

# 내화구조의 내구성 평가 및 유지관리에 대한 연구

## 1. 서론

일반적으로 건축물에 화재가 발생하는 경우 인명과 재산피해를 최소화하기 위해서는 건축물의 기둥, 보, 벽, 바닥 등과 같은 주요 구조부를 내화구조로 구성하도록 규정하고 있으며, 특히 철골조 건축물의 경우 화재시 고온에 의한 건축물 주요 부재의 내력이 건축물을 유지할 수 없을 만큼 저하되어 건축물이 붕괴되는 위험을 초래하게 되므로 이를 방지하기 위하여 현재 국내에서는 내화피복(건식, 습식, 도료), 데크플레이트 합성바닥판 등으로 건축물 부위별로 1~2시간의 내화성능을 인정받도록 하고 있다.

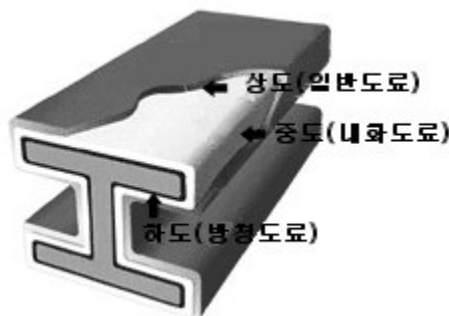
하지만 이러한 내화구조에 대한 성능인정의 경우 그 구조 및 재료에 대한 제작초기시의 내화성능을 위주로 평가와 인정이 이루어지고 있으며, 기 인정된 내화구조에 대한 장기적인 내구성 변화에 대하여는 별다른 검토 및 관리가 이루어지지 않고 있는 실정으로, 특히 철골용 내화피복재 및 내화도료의 경우는 외부 환경 등에 따라 그 내구성의 변화가 발생할 수 있는 가능성이 타 구조 및 재료에 비하여 큰 만큼 내구성의 확보 및 이를 적정하게 시험·평가할 수 있는 기술개발이 필요하다.

이에 본 연구는 철골구조물에 적용되는 내화도료의 내화성능에 영향을 줄 수 있는 내구성에 대한 평가 및 유지관리방안을 제시할 목적으로 수행하게 되었으며, 본고는 그 범위를 내화도료의 내구성 평가 등에 대한 기초이론 등으로 구성하고자 한다.

## 2. 내화도료의 구성 및 내화구조 인정

### 가. 내화도료 구성

내화도료는 주로 철골부재의 내화피복을 위한 도료로서, 도장시스템은 [그림 1]과 같이 '하도(방청도료)+중도(내화도료)+상도(일반도료)'로 구성된다. 내화도료 중 하도는 KS M 5311에서 규정하는 일반적인 방청성 도료(광명단)로서 내화도료 사양에 따라 사용되며, 상도는 중도인 내화도료를 보호하기 위해 내구성이 있는 염화고무계도료, 알키드계도료 및 에폭시/우레탄도료 등이 흔히 사용되고 있다.



[그림 1] 내화도료 도장 시스템 개요

내화도료는 크게 무기 내화도료와 유기 내화도료로 분류할 수 있는데, 유기 내화도료는 도막을 발포하기 용이한 상태로 만들어 주는 수지, 가스를 방출시켜 도막을 수십 배의 두께로 발포시켜 주는 발포제, 탄화도막의 주성분을 제공하는 탄화제, 가스방출과 탄화도막 형성반응을 촉진시키는 촉매 등으로 구성되며, 무기 내화도료는 결정수를 포함하는 무기 질 수지 및 흡열 반응을 일으켜 외부의 열을 흡수하여 철골을 보호할 수 있는 기능성 안료 및 반응을 촉진하는 촉매 등으로 구성된다.

## 나. 국내 내화도료 인정

[표 2]는 현재 국내 내화도료의 내화구조 인정 현황을 나타낸 것으로 7개 업체 총 9종의 내화도료가 내화구조로 인정되어 있다.

