

พฤติกรรมการรับกำลังคดของแผ่นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อนแห้งถูกเพลิงไหม้  
BENDING BEHAVIOR OF PRETENSIONED CONCRETE SLAB AFTER FIRE BURNING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ 033322

BENDING BEHAVIOR OF PRETENSIONED CONCRETE SLAB AFTER FIRE BURNING



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING  
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ พฤติกรรมการรับกำลังดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อน  
หลังถูกเพลิงไหม้

นักศึกษา นายประธาน ระวีวงศ์โนทัย รหัสประจำตัว 33100200  
นายสุริยนต์ เจริญเศรษฐกุล รหัสประจำตัว 33100454  
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ ผศ.ดร.แดง เจริญสุวรรณ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.แดง เจริญสุวรรณ	
อ. เกษม อมันตกุล	
อ. จักรพงษ์ พงษ์ไผ่	
อ. สมชาย สำลีรางค์กุล	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(นายสุรรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 24 เดือน เมษายน พ.ศ. 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมการรับกำลังคดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อนแห้งถูกเพลิงไหม้  
 BENDING BEHAVIOR OF PRETENSIONED CONCRETE SLAB AFTER FIRE BURNING

โดย นายประธาน ระวังศ์อินทัย  
 นายสุวินต์ เจริญเศรษฐกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา พศ.ดร.แดง เจริญสุวรรณ

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยพิเศษฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความสามารถในการรับแรงคดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อนแห้ง หลังจากที่ได้รับผลกระทบจากเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ผลการศึกษาสรุปได้ว่าเมื่อแผ่นพื้นทดสอบถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 200 และ 300 องศาเซลเซียส ความสามารถในการรับแรงคดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่การเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียสนั้นแผ่นพื้นได้สูญเสียความสามารถในการรับแรงคดไปอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุหลายประการโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการหลุดร่อนของคอนกรีตทับหน้า

Abstract

This special project intends to study the behavioral change of bending resistance of the pretensioned concrete slab subjected to fire burning at various temperature of 200, 300, 450, 600 and 800 °c. The study reveals that bending resistance of the slabs have little change in bending resistance under temperature of 200 and 300 °c, while the rest show the substantial change in bending resistance due to various causes especially when the slabs have lost their concrete topping.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา วิชา SPECIAL PROJECT ผศ.ดร.แดง เจริญสุวรรณ ที่ทำให้ความดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้คำแนะนำปรึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆให้ลุล่วงไปด้วยดีตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันมีค่าต่องานวิจัย ขอขอบคุณบริษัท ฟีนสำเร็จ พีซีเอ็ม จำกัด ที่ได้มอบเคราะห์ให้แผ่นพีคอนกรีตอัดแรงใช้ในการศึกษางานวิจัย และผลงานวิจัยนี้จะไม่สำเร็จสามารถสำเร็จลงได้ ถ้าขาดอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่องานวิจัยคือเตาเผา ซึ่งได้รับความช่วยเหลือจากภาควิชาศิลปอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำโรงปฏิบัติการเทคโนโลยีการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และเจ้าหน้าที่ประจำโรงปฏิบัติการเซรามิค ภาควิชาศิลปอุตสาหกรรม ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆเป็นอย่างดี ตลอดจนงานวิจัยนี้ด้วย

ประธาน ระวังศ์อินทัย

สุวิทย์ เจริญเศรษฐกุล

นักศึกษาผู้ประกาศ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
กิตติกรรมประกาศ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII
คำนิยามของศัพท์ที่ใช้.....	XI

## บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความน่า.....	1
1.2 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.3 วัตถุประสงค์.....	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.5 ท้องจำกัดของงานวิจัย.....	3
1.6 สมมติฐาน.....	3
2. ทฤษฎีและแนวความคิด.....	5
2.1 คอนกรีตอัดแรง.....	5
2.1.1 ประวัติงานคอนกรีตอัดแรง.....	5
2.1.2 วิธีการอัดแรงสำหรับคอนกรีตอัดแรง.....	6
2.1.2.1 การอัดแรงแบบดึงเหล็กก่อน.....	6
2.1.2.2 การอัดแรงแบบดึงเหล็กที่หลัง.....	8
2.1.3 หลักการของแผ่นพื้นเสา รั้วรูปคอนกรีตอัดแรง.....	9
2.1.4 การเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตอัดแรงกับคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ)

	หน้า
2.1.5 วัสดุสำหรับคอนกรีตอัดแรง.....	11
2.1.5.1 คอนกรีต.....	11
2.1.5.2 เหล็กเสริมอัดแรง.....	11
2.1.6 ความเค้นพันธะ.....	12
2.1.6.1 พันธะด้ายเท.....	12
2.1.6.2 พันธะการตัด.....	14
2.1.7 การเชื่อมสลูของการอัดแรง.....	15
2.1.8 การคำนวณหน่วยแรง.....	17
2.1.9 โมเมนต์ตัดแตกร้าว.....	19
2.1.10 กำลังรับแรงตัดประลัย.....	20
2.2 ลักษณะและพฤติกรรมของอัคคีภัย.....	23
2.2.1 ขบวนการเกิดเพลิงไหม้.....	23
2.2.2 แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ.....	24
2.2.3 เส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลา.....	25
2.2.4 ทัศนวิสัยพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ.....	27
2.2.5 อิทธิพลของไฟที่มีต่อคอนกรีตและลวดอัดแรง.....	28
2.2.6 ภูมิหลังงานวิจัยที่ผ่านมา.....	32
2.2.7 ตัวอย่างในการศึกษา.....	34
3. วิธีการศึกษา.....	36
3.1 การเลือกตัวอย่างทดสอบ.....	36
3.1.1 การสุ่มตัวอย่าง.....	36
3.1.2 จำนวนตัวอย่าง.....	36
3.1.3 คุณสมบัติของตัวอย่างทดสอบ.....	37
3.2 การทดสอบ.....	40
3.2.1 การเตรียมแผ่นพื้นทดสอบ.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ.....	41
3.2.2.1 เต้าไฟที่ใช้ในการทดสอบ.....	41
3.2.2.2 เครื่องมือทดสอบการรับแรงค้ำ.....	41
3.2.3 การดำเนินการทดสอบ.....	43
3.2.3.1 ขั้นตอนการเผาแผ่นเพนทดสอบ.....	43
3.2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นเพนทดสอบ.....	52
3.3 วิธีการวิเคราะห์.....	53
4. ผลการทดสอบ.....	55
5. การวิเคราะห์.....	87
6. สรุปและข้อเสนอแนะ.....	100
บรรณาการ.....	102
ภาคผนวก ก.....	104
ภาคผนวก ข.....	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัมประสิทธิ์การฉีกของคอนกรีต.....	16
2.2 เปอร์เซนต์การลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น.....	28
3.1 จำนวนตัวอย่างทดสอบ.....	36
3.2 การทดสอบการเผาแผ่นพื้นที่ทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ.....	45
4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 200 °C.....	56
4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 300 °C.....	57
4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 450 °C.....	58
4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 °C.....	59
4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 600 °C.....	60
4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 800 °C.....	61
4.7 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักของแผ่นพื้นที่ทดสอบก่อนเผาและหลังถูกเผา.....	62
4.8 แสดงสีและลักษณะรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังเผา.....	64
4.9 เปรียบเทียบการรับน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นที่ทดสอบที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	68
4.10 เปรียบเทียบการรับน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นที่ทดสอบที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ (แผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาสูญเสียคอนกรีตที่บ้น้ำ.....	69
4.15 เปรียบเทียบการรับน้ำหนักประลัย (Pu) ของแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ)

หน้า

4.12	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคืนตัวของแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังจากเอาน้ำหนักกระทำออก.....	76
5.1	แสดงค่าหน่วยการหดตัวเฉลี่ยของลวดอัดแรงหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ...	88
5.2	แสดงแรงอัดที่สูญเสียและแรงอัดประสิทธิผลหลังการสูญเสียแรงอัดของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	89
5.3	แสดงหน่วยแรงที่หน้าตัดของแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	91



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	7
2.2	9
2.3	13
2.4	18
2.5	19
2.6	21
2.7	23
2.8	26
2.9	27
2.10	29
2.11	31
3.1	40
3.2	42
3.3	42
3.4	46
3.5	47
3.6	47
3.7	48
3.8	49
3.9	50
3.10	51
3.11	51
3.12	51
3.13	52
4.1	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ)

หน้า

4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะเวลาแอ่นตัวของแผ่นเพนทดสอบที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	70
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะเวลาแอ่นตัวของแผ่นเพนทดสอบที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ (แผ่นเพนทดสอบหลังถูกเผาแล้วสูญเสียคอนกรีตกับหน้า).....	71
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะเวลาแอ่นตัวของแผ่นเพนทดสอบที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ (แผ่นเพนทดสอบหมายเลข 2/600 กับ 2/800 หลังถูกเผาแล้วสูญเสียคอนกรีตกับหน้า).....	72
4.5	กราฟแสดงการรับน้ำหนักประลัยของแผ่นเพนทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ.	74
4.6	กราฟแสดงการรับน้ำหนักกระลัยของแผ่นเพนทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ (แผ่นเพนทดสอบหลังถูกเผาแล้วสูญเสียคอนกรีตกับหน้า).....	75
4.7	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การคืบตัวของแผ่นเพนทดสอบ.....	77
4.8	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การคืบตัวของแผ่นเพนทดสอบ (แผ่นเพนทดสอบหลังถูกเผาแล้วสูญเสียคอนกรีตกับหน้า).....	78
4.9ก	แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นเพนทดสอบที่ไม่เผาหลังการรับก่าลึงคึด	79
4.9ข	แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นเพนทดสอบที่ไม่เผาหลังการรับก่าลึงคึด	80
4.10	แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นเพนทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 200 °c หลังการรับก่าลึงคึด.....	81
4.10	แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นเพนทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 300 °c หลังการรับก่าลึงคึด.....	82
4.11	แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นเพนทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 450 °c หลังการรับก่าลึงคึด.....	83
4.12	แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นเพนทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 °c หลังการรับก่าลึงคึด.....	84
4.13	แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นเพนทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 600 °c หลังการรับก่าลึงคึด.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ)

หน้า

4.14 แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นเพื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 800 °c

หลังการรับกำลังค้ำ..... 86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อธิบายคำศัพท์

1. แรงอัดประสิทธิผล หมายถึงแรงอัดสุทธิในลวดอัดแรงหลังจากเกิดการสูญเสียแรงอัดเนื่องจากการล้าและการหดตัวของคอนกรีต ตลอดจนการล้าของลวดอัดแรง
2. ลวดอัดแรง หมายถึงลวดเหล็กกำลังสูงที่มีความเค้นดึงไม่ต่ำกว่า 16000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้ในการผลิตคอนกรีตอัดแรง เป็นตัวที่ทำให้เกิดการอัดแรงในคอนกรีต
3. น้ำหนักกระทำ หมายถึงน้ำหนักกระทำที่ใช้ในการทดสอบการรับกำลังค้ำของแผ่นเพนทอสอบ
4. แรงอัด หมายถึงแรงอัดในเนื้อคอนกรีตซึ่งเกิดขึ้นจากการถ่ายแรงในลวดอัดแรงให้กับคอนกรีต
5. แผ่นเพนทอสอบ หมายถึงแผ่นเพนทอสอบอัดแรงชนิดจลวดก่อนหน้าตัด 35.0 \* 5.0 เซนติเมตร ความยาว 90 เซนติเมตร เพนทอสอบทับหน้าหนา 5 เซนติเมตร
6. เหล็กเสริมอัดแรง หมายถึงเหล็กเสริมที่ใช้ในการทำคอนกรีตอัดแรงชนิดจลวดก่อน
7. เปอร์เซ็นต์การคืนตัว หมายถึงอัตราการคืนตัวของแผ่นเพนทอสอบที่วัดที่ได้จุดกึ่งกลางแผ่นเพนทอสอบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์
8. แรงดึงในลวดอัดแรง หมายถึงค่าแรงดึงที่อยู่ในลวดอัดแรง
9. ความเค้นดึงในลวดอัดแรง หมายถึงค่าหน่วยแรงดึงที่อยู่ในลวดอัดแรง
10. แรงอัดคอนกรีต หมายถึงค่าแรงอัดที่ถูกกระทำโดยแรงดึงในลวดอัดแรง
11. ความเค้นอัดในคอนกรีต หมายถึงค่าหน่วยแรงอัดที่ถูกกระทำโดยหน่วยแรงดึงในลวดอัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความนำ

ในปัจจุบันที่อุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ได้แก่ บ้านเดี่ยว ทาวส์เฮาส์ และอาคารพาณิชย์ ได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว องค์ประกอบที่สำคัญที่ใช้ในการก่อสร้างคือ แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อน (PRETENSIONED CONCRETE SLAB) ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายสำหรับผู้รับเหมา ก่อสร้าง เพราะราคาถูกกว่าและใช้เวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าการก่อสร้างแบบหล่อในที่

การวิบัติของโครงสร้างคอนกรีตเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการ แต่สาเหตุหนึ่งที่สำคัญคือ เพลิงไหม้ ความรุนแรงของเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารคอนกรีต และตั้งแต่อดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันมีการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเนื่องจากเพลิงไหม้ต่อคอนกรีตเสริมเหล็กไว้หลายการทดลอง แต่สำหรับคอนกรีตอัดแรงแล้วมีการศึกษาด้านนี้น้อยมาก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงผลกระทบของเพลิงไหม้ที่มีอิทธิพลต่อความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงกันมากขึ้น

#### 1.2 ความเป็นมาของปัญหา

แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อนมีวิธีการผลิตโดย การดึงเหล็กก่อนการเทคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจนได้กำลังมากพอแล้ว จึงทำการอัดแรงคอนกรีตโดยการตัดลวด เนื่องจากลวดมีการยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตตลอดเส้น เมื่อตัดลวด แรงดึงในลวดจะถ่ายเป็นแรงอัดในคอนกรีต โดยผ่านแรงยึดเหนี่ยวบริเวณปลายพื้น ซึ่งแรงอัดในคอนกรีตเป็นแรงที่สำคัญที่ใช้ในการรับน้ำหนักกระทำจากภายนอกแต่จากการทดลองเกี่ยวกับเพลิงไหม้ที่ผ่านมาเราได้ทราบว่า "โครงสร้างคอนกรีตที่ถูกเพลิงไหม้จะมีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมลดลง" (ภาคภูมิ 2534:1) ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและควรศึกษาว่า ในกรณีของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อน ถ้าถูกเพลิงไหม้จะมีผลกระทบต่อแรงยึดเหนี่ยวอย่างไร และแรงยึดเหนี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการรับกำลังค้ำของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงอย่างไร เมื่อทราบถึงพฤติกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นแล้ว ก็จะสามารถนำมาเป็นข้อมูลใช้ปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดก่อนต่อไป

### 1.3 วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบจากการที่แผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดคิงลวดก่อนถูกไฟไหม้ที่อุณหภูมิ 200-800 องศาเซลเซียส โดยเน้นการศึกษาด้านแรงอัดประสิทธิผลของลวดอัดแรงภายในแผ่นพื้น ศึกษาพฤติกรรมการรับกำลังค้ำ ศึกษาถึงลักษณะความเสียหายของแผ่นพื้นและผลการสุดท้ายทำการสังเกตสาเหตุของการวิบัติของแผ่นพื้นภายใต้การรับกำลังค้ำ

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ตัวอย่างการทดลองจากผลผลิตของบริษัทพื้นสำเร็จ พี ซี เอ็ม จำกัด จำนวน 21 แผ่น ขนาดความยาวขนาดเดี่ยวนั้นคือ 90 เซนติเมตร ดังนั้นจากข้อจำกัดดังกล่าว จำนวนตัวอย่างการทดลองไม่อาจถือเป็นตัวแทนของผลผลิตทุกชนิดของบริษัทพื้นสำเร็จ พี ซี เอ็ม จำกัด แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ใช้ในงานก่อสร้างส่วนใหญ่มีขนาดความยาว ตั้งแต่ 2-5 เมตร แต่แผ่นพื้นที่ใช้ทดสอบมีขนาดความยาวเพียง 90 เซนติเมตร ซึ่งคุณสมบัติของแผ่นพื้นที่มีความยาวต่างกันย่อมไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงขนาดความยาว 90 เซนติเมตร เป็นตัวแทนของแผ่นพื้นขนาดความยาวอื่น ๆ ได้

งานวิจัยการทดสอบการรับกำลังค้ำของแผ่นพื้นทดสอบหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีขอบเขตดังนี้

- แผ่นพื้นทดสอบ ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนแบบแผ่นเรียบ หน้าตัด  $35.0 * 5.0$  ซม. ความยาว 90 ซม. เพียง 1 ชนิด
- ช่วงอุณหภูมิ ช่วงอุณหภูมิที่จะทำการเผาในช่วง 0-800 องศาเซลเซียส คือ ที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส
- ช่วงเวลาการเผา ตามมาตรา ASTM E119 กำหนดให้มีความทนทานไฟขั้นต่ำเท่ากับ 1 ชั่วโมง ดังนั้นเวลาในการเผาจะกำหนดให้ทุกอุณหภูมิมีเวลาในการเผาเท่ากันคือที่ 2 ชั่วโมง 30 นาที  
( ความสามารถในการเร่งอุณหภูมิให้ถึง 800 องศาเซลเซียสของเตาเผาต้องใช้เวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง 30 นาที ดังนั้นจึงกำหนดให้ตัวแปรด้านเวลาในการเผาเท่ากันคือ 2 ชั่วโมง 30 นาที )

### 1.5 ข้อจำกัดของงานวิจัย

- โครงการงานพิเศษนี้ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนที่มีขนาดความยาว 90 เซนติเมตร เพียงขนาดเดียว เนื่องจากเตาเผาที่ใช้เผาทดสอบมีขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถใช้แผ่นพื้นที่มีความยาวมากกว่า 90 เซนติเมตรได้ การใช้แผ่นพื้นที่มีความยาวขนาดเดียวทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าขนาดความยาวของแผ่นพื้นจะมีผลต่อพฤติกรรมการรับกำลังค้ำหรือไม่

- ในการเผาทดสอบควรใช้การเร่งอุณหภูมิให้ได้ตามเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบ แต่เนื่องด้วยเตาเผาที่ใช้ในการทดสอบไม่สามารถเร่งอุณหภูมิให้ได้ตามมาตรฐาน จึงใช้การเร่งอุณหภูมิตามความสามารถของเตาทดสอบ การเร่งอุณหภูมิโดยไม่ใช่ไปไปตามเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลา มีผลทำให้ผลการทดสอบที่ได้ไม่เป็นไปตามความจริง

### 1.6 สมมติฐาน

ปริมาณความร้อนที่แผ่นพื้นทดสอบได้รับจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่างๆ มีผลทำให้คุณสมบัติของแผ่นพื้นทดสอบเปลี่ยนไปตามสมมติฐานต่อไปนี้

1) แรงอัดประสิทธิผลของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นทดสอบมีค่าผกผันกับปริมาณความร้อน กล่าว

คือ

เมื่อ

$$F_u = \text{แรงอัดประสิทธิผล}$$

$$Q = \text{ปริมาณความร้อน}$$

$$F_u \propto \frac{1}{Q}$$

2) การรับน้ำหนักกระทำของแผ่นพื้นทดสอบ มีค่าผกผันกับปริมาณความร้อน

เมื่อ

$$P = \text{น้ำหนักกระทำ}$$

$$Q = \text{ปริมาณความร้อน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P \propto \frac{1}{Q}$$

3) ปริมาณความร้อนมีผลทำให้สาเหตุความเสียหายของแม่พิมพ์ทดสอบเนื่องจากการรับกำลังค้ำเปลี่ยนจากไม่สามารถต้านทานโมเมนต์ตัดได้ เป็นไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและแนวความคิด

#### 2.1 คอนกรีตอัดแรง

##### 2.1.1 ประวัติงานคอนกรีตอัดแรง ( Narbey 1969 : 5-7 )

หลักการอัดแรงโครงสร้างเพื่อปรับปรุงพฤติกรรมบางอย่างขององค์อาคารได้เป็นที่ทราบกันเป็นเวลานานหลายร้อยปี แต่การนำหลักการนี้มาประยุกต์กับงานคอนกรีตได้เริ่มต้นเมื่อร้อยปีที่แล้ว ในปี ค.ศ. 1886, P.A. Jackson วิศวกรแห่งเมืองซานฟรานซิสโก สหรัฐอเมริกาได้จดทะเบียนการก่อสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตโดยการขันท่อนเหล็กเพื่อยึดพื้นคอนกรีตเข้าด้วยกัน ในปี ค.ศ. 1888, C.E.W. Doehring ได้จดทะเบียนการก่อสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตโดยการอัดแรงก่อนการรองรับน้ำหนักบรรทุกทุกในประเทศเยอรมัน อย่างไรก็ตามวิธีก่อสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงในระชะนั้นไม่มีใครประสบความสำเร็จมากนัก ทั้งนี้เพราะแรงอัดแผ่นพื้นเกิดขึ้นเนื่องจากการขันท่อนเหล็กกล้าละมุนให้ตึง เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ แผ่นพื้นคอนกรีตหดตัวเนื่องจากการคืบหรือการหดตัวเนื่องจากสูญเสียความชื้น ทำให้แรงอัดแผ่นพื้นก่อนเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย ถึงแม้ว่า G.R. Steiner ในปี ค.ศ. 1908 จะใช้วิธีขันท่อนเหล็กให้แน่นใหม่หลังจากที่คอนกรีตได้หดตัวไปบ้างแล้ว และค่าก่อสร้างวิธีนี้ก็สูงมากกว่าที่จะก่อสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1925 R.E. Dill ใช้ท่อนเหล็กกำลังสูงเสริมคอนกรีต ในการก่อสร้างเหล็กจะถูกทาสารป้องกันการยึดเหนี่ยวก่อนการเทคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงอัดแรงเข้าสู่คอนกรีตโดยการขันนอตยึดกับคานาวีธีนี้คือการก่อสร้างแบบดึงเหล็กที่หลัง (post tensioning) อย่างไรก็ตามวิธีการก่อสร้างคอนกรีตอัดแรงก็ไม่แพร่หลายนัก

การพัฒนาคอนกรีตอัดแรงสมัยใหม่ได้ริเริ่มในประเทศฝรั่งเศส โดย E. Freyssinet ในปี ค.ศ. 1928 โดยเริ่มใช้ลวดเหล็กซึ่งมีกำลังประลัยถึง 17,500 กก./ตร.ซม. ในการผลิตคอนกรีตอัดแรง เราลองพิจารณาว่าลวดเหล็กกำลังสูงนี้ถูกดึงจนเกิดหน่วยแรงประมาณ 10,000 กก./ตร.ซม. เนื่องจากโมดูลัสของความยืดหยุ่นของลวดกำลังสูงไม่ต่างจากเหล็กกล้าละมุนมากนักดังนั้นจะเกิดความเครียดในลวดเหล็กกำลังสูงเป็น  $10,000/2,000,000$  เท่ากับ 0.005 เมื่อคอนกรีตเกิดการหดตัวคิดเป็นความเครียด 0.001 จะเห็นว่ายังเหลือหน่วยแรงอัดก่อนอยู่เท่ากับ  $0.004 * 2,000,000$  เท่ากับ 8,000 กก./ตร.ซม. ซึ่งเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ของแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดก่อนแรกเริ่ม หลังจากปี ค.ศ. 1930 ได้มีการพัฒนาวิธีอัดแรงแบบคิงเหล็กก่อน (pre-tensioning) ในประเทศเยอรมนีโดย E.Hoyer รวมถึงการพัฒนาแม่แรงไฮดรอลิกที่ใช้ อุปกรณ์ดึงลวดและอุปกรณ์ยึดลวดในประเทศฝรั่งเศสและประเทศเบลเยียมและการก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตอัดแรงได้เป็นที่แพร่หลายตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่สอง เป็นต้นมา

ในประเทศไทยได้เริ่มมีการก่อสร้างสะพานคอนกรีตอัดแรงในช่วงหลัง พ.ศ. 2505 โดยมี การผลิตคานสะพานคอนกรีตอัดแรงช่วงยาวต่าง ๆ กันตั้งแต่ 5.00 เมตร จนถึง 60 เมตร ใน ระยะเวลาหลังได้มีโรงงานก่อสร้างเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง พื้นอาคารคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปตลอด จนการก่อสร้างระบบพื้นไร้คานแบบหล่อในที่และคิงเหล็กที่หลังหลายโครงการ การก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตอัดแรงเป็นที่นิยมกันมากเพราะประหยัดเวลาและค่าก่อสร้าง เพราะองค์คานน้ำหนัก น้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนี้การก่อสร้างระบบอัดแรงแบบคิงเหล็กก่อนสามารถ ผลิตได้เป็นจำนวนมากในเวลาสั้น

## 2.1.2 วิธีการอัดแรงสำหรับคอนกรีตอัดแรง

โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงสามารถแบ่งตามวิธีการอัดแรงระหว่างกา​​รก่อสร้างได้ดังนี้

### 2.1.2.1 การอัดแรงแบบคิงเหล็กก่อน ( Libby 1984 : 5-6 )

วิธีนี้เรียกว่าการอัดแรงภายใน เป็นวิธีการก่อสร้างคอนกรีตอัดแรงที่ใช้กันแพร่หลายใน ปัจจุบันเพราะการก่อสร้างทำได้รวดเร็ว วิธีนี้เหมาะสำหรับการผลิตในโรงงานซึ่งมีการก่อสร้าง อับตเมนต์ถาวร การอัดแรงแบบคิงเหล็กก่อนหมายถึงเราคิงเหล็กก่อนการเทคอนกรีต ขึ้นคอนก่อ สร้างเริ่มต้นจากเตรียมแบบหล่อคอนกรีต จากนั้นจึงดึงลวดกำลังสูงหรือลวดเหล็กตีเกลียวกำลังสูง หรือสแตนดาร์ดตามแนวเหล็กที่ออกแบบไว้ ลวดเหล็กนี้ไม่ปลายยึดกับอับตเมนต์โดยใช้อุปกรณ์ยึด ( anchorage ) ในกรณีที่แนวของลวดประกอบด้วยเส้นตรงหักมุม จะต้องออกแบบอุปกรณ์สำหรับ ยึดเส้นลวดด้วยลวดเหล็กกำลังสูงผูกค้ำให้ตั้งจนได้แรงในเส้นลวดเท่ากับจำนวนที่ต้องการ ทั้งนี้ จะต้องตรวจสอบความดันของน้ำมันไฮดรอลิกและระยะยึดของเส้นลวดด้วยเมื่อทำการคิงเหล็กแล้ว จึง เทคอนกรีตลงในแบบหล่อ ตามปกติคอนกรีตที่ใช้จะเป็นคอนกรีตชนิดกำลังสูงกว่าคอนกรีตใน งานคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วก็ทำการบ่ม ( curing ) ต่อไปอีก 3-7 วัน จน กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นมากพอจึงอัดแรงคอนกรีตโดยตัดลวด เนื่องจากมีการยึดเหนี่ยวที่บริเวณ ปลายคาน ( transfer of prestress ) หลังจากนั้นองค์คานก็สามารถขนส่งไปยังสถานที่

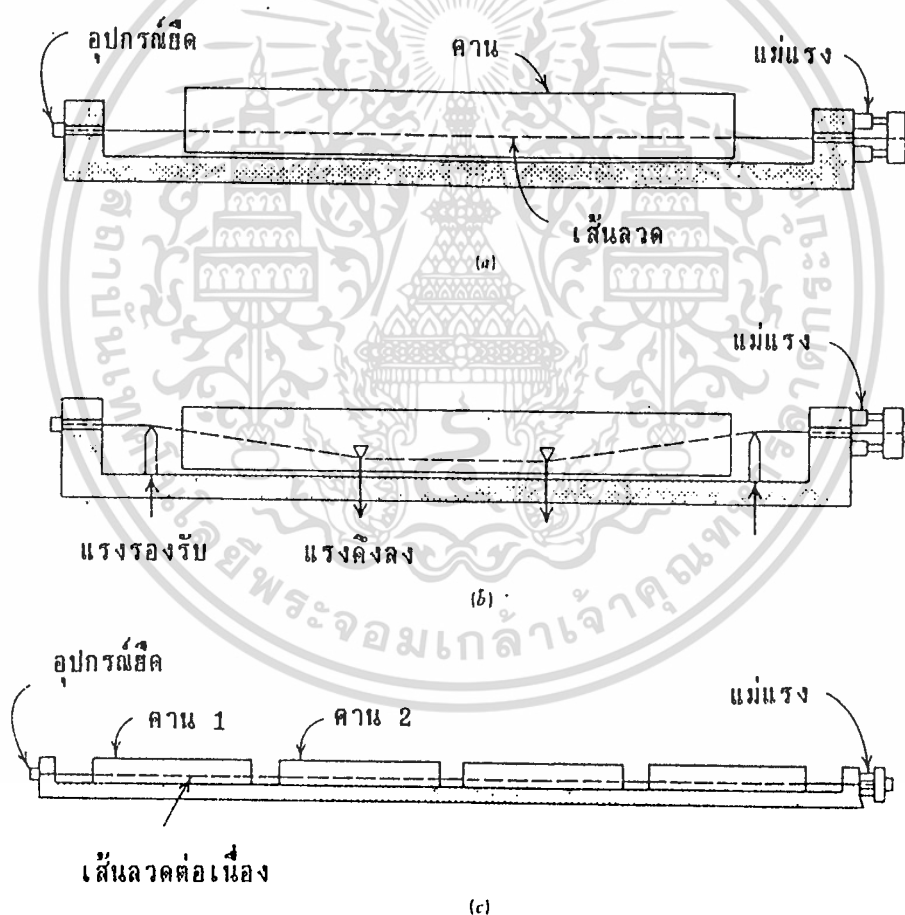
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อสร้างได้

การก่อสร้างแบบดึงเหล็กก่อนเหมาะสำหรับการผลิตเป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกัน ในระบบผลิตแบบนี้โครงสร้างฐานอับดเมนต์มีระยะห่างกันมากกว่า 100 เมตร ซึ่งฐานหล่อคอนกรีตจะมีความยาวพอที่จะหล่อองค์อาคารได้หลายตอนพร้อม ๆ กัน ระบบผลิตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างเสาเข็ม คานสะพาน หรือพื้นเสาเรีจรูป เป็นต้น รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการก่อสร้างแบบดึงเหล็กก่อน

