

열연강판 팔각강관 버팀보의 초기편심과 축방향 압축강도

조재병^{1*}

¹교수, 경기대학교, 토목공학과

Initial Imperfection and Axial Strength of Struts with Octagonal Hollow Section fabricated from HR Plate

Jo, Jae Byung^{1*}

¹Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, Kyonggi, 433-760, KOREA

Abstract - Developed in this study were Octagonal-hollow-section(OHS) struts, whose compressive strengths against flexural and local buckling is higher than H-shape or rectangular-hollow-section(RHS) struts with the same unit weight. OHS members are also advantageous in handling and storing compared to circular hollow sections(CHS). OHS members were fabricated from HR Plates by cold forming and fillet welding. 5 numbers of 20m long OHS struts were assembled, each of which consist of two 9.6m long OHS member and two end connection elements made of cast iron. The compressive strength of the OHS strut was evaluated by comparing the test results, design codes and FEM analysis each other. Test results show that all of the struts have almost same or larger compressive strength than Korean Road Bridge Design Code(KRBDC) (2012). The initial imperfections can be estimated by using measured strains and are turned out to be less than $L/450$ for all the struts tested. The results of FEM analysis show that the variation of initial imperfection has less effects on the compressive strength for struts with vertical surcharge than for those with self-weight only, while the strength decreases as the initial imperfection increases. As the result of this study, the allowable initial imperfection for 20m long OHS struts is recommended to be less than $L/350$ on job sites.

Keywords - Strut, Octagonal-hollow-section(OHS), Initial imperfection, Compressive strength

1. 서론

최대형 구조물의 건설과 지하공간의 활용을 위한 대규모 굴착 공사에 압축력에 대한 저항능력이 뛰어난 버팀보가 요구된다. 현재 가설흙막이 공사용 버팀보로 H형강, 원형강관, 사각형강관 등이 사용되고 있다. 주로 많이 사용되어왔던 H형강은 조달이 용이하고, 설치 및 해체가 쉽지만, 단면의 특성상 강축에 비해 약축의 좌굴강도가 작은 단점이 있다.

원형강관은 폐단면 구조로 단면 임의의 축에 대해 휨강성

이 동일하며, 길이당 같은 중량의 H형강이나 사각형강관 보다 우수한 단면성능을 가지고 있다. 그러나 원형 단면은 쉽게 구를 수 있는 형상이므로 현장에서 운반, 설치, 해체 등의 작업을 할 때 조심해야 하며, 특히 여러 층으로 쌓아올려 보 관할 경우에는 강관 더미가 무너지지 않도록 췌기나 버팀목 등으로 지지해주어야 하는 등 작업성, 안전성, 사용성 측면에서는 다른 단면들에 비해 불리하다고 할 수 있다.

정사각강관(RHS)은 2축대칭 폐단면으로 H형강에 비해 단면 성능이 뛰어나지만, 원형강관에 비해 단면 성능이 떨어진다.

팔각강관은 2축대칭 폐단면구조로 단위 길이 당 중량이 같고, 판의 두께도 동일하게 한 경우, 사각형강관에 비하여 단면2차모멘트가 크다. 또한 단면 한 변의 길이가 작으므로 국부좌굴의 영향으로 강도 감소가 되지 않는 범위 내에서 더 얇은 판을 사용하여 단면 2차모멘트를 증가시킬 수 있으므로 버팀보의 압축강도를 높일 수 있는 장점이 있다. 현

Note.-Discussion open until August 31, 2015. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on February 17, 2014; revised June 6, 2014; approved on September 30, 2014.

Copyright © 2015 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-31-249-9722

E-mail. jbj@kyonggi.ac.kr

장 사용성 측면에서도 원형강관에 비하여 팔각강관은 편평한 면을 이루고 있으므로 설치, 해체, 운반, 자재 보관에 상대적으로 유리한 장점이 있다고 할 수 있다.

이 연구에서는 길이 20m, 용량 2000kN 이상이며 경제성과 사용성을 확보하도록 새로 개발한 팔각강관 버팀보^{[1], [2]}에 대해, 버팀보 재하 시험 결과를 설계기준 및 버팀보 초기편심의 크기를 고려한 유한요소해석 결과와 서로 비교하여 그 성능을 평가하였다. 특히 HR Plate^[3]를 냉간 절곡하여 제작한 팔각강관 버팀보의 실용화는 처음 시도되는 것이므로 이 연구에서는 다음과 같은 사항을 중점적으로 다루었다.

- 버팀보의 제작 및 설치 품질을 관리하기 위한 초기편심의 크기를 측정하는 방법 및 적합성
- 설계기준의 압축강도 대비 버팀보의 실제 강도의 크기
- 설계기준의 압축강도식을 사용하기 위해 요구되는 버팀보의 초기편심 허용값

축방향 압축력을 받는 각형강관에 대한 국내의 최근 연구로는 고성능강으로 조립한 각형강관의 적용성에 대한 논문^[4]과 탄소섬유로 보강하거나 또는 콘크리트충전 강관기둥에 대한 논문^{[5], [6]}이 있다.

