Fire Sci. Eng., Vol. 30, No. 2, pp. 49-55, 2016 [Research Paper]

강재보용 내화피복의 내화성능 평가단면에 대한 고찰

전수민† · 김재준
한양대학교 건축공학과

Review on Fire Test Section of Fire Protection Coating for Steel Beam

Soo-Min Jeon† · Jae-Jun Kim
Dept. of Architectural Engineering, HanYang Univ.

(Received January 4, 2016; Revised February 15, 2016; Accepted February 22, 2016)

요 약

강구조용 내화피복은 내화성능평가를 통하여 내화구조로 인정을 받아야 사용할 수 있는데 기둥용 내화피복은 4면, 보용 내화피복은 3면을 가열하여 내화성능을 평가한다. 4면이 균등하게 가열되는 기둥과 달리 3면이 가열되는 보의 경우 비가열면인 상부의 온도가 가열면의 온도와 차이가 있을 것이 예상된다. 보용 내화피복 내화성능 평가시 비가열면의 온도도 포함되는데 비가열면의 온도가 부재의 온도와 유의한 차이가 있다면 온도측정 부위에 대한 신중한 검토가 필요할 것이다. 이에 본 논문에서 내화구조로 인정된 보용 내화피복의 내화성능시험결과를 분석하여 보용 내화피복 내화성능 평가단면의 타당성을 살펴보고자 한다.

ABSTRACT

It is necessary to obtain a fire resistance certification in order to use Fire Protection Coating in Korea. According to the fire test standards, columns have four heating sides and beams have three. In comparison with columns which are heated four sides equally, beams have three exposed sides and one unexposed up side. So the question arises as to there were the differences between the temperature of up side and others of beams in fire test. The purpose of this study is to consider the positions of thermocouples for beams through a comparative analysis of the temperature data obtained from fire certification tests.

Keywords : Fire protection coating, Fire resistance, Fire test, Steel beam, Unexposed heating side

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

화재시 인명과 재산 및 건축물의 구조적 안전을 도모하기 위하여 건축물의 주요구조부에 의무적으로 내화구조를 사용하여야 하는데, 특히 강재의 경우 화재시 내력저하가 급격히 발생하므로 철골조 주요구조부에 내화구조를 적용하는 것이 매우 중요하다[1,2]. 내화구조의 적용에 대한 국내 제도는 성능적 내화설계법 보다 사양적 내화설계법을 따르고 있는 것이 현실이며 관련 고시, 한국산업표준 등에서 정한 시험방법에 따라 내화성능을 확인하여 '도료피복철골보', '도료피복철골기둥', '뿜칠피복철골보' 및 '뿜칠피복철골기둥' 등을 내화구조로 인정하고 있다[3]. 동 인정과정에서 기둥은 시험체의 4면을 가열하여 내화성능을 평가하는데 비해 보는 시험체의 3면을 가열하여 내화성능을 평가하고 있다. 보의 경우 내화시험용 부재의 양쪽 측면 및 하부를 가열하고 상부는 가열하지 않는다. 이에 보 부재 내화성능시험시 비가열면인 상부의 온도와 부재의 온도간에 차이가 발생할 것으로 예상된다. 보 부재 내화성능시험의 합부는 부재온도의 절대값으로 판단하는데 현재는 비가열면 측정온도도 부재온도에 포함하고 있으며 만일 비가열면 측정온도가 부재 온도와 유의한 차이를 보인다면 비가열면에 열전대를 설치하는 현 시험방법을 신중히 재검토할 필요가 있을 것이다. 본 연구를 통하여 현재 내화구조로 사용되고 있는 보용 내화피복에 대한 인정당시 내화성능시험결과를 비교분석하여 보용 내화피복 내화성능 평가단면의 타당성을 검토해 보고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

현재(2015년 12월) 내화구조의 인정이 유효한 도료피복철

†Corresponding Author, E-Mail: min99806@hanmail.net
TEL: +82–31-910-0733, FAX: +82-31-910-0505

ISSN: 1738-7167
DOI: http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2016.30.2.049

골보는 19개 구조이며 뿜칠피복철골보는 17개 구조이다[4]. 내화구조 인정 과정에서 구조당 2회의 내화성능시험을 실시하므로 38건의 보용 내화도료 시험데이터 및 34건의 보용 내화뿜칠 시험데이터가 존재한다. 내화성능시험시 보부재의 평균온도와 비가열면인 상부의 온도 사이에 차이가 없다는 귀무가설을 전제로 상기 시험데이터의 부재 평균온도와 상부온도를 쌍체비교 t-검정하여 통계적으로 유의한 차이가 있는 지 여부를 살펴보고 이를 통하여 내화성능 평가단면의 타당성을 검토해 본다.

