

การเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน
ด้วย CFRP

A retrofitted of heat-damaged reinforced beams using CFRP



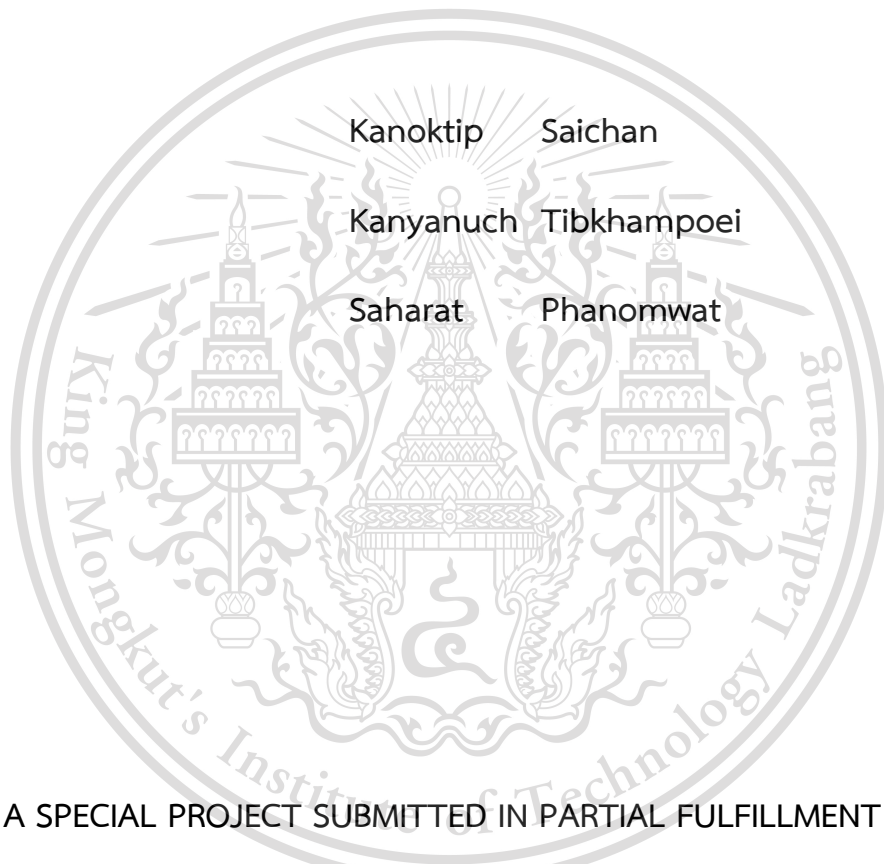
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

A retrofitted of heat-damaged reinforced beams using CFRP



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ







หัวข้อโครงการพิเศษ การเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนด้วย CFRP

นักศึกษา กนกทิพย์ สายจันทร์ รหัสประจำตัว 61015001
 กัญญานุช ตี๋คำเพย รหัสประจำตัว 61015006
 สหรัฐ พนมวาสน์ รหัสประจำตัว 61015083

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณัฐกานต์ สีนสมุทรผดุง , ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.ณัฐกานต์ สีนสมุทรผดุง	
ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร	
ผศ.ดร. อัญญาวิทย์ สุจริตพงศ์	
รศ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
ผศ.ดร. อำพน จรัสจรวงเกียรติ	
อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 พฤษภาคม 2564 เวลา 11.00 – 11.50 น.

สถานที่สอบ ออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายจากความร้อนด้วย CFRP

นางสาวกนกทิพย์	สายจันทร์	รหัสนักศึกษา	61015001
นางสาวกัญญาช	ดีบคำเพย	รหัสนักศึกษา	61015006
นายสหรัฐ	พนมวาสน์	รหัสนักศึกษา	61015083

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ณัฐดนัย สินสมุทรผดุง

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายจากความร้อนโดยใช้ CFRP ซึ่งทางกลุ่มของนักศึกษาได้มองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับอาคารที่เกิดเหตุไฟไหม้ ที่ได้รับความเสียหายจากความร้อน ทำให้มีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง ซึ่งส่วนใหญ่อาจจะทุบทิ้งและสร้างใหม่

แต่ทางกลุ่มนักศึกษามองว่าอาคารเหล่านั้นสามารถซ่อมแซมได้ในกรณีที่เกิดความเสียหายไม่เกินมาตรฐานกำหนด จึงเลือกเสนอวิธีแก้ไขปัญหานี้ด้วยการเสริมกำลัง และซ่อมแซมโครงสร้าง โดยทางกลุ่มของนักศึกษาได้ทำการศึกษา เกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการเสริมแรงในครั้งนี้และได้เลือกวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยในการทดสอบครั้งนี้ซึ่งโดยทั่วไป วัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยนี้จะแบ่งได้หลายประเภท แต่จากลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นจึงทำให้กลุ่มของนักศึกษาเลือกที่จะใช้ คาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) เป็นวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย มีอัตราส่วนกำลังรับแรงต่อน้ำหนักสูง สามารถทนทานต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิม มีความคงทน และสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุชนิดอื่นแล้ว การใช้ CFRP มีน้ำหนักเบาจึงไม่เป็นการเพิ่มให้กับอาคารที่เราจะทำการเสริมกำลัง

และทางกลุ่มของนักศึกษาก็ได้ออกแบบคานตัวอย่างในการทดสอบนี้ เพื่อให้ใช้ได้กับงานจริงและมีประโยชน์ต่องานวิศวกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

A retrofitted of heat-damaged reinforced beams using CFRP

Kanoktip Saichan Student ID. 61015001

Kanyanuch Tibkhampoei Student ID. 61015006

Saharat Phanomwat Student ID. 61015083

Advisor : Dr.Natdanai Sinsamutpadung

Advisor : Asst.Prof.Dr.Arthit Petchsasithon

ABSTRACT

This thesis is aimed to study the efficacy of heat-damaged reinforced concrete reinforcement using CFRP, where a group of students has seen the problems that arise with the buildings at the fire incident. That has been damaged by heat causing a direct impact on the strength of the concrete Most of which may be crushed and rebuilt.

But the student group thinks that the buildings can be repaired in the event that the damage is not exceeding the standard. Therefore choose to propose a solution to this problem by reinforcing and repair the structure whereby a group of students has studied about the material used for this reinforcement, and the fiber reinforced polymer material was selected in this test. Fiber-reinforced polymer materials are divided into several types. But due to the nature of the damage that has caused a group of students to choose to use. Carbon fiber (CFRP) is a fiber reinforced composite material. Has a high strength-to-weight ratio. It can resist corrosion, will not rust, it is durable and convenient to install and use. Compared to other materials, CFRP is lightweight and therefore does not burden the buildings we are building to strengthen.

And a group of students designed the sample beams in this test. To be applicable to the actual work and to be useful for engineering further.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์การเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายจากความร้อนโดยใช้ CFRP (A retrofitted of heat-damaged reinforced beams using CFRP) จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีไม่ได้ หากไม่ได้รับความเมตตากรุณาจาก ดร. ณัฐธินัย สินสมุทรผดุง และ ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร อีกทั้งสละเวลาเพื่อให้คำปรึกษา กับคณะผู้จัดทำตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับงานวิจัยนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่คอยให้คำแนะนำในการศึกษาและจัดทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆ ที่ให้คำแนะนำ

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจ ในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้คณะ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

นางสาวกนกทิพย์ สายจันทร์ รหัสนักศึกษา 61015001

นางสาวกัญญานุช ดีบัวเพย รหัสนักศึกษา 61015006

นายสหัสรัฐ พนมวาสน์ รหัสนักศึกษา 61015083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

เรื่อง	หน้าที่
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญกราฟ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คาร์บอนไฟเบอร์.....	3
2.2 งานโครงสร้างที่ผูกไฟไหม้.....	6
2.3 มาตรฐาน ACI 440 และ มยผ.	11
2.4 ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก และวิธีการออกแบบ.....	17
2.4.1 ข้อกำหนดในการออกแบบ.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 2.4.2 น้ำหนักบรรทุก..... 19
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.3	วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design Method).....	20
2.4.4	วิธีกำลัง (Strength Design Method).....	21
2.5	มาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3	วัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการทดสอบ.....	26
3.1	วัสดุอุปกรณ์ และ ขั้นตอนการทดสอบ.....	26
3.2	ลักษณะของตัวอย่าง.....	31
3.3	คุณสมบัติของวัสดุ.....	32
3.4	รายละเอียดตัวอย่าง.....	32
3.5	การเตรียมตัวอย่าง.....	36
3.6	เครื่องทดสอบ.....	41
3.7	การเสริมกำลังให้คานตัวอย่างทดสอบ.....	42
บทที่ 4	การวิเคราะห์ด้วยหลักการและทฤษฎี.....	43
4.1	Rajai Z. Al-Rousan.....	43
4.2	ส่วนประกอบของคอนกรีต.....	44
4.3	CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer).....	45
4.4	Chen Wanxiang Yan Shaohua	45
4.5	ผลการวิเคราะห์จากหลักการและทฤษฎีที่ศึกษา	46
บทที่ 5	สรุปผลการศึกษา.....	53
5.1	สรุปผลการศึกษา.....	53
5.2	ข้อเสนอแนะจากการทดสอบ และแนวทางการพัฒนาต่อไปในอนาคต.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
 เอกสารอ้างอิง..... 55
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้าที่
รูปที่ 1.1 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถล่มหลังถูกเพลิงไหม้	2
รูปที่ 2.1 แสดงชนิดของ คาร์บอนไฟเบอร์	5
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนในการออกแบบ	18
รูปที่ 2.3 คานรับน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ตัดจากน้ำหนักบรรทุก	21
รูปที่ 2.4 หน่วยแรงตัดจากน้ำหนักบรรทุกและหน่วยแรงต้านทาน	21
รูปที่ 3.1 เหล็ก RB 6 mm และ RB 9 mm	26
รูปที่ 3.2 ไม้แบบ	26
รูปที่ 3.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	26
รูปที่ 3.4 ทราฮายาบ	27
รูปที่ 3.5 หินแกรนิต	27
รูปที่ 3.6 เครื่องผสมคอนกรีตขนาด 0.75 ลบ.ม.	27
รูปที่ 3.7 แบบหล่อตัวอย่างทรงกระบอก	28
รูปที่ 3.8 เครื่องตัดเหล็กเส้น	28
รูปที่ 3.9 น้ำยาประสานเรซิน 220 HP และ 55 HP	28
รูปที่ 3.10 แผ่น C-sheet	29
รูปที่ 3.11 แผ่น C-laminate	29
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบหากำลังแรงตัดคาน	29
รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบกำลังอัดประลัยคอนกรีตตัวอย่างทรงกระบอก	30
รูปที่ 3.14 ตลับเมตร	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.15 ตู้ไฟฟ้า	30
รูปที่ 3.16 แสดงการคำนวณการออกแบบและรูปคานตัวอย่าง ด้วยวิธีกำลัง	31
รูปที่ 3.17 แสดงแบบขยายและรูปตัดคานตัวอย่าง	33
รูปที่ 3.18 แสดงแบบขยายและรูปตัดคานตัวอย่างที่เสริมด้วย C-Laminate	34
รูปที่ 3.19 แสดงแบบขยายและรูปตัดคานตัวอย่างที่เสริมด้วย C-Sheet	35
รูปที่ 3.20 ภาพแสดงการตัดท่อ PVC	36
รูปที่ 3.21 การหล่อลูกปูน	36
รูปที่ 3.22 การตัดและตัดเหล็กเสริม	37
รูปที่ 3.23 ภาพการผูกเหล็กเสริม	37
รูปที่ 3.24 แบบไม้อัดที่ใช้หล่อคานตัวอย่าง	38
รูปที่ 3.25 นำเหล็กเสริมใส่ลงแบบหล่อตัวอย่าง	38
รูปที่ 3.26 การผสมคอนกรีตโดยเครื่องมิชขนาด 0.75 ลบ.ม.	39
รูปที่ 3.27 การตรวจสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต	39
รูปที่ 3.28 การเทคอนกรีตลงในแบบ	40
รูปที่ 3.29 การบ่มตัวอย่างทดสอบ	40
รูปที่ 3.30 การอบตัวอย่างทดสอบ	41
รูปที่ 3.31 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัดของคาน	41
รูปที่ 3.32 ตัวอย่างการเสริมกำลังด้วย CFRP	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญกราฟ

เรื่อง	หน้าที่
กราฟที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยและเหล็กเส้น.....	6
กราฟที่ 4.1 แสดงการสูญเสียกำลังของคอนกรีต	43
กราฟที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับแรงอัดและสีของคอนกรีต กับอุณหภูมิ (Harmathy, 1993) เหล็กกับเพลิงไหม้	44
กราฟที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ CFRP,AFRP,GFRP และ Steel	45
กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป กรณีที่ 1....	46
กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป กรณีที่ 2....	47
กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย กรณีที่ 3	48
กราฟที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย กรณีที่ 4	49
กราฟที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อน กรณีที่ 5	50
กราฟที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย กรณีที่ 6	51
กราฟที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย กรณีที่ 7	52
กราฟที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 ผลของการเผาไฟที่ระดับความรุนแรงต่างๆ ที่มีผลต่อค่า กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม	8
ตารางที่ 2.2 ผลของการทดสอบคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงสุด.....	9
ตารางที่ 2.3 ระดับความเสียหายของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับความเสียหายจากไฟ	10
ตารางที่ 2.4 ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก U ตามมาตรฐาน ACI 318-11	24
ตารางที่ 3.1 กำลังของเหล็กเสริมที่ใช้ในกาทดสอบ	32
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) เป็นวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย มีอัตราส่วนกำลังรับแรงต่อน้ำหนักสูง สามารถทนทานต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิม มีความคงทน และสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน มีกำลังรับแรงดึง 10 เท่าเมื่อเทียบกับเหล็กเสริมธรรมดา นอกจากนี้การใช้เหล็กเสริมธรรมดาอย่างเสี่ยงต่อการเกิดสนิมได้ง่าย และเป็นการเพิ่มน้ำหนักให้กับตัวโครงสร้างที่มีความเสื่อมสภาพในสภาวะต่างๆ ทั้ง แต่ CFRP คาร์บอนไฟเบอร์ ไม่ใช่เหล็กจึงไม่เกิดสนิมและไม่เพิ่มภาระให้กับตัวโครงสร้าง

ปัจจุบันนี้การใช้วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมในงานซ่อมแซมและเสริมกำลังโครงสร้างถือว่าทำได้ค่อนข้างยากและใช้แรงงานมาก อีกทั้งยังรบกวนการใช้งานโครงสร้างเดิมและผู้อยู่อาศัยอีกด้วย การเสริมกำลังด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย ก่อให้เกิดการรบกวนโครงสร้างในระดับที่น้อยมากจึงเป็นวัสดุเสริมกำลังที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในมาตรฐานการออกแบบสากล เช่น มาตรฐาน ACI440 ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมโยธาแห่งประเทศไทย และมาตรฐานของประเทศยุโรป เป็นต้น

ทั้งนี้กลุ่มของนักศึกษาจึงเลือกที่จะทำปริญญานิพนธ์การเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายจากความร้อนโดยใช้ CFRP เนื่องจากคณะผู้จัดทำมีโอกาสได้ไปฝึกทำงานกับบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง จึงเกิดความสนใจในวัสดุชิ้นนี้ เลยทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยเลือกใช้การจำลองเหตุการณ์ไฟไหม้คานคอนกรีต เพื่อให้รู้ถึงความเสียหายและทำการทดสอบเสริมคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุชนิดแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดที่เหลืออยู่ โดยทำการจำลองตัวอย่างทั้งหมด 7 สถานะการณ์ แล้วเสริมด้วย CFRP จดบันทึกค่าแล้วนำค่าจากชิ้นตัวอย่างที่ได้มาพัฒนาใช้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 1.1 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถล่มหลังถูกเพลิงไหม้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ออกแบบข้างตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างจริง
- 1.2.2 เตรียมตัวอย่างและนำไปเผาไฟด้วยอุณหภูมิที่ต่างกัน
- 1.2.3 ทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานตัวอย่าง
- 1.2.4 สรุปผลการทดสอบและเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดของคานตัวอย่าง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 เลือกใช้วัสดุ CFRP
- 1.3.2 จำลองเหตุการณ์คานที่เสียหายโดยการโดนความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 คานเดิมที่เสียกำลังไปแล้วสามารถกลับมาใช้งานได้เหมือนเดิม
- 1.4.2 ประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างใหม่
- 1.4.3 ทฤษฎีที่ศึกษา และงานวิจัยที่ได้ทดลองสามารถใช้ได้จริงในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการเสริมกำลังคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายจากความร้อนโดยใช้ CFRP ผู้จัดทำได้รวบรวมแนวคิดทฤษฎีและหลักการต่างๆ จากเอกสารที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 เรื่องดังต่อไปนี้

