

일반 구조용 강재 적용 정정 및 부정정 보부재의 고온 시 해석적 내력 평가 연구

권인규

강원대학교 소방방재학부

Analytical Structural Stability Evaluation for H-section Beams Made of Ordinary Structural Steels Based on Boundary Conditions at High Temperatures

In-Kyu Kwon

Department of Fire Protection Engineering, Kangwon National University

(Received June 1, 2015; Revised June 23, 2015; Accepted June 23, 2015)

요 약

강구조 건축물의 바닥하중은 보부재를 통하여 기둥부재로 전달되며, 보부재는 양단 고정단 또는 단순보 조건으로 구성된다. 양단 고정단 강재보와 한단 힌지 그리고 타단 회전단의 단순보는 경계조건의 차이에 따라 전달되는 최대하중과 처짐 등 구조적 내력성능이 상이하나, 화재 시 내화성능 평가는 단순보의 경계조건으로 평가되고 있다. 따라서 본 논문에서는 강재보의 경계조건에 따른 내력적 성능의 차이를 확인하기 위하여 일반 구조용 강재(SS 400)의 고온특성을 적용한 열전달해석 및 열응력해석을 수행하였으며, 그 결과 동일한 보부재의 길이와 단면 조건하에서 부정정 구조물인 고정단 경계조건이 정정 단순보 경계조건에 비해서 내력과 처짐이 건전한 것으로 나타났다. 따라서 강재 보의 내화시험 시 단순보로 시험하는 것이 안전측으로 판단되었다.

ABSTRACT

Loads applied on the floor are transferred through beams to columns. The beams can be designed as both end fixed or simple beams. The load bearing capacity of a beam depends on each boundary condition. However, when the load bearing capacity of a beam is evaluated in fire tests, all kinds of beams are tested using simple beam conditions. In this study, an analytical method performed using heat transfer theory and heat stress analysis based on the mechanical and thermal properties of SS-400 steel at high temperature. This method was used to clarify the differences between the two types of boundary conditions at normal and high temperature. The results show that the load bearing capacity of a both-end fixed beam at high temperature is superior to that of a simple beam. Therefore, the application of simple beam conditions in fire tests for evaluation of load bearing capacity is conservatively safe compared to fixed boundary conditions.

Keywords : SS 400, Fixed beam, Simple beam, Structural stability, Boundary condition

1. 서 론

1.1 연구의 목적

건축물의 설계 시 재실자의 거주기능과 물품의 보관기능은 매우 중요한 요소로 간주되고 있으며, 거주 기능의 경우 안전성의 비중은 점차 높아지고 있다⁽¹⁾. 특히 최근 도심지의 화재로 인한 인명 및 재산피해는 사회적 비용 증대와 더불어서 안전 의식의 강화를 요구하는 요소로 작용하고 있고, 구조물 자체의 보다 안전하고 합리적인 설계

방법이 요구되는 상황이다.

건축 구조물의 화재 안전성 평가는 크게 두 가지로 이루어지고 있다. 첫째는 법과 규정 등으로 규제되는 시방적 방안과 주어진 건축물의 화재 조건에 따라 평가되는 공학적 설계방안이다⁽²⁻⁴⁾. 시방적 방안은 일반적 건축물의 내화 구조에 관한 설계와 시공방법을 제시하는 것으로써 건축물에 적용되는 각 구조재료의 단면, 경계조건, 시공방법 등의 각 조건을 만족하기에는 한계가 있다. 특히 고층 및 초고층 건축물의 주요 구조재료로 적용되고 있는 구조용

[†]Corresponding Author, E-Mail: kwonik@kangwon.ac.kr
TEL: +82-33-570-6433, FAX: +82-33-570-6819

강재의 경우, 한국산업규격에서 정의된 내화시험 방법으로 강구조 건축물의 주요 구조부인 기둥부재, 보부재의 내화 성능을 평가하는 것은 검토 및 개선되어야 할 부분이 많다고 사료된다. 특히 강구조 건축물의 보부재는 하중조건에 따라 큰 보와 작은 보로 구분되어 각각의 하중전달 방식의 차이점이 있다⁽⁵⁾. 그러나 현행 한국산업규격의 보부재 내화시험방법은 보와 기둥부재의 연결방식과 무관하게 일률적으로 단순보의 형식으로 평가되고 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 강구조 건축물의 보부재 구성형식인 양단 고정단 보와 한단 힌지, 타단 회전단인 단순보에 따른 고온 시 내력유지 성능을 해석적으로 비교, 평가함으로써 화재 발생 시 내화성능 평가시험의 구조 안전성을 평가하는 자료 제시를 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

