An Inspection and Evaluation of Fire Damaged on the Expressway Structures for Planning Structural Repairs

1, 2 3

[1,2,3] กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
*Corresponding author; E-mail address: It.isarapong@gmail.com

In recent decades, fire incidents occurred on the expressway structures have caused considerable damages The Expressway Authority of Thailand EXAT in collaboration with qualified structural inspectors have investigated and evaluated the damage on the element of expressway structure in order to create effective plans for repairing to ensure that the structures are safe and ready in service This article studies about the guideline to inspection and evaluation damage of the overpass structures that affected from the fire incidents at the part of cantilever decks and box girders The inspection of structural damaged level and the evaluation have applied the preliminary physical survey by visual inspection and the insight analysis of a structural engineering survey The insight analysis of a structural engineering survey consists of an inspection of concrete compressive strength by using a non-destructive test, an inspection of concrete deterioration (acidity–alkalinity), reinforcement corrosion inspection, and inspection of tensile values of the pre-stressed tendon inside the box girder segment. The results of various investigations will be used to indicate the level of damage and to provide effective repair and maintenance plans for the expressway structures to ensure their stability.

Keywords Fire incidents, Damage evaluation, Expressway structure repair, Inspection of tensile values of the pre stressed tendon

Visual Inspection

Non Destructive Test

1.

, ,

,

Abstract







11 22 11 800

27 338

Spalling

x 10 30





27 338

11 22 11 800

1 2 Segment

8

Segment





11 22 11 800

2.

2.1 ความเสียหายของคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากอุณหภูมิสูง

1

100

2

Segment

290

3

290

Fire

Resistance

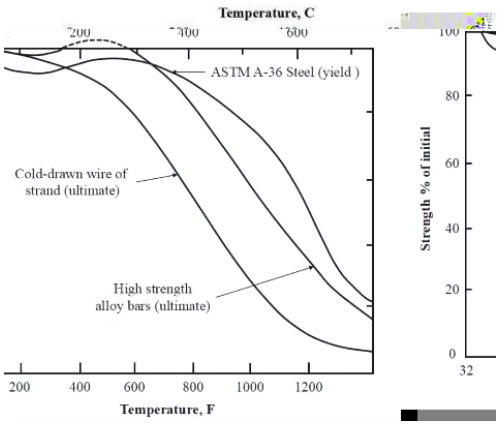
2 3

Steel Rebars

Cold Drawn Wire of Strand

High Strength Alloy Bars

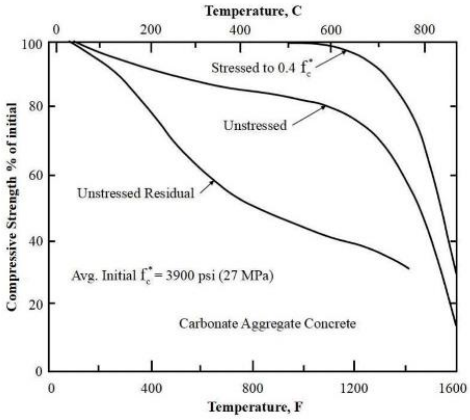
Temperature	Damage Level	Grade
~300 °C	No damage	I
	Finishing material damage soot, surface exfoliation	II
300~600 °C	Concrete damage without steel damage small cracks in concrete or spalling	III
600~950 °C	Bond damage of steel bars large cracks in concrete or exposure of steel bar	IV
950~1200 °C	Damage or buckling of steel bar large damage or deformation of structural members, heavy exposure of steel bars in a wide area	V
1200 °C	Concrete melting	



ACI 216R 89 [4]

2.2 การประเมินพฤติกรรมของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่อุณหภูมิสูง

–

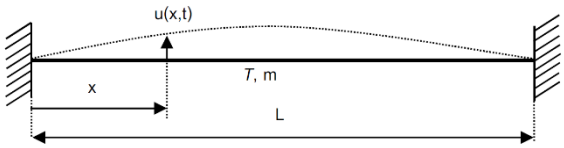


ACI 216R 89 [4]

