

콘크리트 강도 및 강관 폭두께비에 따른 각형 CFT 단주의 내력평가

Strength Evaluation of Rectangular CFT Stub Columns varing with Concrete
Strength and Width-to-Thickness Ratio of Steel Tubes

심 종 석 | Shim, Jong-Seok

정회원, 동서울대학 건축과 부교수, 공학박사

한 덕 전 | Han, Duck-Jeon

정회원, 서일대학 건축학과 교수, 공학박사

Abstracts

Concrete-filled steel tube(CFT) columns have become popular for building construction due to not only composite effect of steel tube and infilled concrete, but also more economical. The purpose of this paper is to propose the applicable boundary formula of width-to-thickness ratio for rectangular steel tube as using CFT column. A parametric study was performed taking width-to-thickness ratio of rectangular steel tube and compressive strength of concrete as the main parameter. The strength of concrete are selected to 30, 60, 90MPa. The non-linear analysis was adopted in order to take into account the effect of concrete strength. Finally, from the test and analysis results, the effect of increasing strength according to concrete strength and width-to-thickness of steel tube and plastic behavior of specimens were verified distinctly.

Keywords

Strength of Concrete, Width-to-Thickness Ratio, Rectangular Steel Tube, CFT Column

키워드

콘크리트 강도, 폭두께비, 각형강관, CFT기둥

* 본 연구는 2010년도 서일대학 학술연구비 지원 연구의 일부임

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

콘크리트 충전 강관구조(이하 CFT구조)는 구조성능 및 시공성이 우수하여 차세대에 적합한 합리적인 건축구법으로 인식되어 국내외에서의 건설실적이 증가하고 있다. 국내에서는 CFT구조설계를 위한 표준 및 시공지침이 마련되어 있으나, 세부적인 보완이 필요한 실정이다. 그중 각형 CFT기둥에서의 충전콘크리트와 강관의 상호작용 및 구속효과에 대한 정량적인 평가는 여전히 명확하게 규명하지 못한 것으로 판단된다. 각형 CFT기둥은 원형 CFT기둥과 달리 충전콘크리트에 대한 강관의 구속메커니즘이 다르므로 그에 따른 내력평가도 다르게 적용하여야 함에도, 원형기둥과 동일한 축압축 내력식을 적용¹⁾하고 있다. 또한 각형 CFT기둥에 대한 강관의 폭두께비 제한 규정은 국내의 경우, 비충전강관의 한계값을 그대로 적용²⁾하고 있으나, 국부좌굴이 억제되는 CFT구조의 특성상이 제한값을 CFT기둥에 그대로 적용하는 것은 불합리하다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 상대적으로 낮은 구속효과를 갖는 각형 CFT기둥의 합리적인 내력평가 및 CFT기둥구조에 적용가능한 각형강관의 폭두께비 사용한계를 찾기 위하여 각형강관의 폭두께비와 콘크리트의 강도를 변수로 한 각형 CFT단주와 충전콘크리트와 동일한 치수의 콘크리트각주를 제작, 축압축 실험을 행한다. 실험 및 ANSYS프로그램을 활용한 비선형 해석을 통하여 각형 CFT단주에 있어서의 콘크리트강도 및 강관 폭두께비 변화에 따른 내력변화 및 최대내력 이후의 내력저하 등 CFT단주의 소성거동을 규명하여 합리적인 내력식을 구하고, 충전콘크리트 강도를 변수로 한 CFT기둥용 각형강관의 폭두께비에 대한 합리적인 제한식을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법

각형강관에 콘크리트를 충전한 각형 CFT 단주를 대상으로, 강관의 구속효과에 따른 내력변화에 대한 정량적인 검증을 위해 충전콘크리트와 동일한 치수의 콘크리트 각주를 제작하여 CFT단주와 함께 실험을

1) 한국강구조학회, 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침, 구미서관, 2003

2) 한국강구조학회, KBC 2009 강구조 설계, 구미서관, 2011

행한다. 실험은 중심압축력을 단조가력하며, 실험의 주요변수는 각형강관의 폭두께비 및 충전콘크리트의 강도이다. 실험을 통하여 각형 CFT단주의 내력과 콘크리트 각주의 압축강도를 구하여 실험에 의한 최대축내력, 강관의 항복강도와 콘크리트의 실린더강도를 사용한 단순합성내력 및 콘크리트 각주의 압축강도를 사용한 합성내력을 구한 후, 강관의 폭두께비와 충전콘크리트의 압축강도 변화에 따른 내력의 변화와 내력상승효과를 비교분석한다. 또한 ANSYS프로그램에 의한 비선형 해석을 통하여 각형 CFT 단주 실험체에 대한 실험에 의한 최대내력과 해석에 의한 항복내력 및 축내력-변형률 관계를 비교분석하여 실험결과와의 타당성을 검증한다.

2. 실험 및 해석

2.1 실험 계획

각형강관은 SS 400상당의 강재를 이용하여, 폭두께비(D/t)를 25~65, 콘크리트강도는 30, 60, 90 MPa로 한다. 콘크리트각주는 충전콘크리트와 같은 치수로 제작, 동일한 조건하에서 양생하여 단주의 중심압축실험을 행한다. 실험변수는 아래와 같다.

