

# 내화도료의 내화성능 평가

강은수 | 건축구조부 선임연구원  
김대회 | 선임연구원  
서희원 | 연구원

1. 머리말
2. 내화도료
3. 내화도료의 내화구조 기준  
및 내화구조 인정 시험
4. 내화도료의 내화시험 사례
5. 맺음말

## 1. 머리말

산업의 발달과 더불어 건축물은 경량화, 고층화, 대형화, 복합 용도화되는 추세에 있다. 또한, 산업구조가 세분화되고 전문화되면서 대규모 석유화학산업이나 군수산업과 관련되어 위험물을 저장, 취급하는 시설도 증가하는 추세에 있기 때문에 위와 같은 시설물에 대한 화재 위험성도 더불어 증가하고 있다.

특히, 많은 장점으로 인해 철골건축물로의 건립이 급격히 증가하고 있으며, 주요구조부의 골격을 이루는 철강재의 소요량도 급격히 증가하는 추세에 있다. 한편, 철강재는 불연재로서 불에 타지 않지만 내화성능이 약하기 때문에 화재로 인해 철강재의 내부온도가 상승하게 되면 인장 강도, 압축 강도 및 항복점이 변화하면서 철강재 내부의 구조적 특성이 변하게 된다. 철강재의 내부온도가 550℃~600℃까지 가열되어 일정시간이 지나게 되면 인장 강도가 초기 강도의 50%~70%로 감소되기 때문에 본래의 구조적 기능을 발휘할 수 없게 된다. 따라서, 화재발생시 주요구조부의 변형 및 붕괴를 미연에 방지하기 위해서는 철골 부재를 포함한 건축물의 주요구조부는 내화구조로 하여 화염과 고열로부터 보호조치를 하도록 법으로 규정하고 있다.

특히, 철골부재의 내화피복재인 내화도료는 뛰어난 시공성과 미관성, 우수한 내후성, 유지관리의 용이성 등으로 공장건축물에 널리 사용되고 있다. 한편, 내화도료로 사용하기 위해서는 ‘내화구조의 인정 및 관리기준(건설교통부고시 제2005-122호)’에 의해 내화구조로서 인정을 받아야 하는데, 이 기준은 KS F 2257-6(건축구조부재의 내화시험방법 - 보의 성능조건), KS F 2257-7(건축구조부재의 내화시험방법 - 기둥의 성능조건)에 의한 내화시험 및 부가시험으로서 부착강도, 가스유해성을 시험하도록 하고 있다.

본 고에서는 내화도료의 발포메카니즘과 내화구

조 인정현황 및 내화성능 시험사례 등을 소개하고자 한다.

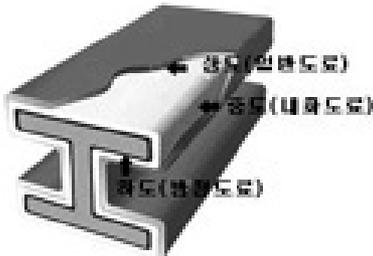
## 2. 내화도료

### 2.1. 내화도료의 구성과 발포 메카니즘

#### 2.1.1 구성

내화도료는 주로 철골보 및 기둥 등 철골부재의 내화피복을 위한 도료로서, 내화도료의 도장시스템은 그림 1과 같이 '하도(방청도료)+중도(내화도료)+상도(일반도료)'로 구성되는데, 하도는 KS M 6030에서 규정하는 일반적인 방청성 도료(광명단)로서 내화도료 사양에 따라 사용되며, 상도는 중도인 내화도료를 보호하기 위해 내구성이 있는 불소수지도료, 아크릴실리콘수지도료, 폴리우레탄수지도료 등이 사용되고 있다.

