

충전강관 부재의 휨거동에 대한 실험적 연구

A Experimental Study on Concrete Filled Tubes(CFT) in Flexure

정철현*

김인규**

진병무**

박세진***

이윤석***

Chung, Chul Hun

Kim In Gyu

Jin, Byeong Moo,

Park, Se Jin,

Lee, Yun Seok

ABSTRACT

To apply CFT members into the bridge girders, bending behavior of CFT is to be investigated. However, pure bending tests of CFT have been rarely performed, while much of the experimental study of CFT focuses on the axial loading. In this study, ultimate bending strength of CFTs with various different thicknesses and diameters was measured and compared with behaviors of bare tubes. It shows the beneficial effect of concrete for CFT in flexure to increase strength and ductility.

1. 서론

콘크리트 충전강관(Concrete Filled Steel Tube)은 강관내부에 콘크리트를 충전한 합성구조재이다. 교량구조물의 교각이나 건축물의 기둥으로 사용되는 압축을 받는 충전강관 부재의 경우, 콘크리트가 대부분의 압축력을 분담하고 있어 강관 기둥에 비하여 압축에 대한 내력이 크게 증가함을 여러 연구의 결과에서 보여주고 있다. 그러나 순수 휨을 받는 부재의 경우는 기둥과 같은 부재와 달리 충전효과에 대한 연구 및 실험이 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 충전강관 부재의 순수 휨에 대한 충전효과를 관찰하기 위하여 5개의 강관과 6개의 충전강관에 대하여 4점 휨 실험을 수행하였다. 4점 휨 실험을 통해 강관과 충전강관의 파괴모드, 하중-처짐 곡선 및 휨에 대한 단면변형률을 측정하고자 하였다.

2. 충전강관의 휨실험

2.1 실험체 종류 및 제작

충전강관 부재의 휨 거동 특성을 평가하기 위하여 총 11개의 부재가 제작되었으며 그 제원은 표 1과 같다. 부재의 길이는 모두 6.0m이다. 일반 강관 및 충전강관 부재의 실험을 위하여 외부 정사각형의 격벽 설치를 부재의 양 지점 및 하중 가력지점 등 총 4 곳에 설치하였다. 비 충전강관 및 충전강관 부재가 가력에 의한 전단력에 의한 국부좌굴 파괴를 방지하기 위해 격벽의 개수 및 최소치수를범용구조해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 결정하였다. 충전강관은 강관에 비해 전단력에 대한 내력이 매우 크므로 강관보다는 얇은 두께의 격벽 모델이 필요하지만 실험 후 충전강관과 강관의 비교를 위하여 동일한 격벽 요소를 사용하였다. 강관실험체 모델 제작에 사용된 강관은 모두 SS400 강종을 사용하였다.

표 1. 실험부재의 종류

* 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 교수
** 정회원, 대우건설 기술연구소 선임연구원
*** 정회원, 대우건설 기술연구소 연구원

	직경(mm)	두께(mm)	충전여부	개수
CASE 1	D=355.6	t=6.3	○	1 EA
CASE 2	D=355.6	t=6.3	X	1 EA
CASE 3	D=355.6	t=9.0	○	1 EA
CASE 4	D=355.6	t=9.0	X	1 EA
CASE 5	D=355.6	t=12.0	○	1 EA
CASE 6	D=355.6	t=12.0	X	1 EA
CASE 7	D=267.4	t=9.0	○	1 EA
CASE 8	D=406.4	t=9.0	○	1 EA
CASE 9	D=406.4	t=9.0	X	1 EA
CASE 10	D=508.0	t=9.0	○	1 EA
CASE 11	D=508.0	t=9.0	X	1 EA

2.2 충전콘크리트 재료특성

본 실험에 사용된 충전용 콘크리트에는 유동성 확보를 위하여 고성능 감수제를 사용하였으며 콘크리트 배합표는 표 2와 같다. 콘크리트의 충전은 강관을 1:3정도의 경사에 충전강관을 놓은 후 충전강관 단부에 연결 파이프를 통해 콘크리트를 충전하였다.

표 2. 충전 콘크리트의 배합표

압축강도 (kgf/cm ²)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	단위중량(kg/m ³)			
			물	시멘트	세골재	조골재
300	21	47.4	165	348	846	975

2.3 가력 및 측정방법

콘크리트 충전강관의 순수 휨 거동을 위하여 4점 휨 실험을 수행하였다. 하중의 재하는 100tf 가력기 2대를 이용하여 가력하였으며, 편심에 의한 부재의 비틀림을 방지하기 위하여 기본 부속장치를 통해 충전강관부재의 변위 방향을 수직으로만 발생하도록 좌·우측에 볼지그를 설치하였다. 하중의 가력은 충전강관부재와 강관 모두 동일한 치수의 부재중 강관의 탄성한계까지는 하중제어로 하중을 가력하고, 그 이후는 변위제어로 하중을 가력하였다. 계측센서의 종류와 부착위치는 그림 2와 같다.

