



การศึกษากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง  
ชนิดดึงลวดก่อนหลังการไหม้ไฟ  
Study of the bending moment of pre-tension  
slab after fire



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of the bending moment of pre-tension  
slab after fire



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

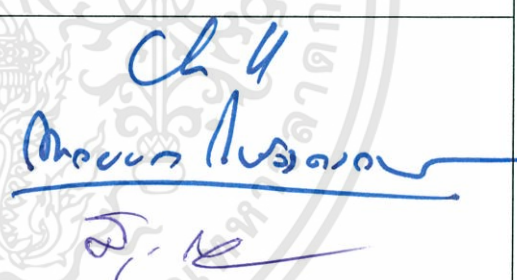
หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งลาด  
ก่อนหลังการไหม้ไฟ

นักศึกษา นายปานัสมิ มีเมือง รหัสประจำตัว 56010744  
นายพลวัฒน์ อัจจำปา รหัสประจำตัว 56010824  
นายเสฏฐวุฒิ สว่างดี รหัสประจำตัว 56011377

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชลิตา อุตะเกา

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ชลิตา อุตะเกา	
รศ.ดร. แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
รศ. สุพจน์ ศรีนิล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 19 เมษายน 2560 เวลา 10.00-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาชั้น 2 (ห้อง 202)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(รศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ ๒๑ พฤษภาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึง ลวดก่อนหลังการไหม้ไฟ

นายปาลันต์ มีเมือง รหัสประจำตัว 56010744  
นายพลวัฒน์ อัจจำปา รหัสประจำตัว 56010824  
นายเสกฐฐุฒิ สว่างดี รหัสประจำตัว 56011377  
ผศ.ดร. ชลิดา อุตะภา  
ปีการศึกษา 2559

## บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันอาคารในประเทศไทยมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์นิยมใช้ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงหรือพื้นสำเร็จรูปตัวอย่างเช่น อาคารที่พักอาศัย หอพัก อาคารพาณิชย์ ห้างสรรพสินค้า และโรงงานอุตสาหกรรม จากสถิติการเกิดอัคคีภัยในระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา มีการเกิดอัคคีภัยเฉลี่ยประมาณ 1,500 ครั้งต่อปี ซึ่งการเกิดอัคคีภัยอาจส่งผลกระทบต่อคอนกรีตและเหล็กเสริมในโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้ โครงการพิเศษนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงลวดก่อนหลังการไหม้ไฟในด้านของผลกระทบต่อกำลังรับแรงดัดและการแอ่นตัวของพื้นคอนกรีตอัดแรงหรือพื้นสำเร็จรูป โดยจะทำการทดสอบการเผาแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในสภาพการรับน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ ไม่รับน้ำหนักบรรทุก รับน้ำหนักบรรทุก 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และรับน้ำหนักบรรทุก 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เพื่อนำไปเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดและระยะการแอ่นตัว จากผลการทดสอบนำไปวิเคราะห์ว่าพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ผ่านการไหม้ไฟสามารถนำไปใช้ได้ต่อหรือไม่ และจะมีแนวทางในการปรับปรุงชิ้นส่วนหรืออาคารที่ถูกไฟไหม้อย่างไร

ผลการวิจัยพบว่าลักษณะทางกายภาพเช่น ความยาว ความกว้าง และความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงเปลี่ยนไปน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์จากเดิม ส่วนกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ไม่ทำการเผา คือ 4833.15 กิโลกรัมต่อเมตร แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ทำการเผาแต่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก 1965.68 กิโลกรัมต่อเมตร แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ทำการเผามีน้ำหนักบรรทุก 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร คือ 3936.15 กิโลกรัม\*เมตร แผ่นพื้นที่เผามีน้ำหนักบรรทุก 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร คือ 4604.03 กิโลกรัม\*เมตร จะสังเกตได้ว่าแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ทำการเผา ทั้ง 3 กลุ่ม มีกำลังรับแรงดัดน้อยกว่าแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ไม่ทำการเผา แต่แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ทำการเผาที่มีน้ำหนักบรรทุก 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สามารถรับแรงดัดได้มากกว่าแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงกลุ่มที่มีน้ำหนักบรรทุก 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงกลุ่มที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกตามลำดับ เพราะน้ำหนักบรรทุกนั้นจะทำให้เกิดความเค้นภายในซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นตัวหนองคอนกรีตไม่ให้เกิดรอยร้าวได้ ส่วนระยะแอนตัวมีค่ามากกว่าระยะแอนตัวที่ยอมให้ คือ L/360 (หรือ 0.3 mm.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Study of the bending moment of pre-tension slab after fire

Panat	Meemuang	Student ID. 56010744
Panlawat	Aumjumpa	Student ID. 56010824
Sedthawut	Sawangdee	Student ID. 56011377

Asst.Prof.Dr. Chalida U-tapao  
Academic Year 2016

## ABSTRACT

because in the present building in Thailand, more than 70 per cent more than commonly used pre-stressed concrete slab system or finishing slab. For example, residential homes, commercial buildings, Dormitory, department stores and Industry. The presence of fire in a period of 20 years, with an average of 1,500 fires per year, which the fire could affect the concrete and steel-reinforced concrete building structures in it. This special project has conducted a study on flexural strength of pre-stress concrete slabs after fire. In terms of impact on the flexural strength. Moment and Deflection of pre-stress concrete slab or finishing slab. The test burn pre-stress concrete slabs at a temperature of 600 degrees Celsius. In the load on 3 different types of no load, Load 150 kg per square meter, And Load of 200 kilograms per square meter. To calculate the flexural strength and deflection. The results of calculations to analyze the concrete floor through the fire can be used or not. And there are ways to improve components or building caught fire, however.

The research found that physical characteristics such as length, width and thickness of the pre-stress concrete slabs changing to less than 1 percent of the original. The flexural strength of the pre-stress concrete slabs that don't burned is 4833.15 kg \* m. Pre-stress concrete slabs burn, but no payload is 1965.68 kg \* m. Pre-stress concrete slabs that burned with a payload of 150 kilograms per square meter is 3936.15 kg \* m. Pre-stress concrete slabs that burned with a payload of 200 kilograms per square meter is 4604.03 kg \* m. It can be noted that the pre-stress concrete slabs burns all 3 groups flexural strength is less than pre-stress concrete

slabs that don't burn. But the pre-stress concrete slabs that burns with a payload of 200 kilograms per square meter. Bending over to the pre-stress concrete slabs with a payload of 150 kilograms per square meter. And Pre-stress concrete slabs with no payload, respectively. The payload will cause stress within which will delay the concrete to prevent cracks. The deflection is greater than the allowable deflection is  $L / 360$  (or 0.3 mm.).



## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ทางผู้จัดทำได้ดำเนินการอย่างมุ่งมั่น ตั้งใจ พร้อมด้วยความวิริยะอุตสาหะ จนกระทั่งโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งความสำเร็จนี้จะเกิดขึ้นมิได้ หากขาดคำแนะนำจากอาจารย์หลายๆท่าน

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ชลิตา อุตะภา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนโครงการพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้จัดหาแผ่นพื้นมาให้ผู้จัดทำใช้ทำการทดสอบรวมถึงเครื่องมืออื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการทดสอบ

ขอบคุณภาควิชาศิลปะอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้ผู้จัดทำใช้เตาเผาทำการทดสอบ ตลอดจนคำแนะนำในการใช้เตาเผา จนการทดสอบสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้คุณประโยชน์อันใดพึงได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแต่บิดามารดาและญาติผู้ใหญ่ที่กรุณาให้การอบรมเลี้ยงดูส่งเสริมสนับสนุนในด้านการศึกษา และเป็นกำลังใจให้เสมอมา ตลอดจนครูอาจารย์ที่ได้กรุณาให้ความรู้จนจบการศึกษาทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จของโครงการพิเศษนี้ ซึ่งไม่ได้กล่าวไว้ทุกท่านด้วย

นายปานัสม์	มีเมือง
นายพลวัฒน์	อำจำปา
นายเสฐฐวุฒิ	สว่างดี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 ปัญหางานวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา.....	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 คอนกรีตอัดแรง.....	5
2.3 ชนิดของเพลิงไหม้.....	22
2.4 มาตรฐานการทดสอบการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบอาคาร (มยผ.8201-51).....	26
2.5 ภูมิหลังงานวิจัยที่ผ่านมา (ภาคภูมิ 2534).....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการและการศึกษา.....	32
3.1 กล่าวนำ.....	32
3.2 รายละเอียดการดำเนินการทดสอบ.....	32
3.3วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ดำเนินการศึกษา.....	32
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ.....	33
3.5วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	37

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	38
4.1คุณสมบัติของพื้นคอนกรีตอัดแรงหลังเผาไหม้.....	38
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	62
บทที่5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	64
5.2 การนำไปใช้ประโยชน์.....	64
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ.....	65
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก.....	68



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การทดสอบการเผาแผ่นพื้นทดสอบที่อุณหภูมิและน้ำหนักกระทำต่างๆ.....	35
ตารางที่ 4.1 ขนาดของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 1 (ไม่ทำการเผา).....	38
ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่1.....	39
ตารางที่ 4.3 ขนาดของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 2 (ไม่มี Load).....	40
ตารางที่ 4.4 น้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่2.....	41
ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 2 (ไม่มี Load).....	42
ตารางที่ 4.6 ระยะทรุดตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 2 (ไม่มี Load).....	43
ตารางที่ 4.7 ขนาดของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 3 (Load 150 kg/m <sup>2</sup> ).....	44
ตารางที่ 4.8 น้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่2.....	45
ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 3 (Load 150 kg/m <sup>2</sup> ).....	46
ตารางที่ 4.10 ระยะทรุดตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 3 (Load 150 kg/m <sup>2</sup> ).....	47
ตารางที่ 4.11 ขนาดของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 4 (Load 200 kg/m <sup>2</sup> ).....	48
ตารางที่ 4.12 น้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่2.....	49
ตารางที่ 4.13 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 4 (Load 200 kg/m <sup>2</sup> ).....	50
ตารางที่ 4.14 ระยะทรุดตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 4 (Load 200 kg/m <sup>2</sup> ).....	51
ตารางที่ 4.15 Standard Temperature.....	52
ตารางที่ 4.16 การโก่งตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 1 (ไม่ทำการเผา).....	54
ตารางที่ 4.17 การโก่งตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 2 (ไม่มี Load).....	56
ตารางที่ 4.18 การโก่งตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 3 (Load 150 kg/m <sup>2</sup> ).....	58
ตารางที่ 4.19 การโก่งตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 4 (Load 200 kg/m <sup>2</sup> ).....	60

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปภาพที่ 2.1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีตของคานคอนกรีตอัดแรง.....	6
รูปภาพที่ 2.2 การใช้งานคอนกรีตอัดแรงของ P.H. Jackson.....	7
รูปภาพที่ 2.3 หน่วยการยึดตัวและหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรง.....	8
รูปภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการอัดแรงคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน.....	10
รูปภาพที่ 2.5 การกระจายของหน่วยแรงบนหน้าตัดคอนกรีต.....	12
รูปภาพที่ 2.6 แรงคู่ควบ C-T และแกนของโมเมนต์ jd ในคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป.....	15
รูปภาพที่ 2.7 แรงคู่ควบ C-T และแกนของโมเมนต์ Z ในคอนกรีตอัดแรง.....	16
รูปภาพที่ 2.8 แรงพุงของคานคอนกรีตอัดแรงที่มีแนวเหล็กเสริมแรงหักมุมตรงกึ่งกลางช่วงคาน.....	17
รูปภาพที่ 2.9 แรงพุงของคานคอนกรีตอัดแรงที่มีแนวเหล็กเสริมอัดแรงเป็นรูปโค้งพาลาโบล่า.....	19
รูปภาพที่ 2.10 แรงพุงและโมเมนต์ที่เกิดจากแนวเหล็กเสริมอัดแรงลักษณะต่างๆ.....	20
รูปภาพที่ 2.11 การเสียมลดของแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง.....	21
รูปภาพที่ 2.12 ลักษณะเพลิงไหม้จริงภายในห้องในช่วงเริ่มต้น.....	23
รูปภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเพลิงไหม้จริงภายในห้อง.....	24
รูปภาพที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนกับเวลาในรูปเส้นโค้งกำลังสอง.....	25
รูปภาพที่ 2.15 กราฟอุณหภูมิไฟมาตรฐาน.....	27
รูปภาพที่ 3.1 เตาเผาที่ใช้ในการทดสอบ.....	33
รูปภาพที่ 3.2 เครื่อง Universal Testing Machine.....	34
รูปภาพที่ 3.3 แสดงลักษณะการจัดวางแผ่นพื้นตัวอย่างในการเผา.....	35
รูปภาพที่ 3.4 การจัดตำแหน่งระยะต่างๆ ในการทดสอบการรับแรงดัด.....	36
รูปภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความกว้าง ความยาว ความหนา ของแผ่นพื้นชุดที่1.....	39
รูปภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความกว้าง ความยาว ความหนา ก่อนเผาและหลังเผา ของแผ่นพื้นชุดที่2.....	41
รูปภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาของพื้นกลุ่มที่2.....	43
รูปภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความกว้าง ความยาว ความหนา ก่อนเผาและหลังเผาของแผ่นพื้นชุดที่3.....	45
รูปภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาของพื้นกลุ่มที่.....	47
รูปภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความกว้าง ความยาว ความหนา ก่อนเผาและหลังเผาของแผ่นพื้นชุดที่4.....	49
รูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิในการเผาของพื้นกลุ่มที่4.....	51

## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิไฟไหม้ มาตรฐานกับอุณหภูมิที่ทดสอบจริง.....	53
รูปภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างLoadกับDeflection ของแผ่นพื้นกลุ่มที่ 1.....	55
รูปภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างLoadกับDeflection ของแผ่นพื้นกลุ่มที่ 2.....	57
รูปภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างLoadกับDeflection ของแผ่นพื้นกลุ่มที่ 3.....	59
รูปภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างLoadกับDeflection ของแผ่นพื้นกลุ่มที่ 4.....	61
รูปภาพที่ 4.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยของแผ่นพื้นกลุ่มต่างๆเมื่อเทียบกับ กลุ่มที่1.....	62



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อัคคีภัยนับเป็นสาธารณภัยที่ก่อให้เกิดความเสียหายด้านชีวิตและทรัพย์สินอย่างต่อเนื่องในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งการเกิดอัคคีภัยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโรงงานอาคาร บ้านเรือน โรงงาน สำนักงาน ที่อยู่อาศัย มีสาเหตุสำคัญ 2 ลักษณะใหญ่คือ สาเหตุของอัคคีภัยเกิดจากความตั้งใจเช่น การลอบวางเพลิง และ สาเหตุของอัคคีภัยเกิดจากความประมาทขาดความระมัดระวังหรืออุบัติเหตุ สำหรับความเสียหายของอาคารนั้นอาจมีความเสียหายจากโครงสร้างหลัก โครงสร้างรอง หรือวัสดุที่ไม่ใช่ตัวโครงสร้าง โดยความเสียหายของโครงสร้างเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ในการตัดสินใจวิธีการซ่อมแซมอาคารนั้นๆ อย่างไรก็ตามการซ่อมแซมอาคารยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ เช่น ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านกฎหมาย

อภิชาติชาย (2536) [1] ได้กล่าวว่า อัคคีภัยเป็นภัยที่ร้ายแรงที่สุดประการหนึ่งของประชาชนที่อยู่ในเขตเมือง เนื่องจากเมื่อเกิดอัคคีภัยขึ้นแล้วทำให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงแก่ผู้ประสบภัย นอกจากนี้ควันไฟและกาซพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ยังก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตของประชาชนอีกด้วย ซึ่งความเสียหายโดยตรงจากอัคคีภัยเป็นความเสียหายที่เกิดแก่ชีวิตมนุษย์และทรัพย์สินต่างๆ ซึ่งรวมถึงทรัพย์สินประเภททุน (Capital) ด้วย ความเสียหายโดยตรงจากอัคคีภัยนี้จะมี ความรุนแรงมากขึ้น หากวัตถุที่ถูกเพลิงไหม้เป็นวัตถุมีพิษ ดังกรณีเหตุอัคคีภัยในโกดังเก็บวัตถุมีพิษที่การทำเรือแห่งประเทศไทย คลองเตย กรุงเทพมหานครซึ่งจากเหตุการณ์ครั้งนั้น ทำให้บุคคลที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงเกิดอาการเจ็บป่วยซึ่งนอกจากนั้นการขจัดสารมีพิษที่ตกค้างจากอัคคีภัยยังมีผลต่อเนื่องกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ธัญวัฒน์ โปธิศิริ [2] ได้กล่าวถึง การออกแบบโรงงานเพื่อความปลอดภัยด้านอัคคีภัยอาศัยหลักการพื้นฐานเดียวกับการออกแบบโครงสร้างที่อุณหภูมิปรกติซึ่งพิจารณาความต้านทานของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่กระทำโดยเพิ่มผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิจากการเกิดเพลิงไหม้ที่มีต่อพฤติกรรมของชิ้นส่วนโครงสร้างอาคาร อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความรุนแรงของเพลิงไหม้ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างภายใต้อุณหภูมิที่สูงขึ้น การเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างรวมทั้งน้ำหนักบรรทุกที่กระทำด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องเข้าใจหลักการพื้นฐานรวมทั้งวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบโครงสร้างเพื่อลดความเสี่ยงจากการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินจากอัคคีภัย

## 1.2 ปัญหางานวิจัย

ปัจจุบันมีสิ่งก่อสร้างเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะ บ้าน คอนโด อาคารพาณิชย์ ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยในหลายพื้นที่ที่มีการก่อสร้าง บ้าน อาคาร คอนโด เพิ่มขึ้นมาก จนกลายเป็นชุมชนแออัดซึ่งมีอุบัติเหตุอย่างหนึ่งที่สามารถสร้างความเสียหายให้กับชุมชนเหล่านั้นคืออัคคีภัย ซึ่งความรุนแรงของอัคคีภัยนั้นขึ้นอยู่กับเวลาและประเภทของอาคาร เช่น อาคารที่เป็นที่พักอาศัยความรุนแรงจะน้อยกว่าอาคารที่เป็นสำนักงาน เพราะวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ตกแต่งภายในมีความแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อเกิดเพลิงไหม้โครงสร้างของอาคารย่อมได้รับความเสียหายรวมถึงโครงสร้างส่วนที่เป็นพื้นด้วย หลังจากเกิดเพลิงไหม้แล้วนั้นพื้นดังกล่าวจะมีกำลังรับน้ำหนักน้อยลงหรือไม่แล้วยังสามารถใช้งาน โดยที่มีความปลอดภัยอยู่หรือไม่

## 1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.3.1 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรงประเภทดิ่งลวดก่อนหลังจากถูกเพลิงไหม้

1.3.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของกำลังรับแรงดัดของพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรงประเภทดิ่งลวดก่อนหลังจากถูกเพลิงไหม้

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

โครงการเล่มนี้ได้ทำการทดลองศึกษาพฤติกรรมของแผ่นพื้นสำเร็จรูปหลังเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ โดยการนำแผ่นพื้นสำเร็จรูปไปเผาในเตาเผาด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ ทำให้ผลจากการศึกษาทดลองใช้ได้กับพื้นที่มีขนาดความยาว 1 เมตรเท่านั้น เนื่องจากพื้นที่มีขนาดต่างกันย่อมมีคุณสมบัติที่ต่างกัน

#### 1.4.1 ขนาดของแผ่นพื้น

ขนาดของแผ่นพื้นสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดสอบ ได้ทำการทดสอบเพียงขนาดเดียวคือ ขนาดหน้าตัด 35.0×5.0 ซม. ความยาว 1.00 ม. ซึ่งในงานก่อสร้างจริงจะมีความยาวอยู่ที่ 0.5-5.0 ม. ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ได้กับแผ่นพื้นที่มีความยาวอื่นๆได้ เนื่องจากแผ่นพื้นที่มีความยาวต่างกันย่อมมีคุณสมบัติที่ต่างกัน สาเหตุที่ทดสอบแผ่นพื้นขนาดเดียวเพราะเตาเผาและเครื่องกดทดสอบกำลังรับแรงตัด(UTM) มีข้อจำกัดในเรื่องของขนาด จึงทำให้สามารถทดสอบแผ่นพื้นได้ขนาดมากที่สุด 1.00 ม.