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



[그림 1] 내화도료 도장 시스템 개요

#### 2.1.2 발포 메카니즘

일반적인 내화도료에 있어 가장 중요한 내화 단열층을 형성하게 되는 원리는 포비이론(Intumescence Theory)에 기초하고 있으며, 열의 전도식과 연관지어 설명하면 다음과 같은데, 먼저 화원으로부터 도막을 통하여 기재로 전달되는 열량은 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$Q = \frac{A\lambda(\Delta T)}{L}$$

여기에서,

Q : 화원으로부터 기재를 통하여 이동되는 열량

A : 열이 전달되는 면적

$\lambda$  : 건조도막의 열전도율

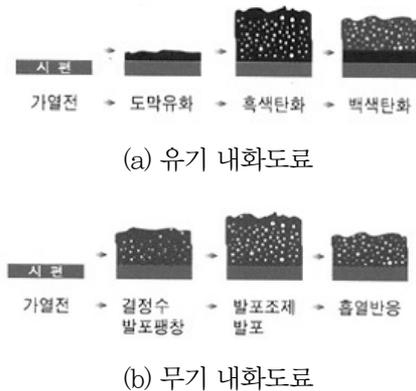
$\Delta T$  : 화원과 기재와의 온도 차이

L : 건조도막의 두께

건조도막을 형성하고 있는 구성요소들은 통상 외 부온도(-15℃~35℃)에서는 분자 구조의 배열 상태가 매우 안정하기 때문에 상도도료의 기능을 발휘할 수 있다. 그리고, 화재로 인한 화염에 노출되어 도막 내부의 온도가 계속해서 상승하게 되면 각 구성요소들이 상호 가열에 의한 화학반응을 통하여 거대 고분자화되고, 소화온도(250℃ 이상)에서는 탄화재와 불연성 가스를 생성하면서 본래의 건조도막보다 80~100배의 발포 팽창막을 형성하게 되기 때문에 결국 L값이 80~100배 커지게 된다. 또한 발포 팽창층은 도막 내부에서 생성된 미세 기포를 핵으로 하여 성장한 대단히 작은 셀(Cell)의 집합체로서, 불연성 단열층을 이루고 있기 때문에 일반적인 도막이 갖는 열전도율 값(0.1~0.3 Kcal/mh℃)에 비하여 발포 팽창층의 값은 공기의 열전도율인 0.01~0.03 Kcal/mh℃ 정도까지 저하된다.

이와 같은 발포 팽창층의 표면은 도료 중에 함유된 무기계 안료들이 고온에서 녹으면서 형성되는 세라믹 층으로 감싸이기 때문에 생성되는 가연성 가스

를 잘 흡착할 수 있고, 공기 중의 산소가 발포 팽창층 내부로 전달되지 못하도록 하는 장벽(Barrier) 역할도 하게 된다. 결국 Q값은 수백 내지 수천배 감소되기 때문에 화재로 인한 고열로부터 철골구조물을 보호하게 된다. [그림 2]는 유기 및 무기 내화도료의 발포 메커니즘을 나타내고 있다.



[그림 2] 내화도료의 발포 메커니즘

## 2.2. 내화도료의 내화구조 인정현황

내화도료는 1970년대 프랑스에서 개발되어 우리나라에는 1980년대 초반부터 미국, 독일, 영국 등에서 수입되어 석유화학 공장에 사용되어 왔다. 당시

내화도료는 ISO 834, UL 263 규격 등에 합격된 것으로 국내에서 적용하고 있는 KS F 2257의 시험방법과 시험체 구조, 가열시험방법 및 성능기준 등에서 차이가 있었기 때문에 일반 건축물에는 적용할 수 없는 등 그 수요가 제한되었다. 그러나, 1990년부터 석유화학 공장에 대한 시설투자가 증가하고, 1994년 내화성능 기준이 제한적이거나 완화(국립건설시험소, 건축 58842-207)되고, 1999년에는 일반 건축물의 내화성능 기준이 국제기준에 따라 평균 538℃, 최고 649℃ 이하로 공장건축물의 성능기준과 동등하게 되면서 내화도료에 대한 수요는 큰 폭으로 증가하였으며, 이에 따라 국내 업체들에 의한 내화도료의 개발 및 생산이 활기를 띠게 되었다. <표 1>은 현재 국내 내화도료의 내화구조 인정 현황을 나타낸 것이다.

내화도료는 <표 2>에서와 같이 주로 공장 건축물 및 위험물 저장·취급설비에 적용되고 있으며, 아래와 같은 여러 장점들과 업계의 지속적인 원가 절감의 노력으로 그 시장이 더욱 더 확대될 것으로 전망된다.

