

온도상승에 따른 Steel-beam의 응력 및 처짐 해석

Stress and Deflection Analysis of Steel Beams at Elevated Temperature

장 명 응* 강 문 명** 강 성 덕***
Jang, Myung-Woong Kang, Moon-Myung Kang, Sung-Duk

Abstract

This paper have performed to investigate the influence of certain parameters, including the boundary condition types, load ratios of the steel beams, and span/depth ratios of the beams itself on the structural behaviour of the steel beams at elevated temperatures. This paper is analysed the stress and vertical deflection at mid-span of the steel beams at elevated temperatures and also predicted 'failure' temperatures of the steel beams at elevated temperatures.

Fire analysis used here is analysed by software VULCAN. Design examples are given to describe the structural behaviour of the steel beams at elevated temperatures.

keywords : stress, vertical deflection, boundary condition, load ratio, elevated temperature, failure temperature

1. 서 론

강재(steel)는 조립이 쉽고 고강도 경량인 재료의 특성 때문에 특히 고층건물과 공장 건물에 널리 사용되고 있다. 그런데 강재는 온도상승(elevated temperature)에 취약한 구조재료로써 화재(fire)시 강도(strength)와 강성(stiffness)이 현저하게 떨어진다. 그리고 강재의 화재 실험은 비용이 많이 소요되므로 화재로 인한 온도상승에 따른 강재의 응력(stress) 및 처짐해석(deflection analysis)과 파괴온도(failure temperature)를 예측하는 컴퓨터에 의한 구조해석(structural analysis)은 대단히 중요하다.

본 연구에서는 온도상승에 따른 강재의 응력-변형률(stress-strain) 및 열 팽창(thermal expansion)관계를 BS5950 part8^[1]과 Eurocode3(EC3) :

Part1,2^[2]를 근거로 고찰하고, 온도상승에 따른

강재의 응력 및 처짐 해석과 파괴온도를 예측하는 구조해석은 VULCAN 프로그램을 사용하였다.

VULCAN 프로그램은 1980년 Alberta 대학의 El-Zararty 와 Murray^[3] 등이 상온에 있어서 2차원 강빔대 구조해석으로 개발한 프로그램 INSTAF에 근거하여 영국 Sheffield대학에서 1990년 온도상승에 따른 구조해석이 가능하도록 Saab^[4]이 개발하였고, Najjar^[5]와 Bailey^[6]는 온도상승에 따른 기하학적 비선형과 재료비선형을 고려한 3차원 구조해석이 가능하도록 확장하였다. 최근 Huang^[7]과 Jun^[8] 등이 강재 및 강재와 콘크리트 복합구조해석이 가능할 수 있도록 확장하였다.

본 연구에서는 H-beam에 대한 설계 예를 들어 온도상승에 따른 응력 및 처짐과 파괴온도를 VULCAN 프로그램으로 해석하고 그 결과를 비교·고찰하고자 한다.^[11]

* 학생회원 · 경북대학교 대학원 석사과정

** 정회원 · 경북대학교 건축학부 교수, 공학박사

*** Ph.D Course, University of Sheffield, UK.

2. 온도상승에 따른 강재의 재료적 특성

2.1 강재의응력-변형률과 열팽창

강재는 현재 건축에 사용되는 구조 재료 중에 널리 사용되고 있는 재료이다. 그러나, 화재로 발생된 온도상승에 따른 강재의 강도 및 강성은 현저하게 떨어지고 열팽창이 일어난다. 상온(ambient temperature)에서 강재의 전형적인 역학적 특성은 잘 알려져 있다. 본 장에서는 온도상승에 따른 강재의 응력-변형률 및 열 팽창 관계를 알아보려고 한다.

2.1.1 강재의 응력-변형률(stress-strain)

1) The Ramberg-Osgood Model

Olawale와 Plank^[9]에 의한 온도상승에 따른 강재에 대한 응력-변형률에 관한 Ramberg-Osgood (R-O) Model^[10] 식은 다음 식과 같다.

a) $20^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 80^{\circ}\text{C}$ 일 때

$$\epsilon_{\theta} = \left(\frac{\sigma_{\theta}}{E_{20}}\right) + \frac{3}{7} \frac{\sigma_{y20}}{E_{20}} \left(\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_{y20}}\right)^{50} \quad (1)$$

b) $80^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 800^{\circ}\text{C}$ 일 때

$$\epsilon_{\theta} = \left(\frac{\sigma_{\theta}}{E_{\theta}}\right) + \frac{1}{100} \left(\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_{y\theta}}\right)^{n_{\theta}} \quad (2)$$

여기서,

ϵ_{θ} : 온도 θ 에서 변형률

σ_{θ} : 온도 θ 에서 응력

σ_{y20} : 상온(20°C)에서 항복 응력

E_{20} : 상온에서 강재의 탄성계수

$\sigma_{y\theta}$: 온도 θ 에서 항복응력

위의 식(1)과 식(2)에서 사용된 탄성계수(elastic modulus) E_{θ} , 항복응력(yield stress) $\sigma_{y\theta}$ 및 계수(parameter) n_{θ} 값을 온도 구간에 따라 구하는 관계식은 다음 표 1과 같다.

2) The EC3 Model

온도상승에 따른 강재의 응력-변형률 관계에 대한 EC3 model^[2]이 Ramberg-Osgood model 보다 복잡하고, EC3 model에 대한 응력-변형률 곡선은 4개의 구간으로 나눌 수 있고, 각 구간에 대한 응력-변형률 곡선 관계식은 표 2와 같다. 그리고 온도상승에 따른 응력-변형률 및 항복응력과 접선탄성계수 관계는 그림 1과 그림 2와 같다.