2. 팔각강관 버팀보의 개발

2.1 단면 형상 및 버팀보 구성

단면의 치수는 국부좌굴이 발생하지 않도록 판의 두께와 단면 각 변의 치수를 정하였고, 여러 단면에 대해서 중량대비 강도의 값을 비교하여 최적의 단면을 선정하였다. 선정된 팔각강관의 단면 형상 및 치수는 Fig. 1과 같고, 단면 특성 값은 Table 1과 같다.

팔각강관의 제작은 경제성과 자재 구입의 편리성을 고려하여 HR Plate^[3]를 사용했다. 2개로 나누어진 각 단면은 선정된 치수로 절단 및 냉간 절곡한 후 두 단면을 20mm 겹치

도록 고정시키고, 겹친부분 외측에서 필릿용접(치수 6mm)하여 한 단면을 이루었다. 제작된 팔각 강관의 외형 치수 오차는 전체적으로 1mm 이내로 관리되었다.

팔각강관은 제작성과 운반 및 시공성 등을 고려하여 길이 9.6m로 제작하였으며, 팔각강관의 양단에는 머리판(Head Plate)을 필릿용접으로 접합하였다. 길이 20m의 버팀보는 Fig. 2와 같이 팔각강관 2개를 현장에서 볼트접합으로 맞대기 이음하고, 이 버팀보의 양 끝에 Fig. 3과 같이 띠장과 연결해주는 주철로 제작한 단부연결요소를 볼트로 접합시켜

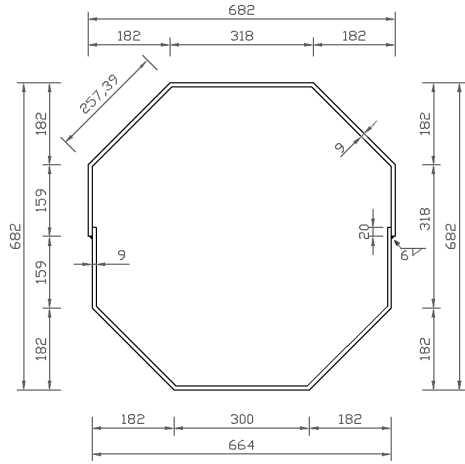


Fig. 1. Shape and sizes of OHS



Fig. 2. Splice of OHS at mid point



Fig. 3. End connection element

Table 1. Section properties of OHS

Unit Weight	$w = 162.00\text{kg/m}$
Section Area	$A = 20,643\text{mm}^2$
Moment of Inertia	$I_x = 1,249.64 \times 10^6\text{mm}^4$ $I_y = 1,266.12 \times 10^6\text{mm}^4$
Section Modulus	$Z_x = 3,644.6 \times 10^3\text{mm}^3$ $Z_y = 3,713.0 \times 10^3\text{mm}^3$

완성한다.

길이 9.6m로 제작된 팔각강관의 외형이 거의 직선을 이루고 있다고 하더라도 완성된 길이 20m의 버팀보는 양끝의 연결요소와 중앙의 연결부로 인해 초기편심이 있을 것으로 예상된다. 이 초기편심의 크기는 팔각강관의 제작오차 이외에도 판 두께의 불균일한 오차, 중앙 연결부 및 양단 연결요소의 편심량 등에 의해 영향을 받게되므로 직접 외형을 측정하여 구하기는 어려울 것으로 판단된다.

2.2 강재의 물성치

시험체 제작에 사용한 HR Plate는 SM400이다. 열연코일을 판재화하여 만든 HR Plate는 항복강도와 인장강도가 일반적으로 기준의 최소 규정강도보다 높은 경향이 있으므로 사용재료의 강도 차이로 인해 버팀보의 압축강도에 미치는 영향을 제거하기 위해 이 연구에서는 인장시험을 통해 얻은 물성치를 사용하였다. 인장시험편은 각 버팀보 시험체의 제작에 사용할 HR Plate에서 4개씩, 총 20개를 채취하였다. 인장시험편의 형상과 제원은 KS B 0801의 1호 시험편에 따랐으며, 시험체의 두께와 인장시험에서 얻은 항복강도와 인장강도의 평균값 및 표준편차는 Table 2와 같다. 버팀보의 압축강도 시험 결과와 설계기준 및 유한요소 해석에 따른 값과의 비교를 위해 무차원화가 필요한 경우 Table 2에서 제시하고 있는 시험결과의 평균값을 사용하였다.

