

동일 내화뿔철 피복조건에서 표준화재에 노출된 합성보의 강재 온도이력 및 단면형상계수와의 관계

여인환[†] · 조경숙 · 조범연

한국건설기술연구원

A Study on Relations between Shape Factor and Temperature History of Steel of Composite Beam in Standard Fire under Same Thickness Condition of Spray-type Fire Resistant Materials

In-Hwan Yeo[†] · Kyung-Suk Cho · Bum-Yean Cho

Korea Institute of Construction Technology

(Received October 22, 2012; Revised November 23, 2012; Accepted December 7, 2012)

요 약

콘크리트-강재 합성보가 고온에 노출된 경우 콘크리트는 강재를 피복하여 온도상승을 지연시키거나 보 내부의 수열용량을 높이는 역할을 한다. 한편 재료 간 일체화로 부재의 강도가 보완되기 때문에 일반적으로 단순 강재 보 보다 합성보의 내화성능이 유리하게 나타난다. 합성보에서 외부에 노출된 강재의 온도상승은 부재 단면의 형상 및 강재의 노출 정도와 직접 관련하게 된다. 본 연구에서는 합성보와 일반철골보에 내화인정을 받은 내화뿔철재를 동일 두께로 피복하여 표준화재조건에 대한 실험을 실시하고, 그 결과로 나타난 강재의 온도이력과 단면형상계수와의 관계를 비교 분석하였다. 강재 온도 측정결과와 부재별 단면형상계수의 상관관계를 살펴본 결과 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 이 결과는 부재의 내화성능에 영향을 미치는 명확한 조건에 의해 비교우위의 성능예측이 가능한 경우 부재별 개별 인정 없이 표준 구조 인정을 통한 보편적인 사용이 가능할 수 있음을 시사한다.

ABSTRACT

When the concrete and steel combined composite beam is exposed to high temperature, concrete could delay temperature rising of steel by covering or increase heat capacity of structural member. For becoming of structural reinforcing by unification between materials, fire resistance rate of composite beam would be higher than simple steel beam. The temperature rising of exposed steel of composite beam is directly related with section shape and exposure length of steel. In this study, fire resistant tests were carried out for composite beams and steel beam with same thickness of spray-type fire resistant materials in standard fire, and after that, temperature histories were analysed and compared with shape factor. The correlation between steel temperature and shape factor was showed very high. This result suggests that if it can be predict the comparative advantage of member by factor which cause the performance enhancement, it could be conclude that an Standard Accreditation method can be adjust to members without indivisual certificate of accreditation.

Keywords : Composite beam, Fire resistance, Non-load bearing, Shape factor

1. 서 론

국내의 내화구조는 ‘건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙’(이하 피난규칙) 제3조로 제시하고 있으며 이는 법정내화구조(1-7호 관련)와 인정내화구조(8-10호 관련)의 2가지로 크게 분류할 수 있다. 인정내화구조는 다시 일반 인정구조(8호, 10호 관련)와 내화구조 표준 및 성능설계에 따라 내화구조 성능을 검증한 것(9호 관련)으로 구

분할 수 있다⁽¹⁾.

제9호의 내화구조 표준 인정규정은 2005년 7월 시행되었으나, 아직 내화구조 표준으로 인정된 구조는 없다. 내화구조 표준 인정은 법정내화구조나 일반 인정구조에 해당되지 않으면서 표준화 가능한 구조, 즉 법정내화구조와 일반 인정구조의 중간지점에 해당하는 시스템을 그 대상으로 할 수 있는데, 주요자재의 생산품질과 시공의 표준화를 기할 수 있고 범용적 기술의 적용으로 구현 가능한 경

[†]Corresponding Author, E-Mail: yeo@kict.re.kr
TEL: +82-31-369-0514, FAX: +82-31-369-0670

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.6.072>

Table 1. The Fire Resistance Certificate Lists of Composite Beam⁽³⁾

No	Name	Fire Resistance (h)	Thickness (mm)	Note
1	TP-II-CB-B2	2	16	TSC Beam
2	SH-TSC-B3	3	21	TSC Beam
3	HFCTUB0909-1H	1	11	TU Beam
4	HFCTUB0909-2H	2	16	TU Beam
5	HFCTUB0909-3H	3	21	TU Beam

(Aug. 2012)

Table 2. The Fire Resistance Certificate Lists of H Beam-sprayed Fire Resistance Materials⁽³⁾

Fire resistance rating (h)	Thickness range (mm)	Note (Number of certificate)
1	12-16	6
2	22-33	6
3	32-38	3

(Aug. 2012)

우 일반인정보다는 표준화 인정이 바람직할 것이다.