#### 1.4.2 ช่วงอุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดสอบคือ 600 องศาเซลเซียส (°C) ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุที่สามารถติดไฟได้ในอาคารเกิดการลุกไหม้ทั้งหมด

#### 1.4.3 ช่วงเวลาในการทดสอบ

เวลาที่ใช้ในการทดสอบ 2 ชั่วโมง แบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วง 0-1 ชั่วโมง เป็นช่วงที่มีการเพิ่มของอุณหภูมิในเตาเผาจากอุณหภูมิห้องไปจนถึง 600 องศาเซลเซียส (°C) และช่วง 1-2 ชั่วโมง เป็นช่วงที่อุณหภูมิในเตาเผามีสถานะคงที่คือ 600 องศาเซลเซียส (°C)

#### 1.4.4 น้ำหนักกระทำในขณะทำการเผา

น้ำหนักกระทำมี 2 ขนาด คือ 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

### 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

#### 1.5.1 ขั้นตอนการเผาแผ่นพื้นทดสอบ

1.5.1.1 แบ่งแผ่นพื้นเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 3 แผ่น วัดขนาดความยาว ความกว้าง ความหนา และชั่งน้ำหนักของแผ่นพื้น

1.5.1.2 แผ่นพื้นกลุ่มที่ไม่ทำการเผา ส่วนแผ่นพื้นกลุ่มที่ 2,3,4 ทำการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยแผ่นพื้นกลุ่มที่ 2 ไม่มีน้ำหนักกระทำและแผ่นพื้นกลุ่ม 3,4 มีน้ำหนักกระทำที่ 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยทำการเผาที่ละ 1 กลุ่มหรือ 3 แผ่น พร้อมจดบันทึกค่าเวลากับอุณหภูมิ เมื่อเผา

ครบ 2 ชั่วโมง จึงปิดเตาเผาแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อคายความร้อนแล้วเปิดเตาเผา

1.5.1.3 ทำการวัดขนาดความยาว ความกว้าง ความหนา และซึ้น้ำหนักของแผ่น  
พื้น หลังจากการเผา

1.5.2 ขั้นตอนการทดสอบกำลังดัดของแผ่นพื้นทดสอบ

1.5.2.1 หลังจากทีแผ่นพื้นเย็นตัวลงจากการเผา นำแผ่นพื้นทดสอบการรับกำลังดัด  
โดยใช้แรงกระทำเป็นแบบ 4 จุด มีระยะระหว่างจุดรองรับ (Support) 90 เซนติเมตร โดย  
แรงกระทำทั้งสองแรงห่างจากกึ่งกลางพื้น 15 เซนติเมตร

1.5.2.2 ติดตั้ง dial gauge ที่กึ่งกลางของแผ่นพื้น เพื่อใช้วัดระยะการแอ่นตัว

1.5.2.3 เริ่มทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักกระทำและวัดระยะการแอ่นตัว บันทึกค่า  
น้ำหนักกระทำเมื่อมีระยะแอ่นตัวเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, ... ,3.0 มิลลิเมตร เมื่อถึงระยะ 3.0  
มิลลิเมตร ให้บันทึกค่าน้ำหนักกระทำเมื่อระยะแอ่นตัวทุกๆ 1 มิลลิเมตร บันทึกจนกว่าแผ่น  
พื้นจะวิบัติ

1.5.2.4 สังเกตลักษณะการแตกร้าวที่เกิดขึ้น พร้อมบันทึกข้อมูล

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1.6.1 ได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงประเภท  
ดิ่งลวดก่อนหลังจากถูกเพลิงไหม้

1.6.2 ได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงประเภทดิ่ง  
ลวดก่อนหลังจากถูกเพลิงไหม้

1.6.3 เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจการใช้งานโครงสร้างหลังถูกเพลิงไหม้

## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 บทนำ

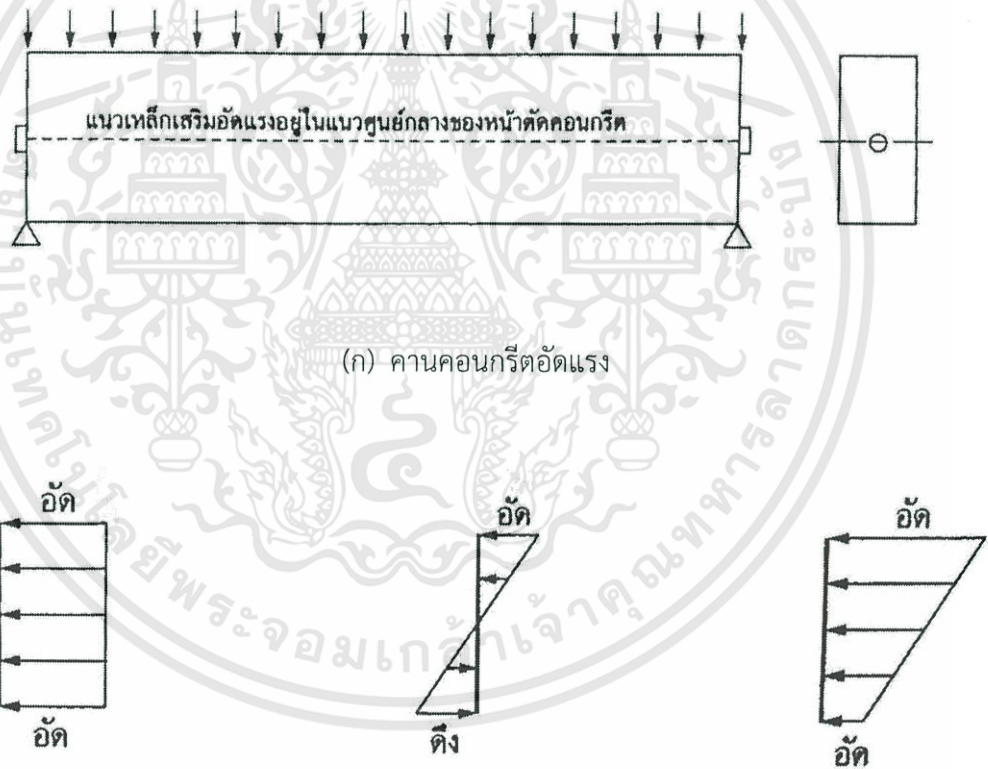
ในบทนี้จะกล่าวสรุปการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจากศึกษาวารสารต่างประเทศ วิทยานิพนธ์ มาตรฐานการทดสอบต่างๆและตำราต่างประเทศ ซึ่งได้มีนักวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาเกี่ยวกับ คอนกรีตอัดแรง และ การทดสอบการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบของอาคาร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน หลังการไหม้ไฟ

#### 2.2 คอนกรีตอัดแรง

##### 2.2.1 คอนกรีตอัดแรงคืออะไร

ดร.นเรศ พันธราธร[3] การอัดแรง (pre-stress) หมายถึง การให้ความเค้น (stress) แก่องค์อาคาร (member) แม้ขณะที่องค์อาคารนั้นยังไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างคอนกรีตเสริมเหล็กกับคอนกรีตอัดแรง คือ คอนกรีตเสริมเหล็กจะประกอบไปด้วยคอนกรีตและเหล็กเสริม โดยเพียงวางเหล็กเสริมในตำแหน่งที่ต้องการ แต่ในคอนกรีตอัดแรง เหล็กเสริมกับคอนกรีตจะอยู่ในสภาพความเค้นตั้งแต่แรก ทั้ง ๆ ที่ยังมีได้รับแรงกระทำจากภายนอก โดยเหล็กจะถูกดึงค้างไว้บนคอนกรีต ทำให้คอนกรีตอยู่ในสภาพความเค้นอัด ส่วนเหล็ก อยู่ในสภาพความเค้นดึง สภาพเช่นนี้ จะทำให้พฤติกรรมของเหล็กและคอนกรีตในการใช้งานดีขึ้น เหล็กจะสามารถใช้งานในช่วงหน่วยแรงดึงสูง ๆ และคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุเปราะรับแรงอัดได้ดีแต่รับแรงดึงได้ต่ำ เมื่อให้แรงไว้ก่อนก็เท่ากับเป็นการปรับปรุงความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีต พิจารณาคานคอนกรีตจากรูปที่ 2.1 สำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำดังรูป (ก) ผลของโมเมนต์จะก่อให้เกิดหน่วยแรงอัดที่ผิวบนและหน่วยแรงดึงที่ผิวล่าง ดังรูป (ค) แต่สำหรับคาน

คอนกรีตอัดแรง หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีตจะเป็นผลรวมของหน่วยแรงเนื่องจากการอัดแรงในรูป (ข) และหน่วยแรงเนื่องจากโมเมนต์ภายนอกในรูป (ค) ซึ่งผลรวมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีตทั้งผิวบนและผิวล่างแสดงไว้ในรูป (ง) จะเห็นว่าผลของโมเมนต์ภายนอกก่อให้เกิดหน่วยแรงดึงที่ผิวล่างของคอนกรีตแต่เนื่องจากคานคอนกรีตอัดแรงได้รับหน่วยแรงอัดไว้ก่อนแล้วเมื่อรับโมเมนต์จากภายนอกหน่วยแรงดึงที่ผิวล่างของคอนกรีตจะหักล้างกับหน่วยแรงอัดที่ได้จากการอัดแรง หน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงหลังจากได้รับโมเมนต์จากภายนอกจะไม่มีส่วนใดเกิดหน่วยแรงดึง ดังนั้นการอัดแรงจะเป็นการช่วยในพฤติกรรมการรับแรงดึงในคอนกรีต



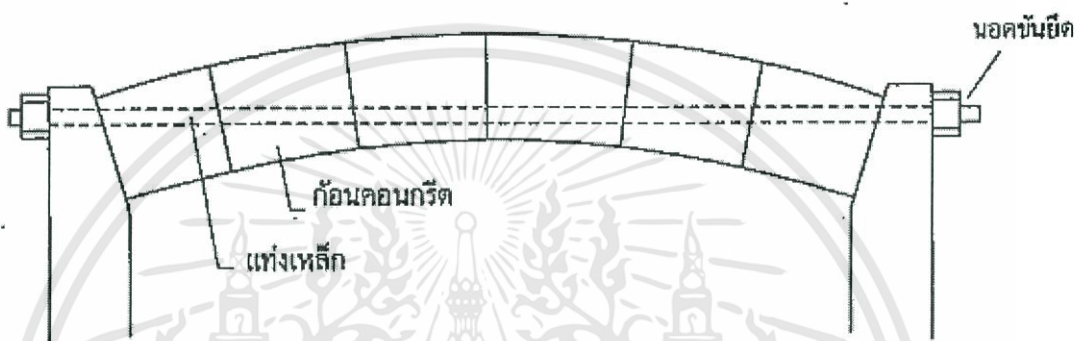
(ข) หน่วยแรงเนื่องจากการอัดแรง (ค) หน่วยแรงเนื่องจากโมเมนต์ภายนอก (ง) ผลรวมหน่วยแรง

รูปที่ 2.1 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีตของคานคอนกรีตอัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 ประวัติความเป็นมาของคอนกรีตอัดแรง

ความรู้ในการอัดแรงได้ปรากฏเป็นหลักฐานมาเป็นเวลานานแล้ว แต่ผู้ที่นำความรู้เรื่องการอัดแรงมาใช้กับงานคอนกรีตเป็นคนแรก คือ P.H. Jackson วิศวกรชาวอเมริกา โดยการใช้แท่งเหล็กชั้นยึดก่อนคอนกรีตเพื่อใช้เป็นพื้นและหลังคา ในปี ค.ศ. 1886



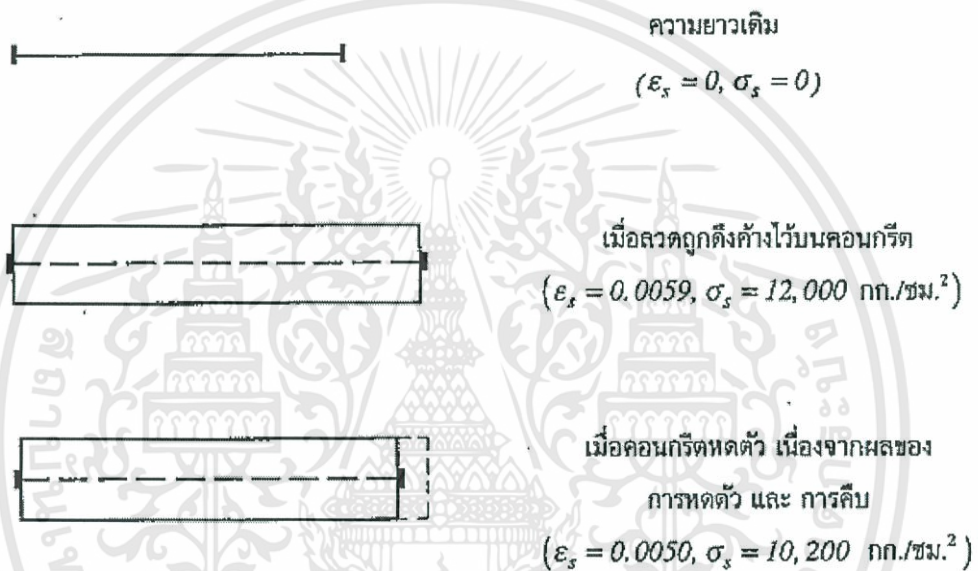
รูปที่ 2.2 การใช้งานคอนกรีตอัดแรงของ P.H. Jackson

ในเวลาไล่เลี่ยกัน คือ ในปี ค.ศ. 1888 C.E.W Doehring ชาวเยอรมัน ได้จดลิขสิทธิ์การก่อสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงด้วยลวดเหล็ก แต่วิธีการนี้ในสมัยนั้นยังไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากลวดเหล็กที่ใช้อยู่ในนั้นมีกำลังรับแรงดึงต่ำ แรงดึงที่ให้แก่ลวดสูญเสียไปมาก เนื่องจากผลของการหดตัว (shrinkage) และการคืบ (creep) ของคอนกรีต

ในปี ค.ศ. 1908 C.R. Steiner ชาวอเมริกัน ได้เสนอวิธีการอัดแรงซ้ำ หลังจากปล่อยให้การหดตัวและคืบของคอนกรีตเกิดขึ้นก่อน แต่คอนกรีตอัดแรงก็ยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างยังสูงอยู่เพราะต้องมีขั้นตอนอัดแรงซ้ำ

ในปี ค.ศ. 1928 E. Freyssinet ชาวฝรั่งเศส ได้เริ่มการใช้ลวดเหล็กกำลังสูงมาประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตอัดแรง ลวดเหล็กที่ใช้มีกำลังประลัยสูงถึง 17,580 กก./ซม.<sup>2</sup> เมื่อนำลวดเหล็กกำลังสูงมาใช้ในการงานคอนกรีตอัดแรง ปัญหาเรื่องการสูญเสียหน่วยแรงดึงในลวดที่เคยเกิดขึ้นก็ได้ลดความสำคัญลง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 สมมติลวดถูกดึงให้เกิดหน่วยแรงดึง  $\sigma_s = 12,000$  กก./ซม.<sup>2</sup> ดังนั้นหน่วยการยึดตัวของลวด  $\epsilon_s$  มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \sigma_s / E_s \\ &= \frac{12,000}{2.04 \times 10^6} \\ &= 0.0059\end{aligned}$$



รูปที่ 2.3 หน่วยการยึดตัวและหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในลวดอัดแรง

ถ้าสมมติว่าคอนกรีตมีการหดตัวและการคืบรวมกันเท่ากับ 0.0009 ดังนั้นหน่วยการยึดตัวของลวดจะเหลือ  $0.0059 - 0.0009 = 0.0050$  และค่าหน่วยแรงดึงในลวดจึงเหลือเท่ากับ

$$\begin{aligned}\sigma_s &= E_s \varepsilon_s \\ &= 2.04 \times 10^6 \times 0.0050 \\ &= 10,200 \text{ กก./ซม.}^2\end{aligned}$$

ซึ่งคิดเป็น 85% ของหน่วยแรงดึงเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตอัดแรงได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านวิธีการก่อสร้าง และหลักการในการออกแบบ โดยผู้ที่มีบทบาทอย่างยิ่งได้แก่ E. Freyssinet (ฝรั่งเศส), G. Magnel (เบลเยียม), Y. Guyon (ฝรั่งเศส), P. Abeles (อังกฤษ), F. Leonhardt (เยอรมัน), V.V. Mikhailov (รัสเซีย) และ T. Y. Lin (อเมริกา) ในปัจจุบันคอนกรีตอัดแรงเป็นที่ยอมรับและนำมาใช้ในงานก่อสร้างอย่างแพร่หลาย เช่น งานด้านอาคาร งานสะพาน งานโครงสร้างหล่อสำเร็จ ฯลฯ

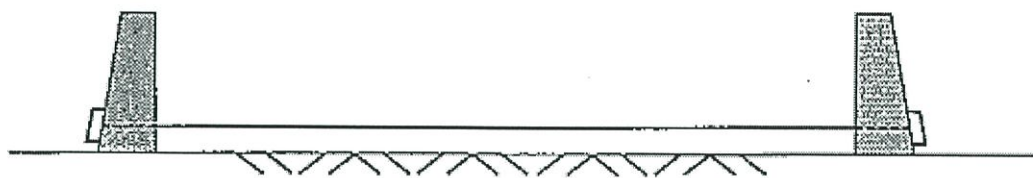
### 2.2.3 วิธีการอัดแรง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วการอัดแรงเป็นการทำให้เกิดแรงดึงสูงในเหล็กเสริม ซึ่งก่อให้เกิดหน่วยแรงอัดในคอนกรีต การดึงเหล็กก่อนหรือหลังเทคอนกรีต สามารถทำให้แบ่งชนิดของคอนกรีตอัดแรงเป็น คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน (pre-tension concrete) และคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กทีหลัง (post-tension concrete)

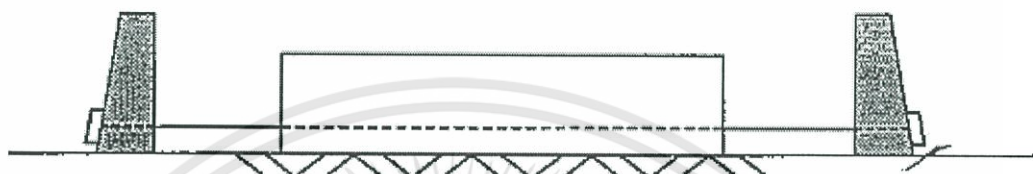
#### 2.2.3.1 คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน

การดึงเหล็กจะกระทำก่อนการหล่อคอนกรีต เหล็กเสริมอัดแรงจะถูกดึงค้างไว้ที่ระหว่างที่ค้ำ (fixed abutment) ที่ปลายทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 2.4 (ก) หลังจากที่ติดตั้งไม้แบบตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ก็จะหล่อคอนกรีตลงในไม้แบบซึ่งมีเหล็กเสริมอัดแรงที่ดึงค้างไว้ ดังรูปที่ 2.4 (ข) ทำการปมคอนกรีตจนคอนกรีตมีกำลังสูงถึงค่าที่ต้องการ จากนั้นก็ทำการตัดเหล็กเสริมอัดแรงที่ปลายทั้ง 2 ข้าง ดังรูปที่ 2.4 (ค) เหล็กเสริมอัดแรงพยายามที่จะหดตัว คอนกรีตจึงถูกอัดโดยเหล็กเสริมอัดแรงนี้ การอัดแรงเกิดขึ้นโดยการถ่ายแรงผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมอัดแรง

คอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กก่อน เหมาะสำหรับการผลิตในโรงงาน ในทางปฏิบัติสามารถผลิตชิ้นงานพร้อมกันหลายๆ ชิ้นได้โดยใช้ช่วงห่างระหว่างที่ค้ำมาก ๆ และหล่อชิ้นงานพร้อมกันหลายๆ ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4



(ก) เหล็กเสริมอัดแรงดัดโค้งวางไว้ระหว่างที่ค้ำ (abutment) ทั้งสองข้าง



(ข) หล่อคอนกรีตและทำการบ่ม



(ค) ตักเหล็กเสริมอัดแรงที่ปลายทั้งสอง

รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการอัดแรงของคอนกรีตอัดแรงชนิดตั้งเหล็กก่อน

### 2.2.3.2 คอนกรีตอัดแรงชนิดตั้งเหล็กทีหลัง

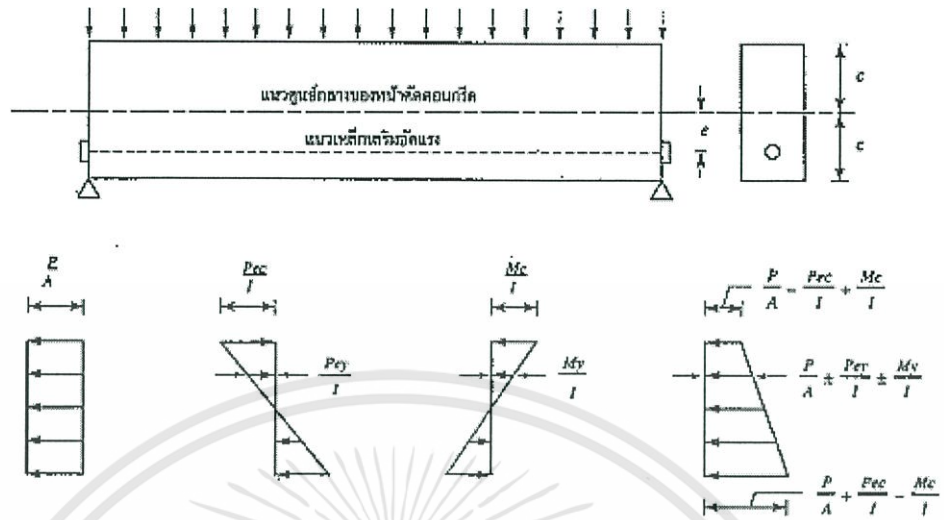
คอนกรีตอัดแรงชนิดตั้งเหล็กทีหลัง เริ่มต้นโดยการหล่อคอนกรีตในไม้แบบที่ได้ติดตั้งไว้โดยจะต้องมีการฝังท่อสำหรับร้อยเหล็กเสริม (hollow duct) ในตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ โดยปกติเหล็กเสริมอัดแรงจะร้อยผ่านในท่อไว้โดยยังไม่ถึงการเทคอนกรีต (บางครั้งร้อยเหล็กผ่านท่อหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว) เมื่อคอนกรีตที่มีกำลังสูงถึงค่าที่ต้องการก็จะทำการตั้งเหล็ก การตั้งเหล็กอาจตั้งเพียงข้างเดียว หรือตั้งทั้งสองข้าง ขณะทำการตั้งก็จะยึดปลายข้างหนึ่งไว้และตั้งที่ปลายอีกข้างหนึ่ง (ในกรณีที่ออกแบบให้ตั้งปลายทั้งสองข้างจะทำการตั้งทีละข้าง โดยเมื่อตั้งปลายข้างหนึ่งเสร็จแล้ว ก็จะสลับมาตั้งปลายอีกข้างหนึ่ง) เมื่อตั้งแล้วจะทำการยึด