2. 관련제도 및 기존연구 고찰

2.1 관련제도 고찰

'건축물의 피난 · 방화구조 등의 기준에 관한 규칙'(국토교통부령 제127호, 이하 피난규칙)[5] 제3조의 규정에 따라 내화구조가 정의된다. 동조 제1호부터 제7호까지는 건축물의 부위별 내화구조에 해당되는 특정재료 및 구조가 명시되어 있으며 통상 이를 법정 내화구조라 칭한다. 예컨대 보의 경우 철골을 두께 5 cm 이상의 콘크리트로 덮으면 내화구조에 해당하는 것으로 정의되어 있다. 또한 동조 제8호부터 10호까지는 법정 내화구조에 해당되지 않는 내화시스템에 대하여 한국건설기술연구원(이하 KICT)에서 공장품질관리확인 및 품질시험 등을 거쳐 내화구조로 인정하도록 명시되어 있으며 통상 이를 인정 내화구조 또는 내화구조라 칭한다. 내화구조의 인정절차는 '내화구조의 인정 및 관리기준'(국토교통부 고시 제2015-843호, 이하 내화기준)[6]으로 정해져 있으며 내화구조를 구성하는 주요재료 · 제품을 생산하는 제조공장에 대한 품질관리확인, 생산입회, 시료채취 후 내화 및 부가시험을 거쳐 KICT에서 내화구조로 인정하고 있다. 내화구조 인정 여부 판단에 가장 중요한 항목이라 할 수 있는 내화시험에 대한 사항은 관련 한국산업표준(KS F 2257-1 등) 및 '내화구조 인정 및 관리업무 세부운영지침'(이하 내화지침)[7]에서 정하고 있다.

내화구조의 종류는 내화기준 제2조에 따라 '내화품목'으로 나누어지며 내화지침 별표1에 내화품목이 정의되어있는데 본 논문에서 다루고자하는 보용 내화피복은 내화품목 중 '도료피복철골보' 및 '뿜칠피복철골보'에 해당된다. 동 별표1에 따르면 도료피복철골보는 '도료가 가열되었을 때 발포하여 단열층을 형성하는 것 또는 도막을 두껍게 하여 단열효과가 있는 도료를 철골보 바탕에 도장한 구조'로 정의되며 뿜칠피복철골보는 '미네랄울계, 석고계, 질석계, 시멘트계 및 퍼라이트계 등으로 피복을 두껍게 하여 단열효과가 있는 뿜칠을 철골보 바탕에 피복한 구조'로 정의된다. 또한 내화지침 별표6에서 내화품목별 품질시험 항목 및 방법을 정하고 있으며 도료피복철골보의 경우 내화시험, 부착강도시험 및 가스유해성시험, 뿜칠피복철골보의 경우 내화시험, 부착강도시험 및 밀도시험 등을 실시하도록 되어 있다.

2.2 기존연구 고찰

강재보용 내화피복의 내화성능 평가에 대한 기존연구를 살펴보면, 권인규 등은 구조용 강재 기둥 및 보부재의 허용온도를 538 °C로 적용하는 것이 기술적 및 경제적으로 타당하고 철골보의 경우 재하가열시험을 하는 것이 바람직하다고 제시하였으며[13], 김흥열 등은 강재 허용온도 기준인 538 °C가 강구조의 내화특성에 기초한 온도기준이고 강재 변형량 판정기준 및 방법이 건축물의 화재하중을 충분히 반영할 수 있을 것이라고 제시하였다[14]. 이유식 등은 ASTM E 119, BS 476 part 21, EN 1365-3 및 ISO 834-6과 같은 보 부재 내화시험규격을 비교 · 연구하여 KS F 2257-6 개정안을 제시하였고 동 개정안 부속서에 강재 허용온도 평균 538 °C 및 최고 649 °C를 제시하였다[15].

3. 내화피복 내화성능 평가방법 고찰

3.1 국외 내화피복 내화성능 평가방법 검토

국내에서 사용되는 보용 내화시험방법의 근간인 ISO 834-6의 내용을 살펴보면 보의 내화성능은 하중 지지력으로 판정하도록 되어 있으며 시험체 허용온도는 제시되지 않고 있다. 하중지지력에 대하여 구체적으로는 ISO 834-1의 해당 내용을 따르도록 되어 있는데 휨부재인 보의 경우 변형량과 변형률을 측정하여 적합 여부를 판단하며 변형량의 성능기준은 다음 식(1)로, 변형률의 성능기준은 다음 식(2)로 정의되어 있다.

