

단면 세장판요소에 따른 합성기둥의 편심압축실험 평가

박용필¹ · 김선희² · 염경수³ · 최성모^{4*}

¹박사과정, 서울시립대학교, 건축공학과, ²부소장, (주)엑트파트너, 신공법연구소,
³대표, (주)하모니구조엔지니어링, ⁴교수, 서울시립대학교, 건축학부

Evaluation of Eccentric Axial Load Test of Concrete Filled Tube Columns According to Factor of Thin-Walled Section

Park, Yong Pil¹, Kim, Sun Hee², Yom, Kyong Soo³, Choi, Sung Mo^{4*}

¹Ph.D. Course Student, Dept. of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 02504, Korea

²Vice Project Manager, ACT Partner, University of Seoul, Seoul, 02504, Korea

³CEO, Harmony Structural Engineering, Seoul, 08378, Korea

⁴Professor, Dept. of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 02504, Korea

Abstract - We loaded moments and axial loads about each 9 CFT specimens from welded plates of which thickness are differ. As a result, compared to maximum loads of normal CFT columns, that of Specimens were measured higher than 38 % in compact, 20 % in non-compact and 30 % in slender sections. All the effective stiffness is suggested to be calculated the same, but experiment result about each specimen was different at least 10 % according to the type of section. Therefore, it must be classified the effective stiffness of column member by the width-to-thickness ratio to calculate of the compressive strength and flexural rigidity.

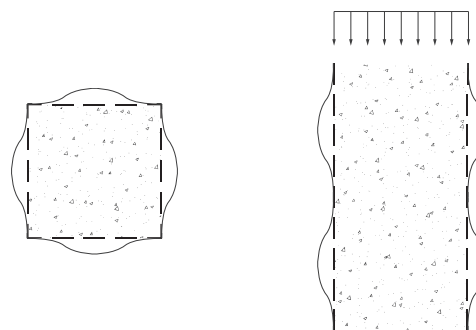
Keywords - CFT columns, Eccentric axial load test, Compact section, Non-compact section, Slender section

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

콘크리트가 충전된 합성기둥이 압축력이나 휨을 받을 때, 외부 강재 요소의 국부적 변형은 Fig. 1과 같이 나타나며 강관기둥의 거동과 다르다. 충전된 콘크리트가 강재의 내부 변형을 방지함으로써 강재의 좌굴길이 짧아지며, 강관기둥보다 구조성능(강성, 강도, 연성)이 우수하다. 이때 강재의 단면적이 감소할수록, 콘크리트의 기여도는 증가한다. 이러한 특징은 각형 강관의 탄성 플레이트 좌굴식의 플레이트 좌굴계수가 강관의 경우보다 충전형 합성단면에서 크게 나

타나기 때문에, 좌굴응력이 향상되어 나타난다^{[1]-[3]}. 따라서 한국건축기준(KBC 2016)에서는 콘크리트가 충전된 합성기둥에 대해 강재의 좌굴응력을 고려하여 판폭계비에 따라 단면을 구분하고 있으며, 압축강도식을 다르게 적용하고 있다^{[4]-[10]}. 본 연구에서는 대상으로 하는 용접조립 합성기둥을 실무에 적용하기에 앞서, 판폭계비에 따른 압축성능평가를 수행하고 그 실험결과를 분석하여 판폭계비 산정 방법을 제안할 것이다.



(a) Cross-sectional direction (b) Longitudinal direction

Fig. 1. The buckling mode of steel element of CFT Column

Note.-Discussion open until October 30, 2020. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on May 29, 2019; revised March 16, 2020; approved on March 20, 2020.

Copyright © 2020 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-31-460-0560 Fax. +82-31-462-8205

E-mail. smc@uos.ac.kr

판폭두께비는 전체 폭에 대해 모서리 강재와 후판의 평균 두께를 사용하는 방법과 전체 폭에 대해 후판의 두께를 사용하는 방법의 두 가지 방법을 선정하여 비교 평가하였다. 또한, 조밀단면, 비조밀단면, 세장단면 세 그룹으로 구분하여 편심압축실험을 수행하였으며, 내부 리브가 없는 일반적인 콘크리트 충전형 기둥(concrete filled steel tube, 이하 CFT)과 성능 비교를 통해 설계식에 의한 압축성능을 평가하였다.

1.2 합성기둥 형상

충전형 합성기둥의 폭두께비는 설계압축강도, 설계휨강도뿐 아니라 상관관계에도 영향을 미친다. 따라서 폭두께비를 결정하는 것은 충전형 합성기둥의 구조성능에 중요한 변수이다. 대상 기둥은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 내부로 돌출된 리브를 갖는 모서리 강재를 사방으로 넓히고, 모서리 강재 사이에 후판을 끼워 넣어 기둥 단면을 확장한 형상이다.

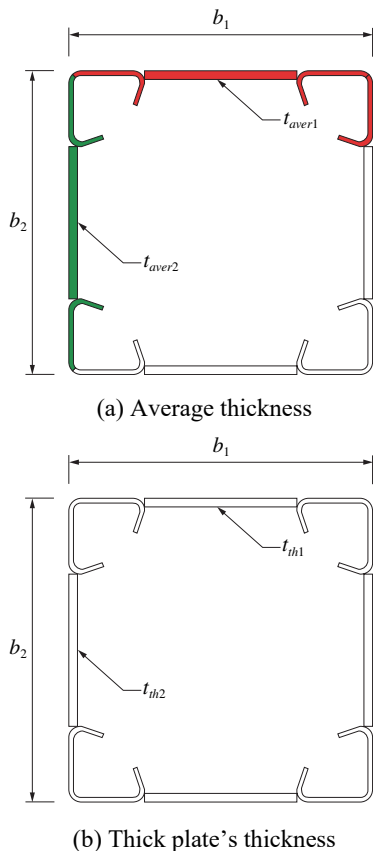


Fig. 2. The calculating method for width to thickness ratio

형성한 단면의 압축강도를 산정하기 위해서는 폭두께비를 결정하여야 한다. 기둥의 폭두께비는 강재의 평균 두께를

사용하는 방법과 후판의 두께를 사용하는 방법으로 산정할 수 있다. 강재의 평균 두께를 사용하는 방법은 Fig. 2(a)에 나타낸 바와 같이 모서리강재 하나와 후판 하나의 두께를 폭(b_1)으로 나눈 평균 두께를 사용하는 방법이다. 후판 두께를 사용하는 방법은 Fig. 2(b)와 같이 폭(b_1)에 대해 후판의 두께(t_{th1})를 사용하는 방법이다. 이렇게 후판의 두께를 사용하는 것은 양단부의 모서리 강재가 상대적으로 두께는 작으나, 내부로 돌출된 리브의 효과로 인해 단면 성능이 향상된 것을 고려한 것이다.

