내화뿔칠피복재의 내구성 촉진평가방법 표준화 연구

Standardizing Acceleration Test Methods for Assessing the Durability of the Sprayed Fire Resistive Materials

김대회* · 최동호** · 이건철*** · 이세현****

Kim, Dae-hoi*, Choi, Dong-ho**, Lee, Gun-chul***, Lee, Sae-hyun****

Abstract

The buildings constructed with steel structure is coated with certified Sprayed Fire Resistive Material(SFRM) to resist from fire. All the building materials lose their initial performances as time passes, so they need durability. This study covers standardization of the methods for assessing the durability of SFRM. In Korea, more than 90 percent of SFRM are used indoors. So their fire performance were tested under indoor conditions before and after accelerate wet/dry cycling and temperature cycling to standardize the methods for assessing their durability.

Key words : Sprayed Fire Resistive Material(SFRM), Durability, Acceleration test method, KS, Fire Resistance

요 지

철골 건축물은 화재시 안전확보를 위하여 인정 받은 내화뿔칠재로 피복을 한다. 내화뿔칠피복재도 다른 건축자재와 같이 시간이 경과함에 따라 초기의 성능이 저하되어 내구성이 필요하다. 본 연구에서는 내화뿔칠재의 90% 이상이 실내에서 사용됨에 착안하여, 냉온조건, 건습조건에 따른 내화뿔칠피복재의 촉진내구성 평가방법을 제시하였다.

핵심용어 : 내화뿔칠재, 내구성, 촉진시험방법, 국가표준, 내화

1. 서 론

건축물이 고층화 대형화 됨에 따라 철골건축물은 날로 증가하고 있는 추세이며, 이때 화재에 취약한 철골구조물의 안전성 확보를 위하여 Fig. 1과 같이 철골표면에 내화피복을 실시하는 것이 필수적이다.

현재 국내에서 사용되는 내화피복재는 내화뿔칠재와 내화도료로 양분되고 있으며, 최근에는 3시간 내화성능을 지닌 내화도료가 개발은 되었으나 건설현장에 적용되기에는 기술적 한계가 있어 3시간 내화성능이 요구되는 12층, 50 m 이상의 대부분의 대형 건축물은 내화뿔칠재로 시공되고 있는 실정이다.

이와 같은 내화뿔칠재는 보, 기둥 등의 주요구조부의 안전을 담당하여, 국토해양부고시 2012-625호 「내화구조인정 및 관리기준」에 따라 국가인정을 취득하여야 사용이 가능하다. 내화구조인정시 내화뿔칠재에 대하여 내화성능, 밀도, 부착강도를 평가하여 성능을 만족할 경우 내화구조 인정을 획득하게 된다. 그러나, 인정제품임에도 불구하고 내화뿔칠재로 인한 분진, 균열발생, 탈락현상 등이 발생하여 내구성을 의심받고 있으나, 이에 대한 평가방법이 없어 국가인정제도의 보완 또는 개별제품에 대한 내구성 평가 자체가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구는 2008년 제안된 「내화뿔칠의 내구성 평가방법·동해설(안)」을 기반으로 당시에 제작된 자연폭로 시험체

*교신저자. 정회원. 방재시험연구원 책임연구원(Tel: +82-31-887-6685, Fax: +82-31-887-6680, E-mail: dhkim@kfpa.or.kr)

Corresponding Author. Member. Senior Researcher, Fire Insurers Laboratories of Korea

**정회원. 방재시험연구원 수석연구원

Member. Principal Researcher, Fire Insurers Laboratories of Korea

***한국교통대학교 건축공학과 조교수

Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Korea National University of Transportation

****한국건설기술연구원 선임연구위원

Principal Researcher, Korea Institute of Construction Technology

Fig. 1. Sprayed Fire Resistive Material.

와 유지관리지침상에 제시된 시험방법에 대한 추가 검증 시험 및 전문가 들의 자문을 통한 세부조건 설정을 통하여 내화뿔철피복재의 축진내구성 시험표준을 제정하고자 하였다.

