

강교용 도장의 표면상태 평가에 의한 화재온도 추정에 관한 실험적 연구

차기혁¹ · 박진환² · 윤시연³ · 김기혁⁴ · 김인태^{5*}

¹차장, 부산시설공단, 교량관리처, ²교수, 부경대학교, 공업화학과, ³학사과정, 부산대학교, 건설융합학부,

⁴석사과정, 부산대학교, 사회환경시스템공학과, ⁵교수, 부산대학교, 건설융합학부

Experimental Study on Estimation of Fire Temperature Based on Change in Surface Condition of Steel Bridge Paints

Cha, Ki Hyuk¹, Park, JinHwan², Yun, Si Yeon³, Kim, Gi Hyeok⁴, Kim, In Tae^{5*}

¹Team Manager, Bridge Facilities Team, Busan Infrastructure Corporation, 47132, Korea

²Professor, Dept. of Industrial Chemistry, Pukyong National University, Busan, 48547, Korea

³Undergraduate Student, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

⁴M.E. Student, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

⁵Professor, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

Abstract - To develop a visual inspection method for determining necessity of emergency measures after small scale fire at steel bridges, this study carried out fire experiments on heavy-duty paintings using an electric furnace. Steel plates were painted with heavy-duty painting systems of urethane, ceramic urethane, polysiloxane, and flouorocarbon stated in Korean Construction Specification (KCS 14 31 40: 2016 Painting) and they were subject to temperature at 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C for 30 minutes, 60 minutes, 120 minutes, respectively. The change in surface state of paint film was investigated depending on the fire temperature and duration from color change, gloss and paint deterioration (delamination, cracking, blistering). As a result, the heavy-duty paintings change its color at 200 °C - 300 °C and paint delamination, cracking, blistering are observed at 300 °C - 400 °C.

Keywords - Steel bridge, Fire, Heavy-duty painting, Fire temperature, Fire duration, Surface state inspection

1. 서론

사회기반 시설물의 화재는 주로 터널, 지하도로 등과 같이 밀폐된 공간에서 발생하여 왔으나, 최근에는 교량 구간에서도 발생하여 막대한 피해를 초래하는 사례가 증가하고 있다. 그리고 교통량의 증가, 특히 화염원을 갖는 트럭의 통행량 증가에 따라 국내외적으로 교량 화재사고가 대형화되고 있는 추세이며, 도로교와 함께 주요한 대중교통 수단인 철도의 교량구간 또한 하부 공간의 유효 활용화 정책

으로 인해 화재 위험도가 높아지고 있다^[1-4].

강교량이 화재에 의해 열영향을 받은 경우, 수열(受熱)의 정도에 따라 강부재의 역학적 특성에 미치는 영향이 다르다^{[4]-[7]}. 따라서 강교량의 화재 발생 직후, 차량통행 제한이나 벤트 설치 등 긴급조치의 필요성 판단, 복구단계에서의 보수보강, 부재교환의 범위 및 정도의 판단 등 각 단계에서 적절한 조사 및 진단 방법을 검토하기 위해서는 수열 정도를 신속하고 정확하게 평가하는 것이 중요하다. 특히, 화재 직후의 초기대응 및 긴급점검에 있어서는 육안조사가 기본이 되며, 즉각적인 차량 통행제한 여부를 판단하기 위한 관리자와 점검자의 육안조사 판단기준 수립이 요구되고 있다.

우리나라 강교량은 대부분 도장에 의해 방식처리 되어 있다. 다양한 종류의 도장이 실시된 강부재는 수열정도에 따라 도막의 손상상태가 다르므로 도장사양별로 수열정도와 도막손상과의 관계를 명확하게 할 수 있다면, 화재 후의 도막상태로부터 강부재의 손상 정도를 추정할 수 있을 것이다.

Note.-Discussion open until December 31, 2020. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on March 25, 2020; revised May 07, 2020; approved on May 13, 2020.