Table 2. Tensile test results of HR plates

	Thk. (mm)	Yield Stress (MPa)	Tensile Stress (MPa)
Average	8.873	298.45	432.87
S.D.	0.078	9.05	8.87

3. 버팀보 압축강도 시험

3.1 시험 준비 및 하중 재하

이 연구에서는 버팀보의 특성과 시험체 설치 및 하중 재하의 편리성을 고려하여 시험체를 수평으로 설치하였다. 시험체의 양쪽 단부연결요소를 힌지에 연결시켰으며, 힌지와 힌지 사이의 거리는 20.42m이다. 이곳 힌지 위치에서 수직방향과 시험체의 축에 직각인 수평방향으로 변위를 구속하는 지점을 두었다.

시험체에 가해지는 횡방향 하중으로는 수직방향으로 작용하는 자중(1.62kN/m)과 상재하중(3.38kN/m)이 있다. 이 상재하중의 크기는 구조물 기초 설계 기준 해설^[7]의 제시에 따라 자중을 포함한 수직하중이 5kN/m가 되도록 정한 것이다. 시험체 5개 중 2개는 상재하중 없이 자중만 작용하였다. 나머지 3개는 자중과 상재하중이 등분포로 재하된 경우와 거의 동일한 휨모멘트와 처짐이 발생하도록 Fig. 4과 같이 시험체 위에 추가로 1개당 중량이 15kN인 강판 4개를 올려서 재하 하였다.

시험체의 축방향 압축력의 재하는 자중, 또는 자중과 상재하중이 작용하는 상태에서 시험체 한쪽 끝에 설치한 6000kN 용량의 유압잭을 이용하여 수행하였다. 유압잭이 고정된 프레임과 시험체 반대쪽 끝의 지점 프레임은 직경 100mm의 강봉 4개를 이용하여 서로 연결하여 시험체에 가해진 축방향 압축력을 지지하도록 하였다. 시험체 설치 후의 전경은 Fig. 5와 같다.

시험이 진행되는 동안 하중계(Load Cell), 변위측정기(LVDT), 변형률게이지를 통하여 축방향 압축력, 변형량 및 변형률의 값을 측정하였다. 하중계는 유압잭과 시험체 사이에 연결했으며, 변위측정기는 구조시험체의 길이방향 변위 측정을 위해 시험체의 양 끝에 각 2개씩 4개와 수직방향 변위를 측정하기 위해 시험체의 길이를 따라 수직방향으로 5개, 수평방향으로 3개 총 12개를 설치하였다. 변형률게이지는 구조시험체 길이 방향으로 8곳의 단면을 선정하여, 그 중 6곳의 단면에는 각 단면 당 4개소, 2곳의 단면에는 각 단면 당 2개소 총 28개소에 부착하였다.

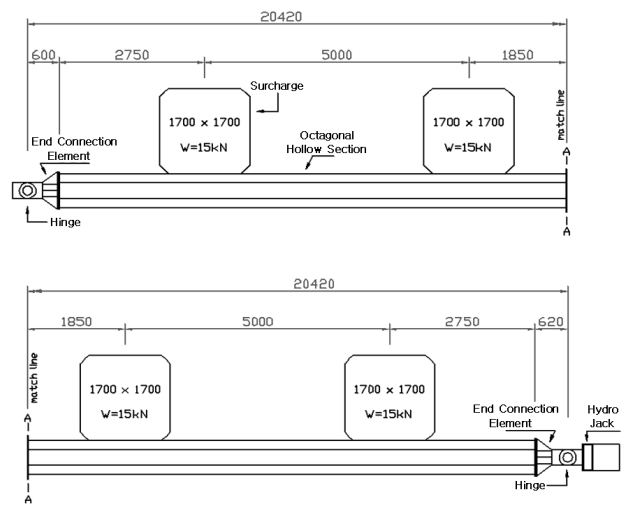


Fig. 4. Test specimen with surcharge



Fig. 5. Set up of test frame and specimen

3.2 압축강도

축방향 하중이 증가함에 따라 버팀보의 중앙부 변위는 일정 하중까지는 거의 비례로 증가하였으며, 국부적인 변형은 보이지 않았다. 축방향 하중이 최종 도달할 수 있는 최대값에 가까워지면서 버팀보의 변위는 비선형적으로 크게 증가하였으며, 최대값에 도달한 직후에는 버팀보 중앙부의 상부 강판이 면외 방향으로 이미 상당히 크게 변형된 것이 관찰되었다. Fig. 6는 최대 축방향 하중 도달 직후의 변형된 상태를 보여주고 있다.

시험체 별 재하시킨 횡하중의 종류와 최대 축방향 하중의 크기를 정리하면 Table 3과 같다.