รูปที่ 2.1

วิธีอัดแรงแบบดึงเหล็กก่อน



ที่มา : ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย :10

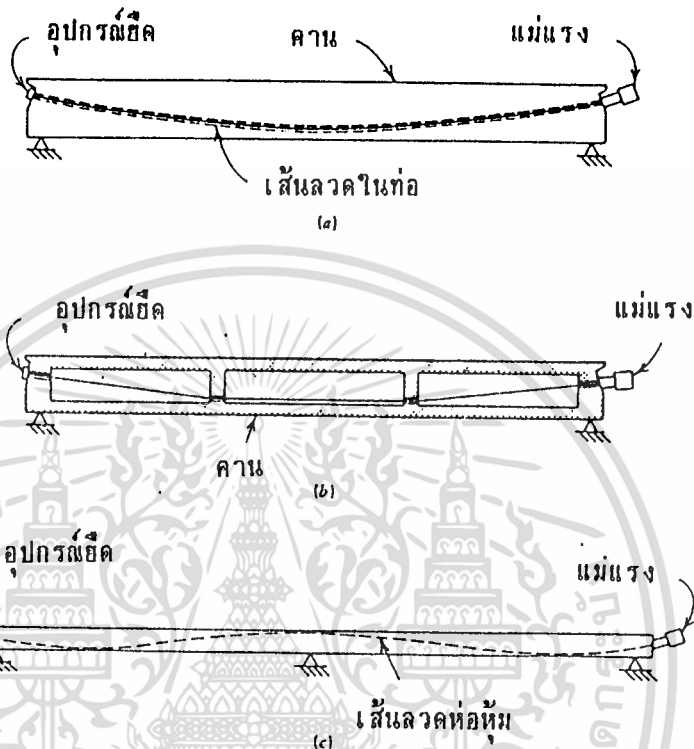
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2.2 การอัดแรงแบบคิงเหล็กที่หลัง ( Libby 1984 :6-7 )

วิธีนี้เป็นวิธีการอัดแรงภายในซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายเช่นเดียวกัน เหมาะสำหรับโครงสร้างซึ่งมีขนาดใหญ่ซึ่งไม่สะดวกในการขนส่ง หรือสำหรับสถานที่ก่อสร้างซึ่งอยู่ห่างไกลโรงงานผลิตมากท่อ conduit และลวดเหล็กกำลังสูงจะถูกร้อยภายในแบบหล่อองค์อาคารคอนกรีตพร้อมอุปกรณ์แองคorageทั้งสองข้าง จากนั้นจึงทำการเทคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวและได้รับการบ่มจนมีกำลังสูงเพียงพอจึงทำการอัดแรงโดยใช้แม่แรงไฮดรอลิคคิงเหล็กให้ยืคออกโดยสัมพันธ์กับตัวคานคอนกรีตเองและลวดเหล็กจะตั้งตึงระหว่างปลายทั้งสองข้างโดยการยึดของตัวลิ้มในอุปกรณ์แองคorage เราสามารถจะทำให้ลวดเหล็กยึดติดกับเนื้อคอนกรีตตลอดความยาวของคานได้โดยการอัดมอร์ต้าที่ปลายข้างแม่แรงเข้าไปในท่อ conduit จนเต็ม tendon ซึ่งมีการอัดมอร์ต้านี้เรียกว่า bonded tendon ส่วน tendon ที่ไม่ได้มีการอัดมอร์ต้าใน conduit เรียกว่า unbonded tendon คานซึ่งมี bonded tendon จะมีพฤติกรรมในช่วง overload ดีกว่าคานที่มี unbonded tendon ตามปกติ tendon หนึ่งประกอบไปด้วยลวดกำลังสูงหรือ strand หลายเส้นร้อยอยู่ใน conduit ท่อเดียวกันและอุปกรณ์ anchorage ที่ปลายคานจะมีจำนวนรูสำหรับยึดเท่ากับจำนวนลวดหรือ strand ใน conduit รูปที่ 2.2 แสดงวิธีการก่อสร้างแบบคิงเหล็กที่หลังสำหรับคานช่วงเดี่ยวธรรมดาและคานต่อเนื่อง



รูปที่ 2.2  
วิธีอัดแรงแบบดึงเหล็กที่หลัง



ที่มา: ดร. ต๋อกล. กาญจนาลัย:12

### 2.1.3 หลักการของแผ่นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรง

แผ่นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรงเป็นคอนกรีตอัดแรงประเภทอัดแรงก่อน มีวิธีการทำคือดึงลวดก่อนแล้วจึงเทคอนกรีต เมื่อคอนกรีตได้กำลังตามที่กำหนดจึงตัดลวดอัดแรง ลวดอัดแรงก็จะพยายามหดตัวกลับ แต่เนื่องจากระหว่างผิวของลวดกับคอนกรีตมีแรงยึดเกาะและแรงเสียดทานอยู่ ทำให้เกิดการถ่ายแรงดึงในลวดอัดแรงเข้าสู่เนื้อคอนกรีตเกิดเป็นแรงอัดในคอนกรีต เนื่องจากลวดอัดแรงอยู่ในระดับแกนศูนย์ถ่วงของหน้าตัดจึงทำให้เกิดเฉพาะแรงอัดในแผ่นพื้นเท่านั้น ในการใช้งานต้องเทคอนกรีตทับหน้าก่อน ทำให้เกิดคุณสมบัติเป็นหน่วยแรงดึงที่ขอบบนของแผ่นพื้นและเป็นหน่วยแรงอัดที่ขอบล่างของแผ่นพื้น เมื่อเกิดแรงกระทำจากภายนอกจะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปโดยเกิดเป็นหน่วยแรงอัดที่ขอบบนของแผ่นพื้นและเกิดหน่วยแรงดึงที่ขอบล่างของแผ่นพื้น

แรงอัดในคอนกรีตที่เกิดจากลวดอัดแรงเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้แผ่นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรงสามารถรับน้ำหนักกระทำจากภายนอกได้มากกว่าแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กเท่ากัน

#### 2.1.4 การเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตอัดแรงและคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในการพิจารณาข้อดีข้อเสียระหว่างคอนกรีตอัดแรงและคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องพิจารณาหลักเกณฑ์ที่จะใช้เปรียบเทียบ ( T.Y.LIN 1981 : 32-36 )

ประการแรกคือวัสดุที่ใช้ในคอนกรีตอัดแรงเราจำเป็นต้องใช้เหล็กกำลังสูง ทั้งนี้เพื่อให้แรงอัดสุทธิหลังจากเกิดการสูญเสียแรงไปแล้ว ยังมีขนาดสูงพอที่จะหักล้างกับน้ำหนักบรรทุกภายนอกได้ การใช้เหล็กกำลังสูงนี้ก็สอดคล้องกับคอนกรีตกำลังสูงเพราะนอกจากคอนกรีตกำลังสูงจะมีการคืบและการหดตัวน้อยกว่าคอนกรีตกำลังปกติ การใช้คอนกรีตกำลังสูงจำเป็นเพื่อต้านทานหน่วยแรงยึดเกาะสูงที่เกิดขึ้นขณะถ่ายแรงอัดในคานแบบค้ำเหล็กก่อนหรือเพื่อต้านทานหน่วยแรงกดเนื่องจากอุปกรณ์ anchorage ขณะถ่ายแรงในคานแบบอัดแรงที่หลัง

ประการที่สองคือความปลอดภัย ในประเด็นของความปลอดภัยคอนกรีตอัดแรงมีระดับความปลอดภัยที่สภาวะประลัยใกล้เคียงกับคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและมาตรฐานการควบคุมการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามก็คอนกรีตอัดแรงอาจมีระดับความปลอดภัยที่สูงกว่าเล็กน้อย คอนกรีตอัดแรงเกิดการแอ่นตัวที่สภาวะประลัยมากกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก ความสามารถขององค์อาคารที่จะดูดซับพลังงานเฉลของน้ำหนักกระทำอยู่ในระดับเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตทั้งสองชนิด คอนกรีตอัดแรงมีความต้านทานต่อการพุกร่อนดีกว่าเนื่องจากไม่มีรอยร้าวในช่วงน้ำหนักบรรทุกปกติ ในประเด็นความปลอดภัยเนื่องจากไฟไหม้ เหล็กกำลังสูงภายใต้หน่วยแรงดึงสูงจะเสียกำลังเมื่อถูกความร้อนมากกว่าเหล็กด้าละมุนในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก อย่างไรก็ตามความหนาของคอนกรีตที่ห่อหุ้มเหล็กโดยเฉลี่ยจะหนากว่าในคานคอนกรีตอัดแรงเทียบกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้เนื่องจากแนวเหล็ก tendon เป็นแนวโค้ง ในด้านการออกแบบและการก่อสร้างคอนกรีตอัดแรงต้องการการวางแผนเกี่ยวกับการใช้สอยที่แน่นอน เช่น ตำแหน่งช่องเปิดของพื้นเพื่อการวางท่อ จะต้องทราบตำแหน่งแน่นอน เพราะเมื่อการก่อสร้างกระทำแล้วเสร็จแล้ว การเจาะพื้นใหม่จะทำได้ยากกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายอีกด้วยหาก tendon ชำรุดหรือแนวโค้งเปลี่ยนไปจากที่ออกแบบไว้ครั้งแรก

ประการที่สามเกี่ยวกับรูปร่างและการแอ่นตัว องค์อาคารคอนกรีตอัดแรงมีน้ำหนักเบา และ ความลึกของหน้าตัดน้อยเทียบกับคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับ การก่อสร้างช่วงยาวที่ต้องการช่วงลอดสูง การแอ่นตัวสุทธิขององค์อาคารน้อยกว่าในคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนี้รูปร่างของหน้าตัดของคอนกรีตอัดแรงสามารถออกแบบให้เหมาะสมทางสถาปัตยกรรม

### 2.1.5 วิธีสำหรับคอนกรีตอัดแรง

#### 2.1.5.1 คอนกรีต (สัทิน เจริญเฝ้า 2530:337)

คอนกรีตที่ใช้จะต้องมีความต้านทานต่อแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา ทั้งนี้เพราะคอนกรีตกำลังสูงมี

- 1) โมดูลัสยืดหยุ่นสูง ซึ่งจะช่วยลดการเสื่อมสลายของการอัดแรง
- 2) มีความต้านทานต่อแรงกดสูงซึ่งจะช่วยลดแรงกดที่ปลายหัวยึดในคอนกรีตอัดแรงแบบคิงท์
- 3) มีการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมดีกว่า
- 4) มีความต้านทานต่อแรงดึงและแรงเฉือนสูง

โดยปกติใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วันระหว่าง 350-600 กก./ตร.ซม. ปูนซีเมนต์ที่ใช้โดยปกติใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดที่ 3 ประเภทแข็งตัวเร็ว

#### 2.1.5.2 เหล็กเสริมอัดแรง ( T.Y.LIN 1981 : 52-57 )

นิยมใช้เหล็กกล้ากำลังสูง ที่มีกำลังแรงดึงไม่ต่ำกว่า 16000 กก./ตารางซม. ทั้งนี้เพื่อลดการเสื่อมสลายของการอัดแรง เหล็กเสริมที่ใช้กันมี 3 ชนิดคือ ลวดเส้นเดี่ยว ลวดเหล็กพื้นเกลียว และลวดเหล็กกลุ่มที่ประกอบด้วยลวดเหล็กพื้น 7 เส้นต่อกลุ่ม

ในประเทศไทยเหล็กเสริมสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงนิยมใช้ชนิด ลวดเส้นเดี่ยวและลวดพื้นเกลียวแบบกลุ่ม ขนาดของลวดกำลังสูงมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม., 5 มม., 6 มม., 7 มม.

### 2.1.6 ความเค้นพันธะ ( Bond Stress ) ( Narbey 1969 :156-157 )

ในการผลิตคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กก่อน ( Pretensioned Concrete ) แรงดึง ( Prestressing force ) ในเหล็กเสริมอัดแรงจะถูกถ่ายให้แก่คอนกรีตหลังจากการตัดเหล็กเสริมซึ่งการถ่ายแรงอัดให้กับคอนกรีตจะเกิดประสิทธิผลขนาดใดขึ้นอยู่กับพันธะ ( Bond ) ระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

พันธะในคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กก่อนแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ พันธะถ่ายเท ( Transfer Bond ) และพันธะการคด ( Flexural Bond ) พันธะถ่ายเทเกิดจากหน่วยแรงดึงส่วนหนึ่งที่ลวดอัดแรงถ่ายให้กับคอนกรีตก่อให้เกิดแรงอัดในคอนกรีตขึ้น ส่วนพันธะการคดเป็นผลมาจากการรับแรงภายนอกของคานหรือพื้นคอนกรีตอัดแรง

#### 2.1.6.1 พันธะถ่ายเท ( Narbey 1969 :163 )

ในคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กก่อน การถ่ายเทของแรงจากเหล็กเสริมไปยังคอนกรีตขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักคือ พันธะระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต พันธะถ่ายเทเกิดขึ้นที่บริเวณด้านปลายแต่ละด้านของคานหรือพื้นอัดแรง ความเค้นในเหล็กเริ่มจากศูนย์ในด้านปลายแต่ละด้านและจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่า ๆ หนึ่งซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด ช่วงความยาวจากด้านปลายคานหรือพื้นถึงจุดที่มีค่าความเค้นในเหล็กสูงสุดเรียกว่า "ความยาวถ่ายเท" ( Transfer Length )

ปัจจัย 3 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดพันธะระหว่างเหล็กกับคอนกรีต คือ

- 1) แรงยึดเหนี่ยว ( Adhesion )
- 2) แรงเสียดทาน ( Friction )
- 3) แรงเฉือนทางกล ( Mechanical Shear )

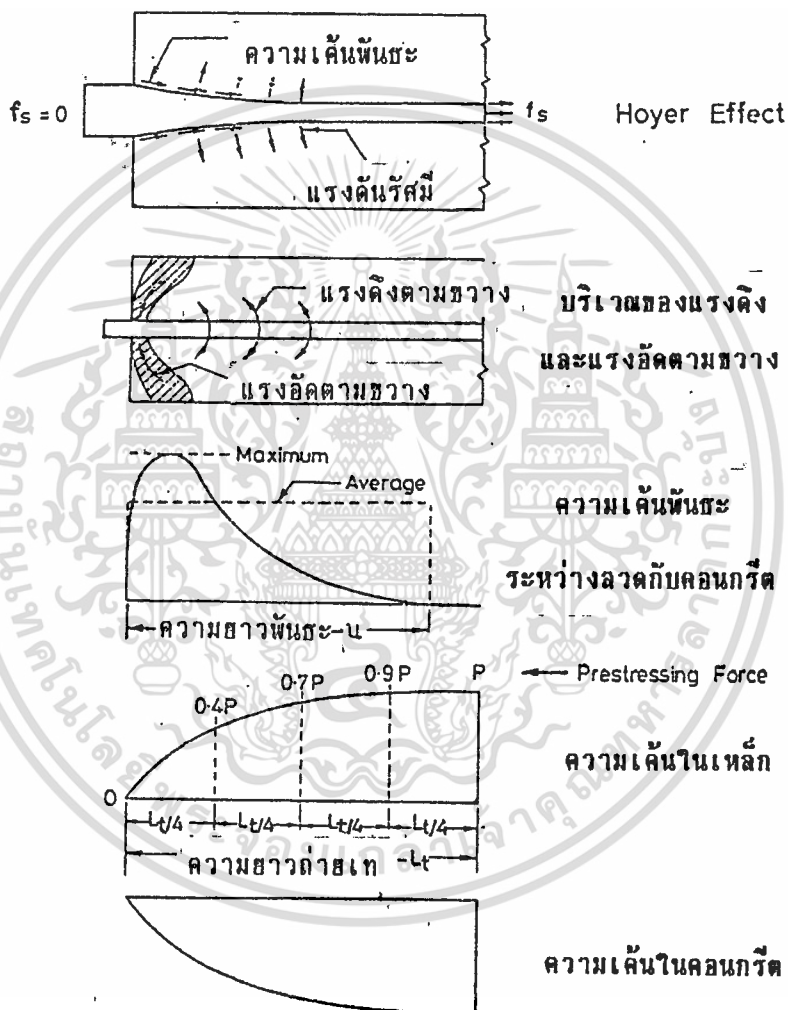
ในกรณีที่ใช้ลวดอัดแรงแทนเหล็กเสริมอัดแรง เมื่อลวดอัดแรงถูกตัดจะเกิดการหดตัวและการเคลื่อนตัวของลวดภายในคอนกรีต ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กถูกทำลายหลังจากการตัดลวด นอกจากนั้นพื้นผิวของลวดซึ่งถูกใช้ในการอัดแรงมีความเรียบทำให้แรงเฉือนทางกลเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลให้ตั้งสมมุติฐานได้ว่าประสิทธิภาพการถ่ายแรงจากลวดอัดแรงให้กับคอนกรีตขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานระหว่างคอนกรีตกับลวดอัดแรงเป็นสำคัญ

หลังจากลวดอัดแรงถูกตัด แรงดึงในลวดจะถูกถ่ายเทให้กับคอนกรีต ทำให้ลวดเกิดการเคลื่อนตัวและเพราะการสูญเสียแรงดึงในลวด ทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดขยายตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นสาเหตุให้เกิดความเค้นรัศมี ( Radial Stress ) จากลวดกระทำต่อคอนกรีต ดังนั้นแรงเสียดทานระหว่างคอนกรีตกับลวดจึงเพิ่มขึ้น การกระจายความเค้นพันธะ ความเค้นในเหล็กและ

คอนกรีตในช่วงของการถ่ายแรง ดังแสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3

การกระจายของความเค้นpressive



ที่มา : N.krishna 1981 :172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 ความเค้นในเหล็กมีค่าเป็นศูนย์ที่ด้านปลายคานหรือพื้น และเพิ่มค่าขึ้นเรื่อยๆจนมีค่าสูงสุด ช่วงความยาวจากด้านปลายคานหรือพื้นถึงจุดที่ความเค้นในเหล็กมีค่าสูงสุด เรียกว่า " ความยาวถ่ายเท " ( Transfer Length )

ความเค้นพันธะสูงสุดเกิดขึ้นในบริเวณของการอัดตามขวาง (Transverse Compression) ซึ่งอยู่ใกล้กับปลายคานหรือพื้น ค่าความเค้นพันธะที่ปลายคานหรือพื้นมีค่าเป็นศูนย์แล้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าสูงสุด แล้วค่อยๆ ลดค่าลงจนกระทั่งเป็นศูนย์อีกครั้ง ค่าความเค้นพันธะในกรณีของลวดหาได้จากสูตรดังนี้ ( Nabey 1969 : 163 )

$$U = \mu * \sigma_r$$

$$= \frac{(f_{pe} - f_{ps}) \chi_s}{1 + (1 + \chi_c) E_s / E_c} \dots (2.1)$$

$U$  = ความเค้นพันธะ

$\mu$  = สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน

$\sigma_r$  = ความเค้นรัศมีที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก

$f_{pe}$  = ความเค้นประสิทธิผล ( Effective Prestress )

$f_{ps}$  = ความเค้นในเหล็กที่จุดต่างๆ ภายในช่วงความยาวถ่ายเท

$\chi_s$  = อัตราส่วนปัวซองของลวด

$\chi_c$  = อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีต

$E_s$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของลวด

$E_c$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

#### 2.1.6.2 พันธะการตัด

--- พันธะการตัดในคานหรือพื้นอัดแรงแบบดึงเหล็กก่อน เกิดขึ้นทันทีหลังจากที่คานหรือพื้นรับแรงกระทำจากการอัดแรง อย่างไรก็ตามขนาดของพันธะการตัดมีค่าน้อยมากแต่จะมีค่ามากเมื่อเกิดรอยร้าวจากการตัดเท่านั้น

### 2.1.7 การเสื่อมสญของการอัดแรง (สนัน เจริญเฝ้า 2530:343)

แรงอัดในคอนกรีตอัดแรงมีค่าไม่คงที่จะลดลงเป็นปกติกับเวลา ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุหลายประการ การเสื่อมสญของการอัดแรงจะมีค่ามากในระยะแรกเมื่อเริ่มอัดแรงในคอนกรีตและจะค่อยๆลดลงจนถึงค่า ๆ หนึ่ง ในทางปฏิบัติจะพิจารณาเฉพาะค่าแรงอัดในคอนกรีตระยะแรกและแรงอัดใช้งานที่แท้จริงเท่านั้น

สาเหตุของการเสื่อมสญของการอัดแรง เนื่องจาก

- 1) การหดตัวในช่วงอีลาสติคของคอนกรีต
- 2) การล้าของคอนกรีต
- 3) การหดตัวของคอนกรีต
- 4) การล้าของเหล็กเสริมอัดแรง
- 5) การล้าที่ปลายยึดของเหล็กเสริมอัดแรง
- 6) ความผิดเพี้ยนเพราะความโค้งงอของเหล็กเสริมอัดแรง

จากสาเหตุที่กล่าวมาจะมีอยู่ 4 สาเหตุแรกเท่านั้น ที่มีผลต่อแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแบบคิงดิวัดก่อน

#### 2.1.7.1 การหดตัวในช่วงอีลาสติคของคอนกรีต ( T.Y.LIN 1981 :91-92 )

ในขณะที่มีการถ่ายแรงสู่คอนกรีต คอนกรีตจะหดตัวซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการสูญเสียแรงอัด ถ้าพิจารณาการหดตัวในแนวแกนของคอนกรีตแบบอัดแรงก่อนจะได้

$$\text{หน่วยการหดตัวของคอนกรีต} \quad \delta = \frac{f_c}{E_c} = \frac{F_o}{A_c E_c}$$

ในเมื่อ  $F_o$  เป็นแรงอัดทั้งหมดที่ส่งถ่าย นั่นคือหลังจากที่คอนกรีตหดตัว การสูญเสียแรงอัดในเหล็กเท่ากับ

$$\Delta f_s = E_s * \delta = \frac{E_s F_o}{A_c E_c} = \frac{n F_o}{A_c} \quad \dots (2.2)$$

$$\text{ในเมื่อ} \quad n = \frac{E_s}{E_c}$$

ปกติค่าของ  $F_o$  ไม่ทราบแน่นอน แต่อย่างไรก็ตามค่าของแรงอัดเมื่อเวลาเริ่มอัดแรงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตก่อนจะถ่ายแรง ( $F_c$ ) จะทราบ ดังนั้นก็จะสามารถคำนวณหาการสูญเสียแรงอัดในเหล็กเสริมได้อีกวิธีหนึ่ง กล่าวคือ

ถ้าเนื้อที่หน้าตัดแปลง

$$A_c = A_c + nA_s$$

$$\delta = \frac{F_c}{A_c E_c + A_s E_s}$$

$$\Delta f_s = E_s * \delta$$

$$= \frac{E_s F_c}{A_c E_c + A_s E_s} = \frac{n F_c}{A_c + n A_s}$$

ดังนั้น  $\Delta f_s = \frac{n F_c}{A_c} \dots (2.3)$

2.1.7.2 การฉีกและการหดตัวของคอนกรีต (สนั่น เจริญเผ่า 2530 : 344)

การสูญเสียแรงอัดในเหล็กเนื่องจากการฉีกของคอนกรีต  $\Delta f_s = C_c \cdot n f_c$

ในที่นี้  $C_c$  = สัมประสิทธิ์ของการฉีกของคอนกรีต

$f_c$  = หน่วยแรงอัดของคอนกรีต

ตารางที่ 2.1

สัมประสิทธิ์การฉีกของคอนกรีต

แรงอัดประลัยของคอนกรีต กก./ซม. <sup>2</sup>	$C_c$
210	3.1
280	2.9
420	2.4
560	2.0

ที่มา : สนั่น เจริญเผ่า 2530:344

การสูญเสียแรงอัดในเหล็กเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต  $\Delta f_c = \delta_c * E_c$

ในเมื่อ  $\delta_c$  เป็นหน่วยการหดตัว ปกติใช้ค่าเท่ากับ 0.0003

### 2.1.7.3 การล้าของเหล็กเสริมอัดแรง ( T.Y.LIN 1981 : 101 )

การล้าของเหล็กเสริมอัดแรง เกิดจากการดึงเหล็กด้วยหน่วยการยึดตัวคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การสูญเสียแรงอัดในเหล็กจะคำนวณได้จาก

$$\frac{f_c}{f_{c1}} = 1 - \frac{\log t}{10} \left( \frac{f_{c1}}{f_y} - 0.55 \right) \quad \dots (2.4)$$

ในเมื่อ  $t$  = เวลา, ชั่วโมง

$f_{c1}$  = หน่วยแรงดึงเริ่มแรกในเหล็กเสริมอัดแรง

$f_y$  = กำลังเหล็กคลากของเหล็กเสริมอัดแรง

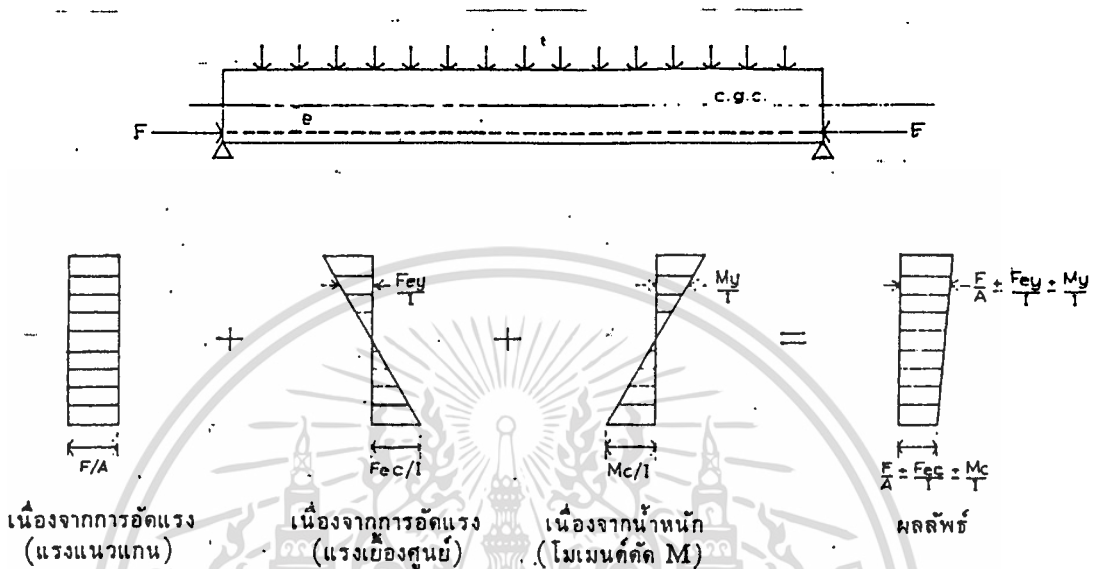
### 2.1.8 การคำนวณหน่วยแรง

การคำนวณหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้น ณ หน้าตัดใดๆของคอนกรีตอัดแรง เนื่องจากการอัดรนน้หนักตัวมันเอง และน้ำหนักจร จะกระทำได้โดยคำนวณหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดนั้นๆเนื่องจากสาเหตุต่างๆที่ละอย่าง ผลลัพธ์ของหน่วยแรงจะได้รับการรวมหน่วยแรงเหล่านั้น

พิจารณารูปของคานคอนกรีตอัดแรง ซึ่งมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีแรงอัดเชิงศูนย์ และรับน้ำหนักตามรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4

การกระจายหน่วยแรงบนหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง



เนื่องจากการอัดแรง (แรงแนวแกน)

เนื่องจากการอัดแรง (แรงเยื้องศูนย์กลาง)

เนื่องจากรน้ำหนัก (โมเมนต์คด M)

ผลลัพธ์

ที่มา : สันนิ เจริญเผ่า 2530:347

แรงอัด  $F$  ซึ่งกระทำเยื้องจากศูนย์กลางของคานเป็นระยะ  $e$  จะทำให้เกิดหน่วยแรง  $f$  ที่หน้าตัดใด ๆ มีค่าเท่ากับ ( T.Y. LIN 1981 : 129 )

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{Fey}{I} \dots (2.5)$$

- ในเมื่อ  $A$  = เนื้อที่หน้าตัดของคานคอนกรีตอัดแรง
- $e$  = ระยะเยื้องศูนย์กลางของเหล็กเสริมอัดแรง
- $y$  = ระยะซึ่งห่างจากศูนย์กลางของคาน
- $I$  = โมเมนต์อินเนอร์เทียร์ของหน้าตัด

ถ้า  $M$  เป็นโมเมนต์คดที่หน้าตัดเนื่องจากแรงหรือน้ำหนักภายนอก หน่วยแรงที่หน้าตัดนั้นจะเป็น (T.Y.LIN 1981 : 135 )

$$f = \frac{F}{A} + \frac{Fey}{I} + \frac{My}{I} \dots(2.6)$$

จากสมการข้างต้น ถ้าเกิดรอยแตกร้าว(crack)ที่หน้าตัด ระยะเยื้องศูนย์กลางและคุณสมบัติของหน้าตัดจะต้องคำนวณจากหน้าตัดแตกร้าว(cracked section)

2.1.9 โมเมนต์ค้ำแตกร้าว ( T.Y.LIN 1981 : 144-145 )

โมเมนต์ค้ำที่เริ่มกระทำให้เกิดรอยแตกร้าวในคานคอนกรีตอัดแรงจะเรียกว่า โมเมนต์ค้ำแตกร้าว ( Cracking Moment ) รอยแตกร้าวนี้จะเกิดขึ้นเมื่อหน่วยแรงดึงที่ผิวนอกสุดของคานกรวดมีค่าถึงโมดูลัสของการแตกร้าว ( Modulus of Rupture ) คือ  $f_{cr} = 1.99 \sqrt{f'_c}$  ( ตาม ACI CODE )

พิจารณาคานคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนักเหมือนในรูปที่ 2.4 ถ้าหากน้ำหนักที่กระทำเป็นน้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกร้าว ( Cracking load ) หรือคานรับโมเมนต์ค้ำแตกร้าว  $M_{cr}$  หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ  $f_{cr}$  ตามรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5  
หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดแตกร้าว



ที่มา : สนั่น เจริญเฝ้า 2530:352

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{-F - F_o c_2}{A} + \frac{M_{cr} * c_2}{I} = f_{cr}$$

$$\frac{M_{cr} c_2}{I} = \frac{F_o c_2}{I} + \frac{F}{A} + f_{cr}$$

$$M_{cr} = F_o + \frac{FI}{Ac_2} + \frac{f_{cr} I}{c_2} \quad \dots (2.7)$$

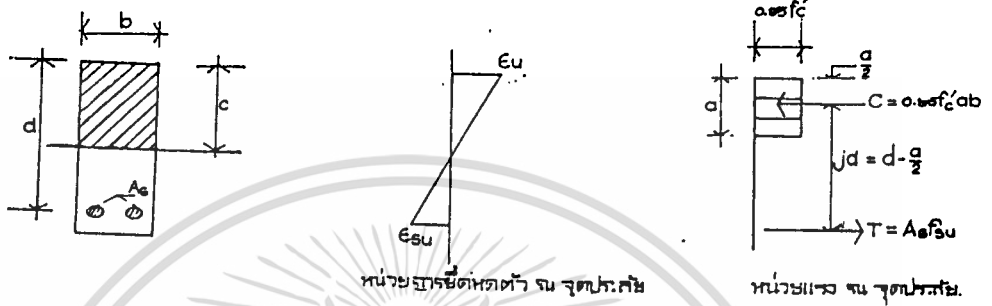
### 2.1.10 กำลังรับแรงดัดประลัย ( T.Y.LIN 1981 : 147-155 )

