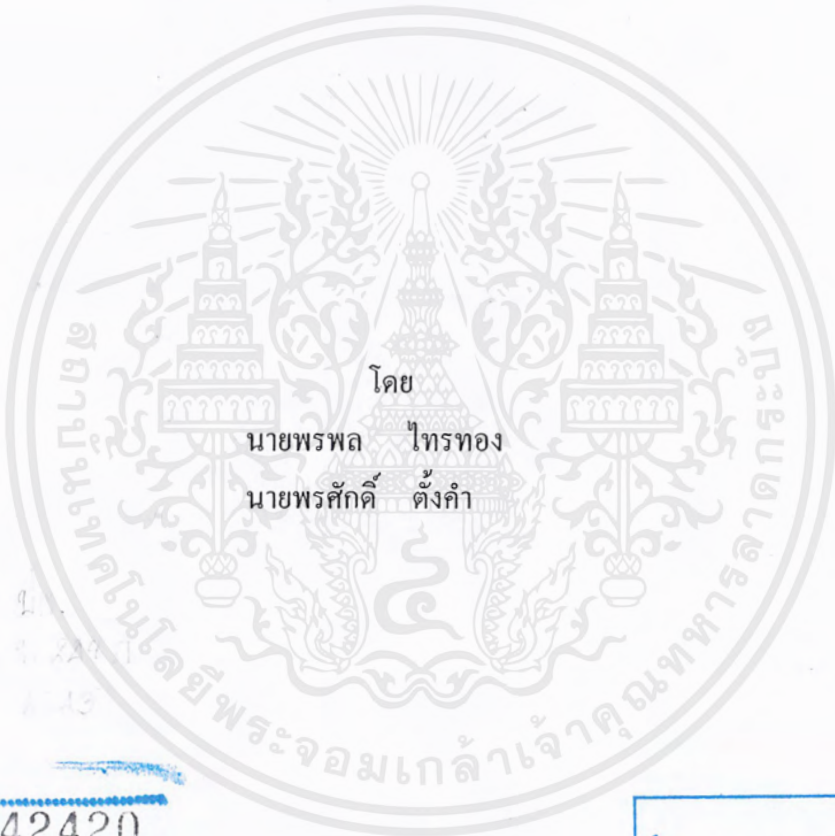


การประเมินความสามารถใช้งานได้ของอาคารหลังถูกเพลิงไหม้  
SEVICEABILITY EVALUATION OF FIRED BUILDING



โดย  
นายพรพล ไทรทอง  
นายพรศักดิ์ ตั้งคำ

6

เลขหมึ.....  
เลขทะเบียน..... 42420  
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ศ. 2545

b.....  
i.....

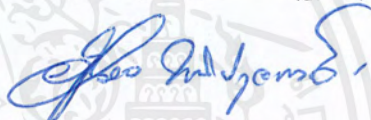


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

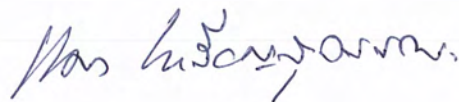
611204934

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การประเมินความสามารถใช้งานได้ของอาคารหลังถูกเพลิงไหม้  
นักศึกษา นายพรพล ไทรทอง รหัสประจำตัว 40010492  
นายพรศักดิ์ ตั้งคำ รหัสประจำตัว 40010493  
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์	
อ.อุษะ สิริแก้ว	
อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.แดง เหริยวุฒสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SEVICEABILITY EVALUATION OF FIRED BUILDING



MR.PORNPON SAITHONG

MR.PORNSAK TANGKAM

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

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประเมินความสามารถใช้งานได้ของอาคารหลังถูกเพลิงไหม้		
	SEVICEABILITY EVALUATION OF FIRED BUILDING		
นักศึกษา	นายพรพล ไทรทอง	รหัสประจำตัว	40010492
	นายพรศักดิ์ ตั้งคำ	รหัสประจำตัว	40010493
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์		
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขา	วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2543		

## บทคัดย่อ

เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้อาคารมักจะมีคำถามอยู่เสมอว่าอาคารเหล่านั้นยังสามารถใช้งานได้อีกหรือไม่ ควรทุบทิ้ง หรือทำการซ่อมแซมเฉพาะส่วนที่เสียหายและสามารถใช้งานได้ต่อไป ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนในการประเมิน โครงการพิเศษนี้จึงได้ศึกษาและรวบรวมเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความสามารถใช้งานได้ของโครงสร้างอาคารหลังถูกเพลิงไหม้ ว่าควรจะซ่อมแซมแก้ไข หรือทุบทิ้ง โดยได้แบ่งขั้นตอนการประเมินออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสอบเบื้องต้น การตรวจสอบทางด้านวิศวกรรม และสุดท้ายเป็นการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อยืนยันถึงความสามารถใช้งานได้ของโครงสร้างก่อนใช้งาน นอกจากนี้ยังได้รวบรวมกรณีศึกษาเพื่อเป็นตัวอย่างในการประเมินไว้ด้วย

Title : SEVICEABILITY EVALUATION OF FIRED BUILDING  
Name : MR.PORNPON SAITHONG  
 : MR.PORNSAK TANGKAM  
Field : CONSTRUCTION ENGINEERING  
Department : CIVIL ENGINEERING  
Faculty : ENGINEERING  
Advisor : ASST.PROF.AMNUAY PANICHAKULPONG

## ABSTRACT

Once buildings are fired, there are some questions whether those buildings are serviceable or whether they should be demolished or restored only damage parts. However, nowadays there are no exact evaluation criteria. Accordingly, this special project studied and collected criteria, to used for evaluating serviceability of fired buildings. The evaluation procedures were divided into three stages, i.e. preliminary investigation , engineering investigation and load capacity testing - the final stage - in order to ensure the seviceability of fired buildings before they may be used again. In addition , case studies were collected to cite them as examples.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณแก่บุคคลและบริษัทต่างๆดังต่อไปนี้

1. ผศ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา หน่วยงานพิเศษ ซึ่งได้ให้การปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างสูงต่อ หน่วยงานพิเศษ
2. อาจารย์อุษะ สิริแก้ว ผู้ซึ่งคอยชี้แนะและให้การปรึกษา
3. อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร ซึ่งได้ตรวจปริญญาบัตรฉบับนี้ให้มีความถูกต้องตามรูปแบบการเขียน
4. อาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง ผู้ซึ่งคอยชี้แนะและให้การปรึกษา
5. อาจารย์ประจำภาควิชาโยธาและเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้แนะนำและให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน
6. พี่พรเจริญ ธานานารถ และ บริษัท อรุณ ชัยเสรี คอนซัลติง จำกัด ที่ได้ให้การสัมภาษณ์และเอื้อเฟื้อข้อมูลด้วยความเต็มใจ
7. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์, หอสมุดกลาง ที่เป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูลสำหรับ หน่วยงานพิเศษ
8. บริษัทอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ซึ่งได้เอื้อเฟื้อข้อมูลอันเป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในด้านต่างๆ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้า ที่ได้สละทุนทรัพย์และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ความดีทั้งหลายอันพึงได้รับจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา และครูอาจารย์ทุกท่านเพื่อน้อมระลึกถึงพระคุณของท่านทั้งหลายที่มีให้เสมอมาแก่ข้าพเจ้า

นายพรพล ไทรทอง  
นายพรศักดิ์ ตั้งคำ  
ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอวมุติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญรูป	ฏ
1	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
	1.4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ	1
	1.5. วิธีการศึกษา	2
	1.5.1. การเก็บข้อมูล	2
	1.5.2. การวิเคราะห์ข้อมูล	2
2	ไฟ	
	2.1. บทนำ	5
	2.2. การเกิดไฟ	5
	2.3. สรุป	17

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	อิทธิพลของไฟต่อวัสดุพื้นฐาน	
3.1.	บทนำ	18
3.2.	เหล็ก	18
3.3.	คอนกรีต	22
3.3.1.	องค์ประกอบของคอนกรีต	25
3.3.2.	คอนกรีตเมื่อถูกไฟเผา	27
3.3.3.	การหลุดกะเทาะของคอนกรีต	29
3.3.4.	กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตหลังถูกไฟไหม้	31
3.3.5.	สาเหตุการเปลี่ยนแปลงกำลังอัดคอนกรีตหลังถูกไฟไหม้	31
3.3.6.	แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงแบบค้ำก่อนเมื่อถูกไฟไหม้	37
4.4.	พฤติกรรม โครงสร้างอาคาร	38
4.5.	ผลงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับค่ากำลังของคอนกรีตและเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ	39
4.6.	สรุป	42
4	การตรวจสอบโครงสร้าง	
4.1.	บทนำ	43
4.2.	การตรวจสอบเบื้องต้น	43
4.2.1.	การสำรวจบริเวณและลักษณะอาคาร	43
4.2.2.	ประมาณความรุนแรงของไฟ	45
4.3.	ศึกษาจากแบบที่ยื่นขออนุญาตก่อสร้างและทำการวางแผนการทดสอบ	50
4.3.1.	ตำแหน่งที่จะเก็บตัวอย่าง	51
4.3.2.	วิธีการทดสอบ	51
4.3.3.	ปริมาณตัวอย่างที่เก็บ	51
4.4.	การตรวจสอบด้านวิศวกรรม	52
4.4.1.	การตรวจสอบระยะ โกงตัว	52

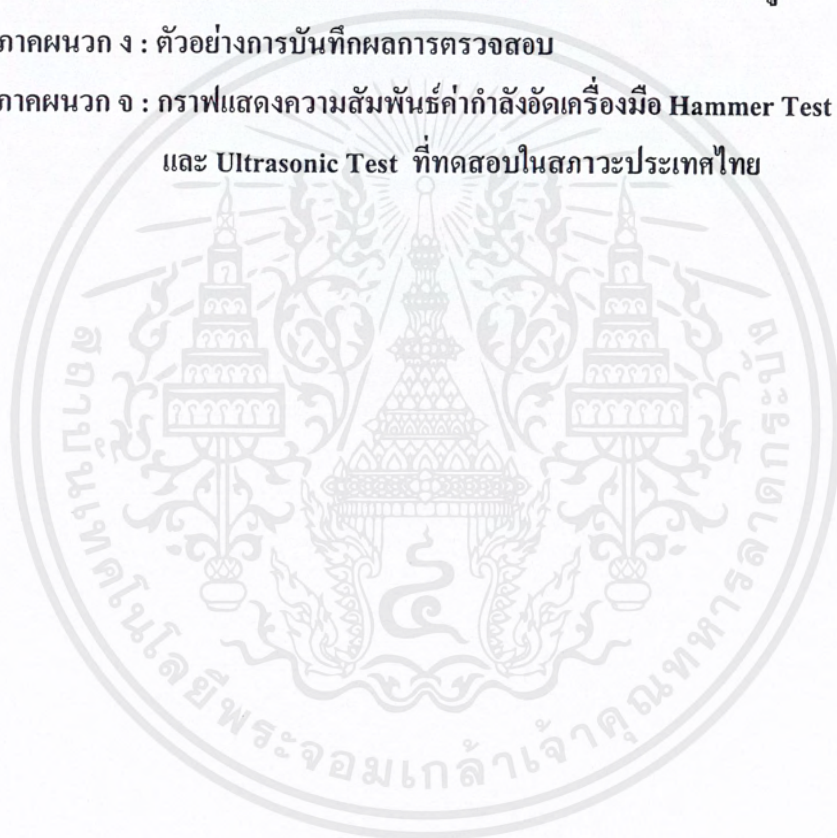
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.4.2. การทดสอบวัดจำนวนครั้งการสะท้อน	52
	4.4.3. การตรวจสอบโดยอุลตราโซนิกพัลส์เวโลซิตี	56
	4.4.4. การเจาะคอนกรีตทดสอบกำลังอัดประลัย	59
	4.4.5. การทดสอบแรงดึงเหล็กและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว	62
	4.4.6. การทดสอบการบรรจุท่อน้ำหนักจริง	63
	4.4.7. การคำนวณย้อนกลับ	64
	4.5. สรุป	
5	หลักเกณฑ์ในการประเมิน	
	5.1. เกณฑ์การประเมินเบื้องต้น	67
	5.2. การประเมินจากการทดสอบด้านวิศวกรรม	67
	5.2.1. การทดสอบความแข็งแรงคอนกรีตจากก้อนยั้งคอนกรีต	67
	5.2.2. การทดสอบวัดความเร็วคลื่นเสียง	67
	5.2.3. การกดตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเจาะ	69
	5.2.4. การทดสอบแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก	69
	5.2.5. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของ โครงสร้าง	69
6	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
	6.1 บทสรุป	71
	รายการอ้างอิง	73
	บรรณานุกรม	75
	ภาคผนวก ก : กรณีศึกษาอาคารที่พื้นเป็นระบบคอนกรีตอัดแรง และพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป	ผนก1

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ภาคผนวก ข : กรณีศึกษาอาคารที่พื้นเป็นระบบคอนกรีตอัดแรง	ผข1
	ภาคผนวก ค : กรณีศึกษาอาคารที่พื้นเป็นระบบคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป	ผค1
	ภาคผนวก ง : ตัวอย่างการบันทึกผลการตรวจสอบ	ผง1
	ภาคผนวก จ : กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังอัดเครื่องมือ Hammer Test และ Ultrasonic Test ที่ทดสอบในสภาวะประเทศไทย	ผจ1



# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1.1.	แสดงจำนวนเพลิงไหม้ ขนาด สาเหตุ ความเสียหายในกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531-2541	3
2.1.	แสดงค่าความสามารถในการนำความร้อนของสารบางชนิด	13
3.1.	แสดงการเปลี่ยนสีของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ	18
3.2.	แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีของคอนกรีตตามอุณหภูมิ	28
3.3.	แสดงการเปลี่ยนแปลงสีและรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นคอนกรีตตามอุณหภูมิ	28
3.4.	แสดงความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมเพื่อป้องกันไฟ	28
3.5.	แสดงลำดับการเกิดไฟไหม้และพฤติกรรมของ โครงสร้าง	30
3.6.	แสดงค่ากำลังคอนกรีตที่ระยะเวลาและอุณหภูมิต่างๆ	38
3.7.	แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ	40
3.8.	แสดงค่ากำลังคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ	41
3.9.	แสดงค่ากำลังคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ	42
4.1.	แสดงจุดหลอมเหลวของโลหะ	45
4.2.	แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของโครเมียมตามอุณหภูมิต่างๆ	46
4.3.	แสดงการบันทึกผลการทดลองจากวิธี Hammer Test	55
4.4.	แสดงค่าปรับแก้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่มีสัดส่วน L/D ต่างๆกัน	61
5.1.	แสดงเกณฑ์ในการประเมินความรุนแรงเบื้องต้น	70
ผ.ก.1.	แสดงสภาพทางกายภาพของเสา	ผก5
ผ.ก.2.	แสดงสภาพทางกายภาพของพื้น	ผก5
ผ.ก.3.	แสดงค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตจากตัวอย่าง Coring Concrete	ผก6
ผ.ก.4.	แสดงค่ากำลังรับแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้	ผก7
ผ.ก.5.	แสดงค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตจากตัวอย่าง Coring Concrete Zone "C"	ผก10
ผ.ก.6.	แสดงค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเสาจากวิธี Rebounded Test	ผก12
ผ.ก.7.	การทดสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น โดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก	ผก14
ผ.ก.8.	แสดงตัวอย่างค่ากำลังอัดสูงสุดจากแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากการ Coring Test	ผก30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ก.9.	แสดงตัวอย่างกำลังการรับแรงดึงสูงสุดของตัวอย่างเหล็กเสริม	ผก31
ผ.ก.10.	แสดงตัวอย่างกำลังสูงสุดจาก Rebounded Hammer	ผก32
ผ.ก.11.	แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักของพื้นคอนกรีตอัดแรง	ผก33
ผ.ก.12.	แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นสำเร็จคอนกรีตอัดแรง	ผก34
ผ.ก.13.	แสดงผลการทดสอบกำลังคอนกรีตของเสาจากวิธี Rebounded Test	ผก48
ผ.ก.14.	แสดงผลการทดสอบกำลังของคอนกรีตของคานจากวิธี Rebounded Test	ผก49
ผ.ก.15.	แสดงผลการทดสอบกำลังของคอนกรีตของพื้นจากวิธี Rebounded Test	ผก50
ผ.ก.16.	แสดงผลการทดสอบกำลังของคอนกรีตจากตัวอย่าง Coring Concrete	ผก51
ผ.ก.17.	แสดงผลการทดสอบกำลังของเหล็ก	ผก51
ผ.ข.1.	แสดงผลการทดสอบ Concrete Compression Test โครงสร้างพื้น	ผข4
ผ.ข.2.	แสดงผลการทดสอบเหล็ก	ผข4
ผ.ข.3.	แสดงผลการทดสอบ Rebounded Test โครงสร้างพื้น	ผข5
ผ.ค.1.	แสดงการโค้งตัวของโครงสร้างคาน	ผค7
ผ.ค.2.	แสดงผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต	ผค8
ผ.ค.3.	แสดงกำลังดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก Topping	ผค9
ผ.ค.4.	แสดงกำลังดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก Prestress	ผค9
ผ.ค.5.	แสดงกำลังดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็กหลังคา	ผค9
ผ.ค.6.	แสดงค่ากำลังและสภาพของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	ผค12
ผ.ค.7.	แสดงค่ากำลังและสภาพของคานคอนกรีตอัดแรง	ผค13
ผ.ง.1.	แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผล	ผง3
ผ.ง.2.	แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผล	ผง4
ผ.ง.3.	แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผล	ผง5
ผ.ง.4.	แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผล	ผง6
ผ.ง.5.	แสดงค่าปรับแก้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่มีสัดส่วน L/D ต่างๆกัน	ผง6

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ง.6.	แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผลการทดสอบแรงดึงเหล็ก	ผง7
ผ.ง.7.	แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกสรุปลและการประเมินผลการตรวจสอบ	ผง8
ผ.ง.8.	แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผลการดำเนินการซ่อมแซมและแก้ไข	ผง9
ผ.ง.9.	แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผลการบันทึกผลการรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร	ผง11



# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1.	แสดงจำนวนการเกิดเพลิงไหม้ในเขตกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531-2541	4
1.2.	แสดงอัตราการบาดเจ็บและเสียชีวิตในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531-2541	4
2.1.	แสดงพีระมิดของการคิดไฟ	6
2.2.	แสดงการลุกไหม้ของไม้	6
2.3.	แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริงๆ	7
2.4.	แสดงการลุกลามของไฟ	9
2.5.	แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรุนแรงของการลุกไหม้	10
2.6.	เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลามาตรฐาน ไฟ	11
2.7.	แสดงการแปลงความรุนแรงเสมือนของไฟ	12
2.8.	แสดงความรุนแรงเสมือนของไฟที่เท่ากัน	13
2.9.	แสดงการส่งผ่านความร้อน โดยการนำความร้อน	15
2.10.	แสดงการส่งผ่านความร้อน โดยการพาความร้อน	15
2.11.	แสดงการส่งผ่านความร้อน โดยการแผ่รังสี	16
3.1.	กำลังคลาก กำลังประลัย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่าพิคัดเส้นตรงของเหล็ก ที่อุณหภูมิต่างๆ	19
3.2.	กำลังคลากของลวดอัดแรงที่อุณหภูมิต่างๆ	20
3.3.	แสดงอัตราการคืบของเหล็กภายใต้ความเค้นดึง 1500 กก./ตร.ซม. ที่อุณหภูมิต่างๆ	20
3.4.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบของเหล็กเสริมอัดแรงภายใต้ความเค้นดึง 7000 กก./ตร.ซม. และของคอนกรีตน้ำหนักปกติภายใต้ความเค้นอัด 125 กก./ตร.ซม. ที่อุณหภูมิต่างๆ	21
3.5.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่รับได้กับอุณหภูมิวิกฤติของคาน เหล็กตัว I แบบ Statically Determinate (Lie, 1972)	21

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.6.	กำลังอัดของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ	22
3.7.	แสดงค่าขอบบน-ขอบล่างของ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ	23
3.8.	การฟื้นกำลังของคอนกรีตที่ถูกเผาไฟที่อุณหภูมิต่างๆเมื่อเวลาผ่านไป	24
3.9.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยา Dehydration ของ $\text{CaO}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ในซีเมนต์เพสต์	25
3.10.	แสดงการเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต	27
3.11.	แสดงการหลุดกะเทาะของผนังคอนกรีต	30
3.12.	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ	34
3.13.	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อกำลังยึดเหนี่ยวในช่วงเวลา 6 เดือน	35
3.14.	ค่าการลดลงของน้ำหนักคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ	36
3.15.	การขยายตัวและหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่อุณหภูมิต่างๆ	37
4.1.	แสดงสภาพภายนอกของอาคารที่เกิดเพลิงไหม้	44
4.2.	แสดงการเป็นถ้ำแบบ Alligatoring	48
4.3.	แสดงการเป็นถ้ำแบบ Fine Check	48
4.4.	แสดงบริเวณที่คอนกรีตแตกร้าวเสียหายมาก	49
4.5.	แสดงบริเวณที่เสียหายโดยแตกเป็นลายงา	50
4.6.	แสดงค่าจำนวนครั้งการสะท้อนกลับของ Rebounded Hammer Test กับค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์และค่าความคลาดเคลื่อน	53
4.7.	แสดงค่าจำนวนครั้งการสะท้อนกลับของ Rebounded Hammer Test กับค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกและค่าความคลาดเคลื่อน	53
4.8.	แสดงมุมที่ค้ำยันคอนกรีตกรพทำกับผิวที่ทดสอบ	54
4.9.	แสดงตำแหน่งที่สุ่มทดสอบ 10 ตำแหน่งจากการตีเป็นกริต	54
4.10.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็วเสียง ที่อัตราส่วน ปูน:หิน:ทราย ต่างๆกัน	56

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.11.	แสดงเครื่องมือทดสอบอุลตราโซนิคพัลส์เวโลซิตี	57
4.12.	แสดงวิธีวัดความยาวคลื่นเสียงแบบต่างๆ	58
4.13.	แสดงการเจาะพื้นคอนกรีตโดยเครื่องเจาะ	60
4.14.	แสดงตัวอย่างที่ได้จากการ Coring	60
4.15.	แสดงการกดตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Coring	61
4.16.	แสดงการเก็บตัวอย่างเหล็กไปทดสอบ	62
4.17.	แสดงโครงสร้างที่ทดสอบโดยการคำนวณย้อนกลับ	65
4.18.	แผนผังแสดงขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้าง	66
5.1.	แสดงการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่า 0.8fc' และ 1.2 fc'	68
ผ.ก.1.	แสดงการทดสอบกำลังของคอนกรีตของเสาชั้นที่ 3 บริเวณ Zone "B" ที่ถูกเพลิงไหม้โดยวิธี Rebounded Test	ผก15
ผ.ก.2.	แสดงบริเวณที่จับยึดลวดสลิง Zone "A" และ "B" ซึ่งหลุดออกมาเนื่องจากลวดสลิงขาด	ผก16
ผ.ก.3.	แสดงท้องพื้นชั้นดาดฟ้า บริเวณ Zone "A" ซึ่งผิวคอนกรีตกะเทาะออกจนเห็น เหล็กเสริมและลวดสลิงขาด	ผก16
ผ.ก.4.	แสดงการตัดเหล็กพื้นชั้นดาดฟ้าไปทดสอบกำลังดึง (Tensile Test)	ผก17
ผ.ก.5.	แสดงการเจาะพื้นคอนกรีตชั้นที่ 3 บริเวณ Zone "A" (Coring) เพื่อนำไปทดสอบกำลังอัด	ผก18
ผ.ก.6.	แสดงการติดตั้ง Dial Gauge ตามแนวแกน X และแกน Y	ผก18
ผ.ก.7.	แสดงการติดตั้ง Dial Gauge ตามแนวแกน X และแกน Y	ผก19
ผ.ก.8.	แสดงการก่อผนังอิฐที่ใช้ใส่น้ำในการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก	ผก19
ผ.ก.9.	กราฟทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจาก Gauge No. 1 (Deflection Curve)	ผก20
ผ.ก.10.	แสดงบริเวณพื้นชั้น 2 ที่มีการทดสอบ Rebounded Test	ผก21
ผ.ก.11.	แสดงบริเวณพื้นชั้น 3 ที่มีการทดสอบ Rebounded Test และ Coring	ผก22

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ก.12.	แสดงบริเวณพื้นชั้นหลังคาที่ Coring	ผก23
ผ.ก.13.	แสดงแปลนพื้นชั้น 3 ที่ควรเสริมความแข็งแรง	ผก24
ผ.ก.14.	แสดงพื้นชั้นดาดฟ้าที่ต้องทำการทุบทิ้งและจัดทำใหม่	ผก25
ผ.ก.15.	กราฟแสดงค่าการ โกงตัวที่นำหนักบรรทุกต่างๆของคานชั้น 5	ผก35
ผ.ก.16.	กราฟแสดงค่าการ โกงตัวที่นำหนักกระทำต่างๆ	ผก36
ผ.ก.17.	กราฟแสดงค่าการ โกงตัวที่นำหนักกระทำต่างๆของพื้นชั้น 5 Line 8-10 / J-L ที่ระยะเวลาต่างๆ	ผก37
ผ.ก.18.	แสดงตำแหน่งทดสอบ Rebounded Hammer ของคาน	ผก38
ผ.ก.19.	แสดงตำแหน่งทดสอบ Rebounded Hammer ของท้องพื้น คสล.	ผก39
ผ.ก.20.	แสดงตำแหน่งที่เจาะคอนกรีตที่พื้นและคานคสล.	ผก40
ผ.ก.21.	แสดงตำแหน่งเหล็กกลางของพื้นและคานที่ตัดไปทดสอบ	ผก41
ผ.ก.22.	แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง Dial Gauge ของแผ่นพื้นสำเร็จรูป	ผก42
ผ.ก.23.	เครื่องจักรภายในโรงงานได้รับความเสียหายจากเพลิงไหม้	ผก56
ผ.ก.24.	แสดงการเก็บตัวอย่างเหล็กเสริมคานคอนกรีตที่ถูกเพลิงไหม้ไป ทดสอบหาแรงดึง	ผก57
ผ.ก.25.	แสดงบริเวณที่ตั้งเครื่องจักรภายในโรงงานที่ถูกเพลิงไหม้เสียหายใช้การไม่ได้	ผก57
ผ.ก.26.	แสดงแปลนพื้นคานชั้นล่างกับบริเวณที่ทดสอบ Rebounded Test และ Coring	ผก58
ผ.ก.27.	แสดงแปลนพื้น คาน เสา และหลังคาชั้น 2 กับบริเวณที่ทดสอบ Rebounded Test และ Coring	ผก59
ผ.ก.28.	แสดงแปลนพื้น คาน เสา และหลังคาชั้นดาดฟ้า กับบริเวณที่ทดสอบ Rebounded Test และ Coring	ผก60
ผ.ข.1.	แสดงท้องผิวพื้นที่หลุดร่อนเนื่องจากเพลิงไหม้มาก	ผข7
ผ.ข.2.	แสดงการตัดเก็บตัวอย่างเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้ เพื่อนำไปทดสอบ ในห้องปฏิบัติการ	ผข8
ผ.ค.1.	แสดงการคำนวณค่าการ โกงตัวของโครงสร้าง	ผค7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ค.2.	อาคารโรงงาน	ผค16
ผ.ค.3.	อาคารโรงงาน 2	ผค16
ผ.ค.4.	สภาพภายในโรงงานอาคาร 1 หลังถูกเพลิงไหม้	ผค17
ผ.ค.5.	ผนังข้างบันไดที่เกิดการแตกร้าว	ผค17
ผ.ค.6.	การพังทลายของพื้นที่ชั้น 2 ในLine A-B, 4-12 (อาคารโรงงาน 1)	ผค18
ผ.ค.7.	แสดงการพังทลายของกันสาดชั้นที่ 2 (อาคารโรงงาน 1)	ผค18
ผ.ค.8.	แสดงการพังทลายของกันสาดชั้นที่ 2 (อาคารโรงงาน 1)	ผค19
ผ.ค.9.	แสดงการเชื่อมต่อของเสาที่เกิดจากการพังทลายของกันสาดชั้นที่ 3 (อาคารโรงงาน 1)	ผค19
ผ.ค.10.	แสดงความเสียหายของโครงหลังคาชั้น 4 (อาคารโรงงาน 1)	ผค20
ผ.ค.11.	แสดงความเสียหายของโครงหลังคาชั้นที่ 2 (อาคารโรงงาน 2)	ผค20
ผ.ค.12.	แสดงการพังทลายของพื้นที่เนื่องจากลวดเหล็กอัดแรงขาด	ผค21
ผ.ค.13.	แสดงการแตกร้าวบริเวณหัวคาน (อาคารโรงงาน 1)	ผค21
ผ.ค.14.	แสดงแปลนพื้นที่ชั้น 1	ผค22
ผ.ค.15.	แสดงแปลนพื้นที่ชั้น 2	ผค23
ผ.ค.16.	แสดงแปลนพื้นที่ชั้น 3	ผค24
ผ.ค.17.	แสดงแปลนพื้นที่ชั้น 4	ผค25
ผ.จ.1.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าริบวาน์กับค่ากำลังอัดคอนกรีต	ผจ2
ผ.จ.2.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วคลื่นกับค่ากำลังอัดคอนกรีต ที่สภาวะแวดล้อมในประเทศไทย	ผจ3

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. กล่าวนำ

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน อุบัติภัยจากเพลิงไหม้ยังเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตและทรัพย์สิน แม้จะมีเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าแล้วก็ตาม ก็ยังไม่สามารถป้องกันเพลิงไหม้ได้ทั้งหมด ดังจะเห็นได้จากแนวโน้มของการเกิดเหตุเพลิงไหม้ ในเขตกรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 1.1. และรูปที่ 1.1. พบว่า มีแนวโน้มลดลงจากในอดีต แต่จากรูปที่ 1.2. อัตราการบาดเจ็บและเสียชีวิตไม่ได้ลดลงอย่างที่ควรจะเป็น

### 1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากสถิติการเกิดเพลิงไหม้ที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า อัตราเฉลี่ยการเกิดเพลิงไหม้ในเขตกรุงเทพมหานคร ประมาณ 1.8 รายต่อวันและอัตราการเสียชีวิต 3.27 คนต่อเดือน (สำนักนโยบายและแผนกรุงเทพมหานคร, 2542) ซึ่งยังไม่นับรวมตัวเลขจากการไม่ได้เก็บเป็นสถิติ ซึ่งผลที่ตามมาที่เห็นได้ชัดเจนคือ ความเสียหายของอาคาร เป็นหน้าที่ของผู้ตรวจสอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบอาคาร โดยสามารถจำแนกได้ว่าส่วนไหนไม่เกิดความเสียหายยังใช้งานได้ ส่วนไหนเสียหายเล็กน้อยซ่อมแซมได้ และส่วนไหนเสียหายมากเสี่ยงในการใช้งาน ก็ต้องทำการทุบทิ้งรื้อถอน

### 1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อรวบรวมแนวทางในการประเมินความสามารถใช้งานได้ของอาคารหลังถูกเพลิงไหม้ในกรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑล
2. เพื่อเสนอเป็นคู่มือในการประเมินความสามารถใช้งานได้ของอาคารหลังถูกเพลิงไหม้ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

#### 1.4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. รวบรวมเป็นกรณีศึกษาของการประเมินความสามารถใช้งานได้ของอาคารหลังถูกเพลิงไหม้ ในเขตกรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑล เป็นบทสรุปแต่ละกรณี
2. ในการศึกษาวิจัยไม่ได้เน้นถึงการซ่อมแซมแก้ไขอาคารหลังถูกเพลิงไหม้ เพียงแต่บอกเป็นแนวทางเท่านั้น
3. สรุปหลักการประเมินความสามารถใช้งานได้ของอาคารหลังถูกเพลิงไหม้ พร้อมรูปแบบตัวอย่างการตรวจสอบ

#### 1.5. วิธีการศึกษา

##### 1.5.1. การเก็บข้อมูล

โดยการศึกษาข้อมูลจากเอกสารการประชุมเชิงวิชาการ, วารสาร, โครงการวิจัยที่ผ่านมา, หนังสือจากห้องสมุดของสถาบันและอื่นๆ นอกจากนี้ยังศึกษาจากหน่วยงานภาครัฐเช่น กรมโยธาธิการ, กรุงเทพมหานคร, ภาควิชาโยธาของสถาบันเอง

##### 1.5.2. การวิเคราะห์ข้อมูล

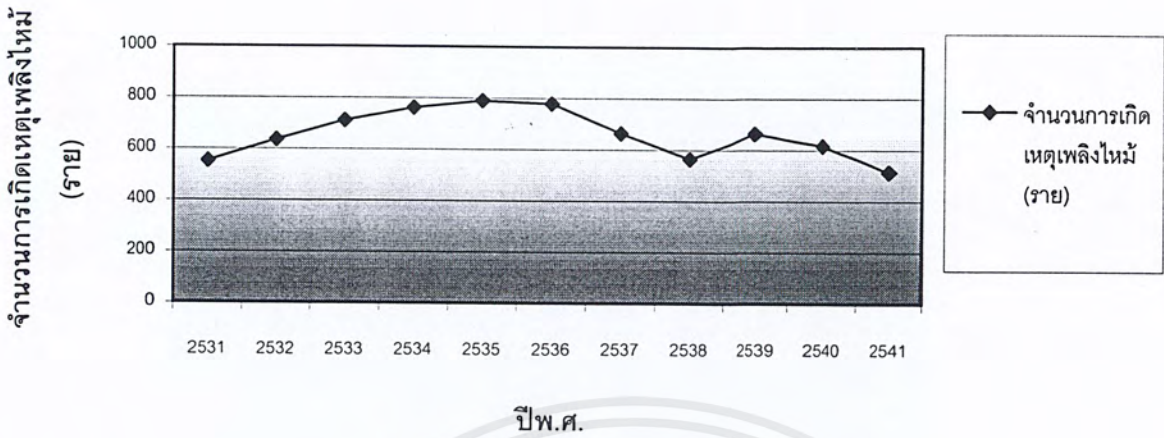
โดยวิเคราะห์จากกรณีศึกษาตัวอย่างจากหน่วยงานที่ได้มาเก็บเอกสารหนังสือตำราที่รวบรวมได้

ตารางที่ 1.1. แสดงจำนวนเพลิงไหม้ ขนาด สาเหตุ ความเสียหายในกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531-2541

พ.ศ.	ขนาด			สาเหตุ				ผู้ต้องหา				ความเสียหาย						
	หมู่เพลิงไหม้ประเภทที่	เพลิงไหม้ประเภทที่	เพลิงไหม้ประเภทที่	แฉะ	ไหม้	ไหม้	ไหม้	คน	คน	คน	คน	คน	คน	ประชาชน		เจ้าหน้าที่		
														หมู่เพลิงไหม้ประเภทที่	หมู่เพลิงไหม้ประเภทที่	หมู่เพลิงไหม้ประเภทที่	หมู่เพลิงไหม้ประเภทที่	
2531	554	45	509	884	128	107	0	1,393	238	55	1,145	299,627,389	39	19	105	1	9	14
2532	637	50	587	1,662	79	166	2	2,012	292	41	1,926	196,136,150	34	53	23	0	9	0
2533	712	47	665	1,827	82	160	0	2,297	331	39	2,169	522,213,576	125	134	18	0	10	13
2534	762	55	707	1,781	89	143	0	530	355	39	368	248,027,860	33	38	23	0	14	9
2535	790	54	736	2,739	86	114	0	590	387	28	375	181,304,440	46	19	3	0	12	12
2536	779	61	718	1,534	71	108	2	598	385	26	368	400,538,840	26	20	26	0	3	11
2537	664	43	621	1,552	75	97	3	489	319	28	317	230,067,720	25	33	16	0	11	9
2538	565	51	514	1,727	52	81	1	431	320	17	228	406,538,840	26	20	26	0	3	11
2539	664	49	615	953	81	57	4	522	348	27	289	336,322,600	19	25	12	0	5	12
2540	616	43	573	1,959	64	63	2	487	342	12	262	867,295,940	28	35	112	2	6	1
2541	514	49	465	2,104	76	63	2	373	291	25	198	279,358,840	30	34	19	0	7	2

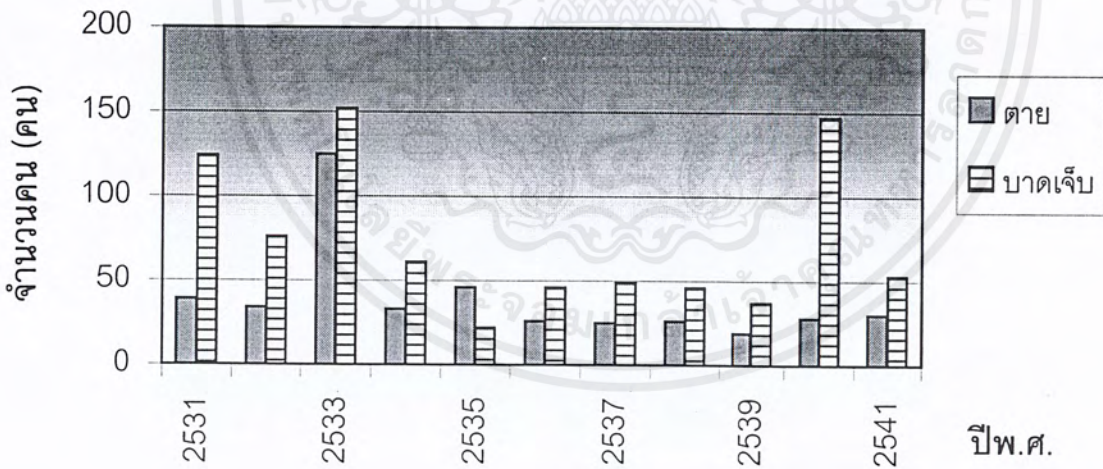
ที่มา : กองบังคับการตำรวจดับเพลิง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ

## จำนวนการเกิดเหตุเพลิงไหม้ (ราย)



รูปที่ 1.1. แสดงจำนวนการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในเขตกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531-2541 (สำนักนโยบาย และแผนกรุงเทพมหานคร, 2542)

## แผนภูมิแสดงการบาดเจ็บ และเสียชีวิตจากเหตุเพลิงไหม้ (คน)



รูปที่ 1.2. แสดงอัตราการบาดเจ็บ และเสียชีวิตในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531-2541 (สำนักนโยบาย และแผนกรุงเทพมหานคร, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ไฟ

#### 2.1. บทนำ

การเข้าไปตรวจสอบอาคารเพลิงไหม้ ผู้ตรวจสอบควรมีความเข้าใจถึงธรรมชาติของไฟเบื้องต้น เกี่ยวกับทฤษฎีไฟ การเกิดไฟ การลามของไฟ เพื่อให้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริงและสามารถเข้าใจถึงวัตถุพยานในสถานที่เกิดเหตุ ช่วยให้การตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุมีระบบ มีขั้นตอนที่ถูกต้อง นำไปสู่ความสำเร็จในการประเมินความเสียหายจากเพลิงไหม้ต่อไป

#### 2.2. การเกิดไฟ

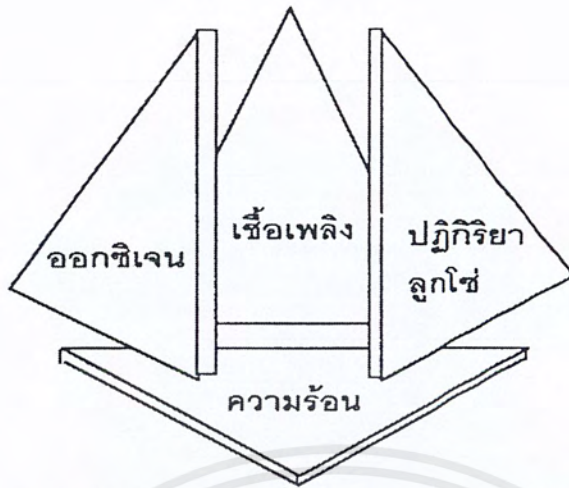
ไฟเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ที่สภาวะอุณหภูมิสูงเพียงพอ โดยเชื้อเพลิง ออกซิเจนและความร้อนจะต้องมีพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ขึ้นซึ่งเป็นด้านที่สี่ของรูปพีระมิด (ดังรูปที่ 2.1.) รูปพีระมิดนี้มีประโยชน์อย่างมากในการอธิบายเรื่องการดับไฟหรือการควบคุมเพลิงไหม้ เพราะอธิบายได้ง่ายๆว่า เพียงแต่เอาด้านหนึ่งด้านใดออก ไฟก็จะไม่เกิดขึ้นที่จุดนั้น และยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างเชื้อเพลิง ความร้อน ออกซิเจน และปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยที่รูปสามเหลี่ยมแสดงถึงขั้นตอนการติดไฟและพีระมิดแสดงถึงการเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องของการติดไฟ (กิตติ อินทรานนท์, 2538)

#### เชื้อเพลิง (Fuel)

หมายถึงสิ่งที่ติดไฟและลุกไหม้ได้ มีอยู่ด้วยกัน 3 สถานะคือ

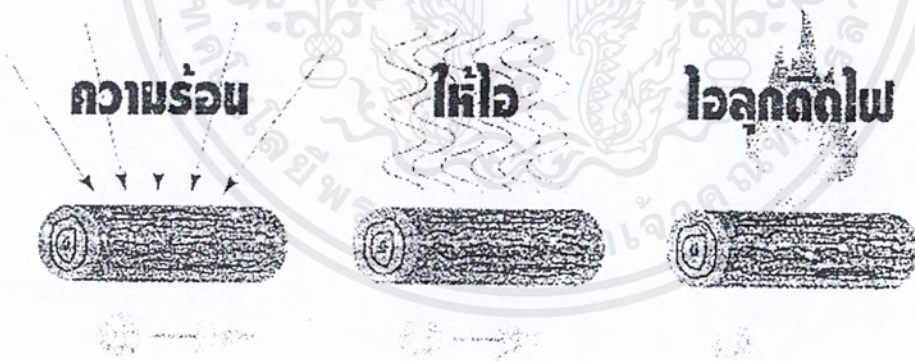
1. ของแข็ง เช่น ไม้, กระดาษ, เสื้อผ้า เป็นต้น
2. ของเหลว เช่น น้ำมันเบนซิน, ไขมัน เป็นต้น
3. ก๊าซ เช่น อะเซทิลีน, ไฮโดรเจน, บิวเทน, โพรเพน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1. แสดงพีระมิดของการติดไฟ (กิตติ อินทรานนท์, 2538)

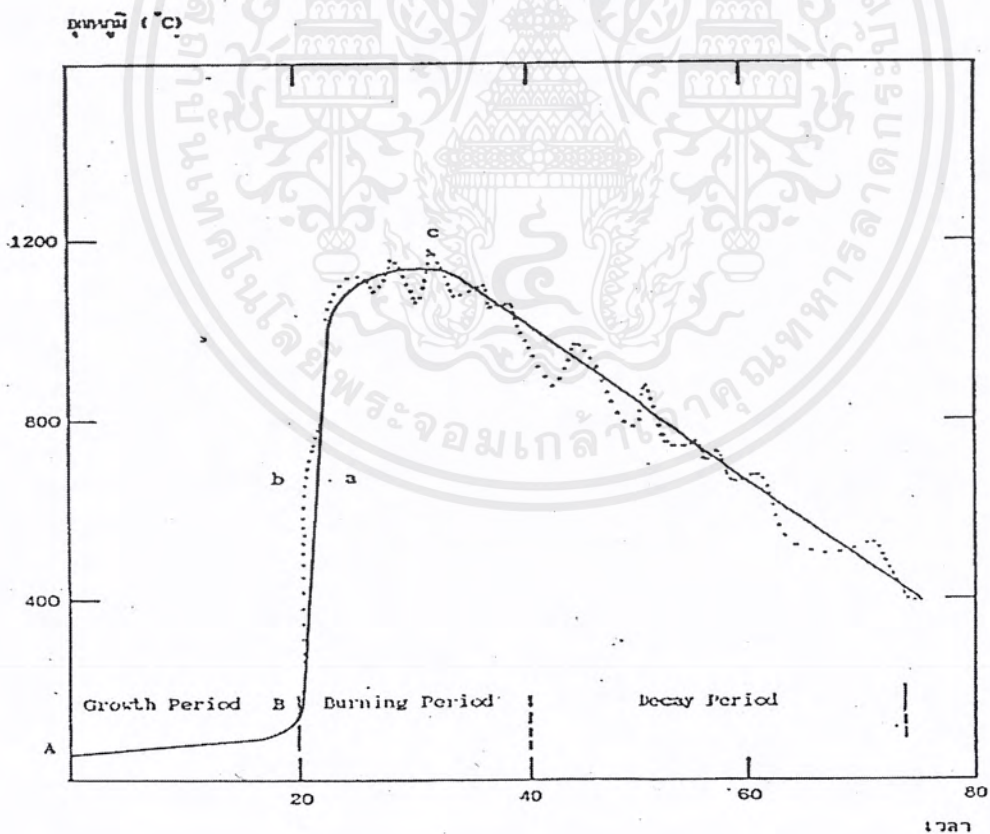
โดยปกติแล้วของแข็งและของเหลว เมื่อถูกความร้อนที่เพียงพอจะให้ไอออกมาและไอนั้นก็คือตัวที่ลุกติดไฟเป็นเปลวที่เห็นกันอยู่ทั่วไป ดังนั้นผู้ตรวจสอบที่เกิดเหตุจะต้องเข้าใจก่อนว่า เชื้อเพลิงทุกชนิดที่เราเห็นว่าลุกไหม้เป็นเปลว นั้น ความจริงแล้วส่วนที่ลุกไหม้จริงๆ ก็คือส่วนที่อยู่ในสถานะของก๊าซ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.



รูปที่ 2.2. แสดงการลุกไหม้ของไม้ (สันดี สุขวัจจน์, ม.ป.ป.)

## พฤติกรรมของไฟ

จากรูปที่ 2.3. เป็นกราฟแสดงพฤติกรรมของไฟในความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา ภายในห้องหนึ่งๆ ซึ่งมีเชื้อเพลิงจำนวนหนึ่งและมีการถ่ายเทอากาศแบบหนึ่ง เส้นกราฟ a เป็นกราฟของ ข้อมูลจริงๆ ที่เก็บมาได้ ส่วนกราฟ b เป็นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของกราฟ a ช่วง A-B เป็นช่วงเวลาที่ จะเกิดเพลิงไหม้หมดทั้งห้อง เราเรียกช่วงนี้ว่า "ช่วงเวลาเริ่มก่อตัวของไฟ" (Growth period) ที่จุด b ของช่วง เผาไหม้ (Growth Period) จะเริ่มต้นขึ้น นั่นหมายความว่าภายในห้องนั้น ได้เกิดเพลิงลุกไหม้จนทั่ว หมดแล้ว ช่วงนี้ถือว่าการพัฒนาตัวเองของไฟได้เกิดขึ้นเต็มที่แล้ว อุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ว่าจะเกิดในอัตราที่ลดลงเมื่อใกล้จุด c ซึ่งเป็นจุดที่ความร้อนที่ได้จากสิ่งที่ถูกเผาไหม้ไปกับความร้อน ที่สูญเสียไปกับกำแพงและสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากันพอดี อุณหภูมิจะเริ่มลดลง เมื่อเลยจุด c ไปถือว่าเป็น ช่วงของการสลายตัว (Decay Period) แม้ว่าอุณหภูมิจะเริ่มลดลงแต่อุณหภูมิในช่วงนี้ยังสูงอยู่มากซึ่งอาจ จะทำให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างได้ถ้าไหม้เป็นเวลานานติดต่อกันหลายชั่วโมง



รูปที่ 2.3. แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริงๆ

(ศิริพงษ์ อุตยวงศ์แก้ว และคณะ, 2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขังในเพื่อศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ช่วงการก่อตัวของไฟ (Growth Period)

อุณหภูมิในช่วงนี้ยังค่อนข้างต่ำอยู่จึงไม่ค่อยมีผลมากนัก ช่วงเวลานี้จะสำคัญกว่าช่วงเวลาอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากว่าถ้าเวลาของช่วงนี้นานก็ยังมีเวลาที่จะหลบหนีออกจากห้องหรือตัวตึกได้อย่างปลอดภัยและยังสามารถดับไฟได้ทันทั่วทั้งตึกด้วย เวลาของช่วงนี้จะนานเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

1. ชนิดและขนาดของเชื้อเพลิง
2. พื้นที่ผิวของกำแพง เพดาน
3. ระยะห่างของสิ่งที่ยึดไฟภายในห้อง
4. ขนาดและตำแหน่งของแหล่งกำเนิดไฟ
5. ทิศทางและความเร็วของลม
6. ขนาดและรูปร่างของห้อง

## ช่วงการเผาไหม้และช่วงการสลายตัว (Burning and Decay period)

ระหว่างที่ไฟกำลังมีการเผาไหม้อยู่ภายในห้องนั้น ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซที่มาจากสิ่งที่ยึดไฟจะมีการเคลื่อนตัวลอยสูงขึ้นและลอยไปทางส่วนบนของช่องเปิดหรือทางหน้าต่าง ส่วนอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอกก็จะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ทางส่วนล่างของช่องเปิดและเข้าร่วมในการเผาไหม้ต่อไป เนื่องจากการเกิดความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศร้อนภายในและอากาศเย็นภายนอกนั้นเอง ตัวการที่มีส่วนช่วยให้ช่วงนี้เกิดได้ก็คือปริมาตรของเชื้อเพลิงและขนาดของช่องเปิดภายในห้องนั้น ถ้าช่องเปิดภายในมีขนาดใหญ่อัตราการเผาไหม้จะยิ่งสูง แต่ความจริงแล้วพื้นที่ผิวของสิ่งที่ยึดไฟก็จะเป็นตัวควบคุมอัตราการเผาไหม้ด้วย สิ่งที่ยึดไฟภายในอาคารส่วนใหญ่จะเป็นพวกเครื่องเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งในแต่ละห้องก็จะมีจำนวนมากน้อยแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามภายในอาคารหลายๆ แห่งก็จะมีพื้นผิวเฟอร์นิเจอร์อยู่อย่างพอเพียง สรุปแล้วอัตราการถ่ายเทของอากาศภายในห้องจะเป็นตัวควบคุมอัตราการเผาไหม้ที่มีผลมากกว่าตัวการอื่นๆ (ศิริพงษ์ อุทัยวงศ์แก้ว และคณะ, 2533)

ไฟทุกประเภทเริ่มตั้งแต่จุดที่มีประกายไฟเกิดขึ้นและถ้ามีองค์ประกอบครบและสมบูรณ์ ไฟจะขยายตัวเติบโตขึ้นในลักษณะที่จะสามารถทำนายได้ สมมติว่ามีไฟเกิดขึ้นภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมืองค์ประกอบอย่างสมบูรณ์ ไฟจะขยายตัวและลุกลามอย่างมีรูปแบบและขั้นตอนตามที่แสดงในรูปที่ 2.4. ดังนี้

- รูปแบบที่ 1 เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อนมารวมกันเพื่อจุดไฟให้เกิดเปลว
- รูปแบบที่ 2 กองไฟขยายตัว มีเปลวไฟสูงประมาณ 25 ซม.
- รูปแบบที่ 3 กองไฟขยายตัว มีเปลวไฟสูงประมาณ 1.4 ม. ไฟลุกลามอย่างต่อเนื่อง
- รูปแบบที่ 4 กองไฟขยายตัว มีเปลวไฟสูงขึ้นจนถึงเพดานห้องและเริ่มขยายออกข้าง
- รูปแบบที่ 5 กองไฟขยายตัวออกทุกด้านจนทั่วทั้งห้อง
- รูปแบบที่ 6 กองไฟขยายตัวออกจากห้องที่เป็นต้นเพลิงและลุกลามไปห้องอื่นๆ

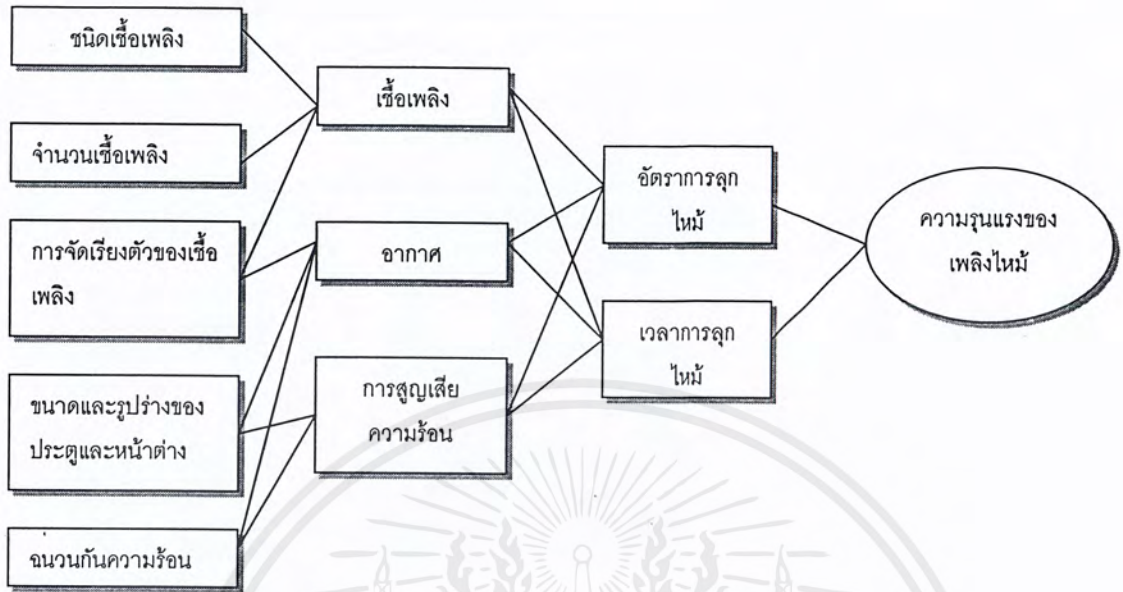


รูปที่ 2.4. แสดงการลุกลามของไฟ (กิตติ อินทรานนท์, 2538)

การที่เปลวไฟจะขยายตัวถึงขั้นตอนที่ 6 จะใช้เวลานานเท่าใดนั้น ต้องขึ้นอยู่กับอัตราการกลายเป็นไอของวัสดุเชื้อเพลิง แต่เนื่องจากวัสดุดังกล่าวประกอบด้วยวัสดุหลายประเภท จึงมีอัตราการกลายเป็นไอที่แตกต่างกัน ไฟจึงมีลักษณะการลุกลามด้วยวิธีการที่หลากหลาย กล่าวคือ บางชนิดก็ลุกลามอย่างรวดเร็ว บางชนิดก็เผาไหม้อย่างช้าๆ เป็นต้น

**ความรุนแรงของการลุกไหม้**

ปัจจัยที่มีผลต่อความรุนแรงของการลุกไหม้สามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 2.5.



รูปที่ 2.5. แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรุนแรงของการลุกไหม้ (สันต์ สุขวัจน์, ม.ป.ป.)

ผู้ที่ทำการตรวจสอบสภาพความเสียหายของโครงสร้าง ควรจะต้องนำความรู้พื้นฐานในเรื่องนี้เข้ามาวิเคราะห์ด้วย เพื่อให้สามารถอธิบายความเสียหายที่เกิดขึ้น ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

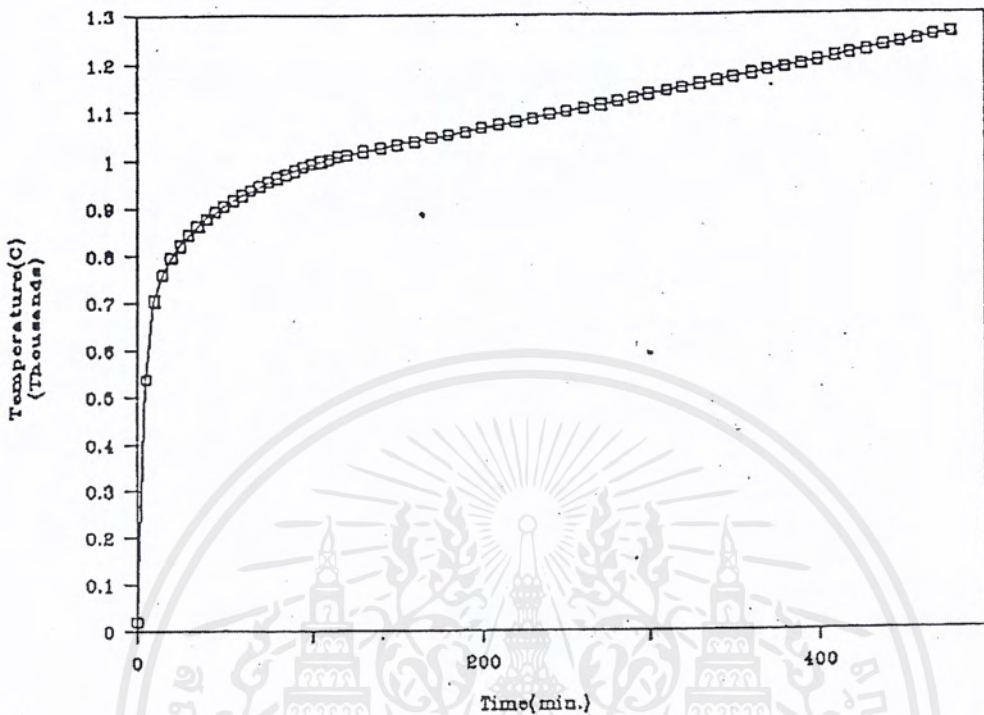
### พื้นที่ของช่องเปิด (Opening Area)

พื้นที่ของช่องเปิดมีอิทธิพลอย่างมากต่อการลุกไหม้ของไฟ ถ้าพื้นที่ช่องเปิดมีมากก็จะทำให้อากาศร้อนภายในลอยตัวออกไปแล้วอากาศเย็นก็จะเข้ามาแทนที่ ทำให้ไฟมีการลุกไหม้ได้อย่างสมบูรณ์และยังสามารถกระจายไปยังห้องข้างเคียงหรือตึกข้างเคียงได้ง่าย พื้นที่ของช่องเปิดในที่นี้ไม่ใช่ว่าหมายถึงพื้นที่ของหน้าต่างและประตูเพียงอย่างเดียวเท่านั้นแต่ยังรวมถึงพื้นที่ที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกภายในห้องได้อีกด้วย

### เส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลา (Standard Temperature-Time Curve)

ASTM E 119 ได้เสนอเส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาที่มีความเข้มของปริมาณไฟใกล้เคียงกับไฟที่เกิดขึ้นจริงๆ ในอาคาร โดยมีค่าความเข้มเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อพื้นที่หนึ่งตารางฟุตต่อหนึ่งชั่วโมง เส้นโค้งมาตรฐานอุณหภูมิกับเวลาของ ASTM แสดงอยู่ในรูปที่ 2.6.