[표 2] 국내 내화도료의 내화구조 인정 현황

인정업체	상품명	내화시간 (hr)	피복두께 (mm 이상)
(주)케이씨씨	FIREMASK IQ-2000	2	6.10
	FIREMASK SQ-1400	1	0.80
삼화페인트공업(주)	FLAME CHECK SS-700	1	0.85
(주)디피아이	화이어블로킹 MPS-075	1	0.80
	화이어블로킹 MPS-080	1	0.85
동서화학공업(주)	안타화이어 DS-200	1	1.15
현대페인트공업(주)	FLAME GUARD #800	1	0.90
하이템(주)	NFC-G4(NFC-G402)	2	3.90
(주)한두화이어코트	FireCoat(FCO-2003A)	1	0.80

※ 출처 : 한국건설기술연구원(www.kict.re.kr, 2006년 4월 현재)

[표 3] 내화구조 인정 내화도료의 품질 현황

항 목	품질 현황	
	무기도료	유기도료
비중	1.3 ~ 1.7	1.25 ± 0.20
점 도	2,000 ~ 40,000 cps	110 ± 20 KU
흐름성 (mil)	80 이상	-
안료분 (wt %)	52 ± 3	52 ± 3
불휘발분 (wt %)	60 ~ 80	68 이상
건조시간 (지촉건조, min)	120 ~ 240	30 ~ 60 이하

내화도료 인정시 내화도료 제조업체는 한국건설기술연구원장에게 '내화구조 인정 신청서'를 작성하여 제출하고, 인정 절차에 따라 서류검토 및 공장심사를 받게 된다. 이후 제

조업체는 선택한 국가공인시험기관의 관리·감독 하에 채취된 시료로 시험체 제작 및 양생을 하여 내화구조 인정 신청을 위한 품질시험을 받게 된다. 시험기관은 시험체에 대한 규격 확인 후 내화시험 및 부가시험을 실시한다.

[표 4] 내화도료 내화시험

구분	세 부 사 항
시험 방법	- KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법-일반요구사항, 2005) - KS F 2257-6(건축구조부재의 내화시험방법-보의 성능조건, 1999) - KS F 2257-7(건축구조부재의 내화시험방법 - 기둥의 성능조건, 1999) - 내화구조의 인정 및 관리기준(건설교통부고시 제2005-122호, 세부운영 지침)
성능 기준	- 강제 평균온도 : 각 단면에서 측정된 평균온도 538 ℃이하 - 강제 최고온도 : 온도가 측정된 어느 곳에서도 측정온도가 649 ℃ 이하

[표 5] 내화도료 부가시험

구분	세 부 사 항
부착 강도	- 시험방법 : KS M ISO 4624(도료와 바니시 - 부착 박리 시험, 2002) - 성능기준 : 신청자가 제시한 부착강도 이상
가스 유해성	- 시험방법 : KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법, 1998) - 성능기준 : 실험용 흰 쥐의 평균 행동 정지 시간이 9분 이상

### 3. 내화도료 내구성 평가, 유지 관리

#### 가. 국내 현황

현재 국내에는 내화도료의 내구성에 대한 성능기준 및 이를 평가할 수 있는 시험방법은 별도로 제정되어 있지 않고 있으며, 단지 내화도료, 방염도료, 단열도료 및 난연도료를 모두 포함하는 개념으로서의 방화도료에 대한 기준이 KS M 5328에 규정되어 있다. 방화도료를 제외한 일반 도료의 경우 내습성 및 내후성을 평가할 수 있는 시험규격이 있으나 도료의 시공방법 및 시공두께 등이 내화도료와 차이가 크므로 그 적용에 무리가 있다.

[표 6]은 일반도료 등에 적용되는 내습성 및 내후성 등 내구성 시험방법을 정리한 것이다.