- 각형강관의 폭두께비(D/t) : 25, 33, 47, 65
- 충전콘크리트의 설계강도 : 30, 60, 90 MPa
- 콘크리트 각주의 높이 : 30, 45cm
- 콘크리트 충전의 유무

각형강관의 공칭단면은 150×150mm,재장은 450mm로 강관폭의 3배이다. 각형강관 시험체는 강관을 ㄷ형으로 휨가공하여 맞댐용접으로 용접한다. 콘크리트각주는 목재형틀을 제작하여 콘크리트를 타설하고 CFT 단주 시험체와 동일한 조건으로 상온에서 양생한다. 콘크리트 실린더 시험체는 $\phi 100 \times 200$ 의 경량형강틀로 제작하여 충전콘크리트와 동일한 양생조건을 위해 탈형하지 않은 채 상온에서 양생한다.

재하는 시험체를 500t 구조물 시험기의 베드에 설치하고 상하의 가압판을 설치하여 중심압축가력이 되도록 축력을 단조재하 한다. 재하시의 가력단의 경계조건은 상단 핀, 하단 회전구속상태로서 실시한다. 시험체 채축방향의 변위 측정은 시험기의 베드 위에 설치한 4개의 변위계를 이용한다. 강관에는 소성2축 변형률게이지를 부착하여 강관의 축방향 및 직경방향 변형도를 측정한다.

표 1. 시험체 일람

시험체	f_{ck} (MPa)	B(mm)	H(mm)	t(mm)	B/t
HCSC3-25	30	150	450	6.0	25
HCSC3-33				4.5	33
HCSC3-47				3.2	47
HCSC3-65				2.3	65
HCSC6-25	60	150	450	6.0	25
HCSC6-33				4.5	33
HCSC6-47				3.2	47
HCSC6-65				2.3	65
HCSC9-25	90	150	450	6.0	25
HCSC9-33				4.5	33
HCSC9-47				3.2	47
HCSC9-65				2.3	65
TSC-25	-	150	450	6.0	25
TSC-33				4.5	33
TSC-47				3.2	47
TSC-65				2.3	65

주) f_{ck} : 콘크리트 압축강도, B, H, t: 실험체의 폭, 높이, 강관의 두께, B/t : 폭두께비

표 2. 콘크리트각주 시험체 일람

시험체	B(mm)	H(mm)	f_{ck} (MPa)
RCC3-30	150	300	30
RCC6-30			60
RCC9-30			90
RCC3-45	150	450	30
RCC6-45			60
RCC9-45			90

2.2 해석 방법

유한요소해석 프로그램은 ANSYS 9.0 Version 을 사용하여 비선형 해석을 수행하였다. 강재 및 콘크리트에 대한 모델링은 Solid 요소를 사용하여 모델링 하였다. 먼저 강재에 대한 해석 요소로는 그림 1과 같이 8개의 절점을 가지며 각 절점은 3개의 자유도(X, Y, Z축에 대한 병진 변위)를 갖는 Solid 45 요소를 사용하여 모델링 하였다.

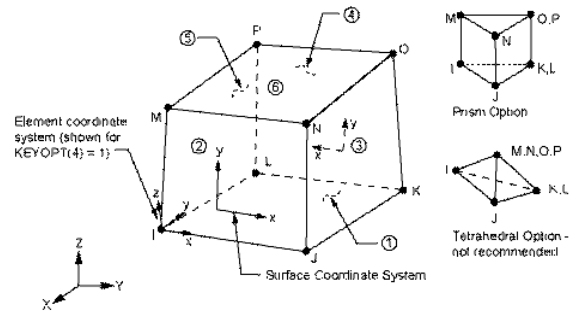


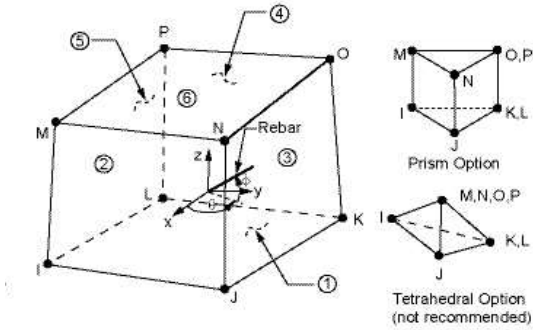
그림 1. Solid 45 요소(강관요소 모델링 사용)

강재 응력-변형률 특성은 Von Mises의 항복기준³⁾과 Bauschinger효과⁴⁾의 특성을 갖고 있는 Bi-linear Kinematic Hardening 모델을 사용하였다. 강재의 항복 후의 접선계수는 탄성계수의 1/100로 가정하였다. 콘크리트에 대한 해석요소로는 그림 2와 같이⁵⁾ 8개의 절점을 가지며 각 절점은 3개의 자유도(X, Y, Z축에 대한 병진 변위)를 갖는 Solid 65 요소를 사용하여 모델링 하였다.