<표 1> 온도 θ 에 있어서 R-O 모델에 의한 강재의 항복응력, 탄성계수 및 계수 n_{θ} 의 관계식

온도 구간	항복응력 $\sigma_{y\theta}$	탄성계수 E_{θ}	계수 n_{θ}
$80^{\circ}\text{C} < \theta \leq 200^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{y20} \left(0.978 - 0.034 \frac{\theta}{350}\right)$	$E_{20} \left[1 - 2.8 \left(\frac{\theta - 20}{1485}\right)^2\right]$	$\frac{4600}{\theta} + \alpha_{\theta}$
$200^{\circ}\text{C} < \theta \leq 400^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{y20} \left(0.978 - 0.034 \frac{\theta}{350}\right)$	$E_{20} \left[1 - 2.8 \left(\frac{\theta - 20}{1485}\right)^2\right]$	$\frac{2650}{\theta} + \alpha_{\theta}$
$400^{\circ}\text{C} < \theta \leq 550^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{y20} \left(1.553 - 0.155 \frac{\theta}{100}\right)$	$E_{20} \left[1 - 2.8 \left(\frac{\theta - 20}{1485}\right)^2\right]$	$\frac{2400}{\theta} + \alpha_{\theta}$
$550^{\circ}\text{C} < \theta \leq 600^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{y20} \left(2.34 - 0.22 \frac{\theta}{70}\right)$	$E_{20} \left[1 - 3.0 \left(\frac{\theta - 20}{1463}\right)^2\right]$	$\frac{3900}{\theta} + \alpha_{\theta}$
$600^{\circ}\text{C} < \theta \leq 690^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{y20} \left(1.374 - 0.078 \frac{\theta}{50}\right)$	$E_{20} \left[1 - 3.0 \left(\frac{\theta - 20}{1463}\right)^2\right]$	$\frac{3600}{\theta} + \alpha_{\theta}$
$690^{\circ}\text{C} < \theta \leq 800^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{y20} \left(1.120 - 0.128 \frac{\theta}{100}\right)$	$E_{20} \left[1 - 3.0 \left(\frac{\theta - 20}{1463}\right)^2\right]$	$\frac{4600}{\theta} + \alpha_{\theta}$

Remark : $\alpha_{\theta} = \frac{\theta}{500 \log_e \left(\frac{\theta}{1750}\right)}$

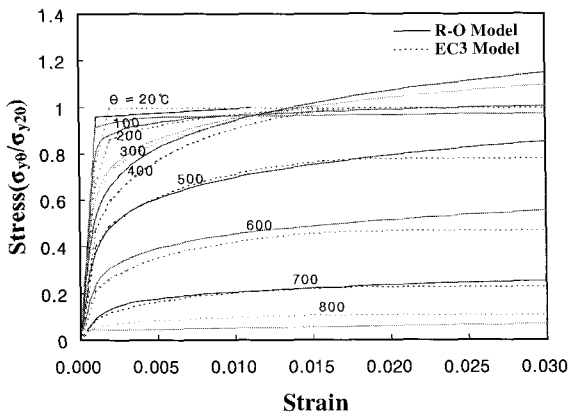
<표 2> 온도 θ 에 있어서 EC3 모델에 의한 강재의 응력-변형률 관계식

변형률 구간	응력 σ_θ	접선탄성계수 E_t
I. elastic ($\epsilon_\theta \leq \epsilon_{p\theta}$)	$E_\theta \cdot \epsilon_\theta$	E_θ
II. transit elliptical ($\epsilon_{p\theta} \leq \epsilon_\theta \leq \epsilon_{y\theta}$)	$\frac{b}{a} \sqrt{a^2 - (\epsilon_{y\theta} - \epsilon_\theta)^2} + \sigma_{p\theta} - c$ with $a^2 = (\epsilon_{y\theta} - \epsilon_{p\theta})(\epsilon_{y\theta} - \epsilon_{p\theta} + c/E_\theta)$ $b^2 = E_\theta(\epsilon_{y\theta} - \epsilon_{p\theta})c + c^2$ $c = \frac{(\sigma_{y\theta} - \sigma_{p\theta})^2}{E_\theta(\epsilon_{y\theta} - \epsilon_{p\theta}) - 2(\sigma_{y\theta} - \sigma_{p\theta})}$	$\frac{b(\epsilon_{y\theta} - \epsilon_\theta)}{a\sqrt{a^2 - (\epsilon_{y\theta} - \epsilon_\theta)^2}}$
III. plastic ($\epsilon_{y\theta} \leq \epsilon_\theta \leq \epsilon_{t\theta}$)	$\sigma_{y\theta}$	0
IV. decreasing ($\epsilon_{t\theta} \leq \epsilon_\theta \leq \epsilon_{u\theta}$)	$\sigma_{y\theta} [1 - (\epsilon_\theta - \epsilon_{t\theta}) / (\epsilon_{u\theta} - \epsilon_{t\theta})]$	--

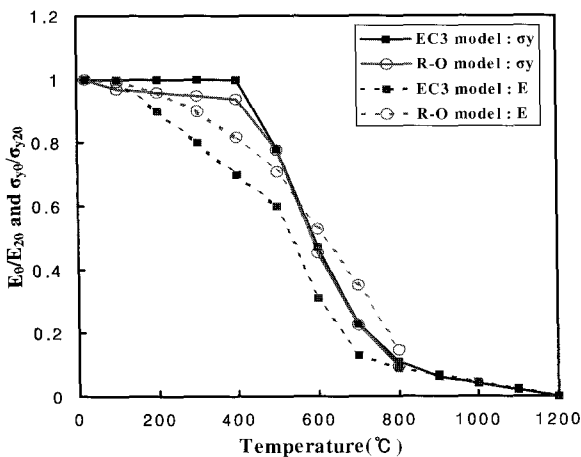
여기서,

E_θ : 온도 θ 에서 선형 탄성 범위일 때의 탄성 계수
 $\epsilon_{y\theta}$: 온도 θ 에서 항복 변형률
 $\epsilon_{u\theta}$: 온도 θ 에서 극한 변형률

$\sigma_{p\theta}$: 온도 θ 에서 비례 한계(proportional limit)
 $\epsilon_{p\theta}$: 온도 θ 에서 비례 한계일 때 변형률
 $\epsilon_{t\theta}$: 온도 θ 에서 항복 응력일 때 한계 변형률



<그림 1> 온도상승에 따른 응력-변형률 관계



<그림 2> 온도상승에 따른 항복응력과 탄성계수 관계

2.2 강재의 열 팽창(thermal expansion)

강재는 온도가 증가할 때 열 팽창한다. 일반적으로 강재의 열팽창계수는 상온에서 $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 이고, 200°C에서 600°C까지는 $\alpha = 14 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 이다. 강재의 열 팽창에 대한 EC3 : Part 1.2^[2]의 변형률(strain) 관계식은 다음 식과 같다.

