

# 일반구조용 강재(SS 400)기둥부재의 경계조건과 부재 길이변화에 따른 고온 내력의 해석적 연구

권인규

강원대학교 소방방재학부

## An Analytic Study on Structural Stability according to Boundary Conditions and H-section Column Lengths Made of An Ordinary Grade Structural Steels (SS 400) at High Temperatures

In-Kyu Kwon

Department of Fire Protection Engineering, Kangwon National University

(Received November 29, 2013; Revised January 22, 2014; Accepted February 14, 2014)

### 요 약

강구조 건축물의 기둥부재 내화성능은 접합부의 경계조건과 기둥부재의 길이에 따라 변화되지만, 내화성능 평가는 실험장비의 제약과 기술적 요인으로 인하여 한지단과 3500 mm 길이 조건으로 이루어지고 있다. 그러나 실제 강구조물에 적용되는 기둥부재는 부지조건과 설계조건에 따라 다양한 경계조건과 길이의 변화를 가져올 수 있으며, 이에 대한 내화성능의 평가는 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일반 등급의 구조용 강재(SS 400)로 제작된 H형강 기둥부재를 대상으로 고온 시의 재료특성과 해석적 이론을 바탕으로 고온 시 구조적 성능을 평가하여, 경계조건과 길이 변화에 따른 내화성능의 기본 자료를 도출하였다.

### ABSTRACT

Steel column is very important an structural element in steel framed building and plays a key role in sustataining the applied external load. Generally, the fire resistance performance of steel column has been executed by application of fire standard and vertical furnace having a limitation in height. Therefore, the fire resistance test was conducted with a H-section column having 3500 mm in length and hinge to hinge boundary condition. And the fire protective material derived from the fire test can be applied to any kind of boundary conditions and lengths. However, it is hard to determine the fire resistance. In this paper, to make sure the structural stability of them at high temperature according to various boundary conditions and lengths of H-section column, an analysis was done by using the mechanical properties and an heat transfer theory.

**Keywords :** Fire resistance, Effective buckling length, Mechanical property at high temperature, Fire engineering design

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

강구조 건축물에서의 화재발생은 구조물의 변형과 이로 유발될 수 있는 붕괴 등은 사회적 충격이 될 수 있다. 따라서 예기치 못한 화재와 같은 조건에서도 구조적 안전성을 확보할 수 있는 내화성능이 필요하게 되었으며, 이는 각국의 건축법규와 빌딩코드 등에 규정되어 있다<sup>(1,2)</sup>.

내화성능의 확보는 크게 두 가지로 이루어지고 있으며, 첫 번째는 관련 법규와 규격에 따라 확인된 결과를 이용하

는 시방적 내화설계 방법이 있다. 두 번째는 내화성능을 기술적으로 평가하기 위하여 화재 기반의 과학적 기반과 공학적 자료를 토대로 진행되는 공학적 내화설계방법이다<sup>(3,4)</sup>. 현재 우리 나라는 시방적 내화설계방법이 적용되고 있으며, 내화공학설계는 법률적 토대가 마련되어 있으며, 관련 기술적 기반 마련 중으로 알려지고 있다.

강구조 기둥부재의 내화성능 평가는 한국산업규격(KS F 2257-1,7)을 바탕으로, 재하가열장비의 능력을 최대로 평가할 수 있는 H-300×300×10×12 (SS 400, 단면적 119.80 cm<sup>2</sup>)을 일반적으로 사용하고 있으며, 경계조건은

고장력 볼트를 사용한 마찰이음 접합을 모사하는 힌지단으로 이루어지고 있다. 또한 기둥부재의 길이는 가열장비의 한계 등으로 인하여 3,500 mm 길이가 최대였으나, 최근에 5,000 mm 기둥부재를 평가할 수 있는 대형 가열로가 가동되므로써 내화성능 연구와 내화구조 인정에 사용되고 있다. 실제 강구조 건축물에 적용되는 기둥부재 길이와 접합부의 조건은 부지조건, 설계조건 등에 따라 다양하게 설계될 수 있다. 특히 건축물의 일층은 기준층과 달리 층고가 높은 것이 일반적이고, 강구조 건축물 기둥부재의 실제 내화성능을 예측하는 것은 쉽지 않은 일이며, 이에 관련된 자료도 극히 제한적이다. “또한 강재 기둥부재에 적용되는 강재의 종류에 따라서 고온 시의 기계적 특성과 열적 특성이 서로 다름에 따라 강재 기둥부재의 고온 시 내력 또한 다른 특성을 보일 수 있다. 그리고 강재 기둥부재가 길어짐에 따라 좌굴 가능성이 높아지므로 내화성능은 취약한 결과를 보일 수 있다.” 따라서 본 연구에서는 항복강도 240 MPa인 SS 400강재로 제작되는 H형강 기둥부재를 대상으로 경계조건 그리고 길이 변수에 따른 고온 시 구조적 내력을 평가하여 각각의 구조적 안전성 확인과 새로운 제안의 기초자료를 제공하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