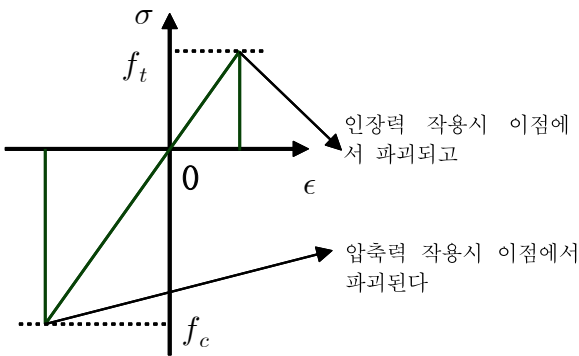
Solid 65 요소의 concrete material model은 concrete와 rock과 같은 취성재료에 사용된다. ANSYS에서 Cracking과 crushing failure modes가 포함되어 있으며, 물성치 입력시 압축강도와 인장강도를 입력하게 된다. 강관과 콘크리트의 경계면에 대하여는 그림 3과 같은 3-D Target Segment인 TARGE 170 요소와 3-D 8-Node Surface-to-Surface Contact 요소인 CONTA174를 사용하여 면과 면의 접촉문제 처리하여 압축력에만 콘크리트가 저항하도록 하였다. 단, 본 연구에서는 콘크리트와 강재 사이의 마찰력은 무시하였다.

$$3) \sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

4) 강재에서 탄성한도 이상으로 인장응력을 가했다가 이를 제거하고, 반대로 압축응력을 가했을 때 압축시의 탄성한계가 인장시의 탄성한계 보다 현저히 저하하는 현상



(a) Solid 65 요소



(b) Solid 65 요소의 응력-변형률 모델

그림 2. Solid 65 요소(콘크리트 요소 모델링 사용)

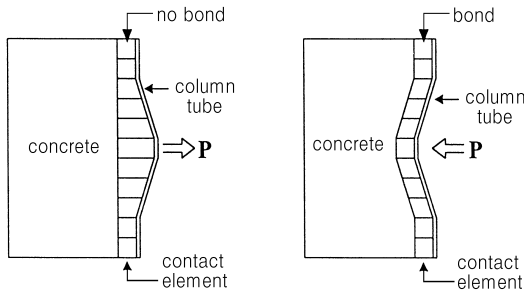


그림 3. 접촉요소

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험 결과

CFT단주 및 각형강관 실험체에 대한 축내력-변형률관계를 각각 그림 4~7에 나타낸다.

CFT단주 실험체의 경우, 폭두께비가 커짐에 따라 최대내력 및 최대내력 이후의 내력감소가 크게 나타났으며, 이러한 경향은 콘크리트 강도가 큰 실험체에서 더 크게 나타났다. CFT단주 실험체는 콘크리트 강

도가 낮을수록 각형강관 실험체와 축내력-변형률 관계가 유사하게 나타나고, 콘크리트 강도가 클수록 콘크리트 기둥과 유사한 소성거동을 보였다. 동일한 폭두께비의 실험체인 경우, 콘크리트 강도가 큰 실험체에서 최대내력 이후 강관의 국부좌굴이 늦게 나타났으며, 이러한 경향은 폭두께비가 작은 HCSC-25 시리즈 실험체에서 가장 현저하게 나타났다.

실험에 의한 최대내력과 합성내력의 비교를 표 3에 나타낸다. 실험내력을 실린더강도를 적용한 단순합성내력 및 콘크리트충전 강관구조설계시공지침, SRC규준에 규정되어 있는 합성내력과 비교하였다. CFT단주의 단순합성내력 P_u 및 콘크리트강도를 저감한 합성내력 P_o 는 아래의 식 (1),(2)로 주어진다.

$$P_u = A_s \cdot F_y + A_c \cdot f_{ck} \quad (1)$$

$$P_o = A_s \cdot F_y + 0.85 A_c \cdot f_{ck} \quad (2)$$

여기서, P_u : CFT 단주의 단순합성내력(kN)

P_o : 콘크리트강도를 저감한 합성내력(kN)

A_s, A_c : 강관 및 콘크리트의 단면적

F_y : 강관의 항복응력도(MPa)

f_{ck} : 콘크리트의 실린더강도(MPa)

표 3. 실험결과 내력비교

Specimens	P_{max} (kN)	P_u (kN)	P_o (kN)	P_{max} / P_u	P_{max} / P_o	ϵ'_u (%)
HCSC3-25	1882.9	1847.6	1762.3	1.02	1.07	0.57
HCSC3-33	1539.6	1545.5	1460.2	1.06	1.05	0.45
HCSC3-47	1167.0	1154.2	1063.0	1.01	1.10	0.34
HCSC3-65	987.5	908.1	814.9	1.09	1.21	0.30
HCSC6-25	2525.2	2568.4	2443.8	0.98	1.03	0.42
HCSC6-33	2214.3	2293.8	2092.7	0.97	1.06	0.39
HCSC6-47	1969.2	1928.0	1720.1	1.02	1.14	0.36
HCSC6-65	1676.9	1706.4	1493.6	0.98	1.12	0.34
HCSC9-25	2912.6	3158.9	2871.4	0.92	1.01	0.39
HCSC9-33	2647.8	2900.8	2608.6	0.91	1.02	0.36

HCSC9-47	2486.0	2554.0	2252.6	0.97	1.10	0.37
HCSC9-65	2324.2	2347.7	2038.8	0.99	1.14	0.35
TSC-25	1394.5	1278.8	-	1.09	-	1.10
TSC-33	933.6	958.1	-	0.97	-	0.39
TSC-47	447.2	543.3	-	0.82	-	0.24
TSC-65	192.2	288.3	-	0.67	-	0.13

