 ซม. ลงมา) ปกติเป็นการหาค่าโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture)

ค. ขั้นตอนการทดสอบกำลังดัด

1. ให้จัดตัวอย่างคานที่จะทดสอบวางบนจุดที่รองรับ พร้อมกับแรงกระทำที่กึ่งกลาง ดังแสดงในรูป และเดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอโดยกำหนดให้อยู่ประมาณ 3-6 % ของกำลังสูงสุดที่คาด กระทั่งคานทดสอบวิบัติ

2. กำลังดัดของคาน หาได้ในรูปของโมดูลัสแตกร้าวสมการต่อไปนี้

$$R=3PL/2bd^2 \qquad (3.2)$$

โดยที่

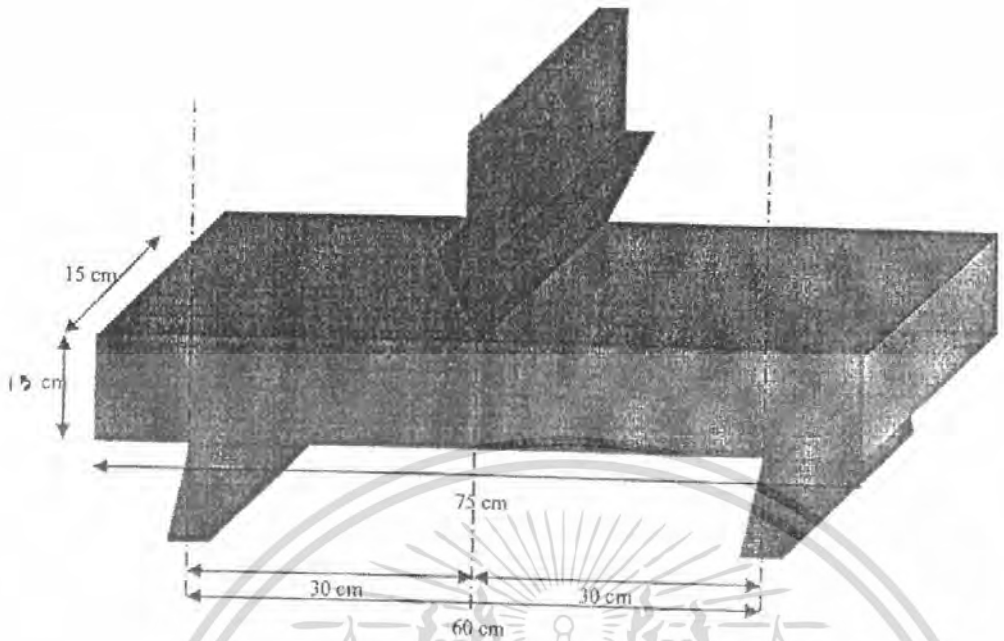
P = แรงกระทำกึ่งกลางคานกระทั่งคานวิบัติ,กก.

L = ระยะช่วงคานระหว่างที่รองรับ,ซม.

b = ความกว้างเฉลี่ยของคานที่จุดแตกร้าว, ซม.

d = ความลึกเฉลี่ยของคานที่จุดแตกร้าว,ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงภาพการวางตัวอย่างการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต

3.2.3 การทดสอบความสามารถรับแรงดึงของลวดตาข่าย

ก. มาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐานของ มอก.926-2533 (Standard for Welded Deformed Steel Wire Fabric for Concrete Reinforcement)

ข. วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหากำลังรับแรงดึงของเส้นลวดขนาดหน้าตัดต่างๆ ตามระบุซึ่งโดยทั่วไปกำลังแรงดึงของเส้นใยโลหะจะอยู่ในช่วง 40- 400 ksc (A36)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. เส้นลวดจากลวดตาข่าย
2. เครื่องทดสอบ UTM (Universal Testing Machine)
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. เครื่องมือวัดละเอียด
5. เวอร์เนียคาลิปเปอร์
6. คีมตัดลวด
7. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อม printer ต่อพ่วงเข้ากับเครื่อง Universal Testing Machine

ง. ขั้นตอนการทดสอบ

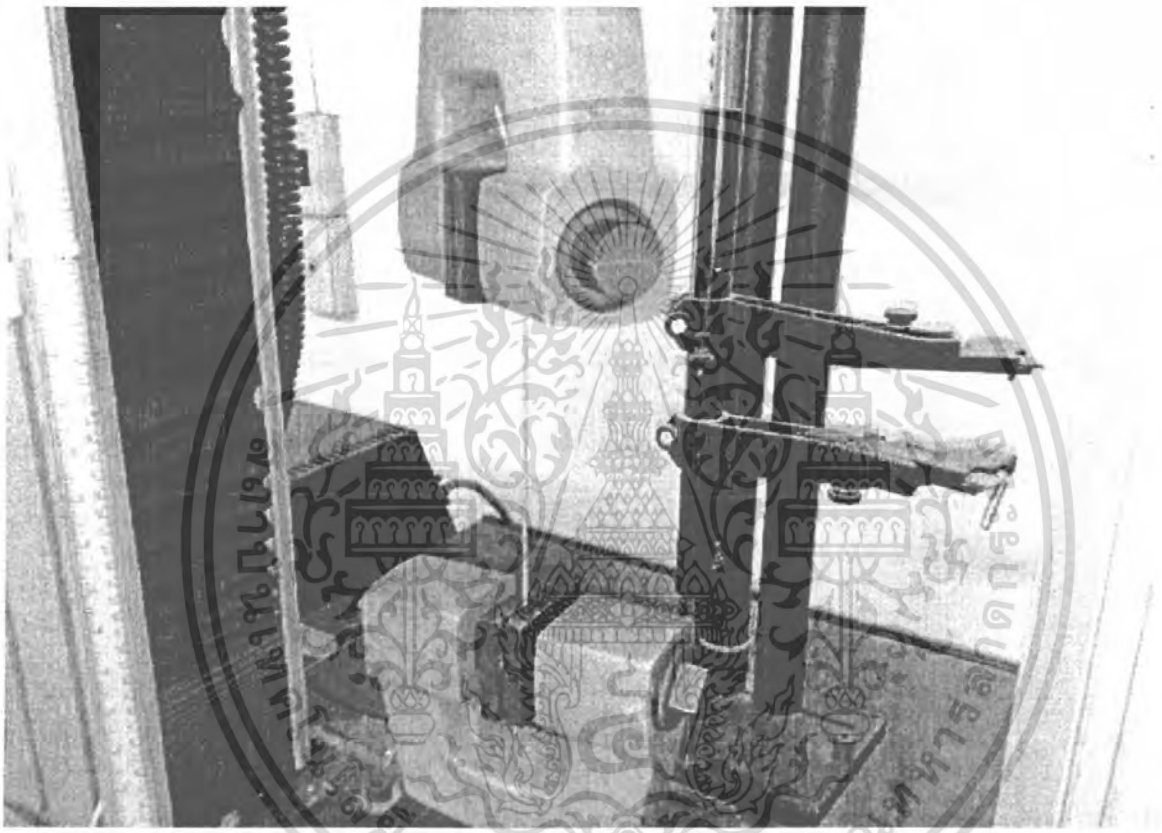
1. เตรียมลวดตะแกรง โดยฉีกหรือตัดเป็นเส้น ขนาดความยาว 15 cm ทำการทดสอบลวดชนิดละ 5 ตัวอย่าง

รูปที่ 3.3 แสดงภาพชิ้นส่วนตัวอย่างลวด PC wire สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เตรียมอุปกรณ์โดยเปลี่ยนหัวจับให้เหมาะกับลวด ตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์และ Printer จะวัดขนาดเองโดยอัตโนมัติให้พร้อมทำงาน

3. การทดสอบหาความสามารถในการรับแรงดึงของเส้นลวด



รูปที่ 3.4 แสดงภาพหัวจับลวดเหล็กสำหรับทดสอบกำลังรับแรงดึง

4. เมื่อยึดเส้นลวดให้ตัดกับหัวจับอย่างมั่นคงแล้ว ทำการเปิดเครื่อง Universal Testing Machine เครื่องจะปล่อยแรงดึงตามความเร็วที่ต้องการตามที่ต้องการที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมทั้งบนจอ Monitor ของเครื่องคอมพิวเตอร์จะแสดงการ Load-deflection ของการทำงานในขณะนั้น ขณะเดียวกับก็จะพิมพ์ข้อมูลออกมาทาง printer เมื่อการดึงสิ้นสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อเสร็จสิ้นการทำงาน เราจะได้ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ ที่ส่งออกมาทาง printer คือ ค่า load, % strain, elongation , stress , energy

6. การคำนวณค่า Tensile strength ของลวดจากสมการ 3.3

$$f = P/A \qquad (3.3)$$

โดยที่

P = แรงกระทำสูงสุดต่อการทดลอง 1 ตัวอย่าง (ค่าจากคอมพิวเตอร์)

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

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ยจากการวัดสองทิศทางตั้งฉากกับที่กึ่งกลางความสูงของเส้นลวด

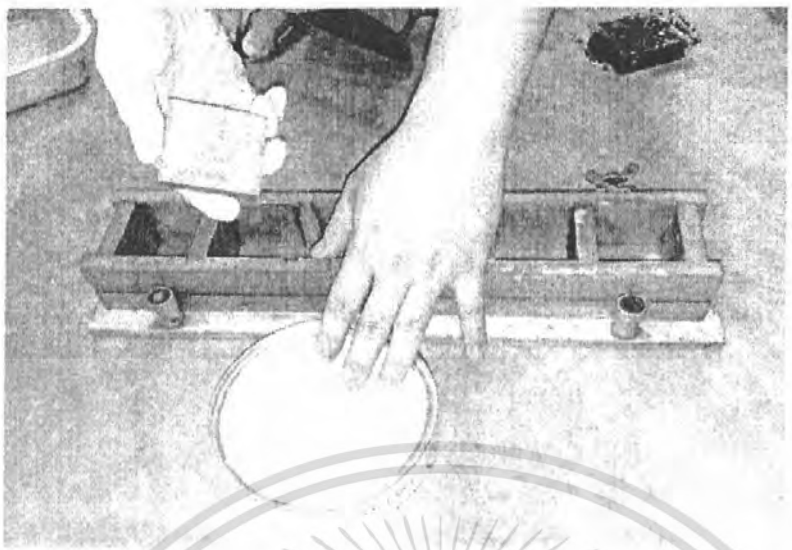
3.3 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบรับแรงอัดของอีพอกซี่

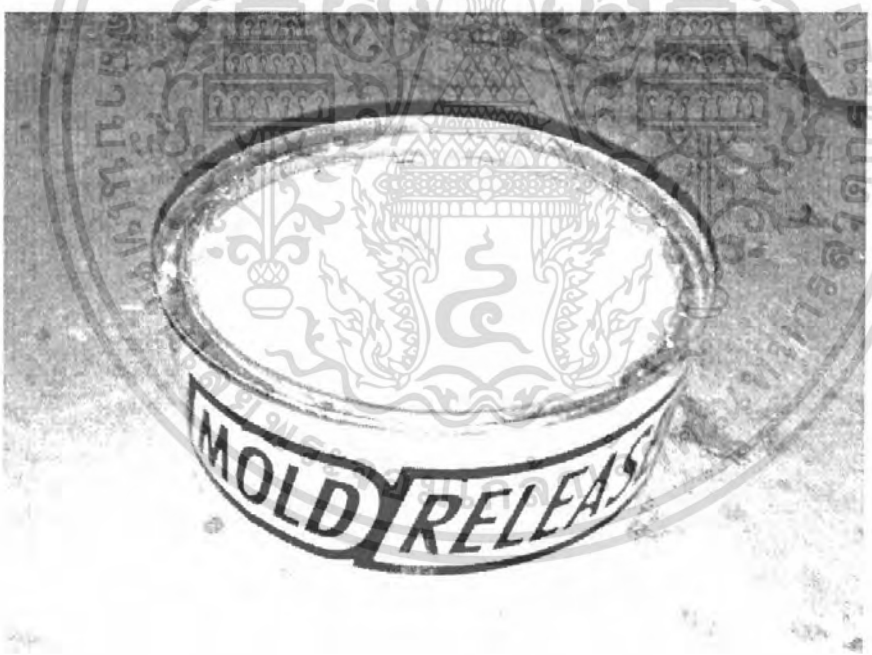
ก. การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบหล่อ ไม่ให้มีฝุ่นหรือปูนเก่าติดอยู่ จากนั้นทา wax ถอดแบบภายในผิวด้านในที่จะสัมผัสกับอีพอกซี่ให้ทั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการทา wax แบบหล่อ



รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างของ Wax ถอดแบบที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

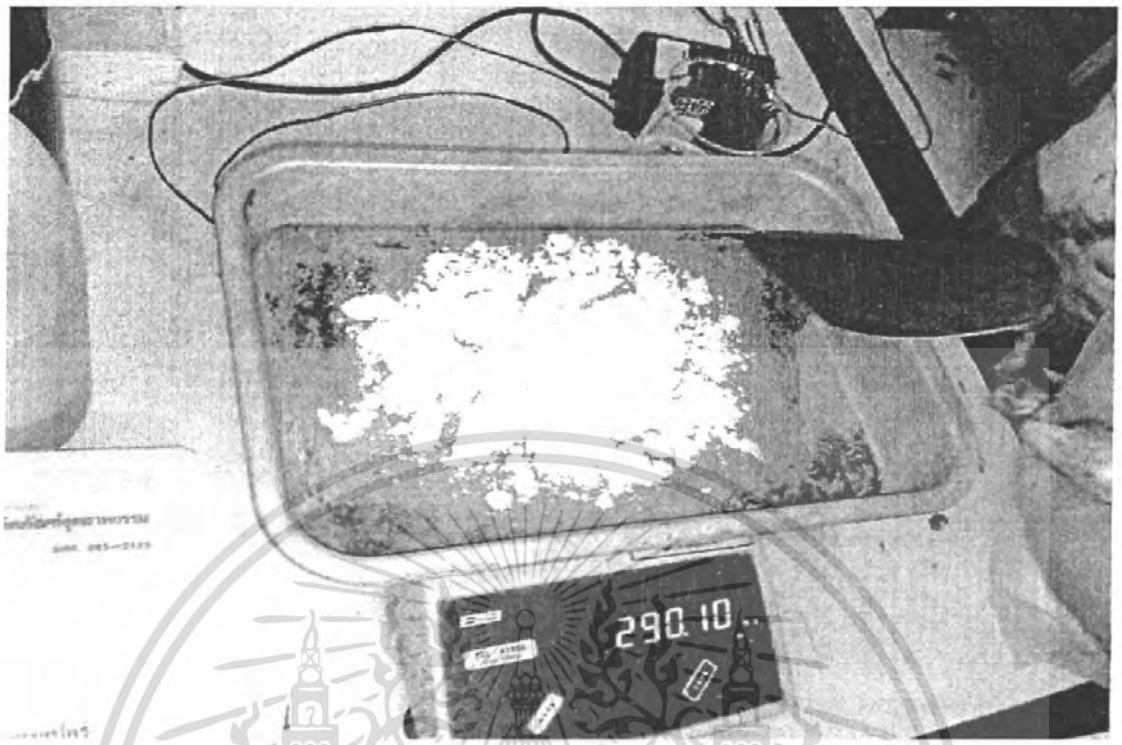
2. ตรวจสอบสกรูสำหรับยึดแน่นแบบให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ทุกตัว จากนั้นทำการประกอบแบบให้แน่น ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยก หรือแบบหลุด ขณะเทอีพอกซี่ หรือ กระทุ้งอีพอกซี่ เพื่อไม่ให้มีฟองอากาศค้างอยู่ภายใน

