

HSB600 원형강관 기둥의 거동에 대한 실험적 연구

김 선 희¹⁾ . 최 영 환²⁾ . 최 성 모^{3)*}

¹⁾ 박사과정, 서울시립대, 건축공학부 ²⁾ 공학박사, 삼성물산(주)플랜트부문 ³⁾ 교수, 서울시립대학교, 건축학부

Experimental Study on the Behavior of Circular Steel Tube Columns using HSB600 Steel

Kim, Sun Hee¹⁾ Choi, Young Hwan²⁾ Choi, Sung Mo^{3)*}

¹⁾ Doctor's course, Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

²⁾ Doctor of Engineering, Engineering Construction Group, Samsung C&T, Seoul, 137-857, Korea

³⁾ Professor, Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

ABSTRACT : This paper investigates an experimental behavior of circular columns and beam-columns made of HSB600 high strength steel as a fundamental study to enhance the applicability of HSB steel. The applicability of the current Standard such as KBC and Eurocode 3 is also evaluated. A total of six specimens are fabricated and tested. The main parameters are slenderness ratio($KLe/r = 12, 14, 40, 65$), diameter-to-thickness ratio($D/t = 25, 40$), and eccentricity ratio($e/D = 0, 0.5$). It is drawn from the experiment that both the KBC and Eurocode 3 can be used to predict the strength of circular columns and beam-columns made of HSB600 high strength steel.

KEYWORDS : HSB600, circular hollow section, diameter of thickness ratio, slenderness, eccentric axial force

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

전 세계적으로 초고층 및 장대교량의 수요가 증가되는 추세이며, 이에 따라 고강도 강재개발에 관한 연구가 이어져 오고 있다. 현재까지 기둥부재로 인장강도 490MPa급 용접용 탄소강이 주종을 이루었지만, 앞으로는 SM570 이상의 고강도 강재에 대한 요구가 증가될 전망이다. 이에 따라, 고강도, 고인성 강재에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 미국과 일본은 각각 연방도로국과 국토교통성이 주체가 되어

기술개발을 주도하고 있다. 미국은 강종개발, 설계, 제작기준 정립, 교량/건축 적용 등에 관한 연구가 FHWA(Federal Highway Administration)등 관련 기관을 중심으로 진행되고 있다. 일본의 경우에도 혼슈-시코쿠 연락교 사업과 같은 대규모 프로젝트를 통해 다양한 고성능강의 적용이 이루어지고 있다(김종락 등, 2008)^[1]. 국내에서도 HSB(High Performance Steel For Bridges) 제품의 개발에 성공함에 따라 인천대교에 약 1,400톤을 적용하고 교량뿐만 아니라 건축물로도 사용범위를 확대하고 있는 실정이다. 일반강종의 SM490과 비교할 때 HSB 강재의 가장 큰 특징은 생산원가, 품질안정성 측면에서 유리한 TMCP(Thermo Mechanical control process) 제조법을 적용한 것과 판두께 100mm까지 항복강도가 일정한 점, 충격흡수에너지 성능을 -20°C 에서 40J 이상으로 상향 설정한 점, 그리고 용접예열작업이 불필요하도록 화학성분을 조정한 것이라고 할 수 있다. Table 1에서 정리된바와 같이 HSB600은 미국 및 일본의 교량용 고성능강과 비교할 때 동등한 수준의 성능을 가지고 있다(이종관, 2007)^[2].

Note.-Discussion open until June 30, 2013. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on September 13, 2012; revised October 29, 2012; approved on December 11, 2012. © KSSC 2012

* Corresponding author

Tel. +82-2-910-5444; Fax. +82-2-910-4939
E-mail: ockoo@kookmin.ac.kr

Table 1. Comparison of High-Strength Performance (이종관, 2007)⁽²⁾

구분	HSB600	미국 (HPS485W)	일본 (BHS500)
제조법	TMCP	열처리(Q&T)	TMCP
최대판두께	100mm	100mm	100mm
항복강도	450MPa이상	485MPa이상	500MPa이상
인장강도	600MPa이상	585MPa이상	570MPa이상
충격인성	-5℃ 100J이상 -20℃ 40J이상	-23℃ 34J이상	-5℃ 100J이상
용접성	예열 불필요	예열 불필요	예열 불필요
기타성능	내라멜라테어 성능 K25보증	내후성 보유	내라멜라테어 성능 Z35보증

현재 HSB 강재는 KS D 3868⁽³⁾에 규정되어 있다. 그럼에도 HSB 강재는 비교적 활발하게 사용되지 못하고 있는 것이 현실이다.⁽⁴⁾ 이러한 이유는 HSB 강재에 대한 기계적 성능은 확보되었지만 실용화에 대한 연구가 다소 미흡하기 때문이다. HSB 강재에 대해 발표된 연구논문은 주로 강재의 기계적 성질 및 용접성에 대한 내용이 주류를 이루었으며(김종락(2008), 임성우(2005))⁽⁵⁾, 주요 구조부재를 대상으로 한 연구는 다소 미비한 실정이다(이철호(2011), 조은영(2011, 2012), 윤석구(2010))⁽⁶⁾. 특히, HSB 강재의 응력-변형률 특성은 일반구조용 강재(SS400) 및 용접구조용 강재(SM490)와는 확연히 다르기 때문에 HSB 강재의 실용화를 위해서는 이를 적용한 다양한 부재에 관한 실험데이터가 구축될 필요가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 HSB600 강재를 적용한 원형강관의 구조적 특성을 고찰하기 위해 총 6개의 기둥부재를 제작하였다. 세장비, 지름두께비, 편심비를 주요변수로 거동을 분석하고 현행 설계기준과 적합성을 검증하고자 한다.

