

Data Base에 의한 CFT 기둥의 내력에 관한 연구

A Study on the Strength of Concrete Filled Tubular Columns according to Data-Base

서 정 환¹⁾ · 양 영 성²⁾

Seo, Jeong-Hwan Yang, Young-Sung

요 약 : 본 연구는 콘크리트 충전강관을 고층 건축구조물의 기둥부재료의 이용을 위한 연구의 일환으로, 필자의 실험결과와 그동안 국내에서 발표된 콘크리트충전 강관 기둥에 관한 연구논문(1991.1~2000.6)의 실험 결과값을 데이터 베이스를 통해 콘크리트 충전으로 인한 내력상승효과와 세장비에 따른 내력 등을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 콘크리트 충전 강관 단주의 콘크리트 충전으로 인한 내력상승 효과는 단면형태에 따라 달리 나타나며, 누가강도에 비해 충전 각형강관은 1.102배, 충전 원형강관은 1.279배의 내력상승효과를 나타냈다. 압축력과 휨을 받는 콘크리트 충전 강관의 폭-두께비는 국내의 비 충전 강관의 폭-두께비에 비해 충전 각형강관은 1.3배, 충전 원형강관은 1.6배 이상 완화할 수 있음을 알 수 있었다. 충전 효과를 고려한 중심축 하중을 받는 콘크리트 충전 강관 기둥의 내력식을 제안하였다. 실험데이터를 대표적인 복수강도 곡선인 SSRC 곡선 및 ECCS 곡선과 비교하였다.

ABSTRACT : The concrete filled tubular(CFT) columns have many excellent structural properties, such as high compressive strength, high ductility and high absorption capacity. However, the confinement effect and limiting width-thickness ratio of CFT column have not yet been clarified.

Therefore, this paper aims to clarify the confinement effect of steel tubes and strength of concrete filled steel tubular columns. And this paper presents results of a probabilistic analysis based on statistical data for strength of concrete filled steel tubular columns which has been tested in Korea for recent 10 years(1991.1~2000.6).

핵 심 용 어 : 데이터 베이스, 콘크리트 충전강관 기둥, 내력, 복수강도 곡선

KEYWORDS : data-base, concrete filled tubular column, strength, multiple column curves

1) 정회원, 송원대학 건축학과 겸임교수, 공학박사
2) 정회원, 조선대학교 건축공학과 교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2001년 8월 31일까지 학회로 보내
주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

콘크리트 충전강관 기둥(CFT, concrete filled tube)구조는 구조성능 및 내화성능과 시공성이 우수하여, 고층건축물의 기둥 부재로 적합한 구조로 인식되어 세계적으로 주목받고 있는 구조이다.

그러나 아직 국내에서는 구조시스템 및 시공기술을 뒷받침해 나갈 연구가 아직도 미흡한 실정에 있다.

특히, 콘크리트 충전으로 인한 강관의 국부좌굴 억제효과나 강관의 콘크리트 구속효과로 인한 내력상승효과 등이 명확히 밝혀지지 않고 있다.

또한, 국내의 강구조 한계상태 설계기준이나 철골·철근콘크리트 구조계산기준 모두, 철근콘크리트 기둥 단면내에 압연형강 또는 용접형강 등이 매립되어 구성되는 합성기둥에 관한 것으로 합성효과를 고려한 합리적인 CFT에 대한 설계 기준식이 마련되어 있지 않는 실정에 있다.

이에 본 연구에서는 필자의 실험과 그동안 국내에서 발표된 콘크리트충전 강관 기둥에 관한 연구논문(1991.1~2000.6)의 실험 결과값을 데이터베이스를 통해 콘크리트 충전으로 인한 내력상승효과와 폭-두께비 영향등을 파악하고자 한다. 또한 세장비에 따른 CFT 기둥의 내력을 각국 기준식과 복수강도 곡선과의 비교를 통해 합리적인 기준식 적용을 모색해서 CFT 기둥을 고층 건축물의 기둥 부재로 사용하는데 필요한 기초자료로 제시하고자 한다.

2. 충전 강관 단주(Stub-column)

2.1 데이터의 내용과 범위

부재좌굴의 영향이 없는 단주에서의 콘크리트 충전효과를 파악하기 위해 수집된 실험데이터를 표 1에 나타냈다.