- 주) P_{max} : CFT 단주 실험체의 최대내력(kN)
- P_u : CFT 단주 실험체의 단순합성내력 또는 각형 강관실험체의 항복내력(kN)
- P_o : CFT 단주 실험체의 콘크리트 강도를 저감한 합성내력(kN)
- ϵ'_u : 최대내력 시의 변형률(%)

표 3에서와 같이 CFT단주 실험체에서 최대내력과 단순합성내력의 비는 0.91~1.02로 HCSC6-47 실험체를 제외하고는 최대내력이 단순합성내력보다 낮게 나타났다. 콘크리트 강도 300MPa인 실험체에서는 내력비가 1.01~1.09로, 최대내력이 단순합성내력보다 모두 크게 나타났다. 반면, SRC규준에 의한 저감합성내력에 대한 최대내력의 비는 1.01~1.21로, 모든 실험체에서 최대내력이 저감합성내력을 상회하는 것으로 나타났다. 구분하여, 폭두께비가 25, 33인 CFT단주 실험체에서는 저감합성내력에 대한 최대내력의 비가 1.01~1.07로 나타났으나, 현행 기준에 의한 각형강관의 폭두께비 제한값 부근인 폭두께비 47, 65인 실험체에서 상기의 비는 각각 1.10, 1.21로, 최대내력이 저감합성내력보다 10% 이상 크게 나타나는 것으로 확인되었다.

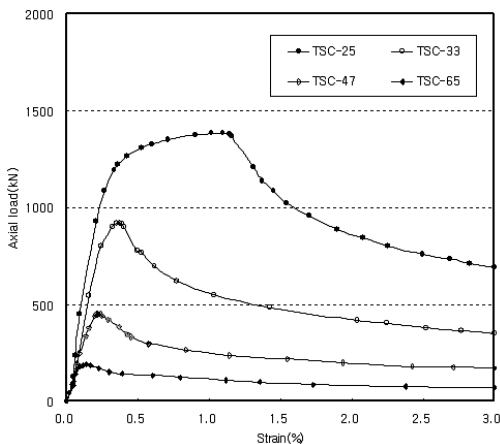


그림 4. 각형강관 실험체의 축내력-변형률 곡선

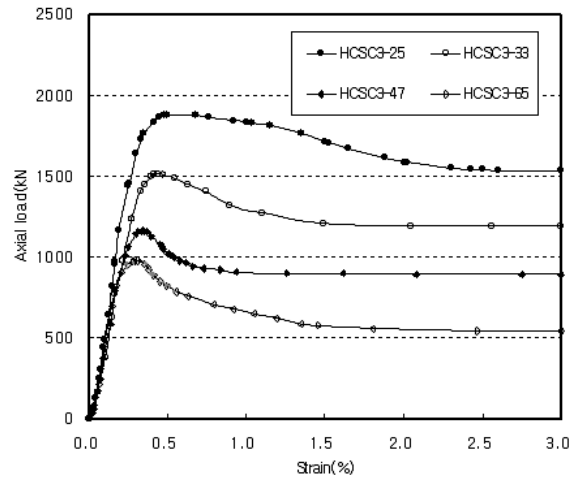


그림 5. $f_{ck} = 30\text{MPa}$ 실험체의 축내력-변형률 곡선

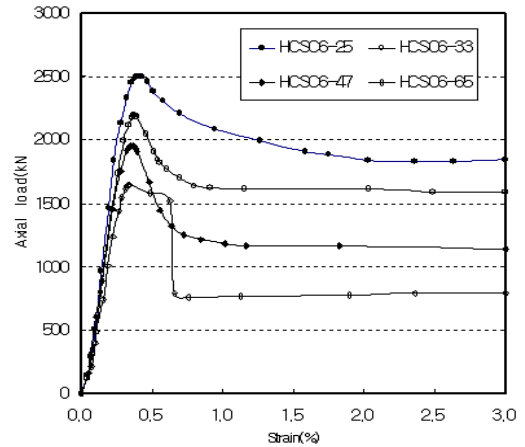


그림 6. $f_{ck} = 60\text{MPa}$ 실험체의 축내력-변형률 곡선

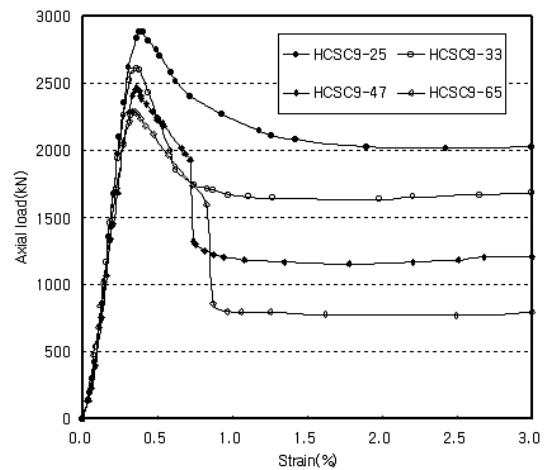


그림 7. $f_{ck} = 90\text{MPa}$ 실험체의 축내력-변형률 곡선

표 4. 콘크리트 각주와 실린더의 압축강도 비교

Specimens	P_{max} (kN)	Section (mm ²)	f_{rc} (MPa)	f_{ck} (MPa)	f_{rc}/f_{ck}
RCC3-30	588.4	22,335	26.38	29.42	0.90
RCC6-30	1229.8	22,290	55.17	66.69	0.83
RCC9-30	1686.7	22,425	75.22	96.89	0.78
RCC3-45	659.0	22,275	29.59	29.42	1.01
RCC6-45	1361.2	22,335	60.95	66.69	0.91
RCC9-45	1828.9	22,350	81.83	96.89	0.84