a) $20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 750^\circ\text{C}$ 일 때

$$\frac{\Delta l}{l} = 1.2 \times 10^{-5} \theta + 0.4 \times 10^{-8} \theta^2 - 2.416 \times 10^{-4} \quad (3)$$

b) $750^\circ\text{C} \leq \theta \leq 860^\circ\text{C}$ 일 때

$$\frac{\Delta l}{l} = 1.1 \times 10^{-2} \quad (4)$$

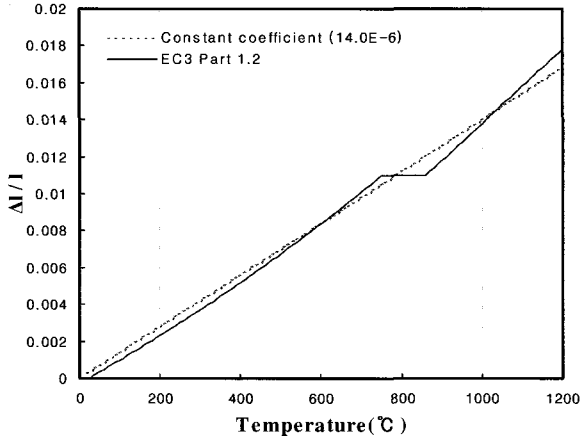
c) $860^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C}$ 일 때

$$\frac{\Delta l}{l} = 2 \times 10^{-5} \theta - 6.2 \times 10^{-3} \quad (5)$$

여기서,

l : 강재의 상온 20°C일 때의 길이
 Δl : 온도 θ 에 의한 강재의 열 팽창 길이
 θ : 온도 ($^\circ\text{C}$)

그림 3은 위에서 설명한 EC3 : Part 1.2의 온도-열 팽창률 관계를 나타내고 있다.



〈그림 3〉 온도와 열 팽창률 관계

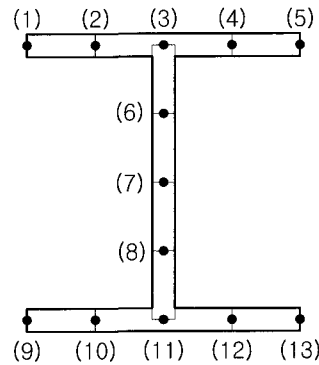
3. 온도상승에 따른 보의 응력, 처짐 및 파괴온도 해석

본 장에서는 H-beam 6개 모델이 스팬 중앙에 집중하중을 받고 균등한 열을 받을 때 발생하는 온도 상승에 따른 하중비(load ratio), 보 높이에 대한 스팬(L/H)비 및 단부 지지조건에 대한 H-beam의 최대 휨 응력과 수직 처짐을 해석하고, 파괴온도를 예측하고자 한다. 본 연구에서는 H-beam의 스팬을 8m, 하중비(r : 하중비는 단순보일 때 최대 모멘트에 대한 하중비를 기준하였음)를 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, H-beam의 높이에 대한 스팬비는 15, 20, 25로 하고, 유한 요소 해석을 위하여 H-beam을 길이 방향으로 6등분하였고, H-beam 단면은 그림 4와 같이 상, 하 플랜지 및 웨브를 각각 4등분하여 12 요소로 분할 하였다. 그리고 온도는 H-beam의 전 길이에 등분포 하는 경우로써 20℃, 100℃, 200℃, 300℃, 400℃, 500℃와 500℃이상에서는 20℃씩 증가하면서 해석하였다.

본 연구에서는 강재의 탄성계수와 항복응력은 상온시의 $E = 205 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ 와 $\sigma_y = 275 \text{ N/mm}^2$ 값을 채용하였고, 단부 경계조건은 단순지지와 양단 고정인 두 경우에 대하여 표 3과 같은 H-beam 6개 모델에 대하여 각각 VULCAN 프로그램으로 온도

상승에 따른 기하학적 비선형과 재료 비선형을 고려한 최대 휨 응력 및 수직 처짐을 해석하고, 강재의 처짐 및 항복 파괴에 대한 파괴온도를 예측하였다.

그리고, 표 3과 표 4의 H-beam에 대한 VULCAN 프로그램에 의한 컴퓨터 해석 결과를 그림 5~그림 10에 나타내었고, 표 5~표 11에 요약하였다.



〈그림 4〉 H-beam 단면 분할 요소

〈표 3〉 H-beam 단면과 스팬 중앙 집중하중 (r:하중비)

단면 치수	L (m)	중앙 집중 하중(KN)			
		r			
		0.2	0.4	0.6	0.8
H-200x200x8x12	8	14.44	28.88	43.31	57.75
H-300x300x10x15	8	41.25	82.50	123.75	165.00
H-390x300x10x16	8	60.23	120.45	180.68	240.90
H-600x200x11x17	8	81.95	163.90	245.85	327.80
H-800x300x14x26	8	226.60	453.20	679.80	906.40
H-900x300x16x28	8	288.75	577.50	866.25	1155.00

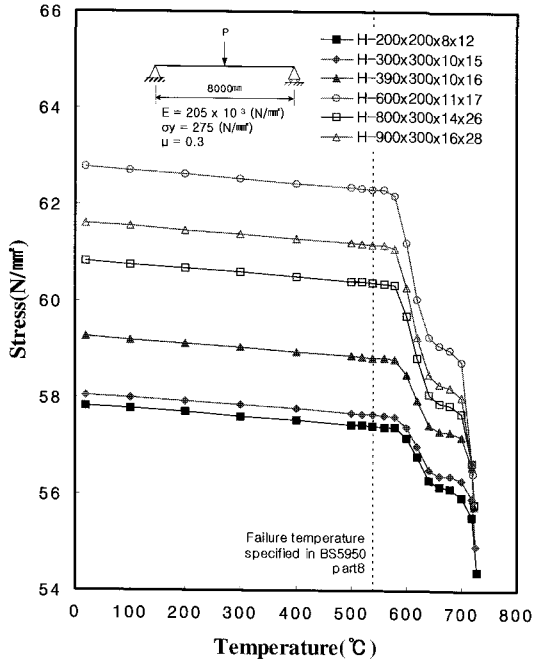
〈표 4〉 L/H비에 대한 H-beam 스팬과 중앙 집중하중 (하중비=0.6)

L/H	L (m)		중앙 집중 하중 (KN)	
	A	B	A	B
15	12.00	7.50	453.20	191.84
20	16.00	10.00	339.90	143.88
25	20.00	12.50	271.92	115.10

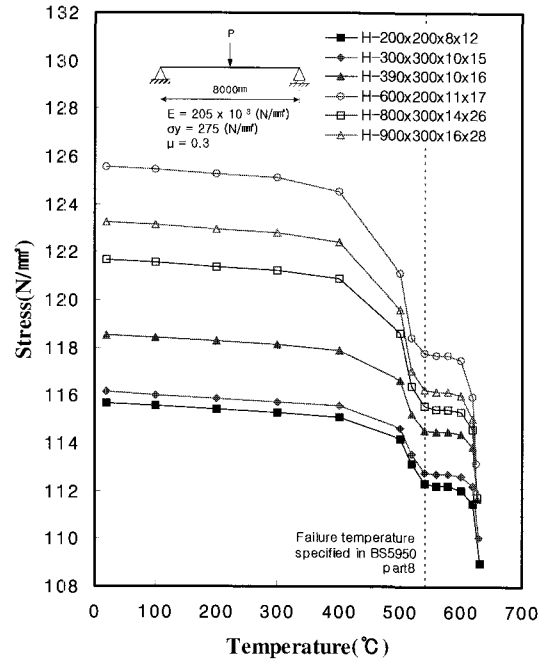
단, A = H-800x300x14x26
B = H-500x200x10x16