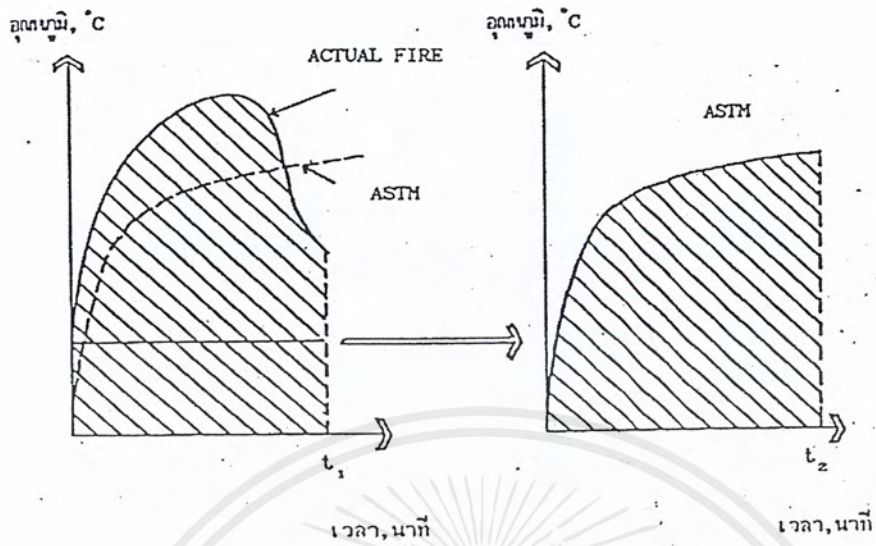
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$t$  = เวลา (นาที)  
 $T$  = อุณหภูมิของเตาไฟที่เวลา  $t$  (องศาเซลเซียส)  
 $T_0$  = อุณหภูมิเริ่มต้นของเตาไฟ (องศาเซลเซียส)

รูปที่ 2.6. เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลามาตรฐานไฟ ASTM E 119

ความรุนแรงของไฟก็คือพื้นที่ใต้เส้นโค้งอุณหภูมิกับเวลา เนื่องจากเส้นโค้งอุณหภูมิกับเวลาของไฟที่เกิดขึ้นจริงานั้น จะมีลักษณะแบบหนึ่งที่แตกต่างจากเส้นโค้งมาตรฐานของอุณหภูมิกับเวลาของ ASTM ซึ่งสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของมาตรฐานได้ โดยการกำหนดให้พื้นที่ใต้เส้นโค้งมาตรฐานมีค่าเท่ากับเส้นโค้งของไฟจริง ๆ นั่นก็คือ อาศัยหลักการของพลังงานนั่นเอง ยกตัวอย่างการแปลงดังรูปที่ 2.7. รูปทางซ้ายมือแสดงถึงลักษณะของไฟที่เกิดขึ้นจริงซึ่งมีช่วงการเผาไหม้เป็น  $t_1$  และจากรูปทางขวามือจะแสดงความรุนแรงของไฟเสมือนภายใต้เส้นโค้งมาตรฐานของ ASTM ซึ่งจะใช้เวลาในการเผาไหม้นานกว่าเป็นเวลา  $t_2$



รูปที่ 2.7. แสดงการแปลงความรุนแรงเสมือนของไฟ (ศิริพงษ์ อุทัยวงศ์แก้ว, 2532 )

### ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับความรุนแรงของไฟ (Basic Theory of Fire Severity)

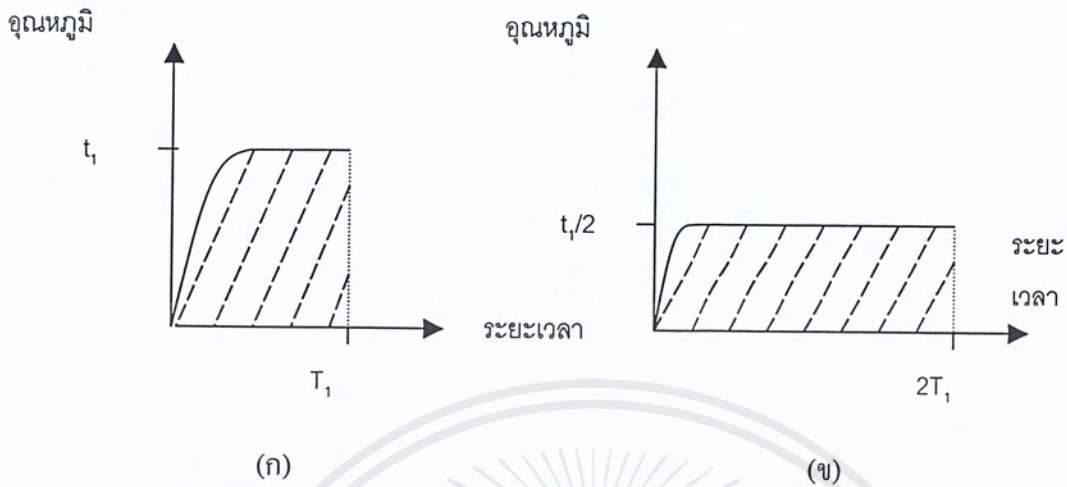
ความรุนแรงของไฟที่เกิดขึ้นในอาคารขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ปัจจัยคือ

1. อุณหภูมิ
2. เวลา

ดังนั้นความรุนแรงของไฟคือ พลังงานความร้อนที่สามารถทำลายคุณสมบัติในการต้านทานไฟและความทนทานไฟของวัสดุ ซึ่งพลังงานความร้อนในที่นี้คือ พื้นที่ใต้เส้นโค้งของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

จากระยะความทนทานไฟขั้นต่ำตามมาตรฐาน ASTM E 119 กำหนดไว้ให้ระยะเวลาเท่ากับ 1 ชม. นั่นคือต้องเผาไฟไม่ต่ำกว่า 1 ชม. อิทธิพลความรุนแรงของไฟสามารถควบคุมได้ เช่น ต้องการศึกษาความรุนแรงที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ก็ให้เพิ่มอุณหภูมิจนถึงระดับดังกล่าวแล้วควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ดังรูปที่ 2.8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.8. แสดงความรุนแรงเสมือนของไฟที่เท่ากัน ( ศิริพงษ์ อุทัยวงศ์แก้ว, 2532 )

จากรูป 2.8. (ก) และ (ข) พบว่ามีความรุนแรงไฟเท่ากันเนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟเท่ากัน

### การส่งผ่านความร้อน (Heat Transfer)

การส่งผ่านความร้อน เป็นขบวนการอย่างหนึ่งในการแพร่ขยายของไฟ (Fire Spread) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ประกอบด้วย

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการส่งผ่านความร้อนจากการสัมผัสโดยตรงของสิ่งหนึ่งกับอีกสิ่งหนึ่ง

ตารางที่ 2.1. แสดงค่าความสามารถในการนำความร้อนของสารบางชนิด

วัสดุ	การนำความร้อน
ทองแดง	0.92
อลูมิเนียม	0.50
ทองเหลือง	0.26
เหล็ก	0.11
ตะกั่ว	0.80
หินทราย	0.0055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1. แสดงค่าความสามารถในการนำความร้อนของสารบางชนิด (ต่อ)

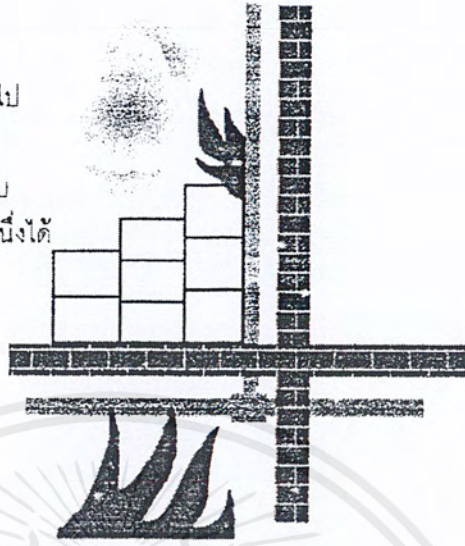
วัสดุ	การนำความร้อน
คอนกรีต	0.0022
แก้ว	0.002
อิฐ	0.0015
ซีเมนต์	0.0007
กระดาษ	0.0003
ไม้	0.0003
ใยหิน	0.00019

ที่มา : สันดี สุขวัจน์ ม.ป.ป.

จากตารางที่ 2.1. จะเห็นว่าพวกโลหะนำความร้อนได้ดีกว่าโลหะ โดยเฉพาะทองแดง นั้นค่าการนำความร้อนสูงมาก ดังนั้นจึงใช้เป็นตัวนำความร้อนที่ดี เหมาะสำหรับทำสายไฟ และจากตารางจะเห็นอีกว่าเหล็กนำความร้อนได้ดีกว่าอิฐ ซีเมนต์และคอนกรีต ส่วนไม้นั้นเป็นตัวนำความร้อนที่เลวและลูกไหม้ซ้าคงนั้นคนจึงนิยมนำไม้เนื้อแข็งมาทำประตู เพื่อประโยชน์ในการป้องกันไฟ

- การพาความร้อน (Convection) เป็นการส่งผ่านความร้อนที่เกิดจากการหมุนเวียนของอากาศร้อนกับก๊าซที่เป็นผลผลิตของการเผาไหม้ ตามปกติแล้วการส่งผ่านความร้อนจะเกิดขึ้นโดยวิธีนี้ 2/3 ถึง 3/4 ของความร้อนที่ส่งผ่านไปทั้งหมด เนื่องจากก๊าซที่ร้อนจะมีคุณสมบัติเบากว่าอากาศที่อยู่รอบๆ ดังนั้นความร้อนจึงแพร่ขึ้นออกทางด้านบนออกไปตามช่องต่างๆ เช่น หน้าต่าง ประตู ช่องระบายอากาศ ท่อแอร์ ช่องบันได ปล่องไฟ ฯลฯ และเป็นสาเหตุให้เกิดเพลิงลูกไหม้ในห้องอื่นหรือชั้นอื่นๆด้วย
- การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการส่งผ่านความร้อนจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางจากการสัมผัสโดยตรงหรือจากการหมุนเวียนของอากาศร้อน เช่นเดียวกับการนำความร้อนและการพาความร้อน ความร้อนจากการแผ่รังสีนี้เป็นพลังงานซึ่งสามารถทะลุทะลวงผ่านอากาศหรือสิ่งของได้แบบเดียวกับคลื่น ดังนั้นการแพร่กระจายของความร้อนโดยวิธีนี้จึงสามารถไปได้ทุกทิศทาง

เพลิงลุกไหม้ขึ้นก่อนที่ชั้นล่าง  
 ท่อโลหะที่เดินพาดผ่านจากชั้นล่างขึ้นไป  
 ชั้นบนจะเป็นตัวนำความร้อนไปทำให้  
 วัสดุที่ลุกติดไฟได้ง่าย ซึ่งวางอยู่ใกล้กับ  
 ท่อโลหะบนชั้นที่ 2 ลุกไหม้ขึ้นอีกจุดหนึ่งได้

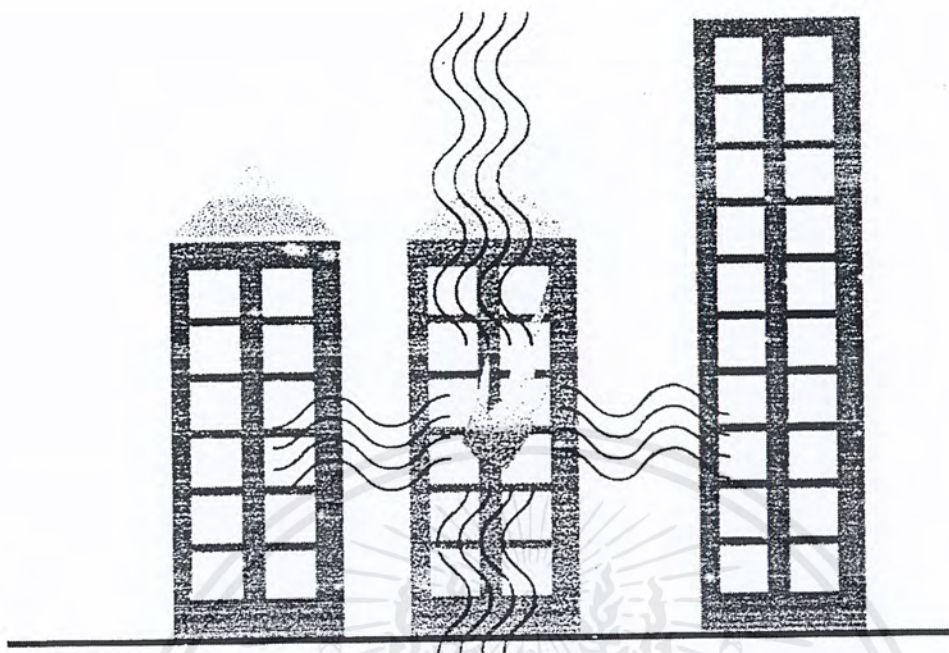


รูปที่ 2.9. แสดงการส่งผ่านความร้อนโดยการนำความร้อน (สันติ สุขวัฒน์, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.10. แสดงการส่งผ่านความร้อนโดยการพาความร้อน (เกียรติคุณ เหลืองวีรนา, 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11. แสดงการส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี (สันดี สุขวัจน์, น.ป.ป.)

### การลามของไฟ

เมื่อวัสดุติดไฟได้อยู่ติดกัน การลามของไฟเป็นไปโดยการนำความร้อนแม้กระทั่งวัสดุติดไฟอยู่คนละห้องแต่วางชิดผนังซึ่งนำความร้อนได้ การลุกลามของไฟจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่งก็เป็นไปได้โดยง่าย การลามโดยการพาความร้อนทำได้โดยเปลวควันแต่มีกเกิดได้ในแนวดิ่งและเป็นสาเหตุใหญ่ในการลามของไฟในอาคารสูง ส่วนการลามโดยการเปล่งรังสีความร้อนมักจะทำให้ไฟลามไปยังอาคารข้างเคียงได้

การขยายตัวของไฟในระยะเริ่มต้นมักจะเป็นไปในแนวดิ่งมากกว่าในแนวราบ เมื่อเปลวไฟทำให้เกิดควันร้อนปกคลุมเป็นเป็นดอกเห็ดได้เพดานหมดแล้ว ควันร้อนเหล่านี้จะเปล่งรังสีความร้อนลงมาปกคลุมทุกส่วนภายในห้องทำให้การเผาไหม้เกิดรวดเร็วขึ้น ในขณะที่ควันออกซิเจนของอากาศภายในห้องก็จะค่อยๆหมดไป ทำให้การลามของไฟเริ่มลดถอยลง แต่การขาดอากาศหายใจในห้องจะเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ คนที่ติดอยู่ในอาคารมักจะเสียชีวิตเพราะขาดอากาศหายใจ ทำให้สูดเอาควันพิษเข้าร่างกายและเสียชีวิตในเวลาอันสั้น การลุกลามและลามของไฟจนถึงจุดที่เรียกว่า จุดวาบไฟ จะทำให้โอกาสการเสียชีวิตของผู้ที่ติดอยู่ภายในอาคารสูงขึ้น หลังจากถึงจุดนี้แล้ว เชื้อเพลิงเริ่มขาดลงทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้โอกาสการเสียชีวิตของผู้ที่ติดอยู่ในอาคารสูงขึ้นไป หลังจากถึงจุดนี้แล้ว เชื้อเพลิงเริ่มขาดลงทำให้ไฟหยุดลามหลังจากนั้นไฟก็จะเริ่มมอดถ้าไม่มีเชื้อเพลิงเพิ่มเติม (วรศักดิ์ กนกนุกุลชัย, 2539)

การลามของไฟจากห้องที่ติดไฟไปยังบริเวณอื่น มักเป็นการพาความร้อนจากบริเวณช่องเปิดต่างๆ หรือเป็นไปโดยการนำความร้อนผ่านผนังกันห้อง การออกแบบที่ดีสำหรับการป้องกันการขยายตัวของไฟคือ การแบ่งอาคาร (Compartmentation) ด้วยผนังกันไฟที่มีอัตรากันไฟขนาดหนึ่ง นอกจากนี้การออกแบบหลังคาให้มีการจำกัดการขยายตัวของคานไฟหรือจัดให้มีช่องระบายคานไฟโดยเฉพาะสำหรับ โถงสูงและการเลือกใช้เพดานที่ไม่ติดไฟล้วนเป็นมาตรการการประกอบที่ดี การลามของไฟไปยังอาคารข้างเคียงมักเกิดจากการนำความร้อนผ่านผนังที่กั้นระหว่างอาคารทั้งสองหรือโดยการแผ่รังสีความร้อนหรือโดยสะเก็ดไฟกระเด็นไปถูก การเลือกใช้ผนังกันไฟระหว่างอาคารและการเลือกวัสดุบุหลังคา จึงเป็นมาตรการป้องกันไฟลุกลามจากอาคารหนึ่งไปยังอาคารข้างเคียงได้

### 2.3. สรุป

บทนี้จะกล่าวถึงปัจจัยหลักๆที่ทำให้เกิดไฟ ได้แก่ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อนและการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ถ้าขาดตัวใดตัวหนึ่งไปจะทำให้การลุกไหม้เกิดขึ้นได้ยากและทำให้ทราบว่าส่วนที่ลุกไหม้ติดไฟนั้น คือส่วนที่อยู่ในสถานะก๊าซ นอกจากนี้ผู้ตรวจสอบควรเข้าใจถึงพฤติกรรมของไฟ ตั้งแต่ การลุกไหม้ การส่งผ่านความร้อนแบบ การนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน โดยสุดท้ายกล่าวถึงการลามของไฟ ที่ปกติจะลุกไหม้ในแนวตั้งมากกว่าในแนวราบ

## บทที่ 3

# อิทธิพลของไฟต่อวัสดุพื้นฐาน

### 3.1. บทนำ

ในการเข้าไปตรวจสอบเพลิงไหม้ ผู้ตรวจสอบในฐานะวิศวกรจำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้ด้านวัสดุ โครงสร้างเมื่อเกิดไฟไหม้ว่าจะมีผลต่อวัสดุเหล่านั้นอย่างไร ซึ่งบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุพื้นฐานในงานก่อสร้างได้แก่ เหล็กและคอนกรีต นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงการหลุดกะเทาะของคอนกรีต สาเหตุการลดกำลังของคอนกรีต รวมทั้งลำดับของพฤติกรรมของ โครงสร้างเมื่อเกิดเพลิงไหม้ด้วย

### 3.2. เหล็ก

โดยปกติเหล็กบริสุทธิ์จะมีกำลังต่ำเกินกว่าไปใช้งานทางวิศวกรรมได้ จึงต้องมีการเติมธาตุลงไป เรียกว่า ธาตุผสม (Alloying Element) ได้แก่ พวกคาร์บอน, แมงกานีส, ฟอสฟอรัส หรือ กำมะถัน เป็นต้น ซึ่งคาร์บอนเป็นสารประกอบที่สำคัญทำให้กำลังและความแข็งของเหล็กเพิ่มขึ้น เรียกเหล็กที่ผสมด้วยคาร์บอนว่าเหล็กกล้า (Steel) สามารถรีดออกมาเป็นเส้น ถ้ามีสัดส่วนคาร์บอนต่ำจะเรียกเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ใช้สำหรับเสริมคอนกรีตในงานก่อสร้าง เมื่อโดนเผาไหม้เหล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางกล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีสังเกตจากสีของเหล็กดังตารางที่ 3.1.

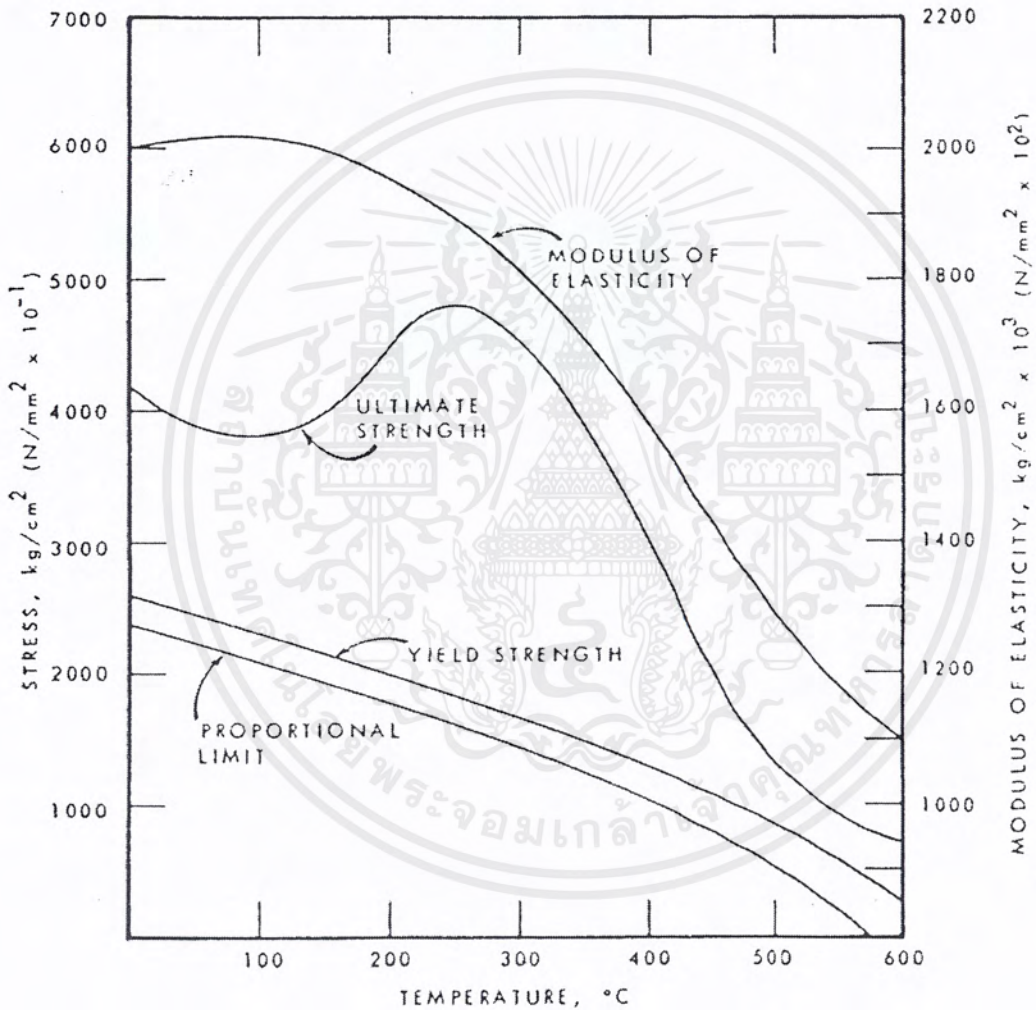
ตารางที่ 3.1. แสดงการเปลี่ยนสีของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิที่เผา (องศาเซลเซียส)	สี
600	ส้ม (Orange)
700	แดง (Scarlet)
800	แดงม่วง (Violet Red)
900	แดงม่วงเข้ม (Deep Violet Red)
1,000	เทา (Gray)

ที่มา : วิทวัส ณ สงขลา และเอกภาพ โกจันทึก พ.ศ. 2542

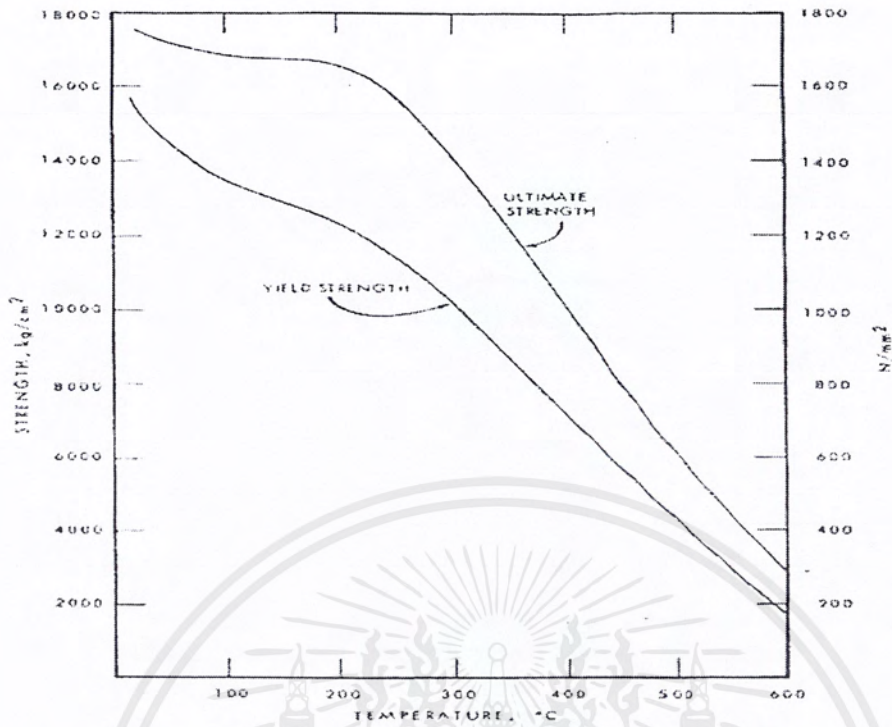
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางกลได้แก่ กำลังรับแรงดึงประลัย, กำลังคลาก, ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเป็นต้น รูปที่ 3.1. และ 3.2. แสดงการเปลี่ยนแปลงของเหล็กเส้น (Mild Steel) และเหล็กถดอัดแรงตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 300 องศาเซลเซียส กำลังดึงประลัยทั้งของเหล็กเส้นและถดอัดแรงจะลดลงอย่างรวดเร็ว รูปที่ 3.3. และ 3.4. พบว่าเหล็กถดอัดแรงจะมีอัตราการคืบอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 300 และ 400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

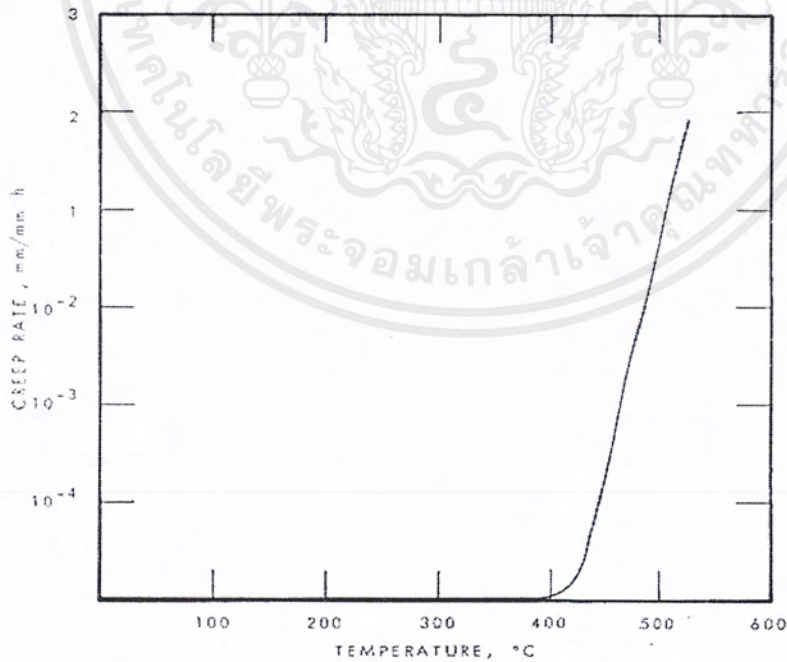


รูปที่ 3.1. กำลังคลาก กำลังประลัย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่าพิกัดเส้นตรงของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ (มานะ มหาสุวีระชัย, 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



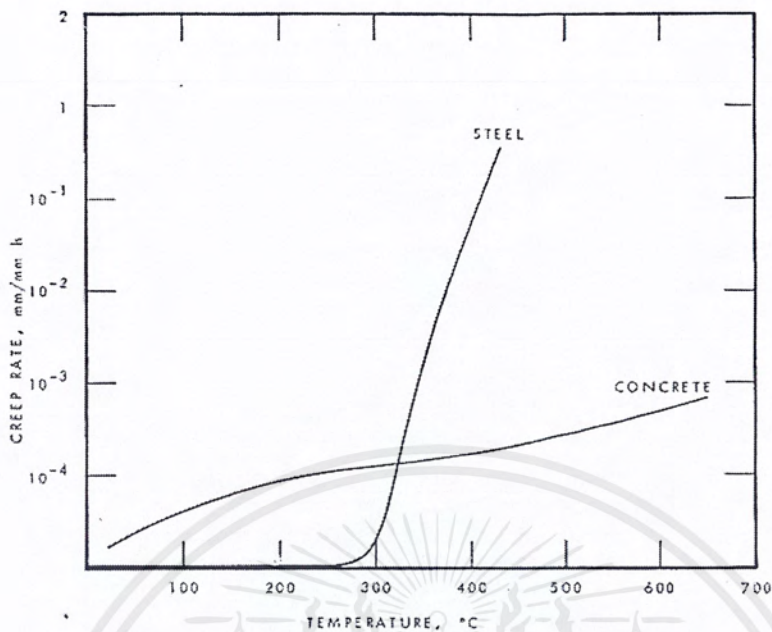
รูปที่ 3.2. กำลังคลากของลวดอัดแรงที่อุณหภูมิต่างๆ (มานะ มหาสุวีระชัย, 2530)



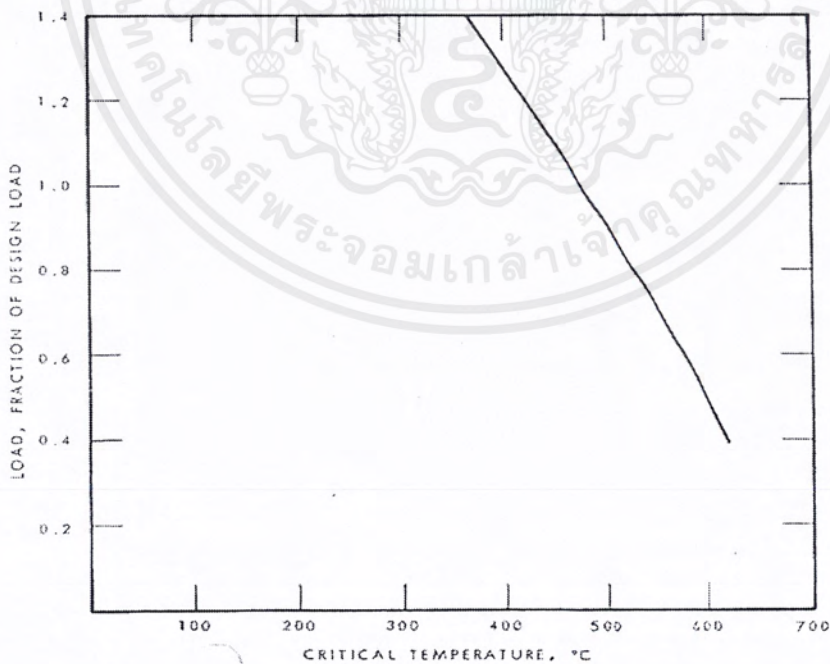
รูปที่ 3.3. แสดงอัตราการคืบของเหล็กภายใต้ความเค้นดึง 1500 กก./ตร.ซม. ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า

อัตราการคืบจะเกิดอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 400 องศาเซลเซียส (Lie, 1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบของเหล็กเสริมอัดแรงภายใต้ความเค้นดึง 7000 กก. / ตร.ซม. และของคอนกรีตน้ำหนักปกติภายใต้ความเค้นอัด 125 กก. / ตร.ซม. ที่อุณหภูมิต่างๆ (Lie, 1972)

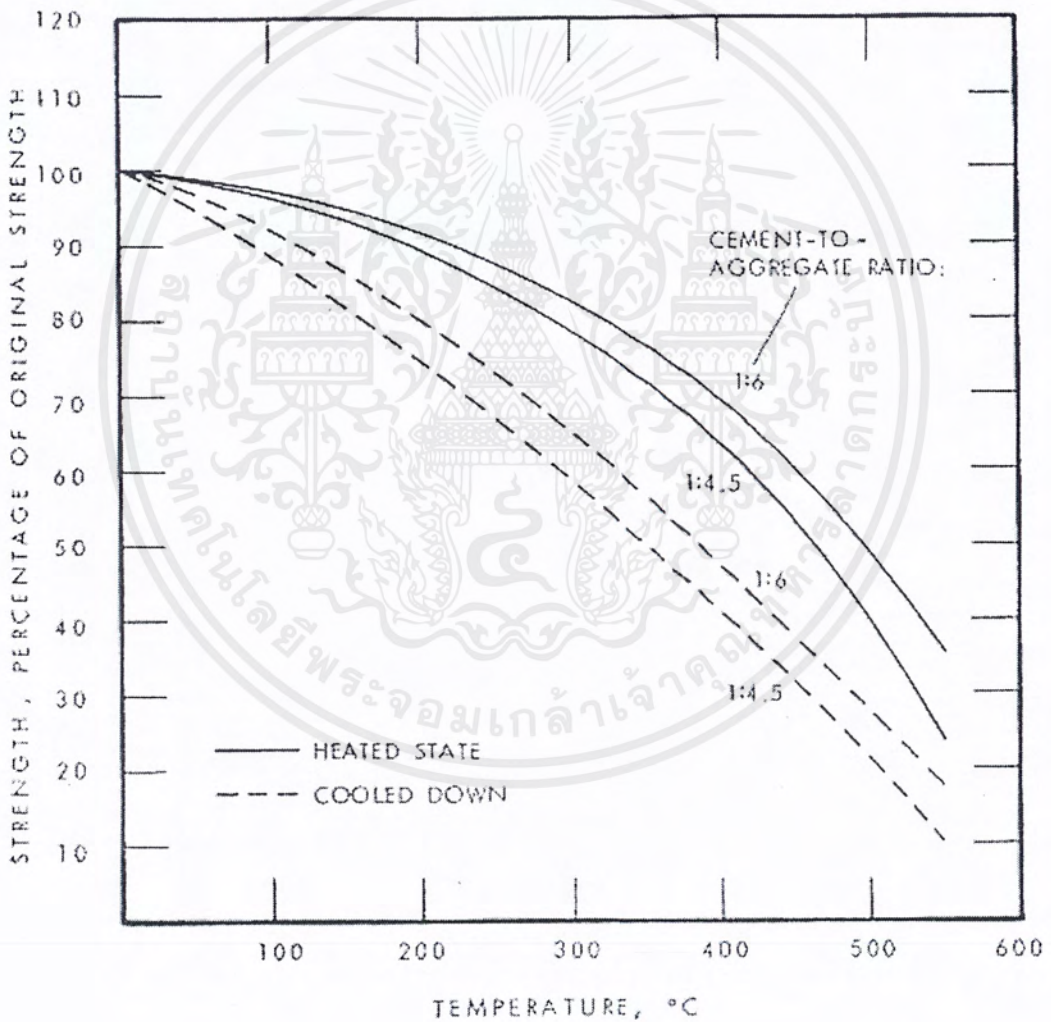


รูปที่ 3.5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่รับได้กับอุณหภูมิวิกฤติของคานเหล็กตัว I แบบ Statically Determinate (Lie, 1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

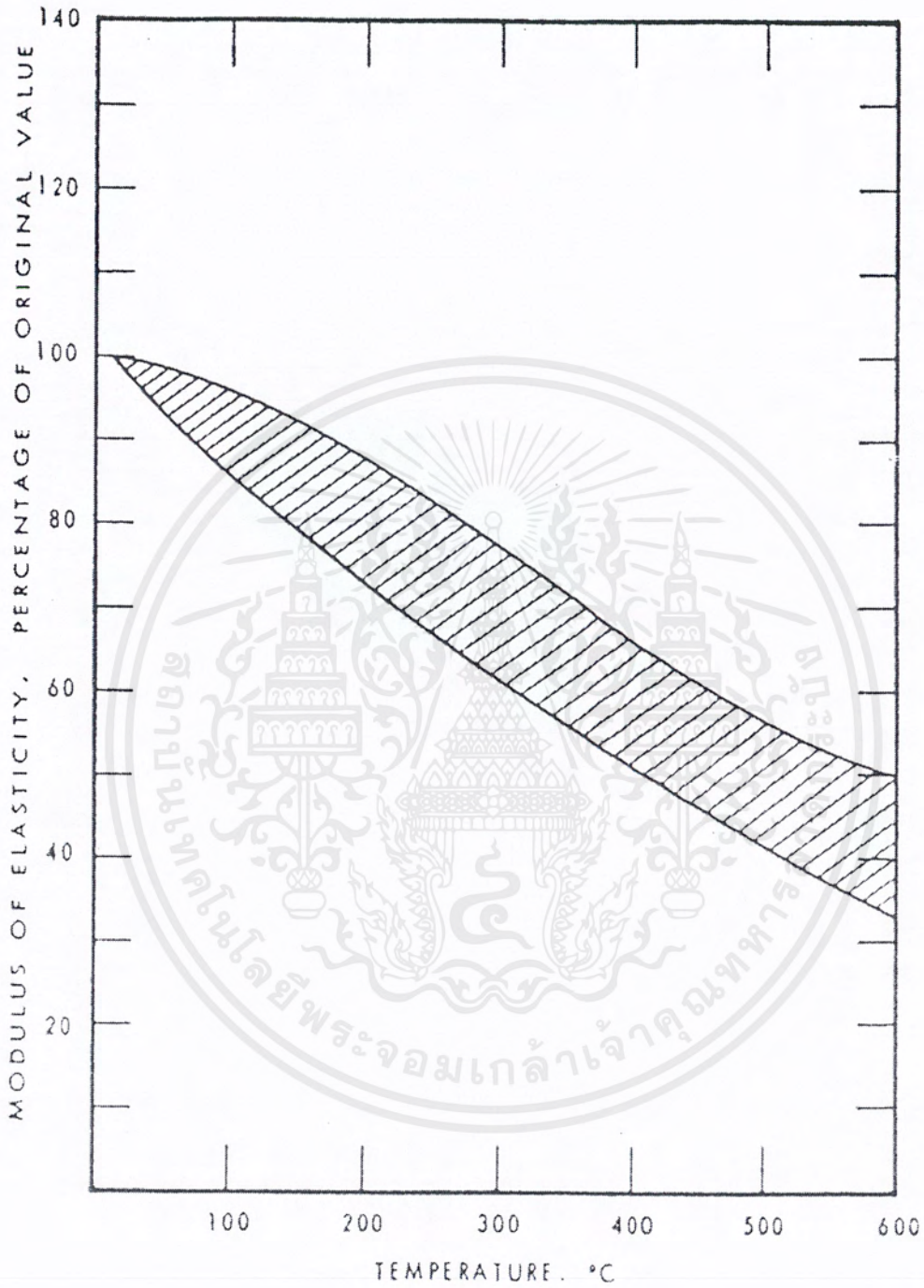
### 3.3. คอนกรีต

คอนกรีตเมื่อโดนไฟไหม้จนอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้พฤติกรรมทางกลเปลี่ยนไป ไม่ว่าจะเป็นค่ากำลังอัดประลัย (Ultimate Compressive Strength), ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) เป็นต้น ดังรูปที่ 3.6. และ 3.7. จากการที่คอนกรีตเกิดจากการผสมกันระหว่าง ซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ทำให้พฤติกรรมของคอนกรีตซับซ้อนกว่าเหล็ก



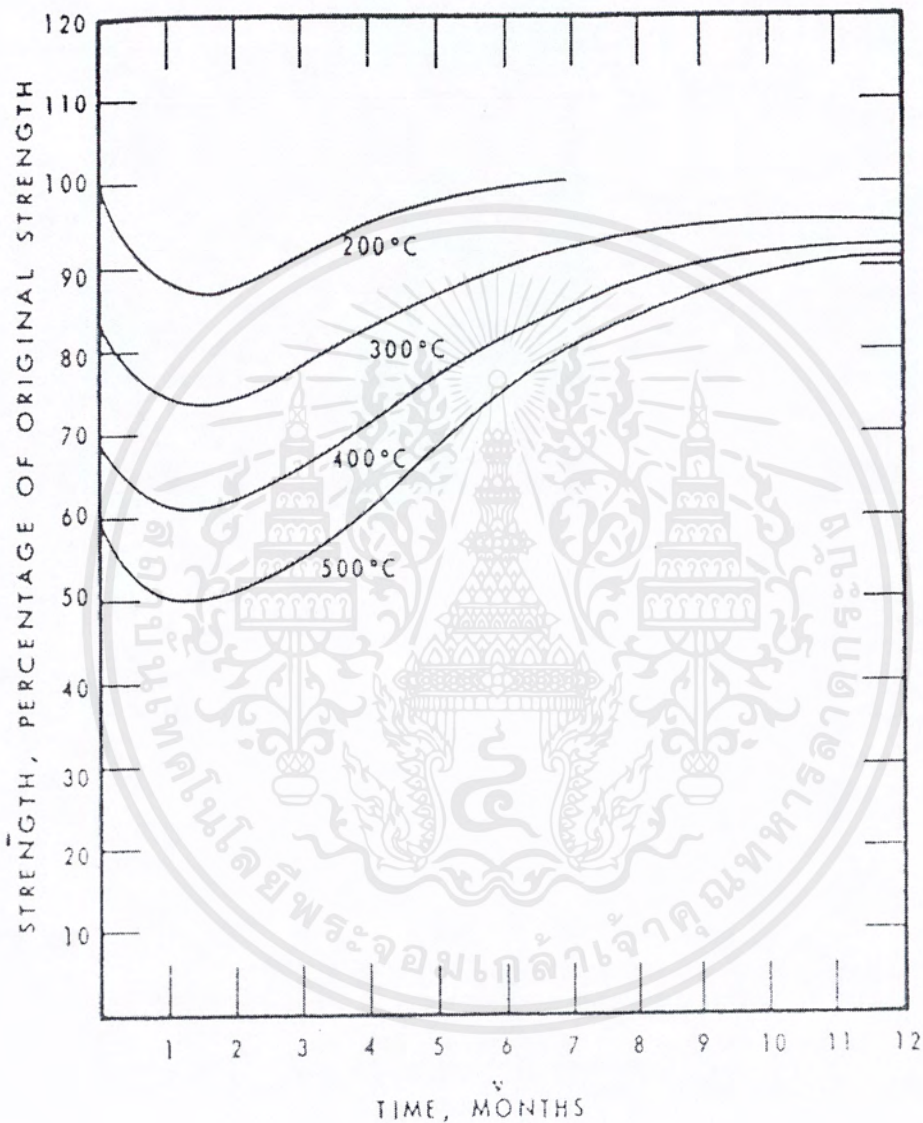
รูปที่ 3.6. กำลังอัดของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ (Lie, 1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

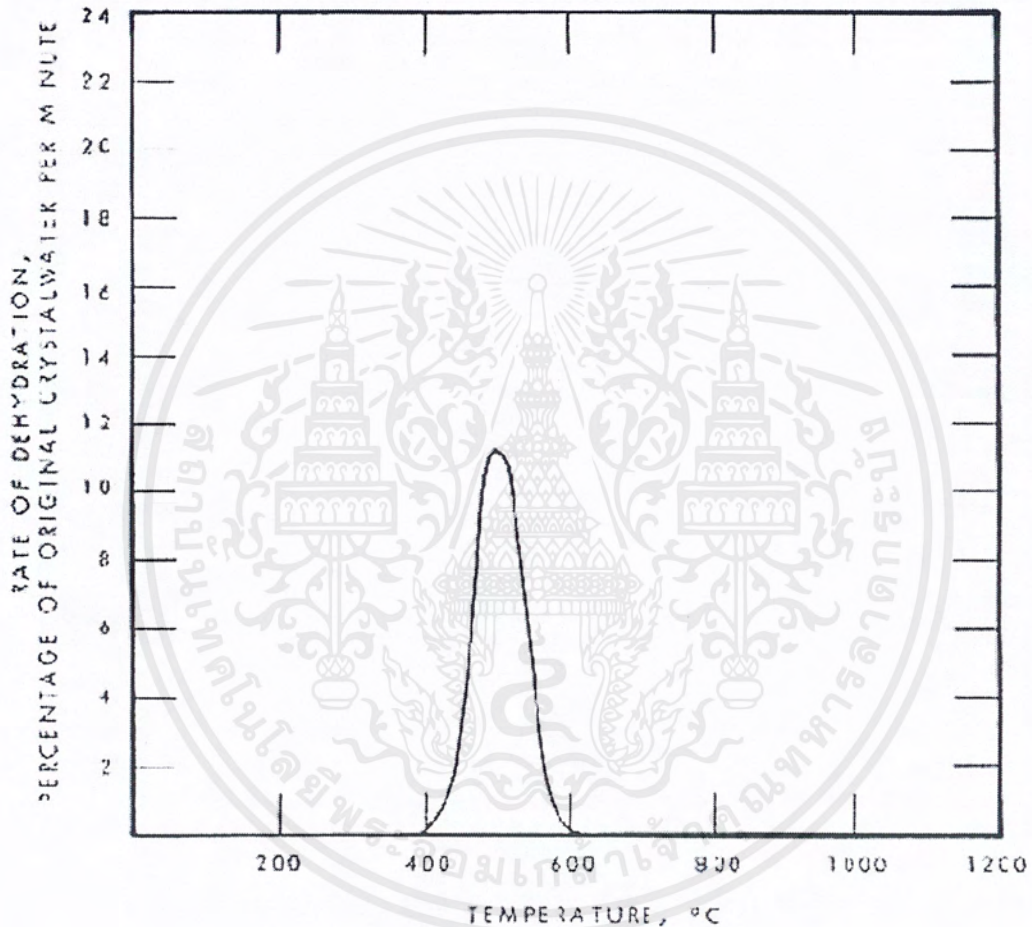


รูปที่ 3.7. แสดงค่าขอบบน-ขอบล่างของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ (Lie, 1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.8. การฟื้นกำลังของคอนกรีตที่ถูกไฟเผาที่อุณหภูมิต่างๆเมื่อเวลาผ่านไป พบว่ากำลังของคอนกรีตเกือบจะฟื้นคืนปกติหลังจากถูกเพลิงไหม้ เมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ระยะนานเป็นปี แต่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากในช่วงแรกที่กำลังลดลงนั้นก็ต้องทำการซ่อมแซมแก้ไขโดยไม่ปล่อยให้ทิ้งไว้เพื่อให้กำลังฟื้นคืนได้เอง (Lie, 1972)



รูปที่ 3.9. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยา Dehydration ของ  $\text{CaO}\cdot\text{H}_2\text{O}$  ในซีเมนต์เพสต์ พบว่าที่อุณหภูมิประมาณ  $500\text{ }^\circ\text{C}$  อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงสุด (Lie, 1972)

### 3.3.1. องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ททราย น้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต โดยเมื่อนำ ส่วนผสมต่างๆเหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement-Paste)
2. ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทรายเรียกว่า มอร์ตาร์ (Mortar)
3. มอร์ตาร์ผสมกับหินหรือกรวดเรียกว่า คอนกรีต (Concrete)

### ซีเมนต์เพสต์

หน้าที่ของซีเมนต์เพสต์มีดังนี้

1. เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม
2. หล่อลื่นคอนกรีตสกดขณะเทหล่อ
3. ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

### มวลรวม

หน้าที่ของมวลรวมมีดังนี้

1. เป็นตัวแทรกประสานราคาถูกที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์
2. ช่วยให้คอนกรีตมีความทนทาน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

### น้ำ

หน้าที่หลักของน้ำสำหรับงานคอนกรีตมี 3 ประการคือ

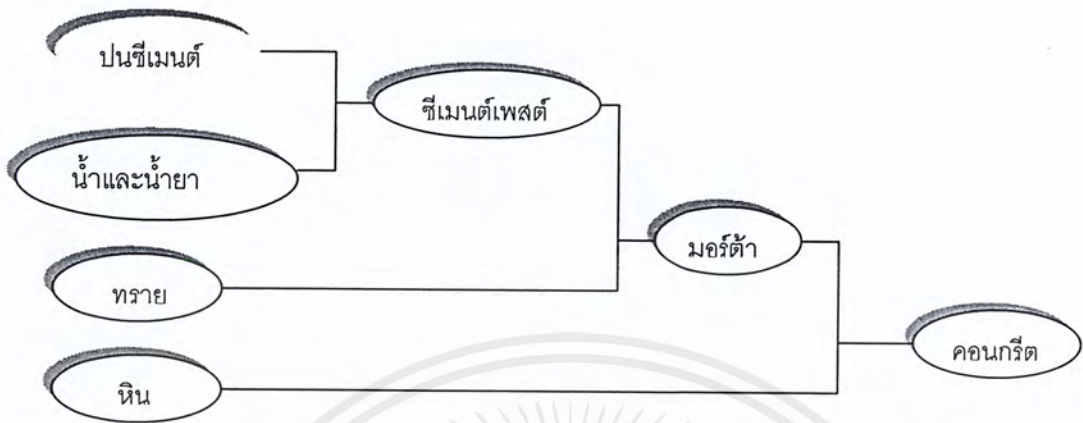
1. ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ
2. ใช้ผสมทำคอนกรีต
3. ใช้บ่มคอนกรีต

หน้าที่หลักของน้ำในฐานะที่ใช้ผสมทำคอนกรีตยังแบ่งได้อีก 3 ประการ

1. ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์
2. ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้

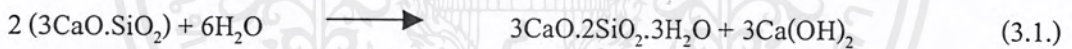
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เคลือบ หิน ทราวย ให้เปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์จะสามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ



รูปที่ 3.10. แสดงการเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต

ในผงปูนซีเมนต์มีสารที่จะทำปฏิกิริยากับน้ำหลักๆอยู่หลายตัว แต่จะขอนำปฏิกิริยาเคมีเฉพาะสารที่มีปริมาณมากกว่าสารอื่น คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต มาแสดงดังนี้



สาร  $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  คือสารแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต จะเป็นวุ้นข้นและตกผลึกเมื่ออายุมากขึ้น ผลึกนี้จะเกาะยึดทรายหรือหินให้ติดกัน ทำให้ได้ก้อนคอนกรีต ปฏิกิริยานี้ใช้เวลาประมาณ 100 วัน จึงจะสมบูรณ์ ทำให้กำลังรับแรงอัดและแรงดึงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นตามอายุ

### 3.3.2. คอนกรีตเมื่อถูกไฟเผา

เมื่อคอนกรีตถูกไฟเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 300 องศาเซลเซียส น้ำจะเคลื่อนไหวในก้อนคอนกรีตดีขึ้นทำให้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้ดีขึ้น กำลังและพิกัดยึดหยุ่นของคอนกรีตอาจเพิ่มขึ้นได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่า 300 องศาเซลเซียส น้ำในผลึกของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต จะเริ่มเปลี่ยนเป็นไอน้ำและพยายามดันออกมานอกแท่งคอนกรีต ประกอบกับเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หิน ทรายและผงซีเมนต์ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยากับน้ำจะขยายตัว แต่ขยายตัวในอัตราที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการดึงและดันกัน ทำให้คอนกรีตแตกออก ไอน้ำที่ผิวนอกจะออกไปสู่บรรยากาศได้ แต่น้ำขณะอยู่ในตัวแท่งคอนกรีตเดิมเป็นของเหลวมีตัวตน เมื่อกลายเป็นไอจะเคลื่อนที่ออกไปจากก้อนคอนกรีตหรือเมื่อผสมกับซีเมนต์จะกลายเป็นไอสารที่เป็นไอสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นน้ำแข็งเกาะขึ้นบนอาคารไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพไป ทำให้เกิดช่องว่างน้ำ (Water void) ขึ้นในแท่งคอนกรีต กำลังรับแรงก็จะลดลงตามไป เพราะหน้าตัดแท่งคอนกรีตจะมีทั้งแท่งคอนกรีตและช่องว่าง ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นมากเท่าใด ก็จะเกิดไอน้ำที่มีแรงดันไอสูงขึ้นมาตามไปด้วย ดังนั้น ไอน้ำส่วนที่ยังออกไปจากก้อนคอนกรีตไม่ได้ จะเข้าไปอาศัยในโพรงช่องว่างน้ำ ทำให้เกิดมีแรงกระทำกับผนังของโพรงน้ำ ชัดความสามารถในการรับแรงและพิกัดยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อุณหภูมิสูงๆ จึงลดลงอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 3.2. แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีของคอนกรีตตามอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (°C)	สีของคอนกรีต
300	ปกติไม่เปลี่ยนแปลง
300-600	ชมพู-แดง
600-950	เทาขาว (Whitish-Grey)
950	เหลืองคล้ำ (Buff)

ที่มา : ศิริพงษ์ อุทัยวงศ์แก้ว และคณะ พ.ศ. 2532

ตารางที่ 3.3. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีและรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นคอนกรีตตามอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (°C)	สี	ความเสียหาย
200	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่มีความเสียหาย
300	เทาปนแดงอ่อน	เกิดรอยร้าวเล็กน้อยบริเวณคอนกรีตหน้า
450	เทาปนแดง	คอนกรีตทับหน้าและแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแยกออกจากกัน
500	เทาปนแดง	เกิดรอยแตกร้าวระหว่างคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงรอบแผ่น
600	เทาปนแดง	คอนกรีตทับหน้าบางส่วนเกิดการระเบิด
800	เทาปนแดง	มีรอยแตกร้าวระหว่างคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงและคอนกรีตทับหน้าบางส่วนเกิดการระเบิด

ที่มา : ประธาน ระวังวงศ์ โนทัย และ สุริยันต์ เจริญเศรษฐกุล พ.ศ. 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในคอนกรีตกำลังอัดสูง ส่วนใหญ่จะผสมสารผสมเพิ่มเข้าไปทำปฏิกิริยากับ ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน สารที่ผสมส่วนใหญ่จะเป็นซิลิกา  $\text{SiO}_2$  ซึ่งทำปฏิกิริยากับ  $\text{Ca(OH)}_2$  ได้ผลดังนี้

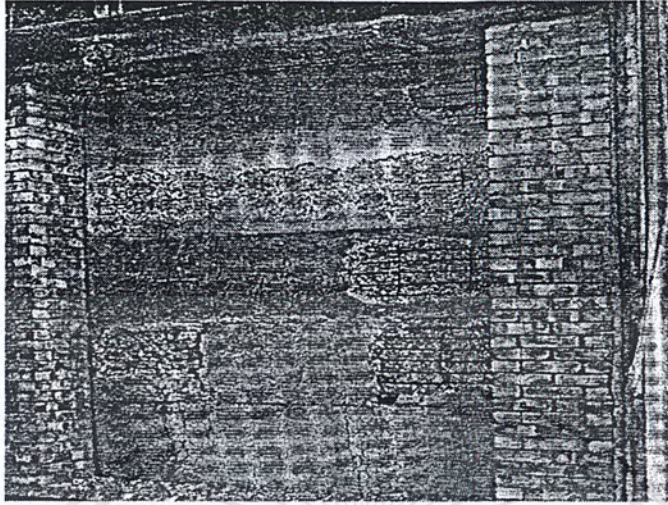


สารแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ได้เพิ่มขึ้น จะไปช่วยจับหินทรายให้ติดกันดียิ่งขึ้น ส่งผลให้ได้คอนกรีตกำลังอัดและพิคคียืดหยุ่นสูงขึ้น เมื่อคอนกรีตกำลังอัดสูงถูกไฟเผา อุณหภูมิจะสูงขึ้น น้ำในผลึกแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตจะกลายเป็นไอแยกตัวออกมา ทำให้เหลือสารแคลเซียมซิลิเกตซึ่งจะไม่สามารถยึดหินกับทรายเข้าด้วยกันได้ กำลังรับแรงและพิคคียืดหยุ่นจะลดลงอย่างรวดเร็ว (ธีรารัง เปรมปรีดี และบุษราคัม อนันตเดชศักดิ์, 2543)

### 3.3.3. การหลุดกะเทาะของคอนกรีต

การหลุดกะเทาะของคอนกรีตจะมีอิทธิพลสูงต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่ทนไฟสูงและต้านทานความร้อนได้ดี (ส่งผ่านความร้อนได้น้อย) ถ้าคอนกรีตไม่หลุดกะเทาะ อุณหภูมิของเหล็กในเนื้อคอนกรีตจะไม่สูงมากนัก โครงสร้างจะไม่ค่อยเสียหาย แต่ถ้ากะเทาะถึงเหล็กเสริม กำลังของโครงสร้างจะลดลงอย่างรวดเร็ว การหลุดกะเทาะเกิดจาก 2 สาเหตุใหญ่คือ

1. คอนกรีตอัดตัว (Excessive Compression) เนื่องจากโครงสร้างคอนกรีตมีความหนา ผิวชั้นนอกจะหนากว่าผิวชั้นใน ทำให้เกิดการขยายตัวมากกว่าแต่การขยายตัวนี้จะถูกต้านและยึดรั้งไว้โดยผิวชั้นในที่ยึดกว่า ทำให้มีแรงอัดเกิดขึ้นที่ผิวชั้นนอก ถ้าแรงอัดที่เกิดขึ้นสูงกว่า Ultimate compressive strength จะทำให้คอนกรีตที่ผิวนอกหลุดกะเทาะออกมา
2. แรงดันไอน้ำในคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตเป็นของผสมที่มีน้ำอยู่ด้วย เมื่อถูกไฟเผาไอน้ำที่ผิวนอกบางส่วนจะระเหยออกมาและมีบางส่วนถูกไล่เข้าไปในแกนกลาง ผิวนอกที่สูญเสียน้ำจะแห้ง เปราะและเป็นตัวกันไม่ให้ไอน้ำชั้นในระเหยออกมา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไอน้ำจะสูงขึ้น (Gas Law) สามารถดันเนื้อคอนกรีตให้แตกออกมาได้ (มานะ มหาสุวีระชัย, 2530)



รูปที่ 3.11. แสดงการหลุดกระเทาะของผนังคอนกรีต (Langdon-Thomas, 1972)

ตารางที่ 3.4. แสดงความหนาแน่นน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมเพื่อป้องกันไฟ

ชนิดของการก่อสร้างและ โครงสร้างหลัก	ความหนาแน่นน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือคอนกรีตหุ้มเหล็ก (มิลลิเมตร)
1. คอนกรีตเสริมเหล็ก	
1.1 เสาสี่เหลี่ยมที่มีด้านแคบขนาด 300 มิลลิเมตรขึ้นไป	40
1.2 เสากลมหรือเสาตั้งแต่ห้าเหลี่ยมขึ้นไปซึ่งมีรูปทรงใกล้เคียงเสากลมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 300 มิลลิเมตรขึ้นไป	40
1.3 คานและ โครงข้อหมุนคอนกรีตขนาดกว้างตั้งแต่ 300 มิลลิเมตรขึ้นไป	40
1.4 พื้นหนาไม่น้อยกว่า 115 มิลลิเมตร	20
2. คอนกรีตอัดแรง	
2.1 คานชนิดค้ำลวดก่อน	75
2.2 คานชนิดค้ำลวดภายหลัง	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4. แสดงความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมเพื่อป้องกันไฟ (ต่อ)