2. 구조실험

기둥의 경우 중앙부 후판의 두께를 좌·우 모서리강재와 상이하게 적용할 수 있으므로 기존의 평판을 모서리에서 용접하는 일반 CFT 기둥보다 단면의 효율성을 높일 수 있다. 그러므로 콘크리트가 내부에 충전된 합성메가기둥의 구조성능을 평가하기 위해서는 폭두께비를 우선 결정하여야 한다. 따라서 기둥의 두 가지 폭두께비 방법의 적절성을 평가하기 위해 압축실험을 수행하였다.

2.1 계획 및 경계조건

실험체는 가력장비인 10,000 kN 용량의 UTM을 고려하여 단면크기 500 mm × 500 mm, 길이는 1,750 mm로 계획하였다. 실험체의 변수는 실험 목적에 맞게 폭두께비에 따라 조밀단면, 비조밀 단면, 세장단면 세 그룹으로 구분하였으며, 기둥의 평균두께를 반영한 기존의 일반 CFT 기둥을 비교군으로 계획하였다. 따라서 평균두께를 고려한 조밀단면은 10.5 mm이고, 기둥은 모서리강재 7 mm, 후판 14 mm를 적용하였으며, 일반 CFT 기둥은 10.5 mm의 두께를 사용하였다.

비조밀단면의 경우 용접조립 기둥은 5 mm와 10 mm 두께의 강판을 사용하였으며, 일반 CFT 기둥은 7.5 mm의 두께를 적용하였다. 세장단면의 경우 용접조립 기둥은 3.2 mm, 7 mm이고, 일반 CFT 기둥은 5.1 mm이다. 또한, 용접조립 기둥 단면 내부의 바인딩 프레임은 기둥 폭과 동일 간격으로 배치한 실험체와 1.5배의 간격으로 배치한 실험체로 구분하였으며, 하중 가력 시 편심하중은 기둥 폭의 0.25배, 0.5배로 구분하였다. 실험체에 사용한 강재는 조밀단면 실험체는 SM490A를 사용하였으나, 비조밀단면과 세장단면 실험체는 사용 강판의 두께가 얇으므로 SS400 강재를 사용하였

다. 내부에 충전된 콘크리트의 설계 강도(f_{ck})는 24 MPa를 적용하였다. 실험체 상세를 Fig. 3에 나타내었으며 실험체 일람을 Table 1에 정리하였다.

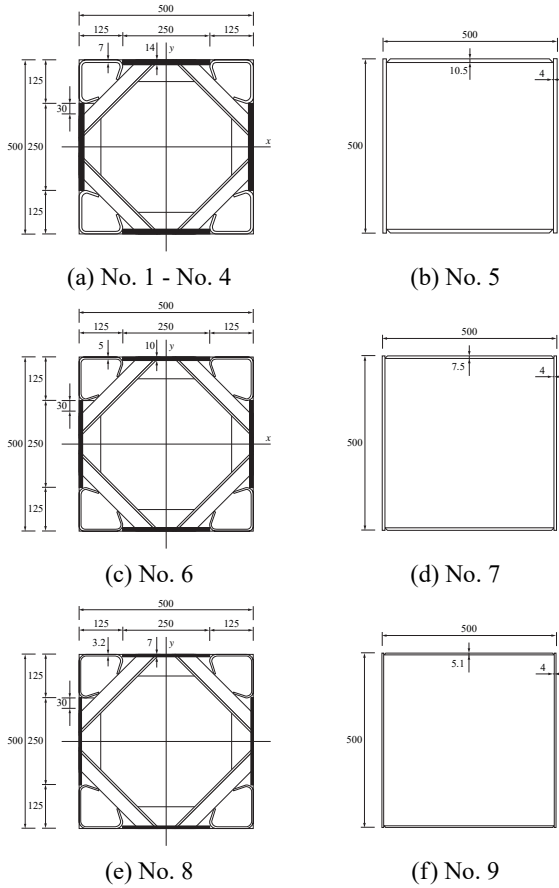


Fig. 3. The cross section of specimens

편심 가력은 포스코 글로벌 R&D센터 강구조실험동의 10,000 kN의 UTM을 사용하였으며, 압축력과 휨의 상관 관계를 파악하기 위해 0.25D, 0.5D만큼 편심을 주어 단조 가력하였다. 가력 속도는 0.05 mm/s의 속도를 유지하였다. 실험체의 세팅도와 실험 전경을 Fig. 4에 나타내었다. 각 실험체에는 수직 방향 2개, 수평 방향 1개로 총 3개의 변위계 (LVDT)를 설치하여 기둥의 압축 변위와 인장 변위, 인장부의 횡변위를 측정하였다. 실험체 각 단면 요소의 변형률은 변형률 게이지를 외부 강판 면에 14개를 설치하여 축 방향과 횡 방향의 강제 변형률을 측정하였다. 또한, 실험체 내부에 설치된 바인딩 프레임의 사재와 중앙부재에 각 2개씩 부착하여 총 8개의 위치에서 변형률을 측정하였다. 각 실험체의 변형률 게이지 부착 위치는 Fig. 5에 나타내었다.