주) P_{max} : 콘크리트 각주 실험체의 최대내력(kN)

f_{rc} : 콘크리트 각주 실험체의 압축강도(MPa)

f_{ck} : 콘크리트 실린더 압축강도(MPa)

최대내력시의 변형률은 0.30%~0.57%로 HCSC 3-47, HCSC3-65, HCSC6-65 실험체를 제외하고는 강재의 항복강도 시의 변형률 0.35%를 초과하는 것으로 나타났다. 콘크리트 강도 30, 60, 90 MPa 실험체의 변형률 평균값은 각각 0.42%, 0.38%, 0.37%로 콘크리트 강도가 작을수록 최대내력 시의 변형률은 증가하며, 강관의 폭두께비가 커질수록 변형률은 감소하는 것을 알 수 있다. 더욱이, 각형강관실험체에서는 폭두께비 변화에 따른 소성변형률의 증감 폭은 국부좌굴에 의한 내력저하 등으로 더 커지는 것을 알 수 있다.

표 5. 콘크리트 각주를 사용한 합성내력과 단순합성내력의 비교

Specimens	P_{max} (kN)	P'_u (kN)	P_u (kN)	P_{max}/P'_u	P_{max}/P_u	P'_u/P_u
HCSC3-25	1882.9	1850.5	1847.6	1.02	1.02	1.00
HCSC3-33	1539.6	1552.4	1545.5	0.99	1.00	1.00
HCSC3-47	1167.0	1157.2	1154.2	1.01	1.01	1.00
HCSC3-65	987.5	916.9	908.1	1.08	1.09	1.01
HCSC6-25	2525.2	2456.6	2568.4	1.03	0.98	0.96
HCSC6-33	2214.3	2222.2	2293.8	1.00	0.97	0.97

HCSC6-47	1969.2	1807.4	1928.0	1.09	1.02	0.94
HCSC6-65	1676.9	1583.8	1706.4	1.06	0.98	0.93
HCSC9-25	2912.6	2860.6	3158.9	1.02	0.92	0.91
HCSC9-33	2647.8	2600.7	2900.8	1.02	0.91	0.90
HCSC9-47	2486.0	2241.8	2554.0	1.11	0.97	0.88
HCSC9-65	2324.2	2028.1	2347.7	1.15	0.99	0.86

주) P'_u : 콘크리트 각주의 압축강도를 사용한 합성내력

f_{rc} : 콘크리트 각주 실험체의 압축강도(MPa)

P_u : CFT단주 실험체의 단순합성내력(kN)

표 4에서와 같이, 콘크리트 각주 실험체의 실린더강도에 대한 압축강도의 비는 h=30cm인 실험체는 0.78~0.90, h=45cm인 실험체는 0.84~1.11로, h=45cm 각주 실험체의 압축강도가 다소 큰 것으로 나타났다. 콘크리트 강도 30MPa, h=45cm 인 각주 실험체(RCC3-45)는 압축강도가 실린더강도와 거의 같은 값으로 나타났고, 콘크리트 강도가 작을수록 각주 실험체의 압축강도는 실린더강도에 근사하는 것을 알 수 있다. h=30cm, 45cm 각주 실험체의 실린더강도에 대한 압축강도의 평균값은 0.84, 0.92로, h=30cm 각주 실험체의 압축강도비는 SRC규준식의 강도저감계수와 유사한 것으로 나타났다. CFT단주 실험체의 최대내력과의 비교 시에는 실험체와 동일한 높이인 h=45cm 각주 실험체의 압축강도를 적용하기로 한다.

표 5에서와 같이 CFT단주 실험체의 콘크리트 각주의 압축강도를 적용한 합성내력에 대한 최대내력의 비는 0.99~1.15로 HCSC3-33 실험체를 제외하고는 최대내력이 합성내력보다 다소 큰 것으로 나타났다. 표 3 및 표 5로부터 실험체의 최대내력에 대한 콘크리트 강도를 저감한 합성내력비와 콘크리트 각주의 압축강도를 사용한 합성내력비를 비교하면, 콘크리트강도 30, 60, 90MPa에 대하여, 전자는 1.11, 1.09, 1.07, 후자는 1.03, 1.05, 1.08로, 콘크리트강도를 저감한 합성내력값이 각주의 압축강도를 적용한 합성내력값보다 평균 4% 큰 것으로 나타났다. 더불어, 콘크리트각주의 압축강도를 사용한 합성내력을 기준으로 한 경우, 실험체의 강관 폭두께비 제한값 이내(b/t=25, 33)에서는 최대내력이 1.3% 만 증가하여 기대와는 달리 내력상승효과가 거의 나타나지 않는 것으로 확인된다. 따라