ปลายข้างที่ดึงโดยใช้อุปกรณ์ยึดปลาย เหล็กเสริมอัดแรงจึงถูกดึงค้างไว้บนคอนกรีต ทำให้เกิดแรงอัดในคอนกรีต เมื่ออัดแรงเสร็จแล้วขั้นตอนต่อไปคือการอัดน้ำปูน (grouting) เข้าไปในท่อที่ร้อยเหล็กเสริมอัดแรง น้ำปูนเข้าไปในท่อทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับคอนกรีต การควบคุมรอยแตกร้าว (crack) จึงทำได้ดีขึ้น และการเพิ่มกำลังประลัย (ultimate strength) ให้สูงขึ้น นอกจากนี้ น้ำปูนหุ้มเหล็กเสริมอัดแรงจะช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงอีกด้วย ระบบที่มีการอัดน้ำปูนเข้าไปในท่อร้อยเหล็กเสริมอัดแรงเป็นคอนกรีตอัดแรงระบบมีการยึดเหนี่ยว (bonded system) แต่ในบางครั้งหลังจากอัดแรงเสร็จก็ไม่มีการอัดน้ำปูน ซึ่งกรณีนี้ระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับคอนกรีตจะไม่มีแรงยึดเหนี่ยว ระบบนี้เรียกว่า (unbonded system) อย่างไรก็ตามเหล็กเสริมอัดแรงในระบบไร้การยึดเหนี่ยวก็ต้องป้องกันการเกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมอัดแรงเนื่องจากไม่มีน้ำปูนมาหุ้ม การป้องกันการกัดกร่อนอาจทำได้โดยเคลือบผิวของเหล็กเสริมอัดแรงด้วยสารป้องกันการกัดกร่อน เช่น การใช้จารบีเคลือบเหล็กเสริมอัดแรง โดยปกติระบบไร้การยึดเหนี่ยวจะมีราคาถูกกว่า และมีขั้นตอนการทำงานน้อยกว่า ระบบนี้จึงนิยมใช้กันทั่วไปกับอาคารขนาดเล็กจนถึงปานกลาง และอาคารจอดรถ ในขณะที่ระบบมีการยึดเหนี่ยวนิยมใช้กับอาคารขนาดใหญ่ เช่น อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรง และโรงพยาบาล เป็นต้น

## 2.2.4 หลักการวิเคราะห์และออกแบบคอนกรีตอัดแรง

### 2.2.4.1 หลักการรวมแรง (combined load concept)

หลักการนี้จะใช้วิธีการคำนวณหน่วยแรง (stress) ที่เกิดขึ้นบนคอนกรีต จากผลของแรงต่างๆ แยกกันอิสระ เช่น คำนวณหน่วยแรงที่เกิดจากการอัดแรง หน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวเอง หน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอก แล้วจึงนำหน่วยแรงทั้งหมดที่เกิดขึ้นมารวมกันโดยการรวมแรง ดังแสดงในรูปที่ 2.5



หน่วยแรงที่เกิดจากผลของการอัดแรงในแนวแกน

หน่วยแรงที่เกิดจากผลของถ่วงรัศมีแรงในส่วนของถ่วงรัศมีศูนย์กลาง

หน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์ภายนอก

หน่วยแรงที่เกิดจากการอัดแรงและจากโมเมนต์ภายนอก

รูปที่ 2.5 การกระจายของหน่วยแรงบนหน้าตัดคอนกรีต

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคานคอนกรีตมาจากแรงกระทำ 2 ส่วนคือ จากการอัดแรง และจากโมเมนต์ภายนอก โดยพิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ส่วน ตามลำดับดังนี้

ก) หน่วยแรงที่เกิดจากผลของการอัดแรง

การอัดแรงที่เกิดขึ้นกระทำที่ตำแหน่งต่ำกว่าศูนย์กลางของหน้าตัดคอนกรีต เป็นระยะเยื้องศูนย์กลาง  $e$  ดังนั้น การอัดแรงจะก่อให้เกิดหน่วยแรง 2 ส่วน คือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงตามแนวแกน (axial force,  $P$ ) และหน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์เนื่องจากการเยื้องศูนย์กลาง ( $Pe$ )

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงตามแนวแกน มีค่าเท่ากับ

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2.1}$$

หน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์เนื่องจากการเอียงศูนย์ (Pe)

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{Pey}{I} \quad (2.2)$$

ดังนั้น หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากผลของการอัดแรงมีค่า

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Pey}{I} \quad (2.3)$$

โดยที่  $\sigma$  คือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีต ณ ตำแหน่งใด ๆ

P คือ แรงอัดประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรง

A คือ พื้นที่หน้าตัดของคาน

e คือ ระยะเอียงศูนย์ของเหล็กเสริมอัดแรงจากแนวศูนย์กลางของหน้าตัดคาน

y คือ ระยะระหว่างตำแหน่งบนหน้าตัดคอนกรีตที่พิจารณา กับแนวศูนย์กลางของหน้าตัด

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เซีย (moment inertia) ของหน้าตัด

ข) หน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์ภายนอก

ถ้ามีโมเมนต์ภายนอก M มากระทำต่อหน้าตัดคานหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีต ณ ตำแหน่งใด ๆ มีค่า

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (2.4)$$

ดังนั้น หน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีต ณ ตำแหน่งใด ๆ จึงมีค่า

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Pey}{I} \pm \frac{My}{I} \quad (2.5)$$

และหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคอนกรีตที่ผิวบนสุด หรือ ล่างสุดของหน้าตัดคอนกรีตมีค่า

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Pec}{I} \pm \frac{Mc}{I} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

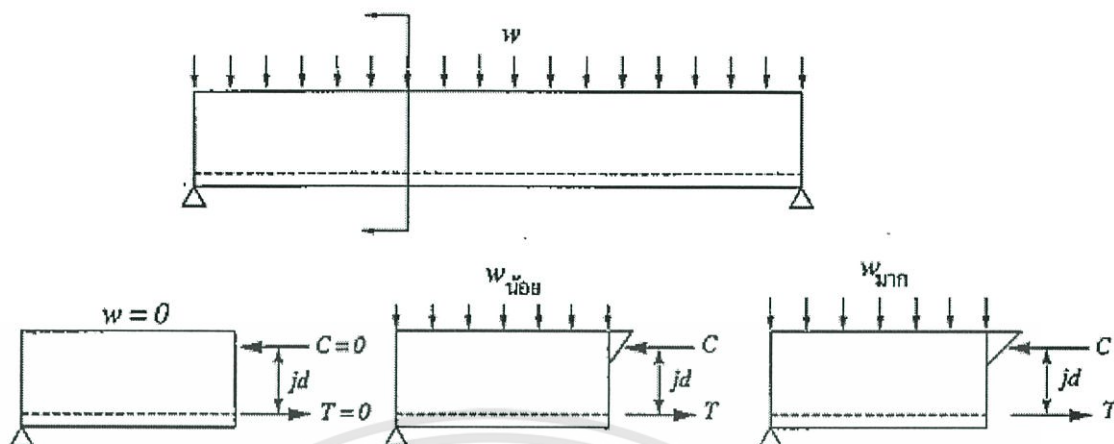
### 2.2.4.2 หลักของแรงคู่ควบภายใน (internal couple concept)

หลักการนี้เป็นหลักการที่ใช้ได้ทั้งในคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป และคอนกรีตอัดแรง หลักการคือ โมเมนต์ภายนอกทั้งหมด  $M$  (ทั้งจากน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักตัวเอง) จะถูกต้านทานด้วยโมเมนต์ภายในซึ่งเกิดจากแรงคู่ควบ  $C$ - $T$  กระทำบนหน้าตัดคาน โดยที่  $C$  คือ แรงอัดที่เกิดขึ้นบนคอนกรีต และ  $T$  คือ แรงดึงในเหล็ก ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงอัดประสิทธิผล  $P$  นั้นเอง (บางที่เรียกปนกันระหว่างคำว่าแรงดึงกับแรงอัดในเหล็กเสริมอัดแรงความหมายก็คือ แรงดึงที่เกิดในเหล็ก แต่กระทำต่อคอนกรีตในลักษณะแรงอัด) ถ้าให้  $z$  คือระยะห่างระหว่างแรงคู่ควบ  $C$  และ  $T$

$$M = C \cdot z = T \cdot z = P \cdot z \quad (2.7)$$

แต่อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าหลักการนี้จะสามารถใช้ได้กับทั้งคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปและคอนกรีตอัดแรง แต่ก็มี ความแตกต่างที่สำคัญอย่างหนึ่งระหว่างพฤติกรรมของโครงสร้างทั้งสองกล่าวคือ

ในคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ขณะที่ไม่มีโมเมนต์ภายนอกมากระทำ แรงอัดในคอนกรีต  $C$  และแรงดึงในเหล็กเสริม  $T$  ก็จะไม่เกิดขึ้น ( $M = C = T = 0$ ) เมื่อโมเมนต์ภายนอก ค่อยๆเพิ่มขึ้น ค่า  $C$  และ  $T$  ก็จะค่อยๆเพิ่มขึ้นตาม โดยที่ระยะห่างระหว่าง  $C$  กับ  $T$  ไม่เปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



(ก) ไม่มีโมเมนต์ภายนอก

$$(M = 0, C = 0, T = 0)$$

(ข) โมเมนต์ภายนอกมีค่าน้อย

$C$  และ  $T$  มีค่าน้อย

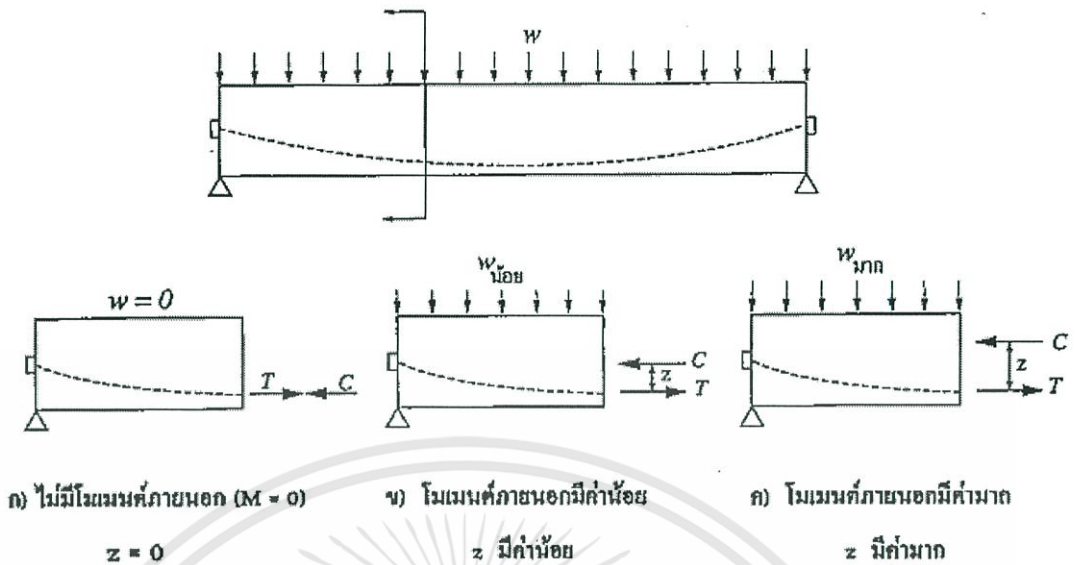
(ค) โมเมนต์ภายนอกมีค่ามาก

$C$  และ  $T$  มีค่ามาก

รูปที่ 2.6 แรงคู่ควบ C-T และแกนของโมเมนต์  $jd$  ในคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

ในคอนกรีตอัดแรงดังแสดงในรูปที่ 2.7 เหล็กเสริมอัดแรงได้ถูกติดตั้งแต่แรก แม้ยังไม่มีโมเมนต์ภายนอกมากกระทำ ดังนั้นแรงอัดในคอนกรีต  $C$  และแรงดึงในเหล็กเสริม  $T$  ก็มีค่าตั้งแต่แรก ( $M = 0, C \neq 0, T \neq 0$ ) แต่เนื่องจากโมเมนต์ภายในต้องเท่ากับโมเมนต์ภายนอก ดังนั้นขณะที่ไม่มีโมเมนต์ภายนอก ระยะระหว่าง  $C$  กับ  $T$  จึงต้องเป็นศูนย์ ( $Z = 0$ ) เพื่อให้โมเมนต์ภายในเป็นศูนย์ด้วย เมื่อโมเมนต์ภายนอกมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า  $z$  จะเพิ่มขึ้นตาม (ตำแหน่งของแรง  $C$  จะสูงขึ้น โดยค่า  $C$  และ  $T$  จะโดยประมาณแล้วคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

ดังนั้นในการวิเคราะห์ด้วยหลักแรงคู่ควบภายในนี้ เมื่อรู้ค่า  $T$  ค่า  $z$  ก็จะสามารถคำนวณได้ นั่นก็คือ ตำแหน่งของแรง  $C$  จะสามารถกำหนดได้ เมื่อรู้ขนาด และตำแหน่งของแรง  $C$  ก็สามารถหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดตำแหน่งใดๆได้

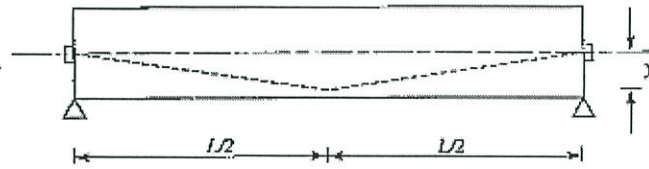


รูปที่ 2.7 แรงคู่ควบ C-T และแกนของโมเมนต์ Z ในคอนกรีตอัดแรง

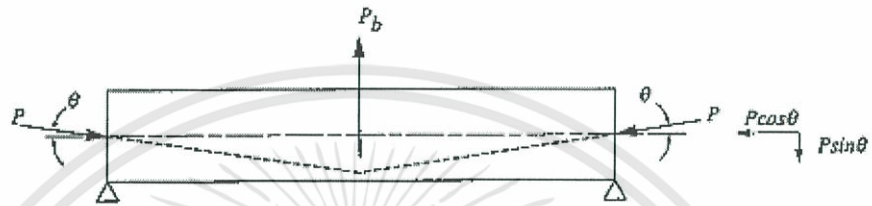
2.2.4.3 หลักการแรงพุงเพื่อดำเนินงานน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอก (load balancing concept)

หลักการนี้พิจารณาการอัดแรงเป็นการทำเพื่อผลการดำเนินงานน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกโดยพิจารณาจากแรงกระทำทั้งหมดของเหล็กเสริมอัดแรงต่อคานทั้งระบบ แรงกระทำที่เกิดจากเหล็กเสริมอัดแรงได้แก่ แรงกระทำที่ปลายคาน และนอกจากนี้ เหล็กเสริมอัดแรงที่ตำแหน่งใดมีการหักงอ ณ ตำแหน่งนั้นจะเกิดแรงแนวตั้งกระทำต่อคานด้วย ขอให้พิจารณารูปที่ 2.8

ผลของการหักมุมของเหล็กเสริมอัดแรง จะก่อให้เกิดแรงพุงแนวตั้ง (balancing load)  $P_b$  ขึ้น ถ้ามองเสมือนว่า แรงพุงที่เกิดขึ้นและแรงกระทำที่ปลายคานเป็นแรงกระทำภายนอก ดังนั้นจากสมดุลของแรงจะได้ว่า  $P_b$  มีค่าเท่ากับแรงแนวตั้งที่กระทำทั้งสองข้างรวมกัน



(ก) คานคองกรีตอัดแรงมีแนวเหล็กเสริมอัดแรงหักมุมตรงกึ่งกลางช่วงคาน



(ข) แรงกระทำบนคานเนื่องจากเหล็กเสริมอัดแรง

$$M = \frac{P_b L}{4} = P_y$$

(ก) โมเมนต์เนื่องจากการยึดศูนย์ ( $P_b$ ) ของแนวเหล็กเสริมอัดแรงตั้งรูป (ก) และโมเมนต์ที่เกิดจากแรงพุง  $P$  ในรูป (ข)

รูปที่ 2.8 แรงพุงของคานคองกรีตอัดแรงที่มีแนวเหล็กเสริมแรงหักมุมตรงกึ่งกลางช่วงคาน

$$P_b = 2P \sin \theta = 2P\theta \quad (\text{เมื่อ } \theta \text{ เป็นมุมเล็กๆ})$$

ที่บริเวณปลายคาน แรงที่เหล็กเสริมอัดแรงกระทำต่อคาน สามารถแตกออกเป็นแรงแนวราบ มีค่า  $P \cos \theta$  หรือประมาณเท่ากับ  $P$  ( $\theta$  เป็นมุมเล็กๆ ค่า  $\cos \theta$  มีค่า  $\approx 1$ ) และแรงแนวตั้งมีค่า  $P \sin \theta = P\theta$  หรือเท่ากับ  $\frac{2Py}{L}$  ( $\theta$  เป็นมุมเล็กๆ  $\sin \theta = \tan \theta = \theta = \frac{y}{L/2}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

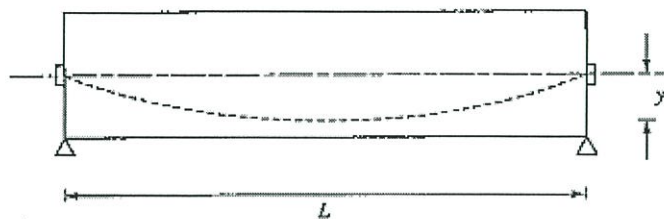
โมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่กึ่งกลางช่วงคานเนื่องจากแรง  $P_b$  นี้มีค่าเท่ากับ  $\frac{P_b L}{4} = \frac{2P \sin \theta L}{4} = \frac{2P(2y/L)L}{4} = Py$  แผนภาพของโมเมนต์เนื่องจากแรง  $P_b$  จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ค) ถ้าพิจารณาโมเมนต์เนื่องจากเยื้องศูนย์ ( $P_e$ ) ค่าโมเมนต์เนื่องจากการเยื้องศูนย์ที่ตำแหน่งใดๆ มีค่าเท่ากับค่า  $P$  คูณกับระยะเยื้องศูนย์  $e$  ณ ตำแหน่งนั้นๆ โมเมนต์เนื่องจากการเยื้องศูนย์ที่ตำแหน่งใดๆ บนคานจึงมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ค) เช่นกันดังนั้นจึงสามารถมองระบบอัดแรง ด้วยหลักการของแรงพยุ่งเพื่อต้านทานน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกได้

ในการทำงานเดียวกัน ในกรณีของคานที่มีแนวเหล็กเสริมอัดแรงเป็นรูปโค้งพาราโบลาแสดงในรูปที่ 2.8 (ก) โมเมนต์ที่เกิดจากการเยื้องศูนย์ ( $P_e$ ) จึงเป็นรูปพาราโบลาด้วย ถ้าใช้หลักการที่ว่าโมเมนต์ที่เกิดจากแรงพยุ่ง (balancing load) ต้องเหมือนกับโมเมนต์เนื่องจากการเยื้องศูนย์ ( $P_e$ ) นั่นก็คือ โมเมนต์ที่เกิดจากแรงพยุ่งจึงควรเป็นรูปพาราโบลาด้วย ดังรูปที่ 2.8 (ค) ดังนั้นแรงพยุ่งจึงต้องมีลักษณะเป็นแรงพยุ่งชนิดแผ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ข) โดยค่าของ  $w_b$  หาได้จาก

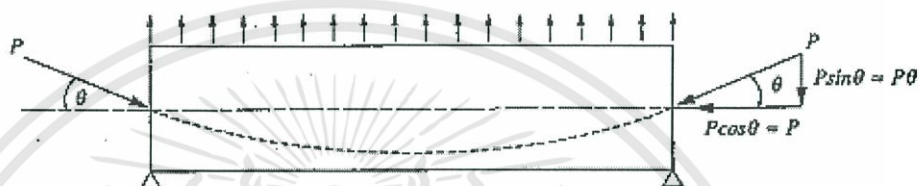
$$\text{โมเมนต์ที่กึ่งกลางช่วงคาน } M = Py = \frac{w_b L^2}{8}$$

$$w_b = \frac{8Py}{L^2}$$

ที่ปลายทั้งสองข้างของคานที่มีแรงกระทำแนวตั้งเนื่องจากการอัดแรง คือ  $P \sin \theta$  ซึ่งแรง  $P \sin \theta$  นี้จะถ่ายแรงโดยตรงลงสู่ที่รองรับตรงปลายคาน ดังนั้น  $P \sin \theta$  จึงไม่ก่อให้เกิดแรงภายในและหน่วยแรงใดๆ ใน คาน ในขณะที่แรงอีกส่วนหนึ่งคือ  $P \cos \theta$  ก่อให้เกิดหน่วยแรงอัดสม่ำเสมอ



(ก) คานคองกรีตอัดแรงมีแนวเหล็กเสริมอัดแรงเป็นรูปโค้งพาราโบลา



(ข) แรงกระทำบนคานเนื่องจากเหล็กเสริมอัดแรง

$$M = Py = w_b L^2 / 8$$

(ค) โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเหล็กเสริมอัดแรงเป็นรูปโค้งพาราโบลา