피난규칙 제3조의 법정 철골철근콘크리트조는 강재가 콘크리트에 의해 피복되어 노출되지 않는 경우에 한한다. 합성보의 강재가 외부에 노출된 경우 일반 H형강 보의 내화성능평가방법과 동일한 강재온도기준에 의해 내화구조 인정을 받도록 하고 있다. 즉 강재노출부위에 내화피복재를 시공한 후, 비재하 상태에서 강재의 온도를 측정하여 목표시간(1~3시간) 이내에 기준온도에 도달하는지 여부로 평가하고 있다⁽²⁾.

국내 합성보의 내화구조 인정현황을 살펴보면 Table 1 과 같다. 내화성능 판정기준은 KS F 2257-6 부속서의 강재 및 주철근의 평균온도와 최고온도에 따라 내화성능을 평가하고 있으며, KS F 2257-1의 하중지지력은 비재하시험을 위한 사전 요건으로 검토된다.

Table 2는 뿔칠피복 철골보의 내화구조 인정현황이다. Table 1의 합성보의 내화인정 현황과 비교해보면 동일 시간에 내화피복재의 두께가 차이가 난다. 3시간 합성보의 피복이 21 mm인데 비해 철골보의 경우는 최대 38 mm로 약 2 배 가까운 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이로써 콘크리트의 부재 수열용량 증대효과의 유효성 추정이 가능하다.

KS F 2848⁽⁴⁾은 구조용 강재의 단면형상계수에 따른 내화피복두께 산정 방법을 제시하고 있다. 단면형상계수는 강재 단면적에 대한 화재에 노출된 단면 둘레 길이의 비이며, 실험에 의한 한계온도 설정 및 피복두께 계수설정과 통계적 방법에 의해 내화피복두께를 산정하게 된다.

TSC합성보의 화재 시 거동 및 전열특성에 대한 기존연구⁽⁵⁾에서는 하중비, 피복유무, 철근보강에 따른 내화성능

을 검토하였는데, 철근을 보강하는 경우 고온에서 효과적인 성능향상을 기대할 수 있다고 하였다.

구조용 강재의 단면형상계수에 대한 기존연구⁽⁶⁾에서는 강재의 단면형상계수가 작을수록, 화재시 구조적 안전성 확보에 유리하다고 하였다.

앞서 살펴본 기존의 내화구조 인정현황 및 강재의 내화 피복두께 산정 표준을 통해 볼 때 고온에 노출된 합성보 강재의 온도 상승을 KS F 2848의 단면형상계수 개념과 관련하여 살펴 볼 필요가 있을 것으로 판단된다. 따라서 실험을 통해 이를 확인하고 합성부재에서 강재의 단면형상계수와 온도이력과의 상관관계를 알아보려 한다.

이를 위해 주로 사용되고 있는 몇몇 합성보와 비교군을 선정하여 노출 강재의 동일피복조건에서 비재하조건인 내화실험을 진행하였다. 이후 각 실험체별로 KS F 2848의 강재 단면형상계수를 산정하여 강재온도와 단면형상계수 간의 상관관계를 살펴보았다. 통계 프로그램은 SPSS를 활용하였다.

3. 실험체 제작 및 실험방법

3.1 실험체 제작

내화실험을 위해 6개의 실험체를 선정하였다. 각 실험체는 길이 4,700 mm, 스패 4,200 mm, 가열길이 4,000 mm 이며, 실험체별 단면 크기는 Table 3과 같다. 합성보의 형태가 각기 다르므로 단면크기의 선정에 있어 내화구조 인정을 받은 부재는 인정 성능시험 당시의 크기로 선정하였으며, 그 외의 부재는 유사한 규모로서 현장에서 주로 쓰이는 크기로 제작하였다. 실험체별 단면상세는 Figure 1과 같다.