ชนิดของการก่อสร้างและโครงสร้างหลัก	ความหนาน้อยสุดของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือคอนกรีตหุ้มเหล็ก (มิลลิเมตร)
(1) กว้าง 200 มิลลิเมตรโดยปลายไม่เหนี่ยวรั้ง (Unrestrained)	65
(2) กว้างตั้งแต่ 300 มิลลิเมตรขึ้นไป (Unrestrained)	50
(3) กว้าง 200 มิลลิเมตรโดยปลายเหนี่ยวรั้ง (Restrained)	45
(4) กว้างตั้งแต่ 300 มิลลิเมตรขึ้นไป โดยปลายเหนี่ยวรั้ง (Restrained)	40
2.3 พื้นชนิดที่ดึงลวดก่อนที่มีความหนาตั้งแต่ 115 มิลลิเมตรขึ้นไป	40
3. เสาเหล็ก	
3.1 เสาเหล็กขนาด 150 x 150 มิลลิเมตร	40
3.2 เสาเหล็กขนาด 200 x 200 มิลลิเมตร	25
3.3 เสาเหล็กขนาดตั้งแต่ 300 x 300 มิลลิเมตรขึ้นไป	50

ที่มา : พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2540

3.3.4. กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมหลังจากถูกไฟไหม้

เมื่อคอนกรีตถูกไฟเผาที่อุณหภูมิ 400 กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมมีค่าลดลงต่ำสุดเหลือประมาณ 20 % ของค่ากำลังยึดเหนี่ยวเริ่มต้น ดังรูปที่ 3.12 และ 3.13. จากนั้นที่เวลา 6 เดือนผ่านไปจะมีค่าเพิ่มเป็น 70 % ของค่าเริ่มต้น ค่ากำลังยึดเหนี่ยวเริ่มต้นระหว่างคอนกรีตกับเหล็กจากการทดสอบมีค่าประมาณ 55 กก. / ตร.ซม. (บัณฑิต เกษรมาลา, 2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5. สาเหตุการเปลี่ยนแปลงกำลังอัดคอนกรีตหลังถูกไฟไหม้

การที่คอนกรีตมีกำลังตกลงหลังจากถูกไฟไหม้ในช่วงอุณหภูมิที่พิจารณานั้นเป็นเพราะสาเหตุที่สำคัญดังนี้คือ

1. เกิดการสูญเสียของน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Dehydration) ของสารประกอบ Hydration Product พวกเจลและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ปกติแล้วสารประกอบหลักของซีเมนต์ที่สำคัญและมีมากที่สุดคือ แคลเซียมซิลิเกต ( $C_3S$ ,  $C_2S$ ) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะให้สารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ออกมาซึ่งมีอิทธิพลต่อการสร้างกำลัง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตนั้นมีมากกว่าความจำเป็นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นปริมาณน้ำในคอนกรีตจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกไม่ได้ใช้ในการทำปฏิกิริยาแทรกอยู่ตามช่องโพรงในคอนกรีตเรียกปริมาณน้ำส่วนนี้ว่า Free Water ส่วนที่ 2 คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมี (ปฏิกิริยาไฮเดรชัน) เรียกว่า Combined Water เมื่อคอนกรีตถูกไฟไหม้ Free Water จะระเหยไปก่อนในช่วงอุณหภูมิประมาณ 100-400 องศาเซลเซียส ต่อจากนั้นจะเกิดการสูญเสียน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในช่วงอุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการเคมี (3.1)

ความร้อนจากไฟเข้าไปทำให้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทางขวามือของสมการมีการสูญเสียน้ำไปจากการระเหย ทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปทางซ้ายของสมการนั้นคือเกิดปฏิกิริยา Dehydration ขึ้น การสูญเสียน้ำในที่นี้สามารถยืนยันได้จากการลดลงของน้ำหนักคอนกรีต (weight Loss) ที่อุณหภูมิต่างๆ ช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส น้ำหนักของคอนกรีตจะมีค่าลดลงไปประมาณ 3% ดังรูปที่ 3.14. โดยมีน้ำหนักของน้ำเริ่มต้นทั้งหมดประมาณ 7-8% นั้นแสดงว่าอุณหภูมิในช่วงนี้แคลเซียมซิลิเกตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดปฏิกิริยา Dehydration ในอัตราที่สูงทำให้กำลังของคอนกรีตตกลงไปรวดเร็วดังจะเห็นได้จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหลังเผาไฟใหม่นั้นเย็นตัวลงที่ความดันบรรยากาศ กำลังของคอนกรีตต่อจากนั้นจะมีค่าลดลงต่อไปอีกในช่วงครึ่งเดือนแรกหลังเผาไฟใหม่นั้น ทั้งนี้เพราะอิทธิพลของความร้อนที่สะสมอยู่ในคอนกรีตหลังถูกไฟไหม้นั้นยังทำให้เกิดปฏิกิริยา Dehydration ดำเนินต่อไปอีกแต่ในอัตราที่ช้าลง จึงทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงอีก

2. เกิดการสูญเสียกำลังของมอร์ต้าขึ้น ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส จะเริ่มเกิดรอยแตกเล็กๆขึ้นในมอร์ต้าทั้งนี้เนื่องจากเกิด Strain Incompatibility ของซีเมนต์เพสต์ร่วมกับมวลรวม และจะสังเกตได้จากรอยแตกเล็กๆที่ผิวนอกคอนกรีต เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกจึงจะเกิดการแตก (Cracks) ขึ้นกับมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

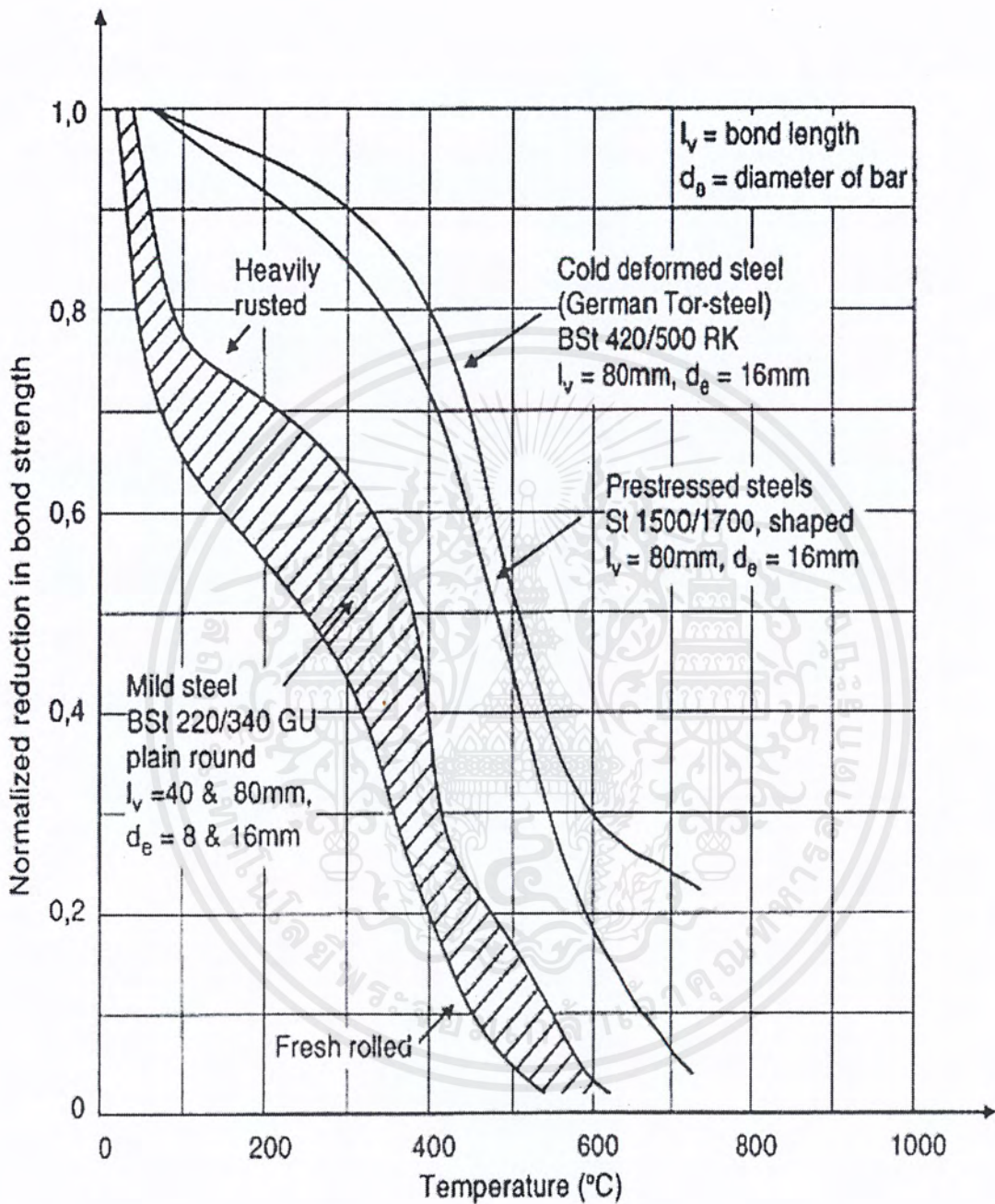
จากสาเหตุทั้งสองนี้จะเห็นได้ว่า สาเหตุที่หนึ่งนั้นมีอิทธิพลต่อการลดลงของกำลังของคอนกรีตมากกว่าสาเหตุที่สอง ทั้งนี้เพราะว่าการสูญเสียน้ำนั้นได้เกิดมาก่อนตั้งแต่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสแล้ว แต่การสูญเสียกำลังของมอร์ต้า่นั้นจะเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิประมาณ 600-800 องศาเซลเซียส การสูญเสียกำลังของมอร์ต้าและการแตกร้าวของมวลรวมจะมีอิทธิพลมากกว่า หลังจากที่เวลาผ่านไปประมาณหนึ่งเดือนปรากฏว่า กำลังของคอนกรีตสามารถฟื้นตัวขึ้นมาอีกและเมื่อเวลาผ่านไปอีก 6 เดือนกำลังของคอนกรีตจะมีค่าฟื้นตัวขึ้นถึง 80-90 % ของกำลังเริ่มต้นและยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกต่อไปด้วย การที่คอนกรีตถูกไฟเผาในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษานั้นมีกำลังฟื้นตัวขึ้นมาอีกเป็นเพราะว่า คอนกรีตนั้นดูดความชื้นจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยาจากสมการที่กล่าวข้างต้นนั้นกลับกลายเป็นมาเกิด Dehydration ขึ้นมาใหม่ จึงทำให้กำลังของคอนกรีตฟื้นคืนมาอีก (บัณฑิต เกษรมาลา, 2531)

### 3.3.6. พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงแบบดึงก่อนเมื่อถูกไฟไหม้

การที่แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงมีกำลังตกลงหลังจากถูกไฟไหม้มีสาเหตุดังนี้

1. เกิดการสูญเสียของน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Dehydration) ดังที่กล่าวมา
2. การระเบิดแยกออกจากกัน ของคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง ในสภาพปกติแผ่นพื้นทดสอบที่หนา 10 ซม. จะมีลวดอัดแรงซึ่งกระทำเยื้องศูนย์จากแนวแกนศูนย์ถ่วง ทำให้เกิดหน่วยแรงภายในก่อนใช้งาน โดยเกิดหน่วยแรงดึงที่ขอบบนของคอนกรีตทับหน้าและเกิดหน่วยแรงอัดที่ขอบล่างของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง เมื่อมีน้ำหนักภายนอกกระทำ ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัดซึ่งจะถูกต้านทานโดยหน่วยแรงภายในก่อนการใช้งานทำให้แผ่นพื้นทดสอบรับน้ำหนักกระทำได้มาก แต่เมื่อแผ่นพื้นทดสอบแยกออกจากกันเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตทับหน้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงซึ่งหนาแผ่นละ 5 ซม. แนวแกนศูนย์ถ่วงของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงจะอยู่ที่ระดับกึ่งกลางพื้นหรือที่ระดับเดียวกับลวดอัดแรง ทำให้แรงอัดในลวดไม่เกิดการเยื้องศูนย์ หน่วยแรงภายในก่อนการใช้งานของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงจึงมีเฉพาะหน่วยแรงอัดของลวดอัดแรง ซึ่งต้านทานหน่วยแรงที่เกิดจากแรงกระทำภายนอกได้น้อยกว่า จึงทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักกระทำลดลง
3. เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดหน้าตัดแผ่นพื้นทดสอบ
4. การสูญเสียแรงอัดสุทธิในลวดอัดแรงเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตและลวดอัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

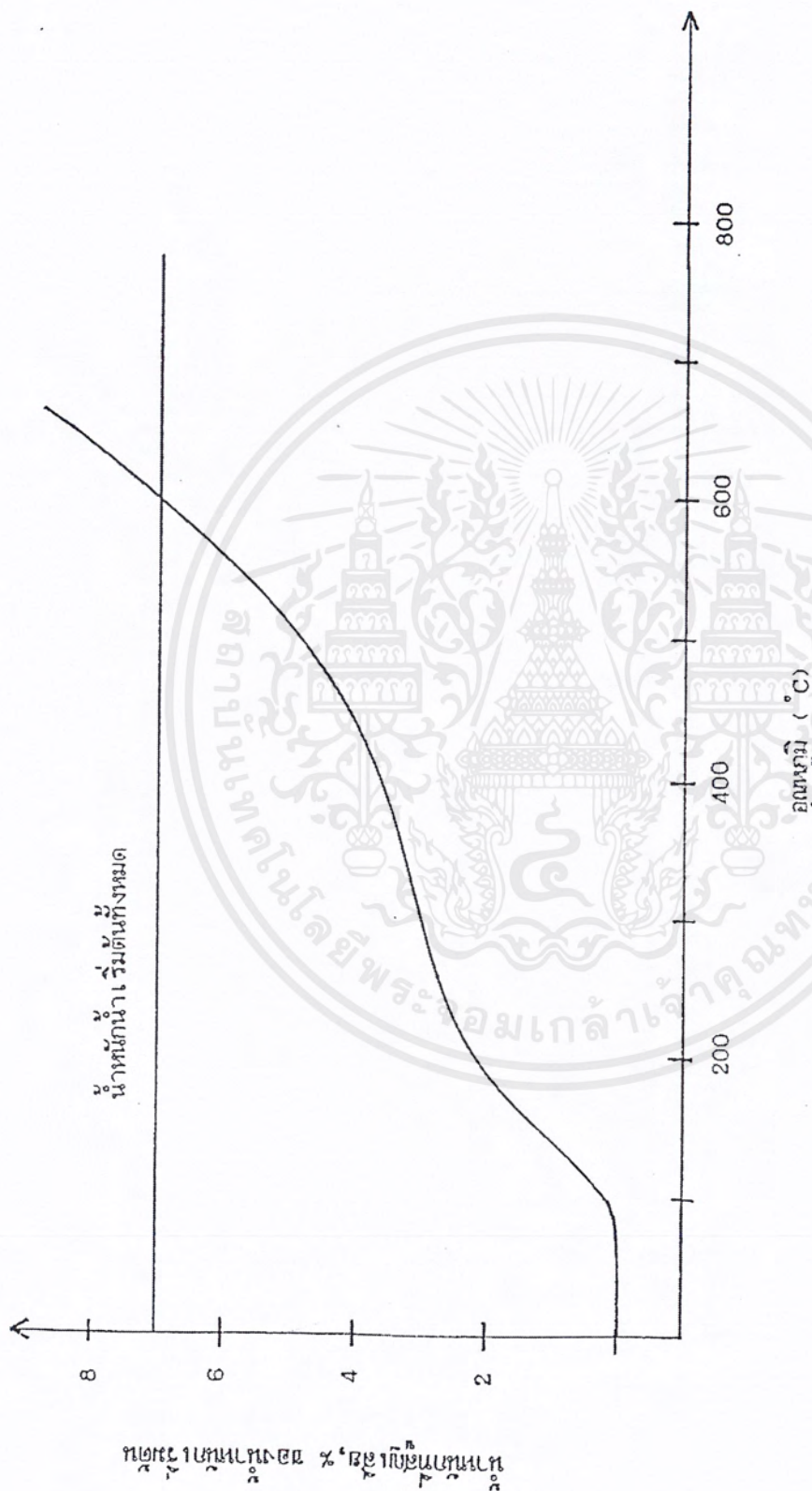


รูปที่ 3.12. แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ  
สังเกตว่าค่ากำลังยึดเหนี่ยวจะลดลงต่ำมากเมื่ออุณหภูมิเกิน 400 °C (Purkiss, 1996)



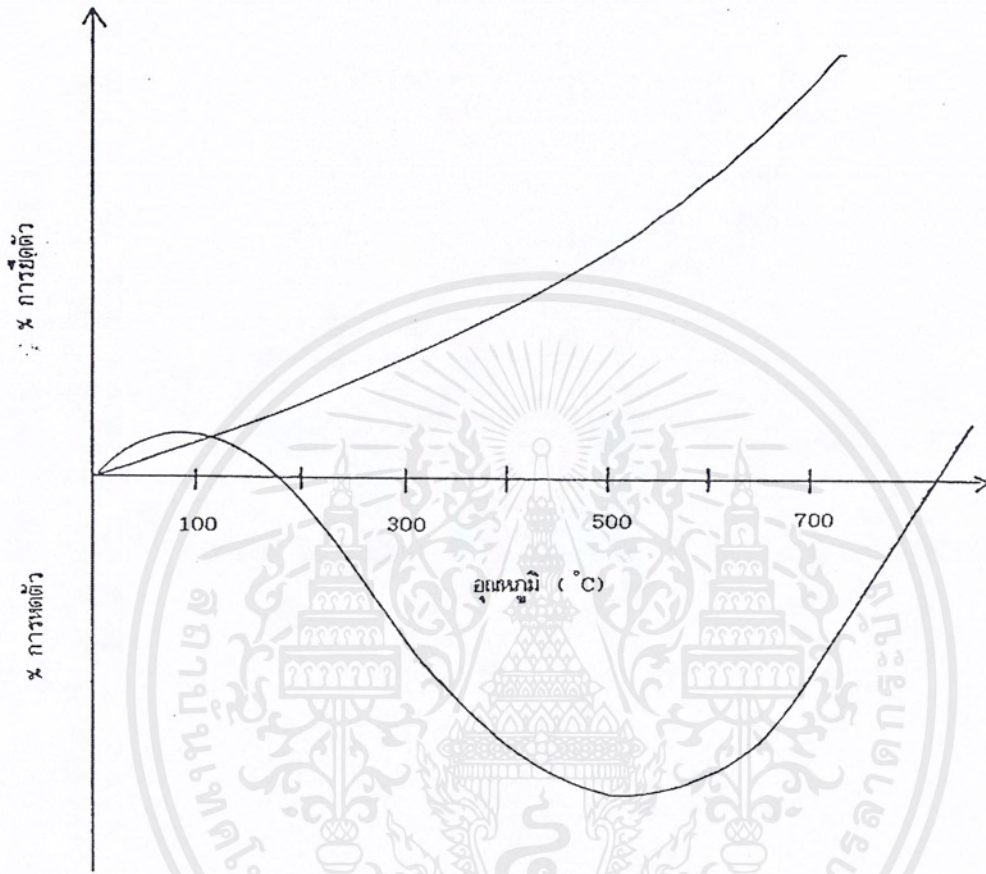
รูปที่ 3.13. ผลกระทบของอุทกภัยที่มีต่อกำลังขีดเหนี่ยวในช่วงเวลา 6 เดือน (บัณฑิต เกษรมาตา, 2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14. ค่าการลดลงของน้ำหนักคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าคอนกรีตเริ่มสูญเสียน้ำหนักเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส แต่อัตราการสูญเสียจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 400 องศาเซลเซียส ทำให้กำลังมอร์ตาดลดลงอย่างรวดเร็ว (บัณฑิต เกษรมาลา, 2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15. การขยายตัวและหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าช่วงอุณหภูมิ 300-800 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์การยืหดจะมาก ทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงอย่างรวดเร็ว (บัณฑิต เกษรมาลา, 2531)

### 3.4. พฤติกรรมโครงสร้างอาคาร

ไฟคือสิ่งที่ทำให้เกิดความร้อนกระจายไปทั่วอาคาร ความร้อนนี้อาจจะกระจายไปโดยการนำ การพาหรือการแผ่รังสี ความร้อนจะมากหรือน้อยขึ้นกับเวลาของการเผาไหม้ โดยปกติระดับความร้อนที่จุดต่างๆในตัวอาคารจะไม่เท่ากัน อุณหภูมิที่แตกต่างกันจะมีผลให้โครงสร้างเกิดการยืดหรือหดตัวไม่เท่ากัน ซึ่งจะถือว่าเป็น “load” ที่กระทำต่อโครงสร้าง เมื่อ โครงสร้างอาคารถูกไฟไหม้ อุณหภูมิภายในตัวอาคารจะไม่เท่ากัน ส่วนที่ร้อนกว่าจะขยายตัวมากกว่า ส่วนที่เย็นกว่าจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดรั้ง ทำให้มีแรงภายในเกิดขึ้นในตัวโครงสร้าง นอกจากนี้ คุณสมบัติทางกลของเหล็กและคอนกรีตยังเสื่อมลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พฤติกรรมของโครงสร้างที่เกี่ยวข้องก็จะหนีไม่พ้นสิ่งๆเกี่ยวกับความแข็งแรง, สติฟเนส และ เสถียรภาพ ข้อใดข้อหนึ่งหรืออาจจะทั้งหมดดังต่อไปนี้ (มานะ มหาสุวีระชัย, 2530)

1. มีการโก่งหรือแอ่นตัวมากขึ้น เนื่องจากทั้ง โมดูลัสยืดหยุ่นและความแข็งแรงของวัสดุลดลง
2. มีรอยแตก เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น มีการขยายตัวทำให้ความเครียดสูงขึ้น
3. มีการร่อนหรือหลุดกะเทาะของคอนกรีต (Spalling)
4. มีการโก่งเดาะของโครงสร้าง (Bulking) เนื่องจากส่วนที่เย็นกว่าของโครงสร้างจะเป็นตัวยึดรั้งการขยายตัวของส่วนที่ร้อนกว่า ทำให้มีแรงอัดเกิดขึ้น
5. เกิดการวิบัติ (Failure or Collapse)

สำหรับลำดับขั้นการเกิดไฟไหม้และพฤติกรรมของโครงสร้าง สรุปได้ดังตารางที่ 3.5.

ตารางที่ 3.5. แสดงลำดับการเกิดไฟไหม้และพฤติกรรมของโครงสร้าง

ลำดับขั้น	พฤติกรรม
1. อุณหภูมิสูงขึ้น	1. ผิวนอกเริ่มมีการเสียหาย, ปูนฉาบเริ่มกะเทาะ
2. ความร้อนผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีต	2. มีรอยแตก, มีการหลุดกะเทาะ, คอนกรีตเสียกำลังและความแข็งแรง
3. ความร้อนผ่านเข้าไปถึงเหล็ก (เกิดเร็วมากถ้าคอนกรีตหลุดกะเทาะ)	3. โครงสร้างเสียกำลัง, มีการโก่งหรือแอ่นตัวเพิ่มขึ้น, อาจมีการโก่งเดาะ (Buckling) เกิดขึ้น

ตารางที่ 3.5. แสดงลำดับการเกิดไฟไหม้และพฤติกรรมของโครงสร้าง (ต่อ)

ลำดับชั้น	พฤติกรรม
4. อุณหภูมิของเหล็กลดลง	4.เหล็กจะพินตัวได้ตีมากถ้าอุณหภูมิไม่เกิน 700 องศาเซลเซียส ส่วนเหล็กที่ Buckle จะเล็กลง ไม่สามารถพินคันทัวได้อีก
5. อุณหภูมิของคอนกรีตลดลง	5. ขนาดของรอย Crack จะเล็กลง กำลังของ โครงสร้างจะดีขึ้น การโก่งตัวจะน้อยลง แต่จะไม่คืนสภาพเดิม
6. อากาศเย็น	6. คอนกรีตจะแห้งมากและจะดูดความชื้นเข้าไปอีก รอย Crack จะขยายตัวเพิ่มขึ้น

ที่มา : มานะ มหาสุวีระชัย พ.ศ. 2530

### 3.5. ผลงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับค่ากำลังของคอนกรีตและเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ

#### 3.5.1. จากผลงานวิจัยของศาสตราจารย์ ช่าง เปรมปรีดี และคณะ

ซึ่งทดสอบเผาตัวอย่างคอนกรีตที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 องศาเซลเซียส และไม่เกิน 2 ชั่วโมง พบว่า

- เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงยังน้อยและอาจเป็นไปได้กำลังอัดสูงขึ้นกว่าที่อุณหภูมิปกติ เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้น้ำในแท่งคอนกรีตเคลื่อนย้ายที่อยู่ อาจมีโอกาทำปฏิกิริยากับผงซีเมนต์ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา ทำให้ได้ผลึกแคลเซียมซิลิเกตมากขึ้นกำลังจึงอาจสูงขึ้นได้ แต่เมื่ออุณหภูมিরอบแท่งคอนกรีตสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ น้ำในแท่งคอนกรีตจะสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ก่อนข้างแน่นอน น้ำจะเริ่มกลายเป็นไอเคลื่อนย้ายไปอยู่ในโพรงน้ำ หรือแทรกรอยแตกร้าวเคลื่อนย้ายออกนอกแท่งคอนกรีต ทำให้เกิดช่องว่างขึ้น กำลังรับแรงจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเกือบจะไม่สามารถรับแรงได้เมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 1000 องศาเซลเซียส
- เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 800 องศาเซลเซียส คอนกรีตเกือบจะไม่สามารถรับแรงอัดได้โดยมีค่ารับแรงสูงสุดลดลงเหลือประมาณ 20 % ของคอนกรีตที่ยังไม่ถูกไฟเผา

- การเปลี่ยนแปลงของพิกัดยึดหยุ่นจะค่อยๆ ลดลงในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส และจะลดตัวอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่า 400 องศาเซลเซียส จนเมื่ออุณหภูมิขึ้นไปถึง 800 องศาเซลเซียส คอนกรีตจะเสียความยืดหยุ่นไปเกือบทั้งหมด

### 3.5.2. ผลงานวิจัยของบัณฑิต เกษรมาลา

ซึ่งทดสอบเผาตัวอย่างคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM E119 พบว่า

- ค่ากำลังคอนกรีตที่ระยะเวลาและอุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 3.6.

ตารางที่ 3.6. แสดงค่ากำลังคอนกรีตที่ระยะเวลาและอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ	ค่ากำลังคอนกรีตที่เหลืออยู่ (%) ที่ระยะเวลา		
	1 วัน	15 วัน	6 เดือน
300	80	75	90
400	70	65	85
450	65	60	80

ที่มา : บัณฑิต เกษรมาลา พ.ศ. 2531

- ค่ากำลังยึดเหนี่ยว เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 400 องศาเซลเซียส จะเหลือประมาณ 20 % ของกำลังยึดเหนี่ยวเดิม
- สีของคอนกรีตเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส จะเป็นสีชมพู-แดง แต่เมื่ออุณหภูมิมากกว่านี้สีคอนกรีตจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองคล้ำหรือสีเทา
- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 3.7.

ตารางที่ 3.7. แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ	ค่ากำลังคอนกรีตที่เหลืออยู่ (%) ที่ระยะเวลาต่างๆ	
	1 วัน	6 เดือน
300	48	70
400	34	65
450	26	55

ที่มา : บัณฑิต เกสรมาลา พ.ศ. 2531

3.5.3. จากผลงานวิจัยของศิริพงษ์ อุทัยวงศ์แก้ว และคณะ

โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E119 พบว่า

- ค่ากำลังคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 3.8.

ตารางที่ 3.8. แสดงค่ากำลังคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ	ระยะเวลาเผา (ชั่วโมง)	ค่ากำลังที่เหลือ (%)
400	1	96.27
400	2	93.43
400	3	85.11
400	4	72.5
500	0.5	86.67

ที่มา : ศิริพงษ์ อุทัยวงศ์แก้ว และคณะ พ.ศ. 2532

### 3.5.4. จากผลงานวิจัยของ ทินกร แพทย์รักษ์ และคณะ

โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 119 พบว่า

- ค่ากำลังที่อุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 3.9.

ตารางที่ 3.9. แสดงค่ากำลังของคอนกรีตที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ	เวลา (ชั่วโมง)	ค่ากำลังคอนกรีตที่เหลือ (%) ที่ระยะเวลา ต่างๆ	
		ทันทีหลังจากเผา	7 วัน
927	1	64.34	34.38
1010	2	25.00	12.09
1093	4	0.00	0.00

ที่มา : ทินกร แพทย์รักษ์ และคณะ พ.ศ. 2544

### 3.6. สรุป

บทนี้จะต้องทราบถึงการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เช่น สี รอยแตก เป็นต้น และการเปลี่ยนแปลงทางด้านกำลังทั้งของคอนกรีตและเหล็ก ได้แก่ ค่ากำลังดึง อัตราการล้า การสูญเสียน้ำหนัก ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น กำลังอัด เป็นต้น ซึ่งเป็นวัสดุโครงสร้างพื้นฐานในอาคาร และทราบถึงแนวโน้มจากผลงานวิจัยที่ผ่านมา สุดท้ายต้องทราบถึงพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารเมื่อ โคนเพลิงไหม้ ซึ่งความรู้จากบทนี้จะเป็นพื้นฐานในการประเมินกำลังของโครงสร้าง ดังจะกล่าวในบทต่อไป

## บทที่ 4

### การตรวจสอบโครงสร้าง

#### 4.1. บทนำ

การเข้าไปตรวจสอบโครงสร้างที่เกิดความเสียหายจากไฟไหม้ สามารถแบ่งได้กว้างๆ 2 ขั้นตอนคือ การตรวจสอบเบื้องต้นทางด้านกายภาพ การตรวจสอบทางด้านวิศวกรรม ทั้งในสภาพจริง และในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างอาคาร เพื่อนำผลที่ได้มาประเมินความสามารถใช้งานได้ของ โครงสร้างส่วนนั้น โดยการตรวจสอบมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัยคือ งบประมาณ ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการตรวจสอบและประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบเป็นสำคัญ

#### 4.2. การตรวจสอบเบื้องต้น

เป็นขั้นตอนการตรวจสอบและประเมินความเสียหายทางกายภาพโดยสายตา หลังจากการซักถามข้อมูลเบื้องต้นจากผู้อยู่ในเหตุการณ์ ผู้ควบคุมดูแลหรือผู้เกี่ยวข้องแล้ว ผู้ตรวจจึงเริ่มทำการตรวจรอบนอกของอาคารพร้อมกับสภาพความเสียหายเบื้องต้น ซึ่งผู้ตรวจสอบควรฝึกสังเกตบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ เพื่อที่จะได้เตรียมการวางแผนการทดสอบได้อย่างถูกต้อง บริเวณไหนที่เสียหายมาก จนเห็นว่าใช้การไม่ได้แล้วก็ไม่จำเป็นต้องทดสอบกำลังบริเวณนั้น เนื่องจากสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเสียเวลาโดยใช่เหตุ แต่ต้องรีบให้มีการดำเนินการรื้อถอน ซ่อมแซม แก้ไขอย่างทันที่วงที่ นอกจากนั้นแล้วบริเวณที่ไม่แน่ใจว่า โครงสร้างอาคารใช้งานได้หรือไม่ ต้องทำการทดสอบตามวิธีทางวิศวกรรมซึ่งจะได้กล่าวต่อไป การสำรวจเบื้องต้นมี 2 ขั้นตอนดังนี้

##### 4.2.1. การสำรวจบริเวณและลักษณะอาคาร

เป็นการสำรวจทางกายภาพประกอบด้วย

1. การสำรวจบริเวณ ผู้ตรวจสอบจะต้องสำรวจบริเวณรอบๆ ซิดค้ำแพงหรือบริเวณที่ห่างจากตัวอาคารออกไป ซึ่งอาจพบวัสดุพยาน เช่น เศษกระจกหน้าต่างแตกกระเด็นมาตกซิดค้ำ เมื่อเทียบระยะทางแล้วบ่งบอกได้ว่าเป็นการลุกไหม้ที่รุนแรง มีการขยายตัวของอากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเอกสารนเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเบิดจนกระจกแตกกระเด็นออกไปไกลได้ เป็นต้น นอกจากนี้ต้องเดินรอบตัวอาคารพิจารณาและจดบันทึกถึงสถานภาพความเสียหายของประตู หน้าต่าง หรือช่องระบายอากาศ ตลอดจนช่องเปิดต่างๆ พร้อมกับถ่ายรูปด้านนอกอาคารดังรูปที่ 4.1.



รูปที่ 4.1. แสดงสภาพภายนอกของอาคารที่เกิดเพลิงไหม้

2. การสำรวจลักษณะอาคาร ก่อนจะเข้าทำการสำรวจภายในอาคารที่เกิดเหตุ ต้องมั่นใจถึงความมีเสถียรภาพของอาคาร ว่ามีความแข็งแรงและปลอดภัยเพียงพอที่จะเข้าไปทำการสำรวจได้ ถ้าเห็นว่าไม่แข็งแรงปลอดภัยพอ ห้ามเข้าไปตรวจสอบโดยเด็ดขาด และต้องหาวิธีการซ่อมแซม เสริมค้ำยัน เสริมกำลังตามหลักวิศวกรรมก่อน เช่น ในกรณีที่พบว่า อาคารมีสภาพไม่แข็งแรง เช่น เพดานปูนแอ่นโค้งลงมา มีบันไดไหม้เกรียมเป็นเถาถ่าน ก็อาจใช้วิธีการเสริมความแข็งแรงโดยใช้ท่อนเหล็กค้ำยันเพดานไว้ หรือใช้บันไดเหล็กมาวางไว้แทนบันไดในอาคารไปก่อนและต้องสำรวจ
  - ลักษณะโครงสร้างอาคาร เช่น เป็นอาคารคสล.สูง 5 ชั้น, พื้นเป็นระบบ Post Tension โครงหลังคา ชั้นดาดฟ้าเป็นโครงเหล็ก, เสาส่วนห้องโถงมีการป้องกันไฟโดยการทาสีกันไฟ, ผนังทุกผนังก่ออิฐทึบ, มีกระจกช่องแสงด้านหน้า เป็นต้น
  - บริเวณพื้นที่ที่โดนไฟไหม้ ส่วนไหนเสียหายมากน้อยเพียงใด
  - ชั้นส่วนโครงสร้างอาคาร เช่น ผนังโก่งตัวจนสังเกตเห็นได้ด้วยตา, คานมีรอยแตกร้าวจนเห็นได้ชัด, เสาเหล็กมีการโก่งเดาะ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.2. ประมาณความรุนแรงของไฟ

เป็นขั้นตอนการสำรวจทางกายภาพที่ละเอียดกว่าขั้นตอนการสำรวจเบื้องต้น เพื่อ กำหนดแนวทางในการทดสอบและสุ่มเก็บตัวอย่าง ประกอบด้วย

1. จากระยะเวลา ประมาณจากระยะเวลาผู้เห็นเหตุการณ์ ระยะเวลาในการดับไฟ ระยะเวลากาการมาถึงของพนักงานดับเพลิง หรือดูจากอุปกรณ์อัตโนมัติที่เตือนเหตุเพลิงไหม้ ถ้าระยะเวลานานความรุนแรงของไฟก็จะมากด้วย
2. จากวัสดุที่หลงเหลืออยู่ โดยสามารถเทียบสี เทียบลักษณะภายนอก เป็นอุณหภูมิดังนี้
  - โลหะ พวาทองแดง, ทองเหลือง, ตะกั่วหรือสังกะสี เป็นต้น เช่น พบที่เข็ญหรือทำจากทองเหลืองยังเห็นเป็นรูปร่างที่เข็ญหรือและรู้ว่าเป็นทองเหลือง จากการพิจารณาจุดหลอมเหลวของโลหะจากตารางที่ 4.1. เท่ากับ 932 องศาเซลเซียส แสดงว่าบริเวณที่พบชิ้นส่วนนี้มีอุณหภูมิไม่เกิน 932 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ยังต้องคำนึงถึงผลจากการ โคนกระแสน้ำจากการดับเพลิงกระเด็น ไปอยู่อีกที่หนึ่งก็เป็นได้
  - โครเมียม สังเกตการเปลี่ยนสีของโครเมียมที่อุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 4.2 โดยเครื่องใช้ในอาคาร เช่น ที่ปิ้งขนมปัง, โคมไฟ, ปากกาหรือที่เข็ญหรือ เป็นต้น มักจะเคลือบด้วยโครเมียมเพื่อป้องกันการผุกร่อน และจะเปลี่ยนสีตามอุณหภูมิที่ได้รับ แต่สีของโครเมียมอาจไม่คงอยู่เมื่อวัตถุนั้นเย็นตัวลง แต่อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตเห็นเป็นลักษณะของวงสีแบบรู้ง

ตารางที่ 4.1. แสดงจุดหลอมเหลว (Melting Point) ของโลหะ

วัสดุ	จุดหลอมเหลว (°C)
อลูมิเนียม (อัลลอย)	566 – 649
อลูมิเนียม	660
ทองเหลือง (เหลือง)	932
ทองเหลือง (แดง)	996
ทองสัมฤทธิ์	982
เหล็กหล่อ (เทา)	1,349 – 1,399
เหล็กหล่อ (ขาว)	1,049 – 1,099
โครเมียม	1,954

ตารางที่ 4.1. แสดงจุดหลอมเหลว (Melting Point) ของโลหะ (ต่อ)

วัสดุ	จุดหลอมเหลว (°C)
ทองแดง	1,082
อิฐทนไฟ	1,638 – 1,649
แก้ว	593 – 1,427
ทอง	1,063
เหล็ก	1,539
ตะกั่ว	327
เหล็กสแตนเลส	1,427
เหล็กกล้า	1,516

ที่มา : สันดี สุขวัจน์, ม.ป.ป.

ตารางที่ 4.2. แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของโครเมียมตามอุณหภูมิต่างๆ

สี	อุณหภูมิ	
	°F	°C
เหลือง	450	230
น้ำตาลม่วง	550	290
น้ำเงิน	600	320
แดงช้ำ	900	480
แดงเซอริเข้ม	1100	590
แดงเซอริ	1400	760
ชมพูอมเหลือง	1600	870
เหลือง	1800	980
ขาว	2200	1200
ขาวจ้ำ	2400	1320

ที่มา : สันดี สุขวัจน์, ม.ป.ป.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

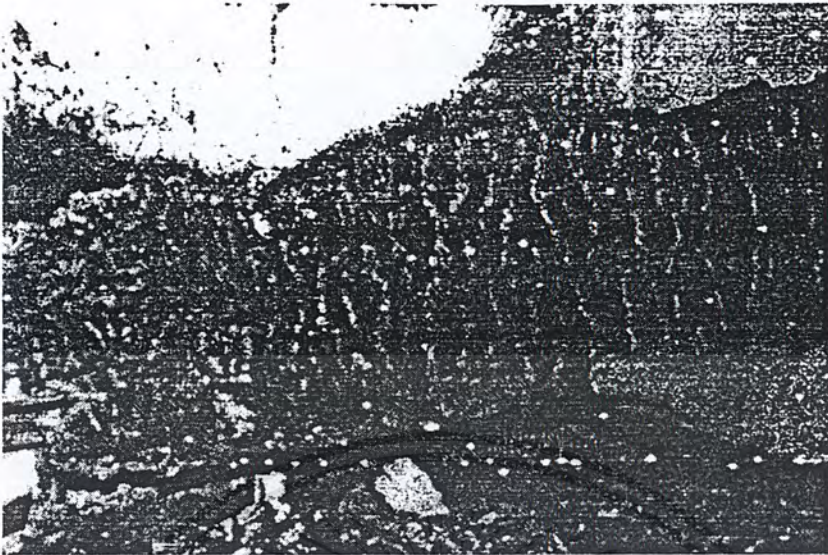
- กระจก (Glass) กระจกที่อยู่ใกล้ไฟหรือต้นกำเนิดเพลิงจะมีเขม่าจับน้อยกว่ากระจกที่อยู่ห่างออกไป นอกจากนี้เมื่อกระจกถูกความร้อนจะขยายตัว ในกรณีที่เป็นกระจกหน้าต่าง, ประตูหรือโครงช่องแสงต่างๆ จะเกิดการแตกเนื่องจากมีกรอบบังคับอยู่ขึ้นส่วนกระจกจะหลุดออกนอกกรอบ แต่ก็มีบางส่วนที่ยังติดอยู่กับกรอบ ถ้าพบว่าชิ้นส่วนที่แตกนั้นเป็นชิ้นขนาดใหญ่มีเขม่าหนาแน่นนั้น แสดงว่าถูกความร้อนซ้ำๆ ลักษณะคล้ายการลุ ถ้าพบชิ้นส่วนแตกเป็นชิ้นเล็กๆ ไม่สม่ำเสมอและมีเขม่าจับเล็กน้อย แสดงถึงการถูกความร้อนอย่างรวดเร็ว เป็นลักษณะการลุกไหม้อย่างรุนแรง (สันติ์ สุขวัจน์, ม.ป.ป.)
- ไม้ ประเมินจากคุณสมบัติของรอยไหม้ของไม้ และลักษณะการไหม้เกรียมของชิ้นส่วนที่เป็นไม้ เช่น การเป็นถ่านไม้หลังจากถูกความร้อนแล้วมีด้วยกันอยู่ 2 แบบ ซึ่งแต่ละแบบมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถนำมาใช้ในการบอกถึงระดับอุณหภูมิที่ไม้ชิ้นนั้น ได้รับ (สันติ์ สุขวัจน์, ม.ป.ป.)

### แบบที่ 1 แบบ Alligatoring

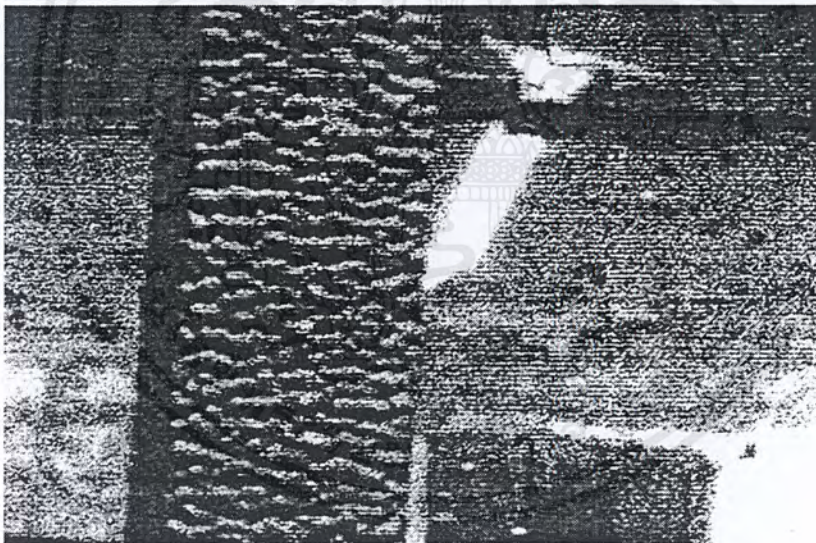
มีลักษณะเป็นเกล็ดขนาดใหญ่ขอบมนเหมือนกับผิวหนังจระเข้ บวมพอง และมันวาว จะเกิดเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 1,000 องศาฟาเรนไฮต์ (ประมาณ 540 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังรูป ที่ 4.2.

### แบบที่ 2 แบบ Fine Check

มีลักษณะเป็นเกล็ดละเอียดถี่ถี่แบบตารางหมากรุกไม่มันวาว เกิดจากความร้อนต่ำ ไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.3. นอกจากนั้นแล้วจากผลการทดสอบของสถาบัน The National Bureau of Standards แสดงให้เห็นว่า การเป็นถ่านไม้จะคงอยู่ตามสภาพที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่ได้รับครั้งแรก (สันติ์ สุขวัจน์, ม.ป.ป.) และถ้าพิจารณาจากคุณสมบัติของการเป็นถ่าน ซึ่งจะบอกถึงเวลาในการลุกไหม้หรือเวลาที่ไม้ถูกเผาไหม้ ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้จากการเปรียบเทียบ เพื่อจะบอกว่าไม้ชิ้นไหนไหม้นานกว่ากัน แต่การเปรียบเทียบต้องเปรียบเทียบที่สภาวะเดียวกัน เช่น ไม้พื้นกับไม้พื้น ไม้เก่ากับไม้เก่า เป็นต้น อนึ่ง วิธีการวัดคุณสมบัติของการเป็นถ่านนั้นสามารถกระทำโดยใช้มีดปลายแหลมหรือตะปู แทงเข้าไปในแนวตั้งฉากกับเนื้อไม้ต้นเข้าไปจนกระทั่งไม่สามารถไม่สามารถกดลงไปอีก ส่วนที่จมมีดลงไปเนื้อไม้นั้น คือ คุณสมบัติของการเป็นถ่าน



รูปที่ 4.2. แสดงการเป็นถ่านแบบ Alligatoring (สันต์ สุขวัจจน์, ม.ป.ป.)



รูปที่ 4.3. แสดงการเป็นถ่านแบบ Fine Check (สันต์ สุขวัจจน์, ม.ป.ป.)

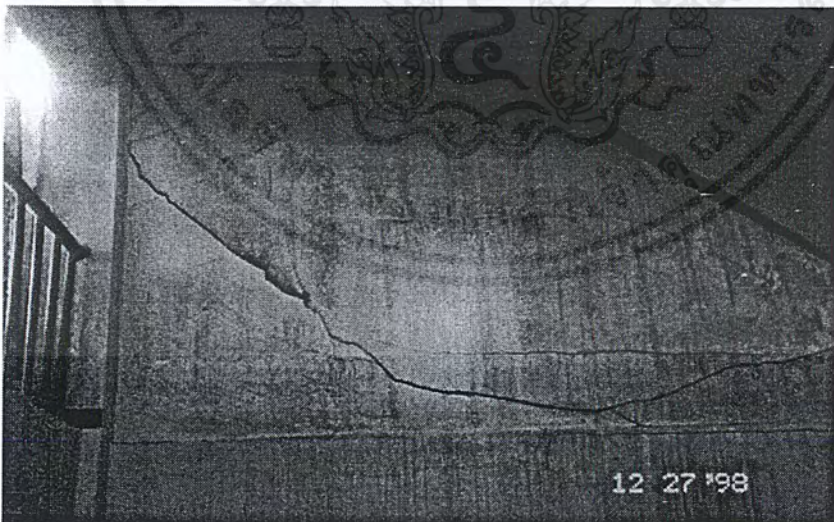
จากการสำรวจโดยดูจากวัสดุที่หลงเหลือ ผู้ตรวจสอบต้องสามารถระบุได้ชัดเจนว่าเป็นวัสดุประเภทโลหะ, โครเมียม, กระจกหรือไม้ และต้องทราบคุณสมบัติของวัสดุเหล่านั้นเมื่อได้รับความร้อนดังที่กล่าวมาข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

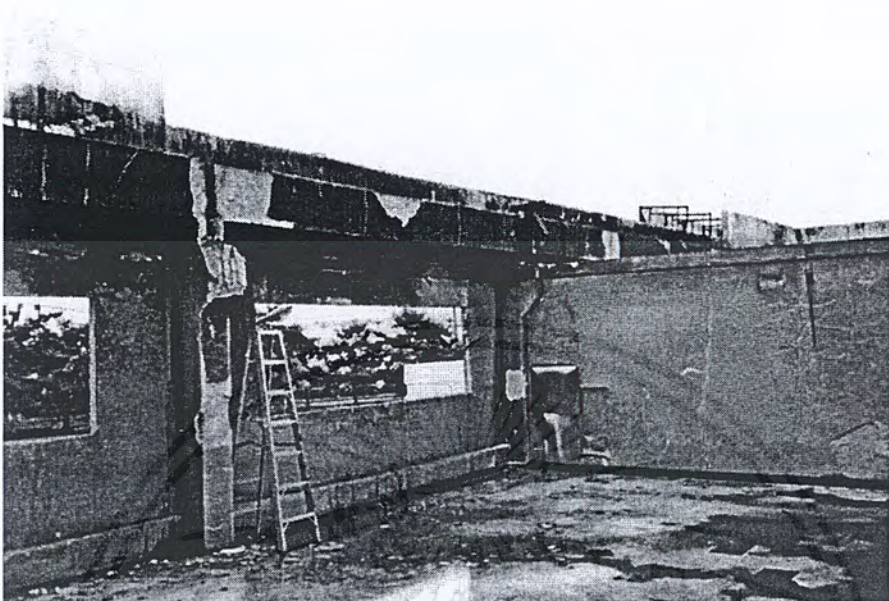
3. จากลักษณะของคอนกรีตและเหล็ก ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ถึงการเปลี่ยนแปลงของคอนกรีตและเหล็กหลังถูกเพลิงไหม้ สรุปได้ดังนี้

### คอนกรีต

1. ดูจากสีดังตารางที่ 3.2. และตารางที่ 3.3.
2. ดูจากการหลุดล่อนของคอนกรีต โดยปกติคอนกรีตจะหลุดกะเทาะออกที่อุณหภูมิประมาณ 100-480 องศาเซลเซียส แต่จากการทดลองพบว่าถึงแม้จะเป็นคอนกรีตที่ทนไฟได้มากที่สุดที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส ก็จะเริ่มมีการหลุดกะเทาะของคอนกรีต แต่ทั้งนี้พึงระลึกอยู่เสมอว่า สาเหตุที่ทำให้เกิดการหลุดกะเทาะอาจมาจากการฉีดน้ำดับเพลิงของพนักงานดับเพลิงได้ เนื่องจากการฉีดน้ำหรือการเปลี่ยนอุณหภูมิอย่างกะทันหัน จากเดิมที่คอนกรีตร้อนอยู่แล้วเมื่อฉีดน้ำทำให้ผิวคอนกรีตเย็นลงอย่างฉับพลัน จะทำให้คอนกรีตเกิดความแตกต่างระหว่างความเครียดนั้น (สันดี สุขวัจน์, ม.ป.ป.)
3. ดูจากการแตกร้าวของคอนกรีต สามารถเปรียบเทียบความรุนแรงระหว่าง 2 ตำแหน่งได้ เช่น ตำแหน่งแรก คอนกรีตมีการแตกร้าวจนมีการหลุดกะเทาะออกมา แต่ตำแหน่งที่ 2 เกิดรอยแตกเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.4. และ 4.5. แสดงว่าโครงสร้างตำแหน่งแรกมีความเสียหายมากกว่าตำแหน่งที่ 2 เป็นต้น



รูปที่ 4.4. แสดงบริเวณที่คอนกรีตแตกร้าวเสียหายมาก



รูปที่ 4.5. แสดงบริเวณที่เสียหาย โดยแตกเป็นลายนงา

จากการตรวจสอบเบื้องต้นที่ผ่านมาเป็นแนวทางการประมาณความเสียหายจากเพลิงไหม้โดยประมาณเท่านั้น เพราะความเสียหายในเหตุการณ์จริง ปัจจัยหลายตัวที่ควบคุมความเสียหายนั้น ทำให้ผู้สำรวจไม่ควรระบุ จำเพาะเจาะจง อุณหภูมิที่ประมาณได้เพียงจากกรณีหนึ่งกรณีใดเพียงอย่างเดียว เพราะอาจเกิดความผิดพลาดจากปัจจัยที่เหลือได้

#### 4.3. ศึกษาจากแบบที่ยื่นขออนุญาตก่อสร้างและทำการวางแผนการทดสอบ

การศึกษาจากแบบที่ยื่นขออนุญาตก่อสร้าง เพื่อต้องการทราบถึงรายละเอียดของโครงสร้าง สภาพการยึดรั้ง ขนาดของคาน เสา พื้น ผัง อย่างแน่นอน และต้องทราบถึงค่ากำลังคอนกรีต หรือ กำลังเหล็กในการออกแบบและการใช้งาน เช่น กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ออกแบบหรือกำลังอัดประลัยที่ได้จากการทดสอบลูกปูนจริงๆ มาตรฐานของเหล็กที่ใช้เป็น SR 24, SD 30 หรือ SD 40 และทราบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดหดตัวที่ยอมให้ (% Elongation) เมื่อทราบถึงรายละเอียดต่างๆจากแบบของโครงสร้างที่เกิดเพลิงไหม้แล้ว ก็ทำการวางแผนทดสอบ การเก็บตัวอย่างที่ทดสอบ ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง และวิธีการเก็บตัวอย่าง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1. ตำแหน่งที่จะเก็บตัวอย่าง

จากที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างนั้นเป็นตำแหน่งที่ผู้ตรวจสอบเกิดความไม่แน่ใจในความเสียหายของโครงสร้างนั้นๆ และเพื่อความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ควรเก็บตัวอย่างในบริเวณที่มั่นใจว่า ไม่เกิดความเสียหายจากเพลิงไหม้ เพื่อนำค่ามาปรับแก้กับค่าที่ใช้ออกแบบ เช่น บริเวณ ก ทั่วพื้นมีรอยแตกหลายงาแต่ยังไม่ถึงเนื้อเหล็กเสริม อาจะเก็บตัวอย่างโดยการเจาะทดสอบ (Coring) นำไปเปรียบเทียบกับบริเวณ ข ซึ่งพบว่าไม่มีร่องรอยการเผาไหม้ เป็นต้น

#### 4.3.2. วิธีการทดสอบ

ในปัจจุบันมีวิธีการทดสอบหลายวิธี ได้แก่

1. จากป็นยิงคอนกรีต (Schmidt Hammer Test) สามารถทดสอบได้กับทุกโครงสร้าง ไม่ว่าจะเป็น พื้น คาน เสา ฐานราก ที่เป็นคอนกรีต แต่ต้องพึงระลึกเสมอว่าค่ากำลังที่ได้จากการทดลองนี้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการทดสอบกำลังที่ผิวคอนกรีตเท่านั้น
2. วัดความเร็วคลื่น (Ultrasonic Pulse Velocity Test) เรียกเครื่องมือที่ใช้ทดสอบว่า Pundit ใช้ทดสอบในโครงสร้างคอนกรีตแต่เนื่องจากเครื่องมือมีราคาแพง และใช้หน้างานลำบากกว่าป็นยิงคอนกรีต จึงไม่นิยมใช้กันมากเท่ากับป็นยิงคอนกรีต
3. การเจาะคอนกรีตทดสอบ (Coring) โดยใช้เครื่องเจาะ เจาะบริเวณที่ตรวจสอบ โดยมากจะเป็นพื้น หรือไม้คาน (เป็นส่วนน้อย) ซึ่งตัวอย่างที่ได้ต้องนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการต่อไป
4. การตัดตัวอย่างเหล็กไปทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดึง (Yield Strength) ค่ากำลังดึงประลัย (Ultimate Tensile Strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดหดตัว (Elongation)
5. การเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปหาค่ากำลังการยึดเหนี่ยว ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากการเก็บตัวอย่างได้ลำบาก

#### 4.3.3. ปริมาณตัวอย่างที่เก็บ

1. ป็นยิงคอนกรีต เก็บตัวอย่างตามลักษณะโครงสร้าง อ้างอิงมาตรฐาน ASTM C 805-85 โดยเก็บตัวอย่าง 10 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย
2. การวัดความเร็วคลื่น อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง
3. การเจาะทดสอบและการตัดตัวอย่างเหล็ก อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4. การตรวจสอบด้านวิศวกรรม

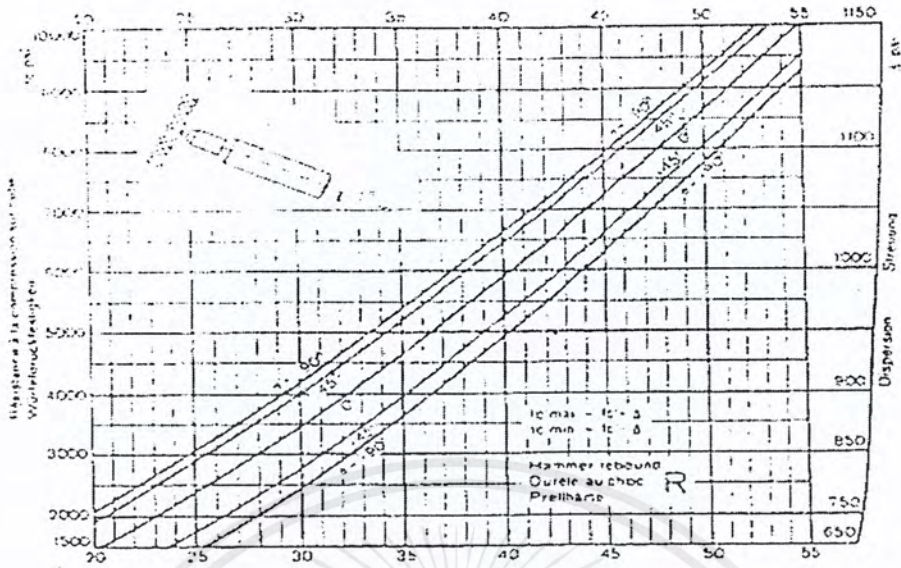
แบ่งออกเป็น การตรวจสอบในสภาพจริงและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

##### 4.4.1. ตรวจสอบระยะโก่งตัว

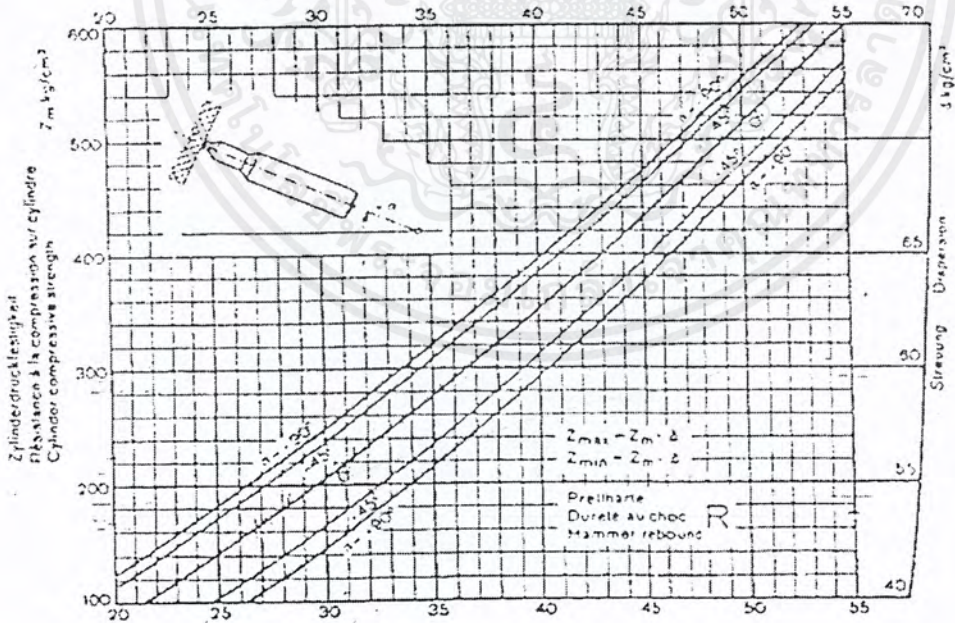
โดยใช้กล้องระดับอ่านค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างจากไม้สตาฟ เช่น ในการหาค่าการแอ่นตัวที่กลางคานและพื้น จะสมมติฐานว่า ท้องคานและพื้นอยู่ในสภาพตรง มีระดับเท่ากันตลอดของช่วงความยาว และเสาของอาคารไม่มีการทรุดตัวเนื่องจากการเกิดเพลิงไหม้ แล้วนำมาคำนวณหาค่าโดยเฉลี่ยที่ตรงกลาง แล้วใช้กล้องระดับอ่านค่าจากไม้สตาฟเพื่อหาค่าการแอ่นตัวที่ตรงกลาง แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ในตอนแรก ว่าต่างกันเกินกว่าค่ามาตรฐานทางวิศวกรรมที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณได้จากภาคผนวก ค

##### 4.4.2. การทดสอบวัดจำนวนครั้งการสะท้อน (Rebounded Hammer Test, Schmidt Hammer Test) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 805-85

หลักการโดยการใช้ลูกเหล็กกลมเล็กๆ กระแทกผิวคอนกรีต แล้ววัดจำนวนครั้งการสะท้อน(Rebounded Number) ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนกันกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นนี้จะเป็นอัตราส่วน โดยประมาณกับกำลังต้านทานแรงอัด ดังนั้นกำลังต้านทานแรงอัดจึงสามารถคาดคะเนได้จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการสะท้อนกับกำลังต้านทานแรงอัด ดังรูปที่ 4.6. และรูปที่ 4.7. และแสดงความสัมพันธ์ในกรณีทดสอบในสภาวะแวดล้อมประเทศไทยมีความเชื่อมั่น 95 % ในภาคผนวก จ



รูปที่ 4.6. แสดงค่าจำนวนครั้งการสะท้อนกลับของ Rebounded Hammer Test กับค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (psi) และค่าความคลาดเคลื่อน (Dispersion) (psi)

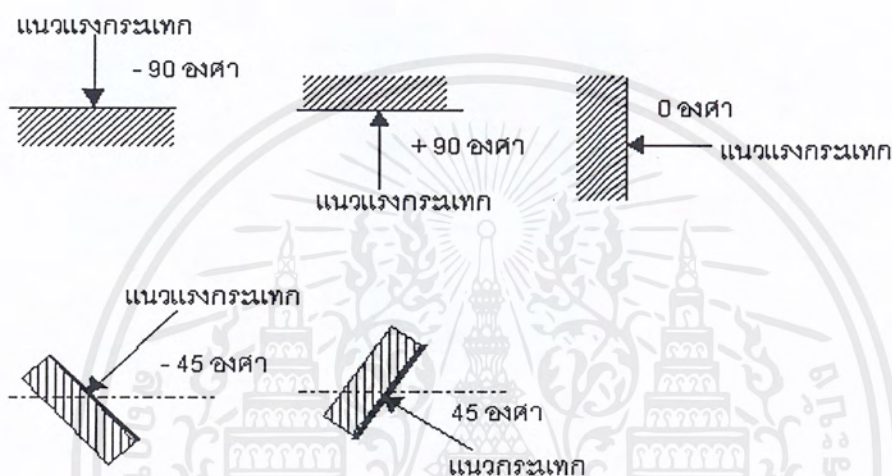


รูปที่ 4.7. แสดงค่าจำนวนครั้งการสะท้อนกลับของ Rebounded Hammer Test กับค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ksc) และค่าความคลาดเคลื่อน (Dispersion) (ksc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำความสะอาดผิวที่ทดสอบและทำผิวให้เรียบ ถ้าพื้นผิวมีการฉาบปูนให้สกัดเอาส่วนที่ฉาบปูนออก
2. ตรวจสอบเครื่องมือป็นยี่งคอนกรีตให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้
3. กดป็นยี่งคอนกรีตกับโครงสร้างที่ตรวจสอบ โดยให้มุมที่ป็นยี่งคอนกรีตกระทำตั้งฉากกับผิวที่ทดสอบซึ่งค่ามุมแสดงดังรูป 4.8. แล้วอ่านค่าเลขจำนวนรีวานน์



รูปที่ 4.8. แสดงมุมที่ค้อนยี่งคอนกรีตกระทำกับผิวที่ทดสอบ

4. หาค่าเฉลี่ยที่ตำแหน่งนั้น เช่น อาจตีเป็นช่องที่ผิวที่ต้องการทดสอบ 12 ช่อง แล้วสุ่มเลือก 10 ช่อง แล้วหาค่าเฉลี่ย ดังรูปที่ 4.9.