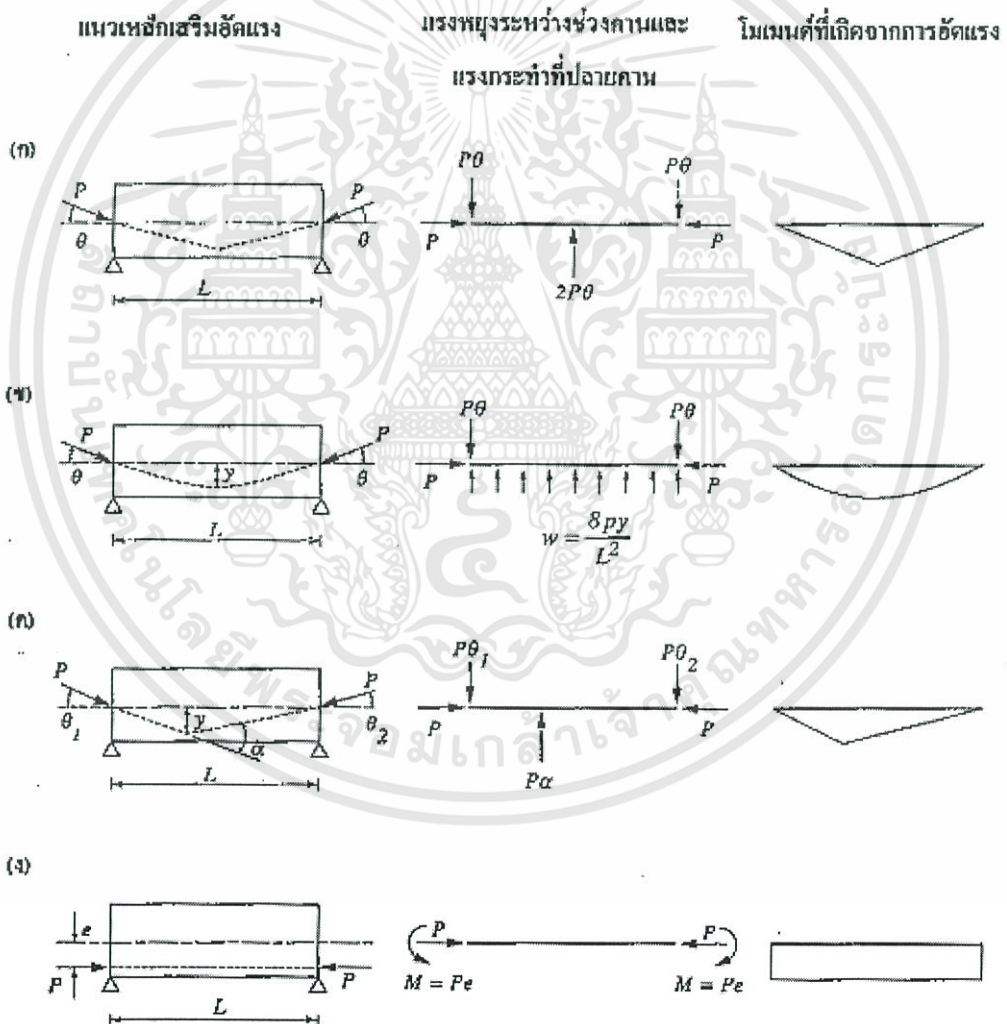
รูป 2.9 แรงพยุ้งของคานคองกรีตอัดแรงที่มีแนวเหล็กเสริมอัดแรงเป็นรูปโค้งพาราโบลา

บนหน้าตัดตลอดคาน (ในรูปที่ 2.9  $P \sin \theta$  กระทำที่จุดศูนย์กลางของหน้าตัด) ถ้ามีน้ำหนักบรรทุกภายนอกมากกระทำกับคานด้วย จะสามารถคำนวณหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดคาน หรือการโก่งตัวที่จุดใดๆ จากระบบแรงทั้งหมดของ

1. น้ำหนักบรรทุกภายนอก
2. แรงพยุ้ง
3. แรงที่ปลายคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอก (รวมทั้งน้ำหนักของคาน) ถูกต้านโดยแรง พยุ่งพอดีและที่ปลายคานเหล็กเสริมอัดแรงกระทำที่ศูนย์กลางของหน้าตัดคาน คาน จะไม่มีการดก่งตัวเลยเพราะแรงกระทำแนวตั้งบนช่วงคานจะหักล้างกัน หน่วยแรงที่ เกิดขึ้นบนหน้าตัดจึงเหลือแต่ผลแรงอัดที่ปลายคาน  $P \cos \theta (\approx P$  สำหรับ  $\theta$  เล็กๆ) ซึ่งเป็นหน่วยแรงอัดสม่ำเสมอมีค่าหน่วยแรงอัด  $\sigma = \frac{P}{A}$  หลักการของ แรงพยุ่งเพื่อต้านน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกนี้ จึงมีประโยชน์มากในการออกแบบเพื่อ ควบคุมการโก่งขององค์อาคาร เพราะถ้าออกแบบให้แรงพยุ่งมีค่าใกล้เคียงหรือ เท่ากับน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอก การโก่งของคานจะมีค่าน้อยหรือไม่มีเลย



รูปที่ 2.10 แรงพยุ่งและโมเมนต์ที่เกิดจากแนวเหล็กเสริมอัดแรงลักษณะต่างๆ

2.2.5 การเสื่อมลดของแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการอัดแรงจะมีการสูญเสียแรงดึงเกิดขึ้นในเหล็กเสริมอัดแรง ซึ่งการสูญเสียแรงดึงนี้มีทั้งการสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีทันใดหลังจากถ่ายแรง (immediate loss) และการสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลา (time dependent loss)



รูปที่ 2.11 การเสื่อมลดของแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง

ก) การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีทันใดหลังจากถ่ายแรง

การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีทันใดนี้มีสาเหตุมาจากหลายประการด้วยกัน แต่ที่มักจะนำมาพิจารณาในการออกแบบ ได้แก่ การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากความฝืดที่เกิดขึ้นบนเหล็กเสริมอัดแรง (friction loss) การสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการหดตัวอีลาสติกของคอนกรีต (elastic shortening loss) และการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเข้าที่ของสมอยึด (anchorage loss) นอกจากนี้การสูญเสียแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงอาจมีสาเหตุอื่นๆ เช่น การหดตัวของไม้แบบในชั้นส่วนที่เป็นคอนกรีตอัดแรงชนิดตั้งเหล็กก่อน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ฯลฯ การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีทันใดหาได้จากผลต่างของค่าแรงดึงที่วัดได้ขณะดึงด้วยเครื่องดึงไฮดรอลิก  $P_j$  กับแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กทันทีหลังจากถ่ายแรง  $P_i$

$$\text{การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นทันทีทันใด} = P_j - P_i$$

ข) การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลา มีสาเหตุหลักๆมาจาก การหดตัวของคอนกรีตจากการสูญเสียความชื้น (shrinkage loss) การคืบ (creep loss) และการคายแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรง (steel relaxation loss) ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นการสูญเสียแรงดึงนี้จะเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยที่อัตราการสูญเสียแรงดึงจะเร็วในช่วงแรกๆ และค่อยๆลดลง เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น ถ้าให้  $P_e$  คือแรงดึงที่เหลือในเหล็กเสริมอัดแรงหลังจากการสูญเสียแรงดึงจากสาเหตุทั้งหมดได้เกิดขึ้นแล้ว การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลาจึงหาได้จาก

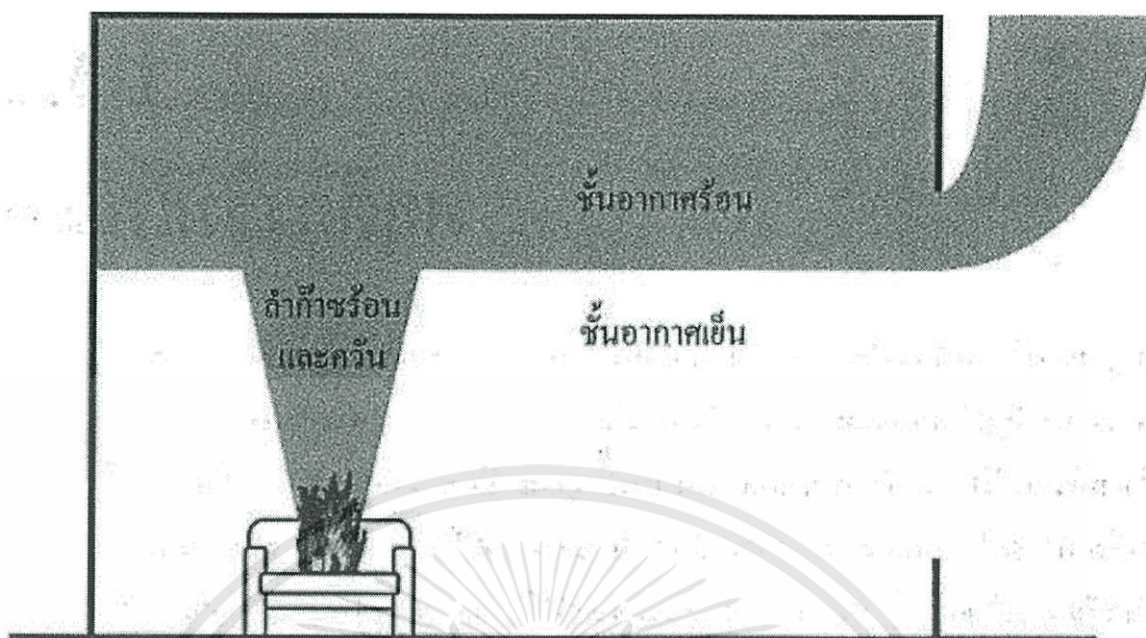
$$\text{การสูญเสียแรงดึงที่เกิดขึ้นตามเวลา} = P_i - P_e$$

## 2.3 ชนิดของเพลิงไหม้

### 2.3.1 เพลิงไหม้จริง (Natural Fire)

รูปที่ 2.12 แสดงถึงลักษณะเพลิงไหม้จริงภายในห้องในช่วงเริ่มต้น ซึ่งจำกัดการลุกลามเฉพาะตำแหน่งต้นเพลิงโดยอาศัยออกซิเจนจากอากาศภายในห้อง รวมทั้งจากอากาศภายนอกห้องที่ถ่ายผ่านช่องเปิด โดยเกิดลำของอากาศร้อนและควันจากการลุกไหม้ลอยขึ้นสะสมเป็นชั้นอากาศร้อนบริเวณฝ้าเพดานภายในห้องซึ่งจะมีขนาดและค่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากการลุกลามของเพลิงไหม้นอกจากนี้ เมื่อลำของควันและแก๊สร้อนจากการลุกไหม้กระทบบริเวณพื้นผิวฝ้าเพดานจะเกิดการพุ่งออกตามแนวพื้นผิวของฝ้าเพดาน (ceiling jet) ส่งผลให้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนหรือระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ติดตั้งในบริเวณใกล้เคียงทำงาน

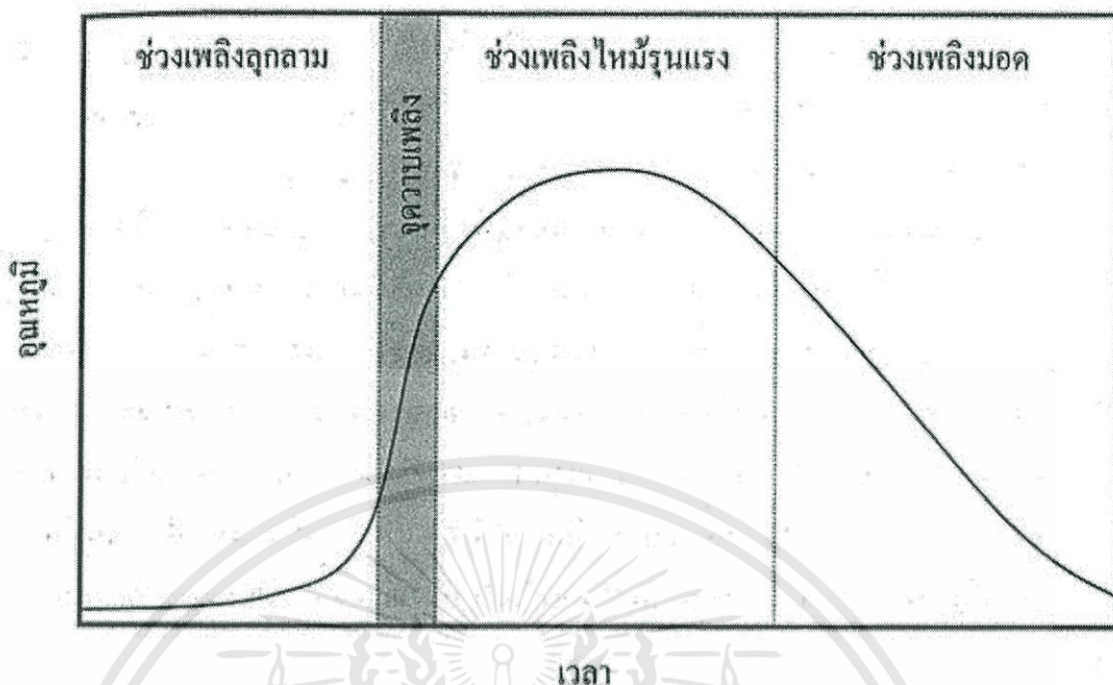
เมื่อเกิดเพลิงไหม้ต่อเนื่องจนชั้นของควันและแก๊สร้อนที่สะสมบริเวณฝ้าเพดานเพิ่มปริมาณมากขึ้นและระดับของแนวเชื่อมต่อระหว่างชั้นอากาศร้อนด้านบนกับชั้นอากาศเย็นด้านล่างลดต่ำลงกว่าระดับความสูงของช่องเปิดภายในห้อง ซึ่งชั้นของควันและแก๊สร้อนจะเริ่มไหลออกจากห้องผ่านช่องเปิดดังกล่าว ในขณะที่อากาศที่เย็นกว่าจากภายนอกห้องจะไหลเวียนกลับเข้าแทนที่ส่งผลทำให้เกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง ในกรณีที่จำกัดการไหลเวียนของอากาศผ่านช่องเปิดอาจส่งผลให้เพลิงมอดและดับลง เนื่องจากการขาดออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของการลุกไหม้



รูปที่ 2.12 ลักษณะเพลิงไหม้จริงภายในห้องในช่วงเริ่มต้น

การสะสมของควันและแก๊สร้อนส่งผลทำให้ค่าอุณหภูมิและการแผ่รังสีของชั้นอากาศร้อนภายในห้องเพิ่มสูงขึ้น และอาจส่งผลให้พื้นผิวของวัสดุที่ติดไฟได้ (combustible material) ภายในห้องเกิดการลุกไหม้ทั้งหมดส่งผลให้ค่าอุณหภูมิและอัตราการปลดปล่อยความร้อน (heat release rate) จากเพลิงไหม้ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเรียกเหตุการณ์ดังกล่าวว่า จุดวาบเพลิง (flashover) โดยปรกติจุดวาบเพลิงจะเกิดขึ้นเมื่อค่าอุณหภูมิของชั้นอากาศร้อนสูงถึงประมาณ 600 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) และฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน (radiant heat flux) ที่ระดับพื้นภายในห้องมีค่าประมาณ 20 กิโลวัตต์/ต่อตารางเมตร ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )

จากลักษณะเพลิงไหม้ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงพฤติกรรมเพลิงไหม้จริงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาได้ดังรูปที่ 2.13 โดยที่สามารถพิจารณาแบ่งพฤติกรรมเพลิงไหม้จริงเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงเพลิงลุกลาม (growth period) ช่วงเพลิงไหม้รุนแรง (fully developed) และช่วงเพลิงมอด (decay period) ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเพลิงไหม้จริงภายในห้อง

### 2.3.2 เพลิงไหม้ก่อนจุดวาบเพลิง (Pre-Flashover Fire)

การพิจารณาพฤติกรรมเพลิงไหม้ในช่วงเพลิงลุกลามก่อนจุดวาบเพลิงโดยส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของควันและแก๊สร้อนที่มีต่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคารเป็นหลัก เนื่องจากค่าอุณหภูมิของเพลิงไหม้ก่อนจุดวาบเพลิงโดยปกติจะไม่สูงถึงระดับที่สามารถส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของโครงสร้างอาคาร

โดยปัจจัยสำคัญซึ่งผลกระทบต่อพฤติกรรมเพลิงไหม้ก่อนจุดวาบเพลิงคือ อัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงที่ลุกไหม้ ซึ่งสามารถจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนกับเวลาในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสองดังแสดงในรูปที่ 2.14 และสามารถเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ตามสมการ

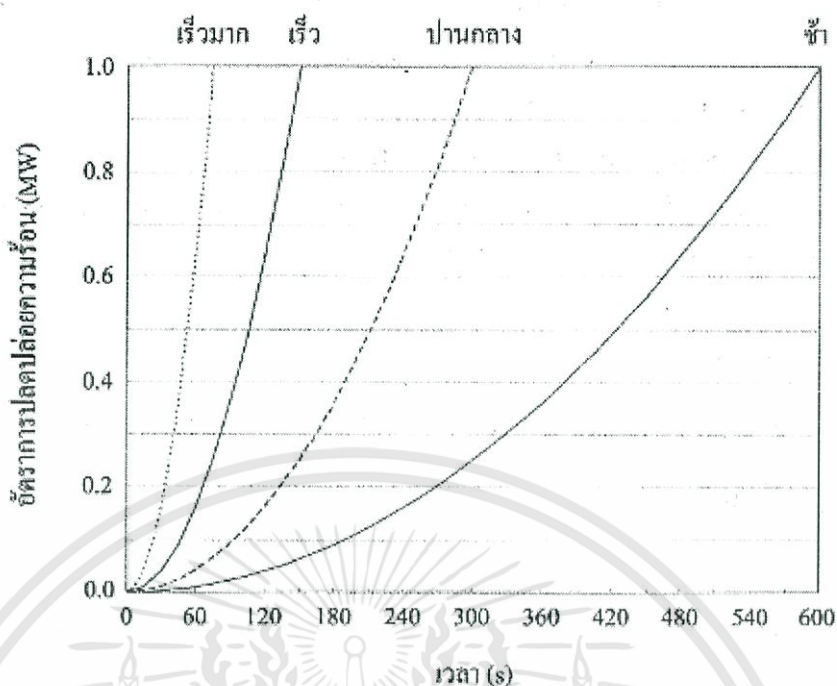
$$Q = (T/T_a)^2$$

โดยที่  $Q$  คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อนซึ่งมีหน่วยเป็นเมกะวัตต์ (MW)

$T_a$  คือ เวลาลักษณะเฉพาะสำหรับการลุกลามเพลิง (เวลาที่เพลิงลุกลามจนค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนเท่ากับ 1 MW) ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที (s)

$t$  คือเวลาซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนกับเวลาในรูปแบบเส้นโค้งกำลังสอง

### 2.3.3 เพลิงไหม้หลังจตุwabเพลิง (Post-Flash Fire)

พฤติกรรมเพลิงไหม้จะเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนภายหลังจตุwabเพลิง เนื่องจากวัสดุที่ติดไฟได้ทั้งหมดภายในห้องเกิดการลุกไหม้ส่งผลให้อุณหภูมิของเพลิงไหม้มีค่าสูง โดยที่อัตราการลุกไหม้ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนในอากาศโดยรอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับการถ่ายเทอากาศผ่านช่องเปิด จึงสามารถพิจารณาการลุกไหม้ในช่วงดังกล่าวเป็นการลุกไหม้แบบคุมด้วยการระบายอากาศ (ventilation controlled burning) ยกเว้นในบางกรณีซึ่งพื้นผิวของเชื้อเพลิงที่ลุกไหม้มีขนาดจำกัดภายในห้องที่มีขนาดใหญ่ส่งผลให้อัตราการลุกไหม้ขึ้นอยู่กับพื้นผิวของเชื้อเพลิงเป็นหลัก ซึ่งในกรณีดังกล่าวสามารถพิจารณาการลุกไหม้เป็นแบบควบคุมด้วยเชื้อเพลิง (fuel controlled burning)

ค่าอุณหภูมิของเพลิงไหม้ในช่วงหลังจตุwabเพลิงอาจมีค่าสูงกว่า 1000 °C ซึ่งผลกระทบต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำของโครงสร้างอาคาร ดังนั้นการพิจารณาพฤติกรรมเพลิงไหม้หลังจตุwabเพลิงจึงมีความสำคัญในการออกแบบโครงสร้างเพื่อความปลอดภัยด้านอัคคีภัย

## 2.4 มาตรฐานการทดสอบการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบอาคาร (มยผ. 8201-51)

### 2.4.1 ขอบข่าย

มาตรฐานการทดสอบนี้ครอบคลุมวิธีการทดสอบการหาค่าการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างประเภทรับแรงและไม่รับแรง ภายใต้สภาพอุณหภูมิและความดันที่กำหนด โดยเป็นการระบุรายละเอียดและข้อกำหนดเชิงหลักการในการประกอบติดตั้ง การรองรับและการยึดรั้งตัวอย่างทดสอบ ทั้งนี้รายละเอียดเฉพาะลักษณะการทดสอบอันได้แก่ ชิ้นส่วนโครงสร้างประเภทรับน้ำหนักบรรทุกทุกส่วนประกอบอาคารไม่รับน้ำหนักบรรทุกทุกและค่าการทนไฟของชุดประตู มีข้อกำหนดเพิ่มเติมในมาตรฐาน มยผ. 8202-8204 ตามลำดับ