다양한 조건을 가진 강재 기둥의 내화성능을 평가하기 위해서는 새로운 내화시험로, 경계조건, 치구 등의 설계와 제작 등 매우 어려운 조건이 수반된다. 따라서 본 연구에서는 내화공학설계의 절차에 따라 과학적이고 공학적인 방법에 따라 내화성능을 평가하고자 한다. 내화성능평가를 위한 적용범위로서는 강재의 종류, 경계조건 그리고 강재 길이의 변화이다. 이를 효율적으로 수행하기 위해서 내화피복재 결정을 위해서 일반적으로 사용되는 SS 400 강종을 사용하고, 이에 관한 고온 시 기계적 특성과 열적 특성의 자료를 적용한다. 경계조건은 고장력 볼트를 사용한 마찰이음 접합에 의한 힌지단, 용접 등에 의한 완전 구속체를 가정한 고정단 그리고 두 가지 조건의 병용을 고려한다. 그리고 길이 조건의 변화는 현재 우리나라 기둥부재의 내화성능평가 시험에 적용되는 3,500 mm, 그리고 이보다 큰 사이즈인 3,800 mm 및 4,100 mm를 대상으로 한다.

## 2. 기존연구의 고찰

강구조 부재의 고온 시 내력성능 평가는 실제 화재를 모사한 대표적인 화재곡선인 표준화재곡선을 이용하여 일정한 시간동안 구조적 거동을 평가하는 내화시험을 통해 평가되는 시방적 방법과 주어진 건축물의 가연물량과 환기조건 등을 고려하여 설정된 화재크기를 적용하여 열전달과 열응력 이론을 통한 내력을 평가하는 공학적 내화설계로 대별된다. 우리 나라의 경우, 시방적 방법에 의한 내화성능

평가가 일반적으로 이루어지고 있으며, 공학적 내화설계는 실용화를 지향하는 다양한 노력 등이 진행되고 있다.

내화시험을 통하여 평가되는 강구조 부재의 고온 시 내력의 기준은 내화 피복재의 정량적 크기를 결정하는데 주로 사용되고 있다. 즉 내화피복재의 두께는 화재 시 강재 기둥부재의 내력을 유지할 수 있다고 가정되는 단일특성을 보유한 내화피복재료를 도포한 H형강으로 표준화재곡선과 일정 크기의 하중재하 능력이 있는 가열로에 의해서 평가되는 바, 일정한 내화시험 기간 동안 대상 H형강이 구조적 변형이 판정기준 이내이면 내화성능을 인정받고, 만일 구조적 변형의 과대 발생 그리고 내화피복재의 탈락 등으로 인한 평가 기준온도의 초과 등이 발생되면 적용 내화피복 두께로써 일정 시간의 내화성능을 인정받을 수 없게 된다. 이러한 기준을 통하여 다양한 구조형식의 내화성능이 평가되고 있다<sup>(5)</sup>. 미국과 영국 등의 기둥부재 내화성능 평가는 강재의 단면과 피복재 도포에 따른 단면형상계수에 따라 평가되고 있다. 그리고 단면과 작용하중의 크기에 따른 해석적 내화성능 연구가 Huang 등에 의해서 진행되었고<sup>(6)</sup>, Kodur 등은 구조체의 내화성능 해석을 위한 각종 고온 모델 제시하였으며<sup>(7)</sup>, Wang 등은 강재 기둥의 일부가 화재에 노출되었을 때의 구조적 안전성을 해석적으로 평가하였다<sup>(8)</sup>.

H형강 기둥부재와 보부재의 고온 시 내력을 기준으로 인정된 내화피복 두께는 강구조 건축물의 모든 강재기둥과 보부재에 동일하게 적용받게 된다. 그러나 실제 강구조 기둥부재의 경우, 매우 다양한 변수를 포함할 수 있는 구조부재임에도 불구하고, 내화시험에 적용된 강재기둥의 조건에 의한 고온 시 내력적 기준으로 평가된 내화피복두께를 모든 기둥부재에 적용하는 것은 화재 시 구조적 안전성에 대한 불확실성을 유발시킬 수 있다.