2.3 ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์แรงดึงของลวดอัดแรง

The Flat Taut String Theory

Flexural Stiffness 7



7

Vibrating String Equation

(1)

$$m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - T\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \qquad 1$$

u = *การเคลื่อนที่ตามแนวขวางของเคเบิลตามรูปที่ 7*

x = *พิกัดตามแนวของเคเบิล เริ่มจากด้านซ้าย*

m = *มวลต่อหน่วยความยาว*

T = *แรงดึงในเคเบิล*

t = *เวลา*

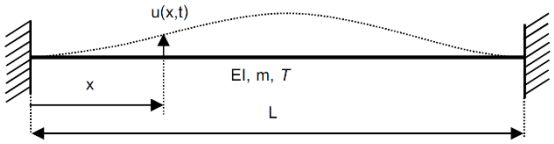
(2)

$$f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad (2)$$

f_n = ความถี่ธรรมชาติที่โหมด n ใด ๆ ของการสั่น
L = ความยาวของเคเบิล

Flexural Stiffness

Boundary Condition



$$m\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + EI\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} - T\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (3)$$

EI = สติฟเนสของการดัด
u = การเคลื่อนที่ตามแนวขวางของเคเบิลตามรูปที่ 8
x = พิกัดตามแนวของเคเบิล เริ่มจากด้านซ้าย
m = มวลต่อหน่วยความยาว
T = แรงดึงในเคเบิล
t = เวลา

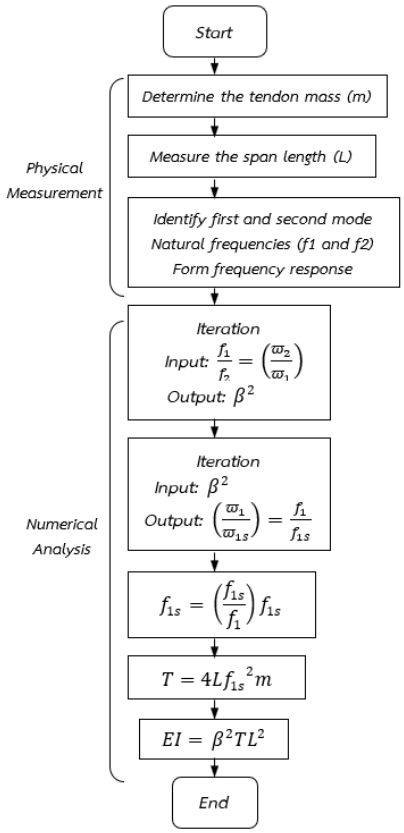
Flexural Stiffness)

$$f_n = f(T, L, m, EI) \quad (4)$$

$$u(0,t) = 0 \quad (5a)$$
$$u(x = L, t) = 0 \quad (5b)$$
$$u'(0,t) = 0 \quad (5c)$$
$$u'(x = L, t) = 0 \quad (5d)$$
$$u = \frac{du}{dx}$$

$$r = \frac{u}{L} \quad (6a)$$
$$s = \frac{x}{L} \quad (6b)$$

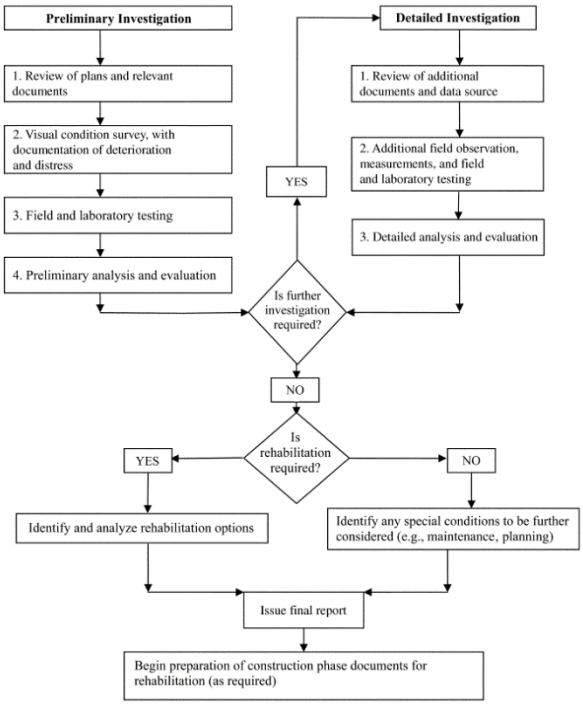
$$\tau = \omega_0 t \quad (6c)$$
$$\omega_0 = \frac{1}{L}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad (6d)$$



3.

