

뽐칠피복 각형 강관의 내화성능 평가를 위한 실험적 연구

An Experimental Study on the Evaluation of the Fire-Resistance Performance of a Spray-Applied Rectangular Steel Structure

옥 치 열*
Ok, Chi-Yeol

김 재 준**
Kim, Jae-Jun

Abstract

Structures of steel frame buildings getting vary depending on the development of construction technology. Fire-resistant steel beams and Columns accredited by accreditation bodies from the performance of various fire-resistant coating is applied to the current pillar method is most H-beams. H-beam has been proposed a non-load test specifications in the relevant regulations, its scope of accreditation to be granted without limitation of size H-beams from the performance of the test specification. However, in the case of the rectangular steel structure is to check its performance and to a separate one of the receive acknowledge and so take advantage of the cross-sectional shape factor in this study to test the performance of the fire-resistant structure proposed for standard test specimen.

Keywords : Fire resistant structure, Fire protection, Sectional factor, Fireproof paint-coated structure

1. 서론

1.1 연구의 배경

일정 용도와 규모 이상의 국내 건축물의 주요구조부는 화재 시 재실자의 안전과 구조물의 붕괴를 방지하기 위해 내화구조로 시공하도록 규정하고 있다. 건축물의 주요구조부는 다시 「건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙」(이하 '피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙'이라한다)에 따라 건축물의 용도 및 규모에 따라 해당 부재의 내화성능을 세분화하여 규정하고 있으며, 피난방화규칙에서 규정하고 있는 법정 내화구조 이외에는 인정기관으로부터 일정한 제조공장의 품질수준 확인과 구조체의 내화성능시험을 통해 내화구조로 인정을 받도록 규정하고 있다¹⁾. 성능설계는 관련 규정이 처음 만들어진 2006년 이후 승인받은 설계방법이 없으며, 화재안전 선진국의 대부분이 단면형상계수와 화재하중비 등을 활용한 공학적인 계산방법에

의한 내화구조의 인정제도를 도입하고 있으나 국내의 경우는 제조공장의 품질관리 확인과 내화구조의 성능시험 수행에 따라 개별 구조의 시험결과를 인정받도록 규정하고 있다. 이에 따라 대공간 및 합성구조 등 가열로의 허용한계치를 벗어난 구조와 신기술과 신공법 등 개별시험이 불가능한 구조에 대한 인정제도의 도입이 필요하다. 특히, 인정 내화구조 중 뽐칠재로 피복된 철골구조의 대부분은 '내화구조의 인정 및 관리업무 세부운영지침'에 따라 규정된 H형강용 표준 시험체로 성능시험을 통해 인정을 받고 있으나, 해당 인정서로는 동일피복재를 각형 강관을 포함한 다양한 강관에 확대 적용할 수 없어 각형강관 등 이형강관은 별도로 개별 인정을 받도록 규정하고 있다²⁾.

본 연구에서는 한국산업표준(KS F 2848)에서 제시하고 있는 단면형상계수를 활용하여, 인정구조의 내화 피복재의 다양한 확대적용을 위한 제도적인 개선을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

1.2 연구의 목적

내화구조의 인정기관은 피난방화규칙에 따라 정부로부터 인정업무를 위임받은 한국건설기술연구원

* 교신저자, 정회원, 한양대학교 건축공학과, 박사과정
Dept. of Architectural Engineering, HanYang Univ.
Tel: 031-910-0147 Fax: 031-910-0505
E-mail: yeoly@kict.re.kr

** 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사
Dept. of Architectural Engineering, HanYang Univ.

며, 연구원으로부터 내화구조로 인정을 받은 대표적인 내화피복 철골구조는 뿔칠 피복 철골구조 43개(2015년 11월 기준)와 도료피복 철골구조 50개(2015년 11월 기준)가 있다. 이중 합성구조(5개)를 제외한 88개의 내화피복 철골 보 및 기둥 구조가 H형강을 골조로 하고 있으며³⁾ 내화시험과 부가시험의 평가를 통해 인정을 받고 있다.

시험방법은 대부분의 인정을 받고자 하는 업체가 인정구조의 크기와 내력에 상관없이 피복재의 두께로 인정을 받을 수 있는 비재하 시험방법을 선호하고 있으며 이를 위해 인정기관에서는 내화기준 및 아래의 <Table 1>과 같이 '내화구조 인정 및 관리업무 세부운영지침'(이하 '내화지침'이라 한다)에서 승인받은 비재하 시험을 위한 H형강의 표준 시험규격을 적용하고 있다⁴⁾.