3.1 온도상승에 따른 H-beam의 최대 힘 응력

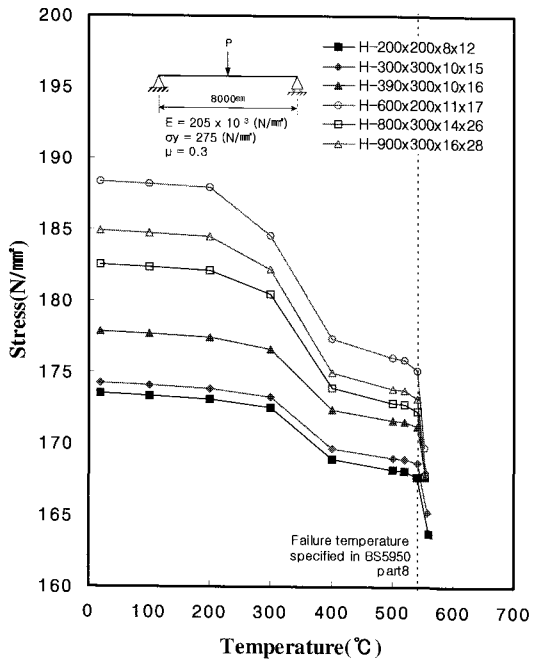
3.1.1 단순지지 H-beam



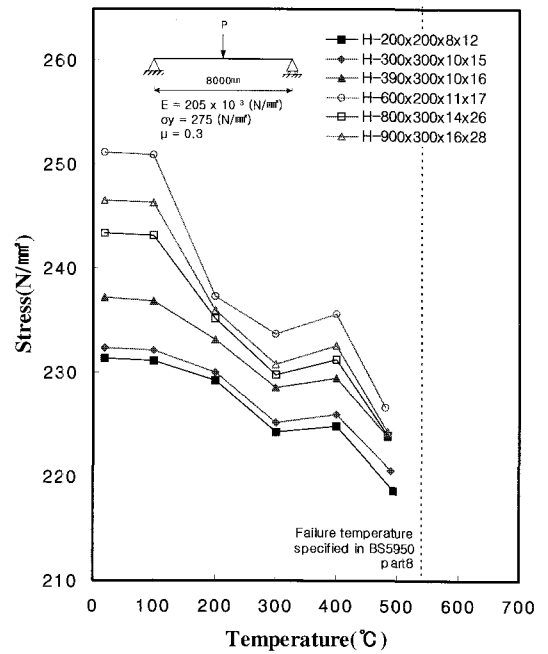
(a) $r = 0.2$



(b) $r = 0.4$



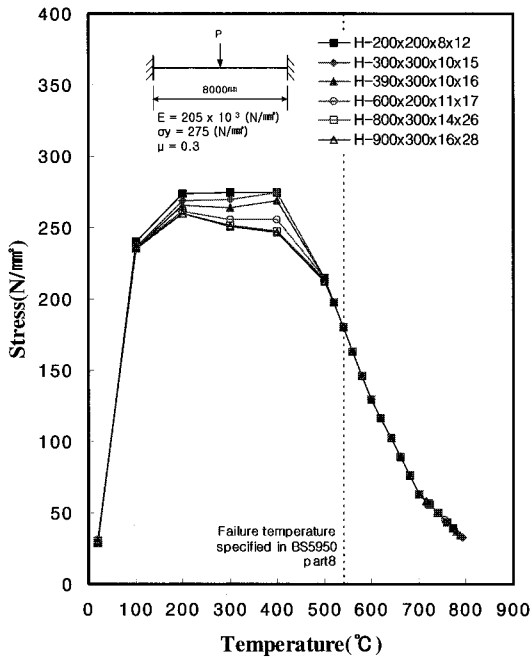
(c) $r = 0.6$



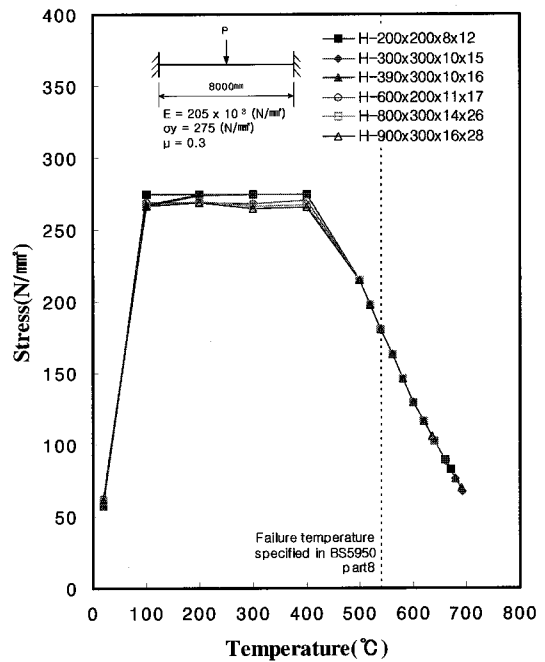
(d) $r = 0.8$

〈그림 5〉 단순지지 H-beam 스팬 중앙에 집중하중이 작용할 때 하중비에 대한 최대 힘 응력과 온도 관계