ข. การเตรียมตัวอย่างอีพอกซี่

1. ทำการเตรียมภาชนะ อุปกรณ์ และวัสดุต่างๆ ที่ใช้สำหรับผสมอีพอกซี่ให้พร้อม
2. เท Part:A ลงในภาชนะที่จะทำการผสมและทำการชั่งให้ได้น้ำหนักเท่าที่ต้องการ
3. เท Part:B ลงไปในภาชนะ ในอัตราส่วน Part:A/Part:B = 2:1 ทำการผสมให้เข้ากันดี
4. ทำการผสม Filler ชนิดต่างๆ ลงไปในปริมาณที่ต่างกันเพื่อหา อัตราส่วนที่เหมาะสมของชนิดต่างๆ

รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างอีพอกซี่ ที่ผสมระหว่าง part A และ part B เสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

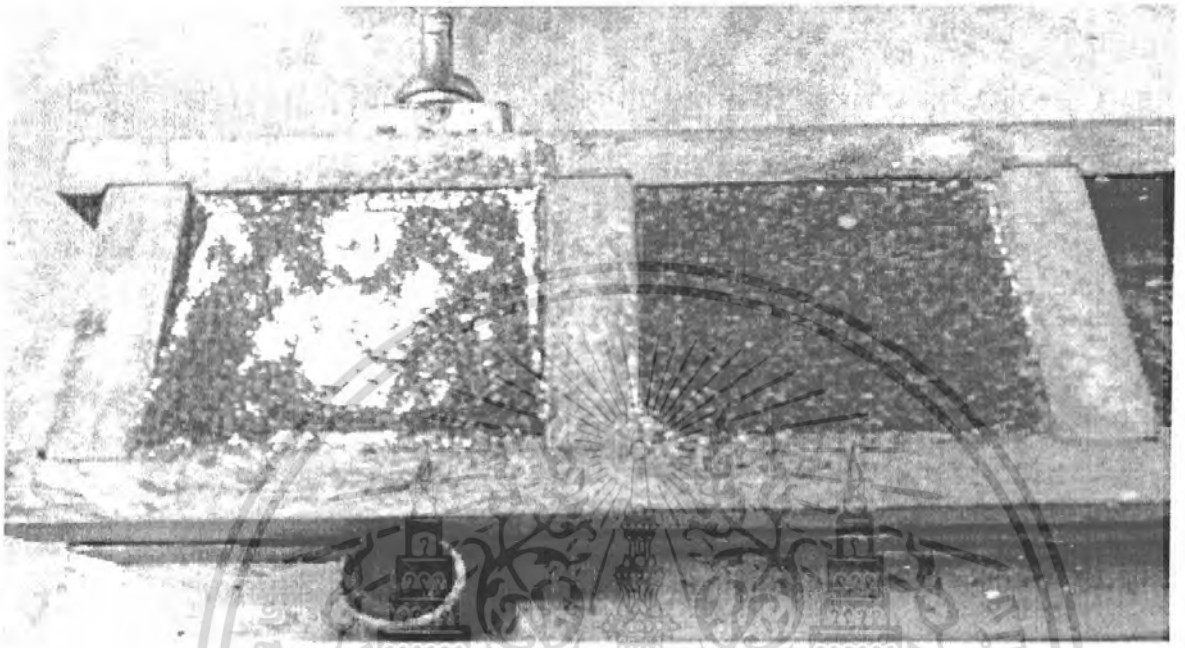


รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างการผสมระหว่าง อีพอกซี่ และ ปูนขาว

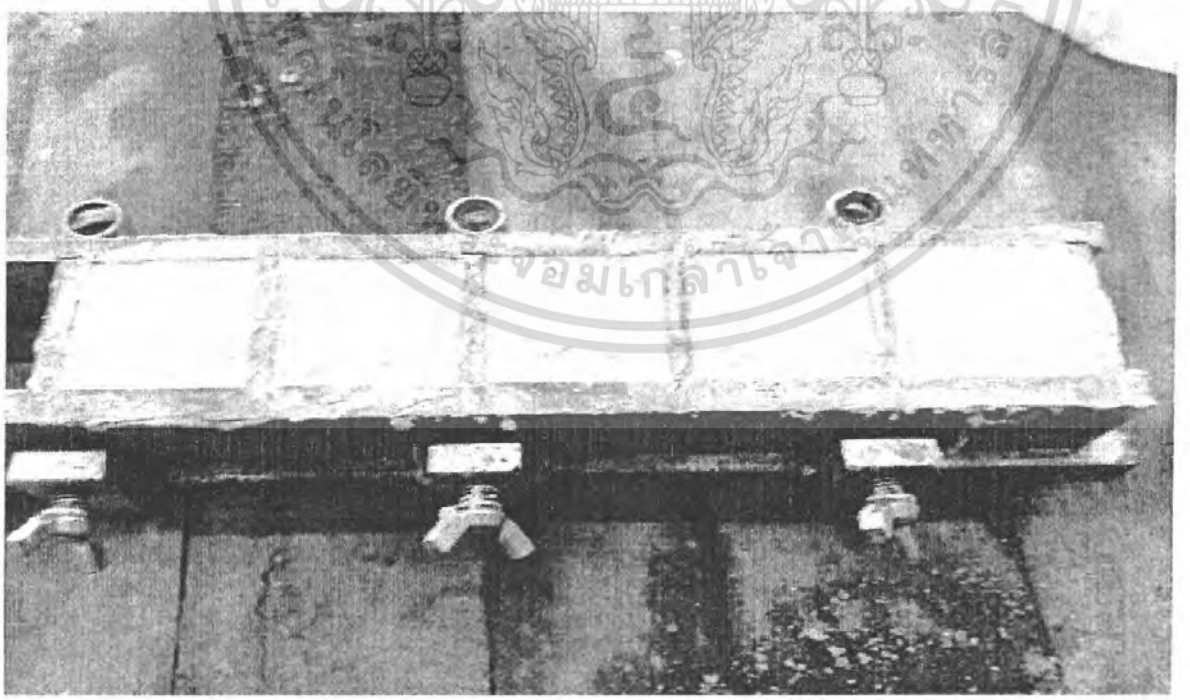
รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการผสมระหว่าง อีพอกซี่ และ ทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำอีพอกซี่ที่ผสมเสร็จแล้ว เทใส่แบบโดยแบ่งเป็นสองชั้นและทำการกระทุ้งเพื่อไล่ฟองอากาศ



รูปที่ 3.10 แสดงการหล่อส่วนผสมขนาด 5x5x5 cm. ระหว่างอีพอกซี่กับทราย



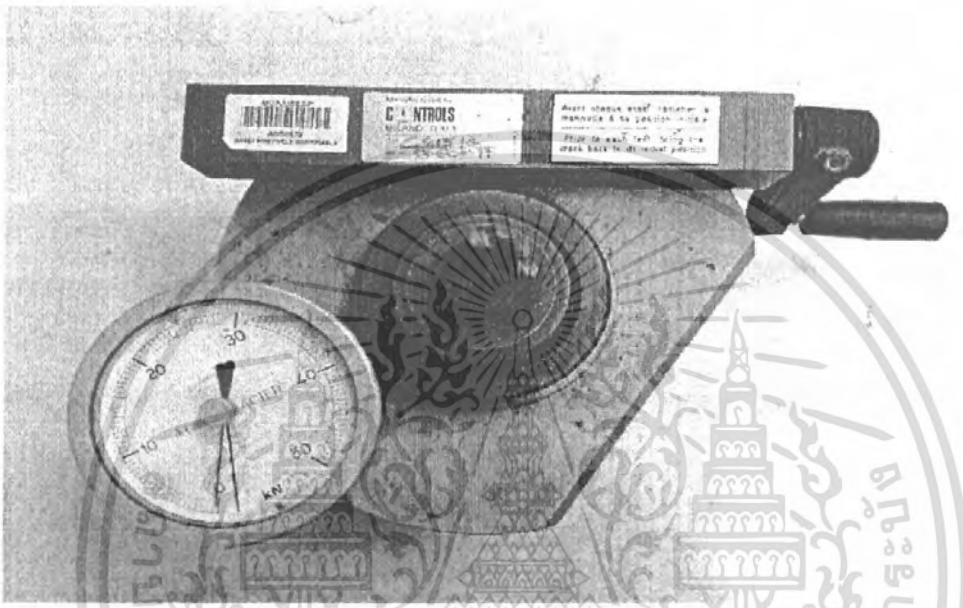
รูปที่ 3.11 แสดงการหล่อส่วนผสมขนาด 5x5x5 cm ระหว่างอีพอกซี่กับปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

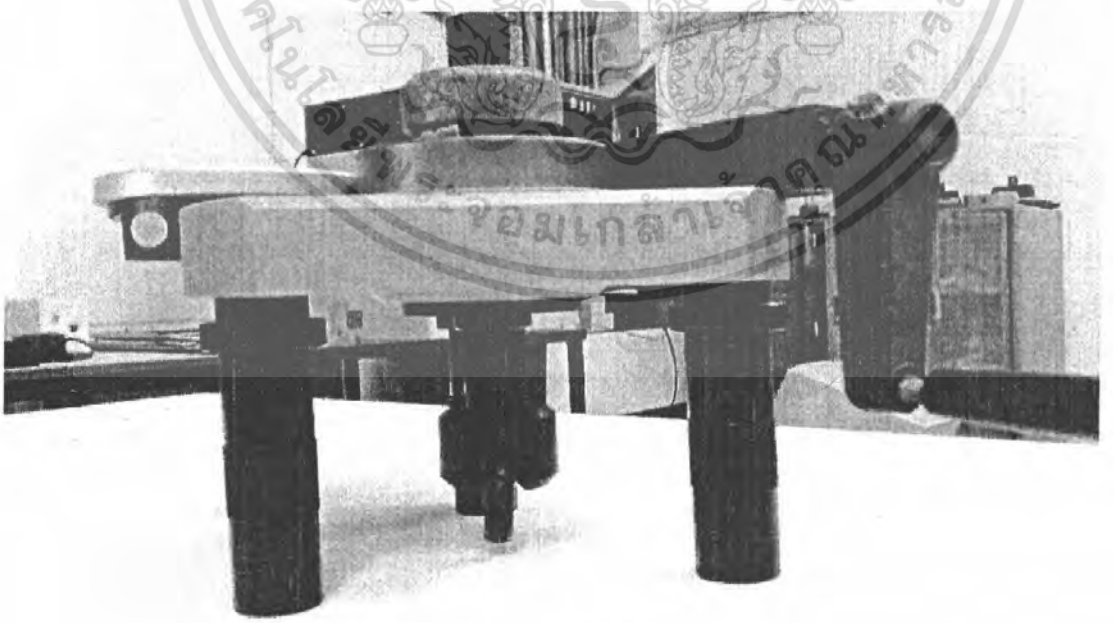
3.3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบรับแรงยึดเกาะของอีพอกซี่กับคอนกรีต

ก. การเตรียมเครื่อง Pull – Off

1. ทำการตรวจเช็คสภาพเครื่องมือ ให้อยู่ในสภาพพร้อม



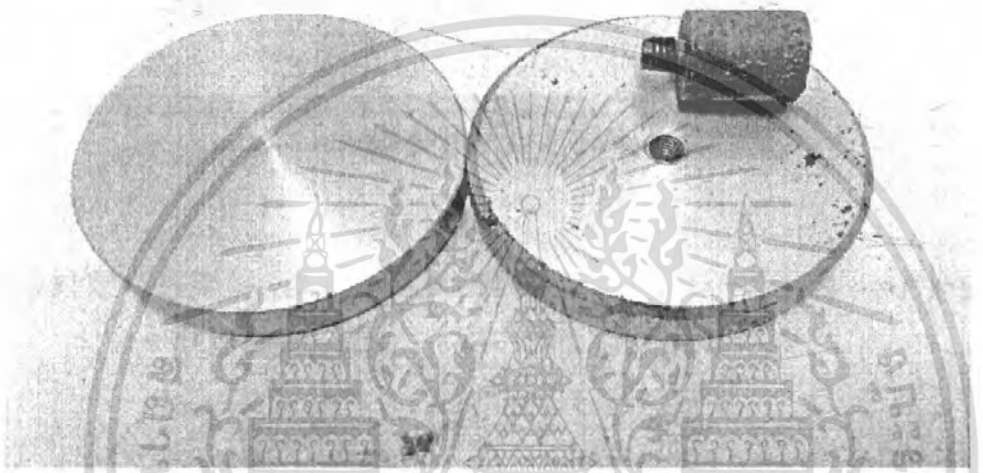
รูปที่ 3.12 แสดงเครื่องมือ Pull – Off



รูปที่ 3.13 แสดงอุปกรณ์ Pull-off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ติดตั้ง ดอลลี่ เข้ากับเครื่อง Pull – Off และนำเครื่องไปวางในตำแหน่งที่ต้องการจะทดสอบ



รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่าง ดอลลี่และสลักเกลียว

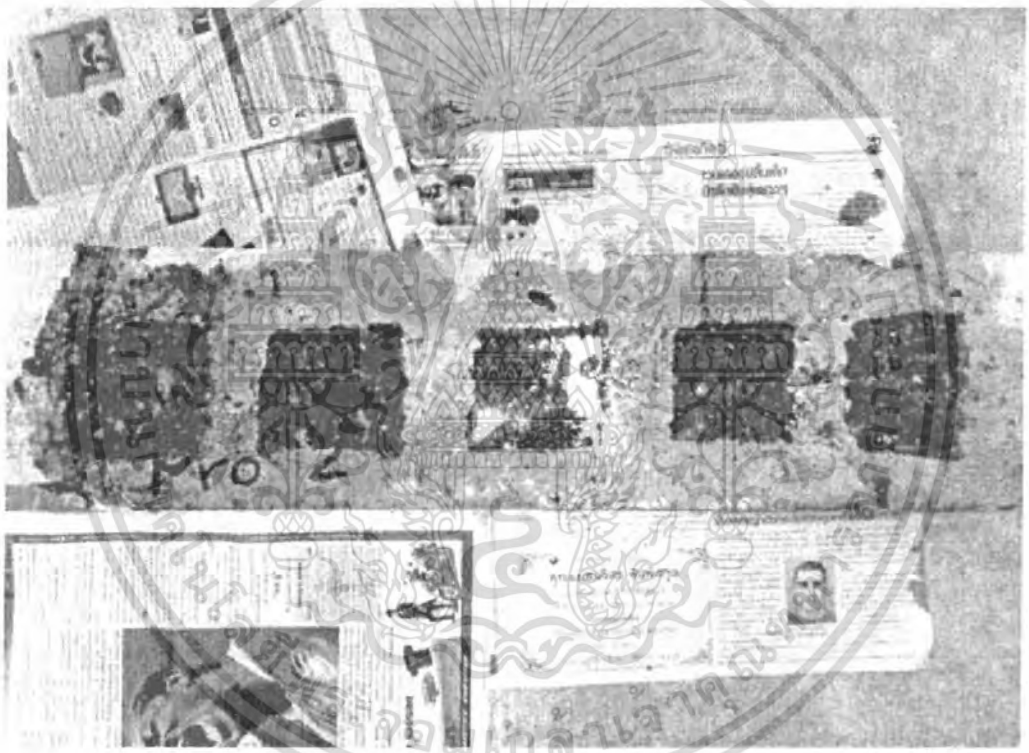
รูปที่ 3.15 แสดงถึงกาวพิเศษที่ใช้เป็นตัวประสานระหว่าง ดอลลี่ กับ พื้นผิวที่ทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.การเตรียมตัวอย่างคานเพื่อทำการทดสอบ pull-off

1. นำคานที่ได้หล่อเอาไว้ มาทำความสะอาดและทำการสกัดผิวหน้าเล็กน้อย เพื่อให้อีพอกซี่ยึดจับกับ ผิวคอนกรีตได้ดี

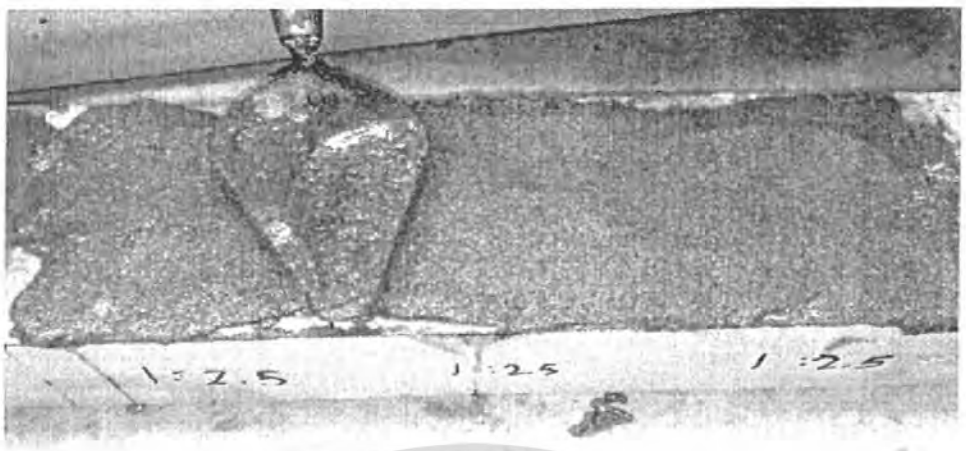
2. ทำการทาอีพอกซี่ที่เป็นกาวเชื่อมประสาน ลงบนผิวหน้าคอนกรีตที่ทำการสกัดไว้แล้วทิ้งไว้ประมาณ 15-20 นาที



รูปที่ 3.16 แสดงภาพคานคอนกรีตที่สกัดผิวหน้าและทำอีพอกซี่กาวเชื่อมประสาน

3. สังเกตอีพอกซี่ ที่ได้ทำการทาไว้บนผิวคอนกรีตว่ามีความหนืด แล้วทำการฉาบอีพอกซี่ที่ผสมกับ filler เรียบร้อยแล้ว ลงบนคานคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงภาพคานคอนกรีตซึ่งฉาบด้วยอีพอกซี่ กับ filler

ค. การเตรียมพื้นผิวที่ต้องการทดสอบ

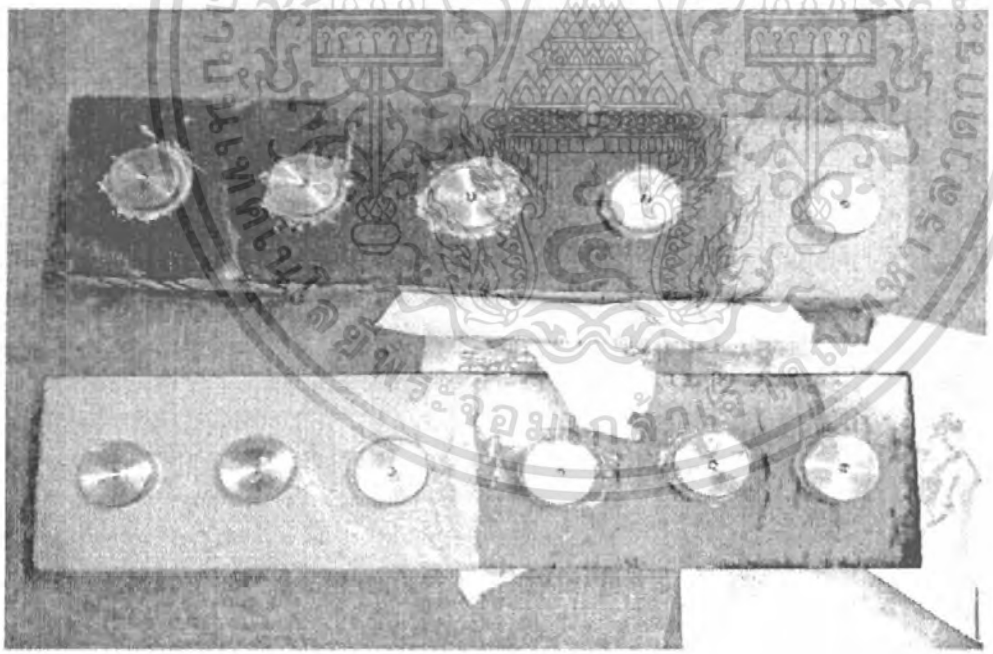
1. ทำความสะอาดบริเวณพื้นผิวที่ต้องการทดสอบให้สะอาดเรียบร้อย

2. ทากาวพิเศษลงบนพื้นผิวในปริมาณที่สมควรเพื่อใช้ผสานพื้นผิวทดสอบกับตัวดอลลี่ ให้ยึดติดกันอย่างแน่นหนา แล้ว ทิ้งไว้ 72 ชม.

3. กรีดพื้นผิวตัวอย่าง ให้พอดีกับขนาดของตัวดอลลี่ เพื่อให้ดอลลี่ดึงพื้นผิวทดสอบที่แท้จริงแทนที่จะต้องดึงอีพอกซี่ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 แสดงภาพกาวPart A และ B ที่ใช้ทำการติด Dolly กับคาน



รูปที่ 3.19 แสดงภาพ คานคอนกรีตที่ติดdolly เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20 แสดงภาพ การทดสอบ pull off

รูปที่ 3.21 แสดงภาพ ตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบpull off แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

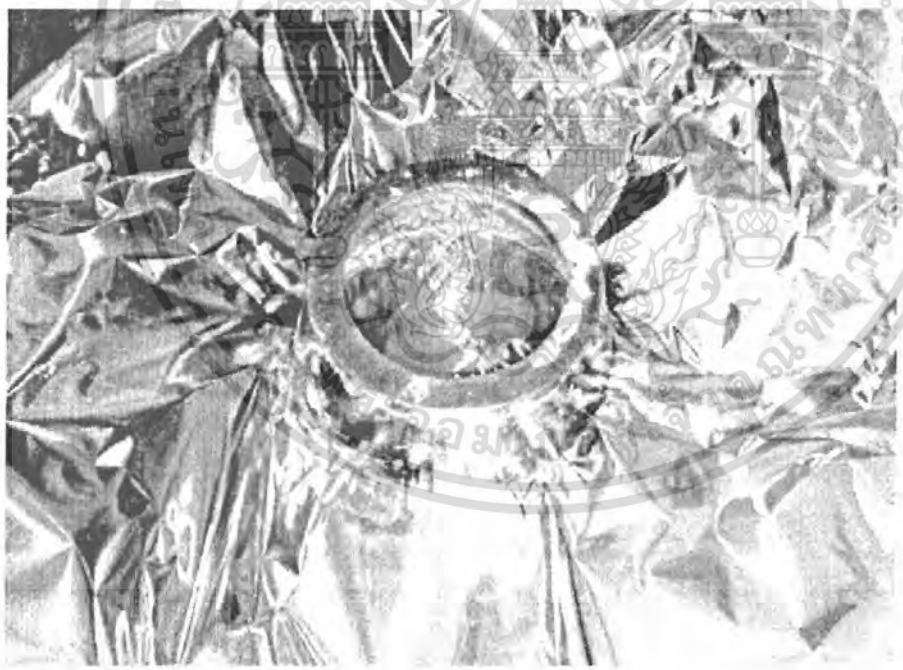
3.3.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบการไหลของอีพอกซี่

ก. การเตรียมโมลทองเหลือง

1. ทำความสะอาดโมลมองเหลือง ไม่ให้มีฝุ่นหรือปูนเก่าติดอยู่ จากนั้นทา น้ำมันถอดแบบภายในผิวด้านในที่จะสัมผัสกับอีพอกซี่ให้ทั่ว

2. เตรียมโต๊ะที่ได้ระดับเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยทำการปูแผ่น Foil ลงบนโต๊ะให้เรียบ

3. จัดตั้งโมลทองเหลืองให้วางอยู่กลางแผ่น Foil



รูปที่ 3.22 แสดงภาพโมลทองเหลือง ที่ให้ทำการทดลอง Flow table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การเตรียมตัวอย่างอีพอกซี่

1. ทำการเตรียมภาชนะ อุปกรณ์ และวัสดุต่างๆ ที่ใช้สำหรับผสมอีพอกซี่ให้พร้อม

2. เท Part:A ลงในภาชนะที่จะทำการผสมและทำการชั่งให้ได้น้ำหนักเท่าที่ต้องการ

รูปที่ 3.23 แสดงภาพการเทส่วนผสม อีพอกซี่ part A

3. เท Part:B ลงไปในภาชนะ ในอัตราส่วน Part:A : Part:B = 2:1 ทำการผสมให้เข้ากันดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

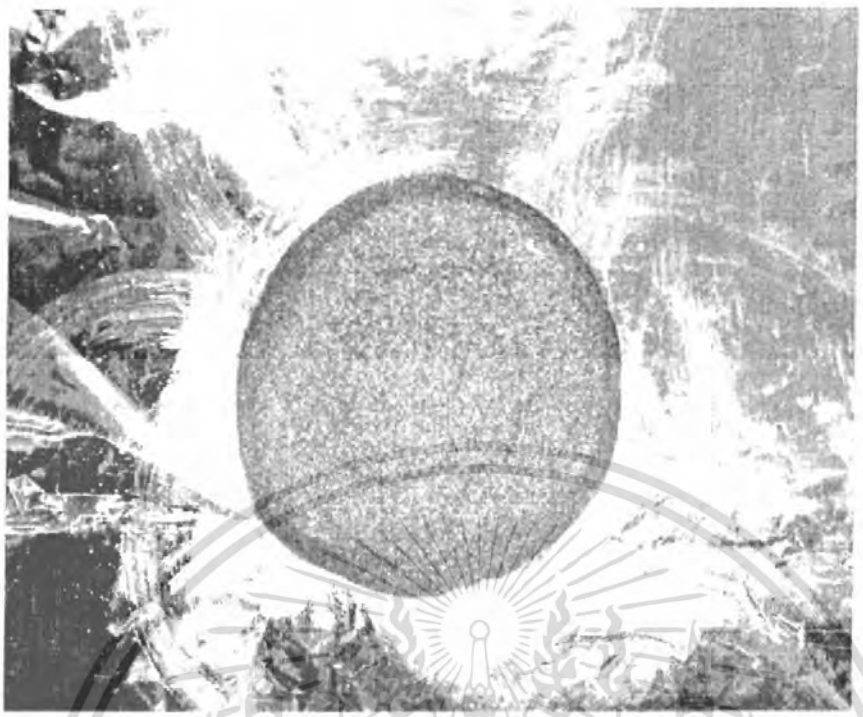
รูปที่ 3.24 แสดงภาพการเทส่วนผสม อีพอกซี่ part B

4. ทำการผสม Filler ชนิดต่างๆ ลงไปในปริมาณที่ต่างกันเพื่อหา อัตราส่วนที่เหมาะสมของชนิดต่างๆ

5. นำอีพอกซี่ที่ผสมเสร็จแล้ว เทใส่แบบโดยโมลทองเหลืองแบ่งเป็นสามชั้นและทำการกระทุ้งเพื่อไล่ฟองอากาศ

6. ยกโมลทองเหลืองออกจาก Foil ทิ้งอีพอกซี่ไว้ สิบนาทีจึงวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ย