표 1과 같이 각형강관은 SPSR400, 원형강관은 SPS400을 사용한 것으로 하였으며, 시험체 길이는 SSRC의 주장에 따라 좌굴의 영향을 받

지 않는 단면 폭(B)이나 단면 지름(D)의 2.5배와 3배로 하여 실험한 시험체를 대상으로 하였다.

또한, 강관 내부에 충전한 콘크리트 강도는 $150\text{kgf/cm}^2 \sim 623\text{kgf/cm}^2$ 의 범위이며, 각형강관의 폭-두께비(b/t)는 9~40, 원형강관의 지름-두께비(D/t)는 19~73으로 현행 강구조 설계기준에서 제한한 폭-두께비 이하로 나타났다.

표 1. 콘크리트 충전 강관 단주 데이터

비교	각형강관	원형강관
두께(mm)	$2.3 \leq t \leq 6.0$	$1.4 \leq t \leq 4.5$
단면크기(mm)	$50 \times 50 \sim 150 \times 150$	$\phi 68.5 \sim \phi 114.3$
길이(H/D)	2.5B, 3B	2.5D, 3D
조사논문수	10	7
폭-두께비	$9 \leq b/t \leq 40$	$19 \leq D/t \leq 73$
콘크리트 강도	$150\text{kgf/cm}^2 \sim 623\text{kgf/cm}^2$	$150\text{kgf/cm}^2 \sim 409\text{kgf/cm}^2$
데이터 수	80	54

2.2 콘크리트 충전 효과

콘크리트 충전강관 단주의 폭-두께비(D/t , b/t)에 따른 내력을 파악하기 위해, 비충전 강관의 최대내력($\sigma_u A_s$)과 콘크리트 내력($0.85f_{ck}A_c$)을 단순 누가한 누가강도(P_o)를 사용하여 그림 1에 나타냈다.

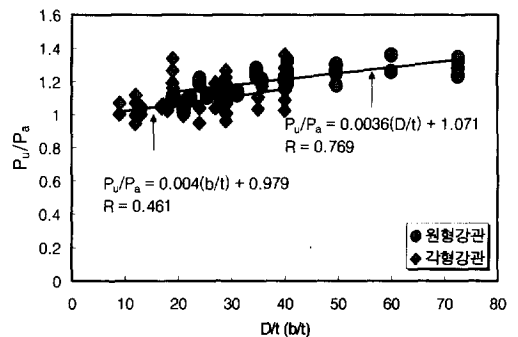
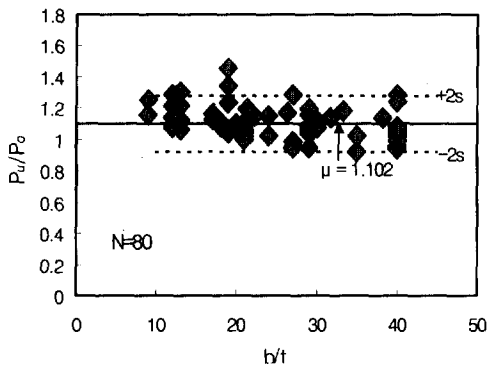


그림 1. 폭-두께비에 따른 내력상승효과

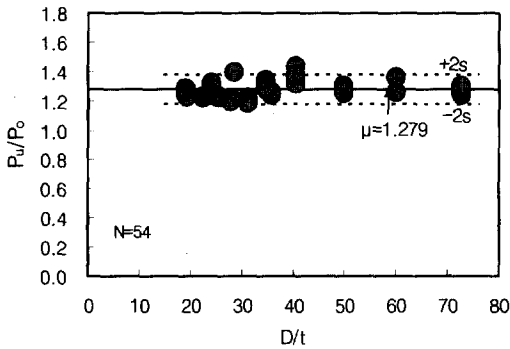
그림 1과 같이 비충전 강관의 최대내력을 누가강도 변수로 취할 때, 콘크리트 충전강관 단주는 폭-두께비나 지름-두께비가 커질수록 내력 상승효과와 비례적으로 증가함을 알 수 있다.

이는 비충전 강관인 경우, 판의 폭-두께비가 커질수록 국부좌굴의 영향을 크게 받으나, 콘크리트를 충전할 경우에는 강관의 국부좌굴 억제효과가 폭-두께비가 클수록 크게 나타나기 때문인 것으로 사료된다.

