

## 강재 단면형상을 고려한 소요 내화피복 두께 산정에 관한 연구

김해수<sup>1\*</sup>, 강 종<sup>2</sup>

<sup>1</sup>동의과학대학교 건축과, <sup>2</sup>동명대학교 건축공학과

### A Study on the Determination of Required Fire Protection Thickness Considering Steel Section Shape

Hae-Soo Kim<sup>1\*</sup> and Jong Kang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture, Dong-Eui Institute of Technology

<sup>2</sup>Department of Architectural Engineering, Tongmyong University

**요 약** 강재는 단면의 종류와 크기 및 부재에 따라 화재에 노출되는 표면적이 달라지며, 이에 따라 화재에 의한 강재의 온도상승도 큰 차이를 나타낸다. 단면형상계수( $H_p/A$ )는 강재의 종류, 크기, 적용부재 및 내화피복재의 종류 등의 변수에 따라 결정되며, 이것은 내화피복 두께를 결정하는 기준이 된다. 본 연구를 통하여 강재는 종류에 관계없이 단면의 크기가 증가할수록 단면형상계수는 감소하는 것을 알 수 있었다. 단면형상계수에 따른 강재의 종류별 내화피복 두께 산정 결과 1시간 내화성능은 기준보다 소요 두께가 30~50% 낮게 나타났다. 또한, 2시간 내화성능은 기준보다 소요 두께가 최저 27% 낮게 산정되는 부재도 있으나 대체로 기준에 근접하는 것을 알 수 있었다. 그러나 H형강의 경우 3시간 내화성능은 대체로 기준을 만족하지만 각형강관과 원형강관의 경우 5.0~17.5% 정도 기준을 상회하는 값으로 나타났다.

**Abstract** Surface area of the steel member exposed to fire differs according to type and size of the section and the kind of the member, which shows a big difference in the temperature rise of the steel by fire. The section factor ( $H_p/A$ ) is determined by factors such as type, size, and member of the steel and type of the fire protection material, and it is the criteria in determining thickness of the fire protection material. This study showed that the size of the steel increase regardless of the steel type, the section factor decrease. In the results on fire protection thickness of the steel according to the section factor, the efficiency of 1 hour fire protection was lower from 30 to 50% than the criteria. And there is the member, which have the thickness lower the minimum 27% in 2 hour fire protection, but it generally approached in the criteria. In case of H-shape steel, the efficiency of 3 hour fire protection was suitable for the criteria, but rectangular hollow steel section and circular hollow steel section were higher (5.0-17.5%) than the criteria.

**Key Words** : Fire Resistance, Section Factor, Fire Protection, Fire Duration Time, Types of Steel

### 1. 서론

최근 들어 전 세계적으로 지진이나 태풍 같은 자연재해나 화재 등으로부터 인명과 건축물을 안전하게 유지하기 위한 방재시스템의 필요성이 강조되고 있다. 지난해 부산 해운대 초고층 주상복합 건축물에서 발생한 화재는 초고층 건축물에서 방재시스템의 부재 시 건축물의 안전

은 물론 심각한 인명피해를 초래할 수도 있음을 느끼게 해준 계기가 되었다.

건축환경의 변화에 따른 건축물의 고층화와 대형화 추세에 따라 주요 구조부로는 강구조 또는 합성구조가 많이 채택되고 있다. 건축구조물에 사용되는 구조용 강재는 콘크리트에 비해 고온에 매우 취약한 재료로 화재가 발생한 후 550~600℃이상 초과되면 재료의 내력이 급격하

\*교신저자 : 김해수(khs3108@dit.ac.kr)

접수일 11년 11월 18일

수정일 11년 11월 29일

게재확정일 11년 12월 13일

게 저하되면서 구조물의 붕괴를 초래 할 수도 있다[1]. 따라서 내화피복이 없으면 강재는 고온으로 인한 한계온도를 초과하여 재료의 구조적 성능을 상실하게 되므로, 내화피복재를 사용하여 화재 시 강재가 고온에 노출되는 시간을 지연시키거나 이를 방지하여 구조적 성능을 유지할 수 있도록 하여야 한다.