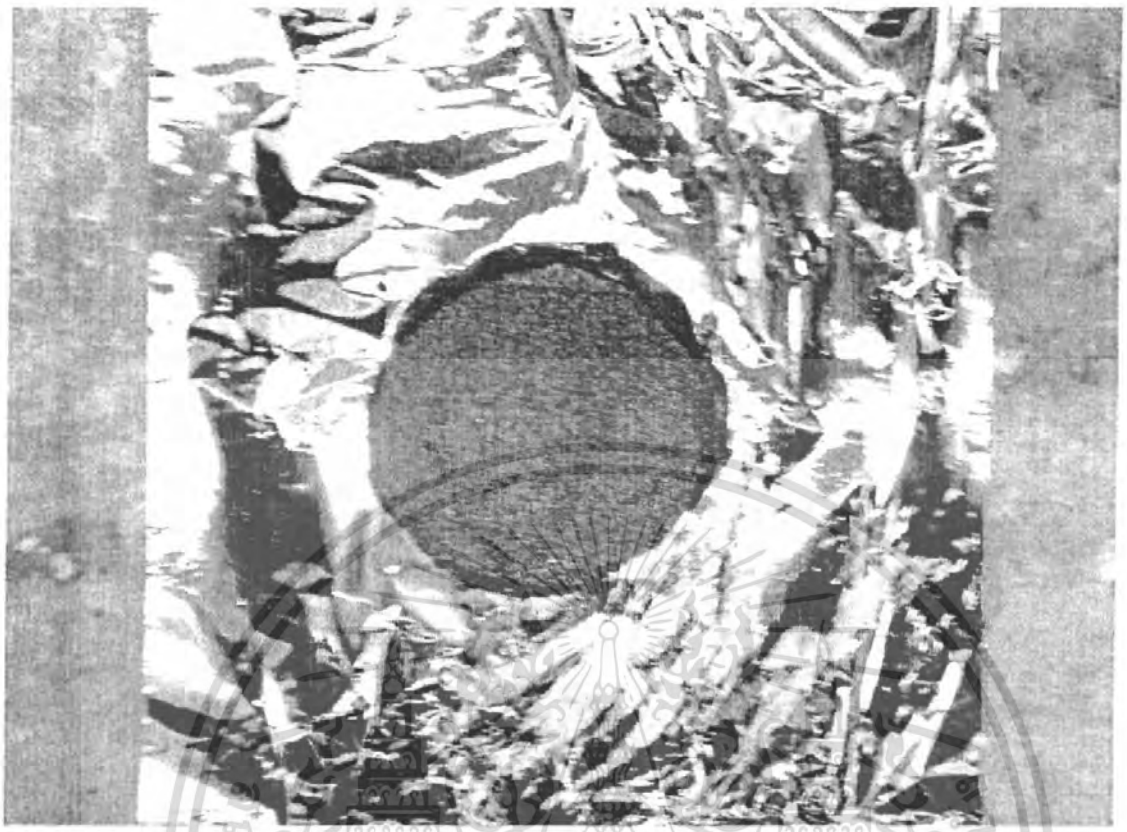
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงภาพอีพอกซี่ผสมกับทราย ที่ทำการทดสอบflow table

รูปที่ 3.26 แสดงภาพอีพอกซี่ผสมกับปูนขาว ที่ทำการทดสอบflow table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 แสดงภาพปูนฉาบ ที่ทำการทดสอบflow table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การคำนวณหาสัดส่วนการผสมคอนกรีตของตัวอย่างคานเพื่อใช้ในการทดสอบ Pull-off ออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา

1. กำลังที่ต้องผลิต = 300 ksc
2. ค่า Slump = 8 – 10 cm.
3. Aggregate ขนาดใหญ่สุด = ¾ "
4. จาก Slump 8 – 10 cm. มวลรวมโตสุด ¾ " ไม่ใส่สารกักกระจายฟองอากาศ
   ใช้ปริมาณน้ำ 200 l/m^3
5. สำหรับคอนกรีตกำลัง 300 ksc. จะได้ w/c = 0.55
6. ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ 200/0.55 = 364 กก.
7. หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบ ขนาดโตสุด ¾ " จะได้ปริมาตร ของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น = 0.62 ของคอนกรีต
   หน่วยน้ำหนักหิน = 1,600 kg/m^3
8. หาวัสดุผสมละเอียด

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม	:			
ปริมาตรของน้ำ	=	200/1000	=	0.200 m^3
ปริมาตรซีเมนต์	=	364/3.15x1000	=	0.116 m^3
ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ	=	992/2.70x1000	=	0.367 m^3
ปริมาตรของฟองอากาศ	=	0.2x1.0	=	0.020 m^3
ปริมาตรทั้งหมดไม่รวมหยาบ	=	0.703		
ปริมาตรของทราย	=	1 – 0.703	=	0.297 m^3
น้ำหนักของทรายแห้ง	=	0.297x2.60x1000	=	722 kg

ฉะนั้นคอนกรีต 1 m^3 ต้องใช้

Cement	364	kg			
Water	200	kg			
วัสดุผสมหยาบ	922	kg	***	1	m^3
วัสดุผสมละเอียด	772	kg			
รวมน้ำหนักทั้งหมด	2328	kg			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบหล่อคานใช้คอนกรีตทั้งหมด	0.032	m^3		
ปริมาตรของน้ำ	=	0.2x 0.032	= 0.0064	m^3
ปริมาตรของซีเมนต์	=	0.116x0.032	= 0.003712	m^3
ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ	=	0.367x0.032	= 0.011744	m^3
ปริมาตรของฟองอากาศ	=	0.020x0.032	= 0.00064	m^3
ปริมาตรทั้งหมดไม่รวมทราย	=	0.022496 m^3		
ปริมาตรของทราย	=	0.032 – 0.022496	= 0.009504	m^3
น้ำหนักของทรายแห้ง	=	2.60x1000x0.009504	= 24.7104	kg

ฉะนั้นคอนกรีต 0.032 m^3ต้องใช้

Cement	11.6928	kg		
Water	6.4	kg	*** 0.032	m^3
วัสดุผสมหยาบ	31.7088	kg		
วัสดุผสมละเอียด	24.7104	kg		

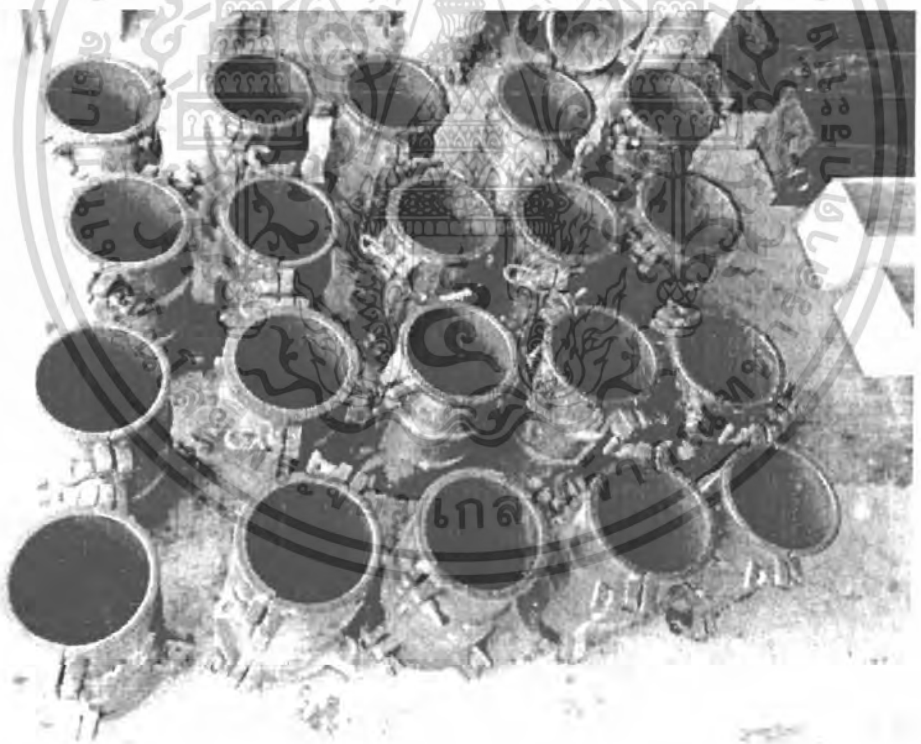
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก

ก.การเตรียมแบบหล่อ

1.ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสแบบให้ทั่ว

2. ตรวจสอบสกรูสำหรับแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น



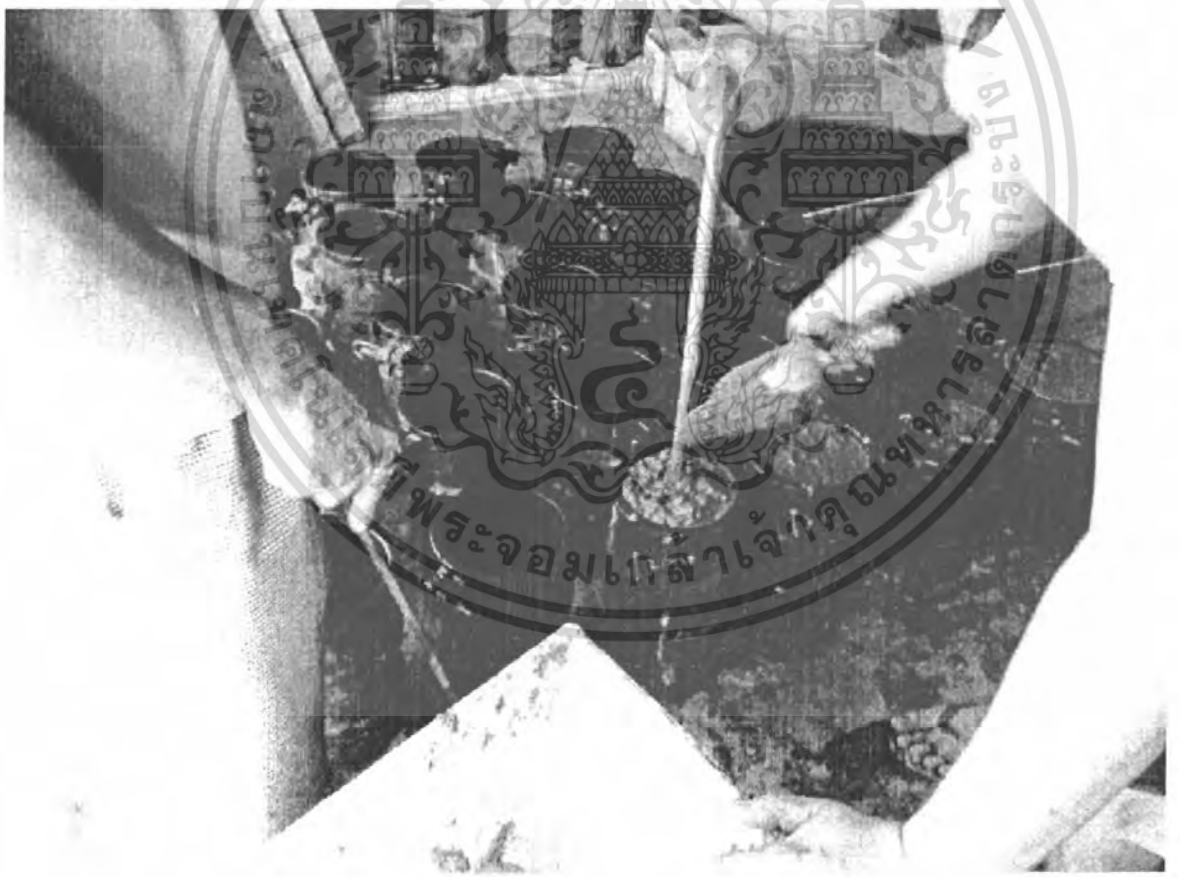
รูปที่ 3.28 แสดงภาพการเตรียมแบบเหล็ก โดยการทำความสะอาดและทาน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1.สำหรับคอนกรีตที่ให้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ

2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่งประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบหล่อ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ



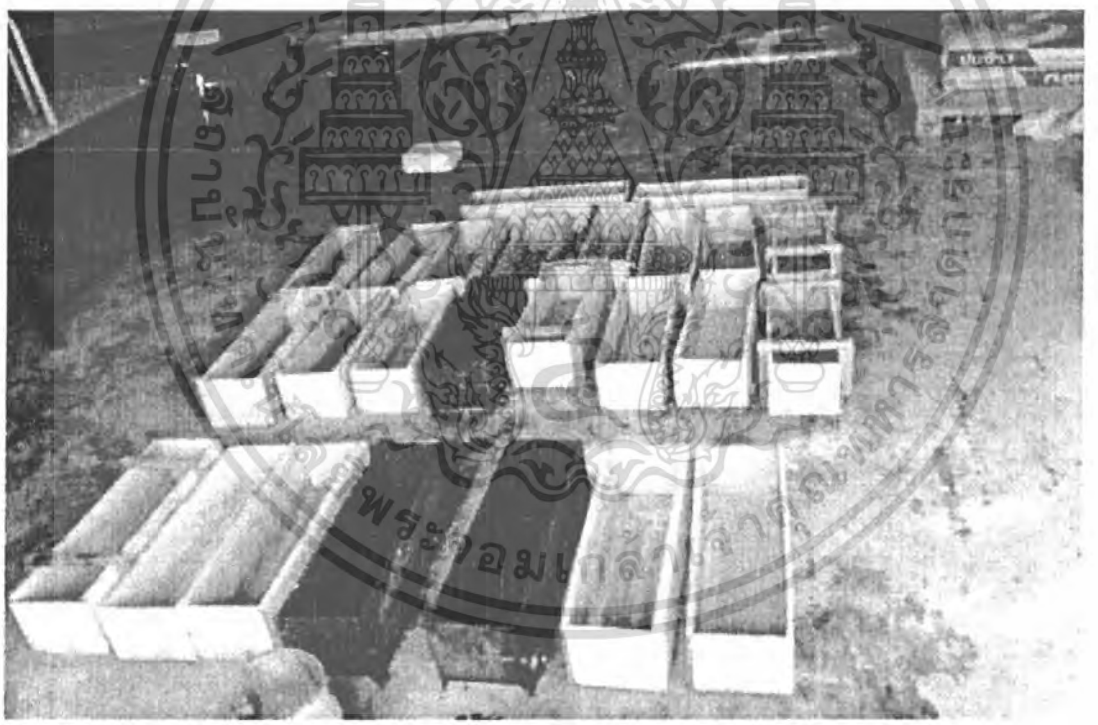
รูปที่ 3.29 แสดงภาพการกระทุ้งคอนกรีต ของแบบหล่อ ทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่ม ประมาณ 24 ชม.จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการทดสอบและควรทดสอบก่อนตัวอย่างจะแห้งสนิท ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

3.3.6 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต

ก. เตรียมไม้แบบสำหรับหล่อคานคอนกรีตขนาด 15 x 15 x 60 ซม. และแบบเหล็กทรงกระบอก โดยไม้แบบจะทำการแช่น้ำทิ้งไว้ก่อนเป็นเวลา 1 วัน ให้ไม้แบบชุ่มน้ำไม่ดูดซึมน้ำคอนกรีต และทำการทาน้ำมัน แบบเหล็กทรงกระบอก ทำความสะอาดและทาน้ำมัน



รูปที่ 3.30 แสดงภาพไม้แบบที่ทำการแช่น้ำแล้ว

ข. คอนกรีต จะทำการผสมจากโรงผสม โดยใช้คอนกรีตของบริษัท ซีแพค จำกัด กำลังการรับแรงอัดคอนกรีตที่ออกแบบไว้ ที่ 28 วัน fc' เท่ากับ 280 ksc เหตุผลที่ใช้คอนกรีตสำเร็จรูปจากโรงงาน เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คอนกรีตที่ใช้ปริมาณ 0.8 ลูกบาศก์เมตร แต่เครื่องผสมคอนกรีตของที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธานั้น สามารถผสมคอนกรีตได้ครั้งละ 0.3 ลูกบาศก์เมตร จึงต้องควบคุมตัวแปรให้คานคอนกรีตเป็นส่วนผสมเดียวกัน