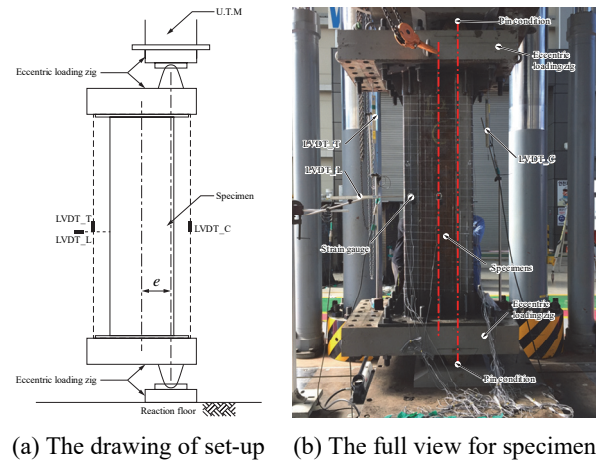


Fig. 4. The set-up for specimen

Table 1. The specification of specimens

| No. | Specimens | Cross section of steel | | | | Filled | Eccentric | Distance of B.F | Steel grade | |
|-----|----------------------|------------------------|---------------|-----------------|---------------------|--------|-----------|-----------------|-------------|------|
| | | $t_{a,g}$ (mm) | t_{th} (mm) | t_{aver} (mm) | b/t | | | | | |
| 1 | ACT-C-F-E0.25D-1.5D | 7 | 14 | 10.5 | Compact (47.62) | F | 0.25D | 1.5D | SM490 | |
| 2 | ACT-C-F-E0.25D-1.0D | | | | | | 1.0D | | | |
| 3 | ACT-C-F-E0.5D-1.5D | | | | | | 0.5D | 1.5D | | |
| 4 | ACT-C-NF-E0.25D-1.5D | | | | | NF | 0.25D | 1.5D | | |
| 5 | CFT-C-F-E0.25D-X | - | - | 10.5 | F | 0.25D | - | SS400 | | |
| 6 | ACT-NC-F-E0.25D-1.5D | 5 | 10 | 8 | Non-compact (66.67) | F | 0.25D | | | 1.5D |
| 7 | CFT-NC-F-E0.25D-X | - | - | 8 | F | 0.25D | - | | | |
| 8 | ACT-S-F-E0.25D-1.5D | 3.2 | 7 | 5.0 | Slender (98.04) | F | 0.25D | | | 1.5D |
| 9 | CFT-S-F-E0.25D-X | - | - | 5.0 | F | 0.25D | - | | | |

ACT/CFT: shape of column, C/NC/S: width-to-thickness ratio, F/NF: filled/non-filled, 1.5D/1.0D: interval of B.F, X: B.F non-installed

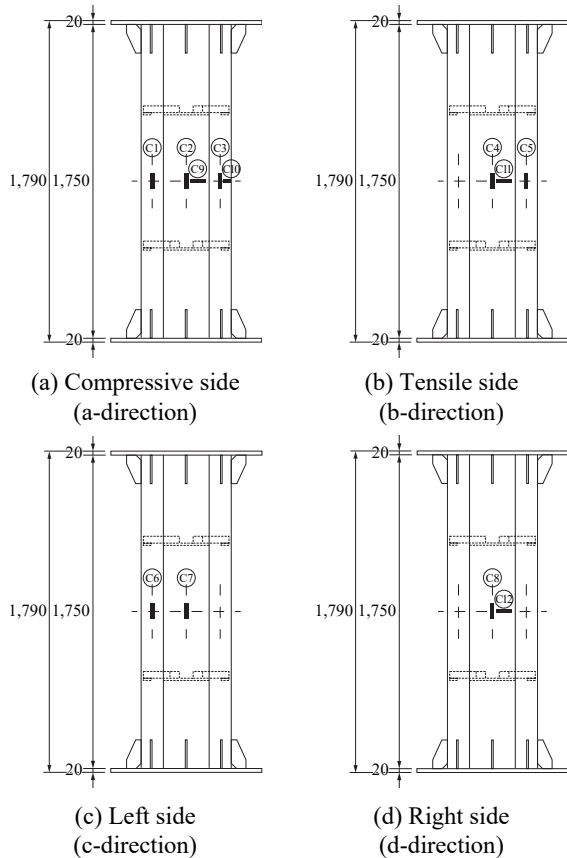


Fig. 5. The location of strain-gauges at specimen

2.2 실험결과

2.2.1 파괴거동

용접조립 기둥의 조밀단면 실험체와 비조밀단면 실험체는 최대하중 발현 이후 내력 저하 구간에서 압축부 강판에 변형이 발생하기 시작하였다. 최종파괴는 압축부에서 면외방향으로 불룩하게 발생한 국부좌굴에 의해 이루어졌다. 용접조립기둥의 세장단면 실험체는 최대하중 도달 전(3,900 kN) 압축부 중앙에서 최초 변형이 발생하여 강성은 감소하였으나, 완만한 내력증가로 최대하중에 도달하였다. 이후 내력 저하를 보이며 국부좌굴이 여러 곳에서 발생하였다.

CFT 기둥의 조밀·비조밀·세장단면 실험체는 모두 최대하중에 도달하기 전에 압축 측 상부에서 면외방향으로 변형이 발생하기 시작하였다. 최대하중 도달 이후 내력 저하 구간에서 면외국부좌굴이 심화하였다. 조밀단면 실험체는 국부좌굴 심화 도중 모서리 용접부에서 균열이 발생하였다. 각 실험체의 초기변형 시 하중과 최종 파괴형상, 그리고 최종적으로 발생한 국부좌굴의 범위를 Table 2에 정리하였으며, 파괴형상을 Fig. 6에 나타내었다.

Table 2. The behaviors of each specimen

| No. | First deformed | Finish failure mode | Buckling size | |
|-----|----------------|--------------------------------------|---------------|-----|
| | | | X | Y |
| 1 | 8,850(-) | Local buckling at compressive region | 500 | 350 |
| 2 | 9,240(-) | | 500 | 350 |
| 3 | 6,250(-) | | 500 | 440 |
| 4 | 5,562(-) | | 500 | 465 |
| 5 | 6,400(+) | Fracture at weld | 500 | 230 |
| 6 | 5,050(-) | Local buckling at compressive region | 500 | 355 |
| 7 | 3,743(+) | | 500 | 280 |
| 8 | 3,900(+) | | 250 | 205 |
| 9 | 2,230(+) | | 500 | 230 |