그러나 강관의 항복강도($\sigma_y A_s$)를 사용한 누가강도($P_o = \sigma_y A_s + 0.85 f_{ck} A_c$)에 대해서는 그림 2와 같이 원형강관과 각형강관 모두 폭-두께비의 영향은 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.



(a) 각형강관



(b) 원형강관

그림 2. 충전 강관 단주의 충전 효과

즉, 강관의 항복강도를 누가강도 변수로 취할 때 식 (1) 및 식 (2)와 같이 충전 각형강관은 누가강도에 비해 평균(μ) 1.102배(표준편차 0.087) 높게 나타남을 알 수 있으며, 충전 원형강관은 평균 1.279배(분산 0.049) 높게 나타남을 알 수 있다.

각형강관:

$$P_u = (\sigma_y A_s + 0.85 f_{ck} A_c) \times 1.102 \text{ cov} = 0.0121 \text{ (1)}$$

원형강관:

$$P_u = (\sigma_y A_s + 0.85 f_{ck} A_c) \times 1.279 \text{ cov} = 0.0032 \text{ (2)}$$

이와같이 콘크리트 충전으로 인한 내력상승효과는 단면의 형태에 따라 달리 나타남을 알 수 있다. 즉, 각형강관 보다는 원형강관에서 충전 효과가 높게 나타남을 알 수 있는데, 이는 각형강관인 경우 평판부의 면외 좌굴로 인해 콘크리트의 구속력이 떨어지지만 원형강관은 3축응력상태로 콘크리트를 구속하므로 내력상승효과가 더 뛰어난 것으로 사료된다.

따라서, 콘크리트 충전 강관을 기둥 부재로 적용시 콘크리트 충전으로 인한 내력상승 효과를 각형강관과 원형강관의 단면 형태에 따라 달리 적용해야 될 것으로 사료된다.

2.3 콘크리트 충전강관의 폭-두께비 제한

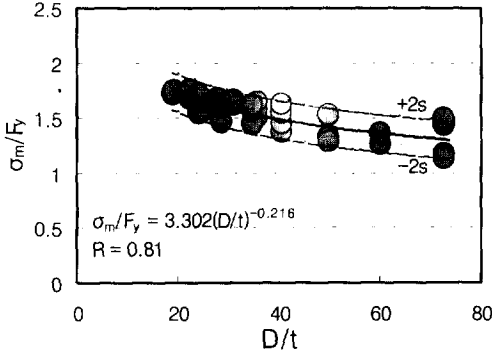
강관의 폭-두께비 제한은 판 요소의 압축응력이 항복강도에 도달하기까지는 국부적인 좌굴이 발생하지 않게 하기 위함인데, 국내에서는 콘크리트 충전에 의한 내력 및 변형능력을 고려한 콘크리트 충전 강관에 대한 폭-두께비 제한은 아직 기준에는 마련되어 있지 않으며, 외국의 기준들도 대부분 충전효과를 고려하지 않고 비충전 강관의 폭-두께비 제한값을 그대로 사용하고 있는 경우가 대부분이다.

따라서 콘크리트 충전효과를 고려한 합리적인 폭-두께비 제한값이 요구되어진다.

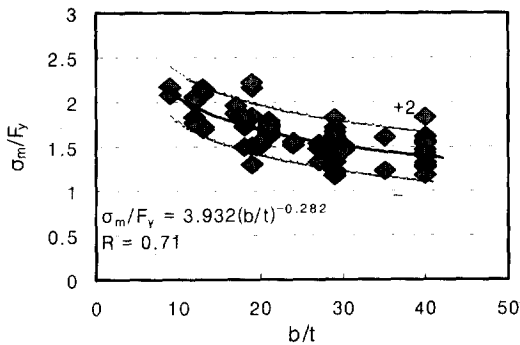
현행 국내의 "강관구조 설계기준"에서의 폭-두께비 제한값과 가까운 일본의 경우 일본건축학회의 "강관 콘크리트 구조계산 기준"에서는 압축력 및 휨을 받는 콘크리트 충전 강관의 폭-두께비 제한값은 식 (3) 및 식 (4)와 같이 규정하고 있다.

$$\text{원형강관: } \frac{D}{t} \leq \frac{240}{F_y} \quad (3)$$

$$\text{각형강관: } \frac{b}{t} \leq \frac{74}{\sqrt{F_y}} \quad (4)$$



(a) 원형강관



(b) 각형강관

그림 3. 충전 강관 단주의 폭-두께비 제안곡선

본 연구에서는 그림 3과 같이 최대 압축응력을 ($\sigma_m = P_{\max} / (As + 0.85 f_{ck} A_c / n)$) 콘크리트 단면적을 고려하여 설계강도 (F_y)로 무차원화하여 나타냈다.