2. 축진 환경조건 설정

피복재, 특히 도료의 경우 내구성평가방법에 대한 환경조건은 빛, 온도, 습도, 물리적충격, 전기적작용 등 다양한 요인에 의한 영향을 받는다.

그러나, 국내에서 사용되는 내화뿔철피복재의 경우 90%이상이 건축물의 실내에 설치되어 직사일광에 노출되지 않고, 내화뿔철 시공시 별도의 마감재 사용에 의해 외부의 충격에 직접 노출되지도 않는다. 환경적 요인으로는 실내의 온도, 습도 조건에 따른 영향만을 받는다고 하겠다.

따라서, 본 연구에서는 환경요인은 건축물의 실내의 환경조건을 고려하여 -20°C에서 20°C로 변화하는 온도조건과 상대습도 30%에서 60%로 변화하는 조건을 선정하여 축진양생조건으로 설정하여 다음과 같은 방법을 제안하였다.

또한, 국내의 경우는 온도와 습도의 영향을 동시에 받지만, 실내조건 또는 지역의 기후환경에 따라 개별로 영향을 받을 수 있으므로, 축진조건은 냉온반복, 건습반복, 복합으로 구분하였다.

2.1 온도에 의한 조건 설정

난방이 어려운 공장, 창고 시설물 등은 겨울에 동해를 입을 수 있는 점을 고려하여 (사)일본강구조협회에서 제안한 실내용 내화도료의 냉온반복조건을 참조하여 Fig. 2와 같이 -20°C에서 +20°C를 반복하는 사이클로 22회를 실시토록 하였다.

2.2 습도에 의한 조건 설정

습도에 의한 조건 설정은 비교적 사용환경이 유사한 건축용 내화보드의 내구성 시험방법인 KS F 2605(건축용 내장 보드류의 내습성 시험방법)의 조건을 기반으로 상대습도 30% ~ 90%로 변화시키는 고습도조건과 상대습도 30% ~ 60%로 변

Fig. 2. Acceleration Condition(Temperature).

Fig. 3. Acceleration Condition(Humidity)

화시키는 저습도 조건을 검토하였다.

검토결과 건축물 실내의 습도가 90%에 이르는 경우는 상대적으로 적으며 내화뿔철재는 함수율이 높을수록 내화성능이 개선되는 점을 고려하여 Fig. 3과 같은 저습도 조건으로 7회를 반복하는 것으로 하였다.

2.3 복합요인에 의한 조건 설정

우리나라의 경우 4계절이 있어 온도와 습도조건이 동시에 영향을 미치게 되므로 이때를 상정하여 앞의 온도, 습도에 대한 축진사이클을 연속으로 실시한 후 내구성을 평가하도록 하였다.

3. 축진내구성 시험방법

2장의 3가지 조건을 축진조건으로하여 내화뿔철재에 대한 축진내구성 시험방법을 다음과 같이 정하였다.

3.1 시험체 제작

일반적인 내화성능시험체는 기둥은 가열길이 3 m의 H-300×300×10×15 형강을 보는 가열길이 4.7 m의 H-400×200×8×13 형강을 사용하고 있으나, 내구성 평가를 위한 축진양생을 위하여 내구성 시험체는 Fig. 4와 같이 300×300×3.2t의 철판을 사용하였다. 시험체의 크기와 철판두께는 (사)일본강구조협회의 보고서에서 내화도료의 내구성 평가를 위한 시험체

Fig. 4. Test Plate.

Fig. 5. Test Specimen.

의 크기 및 두께에 대한 연구결과 권장하는 시험체인 $300 \times 300 \times 3.2$ 의 철판을 사용하는 것으로 정하였다.

철판의 표면에는 부착력이 상대적으로 저하되는 조건인 광명단을 도포 후 완전히 건조시키고 내화뿔칠재를 시공하였다.

내화뿔칠피복재의 시공은 각 제조사에서 제공하는 시방서에 따라 피복하며, 이때 KS F 2901에 따라 제시된 밀도에 만족하는지를 확인하여야 한다.