## 3. 고온 시 내력평가

### 3.1 강재 기둥부재의 특성과 해석조건 설정

강재 기둥부재는 축방향 부재로써 각 기둥부재의 양 방향 스팬에 작용되는 모든 하중을 중력방향으로 전달하고 있다. 따라서 저층부에서의 화재와 같은 고온 시 강재 기둥부재의 내력적 성능저하는 전 층의 하중전달 체계를 무력화시킴으로써 연속적인 붕괴와 같은 재해 등의 심각한 문제를 발생시킬 수 있다. 이와 같은 강재기둥 부재의 크기와 단면 결정은 해당 건축물의 부지와 설계조건 그리고 건축주의 이해 등이 서로 상호작용하여 다양한 형태로 나타날 수 있으며, 강재기둥의 크기 조건(길이, 단면형태), 접합부의 경계조건(고정단, 힌지단) 과 같은 조합으로 나타날 수 있다. 즉 강재기둥의 경우, 해당 건축물의 용도에 따라 1층의 경우, 기준층보다 높은 것이 일반적이며, 작용 하중과 부재 거동의 안전성과 효율적 설계에 따라 경계조건이 다를 수 있다. 따라서 이러한 변수를 충족시키면서

**Table 1.** Variances for Analysis of Structural Stability

Section	H-section (H-300 × 300 × 10 × 15)	Section area
Boundary conditions	Hinge to hinge, Hinge to fixed, Fixed to fixed	119.80 cm <sup>2</sup>
Lengths of column (mm)	3,500, 3,800, 4,100, 4,400	
Fire curve	Standard fire curve	KS F 2257-1

화재와 같은 극한 상황에서 재실자 보호와 재산 보호를 위한 내화성능 확인과 평가는 매우 중요하다. 최근 활용중인 대형 가열로로 제외하면 내화성능 평가에 사용되는 H형강 기둥부재의 조건은 가열로의 재하장비의 능력과 가열로의 높이 제한으로 크기 H-300 × 300 × 10 × 12(단면적 119.80 cm<sup>2</sup>), 길이 3,500 mm가 사용되고 있으며, 경계조건은 안전측으로 힌지단을 사용하고 있다. 이는 재하가열시험을 할 수 있는 가열로의 최대 높이가 3,500 mm로 한계가 있으며, 기둥부재 간 접합부로 고장력 볼트를 사용한 마찰이음 접합에 의한 시공이 가장 보편적이기 때문에 판단된다. 따라서 본 연구에서는 동일한 H형강 기둥부재를 대상으로 길이를 증대시키고, 경계조건을 용접에 의한 고정단 그리고 고정단과 힌지단의 겸용 등을 변수로 고려하여 고온 시 구조성능 평가를 위하여 다음 Table 1과 같은 조건을 설정하였다.

**3.2 고온 시 내력 해석에 적용된 재료 데이터베이스**

H형강 기둥부재의 고온 시 내력을 해석적으로 평가하기 위해서는 먼저 표면온도의 예측이 필요하다. 따라서 화원으로 설정된 표준온도곡선에 따라 상승되는 강재 부재의 온도를 계산하기 위해서는 복사와 대류에 관한 전열 특성이 요구되며, 그리고 시간증분에 따른 강재의 비열특성이 요구된다. 기둥부재의 각 조건에 따른 고온 시 내력평가를 위한 본 연구에서는 Table 2와 같은 비열 특성과 측정된 고온 시 열팽창계수를 온도에 따른 회귀식 형태로 사용하였다(Table 3)<sup>(9)</sup>.

강재 기둥부재의 표면온도 계산이 완료되면, 부재의 길이 변화와 내력 변화에 대한 계산이 진행된다. 기둥부재의 길이변화는 두 가지 변수의 합으로 발생된다. 첫째는 시간 변화에 따른 표준온도곡선의 온도상승에 의한 길이 변화

**Table 2.** Specific Heat at High Temperatures

Temperature (°C)	Regression equation (J/gK)	Remarks
T ≤ 620	0.00006T + 0.39	R <sup>2</sup> = 0.96
620 < T ≤ 720	0.007T - 3.54	R <sup>2</sup> = 1
720 < T ≤ 820	-0.005T + 4.97	R <sup>2</sup> = 1
820 < T	0.008T + 0.38	R <sup>2</sup> = 1

여기서, T = 온도(°C).