Copyright © 2020 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-51-510-2497 Fax. +82-51-513-9596

E-mail. itkim@pusan.ac.kr

이에 본 연구에서 표준시방서(KCS 14 31 40: 2016 도장)^[8]의 강구조물용 일반중방식계열인 우레탄마감, 세라믹계 마감, 실록산계마감 및 불소수지계 마감의 4종류 도장시편을 대상으로 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C의 가열온도와 30분, 60분, 120분간의 지속시간으로 수열조건을 통일한 전기로 가열실험을 실시하였다. 그 결과가 가열온도 및 지속시간에 따른 4종류 도장계의 표면상태 변화를 관찰하고, 가열조건과 도막 표면상태 변화와의 상관관계를 조사하여, 화재시 수열온도 추정을 위한 평가 견본 자료로서 온도별, 지속시간별 도막표면상태도를 제시하였다. 그리고 도막 표면상태 변화가 미미한 200 °C(30분 지속)에 대한 추가 전기로 가열실험을 통해 200 °C의 수열 영향을 받았을 경우의 도막 성능 유지 정도를 평가하였다.

2. 실험절차

2.1 도장시편의 제작

본 실험에서는 두께 3 mm의 SS275 강판에서 70 mm × 150 mm로 절단한 소형 강판 시편을 블라스트 표면처리(SSPC SP-10)한 후 표준시방서(KCS 14 31 40: 2016 도장)에 근거하여 강구조물용 일반중방식계열인 우레탄마감, 세라믹계 마감, 실록산계마감 및 불소수지계 마감의 4종류 도장을 실시하였다. SS275 강재의 밀시트상의 재료 특성 및 화학성분

을 Tables 1-2, 도장 사양은 Table 3에 나타내었으며, 제작 완료된 도장시편 외관상태는 Fig. 1과 같다.

Table 1. Material properties

Specimen	Material properties		
	Yield stress (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elongation at failure (%)
Parent metal	342	416	40

Table 2. Chemical compositions

Chemical composition (wt%)				
C	Si	Mn	P	S
0.150	0.100	0.390	0.014	0.007

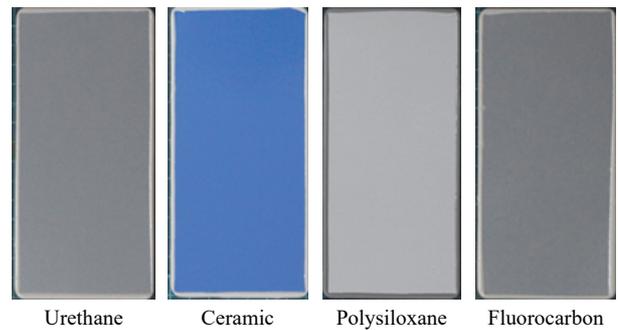


Fig. 1. Painted test specimens

Table 3. Coating system of specimens

Symbol	Coating type	Coating layer			Measured film thickness (μm)
		1st	2nd	3rd	
U	Urethane	Epoxy primer (75 μm)	High solid epoxy (100 μm)	Urethane (80 μm)	255
		Thermal endurance: continuous 93 °C, intermittent: 121 °C			
C	Ceramic	Ceramic protective paint (75 μm)	Ceramic protective paint (100 μm)	Ceramic urethane (80 μm)	255
		Thermal endurance: continuous 93 °C, intermittent: 121 °C			
P	Polysiloxane	Epoxy primer (75 μm)	High solid epoxy (100 μm)	Polysiloxane (80 μm)	255
		Thermal endurance: continuous 93 °C, intermittent: 121 °C			
F	Fluorocarbon	Epoxy primer (75 μm)	High solid epoxy (100 μm)	Fluorocarbon (50 μm)	225
		Thermal endurance: continuous 93 °C, intermittent: 121 °C			

2.2 전기로 실험 조건

본 연구에서는 화재시의 온도 및 지속시간을 모사하기 위하여 전기로를 이용하여 도장 시편을 가열하였다.

전기로에 의한 가열온도 및 지속시간의 범위는 Table 4에 나타난 것과 같이 가열온도 100 °C에서 700 °C까지 100 °C 간격으로 하였으며, 이들 가열온도의 지속시간은 30분, 60분, 120분으로 하였다.

Table 4. Number of test specimens

Temperature (°C)	Duration time (minute)		
	30	60	120
100	4		
200	4		
300	4		
400	4		
500	4		
600	4		
700	4		



Fig. 2. Test setup

2.3 전기로 실험 및 도막 표면상태 조사

전기로를 이용한 가열실험은 먼저 목표 온도까지 전기로 내의 온도를 상승시키고, 전기로 체임버 내의 온도가 목표 온도에 도달하면, 체임버 내에 시편을 넣고 30분 및 60분 지속 후 일시적으로 시편을 꺼내서 시편 외관 사진을 찍고 다시 넣어 실험을 진행하였으며, 120분 종료 후에도 시편 외관 사진 촬영을 하였다.