수집된 데이터의 값들은 기성제품이므로 폭-두께비 제한값을 초과하는 실험값은 없지만, 평판의 좌굴은 폭-두께비(b/t)와 지름-두께비(D/t)에 반비례하는 것을 고려하여, 안전측으로 볼 수 있는 회귀곡선의 평균(μ)에서 표준편차(s) 2배를 뺀 곡선을 폭-두께비 제한값으로 하면 식 (5) 및

식 (6)과 같다.

$$\text{원형강관: } \frac{\sigma_m}{F_y} = 3.302 \left(\frac{D}{t} \right)^{-0.216} - 0.098 \leq 1$$

$$\text{cov} = 0.0079 \quad (5)$$

$$\text{각형강관: } \frac{\sigma_m}{F_y} = 3.932 \left(\frac{b}{t} \right)^{-0.282} - 0.227 \leq 1$$

$$\text{cov} = 0.0216 \quad (6)$$

따라서 식 (5) 및 식 (6)을 통해 압축력과 휨을 받는 콘크리트 충전 강관의 폭-두께비를 현행 강관구조설계 기준의 비충전 강관의 폭-두께비 제한값에 비해 원형강관은 1.6배, 각형강관은 1.3배 완화할 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 표 1의 폭-두께비 범위 안에서 제한한 것으로 차후, 제한값을 초과하는 범위에 대해서도 검토가 있어야 될 것으로 사료된다.

3. 충전 강관 기둥

3.1 데이터의 내용 및 범위

콘크리트 충전 강관기둥의 내력에 영향을 미치는 세장비(λ)에 따른 구조적 거동을 보다 명확히 규명하고자 기존 연구논문의 결과값을 정리한 후, 동일 조건에서 비교를 위해 연구대상 데이터 값을 합성항복하중 (P_{my})으로 무차원화 하였다.

또한, 기둥의 강도를 정리함에 있어서 직접 필요한 강관 단면적(A_s)은 원칙적으로 공칭단면적을 사용하였으며, 공칭 단면적이 없는 경우 실측 단면적을 사용하였다.

강관과 콘크리트의 탄성계수는 일부의 기둥에 대해서만 실측값이 있어서, 강관(E_s)인 경우 2100tf/cm²를 적용하였으며, 콘크리트(E_c)는 $15,000 \sqrt{f_c}$ 로 계산하여 적용하였다.

또한, 합성 항복하중은 좌굴하중을 무차원할 때 기준이 되는 것이지만, 일반성을 가지기 위해 강관의 항복강도는 강관 단면적(A_s)에 단주의 항복응력(σ_y)을 곱해서 구했으며, 국부좌굴로 인해 항복응력이 구해지지 않은 시험체는 인장시험의 항복응력을 사용하였다.

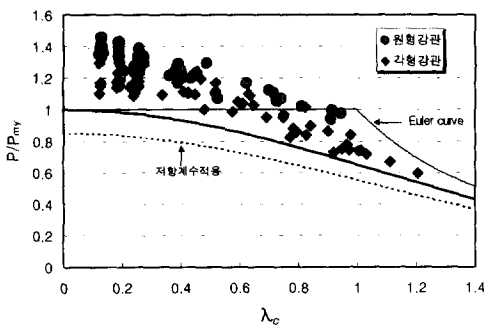
표 2는 중심압축 기둥의 조사된 데이터의 범위와 내용을 나타내고 있다.

강관 세장비는 시험체 단부의 아답터(adapter)에 의한 강역의 영향을 고려한 유효좌굴 길이를 단면2차반경(r_s)으로 나누어 사용하였다.