건축구조 부재의 역할은 외력에 저항하여 본래의 기능을 수행할 수 있는 구조적 능력을 발휘하는 것이다. 따라서 보부재는 바닥 붕괴 메카니즘에 따라 하중을 기둥부재로 전달하는 역할을 한다. 바닥은 구조계획에 따라 한 방향 또는 두 방향 슬래브로 설계되며, 두 방향 슬래브에서는 하중 전달의 효율성을 높이기 위하여 작은 보를 설치하는 경우도 있다. 강구조 건축물의 경우, 큰 보의 양단부에서 최대 모멘트가 발생하는 고정단으로 설계가 되고, 작은 보의 중앙부에 최대 모멘트가 발생하는 단순보로 설정되는 것이 일반적이다.

현재 우리 나라의 강재로 구성된 보부재에 대한 내화성능 평가는 일정 크기인 H형강을 대상으로 단순보로 설정된 시험체로 평가되고 있다. 그러나 실제 강구조 건축물의 보부재는 양단 고정단인 부정적 구조물로 설계, 시공되고 있어 내화시험 결과로써 실제 화재 시 보부재의 구조적 거동 및 안전성을 평가하는 것은 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 강재로 구성된 보부재의 내화성능평가를 목적으로 일반 구조용 강재 SS 400(항복강도 240 MPa)강종으로 제작된 보부재의 내화성능 평가에 사용되는 크기인 H-400 × 200 × 8 × 13(단면적 84.12 cm²)을 기반으로 스패 4,100 mm와 300 mm씩 증대시킨 4,400 mm, 4,700 mm를 해석 범위로 하였다. 고온 시의 구조적 내력성능을 해석적으로 평가하기 위하여 KS F 2257-1과 KS F 2257-6을 적용하였고, 지점조건은 한단 힌지단과 타단 이동단인 단순보와 양단 고정인 고정보로 설정하고, 시간변화에 따른 보부재의 온도변화, 내력변화 그리고 처짐 변화를 도출한다.

2. 기존연구의 고찰

강재 보부재의 내화성능 평가는 주로 내화피복재료의 성능평가를 주 목적으로 사용되고 있다. 즉 일정 요구 내화시간동안 내화피복재료가 보부재의 온도상승을 지연시킴에 따른 설계 내력을 유지하고자 하는 목적으로 강재보가 사용되는 것이다. 현재까지의 보부재의 내화성능 평가는 동일한 부재 단면과 단순보에 의한 경계조건 적용이 일반적이므로 기둥부재와 같이 다양한 단면과 경계조건별에 대한 연구는 거의 진행되지 못하였다. 다만, 국내의 경우는 해석적 방법으로 보부재 길이변화 따른 내화성능에 관한 권인규의 연구⁽⁶⁾ 그리고 구조부재의 고온 내력평가를 목적으로 수행된 구조용 강재의 고온특성 평가에 관한 이진우의 연구⁽⁷⁾, 특수한 강재 보의 단면형태 개발에 의한 내화성능 평가 필요성에 의한 연구 등이 김성배, 임윤희에 의해 진행되었다^(8,9). 해외는 보부재 처짐에 관한 해석적 연구가 Yin 등에 의해서 수행되었다⁽¹⁰⁾.

3. 보부재의 고온 내력평가

3.1 보부재의 고온 해석조건

화재와 같은 고온에서도 보부재는 일정 면적에 작용하는 고정하중 및 적재하중을 기둥부재로 전달하는 역할을 지속적으로 수행하여야 한다. 이러한 고온 조건하에서 보부재의 내력유지 성능을 평가하기 위하여 일반 구조용 강재로 제작된 보부재를 Table 1과 같은 조건과 Figure 1과 같은 조건으로 해석을 수행하였다.

3.2 SS 400강재의 고온 특성

고온에서의 일반강재 적용 보부재의 내력변화 및 처짐 등의 변형을 계산하기 위해서는 항복강도, 탄성계수 및 열팽창계수 등의 특징이 요구되며, 각각의 값은 Table 2, 3에 제시하였다.