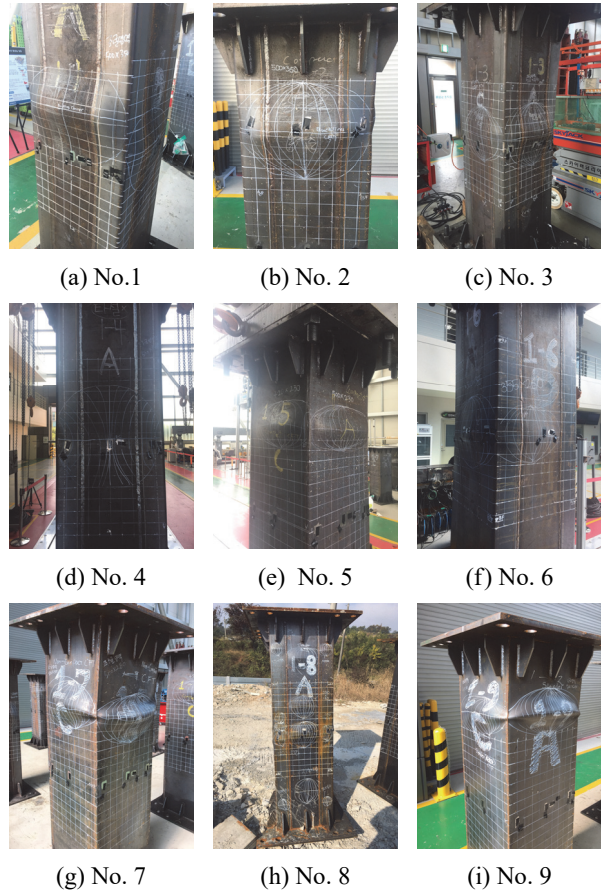


Fig. 6. The fracture shape of specimens

2.2.2 하중-변위 관계

각 실험체의 편심 가력 실험결과를 초기강성(K_i), 최대하중(P_{max}), 그리고 최대하중 시 변위(δ_{max})를 Table 3에 정리

하였고, Fig. 7에 하중-횡 변위 관계를 나타내었다. 실험체의 변위는 편심 가력에 의해 발생하는 인장 측 횡 변위로 나타내었으며, 초기강성은 최대하중의 10 % 성능점과 50 % 성능점을 연결한 선의 기울기로 선정하였다. 폭두께비에 따라 조밀·비조밀·세장단면 실험체는 그룹별로 동일한 강재 단면적을 가지고 있으나, 최대하중은 용접조립 기둥이 CFT 기둥보다 약 20 % 이상 높은 하중을 나타내었다. 초기 강성은 조밀단면의 용접조립과 CFT 기둥은 유사한 값을 나타내었으나, 비조밀 단면은 CFT 기둥이 약 24 % 높은 강성을 나타내었고, 세장단면은 용접조립 기둥이 약 16 % 큰 값을 나타내었다. 비조밀 단면 용접조립 실험체(No. 6)는 하중-변위 관계에서와 같이 가력 초기 실험체의 상·하부 지그에서 약간의 미끄러짐이 발생한 것에 기인한 것으로 판단된다. 비조밀 단면 CFT 실험체(No. 7)는 3,745 kN에서 미소한 내력 저하를 보였으나, 다시 하중 증가를 나타내었다. 실험체의 압축부에 최초 변형이 발생하자 응력이 순간 집중되어 순간

내력 저하가 이루어졌고, 후 좌굴 강도를 발휘되었으나, 곧 최대내력에 도달하였다.

Table 3. The test results

| No. | K_i (kN/mm) | P_{max} (kN) | δ_{max} (mm) |
|-----|---------------|----------------|---------------------|
| 1 | 1,745.43 | 8,995.3 | 10.02 |
| 2 | 1,790.55 | 9,386.1 | 12.53 |
| 3 | 893.34 | 6,316.2 | 14.83 |
| 4 | 1,547.30 | 5,562.3 | 5.67 |
| 5 | 1,786.72 | 6,500.5 | 6.83 |
| 6 | 1,216.66 | 5,727.5 | 10.07 |
| 7 | 1,504.54 | 4,350.3 | 7.62 |
| 8 | 995.25 | 4,532.2 | 9.57 |
| 9 | 848.88 | 3,778.9 | 9.13 |