2. หากทำการผสมคอนกรีตที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธานั้นจะเกิดการผสมที่ไม่สม่ำเสมอ จึงทำการสั่งคอนกรีตสำเร็จรูป เพื่อเป็นการตัดปัญหาในเรื่อง ความสม่ำเสมอของคอนกรีต

รูปที่ 3.31 แสดงภาพคอนกรีตสำเร็จรูปที่ผสมโดยรถผสมคอนกรีตสำเร็จรูป

3.ทำการเทคอนกรีตลงในแบบไม้ และแบบเหล็ก โดยแบ่งเทเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นทำการกระทุ้งคอนกรีตด้วยเหล็กประมาณ 25 ครั้งให้ทั่ว เคาะแบบให้คอนกรีตไม่เกิดโพรง และปาดหน้าให้เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.32 แสดงภาพการกระทุ้งคอนกรีตของแบบหล่อคาน

4. ใช้กระสอบชุบน้ำหมาดๆ ปิดแบบไว้ ทิ้งไว้ 24 ชม. จากนั้นแกะแบบคอนกรีต นำไปบ่มในน้ำสะอาดเป็นเวลา 28 วัน

3.3.7 การเตรียมตัวอย่างฉาบวัสดุผสม

3.3.7.1 การติดลวด PC wire และ ลวดเหล็ก

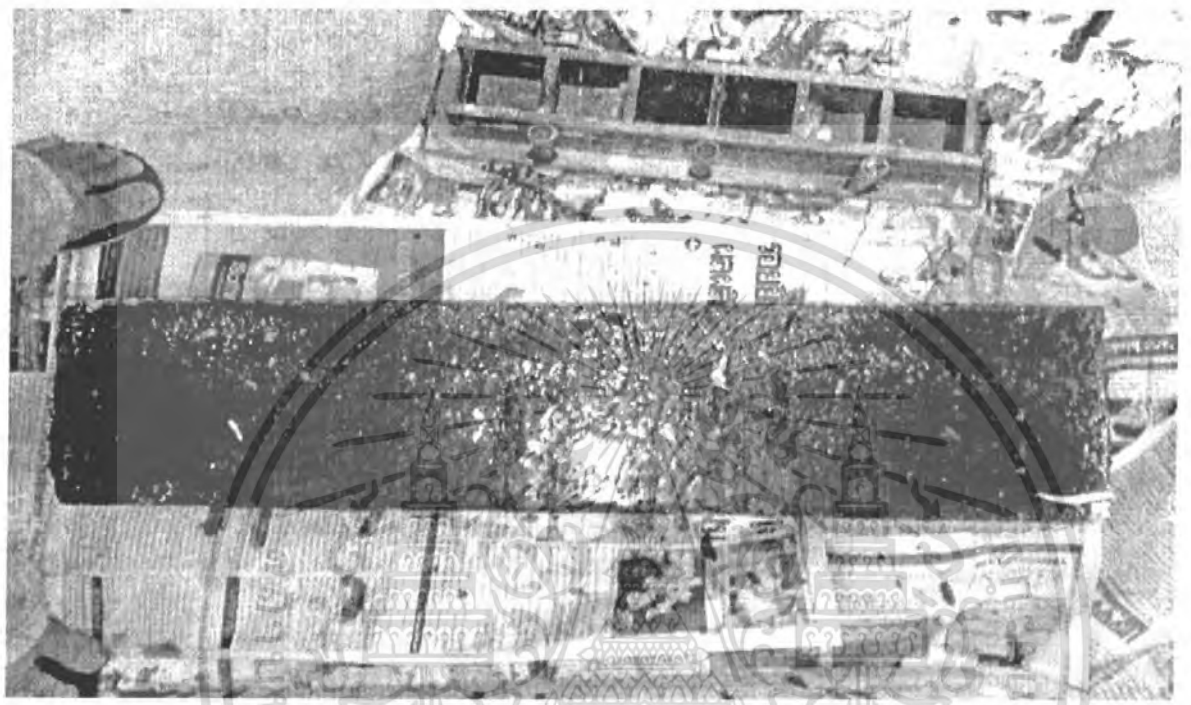
1.ตัดลวดเหล็ก PC wire หรือ ลวดเหล็ก 2 mm. ตามความยาวที่ต้องการ

2.เตรียมผิวคอนกรีตให้สะอาดถ้าบริเวณ นั้นผิวคอนกรีตเหมือนผิวขัดมันให้ทำการสกัดผิวหน้าออกนิดหน่อย เพื่อให้ตัวอีพอกซี่สามารถยึดเกาะได้ดี

3. ผสมน้ำยา Epoxy ตัวที่ทำหน้าที่เป็นกาวประสาน อัตราส่วน A : B = 2 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

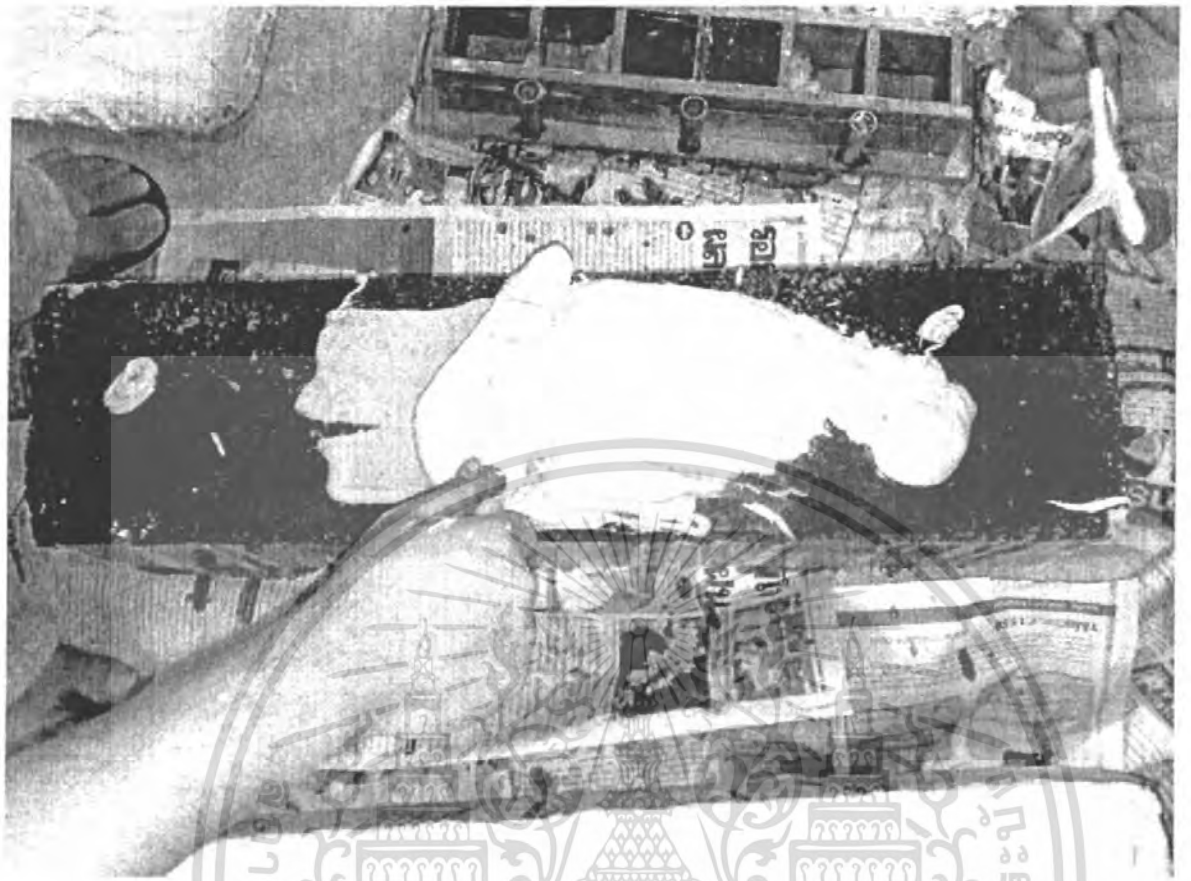
4. ทาน้ำยา Epoxy ชนิด water base ลงบนผิวคอนกรีตที่เตรียมไว้เพื่อเป็นกาวประสาน ทิ้งไว้ประมาณ25 – 30 นาที เพื่อให้ Epoxy ซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีต



รูปที่ 3.33 แสดงภาพการทาน้ำยา Epoxy ที่ทำหน้าที่เป็นกาวประสานเตรียมฉาบ

5.เมื่อ น้ำยา Epoxy ที่ทำการทาลงไปเริ่มมีความหนืด ก็ทำการนำเอา Epoxy ชนิดที่มีความหนืดมาก ที่ผสมกับ Filler ไว้ มาทำการฉาบชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



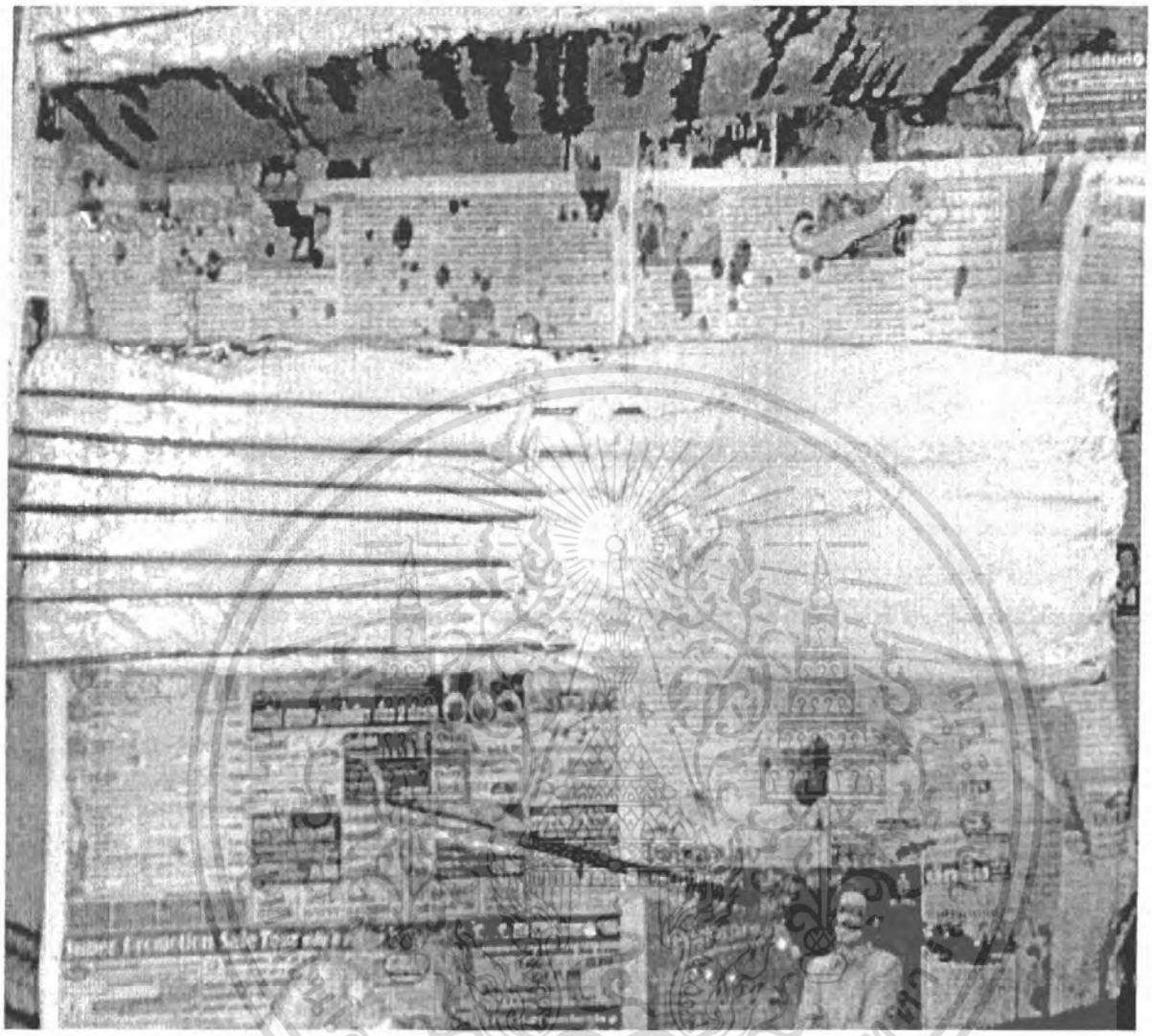
รูปที่ 3.34 แสดงภาพการฉาบ Epoxy กับ Filler ชั้นที่ 1 หลังจากฉาบ Epoxy ที่เป็นกาวประสาน

6.นำลวด PC wire หรือ ลวดเหล็ก มาทำการวางจัดระยะลงบนคานคอนกรีตซึ่งได้ฉาบ Epoxy กับ Filler ไว้ ควรระวังเรื่องระยะเวลาการทำงานให้ไม่เกินครึ่งชั่วโมงเนื่องจากอีพอกซี่จะเริ่มset ตัว