Fig. 6. Deformed shape after load peak

Table 3. Compressive strength of struts

Strut No.	Load	$P_{max,tst}$ ¹⁾	\bar{f}_{tst} ²⁾
OT-1	Self Weigt	3332kN	0.549
OT-2	+ Axial Load	4040kN	0.665
OT-3	Self Weigt	2788kN	0.459
OT-4	+ Surcharge	2842kN	0.468
OT-5	+ Axial Load	2940kN	0.484

¹⁾ $P_{max,tst}$: maximum axial load in the test

²⁾ $\bar{f}_{tst} = \frac{P_{max,tst}}{A \times f_y}$

A : sectional area of strut, f_y : yield strength

3.3 버팀보의 초기편심

변형량 측정기(LVDT)를 이용하여 측정한 변위 값은 상재 하중을 재하하기 직전의 위치를 기준으로 변화된 크기를 측정하는 값이므로 시험체의 제작 및 설치 오차와 자중에 의한 변형량의 크기는 파악할 수 없다. 따라서 축방향 작용시에 측정하는 변형률 값으로부터 다음과 같이 시험체의 중심축 편심 거리를 추정하였다.

편심 축하중이 작용할 때 단면의 수직응력의 크기가 선형으로 분포하는 탄성거동을 가정하면, 단면 중심의 편심량(축방향하중의 작용선으로부터 단면의 중심까지의 거리)은 단면 하연단과 상연단의 변형률 값을 이용하여 다음 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$e = -\frac{2(\epsilon_1 - \epsilon_2) I}{(z_1 + z_2)(\epsilon_1 + \epsilon_2) A} \quad (1)$$

여기서, z_1, z_2 : 중립축에서 하연단, 상연단까지 거리

(절대값 사용)

ϵ_1, ϵ_2 : 하연단, 상연단의 변형률

(부호는 인장(+), 압축(-) 적용)

버팀보 중앙점에 대해서 위의 식 (1)에 시험에서 측정한 변형률 값(횡방향하중 재하 이후 축방향하중 작용으로 인한 변형률 증가량)을 적용하면 단면 중심의 편심량을 구할 수 있다. 이렇게 구한 편심량을 LVDT로 측정한 변위 값과 함께 축방향 하중의 증가에 따라 그래프로 나타내면 Fig. 7, Fig. 8과 같다.

변형률을 이용하여 구한 편심량과 LVDT에 의한 변위 값은 축방향 하중이 1000kN을 초과하여 좌굴하중에 접근하는 범위에서는 대체적으로 서로 일정한 차이를 유지하면서 거의 비슷하게 형태로 변화하는 것을 보여주고 있다. 축방향 하중의 크기가 작은 재하 초기 구간에서의 변형률에 의한 편심량은 축하중의 증가에 따라 불규칙하게 변한다. 이것은 축방향하중 작용 전부터 시험체 양 끝의 지점부 연결요소들 사이와 중앙 연결부 요소들 사이에 있었던 유격이 축방향 하중의 증가에 따라서 부분적으로 제거되면서 측정하는 변형률 값에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 추정된다. 축하중이 1150 ~ 1200kN부근에서 모든 경우에 대체적으로 가장 안정된 상태가 되며, 그 이후에는 하중 증가에 따라 편심량이 서서히 증가하고, 축하중이 좌굴하중에 접근하면서 급격하게 증가

하는 것으로 나타났다. 축방향하중이 1000kN을 초과하면 큰 압축력으로 인해 요소 사이의 유격이 거의 사라지진 안정된 상태를 이루며, 축방향하중이 좌굴하중에 가까워지면 강판이 국부적으로 면외방향 변형을 일으키기 때문에 측정된 변위 값과의 차이가 다시 커졌을 것으로 판단된다.

축하중 1150~1200kN에서는 변형률로 추정된 편심량이 안정된 상태를 보여주고 있고, LVDT로 측정한 변위 값이 축하중 1200kN까지 매우 작은 것으로 나타났으므로, 축하중 1150~1200kN 범위의 안정된 상태에서 측정한 변형률과 식 (1)을 이용하여 구한 편심량의 크기를 초기편심으로 사용할 수 있다고 판단된다. 각 시험체별, 각 위치별 변형률 측정

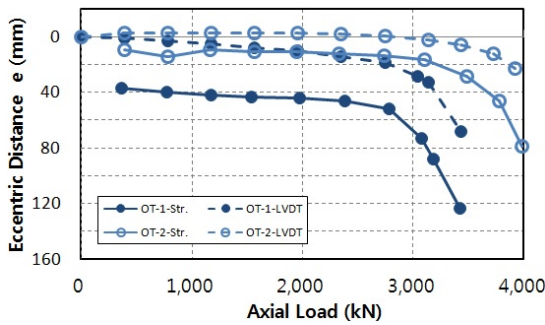


Fig. 7. Eccentric distance and displacement(for q=1.62kN/m)