1.2 기존연구

이철호(2011)⁽⁷⁾는 국부좌굴을 고려한 고강도 조립 H형강 부재의 휨 성능에 관한 실험적 연구를 수행하였다. HSB 강재를 적용한 부재는 강도 발휘 측면에서는 우수하나 SM490A 강재를 적용한 부재에 비해 회전능력이 다소 미비한 것으로 분석되었다. 이러한 원인으로 HSB 강재의 조기인장 파단 및 확연히 다른 응력-변형선도로 분석하였다. HSB 강재의 소재시험 결과 항복점이 불분명하고 항복비가 0.95나 되어 비탄성 변형 능력 발휘에 불리한 응력-변형률 특성을 나타냈다. 따라서 소성설계의 모멘트 재분배 부재나 내진설계의 에너지 소산 부재로의 활용하는 것은 무리가 있는 것으로 평가하였다. 또한 HSB 강재의 소성강도 발현성능

에 비해 상대적으로 떨어지는 비탄성 회전능력을 감안하여, 소성강도까지만 활용하는 탄성설계 부재로 활용하는 것을 제시하였다. 마지막으로 HSB800 강재의 휨강도는 세장판 단면일 때도 소성강도의 98% 정도의 강도를 발휘하였으며 비콤팩트 및 콤팩트 단면일 때, 소성강도의 114%, 121%를 발휘하여 현행기준의 플랜지 판폭두께비 규정을 그대로 적용 가능한 것으로 분석하였었다.

조은영(2012)^{(8),(9)}은 HSB 강재를 적용한 강합성 복합단면 거더의 휨 저항 강도에 관한 연구를 진행하였다. 복합단면 거더는 상부 플랜지(HSB800)와 하부 플랜지, 웹(HSB600)의 강도를 달리 적용한 부재이다. 연구결과를 AASHTO의 설계식과 비교한 결과 평균 112%의 차이를 보였으며, Eurocode 3 설계식과는 평균 128%로 다소 안전측의 휨강도를 갖고 있다고 분석되었다.

2. 국내·외 현행 설계식

2.1 중심축력을 받는 기둥의 내력식

건축구조설계기준^{(10),(11)}(KBC-2009)에서 중심축력을 받는 원형강관의 설계강도는 기둥의 세장비(KL/r)에 따른 휨좌굴에 강도로 산정한다. 공칭압축강도는 $P_n = F_{cr} \times A_g$ 로 산정하며 여기서 휨좌굴 응력 F_{cr} 은 식 (1) 또는 (2)에 의해 구해진다.

$$\bullet \frac{KL}{\gamma} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ 일때, } F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{E} \right] F_y \quad (1)$$

$$\bullet \frac{KL}{\gamma} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ 일때, } F_{cr} = 0.877 F_e \quad (2)$$

여기서, $F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2$

Eurocode 3⁽¹²⁾에서 원형강관 축 내력은 강관의 지름두께비에 따라 결정되는 등급(Class)에 따라 세장비 및 잔류응력을 고려한 중심 축 내력($N_{b,Rd}$)을 산정하도록 제시하고 있다. 식 (3)은 본 연구에서 수행한 실험체에 해당하는 $d/t \leq 50e^2$ ($e: \sqrt{235/F_y}$) Class 1의 내력식이다. 여기에서 χ 는 기둥 세장비의 영향과 강관 제작의 결함을 고려하기 위해 사용된 감소계수이다. 강재의 결합계수 선정에 있어 시험체는 강관부재이며 열간성형 제작되었으므로 Table2의 'a₀' 또는 'a'를 적용할 수 있다. 그 중 고강도 강재 (S460)일 때 'a₀' 계수 적용을 권장하고 있으므로 본 논문에서의 감소계수는 'a₀'의 결합계수를 사용하였다.

$$N_{b,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M} \quad (\gamma_{M} = 1.0) \quad (3)$$

여기서, $\chi = 1/(\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}^2)^{0.5})$
 $\phi = 0.5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2)$
 $\bar{\lambda} = \sqrt{Af_y/N_{cr}}$
 $N_{cr} = \pi^2 EI/L^2$

Table 2. Imperfection Factor (α)

Buckling curve	a_0	a	b	c	d
Imperfection Factor	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

2.2 축력과 힘을 받는 기둥의 내력식

건축구조설계기준 (KBC-2009)에서 압축력과 힘이 동시에 작용하는 원형강관의 강도는 식 (4)와 (5)로 산정한다. 여기서 M_r 은 소요 2차 휨강도로 모멘트 증폭계수(B_1, B_2)을 고려하여 산정한다.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{인 경우, } \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (4)$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{인 경우, } \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (5)$$

Eurocode 3에서 압축과 힘이 동시에 작용하는 부재에 대한 설계식은 식 (6)과 같다. 여기서 χ_y 는 휨 좌굴 감소계수, χ_{LT} 는 휨 비틀림 좌굴 감소계수로 1 보다 작은 값을 갖는다. 모멘트 함수식에 앞에 있는 k_{yy}, k_{yz} 은 상호요소(Interaction factors)로 휨 비틀림 좌굴 발생 경계조건에 따라 산정한다. 또한 Δ 는 2차 효과에 의한 모멘트 확대계수로 단부의 휨 구속여부에 따라 결정된다.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6)$$

3. 실험개요

3.1 실험체 계획

본 연구에서는 HSB600 강재를 사용한 원형강관 기둥의 구조거동을 평가하기 위하여 Table 3에 나타난 것과 같이 지름두께비(D/t=25, 40), 세장비(KL/r=12, 14, 40, 65), 편심비(e=0, 0.5D)를 주요변수로 압축실험을 수행하였다.

시험체에 균등한 하중을 가하기 위해 양단부에 End-plate를 설치하였으며 시험체 단부에서의 국부좌굴을 방지하기 위하여 상하부 각 8곳에 스티프너를 설치하였다. 대표적인 실험체 형상은 Fig. 1과 같다.