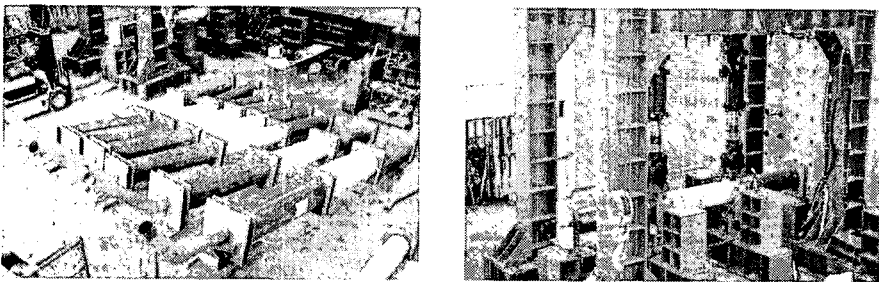
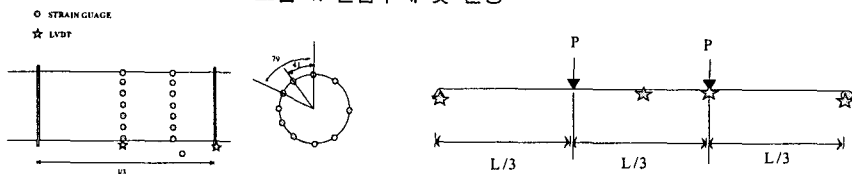


그림 1. 실험부재 및 전경



(a) 변형률게이지위치

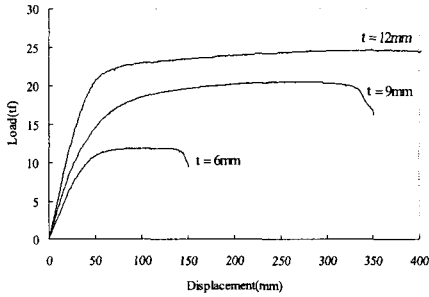
(b) LVDT부착위치

그림 2. 실험체 측정부위 변형률 게이지 및 LVDT 부착 위치

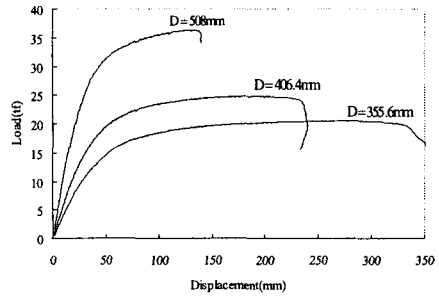
3. 실험결과분석

3.1. 강관 및 충전강관의 두께 및 직경변화에 따른 하중-처짐곡선

그림 3(a)는 직경이 355.6mm로 일정한 강관에 두께가 각각 6.3mm, 9mm, 12.0mm인 실험부재에 대한 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이다. 부재의 두께가 클수록 내력이 증가하고, 큰 연성거동을 보이는데, 이것은 강관의 두께가 얇을 수록 휨 변형 후에 압축측 최 상단 부근에서 국부좌굴에 의한 급격한 파괴거동을 보이기 때문으로 판단된다. 그림 3(b)에서 강관의 두께를 9.0mm로 동일하게 놓고 강관의 직경을 변화시킨 하중-처짐 곡선을 살펴보면 직경이 클수록 내력을 증가하나 연성거동은 작게 나타나는 것을 알 수 있다.



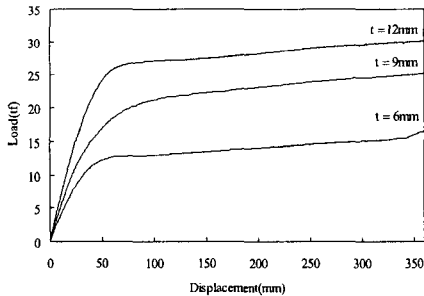
(a) 두께변화(D=355.6mm 일정)



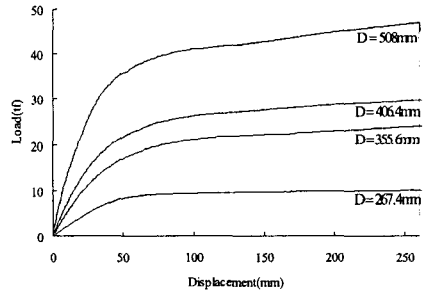
(b) 직경변화 (t=9.0mm 일정)

그림 3. 강관의 하중-처짐곡선

충전강관의 실험에서는 강관과 같은 압축측 최 상단 부근에서의 국부좌굴에 의한 급격한 파괴가 나타나지 않았다. 이는 충전강관의 장점인 강관의 단면 내 변형이 충전된 콘크리트에 의해 구속되기 때문인 것으로 판단된다.



