

พฤติกรรมรับแรงอัดของทรงกระบอกคอนกรีตที่เสียหายจากไฟช้อมแซมด้วย
แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน

นายศุภณัฐ วุ่นประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

COMPRESSIVE BEHAVIOR OF FIRE-DAMAGED CONCRETE CYLINDERS REPAIRED
WITH CARBON FIBER-REINFORCED POLYMER SHEETS

MR. SUPANAT WOONPRASERT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมรับแรงอัดของทรงกระบอกคอนกรีตที่เสียหายจากไฟช็อตแฉกด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน
โดย	นายศุภณัฐ วุ่นประเสริฐ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อัครวัชร เล่นวารี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. จรุง รุ่งอมรรัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติตรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. อัครวัชร เล่นวารี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. จรุง รุ่งอมรรัตน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สุพัฒน์ สุวรรณการ)

ศุภณัฐ วุ่นประเสริฐ : พฤติกรรมรับแรงอัดของทรงกระบอกคอนกรีตที่เสียหายจากไฟ
 ช่มแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (COMPRESSIVE BEHAVIOR OF
 FIRE-DAMAGED CONCRETE CYLINDERS REPAIRED WITH CARBON FIBER-
 REINFORCED POLYMER SHEETS), อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:

รศ.ดร.อัศววัชร เล่นวารี, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ.ดร.จตุฎ รุ่งอมรรัตน์ 139
 หน้า.

งานวิจัยได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาไฟต่อพฤติกรรมรับ
 แรงอัดของทรงกระบอกคอนกรีตมาตรฐาน ก่อนและหลังการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริม
 เส้นใยคาร์บอน รวมถึงศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองที่มีอยู่ในปัจจุบันและในการทำนาย
 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับค่าความเครียดอัดประลัย จากผลการทดสอบว่าอุณหภูมิ
 และระยะเวลาในการเผาไฟส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตทรงกระบอก โดยการเผาที่
 อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง กำลังรับแรงอัดลดลงสูงสุด 67 % ค่าโมดูลัส
 ยืดหยุ่นลดลงสูงสุด 95 % ค่าความเครียดอัดประลัยเพิ่มขึ้นสูงสุด 5.1 เท่าเมื่อเทียบกับคอนกรีต
 ที่ไม่ได้ถูกเผาไฟ การซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนสามารถช่วยเพิ่มกำลังรับ
 แรงอัดและค่าความเครียดประลัยของคอนกรีตที่ถูกโอบรัด 3.8 เท่า และ 8.7 เท่า ตามลำดับ
 รวมถึงพบว่าแบบจำลองทำนายกำลังรับแรงอัดของ Bisby และคณะ(2011) ให้ค่าที่ปลอดภัย
 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 กิโลกรัม
 ต่อตารางเซนติเมตรมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 2.4%, 12%, 24% และ 44% ที่
 อุณหภูมิห้อง, 300 องศาเซลเซียส(120 นาที), 500 องศาเซลเซียส(120 นาที), 700 องศา
 เซลเซียส(120 นาที) ตามลำดับ คอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 กิโลกรัมต่อตาราง
 เซนติเมตรมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 11%, 23%, 17% และ 44% ที่อุณหภูมิห้อง, 300
 องศาเซลเซียส(120 นาที), 500 องศาเซลเซียส(120 นาที), 700 องศาเซลเซียส(120 นาที)
 ตามลำดับ คอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรมี
 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 13%, 1%, 17% และ 29% ที่อุณหภูมิห้อง, 300 องศาเซลเซียส
 (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส(120 นาที), 700 องศาเซลเซียส(120 นาที) ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2555..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5370579221 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : REPAIR / FIRE DAMAGE / CONCRETE / CARBON FIBER REINFORCED
POLYMER / CONFINEMENT

SUPANAT WOONPRASERT: COMPRESSIVE BEHAVIOR OF FIRE-DAMAGED
CONCRETE CYLINDERS REPAIRED WITH CARBON FIBER-REINFORCED
POLYMER SHEETS ADVISOR: ASSOC.PROF.AKHRAWAT LENWARI, PH.D.,
CO-ADVISOR ASSOC PROF JAROON RUNGAMORN RAT, PH.D., 139 pp.

This research investigates the effects of exposed temperature and duration on compressive behavior of standard concrete cylinders before and after repaired with carbon fiber-reinforced polymer sheets. In addition, the applicability of existing models for predicting the stress and strain relationship is examined. The experimental results show that the exposed temperature and duration affect the mechanical properties of the concrete cylinders. At 700c (3 hours), the compressive strength decreases by 67%, the elastic modulus decreases by 95% and ultimate axial strain increases by 5.1 times compared with those of undamaged concrete cylinders. In addition, The CFRP repair can increase the compressive strength and ultimate axial strain by 3.8 and 8.7 times compared with unconfined ones; respectively. The compressive strength predicted from the model by Bisby et al.(2011) is found to be safe. For Concrete with designated compressive strength of 200 ksc, The differences are 2.4%, 12%, 24% and 44% at room temperature, 300C(2 hours), 500C(2 hours), 700C(2 hours); respectively. For Concrete with designated compressive strength at 350 ksc, The difference are 11%, 23%, 17% and 44% at room temperature, 300C(2 hours), 500C(2 hours), 700C(2 hours); respectively. For concrete with designated compressive strength at 500 ksc, The difference are 13%, 1%, 17% and 29% at room temperature, 300C(2 hours), 500C(2 hours), 700C(2 hours); respectively.

Department : ...Civil Engineering..... Student's Signature

Field of Study : ...Civil Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year : 2012..... Co-Advisor Signature

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อัครวัชร เล่นวารี ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ จรุง รุ่งอมรรัตน์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ แนวทางการดำเนินงาน และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย ทำให้งานวิจัย สำเร็จลุล่วงได้ อีกทั้งขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติ ที่รับเป็นประธาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ดร. สุพัฒน์ สุวรรณการ ที่ให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำที่ดี ตลอดมา

ขอขอบคุณนายสมพงษ์ ขำแจ้ง เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการหน่วยทดสอบ และเจ้าหน้าที่ทุกคนที่ช่วยในการดำเนินการทดสอบในงานวิจัย ขอขอบคุณนายภาณุพงศ์ บุญเป็นนิमित ตลอดจนเพื่อนนิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโครงสร้างที่ช่วยดำเนินการทดสอบตลอดมา และขอขอบคุณ บริษัท ชีก้า (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุ CFRP และซ่อมแซม ตัวอย่างทดสอบภายหลังการเผาไฟในการทดสอบ

สุดท้ายนี้กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจในการทำงานและสนับสนุน ในด้านการศึกษา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมรับแรงอัดของเสาคอนกรีตที่เสริม กำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย.....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของไฟที่มีต่อคอนกรีต.....	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของ FRP ในการซ่อมแซมเสา..... คอนกรีตที่เสียหายจากการเผาไฟ.....	10
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	17
3.1 การเสริมกำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามแนวทาง ของ ACI440.2R-08.....	17
3.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต.....	18
3.3 สมการเสริมกำลังที่เสนอโดย Bisby และคณะ (2011).....	22

	หน้า
บทที่ 4 รายละเอียดการทดสอบ.....	24
4.1 ตัวแปรที่ศึกษา.....	24
4.2 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ.....	25
4.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....	28
4.3.1 การหล่อและการบ่มชิ้นงานทรงกระบอกคอนกรีต.....	28
4.3.2 ลักษณะของเตาและวิธีการเผา.....	30
4.3.3 การเย็นตัวของชิ้นงานหลังการเผา.....	34
4.3.4 การซ่อมแซมชิ้นงานที่เสียหายจากไฟและการติดตั้งแผ่น.....	
คาร์บอนไฟเบอร์.....	34
4.4 วิธีการทดสอบรับแรงอัดของชิ้นงาน.....	36
4.5 การศึกษาพฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบ.....	37
บทที่ 5 ผลการทดสอบ.....	38
5.1 รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ.....	38
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดตามแนวแกน.....	
และความเครียดตามแนวเส้นรอบวง.....	49
5.2.1 คอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 กิโลกรัม	
ต่อตารางเซนติเมตร.....	49
5.2.2 คอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 กิโลกรัม.....	
ต่อตารางเซนติเมตร.....	62
5.2.3 คอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 กิโลกรัม	
ต่อตารางเซนติเมตร.....	78
บทที่ 6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	91
6.1 พฤติกรรมของคอนกรีตที่ไม่ได้ถูกโอบรัดภายหลังการเผาไฟ.....	91
6.1.1 ผลของไฟที่มีต่อคุณสมบัติคอนกรีตที่ไม่ได้ถูกโอบรัด.....	91
6.1.2 ผลของกำลังรับแรงอัดคอนกรีต.....	94

	หน้า
6.1.3 ผลของการเย็นตัวลงด้วยน้ำภายหลังเผาไฟ.....	96
6.2 พฤติกรรมของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP.....	98
6.2.1 อิทธิพลของการโอบรัดด้วย CFRP ต่อคุณสมบัติ.....	
คอนกรีตภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างกัน.....	98
6.2.2 อิทธิพลของการโอบรัดด้วย CFRP ต่อคุณสมบัติ.....	
คอนกรีตภายหลังการเผาไฟที่กำลังรับแรงอัดต่างกัน.....	101
6.2.3 อิทธิพลของการโอบรัดด้วย CFRP ต่อคุณสมบัติ.....	
คอนกรีตที่เย็นลงด้วยน้ำภายหลังการเผาไฟ.....	103
6.2.4 อิทธิพลของการโอบรัดด้วย CFRP เปรียบเทียบกับคอนกรีต. ที่ไม่ถูกเผาไฟ.....	107
6.3 อิทธิพลของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบ.....	109
บทที่ 7 การศึกษาความเหมาะสมแบบจำลองของ Bisby และคณะ (2011).....	112
7.1 เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบ.....	112
7.2 สรุปผลการศึกษาแบบจำลองของ Bisby และคณะ (2011).....	120
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัย.....	121
8.1 สรุปผลการวิจัย.....	121
รายการอ้างอิง.....	124
ภาคผนวก ก : รูปภาพแสดงการวิบัติของชิ้นงานทดสอบ.....	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	139

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การออกแบบจำนวนตัวอย่างของ Xiao และ Wu.....	3
2.2 อัตราส่วนผสมคอนกรีตของ Xiao และ Wu.....	4
2.3 คุณสมบัติตัวอย่างทดสอบของ Yaqub และ Bailey.....	11
4.1 จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ.....	25
4.2 ลักษณะการออกแบบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200.....	26
กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร.....	
4.3 ลักษณะการออกแบบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350.....	26
กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร.....	
4.4 ลักษณะการออกแบบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 500.....	27
กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร.....	
4.5 ส่วนผสมคอนกรีตปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร.....	28
5.1 รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ.....	39
7.1 การเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบคอนกรีต 200 กก./ตร.ซม....	118
7.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบคอนกรีต 350 กก./ตร.ซม....	119
7.3 การเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบคอนกรีต 500 กก./ตร.ซม....	119

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การติดตั้งและการทดสอบชิ้นงาน.....	4
2.2	ผลการทดสอบของ Xiao และ Wu.....	5
2.3	ลักษณะการวิบัติของ Xiao และ Wu.....	6
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ถูก..... โอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย เสนอโดย Lam และ Teng.....	7
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ถูก..... โอบรัดเสนอโดย Lam และ Teng.....	8
2.6	การวิบัติของเสาคอนกรีตภายหลังการซ่อมแซมด้วย CFRP และ ปูนอิพ็อกซีเรซินของ Yaqub และ Bailey.....	12
2.7	รายละเอียดของคอนกรีต ลักษณะการเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และลักษณะ... การติด FRP.....	13
2.8	การบันทึกกราฟเวลากับอุณหภูมิของการให้ความร้อนเตาไฟฟ้า.....	14
2.9	ความสัมพันธ์ของความเค้นอัดตามแนวแกนกับความเครียดของ..... คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดต่างกัน.....	14
2.10	ผลของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นของคอนกรีตที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 องศา.. เซลเซียส และไม่ถูกเผาไฟ ถูกโอบรัดโดย FRP	15
2.11	ผลของการทำนายของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ทั้งมีการโอบรัดและไม่ถูก... โอบรัดของคอนกรีตที่เสียหายจากไฟที่อุณหภูมิต่างๆกัน.....	16
3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่อุณหภูมิต่างๆ.....	19
3.2	ความสัมพันธ์ของการลดลงของหน่วยแรงอัดกับอุณหภูมิ.....	20
3.3	การลดลงของหน่วยแรงอัดและอุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบ.....	20
3.4	การลดลงของโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นและอุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบ...	21
4.1	ลักษณะการหุ้ม CFRP แบบเป็นแถบ.....	24

ภาพที่	หน้า	
4.2	ลักษณะชิ้นงานและตำแหน่งของตัววัดอุณหภูมิในชิ้นงาน.....	25
4.3	การหล่อชิ้นงาน.....	28
4.4	ลักษณะการบ่มชิ้นงานด้วยการพันแผ่นพลาสติก.....	29
4.5	เตาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน.....	29
4.6	เตาทดสอบเผาไฟ.....	30
4.7	ลักษณะการติดตั้งชิ้นวางชิ้นงานที่ออกแบบ.....	30
4.8	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตากับอุณหภูมิภายในชิ้นงาน.....	32
4.9	การฉีดน้ำหลังการเผาไฟ.....	34
4.10	การติดตั้งแผ่น CFRP	35
4.11	ชิ้นงานภายหลังการติดตั้งด้วย CFRP.....	35
4.12	เครื่องทดสอบและการติดตั้ง LVDT.....	36
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัด 200 ksc.....	49
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัด 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดย..... อุณหภูมิห้อง.....	53
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัดประลัย 200 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังเผาไฟและเย็นน้ำ.....	56
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัดประลัย 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลง ด้วยน้ำ.....	59
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัด 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดย..... อุณหภูมิห้อง.....	62

ภาพที่	หน้า
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ ... แรงอัด 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลง..... โดยอุณหภูมิต่ำ.....	66
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัด 350 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังเผาไฟและเย็นตัวลงด้วยน้ำ.....	69
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัด 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วย..... น้ำ.....	72
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัด 350 ksc ที่นำไปอบก่อนถูกโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบ.....	75
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัด 350 ksc ที่ไม่ได้อบก่อนถูกโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบ.....	76
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัด 350 ksc ที่ไม่ได้อบก่อนถูกโอบรัดด้วย CFRP 2 ชั้น.....	77
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดย..... อุณหภูมิต่ำ.....	78
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัดประลัย 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลง.. โดยอุณหภูมิต่ำ.....	82
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัดประลัย 500 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ....	85
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับ.... แรงอัดประลัย 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลง.. ด้วยน้ำ.....	88

ภาพที่	หน้า
6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดสัมพันธ์กับอุณหภูมิ.....	91
6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิ.....	92
6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ.....	93
6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยสัมพันธ์กับคอนกรีตกำลังรับแรงอัด .. ต่างๆ.....	94
6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพันธ์กับคอนกรีตกำลังรับแรงอัด... ต่างๆ.....	95
6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยสัมพันธ์กับคอนกรีตกำลังรับ..... แรงอัดต่างๆ.....	95
6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ.....	96
6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัดด้วย..... CFRP กับอุณหภูมิ.....	95
6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัดด้วย. CFRP กับอุณหภูมิ.....	99
6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัดด้วย CFRP กับอุณหภูมิ.....	100
6.11 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับแรงอัดสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัด CFRP กับ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต.....	101
6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยเนื่องจากการโอบรัดด้วย CFRP กับ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต.....	102
6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัดด้วย CFRP กับ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต.....	103
6.14 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดเนื่องจากการโอบรัด CFRP กับ..... อุณหภูมิของคอนกรีตที่ทำให้เย็นด้วยน้ำ.....	104

ภาพที่	หน้า
6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยสัมพันธ์จากการโอบรัดด้วย CFRP อุณหภูมิ.....	105
6.16 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัดของ CFRP กับอุณหภูมิ.....	106
6.17 กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อโอบรัดด้วย CFRP ของคอนกรีต 20 ksc.....	107
6.18 กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อโอบรัดด้วย CFRP ของคอนกรีต 35 ksc.....	107
6.19 กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อโอบรัดด้วย CFRP ของคอนกรีต 50 ksc.....	108
6.20 เปอร์เซ็นต์ของค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นของการโอบรัดด้วย CFRP.....	109
6.21 เปอร์เซ็นต์ค่าความเครียดประลัยที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP.....	110
6.22 เปรียบเทียบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชิ้นงานที่ลักษณะการพัน CFRP ต่างกัน	110
7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบ..... เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Bisby และคณะ ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 20 MPa.....	112
7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบ..... เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Bisby และคณะ ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 35 MPa.....	114
7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบ..... เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Bisby และคณะ ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 50 MPa.....	116

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา

ปัจจุบันมีอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับอาคารเกิดขึ้นบ่อยครั้ง เช่น การเกิดเพลิงไหม้ เมื่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับเพลิงไหม้ จะสูญเสียกำลังทั้งในส่วนตัวคอนกรีตเอง ตลอดจนแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตโดยส่งผลต่อโครงสร้างเสามีความสามารถในการต้านทานแรงกดลงจนนำไปสู่การวิบัติของโครงสร้างซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของวิศวกรที่จะออกแบบเสริมกำลังและซ่อมแซมองค์อาคารหลังเกิดเพลิงไหม้

งานวิจัยนี้ได้ศึกษา การเพิ่มสมรรถนะของเสาคอนกรีตสั้น ซึ่งเสาส่วนใหญ่ในอาคารของประเทศไทยเป็นเสาสั้น โดยใช้วัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย FRP (fiber-reinforced polymers) ซึ่งสามารถใช้ในการซ่อมแซมหรือพัฒนากำลังรับแรงของโครงสร้างที่เสื่อมถอยลง หรือ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักในโครงสร้าง ทั้งจากจุดประสงค์การใช้งานของโครงสร้างที่เปลี่ยนไป หรือแก้ไข การออกแบบโครงสร้างที่ผิดพลาดได้ โดยเป็นหนึ่งในทางเลือกของวิศวกร มาช่วยในการเสริมกำลังของเสาสั้นหลังจากโดนเผาไฟโดยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย จะทำหน้าที่โอบรัดโดยรอบเสา ลักษณะการหุ้มคือ ให้เส้นใยรับแรงตั้งฉากกับแรงอัดตามแนวแกนของเสา เส้นใยจะช่วยต้านทานการขยายตัวและลดความเครียดทางด้านข้างทำให้เสามีความสามารถรับแรงอัดตามแนวแกนได้มากขึ้น และเพิ่มความเหนียวของวัสดุ โดยมีผลในการชะลอการวิบัติของเสาขณะเกิดเพลิงไหม้และใช้ซ่อมแซมเพิ่มความสามารถการรับแรงหลังเกิดเพลิงไหม้ได้

โดยงานวิจัยในอดีตได้มีการพัฒนาแบบจำลองโดยสามารถทำนายพฤติกรรมรับแรงอัดของคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยภายหลังการเผาไฟ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลอง พร้อมข้อเสนอแนะเพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ และเวลาในการเผาไฟต่อพฤติกรรมรับแรงอัดของ ทรวงกระบอกคอนกรีตมาตรฐาน
2. ศึกษาพฤติกรรมรับแรงอัดของทรวงกระบอกคอนกรีตมาตรฐาน ที่ซ่อมแซมด้วยแผ่น พอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน
3. ศึกษาความเหมาะสมแบบจำลองที่มีอยู่ในปัจจุบันในการทำนายพฤติกรรมของ ทรวงกระบอกคอนกรีตมาตรฐาน ที่เสียหายจากไฟซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย คาร์บอน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. คอนกรีตรูปทรวงกระบอกคอนกรีตมาตรฐานเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
2. พฤติกรรมรับแรงอัดประกอบด้วยความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัว ของคอนกรีตของคอนกรีต ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการยืดตัวในแนว เส้นรอบวงของวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย กำลังรับแรงอัด อิลาสติกโมดูลัส ความเหนียว และรูปแบบการวิบัติ
3. เครื่องมือทดสอบแบบใช้อัตราการเปลี่ยนตำแหน่ง
4. ชนิดของ CFRP คือ SikaWrap[®] -230C/60 (with Sikadur[®] -330)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจอิทธิพลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมรับแรงอัดของทรวงกระบอกคอนกรีต
2. เข้าใจพฤติกรรมรับแรงอัดทรวงกระบอกคอนกรีตภายหลังเผาไฟ
3. ทราบขอบเขตความเหมาะสมของแบบจำลองทำนายกำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีตสั้นที่ ถูกเผาไฟ ภายหลังซ่อมแซมด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย
4. เข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีตสั้น

บทที่ 2

งานวิจัยที่ผ่านมา

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการรับแรงอัดของเสาคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยวัสดุแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

Xiao และ Wu[1] ได้ทำการทดสอบและศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐานขนาดมาตรฐาน (6x12) นิ้ว จำนวน 36 ตัวอย่าง โดยมีการออกแบบตัวแปรคือ 1.การหุ้มหรือไม่หุ้ม CFRP 2.กำลังอัดของคอนกรีต 3 ระดับ 3.จำนวนชั้นการหุ้ม CFRP ตั้งแต่ 1-3ชั้น ดังแสดงในตารางการออกแบบจำนวนตัวอย่างตารางที่ 2.1โดยมีการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้ได้ค่ากำลังอัดของคอนกรีต 3 ระดับ ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1การออกแบบจำนวนตัวอย่าง (Xiao และ Wu [1])

ชนิดของแผ่นพอลิเมอร์	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	จำนวนชั้นของพอลิเมอร์	จำนวนชั้นตัวอย่าง
แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์พอลิเมอร์	ต่ำ	ไม่หุ้ม	ตัวอย่างละ 3 ชั้นงาน
		1 ชั้น	
		2 ชั้น	
	ปานกลาง	ไม่หุ้ม	
		1 ชั้น	
		2 ชั้น	
	สูง	ไม่หุ้ม	
		1 ชั้น	
		2 ชั้น	

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนผสมคอนกรีต (Xiao และ Wu [1])

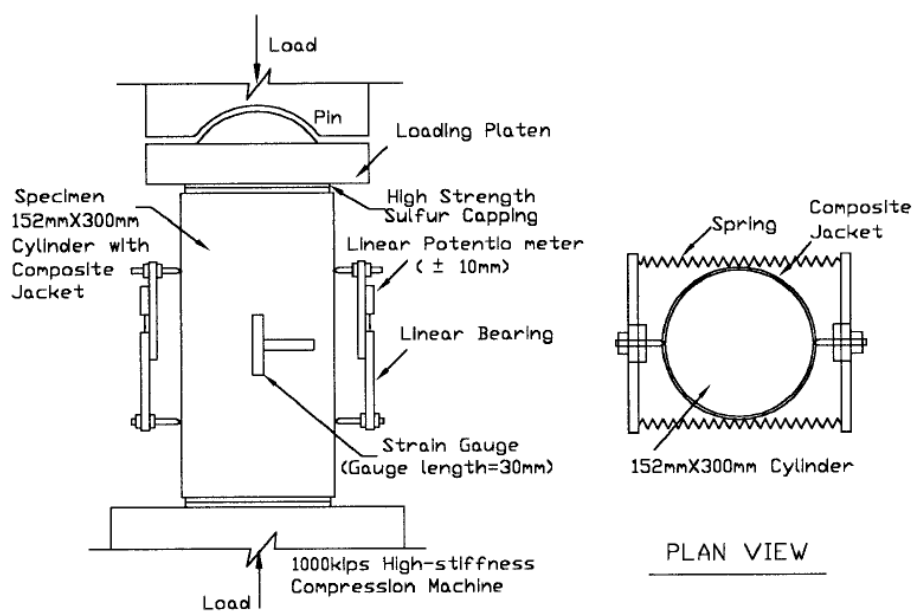
ชุด	กำลังรับแรงอัด (เมกกะ ปาสคาล)	อัตราส่วน น้ำต่อ ซีเมนต์	น้ำ (ก.ก./ลบ.ม)	ซีเมนต์ (ก.ก./ลบ.ม)	ทราย (ก.ก./ลบ.ม)	หิน (ก.ก./ลบ.ม)
S	33.7	0.68	196	288	1,087	853
M	43.8	0.48	196	408	986	853
L	55.2	0.38	197	515	857	853

จากนั้นได้ทำการติด CFRP jacket โดยใช้กาวยึดที่ทาที่ผิวคอนกรีตของชิ้นงานก่อน แล้วจึงติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ตามจำนวนชั้นที่ออกแบบโดยแต่ละชั้นต้องทาภาวยึดที่ประสานส่วนสำคัญคือต้องติดตั้ง ให้แนวการเรียงตัวของเส้นใยไฟเบอร์เป็นแนวรับแรงการขยายตัวของคอนกรีตด้านข้างในแนวตั้งฉากกับแนวแรงอัด

คุณสมบัติของ CFRP ที่นำมาติดตั้งมีดังนี้ 1. ความหนาต่อ 1 ชั้น 0.381 มิลลิเมตร

2. โมดูลัสของวัสดุ 1.05×10^{11} กิโลกรัมต่อตร.ซม.

จากนั้นจึงทำการติดตั้งชิ้นงานและทดสอบดังแสดงใน รูปที่ 2.1

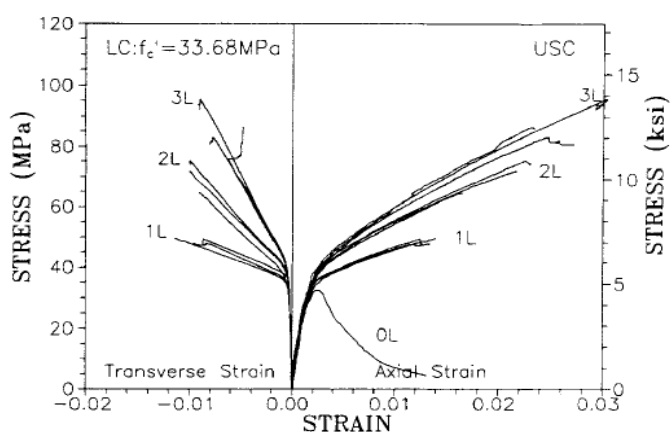


ภาพที่ 2.1 การติดตั้งและทดสอบชิ้นงาน (Xiao และ Wu [1])

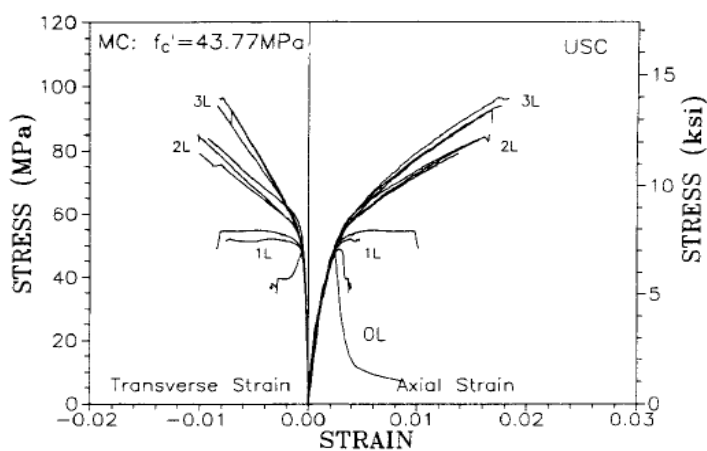
จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

การหุ้มด้วย CFRP ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดและความเหนียวของคอนกรีต ยิ่งจำนวนชั้นที่หุ้มมาก ยิ่งงานยังสามารถรับความเครียดได้มากขึ้น และอัตราส่วนของความเค้นทางด้านข้างของคอนกรีตที่ถูกโอบรัด กับ ความเครียดทางด้านข้างเป็นตัวแปรสำคัญที่สุดที่มีผลต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดและการพังของคอนกรีตที่หุ้มด้วย CFRP ขึ้นอยู่กับ ความเครียดที่จุดแตกกร้าวของ CFRP เป็นสำคัญ

ผลการทดลองแสดงดังกราฟในรูปที่ 2.2(ก),(ข),(ค)ตามค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 3 ระดับ เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ของความเค้นตามแนวแกน กับความเครียดตามแนวแกน และ ความเครียดทางด้านข้างภายหลังการเสริมด้วย CFRP

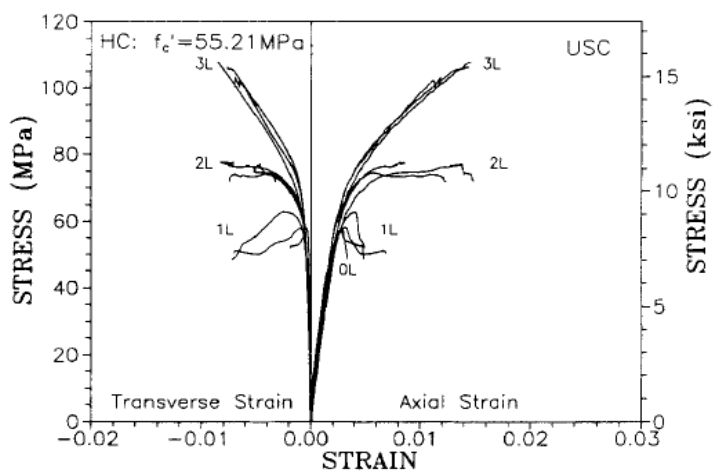


(ก)



(ข)

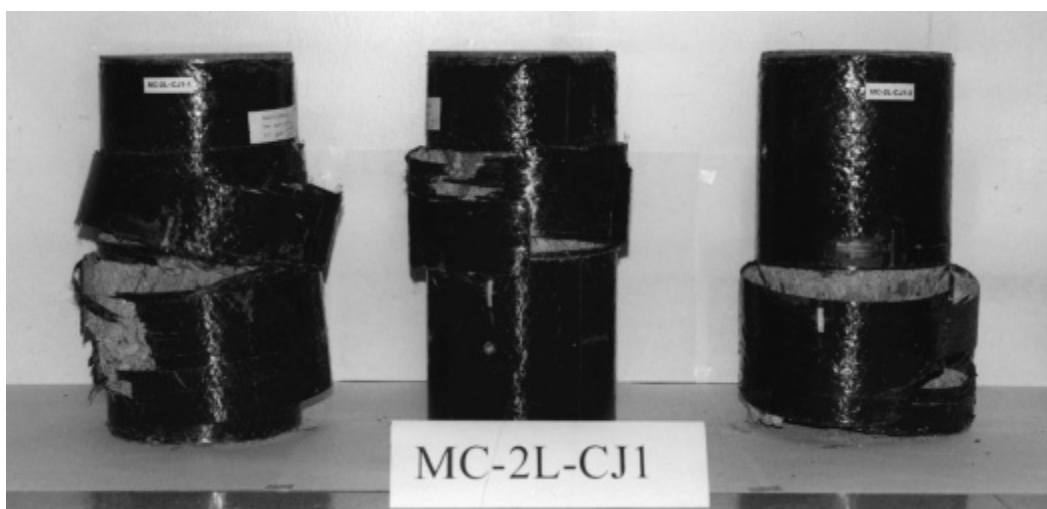
ภาพที่ 2.2 ผลการทดสอบ (Xiao และ Wu [1])



(ค)

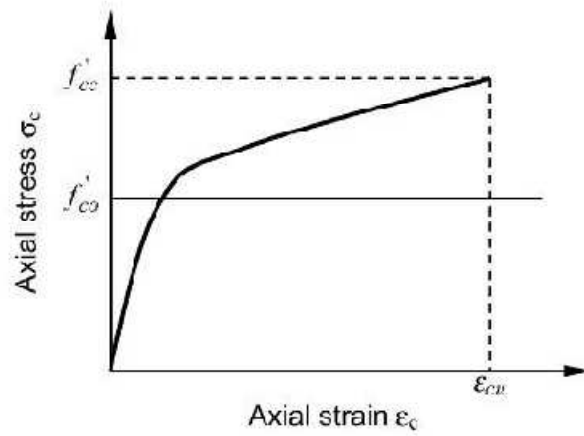
ภาพที่ 2.2(ต่อ)ผลการทดสอบ (Xiao และ Wu [1])

ลักษณะการวิบัติ เป็นไปตามรูปที่ 2.3

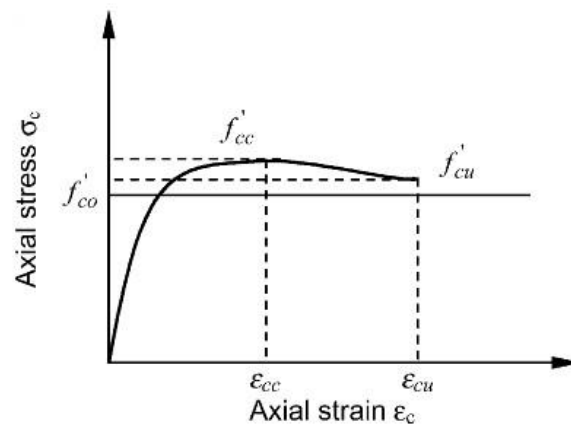


ภาพที่ 2.3ลักษณะการวิบัติ (Xiao และ Wu [1])

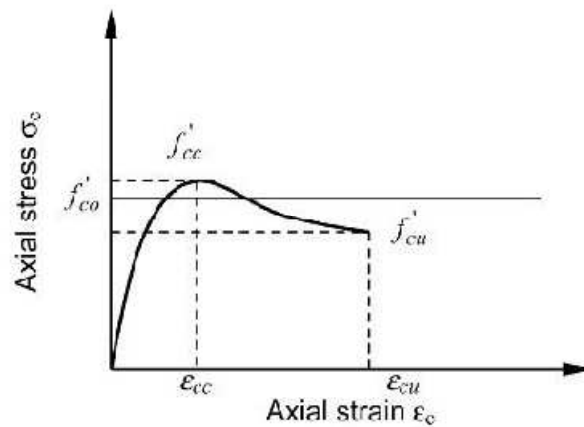
Lam และ Teng [2] ได้รวบรวมข้อมูลผลการทดสอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการทำนายพฤติกรรมของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดแผ่นด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจากการพิจารณาผลการทดสอบพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยสามารถเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะดังภาพที่ 2.4



(ก)รูปแบบเพิ่มขึ้น (Increasing type)



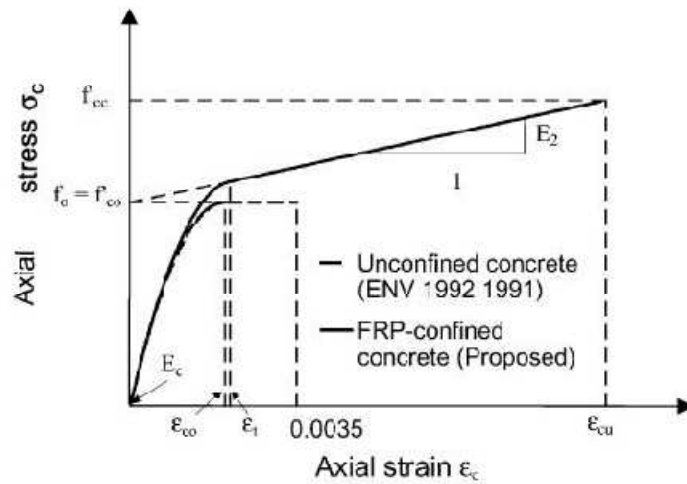
(ข)รูปแบบลดลง (Decreasing type) โดยที่ $f'_{co} < f'_{cu}$



(ค)รูปแบบลดลง (Decreasing type) โดยที่ $f'_{co} > f'_{cu}$

ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่โอบรัด
ด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยซึ่งเสนอโดย Lam และ Teng [2]

Lam และ Teng [2] ได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัวของเสาคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยในรูปแบบเพิ่มขึ้นโดยในช่วงก่อนหน่วยแรงในคอนกรีตถึงค่าประลัยมีความสัมพันธ์ในลักษณะพาราโบลาเกิดจากผลของการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยและเปลี่ยนเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นเมื่อหน่วยการหดตัวเพิ่มขึ้นหลังเกิดค่าดังกล่าวพิกัดของหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวที่เป็นจุดต่อระหว่างความสัมพันธ์ทั้งสองช่วงไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชันเมื่อลากเส้นความสัมพันธ์ในช่วงที่สองไปตัดกับแกนของหน่วยแรงอ่านค่าหน่วยแรงได้เท่ากับหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตและเสามีการวิบัติในขณะที่หน่วยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อถูกโอบรัดจากสมมติฐานดังกล่าวความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวเป็นไปดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ถูกโอบรัด
เสนอโดย Lam และ Teng [2]

Lam และ Teng [2] ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวดังนี้

$$f_c = E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2}{4 f'_{co}} \varepsilon_c^2 \quad (2.1)$$

$$f_c = f'_{co} + E_2 \varepsilon_c \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_t = \frac{2 f'_{co}}{E_c - E_2} \quad (2.3)$$

$$E_2 = \frac{f'_{cc} - f'_{co}}{\varepsilon_{cu}} \quad (2.4)$$

โดยที่	E_2	=	ความชันของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวในช่วงที่สองของความสัมพันธ์ (เมกะปาสคาล)
	f'_{cc}	=	หน่วยแรงอัดประลัยเมื่อคอนกรีตถูกโอบรัด (เมกะปาสคาล)
	f'_{co}	=	หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ไม่ถูกโอบรัด (เมกะปาสคาล)
	ε_t	=	หน่วยการหดตัวส่งผ่าน
	ε_{cu}	=	หน่วยการหดตัวประลัยของคอนกรีต

หน่วยแรงอัดประลัยเมื่อคอนกรีตถูกโอบรัดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.23)

$$f'_{cc} = f'_{co} + 3.3f_l \quad (2.5)$$

หน่วยการหดตัวประลัยของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{co}} = 1.75 + 5.53 \left(\frac{f_l}{f'_{co}} \right) \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_{co}} \right)^{0.45} \quad (2.6)$$

โดยที่	f'_{co}	=	หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ไม่ถูกโอบรัด (เมกะปาสคาล)
	f	=	หน่วยแรงโอบรัด (เมกะปาสคาล)
	ε_{co}	=	หน่วยการหดตัวที่หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ไม่ถูกโอบรัด
	ε_{cu}	=	หน่วยการหดตัวประลัย
	ε_{fe}	=	หน่วยการหดตัวประลัยของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยขณะวิบัติ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของไฟที่มีต่อคุณสมบัติคอนกรีต

ทรงเกียรติ หาญสันติ[3]ศึกษาผลของระยะเวลาที่เผาไฟที่มีต่อค่ากำลังอัดของชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการเจาะ (Coring) คอนกรีตพฤติกรรมการรับแรงดึงของเหล็กเสริมค่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมพฤติกรรมการรับแรงเฉือนและแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กและความเหมาะสมในการประเมินความเสียหายของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหลังเผาไฟด้วยการทดสอบแบบไม่ทำลาย โดยจำลองสภาพไฟไหม้ตามมาตรฐาน ASTM E119[4] ผลการทดสอบสรุปได้ว่า

1. กำลังอัดของลูกคอร์กอนกรีตที่ได้จากการเจาะตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เผาไฟและมีแนวโน้มมีความสัมพันธ์กับค่าความเร็วที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธี Ultrasonic pulse velocity

2. ระยะเวลาคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมมีส่วนสำคัญต่อพฤติกรรมของเหล็กเสริมภายหลังการเผาไฟ เพราะจะช่วยป้องกันความร้อนจากไฟโดยระยะเวลาคอนกรีตหุ้ม 25 มม. ที่ทดสอบสามารถช่วยคงคุณสมบัติกำลังดึงครากและกำลังดึงประลัยหลังเผาไฟให้ลดลงไม่เกิน 5% สำหรับการเผาไฟไม่เกิน 90 นาที และจากการทดสอบพบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นภายหลังเผาไฟไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างนัยสำคัญ
3. กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตหลังเผาไฟมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เผาไฟ โดยเหล็กกลมจะสูญเสียกำลังยึดเหนี่ยวมากกว่าเหล็กข้ออ้อยที่เวลาเผาไฟและระยะเวลาหุ้มคอนกรีตเดียวกัน กำลังยึดเหนี่ยวของเหล็กกลมจะเหลือไม่ถึง 50% หลังจากเผาไฟ 15 นาทีหรือทุกระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมที่ศึกษาและหลังจากเผาไฟ 60 นาทีเหล็กกลมแทบไม่เหลือกำลังยึดเหนี่ยวเลย
4. กำลังเฉือนของคานตัวอย่างทดสอบมีแนวโน้มลดลงประมาณ 10% ทุกๆ 30 นาทีที่เผาไฟ โดยไม่เกิน 60 นาทีเมื่อเทียบกับกำลังเฉือนที่ได้จากข้อกำหนด ACI 318[5]คำนวณจากกำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วันโดยค่ากำลังเฉือนตามข้อกำหนด ACI 318[5]ดังกล่าวยังคงมีดัชนีความปลอดภัยที่ระดับ 1.23 ที่ระยะเวลาเผาไฟ 60 นาที
5. การเผาไฟที่ไม่เกิน 60 นาทีไม่ส่งผลต่อค่าโมเมนต์ครากและโมเมนต์ประลัยของคานตัวอย่างแต่ระยะเวลาในการเผาไฟที่ 90 นาทีค่าโมเมนต์ครากและโมเมนต์ประลัยของคานตัวอย่างที่ทำการศึกษาลดลง 16% และ 15% ตามลำดับ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของ FRP ในการซ่อมแซมเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายจากการเผาไฟ

Yaqub และBailey[6]ได้ศึกษาประสิทธิภาพของFRP ในการซ่อมแซมเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหลังการเผาไฟ โดยหล่อชิ้นงานทดสอบเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. สูง 100 ซม. เสริมเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. 6 เส้น เป็นจำนวนชิ้นงานทดสอบ ทั้งหมด 8 ต้น โดยมีการออกแบบเสาทดสอบตามลักษณะการซ่อมแซม มีทั้งการซ่อมแซมด้วย อิพ็อกซีเรซินมอร์ตาร์ GFRP, CFRP ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และลักษณะการเผา จะทำให้ทั้งผิวของคอนกรีตและแกนกลางของคอนกรีตมีอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเท่ากันทั้งหมดโดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (thermocouples) ในการวัดอุณหภูมิ และจะมีเสาที่เกิดการ

กะเทาะและไม่กะเทาะถ้ามีการกะเทาะ จะซ่อมแซมด้วยอิพ็อกซีเรซินมอร์ตาร์ก่อนนำมาทดสอบ
ภายใต้แรงอัดตามแนวแกน

ตารางที่ 2.3แสดงคุณสมบัติตัวอย่างทดสอบ (Yaqub และ Bailey [6])