- คาร์บอนไฟเบอร์
- งานโครงสร้างที่ถูกรื้อใหม่
- มาตรฐาน ACI 440 และ มยผ.
- มาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

2.1 คาร์บอนไฟเบอร์

คาร์บอนไฟเบอร์หรือเส้นใยคาร์บอนเป็นวัสดุทางวิศวกรรมอีกชนิดหนึ่งที่มีความสนใจจากหลายอุตสาหกรรมตั้งแต่สิ่งของที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงอย่างการผลิตอาวุธ และเครื่องบิน เรื่อยไปจนถึงสิ่งของที่พบได้ทั่วไปอย่างอุปกรณ์กีฬา เพราะวัสดุชนิดนี้มีสมบัติเด่นหลายอย่าง แต่ที่โดดเด่นมากคือ การเป็นวัสดุมีน้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรงสูงมาก นอกจากนี้คาร์บอนไฟเบอร์ยังมีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีต่างๆ และมีสมบัตินำไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงไม่ใช่เรื่องน่าแปลกใจที่อุตสาหกรรมต่างพยายามนำวัสดุนี้มาประยุกต์ใช้อย่างหลากหลาย

คาร์บอนไฟเบอร์มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนเหมือนกับถ่านและแกรไฟต์ โดยทั่วไปเนื้อของวัสดุชนิดนี้จะประกอบด้วยคาร์บอนอย่างน้อยร้อยละ 90 คาร์บอนไฟเบอร์เกิดจากเส้นใยคาร์บอนขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.005-0.10 มิลลิเมตรจำนวนมากควั่นเป็นเส้นด้าย

(นักวิทยาศาสตร์) หลายคนยกให้การพัฒนาหลอดไฟของเอ็ดิสันที่นำเส้นใยคาร์บอนมาใช้ทำไส้หลอดไฟเป็นจุดเริ่มต้นของวัสดุนี้ แต่การพัฒนาคาร์บอนไฟเบอร์อย่างจริงจังเกิดจากความต้องการของกองทัพสหรัฐที่ต้องการวัสดุชนิดใหม่ที่มีน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงสูงสำหรับสร้างเครื่องบิน ซึ่งในปี ค.ศ. 1957 ดร.โรเจอร์ เบคอน (Roger Bacon) จาก Union Carbide Parma Technical Center ประเทศสหรัฐอเมริกา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ก็ประสบความสำเร็จในการใช้ความร้อนเปลี่ยนเรยอน (rayon) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งให้กลายเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ได้

อย่างไรก็ดีวิธีการที่คิดออกมาครั้งแรกนั้นมักมีจุดด้อยเสมอ การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ก็เช่นกัน วิธีแรกที่ใช้มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นคาร์บอนไฟเบอร์ได้เพียงร้อยละ 20 เท่านั้น นอกจากนี้คาร์บอนไฟเบอร์ที่ผลิตได้ก็มีความแข็งแรง และความแข็งตึง (stiffness) ต่ำ จนถึงต้นทศวรรษที่ 1960 การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ได้เปลี่ยนวัตถุดิบจากเรยอนเป็นโพลิอะคริไลไนทริล (polyacrylonitrile, PAN) แทน ซึ่งทำให้สามารถเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ได้มากขึ้นเป็นร้อยละ 55 และผลิตภัณฑ์คาร์บอนไฟเบอร์ที่ผลิตได้ก็มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญอีกจุดเกิดขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1970 เมื่อมีการพบว่า ของเหลวข้นที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันที่เรียกว่า พิตช์ (pitch) ก็ใช้เป็วัตถุดิบในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ได้ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ให้สูงขึ้นถึงระดับร้อยละ 85 ด้วย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีจุดเด่นเรื่องความแข็งแรงดัด (flexural strength) แต่มีจุดด้อยเรื่องความแข็งแรงกด (compressive strength) ทำให้ไม่ค่อยมีผู้ยอมรับคาร์บอนไฟเบอร์ที่ได้จากพิตช์มากนัก

การประยุกต์ใช้อากาศยาน อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบินเริ่มนำคาร์บอนไฟเบอร์มาใช้ในรูปของวัสดุคอมโพสิตตั้งแต่ทศวรรษที่ 1970 แล้ว โดยระยะแรกวัสดุถูกใช้เป็น แพนปรับระดับ (elevators) ประตูล้อหน้า-ล้อหลัก (fore-main landing gear door) เป็นต้น ซึ่งสัดส่วนการใช้วัสดุทั้งในเครื่องบินเพื่อการพาณิชย์และเครื่องบินรบได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ล่าสุดเครื่องบินโดยสารรุ่นใหม่อย่าง Boeing B787 ที่มีกำหนดเปิดให้บริการเที่ยวบินแรกช่วงปลายปี ค.ศ. 2008 นี้ เป็นเครื่องบินที่ใช้คาร์บอนไฟเบอร์ในรูปของคอมโพสิตมากถึงร้อยละ 50

ยานยนต์ อุตสาหกรรมรถยนต์โดยเฉพาะรถแข่งพยายามออกแบบและสร้างตัวถังรถแข่งให้มีน้ำหนักเบา แต่ขณะเดียวกันตัวถังรถก็จำเป็นต้องมีทั้งความแข็งแรงสูง เพื่อความปลอดภัยของนักขับ ดังนั้นรถแข่งทั้งหลายจึงจำเป็นต้องใช้วัสดุอย่างคาร์บอนไฟเบอร์ นอกจากนี้คาร์บอนไฟเบอร์ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในยานยนต์อีกหลายด้าน เช่น ใช้ในรถไฟความเร็วสูง ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับการผลิตถังบรรจุก๊าซความดันสูง เช่น ถังบรรจุก๊าซไฮโดรเจน ถังก๊าซเอ็นจีวี (แบบที่ 4) ใช้เป็นวัสดุตกแต่งรถยนต์ เป็นต้น

อุปกรณ์กีฬา เป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่นำคาร์บอนไฟเบอร์มาใช้เสริมประสิทธิภาพให้อุปกรณ์ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1970 เนื่องจากสามารถลดน้ำหนักของอุปกรณ์ให้เบาลงได้ ขณะที่ให้ความแข็งแรงสูง ระยะแรก

อุปกรณ์กีฬาที่นำคาร์บอนไฟเบอร์มาใช้งานมักไม่ค่อยได้รับความสนใจ เนื่องจากทำให้อุปกรณ์กีฬามีราคาแพง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

มาก แต่ปัจจุบันอุปกรณ์กีฬาที่มีคาร์บอนไฟเบอร์เป็นส่วนประกอบมีราคาถูกลง ทำให้แม้แต่เด็กกีฬาสมัครเล่นต่างหันมาใช้อุปกรณ์ที่มีคาร์บอนไฟเบอร์มากขึ้น

การเสริมความแข็งแรงโดยใช้แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (FRP Sheet) เป็นวัสดุใหม่ที่ได้นำมาใช้ในงานทางวิศวกรรมโยธา เมื่อไม่นานมานี้ โดยนำมาใช้ในงานเสริมกำลังโครงสร้างเดิมแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ทำขึ้นจากเส้นใย ที่มีกำลังรับแรงดึงสูงฝังตัวอยู่ในพอลิเมอร์เรซิน ซึ่งทำหน้าที่ประสานเส้นใยให้ทำงานร่วมกัน เส้นใยที่นำมาใช้ในแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมีหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน เส้นใยอะรามิด และเส้นใยแก้ว ซึ่งเส้นใยทั้งสามมีความแตกต่างกันในด้านกำลังรับน้ำหนัก ความคงทน และ ราคา เป็นอย่างมาก การเลือกใช้เส้นใยประเภทใดนั้น จึงควรต้องศึกษาให้รอบคอบข้อดีของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย คือเป็นวัสดุที่มีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักที่สูง มีความต้านทานต่อการผุกร่อน มีน้ำหนักเบา และมีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้สูง จึงเหมาะสำหรับการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่มีข้อเสียคือมียังราคาแพงอยู่การใช้งานวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย นิยมใช้งานใน 3 รูปแบบได้แก่

(ก) แบบเพลทหรือลามิเนต (FRP Plate หรือ FRP Laminate) เป็นแผ่นที่มีความหนาประมาณ 1.0-1.5 มม. เหมาะสำหรับการเสริมกำลังพื้นและคานโดยการติดแผ่นเข้ากับโครงสร้างที่ต้องการเสริมกำลัง

(ข) แบบชีทหรือฟาบรีค (FRP Sheet หรือ FRP Fabric) เป็นแผ่นที่มีความหนาประมาณ 0.1-0.2 มม. ซึ่งถือว่าเป็นแผ่นบางจึงสามารถนำไปพันรอบโครงสร้างได้

(ค) แบบแท่ง (FRP Rod) มีลักษณะเป็นแท่งกลมคล้ายเหล็กเส้นแต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าเหล็กเส้นทั่วไป



(ก.) C-Laminate



(ข.) C-Rod



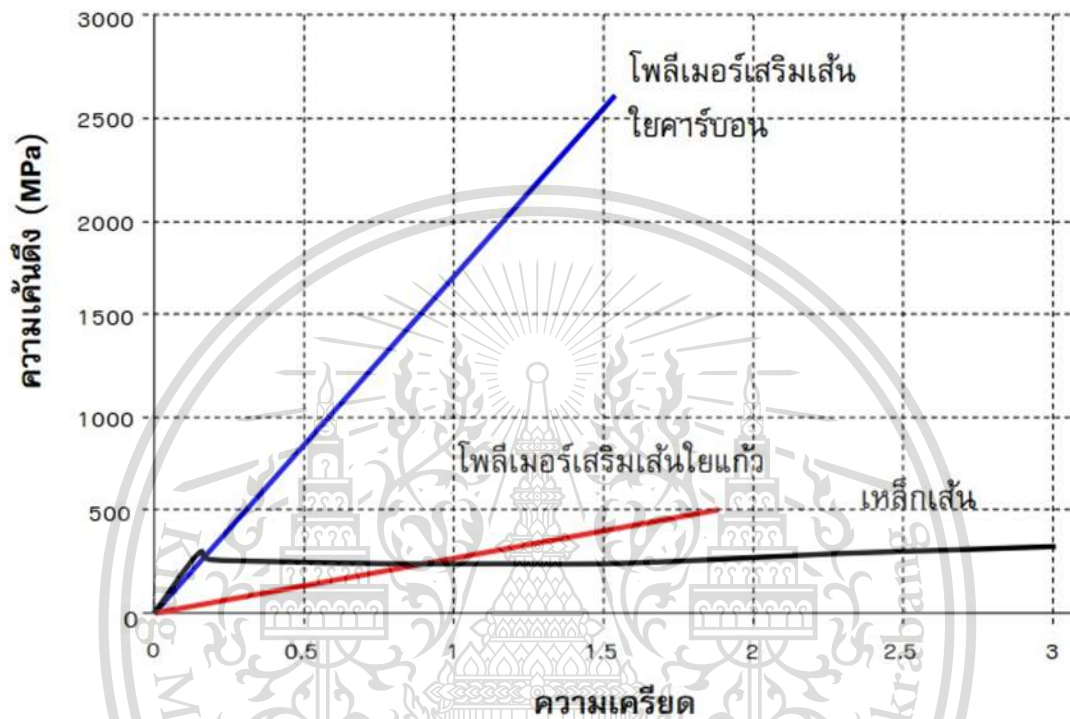
(ค.) C-sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.1 แสดงชนิดของ คาร์บอนไฟเบอร์ ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หากเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงระหว่างแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว และ เหล็กเส้นทั่วไป จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 6.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในด้านกำลังรับแรงดึง พอลิเมอร์ เสริมเส้นใย คาร์บอนมีกำลังสูงที่สุด รองลงมาคือพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว และเหล็กเส้นตามลำดับ



กราฟที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยและเหล็กเส้น

2.2 งานโครงสร้างที่ถูกไฟไหม้

การวิบัติเนื่องจากเพลิงไหม้โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตเป็นวัสดุที่ทนความร้อนได้สูงแต่ถ้ารับความร้อนเป็นเวลานานจะทำให้กำลังลดลงไปโดยมีผลทดสอบในประเทศเยอรมันโดยนำเอาแท่งตัวอย่างคอนกรีตขนาดแท่งปริมาตร 10 ถึง 15 cm บ่มขึ้น 7 วันแล้วให้ความร้อน 10 ชั่วโมงได้ผลดังนี้

อุณหภูมิ	เปอร์เซ็นต์การลดกำลัง
300 องศา	12%
500 องศา	50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 650 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 82% ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คอนกรีตกับเพลิงไหม้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและปัจจัยอื่นๆเช่นอัตรา การได้รับความร้อน ระยะเวลา การรับน้ำหนักของชิ้นส่วน ประเภทและขนาดของมวลรวม เเปอร์เซ็นต์ของ ซีเมนต์เพลส และอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เป็นต้น นอกจากนี้ เหล็กเสริม เเปอร์เซ็นต์การเสริมเหล็ก การยึด ตรึงบริเวณใกล้ที่รองรับ ความต่อเนื่องของเหล็กเสริม ล้วนมีผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างขณะเกิดเพลิงไหม้ เมื่อคอนกรีตโดนความร้อนกำลังรับแรงอัดจะลดลง และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อคอนกรีตเย็นตัวลง แต่ถ้า อุณหภูมิไม่เกิน 300 องศาเซลเซียสกำลังส่วนมากที่สูญเสียไปจะกลับมา

สำหรับเหล็กโดยทั่วไปกำลังจะลดลง 50 เเปอร์เซ็นต์เมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิสูง 550 องศาเซลเซียส และ จะลดลงอีกประมาณ 10 เเปอร์เซ็นต์เมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิสูง 1000 องศาเซลเซียส เนื่องจากเหล็กนำความร้อนได้ดี

โดยวิธีสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีคอนกรีตและความเสียหายเมื่อคอนกรีตได้รับความร้อนจะมีสี เปลี่ยนไปโดยที่คอนกรีตที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิตั้งแต่ 300 ถึง 600 องศาเซลเซียสจะเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือ ค่อนข้างแดง คอนกรีตที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียสจะเปลี่ยนเป็นสีเทาและสีเหลืองอ่อน ซึ่ง การเปลี่ยนแปลงสีของคอนกรีตจะบอกถึงระยะเวลาที่คอนกรีตถูกไฟไหม้ประเภทและความเสียหายที่เกิดขึ้น ของคอนกรีตได้ดีและเป็นอีกวิธีหนึ่งในการประเมินความเสียหายจากเพลิงไหม้

พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหลังถูกเผาไฟ ทรงเกียรติ หาญสันติ ได้ศึกษาผลของระยะเวลา ที่เผาไฟซึ่งจำลองสภาพตามมาตรฐาน ASTM E119 ที่มีผลต่อกำลังอัดของลูกคอร์กอร์คอนกรีต พฤติกรรมรับแรง ดึงของเหล็กเสริมหลังเผาไฟ ค่ากำลัง ยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก พฤติกรรมการรับแรงเฉือนและแรง ดัดของคานคอนกรีตเสริม เหล็ก ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) กรณีศึกษาที่ 1 ผลของการเผาไฟที่ ระดับความรุนแรงต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม ซึ่งจะศึกษาถึงผลของ ระยะเวลาเผาไฟ, ระยะเวลาคอนกรีตหุ้มและชนิด ของเหล็กเสริม ที่มีต่อค่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับ เหล็กเสริมหลังเผาไฟ โดยทำ การทดสอบตัวอย่างเพื่อศึกษาผลของการเผาไฟที่มีต่อค่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่าง คอนกรีตกับ เหล็กเสริมหลังเผาไฟจำนวน 72 ตัวอย่าง โดยมีขอบเขตการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 ผลของการเผาไฟที่ระดับความรุนแรงต่างๆ ที่มีผลต่อค่า กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับ เหล็กเสริม

การจำลองสภาพไฟไหม้	มาตรฐาน ASTM E119
ระยะเวลาเผาไฟ	0, 15, 30 และ 60 นาที
ระยะคอนกรีตหุ้ม	25, 50 และ 75 มม.
ชนิดของเหล็กเสริม	เหล็กกลม RB15 และ เหล็กข้ออ้อย DB16
วิธีในการทดสอบ	Direct pull-out test

พฤติกรรมและความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้ ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ ได้นำเสนอพฤติกรรมและความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้โดยทั่วไปแล้วผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัตินั้นจะมีไม่มากนักที่อุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส คอนกรีตจะเริ่มสูญเสียคุณสมบัติที่สำคัญหลายประการ โดยเฉพาะกำลังรับแรงอัดและโมดูลัสยืดหยุ่น โมดูลัส (modulus of elasticity) ซึ่งความเสียหายของคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงมีสาเหตุมาจาก

1. การเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็ก เพิ่มขึ้นในคอนกรีต เนื่องจากส่วนที่เป็นซีเมนต์เฟสตีในเนื้อคอนกรีตเกิดการหดตัวเนื่องจากสูญเสียน้ำ และส่วนที่เป็นวัสดุมวลรวมเกิดการขยายตัวที่อุณหภูมิสูง ซึ่งรอยแตกร้าวขนาดเล็กดังกล่าวมีผลทำให้ความสามารถในการรับแรงและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง

2. เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์เฟสตีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำการกำลังของซีเมนต์เฟสตีลดลง

3. ประเภทของมวลรวมหยาบ ผลจากการทดลองพบว่าคอนกรีตที่ทำจากมวลรวมหยาบประเภทซิลิกา จะเสียกำลังอัดเร็วกว่าคอนกรีตที่ทำจากมวลรวมหยาบหินปูน หรือ มวลรวมเบา

4. ปริมาณน้ำในคอนกรีต ผลการทดลองพบว่าคอนกรีตที่มีความชื้นสูงจะมีกำลังลดลงมากกว่าคอนกรีตที่มีความชื้นต่ำ เนื่องจากปริมาณความชื้นในคอนกรีตมีผลต่อการเกิดหลุ่ร้อน เป็นสาเหตุสำคัญอันหนึ่งของการเกิดความเสียหายในคอนกรีตที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต ผลการทดลองพบว่า อัตราการลดลงของกำลังในคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์มาก (rich mixed) จะสูงกว่าอัตราการลดลงของกำลังคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์ต่ำกว่า (lean mixed)

6. อัตราการเย็นตัว ผลการทดลองพบว่า คอนกรีตที่มีอัตราเย็นตัวลงอย่างช้าๆจะมีอัตราการลดลงของกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่มีการลดลงของอุณหภูมิอย่างกระทันหัน ความเสียหายของคอนกรีตที่เกิดขึ้นจากไฟไหม้นั้นมีลักษณะแบบถาวรคือ ความเสียหายจะคงอยู่ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของคอนกรีตจะกลับสู่สภาวะปกติแล้ว ซึ่งเป็นเหตุสำคัญที่ทำให้ต้องมีการซ่อมแซมโครงสร้าง ออกกำลังหรือคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตอาจจะลดลง จนทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยหรือไม่เหมาะสมในการใช้งาน

กำลังอัดของคอนกรีตที่อุณหภูมิสูง นัฐวุฒิ ทิพย์โยธา ได้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ถูกไฟไหม้และลดอุณหภูมิทันที ตัวอย่างที่ใช้มีขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม. ก่อนถูกเผามีกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 381, 455 และ 529 กก./ตร.ซม. เผาที่อุณหภูมิ 300 400 และ 500 °C มีระยะเวลาการเผา 45 60 และ 90 นาที จากนั้น นำตัวอย่างคอนกรีตออกจากเตาเผาแล้วแช่น้ำทันที เป็นเวลา 10 นาที แล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ อีก 7 วัน จึงนำไปทดสอบกำลังอัดเฉลี่ย ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลของการทดสอบคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงสุด

กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	อุณหภูมิที่ใช้ ทดสอบ (°C)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)(เปอร์เซ็นต์ที่ำลังอัดลดลง)		
		45 นาที	60 นาที	90 นาที
381	300	339(11.2%)	325(15%)	320(16.2%)
	400	305(20.2%)	302(20.8%)	299(21.8%)
	500	291(23.8%)	289(25.3%)	282(26.2%)
455	300	402(11.9%)	363(20.4%)	346(24%)
	400	358(21.6%)	340(25.4%)	332(27.2%)
	500	346(25.1%)	333(27%)	320(29.7%)
529	300	489(5.6%)	464(12.3%)	448(15.5%)
	400	460(13.2%)	453(15.5%)	447(15.5%)
	500	453(15.5%)	446(15.8%)	407(23.2%)

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า คอนกรีตที่มีกำลังอัด 381 กก./ตร.ซม. เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 C กำลังอัดลดลงมากที่สุดเท่ากับ 16.2, 21.8 และ 26.2 % ตามลำดับ คอนกรีตที่มีกำลังอัด 455 กก./ตร.ซม. เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 C กำลังอัดลดลงมากที่สุดเท่ากับ 24, 27.2 และ 29.7 % เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ คอนกรีตที่มีกำลังอัด 529 กก./ตร.ซม. เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 C กำลังอัดลดลงมากที่สุดเท่ากับ 15.5, 15.5 และ 23.2 9% ตามลำดับ

การประเมินความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตที่ได้รับความเสียหายจากไฟ Florian Block และคณะ ได้นำเสนอรายงานเชิงเทคนิคได้นำเสนอแนวทางการประเมิน ความเสียหาย และหลักในการซ่อมแซมของโครงสร้างคอนกรีตที่ได้รับความเสียหายจากไฟ การประเมิน ความเสียหายนั้นได้แยกประเภทของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับความเสียหายจากไฟออกเป็น 5 ระดับแสดงในตารางที่ 2-2 และการซ่อมแซมในแต่ละประเภทของระดับความเสียหายจากไฟแสดงใน ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ระดับความเสียหายของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับความเสียหายจากไฟ

ระดับความเสียหาย	ผิวของคอนกรีต			โครงสร้าง			
	สี (colour)	การหลุดล่อนที่ผิว (plaster/finish)	รอยแตก (Crazing)	การหลุดล่อน (Spalling)	การเผยให้เห็นของเหล็กเสริม (Exposure reinforcement)	การแตก (Cracks)	การแอ่นตัว (Deflection)
0					ไม่ได้รับความเสียหายจากไฟ		
1	ปกติ	บางส่วน	ส่วนน้อย	ส่วนน้อย	น้อย	ไม่มี	ไม่มี
2	ชมพู/แดง	ปานกลาง	ปานกลาง	มดและผิวห่องคานเล็กน้อย	ไม่เกิน 25%, ไม่มีการโก่งเดาะของเหล็กเสริม	ไม่มี	ไม่มี
3	ชมพู/แดง, ขาว/เทา	ทั้งหมด	กว้าง	มด, ผิวคานข้างและผิวห่องคาน	ไม่เกิน 50%, มีการโก่งเดาะของเหล็กเสริมไม่เกิน 1 เส้น	น้อย	ไม่เป็นนัยสำคัญ
4	ขาว/เทา	ทำลาย	พื้นผิวสูญเสีย	พื้นผิวทั้งหมด	มากกว่า เกิน 50%, มีการโก่งเดาะของเหล็กเสริมมากกว่า 1 เส้น	รุนแรง	รุนแรง

โครงสร้างคอนกรีตที่ถูกไฟไหม้จะมีความเสียหายดังนี้

1. การเกิดการหลุดร่อนในคอนกรีตส่วนที่ถูกไฟเผาอย่างรุนแรง อันเนื่องมาจากการขยายตัวของคอนกรีตเองและความดันของไอน้ำที่มีอยู่ในเนื้อคอนกรีต อาจทำให้เกิดการระเบิดออกของชิ้นส่วนของคอนกรีตบริเวณผิว ซึ่งจะมีผลสำคัญต่อความสามารถในการป้องกันไฟไหม้เหล็กเสริม และอาจทำให้เหล็กเสริมสัมผัสเปลวไฟหรือความร้อนโดยตรง

2. ซีเมนต์เพสต์ เปลี่ยนเป็นเหมือนซีเมนต์ที่ยังไม่ได้ผสมน้ำที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ทำให้เนื้อคอนกรีตเกิดการเสียสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. เหล็กเสริมเกิดการสูญเสียกำลัง

4. การที่เหล็กมีอุณหภูมิสูงมากอาจทำให้เกิดการขยายตัวและสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต สำหรับความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากไฟไหม้นั้นนอกจากความเสียหายที่มีต่อกำลังของวัสดุโดยตรงแล้วยังอาจมีความเสียหายในทางอ้อมที่อาจมีผลต่อพฤติกรรมในโครงสร้างอีกด้วย

พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับความเสียหายจากไฟช้อมแซมด้วยแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใย Xiang Kai และคณะได้ทำการทดสอบการคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 4 ตัวอย่างโดยมีการควบคุมที่อุณหภูมิปกติ 1 คันอื่นๆให้ร้อนตามมาตรฐาน ISO 384 เป็นระยะเวลา 15 นาทีกับคาน 3 ตัวอย่าง แบ่งเป็นคานที่เผาไฟคั้นแรกไม่เสริมแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใยเป็นคานเผาไฟควบคุม ส่วนคานเผาไฟที่หล่อช้อมแซมด้วยแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (CFRP) ที่ต่างกัน คือเสริมแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใยในโมเมนต์บวก เปรียบเทียบกับการเสริมแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใยในส่วนที่รับโมเมนต์ลบ การให้แรงกระทำเป็นชุดเดียวกันทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยศึกษาผลของแรงกระทำที่บริเวณกลางคาน, ค่าแรงกระทำสูงสุด, ค่าความแข็งเกร็ง stiffness และความเหนียว ของฉันท่อเนื่องที่มีอิทธิพลของการเสียหายจากไฟ เปรียบเทียบกับคานคอนกรีตที่อุณหภูมิปกติ พบว่าค่าความแข็งเกร็ง stiffness และความเหนียวมีค่าลดลงมาก การช้อมแซมด้วยแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนภายหลังเสียหายจากไฟ ทำให้ความสามารถในการรับแรงและค่าความแข็งเกร็งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความเหนียวมีค่าลดลง อีกทั้งมีผลกระทบต่อค่าการกระจายโมเมนต์ขึ้นใหม่ ลักษณะการวิบัติของการทดสอบตัวอย่างเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงคดในคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใย และเกิดการวิบัติแบบแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใยฉีกขาด ในตัวอย่างที่ช้อมแซมด้วยแผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใย และงานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์โดยแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าความแข็งเกร็ง และอัตราส่วนของโมเมนต์ของคานดังกล่าว

2.3 มาตรฐาน ACI 440 และ มยผ.

ข้อจำกัด Fiber- Reinforce Polymers การหุ้มโครงสร้างคอนกรีตที่มี FIBER-REINFORCE POLYMERS เส้นใยหลักที่มุ่งเน้นรอบขอบกันของชิ้นส่วนจัดให้มีการ จำกัด จุดหมุนพลาสติกบรรเทาโหมด ความล้มเหลวในการแยกของการต่อรอบการต่อทาบที่มีรายละเอียดต่ำและป้องกันการโก่งงอของเหล็กเสริมหลัก

ข้อพิจารณาทั่วไป การหุ้มโครงสร้างคอนกรีตด้วย FIBER-REINFORCE POLYMERS ไม่ได้แนะนำ เอกสารนี้สำหรับส่วนที่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วน h/b มากกว่า 1.5 หรือขนาดใบหน้า b หรือ h เกิน 36 นิ้ว (900 มม.) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(Seible et al.1997) เว้นแต่การทดสอบจะแสดงให้เห็นประสิทธิผลของ FIBER-REINFORCE POLYMERS สำหรับการห่อหุ้มชิ้นส่วนเหล่านี้สำหรับส่วนที่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วนกว้างยาวมากกว่า 1.5 ส่วนนี้สามารถปรับเปลี่ยนให้เป็นวงกลมหรือวงรีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพประสิทธิภาพของห่อหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERS (Seible et al. 1997) FIBER-REINFORCE POLYMERSมีการแสดงจุดยึดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของห่อหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERS ในส่วนที่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วนกว้างยาวมากกว่า 1.5 (Kim et al.2011)

ข้อจำกัดความยืดหยุ่นของพลาสติกที่ห่อหุ้มคอนกรีต - หุ้มด้วย FIBER-REINFORCE POLYMERS ชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กมีการหมุน ที่ไม่มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น ความจุของจุดหมุนพลาสติก (Seible et al. 1997) FIBER-REINFORCE POLYMERSสามารถใช้การหุ้มเพื่อเพิ่มกำลังอัดคอนกรีตความแข็งแรงเมื่อชิ้นส่วนคอนกรีตปฏิบัติตามเงื่อนไข สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีตที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขเฉพาะความเค้นคอนกรีตกำลังประลัยเท่านั้นที่สามารถเพิ่มขึ้นโดยการหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERS เพิ่มความแข็งแรงดัดเนื่องจากควรพิจารณาถึงกำลังอัดคอนกรีตที่สูงขึ้นเพื่อตรวจสอบว่าจุดหมุนสามารถกักตัวขึ้นก่อนที่จะถึงแรงเฉือนของชิ้นส่วนความโค้งของการออกแบบ ϕ_D สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ จำกัดส่วนที่จุดหมุนพลาสติกสามารถคำนวณได้โดยใช้ Eq (13.3.2 a)

$$\phi_D = \frac{\theta_p}{L_p} + \phi_{y,fp} \leq \phi_{u,fp} \quad (13.3.2 a)$$

โดยที่ θ_p คือความต้องการการหมุนของพลาสติกซึ่งสามารถกำหนดได้ปฏิบัติตามขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ระบุไว้ใน ASCE / SEI 41. ใน Eq. (13.3.2a) ความโค้งของ FIBER-REINFORCE POLYMERS จำกัดส่วนที่ให้จุดคราก ϕ_y , Fiber-Reinforce Polymers และที่ความสามารถสูงสุด u , Fiber-Reinforce Polymers, ถูกกำหนดโดย Eq (13.3.2b) และ (13.3.2c) และ L_p คือความยาวจุดหมุนพลาสติกคำนวณโดยใช้ Eq (13.3.2d)

$$\phi_{y,fp} = \frac{\epsilon_y}{d - c_{y,fp}} \quad (13.3.2b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยที่ ϵ_y และ c_y , Fiber-Reinforce Polymers คือความเครียดของเหล็กและความลึกของตัวกลาง
แกนที่ให้ผลผลิตเหล็กตามลำดับและ d คือระยะห่างจากเส้นใยบีบอัดที่จนถึงเหล็กที่มีความตึงสูง

$$\phi_{u,frp} = \frac{\epsilon_{cu}}{c_{u,frp}} \quad (13.3.2c)$$

โดยที่ ϵ_{cu} และ c_u , Fiber-Reinforce Polymers เป็นเส้นใยบีบอัดที่รุนแรงและความลึกของ
แกนกลางที่ระดับสูงสุดตามลำดับสำหรับคานสามารถประมาณความยาวจุดหมุนพลาสติก L_p ได้เป็นสองเท่า
ของความสูงของลำแสง (2 ซม.) ความยาวจุดหมุนพลาสติกสามารถกำหนดโดยใช้การวิเคราะห์โดยละเอียด แต่
ไม่ควรน้อยกว่าความสูงของลำแสง ในคอลัมน์ FIBER-REINFORCE POLYMERS-jacketed ฟิล์ความยาวจุด
หมุนพลาสติก L_p สามารถคำนวณได้โดยใช้ Eq (13.3.2d) (Priestley และคณะ 1996)

$$L_p = g + 0.0003fydbf \text{ (นิ้ว - ปอนด์)}$$

$$L_p = g + 0.044fydbf \text{ (SI)} \quad (13.3.2d)$$

โดยที่ dbf และ f_y คือเส้นผ่านศูนย์กลางและความเค้นของแรงดึงเหล็กตามลำดับและ g คือช่องว่าง
ที่ชัดเจนระหว่างท่อหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERS และชิ้นส่วนที่อยู่ติดกันดังแสดงในรูปที่ 13.3.2
ช่องว่าง g ไม่ควรเกิน 2 นิ้ว (50.8 มม.) ในบริเวณจุดหมุนพลาสติกควรมีการ จำกัด FIBER-REINFORCE
POLYMERS ให้มีความยาวไม่น้อยกว่าพลาสติกขนาดใหญ่ความยาวจุดหมุนและ ℓ_o โดยที่ ℓ_o คือความยาววัด
ตามแกนชิ้นส่วนจากใบหน้าของข้อต่อซึ่งการเสริมแรงตามขวางพิเศษต้องจัดให้เป็น กำหนดไว้ในบทที่ 18 ของ
ACI 318-14 ควรสังเกตว่าจุดหมุนพลาสติกอาจเกิดขึ้นในตำแหน่งอื่นที่ไม่ใช่ปลายของชิ้นส่วน ท่อรอบ
ปริมาตรของควรใช้ชิ้นส่วนในการท่อหุ้มจุดหมุนพลาสติกครอบคลุมต่อเนื่อง (เต็ม) ของความยาวจุดหมุน
พลาสติกด้วยแนะนำให้ใช้ท่อหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERS เมื่อใส่ท่อหุ้มแบบต่อเนื่องเป็นไปไม่ได้แถบ
FIBER-REINFORCE POLYMERS ตามขวางที่ไม่ต่อเนื่องรอบ ๆ สามารถใช้ปริมาตรของส่วนได้เมื่อสร้างความ
โค้งของการออกแบบ ϕ_D แล้วไฟล์เส้นใยบีบอัดขั้นสุดยอดในคอนกรีตที่ Ultimate, ϵ_{cu}
สามารถคำนวณได้โดยใช้ Eq (13.3.2e)

$$\epsilon_{cu} = \phi_D c_u \leq 0.01 \quad (13.3.2e)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยที่ c_u คือความลึกของแกนกลางที่ขีด จำกัด การออกแบบชั้นสูงสุด สถานะ. สำหรับชั้นส่วนที่อยู่ภายใต้การรวมกันของแกนและดัดกองกำลัง E_{ccu} ควร จำกัด ไว้ที่ 0.01เมื่อกำหนด E_{ccu} แล้วความหนาของห่อหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERSสามารถกำหนดได้ตามข้อ 12.1 และ 12.2 ถึงตรวจสอบความสมบูรณ์ของแรงเฉือนของส่วนคอนกรีตที่ค้ำค้ำสายพันธุ์การออกแบบที่มีประสิทธิภาพใน FIBER-REINFORCE POLYMERS ควรเป็นอย่างไรจำกัด เฉพาะค่าที่ E_q กำหนด (12.2)