เมื่อเหล็กเสริมน้อยกว่าสภาวะสมดุลย์

พิจารณาคานรูปตัวยี่สิบเหลี่ยมผืนผ้าที่มีเหล็กเสริมน้อยกว่าสมดุลย์ ( $\rho f_{su} / f'_c < 0.3$ ) เหล็กจะถูกดึงจนถึงค่าหน่วยแรงประลัย  $f_{su}$  ภายใต้การกระทำของโมเมนต์ดัดประลัย  $M_u$  ดังนั้นค่าแรงดึงประลัยในเหล็กจะมีค่า  $T = A_s f_{su}$  ค่าแรงอัดในคอนกรีต  $C = T$  จะหาได้ถ้าสมมติว่าการกระจายหน่วยแรงในคอนกรีตเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าคล้ายกับในเรื่งคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดาตามรูปที่ 6 โดยให้หน่วยแรงอัดเฉลี่ยมีค่าเป็น  $0.85 f'_c$  ความลึกของหน่วยแรงนี้เป็นระยะ  $a$  ซึ่ง  $a = c / \eta$  โดยที่  $c$  เป็นตำแหน่งของแกนสะเทิน ณ จุดประลัย แรงอัดในคอนกรีต  $C$  กระทำที่ระยะ  $a/2$  จากผิวนอกของคอนกรีต หน่วยการยึดหดตัวที่เกิดขึ้น ณ จุดประลัยจะเป็นไปตามรูปที่ 2.6 โดยที่  $\epsilon_u$  เป็นหน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตมีค่าระหว่าง 0.003 ถึง 0.004  $\epsilon_u$  เป็นหน่วยการยึดหดตัวในเหล็กที่เกิดขึ้น ณ จุดประลัย

รูปที่ 2.6

หน่วยความยืดหดตัวและหน่วยแรงของคอนกรีตอัดแรง



ที่มา : สันัน เจริญเฒ่า 2530:354

ตำแหน่งของแกนสะเทิน ณ จุดประตัพ :

จากการสมดุลย์ของแรงจะได้  $C = T$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad 0.85f'_c ab &= A_s f_{su} \\ a &= \frac{A_s f_{su}}{0.85f'_c b} \end{aligned}$$

ตำแหน่งแกนสะเทิน

$$\begin{aligned} c &= a/k_1 \\ &= \frac{A_s f_{su}}{0.85k_1 f'_c b} \end{aligned}$$

โมเมนต์ตัดประตัพ

$$\begin{aligned} M'_u &= Tjd \\ &= A_s f_{su} (d-a) \\ &\quad 2 \end{aligned}$$

โมเมนต์ตัดประตัพอาจคำนวณจาก

$$\begin{aligned} M'_u &= Cjd \\ &= 0.85f'_c ab(d-a) \\ &\quad 2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเหล็กเสริมเกินกว่าสภาวะสมดุลย์

ถ้า  $\rho f_{su} / f'_c > 0.3$  จะเรียกส่วนของอาคารคอนกรีตอัดแรงนี้ว่าเป็นแบบเสริมเหล็กเกินกว่าสมดุลย์ (overreinforced) ซึ่ง ณ จุดประลัยคอนกรีตจะถูกอัดแตกก่อนโดยมีหน่วยการหัดตัวสูงสุด  $\epsilon_u = 0.003$  ถึง  $0.004$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

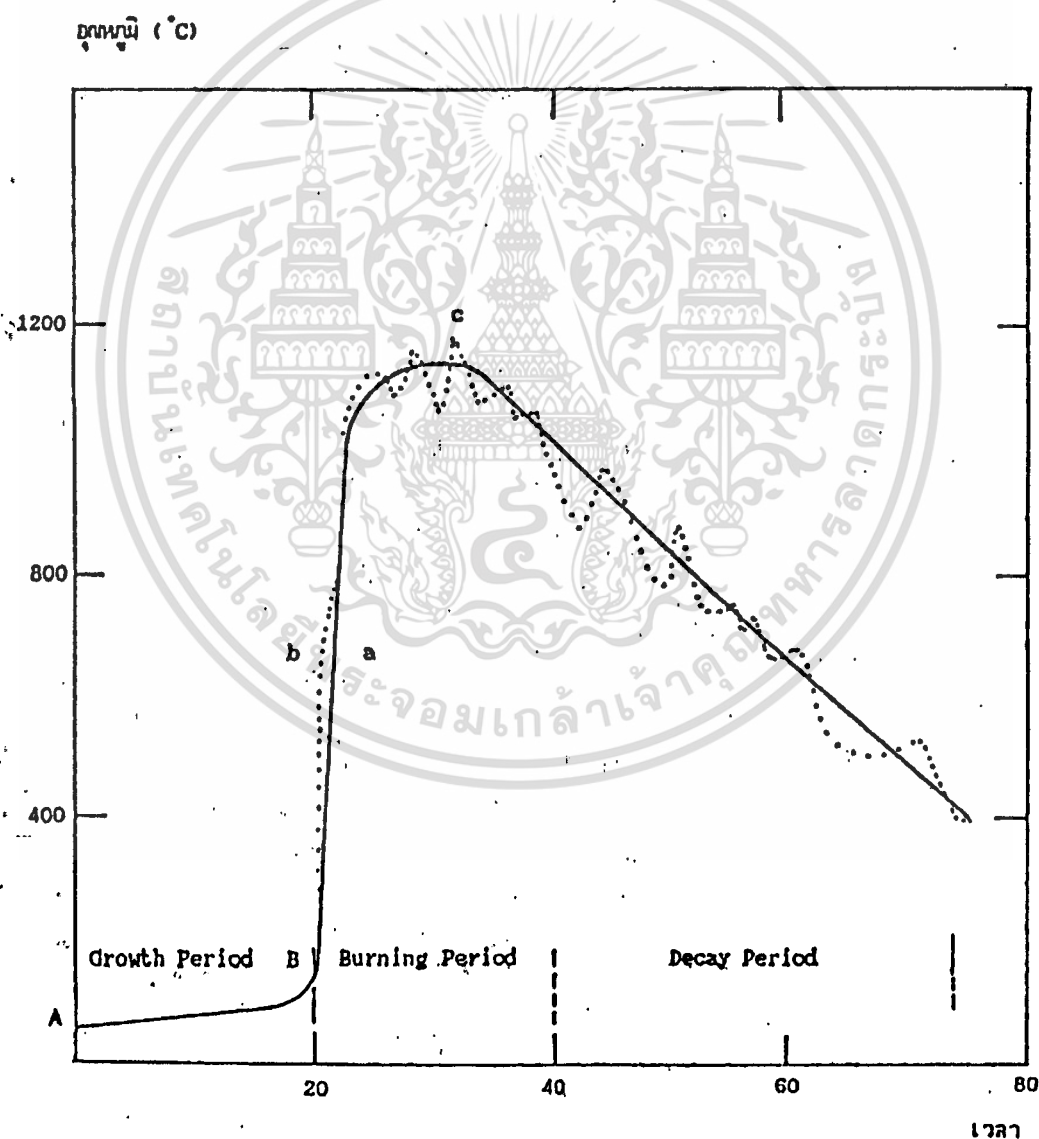
## 2.2 ลักษณะและพฤติกรรมของอ็คคีภัย

### 2.2.1 ขบวนการเกิดเพลิงไหม้

การเกิดเพลิงไหม้ย่อมมีความรุนแรงแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม แต่ก็สามารถแบ่งสภาพการเกิดเพลิงไหม้โดยทั่วไปได้ 3 ขั้นตอนดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.7 แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริง ๆ

รูปที่ 2.7

พฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริง ๆ



ที่มา : ภาคภูมิ 2534 : 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 2.7 แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริง เส้นกราฟ a เป็นกราฟของข้อมูลเฉลี่ย ส่วนกราฟ b เป็นกราฟของข้อมูลจริงๆที่เก็บมาได้ ช่วง A-B เป็นช่วงเวลาที่เริ่มเกิดเพลิงไหม้ขึ้นทั้งห้องเรียกช่วงนี้ว่า "ช่วงเริ่มก่อตัวของไฟ" (Growth Period) ที่จุด B "ช่วงเผาไหม้" (Burning Period) จะเริ่มขึ้น ซึ่งในช่วงนี้ภายในห้องได้เกิดเพลิงลุกไหม้จนทั่วหมดแล้ว ช่วงนี้ถือว่าการพัฒนาตัวเองของไฟที่เกิดขึ้นเต็มที่ อุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อถึงจุด C อัตราการลุกไหม้จะลดลง เนื่องจากความร้อนที่ได้จากสิ่งที่ถูกเผาไหม้กับความร้อนที่สูญเสียไปกับกำแพงและสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากันพอดี อุณหภูมิจะเริ่มลดลงจนถึงช่วงสุดท้ายคือ "ช่วงการสลายตัว" (Decay Period) ช่วงนี้วัสดุต่าง ๆ ในห้องได้ติดไฟจนหมดแล้ว และก็ค่อย ๆ ถูกเผาไหม้จนหมดแม้ว่าอุณหภูมิจะลดลงไปบ้าง แต่ความร้อนที่สะสมในพื้นที่หรือผนังยังมากอยู่ ถ้าหากเกิดไฟไหม้ติดต่อกันหลายชั่วโมงอาจทำให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างได้

จากขบวนการเกิดไฟไหม้ที่ได้ศึกษามาจะเห็นว่าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะไฟที่เกิดขึ้นในอาคารมีดังนี้ (ภาคภูมิ 2534:10)

- ก. ปริมาณไฟ (Fire Load)
- ข. ตำแหน่งที่อยู่ของปริมาณไฟ
- ค. ชนิดรูปร่าง และขนาดของเชื้อเพลิงหรือสิ่งซึ่งติดไฟ
- ง. พื้นที่ช่องเปิดหรือหน้าต่าง
- จ. อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์
- ฉ. ขนาดของห้อง
- ช. การนำความร้อนของโครงสร้าง
- ซ. ระดับการแผ่กระจายของไฟ

## 2.2.2 แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ

นักวิจัยชาวอเมริกันชื่อ Ingberg ได้เสนอ "แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ" ในปี ค.ศ. 1920 ไว้ดังนี้ (ภาคภูมิ 2534:3)

ก. ความทนทานขององค์อาคารขึ้นกับ "ความรุนแรงของไฟ" เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ความรุนแรงของไฟสำหรับอาคารหรือเตาไฟที่ใช้ในการทดสอบซึ่งลอกเลียนแบบไฟจริง ๆ นั้นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ได้กราฟพอลิเมอร์กับเวลานั้นเอง

ข. ความรุนแรงของไฟขึ้นกับ "ความเข้มของปริมาณไฟ" เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

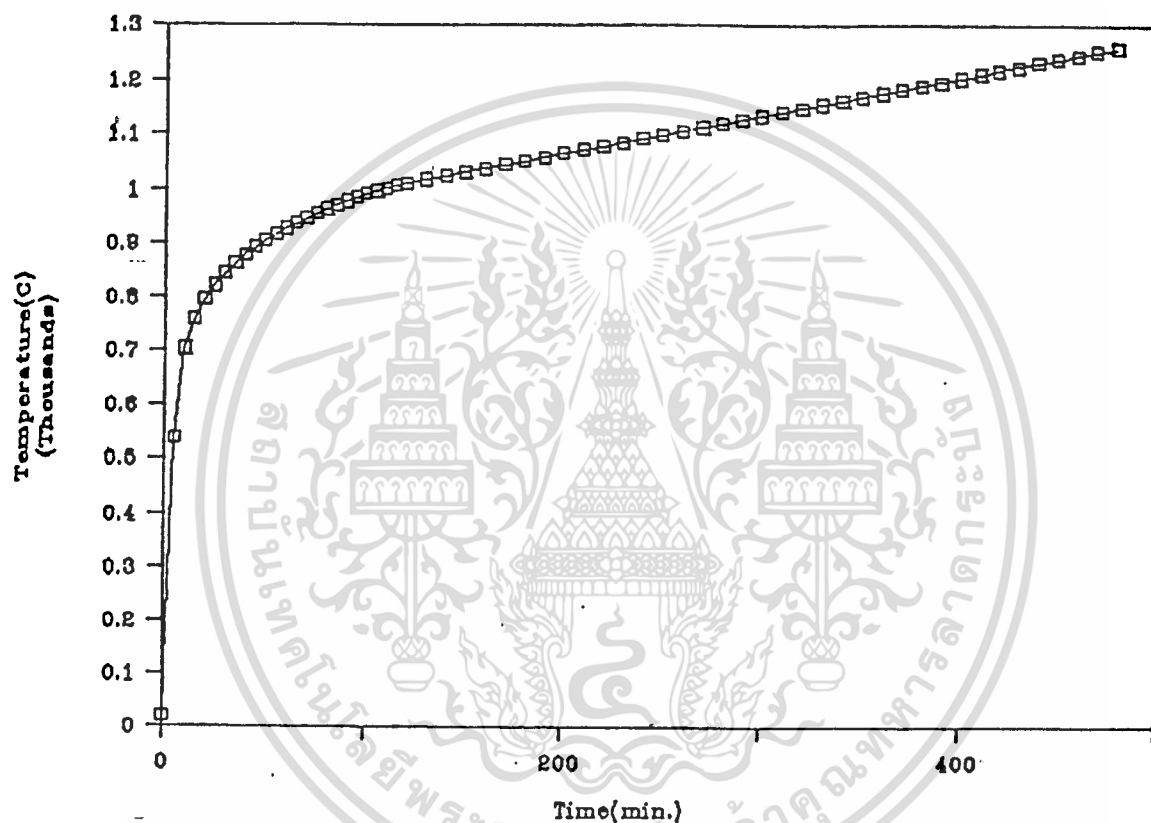
ข้อสมมติฐานดังกล่าวนี้ง่ายและไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากความรุนแรงของไฟไม่ได้ขึ้นกับความเข้มของปริมาณไฟเพียงอย่างเดียว จริง ๆ แล้วยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ของช่องเปิด ชนิดและน้ำหนักของเชื้อเพลิง คุณสมบัติทางความร้อนของกำแพง พื้นเพดาน เป็นต้น แต่ตัวประกอบเหล่านี้มีผลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มของปริมาณไฟ และจนถึงบัดนี้ก็ยังไม่มีแนวความคิดอื่นที่สามารถเลียนแบบไฟให้ใกล้เคียงได้เท่านี้ ดังนั้นแนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟจึงยังคงใช้กันอยู่ และใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาด้วย

### 2.2.3 เส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลา ( Standard Temperature - Time Cure )

(ASTM E119:272)

ASTM E 119 ได้เสนอเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลา ที่มีความเข้มของปริมาณไฟใกล้เคียงกับไฟที่เกิดขึ้นจริงๆ ในอาคารโดยมีค่าความเข้มเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อพื้นที่หนึ่งตารางฟุตต่อชั่วโมง ใช้เป็นมาตรฐานการทดสอบกับองค์ประกอบของอาคารและวัสดุทั่วไป

รูปที่ 2.8  
เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลามาตรฐาน ASTM



ที่มา : ASTM E119:272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2.2.5 อิทธิพลของไฟที่มีต่อคอนกรีตและลวดอัดแรง

### 2.2.5.1 คอนกรีต

กำลังของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่าง ๆ

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีค่าลดลง ได้ผลดังตารางที่ 2.2 ตารางที่ 2.2

แสดงเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำลังอัดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

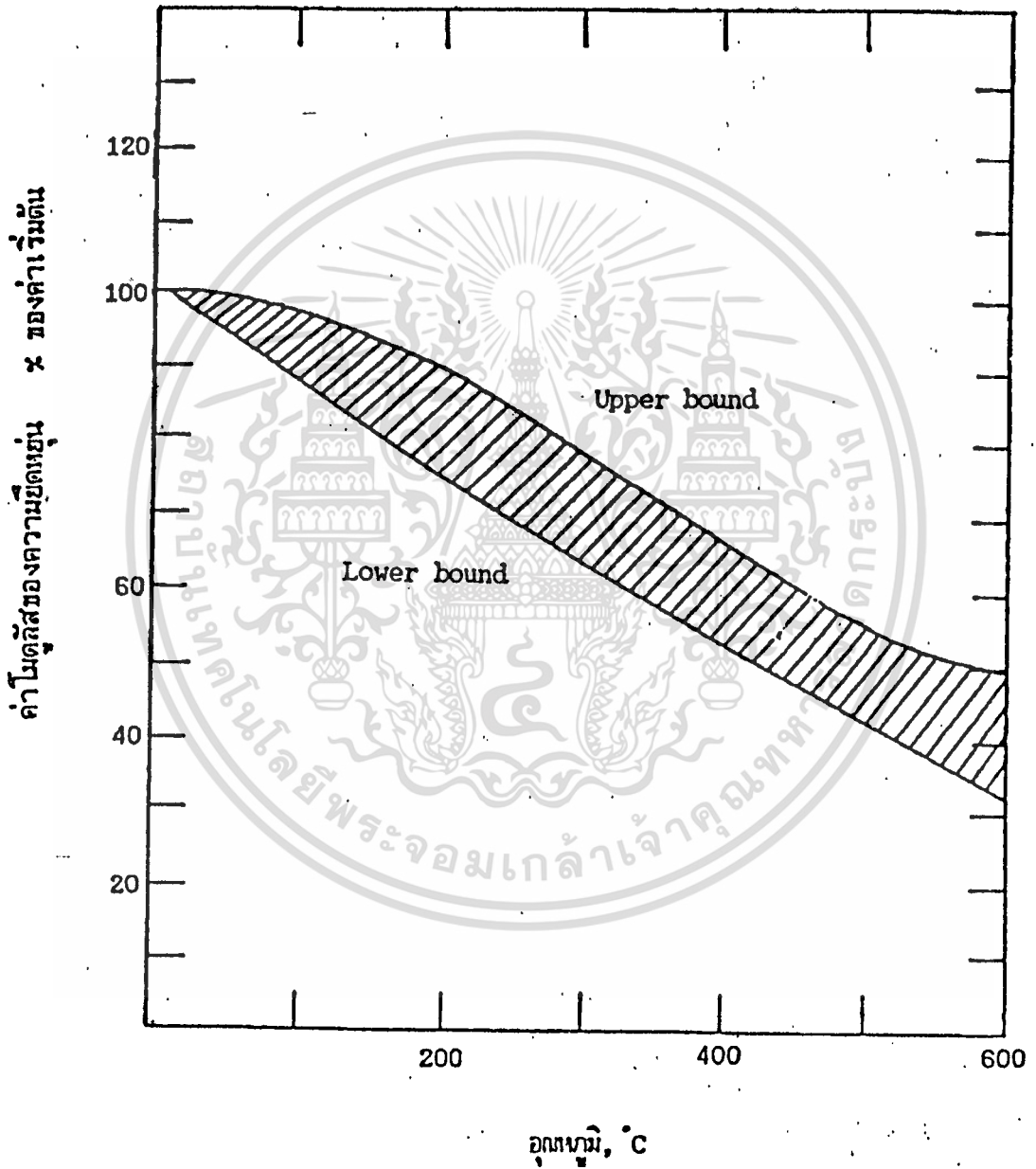
อุณหภูมิ (c)	เปอร์เซ็นต์การลดลงของกำลังอัด
200	0.18
400	2.45
600	65.03

ที่มา : ภาควิชา 2534 : 60

ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคอนกรีตจะมีค่าลดลง โดยอยู่ในช่วงแรงกดดังรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นจะมีค่าลดลงเหลือประมาณ 50 % ของค่าเริ่มต้นโดยทำการเผาแท่งตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานไฟ ASTM E119 เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

รูปที่ 2.10  
ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ที่มา : ภาคภูมิ 2534:33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหลุดกระเทาะของคอนกรีต ( Spalling ) ( ภาคภูมิ 2534:34-35 )

การหลุดกระเทาะของคอนกรีตส่วนใหญ่จะมาจากสาเหตุใหญ่ ๆ ดังนี้

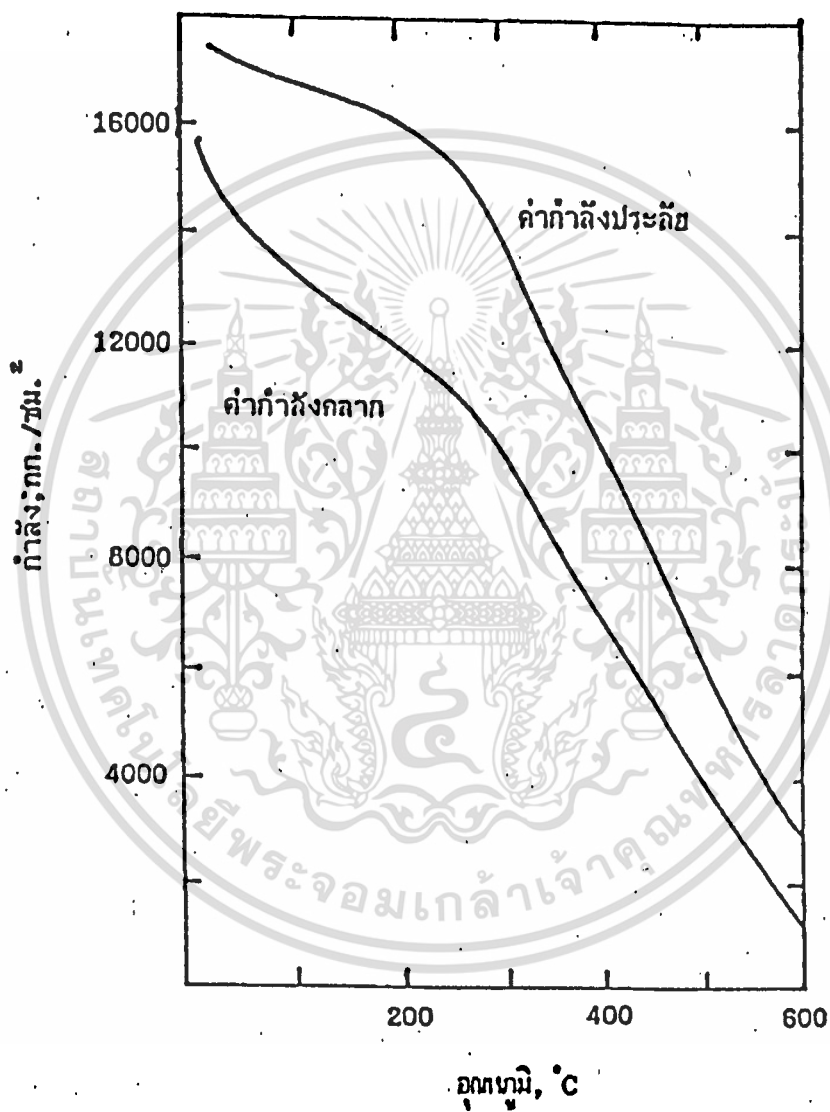
1) คอนกรีตอัดตัว ( Excessive Compression ) เนื่องจากโครงสร้างคอนกรีตมีความหนา เมื่อคอนกรีตถูกความร้อนผิวชั้นนอกจะร้อนกว่าผิวชั้นในทำให้เกิดการขยายตัวมากกว่าแต่การขยายตัวนี้จะถูกต้านทานและยึดรั้งไว้โดยผิวชั้นในที่เย็นกว่า ทำให้มีแรงอัดเกิดขึ้นที่ผิวชั้นนอก ถ้าแรงอัดที่เกิดขึ้นสูงกว่าค่ากำลังสูงสุดของคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตที่ผิวนอกหลุดกระเทาะออกมาได้

2) แรงดันของไอน้ำภายในคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตเป็นของผสมที่มีน้ำอยู่ด้วย ดังนั้นเมื่อคอนกรีตถูกไฟไหม้ไอน้ำที่ผิวนอกบางส่วนจะระเหยออกมา และมีบางส่วนถูกไล่เข้าไปในแกนกลาง ผิวนอกที่สูญเสียน้ำก็จะแห้งและเปราะ และเป็นตัวกันไม่ให้ไอน้ำภายในระเหยออกมาเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นด้วยทำให้ดันเนื้อคอนกรีตให้แตกออกหรือระเบิดออกได้

#### 2.2.5.2 ลวดอัดแรง

เหล็กเมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ ค่ากำลังรับแรงดึงประลัยและค่ากำลังคลากจะมีค่าลดลง ค่ากำลังของลวดอัดแรงที่อุณหภูมิต่างๆแสดงดังรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11  
กำลังคดากของลวดอัดแรงที่อุณหภูมิต่าง ๆ



ที่มา : ภาควิชา 2534:29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.6 กฎีหลังงานวิจัยที่ผ่านมา (ภาคภูมิ 2534:2-5)

งานวิจัยเกี่ยวกับไฟและการทดสอบไฟของชิ้นส่วนที่มาประกอบกันขึ้นเป็นโครงสร้างอาคาร ได้กระทำกันมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากได้ตระหนักถึงความเสียหายและพังทลายของอาคารที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง การทดสอบต่างๆ ที่เกี่ยวกับไฟนั้นส่วนใหญ่จะเน้นหนักไปในด้านความต้านทาน ความทนทาน พฤติกรรมในด้านกำลัง และความแข็งแรงของคอนกรีตหรือวัสดุที่ประกอบกันขึ้นเป็นคอนกรีต การทดสอบต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาค้นคว้าแล้วมีดังต่อไปนี้

ใน ค.ศ. 1920 INGRERG ศึกษาพฤติกรรมของไฟที่เกิดขึ้นในอาคารจริง ๆ และสรุปเป็นแนวความคิดไว้ว่า " แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ " ซึ่งสถาบันมาตรฐาน ASTM ได้นำแนวความคิดนี้มาใช้พัฒนาเส้นโค้งมาตรฐานในการทดสอบไฟขึ้น เพื่อลอกเลียนแบบไฟที่เกิดขึ้นจริง ๆ ดังมีข้อความที่สำคัญอยู่ 2 ข้อ คือ

- 1) ความทนทานไฟของชิ้นส่วนขึ้นกับความรุนแรงของไฟ ( Fire Severity ) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น
- 2) ความรุนแรงของไฟขึ้นกับความเข้มของปริมาณไฟ ( Fire Load Density ) เพียงอย่างเดียว

ในปีค.ศ. 1929 INGRERG ศึกษาพฤติกรรมเกี่ยวกับแร่ที่มีส่วนประกอบของมวลรวมที่มีอิทธิพลต่อการต้านทานไฟของคอนกรีต โดยแบ่งคอนกรีตตามชนิดของมวลรวมเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ 4 กลุ่ม พบว่าเมื่อนำคอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมต่างชนิดกันนี้ไปทำการทดสอบไฟคอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมคาร์บอนเนตและเฟลสปาร์สามารถต้านทานไฟได้ดีกว่าคอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมแกรนิตและซิลิกา และพบอีกว่า คอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมหยาบจะสามารถต้านทานไฟได้ดีกว่าคอนกรีตที่ผสมจากมวลละเอียด

คุณสมบัติของมอร์ต้าและคอนกรีตสามารถแปรเปลี่ยนได้ตามอุณหภูมิ J.C.SAEMANU และ G.W.WASHA ได้ทำการศึกษาดังผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อ กำลัง ความแข็ง และความเหนียวของมอร์ต้าและคอนกรีตโดยการทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกและแท่งมอร์ต้ารูปลูกบาศก์ที่บ่มด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50% อีกเป็นเวลา 13 วัน เสริมแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิทดสอบอีก 1 วัน รวมอายุของแท่งตัวอย่างทดสอบก่อนทำการทดสอบทั้งหมด 28 วัน อุณหภูมิที่สนใจอยู่ในช่วง -20 ถึง 200 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลัง ความแข็งและความเหนียว ของทั้งมอร์ต้าและคอนกรีตจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิตดลบ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นสลับกับลดลงไปจนกระทั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส จะไม่มีผลต่อค่ากำลัง ความแข็งแรง และความเหนียวของคอนกรีตและมอร์ต้า

หลังจากนั้นไม่นานได้มีการค้นคว้าหาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดย ROBERT PHILLIEO ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีอิทธิพลต่อการขยายตัวความหนาแน่นโมดูลัสของความยืดหยุ่นและค่ากำลังของคอนกรีตในช่วงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 800 องศาเซลเซียส แท่งตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการทำบ่มด้วยไอน้ำตลอด 28 วันจากนั้นนำไปทดสอบไฟ พบว่าการขยายตัวของคอนกรีตจะมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นและความหนาแน่นจะมีค่าลดลงเนื่องจากน้ำหนักที่สูญเสียไป และยังพบอีกว่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นและกำลังของคอนกรีตจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ต่อมา H. L. MALHOTRA ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยการแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์การทดสอบกระทำที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ตัวอย่างทดสอบที่ใช้อยู่ในรูปทรงกระบอกมาตรฐาน จากการทดสอบไฟตามมาตรฐานพบว่า ค่าอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์จะไม่มีผลกระทบต่อค่าลดลงของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต นั่นคือ การแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์จะได้ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดลดลงเท่ากันที่อุณหภูมิเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าแท่งตัวอย่างที่ทดสอบโดยมีการให้น้ำหนักกระทำด้วยขณะเผาจะมีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงน้อยกว่าแท่งตัวอย่างที่ไม่ได้มีน้ำหนักกระทำทั้งนี้ เป็นเพราะว่าน้ำหนักที่กระทำนั้นจะทำให้เกิดความเค้นขึ้นภายในซึ่งจะเป็นตัวที่ช่วยหน่วงไม่ให้เกิดรอยร้าวได้

จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีอิทธิพลต่อคอนกรีตก็ยังคงมีการค้นคว้าอยู่ตลอดมา N.G. ZOLDNERS ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตโดยเน้นไปทางด้านกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด โดยทำการแปรเปลี่ยนชนิดของมวลรวมต่าง ๆ กันไปมวลรวมที่ใช้ได้แก่ หินปูน กรวด หินทราย และหินกากแร่ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบอยู่ในช่วง 100 ถึง 800 องศาเซลเซียส และอัตราการเผาไหม้ของไฟที่ใช้ในการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานไฟของ ASTM จากการทดสอบพบว่าระดับการเสื่อมสภาพของคอนกรีตจะมีค่ามากขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมที่ใช้ ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้ คอนกรีตที่ใช้หินปูนผสมสามารถต้านทานไฟได้ดีที่สุด ถ้าใช้หินทรายผสมจะใช้ได้กับที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิมากกว่านี้จะทำให้มีการเสื่อมสภาพและสูญเสียกำลังได้อย่างรวดเร็ว ถ้าอุณหภูมิไม่ถึง 200 องศาเซลเซียส จะไม่มีผลต่อการลดลงของของกำลังคอนกรีตเลยไม่ว่าจะใช้มวลรวมชนิดใดก็ตาม

