

지름두께비를 고려한 콘크리트충전 원형강관기둥에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Concrete Filled Circular Steel Columns with D/t

○ 한 병 찬*
Han, Byung-Chan

임 경 택**
Lim, Kyung-Teak

엄 철 환***
Eom, Chul-Hwan

연 길 환****
Yeon, Gil-Hwan

윤 석 천****
Yun, Suk-Chun

정 수 영****
Chung, Soo-Young

ABSTRACT

This paper presents an experimental study on the strength and deformation of concrete-filled circular steel short columns. Six specimens of concrete-filled circular short columns were tested under concentric compressive load. For comparison, three specimens of circular steel short columns were also loaded to failure. The ultimate strength, ductility, and confinement mechanism of columns were compared. In the comparison, the effect of width-thickness ratio and concrete compressive strength on the behavior of columns were examined.

As a result, the axial load versus axial average strain relationship of concrete-filled circular steel columns was very stable, because of interactions between the concrete and steel, the strength are 13% and 30% larger than the strength estimated by simply superimposed method of the concrete and steel.

The ratio of the circumferential to longitudinal strain increment, both measured on the steel surface, was 0.28 up to the longitudinal strain of 0.1%, increases from 0.3 to 0.8 between the strain of 0.1% to 0.3%, and 0.8 beyond the strain of 0.3%

1. 서 론

강관에 콘크리트를 충전한 콘크리트 충전 강관 기둥(이하 충전강관 기둥)은 높은 내력과 변형능력을 가지고 있는 것으로 보고되고 있는데, 이는 강관의 구속효과에 의하여 콘크리트의 내력과 변형능력이 증가하고, 콘크리트의 구속에 의하여 강관의 국부좌굴하중이 증가하기 때문으로 판단된다. 이러한 구조적으로 많은 장점을 가지고 있는 충전강관기둥 부재에 있어서는 충전콘크리트의 고강도화 및 강재의 지름두께비 완화를 통하여 구조적으로 보다 강도가 우수하

고 경제적인 기둥부재를 창출할 수 있다.

그러나, 고강도콘크리트를 충전강관부재에 적용하는 경우에 있어서는 콘크리트 파괴강도시의 변형(ϵ_u)이 기존의 보통강도 콘크리트에 비하여 안정적(Conservative)이지 못하므로 충전콘크리트보다 강관이 먼저 국부좌굴할 수 있으며, 강관의 지름두께비를 완화시킬 경우에 있어서는 고강도콘크리트의 특성인 취성파괴(Brittle Failure)를 강관이 적절히 구속하지 못할 가능성이 있다.

기존의 충전강관 기둥부재에 대한 많은 연구에서는 강관의 지름두께비가 대부분 작아서 충전콘크리트가 파괴되기 전에 강관이 국부좌굴하거나, 이러한 구조특성에 대한 정량적인 분석에 있어서는 연구가 미흡한 실정이었다.

그러므로, 본 논문은 지름두께비를 고려한 충

* 충남대학교 건축공학과 대학원, 석사과정

** 충남대학교 건축공학과 대학원, 박사과정

*** 삼성건설기술연구소 수석연구원, 공박

**** 충남대학교 건축공학과, 공박, 교수

Table 1. Properties of concrete-filled circular steel Columns

Specimen*	Nominal D/t	Size in Rectangular Tube					Concrete Strength (kg/cm ²)	Steel Strength (kg/cm ²)
		t (mm)	Depth(D) (mm)	D/t	L (mm)	L/B		
SC49-00	45	2.30	113.40	49.3	319.0	2.81	—	3160.0
CC49-30		2.33	113.46	48.7	320.0	2.82	354	3160.0
CC49-60		2.30	113.40	49.3	319.0	2.81	640	3160.0
SC74-00	74	1.54	111.88	72.3	320.0	2.86	—	3160.0
CC74-30		1.52	111.82	74.1	320.0	2.86	354	3160.0
CC74-60		1.50	111.80	74.5	320.0	2.86	640	3160.0
SC110-00	110	1.03	110.86	110.9	321.0	2.90	—	3160.0
CC110-30		1.00	110.80	110.8	319.0	2.88	354	3160.0
CC110-60		1.03	110.86	110.9	320.0	2.89	640	3160.0

* CC49-00

Compressive Concrete Strength(30:300kg/cm², 60:600kg/cm²)
 B/t : 49, 74, 110
 Specimens' Type (SC:Circular Steel Tube, CC:Concrete Filled Circular Steel)

전강관 기둥부재의 실험적 연구를 통하여 고강도콘크리트 사용시 내력특성과 거동을 분석하므로써 고강도콘크리트의 충전강관부재에 이용에 대한 기초적인 자료를 제시하는 것을 목적으로 한다.