ที่ประกบการต่อทาบ ความจุของตัวต่อการต่อทาบมีความยาวการต่อทาบไม่เพียงพอโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อยู่ในบริเวณจุดหมุนพลาสติกสามารถปรับปรุงได้อย่างต่อเนื่องจำกัด ส่วนให้ยาวกว่าความยาวของรอยต่อเป็นอย่างน้อยด้วย FIBER-REINFORCE POLYMERS ที่ถูกผูกมัดภายนอก (Seible et al. 1997; Haroun และ Elsanadedy 2005)ความหนาที่ต้องการของ FIBER-REINFORCE POLYMERSสามารถคำนวณได้ดังนี้

โดยที่ D เป็นนิ้วและ E_f ใน ksi

$$\text{ส่วนวงกลม: } ntf = 145 (D / E_f)$$

$$\text{ส่วนสี่เหลี่ยม: } ntf = 218 (D / E_f) \quad (13.3.3 a)$$

โดยที่ D ใน mm และ E_f อยู่ใน MPa

$$\text{ส่วนวงกลม: } ntf = 1,000 (D / E_f)$$

$$\text{ส่วนสี่เหลี่ยม: } ntf = 1500 (D / E_f)$$

โดยที่ n คือจำนวน FIBER-REINFORCE POLYMERS plies; tf คือความหนาต่อหน่วย; D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นส่วนวงกลมหรือมากกว่าขนาดของส่วนสี่เหลี่ยม (ต่อ Eq. (12.1.2a)); และ E_f คือโมดูลัสแรงดึงของห่อหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERS ในขณะที่การ จำกัด ส่วนด้วย FIBER-REINFORCE POLYMERS สามารถลดการแยกได้โหมตความล้มเหลวโหมตความล้มเหลวแบบดึงออกอาจควบคุมได้ความจุของการต่อทาบที่ จำกัด ดังนั้นไม่ว่าของชุดติดตั้งเพิ่มเติม FIBER-REINFORCE POLYMERS, ความเค้นในแถบเสริมแรงดัด, f_s ,ไม่ควรเกินขีด จำกัด ที่กำหนดใน Eq (13.3.3b) (แฮร์ริสและคณะ 2549)

$$f_s \leq \frac{33\ell_{prov} \sqrt{f'_c}}{d_{bc} \psi_s \psi_e \psi_s} \quad (\text{in.-lb})$$

$$f_s \leq \frac{2.75\ell_{prov} \sqrt{f'_c}}{d_{bc} \psi_s \psi_e \psi_s} \quad (\text{SI})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ (13.3.3b) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ρ_{prov} คือความยาวของการต่อรอย d_{bt} คือเส้นผ่านศูนย์กลางของการเสริมแรงดัด และปัจจัย ψ คือสิ่งเหล่านี้นระบุไว้ในมาตรา 25.4 ของ ACI 318-14

การป้องกันการโก่งงอของเหล็กดัด แถบ FIBER-REINFORCE POLYMERS ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องที่มีเส้นใยหลักที่มุ่งเน้นรอบปริมาตรของชิ้นส่วนสามารถนำมาใช้ป้องกันการโก่งงอของเหล็กดัด (Priestley et al. พ.ศ. 2539) สำหรับส่วนวงกลมการเสริมแรงเชิงปริมาตรอัตราส่วนที่จัดทำโดย FIBER-REINFORCE POLYMERS ตามขวาง, ρ_f , คือ

$$\rho_f = \frac{4nt_f w_f}{D s_f} \quad (13.3.4 a)$$

โดยที่ n คือจำนวน FIBER-REINFORCE POLYMERS plies; t_f คือความหนาต่อชั้น D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วน w_f คือความกว้างของแถบ FIBER-REINFORCE POLYMERS และ s_f คือระยะห่างระหว่างกึ่งกลางถึงกึ่งกลางของแถบ FIBER-REINFORCE POLYMERS สำหรับข้อจำกัดต่อเนื่อง $w_f / s_f = 1$. ในส่วนสี่เหลี่ยมอัตราส่วนการเสริมแรงเชิงปริมาตรที่จัดทำโดย FIBER-REINFORCE POLYMERS, ρ_f , คือ (Priestley et al. 1996)

$$\rho_f = 2nt_f \left(\frac{b+h}{bh} \right) \frac{w_f}{s_f} \quad (13.3.4b)$$

โดยที่ b และ h คือขนาดของส่วนสี่เหลี่ยมปริมาตรอัตราส่วนการเสริมแรงตามขวางตามปริมาตรควรมีอย่างน้อย

$$\rho_f \geq \frac{0.0052 \rho_c D f_y}{d_{bt} f_s} \quad (13.3.4c)$$

โดยที่ ρ_c คืออัตราส่วนการเสริมแรงดัด D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนวงกลมหรือความยาวทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามาตรา (Eq. (12.1.2a)); d_{bt} และ f_y คือเส้นผ่านศูนย์กลางและกำลังรับแรงดัดของเอกสารนี้ตามลำดับ ρ_f คืออัตราส่วนการเสริมแรงตามขวางเชิงปริมาตรที่คำนวณได้โดย Eq. (13.3.4a) หรือ (13.3.4b); การคำนวณนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และ f_{fe} คือการออกแบบที่มีประสิทธิภาพความเค้นในท่อหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERS คำนวณโดย Eq (13.3.4d)

$$f_{fe} = \epsilon_{fe} E_f \quad (13.3.4d)$$

โดยที่ ϵ_{fe} คือการออกแบบที่มีประสิทธิภาพในท่อหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERS ที่กำหนดโดย Eq. (12.2) และ E_f คือโมดูลัสแรงดึงของการท่อหุ้ม FIBER-REINFORCE POLYMERS เมื่อใช้แถบ FIBER-REINFORCE POLYMERS แบบไม่ต่อเนื่องแทนที่จะเป็นแฉีกเกิดแบบต่อเนื่องใช้ระยะห่างที่ชัดเจนระหว่างแถบ FIBER-REINFORCE POLYMERS ไม่ควรเกินขีด จำกัด ใน Eq

$$s_f \leq \left[3 - 6 \left(\frac{f_u}{f_y} - 1 \right) \right] d_{bc} \leq 6d_{bc} \quad (13.3.4e)$$

โดยที่ f_u , f_y และ d_{bc} เป็นจุดแข็งสูงสุดและให้ผลตอบแทนและเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของการเสริมแรงตัดภายในตามลำดับ ระยะห่างที่ชัดเจนไม่ควรเกิน 6 นิ้ว (150 มม.). ข้อกำหนดเหล่านี้ช่วยให้มั่นใจได้ว่าถ้าผาคอนกรีต spalls ในพื้นที่ระหว่างแถบ FIBER-REINFORCE POLYMERS สามารถให้ความต้านทานที่เพียงพอต่อการโก่งของบาร์ แนวทางนี้ละเลยการมีส่วนร่วมใด ๆ จากแนวขวางภายในที่มีอยู่การเสริมแรงเนื่องจากความสัมพันธ์ภายในอาจไม่ตรงกันภายในช่องว่างระหว่างแถบ FIBER-REINFORCE POLYMERS และปฏิสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ภายในและแถบ FIBER-REINFORCE POLYMERS ภายนอกที่มีไม่ได้รับการศึกษา

มาตรฐานการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (มยผ. 1508-51) เป็นข้อกำหนดสำหรับการก่อสร้างเพื่อใช้กับการซ่อมแซมและเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติดวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer : FRP) โดยมาตรฐานนี้อ้างอิงมาจาก NCHRP Report 514 ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นรายงานอันเป็นผลจากการศึกษาเพื่อพัฒนาข้อกำหนดสำหรับการก่อสร้าง เพื่อใช้กับการซ่อมแซมและเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติด FRP ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าพฤติกรรมจริงเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ข้อกำหนดต่างๆที่เสนอแนะใน NCHRP Report 514 มีพื้นฐานมาจากการทบทวนและการประเมินข้อมูล

จำนวนมาก ทั้งจากงานวิจัย การก่อสร้างจริง การทำแบบสอบถามไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเอกสาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าต่างๆที่เกี่ยวกับ FRP ทั้งของประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา และประเทศต่างๆในทวีปยุโรป จนถึงปีค.ศ. 2010 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2003 ข้อกำหนดต่างๆที่เสนอแนะนี้เป็นข้อกำหนดสำหรับการก่อสร้างเท่านั้น และจัดทำในรูปแบบที่พร้อมจะนำไปเป็นข้อกำหนดมาตรฐานของ AASHTO ในอนาคตเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆและทำการปรับปรุงตามผลตอบรับจากการใช้งานจริง

2.4 ข้อกำหนดน้ำหนักบรรทุก และวิธีการออกแบบ

การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กคือขั้นตอนในการเลือกวัสดุและจัดขนาดวัสดุส่วนขององค์ประกอบต่างๆของโครงสร้างตามหลักการทางด้านวิศวกรรม เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์โครงสร้างจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขทางด้านความปลอดภัย การใช้งาน ความประหยัด และเข้ากับสภาพแวดล้อม

วิศวกรโครงสร้างเป็นหนึ่งในทีมงานออกแบบอาคาร สะพาน และโครงสร้างต่างๆในกรณีของอาคารสถาปนิกมักเป็นผู้จัดเตรียมแบบของอาคารโดยรวมเกี่ยวกับรูปลักษณะภายนอกและรูปแบบการใช้งานภายใน จากนั้นจึงแจกจ่ายให้วิศวกรงานระบบไฟฟ้า ระบบเครื่องกล ระบบสุขาภิบาล และวิศวกรโครงสร้างทำการออกแบบ

ในเชิงวิศวกรรมโครงสร้างผู้ออกแบบควรคำนึงถึงปัจจัยหลักห้าประการคือ

เสถียรภาพ ความมั่นคงของโครงสร้างโดยรวม ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกในการออกแบบ เพราะอาจทำให้โครงสร้างวิบัติพังทลายได้

ความปลอดภัย ส่วนต่างๆของโครงสร้างจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอในการรองรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

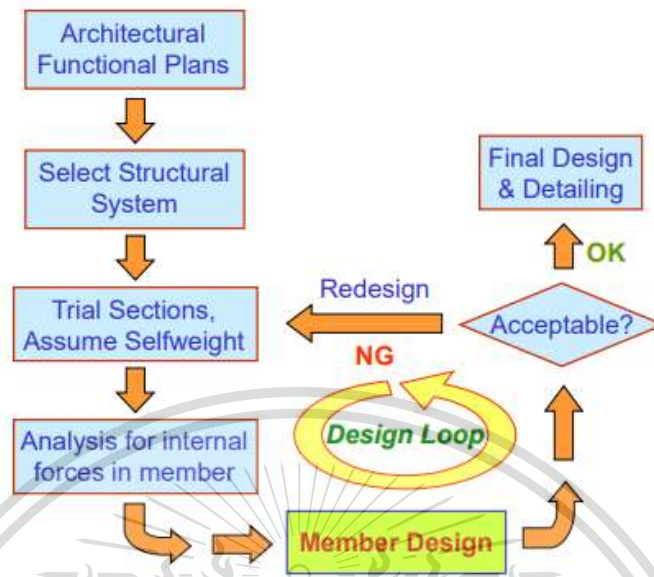
ความสามารถในการใช้งาน โครงสร้างจะต้องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานโดยไม่มีอาการแตกร้าว เียง สั่นสะเทือน หรือแตกร้าว ที่มากเกินไปจนไม่สามารถใช้งานได้

ความประหยัด ราคาของโครงสร้างไม่ควรเกินงบประมาณที่ตั้งไว้ โดยผู้ออกแบบควรคำนึงถึงหลายปัจจัยเช่น ปริมาณวัสดุ ค่าแรงงาน ความยากง่ายในการก่อสร้าง ระยะเวลา ความสะดวกในการขนส่ง การบำรุงรักษา หรือซ่อมแซมสิ่งแวดล้อม โครงสร้างที่ดีควรจะสามารถเข้ากันได้กับสภาวะแวดล้อมในบริเวณนั้น และมีความสวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนในการออกแบบ

วิศวกรโครงสร้างจะเลือกระบบโครงสร้างที่เหมาะสมเช่น โครงสร้างเหล็ก หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก การออกแบบเริ่มต้นโดยการประมาณขนาดหน้าตัดของค้ำอาคารเพื่อคำนวณน้ำหนักของค้ำอาคารเพื่อใช้ร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่นในการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อให้ได้แรงภายในแต่ละองค์อาคาร เมื่อทำการออกแบบของค้ำอาคารแล้วจะทำการตรวจสอบของค้ำอาคารที่ได้ออกแบบและที่ใช้ในการวิเคราะห์ ถ้ามีความแตกต่างกันจะทำการปรับขนาดของค้ำอาคารแล้วทำการวิเคราะห์และออกแบบใหม่อีกครั้งเรียกว่า “วนรอบออกแบบ (Design Loop)” จนกระทั่งได้ผลที่ยอมรับได้จึงทำการออกแบบโดยละเอียดต่อไป

2.4.1 ข้อกำหนดในการออกแบบ

สูตรต่างๆที่ใช้การคำนวณออกแบบจะต้องมีการอ้างอิงที่มา ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดในการออกแบบของแต่ละประเทศ ข้อกำหนดเหล่านี้ถูกจัดทำขึ้นโดยองค์กรต่างๆเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการออกแบบโดยอาจแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ ข้อกำหนดที่มีผลบังคับใช้ทางกฎหมายและข้อกำหนดที่แนะนำโดยองค์กรวิชาชีพ

ข้อกำหนดที่มีผลบังคับใช้ทางกฎหมายเป็นข้อบังคับที่มีไว้เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัย

ของสาธารณชนซึ่งผู้ออกแบบจะต้องปฏิบัติตาม มิฉะนั้นจะมีความผิดตามกฎหมาย ข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประเภทนี้จะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ สำหรับประเทศไทยมีพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 มีกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527), กฎกระทรวง ฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) และข้อกำหนดในแต่ละท้องถิ่นที่เช่น ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร หรือเทศบัญญัติ และมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง

สำหรับองค์กรวิชาชีพในประเทศไทยที่ออกข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมคือ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.)โดยข้อกำหนดที่เกี่ยวกับคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีสองฉบับคือมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (ว.ส.ท. 1007-34) และมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (ว.ส.ท. 1008-38) โดยข้อกำหนดที่ใช้จะนำมาจาก Building - Code Requirements for Structural Concrete and Commentary ของ American Concrete - Institute (ACI)

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและก่อสร้างอาคารโครงสร้างคอนกรีตจะอยู่ในความดูแลของ ACI Committee 318 ซึ่งจะพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานออกมาเป็นระยะๆคือ โดยมีเลขสองตัวสุดท้ายคือปีที่เริ่มใช้เช่น ACI318-89 เริ่มใช้ในปี ค.ศ. 1989 ซึ่งจะตรงกับของ ว.ส.ท.1008-38 จากนั้นก็จะเป็นACI 318-95 จนมาถึง ACI 318-05 ในปัจจุบัน

2.4.2 น้ำหนักบรรทุก

ข้อกำหนดเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกในสหรัฐอเมริกาจะระบุอยู่ใน Building Code ของแต่ละพื้นที่ซึ่งอาจจะแตกต่างกันไป สำหรับสหรัฐอเมริกาจะใช้ตามมาตรฐาน Uniform Building Code(UBC) ซึ่งตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 ได้เปลี่ยนชื่อเป็น International Building Code (IBC) และ ASCE Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7) สำหรับประเทศไทยมีการกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรไว้บ้างในกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 แต่เป็นการกำหนดไว้นานแล้ว ดังนั้นจึงค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความเป็นจริงในปัจจุบัน ดังนั้นผู้ออกแบบจึงควรพิจารณาควรใช้วิจารณ์्यानประกอบตามความเหมาะสม