시험용 철판위에 피복되는 두께는 제품의 시방서에서 제시하고 있는 두께로 시공하며, 시험체 두께는 (기준두께 ± 1) mm로 제작하는 것을 원칙으로 하나 실제 1 mm의 편차도 내화 성능에는 큰 영향을 미칠 수 있으므로 최대한 편차를 줄이는 노력이 필요하였다. 본 연구에서는 시험체간 두께의 편차를 줄이기 위하여 스프레이 후 개별로 조정하지 않고 Fig. 5와 같이 거푸집을 이용하여 피복두께가 동일하도록 제작하였다.

3.2 양생

(1) 전양생

제작된 시험체는 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, 상대습도 60%이하의 조건에서 시방서에 정해진 기준에 따라 양생하며, 시멘트계 내화뿔칠재를 고려하여 최소 4주이상 양생한다.

(2) 축진양생

냉온, 건습싸이클에 따른 축진시험은 2장의 조건에 따라 항온항습기 내에서 축진양생을 실시하며, 이때 시험체는 수평으로 설치하는 것을 원칙으로 한다.

축진양생의 순서는 건습싸이클을 먼저시행할 경우 뿔칠재 내의 수분이 줄어들어 동결융해효과가 작아지므로, 냉온싸이클을 먼저 시행하는 것으로 하였다.

이때 비교용 표준시험체는 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, 상대습도 60%이하의 조건에서 양생한다.

(3) 후양생

축진양생이 완료된 시험체는 내부 수분의 상태가 안정화가 되어 있지 않으므로, $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, 상대습도 60%이하의 조건에서 중량이 항량이 될 때까지 후양생을 실시한다.

3.3 시험체 설치

(1) 두께확인 및 센서부착

양생이 완료된 시험체는 KS F 2901(구조부재에 시공하는 내화뿔칠재의 두께 및 밀도 시험방법)에 따라 두께를 측정하여 시험체간 두께의 편차가 없도록 조정한 후 Fig. 6과 같이 시험체의 이면의 중심 및 4등분의 중심 총 5개소에 동원판열전대를 부착한다.

(2) 시험용 벽체내 설치

센서가 부착된 시험체는 Fig. 7과 같이 가열시간동안 변형

Fig. 6. Sensor Location.

Fig. 7. Test Wall.

Fig. 8. Standard Time-Temperature Curve.

발생이 없고 차열성능이 있는 경량기포콘크리트(ALC)로 구성된 벽체내에 표준시험체와 촉진시험체가 대칭이 되도록 천공부분에 설치하고, 시험체와 벽체 사이는 내화 쉼라믹울로 빈틈이 없게 충전하여야 한다.

3.4 시험실시

시험체가 설치된 벽체를 수직가열로 전면에 취부하고 이면 열전대 선을 연결하며, 이때 시험장의 온도는 KS F 2257-1에서 정하고 있는 것과 같이 $(20 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ 의 조건을 유지하여야 한다.

시험체 설치가 완료되면 Fig. 8과 같은 표준시간-온도가열 곡선에 따라 각 내화뿔철피복재의 내화등급에 따라 가열을 실시하며 이면온도를 측정한다. 시험 중 틈새의 발생이나 피복재의 탈락 등 특이사항을 관찰, 기록한다.

3.5 성능판정 기준

내구성 판정을 위한 차열성은 촉진양생시험체와 표준시험체의 이면 평균온도의 차, 또는 비율을 계산하여 해당 성능기준의 만족여부를 판단하여야 한다.

(1) 비율판정시

$$A = (B/C - 1) \times 100$$

여기에서

A : 내구성 평가 비율

B : 열화된 시험체의 이면 평균온도 ($^{\circ}\text{C}$)

C : 표준 시험체의 이면평균온도 ($^{\circ}\text{C}$)

(2) 온도차 판정시

$$D = B - C$$

여기에서

D : 내구성 평가 온도차

본 논문은 시험방법 표준제정까지를 범위로 하며, 성능기준 및 운영방식에 대하여는 관련 부처 및 업계와 논의가 이루어져야 할 것이다.