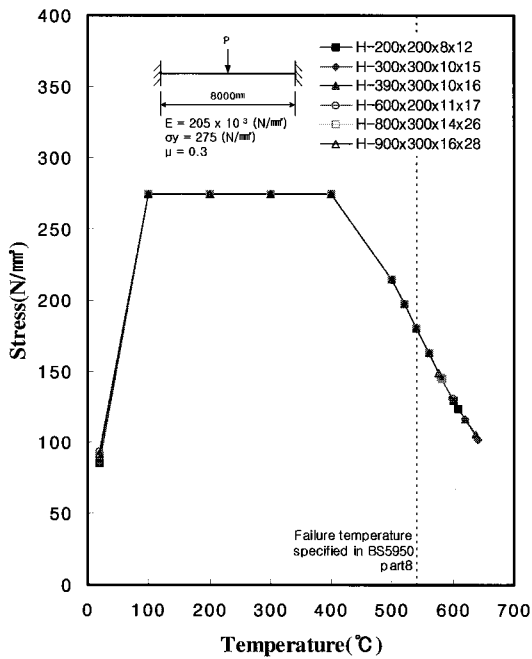
3.1.2 양단 고정 H-beam



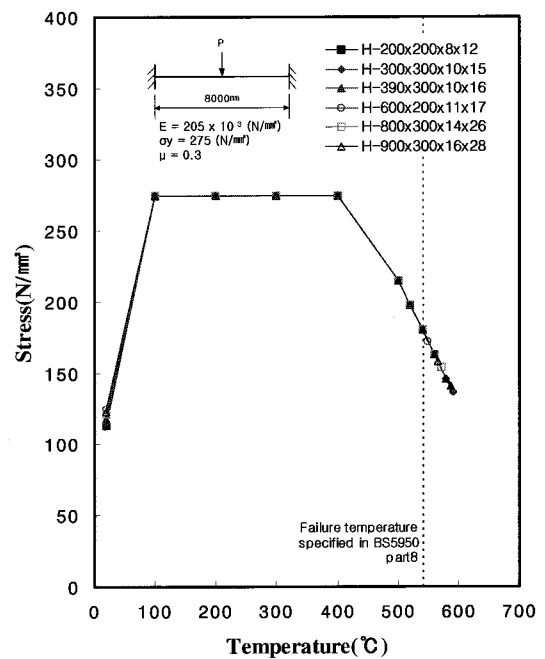
(a) $r = 0.2$



(b) $r = 0.4$



(c) $r = 0.6$

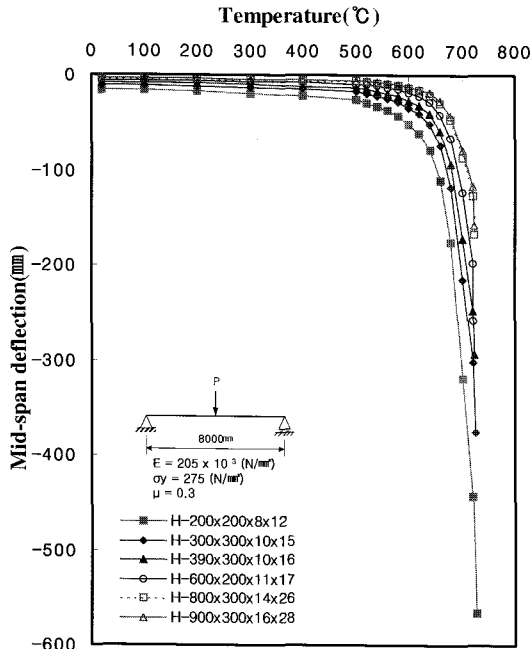


(d) $r = 0.8$

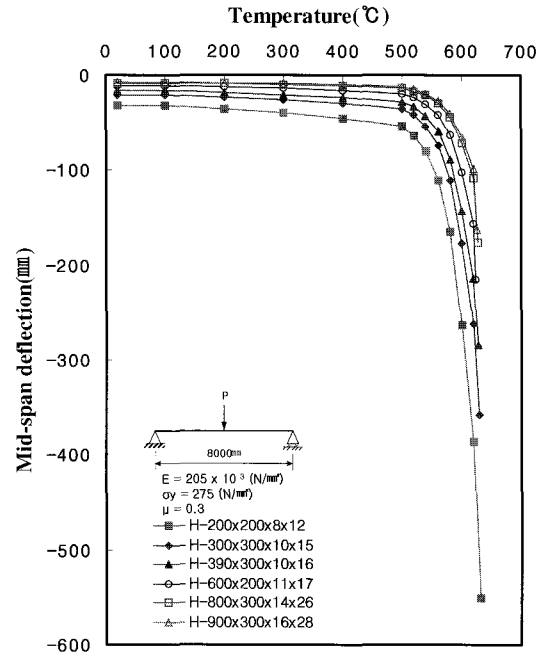
〈그림 6〉 양단고정 H-beam 스팔 중앙에 집중하중이 작용할 때 하중비에 대한 최대 휨 응력과 온도 관계