[표 6] 일반 도료의 내구성 시험방법

종류 구분	판 정 기 준
KS M ISO 11503	- 도료와 바니시 내습성 측정 - $40 \pm 3$ °C, 상대습도 98 ~ 100 %, 16시간(응축기간) $23 \pm 5$ °C, 상대습도 $50 \pm 20$ %, 8시간(건조기간)
KS M ISO 11997-1	- 도료와 바니시 순환부식조건에 대한 저항성 측정 - 염수농도 $50 \pm 10$ g/L, pH 5.0 ~ 8.0, 24시간, 48시간 및 7일
KS M ISO 11997-2	- 도료와 바니시 순환부식조건에 대한 저항성 측정 - NaCl 농도 $0.5 \pm 0.01$ g/L, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 농도 $3.5 \pm 0.01$ g/L UVA 340 램프로 60 °C, 4시간 광조사 및 50 °C, 4시간 응축 반복 $23 \pm 2$ °C, 염수분무 20분, $35 \pm 2$ °C, 건조 60분의 1 Cycle
KS M ISO 4611	- 플라스틱의 습열, 수분무 및 염수분무에 대한 폭로효과 측정 - 정상시험 : $40 \pm 2$ °C, 상대습도 $93 \pm 3$ % - 반복시험, 12 + 12 Cycle $25 \pm 3$ °C에서 $40 \pm 2$ °C, $25 \pm 3$ °C에서 $55 \pm 2$ °C, 상대습도 $93 \pm 3$ %
KS M 5328	- 건축용 방화도료 건조습기 반복시험 - $20 \pm 3$ °C, 상대습도 90 %, 19시간, 50 °C 건조기내 5시간, 3회
KS M 5000 - 3231	- 도료의 촉진내후성 시험방법 - 온도 $63 \pm 3$ °C, 2시간 주기로 102분 카아본 방전, 18분 조사후 물 분무, 5일 운전, 2일 정지
KS M 5000 - 3241	- 도료의 옥외폭로 내후성 시험방법 - 연평균 일조시간 2,000시간 이상, 연평균 일사량 100,000 Langley 이상
KS R 4069	- 선 사인 카본아크식 내광성 및 내후성 시험 - 온도 $63 \pm 3$ °C, 습도 $65 \pm 10$ %에서 102분 조사

## 나. 국외 현황

일본에서는 1987년부터 내화도료를 건축기준법 제38조에 규정한 건설대신의 특별인정에 의해 철골구조 건축물에 적용하는 시도가 시작되었으며, 1998년 일본강구조협회의 「내화도료 유지관리 지침」이 제정되어 현재 적용되고 있다.

내화도료 유지관리 지침에 의하면 촉진내구성시험에 합격한 내화도료 시스템에 대하여는 시공 후 5년간 그 적용을 인정하고 이후 5년마다 적용되는 건물과 동등 환경에 노출된 시험체의 내화시험과 건물의 외관검사를 실시하여 이상이 발견되는 경우 그에 대한 대책을 실시하도록 규정하고 있다.

영국, 독일 등 유럽에서 내화도료는 30분~90분(북유럽에서는 120분까지 허용)의 내화구조의 적용재료로 인정받고 있는데, 독일의 경우 건물에 내화도료를 적용시 베를린의 건축기술연구소에서 내화도료의 내화성능과 유효기간에 관한 인정시험을 실시하도록 하고 있으며, 인정시험은 DIN 4102 Part 1 및 2와 「DIN 4102의 내화성능 F30에 적합한 철골용 내화도료 시험과 인가 수속」의 기준을 적용하도록 하고 있다. 내화도료의 내구성 평가는 내화도료 시험체에 대한 촉진내구성시험과 폭로시험을 실시하도록 하고 있으며 이를 통하여 최소 3년에서 영구적인 내구성에 대한 인정이 이루어지고 있다.

영국에서는 내화도료의 사용조건으로 BS 476의 규정에 의한 내화시험을 요구하고 있으나 내구성과 유지관리에 관한 별도의 법적 규제는 없다. 단, 시공시 신뢰성이 있는 기관에서 품질이 증명된 제품을 사용할 수 있도록 내화도료 제조업체에서는 자체적으로 CERTIFIRE의 내화인정을 취득, 유지하고 있다.

일본, 독일 및 영국 등의 내화도료 성능평가의 경우 독일에서는 내구성 평가를 법적으로 요구하고 있는데 반하여 영국에서는 내구성 평가를 건물 소유자가 내화도료 제조업체에 요구하고 제조업체가 스스로 내구성을 평가한다는 점에서 차이가 있으며, 내구성을 평가하는 목적에서도 내구성 및 폭로시험 후의 내화시험으로 평가한다는 원칙은 일본, 독일 및 영국이 동일하지만 독일은 내화도료의 유효기간을 정하기 위한 것이고, 영국은 내화도료가 시공되는 환경 하에서 내화성능을 계속 유지할 수 있는 재료와 내구성이 저하될 가능성이 있는 재료를 판단하는 기준을 제공한다는데 그 목적을 두고 있다. 특히, 영국의 내화도료 내구성시험은 일반적으로 사용되고 있는 뿔칠내화피복재 등과 동등 이상의 내구성을 유지한다는 것을 증명하기 위한 시험법 제안으로 인식되고 있다.

[표 7]~[표 10]은 일본, 독일 및 영국에서 규정하는 내화도료 촉진내구성 시험방법, 폭로시험방법 및 가열시험 판정기준, 시험체 규격 등을 비교하여 정리한 것이다.