ต่อมา CAMPBELL - ALLEN และ DESAI ได้ทำการทดสอบให้เห็นว่าถ้าใช้หินปูนผสมคอน

กรีดแล้วนำไปทดสอบไฟที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส จะมีการเสื่อมสภาพเพิ่มขึ้นอีก ถ้าซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมคอนกรีตนั้นมีค่า  $C_{50}A$  ต่ำ และมีค่า  $C_{50}AF$   $C_{50}S$  สูง

HAROLD และ DAVIS ได้ศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิสูง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อคอนกรีตโดยเน้นไปในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นและค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่มีสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวสูงจะมีความต้านทานน้อยกว่าคอนกรีตที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำกว่าเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะลดลงเหลือประมาณ 50% ของกำลังเริ่มต้นที่อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส

## 2.2.7 ตัวแปรในการศึกษา

จากทฤษฎีและหลักการของคอนกรีตอัดแรง ทำให้เราทราบว่าแรงอัดประสิทธิผลของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงเป็นแรงที่สำคัญมากในการช่วยรับแรงกระทำจากภายนอก โดยถ้ามีแรงอัดประสิทธิผลมากจะช่วยให้สามารถรับแรงกระทำจากภายนอกได้มาก นอกจากนี้ก่อนการใช้งานของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อน จะต้องเทคอนกรีตทับหน้าเพื่อให้โครงสร้างพื้นในส่วนนี้มีความมั่นคงแข็งแรงมากขึ้น และคอนกรีตทับหน้ายังเป็นส่วนสำคัญในการช่วยรับแรงกระทำจากภายนอกเพราะช่วยเพิ่มโมเมนต์อินเนอร์เซีย (I) ของหน้าตัดพื้นดังกล่าว

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

ดังนั้นถ้าโมเมนต์อินเนอร์เซียมากทำให้สามารถรับโมเมนต์ดัดได้มากด้วย ซึ่งหมายความว่าสามารถรับแรงกระทำจากภายนอกได้มาก

จากทฤษฎีเกี่ยวกับเพลิงไหม้และการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา ทำให้ทราบได้ว่าความร้อนจากเพลิงไหม้จะทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตและค่าความเค้นของเหล็กเสริมลดลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อการขยายตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม ดังนั้นจึงควรพิจารณาศึกษาถึงผลกระทบจากเพลิงไหม้ว่ามีผลทำให้แรงอัดประสิทธิผลของลวดอัดแรงหรือไม่ และศึกษาว่าปริมาณความร้อนจากเพลิงไหม้จะทำให้อัตราการขยายตัวของคอนกรีตทับหน้าและ แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแตกต่างกันจนกระทั่งเกิดการแยกตัวออกจากกันหรือไม่ เพราะถ้าเกิดการแยกตัวออกจากกันจะทำให้โมเมนต์อินเนอร์เซีย

ของหน้าตัดแผ่นน้อยลงทำให้ความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดลดลงและรับแรงกระทำจากภายนอก  
ได้น้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3 วิธีการศึกษา

### 3.1 การเลือกตัวอย่างทดสอบ

#### 3.1.1 การสุ่มตัวอย่าง

การเลือกตัวอย่างของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ใช้ในการทดสอบ ได้เลือกมาจากบริษัทผู้ผลิตแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงคือบริษัท พื้นสำเร็จ พีซีเอ็ม จำกัด เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านเตาเผาและเครื่องมือที่ใช้การทดสอบกำลังคด จึงจำเป็นต้องใช้แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคดล่วงหน้าก่อนความยาว 90 ซม. เพียงชนิดเดียว ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้จากแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงจึงไม่เป็นตัวแทนของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ผลิตและขายในท้องตลาด แต่เป็นผลจากการทดสอบของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงขนาดความยาว 90 ซม. ที่ได้รับจากบริษัท พื้นสำเร็จ พีซีเอ็ม จำกัด

#### 3.1.2 จำนวนตัวอย่าง

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบครั้งนั้นแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

จำนวนตัวอย่างทดสอบ

อุณหภูมิในการเผา (c)	จำนวนตัวอย่างทดสอบ (แผ่น)
ไม่เผา	5
200	3
300	3
450	3
500	3
600	2
800	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 คุณสมบัติของตัวอย่างทดสอบ

คุณสมบัติของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนที่ใช้ในการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ (จากวารสารของบริษัท พื้นสำเร็จ พีซีเอ็ม จำกัด)

#### 3.1.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ความหนาของแผ่นพื้นสำเร็จ	=	5	ซม.
ความหนาของคอนกรีตทับหน้า	=	5	ซม.
ความหนาทั้งหมด	=	10	ซม.
ความกว้างของแผ่นพื้นสำเร็จ	=	35	ซม.
ความยาวสุทธิ	=	90	ซม.
จำนวนของลวดขนาด $\phi$ 4 มม.	=	6	เส้น
น้ำหนักจรว	=	500	กก./ม. <sup>2</sup>

#### 3.1.3.2 คุณสมบัติทางการอัดแรง

##### 1) คุณสมบัติของวัสดุ

$f'_c$ ของแผ่นพื้นสำเร็จ	=	350	กก./ซม. <sup>2</sup>
$f'_{c1}$ ของแผ่นพื้นสำเร็จ	=	240	กก./ซม. <sup>2</sup>
$f'_c$ ของคอนกรีตทับหน้า	=	140	กก./ซม. <sup>2</sup>
$f'_m$ ของลวดอัดแรง	=	17500	กก./ซม. <sup>2</sup>
$f_{mv}$ ของลวดอัดแรง	=	18000	กก./ซม. <sup>2</sup>

##### 2) ความเค้นก่อนยุบตัว

##### คอนกรีต :

##### a) ความเค้นชั่วคราวขณะถ่ายเทแรง

- ความเค้นอัด $0.80 f'_{c1}$	=	144.0	กก./ซม. <sup>2</sup>
- ความเค้นดึง $0.79 \sqrt{f'_{c1}}$	=	12.2	กก./ซม. <sup>2</sup>

##### b) ความเค้นใช้งาน (หลังการสูญเสียความเค้น)

- ความเค้นอัด $0.45 f'_c$	=	157.5	กก./ซม. <sup>2</sup>
- ความเค้นใช้งาน $1.59 \sqrt{f'_c}$	=	29.7	กก./ซม. <sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เหล็กเสริมอัดแรง :

## a) ความเค้นชั่วคราวขณะถ่ายเทแรง

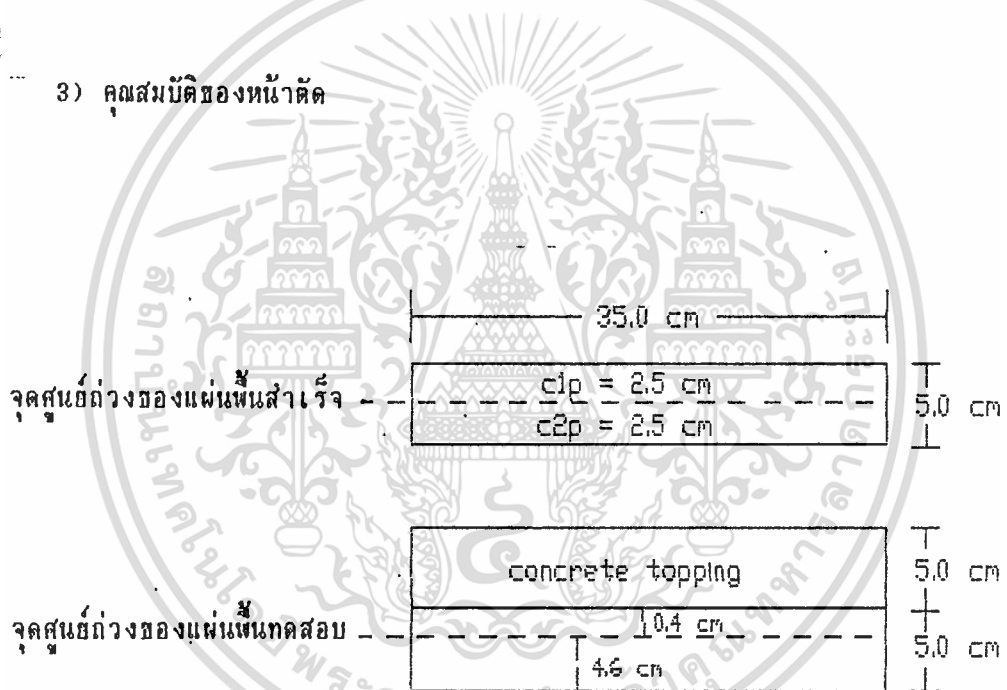
$$\begin{aligned} - \text{ความเค้นดึง} & 0.70 f'_{cu} = 12250.0 \text{ กก./ซม.}^2 \\ & \text{สำหรับลวดขนาด } \phi 4 \text{ มม.} \quad = 1540.0 \text{ กก.} \end{aligned}$$

## b) ความเค้นประสิทธิผล

$$\begin{aligned} - \text{ความเค้นดึง} & 0.60 f'_{cu} = 10500.0 \text{ กก./ซม.}^2 \\ - \text{ความเค้นดึง} & 0.80 f'_{cu} = 12800.0 \text{ กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

ใช้ค่าความเค้นที่น้อยกว่า

## 3) คุณสมบัติของหน้าตัด



$$\begin{aligned} A & = 35.0 * 5.0 \\ & = 175.0 \quad \text{ซม.}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C1p & = C2p \\ & = 2.5 \quad \text{ซม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Icp & = 1/12 * 35.0 * (5.0)^3 \\ & = 365.0 \quad \text{ซม.}^4 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาความแตกต่างในคุณสมบัติของแผ่นพื้นสำเร็จกับคอนกรีตทับหน้า

$$\begin{aligned} \text{Modular ratio } n &= \sqrt{170/350} \\ &= 0.697 \\ \text{พื้นที่หน้าตัดแปลงของคอนกรีตทับหน้า} &= 5.0 * 35.0 * 0.697 \\ &= 122 \quad \text{ซม.}^2 \\ \text{total area} &= 175.0 + 122.0 \\ &= 297.0 \quad \text{ซม.}^2 \\ A.Y &= (175.0 * 2.5) + (122 * 7.5) \\ &= 1352.5 \quad \text{ซม.}^3 \\ Y &= 1352.5 / 297 \\ &= 4.6 \quad \text{ซม.} \\ I_{cc} &= 365.0 + (175.0 * 2.1^2) + (1/12 * 35.0 * 5.0^3 * 0.697) + (122 * 2.9^2) \\ &= 2417 \quad \text{ซม.}^4 \end{aligned}$$

\*\*\* สรุปคุณสมบัติของหน้าตัด \*\*\*

แผ่นพื้นสำเร็จ	แผ่นพื้นทดสอบ
$A_{cp} = 175.0 \text{ ซม.}^2$	$A_{cc} = 350.0 \text{ ซม.}^2$
$I_{cc} = 365.0 \text{ ซม.}^4$	$I_{cc} = 2417.0 \text{ ซม.}^4$
$C1p = C2p = 2.5 \text{ ซม.}$	$C1c = 0.4 \text{ ซม.}$
	$C2c = 4.6 \text{ ซม.}$

หมายเหตุ จากการทดสอบโดยการผสมคอนกรีตทับหน้าแล้วได้ค่า  $f'_c$  เป็น 170 กก./ซม.<sup>2</sup> ดังนั้นในการคำนวณหาคุณสมบัติของหน้าตัดจึงใช้ค่า  $f'_c$  ของคอนกรีตทับหน้าเป็น 170 กก./ซม.<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดสอบ

3.2.1 การเตรียมแผ่นพื้นทดสอบ

1) ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตทับหน้า ( Topping Concrete ) โดยวิธีของสถาบันคอนกรีตอเมริกา ( ACI 211.1-70 ) โดยออกแบบให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดประลัยที่ 7 วัน เท่ากับ 140 กก./ซม.<sup>2</sup> (คอนกรีตทับหน้าที่ผสมแล้วมีค่า  $f'_c = 170$  กก./ซม.<sup>2</sup>)

[ ใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทสามชนิดแข็งตัวเร็ว ( High-early Strength Portland Cement ) สาเหตุที่ใช้เพราะช่วยลดระยะเวลาในการรอให้คอนกรีตทับมีค่า  $f'_c$  ตามต้องการ ]

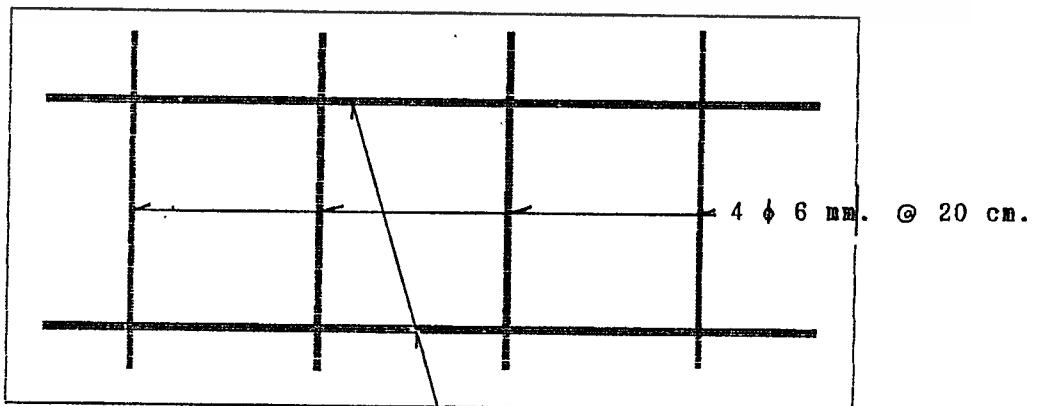
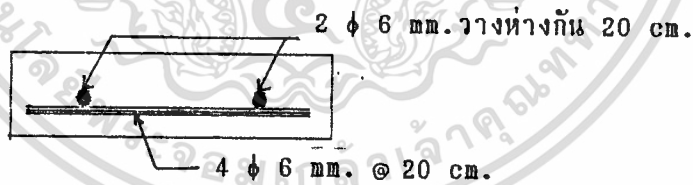
( วิธีการคำนวณหาปริมาณส่วนผสมคอนกรีตทับหน้าดูในภาคผนวก ก )

2) เตรียมไม้แบบด้านข้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง และเสริมเหล็กกันการแตกร้าวโดยวางเหล็กเสริมทางขวางขนาด 6 มม. จำนวน 4 เส้น ห่างกันเส้นละ 20 ซม. เสริมเหล็กทางยาวขนาด 6 มม. จำนวน 2 เส้น ห่างกันเส้นละ 20 ซม.

( เนื่องจากบริษัทไม่ได้กำหนดปริมาณเหล็กเสริมกันแตกร้าวไว้ ดังนั้นจึงใช้ปริมาณการเสริมเหล็กกันแตกร้าวตามมาตรฐานของ ว.ส.ท โดยใช้ปริมาณเหล็กเสริมอย่างน้อย 0.0025bt )

รูปที่ 3.1

แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กกันการแตกร้าว



2 φ 6 mm. วางห่างกัน 20 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนในข้อ 2 เททับหน้าแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงให้หนา 5 ซม. กระทั่งด้วยเหล็กปลายมนให้แน่น แล้วปาดหน้าให้เรียบร้อย

4) นำคอนกรีตส่วนหนึ่งใส่แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอกสูง 30 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. จำนวน 3 ลูก โดยแบ่งการใส่เป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็กปลายมนชั้นละ 25 ครั้ง และใช้ฆ้อนเคาะเบา ๆ เพื่อไล่ฟองอากาศ แล้วปาดหน้าให้เรียบร้อย

5) ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วแกะแบบออก นำไปบ่มโดยใช้กระสอบคลุมแล้วฉีดน้ำให้ชุ่มเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำมาผึ่งแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน ก็จะได้แผ่นพื้นทดสอบพร้อมทำการเผา

6) นำแท่งทดสอบทั้ง 3 ลูก ทดสอบหว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้เครื่องกดคอนกรีต ( Universal Testing Machine )

### 3.2.2 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

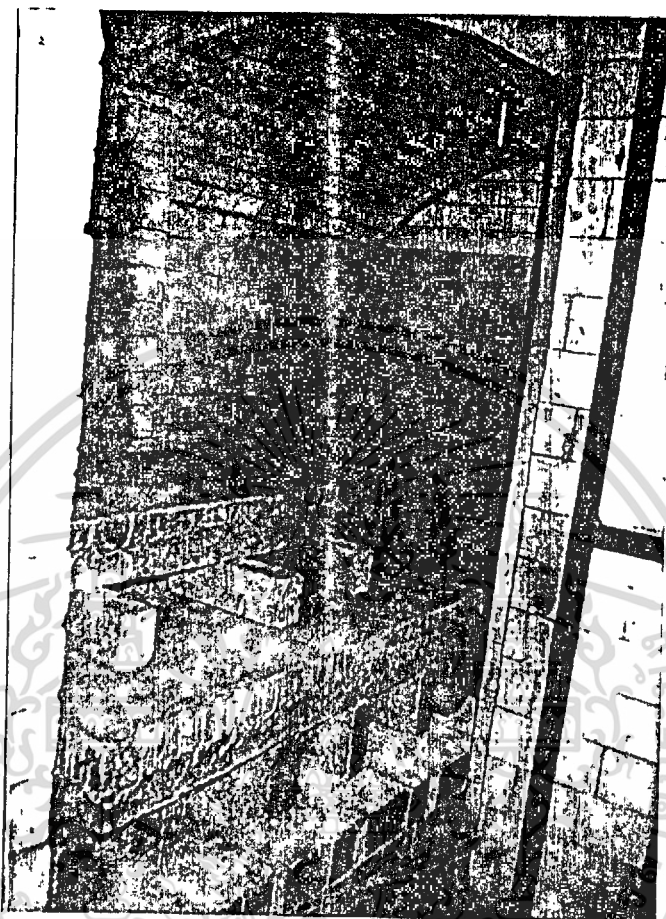
#### 3.2.2.1 เตาไฟที่ใช้ในการทดสอบ

เตาที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้เป็นเตาที่ใช้แก๊สดังแสดงในรูปที่ 3.2 การควบคุมความร้อนทำได้โดยการปรับหัวแก๊สที่มีอยู่ 8 หัว ใช้เทอร์โมคัปเบิลเป็นตัวบอกอุณหภูมิ ช่วงอุณหภูมิที่วัดได้อยู่ในช่วง 0-1600 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของเตาที่ใช้แก๊สนี้สามารถเร่งอุณหภูมิได้สูงสุดประมาณ 1260 องศาเซลเซียส

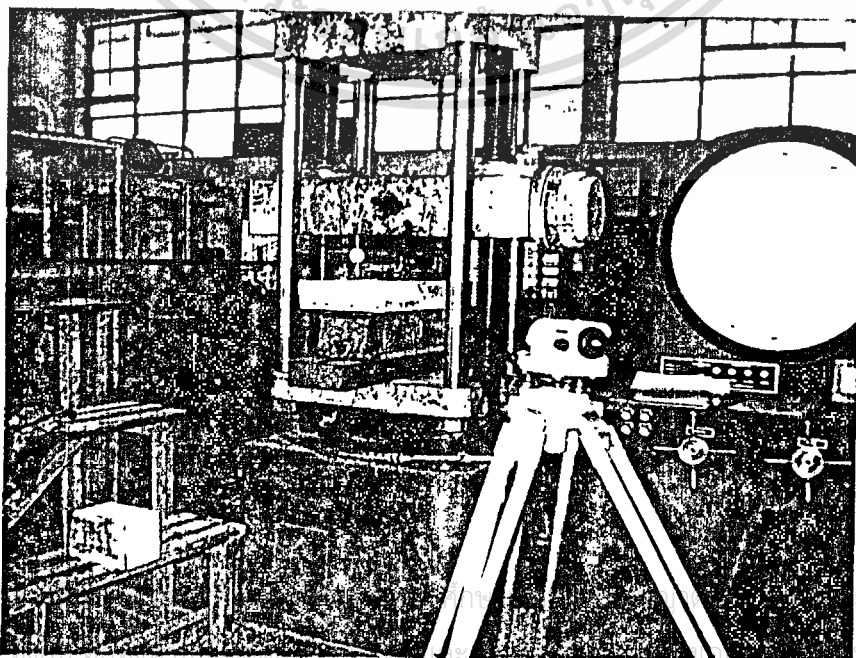
#### 3.2.2.2 เครื่องมือทดสอบการรับแรงอัด ( โดยการทดสอบแรงกระทำสองจุด )

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือเครื่องกดคอนกรีต ( Universal Testing Machine ) ที่มีกำลังสูงสุดขนาด 150 ตันมาประยุกต์เพื่อให้ใช้งานได้โดยการติดตั้งแท่นรองรับแผ่นทดสอบที่ฐานเครื่องกดคอนกรีต และเปลี่ยนหัวกดเป็นแบบกระทำ 2 จุด ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.2  
เสาไฟที่ใช้ในการเผา



รูปที่ 3.3  
เครื่องมือทดสอบกำลังตัด



เอกสารนี้เป็นเอ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ

โยชน์ด้านการค้า  
ที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การดำเนินการทดสอบ

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

3.2.3.1 ขั้นตอนการเผาแผ่นพื้นทดสอบ

3.2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นพื้นทดสอบ

#### 3.2.3.1 ขั้นตอนการเผาแผ่นพื้นทดสอบ

จากกราฟแสดงค่ากำลังค้ำคลากและค่ากำลังประลัยของลวดอัดแรงที่อุณหภูมิต่างๆตามรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ค่ากำลังค้ำคลากและกำลังประลัยของลวดอัดแรงลดลงไป 80 % ส่วนค่ากำลังอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ตามตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.10 ค่ากำลังอัดลดลงไป 65.03 % และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงไป 60 % ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ค่าอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 800 องศาเซลเซียส เพราะที่ระดับอุณหภูมินี้ ค่ากำลังค้ำคลากและกำลังประลัยของลวดอัดแรง รวมทั้งค่ากำลังอัดและโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลงมาก จนกระทั่งไม่สามารถนำแผ่นพื้นทดสอบกลับมาใช้งานได้อีก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทดสอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส

จากระยะเวลาการทนทานไฟขึ้นค่าของอาคารตามมาตรฐาน ASTM E119 กำหนดไว้คือระยะเวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมง นั่นคือระยะเวลาการเผาแผ่นพื้นทดสอบไม่ควรต่ำกว่า 1 ชั่วโมงและตามมาตรฐาน ASTM E119 ได้กำหนดเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาตามกราฟรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาการเผาผ่านไป 5 นาที อุณหภูมิของไฟสูงขึ้นถึง 540 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากเตาที่ใช้ในการทดสอบไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามเส้นโค้งมาตรฐานได้ และแผ่นพื้นอาจเกิดการระเบิดซึ่งก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นจึงเร่งอุณหภูมิให้เร็วเกินไปไม่ได้ จึงกำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเผาแผ่นพื้นทดสอบทุก ๆ แผ่นเท่ากันคือ 2 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่เร็วที่สุดที่เตาเผาสามารถเร่งอุณหภูมิให้ถึง 800 องศาเซลเซียส

เริ่มดำเนินการทดสอบ

1) เมื่อแผ่นพื้นทดสอบที่บ่มไว้มีอายุครบ 7 วัน แล้ว นำไปผึ่งให้แห้ง 1 วัน แล้วจึงนำไปเผาทดสอบในเตาเผาที่ใช้แก๊ส โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาทดสอบมีดังนี้คือ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส เผาเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที

2. การควบคุมอุณหภูมิในการเผาในแต่ละระดับอุณหภูมิเป็นไปตามกราฟที่แสดงไว้ในรูปที่

3.4 ถึง 3.9

3. ก่อนการเผาให้บันทึกน้ำหนัก ขนาดความยาวลวด สีและลักษณะรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นทดสอบทุกแผ่น

4. หลังจากการเผาเพิ่มอุณหภูมิจนครบ 2 ชั่วโมง 30 นาที แล้วให้ลดอุณหภูมิลงโดยการปิดหัวแก๊สทั้งหมด ทั้งแผ่นทดสอบไว้ในเตาค่อยไปอีก 5 ชั่วโมง แล้วจึงนำแผ่นพื้นทดสอบออกจากเตาเผาปล่อยให้คายความร้อนในอากาศ 1 วัน บันทึกน้ำหนัก ขนาดความยาวลวด สีและลักษณะแผ่นพื้นทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2  
การทดสอบการเผาแผ่นเพื่อทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ

ชุดที่	หมายเลข แผ่นหนทดสอบ	อุณหภูมิในการเผา ( องศาเซลเซียส )	ระยะเวลาในการเผา ชม.- นาที
1	1 2 3 4 5	ไม่เผา	-
2	1/200 2/200 3/200	200	2:30
3	1/300 2/300 3/300	300	2:30
4	1/450 2/450 3/450	450	2:30
5	1/500 2/500 3/500	500	2:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

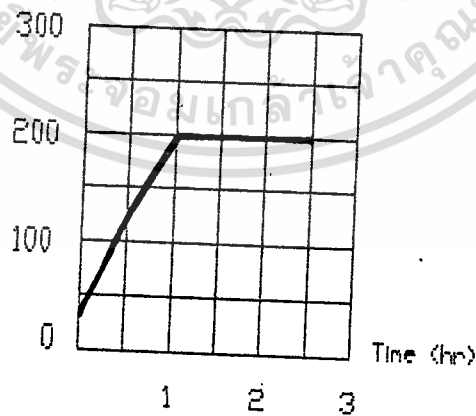
ชุดที่	หมายเลข แผ่นพิมพ์ทดสอบ	อุณหภูมิในการเผา ( องศาเซลเซียส )	ระยะเวลาในการเผา ชม.- นาที
6	1/600 2/600	600	2:30
7	1/800 2/800	800	2:30

หมายเหตุ หมายเลขแผ่นพิมพ์ทดสอบ 1/200 หมายถึงแผ่นพิมพ์ทดสอบแผ่นที่ 1 ที่ถูก  
เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.4

แสดงการเพิ่มอุณหภูมิถึงอุณหภูมิเป้าหมาย 200 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)

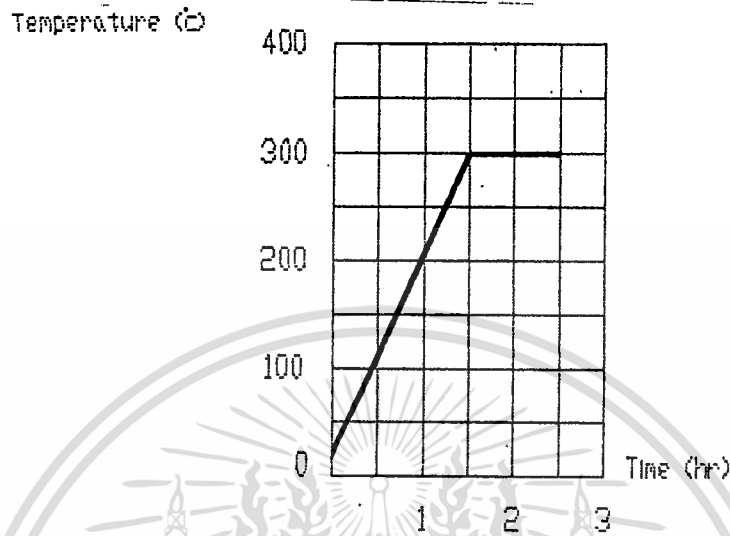


เร่งจากอุณหภูมิห้องถึง 200 °c ใน 1 ชั่วโมงแล้วคงที่ไว้ที่ 200 °c เป็นเวลา 1 ชั่วโมงครึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5

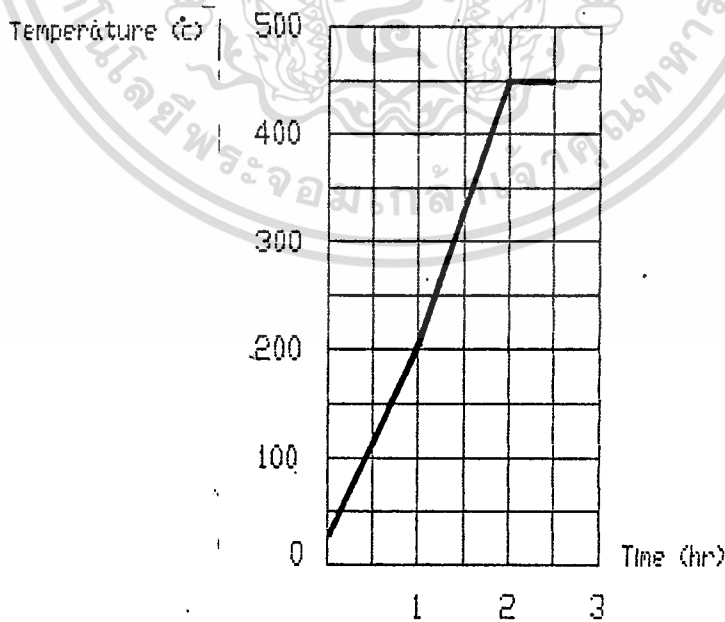
แสดงการเพิ่มอุณหภูมิถึงอุณหภูมิเป้าหมาย 300 องศาเซลเซียส



เร่งจากอุณหภูมิห้องถึง 300 °C ใน 1 ชั่วโมงครึ่งแล้วคงที่ไว้ที่ 300 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

รูปที่ 3.6

แสดงการเพิ่มอุณหภูมิถึงอุณหภูมิเป้าหมาย 450 องศาเซลเซียส



เร่งจากอุณหภูมิห้องถึง 200 °C ใน 1 ชั่วโมงแล้วเร่งให้ถึง 450 °C ใน 1 ชั่วโมงคงที่ ที่

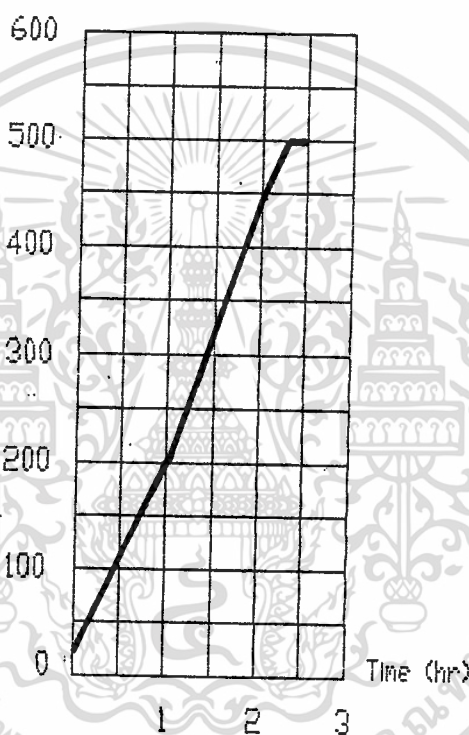
450 °C อีกครึ่งชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7