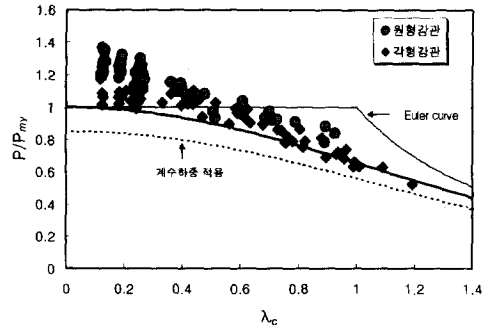
세장비 변화에 따른 콘크리트 충전강관의 내력과 각국 기준식과의 관계를 파악하기 위해, 기존 연구 논문의 결과값을 정리한 후 무차원화 하여 그림 4에 나타냈다.

표 2. 콘크리트 충전 강관 기둥 실험 데이터

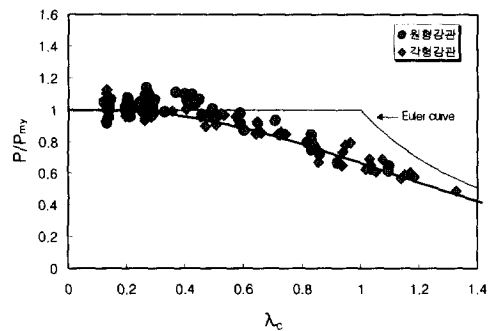
비교	각형	원형
두께(mm)	$2.3 \leq t \leq 4.5$	$2.3 \leq t \leq 5.5$
단면크기(mm)	$100 \times 100 \sim 125 \times 125$	$\phi 60.5 \sim \phi 139.8$
강관세장비(λ_s)	$10 \sim 82$	$10 \sim 70$
조사논문수	5	6
폭(지름)-두께비	$21 \leq b/t \leq 40$	$15 \leq D/t \leq 73$
충전콘크리트 강도	$175 \text{kgf/cm}^2 \sim 470 \text{kgf/cm}^2$	$181 \text{kgf/cm}^2 \sim 409 \text{kgf/cm}^2$
기둥 데이터	65	63



(a) AIK-LSD



(b) AISC-LRFD



(c) Eurocode 4-LSD

그림 4. 각국 기준식 곡선과 실험데이터의 비교

3.2 각국 기준식과의 비교

실험데이터를 각국의 설계기준식과 비교하기 위해, 대한건축학회의 한계상태 설계법(AIK-LSD), 미국의 하중저항계수설계법(AISC-LRFD) 및 유럽의 한계상태설계법(Eurocode 4)에서 저항계수, 안전율 등을 고려하지 않고 비교하였다.

표 3은 중심축 하중을 받는 콘크리트 충전 강관기둥의 실험데이터와 각국 기준식과의 상관분석 결과를 나타낸 것이다.

표 3과 같이 실험값이 AIK-LSD의 기준값에 비해 원형강관은 평균(μ) 1.376배(표준편차 0.077) 각형강관은 1.203배(표준편차 0.072) 높게 나타났으며, AISC-LRFD 기준값 보다는 원형강관은 1.240배(표준편차 0.086), 각형강관은 1.080배(표준편차 0.062) 높게 나타남을 알 수 있는데

표 3. 각국 기준값선과 실험데이터의 상관분석결과

분석	항목	평균	표준	표준	분산	데이터
		(μ)	오차	편차	(cov)	수
		(e)	(s)	(cov)	(N)	
AIK-LSD	원형	1.376	0.009	0.077	0.006	63
	각형	1.203	0.009	0.072	0.005	65
	전체	1.288	0.010	0.114	0.013	128
AISC-LRFD	원형	1.240	0.019	0.086	0.007	63
	각형	1.080	0.010	0.062	0.004	65
	전체	1.159	0.009	0.109	0.012	128
Euro code 4	원형	1.044	0.007	0.056	0.003	63
	각형	1.023	0.006	0.051	0.003	65
	전체	1.023	0.005	0.054	0.003	128

특히, 무차원세장비가 작을수록 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

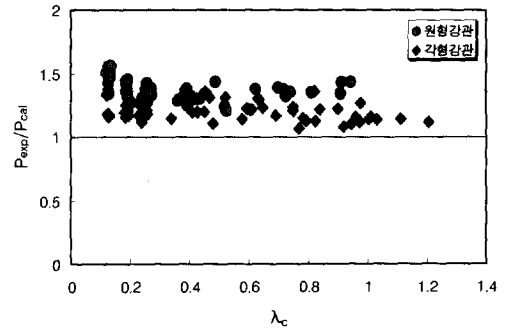
Eurocode 4의 기준값과의 비교에서도 원형강관은 1.044배(표준편차 0.056), 각형강관은 1.023배(표준편차 0.051)높게 나타나 실험값이 각국 기준값보다 높음을 알 수 있다.