- 유해성이 없으며, 건조 후 유해분진이 없다.
- 상도 색상의 자유로운 선택사용으로 외관이 미

<표 1> 내화도료의 내화구조 인정 현황

| 인정업체       | 상품명                        | 내화시간 (hr) | 피복두께 (mm이상) |
|------------|----------------------------|-----------|-------------|
| (주)케이씨씨    | FIREMASK IQ-2000           | 2         | 6.10        |
|            | FIREMASK SQ-1400           | 1         | 0.80        |
| 삼화페인트공업(주) | FLAME CHECK SS-800         | 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) | 프레임가드(FLAME GUARD)#800     | 1         | 0.90        |
| 하이템(주)     | NFC-G4(NFC-G402)           | 2         | 3.90        |
| (주)한두화이어코트 | 화이어코트(FireCoat)(FCO-2003A) | 1         | 0.80        |

※출처 : 한국건설기술연구원(2005년 9월 현재)

〈표 2〉 공장건축물 및 위험물 저장·취급설비의 내화구조 대상범위

| 공장 건축물의 내화구조 대상범위   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 관련근거 : 건설부 건행 제58550-570호 공장 건축물 내화구조의무화 규정운용</li> <li>• 철골조 공장 건축물에서 내화구조(내화뿔칠)로 해야 하는 부분             <ul style="list-style-type: none"> <li>① 기둥, 내력벽, 보</li> <li>② 바닥으로부터 그 아래부분까지의 높이가 4 m 미만이고 불연재로 된 반자가 없는 지붕틀</li> <li>③ 2개 층 이상인 경우 최하층 바닥을 제외한 각층 바닥 및 계단</li> </ul> </li> <li>• 철골조 공장 건축물에서 내화구조가 의무화 되지 아니할 부분             <ul style="list-style-type: none"> <li>① 사잇벽, 사이기둥, 작은보, 차양</li> <li>② 비내력벽(외벽 포함) 및 지붕 마감 재료</li> <li>③ 최하층 바닥, 옥외 계단</li> <li>④ 바닥으로부터 그 아랫부분까지의 높이가 4m 이상이거나 불연 재료로 된 반자가 있는 지붕틀</li> </ul> </li> </ul> |
| 위험물 저장 및 취급설비의 내화구조 대상범위  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 관련근거 : 산업안전 기준에 관한 규칙 제290조</li> <li>• 위험물 저장, 취급 설비에서 내화구조로 해야 하는 부분             <ul style="list-style-type: none"> <li>① 건축물의 기둥 및 보는 지상으로부터 1층 높이까지 다만, 지상 1층 높이가 6 m를 초과하는 경우 6 m까지</li> <li>② 위험물 저장, 취급 용기의지지대는 지상으로부터 지지대의 끝부분까지 다만, 지지대 높이가 30 cm 이하인 것은 제외</li> <li>③ 배관 및 전선관 등의 지지대는 지상으로부터 1단까지 다만, 1단 높이가 6 m를 초과하는 경우 6 m까지</li> </ul> </li> </ul>   |

려하다.

- 시공성과 작업성이 뛰어나다.
- 내구성 및 내충격성이 우수하다.
- 건물 하중 경감의 효과가 있다.
- 시방을 준수하는 경우, 탈락·박리현상이 발생하지 않는다.
- 습식 및 건식 뿔칠에 비하여 공해물질 발생이 적으며, 잔유물의 후속처리가 용이하다.
- 도장 후 별도의 외장이 필요 없어 공간 확보성이 좋고, 보수작업이 쉽다.
- 손상된 부위는 간단한 Touch-up으로 보수작업이 쉽다.
- 내구성 및 내후성이 우수하여 내외부용으로 사용할 수 있다.
- 발암관련 물질인 석면성분이 전혀 없다.

### 3. 내화도료의 내화구조 기준 및 내화구조 인정 시험

#### 3.1. 법규에 의한 보·기둥의 내화구조 기준

건축물의피난·방화구조등의기준에관한규칙 제3조 3항, 5항 및 8항에서는 보·기둥의 내화구조를 사양기준과 성능기준으로 나누고 있다.

〈표 3〉의 사양기준으로 규정된 구조는 모든 내화성능을 만족하는 것으로 하고 있으며, 반면 성능기준으로 그 내화성능을 판단하여야 할 구조는 〈표 4〉에 따른 내화성능기준을 만족하여야 한다.

현재 내화도료에 대한 사양기준은 없으며, 품질시험을 통하여 내화성능기준의 만족여부를 평가하고 있다. 성능기준에 의한 내화구조는 한국건설기술연구원이 품질시험을 통하여 인정하는 구조이어야 하며, 내화구조 인정 시험 항목은 다음에 나타내었다.