서, 상기의 내력평가 결과를 바탕으로 각형CFT단주의 축압축내력식을 식 (3)과 같이 제안한다.

$$P_o = A_s \cdot F_y + 0.85 A_c \cdot f_{ck}$$

$$P_o = A_s \cdot F_y + A_c \cdot f_{rc} \quad (3)$$

f_{rc} : 콘크리트 각주 실험체의 압축강도(MPa)

3.2 해석 결과

표 6 및 그림 9에서와 같이, 비선형 해석결과, 각형 강관 실험체에서는 TSC -25 실험체를 제외하고는 전부 실험내력이 해석 내력값보다 작게 나타났으나, CFT단주 실험체에서는 해석결과 항복내력에 대한 최대내력의 비가 0.95~1.17로, HCSC3-33, HCSC9-33 실험체를 제외하고는 전부 시험내력이 해석 내력값보다 큰 것으로 나타났다. 특히 각형강관의 폭두께비 제한 값을 초과하는 실험체(TSC-47, TSC-65)에서는 국부 좌굴에 의해 실험내력이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

표 6. 실험체의 해석값과 실험값의 비교

Specimens	${}_a P_y$ (kN)	P_{max} (kN)	P_u (kN)	$P_{max} / {}_a P_y$	$P_y / {}_a P_y$
HCSC3-25	1889.7	1882.9	1847.6	1.00	0.98
HCSC3-33	1620.1	1539.6	1545.5	0.95	0.95
HCSC3-47	1169.9	1167.0	1154.2	1.00	0.99
HCSC3-65	844.4	987.5	908.1	1.17	1.08
HCSC6-25	2250.6	2525.2	2568.4	1.12	1.14
HCSC6-33	2160.4	2214.3	2293.8	1.03	1.06
HCSC6-47	1800.5	1969.2	1928.0	1.09	1.07
HCSC6-65	1529.8	1676.9	1706.4	1.10	1.12
HCSC9-25	2925.3	2912.6	3158.9	1.00	1.08
HCSC9-33	2790.0	2647.8	2900.8	0.95	1.04
HCSC9-47	2339.9	2486.0	2554.0	1.06	1.09
HCSC9-65	2115.3	2324.2	2347.7	1.10	1.11
TSC-25	1325.1	1394.5	1278.8	1.05	0.97
TSC-33	1030.0	933.6	958.1	0.91	0.93
TSC-47	561.8	447.2	543.3	0.80	0.97
TSC-65	304.1	192.2	288.3	0.63	0.95

주) ${}_a P_y$: 비선형 해석에 의한 실험체의 항복내력(kN)

P_{max} : 실험체의 최대내력(kN)

P_y : CFT단주 실험체의 단순합성내력(kN)

그림 8. CFT 단주 실험체의 최대내력과 해석내력의 비교

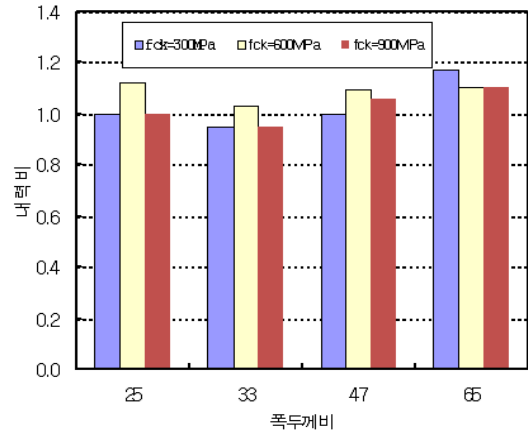
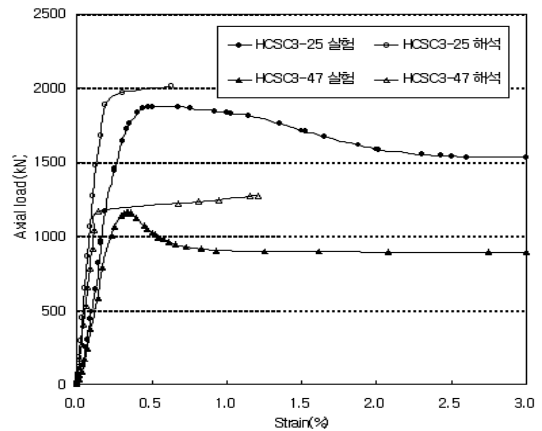
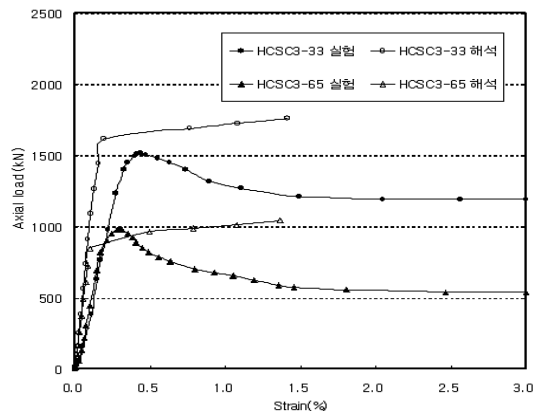