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads) น้ำหนักบรรทุกคงที่หรือน้ำหนักบรรทุกตายตัวคือไม่มีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ น้ำหนักตัวโครงสร้างเอง และน้ำหนักวัสดุที่ถูกติดตั้งถาวรกับโครงสร้างเช่น ผนัง วัสดุปูพื้น วัสดุผนังหลังคา ฝ้าเพดาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads) เนื่องจากการใช้งานในข้อกำหนดอาคารส่วนใหญ่จะมีตารางน้ำหนักจรไว้เพื่อความสะดวกในการออกแบบโดยจะระบุเป็นน้ำหนักแผ่คงที่ต่อพื้นที่อาคาร ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 น้ำหนักบรรทุกจรในอาคารจะขึ้นกับลักษณะการใช้งาน

2.4.3 วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design Method)

การออกแบบโดย วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design, WSD) เป็นวิธีเก่าที่ใช้มาตั้งแต่ต้นยุค 1900 ถึงช่วงต้นยุค 1960 ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design, USD) ซึ่งต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็นวิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM) ในประเทศไทย ยังคงใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานกันอยู่บางส่วนในวิธีหน่วยแรงใช้งานส่วนโครงสร้างจะถูกออกแบบให้หน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกขณะใช้งานไม่เกินค่าที่ยอมให้ โดยที่คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของส่วนโครงสร้างเป็นแบบอีลาสติกน้ำหนักบรรทุกใช้งานได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง) น้ำหนักบรรทุกจร ได้แก่ ผู้อยู่อาศัย สิ่งของที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ หิมะ ลม และแผ่นดินไหว ซึ่งจะถูกสมมุติให้เกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างถูกใช้งาน

วิธีหน่วยแรงใช้งานอาจถูกแสดงได้ดังนี้

$$f \leq \text{หน่วยแรงที่ยอมให้ } f_{allow} \quad (2.5)$$

เมื่อ f = หน่วยแรงอีลาสติกที่คำนวณได้ เช่นจากสูตรการตัด $f = Mc/I$ สำหรับคาน

f_{allow} = หน่วยแรงที่จำกัดโดยมาตรฐานอาคารเป็นเปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงอัด f_c' สำหรับคอนกรีต หรือของหน่วยแรงจุดคราก f_y สำหรับเหล็กเสริม

ข้อจำกัดของวิธีหน่วยแรงใช้งาน :

1. เนื่องจากข้อจำกัดอยู่ที่หน่วยแรงทั้งหมดอยู่ภายใต้้นน้ำหนักใช้งานจึงไม่มีวิธีง่ายๆ ที่จะใช้กับระดับความไม่แน่นอนของน้ำหนักหลายๆชนิดโดยทั่วไปการประมาณน้ำหนักคงที่ที่จะทำได้แม่นยำกว่าน้ำหนักจรซึ่งจะประมาณจากลักษณะการใช้งานของอาคารและอาจจะมีการกระจายตัวที่แปรเปลี่ยนหรือไม่แน่นอนได้

2. ความคืบและการหดตัวซึ่งเป็นผลจากเวลาที่ผ่านไปที่สำคัญในโครงสร้างจะไม่สามารถแสดงได้ไม่ง่ายโดยการคำนวณแบบอีลาสติกของหน่วยแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

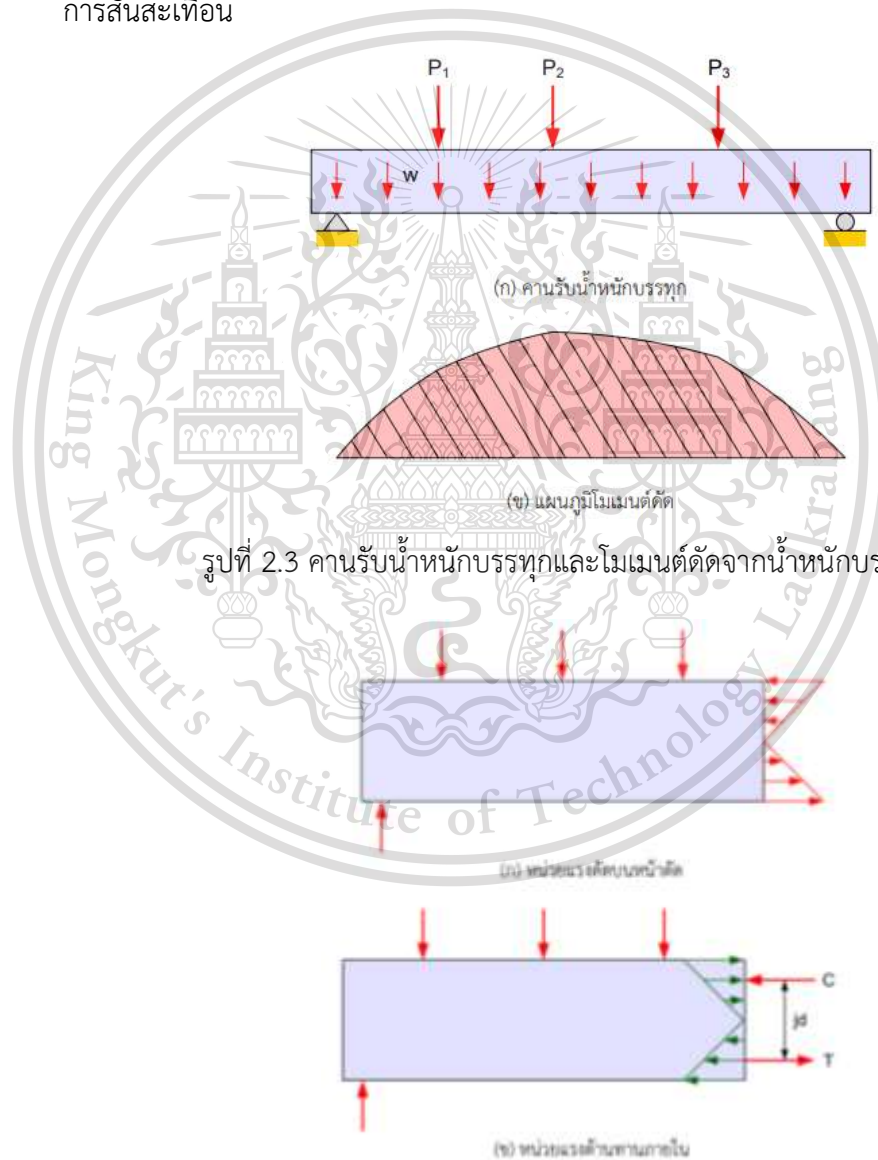
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. หน่วยแรงในคอนกรีตไม่เป็นสัดส่วนกับหน่วยการยืดหดจนถึงกำลังวิกฤติทำให้ไม่สามารถรู้ความปลอดภัยที่แฝงอยู่ได้ เมื่อเปอร์เซ็นต์ของ f_c' ถูกใช้เป็นหน่วยแรงที่ยอมให้

2.4.4 วิธีกำลัง (Strength Design Method)

จากรูปที่ 2.3 (ก) คานที่รองรับน้ำหนักตัวเอง w บวกกับน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด P_1 , P_2 และ P_3 ซึ่งทำให้เกิดโมเมนต์ดัดในรูปที่ 2.3 (ข) ซึ่งเป็นแรงภายในซึ่งเป็นผลจากน้ำหนักบรรทุกแรงภายในตัวอื่นได้แก่ แรงเฉือน, แรงตามแนวแกน, โมเมนต์บิด, การโก่งแอ่น และการสั่นสะเทือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.4 หน่วยแรงดัดจากน้ำหนักบรรทุกและหน่วยแรงต้านทาน
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.4 (ก) แสดงหน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคานซึ่งเป็นผลมาจากแรงที่มากระทำในรูปที่ 2.4 (ข) หน่วยแรงดัดนี้อาจถูกแทนด้วยแรง C และ T อยู่ห่างกันเป็นระยะ jd แรงคู่ควบนี้ คือ โมเมนต์กระทำ (Acting Moment) ซึ่งพยายามจะทให้เกิดการเสีรูปทรงทำให้เกิดแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุเป็นแรงคู่ควบที่มีขนาดเท่ากันในทิศทางตรงกันข้ามเรียกว่า โมเมนต์ต้านทาน (Resisting Moment)

เมื่อน้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่มากระทำเพิ่มขึ้น หน่วยแรงต้านทานจะเพิ่มขึ้นตามเพื่อรักษาสมดุลจนกระทั่งหน้าตัดวิบัติ โมเมนต์มากที่สุดที่หน้าตัดสามารถต้านทานได้เรียกว่า กำลังโมเมนต์ (Moment Strength) คำว่ากำลัง (Strength) ยังถูกใช้ในลักษณะเดียวกันสำหรับกำลังเฉือน (Shear Strength) และกำลังแรงตามแนวแกน (Axial Load Strength)

วิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM) เป็นวิธีการออกแบบที่ถูกพัฒนาให้มีความแม่นยำในการคำนวณกำลังจากพฤติกรรมของคอนกรีตเสริมเหล็กในการรับน้ำหนักบรรทุกผลการทดสอบองค์อาคารจนถึงจุดวิบัติถูกนำมาใช้ในการพัฒนาวิธีการออกแบบ

ในวิธีกำลังน้ำหนักบรรทุกใช้งานจะถูกเพิ่มขึ้นโดย ตัวคูณน้ำหนัก (Load factors) เพื่อให้ได้น้ำหนักขณะเกิดการวิบัติ น้ำหนักนี้จะถูกเรียกว่า น้ำหนักประลัย (U , Ultimate load) หรือน้ำหนักเพิ่มค่า (Factored Load) ในทางกลับกันกำลังขององค์อาคารจะถูกลดลงโดย ตัวคูณลดกำลัง (ϕ , Strength Reduction Factor) โดยค่าตัวคูณทั้งสองจะถูกกำหนดตามมาตรฐาน ในการออกแบบโครงสร้างหรือส่วนโครงสร้างจะถูกกำหนดสัดส่วนให้มีกำลังออกแบบ ϕS_n มีค่าไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการ U ที่คำนวณจากน้ำหนักเพิ่มค่า

$$\text{กำลังออกแบบ} \geq \text{กำลังที่ต้องการ}$$

$$\text{หรือ} \quad \phi S_n \geq U$$

เมื่อ S_n คือ กำลังระบุ (Nominal Strength) ที่คำนวณตามทฤษฎี กำลังที่ต้องการ U คำนวณโดยใช้ตัวคูณน้ำหนักกับน้ำหนักบรรทุกใช้งานได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load, D) , น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load, L), แรงลม W, แรงแผ่นดินไหว E, แรงดันดิน H, แรงดันของไหล F, น้ำหนักหิมะ S, น้ำหนักฝน R และผลจากสิ่งแวดล้อม T อาทิเช่น การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทรัพย์สิน, ความลับ, การหวัดตัว และการเปลี่ยนแปลงกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สมการข้างต้น เป็นการกำหนดโดยทั่วไป เมื่อนำไปใช้งานออกแบบของอาคารรับแรงที่เฉพาะเจาะจงเช่น โมเมนต์, แรงเฉือน และแรงตามแนวแกน จะเขียนเป็น

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

โดยที่ตัวห้อย n หมายถึงกำลังระบุของโมเมนต์, แรงเฉือน และแรงตามแนวแกน ตามลำดับ และตัวห้อย u หมายถึงการเพิ่มค่าของโมเมนต์, แรงเฉือน และแรงตามแนวแกน โดยในการเพิ่มค่าจะทำโดยใช้ตัวคูณเพิ่มค่ากับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน หรือคูณกับแรงภายในที่เป็นผลมาจากน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน

น้ำหนักบรรทุกรวม (Load Combinations)

มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของ ว.ส.ท. 1008-38 กำหนดให้กำลังที่ต้องการ U สำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ D และน้ำหนักบรรทุกจร L ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า

$$U = 1.4 D + 1.7 L$$

ในกรณีที่ต้องคำนึงถึงผลของแรงลม W ในการออกแบบร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่น ต้องพิจารณา U เพิ่มขึ้นอีกกรณีเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่มากกว่าไปการออกแบบ

$$U = 0.75 (1.4 D + 1.7 L + 1.7 W)$$

หรือ

$$U = 1.05 D + 1.275 L + 1.275 W$$

นอกจากนั้นสำหรับสถานการณ์ที่น้ำหนักคงที่เป็นตัวน้ำหนักถ่วงเพื่อสร้างเสถียรภาพเมื่อถูกแรงลมกระทำ (เช่น หอคอยหรือกำแพง) ความเป็นไปได้ที่จะลดน้ำหนักคงที่ที่ต้องถูกพิจารณาแทนที่จะเป็นน้ำหนักประลัย ว.ส.ท. จึงกำหนดให้พิจารณาอีกกรณีคือ

$$U = 0.9 D + 1.3 W$$

ถ้าต้องคำนึงถึงการต้านทานแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว หรือแรง E ที่รวมอยู่ในการคำนวณออกแบบให้ใช้สมการ โดยแทนค่า W ด้วย 1.1E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ถ้าต้องคำนึงถึงการต้านทานแรงดันดิน H ในการคำนวณออกแบบ กำลังที่ต้องการ U อย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับ

$$U = 1.4 D + 1.7 L + 1.7 H$$

ยกเว้นในกรณีที่ D หรือ L ลดผลของ H ให้ใช้ค่า 0.9 D แทน 1.4 D และให้ L มีค่าเท่ากับศูนย์ในการหาค่ากำลังที่ต้องการ U สูงสุด

$$U = 0.9 D + 1.7 H$$

สำหรับ แรงดันของของเหลว F มีความสูงที่ควบคุมได้สมการ จะถูกใช้ยกเว้น 1.7 H ถูกเปลี่ยนเป็น 1.4 F เนื่องจากความหนาแน่นของเหลวมีค่าแน่นอนแรงดันจึงถูกคิดเหมือนน้ำหนักคงที่ โดยใช้ตัวคูณ 1.4 ในทางตรงข้ามแรงดันดินมีคุณสมบัติแปรเปลี่ยนมากกว่า จึงถูกคิดเป็นน้ำหนักจรโดยใช้ตัวคูณ 1.7 เมื่อผลของโครงสร้าง T ของการทรุดตัวต่างกัน ความคืบ การหด ตัวหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาจจะมีผลสำคัญ ก็จะถูกรวมเข้าไปกับ

$$\text{น้ำหนักคงที่} \quad U = 0.75 (1.4D + 1.4T + 1.7L)$$

$$\text{แต่ต้องไม่น้อยกว่า} \quad U = 1.4 (D + T)$$

ตัวคูณ 0.75 ถูกใช้เพื่อระลึกว่ามีความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้ำหนักพร้อมกันมีน้อย ค่าตัวคูณลดกำลังและตัวคูณเพิ่มน้ำหนักที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดนั้นเป็นค่าเก่าเพื่อให้ตรงกับที่ ว.ส.ท.