Table 3. Specimens List

Specimens	D (mm)	t (mm)	D/t	L (mm)	e (mm)	As (mm ²)	I (mm ⁴)
C25_14	300	12	25	900	0	10857	11.27×10 ⁷
E25_14	300	12	25	900	150	10857	11.27×10 ⁷
C25_65	300	12	25	6,000	0	10857	11.27×10 ⁷
E25_65	300	12	25	6,000	150	10857	11.27×10 ⁷
E40_12	480	12	40	1,440	240	17643	48.33×10 ⁷
E40_40	480	12	40	6,000	240	17643	48.33×10 ⁷

실험체 명 ①②③

① 중심 및 편심 : C(Concentric), E(Eccentric):0.5D

② 지름두께비 : 25, 40

③ 세장비 (KLe/r) : 12, 14, 40, 65 (3.2절 참고)

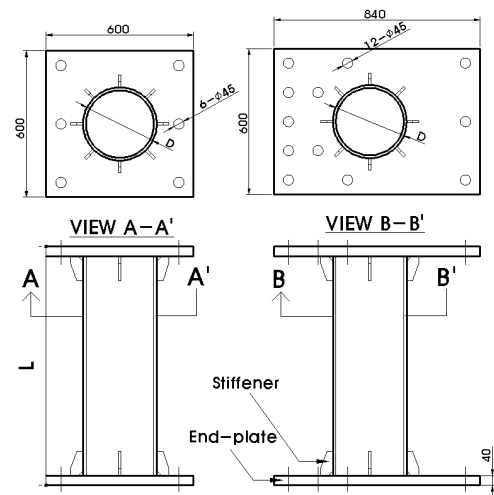


Fig. 1 Dimension and Specimens Shape

3.2 실험체 설치 및 재하방법

본 실험은 포항산업과학원(RIST) 소재 9,800kN 용량의 유압식 만능시험기(U.T.M : Universal Testing Machine)를 사용하여 0.05(mm/s)의 가력속도로 변위조절 압축력을 가하였다. 실험은 시험체 양 단부에 부착된 End plate와 Fig. 2에 나타낸 지그를 볼트로 연결하여 양단 단순지지조건으로 수행하였다^[13]. Fig. 3은 편심유무에 따른 실험체의 경계조건을 나타내고 있다.

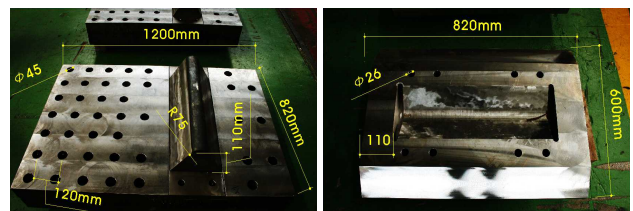


Fig. 2 Jig Shape

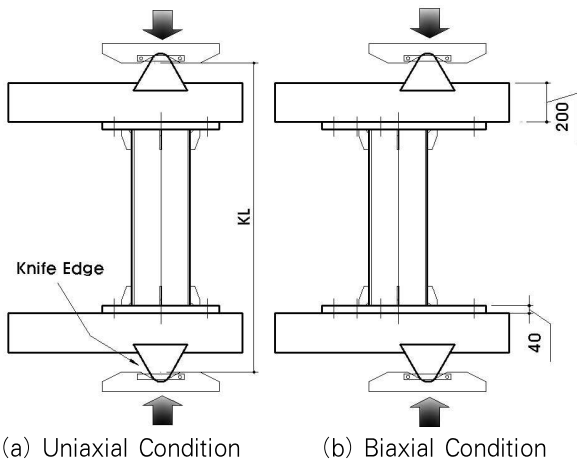


Fig. 3 Boundary Condition

Knife Edge와 결합한 기둥부재의 유효좌굴길이(KL_e)를 결정하기 위해서는 Knife Edge의 강역영향을 고려할 필요가 있다. 양단에 강역이 있는 경우, 등가좌굴길이 계수(K)를 Energy법을 이용하여 식 (7)과 같이 구할 수 있다 (최영환, 1995)^[14]. 각 부재의 등가좌굴길이계수와 세장비는 Table 4와 같이 정리하였다. 여기서 g는 지그의 높이(350mm)로 Fig. 3에 나타냈다.

$$k = \sqrt{l(l+4g)} / (l+2g) \quad (7)$$

Table 4. Effective Buckling Length

Specimens	L (mm)	I (mm ⁴)	r	k	KL _e	KL _e /r
C25_14	900	11.27×10 ⁷	102	0.899	1,439	14.1
E25_14	900	11.27×10 ⁷	102	0.899	1,439	14.1
C25_65	6000	11.27×10 ⁷	102	0.995	6,663	65.4
E25_65	6000	11.27×10 ⁷	102	0.995	6,663	65.4
E40_12	1440	48.33×10 ⁷	166	0.945	2,022	12.2
E40_40	6000	48.33×10 ⁷	166	0.995	6,663	40.3

3.3 측정방법

기둥부재의 거동을 평가하기 위해 Fig. 4와 같이 변위계(LVDT : Linear Variable Differential Transformer)와 강재용 스트레인 게이지(WSG: Wire Strain Gauge)를 부착하였다. 실험체의 축 변위를 파악하기 위해 부재끝단 엔드 플레이트에 변위계 D1, D2를 설치하였다. 또한, 부재의 횡 변위를 측정하기 위해 중앙부에 변위계 D5, D6을 설치하였다. 6m 기둥의 경우 길이에 4등분 지점에 추가적으로 변위계(D3,4,7,8)를 설치하였다. 강재용 스트레인게이지는 일축 게이지를 사용하였으며, 축 방향과 축 직각방향으로 나뉘어 기둥면 중앙부위에 총 5개를 부착하였다.