실험 진행 중 체임버의 온도 변화는 Fig. 3과 같으며, 실험 시작 후 30분, 60분 경과 후의 사진 촬영을 위한 체임버 도어 개폐로 인해 체임버 내의 온도가 약간 감소하였다. 본 실험에서는 체임버 도어의 개폐로 인한 온도 감소량을 최소화하

기 위해, 체임버 내에 폭 40 mm, 두께 30 mm, 길이 300 mm 강재 2개를 넣어 둔 채로 실험을 진행하였다.

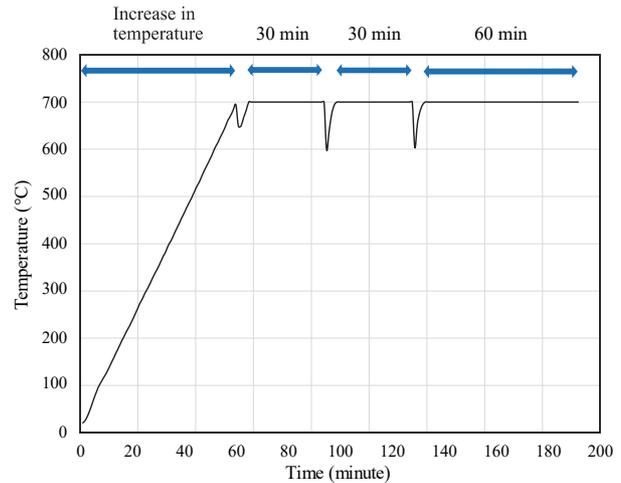


Fig. 3. Change in temperature inside chamber

2.4 200 °C 전기로 실험 조건 및 내용

100 °C에서 700 °C까지의 전기로 실험 결과, 200 °C부터 도막의 표면상태 변화가 시작되며, 300 °C에서 급격하게 변화하였다. 이에 가열온도 200 °C가 일반 중방식 도장계의 성능에 미치는 영향을 상세하게 검토하기 위하여 앞에서 설명한 4종류의 도장계 시편 2개씩에 대한 200 °C 가열실험도 실시하였다.

목표 가열온도는 200 °C로 하였으며, 최근 국내에서 발생하고 있는 화재 지속시간은 최대 30분 이내임을 고려하여 Fig. 4의 온도 이력으로 실험하였다. 실험에서는 먼저 전기로 체임버 내에 시편을 Fig. 4와 같이 가열한 후 30분이 경과한 뒤 체임버 도어를 개방하여 자연 냉각시켰으며, 상온에 도달한 후 외관 사진촬영, 광택도 및 색차 측정을 실시하였다.

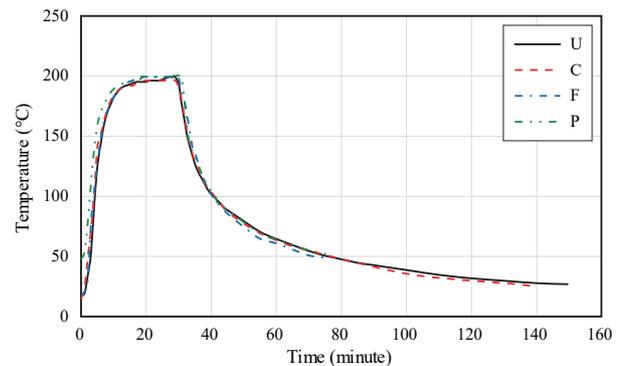


Fig. 4. Temperature - time curve

3. 실험결과

3.1 가열온도와 지속시간에 따른 도막 표면상태 변화

강교량의 점검 및 안전진단에 있어서 도장의 상태평가는 녹발생 및 도막의 노화(박리, 균열, 부풀음, 광택, 색차) 정도에 근거하여 실시되고 있다^{9),10)}. 본 실험에서는 ① 전기로 체임버 내의 온도를 목표 온도까지 상승시킨 후 ② 시편을 체임버 내에 넣고 ③ 30분, 60분간 목표 온도를 유지시킨 후 ④ 시편을 일시적으로 꺼내서 사진 촬영하고 ⑤ 시편을 다시 체임버 내에 넣어서 60분간 목표 온도를 유지시킨 후 실험 종료하고 사진촬영을 실시하였다. 따라서 목표온도 유지시간 30분, 60분 경과 후 외관조사를 위한 사진촬영만 가능하였고, 시편이 가열된 상태에서의 도막의 광택 및 색차 측정은 불가능하였다. 이에 따라 본 연구에서는 온도와 지속시간에 따른 도막의 표면상태는 도막의 변색과 도막의 박리(균열, 부풀음 포함)에 대한 육안조사에 근거하여 평가한다.