ลำดับ	จำนวน ชิ้น ตัวอย่าง	ลักษณะของเสา	ปริมาณ ความชื้น(%)	ซีเมนต์ สติฟเนส (kN/mm)	แรงกระทำ วิบัติ (kN)
1	2	ไม่เผา	-	2715 2794	1439 1397
2	1	หลังจากเผาไม่เกิดการกะเทาะ	3.4	758	826
3	1	หลังจากเผาไม่เกิดการกะเทาะ แล้วติดตั้งแผ่นพอลิ เมอริเสริมเส้นใยแก้ว(Tyfo SHE-51A GFRP)	3.4	548	1834
4	1	หลังจากเผาเกิดการกะเทาะ ซ่อมแซมด้วยอิพ็อกซีเร ซินมอร์ตาร์	3.6	763	946
5	1	หลังจากเผาเกิดการกะเทาะ ซ่อมแซมด้วยอิพ็อกซีเร ซินมอร์ตาร์และติดตั้งแผ่นพอลิเมอริเสริมเส้นใยแก้ว (Tyfo SHE-51A GFRP)	3.8	741	1557
6	1	หลังจากเผาแล้วไม่เกิดการกะเทาะ แล้วติดตั้งแผ่น พอลิเมอริเสริมเส้นใยคาร์บอน (Weber.tec force c-240 CFRP)	3.7	522	1356
7	1	หลังจากเผาเกิดการกะเทาะ ซ่อมแซมด้วยอิพ็อกซีเร ซินมอร์ตาร์และติดตั้งแผ่นพอลิเมอริเสริมเส้นใย คาร์บอน (Tyfo SCH-41 CFRP)	3.8	842	1701

ผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. กำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ลดลงถึง 42% ภายหลังจากเผาไฟจนมีอุณหภูมิถึง 500 องศาเซลเซียส
2. กำลังรับแรงอัดของเสาภายหลังการเผาไฟและซ่อมแซมด้วย GFRP เพิ่มขึ้น 29 % เปรียบเทียบกับเสาที่ไม่ได้เผาไฟ และเพิ่มขึ้นถึง 122% เปรียบเทียบกับเสาภายหลังเผาไฟที่ไม่ได้ซ่อมแซม
3. กำลังรับแรงอัดของเสาที่เกิดการกะเทาะอย่างรุนแรงภายหลังเผาไฟและซ่อมแซมด้วยอิพอกซีเรซินมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น 15% เทียบกับ เสาที่ไม่เกิดการกะเทาะภายหลังการเผาไฟที่ไม่ได้ซ่อมแซม
4. กำลังรับแรงอัดของเสาภายหลังการเผาไฟที่ซ่อมแซมด้วยการหุ้ม CFRP 1 ชั้น มีค่าประมาณเท่ากับเสาก่อนเผาไฟ
5. กำลังรับแรงอัดของเสาที่เกิดการกะเทาะอย่างรุนแรงภายหลังเผาไฟและซ่อมแซมด้วย อิพอกซีเรซินมอร์ตาร์ + GFRP เพิ่มขึ้น 65% เปรียบเทียบกับการไม่ซ่อมแซม
6. กำลังรับแรงอัดของเสาที่เกิดการกะเทาะอย่างรุนแรงภายหลังเผาไฟและซ่อมแซมด้วย อิพอกซีเรซินมอร์ตาร์ + CFRP เพิ่มขึ้น 80% เปรียบเทียบกับการไม่ซ่อมแซม

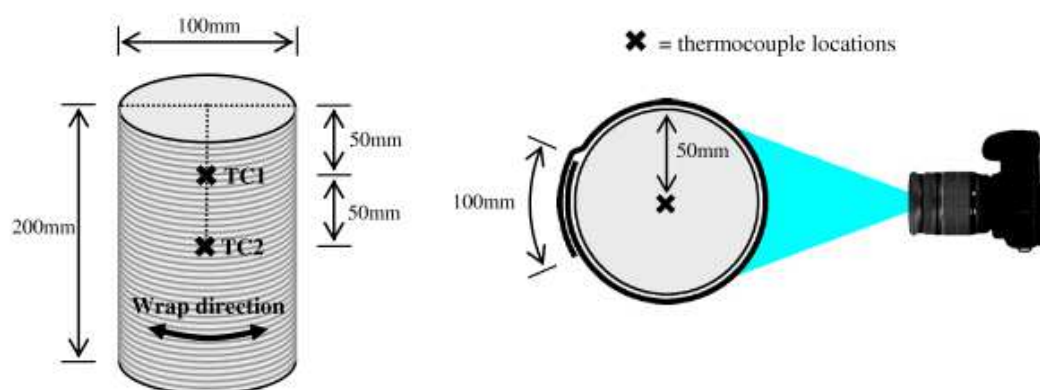
ลักษณะการวิบัติมีหลายแบบตามแต่ละชนิดการซ่อมแซม



ภาพที่ 2.6 การวิบัติของเสาคอนกรีตภายหลังการซ่อมแซมด้วยCFRP และอิพอกซีเรซิน

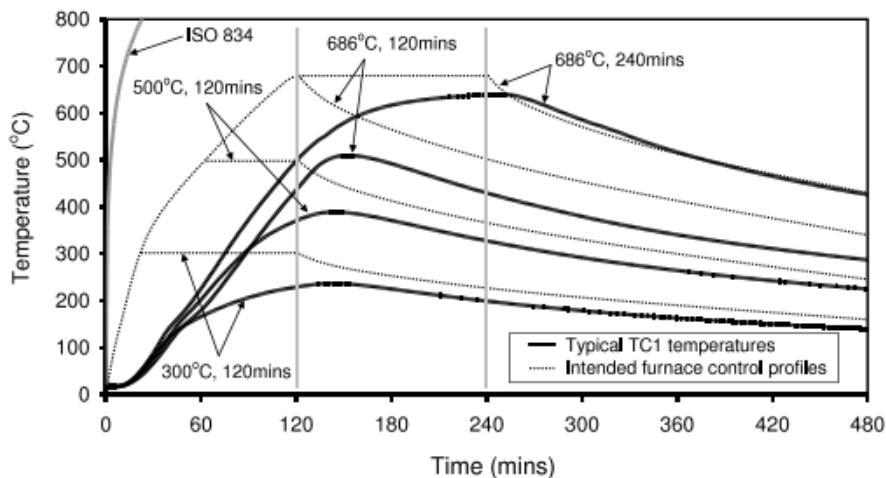
(Yaqub และ Bailey [6])

Bisbyและคณะ [7] ได้ศึกษากำลังรับแรงอัด และพฤติกรรมของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดทั้งแบบเสริมและไม่เสริมกำลังด้วย FRP ของทรงกระบอกคอนกรีตมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. หลังจากถูกความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆกัน โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ อุณหภูมิของภายในของคอนกรีต และระยะเวลาที่ถูกความร้อน และได้ปรับปรุงแบบจำลองสมการของการติด FRP เพื่อที่จะใช้ในการออกแบบกำลังรับแรงของ FRP ในเสาคอนกรีตที่เสียหายจากไฟโดยงานวิจัยนี้ได้มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 2 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 รายละเอียดของคอนกรีต ลักษณะการเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและลักษณะการติด FRP

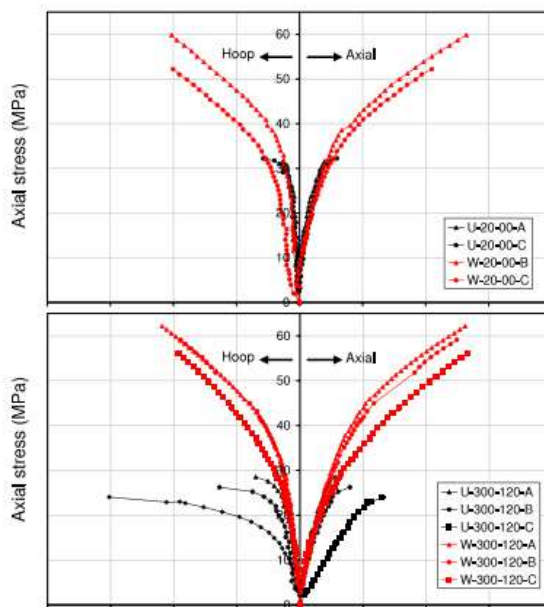
โดยใช้เตาไฟฟ้าเป็นตัวให้อุณหภูมิของคอนกรีต กราฟแสดงลักษณะให้ความร้อนของเตาแสดงดังในรูปที่ 2.8 และอุณหภูมิที่ต้องการ คือ 300 500 และ 686 องศาเซลเซียส และมีระยะเวลาในการให้ความร้อน 120 นาที และมีบางตัวอย่างของอุณหภูมิ 686 องศาเซลเซียส ที่ให้ความร้อนนาน 240 นาที



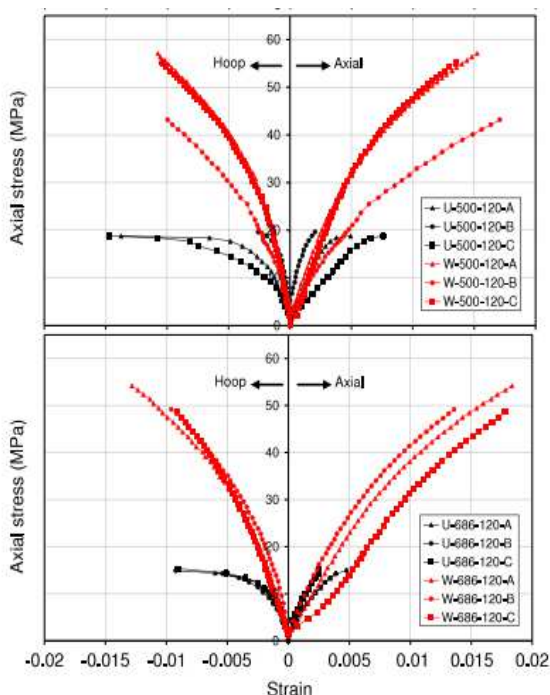
ภาพที่ 2.8 การบันทึกกราฟเวลากับอุณหภูมิของการให้ความร้อนในเตาไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าความร้อนที่มาจากเตาไฟฟ้าไม่สามารถให้ความร้อนเหมือนกับ ISO 834 [8] ที่เป็นไฟมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับทั่วโลก โดยคณะผู้ทำวิจัยได้ให้เหตุผลว่า กราฟของ ISO 834 [8] ก็ไม่สามารถให้ความร้อนได้เทียบเท่ากับของจริงเช่นกัน

ผลการทดลองที่ได้แสดงในภาพที่ 2.9

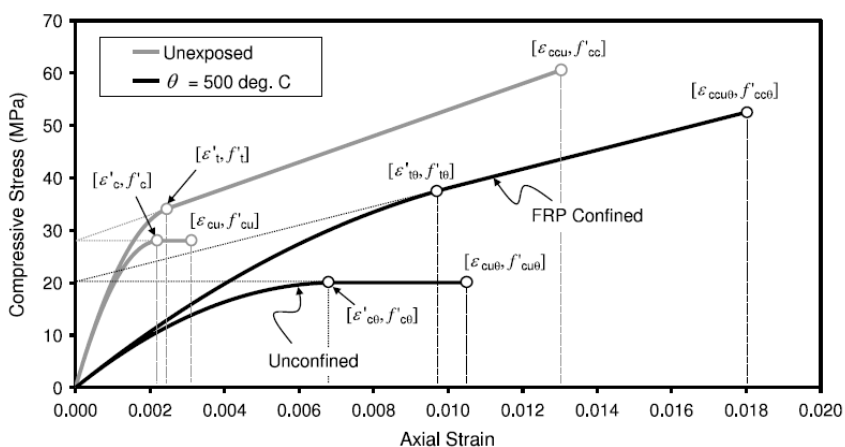


ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของความเค้นตามแนวแกนกับความเครียดของคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดต่างกัน

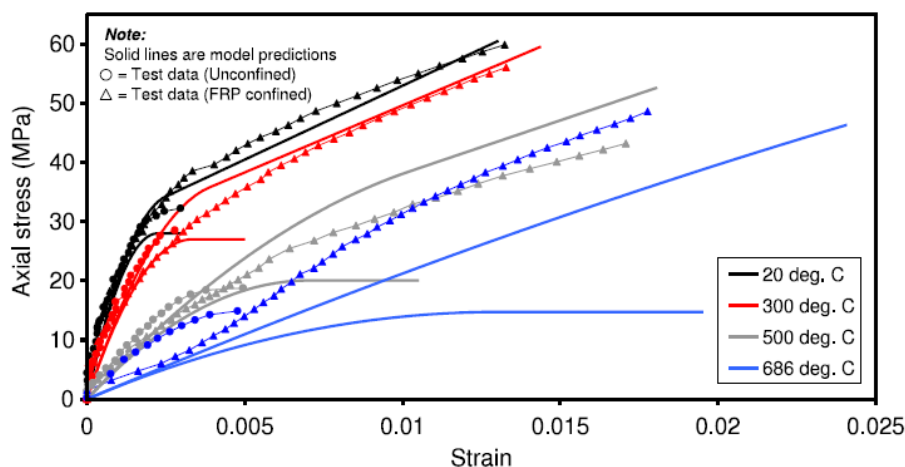


ภาพที่ 2.9(ต่อ) ความสัมพันธ์ของความเค้นตามแนวแกนกับความเครียดของคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดต่างกัน

และคณะวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองต่อจาก ACI 440.2R-08 [9] ที่ได้เสนอแนวทางการออกแบบกำลังรับแรงของคอนกรีตไม่ถูกเผาไฟที่ถูกโอบรัดโดย FRP โดยเมื่อได้ผลการทดสอบของคอนกรีตที่ถูกเผาไฟแล้วและได้นำเสนอสมการที่พิจารณาผลของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดภายหลังถูกเผาไฟโดยแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นเมื่อนำไปทดสอบกับผลการทดสอบได้ผลแสดงดังในรูป



ภาพที่ 2.10 ผลของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นของคอนกรีตที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และไม่ถูกเผาไฟ โดยถูกโอบรัดโดย FRP และถูกโอบรัด



ภาพที่ 2.11 ผลของการทำนายของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ที่มีการโอบรัดและไม่ถูกโอบรัดของคอนกรีตที่เสียหายจากไฟที่อุณหภูมิต่างๆกัน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. การให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันได้ส่งผลกระทบต่อ กำลัง สถิตีเฟนส และความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียด จากการรับแรงอัดหลังถูกทำให้เย็นตัวลงโดยอุณหภูมิห้อง และการลดลงของกำลังรับแรงอัดยังเป็นไปตามงานวิจัยที่ผ่านมา
2. ประสิทธิภาพของแรงยึดเหนี่ยวของ FRP เพื่อเพิ่มกำลังให้กับคอนกรีตที่ถูกไฟเผาแดงแสดงให้เห็นในตัวอย่างที่ถูกความร้อน 700 องศาเซลเซียส โดย FRP ไม่สามารถทำให้ประสิทธิภาพของกำลังของคอนกรีตเทียบเท่ากับคอนกรีตที่ไม่ได้ถูกไฟเผา
3. การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงของคอนกรีตเนื่องมาจาก FRP นั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพพื้นฐานของคอนกรีต และยังเป็นจริงที่เพิ่มความเครียดตามแนวแกนโดยการหุ้มด้วย FRP
4. ได้เพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายผลของแบบจำลอง FRP เพื่อประยุกต์ใช้ในการเสริมสร้างกำลังของเสาคอนกรีตที่เสียหายจากไฟ และได้ผลที่ดีเมื่อเทียบกับผลการทดลอง สามารถนำไปใช้ได้จริง แต่สิ่งที่ต้องระวังคือหลีกเลี่ยงการเกิดแรงใช้งานที่มากเกินไปในเสาที่ติด FRP มันจะทำให้เกิดการวิบัติแบบทันทีทันใด

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การเสริมกำลังรับแรงอัดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามแนวทางของ ACI440.2R-08 [9]

ACI 440.2R-08 [9] ได้ใช้สมการของ Lam และ Teng [2] ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัวของทรงกระบอกคอนกรีตที่โอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเมื่อรับแรงอัดสมการที่ใช้ออกแบบเสาคอนกรีตเสริมกำลังด้วยFRP

กำลังรับแรงอัดตามแนวแกนของเสาแบบปลอกเดี่ยวหาได้จากสมการ

$$\phi P_n = 0.80\phi \left[0.85\psi_f f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right] \quad (3.1)$$

กำลังรับแรงอัดตามแนวแกนของเสาแบบปลอกเกลียวหาได้จากสมการ

$$\phi P_n = 0.85\phi \left[0.85\psi_f f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right] \quad (3.2)$$

โดย	A_g	=	พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีต (ตร.มม)
	A_s	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตามยาว (ตร.มม)
	f'_{cc}	=	หน่วยแรงอัดประลัยเมื่อคอนกรีตถูกโอบรัด (เมกะปาสคาล)
	f_y	=	หน่วยแรงคราก (Yield strength) ของเหล็กเสริม
	P_n	=	กำลังรับแรงอัดระบุ (Nominal compressive load) (นิวตัน)
	ϕ	=	ตัวคูณลดกำลัง (Strength reduction factor) มีค่า 0.65

ซึ่งค่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ถูกโอบรัด โดยหน้าตัดเป็นวงกลม หาได้จากสมการ

$$f'_{cc} = f'_c = \psi_f 3.3\kappa_a f_l \quad (3.3)$$

และค่าแรงดันการโอบรัดจากผลที่เกิด ความเครียดประสิทธิผลมากที่สุดของ FRPหาได้จากสมการ

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D} \quad (3.4)$$

หน่วยการหดตัวประสิทธิผลของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยขณะวิบัติ (ε_{fe})

$$\varepsilon_{fe} = \kappa_\varepsilon \varepsilon_{fu} \quad (3.5)$$

โดย κ_ε = ตัวคูณลดกำลังของความเครียดของ FRP

$$\begin{aligned}
 \psi_f &= \text{ตัวคูณประกอบกำลังของพอลิเมอร์เสริมเส้นใย} \\
 &= 0.95 \\
 E_f &= \text{โมดูลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์เสริมเส้นใย} \\
 &\quad (\text{เมกะปาสคาล}) \\
 t_f &= \text{ความหนาระบุ (Nominal thickness) ของพอลิเมอร์} \\
 &\quad \text{เสริมเส้นใย (มม.)}
 \end{aligned}$$

โดยความเครียดที่มากที่สุดขณะเกิดหน่วยแรงโอบรัด คือ

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon_c' \left(1.50 + 12\kappa_b \frac{f_l}{f_c'} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_c'} \right)^{0.45} \right) \quad (3.6)$$

κ_a และ κ_b คือ ตัวคูณปรับแก้ประสิทธิภาพของหน้าตัด และเท่ากับ 1 เมื่อเป็นหน้าตัดวงกลม อีกทั้งยังมีขอบเขต ความเครียดวิกฤติ จากลักษณะการรับแรงทั้งแรงอัดและแรงเฉือนร่วมกันของ เสาคอนกรีตเสริมเหล็กโดย ความเครียดวิกฤติประสิทธิภาพผลหาได้จากสมการ

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75\varepsilon_{fu} \quad (3.7)$$

กรณีหน้าตัดเป็นวงกลมการใช้วัสดุ FRP หุ้มจะเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการทำงานของ FRP จะโอบรัด ลดการขยายตัวตามแนวรัศมีจากการรับแรงอัด ซึ่งส่วนเส้นใย จะทำงานอย่างเต็มที่

3.2 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ

3.2.1 องค์ประกอบของความเครียด

องค์ประกอบของความเครียดมี 4 ส่วนคือ

$$\varepsilon = \varepsilon_{th(T)} + \varepsilon_{\sigma(\sigma,T)} + \varepsilon_{tr(\sigma,T)} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned}
 \text{โดย } \varepsilon &= \text{ความเครียดทั้งหมด (Total strain)} \\
 \varepsilon_{th} &= \text{ความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal strain)} \\
 \varepsilon_{\sigma} &= \text{ความเครียดเนื่องจากความเค้น (Stress-related strain)} \\
 \varepsilon_{cr} &= \text{ความเครียดจากการคืบของคอนกรีต (Creep strain)} \\
 \varepsilon_{tr} &= \text{ความเครียดชั่วคราว (Transient strain)}
 \end{aligned}$$

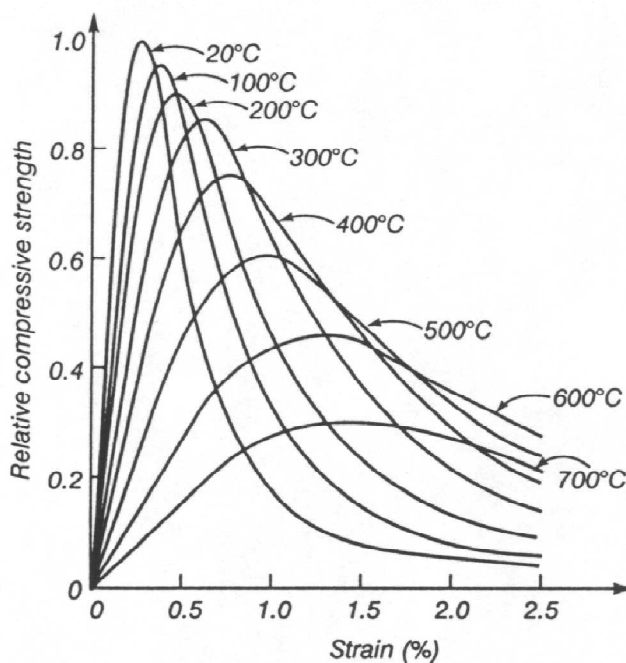
สำหรับโครงสร้างที่ไม่มีความซับซ้อน เช่น คานช่วงเดียว(Simple supported) อาจพิจารณาความเครียดเนื่องจากหน่วยแรงอัดเพียงอย่างเดียว หากโครงสร้างมีความซับซ้อน โดยเฉพาะส่วนที่ต่อเนื่องในโครงสร้างองค์ประกอบของความเครียดอาจนำมาพิจารณาทั้งหมด

ความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิคือ การขยายตัวเนื่องจากผลของอุณหภูมิ การประมาณความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิสามารถใช้ค่าจาก EC2 [10]

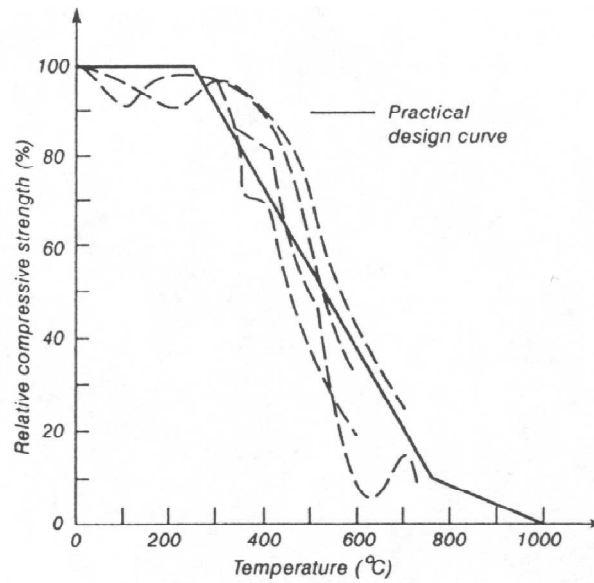
$$\begin{aligned}\varepsilon_{th} &= 18 \times 10^{-6} T_c && \text{สำหรับมวลรวมที่เป็นซิลิกา} \\ \varepsilon_{th} &= 12 \times 10^{-6} T_c && \text{สำหรับมวลรวมที่เป็นหินปูน} \\ \varepsilon_{th} &= 8 \times 10^{-6} T_c && \text{สำหรับคอนกรีตมวลเบา}\end{aligned}\tag{3.9}$$

โดย T_c คือ อุณหภูมิของคอนกรีต

ความเครียดเนื่องจากความเค้น คือ ความเครียดที่เกิดจากการรับแรงอัดโดยคิดรวมทั้งช่วงยืดหยุ่นและช่วงพลาสติกของความเครียดซึ่งจากภาพที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่า หน่วยแรงกดจะลดลงในขณะที่ ความเครียด ณ จุดสูงสุดของความเค้นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเพิ่มขึ้น



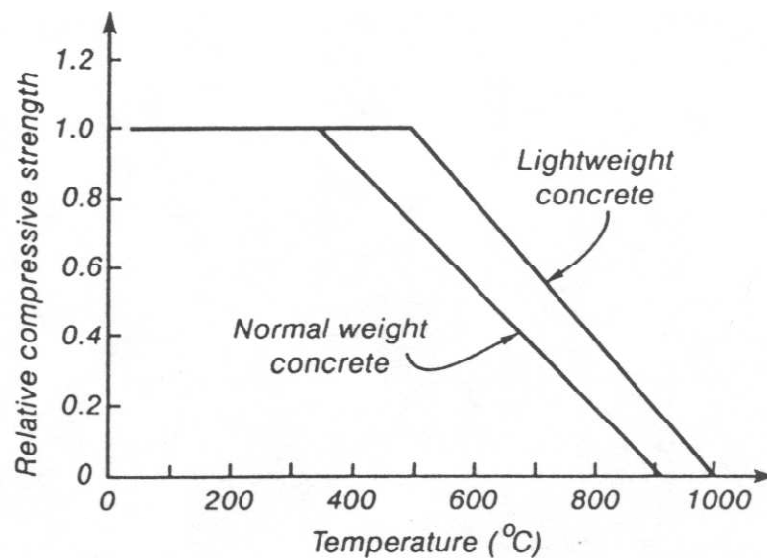
ภาพที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่อุณหภูมิต่างๆ (EC2 [10])



ภาพที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของการลดลงของหน่วยแรงอัดกับอุณหภูมิ(Schneider [11])

3.2.2 ค่าที่ใช้ในการออกแบบ

จากภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่อุณหภูมิต่างๆ จะหาความสัมพันธ์ของการลดลงของหน่วยแรงอัดและอุณหภูมิเพื่อการออกแบบได้ดังนี้

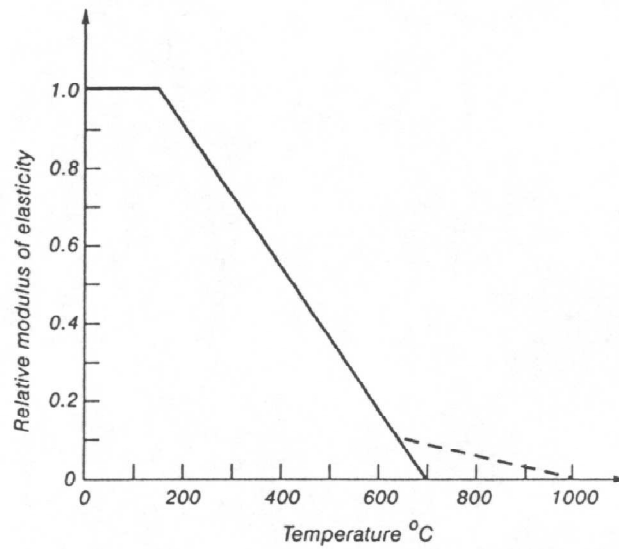


ภาพที่ 3.3 การลดลงของหน่วยแรงอัดและอุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบ (BS 8110[12])

จากภาพที่ 3.3 สำหรับคอนกรีตทั่วไปสามารถเขียนเป็นสมการการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 K_{c,T} &= 1.0 && \text{เมื่อ } T < 350 \text{ องศาเซลเซียส} \\
 K_{c,T} &= (1000 - T) / 500 && \text{เมื่อ } T > 350 \text{ องศาเซลเซียส}
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพบว่าค่าโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นก็ลดลงเช่นกัน



ภาพที่ 3.4 การลดลงของโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นและ อุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบ(BS 8110 [12])

จากภาพที่ 3.4 สำหรับคอนกรีตทั่วไปสามารถเขียนเป็นสมการการได้ดังนี้

$$K_{E,T} = 1.0 \quad \text{เมื่อ } T < 150 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$K_{c,t} = (700 - T) / 550 \quad \text{เมื่อ } T > 150 \text{ องศาเซลเซียส(3.11)}$$

สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น จะทำให้กำลังรับแรงอัด และโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นลดลง และมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อถึงอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส

3.3 สมการเสริมกำลังที่เสนอโดย Bisby และคณะ [7]

Bisby และคณะ [7] ได้นำเสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยวัสดุที่พิจารณาผลของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ θ ต่างๆ ดังนี้

$$f_c = \begin{cases} E_{c\theta}\varepsilon_c - \frac{(E_{c\theta} - E_{2\theta})^2}{4f_c'} \varepsilon_c^2 & ; 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{t\theta}' \\ f_{c\theta}' + E_{2\theta}\varepsilon_c & ; \varepsilon_{t\theta}' \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{ccu\theta} \end{cases} \quad (3.12)$$

$$E_{c\theta} = \frac{2f_{c\theta}'}{\varepsilon_{c\theta}'} \quad (3.13)$$

$$E_{2\theta} = \frac{f_{cc\theta}' - f_{c\theta}'}{\varepsilon_{ccu\theta}} \quad (3.14)$$

$$\varepsilon_{t\theta}' = \frac{2f_{c\theta}'}{E_{c\theta} - E_{2\theta}} \quad (3.15)$$

โดยที่

$$f_{cc\theta}' = f_{c\theta}' + 3.3f_t' \quad (3.16)$$

$$\varepsilon_{ccu} = \frac{1.71(5f_{cc}' - 4f_c')}{E_c} \quad (3.17)$$

$$\varepsilon_{ccu\theta} = \varepsilon_{c\theta}' + (\varepsilon_{ccu} - \varepsilon_c') \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_{cu\theta} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_c'} \varepsilon_{c\theta}' = 1.5\varepsilon_{c\theta}' \quad (3.19)$$

- โดย
- f_c = ความเค้นที่ความเครียดใดๆ
 - $E_{c\theta}$ = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเมื่อได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ θ
 - $E_{2\theta}$ = โมดูลัสยืดหยุ่นในช่วงที่สองของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
 - f_c' = กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต
 - $f_{c\theta}'$ = กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ถูกโอบรัด ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ θ
 - ε_c' = ความเครียดประลัยของคอนกรีต

$\varepsilon'_{cc\theta}$ = ความเครียดประลัยของคอนกรีตที่ถูกโอบรัด ได้รับผลกระทบจาก
อุณหภูมิ θ

$\varepsilon'_{t\theta}$ = ความเครียดส่งผ่านเมื่อได้รับอุณหภูมิ θ

โดยค่า $\varepsilon'_{c\theta}$ มาจากการประมาณจากผลการทดสอบของ Lee และคณะ[13] เขียนเป็น
สมการที่แปรผันตามอุณหภูมิได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{c\theta} &= 0.002 & 0^\circ C \leq \theta \leq 100^\circ C \\ \varepsilon'_{c\theta} &= 0.002 + (0.002 / 300)(\theta - 100) & 100^\circ C \leq \theta \leq 400^\circ C \\ \varepsilon'_{c\theta} &= 0.002 + (0.012 / 400)(\theta - 400) & 400^\circ C \leq \theta \leq 800^\circ C \end{aligned} \quad (3.20)$$

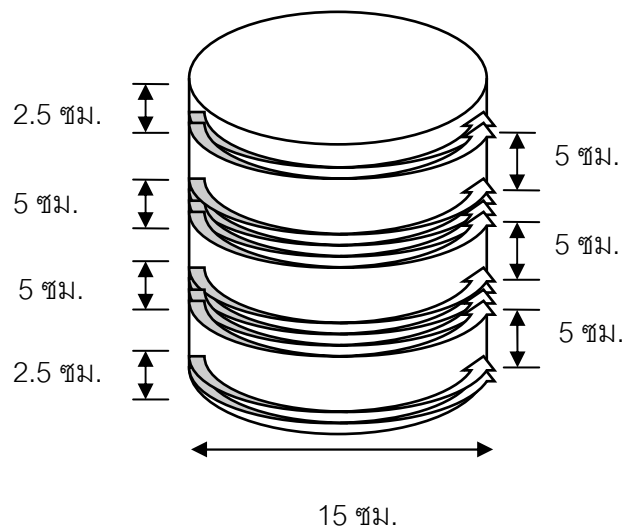
บทที่ 4

รายละเอียดการทดสอบ

4.1 ตัวแปรในการศึกษา

ในการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ซ่อมแซมด้วยแผ่นคาร์บอนเสริมเส้นใยภายหลังการเผาไฟมีตัวแปรที่ใช้ทดสอบดังนี้

1. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน เท่ากับ 200, 350 และ 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2. คุณภาพในเตาเท่ากับ 300, 500 และ 700 องศาเซลเซียส
3. เวลาที่ใช้ในการเผา 120 นาที และ 180 นาที
4. การลดอุณหภูมิหลังจากเผาไฟ หลังจากเผาไฟนำชิ้นตัวอย่างไปแช่น้ำ และ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
5. การนำตัวอย่างไปอบให้แห้งก่อนเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. วิธีการในการซ่อมแซมสำหรับชิ้นตัวอย่างที่นำไปเผาไฟ
 - 6.1 แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน
 - 6.2 ไม้ซ่อมแซม
7. จำนวนชั้นที่หุ้ม FRP ในการซ่อมแซมสำหรับชิ้นตัวอย่างที่นำไปเผาไฟ 1 ชั้น 2 ชั้น และเป็นแถบ ดังภาพที่ 4.1

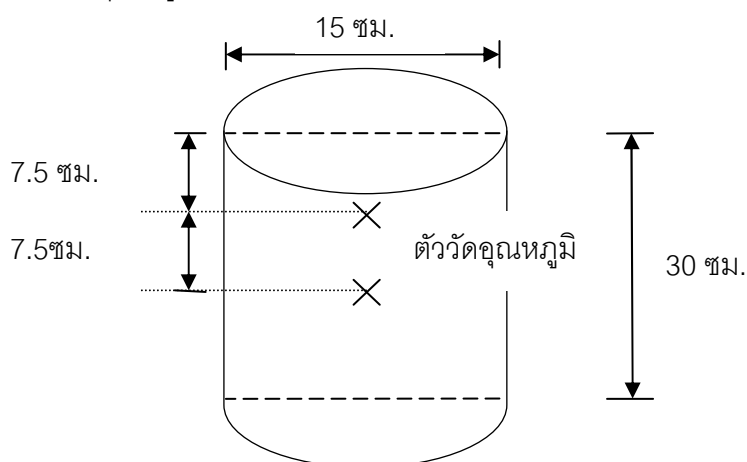


ภาพที่ 4.1 ลักษณะการหุ้ม CFRP แบบเป็นแถบ

4.2 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมรับแรงอัดของทรงกระบอกคอนกรีตที่ซ่อมแซมด้วยแผ่น CFRP ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ กัน โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบที่ 28 วัน เท่ากับ 200 350 และ 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จำนวนทั้งหมดรวม 192 ชิ้นงาน

ลักษณะชิ้นงานมีลักษณะเป็นทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM C192[14] มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร และในบางชิ้นงานได้มีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) เพื่อวัดอุณหภูมิขณะทำการเผาชิ้นงาน แสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2. ลักษณะชิ้นงานและตำแหน่งของตัววัดอุณหภูมิในชิ้นงาน

จำนวนชิ้นงานออกแบบทั้งหมด แสดงในตารางที่ 4.1 และจำแนกตามกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบในตารางที่ 4.2 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ

กำลังอัดประลัย (กิโลกรัม/ตร.ซม.)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)					จำนวนชิ้นงานทั้งหมด
	300	500	700	700	อุณหภูมิห้อง	
200	12	12	12	12	12	60
350	12	12	12	12	24	72
500	12	12	12	12	12	60
รวม						192

ตารางที่ 4.2 ลักษณะการออกแบบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (จำนวน 60 ชิ้นงาน)

กำลังอัดประลัย 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร				
คุณสมบัติ	ลักษณะการติดตั้ง FRP-ลักษณะการเอ็นตัวของคอนกรีต			
300	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W
500	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W
700 (120 นาที)	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W
700 (180 นาที)	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W
คุณสมบัติห้อง	U-A	UP-A	W-A	WP-A

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะการออกแบบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (จำนวน 72 ชิ้นงาน)

กำลังอัดประลัย 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร								
คุณสมบัติ	ลักษณะการติดตั้ง FRP-ลักษณะการเอ็นตัวของคอนกรีต							
300	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W				
500	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W				
700 (120 นาที)	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W				
700 (180 นาที)	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W				
คุณสมบัติห้อง	U-A	UP-A	W-A	WP-A	2W-A	DW-A	2WP-A	DWP-A

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะการออกแบบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (จำนวน 60 ชิ้นงาน)

กำลังอัดประลัย 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร				
คุณสมบัติ	ลักษณะการติดตั้ง FRP-ลักษณะการเอ็นตัวของคอนกรีต			
300	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W
500	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W
700 (120 นาที)	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W
700 (180 นาที)	UP-A	UP-W	WP-A	WP-W
คุณสมบัติห้อง	U-A	UP-A	W-A	WP-A

โดยที่

- U = ไม่อบก่อนเผาและไม่หุ้ม CFRP
 UP = อบก่อนเผาและไม่หุ้ม CFRP
 W = ไม่อบก่อนเผาและ หุ้ม CFRP 1 ชั้น
 2W = ไม่อบก่อนเผาและ หุ้ม CFRP 2 ชั้น
 WP = อบก่อนเผาและ หุ้ม CFRP 1 ชั้น
 2WP = อบก่อนเผาและ หุ้ม CFRP 2 ชั้น
 DW = ไม่อบก่อนเผาและ หุ้ม CFRP เป็นแบบแถบ
 DWP = อบก่อนเผาและ หุ้ม CFRP เป็นแบบแถบ

ยกตัวอย่างเช่น UP35-300-120-W

- โดย UP35 = คอนกรีตกำลังรับแรงอัดออกแบบเท่า 35 MPa
 300 = เเผที่คุณสมบัติ 300 องศาเซลเซียส
 120 = เวลาในการเผาเท่ากับ 120 นาที
 W = เย็นลงด้วยการฉีดน้ำ

4.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

4.3.1 การหล่อและบ่มชิ้นงานทรงกระบอกคอนกรีต

ในการเตรียมคอนกรีตเพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อให้ได้กำลังอัดประลัยที่ต้องการใช้สัดส่วนการผสมคอนกรีตใช้ตามตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ส่วนผสมของคอนกรีตปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

กำลังที่ออกแบบ (กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร)	ปริมาณซีเมนต์ (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ปริมาณทราย (กิโลกรัม)	ปริมาณหิน (กิโลกรัม)
200	294	181	810	1150
350	390	191	765	1125
500	520	150	800	1020

โดยใช้แบบหล่อมาตรฐานสำหรับคอนกรีตรูปทรงกระบอกการเตรียมคอนกรีตในแบบหล่อมาตรฐานจะแบ่งเป็น 2 ชั้นแต่แต่ละชั้นมีปริมาตรคอนกรีตเท่าๆกันและใช้เครื่องจี้คอนกรีต (vibrator) จี้ทั้ง 2 เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องเมื่อครบทั้ง 2 ชั้นแล้วจึงทำการปาดผิวหน้าของคอนกรีตให้เรียบและทิ้งคอนกรีตไว้ที่อุณหภูมิห้องจนคอนกรีตแข็งตัวดังภาพที่ 4.3 และทำการถอดแบบเมื่อคอนกรีตมีอายุประมาณ 24 ชั่วโมงและนำไปบ่มโดยการพันด้วยแผ่นพลาสติก เป็นเวลาอย่างน้อย 28 วันก่อนทำการทดสอบ แสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 การหล่อชิ้นงาน



ภาพที่ 4.4 ลักษณะการบ่มชิ้นงานด้วยการพันแผ่นพลาสติก

ตัวอย่างทดสอบถูกอบภายในเตาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบเผาไฟในเตาทดสอบเพื่อป้องกันเกิดการกะเทาะของชิ้นตัวอย่างในระหว่างการเผา ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 เตาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน

4.3.2 ลักษณะของเตาและวิธีการเผาชิ้นงาน

เตาทดสอบมีขนาดกว้าง 3 เมตร สูง 3 เมตร และลึก 1 เมตร และทำการติดตั้งชั้นวางชิ้นงานที่ออกแบบไว้สำหรับทำให้คอนกรีตเย็นตัวลงด้วยน้ำหลังจากเปิดฝาเตาได้โดยลักษณะการวางชิ้นงานในเตาแสดงดังภาพที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.7

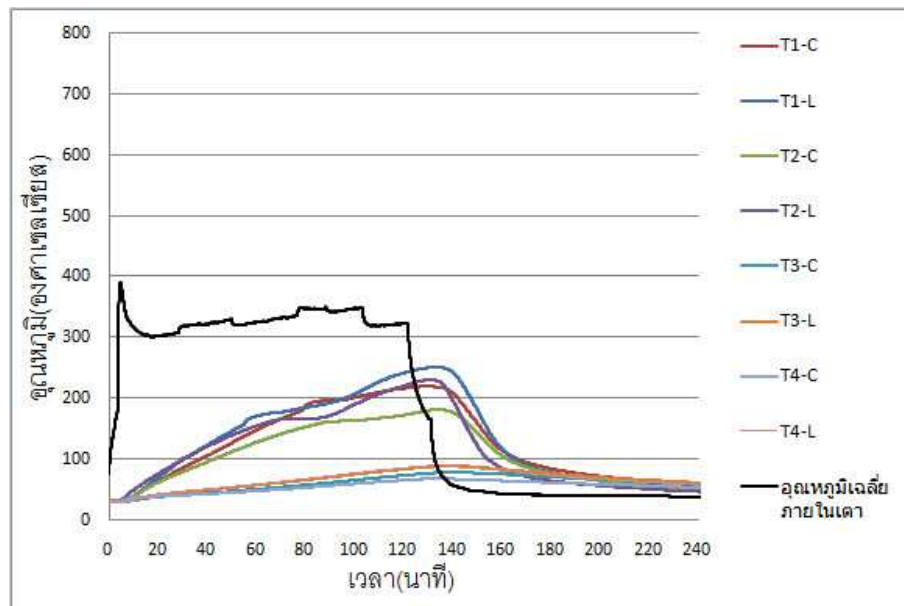


ภาพที่ 4.6 เตาทดสอบเผาไฟ

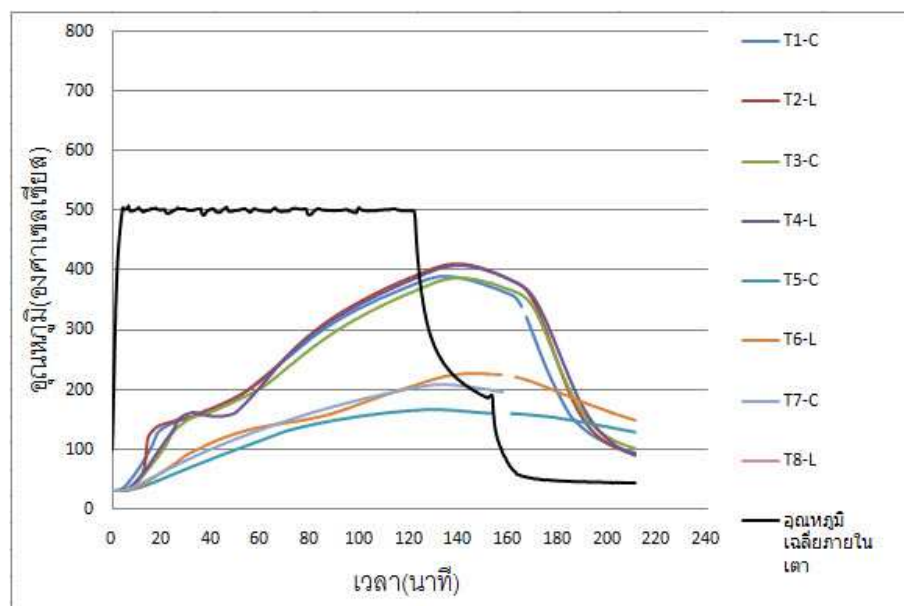


ภาพที่ 4.7 ลักษณะการติดตั้งชั้นวางชิ้นงานที่ออกแบบ

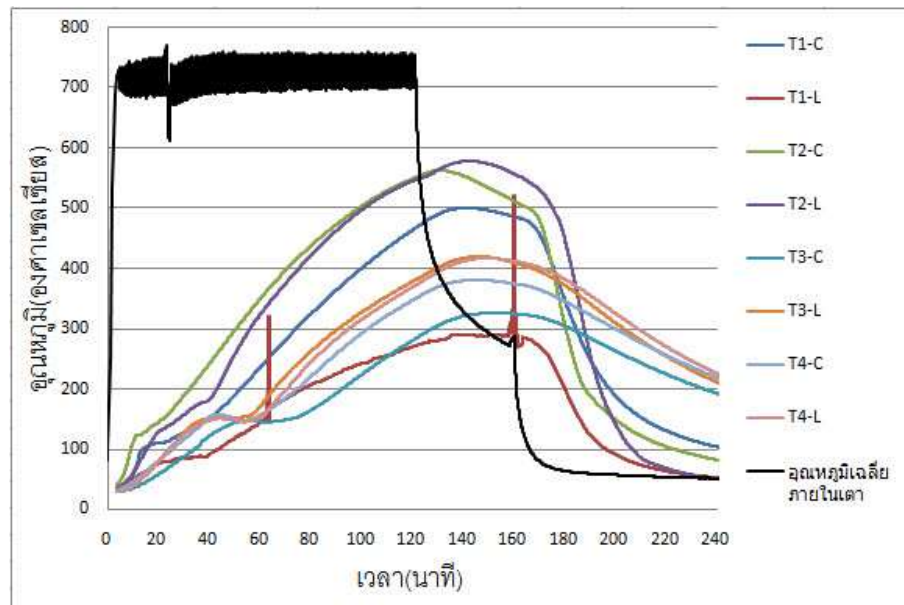
โดยที่แต่ละอุณหภูมิการเผา มีชิ้นงานทดสอบที่ติด Thermocouples 4 ชิ้นงานเป็นตัวแทน โดยที่แต่ละชิ้นงานติด Thermocouples 2 ตัวโดยติดที่กึ่งกลางชิ้นงานทดสอบ (C) และ ที่ระยะ 7.5 เซนติเมตรจากกึ่งกลาง (L) รวมแล้วใช้ Thermocouples ทั้งหมด 8 ตัว แต่ละอุณหภูมิ แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในภาพที่ 4.8