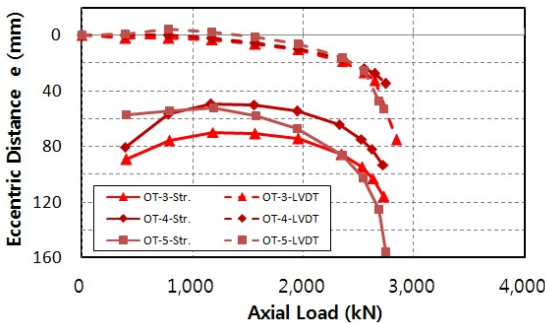


Fig. 8. Eccentric distance and displacement(for q=5.0kN/m)

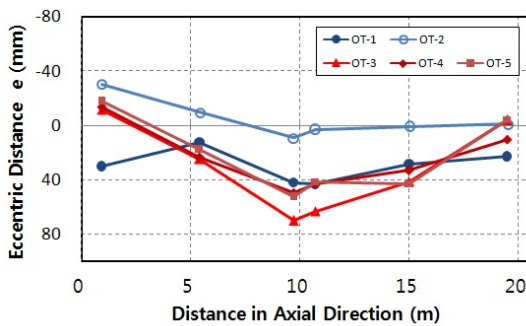


Fig. 9. Eccentric distances

값으로부터 구한 초기편심을 그래프로 나타내면 Fig. 9과 같다.

상재하중을 재하하지 않은 경우 시험체 OT-1은 축방향 하중이 전체적으로 단면의 중심보다 높게 작용하고 있는 데 반해, 시험체 OT-2는 단면의 중심부에 가깝게 작용하는 것으로 나타났다. 상재하중을 재하한 시험체의 경우는 각 위치에서의 단면의 편심량이 모두 거의 비슷한 것으로 나타났다.

이 연구에서는 상재하중 없이 버팀보가 설치된 상태(버팀보의 제작 오차뿐 아니라 설치 오차와 자중에 의한 변형 포함)를 기준으로 하였다. 즉 시험체 OT-3, 4, 5의 경우에는 측정된 변형률로부터 계산한 편심량에서 상재하중으로 인한 처짐량을 차감한 값을 사용하였다. 각 시험체 별로 추정된 초기편심의 크기는 Table 4와 같다.

Table 4. Deviation of centroid of section

No.	Δ^1 (mm)			Δ_{mid} / L^2
	left	mid	right	
OT-1	30.1	43.3	23.0	1/472
OT-2	-30.5	9.2	-1.1	1/2220
OT-3	-15.7	40.0	-8.2	1/510
OT-4	-17.7	19.6	6.1	1/1042
OT-5	-22.3	22.4	-8.5	1/912

¹⁾ initial eccentric distance

²⁾ initial eccentric distance at mid point divided by length of strut, $L=20240\text{mm}$

4. 분석 및 고찰

4.1 유한요소 해석

유한요소 해석은 범용구조해석 프로그램인 STRAND7 (Ver. Release 2.4.4)을 사용하였으며, 재료의 비선형과 기하학적 비선형을 고려한 변위제어 해석을 하였다.

실제 버팀보의 압축강도 시험과 같은 조건으로 해석을 수행하기 위하여 버팀보는 쉘요소로 구성하였으며, 버팀보를 구성하는 요소 1개의 최대 크기는 충분한 정도의 안정된 결과를 얻을 수 있도록 53mm×50mm로 하였고, 전체 해석모델은 총 18,400개의 쉘요소를 사용하여 구성하였다. 모델 양단에는 강성이 큰 Beam요소를 부착하여 단면 전체에 가능한 한 균일한 압축응력이 전달되도록 하였다. 버팀보 양단의 단면 중심에 힌지가 있는 단순지지된 지점으로 가정하였

고, 한쪽 지점에서 버팀보 축방향 변위를 증가시키는 방식으로 하중을 재하하는 해석을 수행하였다.

재료 비선형해석에 사용한 응력-변형률 곡선은 완전탄성-완전소성으로 하였고, Von-Mises의 항복 기준을 적용하였다.

해석 모델의 초기편심은 고유치 해석을 하여 얻은 1차 좌굴모드의 형상과 닮은꼴로 고려하였고, 자중으로 인한 변형량을 포함한 시험체 중앙부에서의 초기편심, Δ_{mid} 값은 $L/250 \sim L/2500$ 범위의 값으로 하였다.

시험체 제작과정에 발생할 수 있는 강판 절곡과 용접에 의한 물성치 변화 및 잔류응력, 지점부의 하중 편심재하 등은 고려하지 않았다.

횡방향 하중으로 자중만 작용하는 경우와 자중과 상재하중이 동시에 작용하는 경우에 대한 해석 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Compressive strength according to FEM analysis(kN)

Transverse Load	Initial imperfection			
	L/267	L/482	L/710	L/2444
1.62kN/m	3234	3651	3921	4576
5.00kN/m	2588	2878	3068	3339

4.2 압축강도의 비교

허용응력설계법에 의한 도로교설계기준(2010)^[8]의 압축부재의 내하력 곡선은 Eurocode No. 3^{[9],[10]}의 내하력 곡선과, 그리고 하중저항계수설계법에 의한 도로교설계기준(2012)^[11]의 내하력 곡선은 강구조설계기준(2009)^[12], AISC(2010)^[13] 및 AASHTO(2007)^[14]의 내하력 곡선과 거의 일치^[2]한다.