$$D = L^2/400d \text{ (mm)} \quad (1)$$

$$dD/dt = L^2/9000d \text{ (mm/min)} \quad (2)$$

여기서 L은 시험체의 스팬(mm), d는 구조 단면의 최대 압축력을 받도록 설계된 위치에서 최대 인장력을 받도록 설계된 위치까지의 거리(mm)를 의미한다. EN 1365-3의 보부재 성능기준도 하중지지력으로 상기 내용과 동일하며 BS 476 part21의 보 부재 성능기준은 변형량의 정의가 L/20 (mm)인 것 외에는 상기 내용과 동일하다. ASTM E119의 성능기준을 살펴보면 재하 강재보의 경우 요구시간 동안 적용하중을 견디는 동시에 일정시간동안 강재보의 온도가 평균 593 °C (1100 °F) 및 최고 704 °C (1300 °F)를 초과하지 않아야 하며, 설계상 비재하 강재보의 경우 요구시간 동안 강재보의 온도가 평균 538 °C (1000 °F) 및 최고 649 °C (1200 °F)를 초과하지 않아야 하는 것으로 되어 있다.

3.2 국내 내화피복 내화성능 평가방법 검토

국내의 경우 과거 일본산업규격을 인용한 KS F 2257 (건축구조부분의 화재시험방법)을 사용하였으나 국가규격

국제화 추진계획에 따라 이를 폐지하고 1999년 ISO 834 시리즈를 바탕으로 KS F 2257-1 건축부재의 내화시험방법-일반요구사항을 비롯하여 부재별 한국산업표준을 새롭게 제정하였으며 국제 표준에 정합하기 위한 개정이 지속되어 현재는 2257-1[9], 2257-6[10] 및 2257-7[11] 2014년 개정본이 사용되고 있다. 열전대 등 세부사항에 있어 현실적으로 국내에 적용하기 어려운 부분이 있어 ISO 834 시리즈와 KS F 2257 시리즈의 내용이 100% 동일하지는 않은데, 내화피복 내화성능 평가에 대하여 ISO 규격과의 가장 큰 차이는 KS F 2257-6 및 KS F 2257-7 부속서B의 내용이다. 보의 성능조건인 KS F 2257-6을 살펴보면 동 시험방법의 근간인 ISO 834-6과 동일하게 10항 성능기준에서 하중지지력으로 내화성능을 판정한다고 명시되어 있으며 하중지지력에 대한 구체적인 내용은 전술한 ISO 규격의 내용과 동일하다. 그런데 KS F 2257-6의 부속서B '내화피복된 보의 성능조건'을 살펴보면 내화 피복된 강재보로서 설계상 하중을 필요로 하지 않는 경우 가열시험은 비재하 가열시험으로 하고 성능기준은 강재 평균온도 538 °C 및 최고온도 649 °C을 적용하는 것으로 되어 있으며 KS F 2257-6의 해설에 따르면 동 성능기준은 ASTM E119를 바탕으로 적용하였다고 되어 있다. 동 부속서B 및 해설의 내용은 ISO 834-6에는 포함되어 있지 않은 내용이다.

건축법 시행령 등에 따라 건축물의 주요구조부는 내화구조로 하여야 하는데, 법령에 따른 주요구조부의 정의에서 '보' 및 '기둥'은 주요구조부이며 사이기둥 및 작은 보 등 건축물의 구조상 중요하지 아니한 부분은 주요구조부에서 제외된다. 관련규정과 시험규격의 내용을 종합하여 보면 주요구조부인 보 및 기둥의 내화성능은 재하 가열시험을 통한 하중지지력으로 판정하고, 구조상 중요하지 않은 작은 보 등은 비재하 가열시험을 통한 강재온도로 판정하여야 타당하다. 그런데 현재 내화피복 내화구조 인정절차를 살펴보면 비재하 가열시험을 통한 강재온도로 합부를 판정하고 있으며, 내화구조 인정내용을 살펴보면 사용부위를 '건축물의 철골보' 또는 '건축물의 철골 기둥'으로 명시하고 있어 결과적으로 주요구조부인 보 및 기둥의 평가에 상기 부속서B가 적용되고 있는 문제점을 발견할 수 있다. 이러한 문제점에도 불구하고 KICT에서 부속서B에 따른 내화구조 인정을 하고 있는 것에 대하여 본 논문에서 구체적으로 다루고자 하는 바는 아니다. 본 논문에서는 상기와 같은 논란의 여지가 있는 비재하 가열시험에 대하여 실제 시험데이터를 비교분석하여 강재보 온도 측정 부위의 타당성을 살펴 보고자 한다.