แสดงการเพิ่มอุณหภูมิถึงอุณหภูมิเป้าหมาย 500 องศาเซลเซียส

Temperature (°C)

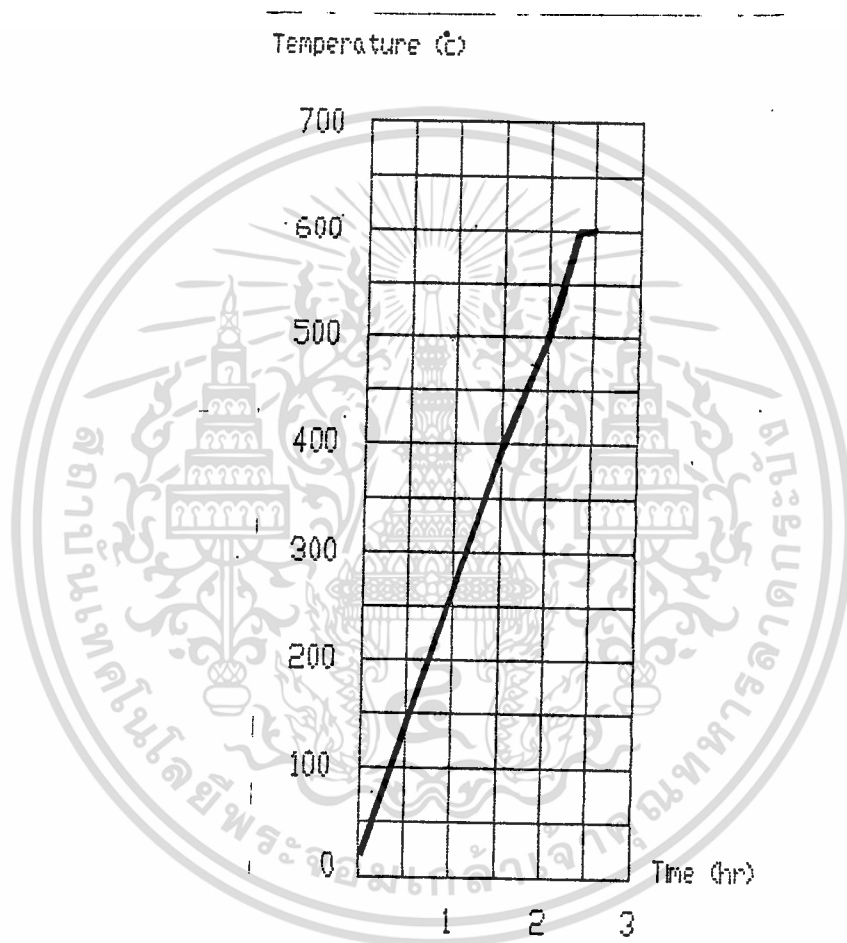


เร่งจากอุณหภูมิห้องถึง 200 °c ใน 1 ชั่วโมงแล้วเร่งให้ถึง 450 °c ใน 1 ชั่วโมงเร่งให้ถึง 500 °c ใน 15 นาทีคงที่ ที่ 500 °c อีก 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8

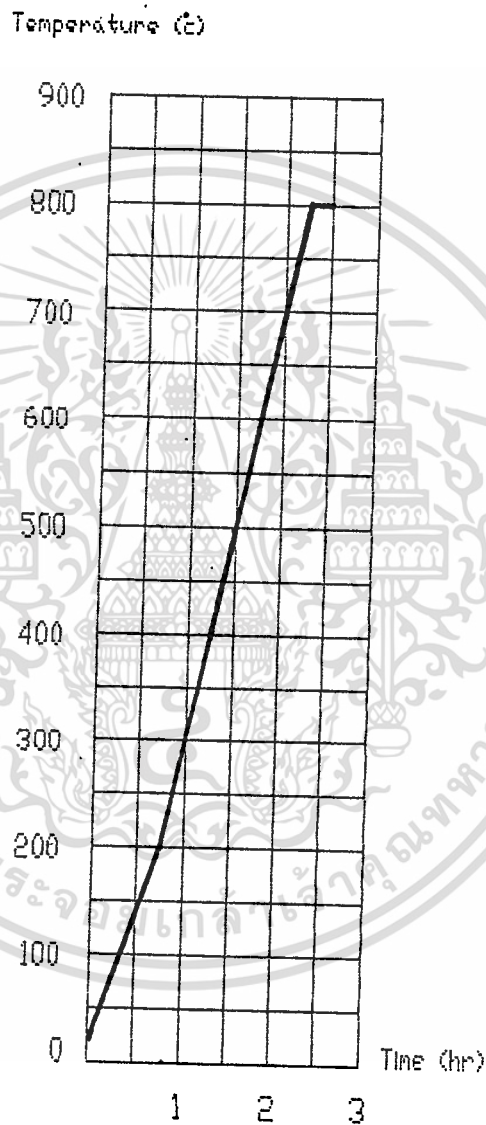
แสดงการเพิ่มอุณหภูมิถึงอุณหภูมิเป้าหมาย 600 องศาเซลเซียส



เร่งจากอุณหภูมิห้องถึง 400 °c ใน 1 ชั่วโมงครึ่ง เร่งถึง 500 °c ในครึ่งชั่วโมงเร่งถึง 600 °c ใน 15 นาที คงที่ ที่ 600 °c อีก 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9  
แสดงการเพิ่มอุณหภูมิถึงอุณหภูมิเป้าหมาย 800 องศาเซลเซียส

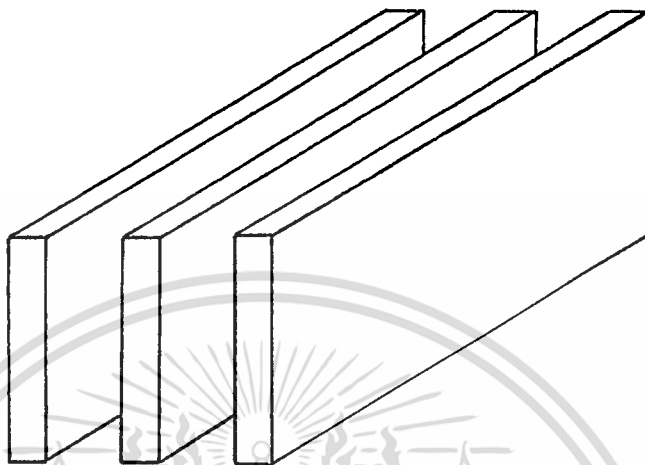


เร่งจากอุณหภูมิห้องถึง 200 °c ใน 45 นาที เร่งถึง 500 °c ใน 45 นาที เร่งถึง 800 °c ใน 45 นาที คงที่ ที่ 800 c อีก 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

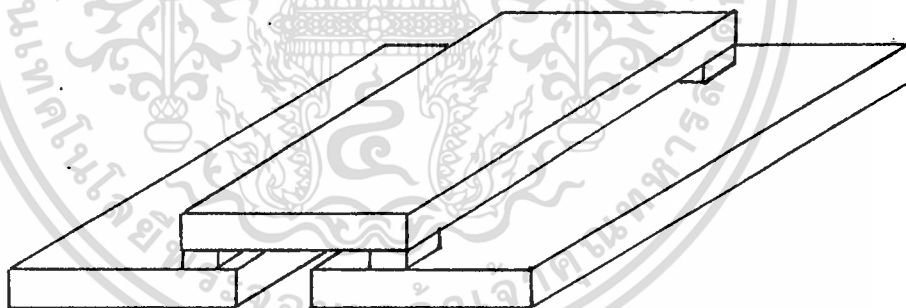
รูปที่ 3.10

แสดงการจัดวางแผ่นเพนทคสอบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 200, 300 และ 450 องศาเซลเซียส



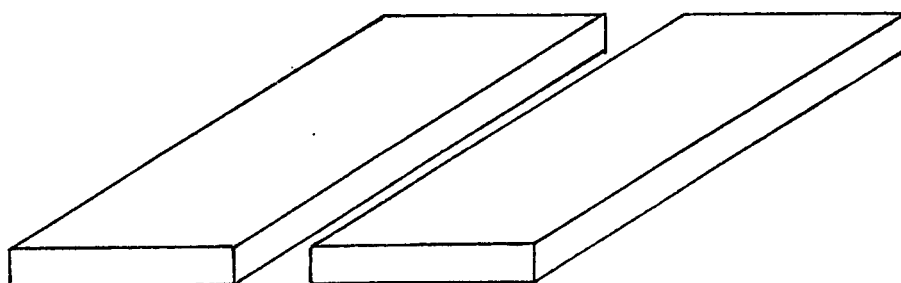
รูปที่ 3.11

แสดงการจัดวางแผ่นเพนทคสอบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.12

แสดงการจัดวางแผ่นเพนทคสอบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 800 องศาเซลเซียส



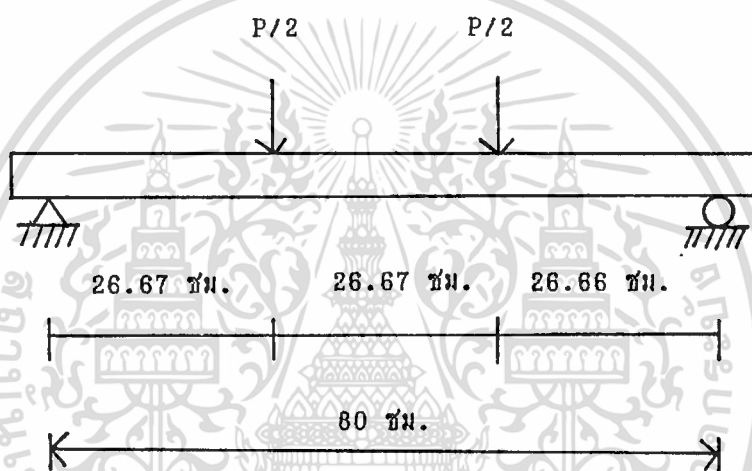
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นพื้นทดสอบ

หลังจากแผ่นพื้นทดสอบที่ถูกเผาถูกทิ้งไว้ให้เย็นตัวในอากาศเป็นเวลา 1 วัน นำแผ่นพื้นทดสอบมาทดสอบการรับกำลังค้ำ โดยให้แรงกระทำเป็นแบบสองจุด ( Third Point ) มีระยะระหว่างจุดรองรับ ( Support ) 80 ซม. และระยะแรงกระทำสองจุดเป็นดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13

การจัดวางระยะต่าง ๆ ในการทดสอบกำลังค้ำ



การทดสอบการรับกำลังค้ำแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเพิ่มน้ำหนักกระทำจนกระทั่งระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นทดสอบเป็น 2.2 มิลลิเมตร แล้วลดน้ำหนักกระทำจนเป็นศูนย์ ช่วงสองเพิ่มน้ำหนักกระทำใหม่โดยเพิ่มน้ำหนักกระทำจนกระทั่งแผ่นพื้นทดสอบถึงจุดการพังทลาย ( ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดระยะการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นเท่ากับ  $L/360$  ซึ่งตามการทดลองใช้ช่วงความยาว(L)เท่ากับ 80 ซม. ดังนั้นระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ขอมให้เท่ากับ 2.2 มม.)

- 1) นำแผ่นพื้นทดสอบวางบนแท่งรองรับ จัดระยะระหว่างจุดรองรับและระยะแรงกระทำสองจุดตามรูปที่ 3.13
- 2) ติดตั้ง dial gauge ที่จุดกึ่งกลางใต้แผ่นพื้นทดสอบเพื่อใช้วัดระยะการแอ่นตัว
- 3) เริ่มทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักกระทำพร้อมกับวัดระยะการแอ่นตัว บันทึกค่าน้ำหนักกระทำเมื่อระยะการแอ่นตัวเป็น 0.1, 0.2, 0.3, ..., 2.1, 2.2 มม. ตามลำดับ เมื่อระยะการแอ่น

ตัวถึง 2.2 มม. ให้หยุดน้ำหนักกระทำและลดน้ำหนักกระทำจนเป็นศูนย์ ปล่อยทิ้งไว้ให้คืนตัว 10 นาที วัดระยะการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง

4) เริ่มการทดสอบช่วงสอง โดยเพิ่มน้ำหนักกระทำบนแผ่นพื้นทดสอบที่มาจากข้อ 3 จนกระทั่งแผ่นพื้นทดสอบเกิดการพังทลาย บันทึกค่าน้ำหนักกระทำสูงสุด

5) ในระหว่างการทดสอบตามข้อ 3 และ 4 ให้การสังเกตลักษณะของรอยร้าวที่เกิดขึ้น รอยร้าวใดเกิดขึ้นรอยแรกและการพัฒนาของรอยร้าวที่เกิดขึ้น พร้อมบันทึกข้อมูล

### 3.5 วิธีการวิเคราะห์

เมื่อทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ 3.4 แล้ว บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลดังนี้

3.5.1 บันทึกความยาวของลวดอัดแรงก่อนและหลังการเผาแผ่นพื้นทดสอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ วิเคราะห์ว่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อแรงอัดประสิทธิผลในลวดอัดแรงอย่างไร โดยสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \Delta f_s &= E_s * \delta_s \\ \Delta F &= \Delta f_s * A_s \end{aligned}$$

แรงอัดประสิทธิผล (หลังจากแผ่นพื้นทดสอบถูกเผา) =  $F_c - \Delta F$

นำค่าแรงอัดประสิทธิผลที่คำนวณได้มาหาค่าหน่วยแรงบนหน้าตัดแผ่นพื้นทดสอบ เมื่อแผ่นพื้นทดสอบรับน้ำหนักจร 500 กก./ม.<sup>2</sup> ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้จากสูตรต่อไปนี้

$$f_c = \frac{F + F_{ey} + M_y}{A I}$$

พิจารณาว่าค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของแผ่นพื้นทดสอบเกินค่าหน่วยแรงตามมาตรฐาน ว.ส.ท.หรือไม่

3.5.2 บันทึกน้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบก่อนและหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ วิเคราะห์ว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเป็นน้ำในส่วนใดของคอนกรีต และปริมาณน้ำที่สูญเสียต่างกันมีผลต่อการรับกำลังอัดของคอนกรีตต่างกันอย่างไร

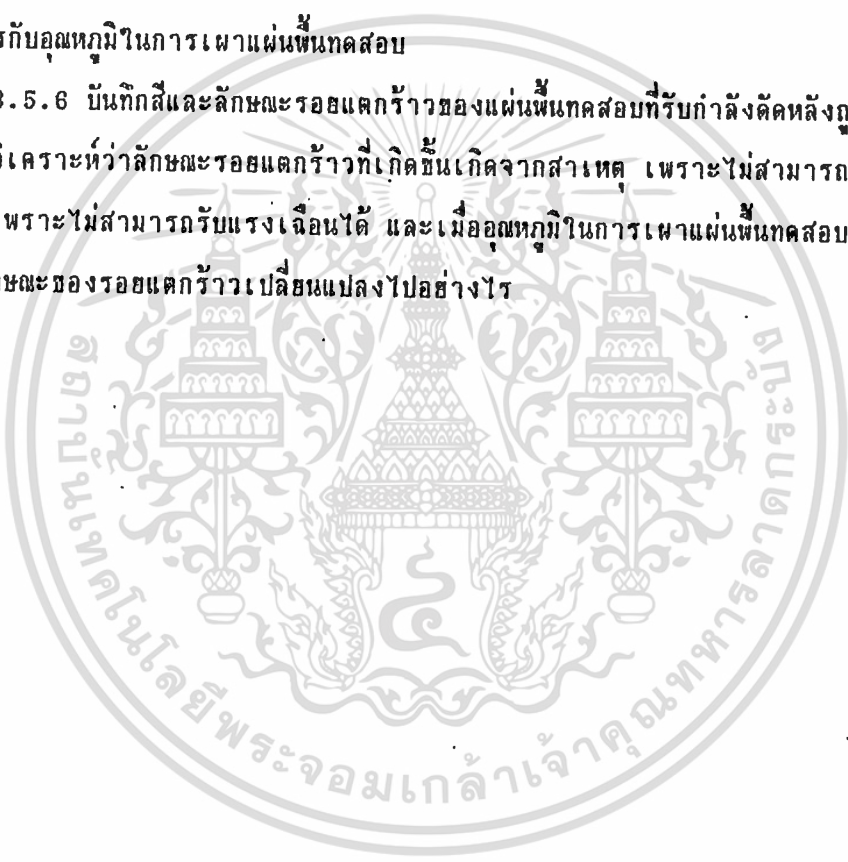
3.5.3 บันทึกระยะการแอ่นตัวเกี่ยวกับการรับน้ำหนักกระทำของแผ่นพื้นทดสอบหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์ว่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวที่ได้จากผลการทดลอง โดยการนำน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นมาสร้างเป็นกราฟเส้น แล้วเปรียบเทียบความ

สัมพันธ์ว่าเป็นไปตามสมการ  $\Delta = 23PL^3/648EI$  หรือไม่ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักกระทำกับปริมาณความร้อนที่แผ่นพื้นทดสอบได้รับเป็นไปตามความสัมพันธ์  $P \propto 1/Q$  หรือไม่

3.5.4 บันทึกน้ำหนักประลัยของแผ่นพื้นทดสอบหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ วิเคราะห์ว่า เมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น การรับน้ำหนักประลัยลดลงหรือไม่ ถ้าลดลงให้วิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้การรับน้ำหนักประลัยลดลง

3.5.5 บันทึกการคืนตัวของแผ่นพื้นทดสอบ วิเคราะห์ว่าเปอร์เซ็นต์การคืนตัวมีความสัมพันธ์อย่างไรกับอุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นทดสอบ

3.5.6 บันทึกสีและลักษณะรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นทดสอบที่รับกำลังดัดหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์ว่าลักษณะรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นเกิดจากสาเหตุ เพราะไม่สามารถรับโมเมนต์ดัดได้หรือไม่เพราะไม่สามารถรับแรงเฉือนได้ และเมื่ออุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นทดสอบสูงขึ้นมีผลทำให้สีและลักษณะของรอยแตกร้าวเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร



## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือหลังจากการเผา และ หลังการทดสอบกำลังตัด

#### 4.1 หลังการเผาแผ่นพื้นทดสอบ

ก่อนการเผาแผ่นพื้นทดสอบที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส จะทำการวัดความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นทดสอบทั้ง 6 เส้น หลังจากนั้นนำแผ่นพื้นทดสอบไปเผาไฟจนครบเวลาตามที่กำหนด แล้วนำออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวัดความยาวของลวดอัดแรงอีกครั้ง จากการวัดความยาวของลวดอัดแรงก่อนเผาและหลังเผาทำให้ทราบค่าความยาวของลวดอัดแรงที่ลดลง และคำนวณหาค่าหน่วยการหดตัวของลวดอัดแรง ดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.6 ตามลำดับ

ก่อนการเผาแผ่นพื้นทดสอบทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบ และหลังการเผาที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งและบันทึกน้ำหนักอีกครั้ง และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักในแผ่นพื้นทดสอบพร้อมทั้งค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 4.7

นำผลของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยในแผ่นพื้นทดสอบ มาสร้างกราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของการสูญเสียน้ำหนักในแผ่นพื้นทดสอบหลังการเผาที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส ดังแสดงในกราฟที่ 4.1

ก่อนและหลังการเผาแผ่นพื้นทดสอบบันทึกลักษณะของรอยแตกร้าวและสีของแผ่นพื้นทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.8

**ตารางที่ 4.1**  
**แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นทดสอบ**  
**หลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 200 °c**

หมายเลข แผ่นพื้นทดสอบ	เส้นที่	L (cm)			หน่วยการหดตัว ( $\delta_s \times 1/100$ )
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความยาวที่ลดลง	
1/200	1	94.57	94.53	0.04	0.04
	2	95.02	95.00	0.02	0.02
	3	94.89	94.87	0.02	0.02
	4	94.70	94.70	0.00	0.00
	5	93.99	93.99	0.00	0.00
	6	93.95	93.94	0.01	0.01
2/200	1	94.00	93.98	0.02	0.02
	2	93.76	93.75	0.01	0.01
	3	93.72	93.71	0.01	0.01
	4	93.36	93.36	0.00	0.00
	5	93.95	93.94	0.01	0.01
	6	93.80	93.78	0.02	0.02
3/200	1	92.70	92.67	0.03	0.03
	2	92.75	92.71	0.04	0.04
	3	93.16	93.12	0.04	0.04
	4	93.19	93.17	0.02	0.02
	5	92.56	92.54	0.02	0.02
	6	92.42	92.41	0.01	0.01

หน่วยการหดตัวเฉลี่ย = 0.0002

ตารางที่ 4.2  
แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นทดสอบ  
หลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 300 c

หมายเลข แผ่นพื้นทดสอบ	เส้นที่	L (cm)			หน่วยการหดตัว ( $\delta_s \times 1/100$ )
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความยาวที่ลดลง	
1/300	1	92.12	92.07	0.05	0.05
	2	92.45	92.42	0.03	0.03
	3	93.13	93.10	0.03	0.03
	4	93.09	93.05	0.04	0.04
	5	93.41	93.37	0.04	0.04
	6	93.20	93.15	0.05	0.05
2/300	1	93.30	93.24	0.06	0.06
	2	93.02	93.00	0.02	0.02
	3	92.95	92.91	0.04	0.04
	4	92.74	92.71	0.03	0.03
	5	93.30	93.25	0.05	0.05
	6	93.20	93.16	0.04	0.04
3/300	1	93.71	93.66	0.05	0.05
	2	93.30	93.27	0.03	0.03
	3	94.22	94.19	0.03	0.03
	4	94.30	94.26	0.04	0.04
	5	93.42	93.39	0.03	0.03
	6	94.37	94.33	0.04	0.04

หน่วยการหดตัวเฉลี่ย = 0.0004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3  
แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นทดสอบ  
หลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 450 °C

หมายเลข แผ่นพื้นทดสอบ	เส้นที่	L (cm)			หน่วยการหดตัว ( $\delta_s \times 1/100$ )
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความยาวที่ลดลง	
1/450	1	90.77	90.65	0.12	0.13
	2	91.21	91.05	0.16	0.18
	3	90.61	90.55	0.06	0.07
	4	90.39	90.24	0.15	0.17
	5	91.41	91.32	0.09	0.10
	6	91.96	91.88	0.08	0.09
2/450	1	93.07	92.91	0.16	0.17
	2	92.29	92.03	0.26	0.28
	3	93.23	93.04	0.19	0.20
	4	92.94	92.75	0.19	0.20
	5	92.53	92.29	0.24	0.26
	6	93.09	92.93	0.16	0.17
3/450	1	92.62	92.42	0.20	0.22
	2	92.48	92.32	0.16	0.17
	3	93.48	93.29	0.19	0.20
	4	93.94	93.79	0.15	0.16
	5	92.91	92.77	0.14	0.15
	6	93.98	93.84	0.14	0.15

หน่วยการหดตัวเฉลี่ย = 0.0019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4  
แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นทดสอบ  
หลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 °C

หมายเลข แผ่นพื้นทดสอบ	เส้นที่	L (cm)			หน่วยการหดตัว ( $\delta_s \times 1/100$ )
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความยาวที่ลดลง	
1/500	1	94.44	94.21	0.23	0.24
	2	95.54	95.44	0.10	0.10
	3	95.59	95.42	0.17	0.18
	4	95.60	95.42	0.18	0.19
	5	95.58	94.45	1.13	1.18
	6	95.04	94.90	0.14	0.15
2/500	1	93.36	93.01	0.35	0.37
	2	93.58	93.36	0.22	0.24
	3	93.15	92.92	0.23	0.25
	4	93.88	93.68	0.20	0.21
	5	93.76	93.58	0.18	0.19
	6	94.07	93.85	0.22	0.23
3/500	1	91.90	91.81	0.09	0.10
	2	92.29	92.07	0.22	0.24
	3	92.03	91.75	0.28	0.30
	4	91.57	91.28	0.29	0.32
	5	92.04	91.77	0.27	0.29
	6	91.94	91.69	0.25	0.27

หน่วยการหดตัวเฉลี่ย = 0.0022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5**  
**แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของทวดอัดแรงในแผ่นพื้นทดสอบ**  
**หลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 600 °C**

หมายเลข แผ่นพื้นทดสอบ	เส้นที่	L(cm)			หน่วยการหดตัว ( $\delta_s \times 1/100$ )
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความยาวที่ลดลง	
1/600	1	95.38	95.06	0.32	0.34
	2	94.81	94.49	0.32	0.34
	3	95.03	94.78	0.25	0.26
	4	94.41	94.16	0.25	0.26
	5	94.42	94.13	0.29	0.31
	6	94.83	94.59	0.24	0.25
2/600	1	92.70	92.65	0.05	0.05
	2	92.75	92.57	0.18	0.19
	3	93.16	93.01	0.15	0.16
	4	93.19	92.90	0.29	0.31
	5	92.56	92.43	0.13	0.14
	6	92.42	92.19	0.23	0.25

หน่วยการหดตัวเฉลี่ย = 0.0024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.6**  
**แสดงการเปลี่ยนแปลงความยาวของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นทดสอบ**  
**หลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 800 c**

หมายเลข แผ่นพื้นทดสอบ	เส้นที่	L(cm)			หน่วยการหดตัว ( $\delta_s \times 1/100$ )
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความยาวที่ลดลง	
1/800	1	92.16	92.05	0.11	0.12
	2	91.54	91.31	0.23	0.25
	3	92.46	92.26	0.20	0.22
	4	92.04	91.76	0.28	0.30
	5	91.49	91.28	0.21	0.23
	6	91.95	91.70	0.25	0.27
2/800	1	91.05	90.73	0.32	0.35
	2	91.39	91.14	0.25	0.27
	3	91.07	90.79	0.28	0.31
	4	90.51	90.22	0.29	0.32
	5	90.99	90.76	0.23	0.25
	6	91.20	90.84	0.36	0.39

หน่วยการหดตัวเฉลี่ย

= 0.0027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7

แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักของแผ่นพื้นที่ทดสอบก่อนเผาและหลังถูกเผา

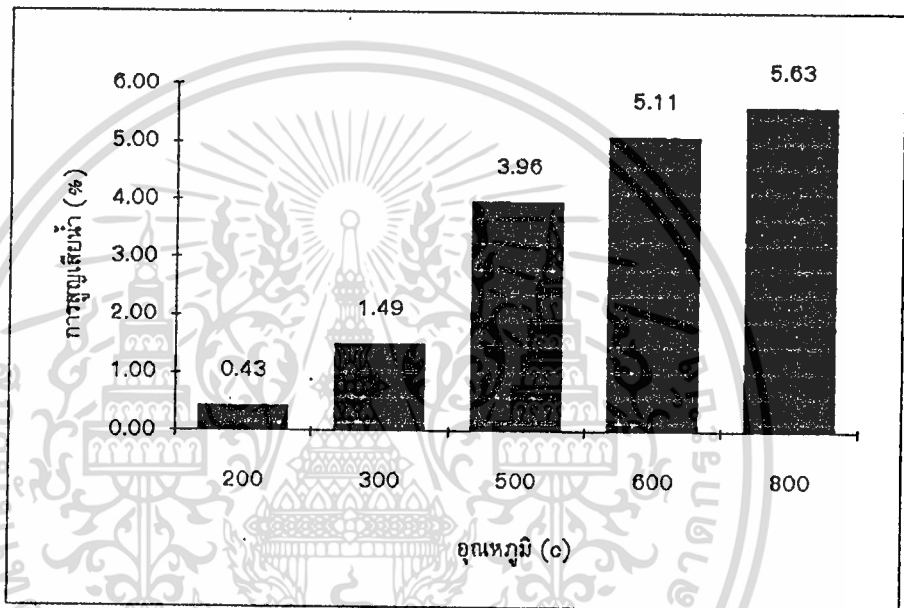
อุณหภูมิ ในการเผา	หมายเลข แผ่นพื้นที่ทดสอบ	น้ำหนักของแผ่นพื้นที่(kg)		% การสูญเสีย น้ำ ในแผ่นพื้นที่ทดสอบ	% เฉลี่ย
		ก่อนเผา	หลังเผา		
ไม่เผา	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
200	1/200	77.73	77.40	0.42	0.43
	2/200	79.69	79.40	0.36	
	3/300	76.39	76.00	0.51	
300	1/300	73.40	72.21	1.62	1.49
	2/300	75.00	73.91	1.45	
	3/300	76.20	75.12	1.42	
450	1/450	73.74	70.48	4.42	4.62
	2/450	74.64	70.79	5.16	
	3/450	76.06	72:80	4.29	
500	1/500	77.85	74.95	3.73	3.96
	2/500	73.90	70.80	4.19	
	3/500	73.85	-	-	
600	1/600	78.41	74.51	4.97	5.11
	2/600	77.40	73.33	5.25	
800	1/800	75.78	-	-	5.63
	2/800	73.21	69.09	5.63	

1. แผ่นพื้นที่ทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 450 c เกิดการระเบิดของคอนกรีตทับหน้าและแยกออกจากแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง และแตกออกเป็นชิ้นๆทำให้น้ำหนักที่สูญเสียไม่ว่าน้ำหนักของน้ำอย่างเดียว

2. ข้อมูลของแผ่นพื้นที่ทดสอบบางแผ่นหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 และ 800 c ไม่ได้บันทึกไว้ในตาราง เพราะ คอนกรีตทับหน้าเกิดการระเบิดทำให้น้ำหนักที่สูญเสียไมใช่น้ำหนักของน้ำเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.1  
แสดง % เฉลี่ยของการสูญเสียน้ำในแผ่นพื้นทดสอบหลังถูกเผา



หมายเหตุ แผ่นพื้นทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 450 c เกิดการระเบิดของ topping แยกออกจาก prestressed และแตกออกเป็นชิ้นๆทำให้น้ำหนักที่สูญเสียไม่ใช่ น้ำหนักของน้ำอย่างเดียว จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาสร้างกราฟได้

## ตารางที่ 4.8

แสดงสีและลักษณะรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นทดสอบหลังเผา