여기서는 도로교설계기준(2012)과 도로교설계기준(2010)의 내하력 곡선과 유한요소 해석결과, 그리고 버팀보에 대한 압축시험에서 얻은 압축강도를 비교하였다. Fig. 10과 Fig. 11은 각각 버팀보에 횡방향 하중으로 자중만 작용하는 경우와 자중과 상재하중이 동시에 작용하는 경우에 대해 설계기준에 따른 내하력곡선과 유한요소 해석 결과 및 시험결과를 $\bar{f} - \bar{\lambda}$ 평면에 나타낸 것이다. 여기서 세로축, \bar{f} 는 버팀보의 압축강도(시험 결과의 경우 하중계로 측정한 최대 축방향 하중)를 단면적과 항복응력으로 나누어 무차원화 한 압축강도이고, 가로축, $\bar{\lambda}$ 는 다음 식 (2)와 같이 버팀보의 세장비를 탄성좌굴응력과 강재의 항복강도가 동일할 때의 세장

비로 나눈 세장변수이다.

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \frac{L}{r} \tag{2}$$

여기서, E, f_y : 강재의 탄성계수와 항복강도

L : 버팀보의 유효좌굴길이

r : 버팀보 단면의 회전반경

도로교설계기준(2012)의 내하력 곡선은 도로교설계기준(2010)의 경우보다 더 큰 값을 보인다. 초기편심 $L/350$ 을 고려한 해석 결과는 도로교설계기준(2012)의 내하력에 비하여, 횡하중으로 자중만 작용하는 경우에는 거의 동일하나 상재하중이 작용하는 경우에는 조금 더 큰 값으로 나타났다.

횡하중으로 자중만 작용한 버팀보 OT-1과 OT-2의 내하력은 도로교설계기준(2012)에 따른 값의 99%, 120%이며, 상재하중을 재하시킨 버팀보 OT-3, 4, 5는 각각 108%, 110%, 114%로 나타났다.

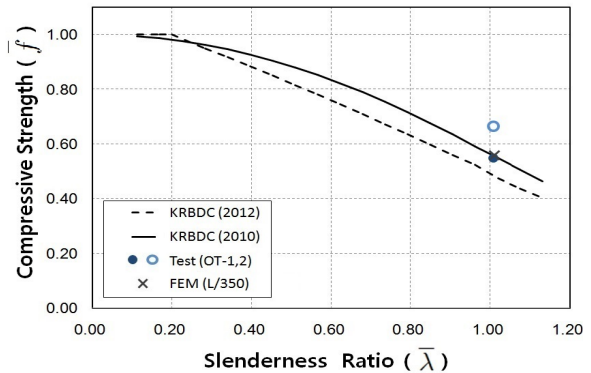


Fig. 10. Compressive strength of struts($q=1.62\text{kN/m}$)

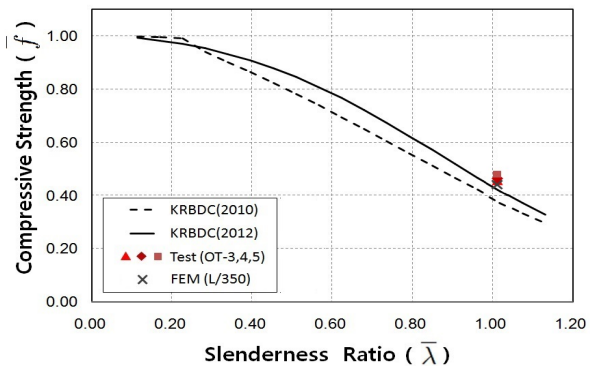


Fig. 11. Compressive strength of struts($q=5.0\text{kN/m}$)

4.3 고찰

시험결과와 유한요소 해석 결과로 부터 무차원화 한 압축 강도, \bar{f} 와 버팀보의 초기편심(중앙에서 자중으로 인한 변형량을 포함한 편심거리를 버팀보의 길이로 나눈 값), Δ_{mid}/L 을 그림으로 나타내면 Fig. 12와 같다.

횡방향 하중으로 자중만 작용한 경우에는 초기편심이 $L/472$ 에서 $L/2220$ 로 작아짐에 따라 내하력이 21.3% 증가하였으며, 횡방향 하중으로 자중 외에 상재하중을 재하시킨 시험체의 경우에는 중심축 오차가 $L/510$ 에서 $L/1042$ 와 $L/912$ 로 작아짐에 따라 내하력은 각각 1.9%, 5.5% 증가한 것으로 나타났다. 이것은 횡방향하중이 증가함에 따라 중심축 오차의 변화에 따른 내하력의 증감 효과가 상대적으로 작아지는 것을 보여주고 있다.