7.ทำการฉาบ Epoxy กับ Filler ปิดทับรอบสองเพื่อปิดเหล็ก

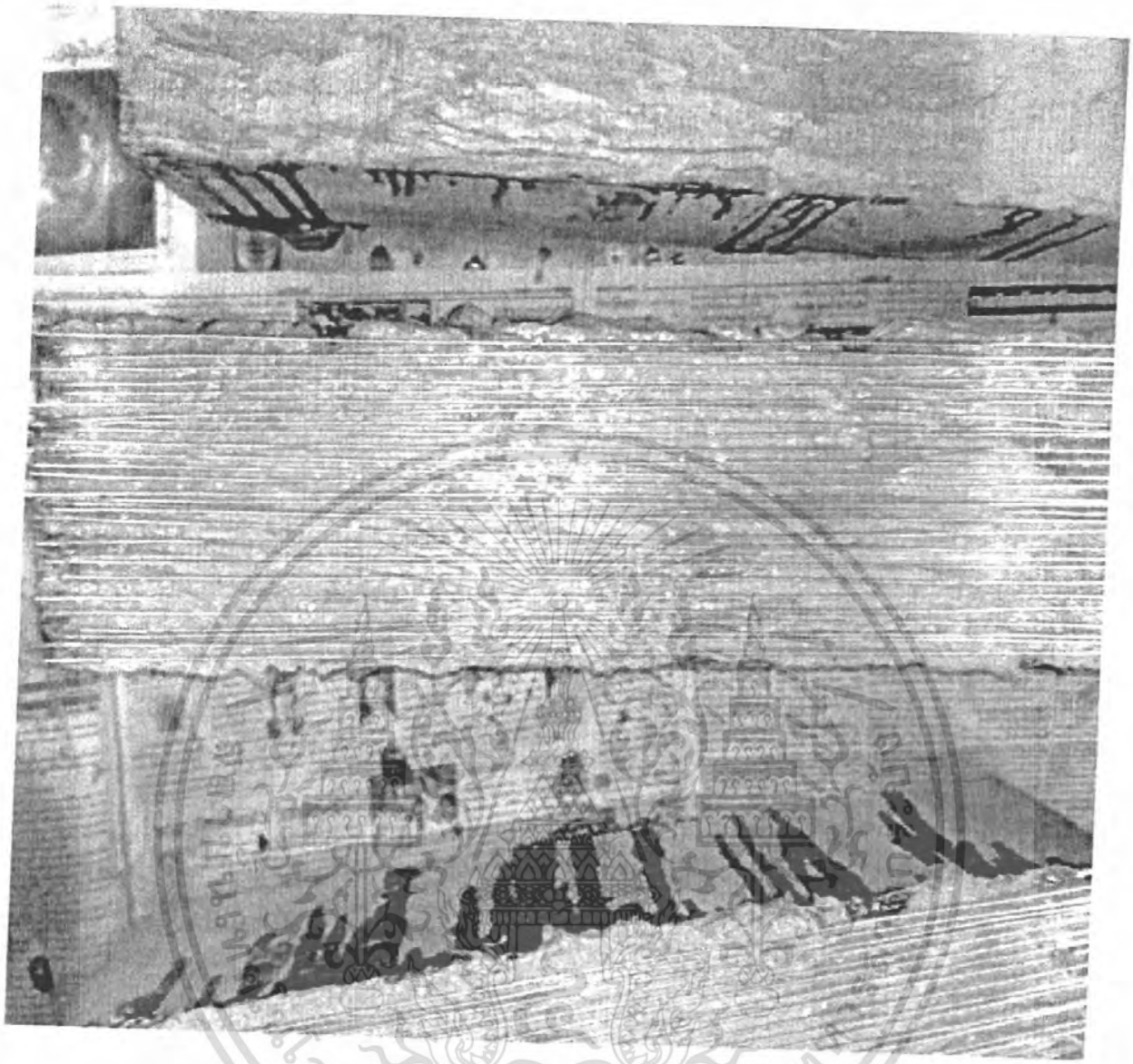
8.ระยะเวลาการบ่ม Epoxy ประมาณ 36-72 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 แสดงภาพ การเสริมลวด เหล็ก PC wire และ ทำการฉาบครั้งที่ 2 ทับเพื่อปิดเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 แสดงภาพการวางลวดเหล็ก 2 mm. เพื่อเสริมคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 การคำนวณปริมาณการเสริม PC wire และลวดเหล็กในคานคอนกรีต

โดยที่

ขนาดของคานคอนกรีต			15 x 15 x 60 ซม.			
ค่ากำลังอัดประลัยของคานคอนกรีต	fc	=	fc'	=	280	ksc
กำลังการรับแรงดึงของลวดเหล็ก	fs	=	$f_{ลวด}$	=	4996.19	ksc
กำลังการรับแรงดึงของลวดPC wire	fs	=	f_{pc}	=	23318.11	ksc

การคำนวณการเสริมเหล็ก ให้เป็นกรณีของ Single Reinforce คือ Tensile Stress Control

ค่า Elastic modulus ของคอนกรีต เหล็ก และPC wire

$$E_c = 15210\sqrt{f_c'} \qquad (3.4)$$

$$= 2.54 \times 10^5 \quad ksc$$

$$E_{pc} = 1.08 \times 10^6 \quad ksc$$

$$E_{ลวด} = 2.32 \times 10^6 \quad ksc$$

หาค่า n

$$n = \frac{Es}{Ec} \qquad (3.5)$$

$$n_{pc} = \frac{Epc}{Ec} = 4.25 \quad ksc \qquad (3.6)$$

$$n_{ลวด} = \frac{Eลวด}{Ec} = 9.13 \quad ksc \qquad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า k

$$k = \frac{nfc}{nfc + f} \quad (3.8)$$

$$k_{pc} = \frac{nfc}{nfc + fpc} = 0.192 \quad (3.9)$$

$$k_{ลวด} = \frac{nfc}{nfc + f_{ลวด}} = 0.048 \quad (3.10)$$

หาค่า j

$$j = 1 - \frac{k}{3} \quad (3.11)$$

$$j_{pc} = 1 - \frac{kpc}{3} = 0.936 \quad (3.12)$$

$$j_{ลวด} = 1 - \frac{k_{ลวด}}{3} = 0.984 \quad (3.13)$$

หาค่า R

$$R = f_c k j \quad (3.14)$$

$$R_{pc} = f_c k_{pc} j_{pc} = 25.16 \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{\text{ลวด}} = f_c k_{\text{ลวด}} j_{\text{ลวด}} = 6.61 \quad (3.16)$$

การคำนวณให้ค่าโมเมนต์ที่สามารถรับได้ของคอนกรีตเท่ากับค่าโมเมนต์ที่สามารถรับได้ของลวดเหล็ก และ PC wire

$$M_{max} = M_c = Rbd^2 \quad (3.17)$$

ดังนั้นต้องเสริมเหล็ก เพื่อให้

$$A_s f_s (jd) < Rbd^2 \quad (3.18)$$

$$\therefore A_{pc} < \quad (3.19)$$

$$A_{pc} < 1.21 \ cm^2$$

$$\therefore A_{\text{ลวด}} < \quad (3.20)$$

$$A_{\text{ลวด}} < 0.93 \ cm^2$$

นั่นคือ ต้องเสริมลวดเหล็ก ไม่เกิน 0.93 ตารางเซนติเมตร

ต้องเสริมลวดPC wire ไม่เกิน 1.21 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การศึกษาคุณสมบัติด้านอื่นๆ

3.4.1 การใช้งานของวัสดุผสมสำหรับงานเสริมแรงคอนกรีต

สำหรับการใช้งานเสริมแรงคอนกรีต จะเสริมในลักษณะช่วยองค์อาคารรับแรงดึงนั่นคือสำหรับคอนกรีตทรงกระบอกนั้น จะใช้เสริมแรงอัดของคอนกรีตโดยการใช้ลวดเหล็กหรือ PC wire พันรอบทรงกระบอกไม่ให้คอนกรีตแบ่งตัวออก สำหรับคานคอนกรีตและแผ่นพื้น จะเสริมแรงในส่วนที่เกิดแรงดึง คือส่วนของท้องคาน

โดยการใช้งานในลักษณะนี้ จะมี Epoxy เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเหล็กและคอนกรีต และมีลวดเหล็ก ø 2 mm. และ Pc-Wire ø 4 mm. ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยรับแรงดึงของคอนกรีต

3.4.2 ราคาวัสดุ

ราคาของวัสดุผสมในที่นี้ได้ทำการสำรวจนำราคาต่อหน่วยมาใช้ ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุผสมที่นำไปเสริมแรง ซึ่งมีรายการวัสดุดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงราคาที่ใช้เป็นวัสดุผสมสำหรับเสริมแรงคอนกรีต

รายการ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)
อีพอกซี่	กก.	400
ปูนขาว	กก.	5
ทราย	กก.	0.12
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	ม.	1.11
Pc-Wire ø 4 mm.	ม.	4.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบวัสดุ

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึงของลวดเหล็ก และ ลวด PC wire

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของลวดชนิดต่างๆ

วัสดุทดสอบ	Tensile Stress (ksc)	Average Tensile Stress (ksc)
ลวดตะแกรงเหล็ก ø 0.6 mm.	4272.43	3854.92
ลวดตะแกรงเหล็ก ø 0.6 mm.	3561.53	
ลวดตะแกรงเหล็ก ø 0.6 mm.	3126.51	
ลวดตะแกรงเหล็ก ø 0.6 mm.	4385.60	
ลวดตะแกรงเหล็ก ø 0.6 mm.	3918.75	
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	5474.29	4996.19
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	4876.51	
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	4940.17	
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	4838.31	
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	4898.79	
Pc-Wire ø 4 mm.	22631.83	23318.11
Pc-Wire ø 4 mm.	28928.00	
Pc-Wire ø 4 mm.	21934.73	
Pc-Wire ø 4 mm.	19806.83	
Pc-Wire ø 4 mm.	23289.14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบ Flow Table ของอีพอกซี่

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบ Flow Table

Time (min)	Epoxy	Sand	Lime	Mortar	Diameter (cm)			Average Diameter (cm)	Ratio
10.00	1.00	-	0.90	-	18.12	17.68	18.39	18.06	1.77
10.00	1.00	-	1.05	-	16.09	15.97	15.79	15.95	1.56
10.00	1.00	-	1.25	-	11.75	11.98	12.23	11.99	1.17
10.00	1.00	2.00	-	-	24.54	23.75	25.32	24.54	2.40
10.00	1.00	2.50	-	-	21.15	20.29	20.53	20.66	2.02
10.00	1.00	3.00	-	-	13.72	13.34	14.19	13.75	1.35
10.00	-	-	-	ปูนฉาบ	10.02	10.35	10.27	10.21	1.00

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบ Flow table พบว่าเมื่อทำการผสมอีพอกซี่ กับ Filler ในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้อีพอกซี่มีความหนืดมากขึ้น โดยเมื่อนำอีพอกซี่ กับ Filler ในอัตราส่วนต่างๆ ไปเทียบกับปูนฉาบพบว่า อีพอกซี่ กับ ทราย ในอัตราส่วน 1:3 ตามลำดับ และ อีพอกซี่ กับ ปูนขาว ในอัตราส่วน 1:1.25 ตามลำดับ มีค่าความข้นเหลวใกล้เคียงกับปูนฉาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3ผลการทดสอบกำลังอัดของอีพอกซี่

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของ Epoxy

Epoxy	Ultimate Load (kN)	Weight (g)	(cm)			Compressive Strength (ksc)	Average Compressive Strength (ksc)	Ratio
1.00	196.10	127.24	4.56	5.04	5.00	869.79	869.02	1.00
	197.60	125.80	4.59	5.04	5.01	870.71		
	195.80	126.30	4.57	5.04	5.02	866.56		

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของ Epoxy + Sand ในอัตราส่วนต่างๆ

Epoxy	Sand	Ultimate Load (kN)	Weight (g)	(cm)			Compressive Strength (ksc)	Average Compressive Strength (ksc)	Ratio
1.00	2.00	184.40	209.81	5.00	5.01	5.08	750.39	756.98	0.87
		186.30	210.70	4.98	5.01	5.08	761.16		
		189.60	214.64	5.08	5.01	4.99	759.40		
1.00	2.50	165.20	219.28	5.01	5.02	5.12	669.58	663.49	0.76
		163.30	218.56	5.01	5.01	4.99	663.20		
		166.50	217.93	5.08	5.08	5.11	657.68		
1.00	3.00	168.70	228.80	5.01	5.14	5.05	667.80	654.87	0.75
		165.30	231.18	5.11	5.04	5.04	654.26		
		159.80	225.40	5.03	5.04	5.01	642.55		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของ Epoxy + Lime ในอัตราส่วนต่างๆ

Epoxy	Lime	Ultimate Load (kN)	Weight (g)	(cm)			Compressive Strength (ksc)	Average Compressive Strength (ksc)	Ratio
1.00	0.90	219.80	174.53	5.02	4.99	5.01	894.45	875.32	1.01
		212.10	174.77	4.98	5.00	5.05	868.31		
		211.70	175.09	5.02	4.98	5.01	863.21		
1.00	1.05	222.80	179.14	4.98	5.02	5.03	908.48	917.54	1.06
		228.10	179.67	4.97	5.02	5.02	931.96		
		224.60	180.07	4.98	5.04	5.03	912.18		
1.00	1.20	235.50	185.21	5.03	5.02	5.05	950.71	957.61	1.10
		233.40	185.26	4.96	5.00	5.05	959.36		
		234.70	182.28	4.97	5.00	5.04	962.76		

จากผลการทดสอบกำลังอัดของอีพอกซี่ โดยเมื่อนำอีพอกซี่ กับ Filler ในอัตราส่วนต่างๆ ไปเทียบกำลังอัดกับอีพอกซี่ที่ไม่ผสมกับFiller พบว่าเมื่อผสมอีพอกซี่กับทรายในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่ากำลังอัด มีค่าลดลง แต่เมื่อผสมอีพอกซี่กับปูนขาวในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่ากำลังอัด มีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบ Pull – Off Strength of Coating

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบ Pull – Off of Coating ของอีพอกซี่

Epoxy	Ultimate Load (kN)	(cm)		Pull – Off Strength (ksc)	Average Pull – Off Strength (ksc)	Ratio
1.0	7.00	5.43	5.49	23.94	23.81	1.00
	6.98	5.52	5.54	23.27		
	7.15	5.45	5.52	24.23		

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบ Pull – Off of Coating ของ Epoxy + Sand ในอัตราส่วนต่างๆ

Epoxy	Sand	Ultimate Load (kN)	(cm)		Pull – Off Strength (ksc)	Average Pull – Off Strength (ksc)	Ratio
1.0	2.0	6.32	5.60	5.70	20.18	20.16	0.85
		6.11	5.79	5.57	19.31		
		6.27	5.49	5.55	20.98		
1.0	2.5	5.47	5.55	5.59	17.97	17.75	0.75
		5.43	5.45	5.87	17.30		
		5.52	5.62	5.57	17.98		
1.0	3.0	4.87	5.83	5.76	14.78	14.99	0.63
		4.79	5.51	5.67	15.63		
		4.85	5.81	5.84	14.57		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบ Pull – Off of Coating ของ Epoxy + Lime ในอัตราส่วนต่างๆ

Epoxy	Lime	Ultimate Load (kN)	(cm)		Pull – Off Strength (ksc)	Average Pull – Off Strength (ksc)	Ratio
1.0	0.9	6.54	5.72	5.69	20.48	21.77	0.91
		6.63	5.49	5.69	21.63		
		6.71	5.36	5.50	23.20		
1.0	1.05	5.83	5.48	5.37	20.20	19.84	0.83
		5.74	5.47	5.46	19.59		
		5.79	5.29	5.65	19.74		
1.0	1.25	5.09	5.54	5.57	16.81	17.49	0.73
		5.12	5.56	5.49	17.10		
		5.03	5.24	5.27	18.57		

จากการทดสอบ Pull – Off of Coating พบว่าอีพอกซี่ที่ผสมกับFiller มีค่าความสามารถ ในการยึดเกาะกับคอนกรีตลดลงเมื่อผสมกับFiller ในปริมาณที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบ กำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอก

Spec. No.	Diameter (cm)	Cross Section (cm^2)	Height (cm)	Weight (kg)	Ultimate Load (kgf.)	Compressive Strength (ksc)	Average
1	15.04	177.49	30.00	12.12	520.50	298.94	293.9
2	15.06	178.04	30.10	12.16	517.30	296.18	
3	15.07	178.28	30,00	12.20	501.20	286.58	

4.6 ผลการทดสอบการรับกำลังดัดของคานคอนกรีต

ตารางที่ 4.10 แสดงความสามารถในการรับแรงดัดของคานคอนกรีต

ชนิด	จำนวน (เส้น)	แรง (kg)	แรงเฉลี่ย (kg)	Modulus of Rupture (ksc)	Ratio
คานคอนกรีต	-	3679.40	3483.70	61.93	1.00
	-	3566.40			
	-	3205.30			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงความสามารถในการรับแรงดัดของคานคอนกรีตฉาบด้วย Epoxy + Filler 1:1.25

ชนิด	จำนวน (เส้น)	แรง (kg)	แรงเฉลี่ย (kg)	Modulus of Rupture (ksc)	Ratio
คานคอนกรีตฉาบด้วยEpoxyกับ Filler 1:1.25	-	4824.20	4189.60	74.48	1.20
	-	4196.60			
	-	3548.00			

ตารางที่ 4.12 แสดงความสามารถในการรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมลวดเหล็ก ø 2 mm.