4. 장기폭로 조건과의 비교 검토

내화뿔철피복재의 촉진열화의 결과가 장기자연폭로시 어느 기간에 해당되는가를 평가하기 위하여 2005년에 제작되어 약 8년간 자연폭로된 시험결과와 「내화구조의 내구성평가 및 유지관리 지침개발」 연구보고서에 제시된 당시 제품의 촉진내구성 시험결과를 비교함으로써 촉진조건과 자연폭로 조건의 열화정도를 비교해 보았다.

4.1 실험개요

내구성 평가방법은 기간이 오래 걸리는 자연폭로실험과 단 기간에 평가가 가능한 촉진실험으로 구분된다. 정확한 실험결과를 위해서는 자연폭로실험을 실시하는 것이 좋으나 제품의 개발 및 활용면에서는 평가에 지나치게 많은 시간이 소요되는 어려움이 있다.

본 연구에서는 내화뿔철피복재의 촉진내구성 평가방법을 개발하기 위해 장기폭로시험데이터를 축적하기 위한 목적으로 대표적인 내화뿔철피복재 2종(석고계, 질석계)을 대상으로 아래와 같이 장기자연폭로 내구성 평가를 실시하였다.

4.2 자연폭로 조건

실험체는 앞에서 제시된 시험체 제작방법에 따라 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 의 철판위에 각 제품별로 $(20 \pm 1)\text{ mm}$ 두께로 내화뿔철재를 피복하여 실험체를 제작한 후 일교차 및 계절적 영향을 반영하는 실내조건을 고려하여 외기와 직접 면하지 않는 실내에서 별도의 냉난방을 시행하지 않고 해당 재령까지 자연상태로 양생을 실시하였다.

4.3 내화실험 실시

해당 기간까지 양생 후 내화뿔철재가 도포된 강판 이면에 온도센서를 부착하여 Fig. 9와 같은 수직가열로 전면에 부착 후 KS F 2257-1에서 정하고 있는 표준 시간-가열온도 곡선에 따라 1시간 가열을 하며, 이면온도를 측정하였다.

Fig. 9. Test Scene(Natural Exposure).

(i) Gypsum

(ii) Vermiculite

Fig. 10. Test Result(Natural Exposure).

4.4 시험결과

초기, 자연폭로 1년, 2년, 8년의 시험결과를 비교한 결과는 Fig. 10과 같이 1년, 2년 폭로시험체의 이면온도가 초기에 비해 높은값을 나타내고 있는 반면 8년간 자연폭로한 시험체는 2년 자연폭로한 시험체의 이면온도와 유사한 결과를 나타내었다.

기존 연구보고서에서 촉진 양생한 시험체와 자연폭로 2년의 시험결과가 유사하였던 점을 고려하면 촉진양생방법과 8년의 시험결과도 유사한 범위임을 확인할 수 있었다.

이는 시험체 내의 탈수 현상과 조직내 균열발생 등으로 인한 내구성 저하현상이 초기 2년에 걸쳐 급격히 발생되며, 이를 촉진양생으로 유사하게 재현이 가능한 것임을 입증하였다.

5. 시중제품에 대한 시험방법 적용 검토

5.1 시험개요

3장에서 제시된 촉진시험방법을 실제 판매되고 있는 제품을 대상으로 적용하여 내구성 평가결과의 차별성이 있는가를 확인해 보고자 하였다.

실험대상 내화뿔칠재는 A, B, C 3종을 사용하였다.

3종의 제품에 대하여 3장에서 제시된 방법에 따라 제작, 촉진양생 후 실험을 실시하였다. 제품의 사양이나 성능 인정시 온도의 차이가 있어 실험결과 분석시 각 제품간의 이면온도 비교는 의미가 없으며, 표준시험체와 촉진시험체의 온도 차로 평가하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

5.2 실험결과

(1) 실험결과(뿔칠재 A)

뿔칠재 A의 경우, 타 제품에 비해 상대적으로 부착강도의 저하가 크게 나타나, 시험 중 뿔칠재가 시험판에서 분리되는 현상을 나타냈었다.