가열온도와 지속시간에 따른 표면상태 변화를 Fig. 5와 Table 5에 정리하였다. 먼저 우레탄계마감 도장(U시편)의 경우, 가열온도가 증가함에 따라 200 °C에서 미미하게 변색

되었고, 300 °C부터는 뚜렷하게 변색되었다. 그리고 400 °C, 500 °C에서는 도막 부풀음 및 박리가 발생하였으며, 600 °C, 700 °C에서는 도막의 균열 및 박리가 발생하였다. 또한, 가열 온도 300 °C의 지속시간이 60분에서 120분으로 증가함에 따라 도막의 부풀음이 현저하게 되는 것을 제외하고는 각 가열온도의 지속시간 30분, 60분, 120분에 따른 변색 또는 도막 박리의 현저한 차이는 발생하지 않았다.

세라믹계마감(C시편), 실록산계마감(P시편) 및 불소수지계마감(F시편) 도장의 경우에는 우레탄계마감 도장과 유사하게 200 °C에서 미미한 변색이 시작되었고, 300 °C에서 현저하게 변색되었다. 그리고 300 °C에서 부분적인 도막 박리가 발생하였으며, 400 °C에서는 도막 박리가 현저하게 발생하였다. 또한, 각 가열온도의 지속시간에 따른 현저한 차이는 발생하지 않았다. 단, 실록산계마감 도장의 경우에는 200 °C에서 현저한 변색이 확인되었다.

Table 5에 나타난 4종류의 도장계에 대한 가열온도 및 지속시간에 따른 변색 및 도장박리를 Table 6과 같이 간략하게 정리할 수 있으며, 강교용 일반중방식 도장계는 가열온도 200°C-300°C에서 변색이 뚜렷하게 발생하며, 300°C-400°C에서 도막의 균열, 부풀음 및 박리가 발생함을 알 수 있다.

U	Temperature (°C)							
	Room temp.	100	200	300	400	500	600	700
30 min								
60 min								
120 min								

Fig. 5. Surface condition according to temperature and duration time

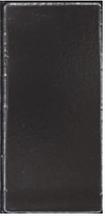
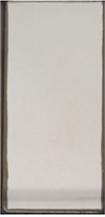
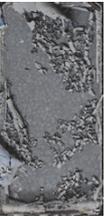
C	Temperature (°C)							
	Room temp.	100	200	300	400	500	600	700
30 min								
60 min								
120 min								
P	Temperature (°C)							
	Room temp.	100	200	300	400	500	600	700
30 min								
60 min								
120 min								

Fig. 5. Surface condition according to temperature and duration time (continued)