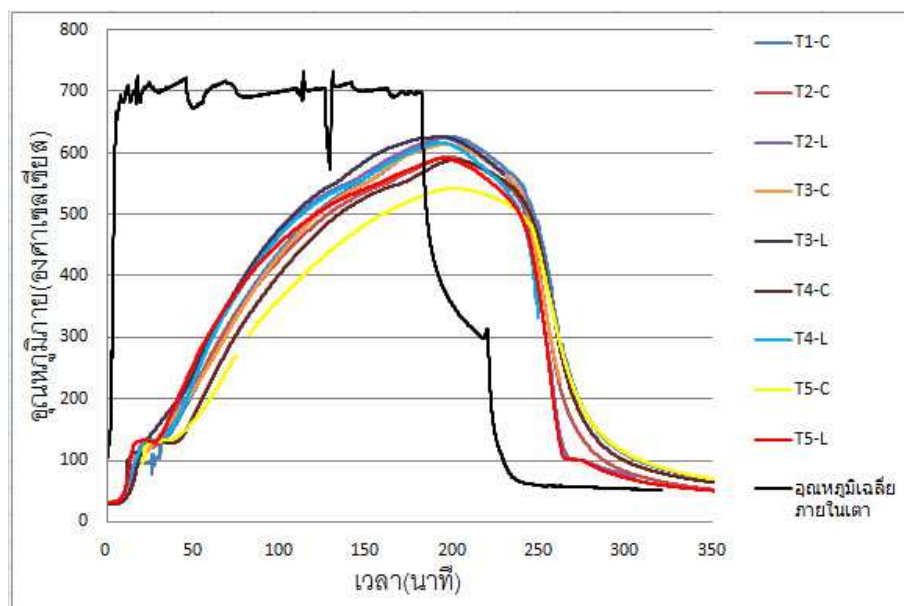
(ก) 300 องศาเซลเซียส(2 ชั่วโมง)



(ข) 500 องศาเซลเซียส(2 ชั่วโมง)



(ค) 700 องศาเซลเซียส (2 ชั่วโมง)



(ง) 700 องศาเซลเซียส (3 ชั่วโมง)

ภาพที่ 4.8 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตากับอุณหภูมิภายในชิ้นงาน

ภาพที่ 4.8(ก) (ข) และ (ค) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการเผา ซึ่งตามทีออกแบบคือควบคุมอุณหภูมิที่ 300 500 และ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และภาพที่ 4.8(ง) คือการเผาควบคุมอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยสัญลักษณ์ที่แสดงลักษณะชิ้นงานมีความหมายดังนี้

โดย	T1	=	ชิ้นงานคอนกรีต 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ติดตัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคอนกรีตและทำให้เย็นลงด้วยน้ำ
	T2	=	ชิ้นงานคอนกรีต 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ติดตัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคอนกรีต และทำให้เย็นลงด้วยน้ำ
	T3	=	ชิ้นงานคอนกรีต 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ติดตัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคอนกรีตและทำให้เย็นลงด้วยอุณหภูมิห้อง
	T4	=	ชิ้นงานคอนกรีต 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ติดตัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคอนกรีตและทำให้เย็นลงด้วยอุณหภูมิห้อง
	T5	=	ชิ้นงานคอนกรีต 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ติดตัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคอนกรีตและทำให้เย็นลงด้วยอุณหภูมิห้อง
	C	=	ติดตั้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงานคอนกรีต
	L	=	ติดตั้งที่ตำแหน่งความสูง 7.5 ซม. จากผิวด้านบนของชิ้นงานคอนกรีต

จากความสัมพันธ์ดังที่แสดงในภาพที่ 4.8สรุปได้ว่า ในการเผาที่ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุดในเนื้อคอนกรีตที่ตำแหน่ง 7.5 เซนติเมตรจากผิวบนของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 250 องศาเซลเซียส และที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 220 องศาเซลเซียส

การเผาที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุดในเนื้อคอนกรีตที่ตำแหน่ง 7.5 เซนติเมตรจากผิวบนของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 410 องศาเซลเซียส และที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 390 องศาเซลเซียส

การเผาที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุดในเนื้อคอนกรีตที่ตำแหน่ง 7.5 เซนติเมตรจากผิวบนของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 580 องศาเซลเซียส และที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 560 องศาเซลเซียส

การเผาที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุดในเนื้อคอนกรีตที่ตำแหน่ง 7.5 เซนติเมตรจากผิวบนของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 625 องศาเซลเซียส และที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 625 องศาเซลเซียส

4.3.3 การเย็นตัวของชิ้นงานหลังการเผา

ภายหลังจากการเผาไฟตามระยะเวลาที่กำหนดได้ปล่อยให้ชิ้นงานที่ถูกเผาไฟเย็นตัวลง 2 แบบ คือ เย็นตัวลงในเตาทดสอบ กับการทำให้เย็นตัวลงโดยการฉีดน้ำดังภาพที่ 4.9 โดยการทำให้เย็นตัวลงโดยการฉีดน้ำ จะทำโดยการฉีดน้ำหลังจากที่ความร้อนในเตาลดลงถึงระดับปลอดภัย ที่เปิดฝาเตา โดยจะฉีดน้ำใส่ชิ้นงานเป็นระยะเวลานาน 30 นาที ในทุกๆการเผา



ภาพที่ 4.9 การฉีดน้ำหลังการเผาไฟ

4.3.4 การซ่อมแซมชิ้นงานที่เสียหายจากไฟและการติดตั้งCFRP

การซ่อมแซมเริ่มจากการเตรียมผิวคอนกรีตให้เรียบโดยการเจียรผิวคอนกรีต จากนั้นจึงติดตั้งแผ่น CFRP (SikaWrap-230/45[®]) โดยใช้อิพ็อกซี่ (Sikadur-330[®]) ตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีการทับกันของแผ่นเท่ากับ 10 ซม. ชิ้นงานภายหลังจากการติดตั้งด้วยแผ่น CFRP ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 การติดตั้งแผ่น CFRP



ภาพที่ 4.11 ชิ้นงานภายหลังการติดตั้งด้วยแผ่น CFRP

โดยวัสดุ CFRP มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและ ความเครียดประลัย เท่ากับ 234000 เมกะปาสคาล และ 1.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากสมการที่ (3.3) คำนวณรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดได้เท่ากับ 326 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4.4 วิธีการทดสอบรับแรงอัดของชิ้นงาน

การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกทดสอบโดยใช้เครื่องให้แรงตามแนวแกน โดยมีการติดตั้งมาตรวัดความเครียด(Strain gage) และเครื่องวัดระยะการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า (LVDT) โดยติดตั้ง LVDT ทั้ง 2 แกนของชิ้นงาน โดยติดตามและบันทึกผลโดยใช้เครื่องเก็บข้อมูล(Data logger)และเก็บค่าแรงที่กระทำโดยใช้กัล้องบันทึก ซึ่งบันทึกค่าเป็นค่าต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มให้แรงจนวัสดุวิบัติโดยติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบตามภาพที่ 4.9และก่อนทำการติดตั้งอุปกรณ์ จะมีการ ทำให้ผิวที่หัวของคอนกรีตที่ 2 ด้านเรียบและเป็นระนาบ เพื่อให้แรงกระจายได้อย่างสม่ำเสมอเต็มพื้นที่หน้าตัด พร้อมทั้งมีการถ่ายรูปชิ้นงานหลังจากการทดสอบเสร็จสิ้นเพื่อคุณลักษณะการวิบัติ



ภาพที่ 4.11 เครื่องทดสอบและการติดตั้ง LVDT

โดยควบคุมอัตราการเปลี่ยนตำแหน่ง เท่ากับ 1.5 มม./นาที โดยเครื่องจะทำงานต่อเนื่องจนกระทั่งชิ้นงานวิบัติ

4.5 การศึกษาพฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบ

พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบที่ได้มีดังนี้

1. กำลังรับแรงอัดแบบต่อเนื่องที่เกิดขึ้นของวัสดุตั้งแต่เริ่มให้น้ำหนักกระทำจนวัสดุวิบัติ
2. ความเครียดตามแนวแกนรับน้ำหนัก แบบต่อเนื่องของวัสดุตั้งแต่เริ่มให้น้ำหนักกระทำจนวัสดุวิบัติวัดจากมาตรวัดความเครียด
3. ความเครียดทางด้านข้างตั้งฉากกับแนวแกนรับน้ำหนัก แบบต่อเนื่องของวัสดุตั้งแต่เริ่มให้น้ำหนักกระทำจนวัสดุวิบัติวัดจาก มาตรวัดความเครียด
4. ลักษณะการวิบัติของชิ้นงานทดสอบ โดยการบันทึกลักษณะที่ได้

จากผลการศึกษาพฤติกรรมของตัวอย่างจะหาผลกระทบของไฟและFRPต่อคอนกรีตได้จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบดังนี้

1. กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ไม่ได้เผาไฟระหว่างการเสริมกำลังด้วย CFRP เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้เผาไฟและไม่ได้เสริมกำลัง
2. กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่เผาไฟระหว่างการซ่อมแซมด้วย CFRP
3. เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้เผาไฟและไม่ได้เสริมกำลัง
4. กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่เผาไฟระหว่างการซ่อมแซมด้วย CFRPเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้เผาไฟและเสริมกำลัง
5. กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่เผาไฟและไม่ได้ซ่อมแซมเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้เผาไฟและเสริมกำลัง
6. กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่เผาไฟระหว่างการซ่อมแซมด้วยCFRPเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้เผาไฟระหว่างการเสริมกำลังด้วย CFRP
7. กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่เผาไฟระหว่างการซ่อมแซมด้วย CFRP
8. กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ไม่ได้เผาไฟระหว่างการเสริมกำลังด้วย CFRP

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

จากการดำเนินการตามขั้นตอนการทดสอบดังแสดงไว้ในบทที่ 4 สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ

รายละเอียดของชิ้นงานและผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ 5.1 ประกอบด้วยค่าที่ได้จากการทดสอบคือ กำลังรับแรงอัดประลัย ความเครียดประลัยตามแนวแกน ตามแนวเส้นรอบวง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยอธิบายสัญลักษณ์ของชิ้นงานได้ตามนี้ ตัวอย่างเช่น UP20-300-120-A, WP35-700-180-W

วรรคแรกยกตัวอย่างเช่น UP20 หรือ WP35 อธิบายได้ดังนี้

โดย UP20 = ชิ้นงานกำลังอัดประลัยออกแบบ 200 กก.ต่อ ตร.ซม.ที่ไม่ได้มีการหุ้มด้วย CFRP

WP35 = ชิ้นงานกำลังอัดประลัยออกแบบ 350 กก ต่อ ตร.ซม.ที่มีการหุ้มด้วย CFRP

วรรคที่สองแสดงอุณหภูมิของชิ้นงานตามการเผาไฟที่ได้ออกแบบ

โดย RT = ไม่ได้ถูกเผาไฟหรือปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

300 = เผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

500 = เผาไฟที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

700 = เผาไฟที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

วรรคที่สามแสดงเวลาในการเผาไฟ มี 0 นาที 120 นาที และ 180 นาที

วรรคที่สี่แสดงการทำให้เย็นตัวของชิ้นงาน มี 2 แบบ

โดย A = เย็นตัวลงโดยอุณหภูมิห้อง

W = เย็นตัวลงโดยใช้น้ำฉีดเป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชิ้นงาน	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก.ต่อ ตร.ซ.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิในเตา (เซลเซียส)	เวลาในการเผา (นาที)	ชิ้นงานที่	รูปแบบการวิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก.ต่อ ตร.ซ.ม.)		ความเครียดตามแนวแกนสูงสุด		ความเครียดตามแนวเส้นรอบวงสูงสุด	
		เผา	ทดสอบ					ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน
UP20-RT-00-A	200	-	142	27	-	A	เฉือน	254	287	0.0013	0.0016	0.0010	0.001
						B	เฉือน	316	±31	0.0015	±0.0004	0.0012	±0.0001
						C	รูปกรวย	292		0.0021		0.0010	
WP20-RT-00-A	200	-	142	27	-	A	ไฟเบอร์ขาด	373	410	0.0080	0.0095	0.0024	0.004
						B	ไฟเบอร์ขาด	447	±52.3	0.0110	±0.0021	0.0057	±0.0020
						C	-	-		-		-	
UP20-300-120-A	200	54	142	300	120	A	-	-	224	-	0.0016	-	0.00055
						B	รูปกรวย	234	±14.7	0.0015	±0.0001	0.0005	±0
						C	รูปกรวย	214		0.0017		0.0006	
WP20-300-120-A	200	54	142	300	120	A	ไฟเบอร์ขาด	364	400	0.0081	0.0089	0.0084	0.0067
						B	ไฟเบอร์ขาด	435	±50.1	0.0098	±0.0012	0.0051	±0.0023
						C	-	-		-		-	
UP20-500-120-A	200	64	145	500	120	A	เฉือน	171	195	0.0033	0.0022	0.0037	0.0040
						B	รูปกรวย	219	±33.51	0.0021	±0.0009	0.0044	±0.0004
						C	-	-		-		-	
WP20-500-120-A	200	64	145	500	120	A	ไฟเบอร์ขาด	383	407	0.0188	0.0173	0.0079	0.0099
						B	ไฟเบอร์ขาด	403	±26.2	0.0175	±0.0016	0.0065	±0.0047
						C	ไฟเบอร์ขาด	435		0.0157		0.0152	
UP20-700-120-A	200	64	145	700	120	A	-	-	132	-	0.0086	-	0.0047
						B	เฉือน	122	±14.1	0.0083	±0.0004	0.0053	±0.0008
						C	เฉือน	142		0.0088		0.0041	

ตารางที่ 5.1(ต่อ)รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชิ้นงาน	กำลังรับ แรงอัดประลัย (กก.ต่อ ตร.ช.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิใน เตา (เซลเซียส)	เวลาใน การเผา (นาที)	ชั้น งาน ที่	รูปแบบ การวิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย		ความเครียดตาม แนวแกนสูงสุด		ความเครียดตามแนวเส้น รอบวงสูงสุด	
		เผา	ทดสอบ					(กก.ต่อ ตร.ช.ม.)		ผล		ผล	
								ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน.
WP20-700- 120-A	200	64	145	700	120	A	ไฟเบอร์ขาด	365	381	0.0190	0.0210	0.0070	0.0082
						B	-	-	-	-	-	-	-
						C	ไฟเบอร์ขาด	396	±21.9	0.0230	±0.0028	0.0093	±0.0016
UP20-700- 180-A	200	57	145	700	180	A	เฉือน	93	95	0.0081	0.0083	0.0063	0.0070
						B	เฉือน	115	±18.16	0.0081	±0.0004	0.0065	±0.0010
						C	เฉือน	78		0.0090		0.0081	
WP20-700- 180-A	200	57	145	700	180	A	ไฟเบอร์ขาด	362	374	0.0181	0.0192	0.0061	0.0073
						B	ไฟเบอร์ขาด	409	±31.18	0.0206	±0.0013	0.0095	±0.0019
						C	ไฟเบอร์ขาด	450		0.01890		0.0062	
UP20-300- 120-W	200	54	150	300	120	A	เฉือน	184	194	0.0032	0.0031	0.0014	0.0015
						B	รูปกรวย	221	±23.6	0.0024	±0.0006	0.0019	±0.0004
						C	รูปกรวย	177		0.0036		0.0011	
WP20-300- 120-W	200	54	150	300	120	A	ไฟเบอร์ขาด	392	408	0.0116	0.0118	0.0075	0.0083
						B	ไฟเบอร์ขาด	423	±50.1	0.0120	±0.0003	0.0090	±0.0011
						C	-	-	-	-	-	-	-
UP20-500- 120-W	200	64	150	500	120	A	เฉือน	134	141	0.0045	0.0046	0.0040	0.0035
						B	รูปกรวย	153	±10.21	0.0046	±0.0001	0.0041	±0.0010
						C	เฉือน	137		0.0046		0.0023	
WP20-500- 120-W	200	64	153	500	120	A	ไฟเบอร์ขาด	386	382	0.0190	0.0164	0.0061	0.0072
						B	ไฟเบอร์ขาด	358	±22.7	0.0195	±0.0049	0.0079	±0.0010
						C	ไฟเบอร์ขาด	403		0.0107		0.0076	

ตารางที่ 5.1(ต่อ) รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชิ้นงาน	กำลังรับแรงอัด ประลัย (กก.ต่อ ตร.ช.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิในเตา (เซลเซียส)	เวลาในการเผา (นาที)	ชั้นงาน ที่	รูปแบบการ วิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก.ต่อ ตร.ช.ม.)		ความเครียดตาม แนวแกนสูงสุด		ความเครียดตามแนวเส้น รอบวงสูงสุด	
		เผา	ทดสอบ					ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผลทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน
UP20-500- 120-W	200	64	150	500	120	A	เฉือน	134	141±	0.0045	0.0046	0.0040	0.0035
						B	รูปกรวย	153	10.21	0.0046	±0.0001	0.0041	±0.0010
						C	เฉือน	137		0.0046		0.0023	
WP20-500- 120-W	200	64	153	500	120	A	ไฟเบอร์ขาด	386	382	0.0190	0.0164	0.0061	0.0072
						B	ไฟเบอร์ขาด	358	±22.7	0.0195	±0.0049	0.0079	±0.0010
						C	ไฟเบอร์ขาด	403		0.0107		0.0076	
UP20-700- 120-W	200	64	153	700	120	A	เฉือน	91	80	0.0256	0.0155	0.0175	0.0129
						B	เฉือน	78	±10.15	0.0072	±0.0093	0.0086	±0.0045
						C	เฉือน	71		0.0136		0.0126	
WP20-500- 120-W	200	64	153	500	120	A	ไฟเบอร์ขาด	386	382	0.0190	0.0164	0.0061	0.0072
						B	ไฟเบอร์ขาด	358	±22.7	0.0195	±0.0049	0.0079	±0.0010
						C	ไฟเบอร์ขาด	403		0.0107		0.0076	
UP20-700- 120-W	200	64	153	700	120	A	เฉือน	91	80	0.0256	0.0155	0.0175	0.0129
						B	เฉือน	78	±10.15	0.0072	±0.0093	0.0086	±0.0045
						C	เฉือน	71		0.0136		0.0126	
WP20-700- 120-W	200	64	153	700	120	A	ไฟเบอร์ขาด	339	326	0.0356	0.0294	0.0110	0.01
						B	ไฟเบอร์ขาด	312	±13.5	0.0248	±0.0056	0.0076	±0.0021
						C	ไฟเบอร์ขาด	326		0.0278		0.0115	
UP20-700- 180-W	200	57	155	700	180	A	เฉือน	89	84	0.0150	0.0163	0.0122	0.0125
						B	เฉือน	94	±13.8	0.0188	±0.0021	0.0128	±0.0003
						C	เฉือน	68		0.0152		0.0125	

ตารางที่ 5.1(ต่อ)รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชิ้นงาน	กำลังรับ แรงอัดประลัย (กก.ต่อ ตร.ช.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิใน เตา (เซลเซียส)	เวลาใน การเผา (นาที)	ชั้น งาน ที่	รูปแบบ การวิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย		ความเครียดตาม		ความเครียดตามแนวเส้น			
		เผา	ทดสอบ					(กก.ต่อ ตร.ช.ม.)		แนวแกนสูงสุด		รอบวงสูงสุด			
								ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน.		
UP20-700- 120-W	200	64	153	700	120	A	เฉือน	91	80	0.0256	0.0155	0.0175	0.0129		
								B	เฉือน	78	±10.15	0.0072	±0.0093	0.0086	±0.0045
								C	เฉือน	71		0.0136		0.0126	
WP20-700- 120-W	200	64	153	700	120	A	ไฟเบอร์ขาด	339	326	0.0356	0.0294	0.0110	0.01		
								B	ไฟเบอร์ขาด	312	±13.5	0.0248	±0.0056	0.0076	±0.0021
								C	ไฟเบอร์ขาด	326		0.0278		0.0115	
UP20-700- 180-W	200	57	155	700	180	A	เฉือน	89	84	0.0150	0.0163	0.0122	0.0125		
								B	เฉือน	94	±13.8	0.0188	±0.0021	0.0128	±0.0003
								C	เฉือน	68		0.0152		0.0125	
WP20-700- 180-W	200	57	155	700	180	A	ไฟเบอร์ขาด	332	322	0.0316	0.0297	0.0113	0.0125		
								B	ไฟเบอร์ขาด	314	±9.17	0.0316	±0.0032	0.0072	±0.0003
								C	ไฟเบอร์ขาด	320		0.0260		0.0094	
UP35-RT- 00-A	350	-	142	27	-	A	เฉือน	426	432	0.00207	0.0025	0.0009	0.0013		
								B	เฉือน	452	±17	0.0018	±0.00025	0.0008	±0.0003
								C	รูปกรวย	418		0.0023		0.0015	
WP35-RT- 00-A	350	-	142	27	-	A	ไฟเบอร์ขาด	537	547	0.0146	0.0122	0.0080	0.0069		
								B	ไฟเบอร์ขาด	527	±25	0.0098	±0.0024	0.0059	±0.0011
								C	ไฟเบอร์ขาด	576		0.0122		0.0067	
UP35-300- 120-A	350	54	142	300	120	A	เฉือน	342	361	0.0023	0.0023	0.0016	0.00132		
								B	รูปกรวย	396	±29	0.0021	±0.0001	0.0013	±0.0039
								C	รูปกรวย	347		0.0025		0.0009	

ตารางที่ 5.1(ต่อ) รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชิ้นงาน	กำลังรับแรงอัด ประลัย (กก.ต่อ ตร.ซ.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิใน เตา (เซลเซียส)	เวลาใน การเผา (นาที)	ชั้น งาน ที่	รูปแบบ การวิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย		ความเครียดตาม แนวแกนสูงสุด		ความเครียดตามแนว เส้นรอบวงสูงสุด	
		เผา	ทดสอบ					(กก.ต่อ ตร.ซม.)		แนวแกนสูงสุด		เส้นรอบวงสูงสุด	
								ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน
WP35-300- 120-A	350	54	142	300	120	A	ไฟเบอร์ขาด	566	556	0.0140	0.0140	0.0081	0.0085
						B	ไฟเบอร์ขาด	567		0.0128		0.0097	
						C	ไฟเบอร์ขาด	535	±18	0.0151	±0.0012	0.0076	±0.0011
UP35-500- 120-A	350	64	145	500	120	A	เฉือน	232	271	0.0030	0.0024	0.0020	0.00157
						B	รูปกรวย	285		0.0022		0.00136	
						C	เฉือน	297	±34	0.0022	±0.0004	0.00134	±0.0006
WP35-500- 120-A	350	64	145	500	120	A	ไฟเบอร์ขาด	508	504	0.0110	0.0128	0.0055	0.0061
						B	ไฟเบอร์ขาด	507		0.0122		0.0068	
						C	ไฟเบอร์ขาด	497	±6	0.0151	±0.0021	0.0059	±0.0007
UP35-700- 120-A	350	64	145	700	120	A	เฉือน	-238	211	0.0037	0.0055	0.0035	0.0026
						B	เฉือน	181		0.0050		0.0022	
						C	เฉือน	215	±28	0.0079	±0.0022	0.0022	±0.0008
WP35-700- 120-A	350	64	145	700	120	A	ไฟเบอร์ขาด	484	483	0.0160	0.0139	0.0071	0.0082
						B	ไฟเบอร์ขาด	515		0.0126		0.0087	
						C	ไฟเบอร์ขาด	451	±32	0.0130	±0.0019	0.0088	±0.0010
UP35-700- 180-A	350	57	145	700	180	A	เฉือน	199	178	0.0090	0.0070	0.0053	0.0046
						B	เฉือน	186		0.0071		0.0054	
						C	เฉือน	149	±25	0.0048	±0.0021	0.0030	±0.0014
WP35-700- 180-A	350	57	145	700	180	A	ไฟเบอร์ขาด	476	460	0.0193	0.0164	0.0077	0.0090
						B	ไฟเบอร์ขาด	456		0.0123		0.0073	
						C	ไฟเบอร์ขาด	447	±14	0.0176	±0.0037	0.0119	±0.0025

ตารางที่ 5.1(ต่อ) รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชิ้นงาน	กำลังรับแรงอัด ประลัย (กก.ต่อ ตร.ซ.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิใน เตา (เซลเซียส)	เวลาใน การเผา (นาที)	ชั้น งาน ที่	รูปแบบ การวิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย		ความเครียดตาม แนวแกนสูงสุด		ความเครียดตามแนว เส้นรอบวงสูงสุด	
		เผา	ทดสอบ					(กก.ต่อ ตร.ซม.)		แนวแกนสูงสุด		เส้นรอบวงสูงสุด	
								ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน.
WP35-700- 120-A	350	64	145	700	120	A	ไฟเบอร์ขาด	484	483	0.0160	0.0139	0.0071	0.0082
						B	ไฟเบอร์ขาด	515	±32	0.0126	±0.0019	0.0087	±0.0010
						C	ไฟเบอร์ขาด	451		0.0130		0.0088	
UP35-700- 180-A	350	57	145	700	180	A	เฉือน	199	178	0.0090	0.0070	0.0053	0.0046
						B	เฉือน	186	±25	0.0071	±0.0021	0.0054	±0.0014
						C	เฉือน	149		0.0048		0.0030	
WP35-700- 180-A	350	57	145	700	180	A	ไฟเบอร์ขาด	476	460	0.0193	0.0164	0.0077	0.0090
						B	ไฟเบอร์ขาด	456	±14	0.0123	±0.0037	0.0073	±0.0025
						C	ไฟเบอร์ขาด	447		0.0176		0.0119	
UP35-300- 120-W	350	54	155	300	120	A	เฉือน	217	216	0.0033	0.0033	0.0025	0.0021
						B	รูปกรวย	215	±1	0.0032	±0.0001	0.0016	±0.0006
						C		-		-		-	
WP35-300- 120-W	350	54	155	300	120	A	ไฟเบอร์ขาด	513	488	0.0084	0.0129	0.0071	0.0070
						B	ไฟเบอร์ขาด	533	±62	0.0152	±0.0039	0.0083	±0.0013
						C	ไฟเบอร์ขาด	417		0.0151		0.0057	
UP35-500- 120-W	350	64	155	500	120	A	เฉือน	264	213	0.0050	0.0066	0.0032	0.0039
						B	รูปกรวย	226	±58	0.0081	±0.0016	0.0037	±0.0008
						C	เฉือน	150		0.0068		0.0048	
WP35-500- 120-W	350	64	157	500	120	A	ไฟเบอร์ขาด	476	495	0.0123	0.0135	0.0089	0.0101
						B	ไฟเบอร์ขาด	513	±26	0.0147	±0.0017	0.0112	±0.0016
						C	-	-		-		-	

ตารางที่ 5.1(ต่อ) รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชิ้นงาน	กำลังรับแรงอัด ประลัย (กก.ต่อ ตร.ช.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิใน เตา (เซลเซียส)	เวลาใน การเผา (นาที)	ชั้น งาน ที่	รูปแบบ การวิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย		ความเครียดตาม แนวแกนสูงสุด		ความเครียดตามแนว เส้นรอบวงสูงสุด	
		เผา	ทดสอบ					(กก.ต่อ ตร.ช.ม.)		แนวแกนสูงสุด		เส้นรอบวงสูงสุด	
								ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน
WP35-700- 120-W	350	64	157	700	120	A	ไฟเบอร์ขาด	418	416	0.0358	0.0327	0.0110	0.0100
						B	-	-	±2	-	±0.0044	-	±0.0016
						C	ไฟเบอร์ขาด	414		0.0296		0.0089	
UP35-700- 180-W	350	57	160	700	180	A	เฉือน	108	101	0.0081	0.0098	0.0082	0.0077
						B	เฉือน	119	±22	0.0087	±0.0024	0.0083	±0.0010
						C	เฉือน	76		0.0125		0.0066	
WP35-700- 180-W	350	57	160	700	180	A	ไฟเบอร์ขาด	417	396	0.0246	0.0238	0.0100	0.0116
						B	ไฟเบอร์ขาด	402	±24	0.0237	±0.0088	0.0160	±0.0039
						C	ไฟเบอร์ขาด	370		0.0231		0.0088	
UP50-RT- 00-A	500	-	160	27	-	A	เฉือน	549	580	0.0016	0.0017	0.0002	0.0003
						B	เฉือน	588	±27	0.0016	±0.0002	0.0003	±0.0001
						C	รูปกรวย	603		0.0019		0.0003	
WP50-RT- 00-A	500	-	161	27	-	A	ไฟเบอร์ขาด	811	796	0.0027	0.0030	0.0012	0.0015
						B	ไฟเบอร์ขาด	781	±21.2	0.0032	±0.0004	0.0017	±0.0004
						C	-	-		-		-	
UP50-300- 120-A	500	54	161	300	120	A	เฉือน	581.1	538	0.0022	0.0020	0.0009	0.0011
						B	รูปกรวย	494	±61	0.0018	±0.0003	0.0012	±0.0002
						C	-	-		-		-	
WP50-300- 120-A	500	54	161	300	120	A	ไฟเบอร์ขาด	710	660	0.0020	0.0020	0.0007	0.0006
						B	-	±70	-	±0	-	±0.0001	
						C	ไฟเบอร์ขาด	610		0.0020		0.0005	

ตารางที่ 5.1(ต่อ) รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชิ้นงาน	กำลังรับแรงอัด ประลัย (กก.ต่อ ตร.ช.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิใน เตา (เซลเซียส)	เวลาใน การเผา (นาท)	ชั้น งาน ที่	รูปแบบ การวิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย		ความเครียดตาม แนวแกนสูงสุด		ความเครียดตามแนว เส้นรอบวงสูงสุด	
		เผา	ทดสอบ					(กก.ต่อ ตร.ช.ม.)		แนวแกนสูงสุด		เส้นรอบวงสูงสุด	
								ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน
UP50-500- 120-A	500	64	1668	500	120	A	เฉือน	448	439	0.0033	0.0035	0.0007	0.0010
						B		-	±12	-	±0.0003	-	±0.0004
						C	รูปกรวย	430		0.0037		0.0037	
WP50-500- 120-A	500	64	168	500	120	A		-	656	-	0.0037	-	0.0010
						B	ไฟเบอร์ขาด	605	±71	0.0037	±0	0.0009	±0.0001
						C	ไฟเบอร์ขาด	706		0.0037		0.0011	
UP50-700- 120-A	500	64	168	700	120	A	-	-	393	-	0.0062	-	0.0024
						B	เฉือน	335	±82	0.0050	±0.0016	0.0012	±0.0017
						C	เฉือน	451		0.0073		0.0036	
WP50-700- 120-A	500	64	169	700	120	A	ไฟเบอร์ขาด	623	667	0.0084	0.0087	0.0011	0.0017
						B	ไฟเบอร์ขาด	733	±58	0.0097	±0.0009	0.0024	±0.0007
						C	ไฟเบอร์ขาด	646		0.0079		0.0016	
UP50-700- 180-A	500	57	169	700	180	A	เฉือน	411	385	0.0089	0.0083	0.0039	0.0027
						B	เฉือน	330	±47	0.0078	±0.0006	0.0015	±0.0012
						C	เฉือน	414		0.0083		0.0028	
WP50-700- 180-A	500	57	169	700	180	A	ไฟเบอร์ขาด	655	648	0.0120	0.0118	0.0056	0.0045
						B	ไฟเบอร์ขาด	620	±24	0.0106	±0.0012	0.0035	±0.0011
						C	ไฟเบอร์ขาด	668		0.0129		0.0044	

ตารางที่ 5.1(ต่อ) รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชิ้นงาน	กำลังรับ แรงอัดประลัย (กก.ต่อ ตร.ช.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิใน เตา (เซลเซียส)	เวลาใน การเผา (นาที)	ชั้น งาน ที่	รูปแบบ การวิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย		ความเครียดตาม แนวแกนสูงสุด		ความเครียดตามแนว เส้นรอบวงสูงสุด			
		เผา	ทดสอบ					(กก.ต่อ ตร.ช.ม.)		ผล		ผล		ผล	
								ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน		
UP50-300- 120-W	500	54	175	300	120	A	-	-	473	-	0.0020	-	0.0007		
						B	รูปกรวย	432	±57	0.0020	±0.0001	0.0005	±0.0003		
						C	รูปกรวย	514		0.0019		0.0009			
WP50-300- 120-W	500	54	175	300	120	A	ไฟเบอร์ขาด	720	697	0.0032	0.0036	0.0013	0.0014		
						B	ไฟเบอร์ขาด	714	±34	0.0036	±0.0004	0.0017	±0.0003		
						C	ไฟเบอร์ขาด	658		0.0040		0.0011			
UP50-500- 120-W	500	64	175	500	120	A	เฉือน	333	367	0.0083	0.0078	0.0021	0.0021		
						B	รูปกรวย	400	±47	0.0073	±0.0007	0.0021	±0		
						C	-	-							
WP50-500- 120-W	500	64	175	500	120	A	ไฟเบอร์ขาด	652	648	0.0132	0.0132	0.0044	0.0048		
						B	ไฟเบอร์ขาด	651	±6	0.0158	±0.0026	0.0044	±0.0006		
						C	ไฟเบอร์ขาด	640		0.0106		0.0055			
UP50-700- 120-W	500	64	179	700	120	A	เฉือน	177	202	0.0129	0.0152	0.0047	0.0088		
						B	เฉือน	207	±22.9	0.0179	±0.0025	0.0076	±0.0048		
						C	เฉือน	222		0.0147		0.0140			

ตารางที่ 5.1(ต่อ) รายละเอียดชิ้นงานและผลการทดสอบ (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

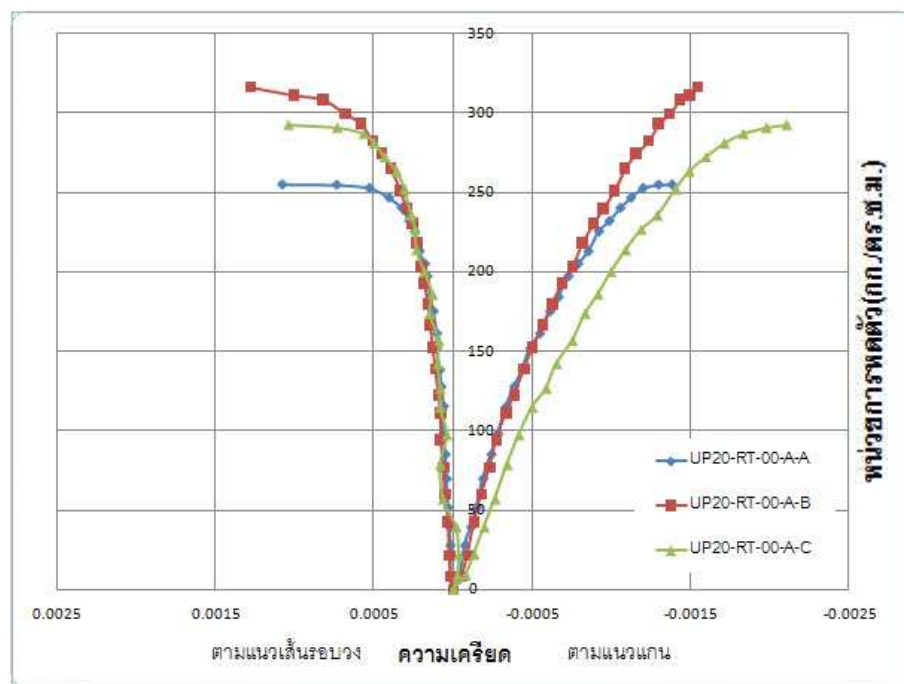
ชิ้นงาน	กำลังรับ แรงอัดประลัย (กก.ต่อ ตร.ช.ม.)	อายุชิ้นงาน (วัน)		อุณหภูมิใน เตา (เซลเซียส)	เวลาใน การเผา (นาที)	ชั้น งาน ที่	รูปแบบ การวิบัติ	กำลังรับแรงอัดประลัย		ความเครียดตาม		ความเครียดตามแนว	
		เผา	ทดสอบ					(กก.ต่อ ตร.ช.ม.)		แนวแกนสูงสุด		เส้นรอบวงสูงสุด	
								ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน	ผล ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบน.
WP50-700- 120-W	500	64	179	700	120	A	ไฟเบอร์ขาด	454	457	0.0140	0.0139	0.0055	0.0066
						B	ไฟเบอร์ขาด	457	±3	0.0135	±0.0004	0.0068	±0.0010
						C	ไฟเบอร์ขาด	460		0.0142		0.0075	
UP50-700- 180-W	500	57	179	700	180	A	เฉือน	265	240	0.0125	0.0136	0.0006	0.0063
						B	เฉือน	233	±21	0.0130	±0.0015	0.0056	±0.0007
						C	เฉือน	223		0.0153		0.0070	
WP50-700- 180-W	500	57	179	700	180	A	ไฟเบอร์ขาด	-	541	-	0.0157	-	0.0080
						B	ไฟเบอร์ขาด	546	±7	0.0142	±0.0021	0.0086	±0.0009
						C	ไฟเบอร์ขาด	536		0.0172		0.0073	
DWP-35-RT- 00-A	350	-	250	27	-	A	ไฟเบอร์ขาด	500	465	0.003	0.0032	0.0019	0.0020
						B	ไฟเบอร์ขาด	434	±33.18	0.0027	±0.0006	0.0026	±0.0005
						C	ไฟเบอร์ขาด	461		0.0039		0.0016	
DW35-RT- 00-A	350	-	250	27	-	A	ไฟเบอร์ขาด	511	490	0.0027	0.0025	0.0015	0.0024
						B	ไฟเบอร์ขาด	510	±33	0.023	±0.0003	0.0031	±0.0011
						C	ไฟเบอร์ขาด	450					
2WP35-RT- 00-A	350	-	-	27	-	A	ไฟเบอร์ขาด	717	682	0.0056	0.0066	0.0063	0.00518
						B	ไฟเบอร์ขาด	-	±49	-	±0.0014	-	±0.0016
						C	ไฟเบอร์ขาด	647		0.0076		0.0040	

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและความเครียดตามแนวเส้นรอบวง

ผลการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวงของชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ โดยแบ่งตามกำลังรับแรงอัดประลัย ออกแบบได้ดังนี้

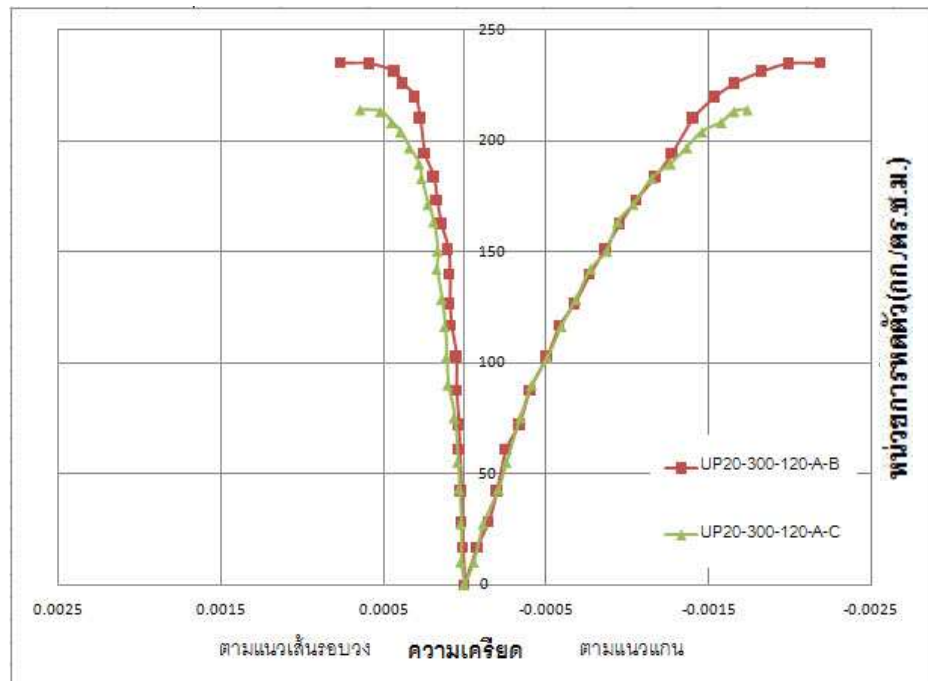
5.2.1 คอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ภาพที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงหลังการเผาด้วยอุณหภูมิห้อง โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

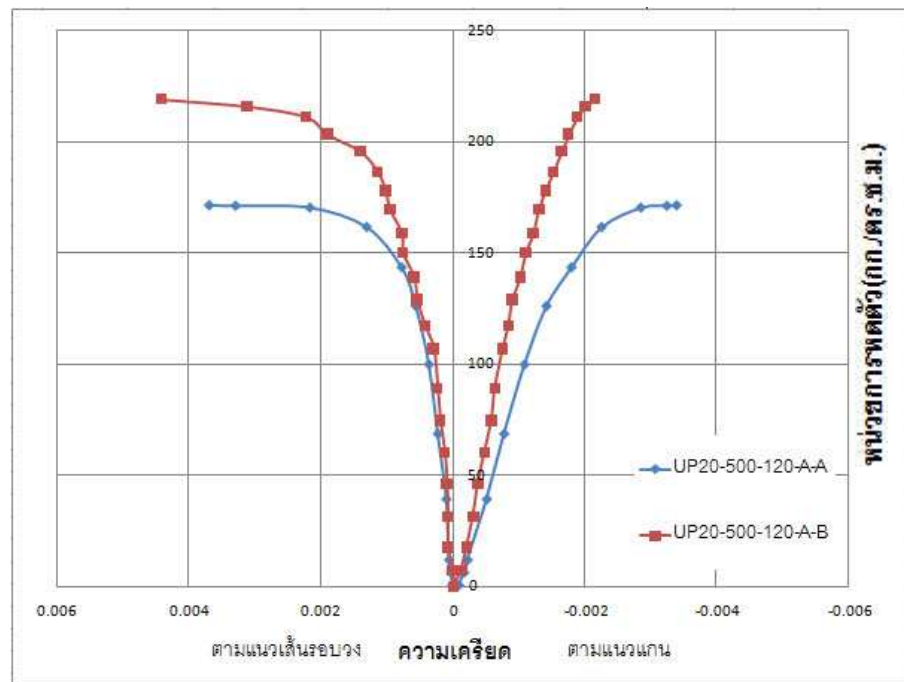


(ก) ชิ้นงานที่ไม่ได้ถูกเผาไฟ

ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200 ksc ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

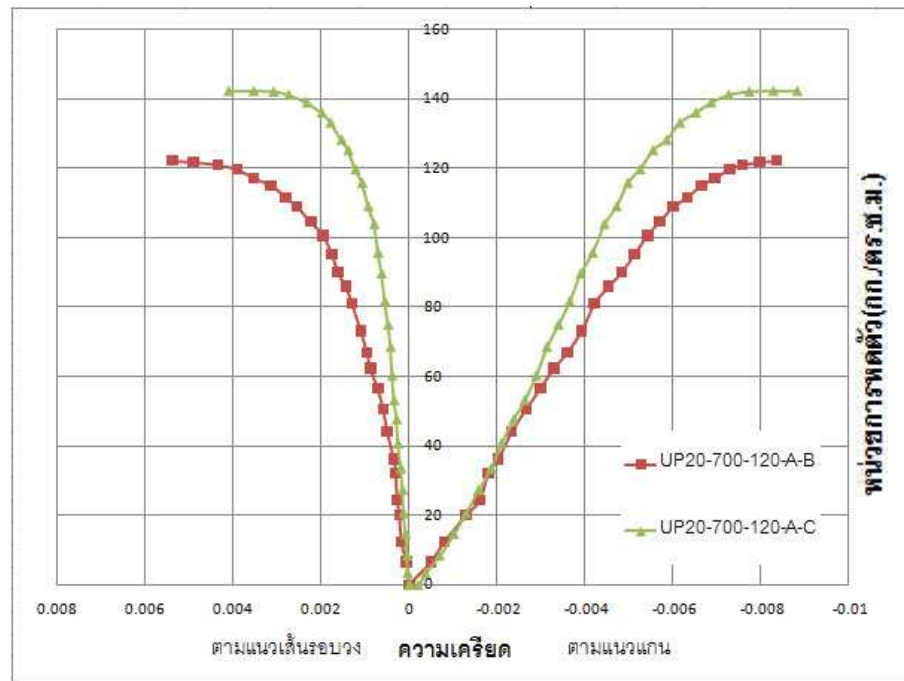


(ข) 300 องศาเซลเซียส

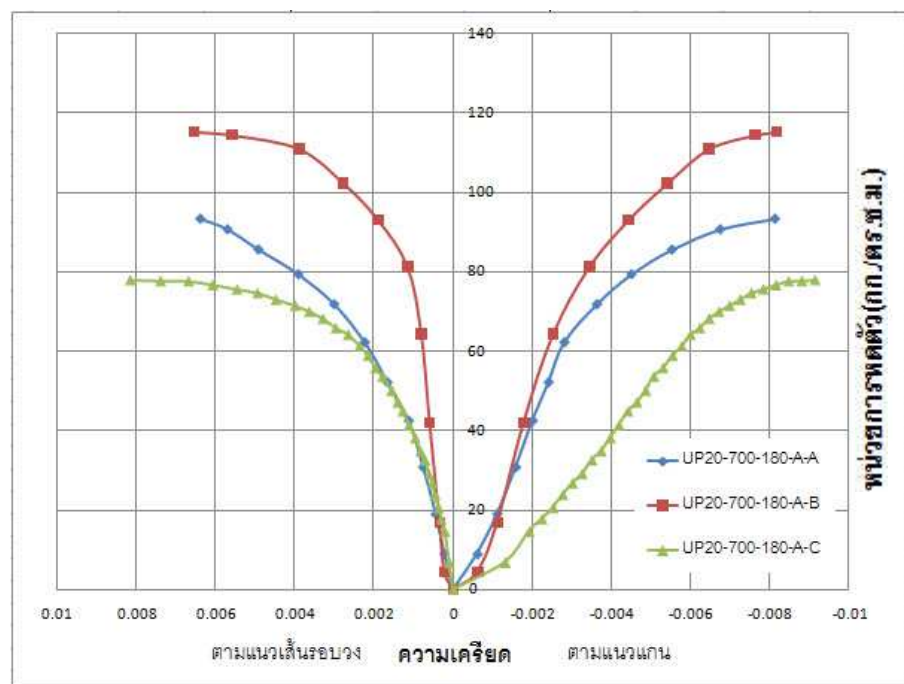


(ค) 500 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.1(ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
 ประลัย 200 ksc ภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง



(ง) 700 องศาเซลเซียส(120 นาที)



(จ) 700 องศาเซลเซียส(180 นาที)

ภาพที่ 5.1(ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
 ประลัย 200 ksc ภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.1 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้
ภาพที่ 5.1(ก) แสดงชิ้นงาน UP20-RT-00-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 287 กก./ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0016 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 348329 กก./ ตร.ซม.