•	•	•
•	•	
•		•
•	•	•

- แสดงตำแหน่งที่ทดสอบด้วย Schmidt Hammer

รูปที่ 4.9. แสดงตำแหน่งที่สุ่มทดสอบ 10 ตำแหน่งจากการตีป็นกริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3. แสดงการบันทึกผลการทดลองจากวิธี Hammer Test

COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE BY HAMMER

PROJECT อาคาร บ. ชมิดท์แฮมเมอร์ จำกัด

STRUCTURE NO เสาชั้น 7 Line A -1

DATE OF TEST 4 เมษายน 2544

No	Rebound No	Deviation	Used Value	Hammer No N-34-106865 Angle 0 degree
1	33	-0.9	33	Average Value From Test <u>33.5</u>
2	35	+1.1	35	Cylindrical Strength of Concrete
3	33	-0.9	33	From Graph <u>260</u> ksc.
4	28	-5.9	-	Dispersion <u>58</u> ksc.
5	34	+0.1	34	
6	34	+0.1	34	
7	40	+6.1	-	Tested by Mr. PORNSAK TANGKAM
8	35	+1.1	35	Calculated by Mr. PORNPOL SAITHONG
9	32	-1.9	32	Approved by Mr. PORNPOL SAITHONG
10	35	+1.1	35	
Average	33.6		33.5	

วิธีการคิด 1. หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต จาก No 1-10 จากสูตรด้านล่าง ซึ่งได้ = 33.6

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

2. หาค่าเบี่ยงเบนจาก

$$x - \bar{x}$$

3. กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเท่ากับ  $\pm 10\%$

4. ค่าที่ใช้คือค่าที่มีค่าเบี่ยงเบนอยู่ในช่วง  $-3.36$  ถึง  $+3.36$

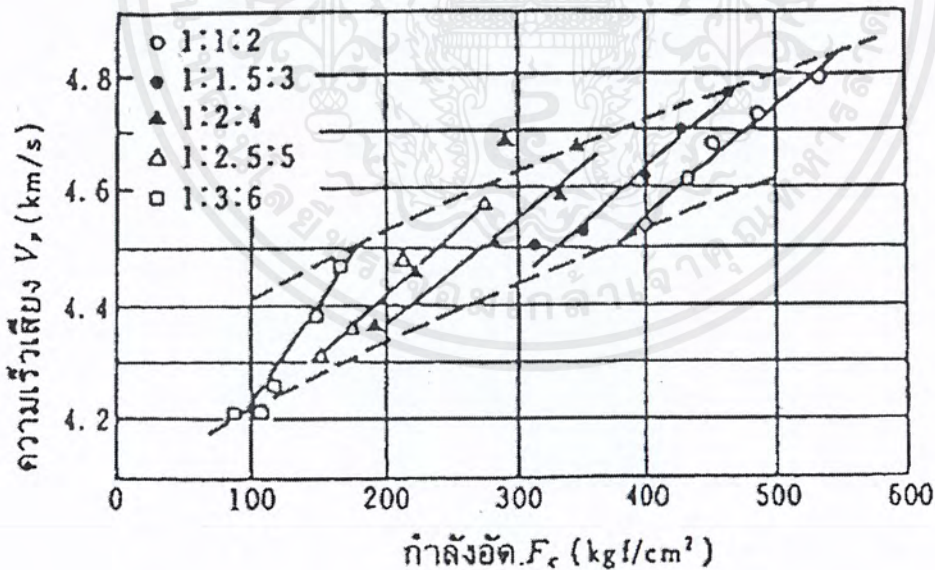
5. หาค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ ค่าที่ใช้ (Used Value)

6. เปิดกราฟ จากรูปที่ 4.4. หรือ 4.5. แล้วบันทึกผล

#### 4.4.3. การทดสอบโดยอัลตราโซนิกพัลส์เวโลซิตี (Ultrasonic Pulse Velocity Test) อ้างอิงตาม

มาตรฐาน ASTM C 597-83

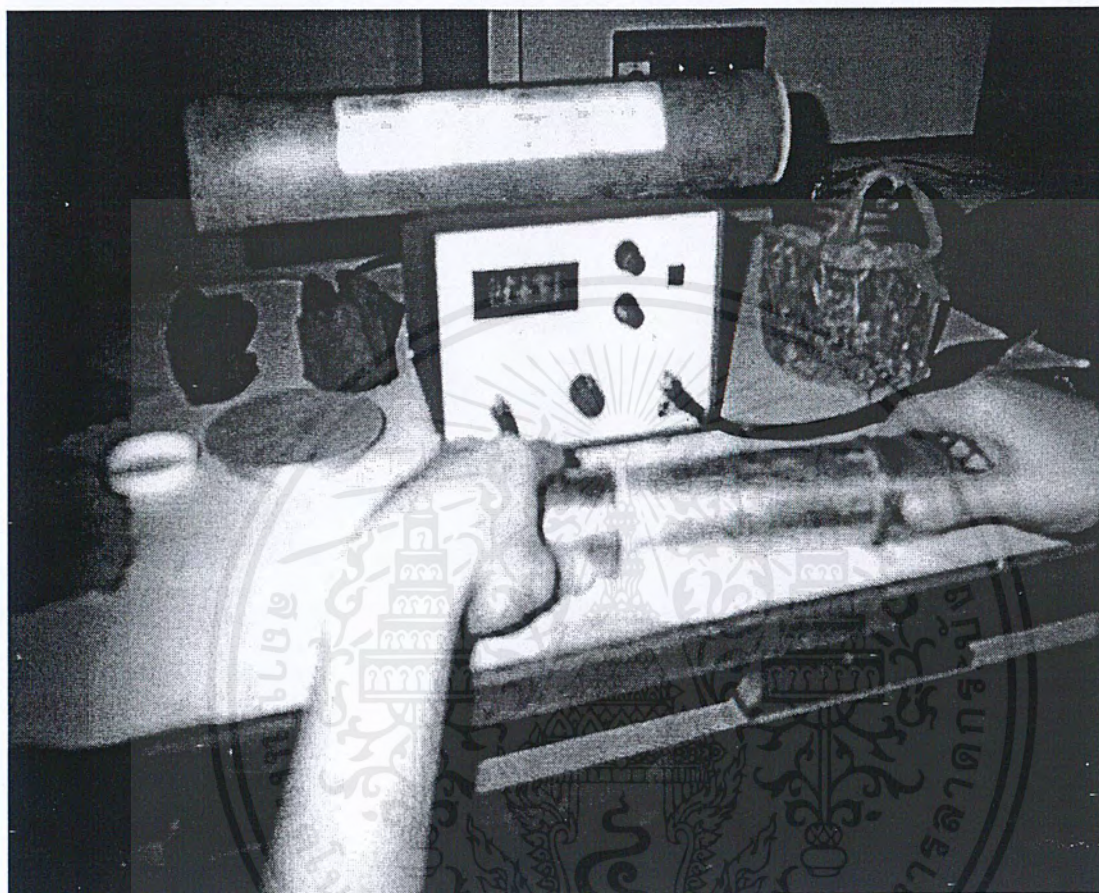
เครื่องมือที่ใช้งานในปัจจุบันเป็นเครื่องมือชื่อ PUNDIT (mark 4) (PUNDIT; Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) ดังรูป 4.11. ผลิต โดยบริษัท C.N.S. Electronics Ltd, ประเทศอังกฤษ มีวิธีการทำงานโดยมีหัว Transducers 2 หัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 มม. มีสายรับ-สายส่งสัญญาณต่อจากหัวมายังเครื่องหัวละ 1 เส้น ยาวเส้นละ 4 เมตร ทั้งสองหัวนี้สามารถใช้สลับกันได้โดยใช้ได้ทั้งเป็นหัวส่งและหัวรับคลื่นเสียง เมื่อเริ่มทำงานจะส่งคลื่นเสียงความถี่ 54 กิโลเฮิรท์ซ ผ่านโครงสร้างคอนกรีตที่ถูกทดสอบที่ทราบขนาดและระยะห่างระหว่างหัวส่งและหัวรับคลื่นเสียงไว้แล้ว โดยอ่านค่าออกมาเป็นหน่วย  $\times 10^{-6}$  วินาที จึงหารค่าเวลานี้ด้วยระยะทางที่วัดได้ ก็จะได้เป็นค่าความเร็วคลื่นที่ส่งผ่านชิ้นส่วนทดสอบ ตามปกติความเร็วคลื่นเสียงประมาณ 4,300-4,400 ม./วินาที จะแสดงว่าคอนกรีตมีค่ากำลังอัดประลัยประมาณ 280-300 กก./ ซม<sup>2</sup> และความเร็วเสียงประมาณ 3,800 ม./ วินาที แสดงว่าคอนกรีตมีความแข็งแรงต่ำมาก โดยมากอยู่ในช่วง 100-150 กก./ ซม<sup>2</sup> ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับค่าความเร็วเสียงที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กัน ดังรูปที่ 4.10.



รูปที่ 4.10. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเร็วเสียง ที่อัตราส่วน ปูน:หิน:ทราย ต่างๆ กัน

(ฟูจิชิ ซาโตะ, 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11. แสดงเครื่องมือทดสอบอุลตราโซนิกพัลส์เวโลซิตี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของคลื่นและทดสอบค่ากำลังอัดแล้ววาดเป็นกราฟกราฟนั้น ดังกรณีนี้ได้แสดงความสัมพันธ์ สภาวะแวดล้อมในประเทศไทย ดังภาคผนวก จ

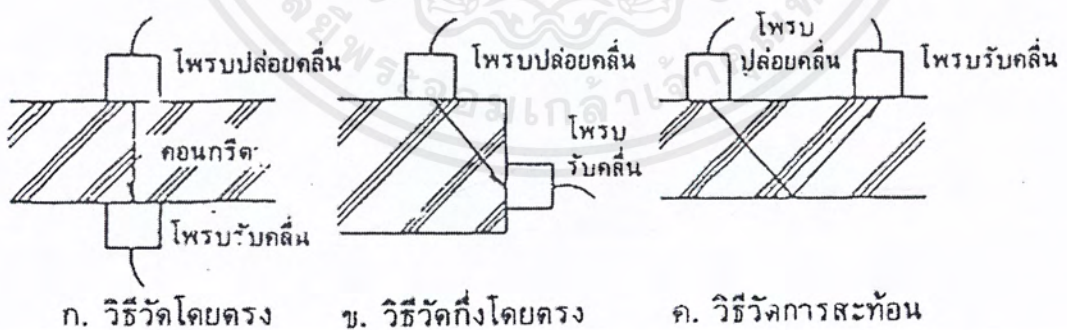
**หลักการ**

วัดความเร็วของคลื่นเสียงที่ส่งผ่านคอนกรีตความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเสียงกับ โมดูลัสยืดหยุ่น ไดนามิก (Dynamic Elastic Modulus) สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$E_D = V_p^2 \cdot \rho(1+\nu_d)(1-2\mu) / g(1-\nu_d) \quad (4.1.)$$

- เมื่อ  $E_D$  : โมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก ( Dynamic Elastic Modulus )  
 ( กก./ ซม.<sup>2</sup> )  
 $V_p$  : ความเร็วเสียง ( ซม./ วินาที )  
 $\nu_d$  : อัตราส่วนปัวซองไดนามิก ( Dynamic Poisson's Ratio )  
 $\rho$  : ความหนาแน่นของคอนกรีต ( กก./ ลบ.ซม. )  
 $g$  : ความเร่งเกี่ยวกับแรงดึงดูดของโลก ( 980 ซม./ วินาที )

**วิธีการ**



รูปที่ 4.12. แสดงวิธีวัดความยาวคลื่นเสียงแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทดสอบ

1. ใช้กระดาษทรายขัดผิวคอนกรีตบริเวณทดสอบให้เรียบ
2. ใช้เวอร์เนียวัดความยาวระหว่างด้านทั้งสองของคอนกรีต
3. ทาจารบีบริเวณตำแหน่งทดสอบเพื่อช่วยให้หัวส่งคลื่น (Transducer) และหัวรับคลื่น (Receiver) สัมผัสกับผิวของคอนกรีตได้สนิท
4. นำหัวส่งคลื่นสัมผัสและหัวรับคลื่นประกบตรงตำแหน่งที่กำหนดไว้ อ่านเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิก เคลื่อนที่ผ่านแท่งคอนกรีตเป็นไมโครวินาที ( $10^{-6}$ ) นำไปหารระยะที่วัดได้จากข้อ 2 จะได้ค่า ความเร็วของคลื่นเสียง
5. เปิดกราฟ เปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วของคลื่นเสียงกับค่ากำลังอัด

### 4.4.4. การเจาะคอนกรีตทดสอบกำลังอัดประลัย (Coring Test) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 42

เป็นการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบทำลาย ซึ่งมีวิธีการดังนี้

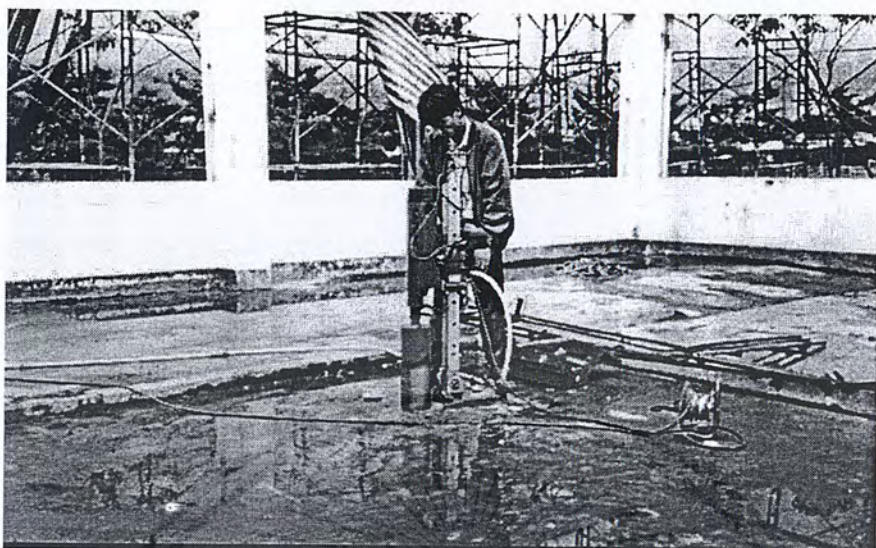
1. เจาะบริเวณที่จะทดสอบโดยเครื่องเจาะดังรูปที่ 4.13. และรูปที่ 4.14.
2. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของตัวอย่าง นำตัวอย่างไป Cap หัว เพื่อให้ผิวเรียบโดยใช้ กัมมะถัน
3. เมื่อกัมมะถันแห้งดีแล้วนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 4.15.
4. กัดก้อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
5. หาค่ากำลังอัดประลัยจาก กำลังอัดประลัย = นน.กคประลัย / พท.หน้าตัดของตัวอย่าง
6. ปรับแก้กำลังตามสัดส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) ดังตารางที่ 4.4.
7. ทำตามขั้นตอน 4-6 จนครบ 3 ตัวอย่าง
8. ประเมินตามมาตรฐานดังนี้

(1) ค่าเฉลี่ยจากกำลังอัดต้องไม่น้อยกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ของ  $fc'$

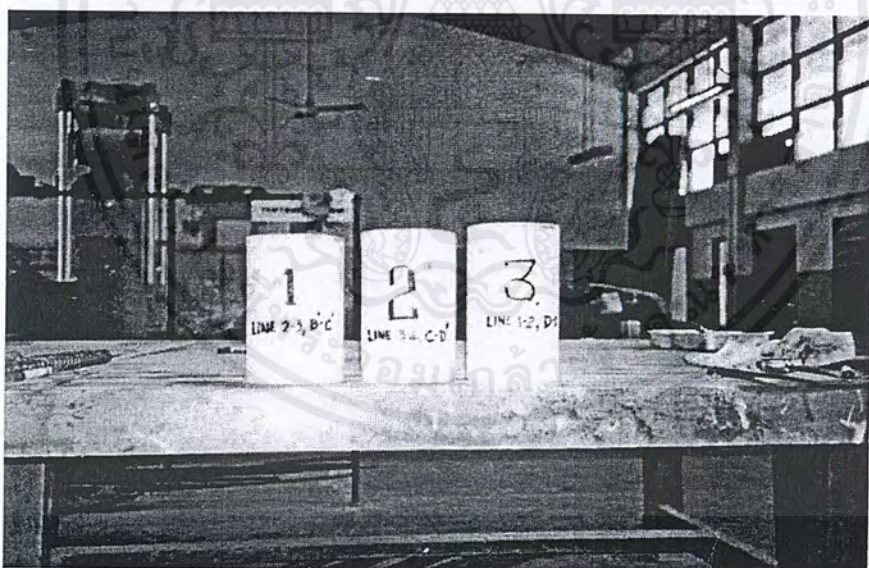
(2) ค่ากำลังอัดของตัวอย่างแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ของ  $fc'$

## 9. สรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13. แสดงการเจาะพื้นคอนกรีตโดยเครื่องเจาะ



รูปที่ 4.14. แสดงตัวอย่างที่ได้จากการ Coring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15. แสดงการกดตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Coring

ตารางที่ 4.4. แสดงค่าปรับแก้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่มีสัดส่วน L/D ต่างๆกัน

L/D	ค่าปรับแก้กำลัง
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

ที่มา : ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร พ.ศ. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5. การทดสอบแรงดึงเหล็กและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Tensile Test) อ้างอิงตามมาตรฐาน  
ASTM E 8-69

1. เก็บตัวอย่างเหล็กจำนวน 3 ตัวอย่างดังรูป 4.16.
2. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางแล้วนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการดังรูป 4.17.
3. ดึงเหล็กจนถึงจุด Yield ดึงต่อไปจนขาด บันทึกค่าที่ได้
4. ดึงเหล็กจนถึงจุดคดง =  $\frac{\text{แรงดึงที่จุดคดง}}{\text{พท.หน้าตัดเหล็ก}}$   
ค่าแรงดึงที่จุดประลัย =  $\frac{\text{แรงดึงที่จุดประลัย}}{\text{พท.หน้าตัดเหล็ก}}$
5. เปอร์เซ็นต์การยืดตัว =  $(\frac{\text{ความยาวที่เพิ่มขึ้นในระยะพิกัด}}{\text{ความยาวเดิม}}) \times 100$
6. ทดสอบตัวอย่างที่เหลือตามขั้นตอน 2-5
7. ประเมินและสรุปผล



รูปที่ 4.16. แสดงการเก็บตัวอย่างเหล็กไปทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.6. การทดสอบการบรรทุกน้ำหนักจริง (Load Test) ตามมาตรฐาน ACI E 196-62T

##### วิธีการทดสอบ

1. ทำการตรวจสอบกำลังคอนกรีตของเสาทั้ง 4 ต้น ในบริเวณที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกพื้น
2. ติดตั้ง Dial Gauge และ ไม้สตาฟ เพื่อวัดการแอ่นตัว (Deflection) บริเวณกึ่งกลางแผ่นพื้น ซึ่งเป็นจุดที่จะเกิดค่าการแอ่นตัวสูงสุด
3. ติดตั้ง Dial Gauge เพื่อวัดการแอ่นตัว (Deflection) บริเวณของพื้นตามแนวแกน X และแกน Y
4. ทำการตั้ง Dial Gauge ทุกตัวให้เป็นศูนย์และอ่านค่าจากไม้สตาฟโดยใช้กล้องระดับแล้วทำการบันทึกไว้
5. ทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้น้ำเป็นตัวให้น้ำหนัก โดยการก่อผนังอิฐสี่เหลี่ยมสูงประมาณ 0.60 ม. รัศรอบด้วยเหล็ก [ ] 2" x 2" เป็นตัวกั้นน้ำโดยรอบ แนวการก่อสร้างตามแบบแปลนที่ 4 การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทำโดยการค่อยๆ ปล่อยน้ำเข้ามาและทำการอ่านค่าน้ำหนักบรรทุกเป็นช่วงๆ ดังนี้คืออ่านค่าที่น้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 25, 50, 75, 100, 125 และ 150% ของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ถูกกำหนดไว้ตามสภาพพื้นที่ที่ใช้งาน (ในกรณีนี้กำหนดให้เท่ากับ 400 กก. / ตร.ม.) หลังจากใส่น้ำหนักบรรทุกแล้วจึงอ่านค่าต่างๆ อีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงเริ่มเพิ่มน้ำหนักบรรทุกช่วงต่อไปจนครบช่วงการเพิ่มน้ำหนัก
6. คองน้ำหนักไว้ 24 ชม. แล้วอ่านค่าการแอ่นตัวเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชม.
7. เริ่มทำการปล่อยน้ำหนักบรรทุกออกจากพื้นที่ทดสอบทั้งหมดและอ่านค่าการคืนตัวอีกครั้งหนึ่งเป็นการเสร็จสิ้นการทดสอบ

##### การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

##### สัญลักษณ์

a = ระยะแอ่นสูงสุดภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่ทดสอบของค้ำอาคาร โดยวัดเทียบจากเส้นที่ เชื่อมปลายของช่วงหรือของปลายอิสระของคานยื่น โดยวัดเทียบจากที่รองรับ (นิ้ว)

D = น้ำหนักบรรทุกคงที่หรือโมเมนต์และแรงภายในที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- h = ความหนาทั้งหมดขององค์อาคาร (นิ้ว)
- $l_c$  = ช่วงขององค์อาคารภายใต้การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก (ช่วงที่สั้นกว่าของแผ่นพื้น ไร้คานและ ของแผ่นพื้นที่มีที่รองรับทั้งสองด้าน)
- L = น้ำหนักบรรทุกจรหรือ โมเมนต์และแรงภายในที่เกี่ยวข้อง

ตามข้อกำหนดของ ACI BUILDING CODE (ACI 318) กำหนดว่า ถ้าส่วนของโครงสร้างที่ได้ทำการทดสอบไม่ปรากฏสภาพการวิบัติให้เห็นด้วยตาเปล่าแล้ว ให้ถือว่าต้องเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

1. ระยะแอนสูงสุดที่วัดได้ a ของคาน พื้นหรือหลังคามีน้อยกว่า  $l_c^2 / (20,000h)$
2. ระยะแอนสูงสุดที่วัดได้ a ของคาน พื้นหรือหลังคามากกว่า  $l_c^2 / (20,000h)$  แล้ว ค่าการคืบตัวภายใน 24 ชม.หลังจากถอนน้ำหนักบรรทุกทดสอบออกหมดแล้วอย่างน้อยที่สุดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของระยะแอนสูงสุด

#### 4.4.7. การคำนวณย้อนกลับ (Recheck)

เป็นวิธีการตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักได้จริงของ โครงสร้างอาคารเบื้องต้น ก่อนที่จะมีการทดสอบการใช้น้ำหนักบรรทุกจริง (Load Test) หรือ ในกรณีที่ไม่มั่นใจในความมั่นคงแข็งแรงของ โครงสร้างอาคาร สามารถแสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

#### ตัวอย่างการ Recheck โดยวิธี Working Stress Design ของเสา Line B-16 ชั้น 3

กิด Load พื้น

$$D.L. = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$L.L. = 400 \text{ kg/m}^2$$

ให้เสามีขนาด 0.2 x 0.2 m. เสริมเหล็กชั้น 6 DB12

$$\rho = 4 \times 1.13 / 20 \times 20$$

$$\rho = 0.017$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = 0.85A_g(0.25f_c' + 0.017x_0.4x4000)$$

$$P = 0.85(20 \times 20)(0.25 \times 240 + 0.017 \times 0.4 \times 4000)$$

$$P = 29,648 \text{ kg}$$

แต่เมื่อคอนกรีตใหม่มีกำลังลดลงเหลือ 208 ksc ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm(51.1-63.7)$  ksc  
 ในที่นี้ใช้  $= (51.1+63.7)/2 = 57.4$

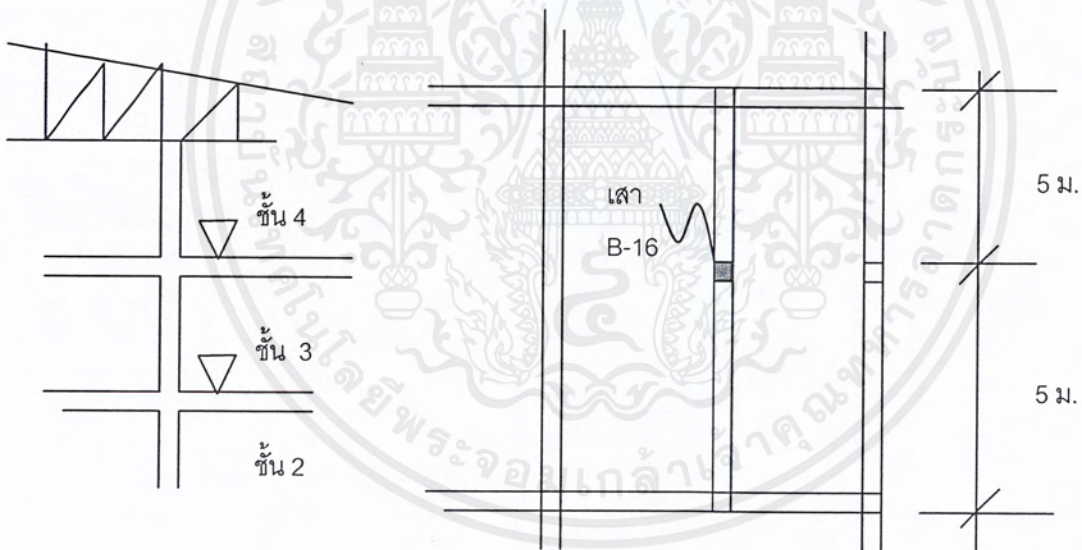
$$f_c \text{ ปรับแก้} = 208 - 57.4 = 150.6 \text{ ksc}$$

$$P \text{ ใหม่} = 0.85(20 \times 20)(0.25 \times 150.6 + 0.017 \times 0.4 \times 4000)$$

$$= 22,049 \text{ kg}$$

$$P \text{ ใหม่} < \text{น้ำหนักที่ต้องการ}(24,422)$$

ดังนั้นเสาต้นนี้จึงเสี่ยงต่อการพังทลายเนื่องจากมีค่าความปลอดภัยต่ำ ควรเสริมความมั่นคงเพิ่ม



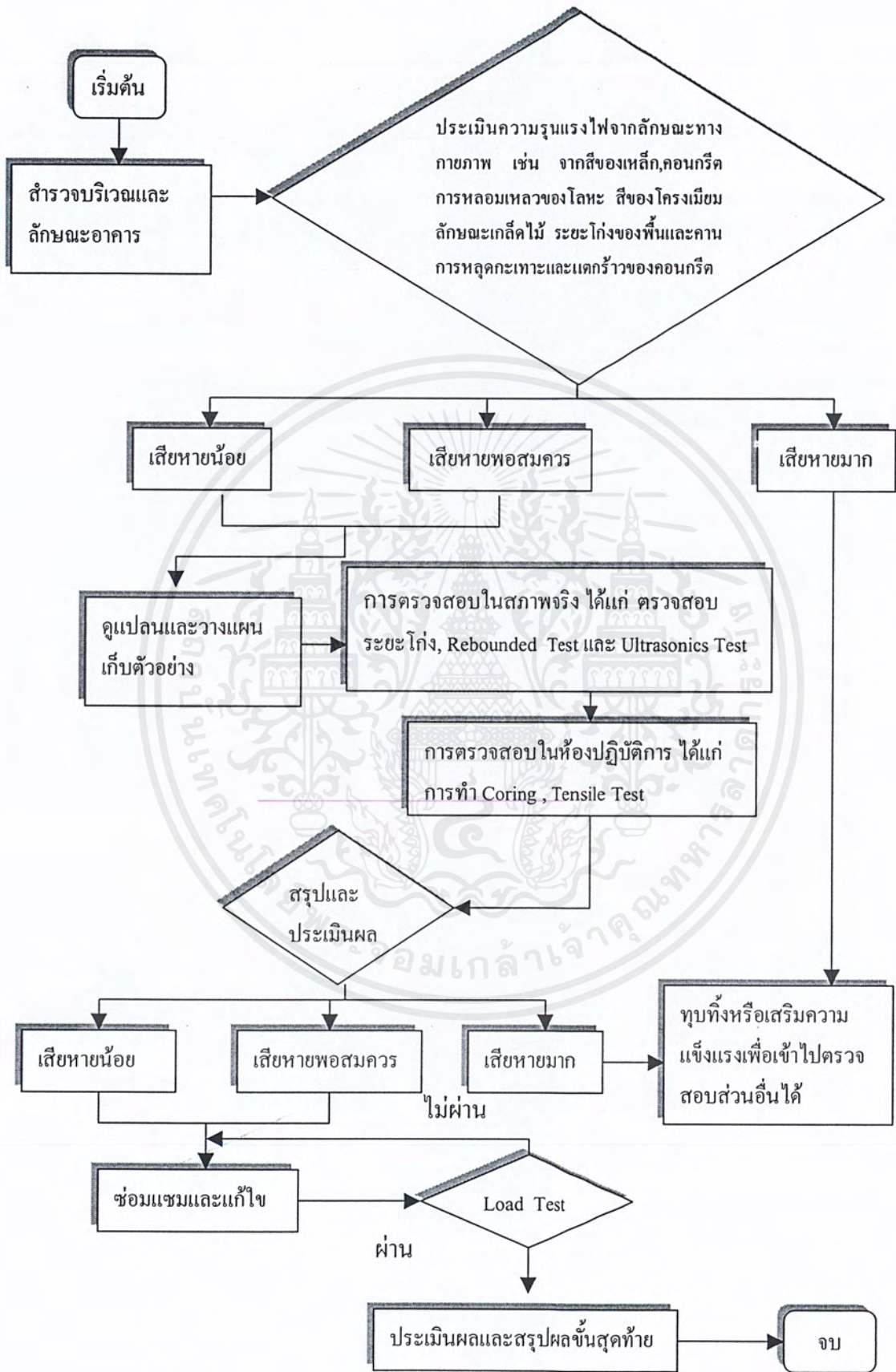
รูปที่ 4.17. แสดง โครงสร้างที่ทดสอบ โดยการคำนวณย้อนกลับ

#### 4.5. สรุป

สามารถสรุปขั้นตอนการตรวจสอบ โครงสร้างดังแผนผังรูปที่ 4.18.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18. แสดงผังการตรวจสอบโครงสร้างอาคารหลังถูกเพลิงไหม้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### หลักเกณฑ์ในการประเมิน

#### 5.1. เกณฑ์การประเมินเบื้องต้น

เพื่อเป็นการตัดสินใจขั้นต้นของผู้ตรวจสอบที่ระบุได้ว่า โครงสร้างใดเสียหายเล็กน้อย สามารถซ่อมแซมแก้ไขได้ ไปจนถึงเสียหายมากควรรื้อทุบทิ้ง รื้อถอน หรือ ค้ำยันเสริมความแข็งแรงเพิ่ม เพื่อมั่นใจว่าสามารถเข้าไปตรวจสอบได้

โดยที่

- กรณี 1 คือ โครงสร้างเสียหายเล็กน้อยสามารถซ่อมแซมได้ จนกระทั่งไม่พบความเสียหายใดๆ เลย
- กรณี 2 คือ โครงสร้างเสียหายพอสมควร ต้องทำการตรวจสอบทางด้านวิศวกรรมต่อไป เพื่อยืนยันถึงความสามารถใช้งานได้ของโครงสร้าง ซึ่งเป็นกรณีที่ควรให้ความสนใจมากที่สุด เนื่องจากเป็นกรณีที่อยู่ระหว่างการตัดสินใจว่าเสียหายน้อย โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักได้เองหรือเสียหายมากต้องทุบทิ้ง ซึ่งการประเมินขั้นตอนนี้ก็ยังไม่สามารถเชื่อถือได้ทั้งหมดเสียทีเดียว ดังนั้นผู้ตรวจสอบควรมีการค้ำยันหรือเสริมกำลังตรงจุดที่เห็นว่า โครงสร้างน่าจะมีกำลังต่ำจนอาจเกิดอันตรายขึ้นได้
- กรณี 3 คือ โครงสร้างที่เสียหายมาก ต้องทำการรื้อถอน ทุบทิ้ง หรือไม่ก็ทำการค้ำยันเสริมกำลังไว้ เพื่อให้มั่นใจว่าโครงสร้างไม่พังทลายลงมาขณะที่ทำการตรวจสอบ

สามารถแสดงเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินเบื้องต้นดังตารางที่ 5.1.

#### 5.2. การประเมินจากการทดสอบด้านวิศวกรรม

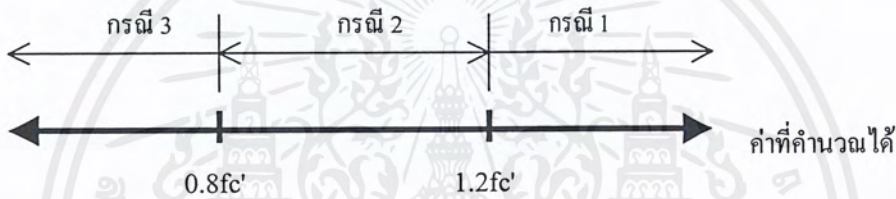
การประเมินขั้นนี้ กระทำได้โดยตรงจากผลการทดสอบที่ได้จากมาตรฐานการทดสอบที่กำหนด แต่ทั้งนี้ ไม่ควรยึดถือผลที่ได้มากเกินไป เพราะการทดสอบมีปัจจัยหลายปัจจัยมาเกี่ยวข้อง ซึ่งอาจทำให้ผลที่ได้ มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง โดยมีหลักเกณฑ์ที่ได้จากกรณีศึกษา ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.1. การทดสอบความแข็งแรงคอนกรีตจากก้อนยังคอนกรีต (Schmidt Hammer Test)

อ้างตามวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 805-85 รายละเอียดการคำนวณได้จากตารางที่ 4.3. โดยสามารถประเมินได้ 2 ลักษณะ คือ

1. จากการบวกลบค่ากำลังที่ได้กับค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (Dispersion) ซึ่งควรมากกว่าค่ากำลังประลัยคอนกรีตที่ออกแบบ ( $f_c'$ )
2. จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับ ค่าที่ 80% และที่ 120 % ของค่าที่ออกแบบ ( $f_c'$ ) (ค่าที่ 80% และ 120% ได้จากการศึกษาจากกรณีศึกษาหลายๆ กรณีในภาคผนวก) ดังรูปที่ 5.1.



รูปที่ 5.1. แสดงการเปรียบเทียบค่า  $f_c'$  ที่คำนวณได้กับค่า  $0.8f_c'$  และ  $1.2f_c'$

สาเหตุที่ต้องมีการลบค่าความคลาดเคลื่อนออกจากผลที่คำนวณได้ เนื่องจากการทดสอบ Rebounded Test นั้นให้ค่าขอบบนของค่ากำลังที่แท้จริง (บัณฑิต เกษรมาลา, 2531)

### 5.2.2. การทดสอบวัดความเร็วคลื่นเสียง (Ultrasonic Test)

อ้างถึงตามมาตรฐาน ASTM C 597-83 เกณฑ์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับคู่มือที่แนบมากับเครื่อง PUNDIT ซึ่งแต่ละเครื่องจะมีค่าปรับแก้ที่ไม่เท่ากัน โดยที่ค่าที่ได้จากวิธีนี้ให้ค่าขอบเขตล่างของค่ากำลังอัดจริง (ได้จากการเจาะตัวอย่างคอนกรีตแล้วทดสอบหาค่ากำลังอัด) และเนื่องจากเครื่องมือมีวิธีการใช้ที่ยุ้งยากกว่าก้อนยังคอนกรีต และราคาแพงกว่า จึงทำให้ในปัจจุบันนิยมใช้ทดสอบหารอยแตกร้าวของโครงสร้างของคอนกรีตเท่านั้น สำหรับการทดสอบหาค่ากำลังอัดในคอนกรีตหลังถูกเพลิงไหม้ยังไม่นิยมนักเท่าที่ควร

### 5.2.3. การกดตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเจาะ (Coring Test)

เกณฑ์ที่ใช้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 42 ที่กำหนดให้ค่ากำลังที่ได้ต้องเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

1. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่ได้ 3 ตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่า 85 % ของ  $f_c'$
2. ค่ากำลังอัดแต่ละตัวอย่างต้องไม่น้อยกว่า 75% ของ  $f_c'$

### 5.2.4. การทดสอบแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก (Tensile Test)

อ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM E 8-87a โดยค่าเฉลี่ยของกำลังดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่ได้ 3 ตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ

### 5.2.5. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของโครงสร้าง (Load Test)

เกณฑ์ที่ใช้ในการคำนวณสามารถดูได้จาก หัวข้อที่ 4.4.6. ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E 196-62T

ตารางที่ 5.1. แสดงเกณฑ์ในการประเมินความรุนแรงเบื้องต้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สีคอนกรีต	สีของเหล็ก	ลักษณะของแก๊สที่ไม่ได้	สีของโครเมียม	เมื่อโลหะหลอมเหลว	การโก่งของคาน, พื้น	การหลุดกระแทะของคอนกรีต	กรณี
น้อยกว่า 300	ไม่เปลี่ยน-		เกิดคละเย็บแบบตาคามาก รุกตั้งรูปที่ 4.3.	-	ตะกั่ว	สังเกตด้วยตาไม่เห็นการโก่ง	รอยแตกกลางๆ มีเงม่าควันจับ	1
300-800	ชมพู-แดง	ส้มแดง	เกิดคใหญ่ ขาวมนเหมือนผิวหนังจระเข้ตั้งรูปที่ 4.2.	แดงเชอร์รี่	อลูมิเนียม	สังเกตเห็นได้	รอยแตกกว้างขนาดเห็นได้ด้วยตา อาจไม่ถึงเหล็กเสริมจนถึงขนาดเห็นเหล็กเสริม	2
มากกว่า 800	เทาขาว, เหลืองคล้ำ	แดงม่วง, เทา	-	ชมพูอมเหลือง, เหลือง, ขาว, ขาวจ้ำ	ทองเหลือง, เหล็กหล่อ, เหล็กกล้า, เหล็ก, โครเมียม, ทองแดง, ทอง, สแตนเลส	เดินรู้สึกได้ และเห็นระยะโก่งได้ชัดเจน	รอยแตกชัดเจนจนเห็นลวดเหล็กได้ชัดเจน และในกรณีที่เกิดอัดแรงขาดหรือชะลูดหรือดึงออกจากหัวจับได้	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6

## บทสรุปและข้อเสนอแนะ

### 6.1. บทสรุป

เมื่อเกิดเพลิงไหม้อาคาร สิ่งที่มาคือกำลังรับแรงของโครงสร้างจะลดลง โดยจะลดอย่างช้าๆ เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส และจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส จนเมื่อสูงเกิน 800 องศาเซลเซียส โครงสร้างจะเสียดังกล่าวไปเกือบทั้งหมด และปัจจัยด้านระยะเวลาการเผาไหม้ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไป

จากผลการศึกษาพอจะสรุปขั้นตอนการประเมินความสามารถใช้งานได้ของอาคารหลังถูกเพลิงไหม้ ดังนี้

1. การตรวจสอบเบื้องต้น เป็นการตรวจสอบทางกายภาพ ได้แก่ การสังเกตสีของคอนกรีต สีของเหล็ก สีของโครเมียม การหลอมเหลวของโลหะ สักขณะเกิดไฟไหม้ ระยะการโก่งตัวของคานและพื้น การยุบ การหลุดล่อน การแตกร้าวของคอนกรีต จากการเดินสำรวจ และใช้ค้อนทุบเคาะ หรือสก็ด เป็นต้น
2. การตรวจสอบทางด้านวิศวกรรม เป็นการตรวจสอบในกรณีที่ไม่มั่นใจถึงกำลังของโครงสร้าง ได้แก่
  - การทดสอบจากสถานที่เกิดเหตุ ได้แก่ การทดสอบการสะท้อนกลับของคลื่นยังคอนกรีต การทดสอบวัดค่าความเร็วคลื่นผ่านคอนกรีต
  - การทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ การเจาะคอนกรีตทดสอบค่ากำลังอัด การตัดเหล็กทดสอบค่ากำลังดึงและค่าการยึดตัว
3. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก เพื่อยืนยันถึงกำลังของโครงสร้างขั้นสุดท้ายก่อนการใช้งาน

จากสองขั้นตอนแรกทำให้สามารถประเมินได้ว่า โครงสร้างอาคารเสียหายเล็กน้อยสามารถซ่อมแซมแก้ไขแล้วใช้งานได้ต่อ หรือเสียหายมากจนต้องทำการทุบทิ้ง และเมื่อได้ซ่อมแซมแก้ไขแล้วก็ทำการทดสอบโดยการรับน้ำหนักบรรทุก เพื่อยืนยันถึงความสามารถใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ของโครงสร้าง ให้ผลที่ปลอดภัย เกิดความมั่นใจกับทุกฝ่าย นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการที่ต้องทุบทิ้งแล้วสร้างอาคารใหม่อีกด้วย

### ข้อเสนอแนะ

1. การเข้าไปตรวจสอบอาคารหลังถูกเพลิงไหม้ ควรมั่นใจว่าอาคารมีเสถียรภาพเพียงพอที่จะไม่พังทลายขณะทำการตรวจสอบ เพราะถือว่าความปลอดภัยในชีวิตเป็นสิ่งสำคัญเหนือสิ่งอื่นใด
2. ผู้ตรวจสอบควรให้ความสำคัญกับการตรวจสอบเบื้องต้น เพราะข้อมูลที่ได้ จะนำมาใช้ในการตัดสินใจขั้นต้นว่าควรให้ทดสอบทางด้านวิศวกรรมต่อไป หรือควรทุบทิ้ง
3. การทดสอบที่สถานที่เกิดเหตุโดยวิธีวัดค่าแรงสะท้อนของคอนกรีต หรือจากการวัดความเร็วคลื่น จะเป็นการประมาณอย่างมาก ถ้านำค่าที่ได้มาสรุป โดยไม่คำนึงถึงปัจจัยตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้ต้องแก้ไขก่อนโดยควรใช้เครื่องมือนี้หาข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ และใช้พิจารณาจากประสบการณ์และหลักทางวิศวกรรมเป็นเครื่องตัดสินใจอีกทีหนึ่ง จะเป็นการถูกต้องกว่า
4. ในโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ผู้ตรวจสอบควรให้ความสนใจถึงระยะหุ้มคอนกรีตหรือฉนวนกันไฟในโครงสร้างเหล็ก เพราะจะเป็นสิ่งที่ช่วยลดความเสียหายจากเพลิงไหม้ได้
5. ในโครงสร้างอาคารคอนกรีตอัดแรง จะเกิดความเสียหายมากกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และในพื้นที่สำเร็จรูปอาจเกิดการพังทลายอย่างฉับพลันเนื่องจากไม่มีเหล็กตะแกรงล่างช่วยพยุงน้ำหนัก

## รายการอ้างอิง

- กิตติ อินทรานนท์, 2538. วิศวกรรมความปลอดภัยพื้นฐานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค.
- ทินกร แพทย์รักษ์, นันทวิทย์ พานิชพงศ์ และอรรถพร อุชชิน, 2543. วิเคราะห์กำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหลังถูกเพลิงไหม้. ปริญญาานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. โครงการพิเศษสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชำรง เปรมปรีดี และยุทธศักดิ์ อนันตเดชศักดิ์, 2543. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและคอนกรีตเสริมใยเหล็กเมื่อถูกไฟเผาด้วยอุณหภูมิสูง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- บัณฑิต เกษรมาลา, 2531. กำลังที่แปรเปลี่ยนแปลงตามเวลาของคอนกรีตหลังถูกเพลิงไหม้ที่ระดับความรุนแรงปานกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. โครงการวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประธาน ระวีวงศ์ โนทัย และสุรียนต์ เจริญเศรษฐกุล, 2536. พฤติกรรมการรับกำลังดัดของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดค้ำจุนก่อนหลังถูกเพลิงไหม้. ปริญญาานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. โครงการพิเศษสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร, 2540. การประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรม. ฉบับที่ 48. กรุงเทพฯ : บริษัทโกลเด้น พอยท์.
- พุทธิ ชาติ, 2530. การทดสอบแบบไม่ทำลาย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- มานะ มหาสุวีระชัย, 2530. “พฤติกรรมและการตรวจสอบอาคารคอนกรีตเมื่อถูกเพลิงไหม้”. โยธาสาร. เล่มที่ 5 : 63-66.
- วรศักดิ์ กนกนุกุลชัย, 2539. “อัคคีภัย : ความเสี่ยงที่หลีกเลี่ยงและบรรเทาได้”. การประชุมใหญ่ทางวิชาการ. 5-16 : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- วิทวัส ณ สงขลา และเอกภาพ โกจันทึก, 2542. แบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างหลังคาเหล็กเมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อน. ปริญญาานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. โครงการพิเศษสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศิริพงษ์ อุทัยวงศ์แก้ว และอาวุช เจริญวัฒนานนท์, 2532. การเปลี่ยนแปลงการรับกำลังของคอนกรีตหลังการเผา. ปริญญาานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. โครงการพิเศษสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอ้างอิง

- สันติ์ สุขวจน์, ม.ป.ป.. การตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุเพลิงไหม้. : ม.ป.ท..
- สำนักงานโยธาและแผนกรุงเทพมหานคร, 2542. สถิติ 2542 กรุงเทพมหานคร. นนทบุรี : สหมิตรพรินต์ติ้ง.
- American Society for Testing and Materials, 1980. "Fire Tests of Building Construction and Materials". ASTM E 119. USA. : ASTM.
- American Society for Testing and Materials, 1988. "Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete". ASTM C 805-85. USA. : ASTM.
- American Society for Testing and Materials, 1991. "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete". ASTM C 597-83. USA.: ASTM.
- American Society for Testing and Materials, 1988. "Standard Test for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beam of Concrete". ASTM C 42-87. USA. : ASTM.
- American Society for Testing and Materials, 1988. "Standard Test Methods of Tension Testing of Metallic Materials". ASTM E 8-87a. USA. ASTM.
- American Society for Testing and Materials, 1965. "Tentative Method for Load Tests of Floors and Flat Roofs". ASTM E 196-62 T. USA. : ASTM.
- Langdon-Thomas, G.J., 1972. Fire Safety in Buildings. London : Adam & Charles Black.
- Lie, T.T., 1972. Fire and Buildings. Division of Building Research National Research Council of Canada. London : Applied Science.
- Purkiss, A.J., 1996. Fire Safety Engineering Design of Structures. Great Britain : Butterworth & Heinemann.

## บรรณานุกรม

- นท นิมสมบุญ และสมพร เชียงฉิน, 2535. การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยอีพอกซี. ปรียญญาณิพนธ์ปรียญญาบัณฑิต โครงการงานพิเศษสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- วิฑูรย์ สิมะโชคดี และวีรพงศ์ เฉลิมจิระรัตน์, 2537. วิศวกรรมและการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน. ครั้งที่ 6 (ปรับปรุงเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และคณะ, 2530. ความปลอดภัยในโรงงาน. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- สมโพธิ วิวิธเกยูรวงศ์ และสุวัฒน์ ภูพัฒน์ชาติ, 2543. “สมการประเมินกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยวิธีบาวน์แฮมเมอร์และวิธีอัลตราโซนิกพัลส์เวโลซิตี”. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6 : 77-82.
- สหรัฐ พุทธวรรณ ,ศิริส เคนพะนาน และวิชัย เคนชมพู, 2543. “ความน่าเชื่อถือของการตรวจสอบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีไม่ทำลาย”. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6 : 198-203.
- อรุณ ชัยเสรี, “การสำรวจและซ่อมแซมโครงสร้างที่เสียหายจากเพลิงไหม้”. การตรวจงาน หน่วยที่ 8-15 . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- Shields, T.J., Silcock G.W.H., 1987. Building and Fire. New York : John Wiley & Sons.
- Abrams S.M., 1983. Fire Safety of Concrete Structures. Detroit : American Concrete Institute.

## ภาคผนวก ก

กรณีศึกษาอาคารที่พื้นเป็นระบบคอนกรีตอัดแรงและ  
พื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. กรณีศึกษา อาคารห้างสรรพสินค้า สยามจัสมิน

### 1.1. บทนำ

อาคารสรรพสินค้าของบริษัทสยามจัสมิน จำกัด เป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 3 ชั้น ชั้นที่ 1, 2 และ 3 ใช้เป็นสำนักงานและขายสินค้า ส่วนคาน้ำฟ้าชั้นบนเป็นลานจอดรถ รวมเนื้อที่ใช้สอยประมาณ 25000 ตารางเมตร ฐานรากใช้ระบบเข็มตอกความลึกประมาณ 25.00 เมตร พื้นชั้นที่ 1 เป็นพื้นสำเร็จรูปวางบนคาน ชั้นที่ 2, 3 และชั้นคาน้ำฟ้าเป็นพื้นระบบ Post tension ชนิด Unbonded Tendon อาคารดังกล่าวได้ถูกเพลิงไหม้บริเวณชั้น 3 ต้นเพลิงเกิดที่ ZONE “A” แล้วลามต่อไปยัง ZONE “B” และบางส่วนของ ZONE “C” (แบบแปลนที่ 2) เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง จึงทำให้เกิดความเสียหายกับอาคารดังกล่าว

### 1.2. วิธีการสำรวจและทดสอบ

#### 1.2.1. ขั้นตอนที่ 1

เป็นการตรวจสอบสภาพความแข็งแรงของวัสดุหลังถูกเพลิงไหม้ รวมทั้งหมด 2 ครั้ง ดังนี้

#### ครั้งที่ 1

เป็นการสำรวจสภาพโดยทั่วไป เพื่อกำหนดแนวทางการตรวจสอบและเก็บตัวอย่าง

#### ครั้งที่ 2

เป็นการสำรวจโดยละเอียด ซึ่งมีการทดสอบกำลังของคอนกรีตโดยวิธี Rebounded Test พร้อมทั้งทำการเก็บตัวอย่างของคอนกรีตโดยการเจาะ (Coring) และตัดเหล็กพื้นชั้นคาน้ำฟ้าที่ถูกเพลิงไหม้ รวมทั้งบันทึกระดับการโก่งตัวของพื้น หลังจากการสำรวจและเก็บตัวอย่างวัสดุโครงสร้างแล้ว ได้นำตัวอย่างของเหล็กและคอนกรีตที่ถูกเพลิงไหม้ มาทดสอบหาความสามารถในการรับแรงในห้องปฏิบัติการ

## อุปกรณ์การตรวจสอบ ขั้นตอนที่ 1

1. กล้องระดับและไม้สต๊าฟ
2. เครื่องมือ Coring
3. เครื่องมือทดสอบ Rebounded Test
4. เครื่อง Universal Testing Machine
5. เครื่อง Extension Strain Gauge

### 1.2.2. ขั้นตอนที่ 2

ออกแบบเพื่อซ่อมแซมและแก้ไขอาคารที่ถูกเพลิงไหม้

### 1.2.3. ขั้นตอนที่ 3

เป็นการทดสอบการรับน้ำหนักการรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร

## 1.3. ตำแหน่งการตรวจสอบ

เนื่องจากอาคารดังกล่าวเป็นอาคารขนาดใหญ่และบริเวณที่ถูกเพลิงไหม้เป็นบริเวณกว้างกินเนื้อที่ของพื้นที่ 3 ประมาณ 4500 ตารางเมตร ดังนั้นในการตรวจสอบจึงใช้วิธีการสุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

### 1.3.1. กรณีที่ 1 การตรวจสอบสภาพทางกายภาพ

เป็นการตรวจสอบสภาพทางกายภาพโดยทั่วไป

### 1.3.2. กรณีที่ 2 การตรวจสอบการโก่งตัวของพื้นโครงสร้าง

เป็นการตรวจสอบสภาพการโก่งตัวของพื้นโครงสร้าง โดยทำการหาระดับการโก่งตัวของพื้นคานฟ้าชั้นบนบริเวณลานจอดรถ ZONE “C” ในแนว 9-10 (ดูรูปที่ ก.12.)