실험은 지름두께비(50~100), 콘크리트 강도(300, 600kg/cm²)를 변수로 하여 중심축하중 상태에서 수행하였으며, 각각의 변수에 대한 파괴상황, 하중-변형관계, 구속메카니즘에 관하여 분석을 실시하였다.

2. 실험개요

2.1 시험체

중심축력을 받는 충전원형강관기둥 실험을 위하여 지름두께비, 콘크리트 압축강도를 주요 변수로 한, 충전원형강관기둥 9본을 계획하였다. 표 1은 상세한 실험체의 일람표를 나타낸다.

시험체에 사용된 강관은 SS41급의 직경 1113.4mm, 높이 320mm의 원형강관 기성제품을 각각의 D/t에 맞게 바깥면을 절삭가공하였다.

시험체는 미리 거푸집을 제작하여 거푸집안에 강관을 고정시킨다음 하부의 시멘트 페이스트 누출을 없애기 위하여 틈을 제거하였다. 실험에 사용된 콘크리트는 콘크리트 설계압축강도를 각각 300, 600kg/cm²으로 하였으며 콘크리트의 배합은 충남대학교에서 강재믹서를 이용하여 각 배합표에 따라 비빔을 실시하였다. 콘크리트의 타설은 각 시험체 별로 붓다짐을 실시하여 내부의 공극을 없애며 타설경과 후 표면에 굳는 상태에서 모르타르 캐핑을 실시하여 기건양생시켰다. 또한 각 시험체별로 콘크리트 공시체를 제작하였다.

2.2 가력방법

가력은 충남대학교 구조실험실의 200ton용 구조물시험기를 이용하여 행하였다. 실험방법은 중심압축상태에서 수행하며, 실험체의 가력방법은 그림 1과 같으며, 가력속도는 400kg/sec로 하였다. 가력은 상부헤드를 실험체에 밀착시켜 강관과 콘크리트에 동시에 가력되도록 하였다.

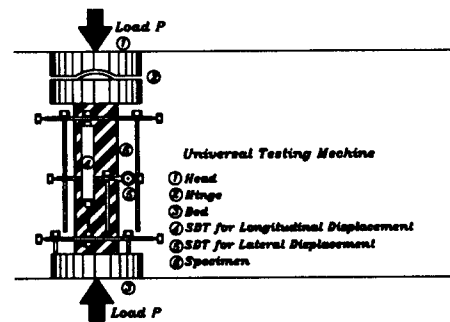


Fig. 1. Test Set-up and Measuring System

측정장치는 그림과 같이 4개소의 측면위를 SDT(Strain Displacement Transducer)를 이용하여 측정하였다.

강관표면의 종방향 및 횡방향의 변형은 실험체 중간에 부착된 4개의 2방향 W.S.G(Wire Strain Gage)를 이용하여 측정하였다. 또한, 국부 좌굴의 검토를 위하여 단부에 각각 4개의 1방향 WSG를 부착하였다.

2.3 재료실험

충전각형강관 기둥에 사용된 강재와 콘크리트에 대한 재료실험을 실시하였다.

강관은 강재인장시험(Tensile-Coupon Test)를 실시하여 인장강도를 평가하였으며, 상세한 재료 실험 결과는 표 2에 나타나 있다.

Table 2. Material Properties of Steel(Tensile-Coupon Test)

Series	σ_y	ϵ_y	E	ν
	kg/cm ²	($\times 10^{-3}$)		
plate 2.30 mm	3160.0	1.50	2.12	0.289

Note : E=Elastic Modulus, σ_y =Yield Stress, ϵ_y =Yield Strain, ν =Poisson's Ratio

콘크리트는 제작된 원형몰드 공시체 중, 3본을 실험당일 측정하여 그 평균값을 콘크리트의 압축강도로 채택하였다. 실험결과를 표 3에 나타내었다.

Table 3. Material Properties of Concrete

Series	Days	fc	E	εy
	kg/cm ²	(× 10 ³)	kg/cm ²	
S300	30	354	2.70	0.261
S600	32	640	3.56	0.271

Note : fc=Uniaxial Compressive Cylinder Strength of Concrete,
 S300 = Concrete Strength(300kg/cm²)
 S600 = Concrete Strength(600kg/cm²)

3. 실험결과

지름두께비를 고려한 충전원형강관의 거동을 내력, 파괴상황, 하중-평균변형 관계, 구속효과 특성으로 나누어 분석하였다. 표 4는 실험결과를 나타내고 있다.

