

พฤติกรรมการตัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีที่ได้รับความเสียหายจากไฟและเสริมกำลัง  
ด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน



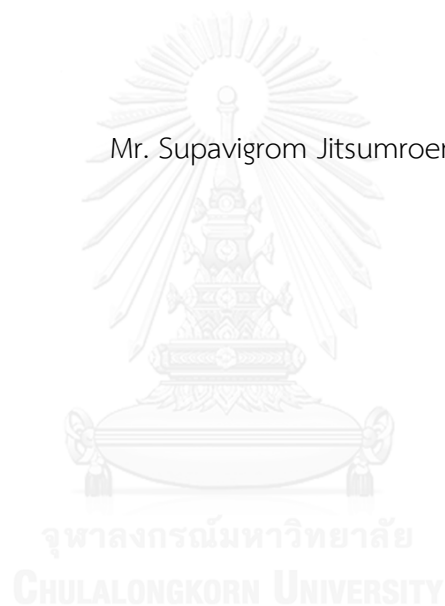
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FLEXURAL BEHAVIOR OF FIRE-DAMAGED REINFORCED CONCRETE T-  
BEAMS STRENGTHENED WITH CARBON FIBER-REINFORCED POLYMER PLATES

Mr. Supavigrom Jitsumroeng



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 2016

Copyright of Chulalongkorn University





# # 5670412321 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: RC T-BEAMS / FIRE / CFRP PLATE / MECHANICAL ANCHORAGE

SUPAVIGROM JITSUMROENG: FLEXURAL BEHAVIOR OF FIRE-DAMAGED REINFORCED CONCRETE T-BEAMS STRENGTHENED WITH CARBON FIBER-REINFORCED POLYMER PLATES. ADVISOR: ASSOC. PROF. AKHRAWAT LENWARI, Ph.D., 193 pp.

This research studies the flexural behavior of reinforced concrete T-beams after exposed to fire and strengthened with CFRP plates. Total of 5 beams were studied. The tensile reinforcement ratio was 0.58 percent and concrete compressive strength was 43 MPa. One beam was tested at room temperature while other four beams were tested after exposure to fire. The studied parameter is level of service load applied to beams during fire exposure (0 and 22.6 percent of beams capacity at room temperature). The specimen with and without service load simultaneously exposure to fire in the fire test furnaces. Three hours applied to the initial heating followed by ISO834 standard fire until the temperature at 700°C and maintained. The specimens were cooled down in the furnace and two specimens were strengthened by CFRP plates with mechanical anchorage in both ends. Finally, all specimens were tested under four-point bending to investigate the flexural behavior, crack pattern, and mode of failure. It was found that (1) the temperature distribution within beams with and without service load applied during fire exposure are similar but the service load significantly affected the deflection during fire exposure. (2) The post-fire capacity and stiffness of the beams exposed to 700°C reduced to 10 and 62 percent of the beam properties at room temperature respectively. These reduced to 27 and 76 percent of the beam properties at room temperature due to the sustained loading effect and (3) CFRP plates can increase the beam stiffness in range of 92 to 118 percent and increase in the flexural capacity of fire-damaged beam in range of 45 to 103 percent. However, the ductility index is decreased 7 to 66 percent when compared with the unstrengthened beam.

Department: Civil Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนวัสดุจากบริษัท ชีก้า (ประเทศไทย) จำกัด และขอขอบคุณบริษัท รีโทรฟิท สตรัคเจอร์ สเปเชียลลิสต์ จำกัด ที่ทำการซ่อมแซมคานทดสอบในการทดสอบ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการหน่วยทดสอบ และเจ้าหน้าที่ทุกคนที่ช่วยในการดำเนินการทดสอบในงานวิจัย

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อัครวัชร เล่นวารีย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย อีกทั้งขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติรี ที่รับเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิต ปานสุข และรองศาสตราจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โปธิศิริ ผู้ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ดร. พุทธิพงศ์ ทะสิทธิ์รัตน์วัฒนา ที่ให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำที่ดีตลอดมา



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูปภาพ .....	ฑ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา .....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 พฤติกรรมการตัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที .....	3
2.2 พฤติกรรมการตัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีที่เสริมกำลังรับแรงดัดด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย .....	4
2.3 พฤติกรรมการตัดของคานคอนกรีตที่เสียหายจากเพลิงไหม้และคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายจากเพลิงไหม้และซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย .....	8
2.4 การใช้ระบบยึดรั้งที่ปลายของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน .....	11
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	14
3.1 กราฟไฟมาตรฐาน ISO 834[6].....	14
3.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิในหน้าตัดคานรูปตัวที.....	15
3.2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์อุณหภูมิในหน้าตัด .....	15
3.2.2 คุณสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีต .....	16

3.2.3 แบบจำลองการไฟไนต์อีลิเมนต์ในการถ่ายโอนความร้อนในหน้าตัด.....	17
บทที่ 4 รายละเอียดและขั้นตอนการทดสอบ .....	18
4.1 รายละเอียดคานทดสอบ .....	18
4.2 การเตรียมคานทดสอบ .....	20
4.2.1 การหล่อคานทดสอบ .....	20
4.2.2 การเสริมเหล็กของคานคอนกรีตรูปตัวทีที่ใช้ในการทดสอบ .....	22
4.2.3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด.....	23
4.3 การทดสอบขณะเผาไฟ .....	28
4.3.1 การทดสอบเผาไฟในชุดแรกของคาน B700 และ B700S .....	30
4.3.2 การทดสอบเผาไฟในชุดที่สองของคาน B700F และ B700FS.....	31
4.3.3 การเผาคอนกรีตทรงกระบอก .....	34
4.4 การติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนและระบบการยึดรั้งที่ปลาย .....	35
4.5 การทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดของคานทดสอบ.....	38
4.5.1 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดของคาน CB .....	39
4.5.2 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดของคาน B700.....	39
4.5.3 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดของคาน B700S.....	40
4.5.4 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดของคาน B700F.....	41
4.5.5 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดของคาน B700FS.....	42
4.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต .....	44
4.6.1 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแบบไม่ทำลาย .....	44
4.6.2 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแบบทำลาย .....	46
4.7 การทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริม .....	47
บทที่ 5 ผลการทดสอบ.....	48



5.1 คุณสมบัติของคอนกรีต .....	48
5.1.1 ผลการทดสอบคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย rebound hammer .	48
5.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบแบบทำลาย .....	51
5.2 คุณสมบัติของเหล็กเสริม.....	52
5.3 พฤติกรรมรับแรงของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที.....	53
5.3.1 ผลการทดสอบคานคานควบคุม (CB) ด้วยการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด .....	53
5.3.2 ผลการทดสอบการเผาไฟครั้งที่ 1 (คาน B700 และB700S).....	60
5.3.3 ผลการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดของคาน B700 และ B700S ภายหลังจาก ทดสอบเผาไฟครั้งที่ 1 .....	66
5.3.4 ผลการทดสอบการเผาไฟครั้งที่ 2 (คาน B700F และB700FS) .....	73
5.3.5 ผลการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดของคานที่ทดสอบเผาไฟครั้งที่ 2 ภายหลังจาก ซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน B700F และ B700FS .....	80
5.4 ผลการทดสอบแรงกระทำสี่จุด ( four point bending ) ในด้านรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น .....	93
5.4.1 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำสี่จุดของคานควบคุม (CB).....	93
5.4.2 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำสี่จุดของคานที่ทำการเผาไฟที่ อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส (B700).....	96
5.4.3 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำสี่จุด ของคานที่รับน้ำหนักบรรทุก ใช้งานและทำการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส (B700S) .....	99
5.4.4 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำสี่จุด ของคานที่ทำการเผาไฟที่ อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เส ริมเส้นใยคาร์บอน (B700F) .....	102
5.4.5 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำสี่จุด ของคานที่รับน้ำหนักบรรทุก ใช้งานและทำการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเสริม กำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700FS) .....	106
5.5 การโค้งตัวของคานก่อนทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด.....	110

5.6 พฤติกรรมรูปแบบการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก .....	111
5.6.1 ผลการทดสอบของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก-1.....	111
5.6.2 ผลการทดสอบของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก-2.....	111
บทที่ 6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ .....	112
6.1 วิเคราะห์ผลจากการใช้วิธี Rebound Hammer ในการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตกับการ หาค่ากำลังอัดของคอนกรีตใช้วิธีทดสอบทำลาย.....	113
6.1.1 วิเคราะห์ผลจากการใช้วิธี Rebound Hammer ในการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต ....	113
6.1.2 วิเคราะห์ผลจากการใช้วิธีทำลาย ในการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตและเทียบกับการ ทดสอบด้วย Rebound Hammer .....	116
6.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ อุนหภูมิ ที่ตำแหน่งเหล็กเสริม.....	117
6.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบอุนหภูมิในคอนกรีต.....	120
6.3.1 วิเคราะห์อุนหภูมิในคอนกรีตของคาน B700.....	120
6.3.2 วิเคราะห์อุนหภูมิในคอนกรีตของคาน B700S.....	122
6.3.3 วิเคราะห์อุนหภูมิในคอนกรีตของคาน B700F.....	124
6.3.4 วิเคราะห์อุนหภูมิในคอนกรีตของคาน B700FS.....	126
6.4 วิเคราะห์การโก่งตัวของคานขณะทำการเผาไฟ.....	128
6.5 วิเคราะห์น้ำหนักระงทำและการโก่งตัวของคาน จากการทดสอบแรงกระทำที่จุด .....	130
6.5.1 วิเคราะห์น้ำหนักระงทำและการโก่งตัวของคานควบคุม CB กับคานที่เผาไฟที่ระดับ อุนหภูมิ 700 องศาเซลเซียส B700 และคานที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะทำ การเผาไฟที่อุนหภูมิ 700 องศาเซลเซียส B700S.....	130
6.5.2 วิเคราะห์น้ำหนักรบรรทุกและการโก่งตัวระหว่างคานที่ทำการเผาไฟที่ระดับอุนหภูมิ ระดับ 700 องศาเซลเซียส B700 กับคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์ภายหลัง การทำการเผาไฟที่อุนหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700F.....	131

6.5.3 วิเคราะห์น้ำหนักรับน้ำหนักและการโค้งตัวระหว่างคานที่ทำการรับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ งานขณะเผาไฟที่ระดับอุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700S กับคานที่เสริม กำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์ภายหลังการทำการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟที่ อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700FS.....	132
6.6 วิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมของคานควบคุม CB.....	134
6.7 วิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นจากตัววัดความเครียดที่ทำการติดตั้งที่ผิวคอนกรีต.....	138
6.8 วิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน.....	143
6.8.1 เปรียบเทียบวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F ก่อน เกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์.....	144
6.8.2 เปรียบเทียบวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F หลัง เกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์.....	148
6.8.3 เปรียบเทียบวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS ก่อนเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์.....	152
6.8.4 เปรียบเทียบวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS หลังเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์.....	156
6.8.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์สูงสุดก่อนเกิดการ หลุดล่อน.....	159
6.9 เปรียบเทียบรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด.....	161
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย.....	165
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	165
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	168
รายการอ้างอิง.....	169
ภาคผนวก ก รายการคำนวณออกแบบหน้าตัด.....	172
ก.1 รายการคำนวณออกแบบหน้าตัดคานตัวอย่างรูปตัวทีที่ใช้ในการออกแบบทดสอบ.....	172
ก.2 รายการคำนวณแรงที่ใช้ยึดรั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่ปลาย.....	174

ภาคผนวก ข ข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ .....	176
ข.1 ข้อมูลวัสดุ .....	176
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบค้อนกระแทก .....	178
ค.1 การทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยค้อนกระแทก (rebound hammer) .....	178
ภาคผนวก ง ผลการทดลองเพิ่มเติมที่ไม่ได้นำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล .....	185
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	193



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 ตารางสรุปผลการทดสอบของ (Danie Roy A.B. และ คณะ 2016)[4] .....	11
ตารางที่ 4-1 รายละเอียดคานทดสอบ .....	19
ตารางที่ 5-1 สัดส่วนผสมของคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม .....	48
ตารางที่ 5-2 ผลการทดสอบการยิงหาค่า hammer rebound ที่ผิวคานคอนกรีตของคาน ควบคุมและของคานก่อนที่จะทำการเผาไฟ.....	48
ตารางที่ 5-3 ผลการทดสอบการยิงหาค่า hammer rebound ที่ผิวคานคอนกรีตภายหลังทำ การเผาไฟ .....	49
ตารางที่ 5-4 ผลการทดสอบการยิงหาค่า hammer rebound ที่ลูกคอนกรีตทรงกระบอก.....	50
ตารางที่ 5-5 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่อุณหภูมิห้อง .....	51
ตารางที่ 5-6 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอกภายหลังจากการเผาไฟ 17 วัน.....	51
ตารางที่ 5-7 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอกภายหลังจากการเผาไฟ 42 วัน.....	52
ตารางที่ 5-8 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเสริม .....	52
ตารางที่ 5-9 การโค้งตัวของคานก่อนการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุด.....	110
ตารางที่ 5-10 ผลการทดสอบคาน-1 .....	111
ตารางที่ 5-11 ผลการทดสอบคาน-2.....	111
ตารางที่ ข-1 คุณสมบัติของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน Sika CarboDour® S512 .....	176
ตารางที่ ค-1 ตารางผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย ก่อนทำการเผาไฟ.....	178
ตารางที่ ค-2 ตารางผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย หลังทำการเผาไฟ.....	181
ตารางที่ ค-3 ตารางผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย กับคอนกรีตทรงกระบอก.....	183
ตารางที่ ค-4 ตารางหาค่าปรับแก้โดยการนำค้อนกระแทกไปทำการยิงกับแท่นคาร์เบท.....	184

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 รูปตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ (Talbot 1997)[1] .....	3
รูปที่ 2.2 รูปการให้แรงกระทำต่อตัวคาน (Talbot 1907)[1].....	3
รูปที่ 2.3 การเสริมกำลังรับแรงดัดด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนและเสริมรับแรงเฉือนด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนของคานที่ใช้ในการทดสอบ (Salib 2012)[2] .....	4
รูปที่ 2.4 รายละเอียดตามยาวและหน้าตัดของคานทดสอบ (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3] .....	5
รูปที่ 2.5 คานตัวที่สอง (B2) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3].....	5
รูปที่ 2.6 คานตัวที่สาม (B3) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3] .....	6
รูปที่ 2.7 คานตัวที่สี่ (B4) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3].....	6
รูปที่ 2.8 คานตัวที่ห้า (B5) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3].....	6
รูปที่ 2.9 คานตัวที่หก (B6) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3] .....	6
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการโก่งตัวของคานควบคุม(B1)และคานที่เสริมกำลัง (B2-B4) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3] .....	7
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการโก่งตัวของคานควบคุม(B1)และคานที่เสริมกำลัง (B5-B6) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3] .....	7
รูปที่ 2.12 รายละเอียดการเสริมเหล็กคานรูปตัวทีในการทดสอบและตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ (Danie Roy A.B. และ คณะ 2016)[4].....	8
รูปที่ 2.13 อุณหภูมิของเตาไฟฟ้าที่ให้กับคานตัวอย่างที่ระดับ 600 องศาเซลเซียส และ 900 องศาเซลเซียส (Danie Roy A.B. และ คณะ 2016)[4].....	8
รูปที่ 2.14 การเสริมแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (GFRP) ทั้งสองรูปแบบกับคานรูปตัวที (Danie Roy A.B. และ คณะ 2016)[4].....	9
รูปที่ 2.15 รายละเอียดการเสริมเหล็กและการยึดรั้งที่ปลายของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (Chahrour และ Soudki 2005)[5].....	12
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟมาตรฐาน ISO834[6] .....	14

รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะของคอนกรีตกับอุณหภูมิที่ความชื้น 1.5 เปอร์เซ็นต์[8].....	16
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีตกับอุณหภูมิ[8].....	16
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนของคอนกรีตกับอุณหภูมิ[7] .....	16
รูปที่ 3.5 การจำลองหน้าตัดคานรูปตัวที .....	17
รูปที่ 4.1 แบบที่ใช้หล่อคานตัวอย่าง .....	20
รูปที่ 4.2 แบบที่ใช้หล่อคานตัวอย่าง .....	21
รูปที่ 4.3 การหล่อแบบที่ใช้ในการทดสอบ .....	21
รูปที่ 4.4 การบ่มคานคอนกรีตภายหลังถอดแบบโดยใช้พลาสติกใส.....	22
รูปที่ 4.5 การบ่มคอนกรีตทรงกระบอก โดยใช้พลาสติกใส .....	22
รูปที่ 4.6 รายละเอียดหน้าตัดและเหล็กเสริมของคานที่ใช้ในการทดสอบ .....	23
รูปที่ 4.7 ตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงอัด.....	24
รูปที่ 4.8 ตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงดึง .....	24
รูปที่ 4.9 รูปแสดงตำแหน่งเครื่องมือวัดความเค้นที่เหล็กเสริมรับแรงอัดของคานควบคุม (CB) .....	24
รูปที่ 4.10 รูปแสดงตำแหน่งเครื่องมือวัดความเค้นที่เหล็กเสริมรับแรงดึงของคานควบคุม (CB).....	24
รูปที่ 4.11 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ.....	25
รูปที่ 4.12 รายละเอียดตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ ในหน้าตัด A-A ของคาน B700 B700S B700F และ B700FS .....	25
รูปที่ 4.13 รายละเอียดตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ ในหน้าตัด B-B ของคาน B700 และ B700S.....	26
รูปที่ 4.14 รายละเอียดตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ ในหน้าตัด B-B ของคาน B700F และ B700FS .....	26
รูปที่ 4.15 รายละเอียดตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ ในหน้าตัด C-C ของคาน B700 B700S B700F และ B700FS .....	26
รูปที่ 4.16 ตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิที่กลางหน้าตัด .....	27
รูปที่ 4.17 เหล็กเสริมในคานและตัววัดอุณหภูมิ.....	27
รูปที่ 4.18 ตัววัดอุณหภูมิที่ผิวคานหน้าตัด B-B.....	28

รูปที่ 4.19 รายละเอียดเตาเผาจากด้านบน .....	28
รูปที่ 4.20 รายละเอียดการทดสอบคานขณะเผาไฟ .....	29
รูปที่ 4.21 รูปทำการทดสอบเผาไฟ.....	29
รูปที่ 4.22 รูปตำแหน่งการวางคานและอุปกรณ์ตรวจวัดของการทดสอบเผาไฟ ครั้งที่ 1 (ด้านข้าง).....	30
รูปที่ 4.23 รูปตำแหน่งการวางคาน B700 ขณะทำการเผาไฟ.....	31
รูปที่ 4.24 รูปตำแหน่งการวางคาน B700S และอุปกรณ์ตรวจวัดขณะทำการเผาไฟ.....	31
รูปที่ 4.25 รูปตำแหน่งการวางคานและอุปกรณ์ตรวจวัดของการทดสอบเผาไฟ ครั้งที่ 2 (ด้านข้าง).....	32
รูปที่ 4.26 รูปตำแหน่งการวางคาน B700F และอุปกรณ์ตรวจวัดขณะทำการเผาไฟ.....	33
รูปที่ 4.27 รูปตำแหน่งการวางคาน B700FS และอุปกรณ์ตรวจวัดขณะทำการเผาไฟ.....	33
รูปที่ 4.28 รูปตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิในคอนกรีตทรงกระบอก .....	34
รูปที่ 4.29 รูปตำแหน่งการวางคอนกรีตทรงกระบอกขณะทำการเผาไฟ.....	34
รูปที่ 4.30 การเตรียมผิวสำหรับติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์.....	35
รูปที่ 4.31 การติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน .....	35
รูปที่ 4.32 แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่ถูกติดตั้งกับคาน .....	36
รูปที่ 4.33 รายละเอียดการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนของคาน.....	36
รูปที่ 4.34 รายละเอียดการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนในหน้าตัด .....	37
รูปที่ 4.35 รายละเอียดการยึดรั้งที่ปลายแผ่นพอลิเมอร์.....	37
รูปที่ 4.36 รายละเอียดการติดตั้งคานและเครื่องมือทดสอบกับเครื่องทดสอบ(Amsler).....	38
รูปที่ 4.37 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำที่จุด ของคานควบคุม (CB).....	39
รูปที่ 4.38 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำที่จุด ของคาน B700.....	40
รูปที่ 4.39 รูปตำแหน่งตัววัดความเครียดด้านบนของคาน B700 และ B700S .....	40
รูปที่ 4.40 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำที่จุด ของคาน B700S.....	41



รูปที่ 4.41 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำสูงสุด ของคาน B700F.....	42
รูปที่ 4.42 รูปตำแหน่งตัววัดความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F และ B700FS.....	42
รูปที่ 4.43 รูปตำแหน่งตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตด้านบนปีกของคาน B700F และ B700FS... 42	42
รูปที่ 4.44 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำสูงสุด ของคาน B700FS.....	43
รูปที่ 4.45 แทนเหล็กสำหรับการปรับแก้ค่าสะท้อนจากมวลสปริง .....	44
รูปที่ 4.46 หินสำหรับขีดบริเวณผิวคอนกรีตที่ทำการทดสอบ Rebound Hammer.....	45
รูปที่ 4.47 ตำแหน่งที่ทำการยิง Rebound Hammer.....	45
รูปที่ 4.48 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ Rebound Hammer .....	45
รูปที่ 4.49 ขณะทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย Rebound Hammer .....	46
รูปที่ 4.50 การทดสอบแบบทำลาย .....	46
รูปที่ 4.51 การทดสอบดึงเหล็กเสริม.....	47
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการโก่งตัวของคานควบคุม CB ที่กึ่งกลางคาน .....	53
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงอัด (SGT1) ของคานควบคุม CB .....	54
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงอัด (SGT2) ของคานควบคุม CB .....	54
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF1) ของคานควบคุม CB .....	55
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF2) ของคานควบคุม CB .....	55
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF3) ของคานควบคุม CB .....	56
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF4) ของคานควบคุม CB .....	56

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF5) ของคานควบคุม CB .....	57
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF6) ของคานควบคุม CB .....	57
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF7) ของคานควบคุม CB .....	58
รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGB2) ของคานควบคุม CB .....	58
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGB4) ของคานควบคุม CB .....	59
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGB6) ของคานควบคุม CB .....	59
รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700.....	60
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด B-B ของคาน B700.....	61
รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด C-C ของคาน B700 .....	61
รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700S .....	62
รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด B-B ของคาน B700S.....	63
รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด C-C ของคาน B700S .....	63
รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลา ของเตาเผาในการทดสอบครั้งที่ 1.....	64
รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700S.....	65
รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการโก่งตัวของคาน B700 ที่กึ่งกลางคาน..	66
รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC1) ของคาน B700 .....	67
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC2) ของคาน B700 .....	67

รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC3) ของคาน B700 .....	68
รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC4) ของคาน B700 .....	68
รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC5) ของคาน B700 .....	69
รูปที่ 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการโก่งตัวของคาน B700S ที่กึ่งกลางคาน .....	70
รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC1) ของคาน B700S .....	71
รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC2) ของคาน B700S .....	71
รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC3) ของคาน (B700S).....	72
รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700F .....	73
รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด B-B B700F .....	74
รูปที่ 5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด C-C ของคาน B700F .....	74
รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700FS .....	75
รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700FS .....	76
รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด C-C ของคาน B700FS .....	76
รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลา ของเตาเผาในการทดสอบครั้งที่ 2.....	77
รูปที่ 5.39 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700F.....	78
รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700FS .....	79
รูปที่ 5.41 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการโก่งตัวของคาน B700F ที่กึ่งกลางคาน ณ ตำแหน่งพอลิเมอร์.....	80



รูปที่ 5.55 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC2) ของคาน B700FS.....	88
รูปที่ 5.56 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG1) ของคาน B700FS .....	89
รูปที่ 5.57 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG2) ของคาน B700FS .....	89
รูปที่ 5.58 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG3) ของคาน B700FS .....	90
รูปที่ 5.59 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG4) ของคาน B700FS .....	90
รูปที่ 5.60 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG5) ของคาน B700FS .....	91
รูปที่ 5.61 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG6) ของคาน B700FS .....	91
รูปที่ 5.62 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG7) ของคาน B700FS .....	92
รูปที่ 5.63 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG8) ของคาน B700FS .....	92
รูปที่ 5.64 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีที่เป็นคานควบคุม CB .....	93
รูปที่ 5.65 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคานควบคุม CB รูปที่ 5.66 ถึง 5.72 ...	94
รูปที่ 5.66 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB.....	94
รูปที่ 5.67 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 25.73 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0.40 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB.....	94
รูปที่ 5.68 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 48.54 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 2.97 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB.....	94

รูปที่ 5.69 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 70.73 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 5.05 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB.....	95
รูปที่ 5.70 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 94.56 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 6.63 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB.....	95
รูปที่ 5.71 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 116.61 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 15.97 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB.....	95
รูปที่ 5.72 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 139.11 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 43.7 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB.....	95
รูปที่ 5.73 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคานควบคุม CB .....	95
รูปที่ 5.74 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคานควบคุม CB ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.73 .....	95
รูปที่ 5.75 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีที่เฝ้าไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700 .....	96
รูปที่ 5.76 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคาน B700 รูปที่ 5.77 ถึง 5.82 .....	97
รูปที่ 5.77 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0 มิลลิเมตร ของคาน B700 .....	97
รูปที่ 5.78 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 27.52 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 1.33 มิลลิเมตร ของคาน B700 .....	97
รูปที่ 5.79 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 45.40 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 2.52 มิลลิเมตร ของคาน B700 .....	97
รูปที่ 5.80 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 68.30 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 4.16 มิลลิเมตร ของคาน B700 .....	98
รูปที่ 5.81 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 90.62 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 6.60 มิลลิเมตร ของคาน B700 .....	98
รูปที่ 5.82 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 106.42 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 10.17 มิลลิเมตร ของคาน B700 .....	98
รูปที่ 5.83 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคาน B700 .....	98

รูปที่ 5.84 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคาน B700 ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.83.....	98
รูปที่ 5.85 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานและเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700S.....	99
รูปที่ 5.86 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคาน B700S รูปที่ 5.87 ถึง 5.91.....	100
รูปที่ 5.87 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0 มิลลิเมตร ของคาน B700S.....	100
รูปที่ 5.88 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 28.31 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 2.18 มิลลิเมตร ของคาน B700S.....	100
รูปที่ 5.89 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 50.98 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 4.27 มิลลิเมตร ของคาน B700S.....	100
รูปที่ 5.90 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 71.48 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 6.22 มิลลิเมตร ของคาน B700S.....	101
รูปที่ 5.91 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 93.00 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 11.33 มิลลิเมตร ของคาน B700S.....	101
รูปที่ 5.92 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคาน B700S.....	101
รูปที่ 5.93 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคาน B700S ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.92.....	101
รูปที่ 5.94 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีที่เผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน B700F.....	102
รูปที่ 5.95 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคาน B700F รูปที่ 5.96 ถึง 5.106.....	103
รูปที่ 5.96 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	103
รูปที่ 5.97 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 21.27 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0.59 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	103
รูปที่ 5.98 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 41.48 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 1.40 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	103

รูปที่ 5.99 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 62.30 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 2.48 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	104
รูปที่ 5.100 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 83.21 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 3.76 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	104
รูปที่ 5.101 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 104.48 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 5.13 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	104
รูปที่ 5.102 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 125.25 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 7.62 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	104
รูปที่ 5.103 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 146.42 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 10.34 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	104
รูปที่ 5.104 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 167.48 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 12.86 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	105
รูปที่ 5.105 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 170.10 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 16.80 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	105
รูปที่ 5.106 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 146.06 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 47.23 มิลลิเมตร ของคาน B700F.....	105
รูปที่ 5.107 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคาน B700F.....	105
รูปที่ 5.108 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคาน B700F ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.107.....	105
รูปที่ 5.109 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานและเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน B700FS.....	106
รูปที่ 5.110 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคาน B700FS รูปที่ 5.111 ถึง 5.123	107
รูปที่ 5.111 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0 มิลลิเมตร ของคาน B700FS.....	107
รูปที่ 5.112 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 16.83 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0.70 มิลลิเมตร ของคาน B700FS.....	107



รูปที่ 5.113 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 37.55 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 1.81 มิลลิเมตร ของคาน B700FS.....	107
รูปที่ 5.114 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 59.17 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 3.04 มิลลิเมตร ของคาน B700FS.....	108
รูปที่ 5.115 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 80.54 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 4.39 มิลลิเมตร ของคาน B700FS.....	108
รูปที่ 5.116 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 101.00 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 5.84 มิลลิเมตร ของคาน B700FS .....	108
รูปที่ 5.117 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 122.12 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 7.04 มิลลิเมตร ของคาน B700FS .....	108
รูปที่ 5.118 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 143.24 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 8.62 มิลลิเมตร ของคาน B700FS .....	108
รูปที่ 5.119 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 163.96 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 11.02 มิลลิเมตร ของคาน B700FS .....	109
รูปที่ 5.120 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 183.52 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 15.98 มิลลิเมตร ของคาน B700FS .....	109
รูปที่ 5.121 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 194.33 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 18.98 มิลลิเมตร ของคาน B700FS .....	109
รูปที่ 5.122 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 129.92 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 31.54 มิลลิเมตร ของคาน B700FS .....	109
รูปที่ 5.123 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักระทำ 141.58 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 50.23 มิลลิเมตร ของคาน B700FS .....	109
รูปที่ 5.124 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคาน B700FS.....	110
รูปที่ 5.125 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคาน B700FS ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.124.....	110
รูปที่ 6.1 ค่ากำลังที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคานควบคุม (CB).....	114
รูปที่ 6.2 ค่ากำลังที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคาน (B700) ,(B700S) ,(B700F) ,(B700FS) ก่อนทำการเผาไฟ .....	114

รูปที่ 6.3 ค่ากำลังที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคาน (B700) ,(B700S) ,(B700F) ,(B700FS) ภายหลังจากการเผาไฟ.....	115
รูปที่ 6.4 เปรียบเทียบค่ากำลังที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคาน (B700) ,(B700S) ,(B700F) ,(B700FS) ก่อนและภายหลังจากการเผาไฟ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ .....	115
รูปที่ 6.5 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคาน (B700) ,(B700S) ,(B700F) ,(B700FS).....	116
รูปที่ 6.6 อุณหภูมิที่เหล็กเสริมของคาน B700 .....	118
รูปที่ 6.7 อุณหภูมิที่เหล็กเสริมของคาน B700S.....	118
รูปที่ 6.8 อุณหภูมิที่เหล็กเสริมของคาน B700F.....	119
รูปที่ 6.9 อุณหภูมิที่เหล็กเสริมของคาน B700FS.....	119
รูปที่ 6.10 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางคาน B700 ขณะทำการเผาไฟ.....	121
รูปที่ 6.11 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางปีกคาน B700 ขณะทำการเผาไฟ.....	121
รูปที่ 6.12 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางคาน B700S ขณะทำการเผาไฟ.....	123
รูปที่ 6.13 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางปีกคาน B700S ขณะทำการเผาไฟ.....	123
รูปที่ 6.14 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางคาน B700F ขณะทำการเผาไฟ.....	125
รูปที่ 6.15 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางปีกคาน B700F ขณะทำการเผาไฟ.....	125
รูปที่ 6.16 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางคาน B700FS ขณะทำการเผาไฟ .....	127
รูปที่ 6.17 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางปีกคาน B700FS ขณะทำการเผาไฟ .....	127
รูปที่ 6.18 การโก่งตัวของคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700S.....	128
รูปที่ 6.19 การโก่งตัวของคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700F และ B700FS .....	129
รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคาน CB ,B700 ,B700S .....	131
รูปที่ 6.21 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคาน B700 ,B700F.....	132

รูปที่ 6.22 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคาน B700S ,B700FS.....	133
รูปที่ 6.23 ตำแหน่งตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงดึงของคานควบคุม CB.....	134
รูปที่ 6.24 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมเส้นที่ 1 ทางด้านขวา .....	135
รูปที่ 6.25 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมเส้นที่ 1 ทางด้านซ้าย .....	135
รูปที่ 6.26 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมเส้นที่ 2 .....	136
รูปที่ 6.27 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมเส้นที่ 1 ด้านซ้ายและขวา .....	136
รูปที่ 6.28 ตำแหน่งตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงอัดของคานควบคุม CB.....	137
รูปที่ 6.29 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมรับแรงอัดเส้นที่อยู่ด้านหน้าและหลัง .....	137
รูปที่ 6.30 เปรียบเทียบความเครียดจากตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตของคาน B700.....	139
รูปที่ 6.31 เปรียบเทียบความเครียดจากตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตของคาน B700S.....	140
รูปที่ 6.32 เปรียบเทียบความเครียดจากตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตของคาน B700F.....	141
รูปที่ 6.33 เปรียบเทียบความเครียดจากตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตของคาน B700FS .....	142
รูปที่ 6.34 ตำแหน่งตัววัดความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนของคาน B700F และ B700FS .....	143
รูปที่ 6.35 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านขวาก่อนหลุดล่อนของคาน B700F.....	144
รูปที่ 6.36 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ตรงกลางก่อนหลุดล่อนของคาน B700F.....	145
รูปที่ 6.37 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้ายก่อนหลุดล่อนของคาน B700F.....	145
รูปที่ 6.38 เปรียบเทียบความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ทางด้านซ้าย(SG8) และขวา(SG1) ก่อนหลุดล่อนของคาน B700F .....	146
รูปที่ 6.39 เปรียบเทียบความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ทางด้านซ้าย(SG7) และขวา(SG2) ก่อนหลุดล่อนของคาน B700F .....	146
รูปที่ 6.40 เปรียบเทียบความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ทางด้านซ้าย(SG6) และขวา(SG3) ก่อนหลุดล่อนของคาน B700F .....	147
รูปที่ 6.41 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านขวาหลังหลุดล่อนของคาน B700F .....	148



รูปที่ 6.59 ความเครียดสูงสุดบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F (เปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นเทียบกับค่าความเครียดสูงสุดของแผ่นพอลิเมอร์) .....	159
รูปที่ 6.60 ความเครียดสูงสุดบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS (เปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นเทียบกับค่าความเครียดสูงสุดของแผ่นพอลิเมอร์) .....	160
รูปที่ 6.61 เปรียบเทียบรูปก่อนการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด (0 กิโลนิวตัน).....	161
รูปที่ 6.62 เปรียบเทียบรูปขณะการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด (40-50 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นช่วงที่คานควบคุม CB เกิดรอยแตกร้าวในช่วงต้น) .....	162
รูปที่ 6.63 เปรียบเทียบรูปขณะการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด (ที่น้ำหนักบรรทุกทุกประมาณ 85-100 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นช่วงที่คานควบคุมเกิดการครากที่เหล็กเสริม).....	163
รูปที่ 6.64 เปรียบเทียบรูปขณะการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด (ที่วิบัติ)(นำน้ำหนักบรรทุกออกแล้ว).....	164
รูปที่ ก.1 ตำแหน่งที่ตีระบบยึดตั้งปลายแผ่นพอลิเมอร์ .....	174
รูปที่ ก.2 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของแท่งเหล็ก .....	175
รูปที่ ค.1 กำลังอัดของคาน CB จากการทดสอบค้อนกระแทก.....	179
รูปที่ ค.2 กำลังอัดของคาน B700 ก่อนทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก .....	179
รูปที่ ค.3 กำลังอัดของคาน B700S ก่อนทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก .....	180
รูปที่ ค.4 กำลังอัดของคาน B700F ก่อนทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก .....	180
รูปที่ ค.5 กำลังอัดของคาน B700FS ก่อนทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก.....	180
รูปที่ ค.6 กำลังอัดของคาน B700 หลังทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก.....	182
รูปที่ ค.7 กำลังอัดของคาน B700S หลังทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก.....	182
รูปที่ ค.8 กำลังอัดของคาน B700F หลังทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก.....	182
รูปที่ ค.9 กำลังอัดของคาน B700FS หลังทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก .....	183
รูปที่ ค.10 กำลังอัดของคอนกรีตทรงกระบอก จากการทดสอบค้อนกระแทก .....	183
รูปที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่ปีกของคานควบคุม CB (จากด้านบนปีกลงมา 33.5 มิลลิเมตร) .....	185

รูปที่ ง.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่เอวของคาน ควบคุม CB (จากด้านล่างเอวขึ้นไป 40 มิลลิเมตร) .....	186
รูปที่ ง.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่ปีกของคาน B700 (จากบนปีกลงมา 50 มิลลิเมตร).....	186
รูปที่ ง.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่เอวของคาน B700 (จากล่างเอวขึ้นไป 50 มิลลิเมตร).....	187
รูปที่ ง.5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่ปีกของคาน B700S (จากบนปีกลงมา 10 มิลลิเมตร) .....	187
รูปที่ ง.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่เอวของคาน B700S (จากล่างเอวขึ้นไป 10 มิลลิเมตร) .....	188
รูปที่ ง.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT sling type ที่ เอวของคาน B700F (จากล่างเอวขึ้นไป 150 มิลลิเมตร).....	188
รูปที่ ง.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT sling type ที่ เอวของคาน B700F (จากล่างเอวขึ้นไป 40 มิลลิเมตร).....	189
รูปที่ ง.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการเลื่อนตัวของแผ่นเหล็กยึดรั้งแผ่นพอลิ เมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนทางด้านขวาของคาน B700F .....	189
รูปที่ ง.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการเลื่อนตัวของแผ่นเหล็กยึดรั้งแผ่นพอลิ เมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนทางด้านซ้ายของคาน B700F.....	190
รูปที่ ง.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่ปีกของคาน B700FS (จากบนปีกขึ้นไป 30 มิลลิเมตร).....	190
รูปที่ ง.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่เอวของคาน B700FS (จากล่างเอวลงไป 30 มิลลิเมตร).....	191
รูปที่ ง.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการเลื่อนตัวของแผ่นเหล็กยึดรั้งแผ่นพอลิ เมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนทางด้านขวาของคาน B700FS.....	191
รูปที่ ง.14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะการเลื่อนตัวของแผ่นเหล็กยึดรั้งแผ่นพอลิ เมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนทางด้านซ้ายของคาน B700FS.....	192

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

โครงสร้างในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งคอนกรีตมีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำและมีคุณสมบัติเป็นฉนวน บ่อยครั้งที่โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับความเสียหายจากเพลิงไหม้อาจมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกลดลงและไม่ปลอดภัย งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตที่ได้รับความเสียหายจากเพลิงไหม้และประสิทธิภาพของการเสริมกำลังคานที่เสียหายจากเพลิงไหม้ด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย โดยในปัจจุบันได้มีการนำแผ่นพอลิเมอร์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการรับแรงดึงได้สูงและน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับเหล็กเสริม จึงมาช่วยทำหน้าที่เสริมการรับแรงดึงในคานคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกให้คาน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในหน้าตัดคานรูปตัวทีระหว่างการเผาไฟ
2. ศึกษาพฤติกรรมการดัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานระหว่างการเผาไฟของคานรูปตัวที
3. ศึกษาพฤติกรรมการดัดของคานรูปตัวทีภายหลังการเผาไฟ
4. ศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการดัดของคานที่ถูกเผาไฟกรณีที่มีและไม่มีเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. พฤติกรรมการรับแรงดัดภายใต้น้ำหนักกระทำแบบสถิตภายหลังการเผาไฟที่ศึกษาประกอบด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการโก่งตัว รูปแบบการเกิดรอยร้าวและรูปแบบการวิบัติ
2. การเผาไฟใช้ที่ระดับอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วงต้นเป็นไปตามกราฟไฟมาตรฐาน ISO 834 และคงที่ที่ระดับอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสจนครบ 3 ชั่วโมง
3. คานที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนมีการป้องกันการหลุดล่อนที่ปลายของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

4. น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่กระทำขณะเผาไฟมีค่าเท่ากับ 22.6 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุดของคานที่อุณหภูมิห้อง

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต
2. ออกแบบการทดสอบ
3. ทำการทดสอบ
  - 3.1. เตรียมชิ้นงาน
  - 3.2. ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ
  - 3.3. ทดสอบเผาไฟ
  - 3.4. เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน
  - 3.5. ทดสอบการดัดภายหลังเผาไฟ
4. วิเคราะห์และสรุปผล
5. จัดทำวิทยานิพนธ์และบทความทางวิชาการ

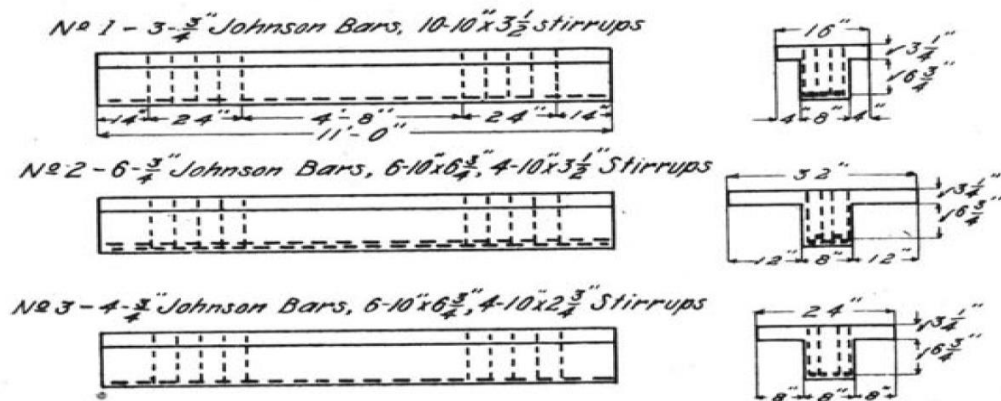


## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมการตัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังด้วย FRP คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายจากเพลิงไหม้และเสริมกำลังด้วย FRP และระบบยึดรั้งปลายแผ่น FRP ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

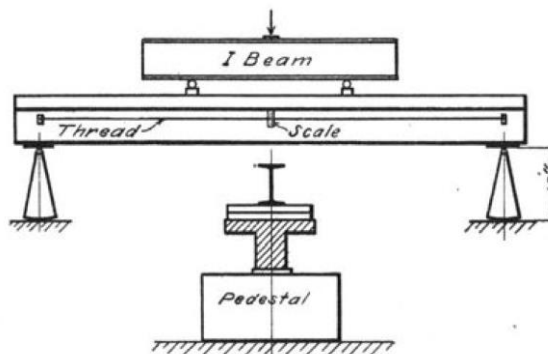
### 2.1 พฤติกรรมการตัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที

Talbot (1907)[1] ทำการศึกษาความกว้างของแผ่นพื้นซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมของคาน ดังนั้นพื้นและคานจึงถูกหล่อออกมาเป็นชิ้นเดียวกัน และหล่อออกมาในรูปแบบที่แตกต่างกันของความกว้างของปีกคานหรือพื้น ส่วนเหล็กแวนอนใส่ปริมาณเป็นสัดส่วนกับปีกของคาน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ (Talbot 1997)[1]

ในการทดสอบจะทำการให้น้ำหนักดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็น Riehle' testing machine โดยน้ำหนักจะกระทำที่ตำแหน่งหนึ่งในสามของความยาวคานด้วยโรลเลอร์เหล็ก คานที่ทำการทดสอบจะถูกทดสอบจนวิบัติ



รูปที่ 2.2 รูปการให้แรงกระทำต่อตัวคาน (Talbot 1907)[1]

ผลจากการทดสอบในคานที่มีความกว้างปีกเป็นอัตราส่วน สองเท่า สามเท่า และสี่เท่าและใช้ปริมาณเหล็กเสริมที่เท่ากัน ยังคงแสดงพฤติกรรมปกติของคานที่เหลื่อมทั่วไป และการวิบัติในแต่ละกรณีตามความเครียดของเหล็กเสริมตามแนวยาวที่ถึงจุดคราก โดยคานที่มีปีกกว้างมีความสามารถในการรับกำลังดัดที่คานที่มีปีกตันซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าเกิดจากผลของความกว้างของคอนกรีตในด้านที่เกิดแรงอัดและด้านรับแรงดึงของแกนสะเทิน และความกว้างของคานนี้มีผลต่อสติเฟนของคานแต่ก็ส่งผลน้อยเมื่อเทียบกับกำลังที่จุดโมเมนต์ดัดสูงสุด

## 2.2 พฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีที่เสริมกำลังรับแรงดัดด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

Salib (2012)[2] ทำการใช้แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนในการเสริมส่วนที่รับแรงดึงของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดในการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน โดยมีการเสริมแผ่นพอลิเมอร์ในส่วนที่รับแรงดึงและแรงเฉือน ดังรูปที่ 2.3

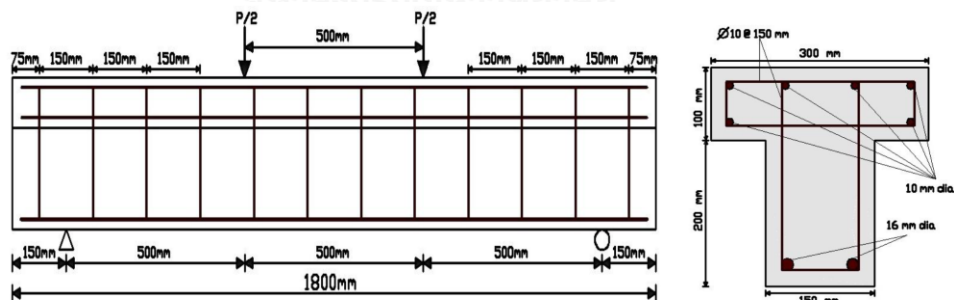


รูปที่ 2.3 การเสริมกำลังรับแรงดัดด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนและเสริมรับแรงเฉือนด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนของคานที่ใช้ในการทดสอบ (Salib 2012)[2]

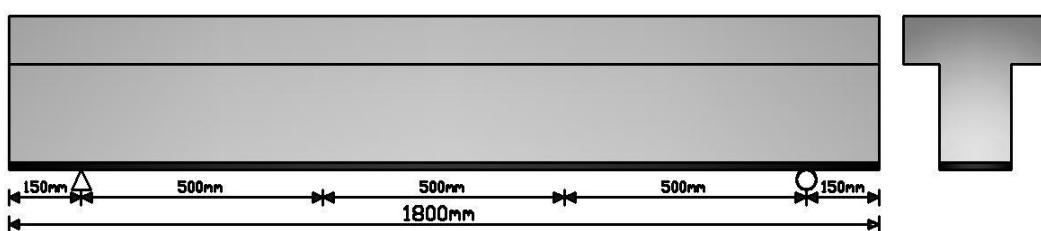
จากผลการทดสอบพบว่า การเสริมแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนได้เพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่แตกร้าวอย่างมีนัยสำคัญส่งผลให้น้ำหนักบรรทุกที่รับแรงดัดเพิ่มขึ้น แต่จะมีพฤติกรรมความเหนียวต่ำเมื่อเทียบกับคานควบคุมที่มีพฤติกรรมความเหนียวของการรับแรงดัดสูงและเกิดการโก่งตัวมาก จนถึงช่วงที่คานวิบัติ สำหรับคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตามแนวแกนที่เท่ากัน B1, B2 และ B3 มีกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกที่แรงดัดและการโก่งตัวที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 1.85 และ 0.42 เท่าของคานควบคุมตามลำดับ ซึ่งรูปแบบการใช้แผ่นพอลิเมอร์ทั้งสามแบบนี้ไม่มีความแตกต่างของคุณภาพการใช้แผ่นพอลิเมอร์ในการเสริมกำลังอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการเสริมกำลังนี้เป็นตัวเลือกที่ดีในการเสริมกำลังในสถานการณ์ที่เหมาะสม สำหรับคาน B4 และ B5 เป็นการที่ใช้ปริมาณแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเสริมแบบชั้นเดียว

พบว่าการเพิ่มขึ้นของสติฟเนสแรงดัดและน้ำหนักบรรทุกอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของการใช้พอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนมารัดตลอดช่วงที่เกิดแรงเฉือนของคานไม่สามารถป้องกันการเกิดการหลุดออกของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความเครียดดึงและความเครียดเฉือนระหว่างแผ่นคอนกรีตกับแผ่นพอลิเมอร์ที่สูง ดังนั้นในกรณีทั้งหมดการรัดแผ่นพอลิเมอร์ส่งผลต่อการเกิดการหลุดออกของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน

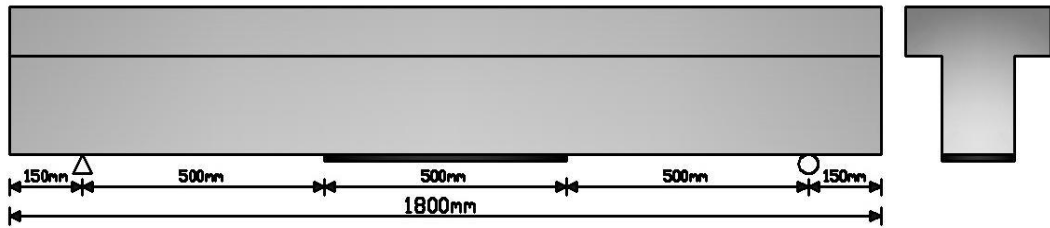
Al-Tameemi และ Pandey (2013)[3] ได้ทำการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีหน้าตัดเป็นรูปตัวทีที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน ซึ่งมีหน้าตัดและรายละเอียดการเสริมเหล็กดังรูปที่ 2.4 โดยคานจะถูกทดสอบจนวิบัติภายใต้น้ำหนักกระทำลงบนคานสองจุด คานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที 6 ตัวถูกหล่อเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยคานทั้งหมดมีหน้าตัดและรายละเอียดการเสริมเหล็กเหมือนกัน มีความยาว 1800 มิลลิเมตร คานตัวแรกใช้เป็นคานควบคุม (control beam) และที่เหลืออีก 5 ตัวถูกเสริมกำลังโดยการใช้แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน carbon fiber reinforced polymer (CFRP) sheet เสริมในรูปแบบที่ต่างกันออกไปดังรูปที่ 2.5 ถึงรูปที่ 2.9 คานตัวที่สองถูกเสริมกำลังในส่วนผิวหน้าด้านล่างของคานจากปลายด้านหนึ่งถึงปลายอีกด้านหนึ่ง คานตัวที่สามเสริมเหมือนตัวที่สองโดยเสริมในระยะ  $L/3$  ถึง  $2L/3$  คานตัวที่สี่เสริมเหมือนตัวที่สามแต่ใช้ CFRP 2 ชั้น คานตัวที่ห้าส่วนเอวของคานได้ถูกเสริมกำลังเป็นระยะ  $L/3$  ถึง  $2L/3$  ด้วย U-jacketed CFRP 1 ชั้น และคานตัวที่หกส่วนเอวของคานได้ถูกเสริมกำลังตลอดความยาวคานด้วย U-jacketed CFRP 1 ชั้น จากการทดสอบได้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักต่อการโก่งตัวดังรูปที่ 2.10 และ รูปที่ 2.11



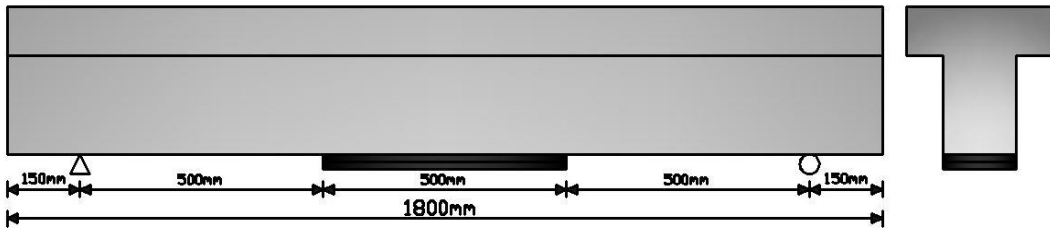
รูปที่ 2.4 รายละเอียดตามยาวและหน้าตัดของคานทดสอบ (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3]



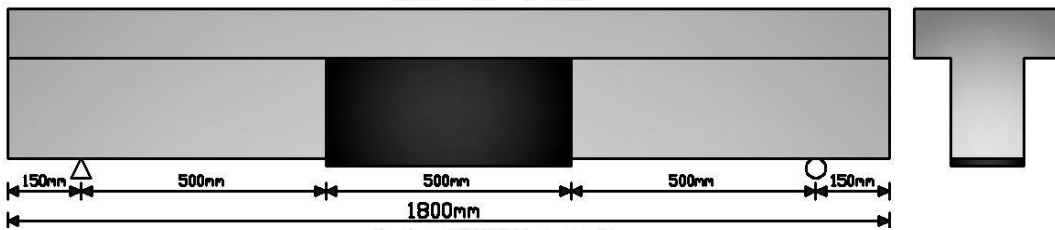
รูปที่ 2.5 คานตัวที่สอง (B2) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3]



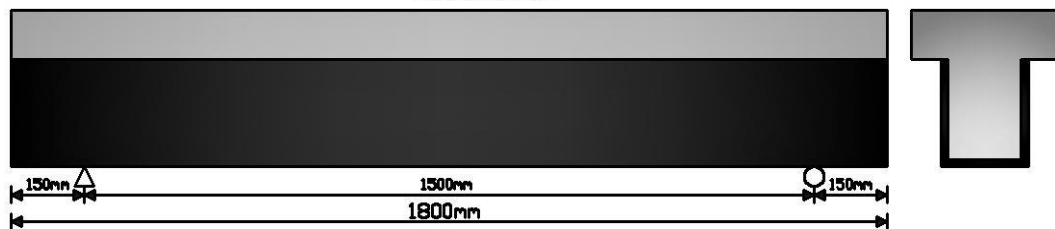
รูปที่ 2.6 คานตัวที่สาม (B3) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3]



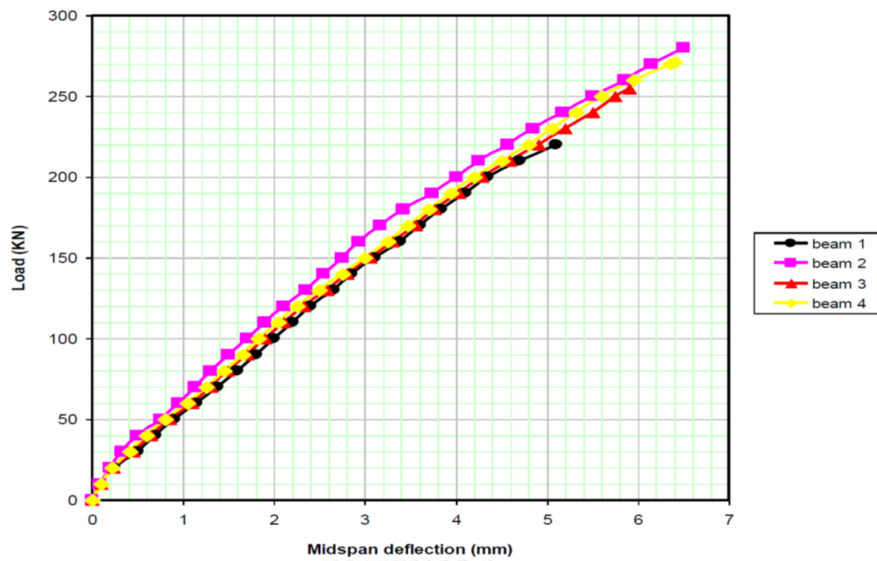
รูปที่ 2.7 คานตัวที่สี่ (B4) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3]



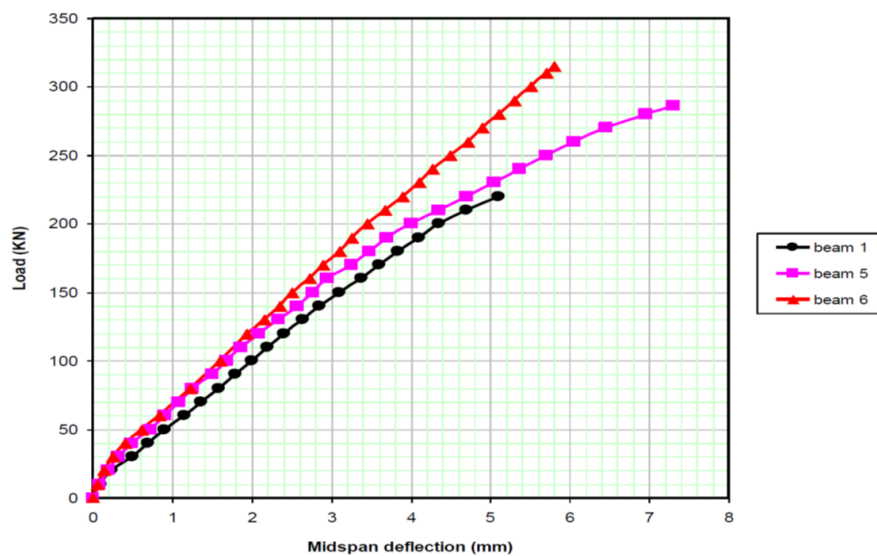
รูปที่ 2.8 คานตัวที่ห้า (B5) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3]



รูปที่ 2.9 คานตัวที่หก (B6) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3]



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการโก่งตัวของคานควบคุม(B1)และคานที่เสริมกำลัง(B2-B4) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3]



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการโก่งตัวของคานควบคุม(B1)และคานที่เสริมกำลัง(B5-B6) (Al-Tameemi และ Pandey 2013)[3]

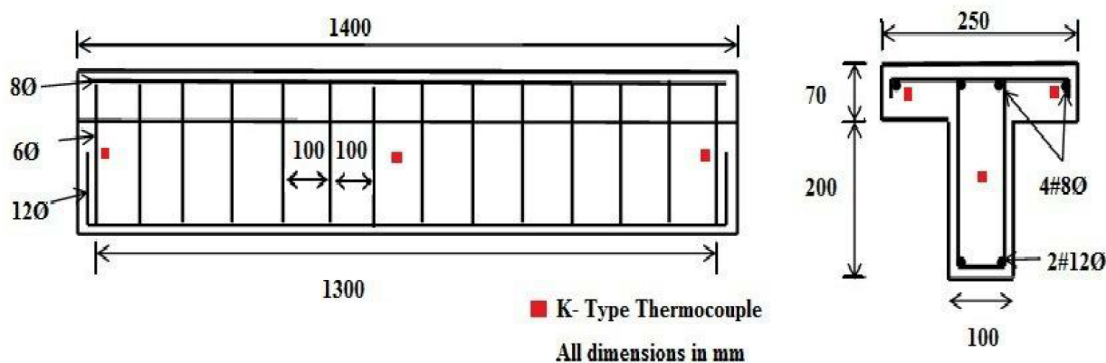
จากผลการทดสอบพบว่า การติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนสามารถเพิ่มกำลังรับน้ำหนักบรรทุกและเพิ่มสติเฟนของคานและรอยแตกร้าวเริ่มเกิดขึ้นที่น้ำหนักบรรทุกสูงขึ้น จากคานตัวที่ 6 การเสริมด้วย U-jacket แบบแผ่นเดียวตลอดความยาวให้น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่จุดวิบัติสูงสุดเมื่อเทียบกับคานที่เสริมกำลังตัวอื่นๆ และคานควบคุมโดยเพิ่มขึ้น 43.2% และมีค่าโก่งตัวที่กลางคานลดลงถึง 23.5% สำหรับคานตัวที่ 2 ลดลง 10.6% คานตัวที่ 3 ลดลง 3.9% คานตัวที่ 4 ลดลง 5.9%

คานตัวที่ 5 ลดลง 7.8% และเมื่อสังเกตจากเส้นโค้งความสัมพันธ์ คานตัวที่ทำการเสริมกำลังจะมีพฤติกรรมในช่วงแรกๆใกล้เคียงกับคานควบคุม

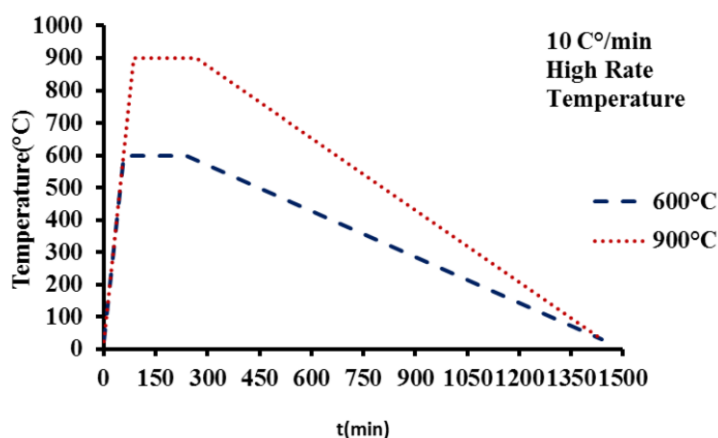
**2.3 พฤติกรรมการตัดของคานคอนกรีตที่เสียหายจากเพลิงไหม้และคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสียหายจากเพลิงไหม้และซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย**

การศึกษาการเสริมกำลังคานคอนกรีตภายหลังการถูกเพลิงไหม้ยังมีจำนวนค่อนข้างน้อยซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักในการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

Danie Roy A.B. และคณะ(2016)[4] ได้ทำการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีที่มีความยาว 1400 มิลลิเมตร มีระยะหุ้มคอนกรีต 15 มิลลิเมตรและมีรายละเอียดการเสริมเหล็กและติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.12 โดยทำการหล่อด้วยคอนกรีตกำลังปกติจำนวน 21 ตัวอย่าง ซึ่ง 3 ตัวอย่างถูกเก็บไว้ และอีก 18 ตัวอย่างหลังจากครบ 90 วันนำมาให้อุณหภูมิด้วยเตาไฟฟ้าที่ระดับ 600 องศาเซลเซียส และ 900 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.13

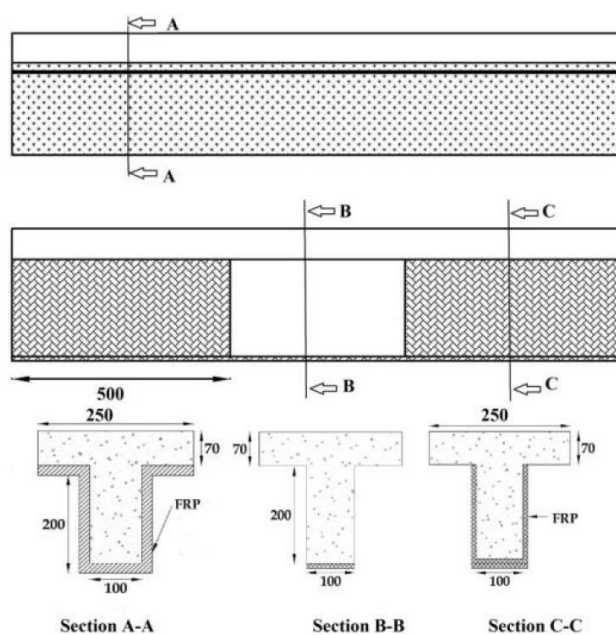


รูปที่ 2.12 รายละเอียดการเสริมเหล็กคานรูปตัวทีในการทดสอบและตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ (Danie Roy A.B. และ คณะ 2016)[4]



รูปที่ 2.13 อุณหภูมิของเตาไฟฟ้าที่ให้กับคานตัวอย่างที่ระดับ 600 องศาเซลเซียส และ 900 องศาเซลเซียส (Danie Roy A.B. และ คณะ 2016)[4]

หลังจากให้อุณหภูมิทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (glass fiber reinforced polymer หรือ GFRP) ซึ่งการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์นี้ทำการเสริมสองรูปแบบ ทำการหุ้มทั้งเอวคานหรือทำการหุ้มเฉพาะด้านล่างคานตลอดทั้งความยาวและที่เอวของคานในส่วนที่รับแรงเฉือน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การเสริมแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (GFRP) ทั้งสองรูปแบบกับคานรูปตัวที (Danie Roy A.B. และ คณะ 2016)[4]

สำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในนั้นจะถูกเตรียมโดยใช้หินปูนที่ถูกบดแล้วซึ่งมีขนาดใหญ่มากที่สุด 12.5 มิลลิเมตร ทรายธรรมชาติจากแม่น้ำ(ไซน 2) และน้ำ คุณสมบัติเหล็กเสริมรับแรงดึงประกอบด้วย DB12 จำนวน 2 เส้นซึ่งมีกำลังรับแรงที่จุดคราก 622.5 เมกะปาสกาล คุณสมบัติเหล็กเสริมรับแรงอัด RB8 จำนวน 4 เส้นมีกำลังรับแรงที่จุดคราก 650 เมกะปาสกาล สำหรับเหล็กปลอกใช้ RB6 มีกำลังรับแรงที่จุดคราก 580 เมกะปาสกาลซึ่งห่างกัน 100 มิลลิเมตร ขณะทำการหล่อคานได้ทำการหล่อคานได้ทำการเก็บตัวอย่างเป็นลูกบาศก์ ปริซึมและทรงกระบอกชุดละสามตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบกำลังอัดขณะที่ทำการทดสอบ โดยคานจะถูกหล่อโดยแบบหล่อเหล็กในห้องทดลอง มีการใช้เครื่องจี้สั่นแบบเข็ม (needle vibrator) ขณะทำการหล่อ ภายหลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมงคานจะถูกนำออกจากแบบหล่อ และทำการคลุมด้วยผ้ากระสอบเพื่อทำการบ่ม โดยทำการบ่มน้ำเป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นทำการเก็บคานในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิและความชื้นห้องเป็นเวลา 120 วัน ในส่วนการทดสอบเผาไฟคานจะทดสอบด้วยเตาเผาไฟฟ้า โดยจะทำการเผาคานหลังจากผ่านไป 150 วันจากวันที่ทำการหล่อคาน การเผาจะทำการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่ออนาทีจนถึงอุณหภูมิเป้าหมาย 600 และ 900 องศาเซลเซียส โดยเตาสามารถใส่คานได้หนึ่งตัวในแต่ละครั้งและจะใส่ลงในเตาโดยที่ส่วนบนของ

ปีกคานไม่ได้รับการเผาไฟ ซึ่งจะสมมุติให้เหมือนเงื่อนไขของคานหลังคานในโครงสร้างอาคาร ใน การศึกษาการประเมินผลการทดสอบด้วยสายตาถูกใช้ในการระบุความเสียหาย และทำการประเมิน ค่าความเสียหายที่คงค้างโดย ความเสียหายที่สามารถมองเห็นได้เช่น รอยแตกร้าว ตำแหน่งที่หลุด ล่อน การเปลี่ยนสี เป็นต้น โดยในกรณีที่ศึกษาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสคอนกรีตเปลี่ยนเป็นสี เทา (greyish) และเป็นสีขาวซีด (ash white) กรณี 900 องศาเซลเซียส ซึ่งการให้อุณหภูมิใน ตัวอย่างนี้จะสังเกตเห็นรอยแตกร้าวต่างๆ ในกรณี 600 องศาเซลเซียส และในกรณี 900 รอยร้าวมี จำนวนมากและมีความรุนแรงมากขึ้น ส่วนการซ่อมแซมและเสริมกำลังตัวอย่างภายหลังการเผาไฟซึ่ง ตัวอย่างจะเกิดรอยแตกร้าวและหลุดล่อน โดยมีการซ่อมแซมและฟื้นฟูก่อนที่จะทำการเสริมกำลังด้วย ไมโครคอนกรีต (micro-concrete) และใช้น้ำยาที่ทำหน้าที่เชื่อมประสาน (primer coat) เพื่อเป็น ตัวเชื่อมประสานระหว่างวัสดุเก่ากับวัสดุใหม่ หลังจากทำการซ่อมแซมแล้วจะถูกคลุมด้วยกระสอบที่มีความชื้นเป็นเวลา 7 วัน และเก็บไว้ภายใต้เงื่อนไขห้องปฏิบัติการจนกระทั่งกำลังสูงขึ้น สำหรับ ตัวอย่างที่ไม่ได้รับความเสียหายจะถูกทำการเสริมกำลังโดยตรงโดยรอยขรุขระที่ผิวของตัวอย่างและ มุมของคานจะถูกทำให้มนเพื่อทำให้วัสดุที่นำมาใช้ในการเสริมกำลังไม่เกิดความเสียหายจากการเกิด ความเค้นหนาแน่น (stress concentration) ที่มุมของคานตัวอย่าง ก่อนที่จะทำการติดตั้ง GFRP ดัง รูปที่ 2.14 สำหรับคานที่ได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิจะทำการขัดบางเพื่อนำสิ่งปนเปื้อนต่างๆที่ ผิวออกและผิวของคอนกรีตจะถูกเคลือบด้วยชั้นรองพื้นที่ทำมาจากอีพ็อกซี (epoxy) เพื่อเติมช่องว่างที่ เป็นอากาศและให้ได้กำลังเชื่อมประสานที่ดี และหลังจากนั้นทำการทาสารละลายอิมมัตว์ที่ประกอบไปด้วย เรซิน (resin) และ สารที่ทำให้เกิดการแข็งตัว (hardener) ตามสัดส่วนที่ผู้ผลิตระบุ ทำการ ติดตั้ง GFRP ลงไปอย่างระมัดระวัง และใช้ลูกกลิ้งในการไล่อากาศที่อยู่ระหว่างเส้นใยและพื้นผิวของ คอนกรีต จากนั้นสารละลายอิมมัตว์ (saturated solution) อีกชั้นจะถูกทาทับลงไปตลอดความยาวทำ การใช้ลูกกลิ้งอีกครั้งในการไล่อากาศออกและเพื่ออัดเรซินลงไปบนเส้นใย จากนั้นถูกเก็บที่ อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 28 วันก่อนทำการทดสอบ โดยผลของการทดสอบคานและพฤติกรรมจะถูก ประเมินและแสดงออกมาในรูปของน้ำหนักและการโก่งตัวของคาน ( load deflection curve ) และ จะถูกสรุปในตารางที่ 2-1 ซึ่งการศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการเสริมกำลังนี้ในด้านของการรับ น้ำหนักสูงสุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ทำการทดสอบทั้งสองระดับพบว่าเพิ่มขึ้น 14% และ 16% ตามลำดับ



ตารางที่ 2-1 ตารางสรุปผลการทดสอบของ (Danie Roy A.B. และ คณะ 2016)[4]

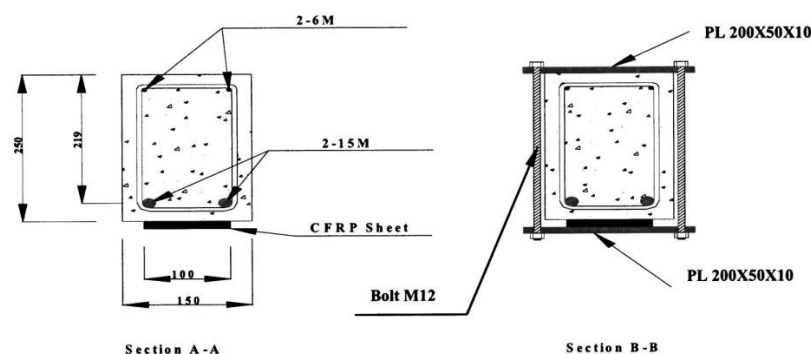
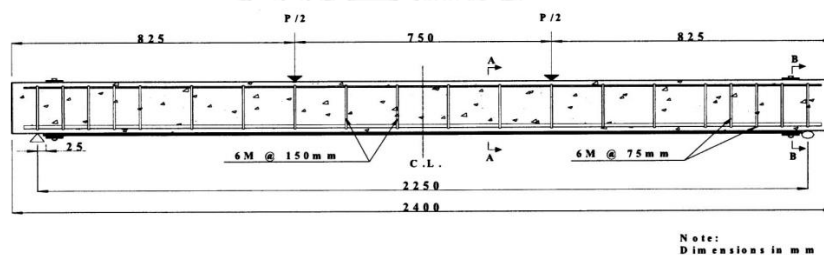
T-Beam Designation	Load(kN)		Deflection		Deflection Ductility Factor $\mu\Delta=\Delta u/\Delta y$	Energy		Energy Ductility Factor $\mu E=E_u/E_y$	Failure Mode
	Yield Load $P_y$ (kN)	Ultimate Load $P_u$ (kN)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta u$ (mm)		$E_y$ (kN.mm)	$E_u$ (kN.mm)		
TBA	153	195.36	6.84	20.01	2.925	1457	4292	2.944	Flexural
TB6	141	166.00	9.13	25.77	2.822	1031	3859	3.740	Flexural
TB9	60	76.09	9.03	17.86	1.977	1096	2269	2.070	Shear failure at support
TB6 GFRP/U	195	207.37	6.4	18.58	2.903	1594	5315	3.3	Flexural
TB6 GFRP	194	225.90	7.48	10.89	1.455	1205	2121	1.760	Flexural failure and debonding of shear fabric
TB9 GFRP/U	122	132.88	6.01	19.14	3.18	449	2294	5.01	Flexural
TB9 GFRP	140	195.91	6.99	14.29	2.044	1103	2428	2.201	Debonding of fabric in shear region

การเสริมกำลังด้วย TB6 GFRP และ TB6 GFRP/U เพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของคานที่ได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิระดับ 600 องศาเซลเซียส และให้ผลดีกว่ากรณีคานที่ได้รับความเสียหายจากกรณี 900 องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับคานที่ไม่ได้รับความเสียหายจากการเผาไฟ ในด้านความเหนียวของคานพบว่าคานที่ได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส และที่ 900 องศาเซลเซียส แสดงการลดลงของความเหนียวเมื่อเทียบกับคานที่ไม่ได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิประมาณ 4% และ 32% ตามลำดับ ในส่วนของการเสริมกำลังด้วยรูปแบบ GFRP/U พบว่ามีความเหนียวมากกว่าเมื่อเทียบกับคานที่ไม่เสริมกำลังและคานที่เสริมกำลังด้วยรูปแบบ GFRP สำหรับรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นพบว่าน้ำหนักที่ส่งผลให้เกิดรอยร้าวในคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อคานที่ได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิถูกเสริมกำลังในทั้งสองรูปแบบ

#### 2.4 การใช้ระบบยึดรั้งที่ปลายของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน

Chahrour และ Soudki (2005)[5] ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์โดยการประเมินพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่มีการยึดรั้งที่ปลาย (end-anchored) และทำการยึดติดที่ผิวของคานเป็นบางส่วน (partially bonded) ดังรูปที่ 2.15 โดยทำการทดลองกับคานทั้งหมด 6 ตัว ซึ่งแต่ละตัวมีความยาว 2400 มิลลิเมตร กว้าง 150 มิลลิเมตร และลึก 250 มิลลิเมตร ด้วยปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง 1.18% โดยที่หนึ่งตัวไม่ได้ทำการเสริมกำลังและใช้เป็นคานควบคุม ส่วนคานที่สองนั้นถูกเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนยึดติดที่ผิวคานตลอดความยาว (fully bonded CFRP strip) และคานที่เหลืออีกสี่ตัวถูกทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนแบบยึดติดที่ผิวคานเป็นบางส่วน (partially bonded CFRP strips) ในด้านที่รับแรงดึงของคานและทำการยึดรั้งปลายทั้งสองด้วยด้วยการใช้การยึดรั้งแบบกลศาสตร์ (mechanical anchor) ซึ่งจะทำการศึกษาผลจากการใช้ค่าตัวแปรความกว้างของระยะ

การส่วนที่ไม่ได้ทำการยึดติดที่ผิวคาน ( CFRP unbonded ) ที่ระยะ 250 มิลลิเมตร 750 มิลลิเมตร 2x500 มิลลิเมตร และ 1250 มิลลิเมตร ที่ส่งผลตอบสนองต่อการตัดของคาน โดยผลจากการทดสอบ พบว่า การเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่ทำการยึดติดที่ผิวคานเป็นบางส่วนและมีการยึดรั้งที่ปลายสามารถเพิ่มกำลังสูงสุดของคานควบคุมและมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนยึดติดที่ผิวคานตลอดความยาวและไม่มีการยึดรั้งที่ปลาย ในการศึกษาเน้นความสำคัญในการยึดปลายในแต่ละรูปแบบของการเสริมกำลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะพิจารณาในคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่ทำการยึดติดที่ผิวคานเป็นบางส่วนและมีการยึดรั้งที่ปลาย ซึ่งแสดงแนวโน้มคล้ายคลึงกันในพฤติกรรมการตัดและใช้วิธีวิเคราะห์หน้าตัดแบบอินอีลาสติก (inelastic section analysis) ในการพิจารณาความไม่เท่ากันของความเครียดที่เกิดขึ้นเพื่อยืนยันผลที่ได้จากการทดสอบ จากทวิเคราะห์ที่ให้ผลการทำนายจากการทดสอบที่ดีในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และความโค้ง (moment-curvature response) และผลของระยะพอลิเมอร์ที่หลุดล่อนจากผิวคาน (unbonded length) จากค่าของความเครียดที่เกิดขึ้นภายในเหล็กเสริม



รูปที่ 2.15 รายละเอียดการเสริมเหล็กและการยึดรั้งที่ปลายของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (Chahrour และ Soudki 2005)[5]

จากการศึกษาของสามารถสรุปได้ว่าการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่ทำการยึดติดที่ผิวคานเป็นบางส่วนและมีการยึดรั้งที่ปลายให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์

อร์เสริมเส้นใยคาร์บอนยึดติดที่ผิวคานตลอดความยาว และการยึดรั้งที่ปลายพบว่ามีความสำคัญมาก เพราะความสามารถที่ทำให้แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่เกิดการหลุดล่อนจากผิวคอนกรีต ยังคงทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนที่รับแรงดึง (tension member) ดังนั้นจึงมีความสามารถเพิ่ม ประสิทธิภาพในการดัดของคานที่จุดสูงสุด และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระยะที่เกิดการ หลุดล่อนจากผิวคอนกรีตพบว่าระยะหลุดล่อนจากผิวคอนกรีตสั้นกว่าส่งผลดีกว่าเนื่องจากสามารถใช้ งานความสามารถรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนได้ดีกว่า โดยสังเกตจากค่า ความเครียดในแผ่นพอลิเมอร์ที่มีค่าสูงกว่าการเกิดการหลุดล่อนที่มีระยะมาก



### บทที่ 3

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

#### 3.1 กราฟไฟมาตรฐาน ISO 834[6]

กราฟไฟมาตรฐาน ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลารูปที่ 3.1 โดยใช้กำกับในช่วงต้นของการให้ไฟต่อตัวอย่างทดสอบ ดังสมการที่ (3.1)[6]

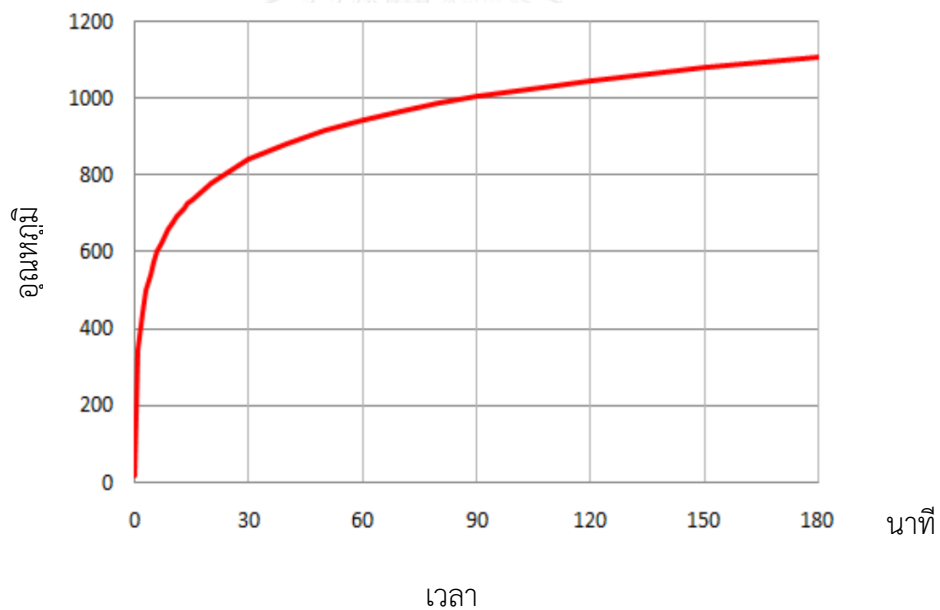
$$T = T_0 + 345 \log(8t + 1) \quad (3.1)$$

โดยที่  $T$  คือ อุณหภูมิที่เวลาใดๆ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_0$  คือ อุณหภูมิห้อง ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t$  คือ เวลาใดๆ (นาทีก)

องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟมาตรฐาน ISO834[6]

### 3.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิในหน้าตัดคานรูปตัวที

การวิเคราะห์อุณหภูมิในหน้าตัดโดยใช้โปรแกรม Ansys ในการทำการวิเคราะห์และพิจารณาอุณหภูมิในสภาวะชั่วคราวแบบไม่เป็นเชิงเส้นในระนาบ 2 มิติ (2-D Nonlinear transient thermal analysis) เพื่อวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิภายในหน้าตัดและเพื่อหาอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในหน้าตัดในตำแหน่งที่สนใจ

#### 3.2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์อุณหภูมิในหน้าตัด

การส่งผ่านความร้อนภายในหน้าตัดคาน โดยความร้อนมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาจะพิจารณาในรูปแบบการนำความร้อนชั่วคราว (Transient heat conduction)[7] ดังสมการที่ (3.2)

$$\rho_T c_T \frac{\partial T}{\partial t} = k_T \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] \quad (3.2)$$

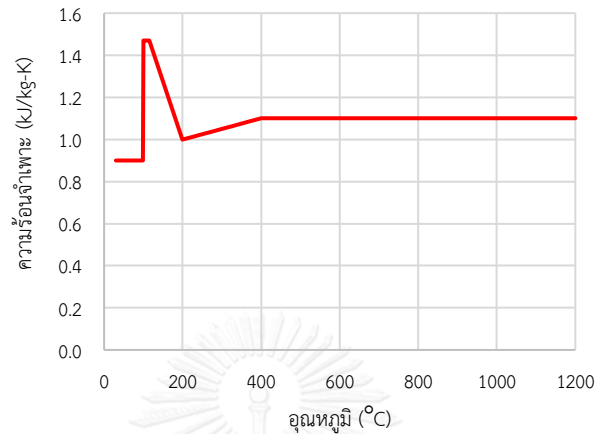
โดยมีสมการเงื่อนไขสภาวะขอบเขต ดังสมการที่ (3.3)

$$-k_T \frac{\partial T}{\partial n} = h [T_g - T_s] + \varepsilon \sigma \left[ (T_g + 273)^4 - (T_s + 273)^4 \right] \quad (3.3)$$

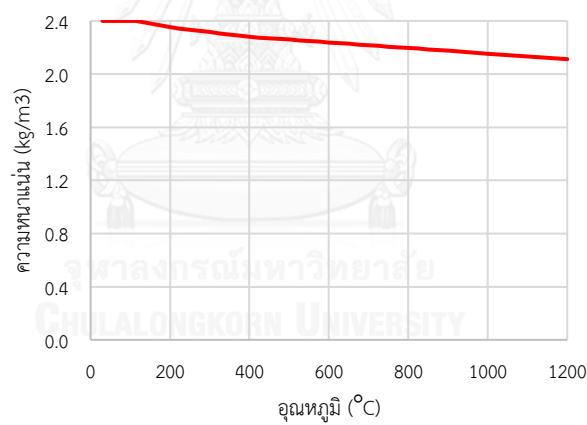
โดยที่	$\rho_T$	คือ ความหนาแน่นของคอนกรีต (Density of concrete) (kg/m <sup>3</sup> )
	$c_T$	คือ ความร้อนจำเพาะของคอนกรีต (Specific heat of concrete) (J/kg.°C)
	$k_T$	คือ สภาพนำความร้อนของคอนกรีต (Thermal conductivity) (W/m.°C)
	$n$	คือ ทิศทางที่ตั้งฉากกับผิวสัมผัส (Unit normal vector)
	$h$	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient) (W/m <sup>2</sup> .°C)
	$T_g$	คือ ความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Gas temperature) (°C)
	$T_s$	คือ ความร้อนที่ผิวสัมผัสคอนกรีต (Surface temperature) (°C)
	$\varepsilon$	คือ สภาพเปล่งรังสีลัฟท์ (Emissivity)
	$\sigma$	คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann constant) (5.67×10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup> )

### 3.2.2 คุณสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีต

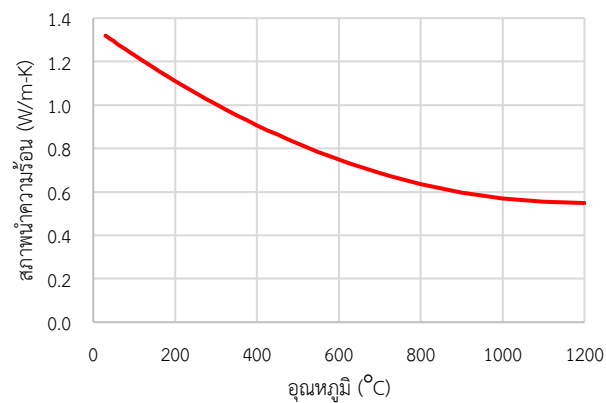
คุณสมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตจะอ้างอิง EN 1992-1-2[8] ซึ่งประกอบไปด้วย ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น และสภาพนำความร้อนของคอนกรีตดังรูปที่ 3.2 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะของคอนกรีตกับอุณหภูมิที่ความชื้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ [8]



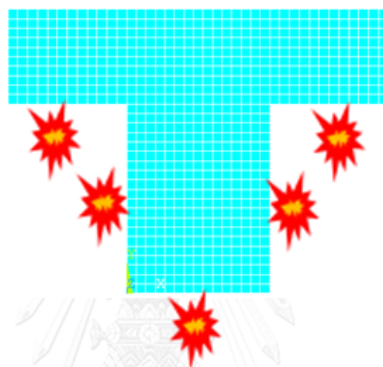
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีตกับอุณหภูมิ [8]



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำความร้อนของคอนกรีตกับอุณหภูมิ [7]

### 3.2.3 แบบจำลองการไฟไนต์เอลิเมนต์ในการถ่ายโอนความร้อนในหน้าต่าง

การวิเคราะห์การถ่ายโอนความร้อนในหน้าต่างจะจำลองโดยใช้เอลิเมนต์ชนิด PLANE 55 ในโปรแกรม ANSYS[9] ในการสร้างแบบจำลองซึ่งมี 4 จุดต่อ ซึ่งแต่ละจุดต่อมีระดับชั้นความเสรีทางอุณหภูมิ ในการจำลองการวิเคราะห์จะใช้ขนาดเอลิเมนต์ไม่เกิน  $1.0 \times 1.0$  ตารางเซนติเมตรดังรูปที่ 3.5 โดยสมมติให้อุณหภูมิของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของคอนกรีตที่ตำแหน่งเดียวกัน ในการวิเคราะห์จะให้ไฟเข้าบริเวณใต้ปีกของคาน รวมถึงด้านข้างและด้านล่างของเอวคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยในการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมินั้นจะกำหนดให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าเท่ากับ 25 และ  $9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  สำหรับผิวที่ได้รับความร้อนและไม่รับความร้อนตามลำดับ



รูปที่ 3.5 การจำลองหน้าต่างคานรูปตัวที

## บทที่ 4

### รายละเอียดและขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีที่ได้รับผลกระทบจากการเผาไฟที่น้ำหนักบรรทุกใช้งานและประสิทธิภาพของการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน ซึ่งขั้นตอนและรายละเอียดการทดสอบเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 รายละเอียดคานทดสอบ

การทดสอบทำตามตารางที่ 4-1 แสดงรายละเอียดของคานทดสอบโดยแยกรายละเอียดของคานแต่ละตัวดังนี้

คาน CB ซึ่งใช้เป็นคานควบคุม มีการติดตั้ง Linear variable differential transducer (LVDT) ดังรูปที่ 4.37 และติดตั้งตัววัดความเครียด (strain gauge) บริเวณเหล็กเสริมดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะถูกนำมาทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำสัจจุดโดยการให้น้ำหนักกระทำเป็นรอบ periodic loading จนกระทั่งคานวิบัติ

คาน B700 มีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิดังหัวข้อที่ 4.2.3.2 และวางในเตาเผา ดังรูปที่ 4.23 ขณะทำการทดสอบเผาไฟโดยเผาไฟตามกราฟไฟมาตรฐานเป็นเวลา 15 นาที และให้คงที่ที่อุณหภูมิ 700 องศาจอร์น 3 ชั่วโมง และเย็นตัวลงตามปกติภายในเตาเผา จากนั้นทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสัจจุดภายใต้น้ำหนักกระทำแบบรอบ periodic loading จนกระทั่งคานวิบัติ ซึ่งคานมีการติดตั้ง LVDT และติดตั้งตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตดังรูปที่ 4.38 และ 4.39

คาน B700S มีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิดังหัวข้อที่ 4.2.3.2 ติดตั้ง LVDT และวางในเตาเผา ดังรูปที่ 4.24 และให้น้ำหนักบรรทุกที่ 3.2 ตันเป็นเวลา 5 ชั่วโมง (มีการให้น้ำหนักบรรทุกก่อนทำการทดสอบการเผาไฟเป็นเวลา 15 นาที) โดยเผาไฟตามกราฟไฟมาตรฐานเป็นเวลา 15 นาที และให้คงที่ที่อุณหภูมิ 700 องศาจอร์น 3 ชั่วโมง และเย็นตัวลงตามปกติภายในเตาเผา จากนั้นทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสัจจุดภายใต้น้ำหนักกระทำแบบรอบ periodic loading จนกระทั่งคานวิบัติ ซึ่งคานมีการติดตั้ง LVDT และติดตั้งตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตดังรูปที่ 4.39 และ 4.40

คาน B700F มีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิดังหัวข้อที่ 4.2.3.2 ติดตั้ง LVDT และวางในเตาเผา ดังรูปที่ 4.26 ขณะทำการทดสอบเผาไฟ โดยเผาไฟตามกราฟไฟมาตรฐานเป็นเวลา 15 นาที และให้คงที่ที่อุณหภูมิ 700 องศาจอร์น 3 ชั่วโมง และเย็นตัวลงตามปกติภายในเตาเผา จากนั้นทำ



การทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดภายใต้น้ำหนักกระทำแบบรอบ periodic loading จนกระทั่งคานวิบัติ ซึ่งคานมีการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนความยาว 1.8 เมตรและทำการยึดแผ่นพอลิเมอร์ด้วยระบบแมคคานิคดั่งหัวข้อที่ 4.4 ติดตั้ง LVDT ติดตั้งมาตรวัดความเครียดในบริเวณผิวคอนกรีตและแผ่นพอลิเมอร์ดังรูปที่ 4.41 4.42 และ 4.43

คาน B700FS มีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิดั่งหัวข้อที่ 4.2.3.2 ติดตั้ง LVDT และวางในเตาเผา ดังรูปที่ 4.27 และให้น้ำหนักบรรทุกที่ 3.2 ตันเป็นเวลา 5 ชั่วโมง (มีการให้น้ำหนักบรรทุกก่อนทำการทดสอบการเผาไฟเป็นเวลา 15 นาที) โดยเผาไฟตามกราฟไฟมาตรฐานเป็นเวลา 15 นาที และให้คงที่ที่อุณหภูมิ 700 องศาจันทร 3 ชั่วโมง และเย็นตัวลงตามปกติภายในเตาเผา จากนั้นทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดภายใต้น้ำหนักกระทำแบบรอบ periodic loading จนกระทั่งคานวิบัติ ซึ่งคานมีการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนความยาว 1.8 เมตรและทำการยึดแผ่นพอลิเมอร์ด้วยระบบแมคคานิคดั่งหัวข้อที่ 4.4 ติดตั้ง LVDT และติดตั้งตัววัดความเครียดในบริเวณผิวคอนกรีตดังรูปที่ 4.42 4.43 และ 4.44

ตารางที่ 4-1 รายละเอียดคานทดสอบ

คาน	รายละเอียด	ระยะเวลาเผาไฟ	น้ำหนักบรรทุกใช้งาน	ความยาวแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน
CB	ใช้เป็นคานควบคุม	-	-	-
B700	ทำการเผาไฟและไม่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟ	700 องศาเซลเซียส จันทร 3 ชั่วโมง	-	-
B700S	ทำการเผาไฟและรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟ	700 องศาเซลเซียส จันทร 3 ชั่วโมง	3.2 ตัน (22.6%)	-
B700F	ไม่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟและทำการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนภายหลังการทดสอบเผาไฟ	700 องศาเซลเซียส จันทร 3 ชั่วโมง	-	1.8 เมตร
B700SF	รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟและทำการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนภายหลังการทดสอบเผาไฟ	700 องศาเซลเซียส จันทร 3 ชั่วโมง	3.2 ตัน (22.6%)	1.8 เมตร

\*\*\* น้ำหนักบรรทุกใช้งานคำนวณตาม ACI 318

\*\*\* คานทั้งหมดใช้ขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กเหมือนกันทุกตัว

## 4.2 การเตรียมคานทดสอบ

### 4.2.1 การหล่อคานทดสอบ

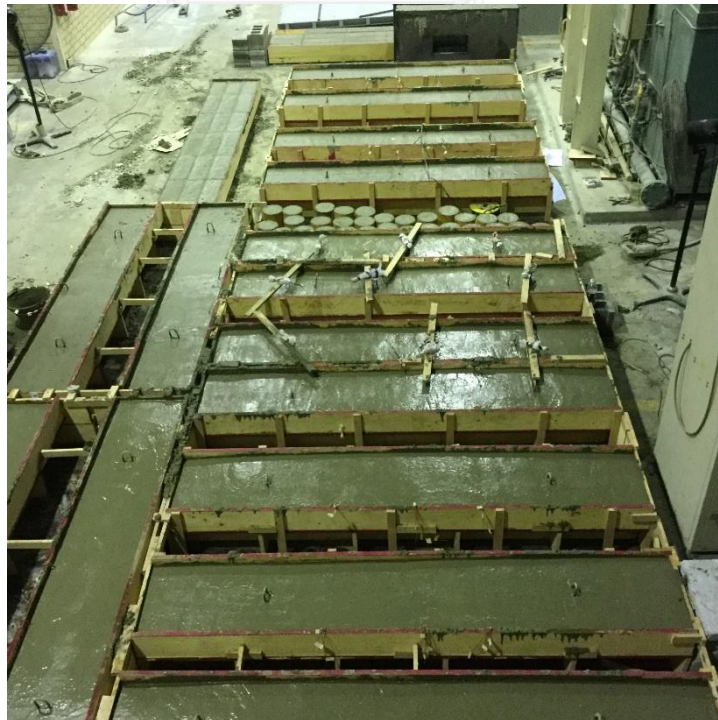
ตัวอย่างที่ใช้ทั้งหมดใช้คอนกรีตผสมเสร็จมีรายละเอียดการเสริมเหล็กเหมือนกันทุกตัวดังหัวข้อที่ 4.2.2 คอนกรีตจะถูกเทลงบนแบบไม้ที่ได้ทาน้ำมันดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 และทำการวางเหล็กเสริมไว้แล้วบนคอนกรีตก่อนเพื่อให้ได้ระยะความหนาของคอนกรีตที่ผิวจนถึงเหล็กเสริม โดยที่เหล็กเสริมดังกล่าวได้ทำการติดตั้งมาตรฐานวัดความเครียดดังหัวข้อที่ 4.2.3.1 สำหรับคานควบคุม CB สำหรับคานที่เผาไฟจะทำการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิดังหัวข้อที่ 4.2.3.2 ซึ่งประกอบไปด้วยคาน B700 B700S B700F และ B700FS ซึ่งคานที่เผาไฟจะไม่สามารถติดตั้งมาตรฐานวัดความเครียดได้เนื่องจากตัววัดอุณหภูมิไม่สามารถทนความร้อนจากการเผาไฟได้ และมีการเทคอนกรีตใส่แม่แบบกระดาดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร เพื่อทำการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส ในส่วนของการเทคอนกรีตนั้นจะเทคอนกรีตเป็นสามชั้นทั้งคานและคอนกรีตทรงกระบอกแต่ละชั้นใช้เครื่องจี้สั่นคอนกรีตแบบสาย และทำการแต่งผิวหน้าให้เรียบ จากนั้นทำการบ่มคอนกรีตภายในแบบเป็นเวลา 3 วัน ก่อนทำการถอดแบบและทำการบ่มต่อด้วยการพรมน้ำและหุ้มพลาสติกต่อเนื่องกันครบ 28 วันเป็นอย่างน้อยดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.1 แบบที่ใช้หล่อคานตัวอย่าง



รูปที่ 4.2 แบบที่ใช้หล่อคานตัวอย่าง  
แบบหล่อคานตัวอย่างใช้เป็นไม้อัด ซึ่งทำการยึดไว้ด้วยลวดตะปูและทำการติดป้ายบอกชื่อตัวอย่าง  
เพื่อป้องกันการสับสนดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.3 การหล่อแบบที่ใช้ในการทดสอบ



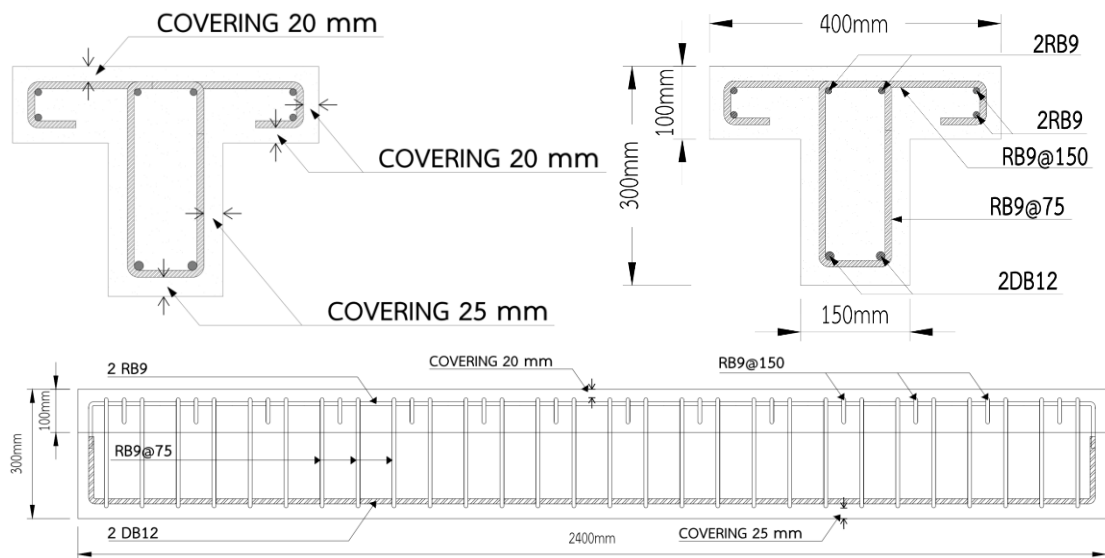
รูปที่ 4.4 การบ่มคานคอนกรีตภายหลังถอดแบบโดยใช้พลาสติกใส



รูปที่ 4.5 การบ่มคอนกรีตทรงกระบอก โดยใช้พลาสติกใส

#### 4.2.2 การเสริมเหล็กของคานคอนกรีตรูปตัวทีที่ใช้ในการทดสอบ

รายละเอียดของหน้าตัดและการเสริมเหล็กของคานที่ใช้ในการทดสอบ คานควบคุม (CB) คานเผาไฟ (B700) คานเผาไฟขณะรับน้ำหนักบรรทุก (B700S) คานเผาไฟที่ซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700F) และคานเผาไฟขณะรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานจากนั้นซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700FS) มีรายละเอียดดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 รายละเอียดหน้าตัดและเหล็กเสริมของคานที่ใช้ในการทดสอบ

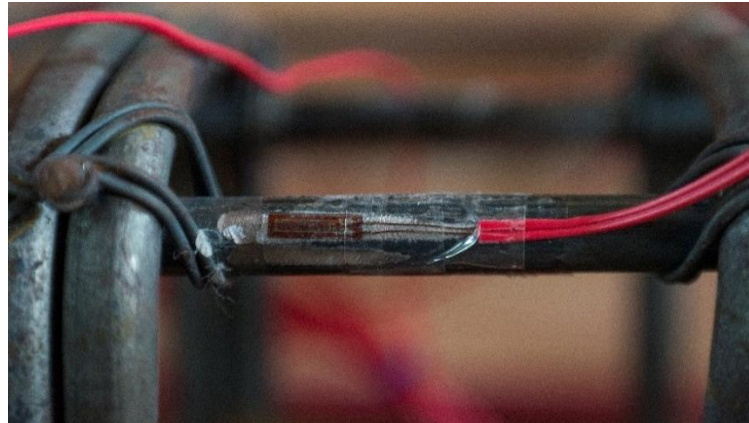
โดยคานตัวอย่างทุกตัวจะมีระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กบริเวณเอวของคาน 2.5 เซนติเมตร และระยะจากผิวคอนกรีตถึงกึ่งกลางเหล็กเสริมรับแรงดึง DB12 เป็นระยะ 4 เซนติเมตร ส่วนระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กบริเวณปีกคานมีระยะ 2 เซนติเมตร โดยการวางเหล็กเสริมให้ได้ระยะจะทำการใช้ลูกคอนกรีตที่มีความหนาเท่ากับระยะหุ้มเหล็กเป็นตัวปรับให้ได้ระยะตามที่ออกแบบไว้

#### 4.2.3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดในคานควบคุม CB จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่เหล็กเสริมก่อนทำการหล่อตัวคานดังหัวข้อที่ 4.2.3.1 และสำหรับคานที่เผาไฟ B700 B700S B700F และ B700FS จะทำการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิดังหัวข้อที่ 4.2.3.2

##### 4.2.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่เหล็กเสริมของคานควบคุม CB

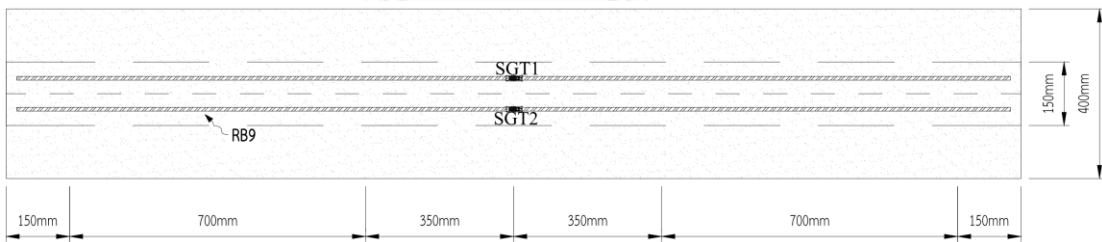
การติดตั้งตัววัดความเครียดจะทำการติดตั้งโดยทำการใช้สารยึดติด CC-33A เป็นตัวยึดติดกับเหล็กเสริม โดยตัววัดความเครียดที่ใช้คือ KFG-5-120 ซึ่งทำการติดตั้งที่เหล็กเสริมรับแรงอัดดังรูปที่ 4.9 เหล็กเสริมรับแรงดึงดังรูปที่ 4.10 โดยที่มีตำแหน่งการติดตั้งที่ตำแหน่งเหล็กเสริมรับแรงอัดและแรงดึงดังรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8



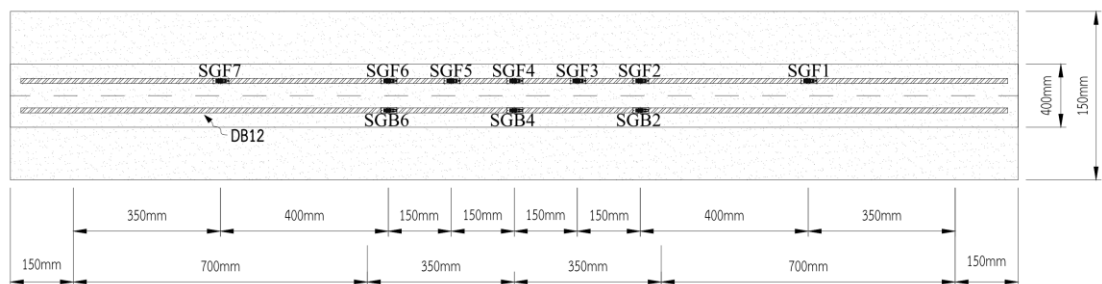
รูปที่ 4.7 ตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงอัด



รูปที่ 4.8 ตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงดึง



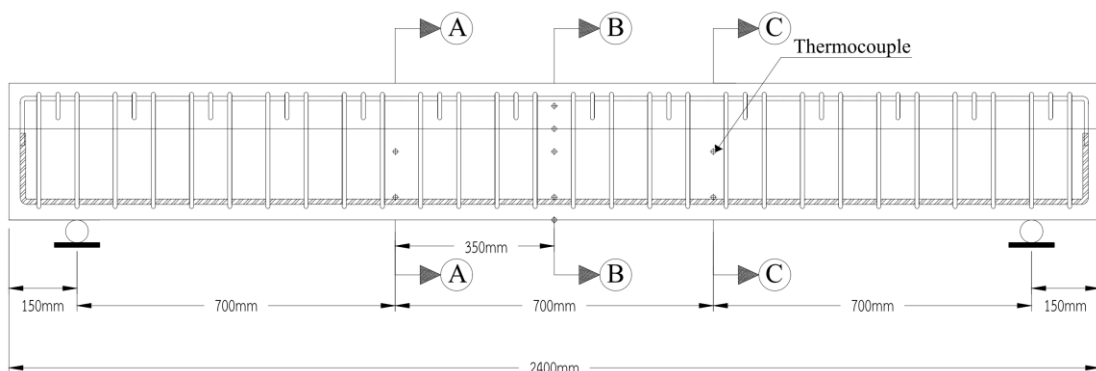
รูปที่ 4.9 รูปแสดงตำแหน่งเครื่องมือวัดความเค้นที่เหล็กเสริมรับแรงอัดของคานควบคุม (CB)



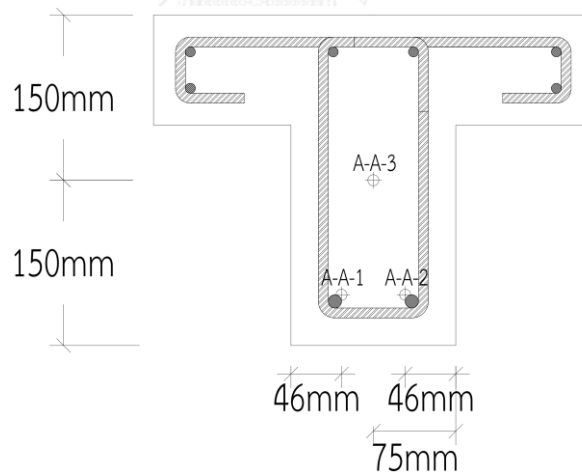
รูปที่ 4.10 รูปแสดงตำแหน่งเครื่องมือวัดความเค้นที่เหล็กเสริมรับแรงดึงของคานควบคุม (CB)

#### 4.2.3.2 การติดตั้งตัววัดอุณหภูมิของคาน B700 B700S B700F และ B700FS

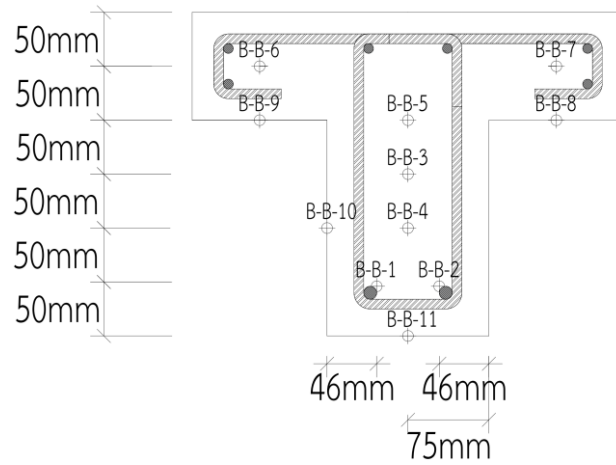
การติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ TT-K-24 จะทำการติดตั้งโดยการผูกด้วยลวดเหล็กให้ได้ตำแหน่งดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 ที่มีวคอนกรีตดังรูปที่ 4.18 สำหรับคานที่ทำการเผาไฟ B700 B700S B700F และ B700FS โดยทำการติดตั้งทั้งสามหน้าตัด ดังรูปที่ 4.11 โดยแบ่งเป็นหน้าตัด A-A ดังรูปที่ 4.12 หน้าตัด B-B ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 หน้าตัด C-C ดังรูปที่ 4.15 เนื่องจากจากการเผาไฟในชุดแรกเกิดการชำรุดของตัววัดอุณหภูมิภายนอกดังนั้นในการทดสอบชุดที่สองจึงมีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิภายนอกของคานเพียงตัวเดียวของหน้าตัด B-B



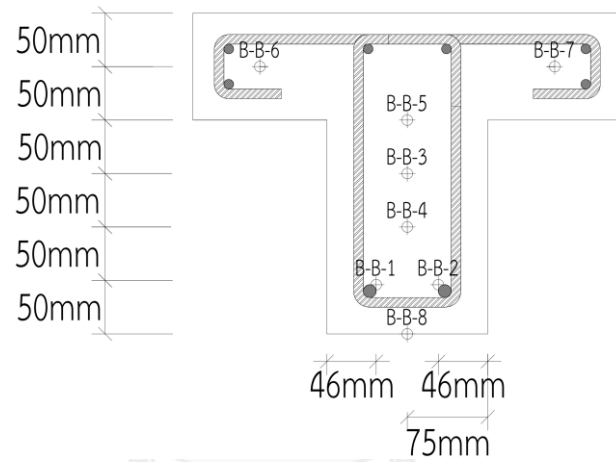
รูปที่ 4.11 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ



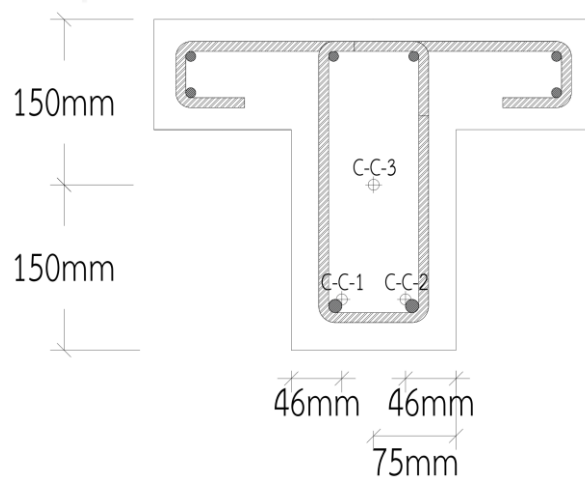
รูปที่ 4.12 รายละเอียดตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ ในหน้าตัด A-A ของคาน B700 B700S B700F และ B700FS



รูปที่ 4.13 รายละเอียดตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ ในหน้าตัด B-B ของคาน B700 และ B700S

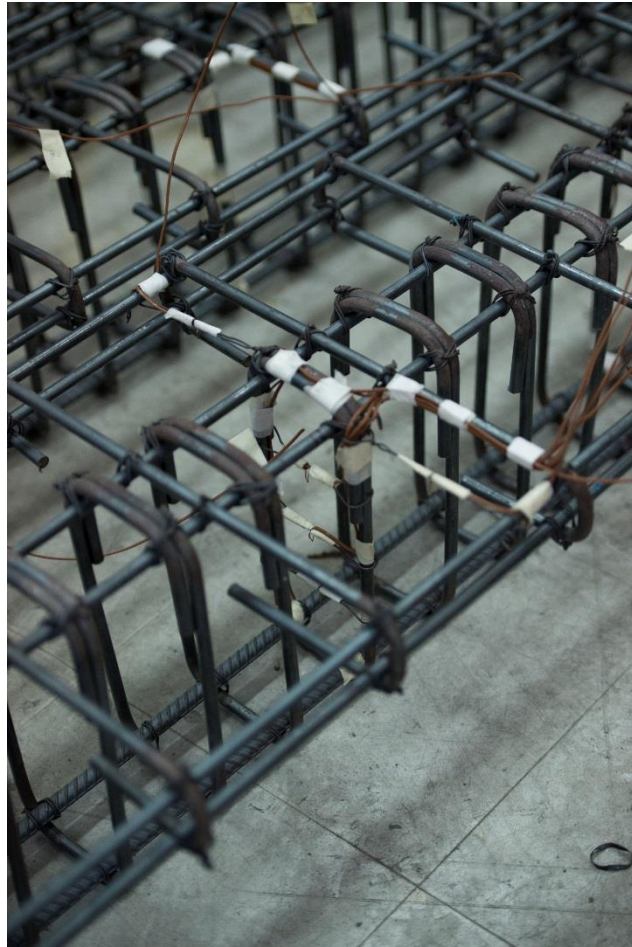


รูปที่ 4.14 รายละเอียดตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ ในหน้าตัด B-B ของคาน B700F และ B700FS



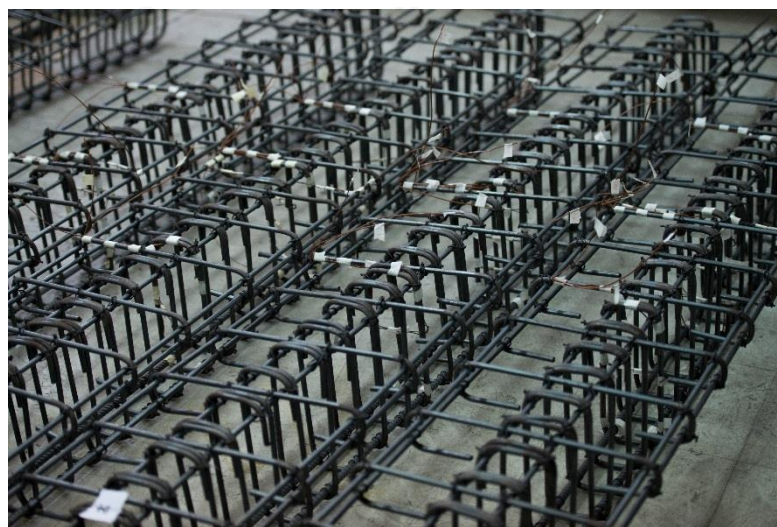
รูปที่ 4.15 รายละเอียดตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิ ในหน้าตัด C-C ของคาน B700 B700S B700F และ B700FS





รูปที่ 4.16 ตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิที่กลางหน้าตัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



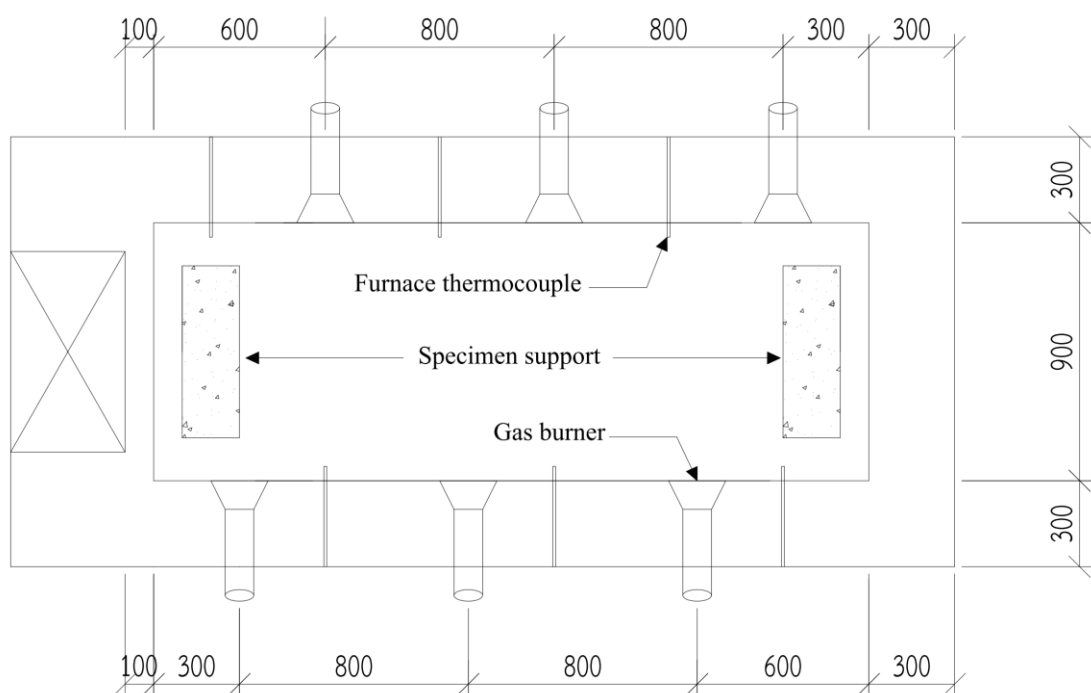
รูปที่ 4.17 เหล็กเสริมในคานและตัววัดอุณหภูมิ



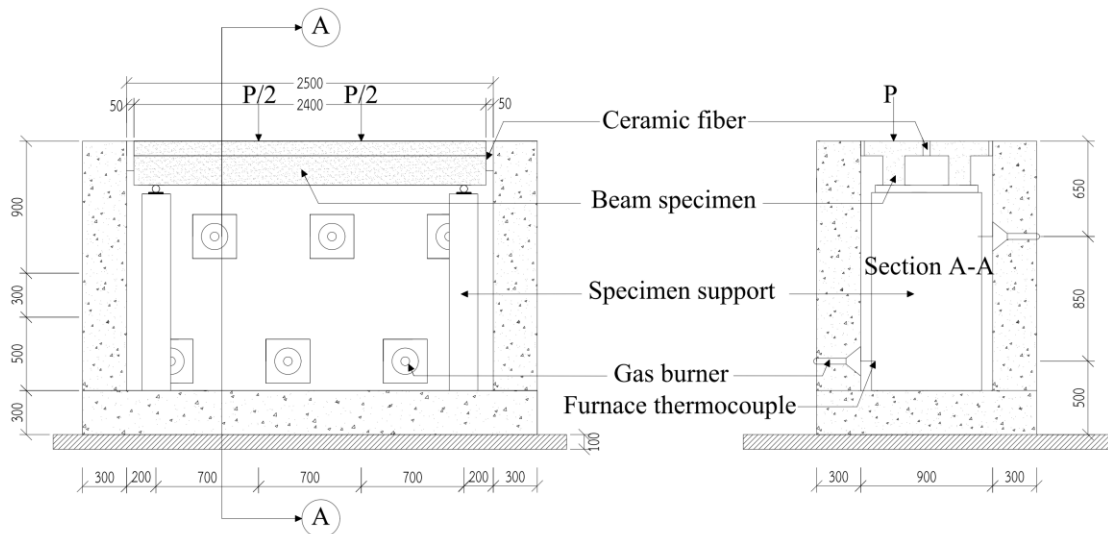
รูปที่ 4.18 ตัววัดอุณหภูมิที่ผิวคานหน้าตัด B-B

#### 4.3 การทดสอบขณะเผาไฟ

การทดสอบเผาไฟจะทำการเผาไฟในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยเพื่อความปลอดภัยจากอัคคีภัย ซึ่งการทดสอบจะใช้เตาเผาแบบนอนที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง มีรายละเอียดมุมมองของเตาจากด้านบน ดังรูปที่ 4.19 โดยในการเผาแต่ละครั้งสามารถใส่คานที่ทดสอบได้สองตัวต่อการเผาหนึ่งครั้ง ดังรูปที่ 4.20 โดยคานที่ให้น้ำหนักบรรทุกขณะเผาไฟจะวางทางด้านซ้าย



รูปที่ 4.19 รายละเอียดเตาเผาจากด้านบน



รูปที่ 4.20 รายละเอียดการทดสอบคานขณะเผาไฟ

คานที่ทดสอบจะถูกวางบนจตุรรองรับที่ทำจากคอนกรีตหุ้มด้วยเหล็กที่ทำการหล่อในขณะเดียวกันกับที่หล่อคานที่ใช้ในการทดสอบ ข้างบนเชื่อมกับเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรเพื่อให้น้ำหนักกระทำ สำหรับการวางตัวคานจะวางโดยทำการเว้นหัวท้ายจากเตาเผาให้ประมาณ 5 เซนติเมตร และคานทั้งสองวางห่างกัน 5 เซนติเมตร ด้านข้างห่างจากขอบเตา 2.5 เซนติเมตร บนจตุรรองรับทั้งสองที่วางห่างกัน 2.1 เมตร



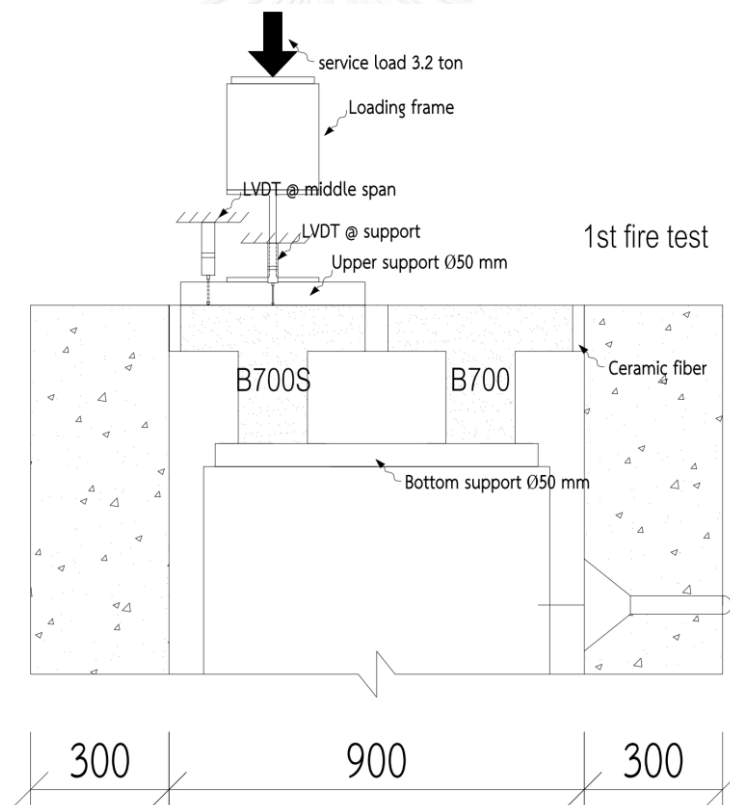
รูปที่ 4.21 รูปทำการทดสอบเผาไฟ

การให้น้ำหนักบรรทุกจะทำการให้ก่อนการทดสอบการเผาไฟประมาณ 15 นาที ที่น้ำหนักบรรทุก 22.6 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของคานที่อุณหภูมิห้อง หรือ 3.2 ตัน โดยจะทำการ

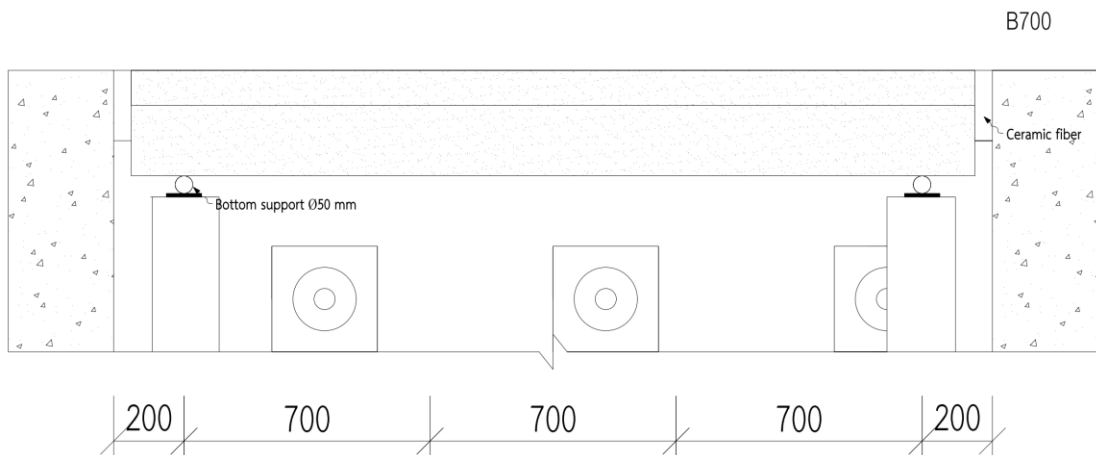
อ่านค่าจากมาตรวัดแรงดันของไฮดรอลิกค์แจ็คที่ได้ทำการปรับแก้ค่าเรียบร้อยแล้วและทำการปรับให้ได้ความดันหรือแรงที่ใ้คงที่ตลอดเวลา ดังรูปแสดงการทดสอบรูปที่ 4.21

#### 4.3.1 การทดสอบเผาไฟในชุดแรกของคาน B700 และ B700S

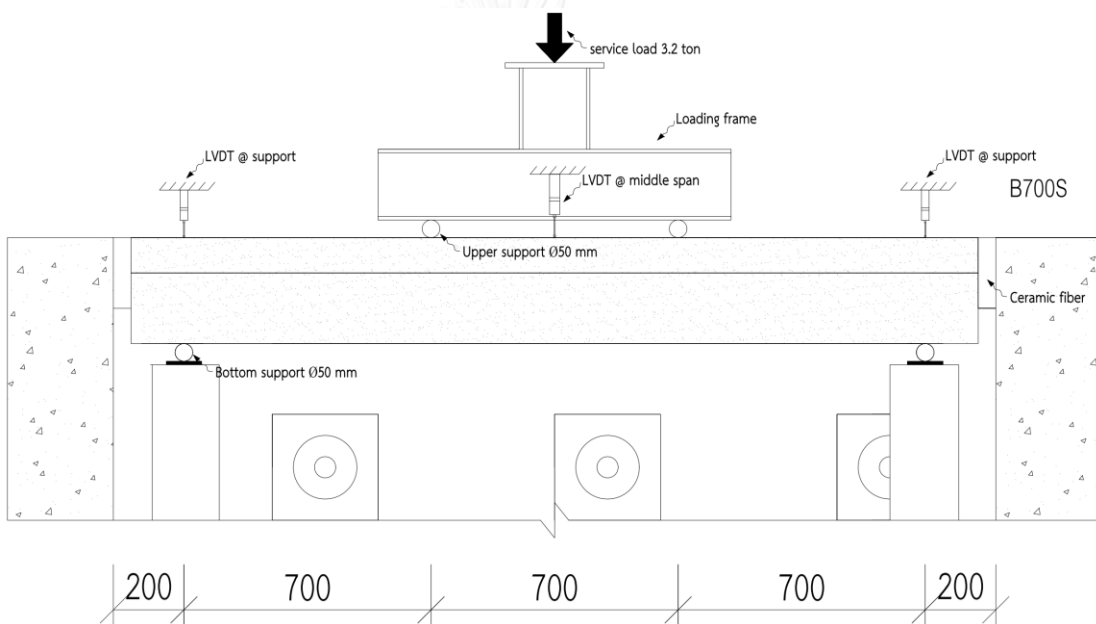
คาน B700 และ B700S จะทำการทดสอบเป็นชุดแรกโดยคาน B700S จะวางอยู่ในเตาบริเวณด้านซ้าย คาน B700 จะวางอยู่ในเตาบริเวณด้านขวา และมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดดังรูปที่ 4.22 โดยรูปทางด้านหน้าและด้านข้างของคาน B700 และ B700S แสดงในรูปที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ ซึ่งคาน B700 ไม่ได้มีการติดตั้ง LVDT ขณะทำการเผาไฟ ในส่วนของคานที่ให้น้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะทำการเผาไฟ B700S มีการติดตั้ง LVDT เพื่อวัดการเคลื่อนที่จากด้านบนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคาน และที่จุดรองรับ เพื่อใช้หาการโก่งตัวที่เกิดขึ้นในขณะทำการเผาไฟ และทำการให้น้ำหนักบรรทุกใช้งานผ่านโครงเฟรมด้านบนขณะเผาไฟ ในการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิของคาน B700 และ B700S แสดงในหัวข้อ 4.2.3.2



รูปที่ 4.22 รูปตำแหน่งการวางคานและอุปกรณ์ตรวจวัดของการทดสอบเผาไฟ ครั้งที่ 1 (ด้านข้าง)



รูปที่ 4.23 รูปตำแหน่งการวางคาน B700 ขณะทำการเผาไฟ

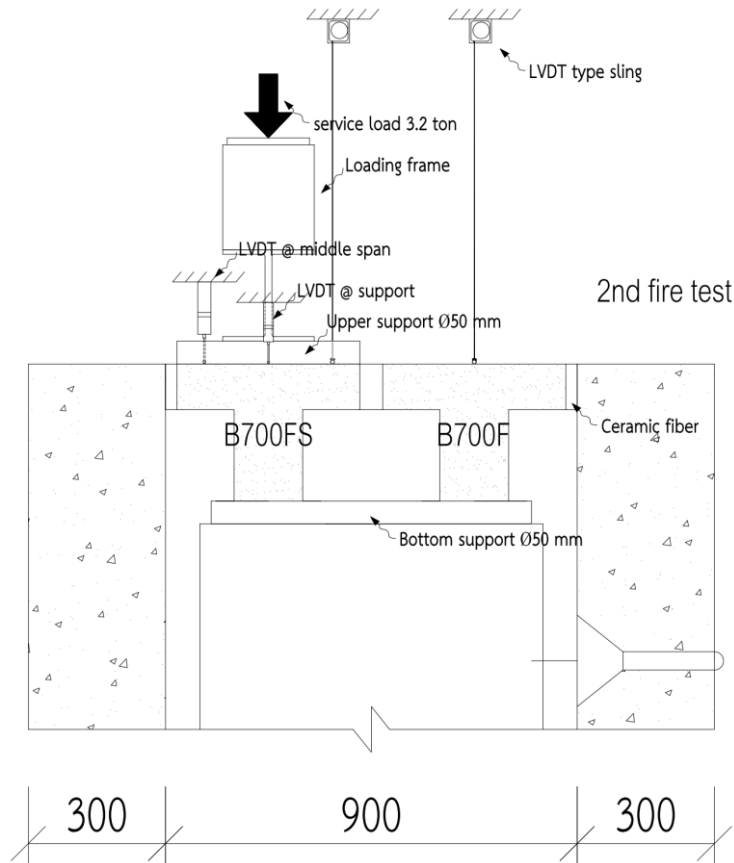


รูปที่ 4.24 รูปตำแหน่งการวางคาน B700S และอุปกรณ์ตรวจวัดขณะทำการเผาไฟ

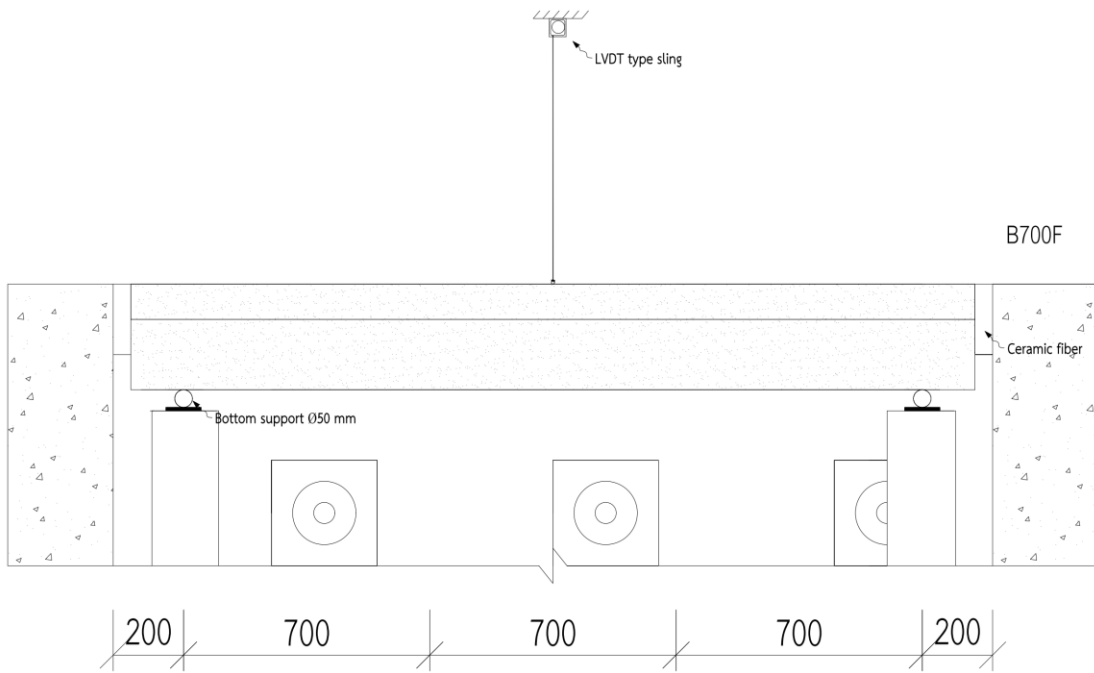
#### 4.3.2 การทดสอบเผาไฟในชุดที่สองของคาน B700F และ B700FS

คาน B700F และ B700FS จะทำการทดสอบเป็นชุดที่สองโดยคาน B700FS จะวางอยู่ในเตาบริเวณด้านซ้าย คาน B700F จะวางอยู่ในเตาบริเวณด้านขวา และมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดดังรูปที่ 4.25 โดยแสดงแยกเป็นรูปทางด้านหน้าของคาน B700F ดังรูปที่ 4.26 และคาน B700FS ดังรูปที่ 4.27 ซึ่งคาน B700F มีการติดตั้ง LVDT type sling บริเวณกึ่งกลางคานขณะทำการเผาไฟ ในส่วนของคานที่ให้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานขณะทำการเผาไฟ B700FS มีการติดตั้ง LVDT และ LVDT type sling เพื่อวัดการเคลื่อนที่จากด้านบนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคาน และ LVDT ที่จุดรองรับทั้งสองข้าง เพื่อ

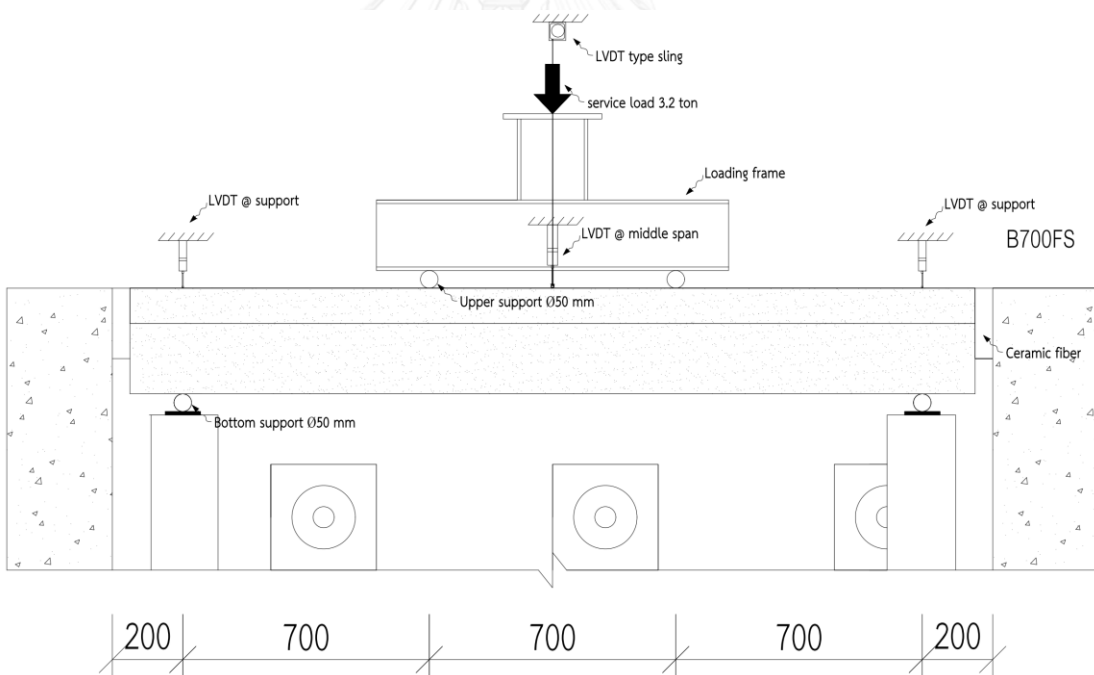
ใช้หาการโก่งตัวที่เกิดขึ้นในขณะทำการเผาไฟ และทำการให้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานผ่านโครงเฟรม  
 ด้านบนขณะเผาไฟในการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิของคาน B700F และ B700FS แสดงในหัวข้อ 4.2.3.2



รูปที่ 4.25 รูปตำแหน่งการวางคานและอุปกรณ์ตรวจวัดของการทดสอบเผาไฟ ครั้งที่ 2 (ด้านข้าง)



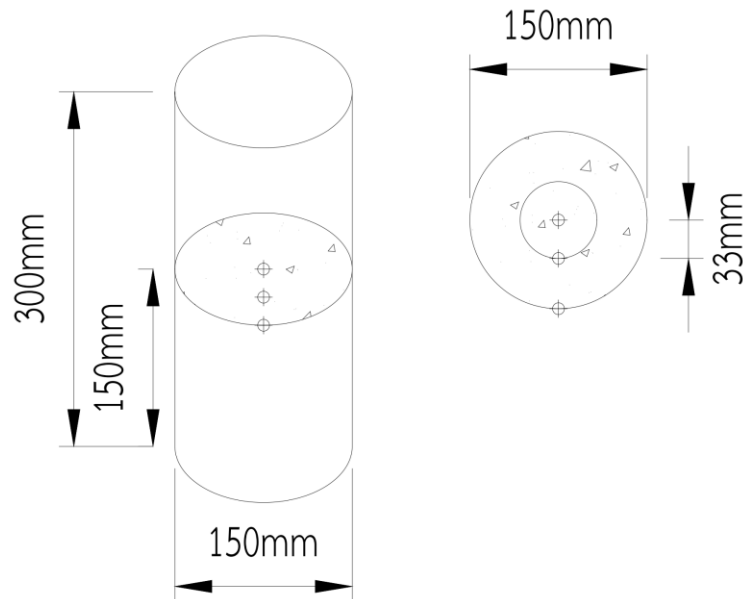
รูปที่ 4.26 รูปตำแหน่งการวางคาน B700F และอุปกรณ์ตรวจวัดขณะทำการเผาไฟ



รูปที่ 4.27 รูปตำแหน่งการวางคาน B700FS และอุปกรณ์ตรวจวัดขณะทำการเผาไฟ

### 4.3.3 การเผาคอนกรีตทรงกระบอก

การเผาคอนกรีตทรงกระบอกจะทำการเผาไปพร้อมกับการทำการทดสอบเผาไฟของคาน โดยมีการวางในด้านล่างของเตาเผาดังรูปที่ 4.29 โดยมีสามชั้นงานที่ทำการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ โดยมีตำแหน่งการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิในคอนกรีตทรงกระบอกดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 รูปตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิในคอนกรีตทรงกระบอก



รูปที่ 4.29 รูปตำแหน่งการวางคอนกรีตทรงกระบอกขณะทำการเผาไฟ

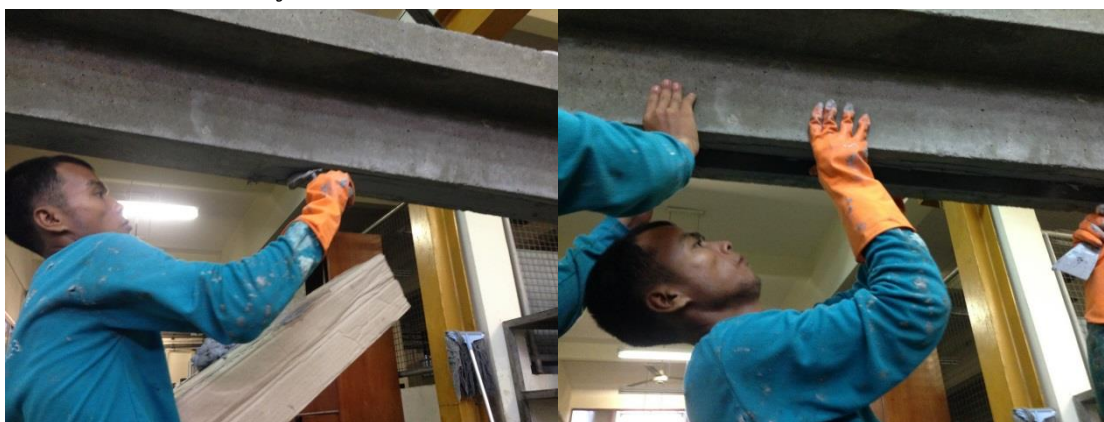


#### 4.4 การติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนและระบบการยึดรั้งที่ปลาย

งานที่ทำการเสริมกำลังภายหลังการทำการเผาไฟประกอบไปด้วยคาน B700F และ B700FS ซึ่งจะเสริมกำลังโดยใช้ Sika CarboDur® S Plate S512[10] ซึ่งใช้คู่กับ Resin Adhesive - Sikadur®-30[11] เพื่อยึดติดกับผิวคอนกรีต โดยเริ่มจากการทำผิวบริเวณที่ทำการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์ให้มีกำลังยึดเกาะให้สูงขึ้นด้วยการทำให้พื้นผิวขรุขระดังรูปที่ 4.30 จากนั้นทำการผสมอีพอกซีเรซินเชื่อมประสานระหว่างแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนและตัวอย่างที่ทำการเสริมกำลัง โดยอีพอกซีเรซินมีสองส่วนคือส่วน A มีสีขาว และ B มีสีดำ ทำการผสมกันในอัตราส่วน(3:1)ตามที่คุณผลิตทำการแนะนำซึ่งจะได้เป็นสีเทาสว่างจากนั้นทำการทาที่ผิวคอนกรีตในตำแหน่งนี้ต้องการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์ให้ทั่วและค่อนข้างเป็นหลังเต่าความหนาประมาณ 3 ถึง 5 มิลลิเมตร ทำการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนจากนั้นทำการรีดและกดลงบนแผ่นพอลิเมอร์ให้อีพอกซีเรซินไหลหรือล้นออกมาที่ริมขอบของแผ่นพอลิเมอร์และทำการเก็บขอบที่เกิดจากการล้นของอีพอกซีเรซินให้เรียบรอยดังรูปที่ 4.31และ4.32 และทำการบ่มอีพอกซีเรซินไว้เป็นเวลา 7 วัน



รูปที่ 4.30 การเตรียมผิวสำหรับติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์

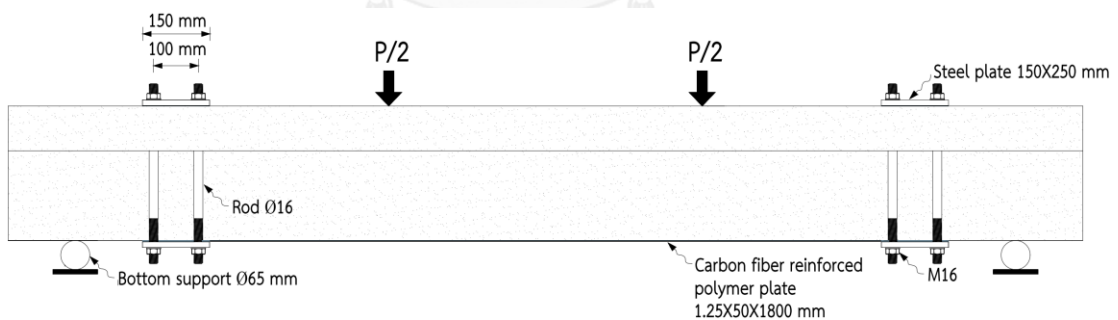


รูปที่ 4.31 การติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน

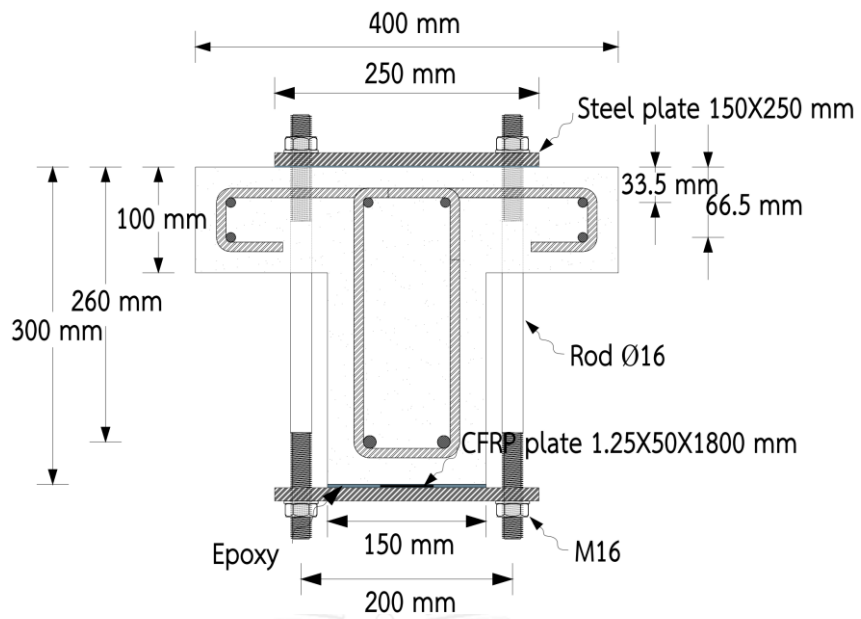


รูปที่ 4.32 แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่ถูกติดตั้งกับคาน

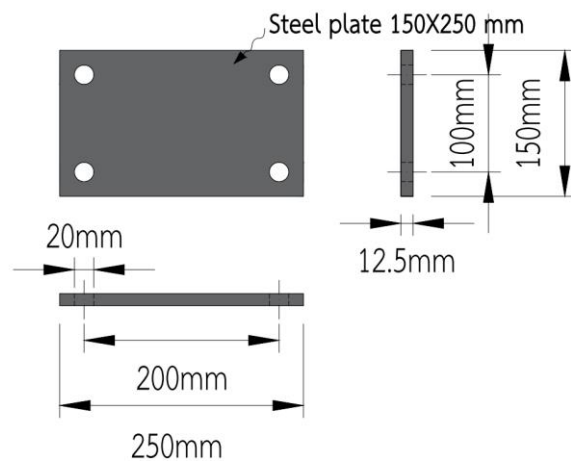
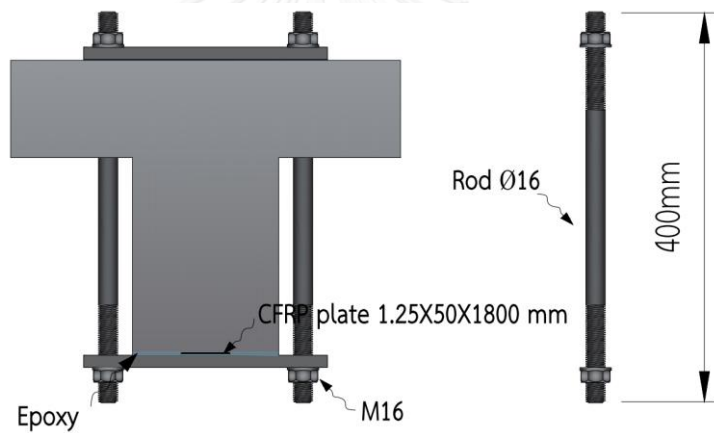
ภายหลัง 7 วันคานจะถูกนำมาติดตั้งระบบยึดตั้งปลายแผ่นพอลิเมอร์โดยเริ่มจากการเจาะปีกคานด้วยสว่านเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และทำการติดตั้งระบบยึดตั้งรูปที่ 4.33 4.34 และ 4.35 ซึ่งจะมีการติดอีพอกซีเรซินที่แผ่นเหล็กประกบปลายเช่นเดียวกับการติดแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนจากนั้นรื้อยंत्रแห่งเหล็กทำการขันน็อตโดยให้แรงพอดึงมือและทำการบ่มอีพอกซีเรซินไว้เป็นเวลา 7 วันก่อนทำการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุด



รูปที่ 4.33 รายละเอียดการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนของคาน



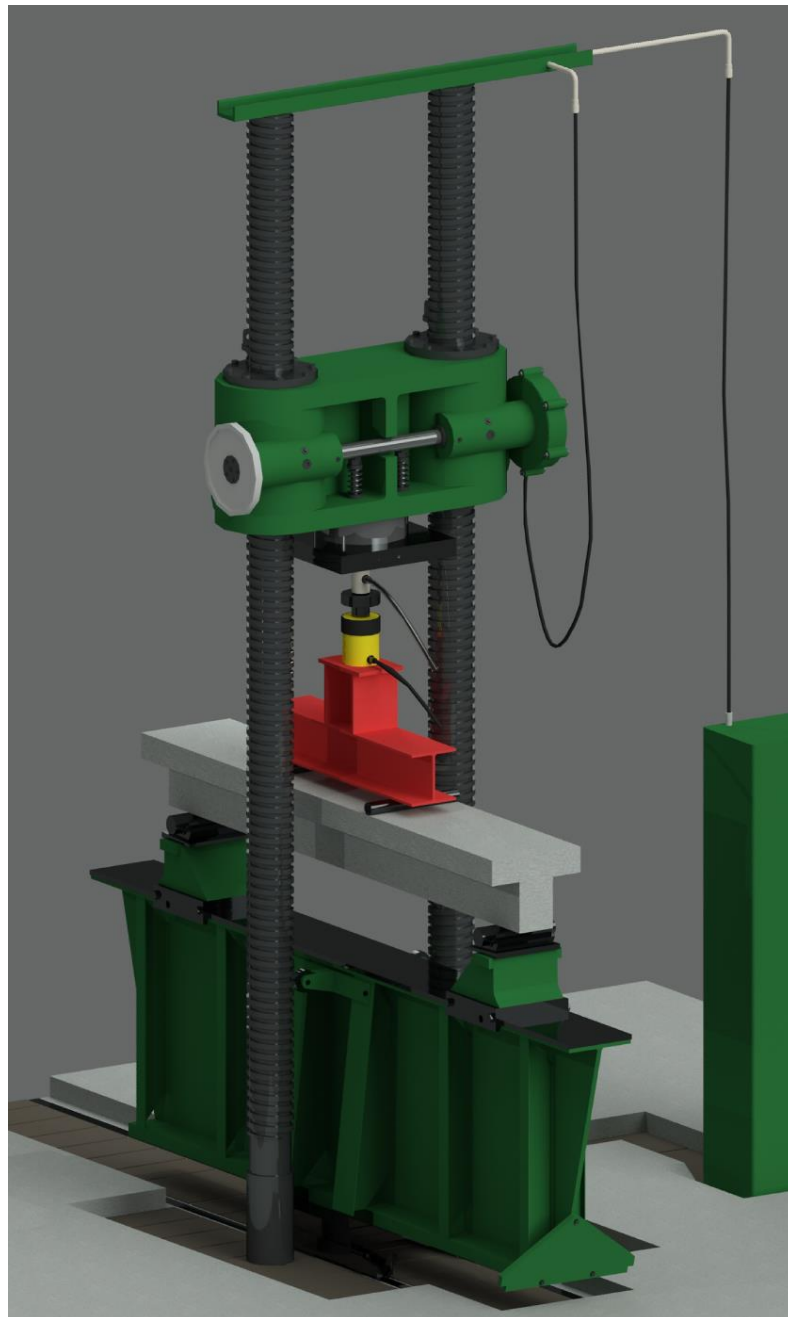
รูปที่ 4.34 รายละเอียดการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนในหน้าตัด



รูปที่ 4.35 รายละเอียดการยึดรั้งที่ปลายแผ่นพอลิเมอร์

#### 4.5 การทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดของคานทดสอบ

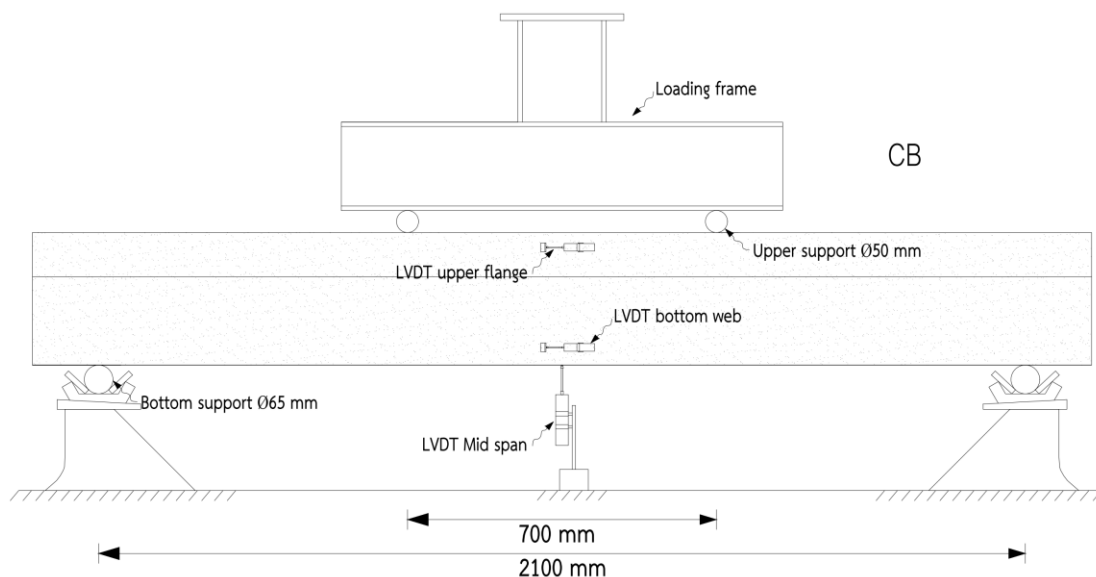
การทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดทำการทดสอบที่หน่วยทดสอบวัสดุ โดยทำการทดสอบจนกระทั่งคานเกิดการวิบัติ โดยมีระยะจุดรองรับด้านล่างระยะ 2100 มิลลิเมตร ระยะจุดรองรับด้านบนระยะ 700 มิลลิเมตรโดยทำการกดผ่านไฮดรอลิคแจ็คและมีการใช้เครื่องมือวัดน้ำหนัก(load cell) ซึ่งคานและเครื่องมือการทดสอบหลักจะทำการวางบนโครงเหล็กและยึดกับโครงเหล็กของเครื่องทดสอบ(Amsler) ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 รายละเอียดการติดตั้งคานและเครื่องมือทดสอบกับเครื่องทดสอบ(Amsler)

#### 4.5.1 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดของคาน CB

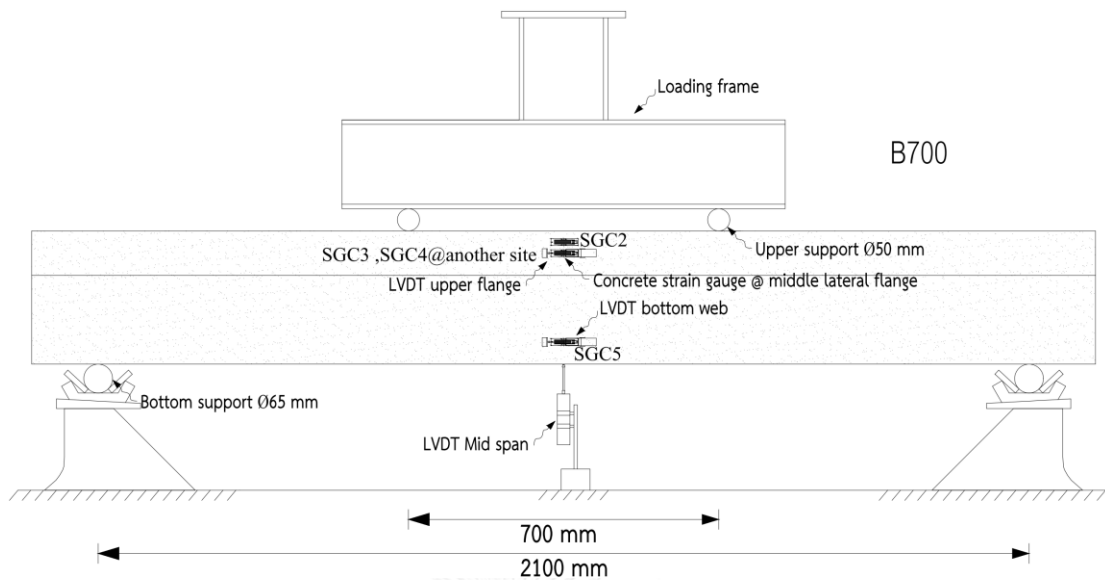
คานจะถูวางไว้บนจตุรรองรับและถูกให้น้ำหนักจากโครงเฟรมด้านบนดังรูปที่ 4.37 ซึ่งมีการติดตั้ง LVDT ที่กึ่งกลางคานด้านใต้ของเอวคานจำนวนหนึ่งตัวและ LVDT ที่ระดับเดียวกับตำแหน่งเหล็กเสริมรับแรงอัด 33.5 มิลลิเมตรจากด้านบนปีกและรับแรงดึง 40 มิลลิเมตรจากด้านล่างคาน ซึ่งคานมีตำแหน่งตัววัดความเครียดดังหัวข้อ 4.2.3.1 จากนั้นทำการทดสอบคานโดยให้น้ำหนักบรรทุกกับคานแบบรอบ (periodic unloading) จนกระทั่งคานวิบัติโดยมีอัตราการการให้น้ำหนักบรรทุกทุก 1 ตัน/นาที่ และทำการปลดแรงกระทำทุกๆ 2 ตัน จนกระทั่งถึงจุดครากจากนั้นเปลี่ยนเป็นการควบคุมโดยการโก่งตัว (Displacement control) ทุกๆ 2 มิลลิเมตร จนกระทั่งวิบัติ



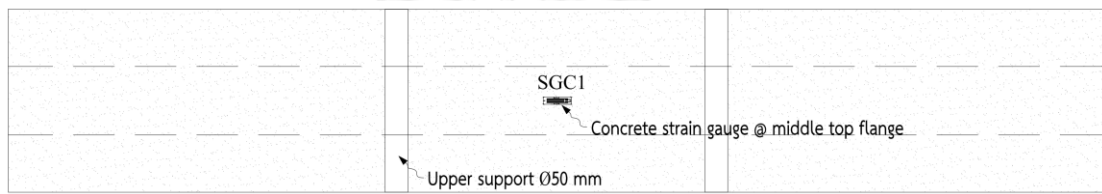
รูปที่ 4.37 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำสี่จุด ของคานควบคุม (CB)

#### 4.5.2 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดของคาน B700

คานจะถูวางไว้บนจตุรรองรับและถูกให้น้ำหนักจากโครงเฟรมด้านบนดังรูปที่ 4.38 ซึ่งมีการติดตั้ง LVDT ที่กึ่งกลางคานด้านใต้ของเอวคานจำนวนหนึ่งตัว LVDT ที่ตำแหน่งปีกลงมา 50 มิลลิเมตร ที่ล่างเอวขึ้นไป 50 มิลลิเมตร และมีการติดตั้งตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตด้านบนคานหนึ่งตัว SGC1 ดังรูปที่ 4.39 และติดตั้งข้างของคานดังรูปที่ 4.37 โดย SGC2 ติดตำแหน่งจากด้านบนปีกลงมา 25 มิลลิเมตร SGC3 และ SGC4 ติดจากด้านบนปีกลงมา 50 มิลลิเมตร SGC5 ติดจากด้านล่างเอวคานขึ้นมา 50 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบคานโดยให้น้ำหนักบรรทุกกับคานแบบรอบ (periodic unloading) จนกระทั่งคานวิบัติโดยมีอัตราการการให้น้ำหนักบรรทุกทุก 1 ตัน/นาที่ และทำการปลดแรงกระทำทุกๆ 2 ตัน จนกระทั่งถึงจุดครากจากนั้นเปลี่ยนเป็นการควบคุมโดยการโก่งตัว (Displacement control) ทุกๆ 2 มิลลิเมตร จนกระทั่งวิบัติ



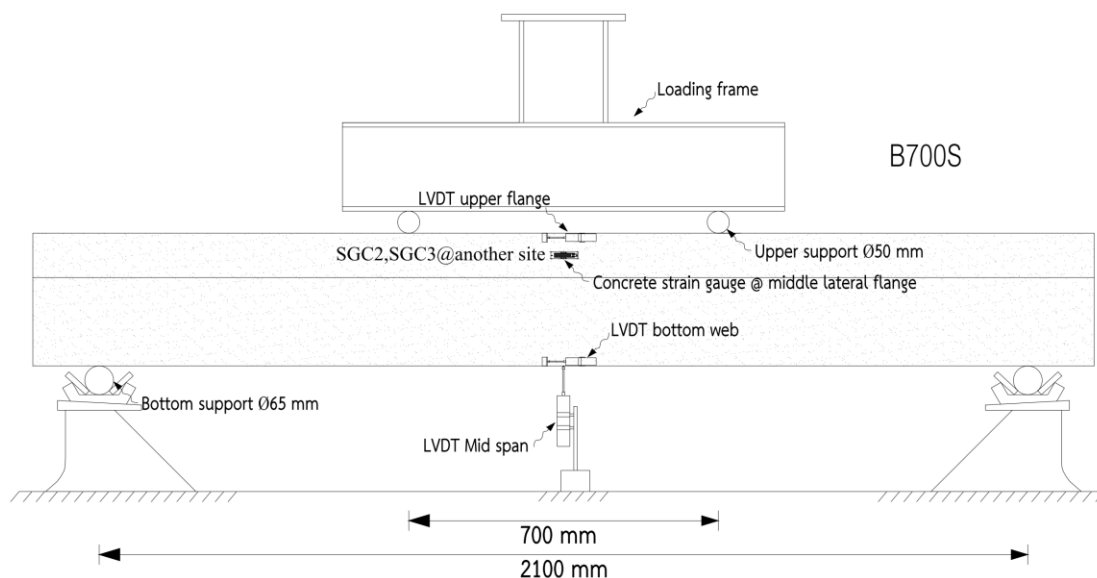
รูปที่ 4.38 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำที่จุด ของคาน B700



รูปที่ 4.39 รูปตำแหน่งตัววัดความเครียดด้านบนของคาน B700 และ B700S

#### 4.5.3 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดของคาน B700S

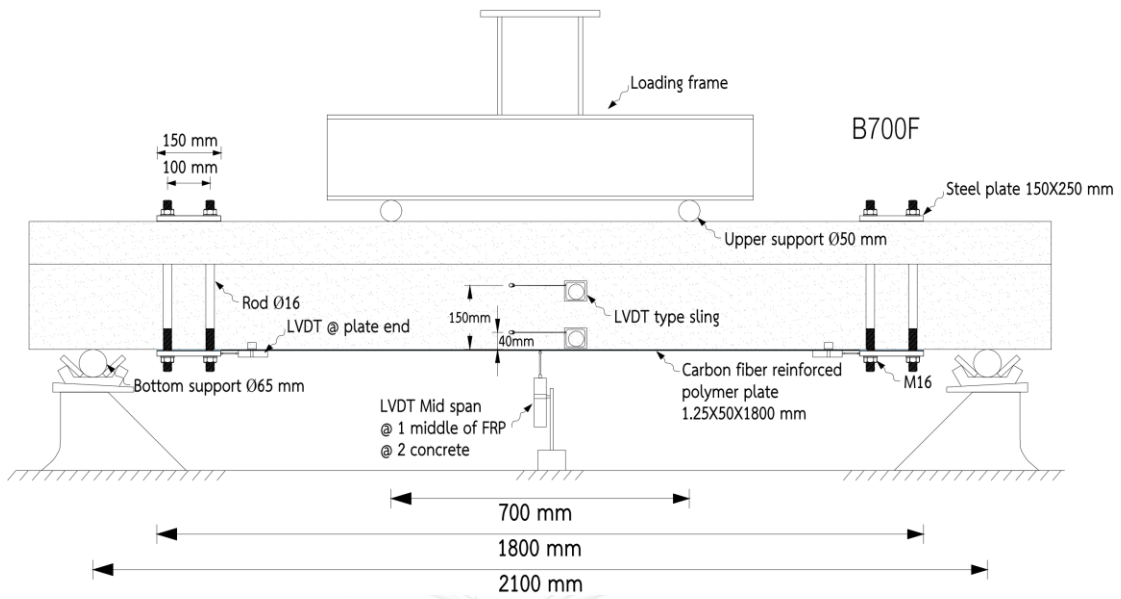
คานจะถูกวางไว้บนจตุรรองรับและถูกให้น้ำหนักจากโครงเฟรมด้านบนดังรูปที่ 4.40 ซึ่งมีการติดตั้ง LVDT ที่กึ่งกลางคานด้านใต้ของเอวคานจำนวนหนึ่งตัวและ LVDT ที่ระดับ 10 มิลลิเมตรจากด้านบนปีกและรับแรงดึง 10 มิลลิเมตรจากด้านล่างคาน และมีการติดตั้งตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีต KC-70-120 ด้านบนคานหนึ่งตัว SGC1 ดังรูปที่ 4.39 เช่นเดียวกับคาน B700 และมีการติดตั้งตัววัดความเครียด SGC2 และ SGC3 ที่ผิวคอนกรีตด้านข้างปีกลงมาจากด้านบน 50 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบคานโดยให้น้ำหนักบรรทุกทุกกับคานแบบรอบ (periodic unloading) จนกระทั่งคานวิบัติโดยมีอัตราการให้น้ำหนักบรรทุก 1 ตัน/นาที และทำการปลดแรงกระทำทุกๆ 2 ตัน จนกระทั่งถึงจุดครากจากนั้นเปลี่ยนเป็นการควบคุมโดยการโก่งตัว (Displacement control) ทุกๆ 2 มิลลิเมตร จนกระทั่งวิบัติ



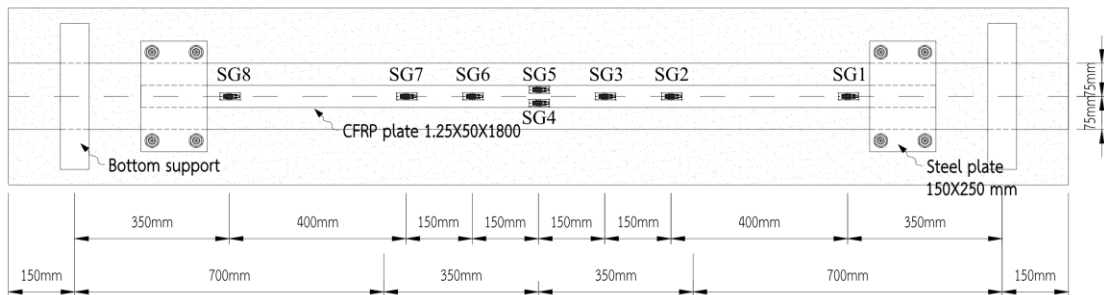
รูปที่ 4.40 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำที่จุด ของคาน B700S

#### 4.5.4 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดของคาน B700F

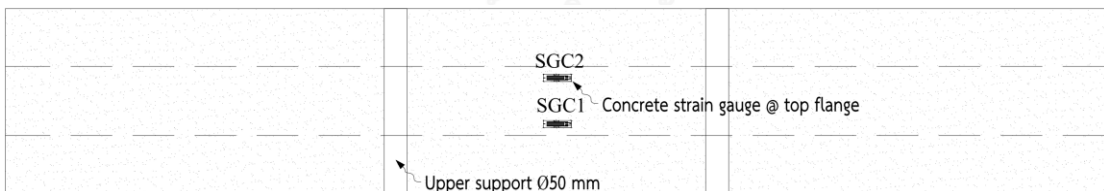
คานจะถูกวางไว้บนจตุรรองรับและถูกให้น้ำหนักจากโครงเฟรมด้านบนดังรูปที่ 4.41 มีการติดตั้งตัววัดความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนดังรูปที่ 4.42 SG1 ถึง SG8 เรียงจากด้านขวาไปด้านซ้ายของคาน และมีการติดตั้งตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตด้านบนสองตัว SG1 และ SG2 ดังรูปที่ 4.43 โดยมีระยะเข้ามาจากด้านริมปีก 150 มิลลิเมตรทั้งสองตัว มีการติดตั้ง LVDT type sling สองตัวที่เอวของคานมีระยะจากด้านล่างเอวขึ้นมา 40 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร และ LVDT สองตัวที่ด้านล่างของเอวคานที่ตำแหน่งผิวคอนกรีตและผิวของแผ่นพอลิเมอร์ และ LVDT ที่ตำแหน่งแผ่นเหล็กที่หนีบแผ่นพอลิเมอร์ไว้ข้างละหนึ่งตัว จากนั้นทำการชันชันน็อตที่ทำการขันไว้ตั้งมือออกเพื่อคลายความเครียดที่เกิดขึ้นในแท่งเหล็กและทำการติดตั้งตัววัดความเครียดลงไปที่ยกกลางของแท่งเหล็กแต่ละแท่งจากนั้นทำการชันน็อตเพื่อให้ได้แรกที่ทำกรหนีบแผ่นพอลิเมอร์ไว้โดยสังเกตจากค่าความเครียดที่วัดได้จากตัววัดความเครียดที่ได้ติดตั้งไว้ที่แท่งเหล็ก โดยทำการขันไว้ที่ความเครียดประมาณ 0.0004 หรือ 1.68 ตันต่อแท่งเหล็กหนึ่งแท่ง จากนั้นทำการทดสอบคานโดยให้น้ำหนักบรรทุกทุกกับคานแบบรอบ (periodic unloading) จนกระทั่งคานวิบัติโดยมีอัตราการให้น้ำหนักบรรทุก 1 ตัน/นาที และทำการปลดแรงกระทำทุกๆ 2 ตัน จนกระทั่งถึงจุดครากจากนั้นเปลี่ยนเป็นการควบคุมโดยการโก่งตัว (Displacement control) ทุกๆ 2 มิลลิเมตร จนกระทั่งวิบัติ



รูปที่ 4.41 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำลึจุด ของคาน B700F



รูปที่ 4.42 รูปตำแหน่งตัววัดความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F และ B700FS



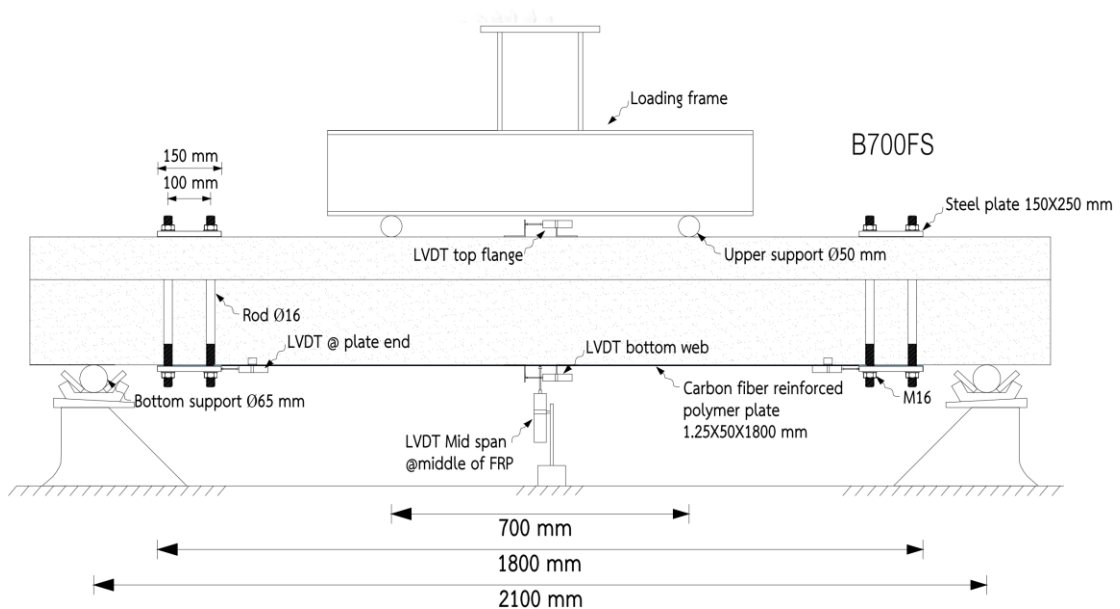
รูปที่ 4.43 รูปตำแหน่งตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตด้านบนปีกของคาน B700F และ B700FS