<Table 1> Specimen size for fire resistant test(mm)

	Beam	Column
Types of steel	SS400(KS D 3503)	
Size(mm)	H-400×200×8×13	H-300×300×10×15
Length(mm)	4700	3000

본 연구에서는 국내 내화구조의 성능평가에 적용되고 있는 H형강의 기둥단면형상계수 148.6(KS F 2848, 4면 가열시)을 기준으로 인정기관으로부터 내화성능을 인정받은 뿔칠피복재를 시공한 각형강관의 비교시험을 통한 표준 시험체 제안을 목적으로 한다⁵⁾.

$$\text{단면형상계수} = H_p / A(m - 1) \quad (1)$$

H_p : 화재에 노출된 단면둘레의 길이(m)

A: 강재의 단면적

2. 관련 국외 제도 및 연구 고찰

2.1 국내외 제도 조사

미국은 International Building Code(IBC)를 통해 화재에 의한 구조부재의 붕괴 위험성이 현저히 적은 옥외 노출 철골조에 대해서는 내화구조 대상에서 제외하고 있는 등 적용건축물에 대한 세분화된

기준을 제시하고 있다. 아울러 UL 등 인정기관에서는 내화피복재의 종류, 사용두께에 따라 1~4시간의 내화성능을 설정하여 단면계수(W/D)를 활용한 성능평가를 실시하고 있다.

한국산업표준(KS F 2257-7(2006))의 부속서B(규정)의 B.5에서 규정하고 있는 강재의 성능기준인 강재의 평균온도 538℃, 최고온도 649℃는 일반적인 유럽기준(EC 3.2)의 하중비(Load ratio)의 개념으로 0.65이며, 국내 기준은 보다 단순화된 판단기준으로 온도기준을 적용한 것으로 볼 수 있어 국내 성능평가의 기준이 되고 있다⁵⁾.

<Table 2> Limiting temperature for columns and beams

Description of member	Limiting temperature (°C) for a load ratio of:			
	0.7	0.6	0.5	0.4
Typical column in compression in multistorey building	510	540	580	615
Non-composite beam supporting concrete slabs or composite slabs in multistorey building	590	620	650	680

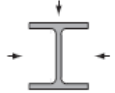
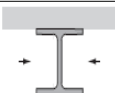
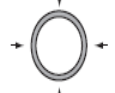
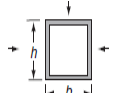
BS 5950-8:2003에서 정의하고 있는 하중비는 아래의 식과 같이 20℃에서의 부재강도에 대한 화재시 하중 또는 모멘트로 정의하고 있다, <Table 2>에서는 이에 대한 한계온도를 설명하고 있다.

$$\text{Load ratio} = \frac{\text{Load or moment at time of fire}}{\text{Member strength at 20}^\circ\text{C}} \quad (2)$$

영국에서는 건축물에 대한 내화성능 요구사항을 잉글랜드와 웨일즈에 대해서는 빌딩코드에 명기하고 있으나 스코틀랜드와 북아일랜드에서는 기본적인 요구사항은 유사하나 건축에 대한 별도 표준으로 규정하고 있다. 그러나, 철골조 구조물에 대한 내화성능 확보를 위해 피복재의 두께는 단면형상계수를 활용하고 있음은 동일하다⁶⁾.

단면형상계수는 화재온도곡선 하에서 단면적에 대한 가열면의 비로써 EN 1993-1-2에 따라 계산할 수 있으며 국내의 한국산업표준(KS F 2848)의 단면형상계수 계산방법과 원리는 동일하다^{5),6)}.

<Table 3> Section factor

Sketch	Section factor A_m/V
	$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{perimeter}}{\text{cross-sectional area}}$
	$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{surface exposed to fire}}{\text{cross-sectional area}}$
	$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$
	$\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{cross-sectional area}} \text{ or } \frac{A_m}{V} = \frac{1}{t} \text{ for } t \ll b$