3.1 파괴상황

실험체의 전반적인 파괴상황은 다음과 같다. 실험체는 항복후에도 내력의 증가가 완만하게 진행되는 현상을 보였다. 최대 하중이후에 중앙부의 횡방향 변형이 증가하면서 중앙부가 부풀어 오르는 것이 관찰되었으나 큰 내력의 손실은 없었다. 국부좌굴은 항복이후 발생하므로써 탄성상태에서의 지름두께비에 의한 영향은 없는 것으로 나타났다.

3.2 하중-평균변형 관계

그림 2는 중공강관의 하중 평균변형 관계를, 그림 3(a),(b)는 각각 실험체의 하중-평균변형 및 횡방향대 종방향 변형의 비 관계를 나타내고 있다. 항복강도는 0.2%offset으로 산정하였으며, 실험결과는 표 2.3과 같다.

중공강관 (SC 시리즈) 시험체의 경우에는 국부좌굴에 의하여 최대내력이 결정되었으며 지름두께비가 큰 SR110-00시험체까지 항복강도 이상을 보였다.

Table 4. Test Results in Specimens

Specimen	Concrete Strength (kg/cm ²)	Steel Strength (kg/cm ²)	Po (ton)	Pmax (ton)	Po/Pmax	Remark
SC49-00	—	3160.0	25.37	26.20	1.03	Po : Superimposed Strength SC Series : Po=σy · As CC Series : Po=fcAc+σyAs TC Series : Po=fc · Ac As = Cross Sectional Area of Steel Ac = Cross Sectional Area of Concrete
CC49-30	354	3160.0	59.11	76.95	1.30	
CC49-60	640	3160.0	84.87	102.30	1.21	
SC74-00	—	3160.0	16.87	17.60	1.04	
CC74-30	354	3160.0	49.76	63.50	1.27	
CC74-60	640	3160.0	76.37	86.11	1.13	
SC110-00	—	3160.0	13.23	14.10	1.06	
CC110-30	354	3160.0	46.14	54.10	1.17	
CC110-60	640	3160.0	72.73	84.81	1.16	

충전강관 시험체의 경우에는 축압축내력은 모두가 일반화 누가강도 이론에 의한 이론적인 강도보다 13%~30% 정도 높게 평가되었으며, 충전콘크리트 강도가 낮을수록 내력의 상승률은 높은 것으로 나타났다.

또한, 실험결과 지름두께비가 작을수록 내력의 증가비가 커짐을 알 수 있었는데 이는 강관의 지름두께비가 콘크리트의 횡구속효과에 의한 내력의 증가에 매우 중요한 요소임을 나타낸다. 전반적인 이력특성에 있어서는 모든 실험체가 항복이후 내력의 완만한 상승을 보이다가 내력의 저하가 나타났는데 지름두께비가 커질수록 최대내력시의 변형이 작아지며 내력의 저하율이 커지는 것을 알 수 있었다. 또한 내력의 저하원인은 항복이후 강관의 콘크리트에 대한 횡구속효과가 작아지면서 콘크리트의 균열에 의한 유효단면적의 저하때문으로 판단된다. 그러나 중앙부의 구속효과가 감소하더라도 단부에 있어서는 콘크리트에 대한 구속효과가 계속 지속되므로써 내력의 저하가 완만한 것으로 판단된다.

항복이후의 국부좌굴의 특성을 분석하면 다음과 같다. 단부에 붙여진 변형계이지 분석을 통하여 전 시험체가 항복 이후에 국부좌굴이 발생하는 것을 알 수 있었다. 그러나 급격한 내력의 저하는 관찰할 수 없었다.

3.3 구속효과특성

그림 3(a), (b)에서 가로축은 시험체 중앙부의 종방향 평균변형을 세로축은 단순누가에 의한 최대내력과 실제 가해진 내력의 비와 시험체 중앙부에서의 포아송비를 나타내고 있다. 이를 통하여 합성기둥의 구속효과특성을 분석하면 다음과 같다.