#### 4.5.5 รายละเอียดการทดสอบน้ำหนักกระทำลึจุดของคาน B700FS

คานจะถูกวางไว้บนจตุรรองรับและถูกให้น้ำหนักจากโครงเฟรมด้านบนดังรูปที่ 4.44 มีการติดตั้งตัววัดความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนดังรูปที่ 4.42 SG1 ถึง SG8 เรียงจากด้านขวาไปด้านซ้ายของคาน และมีการติดตั้งตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตด้านบนสองตัว SG1 และ SG2 ดังรูปที่ 4.43 โดยมีระยะเข้ามาจากด้านริมปีก 150 มิลลิเมตรทั้งสองตัว มีการติดตั้ง LVDT ที่เอวของคานมีระยะจากด้านล่างเอวลงมา 30 มิลลิเมตร และที่ปีกของคานมีระยะจากปีกขึ้นไป 30 มิลลิเมตร และ LVDT ที่ด้านล่างของเอวคานที่ตำแหน่งผิวของแผ่นพอลิเมอร์ และ LVDT ที่ตำแหน่ง



แผ่นเหล็กที่หนีบแผ่นพอลิเมอร์ไว้ข้างละหนึ่งตัว จากนั้นทำการชันชั้นน็อตที่ทำการชันไว้ตั้งมือออก เพื่อคลายความเครียดที่เกิดขึ้นในแท่งเหล็กและทำการติดตั้งตัววัดความเครียดลงไปที่ยกกลางของแท่งเหล็กแต่ละแท่ง จากนั้นทำการชันน็อตเพื่อให้ได้แรงที่ทำการหนีบแผ่นพอลิเมอร์ไว้โดยสังเกตจากค่าความเครียดที่วัดได้จากตัววัดความเครียดที่ได้ติดตั้งไว้ที่แท่งเหล็ก โดยทำการชันไว้ที่ความเครียดประมาณ 0.0004 หรือ 1.68 ตันต่อแท่งเหล็กหนึ่งแท่ง จากนั้นทำการทดสอบคานโดยให้น้ำหนักบรรทุกกับคานแบบรอบ (periodic unloading) จนกระทั่งคานวิบัติโดยมีอัตราการการให้น้ำหนักบรรทุก 1 ตัน/นาที และทำการปลดแรงกระทำทุกๆ 2 ตัน จนกระทั่งถึงจุดครากจากนั้นเปลี่ยนเป็นการควบคุมโดยการโก่งตัว (Displacement control) ทุกๆ 2 มิลลิเมตร จนกระทั่งวิบัติ



รูปที่ 4.44 รูปการทดสอบภายใต้น้ำหนักกระทำลึจุด ของคาน B700FS

#### 4.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

การทำการทดสอบหาลำลังรับแรงอัดจะทำการทดสอบอยู่สองวิธีคือวิธีทดสอบแบบไม่ทำลาย โดยใช้ Rebound hammer และวิธีการทดสอบแบบทำลายโดยทำการกดคอนกรีตทรงกระบอก

##### 4.6.1 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแบบไม่ทำลาย

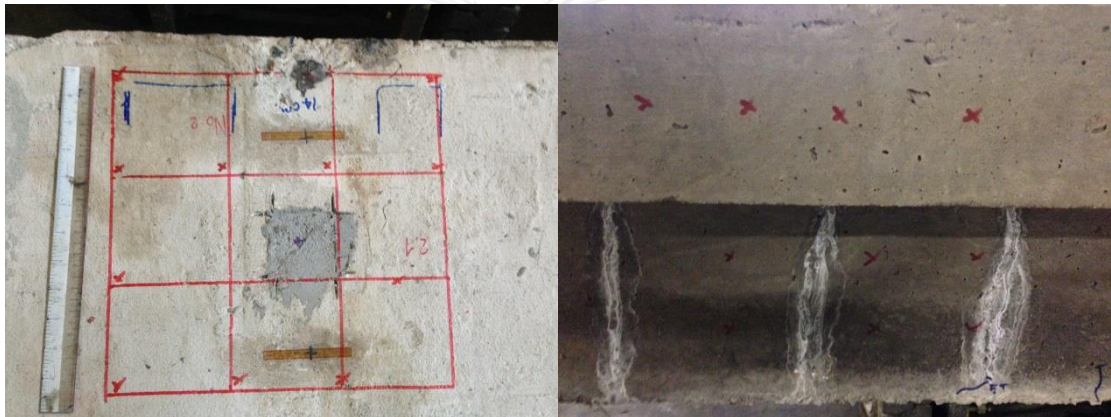
การทดสอบแบบไม่ทำลายนี้จะใช้ Rebound hammer เป็นการหาลำลังอัดโดยวิธีอ้อมผ่านมวลสปริงที่กระทบเข้ากับผิวคอนกรีตจะดอนกลับลือค่าและทำการอ่านค่าและแปรผลดังรูปที่ 4.49 โดยเริ่มทำการปรับแก้ค่าโดยทำการยิงเข้ากับแท่นเหล็กเพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าที่ได้จากการทดสอบดังรูปที่ 4.45 การทำการทดสอบจะทำการใช้หินดังรูปที่ 4.46 ชุดบริเวณที่ทำการทดสอบและทำการยิงไปที่ตำแหน่งผิวของคอนกรีตโดยทำการยิงทั้งหมด 10 ครั้งต่อหนึ่งตำแหน่งในบริเวณขนาด 300X300 มิลลิเมตร ในส่วนที่พื้นที่ไม่ถึงทำการเฉลี่ยให้ยิงห่างกันประมาณหนึ่งฝ่ามื่อดังรูปที่ 4.47 โดยมีตำแหน่งที่ยิงที่ผิวคานคอรกริตหนึ่งตัวจำนวน 5 ตำแหน่ง คือ ด้านบนปีก ด้านข้างปีก ด้านล่างปีก ด้านข้างเอว และ ด้านล่างเอวดังรูปที่ 4.48 โดยจะทำการยิงทั้งก่อนเผาไฟและหลังเผาไฟ



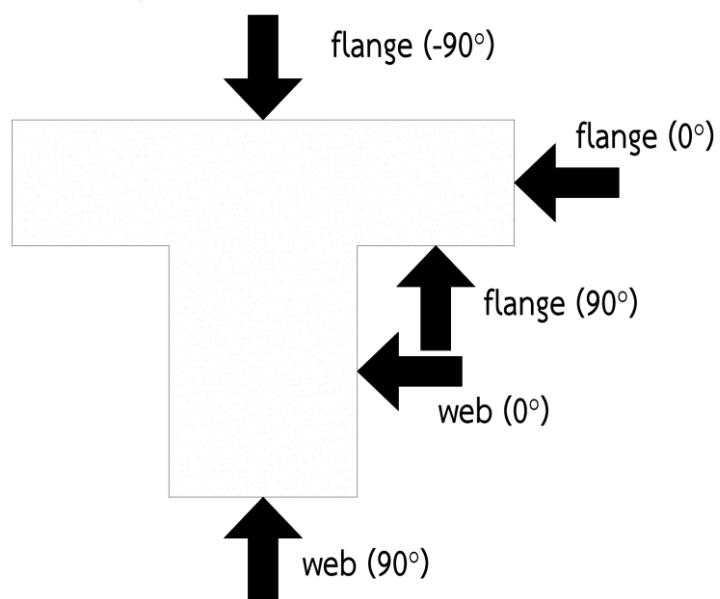
รูปที่ 4.45 แท่นเหล็กสำหรับการปรับแก้ค่าสะท้อนจากมวลสปริง



รูปที่ 4.46 หินสำหรับขีดบริเวณผิวคอนกรีตที่ทำการทดสอบ Rebound Hammer



รูปที่ 4.47 ตำแหน่งที่ทำการยิง Rebound Hammer



รูปที่ 4.48 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ Rebound Hammer



รูปที่ 4.49 ขณะทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย Rebound Hammer

#### 4.6.2 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแบบทำลาย

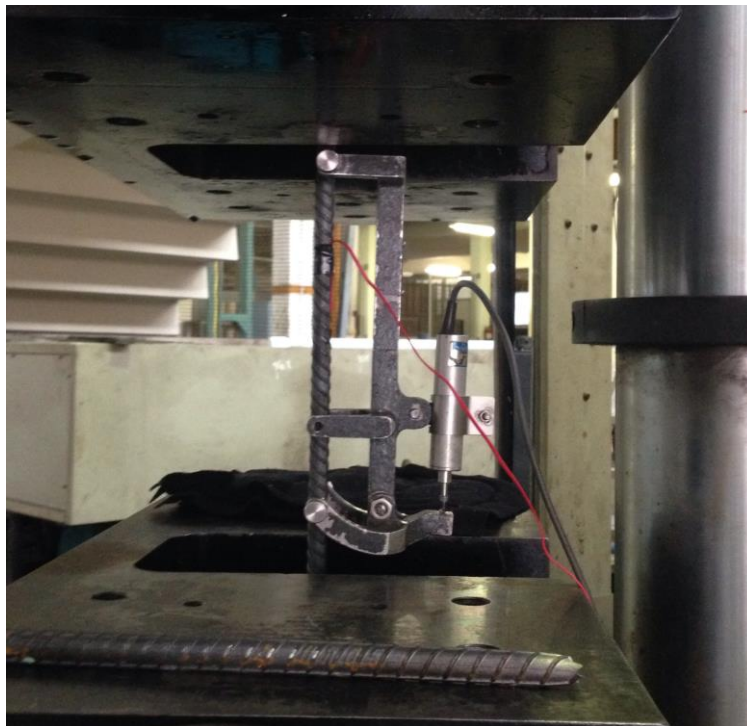
การทดสอบแบบทำลายจะทำการทดสอบโดยการกดคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร เป็นวิธีการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยตรง โดยก่อนทำการกดมีการวัดขนาดและน้ำหนักจริงก่อนทำการกดจนพังดังรูปที่ 4.8 โดยจะทำการกดทำลายทั้งคอนกรีตทรงกระบอกที่ผ่านการเผาไฟที่ระดับ 700 องศาเซลเซียส และคอนกรีตทรงกระบอกที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.50 การทดสอบแบบทำลาย

#### 4.7 การทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริม

การทดสอบหากำลังดึงเหล็กเสริมจะทำการดึงเหล็กเสริมที่เก็บตัวอย่างมาจากชุดเดียวกันที่ทำการหล่อคานทดสอบโดยมีอยู่สองขนาด RB9 และ DB12 ซึ่งทำการตัดมาขนาดละสามตัวอย่างยาว 300 มิลลิเมตร โดยทำการดึงทดสอบเพื่อจุดประสงค์หลักคือหากำลังดึงที่จุดครากและจุดวิบัติของเหล็กเสริมดังรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.51 การทดสอบดึงเหล็กเสริม

## บทที่ 5

### ผลการทดสอบ

ในบทนี้แสดงผลจากการทดสอบ โดยทำการทดสอบกับคานตัวอย่างขนาดเท่าของจริง (full-scale) จำนวน 5 คานโดยจากการทดสอบได้ผลดังนี้

#### 5.1 คุณสมบัติของคอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบเป็นคอนกรีตผสมเสร็จ (ready mixed concrete) มีรายละเอียดของสัดส่วนผสมแสดงในตารางที่ 5-1 โดยการทดสอบแบบทำลายกับคอนกรีตทรงกระบอกเพื่อหาค่ากำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยที่ 28 วัน ภายหลังจากเผาไฟ 17 วัน และภายหลังจากเผาไฟที่ 42 วัน แสดงในตารางที่ 5-5 5-6 และ 5-7 ตามลำดับและการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย rebound hammer กับคานก่อนเผาไฟ หลังเผา และคอนกรีตทรงกระบอก แสดงในตาราง ตารางที่ 5-2 5-3 และ 5-4

ตารางที่ 5-1 สัดส่วนผสมของคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม

ซีเมนต์ (kg)	น้ำ (kg)	มวลรวมละเอียด (kg)	มวลรวมหยาบ (kg) (3/4"-#4)	สารผสมเพิ่ม (cc.)	W/B	ค่ายุบตัว (cm)
366	160	750	1150	985	0.44	7.5-12.5

หมายเหตุ: W/B คือ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (Water to Binder ratio)

#### 5.1.1 ผลการทดสอบคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย rebound hammer

ผลการทดสอบคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วย rebound hammer โดยมีการยิงที่ผิวของคานคอนกรีตและลูกคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตรตั้งหัวข้อที่ 4.6.1 ซึ่งให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5-2 5-3 และ 5-4

ตารางที่ 5-2 ผลการทดสอบการยิงหาค่า hammer rebound ที่ผิวคานคอนกรีตของคานควบคุมและของคานก่อนที่จะทำการเผาไฟ

ตำแหน่ง	กำลังอัดทรงลูกบาศก์เทียบเท่า (MPa)	กำลังอัดทรงกระบอกเทียบเท่า (MPa)
CB-top flange (B14)	46.19	39.26
CB-lateral flange (B14)	41.74	35.48
CB-under flange (B14)	41.00	34.85
CB-lateral web (B14)	41.56	35.33
CB-under web (B14)	46.89	39.86

ตำแหน่ง	กำลังอัดทรงลูกบาศก์เทียบเท่า (MPa)	กำลังอัดทรงกระบอกเทียบเท่า (MPa)
B700-top flange (B10)	45.60	38.76
B700-lateral flange (B10)	44.11	37.49
B700-under flange (B10)	48.00	40.80
B700-lateral web (B10)	44.67	37.97
B700-under web (B10)	46.83	39.81
B700S-top flange (B8)	45.18	38.41
B700S-lateral flange (B8)	44.11	37.49
B700S-under flange (B8)	44.51	37.83
B700S-lateral web (B8)	43.45	36.93
B700S-under web (B8)	48.23	40.99
B700F-top flange (B4)	46.43	39.46
B700F-lateral flange (B4)	44.86	38.13
B700F-under flange (B4)	40.96	34.81
B700F-lateral web (B4)	41.79	35.52
B700F-under web (B4)	43.01	36.55
B700FS-top flange (B9)	48.20	40.97
B700FS-lateral flange (B9)	44.86	38.13
B700FS-under flange (B9)	43.69	37.14
B700FS-lateral web (B9)	45.43	38.62
B700FS-under web (B9)	46.37	39.41

ตารางที่ 5-3 ผลการทดสอบการยิงหาค่า hammer rebound ที่ผิวคานคอนกรีตภายหลังทำการเผาไฟ

ตำแหน่ง	กำลังอัดทรงลูกบาศก์เทียบเท่า (MPa)	กำลังอัดทรงกระบอกเทียบเท่า (MPa)
B700-top flange (B10)	46.19	39.26
B700-lateral flange (B10)	44.03	37.43
B700-under flange (B10)	41.41	35.20
B700-lateral web (B10)	39.67	33.72
B700-under web (B10)	39.06	33.20

ตำแหน่ง	กำลังอัดทรงลูกบาศก์เทียบเท่า (MPa)	กำลังอัดทรงกระบอกเทียบเท่า (MPa)
B700S-top flange (B8)	44.90	38.16
B700S-lateral flange (B8)	39.67	33.72
B700S-under flange (B8)	36.62	31.13
B700S-lateral web (B8)	37.44	31.82
B700S-under web (B8)	36.01	30.61
B700F-top flange (B4)	46.93	39.89
B700F-lateral flange (B4)	45.17	38.40
B700F-under flange (B4)	37.84	32.16
B700F-lateral web (B4)	36.41	30.95
B700F-under web (B4)	37.03	31.47
B700FS-top flange (B9)	47.29	40.19
B700FS-lateral flange (B9)	45.35	38.55
B700FS-under flange (B9)	39.78	33.81
B700FS-lateral web (B9)	36.75	31.24
B700FS-under web (B9)	37.64	31.99

ตารางที่ 5-4 ผลการทดสอบการยิงหาค่า hammer rebound ที่ลูกคอนกรีตทรงกระบอก

ตำแหน่ง	กำลังอัดทรงลูกบาศก์เทียบเท่า (MPa)	กำลังอัดทรงกระบอกเทียบเท่า (MPa)
RT-1 Top	33.81	28.74
T700-1 Top	25.34	21.54
T700-2 Top	22.28	18.94
T700-3 Top	N/A	N/A

\*\*\*สำหรับการทดสอบการยิงหาค่า hammer rebound ที่ลูกคอนกรีตทรงกระบอกพบว่าไม่สามารถหาค่าได้ อาจจะเป็นผลมาจาก ขนาดของตัวอย่างและกำลังของคอนกรีตตัวอย่างที่น้อยจากการเผารายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติม ภาคผนวก ค



### 5.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบแบบทำลาย

#### 5.1.2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตที่อุณหภูมิห้องด้วยวิธีการทดสอบแบบทำลาย

ผลการทดสอบคอนกรีตด้วยวิธีการทดสอบแบบทำลาย เพื่อหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต ดังตารางที่ 5-5 ซึ่งเป็นคอนกรีตทรงกระบอกที่มีความยาว 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ซึ่งทำการหล่อเมื่อวันที่ 9 มีนาคม 2016 และทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดวันที่ 25 พฤษภาคม 2016

ตารางที่ 5-5 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่อุณหภูมิห้อง

ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนักกรัม(g)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	กำลังกิโลนิวตัน (kN)	กำลัง เมกะปาสกาล (MPa)
RT-1	12837.7	2422	748.50	42.36
RT-2	12799.6	2418	760.05	43.01
RT-3	12865.9	2427	770.90	43.62

#### 5.1.2.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีการทดสอบแบบทำลาย

ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตภายหลังการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งตัวอย่างทำการเผา เมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2016 ทำการชั่งน้ำหนักเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน 2016 จากนั้นทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดภายหลังการเผาไฟเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2016 และ 26 กรกฎาคม 2016 เป็นระยะเวลาภายหลังการเผาไฟ 17 วัน ดังตารางที่ 5-6 และ 42 วัน ดังตารางที่ 5-7 ตามลำดับ

ตารางที่ 5-6 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอกภายหลังจากการเผาไฟ 17 วัน

ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนเผาไฟ		น้ำหนักหลังเผาไฟ		น้ำหนักที่สูญเสีย (%)	กำลังกิโลนิวตัน (kN)	กำลังเมกะปาสกาล (MPa)
	น้ำหนักกรัม (g)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	น้ำหนักกรัม (g)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )			
700-1	12759.0	2407	11728.0	2212	8.08	92.40	5.23
700-3	12786.3	2412	12016.3	2267	6.02	92.50	5.23
700-5	12947.0	2442	12165.3	2295	6.04	145.30	8.22

ตารางที่ 5-7 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทรงกระบอกภายหลังจากการเผาไฟ 42 วัน

ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนเผาไฟ		น้ำหนักหลังเผาไฟ		น้ำหนักที่สูญเสีย (%)	กำลังกิโลนิวตัน (kN)	กำลังเมกะปาสกาล (MPa)
	น้ำหนักกรัม (g)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	น้ำหนักกรัม (g)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )			
700-4	12818.5	2418	11862.4	2238	7.46	117.70	6.66
700-7	12843.8	2423	12065.7	2276	6.06	87.70	4.96
700-12	12650.7	2386	11832.9	2232	6.46	141.60	8.01

## 5.2 คุณสมบัติของเหล็กเสริม

ตารางที่ 5-8 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเสริม

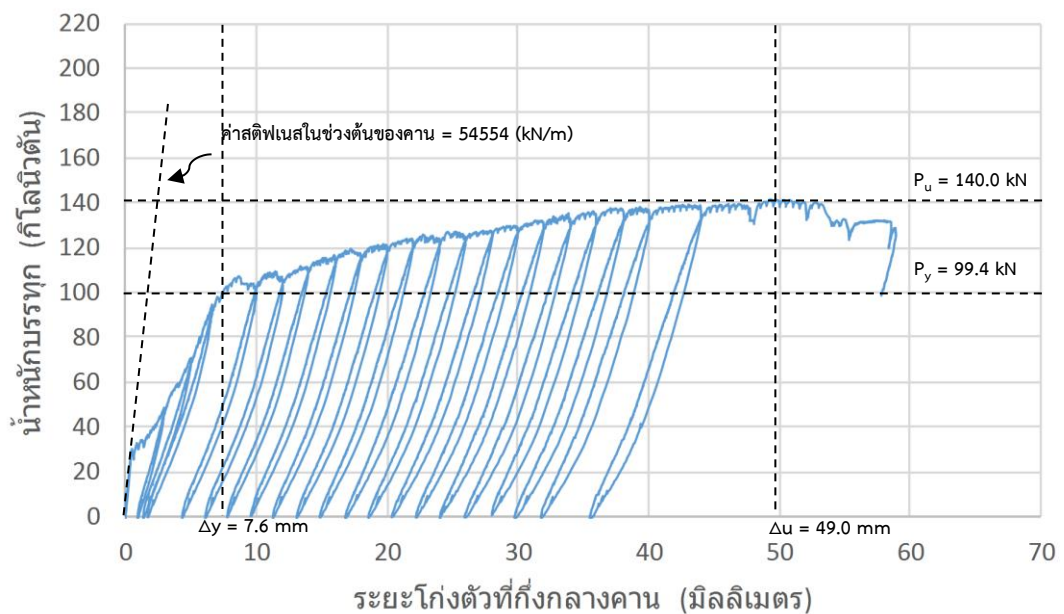
ชนิดเหล็ก	ความเค้นคราก (MPa)	ความเค้นประลัย (MPa)	โมดูลัสยืดหยุ่น (MPa)
RB9 (SR24)-1	369	570	207300
RB9 (SR24)-2	339	537	209400
RB9 (SR24)-3	330	543	167400
RB9 (SR24) (AVG)	346	550	194700
DB12 (SD40)-1	530	633	201596
DB12 (SD40)-2	532	642	190102
DB12 (SD40)-3	534	644	209554
DB12 (SD40) (AVG)	532	640	200417

### 5.3 พฤติกรรมรับแรงของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที

#### 5.3.1 ผลการทดสอบคานคานควบคุม (CB) ด้วยการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด

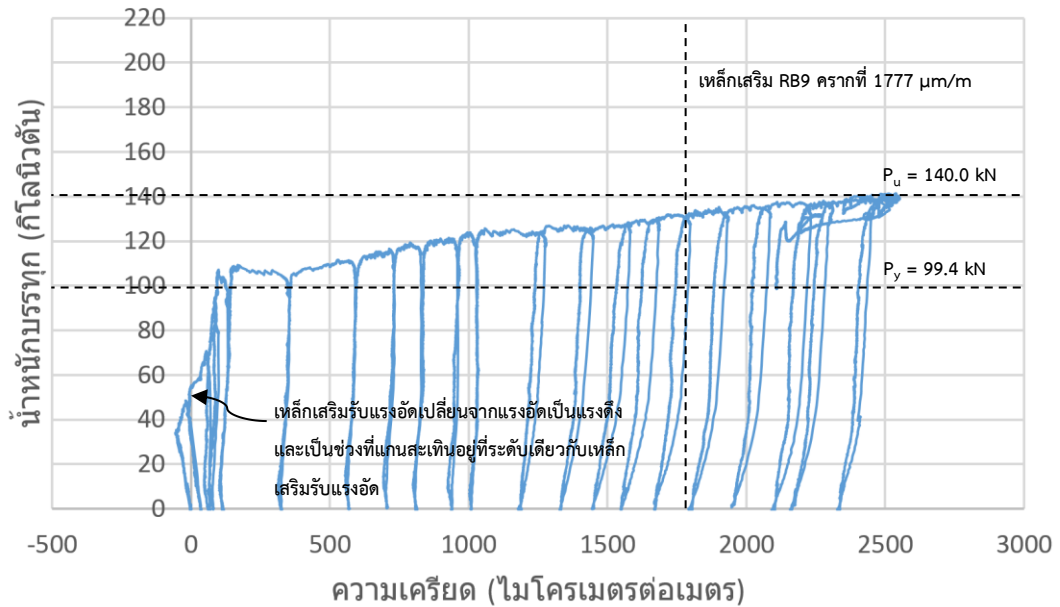
คาน (CB) ใช้เป็นคานควบคุมเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับคานที่เฝ้าไฟและคานที่เฝ้าไฟและทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน โดยจากการทำการทดสอบคานควบคุม (CB) ได้ผลการทดสอบดังนี้

รูปที่ 5.1 แสดงข้อมูลที่ได้จาก LVDT ที่ทำการติดตั้งที่กึ่งกลางคานบริเวณด้านใต้ของเอวคาน ดังรูปที่ 4.37 โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด

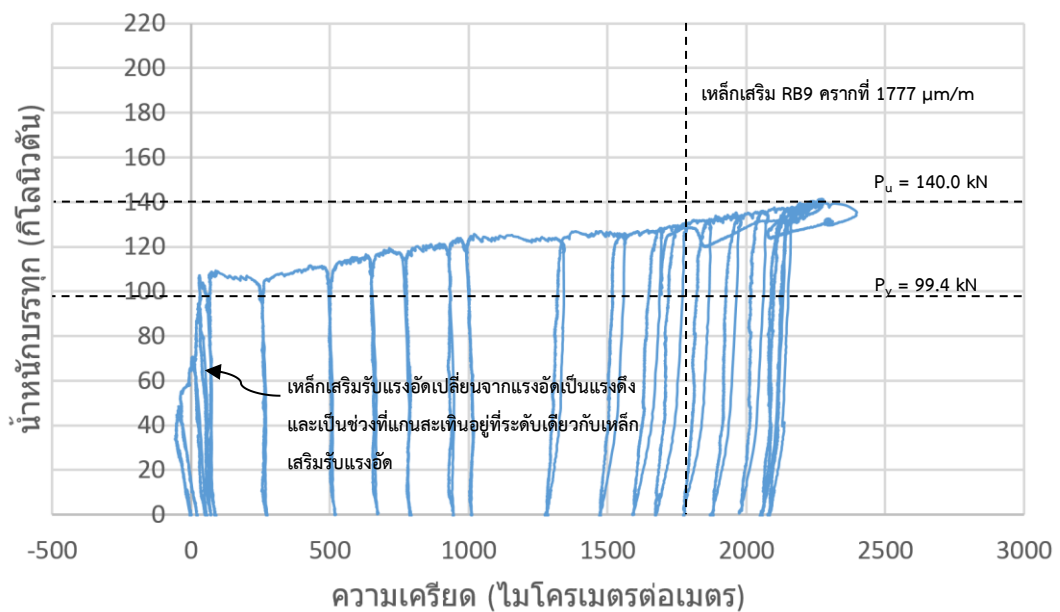


รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวของคานควบคุม CB ที่กึ่งกลางคาน

รูปที่ 5.2 และ 5.3 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ติดตั้งบนเหล็กเสริมรับแรงอัดตัวที่อยู่เส้นด้านหน้าและหลังตามลำดับดังรูปที่ 4.9 โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด



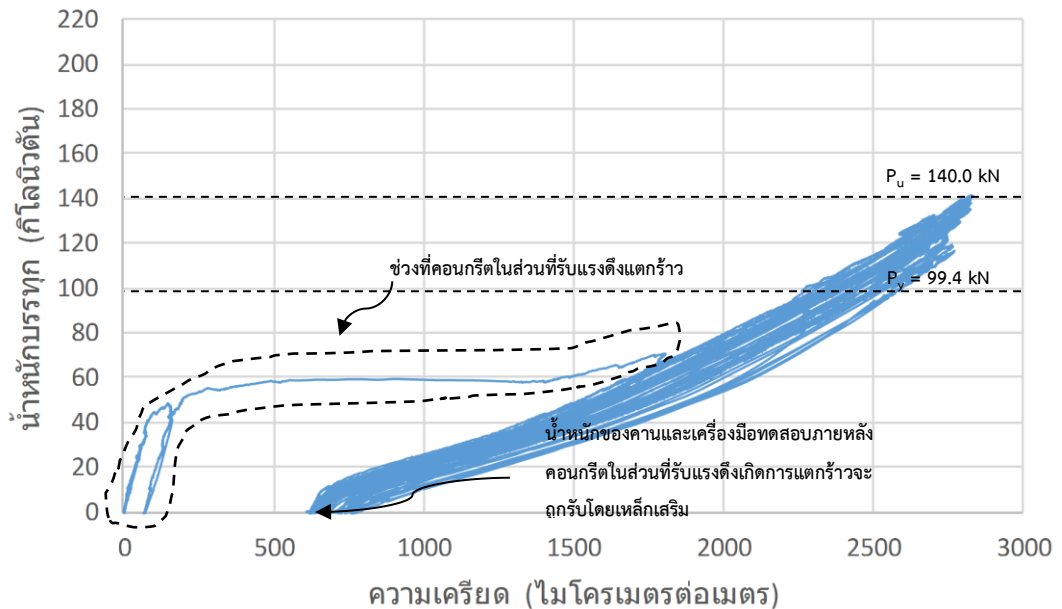
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงอัด (SGT1) ของ คานควบคุม CB



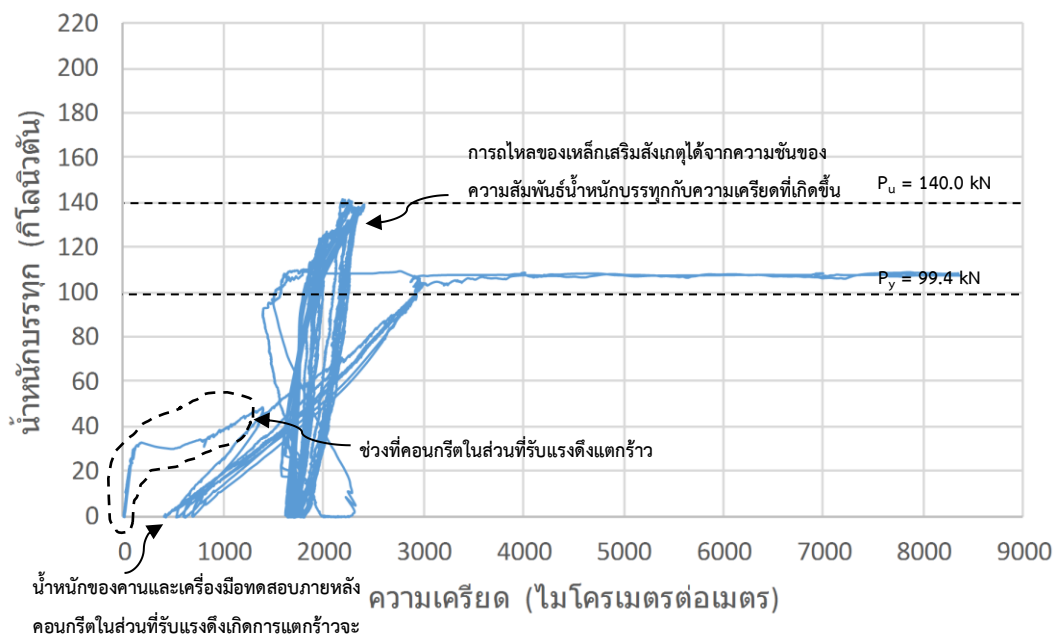
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงอัด (SGT2) ของ คานควบคุม CB

รูปที่ 5.4 5.5 5.6 5.7 5.8 5.9 และ 5.10 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ทำการติดตั้งที่เหล็กเสริมรับแรงดึงโดยเป็นเหล็กเสริมเส้นที่อยู่ด้านหน้าเมื่อทำการหันหน้าเข้าสู่คานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำลึสุดโดยเรียงจากขวาไปซ้ายตามลำดับ และรูปที่ 5.11 5.12 และ 5.13

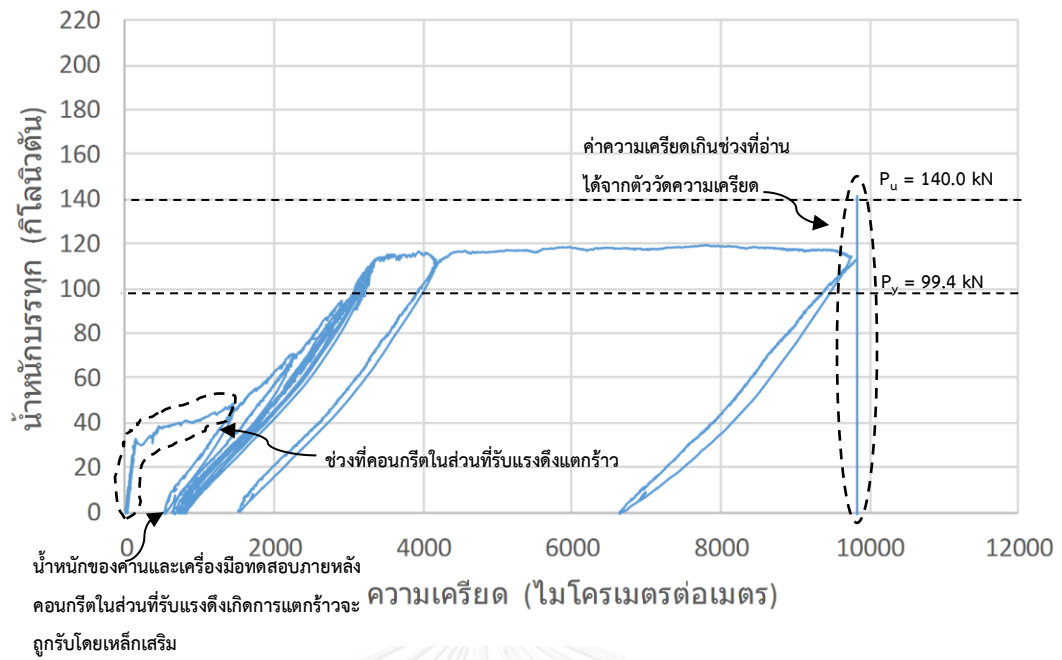
แสดงข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ทำการติดตั้งที่เหล็กเสริมรับแรงดึงในเส้นที่อยู่ด้านหลังและเรียงจากขวาไปซ้ายตามลำดับ โดยมีตำแหน่งและชื่อเรียกดังรูปที่ 4.10 โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำลึจุด



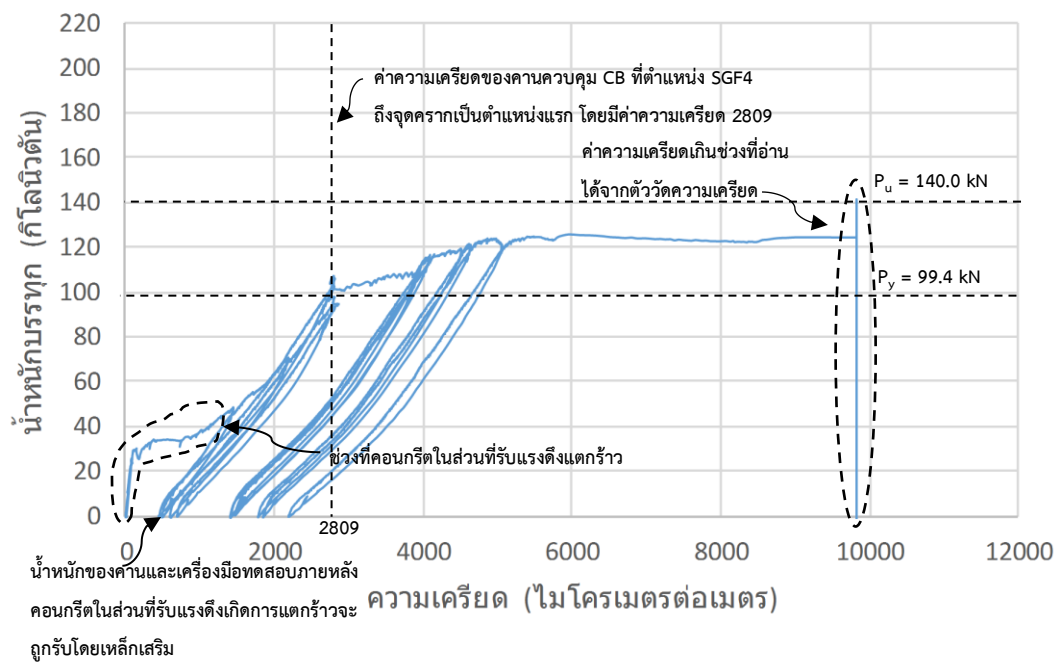
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF1) ของคานควบคุม CB



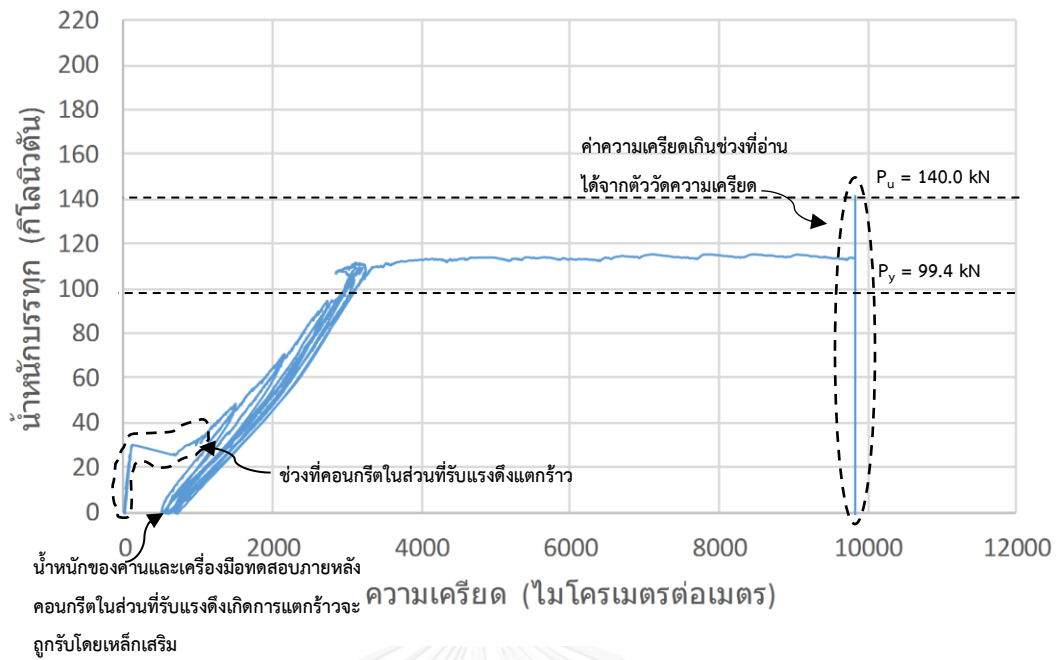
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF2) ของคานควบคุม CB



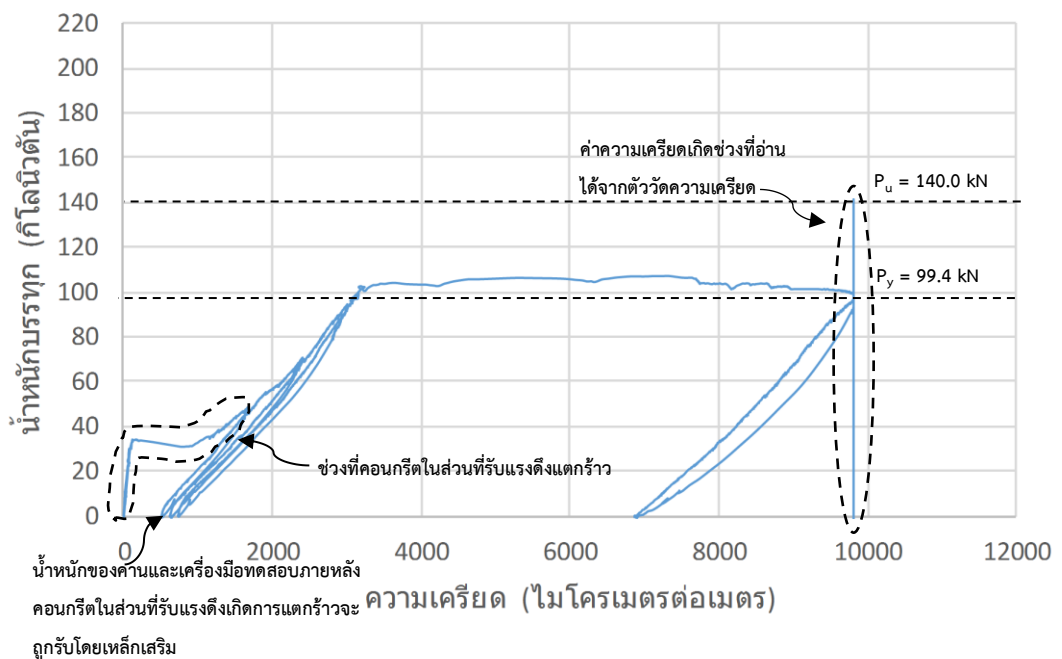
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF3) ของคานควบคุม CB



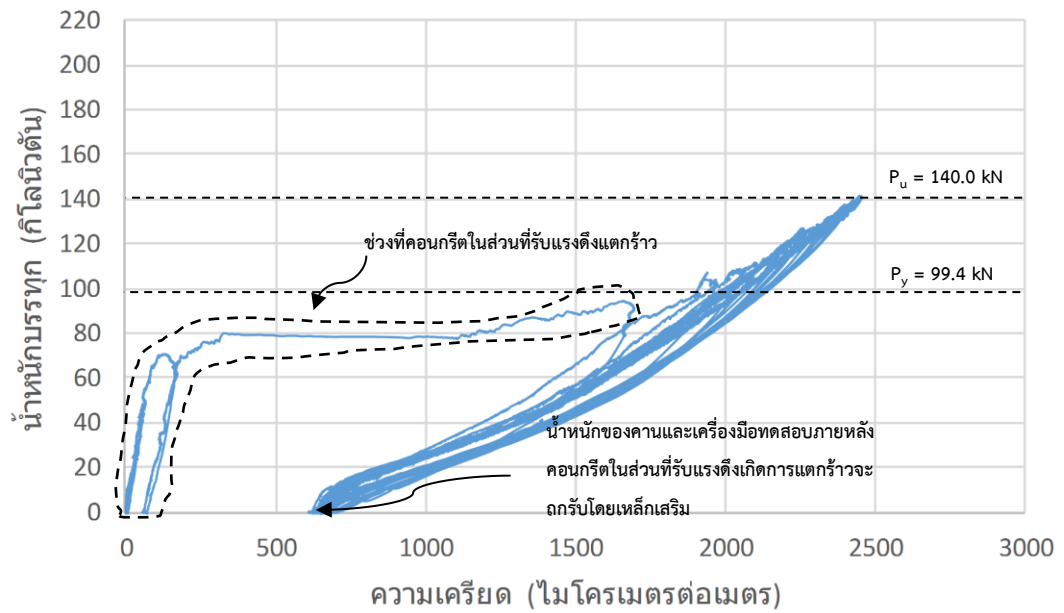
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF4) ของคานควบคุม CB



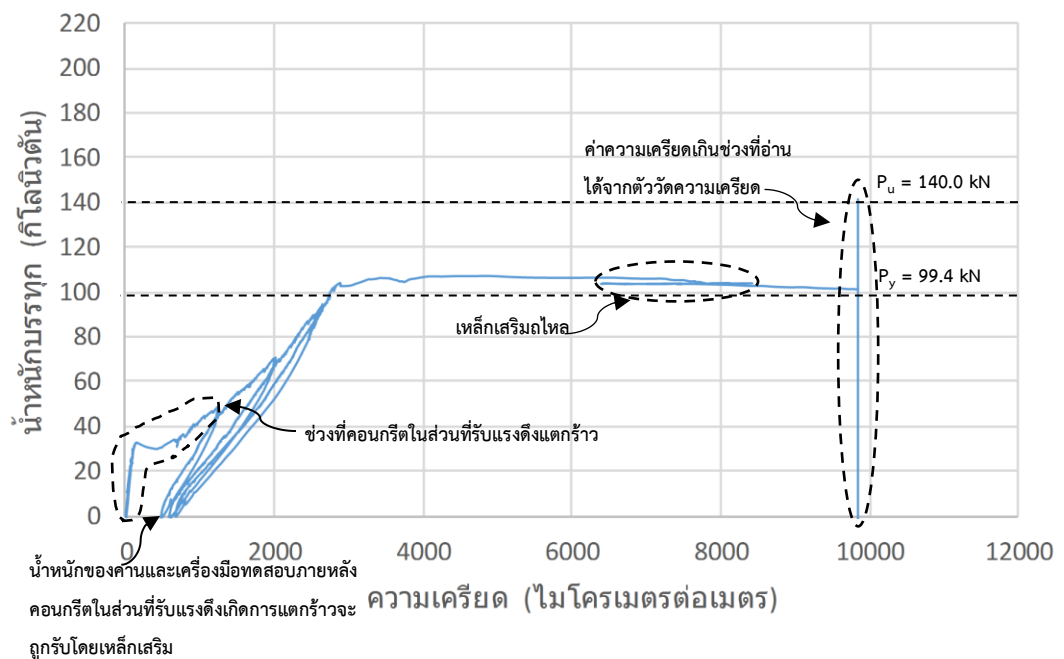
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF5) ของคานควบคุม CB



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF6) ของคานควบคุม CB

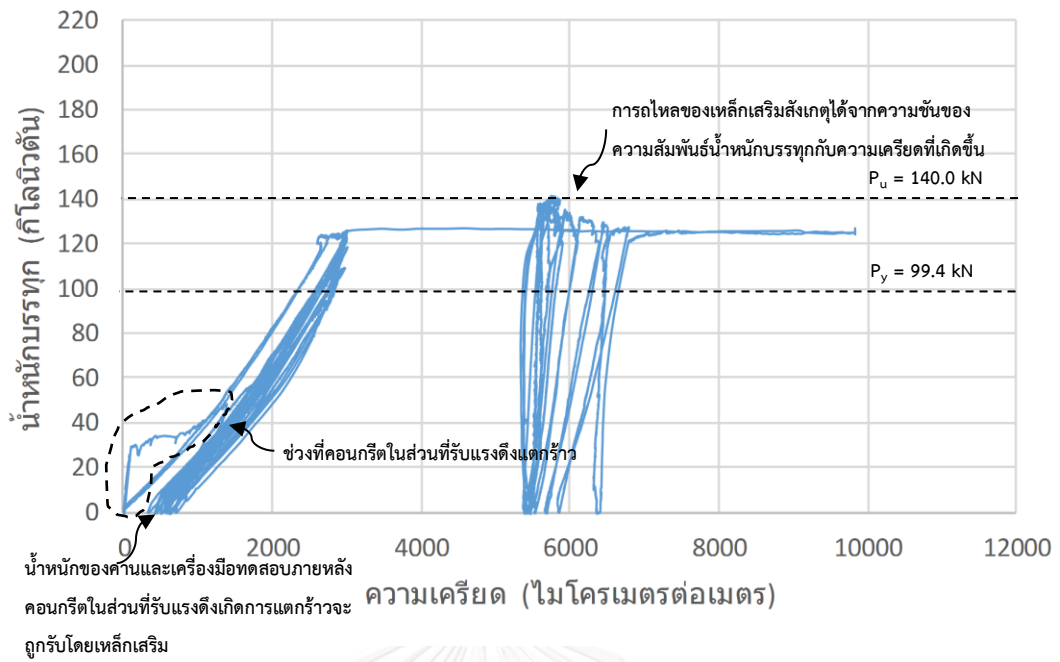


รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGF7) ของคานควบคุม CB

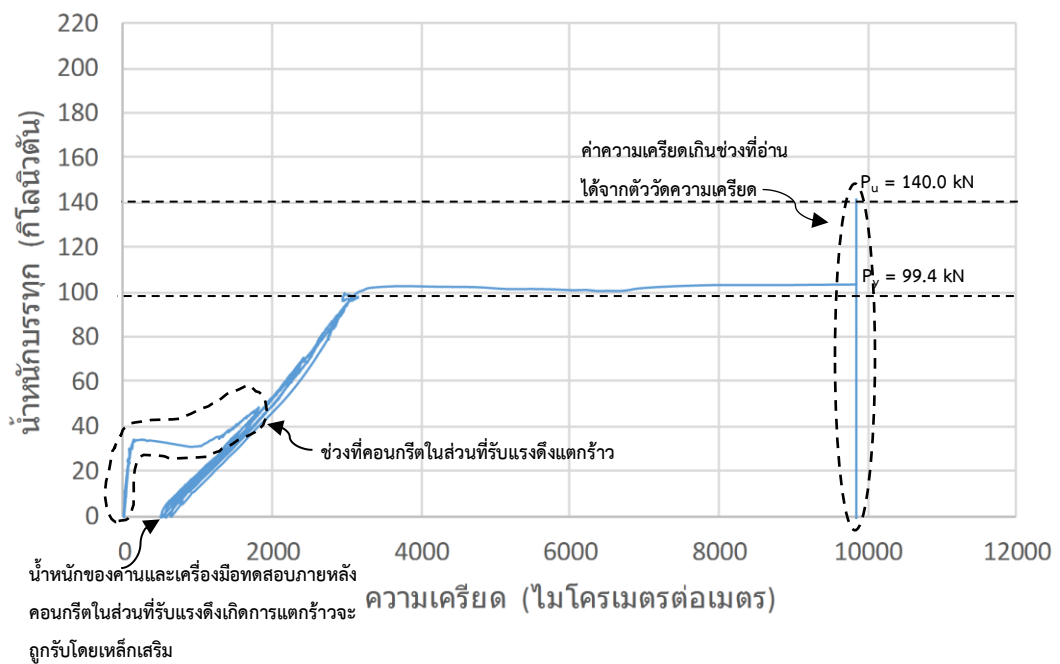


รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGB2) ของคานควบคุม CB





รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGB4) ของคานควบคุม CB



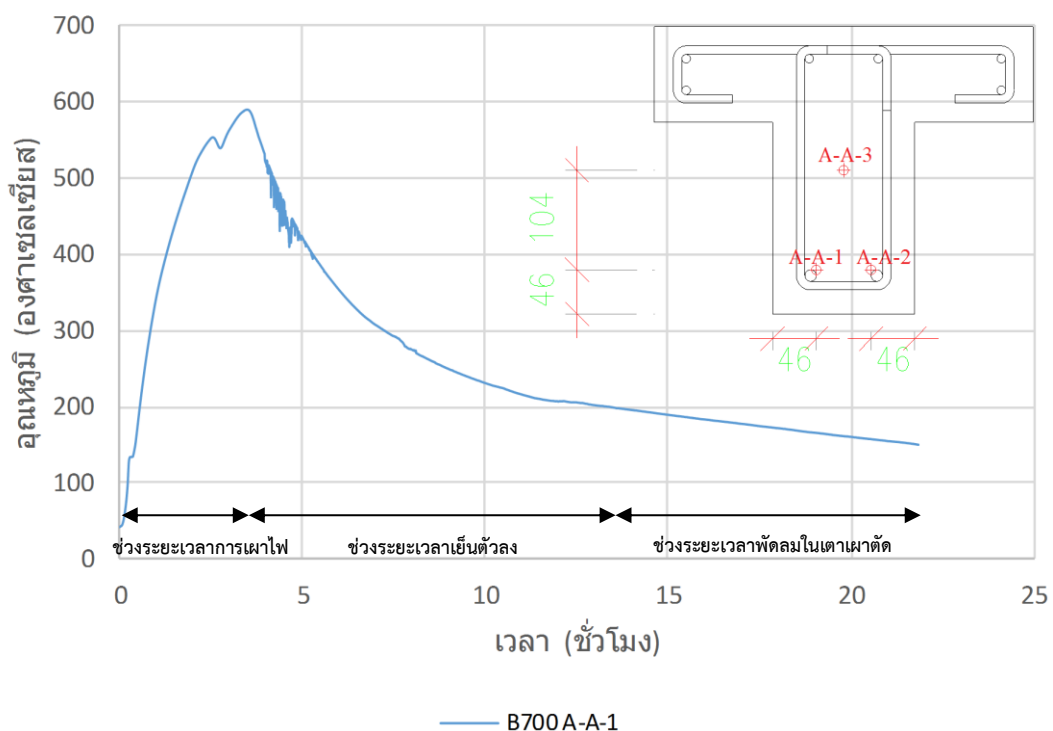
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ตำแหน่งเหล็กเสริม (SGB6) ของคานควบคุม CB

### 5.3.2 ผลการทดสอบการเผาไฟครั้งที่ 1 (คาน B700 และ B700S)

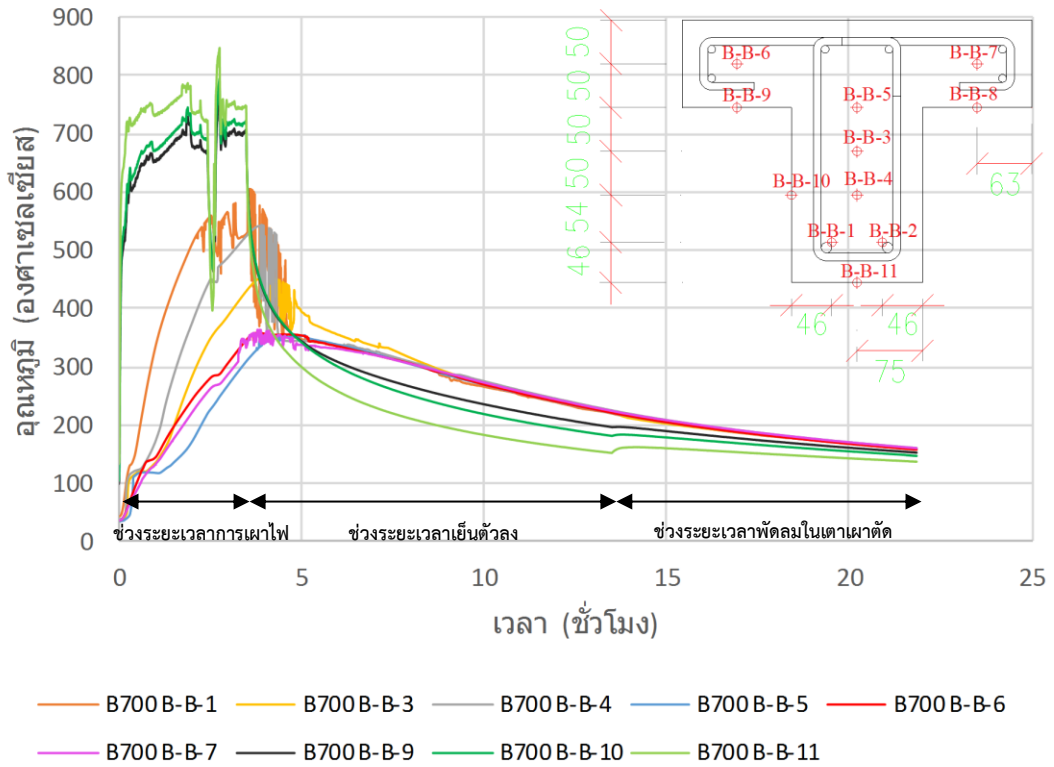
คาน B700 และคาน B700S จะทำการทดสอบเผาไฟ โดยจะให้อุณหภูมิในเตาเพิ่มขึ้นตามกราฟไฟมาตรฐาน ISO 834 จนกระทั่งที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จนครบระยะเวลา 3 ชั่วโมง และเย็นตัวลงตามปกติในเตาเผา และขณะทำการเผา คาน B700S ทำการรับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานไปด้วย โดยจากการทดสอบการเผาไฟครั้งที่ 1 ได้ผลการทดสอบดังนี้

#### 5.3.2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด หน้าตัด A-A B-B และ C-C ดังรูปที่ 4.11 ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัว T ที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส (B700)

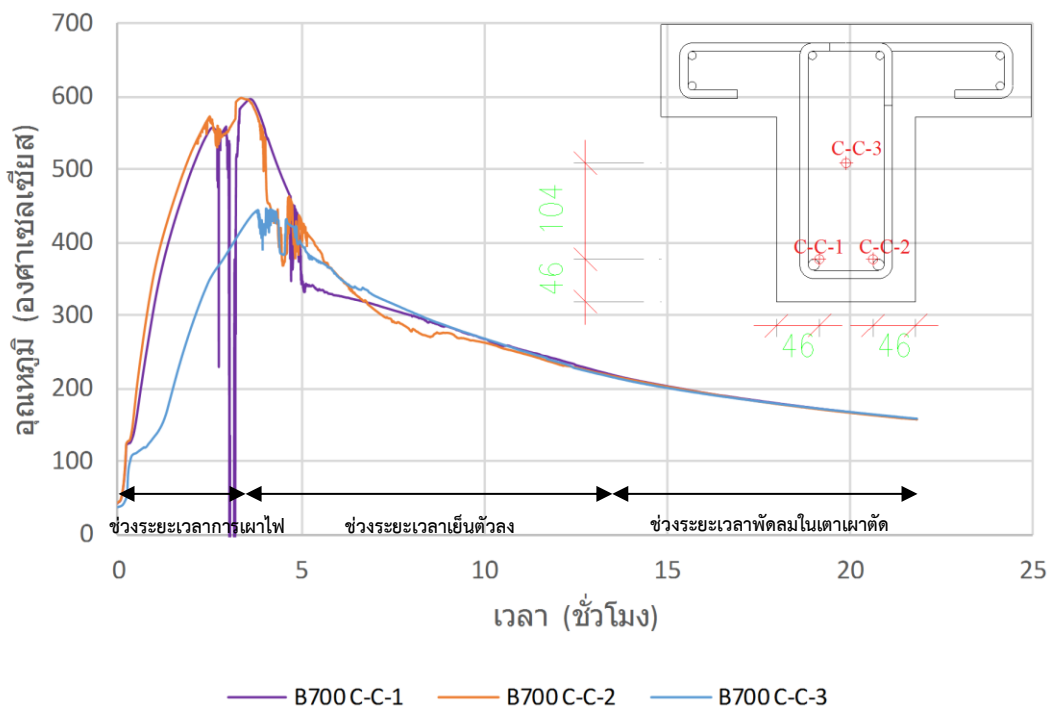
รูปที่ 5.14 5.15 และ 5.16 แสดงข้อมูลจากตัววัดอุณหภูมิในหน้าตัด A-A B-B และ C-C ของคาน B700 ขณะทำการทดสอบเผาไฟมีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิดังรูปที่ 4.12 4.13 และ 4.15 นำมาแสดงคู่กับเวลาที่ทำการเผา โดยมีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิที่เสียดังนี้ A-A-2 A-A-3 และ B-B-2



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700



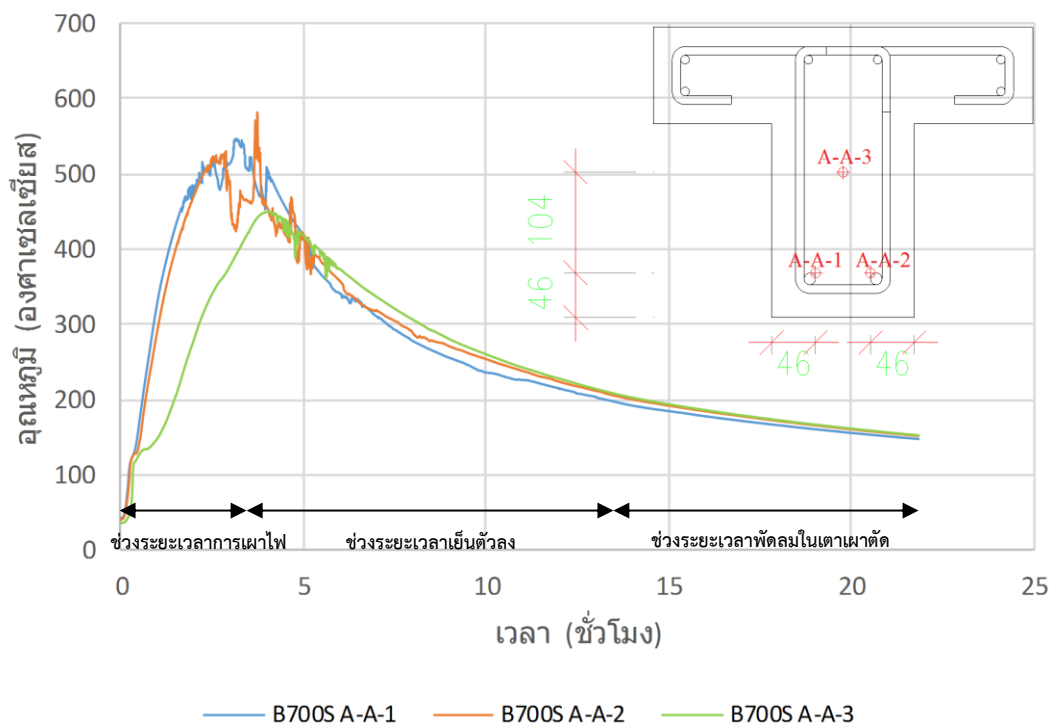
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด B-B ของคาน B700



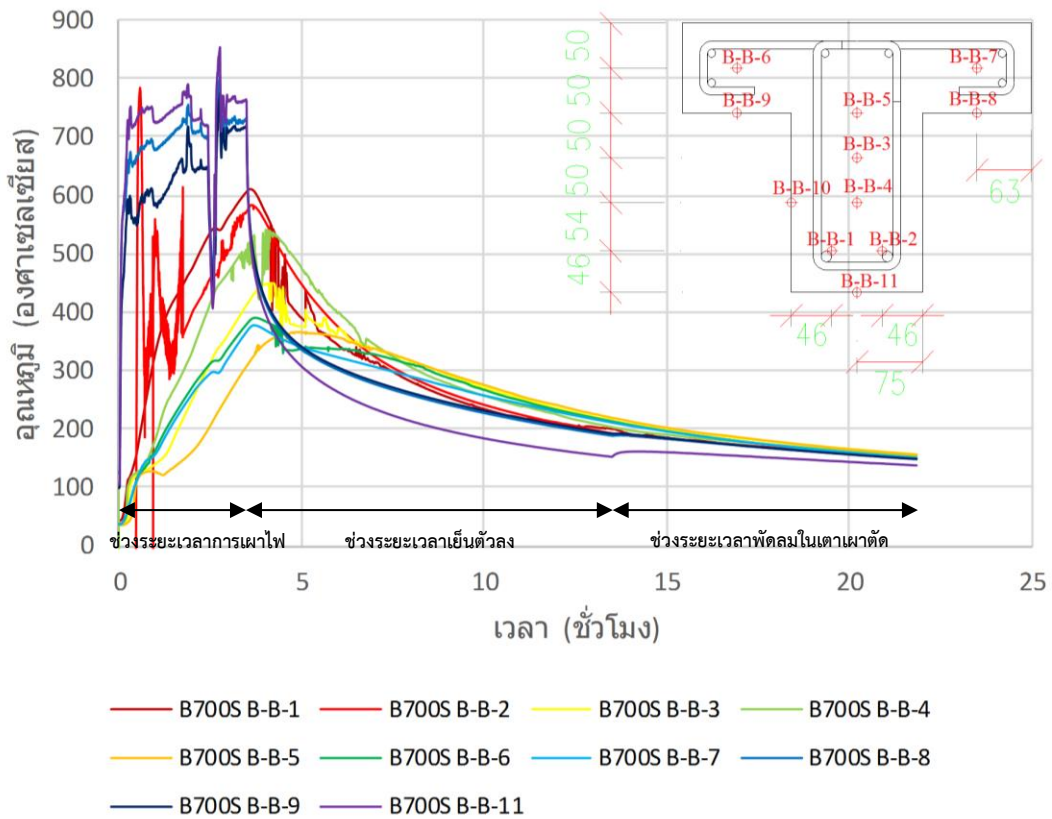
รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด C-C ของคาน B700

5.3.2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด หน้าตัด A-A B-B และ C-C ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัว T ที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานขณะเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส (B700S)

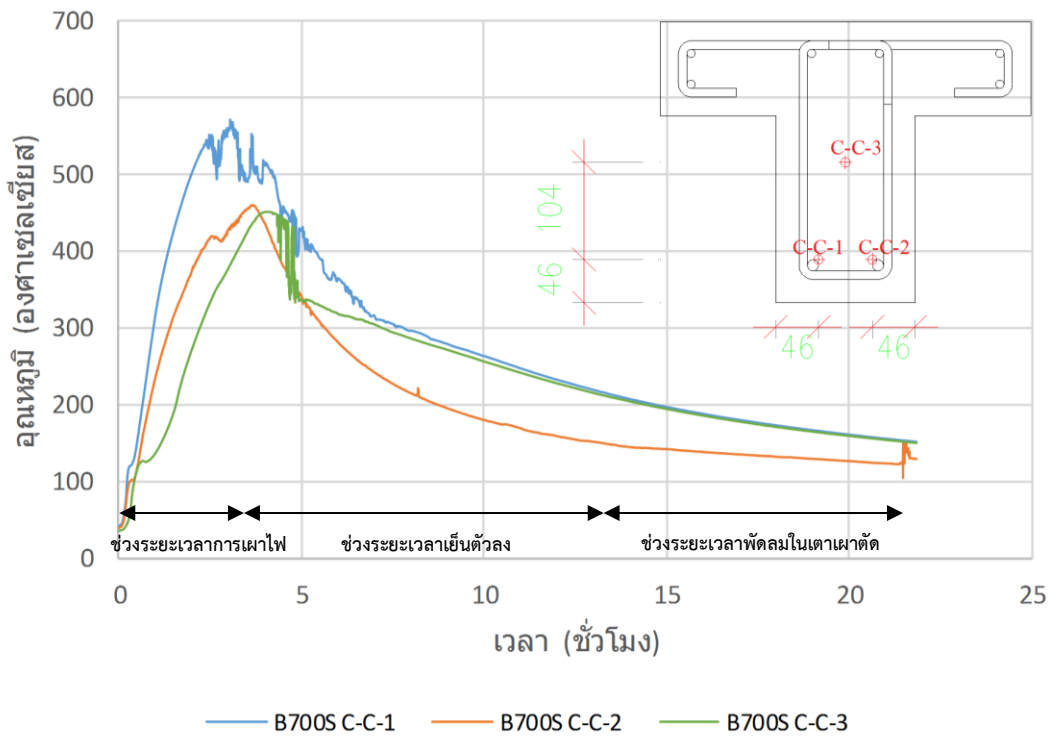
รูปที่ 5.17 5.18 และ 5.19 แสดงข้อมูลจากตัววัดอุณหภูมิในหน้าตัด A-A B-B และ C-C ของคาน B700S ขณะทำการทดสอบเผาไฟมีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิดังรูปที่ 4.12 4.13 และ 4.15 นำมาแสดงคู่กับเวลาที่ทำการเผา โดยมีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิที่เสียดังนี้ B-B10



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700S



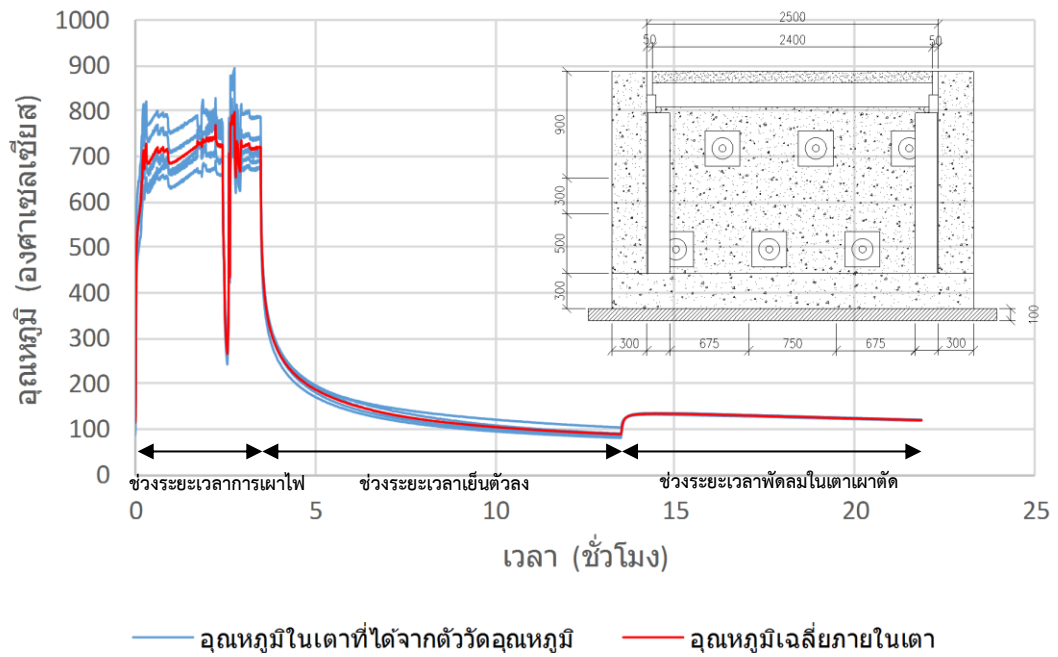
รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด B-B ของคาน B700S



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด C-C ของคาน B700S

### 5.3.2.3 อุณหภูมิของเตาเผาและค่าเฉลี่ยของการทดสอบเผาไฟครั้งที่ 1

รูปที่ 5.20 แสดงอุณหภูมิในเตาเผาและค่าเฉลี่ยของการทดสอบเผาไฟครั้งที่ 1 มีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิของเตาเผาดังรูปที่ 4.19 โดยนำมาแสดงคู่กับเวลาโดยทำการเก็บค่าในช่วงที่หยุดทำการเผาไฟด้วย



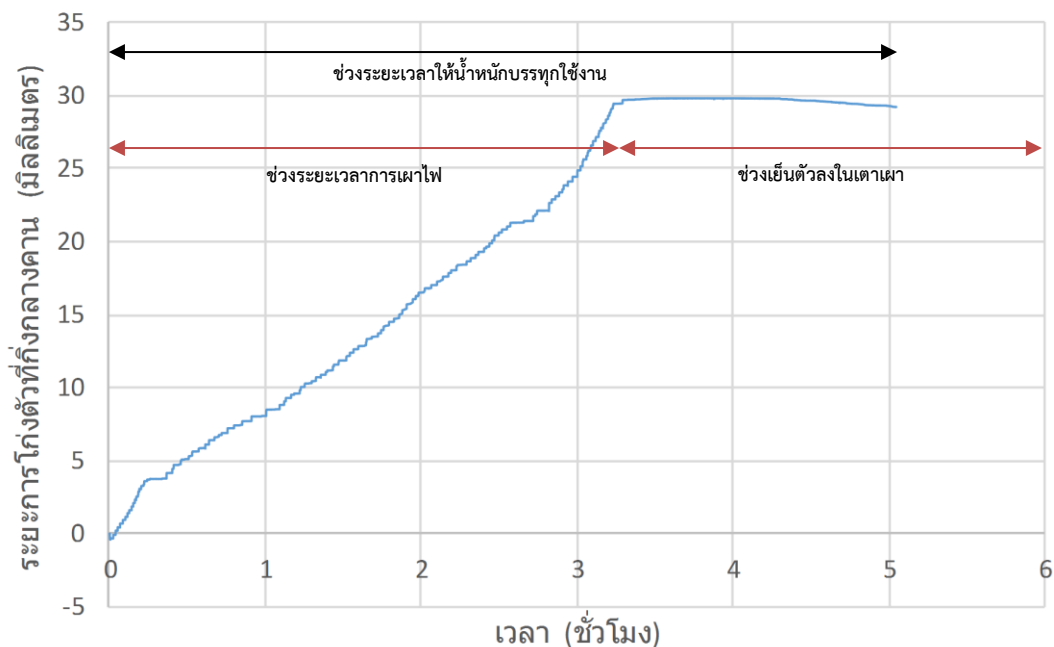
รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลา ของเตาเผาในการทดสอบครั้งที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

\*\*\* ในการเผาไฟครั้งที่ 1 มีการดับของไฟภายในเตาเผาจึงได้ทำการเผาไฟเพิ่ม ซึ่งอาจจะทำให้ผลกระทบจากการเผาไฟของคานในจุดนี้สูงกว่าที่ควรจะเป็น

5.3.2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวต่อเวลา ขณะทำการเผาไฟ ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส (B700S)

รูปที่ 5.21 แสดงการโก่งตัวที่กึ่งกลางของคาน B700S ขณะทำการทดสอบไฟโดยเป็นค่าการโก่งตัวสุทธิโดยทำการหักลบการทรุดตัวหรือการขยายตัวขณะเผาไฟของจตุรรองรับแล้ว โดยมีตำแหน่งการติดตั้งเพื่อวัดการโก่งตัวดังรูปที่ 4.24 ซึ่งคานจะถูกเผาไฟจนครบ 3 ชั่วโมง และรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานตั้งแต่เริ่มเผาจนครบ 5 ชั่วโมง โดยมีการให้น้ำหนักบรรทุกใช้งานก่อนการทดสอบประมาณครึ่งชั่วโมง



รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700S

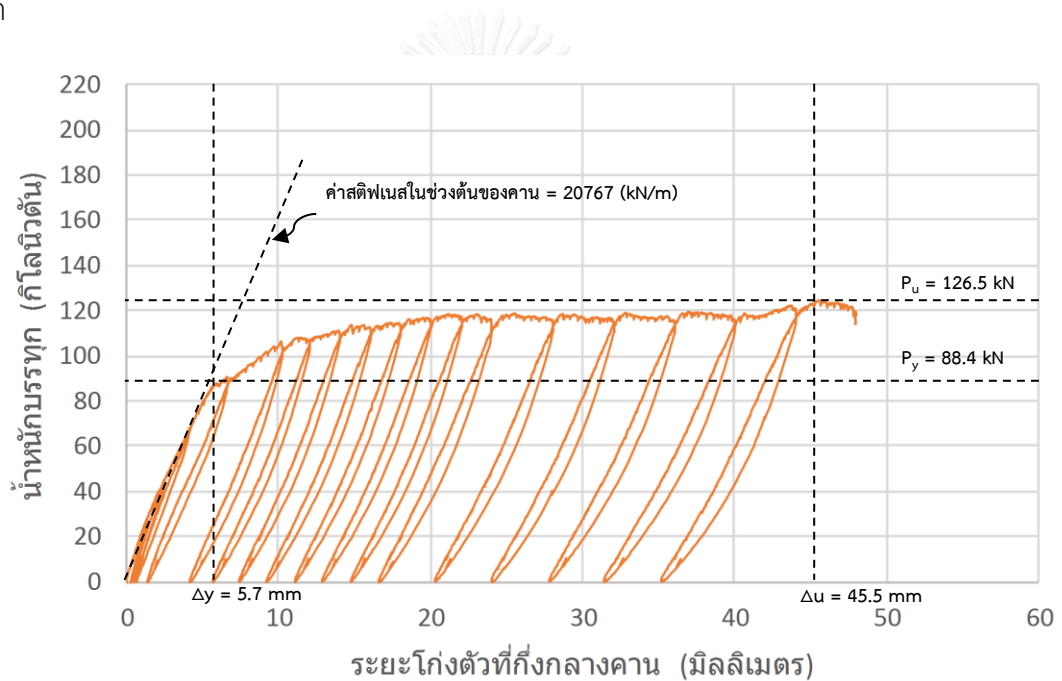
\*\*\* สำหรับคาน B700 ไม่ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการโก่งตัวเนื่องจากไม่มีเครื่องมือตรวจวัดพอขณะทำการทดสอบ

### 5.3.3 ผลการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดของคาน B700 และ B700S ภายหลังจากทดสอบเผาไฟครั้งที่ 1

คาน B700 และ B700S จะถูกทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดภายหลังจากทดสอบการเผาไฟครั้งที่ 1 โดยจากการทดสอบได้ผลการทดสอบดังนี้

#### 5.3.3.1 ผลการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีอุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส (B700)

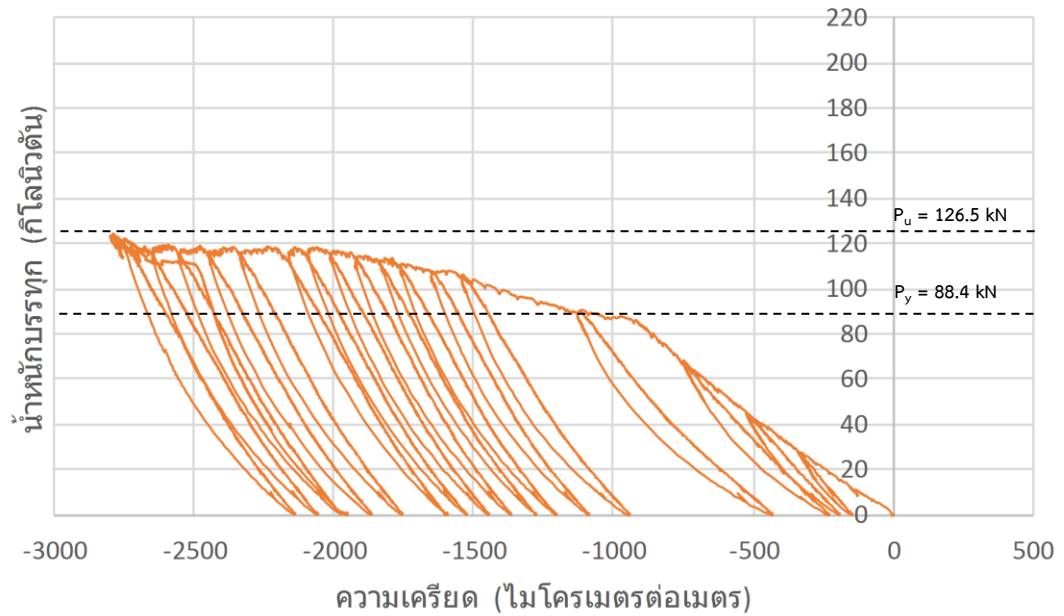
รูปที่ 5.22 แสดงข้อมูลที่ได้จาก LVDT ที่ทำการติดตั้งที่กึ่งกลางคานบริเวณด้านใต้ของเอวคานดังรูปที่ 4.38 โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด



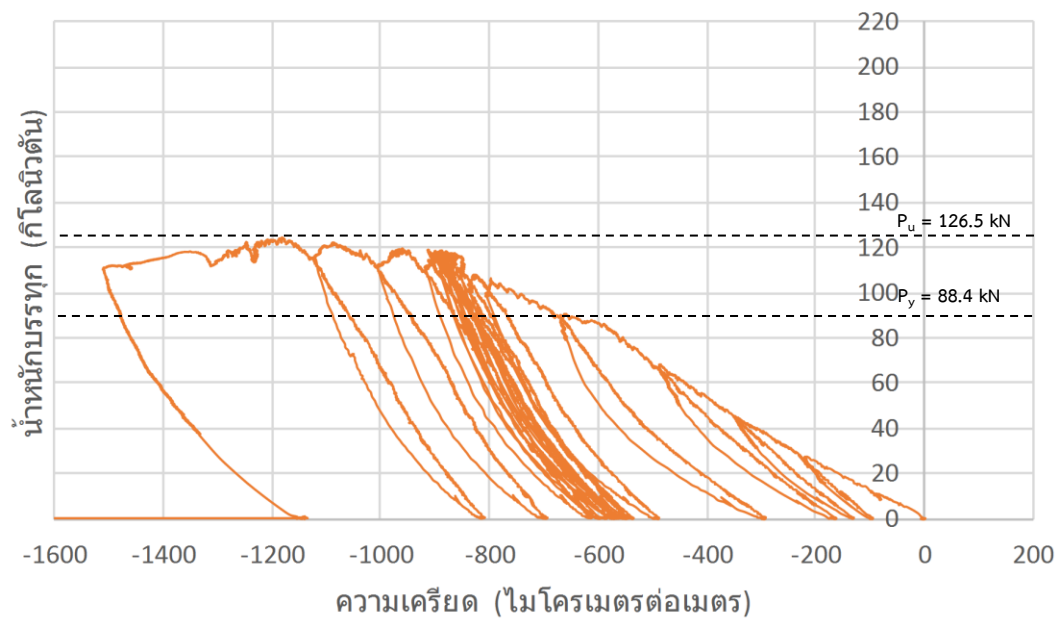
รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวของคาน B700 ที่กึ่งกลางคาน

รูปที่ 5.23 5.24 5.25 5.26 และ 5.27 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ติดตั้งบนผิวของคอนกรีตมีตำแหน่งและชื่อเรียกดังรูปที่ 4.38 และ 4.39 โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด

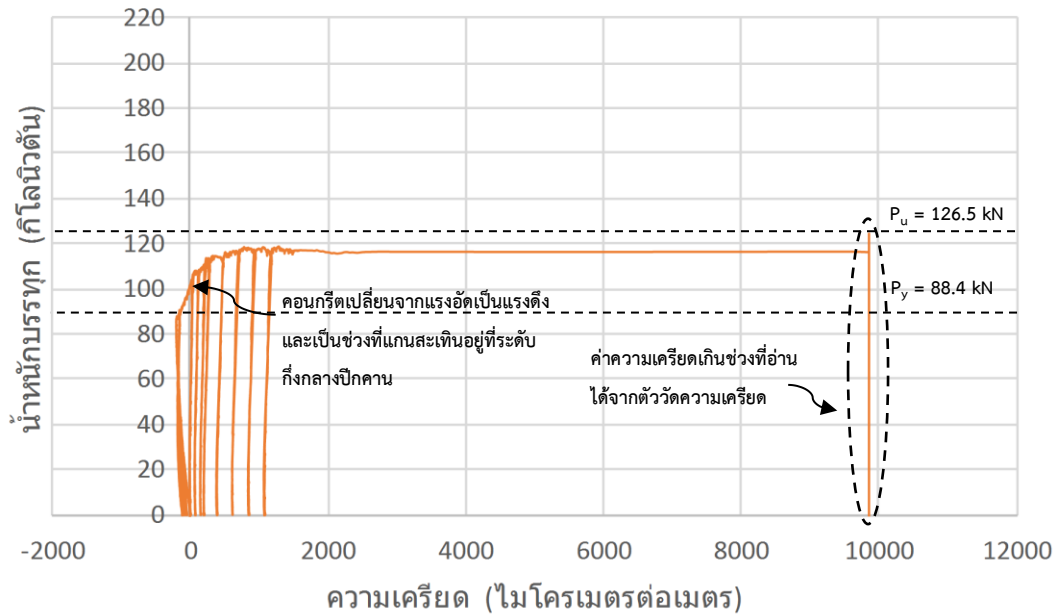




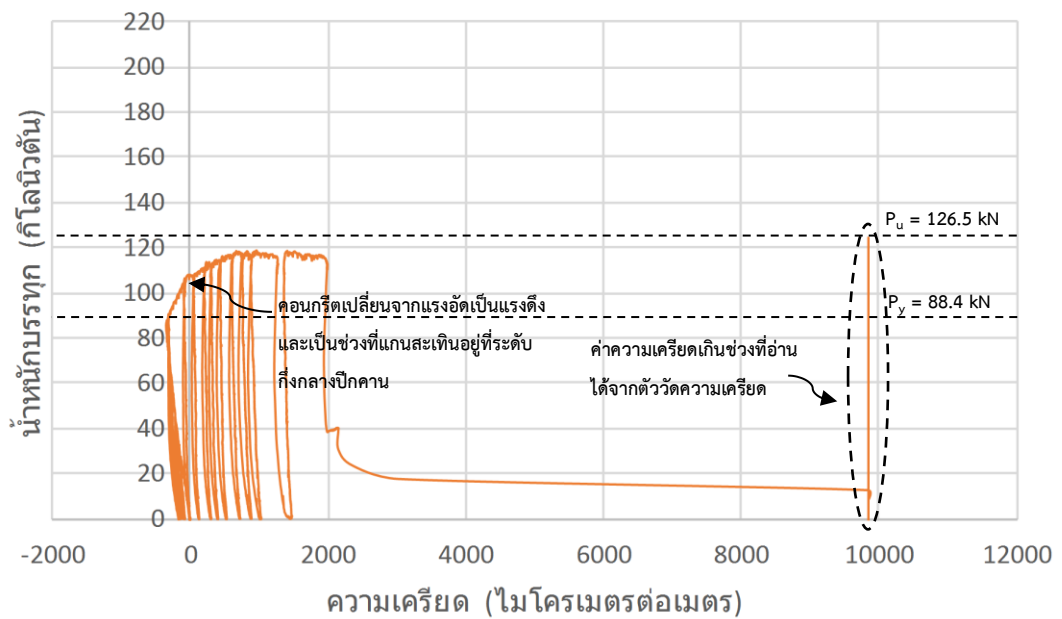
รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC1) ของ  
คาน B700



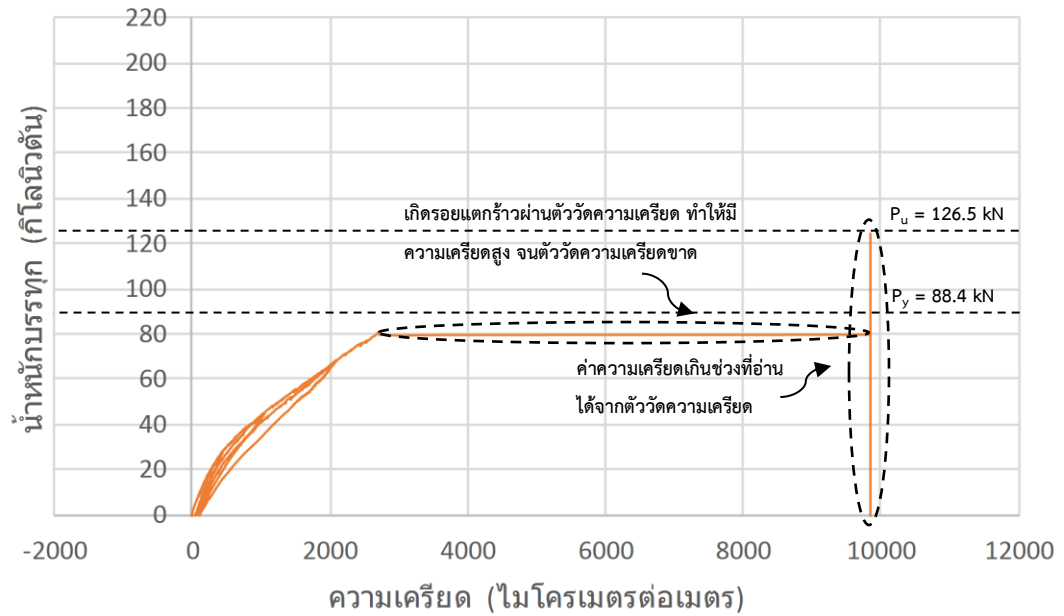
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC2) ของ  
คาน B700