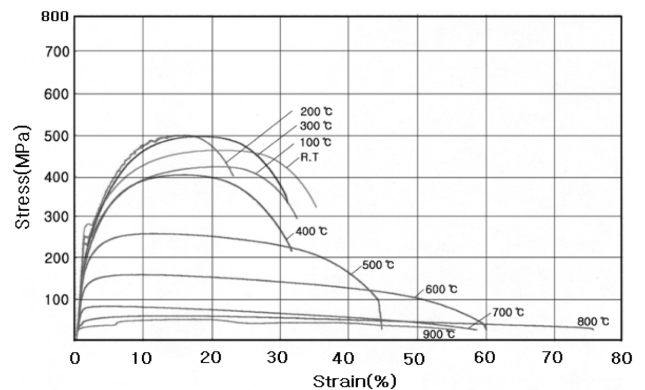
**Table 3.** Linear Expansion Coefficient at High Temperatures

Temperature (°C)	Regression equation (E-03/°C)	Remarks
T ≤ 190	0.073T - 4.23	R <sup>2</sup> = 0.94
190 < T ≤ 710	0.009T + 7.93	R <sup>2</sup> = 0.92
710 < T ≤ 820	-0.025T + 31.22	R <sup>2</sup> = 0.98
820 < T	0.0099T + 2.19	R <sup>2</sup> = 0.99

여기서, T = 온도(°C).

이며, 두 번째는 기둥부재에 작용하는 하중에 의한 길이 변화이다. 길이변화의 경우, 초기에는 온도상승에 의한 부재의 팽창이 발생되며, 이후에는 항복강도의 감소로 인하여 내력 성능저하로 수축이 지배하게 된다. 온도 변화에 따른 길이 변화는 다음 Table 3에 제시된 온도별 열팽창계수가 적용되었다.

고온 시의 H형강 기둥부재의 내력 감소는 기둥부재를 형성하는 재료자체의 온도증가에 따른 내력 저하가 가장 큰 요인으로 작용하며, 이는 금속을 구성하는 원자 간의 인력이 점차 감소하기 때문으로 알려져 있다. 일반 구조용 강재인 SS 400의 고온 시 기계적 특성평가는 고온 인장시험인 KS D 0026(철강재료 및 내열합금의 고온 인장시험 방법)으로 이루어졌고, 항복점이 나타나지 않는 부분은 영구 변형율을 적용한 0.2% 율선풀력으로 평가하였으며, 온도별 용력-변형도 곡선은 Figure 1과 같다. SS 400의 온도별 항복강도와 탄성계수는 다음 Table 4와 같다.



**Figure 1.** Stress versus strain.

**Table 4.** Mechanical Properties at High Temperatures

Properties	Temperature (°C)	Regression equation
Yield strength	T ≤ 200	Cold value (240 MPa)
	200 < T ≤ 900	-0.32T + 303.21
Elastic modulus	T ≤ 100	Cold value (210 GPa)
	100 < T ≤ 900	-0.22T + 232.16

여기서, T = 온도(°C).

### 3.3 해석 수행

#### 3.3.1 표면온도 예측

화재와 같은 고온 환경에서 H형강 기둥부재는 표면온도의 상승이 유발되며, 이는 열전달 해석을 통하여 평가될 수 있다. 따라서 무피복 강재 기둥부재의 표면온도 예측이 정확하다고 판단되는 다음 식(1)을 이용하여 표준온도곡선의 시간 증분에 따른 표면온도 차를 계산하였다<sup>(10)</sup>.

$$\Delta\theta_s = \frac{\alpha}{\gamma_s c_{ps}} \cdot \frac{F_s}{V_s} (\theta_t - \theta_s) \Delta t \quad (1)$$

여기서,  $\Delta\theta_s$ 는 강재의 표면온도 차(°C),  $\alpha$ 는 대류와 복사에 의한 열전달계수(W/m<sup>2</sup>C),  $\gamma_s$ 는 강재의 밀도(kg/m<sup>3</sup>),  $c_{ps}$ 는 강재의 비열(J/kg·K),  $F_s$ 는 화재에 노출된 강재의 단위 길이당 강재 표면적(m<sup>2</sup>/m),  $V_s$ 는 강재의 단위 길이당 체적(m<sup>3</sup>/m),  $\theta_t$ 는 시간 t에서의 표면온도가열곡선상의 온도(°C),  $\theta_s$ 는 시간 t에서 강재단면의 온도(°C)이다.  $\Delta t$ 는 시간 간격이다. 상기 식에 요구되는 대류와 복사의 열전달계수는 다음 식(2)를 적용하였다.

$$\alpha = 23 + \frac{5.77\varepsilon_r}{\theta_t - \theta_s} \left[ \left( \frac{\theta_t + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\theta_s + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

여기서,  $\varepsilon_r$ 는 복사능이며, 0.5를 적용하였다<sup>(10)</sup>.