### 2.4.2 การควบคุมสภาพแวดล้อมการทดสอบ

#### 2.4.2.1 การให้ความร้อน

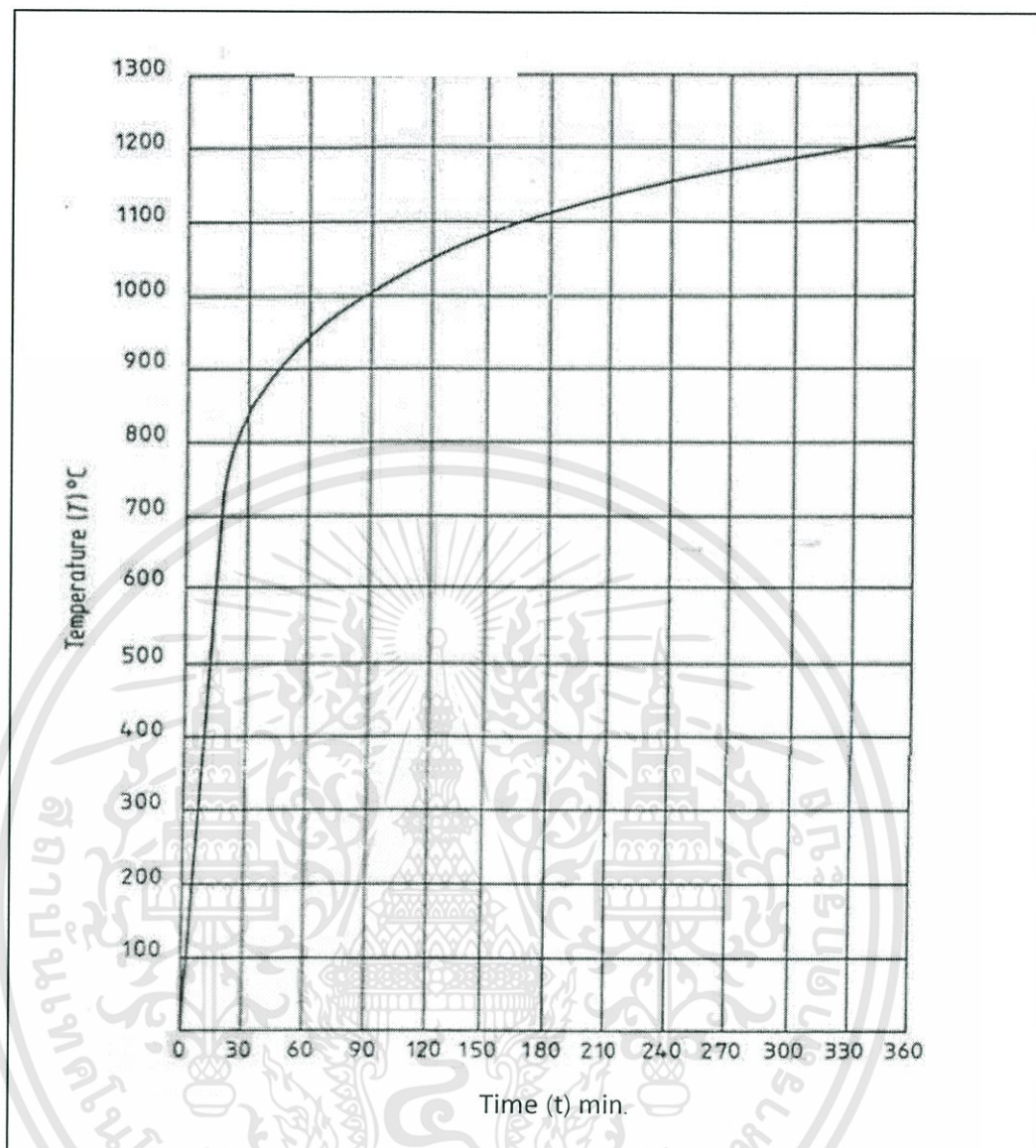
- 1) อุณหภูมิไฟมาตรฐาน ใช้สมการอุณหภูมิตามที่กำหนดดังนี้

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

โดย  $T$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาทดสอบ หน่วย  $^{\circ}\text{C}$

$t$  คือ ระยะเวลาหน่วยวินาที มีค่าสูงสุดที่ 360 นาที

- 2) อุณหภูมิ เฉลี่ยภายในเตาเผาทดสอบ ณ ช่วงเวลาใดๆ คำนวณจากค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่วัดได้โดย เทอร์โมคัปเปิลซึ่งติดตั้งภายในเตาเผาทดสอบ บริเวณตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 2.15 กราฟอุณหภูมิไฟมาตรฐาน

#### 2.4.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

1) สำหรับการคำนวณร้อยละการเบี่ยงเบน ( $p$ ) ให้คำนวณพื้นที่ใต้กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาตามรายละเอียดดังนี้

ช่วง 0-10	นาที ให้คำนวณพื้นที่ทุกช่วง 1 นาที
ช่วง 10-30	นาที ให้คำนวณพื้นที่ทุกช่วง 2 นาที
ช่วง 30-120	นาที ให้คำนวณพื้นที่ทุกช่วง 5 นาที
ช่วง 120-360	นาที ให้คำนวณพื้นที่ทุกช่วง 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การคำนวณร้อยละการเปื่อยเบน ( $p$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับ กราฟ ความสัมพันธ์  
อุณหภูมิไฟมาตรฐานกับเวลาคำนวณได้ดังนี้

$$p = \frac{A - B}{B} \times 100$$

โดย A คือ พื้นที่ใต้กราฟของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาทดสอบ ในช่วงเวลาที่กำหนด

B คือ พื้นที่ใต้กราฟอุณหภูมิไฟมาตรฐาน ในช่วงเวลาที่กำหนด

ทั้งนี้ค่าการเปื่อยเบนที่ยอมรับมีเกณฑ์ดังนี้

- สำหรับการทดสอบในช่วง 10 นาทีแรก หรือน้อยกว่าหากการทดสอบใช้เวลาน้อยกว่า 10 นาที ค่าการเปื่อยเบนที่ยอมรับให้น้อยกว่า 15%
- สำหรับการทดสอบในช่วง 10-30 นาทีแรก หรือน้อยกว่าหากการทดสอบใช้เวลาน้อยกว่า 30 นาที ค่าการเปื่อยเบนที่ยอมรับให้น้อยกว่า 10%
- สำหรับการทดสอบในช่วง 30 นาทีแรก จนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบค่าการเปื่อยเบนที่ยอมรับให้น้อยกว่า 5%

2.4.2.3 การกระจายอุณหภูมิหลังจากช่วง 10 นาทีแรก อุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัวต้องไม่สูงเกินกว่าค่าอุณหภูมิไฟมาตรฐานในช่วงเวลาเดียวกัน  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  สำหรับตัวอย่างทดสอบที่อาจเกิดการเผาไหม้หรือลุกติดไฟในตัวอย่างทดสอบเอง ในกรณีเช่นนี้อุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัวต้องไม่สูงเกินกว่าค่าอุณหภูมิไฟมาตรฐานในช่วงเวลาเดียวกัน  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

#### 2.4.3 เกณฑ์การวิบัติ

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก

1.1 ส่วนโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกในแนวตั้ง เกิดการวิบัติเมื่อตัวอย่างทดสอบ ไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทดสอบต่อไปได้

1.2 ส่วนโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกแนวราบ เกิดการวิบัติเมื่อ

(1) การแอ่นตัวมากกว่าหรือเท่ากับ  $L/20$

(2) อัตราการแอ่นตัวในช่วง 1 นาทีใดๆ มากกว่าหรือเท่ากับ

$$L^2/9000d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	$L$	คือ	ความยาวช่วงของตัวอย่างทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร
		$d$	คือ ระยะจากจุดบนสุดของชิ้นส่วนโครงสร้างถึงจุดรับแรงดิ่งล่างสุดของชิ้นส่วนโครงสร้าง หน่วย มิลลิเมตร

ทั้งนี้จะไม่พิจารณาเกณฑ์ด้านอัตราการแอ่นตัว เมื่อชิ้นส่วนโครงสร้างมีการ แอ่นตัวน้อยกว่า  $L/30$

## 2.5 ภูมิหลังงานวิจัยที่ผ่านมา (ภาคภูมิ 2534)

งานวิจัยที่เกี่ยวกับไฟและการทดสอบการทนไฟของชิ้นส่วนที่มาประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างอาคารได้กระทำมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากได้ตระหนักถึงความเสียหายและการพังทลายของอาคารที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง การทดสอบต่างๆ ที่เกี่ยวกับไฟนั้นส่วนใหญ่จะเน้นหนักไปในด้านความต้านทาน ความทนทาน พฤติกรรมในด้านกำลัง และความแข็งแรงของคอนกรีตหรือวัสดุที่ประกอบเป็นชิ้นที่ทำมาจากคอนกรีต ซึ่งมีตัวอย่างงานวิจัยดังต่อไปนี้

ค.ศ. 1920 INGRERG ศึกษาพฤติกรรมของไฟที่เกิดขึ้นในอาคารจริงๆ และสรุปเป็นแนวความคิดคือ “แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ” ซึ่งมีข้อความที่สำคัญอยู่ 2 ข้อคือ

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

ค.ศ. 1929 INGRERG ศึกษาพฤติกรรมเกี่ยวกับแร่ที่มีส่วนประกอบของมวลรวมที่มีอิทธิพลต่อการต้านทานไฟของคอนกรีต โดยแบ่งคอนกรีตตามชนิดของมวลรวมเป็นกลุ่มใหญ่ๆ 4 กลุ่ม พบว่าเมื่อนำคอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมต่างชนิดกันนี้ไปทำการทดสอบไฟ คอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมคาร์บอนेटและเฟลสปาร์สามารถต้านทานไฟได้ดีกว่าคอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมแกรนิตและซิลิกา และพบอีกว่าคอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมหยาบจะสามารถต้านทานไฟได้ดีกว่าคอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของมอร์ต้าและคอนกรีตสามารถแปรเปลี่ยนได้ตามอุณหภูมิ J.C.SAEMANU และ G.W.WASHA ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อ กำลัง ความแข็งแรง และความเหนียวของมอร์ต้าและคอนกรีต โดยการทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกและแท่งมอร์ต้ารูปลูกบาศก์ที่บ่มด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50% อีกเป็นเวลา 13 วัน เสร็จแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิทดสอบอีก 1 วันรวมอายุของแท่งตัวอย่างทดสอบก่อนทำการทดสอบทั้งหมด 28 วัน อุณหภูมิที่สนใจอยู่ในช่วง -12 ถึง 200 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลัง ความแข็งแรงและความเหนียว ของทั้งมอร์ต้าและคอนกรีตจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิตดลบ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นสลับลดลงไปจนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส จะไม่มีผลต่อค่ากำลัง ความแข็งแรง และความเหนียวของคอนกรีตและมอร์ต้า

หลังจากนั้นไม่นานได้มีการค้นคว้าหาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ โดย ROBERT PHILLIEO ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีอิทธิพลต่อการขยายตัวความหนาแน่นโมดูลัสของความยืดหยุ่นและค่ากำลังของคอนกรีตในช่วงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 800 องศาเซลเซียส แท่งตัวอย่างการทดสอบที่ใช้ในการทำบ่มด้วยไอน้ำตลอด 28 วัน จากนั้นนำไปทดสอบไฟ พบว่าการขยายตัวของคอนกรีตจะมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นและความหนาแน่นจะมีค่าลดลงเนื่องจากน้ำหนักที่สูญเสียไป และยังพบอีกว่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นและกำลังของคอนกรีตจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ต่อมา H.L.MALHOTRA ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยการแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์การทดสอบกระทำที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ตัวอย่างทดสอบที่ใช้อยู่ในรูปทรงกระบอกมาตรฐาน จากการทดสอบไฟตามมาตรฐานพบว่าค่าอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์จะไม่มีผลกระทบต่อค่าลดลงของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต นอกจากนั้นยังพบอีกว่าแท่งตัวอย่างที่ทดสอบโดยมีการให้น้ำหนักกระทำด้วยขณะเผาจะมีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงน้อยกว่าแท่งตัวอย่างที่ไม่ได้มีน้ำหนักกระทำทั้งนี้เป็นเพราะว่าน้ำหนักที่กระทำนั้นจะทำให้เกิดความเค้นภายในซึ่งจะเป็นตัวช่วยหนุนไม่ให้เกิดรอยร้าวได้

การศึกษผลกระทบของอุณหภูมิที่มีอิทธิพลต่อคอนกรีตยังคงมีการศึกษาค้นคว้าอยู่ตลอดมา N.G.ZOLDNERS ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตโดยเน้นไปทางด้านกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด โดยทำการแปรเปลี่ยนชนิดของมวลรวมต่างๆกันไป มวลรวมที่ใช้ได้แก่ หิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปูน กรวด หินทราย และหินกากแร่ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทำการทดสอบอยู่ในช่วง 100 ถึง 800 องศาเซลเซียส และอัตราการเผาไหม้ของไฟที่ใช้ในการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานไฟของ ASTM จากการทดสอบพบว่าระดับการเสื่อมสภาพของคอนกรีตจะมีค่าน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมที่ใช้ ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้ คอนกรีตที่ใช้หินปูนผสมสามารถต้านทานไฟได้ดีที่สุด ถ้าใช้หินทรายผสมจะใช้ได้ ที่อุณหภูมิต่ำๆ ไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิมากกว่านี้จะทำให้มีการเสื่อมสภาพและสูญเสียกำลังอย่างรวดเร็ว และถ้าอุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส จะไม่มีผลต่อการลดลงของกำลังคอนกรีตเลยไม่ว่าจะใช้มวลรวมชนิดใดก็ตาม

HAROLD และ DAVIS ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิสูงๆ ที่มีอิทธิพลต่อคอนกรีตโดยเน้นไปในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่มีสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวสูงจะมีความต้านทานน้อยกว่าคอนกรีตที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำกว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลังแรงอัดของคอนกรีตจะลดลงเหลือประมาณ 50% ของกำลังเริ่มต้น ที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินการและการศึกษา

### 3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการดำเนินการ วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ที่ใช้ในการดำเนินงาน ขั้นตอนการศึกษา ขั้นตอนการดำเนินงานและขั้นตอนในการทดสอบว่ามีการดำเนินการอย่างไร รวมไปถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบ

### 3.2 รายละเอียดการดำเนินการทดสอบ

การศึกษากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งลวดก่อนหลังการไหม้ไฟ ทำการศึกษาโดยจำลองสภาพการเกิดเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นจริง โดยที่ในโครงการนี้จะศึกษากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นหลังจากการไหม้ไฟว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรรวมถึงศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นพื้นว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรหลังจากไหม้ไฟเช่นความกว้าง ความยาว ความหนา ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น

### 3.3 วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ดำเนินการศึกษา

#### 3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.3.1.1 แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งลวดก่อนขนาดความยาว 1 เมตร ความกว้าง 35 เซนติเมตร ความหนา 5 เซนติเมตร

3.3.1.2 ตลับเมตร

3.3.1.3 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper)

3.3.1.4 เตาดเผา (รูป 3.1)

3.3.1.5 ลูกปุ่น cylinder มีน้ำหนักประมาณ 13 กิโลกรัมต่อลูก

3.3.1.6 แก๊สหุงต้มขนาด 48 กิโลกรัม

#### 3.3.2 สถานที่ดำเนินงาน

3.3.2.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาศิลปกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

#### 3.4.1 การเตรียมเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

##### 3.4.1.1 เตาเผาที่ใช้ในการทดสอบ

เตาที่ใช้ทดสอบเป็นเตาที่ใช้แก๊สดังแสดงในรูปที่ 3.1 การควบคุมความร้อนทำได้โดยการปรับหัวแก๊สที่มีอยู่ 8 หัว ใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวบอกอุณหภูมิ ประสิทธิภาพของเตาที่ใช้แก๊สนี้สามารถเร่งอุณหภูมิได้สูงสุดประมาณ  $1200^{\circ}\text{C}$

##### 3.4.1.2 เครื่องมือทดสอบรับแรงดัด

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือเครื่องกดคอนกรีต (Universal Testing Machine) มีกำลังสูงสุดประมาณ 150 ตัน โดยติดตั้งแท่นรองรับแผ่นทดสอบที่ฐานเครื่องกดคอนกรีตและเปลี่ยนหัวกดเป็นแบบกระทำ 4 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2



ที่ 3.1 เตาเผาที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.2 เครื่อง Universal Testing Machine

### 3.4.2 การดำเนินการทดสอบ

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

#### 3.4.2.1 ขั้นตอนการเผาแผ่นพื้นทดสอบ

3.4.2.1.1 แบ่งแผ่นพื้นเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 3 แผ่น วัดขนาดความยาว ความกว้าง ความหนา และชั่งน้ำหนักของแผ่นพื้นตัวอย่างก่อนทำการเผา และทำการจดบันทึก

3.4.2.1.2 แผ่นพื้นกลุ่มที่ 1 ไม่ทำการเผา ส่วนแผ่นพื้นกลุ่มที่ 2, 3, 4 ทำการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยแผ่นพื้นกลุ่มที่ 2 ไม่มีน้ำหนักกระทำ และแผ่นพื้นกลุ่ม 3, 4 มีน้ำหนักกระทำที่ 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับดังแสดงในตาราง 3.1 โดย ทำการเผาทีละ 1 กลุ่ม (3 แผ่น) และทำการจัดเรียงแผ่นพื้นในการเผา ดังแสดงในรูปที่ 3.3 พร้อมจดบันทึกค่าเวลาและอุณหภูมิ ทุกๆ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30 จนถึง 120 นาที เมื่อเผาครบ 2 ชั่วโมงจึงปิดเตาเผา แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้แผ่นพื้นตัวอย่างคายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.1.3 ทำการวัดขนาดความยาว ความกว้าง ความหนา และชั่งน้ำหนัก  
ของแผ่นพื้นตัวอย่างหลังจากทำการเผาและทำการจดบันทึก

ตารางที่ 3.1 การทดสอบการเผาแผ่นพื้นทดสอบที่อุณหภูมิและน้ำหนักกระทำต่างๆ

ชุดที่	หมายเลขแผ่นพื้น ทดสอบ	อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาในการเผา ชม.-นาที	น้ำหนักกระทำ กิโลกรัมต่อตาราง เมตร
1	1	ไม่เผา	-	ไม่มี
	2			
	3			
2	1	600	2-30	ไม่มี
	2			
	3			
3	1	600	2-30	150
	2			
	3			
4	1	600	2-30	200
	2			
	3			

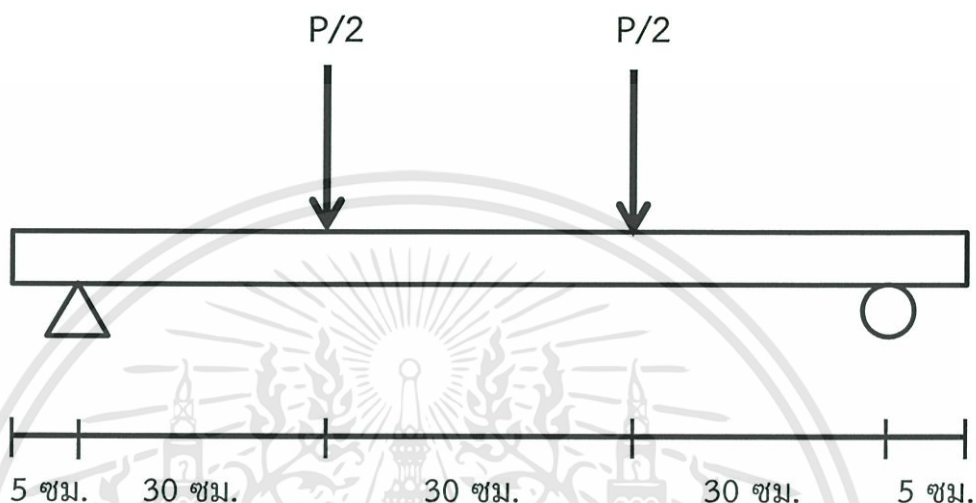


รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการจัดวางแผ่นพื้นตัวอย่างในการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2.2 ขั้นตอนการทดสอบกำลังดัดของแผ่นพื้นทดสอบ

3.4.2.2.1 หลังจากที่แผ่นพื้นเย็นตัวลงจากการเผา นำแผ่นพื้นทดสอบการรับกำลังดัด โดยใช้แรงกระทำเป็นแบบ 4 จุด มีระยะระหว่างจุดรองรับ (Support) 90 เซนติเมตร และระยะแรงกระทำดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การจัดตำแหน่งระยะต่างๆ ในการทดสอบการรับแรงดัด

3.4.2.2.2 ติดตั้ง dial gauge ที่กึ่งกลางของแผ่นพื้น เพื่อใช้วัดระยะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นตัวอย่าง

3.4.2.2.3 เริ่มทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักกระทำพร้อมกับวัดระยะการแอ่นตัว บันทึกค่าน้ำหนักกระทำเมื่อระยะแอ่นตัวเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 จนถึง 3.0 มิลลิเมตร เมื่อถึงระยะ 3.0 มิลลิเมตร ให้บันทึกค่าน้ำหนักกระทำเมื่อระยะแอ่นตัวทุกๆ 1 มิลลิเมตร บันทึกจนกว่าแผ่นพื้นตัวอย่างจะเกิดการวิบัติ

3.4.2.2.4 สังเกตลักษณะรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น พร้อมบันทึกข้อมูล

### 3.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.5.1 ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งลวดก่อนหลังการไหม้ไฟ เพื่อใช้ศึกษาลักษณะการวิบัติของพื้นคอนกรีตอัดแรง

3.5.2 ทำการทดสอบกำลังรับแรงดัดของพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งลวดก่อนหลังการไหม้ไฟ เพื่อวิเคราะห์กำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตหลังการไหม้ไฟ

3.5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอนตัวกับแรงกดที่กระทำ เพื่อศึกษาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการรับกำลังดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งลวดก่อน



## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 คุณสมบัติของพื้นคอนกรีตอัดแรงหลังเผาไหม้

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาของคุณสมบัติของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงหลังการทดสอบว่ามีผลอย่างไร โดยแบ่งเป็น คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล

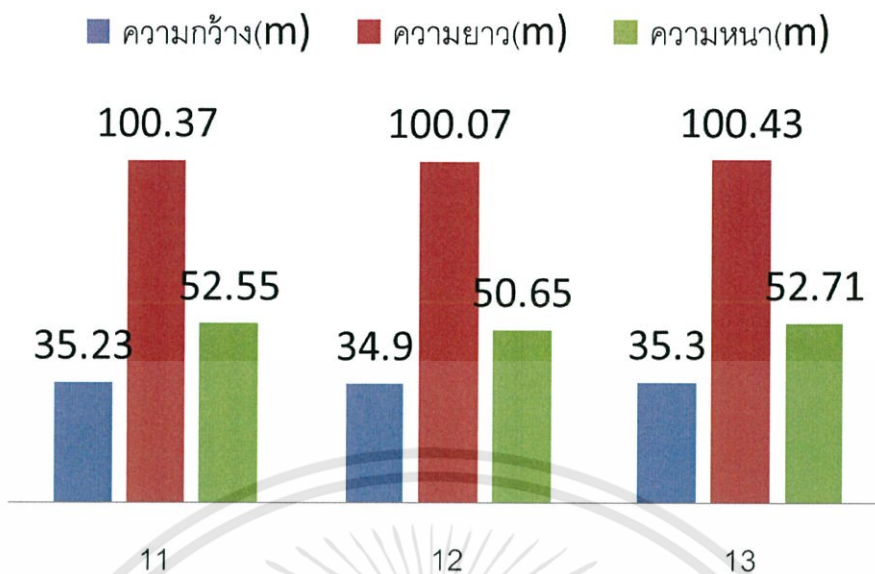
##### 4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