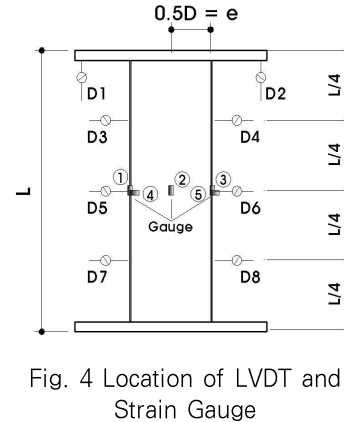


Fig. 4 Location of LVDT and Strain Gauge

3.4 소재시험

사용된 HSB600(t=12mm)에 대해서 KS B 0801^[15]에 의해 인장시험편을 제작하였으며, KS B 0802^[16]에 따라 수행하였다. 인장시험은 980kN 용량의 유압식 만능시험기를 사용하였다. 각 시험편 중앙부에 강재용 스트레인 게이지를 부착하여 변형도를 측정하였다. Fig. 5는 소재시험에 의해 얻은 응력-변형률 관계이다. 실험결과, 일반강도의 응력-변형률 곡선과는 달리 명확한 항복구간이 나타나지 않아 0.2% 오프셋방법으로 항복강도를 결정하였다. Table 5에 소재 시험 결과를 나타내었다. 항복강도와 인장강도의 평균치는 각각 478.3MPa, 630.9MPa로 기준치인 450MPa와 600MPa를 만족하였다. 한편, 항복비의 평균치는 76%로 나타났으며, 연신율은 34.8%로 측정되었다.

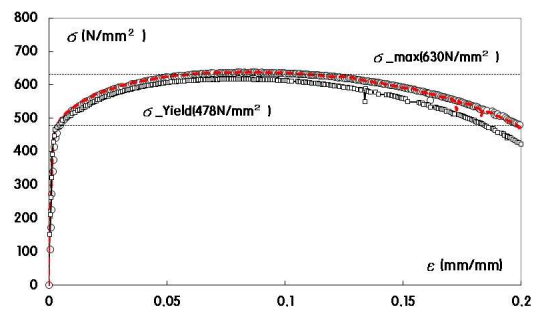


Fig. 5 Stress - Strain Curve (Material test)

Table 5. Result of Tension Test

시험체	두께 (mm)	단면적 (mm ²)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복비 (%)	연신율 (%)
HSB 600	11.70	285	485.8	638.0	76.0	35.2
	11.90	286	475.2	637.2	75.0	34.6
	11.85	292	474.0	617.6	77.0	34.6
평균	11.82	287.7	478.3	630.9	76.0	34.8

4. 실험결과 및 분석

4.1 하중-축 변위관계와 파괴모드

실험에 의한 하중-축 변위관계를 Fig.6에 나타내었다. C25_65 실험체는 최대내력 이전에 급격한 전체좌굴이 발생하여 장비손상을 고려해 실험을 중단하였다. 따라서 내력이 떨어진 지점을 최대내력으로 가정하여 정리하였다. 중심축력 실험체에 비해 편심축력을 받는 실험체는 최대내력 이후 급격한 내력저하 없이 연성적인 거동을 나타내고 있다.

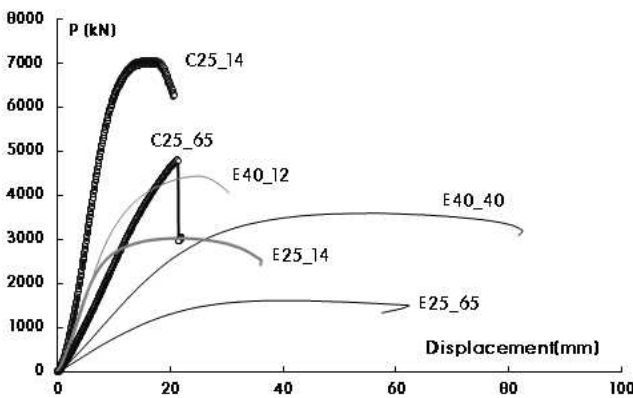
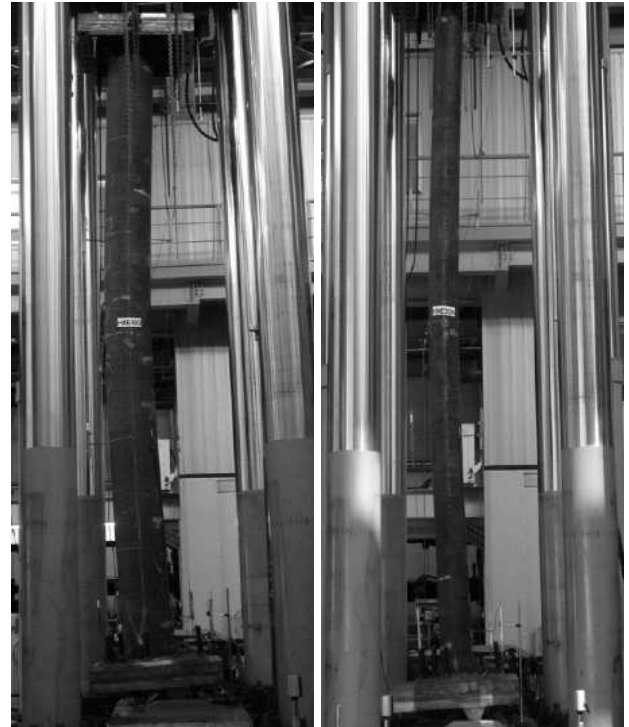


Fig. 6 Load-axis Displacement Curve

실험체의 파괴모드를 전체좌굴과 국부좌굴로 나누어 대표적인 형상을 Fig. 7에 정리하였다. 중심축력을 받는 C25_14의 경우 최대내력 이후 국부좌굴형상을 발견할 수 있었던 반면, 편심축력 부재인 E25_14는 가력초기부터 압축에 의한 휨이 시작되었다. 비교적 부재 길이가 긴 C25_65의 경우 하중을 받는 도중 전체좌굴로 인해 급격하게 내력이 저하되어 실험을 중단하였다. 동일한 길이를 갖는 실험체인 E25_65와 E40_40은 전체좌굴모드 형상을 나타내며 상당한 변형이 발생되었다.