또한 이러한 내력은 각형강관 보다는 원형강관의 실험값이 기준값보다 더 높게 나타남을 알 수 있는데, 이는 단주에서와 같이 원형강관의 콘크리트 구속효과가 각형강관 보다 뛰어나기 때문인 것으로 사료된다.

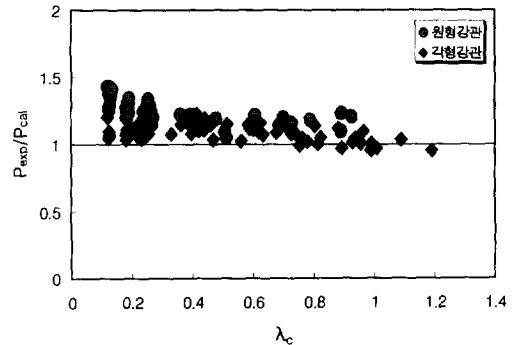
또한, 각국 기준값 중에서는 Eurocode 4 기준값이 AIK-LSD 기준값이나, AISC-LRFD 기준값보다 실험데이터와 좋은 대응을 보여주고 있다.

Eurocode 4가 실험데이터와 좋은 대응을 보인 것은 불안전성과 세장효과를 고려한 강도저감계수(χ)에 축방향 소성저항력(N_{pl}) 계산시 콘크리트 단면 내력을 AIK-LSD의 $0.6A_c f_{ck}$ 나 AISC-LRFD의 $0.85A_c f_{ck}$ 와는 달리 $A_c f_{ck}$ 를 사용하기 때문인 것으로 사료된다.

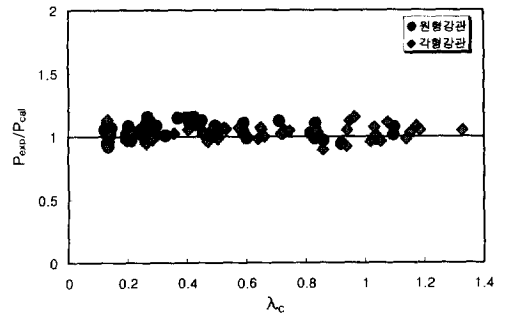
또한, AIK-LSD 기준값이 AISC-LRFD 기준값이나 Eurocode 4 기준값보다 콘크리트 충전강관 기둥에 대한 내력을 낮게 평가하고 있음을 알 수 있는데, 이는 합성탄성계수(E_m)의 산정시 좌굴 발생시의 콘크리트의 인장부분을 공제하고자 AISC-LRFD의 $0.4E_c$ 나 Eurocode 4의 $0.8E_c$ 보다 낮은 $0.2E_c$ 로 산정하고 있고, 합성항복강도(F_{my})



(a) AIK-LSD



(b) AISC-LRFD



(c) Eurocode 4

그림 5. 각국 기준값과 실험데이터의 비교

산정시에도 콘크리트 기여도를 AISC-LRFD나 Eurocode 4의 $0.85f_{ck}$ 보다 낮은 $0.6f_{ck}$ 로 산정하고 있기 때문인 것으로 사료된다.

따라서 AIK-LSD 설계식에서 콘크리트 부분의 내력산정식에서 중심축 하중을 받는 콘크리트 충전강관에 대해서는 내력 산정시 합성효과를 고려한 합성항복강도와 합성탄성계수를 수정할 필요가 있다고 사료된다.

3.3 중심축 하중을 받는 콘크리트 충전 강관 기둥의 내력식 제안

중심축 하중을 받는 콘크리트 충전 강관 기둥에 대한 AIK-LSD 기준식을 살펴본 결과, 철근콘크리트 기둥 단면내에 압연형강 또는 용접형강등이 매립된 합성기둥에만 적용되는 대한건축학회의 한계상태설계법은 너무 안전측으로 나타나므로, 충전 효과를 고려한 합리적인 내력식을 제안하고자 한다.