ชนิด	จำนวน (เส้น)	แรง (kg)	แรงเฉลี่ย (kg)	Modulus of Rupture (ksc)	Ratio
คานคอนกรีตเสริมลวดเหล็ก ø 2 mm. ฉาบด้วยEpoxyกับ Filler 1:1.25	12.00	5648.20	5378.70	95.62	1.54
	12.00	5437.80			
	12.00	5050.10			
	20.00	6262.00	6700.70	119.12	1.92
	20.00	7029.30			
	20.00	6810.80			
	28.00	8448.40	8607.10	153.02	2.47
	28.00	8652.00			
	28.00	8720.90			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงความสามารถในการรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมลวด Pc-Wire ø 4 mm.

ชนิด	จำนวน (เส้น)	แรง (kg)	แรงเฉลี่ย (kg)	Modulus of Rupture (ksc)	Ratio
คานคอนกรีตเสริมลวด Pc-Wire ø 4 mm. ฉาบด้วยEpoxyกับ Filler 1:1.25	3.00	5277.40	5424.63	96.44	1.56
	3.00	4818.60			
	3.00	6177.90			
	5.00	7351.00	8708.63	154.82	2.50
	5.00	9229.00			
	5.00	9545.90			
	7.00	10195.10	10426.33	185.36	2.99
	7.00	10555.60			
	7.00	10528.30			

จากการทดสอบกำลังดัดของคานคอนกรีต พบว่าเมื่อทำการฉาบอีพอกซี่ลงบนคานคอนกรีตจะเพิ่มกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นประมาณ 20 % และเมื่อทำการเสริมด้วยลวดเหล็ก ø 2 mm. จำนวน 12 , 20 , 28 เส้น พบว่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น 54% , 92% , 147% ตามลำดับ และเมื่อทำการเสริมด้วย Pc-Wire ø 4 mm.จำนวน 3 , 5 , 7 เส้น พบว่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น 56% , 150% , 199% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

5.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบลวดเหล็ก ø 2 mm. และ Pc-Wire ø 4 mm.

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงและราคาต่อเมตร ของลวดเหล็ก ø 2 mm.และ Pc-Wire ø 4 mm. ทำให้ได้ค่าราคาต่อเมตรต่อกำลังรับแรงดึงของลวดทั้งสองชนิด ซึ่งค่าทั้งสองนี้มีค่าใกล้เคียงกันมากจึงเลือกใช้ทั้ง ลวดเหล็ก ø 2 mm.และ Pc-Wire ø 4 mm.

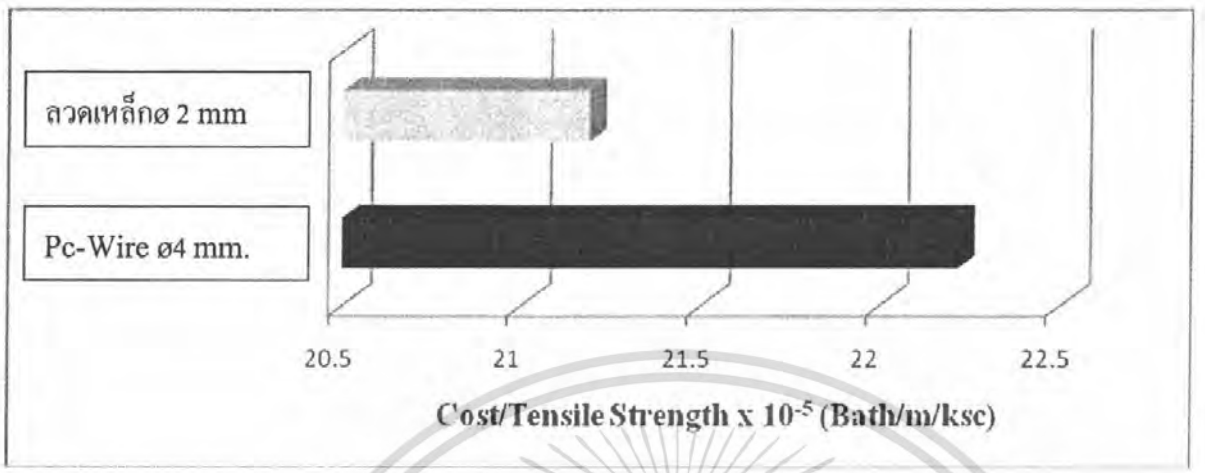
ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ลวดเหล็ก ø 2 mm. และ Pc-Wire ø 4 mm. มาใช้เป็นวัสดุคอมโพสิทเพื่อใช้เปรียบเทียบกันว่าวัสดุทั้งสองอย่าง ควรเลือกใช้วัสดุใดดีกว่ากันในอัตราส่วนของ ราคาต่อ กำลังรับแรงดึง

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึง ราคา และราคาต่อกำลังรับแรงดึงของเหล็กตะแกรง

Type	Average Tensile Strength (ksc)	Cost (Bath/m)	Cost/Tensile Strength (Bath/m/ksc)
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	4996.19	1.11	22.22×10^{-5}
Pc-Wire ø 4 mm.	23318.11	4.94	21.19×10^{-5}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิเปรียบเทียบ ราคาต่อหน่วย / กำลังของวัสดุ



รูปที่ 5.1 แสดงภาพผลการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วย/กำลังรับแรงดึงระหว่าง ลวดเหล็ก ø 2 mm. และ Pc-Wire ø 4 mm.

5.2 สรุปผลการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก

ตารางที่ 5.2 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก

วัสดุ	Compressive Strength (ksc)
Concrete Cylinder	293.90

จากตารางที่ 5.2 ทำให้เราทราบถึงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ กับ กำลังรับแรงอัดที่ทดสอบได้จริงซึ่งต่างกันอยู่ 13.90 ksc. ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันจะได้ 4.96 %

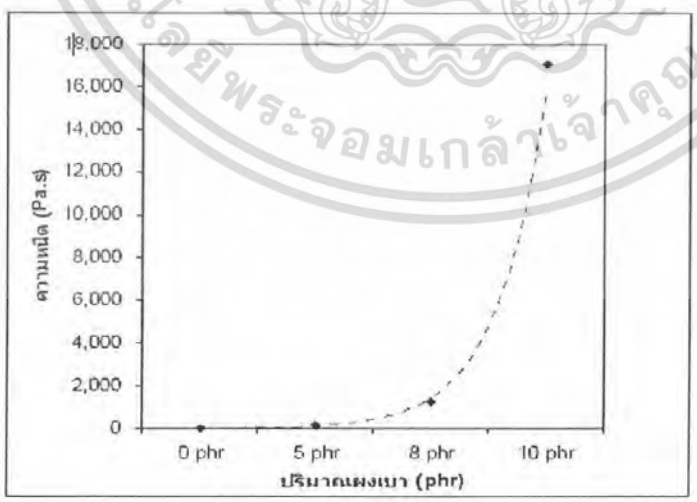
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 สรุปผลการทดลอง Flow Table

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า ø เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที และ เปอร์เซ็นต์การไหลเทียบกับปูนฉาบ

ชนิด	อัตราส่วน	Ø เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที (cm)	เปอร์เซ็นต์การไหลเทียบกับปูนฉาบ (%)
ปูนฉาบ	-	10.21	100
Epoxy + Lime	1:0.9	18.06	177
Epoxy + Lime	1:1.05	15.95	156
Epoxy + Lime	1:1.25	11.99	117
Epoxy + Sand	1:2.0	24.54	240
Epoxy + Sand	1:2.5	20.66	202
Epoxy + Sand	1:3.0	13.75	135

จากตารางที่ 5.3 ø เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ของ Epoxy + Filler ทั้งสองประเภทมีแนวโน้มคือเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการไหลจะต่ำลงดังกราฟ รูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับปริมาณ Filler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาอัตราส่วนผสมและชนิดของ Epoxy + Filler ที่สามารถฉาบได้ใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับปูนฉาบ จะเห็นได้ว่า Epoxy + Lime ในอัตราส่วน 1:1.25 มีเปอร์เซ็นต์การไหลเมื่อเทียบกับปูนฉาบ 117% ซึ่งเพิ่มขึ้นมาเพียง 17 % มีค่าใกล้เคียงกับปูนฉาบมากที่สุด

5.4 สรุปผลการทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของอีพอกซี่

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการเปรียบเทียบราคา/กำลังที่เพิ่มขึ้นของ Epoxy + Filler ในอัตราส่วนต่างๆ

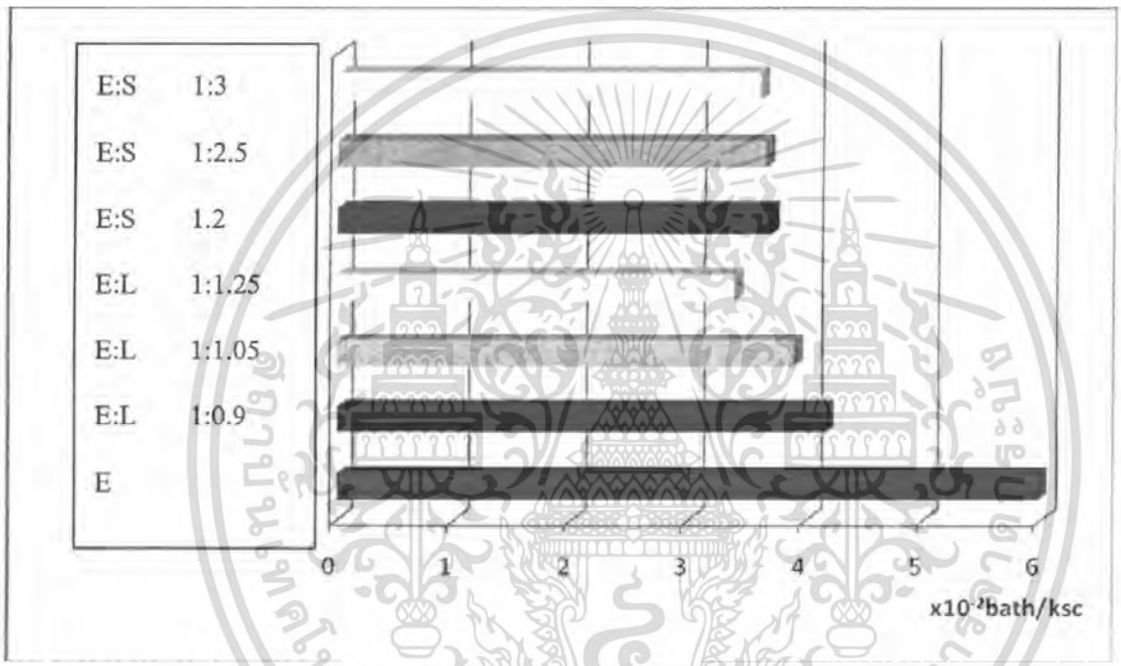
ชนิด	อัตราส่วน	Compressive Strength (ksc)	เปอร์เซ็นต์กำลังการรับแรงเทียบกับ Epoxy ล้วน (%)	ราคา/ตัวอย่าง (บาท)	ราคา/กำลังที่เพิ่มขึ้น (บาท/ksc)
Epoxy	-	869.02	100	52.00	5.98×10^{-2}
Epoxy + Lime	1:0.9	875.32	101	36.40	4.16×10^{-2}
Epoxy + Lime	1:1.05	917.54	106	35.81	3.90×10^{-2}
Epoxy + Lime	1:1.25	957.61	110	32.50	3.39×10^{-2}
Epoxy + Sand	1:2.0	756.98	87	28.02	3.70×10^{-2}
Epoxy + Sand	1:2.5	663.49	76	24.19	3.65×10^{-2}
Epoxy + Sand	1:3.0	654.87	75	23.60	3.60×10^{-2}

จากตารางที่ 5.4 ทำให้ทราบว่า Filler ประเภทปูนขาวเมื่อผสมมากขึ้นจะส่งผลให้ ค่าความสามารถในการรับแรงกดมากขึ้น เป็นผลอันเนื่องมาจากอนุภาคของปูนขาวมีขนาดเล็กมากสามารถผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับ Epoxy ได้ดี จนถึงอัตราส่วน 1:1.25 ถ้าหากผสมมากกว่านี้ จะทำให้ความสามารถในการทำงานลดลงเนื่องจากความหนืดเหนียวและเข้ากันยากของ Epoxy กับ ปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน Filler ประเภททรายเมื่อผสมมากขึ้นจะส่งผลให้ ค่าความสามารถในการรับแรงกดน้อยลง เป็นผลอันเนื่องมาจากทรายมีอนุภาคที่ใหญ่กว่าปูนขาวมากไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับ Epoxy ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลบางส่วนของ Epoxy ต้องแบ่งมายึดเหนี่ยวอนุภาคของทรายไว้แทน ส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดต่ำลง

แผนภูมิเปรียบเทียบ ราคาต่อหน่วย / กำลังที่เพิ่มขึ้นของวัสดุ



รูปที่ 5.3 แสดงภาพผลการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วย / กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น

จากนั้นมาวิเคราะห์ถึงราคา/กำลังที่เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่า Epoxy + Lime ในอัตราส่วน 1:1.25 มีค่า 3.39 $x10^{-2}$ บาท/ksc ซึ่งมีราคาถูกที่สุดเมื่อรวมทุกปัจจัยเข้าด้วยกัน Epoxy + Lime จึงเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการทดลองการรับแรงดัดของคานโดยเสริมวัสดุคอมโพสิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 สรุปผลผลการทดสอบ Pull – Off Strength of Coating