### 1.3.3. กรณีที่ 3 การตรวจสอบความแข็งแรงของเหล็ก

โดยการสุ่มตัวอย่างเหล็ก DB10 และ DB12 ในพื้นที่ Post Tension ใน ZONE “A” และ ZONE “B” ของชั้นคานฟ้า ในส่วนบริเวณที่ถูกเพลิงไหม้รุนแรงมาทำการทดสอบหาค่าการรับแรงดึงและการยืดตัว โดยการใช้เครื่องมือ Universal Testing Machine และ Extension Strain Gage ในห้องทดลอง ตามมาตรฐาน ASTM

### 1.3.4. กรณีที่ 4 การตรวจสอบความแข็งแรงของคอนกรีต

โดยทำการตัดคอนกรีตโดยวิธี Coring บริเวณคานฟ้าชั้นบน ZONE “C” (ดูรูปที่ ก.12.) และพื้นที่ชั้น 3 ของ ZONE “A” และ ZONE “B” (ดูรูปที่ ก.11.) และทำการทดสอบ Rebounded Test กับเสาเกือบทุกต้นของชั้น 3

## 1.4. ผลการสำรวจและทดสอบ

### 1.4.1. การตรวจสอบสภาพทางกายภาพ

ตารางที่ ผ.ก.1. แสดงสภาพทางกายภาพของเสา

ชั้นที่	สภาพทางกายภาพของเสา
1	ไม่ถูกเพลิงไหม้ อยู่ในสภาพสมบูรณ์
2	ไม่ถูกเพลิงไหม้ อยู่ในสภาพสมบูรณ์
3	เสียหายเล็กน้อย เนื้อคอนกรีตเสายังแข็งแรง ไม่ผุยุ่ย ไม่ล่อนและไม่แตกร้าว

ตารางที่ ผ.ก.2. แสดงสภาพทางกายภาพของพื้น

ชั้นที่	สภาพทางกายภาพของพื้น
1	ไม่ถูกเพลิงไหม้ อยู่ในสภาพสมบูรณ์
2	ไม่ถูกเพลิงไหม้ อยู่ในสภาพสมบูรณ์
3	ผิวพื้นเสียหายเล็กน้อย แต่ไม่ถึงกับผิวกะเทาะหรือล่อน ท้องพื้นชั้น 3 มีรอยแตก ร้าวที่แนว 3-4, E ความยาวประมาณ 7 เมตร
ดาดฟ้า	-ZONE “A” และ “B” พื้นบางแห่งมีการทรุดตัวอย่างเห็น ได้ชัด เนื้อคอนกรีตบาง แห่งบริเวณท้องพื้นหลุดล่อนออกจนถึงเหล็กเสริมและบางแห่งเหล็กเสริมขาด -ZONE “C” บริเวณ Grid Line 10-11, D มีรอยแตกร้าวยาวประมาณ 8 เมตร ความลึกของรอยแตกร้าวประมาณ 0.05 เมตร ท้องพื้นมีคราบเขม่าเกาะแต่ไม่มีการหลุดล่อนของคอนกรีต

1.4.2. การตรวจสอบการโก่งตัวของโครงสร้างพื้น

เนื่องจากการตรวจเช็คระดับค่าการ โก่งตัวของพื้น ที่ได้จากการใช้กล้องระดับหาค่าความแตกต่างของระดับพื้นชั้นดาดฟ้าบริเวณ Zone “C” น้อยมาก

### 1.4.3. จากการนำคอนกรีตที่ได้จากการ Coring มาทดสอบได้ผลตามตารางดังนี้

ตารางที่ ผ.ก.3. แสดงค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตจากตัวอย่าง Coring Concrete

ตัวอย่าง ที่	ตำแหน่ง Grid Line	Strength Correction Factor	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ksc)		หมายเหตุ Zone/Floor
			พื้นที่ 3	พื้นที่คาน้ำฟ้า	
1	3-4 , D-E	0.964	291.13		A/#3
2	4-5 , C-D	0.965	259.45		A/#3
3	7-8 , C-D	0.977	254.90		A/#3
4	2-3 , G-H	0.960	254.00		B/#3
5	4-5 , F-G	0.960	243.31		B/#3
6	5-6 , G-H	0.965	252.62		B/#3
7	9-10 , D-E	0.970	342.56		C/#คาน้ำฟ้า
8	9-10 , F-G	0.970		296.56	C/#คาน้ำฟ้า
9	10-11 , E-F	0.956		277.05	C/#คาน้ำฟ้า

### 1.4.4. การตรวจสอบความแข็งแรงของเหล็ก

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ได้ผลตามตารางดังนี้

ตารางที่ ผ.ก.4. แสดงค่ากำลังรับแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของเหล็กที่ถูกละเมิดใหม่

ตัวอย่าง ที่	เส้นผ่าศูนย์กลาง กลาง (mm.)	ค่ากำลังดึงของเหล็ก (ksc)		% การยืดตัว	หมายเหตุ
		Yield	Ultimate		
1	DB10	4554	6737	18.00	
2	DB10	4508	6713	24.00	
3	DB10	4680	6833	26.00	
4	DB10	4077	6115	26.27	
5	DB10	4102	6133	23.33	
6	DB10	4088	6158	28.33	

### 1.5. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดลอง Rebounded Test ของเสาคอนกรีต, ผลการทดสอบคอนกรีต Compression Test ของพื้นคอนกรีตและผลการทดสอบ Tensile Test ของเหล็กที่เก็บตัวอย่างจากพื้นที่หน้าตัด-  
ฟ้าไปทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

#### 1.5.1. โครงสร้างเสา

##### ชั้นที่ 2

ค่ากำลังของคอนกรีตจากผลการทดสอบ Rebounded Test อยู่ในช่วง 365 – 580 ksc ( $\pm 53 - 67$  ksc) ซึ่งมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ในการออกแบบ ( $f'_c = 300$  ksc) จึงประเมินว่าผลกระทบที่เกิดจากไฟไหม้ มีผลต่อโครงสร้างเสาชั้นที่ 2 เล็กน้อย

### ชั้นที่ 3

เสาแนว 11-B มีกำลังของคอนกรีตเท่ากับ 240 ksc และเสาแนว 8-G มีกำลังของคอนกรีตเท่ากับ 290 ksc ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในการออกแบบ ( $f_c' = 300$  ksc) ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนเสาดันอื่นๆมีกำลังของคอนกรีตเกินกว่าค่าที่กำหนด

#### 1.5.2. โครงสร้างพื้น

### ชั้นที่ 3

จากผลการทดสอบ Compression Test จากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเจาะทดสอบพื้นในช่วง ZONE “A” และ “B” พบว่าค่ากำลังของคอนกรีตต่ำกว่าที่ผู้ออกแบบกำหนด ( $f_c' = 300$  ksc) โดยเฉลี่ยประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ จึงประเมินว่าอาจจะเกิดจากเพลิงไหม้หรือคุณสมบัติของคอนกรีตในการก่อสร้าง ส่วนในช่วง ZONE “C” ผิวคอนกรีตยังคงแข็งแรงเหมือนคอนกรีตในสภาพปกติ จึงประเมินว่าเพลิงไหม้ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นช่วงนี้

#### 1.6. ข้อเสนอแนะ

ผู้สำรวจมีความเห็นว่า ควรจะพิจารณาความแข็งแรงของ โครงสร้างตามชั้นและเป็นพื้นที่ ดังนี้

### ชั้นที่ 1 และ 2

1. เสาและพื้นซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญ ไม่ต้องเสริมความมั่นคงเพิ่ม
2. พื้นซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญ ไม่ต้องเสริมความมั่นคงเพิ่ม

### ชั้นที่ 3

1. ช่วง ZONE “C” เสาแนว 11-B ควรมีการเสริมความมั่นคงเพิ่ม พื้นไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วง Zone “A” และ “B” เสาค้ำไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่ม พื้นควรมีการเสริมความมั่นคงเพิ่ม ตามหลักทางวิศวกรรม เช่น เสริมคานเหล็กบริเวณแนวเสา แต่ทั้งนี้ต้องมีการออกแบบรายละเอียดให้เป็นไปตามหลักทางวิศวกรรมที่ถูกต้องและบริเวณที่มีรอยแตกร้าวควรมีการทำ Epoxy Grouting ภายใต้อ่างค้ำสูง

### ชั้นดาดฟ้า

- ช่วง Zone “C” พื้นไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่ม แต่บริเวณที่มีรอยแตกร้าวควรมีการทำ Epoxy Grouting ภายใต้อ่างค้ำสูง
- ช่วง ZONE “A” และ “B” พื้นต้องการทำทุบทิ้งตามแบบแปลนที่ 5 โดยสามารถซ่อมแซมให้สามารถใช้งานได้ตามเดิมได้ แต่ทั้งนี้การออกแบบให้เป็นไปตามหลักการทางวิศวกรรมที่ถูกต้อง

#### 1.7. ขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบ เพื่อการซ่อมแซมและแก้ไขอาคารที่ถูกเพลิงไหม้

- วิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาแนว 11-B ซึ่งเสาค้นดังกล่าว หลังจากถูกเพลิงไหม้ค่ากำลังของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ Rebounded Test ให้ค่า  $f_c'$  ประมาณ 240 ksc ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ผู้ออกแบบกำหนด ( $f_c' = 300$  ksc) จึงควรทำการออกแบบเสาใหม่ ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
- วิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นชั้น 3 บริเวณ Zone “A” และ “B” หลังจากถูกเพลิงไหม้ค่ากำลังคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ Compression Test ให้ค่า  $f_c$  โดยเฉลี่ยประมาณ 250 ksc. ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ผู้ออกแบบกำหนด ( $f_c' = 300$  ksc) จึงควรมีการเสริมความแข็งแรงโดยใช้คานเหล็ก Wide Flange
- บริเวณ Zone “A” และ “B” ชั้นดาดฟ้า ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ทุบทิ้ง ทำการวิเคราะห์หาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อพื้นชั้นดาดฟ้าและจัดทำใหม่ให้มีลักษณะดังเดิม

#### 1.8. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร

ขั้นตอนนี้เป็นารทดสอบเพื่อยืนยันว่าภายหลังจากที่มีการซ่อมแซม แก้ไขอาคารแล้ว อาคารจะสามารถใช้งานได้โดยปลอดภัย

## อุปกรณ์การทดสอบ

1. กล้องระดับและไม้สตาฟ
2. Dial gauge ความละเอียด 0.01 มม.
3. นั่งร้านเหล็ก
4. Tripod
5. น้ำหนักบรรทุกใช้น้ำ
6. Schmidt Hammer ASTM C 805 – 85 (Standard Test Method for Rebounded Number of Hardened Concrete)

## ตำแหน่งการตรวจสอบ

ตามการทดสอบขั้นตอนที่ 1 ได้กำหนดบริเวณคาดฟ้าชั้นบน Zone “C” (แบบแปลนที่ 1) เป็นบริเวณที่จะดำเนินการทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุก ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงกำหนดให้แนว Grid Line D-E ของ Zone “C” นี้ในการทดสอบขั้นตอนที่ 1 ได้มีการตัดคอนกรีตพื้น โดยวิธี Coring (แบบแปลนที่ 2) โดยได้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต จากตัวอย่าง Coring

ตารางที่ ผ.ก.5. แสดงค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตจากตัวอย่าง Coring Concrete Zone “C”

ตัวอย่างที่	ตำแหน่ง Grid Line	Strength Correction	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต	หมายเหตุ
1	9-10,D-E	0.970	342	C/#คาดฟ้า
2	9-10,F-G	0.970	296	C/#คาดฟ้า
3.	10-11,E-F	0.956	277	C/#คาดฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการทดสอบ

1. ทำการตรวจสอบกำลังคอนกรีตของเสาทั้ง 4 ต้น ในบริเวณที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกพื้น
2. ติดตั้ง Dial Gauge และ ไม้สตาฟ เพื่อวัดการแอ่นตัว (Deflection) บริเวณกึ่งกลางแผ่นพื้น ซึ่งเป็นจุดที่จะเกิดค่าการแอ่นตัวสูงสุด
3. ติดตั้ง Dial Gauge เพื่อวัดการแอ่นตัว (Deflection) บริเวณของพื้นตามแนวแกน X และแกน Y
4. ทำการตั้ง Dial Gauge ทุกตัวให้เป็นศูนย์และอ่านค่าจากไม้สตาฟ โดยใช้กล้องระดับแล้วทำการบันทึกไว้
5. ทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้น้ำเป็นตัวให้น้ำหนักโดยการก่อผนังอิฐสี่เหลี่ยมสูงประมาณ 0.60 ม. รัศรอบด้วยเหล็ก [] 2" x 2" เป็นตัวกั้นน้ำโดยรอบ แนวการก่อแสดงตามแบบแปลนที่ 4 การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทำโดยการค่อยๆ ปล่อยน้ำเข้ามาและทำการอ่านค่าน้ำหนักบรรทุกเป็นช่วงๆ ดังนี้คืออ่านค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 25, 50, 75, 100, 125 และ 150% ของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ถูกกำหนดไว้ตามสภาพพื้นที่ที่ใช้งาน (ในกรณีนี้กำหนดให้เท่ากับ 400 กก. /ตร.ม.) หลังจากใส่น้ำหนักบรรทุกแล้วจึงอ่านค่าต่างๆ อีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงเริ่มเพิ่มน้ำหนักบรรทุกช่วงต่อไปจนครบช่วงการเพิ่มน้ำหนัก
6. คงน้ำหนักไว้ 24 ชม. แล้วอ่านค่าการแอ่นตัวเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชม.
7. เริ่มทำการปล่อยน้ำหนักบรรทุกออกจากพื้นที่ทดสอบทั้งหมดและอ่านค่าการคืนตัวอีกครั้งหนึ่งเป็นการเสร็จสิ้นการทดสอบ

## ผลการทดสอบ

การทดสอบกำลังอัดประลัยของเสาทั้ง 4 ต้น บริเวณพื้นที่ที่จะทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุก โดย Schmidt Hammer ทำ Rebounded Test ได้ผลตามตารางดังนี้

ตารางที่ ผ.ก.6. แสดงค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเสาะจากวิธี Rebounded Test

ตัวอย่างที่	ตำแหน่ง Grid Line	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ksc)	หมายเหตุ
1	10-D	500	Dispersion +58.6 - +65.5 ksc.
2	10-E	460	
3	11-D	520	
4	11-E	345	

การทดสอบการแอ่นตัวของแผ่นพื้น โดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกโดยใช้น้ำเป็นตัวให้น้ำหนักโดยเพิ่มน้ำหนักตามข้อกำหนดของ ACI BUILDING CODE (ACI 318-89) ได้ผลตามตารางที่ ก7.

### 1.9. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### สัญลักษณ์

- a = ระยะแอ่นสูงสุดภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่ทดสอบของค้ำอาคาร โดยวัดเทียบจากเส้นที่เชื่อมปลายของช่วงหรือของปลายอิสระของคานยื่น โดยวัดเทียบจากที่รองรับ(นิ้ว)
- D = น้ำหนักบรรทุกคงที่หรือโมเมนต์และแรงภายในที่เกี่ยวข้อง
- h = ความหนาทั้งหมดขององค้ำอาคาร (นิ้ว)
- $l_1$  = ช่วงขององค้ำอาคารภายใต้การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก (ช่วงที่สั้นกว่าของแผ่นพื้นไร้คานและ ของแผ่นพื้นที่มีที่รองรับทั้งสองด้าน)
- L = น้ำหนักบรรทุกจรหรือโมเมนต์และแรงภายในที่เกี่ยวข้อง

ตามข้อกำหนดของ ACI BUILDING CODE (ACI 318) กำหนดว่า ถ้าส่วนของโครงสร้างที่ได้ทำการทดสอบไม่ปรากฏสภาพการวิบัติให้เห็นด้วยตาเปล่าแล้ว ให้ถือว่าต้องเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

1. ระยะแอ่นสูงสุดที่วัด ได้ a ของคาน พื้นหรือหลังคามีน้อยกว่า  $l_1^2 / (20,000h)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระยะแอนสูงสุดที่วัดได้  $a$  ของคาน พื้นหรือหลังคา มากกว่า  $l_u^2 / (20,000h)$  แล้ว ค่าการคืบตัวภายใน 24 ชม. หลังจากถอนน้ำหนักบรรทุกทดสอบออกหมดแล้วอย่างน้อยที่สุดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของระยะแอนสูงสุด

จากผลการทดลองปรากฏว่า สามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปได้ดังนี้

1. ค่าระยะการแอนตัวสูงสุดที่วัดได้กลางแผ่นพื้น  $a = 0.582 / 2.54 = 0.229$  นิ้ว
2. ค่าการคืบตัวภายใน 24 ชม. หลังจากถอนน้ำหนักบรรทุก  $a_{24} = 0.076 / 2.54 = 0.030$  นิ้ว

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } l_u^2 / (20000h) &= (8 \times 100)^2 / 20000(22.5)(2.54) \\ &= 0.559 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

แสดงว่า  $a = 0.229 < 0.559$  นิ้ว และ  $a_{24} / a = (0.229 - 0.03) \times 100 / 0.229 = 86.89 \%$

แสดงว่าการทดสอบพื้นของชั้นหลังคาซึ่งใช้เป็นที่จอดรถบริเวณ ZONE “C” อยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

### 1.10. สรุปผลการทดสอบ

ในการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นระบบ POST-TENSION ของ ZONE “C” ของอาคาร โดยวิธีใช้น้ำเป็นตัวเพิ่มน้ำหนักให้กับพื้นที่ใช้ทดสอบและใช้น้ำหนักบรรทุกสูงสุดในการทดสอบเป็น 600 กก. / ตร.ม. ปรากฏว่าค่าการคืบตัวภายหลังจากถอนน้ำหนักบรรทุกมีค่า 86.89 % ค่าการแอนตัวสูงสุดมีค่า 5.83 มม. ซึ่งเป็นค่านี้น้อยกว่าค่า ตามที่มาตรฐาน ACI กำหนด จึงถือได้ว่าผลการทดสอบนี้ผ่านการทดสอบ

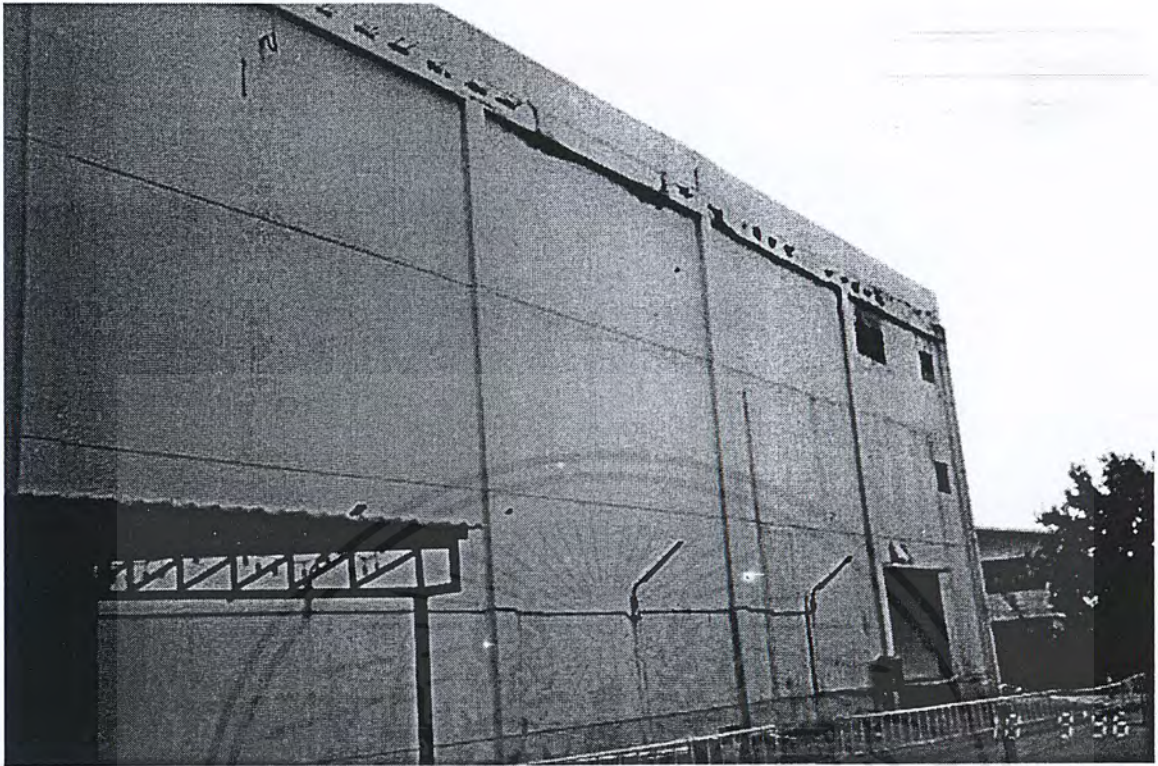
ตารางที่ ผ.ก.7. การทดสอบการเอนตัวของแผ่นพื้น โดยการใช้หน้าหนักบรรทุก

PROJECT : อาคารห้างสรรพสินค้า บริษัท สยามจีไอ										LOCATION : ถนนรัชดาภิเษก					
TEST : POST TENSION SLAB										TEST BY :					
NUMBER : 1										GAUGE READING (1 : 0.01")					
DATE	LOAD (KG)			%	TIME	ERASE TIME (Hr)	NO.1		NO.2		NO.3				
	TOTAL	PER M <sup>2</sup>					Gauge Reading	Deflec. (mm.)	Gauge Reading	Deflec. (mm.)	Gauge Reading	Deflec. (mm.)			
20/05/40	0	0	0	0	13.20	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00			
	28,000	100	25	25	16.20	3.00	52	1.32	8	0.21	21	0.53			
	57,600	100	25	25	16.35	3.15	52	1.32	8	0.21	21	0.53			
		200	50	50	17.50	4.30	74	1.88	20	0.51	48	1.20			
		200	50	50	18.05	4.45	74	1.88	20	0.51	48	1.20			
		300	75	75	19.40	6.20	101	2.57	37	0.94	67	1.68			
		300	75	75	19.55	6.35	101	2.57	37	0.94	67	1.68			
	115,200	400	100	100	20.30	7.10	123	3.12	52	1.32	82	2.05			
		400	100	100	21.30	8.10	152	3.86	77	1.96	98	2.45			
	144,000	500	125	125	22.30	9.10	170	4.32	81	2.06	132	3.30			
		500	125	125	22.45	9.25	170	4.32	81	2.06	132	3.30			
	172,800	600	150	150	24.30	11.10	222	5.64	95	2.41	158	3.95			
		600	150	150	24.45	11.25	229	5.82	113	2.87	162	4.05			
REBOUND															
21/05/40	0	0	0	0	24.45	35.25	30	0.76	6	0.15	37	0.92			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.1. แสดงการทดสอบกำลังของคอนกรีตของเสาชั้นที่ 3 บริเวณ Zone “B” ที่ถูกเพลิงไหม้โดย  
วิธี Rebounded Test



รูปที่ ผ.ก.2. แสดงบริเวณที่จับยึดลวดสลิง Zone “A” และ “B” ซึ่งหลุดออกมาเนื่องจากลวดสลิงขาด



รูปที่ ผ.ก.3. แสดงท้องพื้นชั้นดาดฟ้า บริเวณ Zone “A” ซึ่งผิวคอนกรีตกะเทาะออกจนเห็นเหล็กเสริม

และลวดสลิงขาด  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

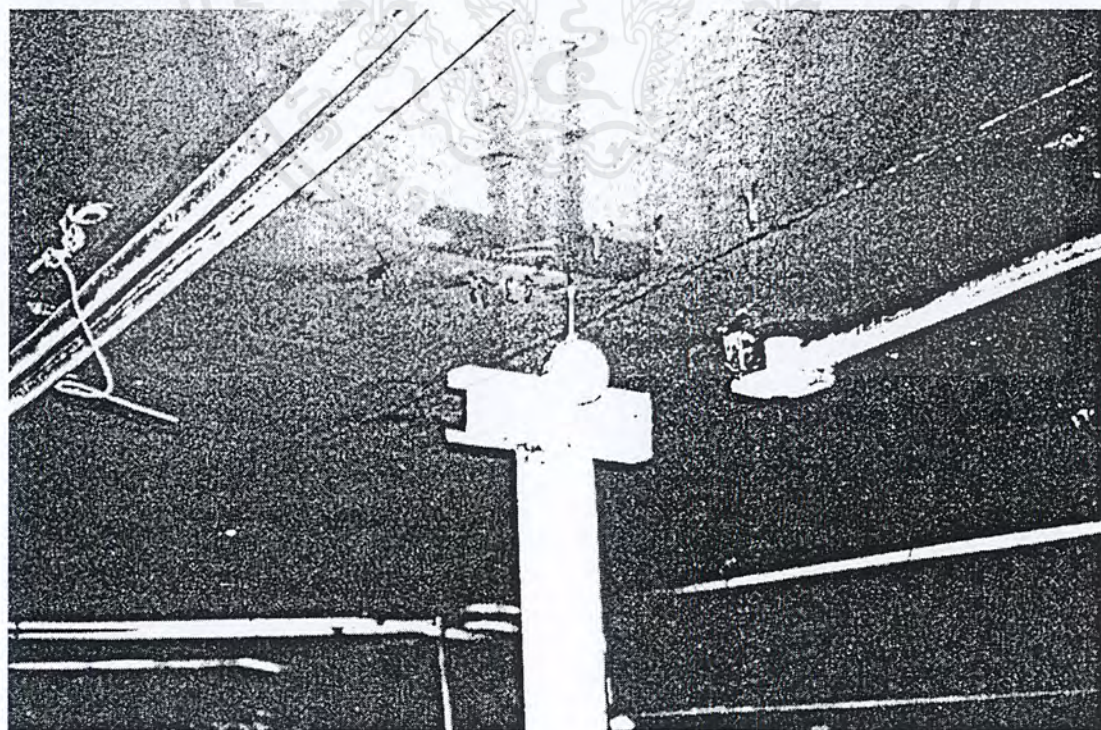


รูปที่ ผ.ก.4. แสดงการตัดเหล็กพื้นชั้นคานไฟฟ้าไปทดสอบกำลังดึง (Tensile Test)

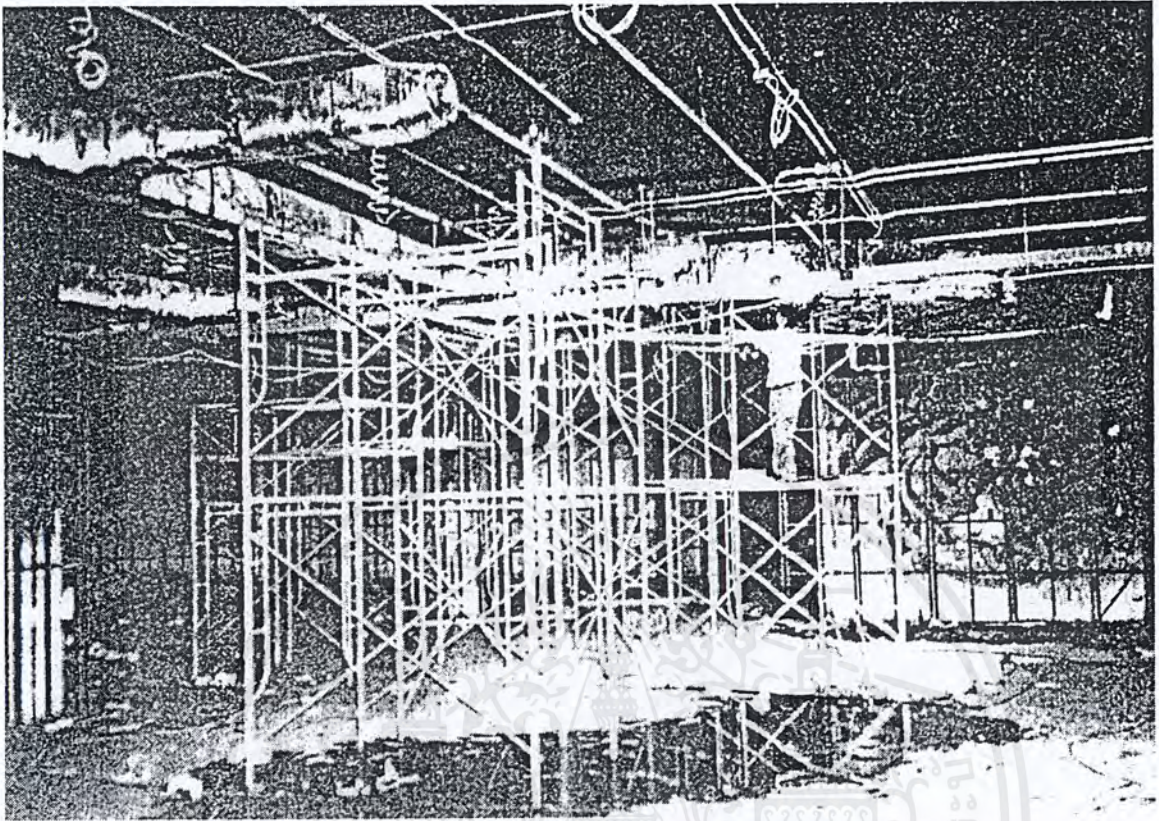
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



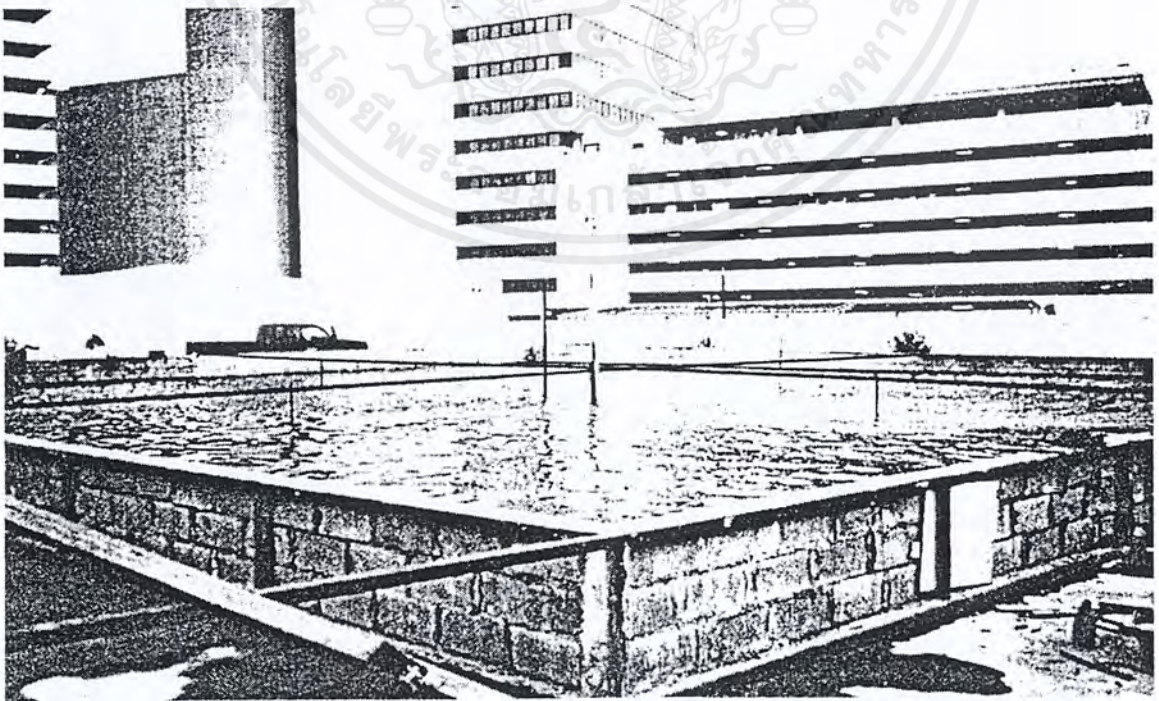
รูปที่ ผ.ก.5. แสดงการเจาะพื้นคอนกรีตชั้นที่ 3 บริเวณ Zone “A” (Coring) เพื่อนำไปทดสอบกำลังอัด



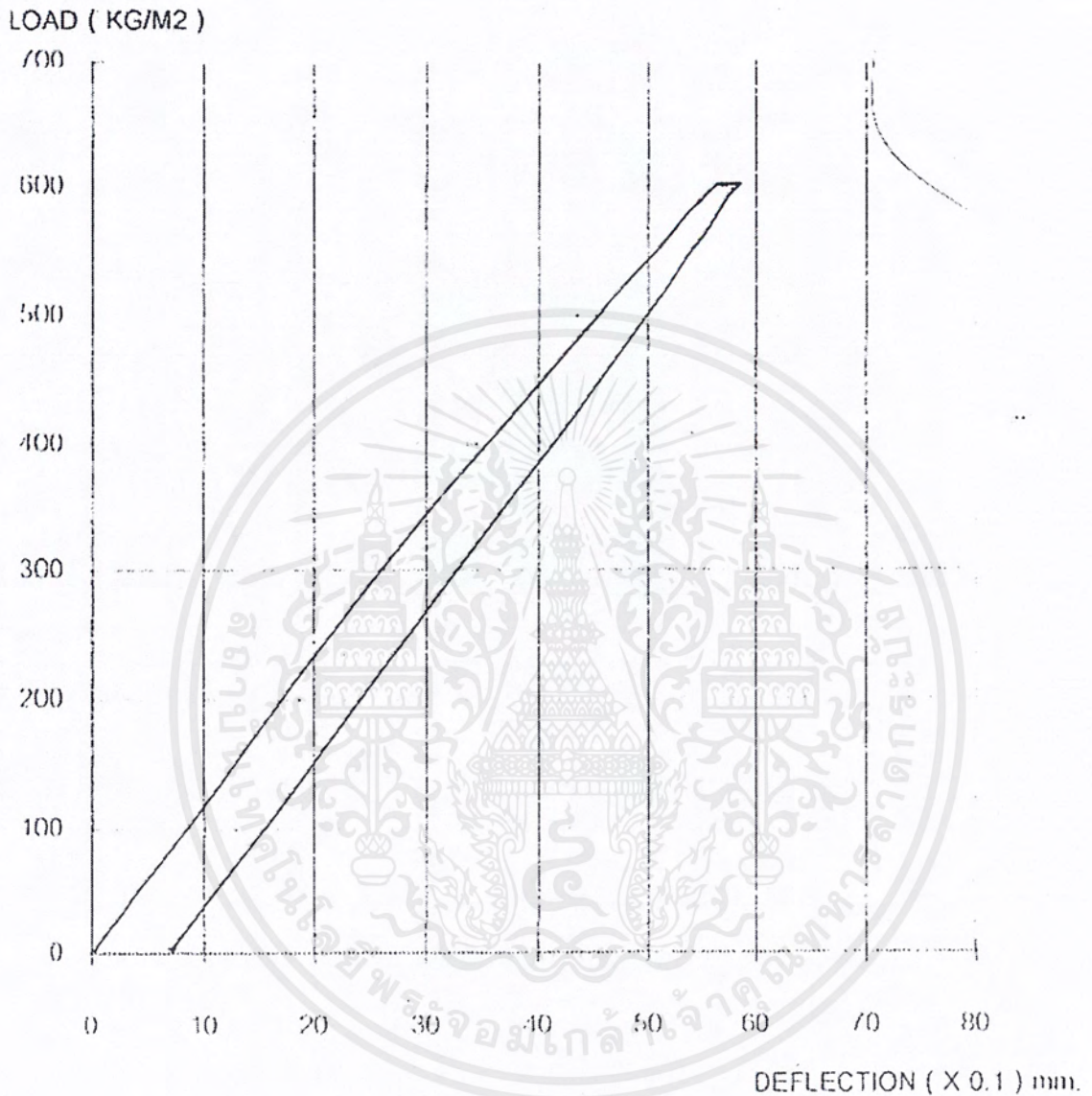
รูปที่ ผ.ก.6. แสดงการติดตั้ง Dial Gauge ตามแนวแกน X และแกน Y ใช้ประโยชน์ด้านการค่า  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยผู้ดูแลทรัพย์สินไม่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.7. แสดงการติดตั้ง Dial Gauge ตามแนวแกน X และแกน Y

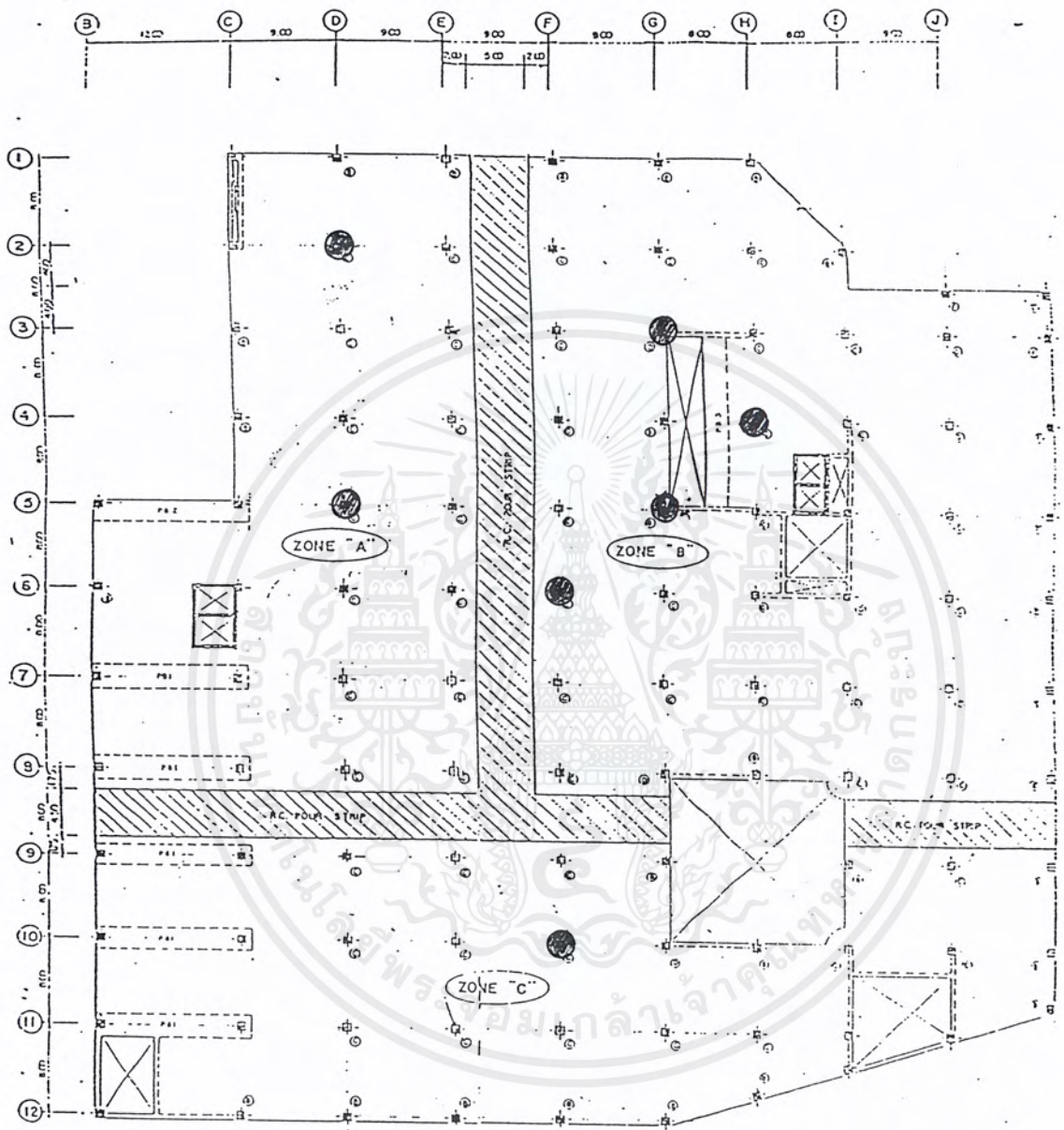


เอกสารนี้เป็นเอกสาร รูปที่ ผ.ก.8. แสดงการกักผนังอิฐที่ใช้ใส่น้ำในการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.9. กราฟทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกจาก Gauge No. 1 (Deflection Curve)

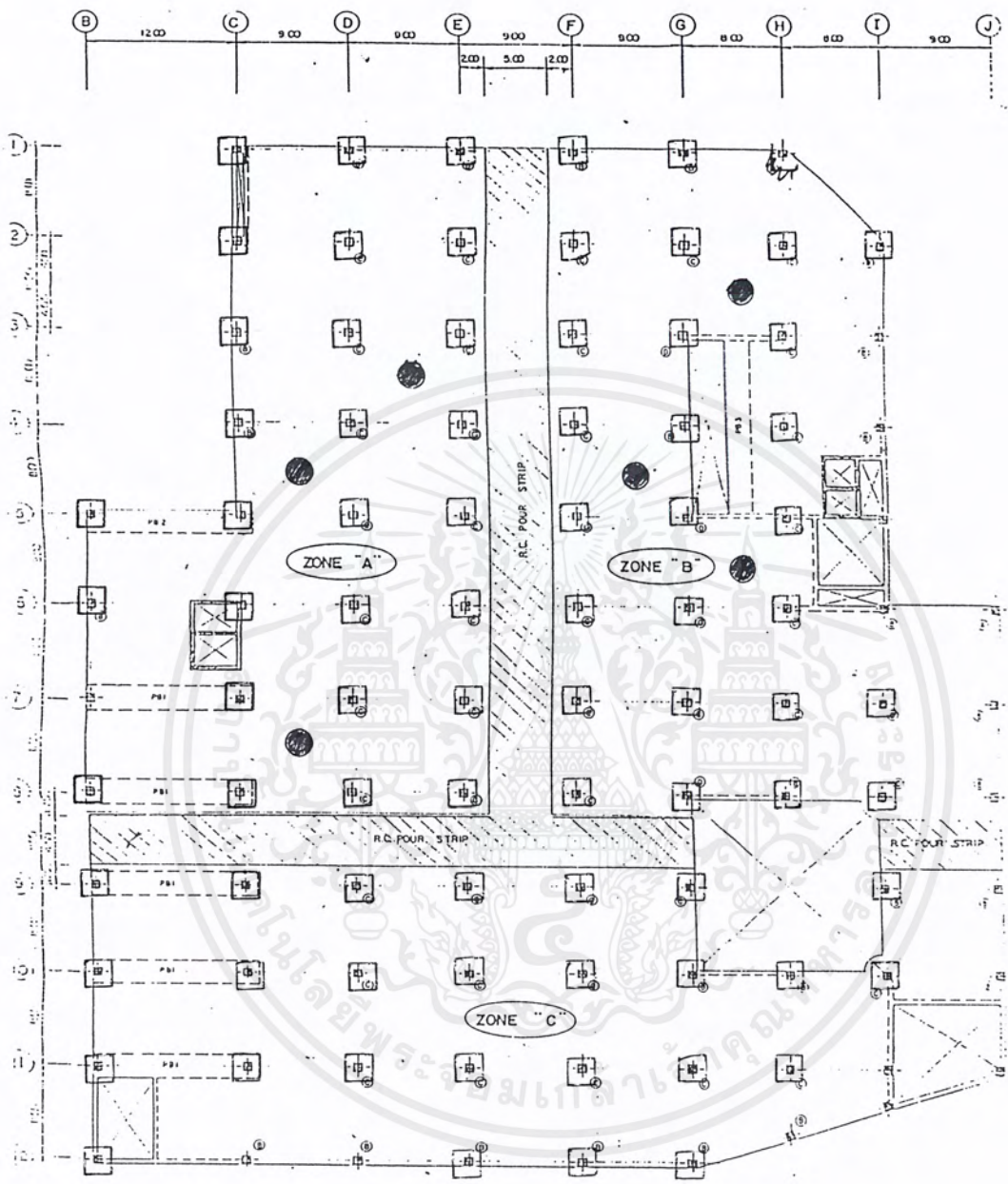
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



● เสาต้นที่ทดสอบ Rebounded Test

รูปที่ ผ.ก.10. แสดงบริเวณพื้นชั้น 2 ที่มีการทดสอบ Rebounded Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

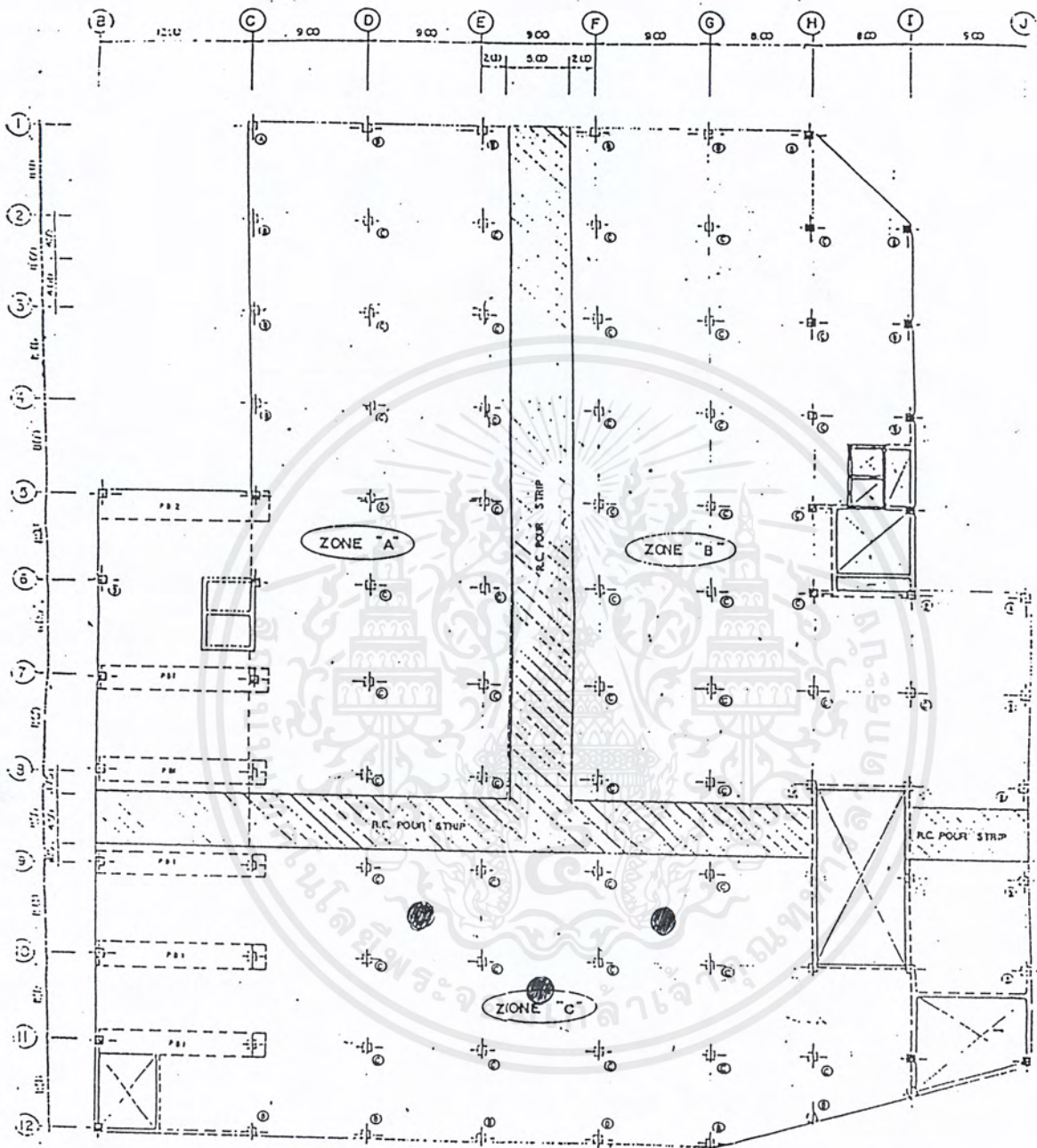


3 rd. FLOOR PLAN

เสาที่ทดสอบ Rebounded Test
 
 พื้นที่ทดสอบ Coring

รูปที่ ผ.ก.11. แสดงบริเวณพื้นที่ชั้น 3 ที่มีการทดสอบ Rebounded Test และ Coring

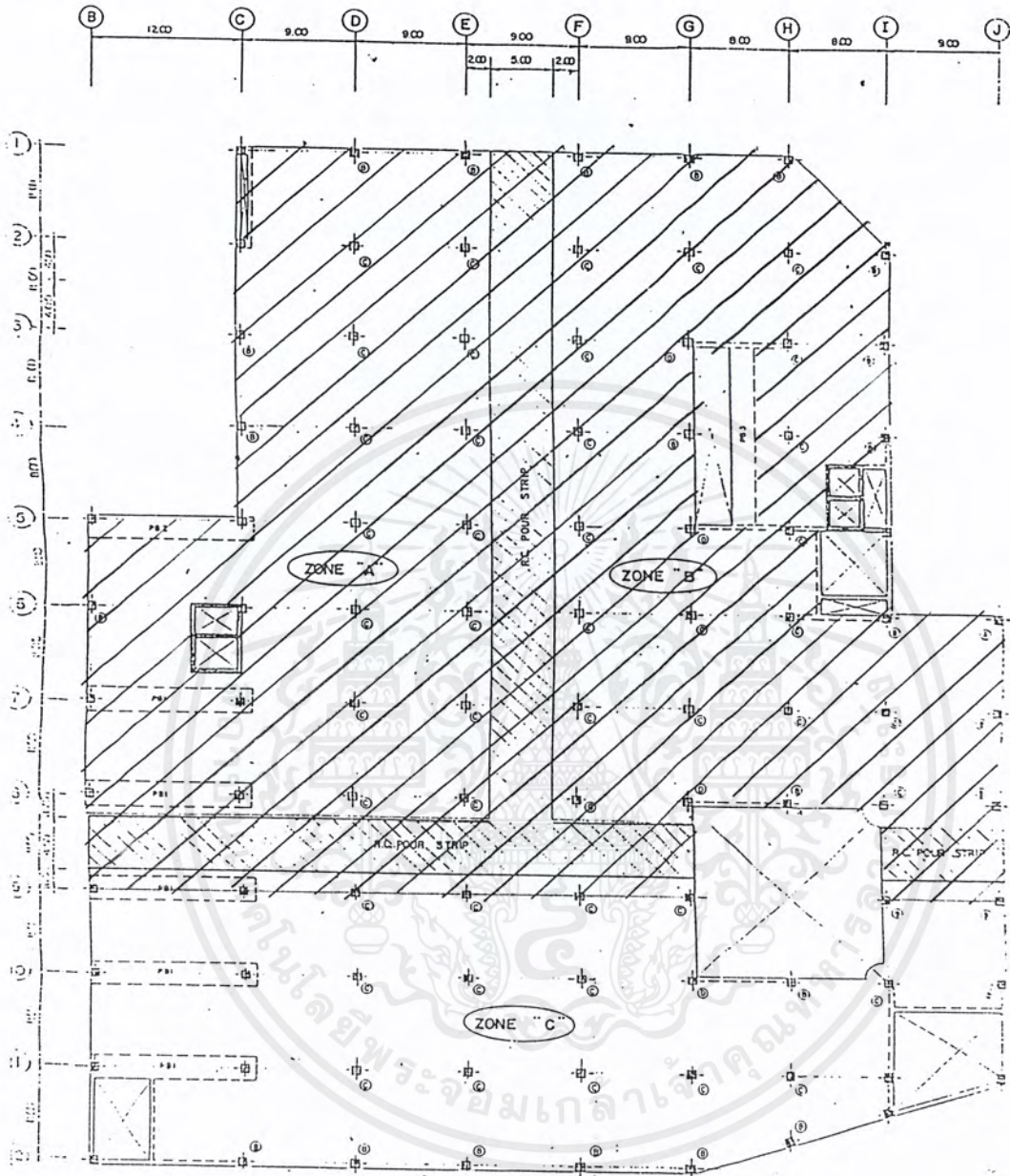
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



● พื้นที่ Coring

รูปที่ ผ.ก.12 แสดงบริเวณพื้นที่ชั้นหลังคาที่ Coring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

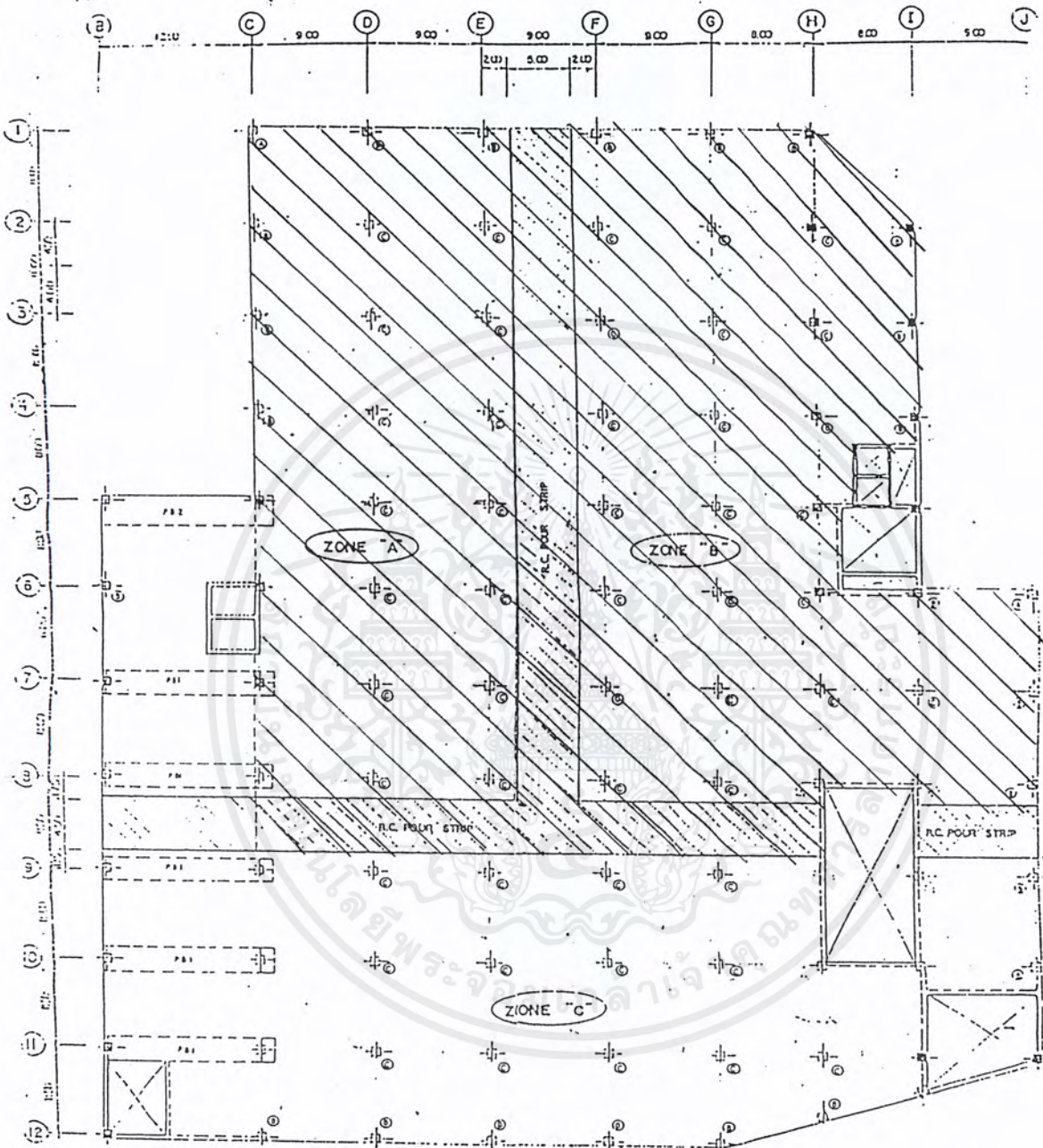



3 rd. FLOOR PLAN

△ พื้นที่ควรทำการเสริมความแข็งแรง

รูปที่ ผ.ก.13. แสดงแปลนพื้นชั้น 3 ที่ควรเสริมความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



 พื้นที่ที่ต้องทำการทุบทิ้ง และจัดทำใหม่

รูปที่ ผ.ก.14. แสดงพื้นที่ชั้นคาบฟ้าที่ต้องทำการทุบทิ้งและจัดทำใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. กรณีศึกษา อาคารเดอะมอลล์ งามวงศ์วาน จ.นนทบุรี

### 2.1. บทนำ

อาคารเดอะมอลล์ งามวงศ์วาน จ.นนทบุรี ได้เกิดอุบัติเหตุเพลิงไหม้ขึ้น และก่อให้เกิดความเสียหายสามารถสังเกตเห็นได้ทางกายภาพ และพบรอยแตกร้าวในบางส่วนของโครงสร้างเพื่อให้เกิดความมั่นใจในการใช้งานอาคารในอนาคต ทางบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาในเรื่องดังกล่าว จึงได้กำหนดให้ทำการทดสอบค่ากำลังวัสดุ และสำรวจสภาพความสมบูรณ์ของส่วนโครงสร้างต่างๆ ในบริเวณเพลิงไหม้เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างต่อไป

### 2.2. รายละเอียดการทดสอบ

#### 2.2.1. การเจาะเก็บและทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตโครงสร้าง

ทำการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากส่วน โครงสร้างต่างๆ ตามที่กำหนด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 และ 4 นิ้ว จำนวนรวม 202 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องเจาะระบบ Rotary หัวเจาะ Diamond Core Bit ตามมาตรฐาน ASTM

แท่งตัวอย่างที่ได้จากการเจาะจะถูกนำมาตัดให้อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2:1 แล้วทำการ Cap ด้วยสาร Capping Compound ก่อนนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัดสูงสุด ด้วยเครื่อง Compressive Machine ของห้องปฏิบัติการ ทั้งหมด 202 ตัวอย่าง

#### 2.2.2. การทดสอบเหล็กเสริมคอนกรีต

ทำการตัดเก็บตัวอย่างเหล็กเสริมคอนกรีต จากส่วนโครงสร้างต่างๆ แล้วนำส่งห้องปฏิบัติการกำลังวัสดุ เพื่อทดสอบหาค่ากำลังอัดวัสดุ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

- เหล็กข้ออ้อย	ขนาด 12 มม.	จำนวนตัวอย่าง	3	ตัวอย่าง
- เหล็กข้ออ้อย	ขนาด 16 มม.	จำนวนตัวอย่าง	45	ตัวอย่าง
- เหล็กข้ออ้อย	ขนาด 20 มม.	จำนวนตัวอย่าง	15	ตัวอย่าง
- เหล็กข้ออ้อย	ขนาด 28 มม.	จำนวนตัวอย่าง	77	ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เหล็กรูปพรรณ รูปกล่อง 100, 50, 1.5 จำนวนตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง
- เหล็กรูปพรรณ รูปตัว L 75, 75, 8 จำนวนตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง
- เหล็กรูปพรรณ รูปตัว L 130, 130, 10 จำนวนตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง

### 2.2.3. การสำรวจรอยร้าว (Crack Inspection)

ทำการสำรวจบันทึกตำแหน่ง และวัดความกว้างของรอยแตกร้าว ด้วยเครื่อง Crack Detector Microscope พร้อมจัดทำระเบียบรอยแตกร้าวในส่วนของ โครงสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง

### 2.2.4. การทดสอบ Rebounded Hammer

ทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังอัดสูงสุด ของส่วนโครงสร้างต่างๆ ด้วยเครื่องมือทดสอบ Rebounded Hammer (Schmidt' Hammer) รวมทั้งสิ้น 905 ตัวอย่าง

### 2.2.5. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นคอนกรีตอัดแรง

ในส่วนของโครงสร้างพื้นคอนกรีต ได้ทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อประเมินค่าความแข็งแรงของพื้นดังกล่าว โดยแบ่งการทดสอบพื้นออกเป็นประเภทตามลักษณะพื้น ดังนี้

#### 1. ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากเพลิงไหม้ จำนวน 8 ตำแหน่ง โดยดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ACI 318 R-89 โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- ก่อผนังอิฐฉาบปูนสูงประมาณ 0.80 เมตร พร้อมติดตั้งค้ำยัน
- ติดตั้งนั่งร้านและมาตรการเอนตัว ตามตำแหน่งในแบบแสดงตำแหน่ง
- ใช้น้ำหนักบรรทุก (น้ำ) เป็น 4 ช่วงๆ ละ 15 นาที ที่น้ำหนักบรรทุกทดสอบ 167.5, 335, 502.5 และ 670 กก. / ตร.ม. พร้อมวัดค่าการโก่งของพื้นทดสอบโดยตลอด
- รักษาน้ำหนักบรรทุกสูงสุด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกค่าการโก่งตัว
- ปล่อน้ำหนักบรรทุกออกทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง บันทึกค่าการคืนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นสำเร็จรูป จำนวน 18 แผ่นพื้น ได้กำหนดให้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ACI 318R-89 โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- เรียงถ้ำน้ำหนักบนแผ่นพื้นสำเร็จ เพื่อใช้ใสน้ำเป็นน้ำหนักบรรทุกทดสอบ
- ติดตั้งมาตรวัดการแอ่นตัวที่ตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นและที่ฐานรองรับทั้ง 2 ข้าง
- ใสน้ำลงในถ้ำน้ำเหล็กเป็น 4 ช่วงๆ ละ 15 นาที ที่น้ำหนักบรรทุกทดสอบ 162.5, 325, 487.5 และ 650 กก. / ตร.ม. ตามลำดับ พร้อมวัดค่าการแอ่นตัวของแผ่นพื้นทดสอบ โดยตลอด
- รักษาน้ำหนักบรรทุกทดสอบ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกค่าการแอ่นตัว
- ปล่อน้ำหนักบรรทุกออกทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง บันทึกค่าการคืนตัว

### 2.3. ผลการทดสอบ

#### 2.3.1. ค่ากำลังอัดสูงสุดจากแท่งตัวอย่างคอนกรีต

ดังตารางที่ ก2.1. แสดงตัวอย่างค่ากำลังอัดสูงสุดที่ทดสอบ ได้จากแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่เจาะเก็บจากส่วน โครงสร้างต่างๆ และปรับแก้อัตราส่วน L/D และขนาดทรงกระบอกมาตรฐานตามที่แนะนำใน Concrete Manual เรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้ค่ากำลังอัดสูงสุดของแท่งคอนกรีตที่ได้จากแต่ละองค์อาคาร หรือพื้นที่จะต้องมีค่าเท่ากับหรือสูงกว่า ร้อยละ 90 ของกำลังอัดสูงสุดที่ออกแบบกำหนดไว้ จึงจะถือว่าใช้ได้ ตามมาตรฐาน วสท.4013

#### 2.3.2. ค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของตัวอย่างเหล็กเสริม

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของตัวอย่างเหล็กเสริม ได้แสดงตัวอย่างในตารางที่ ก2.2.