3.3 내화구조 내화성능 평가방법

내화기준 제8조 등의 규정에 따라 내화구조는 한국산업표준 및 내화지침에서 정한 시험방법 및 판정기준에 따라 성능을 평가한다. 내화지침 별표6 '품목별 품질시험'에 명시된 보용 내화피복의 내화시험방법은 KS F 2257-1 및 KS F 2257-6이며 기둥용 내화피복의 내화시험방법은 KS F 2257-1 및 KS F 2257-7이다. KS F 2257-1은 내화시험방법 중 일반사항이며 화재상태 재현을 위한 가장 중요한 시험조건인 가열곡선이 다음 식(3)으로 정의되어 있고 가열로 내부의 온도가 이를 따르도록 규정되어 있다.

$$T = 345\ \log_{10}(8t + 1) + 20 \tag{3}$$

여기서 T는 가열로 내 평균온도(°C), t는 시간(분)을 의미한다. 내화 피복된 강재 보 또는 기둥을 상기 가열조건에 노출시키고 강재에 설치된 열전대를 통하여 내화성능 시간 동안 강재의 온도 변화를 측정하여 강재온도가 기준온도(평균온도 538 °C, 최고온도 649 °C)를 초과하지 않는 경우 내화성능이 확보된 것으로 판단한다. KS F 2257-6 및 KS F 2257-7은 각각 보 및 기둥의 시험조건 및 시험체 등에 대한 구체적인 사항을 규정하고 있다.

3.4 보용 시험체 및 열전대

KS F 2257-6 보의 성능조건에 따르면 보용 시험체의 가열길이는 최소 4 m 또는 실제구조가 4 m 미만의 가열길이를 갖도록 설계된 경우 실제 가열길이로 시험하며, 열전대는 스팬 중앙, 스팬 중앙과 가열로 각 끝부분으로부터 50 cm 지점 간의 각 중간 지점의 단면에 Figure 1과 같이 설치한다.

시험체 및 열전대에 대한 보다 구체적인 내용은 내화지침 부록1 '내화구조 품질시험방법'에 명시되어 있는데 이

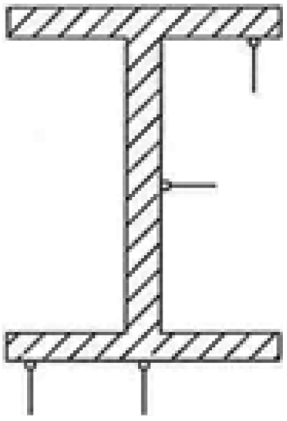
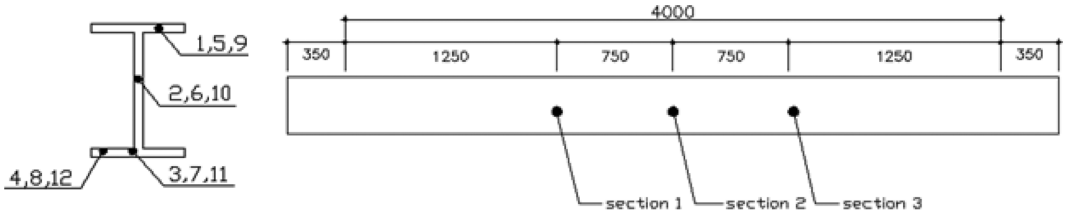


Figure 1. Positions for specimen thermocouples.

Table 1. Standard Specimen for Fire Test

	Beam	Column
Steel Grade	SS400 (KS F 3504)	
Size (mm)	400 × 200 × 8 × 13	300 × 300 × 10 × 15
Length (mm)	4700	3000
Number of Thermocouples	12	12



Cross Section Side View

Figure 2. Thermocouples positions for beam.

에 따른 보와 기둥의 시험체 규격을 정리하면 Table 1과 같다[12].

내화지침[7]에 따른 열전대 설치 위치를 도해하면 보의 경우 Figure 2와 같다. 여기서 단면도의 숫자는 12개 열전대의 식별번호이며 측면도의 숫자는 열전대 설치위치(단위: mm)이다. 구체적으로 살펴보면 4 m 길이의 시험체 중앙의 단면(단면2)과 중앙에서 앞뒤로 75 cm 떨어진 두 단면(단면1, 단면3)에 열전대를 4개씩 설치하는데 단면1의 경우 열전대 1번은 단면 상부, 2번은 중앙부, 3번 및 4번은 하부에 설치한다. 마찬가지로 단면2에는 5번에서 8번까지, 단면3에는 9번에서 12번까지의 열전대를 순서대로 설치한다. 부재 부위별로 살펴보면 단면 상부 온도는 열전대 1번, 5번 및 9번으로 측정하고 중앙부 온도는 2번, 6번 및 10번으로 하부중앙부는 3번, 7번 및 11번으로 하부측면부는 4번, 8번 및 12번으로 측정한다.