대한건축학회 한계상태설계법에서 중심축하중을 받는 합성기둥 내력식을 수정보완하여 제안한 것으로, 콘크리트 충전 단주에서의 내력상승효과를 고려하여 식 (7)~식 (10)과 같이 나타냈다.

$$P_n = A_m F_{cr} \quad (7)$$

$$F_{cr} = (0.65^{\lambda_c^2}) \cdot F_{my} \quad (8)$$

$$\text{원형강관: } F_{my} = (F_y + 0.85f_{ck} \frac{A_c}{A_s}) \times 1.2 \quad (9)$$

$$\text{각형강관: } F_{my} = (F_y + 0.85f_{ck} \frac{A_c}{A_s}) \times 1.0 \quad (10)$$

여기서,

$$\lambda_c = \frac{KL}{r_m \pi} \sqrt{\frac{F_{my}}{E_m}}$$

$$A_m = A_s \text{ (cm}^2\text{)}, \quad r_m = r_s \text{ (cm)}$$

$$E_m = E_s + 0.4 E_c \frac{A_c}{A_s} \text{ (tf/cm}^2\text{)}$$

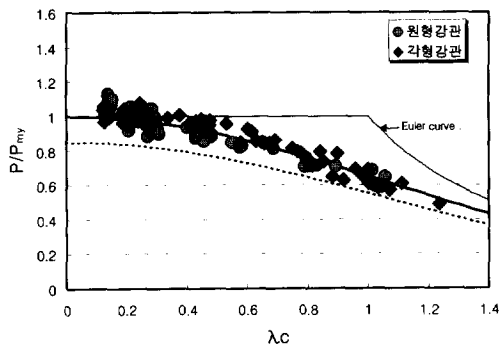


그림 6. 제안식 곡선과 실험데이터의 비교

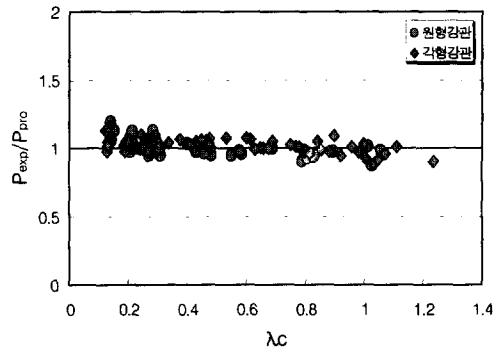


그림 7. 제안식과 실험데이터의 비교

표 4. 제안값과 실험데이터의 상관분석결과

단면형태	평균 (μ)	표준오차 (e)	표준편차 (s)	분산 (cov)	데이터수 (N)
원형	1.030	0.009	0.070	0.005	63
각형	1.017	0.006	0.048	0.002	65
전체	1.023	0.005	0.060	0.004	128

3.4 복수강도 곡선과의 비교

실제 기둥내력은 단면내의 잔류응력 분포 형태, 단면 형상 및 좌굴축에 따라 변하므로 이같은 변수들을 만족시킬 수 있는 설계방법으로 복수강도곡선의 적용이 필요로 한다.

콘크리트 충전 강관에 대한 복수강도 곡선은 없지만, 기둥의 최대내력을 대표적인 복수강도 곡선인 SSRC와 ECCS곡선과 비교하기 위해 종축은 합성항복하중 ($P_{my} = \sigma_y A_s + 0.85 f_{ck} A_c$)을 사용하여 무차원 변수로 하였다.

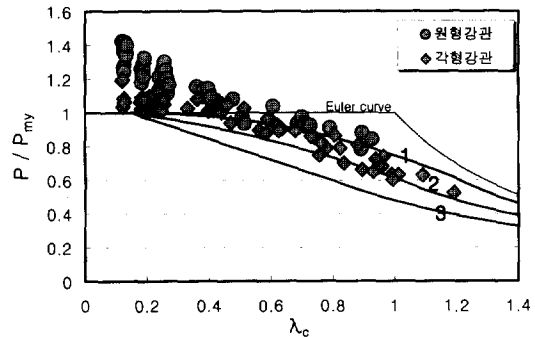


그림 8. SSRC 복수강도 곡선과 데이터의 비교

SSRC 복수강도 곡선에 제안한 curve 1, 2, 3 과 실험데이터를 비교한 결과 충전 원형강관은 세장비가 작을 수록 curve 1곡선에 상회하여 나타남을 알 수 있으며, 각형강관은 curve 2 곡선에 상회하여 나타남을 알 수 있다.