อุณหภูมิในการเผา (c)	ลักษณะของแผ่นพื้นทดสอบ หลังการเผา
200	สีของคอนกรีตไม่เปลี่ยนแปลงไม่มีความเสียหายใดๆเกิดขึ้น
300	สีของคอนกรีตเปลี่ยนเป็นสีเทาปนแดงอ่อน มีรอยร้าวเล็กน้อยของคอนกรีตที่หน้า
450	สีของคอนกรีตเปลี่ยนเป็นสีเทาปนแดง คอนกรีตที่หน้าและแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแยกออกจากกันบางแผ่นคอนกรีตที่หน้าเกิดการระเบิด
500	สีของคอนกรีตเปลี่ยนเป็นสีเทาปนแดง แผ่นพื้นทดสอบที่วางอยู่ด้านบนคอนกรีตที่หน้าและแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแยกออกจากกัน ส่วนแผ่นทดสอบที่อยู่ด้านล่างทั้งสองแผ่น เกิดรอยร้าวระหว่างคอนกรีตที่หน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงรอบแผ่น
600	สีของคอนกรีตเปลี่ยนเป็นสีเทาปนแดง คอนกรีตที่หน้าและแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแยกออกจากกัน โดยมีแผ่นพื้นทดสอบหนึ่งแผ่น ที่คอนกรีตที่หน้าเกิดการระเบิดบางส่วน
800	สีของคอนกรีตเปลี่ยนเป็นสีเทาปนแดง แผ่นพื้นทดสอบหนึ่งแผ่นเกิดการระเบิดที่คอนกรีตที่หน้าและบางส่วนของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง พร้อมทั้งพลิกขึ้นไปทับแผ่นพื้นทดสอบอีกแผ่น ซึ่งแผ่นนั้นไม่เกิดการระเบิดใดๆ แต่มีรอยแตกร้าวระหว่างคอนกรีตที่หน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ลักษณะของแผ่นพื้นทดสอบก่อนเผาที่มีสีขาวปนเทา ไม่มีรอยร้าวระหว่างคอนกรีตกับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงมีเนื้อแน่น และมีสีเข้มกว่าคอนกรีตทับหน้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 หลังการทดสอบกำลังคัต

หลังการทดสอบกำลังคัตของแผ่นพื้นทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ บันทึกผลการทดสอบลงตารางบันทึกผลดังนี้

บันทึกระยะเวลาแอ่นตัวเกี่ยวกับการรับน้ำหนักกระทำของแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่เผาและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 4.9

บันทึกระยะเวลาแอ่นตัวเกี่ยวกับการรับน้ำหนักกระทำของแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่เผาและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส โดยแผ่นพื้นทดสอบหลังถูกเผาแล้วสูญเสียคอนกรีตทับหน้า แสดงในตารางที่ 4.10

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.9 นำมาสร้างกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะเวลาแอ่นตัวของแผ่นพื้นทดสอบ แสดงในกราฟรูปที่ 4.2

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.10 นำมาสร้างกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะเวลาแอ่นตัวของแผ่นพื้นทดสอบ โดยแผ่นพื้นทดสอบหลังถูกเผาแล้วสูญเสียคอนกรีตทับหน้า แสดงในกราฟรูปที่ 4.3

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.9 นำมาสร้างกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะเวลาแอ่นตัวของแผ่นพื้นทดสอบ โดยเปรียบเทียบระหว่างแผ่นพื้นทดสอบที่คอนกรีตทับหน้าแยกตัวกับไม่แยกตัวออกจากแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง แสดงในกราฟรูปที่ 4.4

บันทึกการรับน้ำหนักประลัยของแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียสพร้อมทั้งคำนวณหาค่าเฉลี่ย แสดงในตารางที่ 4.11

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.11 นำมาสร้างเป็นกราฟแท่งแสดงการรับน้ำหนักประลัยของแผ่นพื้นทดสอบหลังที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยแบ่งเป็นแผ่นพื้นทดสอบที่หลังถูกแล้วไม่สูญเสียคอนกรีตทับหน้ากับสูญเสียคอนกรีตทับหน้า แสดงในกราฟที่ 4.5 - 4.6 ตามลำดับ

บันทึกและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การคืนตัวหลังจากเอาน้ำหนักกระทำออก ของแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียสพร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ย แสดงในตารางที่ 4.11

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.12 นำมาสร้างกราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นต์การคืนตัวของแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่างๆ โดยแบ่งเป็นแผ่นพื้นทดสอบที่หลังถูกแล้วไม่สูญเสียคอนกรีตทับหน้ากับสูญเสียคอนกรีตทับหน้า แสดงในกราฟที่ 4.7 - 4.8 ตามลำดับ

บันทึกรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นทางด้านล่างของแผ่นพื้นทดสอบหลังการรับกำลังดัดของแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 200, 300, 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.9ก, 4.9ข, 4.10 - 4.15 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9  
เปรียบเทียบการรับน้ำหนักกระทำกับระยะเวลาแอนตัวของแผ่นพื้นทดสอบ  
ที่ไม่เผาและหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Deflection (mm)	น้ำหนักกระทำ (kg)						
	1	2/200	1/300	1/450	1/500	2/600	2/800
0.10	480	465	480	75	210	75	90
0.20	950	960	885	180	450	165	180
0.30	1500	1485	1305	255	675	225	300
0.40	1970	1995	1755	315	915	285	480
0.50	2445	2430	2205	375	1095	330	525
0.60	2670	2655	2340	420	1290	390	630
0.70	2715	2700	2340	465	1560	435	720
0.80	2715	2700	2340	510	1800	495	795
0.90	2745	2730	2400	555	1935	540	900
1.00	2790	2760	2415	615	1935	585	975
1.10	2890	2910	2415	660	1935	630	1050
1.20	3045	3015	2640	705	1935	675	1125
1.30	3245	3165	2730	735	1935	720	1200
1.40	3330	3300	2835	780	2010	750	1230
1.50	3445	3405	2925	810	2130	780	1290
1.60	3530	3495	3015	840	2205	825	1335
1.70	3585	3540	3015	885	2310	870	1365
1.80	3615	3560	3195	915	2415	900	1410
1.90	3685	3580	3270	945	2520	930	1425
2.00	3710	3640	3270	975	2580	960	1440
2.10	3775	3680	3270	1005	2685	990	1440
2.20	3815	3720	3270	1050	2685	1020	1440

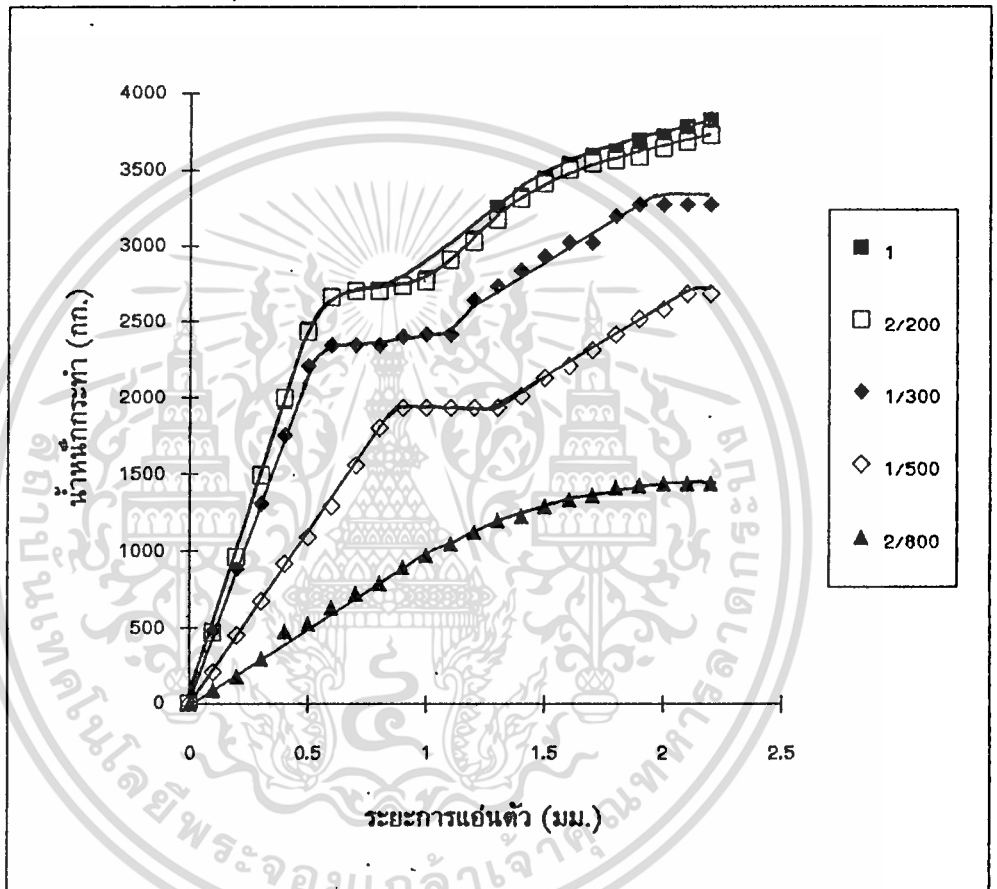
หมายเหตุ แผ่นพื้นทดสอบหมายเลข 1/450 และ 2/600 หลังถูกเผาแล้ว เกิดการแยก  
ตัวระหว่างคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง

**ตารางที่ 4.10**  
**เปรียบเทียบการรับน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวของแผ่นที่ทดสอบ**  
**ที่ไม่เฝ้าและหลังถูกเฝ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ**  
**(แผ่นที่ทดสอบหลังถูกเฝ้าแล้วสูญเสียคอนกรีตทับหน้า)**

Deflection (mm)	น้ำหนักกระทำ (kg)				
	5	3/450	3/500	1/600	1/800
0.10	135	75	60	30	10
0.20	255	135	90	60	15
0.30	375	195	150	90	15
0.40	495	270	180	120	15
0.50	600	345	210	150	22.5
0.60	675	405	255	180	22.5
0.70	735	480	270	210	30
0.80	780	525	300	240	30
0.90	810	585	330	270	30
1.00	840	630	360	300	37.5
1.10	855	660	390	330	45
1.20	855	690	420	360	45
1.30	855	720	450	375	45
1.40	855	735	465	405	45
1.50	855	750	480	420	45
1.60	855	765	495	435	52.5
1.70	870	780	525	450	52.5
1.80	885	780	540	465	52.5
1.90	900	795	555	480	52.5
2.00	900	810	570	495	54
2.10	915	825	585	510	57
2.20	930	840	600	525	60

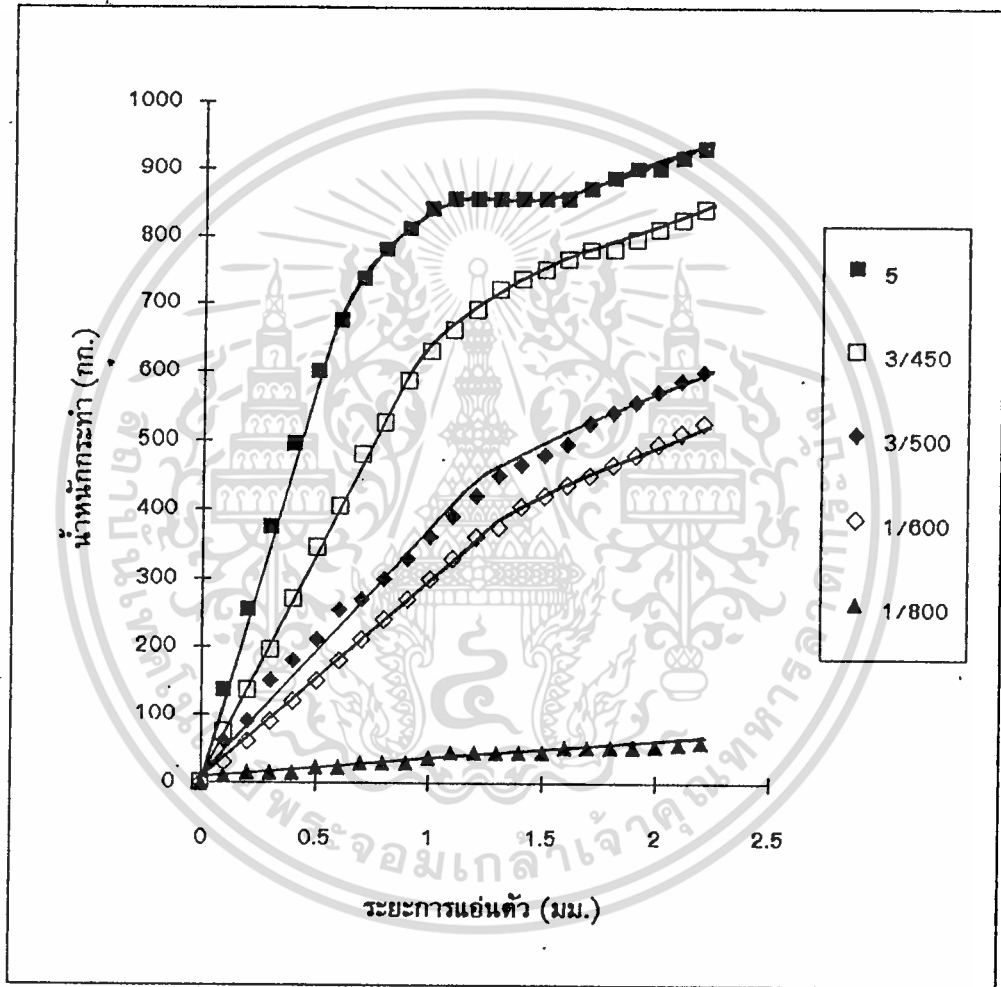
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 4.2  
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะการแ่นตัวของแผ่นพื้นทดสอบ  
ที่ไม่เฝ้าและหลังถูกเฝ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ



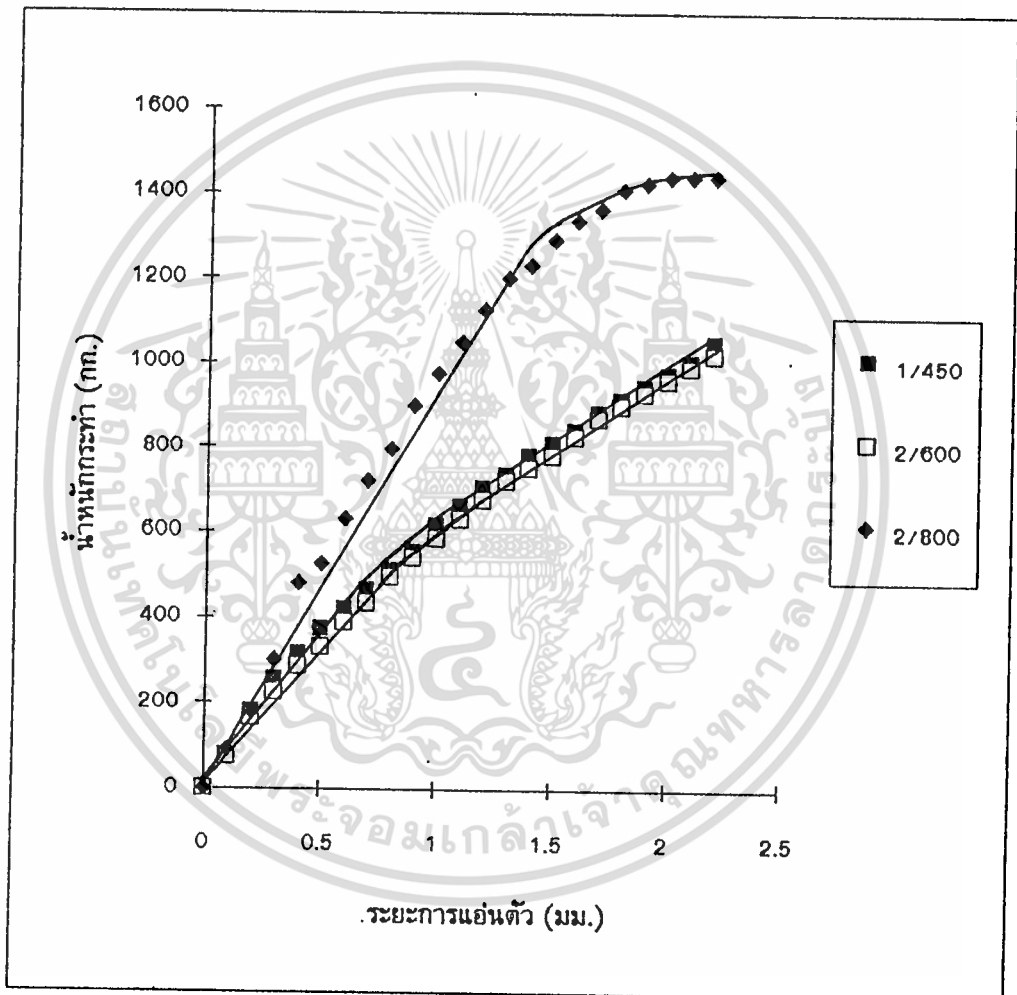
หมายเหตุ แผ่นพื้นทดสอบหมายเลข 1/450 และ 2/600 หลังถูกเฝ้าแล้ว เกิดการแยก  
ตัวระหว่างคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง

**กราฟรูปที่ 4.3**  
**แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นทดสอบ**  
**ที่ไม่เฝ้าและหลังถูกเฝ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ**  
**(แผ่นพื้นทดสอบหลังถูกเฝ้าแล้วสูญเสียคอนกรีตทับหน้า)**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 4.4  
 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นทดสอบ  
 หลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ  
 (แผ่นพื้นทดสอบหมายเลข 2/600 กับ 2/800 หลังถูกเผาแล้วสูญเสียคอนกรีตทับหน้า)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

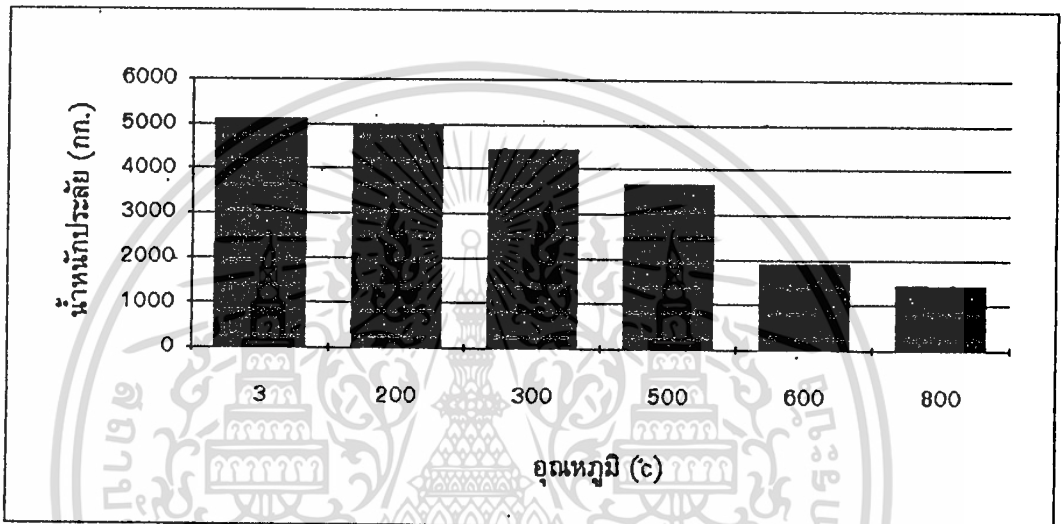
ตารางที่ 4.11

เปรียบเทียบการรับน้ำหนักประลัย(Pu)ของแผ่นพื้นทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ชุดที่	อุณหภูมิ (c)	หมายเลข แผ่นพื้นทดสอบ	น้ำหนักประลัย (kg)	ค่าเฉลี่ย (kg)	หมายเหตุ
1	ไม่เผา	1	4800		
		2	4200	4700	
		3	5100		
		4	1125	1275	ไม่มีคอนกรีตทับหน้า
		5	1425		
2	200	1/200	5000		
		2/200	5100	5000	
		3/200	4900		
3	300	1/300	4250		
		2/300	5400	4417	
		3/300	3600		
4	450	1/450	2100	1950	คอนกรีตทับหน้าและคอนกรีตอัดแรง แยกออกจากกัน
		2/450	1800		
		3/450	1200	1200	หลังถูกเผาแล้วไม่มีคอนกรีตทับหน้า
5	500	1/500	2850	3657	
		2/500	4500		
		3/500	1050	1050	หลังถูกเผาแล้วไม่มีคอนกรีตทับหน้า
6	600	1/600	1900	1900	คอนกรีตทับหน้าและคอนกรีตอัดแรง แยกออกจากกัน
		2/600	675	675	หลังถูกเผาแล้วไม่มีคอนกรีตทับหน้า
7	800	1/800	1425	1425	
		2/800	90	90	หลังถูกเผาแล้วไม่มีคอนกรีตทับหน้า

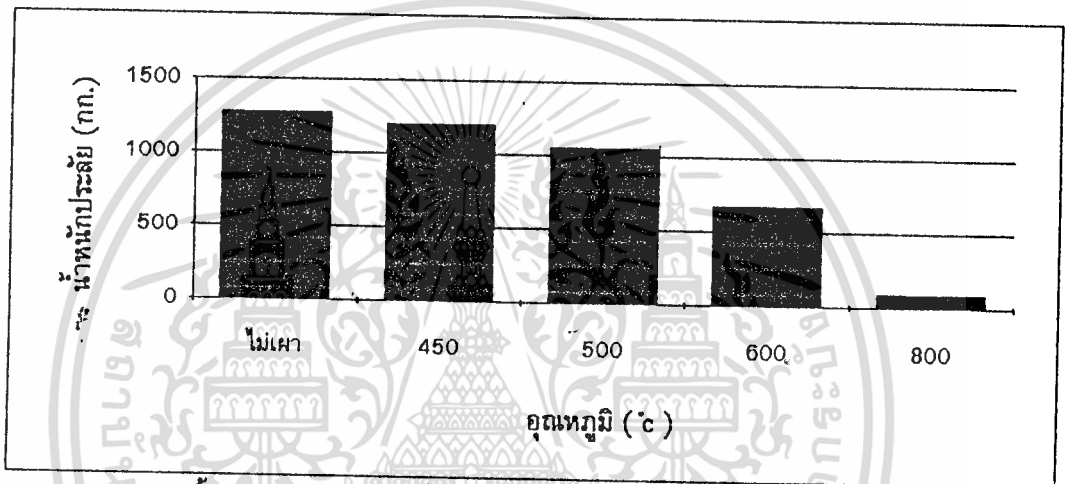
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 4.5  
แสดงการรับน้ำหนักประลัยของแผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ



- หมายเหตุ 1. แผ่นพื้นที่ทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 450°c แล้วสูญเสียคอนกรีตทับหน้า  
2. 3 หมายถึงแผ่นพื้นที่ทดสอบหมายเลข 3

**กราฟรูปที่ 4.6**  
**แสดงการรับน้ำหนักประลัยของแผ่นพื้นทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ**  
**(แผ่นพื้นทดสอบหลังถูกเผาแล้วสูญเสียคอนกรีตทับหน้า)**



หมายเหตุ แผ่นพื้นทดสอบหลังถูกเผาที่อุณหภูมิ 200°C และ 300°C ไม่สูญเสียแล้วคอนกรีตทับหน้า

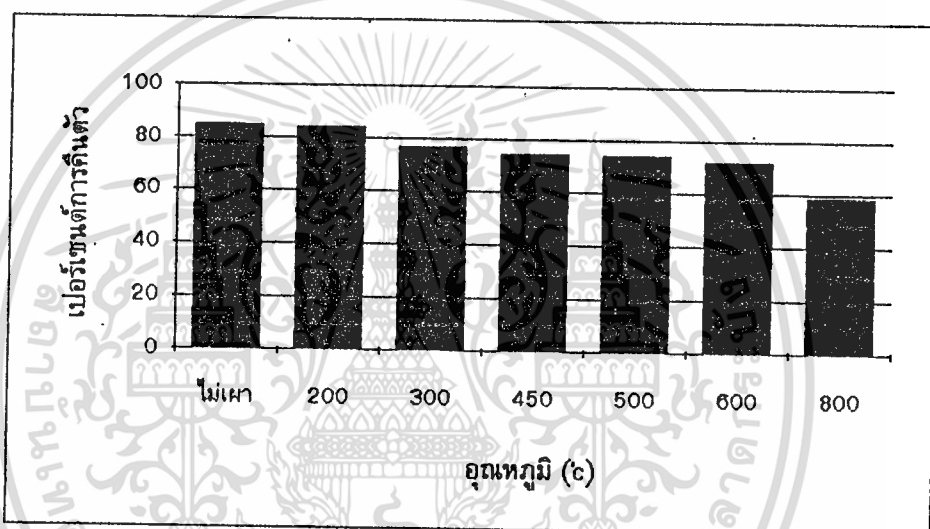
## ตารางที่ 4.12

เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การคืนตัวของแผ่นพื้นทดสอบหลังจากเอาน้ำหนักกระทำออก

อุณหภูมิ (°C)	หมายเลข แผ่นพื้นทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การคืนตัว	ค่าเฉลี่ยการคืนตัว	หมายเหตุ
ไม่เผา	1	84.76	84.73	
	2	85.32		
	3	84.1		
	4	88.64	88.64	ไม่มีคอนกรีตทับหน้า
	5	88.64		
200	1/200	84.1	84.16	
	2/200	84.53		
	3/200	83.85		
300	1/300	81.36	76.82	
	2/300	71.82		
	3/300	77.27		
450	1/450	72.73	74.32	คอนกรีตทับหน้าและแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง แยกตัวออกจากกัน
	2/450	75.91		
	3/450	87.27		
500	1/500	71.18	74	
	2/500	76.82		
	3/500	47.73		
600	1/600	72.18	72.18	คอนกรีตทับหน้าและแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง แยกตัวออกจากกัน
	2/600	68.64		
800	1/800	58.18	58.18	
	2/800	27.27		

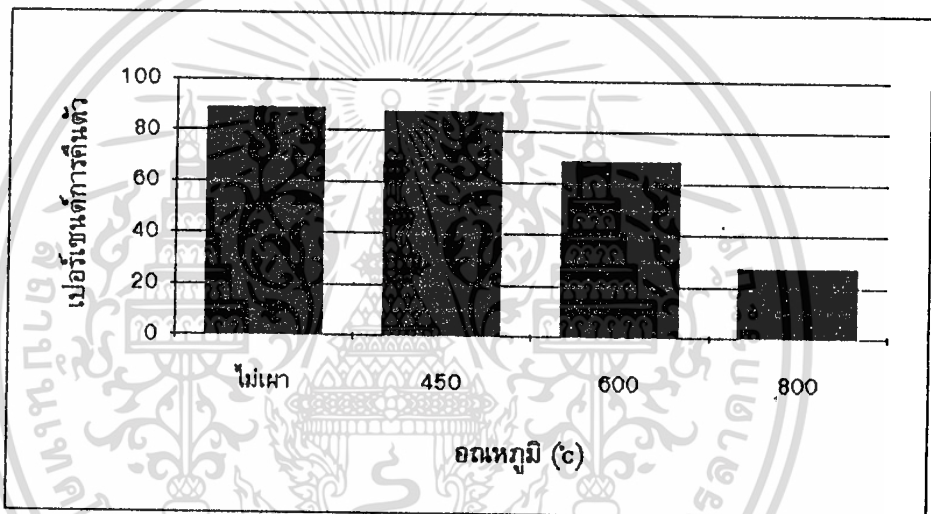
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.7  
แสดงเปอร์เซ็นต์การคืนตัวของแผ่นพื้นที่ทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8  
แสดงเปอร์เซ็นต์การคืนตัวของแม่พิมพ์ทดสอบ  
(แม่พิมพ์ทดสอบหลังถูกเผาแล้วสูญเสียคอนกรีตทับหน้า)

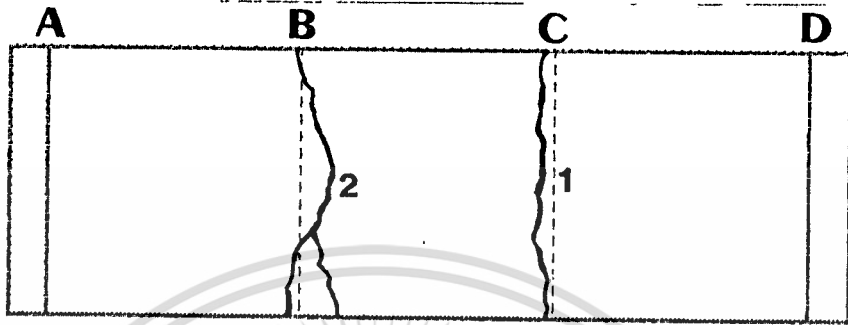


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

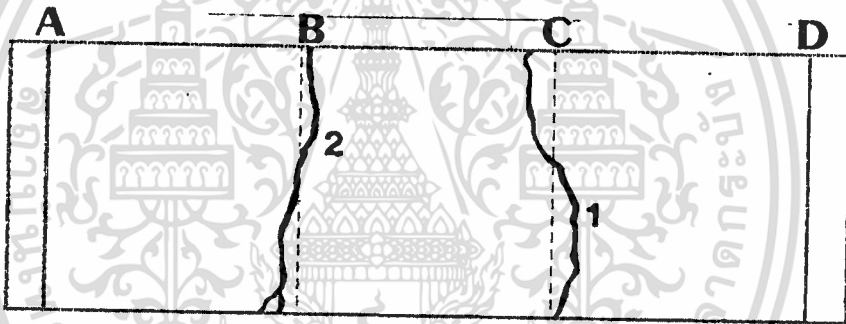
รูปที่ 4.9ก

แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่เฝ้าหลังการรับกำลังดัด

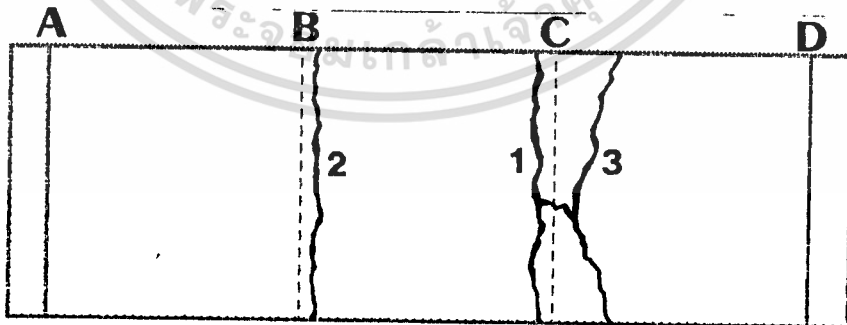
หมายเลข 1



หมายเลข 2



หมายเลข 3



หมายเหตุ เส้น A และ D หมายถึง เส้นที่วางอยู่บนจุดรองรับ (support)