강재 온도측정을 위한 열전대는 KS F 2257-6에 따라 단면 4지점에 설치하였으며, 부재의 중앙부와 단부에 모두 8개씩을 설치하였다. 실험체 중 보 부재에 콘크리트가 타설되지 않은 H형강과 T형보를 제외한 나머지 부재는 콘크리트 내부의 열전달을 파악하기 위해 콘크리트 표면으로부터 20, 40, 60, 80 mm 및 부재 중심의 총 5 부위에 열전대를 설치하였다.

본 실험에 사용된 시멘트는 KS F 5201에 규정된 H사 영월산 포틀랜드 시멘트 1종을 사용하였으며 콘크리트 배

Table 3. List of Specimens

No.	Name	Size
1	B1	240×400 (Slab:150)
2	B2	400×250 (Slab:250)
3	B3	300×400 (Slab:150)
4	B4	300×400 (Slab:150)
5	B5	300×220 (Slab:135)
6	B6	400×200×8×12

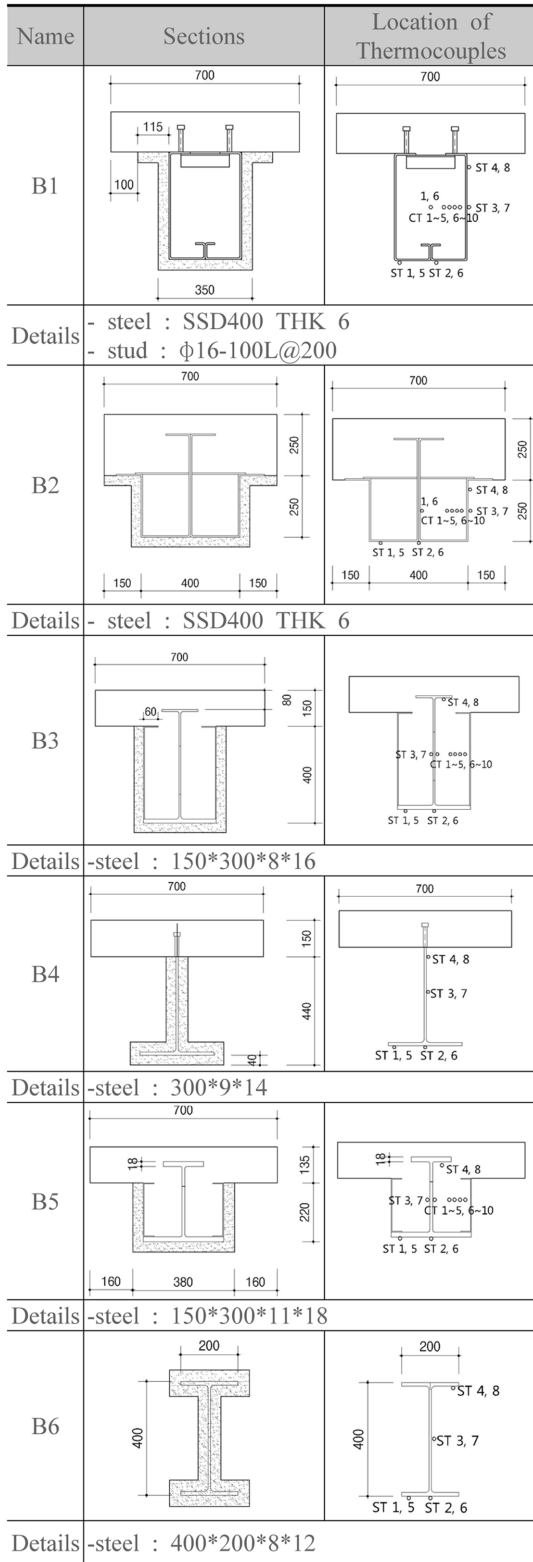


Figure 1. Test specimens and details.

Table 4. Mixture Proportion of Concrete

Compression Strength (MPa)	w/c (%)	s/a (%)	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	AD (kg/m ³)
24	48.0	47.5	344	165	860	968	1.72

Table 5. The Results of Concrete Compression Strength Test

MPa	Compression strength (Mpa)		Note
	14 day	28 day	
24	24.0	28.5	-

Table 6. The Results of Adhesive Strength, Thickness & Density of Sprayed Cover

No.	Name	Adhesive strength (N/cm ²)	Thickness (mm)	Density (g/cm ³)
1	B1	4.48	38	0.67
2	B2	-	38	
3	B3	4.92	37	
4	B4	4.33	38	
5	B5	5.12	38	
6	B6	8.90	38	

합비는 Table 4와 같다.