3.5 보부재 가열면

식(3)의 가열곡선에 따른 화재상태에 노출되는 시험체의 가열면을 살펴보면 기둥의 경우 내화지침 등에 특별한 언급은 없으며 KS F 2257-1[9]의 기둥 가열로 요구사항에 기둥의 모든 면 가열 가능하여야 한다는 내용이 있다. 보의 경우는 KS F 2257-6[10]에 보 시험체가 바닥 또는 지붕 부재와 일체화되는 지 여부에 따라 구체적인 시험체 구성 조건이 제시되고 있는데, 도료피복철골보 또는 뿜칠피복철골보 내화구조 인정을 위한 내화성능시험시에는 바닥 또는 지붕 부재를 포함하지 않고 보 부재만을 시험한다. 이 경우 보 상부에 덮개를 설치하고 내화성능시험을 하는데 덮개의 조건은 다음 3가지이다. 첫째 덮개는 별개의 단면으로서 사용상 연속되지 않는 보강재로 설계 · 제작되도록 하여 보에 부가적인 힘 또는 이러한 것들의 합성 작용을 피하도록 하여야 한다. 둘째 덮개는 밀도(650 ± 200) kg/m^{3}로써 각각 최대 1 m 및 최소두께(150 ± 25) mm인 기포콘크리트 슬래브로 만든다. 셋째 덮개의 너비는 최소한 보 너비의 3배 또는 600 mm 중 큰 것으로 하며 실제 크기는 가열로 크기에 따라 결정된다. 보용 내화구조의 경우 내화성능시험시 상기 덮개가 설치되어 시험체 상부가 화재에 노출되지 않으므로 이 부위에 설치된 열전대 1번, 5번 및 9번의 온도 변화가 부재 전체의 온도 변화와 차이가 있을 것으로 예측 가능하다.

4. 보용 내화피복 내화시험결과 및 검토

4.1 보용 내화피복 인정현황

현재(2015년 12월) 내화구조의 인정이 유효한 도료피복철골보는 Table 2와 같이 19개 구조이며 뿜칠피복철골보는 Table 3과 같이 17개 구조이다[4]. Table 2 및 Table 3의 좌측은 내화기준 별지 제2호 서식에 따른 상품명이고 우측은 동 상품으로 구성된 내화구조명이다. 예컨대 MASCOAT-F라는 내화도료 상품명으로 MC-B2라는 내화구조와 MC-B3라는 내화구조가 인정되었으며 HICOAT-ET-III라는 내

Table 2. Current Certificate List of Fire Protection Paint for Steel Beam

Product	Fire Resistant System
MASCOAT-F	MC-B2, MC-B3
FIRECOTE	X-140, FIRE-X 202, FIRE-X 200
FIREMASK	FIREMASK SQ-1350, FIREMASK SQ-2300, FIREMASK 3000
FLAME CHECK	FLAME CHECK EXO-100, FLAME CHECK EXP-200, FLAME CHECK SS-110, FLAME CHECK SS-120
FIREBLOCKING	FIREBLOCKING 219S, MEGAPOWER-2400
FIRE X	SB-700, SB-701
FIRE CUTTER	FC-BP#752
INTERCHAR	INTERCHAR212
FIRESHIELD	FIRESHIELD WCT-10202

Table 3. Current Certificate List of Fire Protection Spray for Steel Beam

Product	Fire Resistant System
HICOAT-ET-II	ET2-BS1, ET2-BS2, ET2-BS3, ET2-13-BS1, ET2-13-BS2, ET2-13-BS3
HICOAT-ET-III	ET3-BS1, ET3-BS2, ET3-BS3
ESSCOTE NF-III	NF3-B1, NF3-B2, NF3-B3, NF3-B33
Monokote MZK-12	MZK-12-1BS, MZK-12-2BS, MZK-12-3BS
Monokote Z-156PC	Z-156PC-2BS

화뿜칠 상품명으로 ET3-BS1, ET3-BS2 및 ET3-BS3라는 내화구조가 인정되었다.

4.2 내화시험결과 검토방법

내화피복 내화성능 시험결과는 내화품목별 특성을 고려하여 내화도료와 내화뿜칠을 분리하여 검토한다. 보용 내화도료 내화성능 평가단면의 타당성 검토를 위하여 귀무가설(H_0)은 '도료피복철골보의 내화성능시험결과 부재 상부부위의 온도는 부재의 온도와 차이가 없을 것이다' ($\mu_D = 0$), 대립가설(H_1)은 '도료피복철골보의 내화성능시험결과 부재 상부부위의 온도는 부재의 온도와 차이가 있을 것이다'($\mu_D \neq 0$)로 한다. 여기서 부재 상부부위와 부재의 온도차이(D)는 Figure 2와 같이 설치된 12개 열전대를 통하여 측정된 부재온도의 평균값에서 1번, 5번 및 9번 열전대를 통하여 측정된 부재상부온도의 평균값을 뺀 수치이다. 보용 뿜칠의 경우도 동일하게 귀무가설은 '뿜칠피복철골보의 내화성능시험결과 부재 상부부위의 온도는 부재의 온도와 차이가 없을 것이다', 대립가설은 '뿜칠피복철골보의 내화성능시험결과 부재 상부부위의 온도는 부재의 온도와 차이가 있을 것이다'로 한다.