〈표 3〉 보·기둥의 사양기준에 의한 내화구조

| 부재 | 세부사양   |
|----|--|
| 보  | - 철근콘크리트조 또는 철골철근콘크리트조<br>- 철골을 두께 6센티미터(경량골재를 사용하는 경우에는 5센티미터)이상의 철망모르타르 또는 두께 5센티미터이상의 콘크리트로 덮은 것<br>- 철골조의 지붕틀(바닥으로부터 그 아랫부분까지의 높이가 4미터 이상인 것에 한한다)로서 바로 아래에 반자가 없거나 불연재료로 된 반자가 있는 것 |
| 기둥 | - 철근콘크리트조 또는 철골철근콘크리트조<br>- 철골을 두께 6센티미터(경량골재를 사용하는 경우에는 5센티미터)이상의 철망모르타르 또는 두께 7센티미터 이상의 콘크리트블록·벽돌 또는 석재로 덮은 것<br>- 철골을 두께 5센티미터 이상의 콘크리트로 덮은 것   |

〈표 4〉 용도에 따른 보·기둥의 내화성능기준

| 용도                       | 일반시설   |    |              | 주거시설                      |    |              | 산업시설                    |    |              |
|--------------------------|--|----|--------------|---------------------------|----|--------------|-------------------------|----|--------------|
|                          | 업무시설, 판매 및 영업시설, 문화 및 집회시설 등   |    |              | 단독주택중 다중·다가구주택·공관, 공동주택 등 |    |              | 공장,창고시설, 분뇨 및 쓰레기처리시설 등 |    |              |
| 규모<br>층수/최고높이<br>(층 / m) | 12 / 50  |    | 4 / 20<br>이하 | 12 / 50                   |    | 4 / 20<br>이하 | 12 / 50                 |    | 4 / 20<br>이하 |
|                          | 초과   | 이하 |              | 초과                        | 이하 |              | 초과                      | 이하 |              |
| 요구 내화시간<br>(시간)          | 3  | 2  | 1            | 3                         | 2  | 1            | 3                       | 2  | 1            |
| 비고                       | • 건축물이 하나 이상의 용도로 사용될 경우, 가장 높은 내화시간의 용도 적용<br>• 건축물의 부분별 층수가 상이할 경우, 부분별 최고 높이 또는 최고 층수로서 당해 용도규모에 따라 제시된 부위별 내화시간 적용 |    |              |                           |    |              |                         |    |              |

### 3.2. 내화구조 인정 시험

내화도료 제조업체는 한국건설기술연구원장에게 ‘내화구조 인정 신청서’를 작성하여 제출하고, 인정 절차에 따라 서류검토 및 공장심사를 받게 된다. 이후 제조업체는 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 다음과 같이 내화시험 및 부가시험을 실시한다.

#### 3.2.1 내화시험

##### (1) 시험방법

내화도료로 피복된 철골보 및 기둥의 내화성능 측

정을 위하여 국내에서 적용하는 시험방법은 다음과 같다.

- KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법 - 일반요구사항, 1999)
  - 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, 세부운영지침)
- (2) 시험방법에 의한 보·기둥의 성능기준
- 강재 평균온도 : 각 단면에서 측정한 평균온도가 538℃ 를 초과하지 않을 것

- 강제 최고온도 : 온도가 측정된 어느 곳에서도 649℃ 를 초과하지 않을 것

### 3.2.2 부가시험

#### (1) 부착강도시험

- 시험방법 : KS F 2901(구조부재에 시공하는 내화 뿔철재의 두께 및 밀도 시험 방법, 2003)
- 시험절차 : 부착강도 시험체를 인정신청내용과 동일한 두께로 제작하여 3회 이상 부착강도를 시험한 결과 평균값으로 함.(단, 동일품목 동일 배합으로 신청되어 동일하게 제작된 구조는 이 시험결과로 해당 품목의 부착강도를 확인한 것으로 함.)
- 성능기준 : 신청자가 제시한 부착강도 이상(연장시험 등의 경우 인정 부착강도 이상)