상기 콘크리트 배합표에 따른 레드믹스트 콘크리트를 타설하였으며, KS F 2405에 따른 콘크리트 공시체의 압축강도를 측정결과는 Table 5와 같다.

강재의 내화피복은 S사의 내화뿔칠재를 도포 하였으며 내화 뿔칠재의 부착강도, 피복두께 및 밀도측정결과는 Table 6과 같다. 측정결과 중 시험체 B2의 부착강도는 측정상의 오류로 부착강도를 측정하지 못하였다. 전체 실험체에 대해 동일한 배합으로 뿔칠을 실시하였으므로 밀도 측정은 하나의 부재에서 측정한 값을 대표값으로 설정하였다. 피복두께 측정은 한부재당 10곳을 측정하여 이를 산술평균한 값으로 산정하였다.

3.2 실험 계획 및 방법

B1-B5는 합성보로서 이 중 B1과 B2는 내화구조 인정을 획득한 구조이며, 비교군으로 설정한 B6는 일반인정에 사용하는 표준 H형강이다. 내화뿔칠 피복은 실험체 모두 38 mm로 동일하게 도포하였다. 합성보의 뿔칠피복은 외부에 노출된 강재에만 도포하였고 B6실험체는 4면 뿔칠을 하였다.

실험은 KS F 2257-1의 표준화재조건에서 3시간 가열하였으며, 내화성능 평가는 KS F 2257-6의 부속서에 따라 내부 강재 혹은 주철근의 온도 평균 538 °C, 최고 649 °C를 기준으로 내화성능을 평가하였다. 또한 KS F 2848에서 제시하는 강재 단면형상계수 산정방법을 이용하여 실험체별 단면형상계수를 산정한 후 내화성능과 단면형상계

수의 상관관계를 파악하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 표준화재곡선에 의한 합성보의 내화성능

KS F 2257-1의 표준화재조건에서 180분 동안 가열하였으며, 그 실험 결과는 다음 Table 7과 같다. B4는 평균온도 기준을 초과해 유일하게 180분에 못 미치는 내화성능을 보였고, 나머지는 모두 180분 이상의 내화성능을 확보하였다. B6의 경우 평균, 최고온도에 거의 근접한 반면 다

Table 7. The Results of Fire Resistance (min) of Composite Beams

No.	Name	Fire resistance (min)	Temperature	
			ave. (°C)	max. (°C)
1	B1	180	149.8	207.4
2	B2	180	135.9	191.6
3	B3	180	126.7	226.0
4	B4	172	571.3	634.0
5	B5	180	100.1	169.2
6	B6	180	532.5	641.0

른 실험체는 매우 안정적인 온도분포를 나타냈다.

B1보의 내화시험결과, 강재 4부위의 평균온도와 최고온도는 각각 3시간 종료 후 149.8 °C, 207.4 °C로 측정되어 내화성능 판정 기준온도인 평균온도 538 °C, 최고온도 649 °C에 못 미쳤다. 실험 종료 후 내화뿔철재의 상태도 양호하여 탈락이나 균열 없이 대체적으로 완만한 선형적 온도상승을 보였다.

B2보의 3시간 내화시험 종료 후 평균온도, 최고온도는 각각 135.9 °C, 191.6 °C로 측정되어 180분 이상의 내화성능을 유지하였다. B1 보와 비교하여 온도 상승이 더 적었으며, 최고온도와 평균온도의 차이도 적게 나타났다.

B3보의 내화시험 결과, 강재의 평균온도, 최고온도는 각각 126.7 °C, 226.0 °C로 측정되어 내화성능은 180분 이상으로 나타났다.

B4보의 내화시험 결과, 평균온도와 최고온도는 각각 571.3 °C, 634.0 °C로 측정되었다. 내화성능 판단 기준인 평균온도 538 °C, 최고온도 649 °C를 기준으로 볼 때 실험 종료 시까지 최고온도는 허용기준을 초과하지 않았지만 173분에서 평균온도를 초과하여 내화성능 시간은 172분으로 나타났다.