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC3) ของคาน B700



รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC4) ของคาน B700

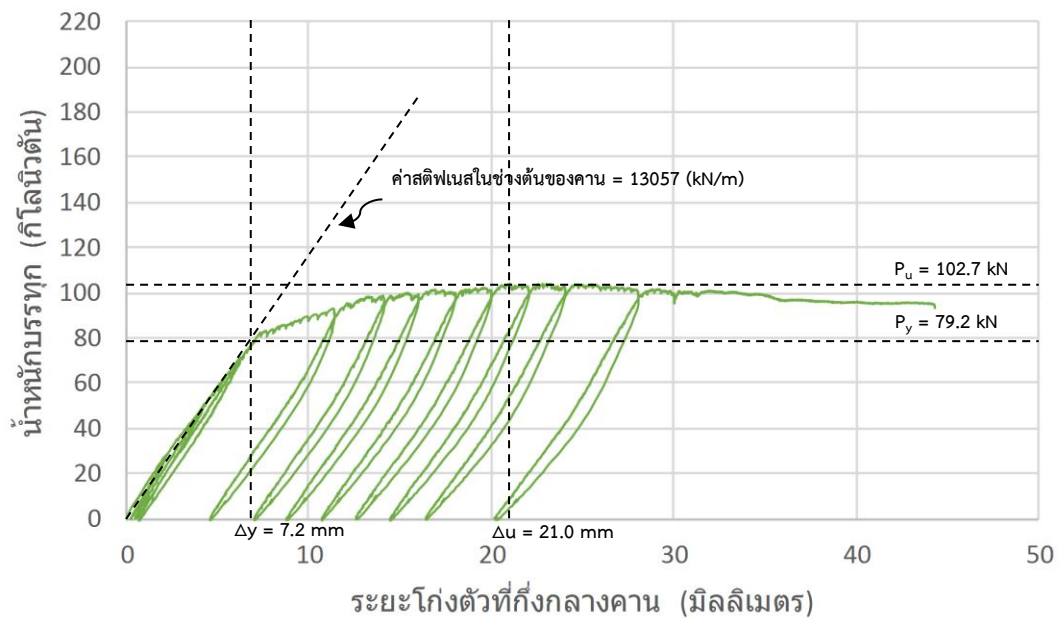


รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC5) ของคาน B700

\*\*\* ไม่มีการติดตั้งตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมเนื่องจากคานได้ทำการเผาไฟ

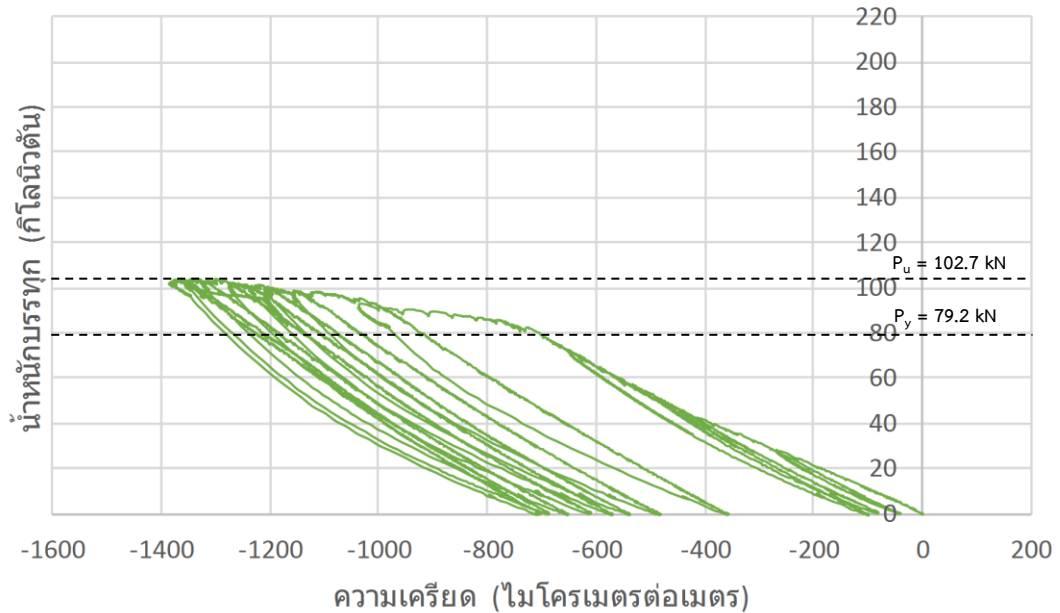
### 5.3.3.2 ผลการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดกึ่งกลางคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีอุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส และรับน้ำหนักบรรทุกที่ระดับการใช้งานขณะเผาไฟ (B700S)

รูปที่ 5.22 แสดงข้อมูลที่ได้จาก LVDT ที่ทำการติดตั้งที่กึ่งกลางคานบริเวณด้านใต้ของเอวคานดังรูปที่ 4.38 โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุด

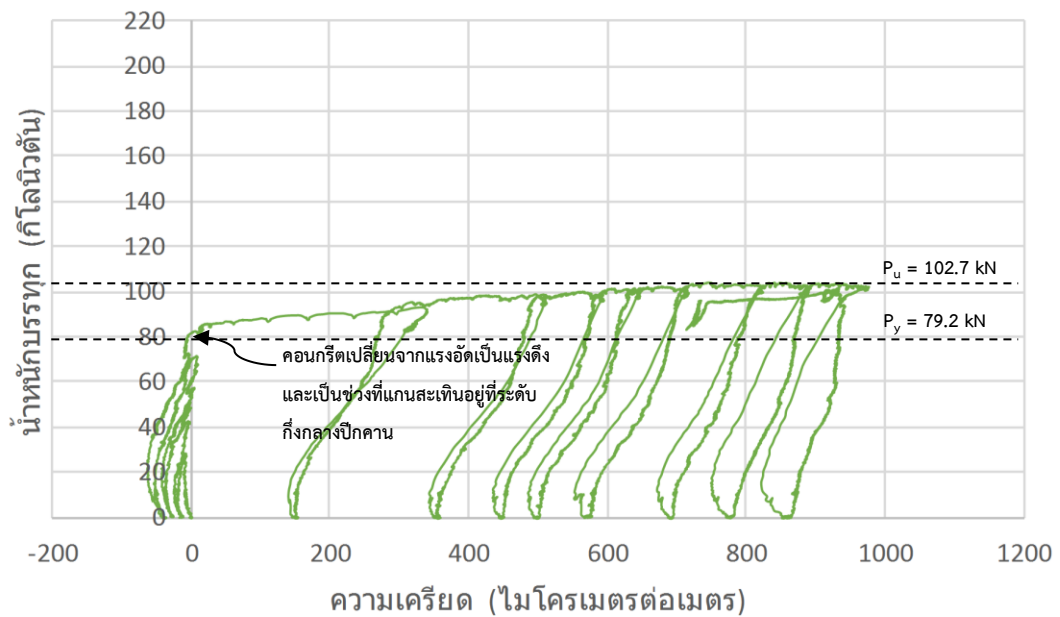


รูปที่ 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวของคาน B700S ที่กึ่งกลางคาน

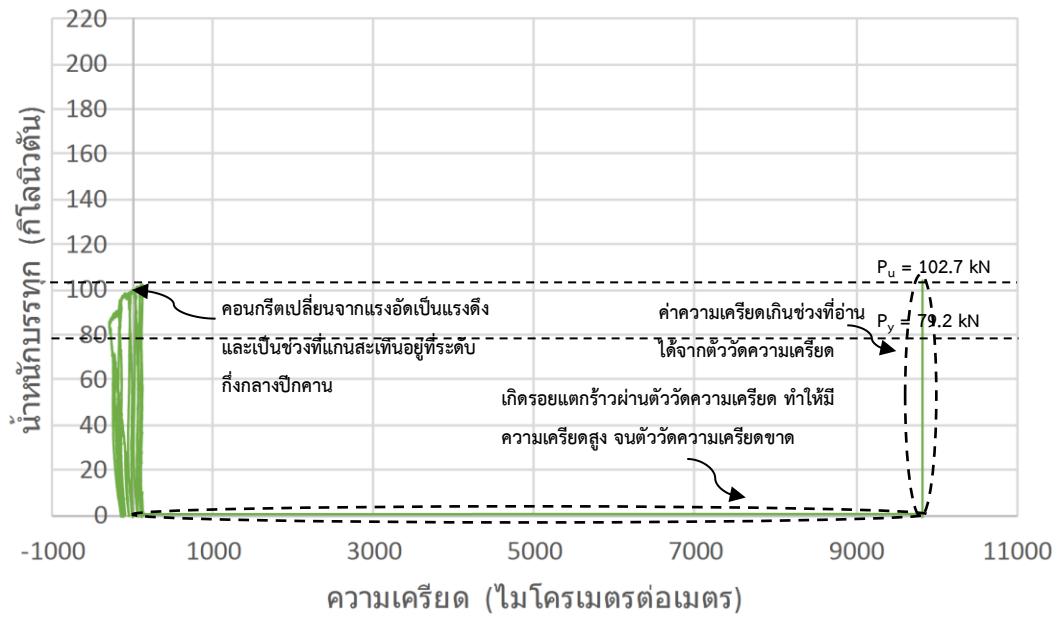
รูปที่ 5.29 5.30 และ 5.31 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ติดตั้งบนผิวของคอนกรีต มีตำแหน่งและชื่อเรียกดังรูปที่ 4.39 และ 4.40 โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำลึจุด



รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC1) ของคาน B700S



รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC2) ของคาน B700S



รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC3) ของคาน (B700S)

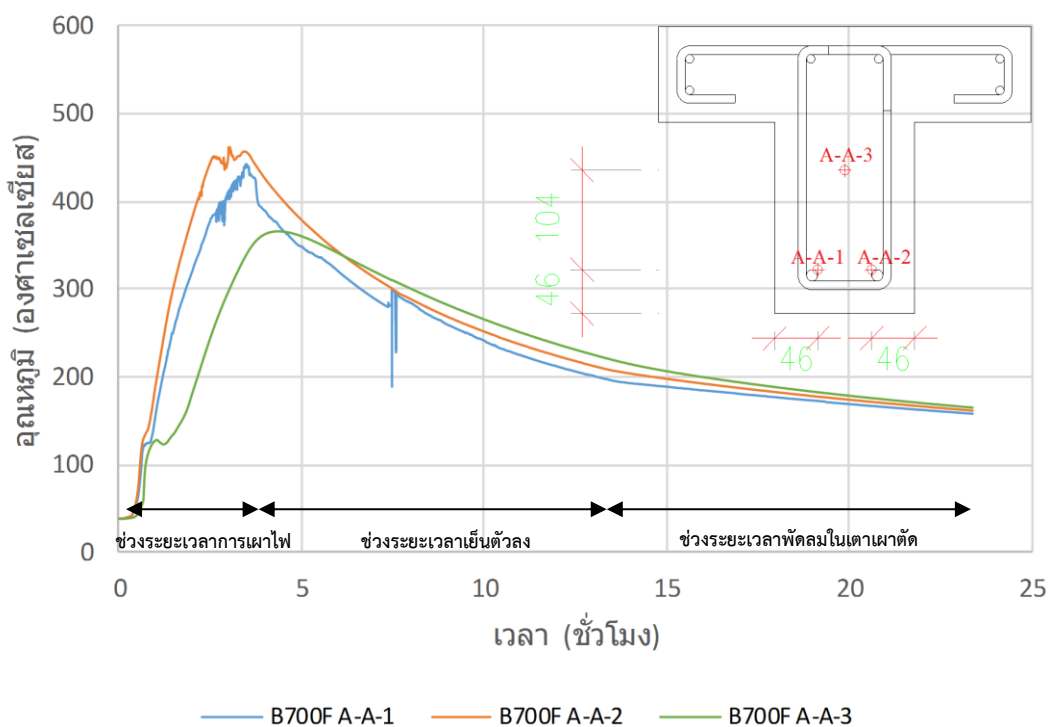
\*\*\* ไม่มีการติดตั้งตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมเนื่องจากคานได้ทำการเผาไฟ

### 5.3.4 ผลการทดสอบการเผาไฟครั้งที่ 2 (คาน B700F และ B700FS)

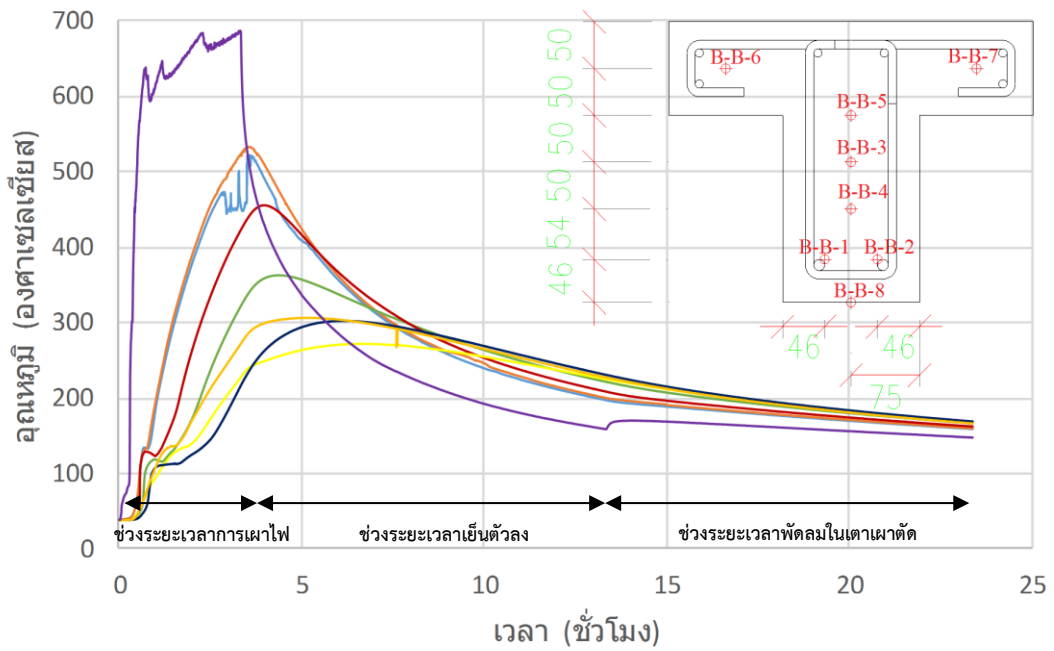
คาน B700F และคาน B700FS จะทำการทดสอบเผาไฟ โดยจะให้อุณหภูมิในเตาเพิ่มขึ้นตามกราฟไฟมาตรฐาน ISO 834 จนกระทั่งที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จนครบระยะเวลา 3 ชั่วโมง และเย็นตัวลงตามปกติในเตาเผาและขณะทำการเผาคาน B700FS ทำการรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานไปด้วย โดยจากการทดสอบการเผาไฟครั้งที่ 2 ได้ผลการทดสอบดังนี้

5.3.4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A B-B และ C-C ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียสและซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700F)

รูปที่ 5.32 5.33 และ 5.34 แสดงข้อมูลจากตัววัดอุณหภูมิในหน้าตัด A-A B-B และ C-C ของคาน B700F ขณะทำการทดสอบเผาไฟมีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิดังรูปที่ 4.12 4.14 และ 4.15 นำมาแสดงคู่กับเวลาที่ทำการเผา โดยมีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิที่เสียคือ C-C-1

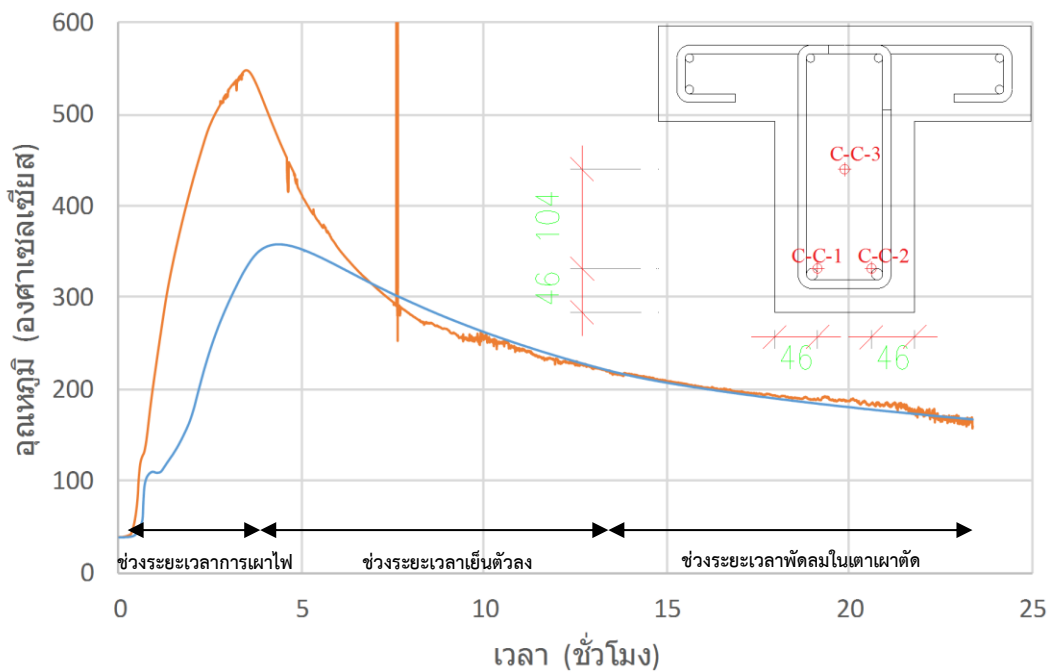


รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700F



- B700F B-B-1
- B700F B-B-2
- B700F B-B-3
- B700F B-B-4
- B700F B-B-5
- B700F B-B-6
- B700F B-B-7
- B700F B-B-8

รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด B-B B700F



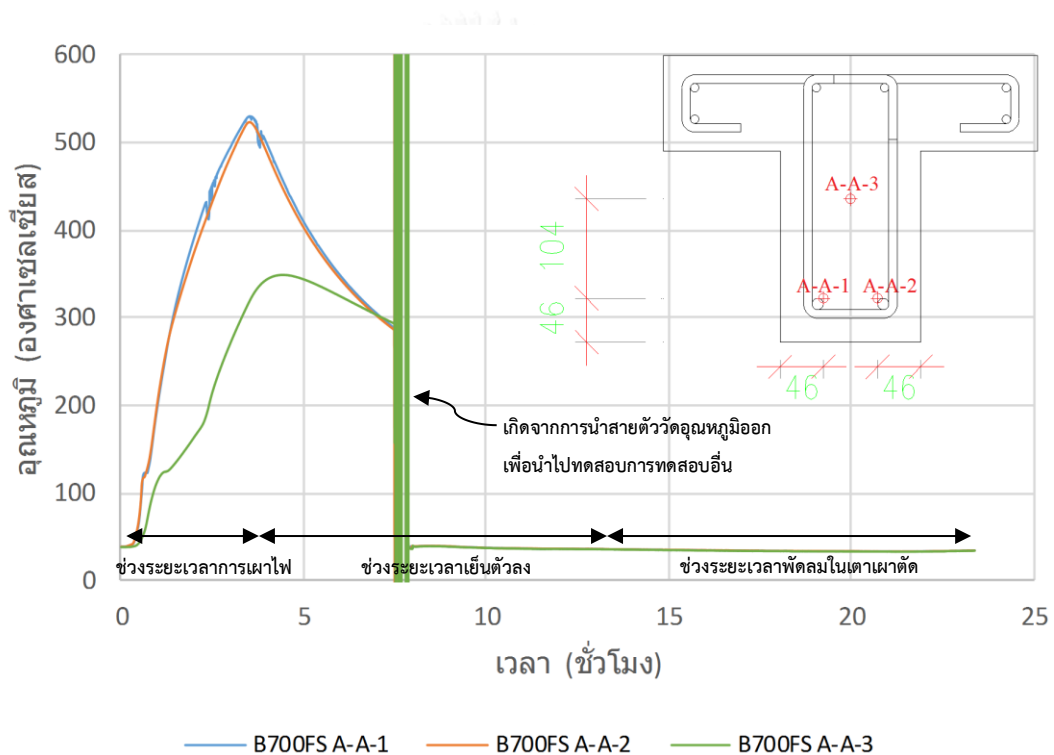
- B700F C-C-2
- B700F C-C-3

รูปที่ 5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด C-C ของคาน B700F

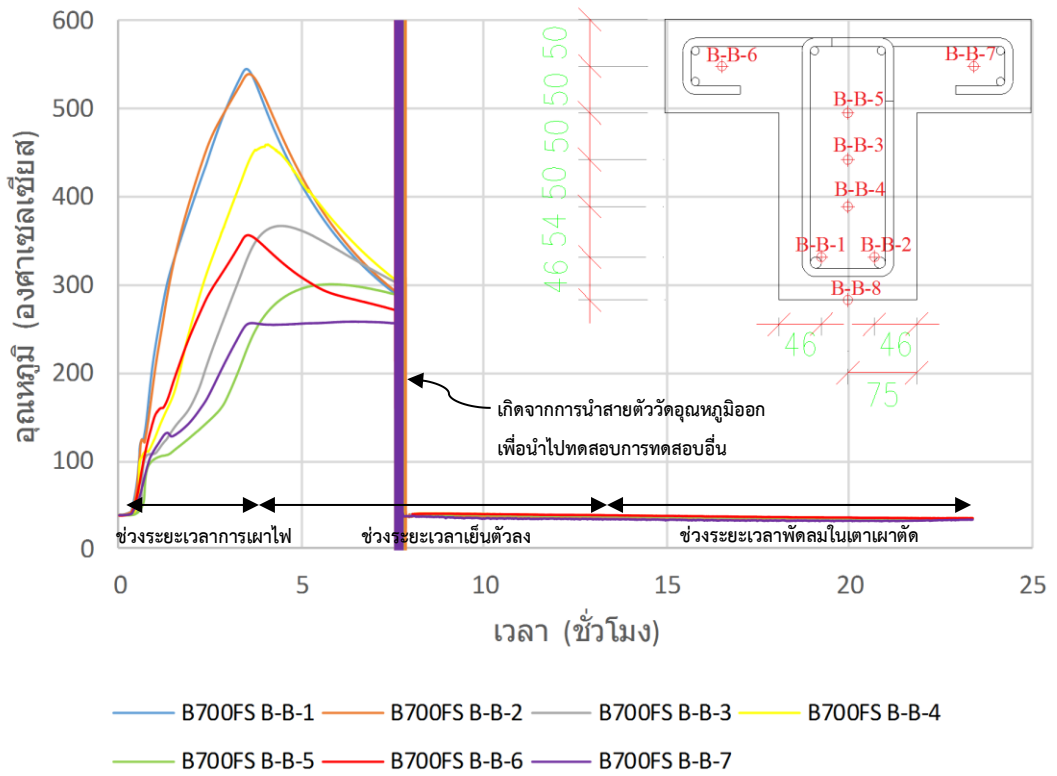


5.3.4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด หน้าตัด A-A B-B และ C-C ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานขณะเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส และซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700FS)

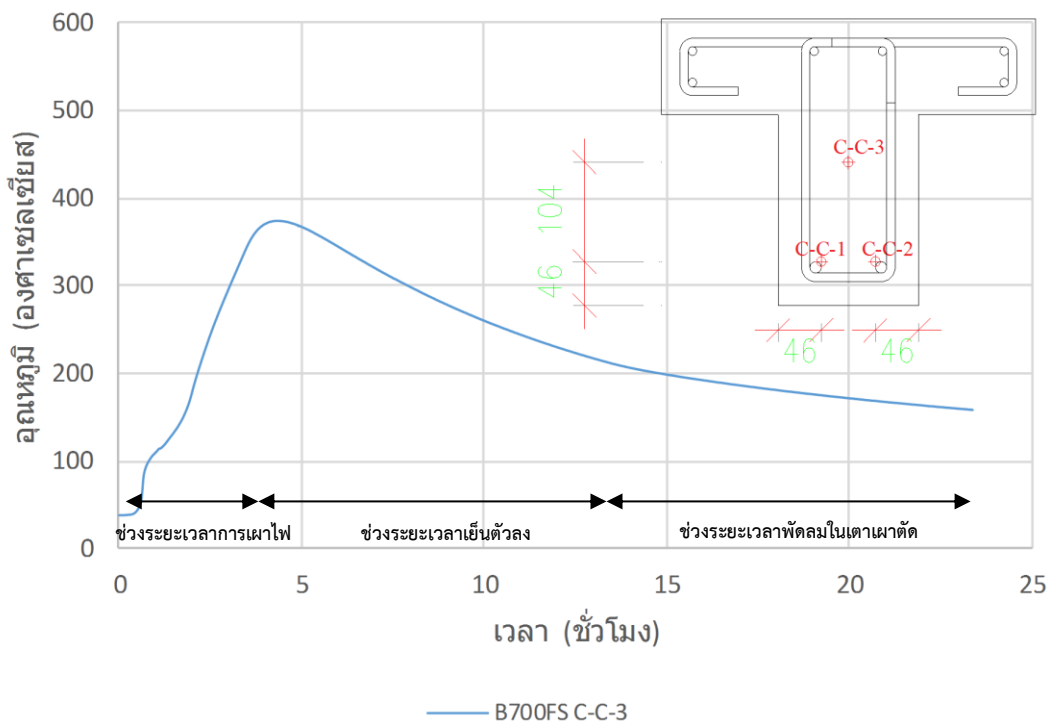
จากรูปที่ 5.35 5.36 และ 5.37 แสดงข้อมูลจากตัววัดอุณหภูมิในหน้าตัด A-A B-B และ C-C ของคาน B700FS ขณะทำการทดสอบเผาไฟมีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิดังรูปที่ 4.12 4.14 และ 4.15 นำมาแสดงคู่กับเวลาที่ทำการเผา โดยมีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิที่เสียดังนี้ B-B-8 C-C-1 และ C-C-2 และในช่วงเวลาประมาณ 7 ชั่วโมงมีการนำสายที่ต่อกับตัววัดอุณหภูมิออกไป 10 ตัวเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบอื่น ในช่วงนี้เป็นช่วงลดลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาซึ่งไม่ค่อยส่งผลการทดสอบการทดสอบมาก



รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700FS



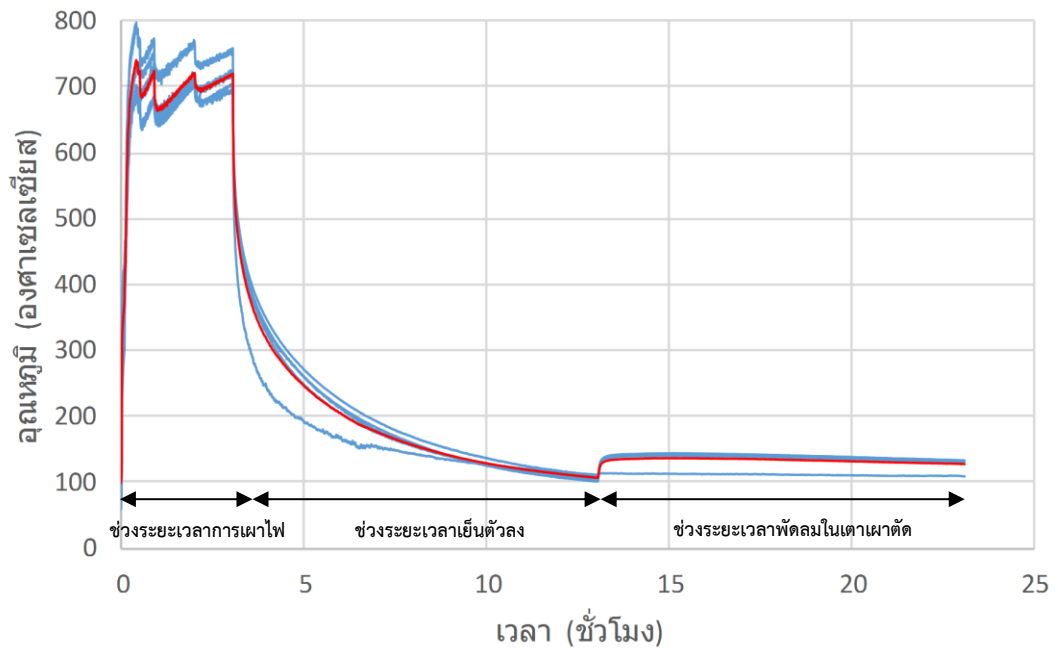
รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด A-A ของคาน B700FS



รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาที่หน้าตัด C-C ของคาน B700FS

### 5.3.4.3 อุณหภูมิของเตาเผาและค่าเฉลี่ยของการทดสอบเผาไฟครั้งที่ 2

รูปที่ 5.38 แสดงอุณหภูมิในเตาเผาและค่าเฉลี่ยของการทดสอบเผาไฟครั้งที่ 2 มีตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิของเตาเผาดังรูปที่ 4.19 โดยนำมาแสดงคู่กับเวลาโดยทำการเก็บค่าในช่วงที่หยุดทำการเผาไฟด้วย



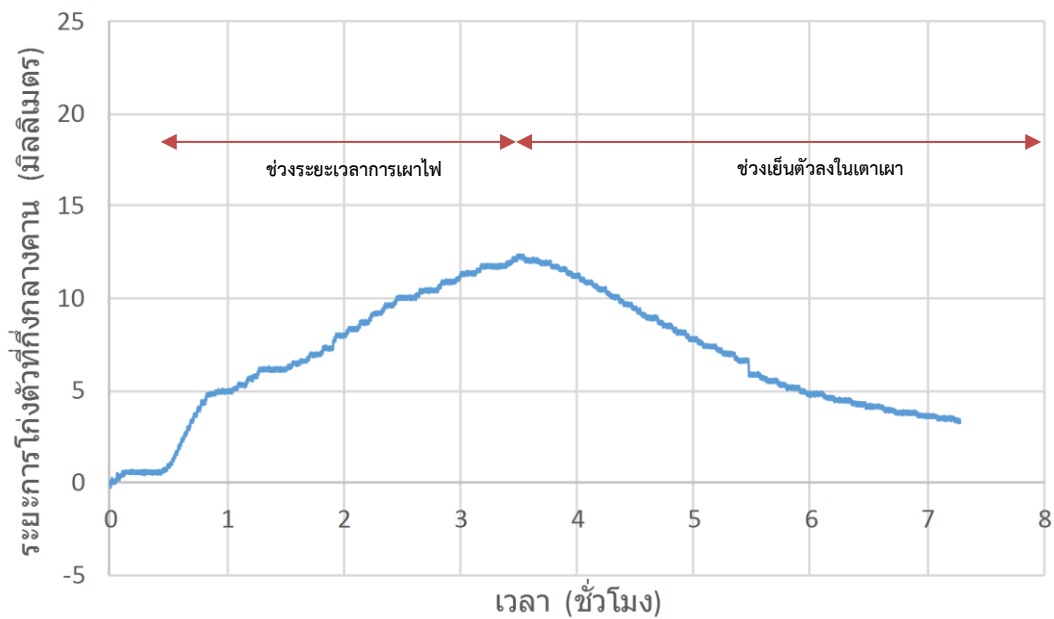
รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลา ของเตาเผาในการทดสอบครั้งที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

\*\*\* ในการเผาไฟครั้งที่ 2 ไฟภายในเตาเผาค่อนข้างมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับการให้ไฟที่ทำการออกแบบไว้

5.3.4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวต่อเวลา ขณะเผาไฟในเตาเผา ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส และภายหลังทำการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700F)

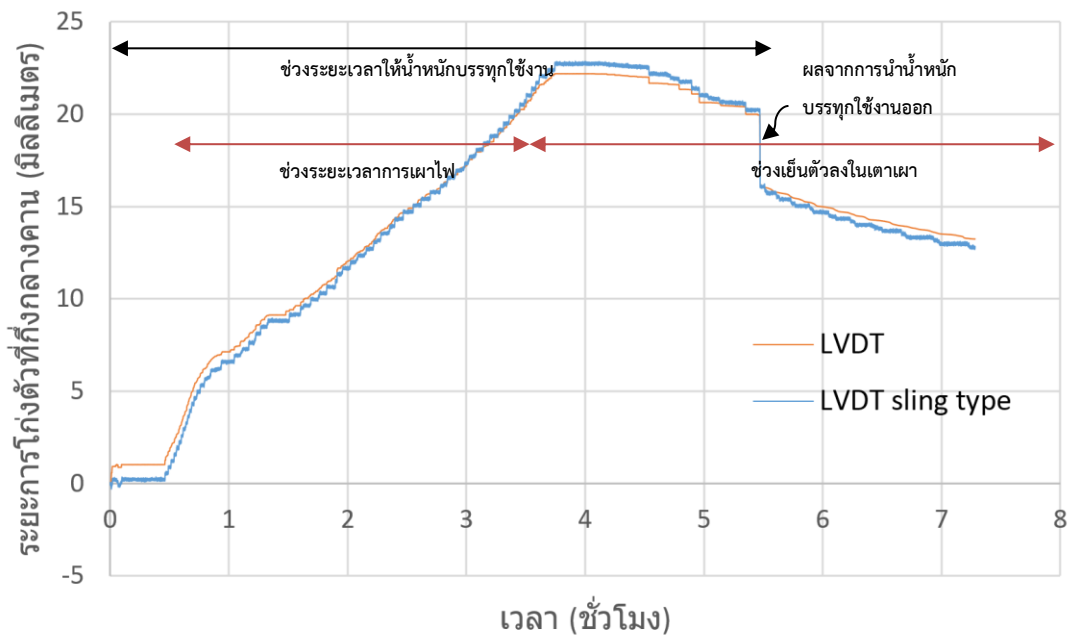
รูปที่ 5.39 แสดงการโก่งตัวที่กึ่งกลางของคาน B700F ขณะทำการทดสอบไฟโดยเป็นค่าการโก่งตัวจาก LVDT type sling โดยมีตำแหน่งการติดตั้งเพื่อวัดการโก่งตัวดังรูปที่ 4.26 ซึ่งคานจะถูกเผาไฟจนครบ 3 ชั่วโมง และเย็นตัวลงในเตาเผา



รูปที่ 5.39 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700F

5.3.4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวต่อเวลา ขณะเผาไฟในเตาเผา ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานขณะเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส และภายหลังทำการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700FS)

รูปที่ 5.40 แสดงการโก่งตัวที่กึ่งกลางของคาน B700S จาก LVDT และ LVDT type sling ขณะทำการทดสอบไฟโดยเป็นค่าการโก่งตัวสุทธิโดยทำการหักลบการทรุดตัวหรือการขยายตัวขณะเผาไฟของจุดรองรับแล้ว โดยมีตำแหน่งการติดตั้งเพื่อวัดการโก่งตัวดังรูปที่ 4.27 ซึ่งคานจะถูกเผาไฟจนครบ 3 ชั่วโมง และรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานตั้งแต่เริ่มเผาจนครบ 5 ชั่วโมง โดยมีการให้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานก่อนการทดสอบประมาณครึ่งชั่วโมง



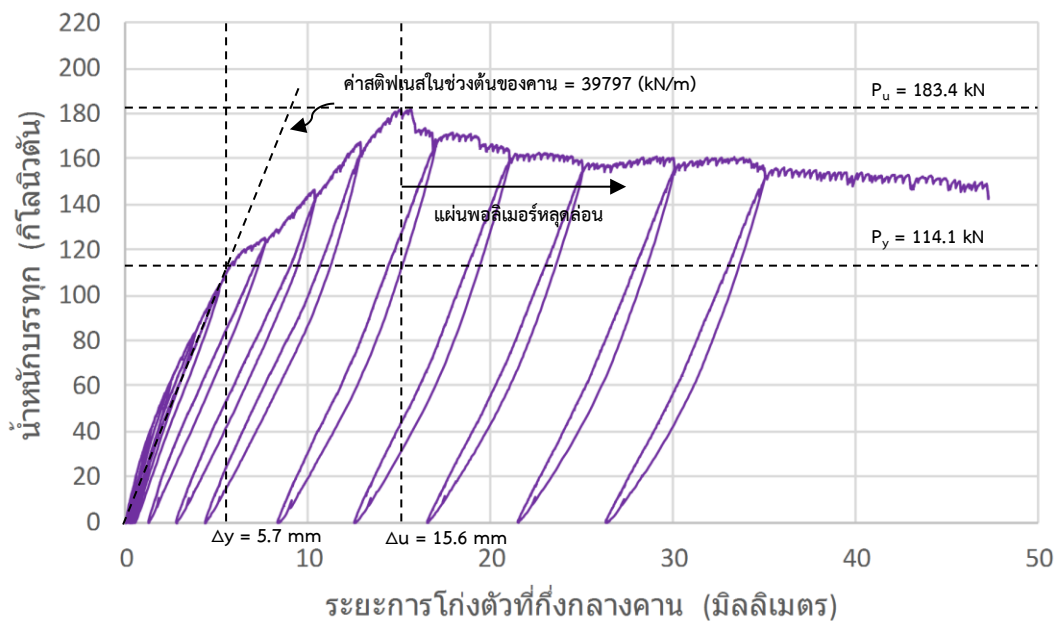
รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700FS

5.3.5 ผลการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดของคานที่ทดสอบเผาไฟครั้งที่ 2 ภายหลังจากซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน B700F และ B700FS

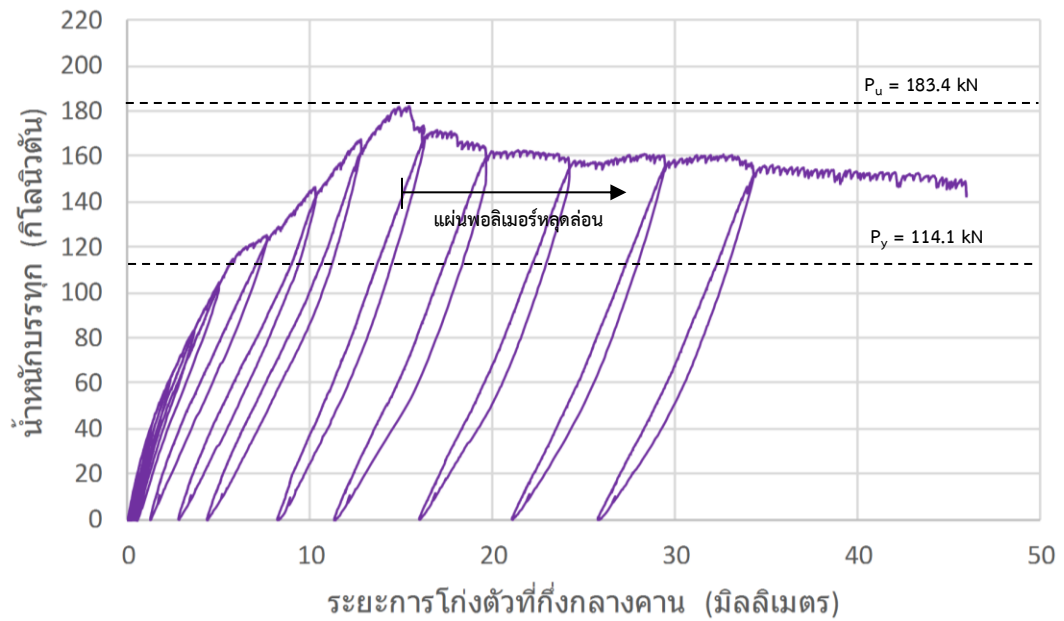
คาน B700F และ B700FS จะถูกทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดภายหลังจากทดสอบการเผาไฟครั้งที่ 2 และซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน โดยจากการทดสอบได้ผลการทดสอบดังนี้

5.3.5.1 ผลการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีอุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส และทำการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700F)

รูปที่ 5.41 และ 5.42 แสดงข้อมูลที่ได้จาก LVDT ที่ทำการติดตั้งที่กึ่งกลางคานบริเวณด้านใต้ของเอวคานดังรูปที่ 4.41 ที่แผ่นพอลิเมอร์และคอนกรีตตามลำดับ โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด

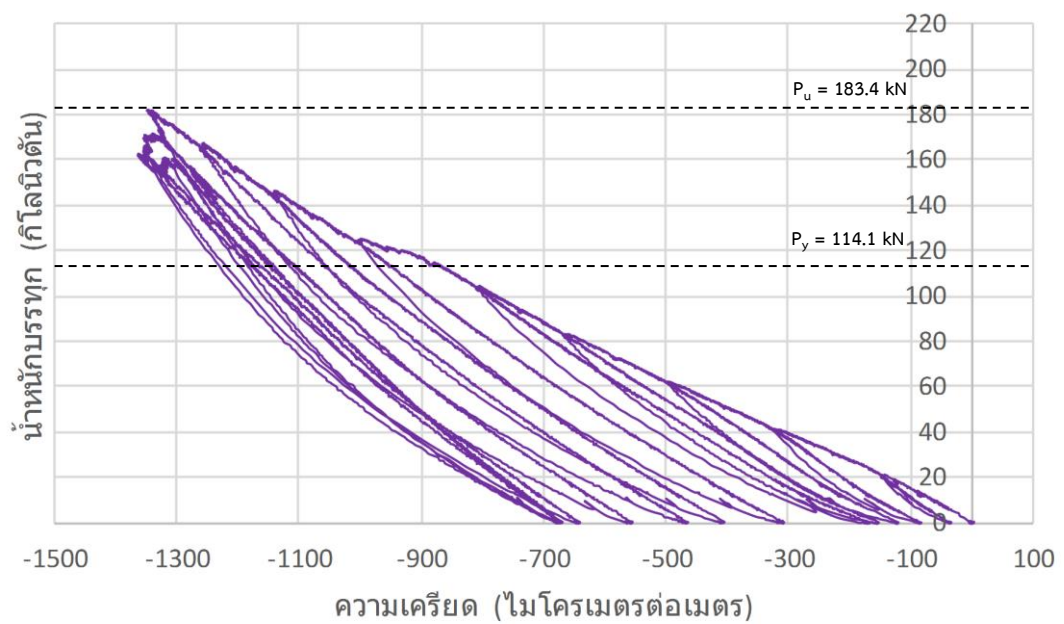


รูปที่ 5.41 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวของคาน B700F ที่กึ่งกลางคาน ณ ตำแหน่งพอลิเมอร์

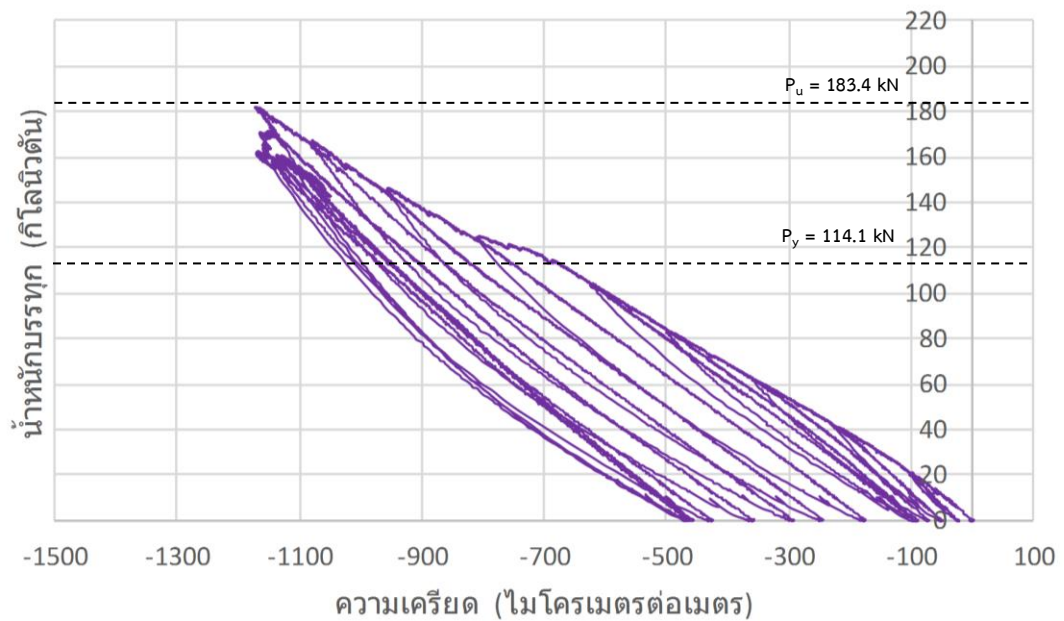


รูปที่ 5.42 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวของคาน B700F ที่กึ่งกลางคาน ณ ตำแหน่งคอนกรีต

รูปที่ 5.43 และ 5.44 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ติดตั้งบนผิวของคอนกรีตมีตำแหน่งดังรูปที่ 4.43 โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสถิต

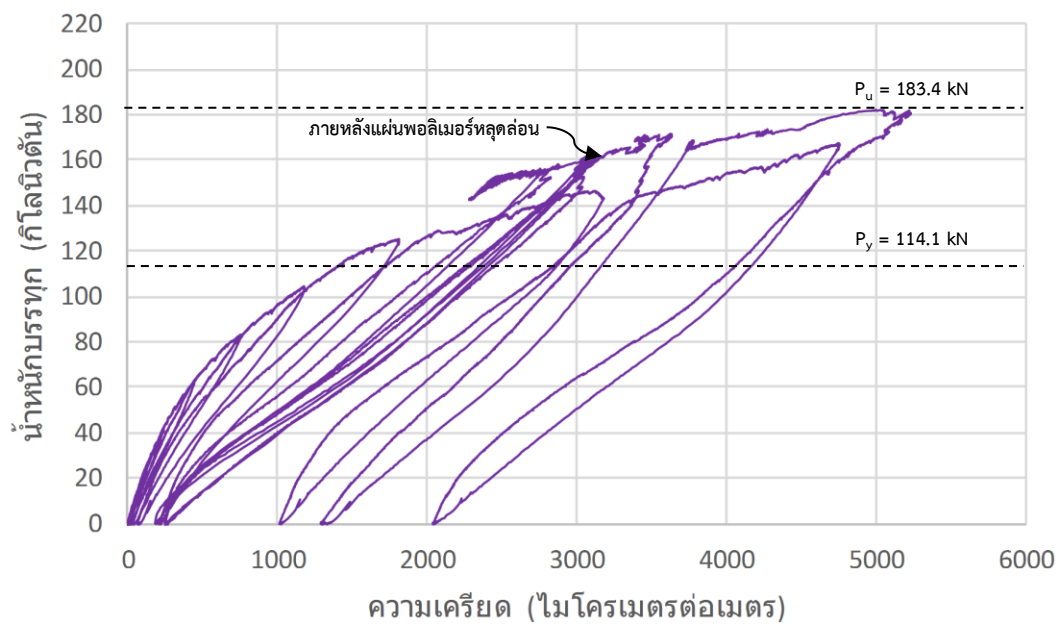


รูปที่ 5.43 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC1) ของคาน B700F



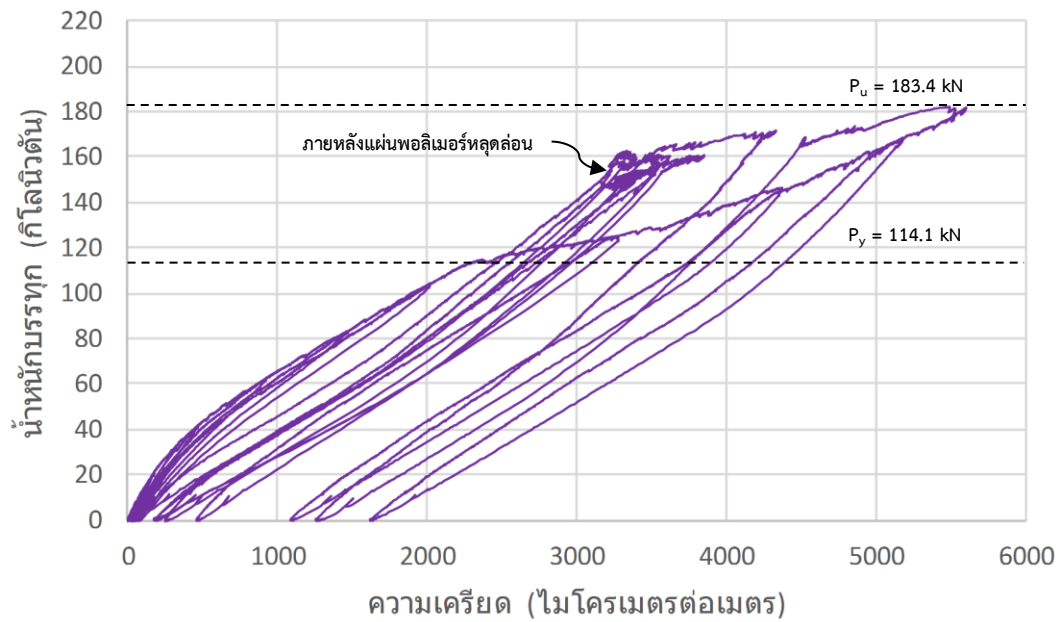
รูปที่ 5.44 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC2) ของคาน B700F

จากรูปที่ 5.45 5.46 5.47 5.48 5.49 5.50 5.51 และ 5.52 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ติดตั้งบนแผ่นพอลิเมอร์มีตำแหน่งและชื่อเรียกดังรูปที่ 4.42 โดยเรียงจากขวาไปซ้ายตามลำดับ นำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด

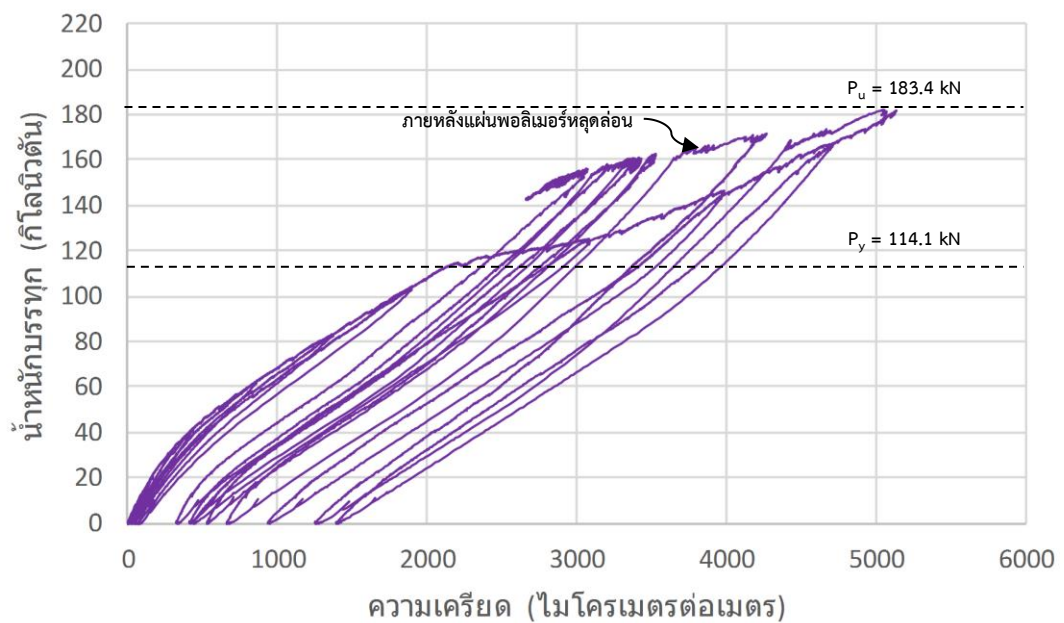


รูปที่ 5.45 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG1) ของคาน B700F

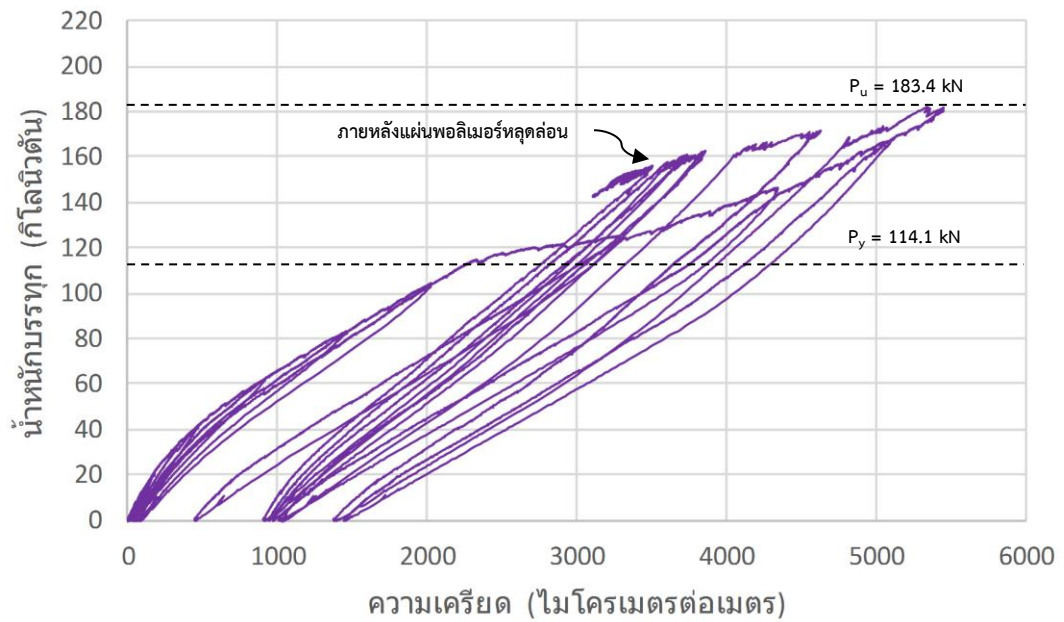




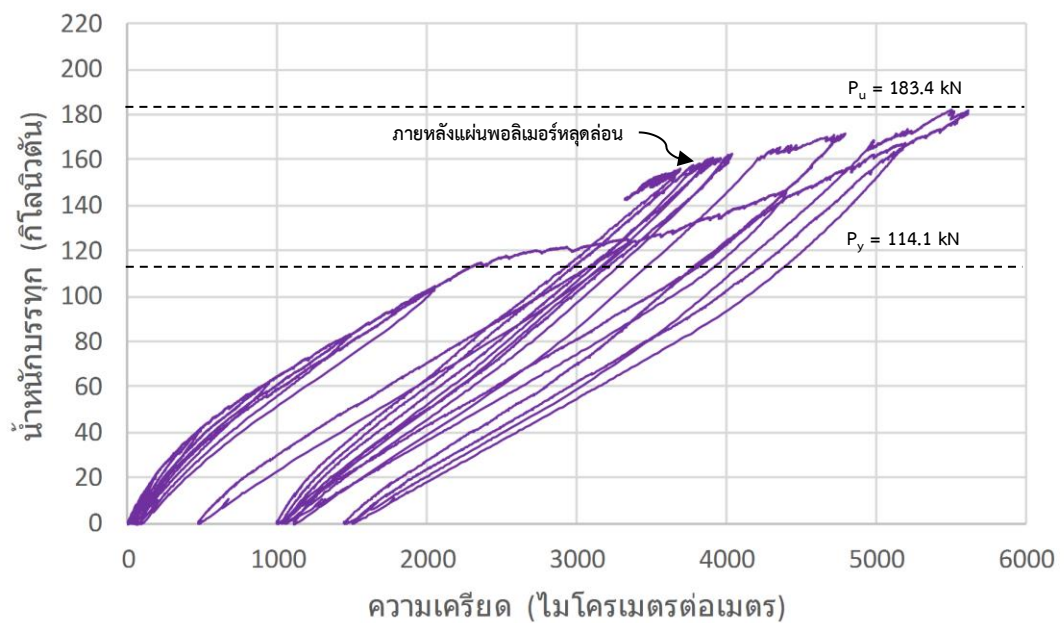
รูปที่ 5.46 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG2) ของคาน B700F



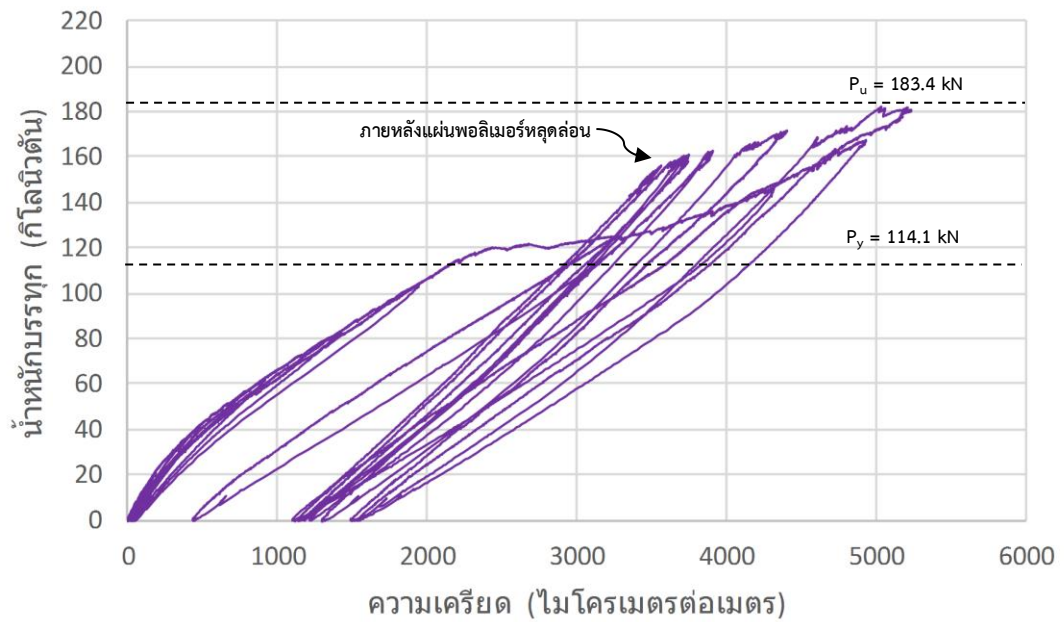
รูปที่ 5.47 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG3) ของคาน B700F



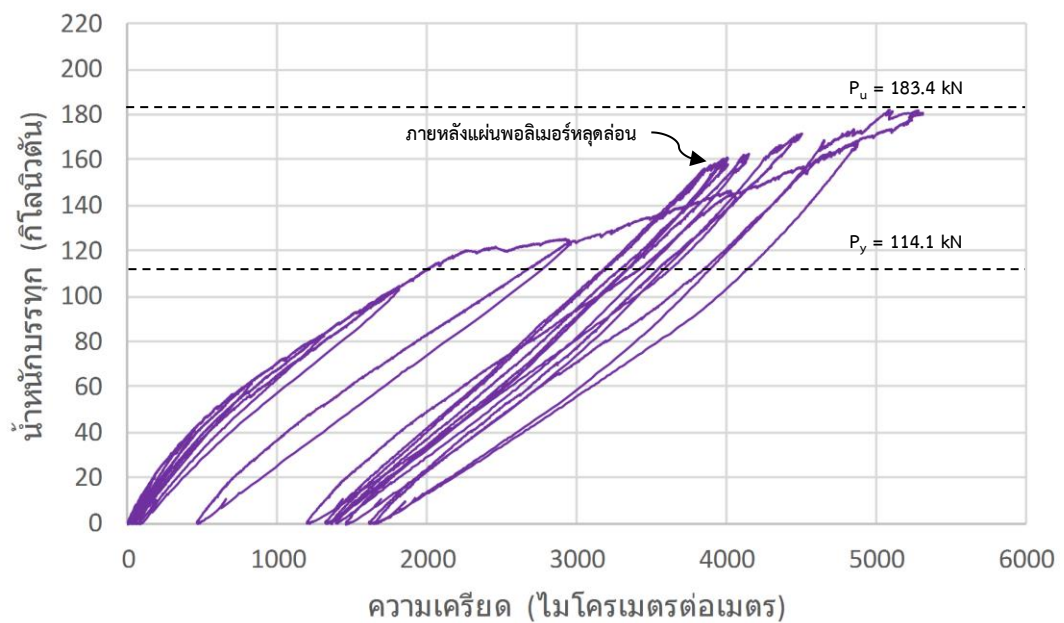
รูปที่ 5.48 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG4) ของคาน B700F



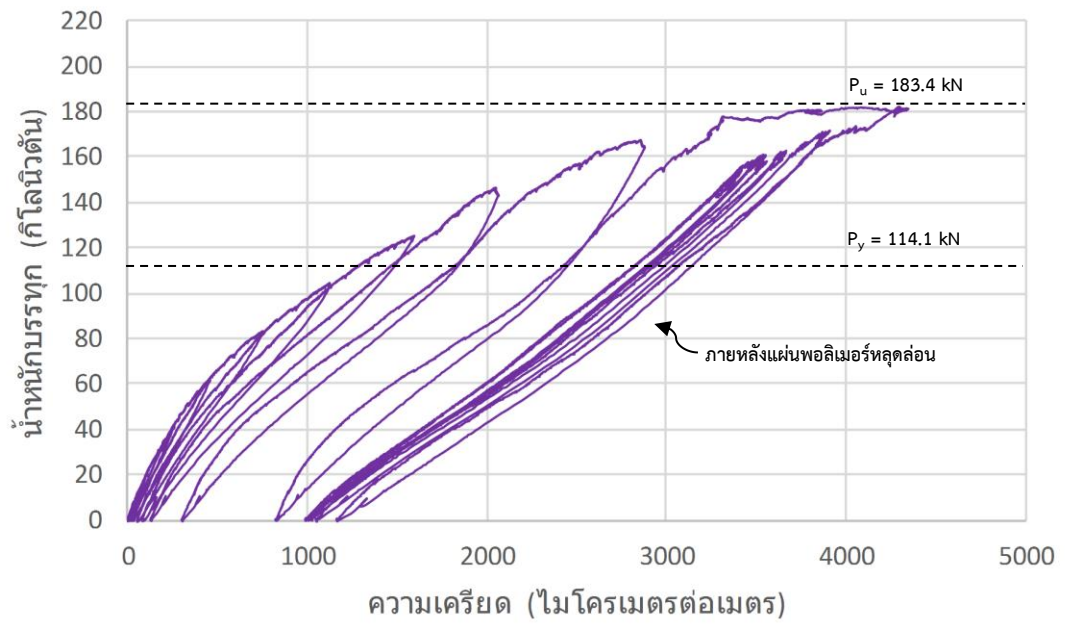
รูปที่ 5.49 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG5) ของคาน B700F



รูปที่ 5.50 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG6) ของคาน B700F



รูปที่ 5.51 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG7) ของคาน B700F

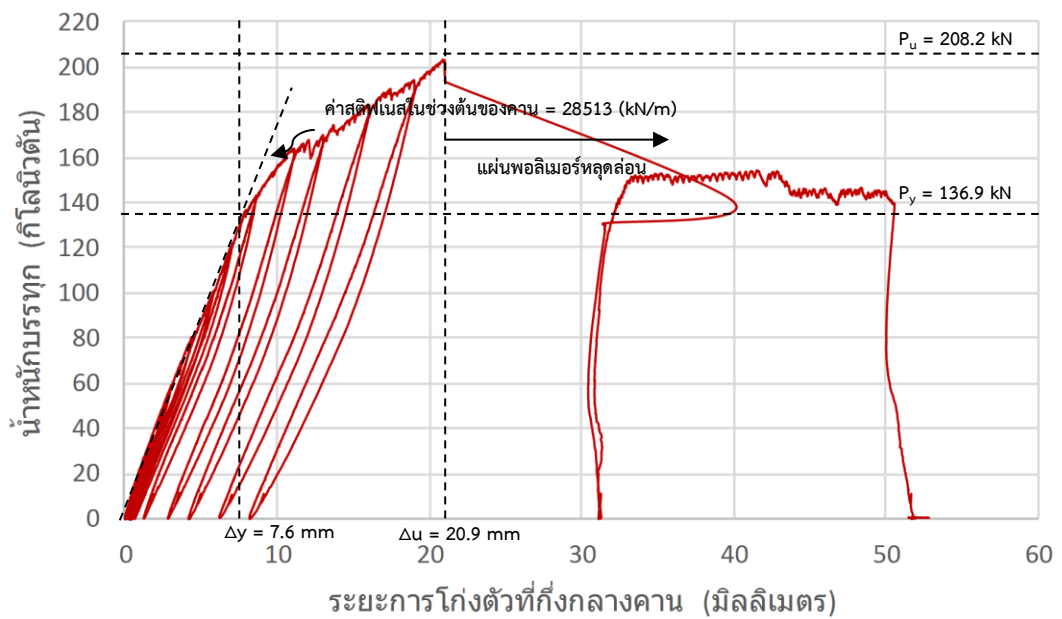


รูปที่ 5.52 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG8) ของคาน B700F



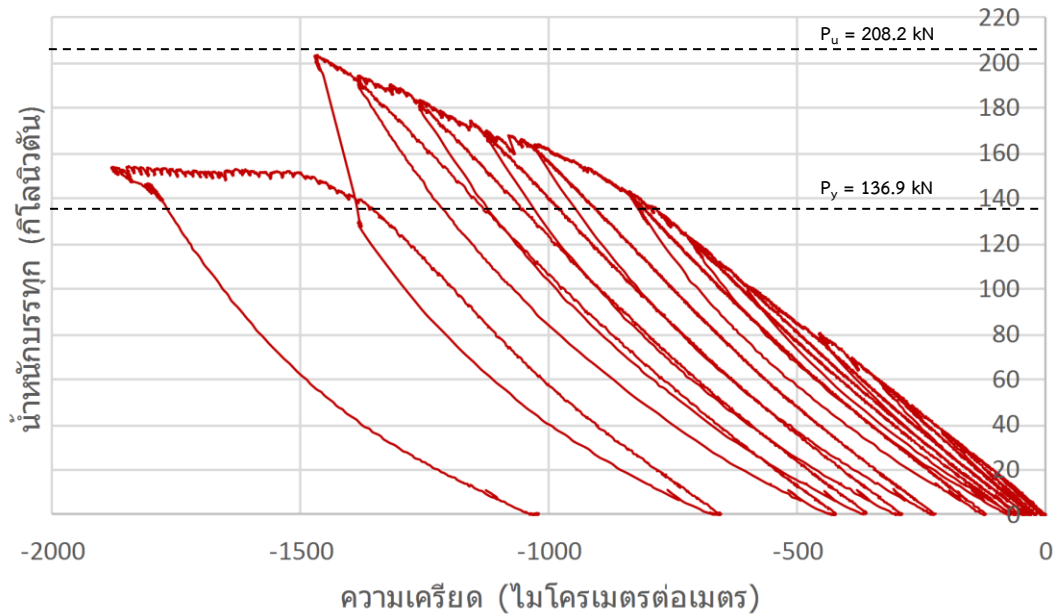
5.3.5.2 ผลการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวทีอุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส รับน้ำหนักบรรทุกที่ระดับใช้งานขณะเผาไฟ และทำการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700FS)

รูปที่ 5.53 แสดงข้อมูลที่ได้จาก LVDT ที่ทำการติดตั้งที่กึ่งกลางคานบริเวณด้านใต้ของเอวคานดังรูปที่ 4.44 ที่แผ่นพอลิเมอร์ โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุด

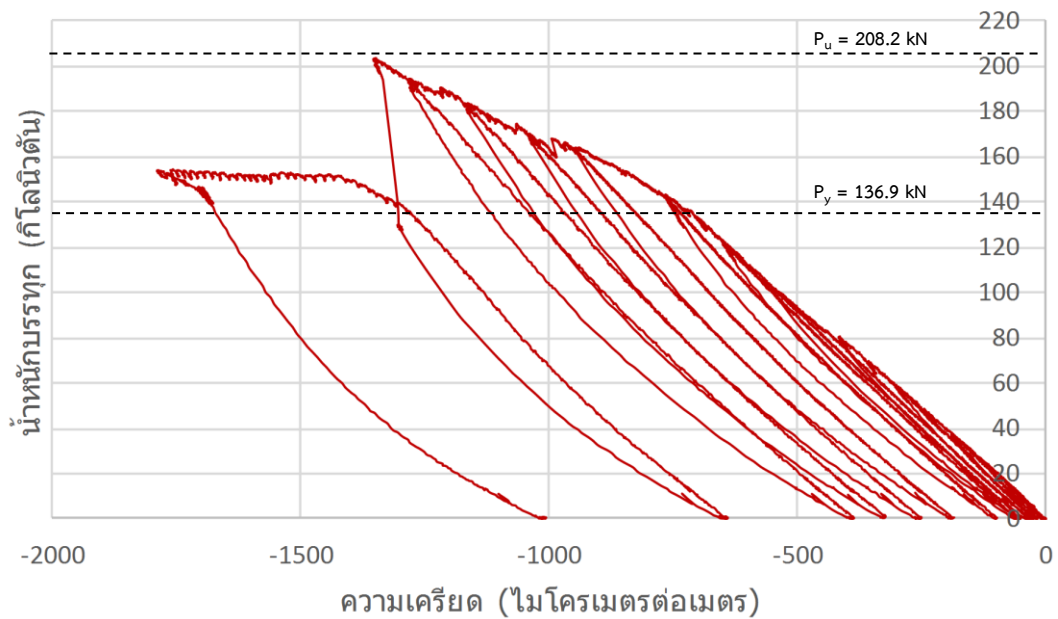


รูปที่ 5.53 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวของคาน B700FS ที่กึ่งกลางคาน ณ ตำแหน่งพอลิเมอร์

รูปที่ 5.54 และ 5.55 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ติดตั้งบนผิวของคอนกรีตมีตำแหน่งดังรูปที่ 4.43 โดยนำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุด

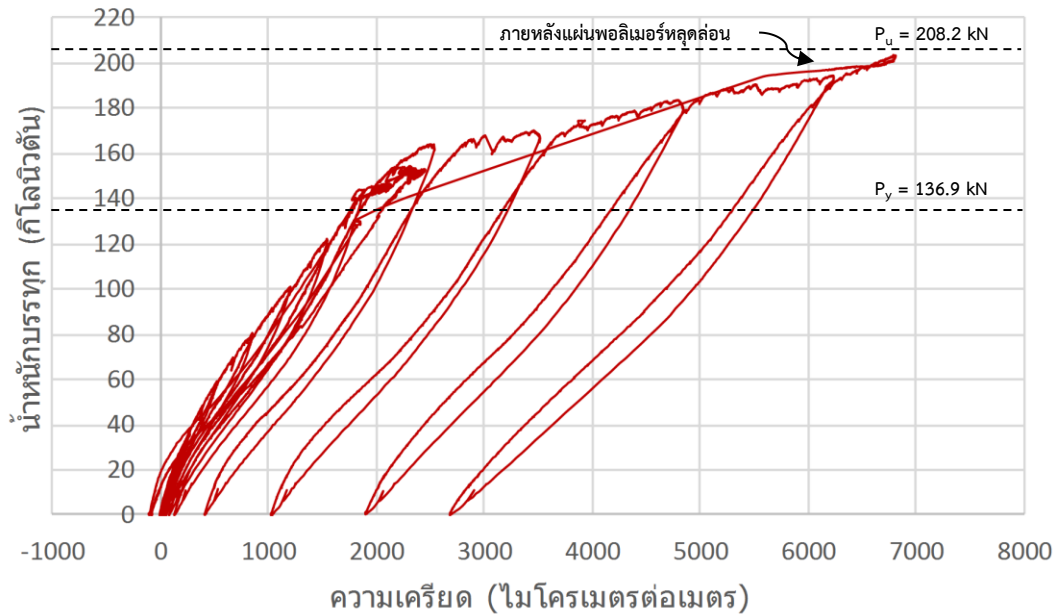


รูปที่ 5.54 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC1) ของคาน B700FS

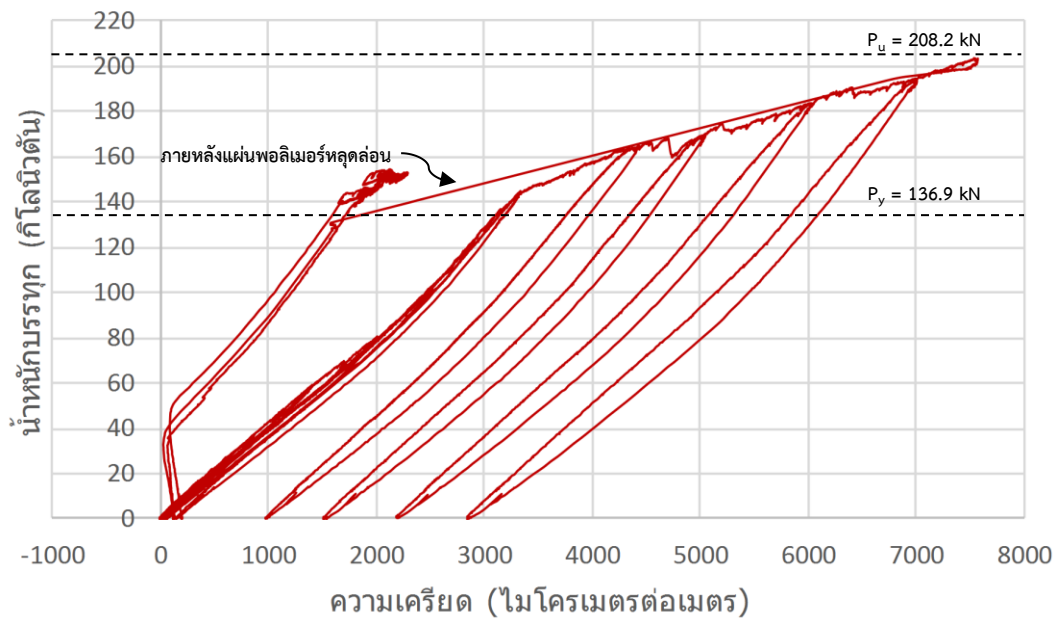


รูปที่ 5.55 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตตำแหน่ง (SGC2) ของคาน B700FS

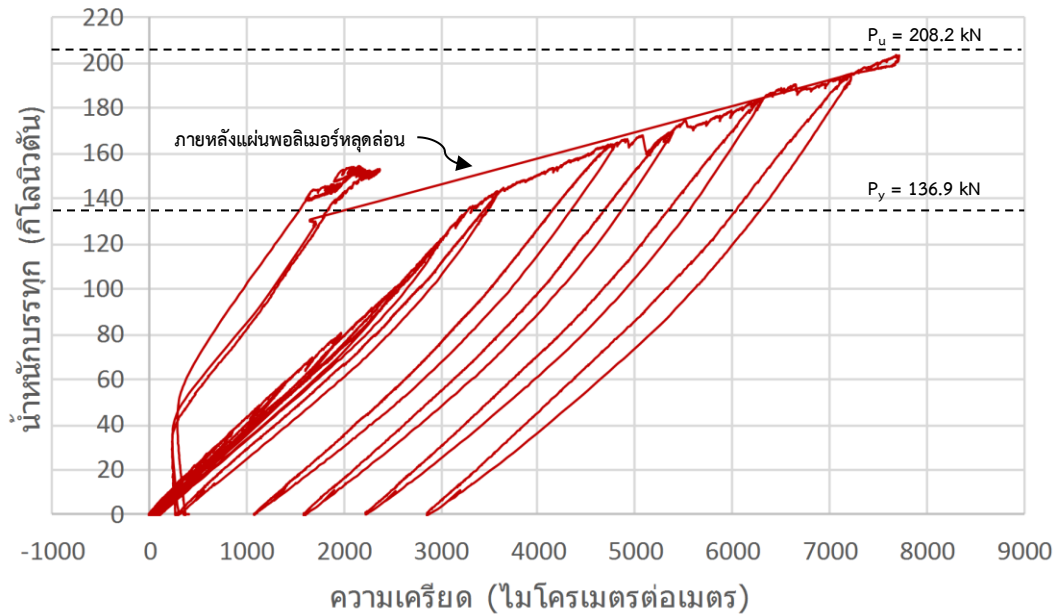
รูปที่ 5.56 5.57 5.58 5.59 5.60 5.61 5.62 และ 5.63 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ติดตั้งบนแผ่นพอลิเมอร์มีตำแหน่งและชื่อเรียกดังรูปที่ 4.42 โดยเรียงจากขวาไปซ้ายตามลำดับ นำมาแสดงคู่กับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด



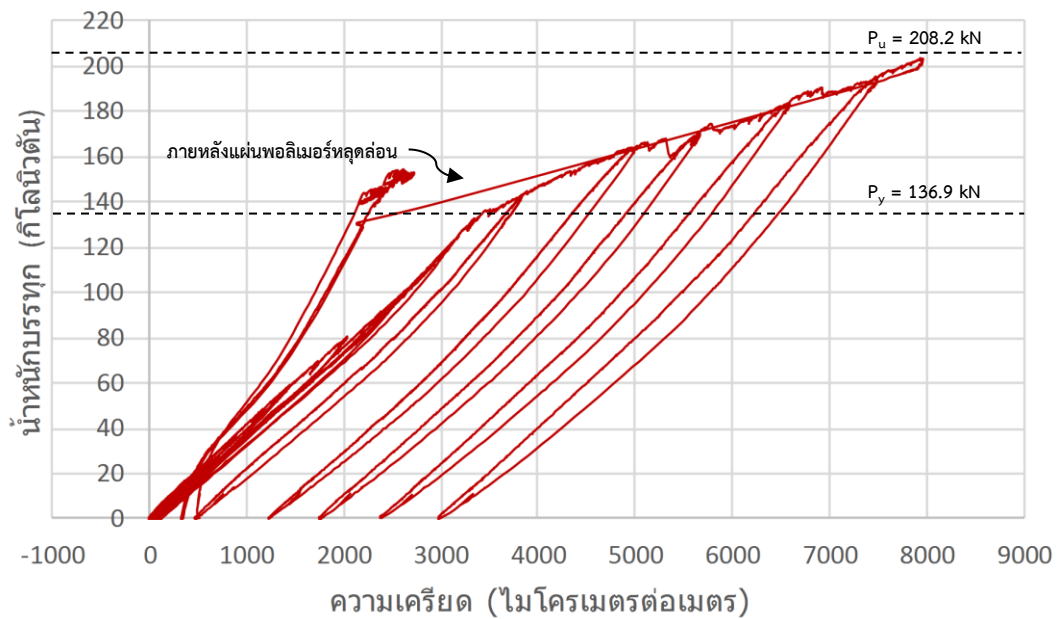
รูปที่ 5.56 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG1) ของคาน B700FS



รูปที่ 5.57 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG2) ของคาน B700FS

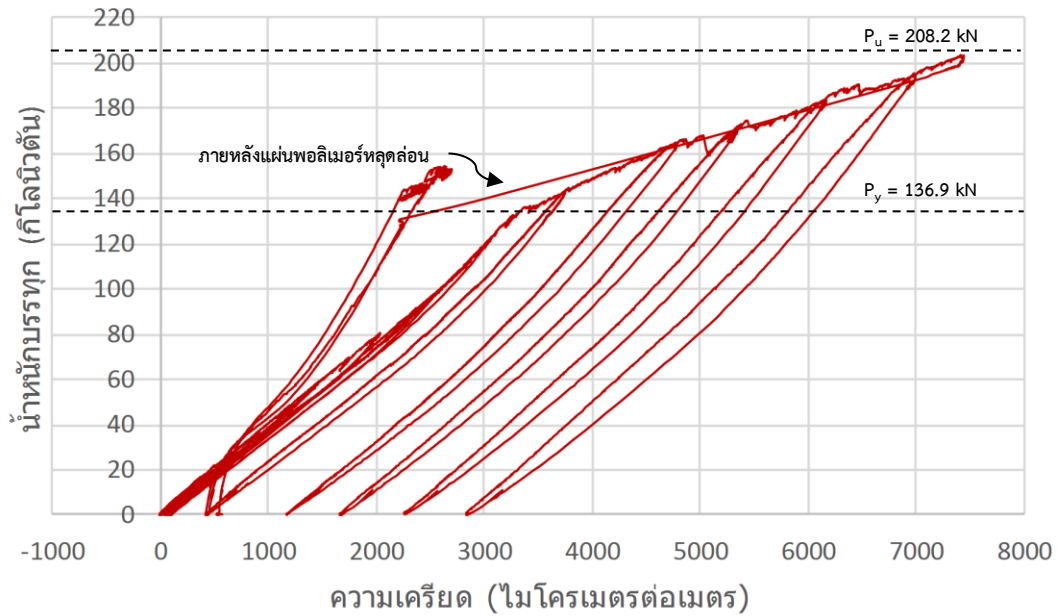


รูปที่ 5.58 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG3) ของคาน B700FS

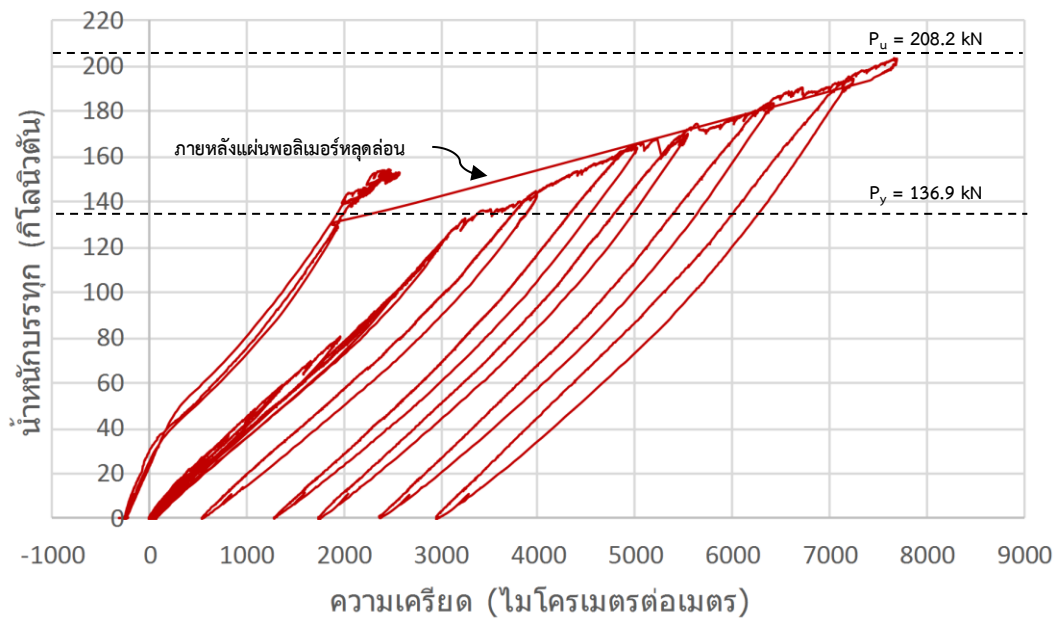


รูปที่ 5.59 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG4) ของคาน B700FS

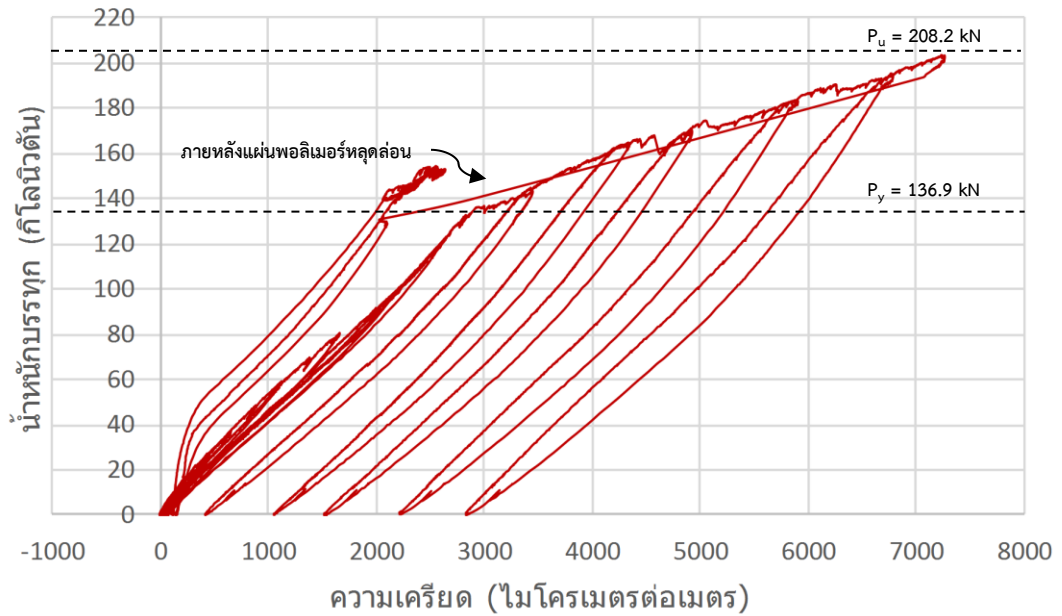




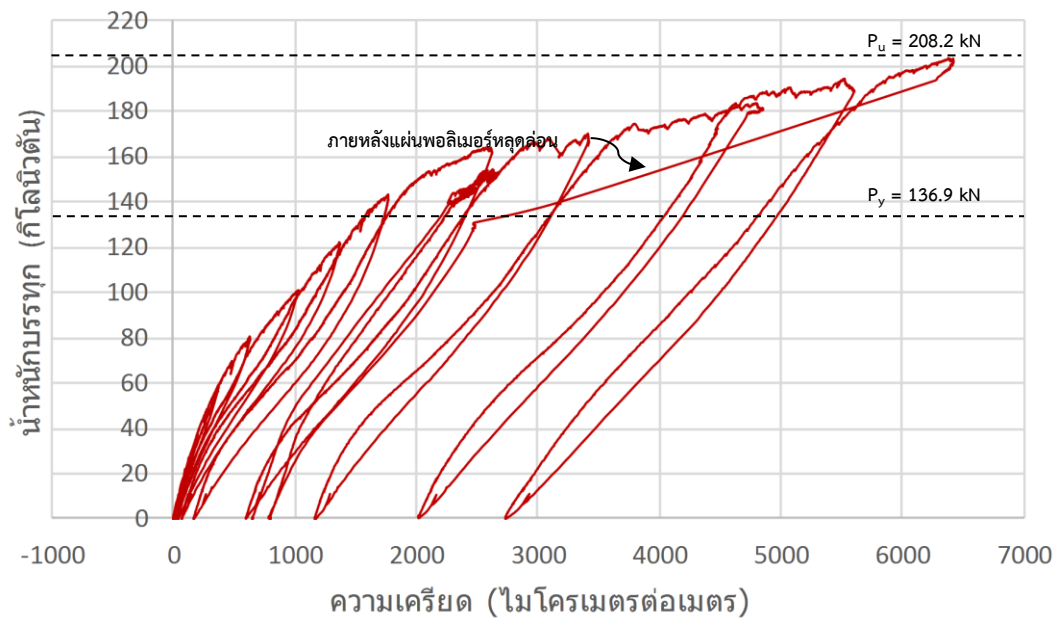
รูปที่ 5.60 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG5) ของคาน B700FS