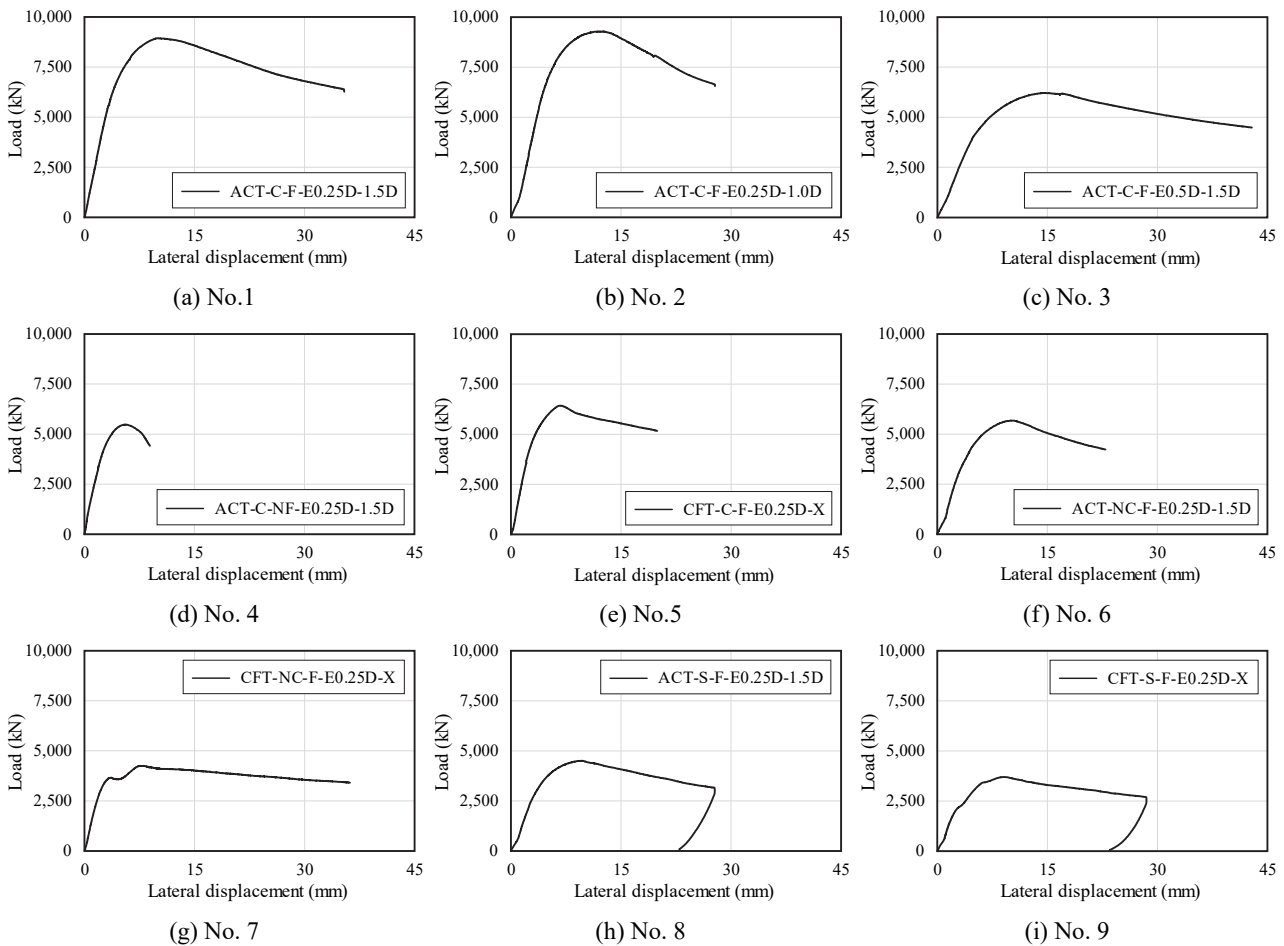


Fig. 7. The load versus lateral displacement relationship each specimens

3. 분석 및 고찰

3.1 초기강성 및 최대강도

강관의 폭두께비에 따른 그룹별로 CFT 기둥 대비 용접조립 기둥 실험체의 초기강성과 최대강도를 비교하였다. 조밀단면의 ACTII는 CFT와 유사한 초기강성을 나타내었다. 편심비가 큰(0.5D) 실험체는 50 %, 강관 내부에 콘크리트를 충전하지 않은 실험체는 87 %의 높은 초기강성을 나타내었다. 비조밀 단면의 용접조립 실험체는 CFT 기둥 대비 81 %로 작게 나타났으나, 앞에서 설명한 바와 같이 하중 초기 지그에서의 미끄러짐이 영향을 미친 것으로 사료된다. 세장단면의 용접조립 실험체는 CFT 기둥 대비 17 %가 큰 초기강성을 나타내었다. 따라서 실험결과로부터 강관의 폭두께비가 증가할수록 용접조립 기둥의 내부로 돌출된 리브가 휨에 대해 저항하여 초기강성이 크게 나타난 것으로 사료된다. 이것은 편심하중에 대해 횡변위를 비교한 값이므로, 축 변위와 휨 강성에 대한 추가적인 분석이 필요하다. 또한, 각 실험체의 최대하중과 그룹별 최대하중을 비교하여 Table 4에 나타내었다. 그림에서와 같이 용접조립 기둥은 CFT 기둥 대비 모든 그룹에서 높은 최대하중을 나타내었으며, 조밀단면에서는 38 %, 비조밀 단면에서는 32 %, 세장단면에서는 20 % 높은 강도를 발휘하였다. 이것은 용접조립 단면에 바인딩 프레임을 1.5D 간격으로 설치한 경우이며, 바인딩 프레임을 1.0D로 설치할 경우 CFT 기둥 대비 44 %의 높은 강도를 발휘하였다.

Table 4. The comparison of initial stiffness and maximum load

| No. | K_i (kN/mm) | Ratio (by CFT) | P_{max} (kN) | Ratio (by CFT) |
|-----|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 1,745.43 | 0.98 | 8,995.31 | 1.38 |
| 2 | 1,790.55 | 1.00 | 9,386.14 | 1.44 |
| 3 | 893.34 | 0.50 | 6,316.20 | 0.97 |
| 4 | 1,547.30 | 0.87 | 5,562.27 | 0.86 |
| 5 | 1,786.72 | 1.00 | 6,500.52 | 1.00 |
| 6 | 1,216.66 | 0.81 | 5,727.48 | 1.32 |
| 7 | 1,504.54 | 1.00 | 4,350.32 | 1.00 |
| 8 | 995.25 | 1.17 | 4,532.18 | 1.20 |
| 9 | 848.88 | 1.00 | 3,778.87 | 1.00 |

3.2 유효강성(EI_{eff})

KBC 2016에서 제시하는 충전형 합성기둥의 유효강성 산정식(0709.2.12.)을 제시하고 있다. 기준에서 제시하는 식을 사용하여 실험체별 단면 요소를 대상으로 유효강성을 계산하여 실험값과 비교하였다. 실험체의 유효강성은 압축부와 인장부의 중앙부에 부착한 스트레인 게이지의 값의 차를 기둥 폭으로 나누어 휨에 대한 곡률(Φ)을 산정하였다. 그리고 편심하중을 휨모멘트로 치환하여 모멘트-곡률 관계로 나타내고, 이 관계에서 최대모멘트의 10 % 성능점과 50 % 성능점을 연결한 선분의 기울기로 산정하였다^{[11][13]}. 유효강성 실험값을 계산하는 식을 아래 식 (1) - 식 (3)에 정리하였다.

$$\Phi = \frac{\epsilon_t - \epsilon_c}{D} \quad (1)$$

$$M = P \times e \quad (2)$$

$$EI_{test} = \frac{M_{50\%} - M_{10\%}}{\Phi_{50\%} - \Phi_{10\%}} \quad (3)$$

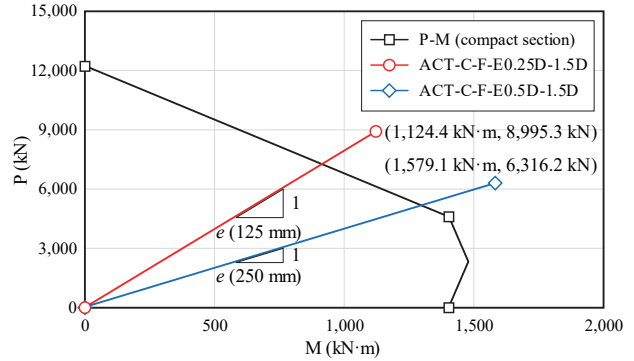
실험값과 계산값을 비교한 결과를 Table 5에 정리하였다. 기준 식은 각 요소의 탄성계수와 단면 2차 모멘트를 반영하므로 조밀단면 용접조립 실험체 3개(No. 1 - No. 3)의 계산값은 동일하다. 조밀단면 실험체의 실험값은 계산값과 88 % - 97 %, 비조밀 단면은 88 % - 89 %, 세장단면은 76 % - 87 %의 분포를 나타내었다. 조밀단면 실험체는 용접조립, CFT 기둥 모두 편심비 0.25D 실험체는 계산 값과 유사한 값을 나타내었으나, 편심비가 큰 0.5D 실험체(No. 3)는 비교적 오차가 크게 나타내었다. 비조밀 단면 실험체는 용접조립, CFT 기둥 실험체 모두 약 10 % 이상의 오차를 나타내고 있으며, 세장단면의 경우 ACTII 기둥은 24 %, CFT 기둥은 13 %의 오차를 나타내었다. 이러한 결과로부터 조밀단면이 아닌, 비조밀 단면이나 세장단면을 사용할 때는 세장비를 고려한 공칭 압축강도(P_{no})와 탄성좌굴강도(P_e)의 비에 의해 설계압축강도(P_n) 산정 시 과대평가할 수 있다. 따라서 판 폭-두께비에 의해 구분한 조밀단면, 비조밀 단면, 그리고 세장단면에 대한 유효강성을 구분하여 산정할 수 있는 기준이 필요한 것으로 사료된다.