B5보의 내화시험 결과 평균온도와 최고온도는 각각 100.1 °C, 169.2 °C로 측정되어 전체 실험체 중 가장 낮은

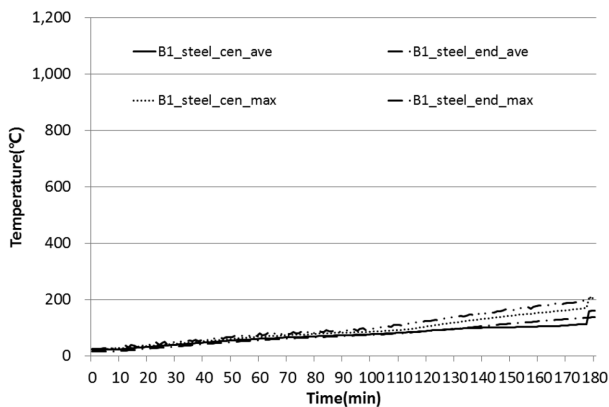


Figure 2. Time-temperature graph of specimen B1.

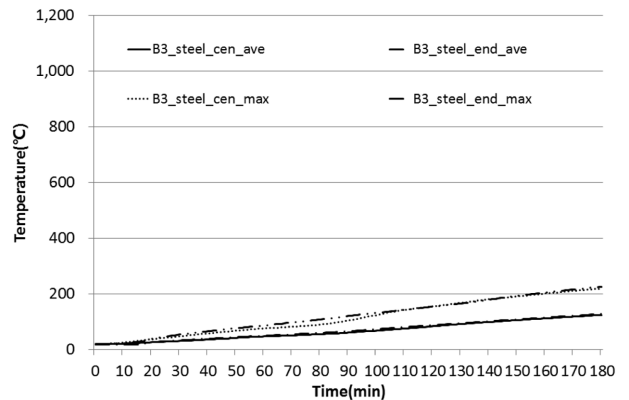


Figure 4. Time-temperature graph of specimen B3.

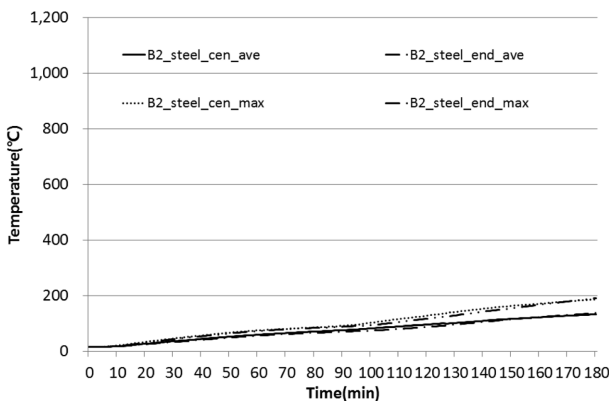


Figure 3. Time-temperature graph of specimen B2.

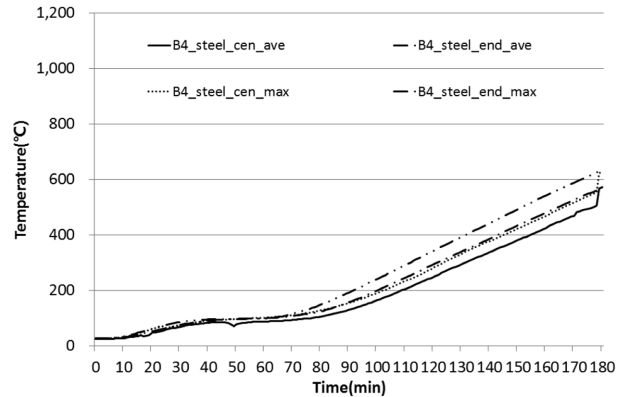


Figure 5. Time-temperature graph of specimen B4.