내화지침 부록1의 절차에 따라 내화구조별 2회의 내화성능시험을 실시하므로 상기 19개 내화도료 인정구조에 대한 38건의 시험 데이터 및 38건의 온도차이가 존재하며 이에 대하여 Excel (2013)의 데이터분석 도구 중 t검정 쌍체비교를 활용하여 유의수준 0.05로 가설을 검정한다. 또한, 상기 17개 내화뿜칠 인정구조에 대한 34건의 시험 데이터 및 34건의 온도차이도 도료의 경우와 동일하게 쌍체비교를 활용하여 유의수준 0.05로 가설을 검정한다.

4.3 시험데이터 검토결과

도료피복철골보에 대하여 부재 평균온도와 상부온도의 온도차이 38건을 Excel (2013) t검정 쌍체비교 도구로 분석하면 Table 4의 결과가 도출된다. 이를 살펴보면 부재평균온도의 평균은 486.81 °C, 부재상부온도의 평균은 411.71 °C, 양자 차이의 평균은 75.10 °C이고 각 수치의 표준편차는 34.88 °C, 53.63 °C 및 26.41 °C이며 표준오차는 4.28 °C이다. 현재 인정이 유효한 내화구조에 대한 시험결과를 검토대상으로 하기 때문에 내화구조 인정업체의 기업비밀 보호가 필요하여 실측 온도를 명시하지 않고 Figure 3과 같이 각 부재 평균온도 대비 상부온도의 비율을 제시하였으며 동 비율도 Table 2의 내화구조 나열순과 무관하게 임의로 배치하였다. 이를 살펴보면 부재 상부의 평균온도가 부재 평균온도 대비 최저 67.17%, 최고 92.07%, 평균 84.26%로 예외 없이 부재 평균온도보다 낮음을 알 수 있다.

Table 4. Paired T-test Result of Paint Protection Beam

	Average Temperature	Unexposed Temperature
Mean	486.810	411.707
Variance	1216.714	2876.512
Standard Deviation	34.881	53.633
Observations	38	38
Pearson Correlation	0.908	
Degree of freedom	37	
t Stat	17.529	
P (T <= t) One-tail	8.247×10^{-20}	
t Critical One-tail	1.687	
P (T <= t) Two-tail	1.650×10^{-19}	
t Critical Two-tail	2.026	

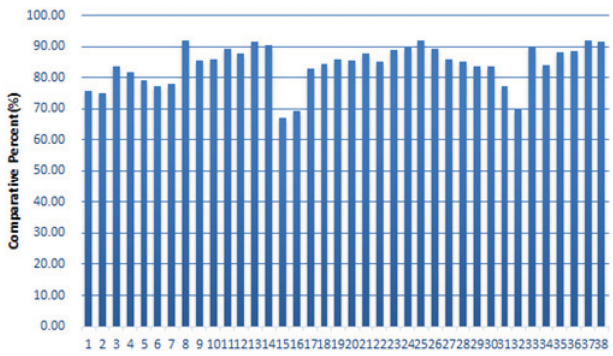


Figure 3. Comparative temperatures of unexposed side of paint protection beam.

뿜칠피복철골보 내화시험 34건에 대하여 상기 도료의 경우과 동일하게 분석하면 Table 5의 결과가 도출되는데 부재평균온도의 평균은 375.99 °C, 부재상부온도의 평균은 162.61 °C, 양자 차이의 평균은 213.38 °C이고 각 수치의 표준편차는 80.89 °C, 69.42 °C 및 52.79 °C이며 표준오차

Table 5. Paired T-test Result of Spray Protection Beam

	Average Temperature	Unexposed Temperature
Mean	357.993	162.608
Variance	6543.980	4819.574
Standard Deviation	80.895	69.423
Observations	34	34
Pearson Correlation	0.764	
Degree of freedom	33	
t Stat	23.569	
P (T <= t) One-tail	1.603×10^{-22}	
t Critical One-tail	1.692	
P (T <= t) Two-tail	3.205×10^{-22}	
t Critical Two-tail	2.035	

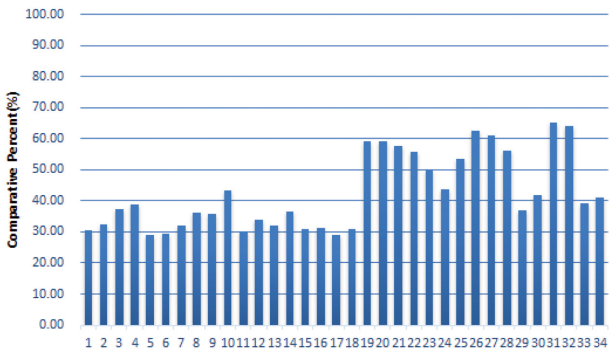


Figure 4. Comparative temperatures of unexposed side of spray protection beam.