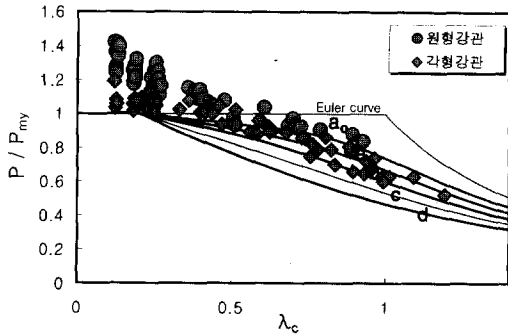


그림 9. ECCS 복수강도 곡선과 실험 데이터의 비교

ECCS 복수강도 곡선과 실험 데이터를 비교해 보면, 충전 원형강관인 경우 curve a0 곡선에 상회하여 나타나고 있으나, 각형강관은 b 곡선에 상회하여 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 콘크리트 충전 강관 단주의 콘크리트 충전으로 인한 내력상승효과는 강관의 항복강도를 사용한 누가강도에 비해 충전 각형강관은 1.102배, 충전 원형강관은 1.279배의 내력상승효과를 나타냈다.
- (2) 압축력과 휨을 받는 콘크리트 충전 강관의 폭-두께비는 현행 강관구조 설계기준의 폭-두께비에 비해 각형강관은 1.3배, 원형강관은 1.6배 이상 완화 할 수 있다고 사료된다.
- (3) 충전 효과를 고려한 중심축 하중을 받는 콘크리트 충전 강관 기둥의 내력식을 제안하였다.
- (4) SSRC의 복수강도 곡선에 충전강관 기둥값을

적용했을 때, 충전 원형강관은 curve 1곡선, 각형강관은 curve 2곡선에 상회하여 나타났다.

- (5) ECCS의 복수강도 곡선과의 비교에서는 충전 원형강관은 curve a0곡선에, 각형강관은 b곡선에 상회하여 나타났다.

감사의 글

이 논문은 1999년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으므로 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

1. 한국강구조학회, 강구조 편람, 제3권, "강구조 건축물의 설계", 1995.
2. 대한건축학회, "강구조 한계상태 설계기준 및 해설", 1998.
3. 대한건축학회, "강관구조설계기준 및 해설", 1998
4. 대한건축학회, "철골·철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설", 2000.
5. 日本建築學會, 鋼管 콘크리트 計算基準·同解説", 1980.
6. AISC, "Manual of Steel Construction - Load Resistance Factor Design", Second Edition, 1994.
7. Eurocode 4 No.4, "Design of Composite Steel and Concrete Structure : Part 1-General Rules and Rules for Building", Revised Draft, March 1992.
8. ECCS, "European Recommendations for Steel Construction Press", 1981.
9. SSRC, "Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures", Fifth Edition, Theodore V & Galambos, 1998.
10. Bjorhovde, "Deterministic and Probabilistic Approaches to the Strength of Steel Column", 1972.
11. Theodore V. Galambos, "Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures", 4/e, 1998.
12. 강현식, "충전콘크리트 각형 및 원형강관주의

- 최대내력에 관한 실험적 연구”, 석사학위논문, 한양대학교, 1993.
13. 김주인, “편심 축하중을 받는 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 내력 및 변형거동에 관한 연구”, 석사학위논문, 조선대학교, 1997.
 14. 박정민, 김화중, “축압력을 받는 콘크리트 충전강관 거동의 거동 특성에 관한 연구”, 한국강구조학회논문집, 1995.12.
 15. 심종성, 김규석, “콘크리트 충전 각형강관 단주의 내력에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 1997.2.
 16. 유영찬, “콘크리트충전 각형강관 구조의 거동에 관한 연구”, 박사학위논문, 한양대학교, 1997.
 17. 이문수, “충전콘크리트 원형강관주의 좌굴내력에 관한 실험적 연구”, 석사학위논문, 한양대학교, 1993.
 18. 천수현, “편심압축력을 받는 고강도 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 내력에 관한 연구”, 석사학위논문, 조선대학교, 2000.
 19. 최성모, “콘크리트 충전 원형강관 기둥 및 접합부의 특성에 관한 연구”, 박사학위 논문, 서울시립대학교, 1995.
 20. 한동신, “각형강관의 내력 및 성형효과에 관한 연구”, 석사학위논문, 한양대학교, 1991.
- (접수일자 : 2000년 11월 14일)