유한요소 해석 결과는 전체적으로 시험 값보다 더 높게 나왔으며, 횡하중으로 자중만 작용한 경우 더 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 유한요소 해석모델에 강판과 버팀보 제작 과정에 발생한 잔류응력과 판의 국부적인 두께 변화 및 면외 변형, 지점부 및 중앙 이음부의 오차 등 압축부재의 내하력을 감소시킬 수도 있는 요인을 반영하지 못했기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 중심축의 오차가 증가함에 따라 압축강도가 감소하며, 상재하중을 재하한 경우 자중만 재하한 경우에 비해 중심축 오차의 변화에 따른 내하력의 증감 효과가 감소하는 경향은 시험결과와 유사한 것으로 나타났다.

해석에 의한 초기편심의 변화에 따른 압축강도 곡선의 기울기가 실제 버팀보의 압축강도에 대해서도 유효하다고 가정하고, 이 기울기를 적용하여 상재하중을 재하한 시험체의 압축강도 점을 지나는 강도곡선을 연장하면 대략 초기편심 $L/350$ 에서 도로교설계기준(2012)의 값에 접근하게 된다. 따라서 현장에서 자중을 포함한 가설된 상태에서 중앙부 초

기편심의 크기를 $L/350$ 이하로 관리한다면 상재하중이 재하된 상태에 대해 도로교설계기준(2012)의 내하력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

- (1) HR Plate를 냉간 절곡하고 필릿용접하여 제작한 팔각강관과 지점 연결요소 등으로 구성된 길이 20m의 버팀보는, 상재하중을 재하한 모든 시험체(OT-3, OT-4, OT-5)의 경우, 축방향 압축강도가 인장시험의 강재 항복강도를 사용하여도로교설계기준(2012)에 따라 구한 축방향 압축강도에 비해 높은 것으로 나타났다.
- (2) 횡방향 하중으로 자중만 작용한 경우, 상대적으로 초기편심이 큰 OT-1은 거의 설계기준의 강도와 동일한 수준(설계기준 강도의 약99%)에, 초기편심이 작은 OT-2는 설계기준의 강도를 초과하는 것으로 나타났다.
- (3) 버팀보의 초기편심은 측정된 변형률 값을 이용하여 추정할 수 있으며, 이 연구의 모든 버팀보 시험체의 초기편심은 $L/450$ 보다 작은 것으로 나타났다.
- (4) 유한요소 해석결과 초기편심이 작아짐에 따라 축방향압축강도는 증가하는 경향을 보이며, 횡하중으로 상재하중이 작용하는 경우는 자중만 작용하는 경우에 비해 초기편심의 변화에 따른 축방향 압축강도의 증감 효과는 상대적으로 작아지는 것으로 나타났다. 시험 결과도 비슷한 경향을 보여주고 있다.
- (5) 팔각강관 버팀보는 가설된 상태(자중 포함)에서 중앙부 초기편심의 크기를 $L/350$ 이하로 관리한다면 도로교설계기준(2012)에 따른 축방향 압축강도 이상을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

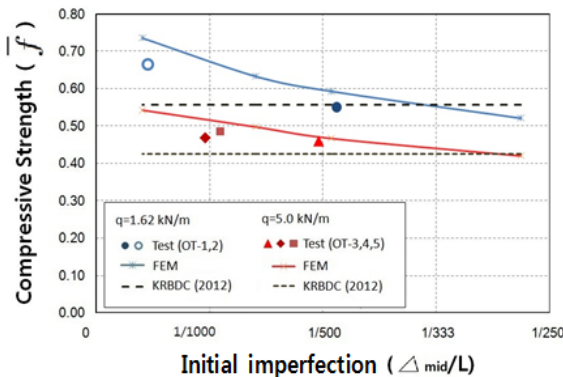


Fig. 12. Compressive strength of struts

참고문헌(References)

- [1] 김영학(2012) 팔각형강관을 사용한 장경간 버팀보의 역학적 거동과 강도, 석사학위논문, 경기대학교.
Kim, Y.H. (2012) *Mechanical Behavior and Strength of Long Span Strut with Octagonal Hollow Section*, M.S. Thesis, Kyonggi University, Korea (in Korean).
- [2] 국토교통과학기술진흥원(2013) 강관버팀보의 좌굴성능 개선 및 실용화 연구, 건설교통 R&D 정책인프라사업 최종 보고서.