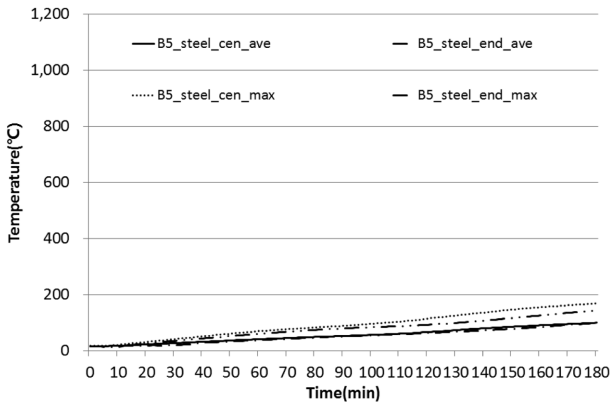


Figure 6. Time-temperature graph of specimen B5.

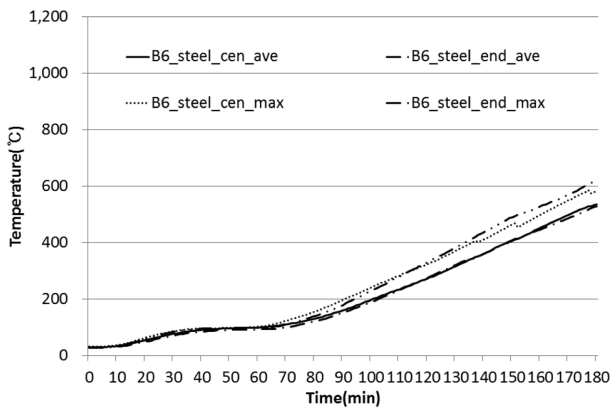


Figure 7. Time-temperature graph of specimen B6.

온도분포를 보였다.

B6보의 내화시험 결과, 강재의 평균온도와 최고온도는 각각 532.5 °C, 641.0 °C로 측정되어 180분 이상의 내화 성능을 보였지만, 허용온도에 거의 근접한 것으로 나타났다. B4보를 제외한 나머지 합성보와 온도 상승속도를 비교했을 때 B6보의 내화성능은 현저히 낮은 것으로 나타났다.

4.2 단면형상계수와 내화성능의 상관관계

KS F 2848:2010에서는 단면형상계수에 따른 구조용 강재의 내화 피복두께를 산정하는 방법과 절차를 제시하고 있다. 여기서는 강구조부재의 내화피복두께를 설정하는데 있어 단면형상계수를 중요한 지표로 활용한다. 단면형상계수가 낮을수록 내화성능은 유리해진다. 단면형상계수는 강재의 단면적에 대한 화재에 노출된 단면 둘레의 길이를 계수화한 값으로 그 산정식은 식(1)과 같다.

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

여기서,

H_p : 화재에 노출된 단면 둘레의 길이(m)

A : 강재의 단면적(m²)

Table 8. The Shape Factor of Specimens

No.	Name	(Hp/A)		
		Hp (m)	A (m ²)	Hp/A
1	B1	1.07	0.008196	130.55
2	B2	1.1	0.012552	87.64
3	B3	1.1	0.012214	90.06
4	B4	1.391	0.007674	181.26
5	B5	0.74	0.012438	59.50
6	B6	1.384	0.008412	164.50

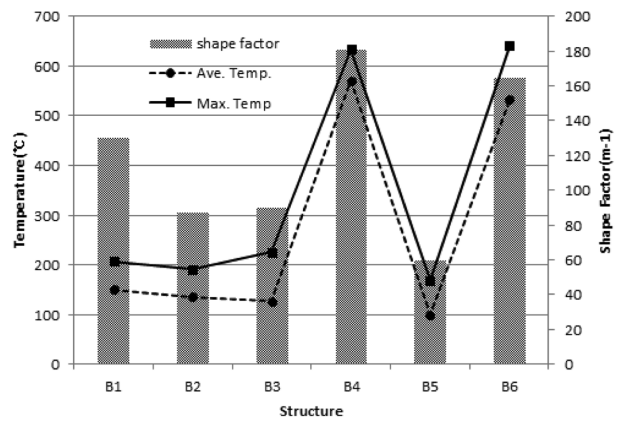


Figure 8. Comparison between shape factor and temperature.

식(1)에 따라 산정된 실험체별 단면형상계수는 Table 8과 같으며, 단면형상계수와 강재 온도와의 관계는 Figure 8과 같다.