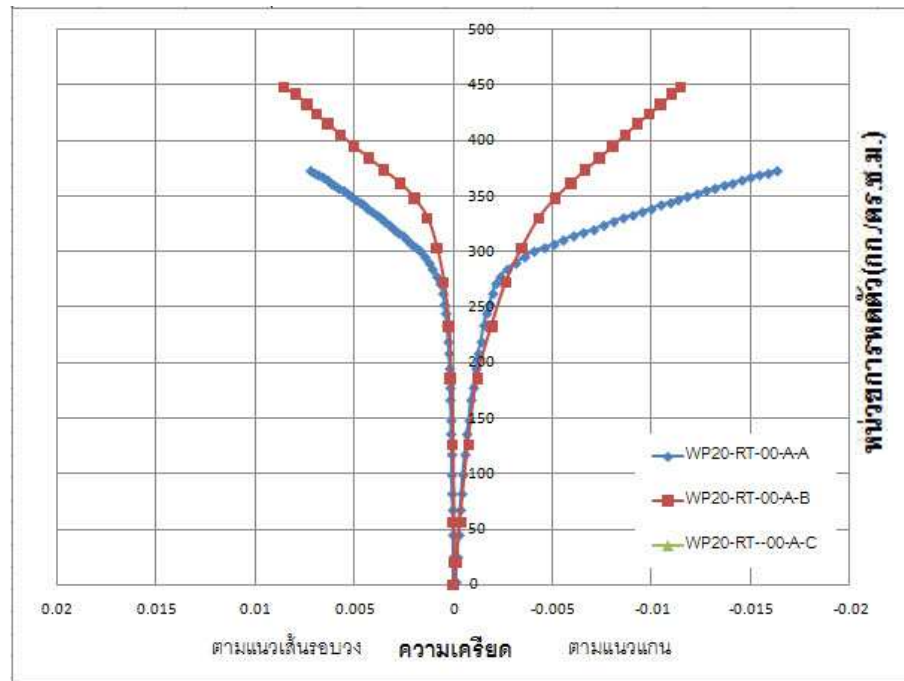
ภาพที่ 5.1(ข) แสดงชิ้นงาน UP20-300-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 224 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0019 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 220475 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.1(ค) แสดงชิ้นงาน UP20-500-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 195 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0027 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 123396 กก./ ตร.ซม.

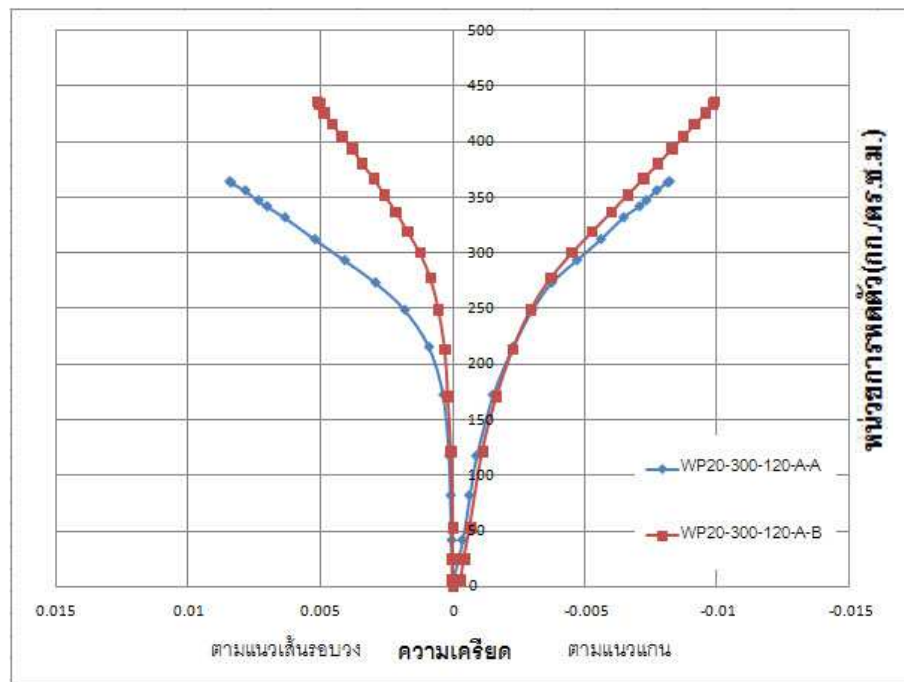
ภาพที่ 5.1(ง) แสดงชิ้นงาน UP20-700-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 132 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0086 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 19677 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.1(จ) แสดงชิ้นงาน UP20-700-180-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 95 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0083 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 19748 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

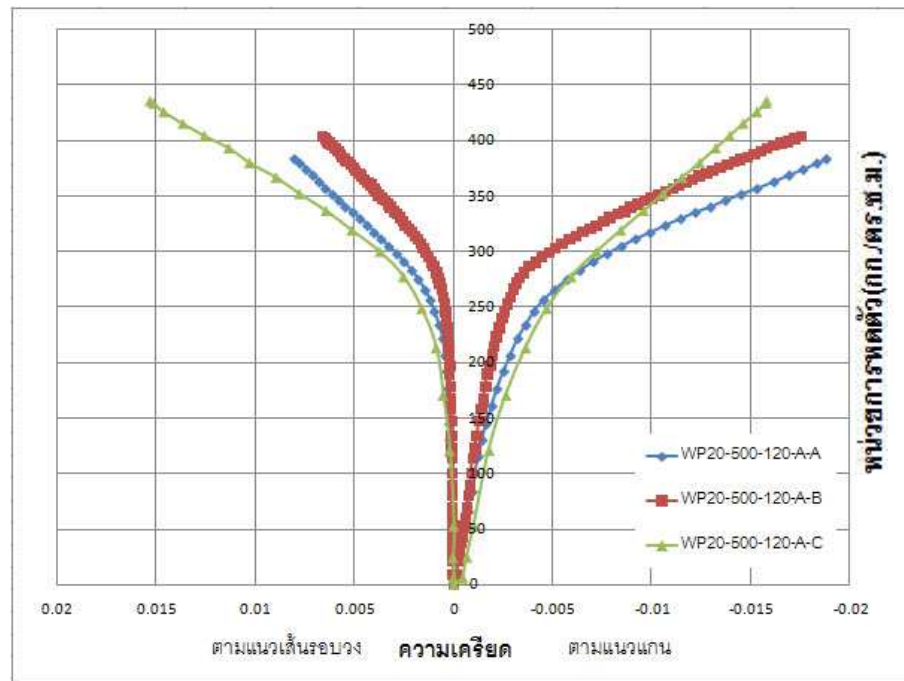


(ก) ชิ้นงานที่ไม่ได้เผา

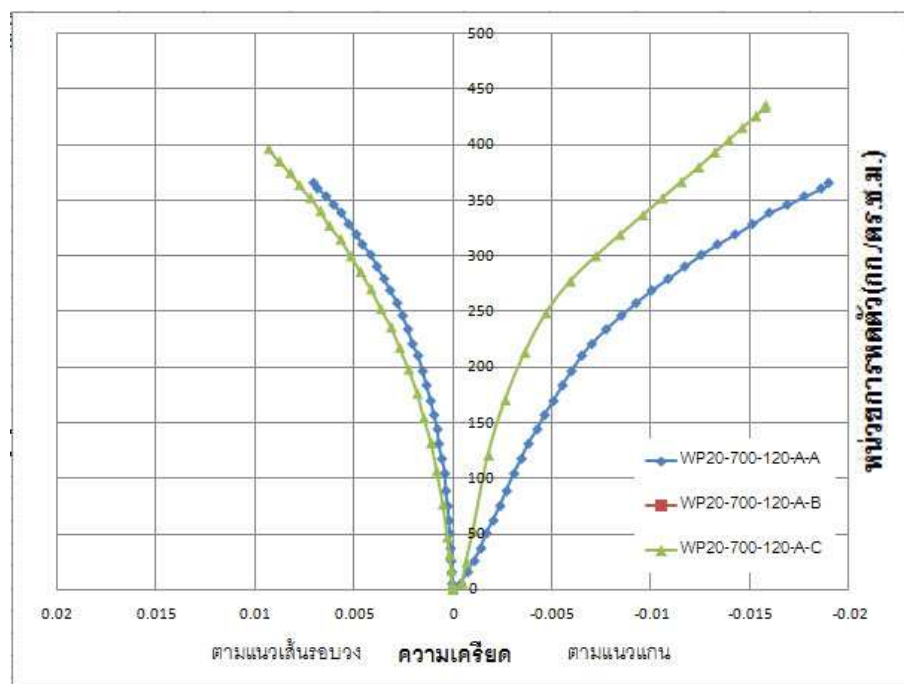


(ข) 300 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

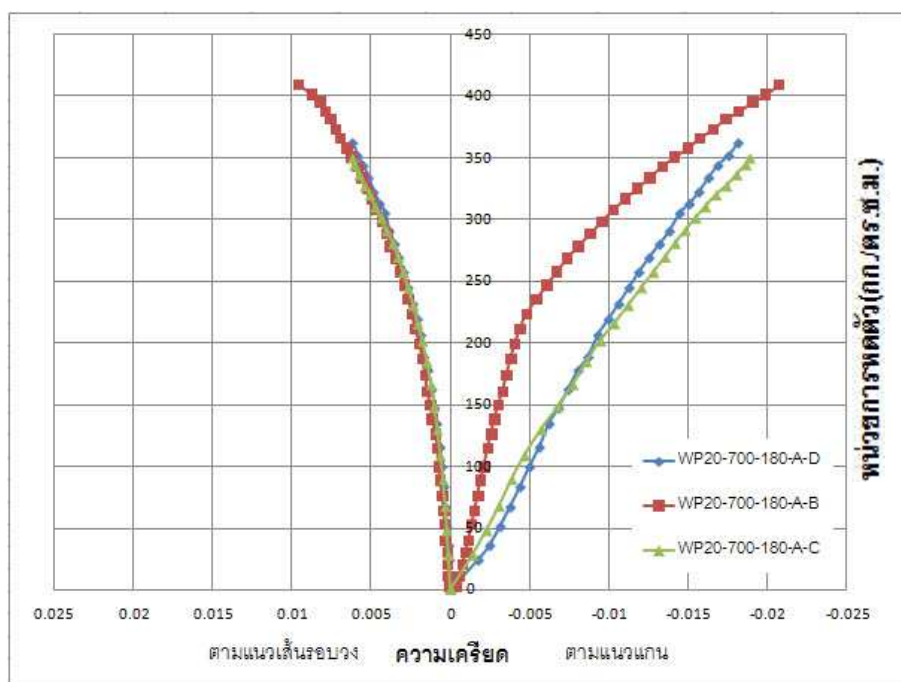


(ค) 500 องศาเซลเซียส



(ง) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 5.2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
 ประลัย 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง



(จ) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
ประลัย 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.2 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้
ภาพที่ 5.2(ก) แสดงชิ้นงาน WP20-RT-00-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 410
กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0139 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
216567 กก./ ตร.ซม.

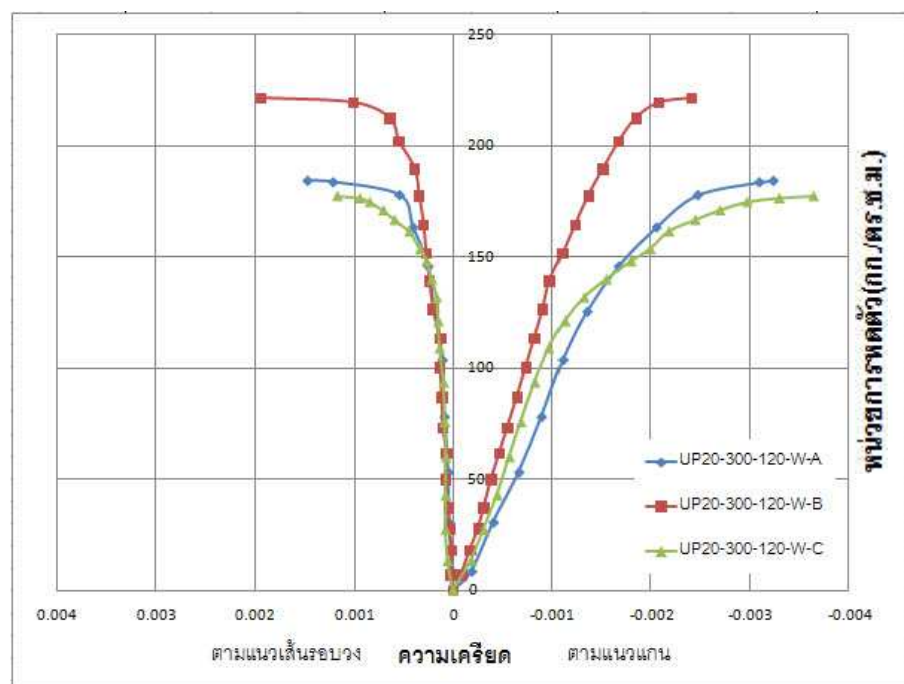
ภาพที่ 5.2(ข) แสดงชิ้นงาน WP 20-300-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
400 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.009 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
120765 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.2(ค) แสดงชิ้นงาน WP 20-500-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
407 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0173 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
104345 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.2(ง) แสดงชิ้นงาน WP 20-700-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 381 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.021 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 30927กก./ ตร.ซม.

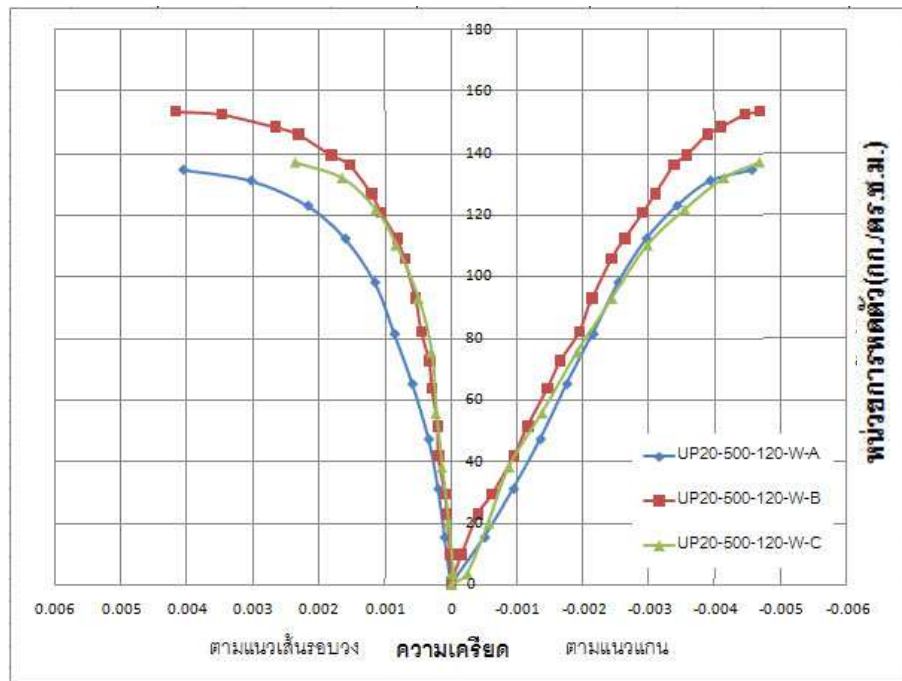
ภาพที่ 5.2(จ) แสดงชิ้นงาน WP 20-700-180-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 374 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0192 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 32591กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.3แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 ksc ที่ไม่ได้ถูกโอบรัดภายหลังจากการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงด้วยน้ำ โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

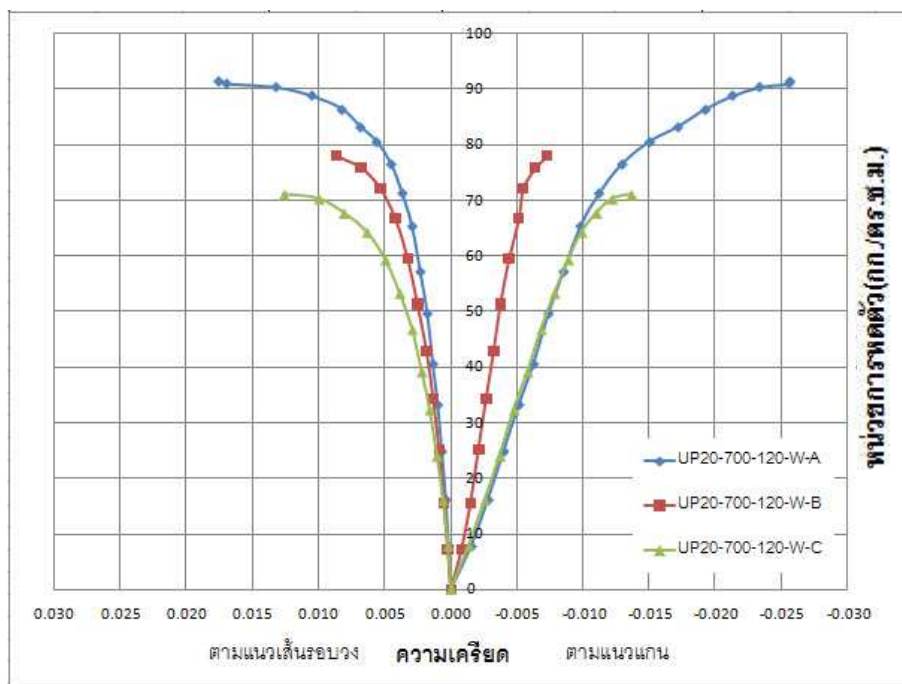


(ก) 300 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200 ksc ที่ไม่ได้ถูกโอบรัดภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

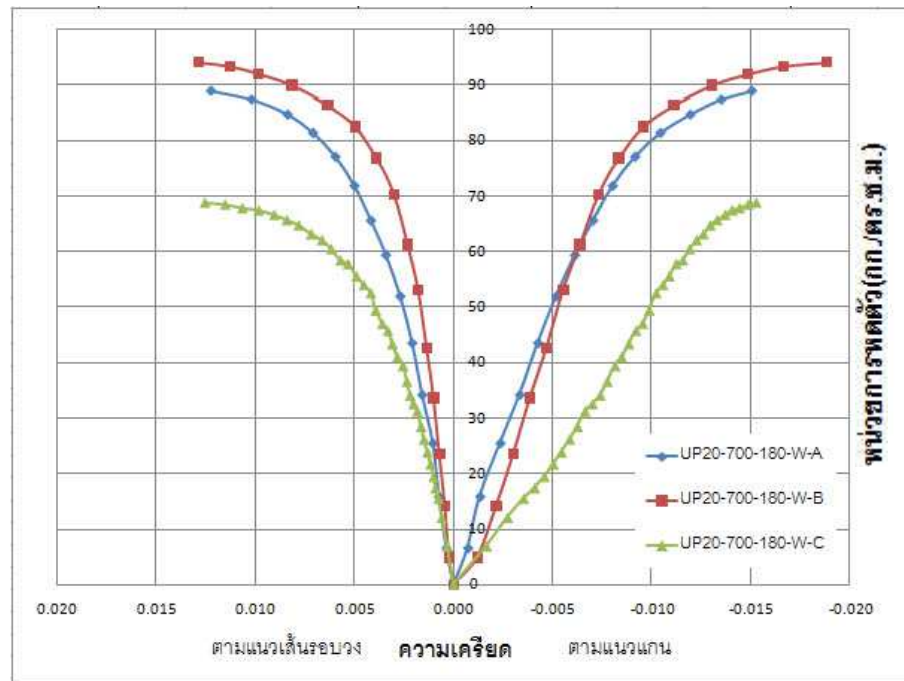


(ข) 500 องศาเซลเซียส



(ค) 700 องศาเซลเซียส(120 นาที)

ภาพที่ 5.3 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ



(ง) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.3 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.3สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้

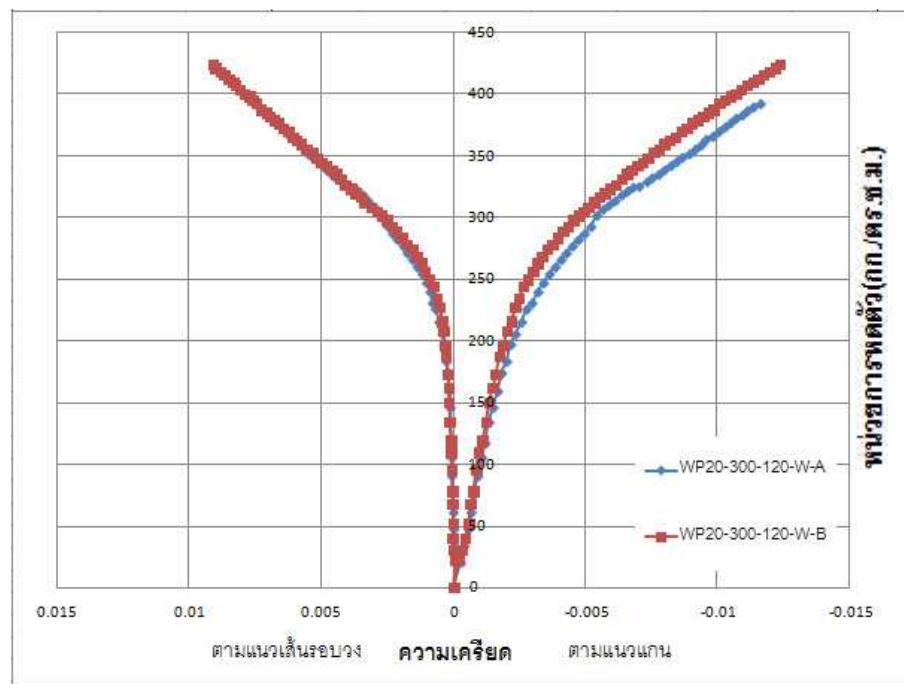
ภาพที่ 5.3(ก) แสดงชิ้นงาน UP20-300-120-Wค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 194 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0031และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 122269กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.3(ข) แสดงชิ้นงาน UP20-500-120-Wค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 141 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0046และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 41881 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.3(ค) แสดงชิ้นงาน UP20-700-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 80 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0155และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 9831 กก./ ตร.ซม.

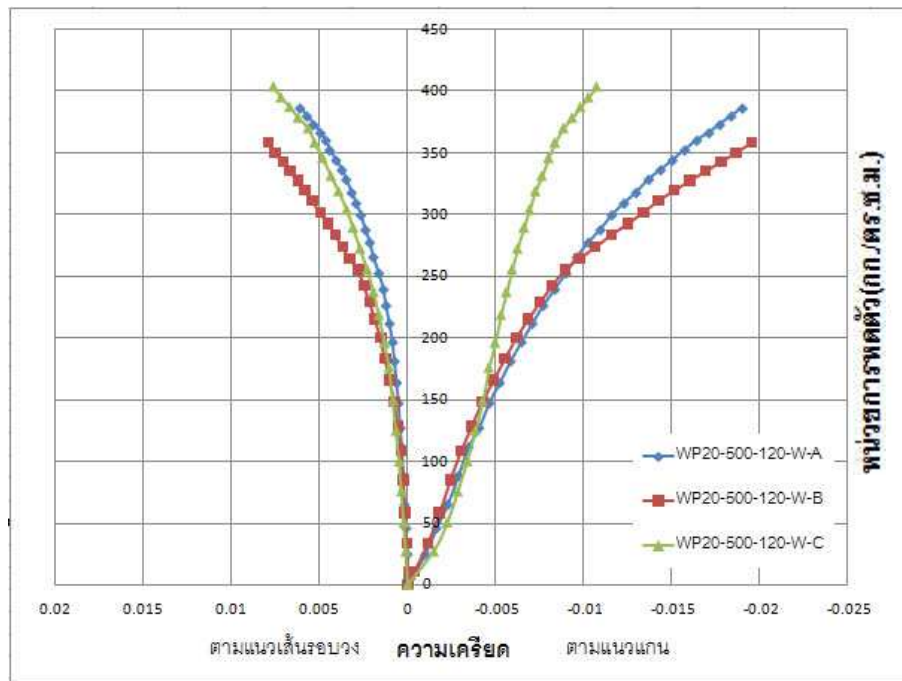
ภาพที่ 5.3(ง) แสดงชิ้นงาน UP20-700-180-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 84 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0163 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 8556 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงด้วยน้ำ โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

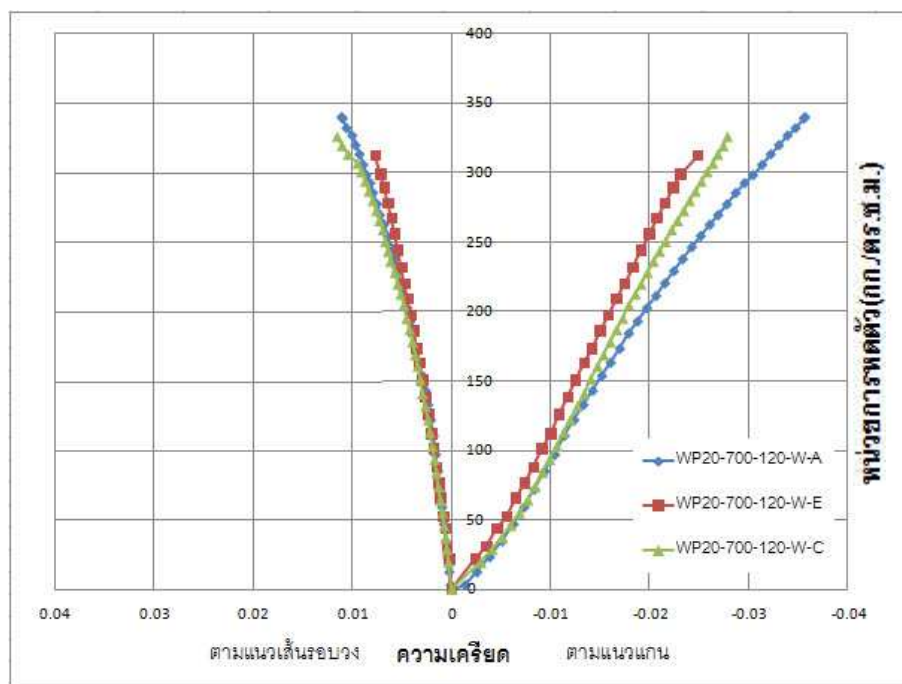


(ก) 300 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

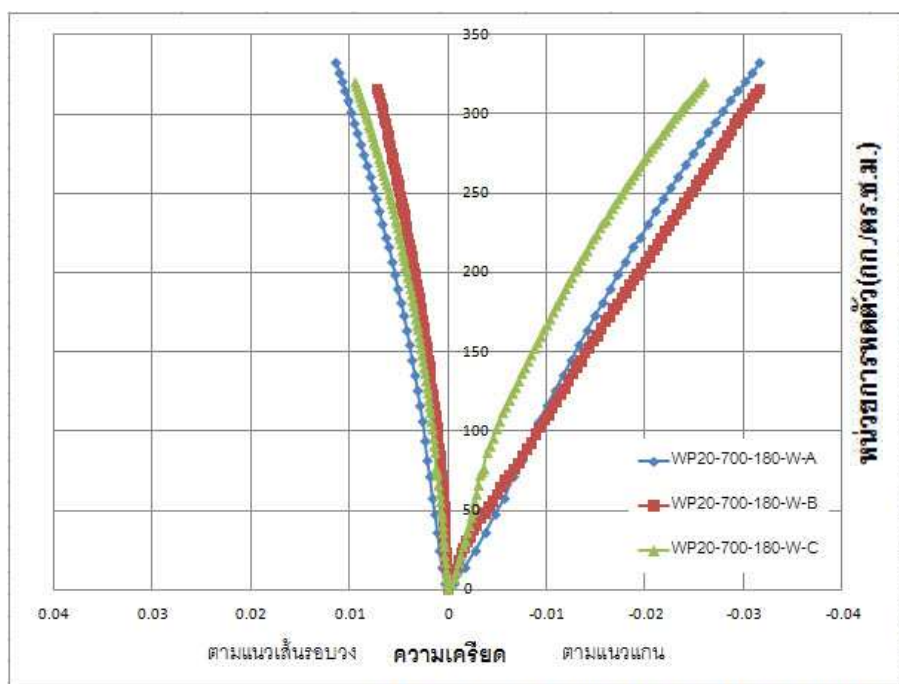


(ข) 500 องศาเซลเซียส



(ค) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 5.4 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ



(ง) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.4 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 200 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.4 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้

ภาพที่ 5.4(ก) แสดงชิ้นงาน WP20-300-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 408 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0118 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 105258 กก./ ตร.ซม.

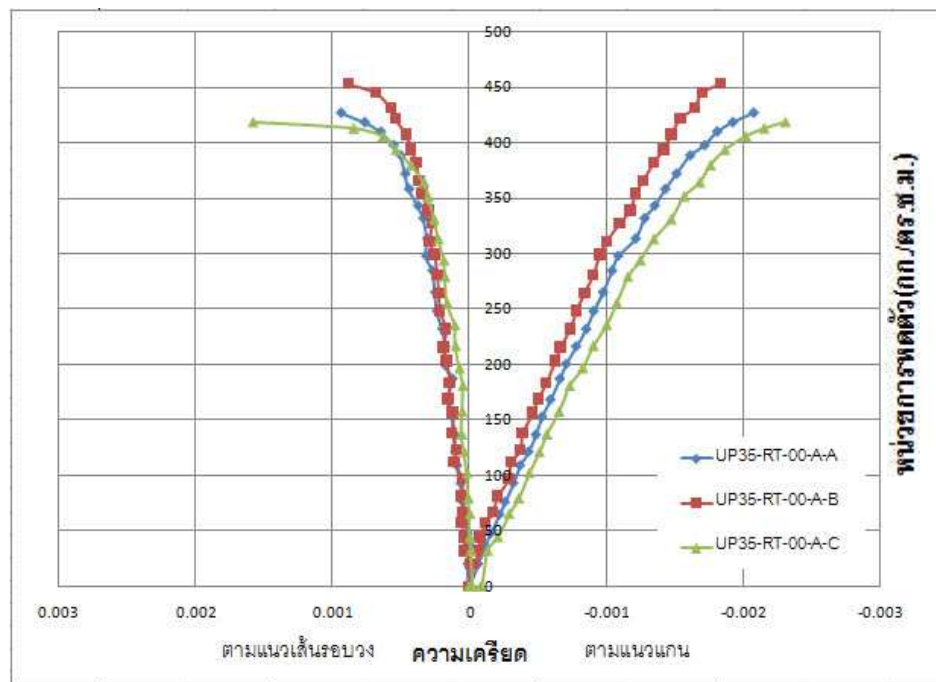
ภาพที่ 5.4(ข) แสดงชิ้นงาน WP20-500-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 382 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0164 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 37453 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.4(ค) แสดงชิ้นงาน WP20-700-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 326 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0294 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 9936 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.4(ง) แสดงชิ้นงาน WP20-700-180-W ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 322 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0297 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 14783 กก./ ตร.ซม.

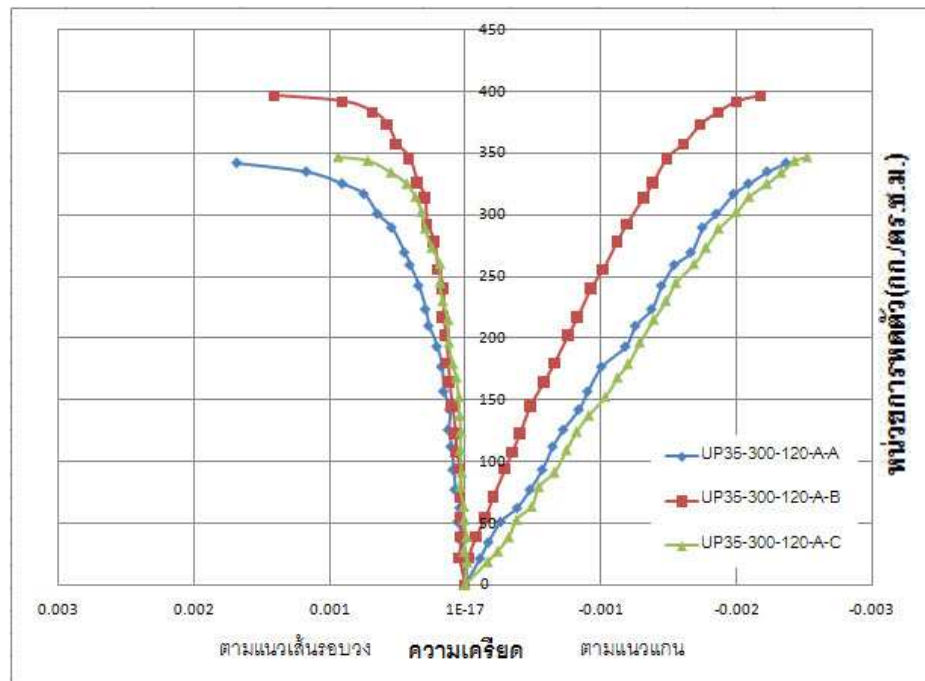
5.2.2 คอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ภาพที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงหลังการเผาด้วยอุณหภูมิห้อง โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

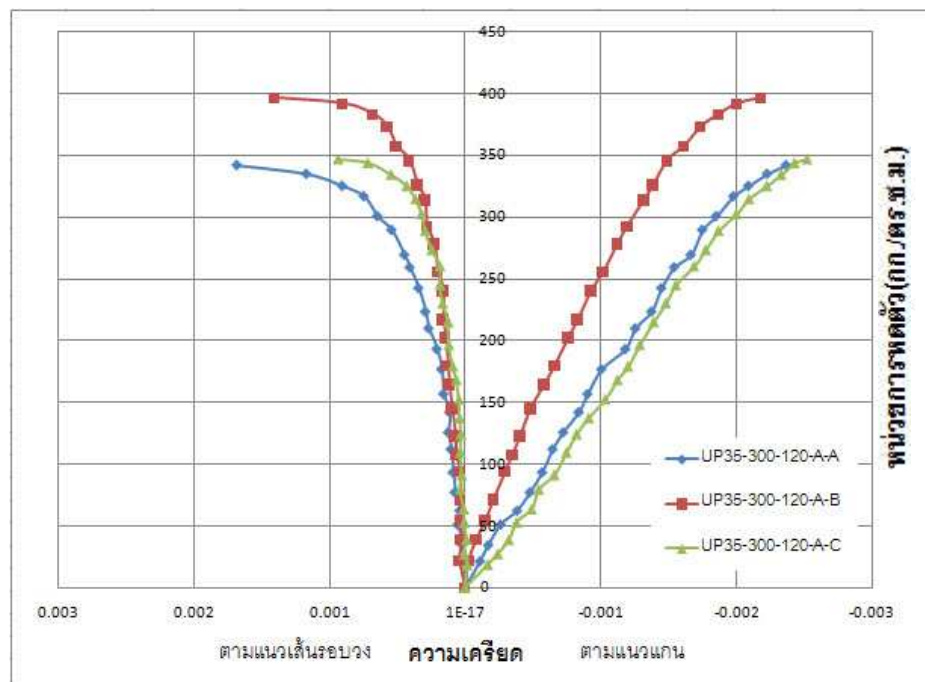


(ก) ชิ้นงานไม่ได้เผา

ภาพที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

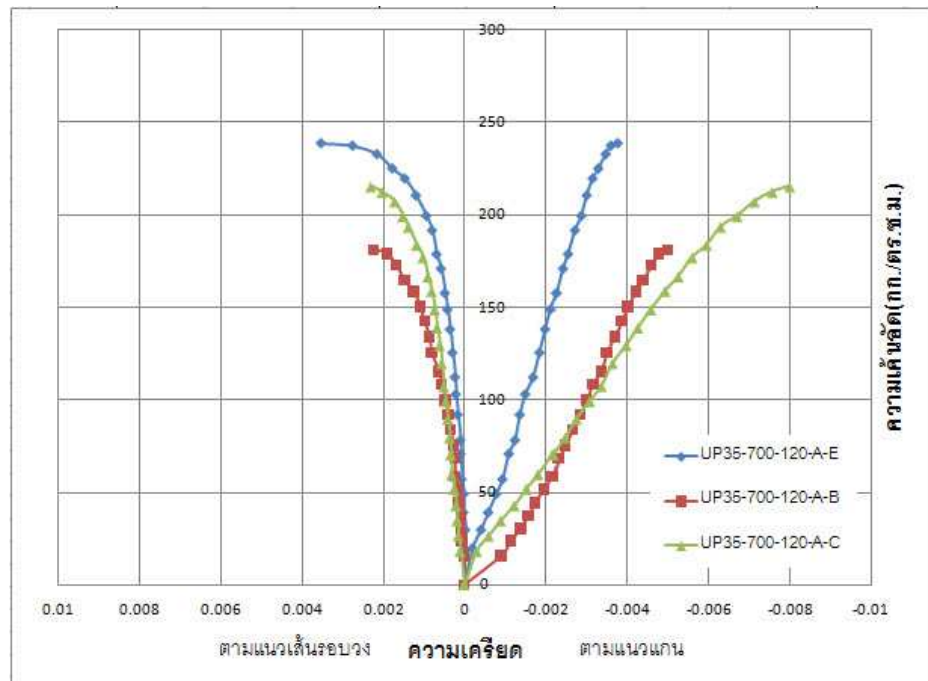


(ข) 300 องศาเซลเซียส

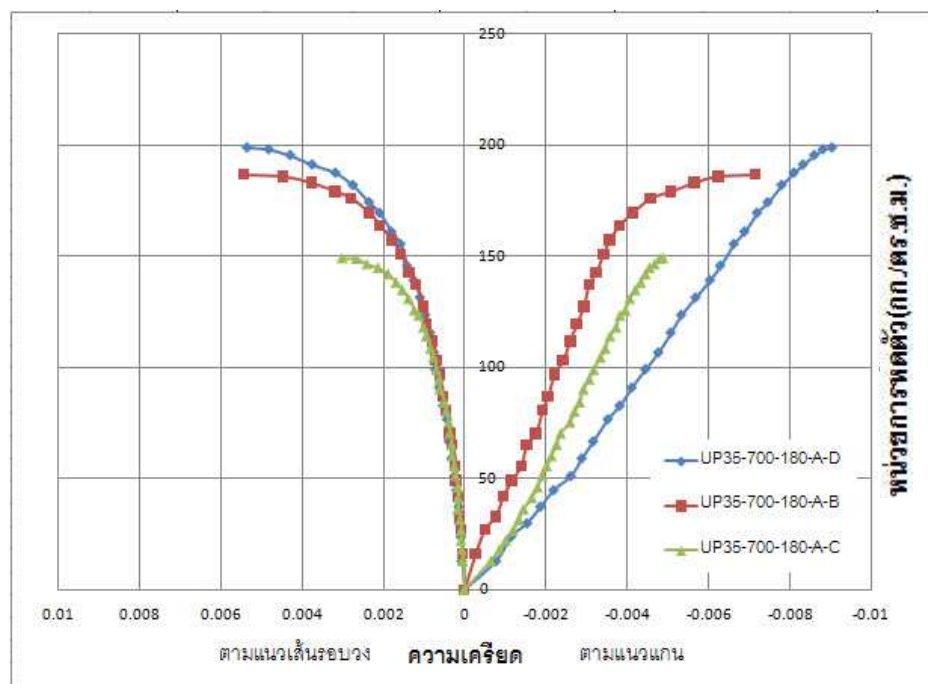


(ค) 500 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.5 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง



(ง) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)



(จ) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.5 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.5 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้
ภาพที่ 5.5(ก) แสดงชิ้นงาน UP35-RT-00-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 432
กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0025 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
274882 กก./ ตร.ซม.