3.3 보부재의 고온 해석 수행

3.3.1 보부재의 표면온도 산정

일반 구조용 강재로 제작된 보부재는 화재와 같은 조건하에서 표면온도가 상승됨에 따라 내력의 감소가 발생된다. 따라서 고온 시의 구조내력 평가를 위해서는 먼저 강재 표면온도 산정이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 복사와 대류의 영향에 따라 표면온도를 계산할 수 있는 식(1)

Table 1. Conditions for Analysis

Section	H-400 × 200 × 8 × 13	Section area (84.12 cm ²), SS 400
Support conditions	Simple beam, Fixed beam	
Span of beam (mm)	4100, 4400, 4700	
Fire curve	Standard fire curve	KS F 2257-1,6

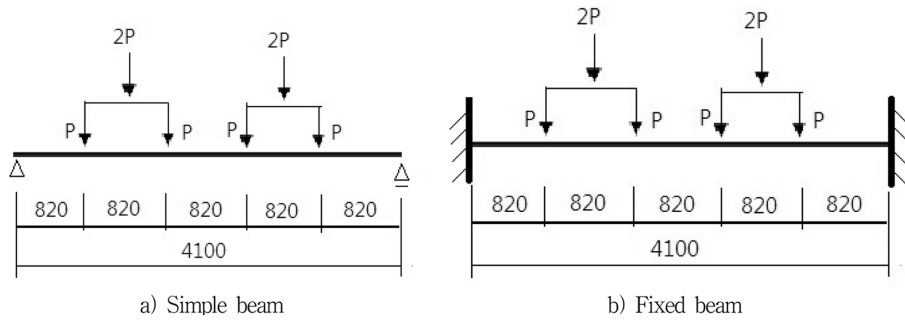


Figure 1. Uniform distribution diagram for a simple beam and a fixed beam.

Table 2. 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).

Table 3. Linear Expansion Coefficient at High Temperatures

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

여기서, T = 온도(°C).

을 적용하였다⁽¹¹⁾.

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

여기서, $\Delta\theta_s$ 는 강재의 표면온도 차(°C), α 는 대류와 복사에 의한 열전달계수(W/m²·°C), r_s 는 강재의 밀도(kg/m³), c_{ps} 는 강재의 비열(J/kg·K), F_s 는 화재에 노출된 강재의 단위 길이당 강재 표면적(m²/m), V_s 는 강재의 단위 길이당 체적(m³/m), θ_t 는 시간 t에서의 표면온도가열곡선상의 온도(°C), θ_s 는 시간 t에서 강재단면의 온도(°C)이다. Δt 는 시간 간격이다. 대류와 복사 열전달계수는 다음 식(2)를 적용하였다.

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

여기서, ϵ_r 는 복사능이며, 0.5를 적용하였다.

3.3.2 경계조건별 최대 내력 및 처짐 계산

1) 단순보

한단 힌지단 및 타단 이동단으로 구성되는 단순보는 하

중 작용 시 양단부에서 모멘트가 발생되지 않는다. 따라서 최대 모멘트는 중앙부에서 발생하는 특징을 가지고 있으며, 단순보에 작용할 수 있는 최대하중을 계산하기 위해서는 부재의 최대 모멘트 및 허용 휨응력의 산정이 필요하다.

보부재에 작용하는 최대 하중은 4점 재하방식에 따른 최대 모멘트와 허용 휨응력 산정에 따라 도출하였다. 고온 시의 최대 내력 계산 시 강재의 단면적 변화와 횡좌굴 발생은 없는 것으로 가정하였다. 스팬 4100인 보부재의 허용 휨응력은 다음 두식(3)과 (4)에서 큰 값을 적용하였다.

$$f_b = \frac{900}{\left(\frac{l_b \times h}{A_f} \right)} = \frac{900}{\frac{410 \times 40}{20 \times 1.3}} = \frac{900}{630.77} = 142.68 \text{ (MPa)} \quad (3)$$

여기서, f_b 는 허용휨응력도(MPa), l_b 는 압축플랜지 지점간 거리(cm), h 는 보춤, A_f 는 압축축 플랜지 단면적(cm²)이다.

$$f_b = \left[1 - \frac{0.4 \left(\frac{l_b}{i_b} \right)^2}{C_m \cdot (\lambda_p)^2} \right] \times f_t = \left[1 - \frac{0.4 \left(\frac{410}{5.26} \right)^2}{1 \times 102.26^2} \right] \times 160 = 142.68 \text{ (MPa)} \quad (4)$$

여기서, i_b 는 단면 2차 반경, λ_p 는 한계 세장비이고, f_t 는 허용 인장응력도이다.