#### 3.3.2 고온 시 허용응력 계산

고온 시 H형강 기둥부재의 거동은 주변 온도의 변화에 따라 길이 변화가 발생되며, 이는 해당부재 및 인접부재에도 영향을 미치게 된다. 따라서 화재와 같은 고온 시의 부재의 길이 변화 계산은 구조 안전성 평가의 중요한 항목이다. 부재의 길이 변화는 주변온도 변화에 따른 길이변화와 작용하중에 의한 길이 변화 합으로 계산될 수 있다.

본 연구에서 길이 변화는 선팽창계수로 계산하였고, 작용하중에 의한 기둥부재의 길이 변화는 다음 식(3)을 사용하였다.

$$\Delta l = P_0 L_0 / E_0 A \quad (3)$$

여기서,  $\Delta l$ 는 늘어난 길이(mm),  $P_0$ 는 최고온도에서의 최대하중(N),  $L_0$ 는 강구조 부재 길이(mm),  $E_0$ 는 고온에서의 탄성계수(N/mm<sup>2</sup>),  $A$ 는 단면적(mm<sup>2</sup>)이다. 본 계산에서 고온에서의 단면적 변화는 없는 것으로 가정하였다.

본 연구에서는 국부 좌굴은 발생되지 않는 것으로 가정하고, 길이 변화 계산에 적용된 하중은 최대하중의 60%인 1.91 MN으로 설정하였다.

세장비에 따라 평가된 본 기둥은 장주이다. 따라서 좌굴 하중은 수식(4)로 계산하였다<sup>(11)</sup>.

$$\sigma_{ct} = \left( 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\lambda_{pt}} \right)^2 \right) F_{yt} \quad (4)$$

여기서,  $\lambda$ 는 세장비( $l_k/i$ ),  $\lambda_{pt}$ 는 한계 세장비( $\sqrt{\pi^2 E_t / 0.6 F_{yt}}$ )

이며,  $l_k$ 는 유효 좌굴길이,  $i$ 는 단면 2차반경,  $F_{yt}$ 는 고온 항복강도,  $E_t$ 는 고온 탄성계수이다.

H형강 기둥부재의 고온 시 허용응력( $f_c$ )은 (5)식으로 계산하였다<sup>(11)</sup>.

$$f_c = \frac{\left[ 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\lambda_{pt}} \right)^2 \right] \cdot F_{yt}}{\frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\lambda_{pt}} \right)^2} \quad (5)$$

## 4. 해석 결과 분석

### 4.1 표면온도 및 변형 평가

H형강 기둥부재의 표면온도와 변형 평가는 STR-FR을 사용하여 계산하였다<sup>(12)</sup>. 표준온도 가열곡선과 열전달 해석에 의한 H형강 기둥부재의 온도상승 결과를 Figure 2에 나타내었다. 해석 결과, 무내화피복 H형강 기둥부재는 강재 허용온도 550 °C에 도달되는 시간은 약 12분 경으로 나타났으며, 40분 경과 이후에는 표준온도가열곡선에 수렴하는 결과를 보였다. 온도변화에 따른 H형강 기둥의 수직 변형은 Figure 3과 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 초기에는

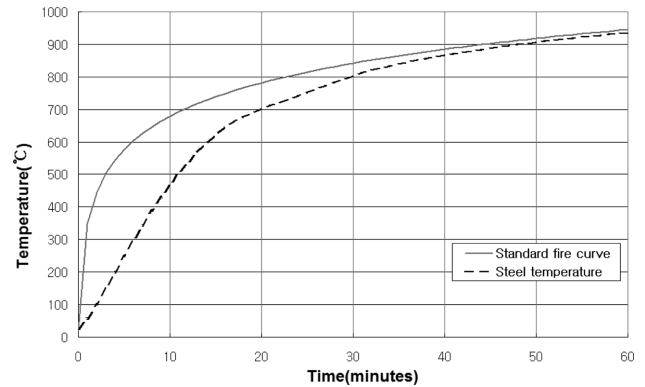


Figure 2. Surface temperature of H-section versus time on the standard fire curve.