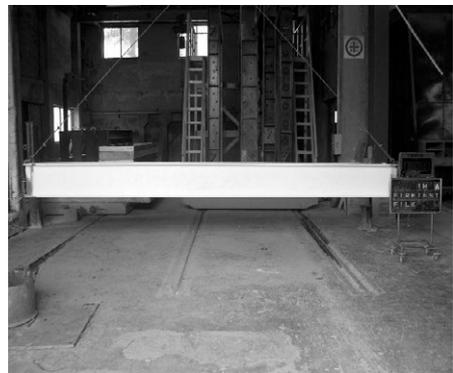
#### (2) 가스유해성시험

- 시험방법 : KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법, 1998)
- 시험절차 : 가스유해성 시험체는 220mm×220mm 크기의 강판(두께 1.2 mm 이상)에 인정신청시 제출한 피복도료의 두께와 동일하게 제작 하여 각 구조별로 2회 이상 시험을 실시함.(단, 동일 품목 동일 배합으로 신청되어 동일하게 제작된 구조는 이 시험결과로 해당 품목의 가스유해성을 확인한 것으로 함.)
- 성능기준 : 실험용 흰 쥐의 평균 행동 정지 시간이 9분 이상

로써 유기 내화도료를 기준두께까지 도장하여 충분히 건조하였으며, 내화성능에 미미한 영향을 끼치는 상도는 도장하지 않았다. 시험체의 요구 내화성능은 1시간으로 그 구성 및 규격은 <표 5>와 같으며, [그림 3]은 시험전의 시험체 모습을 나타내고 있다.

<표 5> 시험체의 구성 및 규격

| 구 분             | 구성(mm)                               | 규격(mm)              | 비고                      |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| 내화도료<br>피복 철골보  | 하도(0.05, 광명<br>단)+ 중도(0.75,<br>내화도료) | H-400×<br>200×8×13  | 상 도 는<br>적 용 하<br>지 않음. |
| 내화도료<br>피복 철골기둥 |                                      | H-300×<br>300×10×15 |                         |