Table 5. The comparison of test value and theoretical value

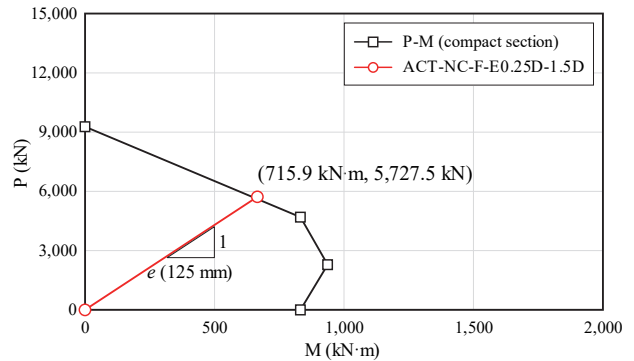
| No. | The effective flexural stiffness (EI_{eff} , N mm ²) | | |
|-----|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| | The test value (EI_{test}) | The theoretical value (EI_{eff}) | Ratio (EI_{test}/EI_{eff}) |
| 1 | 2.475E+14 | 2.563E+14 | 0.97 |
| 2 | 2.332E+14 | | 0.91 |
| 3 | 2.25E+14 | | 0.88 |
| 4 | 1.85E+14 | - | - |
| 5 | 2.42E+14 | 2.53E+14 | 0.96 |
| 6 | 1.83E+14 | 2.08E+14 | 0.88 |
| 7 | 1.86E+14 | 2.09E+14 | 0.89 |
| 8 | 1.32E+14 | 1.72E+14 | 0.76 |
| 9 | 1.38E+14 | 1.59E+14 | 0.87 |

3.3 P-M 상관관계

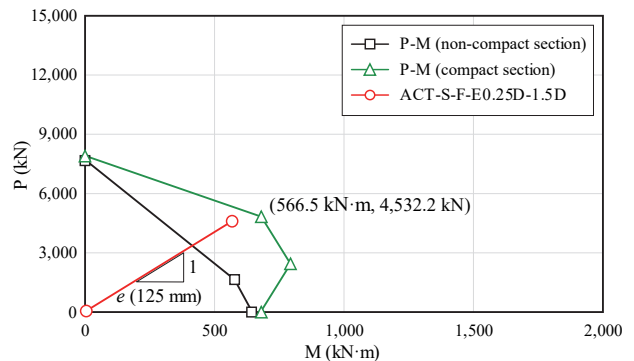
충전형 합성기둥에 편심축하중을 가하여 기둥의 축력과 휨에 대한 상관관계를 분석하였다. 기둥에 압축력과 휨이 동시에 작용할 경우, 기둥의 안전성 평가를 위해 P-M 상관관계를 평가한다. Fig. 8에 ACTII 실험값을 KBC 2016에 따른 P-M 상관관계도에 나타내었다. Fig. 8(a)는 콤팩트 단면의 P-M 상관관계도이다. 편심비(e) 0.25D(red), 0.5D(blue)를 가지는 두 실험체는 계산 값보다 큰 성능을 발휘하였다. Fig. 8(b)는 비콤팩트 단면 실험으로, Fig. 8(a)와 같은 2선형의 P-M 상관관계와 비교해야 하지만, ACTII 단면의 내부로 돌출된 리브와 바인딩 프레임의 효과로 인해 콤팩트 단면의 P-M 상관관계 이상의 성능을 나타내었다. Fig. 8(c)는 슬렌더 단면의 P-M 상관관계이다. 콤팩트 단면의 성능에는 미치지 못하지만, 비조밀단면의 성능을 월등히 초과하였다. 따라서 용접조립 실험체는 평균두께를 사용한 판폭-두께비 규정에 따른 성능을 모두 월등히 상회하며 만족하였고, 중앙부 후판의 두께를 사용한 판폭-두께비에 의한 구분에 대해서도 충분히 압축성을 만족하였다. 따라서 실험결과로부터 판폭-두께비 산정 시, 후판 폭이 기둥 폭의 50% 이상이고, 바인딩 프레임이 1.5D 간격 이내에 설치되는 용접조립 기둥에 대해서는 중앙부 후판의 두께를 사용할 수 있는 것으로 판단된다. 단 실험에서는 기둥 폭과 후판 폭의 비율이 50%(후판 폭/기둥 폭 = 250/500)이므로, 이보다 작은 후판에 대해서는 추가적인 실험을 통해 성능검증이 필요할 것이다.