건축물에 화재가 발생되면 짧은 시간 내에 플래쉬 오버 단계를 거치면서 최성기에 달하고, 이후 건축물의 화재하중 등에 따라 화재가 지속된다[1]. 또한 화재가 오랜 시간 지속되면 건축물 내부에서 화재의 전파나 확대 및 유독가스의 발생으로 인한 인명의 피해를 초래할 뿐만 아니라, 구조부재의 내력저하로 인한 건축물의 붕괴까지 이어질 수 있다. 내화구조의 성능기준에서는 화재가 발생했을 때 인명과 건축물의 안전을 위해 건축물의 주요 구조부를 화재로부터 안전하게 견딜 수 있는 내화구조로 하도록 규정하고 있다. 현행 내화구조의 성능기준은 강재의 내화피복과 테크플레이트 합성바닥판 등이 건축물에 적용되는 부위별로 1~3시간의 내화성능을 인정받아 사용 되고 있으며, 강재의 사용량이 증가함에 따라 새로운 내화구조 및 이에 적용되는 재료는 더욱 더 늘어날 전망이다.

이 연구는 화재로 고열을 받은 강재의 저항성능을 유지하기 위한 단면의 형상에 따른 피복두께의 산정을 통하여 강재의 피복두께별 내화성능을 알아보고자 한다. 내화피복 재료는 비팽창성 내화피복재인 내화뿔칠을 대상으로 한다. 강재는 현재 고층 건축물에 사용되는 단면크기를 중심으로 단면의 종류(H형강, 각형 및 원형강관)와 내화시간 및 단면형상계수를 변수로 하여 내화시간에 따

라 요구되는 내화피복 두께를 산정하고자 한다.

## 2. 내화구조의 종류와 성능기준

국내의 내화구조 설계 시 건축물에 적용되는 내화구조는 건축법[2]의 ‘건축물의 피난·방화구조 등에 관한 규칙’ 제 3조에서 특정구조에 대하여 별도의 시험 및 확인 없이 그 성능을 인정하는 법정내화구조로 규정하고 있다. 또한 국토해양부고시[3]에 의한 ‘내화구조의 인정 및 관리기준’ 제3조의 기타 내화구조의 성능지정에 따라 내화성능을 평가하여 이를 내화구조로 인정하는 인정내화구조로 운영되고 있다.

### 2.1 인정 내화구조 및 성능기준

국내에서 인정되는 내화구조로는 생산 공장의 품질관리상태가 고시 기준에 적합하고 품질이 성능기준에 적합한 구조, 인정 내화구조의 표준 또는 성능설계에 따른 내화구조성능 검증이 가능한 구조 등이 인정 내화구조이다.

인정 내화구조는 국내의 법정 내화구조기준에 기술되지 않은 재료와 구법을 이용하여 구성된 부재의 내화성능은 내화시험을 통하여 그 부재가 적용되는 건축물의 용도와 규모에 요구되는 내화성능시간의 확보여부를 검증하는 것이 기본이 된다. 내화구조로 인정받기 위해 요구되는 건축물의 용도별, 규모별 부재의 내화성능기준은 표 1과 같다[3].

[표 1] 내화구조의 성능기준

[Table 1] Performance Criteria of Fire Resistant Construction

(단위 : 시간)

구 성 부 재 용 도			벽						보·기둥	바닥	지붕
			외벽			내벽					
			내력벽	비내력벽		내력벽	비내력벽				
연소우려 있음 (가)	연소우려 없음 (나)	간막이벽 (다)		샤프트 실구획벽 (라)							
용도구분 (1)	용도 규모(2) 층수 / 최고높이(m)(3)										
일반 시설	12 / 50	초과	3	1	1/2	3	2	2	3	2	1
		이하	2	1	1/2	2	1 1/2	1 1/2	2	2	1/2
	4 / 20 이하	1	1	1/2	1	1	1	1	1	1	1/2
주거 시설	12 / 50	초과	2	1	1/2	2	2	2	3	2	1
		이하	2	1	1/2	2	1	1	2	2	1/2
	4 / 20 이하	1	1	1/2	1	1	1	1	1	1	1/2
산업 시설	12 / 50	초과	2	1 1/2	1/2	2	1 1/2	1 1/2	3	2	1
		이하	2	1	1/2	2	1	1	2	2	1/2
	4 / 20 이하	1	1	1/2	1	1	1	1	1	1	1/2