탄성영역에서는 강관에 부착된 게이지에 의하여 획득된 포아송비가 0.3~0.35로서 강관의 포아송비와 유사함을 알 수 있었다. 그러므로 콘크리트의 포아송비가 0.16정도로 판단해 볼때

콘크리트를 강관이 적절히 구속하고 있지 않고 있음을 알 수 있었다. 실험체가 항복하는 경우, 초기에는 포아송비가 비선형적으로 급격히 증가하게 되는데, 이는 콘크리트의 횡팽창을 강관이 구속하기 시작하는 것

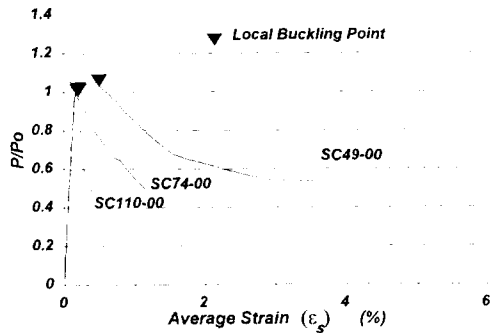


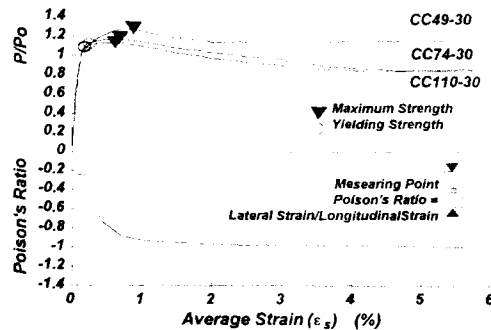
Fig. 2. Load versus Average Strain Curves under Concentric Compression Load in SC series

으로 판단할 수 있으며, 점차적으로 포아송비의 증가율이 둔화되었다.

대체적으로 시험체별로 차이는 있으나, 평균 변형 0.1% 까지는 강재의 포아송비 0.28~0.3으로 일정하였으며, 평균변형 0.1%~0.3% 정도에서 급작스럽게 0.3~0.8로 포아송비가 증가하였으며, 0.3% 이후부터는 감소의 추이가 둔화되었다.

4. 결론

실험결과 구속효과에 의한 강도의 증가 및 강관의 국부좌굴 억제를 통한 지름두께비의 완화가 가능할 것으로 판단되었으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.



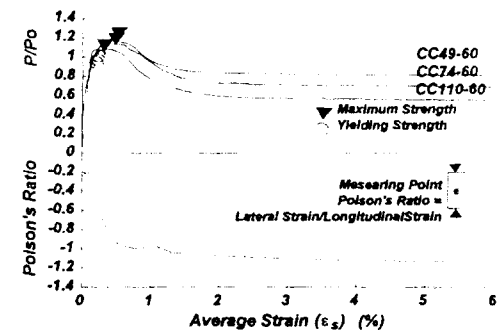
(a) concrete strength 300 kg/cm²

1) 고강도 콘크리트의 충전콘크리트 기둥부재의 사용성 평가를 위한 기초적인 중심압축 실험 결과 충전강관 기둥의 거동은 매우 안정적이었으며, 지름두께비 50~100의 모든 시험체가 일 반화 누가강도를 13~30% 상회하였다.

2) 강관의 구속효과에 의한 강도의 증가 및 콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 억제를 통하여 지름두께비의 완화가 가능할 것으로 판단되며, 지름두께비가 기존의 강구조규준에서 제안하고 있는 한계 지름두께비를 초과한 경우에 대해서도 연구의 필요성이 제기되었다.

5. 참고문헌

- (1) Gil.W.Yeon et al., "An Analytical Study on the Ultimate Strength of Concrete Filled Circular Steel Considering Confinement Effect", KAI, Taejon Chungnam Chapter. Vol. 2, No. 2, Dec.12, 1994
- (2) Soo. Y, Chung, "Ductility and Strength under Uniaxial Compression". RIIT Chungnam UNV., Vol.8, No.2, Dec,1993
- (3) Harbin Architectural and Civil Engineering Institute. Pro. of the International Speciality Conference on Concrete Filled Steel Tubular Structures, Harbin, 1988.8
- (4) ASCCS : Proceedings of the Third International Conference on Steel-Concrete Composite Struct. Fukuoka, 1991.9
- (5) ASCCS :Proceedings of the Fourth International Conference on Steel-Concrete Composite Struct. Kosice, 1994.7
- (6) M. Tomii, "Experimental Studies on Concrete Filled Steel Tublar Stub Columns under Concentric Loading", SSRC, 1977
- (7) M. Tomii, "Investigations on Transversely Super Reinforced Concrete Structure & Concrete Filled Tube Structure", Kyushu Univ, 1988



(b) concrete strength 600 kg/cm²

Fig. 3. Load versus Average Strain Curves and the ratio of the circumferential to longitudinal under Concentric Compression Load in CR series