### 2.3.3. ผลการตรวจสอบรอยแตกร้าว

ผลการตรวจสอบรอยแตกร้าวของพื้นคอนกรีต ได้แสดงดังตัวอย่างด้านซ้าย วัฏระยะโค้งตัวของพื้น ในตารางที่ 5.4.4. และ 5.4.5. หัวข้อผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นคอนกรีตอัดแรง และแผ่นพื้นสำเร็จคอนกรีตอัดแรง

### 2.3.4. ค่ากำลังอัดสูงสุดจาก Rebound Hammer

ค่ากำลังอัดสูงสุดที่ประเมินจากการทดสอบประเภทนี้ โดยทั่วไปจะตรวจสอบได้เฉพาะที่ผิวของส่วน โครงสร้างนั้นเท่านั้น ในกรณีเช่นนี้อาจให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยค่ากำลังอัดสูงสุดตลอดหน้าตัดได้พอสมควร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของคุณภาพและความสมบูรณ์ระหว่างผิวและเนื้อของโครงสร้าง โดยผลการทดสอบค่ากำลังอัดสูงสุดของ โครงสร้าง ณ ตำแหน่งต่างๆ ได้แสดงดังตารางที่ ก2.3.

### 2.3.5. ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นคอนกรีต ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ผลการทดสอบการรับน้ำหนักการรับน้ำหนักของพื้นคอนกรีตอัดแรง ได้แสดงผลการทดสอบโดยพิจารณาค่าการโก่งตัวของพื้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังตารางที่ ก2.4. ตำแหน่งทดสอบการรับน้ำหนักของพื้นคอนกรีตอัดแรง ดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปแสดงตำแหน่งทดสอบการรับน้ำหนักของพื้น
2. ผลการทดสอบการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นสำเร็จคอนกรีตอัดแรง ได้แสดงผลการทดสอบโดยพิจารณาค่าโก่งตัวของพื้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังตารางที่ ก2.5. ตำแหน่งทดสอบการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นสำเร็จคอนกรีตอัดแรงดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปแสดงตำแหน่งการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.8. แสดงตัวอย่างค่ากำลังอัดสูงสุดจากแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากการ Coring Test

ส่วนโครงสร้าง	ชั้น/ตัวอย่าง	ตำแหน่งทดสอบ	ค่า fc' (ksc.)
พื้น	3 (No1)	7-8/H-I	258.23
	3 (No 2)	7-8/H-I	362.51
	3 (No 3)	7-8/H-I	377.30
	...	...	...
คาน	3	5/I-J	205.65
	3	5/J-k	150.24
	3	6/G-H	325.42
	...	...	...
ผนัง	9 (Tower)	No 1	273.12
	9 (Tower)	No 2	384.61
	9 (Tower)	No 3	545.13
	...	...	...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.9. แสดงตัวอย่างกำลังการรับแรงดึงสูงสุดของตัวอย่างเหล็กเสริม

โครงสร้าง	ชั้น	ตำแหน่ง เหล็กเสริม	ตำแหน่ง	ชนิด/ขนาด เหล็กเสริม	ค่า Yield Strength (ksc)	% Elongation
พื้น	3	7-8/H-I/1	ท้องพื้น	DB16	3830	15.87
	3	7-8/H-I/2	ท้องพื้น	DB16	4775	20.00
	3	7-8/H-I/3	ท้องพื้น	DB16	3511	22.50
	3	7-8/I-J/1	ท้องพื้น	DB16	3581	26.50
	3	7-8/I-J/2	ท้องพื้น	DB16	3591	33.75
	3	7-8/I-J/3	ท้องพื้น	DB16	3601	32.25
	...	...	...	...	...	...
เหล็กโครง หลังคา				กล่อง	4108	30.00
				100,50,1.5	3755	28.00
				กล่อง	4505	20.00
				100,50,1.5	3122	38.00
				กล่อง	3057	38.00
				100,50,1.5	3025	36.00
				L 75,75,8	3026	42.00
				L 75,75,8	2950	42.00
				L 75,75,8	3052	40.00
				L 130,130,10		
			L 130,130,10			
			L 130,130,10			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.10. แสดงตัวอย่างกำลังสูงสุดจาก Rebounded Hammer

ส่วนโครงสร้าง	ชั้น	ตำแหน่ง	ค่า fc' เฉลี่ย (ksc)
ท้องพื้น	6	9-10/J-K	455.11
	6	10-11/E-F	402.24
	6	10-11/G	443.43
	6	11-12/E-F	418.11
	6	11-12/F-G	448.01
	6	12-13/E'-F'	406.18
	6	14'-15'/H'-I'	461.88
	...	...	...
คาน	9	No 1	355.18
	9	No 2	343.13
	9	No 5	400.65
	9	No 6	434.27
	9	No 7,16-17/E-F	332.46
	9	No 8	373.27
	9	No 9	371.41
	...	...	...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.11. แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักของพื้นคอนกรีตอัดแรง

ส่วนโครงสร้าง	พื้นชั้น3	พื้นชั้น5	พื้นชั้น5	พื้นชั้น 5	พื้นชั้น6	พื้นชั้น6	พื้นชั้น 7	พื้นชั้น8	
ตำแหน่งทดสอบ	4-6/G-F	11-13/F- G	8-10/J-L	12- 14/J-K	7-9/D-E	12-14/D- E	11- 13/D-E	11-13/J- K	
นน.บรรทุก(กก/ครม.)	670	670	670	670	670	670	670	670	
G1	ค่าที่วัดได้ (มม.)	6.18	6.97	13.84	7.29	6.90	13.22	11.83	6.98
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)	18.05	18.05	18.05	18.05	18.05	18.05	18.05	18.05
G2	ค่าที่วัดได้ (มม.)	0.55	1.40	11.25	0.97	1.24	1.27	1.92	1.43
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)	5.88	5.88	18.05	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88
G3	ค่าที่วัดได้ (มม.)	2.03	4.91	3.30	3.02	2.19	2.97	3.43	2.76
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88
G4	ค่าที่วัดได้ (มม.)	0.73	1.65	3.60	0.91	1.08	1.26	1.65	1.80
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88
G5	ค่าที่วัดได้ (มม.)	7.82	8.85	2.01	7.58	6.72	8.90	9.92	8.35
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)	18.05	18.05	5.88	18.05	18.05	18.05	18.05	18.05
G6	ค่าที่วัดได้ (มม.)			3.02					
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)			5.88					
G7	ค่าที่วัดได้ (มม.)			3.98					
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)			5.88					
G8	ค่าที่วัดได้ (มม.)			2.93					
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)			5.88					
G9	ค่าที่วัดได้ (มม.)			12.75					
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)			18.05					
G10	ค่าที่วัดได้ (มม.)			11.72					
	ค่าที่ยอมให้ (มม.)			18.05					
รอยแตกร้าว (มม.)									
C1			0.18						
C2			0.17						
C3			0.20						
C4			0.19						
C5			0.17						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.12. แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นสำเร็จคอนกรีตอัดแรง

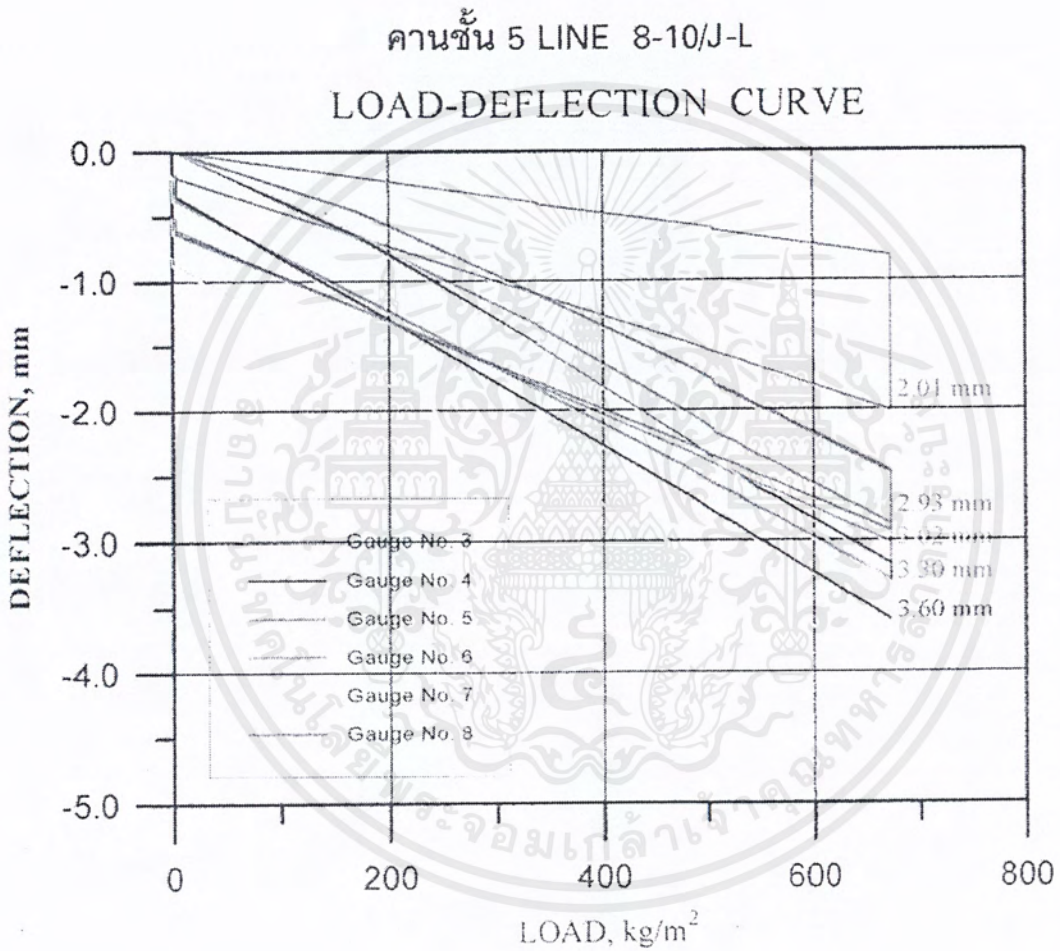
ชั้น	ตำแหน่งทดสอบ Grid Line	น้ำหนักบรรทุก (กก./ตร.ม.)	ค่าการโก่งตัว (มม.)	ค่าการโก่งตัวที่ ยอมให้ (มม.)	ความกว้างของ รอยแตก (มม.)
2	6-7/G-H	650	15.39	17.12	-
2	7-8/I-J	650	13.76	17.12	-
3	4-5/I-J	650	12.70	17.12	-
3	5-6/J-K	650	26.08	17.12	-
3	6-7/K-L	650	22.14	17.12	0.28
4	4-5/F-G	650	16.47	17.12	-
4	5-6/F-G	650	16.37	17.12	-
5	5-6/H-I	487.5*	18.73	17.12	0.40
5	12-13/E-F	650	16.17	17.12	-
5	13-14/H-I	650	17.99	17.12	0.30
6	12-13/K-L	650	19.44	17.12	0.55
6	12-13/J-K	650	18.04	17.12	-
6	13-14/K-L	650	17.73	17.12	-
6	14-15/H-I	650	8.64	12.80**	-
6	14-15/K-L	650	17.67	17.12	0.18
7	10-11/D-E	650	15.26	17.12	-
7	11-12/C-D	650	15.93	17.12	-
7	13-14/C-D	650	10.34	17.12	-

**หมายเหตุ**

- แสดงน้ำหนักบรรทุกทดสอบ 487.5 กก. / ตรม. ซึ่งอยู่ในช่วงที่ 3 ของการเพิ่มน้ำหนัก พบว่าการโก่งตัวและรอยแตกร้าวมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกรงว่าจะก่อให้เกิดอันตราย จึงยุติการทดสอบ
- เป็นกรณีที่ความยาวของแผ่นพื้นทดสอบเท่ากับ 8.50 ม. ซึ่งความยาวของแผ่นพื้นทดสอบทั่วไปเท่ากับ 9.50 ม.

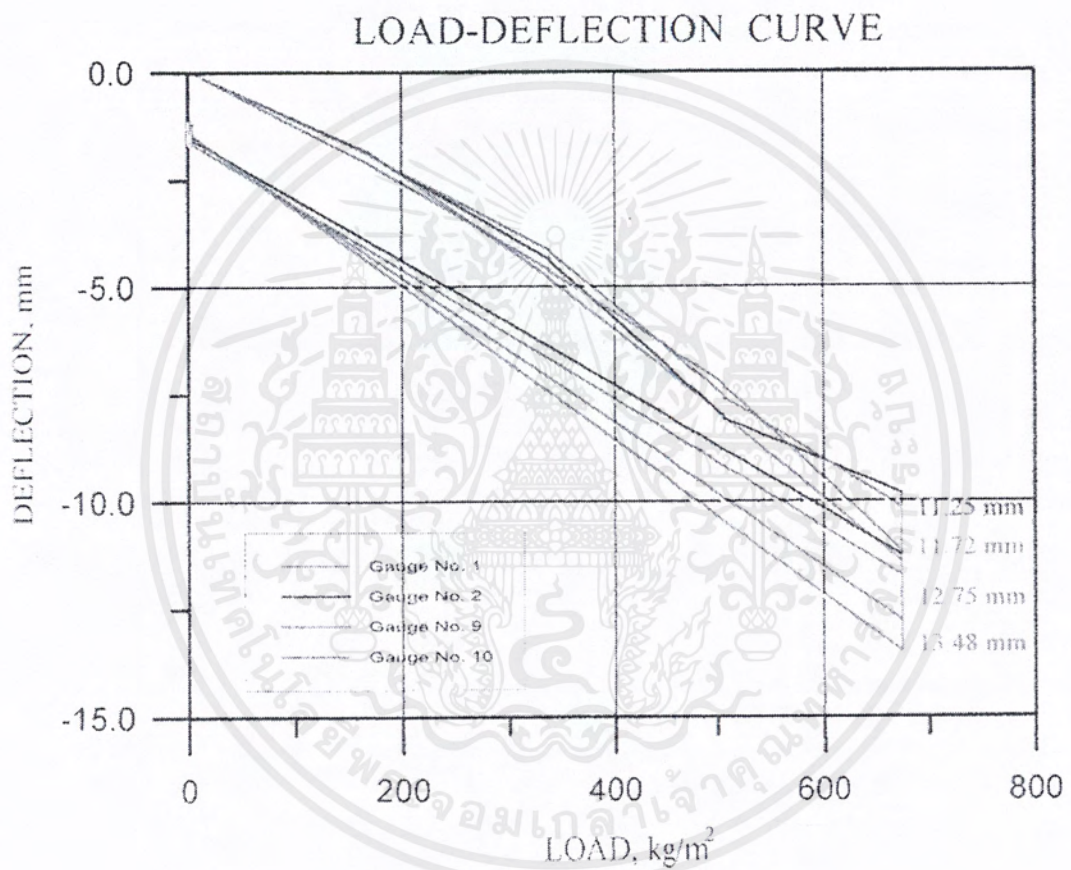
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นกรณีที่มีความยาวของแผ่นพื้นทดสอบเท่ากับ 8.50 ม. ซึ่งความยาวของแผ่นพื้นทดสอบทั่วไปเท่ากับ 9.50 ม.



รูปที่ ผ.ก.15.กราฟแสดงค่าการโก่งตัวที่นำหน้าบรทุกต่างๆของคานชั้น 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



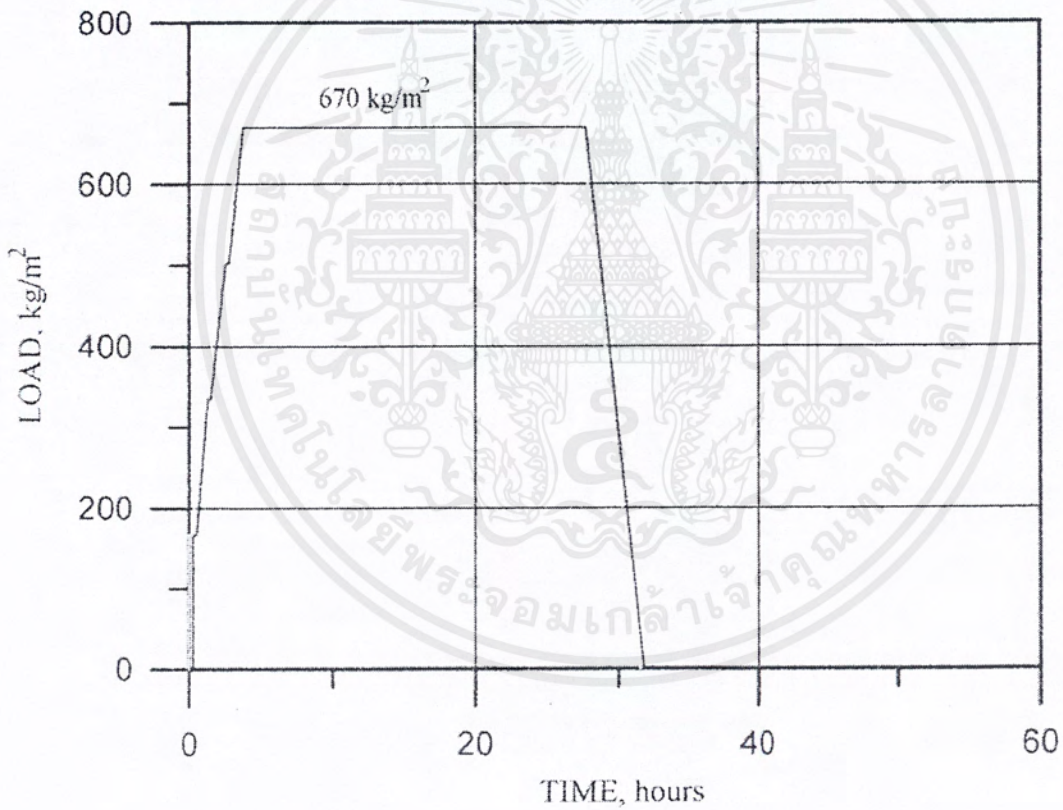
รูปที่ ผ.ก.16. กราฟแสดงค่าการโก่งตัวที่น้ำหนักกระทำต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดอะมอลล์ ซีอปปิ้ง เซ็นเตอร์

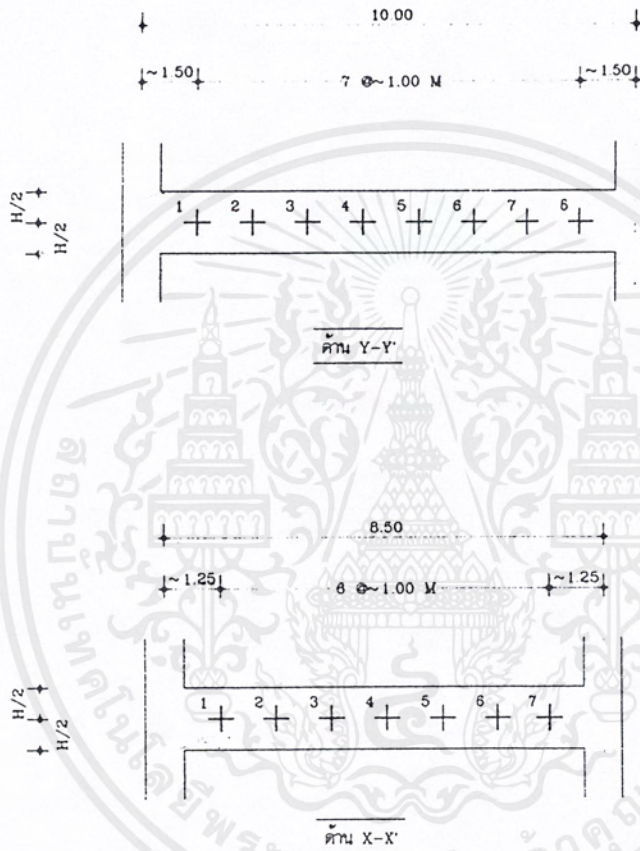
พื้นที่ 5 LINE 8-10/J-L

LOAD-TIME CURVE



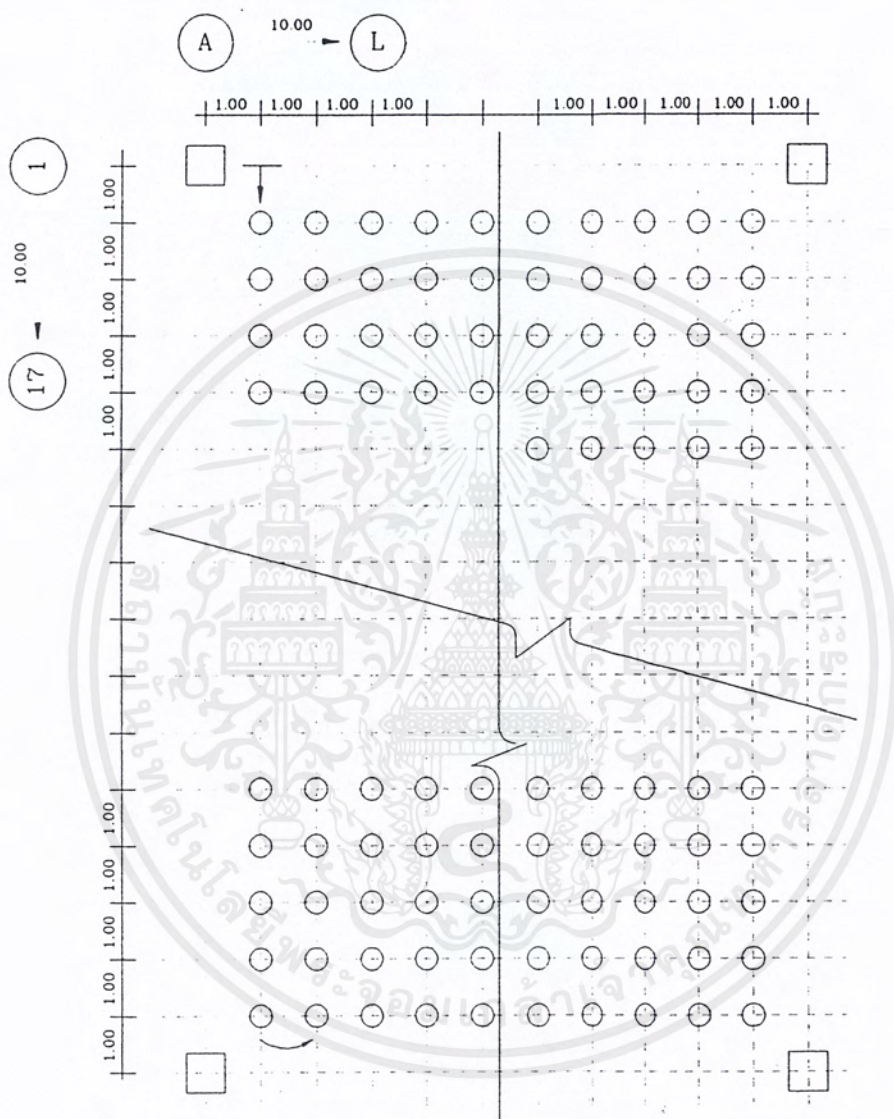
รูปที่ ผ.ก.17. กราฟแสดงค่าการ โกงตัวที่น้ำหนักกระทำต่างๆของพื้นที่ 5 Line 8-10 / J-L  
ที่ระยะเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



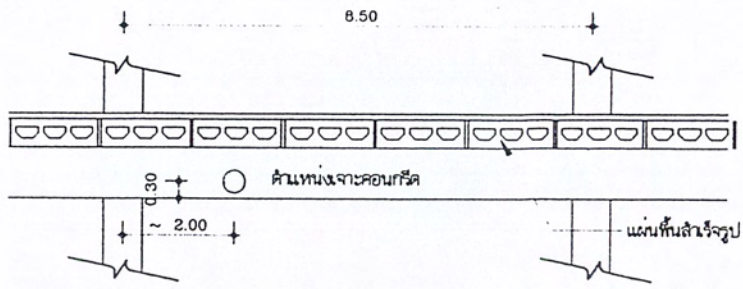
รูปที่ ผ.ก.18. แสดงตำแหน่งทดสอบ Rebound Hammer ของคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

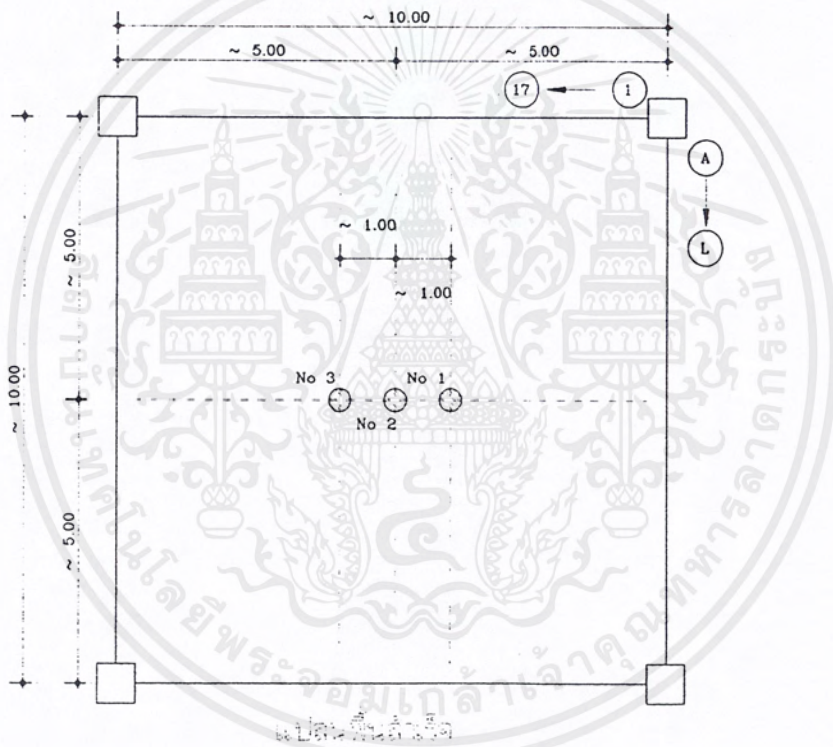


รูปที่ ผ.ก.19. แสดงตำแหน่งที่ทดสอบ Rebound Hammer ของท้องพื้น คสล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

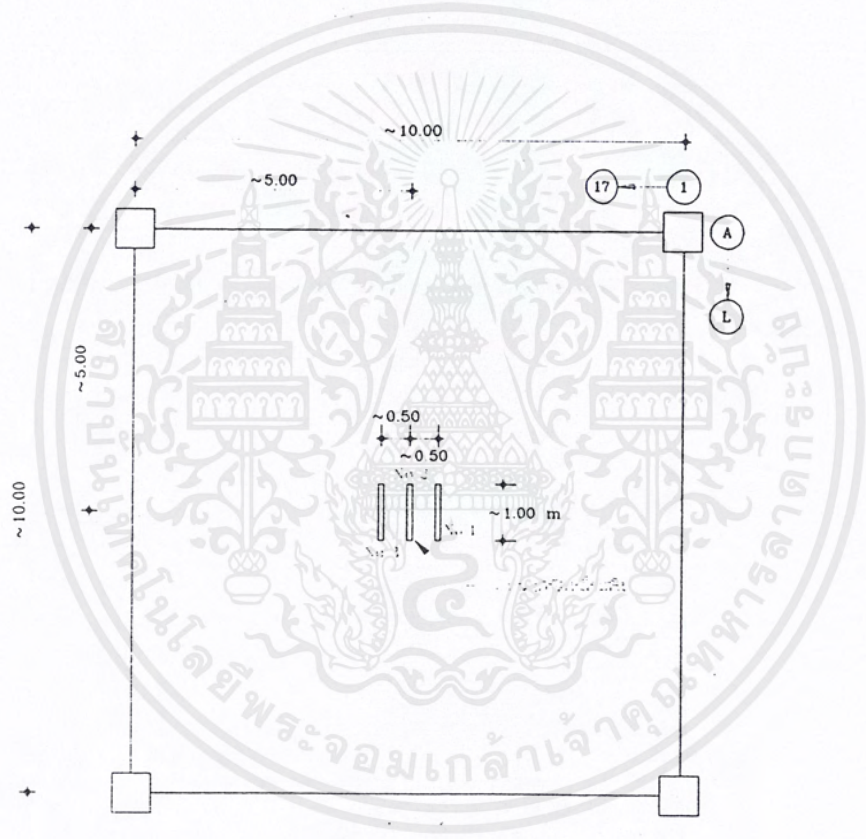
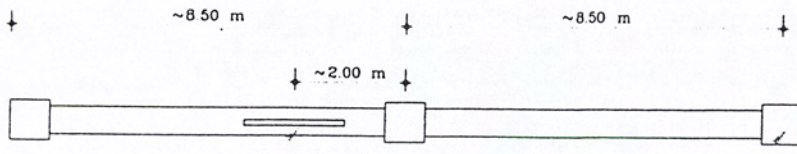


รูปตามงานจริง



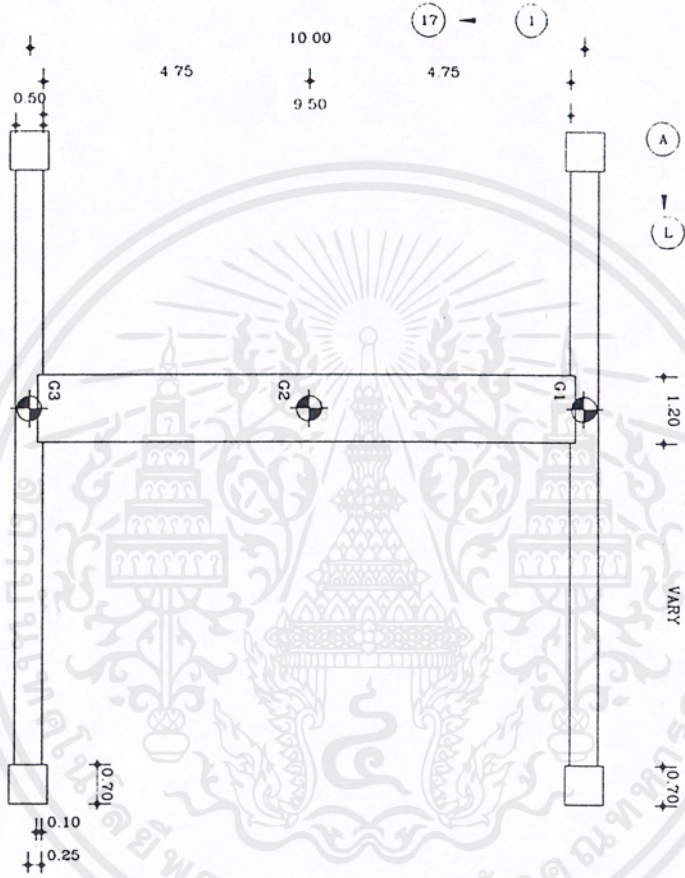
รูปที่ ผ.ก.20. แสดงตำแหน่งเจาะคอนกรีตที่พื้นและคานกสล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.21. แสดงตำแหน่งหลักกลางของพื้นและคานที่ตัดไปทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.22. แสดงตำแหน่งติดตั้งไดอัลเกจที่แผ่นพื้นสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. กรณีศึกษา บริษัทเฮกซ่า คัลเลอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด

#### 3.1. บทนำ

อาคารบริษัทเฮกซ่า คัลเลอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด เป็นอาคารโรงงานคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น มีโครงหลังคาเป็นโครงเหล็กคลุมอยู่โดยตลอดยกเว้นบริเวณ Grid Line 4 ถึง Grid Line 5 เป็นพื้นลาดฟ้าหล่อกับที่สำหรับวางตัวเครื่องระบบปรับอากาศ ซึ่งไม่มีหลังคาคลุม ได้ประสบอัคคีภัยจึงได้ก่อให้เกิดความเสียหายกับอาคาร

#### 3.2. วิธีการสำรวจและทดสอบ

##### ครั้งที่ 1

เป็นการสำรวจสภาพโดยทั่วไป เพื่อกำหนดแนวทางการตรวจสอบและเก็บตัวอย่าง

##### ครั้งที่ 2, 3, 4

เป็นการเข้าไปสำรวจโดยละเอียด ซึ่งมีการทดสอบกำลังของคอนกรีต โดยวิธี Rebounded Test พร้อมทั้งทำการเก็บตัวอย่างของคอนกรีตโดยการ Coring และตัดเหล็กเสาะและคาน ที่ถูกเพลิงไหม้มาทดสอบในห้องปฏิบัติการ

#### 3.3. อาคารที่สำรวจและบริเวณที่สำรวจ

อาคารที่สำรวจเป็นอาคาร โรงงานคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น มีโครงหลังคาเป็นโครงเหล็กคลุมอยู่โดยตลอดยกเว้นบริเวณ Grid Line 4 ถึง Grid Line 5 เป็นพื้นลาดฟ้าหล่อกับที่สำหรับวางตัวเครื่องระบบปรับอากาศ ซึ่งไม่มีหลังคาคลุม พื้นที่ที่ถูกเพลิงไหม้ แบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1      พื้นที่ระหว่าง Grid Line 4 ถึง Grid Line 5 ถูกไฟไหม้พอสมควร ขนาดประมาณ 8 x 40 ตร.ม. โดยพื้นที่ระหว่าง Grid Line 4-5 มีลักษณะดังนี้

- พื้นชั้นล่างมีลักษณะค่อนข้างปิดทึบมีประตูเข้าออกระหว่างห้องต่างๆซึ่งถูกไฟไหม้ทั้งหมด นอกจากนี้ครึ่งหนึ่งของบริเวณ Grid Line C-D เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องโหล่งออกมาด้านหน้าอาคารแต่มีประตูเหล็กม้วนเปิดไว้ ซึ่งใน  
โครงสร้างส่วนนี้จะถูกไอร้อนจากไฟข้าง

- พื้นชั้นสองถูกไฟไหม้เฉพาะช่องบันได
- พื้นชั้นคาตฟ้า ไฟไหม้ตัวเครื่องของระบบปรับอากาศเสียหายทั้งหมด

ส่วนที่ 2

พื้นที่ระหว่าง Grid Line 5 ถึง Grid Line 13 ถูกไฟไหม้ค่อนข้างมาก ขนาดพื้นที่  
ที่ประมาณ 64 x 40 ตร.ม. โดยพื้นที่ระหว่าง Grid Line 5 ถึง 13 ในแต่ละชั้นถูก  
ไฟไหม้ดังนี้

- พื้นชั้นล่าง ซึ่งเป็นส่วนของเครื่องจักร วัสดุดิบและผลิตภัณฑ์ หลังจาก  
ผลิตเสร็จ ถูกไฟไหม้ตลอดทั้งหมด
- พื้นชั้นสอง ซึ่งเป็นบริเวณที่กองเก็บวัสดุดิบเพื่อเตรียมป้อนเข้าเครื่องจักร  
ถูกไฟไหม้ตลอดทั้งชั้น
- โครงสร้างหลังคา ซึ่งเป็น โครงหลังคาเหล็ก ถูกไฟไหม้เสียหายพังลงมา  
ตลอดทั้งหมด

สำหรับบริเวณ Grid Line 1 ถึง Grid Line 4 ไม่ถูกเพลิงไหม้ ยกเว้นเสาและคานในแนว  
Grid Line 4 เฉพาะช่วง Grid Line B ถึง D ซึ่งถูกไฟไหม้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### 3.3. ตำแหน่งการตรวจสอบ

#### 3.3.1. กรณีที่ 1 การสำรวจทางกายภาพ

กระทำโดยการเดินสำรวจ การเคาะ การทุบ การสกัด การสังเกตด้วยตาของโครงสร้าง  
เสา คานและพื้น

#### 3.3.2. การตรวจสอบความแข็งแรงของคอนกรีตโดยวิธี Rebounded Test

### ชั้นล่าง

1. ทดสอบเสาช่วง Grid Line 4 ถึง 5 และเสา Grid Line 4 ถึง 5 และเสา Grid Line 2-C ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดสอบพื้น (Flat Plate) ช่วง Grid Line 4 ถึง 5

## ชั้นที่ 2

- ทดสอบเสาช่วง Grid Line 4 ถึง 5 และเสา Grid Line 3-A
- ทดสอบคานช่วง Grid Line 4 ถึง 5 และคาน Grid Line 3-C-D
- ทดสอบพื้นช่วง Grid Line 4 ถึง 5 และ Grid Line 3 ถึง 4 ซึ่งเป็นพื้นสำเร็จรูปชนิด Hollow Core หนา 10 ซม. และเทคอนกรีตทับหน้าหนา 5 ซม.
- ทดสอบพื้นในช่องบันได

## ชั้นดาดฟ้า

- ทดสอบเสาของช่องบันได
- ทดสอบพื้นช่วง Grid Line 4 ถึง 5

### 3.3.3. การตรวจสอบความแข็งแรงคอนกรีตโดยวิธี Coring

## ชั้นล่าง

- เก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตบริเวณ Grid Line 3-4, C-D ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4" จำนวน 2 จุด
- เก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตบริเวณ Grid Line 4-5, C-D ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" จำนวน 1 จุด
- เก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตบริเวณ Grid Line 4-5, E-F ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" จำนวน 1 จุด

## ชั้นที่ 2

- เก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตบริเวณช่องบันได ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4" จำนวน 2 จุด
- เก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตทับหน้า บริเวณช่องบันได ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4" จำนวน 2 จุด

### 3.3.4. การตรวจสอบความแข็งแรงของเหล็ก

- เหล็กเสาชั้นที่สองบริเวณ Grid Line 5-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. เหล็กของคานบริเวณชั้นคานฟ้า

### 3.4. ผลการสำรวจและทดสอบ

#### 3.4.1. ผลการสำรวจสภาพทางกายภาพ

##### พื้น

1. พื้นชั้นล่าง ผิวพื้นในช่วง Grid Line 4-13 เสียหายบ้างเล็กน้อย ไม่ถึงกับผิวกะเทาะหรือล่อนออก
2. ท้องพื้นชั้น 2 ในช่วง Grid Line 4-5 มีคราบเขม่าเกาะบริเวณท้องพื้นสำเร็จรูป Hollow Core แต่ไม่มีการหลุดล่อนของเนื้อคอนกรีต ในช่วง Grid Line 5-13 เนื้อคอนกรีตบริเวณท้องพื้นหลุดล่อนออกในบางแห่งหลุดออกจนถึงเหล็กมัดอัดแรง
3. พื้นชั้นสอง ผิวพื้นในช่วง Grid Line 4-5 ไม่ปรากฏความเสียหายให้เห็น ในช่วง Grid Line 5-13 มีรอยแตกร้าวบ้างบริเวณผิวพื้น แต่ยังไม่ถึงกับผิวกะเทาะหรือล่อน
4. บริเวณท้องพื้นชั้นคานฟ้า มีสภาพค่อนข้างสมบูรณ์ ไม่เห็นรอยแตกร้าว
5. พื้นบริเวณผิวพื้นชั้นคานฟ้าจะเห็นรอยแตกร้าวเป็นลายงาโดยทั่วไปแต่ยังไม่มีการกะเทาะให้เห็น

##### เสา

1. เสาชั้น 1 ในช่วง Grid Line 4 ซึ่งไม่ถูกไฟไหม้ยกเว้นเสาต้น Grid Line 4-B และ 4-C ถูกไฟไหม้บ้าง แต่โดยทั่วไปผิวปูนฉาบยังอยู่ในสภาพดีไม่หลุดล่อน เนื้อคอนกรีตของเสายังคงแข็งแรง ไม่ผุยุ่ย ไม่ร้อนและไม่แตกร้าว
2. เสาชั้น 1 ในช่วง Grid Line 5 ซึ่งเป็น Line ที่ติดกับส่วนที่ไฟไหม้ค่อนข้างมาก โดยทั่วไปผิวปูนฉาบจะล่อนออก แต่เนื้อคอนกรีตของเสายังคงแข็งแรงอยู่ มีคอนกรีตบริเวณมุมเสาหลุดล่อนไปบ้าง ไม่ผุยุ่ยและไม่มีการแตกร้าว
3. เสาชั้น 1 ในช่วง Grid Line 6-13 ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกไฟไหม้ค่อนข้างมาก โดยทั่วไปผิวปูนฉาบจะล่อนออกเกือบหมด เนื้อคอนกรีตผุยุ่ยไปบ้าง บางต้นคอนกรีตล่อนออกมากและมีรอยแตกร้าวส่วนบางต้นก็หักพังลงมา เนื่องจากการค้ำจุนของโครงหลังคาเหล็กที่พังลงมา
4. เสาชั้น 2 ในช่วง Grid Line 4 ซึ่งไม่ถูกไฟไหม้ โดยทั่วไปผิวปูนฉาบยังอยู่ในสภาพดี ไม่หลุดล่อน เนื้อคอนกรีตของเสายังคงแข็งแรง ไม่ผุยุ่ย ไม่ล่อนและไม่แตกร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เสาชั้น 2 ในช่วง Grid Line 5 ซึ่งเป็น Line ที่ติดกับส่วนที่ไฟไหม้ค่อนข้างมาก โดยทั่วไปผิวปูนฉาบจะล่อนออก แต่เนื้อคอนกรีตของเสาแข็งแรงอยู่ มีคอนกรีตบริเวณมุมเสาหลุดร่อนไปบ้าง แต่ไม่ลึกจนถึงเหล็ก ไม่ผุยุ่ยและไม่มียรอยแตกร้าว
6. เสาชั้น 2 ในช่วง Grid Line 5-13 เนื้อคอนกรีตจะผุยุ่ยไปบ้าง บางต้นคอนกรีตจะล่อนออกจนถึงเหล็กเสริมและมียรอยแตกร้าว ส่วนบางต้นก็หักพังลงมา เนื่องจากการค้ำจุนของโครงหลังคาเหล็กที่พังลงมา

## คาน

1. คานชั้น 2 ในช่วง Grid Line 4 ซึ่งไม่ถูกไฟไหม้ ยกเว้นช่วง Grid Line B ถึง D ถูกไฟไหม้บ้าง แต่โดยทั่วไปเนื้อคอนกรีตของคานยังคงแข็งแรง ไม่ร่อนและไม่แตกร้าว ซึ่งคานบริเวณที่เป็นช่องทางเดินผิวคอนกรีตบางส่วนผุยุ่ยไปบ้าง
2. คานชั้น 2 ในช่วง Grid Line 4-5 จะถูกไฟไหม้บริเวณช่องบันไดและช่องทางเดินบริเวณ Grid Line C-D คานบางส่วนผิวปูนฉาบจะล่อนออก (โดยส่วนใหญ่ไม่ได้ฉาบปูน) ส่วนเนื้อคอนกรีตบางส่วนจะหลุดล่อนออกแต่ยังไม่ถึงเหล็กและยังมีความแข็งแรงอยู่ ไม่มีรอยแตกร้าวให้เห็น ไม่ผุยุ่ย
3. คานชั้น 2 ในช่วง Grid Line 5-13 ซึ่งถูกไฟไหม้ค่อนข้างมาก โดยทั่วไปผิวปูนฉาบจะหลุดล่อนออกจนเกือบหมด เนื้อคอนกรีตผุยุ่ยไปบ้าง เนื้อคอนกรีตบางส่วนกะเทาะและล่อนออกมาจนเห็นเหล็ก
4. คานชั้นคานฝ้าจะมีอยู่เฉพาะช่วง Grid Line 4-5 สภาพโดยทั่วไปไม่ถูกไฟไหม้โดยตรง เนื้อคอนกรีตยังคงแข็งแรง ไม่ผุยุ่ย ไม่ล่อนและไม่แตกร้าว ยกเว้นคานบริเวณช่องบันไดและตามแนว Grid Line 5 จะมีผิวปูนฉาบล่อนออก เนื้อคอนกรีตหลุดล่อนไปบ้าง แต่ผิวคอนกรีตไม่ผุยุ่ยไม่มีรอยร้าวให้เห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2. ผลการทดสอบค่าของคอนกรีตจากวิธี Rebounded Test

เสถ

ตารางที่ ผ.ก.13. แสดงผลการทดสอบกำลังคอนกรีตของเสาจากวิธี Rebounded Test

ตำแหน่ง (Grid Line)	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ksc)			หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
2-C	205			Disperion Range = +(44-56) ksc
4-A	315			
4-B	255			
4-D	252			
4-E	293			
4-F	255			
5-A	230			
5-B	205			
5-C	242			
4-B		278		
4-C		242		
4-D		248		
4-E		290		
4-F		235		
5-B		240		
5-C		228		
5-D		270		
4-F			252	
4-5,B-C			288	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กาน**

ตารางที่ ผ.ก.14. แสดงผลการทดสอบกำลังคอนกรีตของกานจากวิธี Rebounded Test

ตำแหน่ง (Grid Line)	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ksc)			หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
1-2,C		240		Disperion Range = +(44-56) ksc
1-2,C-D		220		
3-4,B		292		
3-4,C-D		235		
3-4,C		232		
4,B-C		330		
4,C-D		150		
4-5,B-C		260		
4-5,C		356		
5,A-B		255		
5,C-D		210		
5,D-E		220		
5-6,D		236		
5-6,D-C		190		
4,E-F		360		
4-5,A-B		250		
4-5,B-C		192		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.15. แสดงผลการทดสอบกำลังคอนกรีตของพื้นจากวิธี Rebounded Test

ตำแหน่ง (Grid Line)	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต			หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นลาดฟ้า	
3-4,C-D	472			Disperion  Range =  +(44-56) ksc
4-5,D-E	480			
2-3,A-B		356		
3-4,A-B		330		
3-4,B-C		222		
3-4,C-D		280		
3-4,D-E		350		
3-4,E-F		314		
4-5,A-B		198		
4-5,B-C		210		
4-5,C-D		324		
4-5,D-E		350		
4-5,E-F		278		
4-5,A-B			325	
4-5,A-B			260	
4-5,C-D			229	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3. ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต จากตัวอย่าง Coring Concrete

ตารางที่ ผ.ก.16. แสดงผลการทดสอบกำลังของคอนกรีตจากตัวอย่าง Coring Concrete

ตัวอย่างที่	ตำแหน่ง Grid Line	Strength Correction Factor	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต			หมายเหตุ
			ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้นดาดฟ้า	
1	3-4,C-D	0.96	255.12	-	-	
2	3-4,C-D	0.91	205.26	-	-	
3	4-5,C-D	0.94	315.48	-	-	
4	4-5,E-F	0.87	324.54	-	-	
5	4-5,C-D	0.87	-	277.43	-	
6	4-5,C-D	0.87	-	262.71	-	
7	4-5,C-D	0.87	-	125.35	-	Topping
8	4-5,C-D	0.87	-	117.28	-	Topping

### 3.4.4. ผลการทดสอบเหล็ก

ตารางที่ ผ.ก.17. แสดงผลการทดสอบกำลังของเหล็ก

ตัวอย่างที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง กลาง (mm.)	ค่ากำลังดึงของเหล็ก		% การยืดตัว	หมายเหตุ
		Yield (Ksc)	Ultimate(ksc)		
1	DB 25	3,323	4,959	30.77	เสาชั้น 2
2	DB 25	3,846	6,055	26.15	เสาชั้น 2
3	DB 12	3,740	5,440	36.67	คานชั้นดาดฟ้า
4	DB 12	3,747	5,404	35.00	คานชั้นดาดฟ้า
5	DB 12	3,760	5,435	30.00	คานชั้นดาดฟ้า
6	DB 12	3,742	5,431	31.67	คานชั้นดาดฟ้า
7	DB 12	3,729	5,405	33.33	คานชั้นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก.17.แสดงผลการทดสอบกำลังของเหล็ก (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	ค่ากำลังดึงของเหล็ก		% การยึดตัว	หมายเหตุ
		Yield (ksc)	Ultimate(ksc)		
8	DB 12	3,773	5,443	33.33	คานชั้นล่าง

### 3.5. สรุปผล

จากสภาพทางกายภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันและผลการทดลอง Rebounded Test และ Concrete Compression Test จากการเจาะคอนกรีตไปจากพื้นและผลการทดสอบ Tensile Test ของเหล็กที่เก็บตัวอย่างจากเสาและคานไปทดสอบ สามารถสรุปผลได้ตามพื้นที่ดังนี้

#### 3.5.1. พื้นที่ช่วง Grid Line 1 ถึง 4

##### เสา

สภาพทางกายภาพซึ่งส่วนใหญ่ไม่ถูกเพลิงไหม้โดยตรง ไม่มีสภาพยุบหรือผุกร่อน ยังคงสภาพผิวที่แข็งแรงเหมือนคอนกรีตในสภาพปกติ ผลจากการทดลอง Rebounded Test (หัวข้อ 3.4.2.) หลายๆต้นพบว่า ค่ากำลังคอนกรีตสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบกำหนด (200 ksc) จากข้อมูลข้างต้นนี้จึงประเมินว่าเพลิงไหม้ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างเสาทั้งชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และชั้นคานฟ้า

##### คาน

สภาพทางกายภาพซึ่งไม่มีสภาพยุบหรือผุกร่อน ยังคงสภาพผิวที่แข็งแรงเหมือนคอนกรีตในสภาพปกติ ผลจากการทดลอง Rebounded Test (หัวข้อ 3.4.2.) หลายๆคานพบว่า ค่ากำลังของคอนกรีตสูงกว่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบกำหนด (200 ksc) (ยกเว้นคาน Grid Line 4,C-D ซึ่งถูกไฟไหม้พอสมควร กำลังของคอนกรีตจะตกลงมาต่ำกว่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบกำหนด) จากข้อมูลข้างต้นนี้จึงประเมินว่าเพลิงไหม้ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างคานชั้นที่ 2 และชั้นคานฟ้า ยกเว้นคาน Grid Line 4, C-D ที่กำลังของคอนกรีตต่ำกว่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบกำหนดประมาณ 25 % จากข้อมูลข้างต้นนี้จึง

ประเมินว่าเพลิงไหม้มีผลกระทบต่อโครงสร้างคาน Grid Line 4, C-D พอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## พื้น

สภาพทางกายภาพของพื้นซึ่งส่วนใหญ่ไม่ถูกไฟไหม้โดยตรง ไม่มีสภาพยุ่ยหรือผุกร่อน ยังคงสภาพผิวที่แข็งแรงเหมือนคอนกรีตในสภาพปกติ ผลจากการทดลอง Rebounded Test (หัวข้อ 3.4.2.) และ Concrete Compression Test (หัวข้อ 3.4.3.) ในพื้นหลายๆช่วงพบว่า ค่ากำลังของคอนกรีตสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบกำหนด จากข้อมูลข้างต้นนี้ จึงประเมินว่าเพลิงไหม้ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นที่ชั้นที่ 1 และชั้นดาดฟ้า

### 3.5.2. พื้นที่ช่วง Grid Line 4 ถึง 5

#### เสา คานและพื้น

สภาพทางกายภาพของพื้น ซึ่งส่วนใหญ่ไม่ถูกไฟไหม้โดยตรง ไม่มีสภาพยุ่ยหรือผุกร่อน ยังคงสภาพผิวที่แข็งแรงเหมือนคอนกรีตในสภาพปกติและจากการทดลอง Rebounded Test (หัวข้อ 3.4.2) และ Concrete Compression Test (Coring) (หัวข้อ 3.4.3) ในพื้นหลายๆช่วงพบว่า ค่ากำลังของคอนกรีตสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบกำหนด จากข้อมูลข้างต้นนี้ จึงประเมินว่าเพลิงไหม้ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นที่ชั้นที่ 1 และชั้นดาดฟ้า

### 3.5.3. พื้นที่ช่วง Grid Line 4 ถึง 5

#### เสา คานและพื้น

สภาพทางกายภาพของเสา คานและพื้น ส่วนใหญ่จะถูกไฟไหม้มีเขม่าจับบนโครงสร้าง บริเวณที่โครงสร้างถูกไฟไหม้มากผิวปูนฉาบจะหลุดล่อนออก แต่เนื้อคอนกรีตยังคงแข็งแรงอยู่ ผลการทดลอง Rebounded Test และ Compression Test หลายชิ้นส่วนของโครงสร้าง พบว่าค่ากำลังของคอนกรีตส่วนใหญ่สูงเกินกว่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบกำหนด ยกเว้นพื้นบริเวณ 4-5, A-B และพื้นบริเวณ 4-5, B-C ซึ่งค่ากำลังของคอนกรีตต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบกำหนดประมาณ 5 % จากข้อมูลข้างต้นนี้จึงประเมินว่า เพลิงไหม้มีผลต่อ โครงสร้างพื้นเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.4. พื้นที่ช่วง Grid Line 5 ถึง 13

#### โครงสร้างเสาและคาน

สภาพทางกายภาพของเสาช่วง Grid Line 6 และคานช่วง Grid Line 5-13 ส่วนใหญ่จะถูกเพลิงไหม้หนักพอสมควร ผิวปูนฉาบส่วนใหญ่จะหลุดล่อนออก เนื้อคอนกรีตยุบไปจนกระทั่งเห็นเหล็ก ผลจากการทดลอง Rebounded Test ในหลายชั้นส่วนของโครงสร้างพบว่า ส่วนใหญ่ค่ากำลังของคอนกรีตต่ำกว่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบกำหนด จากข้อมูลข้างต้นนี้จึงประเมินว่า เพลิงไหม้มีผลกระทบต่อกำลังของโครงสร้างอย่างมาก

#### พื้น

สภาพทางกายภาพของพื้นชั้นล่าง ซึ่งส่วนใหญ่ถูกไฟไหม้โดยตรงแต่คาดว่าความร้อนไม่ย้อนลงมามากนัก สภาพของพื้นไม่มีสภาพยุบหรือยุบร่อน ผิวคอนกรีตยังแข็งแรงพอสมควร (อาจเพราะมี Wearing หนา 1 ซม.) ผลจากการ Rebounded Test และ Compression Test ในช่วง Grid Line 4-5 พอจะอนุมานได้ว่า ค่ากำลังของคอนกรีตสูงกว่าค่ามาตรฐานเหมือนกันสภาพทางกายภาพของพื้นที่ชั้นที่ 2 ซึ่งส่วนใหญ่ถูกไฟไหม้โดยตรง สภาพท้องพื้นคอนกรีตจะหลุดล่อนออกจนเห็นลวดอัดแรง จากข้อมูลข้างต้นนี้จึงประเมินว่า เพลิงไหม้มีผลต่อกำลังโครงสร้างอย่างมาก จากผลการทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริมของคานและเสาที่ถูกเพลิงไหม้บริเวณ Grid Line 5-C พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่ผู้ออกแบบ จากข้อมูลนี้จึงประเมินว่าเหล็กเสริมในโครงสร้างส่วนอื่นๆ ไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจากความเสียหายของเพลิงไหม้

### 3.6. ข้อสรุปและเสนอแนะ

ผู้สำรวจมีความเห็นว่า ควรจะพิจารณาความแข็งแรงของ โครงสร้างเป็นพื้นที่ดังนี้

#### 3.6.1. พื้นที่ช่วง Grid Line 1 ถึง 4

#### เสา

ซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญ ไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คาน**

ไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่ม ยกเว้นคานช่วง Grid Line 4, C-D ควรต้องเสริมความมั่นคงตามหลักทางวิศวกรรมก่อน เช่น การเสริมคานเหล็ก แต่ทั้งนี้ต้องมีการออกแบบรายละเอียดให้เป็นไปตามหลักการทางวิศวกรรมที่ถูกต้อง

**พื้น**

ไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่ม

**3.6.2. พื้นที่ช่วง Grid Line 4 ถึง 5**

**เสา**

ไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่มแต่ควรจะฉาบผิวใหม่

**คาน**

ไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่ม แต่ควรจะฉาบผิวใหม่

**พื้น**

ไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่ม แต่ส่วนที่มีรอยแตกกลางจาควรจะเสริมกำลังเพิ่มขึ้นบ้าง เช่น การทำ Epoxy Grouting ภายใต้แรงดันสูง

**3.6.3. พื้นที่ช่วง Grid Line 5 ถึง 13**

**เสา**

ตั้งแต่ Grid Line 6-13 ควรทุบทิ้งหมด

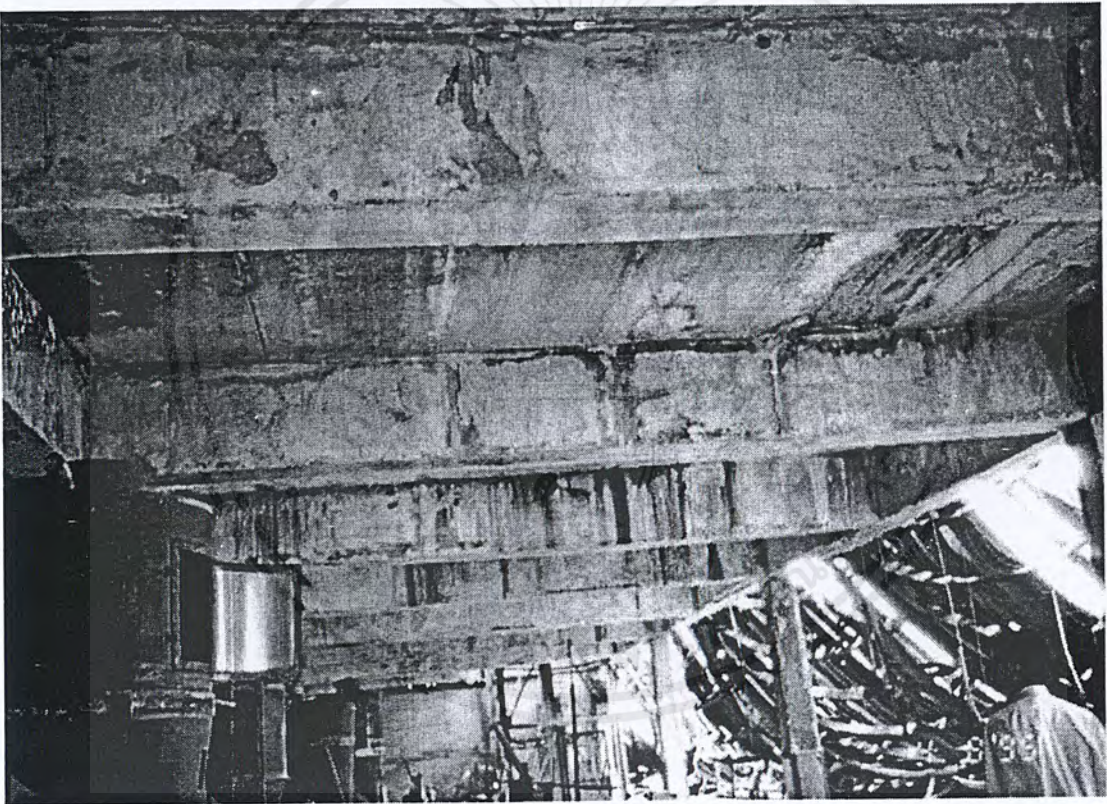
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คาน