(a) 보



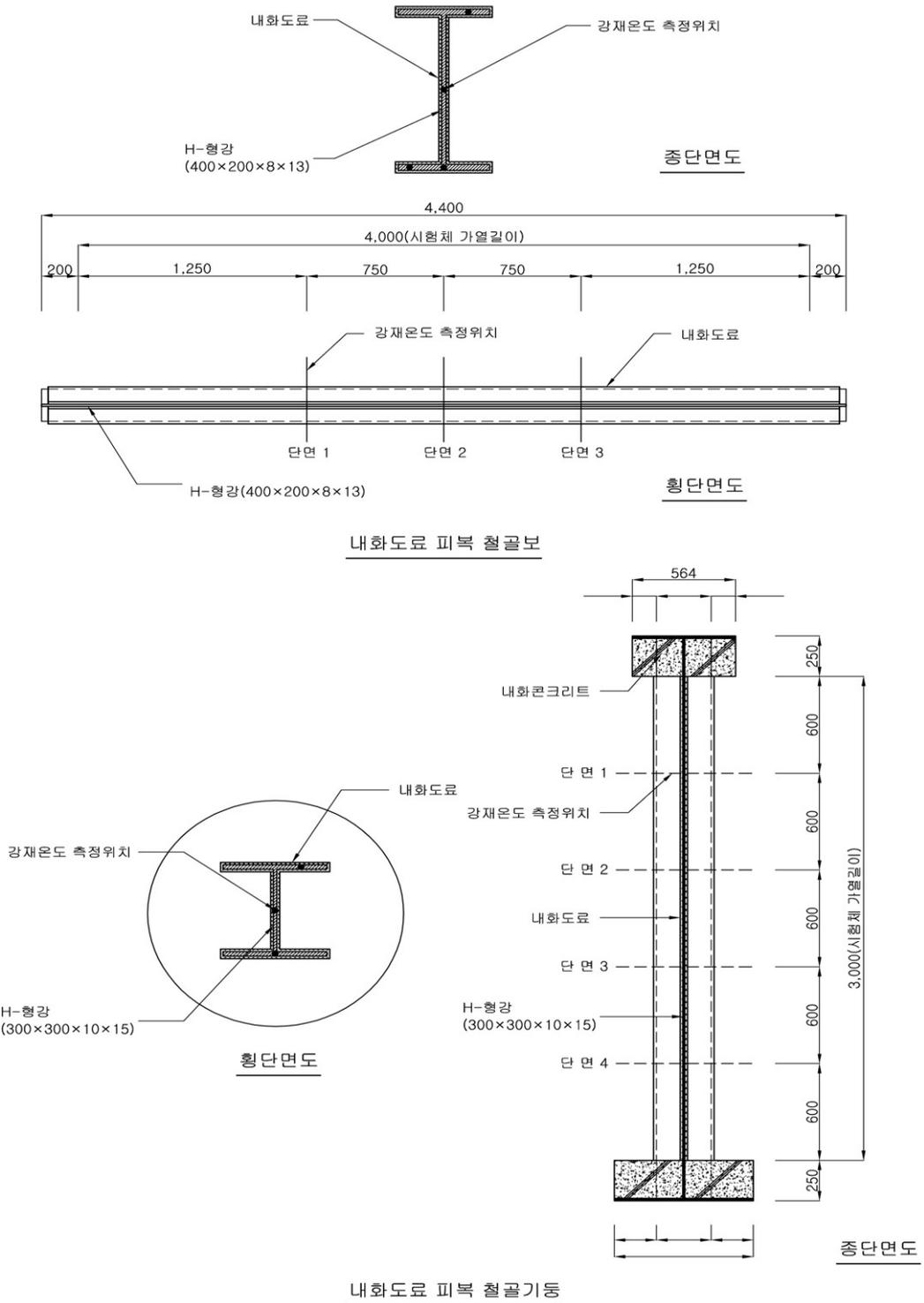
(b) 기둥

[그림 3] 시험전 시험체 모습

## 4. 내화도료의 내화시험 사례

### 4.1. 시험체

시험체는 내화도료로 피복된 철골보 및 기둥으로 동일 구조의 각 2개 시험체(A, B)를 제작하였다. 하도로써 광명단을 도장하여 충분히 건조한 후, 중도



[그림 4] 강재온도 측정위치

## 4.2. 시험실시

### 4.2.1 가열시험

내화도료로 피복된 철골보 및 기둥에 대해서 1시간 동안 비재하 가열시험을 실시하였으며, [그림 4]와 같이 보는 3개 단면 12개소, 기둥은 4개 단면 12개소에서 강재 평균온도 및 강재 최고온도를 측정하였다.

### 4.2.2 성능판정 기준

내화도료로 피복된 철골보 및 기둥의 성능판정 기준은 강재 평균온도가 538℃ 이하, 강재 최고온도가 649℃ 이하로 둘 중 어느 하나가 기준을 초과하여도 내화성능을 상실한 것으로 본다.

### 4.2.3 관찰사항 및 시험결과

#### (1) 관찰사항

가열시험을 실시한 이후 10분 경과시까지 도막이 흑색 탄화되면서 발포되기 시작하였고, 이후 발포층의 백색 탄화가 진행되어 가열 종료시까지 계속되었다. [그림 5]는 가열시험시 내화도료가 발포된 모습을 나타내고 있는데, (a)는 가열 10분 경과시의 모습으로 흑색 탄화된 시험체가 서서히 백색 탄화되고 있는 모습을 나타내고 있으며, (b)는 가열 30분 경과시의 모습으로 시험체의 대부분이 백색 탄화된 모습을 보여주고 있다.



(a) 10분 경과시

#### (2) 시험결과

시험체의 비재하 가열시험을 실시한 결과는 <표 6>과 같으며, [그림 6]은 시험후 시험체의 모습을 나타내고 있다. [그림 7]은 가열시간에 따른 강재 평균온도 및 강재 최고온도를 나타내고 있는데, 그림과 같이 강재온도가 가열 초기에 급격히 상승하다가 발포가 완료되는 시간인 10분을 전후로 그 상승폭이 완만해진 것을 볼 수 있다.

<표 6> 시험결과

| 구분    | 성능기준 | 측정결과   |      |      |      |      |
|-------|------|--------|------|------|------|------|
|       |      | 보 A    | 보 B  | 기둥 A | 기둥 B |      |
| 강재 온도 | 평균   | 538℃이하 | 516℃ | 532℃ | 501℃ | 489℃ |
|       | 최고   | 649℃이하 | 551℃ | 559℃ | 524℃ | 514℃ |
| 내화성능  |      | 1 시간   |      | 1 시간 |      |      |