รูปที่ 5.61 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG6) ของคาน B700FS



รูปที่ 5.62 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG7) ของคาน B700FS



รูปที่ 5.63 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนตำแหน่ง (SG8) ของคาน B700FS

#### 5.4 ผลการทดสอบแรงกระทำสี่จุด ( four point bending ) ในด้านรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น

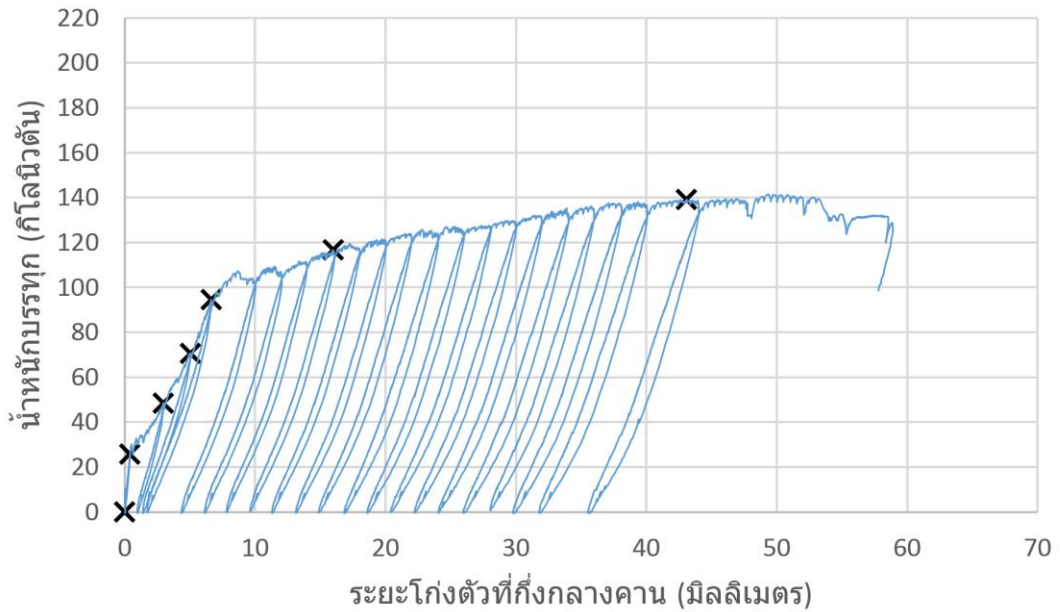
รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจะแสดงโดยทำการใช้โปรแกรม photoshop ในการช่วยแสดงรอยแตกร้าวให้ชัดเจนขึ้น ซึ่งรอยแตกร้าวจะใช้สีดำ ร้อยแตกร้าวที่เกิดจากการเผาไฟจะใช้สีน้ำเงิน และรอยที่เกิดจากการที่แคลเซียมคาร์บอเนตจะใช้สีแดง โดยจะแสดงรอยแตกร้าวในแต่ละคานดังนี้

##### 5.4.1 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำสี่จุดของคานควบคุม (CB)

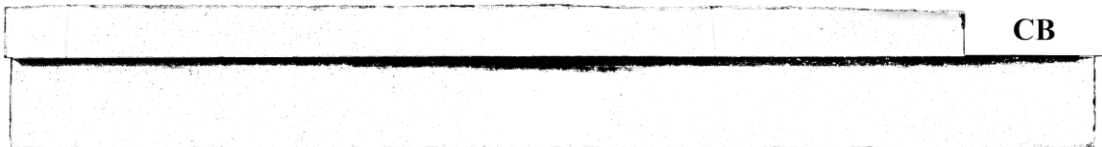
คานควบคุมขณะทำการทดสอบแรงกระทำสี่จุดดังรูปที่ 5.64 มีการแสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบโดยมีการแสดงที่น้ำหนักกระทำและการโก่งตัวดังรูปที่ 5.65 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวของรูปที่ 5.66 ถึง 5.72 ในส่วนของรอยแตกร้าวที่คานเกิดการวิบัติ(ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)แสดงในรูปที่ 5.73 และ 5.74



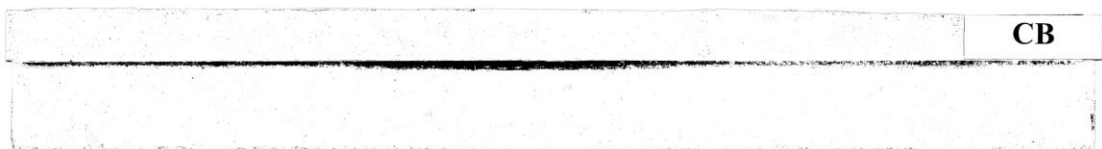
รูปที่ 5.64 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวซีที่เป็นคานควบคุม CB



รูปที่ 5.65 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคานควบคุม CB รูปที่ 5.66 ถึง 5.72



รูปที่ 5.66 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB



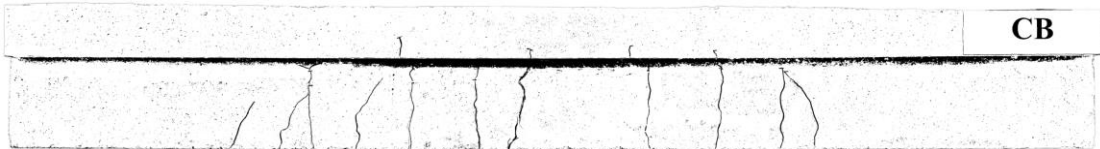
รูปที่ 5.67 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 25.73 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0.40 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB



รูปที่ 5.68 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 48.54 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 2.97 มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB



รูปที่ 5.69 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 70.73 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 5.05 มิลลิเมตร  
ของคานควบคุม CB



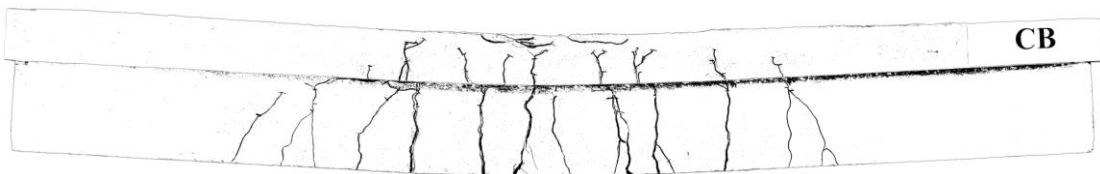
รูปที่ 5.70 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 94.56 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 6.63 มิลลิเมตร  
ของคานควบคุม CB



รูปที่ 5.71 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 116.61 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 15.97  
มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB



รูปที่ 5.72 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 139.11 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 43.7  
มิลลิเมตร ของคานควบคุม CB



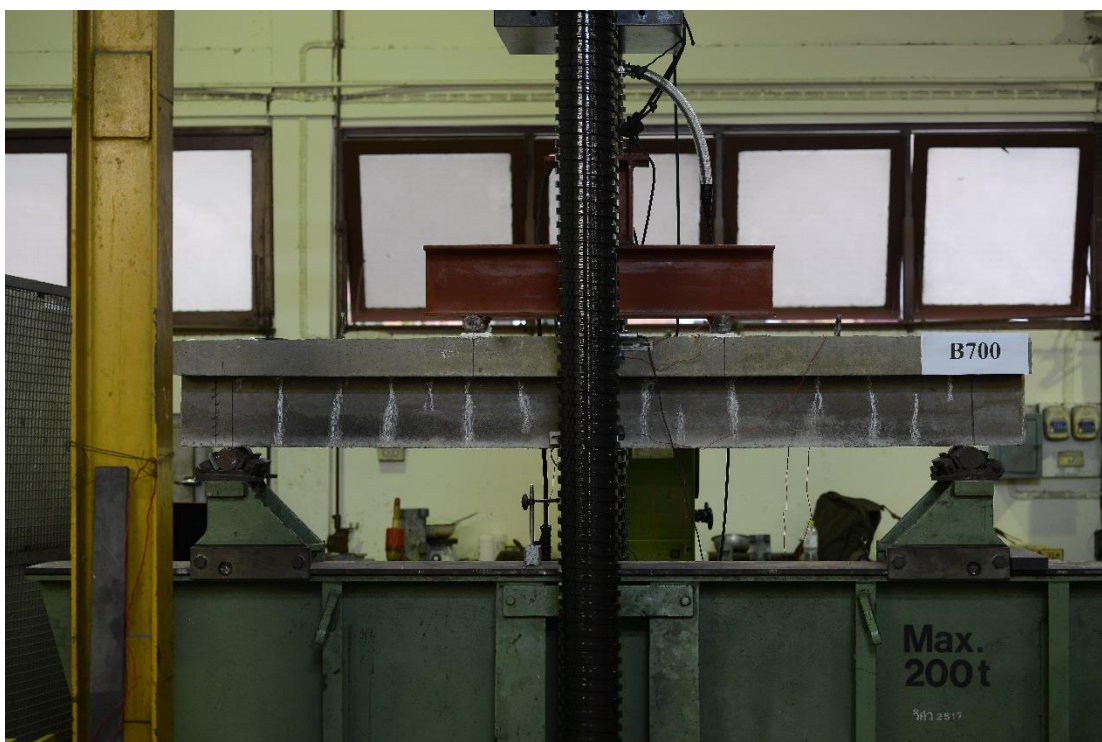
รูปที่ 5.73 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคานควบคุม CB (ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)



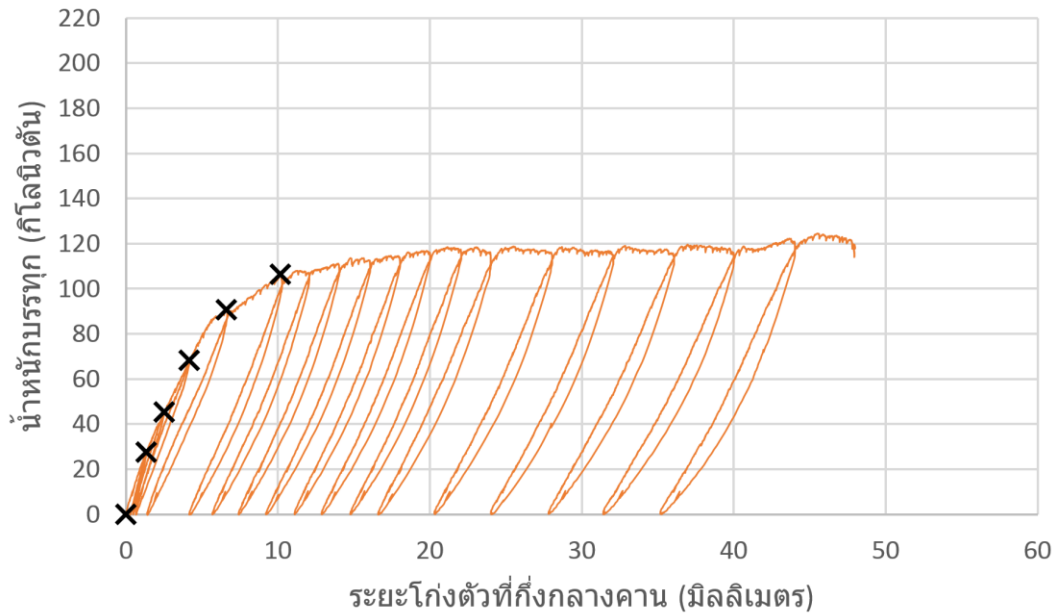
รูปที่ 5.74 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคานควบคุม CB ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.73

5.4.2 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำสูงสุดของคานที่ทำการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส (B700)

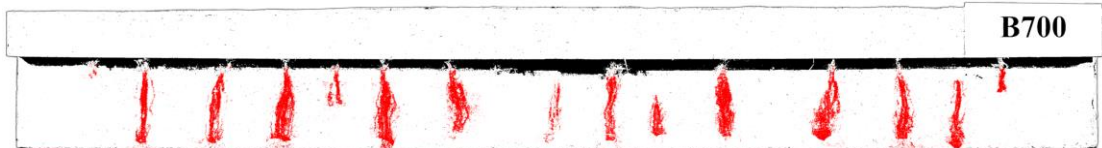
คาน B700 ขณะทำการทดสอบแรงกระทำสูงสุดดังรูปที่ 5.57 มีการแสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบโดยมีการแสดงที่น้ำหนักระงับและการโก่งตัวดังรูปที่ 5.76 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แสดงคราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวของรูปที่ 5.77 ถึง 5.82 ในส่วนของรอยแตกร้าวที่คานเกิดการวิบัติ(ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)แสดงในรูปที่ 5.83 และ 5.84



รูปที่ 5.75 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีที่เผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700



รูปที่ 5.76 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคาน B700 รูปที่ 5.77 ถึง 5.82



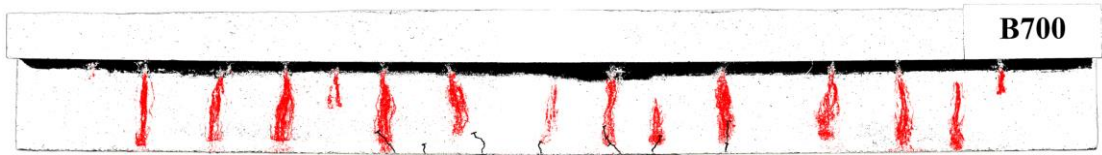
รูปที่ 5.77 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโคงตัว 0 มิลลิเมตร ของคาน B700



รูปที่ 5.78 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 27.52 กิโลนิวตัน และมีการโคงตัว 1.33 มิลลิเมตร ของคาน B700



รูปที่ 5.79 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 45.40 กิโลนิวตัน และมีการโคงตัว 2.52 มิลลิเมตร ของคาน B700



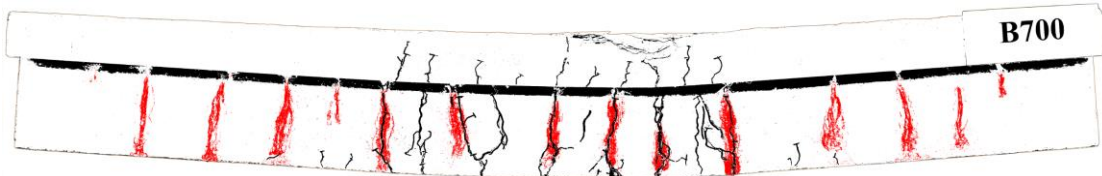
รูปที่ 5.80 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 68.30 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 4.16 มิลลิเมตร ของคาน B700



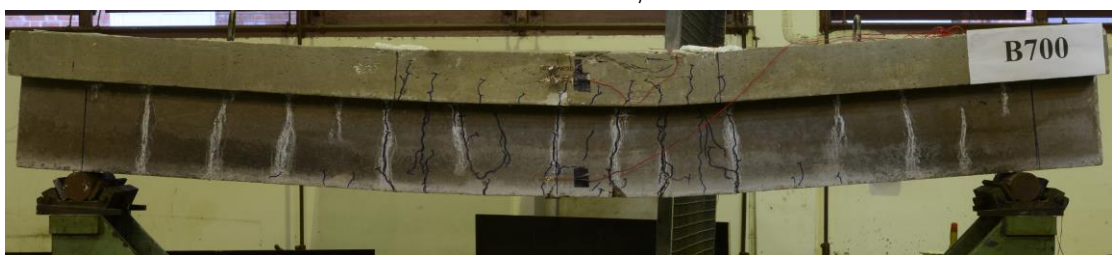
รูปที่ 5.81 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 90.62 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 6.60 มิลลิเมตร ของคาน B700



รูปที่ 5.82 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 106.42 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 10.17 มิลลิเมตร ของคาน B700



รูปที่ 5.83 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคาน B700  
(ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)



รูปที่ 5.84 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคาน B700 ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.83

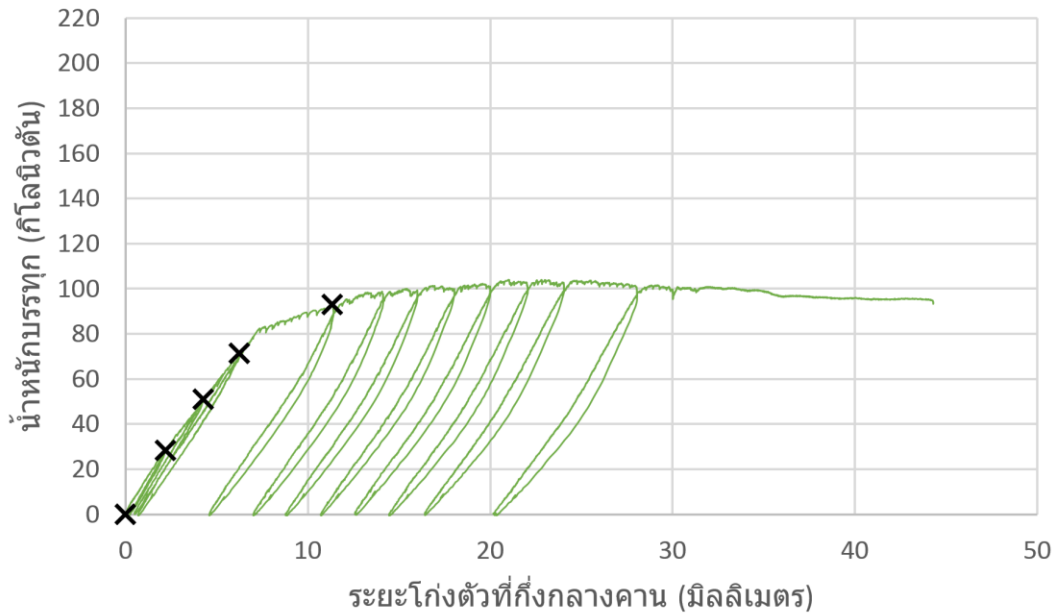


#### 5.4.3 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำที่จุด ของคานที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานและทำการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส (B700S)

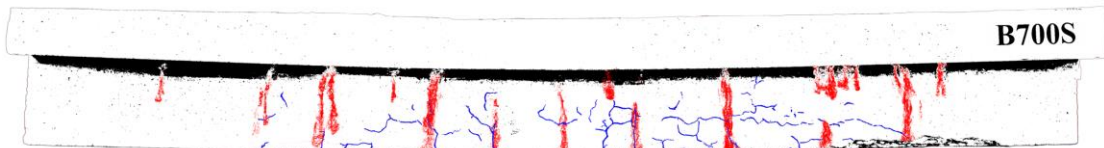
คาน B700S ขณะทำการทดสอบแรงกระทำที่จุดดังรูปที่ 5.85 มีการแสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบโดยมีการแสดงที่น้ำหนักกระทำและการโก่งตัวดังรูปที่ 5.86 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แสดงคราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวของรูปที่ 5.87 ถึง 5.91 ในส่วนของรอยแตกร้าวที่คานเกิดการวิบัติ(ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)แสดงในรูปที่ 5.92 และ 5.93



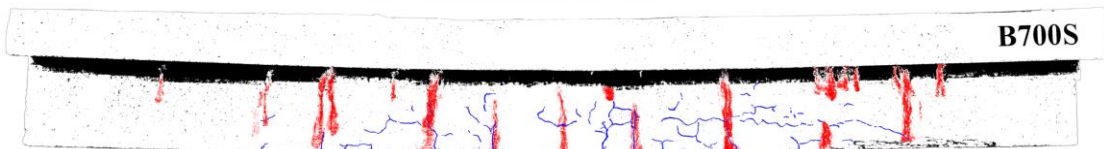
รูปที่ 5.85 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานและเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700S



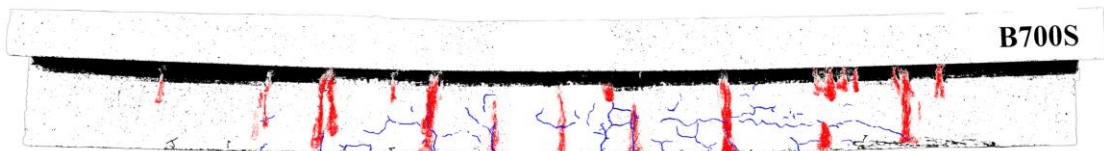
รูปที่ 5.86 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคาน B700S รูปที่ 5.87 ถึง 5.91



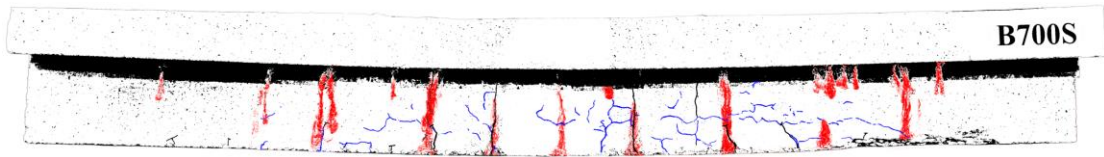
รูปที่ 5.87 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0 มิลลิเมตร ของคาน B700S



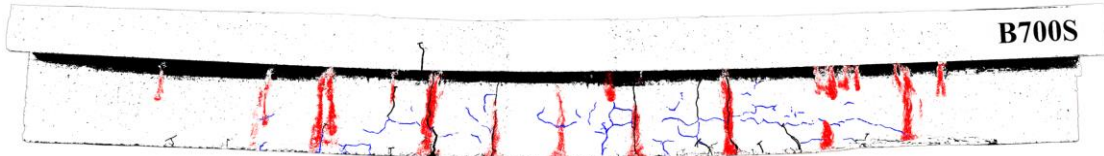
รูปที่ 5.88 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 28.31 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 2.18 มิลลิเมตร ของคาน B700S



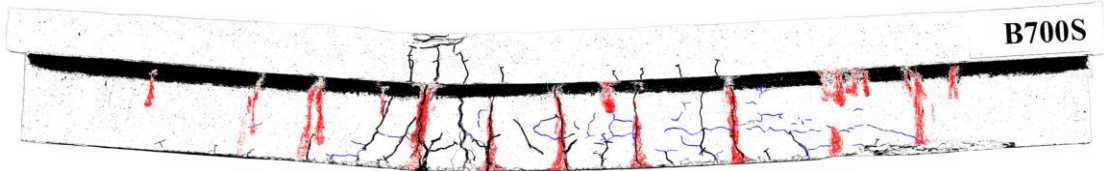
รูปที่ 5.89 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 50.98 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 4.27 มิลลิเมตร ของคาน B700S



รูปที่ 5.90 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 71.48 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 6.22 มิลลิเมตร ของคาน B700S



รูปที่ 5.91 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 93.00 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 11.33 มิลลิเมตร ของคาน B700S



รูปที่ 5.92 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคาน B700S  
(ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)



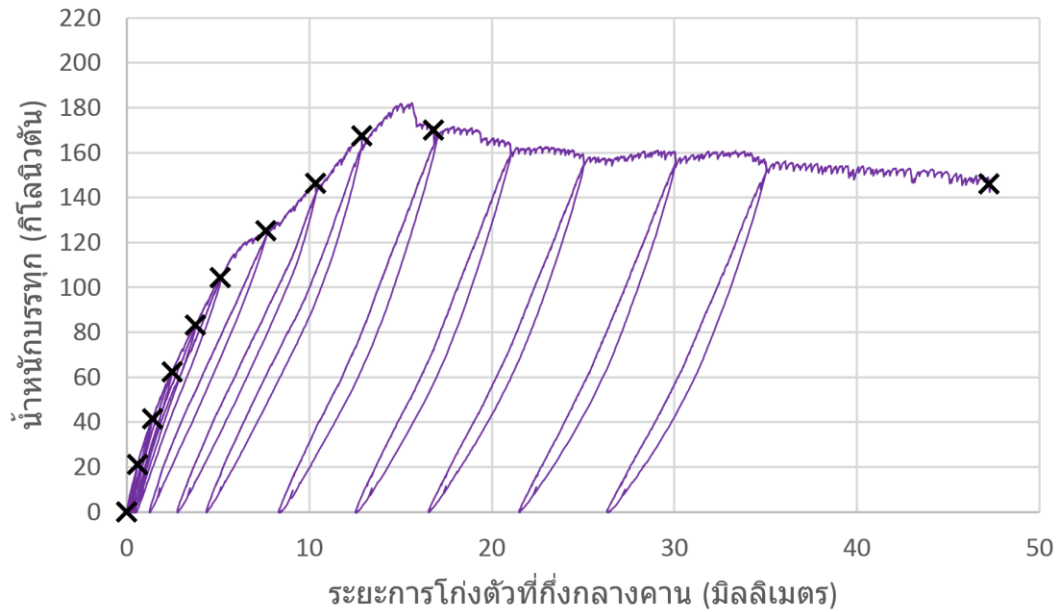
รูปที่ 5.93 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคาน B700S ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.92

5.4.4 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำที่จุด ของคานที่ทำการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700F)

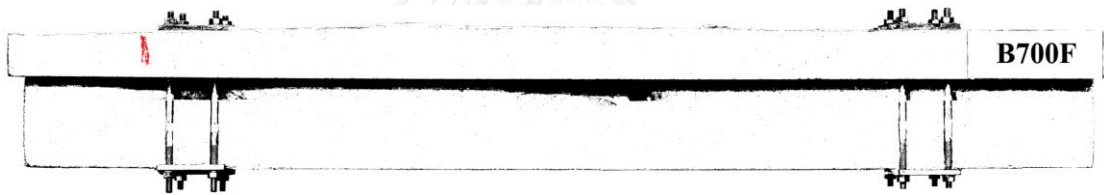
คาน B700F ขณะทำการทดสอบแรงกระทำที่จุดดังรูปที่ 5.94 มีการแสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบโดยมีการแสดงที่น้ำหนักกระทำและการโก่งตัวดังรูปที่ 5.95 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แสดงคราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวของรูปที่ 5.96 ถึง 5.106 ในส่วนของรอยแตกร้าวที่คานเกิดการวิบัติ(ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)แสดงใน รูปที่ 5.107 และ 5.108



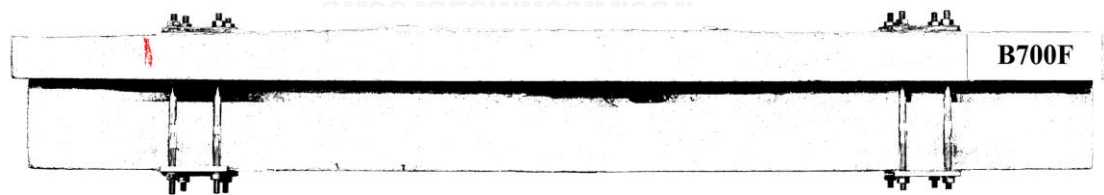
รูปที่ 5.94 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีที่เผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน B700F



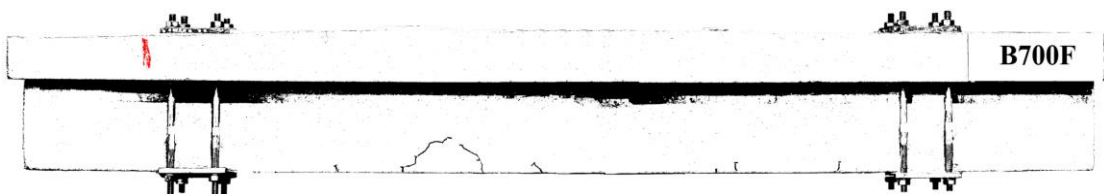
รูปที่ 5.95 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคาน B700F รูปที่ 5.96 ถึง 5.106



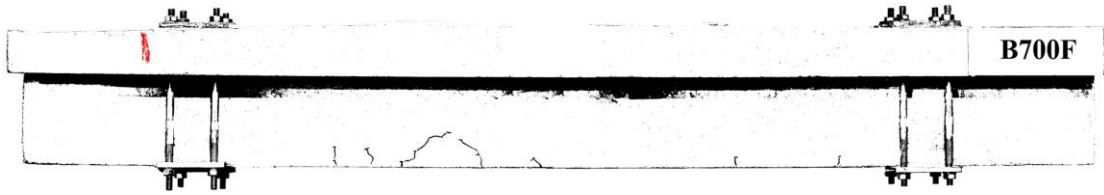
รูปที่ 5.96 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโ่งตัว 0 มิลลิเมตร ของคาน B700F



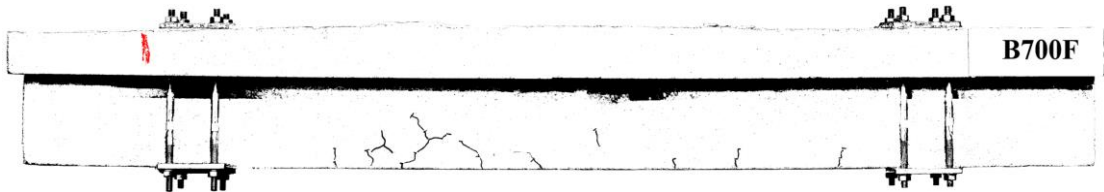
รูปที่ 5.97 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 21.27 กิโลนิวตัน และมีการโ่งตัว 0.59 มิลลิเมตร ของคาน B700F



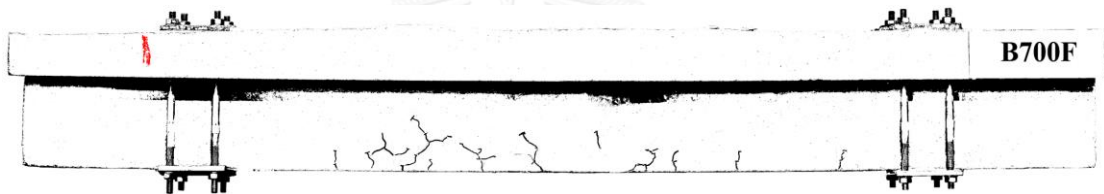
รูปที่ 5.98 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 41.48 กิโลนิวตัน และมีการโ่งตัว 1.40 มิลลิเมตร ของคาน B700F



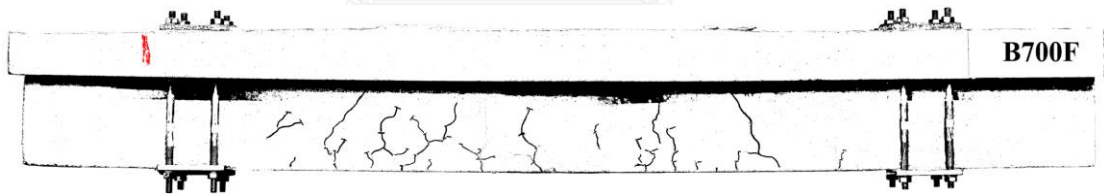
รูปที่ 5.99 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 62.30 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 2.48 มิลลิเมตร ของคาน B700F



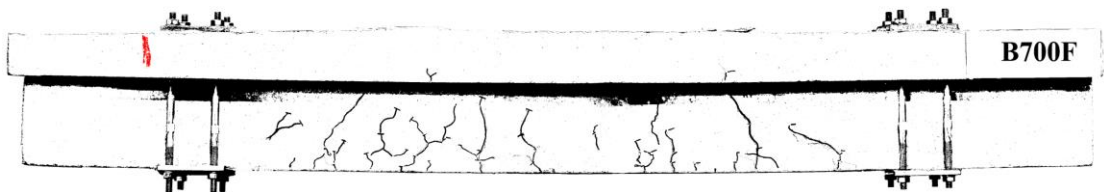
รูปที่ 5.100 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 83.21 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 3.76 มิลลิเมตร ของคาน B700F



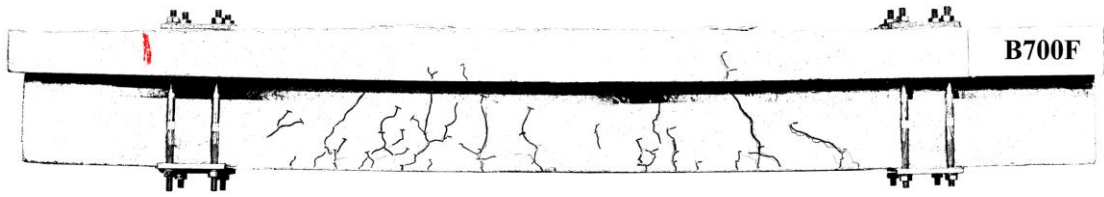
รูปที่ 5.101 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 104.48 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 5.13 มิลลิเมตร ของคาน B700F



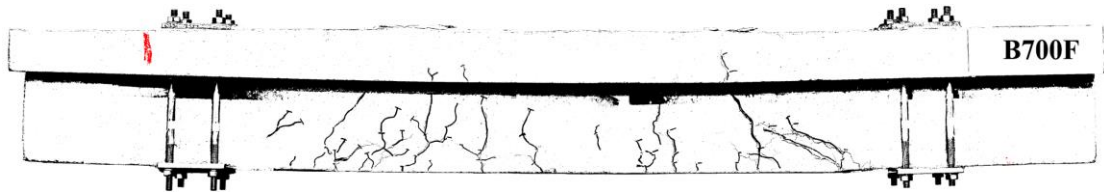
รูปที่ 5.102 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 125.25 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 7.62 มิลลิเมตร ของคาน B700F



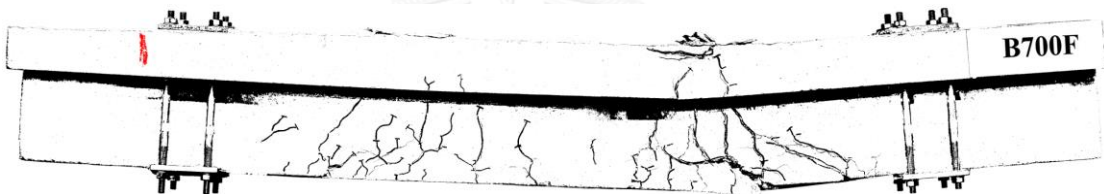
รูปที่ 5.103 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 146.42 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 10.34 มิลลิเมตร ของคาน B700F



รูปที่ 5.104 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 167.48 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 12.86 มิลลิเมตร ของคาน B700F



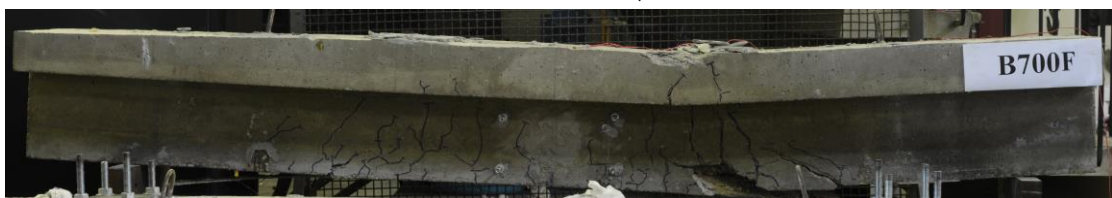
รูปที่ 5.105 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 170.10 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 16.80 มิลลิเมตร ของคาน B700F



รูปที่ 5.106 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 146.06 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 47.23 มิลลิเมตร ของคาน B700F



รูปที่ 5.107 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคาน B700F  
(ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)



รูปที่ 5.108 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคาน B700F ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.107

5.4.5 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงกระทำที่จุด ของคานที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานและทำการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (B700FS)

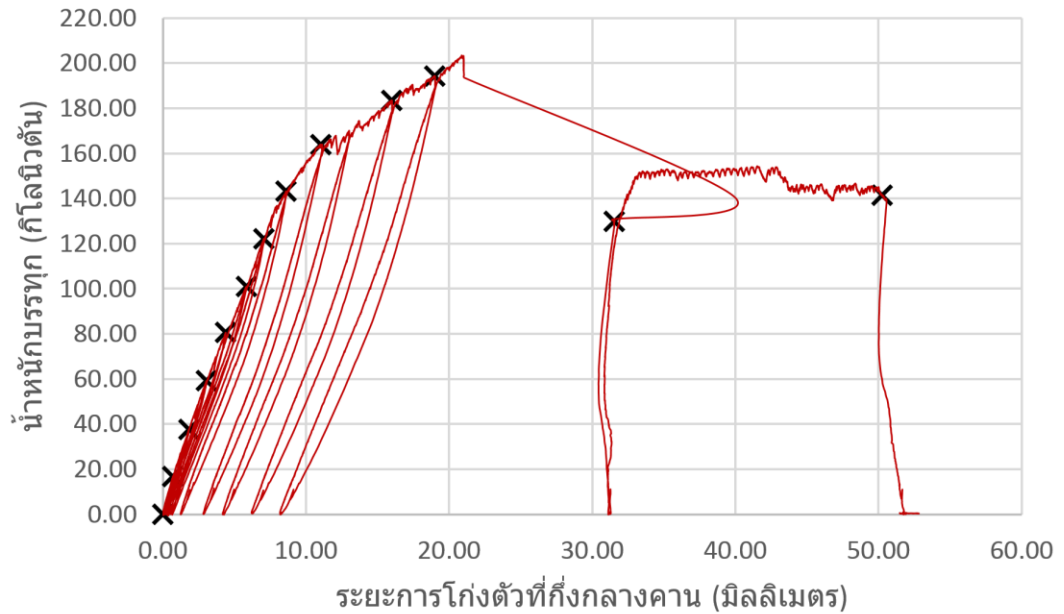
คาน B700FS ขณะทำการทดสอบแรงกระทำที่จุดดังรูปที่ 5.109 มีการแสดงรอยแตกร้าว ขณะทำการทดสอบโดยมีการแสดงที่น้ำหนักกระทำและการโก่งตัวดังรูปที่ 5.110 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แสดงคราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวของรูปที่ 5.111 ถึง 5.123 ในส่วนของรอยแตกร้าวที่คานเกิดการวิบัติ(ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)แสดงในรูปที่ 5.124 และ 5.125



รูปที่ 5.109 รูปการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวทีที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานและเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน

B700FS

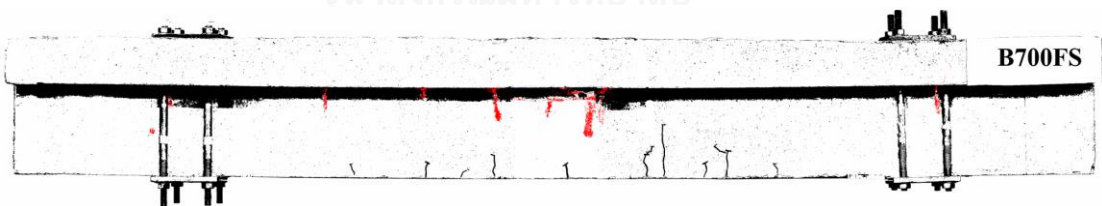




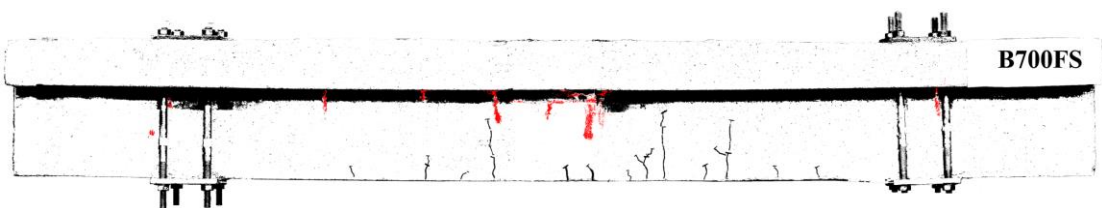
รูปที่ 5.110 ตำแหน่งที่แสดงรอยแตกร้าวขณะทำการทดสอบคาน B700FS รูปที่ 5.111 ถึง 5.123



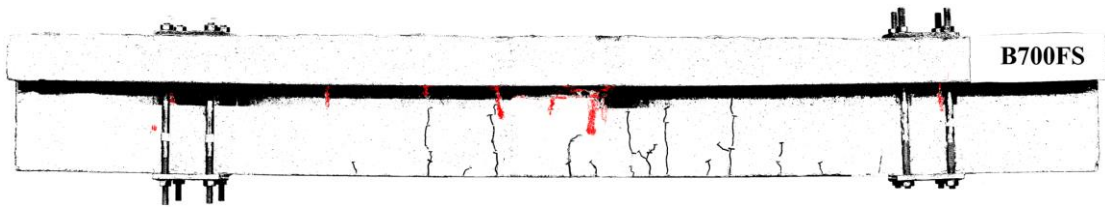
รูปที่ 5.111 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 0 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



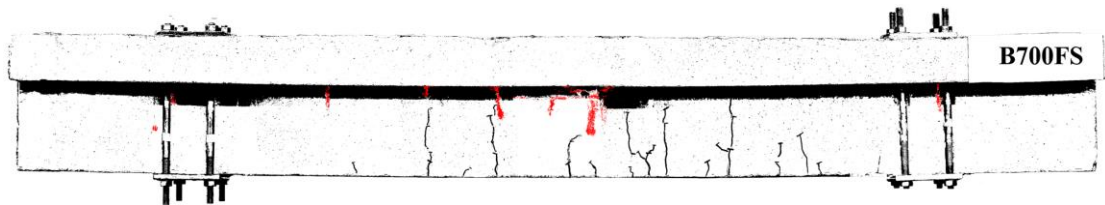
รูปที่ 5.112 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 16.83 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 0.70 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



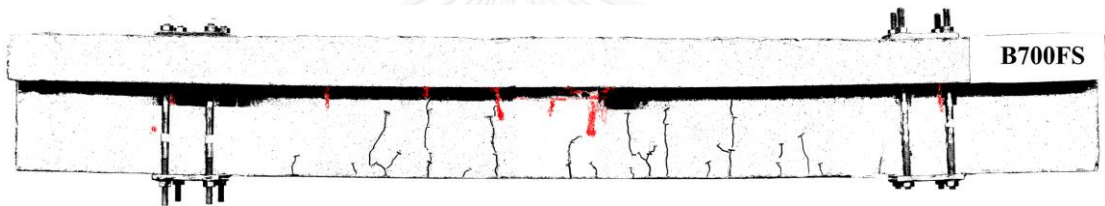
รูปที่ 5.113 คราบแคลเซียมคาร์บอเนตและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 37.55 กิโลนิวตัน และมีการโก่งตัว 1.81 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



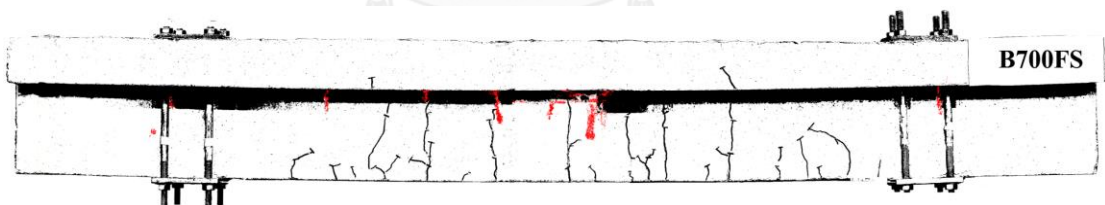
รูปที่ 5.114 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 59.17 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 3.04 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



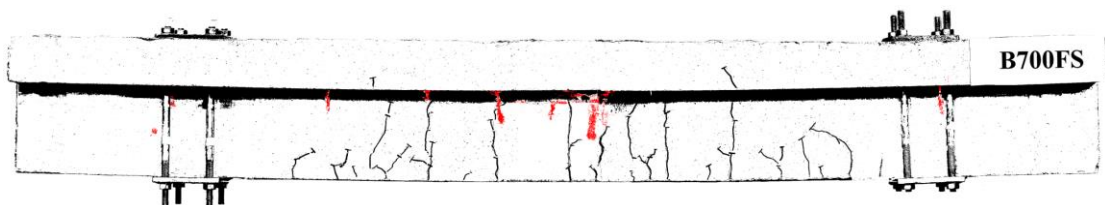
รูปที่ 5.115 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 80.54 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 4.39 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



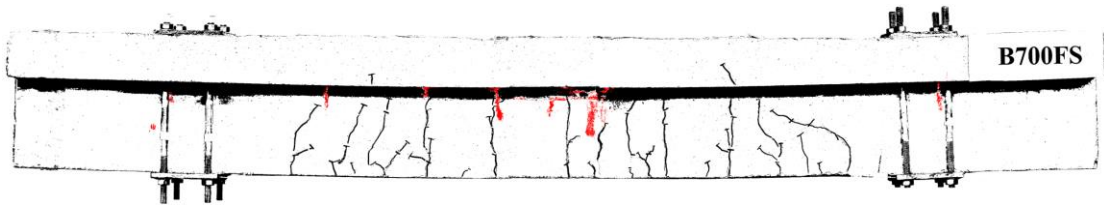
รูปที่ 5.116 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 101.00 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 5.84 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



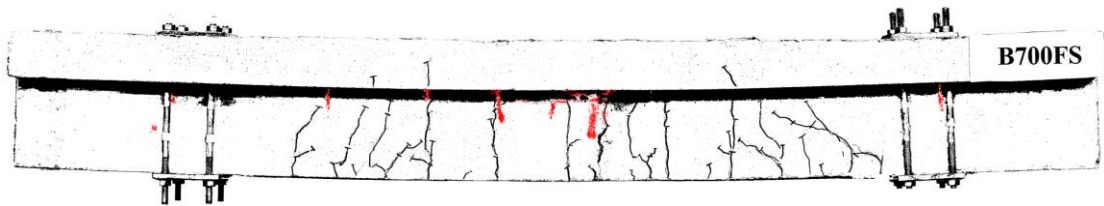
รูปที่ 5.117 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 122.12 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 7.04 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



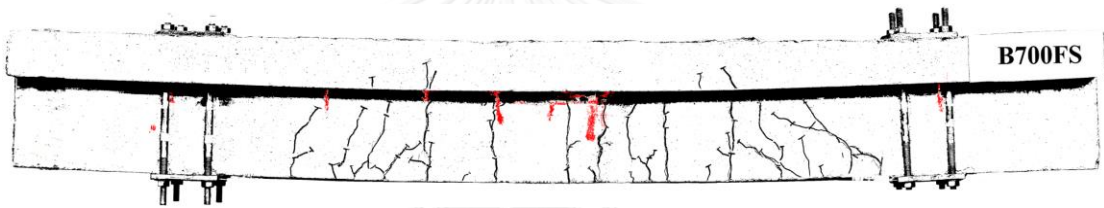
รูปที่ 5.118 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 143.24 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 8.62 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



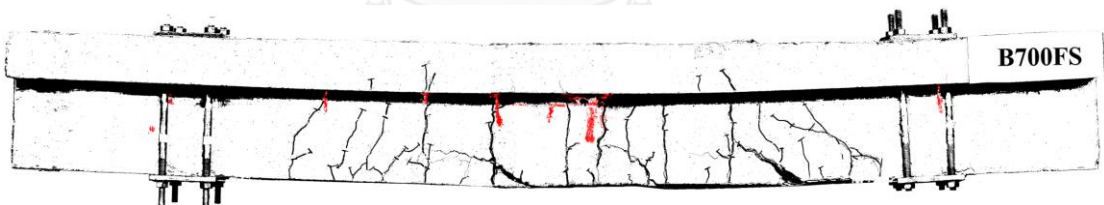
รูปที่ 5.119 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 163.96 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 11.02 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



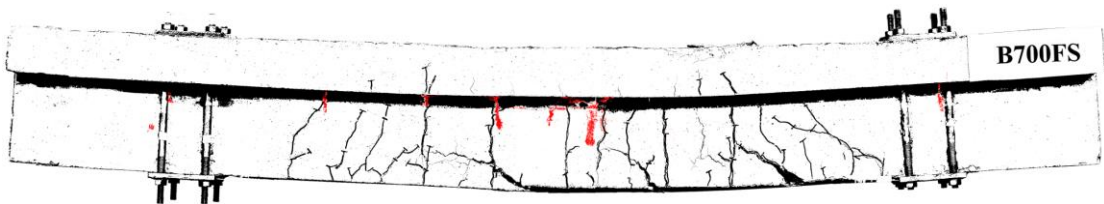
รูปที่ 5.120 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 183.52 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 15.98 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



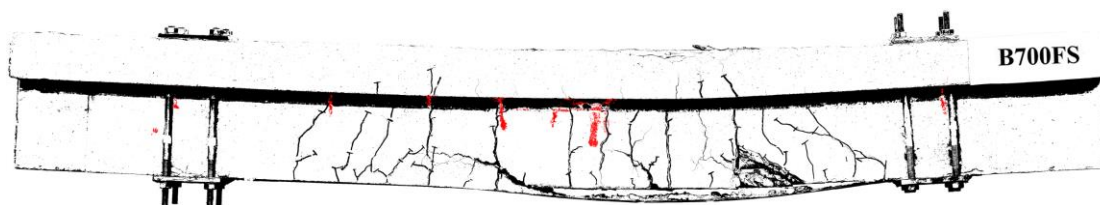
รูปที่ 5.121 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 194.33 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 18.98 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



รูปที่ 5.122 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 129.92 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 31.54 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



รูปที่ 5.123 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ 141.58 กิโลนิวตัน  
และมีการโก่งตัว 50.23 มิลลิเมตร ของคาน B700FS



รูปที่ 5.124 คราบเคลือบคาร์บอนและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่การวิบัติของคาน B700FS  
(ไม่มีน้ำหนักบรรทุก)



รูปที่ 5.125 รูปถ่ายแสดงการวิบัติของคาน B700FS ที่สอดคล้องกับรูปที่ 5.124

### 5.5 การโค้งตัวของคานก่อนทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสูงสุด

การโค้งตัวของคานทำการวัดโดยการนำรูปที่ถ่ายขนาด 36 ล้านพิกเซลไปคำนวณหาพิกัดของเม็ดสีด้วยโปรแกรม photoshop และแปลงเป็นพิกัดในหน่วยมิลลิเมตร โดยความละเอียดที่อ่านได้ประมาณ 0.45 มิลลิเมตรต่อจำนวนหนึ่งพิกเซล ซึ่งจะแสดงค่าการโค้งตัวที่กึ่งกลางคานดังตารางที่ 5-9

ตารางที่ 5-9 การโค้งตัวของคานก่อนการทดสอบน้ำหนักกระทำสูงสุด

คานตัวอย่าง	CB	B700	B700S	B700F	B700FS
การโค้งตัวที่กึ่งกลางคาน	-	5.2 มิลลิเมตร (60 วันหลังเผาไฟ)	24.0 มิลลิเมตร (59 วันหลังเผาไฟ)	5.4 มิลลิเมตร (252 วันหลังเผาไฟ)	9.2 มิลลิเมตร (244 วันหลังเผาไฟ)

## 5.6 พฤติกรรมรูปแบบการวิบัติของคานาคอนกรีตเสริมเหล็ก

### 5.6.1 ผลการทดสอบของคานาคอนกรีตเสริมเหล็ก-1

ตารางที่ 5-10 ผลการทดสอบคาน-1

คานตัวอย่าง	เผาไฟที่ระดับ 700 องศาเซลเซียส		ซ่อมแซมด้วยแผ่น พอลิเมอร์เสริมเส้น ใยคาร์บอน	รูปแบบการวิบัติ
	ไม่รับน้ำหนัก บรรทุกใช้งานขณะ เผา	รับน้ำหนัก บรรทุกใช้งาน ขณะเผา		
CB	x	x	x	การตัด โดยคอนกรีตเกิดการแตก (concrete crushing)
B700	✓	x	x	การตัด โดยคอนกรีตเกิดการแตก (concrete crushing)
B700S	x	✓	x	การตัด โดยคอนกรีตเกิดการแตก (concrete crushing)
B700F	✓	x	✓	การตัด โดยคอนกรีตเกิดการแตก (concrete crushing) และการหลุด ล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ ชนิด IC
B700FS	x	✓	✓	การตัด โดยคอนกรีตเกิดการแตก (concrete crushing) และการหลุด ล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ ชนิด IC

### 5.6.2 ผลการทดสอบของคานาคอนกรีตเสริมเหล็ก-2

ตารางที่ 5-11 ผลการทดสอบคาน-2

คานตัวอย่าง	น้ำหนักบรรทุกที่ จุดคราก (kN)	น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (kN)	สติฟเนส (kN/m)	ดัชนีความเหนียว
CB	99.4	140.0	54554	6.5
B700	88.4	126.5	20767	8.0
B700S	79.2	102.7	13057	2.9
B700F	114.1	183.4	39797	2.7
B700FS	136.9	208.2	28513	2.7

## บทที่ 6

### วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์ผลจากการนำผลจากการทดลองในบทที่ 5 มาใช้ในการวิเคราะห์  
ดังนี้

6.1 วิเคราะห์ผลจากการใช้วิธี Rebound Hammer ในการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตกับการ  
หาค่ากำลังอัดของคอนกรีตใช้วิธีทดสอบทำลาย

6.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ อุณหภูมิ ที่ตำแหน่งเหล็กเสริม

6.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบอุณหภูมิในคอนกรีต

6.4 วิเคราะห์การโก่งตัวของคานขณะทำการเผาไฟ

6.5 วิเคราะห์น้ำหนักกระทำและการโก่งตัวของคาน จากการทดสอบแรงกระทำที่จุด

6.6 วิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมของคานควบคุม CB

6.7 วิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นจากตัววัดความเครียดที่ทำการติดตั้งที่ผิวคอนกรีต

6.8 วิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน

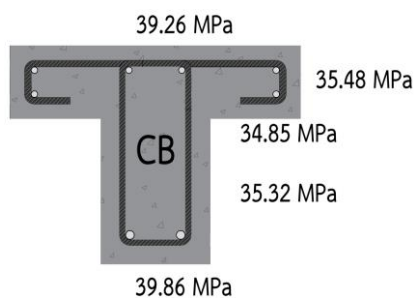
6.9 เปรียบเทียบรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุด

**6.1** วิเคราะห์ผลจากการใช้วิธี Rebound Hammer ในการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตกับการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตใช้วิธีทดสอบทำลาย

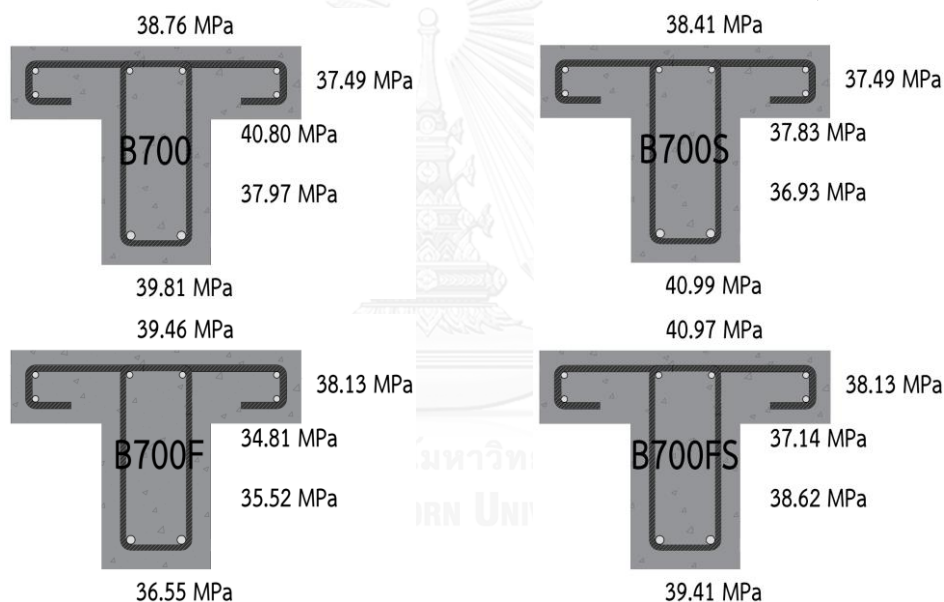
**6.1.1** วิเคราะห์ผลจากการใช้วิธี Rebound Hammer ในการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต

การใช้ Rebound Hammer เป็นวิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยวิธีไม่ทำลายซึ่งเป็นการบอกค่ากำลังอัดของคอนกรีตผ่านการสะท้อนกลับของมวลสปริงที่ทำการยิงไปที่ผิวของคอนกรีตซึ่งการทดสอบจะทำการยิงที่ตำแหน่งบริเวณกึ่งกลางของคานด้านบนปีก ด้านข้างปีก ด้านใต้ปีก ด้านข้างเอว และด้านใต้เอว ของคาน โดยข้อมูลดิบของการใช้ Rebound Hammer จะถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ค ซึ่งการวิเคราะห์ผลในหัวข้อนี้จะแสดงค่าอยู่ในรูปที่ทำการแปลงค่าการสะท้อนกลับของมวลสปริงให้อยู่ในรูปของกำลังอัดเทียบเท่าทรงกระบอก ซึ่งกำลังอัดที่ผิวของคอนกรีตของคานควบคุม CB จะแสดงดังรูปที่ 6.1 กำลังอัดก่อนทำการเผาไฟของคาน B700 ,B700S ,B700F และ B700FS จะแสดงอยู่ในรูปที่ 6.2 และกำลังอัดภายหลังทำการเผาไฟของคานของคาน B700 ,B700S ,B700FS และ B700FS จะแสดงอยู่ในรูปที่ 6.3 โดยจะทำการเปรียบเทียบกำลังก่อนและหลังทำการเผาไฟของคานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในรูปที่ 6.4 และเปรียบเทียบเป็นกราฟแท่งในรูปที่ 6.5 ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตของคานก่อนทำการเผาไฟทั้งหมดพบว่ากำลังอัดของคานแต่ละตำแหน่งมีความใกล้เคียงกันโดยมีความผันผวนของกำลังอัดประมาณ 5 เมกะปาสกาล ซึ่งตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดและมีค่ากำลังอัดมากจะเป็นบริเวณด้านบนปีกและด้านใต้ของเอวคาน ทั้งนี้คาดว่าอาจจะเป็นผลมาจากตำแหน่งที่ทำการทดสอบบริเวณนี้มีมวลในทิศทางการทดสอบมากกว่าในบริเวณอื่นรวมทั้งพื้นที่ทำการทดสอบมีมากกว่าบริเวณด้านข้าง ซึ่งจากการเปรียบเทียบกำลังอัดของคานก่อนทำการเผาไฟและภายหลังเผาไฟโดยผลการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของกำลังอัดบริเวณ ด้านบนปีก ด้านข้างปีก ด้านใต้ปีก ด้านข้างเอว และด้านใต้เอวของคาน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้ (1)คาน B700 มีค่า 101.30% ,99.83% ,86.27% ,88.81% และ83.40% ตามลำดับ (2)คาน B700S มีค่า 99.36% ,89.93% ,82.28% ,86.18% และ 74.66% ตามลำดับ (3)คาน B700F มีค่า 101.08% ,100.70% ,92.39% ,87.13% และ 86.09% ตามลำดับ และ(4)คาน B700FS มีค่า 98.11% ,101.09% ,91.06% ,80.88 และ 81.17% ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบบริเวณด้านบนปีกก่อนทำการเผาไฟและหลังทำการเผาไฟไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งบริเวณใต้ปีก ข้างเอว และด้านใต้เอวคานจะเป็นส่วนที่กำลังอัดลดลงมาก และจากการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคานในชุดแรกทำการเผาไฟคือคาน B700 และ B700S มีการลดลงจากเดิมมากกว่า การเผาไฟในชุดที่ 2 คือคาน B700F และ B700FS ทั้งนี้คาดว่าอาจจะส่งผลมาจากการที่คานที่ทำการเผาไฟในชุดแรกมีความเสียหายจากการเผาไฟมากกว่าในชุดที่สองเนื่องจากการดับของไฟภายในเตาเผาจึงทำการเพิ่มเวลาในการเผาไฟเพิ่ม และจากการเปรียบเทียบกำลังอัดของคานที่เผาไฟกับคานที่ทำการเผาไฟและทำการรับน้ำหนัก

บรรทุกใช้งานไปด้วยพบว่าค่าความที่เผาไฟและทำการรับน้ำหนักบรรทุกไปด้วยมีการลดลงของค่ากำลังอัดมากกว่าค่าที่ไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะทำการเผาไฟ โดยมีความแตกต่างกันประมาณ 2% ถึง 9% ในคานชุดแรกทำการเผาไฟ และ 1% ถึง 7% ในคานชุดที่สองทำการเผาไฟ ที่ตำแหน่งด้านล่าง ด้านข้างของเอวคาน และด้านใต้ของปีกคาน

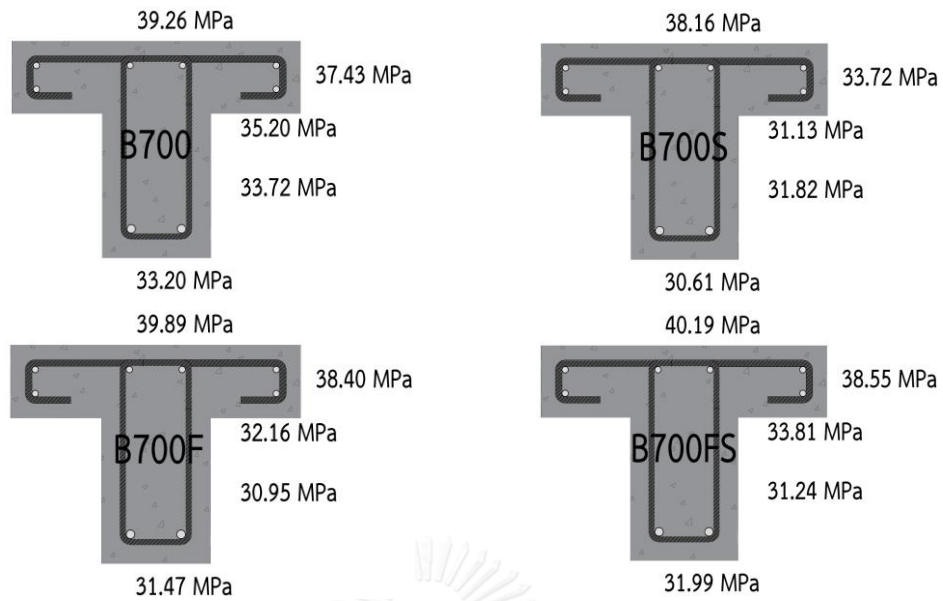


รูปที่ 6.1 ค่ากำลังที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคานควบคุม (CB)

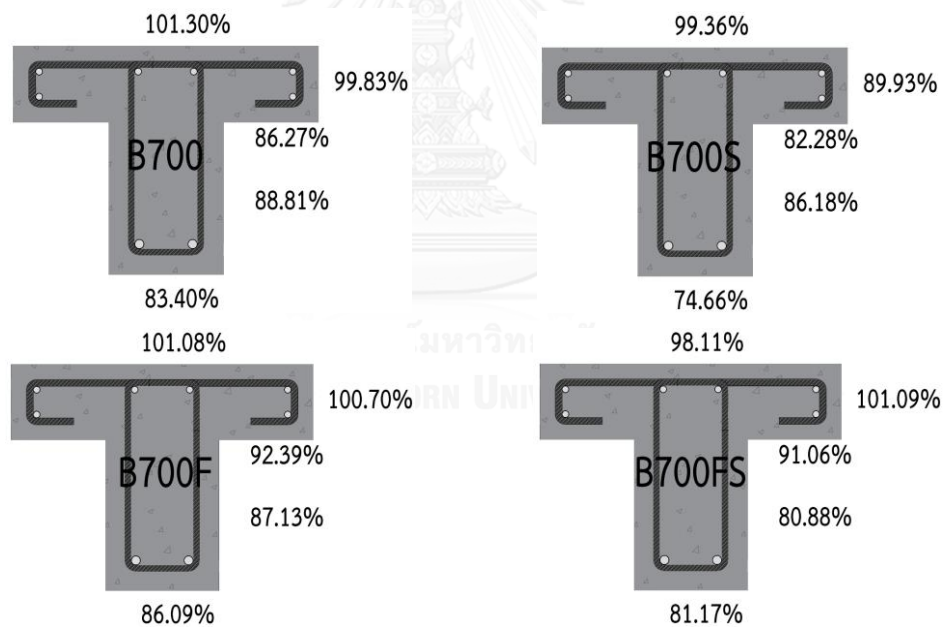


รูปที่ 6.2 ค่ากำลังที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคาน (B700) ,(B700S) ,(B700F) ,(B700FS) ก่อนทำการเผาไฟ

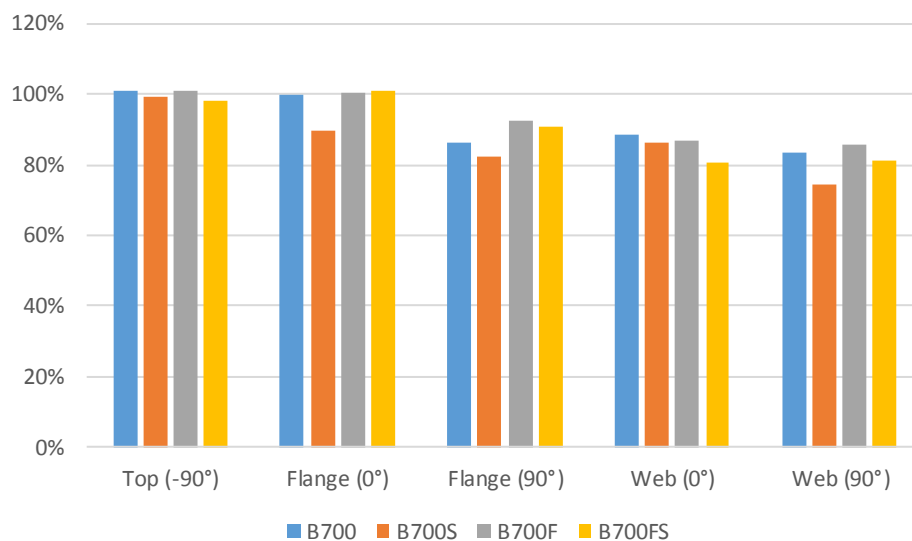




รูปที่ 6.3 ค่ากำลังที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคาน (B700) ,(B700S) ,(B700F) ,(B700FS) ภายหลังจากการเผาไฟ



รูปที่ 6.4 เปรียบเทียบค่ากำลังที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคาน (B700) ,(B700S) ,(B700F) ,(B700FS) ก่อนและภายหลังจากการเผาไฟ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์



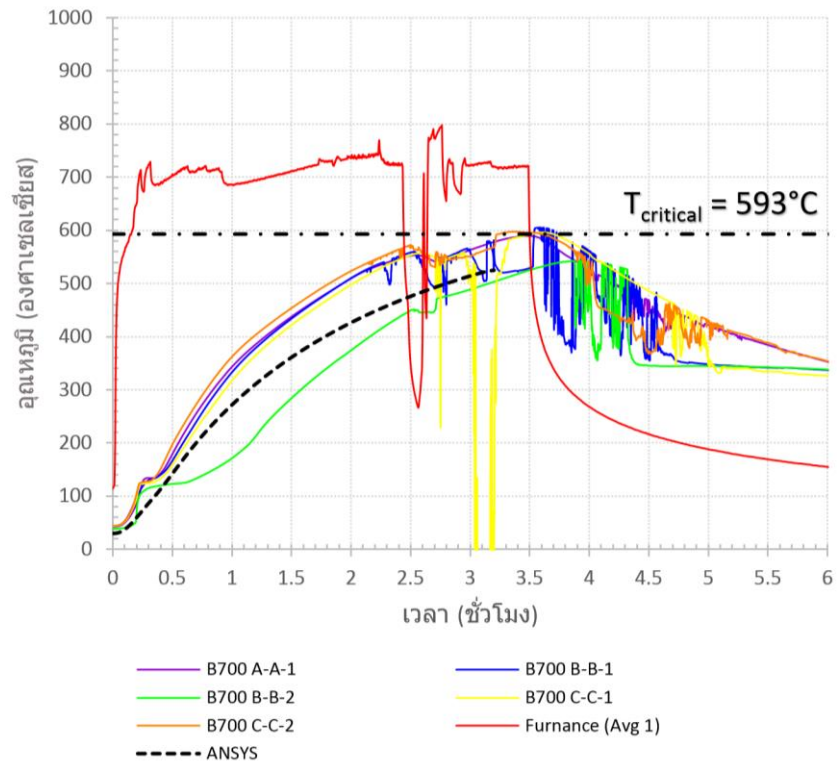
รูปที่ 6.5 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดที่ได้จากการใช้ Rebound Hammer ของคาน (B700) ,(B700S) ,(B700F) ,(B700FS)

#### 6.1.2 วิเคราะห์ผลจากการใช้วิธีทำลาย ในการหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตและเทียบกับการทดสอบด้วย Rebound Hammer

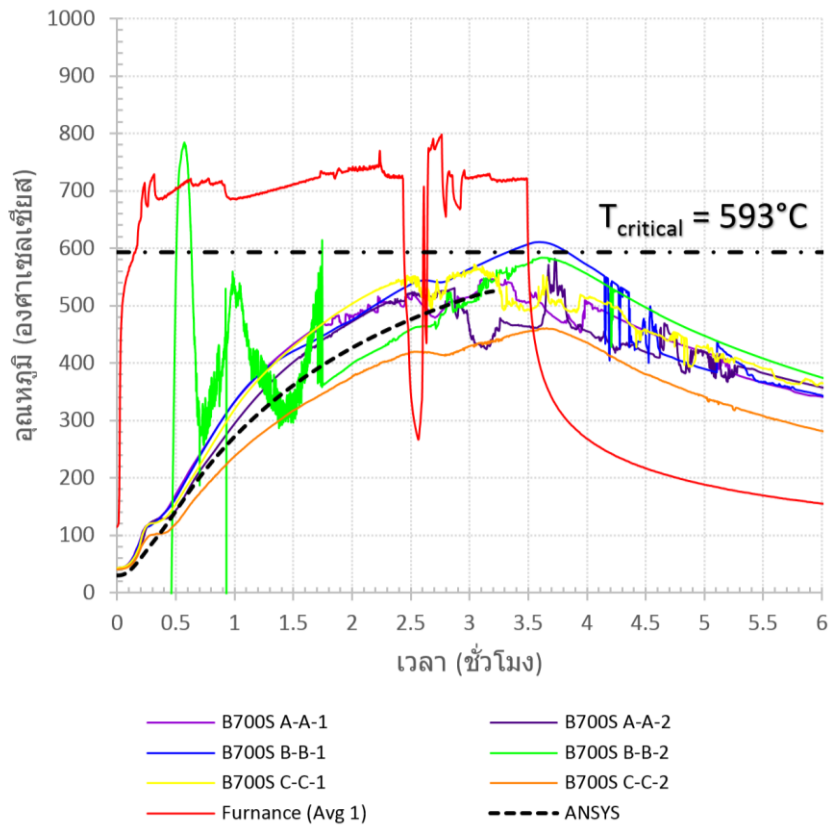
จากหัวข้อที่ 5.1.2 แสดงผลการทดสอบแบบทำลายกับคอนกรีตทรงกระบอกโดยกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่อุณหภูมิห้องมีค่า 43 เมกะปาสกาล และคอนกรีตที่ถูกเผาไฟที่ระดับอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ภายหลังจากเผาไฟ 42 วัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 6.55 เมกะปาสกาล ซึ่งจากการเปรียบเทียบกับกำลังอัดเทียบเท่าที่ได้จากการทดสอบ Rebound Hammer พบว่ากำลังอัดเทียบเท่าที่ได้จาก Rebound Hammer กับคานที่อุณหภูมิห้อง มีค่าน้อยกว่าการทดสอบแบบทำลายประมาณ 1-8 เมกะปาสกาล โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ทำการยิง Rebound Hammer คาดว่าเป็นผลมาจากรูปร่างของคานและมวลในทิศทางการยิงโดยจะใกล้เคียงกับบริเวณด้านบนปีกและด้านล่างเอามากกว่าเนื่องจากมีมวลในทิศทางการยิงมาก สำหรับการเปรียบเทียบกำลังอัดเทียบเท่าจากการทดสอบ Rebound Hammer กับคานในตำแหน่งที่รับผลจากการเผาไฟที่ระดับ 700 องศาเซลเซียส พบว่า ผลจากการทดสอบ Rebound Hammer ที่ได้มีค่ามากกว่าการทดสอบแบบทำลายมาก ทั้งนี้ คาดว่าเกิดจากคอนกรีตทรงกระบอกที่ทำการทดสอบเผาไฟได้รับความเสียหายจากผลอุณหภูมิที่มากกว่า 700 องศาเซลเซียส เพราะมีการวางในเตาเผาบริเวณด้านล่างซึ่งอยู่ใกล้กับเปลวไฟที่ทำการเผามากกว่าตัวคานที่ทำการทดสอบ และจากผลของ Rebound Hammer ที่ทำการออกแบบมาเพื่อทำการทดสอบกับคอนกรีตปกติ

## 6.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ อุณหภูมิ ที่ตำแหน่งเหล็กเสริม

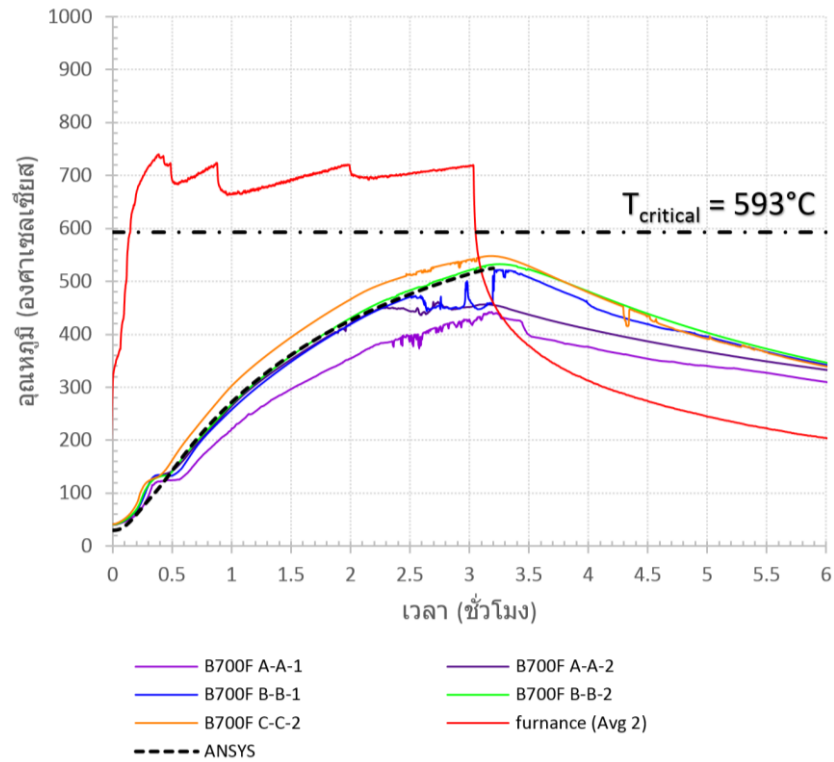
เนื่องจากเหล็กเสริมเป็นส่วนที่สำคัญในการรับน้ำหนักบรรทุกของคาน เมื่อเหล็กได้รับความร้อนจากการเผาไฟจะส่งผลให้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกลดลงโดยอุณหภูมิวิกฤติที่ทำให้กำลังรับน้ำหนักของเหล็กเสริมลดลงเป็นอย่างมากที่ 593 องศาเซลเซียส[12] ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์อุณหภูมิที่เหล็กเสริม ซึ่งจะมีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิดังหัวข้อ 4.2.3.2 และทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหล็กเสริมขณะทำการเผาไฟของคาน B700 ,B700S ,B700F และB700FS ดังรูปที่ 6.6 ,6.7 ,6.8 และ6.9 ซึ่งจากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่าคานที่ทำการทดสอบเผาไฟในชุดแรก B700 และB700S ซึ่งเกิดเหตุเตาดับและทำการเผาไฟเพิ่มเติม ซึ่งทำให้ผลกระทบจากการเผาไฟ (Fire load) มากกว่าการเผาไฟในชุดที่สอง B700F และB700FS โดยจากการสังเกตอุณหภูมิในเหล็กเสริมในคานชุดแรกมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างมากกว่าคานในชุดที่สอง และจากการเปรียบเทียบคานที่เผาไฟในชุดแรกซึ่งมีความแตกต่างกันที่การให้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานและไม่ให้น้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟพบว่า คานที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานขณะเผาไฟนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าที่ไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟเพียงเล็กน้อยในหน้าตัด B-B ซึ่งอยู่บริเวณตรงกลางของคาน ในส่วนของหน้าตัด A-A และ C-C แทบไม่มีความแตกต่างกัน และเป็นเช่นเดียวกันในการทดสอบคานในชุดที่สอง และจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามมาตรฐาน ISO 834 และคงที่ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิจากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับคานชุดที่สองมากกว่าคานชุดแรกที่ทำกรเผาไฟ โดยคาดว่าเกิดจากอุณหภูมิที่ทำการเผาไฟในชุดแรกมีผลกระทบจากการเผาไฟที่มากกว่าอุณหภูมิที่ทำการใส่โปรแกรม Ansys



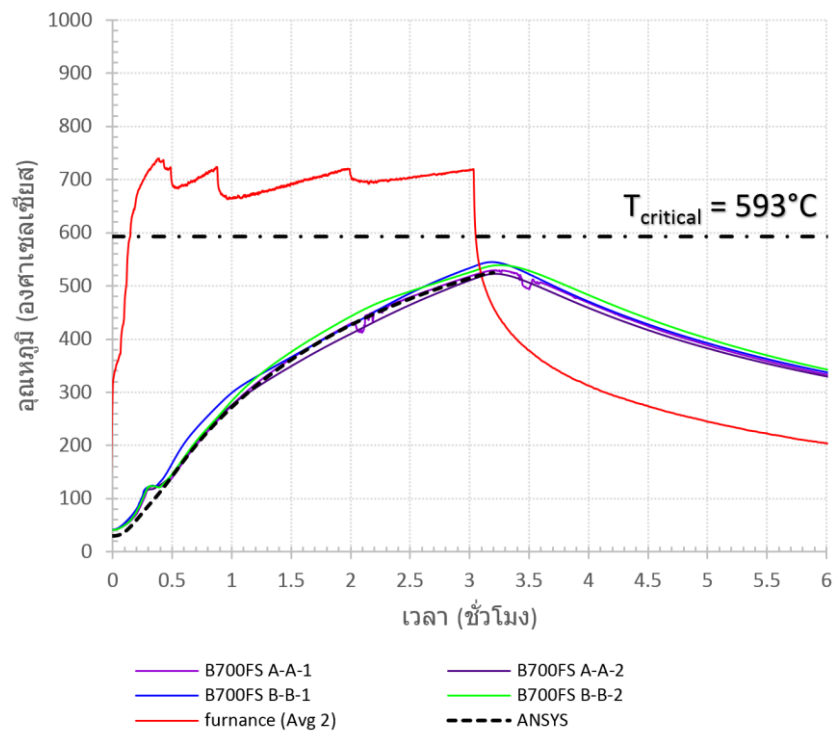
รูปที่ 6.6 อุณหภูมิที่เหล็กเสริมของคาน B700



รูปที่ 6.7 อุณหภูมิที่เหล็กเสริมของคาน B700S



รูปที่ 6.8 อุณหภูมิที่เหล็กเสริมของคาน B700F



รูปที่ 6.9 อุณหภูมิที่เหล็กเสริมของคาน B700FS

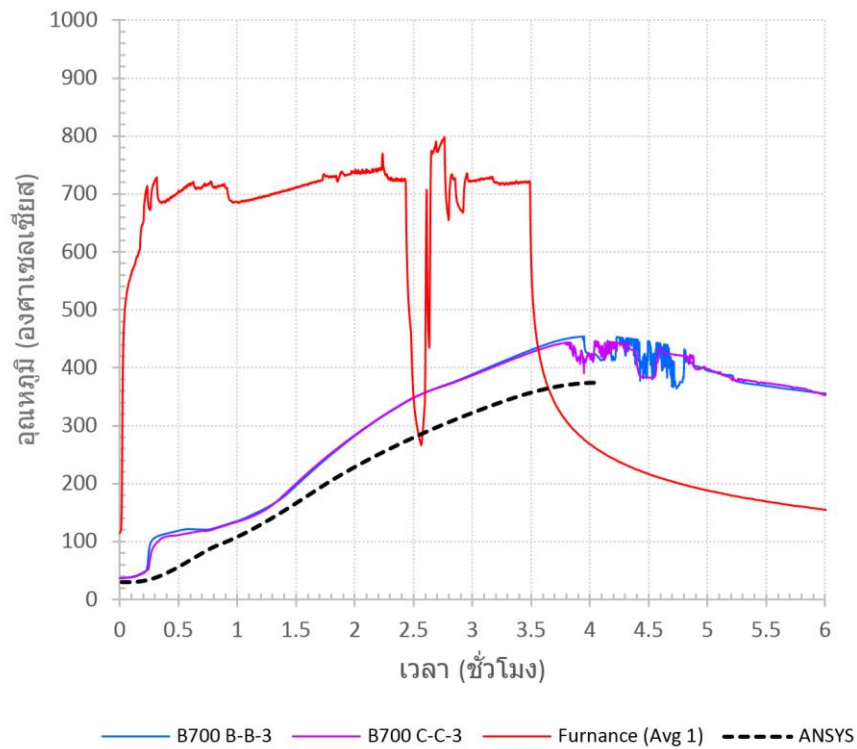
### 6.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบอุณหภูมิในคอนกรีต

การวิเคราะห์อุณหภูมิคอนกรีตอุณหภูมิ โดยผลของการวิเคราะห์อุณหภูมิของตัวอย่างคาน B700 B700S B700F และ B700FS แสดงในหัวข้อที่ 6.3.1 6.3.2 6.3.3 และ 6.3.4 ตามลำดับดังนี้

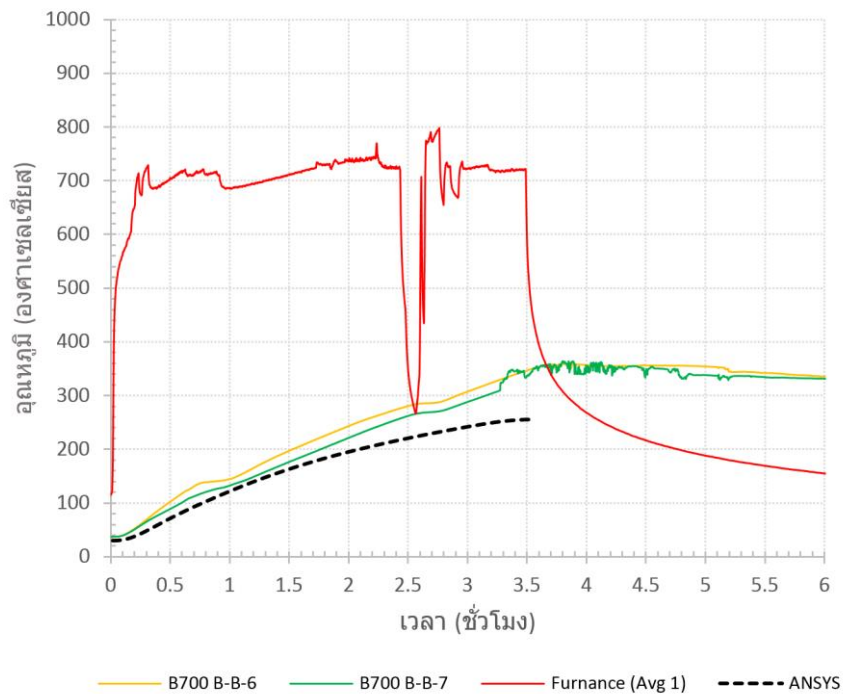
#### 6.3.1 วิเคราะห์อุณหภูมิในคอนกรีตของคาน B700

จากอุณหภูมิในคอนกรีตที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานดังรูปที่ 6.10 พบว่า อุณหภูมิคอนกรีตที่กึ่งกลางคานในตำแหน่ง B-B-3 และ C-C-3 มีความใกล้เคียงกันและอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 450 องศาเซลเซียส และพบว่าช่วงประมาณ 15 ถึง 45 นาที อุณหภูมิในคานจะคงค้างอยู่ที่ประมาณ 120 องศาเซลเซียส คาดว่าเกิดจากน้ำส่วนเกินซึ่งทำให้ค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้นและพยายามออกจากคอนกรีตในรูปของไอน้ำและพาความร้อนออกมาด้วย โดยความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสมีความดันประมาณ 2 เท่าของความดันบรรยากาศ โดยในช่วงนี้จะเห็นได้เด่นชัดมากกว่าในเหล็กเสริม และจากการสังเกตบริเวณคานภายหลังการทดสอบพบว่าเป็นบริเวณเอวของคานในช่วงรอยต่อระหว่างปีกและเอวคานเป็นส่วนที่มีรอยคราบสีขาวคาดว่าเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตโดยคาดว่าจะถูกพาออกมาพร้อมกับไอน้ำที่พยายามแทรกตัวออกมาจากคอนกรีต และจากการเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้นั้นสูงกว่า เนื่องจากการเผาไฟของคานในชุดที่ 1 นี้เกิดไฟดับมีการเผาเพิ่มเติมเพื่อชดเชย และคาดว่าเกิดจากผลของการที่คานชุดนี้เป็นคานชุดแรกที่ได้ทำการทดสอบเผาไฟโดยจะมีน้ำที่หลงเหลืออยู่ในคอนกรีตมากและเมื่อเกิดการที่น้ำพยายามออกจากคอนกรีตทำให้เกิดช่องว่างที่ต่อกันและอาจส่งผลให้อุณหภูมิจากการเผาไฟเข้าไปสู่คานได้มากกว่าปกติ