ตั้งแต่ Grid Line 5-13 คवरทุบทิ้งทั้งหมด

## พื้น

พื้นชั้นล่าง ไม่ต้องการเสริมความมั่นคงเพิ่ม แต่ส่วนที่มีรอยแตกกลางคานจะเสริมกำลังเพิ่มขึ้นบ้าง เช่น การทำ Epoxy Grouting ภายใต้อันคานสูงและคานเสริม Wearing เพิ่ม ถ้าผิวพื้นต้องรับการเสียดสี พื้นชั้นที่ 2 คवरทุบทิ้งทั้งหมด

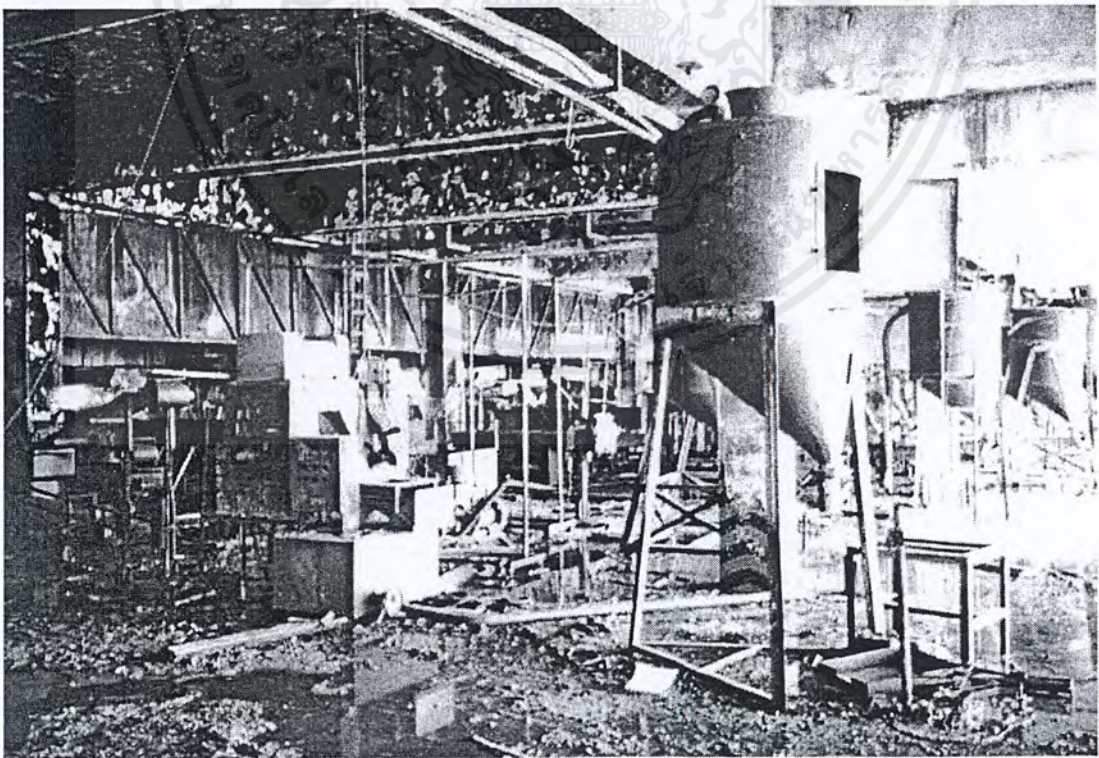


รูปที่ ผ.ก.23. เครื่องจักรภายในโรงงานที่ได้รับความเสียหายเนื่องจากเพลิงไหม้

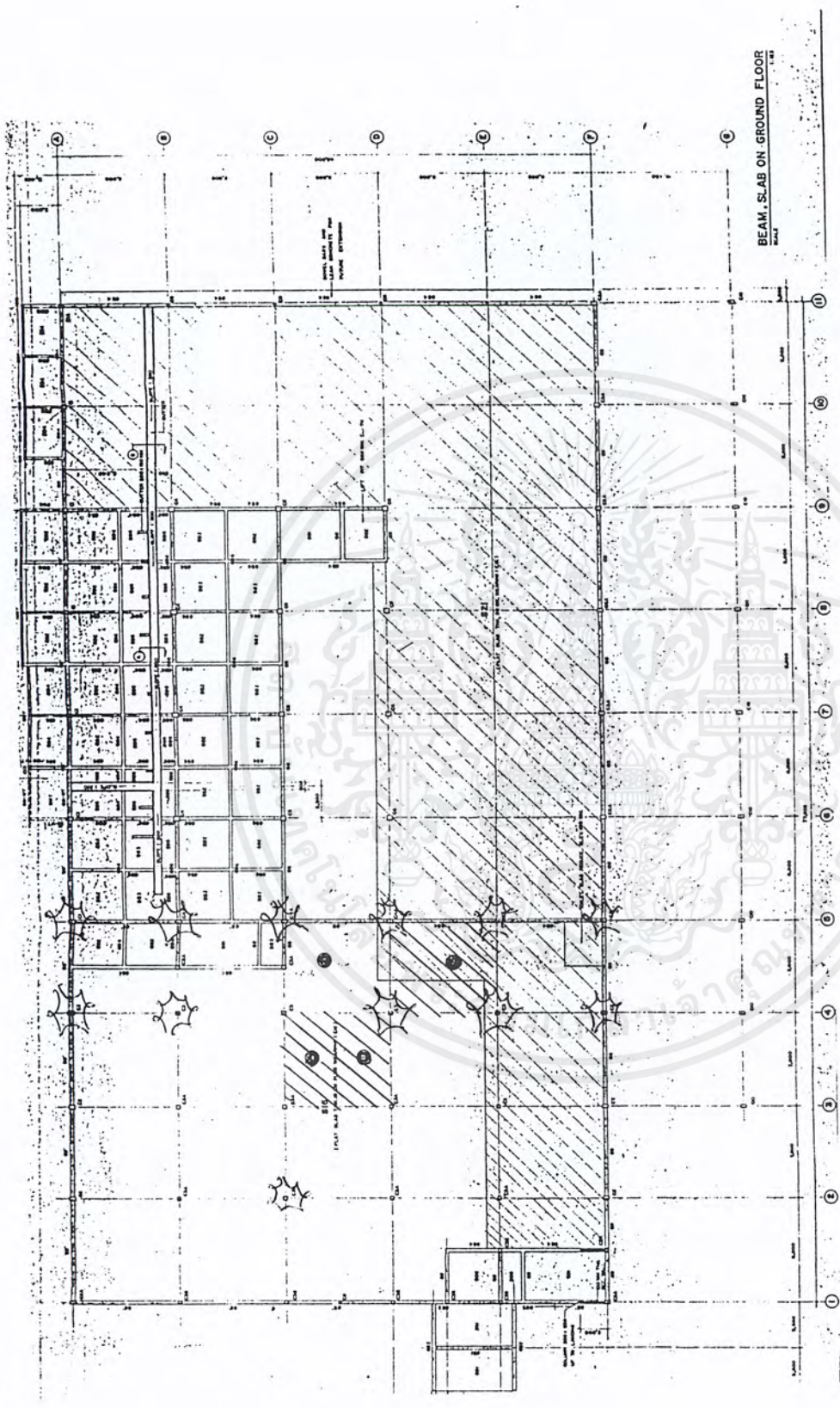
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






รูปที่ ผ.ก.24. แสดงการเก็บตัวอย่างเหล็กเสริมคานคอนกรีตที่ถูกเพลิงไหม้ไปทดสอบหาแรงดึง



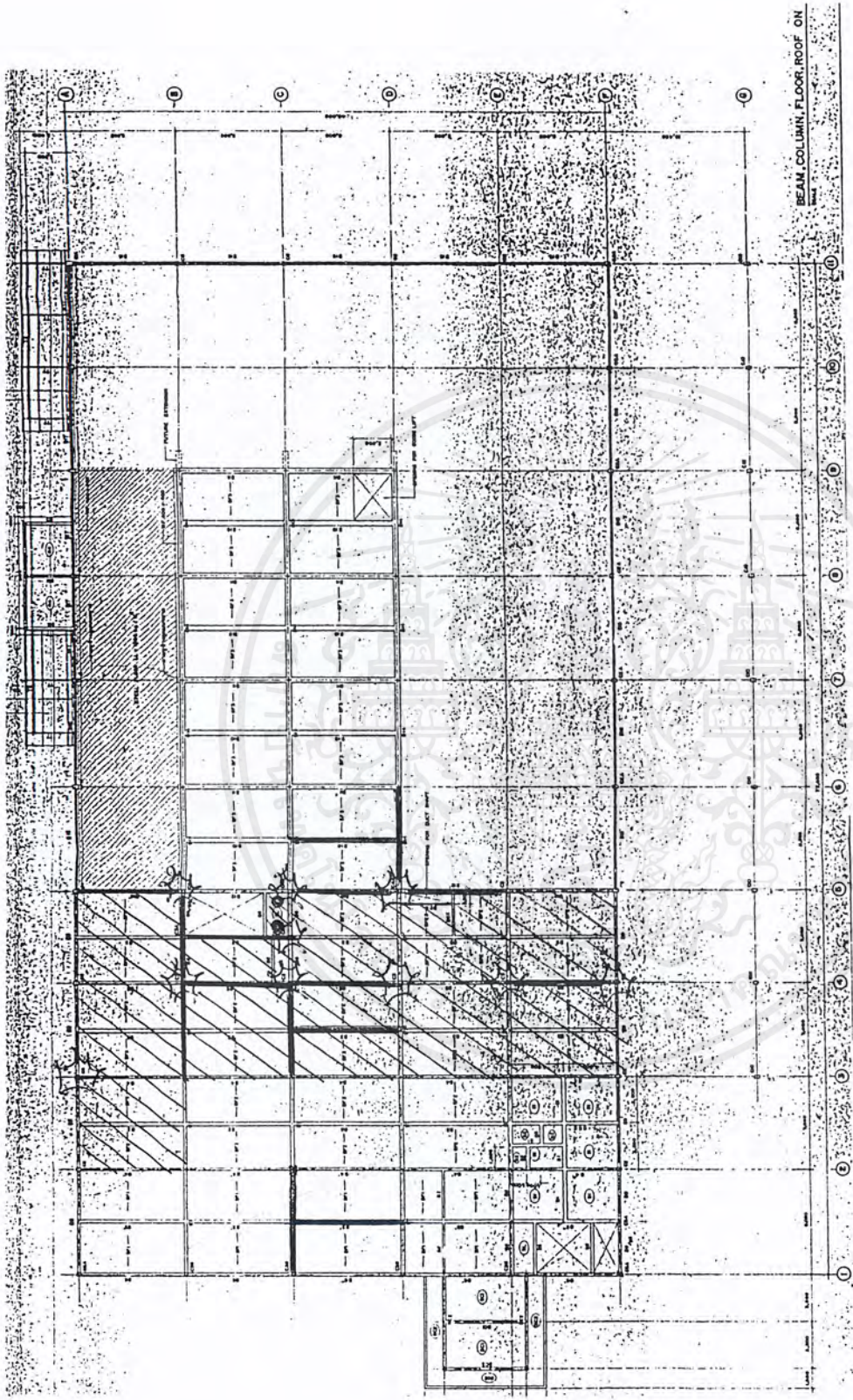
รูปที่ ผ.ก.25. แสดงบริเวณที่ตั้งเครื่องจักรภายในโรงงานที่ถูกเพลิงไหม้เสียหายใช้การไม่ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







-  เสาต้นที่ทดสอบ Rebounded Test
-  พื้นที่ทดสอบ Rebounded Test
-  พื้นที่ Coring

รูปที่ ผ.ก.26. แสดงแปลนพื้น คานชั้นล่าง กับบริเวณที่ทดสอบ Rebounded Test และ Coring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

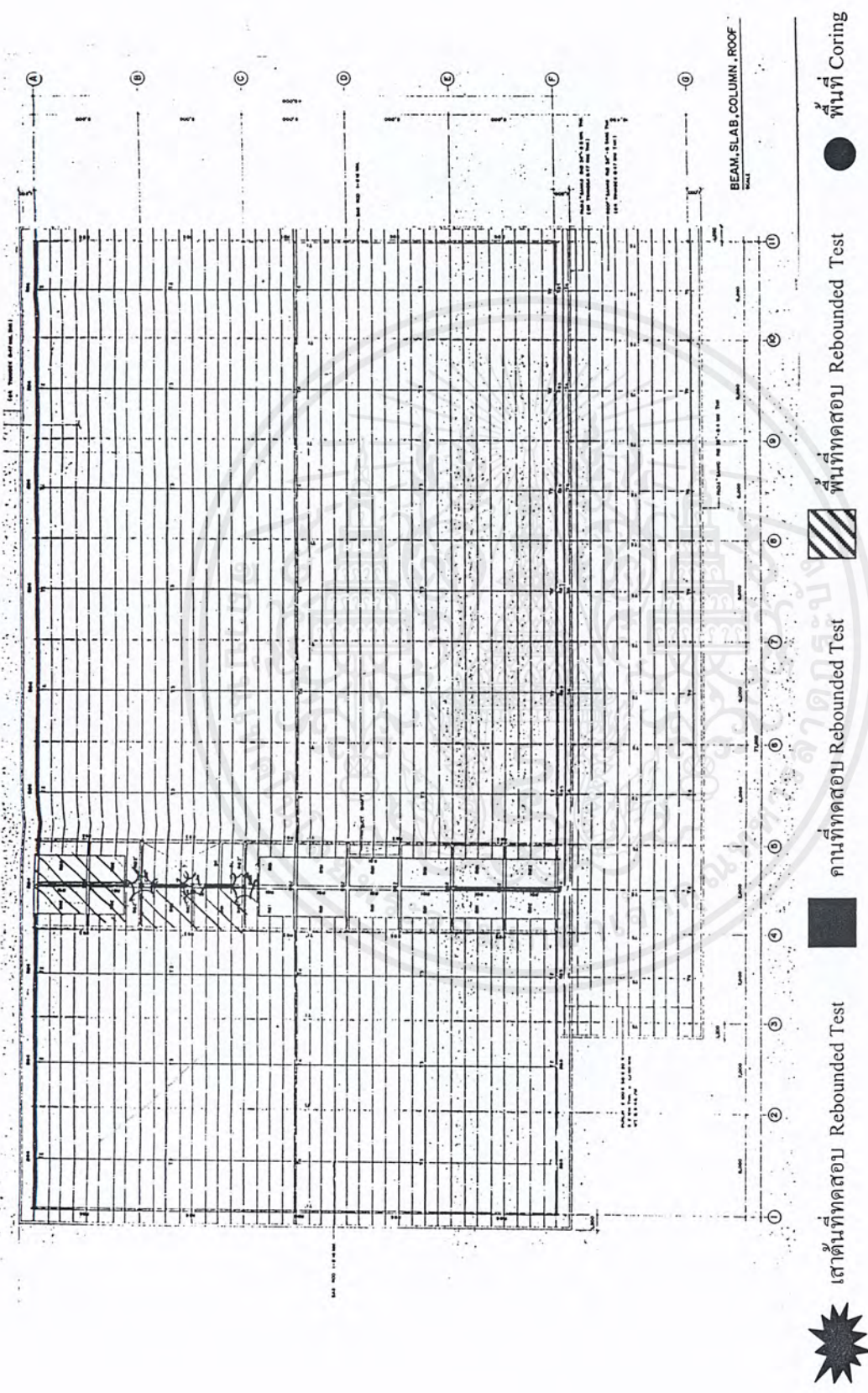


- 
  
เสาต้นที่ทดสอบ Rebounded Test
- 
  
คานที่ทดสอบ Rebounded Test
- 
  
พื้นที่ทดสอบ Rebounded Test
- 
  
พื้นที่ Coring

รูปที่ ผ.ก.27.แสดงแปลนพื้น คาน เสา และหลังคาชั้น 2 กับบริเวณที่ทดสอบ Rebounded Test และ Coring



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.28 แสดงแปลนพื้น คาน เสา และหลังคาชั้นดาดฟ้า กับบริเวณที่ทดสอบ Rebounded Test และ Coring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

กรณีศึกษาอาคารที่พื้นเป็นระบบคอนกรีตอัดแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 1. กรณีศึกษาอาคารห้างสรรพสินค้าคาเชย์ สาขาหลักสี่พลาซ่า

## 1.1. บทนำ

อาคารที่สำรวจเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 4 ชั้น มีคาน้ำฟ้าซึ่งเป็นที่ยอดรถคลุม อยู่พื้นที่ที่ถูกเพลิงไหม้อยู่ในช่วง Grid Line 20 ถึง Grid Line 24 ขนาดประมาณ 36 x 54 ตารางเมตร ตั้งแต่ชั้นล่าง (Ground Floor), ชั้นที่ 2, ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 ตรงกลางของพื้นที่ที่ถูกเพลิงไหม้เป็นช่องโถงตั้งแต่ชั้นล่างจนถึงชั้น 4 ขนาดประมาณ 10 x 18 ตารางเมตร ซึ่งเป็นช่องที่มีบันไดเลื่อน 1 คู่ แต่มีคาน้ำฟ้าเป็นหลังคาคลุมช่องโถงปิดทึบ

ด้านข้างต่อเนื่องกับพื้นที่ที่ถูกเพลิงไหม้ทั้ง 4 ด้าน ในชั้นล่างมีลักษณะที่ค่อนข้างทึบไม่โล่งโปร่ง ส่วนชั้นที่ 2, 3 และชั้นที่ 4 ผนัง 3 ด้านเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนทึบ มีประตูเปิดออกไปด้านที่ยอดรถแต่ก็มีผนังประตูกระจก และประตูม้วนเหล็กกั้นไว้ ส่วนด้านที่ต่อเนื่องกับส่วนของพลาซ่าใน Line ที่ 20 ก็เป็นลักษณะคล้ายคลึงกันกับด้านที่ยอดรถ คือมีประตูเหล็กม้วนปิดทึบ จากการสำรวจพบว่า พื้นที่ที่ถูกเพลิงไหม้ค่อนข้างมากจะเป็นพื้นที่ตรงใกล้ช่องโถงตรงกลาง ค่อนมาทางด้าน Grid Line ที่ 23 และ 24

## 1.2. วิธีการสำรวจ

### 1.2.1. สำรวจสภาพทางกายภาพของโครงสร้างอาคารที่ถูกเพลิงไหม้

กระทำโดยการเดินสำรวจ การเคาะ การทุบ การสกัด การสังเกตด้วยตา โครงสร้างเสาและพื้น

### 1.2.2. ตรวจสอบกำลังของคอนกรีตด้วย Hammer โดยวิธี Rebounded Test

กระทำที่ห้องพื้นที่ชั้นที่ 2, 3, 4 และห้องพื้นคาน้ำฟ้า จำนวน 7, 6, 6 และ 8 ตัวอย่างตามลำดับรวมทั้งเสาที่ถูกเพลิงไหม้ที่ชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยทดสอบเสาด้านที่อยู่โถงกลางด้วย

### 1.2.3. เก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตโดยวิธี Coring

เก็บตัวอย่างเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ  $\varnothing$  4" โดยเจาะเก็บคอนกรีตที่พื้นชั้น 2, 3, 4 และคานฟ้าชั้นละ 3 ตัวอย่าง นำกลับมายังโรงปฏิบัติการ เพื่อจัดแต่งตัวอย่าง แล้วนำทดสอบหาค่า Ultimate Compressive Strength เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความมั่นคงของอาคาร

### 1.2.4. เก็บตัวอย่างเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้

ทำการเก็บตัวอย่างเหล็กที่ไผ่ล่อออกมาที่พื้นเพื่อนำมาทดสอบหาค่าแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

## 1.3. ผลการสำรวจและทดสอบ

### 1.3.1. สภาพทางกายภาพของโครงสร้างอาคารที่ถูกเพลิงไหม้

โครงสร้างอาคารที่ถูกเพลิงไหม้ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดพื้นไร้คานหนา 25 เซนติเมตร เสริมลวดเหล็กชนิดแรงดึงสูงในแนวเสา และเสริมเหล็กข้ออ้อยเป็นตะแกรงทั้งผิวบนและผิวล่าง จากการเจาะสำรวจพบที่มีการแตกคอนกรีตหรือปูนทรายป่นระดับที่พื้นผิวบนอีก 4-6 เซนติเมตร สภาพทางกายภาพของโครงสร้างมีลักษณะดังนี้

#### ชั้นล่าง

ผิวพื้นเสียหาย แต่ไม่ถึงกับทำให้ผิวปูนกะเทาะหรือล่อน เสา โดยทั่วไปเนื้อคอนกรีตของเสาแข็งแรง ไม่ผุยุ่ย ไม่ล่อนหรือแตกร้าว ท้องพื้นชั้น 2 มีลักษณะที่ยังเป็นผิวมันตามแบบของท้องพื้นไร้คาน มีพื้นที่ที่เป็นลักษณะผิวขรุขระคล้ายผิวหน้าของคอนกรีตร่อนออกอยู่ 1 จุด มีพื้นที่ประมาณ 1 ตารางเมตร

#### ชั้น 2, 3 และ 4

ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปคล้ายคลึงกัน คือ ผิวพื้นของแต่ละชั้นไม่มีลักษณะล่อนแตกร้าวของคอนกรีต เสา คสล. ผิวยังไม่เปลี่ยนสภาพและแข็งแรง แม้จะดูมีคราบควันสีดำเกาะติดอยู่เล็กน้อย แต่ยังไม่ถึงขั้นเป็นอันตรายถึงขั้นต้องรีบดำเนินการเชิงรุกเพื่อการศึกษาหาหนทางแก้ไขที่เหมาะสมและปลอดภัยแก่ตัวอาคารและผู้อยู่อาศัยในอาคาร โดยจะดำเนินการตามขั้นตอนการประเมินความเสียหายของอาคารตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องต่อไป

ห้องพื้นที่ส่วนใหญ่ยังมีลักษณะเรียบผิวมัน มีที่เป็นคอนกรีตขรุขระเนื่องจากการหลุดล่อนไม่มากนัก ที่มีมากที่สุดคือ ห้องพื้นคาดฟ้า บริเวณ Grid Line 23, G-F ที่ผิวปูนหลุดล่อนจนเห็นลวดเหล็กสตีลทนแรงดึงสูง ระหว่างชั้นเหล่านี้จะพบว่าที่รองรับของบันไดเลื่อนซึ่งเป็นเหล็กรูปพรรณขนาดใหญ่หลุดออก ทำให้บันไดเลื่อนหลุด

### 1.3.2. ผลการทดสอบ Concrete Compression Test โครงสร้างพื้น

ตารางที่ ผ.ข.1. แสดงผลการทดสอบ Concrete Compression Test โครงสร้างพื้น

Floor	Strength of Sample No. (ksc)			Remarks
	1	2	2	
2	207.71	262.2	207.9	
3	260.1	387.2	296.3	
4	314.6	298.1	259.4	
R.C. Roof	280.7	200.8	257.5	

### 1.3.3. ผลการทดสอบ Tensile Test และ Elongation

ตารางที่ ผ.ข.2 แสดงผลการทดสอบเหล็ก

Sample No.	Diameter (m.m.)	Tensile Strength		Elongation (%)
		Yield	Ultimate	
1	DB12	4,772	7,268	26.67
2	DB12	4,694	7,344	23.33
3	DB12	4,779	7,498	25.00
4	DB12	4,814	7,491	20.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3.3. ผลการทดสอบ Rebounded Test โครงสร้างพื้น

ตารางที่ ผ.ข.3. แสดงผลผลการทดสอบ Rebounded Test โครงสร้างพื้น

Floor Position	Concrete Compression Test (ksc)				Remarks
	2	3	4	R.C. Roof	
1	470				Dispersion Range $\pm 50 - 65$ ksc
2	170				
3	350				
4	530				
5	490				
6	550				
1		430			
2		440			
3		460			
4		380			
5		460			
6		520			
1			480		
2			600		
3			560		
4			460		
5			500		
6			440		
1				520	
2				510	
3				560	
4				559	
5				605	
6				480	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ข.3. แสดงผลผลการทดสอบ Rebounded Test โครงสร้างพื้น (ต่อ)

Floor Position	Concrete Compression Test (ksc)				Remarks
	2	3	4	R.C. Roof	
7				500	Dispersion Range ± 50 – 65 ksc
8				510	

#### 1.4. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดลอง Rebounded Test, Concrete Compression Test จากการเจาะคอนกรีตพื้นไปทดสอบ และผลการทดสอบ Tensile Test ของเหล็กที่เก็บไปจากพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ พอจะสรุปได้ดังนี้

##### 1.4.1. โครงสร้างเสา

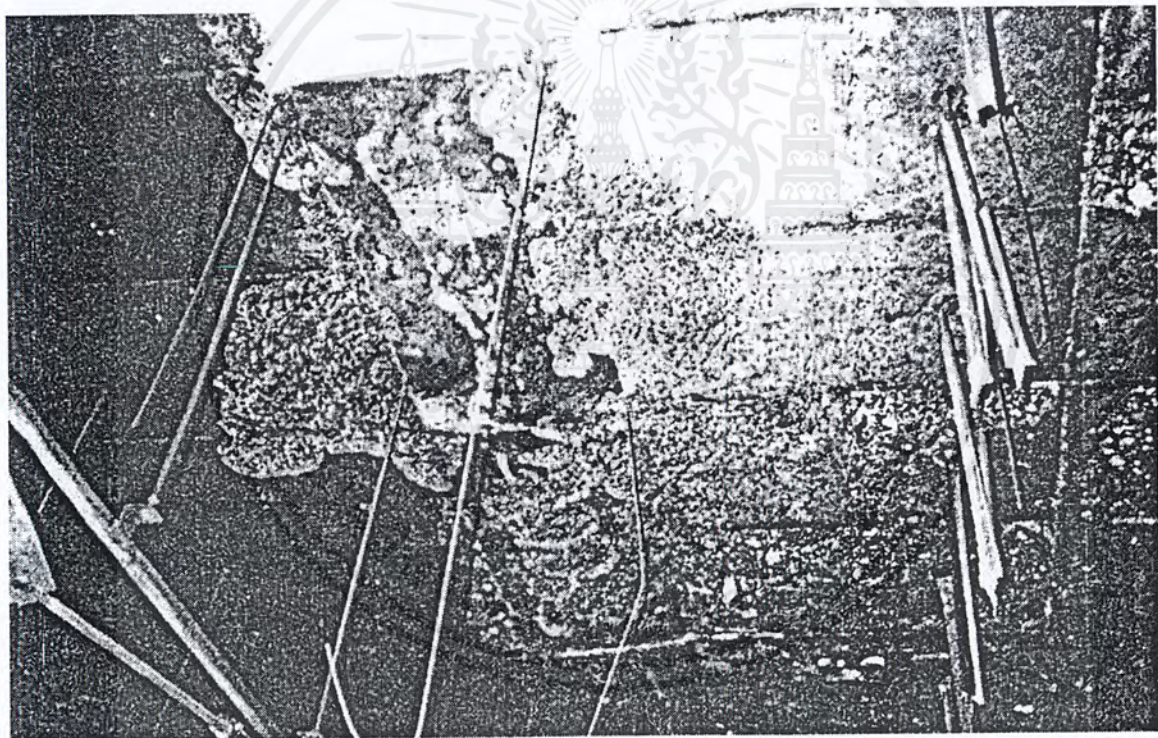
จากการทดสอบ Rebounded Test เสาชั้นที่ 1 มีกำลังอยู่ในช่วง 260 – 600 ksc ( $\pm 50 - 65$  ksc) ซึ่งมากกว่าค่าที่ออกแบบ (200 ksc) เสาชั้นที่ 2 มีกำลังอยู่ในช่วง 280 – 485 ksc ( $\pm 50 - 65$  ksc) ซึ่งมากกว่าค่าที่ออกแบบ (200 ksc) เสาชั้นที่ 3 มีกำลังอยู่ในช่วง 320 – 550 ksc ( $\pm 50 - 65$  ksc) ซึ่งมากกว่าค่าที่ออกแบบ (200 ksc) เสาชั้นที่ 4 มีกำลังอยู่ในช่วง 290 – 460 ksc ( $\pm 50 - 65$  ksc) ซึ่งมากกว่าค่าที่ออกแบบ (200 ksc) จากข้อมูลนี้จึงประเมินได้ว่า เพลิงไหม้มีผลกระทบต่อโครงสร้างเสาแต่ละชั้นเพียงเล็กน้อย

##### 1.4.2. โครงสร้างพื้น

พื้นที่ที่ถูกเพลิงไหม้มากอยู่ 3 พื้นที่ ขนาดประมาณ 1-3 ตารางเมตร หนึ่งในสามของพื้นที่นั้นคอนกรีตหลุดออกจนเห็นเหล็กเสริม ผลจากการทดสอบ Compression Test ตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะไปจากพื้นและผลการทดสอบ Rebounded Test พบว่า กำลังของคอนกรีตพื้นทุกชั้นอยู่ในเกณฑ์ปานกลางและสูงตามลำดับ ( $\geq 200$  ksc) ผลการทดสอบ Tensile Test ของเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้ก็สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จึงประเมินว่า พื้นได้รับผลกระทบจากเพลิงไหม้บ้าง พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มั่นคงแข็งแรง แต่ก็มี ความแข็งแรงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเกิดเพลิงไหม้ ค่า Factor Safety จะลดลงจาก 2.5

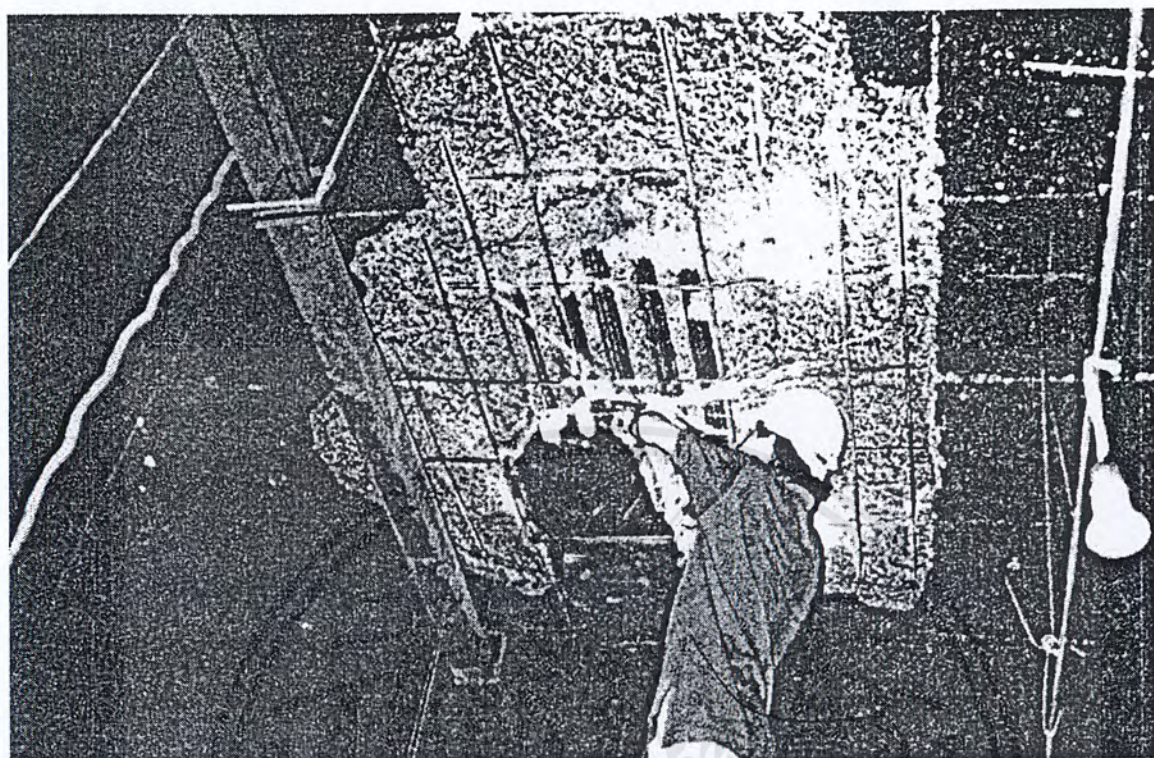
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลือประมาณ 2.0 โดยทั่วไปยังไม่ต่ำกว่า 2.0 แต่มีบางพื้นที่ที่ถูกเพลิงไหม้ที่จะต้องระมัดระวัง แต่เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่จำกัดจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพพื้นที่โดยทั่วไป



รูปที่ ผ.ข.1. แสดงท้องผิพื้นที่หลุคร่อนเนื่องจากเพลิงไหม้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.2. แสดงการตัดเก็บตัวอย่างเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้ เพื่อนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

กรณีศึกษาอาคารที่พื้นเป็นระบบคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 1. กรณีศึกษาอาคารบริษัท โรงงานสยามบอลส์สปอร์ต จำกัด

## 1.1. บทนำ

อาคารบริษัท โรงงานสยามบอลส์สปอร์ต จำกัด เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรากออกแบบให้วางบนเสาเข็มยาวคอนกรีตอัดแรง เสา, กานและบันไดเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนคานและพื้นบางส่วนเป็นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปชนิด PRE-TENSIONED ลักษณะอาคารประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อาคารด้านหน้าสูง 4 ชั้น ซึ่งบางส่วนของพื้นมีการติดตั้งเครื่องจักรและพื้นบางส่วนใช้ในการเก็บวัสดุ มีเนื้อที่ใช้สอยรวมประมาณ 6,400 ตร.ม. อาคารบริเวณด้านหลังที่ติดกันเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 2 ชั้น ใช้พื้นที่ในการเก็บวัสดุ มีเนื้อที่ใช้สอยรวมประมาณ 800 ตร.ม. อาคารดังกล่าวได้ถูกเพลิงไหม้เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง โดยต้นเพลิงเกิดบริเวณชั้น 2 ของอาคาร 4 ชั้น แล้วเพลิงได้ลามไปยังชั้น 3 และชั้น 4 แล้วต่อเนื่องไปยังอาคารชั้น 2 ของอาคาร 2 ชั้น ซึ่งอยู่ด้านหลัง ทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างอาคารดังกล่าว

## 1.2. อุปกรณ์การตรวจสอบ

1. กล้องระดับและไม้สตาฟ
2. เครื่องมือ Coring
3. เครื่องมือทดสอบ Rebounded Test (Hammer)
4. เครื่อง Universal Testing Machine
5. เครื่อง Extension Strain Gage

## 1.3. วิธีการสำรวจและตรวจสอบ

ในการประเมินผลความเสียหายของโครงสร้างอาคารดังกล่าว ซึ่งถูกเพลิงไหม้ได้รับความเสียหายได้ดำเนินการตรวจสอบใน 2 กรณี ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1.3.1. การตรวจสอบทางด้านกายภาพ

โดยการตรวจสอบด้วยวิธีสังเกตจากสภาพทั่วไปและพฤติกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับ

โครงสร้างอาคาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3.2. การตรวจสอบด้านวิศวกรรม

โดยทำการตรวจสอบสภาพจริงภายหลังจากการเกิดเพลิงไหม้ และตรวจสอบโดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบดังนี้

#### การตรวจสอบในสภาพจริง

##### 1. การตรวจสอบการโก่งตัวของโครงสร้างคานและพื้น

โดยการใช้กล้องระดับอ่านค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างจากไม้สตาฟ เช่น ในการหาค่าการแอ่นตัวที่กลางคานและพื้น เราจะตั้งสมมติฐานว่าห้องคานและพื้นอยู่ในสภาพตรง มีระดับเท่ากันตลอดช่วงของความยาว และเสาของอาคารไม่มีการทรุดตัวเนื่องจากการเกิดเพลิงไหม้ จากนั้นหาค่าระดับที่ปลายทั้ง 2 ข้าง แล้วนำมาคำนวณหาค่าโดยเฉลี่ยที่ตรงกลาง ต่อจากนั้นจึงใช้กล้องระดับอ่านค่าจากไม้สตาฟเพื่อหาค่าการแอ่นตัวที่ตรงกลาง แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ในตอนแรกว่าต่างกันเกินกว่าค่ามาตรฐานทางวิศวกรรมที่กำหนดไว้หรือไม่

##### 2. การตรวจสอบความแข็งแรงของคอนกรีต

ทำการตรวจสอบความแข็งแรงของเสาและคานโดยการหาค่ากำลังประลัยของคอนกรีตโดยใช้เครื่องมือ Rebounded Test (Hammer)

#### การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างจากสภาพจริงแล้วนำมาทดสอบ และวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องมือ Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งมีรายละเอียดของตัวอย่างที่จัดเก็บดังนี้

##### 1. คอนกรีต

เนื่องจากพื้นและคานส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตอัดแรง จึงเป็นการยากที่จะทำการจัดเก็บตัวอย่างในส่วนนี้ ดังนั้นจึงเก็บตัวอย่างในส่วนของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ประเมินผลว่า ยังพอมีความเอกลักษณะเป็นเอกลักษณะที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก แต่อยู่ในบริเวณที่ถูกเพลิงไหม้ คือ บริเวณชานพักบันไดชั้น 1-2 Line A-B, 13-14 โดยทำการ Coring พื้นมาทำการทดสอบหาค่าลึงประลัยจำนวน 2 ตัวอย่าง

## 2. เหล็กโครงสร้าง

ทำการเก็บตัวอย่างเหล็กของพื้นคอนกรีตอัดแรงและเหล็กตะแกรง Topping ด้านบนของพื้น มาทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงจำนวนอย่างละ 3 ตัวอย่าง

## 3. เหล็กโครงหลังคา

โครงหลังคาทั้งหมดของโรงงานเป็นโครงเหล็ก Truss แปะเหล็กตัวซี จึงทำการสุ่มจัดเก็บตัวอย่างเหล็กหลังคาที่ถูกเพลิงไหม้พังลงมาจำนวน 3 ตัวอย่าง มาทดสอบความสามารถในการรับแรงดึง

### 1.3. ผลการสำรวจและทดสอบ

ผลการสำรวจและทดสอบได้รายละเอียดดังนี้

#### 1.3.1. ผลการตรวจสอบทางด้านกายภาพ

สภาพทางกายภาพของโครงสร้างอาคาร โรงงานสยามบอลส์สปอร์ต ที่ถูกเพลิงไหม้ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

อาคารโรงงาน 1 อยู่ด้านหน้า เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 20.00x80.00 เมตร สูง 4 ชั้น มีเสา บันไดเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก , พื้นทั้งหมดของทุกชั้นที่ถูกเพลิงไหม้เป็นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรงชนิดท้องเรียบ และมีคานส่วนใหญ่เป็นคานสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรง โครงหลังคาเป็นโครงเหล็ก , แปะเหล็ก หลังคามุงด้วยกระเบื้องลอนคู่ รวมเนื้อที่ใช้สอยรวมประมาณ 6,400 ตร.ม. พื้นที่บางส่วนมีการติดตั้งเครื่องจักรในการทำลูกบอล และพื้นที่บางส่วนใช้ในการเก็บวัสดุ

อาคาร โรงงาน 2 อยู่ด้านหลัง เป็นอาคารคอนกรีตเหล็ก ขนาด 5.00 x 80.00 เมตร สูง 2 ชั้น มีเสาเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นเป็นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรงชนิดท้องเรียบและมีคานส่วนเอกสารเป็นเอกสารทงวนไวสำหรับการเล่นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปเซประเษชนดานการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่เป็นคานสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรง โครงหลังคาเป็นโครงเหล็ก แปเหล็กหลังคามุงด้วยกระเบื้องลอนคู่ มีเนื้อที่ใช้สอยรวมประมาณ 800 ตร.ม. ใช้ในการเก็บวัสดุ

ผลการสำรวจปรากฏความเสียหายของโครงสร้าง ดังนี้

### อาคารโรงงาน 1

พื้นชั้น 1 ปรากฏว่าส่วนภายในและภายนอกโรงงานได้รับความเสียหายไม่มากโดยสังเกตจากเขม่าควันปรากฏว่ามีเพียงเล็กน้อย เฟอร์นิเจอร์, เครื่องจักรและสายไฟฟ้าไม่ได้รับความเสียหายเนื่องจากไฟไหม้ ยกเว้นบริเวณบันได Line A-B, 13-14 ซึ่งปรากฏเขม่าควันลงมาจากชั้น 2 และผนังด้านข้างเกิดการแตกร้าว

พื้นชั้น 2 ปรากฏว่าในส่วนภายในของโรงงานซึ่งเป็นชั้นต้นเพลิงไหม้ ได้รับความเสียหายเป็นบางส่วนเนื่องจากเวลาเกิดไฟไหม้ ความร้อนจะลอยตัวขึ้นสูงแล้วทำให้โครงสร้างพื้นและคานชั้นบนเกิดความเสียหายมากกว่าชั้นล่าง ดังนั้นจึงปรากฏว่าพื้นชั้น 3 และเครื่องจักรบางส่วนได้พังทลายลงมากระทบพื้นชั้นที่ 2 ปรากฏว่ามีการแตกร้าวและเกิดการโก่งตัวของแผ่นพื้นใน Line A-E, 4-12 และเกิดการพังทลายลงมา 1 ช่วงใน Line C-E, 7-8 และบริเวณบันได Line A-B, 6-7 เกิดการวิบัติ ส่วนพื้นตั้งแต่ Line A-E, 1-4 บันไดและพื้นตั้งแต่ Line A-E, 12-17 มีความเสียหายไม่มากนัก โดยสังเกตจาก เขม่าควันไฟ, เครื่องจักร, สายไฟฟ้า, วัสดุที่เก็บและวงกบช่องแสงซึ่งไม่ไหม้ไฟ ส่วนบริเวณด้านนอกอาคาร Line 1 มีกั้นสาดยื่น 2.00 เมตร พังลงมาตลอดแนว เนื่องจากกั้นสาดชั้น 3 พังลงมากระทบ โดยพบว่าเหล็กโครงสร้างในคอนกรีตกั้นสาดซึ่งออกแบบเป็นคานยื่นรูคอกจากเสาเพราะแรงยึดเกาะรอบผิวเหล็กกับคอนกรีตไม่พอ นอกจากนี้ยังดึงเสา Line 1 ให้เอียงศูนย์จากแนวเดิม ส่วนแนวกั้นสาด Line E ได้รับความเสียหายเพียงเล็กน้อย

พื้นชั้น 3 ปรากฏว่าโครงสร้างคานและพื้นภายในตั้งแต่ Line A-E, 1-14 เกิดความเสียหายถึงขั้นพังทลายลงมากระทบพื้นชั้นที่ 2, บันได Line A-B, 6-7 ได้รับความเสียหายมาก ส่วนบันไดคานและพื้นตั้งแต่ Line A-B, 14-17 ไม่พบความเสียหายของโครงสร้างอย่างชัดเจนนัก แต่จะมีเขม่าควันไฟค่อนข้างมาก เครื่องจักรและวัสดุที่เก็บในบริเวณนี้ร่องรอยของการถูกไฟไหม้ให้เห็นอย่างชัดเจน แนวกั้นสาดด้านนอกโดยรอบมีรอยเขม่าควันค่อนข้างมาก แต่ไม่พบความเสียหายของโครงสร้างชัดเจนนัก ส่วนกั้นสาดด้านนอก Line 1 เกิดการพังทลายลงตลอดแนวเนื่องจากแรงยึดเกาะระหว่างผิวเหล็กกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตไม่พอ และยังทำให้เสา Line 1, 2 และ 3 เกิดการเอียงศูนย์จากแนวเดิม และกันสาด Line A, 1-6 เกิดการวิบัติแต่ไม่ถึงกับพังทลายลงมา

พื้นชั้น 4 ปรากฏว่าลักษณะความเสียหายของโครงสร้างคาน พื้นและบันไดภายในอาคารได้รับความเสียหายเหมือนชั้นที่ 3 ส่วนกันสาดด้านนอกมีเขม่าควันค่อนข้างมาก แต่ไม่สามารถสังเกตความเสียหายของโครงสร้างอย่างชัดเจน ด้านบนซึ่งเป็นหลังคาโครง Truss แปะเหล็ก มุงด้วยกระเบื้องลอนคู่เกิดการเสียหายถึงขั้นวิบัติ จนไม่สามารถนำมาใช้งานได้อีก

## อาคารโรงงาน 2

พื้นชั้น 1 ปรากฏส่วนโครงสร้างอาคารภายในและรอบนอกโรงงาน ไม่ได้รับความเสียหาย โดยสังเกตจากเขม่าควันไฟ วัสดุที่เก็บและสายไฟฟ้าในบริเวณดังกล่าวไม่ปรากฏความเสียหายใดๆ ขึ้น

พื้นชั้น 2 ปรากฏส่วนภายในของโครงสร้างพื้นและคานไม่มีความเสียหาย แต่ส่วนที่เป็นผนังโครงหลังคาเหล็กและกระเบื้องลอนคู่ที่มุงหลังคาได้รับความเสียหายถึงขั้นวิบัติ จนไม่สามารถนำมาใช้งานได้อีก

### 1.4. ผลการตรวจสอบด้านวิศวกรรม

#### 1.4.1. ผลการตรวจสอบในสภาพจริง

#### การตรวจสอบการโก่งตัวของโครงสร้างคานและพื้น

โดยการใช้กล้องระดับตรวจการโก่งตัวของโครงสร้างคานและพื้น เพื่อตรวจสอบว่าการโก่งตัวเกินมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ ได้ผลดังต่อไปนี้

ค่าการโก่งตัวของ คานชั้น 2 ส่วนที่มีระยะโก่งตัวมากกว่าระยะที่ยอมให้ ( $L/360 = 0.013 \text{ m.}$ ) ได้แก่ คาน Grid Line D-E, 6 C-D, 7 ส่วนที่เหลืออยู่ในระยะโก่งที่ยอมให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

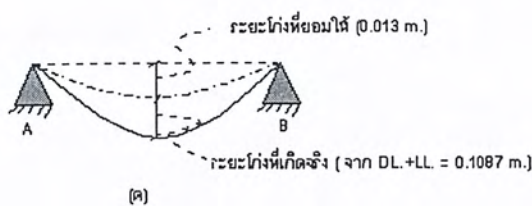
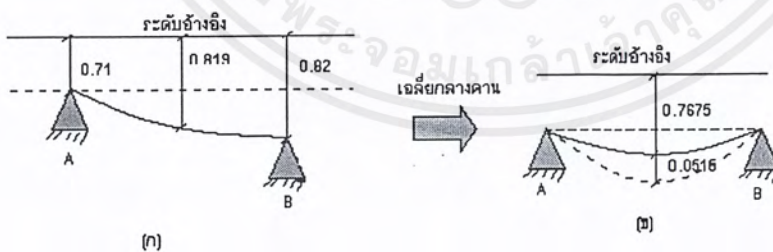
ค่าการโก่งตัวของ คานชั้น 3 ส่วนที่มีระยะโก่งตัวมากกว่าระยะที่ยอมให้  
( $L/360 = 0.013$  m.) ได้แก่ คานใน Grid Line C-D, 13 A-B, 14 ส่วนที่เหลืออยู่ในระยะโก่งที่ยอมให้

ค่าการโก่งตัวของ พื้นชั้น 2 ส่วนที่มีระยะโก่งตัวมากกว่าระยะที่ยอมให้  
( $L/360 = 0.013$  m.) ได้แก่พื้นใน Grid Line C-D, 6-7 C-D, 7-8 B-E, 8-9 B-C, 9-10 ส่วนที่เหลืออยู่ในระยะโก่งที่ยอมให้

ค่าการโก่งตัวของ พื้นชั้น 3 ส่วนที่มีระยะโก่งตัวมากกว่าระยะที่ยอมให้  
( $L/360 = 0.013$  m.) ได้แก่ คาน Grid Line A-B, 15-16 ส่วนที่เหลืออยู่ในระยะโก่งที่ยอมให้

ตารางที่ ผ.ค.1. แสดงผลการโก่งตัวของโครงสร้างคาน และแสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ค้ำนท้าย

ตำแหน่ง Grid Line	ระดับที่องคาน			ค่าเฉลี่ย กลางคาน	ค่าการโก่ง ตัว(m.) (D.L.)	ค่าการ โก่งตัว (m.)	หมายเหตุ $L/360=0.013$ 3 M. D.L.=1,800 $kg/m^2$ L.L. =2000 $kg/m^2$
	ขอบด้าน A	ขอบด้าน A	ขอบด้าน A				
A-B, 6	0.748	0.743	0.744	0.7455	0	0	
D-E, 6	0.715	0.82	0.819	0.7675	0.0515	0.1087	
D-E, 7	0.809	0.81	0.810	0.8095	0.0005	0.0011	



รูปที่ ผ.ค.1. แสดงการคำนวณการโก่งตัวของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลำดับการคำนวณ

1. การโค้งตัวที่ยอมให้  $L/360 = 0.013$  m. (มาตรฐาน วสท. 4500, 2534)
2. ตัวอย่างคาน Grid Line D-E, 6 วัดค่าระยะการโค้งตัวที่ขอบ 2 ด้าน ได้ค่าเฉลี่ย  $= (0.715+0.82)/2 = 0.7675$  m.
3. วัดค่าการ โคงที่กึ่งกลาง  $= 0.819$  m.
4. ได้ค่าการ โคงตัวเทียบกับที่รองรับ  $= 0.819 - 0.7675 = 0.0515$  m.

ซึ่งมากกว่าค่าที่ยอมให้ (0.013 m.) แสดงว่าไม่ผ่านข้อกำหนด

5. กรณีที่ผ่านเช่น Grid Line D-E, 7 ได้ค่าการ โคงตัว  $= 0.0005$  m.
6. หากการ โคงตัวเนื่องจาก D.L.+L.L.

$$\text{จาก } \Delta = 5wL^4/384EI$$

$$\text{ซึ่ง } w = (1800+2000)/10000 = 0.38 \text{ kg/m}^2$$

$$L = 4.7 \text{ m.}$$

$$EI \text{ ในตัวอย่างใช้} = 219,493,226,800 \text{ ksc.}$$

$$\text{แทนค่า } \Delta = (5 \times 0.38 \times 4.7^4) / (384 \times 219,493,226,800) = 0.0011 \text{ m.}$$

ซึ่งค่า  $0.0011 < 0.013$  ดังนั้นคาน D-E, 7 ผ่านข้อกำหนด

## การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM โดยการนำคอนกรีตที่ Coring บริเวณฐานพักบันไดชั้น 1-2 Line A-B, 13-14 มาทดสอบหาลำลังอัดประลัยโดยเครื่อง Universal Testing Machine ได้ผลดังตารางที่ ผ.ค.2.