## 2.2 내화피복재의 요구성능

구조용 강재와 같이 부재단면이 작고, 경량인 재료는 열용량이 적어, 온도상승 속도가 빠르기 때문에 신속하게 고온에 도달하며 강도저하와 열응력의 발생을 초래하여 구조기능을 상실하는 내화성능상 치명적인 결함을 지니고 있다[4].

온도상승을 억제하는 방법에는 부재의 열용량을 크게 하는 것과 내화피복을 통한 열의 차단을 고려할 수 있으며, 주로 내화피복에 의한 방법을 채택하고 있다. 내화피복재는 화재 시 강재의 온도상승을 막는 단열성뿐만 아니라 강도와 인성, 내구성, 경량일 것, 시공성, 경제성 및 인체에 유해하지 않을 것 등의 성능이 요구된다. 화재에 의한 강재의 수열온도는 내화피복재료의 열전도율이 가장 큰 영향을 미치기 때문에 열전도율이 작고, 열용량이 큰 것, 즉 온도전도율(열전도율/열용량)이 작은 것이 좋다. 내화피복재의 함수량이 많은 경우 수분의 증발에 의한 내부온도의 정체가 100℃ 전후에서 발생하기 때문에 강재온도의 상승이 지연되는 효과가 있다. 또한 고온 가열시 강도저하와 수축팽창이 작으며, 균열이나 박리가 발생되지 않는 재료가 좋다[1].

## 3. 강재의 단면형상계수

### 3.1 단면형상계수의 개념

강재는 단면의 종류와 크기 및 부재의 종류에 따라 화재에 노출되는 표면적이 달라지며 이에 따라 화재에 의한 강재의 수열량은 많은 차이가 있다. 화재에 노출된 강재의 단면둘레길이( $H_p$ )를 단면적( $A$ )으로 나눈 것을 단면형상계수( $H_p / A$ )라 하며 내화피복두께를 결정하는 기준이 된다.

단면형상계수는 구조부재의 내화성능시간 예측을 위한 부재의 온도분포에 따라 요구되는 강재의 종류, 크기, 적용부재 및 내화피복재의 종류에 따라 적용되는 피복재료의 두께를 예측, 산정하는 기술이라 할 수 있다[5]. 화재에 노출되는 강재표면의 둘레길이가 큰 단면은 둘레길이가 작은 단면에 비해 더 많은 열을 받는다. 따라서 동일한 온도상승 조건하에서 가열받는 강재의 단면적에 비하여 둘레길이가 큰, 즉 단면형상 계수가 큰 강재는 작은 강재에 비하여 온도상승의 속도가 빠르게 되고 이에 따라 요구되는 내화성능의 유지를 위해서 더 많은 내화피복 두께가 필요하게 된다[6].

단면형상계수의 개념은 국가별로 표 2와 같이 적용하고 있다. 표에 따르면 영국과 일본 및 한국은 같은 개념

이지만, 미국은 단면적이 아닌 단위 길이 당 중량을 적용하고 있다.