따라서 본 연구에 적용된 최대 휨응력도는 142.68 MPa이며, 최대하중은 Figure 1 (a)의 단순보 재하방식에 따른 최대 모멘트를 다음의 식(5)를 적용하여 도출하였다.

$$f_b = \frac{M}{Z} \quad (5)$$

여기서, M는 최대모멘트(N·m), Z는 단면계수(m³)이다.

4점 재하에 의한 강재 보의 최대 휨모멘트는 다음 식(6)과 같다.

$$M_{\max} = 2P \times (0.82 + 0.82 + 0.41) - P \times (0.82 + 0.41) - P(0.41) = 2.46P \quad (6)$$

따라서 강재 보 한 점 P에 작용할 수 있는 최대하중은 다음 식(5)에 의해서 P는 69 kN으로 계산되었으며, 보부재

에 작용할 수 있는 최대하중은 $4P = 276 \text{ kN}$ 이다.

2) 양단 고정보

양단 고정보는 부정적 구조물로서 힘의 평형 조건식으로 반력과 처짐을 구할 수 없다. 따라서 양단 고정보에 작용하는 최대 하중을 도출하기 위해서는 먼저 최대 모멘트의 산정이 요구된다. 최대 모멘트를 산정하기 위해서는 양단 고정보의 하중 시 기하하적인 처짐 형태를 고려하여 처짐각이 발생되지 않는 조건을 이용한다. 즉, 양단의 휨모멘트를 여력으로 설정하여 집중하중 4개가 작용하는 단순보 그리고 양단부의 휨모멘트가 작용하는 단순보로 치환한다. 그리고 양단부의 처짐각을 각각 계산하고, 합산함으로써 모멘트를 계산한다.

4개의 집중하중이 작용하는 단순보의 단부 처짐각은 다음 식(7)과 같이 계산되며, 단부 처짐각의 계산은 Mohr의 정리를 이용하여 단부의 전단력을 계산하였다⁽¹²⁾.

$$\theta_{A_1} = \frac{3.35P}{EI} \quad (7)$$

여기서, E 는 탄성계수, I 는 단면2차모멘트이다.

휨모멘트가 작용하는 단순보의 단부 처짐각은 및 단부 모멘트는 다음 식(8), (9), (10)과 같이 산출된다.

$$\theta_{A_2} = -\frac{M_A l}{2EI} \quad (8)$$

여기서, M_A 는 A지점의 모멘트, l 은 보의 스패이다.

$$\text{따라서 } \theta_{A_1} = \theta_{A_2} = \frac{3.35P}{EI} = -\frac{M_A l}{2EI} \quad (9)$$

가 된다.

$$\text{따라서 단부 모멘트 } M_A = M_B = 1.63P \quad (10)$$

고정단 보의 최대 처짐은 보 중앙부에서 발생되고, 그 크기는 탄성하중법을 적용하여 산출하였다. 고정단 보의 양단 모멘트 도출 시와 동일한 방법으로 4개의 하중이 작용하는 단순보에서 발생하는 모멘트를 하중으로 했을 때 중앙부의 최대 모멘트는 다음 식(11)과 같이 계산된다.

$$M = \frac{4.13P}{EI} \quad (11)$$

그리고 모멘트를 하중으로 작용하는 단순보의 최대 모멘트 또한 중앙부에서 발생되며 그 크기는 다음 식(12)와 같다.

$$M = \frac{3.42P}{EI} \quad (12)$$

따라서 양단 고정단 보의 중앙부 최대 모멘트는 식(13)과 같고, 이는 최대 처짐량이 된다.

$$M = \frac{0.71P}{EI} \quad (13)$$

따라서 고정단 보에 작용하는 단부의 모멘트에 따라 하중의 크기는 다음 식(14)에 따라 계산된다.

$$1.63P = f_b \cdot Z \quad (14)$$

따라서 $P = 97 \text{ kN}$ 이므로, 4점 지지의 하중은 388 kN 이다.