กำหนด สำหรับค่าใหม่ตามมาตรฐาน ACI 318-11 จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.4 ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก U ตามมาตรฐาน ACI 318-11

กรณีบรรทุก	ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก
พื้นฐาน	$U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
น้ำหนักคงที่	$U = 1.4 D$
หิมะ, ฝน, อุณหภูมิ, และลม	$U = 1.2 (D + F + T) + 1.6 (L + H) + 0.5 (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$ $U = 1.2 D + 1.6 (L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0 L \text{ or } 0.5 W)$ $U = 1.2 D + 1.0 W + 1.0 L + 0.5 (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$ $U = 0.9 D + 1.0 W$
แผ่นดินไหว	$U = 1.2 D + 1.0 E + 1.0 L + 0.2 S$ $U = 0.9 D + 1.0 E$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 มาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างระบบเสริมกำลังด้วย FRP ตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบและข้อแนะนำที่เกี่ยวข้อง

- ACI, 2017, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, ACI 440.2R-17, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI
- fib Bulletin No. 14, Externally bonded FRP reinforcement for RC structures , 2001, 138 pp, ISBN 2-88394-054-1
- fib Bulletin No. 35. Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs, with emphasis on seismic applications, 2006, 220 pp, ISBN 978-2-88394-075-8
- ISIS Design Manual No. 4 – Strengthening Reinforced Concrete Structures with Externally - Bonded Fiber Reinforced Polymers (FRPs). ISIS Canada
- JSCE, 2001, Recommendation for Upgrading of Concrete Structures with use of Continuous Fiber Sheets, Concrete Engineering Series 41, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการทดสอบ

3.1 วัสดุอุปกรณ์ และ ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 3.1 เหล็ก RB 6 mm และ RB 9 mm



รูปที่ 3.2 ไม้แบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ รูป 3.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 ทรายหยาบ



รูปที่ 3.5 หินเกร็ด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.6 เครื่องผสมคอนกรีตขนาด 0.75 ลบ.ม.
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 แบบหล่อตัวอย่างทรงกระบอก



รูปที่ 3.8 เครื่องตัดเหล็กเส้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.9 น้ำยาประสานเรซิน 220 HP และ 55 HP ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 แผ่น C-Sheet



รูปที่ 3.11 แผ่น C-laminate



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบหากำลังแรงตัดคุณภาพให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบกำลังอัดประลัยคอนกรีตตัวอย่างทรงกระบอก



รูปที่ 3.14 ตลับเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 3.15 ตู้ไฟฟ้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 ลักษณะของตัวอย่าง

จะใช้คานคอนกรีตที่ออกแบบโดยวิธีกำลัง Ultimate Strength Design ทั้งหมด 21 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 7 กรณีศึกษา กรณีละ 3 ตัวอย่าง โดยอ้างอิงรายละเอียดโครงสร้างคานที่นำมาหล่อตามมาตรฐานคอนกรีตทั่วไปของประเทศไทย ว.ส.ท. และ มยผ.1508-51 โดยจำลองตัวอย่างขึ้นมาให้เหมือนกับคานที่ต่อกับเสาในอาคาร ให้รับแรงกระทำในแนวตั้งทางเดียวเท่านั้น และรายละเอียดการเสริมวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน ตามมาตรฐาน ACI 440.2R-14

$$W = 1.4DL = 67.200kg / m$$

$$Mu = 3.024kg \cdot m$$

$$Vu = 20.160kg$$

$$fc' = 210ksc$$

$$fy = 2400ksc$$

$$RB9mm;$$

$$As = 0.636cm^2$$

$$RB6mm;$$

$$As = 0.283cm^2$$

$$a = \frac{Asfy}{0.85fc'b} = 1.711cm$$

$$Mn = \frac{Asfy}{\left(d - \frac{a}{2}\right)} = 508.265kg \cdot m$$

$$\phi Mn = 0.9Mn > Mu$$

$$; 457.439kg \cdot m > 3.024kg \cdot m$$

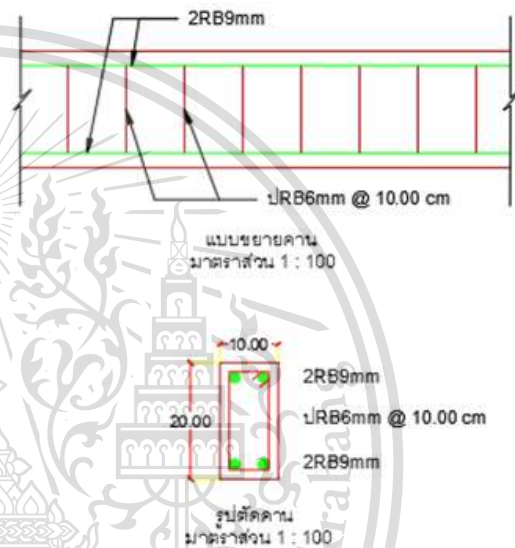
$$Vc = 1344.075kg$$

$$Vs = 2375.075kg$$

$$Vn = Vc + Vs = 3719.119kg$$

$$\phi Vn > Vu$$

$$; 3161.251kg > 20.16kg$$



รูปที่ 3.16 แสดงการคำนวณการออกแบบและรูปคานตัวอย่าง ด้วยวิธีกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 คุณสมบัติของวัสดุ

3.3.1 คอนกรีต

ในการออกแบบตัวอย่างนี้จะใช้กำลังอัดคอนกรีตเท่ากับ 210 ksc โดยในทั้งหมด 21 ตัวอย่าง นี้จะใช้กำลังของคอนกรีตเท่ากันทั้งหมด

3.3.2 เหล็กเสริม

ในการออกแบบตัวอย่างนี้จะใช้เหล็กเสริมตามยาว โดยใช้เหล็กกลม คือ RB9 และมีการเสริมเหล็กปลอกคือ RB6 โดยมีค่ากำลังคราก (F_y) ของเหล็กเสริมในตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3.

ตารางที่ 3.1 กำลังของเหล็กเสริมที่ใช้ในกาทดสอบ

ชนิดของเหล็กเสริม	ขนาด (mm.)	F_y (ksc)	F_u (ksc)
เหล็กเสริมตามยาว	RB 9	2,400	3,900
เหล็กปลอก	RB 6	2,400	3,900

3.4 รายละเอียดตัวอย่าง

ในการทดสอบครั้งนี้จะมีทั้งหมด 21 ตัวอย่างแบ่งเป็น 7 กรณีศึกษา กรณีละ 3 ตัวอย่าง โดยอ้างอิงรายละเอียดโครงสร้างคานที่นำมาหล่อตามมาตรฐานคอนกรีตทั่วไปของประเทศไทย ว.ส.ท. และ มยผ.1508-51 โดยจำลองตัวอย่างขึ้นมาให้เหมือนกับคานที่ต่อกับเสาในอาคาร และรายละเอียดการเสริมวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน ตามมาตรฐาน ACI 440.2R-14 ซึ่งมีรายละเอียดของตัวอย่างดังตารางที่ 3.2 และแสดงดังรูปที่ 3.17-3.19 โดยในการทดสอบนี้จะเปรียบเทียบ กลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราการการถูกความร้อนและการเสริมกำลังที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

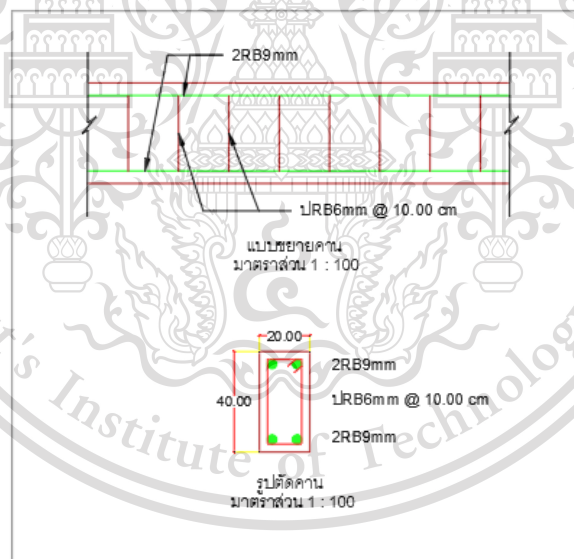
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ

กรณี	ผลกระทบของคานจากความร้อน	ลักษณะการเสริมกำลัง	จำนวนตัวอย่าง
1	คานคอนกรีตทั่วไป	-	3
2	คานคอนกรีตทั่วไป	C-sheet	3
3	คานคอนกรีตเมื่อโดนความร้อนช่วงอุณหภูมิ 300-600 องศาเซียเซล	C-sheet	3
4	คานคอนกรีตเมื่อโดนความร้อนช่วงอุณหภูมิ 600-900 องศาเซียเซล	C-sheet	3
5	คานคอนกรีตทั่วไป	C-Laminate	3
6	คานคอนกรีตเมื่อโดนความร้อนช่วงอุณหภูมิ 300-600 องศาเซียเซล	C-Laminate	3
7	คานคอนกรีตเมื่อโดนความร้อนช่วงอุณหภูมิ 600-900 องศาเซียเซล	C-Laminate	3
		ทั้งหมด	21 ตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 3.17 แสดงแบบขยายและรูปตัดคานตัวอย่าง

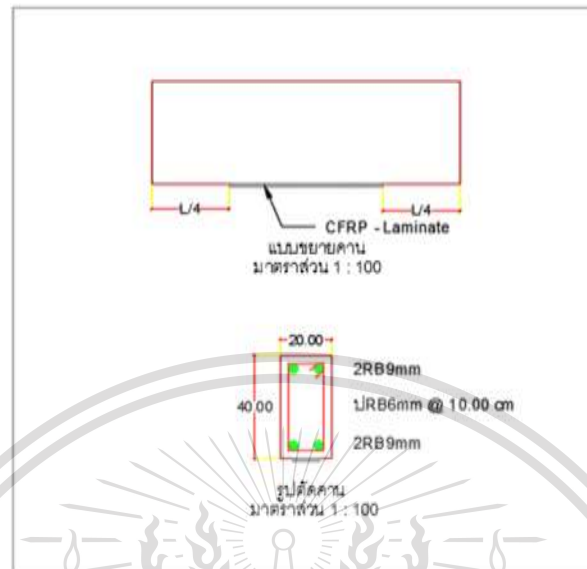
ประกอบไปด้วยคานที่มีขนาดหน้าตัดความกว้าง 0.10 เมตร ความลึก 0.20 เมตร มีความยาว 0.60 เมตร การเสริมเหล็กเสริมตามความยาวขนาด RB9 จำนวน 4 เส้น และใช้เหล็กปลอก RB6 จำนวน 6 วงต่อกันโดยมีระยะห่างเหล็กปลอก 10 เซนติเมตร สำหรับตัวอย่างไม่ได้ออกแบบสำหรับรับแรงแผ่นดินไหวจะไม่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การเสริมเหล็กปลอก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กลุ่มตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 3.18 แสดงแบบขยายและรูปตัดคานตัวอย่างที่เสริมด้วย C-Laminate

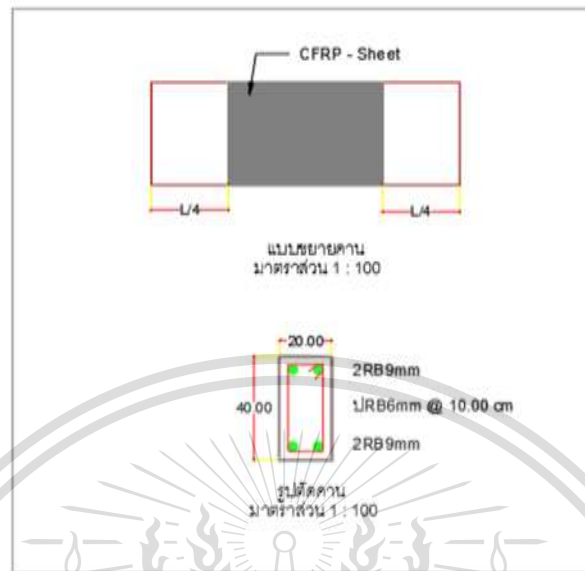
ประกอบไปด้วยคานที่มีขนาดหน้าตัดความกว้าง 0.10 เมตร ความลึก 0.20 เมตร มีความยาว 0.60 เมตร การเสริมเหล็กเสริมตามความยาวขนาด RB9 จำนวน 4 เส้น และใช้เหล็กปลอก RB6 จำนวน 6 วงต่อกันโดยมีระยะห่างเหล็กปลอก 10 เซนติเมตร มีการเสริมด้วย C-Laminate ที่ใต้ท้องของตัวคานโดยมีความยาว L-L/4 ของคาน สำหรับตัวอย่างไม่ได้ออกแบบสำหรับรับแรงแผ่นดินไหวจะไม่มีการเสริมเหล็กปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กลุ่มตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 3.19 แสดงแบบขยายและรูปตัดคานตัวอย่างที่เสริมด้วย C-Sheet

ประกอบไปด้วยคานที่มีขนาดหน้าตัดความกว้าง 0.10 เมตร ความลึก 0.20 เมตร มีความยาว 0.60 เมตร การเสริมเหล็กเสริมตามความยาวขนาด RB9 จำนวน 4 เส้น และใช้เหล็กปลอก RB6 จำนวน 6 วงต่อกันโดยมีระยะห่างเหล็กปลอก 10 เซนติเมตร มีการเสริมด้วย C-Sheet เป็นแบบ U-Shape ของตัวคาน โดยมีความยาว $L-L/4$ ของคาน สำหรับตัวอย่างไม่ได้ออกแบบสำหรับรับแรงแผ่นดินไหวจะไม่มีเสริมเหล็กปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 การเตรียมตัวอย่าง

โดยการเตรียมตัวอย่างข้างต้นนี้ เป็นการเตรียมตัวอย่างก่อนที่จะนำไปทดสอบจริง โดยการเตรียมตัวอย่างอ้างอิงจากการออกแบบจากข้างต้นใน ข้อ3.1 โดยเริ่มทำเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1 เตรียมปลอกท่อ PVC สำหรับเตรียมการหล่อลูกปูน



รูปที่ 3.20 ภาพแสดงการตัดท่อ PVC

3.5.2 การผสมและเทมอร์ตาร์ลงในปลอกท่อ PVC ที่ได้ตัดเตรียมไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 3.21 การหล่อลูกปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.3 ทำการตัดเหล็กขนาด RB9mm , RB6mm และผูกเหล็กตามที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3.22 การตัดและตัดเหล็กเสริม

3.5.4 นำเหล็กเสริมที่ตัดเสร็จแล้วมาผูกกับลูกปูนที่เตรียมไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.23 ภาพการผูกเหล็กเสริมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.5 ตัดไม้อัด เพื่อมาประกอบขึ้นทำเป็นจำลองหล่อคอนกรีตคานตัวอย่าง



รูปที่ 3.24 แบบไม้อัดที่ใช้หล่อคานตัวอย่าง

3.5.6 นำเหล็กเสริมที่ผูกเสร็จพร้อมโคฟเวอร์ริงทั้งหมดใส่ลงในแบบ เพื่อรอเทคอนกรีต



รูปที่ 3.25 นำเหล็กเสริมใส่ลงในแบบหล่อตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.7 ผสมคอนกรีตที่กำล้ง 210 ksc.ตามที่ได้คำนวณไว้ เพื่อนำไปหล่อคานตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.26 การผสมคอนกรีตโดยเครื่องมิกซ์ขนาด $0.75 m^3$

3.5.8 เมื่อผสมคอนกรีตเสร็จก่อนเทลงแบบ ให้ทำการตรวจสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตก่อน เพื่อดูว่าเป็นไปตามที่ได้คำนวณไว้หรือไม่



รูปที่ 3.27 การตรวจสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.9 เมื่อคอนกรีตที่ผสมเสร็จผ่านการตรวจสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว ให้นำคอนกรีตเทลงแบบที่เตรียมไว้ได้ โดยการเทลงแบบหล่อ ตัวอย่างละ 3 ชั้น พร้อมกระทุ้งคอนกรีตภายในแบบเพื่อไม่ให้เกิดโพรงและฟองอากาศ



รูปที่ 3.28 การเทคอนกรีตลงในแบบ

3.5.10 หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างคาน ที่หล่อเสร็จแล้ว มาแกะออกจากแบบแล้วนำไปบ่ม โดยการแช่น้ำ เป็นเวลา 28 วัน เพื่อให้พร้อมสำหรับการนำไปทดสอบขั้นต่อไป



รูปที่ 3.29 การบ่มตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.11 หลังจาก Curing ตัวอย่างทดสอบ ครบ 28 วัน นำตัวอย่างทดสอบไปเข้าเตาอบ 18 ตัวอย่าง ตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป



รูปที่ 3.30 การอบตัวอย่างทดสอบ

3.6 เครื่องทดสอบ

การทดสอบนี้จะวางคานในแนวนอน วางปลายคานทั้งสองข้างไว้กับ Roller Support เพื่อทำการทดสอบตัวอย่างดังกล่าว เครื่องทดสอบคานคอนกรีตภายใต้แรงดัดแบบเอนกประสงค์ (Flexural and Transverse Multipurpose Testing Machine) เป็นระบบไฮดรอลิกส์แบบมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังอ่านค่าหน่วยแรงจากหน้าจอดีจิตอล พร้อมเครื่องพิมพ์แสดงผลในตัว โครงสร้างเครื่องเป็นเหล็กมีความแข็งแรง สามารถทดสอบชิ้นตัวอย่างได้ตามมาตรฐาน ASTM E4 , BS1610 GRADE 1.0 EN 12390-4, BS 1881:115, DIN 51220, ASTM C39, NF P18-411, AASHTO T22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.31 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัดของคานให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.7 การเสริมกำลังให้คานตัวอย่างทดสอบ

ภายหลังจากการอบความร้อนเสร็จสิ้นตัวอย่างการทดสอบจะเกิดความเสียหาย โดยแสดงออกมาทางผิวของชิ้นงาน โดยผิวของชิ้นตัวอย่างทดสอบจะแสดงออกมาในรูปการเปลี่ยนสีของชิ้นงาน โดยชิ้นตัวอย่างที่โดนอบด้วยอุณหภูมิ 300-600 องศา สีของชิ้นงานจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู และตัวอย่างของชิ้นงานที่โดนอบด้วยอุณหภูมิ 600-900 องศา สีของชิ้นงานจะเปลี่ยนเป็นสีเทา ในการทดสอบครั้งต่อไปเพื่อแสดงถึงการซ่อมแซมในการเสริมกำลังให้แก่ตัวอย่าง โดยการการพันคานเป็นลักษณะ U-Shape ด้วยแผ่น C-Sheet เสริมกำลัง และ ติดแผ่น C-Laminate เพื่อนำไปทดสอบเพื่อหาค่าต่อไป