[표 2] 국가별 단면형상계수의 개념

[Table 2] Concept of Section Factor

국가	기호	단위	비고
한국	$H_p / A$	$m^{-1}$	$H_p$ : 화재에 노출된 단면의 둘레(m) $A$ : 강재의 횡단면적( $m^2$ )
영국	$H_p / A$	$m^{-1}$	
일본	$H_s / A_s$	$m^{-1}$	$H_s$ : 부재의 가열 주장(m) $A_s$ : 부재의 단면적( $m^2$ )
미국	$W / D$	kg/m/m	$D$ : 화재에 노출된 단면의 둘레(m) $W$ : 강재의 중량(단위길이 당 중량 kg/m)

### 3.2 단면형상계수 파라미터

단면형상계수 산정을 위한 영향인자는 강재의 단면형상, 적용부위, 피복종류 및 공법에 따라 산정된다[7]. 영국의 경우 강재의 단면형상을 H형 단면, 중공단면, 앵글채널 단면, 각형·원형 단면 등으로 구분하고, 적용부위는 4면이 화재에 노출된 기둥과 3면이 노출된 보로 구분하여 산정하고 있다. 피복재의 종류는 비팽창성·팽창성 뿔칠재료 및 내화보드 피복재로 구분하여 적용하고 있다. 한국은 피복재의 종류에 팽창성 내화도료를 추가한 것 외는 영국과 동일하다. 일본은 강재의 단면형상을 H형 단면, 각형·원형 단면으로 구분하고, 적용부위에 대한 화재노출면에 대한 특별한 조건은 없다. 피복재의 종류는 비팽창성 뿔칠재료와 내화보드 피복재로 구분한다.

[표 3] 국가별 단면형상계수의 파라미터

[Table 3] Parameter of Section Factor

국가	단면형태	적용부위	내화재료 및 공법
한국	·H형·I형단면 ·중공 단면 ·앵글·채널단면 ·각형·원형단면	·기둥:4면노출 ·보:3면노출	·비팽창성 뿔칠재료 ·내화보드 ·팽창성 내화도료
영국	·H형 단면 ·중공 단면 ·앵글·채널단면 ·각형·원형단면	·기둥:4면노출 ·보:3면노출 ·기타:부분 노출	·비팽창성 ·팽창성 뿔칠재료 ·내화보드
일본	·H형 단면 ·각형·원형단면	·기준 없음	·비팽창성 뿔칠재료 ·내화보드
미국	·H형 단면 ·각형·원형단면	·기둥:4면노출 ·보:3면노출	·비팽창성 ·팽창성 뿔칠재료 ·내화보드

강재의 단면	내화 피복 형태		
H형강 	4면 	3면 	4면 
$H_p$	$4B + 2H - 2t$	$3B + 2H - 2t$	$2B + 2H$
T형강 	4면 	3면 	3면 
$H_p$	$2B + 2H$	$B + 2H$	$2B + 2H - t$
ㄱ형강 	4면 	3면 	3면 
$H_p$	$2B + 2H$	$B + 2H$	$2B + 2H - t$
ㄷ형강 	4면 	3면 	3면 
$H_p$	$4B + 2H - 2t$	$4B + H - 2t$	$3B + 2H - 2t$
각형 강관 	4면 	3면 	4면 
$H_p$	$2B + 2H$	$B + 2H$	$2B + 2H$
원형 강관 	4면 	4면 	4면 
$H_p$	$\pi H$	$\pi H$	$\pi H$

[그림 1] 강재의 단면둘레길이(KS F 2848)  
[Fig. 1] Perimeter of Steel Member(KS F 2848)

미국의 경우는 강재의 단면형상을 H형 단면, 각형, 원형 단면으로 구분하고, 적용부위는 4면이 노출된 기둥과 3면이 노출된 보로 구분하며, 피복재의 종류는 영국과 동일하다. 표 3은 각국의 단면형상계수 산정을 위한 인자를 나타낸 것이며 그림 1[8]은 화재에 노출된 강재의 단면둘레 길이를 산정하는 방법을 나타낸 것이다.

### 3.3 단면형상계수 산정

강재의 단면형상계수는 KS F 2848(단면형상 계수에 따른 구조용 강재의 내화피복 두께산정 방법)에 따라 그림 1을 반영하여 식 (1)과 같이 산정한다.