4.1.1.1 จากการทดสอบพบว่าหลังจากทำการเผาแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงด้วยน้ำหนักกระทำต่างกัน ความกว้าง ความหนา และน้ำหนักของแผ่นพื้นเปลี่ยนแปลงดังนี้

ตารางที่ 4.1 ขนาดของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 1 (ไม่ทำการเผา)

ตัวอย่าง	ขนาด(ก่อนทำการเผา)					
	ความกว้าง (cm.)	ความกว้างเฉลี่ย (cm.)	ความยาว (cm.)	ความยาวเฉลี่ย (cm.)	ความสูง (mm.)	ความสูงเฉลี่ย (mm.)
1-1	35.20 35.10 35.40	<u>35.23</u>	100.20 100.30 100.60	<u>100.37</u>	52.60 51.40 53.66	<u>52.55</u>
1-2	34.80 34.90 35.00	<u>34.90</u>	99.90 100.10 100.20	<u>100.07</u>	50.06 50.40 51.50	<u>50.65</u>
1-3	35.20 35.30 35.10	<u>35.20</u>	100.30 100.40 100.60	<u>100.43</u>	53.60 53.48 51.06	<u>52.71</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความกว้าง ความยาว ความหนา ของแผ่นพื้นชุดที่ 1

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 1

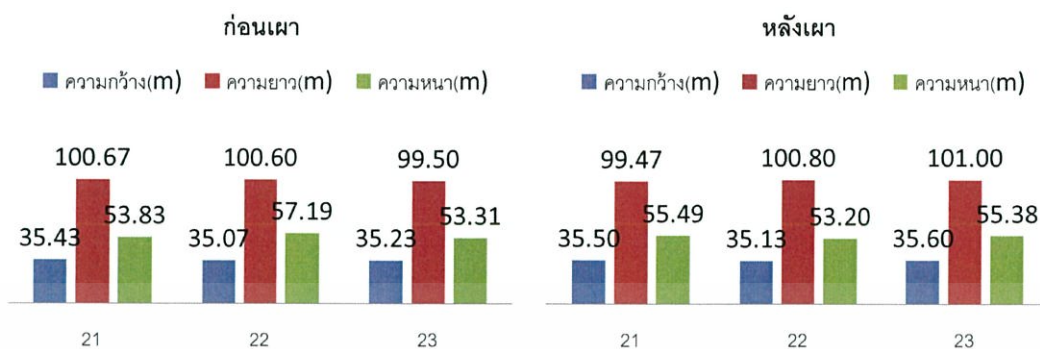
ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทำการ เผา (kg.)	หมายเหตุ
1-1	41.80	
1-2	40.00	
1-3	41.60	

ตารางที่ 4.3 ขนาดของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 2 (ไม่มี Load)

ตัวอย่าง	ขนาด(ก่อนทำการเผา)					
	ความกว้าง (cm.)	ความกว้างเฉลี่ย (cm.)	ความยาว (cm.)	ความยาวเฉลี่ย (cm.)	ความสูง (mm.)	ความสูงเฉลี่ย (mm.)
2-1	35.20	<u>35.43</u>	100.60	<u>100.67</u>	55.02	<u>53.83</u>
	35.50		100.50		52.96	
	35.60		100.90		53.52	
2-2	35.10	<u>35.07</u>	100.40	<u>100.60</u>	54.66	<u>57.19</u>
	35.10		100.60		57.36	
	35.00		100.80		59.56	
2-3	35.50	<u>35.23</u>	99.00	<u>99.50</u>	50.74	<u>53.31</u>
	35.00		99.90		56.04	
	35.20		99.60		53.14	

ตัวอย่าง	ขนาด(หลังทำการเผา)					
	ความกว้าง (cm.)	ความกว้างเฉลี่ย (cm.)	ความยาว (cm.)	ความยาวเฉลี่ย (cm.)	ความสูง (mm.)	ความสูงเฉลี่ย (mm.)
2-1	35.50	<u>35.50</u>	99.40	<u>99.47</u>	55.20	<u>55.49</u>
	35.10		99.60		54.80	
	35.90		99.40		56.48	
2-2	35.20	<u>35.13</u>	100.80	<u>100.80</u>	53.90	<u>53.20</u>
	35.10		100.80		53.00	
	35.10		วัดไม่ได้		52.70	
2-3	35.50	<u>35.60</u>	100.90	<u>101.00</u>	55.72	<u>55.38</u>
	35.60		100.90		54.72	
	35.70		101.20		55.70	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความกว้าง ความยาว ความหนา ก่อนเผา และหลังเผา ของแผ่นพื้นชุดที่ 2

ตารางที่ 4.4 น้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 2

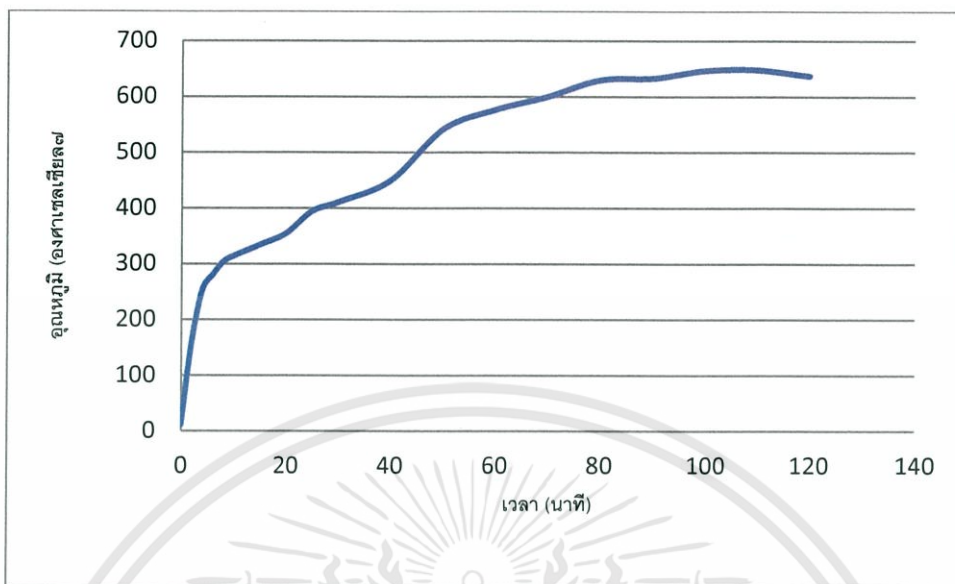
ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทำการเผา (kg.)	น้ำหนักหลังทำการเผา (kg.)	หมายเหตุ
2-1	40.80	38.10	
2-2	40.80	37.20	แตกบริเวณหัว-ปลาย
2-3	40.60	37.60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 2 (ไม่มี Load)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
0	11
2	162
4	254
6	282
8	305
10	315
15	335
20	355
25	395
30	411
40	450
50	542
60	577
70	600
80	630
90	633
100	647
110	648
120	637

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับจุดหนุมมีในการเผาของพื้นกลุ่มที่ 2

ตารางที่ 4.6 ระยะทรุดตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 2 (ไม่มี Load)

ตัวอย่าง	ระยะจากจุดอ้างอิง		การทรุดตัว (cm.)
	ก่อนเผา (cm.)	หลังเผา (cm.)	
2-1	21.4	21.2	0.2
2-2	20.9	20.8	0.1
2-3	22	21.7	0.3

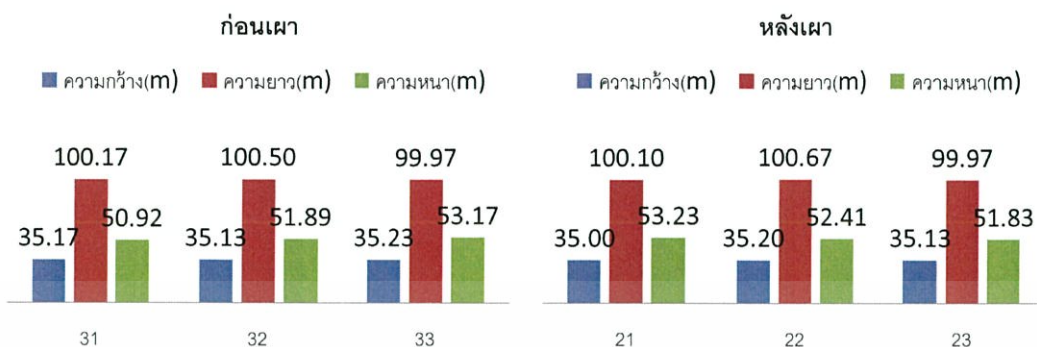
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ขนาดของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 3 (Load 150 kg/m<sup>2</sup>)

ตัวอย่าง ง	ขนาด(ก่อนทำการเผา)					
	ความกว้าง (cm.)	ความกว้างเฉลี่ย (cm.)	ความยาว (cm.)	ความยาวเฉลี่ย (cm.)	ความสูง (mm.)	ความสูงเฉลี่ย (mm.)
3-1	35.20	<u>35.17</u>	100.90	<u>100.17</u>	54.78	<u>50.92</u>
	35.20		100.40		50.00	
	35.10		99.20		47.98	
3-2	35.20	<u>35.13</u>	99.90	<u>100.50</u>	52.36	<u>51.89</u>
	35.20		100.40		52.28	
	35.00		101.20		51.04	
3-3	35.30	<u>35.23</u>	99.40	<u>99.97</u>	56.64	<u>53.17</u>
	35.20		100.00		48.52	
	35.20		100.50		54.34	

ตัวอย่าง ง	ขนาด(หลังทำการเผา)					
	ความกว้าง (cm.)	ความกว้างเฉลี่ย (cm)	ความยาว (cm)	ความยาวเฉลี่ย (cm)	ความสูง (mm.)	ความสูงเฉลี่ย (mm.)
3-1	35.00	<u>35.00</u>	100.70	<u>100.10</u>	52.72	<u>53.23</u>
	35.00		100.40		53.12	
	35.00		99.20		53.84	
3-2	35.30	<u>35.20</u>	99.90	<u>100.67</u>	52.54	<u>52.41</u>
	35.00		100.80		53.82	
	35.30		101.30		50.88	
3-3	35.30	<u>35.13</u>	99.20	<u>99.97</u>	49.80	<u>51.83</u>
	35.00		100.00		51.68	
	35.10		100.70		54.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความกว้าง ความยาว ความหนา ก่อนเผาและหลังเผา ของแผ่นพื้นที่ชุดที่3

ตารางที่ 4.8 น้ำหนักของแผ่นพื้นที่ทดสอบ ชุดที่ 2

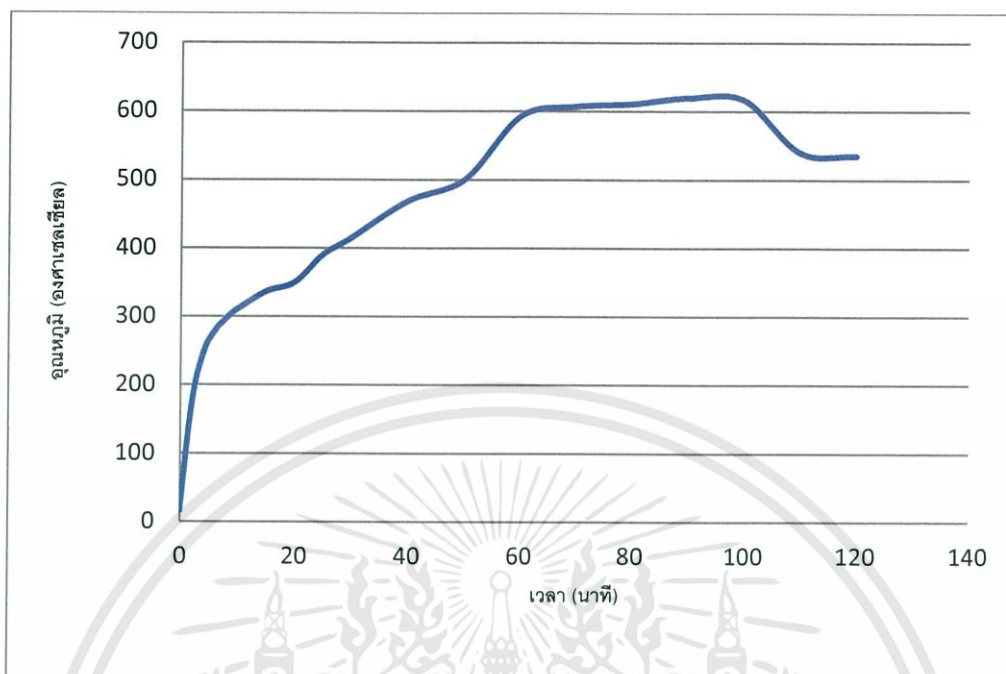
ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทำการเผา (kg)	น้ำหนักหลังทำการเผา (kg)	หมายเหตุ
3-1	41.00	38.80	
3-2	39.00	35.00	แตกบริเวณหัว-ปลาย
3-3	39.80	38.20	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 3 (Load 150 kg/m<sup>2</sup>)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
0	16
2	174
4	248
6	280
8	298
10	312
15	337
20	350
25	390
30	415
40	469
50	501
60	593
70	607
80	611
90	620
100	616
110	540
120	535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับอุณหภูมิในการเผาของพื้นกลุ่มที่ 3

ตารางที่ 4.10 ระยะทรุดตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 3 (Load 150 kg/m<sup>2</sup>)

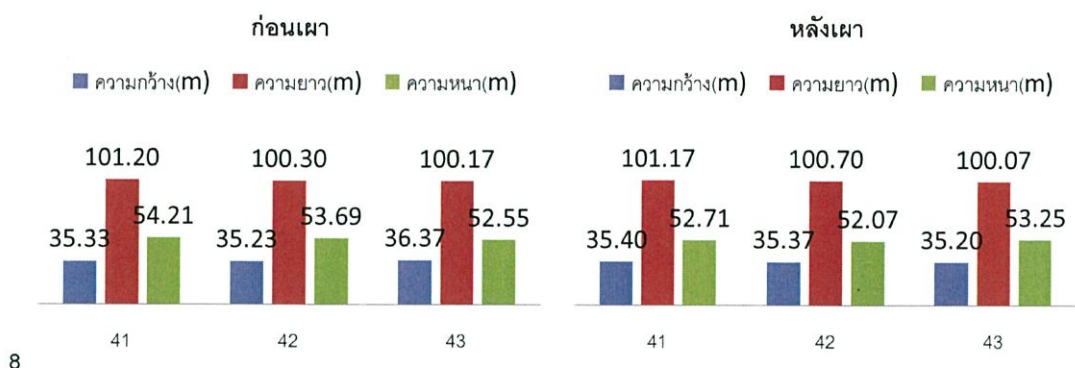
ตัวอย่าง	ระยะจากจุดอ้างอิง		การทรุดตัว (cm.)
	ก่อนเผา (cm.)	หลังเผา (cm.)	
3-1	19.8	19.8	0
3-2	25.9	25.7	0.2
3-3	25.8	25.5	0.3

ตารางที่ 4.11 ขนาดของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 4 (Load 200 kg/m<sup>2</sup>)

ตัวอย่าง	ขนาด(ก่อนทำการเผา)					
	ความกว้าง (cm.)	ความกว้างเฉลี่ย (cm.)	ความยาว (cm.)	ความยาวเฉลี่ย (cm.)	ความสูง (mm.)	ความสูงเฉลี่ย (mm.)
4-1	35.10 35.80 35.10	<u>35.33</u>	100.80 101.40 101.40	<u>101.20</u>	55.44 53.68 53.50	<u>54.21</u>
4-2	35.20 35.20 35.30	<u>35.23</u>	100.60 100.30 100.00	<u>100.30</u>	55.00 56.42 49.66	<u>53.69</u>
4-3	35.00 35.30 38.80	<u>36.37</u>	99.80 100.10 100.60	<u>100.17</u>	51.88 52.60 53.16	<u>52.55</u>

ตัวอย่าง	ขนาด(หลังทำการเผา)					
	ความกว้าง (cm.)	ความกว้างเฉลี่ย (cm.)	ความยาว (cm.)	ความยาวเฉลี่ย (cm.)	ความสูง (mm.)	ความสูงเฉลี่ย (mm.)
4-1	35.10 35.50 35.60	<u>35.40</u>	101.40 101.40 100.70	<u>101.17</u>	54.26 50.72 53.14	<u>52.71</u>
4-2	35.50 35.20 35.40	<u>35.37</u>	100.60 100.80 วัดไม่ได้	<u>100.70</u>	51.48 51.48 53.24	<u>52.07</u>
4-3	34.90 35.20 35.50	<u>35.20</u>	99.70 100.20 100.30	<u>100.07</u>	51.58 52.90 55.28	<u>53.25</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความกว้าง ความยาว ความหนา ก่อนเผาและหลังเผา ของแผ่นพื้นชุดที่ 4

ตารางที่ 4.12 น้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบ ชุดที่ 2

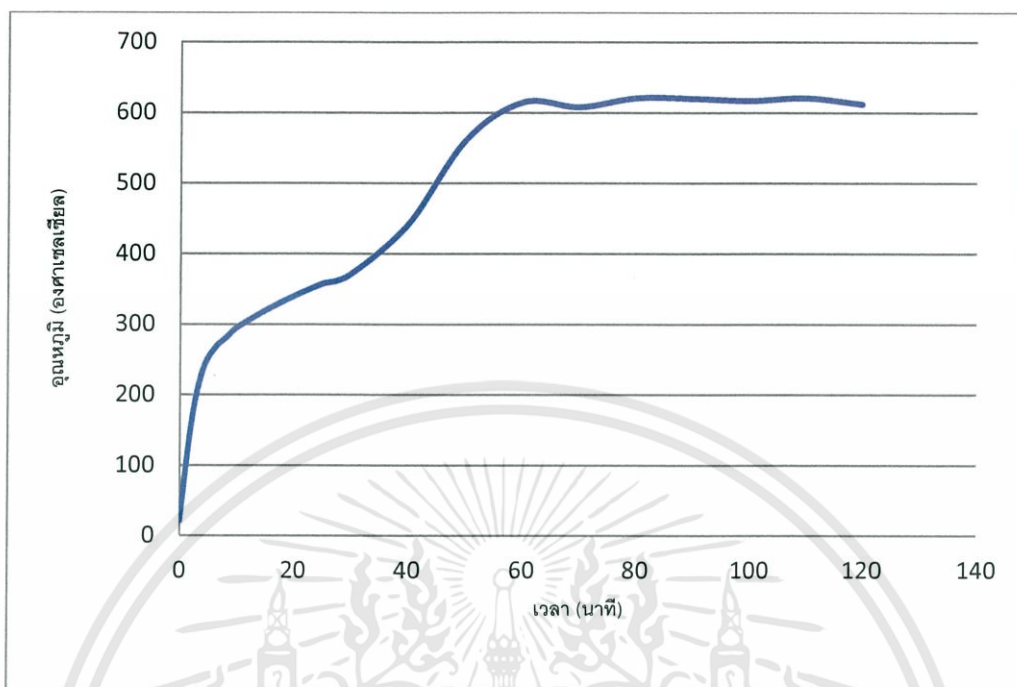
ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนทำการเผา (kg.)	น้ำหนักหลังทำการเผา (kg.)	หมายเหตุ
4-1	40.80	38.20	
4-2	40.80	37.20	แตกบริเวณหัว-ปลาย
4-3	41.60	39.60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 4 (Load 200 kg/m<sup>2</sup>)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
0	21
2	160
4	236
6	266
8	281
10	296
15	320
20	340
25	357
30	371
40	442
50	562
60	615
70	608
80	621
90	620
100	617
110	621
120	612

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิจัดในการเผาของพื้นกลุ่มที่ 4

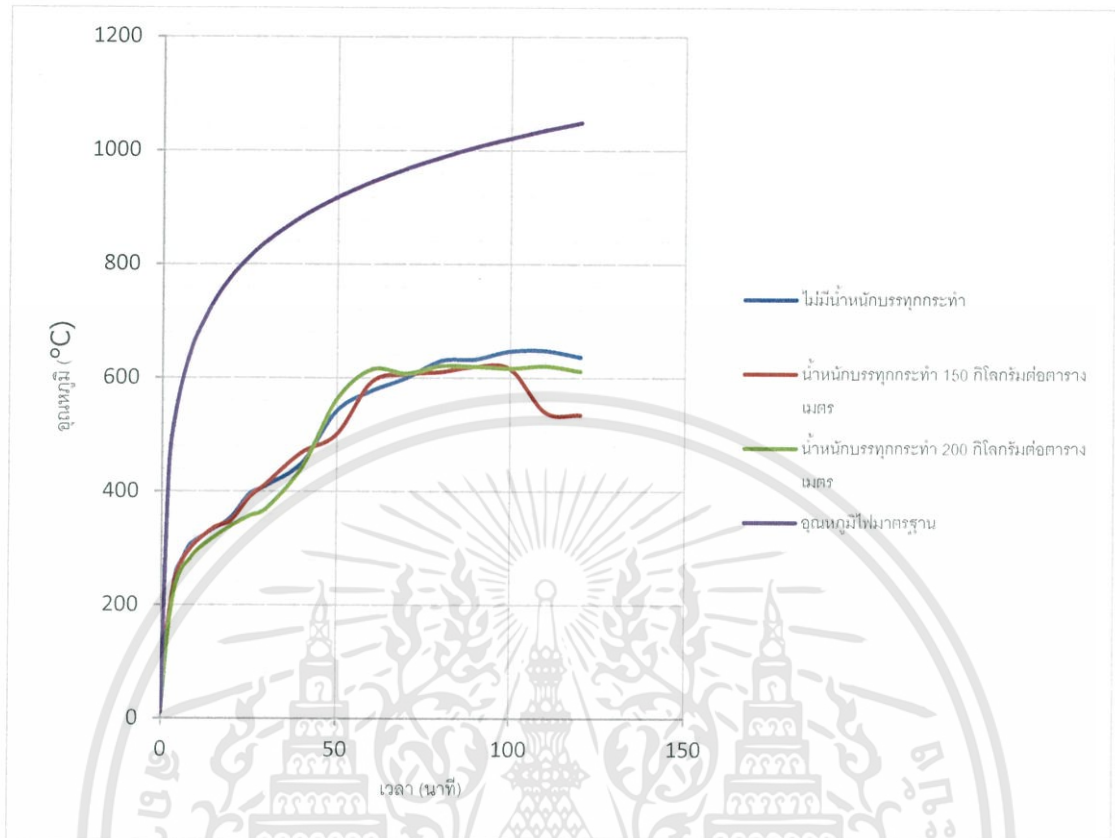
ตารางที่ 4.14 ระยะทรุดตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 4 (Load 200 kg/m<sup>2</sup>)