(a) Local Buckling (C25_14, E25_14, E40_12)



(b) Global Buckling (C25_65, E25_65, E40_40)
Fig. 7 Failure Mode

4.2 강도 및 강성

시험체의 항복강도 산정방법을 Fig. 8에 나타내었다. 항복 내력은 하중-변위 곡선에서 초기 기울기를 연장한 직선이 최대하중의 수평 연장선과 만나는 교점에서 수직으로 선을 그려 하중-변위 곡선과 만나는 점의 하중으로 산정하였다. Fig. 9는 각 실험체의 항복강도와 최대내력을 비교하고자 작성된 막대그래프이다. 항복이후 약 17~25% 이상 내력 발휘했을 때 최대내력에 도달하는 것으로 나타난다.

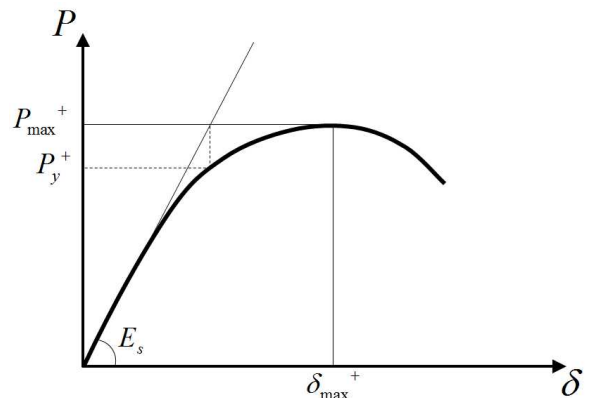


Fig. 8 Method of Yield Strength

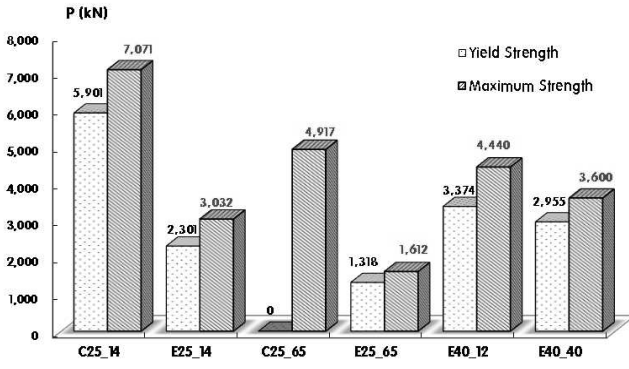
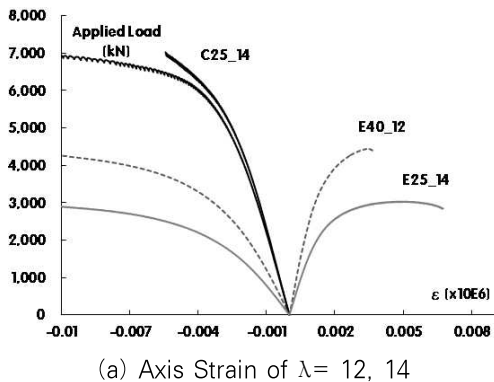
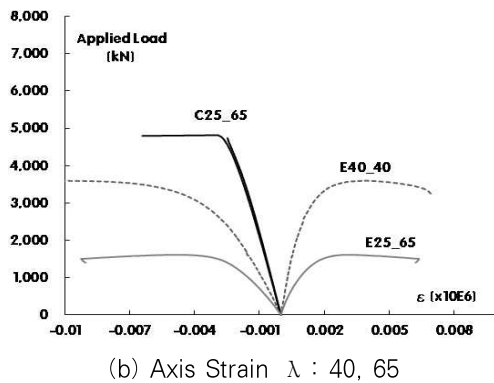


Fig. 9 Yield Strength and Maximum Strength of Specimens

Fig. 10에는 축하중과 부재길이 방향의 축변형도를 나타내고 있다. 스트레인지지 부착위치는 Fig. 4에 나타낸 것과 같이, S1, S3에서 측정된 결과를 사용하였다. 중심축력 부재의 경우 압축축 변형률만 발생되므로 한쪽방향으로 그려지며, 축력과 모멘트를 받는 부재의 경우 압축영역인 S3은 음의 방향으로 인장축인 S1은 양의 방향으로 좌우대칭 되어 나타냈다.



(a) Axis Strain of $\lambda = 12, 14$



(b) Axis Strain $\lambda : 40, 65$
Fig. 10 Load-Axis Strain Curve

각 실험체의 하중-변위 곡선에서 얻어진 초기 강성을 Fig. 11에 나타냈다. 그림에 나타낸 것과 같이 C25_14 실험체는 확연하게 강성이 높게 나타나고 있으며 전반적으로 세장비가 클수록 초기 강성이 작아지고 있음을 알 수 있다.