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

여기서,  $A$  : 강재 단면적( $m^2$ )

$H_p$  : 화재에 노출된 단면둘레의 길이(m)

( $H_p$  산정법)

종류	3면 노출	4면 노출	내화보드
H형강	$3B + 2H - 2t$	$4B + 2H - 2t$	$2B + 2H$
각형강관	$2B + 2H$	$B + 2H$	$2B + 2H$
원형강관	—	$\pi H$	$\pi H$

내화성을 비교하기 위해 채택한 부재규격은 주로 기둥부재로 사용되는 것으로 하였으며 H형강은 보 부재로

사용되는 규격을 추가하였다.

[표 4] H형강의 단면형상계수  
[Table 4] Section Factor of H-shaped Steel

부재규격	단면적 ( $mm^2$ )	$H_p / A \quad (m^{-1})$		
		3면노출	4면노출	내화보드
H-150×150×7×10	4,014	183.36	220.73	149.48
H-200×200×8×12	6,353	154.89	186.37	125.92
H-250×250×11×11	8,206	149.65	180.11	121.86
H-300×300×12×12	10,770	136.49	164.53	110.68
H-350×175×7×11	6,314	191.80	219.51	166.30
H-350×350×13×13	13,530	125.87	151.81	101.85
H-400×200×8×13	8,412	164.53	188.30	142.65
H-400×400×15×15	17,850	109.36	131.88	88.52
H-450×200×9×14	9,676	153.16	173.83	134.35
H-482×300×11×15	14,550	126.60	147.22	107.49

표 4는 화재에 3면 및 4면이 노출된 H형강의 비평창성 뿔철재로 피복한 부재와 내화보드로 피복한 부재의 단면형상계수를 나타낸 것이다. 또한 표에서 보는 바와 같이 부재 규격이 클수록 화재에 의한 온도상승이 느리게 되고 단면형상계수는 작은 값으로 나타났다.

그리고 화재에 3면 및 4면이 노출된 각형강관 및 원형강관의 비평창성 뿔철재로 피복한 부재와 내화보드로 피복한 부재의 단면형상계수는 표 5와 같다. H형강의 경우와 마찬가지로 부재규격이 클수록 단면형상계수는 작은 값으로 산정되었다. 원형강관에서는 부재의 특성상 4면 노출과 내화보드로 피복되는 경우에 대한 단면형상계수만 나타내었다.

[표 5] 각형강관 및 원형강관의 단면형상계수  
[Table 5] Section Factor of Rectangular Hollow Steel Section and Circular Hollow Steel Section

부재규격	단면적 ( $mm^2$ )	$H_p / A \quad (m^{-1})$		
		3면노출	4면노출	내화보드
□-150×150×6	3,363	133.81	178.41	178.41
□-175×175×6	3,963	132.48	176.63	176.63
□-200×200×8	5,979	100.35	133.80	133.80
□-250×250×8	7,579	98.96	131.94	131.94
□-300×300×9	10,270	87.63	116.85	116.85
□-350×350×9	12,070	87.00	116.00	116.00
□-400×400×10	15,500	77.42	103.23	103.23
○-165.2×6	3,001	—	172.94	172.94
○-216.3×8	5,235	—	129.81	129.81
○-267.4×9	7,306	—	114.98	114.98
○-318.5×9	8,751	—	114.34	114.34
○-355.6×12	12,950	—	86.27	86.27
○-406.4×12	14,870	—	85.86	85.86
○-500×12	18,400	—	85.37	85.37

또한 단면의 외형 규격이 거의 유사한 강재의 4면 노출에 대한 단면형상계수를 비교해 보면 H형강, 각형강관, 원형강관의 순으로 감소하였으며 H형강에 비하여 각형강관은 71~78%, 원형강관은 57~70%로 나타났다.

## 4. 강재의 내화피복두께

### 4.1 내화피복두께 산정식

건축구조용 강재의 내화피복 두께의 산정은 단면형상계수를 산정하고, 재하가열시험을 통해 내화한계 온도를 설정하고, 설정된 내화한계 온도를 기준으로 내화성능 시간을 측정한다. 또한 단면형상 계수와 내화성능 시간과의 상관관계에서 내화성능 시간에 따른 내화피복 두께를 결정한다. 비평창성 내화피복 재료의 내화 한계온도는 KS F 2257-1, 6, 7에서 재하가열시험을 통하여 설정하고, 강재 평균온도인 538℃를 초과하면 538℃를 내화 한계온도로 한다.