2.2 관련 연구 고찰

내화구조의 인정을 위해서는 관련규정에 따라 재하시험을 원칙으로 하고 있다. 그러나 국내 가열로의 허용한계가 수평부재(보 및 바닥)의 경우 10m 길이와 1000 ton의 기둥 재하능력이 최대치이며⁷⁾, 이를 벗어난 부재의 경우에는 시험을 통한 성능평가를 할 수 없으므로 비재하 시험을 통해 인정 범위를 확대할 수 있다. 그러나 내화지침에는 H형강을 제외한 강종에 대해서는 비재하시험을 위한 표준 규격이 제시되어 있지 않다. 그동안의 관련 연구는 전수민 등이 내화지침에서 제시하고 있는 H형강의 표준 시험체에 대해 단면형상계수가 다름에도 보와 기둥의 시험 결과 값에 대해 유의한 차이가 없음을 연구하였고⁸⁾, 김선희 등은 철골기둥의 내화성능 평가를 위한 원형 및 각형강관의 표준 규격을 내화지침상의 표준 시험체를 기준으로 계산하여 제시한 바가 있다⁹⁾. 정청훈 등은 보 부재의 한계온도가 기둥보다 높아 보와 기둥의 피복두께가 다름을 연구하였다¹⁰⁾. 신태송은 표준화재 시험 시 내화기준에 의

한 한계온도 538°C(평균 강재온도)가 타당함을 제시하였으며 강도비 0.65를 초과하는 부재의 내화성능 저하를 우려할 수 있으므로 내력적 측면에서의 검토의 필요성을 연구하였다. 옥치열은 단면형상계수를 활용한 내화구조 성능평가를 위한 원형 표준 시험체를 제안한 바가 있다¹¹⁾.

단면형상계수는 H_p/A 는 강재가 표준온도곡선에 따른 내화시험 시 부재의 내화성능은 강재의 표면적(A)에 비례하며, 단면의 질량 및 부피(H_p)에 반비례함을 나타내고 있다. 따라서 화재 시 단면계수가 작은 부재는 단면계수가 큰 부재와 비교하여 온도 상승 정도가 적을 것이다.

3. 내화 성능 실험

3.1 실험 계획

대부분의 국가에서는 건축부재의 성능을 확인하기 위해 표준화재-온도 곡선을 적용하고 있다. 본 연구에서도 내화기준 및 내화지침에 따라 한국산업표준(KS F 2257-1)의 가열곡선을 적용하였다¹²⁾.

$$T = 365 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (3)$$

T : 가열로 내 평균온도(°C)

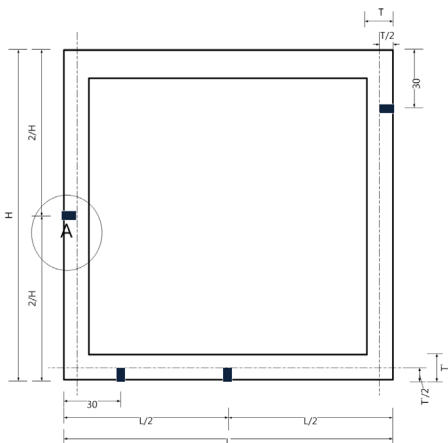
t : 시간(분)

기둥의 내화성능은 KS F 2257-1에서 정한 하중 지지력으로 판정하지만 기둥의 성능평가를 위해 비재하 가열시험을 실시하는 경우는 KS F 2257-7의 부속서에서 제시하고 있는 강재의 한계온도(평균 538°C, 최대 649°C)를 초과하지 않도록 하고 있다^{12),13)}. 비재하 시험의 특성상 피복재의 성능에 의한 내부 강재와의 차열성능을 평가하므로 수평가열로를 활용하여 단주실험(1m)을 실시하였다. 피복재는 뿔철재(내화구조용 인정제품)를 적용하였으며, 강재는 내화지침의 기준 시험체(단면형상계수 : 148.6)를 중심으로 단면형상계수에 따라 <Table 4>와 같이 H형강과 각형강관을 선정하였다.

<Table 4> Test specimen

Kinds of steel	Dimension	Height	kg/m	Hp/A
H-Type	300×300×10×15	1m	94	148.6
	244×175×7×11		44.1	234.1
	588×300×12×20		151	126.4
	350×350×12×19		137	119.4
Rectangular-Type	150×150×6	1m	22.3	211.6
	200×200×5.0		35.8	175.3
	300×200×9.0		66.5	118.1
	300×300×9.0		80.6	16.8

내화구조의 인정을 위해서는 3m의 내화피복 H형강으로 구조시험을 수행하게 되지만 본 연구에서는 다수의 1m 단주시험을 수행하였고, 실제 내화구조 인정용 H형강(3m)과 단주(1m) H형강의 내화시험 결과를 비교하고자 단면형상계수 148.6의 단주 H형강에 대해 실험하였다. 다만, 한국산업표준에서 제시하고 있는 각형강관과 시중에 유통되어지는 강관의 세부치수가 차이가 있어 본 연구에서는 유통되어지는 강관을 기준으로 성능평가를 수행하였다. 열전대는 <Fig. 1>과 같이 내화지침에 따라 강관의 4개 부위에 시공하였다⁴⁾.