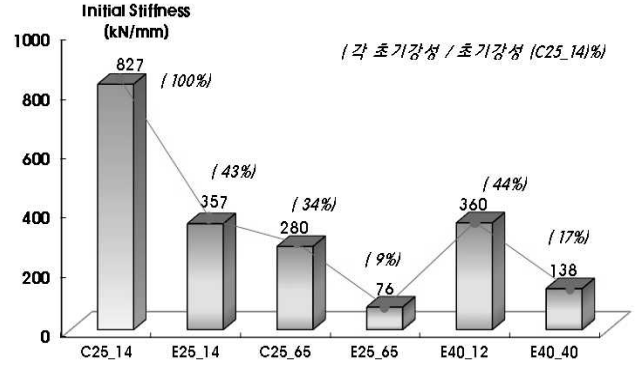


Fig. 11 Initial Stiffeners of Specimens

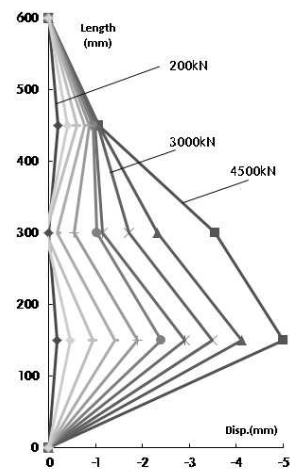
이상에 의해 정리된 초기강성 및 항복강도, 최대내력을 Table 6에 정리하였다.

Table. 6 Comparison of Stiffness and Strength

Specimens	초기강성 (kN/mm)	항복강도 (kN)	최대내력 (kN)	항복강도 / 최대내력 (%)
C25_14	827	5,901	7071	83%
E25_14	357	2,301	3032	75%
C25_65	280	-	4917	-
E25_65	76	1,318	1612	81%
E40_12	360	3,374	4440	75%
E40_40	138	2,955	3600	82%

4.3 축력과 횡 변위

축력에 따른 기둥의 횡 변위를 분석하기 위해 변위계 (D3~8)를 설치하였다. 측정위치는 6m 부재를 4등분하여 1.5m 간격으로 3개소에서 좌우 총 6지점의 변위를 측정하였다. 횡 변위량은 초기 200kN축력과 매 500kN축력이 증가할 때마다 평가하여 Fig. 12와 같이 나타내었다.



(a) C_25_65

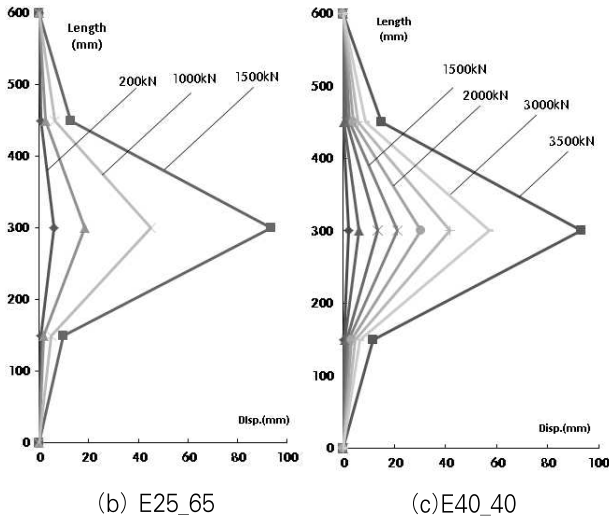
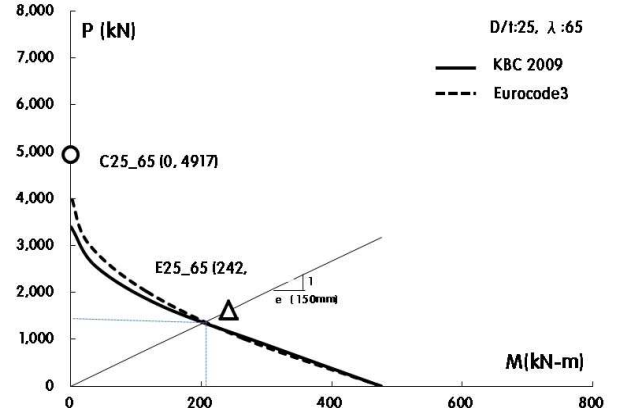


Fig. 12 Lateral Displacement of 6M Column

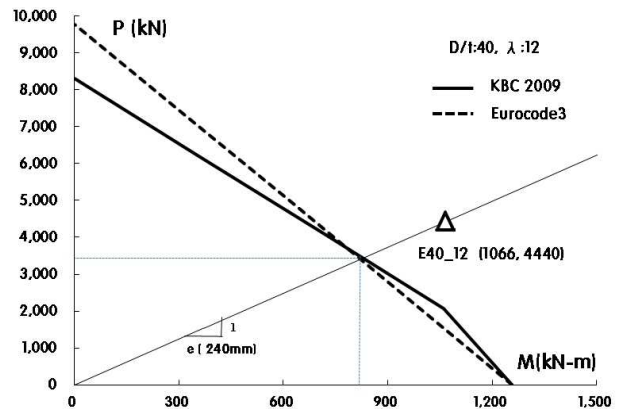
Fig. 12(a)는 C25_65 실험체로 변위발생량이 편심실험체에 비해 상대적으로 낮았다.

5. 규준식과 비교

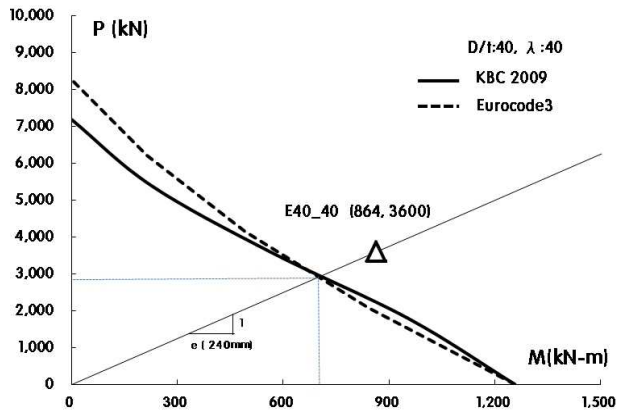
KBC2009와 Eurocode 3에서 제시하고 있는 원형강관 기둥의 P-M 관계식을 사용하여 각 실험체의 상관관계 그래프와 실험결과를 Fig. 13에 같이 나타내었다. 규준에 의한 상관관계 그래프를 작도할 때 KBC2009의 하중저항계수(ϕ)와 Eurocode 3에서의 재료감소계수(γ)는 모두 1을 적용하였으며 강재의 항복강도는 소재실험을 통해 얻은 값(478MPa)를 적용하였다. $M = P \times e$, 즉 $e = M/P$ 이므로 P-M 곡선에서 기울기(P/M)의 역수는 편심량과 동일하다. 본 연구에서는 동일한 편심이 작용한다는 가정하에 예상 하중을 산정하였으며 이를 실험결과와 비교하여 Table 7에 나타내었다.