Fig. 11과 같이 실험 종료시 다수의 시험판 자체가 화염에 노출되어 불게 적염되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

A 시험체 실험결과 부착력도 내구성에 중요인자로 나타났으나, 부착강도 자체만으로 내구성을 평가하는 것보다는 부착강도, 단열성, 조직의 치밀성 등의 모든 항목을 동시에 평가할 수 있는 이면온도를 판정 기준으로 하는 것이 바람직 할 것으로 의견이 모아졌으며, 시험표준 내에는 부착강도를 측정하여 판정에는 사용하지 않으나 참고값으로 활용하는 것으로 정리하였다.

또한, 다수의 내화피복재에서 광명단(방청피복)의 사용은 부착력저하를 일으키는 것으로 보고되어 향후 연구에서는 바

Fig. 11. Test Result(Acceleration-A).

Fig. 12. Test Result(Acceleration-B).

Fig. 13. Test Result(Acceleration-C).

탕체에 광명단을 사용하지 않는 것을 기본으로 하고, 평가자가 광명단의 도포여부를 결정하는 것으로 변경코자 한다.

(2) 실험결과(뿔칠재 B)

뿔칠재 B의 실험결과 Fig. 12와 같이 실험체 중 피복재의 탈락현상은 발생하지 않았으며, 이면온도는 표준 299°C, 냉온 325°C, 건습 321°C, 복합 339°C를 나타내어 표준실험체와 복합축진실험체가 가장 큰 온도편차를 나타냈으며 40°C 차이를 보였다.

2008년에 제시된 「내화뿔칠의 내구성 평가방법(안)」에서 제시된 30°C 이내의 기준을 초과한 결과이다. 그러나, 평가방법을 비교해 보면 2008년 당시는 1시간 등급을 대상으로 하였으며, 본 연구에서는 2시간 등급을 대상으로 하여 시간 경과에 따른 편차를 고려해야 할 것으로 판단된다.

비율로 평가하면 표준시험체에 비하여 약 13%가 상승한 것으로 나타나 1시간, 2시간, 3시간 등급을 고려할 경우 비율을 성능기준으로 사용하는 것이 더 바람직해 보인다.

(3) 실험결과(뿔칠재 C)

뿔칠재 C의 실험결과 실험체 중 피복재의 탈락현상은 발생하지 않았으며, Fig. 13과 같이 이면온도는 표준은 244°C, 냉온 258°C, 건습 266°C, 복합 249°C를 나타내어 표준실험체와

건습축진실험체가 가장 큰 온도편차를 나타냈으나 그 편차는 22°C로 수렴하는 형태의 그래프가 나타났다.

이는 앞에서 제시된 30°C 기준을 만족하며, 비율로도 9%로 3개 시험체중 가장 우수한 결과를 나타내었다.

일반적으로 복합, 냉온, 건습, 표준의 순서로 실험체의 열화 정도가 심하고, 이면온도가 높은 것이 정상이나, 뿔칠재 C의 실험결과를 보면 내구성이 우수한 제품의 경우 축진양생에 의한 열화가 미미하여 내화시험시 온도상승으로 이어지는 현상보다는 시험체의 미세한 피복두께차이가 더 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인하였다.

따라서, 시험체 제작시 동일한 두께로 제작할 수 있는 제작 방법에 대한 보완이 요구된다고 하겠다.

앞서 3종의 내화뿔칠실험체에 대하여 축진양생방법을 도입하여 내구성평가를 실시한 결과 육안관찰, 부착력 유지상태 등이 이면온도 차로 확인됨에 따라 현재 시판되고 있는 제품에 대한 내구성 비교 및 평가가 가능한 방법으로 사료된다.