ตัวอย่าง	ระยะจากจุดอ้างอิง		การทรุดตัว (cm.)
	ก่อนเผา (cm.)	หลังเผา (cm.)	
4-1	25.8	25.5	0.3
4-2	25.8	25.5	0.3
4-3	19.9	19.8	0.1

ตารางที่ 4.15 Standard Temperature

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
0	20.00
2	444.50
4	543.88
6	603.11
8	645.45
10	678.42
15	738.56
20	781.35
25	814.60
30	841.79
40	884.74
50	918.08
60	945.34
70	968.39
80	988.36
90	1005.98
100	1021.75
110	1036.01
120	1049.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิไฟไหม้มาตรฐานกับอุณหภูมิที่ทดสอบจริง

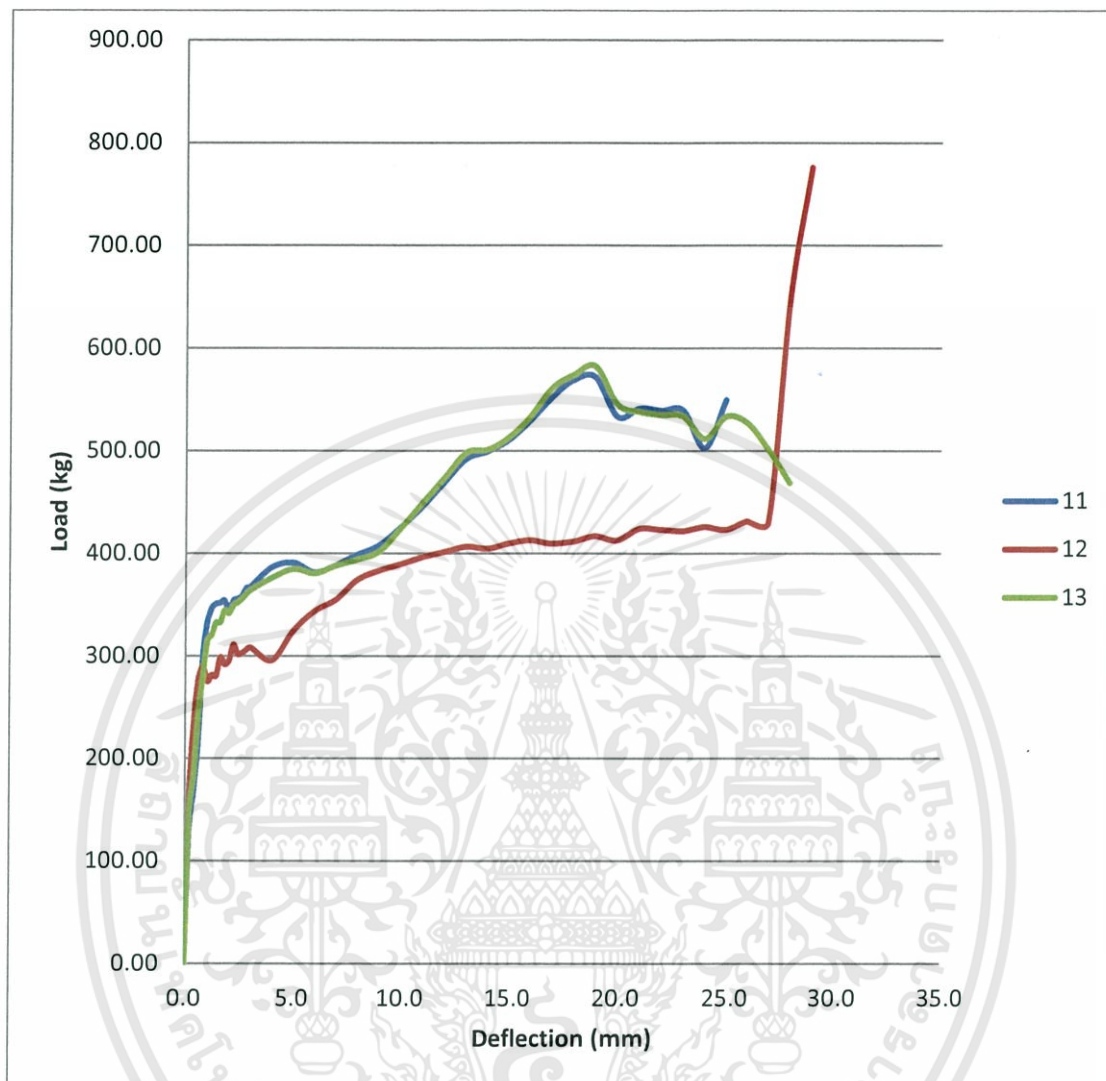
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 คุณสมบัติทางกล

4.1.2.1 จากการทดสอบพบว่าหลังจากทำการเผาแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงด้วยน้ำหนักกระทำต่างกันพบว่ากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงเปลี่ยนแปลงดังนี้

ตารางที่ 4.16 การโก่งตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 1 (ไม่ทำการเผา)

deflection (mm)	น้ำหนัก (kg)			deflection (mm)	น้ำหนัก(kg)		
	1-1	1-2	1-3		1-1	1-2	1-3
0.0	0.00	0.00	0	11.0	446.64	396.67	449.9
0.2	129.51	159.07	144.34	12.0	470.09	401.77	474.24
0.4	169.33	235.55	184.62	13.0	492.37	406.86	498.59
0.6	218.22	277.28	243.19	14.0	499.76	404.83	501.11
0.8	299.80	289.89	280.42	15.0	510.88	409.92	513.49
1.0	332.43	275.32	314.24	16.0	529.33	412.98	533.28
1.2	346.71	281.44	320.56	17.0	551.74	409.92	560.63
1.4	350.78	280.42	332.33	18.0	569.00	411.96	574.24
1.6	351.80	298.64	332.74	19.0	572.06	417.06	582.53
1.8	353.84	291.76	344.44	20.0	533.31	412.98	545.44
2.0	342.83	295.34	341.53	21.0	541.37	424.24	538.12
2.2	353.84	311.01	349.47	22.0	539.43	423.28	535.09
2.4	355.73	301.83	352.24	23.0	539.43	422.16	533.67
2.6	358.64	303.07	355.72	24.0	502.72	426.14	512.02
2.8	366.08	305.91	360.59	25.0	549.79	423.30	533.54
3.0	367.71	308.15	364.42	26.0		431.54	527.19
4.0	386.47	295.73	376.05	27.0		430.32	501.28
5.0	390.78	324.27	384.78	28.0		647.52	468.77
6.0	381.43	343.64	380.45	29.0		776.00	
7.0	388.51	354.98	284.91	max	572.06	776.00	585.20
8.0	398.71	374.23	393.88	avg.		644.42	
9.0	407.97	383.41	402.02				
10.0	426.24	389.93	425.44				



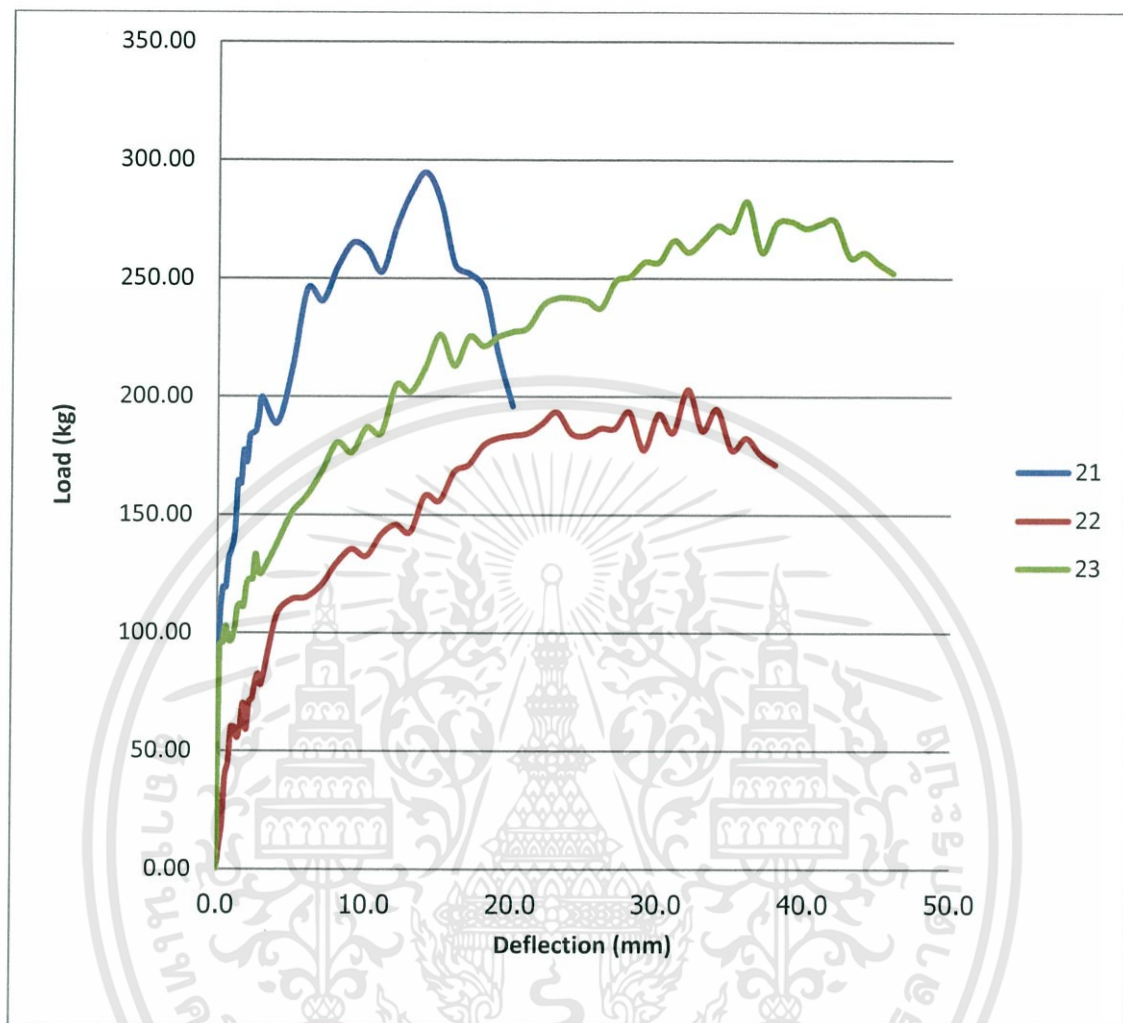
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้นกลุ่มที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 การโก่งตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 2 (ไม่มี Load)

deflection (mm)	น้ำหนัก(kg)			deflection (mm)	น้ำหนัก(kg)		
	2-1	2-2*	2-3		2-1	2-2*	2-3
0.0	0.00	0.00	0.00	21.0		184.57	229.24
0.2	104.01	10.20	94.83	22.0		188.65	238.61
0.4	119.21	19.42	95.85	23.0		193.57	241.67
0.6	119.30	39.77	102.99	24.0		184.57	241.67
0.8	131.54	44.97	96.87	25.0		183.55	240.65
1.0	135.62	60.17	96.87	26.0		186.61	237.51
1.2	142.76	60.17	101.97	27.0		186.61	248.81
1.4	164.45	55.75	111.12	28.0		193.49	250.85
1.6	163.15	61.19	112.17	29.0		177.55	256.87
1.8	177.34	70.37	111.15	30.0		192.73	256.97
2.0	172.33	59.15	120.32	31.0		184.77	265.99
2.2	183.55	70.67	122.86	32.0		203.03	261.04
2.4	184.54	72.40	122.86	33.0		185.59	266.14
2.6	185.79	79.54	133.36	34.0		194.74	272.26
2.8	192.80	82.76	125.42	35.0		177.44	270.22
3.0	199.74	78.52	125.29	36.0		182.57	282.46
4.0	188.84	107.44	137.56	37.0		175.40	261.04
5.0	212.10	114.21	150.92	38.0		171.32	273.28
6.0	245.75	115.23	158.05	39.0			274.16
7.0	240.53	120.23	168.25	40.0			271.24
8.0	254.93	129.51	180.49	41.0			273.12
9.0	264.99	135.59	176.41	42.0			274.30
10.0	262.07	132.57	186.81	43.0			259.15
11.0	252.89	141.59	184.57	44.0			261.01
12.0	272.14	145.82	204.86	45.0			256.34
13.0	286.42	142.77	202.02	46.0			252.34
14.0	294.70	158.06	212.10	max	297.87	205.94	282.46
15.0	282.46	156.02	226.26	avg.		262.09	
16.0	255.85	168.20	213.12				
17.0	251.87	171.32	225.35				
18.0	245.65	179.47	221.28				
19.0	217.28	182.53	225.35				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

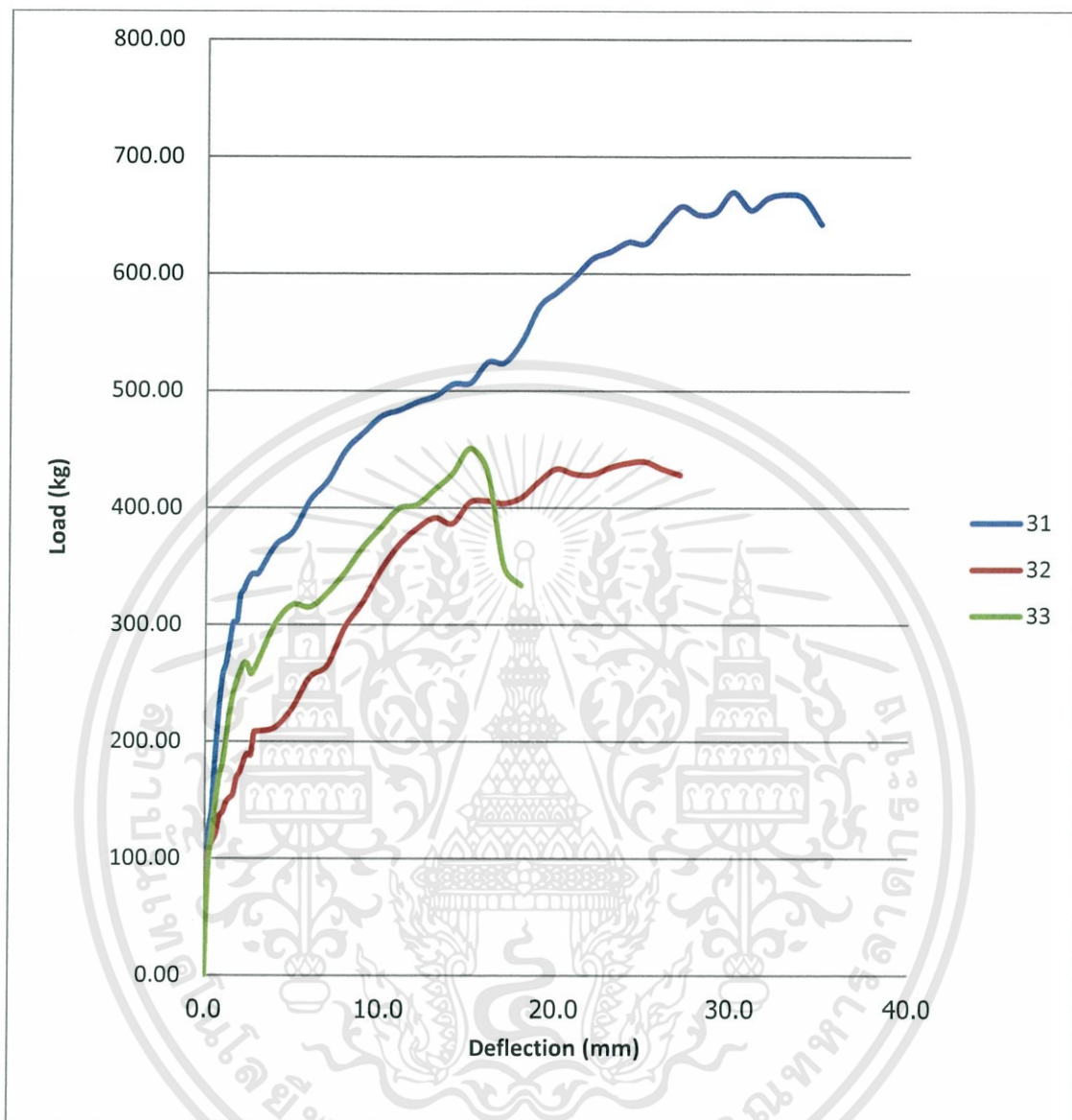


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างLoadกับDeflection ของแผ่นพื้นกลุ่มที่ 2

ตารางที่ 4.18 การโก่งตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 3 (Load 150 kg/m<sup>2</sup>)

deflection (mm)	น้ำหนัก(kg)			deflection (mm)	น้ำหนัก(kg)		
	3-1	3-2*	3-3		3-1	3-2*	3-3
0.0	0.00	0.00	0.00	16.0	524.41	405.85	431.25
0.2	116.25	101.98	91.78	17.0	524.14	403.75	349.77
0.4	141.80	114.27	122.37	18.0	542.49	408.91	333.51
0.6	190.69	120.33	146.98	19.0	572.07	422.17	
0.8	228.46	135.63	169.28	20.0	584.34	433.44	
1.0	256.97	139.71	181.51	21.0	597.56	429.15	
1.2	267.37	147.92	201.97	22.0	612.85	428.29	
1.4	285.52	151.94	225.36	23.0	619.11	434.40	
1.6	301.84	155.06	240.66	24.0	627.13	438.44	
1.8	303.12	169.30	252.09	25.0	626.11	439.56	
2.0	325.29	174.34	260.09	26.0	643.43	433.33	
2.2	330.39	183.55	267.17	27.0	657.72	428.29	
2.4	337.63	189.70	266.35	28.0	650.58		
2.6	342.63	188.60	257.99	29.0	652.82		
2.8	343.65	208.03	262.15	30.0	669.72		
3.0	343.59	208.93	268.19	31.0	654.66		
4.0	368.12	212.20	300.90	32.0	664.86		
5.0	379.30	228.42	317.14	33.0	667.92		
6.0	406.67	255.03	315.20	34.0	664.86		
7.0	423.19	265.31	327.33	35.0	642.33		
8.0	448.78	297.84	344.69	max	676.08	447.66	450.72
9.0	463.98	319.18	366.08	avg.		524.82	
10.0	478.33	346.71	383.42				
11.0	483.45	368.12	399.54				
12.0	490.49	382.40	402.79				
13.0	495.59	391.58	416.05				
14.0	505.78	386.67	429.56				
15.0	506.80	404.89	450.72				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



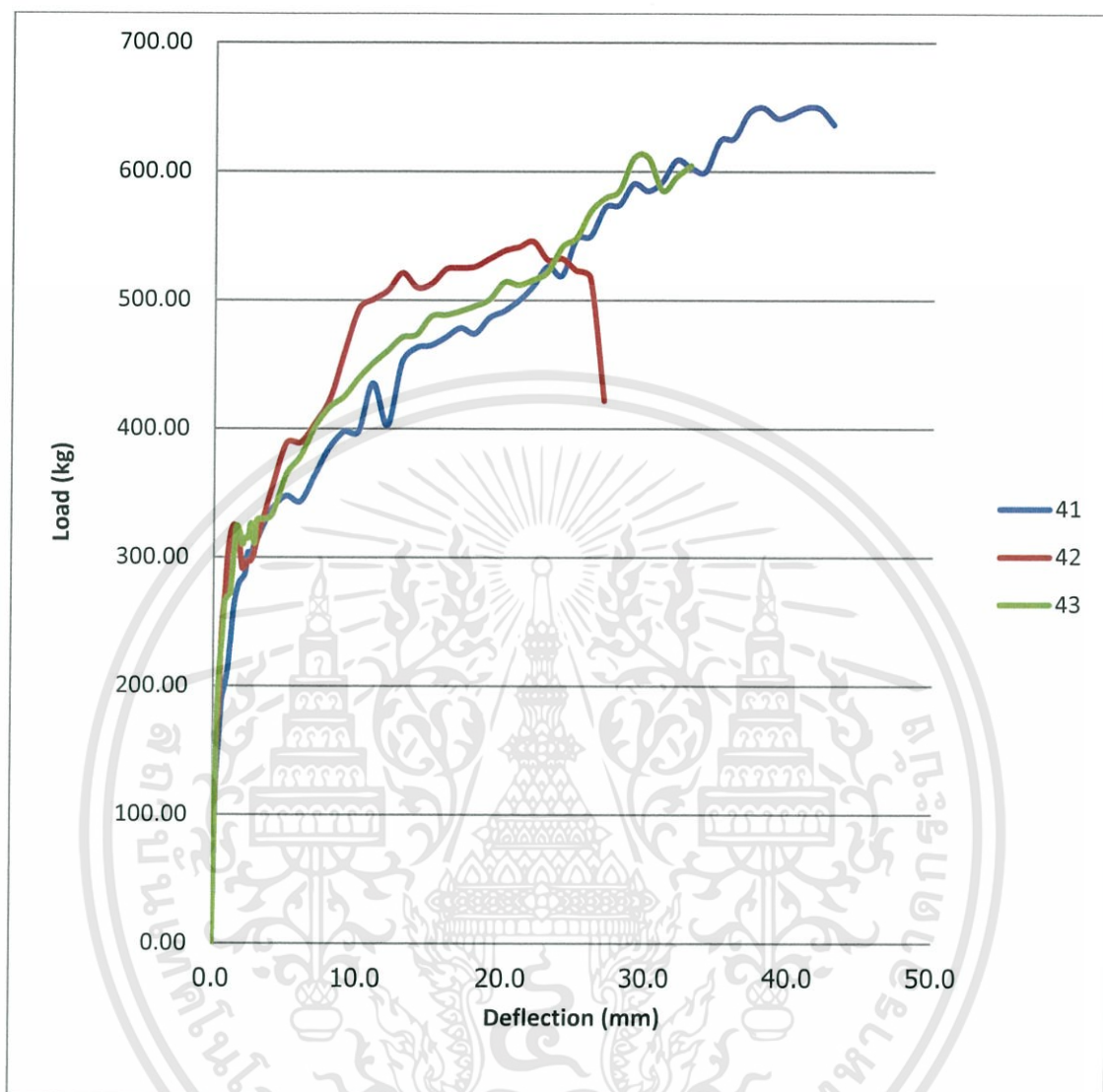
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้นกลุ่มที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 การโก่งตัวของแผ่นพื้นทดสอบชุดที่ 4 (Load 200 kg/m<sup>2</sup>)