는 9.05 °C이다. 도료의 경우와 마찬가지로 기업비밀 보호를 위하여 실측 온도를 명시하지 않고 Figure 4와 같이 각 부재 평균온도 대비 상부온도의 비율을 제시하였으며 Table 3의 내화구조 나열순과 무관하게 배치하였다. 이를 살펴보면 부재 상부의 평균온도가 부재 평균온도 대비 최저 28.98%, 최고 65.12%, 평균 42.56%로 예외 없이 부재 평균온도보다 낮음을 알 수 있다.

4.4 검토결과 고찰

도료피복철골보 내화성능시험에 대한 분석결과인 Table 4의 내용을 살펴보면 양측 검정결과 유의확률이 1.650×10^{-19}으로 유의수준 0.05보다 작으므로 '도료피복철골보의 내화성능시험결과 부재 상부부위의 온도는 부재의 온도와 차이가 없을 것이다.'라는 귀무가설을 기각한다. 즉, 내화구조 인정시험결과를 분석해본 결과 도료피복철골보의 부재온도와 부재상부온도 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 존재한다.

또한, 뿜칠피복철골보 내화성능시험에 대한 분석결과인 Table 5의 내용을 살펴보면 양측 검정결과 유의확률이 3.205×10^{-22}으로 유의수준 0.05보다 작으므로 '뿜칠피복철골보의 내화성능시험결과 부재 상부부위의 온도는 부재의 온도와 차이가 없을 것이다.'라는 귀무가설을 기각한다. 즉, 인정시험결과를 분석해본 결과 뿜칠피복철골보의 부재온도와 부재상부온도 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 존재한다.

상기 72건의 내화시험은 연구나 개발을 위한 시험이 아니라 건축물에 실제로 적용되는 내화구조의 성능을 검증하기 위한 시험이다. 내화구조의 목적은 화재시 인명과 재산의 보호이고 이는 내화기준 제1조에 명시되어 있다. 동 목적을 달성하기 위하여 인정 내화구조의 안정적인 내화성능 확보는 분명히 확인되어야 한다. 이와 관련하여 내화기준 및 내화지침의 내용을 살펴보면 내화피복의 경우 시공오차 등을 고려하여 내화시험결과에 추가로 안전율을 적용하도록 되어 있다. 구체적으로는 내화시험을 통하여 내화성능이 확인된 피복두께에 10%를 추가한 두께를 내화구조의 피복두께로 인정하도록 되어 있다. 이렇듯 내화성능이 확인되더라도 피복두께를 증가시켜 안전율을 확보도록 강제하고 있는 반면 본 논문을 통하여 현존 보용 내화피복 전체의 시험데이터를 분석해 본 결과 Figure 2의 열전대 12종 중 보 상부에 설치하는 1번, 5번 및 9번 열전대는 해당 부재의 평균온도를 낮추는 즉, 결과적으로 허용온도를 초과할 확률을 낮추는 역할을 하고 있음이 통계적으로 확인되었다. 따라서 내화구조의 목적에 부합하기 위하여 보용 내화피복 내화성능시험을 위한 열전대 설치 위치를 신중히 재검토하는 것이 의미 있을 것으로 사료된다. 아울러 시험체용 열전대가 고가의 소모품임을 고려할 때 기술적 · 통계적으로 무의미한 열전대의 설치는 가급적 지양하는 것이 효율적인 시험방법일 것으로 사료된다. 예컨대 상부 열전대를 설치하지 않는 방법, 상부 측정 수치를 합부에 반영하지 않는 방법, 상부 열전대를 가열면으로 이동시켜 설치하는 방법 등 내화구조의 안전율 제고를 위한 다양한 접근이 가능할 것으로 사료된다.