3.2 온도상승에 따른 H-beam의 최대 수직 처짐

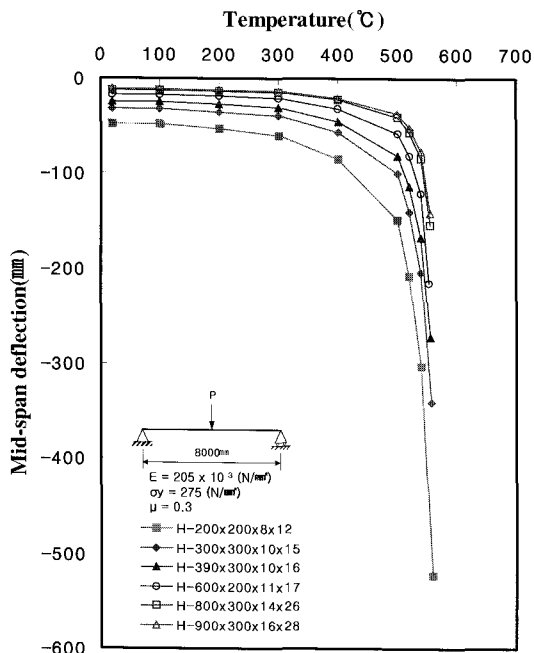
3.2.1 단순지지 H-beam



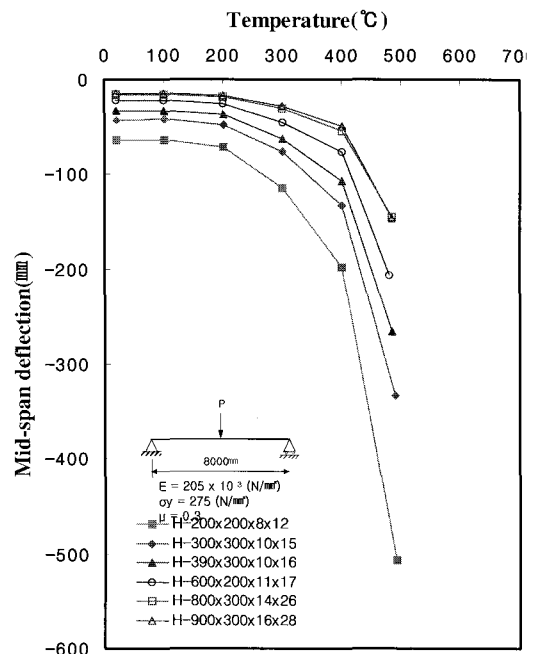
(a) $r = 0.2$



(b) $r = 0.4$



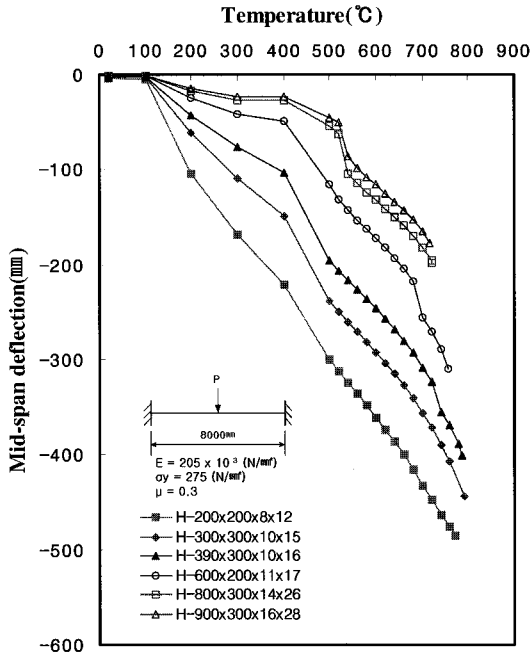
(c) $r = 0.6$



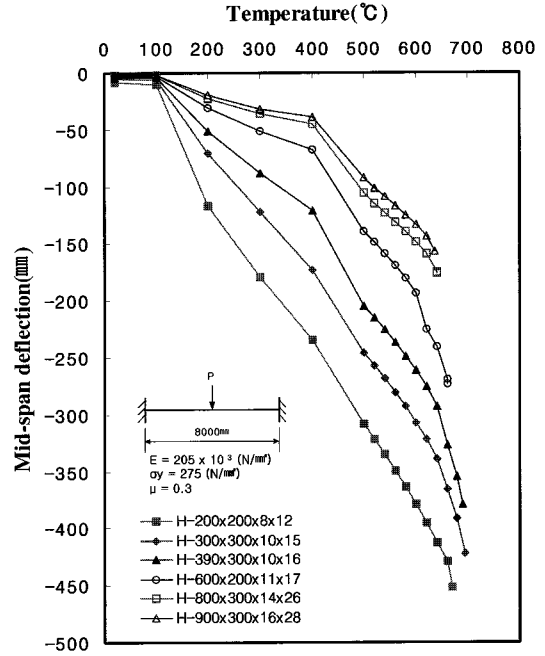
(d) $r = 0.8$

〈그림 7〉 단순지지 H-beam 스팬 중앙에 집중하중이 작용할 때 하중비에 대한 최대 처짐과 온도 관계

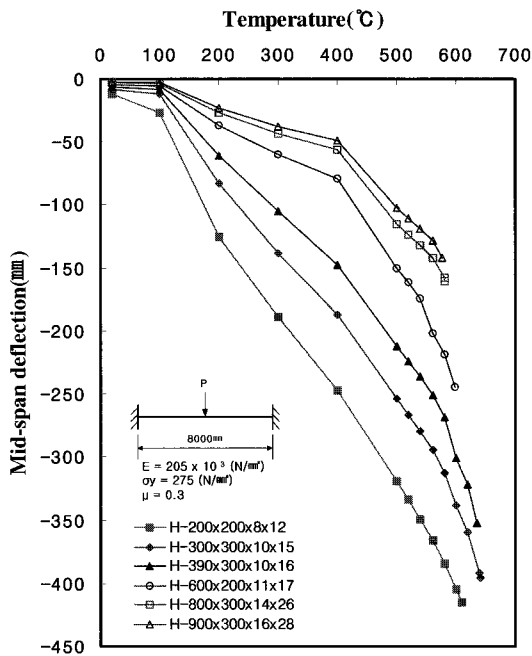
3.2 양단고정 H-beam



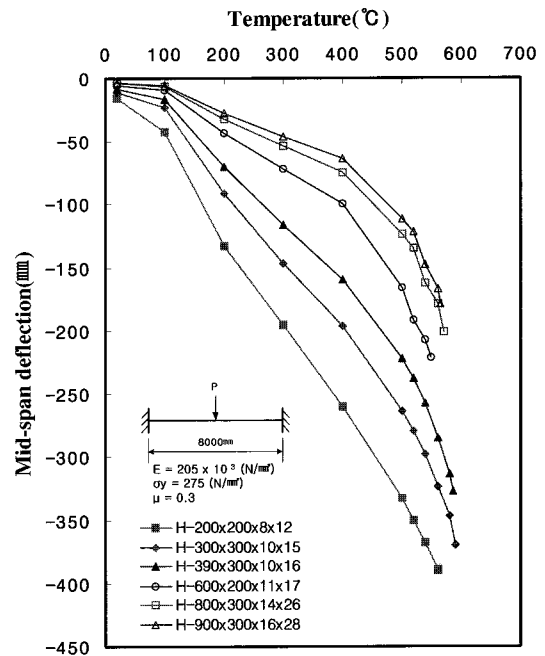
(a) $r = 0.2$



(b) $r = 0.4$



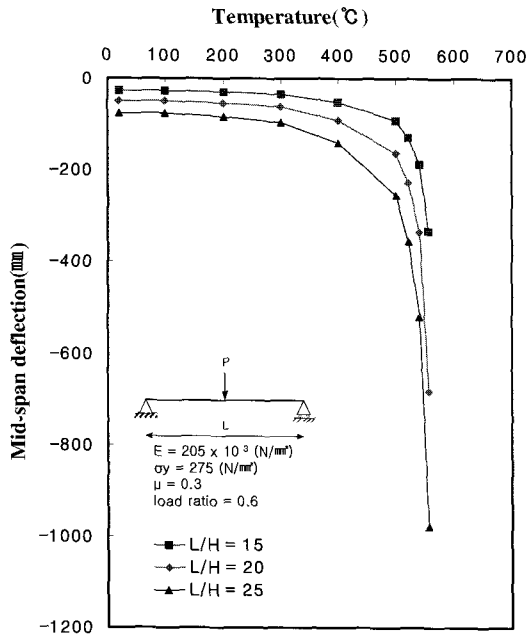
(c) $r = 0.6$



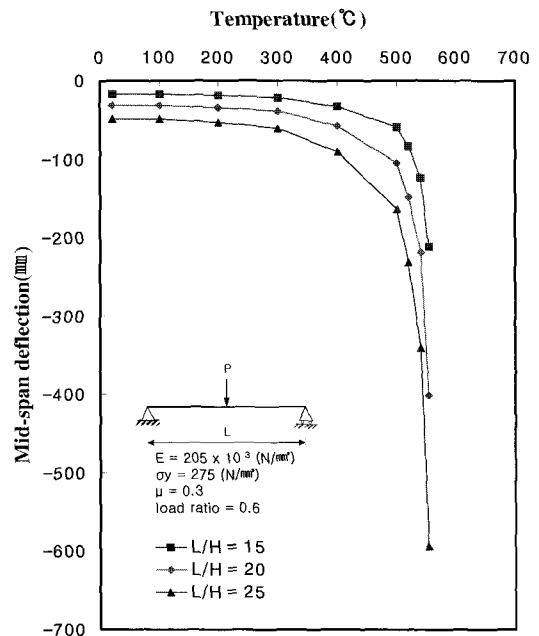
(d) $r = 0.8$

〈그림 8〉 양단고정 H-beam 스펀 중앙에 집중하중이 작용할 때 하중비에 대한 최대 처짐과 온도 관계

3.3 온도상승에 따른 L/H비에 대한 H-beam의 최대 수직 처짐

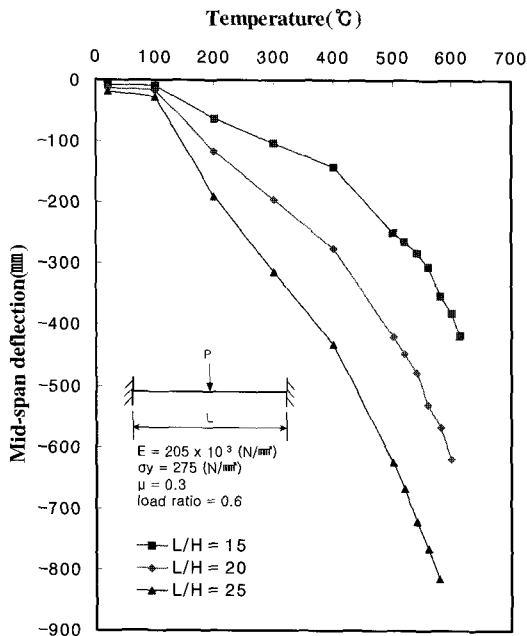


(a) H-800x300x14x26

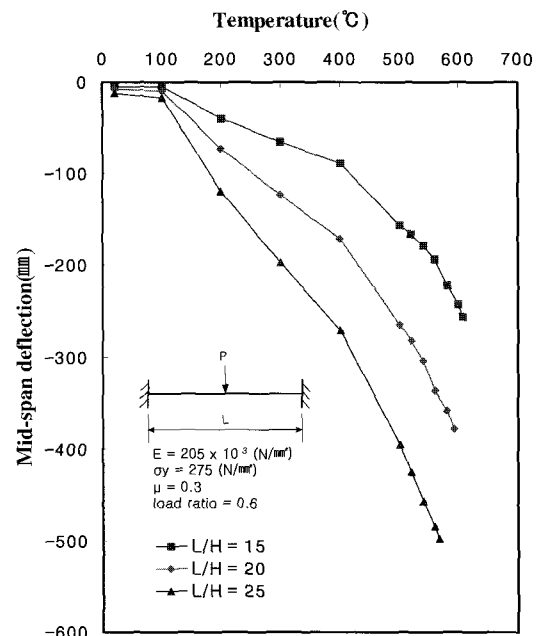


(b) H-500x200x10x16

〈그림 9〉 단순지지 H-beam 스팬 중앙에 집중하중이 작용할 때 L/H비에 대한 최대 처짐과 온도 관계



(a) H-800x300x14x26



(b) H-500x200x10x16

〈그림 10〉 양단고정 H-beam 스팬 중앙에 집중하중이 작용할 때 L/H비에 대한 최대 처짐과 온도 관계

〈표 5〉 단순지지 H-beam의 하중비에 대한 항복파괴 지점의 휨 응력 결과

단면 치수	응력 (N/mm^2)			
	r			
	0.2	0.4	0.6	0.8
H-200x200x8x12	57.38	108.99	163.75	218.66
H-300x300x10x15	54.92	110.07	165.28	220.60
H-390x300x10x16	55.75	111.67	167.68	223.81
H-600x200x11x17	56.44	113.16	169.74	226.60
H-800x300x14x26	55.80	111.72	167.81	223.95
H-900x300x16x28	55.93	112.03	168.15	224.33

〈표 6〉 양단고정 H-beam의 하중비에 대한 항복파괴 지점의 휨 응력 결과