<Fig. 1> Thermocouple location for rectangular column



<Fig. 2> Specimens before fire test

뿔칠 피복재는 인정구조의 세부인정 내용(시공방법)을 준수하여 시공하였다.

가열로는 단주시험을 수행할 수 있는 KOLAS 시험기관의 수평가열로에서 수행하였으며 상하부로부터의 열침투 방지를 위해 세라크울로 피복하였다.



<Fig. 3> Specimens after fire test

3.2 시험 결과

피난규칙에서는 국내 건축물의 내화구조 보 및 기둥은 1시간부터 3시간까지 성능을 구분하여 요구하고 있으므로 인정기관으로부터 내화구조 인정을 득한 뿔철피복 철골조(H형강 및 각형강관)를 기준으로 내화 1시간, 2시간, 3시간의 비교 내화실험을 수행하였다. 시험결과 단면형상계수 148.6(현행 내화구조 인정용 비재하 시험용 시험체)의 시험결과를 기준으로 60분 성능시험을 진행한 각형강관의 경우 H형강은 동일한 단면형상계수에 대해 3m 시험체(일반 내화구조 인정용)와 단주 시험체와의 관계를 확인하고자 하였다.

<Table 5> Test result(1hr.)

Types of steel	Dimension	Hp/A	Set (min)	Result (min)
H Type	300×300×10×15	148.6	60	45
□ Type	150×150×6	211.6	60	54
	200×200×6.0	175.3	60	60
	300×200×9.0	118.1	60	60
	300×300×9.0	116.8	60	16

1시간(60분)의 시험결과 뿔철피복 H형강 시험체의 성능이 45분으로 각형강관의 시험결과와 비례되는 결과를 확인하지 못한다. 즉, 단면형상계수 118.1, 175.3 및 211.6의 시험체가 H형강 시험체보다 우수한 시험결과를 확보하고 있으며,(116.8의 단면형상계수 시험체 경우는 시험체 피복재의 초기 탈락성능 확인할 수 없었다.) H형강의 시험체의 성능조건이 각형보다 불리한 값을 보여주고 있다. 다만, 단면형상계수 116.8을 제외한 각형강관의 시험체는 단면형상계수가 제일 불리한 211.6의 시험체가 54분의 성능을 나타내고 있다.

<Table 6> Test result(2hr.)

Types of steel	Dimension	Hp/A	Set (min)	Result (min)
H Type	300×300×10×15	148.6	120	66
□ Type	150×150×6	211.6	120	66
	200×200×6.0	175.3	120	83
	300×200×9.0	118.1	120	94
	300×300×9.0	116.8	120	95

그러나, 2시간(120분)의 시험결과는 뿔철피복 H형강 시험체의 66분을 기준으로 각형강관 대부분이 H형강용 시험체보다 우수한 시험결과를 나타내고 있다. 그러나, 각형강관만 고려했을 경우 단면형상계수에 따라 반비례하는 결과를 나타내고 있다.

<Table 7> Test result(3hr.)

Types of steel	Dimension	Hp/A	Set (min)	Result (min)
H Type	300×300×10×15	148.6	180	148
	244×175×7×11	234.1	180	130
	588×300×12×20	126.4	180	145
	350×350×12×19	119.4	180	149
	150×150×6	211.6	180	100
□ Type	200×200×6.0	175.3	180	101
	300×200×9.0	118.1	180	138
	300×300×9.0	116.8	180	154

3시간의 성능을 시험한 뿔철피복 H형강 시험체 4종과 각형강관 4종의 경우에도 2시간 각형강관과 마찬가지로 단면형상계수와 반비례하는 결과값을 나타내고 있다.

4. 결론

국내 건설현장에서는 H형강용으로 인정을 받은 내화피복재를 각형 및 원형 등 다양한 강관에 적용

할 수 있도록 오래전부터 제도의 개선이 요구되어 지고 있다. UL 및 EN 등 해외 규격에서는 단면형상계수를 적극적으로 활용하고 있다. 본 연구에서는 단면형상 계수와 같은 공학적인 평가방법이 실제 인정을 위한 규정으로 마련되기 위해 국내에서 생산되는 각형강관과 내화구조 인정을 위한 시험체의 단면형상계수를 활용하여 각형강관의 비재하평가용 시험체를 제안하고자 하였다.