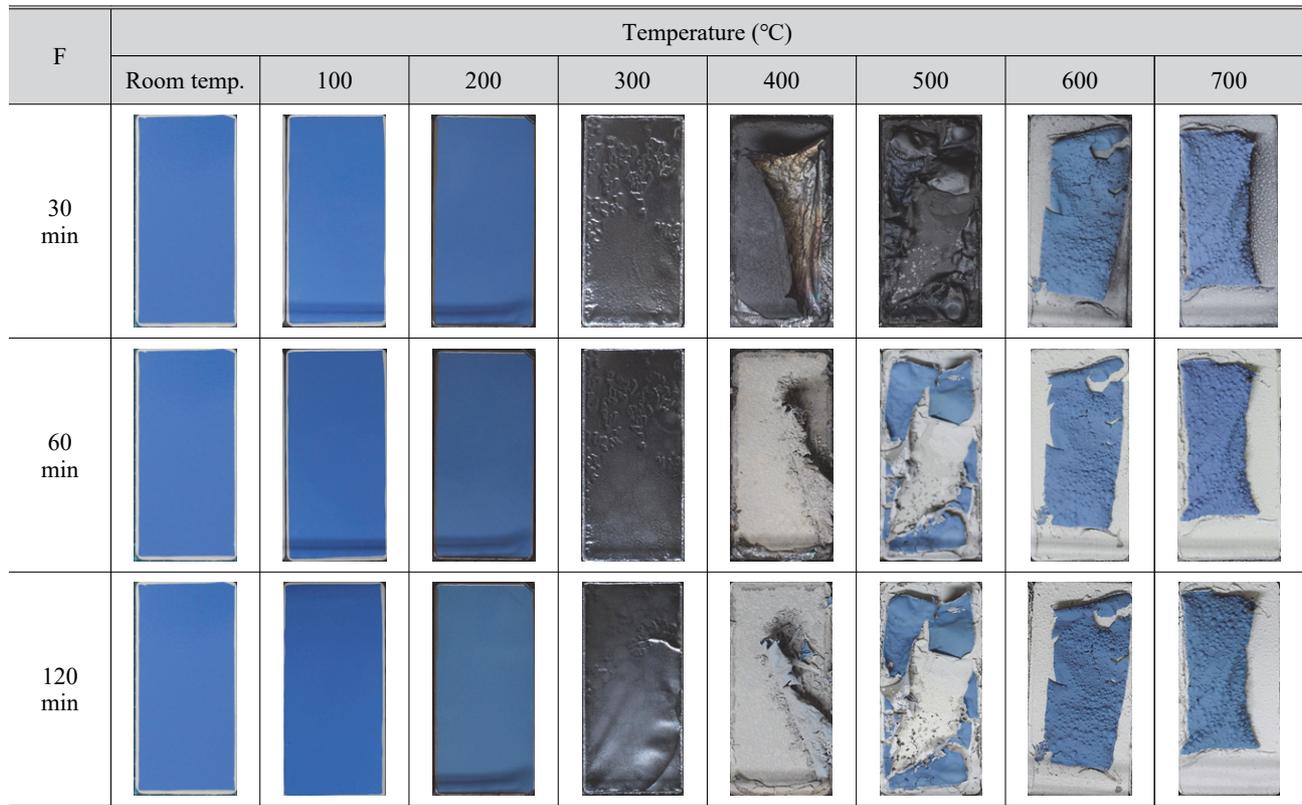


Fig. 5. Surface condition according to temperature and duration time (continued)

Table 5. Change in surface condition

Symbol	Surface condition	Temperature and duration time (minute)																							
		100 °C			200 °C			300 °C			400 °C			500 °C			600 °C			700 °C					
		30	60	120	30	60	120	30	60	120	30	60	120	30	60	120	30	60	120	30	60	120			
U	Discoloration	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	Delamination	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
C	Discoloration	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	Delamination	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
P	Discoloration	×	×	×	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	Delamination	×	×	×	×	×	×	×	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
F	Discoloration	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	Delamination	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

×: extremely slight change, △: perceivable change, ○: extremely marked change

Table 6. Change in surface condition simplified

Surface condition	Temperature (°C)						
	100	200	300	400	500	600	700
Discoloration	×	×(P)	○	○	○	○	○
Delamination	×	×	×(F)	○	○	○	○

3.2 200 °C에서의 도막 표면상태 평가

강교용 일반중방식 도장계는 200 °C부터 변색이 발생함을 확인하였다. 이를 보다 정량적으로 평가하기 위하여 가열온도가 200 °C일 때 실험 전과 후의 광택도 및 색차를 측정하였다(Fig. 6 참조).

가열온도 200 °C에 의해 도막의 광택도는 Table 7에 나타난 것과 같이 76 - 88에서 44 - 62로 약 30 % - 40 % 정도 감소함을 알 수 있다.

Table 7. Change in glossiness

Symbol	Before	After	Reduction ratio (%)
U	87.9	61.3	30
C	79.9	50.7	37
P	83.6	59.6	29
F	76.0	44.6	41

200 °C 가열 전· 후에 색차계를 이용하여 시편 표면상의 동일 위치의 L^* , a^* , b^* 을 측정하여 각각의 변화량을 계산하고 이를 식 (1)에 대입하여 색차(ΔE^*)을 산출하였다^[11]. 그리고 식 (2)을 이용하여 National Bureau of Standards (NBS) units을 계산하였다^[11].

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

여기서 L^* 값은 밝기를 말하는 것으로 흰색과 검정의 관계를 나타내고, a^* 값은 빨강(+)과 초록(-)과의 관계, b^* 값은 노랑(+)과 파랑(-)과의 관계를 나타낸다. 그리고 Δ 는 실험 전과 후의 각 값의 변화량을 나타낸다.

$$\text{NBS units} = \Delta E^* \times 0.92 \quad (2)$$

각 도장계에 따른 ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* 및 NBS 등급을 각각 Tables 8과 Table 9에 나타내었다. 우레탄계의 색차가 가장 작으며, 세라믹계, 불소수지계, 실로산계의 순으로 색차가 현저하게 발생하였다. 특히 실록산계마감 도장은 가열온도 200 °C에서 육안으로도 충분히 확인 가능한 정도의 색차가 발생하였다.