- R&D/11TRPI-C057350-01 (2013) *Study on the improvements of buckling strength and practical application of steel tube struts* (in Korean).
- [3] 조재병, 정경섭, 이성행(2005) HR Plate의 교량 적용 가이드 개발, 최종보고서, 연구보고서, 한국강구조학회.
Jo, J.B., Jung, K.S., and Lee, S.H. (2005) *Development of Guideline for the application of HR Plate to Steel Bridges: The Final Report*, Research Report, KSSC, Korea (in Korean).
- [4] 유정환, 김주우, 양재근, 강주원, 이동우(2013) 국부좌굴을 고려한 건축구조용 고성능강(HSA800) 조립각형강관 압축재의 적용성 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제3호, pp.223-231.
Yoo, J.H., Kim, J.W., Yang, J.G., Kang, J.W., and Lee, D.W. (2013) Evaluation on Applicability of Built-up Square Tubular Compression Members Fabricated with HSA800 High Performance Steel Considering Local Bucklings, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.3, pp.223-231 (in Korean).
- [5] 박재우, 최선규, 유정환(2013) 탄소섬유시트(CFRP Sheets)로 보강된 장주 각형강관기둥의 중심축하중거동, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제3호, pp.299-305.
Park, J.W., Choi, S.K., and Yoo, J.H. (2013) Behavior of Long Square Hollow Section Columns Retrofitted using Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets(CFRP Sheets) Subjected to Concentrated Axial Loading, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.3, pp.299-305 (in Korean).
- [6] 이철호, 강기용, 김성용, 구철회(2013) 각형 콘크리트충진 강관기둥 부재의 구조설계기준 비교연구, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제4호, pp.389-398.
- Lee, C.H., Kang, K.Y., Kim, S.Y., and Koo, C.H. (2013) Review of Structural Design Provisions of Rectangular Concrete Filled Tubular Columns, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.4, pp.389-398 (in Korean).
- [7] 한국지반공학회(2009) 구조물 기초 설계기준 해설.
KGS(2009) *Design Standard and Commentary of Structure Foundations*, Korean Geotechnical Society, Korea (in Korean).
- [8] 도로교설계기준(2010) 한국도로교통협회.
KRBDC(2010) *Korean Road Bridge Design Code*, Korea Road & Transportation Association, Korea (in Korean).
- [9] EN1993-1-1(2005) *Eurocode No.3: Design of Steel Structures - Part 1.1: General rules and rules for buildings*, European Committee for Standardization, Brussels.
- [10] EN1993-1-5(2006) *Eurocode No.3: Design of Steel Structures - Part 1.5: Plated structural elements*, European Committee for Standardization, Brussels.
- [11] 도로교설계기준(한계상태설계법)(2012) 한국도로교통협회.
KRBDC (2012) *Korean Road Bridge Design Code (LRFD)*, Korea Road & Transportation Association, Korea (in Korean).
- [12] 한국강구조학회(2009) 하중저항계수설계법에 의한 강구조설계기준.
KSSC (2009) *Korean Steel Structure Design Code - Load and Resistance Factored Design*, KSSC, Korea (in Korean).
- [13] AISC (2010) *Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, USA.
- [14] AASHTO (2007) *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA.

요 약 : 대형 구조물의 건설과 지하공간의 활용을 위한 대규모 굴착 공사에 축방향 압축력에 대한 저항능력이 뛰어난 버팀보가 요구된다. 팔각형강관은 2축대칭 폐단면구조로 단위 길이 당 중량이 같은 경우 사각형강관에 비하여 단면2차모멘트가 크고 판의 폭-두께비는 작아 휨좌굴 및 국부좌굴에 대한 압축강도가 더 크다. 또한, 원형강관에 비하여 실제 시공단계에서 버팀보의 설치, 해체, 운반 및 적재 시 유리한 장점이 있다. 이 연구에서는 길이 9.6m의 팔각형강관 2개를 현장에서 볼트로 맞대기 이음하고, 양 끝에 주철로 제작한 지점연결요소를 볼트로 접합시킨 길이 20m의 팔각강관 버팀보에 대해 설계기준, 중심축의 초기편심에 따른 유한요소해석 결과, 그리고 버팀보 재하 시험에서 얻은 결과를 서로 비교하고, 버팀보의 성능을 평가하였다. 시험 결과, 모든 버팀보 시험체의 축방향 압축강도는 도로교설계기준(2012)에 따른 값과 거의 동일하거나 그 이상인 것으로 나타났다. 초기편심은 측정된 변형률 값을 이용하여 추정할 수 있으며, 모든 버팀보 시험체의 경우 L/450 이하인 것으로 나타났다. 초기편심이 증가하면 버팀보의 압축강도는 감소하며, 횡방향하중으로 상재하중이 재하된 버팀보는 자중만 작용하는 경우에 비하여 초기편심의 증가로 인한 영향이 작은 것으로 나타났다. 이 연구 결과, 제작 및 설치에 의해 발생하는 오차와 자중에 의한 처짐을 고려한 초기편심을 L/350 이하로 관리하면 도로교설계기준(2012)의 압축강도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 버팀보, 팔각강관, 축방향 압축강도, 초기편심