เส้น B และ C หมายถึง เส้นที่รับน้ำหนักกระทำ

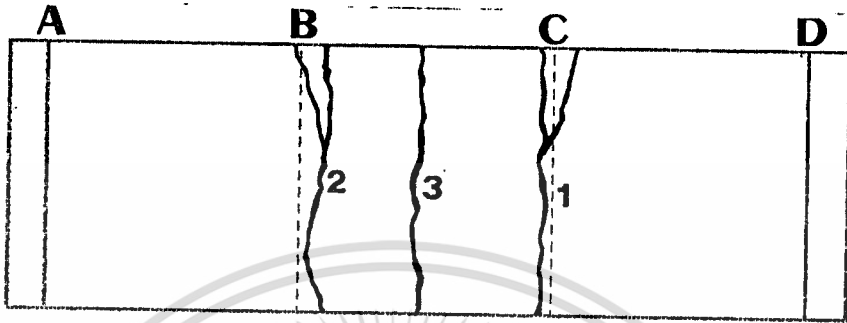
หมายเลข 1, 2, 3 แสดงลำดับการเกิดของรอยแตกร้าวตามลำดับที่ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

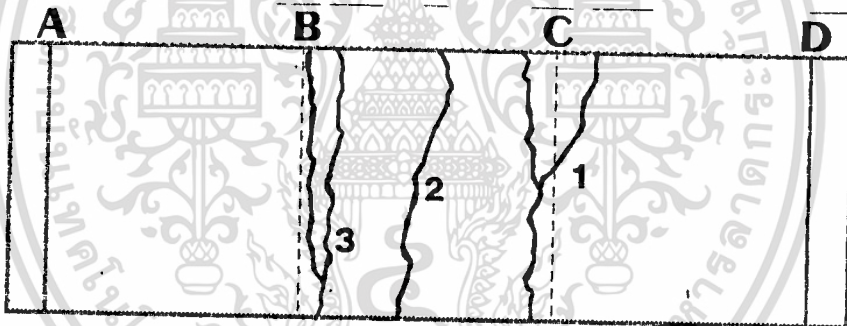
รูปที่ 4.9 ข

แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่เฝ้าหลังการรับกำลังค้ำ

หมายเลข 4



หมายเลข 5



หมายเหตุ เส้น A และ D หมายถึง เส้นที่วางอยู่บนจุดรองรับ (support)

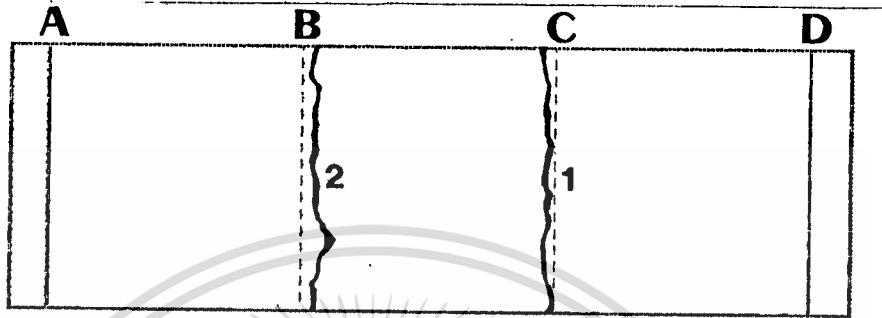
เส้น B และ C หมายถึง เส้นที่รับน้ำหนักกระทำ

หมายเลข 1, 2, 3 แสดงลำดับการเกิดของรอยแตกร้าวตามลำดับที่ 1, 2, 3

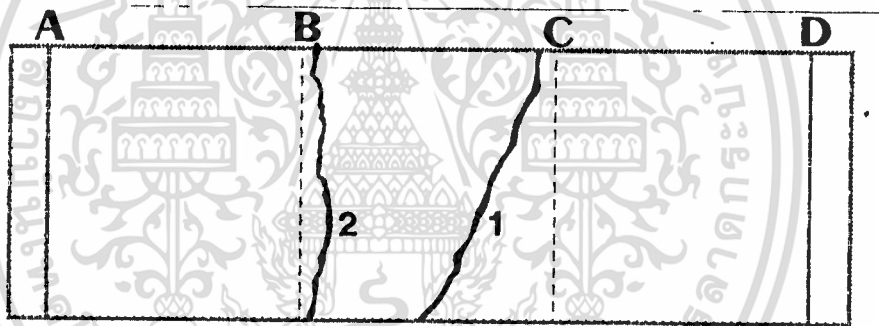
รูปที่ 4.10

แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นพื้นทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 200 °c หลังการรับกำลังดัด

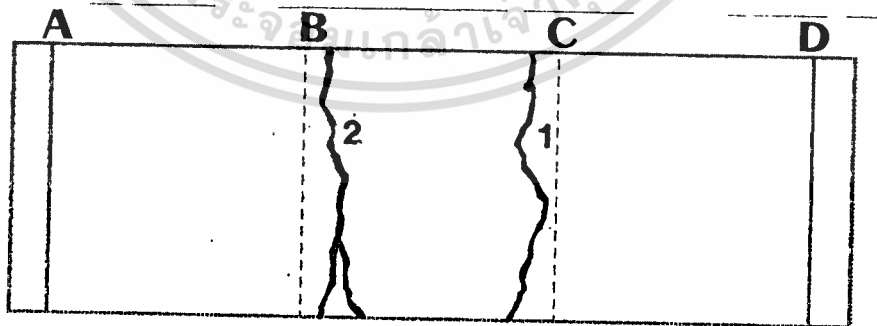
หมายเลข 1/200



หมายเลข 2/200



หมายเลข 3/200



หมายเหตุ เส้น A และ D หมายถึง เส้นที่วางอยู่บนจุดรองรับ (support)

เส้น B และ C หมายถึง เส้นที่รับน้ำหนักกระทำ

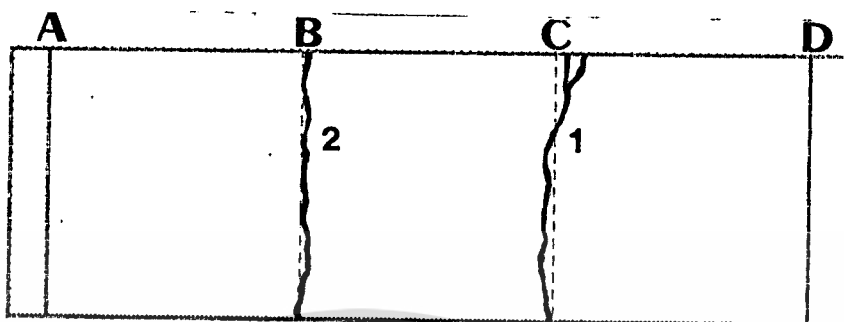
หมายเลข 1, 2 แสดงลำดับการเกิดของรอยแตกร้าวตามลำดับที่ 1, 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

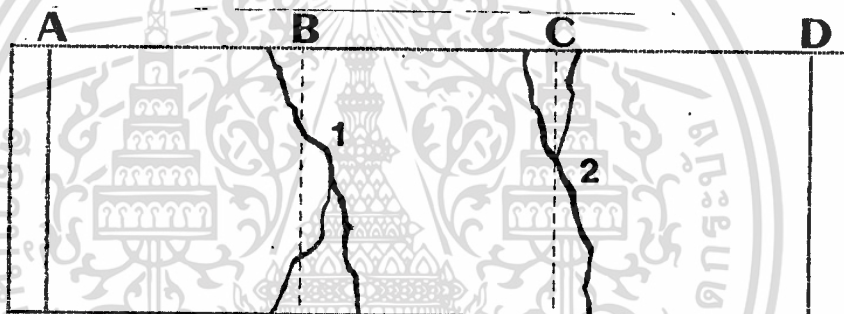
รูปที่ 4.11

แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นที่ทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 300 °c หลังการรับกำลังค้ำ

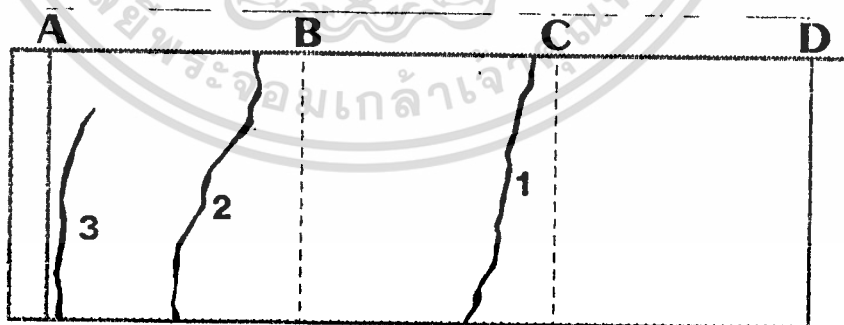
หมายเลข 1/300



หมายเลข 2/300



หมายเลข 3/300



หมายเหตุ เส้น A และ D หมายถึง เส้นที่วางอยู่บนจุดรองรับ (support)

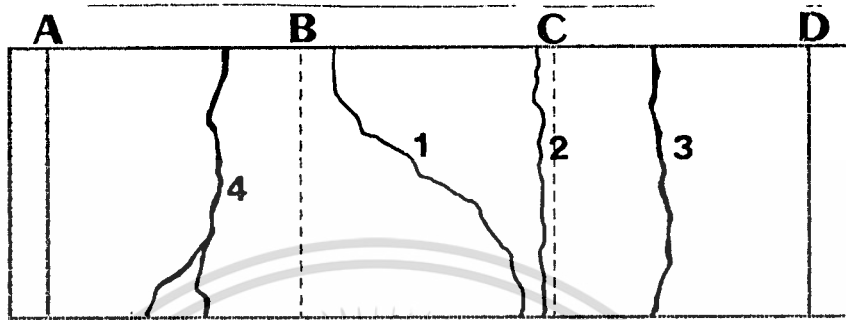
เส้น B และ C หมายถึง เส้นที่รับน้ำหนักกระทำ

หมายเลข 1, 2, 3 แสดงลำดับการเกิดของรอยแตกร้าวตามลำดับที่ 1, 2, 3

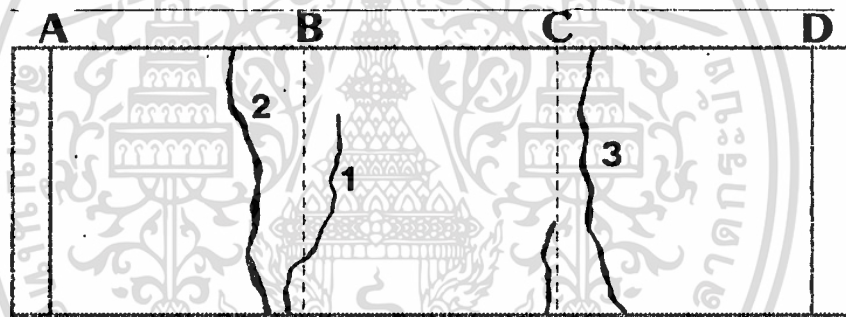
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12

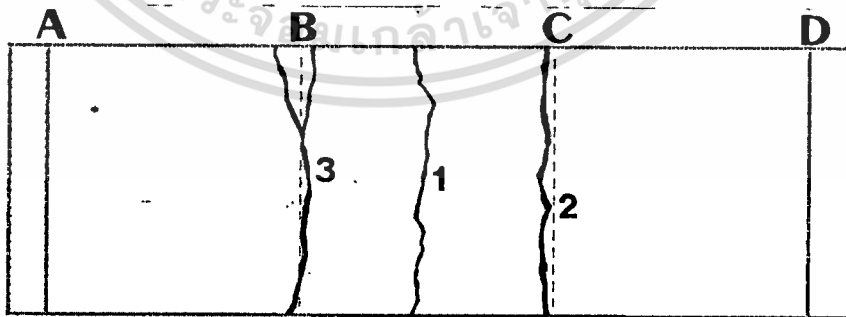
แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นพื้นทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 450 °c หลังการรับกำลังตัด  
หมายเลข 1/450



หมายเลข 2/450



หมายเลข 3/450



หมายเหตุ เส้น A และ D หมายถึง เส้นที่วางอยู่บนจุดรองรับ (support)

เส้น B และ C หมายถึง เส้นที่รับน้ำหนักกระทำ

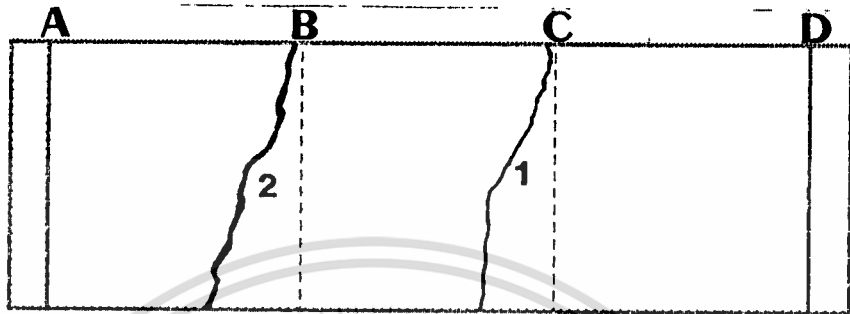
หมายเลข 1, 2, 3, 4 แสดงลำดับการเกิดของรอยแตกร้าวตามลำดับที่ 1, 2, 3, 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

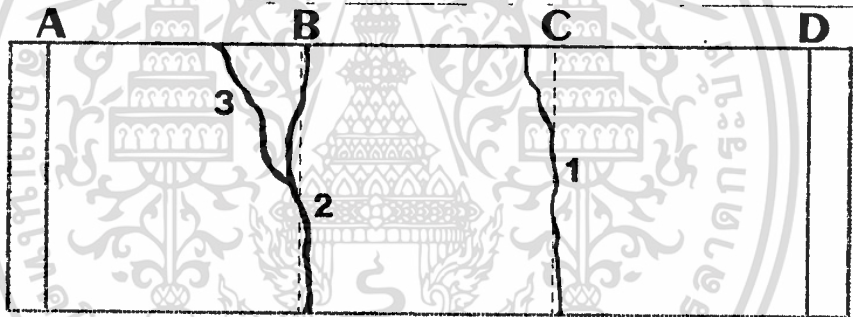
รูปที่ 4.13

แสดงรอยแตกร้าวทางค้ำล่างของแผ่นพื้นทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 c หลังการรับกำลังดัด

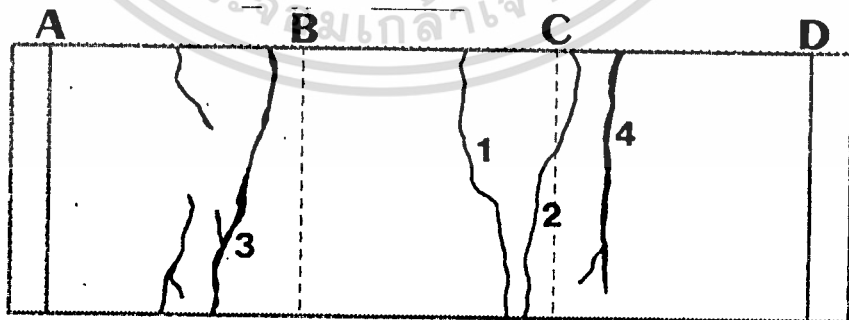
หมายเลข 1/500



หมายเลข 2/500



หมายเลข 3/500



หมายเหตุ เส้น A และ D หมายถึง เส้นที่วางอยู่บนจุดรองรับ (support)

เส้น B และ C หมายถึง เส้นที่รับน้ำหนักกระทำ

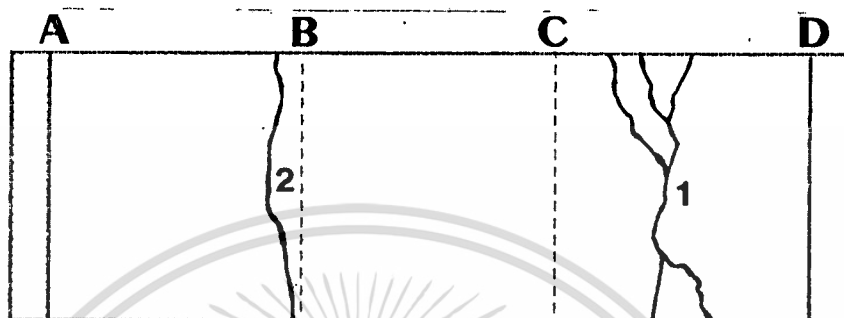
หมายเลข 1, 2, 3, 4 แสดงลำดับการเกิดของรอยแตกร้าวตามลำดับที่ 1, 2, 3, 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

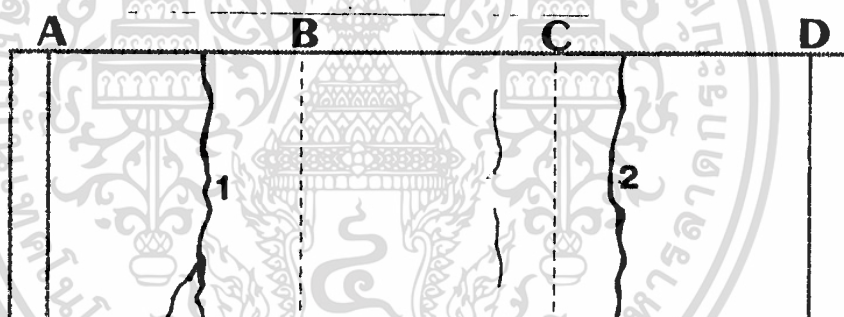
รูปที่ 4.14

แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นพื้นทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 800 °c หลังการรับกำลังคด

หมายเลข 1/600



หมายเลข 2/600



หมายเหตุ เส้น A และ D หมายถึง เส้นที่วางอยู่บนจุดรองรับ(support)

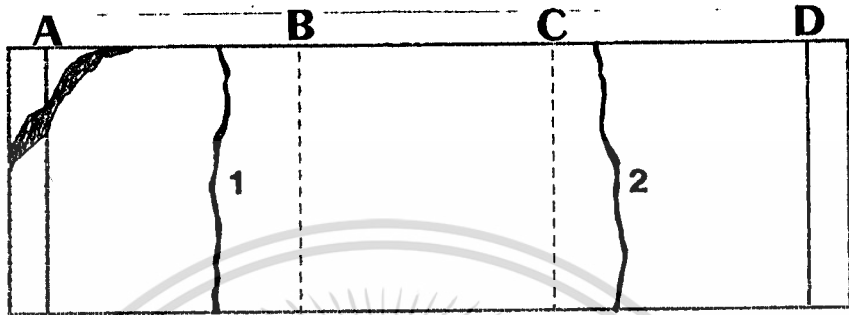
เส้น B และ C หมายถึง เส้นที่รับน้ำหนักกระทำ

หมายเลข 1,2 แสดงลำดับการเกิดของรอยแตกร้าวตามลำดับที่ 1,2

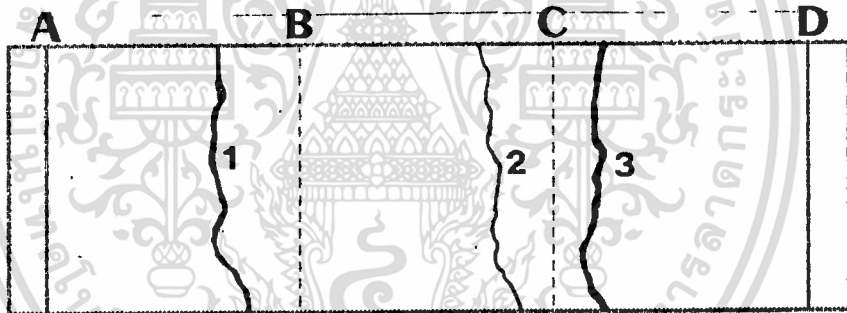
รูปที่ 4.15

แสดงรอยแตกร้าวทางด้านล่างของแผ่นพื้นทดสอบที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 800 °c หลังการรับกำลังดัด

หมายเลข 1/800



หมายเลข 2/800



หมายเหตุ เส้น A และ D หมายถึง เส้นที่วางอยู่บนจุดรองรับ(support)

เส้น B และ C หมายถึง เส้นที่รับน้ำหนักกระทำ

หมายเลข 1,2,3 แสดงลำดับการเกิดของรอยแตกร้าวตามลำดับที่ 1,2,3

## บทที่ 5 การวิเคราะห์

### 5.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดประสิทธิผลกับอุณหภูมิในการเผาผ่านพื้นที่ทดสอบ

การสูญเสียการอัดแรงมีหลายสาเหตุตามที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.1.7 ในส่วนนี้จะวิเคราะห์แรงอัดประสิทธิผลหลังการสูญเสียการอัดแรงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตและลวดอัดแรง

การหดตัวของคอนกรีตและลวดอัดแรง " เป็นสาเหตุหนึ่งของการสูญเสียแรงอัด " ( สันนิษฐาน 2530:343 ) จากสมการ ( T.Y.LIN 1981:91 )

$$\Delta f_u = E_u * \delta_u \dots (5.1)$$

$$\Delta F = \Delta f_u * A_u \dots (5.2)$$

โดย

$$\Delta f_u = \text{หน่วยแรงอัดที่สูญเสียในลวดอัดแรง ( กก./ซม.}^2 \text{)}$$

$$E_u = \text{โมดูลัสยืดหยุ่นของลวด} = 2.04 * 10^6 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\delta_u = \frac{\Delta L}{L} = \text{หน่วยการหดตัว}$$

$$\Delta F = \text{แรงอัดที่สูญเสียในลวดอัดแรง ( กก.)}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง ( ซม.}^2 \text{)}$$

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ถึง 4.8 คำนวณหาหน่วยการหดตัวเฉลี่ยของลวดอัดแรง (  $\delta_u$  ) ได้ผลดังตารางที่ 5.1

## ตารางที่ 5.1

แสดงค่าหน่วยการหดตัวของลวดอัดแรงหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (c)	หน่วยการหดตัวของลวดอัดแรง ( $\delta_u$ )
200	0.0002
300	0.0004
450	0.0019
500	0.0022
600	0.0024
800	0.0027

จากตารางที่ 5.1 หน่วยการหดตัวของลวดอัดแรงจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นที่ทดสอบมากขึ้น

จากสูตร แรงอัดประสิทธิภาพเริ่มต้น  $F_u = 0.8F_t$  (ส้น 2530:346)

$$= 0.8 * 1540 * 6$$

$$= 7392 \text{ กก.}$$

จากตารางที่ 5.1 กับสมการที่ 5.1 และ 5.2 ค่าแรงแรงอัดที่สูญเสียไปของลวดอัดแรงและแรงอัดประสิทธิภาพหลังการสูญเสียแรงอัดได้ผลดังตารางที่ 5.2

## ตารางที่ 5.2

แสดงแรงอัดที่สูญเสียและแรงอัดประสิทธิผลหลังการสูญเสียแรงอัดของลวดอัดแรง  
ในแผ่นพื้นทดสอบหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (c)	แรงอัดที่สูญเสีย (กก.)	แรงอัดประสิทธิผลหลังการสูญเสียแรงอัด (กก.)
200	308	7084
300	615	6777
450	2922	4470
500	3384	4008
600	3691	3701
800	4153	3239

จากตารางที่ 5.2 เมื่ออุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นทดสอบเพิ่มขึ้น แรงอัดประสิทธิผลหลังการสูญเสียแรงอัดจะลดลง ซึ่งอุณหภูมิในการเผาแปรผันโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่แผ่นพื้นทดสอบได้รับ ดังนั้นแสดงว่าแรงอัดประสิทธิผลแปรผกผันกับปริมาณความร้อนที่แผ่นพื้นได้รับ แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$F_u \propto \frac{1}{Q}$$

เมื่อ  $F_u$  = แรงอัดประสิทธิผล  
 $Q$  = ปริมาณความร้อนที่แผ่นพื้นทดสอบได้รับ

การสูญเสียแรงอัดประสิทธิผลทำให้ความสามารถในการรับกำลังดัดของแผ่นพื้นทดสอบลดลง ดังนั้นจึงต้องพิจารณาว่า เมื่อแผ่นพื้นทดสอบรับน้ำหนักจรตามข้อกำหนดของผู้ออกแบบคือ 500 กิโลกรัม/ตารางเมตร หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของแผ่นพื้นทดสอบจะเกินกว่าค่าหน่วยแรงตามมาตรฐานของ ว.ส.ท.หรือไม่

สูตรการคำนวณหาหน่วยแรงคือ ( T.Y.LIN 1981:135 )

$$f_c = \frac{F}{A} + \frac{Fey}{I} + \frac{My}{I} \quad \dots (5.3)$$

หน่วยแรงมาตรฐานของ ว.ส.ท. ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบหลังการเสื่อมสภาพของการอัดแรงทั้งหมดต้องไม่เกินค่าต่อไปนี้ ( สนน 2530:341 )

1) หน่วยแรงอัด <math> < 0.45f'\_c </math>

2) หน่วยแรงดึง <math> < 1.59\sqrt{f'\_c} </math>

ตัวอย่างการคำนวณหน่วยแรงที่ลุ่มหมึกการเผา 200 องศาเซลเซียส  
แรงอัดสุทธิในลวดอัดแรง 7084 กก.

$$\begin{aligned} \text{โมเมนต์ดัด } M &= \frac{Wl^2}{8} \\ &= \frac{500 \times 0.35 \times 0.8^2}{8} \\ &= 14 \text{ กก.-ม.} \\ &= 1400 \text{ กก.-ซม.} \end{aligned}$$

จาก  $f_c = \frac{F}{A} + \frac{Fey}{I} + \frac{My}{I}$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงที่ขอบบน} &= \frac{-7084}{35 \times 10} + \frac{7084 \times 2.1 \times 5.4}{2417} - \frac{1400 \times 5.4}{2417} \\ &= -20.24 + 33.24 - 3.13 \\ &= 9.87 \text{ กก./ซม.}^2 < 1.59\sqrt{f'_c} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{หน่วยแรงที่ขอบล่าง} &= \frac{-7084}{35*10} - \frac{7084*2.1*4.6}{2417} + \frac{1400*4.6}{2417} \\
 &= -20.24 - 28.3 + 2.66 \\
 &= -45.89 \text{ kg/cm}^2 < 0.45f'_c
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 5.3

แสดงหน่วยแรงที่หน้าตัดของแผ่นพื้นทดสอบหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิในการเผา ( C )	หน่วยแรง ( กก./ซม. <sup>2</sup> )	
	ขอบบน	ขอบล่าง
ไม่เผา	+10.43	-48.00
200	+9.87	-45.89
300	+8.09	-39.27
450	+5.07	-27.98
500	+4.22	-24.81
600	+3.66	-22.70
800	+2.82	-19.54

หมายเหตุ + หมายถึงหน่วยแรงดึงของคอนกรีต

- หมายถึงหน่วยแรงอัดของคอนกรีต

จากตารางที่ 5.3 ค่าหน่วยแรงอัดและหน่วยแรงดึงของคอนกรีต ที่เกิดขึ้นไม่เกินค่ามาตรฐาน ว.ส.ท.ที่กำหนดไว้คือ

$$1) \text{ แรงดึง} = 1.59\sqrt{f'_c} = 1.59*\sqrt{170} = 20.73 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$2) \text{ แรงอัด} = 0.45f'_c = 0.45*350 = 157.5 \text{ กก./ซม.}^2$$

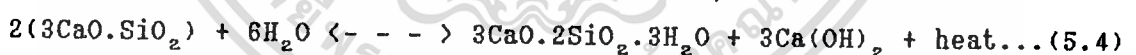
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นทดสอบเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ เพราะช่วงความยาว (span) ของแผ่นพื้นทดสอบมีค่าน้อย

## 5.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตกับการสูญเสียน้ำในแผ่นพื้นทดสอบ

จากกราฟที่ 4.1 เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของการสูญเสียน้ำในของแผ่นพื้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของการเผาสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของการสูญเสียน้ำหนักจะสูงขึ้น แสดงว่าการสูญเสียน้ำในแผ่นพื้นทดสอบจะมากขึ้น

ปริมาณน้ำในคอนกรีตแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนที่ไม่ได้ใช้ในการทำปฏิกิริยาแทรกอยู่ตามโพรงในคอนกรีตเรียกปริมาณน้ำในส่วนนี้ว่า Free Water ส่วนที่สองคือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเรียกว่า Combined Water เมื่อคอนกรีตถูกไฟไหม้ Free Water จะระเหิดไปก่อนในช่วงอุณหภูมิประมาณ 100-400 องศาเซลเซียส ต่อจากนั้นจะเกิดการสูญเสีย Combined Water ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงอุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส การสูญเสีย Combined Water ในคอนกรีตจะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของไฮเดรชัน สมการของปฏิกิริยาไฮเดรชันแสดงไว้ดังนี้ (ภาคภูมิ 2534:75)



เมื่อแผ่นพื้นคอนกรีตถูกเผาที่อุณหภูมิ 200 และ 300 องศาเซลเซียส น้ำที่สูญเสียไปส่วนใหญ่เป็น Free Water ดังนั้นการรับกำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้เผา ส่วนแผ่นพื้นคอนกรีตที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส น้ำที่สูญเสียไปเป็น Free Water และ Combined Water ยิ่งอุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น Combined Water ยิ่งสูญเสียมากขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดมากขึ้น ดังนั้นการรับกำลังอัดของคอนกรีตจึงลดลงมาก ซึ่งศาสตราจารย์ ดร.วินิต ท่อวิจิต ได้เขียนถึงความแข็งแรงของคอนกรีตกับปฏิกิริยาไฮเดรชันไว้ว่า " ความแข็งแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของซีเมนต์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยและคุณภาพของซีเมนต์เบลล์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ( Water-cement Ratio ) ที่ใช้ในส่วนผสมซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เรียกว่า ไฮเดรชัน ( Hydration )" (2529:2)

5.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับค่าการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางของแผ่นพื้นทดสอบ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นทดสอบ เมื่อน้ำหนักกระทำเป็นแบบ Third Point เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.)

$$\Delta = \frac{23PL^3}{648EI} \dots (5.5)$$

- เมื่อ
- $\Delta$  = ระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นทดสอบ
  - P = น้ำหนักกระทำ
  - L = ช่วงความยาวสุทธิ (span)
  - E = โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต
  - I = โมเมนต์อินเนอร์เซีย

จากสมการ (5.3)

$$\Delta = \frac{23PL^3}{648EI}$$

$$P = \frac{648EI\Delta}{23L^3}$$

$$P = K\Delta$$

เมื่อ

$$K = \frac{648EI}{23L^3}$$

$$P \propto \Delta$$

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวจึงเป็นเชิงเส้น

พิจารณากราฟที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นทดสอบที่สูญเสียคอนกรีตกับหน้าและไม่สูญเสียคอนกรีตกับหน้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากลักษณะของเส้นกราฟจะพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่น

ตัวเป็นเส้นตรงจนกระทั่งถึงจุด a ซึ่งเป็นจุดที่แผ่นพื้นทดสอบเริ่มเกิดการแตกร้าวที่บริเวณด้านล่าง หลังจากเกิดการแตกร้าวความสัมพันธ์ของน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวไม่เป็นเส้นตรง อัตราการเพิ่มของแรงจะน้อยกว่าอัตราการเพิ่มของการแอ่นตัว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลการทดสอบเป็นไปตามความสัมพันธ์ที่ว่า  $P \propto \Delta$

พิจารณาค่าความชันของเส้นกราฟที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นทดสอบสูงขึ้น ค่าความชันของเส้นกราฟจะลดลง เมื่อลากเส้นขนานกับแกนของน้ำหนักกระทำภายในช่วงที่ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะการแอ่นตัวเป็นเส้นตรง จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นทดสอบสูงขึ้นน้ำหนักกระทำจะมีค่าลดลง และอุณหภูมิแปรผันโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่แผ่นพื้นทดสอบได้รับ ดังนั้นน้ำหนักกระทำแปรผกผันกับปริมาณความร้อนที่ได้รับ แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$P \propto \frac{1}{T}$$

$$T \propto Q$$

$$P \propto \frac{1}{Q}$$

จะได้

5.4 วิเคราะห์สาเหตุที่แผ่นพื้นทดสอบรับน้ำหนักกระทำได้ลดลง เมื่อแผ่นพื้นทดสอบถูกเผาแล้วเกิดการระเบิดแยกออกจากกันของคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง หลังการเผาแผ่นพื้นทดสอบที่อุณหภูมิ 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส มีแผ่นพื้นทดสอบเกิดการระเบิดและแยกออกจากกันระหว่างคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง จากกราฟรูปที่ 4.4 ปรากฏว่าแผ่นพื้นทดสอบที่เกิดการแตกตัวออกจากกัน ความสามารถรับน้ำหนักกระทำจะลดลงมากกว่าแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่เกิดการระเบิดแยกออกจากกัน

สาเหตุที่แผ่นพื้นทดสอบรับน้ำหนักกระทำได้ลดลง เมื่อเกิดการระเบิดแยกออกจากกันสามารถวิเคราะห์ได้สองสาเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการอัดแรงของแผ่นพื้นทดสอบ

ในสภาพปกติแผ่นพื้นทดสอบที่หนา 10 ซม. จะมีแรงอัดของลวดอัดแรงซึ่งกระทำเชิงศูนย์จากแนวแกนศูนย์ถ่วง ทำให้เกิดหน่วยแรงภายในก่อนการใช้งาน โดยเกิดหน่วยแรงดึงที่ขอบบนของคอนกรีตด้านบน และเกิดหน่วยแรงอัดที่ขอบล่างของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง เมื่อมีน้ำหนักภายนอกกระทำ ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัดขึ้นซึ่งจะถูกต้านทานโดยหน่วยแรงภายในก่อนการใช้งาน ทำให้แผ่นพื้นทดสอบรับน้ำหนักกระทำได้มาก แต่เมื่อแผ่นพื้นทดสอบแยกออกจากกันเป็นสองส่วน คือ เป็นแผ่นคอนกรีตด้านบนกับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงซึ่งหนาแผ่นละ 5 ซม. แนวแกนศูนย์ถ่วงของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงจะอยู่ที่ระดับกึ่งกลางพื้นหรือที่ระดับเดียวกับลวดอัดแรง ทำให้แรงอัดในลวดไม่เกิดการเชิงศูนย์ หน่วยแรงภายในก่อนการใช้งานของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงจึงมีเฉพาะหน่วยแรงอัดของลวดอัดแรง ซึ่งต้านทานหน่วยแรงที่เกิดจากแรงกระทำภายนอกได้น้อยกว่า จึงทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักกระทำลดลง

2) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดหน้าตัดแผ่นพื้นทดสอบ

หน้าตัดของแผ่นพื้นทดสอบจะเปลี่ยนแปลงไปคือ จากเดิมหนา 10 ซม. เมื่อแยกออกจากกันจะเหลือความหนา 5 ซม. สองแผ่น ทดลองคำนวณโดยใช้สูตรค่าหน่วยแรงภายในของคอนกรีตเสริมเหล็ก

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

- ปกติแผ่นพื้นทดสอบหนา  $h = 10$  ซม.  
กว้าง  $= b$  ซม.  
ดังนั้น  $c = h/2$  ซม.  
ค่าหน่วยแรงภายใน  $\sigma_1 = \frac{Mh/2}{bh^3/12}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_1 = \frac{6M}{bh^2} \dots\dots (5.6)$$

- เมื่อแผ่นพื้นทดสอบหนา = 5 = h/2 ซม. สองแผ่น

โมเมนต์  $M_1 = M/2$

กว้าง = b ซม.