6. 결 론

실내 조건에서 사용되는 내화뿔칠피복재의 내구성 평가방법의 적용성 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 본 연구에서 제시된 촉진시험조건 중 복합열화의 조건은 자연폭로 8년 이상의 결과 값에 대응됨을 확인하였다.
- 2) 국내에서 시판되고 있는 3종의 내화뿔칠재에 대하여 제시된 방법에 따라 촉진시험한 결과 성분계 별로 다른 이면온도 값이 측정되어, 각 제품의 내구성 차이가 있음을 확인하였다. 이는 촉진내구성의 열화조건이 제품별로 차별적 영향을 미친 것으로 판단된다.
- 3) 열화조건으로는 복합, 냉온반복, 건습반복의 순으로 복합 조건에서 가장 큰 내구성 저하를 나타냈으며, 건습반복 조건 보다는 냉온반복 조건에 따른 열화정도가 더 큰 것으로 나타났다. 단 내구성이 우수한 제품에서는 열화요인 보다는 다른 인자로 인한 영향이 더 크게 나타남을 확인하였다.
- 4) 내구성 평가지표인 이면온도에 가장 큰 영향을 미치는 것은 시험체의 탈락여부, 두께, 함수율 순으로 나타나, 향후 시험표준 제정시 뿔칠재의 탈락을 줄이기 위해 광명단의 사용여부를 재검토하여야 하며, 두께 및 함수율을 일정하게 관리할 수 있는 방법이 요구되었다.
- 5) 촉진시험체와 표준시험체의 이면온도는 내구성이 낮은 시험체에서는 탈락 현상 등으로 인해 극명한 차이를 나타냈으며, 실험 종료시까지 급격한 온도상승을 나타내지 않은 B, C 시험체의 경우 일정범위내에 분포되었다. 향후 이에 대한 성능기준 설정시 상승온도의 비율, 또는 절대값으로의 설정에 대한 검토가 요구되어진다.

이상과 같이 제시된 내화뿔칠피복재의 촉진내구성 평가방법은 내구성의 차이를 확인 할 수 있는 평가방법으로 판단되며, 보다 정확한 내구성 평가를 위해서는 이면온도에 영향을 미칠 수 있는 세부적 조건의 검토를 거친 후 시험표준으로 제정되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부에서 시행하는 2013년 표준기술력 향상사업의 지원에 의한 연구결과이며, 이에 감사드립니다(과제번호: 10045391).

References

- Japan Society of Steel Construction (1998) Guide Book for Durability design of Steel Construction.
- Kim, D.H., Lee, J.C., Yoon, S.H., and Lee, S.H. (2009) Experimental Evaluation of Long-term Fire Resistance Performance of Fireproof Spray Coat on Plate Girder and H-Beam, *Journal of the Architectural institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 25, No. 9, pp. 85-92.
- KS F 2257-1 (2005) Methods of fire resistance test for elements of building construction - General requirements, Korean Standards Association.
- KS F 2605 (2013) The methods for moisture resistance of board for interior system of building, Korean Standards Association.
- KS F 2901 (2008) Test methods for thickness and density of sprayed fire resistive material applied to structural members, Korean Standards Association.
- Lee, J.C., Song, Y.C., Lee, S.H., Min, B.Y., and Kim, K.H. (2006) The Fire Resistance of the Sprayed Fire Resistive Materials with Gypsum and Vermiculite aged in the Different Temperature and Humidity Conditions. *Journal of the Architectural institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 22, No. 8, pp. 109-116.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2008) The Development of the Durability Evaluation and the Maintenance Guide for Fire Resistive Structure.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012) Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notification No.2012-625 Certification of Fire Resistive Structure and Management Criteria
- Park, J.O., Jeon, S.M., Kang, S.H., Ok, C.Y., and Min, B.Y. (2008) The study of Management Method and Analyzation on Construction Resylts of Fire-Resistance, *Proceeding of annual Conference of the Architectural institute of Korea*, Vol. 28, No. 1, pp. 511-514.

Received	February 28, 2014
Revised	March 6, 2014
Accepted	March 24, 2014