ขั้นตอนในการเสริมกำลังให้คานตัวอย่างทดสอบมีวิธีการ ดังนี้

เมื่อตัวอย่างทำการอบเสร็จสิ้นจะต้องนำตัวอย่างทดสอบมาทำการเตรียมผิว เพื่อให้พร้อมสำหรับการติดตั้ง วัสดุเสริมกำลัง โดยใช้การขัดผิวของตัวอย่างให้เป็นแนวที่จะติดตั้ง วัสดุเสริมกำลังให้เรียบเนียน จากนั้นทำการเป่าเศษปูนบริเวณที่ขัดให้เรียบร้อยสะอาด เพราะเศษปูนหรือฝุ่นที่ติดอยู่บน ผิวงานอาจทำให้ส่งผลต่อการติดตั้งวัสดุเสริมกำลังได้ หลังจากนั้น จึงติดตั้งวัสดุเสริมกำลังได้



รูปที่ 3.32 ตัวอย่างการเสริมกำลังด้วย CFRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

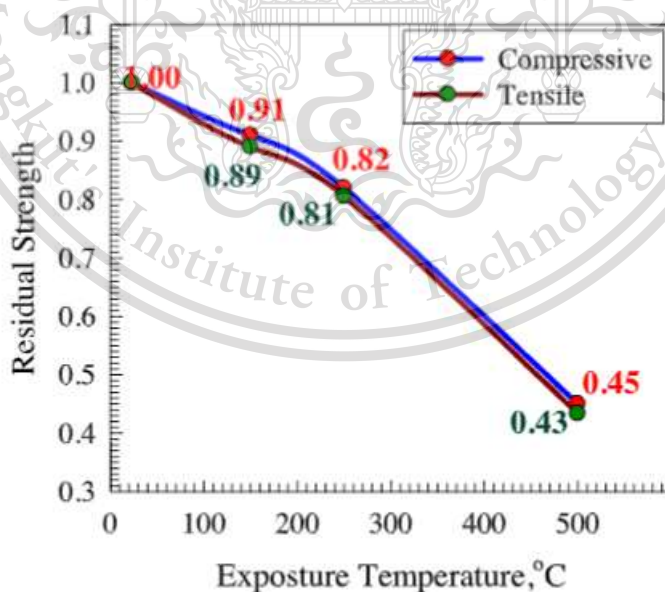
บทที่ 4

การวิเคราะห์ด้วยหลักการและทฤษฎี

กำลังรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อได้รับความร้อน จากการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางทฤษฎีที่ได้ศึกษา สามารถคาดการณ์กำลังรับน้ำหนักที่จะเกิดขึ้นได้ด้วยคุณสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน และคุณสมบัติของคอนกรีต กล่าวคือ ความแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะสูญเสียกำลังเมื่อได้รับ ผลกระทบจากความร้อน และกำลังของโครงสร้างคอนกรีตที่เสริมด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน โดยอ้างอิงจากผลการวิจัยที่ได้ศึกษามา

4.1 Rajai Z. Al-Rousan

กรณีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของคานคอนกรีตเสริมเหล็กจากความร้อน ด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (Civil Engineering Department, Jordan University of Science and Technology, Jordan) จากการศึกษาผลงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่ากำลังของคานกริตจะลดลง 43 % - 89% เมื่อได้รับความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 250 – 500 องศาเซลเซียส



กราฟที่ 4.1 แสดงการสูญเสียกำลังของคอนกรีต

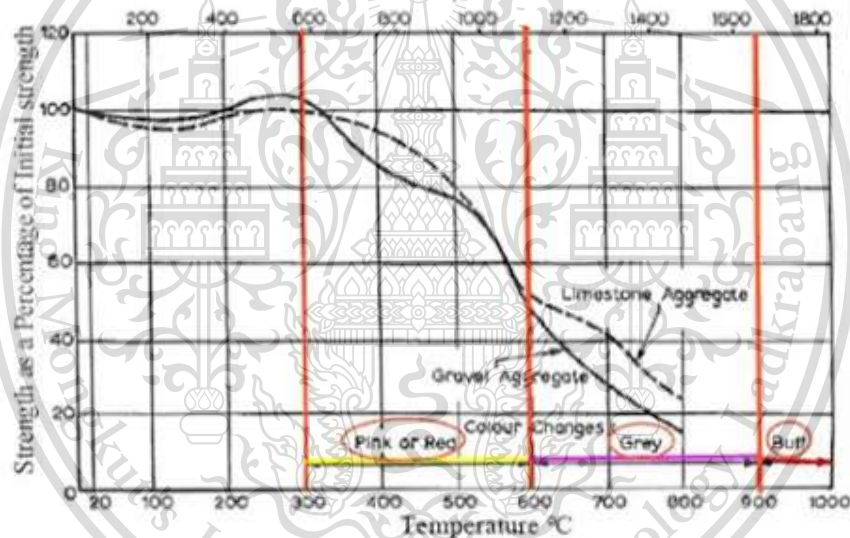
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 ส่วนประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตมีส่วนประกอบหลัก คือ ซีเมนต์, ทราย, หิน และน้ำ แต่ในปัจจุบันมีการผสมสารผสมเพิ่ม เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตด้วย สำหรับพฤติกรรมของคอนกรีตกับไฟอาจจะพิจารณาส่วนประกอบของคอนกรีตเป็น มวลรวม (หินและทราย) และ ซีเมนต์เพสต์ (ซีเมนต์และน้ำ) ปกติแล้วคอนกรีตมีค่าการนำความร้อนน้อยกว่าเหล็กถึง 50 เท่า ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และส่งผลต่อความต้านทานเพลิงไหม้ของคอนกรีต อย่างไรก็ตามในอุณหภูมิที่สูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงของคอนกรีต (กำลังและความยืดหยุ่น)จะลดลง เนื่องจาก (1) การเกิดรอยร้าวเล็ก ๆ (micro-cracks) และ (2) การเปลี่ยนแปลงหรือสลายของสารยึดเหนี่ยว (C-S-H, CH) ในคอนกรีตเนื่องจากสูญเสียน้ำ (Emmons, 1993) นอกจากนี้ กำลังและสีของคอนกรีตยังเปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ



กราฟที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับแรงอัดและสีของคอนกรีต กับอุณหภูมิ (Harmathy, 1993)
เหล็กกับเพลิงไหม้

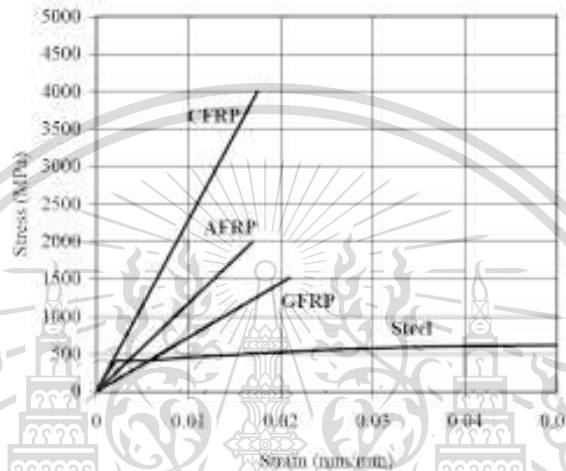
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)

เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับงานปรับปรุงซ่อมแซมแก้ไขและเสริมกำลังโครงสร้างอาคาร CFRP จะประกอบด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) ที่มีความแข็งแรง สูงมากกว่าเหล็ก และอีพ็อกซีเรซิน (Polymer) ซึ่งทำหน้าที่เป็นกาวยึดเกาะ กำลังสูงเพื่อทำการติดตั้งแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์กับโครงสร้างที่ต้องการปรับปรุงซ่อมแซมแก้ไขและเสริมกำลัง



กราฟที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ CFRP, AFRP, GFRP และ Steel

4.4 Chen Wanxiang Yan Shaohua

Experimental study of RC beams strengthened with CFRP under blast loading (PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China) ศึกษาการรับกำลังการระเบิดของโครงสร้างคานทั่วไปและโครงสร้างคานเมื่อเสริม CFRP โครงสร้างคานที่เสริมแผ่น CFRP มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉลี่ยของคานเสริมความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 13% - 42% ของคานคอนกรีตทั่วไป แสดงให้เห็นความแข็งแรงของคานเสริมเหล็ก ที่เสริมด้วยแผ่น CFRP นั้นสามารถปรับปรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

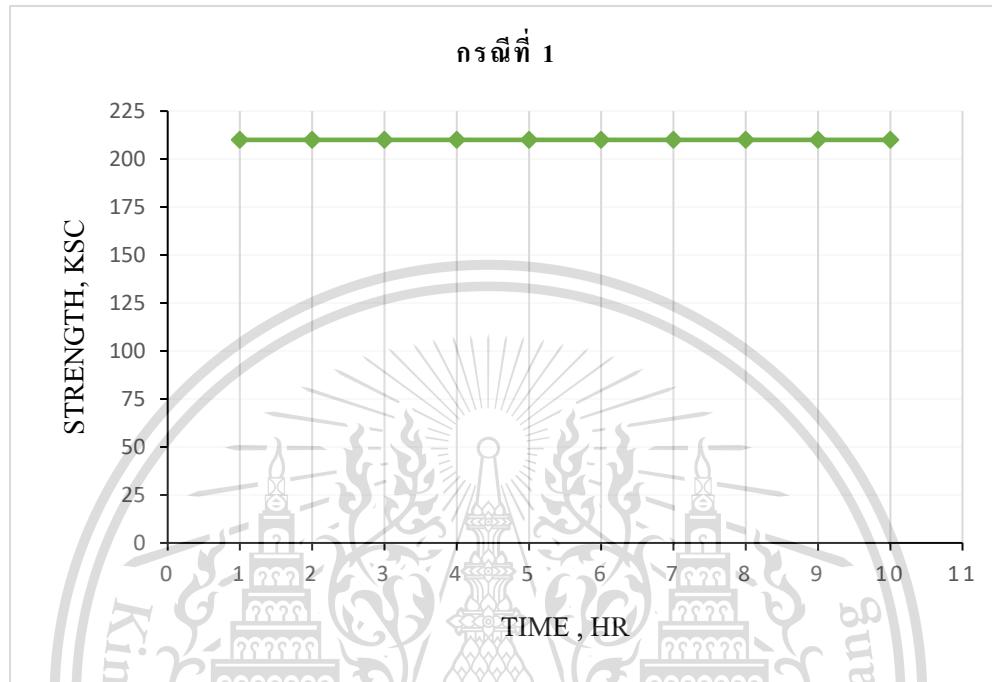
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5 ผลการวิเคราะห์จากหลักการและทฤษฎีที่ศึกษา

กรณีที่ 1 โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน



กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคานกรัดเสริมเหล็กทั่วไป กรณีที่ 1

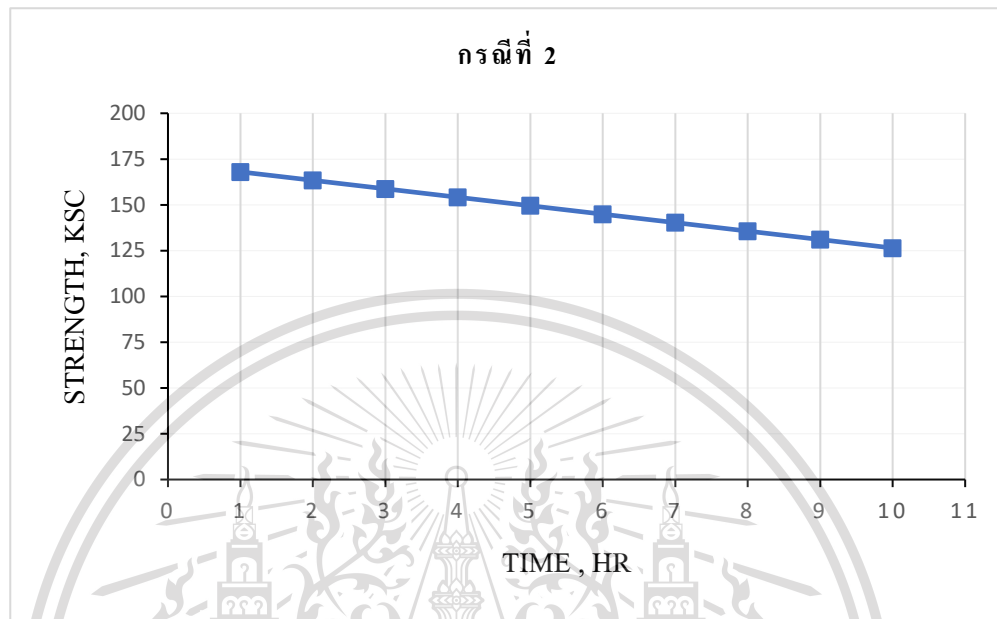
จากกราฟแสดงกำลังรับน้ำหนักของคานกรัดเสริมเหล็กทั่วไป ที่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กรณีที่ 2 โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ที่อุณหภูมิในช่วง 300 – 600 องศาเซลเซียส การรับกำลังของโครงสร้างจะลดโดยเฉลี่ย 30%



กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป กรณีที่ 2

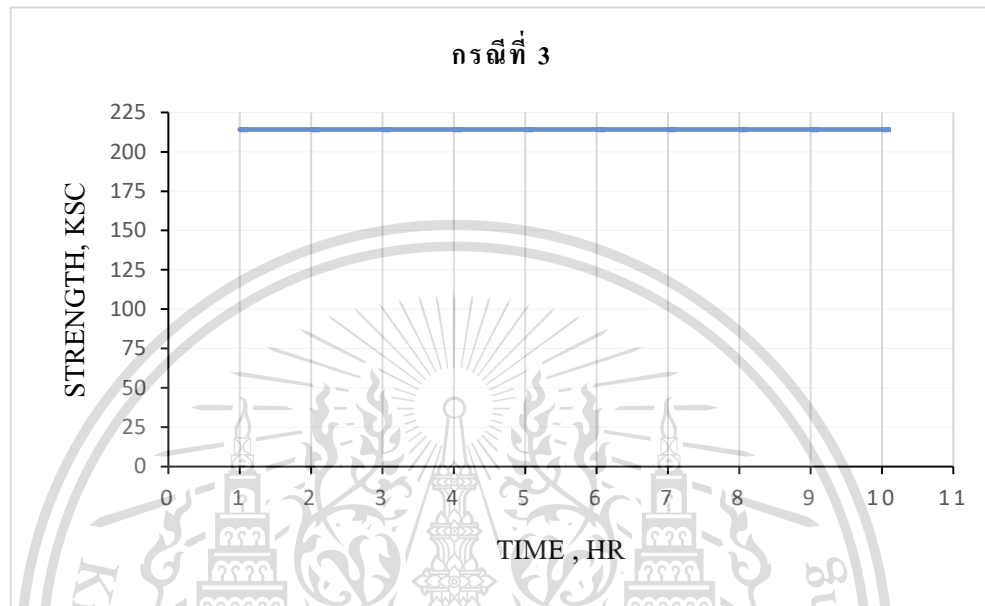
จากกราฟแสดงกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากความร้อน ในช่วงอุณหภูมิความร้อน 300 – 600 องศาเซลเซียส ถือเป็นช่วงความเสียหายน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กรณีที่ 3 โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ที่อุณหภูมิในช่วง 300 – 600 องศาเซลเซียส การรับกำลังของโครงสร้างจะลดโดยเฉลี่ย 30% และเมื่อทำการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน ชนิดแผ่นคาดการณ์ว่าการรับกำลังจะสามารถเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 27.5%



กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย กรณีที่ 3

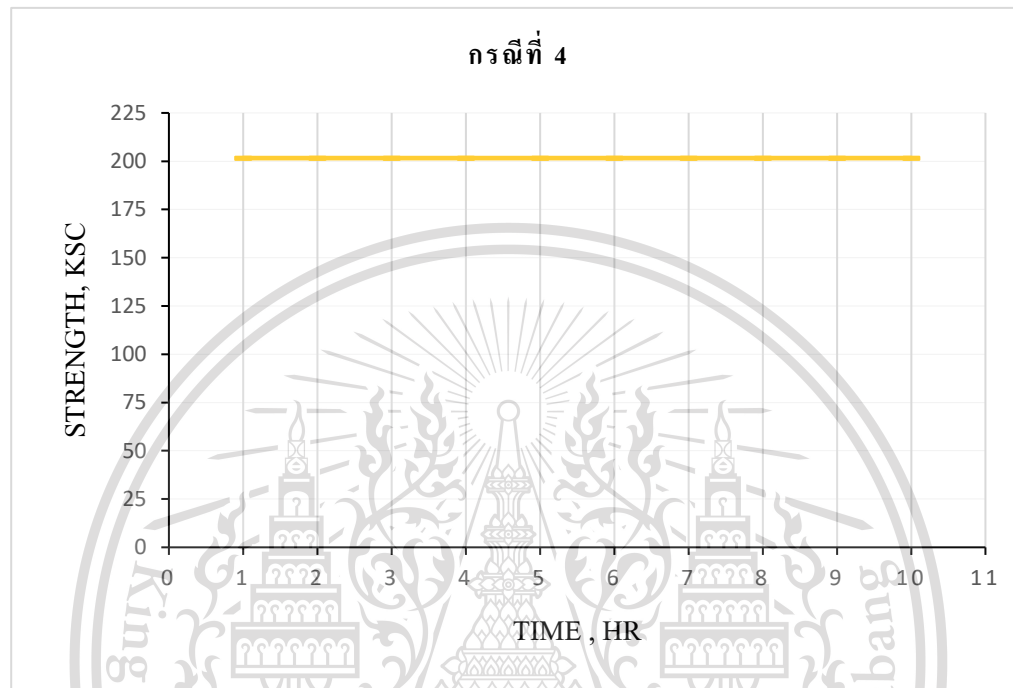
จากกราฟแสดงกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากความร้อน ในช่วงอุณหภูมิความร้อน 300 – 600 องศาเซลเซียส ถือเป็นช่วงความเสียหายน้อยและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ชนิดแผ่น มีกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเพิ่มขึ้นหลังได้รับความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กรณีที่ 4 โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ที่อุณหภูมิในช่วง 300 – 600 องศาเซลเซียส การรับกำลังของโครงสร้างจะลดโดยเฉลี่ย 30% และเมื่อทำการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน ชนิดลามิเนตคาดการณ์ว่าการรับกำลังจะสามารถเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 20%