จากอุณหภูมิในคอนกรีตที่ตำแหน่งกึ่งกลางปีกคานดังรูปที่ 6.11 พบว่า อุณหภูมิคอนกรีตที่กึ่งกลางคานปีกคานในตำแหน่ง B-B-6 และ C-C-7 มีความแตกต่างกันไม่มากโดยมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 360 องศาเซลเซียส และในช่วงที่เกิดการพาความร้อนออกจากคอนกรีตโดยไอน้ำหรือน้ำส่วนเกินในคอนกรีตพบว่าไม่เด่นชัดเหมือนตำแหน่งกึ่งกลางของเอวคาน คาดว่าเกิดจากบริเวณปีกมีการส่งผลของการแอมของคานจากการขยายตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริมน้อยกว่าที่บริเวณเอวคาน และคาดว่าเกิดจากอุณหภูมิส่งผลมาจากการเผาไฟในส่วนนี้น้อยกว่าบริเวณเอวคานเนื่องจากบริเวณปีกคานถูกเผาไฟบริเวณด้านล่างปีกอย่างเดียวและสามารถนำความร้อนออกจากผิวคอนกรีตในด้านที่ไม่ได้ถูกเผาไฟ ส่งผลให้การนำพาความร้อนออกจากคอนกรีตโดยไอน้ำในช่วงนี้ช้าและน้อยกว่าบริเวณเอวคาน จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys พบว่าในช่วงต้นค่อนข้างใกล้เคียงกับที่ทำการวิเคราะห์โดยอุณหภูมิจากการทดสอบสูงกว่าเล็กน้อย



รูปที่ 6.10 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางคาน B700 ขณะทำการเผาไฟ



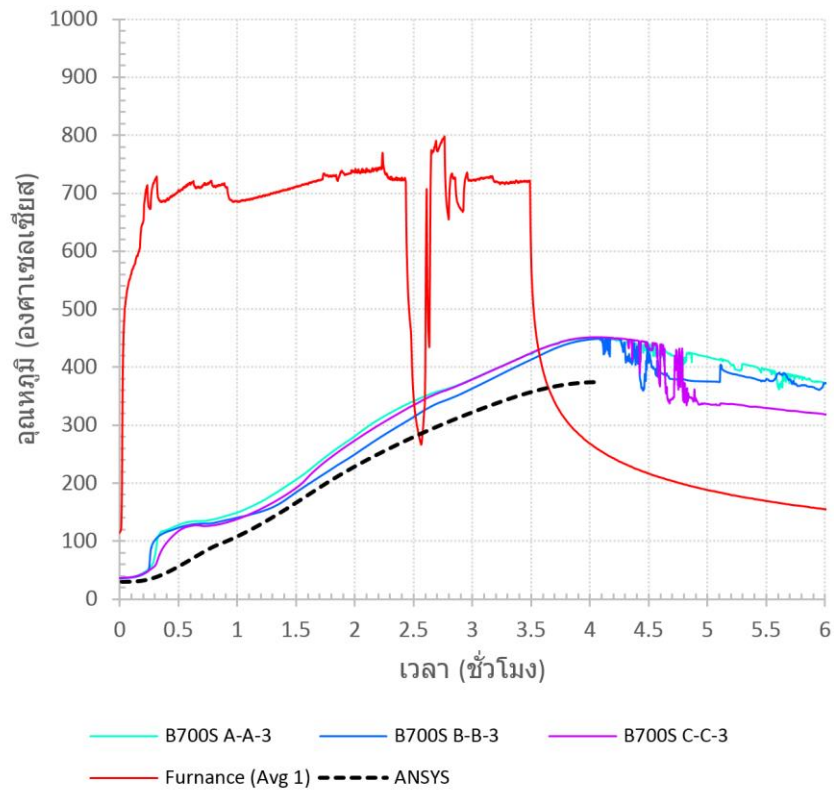
รูปที่ 6.11 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางปีกคาน B700 ขณะทำการเผาไฟ

### 6.3.2 วิเคราะห์อุณหภูมิในคอนกรีตของคาน B700S

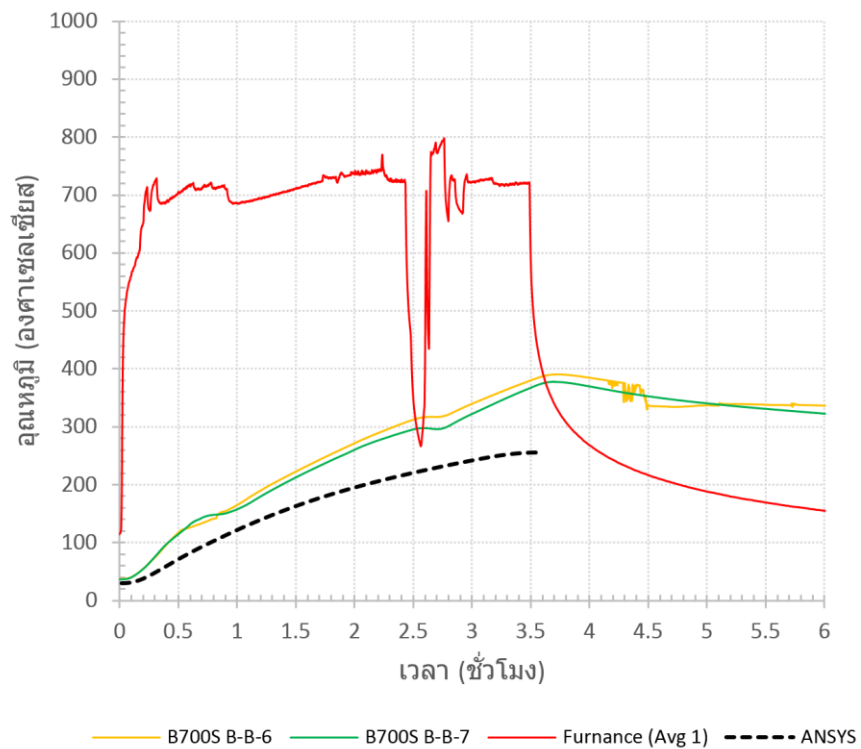
จากอุณหภูมิในคอนกรีตที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานดังรูปที่ 6.12 พบว่า อุณหภูมิคอนกรีตที่กึ่งกลางคานในตำแหน่ง A-A-3 B-B-3 และ C-C-3 มีความใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับคาน B700 ในด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้นและมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 450 องศาเซลเซียส และพบว่าช่วงประมาณ 15 ถึง 45 นาที อุณหภูมิในคานจะคงค้างอยู่ที่ประมาณ 120 องศาเซลเซียส คาดว่าเกิดจากน้ำส่วนเกินซึ่งทำให้ค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้นและพยายามออกจากคอนกรีตในรูปของไอน้ำและพาความร้อนออกมาด้วย โดยในช่วงนี้จะเห็นได้เด่นชัดมากกว่าในเหล็กเสริม และจากการสังเกตที่คานภายหลังการทดสอบพบว่า เป็นบริเวณเอวของคานในช่วงรอยต่อระหว่างปีกและเอวคานเป็นส่วนที่มีรอยคราบสีขาวคาดว่า เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตโดยคาดว่าจะถูกพาออกมาพร้อมกับไอน้ำที่พยายามแทรกตัวออกมาจากคอนกรีตโดยพบที่คาน B700 ค่อนข้างมากกว่าคาน B700S ในส่วนภายหลังที่ทำการสิ้นสุดการเผาไฟค่าอุณหภูมิที่อ่านจากตัววัดอุณหภูมิมีการผันผวนของสัญญาณมากกว่าค่าสัญญาณที่ได้จากตัววัดอุณหภูมิในคาน B700 คาดว่าเกิดจากมีการขยับตัวของคาน B700S มากกว่าคาน B700 จากการลดลงของอุณหภูมิในเตาอย่างรวดเร็วและผลจากการให้น้ำหนักบรรทุกใช้งานกับคาน B700S จากการเปรียบเทียบกับวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จากตัววัดอุณหภูมินั้นสูงกว่า เนื่องจากการเผาไฟของคานในชุดที่ 1 นี้เกิดไฟดับมีการเผาเพิ่มเติมเพื่อชดเชย และคาดว่าเกิดจากผลของการที่คานชุดนี้เป็นคานชุดแรกที่ได้ทำการทดสอบเผาไฟโดยจะมีน้ำที่หลงเหลืออยู่ในคอนกรีตมากและเมื่อเกิดการที่น้ำพยายามออกจากคอนกรีตทำให้เกิดช่องว่างที่ต่อกันและอาจส่งผลให้อุณหภูมิจากการเผาไฟเข้าไปสู่คานได้มากกว่าปกติ

จากอุณหภูมิในคอนกรีตที่ตำแหน่งกึ่งกลางปีกคานดังรูปที่ 6.13 พบว่า อุณหภูมิคอนกรีตที่กึ่งกลางคานปีกคานในตำแหน่ง B-B-6 และ C-C-7 มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยโดยมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 390 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าของคาน B700 โดยคานว่าเกิดจากผลของการให้น้ำหนักบรรทุกทุกไปด้วยขณะทำการเผาไฟ ในช่วงที่เกิดการพาความร้อนออกจากคอนกรีตโดยไอน้ำหรือน้ำส่วนเกินในคอนกรีตพบว่าไม่เด่นชัดเหมือนตำแหน่งกึ่งกลางของเอวคานเช่นเดียวกับคาน B700 จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys พบว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบที่บริเวณปีกคานนี้สูงกว่าค่าที่ได้จากการทำการวิเคราะห์ ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากการให้น้ำหนักบรรทุกใช้งานนี้ส่งผลให้เกิดการเข้าไปของอุณหภูมิที่บริเวณปีกคานนี้สูงกว่ากรณีที่ไม่ได้ให้น้ำหนักบรรทุกทุกคาดว่าเนื่องจากผลของการแอนตัวและผลของรูปร่างของคานซึ่งบริเวณปีกมีความหนาของคอนกรีตไม่มากส่งผลให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นออกจากคอนกรีตได้มากกว่าบริเวณเอวคานทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไฟเข้าไปได้มาก





รูปที่ 6.12 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางคาน B700S ขณะทำการเผาไฟ

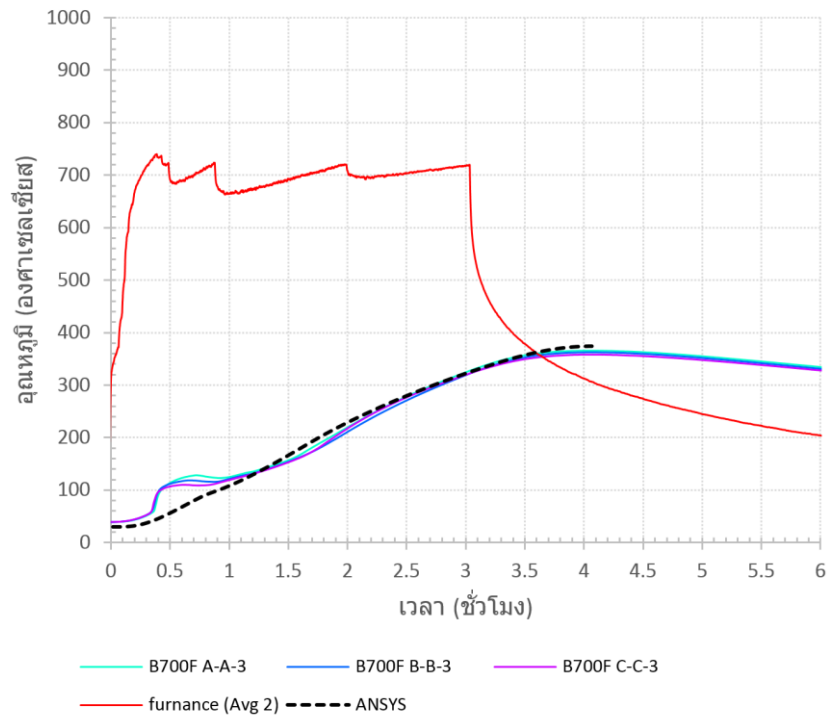


รูปที่ 6.13 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางปีกคาน B700S ขณะทำการเผาไฟ

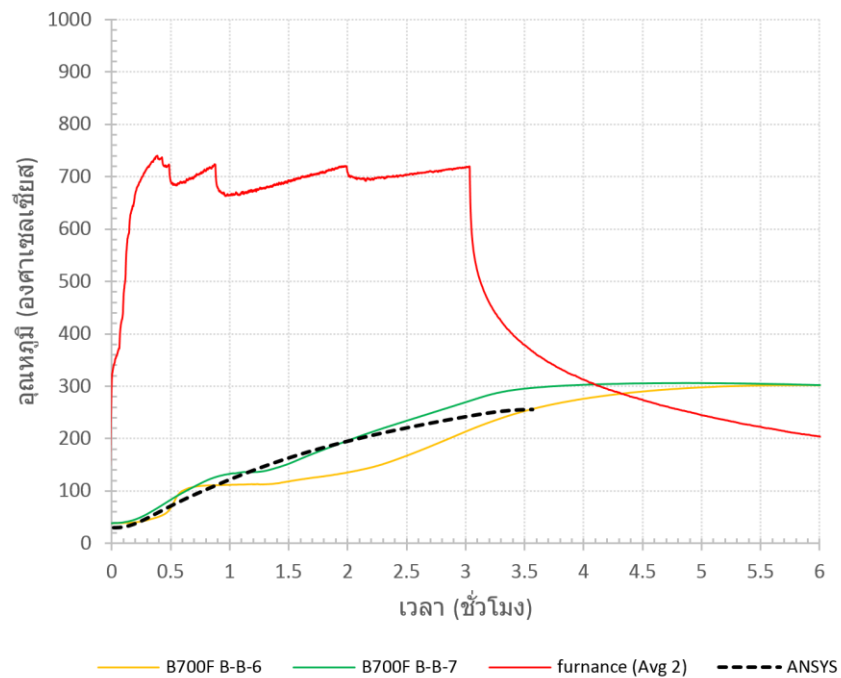
### 6.3.3 วิเคราะห์อุณหภูมิในคอนกรีตของคาน B700F

จากอุณหภูมิในคอนกรีตที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานดังรูปที่ 6.14 พบว่า อุณหภูมิคอนกรีตที่กึ่งกลางคานในตำแหน่ง A-A-3 B-B-3 และ C-C-3 มีความใกล้เคียงกัน โดยมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 380 องศาเซลเซียส และพบว่าช่วงประมาณ 30 ถึง 60 นาที อุณหภูมิในคานจะคงค้างอยู่ที่ประมาณ 120 องศาเซลเซียส คาดว่าเกิดจากน้ำส่วนเกินซึ่งทำให้ความร้อนจำเพาะสูงขึ้นและพยายามออกจากคอนกรีตในรูปของไอน้ำและพาความร้อนออกมาด้วย โดยจะเกิดช้ากว่าในคานชุดแรกที่ทำการเผาไฟ ทั้งนี้คานว่าเกิดจากคานชุดนี้ทำการเผาหลังคานชุดแรกส่งผลให้น้ำที่หลงเหลือในคอนกรีตน้อยกว่าคานชุดแรก และจากการสังเกตที่คานภายหลังการทดสอบพบว่ามียอยคราบสีขาวคาดว่าเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตโดยคาดว่าจะถูกพาออกมาพร้อมกับไอน้ำที่พยายามแทรกตัวออกมาจากคอนกรีตน้อยกว่าคานชุดแรกค่อนข้างมากและพบว่าคานที่ทำการเผาให้ชุดนี้มีความผันผวนของค่าสัญญาณน้อยกว่าคานที่เผาชุดแรกทั้งนี้คาดว่าเกิดจากผลจากอุณหภูมิที่สายของตัววัดอุณหภูมิน้อยกว่าคานชุดแรก จากการเปรียบเทียบกับวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จากตัววัดอุณหภูมินั้นมีความใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ เนื่องจากการเผาไฟของคานในชุดที่ 2 นี้มีความใกล้เคียงของอุณหภูมิที่ใส่เข้าไปในการวิเคราะห์อุณหภูมิด้วยโปรแกรม Ansys แต่ไม่สามารถทำนายค่าในช่วงที่เกิดการพ่น้ำออกของน้ำในคอนกรีตในช่วงต้นของการทดสอบเผาไฟ

จากอุณหภูมิในคอนกรีตที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานดังรูปที่ 6.15 พบว่า อุณหภูมิคอนกรีตที่กึ่งกลางคานคานคานในตำแหน่ง B-B-6 และ C-C-7 มีความแตกต่างกันอยู่ค่อนข้างมาก โดยมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในตำแหน่ง B-B-6 มีค่าต่ำกว่าตำแหน่ง B-B-7 ค่อนข้างมากในช่วงขณะทำการทดสอบประมาณ 60 ถึง 180 นาที ส่วนในช่วงที่เกิดการพาความร้อนออกจากคอนกรีตโดยไอน้ำหรือน้ำส่วนเกินในคอนกรีตพบว่าไม่เด่นชัดเหมือนตำแหน่งกึ่งกลางของคาน จากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys พบว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบของตำแหน่ง B-B-7 ในช่วงต้นมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์มากกว่าตำแหน่ง B-B-6 ส่วนในช่วงหลังที่ทำการสิ้นสุดการเผาไฟในช่วงลดลงของอุณหภูมิพบว่าผลจากการทดสอบมีค่าสูงกว่าทั้งนี้คาดว่าเกิดจากอุณหภูมิของเตาเผาที่แทนค่าลงไปโปรแกรม Ansys นี้้น้อยกว่ากว่าที่เกิดขึ้นจริงในเตาเผา



รูปที่ 6.14 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางคาน B700F ขณะทำการเผาไฟ

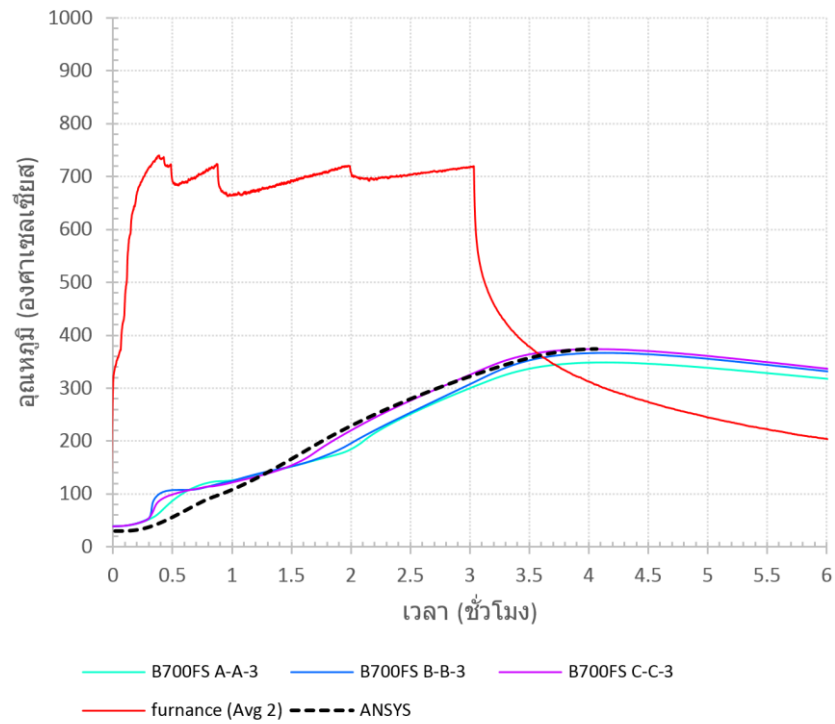


รูปที่ 6.15 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางปีกคาน B700F ขณะทำการเผาไฟ

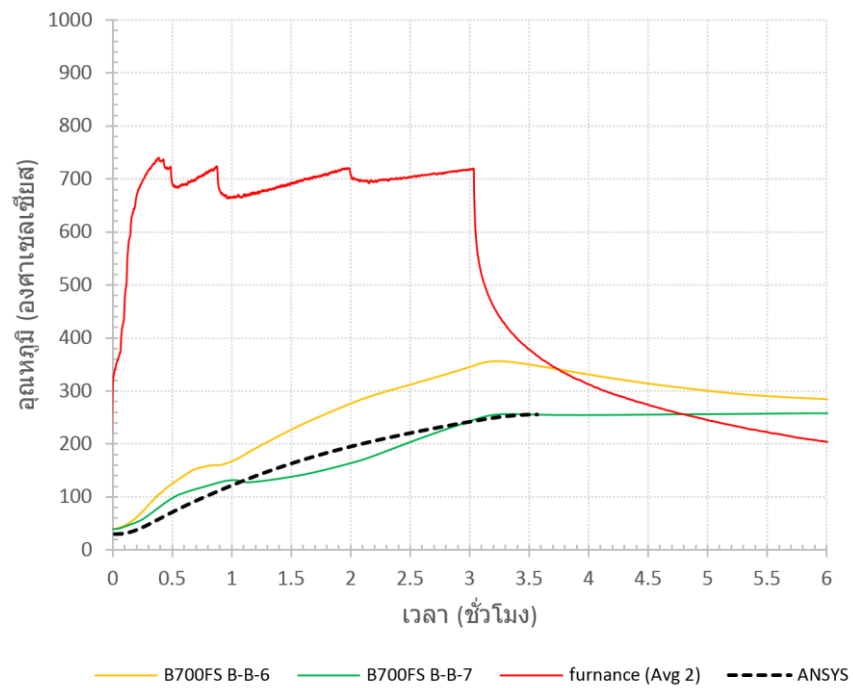
### 6.3.4 วิเคราะห์อุณหภูมิในคอนกรีตของคาน B700FS

จากอุณหภูมิในคอนกรีตที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานดังรูปที่ 6.16 พบว่า อุณหภูมิคอนกรีตที่กึ่งกลางคานในตำแหน่ง A-A-3 B-B-3 และ C-C-3 มีความใกล้เคียงกัน โดยมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 380 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยสูงกว่าคาน B700F เพียงเล็กน้อยและพบว่าช่วงประมาณ 30 ถึง 60 นาที อุณหภูมิในคานจะคงค้างอยู่ที่ประมาณ 120 องศาเซลเซียส คาดว่าเกิดจากน้ำส่วนเกินซึ่งทำให้ค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้นและพยายามออกจากคอนกรีตในรูปของไอน้ำและความร้อนออกมาด้วยเช่นเดียวกับคาน B700F โดยจะเกิดช้ากว่าในคานชุดแรกที่ทำกรเผาไฟทั้งนี้คานที่เกิดจากคานชุดนี้ทำการเผาหลังคานชุดแรกส่งผลให้น้ำที่หลงเหลือในคอนกรีตน้อยกว่าคานชุดแรก และจากการสังเกตที่คานภายหลังการทดสอบพบว่ามียอคราบสีขาวคาดว่าเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตโดยคาดว่าจะถูกพาออกมาพร้อมกับไอน้ำที่พยายามแทรกตัวออกมาจากคอนกรีตน้อยกว่าคานชุดแรกค่อนข้างมากและพบว่าคานที่ทำกรเผาไฟให้ชุดนี้มีความผันผวนของค่าสัญญาณน้อยกว่าคานที่เผาชุดแรกทั้งนี้คาดว่าเกิดจากผลจากอุณหภูมิที่สายของตัววัดอุณหภูมิต่ำกว่าคานชุดแรก จากการเปรียบเทียบกับกรวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จากตัววัดอุณหภูมินั้นมีความใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ เนื่องจากการเผาไฟของคานในชุดที่ 2 นี้มีความใกล้เคียงของอุณหภูมิที่ใส่เข้าไปในการวิเคราะห์อุณหภูมิด้วยโปรแกรม Ansys แต่ไม่สามารถทำนายค่าในช่วงที่เกิดการพาน้ำออกของน้ำในคอนกรีตในช่วงต้นของการทดสอบเผาไฟ

จากอุณหภูมิในคอนกรีตที่ตำแหน่งกึ่งกลางปีกคานดังรูปที่ 6.17 พบว่า อุณหภูมิคอนกรีตที่กึ่งกลางคานปีกคานในตำแหน่ง B-B-6 และ C-C-7 มีความแตกต่างกันอยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งอุณหภูมิในตำแหน่ง B-B-6 มีค่าสูงกว่า B-B-7 ค่อนข้างมากทั้งนี้คานที่เกิดจากผลของการให้น้ำหนักบรรทุกใช้งานระหว่างการทดสอบเผาไฟโดยบริเวณ B-B-6 และคาดว่ามีส่วนเกินในคอนกรีตบริเวณนี้สูงจากการสังเกตที่ผิวคอนกรีตบริเวณใต้ปีกเกิดการแตกร้าวของผิวของคอนกรีตบริเวณใต้ปีกเล็กน้อยซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิที่เข้าไปสูงกว่าปกติที่ควรจะเป็น จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys เปรียบเทียบกับตำแหน่ง B-B-7 พบว่ามีค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบในทิศทางเดียวกับการวิเคราะห์ โดยมีความแตกต่างกันอยู่บ้างอันเนื่องมาจากการพาความร้อนออกของไอน้ำที่เกิดขึ้นในคอนกรีตบริเวณปีกคาน



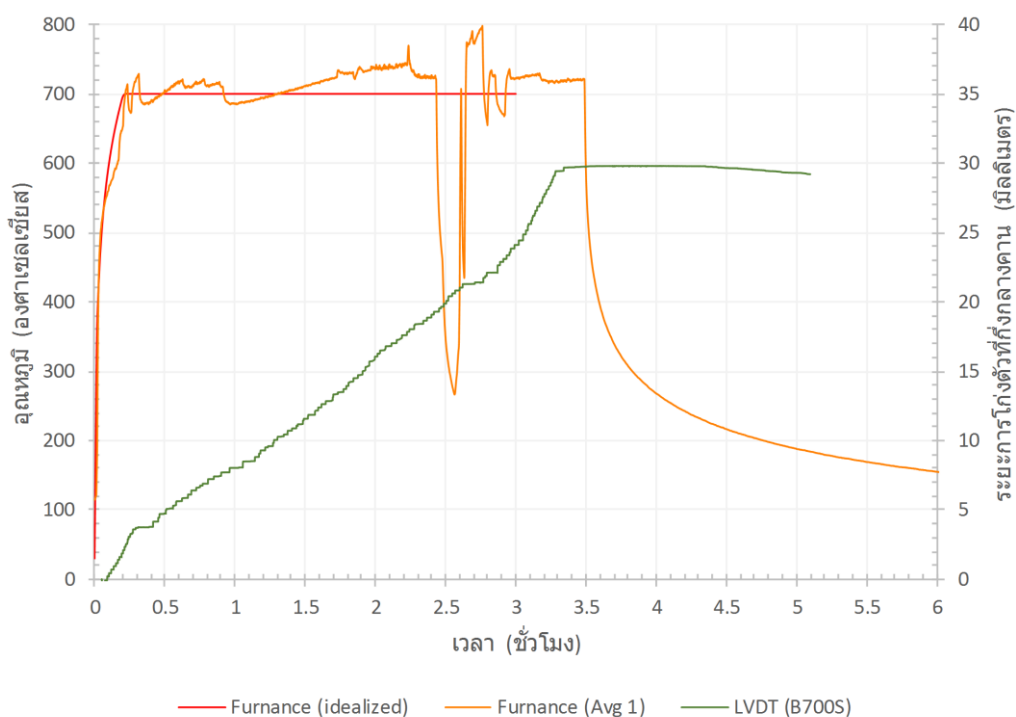
รูปที่ 6.16 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางคาน B700FS ขณะทำการเผาไฟ



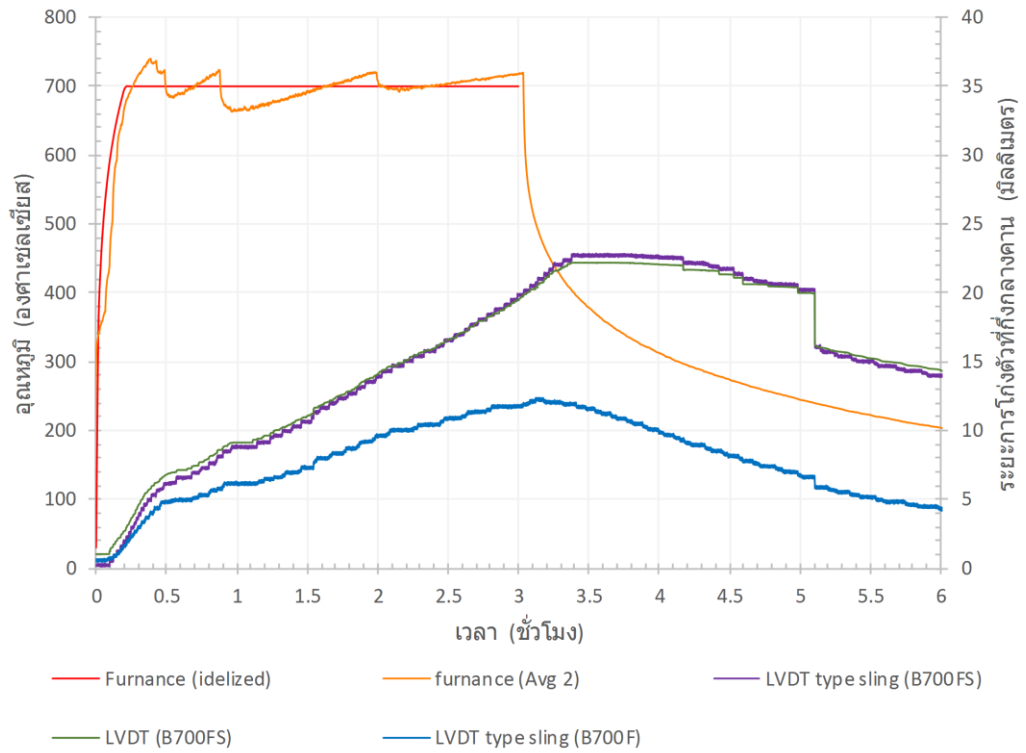
รูปที่ 6.17 อุณหภูมิของคอนกรีตที่กึ่งกลางปีกคาน B700FS ขณะทำการเผาไฟ

#### 6.4 วิเคราะห์การโก่งตัวของคานขณะทำการเผาไฟ

การโก่งตัวของคานขณะทำการเผาไฟที่ทำการเผาในชุดแรกซึ่งจะทำการเก็บเฉพาะการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานของคาน B700S ดังรูปที่ 6.18 และการโก่งตัวของคานที่ทำการเผาไฟในชุดที่สอง B700F และ B700FS ดังรูปที่ 6.19 จากการเปรียบเทียบพบว่าคานที่ทำการเผาไฟในชุดแรกเกิดการโก่งตัวมากกว่าในการเผาไฟชุดที่สอง และจากการเปรียบเทียบระหว่างคาน B700F และ B700FS ในการเผาไฟในชุดที่สองพบว่าคานที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานในขณะเผาไฟมีการโก่งตัวมากกว่าคานที่ไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกขณะเผาไฟ โดยมีความแตกต่างของระยะการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานประมาณ 10.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 6.18 การโก่งตัวของคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700S



รูปที่ 6.19 การโก่งตัวของคานขณะทำการเผาไฟของคาน B700F และ B700FS



## 6.5 วิเคราะห์น้ำหนักระงับและการโค้งตัวของคาน จากการทดสอบแรงกระทำที่จุด

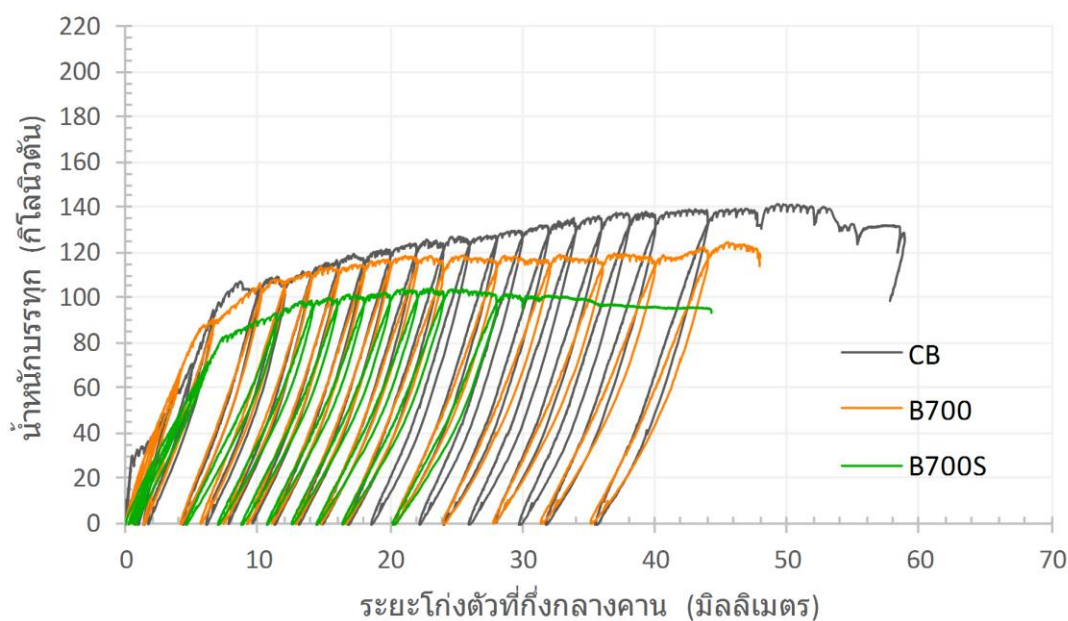
ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบแรงกระทำที่จุดกับการโค้งตัวของคาน โดยทำการเปรียบเทียบคานควบคุม CB B700 และ B700S ดังหัวข้อที่ 6.5.1 เปรียบเทียบผลจากการเสริมกำลังคานด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน B700 กับ B700F ดังหัวข้อที่ 6.5.2 B700S กับ B700FS ดังหัวข้อที่ 6.5.3

### 6.5.1 วิเคราะห์น้ำหนักระงับและการโค้งตัวของคานควบคุม CB กับคานที่เผาไฟที่ระดับอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส B700 และคานที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะทำการเผาไฟที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส B700S

ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโค้งตัวที่กึ่งกลางของคาน CB ,B700 และ B700S ดังรูปที่ 6.20 พบว่ามีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของคานสูงสุด 140.0 126.5 และ 102.7 กิโลนิวตัน ตามลำดับ โดยการให้น้ำหนักบรรทุกช่วงแรกของคานควบคุม CB ช่วง 0-35 กิโลนิวตัน มีพฤติกรรมที่ส่งผลมาจากการแตกร้าวของคอนกรีตและเข้าสู่สภาวะภายหลังการเกิดการแตกร้าวของคอนกรีตจากการให้รอบของน้ำหนักบรรทุก และหลังจากที่เหล็กเสริมเกิดการครากจะทำให้ค่าของความชันลดลงโดยคานจะมีการโค้งตัวเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่คานรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดและเกิดการวิบัติ สำหรับคาน B700 ไม่พบพฤติกรรมในช่วงคอนกรีตแตกร้าวจากแรงดึงเหมือนคานควบคุม CB และพฤติกรรมก่อนการครากของเหล็กเสริมของคาน B700 มีความใกล้เคียงกับคานควบคุม จากนั้นเข้าสู่เส้นที่เกิดภายหลังการครากของเหล็กเสริมในเส้นนี้ น้ำหนักบรรทุกที่คานรับจะต่ำกว่าคานควบคุมซึ่งคาดว่าจะส่งผลมาจากการครากและการเลื่อนและไถลของเหล็กเสริมที่มีผลมาจากกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตที่ถูกเผาไฟที่ระดับอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในส่วนของคาน B700S ไม่แสดงพฤติกรรมในช่วงคอนกรีตแตกร้าวช่วงต้นเช่นเดียวกับคาน B700 โดยจะเข้าสู่พฤติกรรมที่เหล็กเสริมทำการรับแรงดึงแทนคอนกรีตแทนเช่นเดียวกับคาน B700 แต่ความชันช่วงแรกมีค่าน้อยกว่าคานควบคุม CB และคาน B700 ทั้งนี้คาดว่าจะมีสาเหตุมาจากการรับน้ำหนักบรรทุกขณะทำการเผาไฟที่ระดับ 700 องศาเซลเซียส มีผลทำให้เกิดความเครียดค้ำและการลดลงของค่าโมดูลัสในเหล็กเสริมมากกว่ากรณีทำการเผาไฟอย่างเดียว ซึ่งเมื่อเหล็กเสริมรับแรงดึงอีกครั้งภายหลังการทดสอบการเผาไฟเป็นเหตุให้ค่าความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมถึงจุดครากก่อนคานควบคุมและคาน B700 และยังส่งผลไปถึงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกภายหลังการเกิดการครากของเหล็กเสริม และคาดว่าจะเกิดความเครียดค้ำในเหล็กเสริมและการเลื่อนหรือไถลของเหล็กเสริมเนื่องจากกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตมากกว่าคาน B700 และเหตุผลอื่นเนื่องมาจากการทดสอบเผาไฟของคานชุดแรก B700 และ B700S เกิดการดับของไฟภายในเตาเผาจึงทำการเพิ่มระยะเวลาของการเผาไฟตั้ง เมื่อตรวจสอบอุณหภูมิที่เหล็กเสริมพบว่าอุณหภูมิสูงสุดใน



เหล็กเสริมของการเผาไฟชุดแรกและชุดที่สองมีความแตกต่างกันประมาณ 40 ถึง 50 องศาเซลเซียส คาดว่าไม่ส่งผลมากต่อการวิเคราะห์การโก่งตัวเนื่องจากอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมมีค่าไม่เกินค่าวิกฤติที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงดึงของเหล็กไปมากนักและการทดสอบการให้น้ำหนักบรรทุกกระทำที่อุณหภูมิห้อง

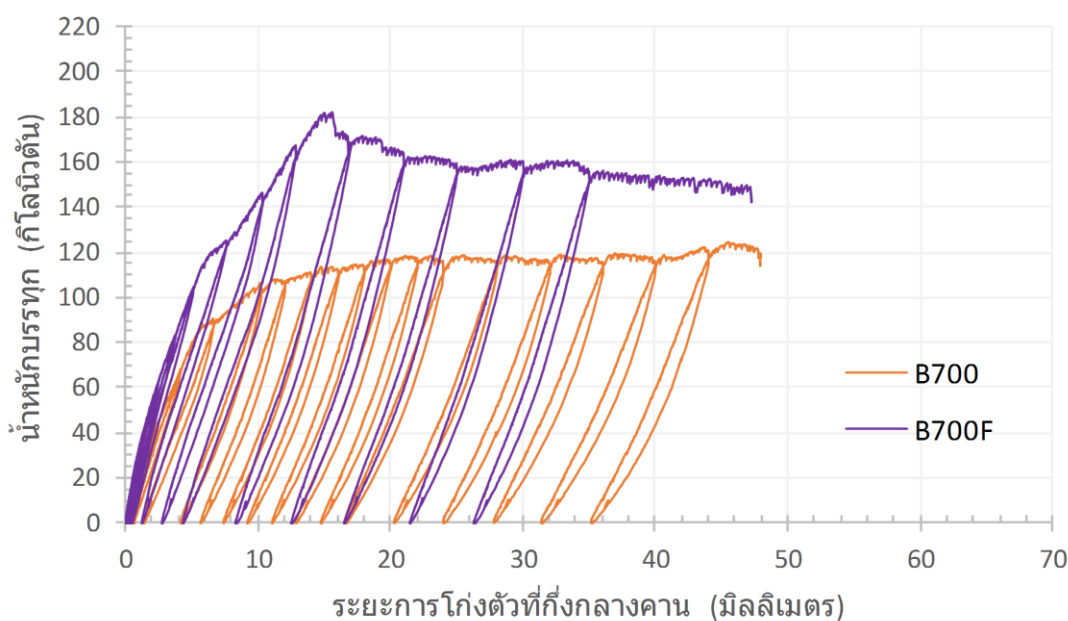


รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคาน CB ,B700 ,B700S

**6.5.2** วิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวระหว่างคานที่ทำการเผาไฟที่ระดับอุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700 กับคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์ภายหลังการทำการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700F

ผลจากการเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวของคาน B700 และ B700F รูปที่ 6.21 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวของคาน B700F ในช่วงแรกก่อนเกิดการครากของเหล็กเสริมมีความชันของเส้นมากกว่าของคาน B700 และพบว่ามีจุดครากของคานที่น้ำหนักบรรทุกสูงกว่าคาน B700 ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากการถ่ายเทค่าความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกระหว่างเหล็กเสริมและแผ่นพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่าความเค้นครากที่เกิดขึ้นให้เหล็กเสริมเกิดที่การน้ำหนักบรรทุกของคาน B700F สูงกว่าคาน B700 จึงทำให้จุดครากของคานอยู่สูงกว่า ในส่วนเส้นที่ต่อจากจุดครากของคาน B700F เป็นเส้นที่เกิดขึ้นจากการที่เหล็กเสริมเกิดการครากจึงมีการแบ่งส่วนของค่าความเค้นที่รับจากเดิมไปอยู่ที่แผ่นพอลิเมอร์มากขึ้น ส่งผลให้ความชันของกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานในส่วนนี้ลดลงและมีการโก่งตัวมากขึ้น

จนกระทั่งแผ่นพอลิเมอร์เกิดการหลุดล่อนที่น้ำหนักบรรทุก 183.4 กิโลนิวตัน ภายหลังจากเกิดการหลุดล่อนพบว่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกยังคงสูงกว่าคาน B700 ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากการทำงานของระบบยัดรีดที่ปลายแผ่นของพอลิเมอร์ ทำให้แผ่นพอลิเมอร์ยังคงสามารถช่วยในการแบ่งรับน้ำหนักบรรทุกของคานที่เกิดขึ้นได้

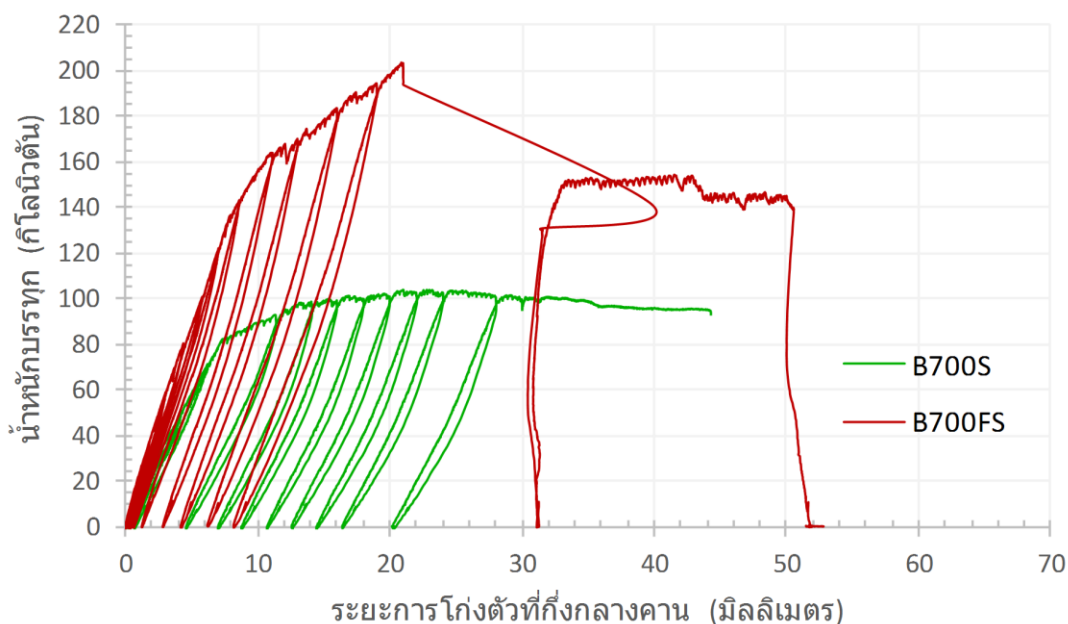


รูปที่ 6.21 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคาน B700, B700F

6.5.3 วิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวระหว่างคานที่ทำการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟที่ระดับอุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700S กับคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์ภายหลังจากทำการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส B700FS

ผลจากการเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคาน B700S และ B700FS รูปที่ 6.22 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวของคาน B700S ในช่วงแรกก่อนเกิดการครากของเหล็กเสริมมีความชันมากของเส้นมากกว่าคาน B700S และพบว่ามีความจุครากของน้ำหนักบรรทุกสูงกว่าคาน B700S และ B700F ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากการถ่ายค่าความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกระหว่างเหล็กเสริมและแผ่นพอลิเมอร์ และจากการสังเกตค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์พบว่าบนแผ่นพอลิเมอร์ที่น้ำหนักบรรทุกเดียวกันค่าความเครียดของแผ่นพอลิเมอร์บนคาน B700FS มีค่าสูงกว่า แผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F ซึ่งหมายถึงว่ามีการใช้งานประสิทธิภาพแผ่นพอลิเมอร์ก่อนที่เหล็กเกิดการครากในคาน B700FS มีค่าสูงกว่าในคาน B700F โดยพบว่าสูงกว่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และแปลว่าการใช้งานเหล็กเสริมในคาน

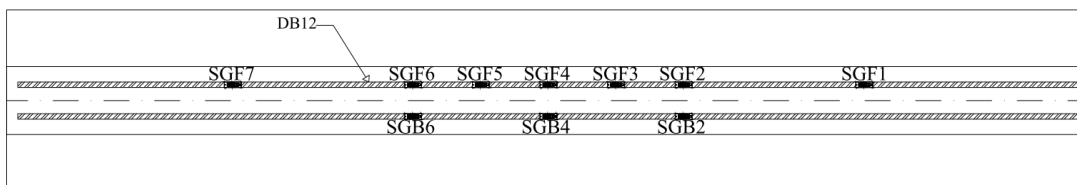
B700FS น้อยกว่า เหล็กเสริมในคาน B700F อีกด้วย ซึ่งจะส่งผลให้จุดครากของคานเกิดที่การโก่งตัวสูงขึ้นเพราะมีการถ่ายความเค้นไปที่แผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS สูงกว่าคาน B700F จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวของคาน พบว่าที่จุดครากของคาน B700F เกิดขึ้นที่ค่าการโก่งตัวประมาณ 5 มิลลิเมตร และของคาน B700FS เกิดขึ้นที่ประมาณ 8 มิลลิเมตร ซึ่งภายหลังการครากของเหล็กเสริมจนถึงการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS พบว่ามีความชันน้อยกว่า คาน B700F แต่จากค่าความเค้นของพอลิเมอร์ในช่วงนี้ของคาน B700FS มีการใช้สูงกว่าของคาน B700F ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่เหล็กเสริมของ B700FS ยังคงมีการใช้งานหรือเกิดความเค้นน้อยกว่าเหล็กเสริมในคาน B700F และยังคงมีความเป็นไปได้ที่เหล็กเสริมในคาน B700F จะอยู่ในช่วงของความเครียดแข็ง (strain hardening) จึงทำให้เกิดการโก่งตัวในช่วงนี้ของคาน B700F ที่ต่ำกว่าคาน B700FS จากนั้นพบว่าเส้นภายหลังการหลุดล่อนของคาน B700FS แสดงพฤติกรรมอย่างชัดเจนซึ่งคานว่าเกิดจากการหลุดล่อนที่ระดับน้ำหนักบรรทุกที่ให้กับคานที่สูง และพบว่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกภายหลังการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS อยู่ที่ประมาณ 140 ถึง 150 กิโลนิวตัน จากการตรวจสอบค่าความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์พบว่ายังมีการใช้งานแผ่นพอลิเมอร์อยู่ แต่ใช้น้อยกว่าของของคาน B700F ซึ่งคาดว่าเกิดจากการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ในคาน B700FS มากกว่าคาน B700F



รูปที่ 6.22 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคาน B700S ,B700FS

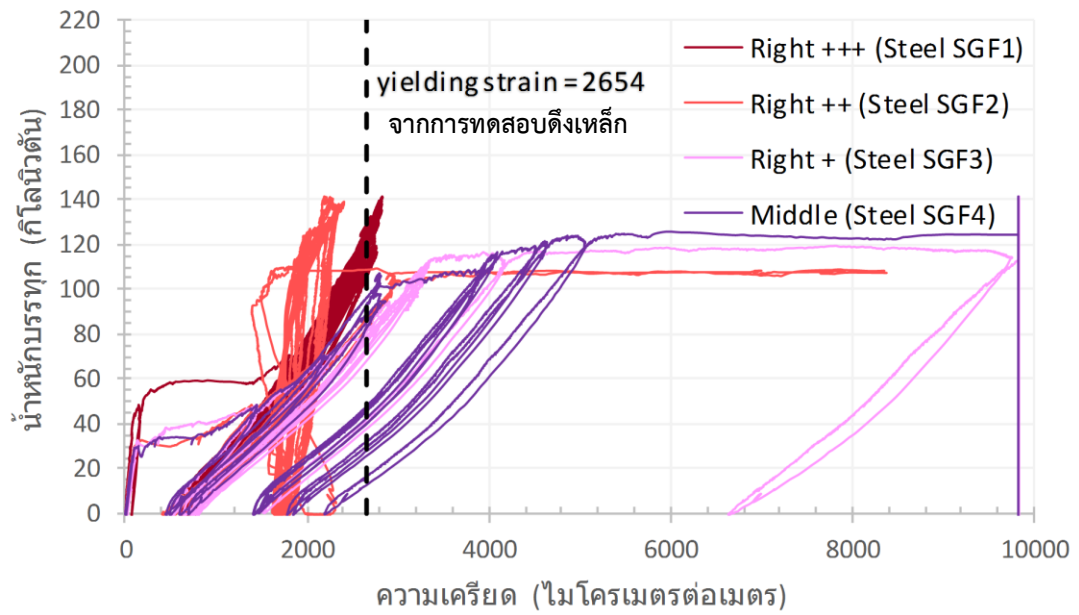
## 6.6 วิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมของคานควบคุม CB

ความเครียดบนเหล็กเสริมรับแรงดึงของคานควบคุม CB จะทำการตรวจวัดโดยใช้ตัววัดความเครียดซึ่งมีตำแหน่งดังรูปที่ 6.23 ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนเหล็กเสริมทางด้านขวาจนถึงตรงกลางของเส้นที่อยู่ด้านหน้าดังรูปที่ 6.24 และด้านซ้ายดังรูปที่ 6.25 ในส่วนเส้นที่อยู่ด้านหลังดังรูปที่ 6.26 และเปรียบเทียบค่าความเครียดทางด้านซ้ายและขวาดังรูปที่ 6.27

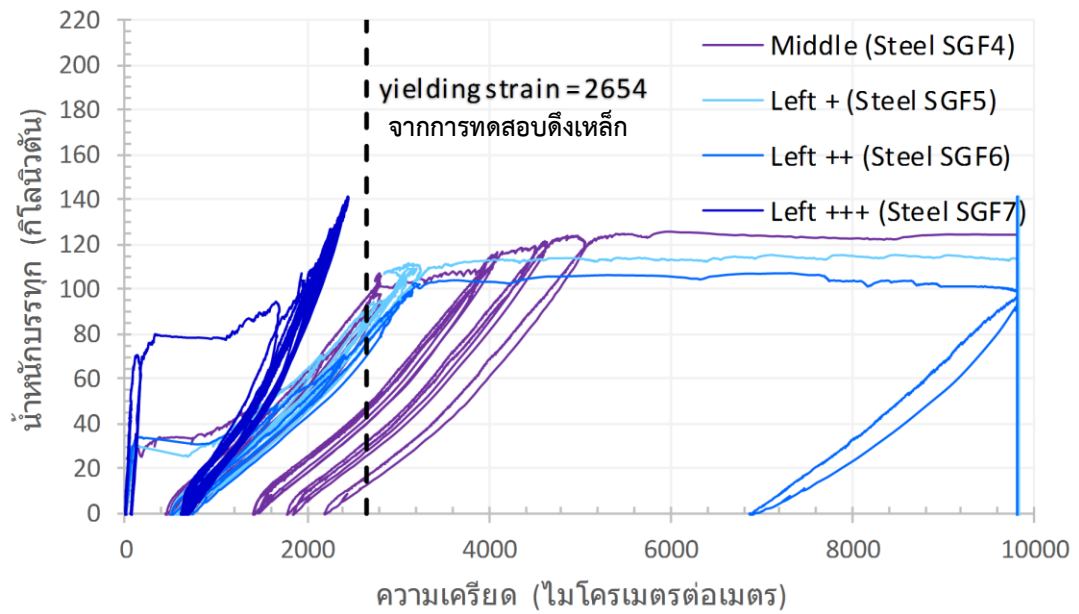


รูปที่ 6.23 ตำแหน่งตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงดึงของคานควบคุม CB

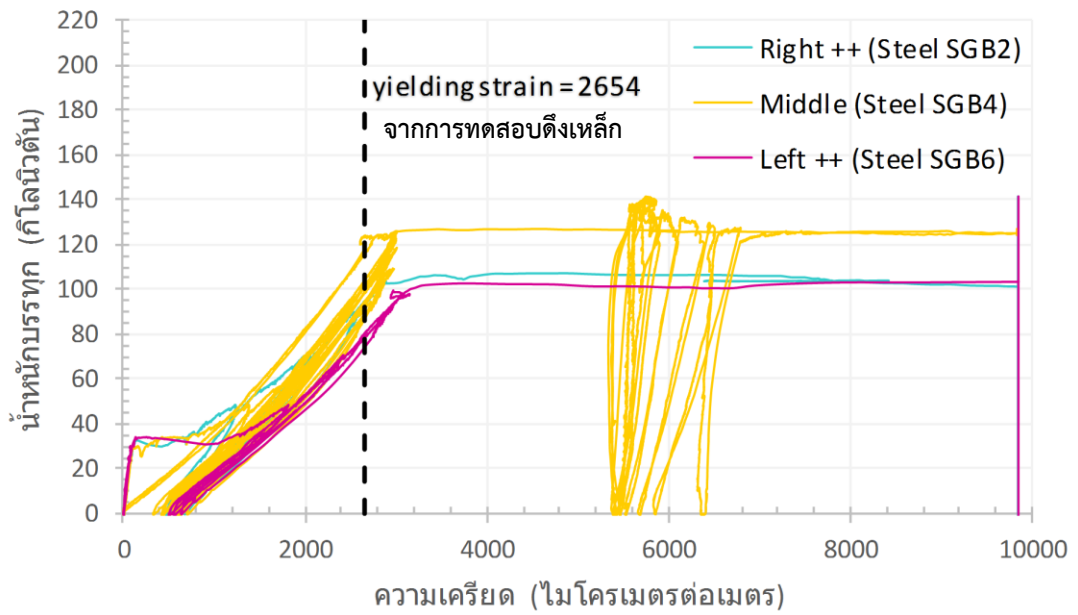
จากการเปรียบเทียบพบว่าค่าความเครียดที่เกิดขึ้นเมื่อเกินค่าความเครียดที่จุดครากของเหล็กไปแล้วที่ 2654 ไมโครเมตรต่อเมตรและทำการนำน้ำหนักรอกค่าความเครียดจะไม่กลับมาที่เส้นเดิม และในช่วงต้นของการให้น้ำหนักบรรทุกทุกเป็นรอบพบว่าภายหลังที่คอนกรีตแตกแล้วหรือที่น้ำหนักบรรทุกมากกว่า 40 กิโลนิวตัน จะสังเกตเห็นว่าค่าความเครียดไม่กลับลงมาที่ 0 โดยจะคงค้างอยู่ประมาณ 400 ไมโครเมตรต่อเมตร เมื่อทำการนำน้ำหนักบรรทุกออก ซึ่งคาดว่าเกิดจากภายหลังที่คอนกรีตเกิดการแตกแล้วช่วงต้นไปแล้วเหล็กเสริมจะทำหน้าที่แบรับน้ำหนักของตัวคานและน้ำหนักของเครื่องมือทดสอบแทนคอนกรีตในส่วนที่รับแรงดึงที่เกิดการแตกแล้วไป จากการสังเกตค่าความเครียดทางด้านขวาและด้านซ้ายค่าความเครียดที่เหล็กเสริมที่ริมสุดใกล้จุดรองรับ SGF1 และ SGF7 มีการใช้งานอยู่ที่ประมาณค่าความเครียดครากของเหล็กเสริมจากการทดสอบดึงเหล็กหรือที่ 2654 ไมโครเมตรต่อเมตรโดยที่ด้านซ้ายจะมีการใช้งานต่ำกว่าด้านขวา โดยค่าความเครียดที่ครากจากการวัดความเครียดเหล็กเสริมพบว่าที่ตำแหน่ง SGF4 เป็นตำแหน่งกลางคานที่เหล็กเกิดการครากก่อนตำแหน่งอื่นโดยมีค่าความเครียดครากที่วัดได้ 2809 ไมโครเมตรต่อเมตรซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้คานควบคุมแสดงจุดครากของคานออกมาสังเกตได้จากความสัมพันธ์น้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวของคานควบคุม ซึ่งการสังเกตจุดครากของเหล็กเสริมภายในคานควบคุมที่ตำแหน่งต่างๆพบว่ามีค่าความเครียดที่จุดครากสูงกว่าจุดครากที่ได้จากการทดสอบดึงเหล็กคาดว่าเหล็กเสริมรับแรงเฉือนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าความเครียดที่จุดครากของเหล็กเสริมในคานนั้นสูงขึ้น และพบการถลอกของเหล็กเสริมจากค่าความเครียดที่อ่านได้ที่ตำแหน่ง SGF2 และ SGB4 สังเกตได้จากความชันของเส้นที่สูงและค่าความเครียดลดลงจากเดิม และจากการเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เหล็กเสริมทางด้านซ้ายและขวาจากรูปที่ 6.27 พบว่ามีการใช้งานเหล็กเสริมค่อนข้างไปทางด้านขวาของคานมากกว่าด้านซ้าย ซึ่งคาดว่าอาจจะเป็นผลให้เกิดการวิบัติหรือรอยแตกที่บริเวณคานภายหลังการวิบัติเกิดขึ้นที่บริเวณทางขวา



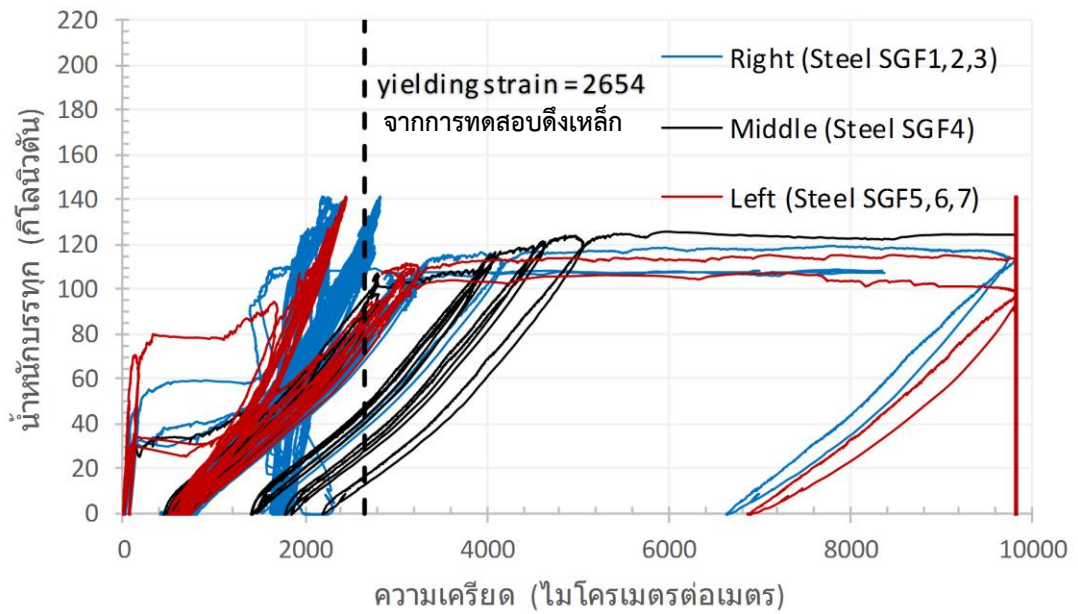
รูปที่ 6.24 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมเส้นที่ 1 ทางด้านขวา



รูปที่ 6.25 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมเส้นที่ 1 ทางด้านซ้าย

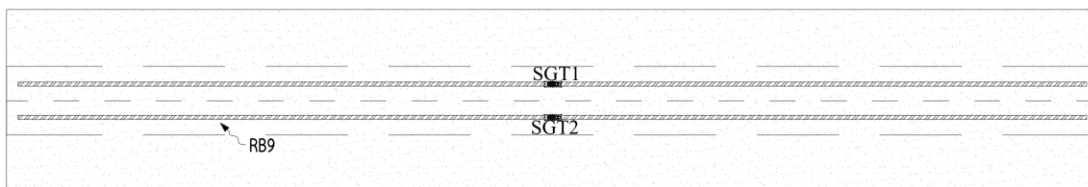


รูปที่ 6.26 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมเส้นที่ 2

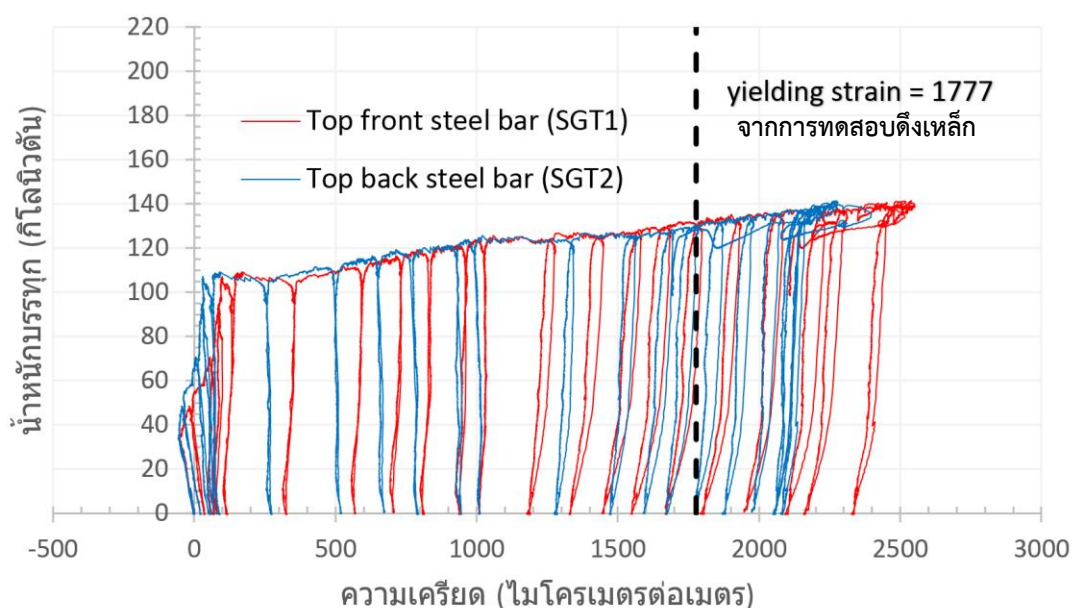


รูปที่ 6.27 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมเส้นที่ 1 ด้านซ้ายและขวา

ความเครียดบนเหล็กเสริมรับแรงอัดของคานควบคุม CB จะทำการตรวจวัดโดยใช้ตัววัดความเครียดซึ่งมีตำแหน่งดังรูปที่ 6.28 ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนกึ่งกลางเหล็กเสริมเส้นทางด้านหน้าและหลังดังรูปที่ 6.29



รูปที่ 6.28 ตำแหน่งตัววัดความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงอัดของคานควบคุม CB



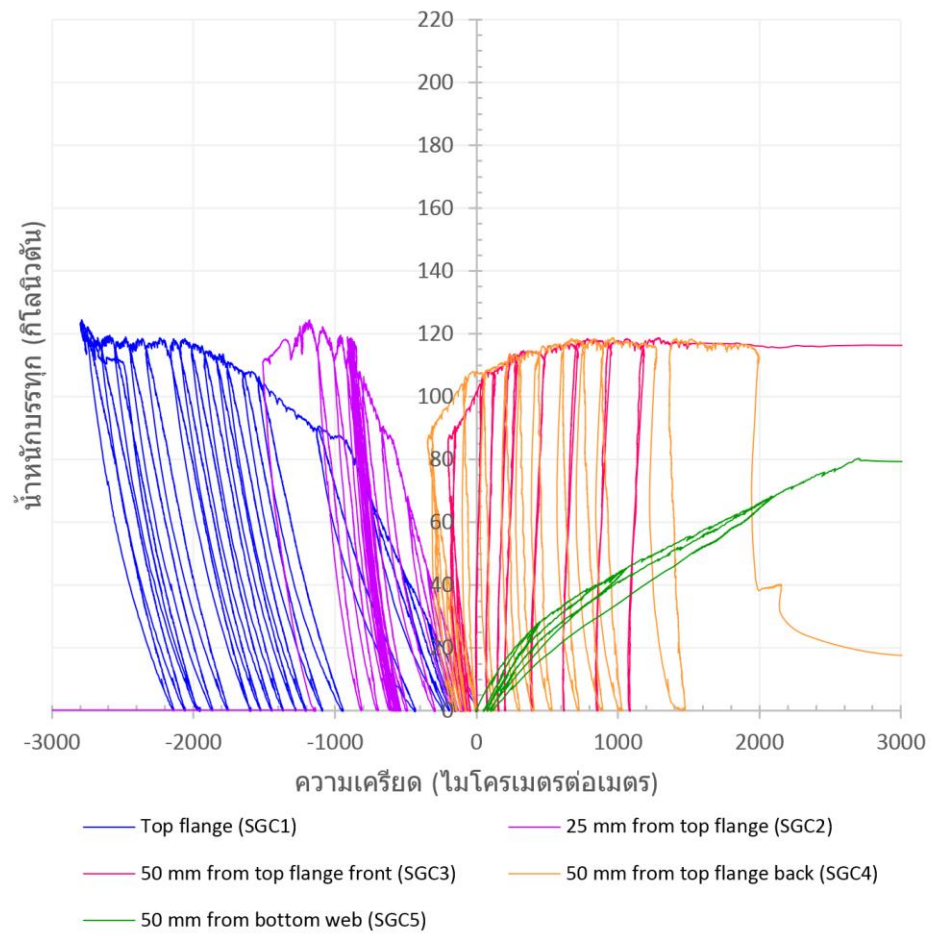
รูปที่ 6.29 เปรียบเทียบความเครียดบนเหล็กเสริมรับแรงอัดเส้นที่อยู่ด้านหน้าและหลัง

จากการเปรียบเทียบพบว่าค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนเหล็กเสริมรับแรงอัดทั้งสองเส้นมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีช่วงที่เกิดความเครียดอัดอยู่ในเหล็กเสริมประมาณช่วงน้ำหนักบรรทุกทุก 55 ถึง 60 กิโลนิวตัน และเปลี่ยนเป็นแรงดึงจนกระทั่งคานวิบัติ โดยพบว่าในช่วงน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 35 กิโลนิวตันที่ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากการให้น้ำหนักบรรทุกแบบรอบจะกลับมาที่จุดเริ่มต้น และพบว่ามีการใช้เหล็กเสริมเกินจุดครากของเหล็กที่ 1777 ไมโครเมตรต่อเมตร ทั้งสองเส้นโดยจะเกิดการครากที่เหล็กเสริมบนที่ประมาณ 130 กิโลนิวตัน และพบว่าเริ่มเกิดค่าความเครียดดึงมากในช่วง 105 กิโลนิวตันเป็นต้นไป คาดว่าเป็นช่วงที่คานเกิดมีระดับของแกนสะเทินเลยระดับของของเหล็กเสริมรับแรงอัดในช่วงนี้

## 6.7 วิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นจากตัววัดความเครียดที่ทำการติดตั้งที่ผิวคอนกรีต

สำหรับตัววัดความเครียดทำการติดตั้งที่ผิวของคาน B700 จำนวน 5 ตัว โดยมีตำแหน่งดังรูปที่ 4.38 และ 4.39 โดยนำมาแสดงเปรียบเทียบดังรูปที่ 6.30 พบว่าค่าความเครียดจากตัววัดความเครียดตำแหน่งที่อยู่ด้านบนกึ่งกลางปีก(SGC1)มีค่าติดลบซึ่งเป็นความเครียดอัดโดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2800 ไมโครเมตรต่อเมตร และพบว่าเป็นบริเวณที่รอยแตกร้าวของคานแบบบดอัดเกิดขึ้นบริเวณนี้โดยเยื้องไปทางขวาเล็กน้อยซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าค่าความเครียดอัดสูงสุดที่อ่านค่าได้นี้จะไม่ใช้ค่าสูงสุดของความเครียดที่วัดจากการอัดของคอนกรีต สำหรับค่าความเครียดที่ตำแหน่ง(SGC2) ซึ่งเป็นตำแหน่งบริเวณปีกคานลงมา 25 มิลลิเมตร พบว่ายังคงมีค่าเป็นความเครียดอัดตลอดการทดสอบจนกระทั่งคานวิบัติโดยมีค่าความเครียดอัดก่อนตัววัดความเครียดขาดจากรอยแตกร้าวที่ผ่านตัววัดความเครียดประมาณ 1510 ไมโครเมตรต่อเมตร และมีค่าความเครียดอัดที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 1172 ไมโครเมตรต่อเมตร สำหรับค่าความเครียดที่ตำแหน่งบริเวณปีกลงมา 50 มิลลิเมตร (SCG3) และ (SCG4) พบว่าในช่วงน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 108 กิโลนิวตันความเครียดบริเวณนี้ยังคงเป็นค่าความเครียดอัด และเปลี่ยนเป็นค่าความเครียดดึงภายหลังน้ำหนักบรรทุกเกิน 108 กิโลนิวตัน โดยที่มีความแตกต่างกันของค่าความเครียดอัดโดย(SCG4) มีค่ามากกว่า(SCG3) ประมาณ 200 ไมโครเมตรต่อเมตร และพบว่าค่าความเครียดอัดของตำแหน่ง (SGC1) (SGC2) (SGC3) และ (SGC4) มีความชันของความสัมพันธ์น้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดลดลงที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 85-90 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นช่วงที่คาน B700 นี้เกิดการคราก สำหรับค่าความเครียดที่ตำแหน่ง(SCG5) ซึ่งเป็นค่าความเครียดที่ได้จากตัววัดความเครียดที่ติดตั้งอยู่ที่ด้านล่างเอวคานขึ้นมา 50 มิลลิเมตร พบว่าในบริเวณนี้ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นเป็นค่าความเครียดดึงและมีค่าความเครียดดึงเกิดขึ้นมากที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 80 กิโลนิวตันจนเกิดการขาดของตัววัดความเครียดที่บริเวณนี้ โดยที่ 80 กิโลนิวตันนี้มีค่าความเครียดเกิดขึ้นประมาณ 2700 ไมโครเมตรต่อเมตร

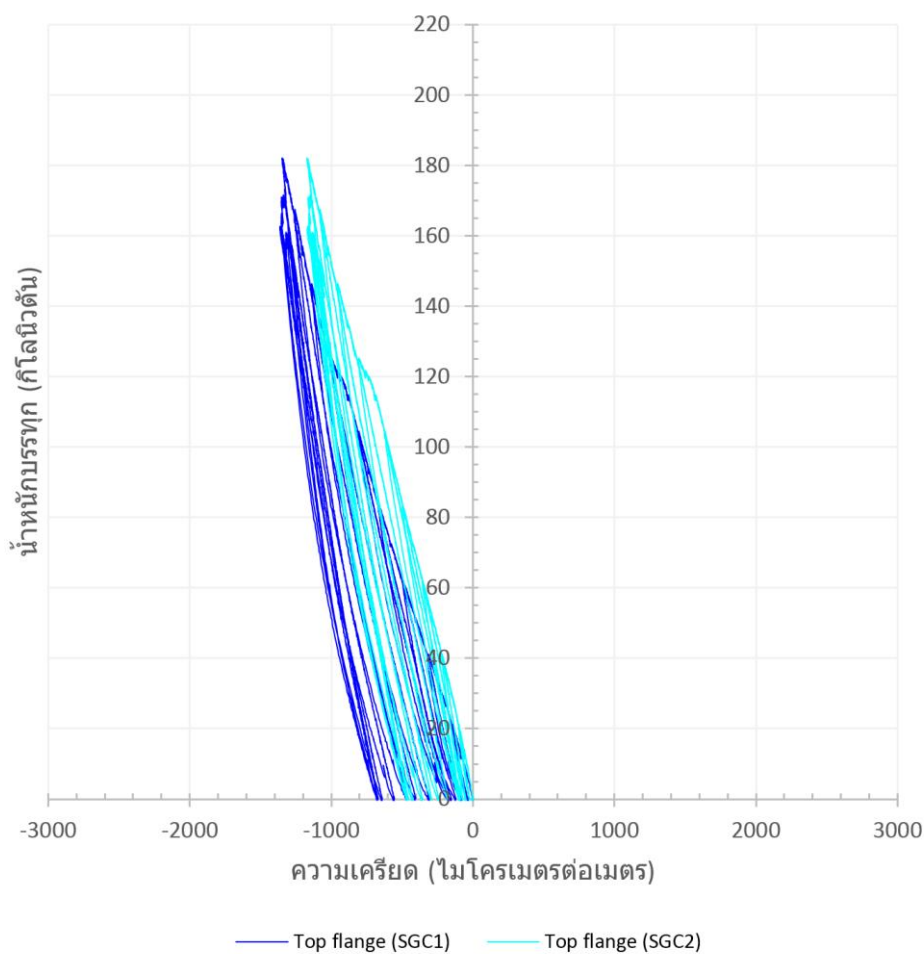




รูปที่ 6.30 เปรียบเทียบความเครียดจากตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตของคาน B700

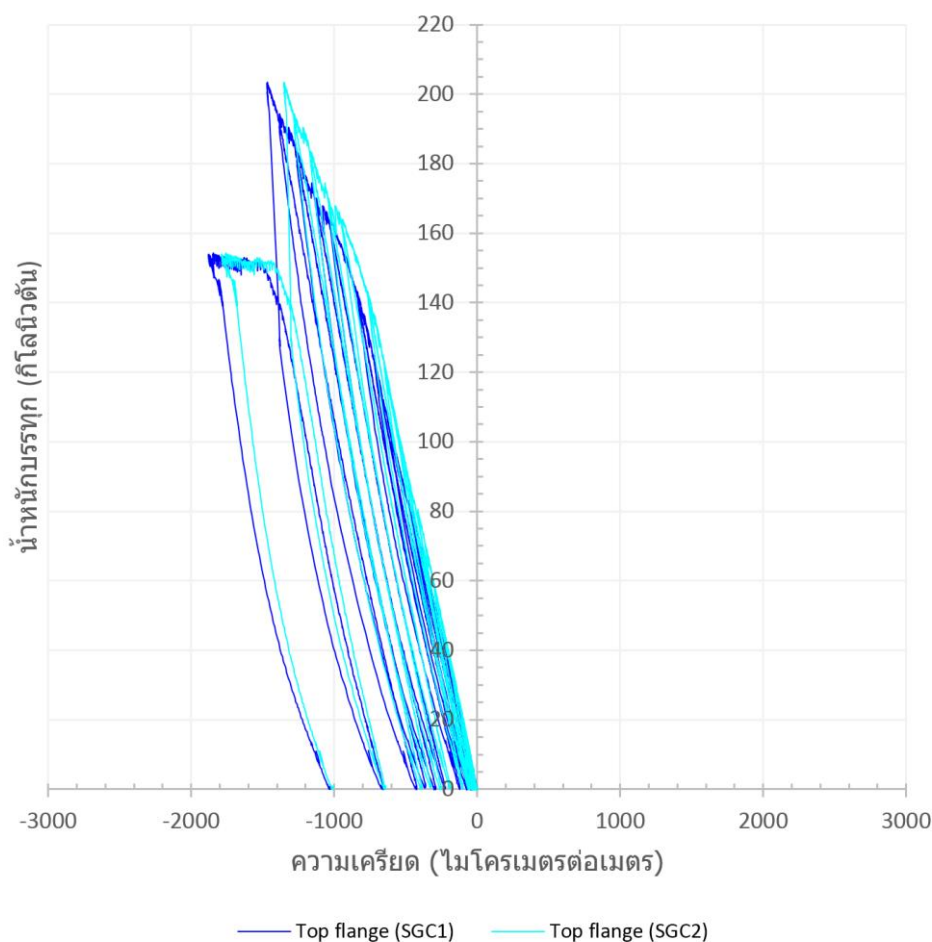


สำหรับตัววัดความเครียดทำการติดที่ผิวของคาน B700F จำนวน 2 ตัวมีตำแหน่งดังรูปที่ 4.43 นำมาแสดงเปรียบเทียบดังรูปที่ 6.32 จากการสังเกตค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตด้านบนปีกห่างจากปีกคานเข้ามา 150 มิลลิเมตรจากด้านหน้าและด้านหลัง(SGC1) และ(SGC2) ตามลำดับ พบว่ามีค่าที่ได้จากตัววัดความเครียดไปในทิศทางเดียวกันทางด้านความเครียดอัด โดย(SGC1) และ(SGC2) มีค่าความเครียดอัดสูงสุดก่อนเกิดการหลุดล่อนของคาน 1345 และ 1169 ไมโครเมตรต่อเมตร ตามลำดับ จากการทำการให้น้ำหนักกระทำแบบรอบภายหลังการเกิดการหลุดล่อนพบว่าค่าของความเครียดที่เกิดขึ้นนี้มีค่าสูงสุดขณะทำการให้น้ำหนักกระทำแบบรอบต่างจากเดิมมากนัก และมีการแสดงการเปลี่ยนความชันของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดที่เกิดขึ้นของช่วงที่คานเกิดครากในช่วงน้ำหนักบรรทุกประมาณ 120 กิโลนิวตัน โดยจากการสังเกตการวิบัติของคาน B700F เกิดรอยแตกร้าวแบบบดอัดค่อนข้างเอียงไปทางขวาบริเวณจุดที่ทำการให้น้ำหนักบรรทุก ซึ่งทำให้ค่าความเครียดที่ได้จากการติดตั้งตัววัดความเค้นบริเวณกึ่งกลางความยาวด้านบนปีกนี้ไม่ใช่ค่าสูงสุดที่คอนกรีตเกิดรอยแตกร้าวแบบบดอัด



รูปที่ 6.32 เปรียบเทียบความเครียดจากตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตของคาน B700F

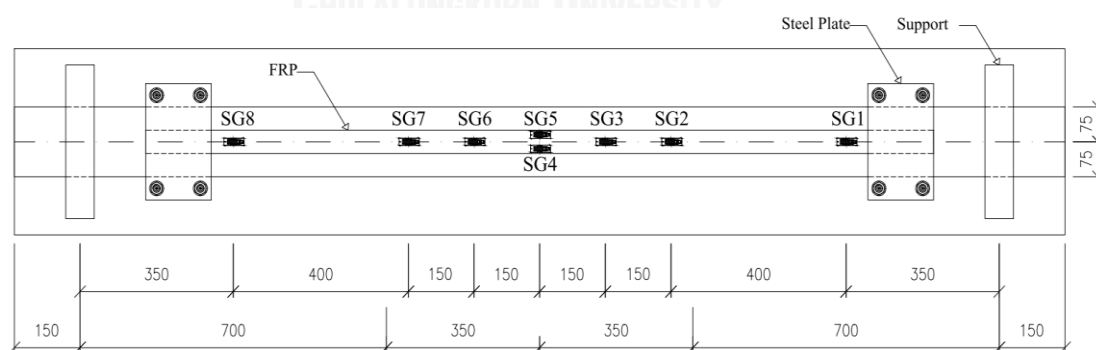
สำหรับตัววัดความเครียดทำการติดที่ผิวของคาน B700FS จำนวน 2 ตัวโดยมีตำแหน่งดังรูปที่ 4.43 โดยนำมาแสดงเปรียบเทียบดังรูปที่ 6.33 จากการสังเกตค่าความเครียดที่ผิวคอนกรีตด้านบนปีกห่างจากปีกคานเข้ามา 150 มิลลิเมตรจากด้านหน้าและด้านหลัง(SGC1) และ(SGC2) ตามลำดับ พบว่ามีค่าที่ได้จากตัววัดความเครียดไปในทิศทางเดียวกันทางด้านความเครียดอัด โดย(SGC1) และ (SGC2) มีค่าความเครียดอัดสูงสุดก่อนการเกิดการหลุดล่อนของคาน 1463 และ 1346 ไมโครเมตรต่อเมตรตามลำดับ จากการทำการให้น้ำหนักกระทำแบบรอบภายหลังการเกิดการหลุดล่อนพบว่าค่าของความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น และมีการแสดงการเปลี่ยนความชันของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดที่เกิดขึ้นของช่วงที่คานเกิดครากในช่วงน้ำหนักบรรทุกประมาณ 150 กิโลนิวตัน โดยจากการสังเกตการวิบัติของคานB700FS เกิดรอยแตกร้าวแบบบดอัดค่อนข้างเอียงไปทางขวาเช่นเดียวกับคานB700F บริเวณจุดที่ทำการให้น้ำหนักบรรทุก ซึ่งทำให้ค่าความเครียดที่ได้จากการติดตั้งตัววัดความเค้นบริเวณกึ่งกลางความยาวด้านบนปีกนี้ไม่ใช่ค่าสูงสุดที่คอนกรีตเกิดรอยแตกร้าวแบบบดอัด



รูปที่ 6.33 เปรียบเทียบความเครียดจากตัววัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตของคาน B700FS

## 6.8 วิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน

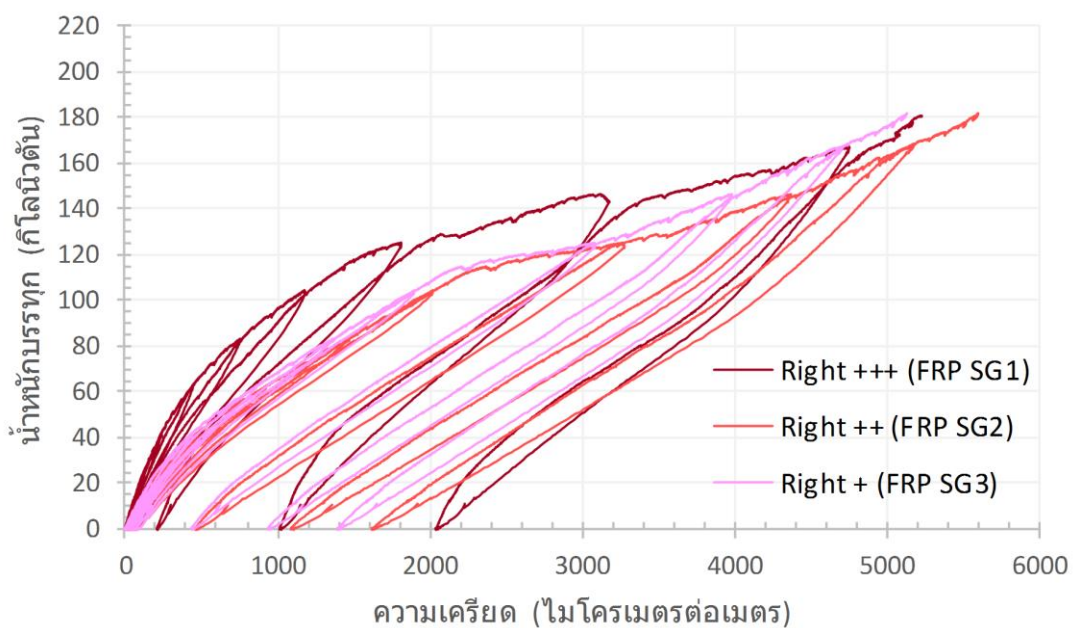
จากการตรวจวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์ซึ่งมีตำแหน่งดังรูปที่ 6.34 ของคาน B700F และ B700FS ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบความเครียดที่เกิดขึ้นก่อนเกิดการหลุดล่อนของคาน B700F ดังรูปที่ 6.35 6.36 และ 6.37 และคาน B700FS ดังรูปที่ 6.47 6.48 และ 6.49 เปรียบเทียบความเครียดที่เกิดขึ้นหลังการเกิดการหลุดล่อนของคาน B700F ดังรูปที่ 6.41 6.42 และ 6.43 และคาน B700FS ดังรูปที่ 6.53 6.54 และ 6.55 โดยภาพรวมโดยทั่วไปของค่าความเครียดก่อนเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์กับผิวคอนกรีตพบว่าประกอบไปด้วยเส้น 3 เส้น โดยช่วงแรกคาดว่าเกิดจากการจัดเรียงตัวของแรงในวัสดุและการเกิดรอยแตกร้าวของคอนกรีตซึ่งจะเห็นได้ชัดในคาน B700F มากกว่าคาน B700FS ช่วงที่สองคาดว่าเกิดภายหลังการจัดเรียงตัวของแรงในวัสดุและการเกิดรอยแตกร้าวของคอนกรีต โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความเค้นของเหล็กยังเป็นเส้นตรง และเส้นที่สามคาดว่าเกิดจากเหล็กเกิดการครากซึ่งภาระการรับน้ำหนักบรรทุกทุกส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายลงมาให้แผ่นพอลิเมอร์ทำให้เกิดความเครียดสูงขึ้น โดยเส้นที่ 3 จะไม่พบในตำแหน่ง SG1 และ SG8 ของคาน B700F คาดว่าเนื่องจากเหล็กเสริมบริเวณนั้นยังไม่ถึงจุดคราก และภาพรวมโดยทั่วไปของค่าความเครียดภายหลังเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์พบว่าประกอบไปด้วยเส้น 3 เส้น โดยเส้นแรกเกิดจากการที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนเลื่อนหรือถไหลดออกจากแผ่นเหล็กประกบที่หนีบปลายของแผ่นพอลิเมอร์ไว้และเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์กับคาน เส้นที่สอง เกิดจากการไหลรอบของน้ำหนักบรรทุก เส้นที่สามเกิดจากการที่เอาน้ำหนักบรรทุกออกและแผ่นพอลิเมอร์ส่วนที่เลื่อนหรือถไหลดออกจากแผ่นเหล็กประกบที่ปลายแผ่นพอลิเมอร์ซึ่งทำให้ความยาวของแผ่นพอลิเมอร์ในส่วนที่เกิดการหลุดล่อนมากขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเครียดในทิศของแรงอัดได้