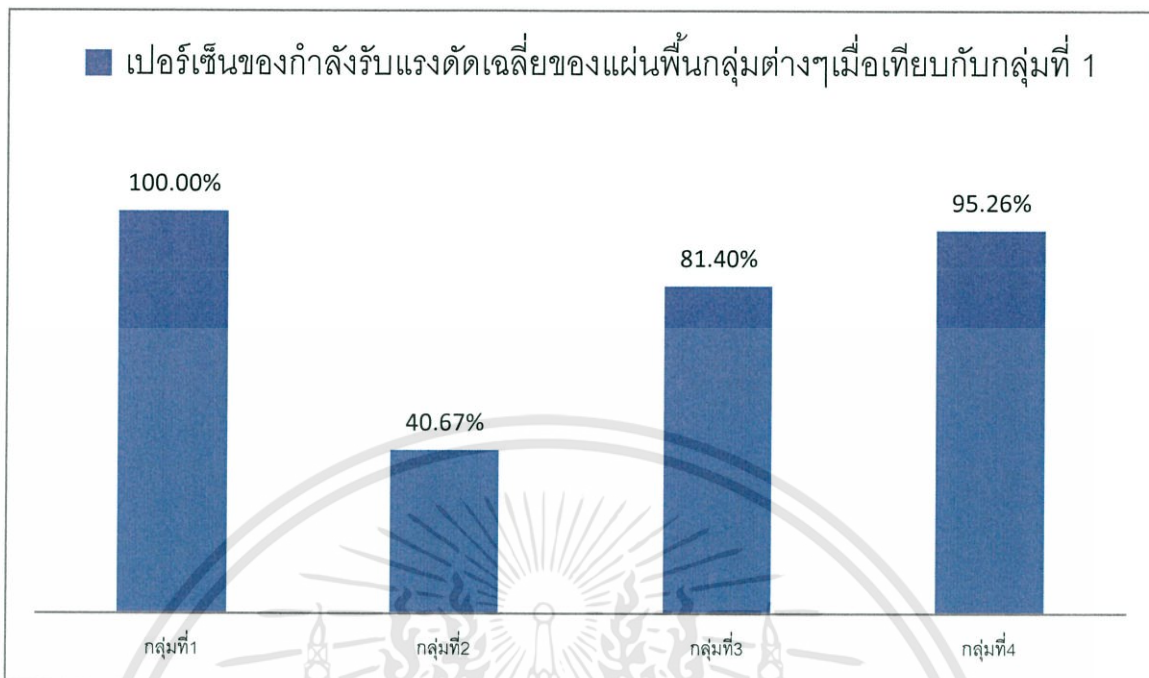
deflection (mm)	น้ำหนัก (kg)			deflection (mm)	น้ำหนัก(kg)		
	4-1	4-2*	4-3		4-1	4-2*	4-3
0.0	0.00	0.00	0.00	20.0	491.50	538.41	513.92
0.2	121.24	133.59	143.78	21.0	499.66	541.47	511.90
0.4	156.01	185.59	207.01	22.0	510.93	545.55	515.98
0.6	188.64	245.76	234.76	23.0	526.27	531.26	522.10
0.8	198.84	270.83	264.87	24.0	519.23	532.30	541.37
1.0	211.30	302.86	269.31	25.0	547.60	523.12	548.61
1.2	232.49	319.10	272.78	26.0	549.72	517.00	569.01
1.4	259.19	325.29	301.08	27.0	572.16	421.95	579.20
1.6	272.26	321.22	324.08	28.0	574.10		585.32
1.8	280.42	308.98	320.20	29.0	590.29		610.17
2.0	283.54	291.64	310.04	30.0	584.98		610.81
2.2	287.66	293.68	315.10	31.0	592.33		585.26
2.4	303.73	296.74	315.10	32.0	608.77		595.92
2.6	301.83	297.76	326.23	33.0	602.77		604.70
2.8	309.99	303.88	311.02	34.0	600.01		
3.0	313.95	313.76	328.98	35.0	624.06		
4.0	336.65	352.83	332.43	36.0	626.10		
5.0	347.72	388.52	363.92	37.0	645.38		
6.0	343.64	389.63	378.82	38.0	649.62		
7.0	364.10	404.67	401.77	39.0	641.40		
8.0	385.45	423.19	417.07	40.0	644.46		
9.0	397.82	459.90	425.23	41.0	649.56		
10.0	397.90	493.53	439.44	42.0	648.66		
11.0	435.36	500.67	450.93	43.0	636.30		
12.0	402.55	507.82	460.92	max	681.17	549.63	610.81
13.0	451.79	521.08	471.11	avg.	613.87		
14.0	462.95	509.86	473.29				
15.0	464.99	512.92	487.43				
16.0	471.11	524.14	488.47				
17.0	478.20	525.16	491.51				
18.0	474.20	526.18	495.59				
19.0	486.40	532.30	500.68				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection ของแผ่นพื้นกลุ่มที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยของแผ่นพื้นกลุ่มต่างๆเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ 1  
เปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นทั้ง 4 กลุ่มตัวอย่าง โดยกำหนดให้แผ่นพื้นตัวอย่างที่ไม่ทำการเผาเป็น 100% ส่วนกลุ่มที่ 2 ความสามารถในการรับแรงดัดลดลงเหลือ 40.67% กลุ่มที่ 3 กำลังรับแรงดัดลดลงเหลือ 81.40% และกลุ่มที่ 4 กำลังรับแรงดัดลดลงเหลือ 95.26%

#### 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นตัวอย่างพบว่ากลุ่มของแผ่นพื้นที่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำระหว่างทำการเผามีการลดลงของกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำในขณะเผา และการพิบัติที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นในตัวของเนื้อคอนกรีต เมื่อพิจารณาตามทฤษฎีอิลาสติกจะพบว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบริเวณผิวล่างและผิวบนของแผ่นพื้นตัวอย่างมีค่าเท่ากับ

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Pec}{I} \pm \frac{Mc}{I} \quad (2.6)$$

ผลงานวิจัยของ R.Felicetti [4] ที่ทำการศึกษาเพื่อหาลำบากของเหล็กเส้นที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (tempered core rebar) เปรียบเทียบกับเหล็กเส้นที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel rebar) โดยนำไปอบ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ และปล่อยให้เย็นตัว จากนั้นจึงมาทำการทดสอบแรงดึง พบว่ากำลังของลวดอัดแรง จะลดลงตั้งแต่อุณหภูมิ 200 -300 °c เนื่องจากการเผาแผ่นพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างนี้กระทำที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสทุกกลุ่ม การลดลงของกำลังของลวดอัดแรงในแผ่นพื้นตัวอย่างจึงถือเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ และจากผลการทดสอบนั้นพบว่าขนาดของแผ่นพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นมีค่าน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ จึงถือว่าค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดแผ่นพื้นนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อพิจารณาสมการที่ 2.6 พบว่า

$$\sigma \propto M$$

เมื่อพิจารณาหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวบนของแผ่นพื้นตัวอย่างที่จุดพิบัติพบว่า หน่วยแรงที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าเท่ากับกำลังประลัยของคอนกรีต

ดังนั้น

$$M \propto fc'$$

จากงานวิจัยของ H.L.Malhotra [5] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยการแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์การทดสอบกระทำที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสตัวอย่างทดสอบที่ใช้อยู่ในรูปทรงกระบอกมาตรฐาน จากการทดสอบไปตามมาตรฐานพบว่า ค่าอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์จะไม่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต นอกจากนี้ยังพบอีกว่าแท่งตัวอย่างที่ทดสอบโดยมีการให้น้ำหนักกระทำด้วยขณะเผาจะมีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงน้อยกว่าแท่งตัวอย่างที่ไม่ได้มีน้ำหนักกระทำทั้งนี้เป็นเพราะว่าน้ำหนักที่กระทำนั้นจะทำให้เกิดความเค้นภายในซึ่งจะเป็นตัวช่วยหนุนไม่ให้เกิดรอยร้าวได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบแผ่นพื้นที่ไม่ผ่านการเผาและถูกเผาด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะรับน้ำหนักบรรทุกที่ต่างกัน พบว่า

1. ความกว้าง ความหนา และความยาวของแผ่นพื้นตัวอย่างที่นำไปทำการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์จากขนาดเดิม 35x5x100 เซนติเมตร
2. จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นตัวอย่างพบว่า แผ่นพื้นกลุ่มที่ไม่ได้ทำการเผามีค่ากำลังรับแรงดัดเฉลี่ยสูงสุด คือ 4833.15 กิโลกรัม-เมตร ส่วนแผ่นพื้นที่ทำการเผาภายใต้สภาวะรับน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ 200 กิโลกรัมต่อเมตร 150 กิโลกรัมต่อเมตร และไม่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยเท่ากับ 4.74 18.60 และ 59.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ
3. กลุ่มของแผ่นพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกในขณะทำการเผามีการลดลงของกำลังรับแรงดัดน้อยกว่ากลุ่มของแผ่นพื้นที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำในขณะทำการเผา เนื่องจากน้ำหนักที่บรรทุกจะทำให้เกิดหน่วยแรงภายใน ในแผ่นพื้นซึ่งเป็นตัวหน่วงการเกิดรอยแตกร้าวบนแผ่นพื้นในขณะทำการเผาด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส (H.L. Malhotra,1954)

#### 5.2 การนำไปใช้ประโยชน์

1. การเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบก่อนและหลังการไหม้ไฟ สามารถใช้เป็นข้อมูลที่ช่วยในการตัดสินใจการใช้งานโครงสร้างหลังถูกเพลิงไหม้ จากผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นหลังจากการไหม้ไฟมีค่าลดลงมาสู่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ แต่อุณหภูมิที่ทำการทดสอบ 600 องศาเซลเซียสนั้นคือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัสดุที่สามารถติดไฟได้ในอาคารเกิดการลุกไหม้ทั้งหมด โดยในความเป็นจริงนั้นการเกิดเพลิงไหม้อาจจะเกิดไม่รุนแรงหรืออาจจะดับไฟที่ลุกไหม้ได้ทันที กำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นอาจจะลดลงน้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นตัวอย่าง สามารถนำผลการทดสอบที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบอาคารเพื่อความปลอดภัยด้านอัคคีภัย

3. จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นตัวอย่าง สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงซ่อมแซมอาคารหลังถูกเพลิงไหม้ได้อย่างเหมาะสม ทำให้ลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นในการปรับปรุงซ่อมแซมอาคารหลังไหม้ไฟได้

### 5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ

1. ความสามารถในการให้ความร้อนของเตาเผา เมื่อพิจารณาจากกราฟอุณหภูมิและเวลาทำการเผาพบว่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิภายในเผามีค่าน้อยกว่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิไฟมาตรฐาน(มยผ.8201-51) ซึ่งมีสาเหตุมาจากระบบของเตาเผาที่ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในการเผา โดยการที่จะเพิ่มอุณหภูมิในเตาเผาให้ไปถึง 600 องศาเซลเซียสนั้นต้องทำการต้มถังเชื้อเพลิงควบคู่ไปด้วยเพื่อเพิ่มแรงดันของเชื้อเพลิงที่ใช้ทำการเผาแผ่นพื้นแต่การเพิ่มของอุณหภูมินั้นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยต่อสถานที่ทดสอบและผู้ควบคุมเตาเผาด้วย จึงทำให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในเตาเผานั้นมีค่าน้อยกว่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิไฟมาตรฐาน

2. การวัดความหนาของแผ่นพื้นตัวอย่างก่อนทำการเผานั้นผู้ทดสอบได้ใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์แบบดิจิตอลทำการวัด แต่การวัดความหนาหลังจากการเผาตัวเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์แบบดิจิตอลเกิดการชำรุดทำให้ผู้ทดสอบต้องใช้เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์แบบอนาล็อกทำการวัดแทน ส่งผลให้ความละเอียดของทั้งสองครั้งมีค่าไม่เท่ากัน

3. แผ่นพื้นตัวอย่างที่ทำการเผา หลังจากทำการเผาแผ่นพื้นตัวอย่างทุกครั้งพบว่าบริเวณปลายของแผ่นพื้นแผ่นที่วางใกล้กับหัวแก๊สเกิดการแตกร้าวทำให้เนื้อคอนกรีตเกิดการหลุดร่อน และทำให้ต้องเลื่อนระยะของจุดรองรับในการทดสอบหากำลังรับแรงดัดให้มีระยะที่ลดลงจาก 90 เซนติเมตร เป็น 75 เซนติเมตร โดยผลการทดสอบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นพื้นตัวอย่างอื่นๆในกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน แต่น้ำหนักที่หายไปไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นน้ำหนักของเนื้อคอนกรีตที่หลุดร่อนไปเป็นเท่าไร

4. เนื่องจาก UTM ที่ใช้มี capacity อยู่ที่ 150 ตัน แต่ค่าแรงกดที่จุดพิบัติสูงสุดที่อ่านคือ 776.00 กิโลกรัม คิดเป็น 0.52 เปอร์เซ็นต์ของ capacity เครื่อง UTM ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มาก ค่าแรงกดที่อ่านได้จึงมีความคลาดเคลื่อนพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทุกในขณะเผา เพื่อหาน้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ลดกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นน้อยที่สุด
2. ควรเพิ่มขนาดของแผ่นพื้นที่ทำการทดสอบเพื่อสอดคล้องกับการใช้งานในอาคารจริง
3. เตาเผาที่ใช้ควรมีสมรรถนะที่สูง สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ตามอุณหภูมิไฟมาตรฐาน
4. การเลือกใช้เครื่อง UTM ควรเลือกเครื่อง UTM ที่มี capacity ที่เหมาะสมกับแรงกดที่จุดพิบัติเพื่อที่จะสามารถอ่านค่าแรงกดได้ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น



## บรรณานุกรม

[1] อภิชาติชาย บุญลือ. มาตรการป้องกันและบรรเทาความเสียหายจากอัคคีภัยใน กรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.

[2]Thanyawat Photisiri. (2013).Structural Design for Fire Safety. Bangkok:Chulalongkorn University.

[3]Nares Phantarathorn. (1997). Design of Prestressed Concrete. Bangkok: Library Nine.

[4] R. Felicetti [2] et al., Construction and Building Materials 23. page 3548, 2009.

[5]H.L. Malhotra. (1954).Effect of temperature on the crushing strength of concrete .Fire Research stations. Boreham wood, Herts.

สุรียนต์ เจริญเศรษฐกุล และ ประธาน ระวีวงศ์โนมัย, 2536.พฤติกรรมการรับกำลังดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดดิ่งลวดก่อนหลังถูกเพลิงไหม้.ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง(สจล.)

Department of Public Works and Town & Country Planning [DPT]. (2008). Fire resistance test standards for structural components and building components (มยพ.8201).Bangkok: DPT

## ภาคผนวก



เตรียมแผ่นพื้นทดสอบแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดขนาด ความกว้าง ความยาว ความหนาและชั่งน้ำหนักของแผ่นพื้นทดสอบ



ทำการตัดเหล็กที่บริเวณหัวของแผ่นพื้น



ทำการจัดวางแผ่นพื้นทดสอบก่อนทำการเผา



ทำการวัดค่าระยะการแ่นตัวก่อนทำการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การนำแผ่นพื้นตัวอย่างเข้าเตาเผา



เริ่มทำการเผา



จดบันทึกค่าอุณหภูมิและเวลา เพื่อนำไปใช้ในการเขียนกราฟ เมื่อทำการเผาครบตามอุณหภูมิที่กำหนด ปิดเตาเผาและทำการทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือ 1 วันเพื่อให้แผ่นพื้นเย็นตัวลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



นำแผ่นพื้นตัวอย่างออกจากเตาเผา และทำการวัดค่าระยะการแอมตัวของแผ่นพื้นทดสอบหลังจากการเผา



กลุ่มแผ่นพื้นตัวอย่างที่ 2 ไม่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กลุ่มแผ่นพื้นตัวอย่างที่ 3 มีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำขณะเผา 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร



กลุ่มแผ่นพื้นตัวอย่างที่ 4 มีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำขณะเผา 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ทำการวัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และซั้งน้ำหนักแผ่นพื้นตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มหลังจากทำการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ทำการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่นพื้นตัวอย่างหลังจากทำการเผาโดยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลักษณะการพัง และการแตกร้าวของแผ่นพื้นตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ที่ไม่ทำการเผาและไม่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



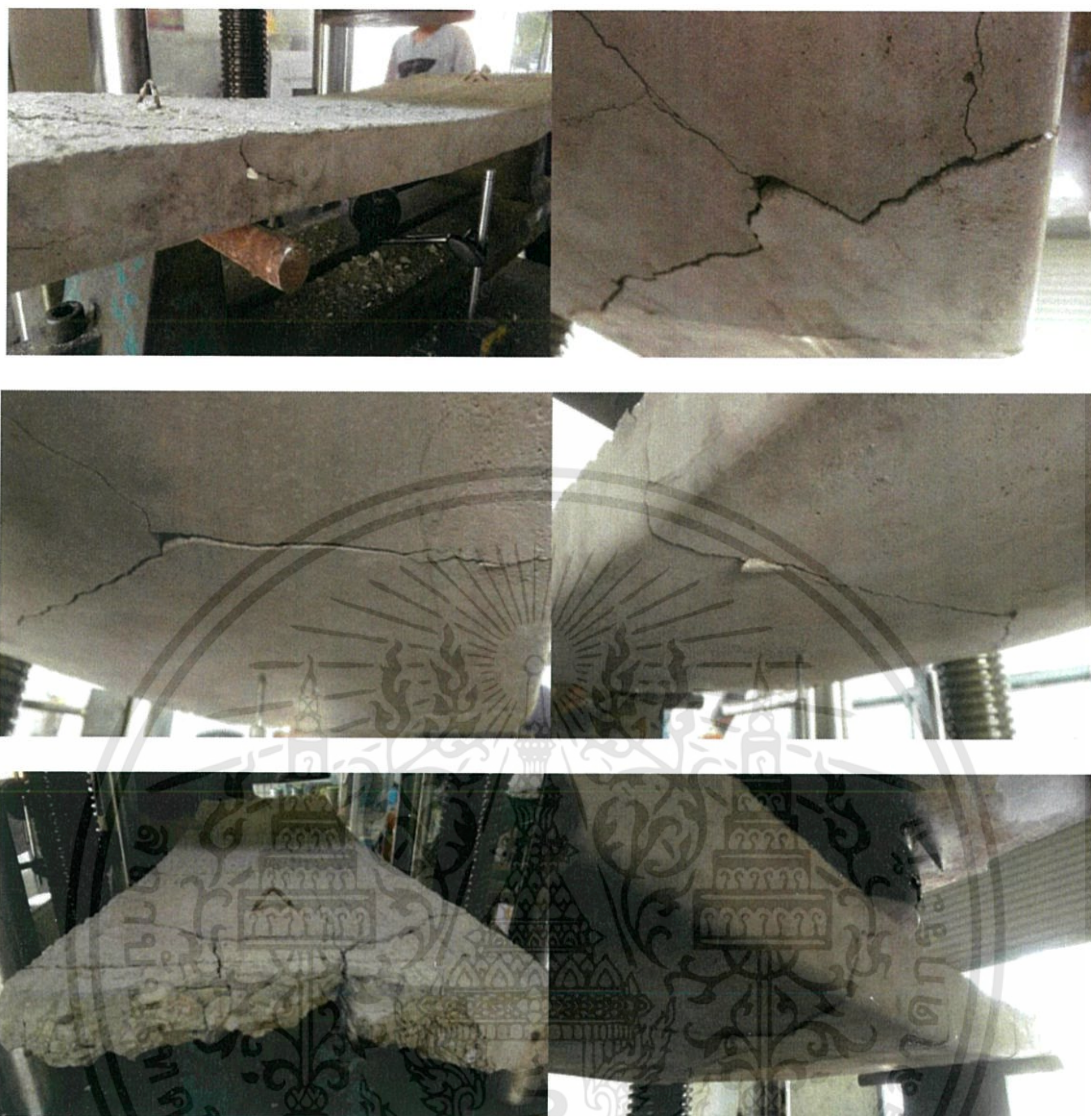
ลักษณะการพัง และการแตกร้าวของแผ่นพื้นตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ที่ทำการเผาและไม่มีน้ำหนักรรทุก  
กระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลักษณะการพัง และการแตกร้าวของแผ่นพื้นตัวอย่างกลุ่มที่ 3 ที่ทำการเฉาะและมีน้ำหนักบรรทุก  
กระทำ 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลักษณะการพัง และการแตกร้าวของแผ่นพื้นตัวอย่างกลุ่มที่ 4 ที่ทำการเผาและมีน้ำหนักบรรทุก  
กระทำ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



มีการหลุดร่อนบริเวณส่วนหัวของคอนกรีตที่ทำการเผาไกล่กับเปลวเพลิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้