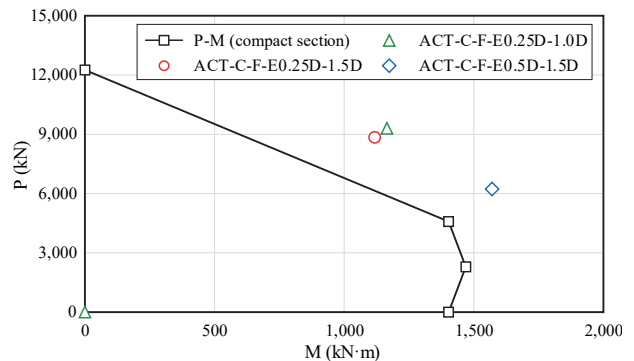
(a) The compact section



(b) The non-compact section



(c) The slenderness section

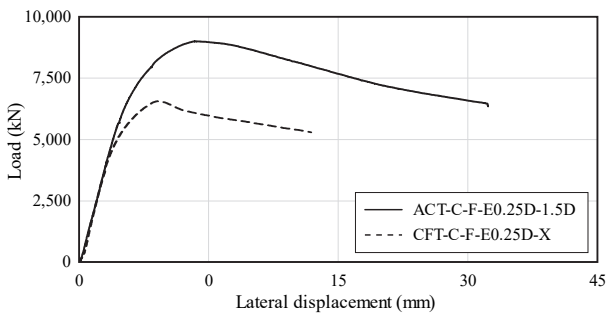


(d) All specimens' performance point

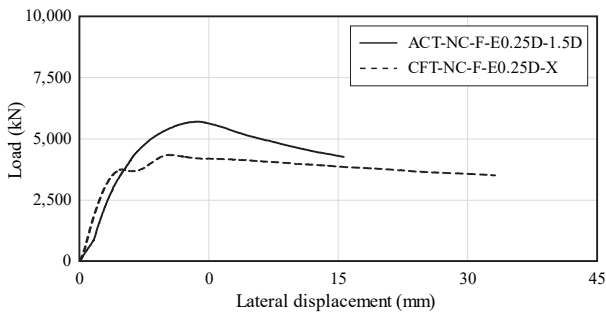
Fig. 8. The axial force - moment relationship for specimens

3.4 콘크리트 충전 여부와 Binding Frame 간격에 따른 내력 비교

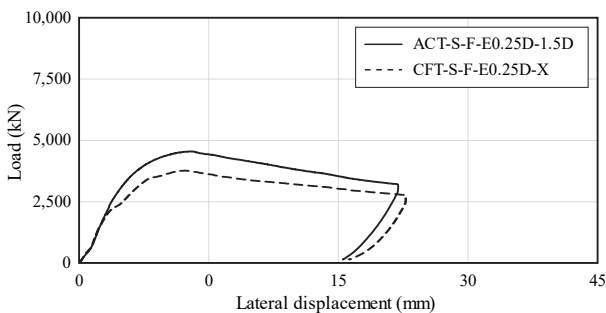
4개의 평판을 모서리에서 용접하는 일반 CFT 기둥과 냉간성형된 모서리강재와 후판을 변부에서 용접 조립한 기둥의 편심압축성능을 비교하여 Fig. 9에 나타내었다. 판폭-두께비에 의한 그룹별로 하중-변위 관계를 나타내었다. 그룹별 실험체 성능곡선에서 하중 초기 기울기는 거의 동일하며, 비조밀단면의 경우 용접조립 실험체가 초기에 미끄러짐이 있으나, 이후 기울기는 평행을 이루고 있다. 그러나 내부로 돌출된 리브가 있는 용접조립 실험체는 지속해서 선형적인 하중이 증가하는 거동을 보이지만, 일반 CFT 실험체는 강성 감소가 발생하였다.



(a) The compact section



(b) The non-compact section

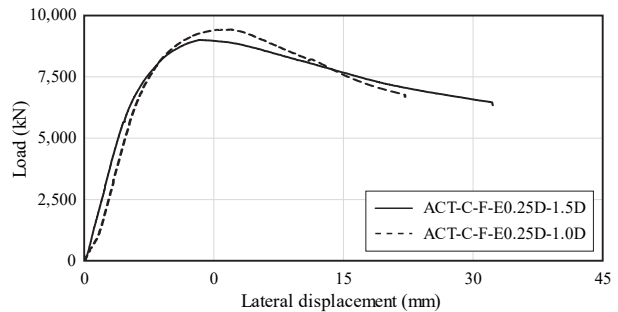


(c) The slenderness section

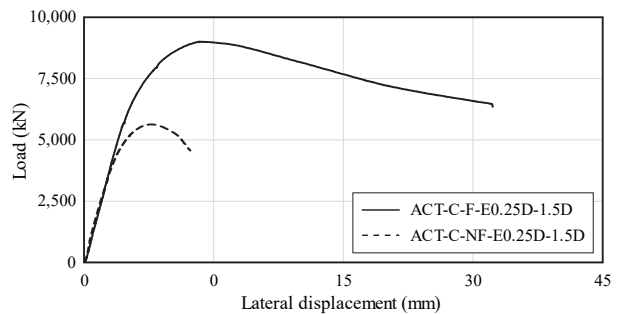
Fig. 9. The comparison of built-up and normal CFT about width to thickness ratio

내부에 바인딩 프레임으로 수평 보강된 용접조립 실험체의 성능을 비교하여 Fig. 10(a)에 나타내었다. No. 2 실험체가 하중 초기 소량의 미끄러짐을 보였으나, 이후 동일한 기울기로 하중 증가를 나타내었다. 바인딩 프레임이 1.0D로 보강된 실험체가 약 4.5% 높은 하중과 25% 많은 변형성능을 나타내었다. 최대 성능점 이후에는 모두 완만한 내력 저하를 나타내었다.

용접조립 실험체의 강관 내부에 콘크리트 충전 여부에 따른 성능 비교를 Fig. 10(b)에 나타내었다. 하중 초기에는 동일한 기울기로 하중 증가를 나타내었으나, 내부에 충전된 콘크리트가 강관의 국부좌굴을 지연시키는 충전 실험체와 달리 비 충전된 실험체는 강관의 국부좌굴에 의해 강성저하를 보였다. 최대 압축강도는 충전된 실험체가 60% 높은 하중을 발휘하였다.



(a) Comparison of binding-frame's distance



(b) Comparison with or without concrete filled steel tube

Fig. 10. The comparison of binding-frame's distance & the comparison of specimens with or without concrete filled steel tube

4. 결론

본 연구에서는 냉간성형된 모서리강재와 후판을 사용한 용접조립각형 기둥의 판폭-두께비 산정 방법을 분석하기 위해 9개의 실험체를 대상으로 편심압축가력실험을 수행하였

다. 또한, 4개의 평판을 모서리에서 용접하는 일반 CFT 기둥과의 성능 비교를 하였으며, 기준에서 제시하는 P-M 상관관계와 비교·분석하였다.