Table 8. Color difference

Symbol	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	NBS rating
U	0.375	-0.330	-0.660	0.8	0.8 (slight)
C	0.730	-0.585	-1.845	2.1	1.9 (noticeable)
P	6.785	-1.210	-9.160	11.5	10.5 (much)
F	0.015	-0.275	-3.140	3.2	2.9 (noticeable)

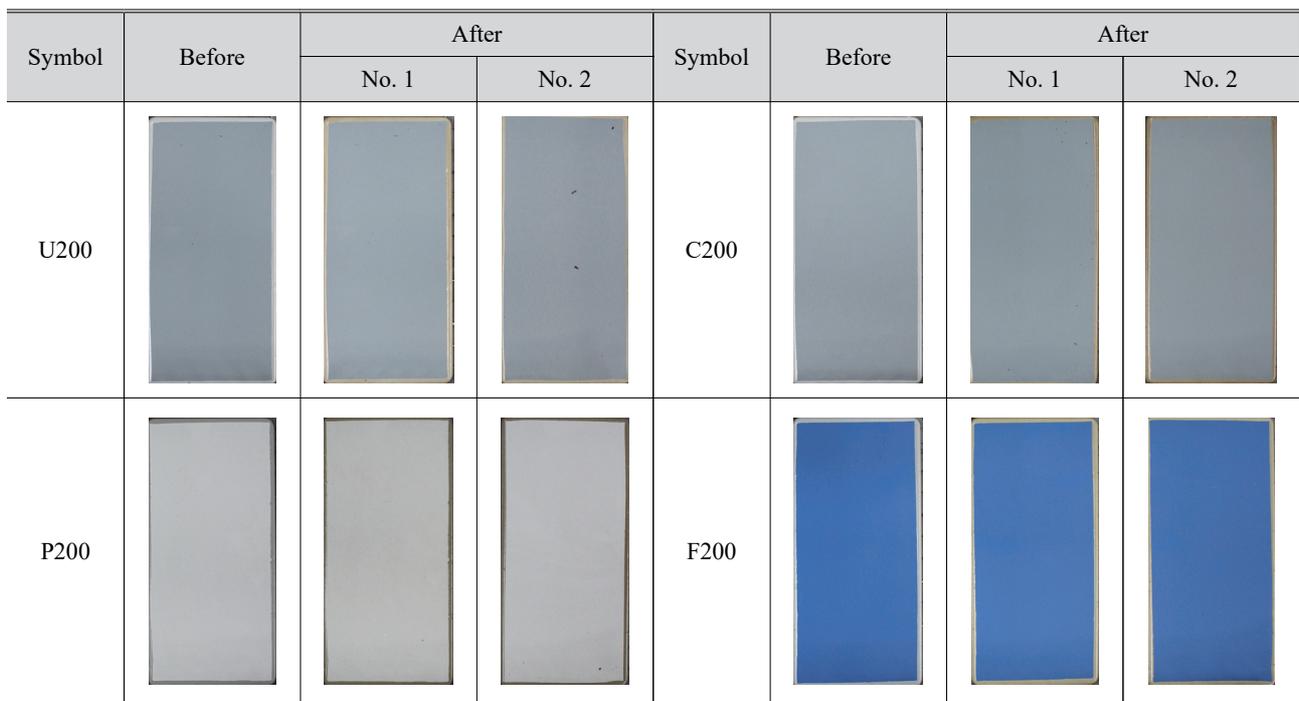


Fig. 6. Surface condition at 200 °C

Table 9. National Bureau of Standards (NBS) ratings

N.B.S unit	Sensitive expression of color difference
0.0 - 0.5	Trace (extremely slight change)
0.5 - 1.5	Slight (slight change)
1.5 - 3.0	Noticeable (perceivable change)
3.0 - 6.0	Appreciable (marked change)
6.0 - 12.0	Much (extremely marked change)
12.0 -	Very much (change to other color)

3.3 도막의 표면상태를 이용한 수열온도의 추정

화재 발생시 강재 및 콘크리트 부재의 역학적 특성은 화재(수열)온도 및 지속시간에 큰 영향을 받게 되며, 이에 관한 다양한 연구가 수행되고 있다^{[4],[7]}.