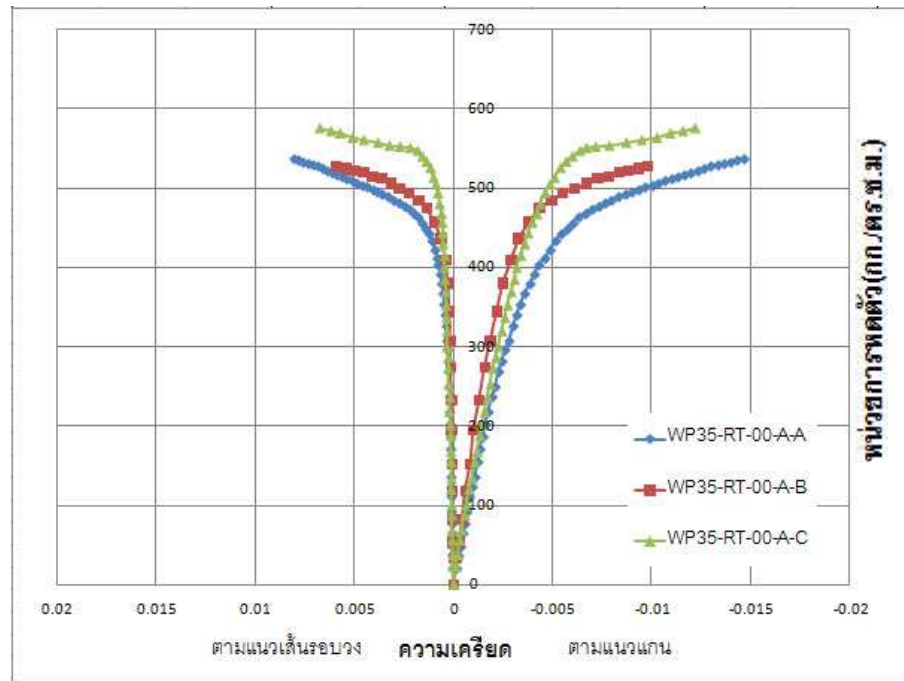
ภาพที่ 5.5(ข) แสดงชิ้นงาน UP35-300-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 361
กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0023 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
199845 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.5(ค) แสดงชิ้นงาน UP35-500-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ
271 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0024 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
148820 กก./ ตร.ซม.

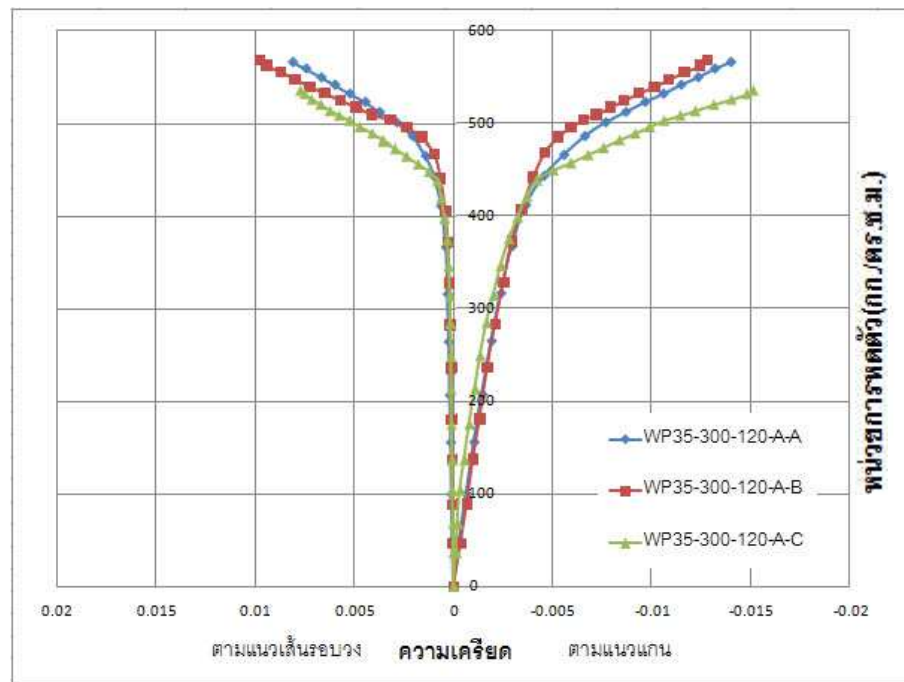
ภาพที่ 5.5(ง) แสดงชิ้นงาน UP35-700-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 211
กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0055 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 39636
กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.5(จ) แสดงชิ้นงาน UP35-700-180-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 178
กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0070 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 28442
กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตาม
แนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดออกแบบ 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP
ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง โดยค่ากำลังรับแรงอัด
เฉลี่ย ค่าความเครียดเฉลี่ย แสดงในตารางที่ 5.1

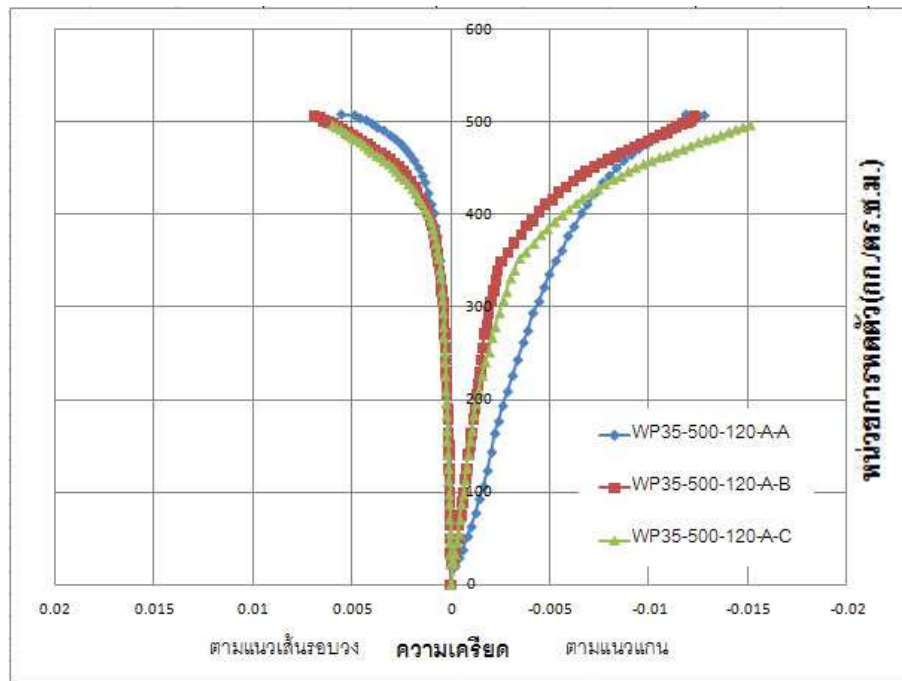


(ก) ชิ้นงานไม่ได้เผา

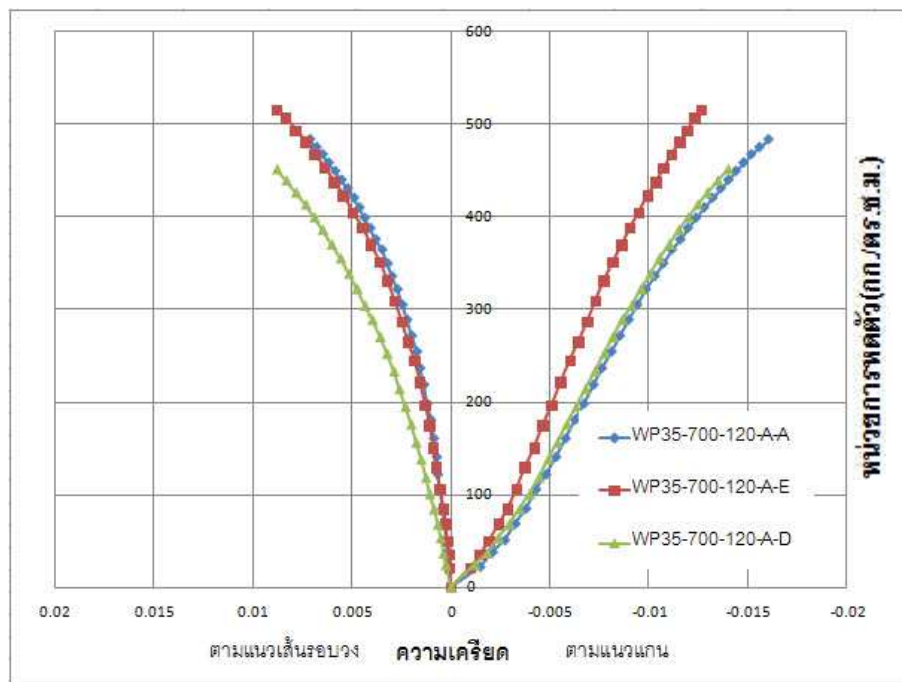


(ข) 300 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

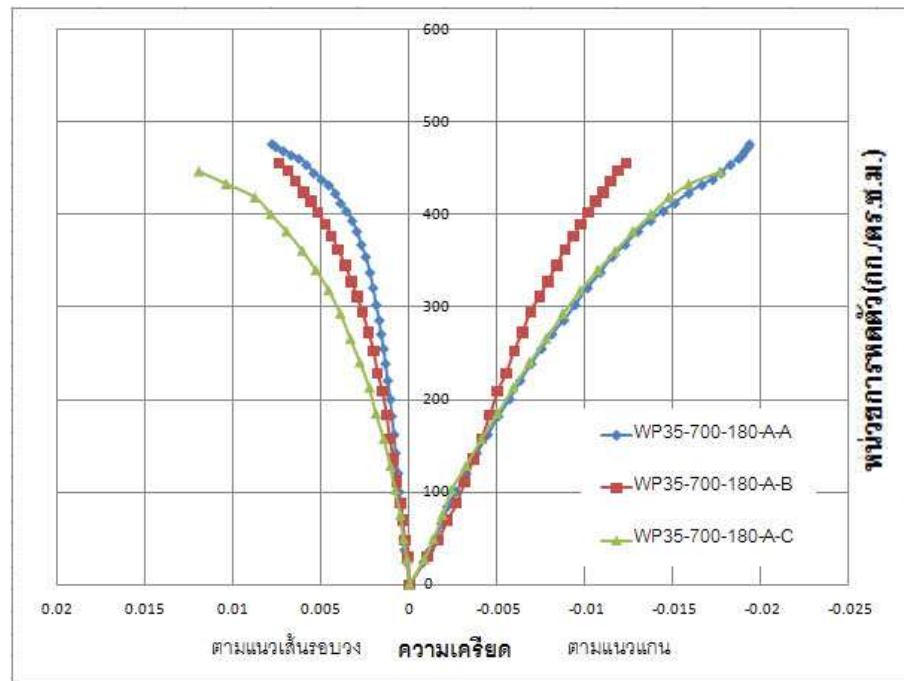


(ค) 500 องศาเซลเซียส



(ง) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 5.6 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
 ประลัย 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง



(จ) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.6 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
ประลัย 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.6 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้

ภาพที่ 5.6(ก) แสดงชิ้นงาน WP35-RT-00-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 547
กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0122 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
149272 กก./ ตร.ซม.

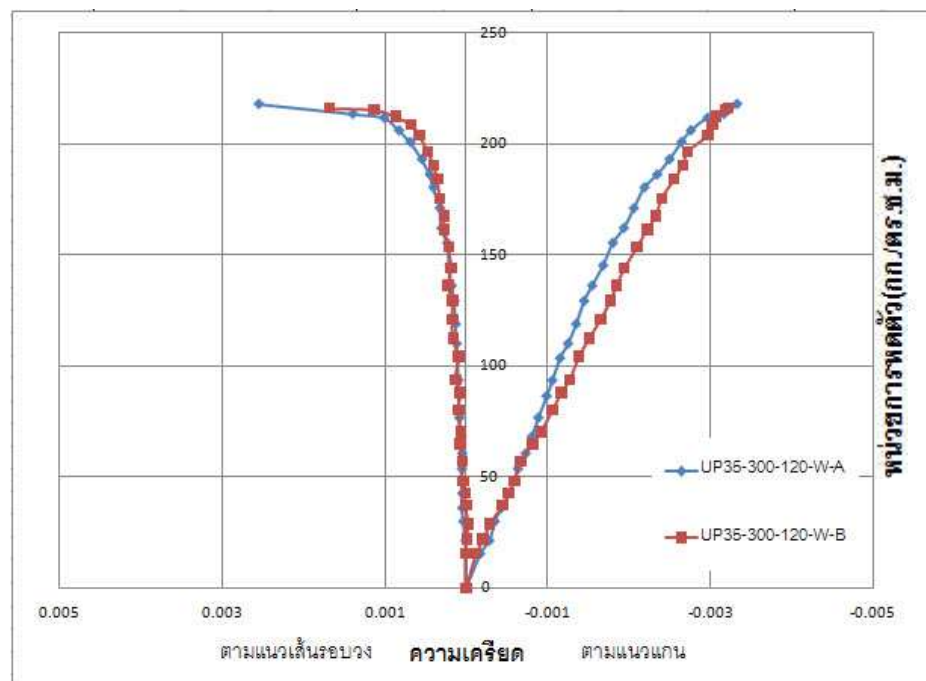
ภาพที่ 5.6(ข) แสดงชิ้นงาน WP35-300-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
556 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.014 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
149222 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.6(ค) แสดงชิ้นงาน WP35-500-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
504 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0128 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
126688 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.6(ง) แสดงชิ้นงาน WP35-700-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 483 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0139 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 31206 กก./ ตร.ซม.

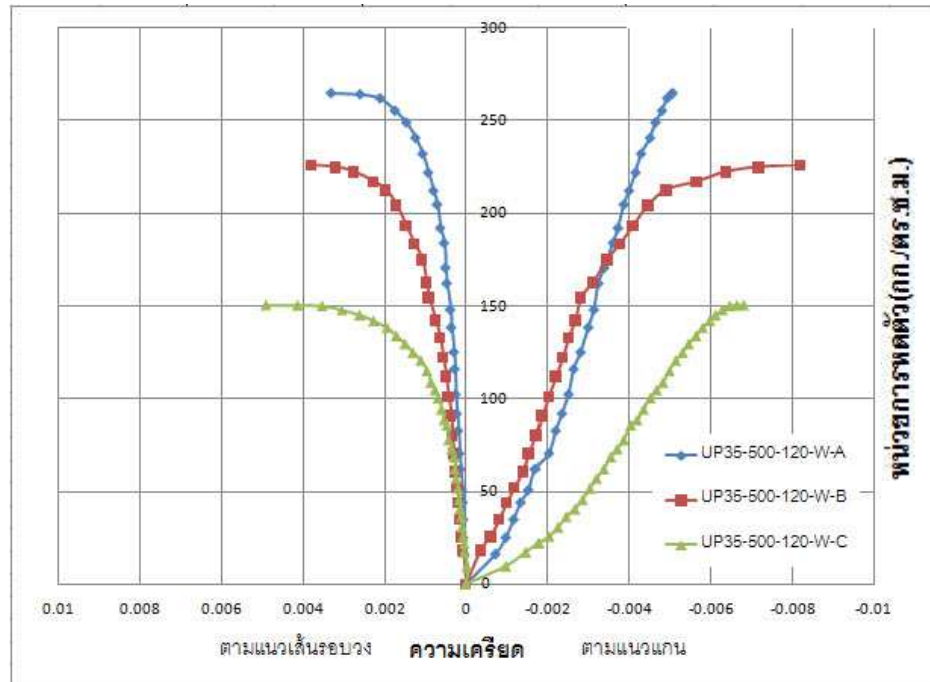
ภาพที่ 5.6(จ) แสดงชิ้นงาน WP35-700-180-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 460 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0164 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 40681 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ที่ไม่ได้ถูกโอบรัดภายหลังจากการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงด้วยน้ำ โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

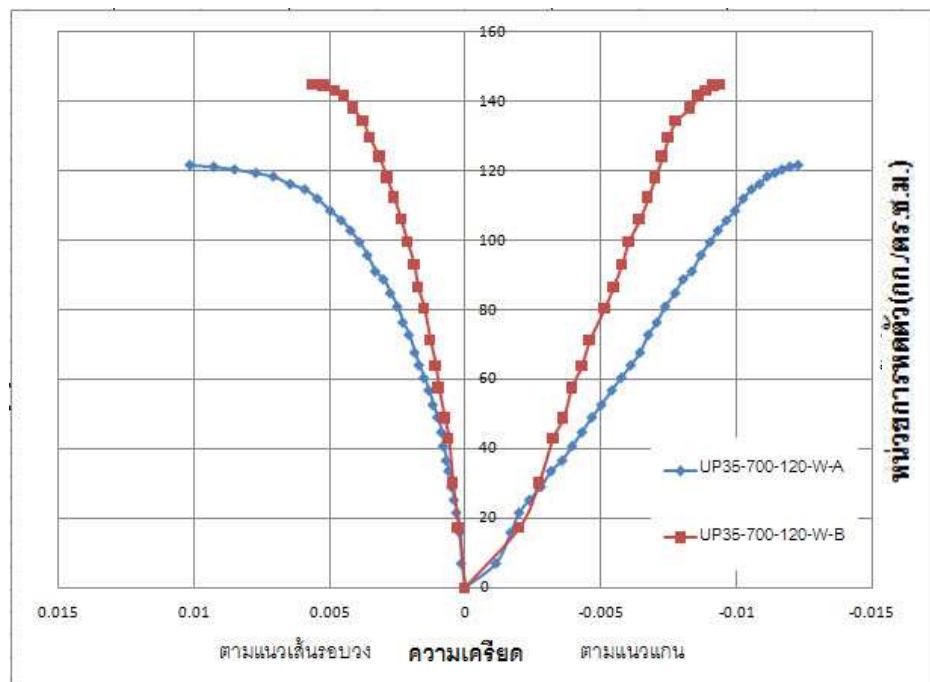


(ก) 300 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350 ksc ที่ไม่ได้ถูกโอบรัดภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

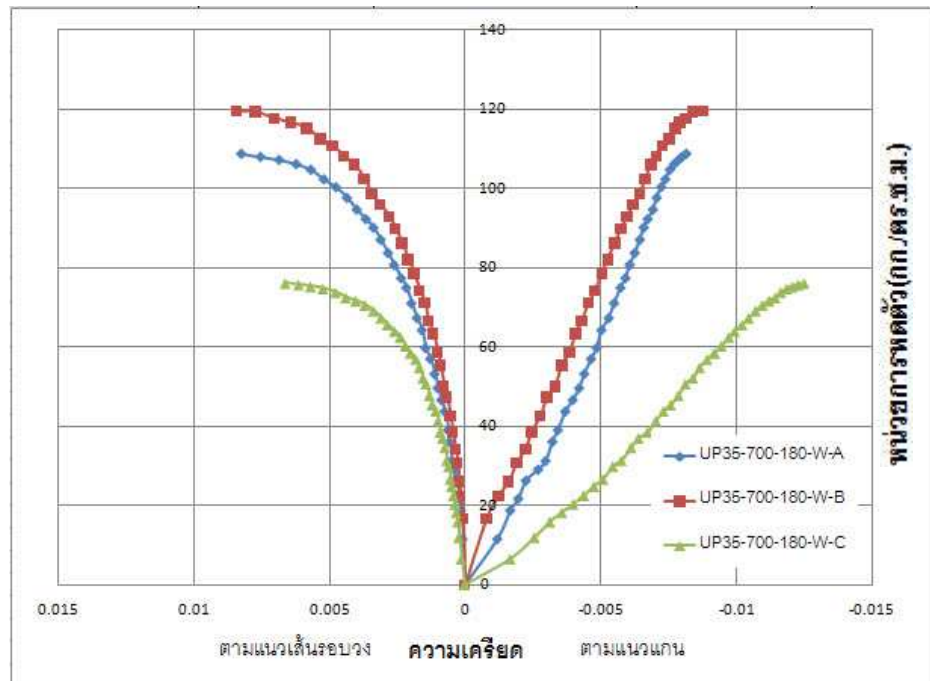


(ข) 500 องศาเซลเซียส



(ค) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 5.7 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ



(ง) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.7 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.7สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้

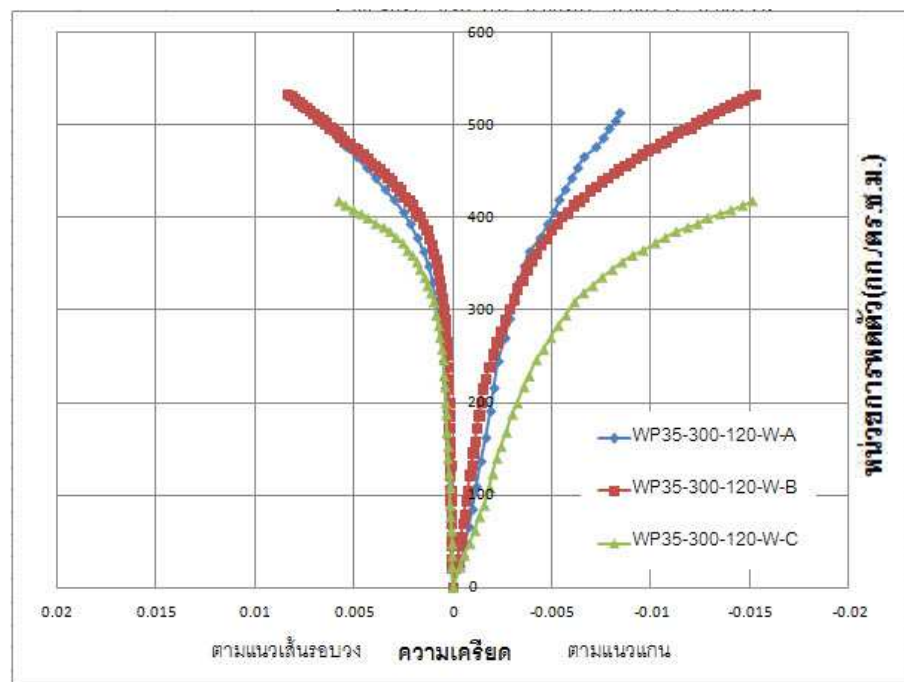
ภาพที่ 5.7(ก) แสดงชิ้นงาน UP35-300-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 216กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0033และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 76333กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.7(ข) แสดงชิ้นงาน UP35-500-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 213กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0066และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 35655กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.7(ค) แสดงชิ้นงาน UP35-700-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 133กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0108และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 16654กก./ ตร.ซม.

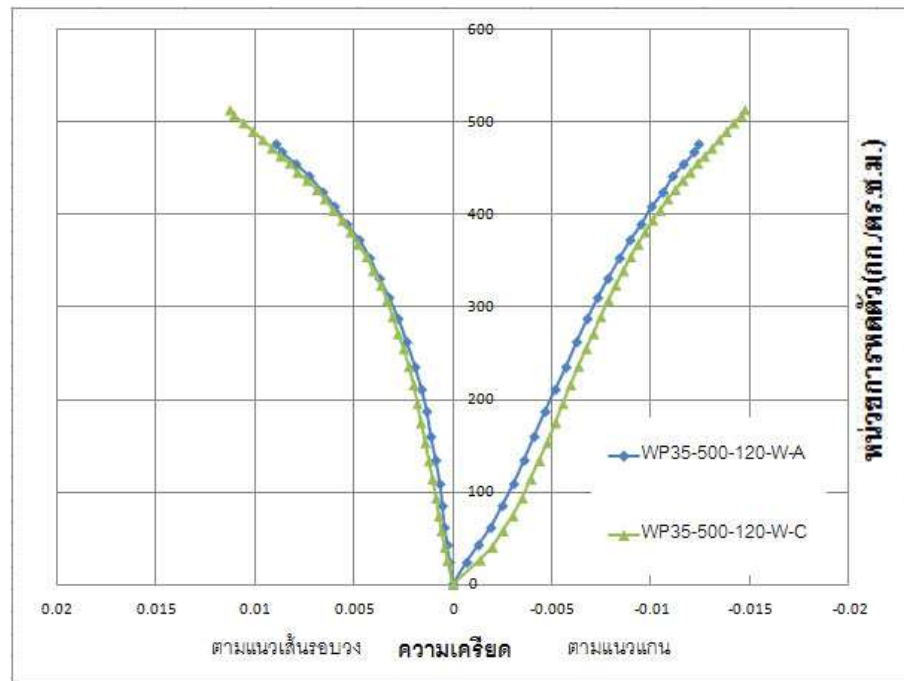
ภาพที่ 5.7(ง) แสดงชิ้นงาน UP35-700-180-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 101 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0098 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 10022 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงด้วยน้ำ โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

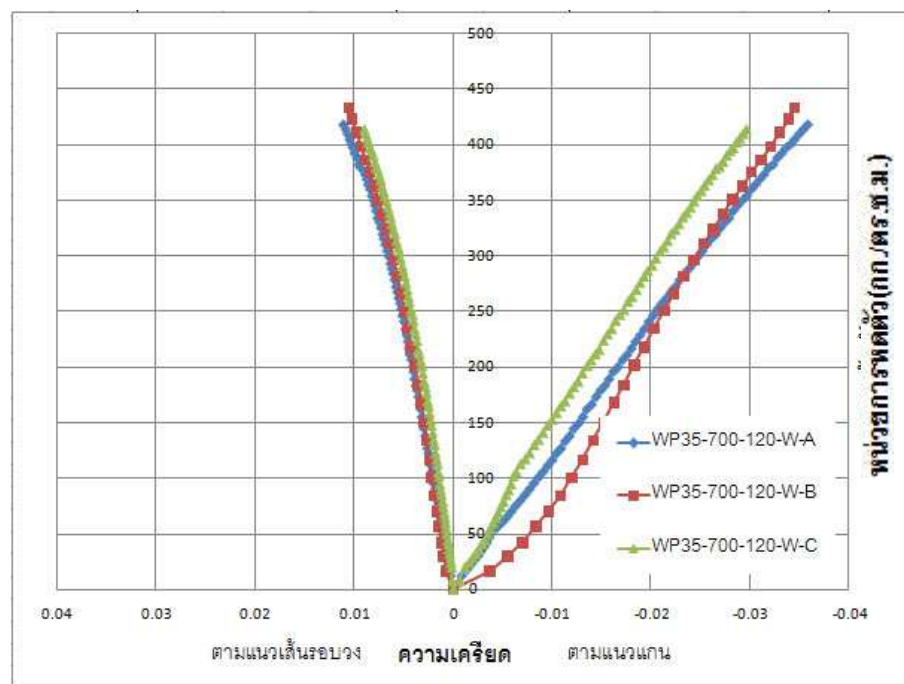


(ก) 300 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

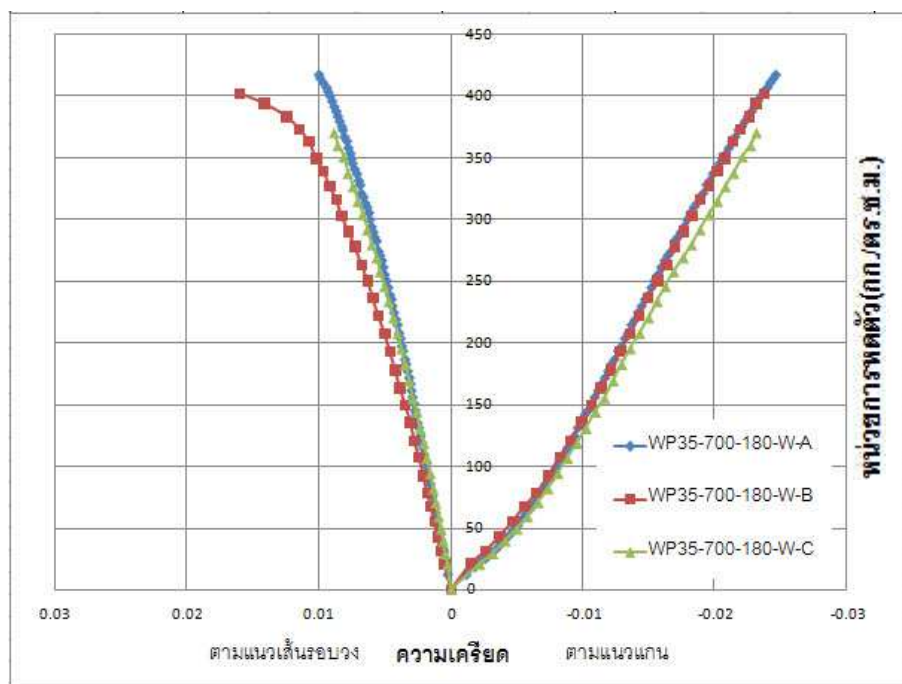


(ข) 500 องศาเซลเซียส



(ค) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 5.8 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
 ประลัย 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ



(ง) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.8 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
ประลัย 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.8 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้

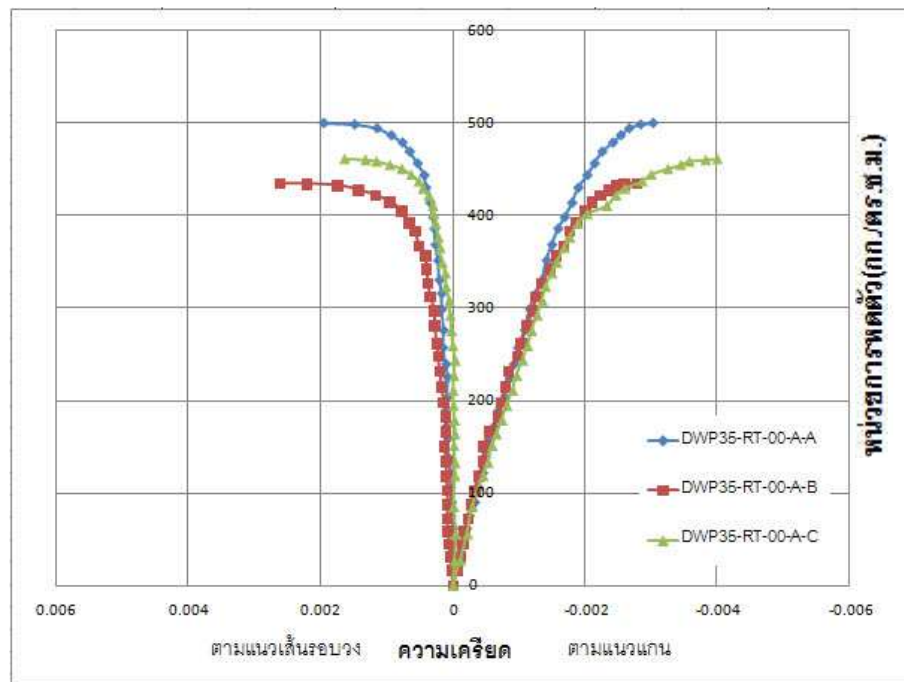
ภาพที่ 5.8(ง) แสดงชิ้นงาน WP35-300-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
488 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0129 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
96703 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.8(ข) แสดงชิ้นงาน WP35-500-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
495 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0135 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
36093 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.8(ค) แสดงชิ้นงาน WP35-700-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
416 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0327 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
11554 กก./ ตร.ซม.

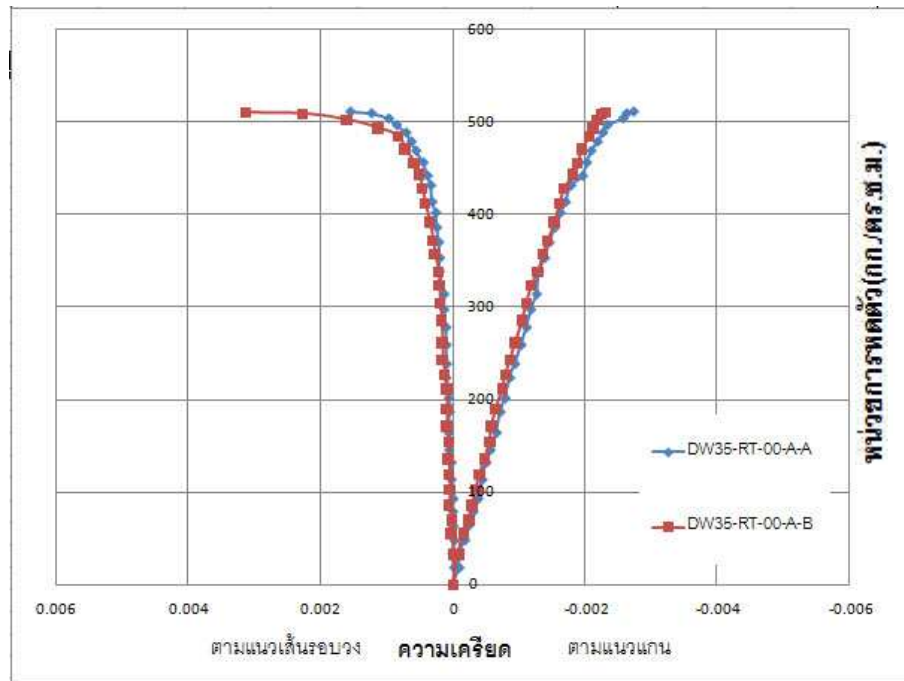
ภาพที่ 5.8(ง) แสดงชิ้นงาน WP35-700-180-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 396กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0238 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 10677กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.9 และภาพที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบดังแสดงในภาพที่ 4.1 โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1



(ก) ชิ้นงานที่นำไปอบก่อนโอบรัดด้วย CFRP

ภาพที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350 ksc ที่นำไปอบก่อนถูกโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบ



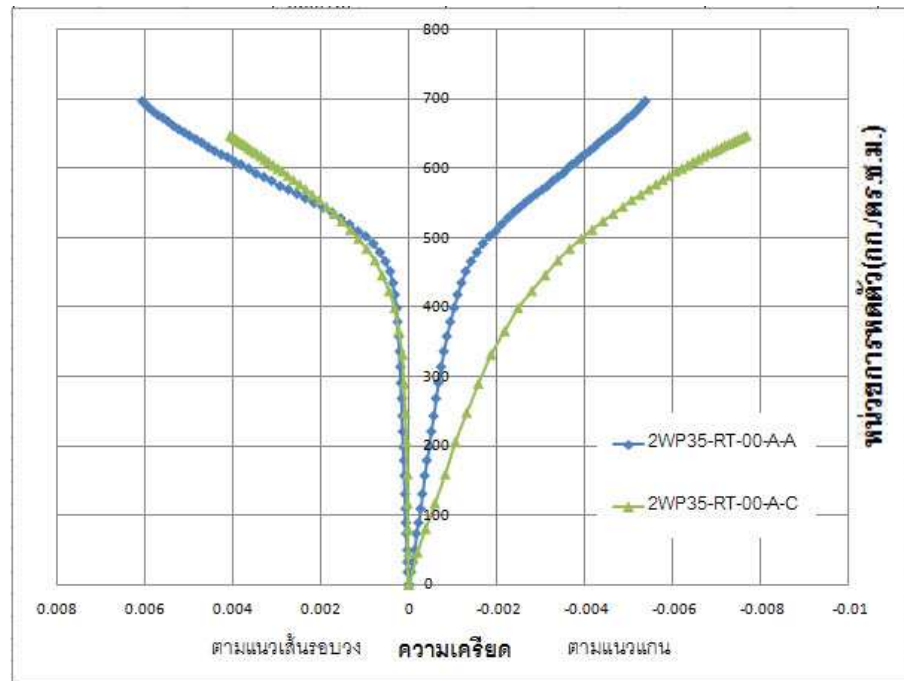
(ข) ชิ้นงานที่ไม่ได้อบก่อนโอบรัดด้วย CFRP

ภาพที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350 ksc ที่ไม่ได้อบก่อนถูกโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบ

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.9 และ ภาพที่ 5.10 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ ดังนี้

ภาพที่ 5.9 แสดงชิ้นงาน DWP35-RT-00-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 465 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0032 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 286059 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.10 แสดงชิ้นงาน DW35-RT-00-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 490 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0025 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 265428 กก./ ตร.ซม.

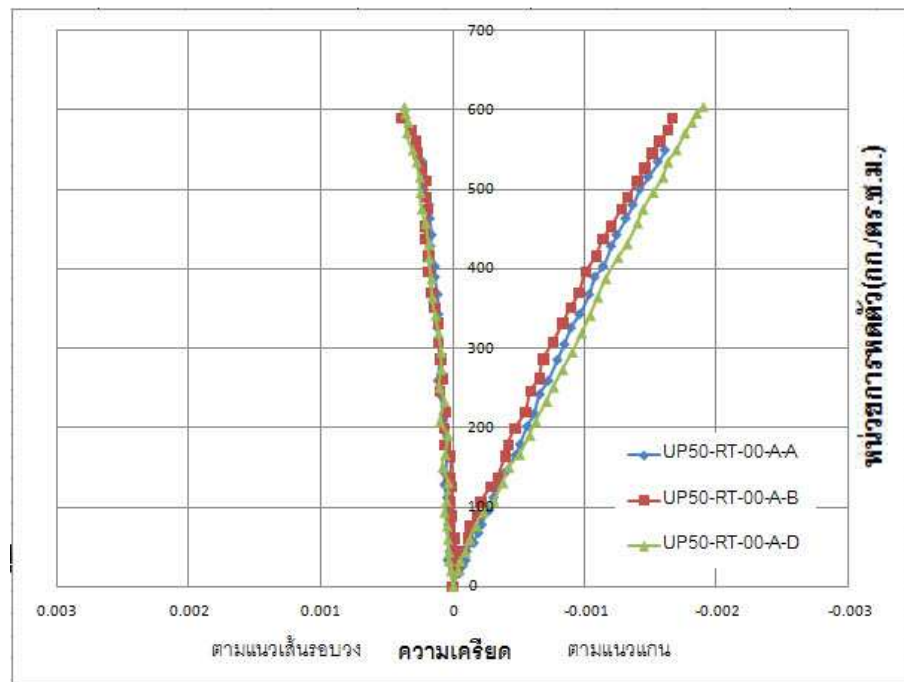


ภาพที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 350 ksc ถูกโอบรัดด้วย CFRP 2 ชั้น

ภาพที่ 5.11 แสดงชิ้นงาน 2WP35-RT-00-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 682 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0066 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 306676 กก./ ตร.ซม.