- (1) CFT 기둥은 판폭-두께비와 관계없이 최대하중에도 달하기 전에 압축측에서 면외변형이 발생하였으나, 용접조립기둥은 세장단면을 제외하고 최대성능점 발현 이후 면외변형이 발생하였다. 그러나 최종적으로 발생한 강판의 국부좌굴길이는 용접조립 기둥이 상대적으로 크게 나타났다.
- (2) 판폭-두께비 분류에 따른 용접조립 기둥의 최대하중은 CFT 기둥과 비교하여 조밀단면 38 %, 비조밀단면 30 %, 그리고 세장단면이 20 % 높게 나타났다. 초기강성은 조밀단면에서는 유사하게 나타났으며, 비조밀단면은 CFT 기둥이 높게, 세장단면에서는 용접조립 기둥이 높게 나타났다. 따라서 강성에 대해서는 용접조립 기둥과 CFT 기둥 간의 추가적인 분석이 필요하다.
- (3) 조밀단면 실험체는 용접조립, CFT 모두 최대하중 이후 강재가 항복하였으나, 비조밀단면에서는 용접조립 기둥이 최대하중 이후 항복하며 안정적인 소성 거동을 나타내었지만, CFT 기둥은 최대하중 도달 전에 강재가 항복하였다. 세장단면에서도 용접조립 기둥은 일부 강재가 최대하중 이후 항복하였으나, CFT 기둥은 모두 탄성 상태에서 국부좌굴에 의해 파괴되었다.
- (4) 기준에서 충전형 합성 부재의 유효강성은 모두 동일하게 산정하도록 제시하고 있으나, 판폭-두께비 분류에 따라 각 실험체는 10 % 이상의 차이를 나타내었다. 따라서 압축강도, 휨강도 산정과 같이 판폭-두께비에 따른 유효강성을 구분해야 할 것으로 판단된다.
- (5) 용접조립 실험체는 강재의 평균두께로 산정한 판폭-두께비에 의해 계산된 P-M 상관관계를 월등히 초과하는 실험결과를 나타내었으며, 중앙부 후판의 두께로 산정한 판폭-두께비에 대해서도 충분히 만족하는 성능을 발휘하였다. 따라서 후판의 폭이 기둥 폭의 50 % 이상에 대해서는 후판의 두께를 판폭-두께비에 사용하여도 안정적인 성능을 발휘할 것으로 판단된다.
- (6) 평균두께를 사용한 판폭-두께비에 의한 구분에 따라 용접조립과 CFT 기둥의 성능곡선은 유사한 초기 기

울기를 나타내었으나, 강재에 면외변형이 먼저 발생하는 CFT 기둥보다 용접조립기둥이 더 큰 성능을 발휘하였다. 또한, 바인딩 프레임의 보강 간격은 1.0D 실험체가 4.5 % 높은 강도를 나타내었으나, 기둥의 경제성 분석을 통해 1.5D 간격을 사용하여도 안정적인 성능을 발휘할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통기술촉진연구사업 (과제번호: 18CTAP-C142864-01)와 한국연구재단 이공계기초연구사업(NRF-018R1C1B3009109)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌(References)

- [1] Kim, S.H., Yom, K.S., and Choi S.M. (2015) Structural Behavior Analysis of Concrete Encased and Filled Tube Square Column with Construction Sequence, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.1, pp.43-52 (in Korean).
- [2] Kim, S.H., Yom, K.S., and Choi, S.M. (2015) An Experimental Study on Structural Performance of SFRC Filled Built-up Square Columns, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.1, pp. 13-22 (in Korean).
- [3] Kim, S.H., Yom, K.S., and Choi, S.M. (2013) A Study on the Load Carrying Capacity and Deformation Capacity of the Internal Anchors Welded Cold Formed Concrete Filled Columns, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25 No.4, pp.347-357 (in Korean).
- [4] KSSC (2016) *Design Manual of Composite Structures*, KSSC, Korea, p.1, 336 (in Korean).
- [5] American Institute of Steel Construction (2016) *Specification for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 360-16), USA.
- [6] Architectural Institute of Korea (2016) *Korean Building Code and Commentary*, Kimoonang, Korea (in Korean).
- [7] American Concrete Institute (2014) *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-14), USA.
- [8] European Committee for Standardization (2004) *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Building* (EN 1994-1-1: 2004), Belgium.

- [9] European Committee for Standardization (2005) *Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Building* (EN 1993-1-1: 2005), Belgium.
- [10] European Committee for Standardization (2004) *Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Building* (EN 1992-1-1: 2004), Belgium.
- [11] Hwang, H.J., Eom, T.S., Park, H.G., Lee, C.N., and Kim, H.S. (2013) Cyclic Loading Test for TSC Beam-PSRC Column Connections, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.6, pp.601-612 (in Korean).
- [12] Hwang, H.J., Eom, T.S., Park, H.G., Lee, C.N., and Kim, H.S. (2012) Compression Test for Prefabricated Composite Columns Using High-Strength Steel Angles, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No.4, pp.361-369 (in Korean).
- [13] Kim, H.J., Hwang, H.J., Park, H.G., Kim, D.K., and Yang, J.M. (2017) Eccentric Axial Load Test of Prefabricated Composite Columns Using Bolt-Connected Steel Angles, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.29, No.3, pp.249-260 (in Korean).

요 약: 콘크리트 충전 강관기둥 설계 시 강관의 국부좌굴을 방지 목적으로 폭두께비가 제한되고 있다. 전체 기둥 폭과 강관두께에 의해 결정되는 폭두께비는 단면을 조밀, 비조밀 그리고 세장단면으로 구분되며, 압축 강도식을 달리 적용하게 된다. 용접조립으로 구성된 강관두께가 다른 합성기둥을 대상으로 축력과 모멘트를 동시에 작용하여 구조성능을 평가하고자 총 9개의 구조실험을 수행하였다. 그 결과 용접조립 기둥의 최대하중은 일반 CFT 기둥과 비교될 때 조밀단면 38 %, 비조밀단면 30 %, 그리고 세장단면 부재는 약 20 % 높게 측정되었다. 충전형 합성부재의 유효강성은 모두 동일하게 산정하도록 제시하고 있으나, 판폭-두께비 분류에 따라 각 실험체들은 10 % 이상의 차이를 나타내었다. 따라서 압축강도, 휨강도 산정과 같이 폭두께비에 따른 유효강성을 구분해야 할 것으로 판단된다.

핵심용어: 콘크리트 충전 강관기둥, 편심압축실험, 조밀단면, 비조밀단면, 세장단면