단면 치수	응력 (N/mm^2)			
	r			
	0.2	0.4	0.6	0.8
H-200x200x8x12	39.63	82.38	123.37	162.95
H-300x300x10x15	32.94	67.43	102.01	136.91
H-390x300x10x16	34.50	69.90	105.53	141.17
H-600x200x11x17	45.05	88.67	131.05	172.41
H-800x300x14x26	56.01	102.44	145.17	153.76
H-900x300x16x28	58.09	105.73	149.41	158.55

〈표 7〉 단순지지 H-beam의 하중비에 대한 항복파괴 지점의 처짐 결과

단면 치수	처짐 (mm)			
	r			
	0.2	0.4	0.6	0.8
H-200x200x8x12	565.40	550.22	522.00	506.51
H-300x300x10x15	375.08	357.38	340.86	333.79
H-390x300x10x16	293.51	283.90	271.34	265.58
H-600x200x11x17	257.55	215.26	214.97	206.47
H-800x300x14x26	166.75	175.97	153.89	145.68
H-900x300x16x28	157.30	161.74	141.91	146.10

〈표 8〉 양단고정 H-beam의 하중비에 대한 항복파괴 지점의 처짐 결과

단면 치수	처짐 (mm)			
	r			
	0.2	0.4	0.6	0.8
H-200x200x8x12	485.22	452.17	415.01	389.80
H-300x300x10x15	443.45	422.42	395.28	369.36
H-390x300x10x16	401.20	379.19	351.98	327.00
H-600x200x11x17	310.05	273.27	244.13	221.62
H-800x300x14x26	198.33	176.38	160.91	200.61
H-900x300x16x28	176.64	156.92	142.32	178.68

〈표 9〉 단순지지 H-beam의 하중비에 대한 파괴 온도

단면 치수	파괴 온도 ($^{\circ}C$)			
	r			
	0.2	0.4	0.6	0.8
H-200x200x8x12	726.88	630.70	559.53	493.13
H-300x300x10x15	725.23	629.03	557.73	489.92
H-390x300x10x16	722.73	626.64	554.92	484.61
H-600x200x11x17	720.63	624.38	552.50	480.00
H-800x300x14x26	722.58	626.56	554.77	484.38
H-900x300x16x28	722.19	626.09	554.38	483.75