따라서 내화피복 두께 상관 관계식의 설정은 강재의 단면형상계수 및 내화시험을 통해 얻어진 시험결과(내화성능 시간)를 식 (2)에 대입하여 다변수 선형 회귀분석을 통해 내화피복 재료의 종속변수에 의한 정수( $k_0, k_1, k_2$ )를 산출한다.

$$(FR) = k_0 + k_1 t A / H_p + k_2 t \quad (2)$$

여기서,  $FR$  : 내화성능 시간(분)

$k_0, k_1, k_2$  : 내화피복 재료의 종속변수에 의한 정수

$t$  : 내화피복 두께(mm)

식 (2)를 통해 얻어진 내화피복 재료의 종속변수에 의한 정수( $k_0, k_1, k_2$ )의 결정계수( $R^2$ )는 0.95 이상의 유의도가 있음을 나타내어야 한다. 이 연구에서는 기존의 실험연구(권인규 등, 2002)에서 회귀식 도출의 결과로 제시한 값을 채택하여  $k_0, k_1$  및  $k_2$ 를 각각 0.15, 2225.4 및 60.09로 하였다.

따라서 구하고자 하는 내화성능 시간에 따른 내화피복 두께( $t$ )는 식 (3)에 따라 산출한다.

$$t = \frac{(FR - k_0)}{(k_1 A / H_p + k_2)} \quad (3)$$

### 4.2 강재별 내화피복두께 적용

강재의 종류와 형상에 따른 내화피복 두께의 적용은 부재의 종류와 노출면에 따라 결정되며, 일반적으로 보는 3면 노출, 기둥은 4면 노출을 기준으로 한다. 내화피복 재료의 두께 평균값은 내화피복 기준분석에 사용되며, 현장적용에서는 최소값을 사용한다. H형강에 대한 실험을 바탕으로 산정된 내화피복 두께( $t$ )는 각형 및 원형강관의 내화피복 두께( $t'$ )로 대치할 수 있으며, 이때 각형·원형강관의 내화피복 두께( $t'$ )는 식 (4) 및 식 (5)와 같이 계산 할 수 있다.

① 각형·원형강관의 단면형상계수가  $250m^{-1}$  미만일 때,

$$\text{내화피복 두께}(t') = t \left( 1 + \frac{H_p / A}{1,000} \right) \quad (4)$$

② 각형·원형강관의 단면형상계수가  $250 \sim 310m^{-1}$  일 때,

$$\text{내화피복 두께}(t') = 1.25 t \quad (5)$$

여기서,  $t$  : H형강에 대한 시험을 바탕으로 산정된 내화피복 두께

### 4.3 강재별 내화피복두께의 산정

강재의 종류와 크기에 따른 피복두께를 KS규격(한국 표준협회, 2005)과 상기에 제시된 산정식을 토대로 하여 정리해 보면 표 6 및 표 7과 같다.

[표 6] H형강 내화피복두께

[Table 6] Fire Protection Thickness of H-shaped Steel

부재규격	피복두께(1시간/2시간/3시간)		
	3면노출 (mm)	4면노출 (mm)	내화보드 (mm)
H-150×150×7×10	12/26/40	13/27/41	12/25/39
H-200×200×8×12	12/25/39/	12/26/40	11/24/37
H-250×250×11×11	12/25/39	12/26/40	11/24/37
H-300×300×12×12	12/25/38	12/26/39	11/24/36
H-350×175×7×11	12/26/40	13/27/41	12/26/39
H-350×350×13×13	11/24/37	12/25/39	11/23/35
H-400×200×8×13	12/26/39	12/26/40	11/25/38
H-400×400×15×15	11/23/36	12/25/38	10/22/34
H-450×200×9×14	12/25/39	12/26/40	12/25/38
H-482×300×11×15	11/24/37	12/25/38	11/23/36