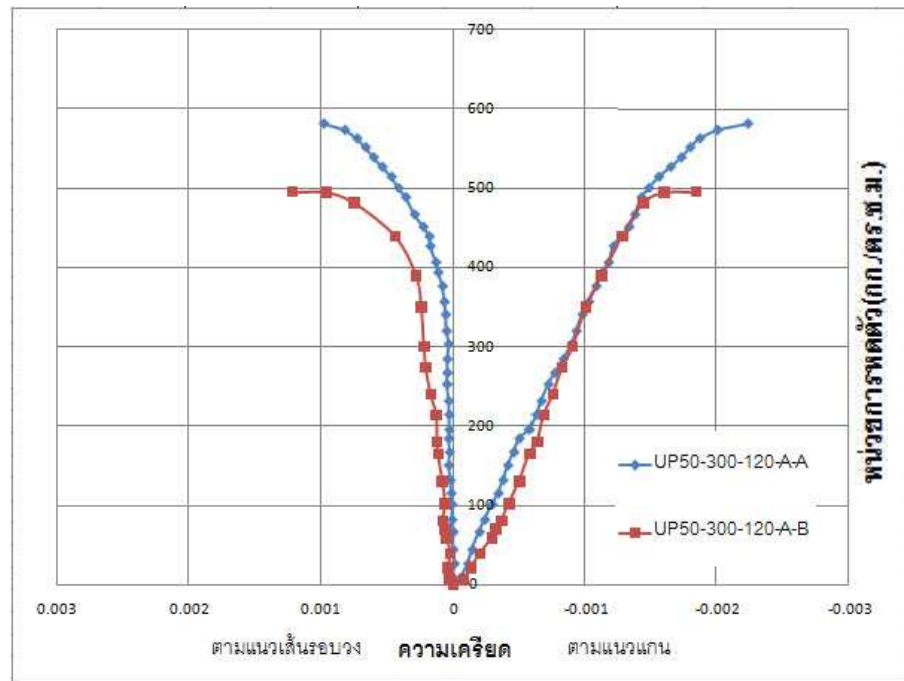
5.2.3 คอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ภาพที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงหลังการเผาด้วยอุณหภูมิห้อง โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

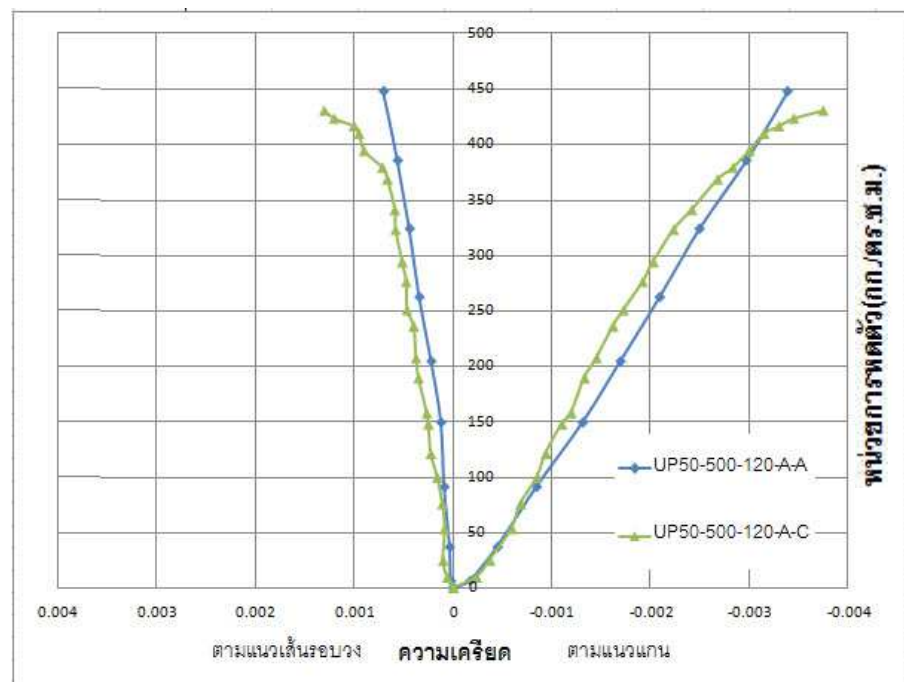


(ก) ชิ้นงานไม่ได้เผา

ภาพที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

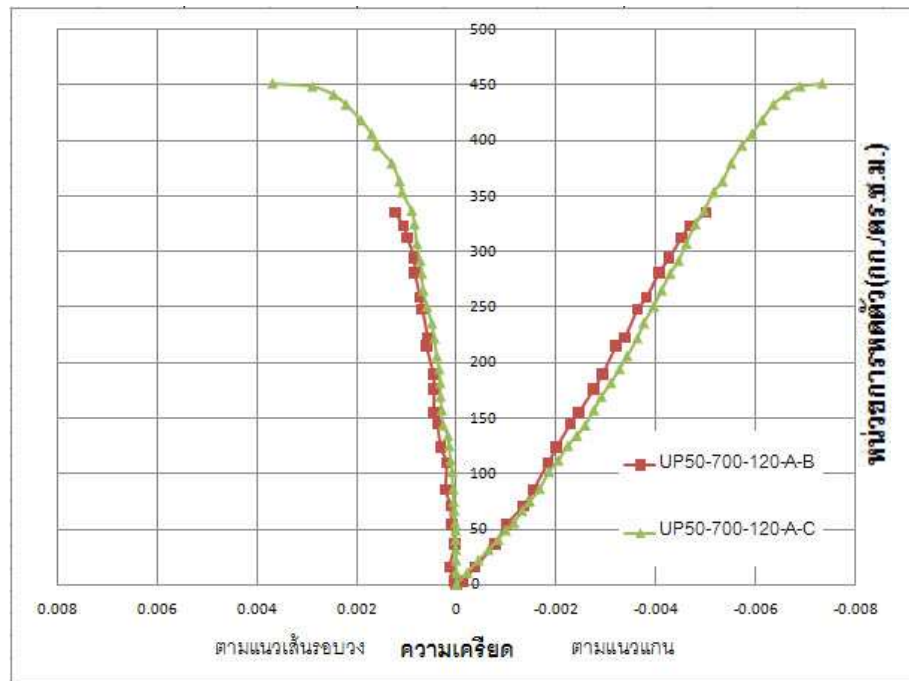


(ข) 300 องศาเซลเซียส

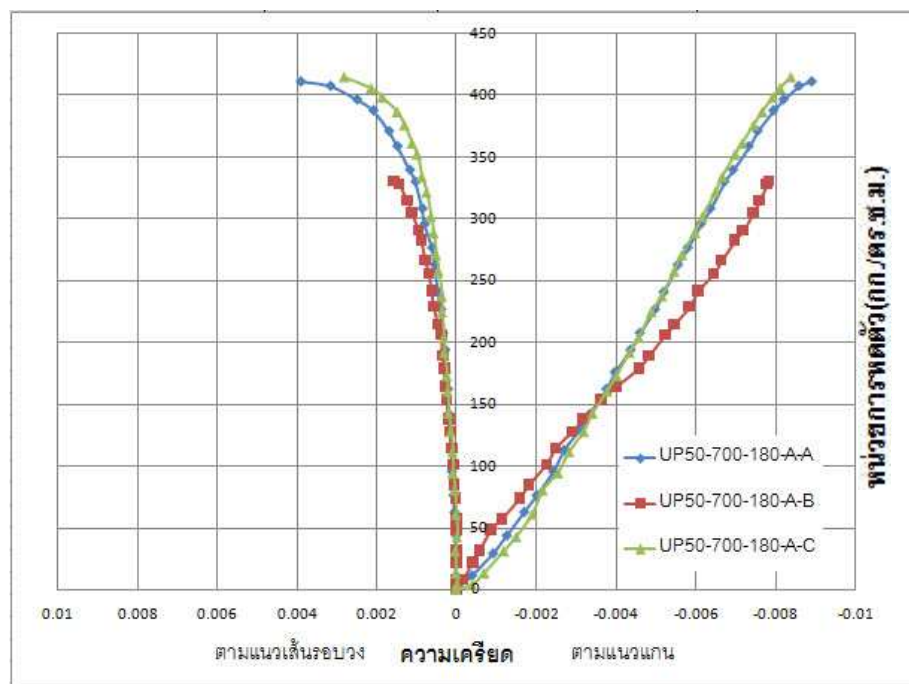


(ค) 500 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.12 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง



(ง) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)



(จ) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.12 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.9 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้

ภาพที่ 5.12(ก) แสดงชิ้นงาน UP50-RT-00-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 580 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0017 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 377879 กก./ ตร.ซม.

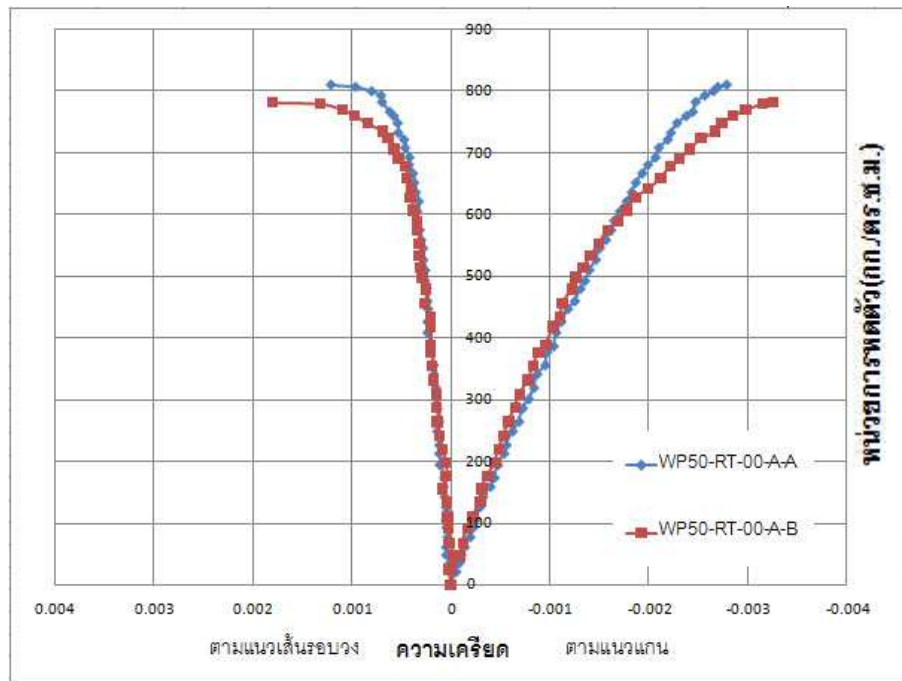
ภาพที่ 5.12(ข) แสดงชิ้นงาน UP50-300-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 538 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0020 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 334293 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.12(ค) แสดงชิ้นงาน UP50-500-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 439 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0035 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 145842 กก./ ตร.ซม.

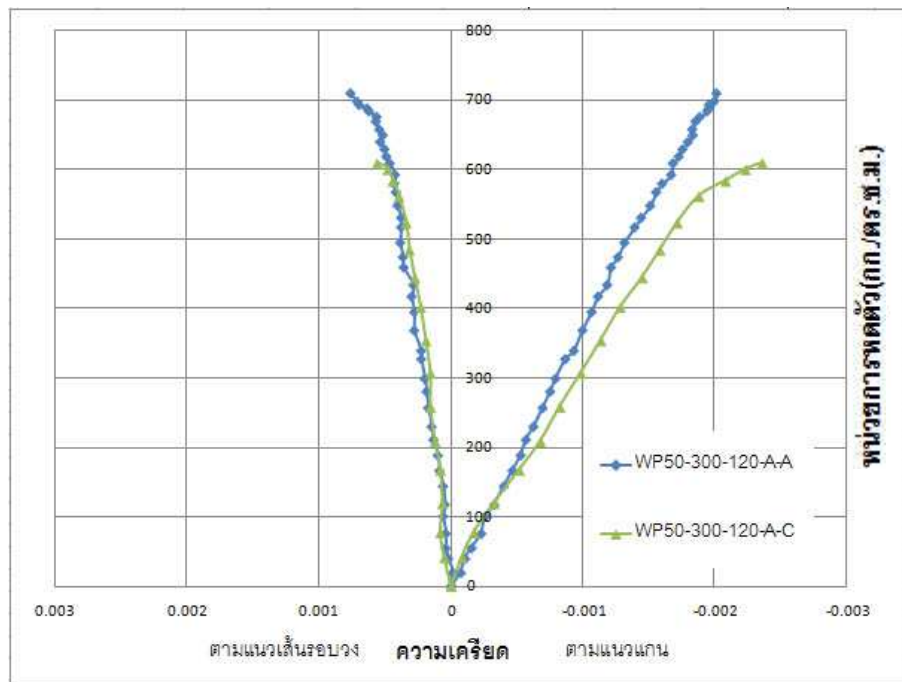
ภาพที่ 5.12(ง) แสดงชิ้นงาน UP50-700-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 393 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0062 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 52770 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.12(จ) แสดงชิ้นงาน UP50-700-180-A ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 385 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.0083 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 43748 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดออกแบบ 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง โดยค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย ค่าความเครียดเฉลี่ย แสดงในตารางที่ 5.1

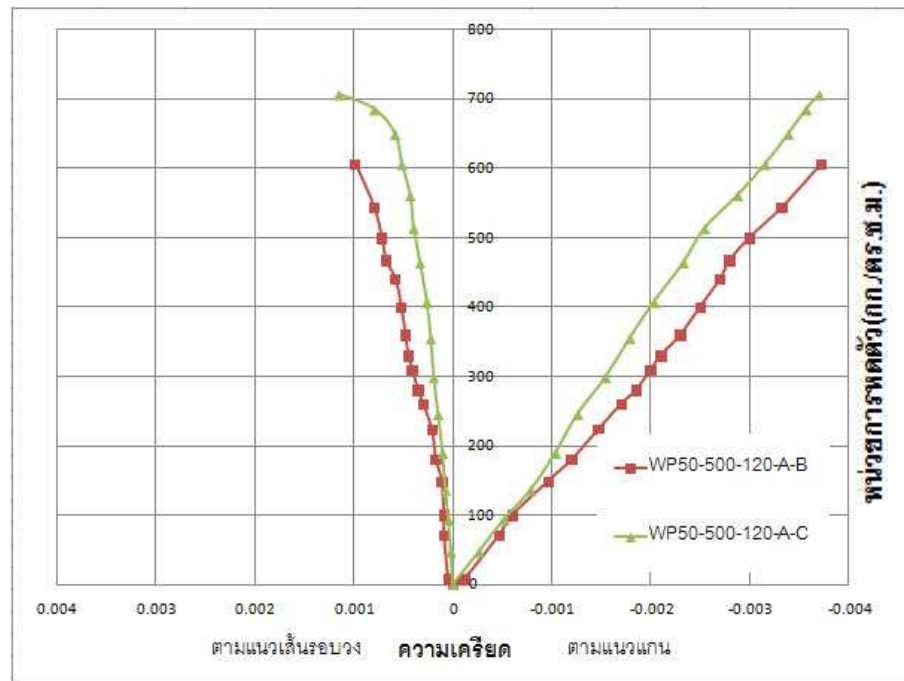


(ก) ชิ้นงานไม่ได้เผา

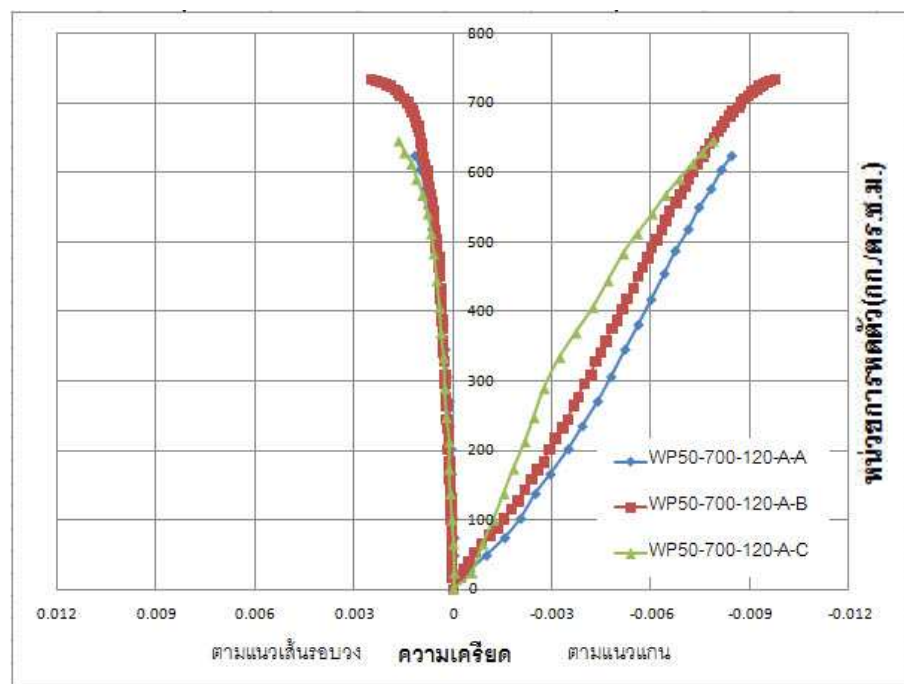


(ข) 300 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง

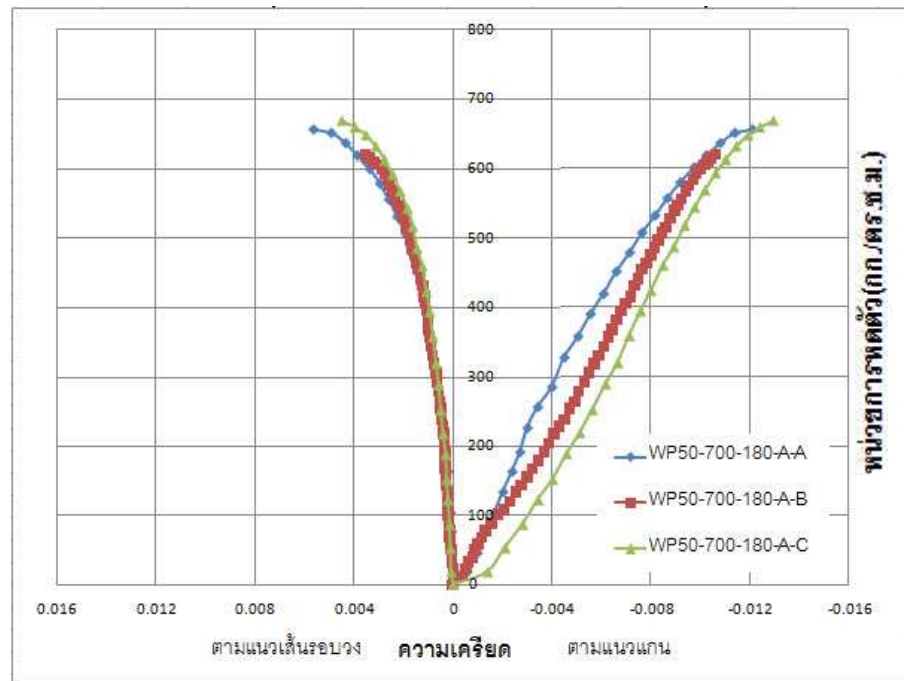


(ค) 500 องศาเซลเซียส



(ง) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 5.13 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
 ประดัย 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง



(จ) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.13 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
 ประลัย 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงโดยอุณหภูมิห้อง
 จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.13 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้
 ภาพที่ 5.13(ก) แสดงชิ้นงาน WP50-RT-00-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 796
 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0030 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
 394101 กก./ ตร.ซม.

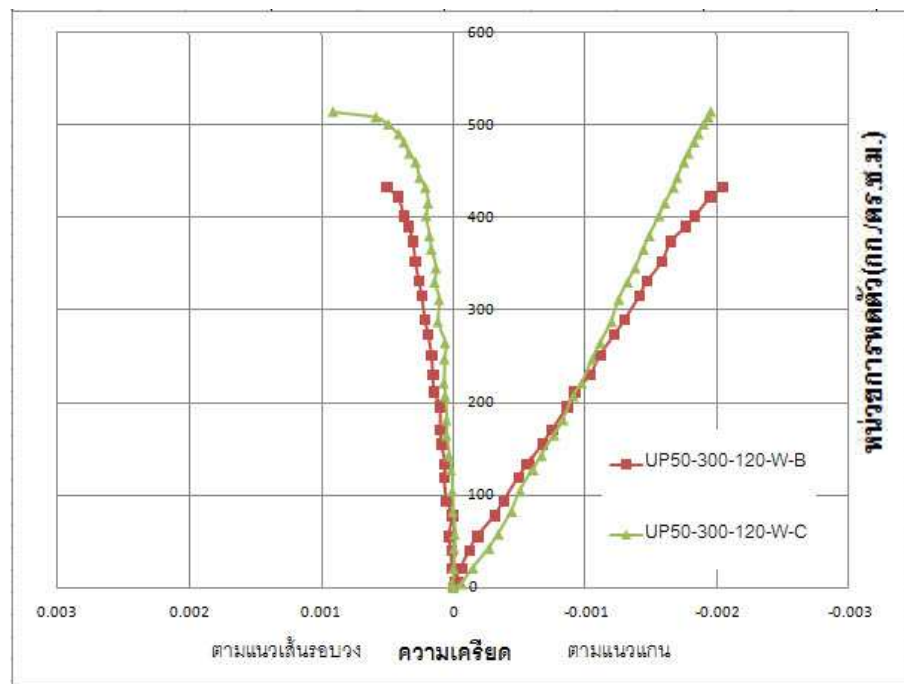
ภาพที่ 5.13(ข) แสดงชิ้นงาน WP50-300-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
 660 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0020 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
 339974 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.13(ค) แสดงชิ้นงาน WP50-500-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
 656 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0037 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
 183820 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.13(ง) แสดงชิ้นงาน WP50-700-120-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 667กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0087และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 80710กก./ ตร.ซม.

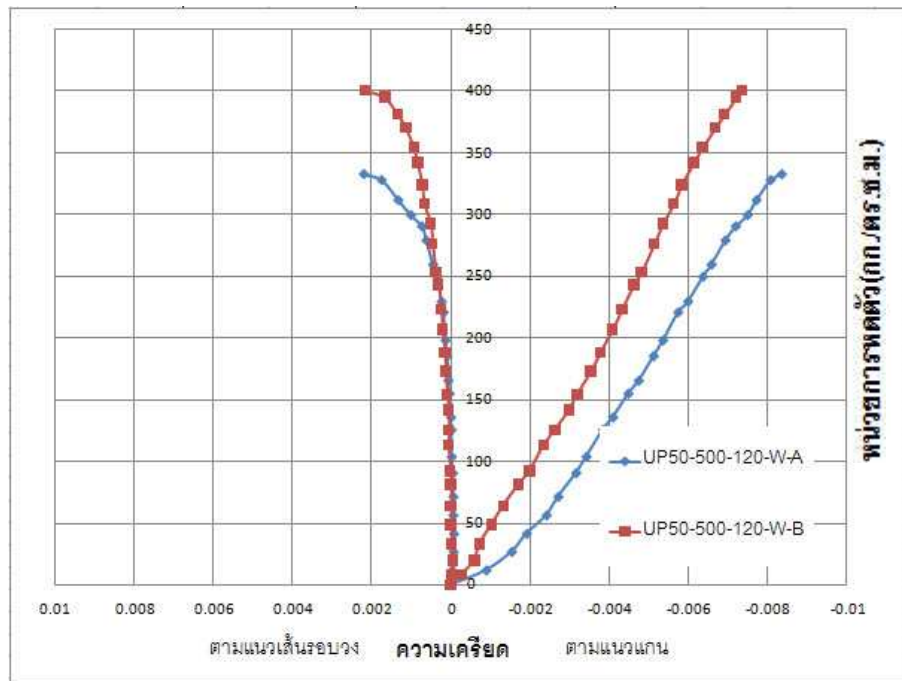
ภาพที่ 5.13(จ) แสดงชิ้นงาน WP50-700-180-A ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 648กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0118และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 66652กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.14แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ที่ไม่ได้ถูกโอบรัดภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงด้วยน้ำ โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

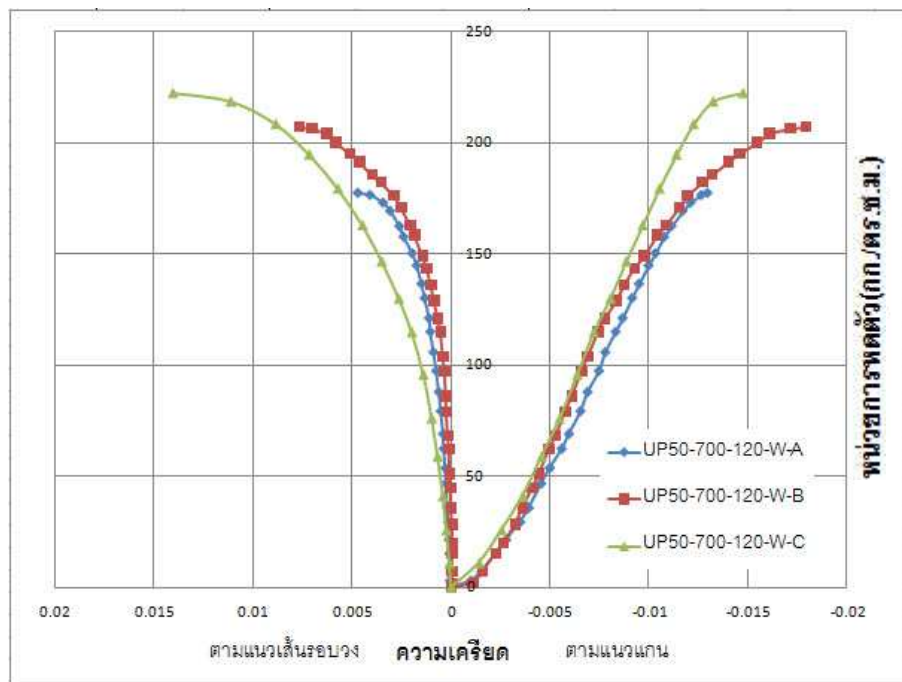


(ก) 300 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 500 ksc ที่ไม่ได้ถูกโอบรัดภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

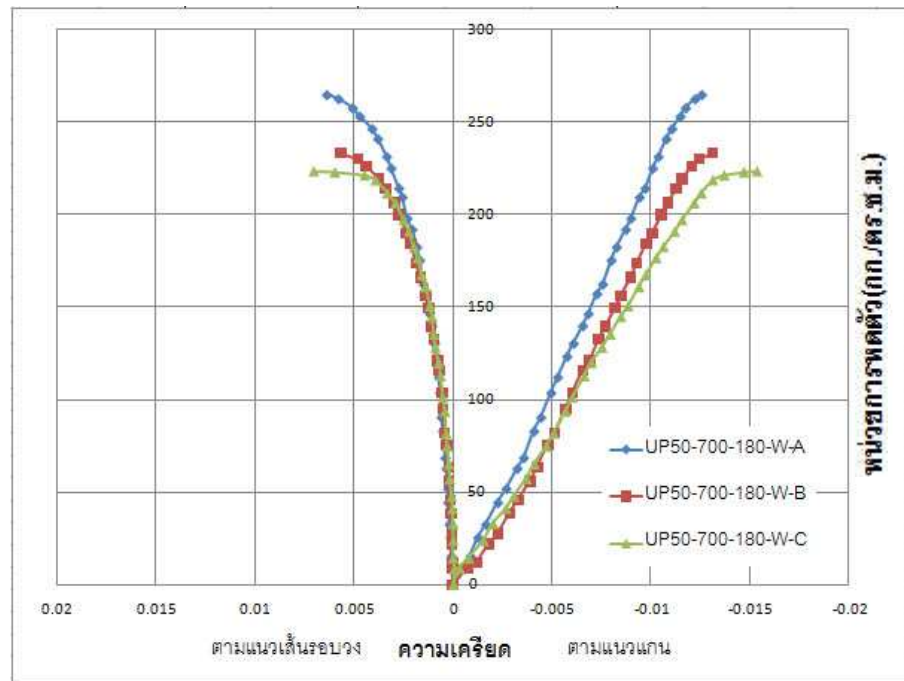


(ข) 500 องศาเซลเซียส



(ค) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 5.14 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 500 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ



(ง) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.14 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 500 ksc ที่ไม่ถูกโอบรัดภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.14 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้

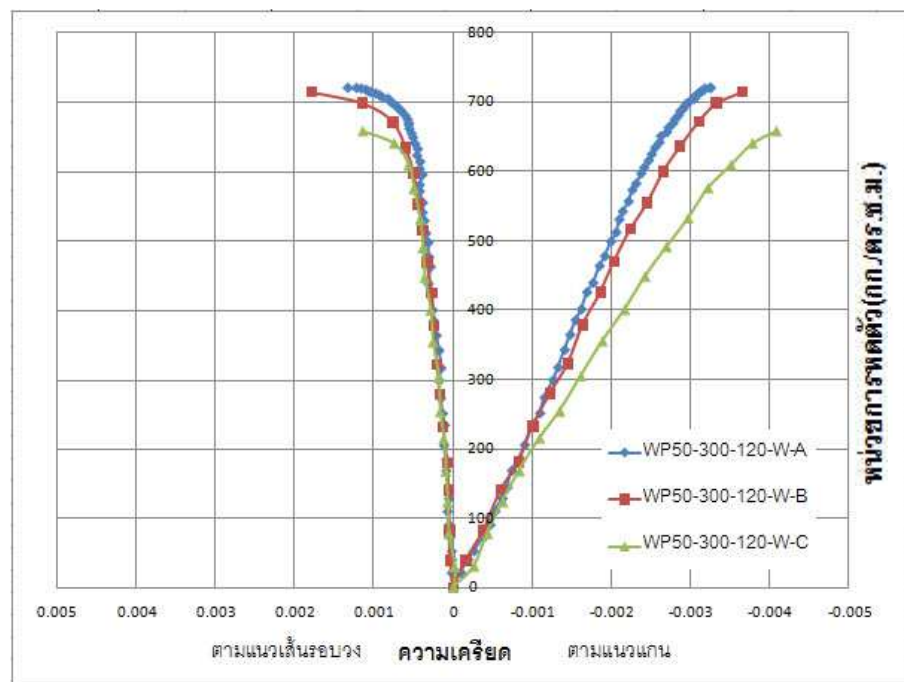
ภาพที่ 5.14(ก) แสดงชิ้นงาน UP50-300-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 473 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0020 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 232009 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.14(ข) แสดงชิ้นงาน UP50-500-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 367 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0078 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 42784 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.14(ค) แสดงชิ้นงาน UP50-700-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 202 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0152 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 13927 กก./ ตร.ซม.

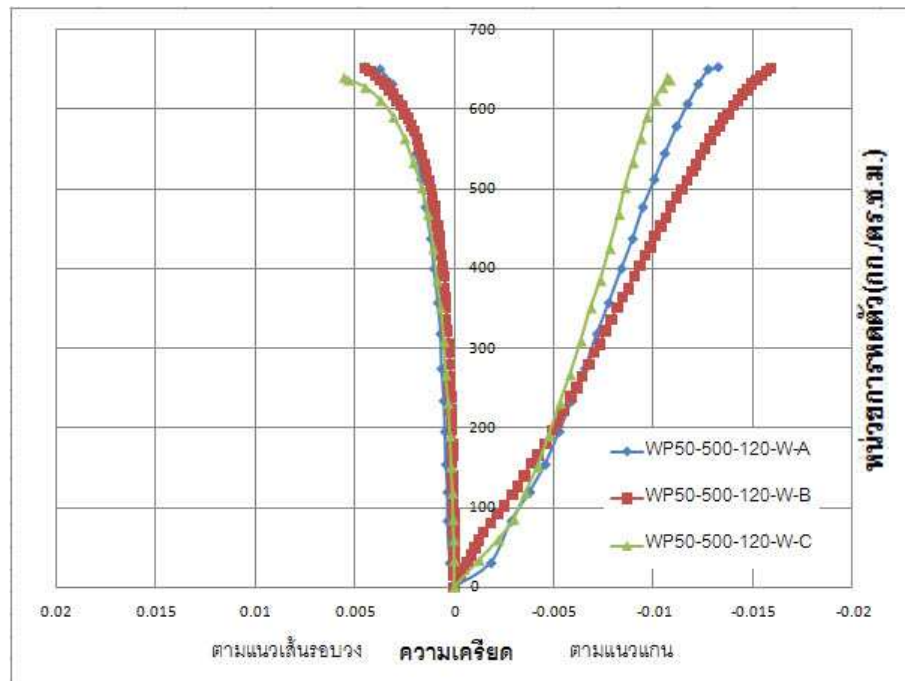
ภาพที่ 5.14(ง) แสดงชิ้นงาน UP50-700-180-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 240กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0136 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 16431กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดตามแนวแกนและตามแนวเส้นรอบวง ของชิ้นงานกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นลงด้วยน้ำ โดยค่ากำลังรับแรงอัดประลัย ค่าความเครียดประลัย แสดงในตารางที่ 5.1

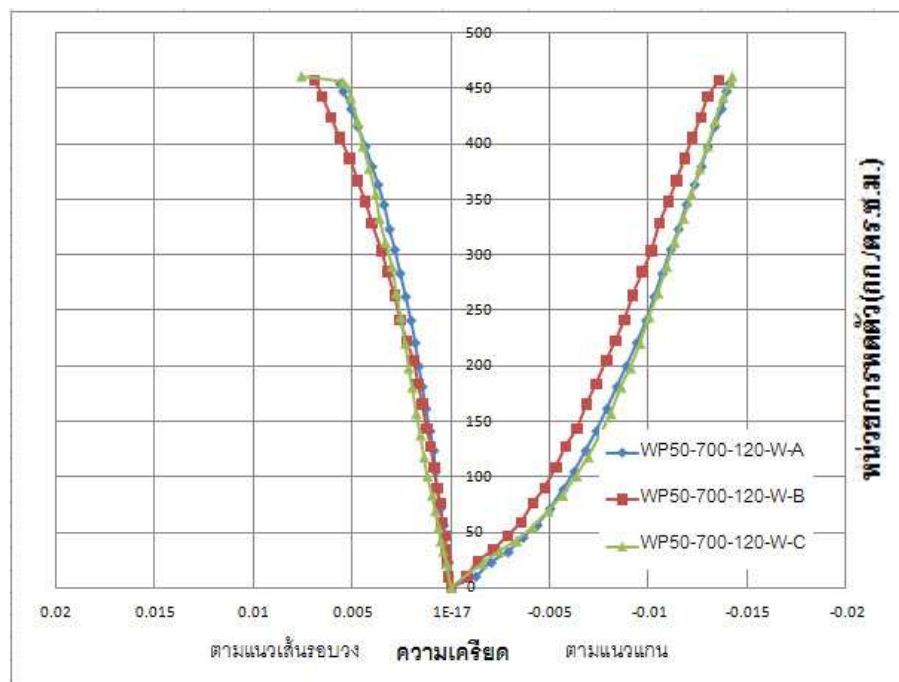


(ก) 300 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัย 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังจากเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ

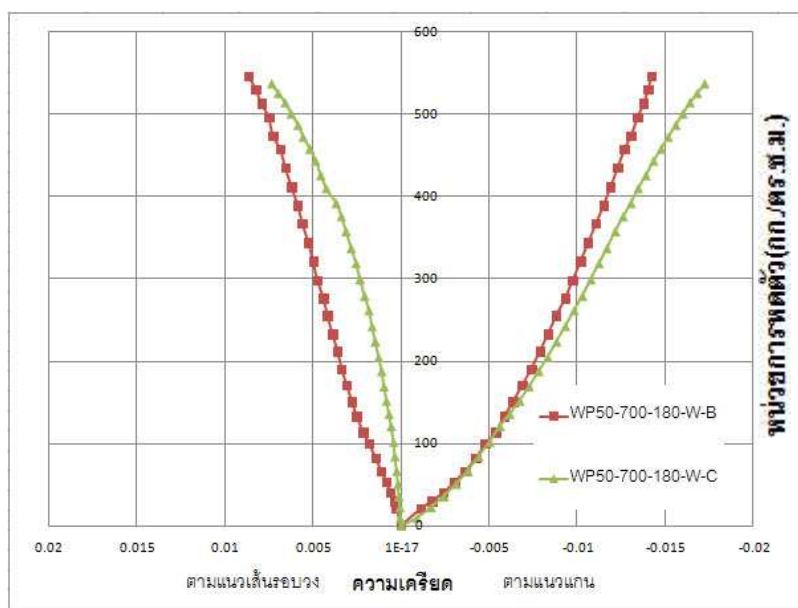


(ข) 500 องศาเซลเซียส



(ค) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 5.15 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
 ประลัย 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเย็นลงด้วยน้ำ



(ง) 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ภาพที่ 5.15 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดกับความเครียดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด
 ประลัย 500 ksc ที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP ภายหลังเผาไฟและเป็นลงด้วยน้ำ
 จากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพที่ 5.15 สามารถอธิบายพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้
 ภาพที่ 5.15(ง) แสดงชิ้นงาน WP50-700-180-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
 697 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0036 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
 213156 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.15(ข) แสดงชิ้นงาน WP50-500-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
 648 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0132 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
 47326 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.15(ค) แสดงชิ้นงาน WP50-700-120-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
 457 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0139 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
 16978 กก./ ตร.ซม.

ภาพที่ 5.15(ง) แสดงชิ้นงาน WP50-700-180-W ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ
 541 กก./ ตร.ซม. ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0157 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ
 20465 กก./ ตร.ซม.

บทที่ 6

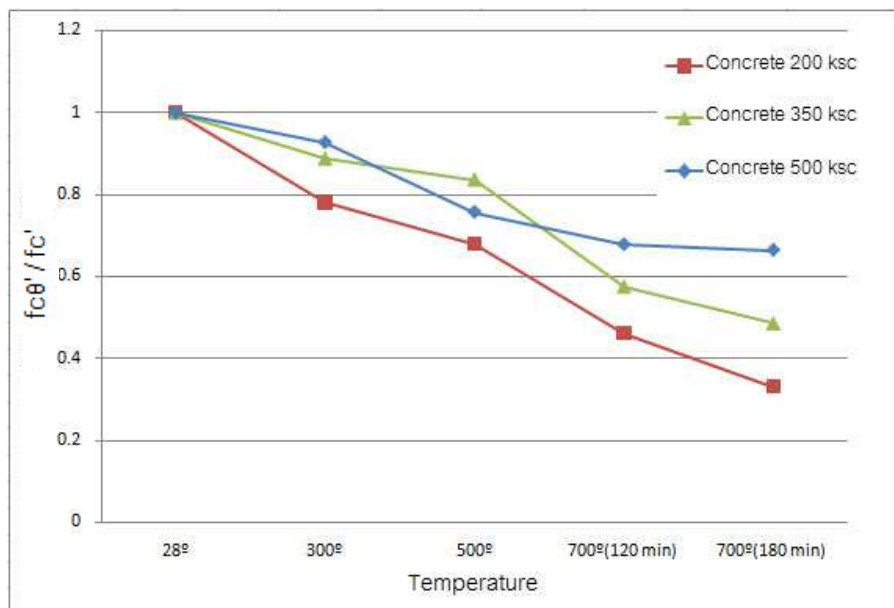
วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบที่แสดงในบทที่ 5 สามารถวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตภายหลังจากเผาไฟและพฤติกรรมของคอนกรีตได้ดังนี้

6.1 พฤติกรรมของคอนกรีตที่ไม่ได้ถูกโอบรัด

6.1.1 ผลของไฟที่มีต่อคุณสมบัติคอนกรีตที่ไม่ได้ถูกโอบรัด

ภาพที่ 6.1 แสดงผลของการเผาไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นต่อค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดประเภทออกแบบต่างกัน

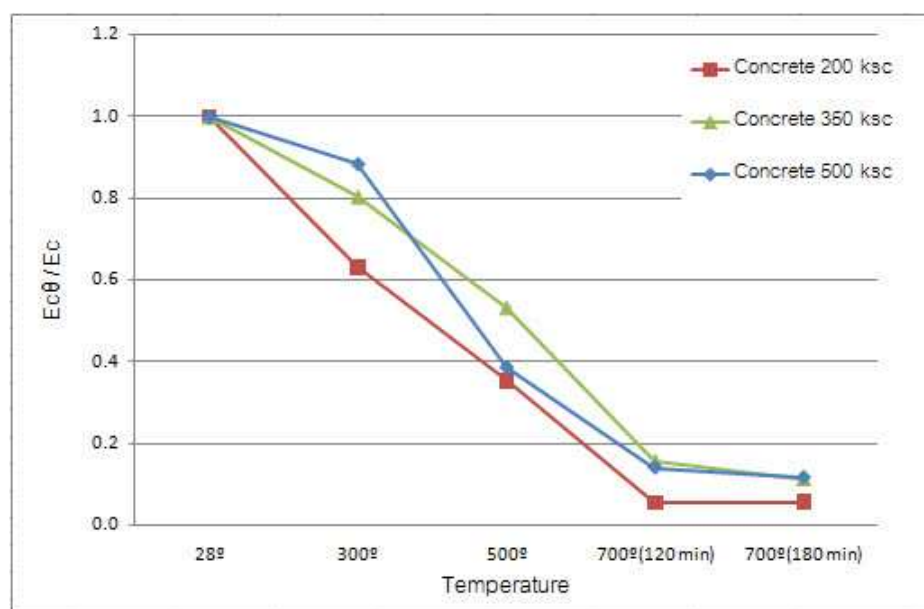


ภาพที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดสัมพัทธ์กับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 6.1 แสดงให้เห็นว่าภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตต่ำลง โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประเภทออกแบบ 200 ksc กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยลดลงเหลือ 78%, 68%, 45% และ 33% ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัดประเภทออกแบบ 350 ksc กำลังรับแรงอัดลดลงเหลือ 88% 83% 57% และ 48% ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120

นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ คอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc กำลังรับแรงอัดลดลงเหลือ 92% 75% 67% และ 66% ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

ภาพที่ 6.2 แสดงผลของการเผาไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบต่างกัน

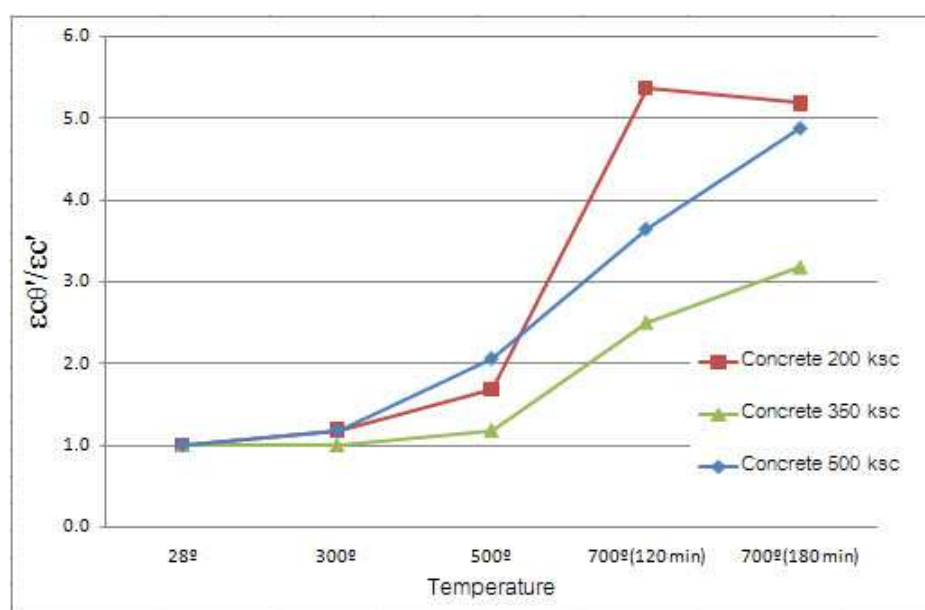


ภาพที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 6.2 แสดงให้เห็นว่าภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 ksc ค่าโมดูลัสเฉลี่ยลดลงเหลือ 63%, 35%, 5% และ 5% ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ค่าโมดูลัสเฉลี่ยลดลงเหลือ 80% 53% 15% และ 11% ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที)

ตามลำดับ คอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ค่าโมดูลัสเฉื่อยลดลงเหลือ 88% 38% 13% และ 11% ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นต่อค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยของ คอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบต่างกัน

ภาพที่ 6.3 แสดงผลของการเผาไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นต่อค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยของ คอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบต่างกัน



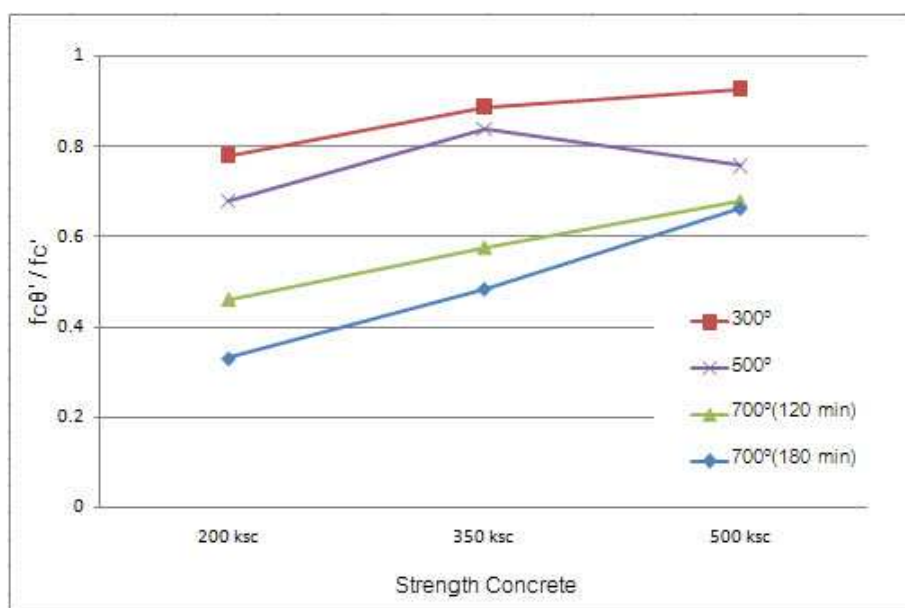
ภาพที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยสัมพัทธ์กับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 6.3 แสดงให้เห็นว่าภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 ksc ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.2 เท่า, 1.6 เท่า, 5.3 เท่า และ 5.1 เท่า ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.1 เท่า, 2.5 เท่า และ 3.1 เท่า ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ ส่วนค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยที่ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) มีค่าเท่ากับชิ้นงานที่ไม่ได้เผาไฟ คอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ค่า

ความเครียดประลัยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.1 เท่า, 2 เท่า, 3.6 เท่าและ 4.8 เท่าภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