부재의 길이와 작용하중의 형태가 동일한 경우, 고정단 보부재의 최대 하중은 단순보의 보부재보다 약 1.4배 높은 하중을 지지할 수 있는 것으로 계산되었다.

4. 고온 해석 결과 및 분석

4.1 보부재의 온도변화

보부재의 온도변화 및 고온 시 내력계산은 STA-FR⁽¹³⁾로 계산되었으며, 표준온도곡선에 따른 강재 보부재의 표면온도 상승결과는 다음 Figure 2와 같다. 보부재는 급격한 온도상승을 보이다가 약 30분 이후부터는 열원과 거의 같은 온도분포를 보이고 있다.

4.2 보부재 길이 변화에 따른 고온 시 내력

보부재의 경계조건 변화에 따른 최대 내력의 변화 결과는 Figure 3과 같다. 상온에서 200°C 까지는 고정단 보와 단순보 모두 최대 내력값을 유지하나, 이후 온도구간에서는 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 고정단 보의 경우, 단순보에 비해서 높은 하중지지력을 보이고 있으며, 온도상승에 따라 고정단 보의 하중지지력이 단순보에 비해서 급격히 줄어드는 것으로 나타났다.

강구조 건축물에 적용되는 보부재의 길이는 건축물의 용도 및 부지 조건 등에 따라 매우 다양하다. 따라서 본 논문에서는 고정단 보를 대상으로 길이 변화에 따른 내력과 처짐을 평가하기 위하여 각각에 대한 최대 모멘트 및 최대하중을 계산하였으며, 그 결과를 Table 4에 제시하였다. 그리고 고정단 보의 길이변화에 따른 최대하중 변화는 Figure 4에 제시하였다.

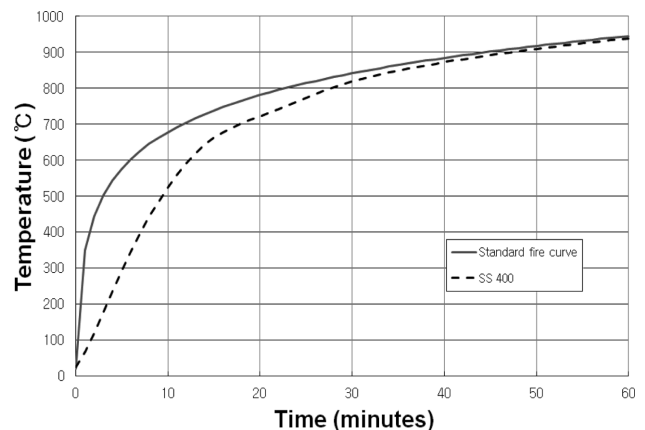


Figure 2. Surface temperature of H-section versus time on the standard fire curve.

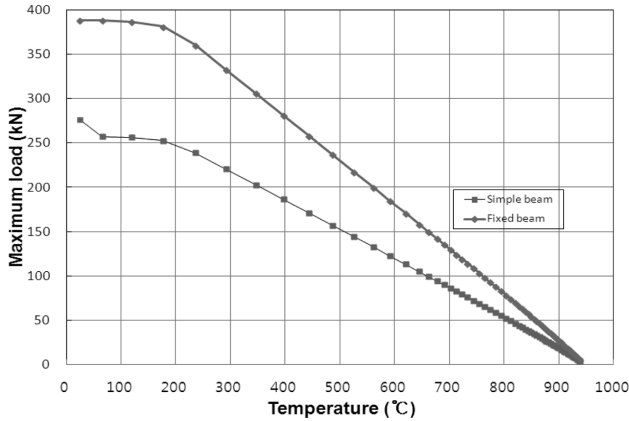


Figure 3. Maximum load depending on steel temperatures.

Table 4. Maximum Moments and Maximum Loads According to Span

Span (mm)	Maximum moment (kN/m)	Maximum load (kN)
4100	1.63P	388
4400	2.33P	263
4700	2.53P	234

보부재 길이 4400 mm 및 4700 mm의 경우의 최대 모멘트 및 최대하중을 계산하기 위하여 4점 재하하는 부분은 Figure 1의 위치와 간격은 동일한 것으로 가정하였다. 즉 양단부에서 첫 번째 스패의 길이만 변화되는 것으로 설정하였다.