ACI R 6

Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation



ACI R [6]

3.1 รายละเอียดและวิธีการตรวจสอบ

3.1.1 การสำรวจสภาพทางกายภาพ โดยวิธีการตรวจพินิจ (Visual Inspection) มีรายละเอียดดังนี้

Segment

3.1.2 การสำรวจทางวิศวกรรม

- Rebound Hammer Test
- Carbonation Depth
- Half Cell Potential
-
-

3.2 การทดสอบหากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยวิธี Rebound Hammer Test (ASTM C805-97) [7]

Ultimate Compressive Strength of Concrete

Test Rebound Hammer Non Destructive Testing f_c Rebound Index Plunger

0 x 2 0

3.3 การตรวจสอบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตโดยวิธี Carbonation Depth Test (ASTM C856-04) [8]

CO_2

pH 12 6 13 5 8 9

Carbonation Depth

Phenolphthalein 5 Carbonation Depth

Carbonation Depth

3.4 การตรวจสอบโอกาสเกิดสนิมที่เหล็กเสริมคอนกรีตเสาตอม่อโดยวิธีการ Half-Cell Potential (ASTM C876-91) [9]

ASTM C876 91

Half cell potential reading Cu $CuSO_4$	Corrosion activity
Less negative than 200 mV	90 Probability of no corrosion
Between 200 mV and 350 mV	An increasing probability of no corrosion
More negative than 350 mV	90 Probability of corrosion

3.5 การตรวจวัดความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง

11 902 955 2
Near Fired Span
Fired Span
Ambient Vibration

2

Analog
Signal
Digital Signal
24
2 5 Volt 1
Volt cm s Sampling Rate
50 kHz



X Y Z

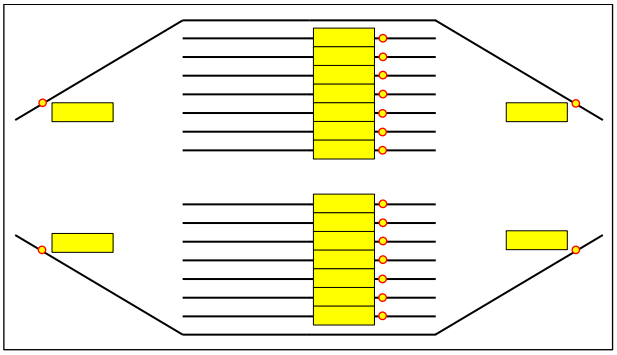
Ambient)
Normalized Spectral



2 Ambient vibration

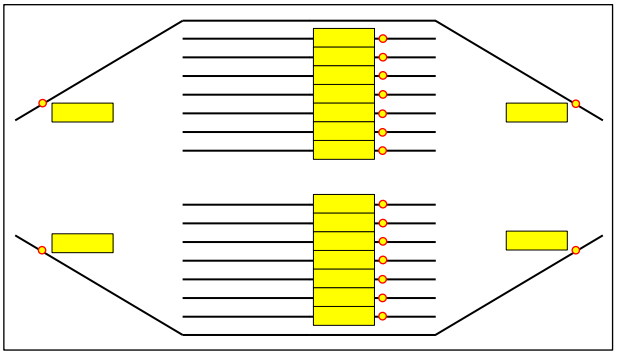
3.6 การตรวจสอบแรงดึงของลวดอัดแรงที่อยู่ภายในคานรูปกล่อง

Near Fired Span
Fired Span – 4
( )
18 36



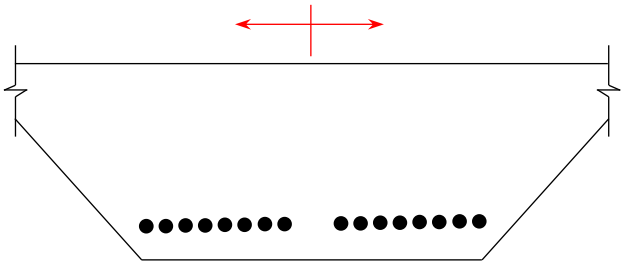
13

(Near Fired Span)



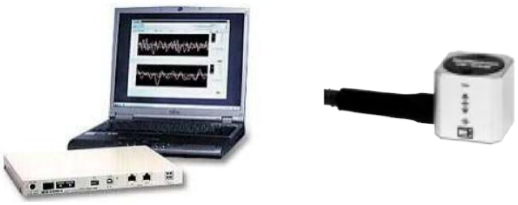
14

(Fired Span)



Accelerometer

Sensor Interface



a b

a Sensor interface

b Accelerometer

2

DC 12 V

1)

Deviator

2)

Deviator

3)

1 6

4)

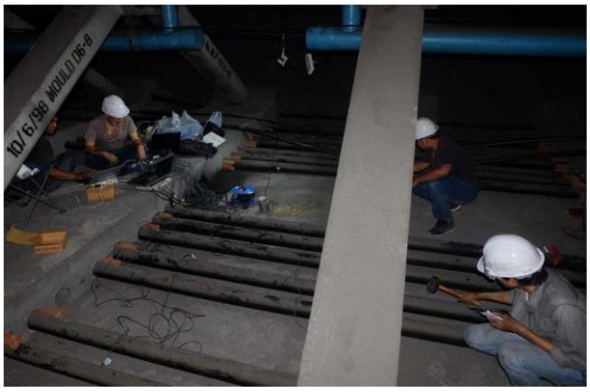
5)

1,000

6)

7)

2



7

4.