B4실험체는 H형강의 상부플랜지가 없는 자형태의 강재로 이루어져 있어 단면형상계수가 가장 높았고 H형강인 B6실험체가 그 다음을 이었다. 반면 강재의 노출이 가장 적은 B5의 단면형상계수가 가장 낮게 나타났다. 실험체별 온도차이는 단면형상계수의 차이와 유사한 것으로 나타났다. SPSS 통계프로그램을 이용하여 실험체 별 온도와 단면형상계수의 상관관계를 파악하였다. 상관관계는 이변량 상관관계수(Bivariate Correlation)의 Pearson r 값을 측정하였다. 그 결과, 단면형상계수와 강재온도의 상관관계지수는 평균온도의 경우 0.909, 최고온도는 0.893으로 정적 상관관계를 보였다. 따라서 단면형상계수값이 높을수록 강재의 온도가 높은 것으로 나타났으며, 둘 간의 상관관계가 매우 높은 것으로 평가되었다.

4.3 내화뿔철 합성보의 내화구조표준제안

표준화재에 노출된 합성보 및 철골보의 강재 온도와 단면형상계수와의 상관관계 분석을 통해 강재로 둘러싸여진 콘크리트로 인한 강재의 온도상승 억제효과를 확인하였다. 이로부터 일반 내화인정을 통해 H형강 보에서 인정받은 내화뿔철재를 동일 적용하는 경우, 일반 H형강과 비교하여 단면형상계수값이 낮은 합성보에 대해서는 내화구조표

준으로 정함으로써 개별적인 내화구조인정을 받기 위한 비용 및 시간 절감이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

합성보의 내화성능 평가 결과 내화 인정을 받은 일반 H 형강보의 3시간 내화뿔질두께를 적용하였을 때 B4보만 제외하고 모두 3시간 이상의 내화성능을 나타내었으며, 일반 H 형강보의 내부 온도와 비교하였을 때 합성보의 내화성능이 유리하게 나타남을 확인하였다.

한편 단면형상계수와 강재 온도간의 상관관계를 살펴본 결과, 강재의 평균온도와 단면형상계수와의 상관관계 지수는 0.909로 나타났으며, 최고온도의 경우 0.893으로 나타나 부재의 단면형상계수와 강재 온도기준의 부재 내화성능은 상당히 밀접한 관계가 있는 것으로 확인되었다. 이로써 기존 일반 H 형강보에 적용하여 내화인정을 받은 내화 피복재를 합성보에 동일 두께로 적용한다면 요구 내화성능을 충분히 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

합성보의 강재단면형상계수가 철골보에 비해 낮다면 합성보의 형태와 구성에 상관없이 일반 철골보에서 내화구조인정을 획득한 내화피복재를 적용하는 경우 내화성능을 확보하는 것으로 볼 수 있을 것이며, 이러한 점에서 부재의 내화성능에 영향을 미치는 명확한 조건에 의해 비교우위의 성능예측이 가능한 경우 부재별 개별 인정없이 표준구조인정을 통한 보편적인 사용이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국건설기술연구원의(10주요) 2010-007601-1과제의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Regulation on the Standards for Evacuation and Fireproof Construction of Buildings.
2. G. W. Bae, B. W. Huh, M. K. Gwak, Y. S. Ha and W. Y. Kim, "Fire Resistance of TU Composite Beam", Magazine of the Korean Society of Steel Construction, Vol. 22, No. 4, pp. 25-30 (2010).
3. www.kict.re.kr.
4. Korea Agency for Technology and Standards, KS F 2848 Method for calculating fire protective thickness of structural steel according to section factor (2010).
5. S. K. Choi and S. B. Kim, "Structure Performance and Heat Transfer Characteristics of the TSC Composite Beam in Fire", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 24, No. 1, pp. 27-35 (2008).
6. 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 Structure & Construction, Vol. 18, No. 9, pp. 125-132 (2002).
7. T. G. Lee, "An Experimental Study on the Fireproof Covering thickness of High Strength Concrete Members with Spray Coating", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 24, No. 4 (2010).
8. I. K. Kwon, "Study on the Surface Temperature and Fire Protective thickness for Structural Steel Elements at Fire Conditions", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 24, No. 4 (2010).