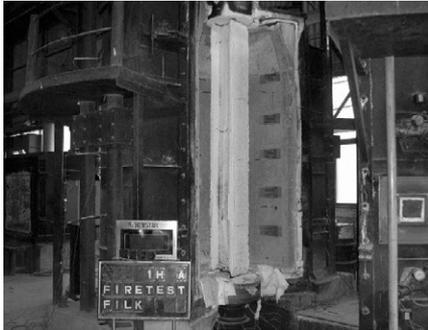
### 4.2.4 결론

내화시험을 통하여 내화도료의 발포 메커니즘을 직접 관찰할 수 있었으며, 강재온도의 변화를 통하여 내화도료의 발포 특성과 강재온도의 상승 양상을 볼 수 있었다. 내화시험 결과, 보 및 기둥 시험체 모두 가열시간 동안 성능 기준(강재 평균온도 538℃ 이하, 강재 최고온도 649℃ 이하)을 만족하여 내화성능을 확보하고 있어 1시간 내화구조로의 사용이 가능한 것으로 나타났다.

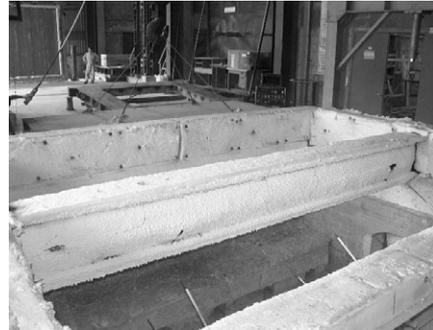


(b) 30분 경과시

[그림 5] 내화도료의 발포 모습

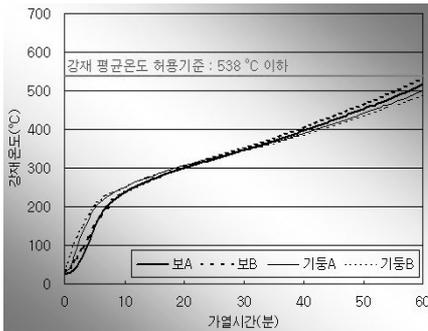


(a) 기동

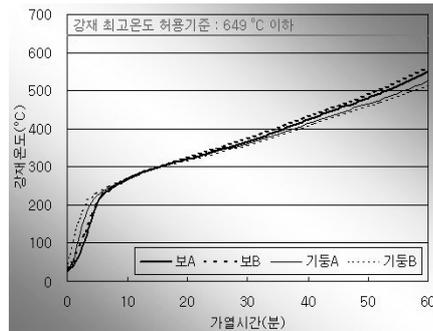


(b) 보

[그림 6] 시험후 시험체 모습



(a) 강재 평균온도



(b) 강재 최고온도

[그림 7] 가열시간에 따른 강재온도

## 5. 맺음말

본 고에서는 건축물 구조부재의 내화피복재의 하나로서 최근 그 수요가 점차 확대되고 있는 내화도료 및 내화도료의 내화구조 인정 시험에 대해 소개하였다. 또한, 실제 크기의 구조로 제작된 시험체의 내화 시험 실시사례를 통해 내화도료의 변화를 관찰하고, 시간경과에 따른 강재온도의 변화를 확인하여 내화도료로 피복된 철골부재의 내화성능을 확인하였다.

내화도료는 부재의 단면증가 없이 내화피복이 가능하여 건물의 하중을 경감할 수 있고, 뛰어난 시공성과 미관성, 우수한 내후성으로 옥외 및 실내 노출부위에서의 사용이 가능하며, 시공 후 분진발생이 없는 등 기존의 내화피복 재료의 문제점을 해결할 수

있는 우수한 재료로 꾸준한 성장세를 보이고 있다.

그러나, 실제 건축물에서 내화도료의 내화성능 확보를 위해서는 내화도료의 품질, 내화도료의 도막두께 관리 및 유지관리라는 과제가 남아 있다. 그 만큼 내화도료의 시공 뿐만이 아니라 내구성 확보를 위한 유지관리가 필요함을 의미하고 있다. 최근에는 내화도료의 재료 성능개선을 통한 2시간 이상의 내화성능 확보, 건설현장에서의 표준시방 및 시공기술 확보를 통한 시공 품질개선, 내구성 확보를 위한 초기 시험방법 및 유지관리방법 등에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있어 특정 건축물에서만 제한 사용되던 것에서 벗어나 일반 건축물로서의 내화도료의 수요 다변화 및 시장이 보다 더 확대될 전망이다. **FILK**