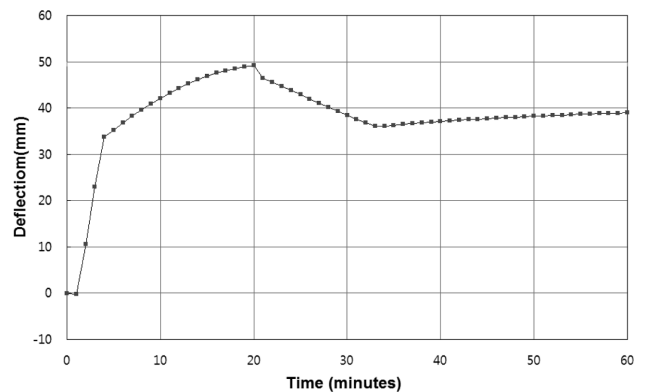
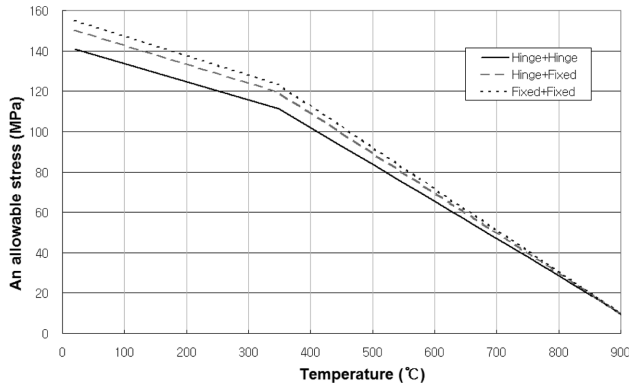


Figure 3. Deflection of H-section versus time on the standard fire curve.

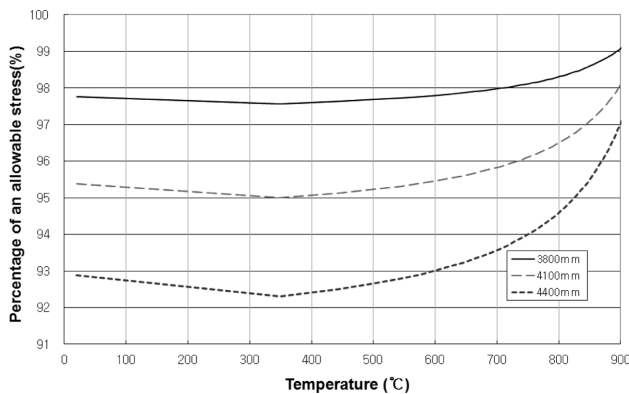
온도상승에 따른 팽창이 발생하여 길이의 증가가 발생되지만, 약 3분 경과 시점부터 항복강도와 탄성계수의 저하와 작용하중의 영향이 큰 것으로 나타났다. H형강 기둥부재의 좌굴이 발생되지 않는다면 표준화재곡선 상의 60분 동안 지속적인 부재의 변형이 발생하는 것으로 계산되었다.

**4.2 경계조건에 따른 H형강 기둥부재의 고온 시 내력 평가**

고장력 볼트를 사용한 마찰이음 접합부를 가정한 양단 힌지단 그리고 용접에 의해서 결합된 양단 고정단, 고정단과 힌지단의 조합으로 설계된 강재부재의 접합부를 대상으로 고온 시의 허용응력을 평가하였다. 유효 좌굴길이의 산정은 양단 고정단의 경우 기둥부재 길이의 0.5배, 고정단과 힌지단의 경우는 0.7배 그리고 힌지단은 1.0배를 적용하였다. 고온 시의 허용응력 결과는 Figure 4에 제시하였다. 본 해석 결과, 고온 시 허용응력의 크기는 고정단, 힌지단과 고정단의 조합, 힌지단으로 순으로 높게 나타났다. 즉 하중재하에 의한 내화피복재 평가 내화시험을 수행할 때, 양단 힌지단으로 평가된 결과를 양단 고정단 그리고 고정단과 힌지단에 적용하는 것은 고온 시 구조적으로 안전한 것으로 평가되었다.