(b) C25_65, E25_65

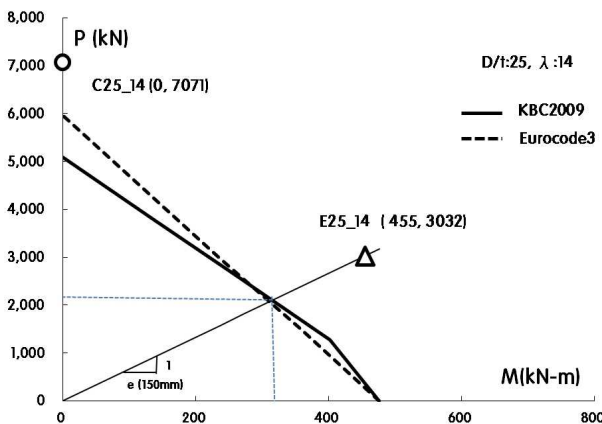


(c) E40_12



(d) E40_40

Fig.13 P-M Curve



(a) C25_14, E25_14

Table 7. Comparison of Maximum Load

실험체명	최대내력(kN)			1)/2)	1)/3)
	실험결과1)	KBC20092)	Eurocode-3 ³⁾		
C25_14	7071	5,088	5,956	1.39	1.19
E25_14	3032	2,067	2,067	1.47	1.47
C25_65	4917	3,412	4,066	1.44	1.21
E25_65	1612	1,507	1,507	1.07	1.07
E40_12	4440	3,417	3,475	1.30	1.28
E40_40	3600	2,907	2,907	1.24	1.24
Average				1.32	1.24
Standard Deviation				0.15	0.13

Fig. 13에 작도된 P-M관계에서 실선은 KBC2009설계식이며 점선은 Eurocode 3에 의해 산정된 내력이다. 순수 축력시 KBC2009는 Eurocode 3에 비해 다소 보수적으로 평가되고 있는데 이는 내력산정 시 좌굴에 의한 영향을 하향기준으로 적용하여 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.

현행 설계식과 실험결과를 비교한 결과 전반적으로 안전측 평가가 되고 있다. Fig. 14와 같이 KBC2009의 평균 1.32, 표준편차 0.15로 나타났으며, Eurocode 3의 경우 평균 1.24, 표준편차 0.13으로 비교적 안전측으로 평가 되었다. 따라서, HSB600 강종을 사용한 원형강관 기둥 설계 시 현행 기준을 그대로 적용할 수 있는 것으로 사료된다.

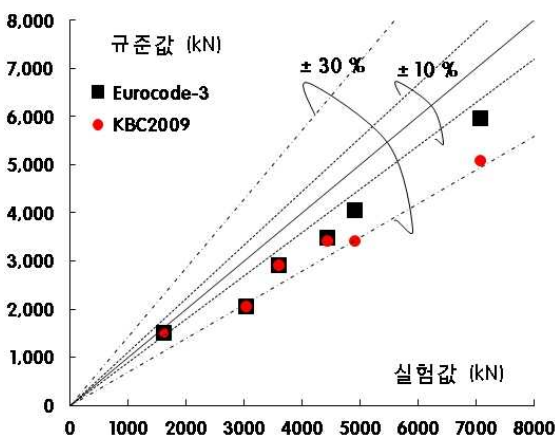


Fig. 14 Comparison of Code and Experiment Value

6. 결 론

본 연구에서는 HSB600 강재를 사용한 원형강관 기둥의 거동 및 내력을 분석하고 설계기준과의 적합성을 검증하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 인장시험 결과 일반강도의 응력-변형률 곡선과는 달리 명확한 항복구간이 나타나지 않는 특징이 있었으며 최대 인장강도의 평균치는 631MPa로 기준치인 600MPa 보다 상위한 결과로 평가 되었다.
- (2) 최대내력과 항복강도를 비교했을 때, 전체 실험체는 전반적으로 항복이후 약 17~25%이상 내력 발휘했을 때 최대내력에 도달하는 것으로 나타났다.
- (3) 실험결과와 현행 기준(KBC2009와 Eurocode 3)의 P-M 관계식을 비교한 결과 HSB600 강재의 P-M 관계에 대해서는 현 기준식을 그대로 적용할수 있는 것으로 사료된다.
- (4) KBC2009와 Eurocode 3에서는 적용 가능한 강재의 항복강도가 440MPa로 제한되어 있으므로 이에 대한 범

위가 완화될 여지가 있다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 2단계두뇌한국21 사업인 “초고층 건축물의 고효율 생산 및 방재기술 개발” (핵C6A2204)에 대한 지원으로 이루어졌으며, 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다(2010-0009896).