예를 들어, 일본건축학회 강구조내화설계지침^[12]에 따르면, 일반강구조용 압연강재 SS400과 용접구조용 압연강재 SM490의 항복강도가 상온시의 값을 유지하는 상한온도는 각각 300 °C와 250 °C로 규정하고 있다. 즉 각각의 강재온도가 300 °C와 250 °C까지 상승한 경우에도 상온시의 항복강도를 유지하고 있다. 그리고 고장력볼트 F10T와 S10T의 고온시 인장강도는 250 °C까지는 상온시 인장강도와 동일하게 평가하고 있다. 따라서 이 지침에 근거하여 구조용 압연강재와 고장력볼트는 화재발생시 수열온도 250 °C까지의 재료특성은 상온시와 동일하게 평가할 수 있을 것이다.

전술한 바와 같이 강교량에 화재가 발생한 경우, 강교량 관리자 측면에서는 화재 직후의 수열 정도에 따라 차량통행 제한이나 벤트 설치 등의 긴급조치 필요 여부를 신속하게 판단하는 것이 중요하다. 현재 콘크리트의 경우에는 변색 (Table 10)이나 표면상태에 의해 수열정도를 개략적으로 추정할 수 있지만, 강재 또는 도장된 강재에 대한 추정 기준은 전무한 실정이다.

Table 10. Color change of concrete^[13]

Temperature (°C)	Color change
- 300	Slight change
300 - 600	Pink or red
600 - 900	Whitish grey
900 - 1,000	Buff

표준시방서(KCS 14 31 40: 2016 도장)^[8]에 따르면 강교량의 일반중방식계 도장에는 우레탄계, 세라믹계, 실록산계 및 불소수지계가 있으며, 본 연구에서 모든 일반 중방식 도장계를 대상으로 가열실험을 실시하였다. 따라서 본 실험 결과로부터 제시한 Fig. 5와 Table 5의 화재 후 도막의 변색 및 박리 정도를 이용하여 화재온도를 신속하게 추정할 수 있을 것이다. 그리고 이를 콘크리트와 유사하게 Table 11과 같이 간략하여 나타낼 수 있을 것이다. 단, 본 실험에서는 대상 시편의 개수가 적고, 규모가 작은 화재시의 화재온도와 지속시간을 전기로를 이용하여 모사하였다. 그리고 화재 직후의 차량통행 제한이나 벤트 설치 등의 긴급조치 필요 유무 판단을 위한 기초자료 제공을 목적으로 하고 있으므로, 본 결과의 직접 적용에 있어서는 이점에 유의하여야 한다.

Table 11. Change in surface condition for heavy duty paint

Temperature (°C)	Discoloration	Delamination
- 200	Slight change	No change
200 - 300	Perceivable change	
300 - 700	Extremely marked change	

4. 결론

본 연구는 화재 후의 도장 표면상태로부터 화재온도 및 지속시간 추정을 위한 기초적 연구로서 표준시방서(KCS 14 31 40: 2016 도장)의 일반중방식도장계 4종류(우레탄계, 세라믹계, 실록산계, 불소수지계)을 대상으로 전기로를 이용하여 가열온도 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C와 지속시간 30분, 60분, 120분간의 가열실험을 실시하였다. 그 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 가열온도 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C에 따라, 100 °C에서는 표면상태변화가 없으며, 200 °C에 미소한 변색이 발생하고, 300 °C부터 육안으로 뚜렷하게 구별 가능한 정도의 변색이 발생하였다. 도막의 박리(도막의 부풀음, 균열 포함)는 가열온도 300 °C부터 발생하였으며, 400 °C에서는 대부분의 상도가 박리되었다. 즉 강교용 일반 중방식도장계의 변색은 200 °C - 300 °C에서 발생하였으며, 도장의 박리는 300 °C - 400 °C에서 발생하였다.

- (2) 가열온도의 지속시간 30분, 60분, 120분에 따른 도막의 변색 및 박리 정도의 현저한 차이는 발생하지 않았다. 따라서 도막의 표면상태 변화 정도는 주로 가열온도의 영향을 받으며 지속시간에 의한 영향은 미미한 것으로 판단된다.
- (3) 가열온도 200 °C에 의해 4종류의 일반 중방식 도장계의 광택도는 30% - 40% 정도 감소하였으며, 폴리실록산계 도장계에서만 육안으로 확인 가능할 정도로 색차가 현저하였다.
- (4) 가열온도에 따른 도막 표면상태(Fig. 5 또는 Table 5)를 이용하여 일반 중방식도장계로 방식처리 된 강교의 화재온도를 근사적으로 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2017R1A2A2A05069679).