**Figure 4.** Comparison of an allowable stress with different boundary conditions at 3,500 mm.



**Figure 5.** Comparison of an allowable stress with different column length at hinge to hinge boundary condition.

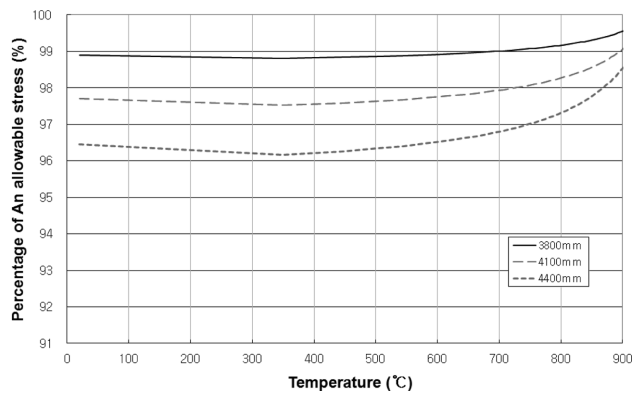
**4.3 부재 길이 변화에 따른 H형강 기둥부재의 고온 시 내력평가**

부재길이가 3500 mm인 기둥부재를 기준으로 하고, 각 경계조건별 길이변화에 따른 H형강 기둥부재의 내력평가 결과를 Figure 5~Figure 7에 제시하였다. 양단 힌지단 조건에서 기둥부재의 길이가 짧을수록 고온 시 내력이 높은 것이 확인되었다. 따라서 H형강 기둥부재의 길이 3,500 mm에서 평가된 내화피복재의 두께를 이보다 긴 기둥부재에 적용하는 것은 고온 시 내력확보에 불확실성을 제기할 수 있으므로 이에 대한 보완책이 필요하다고 사료되었다.

Figure 5의 양단 힌지단 조건에서 3,800 mm 길이의 기둥부재 고온 시 허용응력은 3,500 mm 길이의 기둥부재 허용응력에 비해서 약 550 °C 수준까지 약 98% 수준을 보이고 있으며, 이후 온도영역에서는 유사한 결과를 보이고 있다. 반면 4,100 mm 기둥부재의 경우, 550 °C 수준까지 3500 mm의 기둥부재 대비 최고 95%의 허용응력을 나타내고 있으며, 4,400 mm 기둥부재는 약 92% 정도로 나타나고 있다.

힌지단과 고정단 조합의 비교결과인 Figure 5에서 3,800 mm 기둥부재의 고온 시 허용응력은 3,500 mm의 기둥부재의 허용응력에 비해서 약 600 °C 수준까지 약 99% 수준을 보이고 있으며, 이후 온도영역에서는 점차 그 차이가 줄어들음을 확인할 수 있었으며, 4,100 mm 기둥부재의 경우, 600 °C 수준까지 3,500 mm의 기둥부재 대비 약 97.5%의 허용응력을 나타내고 있다. 또한 4,100 mm에서는 96% 정도로 나타나고 있다. 따라서 힌지단과 고정단 조합에 의한 기둥부재의 경우, 길이에 따른 고온 시 구조내력의 차이는 양단 고정단에 비해서 큰 차이가 없는 것으로 사료되었다. 이는 기둥부재의 유효좌굴길이의 차이에 따른 것으로 사료되었다.

양단 고정단 조건의 고온 시 허용응력의 길이에 대한 비율 결과인 Figure 7에서 3,800 mm인 기둥부재는 전 온도 구간에서 3500 mm의 기둥부재에 비해서 약 99.5%의 허용응력을 보유하고 있었으며, 4,100 mm 기둥부재는 약



**Figure 6.** Comparison of an allowable stress with different column length at hinge to fixed boundary condition.

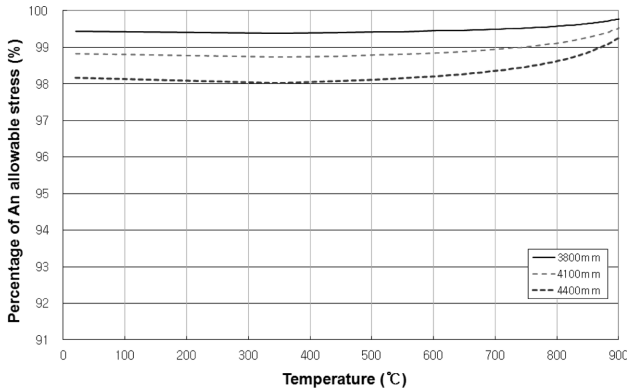


Figure 7. Comparison of an allowable stress with different column length at fixed to fixed boundary condition.