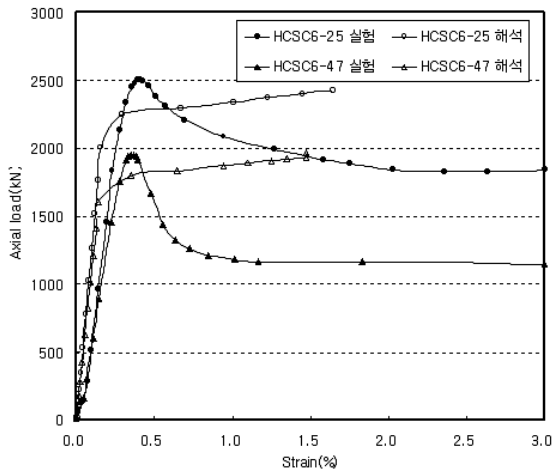
그림 8. CFT 단주 실험체의 최대내력과 해석내력의 비교



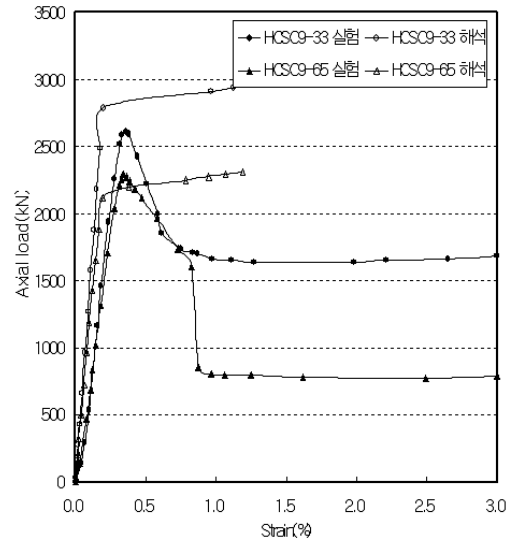
(a) HCSC3-25, HCSC3-47 실험체



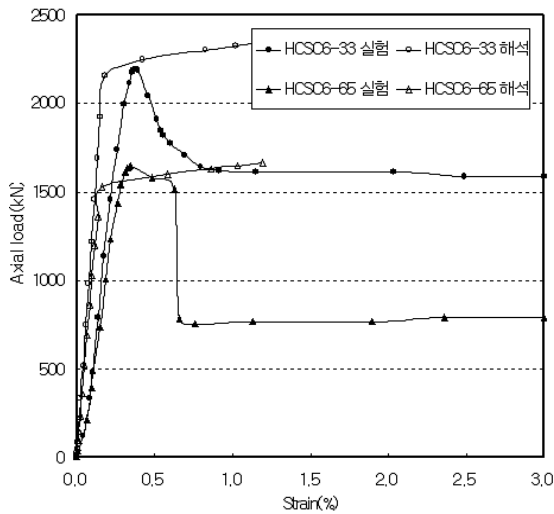
(b) HCSC3-33, HCSC3-65 실험체



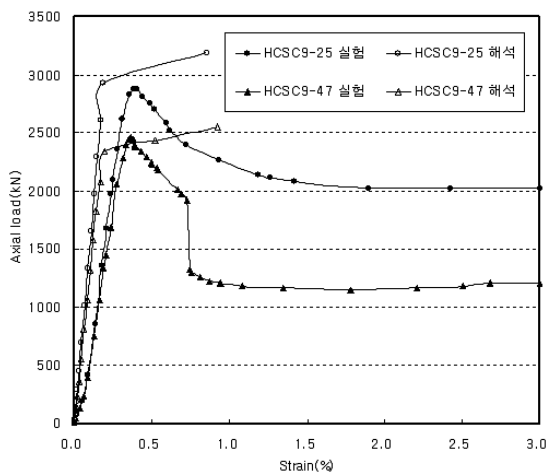
(c) HCSC6-25, HCSC6-47 실험체



(f) HCSC9-33, HCSC9-65 실험체



(d) HCSC6-33, HCSC6-65 실험체



(e) HCSC9-25, HCSC9-47 실험체

그림 9. CFT 단주 실험체의 축내력-해석내력 비교

3.3 폭두께비

각형강관기둥의 폭두께비 제한값은 현행 기준에서 식(4)와 같이 정하고 있으나, CFT기둥에 사용되는 각형강관에 대해서는 강구조기준2)보다 완화할 수 있으며, 실제로 일본 등에서는 강관 폭두께비 제한의 1.5 배로 일정값을 적용, 완화하고 있다.

따라서, 콘크리트 강도 및 강관 폭-두께비에 따른 각형 CFT 단주에 대한 이전의 연구결과와 본 연구를 분석한 결과, CFT기둥에 적용할 수 있는 각형강관에 대한 폭두께비는 강관의 항복강도와 충전콘크리트의 압축강도를 동시에 고려한 제한값으로 식(5)를 제안한다.

$$b/t = 1.4 \sqrt{E/F_y} \quad (\text{KBC2009}) \quad (4)$$

$$(b/t)_{CFT} = 0.55 \sqrt{E \cdot F_y / f_{ck}} \quad (5)$$

예를 들어, 강관의 항복강도 300MPa인 경우, 식(4)의 제안식에 의한 충전콘크리트의 압축강도 증가에 따른 폭두께비 제한값은 표 7과 같이 증가됨을 알 수 있다.