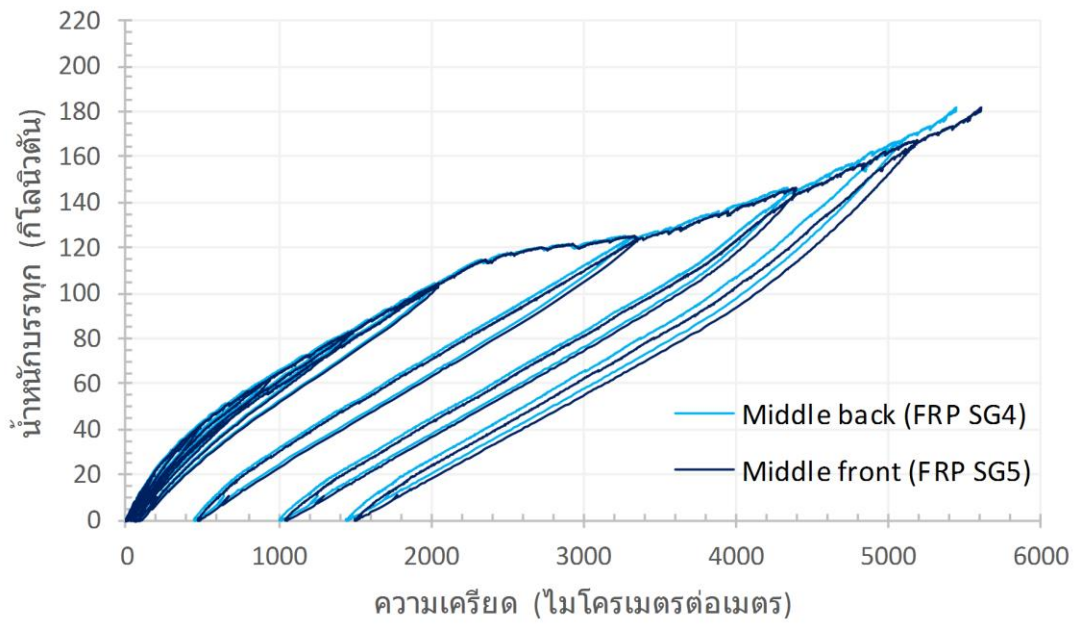
รูปที่ 6.34 ตำแหน่งตัววัดความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนของคาน B700F และ B700FS

### 6.8.1 เปรียบเทียบวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F ก่อนเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์

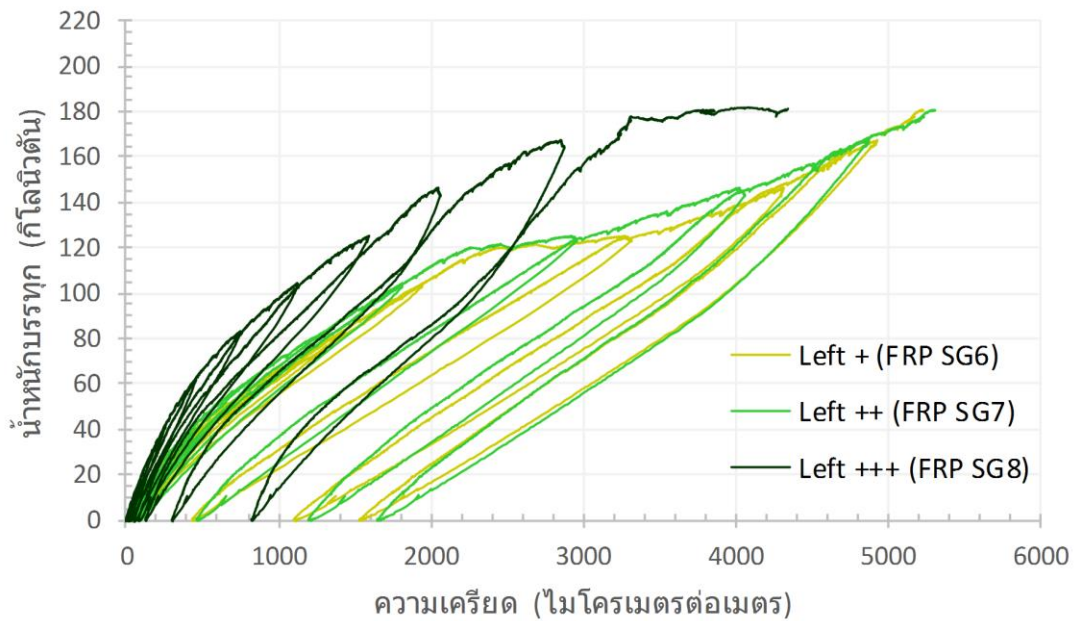
จากการศึกษาเปรียบเทียบความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านขวารูปที่ 6.35พบว่า ความเครียดที่ตำแหน่งSG2 มีค่ามากที่สุดก่อนการเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ การใช้แผ่นพอลิเมอร์บริเวณด้านขวาสุดSG1 เมื่อสังเกตจากค่าความเครียดที่เกิดขึ้นพบว่าในช่วงต้นมีการใช้ประสิทธิภาพของแผ่นพอลิเมอร์น้อยกว่าที่ตำแหน่งSG2 และSG3 และในรูปที่ 6.36 ซึ่งเป็นความเครียดที่ตำแหน่งกึ่งกลางพบว่ามีความใกล้เคียงกัน และเปรียบเทียบด้านซ้ายในรูปที่ 6.37 พบว่าความเครียดที่ตำแหน่งSG6และSG7 มีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของความเครียดที่ตำแหน่งSG8 พบว่ามีการใช้ประสิทธิภาพแผ่นพอลิเมอร์น้อยที่สุดจากข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดทั้งหมด และเมื่อเปรียบเทียบภาพรวมความเครียดที่เกิดขึ้นทางด้านซ้ายและขวาจากรูปที่ 6.38 ,6.39และ6.40 พบว่าด้านขวามีการใช้แผ่นพอลิเมอร์มากกว่าทางด้านซ้ายเมื่อสังเกตจากความเครียดที่เกิดขึ้น และจากการสังเกตพบว่าการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์เริ่มเกิดขึ้นด้านขวา



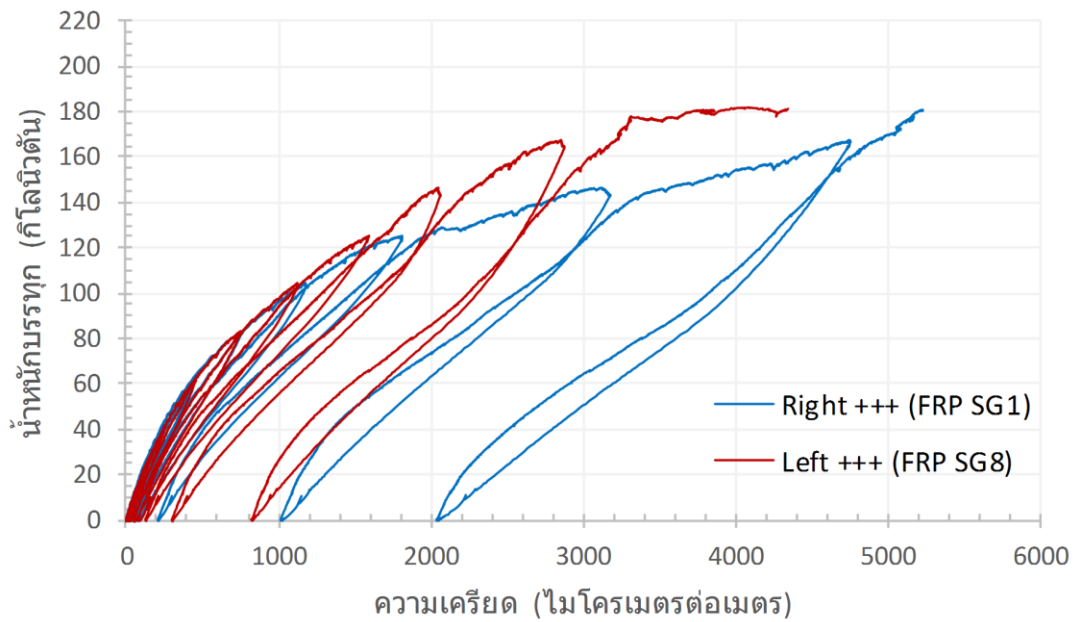
รูปที่ 6.35 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านขวาก่อนหลุดล่อนของคาน B700F



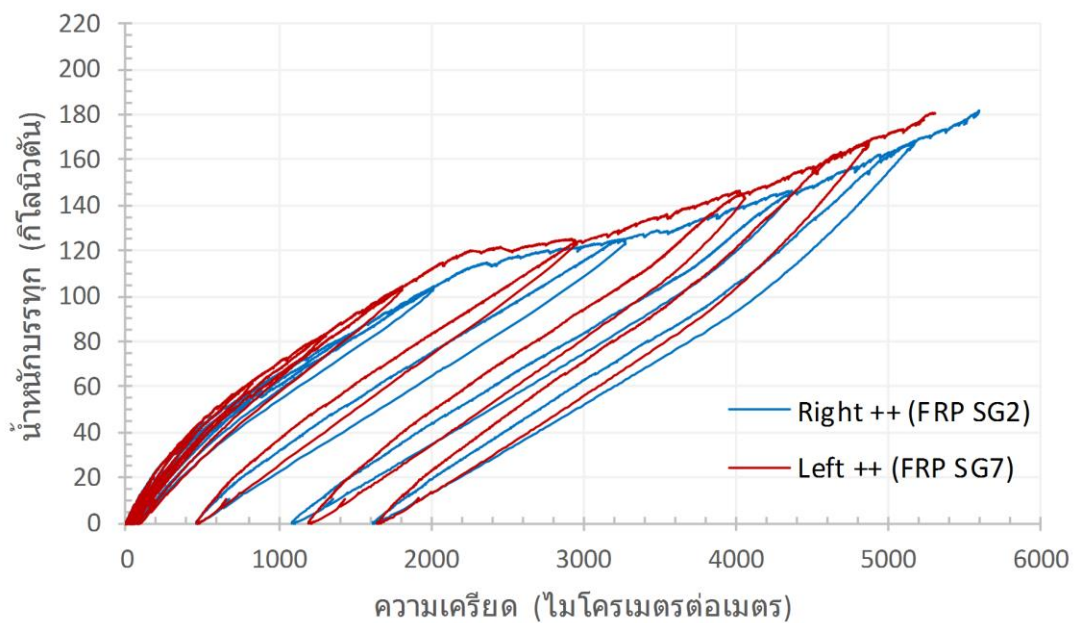
รูปที่ 6.36 ความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ตรงกลางก่อนหลุดล่อนของคาน B700F



รูปที่ 6.37 ความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้ายก่อนหลุดล่อนของคาน B700F

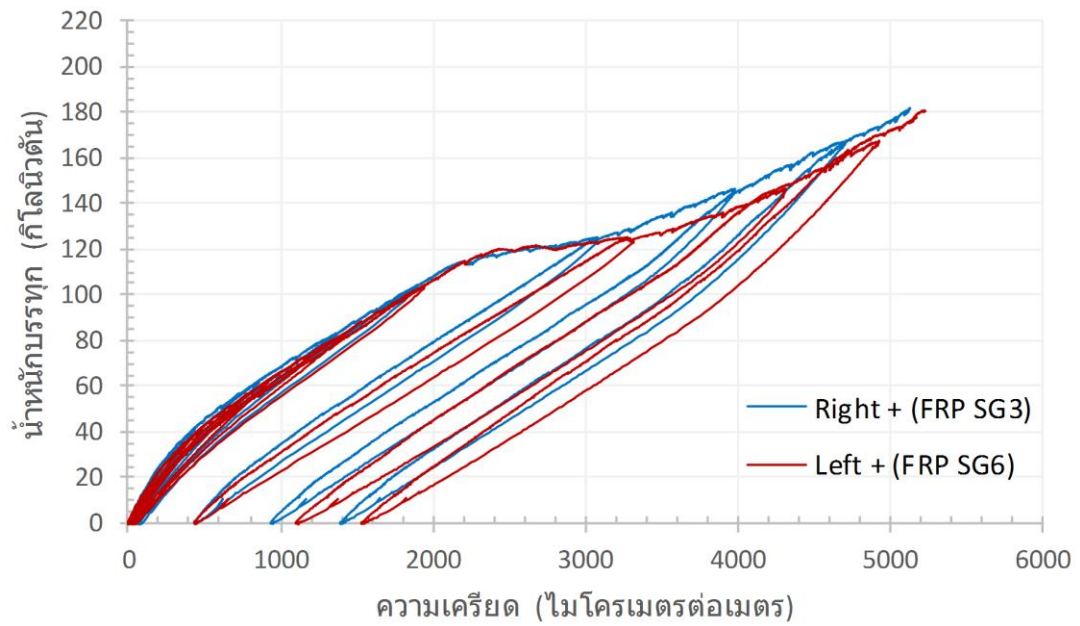


รูปที่ 6.38 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ทางด้านซ้าย(SG8) และขวา(SG1) ก่อนหลุด  
ล่อนของคาน B700F



รูปที่ 6.39 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ทางด้านซ้าย(SG7) และขวา(SG2) ก่อนหลุด  
ล่อนของคาน B700F



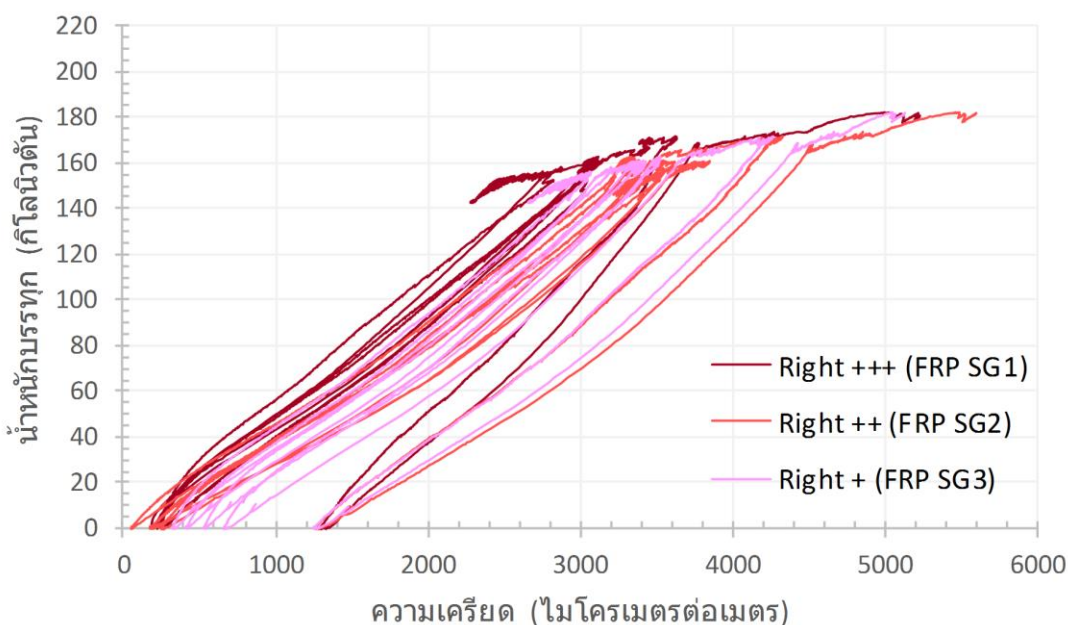


รูปที่ 6.40 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ทางด้านซ้าย(SG6) และขวา(SG3) ก่อนหลุด  
 ล่อนของคาน B700F

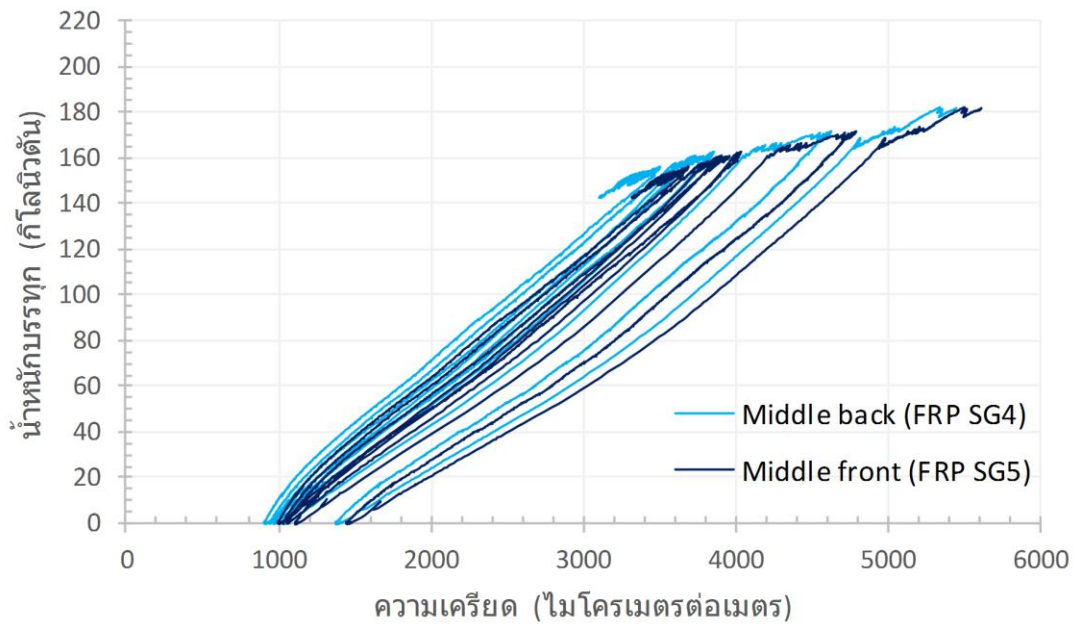


### 6.8.2 เปรียบเทียบวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F หลังเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์

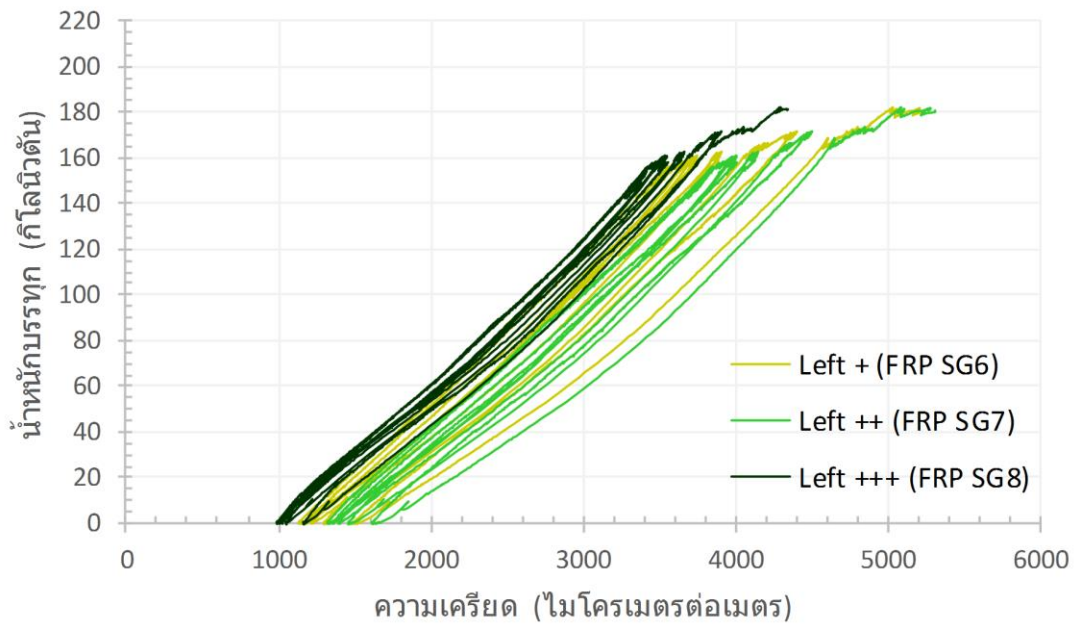
จากการศึกษาเปรียบเทียบความเครียดที่เกิดขึ้นภายหลังการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ พบว่ายังสามารถใช้ประสิทธิภาพของแผ่นพอลิเมอร์ได้ โดยด้านขวางรูปที่ 6.41 ซึ่งเป็นด้านที่เริ่มเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ พบว่าภายหลังการให้รอบของน้ำหนักบรรทุกทุก 2 ถึง 3 รอบค่าความเครียดมีค่าน้อยลงโดยทิศทางเข้าใกล้ 0 เมื่อนำน้ำหนักบรรทุกออกและพบการหลุดออกระหว่างแผ่นพอลิเมอร์กับผิวคอนกรีตอย่างเห็นได้ชัด สำหรับรูปที่ 6.42 และ 6.43 มีค่าความเครียดภายหลังการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าความเครียดภายหลังการนำน้ำหนักบรรทุกออกภายหลังให้น้ำหนักบรรทุก 2 ถึง 3 รอบมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1000 ไมโครเมตรต่อเมตรโดยคาดว่าน่าจะเกิดจากน้ำหนักคานกับน้ำหนักเครื่องมือทดสอบและเหล็กเสริมด้านล่างที่มีความเครียดเกินจุดครากและรังการคืนตัวกลับของคานและแผ่นพอลิเมอร์ภายหลังการนำน้ำหนักบรรทุกออก ซึ่งจากการสังเกตแผ่นพอลิเมอร์บริเวณตรงกลางและด้านซ้ายพบว่ายังแนบอยู่กับผิวของคอนกรีตจึงเกิดค่าความเครียดภายหลังการนำน้ำหนักบรรทุกออก และจากการเปรียบเทียบความเครียดทางด้านซ้ายและขวาดังรูปที่ 6.44 , 6.45 และ 6.46 พบว่าค่าความเครียดทางด้านขวาภายหลังการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์มีการใช้ประสิทธิภาพของแผ่นพอลิเมอร์น้อยกว่าทางด้านซ้าย



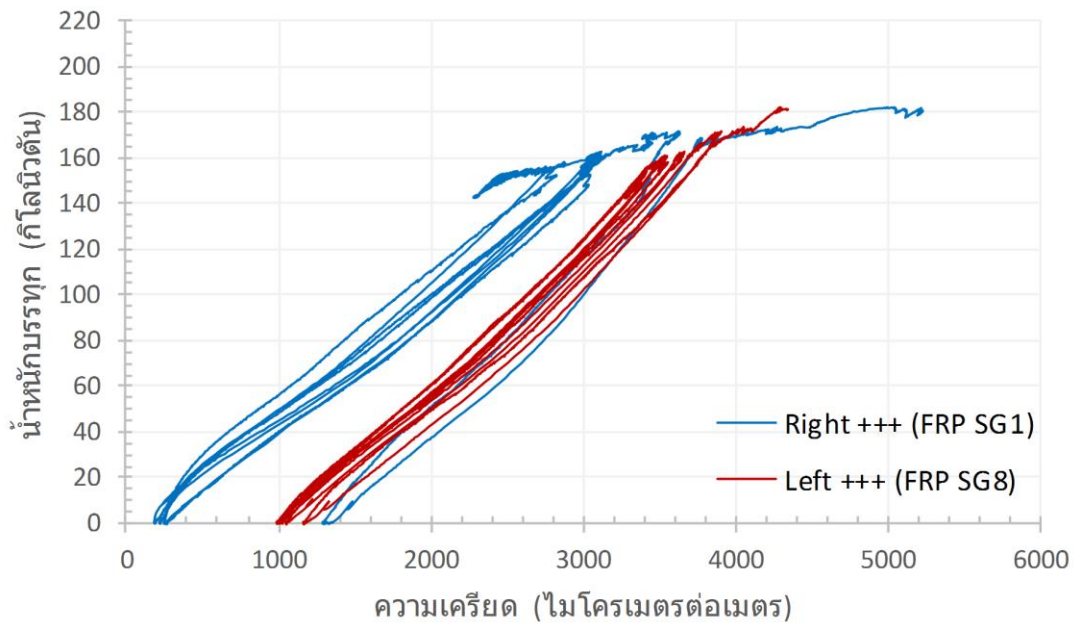
รูปที่ 6.41 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านขวาหลังหลุดล่อนของคาน B700F



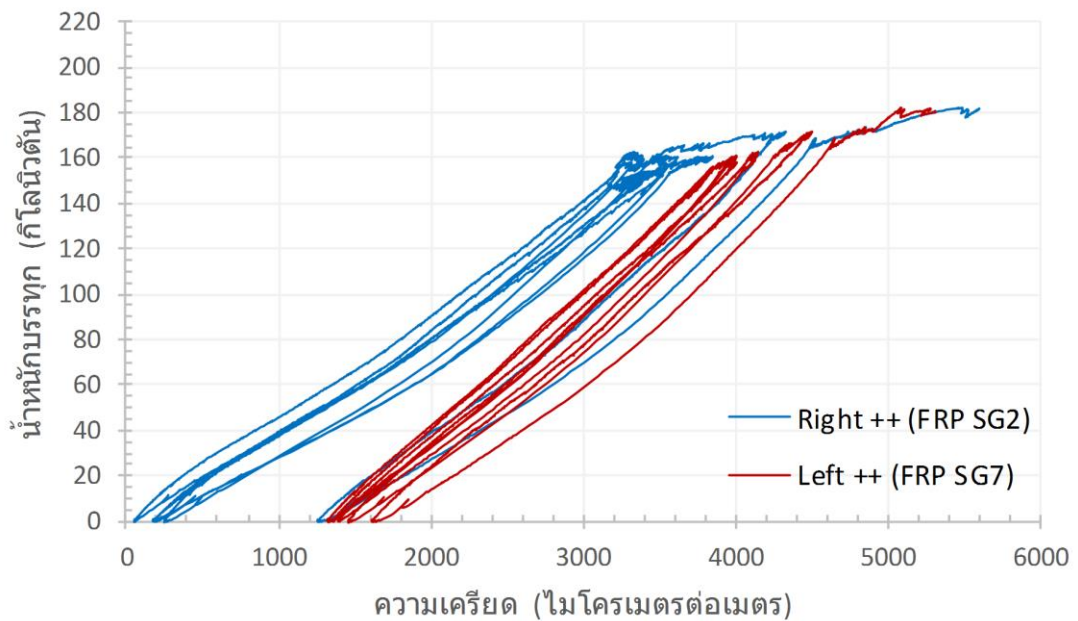
รูปที่ 6.42 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ตรงกลางหลังหลุดล่อนของคาน B700F



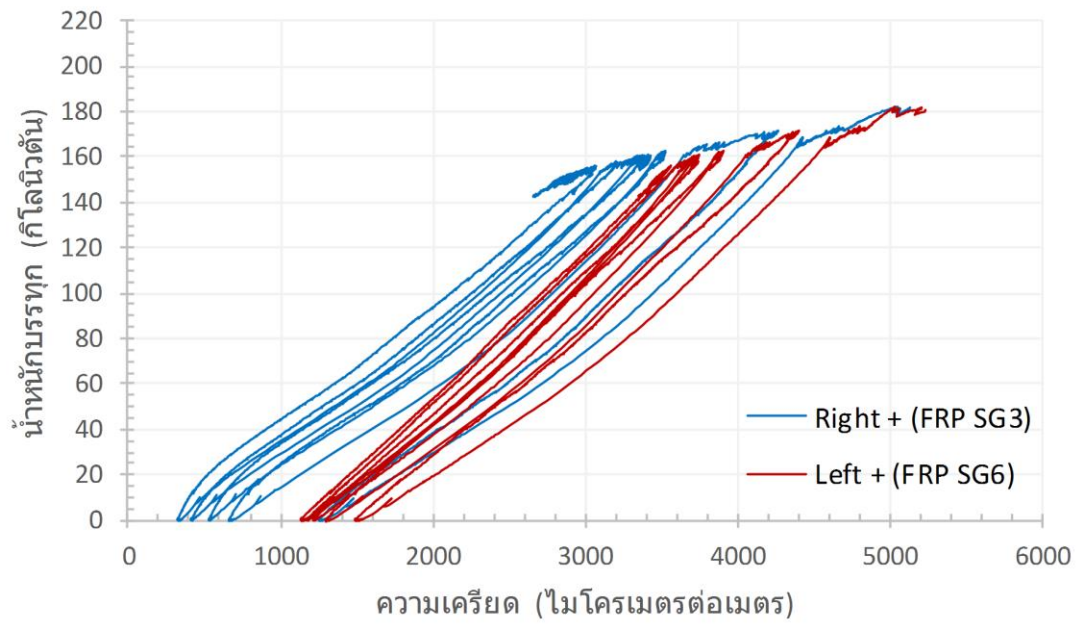
รูปที่ 6.43 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้ายหลังหลุดล่อนของคาน B700F



รูปที่ 6.44 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้าย(SG8) และด้านขวา(SG1) หลังหลุุด  
ล่อนของคาน B700F



รูปที่ 6.45 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้าย(SG7) และด้านขวา(SG2) หลังหลุุด  
ล่อนของคาน B700F

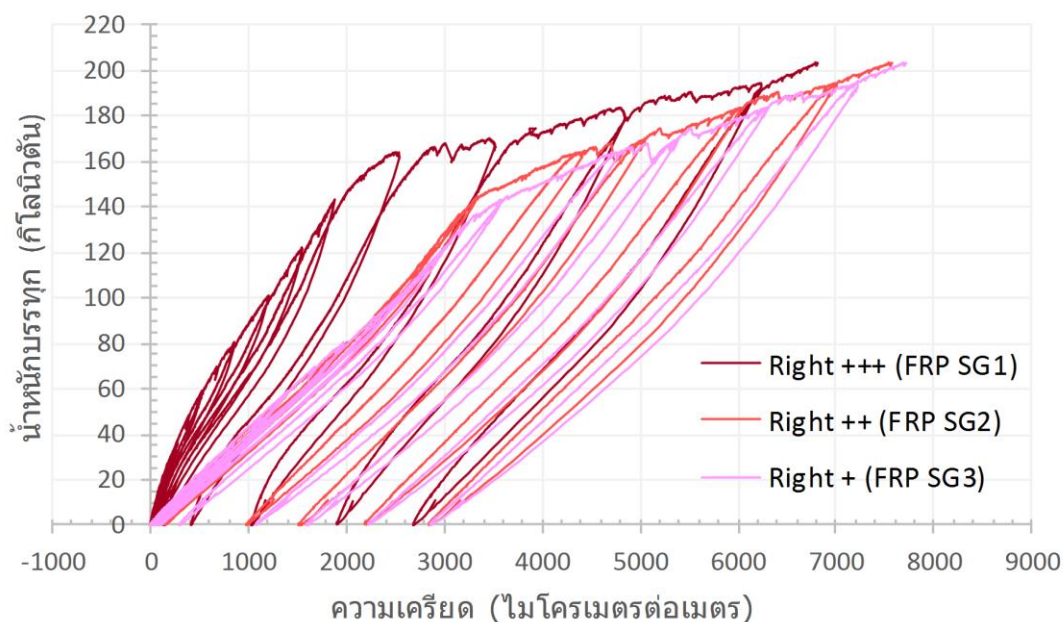


รูปที่ 6.46 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้าย(SG6) และขวา(SG3) หลังหลุดล่อน  
ของคาน B700F

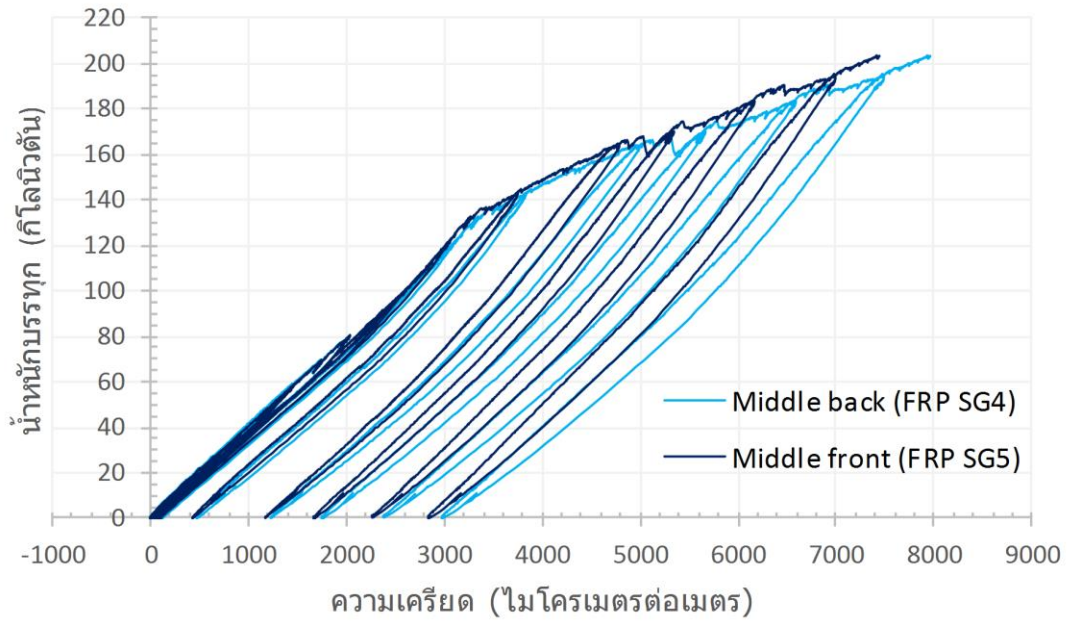


### 6.8.3 เปรียบเทียบวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS ก่อนเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์

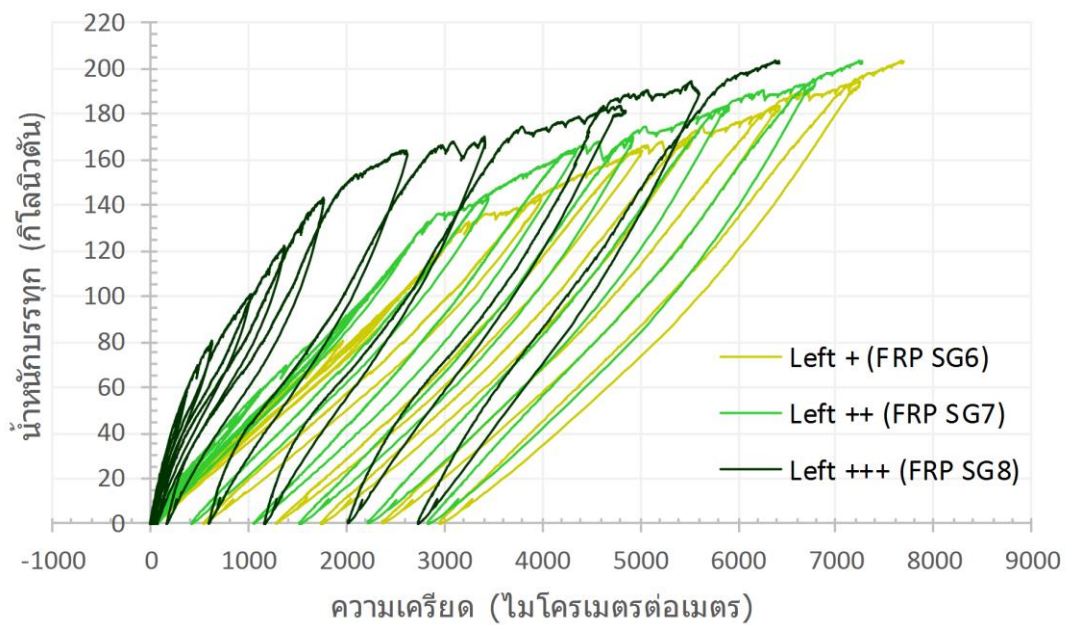
จากการศึกษาเปรียบเทียบความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ พบว่าความเครียดที่ตำแหน่งกึ่งกลางSG4 ดังรูปที่ 6.48 มีค่ามากที่สุดก่อนการเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ และจากรูปที่ 6.47 การใช้แผ่นพอลิเมอร์บริเวณด้านขวาสุดSG1 เมื่อสังเกตจากค่าความเครียดที่เกิดขึ้นพบว่าการใช้ประสิทธิภาพของแผ่นพอลิเมอร์น้อยกว่าที่ตำแหน่งSG2 และSG3 และในรูปที่ 6.47 ซึ่งเป็นความเครียดที่ตำแหน่งกึ่งกลางพบว่ามีความใกล้เคียงกันในช่วงต้นในช่วงหลังก่อนการเกิดการหลุดล่อนพบว่าตำแหน่งSG4มีค่าความเครียดมากกว่าSG5 และจากการเปรียบเทียบด้านซ้ายในรูปที่ 6.49 พบว่าความเครียดที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งSG6 มากกว่าSG7 ในส่วนของความเครียดที่ตำแหน่งSG8 พบว่าการใช้ประสิทธิภาพแผ่นพอลิเมอร์น้อยที่สุดจากข้อมูลที่ได้จากตัววัดความเครียดทั้งหมด และเมื่อเปรียบเทียบภาพรวมความเครียดที่เกิดขึ้นทางด้านซ้ายและขวาจากรูปที่ 6.50 ,6.51และ6.52 พบว่าด้านขวามีการใช้แผ่นพอลิเมอร์ค่อนข้างมากกว่าทางด้านซ้ายเมื่อสังเกตจากความเครียดที่เกิดขึ้น และจากการสังเกตพบว่าการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์เริ่มเกิดขึ้นด้านขวา



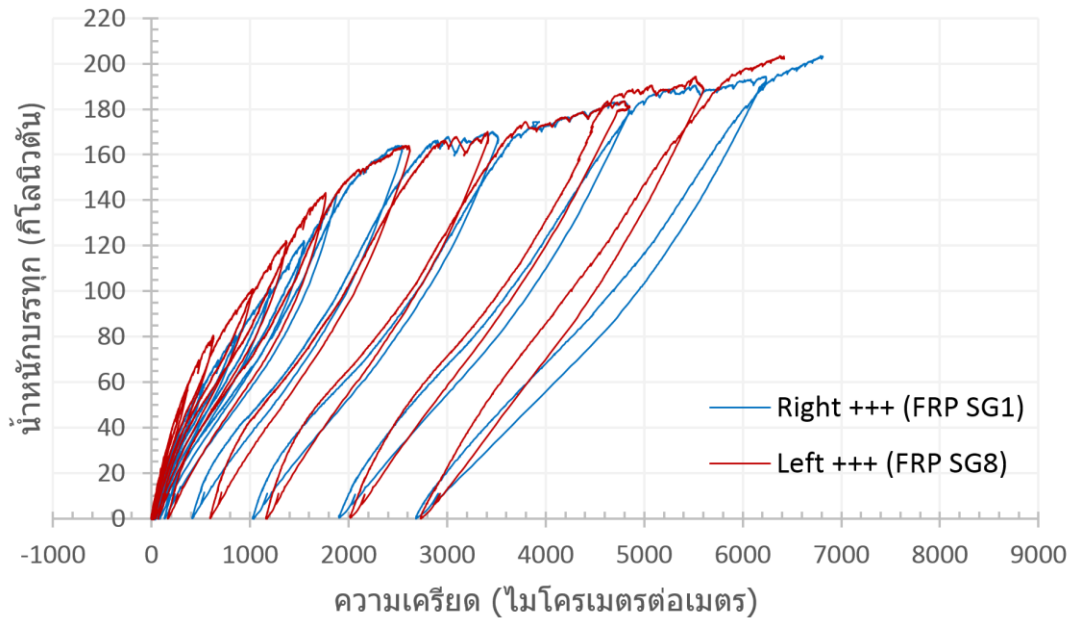
รูปที่ 6.47 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านขวาก่อนหลุดล่อนของคาน B700FS



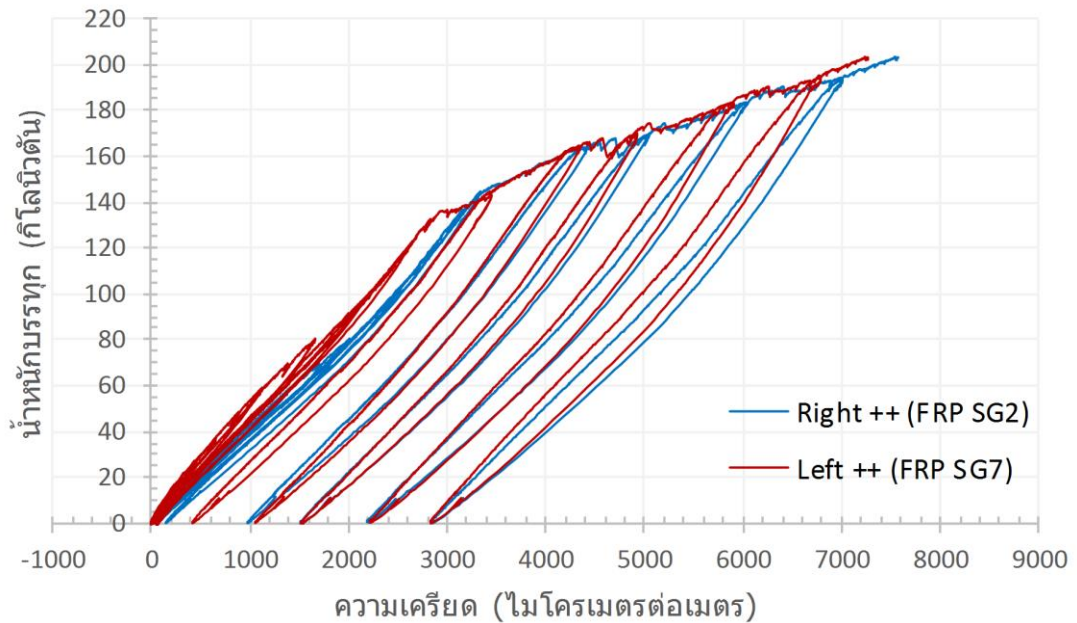
รูปที่ 6.48 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ตรงกลางก่อนหลุดล่อนของคาน B700FS



รูปที่ 6.49 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้ายก่อนหลุดล่อนของคาน B700FS

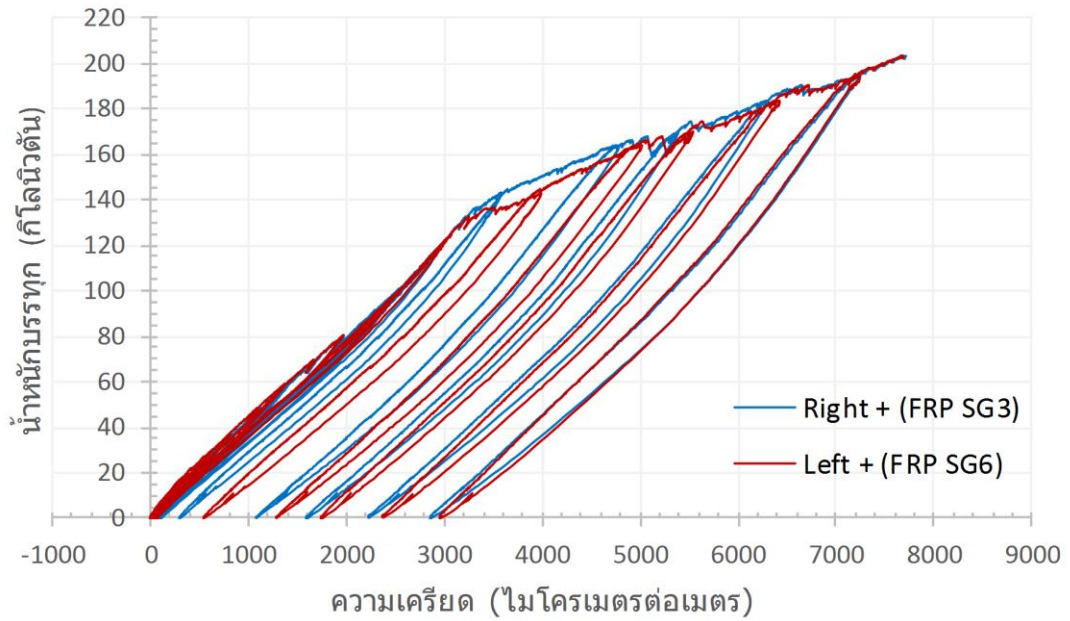


รูปที่ 6.50 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ทางด้านซ้าย(SG8) และขวา(SG1) ก่อนหลุด  
ล่อนของคาน B700FS



รูปที่ 6.51 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ทางด้านซ้าย(SG7) และขวา(SG2) ก่อนหลุด  
ล่อนของคาน B700FS



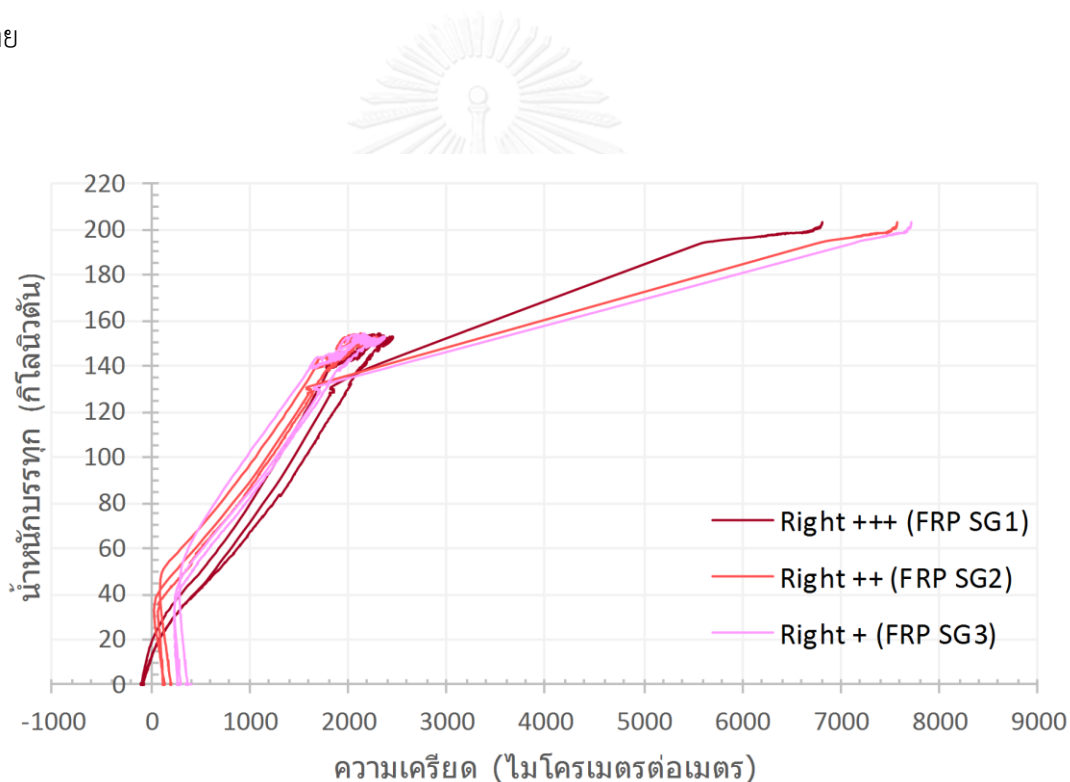


รูปที่ 6.52 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ทางด้านซ้าย(SG6) และขวา(SG3) ก่อนหลุด  
 ล่อนของคาน B700FS

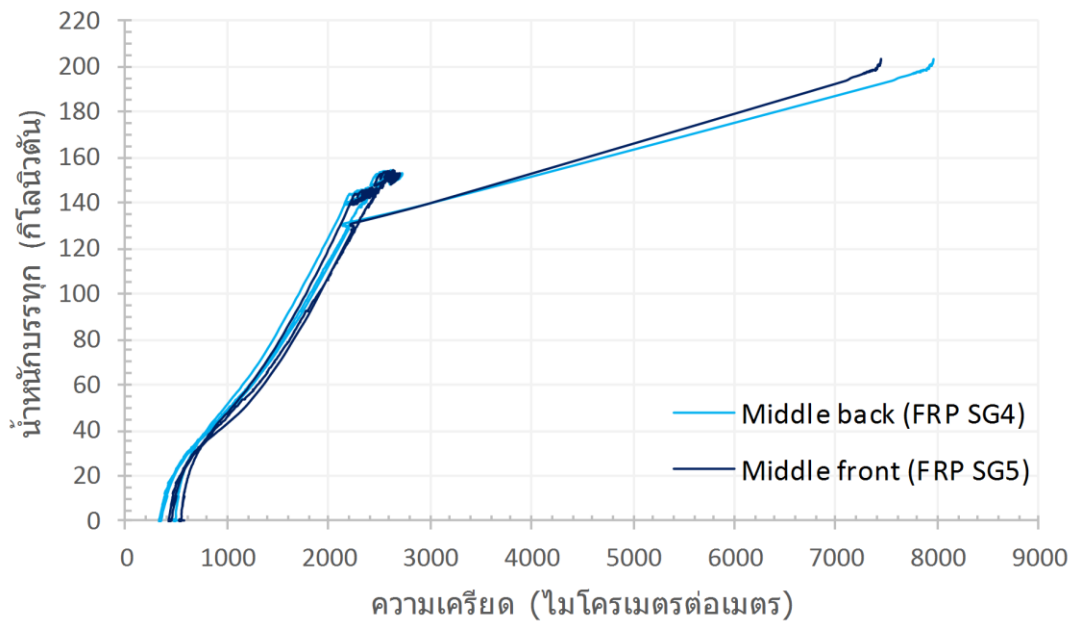


#### 6.8.4 เปรียบเทียบวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS หลังเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์

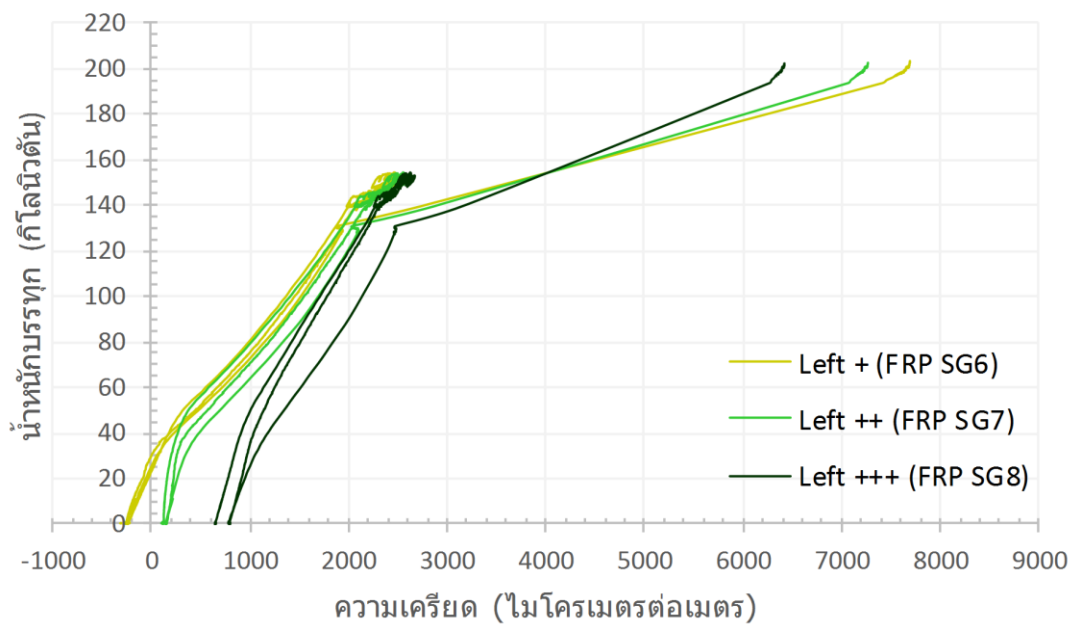
จากการศึกษาเปรียบเทียบความเครียดที่เกิดขึ้นภายหลังการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ พบว่ายังสามารถใช้ประสิทธิภาพของแผ่นพอลิเมอร์ได้ โดยด้านขวาจากรูปที่ 6.53 ค่าความเครียด SG1 ,SG2 และSG3 มีค่าใกล้เคียงกัน และตรงกลางจากรูปที่ 6.54 บริเวณตรงกลางSG4 และ SG5 มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับรูปที่ 6.55 ค่าความเครียดบริเวณ SG6 และSG7 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่สำหรับ SG8 หลังเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์มียังมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และจากการเปรียบเทียบความเครียดทางด้านซ้ายและขวาดังรูปที่ 6.56 ,6.57และ6.58 และ พบว่าค่าความเครียดทางด้านขวาภายหลังการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์มีการใช้ประสิทธิภาพของแผ่นพอลิเมอร์น้อยกว่าทางด้านซ้าย



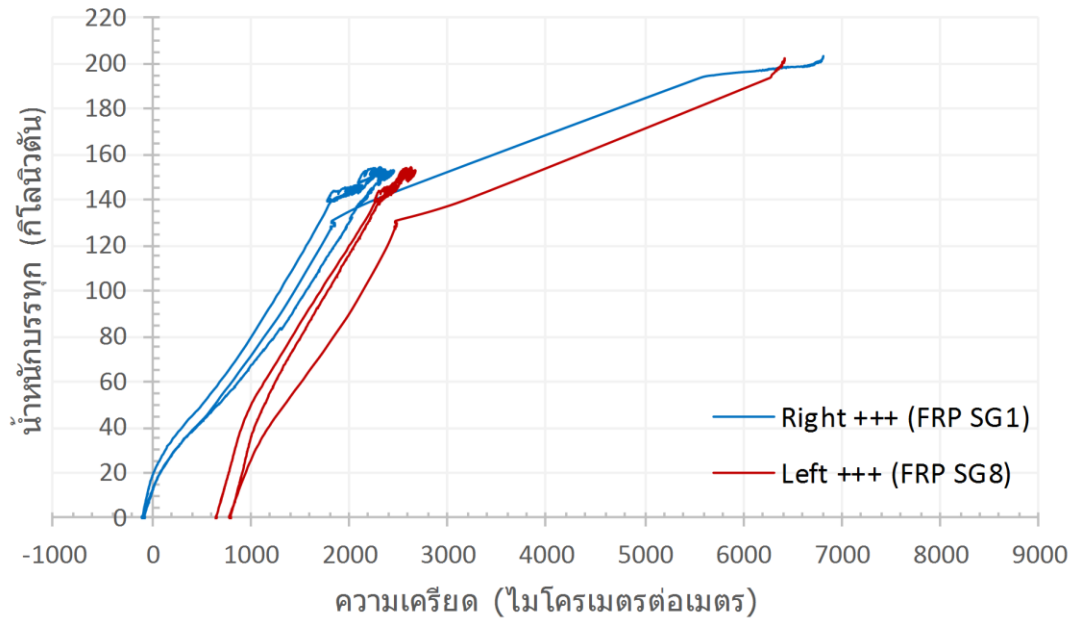
รูปที่ 6.53 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านขวาหลังหลุดล่อนของคาน B700FS



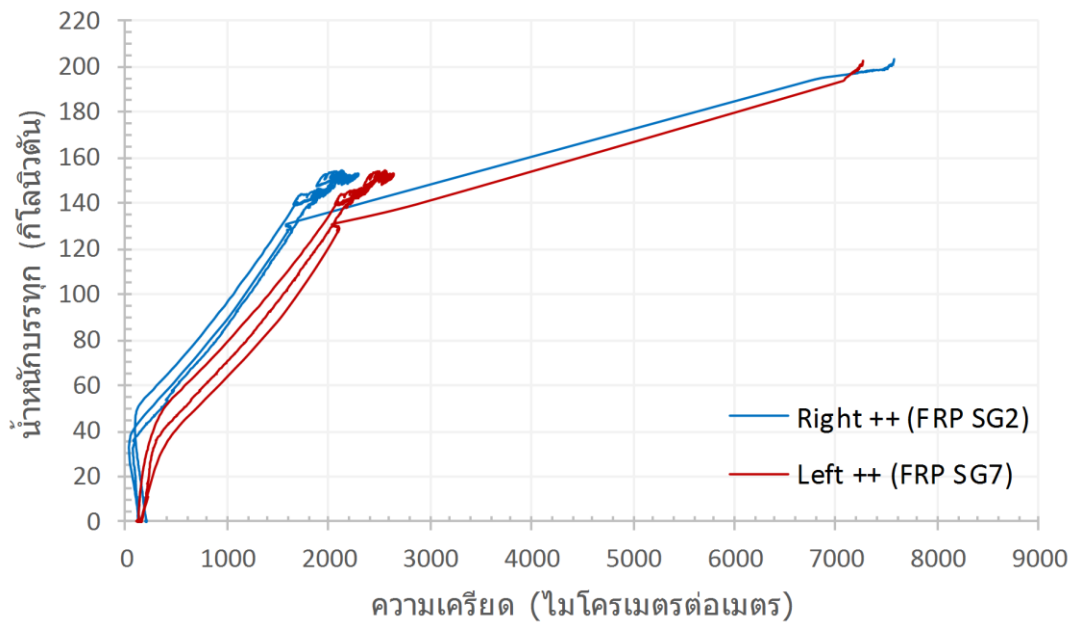
รูปที่ 6.54 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ตรงกลางหลังหลุดล่อนของคาน B700FS



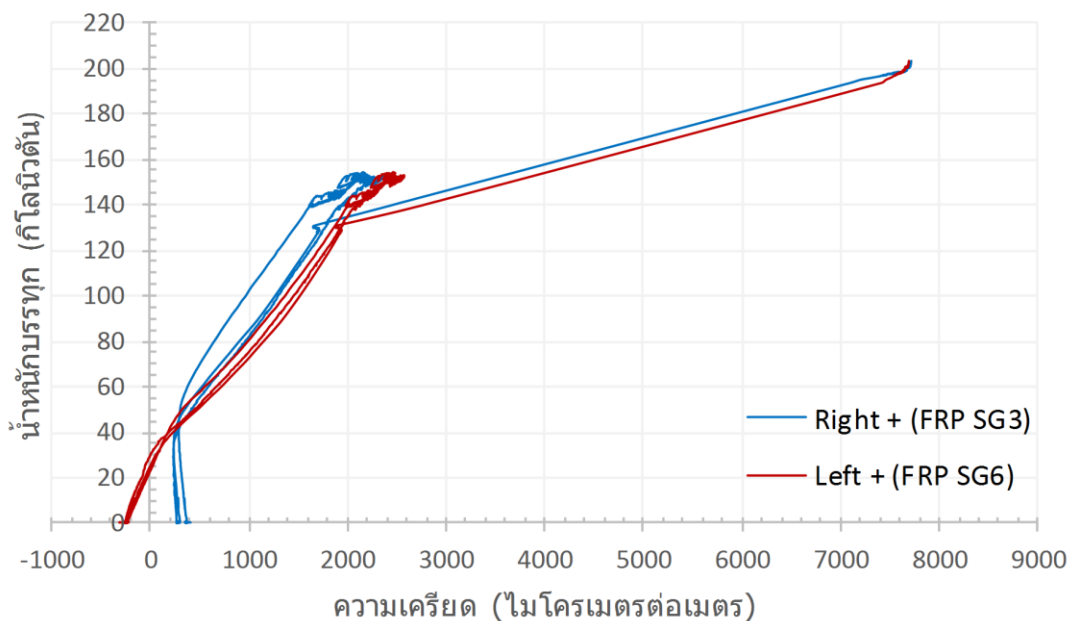
รูปที่ 6.55 ความเครียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้ายหลังหลุดล่อนของคาน B700FS



รูปที่ 6.56 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้าย(SG8) และด้านขวา(SG1) หลังหลุด  
ล่อนของคาน B700FS



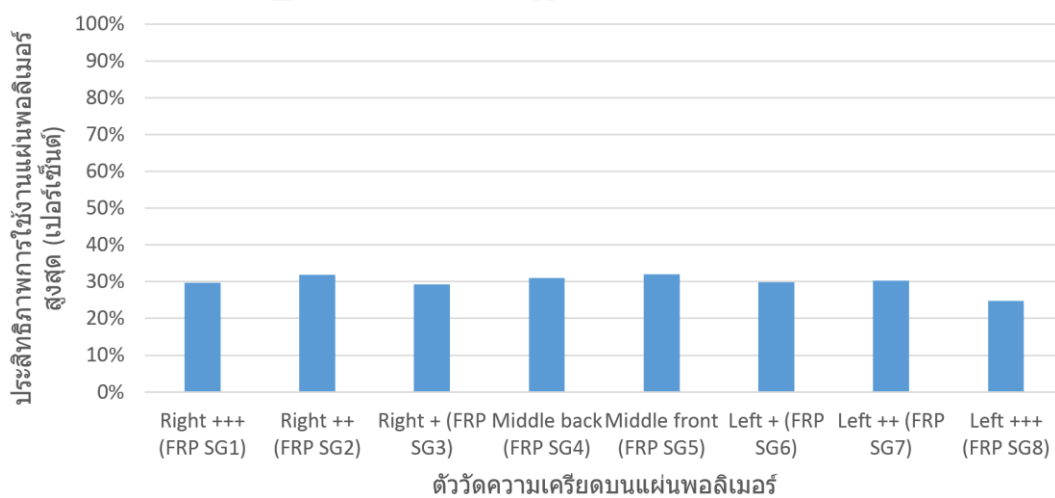
รูปที่ 6.57 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้าย(SG7) และด้านขวา(SG2) หลังหลุด  
ล่อนของคาน B700FS



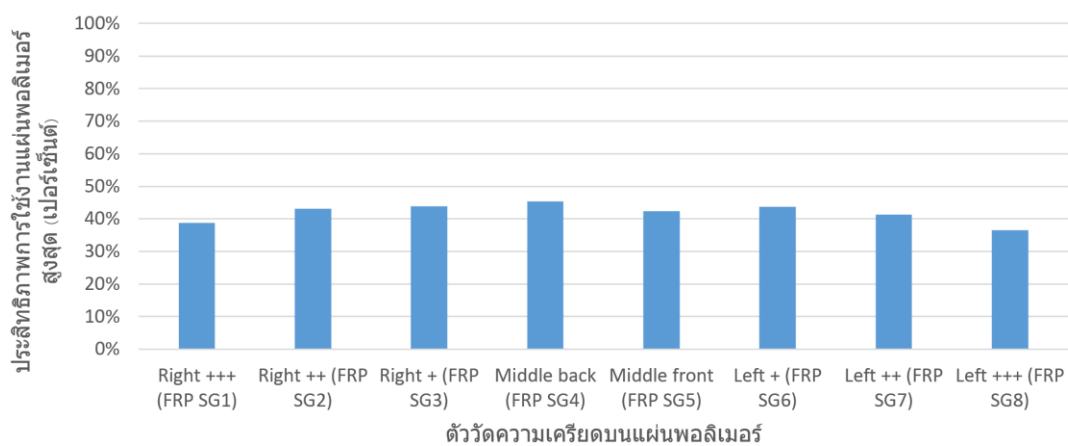
รูปที่ 6.58 เปรียบเทียบความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ด้านซ้าย(SG6) และขวา(SG3) หลังหลุดล่อนของคาน B700FS

6.8.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเคียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพอลิเมอร์สูงสุดก่อนเกิดการหลุดล่อน

จากการเปรียบเทียบการใช้งานของแผ่นพอลิเมอร์โดยดูจากค่าความเคียดบนแผ่นพอลิเมอร์ ดังรูปที่ 6.59 และ 6.60 ของคานB700F และB700FS ตามลำดับพบว่ามีการใช้งานแผ่นพอลิเมอร์ในคานB700FS สูงกว่าคานB700F โดยในคานB700F และคานB700FSมีการใช้งานสูงสุดประมาณ 32 และ 45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 6.59 ความเคียดสูงสุดบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F (เปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นเทียบกับค่าความเคียดสูงสุดของแผ่นพอลิเมอร์)

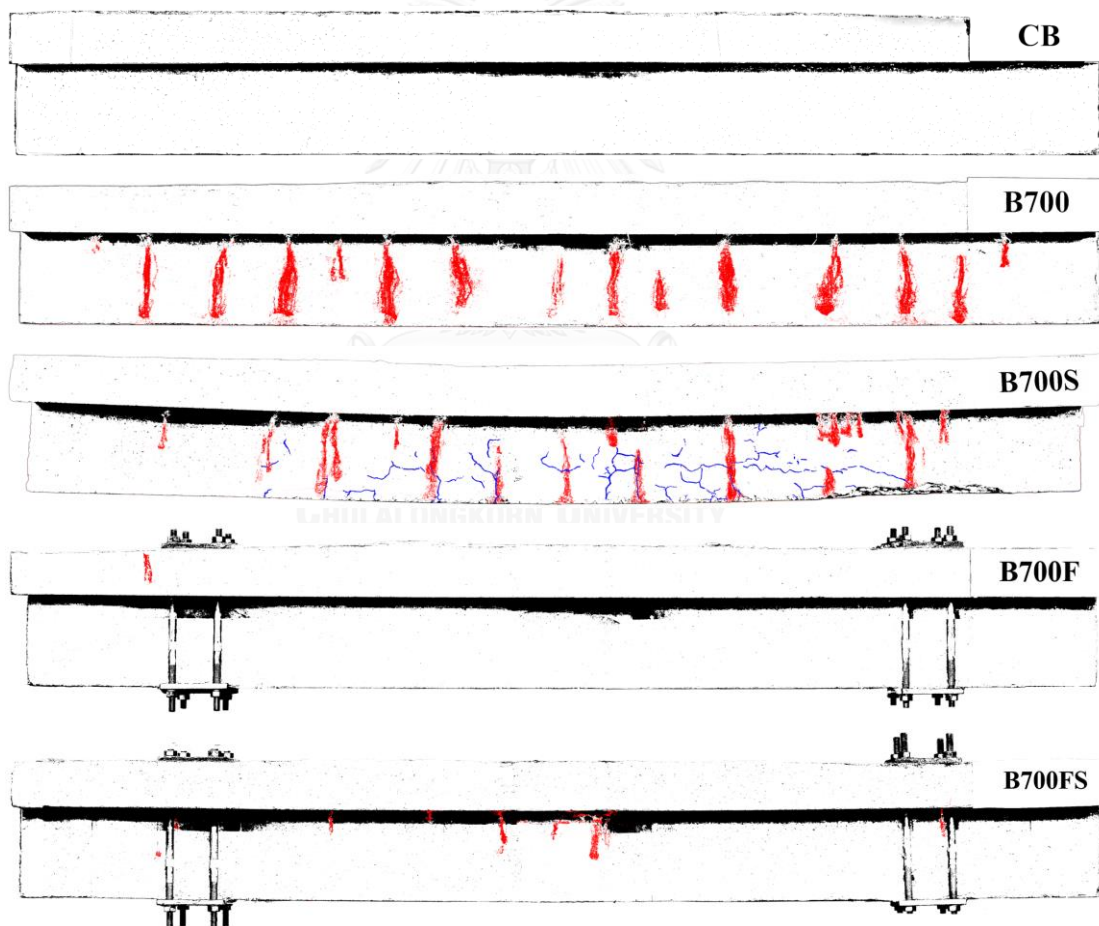


รูปที่ 6.60 ความเครียดสูงสุดบนแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS (เปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นเทียบกับค่าความเครียดสูงสุดของแผ่นพอลิเมอร์)



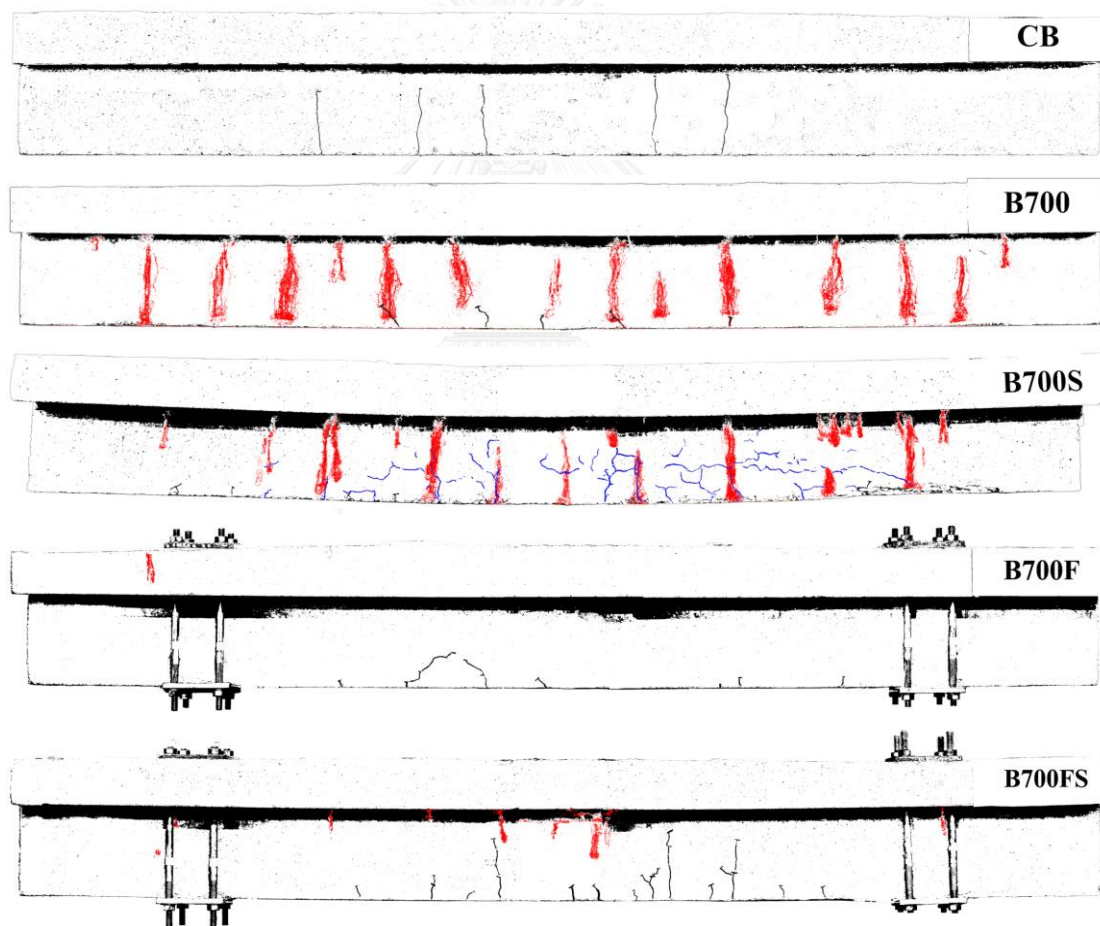
### 6.9 เปรียบเทียบรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด

จากการเปรียบเทียบคานก่อนการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดตั้ง พบว่าคานมีการโก่งตัวก่อนทำการทดสอบดังหัวข้อที่ 5.5 โดยพบว่าคาน B700S มีการโก่งตัวคงค้างภายหลังการเผาไฟสูงสุดโดยมีการโก่งตัวอยู่ที่ 24.0 มิลลิเมตร และพบว่าคานที่ไม่ได้ทำการให้น้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะเผาไฟ B700 และ B700F มีการโก่งตัวคงค้างอยู่ที่ 5.2 และ 5.4 มิลลิเมตรตามลำดับ ในส่วนของคาน B700FS มีการโก่งตัวคงค้างอยู่ที่ 9.2 มิลลิเมตร จากการเปรียบเทียบรูปก่อนการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดดังรูปที่ 6.61 พบว่ามีคราบแคลเซียมคาร์บอเนตบนคานที่ทำการเผาไฟในชุดแรกมากกว่าคานที่ทำการเผาไฟในชุดที่สองโดยที่คาน B700 มีคราบแคลเซียมคาร์บอเนตมากที่สุด จากการสังเกตรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นกับคานพบว่าคาน B700S มีรอยแตกร้าวจากการเผาไฟและให้น้ำหนักบรรทุกขณะเผาไฟไปด้วยมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากคานได้รับการเผาไฟมากกว่าที่ได้ออกแบบไว้จากการที่ควร



รูปที่ 6.61 เปรียบเทียบรูปก่อนการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด (0 กิโลนิวตัน)

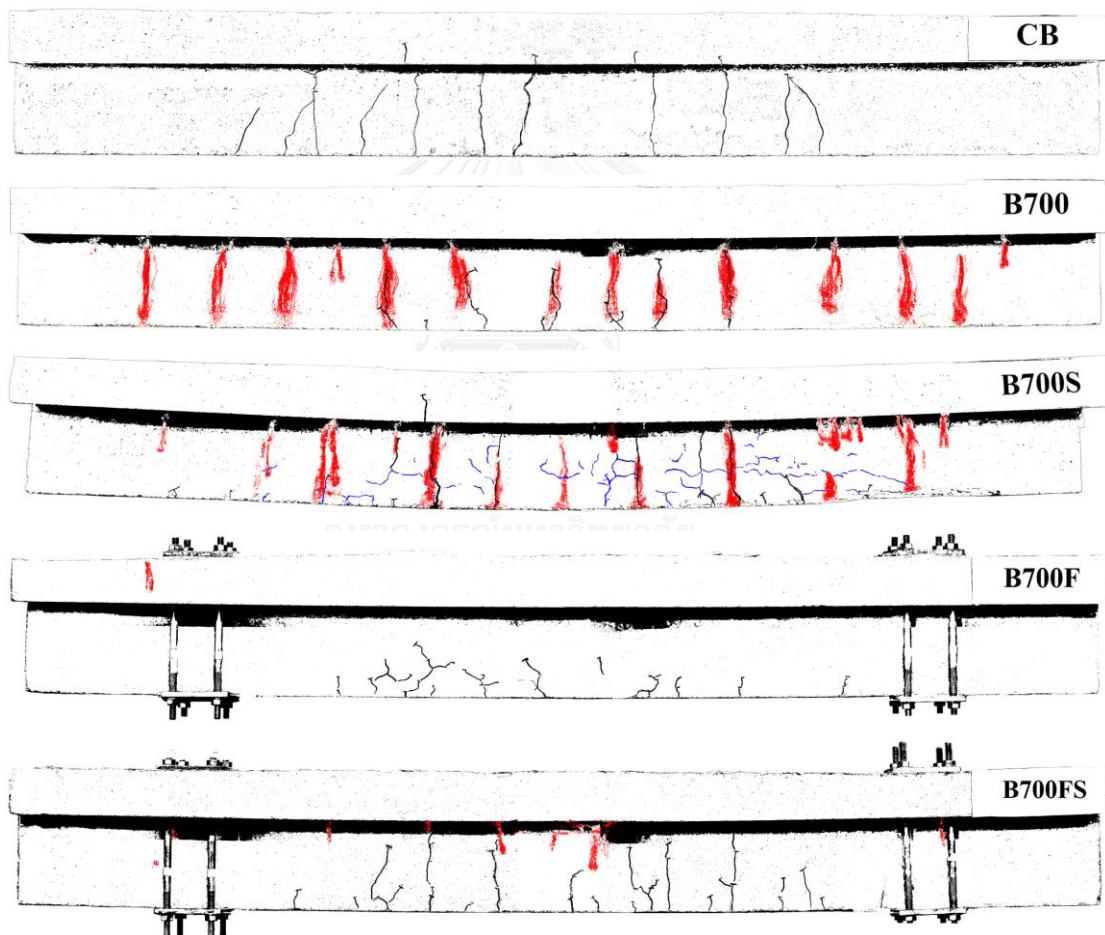
จากการเปรียบเทียบรอยแตกร้าวของคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดดังรูปที่ 6.62 เป็นการเปรียบเทียบในช่วงน้ำหนักบรรทุกประมาณ 40-50 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นช่วงที่คานควบคุม CB เกิดรอยแตกร้าวที่คอนกรีตและน้ำหนักบรรทุกถูกรับโดยเหล็กเสริม พบว่าในคานควบคุม CB มีรอยแตกร้าวยาวเป็นเส้นค่อนข้างตรง คาน B700 มีรอยแตกร้าวเล็กน้อยทั้งนี้คาดว่าเกิดจากผลของการเผาไฟส่งผลให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนและผลของการขยายตัวของคอนกรีตขณะเผาไฟทำให้น้ำหนักบรรทุกในช่วงนี้เกิดรอยร้าวของคอนกรีตน้อยลง สำหรับคาน B700S คานเกิดรอยแตกร้าวเพิ่มเติมในช่วงนี้เล็กน้อยเนื่องจากรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ของคานเกิดทับกับรอยร้าวเดิมที่เกิดจากการเผาไฟและรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ในส่วนของคานที่ทำการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์พบว่ารอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นอยู่ต่ำและมีการกระจายมากกว่าคานควบคุม CB โดยที่คาน B700F เกิดรอยแตกร้าวน้อยกว่าคาน B700FS



รูปที่ 6.62 เปรียบเทียบรูปขณะการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด (40-50 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นช่วงที่คานควบคุม CB เกิดรอยแตกร้าวในช่วงต้น)

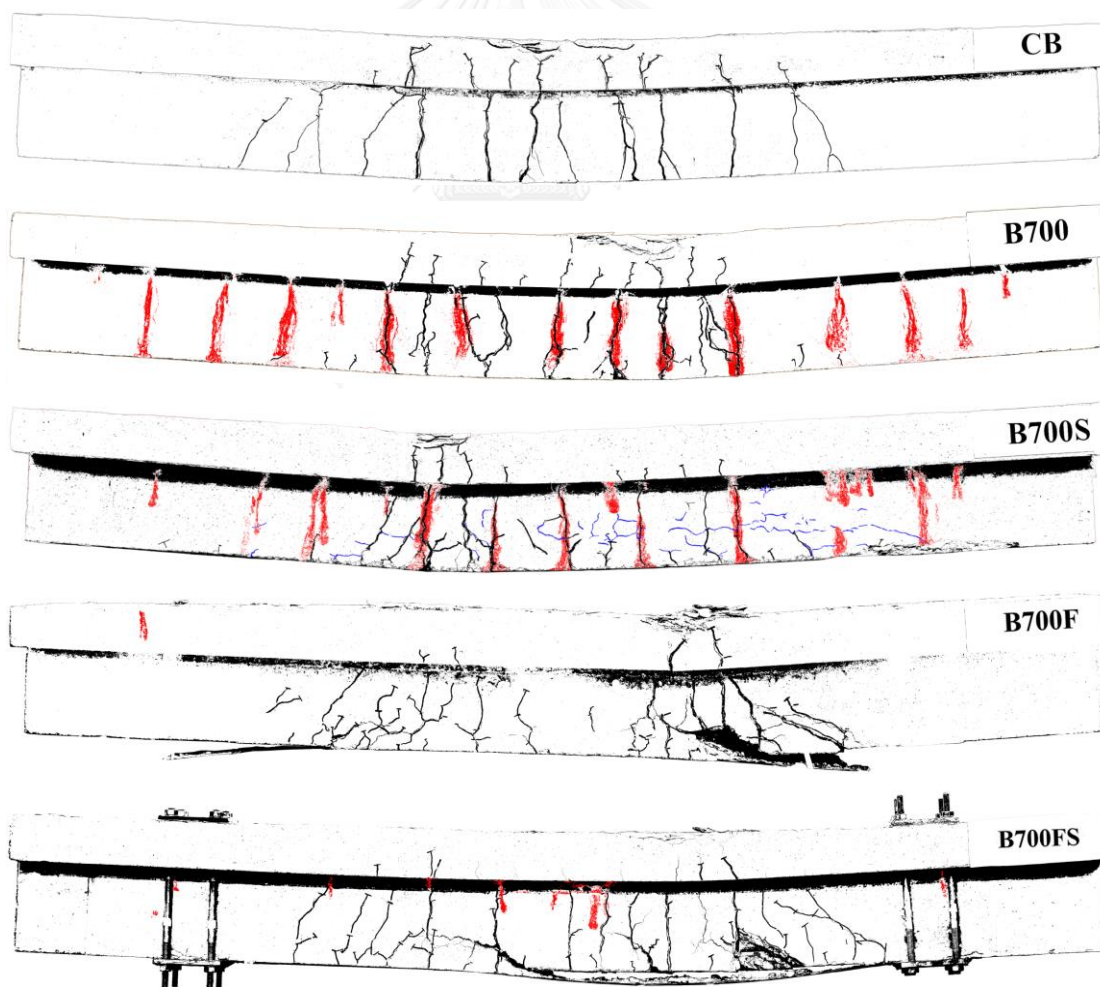


จากการเปรียบเทียบรอยแตกร้าวของคานขณะทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุดดังรูปที่ 6.63 เป็นการเปรียบเทียบในช่วงน้ำหนักบรรทุกประมาณ 85-100 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นช่วงที่เหล็กเสริมในคานควบคุม CB เกิดการคราก โดยจากการเปรียบเทียบพบว่ารอยแตกร้าวในคานควบคุม CB และคาน B700S ในช่วงนี้ได้ขึ้นไปอยู่บนปีกของคาน ในส่วนของคาน B700 รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจะเกิดอยู่เกือบถึงปีกของคาน โดยจะสังเกตเห็นว่ารอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นของคาน B700 และคาน B700S จะเกิดรอยแตกร้าววิ่งตามรอยแตกร้าวเดิมและตามคราบของแคลเซียมคาร์บอเนตโดยคาดว่าอาจจะเกิดจากเป็นส่วนที่อ่อนแอของคอนกรีตอันเนื่องมาจากการเผาไฟ สำหรับรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในคานที่เสริมด้วยแผ่นพอลิเมอร์พบว่ารอยแตกร้าวมีลักษณะกระจายตัวค่อนข้างมากและยังคงเกิดอยู่บริเวณเอวของคานโดยที่คาน B700F มีรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นอยู่ต่ำกว่าคาน B700FS



รูปที่ 6.63 เปรียบเทียบรูปขณะการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด (ที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 85-100 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นช่วงที่คานควบคุมเกิดการครากที่เหล็กเสริม)

จากการเปรียบเทียบรอยแตกร้าวของคานที่วิบัติจากการทำการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด ดังรูปที่ 6.64 พบว่าคานควบคุม CB ที่วิบัติมีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นค่อนข้างสมมาตรและเกิดรอยแตกร้าวอันเนื่องมาจากคอนกรีตเกิดการบดอัดบริเวณกึ่งกลางด้านบนปีก สำหรับการวิบัติของคาน B700 พบว่ามีรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากการบดอัดของคอนกรีตบริเวณปีกคานค่อนข้างเอียงมาทางขวาและรอยแตกร้าวส่วนใหญ่เกิดอยู่ในช่วงของการตัด และเป็นเช่นเดียวกับคาน B700S โดยมีความแตกต่างกันที่รอยร้าวที่เกิดขึ้นจากการบดอัดจะอยู่เอียงไปทางซ้ายใกล้กับจุดที่ทำการให้น้ำหนักบรรทุกทุกต่อคาน สำหรับคานที่ทำการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์พบว่ารอยแตกร้าวส่วนมากเป็นรอยแตกร้าวแบบตัดเฉือนและพบรอยแตกร้าวจากการอัดตัวของคอนกรีตโดยจะพบภายหลังการเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ ซึ่งการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700F และ B700FS จะเกิดขึ้นจากทางด้านขวา โดยจากการสังเกตแผ่นพอลิเมอร์จะเลื่อนออกจากแผ่นเหล็กที่ทำการหนีบปลายแผ่นพอลิเมอร์และเกิดการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์ซึ่งจะสังเกตได้จากการฉีกตัวของคอนกรีตจะเกิดบริเวณทางขวา



รูปที่ 6.64 เปรียบเทียบรูปขณะการทดสอบน้ำหนักกระทำสี่จุด (ที่วิบัติ)(นำน้ำหนักบรรทุกออกแล้ว)

## บทที่ 7

### สรุปผลการวิจัย

#### 7.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายหลังจากการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกขณะเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส และศึกษาผลจากการซ่อมแซมด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายหลังจากการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส และคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกขณะเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส โดยผลจากการศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลจากการเผาไฟที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส ในด้านกำลังของคอนกรีตจากผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีแรงอัดตามแนวแกนกับตัวอย่างทรงกระบอก พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตลดลงจาก 43 เมกะปาสกาล เป็น 6.55 เมกะปาสกาล โดยกำลังภายหลังจากเผาไฟมีค่า 15.23 เปอร์เซ็นต์ของกำลังอัดของตัวอย่างทรงกระบอกที่ไม่ได้ทำการเผาไฟที่อุณหภูมิห้อง

2. ผลจากการทดสอบกำลังอัดด้วย rebound hammer พบว่ากำลังอัดทรงกระบอกเทียบเท่าจากการทดสอบกับคานที่อุณหภูมิห้องมีค่า 39.26 35.48 34.85 35.32 และ 39.86 เมกะปาสกาล ที่ตำแหน่งด้านบนปีก ด้านข้างปีก ด้านใต้ปีก ด้านข้างเอว และด้านใต้เอว ตามลำดับ โดยพบว่ามีค่าน้อยกว่าจากการทดสอบแบบทำลาย ประมาณ 1-8 เมกะปาสกาล จากการเปรียบเทียบก่อนและหลังเผาไฟของคาน B700F B700FS ในด้านที่ถูกเผาไฟบริเวณใต้ปีก ข้างเอว และใต้เอวของคานพบว่ากำลังของคาน B700F ลดลง 7.61 12.87 และ 13.91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ คาน B700FS ลดลง 8.94 19.12 และ 18.83 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

3. จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิของเหล็กเสริมของคานขณะทำการเผาไฟพบว่าคานที่ทำการเผาไฟพบว่าคานที่ทำการเผาไฟในชุดแรกมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิชุดที่สอง เนื่องจากคานชุดแรกมีอุณหภูมิที่เผาในเตาสูงกว่าชุดที่สอง โดยจากการเปรียบเทียบคานที่เผาไฟกับคานที่ทำการเผาไฟและรับน้ำหนักบรรทุกทุกไปด้วยทั้งสองชุดพบว่าอุณหภูมิในเหล็กเสริมของคานที่รับน้ำหนักขณะเผาไฟไปด้วยมีอุณหภูมิมากกว่าเพียงเล็กน้อย

4. ผลจากการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานขณะทำการเผาไฟที่ระดับอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยสังเกตเปรียบเทียบกับคานที่ทำการเผาไฟในชุดที่สองพบว่าคานที่เผาไฟและรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานมีการโก่งตัวสูงสุดมากกว่าคานที่ไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานประมาณ 10.49 มิลลิเมตร โดย

คานที่ไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานและคานที่รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานมีการโก่งตัว 12.37 และ 22.87 มิลลิเมตรโดยในคานชุดแรกมีการโก่งตัวมากกว่าเนื่องจากมีการรับผลจากอุณหภูมิมากกว่าโดยคานที่ทำการเผาไฟและรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานไปด้วยมีการโก่งตัว 29.81 มิลลิเมตร โดยพบว่าคาน B700S B700F และB700FS มีการโก่งตัวกลับ 5.81 6.97 และ13.67 ตามลำดับ

5. การเปรียบเทียบผลจากน้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวของคานจากการทดสอบน้ำหนักกระทำที่จุดพบว่าคานควบคุม CB ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการโก่งตัวมีพฤติกรรมที่เกิดจากการรับแรงดึงของคอนกรีตที่เอวคานในช่วงน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 35 กิโลนิวตัน โดยจะไม่พบในคานที่เผาไฟ สำหรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของคานที่คานที่ทำการเผาไฟและรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานขณะทำการเผาไฟ B700 และ B700S ตามลำดับ พบว่ามีน้ำหนักบรรทุกสูงสุดต่ำกว่าคานควบคุม 9.64 และ 26.64 เปอร์เซ็นต์ จากการเสริมกำลังคานด้วยแผ่นพอลิเมอร์และทำการยึดรั้งปลายแผ่นพอลิเมอร์กับคานที่เผาไฟและคานที่เผาไฟและรับน้ำหนักบรรทุกไปด้วย B700F และ B700FS พบว่าสามารถทำให้น้ำหนักบรรทุกสูงสุดสูงกว่าคานควบคุม 31.00 และ 48.71 เปอร์เซ็นต์ โดยที่คาน B700FS สูงกว่าคาน B700F คาดว่าเป็นผลจากแผ่นเหล็กยึดรั้งแผ่นพอลิเมอร์ในคาน B700FS ทำงานได้ดีกว่าในคาน B700F และพบว่าความสัมพันธ์เริ่มต้นของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการโก่งตัวซึ่งบอกถึงสติเฟนสของคานโดยที่คานที่มีค่าสติเฟนสมาเกินไปน้อยคือ CB B700F B700FS B700 และ B700S มีค่า 54554 39797 28513 20767 และ 13057 กิโลนิวตันต่อเมตร ตามลำดับ และดัชนีความเหนียวของคานมากไปน้อยคือ B700 CB B700S B700FS และ B700F มีค่า 8.0 6.5 2.9 2.7 และ2.7 ตามลำดับ

6. ความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงดึงของคานควบคุม CB สามารถสรุปได้ว่าคานมีความเครียดทางขวามากกว่าทางซ้ายเล็กน้อย โดยที่ค่าความเครียดจากตัววัดความเครียดทางด้านซ้ายสุดของเส้นที่อยู่ด้านหน้ามีการใช้งานไม่ถึงจุดครากของเหล็กเสริมรับแรงดึง ในส่วนตำแหน่งอื่นๆมีการใช้งานที่เลยจุดครากของเหล็กไปแล้ว โดยค่าความเครียดในเหล็กตำแหน่ง SGF4 กึ่งกลางคานเป็นตำแหน่งที่เกิดการครากขึ้นเป็นตำแหน่งแรกซึ่งเป็นตัวบอกจุดครากของคานควบคุมโดยมีค่าความเครียดครากที่ตำแหน่งนี้เท่ากับ 2809 ไมโครเมตรต่อเมตร และพบว่ามีการเลื่อนไถลของเหล็กเสริมเหล็กเสริมรับแรงดึงตำแหน่ง SGF2 ทางด้านขวาของเส้นที่อยู่ด้านหน้า และตำแหน่ง SGB4 ในตำแหน่งกึ่งกลางของเหล็กเสริมรับแรงดึงที่อยู่ทางด้านหลัง ส่วนความเครียดที่เหล็กเสริมรับแรงอัดของคานควบคุม CB มีการใช้ความเครียดอัดอยู่ไม่เกินช่วงน้ำหนักบรรทุก 55 ถึง 60 กิโลนิวตัน และภายในน้ำหนักบรรทุกเพิ่มจนกระทั่งวิบัติมีการใช้เหล็กเสริมรับแรงอัดเป็นความเครียดดึงและใช้งานเกินจุดครากของเหล็กเสริมรับแรงอัด

7. จากความเครียดที่เกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีต ค่าความเครียดที่ด้านบนสุดของคาน B700 มีค่าสูงกว่าคานอื่นเนื่องจากคานมีการเกิดรอยร้าวแบบอัดบริเวณตรงกลางด้านบนที่ตำแหน่ง SGC1 และที่ตำแหน่ง SGC2 ซึ่งอยู่ลงมาจากปีกคานด้านบน 25 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกระทั่งคานวิบัติยังคงมีค่าความเครียดเป็นความเครียดอัด และในตำแหน่ง SGC3 และ SGC4 ซึ่งมีตำแหน่งจากปีกลงมา 50 มิลลิเมตร พบว่ามีค่าเป็นความเครียดอัดในช่วงน้ำหนักบรรทุก 108 กิโลนิวตัน และที่ตำแหน่งจากด้านล่างเอวขึ้นมา 50 มิลลิเมตร SGC5 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 80 กิโลนิวตัน ค่าความเครียดดึงจะเกิดขึ้นมากจนตัววัดความเครียดไม่สามารถอ่านค่าได้และพบว่ามียรอยแตกร้าววิ่งผ่านตัววัดความเครียด ในส่วนตัววัดความเครียดในคาน B700S พบว่ามีค่าความเครียดด้านบนปีกของคานตำแหน่ง SGC1 รวมทั้งตำแหน่งด้านปีกคาน SGC2 และ SGC3 มีค่าน้อยกว่าคาน B700 เนื่องจากมีการเกิดรอยแตกร้าวบดอัดค่อนข้างเอียงมาทางซ้ายบริเวณจุดที่ให้น้ำหนัก สำหรับคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์ B700F และ B700FS พบว่าค่าความเครียดที่วัดได้จากตัววัดความเครียดที่อยู่ด้านบนปีกทั้งสองตัวพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองตัว และความชันของความสัมพันธ์น้ำหนักบรรทุกกับค่าความเครียดอัดที่ผิวคอนกรีตด้านบนในช่วงต้นของทั้งสองคานมีความใกล้เคียงกันคาดว่าเนื่องจากผลกระทบหลักจากการที่แผ่นพอลิเมอร์เป็นตัวหลักในการควบคุมพฤติกรรมของคานในด้านการรับแรงดึงแทนการใช้เหล็กเสริม

8. จากการวิเคราะห์ค่าความเครียดที่ติดตั้งอยู่ที่ผิวพอลิเมอร์ของคาน B700F และ B700FS พบว่ามีการใช้ประสิทธิภาพแผ่นพอลิเมอร์สูงสุดในคาน B700FS มากกว่าคาน B700F อยู่ 13 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถที่แผ่นพอลิเมอร์รับได้ แผ่นพอลิเมอร์ที่มีการยึดรั้งที่ปลายแผ่นพอลิเมอร์ของคาน B700FS มีการใช้งานแผ่นพอลิเมอร์สูงสุดอยู่ที่ 45 เปอร์เซ็นต์ โดยทั้งสองคานมีการหลุดล่อนเริ่มจากทางด้านขวา เนื่องจากค่าที่อ่านได้จากตัววัดความเครียดทางด้านขวาบริเวณช่วงเอนดัดของคานมีค่าความเครียดที่ใช้งานมากกว่าด้านซ้าย และจากการเปรียบเทียบค่าความเครียดภายหลังการหลุดล่อนพบว่าในด้านที่เกิดการหลุดล่อนยังคงมีการใช้งานของแผ่นพอลิเมอร์อยู่ภายหลังการให้น้ำหนักกระทำแบบรอบ โดยในด้านที่เกิดการหลุดล่อนมีการใช้งานของแผ่นพอลิเมอร์น้อยกว่าทางด้านที่ไม่เกิดการหลุดล่อน

9. จากการเปรียบเทียบรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นพบว่าคานที่ทำการเสริมแผ่นพอลิเมอร์และมีการยึดรั้งที่ปลายมียรอยแตกร้าวที่กระจายตัวค่อนข้างมากและเกิดรอยแตกร้าวค่อนข้างอยู่ต่ำกว่าคานควบคุมที่น้ำหนักบรรทุกเดียวกัน โดยที่ภายหลังเกิดการหลุดล่อนเกิดรอยร้าวของคอนกรีตที่บริเวณทางด้านที่แผ่นพอลิเมอร์หลุดล่อน ในส่วนของรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในคานที่เฝ้าไฟเมื่อเปรียบเทียบกับคานที่เฝ้าไฟและถูกเสริมกำลังด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนและมีการยึดรั้งที่ปลาย พบว่าคานที่เฝ้าไฟมียรอยแตกร้าวแบบดัดมากกว่าคานที่ถูกเสริมกำลังซึ่งค่อนข้างเกิดรอยแตกร้าวแบบดัดเนียน

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดสอบเผาไฟ พบว่าการการติดตั้ง LVDT เพื่อวัดการทรุดตัวหรือขยายตัวของจุดรองรับ ควรใช้ LVDT ติดเพิ่มที่บริเวณปลายสุดของคานาด้านบนเพื่อทำการหักลบค่าจากการโก่งตัวของคาน โดยค่าที่ได้จะต่ำกว่าเนื่องจากการเพิงระยะในแนวตั้งจากการโก่งตัวของคาน

2. การเผาไฟในการทดสอบครั้งแรกมีการรับความร้อนจากการเผาไฟมากกว่าที่ควรจะเป็น

3. การติดตั้งตัววัดระยะ LVDT เพื่อหาโมเมนต์การดัดในการทดสอบนี้ไม่มีความแม่นยำพอที่จะสามารถหาโมเมนต์การดัดของคานที่ทดสอบ ควรใช้วิธีอื่นในการหา

4. การติดตั้งตัววัดความเครียดที่ผิวคานคอนกรีตบริเวณกึ่งกลางคานด้านบนปีก ควรติดตั้งเพิ่มเติม เนื่องจากค่าความเครียดอัดสูงสุดไม่ได้เกิดตรงกึ่งกลางคาน และการติดตั้งตัววัดความเครียดที่ด้านข้างปีกและเอวคานไม่สามารถบ่งบอกระดับของแกนสะเทินได้อย่างแม่นยำเนื่องจากรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น และความสามารถของช่วงที่สามารถเก็บข้อมูลได้ของตัววัดความเครียด

5. จากการสังเกตระบบการยึดรั้งที่แผ่นพอลิเมอร์ควรใช้แผ่นเหล็กที่ทำการหนีบแผ่นพอลิเมอร์ที่หนากว่าที่ใช้ในการทดสอบนี้เนื่องจากการโก่งตัวของแผ่นเหล็กที่ทำการยึดรั้งแผ่นพอลิเมอร์จากการขึ้นน็อต และควรใช้น้ำยาทาเพื่อป้องกันการคลายตัวของน็อต

## รายการอ้างอิง

- [1] Talbot, A.N. Tests of Reinforced Concrete T-Beams: Series of 1906.: University of Illinois, 1907.
- [2] Salib, M. Flexural behavior of RC T-section beams strengthened with different configurations of CFRP laminates. Int. J. Current Eng. Technol 2(4) (2012): 418-426.
- [3] AL-TAMEEMI, M.D. and PANDEY, R. EXPERIMENTAL STUDY ON THE BEHAVIOR OF RC T BEAMS STRENGTHENED WITH EXTERNALLY BONDED CFRP. Research and Development (IJCEIERD) 3(4) (2013): 73-80.
- [4] Roy, D., Sharma, U., and Bhargava, P. STRENGTHENING HEAT DAMAGED REINFORCED CONCRETE BEAMS USING GLASS FIBER-REINFORCED POLYMER (GFRP) LAMINATES. Applications of Structural Fire Engineering (2016).
- [5] Chahrour, A. and Soudki, K. Flexural response of reinforced concrete beams strengthened with end-anchored partially bonded carbon fiber-reinforced polymer strips. Journal of Composites for Construction 9(2) (2005): 170-177.
- [6] ISO. (2012). Fire resistance tests--Elements of building construction. ISO 834. Geneva.
- [7] Kreith, F., Manglik, R.M., and Bohn, M.S. Principles of heat transfer. Cengage learning, 2012.
- [8] Eurocode 2, Design of concrete structures. Part 1.2: General rules-structural fire design (EN1992-1 2:2004), Commission of European communities, 2004.
- [9] ANSYS, A Finite Element Computer Software and User Manual for Nonlinear Structural Analysis, ANSYS; Inc., Canonsburg, Pennsylvania, 2011.
- [10] SIKA. (2015). SIKA Carbodur® S. Product Data Sheet, version 2 February 2015..
- [11] SIKA. (2011). SIKA Carbodur® -30. Product Data Sheet, version 4 March 2011..

- [12] ASTM, A. E119-01. Standard methods of fire test of building construction and materials. West Conshohocken (PA): American Society for Testing and Materials (2001).







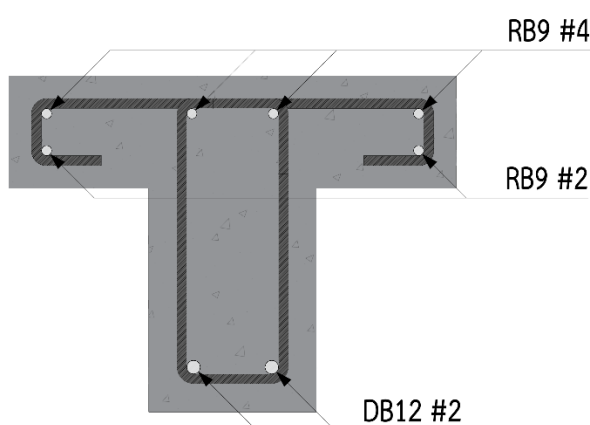
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก  
 รายการคำนวณออกแบบหน้าตัด

ก.1 รายการคำนวณออกแบบหน้าตัดคานตัวอย่างรูปตัวทีที่ใช้ในการออกแบบทดสอบ

รายการคำนวณความสามารถในการรับกำลังของคานที่อุณหภูมิห้อง



พื้นที่หน้าตัดเหล็ก

$$A_s'' = 4RB9 = 2.54 \text{ cm}^2$$

$$A_s' = 2RB9 = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 2DB12 = 2.26 \text{ cm}^2$$

คุณสมบัติคอนกรีต

$$f_c' = 438.48 \text{ ksc}$$

$$E_c = 4733\sqrt{f_c' \text{ (MPa)}} = 316482 \text{ ksc}$$

$$f_r = 0.62\sqrt{f_c' \text{ (MPa)}} = 41.46 \text{ ksc}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f_c' - 280)}{70} = 0.74$$

คุณสมบัติเหล็ก RB9

$$f_y''/f_y' = 3712 \text{ ksc}$$

$$E_s'', E_s' = 1985387 \text{ ksc}$$

คุณสมบัติเหล็ก DB12

$$f_u''/f_u' = 5608 \text{ ksc}$$

$$f_y = 5425 \text{ ksc}$$

$$f_u = 6526 \text{ ksc}$$

$$\epsilon_y'', \epsilon_y' = 1.870 \times 10^{-3}$$

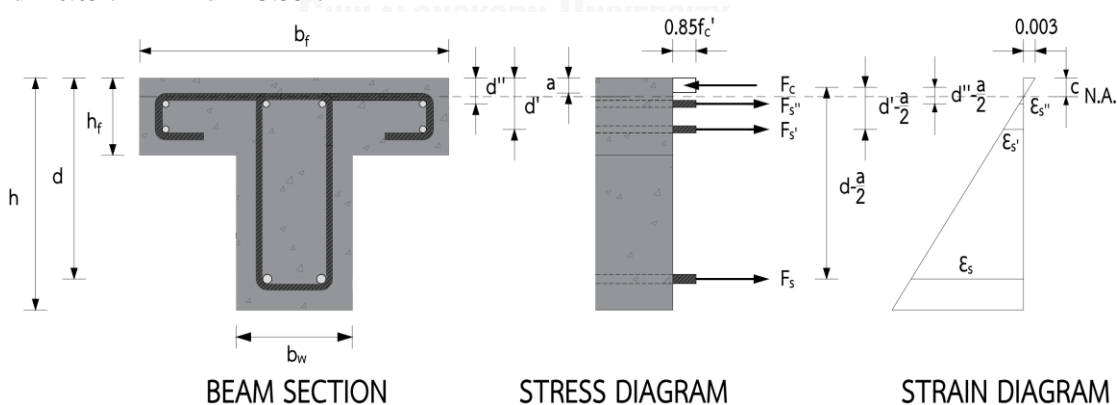
$$E_s = 2043684 \text{ ksc}$$

$$\epsilon_y = 2.654 \times 10^{-3}$$

ขนาดหน้าตัดและระยะเหล็ก

$$h = 30 \text{ cm} \quad b_f = 40 \text{ cm} \quad h_f = 10 \text{ cm} \quad b_w = 15 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$d' = 6.65 \text{ cm} \quad d'' = 3.35 \text{ cm}$$



สมมติ  $A_s''$  ไม่คราก  $A_s'$  และ  $A_s$  คราก

คอนกรีต  $F_c = 0.85f_c' b_e \beta_1 c = 10984.4c$  (สมมติ  $b_f \rightarrow b_e$ )

$$4RB9 \quad F_s'' = A_s'' f_s'' = A_s'' (E_s'' \epsilon_s'') = (2.54)(1985387) \left[ \frac{(3.35 - c)(0.003)}{c} \right] = 5052195.7 \left[ \frac{(3.35 - c)(0.003)}{c} \right]$$

$$2RB9 \quad F_s' = A_s' f_y' = 4722.6$$

$$2DB12 \quad F_s = A_s f_u = 14761.9$$

หาค่า  $c$  โดย

$$F_c = F_s'' + F_s' + F_s$$

$$10984.4c = 5052195.7 \left[ \frac{(3.35 - c)(0.003)}{c} \right] + 4722.6 + 14761.9$$

$$10984.4c^2 - 4327.94c - 50774.58 = 0$$

$$c = 2.356, -1.962 \text{ cm} \text{ ใช้ } c = 2.356 \text{ cm} \text{ ดังนั้น } a = \beta_1 c = 1.736 \text{ cm}$$

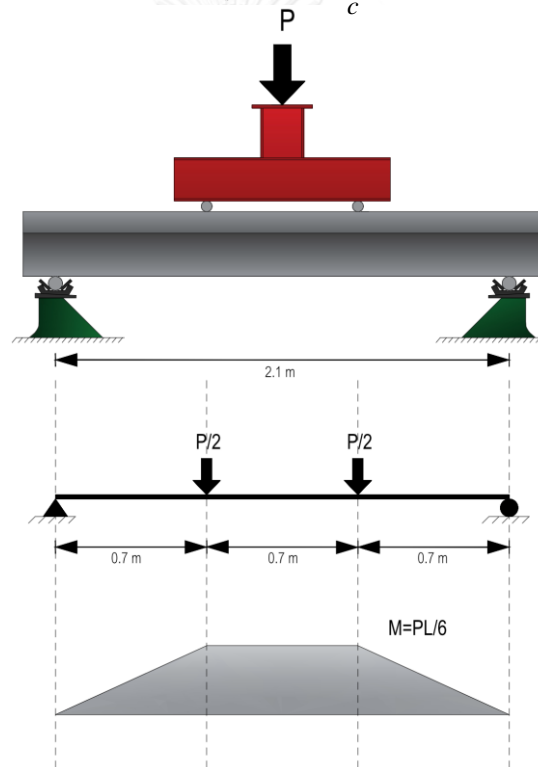
ตรวจสอบสมมติฐาน

$b_f = b_e$  เนื่องจากค่า  $c$  หรือแกนสะเทิน มีค่าเท่ากับ  $2.356 < 10 \text{ cm}$

เหล็กบน 4RB9 ไม่คราก เนื่องจาก  $\varepsilon_s'' = \frac{(3.35 - c)(0.003)}{c} = 1.27 \times 10^{-3} < \varepsilon_y''$

เหล็กบน 2RB9 คราก เนื่องจาก  $\varepsilon_s' = \frac{(6.65 - c)(0.003)}{c} = 5.47 \times 10^{-3} > \varepsilon_y'$

เหล็กล่าง 2DB12 คราก เนื่องจาก  $\varepsilon_s = \frac{(26 - c)(0.003)}{c} = 0.030 > \varepsilon_y$



∴ กำลังรับโมเมนต์ ( $M_n$ ) มีค่า

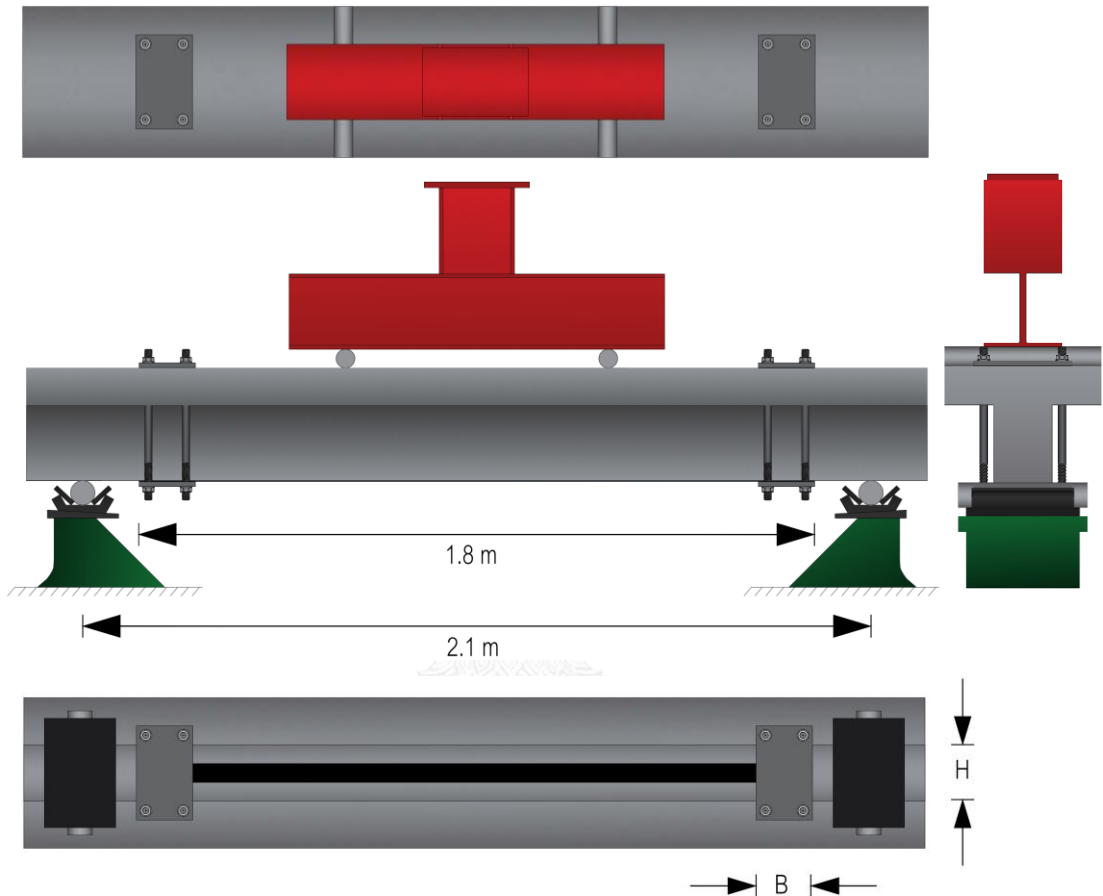
$$M_n = F_s'' \left[ 3.35 - \frac{a}{2} \right] + F_s' \left[ 6.65 - \frac{a}{2} \right] + F_s \left[ 26 - \frac{a}{2} \right] = 4.142 \text{ ton-m}$$

∴ แรงกระทำสูงสุด ( $P_{\max}$ ) มีค่า

$$P_{\max} = \frac{6M}{L} = \frac{6 \times 4.142}{2.1} = 11.834 \text{ ton}$$

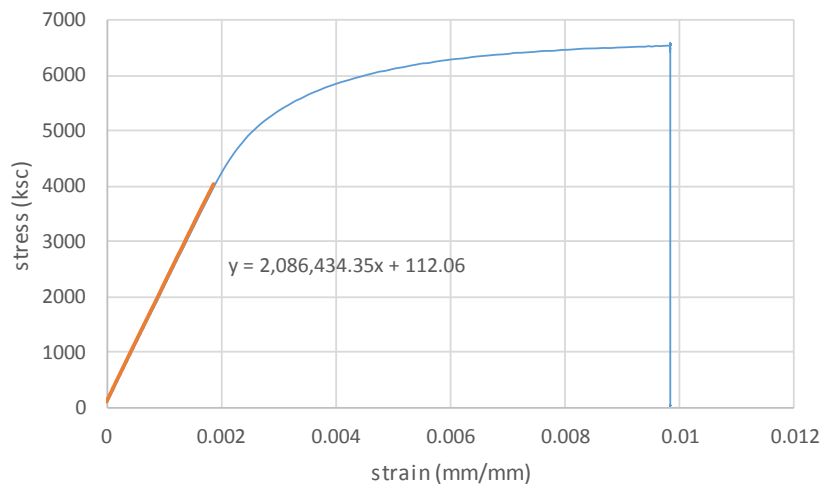
### ก.2รายการคำนวณแรงที่ใช้ยึดรั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่ปลาย

การยึดรั้งที่ปลายจะทำการยึดรั้งทางกลศาสตร์ดังรูปที่ ก.1 โดยการใช้แรงจากการขันน็อตเพื่อถ่ายแรงลง ไปบนแผ่นเหล็กและทำการหนีบหรือยึดรั้งปลายของแผ่นพอลิเมอร์ไว้ ขนาดของแรงที่ใช้จะทำการวัดจากค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดความเค้น (strain gauge) ที่ทำการติดตั้งอยู่ที่ท่อนเหล็ก



รูปที่ ก.1 ตำแหน่งที่ติดตั้งระบบยึดรั้งปลายแผ่นพอลิเมอร์

คุณสมบัติของแท่งเหล็กที่ใช้ในการรับแรงดึงจากการทดสอบ การรับแรงดึง(tensile testing) กับแท่งเหล็กจำนวน 2 ท่อน ได้ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ ก.2 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของแท่งเหล็ก  
รายการคำนวณแรงที่ทำการยึดรั้งแผ่นพอลิเมอร์



คอนกรีตที่อุณหภูมิห้อง

$$f'_c = 43 \text{ MPa} = 438.48 \text{ ksc}$$

$$0.85 f'_c = 36.55 \text{ MPa} = 372.71 \text{ ksc}$$

คอนกรีตที่อุณหภูมิระดับ 700 องศาเซลเซียส

$$f'_c = 6.55 \text{ MPa} = 66.79 \text{ ksc}$$

$$0.85 f'_c = 5.57 \text{ MPa} = 56.80 \text{ ksc}$$

พื้นที่รับน้ำหนัก

$$B \times H = 15 \times 15 = 225 \text{ cm}^2$$

คุณสมบัติของแท่งเหล็ก

$$\text{Rod dia} = 1.6 \text{ cm}$$

$$A_{s \text{ rod}} = 2.01 \text{ cm}^2$$

$$f_{y \text{ rod}} = 4000 \text{ ksc}$$

$$0.7 f_{y \text{ rod}} = 2800 \text{ ksc}$$

$$F_{\text{rod max}} = 0.7 f_{y \text{ rod}} A_{s \text{ rod}} = 5.63 \text{ ton}$$

แรงสูงสุดในคอนกรีต

$$F_{c \text{ roomtemp}} = 83.86 \text{ ton/4rod or } 20.96 \text{ ton/rod}$$

$$F_{c \text{ 700}^\circ\text{C}} = 12.77 \text{ ton/4rod or } 3.19 \text{ ton/rod} \text{ *** control}$$

แรงในอีพ็อกซี

$$f'_{\text{adhesive}} = 85 \text{ MPa} = 866.76 \text{ ksc} \quad F_{\text{adhesive}} = 195.02 \text{ ton/4rod} = 48.76 \text{ ton/rod}$$

∴ ลิมิตโดยกำลังของคอนกรีตที่อุณหภูมิระดับ 3.19 ตันต่อแท่งเหล็กหนึ่งแท่ง และจากรูปที่ ก.2 ซึ่งมีสมการกำกับ  $y = 2,086,434.35x + 112.06$  จะได้ค่าสูงสุดของความเครียดที่สามารถให้กับแท่งเหล็ก คือ 0.000761

∴ สำหรับการทดสอบนี้ใช้ความเครียดที่ให้กับเหล็ก เฉลี่ยประมาณ 0.0004 หรือ 1.68 ตันต่อแท่งเหล็กหนึ่งแท่ง

## ภาคผนวก ข

### ข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

#### ข.1 ข้อมูลวัสดุ

##### - ข้อมูลคุณสมบัติคอนกรีต

คอนกรีตผสมเสร็จ กำลัง 35 MPa ทรงกระบอก

##### - ข้อมูลคุณสมบัติเหล็กเสริม

เหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร มอก.ชั้นคุณภาพ SR24

เหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร มอก.ชั้นคุณภาพ SD40

##### - ข้อมูลคุณสมบัติพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน

แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่ใช้ในการเสริมกำลังคานตัวอย่าง คือ Sika CarboDur® S512 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ ข-1 คุณสมบัติของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน Sika CarboDur® S512

ประเภท	Plate
ขนาด	ความกว้าง 50 มิลลิเมตร ,ความยาว 1.2 มิลลิเมตร ,พื้นที่หน้าตัด 60 มิลลิเมตร
ข้อมูลทางเทคนิค	ความหนาแน่น 1.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ,อุณหภูมิของความเป็นวัสดุออสซิลฐาน > 100 องศาเซลเซียส ,ปริมาณเส้นใย > 68 เปอร์เซ็นต์
คุณสมบัติทางกลศาสตร์	<p>โมดูลัสตามยาวในทิศทางเดียวกับเส้นใย</p> <p>Mean-Value 170,000 N/mm<sup>2</sup></p> <p>5% Fractile-Value 165,000 N/mm<sup>2</sup></p> <p>กำลังรับแรงดึงตามยาวในทิศทางเดียวกับเส้นใย</p> <p>Mean-Value 3,100 N/mm<sup>2</sup></p> <p>5% Fractile-Value 2,900 N/mm<sup>2</sup></p> <p>ค่าความเครียดที่จุดวิบัติ</p> <p>Minimum value &gt; 1.80%</p>

- ข้อมูลอีพอกซีเรซินเชื่อมประสาน

อีพอกซีเรซินเชื่อมประสานระหว่างแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนและตัวอย่างที่ทำการเสริมกำลัง คือ Sikadur® -30 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สี	ส่วน A : สีขาว ส่วน B : สีดำ ส่วน A+B : สีเทาสว่าง
ส่วนผสมทางเคมีพื้นฐาน	อีพอกซีเรซิน
ข้อมูลทางเทคนิค	ความหนาแน่น ส่วน A+B : 1.65 kg/l $\pm$ 0.1 kg/l ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส การหดตัว 0.04% , ความหนาสูงสุด 30 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้งาน -40°C ถึง 45°C
คุณสมบัติทางกลศาสตร์	กำลังรับแรงอัด ที่ 7 วัน อุณหภูมิในการบ่ม 10°C 70-80 N/mm <sup>2</sup> , อุณหภูมิในการบ่ม 35°C 85-95 N/mm <sup>2</sup> กำลังรับแรงเฉือน ที่ 7 วัน อุณหภูมิในการบ่ม 15°C 14-17 N/mm <sup>2</sup> , อุณหภูมิในการบ่ม 35°C 16-19 N/mm <sup>2</sup> กำลังรับแรงดึง ที่ 7 วัน อุณหภูมิในการบ่ม 15°C 24-27 N/mm <sup>2</sup> , อุณหภูมิในการบ่ม 35°C 26-31 N/mm <sup>2</sup> กำลังยึดเหนี่ยวกับเหล็ก > 21 N/mm <sup>2</sup> (mean values > 30 N/mm <sup>2</sup> ) กำลังยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต > 4 N/mm <sup>2</sup> โดยที่คอนกรีตวิบัติ โมดูลัสกำลังอัด : 9,600 N/mm <sup>2</sup> ที่อุณหภูมิ 23°C โมดูลัสกำลังดึง : 11,200 N/mm <sup>2</sup> ที่อุณหภูมิ 23°C

**ภาคผนวก ค**  
**ผลการทดสอบค้อนกระแทก**

**ค.1 การทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยค้อนกระแทก (rebound hammer)**

เป็นการทดสอบโดยอาศัยหลักการกระแทกและกระดอนกลับของมวลสปริง (spring mass) ค่า Rebound Number ที่ได้จะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของผิวที่ถูกกระแทก (มยผ. 1502-51) (ACI 288.2R-98 Nondestructive Test Method for Evaluation of Concrete in Structures- Reported by ACI committee 288)

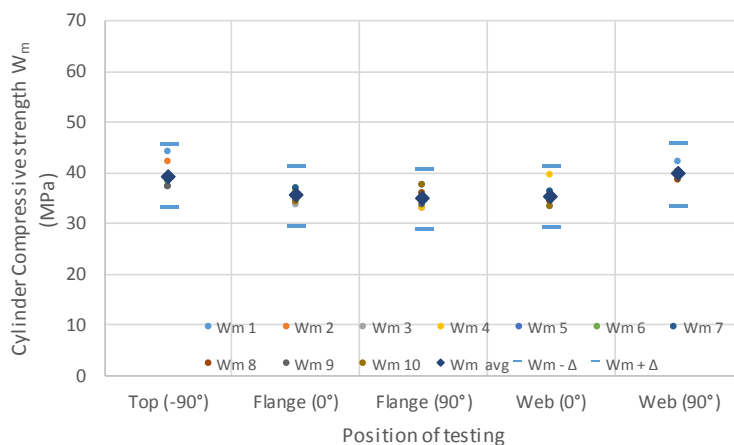
ตารางที่ ค-1 ตารางผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย ก่อนทำการเผาไฟ

คาน	ค่าสะท้อน (Rebound) ที่ได้จากการทดสอบ										ค่าเฉลี่ย	องศา	ตำแหน่ง	ปรับแก้	กำลังอัด ทรง ลูกบาศก์ เทียบเท่า (N/mm <sup>2</sup> )	กำลังอัด ทรงกระบอก เทียบเท่า (N/mm <sup>2</sup> )	การ กระจาย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
CB	45	43	40	38	40	39	38	40	38	40	40.1	-90	Top	40.61	46.19	39.26	±7.31
B14	40	41	38	41	40	42	42	40	39	39	40.2	0	Flange	40.71	41.74	35.48	±7.09
	43	41	41	41	47	45	43	45	42	47	43.5	90	Flange	44.05	41.00	34.85	±7.05
	38	39	40	45	40	41	41	39	40	38	40.1	0	Web	40.61	41.56	35.33	±7.08
	49	47	45	46	46	47	46	45	46	47	46.4	90	Web	46.99	46.89	39.86	±7.34
B700	37	34	34	39	38	35	34	36	34	34	35.5	-90	Top	40.28	45.60	38.76	±7.28
B10	36	37	37	32	38	38	35	36	34	39	36.2	0	Flange	41.97	44.11	37.49	±7.21
	38	39	41	42	39	44	43	42	42	40	41.0	90	Flange	47.54	48.00	40.80	±7.40
	38	38	40	34	37	36	36	37	34	35	36.5	0	Web	42.32	44.67	37.97	±7.23
	43	40	39	44	41	39	42	40	37	40	40.5	90	Web	46.96	46.83	39.81	±7.34
B700S	36	37	35	36	36	35	34	34	34	36	35.3	-90	Top	40.06	45.18	38.41	±7.26
B8	35	36	39	36	34	40	33	34	33	42	36.2	0	Flange	41.97	44.11	37.49	±7.21
	37	39	38	40	38	40	42	41	37	43	39.5	90	Flange	45.80	44.51	37.83	±7.23
	39	36	37	34	38	34	35	33	39	34	35.9	0	Web	41.62	43.45	36.93	±7.17
	42	42	44	38	43	40	39	43	41	39	41.1	90	Web	47.65	48.23	40.99	±7.41
B700F	35	36	37	38	34	39	36	35	35	34	35.9	-90	Top	40.74	46.43	39.46	±7.32
B4	37	36	35	36	39	37	38	38	40	38	37.4	0	Flange	42.44	44.86	38.13	±7.24
	44	43	38	38	38	42	36	36	37	36	38.8	90	Flange	44.03	40.96	34.81	±7.05
	34	38	34	34	38	37	35	38	35	36	35.9	0	Web	40.74	41.79	35.52	±7.09
	40	43	40	37	39	38	38	41	41	40	39.7	90	Web	45.05	43.01	36.55	±7.15

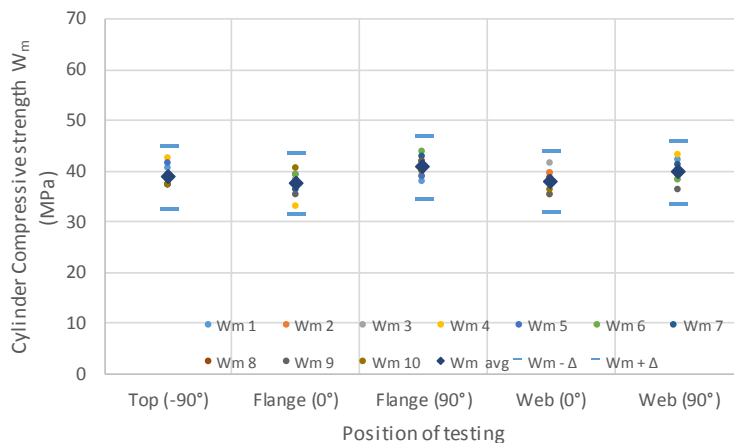


B700FS	38	35	37	37	35	38	34	37	39	38	36.8	-90	Top	41.76	48.20	40.97	±7.41
B9	36	37	40	35	35	39	39	38	39	36	37.4	0	Flange	42.44	44.86	38.13	±7.24
	43	39	39	39	39	39	41	40	39	42	40.0	90	Flange	45.39	43.69	37.14	±7.18
	39	41	39	35	38	37	38	37	37	36	37.7	0	Web	42.78	45.43	38.62	±7.27
	42	36	44	39	44	40	39	43	37	39	40.3	90	Web	46.72	46.37	39.41	±7.32

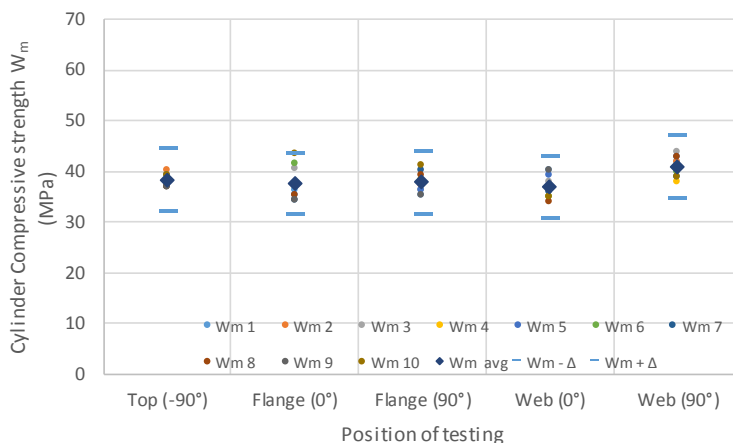
\*\*\*ปรับแก้ตามตารางที่ ค-4



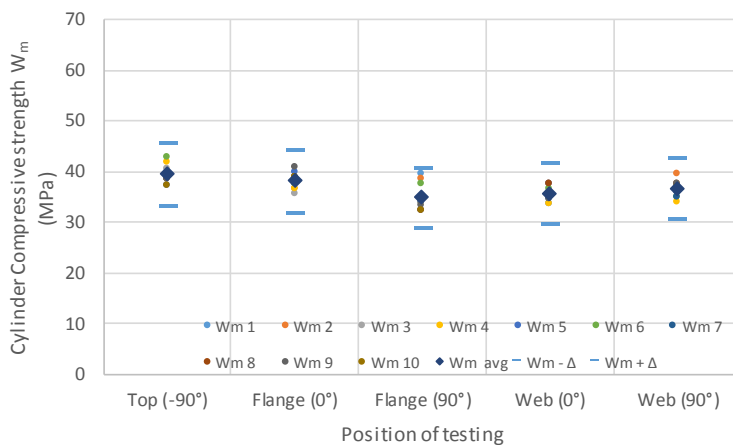
รูปที่ ค.1 กำลังอัดของคาน CB จากการทดสอบคั่นกระแทก



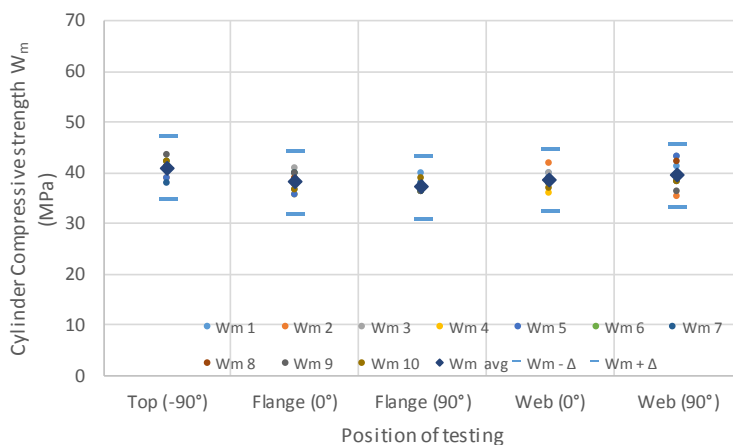
รูปที่ ค.2 กำลังอัดของคาน B700 ก่อนทำการเผาไฟ จากการทดสอบคั่นกระแทก



รูปที่ ค.3 กำลังอัดของคาน B700S ก่อนทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก



รูปที่ ค.4 กำลังอัดของคาน B700F ก่อนทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก

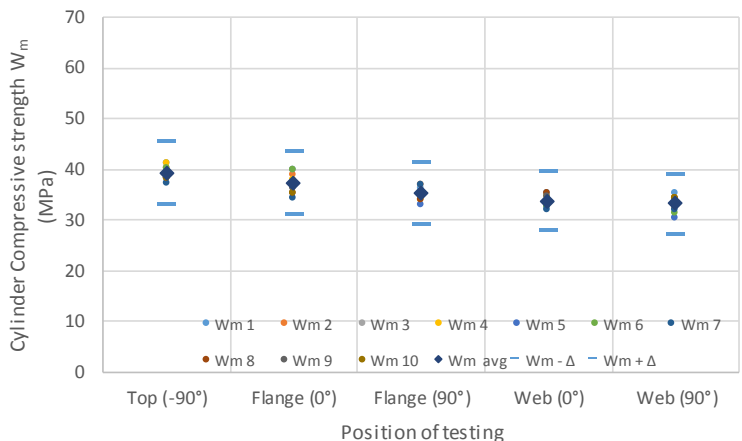


รูปที่ ค.5 กำลังอัดของคาน B700FS ก่อนทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก

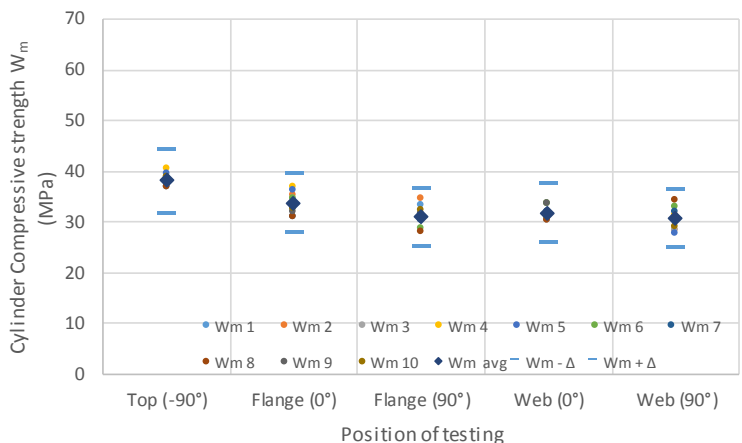
ตารางที่ ค-2 ตารางผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย หลังทำการเผาไฟ

คาน	ค่าสะท้อน (Rebound) ที่ได้จากการทดสอบ										ค่าเฉลี่ย	องศา	ตำแหน่ง	ปรับแก้	กำลังอัด ทรง ลูกบาศก์ เทียบเท่า (N/mm <sup>2</sup> )	กำลังอัด ทรงกระบอก เทียบเท่า (N/mm <sup>2</sup> )	การ กระจาย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
B700	42	41	40	42	39	41	38	39	40	39	40.1	-90	Top	40.61	46.19	39.26	±7.31
B10	44	43	44	42	41	44	38	39	40	39	41.4	0	Flange	41.92	44.03	37.43	±7.20
	45	46	44	42	41	43	46	42	44	44	43.7	90	Flange	44.25	41.41	35.20	±7.07
	41	39	38	40	38	38	37	41	40	39	39.1	0	Web	39.59	39.67	33.72	±6.98
	45	42	44	44	39	40	41	44	42	44	42.5	90	Web	43.04	39.06	33.20	±6.95
B700S	38	40	38	42	41	39	39	38	39	40	39.4	-90	Top	39.90	44.90	38.16	±7.24
B8	38	41	40	43	42	40	36	36	37	38	39.1	0	Flange	39.59	39.67	33.72	±6.98
	44	46	41	41	40	38	40	37	42	43	41.2	90	Flange	41.72	36.62	31.13	±6.83
	36	36	36	40	40	40	38	36	40	37	37.9	0	Web	38.38	37.44	31.82	±6.87
	41	38	38	42	37	44	43	46	41	39	40.9	90	Web	41.42	36.01	30.61	±6.80
B700F	40	40	41	42	39	40	42	40	40	41	40.5	-90	Top	41.01	46.93	39.89	±7.35
B4	42	44	41	40	45	40	44	43	40	42	42.1	0	Flange	42.63	45.17	38.40	±7.26
	42	41	40	38	41	42	44	42	45	43	41.8	90	Flange	42.33	37.84	32.16	±6.89
	36	38	35	37	40	39	36	35	37	40	37.3	0	Web	37.77	36.41	30.95	±6.82
	38	45	44	40	46	42	37	39	45	38	41.4	90	Web	41.92	37.03	31.47	±6.85
B700FS	42	42	40	39	42	40	42	41	39	40	40.7	-90	Top	41.22	47.29	40.19	±7.36
B9	42	42	44	41	43	42	43	42	40	43	42.2	0	Flange	42.73	45.35	38.55	±7.27
	41	42	42	45	44	42	45	45	43	40	42.9	90	Flange	43.44	39.78	33.81	±6.99
	36	39	37	36	38	37	39	35	38	40	37.5	0	Web	37.97	36.75	31.24	±6.84
	40	41	44	39	40	43	44	41	42	43	41.7	90	Web	42.23	37.64	31.99	±6.88

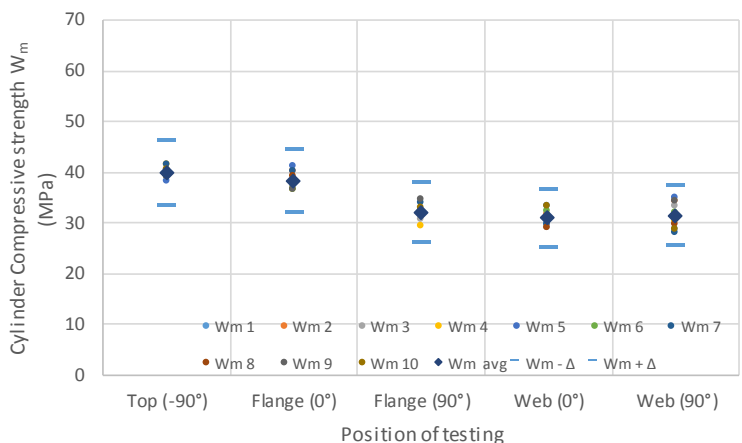
\*\*\*ปรับแก้ตามตารางที่ ค-4



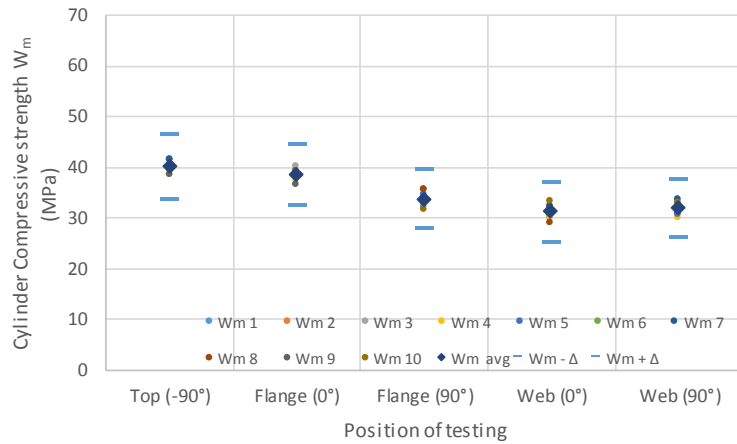
รูปที่ ค.6 กำลังอัดของคาน B700 หลังทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก



รูปที่ ค.7 กำลังอัดของคาน B700S หลังทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก



รูปที่ ค.8 กำลังอัดของคาน B700F หลังทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก

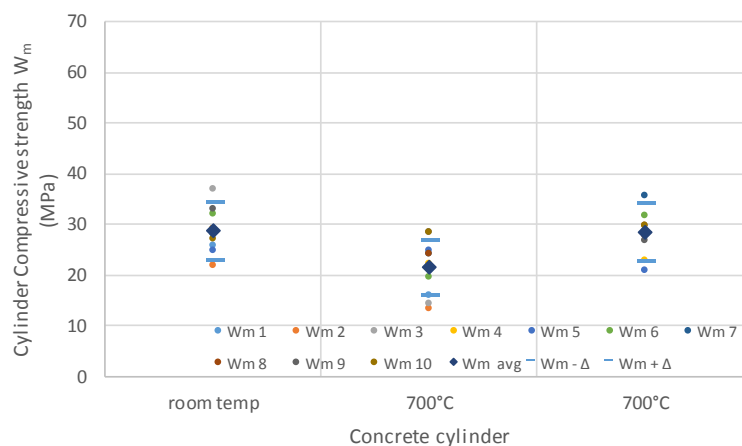


รูปที่ ค.9 กำลังอัดของคาน B700FS หลังทำการเผาไฟ จากการทดสอบค้อนกระแทก

ตารางที่ ค-3 ตารางผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย กับคอนกรีตทรงกระบอก

คาน	ค่าสะท้อน (Rebound) ที่ได้จากการทดสอบ										ค่าเฉลี่ย	องศา	ตำแหน่ง	ปรับแก้	กำลังอัด ทรง ลูกบาศก์ เทียบเท่า (N/mm <sup>2</sup> )	กำลังอัด ทรงกระบอก เทียบเท่า (N/mm <sup>2</sup> )	การ กระจาย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
RT-1	26	22	37	29	25	32	28	29	33	27	28.8	-90	Top	33.39	33.81	28.74	±6.69
T-700-1	18	15	16	25	28	22	27	27	32	32	24.2	-90	Top	28.06	25.34	21.54	±6.27
T-700-2	30	30	29	23	21	32	36	28	27	30	28.6	-90	Top	33.16	33.45	28.43	±6.67
T-700-3	15	13	16	10	17	18	15	10	10	14	13.8	-90	Top	N/A	N/A	N/A	N/A

\*\*\*ปรับแก้ตามตารางที่ ค-4



รูปที่ ค.10 กำลังอัดของคอนกรีตทรงกระบอก จากการทดสอบค้อนกระแทก

ตารางที่ ค-4 ตารางหาค่าปรับแก้โดยการนำค้อนกระแทกไปทำการยิงกับแท่นคาร์เบท

เครื่องมือ	รหัส	ค่าสะท้อน (Rebound) ที่ได้จากการยิงกับแท่นคาร์เบท										ค่าเฉลี่ย	ค่าปรับแก้
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Preceq N-34	114078	70	71	71	71	69	71	69	71	71	71	70.5	1.134752
Preceq N-34	N/A	70	70	67	69	69	68	68	70	69	70	69	1.15942
Matest	2Q0289	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	1.012658

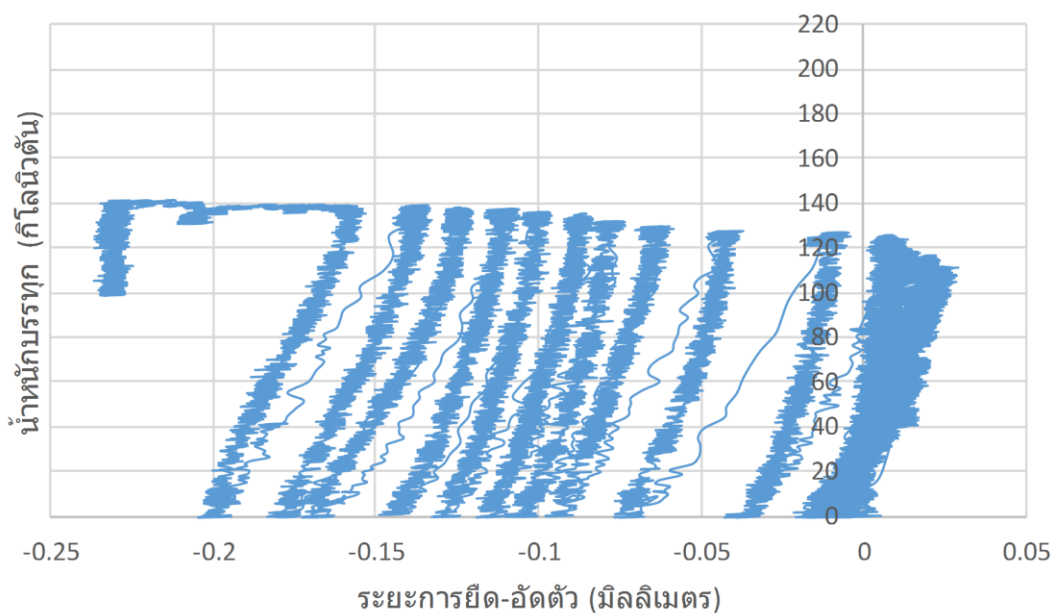


## ภาคผนวก ง

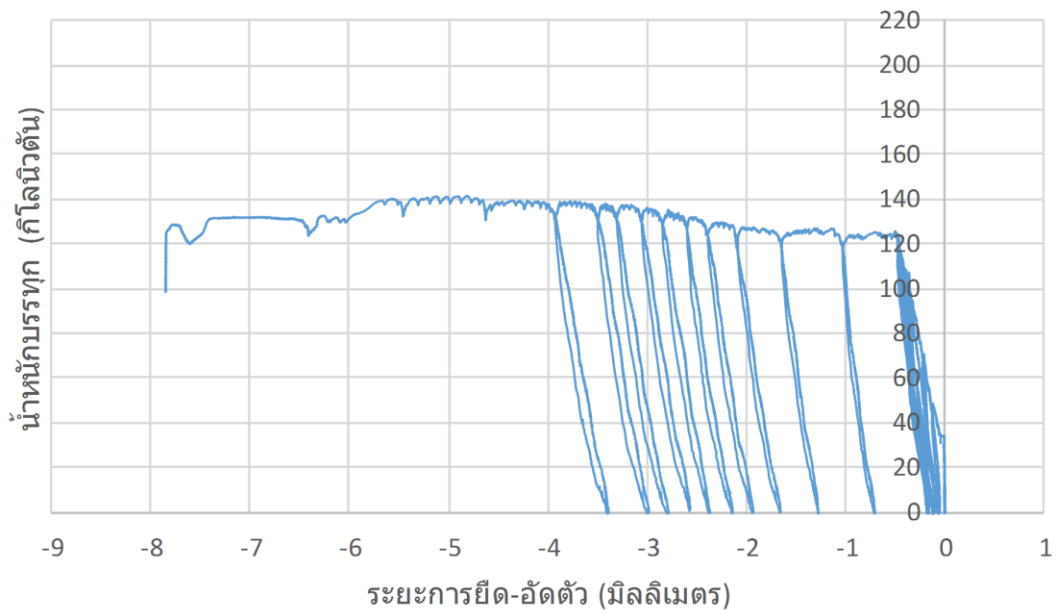
### ผลการทดลองเพิ่มเติมที่ไม่ได้นำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบมีผลการทดสอบที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์หรือเปรียบเทียบเนื่องจากผลการทดสอบไม่ค่อยแม่นยำ ดังนี้

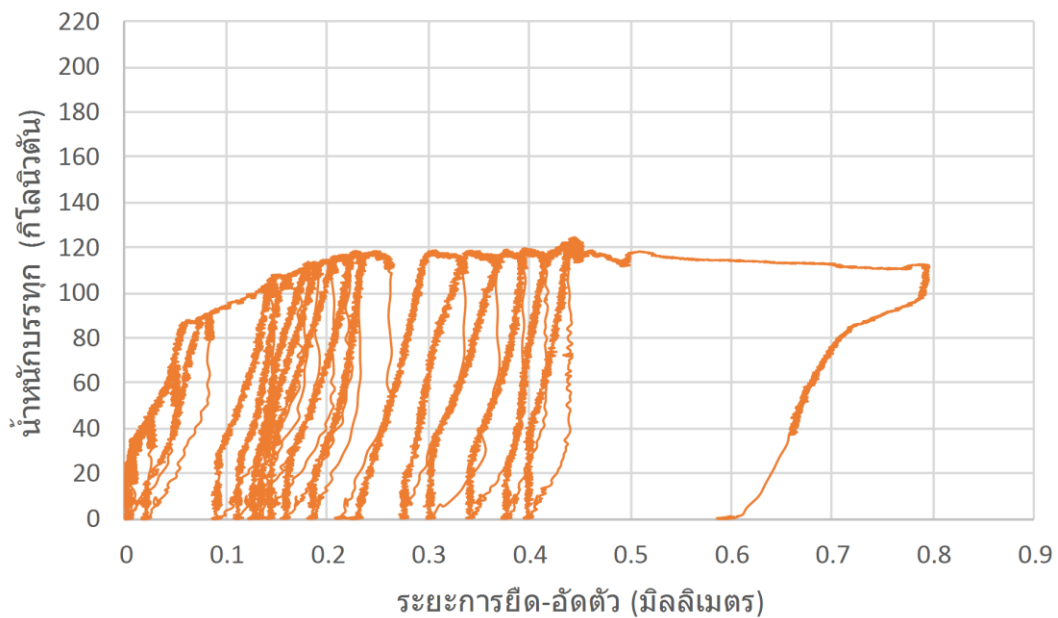
1. ผลการทดสอบจาก LVDT ที่เอวและปีกของคานควบคุม CB ดังรูปที่ ง.1 และง.2
2. ผลการทดสอบจาก LVDT ที่เอวและปีกของคาน B700 ดังรูปที่ ง.3 และง.4
3. ผลการทดสอบจาก LVDT ที่เอวและปีกของคาน B700S ดังรูปที่ ง.5 และง.6
4. ผลการทดสอบจาก LVDT type sling ที่เอวของคาน B700F ดังรูปที่ ง.7 และง.8 และผลจาก LVDT ที่แผ่นเหล็กยึดตั้งแผ่นพอลิเมอร์ ดังรูปที่ ง.9 และง.10
5. ผลการทดสอบจาก LVDT ที่เอวและปีกของคาน B700FS ดังรูปที่ ง.11 และง.12 และผลจาก LVDT ที่แผ่นเหล็กยึดตั้งแผ่นพอลิเมอร์ ดังรูปที่ ง.13 และง.14



รูปที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่ปีกของคานควบคุม CB (จากด้านบนปีกลงมา 33.5 มิลลิเมตร)

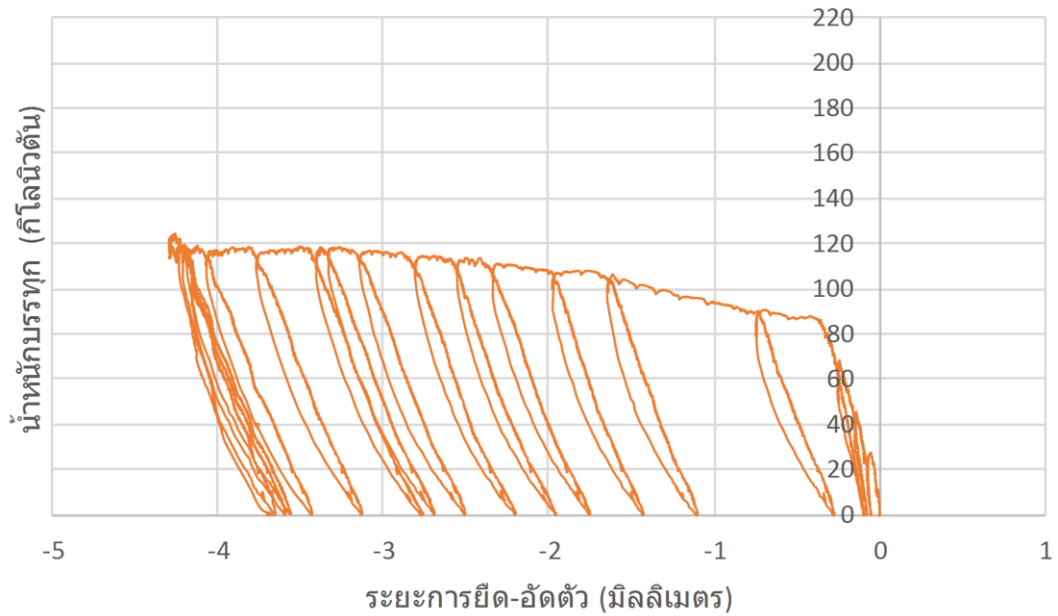


รูปที่ ง.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการยี้ด-อืดตัวจาก LVDT ที่เอวของคานควบคุม CB (จากด้านล่างเอวขึ้นไป 40 มิลลิเมตร)

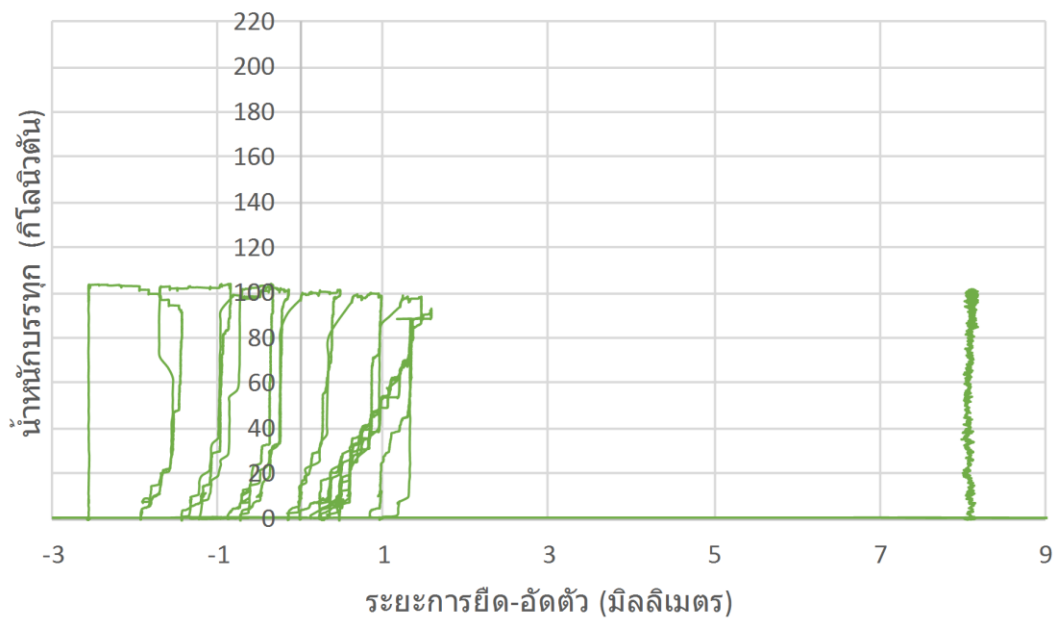


รูปที่ ง.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการยี้ด-อืดตัวจาก LVDT ที่ปีกของคาน B700 (จากบนปีกลงมา 50 มิลลิเมตร)

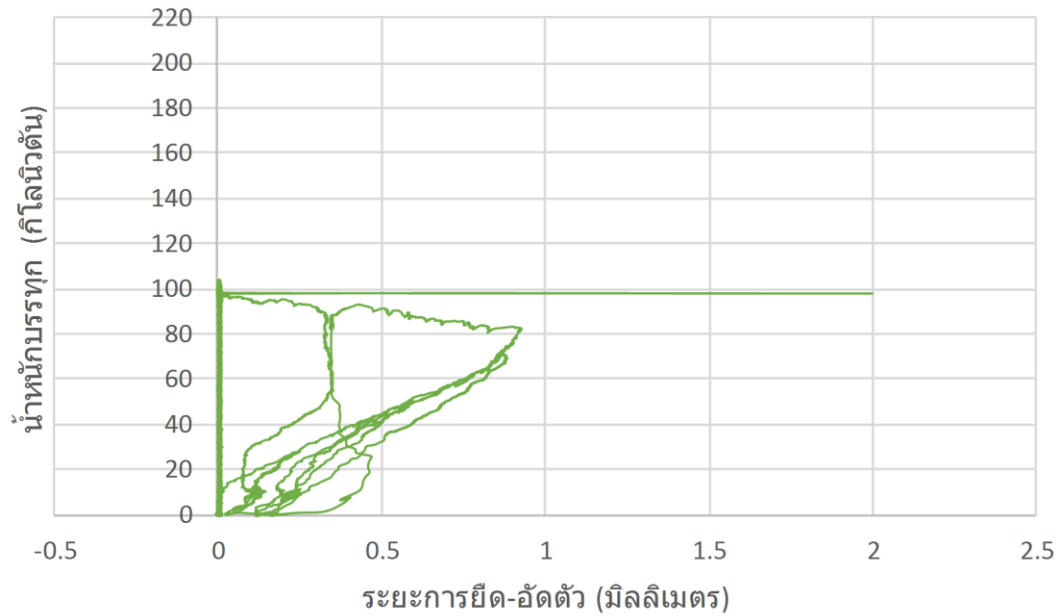




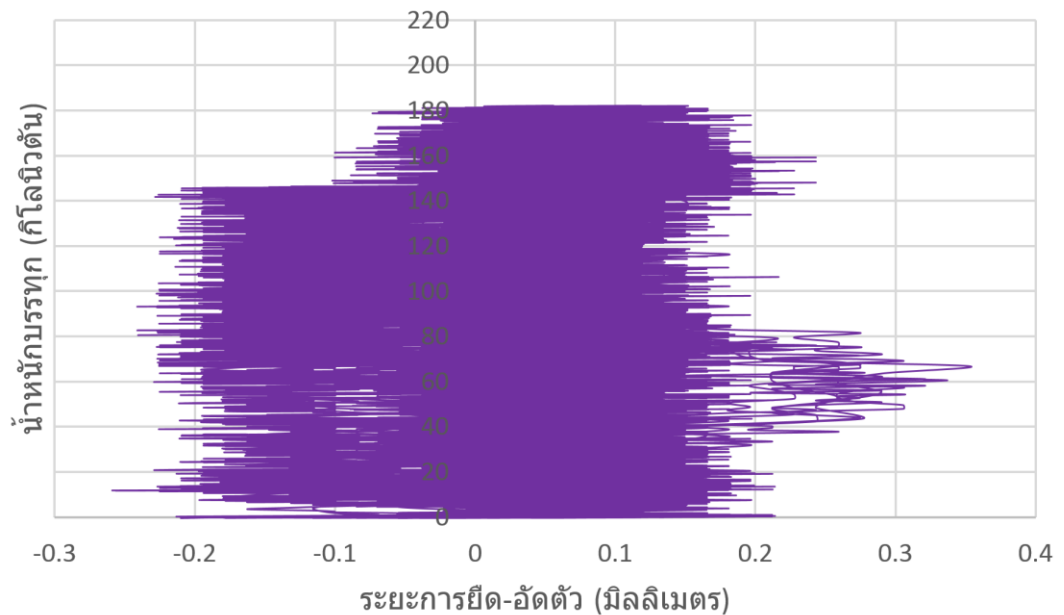
รูปที่ ๔.4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่เอวของคาน B700 (จากล่างเอวขึ้นไป 50 มิลลิเมตร)



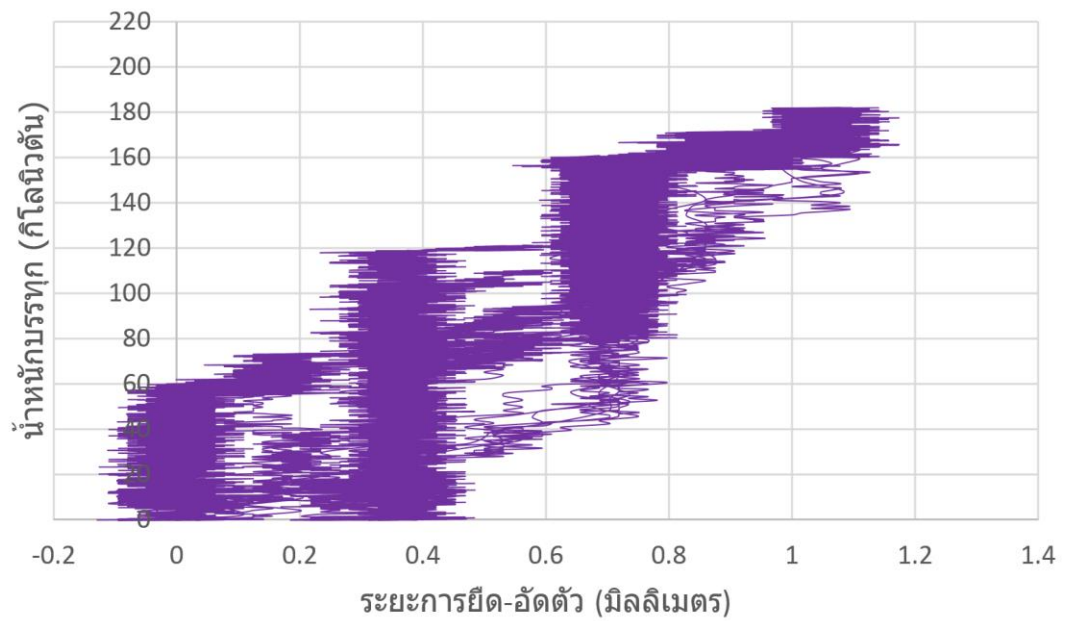
รูปที่ ๕.5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่ปีกของคาน B700S (จากบนปีกลงมา 10 มิลลิเมตร)



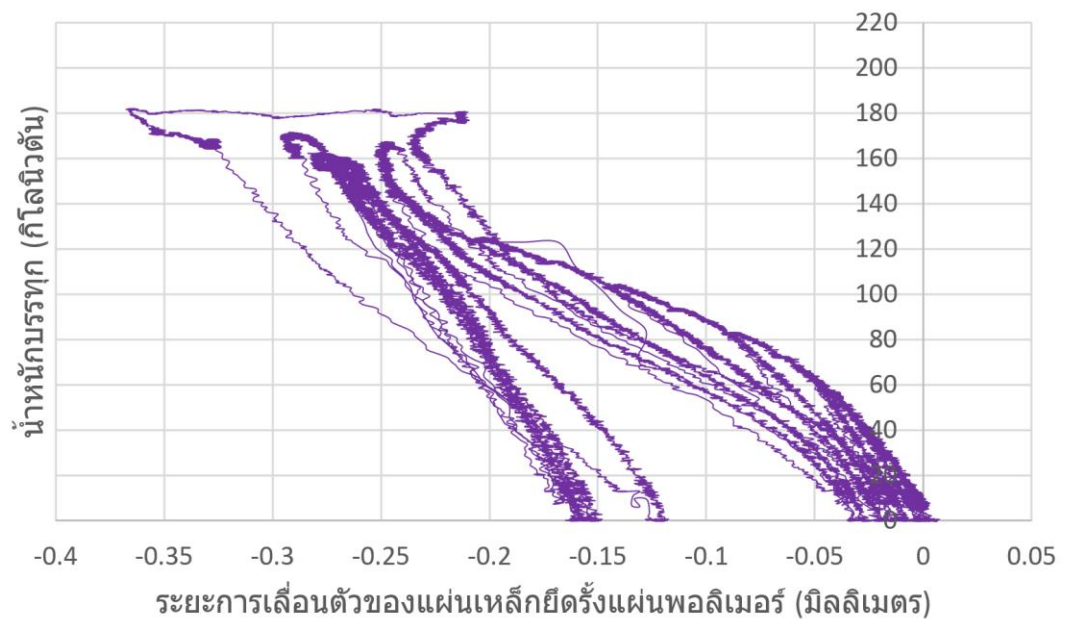
รูปที่ ง.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่เอวของคาน B700S (จากล่างเอวขึ้นไป 10 มิลลิเมตร)



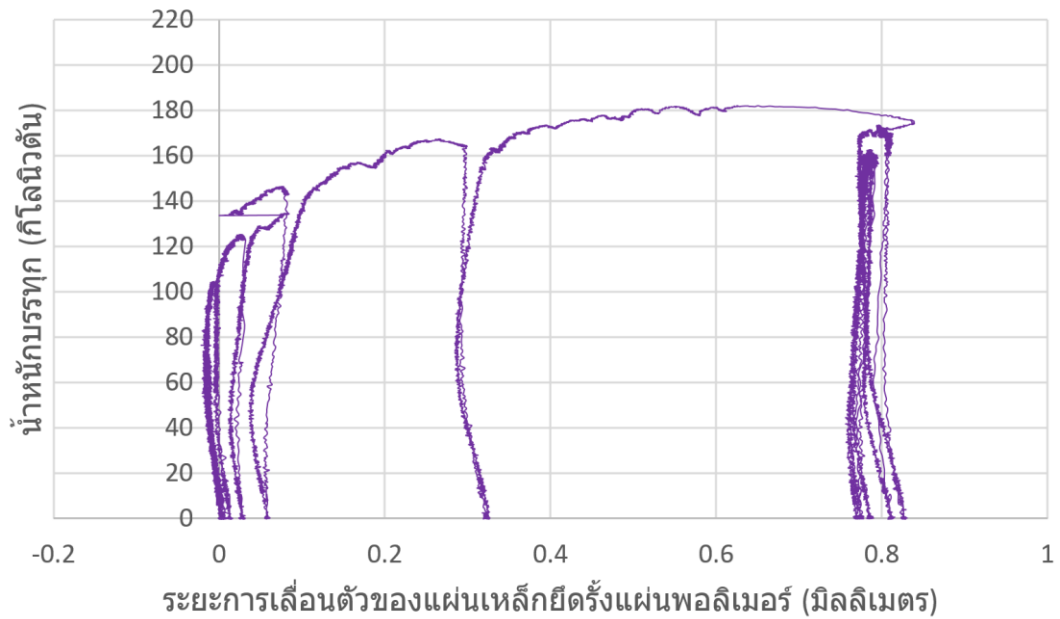
รูปที่ ง.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT sling type ที่เอวของคาน B700F (จากล่างเอวขึ้นไป 150 มิลลิเมตร)



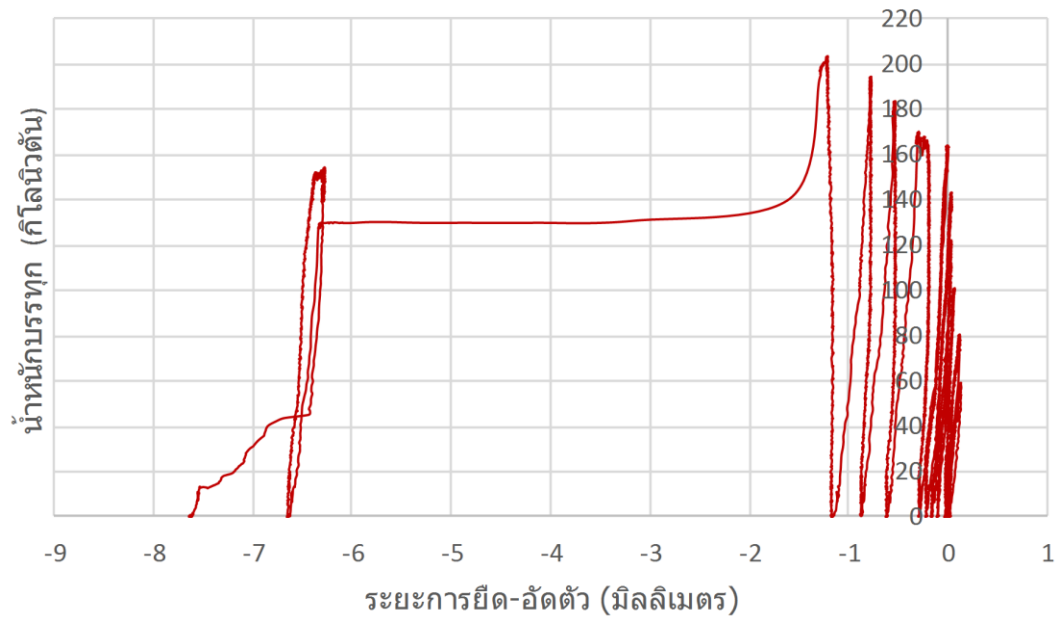
รูปที่ ๘.๘ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT sling type ที่เอวของคาน B700F (จากล่างเอวขึ้นไป 40 มิลลิเมตร)



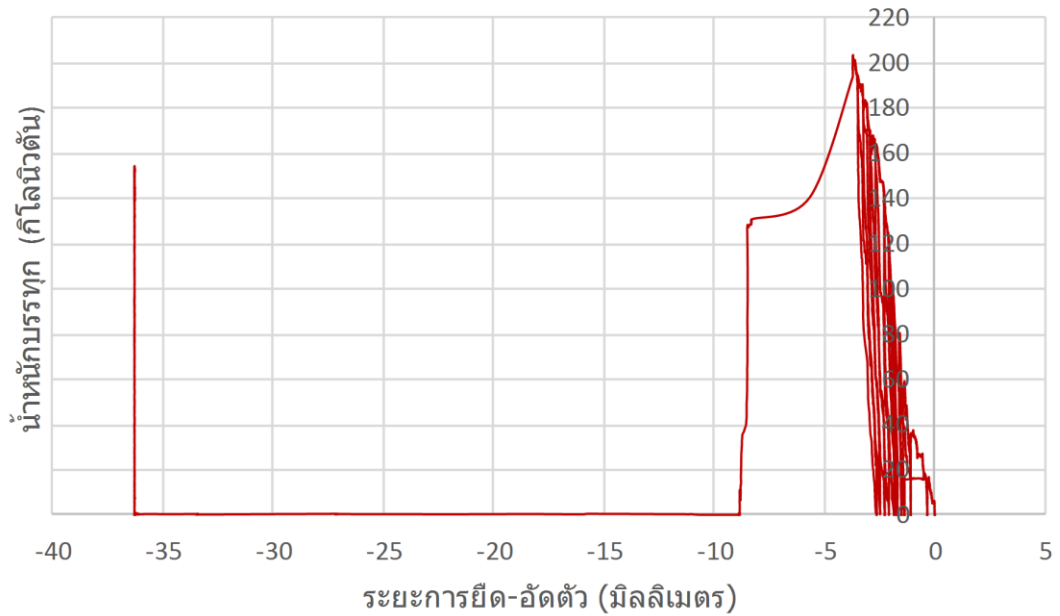
รูปที่ ๘.๙ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการเลื่อนตัวของแผ่นเหล็กยึดรั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนทางด้านขวาของคาน B700F



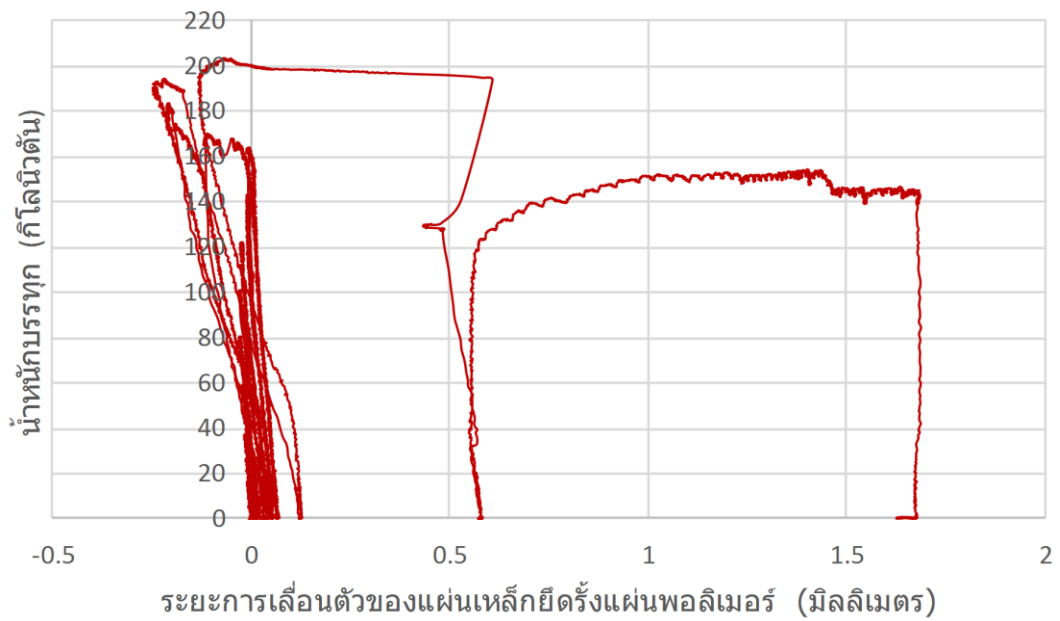
รูปที่ ง.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการเลื่อนตัวของแผ่นเหล็กยึดรั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนทางด้านซ้ายของคาน B700F



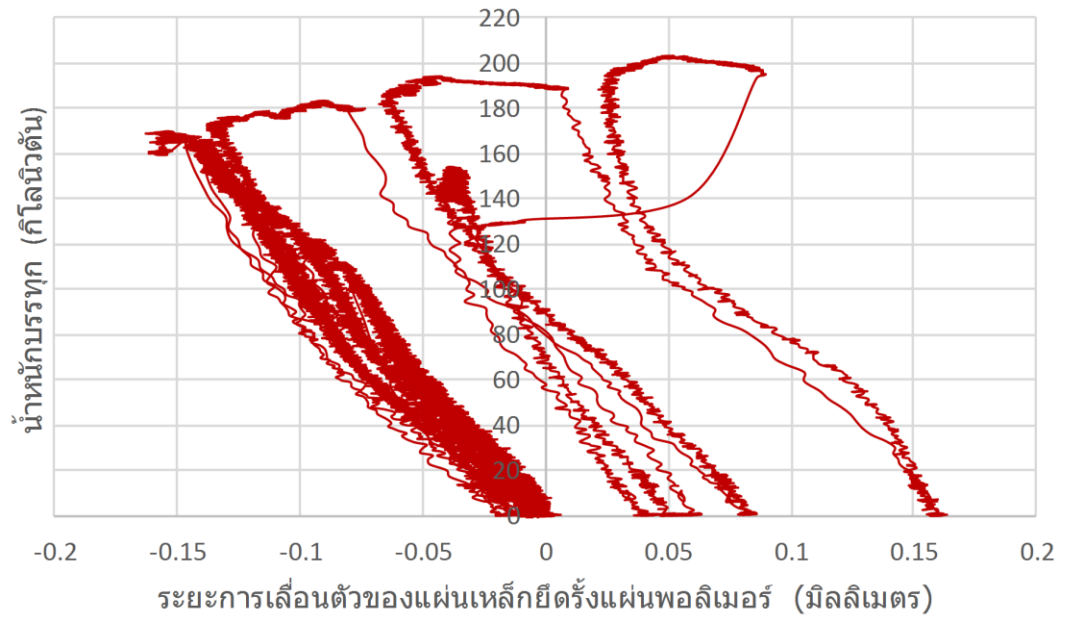
รูปที่ ง.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะการยืด-อัดตัวจาก LVDT ที่ปีกของคาน B700FS (จากบนปีกขึ้นไป 30 มิลลิเมตร)



รูปที่ ง.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรทุกกับระยะการยัด-อัดตัวจาก LVDT ที่เอวของคาน B700FS (จากล่างเอวลงไป 30 มิลลิเมตร)



รูปที่ ง.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรทุกกับระยะการเลื่อนตัวของแผ่นเหล็กยึดรั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนทางด้านขวาของคาน B700FS



รูปที่ ง.14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมทุกกับระยะการเคลื่อนตัวของแผ่นเหล็กยึดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนทางด้านซ้ายของคาน B700FS

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ศุภวิกรม จิตรสำเร็จ เกิดเมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2534 ประวัติการศึกษา  
ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2555  
และเข้ารับการศึกษต่อในระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขา  
วิศวกรรมโยธา(โครงสร้าง) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556  
และจบในปีการศึกษา 2559