Table 4에 나타난 바와 같이 보부재의 길이가 길어질수록 최대 모멘트는 크게 발생되고, 지지할 수 있는 최대 하중은 점차 감소하고 있다.

Figure 4에 나타난 바와 같이 고정단 보부재에 있어서 길이가 클수록 낮은 하중지지력을 보이고 있으며, 보부재 길이 4400 mm는 단순보의 최대하중 감소 경향과 거의 유

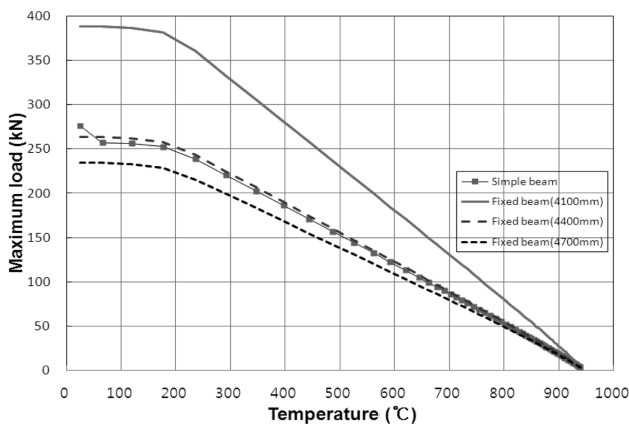


Figure 4. Comparison maximum loads according to different beam lengths.

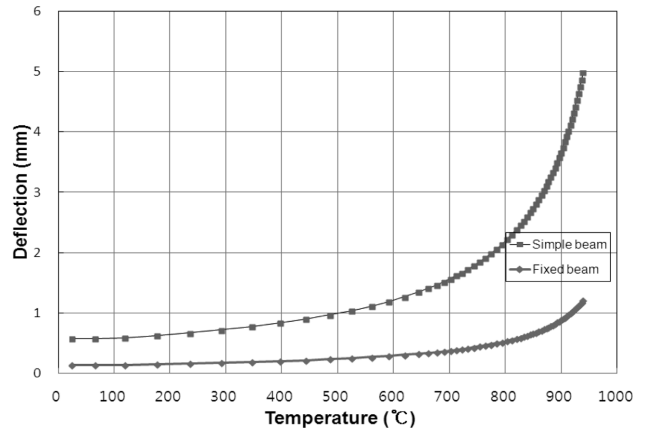


Figure 5. Deflections according to different type of beam having 4100 mm.

사한 결과를 보였다. 또한 보부재 길이 4700 mm는 단순보보다 낮은 최대하중 유지결과를 나타내었다. 따라서 동일한 길이의 경우, 단순보는 고정단 보부재에 비해서 고온 시 최대내력 유지성능이 우수한 것으로 나타났으며, 이는 내화시험 시 부재의 길이가 동일할 경우, 고정단보를 단순보의 경계조건으로 평가하는 것은 안전측이라는 것으로 평가될 수 있다.

보부재 길이 4100 mm인 고정단 보와 단순보의 처짐에 대한 비교 결과는 Figure 5에 나타내었다. 전 온도구간동안 단순보의 처짐이 고정단 보보다 처짐이 크게 나타났다. 따라서 처짐조건에서도 고정단 보가 단순보보다 고온에서 우수한 것으로 나타났으며, 내화시험 시 단순보로 평가하는 것이 안전측임을 확인할 수 있었다.

고정단 보부재의 길이 변화에 따른 처짐 경향은 Figure 6과 같다. 길이가 길어질수록 처짐은 크게 발생하는 것으로 나타났고, 온도가 높을수록 그 경향은 심화되는 나타났다. 그림에서 나타난 바와 같이 고정단 보가 4700 mm인 경우에서도 단순보의 처짐 크기를 초과하지 않았다. 이는

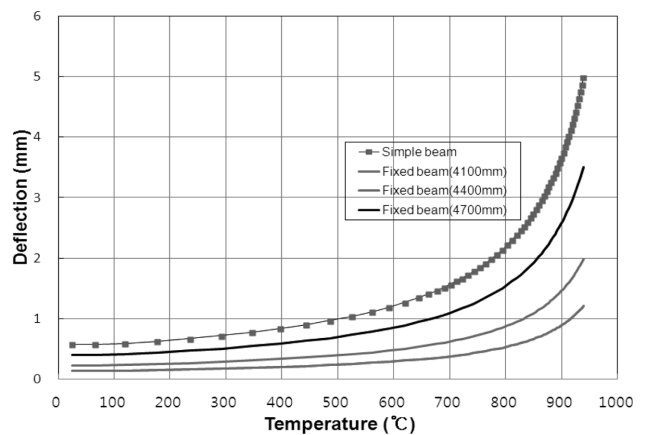


Figure 6. Comparisons of deflection according to different length of beams.