ดังนั้น c = h/4 ซม.

ค่าหน่วยแรงภายใน 
$$e = \frac{M_1 h/4}{b(h/2)^3/12}$$

$$\sigma_2 = \frac{12M}{bh^2} \dots\dots (5.7)$$

จากผลการคำนวณในสมการที่ 5.8 และ 5.7 ถ้ากำหนดให้ค่าหน่วยแรงภายในของแผ่นพื้นทดสอบที่หนา 10 ซม. และหนา 5 ซม. มีค่าเท่ากัน จะเห็นได้ว่า แผ่นพื้นทดสอบที่หนา 10 ซม. จะสามารถรับโมเมนต์ได้เป็นสองเท่าของแผ่นพื้นทดสอบที่หนา 5 ซม. ดังนั้นเมื่อแผ่นทดสอบแยกออกจากกันเป็นสองส่วน ความสามารถในการรับน้ำหนักกระทำจึงลดลง

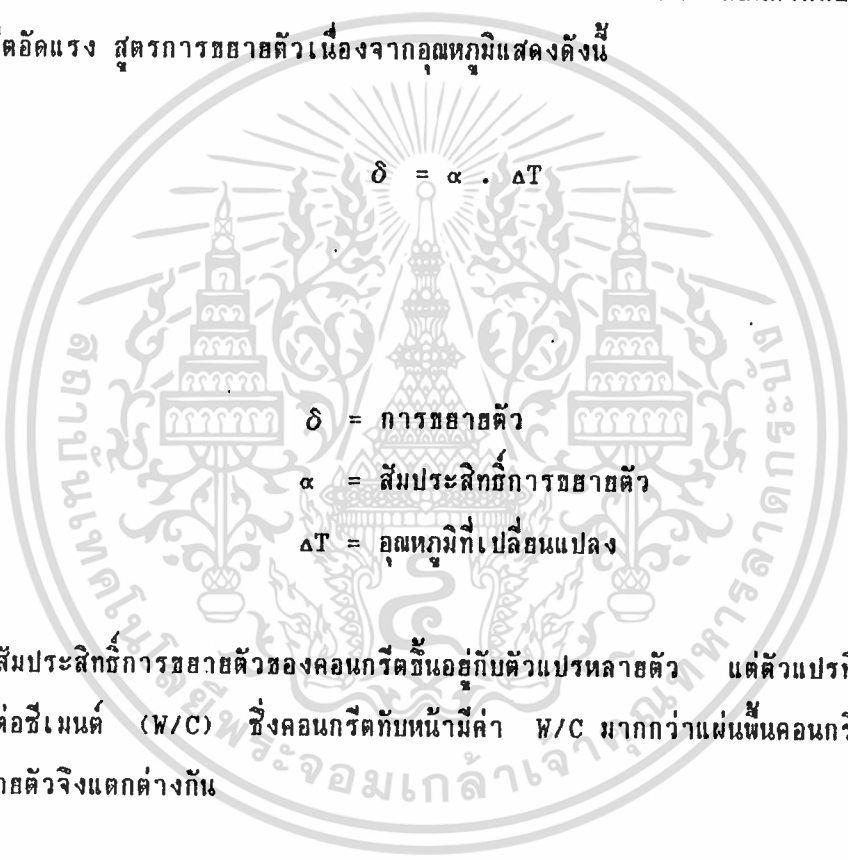
5.5 วิเคราะห์สาเหตุการระเบิดและการแยกตัวระหว่างคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง หลังการเผาที่อุณหภูมิ 450, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส แผ่นพื้นทดสอบเกิดการระเบิดและการแยกตัวระหว่างคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง สาเหตุการระเบิดเกิดจาก 2 สาเหตุ คือ

1. คอนกรีตอัดตัวเนื่องจากแผ่นพื้นทดสอบมีความหนาเมื่อถูกความร้อนผิวชั้นนอกของคอนกรีตจะร้อนกว่าผิวชั้นใน ทำให้เกิดการขยายตัวมากกว่า แต่การขยายตัวนี้จะถูกต้านทานและยึดรั้งไว้โดยผิวชั้นในที่เย็นกว่า ทำให้มีแรงอัดที่ผิวชั้นนอกของแผ่นพื้นทดสอบ ถ้าแรงอัดที่เกิดขึ้นสูงกว่าค่าก่า

ดังสูงสุดของคอนกรีต จะทำให้ผิวชั้นนอกของแผ่นพื้นทดสอบเกิดการระเบิดออกมาได้

2. แรงดันไอน้ำภายในคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตเป็นของผสมที่มีน้ำอยู่ด้วย ดังนั้นเมื่อแผ่นพื้นทดสอบถูกไฟไหม้ไอน้ำที่ผิวนอกบางส่วนจะระเหยออกมา และมีบางส่วนถูกไล่เข้าไปภายในผิวนอกที่สูญเสียน้ำจะแห้งและเปราะ และเป็นตัวกั้นไม่ให้ไอน้ำภายในระเหยออกมา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไอน้ำภายในแผ่นพื้นทดสอบก็มากขึ้น ทำให้ดันเนื้อคอนกรีตภายนอกระเบิดออกได้

การแยกตัวระหว่างคอนกรีตกับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง เกิดจากอัตราการขยายตัวที่แตกต่างกันจึงทำให้เกิดแรงเฉือน ซึ่งไปทำลายแรงยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับหน้า กับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง สูตรการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิแสดงดังนี้



$$\delta = \alpha \cdot \Delta T$$

$\delta$  = การขยายตัว

$\alpha$  = สัมประสิทธิ์การขยายตัว

$\Delta T$  = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว แต่ตัวแปรที่สำคัญ คืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ซึ่งคอนกรีตกับหน้ามีค่า W/C มากกว่าแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง ดังนั้นการขยายตัวจึงแตกต่างกัน

5.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำสูงสุดกับปริมาณความร้อนที่แผ่นพื้นทดสอบได้รับ

จากกราฟที่ 4.5 พิจารณาการรับน้ำหนักกระทำสูงสุดของแผ่นพื้นทดสอบหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของการเผาสูงขึ้น การรับน้ำหนักกระทำสูงสุดจะลดลง และจากการวิเคราะห์มาแล้วหัวข้อ 5.3 ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำสูงสุดกับปริมาณความร้อนที่แผ่นพื้นทดสอบได้รับดังนี้

$$P \propto \frac{1}{Q}$$

สาเหตุที่ทำให้การรับน้ำหนักกระทำสูงสุดลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นทดสอบสูงขึ้นคือ

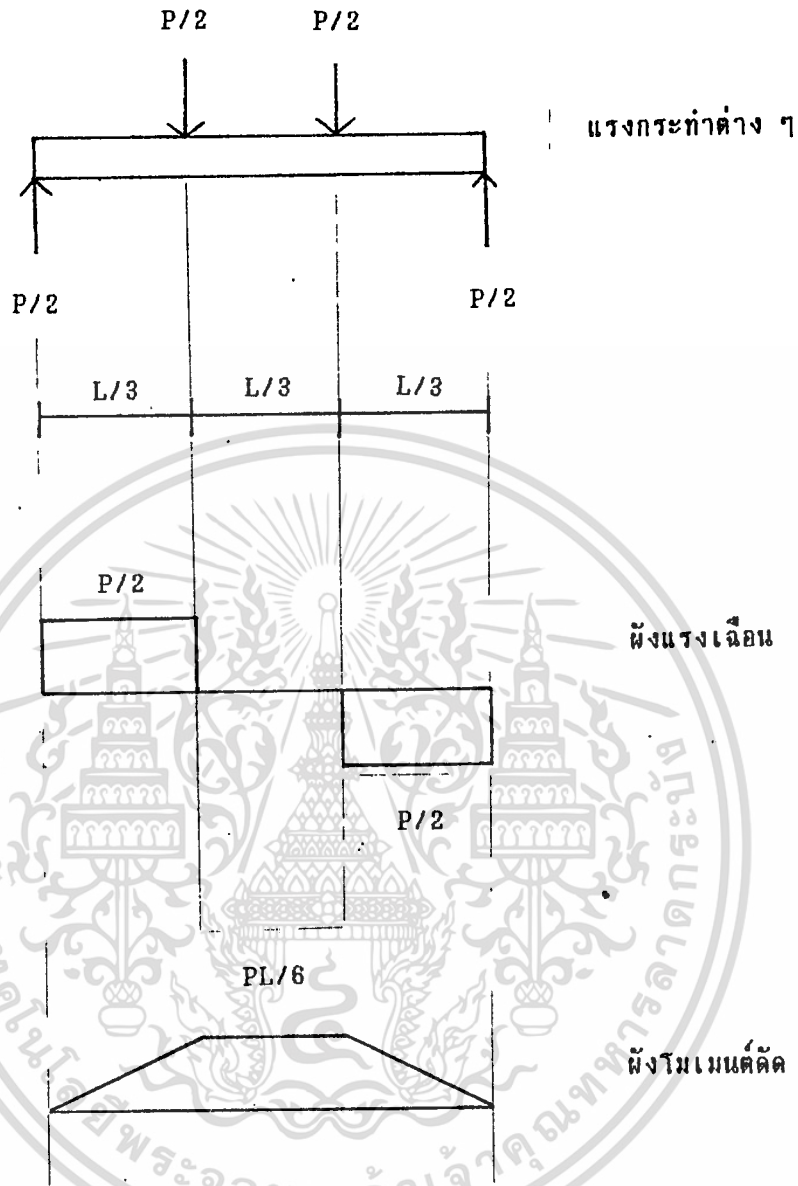
- 1) การลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตเนื่องจากการสูญเสียน้ำ
- 2) การสูญเสียแรงอัดสุทธิในลวดอัดแรงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตและลวดอัดแรง
- 3) การระเบิดแยกออกจากกันของคอนกรีตที่หน้ากับแม่พิมพ์คอนกรีตอัดแรง

#### 5.7 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การคืนตัวกับอุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นทดสอบ

จากกราฟที่ 4.7 และ 4.8 พิจารณาเปอร์เซ็นต์การคืนตัวของแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่สูญเสียคอนกรีตที่หน้าและสูญเสียคอนกรีตที่หน้า หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การคืนตัวของแผ่นพื้นทดสอบมีค่าลดลง การที่เปอร์เซ็นต์การคืนตัวมีค่าลดลงมีสาเหตุมาจากการสูญเสียแรงอัดประสิทธิผลของลวดอัดแรง ทั้งนี้เพราะโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงมีคุณสมบัติในการคืนตัวได้มากกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากลวดอัดแรงถูกคั้งให้อยู่ในสภาพที่มีความเค้นดึง จึงพยายามที่จะลดความเค้นดึงโดยการหดตัวกลับ ทำให้โครงสร้างมีการคืนตัวได้ดี ดังนั้นถ้าเกิดการสูญเสียแรงอัดประสิทธิผลจะทำให้ความสามารถในการหดตัวลดลง จึงเป็นสาเหตุให้เปอร์เซ็นต์การคืนตัวของแผ่นพื้นทดสอบลดลง

#### 5.8 วิเคราะห์สาเหตุการหักทลายของแผ่นพื้นทดสอบต่อการรับกำลังอัด หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการทดสอบการรับกำลังอัดของแผ่นพื้นทดสอบโดยน้ำหนักกระทำเป็นแบบ Third Point รูปผังแรงเฉือนและผังโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



จากรูปที่ 4.9ก, 4.9ข, 4.10 และ 4.11 ลักษณะของรอยแตกจะเกิดขึ้นภายในช่วง B-C ทั้งนี้เพราะแผ่นพื้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้เป็นแผ่นพื้นที่มีเสริมเหล็กน้อยกว่าสมคูลย์ ทำให้เหล็กเสริมจะถูกดึงจนถึงค่าหน่วยแรงประลัยก่อนที่คอนกรีตจะถึงจุดประลัย ลักษณะของรอยแตกร้าวจึงเกิดที่ด้านล่างของแผ่นพื้นคอนกรีตในช่วงที่มีโมเมนต์สูงสุด

รูปที่ 4.12, 4.13, 4.14 และ 4.15 รอยแตกร้าวเกิดขึ้นในช่วง A-B และ C-D ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าแรงเฉือนสูงสุด สาเหตุที่เกิดรอยแตกร้าวเช่นนี้ เพราะเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น ค่ารับกำลังอัดของคอนกรีตจึงลดลงมากจนไม่สามารถรับค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงเกิดรอยแตกร้าวในช่วงที่มีแรงเฉือนสูงสุดก่อนที่จะเกิดในช่วงที่มีโมเมนต์คดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุป

แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนที่ใช้ในการทดสอบเมื่อได้รับความร้อนจากเพลิงไหม้ จะส่งผลกระทบต่อดังนี้

1. การรับน้ำหนักแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนลดลงเนื่องจาก
  - 1.1 แรงอัดประสิทธิภาพของลวดอัดแรงลดลงและแปรผกผันโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากเพลิงไหม้
  - 1.2 ความเค้นอัดของคอนกรีตลดลงและแปรผกผันโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากเพลิงไหม้
 ดังนั้นความสามารถในการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนแปรผกผันโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากเพลิงไหม้
2. อัตราการคืบตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนลดลงเนื่องจากแรงอัดประสิทธิภาพของลวดอัดแรงลดลงและอัตราการคืบตัวแปรผกผันโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากเพลิงไหม้
3. สาเหตุการพังทลายของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนเปลี่ยนแปลงไปกล่าวคือ เมื่อปริมาณความร้อนที่ได้รับน้อย สาเหตุการพังทลายเนื่องจากไม่สามารถรับโมเมนต์ดัดได้ แต่เมื่อปริมาณความร้อนที่ได้รับเพิ่มมากขึ้น สาเหตุของการพังทลายเนื่องจากไม่สามารถรับรับแรงเฉือนได้
4. ความร้อนจากเพลิงไหม้สามารถทำให้เกิดการระเบิดของคอนกรีตที่หน้าและแยกตัวออกจากแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงซึ่งมีผลทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักกระทำของแผ่นพื้นทดสอบลดลง

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. โครงการงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับทางการศึกษา และทดสอบพฤติกรรมการรับกำลังคัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนหลังถูกเพลิงไหม้โดยใช้แผ่นพื้นขนาดหน้าตัด 35.0\*5.0 เซนติเมตร ความยาว 90 เซนติเมตรเพียงอย่างเดียว ดังนั้นสิ่งที่ควรจะศึกษาต่อไปก็คือใช้แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดคิงลวดก่อนที่มีขนาดความยาวและหน้าตัดต่าง ๆ

2. การเร่งอุณหภูมิในการเผาแผ่นพื้นทดสอบ ควรเร่งให้เป็นไปตามกราฟมาตรฐานของ ASTM E119 เพื่อให้ได้ใกล้เคียงกับสภาพการเกิดเพลิงไหม้จริง ซึ่งจะทำให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง

3. การระเบิดของคอนกรีตที่หน้าและแยกออกจากแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงเป็นสาเหตุที่ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักกระทำของแผ่นพื้นทดสอบลดลง ดังนั้นจึงควรที่จะศึกษาหาวิธีที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการระเบิดและแยกตัวออกจากกันของคอนกรีตที่หน้าและ แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง ในขณะที่เกิดเพลิงไหม้

4. ในสภาพความเป็นจริงเมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นในอาคารแล้ว จะทำการดับเพลิงโดยใช้น้ำฉีด ซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะศึกษาถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงเมื่อได้รับความร้อนแล้วถูกลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วโดยใช้น้ำราด

## บรรณานุกรม

## หนังสือ

1. ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย, การออกแบบคอนกรีตอัดแรง ( กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฉีกส์ เซ็นเตอร์ ), หน้า 7-14, 39-62, 117-118.
2. สนั่น เจริญเผ่า, และวินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเสริมเหล็ก, พิมพ์ครั้งที่ 7 ( กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร, 2530 ), หน้า 337-356.
3. วินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 7. ( กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร, 2529 ), หน้า 72-82.
4. ผศ.อาภรณ์ ดวงเลขา, สถิติพื้นฐาน ( กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ), 124-129.

## TEXT BOOK

1. N.KRISHNA RAJU , " Prestressed Concrete ", McGraw - Hill ,Inc., New Delhi, 1981. 172
2. NARBAY KHACHATURIAN, and GERMAN GURFINKEL, " Prestressed Concrete ", McGraw - Hill, Inc., New York, 1969.
3. JAMES R.LIBBY , and ASSOCIATES, " Modren Prestressed Concrete", Third Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New Yoyk, 1984.
4. T.Y.LIN, and NED H.BURNS, " Design of Prestressed Concret Structure", Third Edition, John Wiley and Sons ,Inc., New York , 1981.

(ต่อ)

## โครงการพิเศษ

1. ภาคภูมิ พิณใจเบญจพล, และภาณุชัย พิบูลวานิช, พฤติกรรมกรับกำลังของคอนกรีตเมื่อถูกเพลิงไหม้ ณ ระดับอนุกรมมิไฟปานกลาง, (โครงการพิเศษ สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535), หน้า 2-5, 7-35, 75-76.

## วารสาร

1. บริษัท พันสำเร็จ พีซีเอ็ม จำกัด, "PCM PRESTRESSED FLOOR SYSTEM", (19 มกราคม 2530), หน้า 1-4.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนผสมคอนกรีตสำหรับคอนกรีตทับหน้า

การคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตตามวิธีการของสถาบันคอนกรีตของอเมริกา มีวิธีการคำนวณดังนี้

- 1) จากตารางที่ 1 ใช้ค่าความยุบตัว 8-10 ซม.
- 2) กำหนดให้ขนาดโตสุดของหินเป็น 25 มม.
- 3) ใช้คอนกรีตที่ไม่มีสารกักฟองอากาศและจากตารางที่ 2 เมื่อขนาดโตสุดของหินเป็น 25 มม. ค่าความยุบตัว 8-10 ซม. จะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ 195 ลิตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต
- 4) จากตารางที่ 3 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลังอัดเฉลี่ย 140 กก./ตร.ซม.จะได้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ = 0.82
- 5) ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ =  $195/0.82 = 237.80$  กก./ลบ.เมตรของคอนกรีต
- 6) หาปริมาณหิน จากตารางที่ 4 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายเท่ากับ 2.6 และขนาดโตสุดของหินเป็น 25 มม. จะได้ปริมาณทรายของหินในสภาพแห้งและอัดแน่นเท่ากับ 0.69 ลบ.เมตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต

$$\text{หน่วยน้ำหนักของหิน} = 1,544 \text{ กก./ลบ.เมตร}$$

$$\text{ดังนั้นน้ำหนักของหินที่ใช้} = 0.69 * 1,544 = 1065.36 \text{ กก./ลบ.เมตรของคอนกรีต}$$

## 7. หาปริมาณของทราย

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม :

$$\text{ปริมาตรของน้ำ} = 195/1,000 = 0.195 \text{ ม}^3$$

$$\text{ปริมาตรของซีเมนต์} = 237.80/(3.33*1,000) = 0.071 \text{ ม}^3$$

$$\text{ปริมาตรของหิน} = 1065.36/(2.66*1,000) = 0.401 \text{ ม}^3$$

$$\text{ปริมาตรของฟองอากาศ} = 0.015*1 = 0.015 \text{ ม}^3$$

$$\text{ดังนั้นปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย} = 0.682 \text{ ม}^3$$

$$\text{ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้} = 1 - 0.682 = 0.318 \text{ ม}^3$$

$$\text{น้ำหนักของทรายแห้ง} = 0.318 * 2.445 * 1,000 = 777.510 \text{ กก.}$$

ละน้ําคอนกรีต 1 ลบ.เมตร ต้องใช้		
น้ำ	195.00	กก.
ซีเมนต์	237.80	กก.
ทราย	777.51	กก.
หิน	1065.36	กก.

คํงน้ํน อัดรํส่วนโดษน้ํนห้ก ซีเมนต์ : ทรํย : หิน = 1 : 3.27 : 4.48  
 อัดรํส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.82

หมยเหตุ ความถ่วงจําเพาะของซีเมนต์ 3.33  
 ความถ่วงจําเพาะของหิน 2.68  
 ความถ่วงจําเพาะของทรํยหยาบ 2.445  
 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ประเภทสามชนิดแข็งตัวเร็ว  
 หินที่เป็นหินขนาด 25 มม.  
 ทรํยหยาบเป็นทรํยที่ล่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16

## ตารางที่ 1

ค่าความขุดตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ(คร.วินิต 2529:74)

ประเภทของงาน	ค่าความขุดตัว(ซม.)	
	ค่าสูงสุด*	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้เท้า	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5.0	2.0

\* อาจเพิ่มได้อีก 2 ซม. สำหรับการทำคอนกรีตให้แน่นตัวโดยวิธีการอื่น ที่นอกเหนือไปจากการใช้เครื่องสั่น(Vibrator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2

ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยวบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ (คร. วินิต 2529:75-76)

ค่าความยวบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม <sup>3</sup> สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	2"	3"	6"
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ								
3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	180	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ								
3-5	180	175	165	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

หมายเหตุ ปริมาณน้ำที่แสดงนี้เป็นปริมาณสูงสุดสำหรับหินที่รูปร่างดี ช่วยให้การทำงานและลดต้นทุน  
 ติดตามข้อกำหนด ถ้าจำเป็นต้องเพิ่มน้ำในส่วนผสมจะต้องเพิ่มปูนซีเมนต์ เพื่อให้อัตรา  
 ส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์คงที่ นอกจากผลการทดลองแสดงว่าคอนกรีตมีกำลังสูงเกิน  
 ต้องการ

ถ้าส่วนผสมต้องการน้ำน้อยกว่ากำหนด ยังไม่ควรลดปริมาณปูนซีเมนต์นอกจากผลการ

ทดลองแสดงว่าคอนกรีตให้กำลังสูงกว่าต้องการ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 3

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ดร. วินิต 2529:77)

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน (กก./ซม <sup>2</sup> )	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน  
 $\phi$  15\*30 ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าใน  
 ตารางประมาณ 20 %

## ตารางที่ 4

ปริมาณของวัสดุผสมทาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต (คร.วินิต 2529:77)

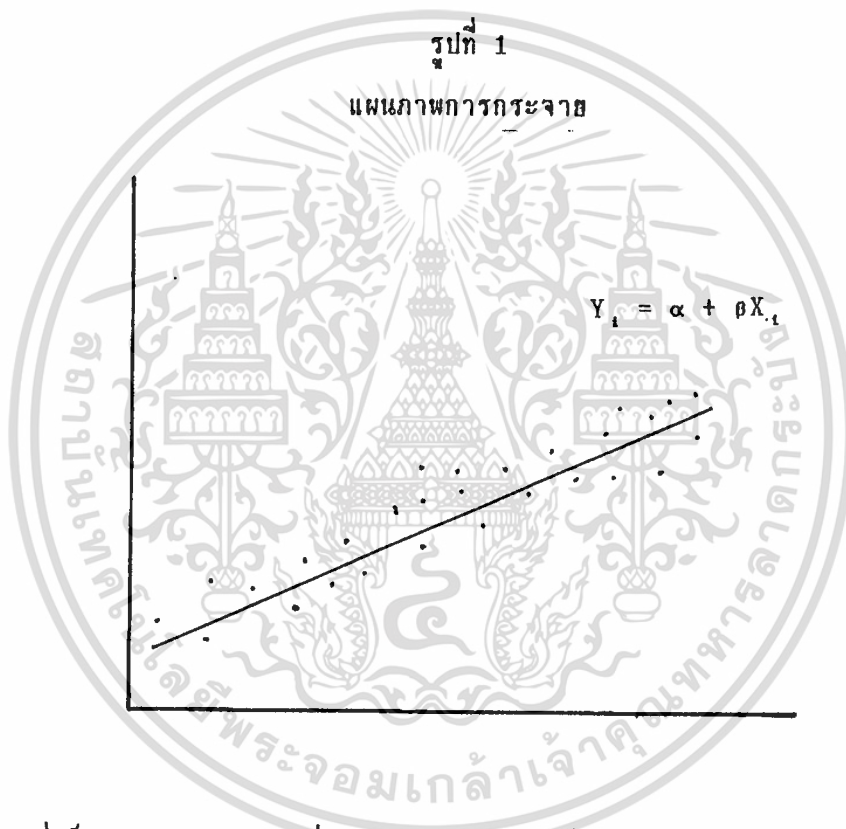
ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาณของวัสดุผสมทาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่างๆกัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8" (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2" (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2" (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้นี้ เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่านี้เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

## ภาคผนวก ข

## รูปแบบ ( Model ) ของการถดถอยเชิงเส้น ( Linear Regression )

ลักษณะของสมการแบบถดถอยเชิงเส้น ( Linear Regression model ) ถ้าเราสร้างกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ได้จากการทดลองหรือการสังเกต จะได้กราฟเป็นจุดกระจายทั่วไปเรียกว่าแผนภาพกระจาย ( Scatter Diagram ) หรือแผนภาพจุด



การที่เป็นจุดกระจายโดยทั่วไป แสดงว่า  $Y$  ไม่เป็นสมการเชิงเส้นจึงมีความคลาดเคลื่อน ( Error ) เกิดขึ้น ซึ่งเราสามารถปรับให้เป็นสมการเชิงเส้นได้

การศึกษาถึงการถดถอยดังกล่าว จะมีการเก็บข้อมูล  $(X_i, Y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  เพื่อจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงและลักษณะความสัมพันธ์ต่อกันอันมีความคลาดเคลื่อนหรือ เกิดขึ้นเสมอ

ค่า ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนอาจกล่าวได้ว่าเป็นผลต่างระหว่าง  $y$  จากค่าสังเกตกับ  $y$  จากค่าถดถอย ทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่าง  $x$  และ  $y$  ไม่ได้เป็นเชิงเส้น จึงมี เกิดขึ้น เราจะปรับให้เป็นสมการเชิงเส้นโดยให้มี น้อยที่สุดด้วยวิธีการที่เรียกว่า " ระบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ( Least Square Method ) เส้นที่ปรับแล้วนี้เรียกว่าเส้นถดถอย ( Regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Linear ) มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงรูปสมการจะเป็น

$$Y_i = \alpha + \rho X_i$$

ซึ่งเป็นวิธีการปฏิบัติจริง ๆ จะใช้สมการประมาณค่า คือ

$$y = a + bx$$

ค่าคงที่ a และ b คำนวณได้จากสมการ

$$a = \frac{(\Sigma X)(\Sigma XY) - (\Sigma X^2)(\Sigma Y)}{(\Sigma X)^2 - n\Sigma X^2}$$

$$b = \frac{\Sigma Y - n \cdot a}{\Sigma X}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้