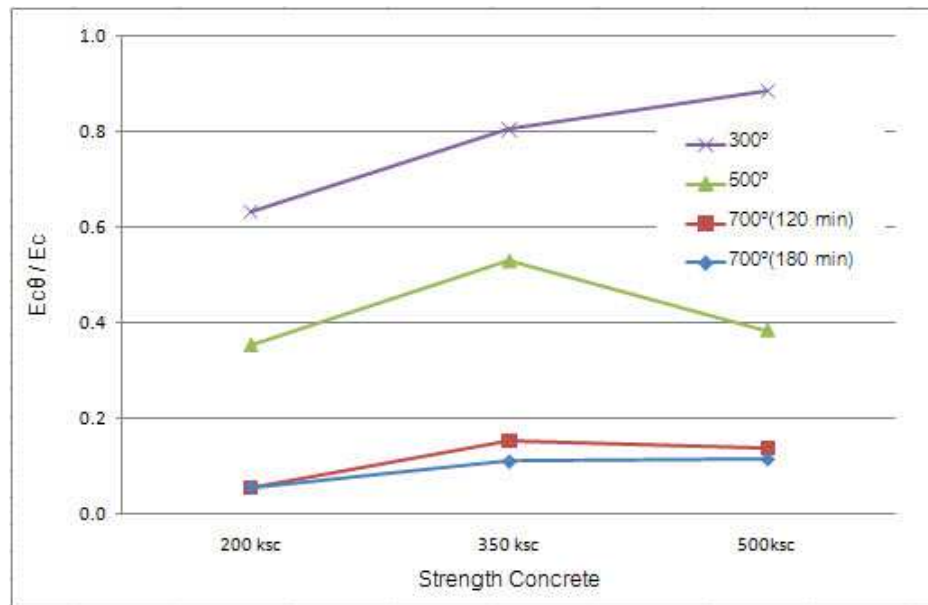
6.1.2 ผลของกำลังรับแรงอัดคอนกรีต

ภาพที่ 6.4 แสดงถึงผลของไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นต่อคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดต่างกัน โดยจากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ผลกระทบจากไฟที่มีต่อค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากที่สุดของคอนกรีต 200 ksc กับ 350 ksc เท่ากับ 16% และ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากที่สุดระหว่างคอนกรีต 350 ksc กับ 500 ksc เท่ากับ 14%



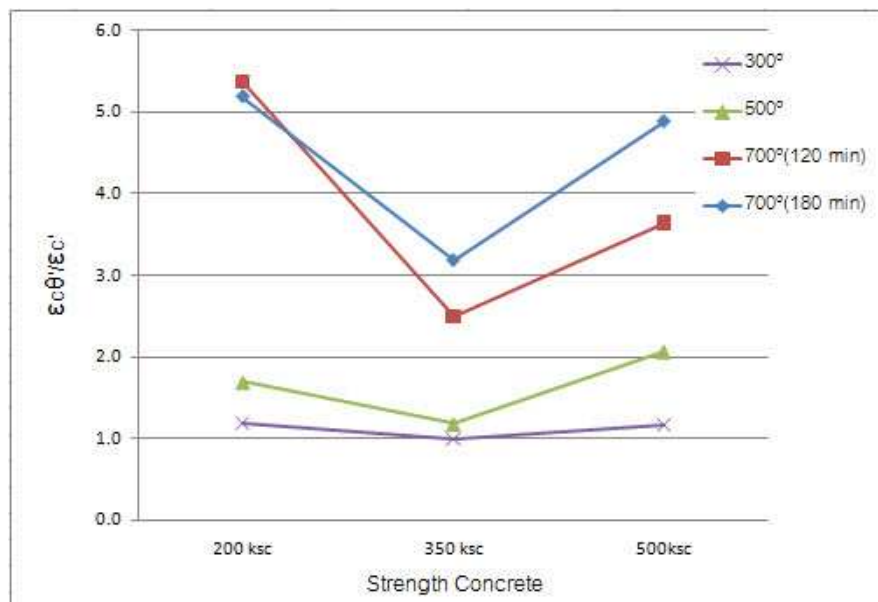
ภาพที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดเฉลี่ยสัมพันธ์กับคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างๆ

ภาพที่ 6.5 แสดงถึงผลของไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นต่อคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดต่างกัน โดยจากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นผลของไฟมีต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ



ภาพที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพันธ์กับคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างๆ

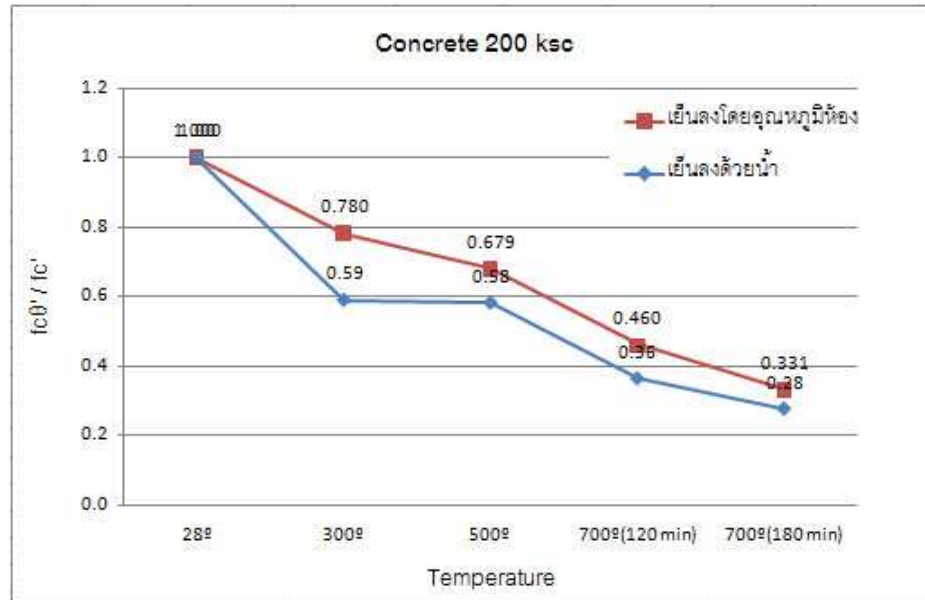
ภาพที่ 6.6 แสดงถึงผลของไฟที่อุณหภูมิต่างกันต่อคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดต่างกัน โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นผลของไฟมีต่อค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ



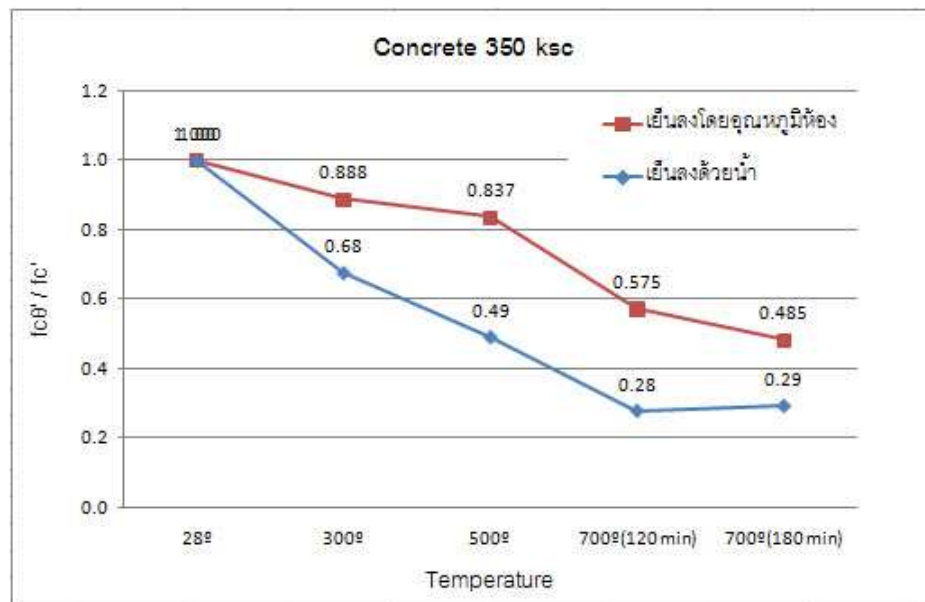
ภาพที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยสัมพันธ์กับคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างๆ

6.1.3 ผลของการเย็นตัวลงด้วยน้ำภายหลังการเผาไฟ

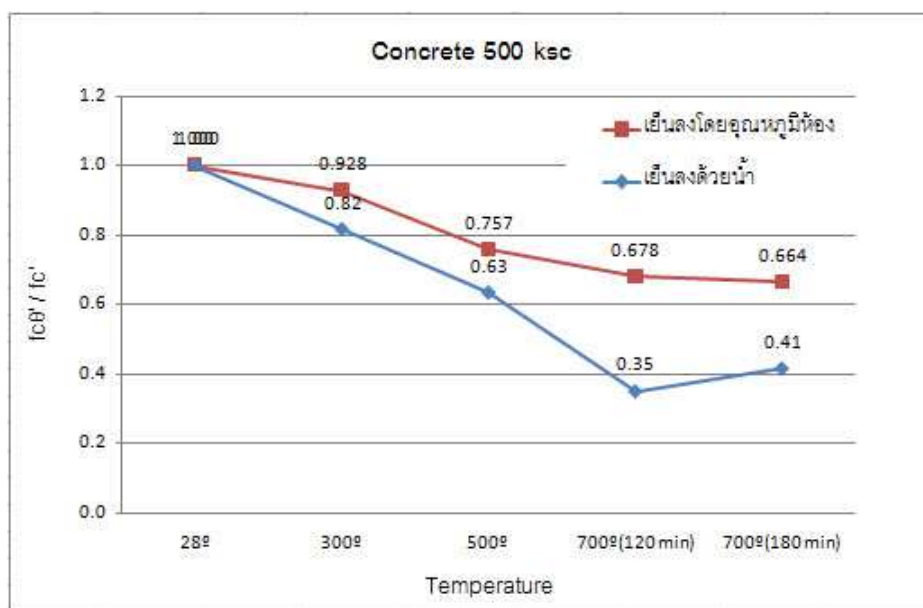
จากผลการทดสอบของชิ้นงานที่ถูกทำให้เย็นตัวลงด้วยน้ำเปรียบเทียบกับผลของคอนกรีต ภายหลังการเผาไฟและปล่อยให้เย็นตัวลงโดยอุณหภูมิห้อง แสดงดังภาพที่ 6.7



(ก) คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc



(ข) คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 350 ksc



(ค) คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 500 ksc

ภาพที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 6.7(ก) กำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีตที่เย็นลงด้วยน้ำลดลงจากเย็นตัวลงโดยอุณหภูมิห้องคิดเป็น 15%, 38%, 65% และ 13% ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

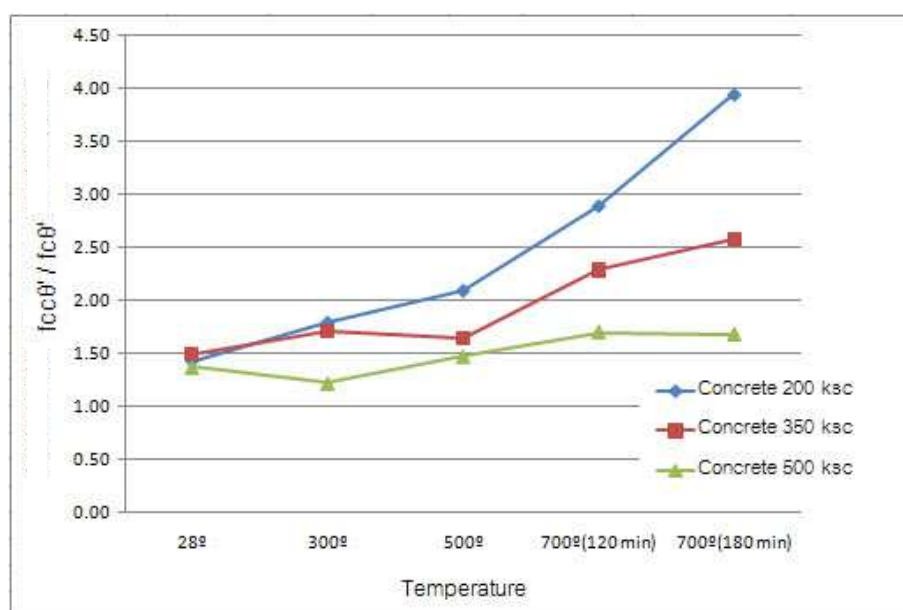
จากภาพที่ 6.7(ข) กำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีตที่เย็นลงด้วยน้ำลดลงจากเย็นตัวลงโดยอุณหภูมิห้องคิดเป็น 50%, 44%, 58% และ 76% ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

จากภาพที่ 6.7(ค) กำลังรับแรงอัดประลัยเฉลี่ยของคอนกรีตที่เย็นลงด้วยน้ำลดลงจากเย็นตัวลงโดยอุณหภูมิห้องคิดเป็น 13%, 19%, 94% และ 60% ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

6.2 พฤติกรรมของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP

6.2.1 อิทธิพลของการโอบรัดด้วย CFRP ต่อคุณสมบัติคอนกรีตภายหลังการเผาไฟ

จากผลการทดสอบในบทที่ 5 ชิ้นงานที่ได้รับและไม่ได้รับผลกระทบจากไฟที่อุณหภูมิต่างๆ และทำให้เย็นด้วยอุณหภูมิห้อง การเสริมกำลังด้วยการโอบรัดแผ่น CFRP เป็นวิธีที่สามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานได้ดังแสดงในภาพที่ 6.8

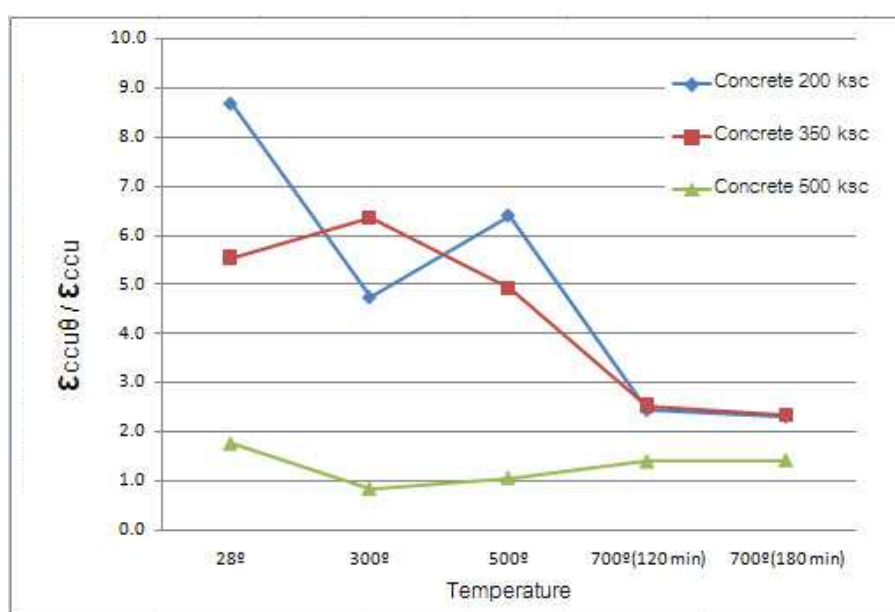


ภาพที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดสัมพัทธ์เนื่องจากการโอบรัดด้วย CFRP กับ อุณหภูมิ

จากภาพที่ 6.8 แสดงความสามารถในการเสริมกำลังรับแรงของชิ้นงานภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.7, 2.09, 2.7, 3.8 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 350 ksc กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.71, 1.64, 2.29, 2.58 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180

นาทึ) ตามลำดับ คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 500 ksc กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.23, 1.47, 1.7, 1.68 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

นอกจากนี้การเสริมกำลังด้วย CFRP จะช่วยในการเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ถูกไฟเผาแล้ว ยังสามารถช่วยเพิ่มระยะเวลาการหดตัวตามแนวแกน ดังแสดงในภาพที่ 6.9

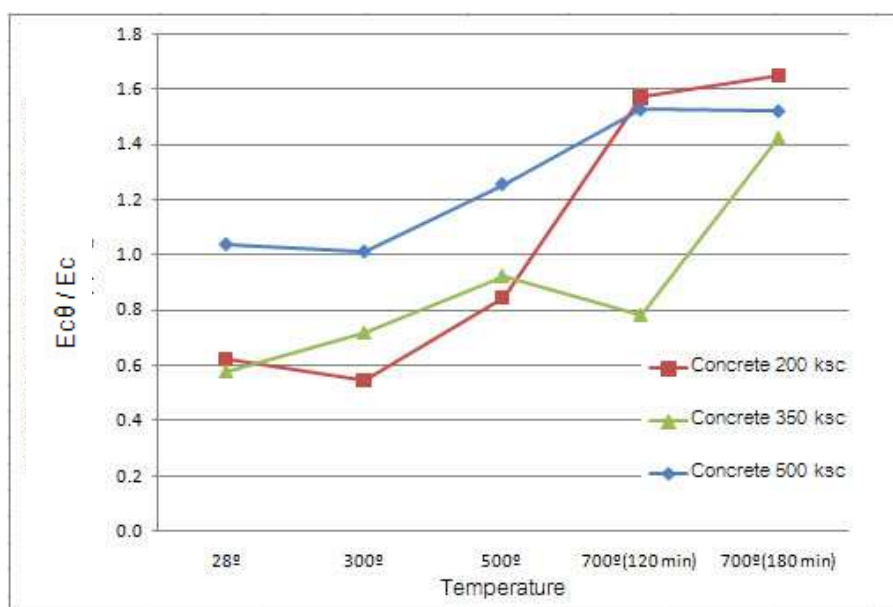


ภาพที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัดด้วย CFRP กับ อุณหภูมิ

ภาพที่ 6.9 แสดงความสามารถของการโอบรัดด้วย CFRP สามารถช่วยเพิ่มค่าความเครียดประลัยให้กับคอนกรีตที่ถูกไฟเผา โดยคอนกรีตรับแรงอัด 200 ksc เพิ่มขึ้นเป็น 8.69, 4.74, 6.41, 2.44, 2.31 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัด 350 ksc เพิ่มขึ้นเป็น 5.55, 6.36, 4.92, 2.53, 2.34 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700

องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัด 500 ksc เพิ่มขึ้นเป็น 1.76, 1., 1.06, 1.40, 1.42 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับและเมื่อพิจารณา คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 500 ksc การโอบรัดด้วย CFRP มีผลต่อค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ประสิทธิภาพของการโอบรัดด้วยแผ่น CFRP มีผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ภายหลังจากการเผาไฟ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 6.10



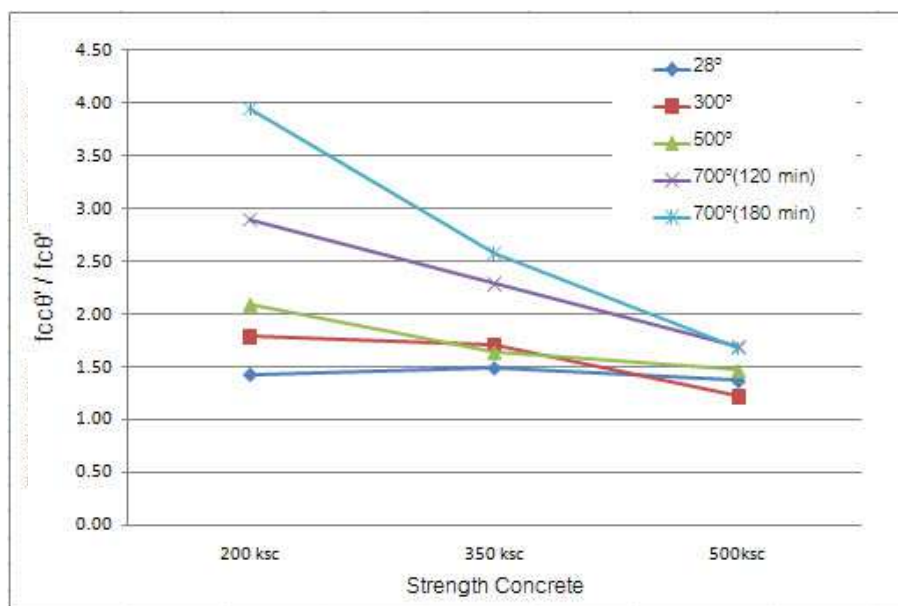
ภาพที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัดด้วย CFRP กับ อุณหภูมิ

จากภาพที่ 6.10 การโอบรัดด้วยแผ่น CFRP ภายหลังจากการเผาไฟ ส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตภายหลังจากการเผาไฟ อย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc มีค่าอัตราส่วนระหว่างคอนกรีตที่ถูกโอบรัดภายหลังจากการเผาไฟกับคอนกรีตที่ไม่ได้ถูกโอบรัด ภายหลังจากการเผาไฟ เท่ากับ 0.62, 0.55, 0.85, 1.57 และ 1.65 ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700

องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีต 350 ksc มีค่าเท่ากับ 0.58 ,0.72, 0.93, 0.79 และ 1.43 ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีต 500 ksc ,ค่าเท่ากับ 1.04, 1.02, 1.26, 1.53 และ 1.52 ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

6.2.2 อิทธิพลของการโอบรัดด้วยแผ่น CFRP ต่อคุณสมบัติคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างกัน

จากผลการทดสอบของของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างๆ ที่โอบรัดด้วยแผ่น CFRP ภายหลังจากเผาไฟ ทำให้ศึกษาผลของการโอบรัดที่มีต่อค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.11

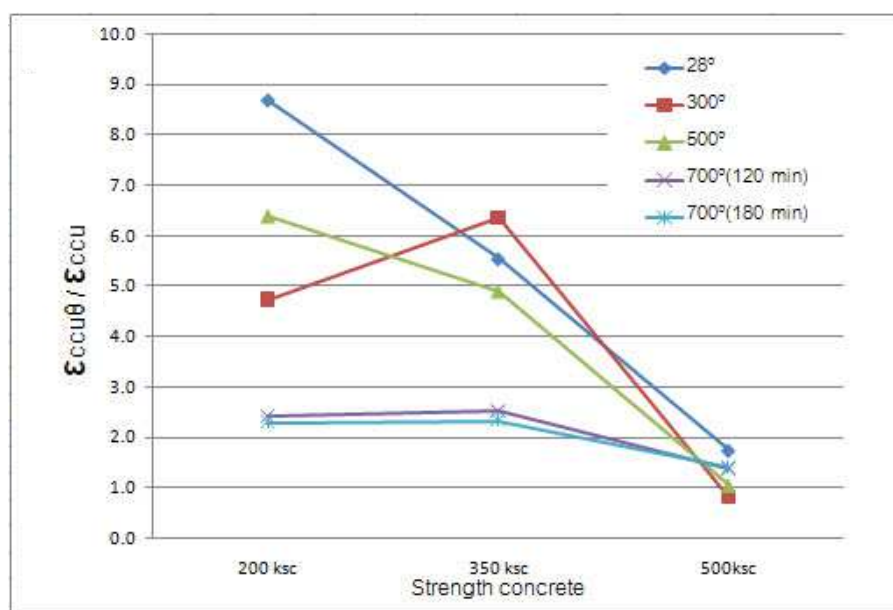


ภาพที่ 6.11 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับแรงอัดสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัด CFRP กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากภาพที่ 6.11 แสดงให้เห็นถึงผลของการโอบรัดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างๆ โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc มีประสิทธิภาพของการโอบรัดด้วยแผ่น CFRP สามารถช่วยเพิ่ม

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยคอนกรีตที่ถูกเผาไฟเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นได้ดีกว่าคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยค่าการเพิ่มขึ้นแสดงใน หัวข้อที่ 6.3

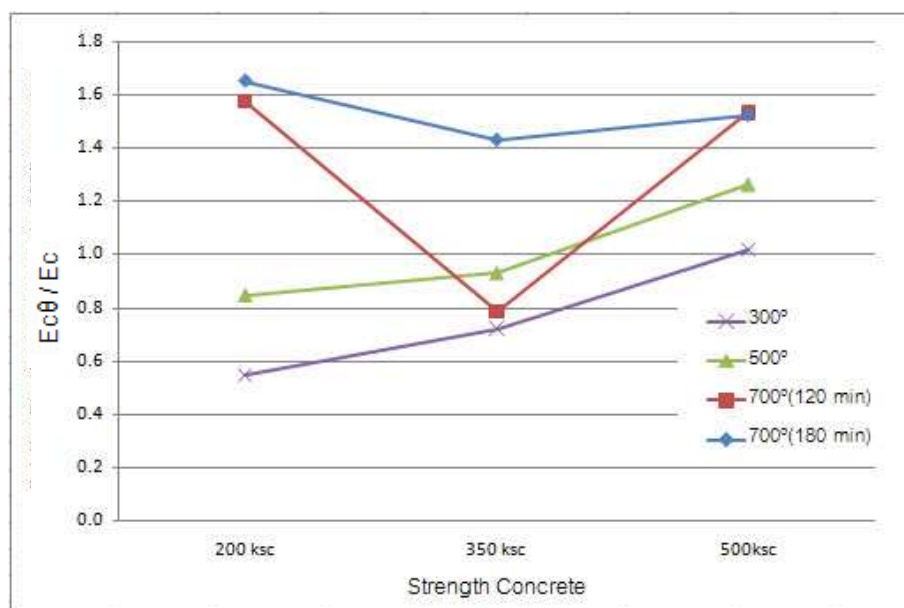
จากผลการทดสอบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างๆ ที่โอบรัดด้วยแผ่น CFRP ภายหลังจากการเผาไฟ ทำให้ศึกษาผลของการโอบรัดที่มีต่อความเครียดประลัยของคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.12



ภาพที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยเนื่องจากการโอบรัดด้วย CFRP กับ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากภาพที่ 6.12 แสดงให้เห็นถึงผลของการโอบรัดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างๆ โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc มีประสิทธิภาพของการโอบรัดด้วยแผ่น CFRP สามารถช่วยเพิ่มค่าความเครียดประลัยของคอนกรีตที่ถูกเผาไฟเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นได้ดีกว่าคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยค่าการเพิ่มขึ้นแสดงใน หัวข้อที่ 6.3

จากผลการทดสอบของของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างๆ ที่โอบรัดด้วยแผ่น CFRP ภายหลังจากการเผาไฟ ทำให้ศึกษาผลของการโอบรัดที่มีต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.13

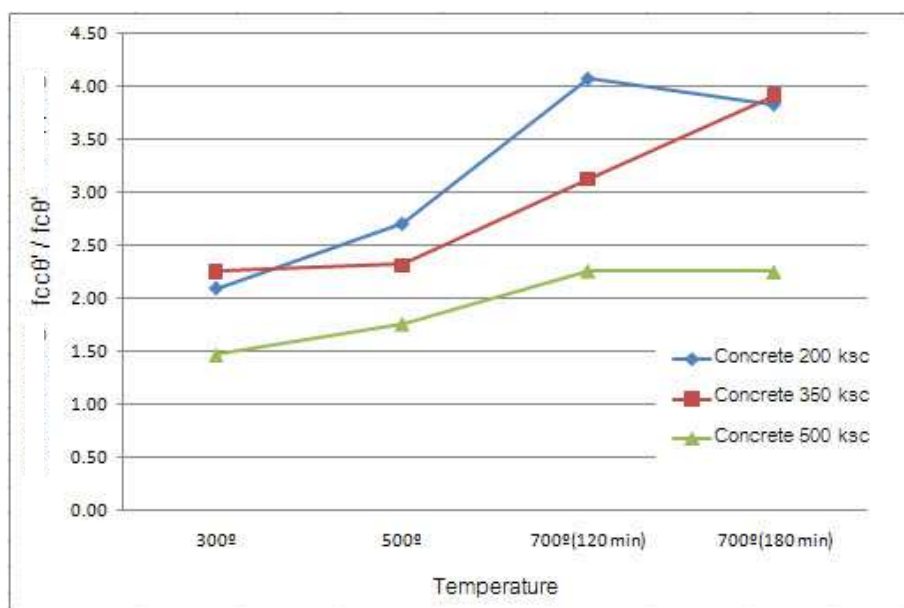


ภาพที่ 6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพัทธ์เนื่องจากการโอบรัดด้วย CFRP กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากภาพที่ 6.13 แสดงให้เห็นถึงผลของการโอบรัดของคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่างๆ โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อกำลังรับแรงอัดคอนกรีตสูงขึ้น ประสิทธิภาพของการโอบรัดด้วยแผ่น CFRP ไม่ส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตภายหลังถูกเผาไฟ

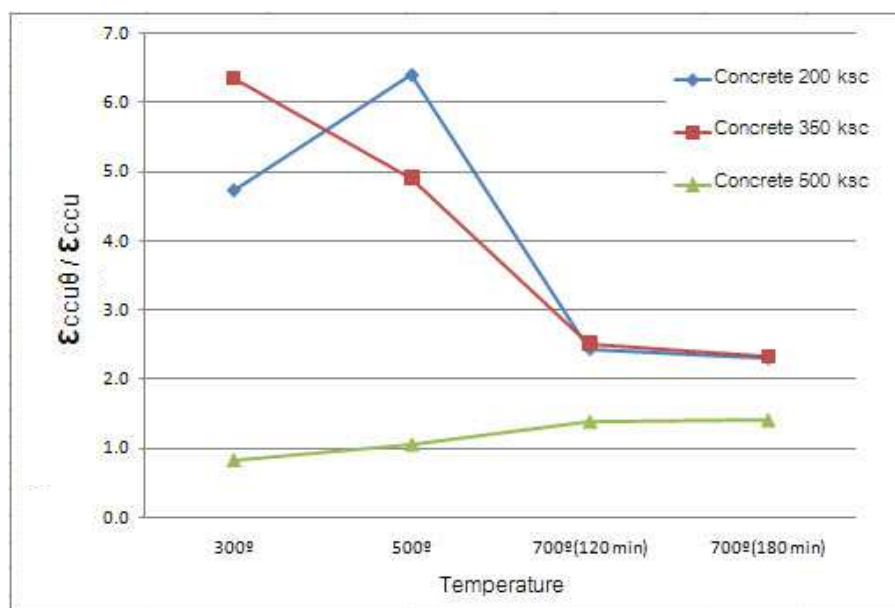
6.2.3 อิทธิพลของการโอบรัดด้วยแผ่น CFRP ต่อคุณสมบัติคอนกรีตที่เย็นตัวลงด้วยน้ำภายหลังการเผาไฟ

ภายหลังชิ้นงานได้รับผลของน้ำภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างกัน การศึกษาเพื่อดูประสิทธิภาพของการเสริมกำลังด้วยการโอบรัดแผ่น CFRP โดยพบว่าสามารถช่วยเพิ่มกำลังรับอัดความเครียดประลัย ดังแสดงในภาพที่ 6.14 และ 6.15 ตามลำดับ แต่ไม่ช่วยเพิ่มค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตได้ ดังแสดงในภาพที่ 6.15



ภาพที่ 6.14 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดเนื่องจากการโอบรัด CFRP กับอุณหภูมิของคอนกรีตที่ทำให้เย็นด้วยน้ำ

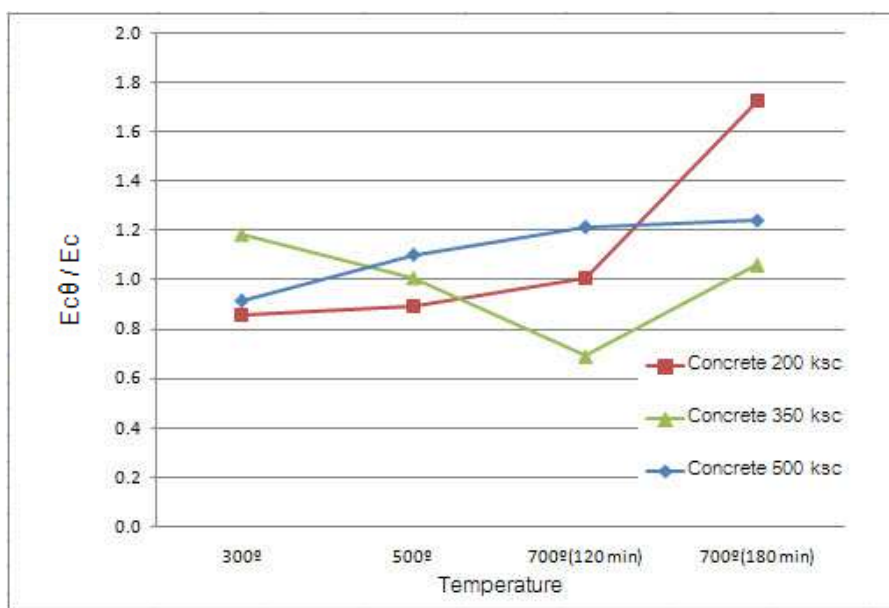
จากภาพที่ 6.14 แสดงความสามารถในการเสริมกำลังรับแรงของชิ้นงานภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆ โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.1, 2.7, 4.0, 3.8 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 350 ksc กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.2, 2.3, 3.1, 3.9 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 500 ksc กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.4, 1.7, 2.26, 2.25 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ



ภาพที่ 6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดประลัยสัมพันธ์เนื่องจากการโอบรัดด้วย CFRP

คุณหมุมิ

ภาพที่ 6.15 แสดงประสิทธิภาพของการโอบรัดด้วย CFRP สามารถช่วยเพิ่มค่าความเครียดประลัยให้กับคอนกรีตที่ถูกไฟเผา โดยคอนกรีตรับแรงอัด 200 ksc เพิ่มขึ้นเป็น 4.7, 6.4, 2.7, 6.3, เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่คุณหมุมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัด 350 ksc เพิ่มขึ้นเป็น 6.3, 4.9, 2.5, 2.3 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่คุณหมุมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัด 500 ksc เพิ่มขึ้นเป็น 0.8, 1., 1.4, 1.42 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่คุณหมุมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับและเมื่อพิจารณา คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 500 ksc การโอบรัดด้วย CFRP มีผลต่อค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยอย่างไม่มีนัยสำคัญ

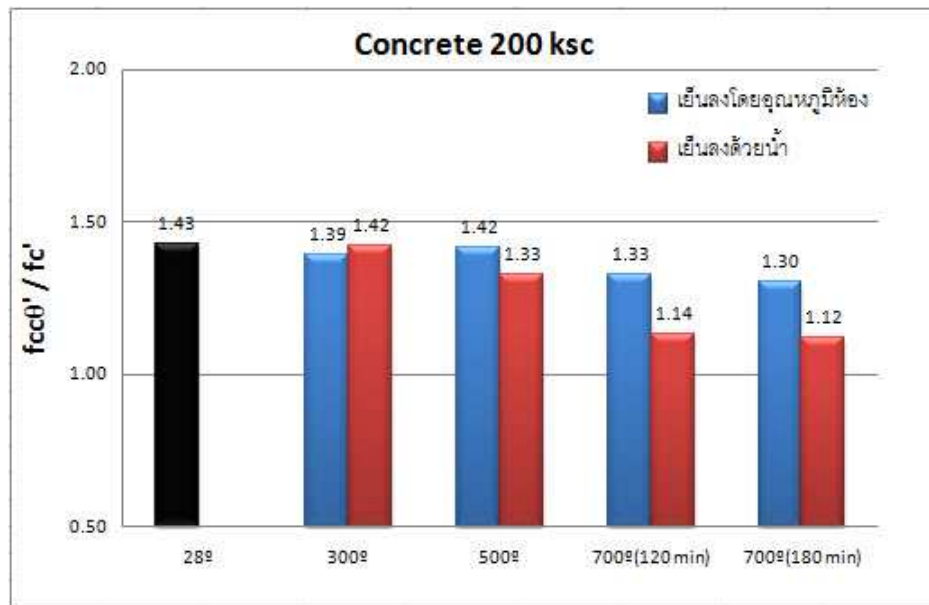


ภาพที่ 6.16 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นสัมพัทธ์เนื่องจากการอบรัดของ CFRP กับ อุณหภูมิ

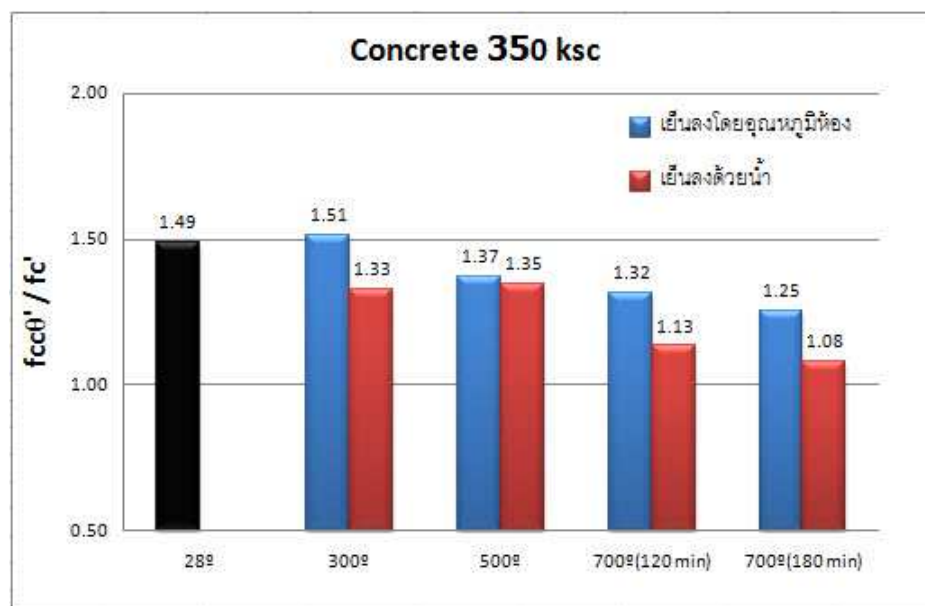
จากภาพที่ 6.16 การอบรัดด้วยแผ่น CFRP ภายหลังจากการเผาไฟและทำให้เย็นลงด้วยน้ำ ส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตภายหลังจากการเผาไฟ อย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยคอนกรีต กำลังรับแรงอัด 200 ksc มีค่าอัตราส่วนระหว่างคอนกรีตที่ถูกอบรัดภายหลังจากการเผาไฟกับ คอนกรีตที่ไม่ได้ถูกอบรัดภายหลังจากการเผาไฟ เท่ากับ 0.86, 0.89, 1.01 และ 1.73 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีต 350 ksc มีค่าเท่ากับ 1.19, 1.01, 0.69 และ 1.07 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีต 500 ksc ,ค่า เท่ากับ 0.92, 1.11, 1.22, และ 1.25 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

6.2.4 อิทธิพลของการโอบรัดด้วย CFRP เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ถูกเผาไฟ

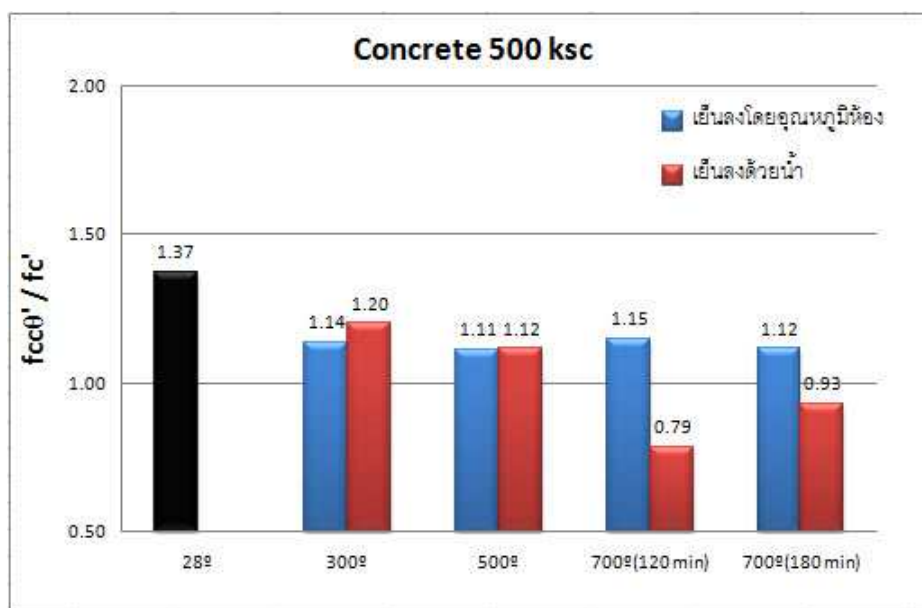
ภาพที่ 6.17, ภาพที่ 6.18, ภาพที่ 6.19 แสดงประสิทธิภาพของ CFRP ต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ถูกเผาไฟ เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ถูกเผาไฟ



ภาพที่ 6.17 กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อโอบรัดด้วย CFRP เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ถูกเผาไฟของคอนกรีต 200 ksc



ภาพที่ 6.18 กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อโอบรัดด้วย CFRP เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ถูกเผาไฟของคอนกรีต 350 ksc



ภาพที่ 6.19 กำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อโอบรัดด้วย CFRP เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ถูกเผาไฟ
ของคอนกรีต 350 ksc

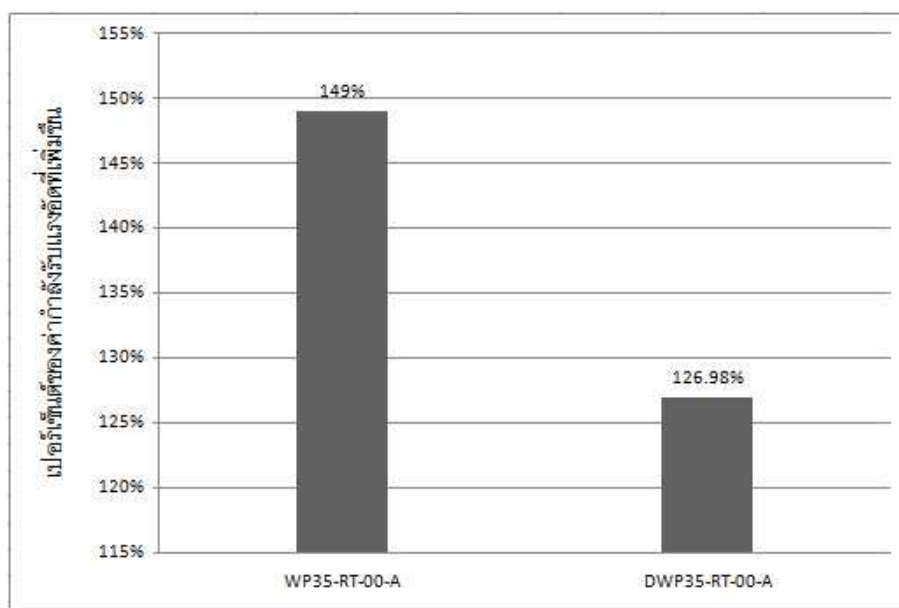
จากภาพที่ 6.17 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของ CFRP ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 200 ksc ที่ถูกเผาไฟ โดยพบว่าการเสริมกำลังด้วย CFRP ของคอนกรีตที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้มากกว่าคอนกรีตที่ไม่ถูกเผาไฟ 12%

จากภาพที่ 6.18 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของ CFRP ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 350 ksc ที่ถูกเผาไฟ โดยพบว่าการเสริมกำลังด้วย CFRP ของคอนกรีตที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้มากกว่าคอนกรีตที่ไม่ถูกเผาไฟ 8%

จากภาพที่ 6.19 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของ CFRP ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 500 ksc ที่ถูกเผาไฟ โดยพบว่าการเสริมกำลังด้วย CFRP ของคอนกรีตที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมง ไม่สามารถช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้มากกว่าคอนกรีตที่ไม่ถูกเผาไฟ

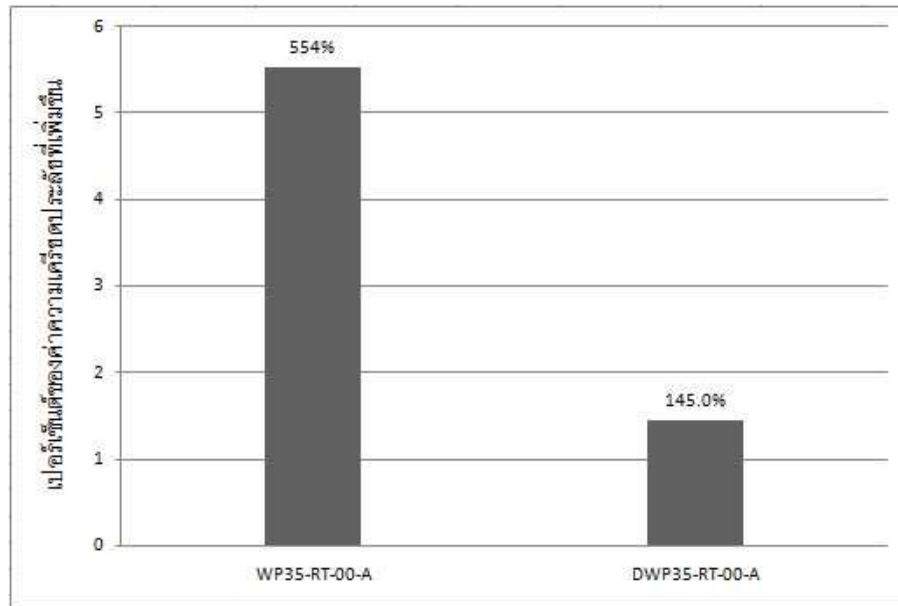
6.3 อิทธิพลของการโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบต่อคุณสมบัติคอนกรีต