4.1 ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยวิธี Rebound Hammer Test

kg cm^2

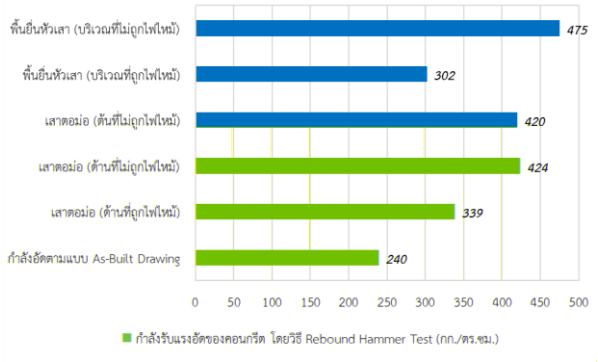
424 kg cm^2

kg cm^2

2

302 kg cm^2

4 kg cm^2



8 Rebound Hammer Test

4.2 ผลการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตโดยวิธี Carbonation Depth Test

Carbonation Depth Test

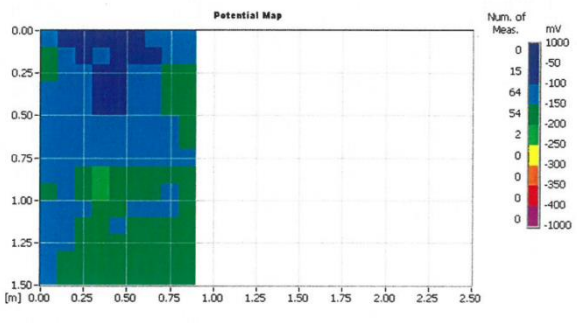
No.	Structure	Description	Carbonation Depth mm

Carbonation

Carbonation
30 40

Carbonation

4.3 ผลการตรวจสอบโอกาสเกิดสนิมที่เหล็กเสริมคอนกรีตเสาตอม่อโดยวิธีการ Half-Cell Potential



50 mv 200 mv

Carbonation

4.4 ผลการตรวจวัดความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง

Ambient)

Normalized Spectral

4

(Near

Fired Span) (Fired Span)

4

Location	Transverse; X direction Hz	Longitudinal; Y direction Hz	Vertical; Z direction Hz
Near Fired Span	0 725	1 015	3 215
Fired Span	0 725	1 015	3 270