참고문헌(References)

- [1] 김종락, 김상섭, 이철호, 이은택, 백기열(2008) 600 MPa급(SM570 TMC) 강재의 소재 및 용접특성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제 6호, pp.773-781.
Kim, J.R., Kim, S.S., Lee, C.H., Lee, E.T., and Baek, K.Y. (2008) A Study on the Material Characteristics and the Welding Properties of 600MPa Grade Steel (SM 570 TMC), *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 20, No. 6, pp.773-781 (in Korean).
- [2] 이종관 윤태양 김기석 조재영(2007) 인장강도 600 MPa급 교량 맞춤형 고성능 강재 HSB600개발, RIST 연구논문, 제21권, 제4호, pp.287-291.
Lee, J.K., Yoon, T.Y., Kim, K.S., and Cho, J.Y. (2007) Development and Commercialization of High Performance Steel for Bridges (HSB600), *RIST Research Paper*, Vol. 21, No. 4, pp.287-291 (in Korean).
- [3] KS D 3868 (2007) 교량구조용 압연강재, 산업자원부 기술표준원.
KS D 3868 (2007) *Rolled Steel for Bridge Structures*, *Korea Agency for Technology and Standards* (in Korean).
- [4] 이명재(2008) SM570TMC강을 이용한 콘크리트충전 강관 합성기둥의 설계기준 항복강도, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제1호, pp.205-213.
Lee, M.J.(2008) The Specified Minimum Yield Stress of SM570TMC in CFT Composite Columns. *Journal of Korean Society of Steel Const- ruction*, Vol. 20, No. 1, pp.205-213 (in Korean).
- [5] 임성우, 김요숙, 장인화(2005) SM570 강재의 압축재 특성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제17권, 제3호, pp.357-363.
Lim, S.W., Kim, Y.S., and Chang I.H. (2005) A

- Study on the Characteristics of SM570TMC Plates in Compression Members, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 17, No. 3, pp. 357-363 (in Korean).
- [6] 윤석구, 배두병(2010) HSB600을 적용한 하이브리드 합성거더의 소성모멘트, *한국강구조학회논문집*, 한국강구조학회, 제22권, 제1호, pp.29-33.
Youn, S.G and Bae, D.B. (2010) Plastic Moment of Hybrid Cocomposite Girders Using HSB600, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 22, No. 1, pp.29-33 (in Korean).
- [7] 이철호, 한규홍, 박창희, 김진호, 이승은, 하태휴(2011) 국부좌굴을 고려한 고강도 조립 H형강 부재의 휨성능 실험, *한국강구조학회논문집*, 한국강구조학회, 제23권, 제4호, pp.417-428.
Lee, C.H., Han, K.H., Park, C.H., Kim, J.H., Lee, S.E., and Ha, T.H. (2011) Flexural Test of H-Shape Members Fabricated of High-Strength Steelwith Considering Local Buckling, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 23, No. 4, pp.417-428 (in Korean).
- [8] 조은영, 신동구(2011) HSB 강재적용 강합성 복합단면 거더 정모멘트부의 휨저항강도, *한국강구조학회논문집*, 한국강구조학회, 제23권, 제3호, pp.385-395.
Cho, E.Y. and Shin, D.K. (2011) Flexural Strength of Composite HSB Hybrid Girders in Positive Moment, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 23, No. 3, pp.385-395 (in Korean).
- [9] 조은영, 신동구(2012) HSB 강거더의 비탄성 횡 비틀림에 의한 휨강도- 세장부파판 단면, *한국강구조학회논문집*, 한국강구조학회, 제24권, 제2호, pp.217-231.
Cho, E.Y. and Shin, D.K. (2011) Flexural Strength of HSB Steel Girders Due to Inelastic Lateral-Torsional Buckling-Sections with Slender Web, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 24, No. 2, pp.217-231 (in Korean).
- [10] 대한건축학회(2009) 건축구조설계기준(KBC-2009). AIK (2009) Korean Building Code and Commentary, KBC-2009, Architectural Institute of Korea.
- [11] 한국강구조학회(2009) 강구조의 설계, 구미서관. KSSC (2009) Steel Structural Design, Korea Society of Steel Construction, Goomibook (in Korean).
- [12] Eurocode 3 (1992) Design of Steel Structures, Part1.1 : General Rules for Building, ENV 1993-1-1.
- [13] 김선희(2009) 고강도 원형CFT기둥의 구조거동, 공학석사학위 논문, 서울시립대학교.
Kim, S.H. (2009) Structural Behavior of High Strength Circular CFT Columns, Engineering M.S Dissertation, University of Seoul (in Korean).
- [14] 최영환(1995) 편심 축압력을 받는 콘크리트 충전 각형 강관 기둥의 거동에 관한 실험적 연구, 공학석사학위논문, 한양대학교.
Choi, Y.W. (1995) A Behavior of Steel Tubular Column Filled with Concrete under Eccentric Compressed Load, M.S Dissertation, HanYang University (in Korean).
- [15] KS B 0801 (2005) 금속재료 인장시험편, 산업자원부 기술표준원.
KS B 0801 (2007) *Test Pieces for Tensile test for Metallic Materials*, Korea Agency for Technology and Standards(in Korean).
- [16] KS B 0802 (2003) 금속재료 인장시험방법, 산업자원부 기술표준원.
KS B 0802 (2003) *Method of Tensile test for metallic Materials*, Korea Agency for Technology and Standards (in Korean).

요 약 : 본 논문은 HSB 강재를 보다 다양한 분야에 적용하기 위한 기본적인 연구로 HSB600 강재를 적용한 6개의 원형강관 기둥을 제작하여 구조적 특성을 고찰하고 현행 설계기준(KBC, Eurocode 3)의 적합성을 검토하였다. 실험의 주요변수는 세장비($KLe/r = 12, 14, 40, 65$), 지름두께비($D/t = 25, 40$), 편심비($e/D = 0, 0.5$)이다. 실험결과를 현행 규준식과 비교한 결과 압축강도와 보-기둥 강도 모두 안전측으로 평가되어 현행 규준을 HSB600 강재에 적용할 수 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : HSB600, 원형강관, 지름두께비, 세장비, 편심하중