참고문헌(References)

- [1] Shim, J.-W., and Shin, Y.-H. (2010) Fire Damage Evaluation on Fire Source Under the Bridge, *Magazine of the Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 22, No.2, pp.75-78 (in Korean).
- [2] Lee, J.-B., Kim, I.-K., and Cha, C.-J. (2011) Fire Damage Case and Condition Analysis About Concrete Bridges, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol. 23, No.3, pp.32-38 (in Korean).
- [3] Jeoung, C., Kim, W., Gil, H., Lee, I., and Yun, S.-H. (2014) Fire Risk Assessment for Bridge on the Highway, *Proceedings of COSEIK Annual Conference*, Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol.27, pp.237-241 (in Korean).
- [4] Kim, S.-H., Chung, K.-S., and Choi, S.-M. (2014) Residual Strength of Steel and Composite Structures Damaged by Fire, *Magazine of the Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.5, pp.34-39 (in Korean).
- [5] Park, K.-C., Choi, S.-M., and Kim, D.-K. (2000) Evaluation on Fire Test for the Concrete Filled Steel Tube Column: Fire Damage Evaluation on Steel Tube and Concrete After a Fire Test, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.12, No.2, pp.759-767 (in Korean).
- [6] Kim, S.-Y., Lee, J.-S., Lee, H.-D., and Shin, K.-J. (2020) Collapse Behavior of PEB Building Through Fire Test, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.32, No.1, pp.1-10 (in Korean).
- [7] Lee, S.Y., Kang, S.D., Choi, S.K., Kim, M.H., and Kim, S.D. (2006) Experimental Study on the Fire Resistance of the iTECH Composite Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.18, No.5, pp. 643-653 (in Korean).
- [8] Korean Construction Specification (2016) *Korean Construction Specification: Paint* (KCS 14 31 40: 2016) Korea (in Korean).
- [9] Lee, C.Y., and Chang, T. (2016) Service Life Prediction for Steel Bridge Coatings with Type of Coating Systems, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.5, pp.325-335 (in Korean).
- [10] Korean Agency for Technology and Standards (2002) *Paint and Varnishes: Evaluation of Degradation of Paint Coatings* (KS M ISO 4628: 2002), Korea (in Korean).
- [11] Al Qahtani, M.Q., and Binsufayyan, S.B. (2011) Color Change of Direct Resin-Based Composites After Bleaching: An In Vitro Study, *King Saud University Journal of Dental Sciences*, Elsevier, Vol.2, pp.23-27.
- [12] Architectural Institute of Japan (2008) *Recommendation for Fire Resistant Design of Steel Structures*, AIJ, Japan (in Japanese).
- [13] Bessey, G.E. (1950) *Investigations on Building Fires, Part 2, The Visible Changes in Concrete or Mortar Exposed to High Temperatures* (National Building Studies Technical Paper No. 4), Her Majesty's Stationary Office, UK, pp.6-18.

요 약 : 본 연구는 소규모 화재가 발생한 강교량의 화재 직후의 차량통행 제한이나 벤트 설치 등의 긴급조치 필요 유무의 판단을 위한 육안판단 기준을 마련하기 위하여 전기로를 이용한 강교용 일반중방식 도장계의 전기로 가열실험을 실시하였다. 도장계는 표준시방서 (KCS 14 31 40: 2016 도장)의 강구조물용 일반중방식계 도장계인 우레탄계마감, 세라믹계마감, 실록산계마감 및 불소수지계마감의 4종류로 가열온도는 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C이고 가열온도의 지속시간은 30분, 60분, 120분간으로 하였다. 실험 전과 후의 변색 및 도막 박리, 균열, 부풀음에 대한 육안 표면상태평가와 광택도 및 색차를 측정하여 온도와 지속시간에 따른 일반중방식 도장계의 도막 표면상태를 평가하였다. 그 결과 강교용 일반중방식 도장계는 200 °C - 300 °C에서 변색이 발생하며, 300 °C - 400 °C에서 도막의 박리, 부풀음, 균열이 발생함을 확인하였다.

핵심용어 : 강교, 화재, 일반중방식도장계, 가열온도, 지속시간, 표면상태평가