กราฟที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย กรณีที่ 4

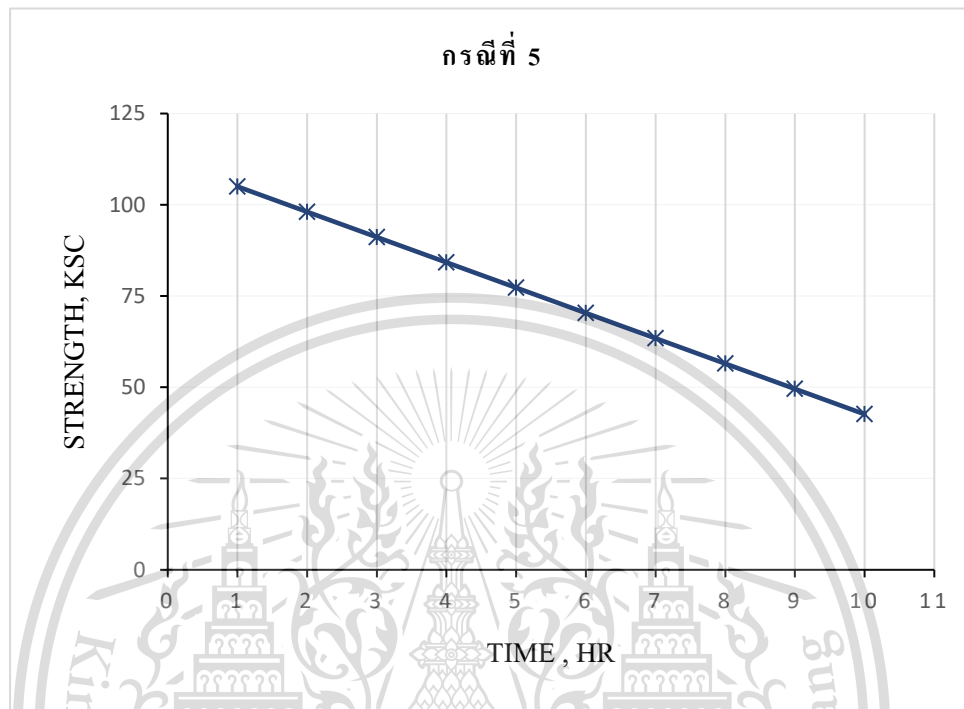
จากกราฟแสดงกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากความร้อน ในช่วงอุณหภูมิความร้อน 300 – 600 องศาเซลเซียส ถือเป็นช่วงความเสียหายน้อย และเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ชนิดลามิเนต มีกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเพิ่มขึ้นหลังได้รับความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กรณีที่ 5 โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ที่อุณหภูมิในช่วง 600 – 900 องศาเซลเซียส การรับกำลังของโครงสร้างจะลดโดยเฉลี่ย 65%



กราฟที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เมื่อได้รับความร้อน กรณีที่ 5

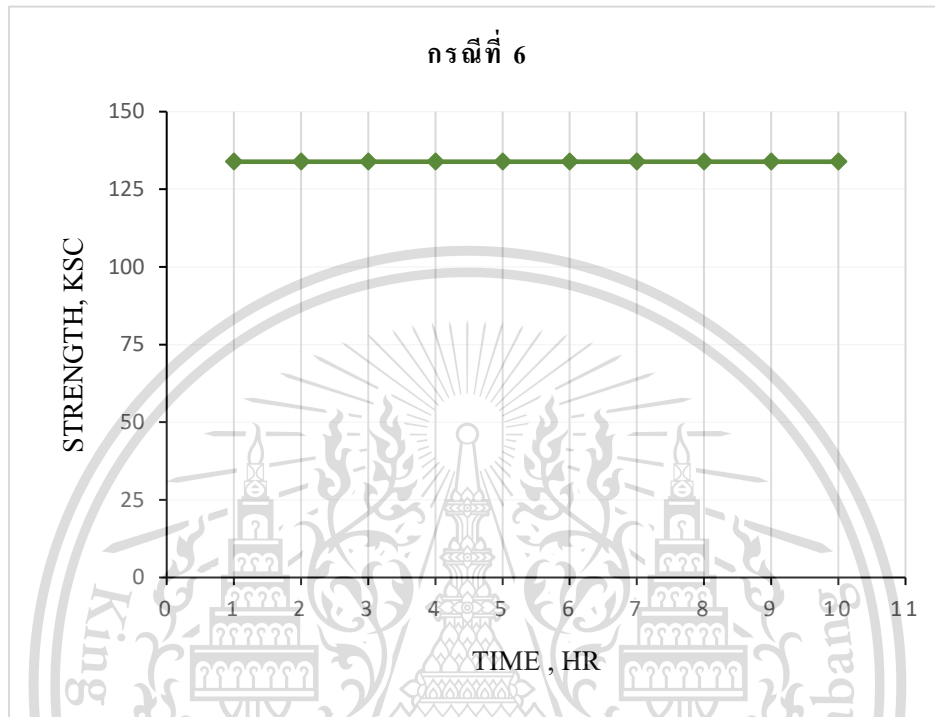
จากกราฟแสดงกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากความร้อน ในช่วงอุณหภูมิความร้อน 600 – 900 องศาเซลเซียส ถือเป็นช่วงความเสียหายปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กรณีที่ 6 โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ที่อุณหภูมิในช่วง 600 – 900 องศาเซลเซียส การรับกำลังของโครงสร้างจะลดโดยเฉลี่ย 65% และเมื่อทำการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน ชนิดแผ่นคาดการณ์ว่าการรับกำลังจะสามารถเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 27.5%



กราฟที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย กรณีที่ 6

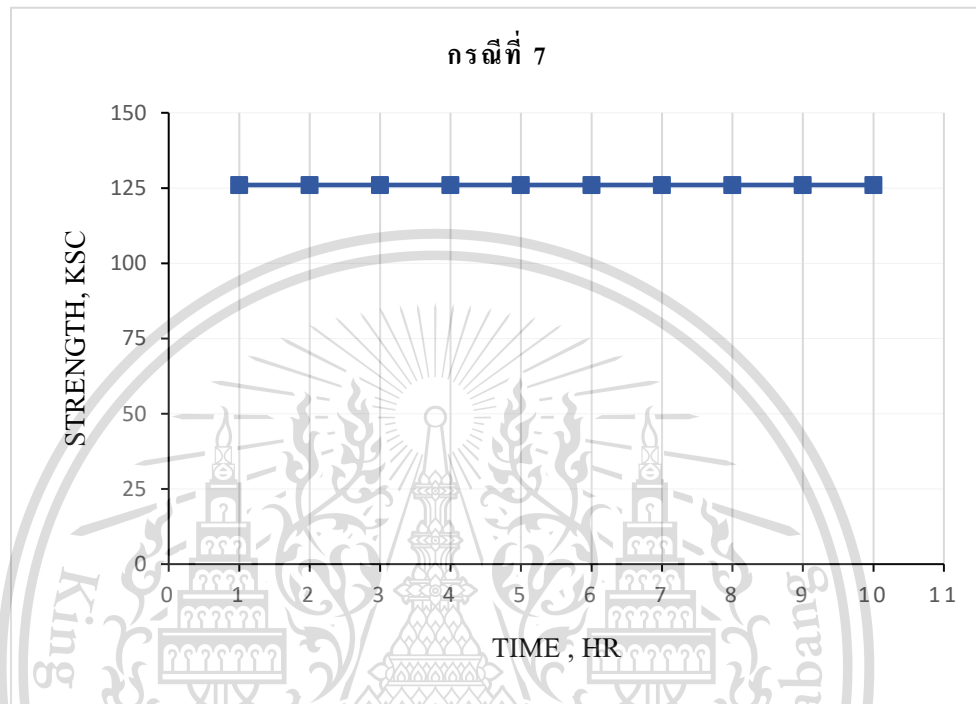
จากกราฟแสดงกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากความร้อน ในช่วงอุณหภูมิความร้อน 600 – 900 องศาเซลเซียส ถือเป็นช่วงความเสียหายปานกลาง และเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ชนิดแผ่น มีกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเพิ่มขึ้นหลังได้รับความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กรณีที่ 7 โครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ที่อุณหภูมิในช่วง 600 – 900 องศาเซลเซียส การรับกำลังของโครงสร้างจะลดโดยเฉลี่ย 65% และเมื่อทำการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน ชนิดลามิเนตคาดการณ์ว่าการรับกำลังจะสามารถเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 20%



กราฟที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย กรณีที่ 7

จากกราฟแสดงกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากความร้อน ในช่วงอุณหภูมิความร้อน 600 – 900 องศาเซลเซียส ถือเป็นช่วงความเสียหายปานกลาง และเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ชนิดลามิเนต มีกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเพิ่มขึ้นหลังได้รับความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

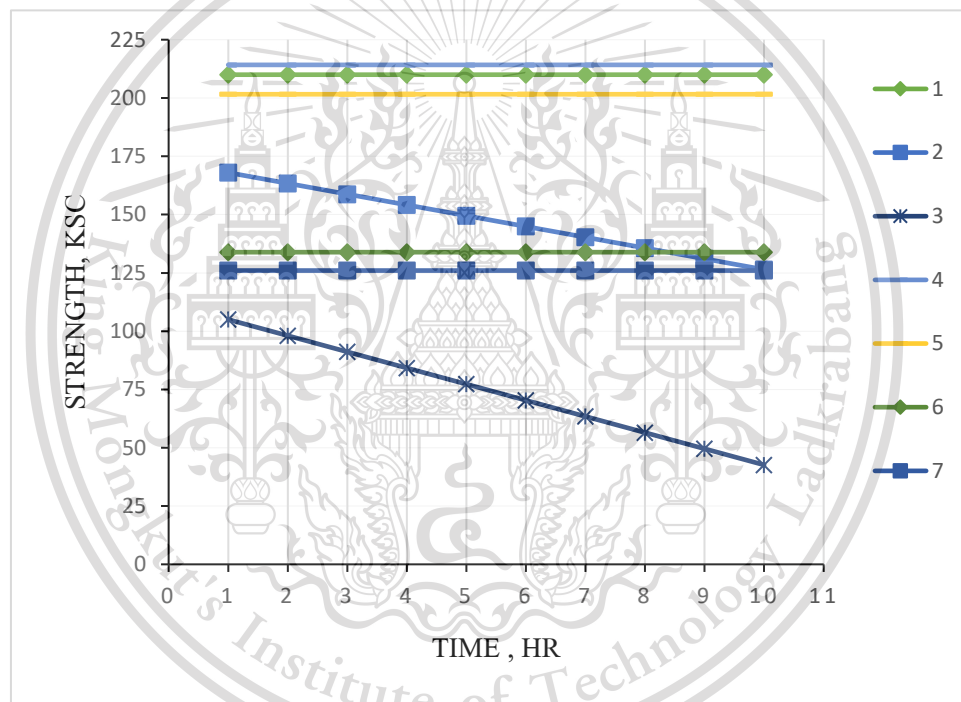
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาหลักการและทฤษฎี ความแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะสูญเสียกำลังรับน้ำหนักเมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อน และกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตที่เสริมด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนได้



กราฟที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนและเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

จากกราฟแสดงกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากความร้อน ในช่วงอุณหภูมิความร้อน 300 – 900 องศาเซลเซียส เป็นช่วงความเสียหายน้อยถึงปานกลาง และเสริมกำลังด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ทั้งชนิดแผ่นและชนิดลามิเนต มีค่าความแข็งแรงของคอนกรีต

เพิ่มขึ้นหลังได้รับความเสียหาย เมื่อเทียบกับคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน จะมีกำลังรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นและลดลงคิดเป็นร้อยละ 2.00 , 4.00 , 36.25 และ 40.00 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะจากการทดสอบ และแนวทางการพัฒนาต่อในอนาคต

จากการทดสอบที่ได้จากการศึกษางานวิจัยครั้งนี้สามารถให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมได้ดังนี้

- 5.2.1 ในการออกแบบและเตรียมตัวอย่างคานคองกรีต ควรมีการควบคุมมาตรฐาน และมีผู้ควบคุมทุกขั้นตอน
- 5.2.2 มีการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องเผาหรือตู้อบความร้อน ให้อยู่ในช่วงของการศึกษา
- 5.2.3 การเสริมกำลังโดยใช้วัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนเป็นวิธีเสริมกำลังที่มีประสิทธิภาพ น้ำหนักเบา ลดปัญหาในเรื่องของงานทางสถาปัตยกรรม ซึ่งต้องมีการติดตั้งอย่างถูกวิธีโดยผู้มีประสบการณ์ความเชี่ยวชาญและเข้าใจในขั้นตอนการติดตั้งเป็นผู้ดำเนินการติดตั้งโดยทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- ACI 440.2R-17 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (March,2018)
- ACI 318-08 Building Code - Requirement for Structural Concrete (October,2009)
- Fire Design of Concrete Structures - Structural Behaviors and Assessment (July,2008)
- Circular and Square Concrete Columns Externally Confined by CFRP Composite: Experimental Investigation and Effective Strength Models (Riad Benzaid and Habib-Abdelhak Mesbah) (2013)
- มาตรฐานการฝึกกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย มยพ. 1508-51 กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2551
- การศึกษาเชิงทดสอบคอนกรีตเสริมFRP rebar's ภายใต้แรงอัดในแนวแกน ,สิทธิชัย แสงอาทิตย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- REINFORCED CONCRETE DESIGN ผศ.ดร.มงคล จิรวรรคเดช สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี <http://tunjai.com>
- Experimental study of RC beams strengthened with CFRP under blast loading Chen Wanxiang Yan Shaohua (PLA University of Science and Technology,Nanjing 210007,China)
- การเสริมกำลัง CFRP โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ภาคภูมิ มงคลสังข์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
- การนำวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์ไปใช้ในงานก่อสร้าง <http://www.bhumisiammicropile.com>
- Drkans (ไฟไหม้) <http://drkans.blogspot.com> (๖ มีนาคม ๒๕๕๕)
- วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย – ผลกระทบของสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงต่อพฤติกรรมภายใต้แรงอัดของคอนกรีตที่โอบรัดด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (พินิตา กลิ่นโพธิ์กลาง,จักรพันธ์ เทือกตะ) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ผลของความร้อนต่อกำลังของคอนกรีต ดร.ณรงค์ กุหลาบ มหาลัยขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้ทางวิศวกรรมโยธา เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นให้ผู้อื่นมีสิทธิ์แต่เพียงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 1 กุมภาพันธ์ 2562 โดย ผศ.ดร. จักรพันธ์ เทือกตะภา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย - เสริมกำลัง (STRENGTHENING) คู่มือวิศวกร และช่างเทคนิค
- Durability of plain concrete prism strengthened with galvanized steel mesh and CFRP laminates under harsh environmental conditions (June 2021)
- A comparison among CFRP, GFRP, AFRP, and steel in term of stress strain relationship (Alnatit 2011)
- A New Approach of Shear Connectors to Delay Debonding of CFRP Laminates Used for Shear Strengthening of RC Beams (Mar 2017)
- NUMERICAL ANALYSIS OF RC BEAMS STRENGTHENED WITH PRESTRESSED CFRP LAMINATES (Dec 2016)
- Unbonded CFRP strengthening method for buckling control of steel members Fengky Satria Yoresta , Ryotaro Maruta , Genki Mieda , Yukihiro Matsumoto
Department of Architecture and Civil Engineering, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Aichi 441-8580, Japan
Bogor Agricultural University, Bogor 16680, Indonesia
Received 24 September 2019, Revised 25 December 2019, Accepted 2 January 2020,
Available online 4 February 2020.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.