제안식에 의한 충전콘크리트 압축강도 90, 60, 30MPa 일 때의 각형 CFT 단주의 폭두께비 제한값은 현행기준에 의한 폭두께비 제한값보다 각각 1.43, 1.97, 4.07배 까지 완화될 수 있음을 알 수 있다.

표 7. 콘크리트 압축강도 변화에 따른 폭두께비 제한값

f_y (MPa)	f_{ck} (MPa)	b/t	$(b/t)_{CFT}$
300	30	36.1	142
	60	36.1	71
	90	36.1	47.3

4. 결 론

콘크리트 압축강도 및 강관 폭두께비를 주요 변수로 한 각형 CFT 기둥의 내력 및 소성거동에 대한 축압축 실험 및 비선형 해석을 비교분석한 결과는 다음과 같다,

1. 실험 및 해석결과, 충전콘크리트의 압축강도 및 강관 폭두께비에 따른 각형 CFT 단주의 내력평가에는 콘크리트 강도를 저감한 합성내력식보다 콘크리트각주 실험체의 압축강도를 적용한 합성내력식을 사용함이 더 타당한 것으로 판단된다.

2. 콘크리트 각주 실험체의 압축강도를 적용한 합성내력을 CFT단주의 기대 축압축내력으로 볼 경우, 실험결과 각형강관의 폭두께비 제한값 이내에서는 예상과는 달리 내력상승효과가 거의 나타나지 않는 것으로 확인되었다.

3. 콘크리트의 강도 및 강관의 폭두께비에 따른 내력상승효과 및 최대내력 이후의 내력저하 등 소성거동 유형을 정량적으로 명확히 규명할 수 있었다

4. CFT기둥에 적용할 수 있는 각형강관의 폭두께비 한계값에 대하여 강관의 항복강도와 충전콘크리트의 압축강도를 동시에 고려한 합리적인 규준식을 제시함으로써, CFT기둥 구조에서의 폭두께비가 큰 각형강관의 사용한계에 대한 이론적인 근거를 마련한 것으로 본다.

참고문헌

1. 대한건축학회, 강구조 한계상태 설계기준 및 해설, 기문당,1998
 2. 한국강구조학회, 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침, 구미서관, 2003
 3. 한국강구조학회, KBC 2009 강구조 설계, 구미서관, 2011
 4. 김선희 외 2인, “폭두께비가 큰 각형CFT단주의 설계식”, 한국강구조학회논문집, 제 21권 제5호, pp. 537-5446, 2009

5. 김진호, 전상우, “콘크리트 충전강관 단주의 종국내력평가에 관한 실험적 연구”, 한국강구조학회논문집, 제 11권 제5호, pp.495-506, 1999
 6. 日本建築學會, 콘크리트 충전강관구조설계시공지침, 1997년 10월
 7. 日本建築學會, 鐵骨鐵筋콘크리트構造計算規準·同解説, 1987년 6월
 8. 中原浩之, “콘크리트 충전형강관기둥의 내력 및 변형 성능의 평가법에 관한 연구”, 九州大學, 1999
 9. 松井千秋, 津田惠吾, 森武史, “被覆形鋼管 콘크리트 기둥에 대한 강관의 폭두께비·徑두께비의 제한값”, 日本建築學會 構造系論文集, 第 503號, pp.157-163, 1998년 1월
 10. 崎野健治, 森野捷輔, 他, “高强度材料用充鋼管短柱軸壓縮特性”, 日本建築學會構造系論文集, 第 498號, pp.161-168, 1997년 8월
 11. 加藤 勉, “콘크리트 충전강관기둥의 압축강도, 변형 능력(콘크리트 충전강관기둥의 내력, 변형 능력의 연구 (I))”, 日本建築學會 構造系論文集, 第 468號, pp.183 -191, 1995년 2월
 12. 松井千秋外, “콘크리트 충전형강관기둥의 구조 성능 및 폭두께비 제한에 관하여”, 日本鋼構造協會, 構造工學論文集, 第1卷 第2号, pp.25-36, 1994
 13. Standards Australia, Concrete Structure, AS 3600-94(2nd Ed), 1994
 14. European Committee for Standardisation, CEN, Eurocode 2(EC2), Design of Concrete Structures, 1992
 15. Eurocode 4, Design of Composite Steel and Concrete Structures(draft), 1994
 16. C.Matsui, “Local Buckling of Concrete Filled Steel Square Tubular Structures”, IABSE- ECCS, Symposium, Luxembourg, pp.269-276, 1985
 17. Dalin L. and Wie, Min Gho, “Axial load behavior of high strength rectangular concrete-filled steel tubular stub columns”, Thin-walled structures, pp.1131-1142, 2005
 18. Sakino, K., Nakahara, H., Morino, S., and Nishiyama, I., “Behavior of Centrally Loaded Concrete-filled Steel Tube Short Columns”, Journal of Structural Engineering, Vol. 130, No., pp.180-188, 2004
 19. Zhang YaoChun, Xu Chao, and Lu Xizozhe, “Hysteretic behavior of concrete filled thin-walled steel tubular columns”, Steel Construction, vol. 21, Supplement, pp.202-208, 2006

논문접수일 (2011. 4. 26)
 심사완료일 (1차 : 2011. 5. 11, 2차 : 해당없음)
 게재확정일 (2011. 5. 16)