[표 7] 옥내용 내화도료 촉진내구성 시험방법 비교

구분	종류	내화도료 시공관리 지침	DIN 4102	BS 8202 Part 2
시험방법		복합 Cycle	복합 Cycle	개별 시험
시험 항목	고습도 폭로	1 Cycle 40 °C ± 2 °C 95 % RH 48 시간	-	1 Cycle 35 °C 이상 250 시간
	동결융해	21 Cycle -20 °C ± 2 °C 4 시간 노출 20 °C ± 2 °C 4 시간 노출	21 Cycle -20 °C 4 시간 노출 20 °C 80 % RH 4 시간 노출 40 °C 50 % RH 16 시간 노출	5 Cycle -20 °C 24 시간 노출 20 °C 24 시간 노출

[표 8] 옥외용 내화도료 촉진내구성 시험방법 비교

종류		내화도료 시공관리 지침	DIN 4102	BS 8202 Part 2
구분				
시험방법		복합 Cycle	복합 Cycle	개별 시험
내화도료 (상도 미포함)		1 Cycle 20 °C ± 2 °C 48 시간 수중침지	7 Cycle 40 °C, 100 % RH 8시간 실온, 75 % RH, 16시간	-
내화도료 (상도 포함)	촉진내후성	336 시간 (선 샤인 카본아크) 블랙패널 63 °C 12/60 분 발수	20 시간 (크세논 아크) 55 °C S-WOM (Xe램프)	2,000 시간 (자외선 카본아크) 20 °C 19/24 시간 발수
	동결융해	7 Cycle -20 °C ± 2 °C 15 시간 노출 20 °C ± 2 °C 9 시간 수중침지	4 Cycle 40 °C 노출 -25 °C 노출 70 °C 노출	10 Cycle -20 °C 24 시간 노출 20 °C 24 시간 노출
	고습도 폭로	3 Cycle 40 °C ± 2 °C 95~100 % RH 6일 노출 40 °C ± 2 °C 55~60 % RH 1일 노출	167 시간 40 °C 100 % RH	1 Cycle 1,000 시간 35 °C 이상
	아황산가스 폭로	1 Cycle 8시간	1 Cycle 7시간	20 Cycle 40 °C ± 3 °C 8 시간 폭로후 16 시간 노출
	염수분무	352시간 염수농도 5 %, 35 °C	7시간 25 °C	2,000 시간 자연해수농도 20 °C

[표 9] 촉진내구성 시험체 사양 및 가열시험 판정기준 비교

종류		내화도료 시공관리 지침	DIN 4102	BS 8202 Part 2
구분				
시험체		300 × 300 × 3.2t	옥내 500 × 500 × 5t 옥외 300 × 200 × 5t	H형강 152 × 152 × 500 H <sub>p</sub> /A = 165
시험체 수량	옥내	3개	2개	2개
	옥외	3개 (상도 포함) 3개 (상도 미포함)	2개 (상도 포함) 2개 (상도 미포함)	5개
판정 기준		1) 외관 관측 균열, 부풀음, 변색 등 관찰	1) 외관 2) 강판의 온도 3) 발포시간 4) 발포종류 5) 발포층의 체적 6) 도료의 부착성 7) 발포구조	1) 내화시간의 차 25%이내 54분후 강제평균 온도 550 °C 이하

[표 10] 폭로시험 시험체 사양 및 가열시험 판정기준 비교

종류 구분		내화도료 시공관리 지침	DIN 4102	BS 8202 Part 2
시험체		300 × 300 × 3.2t ~ 6t	500 × 500 × 5t	H형강 152 × 152 × 500 H <sub>p</sub> /A = 165
시험 체 수량	옥내	12개 (5년 × 4회, 1개소)	4개 (2년, 5년)	1개
	옥외	5개 (2년후 × 1회 5년 × 4회, 1개소)	12개 (2년, 5년, 10년) 각 3개소	1개
폭로 시험	옥내	실내보존 5년마다 4회, 1개소	실내보존 2년간 4회, 1개소	-
	옥외	실외보존 5년마다 4회, 1개소	-	-
판정 기준		1) 외관 관측 균열, 부풀음, 변색 등 관찰	1) 외관 2) 강판의 온도 3) 발포시간 4) 발포종류 5) 발포층의 체적 6) 도료의 부착성 7) 발포구조	1) 가열시험 내화시간의 차 25%이내 54분후 강제평균 온도 550 °C 이하

#### 다. 관련 연구 현황

일본에서는 일본강구조협회에서 내화도료의 내구성 평가와 관련하여 1993년 상도를 포함한 내화도료 시스템에 대하여 자외선폭로, 동결융해, 고습도 폭로, 염수분무 및 내수성의 촉진내구성시험과 가열시험을 실시하였으며, 상도를 포함하지 않은 내화도료 시스템에 대하여 내수성 시험과 가열시험을 실시하였다.