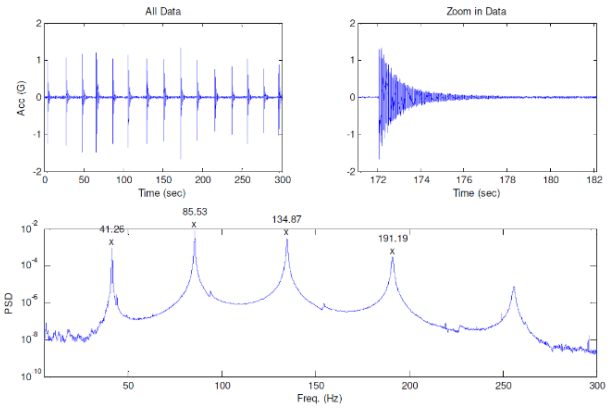
4.5 ผลการตรวจวัดแรงดึงของลวดอัดแรง

Free

Vibration

1,000

Power Spectrum Density PSD



2 PSD

Name	Tendon Designation	Unit kg m	Div Length m	f1 Hz	f2 Hz	T KN	Corr T KN	Factor	Design Tension KN	T
1N E N	T3	34 43	13 70	12 06	24 22	3,782	3,499	0 925	4,590	76 24
1S E N	T3	34 43	13 70	12 11	24 26	3,814	3,599	0 944	4,590	78 41
2N M N	C2	21 05	3 95	41 26	85 53	2,250	1,759	0 782	2,500	70 37
3N M N	C1	34 43	3 95	43 62	92 42	4,113	2,943	0 715	4,590	64 11
4N M N	T2	34 43	3 95	43 79	93 08	4,145	2,927	0 706	4,590	63 78
5N M N	T1	34 43	3 95	43 82	93 25	4,151	2,918	0 703	4,590	63 57
6N M N	C3	21 05	3 95	43 52	92 71	2,504	1,753	0 700	2,500	70 10
7N M N	B2	34 43	3 95	44 92	95 13	4,362	3,127	0 717	4,590	68 12
8N M N	B1	34 43	3 95	44 43	94 46	4,267	3,011	0 706	4,590	65 60
2S M N	C2	21 05	3 95	40 93	85 08	2,215	1,712	0 773	2,500	68 47
3S M N	C1	34 43	3 95	43 62	92 57	4,113	2,924	0 711	4,590	63 69
4S M N	T2	34 43	3 95	43 89	93 44	4,164	2,922	0 702	4,590	63 66
5S M N	T1	34 43	3 95	44 52	94 63	4,285	3,026	0 706	4,590	65 93
6S M N	C3	21 05	3 95	44 1	93 67	2,571	1,821	0 708	2,500	72 84
7S M N	B2	34 43	3 95	44 75	94 99	4,329	3,074	0 710	4,590	66 97
8S M N	B1	34 43	3 95	45 61	96 55	4,497	3,229	0 718	4,590	70 35
1N W N	T3	34 43	13 70	11 82	23 81	3,633	3,288	0 905	4,590	71 63
1S W N	T3	34 43	13 70	11 83	23 83	3,639	3,294	0 905	4,590	71 75

Name	Tendon Designation	Unit kg m	Div Length m	f1 Hz	f2 Hz	T KN	Corr T KN	Factor	Design Tension KN	T
1N E F	T3	34 43	13 70	12 02	24 21	3,757	3,403	0 906	4,590	74 14
1S E F	T3	34 43	13 70	11 99	24 13	3,738	3,405	0 911	4,590	74 19
2N M F	C2	21 05	3 95	40 48	84 04	2,166	1,683	0 777	0 777	67 31
3N M F	C1	34 43	3 95	43 34	92 12	4,060	2,868	0 706	4,590	62 48
4N M F	T2	34 43	3 95	42 59	90 88	3,921	2,726	0 695	4,590	59 40
5N M F	T1	34 43	3 95	44 51	94 68	4,283	3,015	0 704	4,590	65 70
6N M F	C3	21 05	3 95	43 18	91 42	2,465	1,769	0 718	2,500	70 75
7N M F	B2	34 43	3 95	44 27	93 35	4,237	3,090	0 729	4,590	67 32
8N M F	B1	34 43	3 95	44 70	95 18	4,319	3,029	0 701	4,590	65 99
2S M F	C2	21 05	3 95	41 19	85 47	2,243	1,746	0 779	2,500	69 84
3S M F	C1	34 43	3 95	43 69	92 92	4,126	2,907	0 705	4,590	63 34
4S M F	T2	34 43	3 95	43 51	92 70	4,092	2,863	0 700	4,590	62 38
5S M F	T1	34 43	3 95	44 77	95 01	4,333	3,080	0 711	4,590	67 10
6S M F	C3	21 05	3 95	43 99	93 91	2,558	1,775	0 694	2,500	71 01
7S M F	B2	34 43	3 95	45 12	95 72	4,401	3,132	0 712	4,590	68 25
8S M F	B1	34 43	3 95	44 64	94 87	4,308	3,044	0 707	4,590	66 32
1N W F	T3	34 43	13 70	11 64	23 45	3,523	3,186	0 904	4,590	69 41
1S W F	T3	34 43	13 70	11 74	23 66	3,584	3,233	0 902	4,590	70 43

2

2

2

Deviator

1 2

2

18 36

T2 4N M N 4N

M F 7

5.

20

[1] *มาตรฐาน การตรวจสอบ การประเมิน การซ่อมแซม และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงโครงสร้างอาคารเก่าและโครงสร้างอาคารที่เสียหาย* ,

[2] Korea Concrete Institute 2005 *Fire Resistance of Reinforced Concrete Structures* KCI Seoul, pp 205

[3] Architectural Institute of Japan 2004 *Diagnosis and Repair Methods of Concrete Structures.* AIJ Tokyo, pp 140

[4] American Concrete Institute 89 *Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements (ACI 216R-89).* ACI, pp 15-18

[5] 2547 *โยธาสาร,* , 2547,

[6] American Concrete Institute 2007 *Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation (ACI 364.1R-07).* ACI, pp 123-127

[7] American Society for Testing and Materials, (1997). *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete (ASTM C805-97).* ASTM, pp.3

[8] American Society for Testing and Materials, (2004). *Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete (ASTM C856-04).* ASTM, pp.17

[9] American Society for Testing and Materials, (1991). *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete (ASTM C876-91).* ASTM, pp.6