1) 뿔칠 피복재로 피복된 H형강의 2~3시간 내화 성능에 대한 비교결과는 단면형상계수와 반비례하는 온도 추세를 확인할 수 있었다. 즉, 단면형상계수가 높을수록 화재에 불리한 결과를 나타내고 있으며, 이를 활용하여 단일 시험체로 내화구조로 인정받은 뿔칠 피복 철골부재(H형강)에 대해 단면형상계수를 적용한 구조체에 대한 인정범위를 설정할 수 있을 것으로 사료된다.

2) 각형강관의 1~3시간의 내화성능 시험결과 단면형상계수와 반비례하는 내화성능을 확인할 수 있었다. 그러나 300×300(철골두께 9mm) 각형강관의 1시간 성능시험 중 피복재가 탈락하여 충분한 성능 확인이 되지 못한 점은 추후 연구에서 보완해야 할 사항으로 사료된다. 그러나 3시간 내화성능 시험결과 H형강과 각형강관의 강재 형태별로 안전을 추가 등을 고려한다면 단면형상계수를 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 뿔칠 피복 각형강관의 내화성능 평가용 시험체는 한국산업표준 KS F 2848에서 제안하고 있는 시험체가 현재 H형강 인정용 시험체의 단면형상계수 148.6을 기준으로 비평창성 4면노출 뿔칠 피복 각관의 2시간 성능시험용 시험체는 단면형상계수 116.8의 각관을 제안할 수 있으나, 3시간 성능시험용 시험체는 단면형상계수 116.8과 118.1 사이의 시험체를 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

지속적인 각관의 개발에 따라 내화성능 평가를 위한 시험체는 단면형상계수별로 다수의 시험체를 선정하여 시험결과에 따라 계수별 두께를 제시하는 방향으로 인정의 범위를 부여하는 것이 바람직할 것이며, 관련 규정의 개정을 통해 성능을 기반으로 한 내화구조 인정제도가 도입될 수 있기를 기대한다.

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The Evacuative and Fireproof Construction of Buildings", Minister Decree No:149 (2014).
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Standards for Accreditation and Management of Fire Resistant Construction", Notification No:2016-416(2016).
3. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Certificate List of Fire Resistant Construction", <http://g4b.go.kr/> (2016).
4. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Detail Instructions for Accreditation and Management of Fire Resistant Construction", Document No:8703 (2016).
5. Korea Agency for Technology and Standards, "Method for Calculating Fire Protective Thickness of Structural Steel According to Section Factor", KS F 2848:2010 (2010).
6. T. Lennon, D. B. Moore, Y. C. Wang and C. G. Bailey 'Designer' guide to EN 1991-1-2, 1992-1 -2, 1993-1-2 and 1994-1-2 : HandBook for the fire design of steel, composite and concrete structures to the Eurocodes, thomas telford ltd. London, UK (2010).
7. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, "Fire safety comprehensive research institute", <http://www.kict.re.kr/> (2016).
8. S. M. Jeon and J. J.Kim..'Experimental Study on Separate Evaluations of Fire Resistance of SFRM for Steel Beams and Columns' Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 18, No. 9, pp. 125-132 (2002).
9. S. H. Kim, C. Y. Ok and S. M. Choi, "Clarification of the Thermal Properties of Intumescent Paint and Suggestion of the Required Fire Protection Thickness for Steel

- and Composite columns”, J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc. Vol. 6, No. 1, pp. 21-29. 125-132(2015)
10. C. W. Jung, N. Y. Jee and I. K. Kwon, “Study on the Determination of Fire Protection Thickness based on Section Factor”, Proceedings of 2003 Spring Annual Conference, Korean Institute of Building Construction, pp. 139-142 (2003).
 11. Chi-Yeol Ok, Jae-Jun Kim. "Study of the Standard Testing Specifications for a Non-loading Performance Evaluation of Coating Material-sprayed Circular Steel Structures." FIRE SCIENCE AND ENGINEERING, 30.3 (2016.6): 7-15.
 12. Korea Agency for Technology and Standards, “Methods of fire Resistance Test for Elements of Building Construction- General Requirements”, KS F 2257-1:2014(2014).
 13. Korea Agency for Technology and Standards, “Methods of Fire Resistance Test for Elements of Building Construction-Specific Requirements for Columns”, KS F2257-7:2014 (2014).
 14. 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).
 15. C. W. Jung, N. Y. Jee and I. K. Kwon, “Study on the Determination of Fire Protection Thickness based on Section Factor”, Proceedings of 2003 Spring Annual Conference, Korean Institute of Building Construction, pp. 139-142 (2003).
 16. 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).
- Received : September 12, 2016
 - Revised : November 07, 2016
 - Accepted : November 09, 2016