〈표 10〉 양단고정 H-beam의 하중비에 대한 파괴 온도

단면 치수	파괴 온도 ($^{\circ}C$)			
	r			
	0.2	0.4	0.6	0.8
H-200x200x8x12	771.56	671.02	608.91	560.47
H-300x300x10x15	791.86	693.67	641.27	591.07
H-390x300x10x16	787.16	689.92	635.94	586.02
H-600x200x11x17	755.16	661.48	597.89	549.38
H-800x300x14x26	721.95	640.63	581.33	571.25
H-900x300x16x28	715.63	635.63	576.35	565.63

〈표 11〉 L/H비에 대한 단순지지와 양단고정 H-beam의 파괴온도

L/H	파괴온도 (°C)			
	H-800x300x14x26		H-500x200x10x16	
	단순지지	양단고정	단순지지	양단고정
15	555.00	613.67	553.13	607.03
20	555.31	599.06	553.44	591.33
25	555.63	578.98	553.75	567.27

이상과 같이 온도상승에 따른 스판 중앙에 집중하중을 받는 H-beam 6개 모델의 VULCAN 프로그램에 의한 컴퓨터 해석결과 최대 휨 응력은 그림 5 단순지지 H-beam의 경우는 하중비 $r = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ 에서 각각 온도 $\theta = 600^\circ\text{C}, 500^\circ\text{C}, 300^\circ\text{C}, 100^\circ\text{C}$ 이하에서 서서히 감소하다가 그 이상일 때는 급격히 감소함을 고찰할 수 있었고, 그림 6 양단 고정 H-beam은 하중비에 관계없이 온도가 $20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$ 에서는 급격히 상승하고, $100^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C}$ 에서는 거의 변화하지 않고, $\theta > 400^\circ\text{C}$ 에서 급격히 감소됨을 고찰 할 수 있었고, 최대 처짐은 그림 7 단순지지 H-beam은 하중비 $r = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ 에서 각각 온도 $\theta = 700^\circ\text{C}, 600^\circ\text{C}, 500^\circ\text{C}, 400^\circ\text{C}$ 이하에서 서서히 감소하다가 그 이상일 때 급격히 감소함을 알 수 있었고 그림 8 양단고정 H-beam은 하중비 (r)에 관계없이 $\theta \leq 100^\circ\text{C}$ 에서는 거의 변화가 없고, $\theta \leq 400^\circ\text{C}$ 에서는 처짐이 서서히 크지게 되고 $\theta > 400^\circ\text{C}$ 에서는 처짐이 급격히 크게 됨을 고찰 할 수 있었다.

그리고 온도상승에 따른 H-beam의 휨 응력 및 처짐 파괴는 항복 파괴와 동시에 항상 일어나고, 하중비에 대한 단순지지 H-beam 이나 양단 고정 H-beam의 파괴온도 관계는 표 9와 표 10과 같이 하중비가 클수록 파괴온도가 낮게 됨을 또한 고찰할 수 있었다. 그리고 그림 9와 그림 10에서 단면 크기와 단부 지지조건에 관계없이 온도상승에 따른 H-beam의 높이에 대한 스판의 비가 클수록 수직 처짐은 더 크게 되나, 파괴온도는 표 11과 같이 단순 지지인 경우는 거의 일치하고, 양단고정인 경우는 약 $14.61^\circ\text{C} \sim 39.76^\circ\text{C}$ 차이가 있음을 또한 알 수 있

었다.^[11]

일반적으로 H-beam의 파괴온도는 양단고정인 경우가 단순지지 경우보다 더 높다는 것을 또한 고찰할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 스판 중앙에 집중하중을 받고 균등하게 열을 받는 H-beam 6개 모델에 대하여 유한요소 VULCAN 프로그램에 의하여 온도상승에 따른 하중비, 보의 높이에 대한 스판비 및 단부지지조건에 대하여 최대 휨 응력 및 처짐 해석을 하고, 파괴온도를 예측한 컴퓨터에 의한 온도해석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 온도상승에 따른 스판 중앙에 집중하중을 받는 H-beam의 파괴는 항복파괴와 동시에 일어나고, 온도에 의한 H-beam의 휨 응력과 처짐 변화현상 및 파괴온도를 컴퓨터 해석으로 예측할 수 있었다.
- (2) 단부 지지조건 및 단면 크기에 관계없이 온도상승에 따른 H-beam은 스판 중앙의 집중하중이 클수록 보다 낮은 온도에서 일직 파괴온도에 도달됨을 알 수 있고, H-beam의 높이에 대한 스판비가 클수록 수직 처짐은 더 크게 되나, 파괴온도는 단순지지인 경우는 거의 일치하고, 양단고정인 경우는 약간의 온도차가 있으나 거의 일치함을 알 수 있었다.
- (3) 일반적으로 H-beam의 파괴온도는 양단고정인 경우가 단순지지인 경우보다 더 높다는 것을 또한 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2001년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2001-042-E00135)

참고문헌

1. BS5950 : "Structural Use of Steelwork in Buildings. Part 8: Code of Practice for Fire

- Resistant Design", British Standards Institution, London, 1990.
2. Eurocode 3: "Design of Steel Structures. Part 1.2: Structural Fire Design", Commission of the European Communities, Brussels, 1993.
3. El-Zanaty, M.H. and Murray, D.W., "Inelastic Behaviour of Multistory Steel Frames", Ph.D Thesis, University of Alberta, 1980.
4. Saab, H.A., "Nonlinear finite element analysis of steel frames in fire", Ph.D Thesis, University of Sheffield, 1990.
5. Najjar, S.R. and Burgess, I.W., "A non-linear analysis for three-dimensional steel frames in fire conditions", Engineering Structures, 18(1), 1996, pp. 77-89.
6. Bailey, C.G., "The behaviour of Asymmetric Slim Floor Steel Beams in Fire", Journal of Constructional Steel Research, 50, 1999, pp. 235-257.
7. Huang Z., "The Analysis of Thermal and Fire Performance of Cementitious Building Components", Ph.D Thesis, University of Central Lancashire, 1995.
8. Jun Cai, "Developments in Modelling of Composite Building Structures in Fire", Ph.D Thesis, University of Sheffield, 2002.
9. Olawale, A.O. and Plank, R.J., "The collapse analysis of steel columns in fire using a finite strip method", International Journal for Numerical Methods in Engineering, 26, 1988, pp. 2755-2764.
10. Ramberg, W. and Osgood, W., "Description of Stress-Strain Curve by Three Parameters", NACA TN902, 1943.
11. El-Rimawi, J.A., I.W. Burgess & R.J.Plank, "The Influence of Connection Stiffness on the Behaviour of Steel Beams in Fire", J.Construct. Steel Res., Vol. 43, No. 1-3, 1997, pp. 1-15