5. 결 론

화재에 노출되지 않는 상부 비가열의 온도측정의 유효성에 대한 의문을 바탕으로 현재 인정이 유효한 보용 내화도료의 내화성능시험결과 38건 및 보용 내화뿜칠의 내화성능시험결과 34건을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 보용 내화도료의 내화성능시험결과 38건 모두 예외없이 부재상부의 평균온도가 부재의 평균온도보다 낮았으며 부재상부 평균온도는 411.71 °C로 부재 평균온도의 84.26% 수준이었다. 부재온도와 상부온도를 쌍체비교 t-검정한 결과 유의확률이 유의수준보다 작으므로 귀무가설을 기각하고 '도료피복철골보의 내화성능시험결과 부재 상부부위의 온도는 부재의 온도와 차이가 있을 것이다.'라는

대립가설을 채택한다. 즉, 현재 인정이 유효한 모든 도료 피복철골보는 인정을 위한 내화시험시 부재상부온도가 부재온도보다 낮았으며 두 종류의 온도사이에 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

2) 보용 내화뿜칠의 내화성능시험결과 34건 모두 예외없이 부재상부의 평균온도가 부재의 평균온도보다 낮았으며 부재상부 평균온도는 162.61 °C로 부재 평균온도의 42.56% 수준이었다. 부재온도와 상부온도를 쌍체비교 t-검정한 결과 유의확률이 유의수준보다 작으므로 귀무가설을 기각하고 '뿜칠피복철골보의 내화성능시험결과 부재 상부부위의 온도는 부재의 온도와 차이가 있을 것이다.'라는 대립가설을 채택한다. 즉, 현재 인정이 유효한 모든 뿜칠피복철골보는 인정을 위한 내화시험시 부재상부온도가 부재온도보다 낮았으며 두 종류의 온도사이에 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

3) 현재 내화구조의 인정이 유효한 보용 내화피복 전체에 대하여 인정 당시 시험데이터를 분석해 본 결과, 보 상부에 설치하는 열전대에서 측정된 온도가 결과적으로 해당 부재의 평균온도를 낮추고 있음이 통계적으로 확인되었다. 따라서 인정 내화구조의 목적에 부합하기 위하여 내화성능시험시 보 상부 열전대의 필요성 또는 설치위치의 타당성을 신중히 검토해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

1. I. K. Kwon, N. Y. Jee and H. Y. Kim, "Experimental Study on the Determination of Fire Protection Thickness through Section Factors of Structural Steels", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 18, No. 9, pp. 125-132 (2002).
2. S. C. Kim, "Correlation Analysis with Fire Endurance Time based on Section Factor to Obtain an Estimate of Fire Protection Material Thickness", Architectural Engineering Master's Thesis, Chungju National University (2009).
3. S. H. Lee, K. H. Kim, M. S. Lee, H. Y. Kim, H. D. Kim, T. H. Song, C. Y. Ok, B. K. Jin, et al., "Development of Fire Resistance Design Method in Building", KICT 2004-376, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2004).
4. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, "Certificate List of Fire Resistant Construction", http://www.kict.re.kr/060305 (2015).
5. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The Evacuative and Fireproof Construction of Buildings", Minister Decree No:238 (2015).
6. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Standards for Accreditation and Management of Fire Resistant Construction", Notification No:2015-843 (2015).
7. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Detail Instructions for Accreditation and Management of Fire Resistant Construction", Document No:14814 (2015).
8. K. L. Ueom, C. H. Yoo, S. M. Jeon and D. H. Kim, "Environment-friendly Intumescent Coatings", Prospects of Industrial Chemistry, Vol. 16, No. 5, pp. 19-27 (2013).
9. Korea Agency for Technology and Standards, "Methods of Fire Resistance Test for Elements of Building Construction-general Requirements", KS F 2257-1:2014 (2014).
10. Korea Agency for Technology and Standards, "Methods of Fire Resistance Test for Elements of Building Construction-specific Requirements for Beams", KS F 2257-6:2014 (2014).
11. Korea Agency for Technology and Standards, "Methods of Fire Resistance Test for Elements of Building Construction-specific Requirements for Columns", KS F 2257-7:2014 (2014).
12. S. M. Jeon and J. J. Kim, "Experimental Study on Separate Evaluations of Fire Resistance of SFRM for Steel Beams and Columns", Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 4, pp. 1-6 (2015).
13. K. H. Kim and S. H. Lee, "Improvement of Criteria of Steel Temperature and Shapes of Specimens for Fire Resistance Properties Tests of Steel Structure", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 18, No. 3, pp. 11-19 (2002).
14. I. K. Kwon, N. Y. Jee and S. H. Lee, "Experimental Study on the Critical Temperature for Structural Elements Such as Column and Beam Exposed to Fire Conditions", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 18, No. 10, pp. 45-52 (2002).
15. Y. S. Lee, S. C. Seong, J. S. Lee, D. H. Choi, D. H. Kim and H. S. Yeo, "Standardizing Test Methods for Fire Safety(IV)", FILK 2005-10, Fire Insurers Laboratories of Korea (2005).