피복두께는 내화성능 1시간, 2시간 및 3시간으로 나누어 구조부재의 종류와 중요도에 따라 적용성을 검토하였다. 일반적으로는 40mm 이상의 내화피복재를 사용하지 않으나 기준식에 준하면 이를 상회하는 피복두께 값을 나타내는 부재도 발생되었다. 표 6 및 표 7에서 보는 바와 같이 단면형상계수에 따른 강재별 내화피복 두께는 1시간 내화는 10~14mm, 2시간 내화는 22~31mm, 3시간 내화는 34~47mm로 나타났다.

[표 7] 각형강관 및 원형강관의 내화피복두께

[Table 7] Fire Protection Thickness of Rectangular Hollow Steel Section and Circular Hollow Steel Section

부재규격	피복두께(1시간/2시간/3시간)		
	3면노출 (mm)	4면노출 (mm)	내화보드 (mm)
□-150×150×6	13/28/43	14/31/47	14/31/47
□-175×175×6	13/28/42	14/30/47	14/30/47
□-200×200×8	12/25/39	13/28/43	13/28/43
□-250×250×8	12/25/38	13/28/42	13/28/42
□-300×300×9	11/24/37	12/27/41	12/27/41
□-350×350×9	11/24/37	12/27/41	12/27/41
□-400×400×10	11/23/35	12/25/39	12/25/39
○-165.2×6	—	14/30/46	14/30/46
○-216.3×8	—	13/28/42	13/28/42
○-267.4×9	—	12/26/40	12/26/40
○-318.5×9	—	12/26/40	12/26/40
○-355.6×12	—	11/24/37	11/24/37
○-406.4×12	—	11/24/36	11/24/36
○-500×12	—	11/24/36	11/24/36

현행 내화평가 기준에 의한 내화피복 두께와 비교하면 1시간 내화성능은 기준 20mm보다 소요 두께가 30~50% 낮게 나타났으며, 2시간 내화성능은 기준 30mm보다 소요 두께가 최저 27% 낮게 나타나는 부재도 있으나 대체로 기준에 근접하는 것을 알 수 있었다. 그러나 H형강의 경우 3시간 내화성능은 기준 40mm두께보다 대체로 기준을 만족하지만 각형강관과 원형강관의 경우 5.0~17.5% 정도 기준을 상회하는 값으로도 나타났다.

#### 4.4 분석 및 고찰

강재의 종류별 단면형상계수와 내화피복두께를 산정한 결과에서 대체로 기둥부재로 많이 채택되고 있는 부재에 대해서만 정리해 보면 표 8과 같다. 비교대상은 단면의 외형 규격이 유사한 것으로 하여 피복두께의 수치를 비교하였다. 또한 기둥의 구조적 특성을 감안하여 화재에 4면이 노출되는 경우를 기준으로 하였다.

표 8에서 보는 바와 같이 단면형상계수에 따른 강재별

내화피복 두께는 1시간 내화는 기준 20mm에 못 미치는 11~13mm로, 2시간 내화는 24~28mm로 기준 30mm에 근접된 것으로, 3시간 내화는 기준 40mm를 초과하는 부재도 발생되었다.

[표 8] 강재의 내화피복두께 비교(4면 노출)

[Table 8] Comparison of Fire Protection Thickness of Steel(4 sided exposure)

규격	내화뿔칠형 피복두께(mm)		
	1시간	2시간	3시간
H-200×200×8×12	12	26	40
□-200×200×8	13	28	43
○-216.3×8	13	28	42
H-250×250×11×11	12	26	40
□-250×250×8	13	28	42
○-267.4×9	12	26	40
H-300×300×12×12	12	26	39
□-300×300×9	12	27	41
○-318.5×9	12	26	40
H-350×350×13×13	12	25	39
□-350×350×9	12	27	41
○-355.6×12	11	24	37
H-400×400×15×15	12	25	38
□-400×400×10	12	25	39
○-406.4×12	11	24	36

또한 단면형상계수는 H형강, 각형강관 및 원형강관의 순으로 작은 값을 나타내고 있으나 내화피복두께는 각형강관이 가장 큰 값을 나타내고 있다. 이것은 각형강관 및 원형강관의 내화피복두께 산정식이 H형강 실험을 근거로 유도되었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 각형강관 및 원형강관의 내화피복 두께 산정식도 H형강과 마찬가지로 실험에 의한 연구 결과를 기초로 하여 수립이 되어야 할 것으로 보여 진다.