또한 촉진내구성 시험 외에 폭로시험으로 내화도료 3개 System(상도 포함, 상도의 두께를 규정의 1/2로 시공, 상도 미포함)에 대한 6개월, 1년, 1.5년의 폭로시험을 실시하였다.

위와 같은 촉진내구성 시험결과 상도를 포함한 내화도료의 경우 외관 등에 균열 및 중량변화 등은 발생하지 않았으며, 내구성 시험 후 실시한 가열시험에서도 내화성 저하가 발생하지 않았다. 단 상도가 포함되지 않은 내화도료의 경우 내수성시험에서 도막내의 성분 유출 및 가열 시험 시 발포 이상 등 일부 성능저하 현상이 나타났다. 또한 내화도료 3개 시스템에 대한 6개월, 1년, 1.5년의 폭로시험에서는 별다른 외관상의 변화 및 내화성능의 저하가 나타나지 않았다.

프랑스에서는 내화도료의 경년변화에 대한 연구로 옥내용 내화도료에 대하여 1979년부터 1987년까지 프랑스 내무성 산하 CTICM (Centre Technique Industriel de la Construction Métallique)에서 실시한 폭로실험 결과 내화도료의 내구성이 내화성능에 영향을 미칠 만큼 저하되지 않는다는 연구결과를 발표하였다.

[표 11]~[표 13]은 프랑스 CTICM 및 벨기에에서 실시한 옥내용 내화도료에 대한 폭로실험의 개요 및 결과를 나타낸 것이다.

[표 11] 프랑스 CTICM 옥내용 내화도료 폭로실험 개요

구분	종류	실험 개요
실험체	강관 □ - 150 × 50 × 3.2	
폭로 기간	1개월, 1년, 3년, 8년	
실험 방법		- 장기 폭로후 ISO 834의 표준가열곡선을 적용한 가열실험 - 가열 중 1.3 m span에 대한 재하실험

[표 12] 프랑스 CTICM 옥내용 내화도료 폭로실험결과

시험항목		폭로기간	1개월	1년	3년	8년
온도상승 시간 (min)	100 °C		4	3	3	2
	100 ~ 200 °C		5	2.5	4	3
	200 ~ 400 °C		14	214	18	13
내화성능 (min)			26	29	26	26
붕괴시 강제온도 (°C)			455	510	490	550

[표 13] 벨기에 옥내용 내화도료 폭로실험결과

시험체	540 °C 도달 시간 (min)	
	2개월 폭로	4개월 폭로
A	27	26
B	24	24
C	41	41
D	42	45

현재 내화도료 내구성 관련 연구동향 등에서 주목할 사항은 Euro Code의 제정동향으로 Euro Code 제품지정에는 구조물의 내구성에 관한 조항이 담겨지게 될 예정이나 구체적인 내용은 정해지지 않고 있다. Euro Code 도입 후에는 유럽 각국의 내구성에 대한 기준은 폐지될 예정이나 내화도료 사용에 대한 범위 및 규정 등이 유럽 각국 마다 상당한 차이가 있어 조정에 상당한 기간이 필요할 것으로 생각된다.

단기적인 움직임으로 독일에서는 과거의 내구성 시험 결과로부터 내화도료 내구성 저하가 수분과 온도변화에 기인한다고 평가, 내구성 시험시 고습도 폭로와 동결융해시험을 강화하고, 크세논램프 조사시험은 삭제하는 방향으로 평가방법 개정이 진행되고 있다. 영국에서는 시험방법 및 유지관리에 대한 특별한 변경은 검토되고 있지 않으며, 단지 CERTIFIRE의 내화인정방법을 3년에 1회로 변경할 것과 평가시 BS 8202 Part 2의 규격을 도입할 것인지에 대한 검토가 진행되고 있다.

현재 UL 및 NIST를 주축으로 내화피복재 및 도료에 대한 내구성 시험방법인 UL 2431(Standard for Durability Tests for Fire Resistive Materials Applied to Structural Steel)의 제정 작업이 진행되고 있다.