จากผลการทดสอบที่แสดงใน บทที่ 5 สามารถนำมาศึกษาผลของการโอบรัดที่มีต่อคุณสมบัติคอนกรีต ดังต่อไปนี้



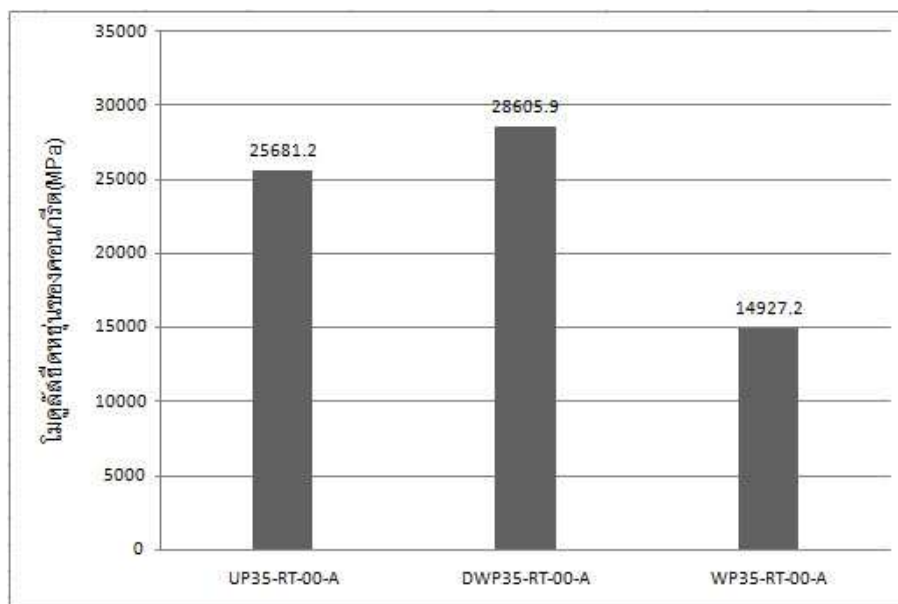
ภาพที่ 6.20 เปอร์เซนต์ของค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นของการโอบรัดด้วย CFRP

จากภาพที่ 6.20 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบและ การพันแบบเต็ม 1 ชั้น พบว่าการโอบรัดแบบเป็นแถบสามารถช่วยเสริมกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 26% เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ถูกโอบรัดด้วย CFRP แต่อย่างน้อยก็ว่าการพันแบบเต็ม 1 ชั้นที่ให้ค่าเพิ่มขึ้น 49% เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ถูกโอบรัด



ภาพที่ 6.21 เปอร์เซนต์ค่าความเครียดประลัยที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วย CFRP

จากภาพที่ 6.21 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบและ การพันแบบเต็ม 1 ชั้น พบว่าการโอบรัดแบบเป็นแถบสามารถช่วยเพิ่มค่าความเครียดประลัยเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ถูกโอบรัด 45% แต่อย่างน้อยก็ว่าการพันแบบเต็ม 1 ชั้นที่ให้ค่าเพิ่มขึ้น 454%



ภาพที่ 6.22 เปรียบเทียบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชิ้นงานที่ลักษณะการพัน CFRP ต่างกัน

จากภาพที่ 6.22 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการโอบรัดด้วย CFRP แบบเป็นแถบและ การพันแบบเต็ม 1 ชั้น พบว่าการโอบรัดด้วย CFRP ไม่มีแนวโน้มในการช่วยเพิ่มค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตได้

จากภาพที่ 6.20, 6.21 และ 6.22 สามารถสรุปได้ว่า การพัน CFRP แบบแถบสามารถช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัด และความเหนียวของคอนกรีต แต่ไม่มีแนวโน้มในการช่วยเพิ่มค่าโมดูลัสยืดหยุ่นได้

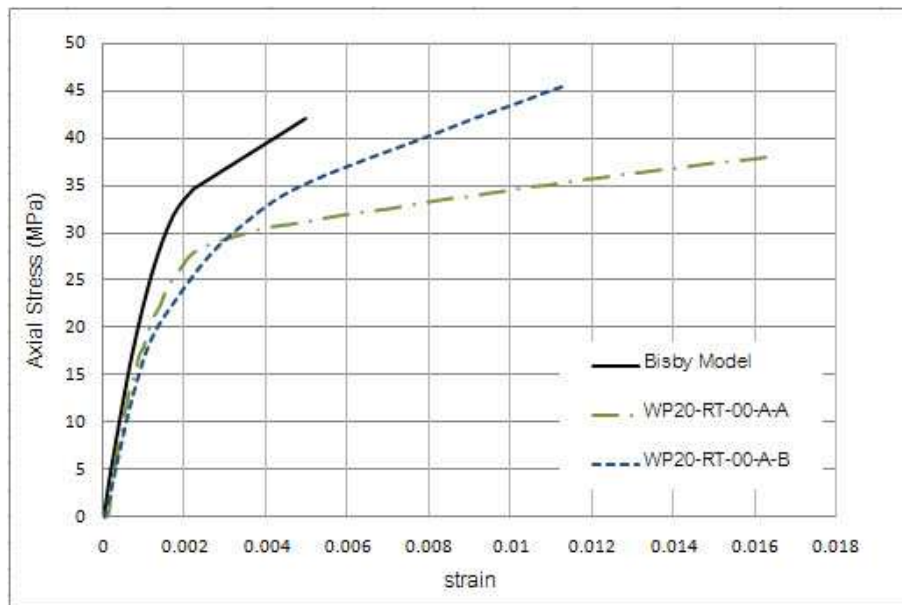
บทที่ 7

การศึกษาความเหมาะสมแบบจำลอง Bisby และคณะ [7]

7.1 การเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบ

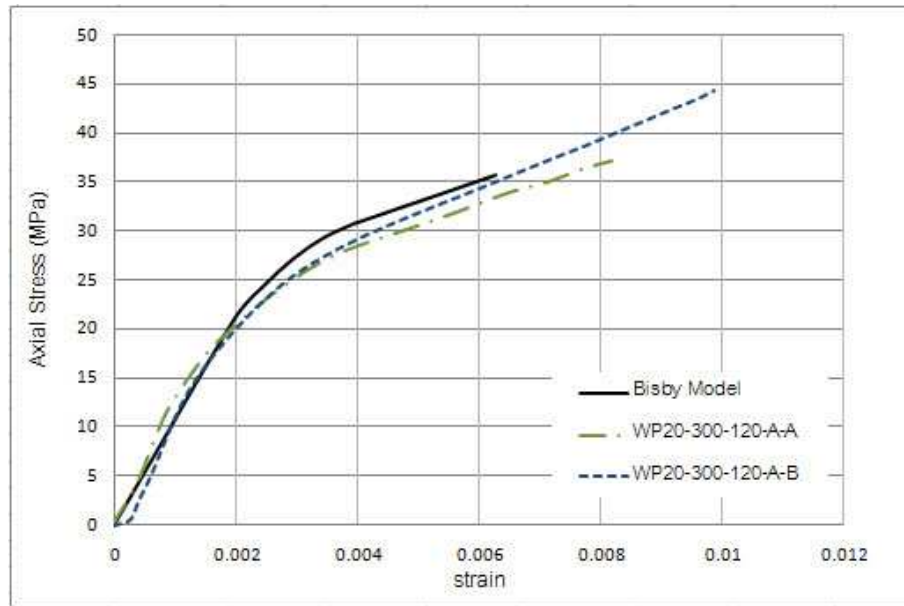
จากการศึกษาแบบจำลองของ Bisby และ คณะ [7] เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดตามแนวแกนที่ถูกโอบรัดด้วยแผ่น CFRP แสดงไว้ในสมการที่ 3.12 ถึง สมการที่ 3.19 โดยใช้ค่า f'_c และ ϵ'_c ที่ได้จากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบในแบบจำลอง และศึกษาความเหมาะสมโดยเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบ

การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกับผลการทดสอบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc แสดงในภาพที่ 7.1 และตารางที่ 7.1

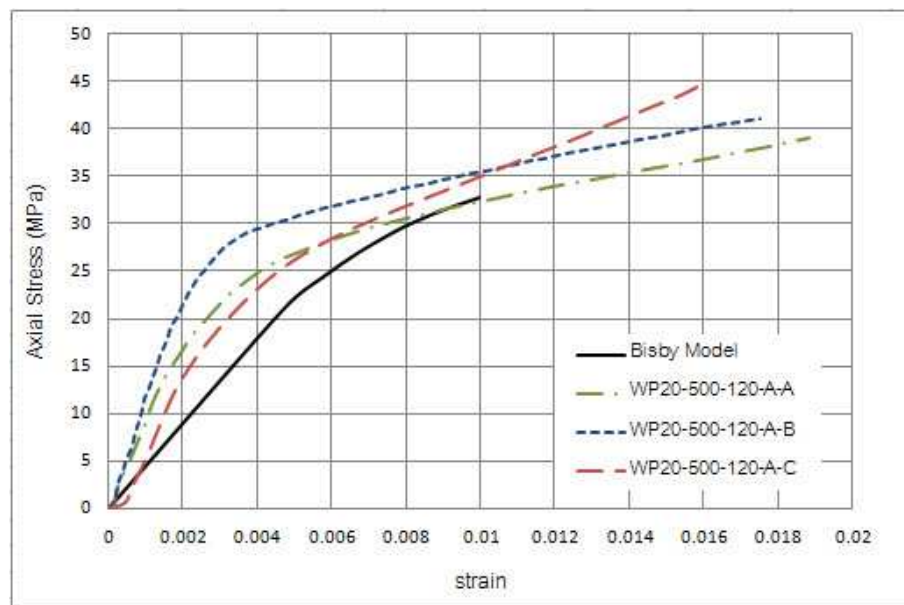


(ก) ชิ้นงานที่ไม่ได้เผา

ภาพที่ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบเปรียบเทียบ กับแบบจำลองของ Bisby และคณะ [7] ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 20 MPa

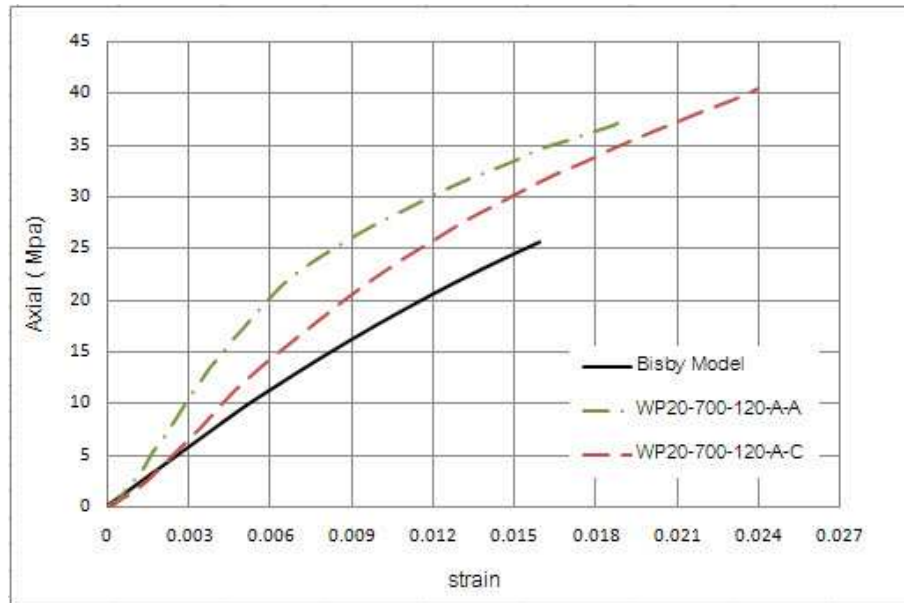


(ก) 300 องศาเซลเซียส



(ค) 500 องศาเซลเซียส

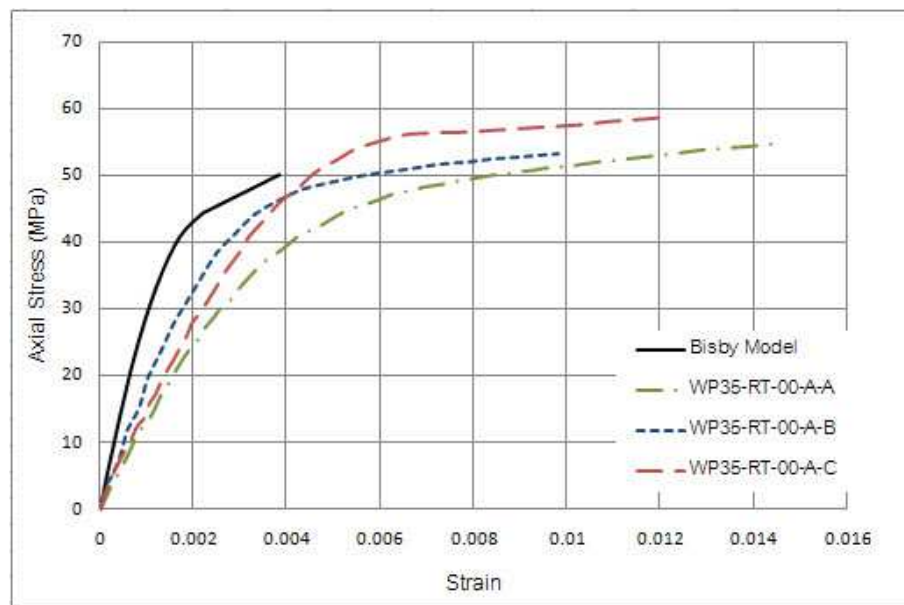
ภาพที่ 7.1 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบ เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Bisby และคณะ[7] ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 20 MPa



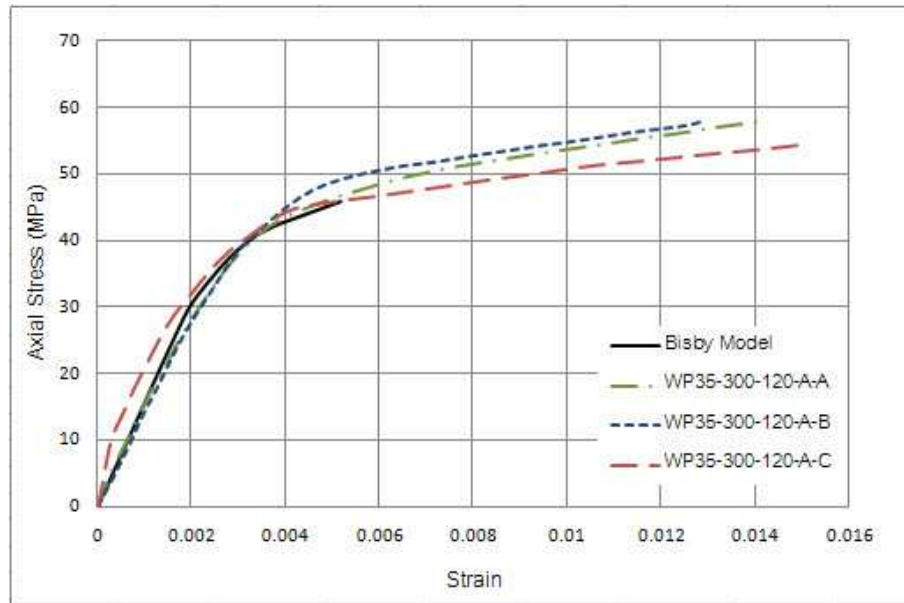
(ง) 700 อนุภาคเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 7.1 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Bisby และคณะ[7]ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 20 MPa

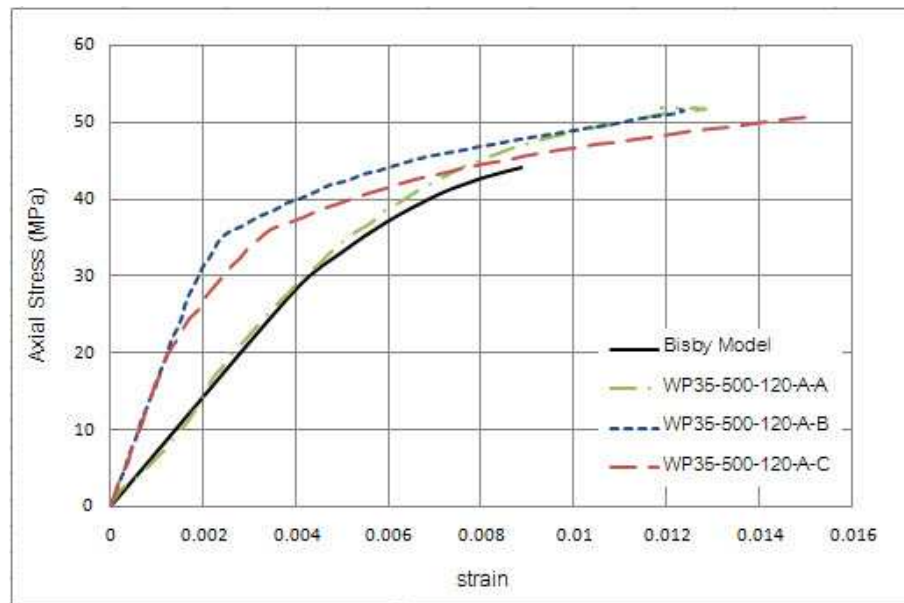
การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกับผลการทดสอบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 350 ksc แสดงในภาพที่ 7.2 และตารางที่ 7.2



(ก) ชิ้นงานที่ไม่ได้เผา

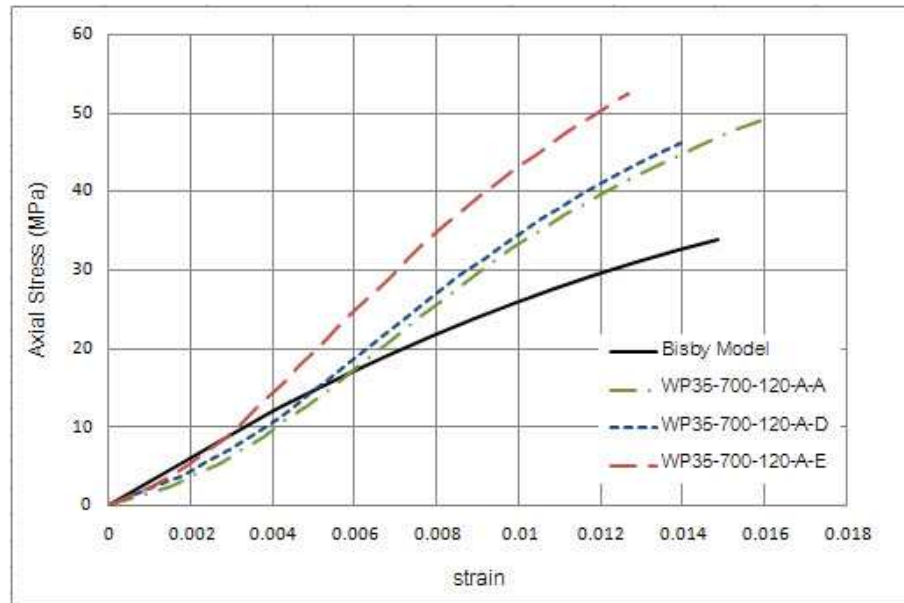


(ข) 300 องศาเซลเซียส



(ค) 500 องศาเซลเซียส

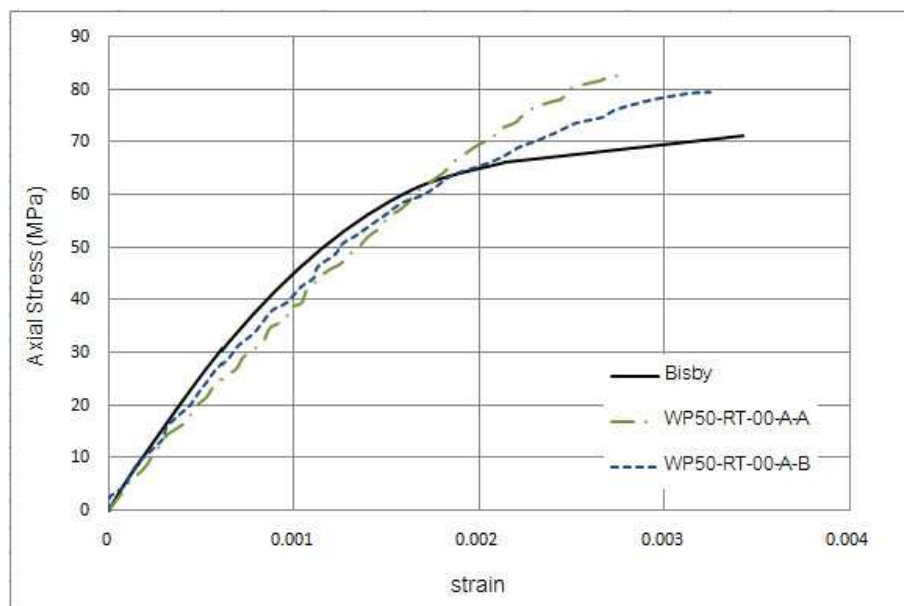
ภาพที่ 7.2 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบ เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Bisby และคณะ[7] ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 35 MPa



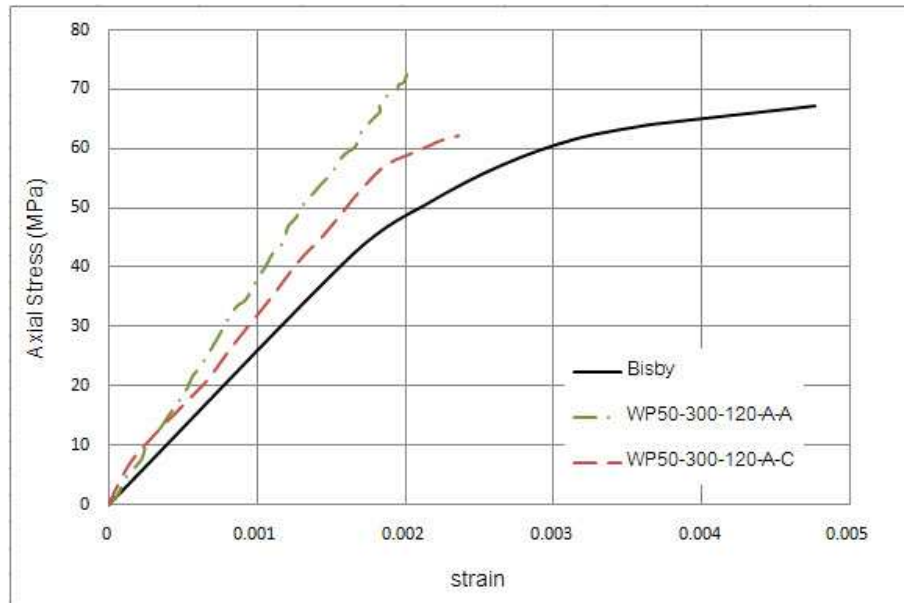
(ง) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 7.2 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Bisby และคณะ[7] ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 35 MPa

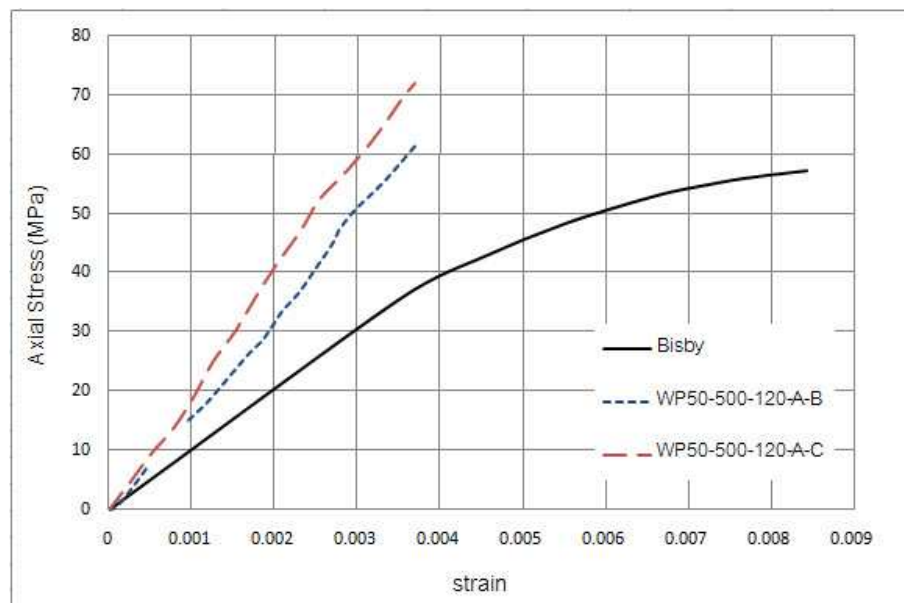
การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกับผลการทดสอบของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 500ksc แสดงในภาพที่ 7.3 และตารางที่ 7.3



(ก) ชิ้นงานที่ไม่ได้เผา

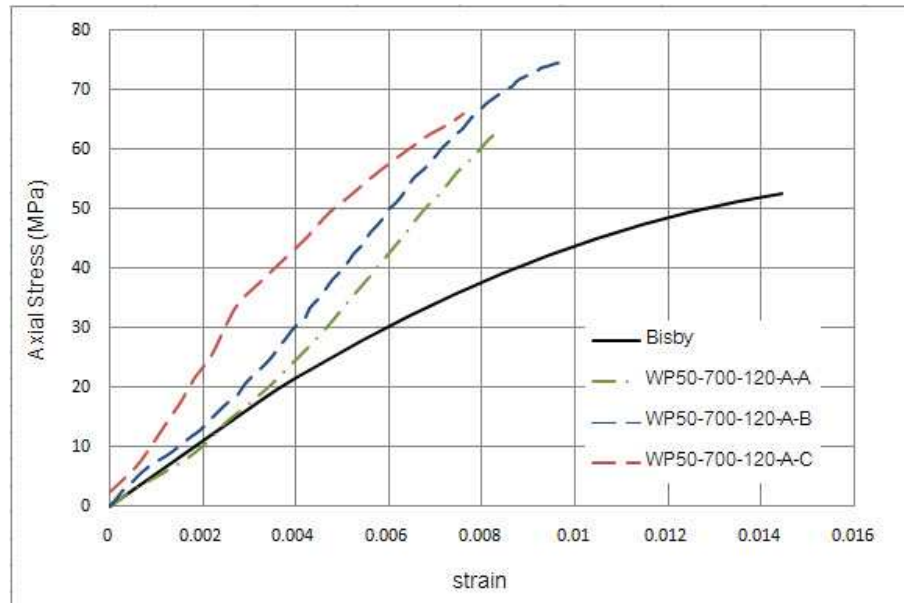


(ข) 300 องศาเซลเซียส



(ค) 500 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 7.3 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบ เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Bisby และคณะ[8] ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 50 MPa



(ง) 700 องศาเซลเซียส (120 นาที)

ภาพที่ 7.3 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดจากผลทดสอบเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Bisby และคณะ[8] ของคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 50 MPa

ตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบคอนกรีต 200 ksc

กลุ่มชิ้นงาน	อุณหภูมิ ภายในเตา	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก/ตร.ซม.)			ความเครียดตามแนวแกนสูงสุด		
		ค่าทดสอบ เฉลี่ย	Bisby และ คณะ	% ความ แตกต่าง	ค่าทดสอบ เฉลี่ย	Bisby และ คณะ	% ความ แตกต่าง
WP20-RT-00-A	27	410	420	2.4	0.0139	0.0049	-183.7
WP20-300-120-A	300	400	357	-12.0	0.009	0.0062	-45.2
WP20-500-120-A	500	407	328	-24.1	0.0173	0.0099	-74.7
WP20-700-120-A	700	381	265	-43.8	0.021	0.0159	-32.1

ตารางที่ 7.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบคอนกรีต 350 ksc

กลุ่มชิ้นงาน	อุณหภูมิ ภายในเตา	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก/ตร.ซม.)			ความเครียดตามแนวแกนสูงสุด		
		ค่าทดสอบ เฉลี่ย	Bisby และ คณะ	% ความ แตกต่าง	ค่าทดสอบ เฉลี่ย	Bisby และ คณะ	% ความ แตกต่าง
WP35-RT-00-A	27	547	493	-11.0	0.0122	0.0048	-154.2
WP35-300-120-A	300	556	452	-23.0	0.014	0.0061	-129.5
WP35-500-120-A	500	504	433	-16.4	0.0128	0.0098	-30.6
WP35-700-120-A	700	483	337	-43.3	0.0139	0.0158	12.0

ตารางที่ 7.3 การเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบคอนกรีต 500 ksc

กลุ่มชิ้นงาน	อุณหภูมิ ภายในเตา	กำลังรับแรงอัดประลัย (กก/ตร.ซม.)			ความเครียดตามแนวแกนสูงสุด		
		ค่าทดสอบ เฉลี่ย	Bisby และ คณะ	% ความ แตกต่าง	ค่าทดสอบ เฉลี่ย	Bisby และ คณะ	% ความ แตกต่าง
WP50-RT-00-A	27	796	706	-12.7	0.003	0.0034	11.8
WP50-300-120-A	300	660	664	0.6	0.002	0.0047	57.4
WP50-500-120-A	500	656	565	-16.1	0.0037	0.0084	56.0
WP50-700-120-A	700	667	519	-28.5	0.0087	0.0144	39.6

จากการเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดสอบที่แสดงในข้างต้น พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดประลัยที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับผลทดสอบที่อุณหภูมิห้อง โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างไม่เกิน 15 % และมีแนวโน้มให้ค่าที่ปลอดภัยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย 19.5% และค่าความเครียดตามแนวแกนสูงสุดให้ค่าไม่เหมาะสมกับผลการทดสอบโดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย 65%

7.2 สรุปผลการศึกษาแบบจำลองของ Bisby และคณะ [7]

จากผลการเปรียบเทียบที่ได้แสดงในข้างต้นสรุปได้ว่า

สมการทำนายกำลังของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดและมีผลของอุณหภูมิของ Bisby และคณะ [7] ให้ค่าที่เหมาะสม และมีแนวโน้มที่ปลอดภัยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างไม่เกิน 15% ที่อุณหภูมิห้อง และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุด 44 % เมื่อมีผลของอุณหภูมิ

สมการทำนายค่าความเครียดประลัยของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดและมีผลของอุณหภูมิของ Bisby และคณะ [7] ให้ค่าไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบโดยพบว่าให้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยสูงถึง 122% ที่อุณหภูมิห้อง และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย 65% เมื่อมีผลของอุณหภูมิ

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัย

8.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยได้ศึกษาผลกระทบอุณหภูมิ และเวลาในการเผาไฟที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตทรงกระบอกภายหลังการเผาไฟ ศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยแผ่น CFRP ภายหลังการเผาไฟ และศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อทำนายพฤติกรรมของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดภายหลังการเผาไฟ จากที่ได้แสดงทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเผาเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมากขึ้น โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะลดลงเหลือ 78%, 68%, 45% และ 33% ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัด 350 ksc กำลังรับแรงอัดลดลงเหลือ 88% 83% 57% และ 48% ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ คอนกรีตรับแรงอัด 500 ksc กำลังรับแรงอัดลดลงเหลือ 92% 75% 67% และ 66% ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ
2. เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเผาเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตโดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 ksc ค่าโมดูลัสเฉื่อยลดลงเหลือ 63%, 35%, 5% และ 5% ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ค่าโมดูลัสเฉื่อยลดลงเหลือ 80% 53% 15% และ 11% ภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส

(180 นาที) ตามลำดับ คอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ค่าโมดูลัสเฉื่อยลดลง เหลือ 88% 38% 13% และ 11% ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

3. เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเผาเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อความเครียดประลัยของคอนกรีตโดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบ 200 ksc ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.2 เท่า, 1.6 เท่า, 5.3 เท่าและ 5.1 เท่าภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 350 ksc ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.1 เท่า, 2.5 เท่าและ 3.1 เท่าภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ ส่วนค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยที่ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) มีค่าเท่ากับชิ้นงานที่ไม่ได้เผาไฟ คอนกรีตรับแรงอัดประลัยออกแบบ 500 ksc ค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.1 เท่า, 2 เท่า, 3.6 เท่าและ 4.8 เท่า ภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที) 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ
4. การโอบรัดด้วย CFRP ในการเสริมกำลังรับแรงของชิ้นงานภายหลังจากเผาไฟที่อุณหภูมิ ต่างๆ โดยคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.7, 2.09, 2.7, 3.8 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 350 ksc กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.71, 1.64, 2.29, 2.58 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 500 ksc กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.23, 1.47, 1.7, 1.68 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม

ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับ

5. การโอบรัดด้วย CFRP สามารถช่วยเพิ่มค่าความเครียดประลัยให้กับคอนกรีตที่ถูกไฟเผา โดยคอนกรีตรับแรงอัด 200 ksc เพิ่มขึ้นเป็น 8.69, 4.74, 6.41, 2.44, 2.31 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัด 350 ksc เพิ่มขึ้นเป็น 5.55, 6.36, 4.92, 2.53, 2.34 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับคอนกรีตรับแรงอัด 500 ksc เพิ่มขึ้นเป็น 1.76, 1., 1.06, 1.40, 1.42 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการซ่อมแซม ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (120 นาที), 500 องศาเซลเซียส (120 นาที), 700 องศาเซลเซียส (120 นาที) และ 700 องศาเซลเซียส (180 นาที) ตามลำดับและเมื่อพิจารณา คอนกรีตกำลังรับแรงอัด 500 ksc การโอบรัดด้วย CFRP มีผลต่อค่าความเครียดประลัยเฉลี่ยอย่างไม่มีนัยสำคัญ
6. การโอบรัดด้วยแผ่น CFRP ไม่ช่วยเพิ่มค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตภายหลังการเผาไฟ
7. สมการทำนายกำลังของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดและมีผลของอุณหภูมิของ Bisby และคณะ [7] ให้ค่าที่เหมาะสม และมีแนวโน้มที่ปลอดภัยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างไม่เกิน 15% ที่อุณหภูมิห้อง และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุด 44 % เมื่อมีผลของอุณหภูมิ

รายการอ้างอิง

- [1] Xiao, Y. and Wu, H., Compressive behavior of concrete confined by carbon fiber composite jackets. Journal of materials in civil engineering (ASCE) 12, 2, (2000) : 139-146.
- [2] Lam, L. and Teng, J. G., Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete. Construction and building materials 17, 6-7, (2003) : 471-489.
- [3] ทรงเกียรติ ชาญสันติ.การศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหลังถูกไฟไหม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [4] ASTM Designation, E119-10, Standard Test Methods for Fire tests of Building Construction and Materials, 2010.
- [5] ACI Committee, 318-05, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2005.
- [6] M.Yaqub and C.G.Bailey. Repair of fire damaged circularreinforce concrete columns with FRP composites, Construction and Building Materials 25(1),(2010) : 359-370,
- [7] L.A. Bisby, J.F. Chen, S.Q.Li, T.J. Stratford, N. Cueva, K.Crossling,Strengthening fire-damage concrete by confinement with fibre-reinforced polymer wraps.Engineering Structures, 33(12), (2011) : 3381-3391
- [8] ISO 834, Fire resistance test-elements of building construction. International organization for Standardization, 1975.
- [9] ACI Committee 440, Guide for Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-08). Michigan :American concrete institute, 2008.
- [10] EC2.Eurocode 2, Design of concrete structure. General rules structural Fire Design.European Committee for Standardization, 1993.
- [11] Schneider. U, Concrete at high temperatures, Fire Safety Journal (1988) : 55-68

- [12] BSI BS 8110, Structural Use of concrete, British Standards Institution, UK,1985.
- [13] Lee j, Xi Y, Willam K. Properties of concrete after high-temperature heating and cooling. *ACI Materials journal* 105(4) (2008) : 334-41.
- [14] ASTM C192, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, USA, 2007

ภาคผนวก
รูปถ่ายการวิบัติของชิ้นงานทดสอบ

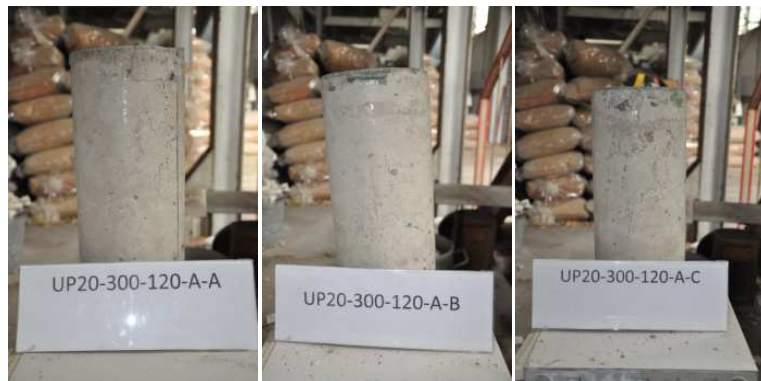
รูปแบบการวิบัติ

ชิ้นงานคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc

UP20-RT-00-A



UP20-300-120-A



UP20-300-120-W



UP20-500-120-A



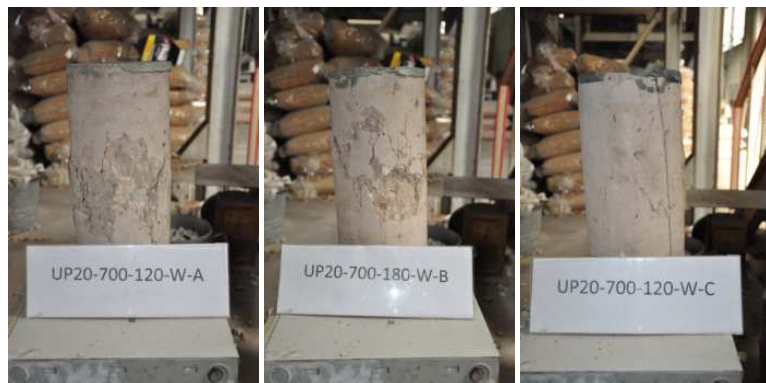
UP20-500-120-W



UP20-700-120-A



UP20-700-120-W



UP20-700-180-A



UP20-700-180-W



WP20-RT-00-A



WP20-300-120-A



WP20-300-120-W



WP20-500-120-A



WP20-500-120-W

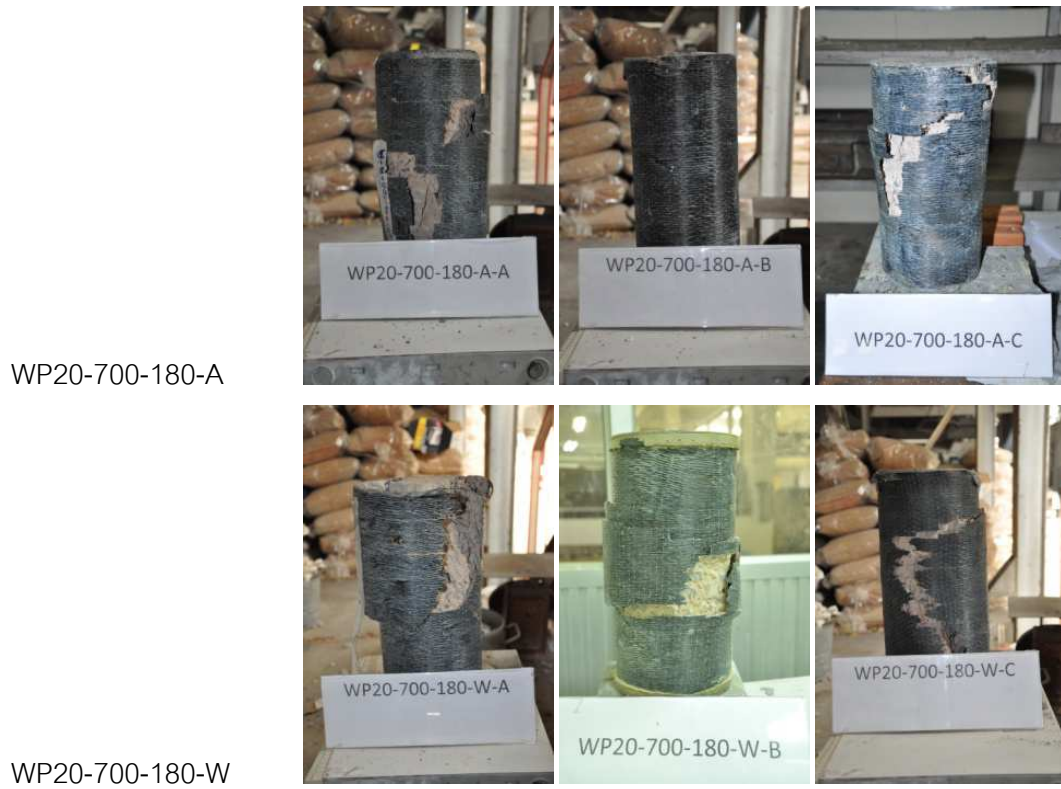


WP20-700-120-A



WP20-700-120-W





ชิ้นงานคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 350 ksc



UP35-300-120-W



UP35-500-120-A



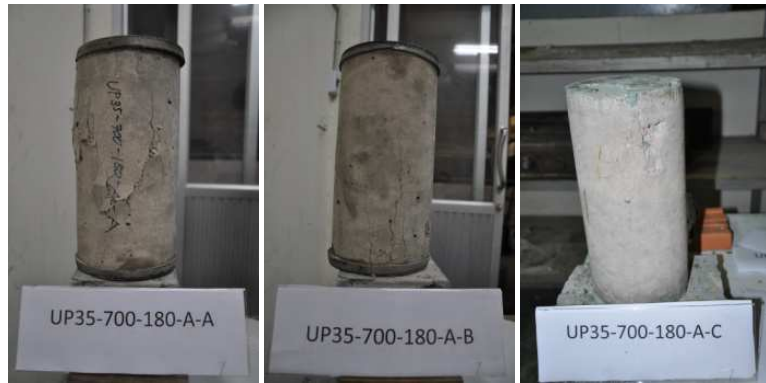
UP35-500-120-W



UP35-700-120-A



UP35-700-180-A



UP35-700-180-W



WP35-RT-00-A



WP35-300-120-A



WP35-300-120-W



WP35-500-120-A



WP35-500-120-W



WP35-700-120-A





WP35-700-120-W



WP35-700-180-A



WP35-700-180-W

ชิ้นงานคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 500 ksc



UP50-RT-00-A



UP50-300-120-A



UP50-500-120-A



UP50-700-120-A



UP50-700-180-A

WP50-RT-00-A



WP50-300-120-A



WP50-300-120-W



WP50-500-120-A



WP50-500-120-W



WP50-700-120-A



WP50-700-120-W



WP50-700-180-A



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศุภณัฐ วุ่นประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนทิวธาภิเศก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2552 และศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโครงสร้างในปี พ.ศ.2553 จนถึงปัจจุบัน