### 5. 결론

강재의 종류와 크기, 내화시간 및 단면형상계수를 변수로 내화 뿔칠재 및 내화보드를 대상으로 강재의 내화피복 두께를 산정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 강재의 종류에 관계없이 단면의 크기가 증가할수록 단면형상계수는 감소하였고, 단면의 외형 규격이 유사한 강재의 단면형상계수를 비교해 보면 H형강, 각형강관, 원형강관의 순으로 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 단면형상계수에 따른 강재별 내화피복 두께는 뿔칠

형과 내화보드형 모두 비슷한 값을 나타내고 있으며 1시간 내화는 10~14mm, 2시간 내화는 22~31mm, 3시간 내화는 34~47mm로 나타났다.

- 3) 또한 산정식에 의한 내화피복 두께와 현행 내화평가 기준에 의한 것을 비교하면 1시간 내화성능은 기준 20mm보다 소요 두께가 30~50% 낮게 나타났다. 또한 2시간 내화성능은 기준 30mm보다 소요 두께가 최저 27% 낮게 나타나는 부재도 있으나 대체로 기준에 근접하는 것을 알 수 있었다. 그러나 H형강에 있어서 3시간 내화성능은 기준 40mm에 비하여 대체로 기준을 만족하지만 각형강관과 원형강관의 경우 5.0~17.5% 정도 기준을 상회하는 값으로도 나타났다.
- 4) 내화뿔철의 경우 피복두께를 일반적으로 1시간 내화에서는 20mm, 2시간 내화에서는 30mm, 3시간 내화에서는 40mm를 적용하고 있는 현실을 고려해 보면 기준을 상회하는 값들에 대한 규준식의 보완이 필요한 것으로 판단된다.

## References

- [1] Korea Institute of Construction Technology, The Development of the Durability evaluation and the Maintenance guide for Fire Resistive Structure, 2005 Final Report in Construction Technological Innovation Task, Korea Institute of Construction & Transportation Evaluation and Planning, 2008.
- [2] Building Code, Rule on Building criteria of Evacuation & Fireproof Construction etc., Ministry of Land, Transport and Maritime, 2010.
- [3] Appovement and Management Criteria of Fireproof Construction, Notification No. 2010-331 of the Ministry of Land, Transport and Maritime, 2010.
- [4] Jee NY, "Review on the Fire Resistance Thickness of Steel Structures", Magazine of the Korean Society of Steel Construction, v. 6 n. 2, pp.25~38. 1994.
- [5] Kim, HY, "Building Code System of Domestic and Foreign Fire Resistance Construction", Magazine of the Korean Society of Steel Construction, v. 15 n. 2, pp.31~42. 2003.
- [6] Kwon IK, Jee NY, Kim HY, "Experimental Study on the Determination of Fire Protection Thickness through Section Factors of Structural Steels", Journal of Architectural Institute of Korea(Structure & Construction Section), v. 18 n. 9, pp.125~132. 2002.

- [7] Kim HS, A study on the fire resistance of axially loaded concrete filled steel tube cOLUMNS with fire protection, Doctor's thesis, Pusan National University. 2011.
- [8] KS F 2848 : Method for calculating fire protective thickness of structural steel according to section factor, Korea Standard Association, 2005.

### 김 해 수(Hae-Soo Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 동아대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 동의과학대학교 건축과 교수

<관심분야>

철골구조, 합성구조

### 강 종(Jong Kang)

[정회원]



- 1983년 2월 : 동아대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 계명대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

구조해석, 대공간구조