ตารางที่ ผ.ค.2. แสดงผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

No.	Code	Compressive Strength (After Correction)
1	St, Line A-B, 13-14	234.00
2	St, Line A-B, 13-14	265.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.3. แสดงกำลังดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก Topping

No.	Type/Grade Steel	Ultimate Tensile Strength (ksc)	% Elongation
1	RB-4	3,478	15.00
2	RB-4	3,977	15.00
3	RB-4	6,236	20.00

ตารางที่ ผ.ค.4. แสดงกำลังดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก Prestress

No.	Type/Grade Steel	Tensile Strength (ksc)		Elongation	
		Yield	Ultimate	cm.	%
1	RB-5	4582	11836	0.30	10.00
2	RB-5	4234	17320	0.40	13.33
3	RB-5	4465	12008	0.40	13.33

ตารางที่ ผ.ค.5. แสดงกำลังดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็กหลังคา

ตัวอย่าง	แรงดึง (ksc)		การยืดตัว	
	Yield	Ultimate	(mm.)	%
1	2450	4995	20.8	34.7

#### การทดสอบความแข็งแรงของเหล็ก

โดยการเก็บตัวอย่างเหล็กโครงสร้างและเหล็กโครงหลังคาเหล็กมาหาค่ากำลังดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็ก โดยเครื่อง Universal Testing Machine ได้ผลดังตารางที่ ผ.ค.3. , ผ.ค.4. และ ผ.ค.5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5. วิเคราะห์ผลการสำรวจและทดสอบ

จากผลของการสำรวจทางด้านกายภาพ และการทดสอบทางด้านวิศวกรรมสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

### 1.5.1. การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ

เนื่องจากอาคารดังกล่าวใช้ระบบพื้นและคาน เป็นคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จรูป มาประกอบเป็นโครงสร้าง จะมีเฉพะเสา บันได และคานบางตัวเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา ดังนั้นเมื่อเกิดเพลิงไหม้ ส่วนที่เป็นคอนกรีตอัดแรงจึงได้รับความเสียหายมากกว่าคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา เพราะเหล็กภายในซึ่งถูกความร้อนจะทำให้เกิดการขยายตัว เกิดเป็นแรงคั้นอัดคอนกรีตที่รับแรงอัดอยู่แล้วให้เกิดการแตกร้าวง่ายขึ้น และความสามารถในการรับกำลังของเหล็กก็จะมีประสิทธิภาพน้อยลง นอกจากนี้ขณะที่โครงสร้างได้รับความร้อนแล้ว มากระทบกับความเย็นจากน้ำดับเพลิงทำให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้แรงยึดเกาะระหว่างผิวเหล็กกับคอนกรีต (Bond Stress) เกิดการสูญเสียกำลังในการยึดเกาะลง จากสาเหตุดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างดังนี้

#### พื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป

ซึ่งเป็นพื้นชนิดท้องเรียบตั้งแต่ชั้น 2-4 มีคอนกรีตเททับด้านบนหนา 5 ซม. เพื่อใช้รับแรงอัด และมีเหล็กตะแกรงกันการแตกร้าว ขนาด  $\varnothing 4 \text{ mm. @ } 0.20 \text{ m.}$  เกิดการพังทลายลงมาเป็นจำนวนมากเนื่องจากเหล็กที่ใช้อัดแรงขาด (รูปที่ ผ.ค1.12.) โดยที่บางส่วนเกิดการพังทลายลงมา เป็นเหตุให้ น้ำหนักพื้นคอนกรีตและเครื่องจักรบางส่วนตกลงมากระแทกพื้นชั้นที่อยู่ได้ลงมาในลักษณะของแรงกระแทก (Impact Loads) ทำให้เกิดการพังทลายตามกันลงมา นอกจากนี้บริเวณพื้นกันสาดด้านนอก Line 1 และ Line A ของชั้น 2 และชั้น 3 ได้รับความเสียหายถึงขั้นวิบัติและบางส่วนพังทลายลงมา

#### คานคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป

ปรากฏว่าการสำรวจทางกายภาพสังเกตได้ยากเนื่องจากไม่วิบัติถึงขั้นพังทลายลงมา จึงต้องใช้การสำรวจทางด้านวิศวกรรมประกอบการวิเคราะห์ แต่ก็มีบางส่วนซึ่งถูกเพลิงไหม้อย่างรุนแรง และถูกแรงกระแทกจากพื้นและเครื่องจักรที่พังทลายลงมาจากชั้นบนในลักษณะของแรงกระแทกทำให้ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุกของคานลดลง นอกจากนี้บริเวณตรงหัวคานบางตัวเกิดการแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้าวเนื่องจากตรงหัวคานหล่อยึดติดแน่นกับเสา โดยดูจากแบบที่ขออนุญาตก่อสร้าง ปรากฏว่าเชื่อมเหล็กหัวคานติดกับคานตัวอื่นด้วย เหล็ก  $\varnothing$  25 mm. เมื่อคานถูกแรงกระแทก จึงทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน (Shear Stress) เป็นแนวเอียงประมาณ 45 องศา

### เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ปรากฏว่าบริเวณที่ผูกเปลืองใหม่อย่างรุนแรง คอนกรีตที่หุ้มเสาเกิดการแตกร้าว (รูปที่ ผ.ค.13.) เนื่องจากขณะเกิดเปลืองใหม่เหล็กเกิดการขยายตัวเกิดแรงดันคอนกรีตที่หุ้มอยู่ แดกออกมา หรืออาจจะเกิดจากขณะคอนกรีตได้รับความร้อนแล้วถูกน้ำที่ใช้น้ำฉีดดับเปลืองทำให้เกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วเป็นผลให้เกิดการแตกร้าว ดังนั้นความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาจึงลดลง

### คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ปรากฏว่าส่วนที่อยู่ภายในโรงงาน การสำรวจทางกายภาพสังเกต ได้ยากเนื่องจากไม่วิบัติถึงชั้นพังทลายลงมา แต่มีส่วนที่อยู่นอกโรงงานซึ่งออกแบบเป็นคานยื่นรับกันสาดยาวประมาณ 2.00 เมตร ตามแนว Line 1 ของชั้น 3 พังทลายลงมาระแทกกับกันสาดชั้น 2 ให้พังตามลงมา โดยลักษณะการพังทลายอาจจะเกิดจากขณะเกิดเปลืองใหม่ ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังยึดเกาะระหว่างเหล็กกับคอนกรีต จึงเป็นเหตุให้เกิดการพังทลายลงมา ส่วนกันสาด Line A ของชั้น 3 และ 2 เกิดการวิบัติแต่ไม่ถึงชั้นพังทลาย และจากการวิบัติและพังทลายของกันสาด เป็นเหตุให้เกิดการดึงเสาแนวที่ยึดติดกับกันสาดเกิดการเยื้องศูนย์เกิดขึ้น

### โครงหลังคา

ปรากฏว่าโครงหลังคาซึ่งเป็นโครงเหล็กมุงด้วยกระเบื้องลอนคู่ทั้งหมด เกิดการวิบัติและพังทลายลงมา

จากการประเมินการสำรวจทางกายภาพ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า อาคารโรงงานที่ 1 ส่วนพื้น ของอาคารชั้น 2 ตั้งแต่ Line 4-12 และพื้นที่ทั้งหมดของชั้น 3 และ ชั้น 4 โครงสร้างอาคารได้รับความเสียหายค่อนข้างรุนแรงจนเกิดการวิบัติ และพื้นบางส่วนพังทลายลงมาจนไม่สมควรที่จะใช้งานต่อไป ส่วนพื้นที่อื่น ๆ ที่เหลือควรทำการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมต่อไป อาคารโรงงานที่ 2 พื้นที่ไม่ถูกไฟไหม้เสียหายรุนแรงมากนัก จึงควรทำการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5.2. การวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม

จากการวิเคราะห์ทางกายภาพข้างต้น ทำให้เหลือส่วนของโครงสร้างอาคารบางส่วนที่ถูกไฟไหม้แต่ไม่เสียหายมากนัก ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมต่อไป คือส่วนของเสาชั้นที่ 1 ทั้งหมด , ส่วนของคานและพื้นชั้นที่ 2 ทั้งหมดและส่วนของเสาชั้นที่ 2 , เสา พื้นและคานชั้นที่ 3 ตั้งแต่ Line 13-17 โดยปรากฏผลว่า

#### เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตารางที่ ผ.ค.6. แสดงค่ากำลังและสภาพของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตำแหน่ง Grid Line	กำลังอัดประลัยของ คอนกรีต (ksc)	Dispersion Range (ksc)	หมายเหตุ
เสาชั้น 1 A-E , 1 A-E , 1-16	Fail 310-532	$\pm (60.5-68.3)$	เยื้องศูนย์
เสาชั้น 1 A-E , 1-3 A-E , 4-11 A-E , 12-17	Fail Fail 242-418	$\pm (57.3-65.3)$	เยื้องศูนย์ กำลังต่ำกว่า 240 ksc
เสาชั้น 3	Fail		กำลังต่ำกว่า 240 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คานคอนกรีตอัดแรง

ตารางที่ ผ.ค.7. แสดงค่ากำลังและสภาพของคานคอนกรีตอัดแรง

ตำแหน่ง Grid Line	กำลังอัดประลัยของ คอนกรีต (ksc)	Dispersion Range (ksc)	หมายเหตุ
คานชั้น 2 A-E, 2-14	417-567	$\pm (65.3-68.3)$	

## พื้นชนพักบันได

ค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ย 240 ksc สูงกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ (240 ksc)

## เหล็กโครงสร้าง

เหล็กตะแกรง, ลวดเหล็กอัดแรงและเหล็ก โครงหลังคา มีค่ากำลังดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด

### 1.6. สรุป

เนื่องจากการสำรวจทางด้านวิศวกรรมเป็นการสุ่มตัวอย่างและจากการที่พื้นและคานส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตอัดแรง จึงเป็นการยากที่จะประมาณค่าความสูญเสียประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุก แต่ผู้ออกแบบสามารถใช้รายงานนี้เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น ในการออกแบบโครงสร้างเพื่อคงสภาพบางส่วนไว้ โดยต้องเสริมความแข็งแรงของ โครงสร้างเสาและคานก่อนที่จะใช้งานและหลังจากการก่อสร้างเสร็จแล้วควรทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุก (Load Test) ของพื้นและคานก่อนที่จะใช้งานต่อไป โดยขณะที่ทำการก่อสร้างควรมีวิศวกรควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด สำหรับรายละเอียดในการประเมินผลของ โครงสร้างในเบื้องต้นมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อาคารโรงงาน 1

1. เสาเข็มและฐานราก ไม่ได้รับผลกระทบจากไฟไหม้ สามารถใช้งานได้
2. โครงสร้างชั้น 1

เสา Line A-E, 1	ไม่สามารถใช้งานได้
เสา Line A-E, 2-12	สามารถคงไว้ได้ โดยควรเสริมความแข็งแรง
เสา Line A-E, 13-17	สามารถใช้งานได้
คาน Line A-E, 1-17	สามารถใช้งานได้
พื้น Line A-E, 1-17	สามารถใช้งานได้

3. โครงสร้างชั้น 2

เสา Line A-E, 1-17	ไม่สามารถใช้งานได้
คาน Line A-E, 2-17	สามารถคงไว้ได้ โดยควรทำ Load Test (ยกเว้นคาน Line C-E, 6 และ Line C-E, 7 ไม่สามารถใช้งานได้)
พื้น Line A-E, 2-4	สามารถคงไว้ได้ โดยควรทำ Load Test
พื้น Line A-E, 12-17	สามารถคงไว้ได้ โดยควรทำ Load Test (ยกเว้นพื้น Line A-E, 1-2 และ Line A-E, 4-12 ไม่สามารถใช้งานได้)
กันสาด Line A-E, 2-17	สามารถคงไว้ได้
บันไดชั้น 1-2	สามารถใช้งานได้

4. โครงสร้างชั้น 3 ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากกำลังอัดประลัยของคานและเสาดำกว่า 240 ksc
5. โครงสร้างชั้น 4 ไม่สามารถใช้งานได้
6. โครงสร้างหลังคา ไม่สามารถใช้งานได้

## อาคารโรงงาน 2

1. เสาเข็มและฐานราก ไม่ได้รับผลกระทบจากไฟไหม้ สามารถใช้งานได้
2. โครงสร้างชั้น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสา Line A', 1-17	สามารถใช้งานได้
คาน Line A-A', 1-17	สามารถใช้งานได้
พื้น Line A-A', 1-17	สามารถใช้งานได้

### 3. โครงสร้างชั้น 2

เสา Line A', 1-17	สามารถใช้งานได้
คาน Line A-A', 2-17	สามารถคงไว้ได้ โดยควรทำ Load Test
พื้น Line A-A', 2-17	สามารถคงไว้ได้ โดยควรทำ Load Test

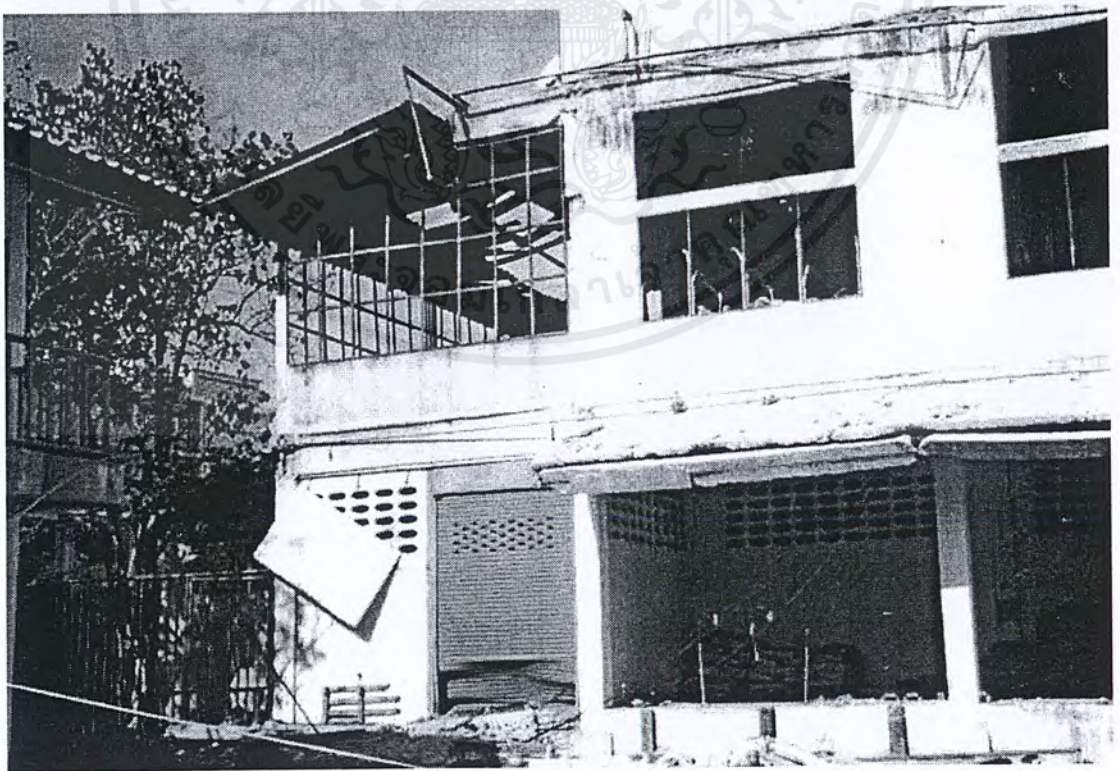
### 4. โครงสร้างหลังคา ไม่สามารถใช้งานได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

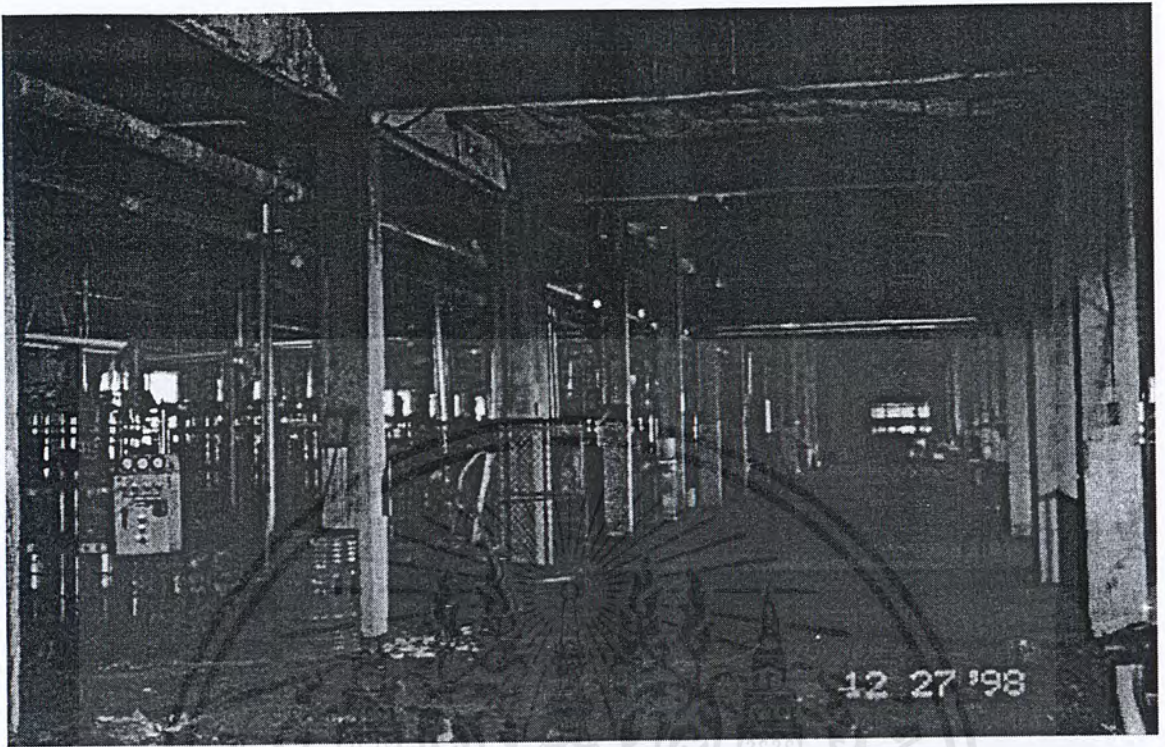


รูปที่ ผ.ค.2. อาคาร โรงงาน



รูปที่ ผ.ค.3. อาคาร โรงงาน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

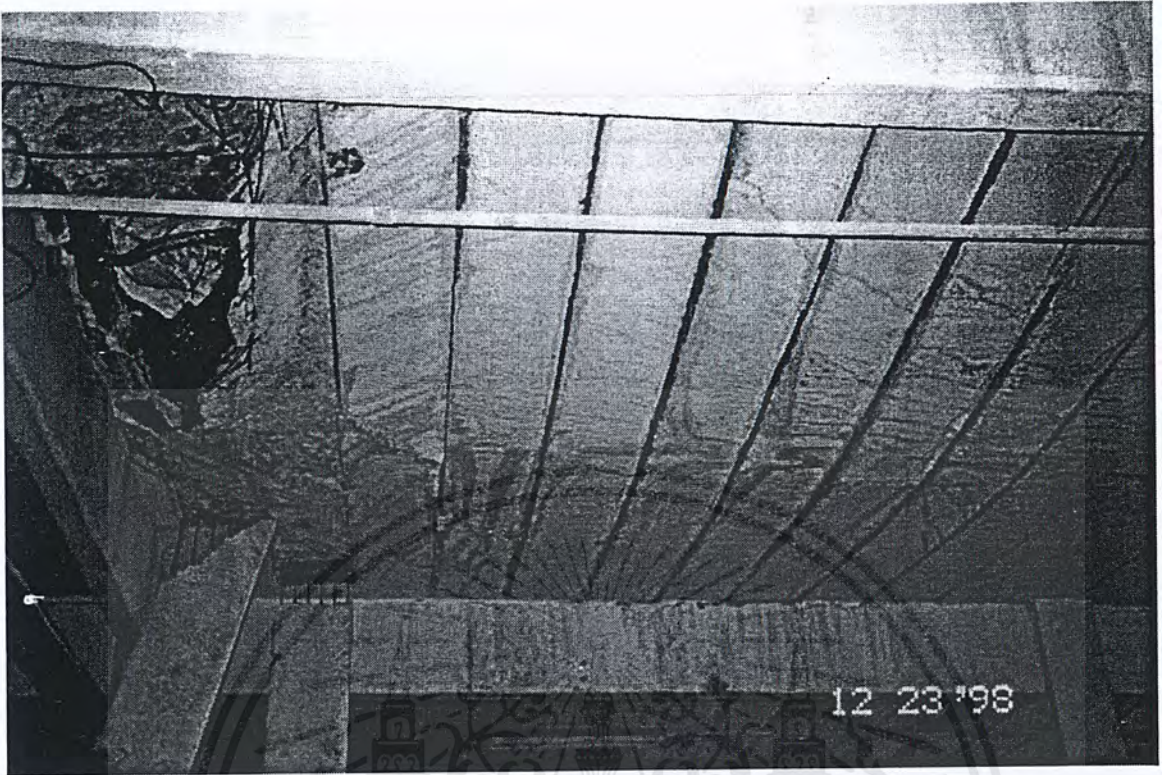


รูปที่ ผ.ค.4. สภาพภายในโรงงานอาคาร 1 หลังถูกเพลิงไหม้

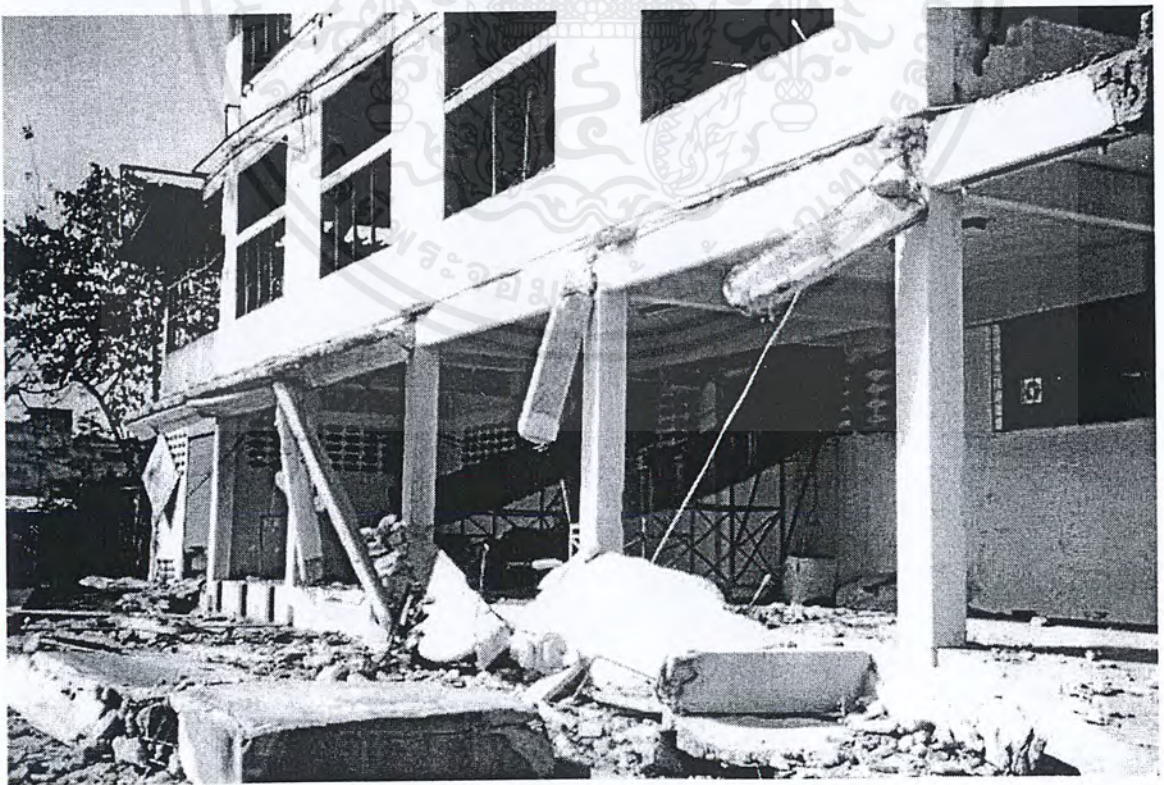


รูปที่ ผ.ค.5. ผนังด้านข้างบันไดที่เกิดการแตกร้าว (อาคาร โรงงาน 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือที่ประสงค์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

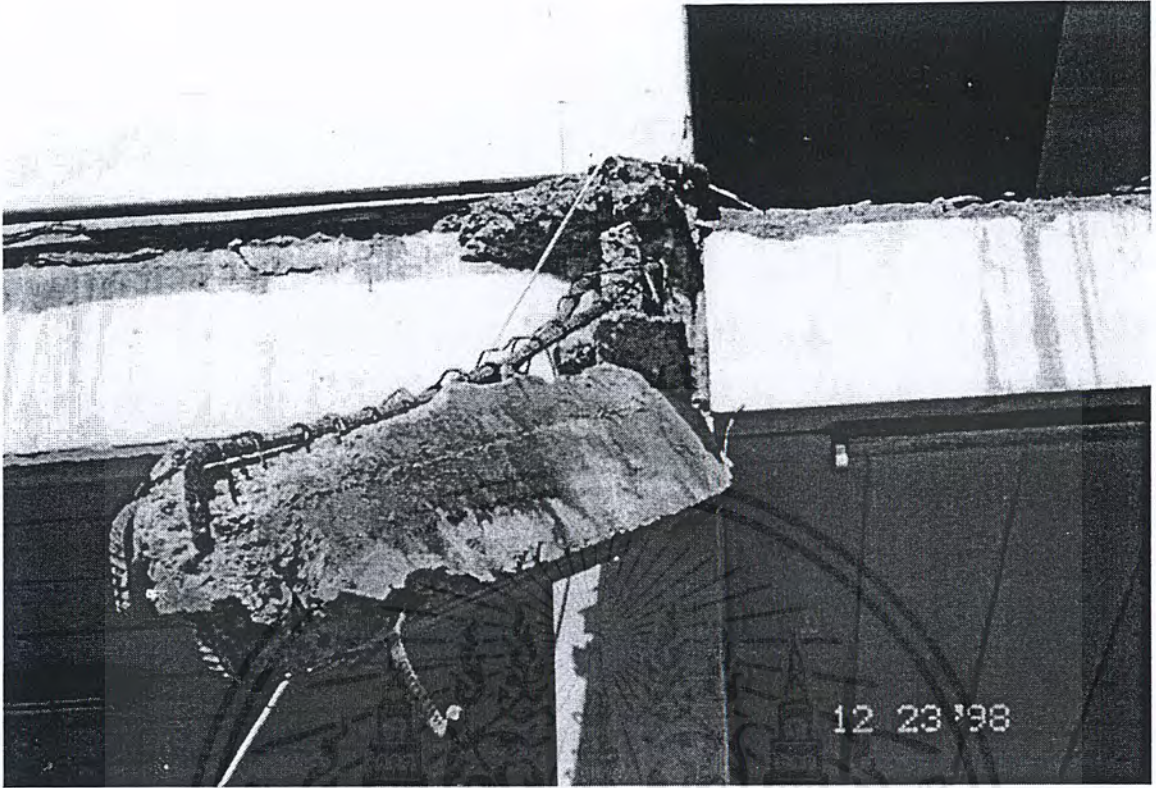


รูปที่ ผ.ค.6. การพังทลายของพื้นที่ชั้น 2 ในLine A-B, 4-12 (อาคาร โรงงาน 1)



รูปที่ ผ.ค.7. แสดงการพังทลายของกันสาด ชั้นที่ 2 (อาคาร โรงงาน 1)

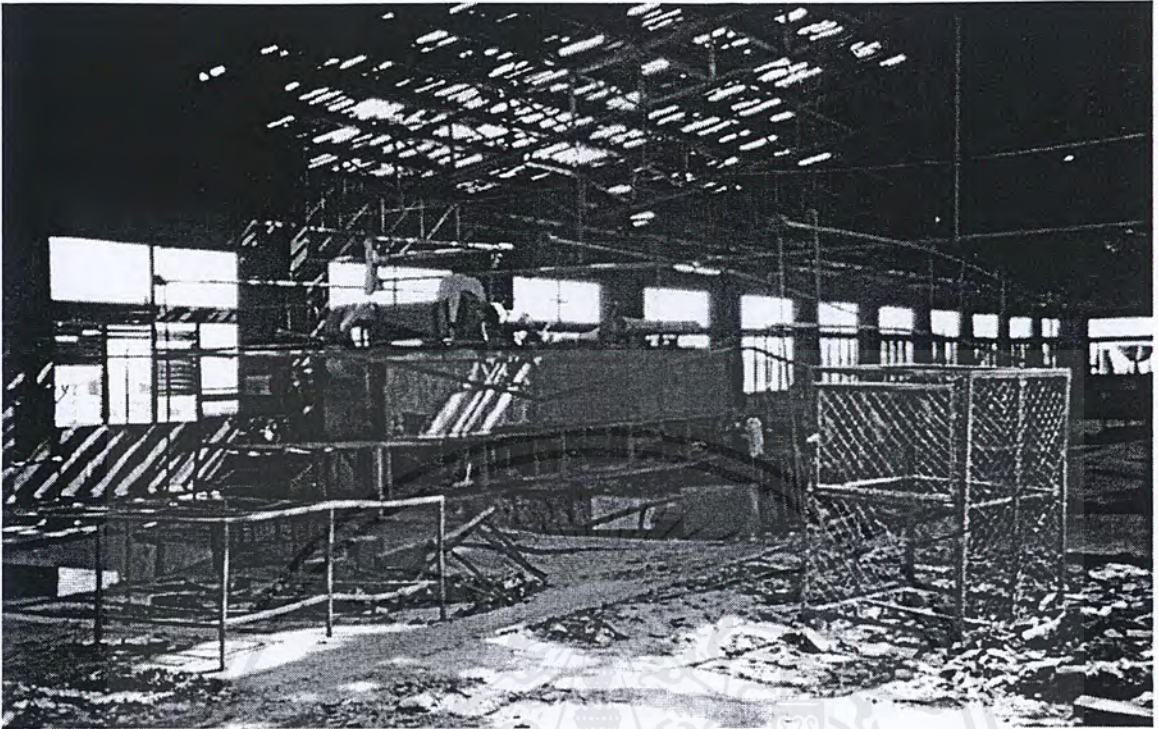
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ค.8. แสดงการพังทลายของกันสาด ชั้นที่ 2 (อาคาร โรงงาน 1)



รูปที่ ผ.ค.9. แสดงการเอียงตัวของเสาที่เกิดจากการพังทลายของกันสาดชั้นที่ 3 (อาคาร โรงงาน 1)  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

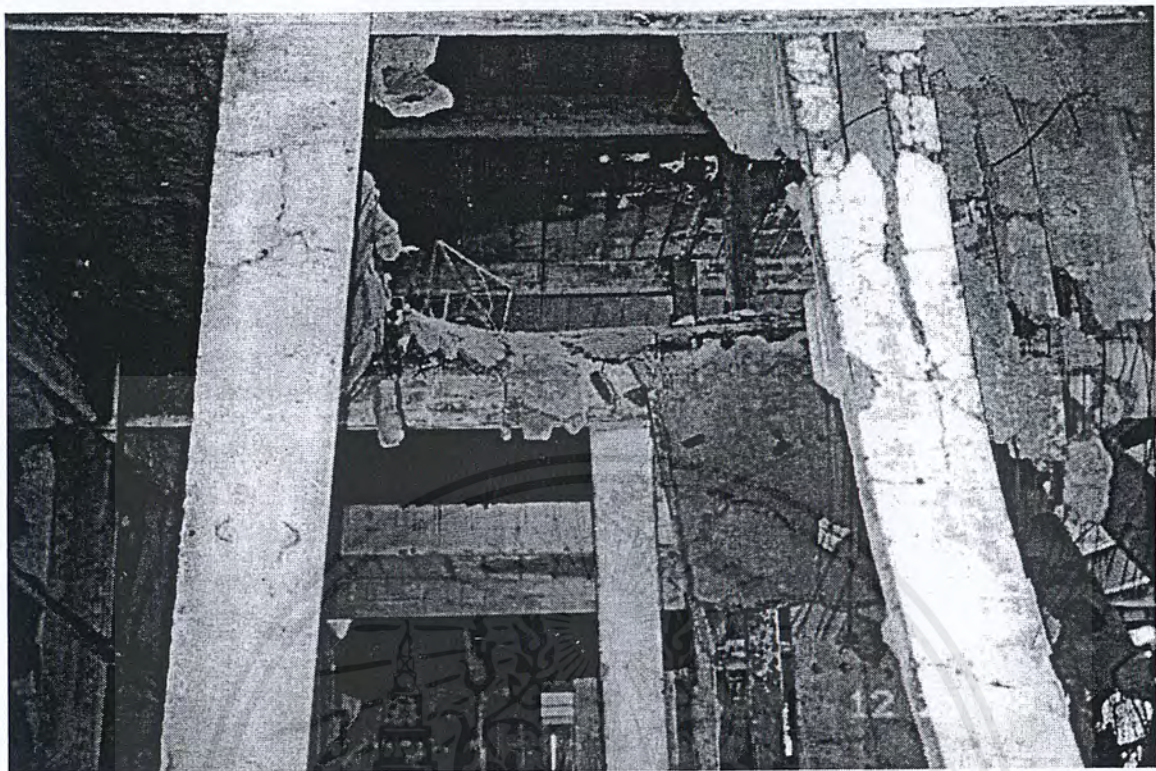


รูปที่ ผ.ค.10. แสดงความเสียหายของโครงหลังคาชั้น 4 (อาคาร โรงงาน 1)

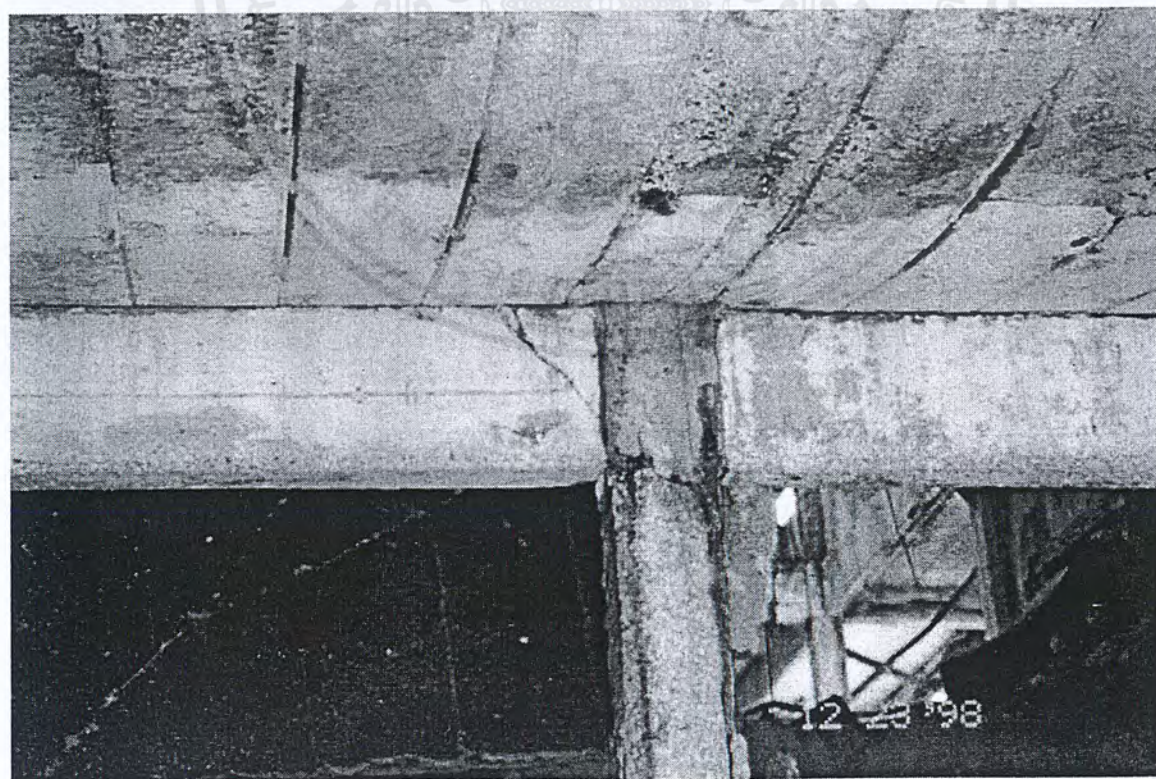


รูปที่ ผ.ค.11. แสดงความเสียหายของโครงหลังคาชั้นที่ 2 (อาคาร โรงงาน 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

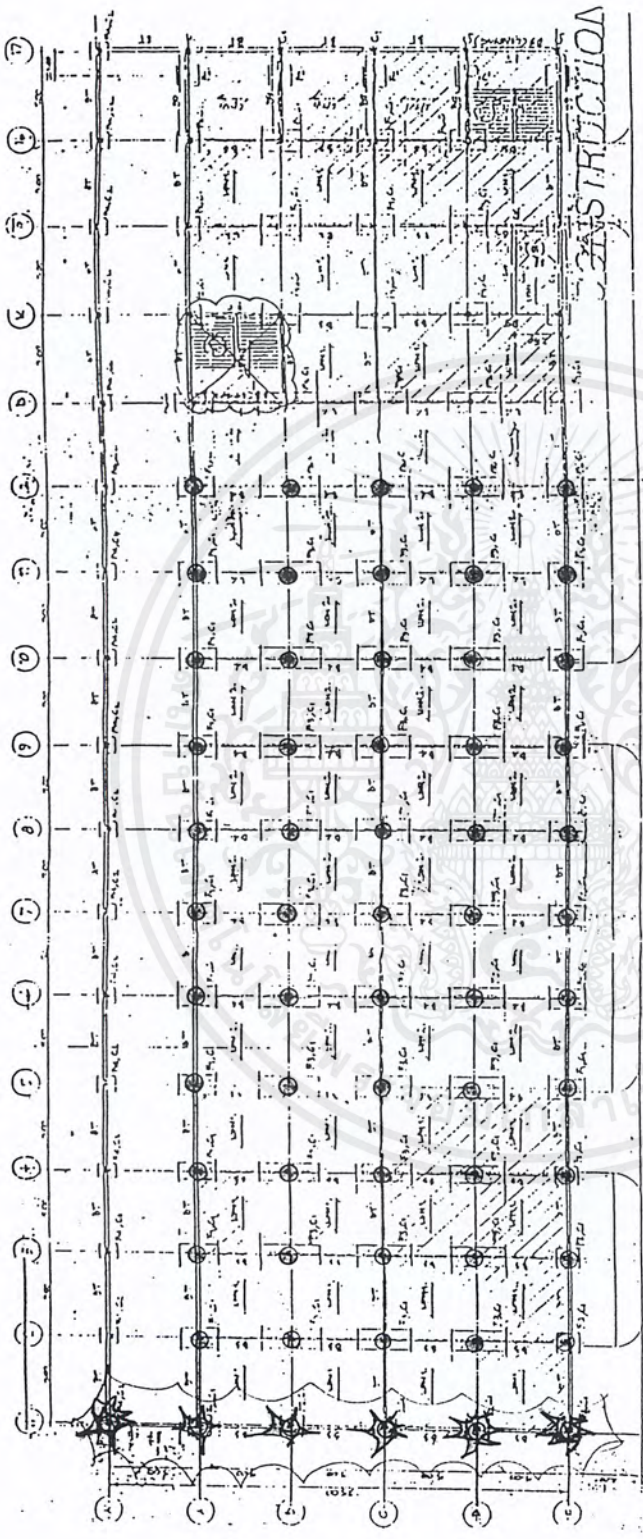


รูปที่ ผ.ค.12. แสดงการพังทลายของพื้นที่เนื่องจากเหล็กอัดแรงขาด



รูปที่ ผ.ค.13. แสดงการแตกร้าวบริเวณหัวคาน (อาคารโรงงาน1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสิขรเขงนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมใช่ประโชชนดานการคาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

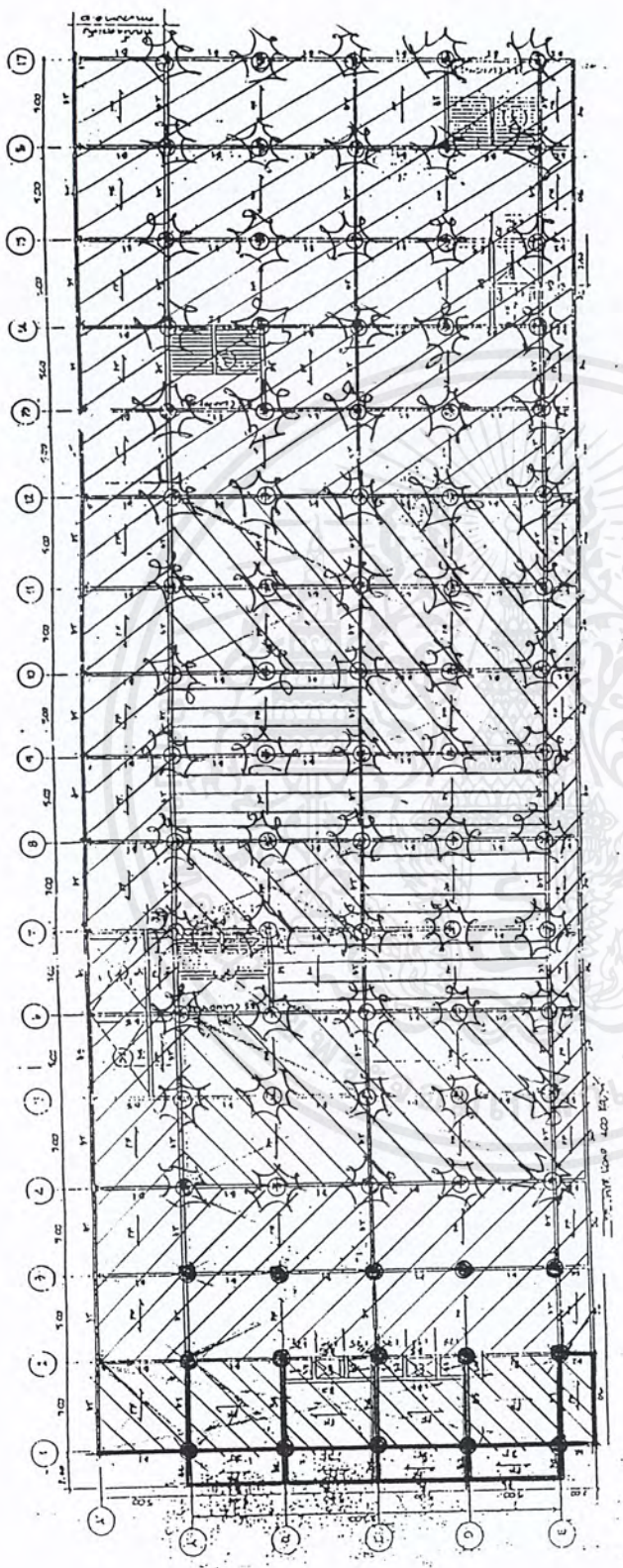


ส่วนโครงสร้างที่มีค่าผลตอดต่ำกว่ามาตรฐาน  
 ส่วนโครงสร้างที่ต้องรื้อถอน เนื่องจากเกิดการวิบัติ

รูปที่ ผ.บ.14. แสดงแปลนพื้นที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ส่วนโครงสร้างที่รองรับน้ำหนักจากเกิดการวิบัติ



ส่วนโครงสร้างที่มีค่าผลทดสอบต่ำกว่ามาตรฐาน

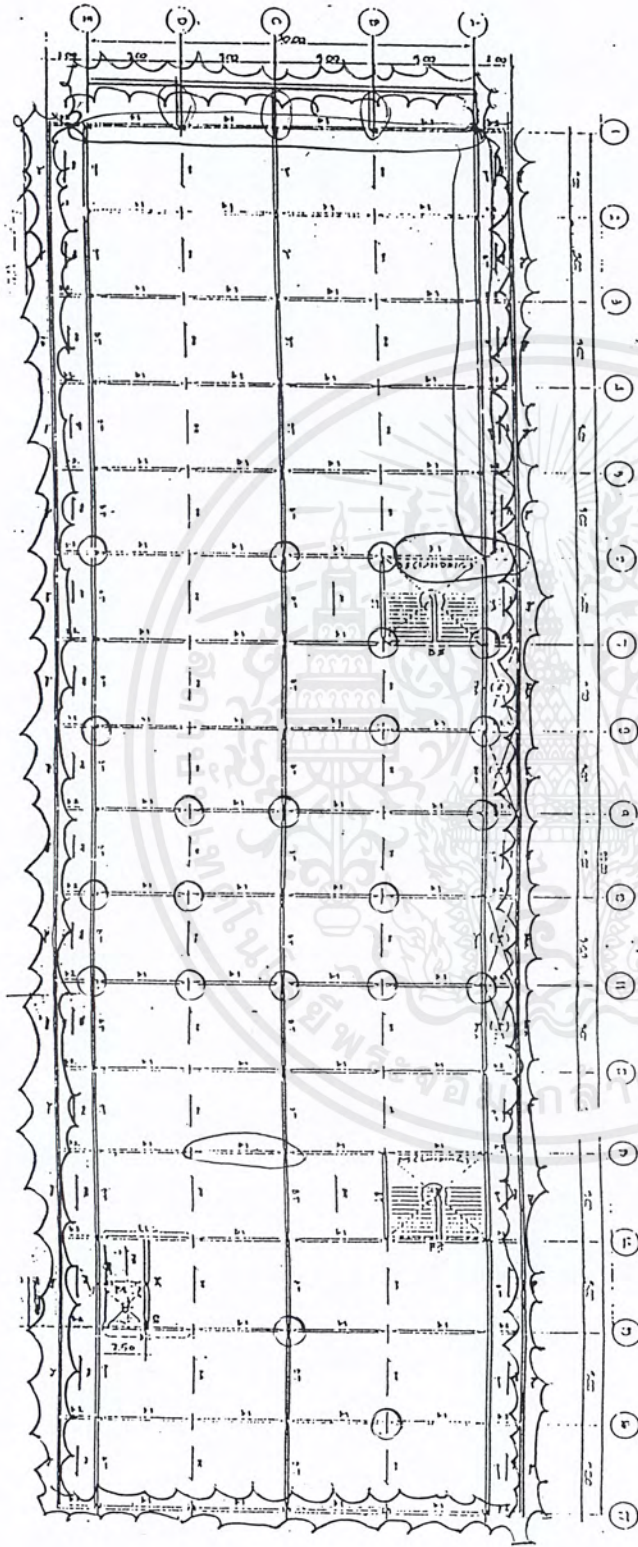


ส่วนโครงสร้างต้องเสริมความแข็งแรง หรือทดสอบน้ำหนักบรรทุกก่อนใช้งาน



รูปที่ ผ.ค.15. แสดงแปลนพื้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

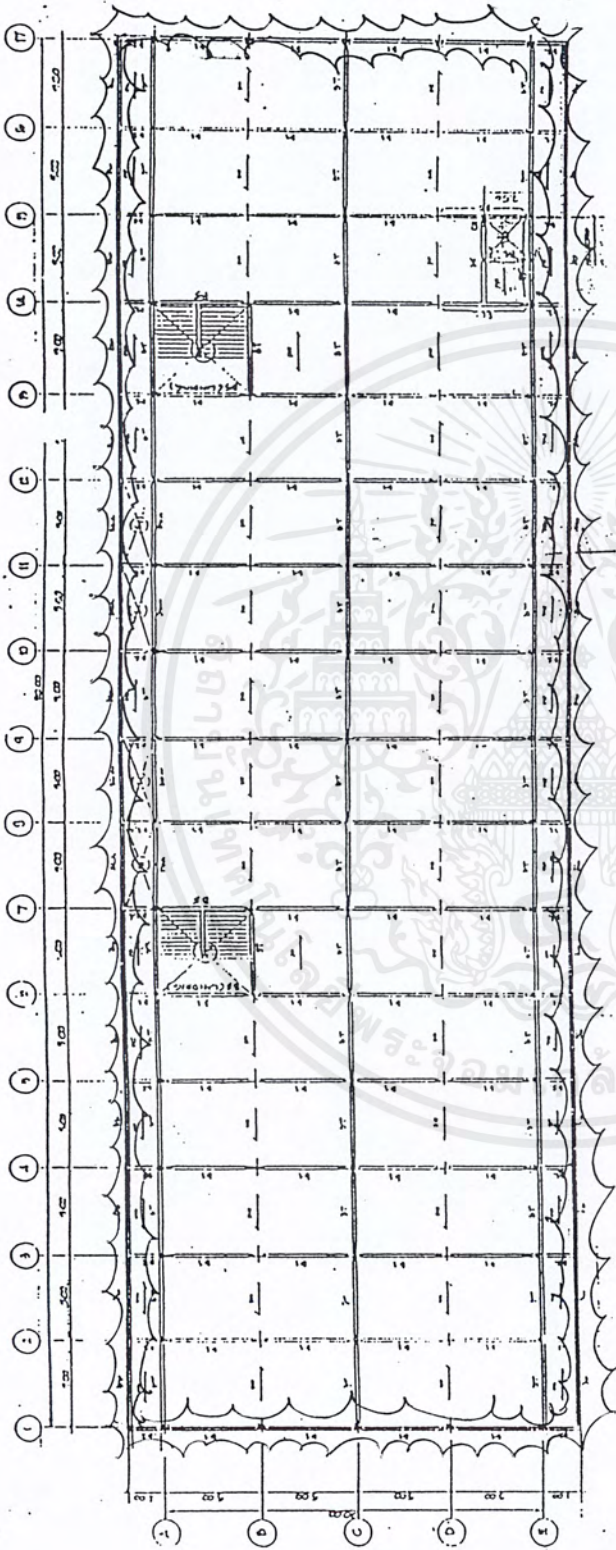


ส่วนโครงสร้างที่มูลค่าผลทดสอบต่ำกว่ามาตรฐาน  
 ส่วนโครงสร้างที่ต้องรื้อถอน เนื่องจากเกิดการวิบัติ



รูปที่ ผ.ก.16. แสดงแปลนพื้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ส่วนโครงสร้างที่ต้องรื้อถอน เนื่องจากเกิดการวิบัติ

รูปที่ ผ.ค.17. แสดงแปลนพื้นชั้น 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

## ตัวอย่างการบันทึกผลการตรวจสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ตัวอย่างการบันทึกผลการตรวจสอบ

หลังจากที่ได้ศึกษาถึงวิธีการตรวจสอบโครงสร้างอาคารหลังถูกเพลิงไหม้และกรณีศึกษาอาคารที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ไปแล้วนั้น จะสามารถสรุปตัวอย่างการสำรวจและบันทึกข้อมูลได้เป็นลำดับดังนี้

### 1.1. ข้อมูลเบื้องต้น

1. ชื่ออาคาร .....  
สถานที่ตั้ง .....
2. ครั้งที่สำรวจและวันที่ทดสอบ .....
3. ลักษณะโครงสร้างอาคารและการใช้สอย .....
4. ระบบพื้น, คานและเสา .....
5. จุดต้นเพลิงและระยะเวลาที่เกิดเพลิงไหม้ .....
6. อื่นๆ .....

### 1.2. การตรวจสอบทางกายภาพเบื้องต้น

จากการเดินสำรวจ, สังเกตด้วยสายตา, เคาะ, สก๊าด เป็นต้น เพื่อประเมินสภาพเบื้องต้น เช่น การหลุดร่อนและการผุยุ่ยของคอนกรีต, ระยะเวลาโก่งตัวของคาน, พื้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อุปกรณ์ที่ต้องนำไป

1. ค้อน
2. หัวสกัด
3. บันได
4. ไฟฉาย
5. หมวกนิรภัยและที่ครอบจมูก
6. ถุงมือและรองเท้านิรภัย

ตารางที่ ผ.ง.1. แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผล

บริเวณ	ลักษณะทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3. การตรวจสอบหน้างาน

#### 1.3.1. การตรวจสอบระยะโก่งตัวของพื้น

##### อุปกรณ์การตรวจสอบ

1. กล้องระดับ
2. ไม้สตาฟ

ตารางที่ ผ.ง.2. แสดงตัวอย่างตารางบันทึกผล

ตำแหน่ง	ระดับท้องพื้น			ค่าเฉลี่ย กลางคาน	ค่าการ โก่งตัว (นน.เดิม)	ค่าการ โก่งตัว (D.L.+L.L.)
	ที่ขอบด้าน A	ที่ขอบด้าน B	กลางคาน			

#### 1.3.2. การตรวจสอบกำลังอัดคอนกรีตโดยวิธี Rebounded Test (อ้างอิงมาตรฐาน ASTM

C 805-85)

##### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ค้อนยิงคอนกรีต
2. หัวสกัด
3. ค้อน
4. ปากกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ง.3. แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผล

PROJECT .....

STRUCTURE ..... DATE OF TEST .....

No	Rebound No	Deviation	Used Value	Hammer No N-34-106865 Angle degree
1				Average Value From
2				Test
3				Cylindrical Strength of Concrete
4				From Graph ksc.
5				Dispersion ksc.
6				
7				
8				
9				
10				Tested by
				Calculated by
				Approved by
Average				

1.4. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.4.1. การเจาะตัวอย่างคอนกรีตทดสอบกำลังอัด (Coring Test, ASTM C 42)

อุปกรณ์

1. หัวเจาะขนาด 4", 6"
2. แท่นเจาะ
3. สายยางฉีดน้ำ
4. เครื่อง Universal Testing Machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ง.4. แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผล

$$f'c \text{ Design} = ksc$$

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	กำลังของตัวอย่างทดสอบ (ksc)			หมายเหตุ
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	
อย่าง				

ตารางที่ ผ.ง.5. แสดงค่าปรับแก้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่มีสัดส่วน L/D ต่างๆกัน

L/D	ค่าปรับแก้กำลัง
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

การประเมินผลการทดสอบ

1. ค่ากำลังเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่างทดสอบ ไม่น้อยกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ของ  $f'c$
2. กำลังของแต่ละตัวอย่าง ไม่น้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ของ  $f'c$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4.2. การทดสอบแรงดึงเหล็ก

### อุปกรณ์การตรวจสอบ

1. กรรไกรตัดเหล็ก
2. ค้อน
3. เครื่อง Universal Testing Machine
4. ปากกา


ตารางที่ ผ.ง.6. แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผลการทดสอบแรงดึงเหล็ก

ตัวอย่างทดสอบที่	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ม.ม.)	กำลังรับแรงดึง		เปอร์เซ็นต์ การยืดตัว
		ที่จุด คลาก	ที่จุด ประลัย	
1				
2				
3				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.6.5. สรุปและประเมินผลการตรวจสอบ

ตารางที่ ผ.ง.7. แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผลสรุปและประเมินผลการตรวจสอบ

ชั้น	บริเวณ, ตำแหน่ง	บทสรุปและการประเมิน
		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.6. การดำเนินการซ่อมแซมและแก้ไข

ตารางที่ ผ.ง.8. แสดงตัวอย่างตารางการบันทึกผลการดำเนินการซ่อมแซมและแก้ไข

ชั้น	โครงสร้าง	บริเวณ, ตำแหน่ง	การซ่อมแซมแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก (อ้างตามมาตรฐาน ASTM E 196-62T และ ACI)

### อุปกรณ์

1. กล้องระดับและไม้สตาฟ
2. Dial gauge ความละเอียด 0.01 มม.
3. นั่งร้านเหล็ก
4. Tripod
5. น้ำหนักบรรทุกใช้น้ำ
6. Schmidt Hammer ASTM C 805 – 85 (Standard Test Method for Rebounded Number of Hardened Concrete)

### การประเมิน

ตามข้อกำหนดของ ACI BUILDING CODE (ACI 318) กำหนดว่า ถ้าส่วนของโครงสร้างที่ได้ทำการทดสอบไม่ปรากฏสภาพการวิบัติให้เห็นด้วยตาเปล่าแล้ว ให้ถือว่าต้องเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

1. ระยะเวลาสูงสุดที่วัดได้  $a$  ของคาน พื้นหรือหลังคามีน้อยกว่า  $l_c^2 / (20,000h)$
2. ระยะเวลาสูงสุดที่วัดได้  $a$  ของคาน พื้นหรือหลังคามากกว่า  $l_c^2 / (20,000h)$  แล้ว ค่าการคืนตัวภายใน 24 ชม.หลังจากถอนน้ำหนักบรรทุกทดสอบออกหมดแล้วอย่างน้อยที่สุดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของระยะเวลาสูงสุด

### สัญลักษณ์

- $a$  = ระยะเวลาสูงสุดภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่ทดสอบองค์อาคาร โดยวัดเทียบจากเส้นที่เชื่อมปลายของช่วงหรือของปลายอิสระของคานอื่น โดยวัดเทียบจากที่รองรับ(นิ้ว)
- $h$  = ความหนาทั้งหมดขององค์อาคาร (นิ้ว)
- $l_c$  = ช่วงขององค์อาคารภายใต้การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก (ช่วงที่สั้นกว่าของแผ่นพื้น ไร่คานและ ของแผ่นพื้นที่มีที่รองรับทั้งสี่ด้าน)
- $L$  = น้ำหนักบรรทุกจรหรือ โมเมนต์และแรงภายในที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 1.8.สรุปผลขั้นสุดท้าย

การทดสอบและตรวจสอบตามขั้นตอนที่ผ่านมาเมื่อได้รับการซ่อมแซมและแก้ไขแล้วพบว่า โครงสร้างอาคารมีความสามารถใช้งานได้ แต่ถ้าต้องการทราบว่าการใช้งานลดลงหรือไม่เท่าใดควรทำการคำนวณย้อนกลับอีกครั้งหนึ่งเพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินมากยิ่งขึ้น



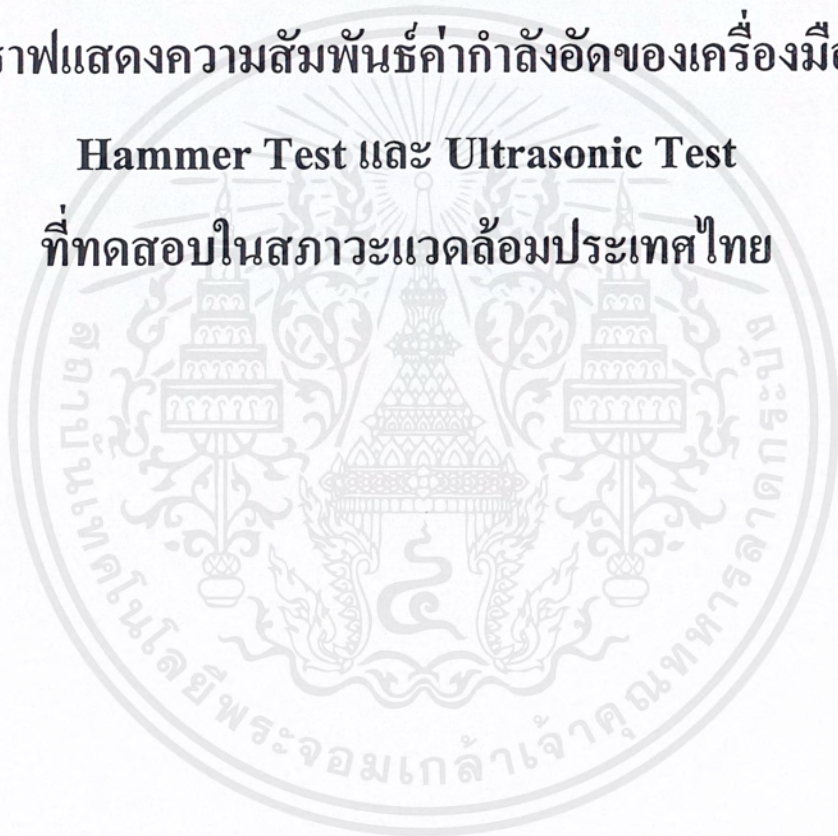
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

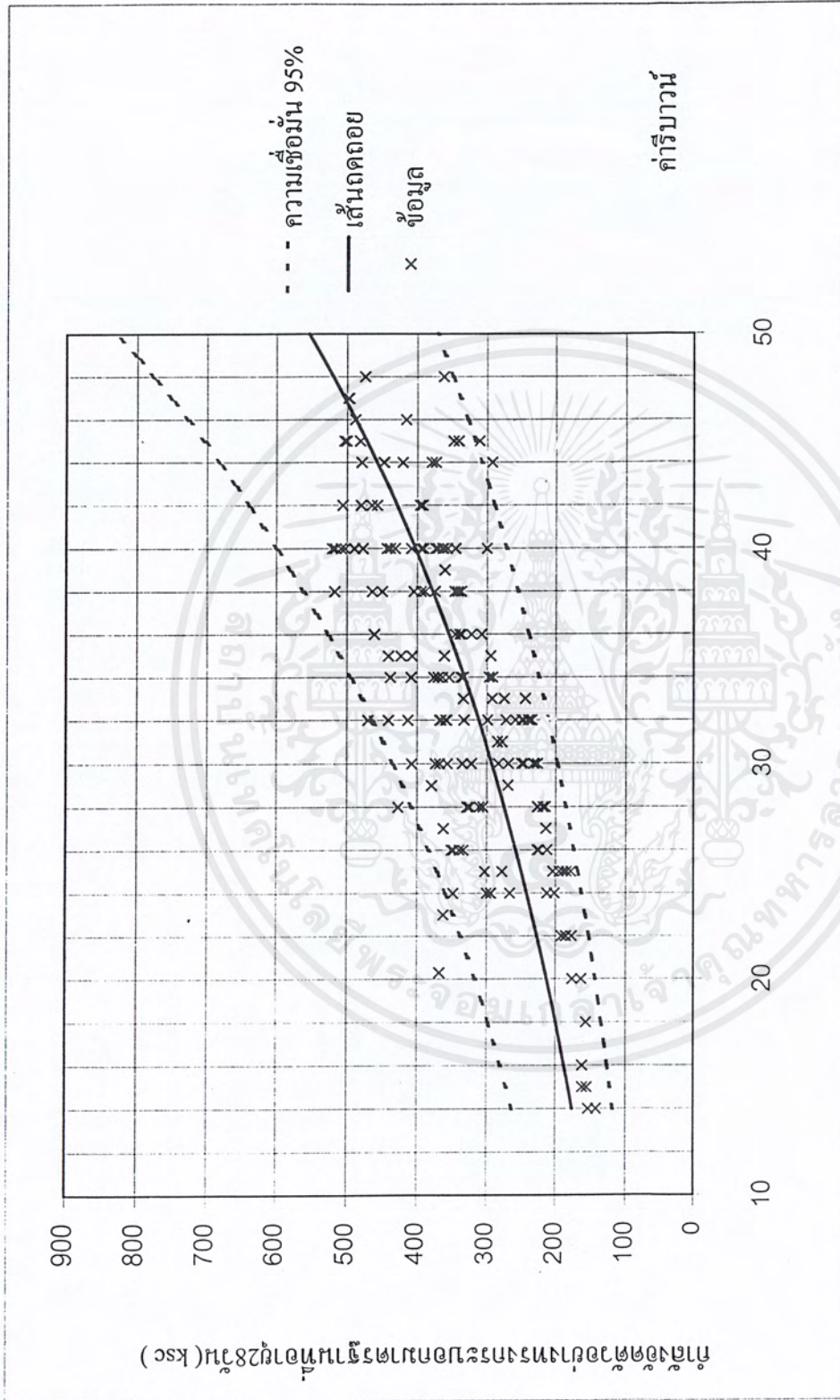
กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ากำลังอัดของเครื่องมือ

**Hammer Test และ Ultrasonic Test**

**ที่ทดสอบในสภาวะแวดล้อมประเทศไทย**

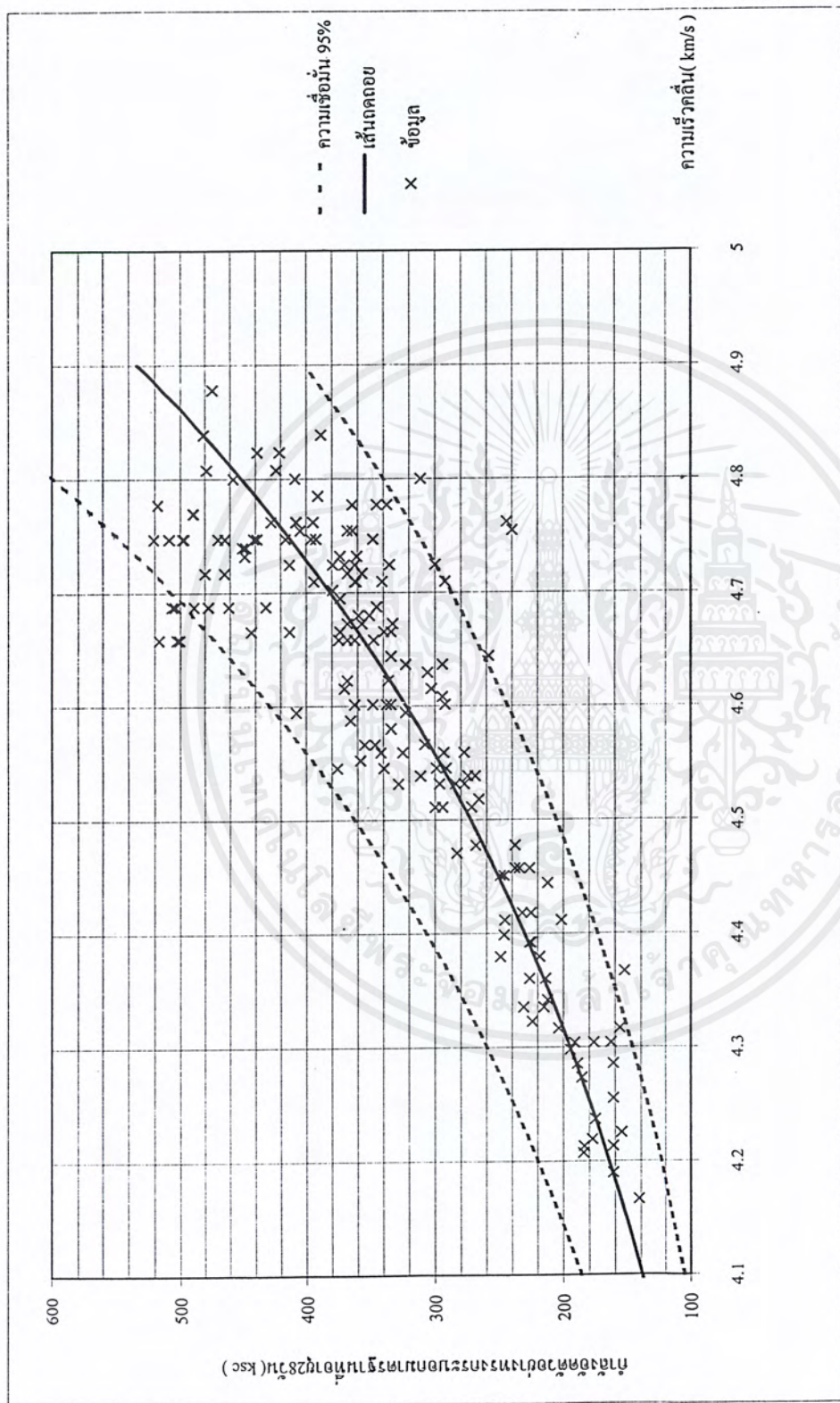


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ.1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารับบานกับค่ากำลังอัดคอนกรีต (ปตท. สนิทมีจโร และเอกพงษ์ ชินารักษ์, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.จ.2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วคลื่นกับค่ากำลังอัตราเวลาที่สถานะแวดล้อมในประเทศไทย  
(ปดณ สนิทมัจโร และเอกพงษ์ ชินารักษ์, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้