99%의 허용응력을 나타내었다. 또한 4,400 mm 기둥부재는 98%로 나타났다. 따라서 양단 고정단에서의 내화피복 두께에 따른 고온 시의 내력변화는 다른 경계조건에 비해 상대적으로 작게 나타났으며 이는 기둥부재의 유효좌굴길이 상대적으로 짧기 때문으로 판단되었다.

### 5. 결 론

강구조 건축물의 기둥부재는 상부 하중을 수직방향으로 지반으로 전달하는 매우 중요한 부재이며, 내화성능 확보는 힌지단과 3,500 mm 길이의 H형강으로 결정되는 내화피복 두께로 확보되고 있다. 그러나 실제 강구조 건축물에 적용되는 기둥부재는 다양한 경계조건과 보다 긴 길이방향의 기둥부재가 적용되는 것이 일반적이므로 이에 대한 고온 시 내력의 평가가 요구되었다. 따라서 본 연구에서는 경계조건과 길이 변화에 따른 H형강 기둥부재를 평가하기 위하여 일반 구조용 강재 SS 400의 고온 시 기계적 특성과 열적 특성을 적용한 해석적 방법으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 길이 3500 mm의 H형강 기둥부재의 경계조건 별 고온 시 내력을 계산한 결과, 양단 고정단, 힌지단과 고정단 조합 그리고 양단 힌지단의 순으로 낮게 나타났다. 따라서 양단 힌지단으로 평가된 내화피복두께는 고정단과 힌지단의 조합 그리고 양단 고정단의 H형강 기둥부재에 적용하는 경우, 화재 시 구조적으로 안전하다고 판단되었다.

2. 각 경계조건별로 길이 변화에 따른 고온 시 내력평가 결과, 길이가 길수록 고온 내력이 감소하였으며, 양단 힌지단이고 길이가 3,800 mm, 4,100 mm 및 4,400 mm인 H형강 기둥부재의 경우, 3,500 mm 기둥부재(양단 힌지단) 대비 고온 내력의 감소율이 97.5%, 95% 및 92%로 나타났다.

3. 힌지단과 고정단 조합의 경우, 길이가 3,800 mm, 4,100 mm 및 4,400 mm인 H형강 기둥부재의 경우, 3,500

mm 기둥부재(힌지단과 고정단 조합) 대비 고온 내력의 감소율이 99%, 97.5% 및 96%로 나타났다.

4. 양단 고정단의 H형강 기둥부재의 경우, 3,800 mm와 4,100 mm 그리고 4,400 mm 길이 기둥부재의 고온 시 3,500 mm 기둥부재(양단 고정단) 대비 허용내력의 감소 폭은 99.5%, 99% 및 98%를 나타내었다.

### References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Building Act", Korea (2013).
2. NFPA 5000, "Building Construction and Safety Code" (2012).
3. R. M. Lawson, "Fire Engineering Design of Steel and Composite Building", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 57, No. 12, pp. 1233-1247 (2001).
4. F. Wald, J. Chlouba, A. Uhler, P. Kallerova and M. Stujberova, "Temperatures during Fire Tests on Structure and Its Prediction According to Eurocodes", Fire Safety Journal, Vol. 44, No. 1, pp. 125-146 (2009).
5. S. B. Kim, S. K. Choi, C. N. Lee and S. S. Kim, "Study on the Fire Resistance Performance of the TSC Beam", Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 18, No. 1, pp. 113-122 (2006).
6. Z. F. Huang, K. H. Tan, W. S. Toh and G. H. Pung, "Fire Resistance of Composite Columns with Embedded I-Section Steel- Effect of Section Size and Load Level", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 64, No. 3, pp. 312-325 (2008).
7. V. Kodur, M. Dwaikat and R. Fike, "High-Temperature Properties of Steel for Fire Resistance Modelling of Structures", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 22, No. 5, pp. 423-434 (2010).
8. W. Y. Wang and G. Q. Li, "Fire-Resistance Study of Restrained Steel Columns with Partial Damage to Fire Protection", Fire Safety Journal, Vol. 44, No. 8, pp. 1088-1094 (2009).
9. I. K. Kwon, "A Study on the Properties of SM 400 for Evaluation of Structural Stability at High Temperature", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 7-12 (2013).
10. Swedish Institute of Steel Construction, "Fire Engineering Design of Steel Structures", Stockholm, Sweden (1976).
11. D. C. Jang, "Architectural Structure Dynamics", Kimoon-dang, Seoul (2005).
12. I. K. Kwon, "Development of Analytic Program for Calculation of Fire Resistant Performance on Steel Structures", Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 11, No. 3, pp. 201-208 (2009).