고정단의 경계조건이 단순보보다 고온 시에도 우수함을 나타낸다고 판단된다.

5. 결 론

강구조 건축물의 보부재는 양단 모멘트 집합을 위한 고정단 보와 단순보 경계조건으로 구별될 수 있으며, 각각 조건에 대한 최대 내력 등의 변화가 발생된다. 일반적으로 고정단 경계조건보다 단순보의 구조적 불리한 조건 등의 이유로 내화성능 시험에서도 단순보 조건으로 시험되는 것이 통상적이다. 따라서 본 논문에서는 부정적 구조물인 고정단 경계조건과 정적 구조물인 단순보 경계조건과의 고온 시 내력성능 차이를 확인하기 위하여 해석적인 내력 평가를 수행하여 다음과 같은 결과를 도출하였고, 향후 강종별 부정적 및 정적 보부재에 관한 해석적 내화성능 데이터베이스 구축이 필요할 것으로 판단된다.

1. 부정적 구조물인 양단 고정단 보부재는 상온 시 동일한 단면, 길이의 조건에서 정적 구조물인 단순보 보부재에 비해서 40% 정도의 최대 내력이 큰 것으로 나타났다.

2. 고정단 보부재의 길이가 길어질수록 상온 및 고온 시 최대 내력은 감소하였고, 부재길이 4400 mm의 고온 내력 감소는 단순보 4100 mm와 거의 같은 경향을 나타내었다.

3. 고정단 보부재의 고온 시 최대처짐은 부재가 길어질수록 크게 나타났고, 고정단 보부재 길이 4700 mm에서의 최대처짐은 단순보 4100 mm의 최대처짐보다 작게 나타났다. 따라서 양단 고정단 경계조건인 강재보를 동일한 단순보 조건으로 내화성능 시험을 수행하는 것은 안전측인 것으로 판단되었다.

References

1. Gumibook, "Introduction of Architecture", Seoul, Korea (2003).
2. D. I. Nwosu and V. K. R. Kodur, "Behaviour of Steel Frames under Fire Conditions", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 26, No. 2, pp. 156-167 (1999).
3. M. Gorgolewski, "The Implications of Reuse and Recy-

cling for the Design of Steel Buildings", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 33, No. 4, pp. 489-496 (2006).

4. R. M. Lawson, "Fire Engineering Design of Steel and Composite Buildings", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 57, No 12, pp. 1233-1247 (2001).
5. Korean Society of Steel Construction, "Steel Design", Seoul, Korea (2007).
6. I. K. Kwon, "Evaluation of Structural Stability at High Temperature for H-section Beams Made of Ordinary Strength Steels by Analytic Method", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 28 No. 2, pp. 76-81 (2014).
7. J. W. Lee, M. A. Morovat, G. Hu, M. D. Engelhardt and E. M. Taleff, "Experimental Investigation of Mechanical Properties of ASTM A992 Steel at Elevated Temperatures", American Institute of Steel Construction, Vol. 50, No. 4, pp. 249-272 (2013).
8. 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 Steel Structure, Vol. 18, No. 1, pp. 113-122 (2006).
9. Y. H. Him, S. D. Kang, M. H. Oh, M. H. Kim and S. D. Kim, "Analytical Study on the Fire Resistance of iTECH Composite to Beam", Journal of Korean Steel Structure, Vol. 18, No. 5, pp. 655-664 (2006).
10. Y. Z. Yin and Y. C. Wang, "A Numerical Study of Large Deflection Behaviour of Restrained Steel Beams at Elevated Temperatures", Journal of Constructional Steel Research, Vol 60, No 7, pp. 1029-1047 (2004).
11. Swedish Institute of Steel Construction, "Fire Engineering Design of Steel Structures", Stockholm, Sweden (1976).
12. D. C. Jang and S. H. Jang, "Solution of Architectural Structural Dynamic", Seoul, Korea (2005).
13. 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).