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดสอบ Pull – Off of Coating ของ Epoxy + Sand ในอัตราส่วนต่างๆ

ชนิด	อัตราส่วน	Average Pull – Off Strength (ksc)	Ratio
Epoxy	-	23.81	1.00
Epoxy + Lime	1:0.9	21.77	0.91
Epoxy + Lime	1:1.05	19.84	0.83
Epoxy + Lime	1:1.25	17.49	0.73
Epoxy + Sand	1:2.0	20.16	0.85
Epoxy + Sand	1:2.5	17.75	0.75
Epoxy + Sand	1:3.0	14.99	0.63

จากตารางที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อ Epoxy ถูกผสมด้วย Filler ในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้ค่าของ Pull – Off Strength ต่ำลง กล่าวคือเมื่อ Epoxy ถูกผสมกับ Filler ในปริมาณที่มากทำให้เนื้อของ Epoxy ลดลงซึ่ง ตัว Epoxy นี้เองที่เป็นตัวซึมเข้าเนื้อคอนกรีต สรุปได้ว่า ค่า Average Pull – Off Strength จะแปรผันตรงกับค่าปริมาณของอีพอกซี่ในส่วนผสมนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 สรุปผลการทดสอบในการใช้งานในการรับแรงดัดของคานคอนกรีต

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าเปรียบเทียบราคา/กำลังที่เพิ่มขึ้น ในพื้นที่หน้าตัดเหล็กๆ ที่เสริมคานคอนกรีต

วัสดุ	ความยาวเหล็กรวม (mm)	จำนวน (เส้น)	Modulus of Rupture (ksc)	เปอร์เซ็นต์กำลังการรับแรงเทียบกับคอนกรีตล้วน (%)	ราคาวัสดุเสริมที่ใช้/ตัวอย่าง (บาท)	ราคา/กำลังที่เพิ่มขึ้น (บาท/ksc)
Concrete	-	-	61.93	100	-	-
Epoxy+Lime (1:1.25)	-	-	74.48	120	182.81	2.45
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	7.2	12	95.62	154	190.80	2.00
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	12.0	20	119.12	192	196.13	1.65
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	16.8	28	153.02	247	201.46	1.31
Pc-Wire ø 4 mm.	1.8	3	96.44	156	191.70	1.99
Pc-Wire ø 4 mm.	3.0	5	154.82	250	197.63	1.28
Pc-Wire ø 4 mm.	4.2	7	185.36	299	203.56	1.10

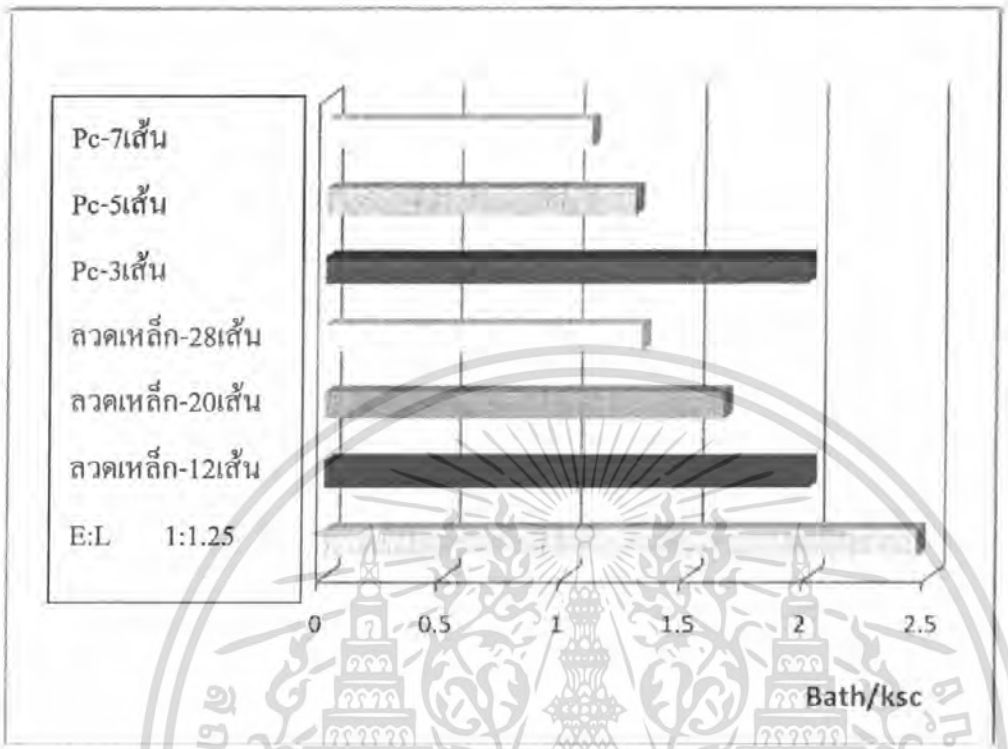
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 สรุปประสิทธิภาพการใช้เส้นใยในการเสริมกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีต

วัสดุ	Modulus of Rupture (ksc)	พื้นที่หน้าตัดเหล็กที่ใช้เสริม (cm^2)	เปรียบเทียบกำลังที่เส้นใยรับได้ ต่อ 1 cm^2 (ksc/cm^2)
Concrete	61.93	-	-
Epoxy + Lime (1:1.25)	74.48	-	-
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	95.62	0.38	251.63
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	119.12	0.63	189.07
ลวดเหล็ก ø 2 mm.	153.02	0.88	173.89
Pc-Wire ø 4 mm.	96.44	0.38	253.79
Pc-Wire ø 4 mm.	154.82	0.63	245.75
Pc-Wire ø 4 mm.	185.36	0.88	210.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิเปรียบเทียบ ราคาต่อหน่วย / กำลังที่เพิ่มขึ้นของวัสดุ



รูปที่ 5.4 แสดงภาพผลการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วย / กำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 5.6 สรุปผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ไม่ว่าเป็นลวดประเภทใดเมื่อใช้เป็นวัสดุคอมโพสิท และเพิ่มปริมาณหน้าตัดเหล็กเพิ่มขึ้น ค่า Modulus of Rapture ก็จะเพิ่มขึ้นตาม โดย Pc-Wire ø 4 mm. จะมีความสามารถในการรับแรงดัดมากกว่า ลวดเหล็ก ø 2 mm. ในปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กที่เท่ากัน

ลักษณะการวิบัติของการรับแรงดัดในคานคอนกรีตจะพบว่า เมื่อเสริมแรงคานคอนกรีตด้วยลวดเหล็ก ø 2 mm. และ Pc-Wire ø 4 mm. จะเกิดการวิบัติในแบบ Tension Failure เนื่องจากการเสริมแรงทั้ง 2 เป็นการเสริมแรงแบบ Under Reinforcement ซึ่งรูปที่ 5.5 เป็นการวิบัติของการเสริมแรงด้วย ลวดเหล็ก ø 2 mm. และรูปที่ 5.6 เป็นการวิบัติของการเสริมแรงด้วย Pc-Wire ø 4 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 แสดงการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมลวดเหล็ก ø 2 mm.

รูปที่ 5.6 แสดงการวิบัติของคานคอนกรีตเสริม Pc-Wire ø4 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 สรุปผลการศึกษา

การลดปริมาณอีพอกซี่ที่ใช้เป็นตัวประสานระหว่างคอนกรีตกับวัสดุคอมโพสิท โดยการผสม Filler นั้นคือ ปูนขาว ในอัตราส่วน 1:1.25 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดเพราะง่ายต่อการฉาบเมื่อเทียบกับปูนฉาบทำให้ฉาบอีพอกซี่ได้บางขึ้น และทำให้ค่าใช้จ่ายถูกลงมากในขณะที่ความสามารถในการรับแรงของอีพรอกซี่ยังเพิ่มขึ้นอีกด้วย

และจากการเสริม ลวดเหล็ก ø 2 mm. และ Pc-Wire ø 4 mm. โดยใช้ Epoxy + Lime ในอัตราส่วน 1:1.25 เป็นตัวยึดประสาน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรับแรงของวัสดุคอมโพสิทกับราคาต่อหน่วยปริมาณที่ใช้ จะพบว่าราคาต่อกำลังที่เพิ่มขึ้นของ Pc-Wire ø 4 mm. เสริมจำนวน 7 เส้นมีค่าราคาต่อกำลังที่เพิ่มขึ้นถูกที่สุด นั้นคือราคาต่อกำลังที่เพิ่มขึ้นจะถูกลงเมื่อเสริมปริมาณหน้าตัดเหล็กเพิ่มขึ้น แต่จะต้องไม่เกินจากที่คำนวณเพื่อกำหนดให้เป็นการวิบัติแบบ Tension Failure

5.8 ข้อแนะนำและแนวทางการพัฒนา

1. การเพิ่มปริมาณเหล็กเสริม จำเป็นต้องคำนึงถึงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็ก กับอีพอกซี่ และคอนกรีตด้วยเพื่อไม่ให้เกิดการวิบัติแบบการรูด และการเสริมเหล็กควรเสริมแบบเป็นกลุ่มเหล็กแทนที่จะเสริมแบบเฉลี่ยต่อหน้าตัดคานเพื่อลดต้นทุนลงมาได้อีก

2. อีพอกซี่ที่ใช้ฉาบเหล็กเมื่อมีการเสริมเหล็กแบบเป็นกลุ่มแทนการเฉลี่ยทั้งหน้าตัด จะทำให้ปริมาณอีพอกซี่ที่ใช้ฉาบมีปริมาณน้อยลง เนื่องจากเราจะทำการฉาบแค่เฉพาะกลุ่มเหล็กนั้น แทนการฉาบทั้งพื้นที่หน้าตัดคาน ส่งผลให้ต้นทุนที่ใช้มีค่าน้อยลงได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- E.I.Du Point de Nemours&Co., 1974. **After Kevlar 49 Data Manual.**

- McGraw-Hill, 1984. **Composite Material Handbook.**

- Callister, W, D, 2003. **Materials Science and Engineering an Introduction**. 6th Ed., Newyork

- แม้น อมรสิทธิ์และสมชัย อัครทิวา, 2546 **วัสดุวิศวกรรม-Principles of materials Science and Engineering** - กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล.

- พันธกร ธนะรุ่งโรจน์กิจ และวิชาญ โฆษิตเจริญกุล. **การศึกษาการนำวัสดุผสมเหล็กกับอีพอกซี่มาใช้แทนเส้นใยคาร์บอนกับอีพอกซี่ สำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.

- เสฏฐชัย พรกุลประสิทธิ์ และ คนอื่นๆ. **การศึกษาพฤติกรรมทางกายภาพของคอนกรีตผสมใยเหล็ก** .วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547.

- ชัยพฤกษ์ เกตเพ็ชร และ คนอื่นๆ. **การเตรียม Epoxy Gel Coat สำหรับการทำแบบข้องอในการผลิตท่อเสริมแรง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. มหาวิทยาศิลปากร,2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ชลิดา อู่ตะเภา และ แหลมทอง เหล่าคงถาวร,2547. พิมพ์ครั้งที่ 1. **วัสดุวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ

- บริษัท ผลิตภัณฑ์ และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2541. **คอนกรีตเทคโนโลยี.** กรุงเทพฯ

- บริษัท ผลิตภัณฑ์ และวัสดุก่อสร้าง จำกัด, 2541. **คู่มือการทดสอบหินทรายและคอนกรีต.** กรุงเทพฯ

- ประกิตศาสน์ ประสงค์จรรยา และ สิทธิชัย บังใบ, **แผ่นพื้นคอนกรีตเส้นใยพลาสติก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2543

- วินิต ช่อวิเชียร, 2539. **คอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ:บ.สัมพันธ์พานิชย์

- เมธี บุญเลี้ยงอุปถัมภ์ และ ฉัตรชัย ชูพานิช, 2541. **คู่มือการทดสอบ หิน ทราย และคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่1. บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้างจำกัด

- ยุทธนา จิระธนาไพบูลย์และอุทุมพร ศรีวิชัย, **การศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของไฟเบอร์โลหะในคอนกรีตเสริมเส้นใย** วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2536

- ณัฐสม สงวนวงษ์, 2546. **การวิเคราะห์และวิจัยพฤติกรรมคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กเพื่อนำมาใช้งานถนนคอนกรีต.** กรุงเทพฯ

- นท นิ่มสมบุญ และ สมพร เซี่ยงฉิน, **"การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยอีพอกซี่"** วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2543

- สิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2543. **ปฏิบัติการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี.** 1000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท เอส.เอส. บุ๊คเฮ้าส์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- http://www.edgefrp.com
- http://www.thaiperforate.com
- http://www.forest.go.th/biocom/garbage_theory.html
- http://www.fastech.co.th/technical.htm
- http://www.nationalpark.go.th/biocom/garbage_semlang.html
- http://isit.or.th/index.asp
- http://kahuna.sdsu.edu/~sfrc/Construction%20Phases.html
- http://www.engin.umich.edu/dept/cee/research/sme/facilities/ccl.html
- http://www.michelin.co.th/thai/michelin_club/download.jsp
- http://www.fyfeco.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ นายจักรนรินทร์ จุฬาธนานนท์
เกิดวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2527
ที่อยู่ปัจจุบัน 154/219 ซ.ศิริชัย ถ.ศรีสุริยวงศ์ ต.หน้าเมือง อ.เมือง จ.ราชบุรี 70000
เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ 089-137-2854
อีเมล wadinter@hotmail.com

การศึกษา

- ชั้นประถมศึกษา ร.ร.เทศบาล๒ (วัดช่องลม) จ.ราชบุรี
- ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ร.ร.ศรุณาราชบุรี จ.ราชบุรี
- อาชีวศึกษา วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี จ.ราชบุรี
- ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 อภิธานศัพท์

1.**อัฒจรรย์สนามกีฬา หมายถึง สถานที่เพื่อการชมกีฬาและประกอบกิจกรรมทางด้านกีฬา**

2.**ยิมเนเซียม หมายถึง สนามกีฬาในร่มที่มีพื้นที่ปกคลุม**

3 **อาคารเรียน หมายถึง สถานที่ที่ใช้ในการเรียนการสอน มีส่วนของห้องเรียนใช้เป็นพื้นที่เรียนแบ่งเป็นห้องๆตามประเภทของวิชา**

4.**หอพัก หมายถึง สถานที่ใช้ในการพักผ่อน นั่งเล่นหรือการหลับนอน สามารถจัดเป็นห้องใหญ่หรือแยกเป็นห้องเดี่ยวๆก็ได้**

5.**โรงอาหาร หมายถึง สถานที่รับประทานอาหาร มีส่วนพื้นที่รับประทานอาหาร ห้องครัวที่ใช้ในการปรุงอาหารและขายของ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้