(a) 두께변화(D=355.6mm 일정)

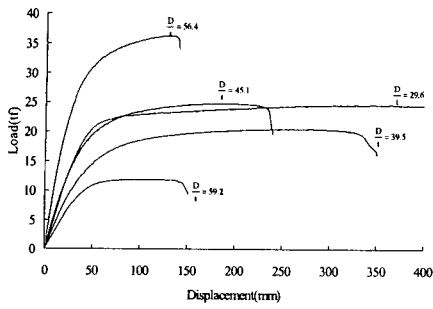


(b) 직경변화 (t=9.0mm 일정)

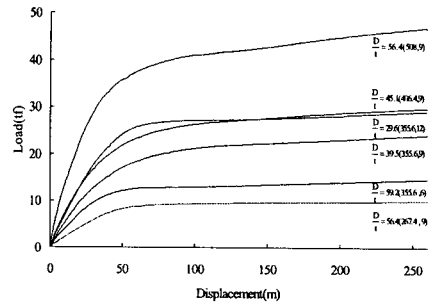
그림 4. 충전강관의 하중-처짐곡선

3.2 직경/두께(D/t)비에 따른 하중-처짐 곡선

직경/두께(D/t)에 따른 강관의 휨에 대한 하중-처짐 관계는 그림 5(a)와 같다. 직경/두께(D/t)비가 클수록 연성이 저하됨을 알 수 있다. 충전강관의 휨에 대한 하중-처짐 관계는 그림 5(b)와 같다. 충전강관 부재는 강관에 비해 직경/두께(D/t)비에 상관없이 연성거동을 보이는 것으로 나타났다.



(a) 강관



(b) 충전강관

그림 5. 충전유무에 따른 D/t에 따른 하중-처짐 관계

3.3 실험부재의 모멘트-응력 관계 곡선

충전강관과 중공강관의 순수 휨 거동에 대한 비교를 위하여 모멘트-응력 관계곡선을 표시하였다. 모멘트-응력 관계 곡선에서 보듯이 충전강관은 강관보다 높은 휨 모멘트를 받는 것으로 나타났다. 휨 거동에 있어서 강관은 단면상부 응력의 절대값이 거의 같은 것으로 나타나고 있으나, 충전강관은 압축 축의 변형률보다 인장축의 강재의 변형률이 많게는 2배 이상인 것으로 나타나고 있다.

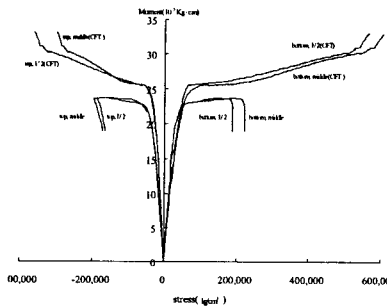


그림 6. 모멘트-응력 관계 곡선(D=355.6mm, t=6.3mm)

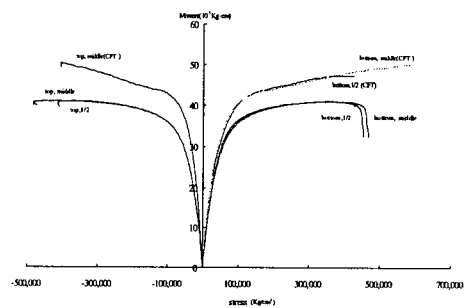


그림 7. 모멘트-응력 관계 곡선(D=355.6mm, t=9.0mm)

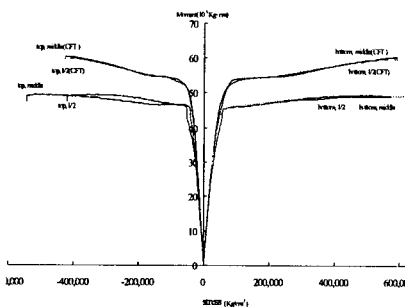


그림 8. 모멘트-응력 관계 곡선(D=355.6mm, t=12.0mm)

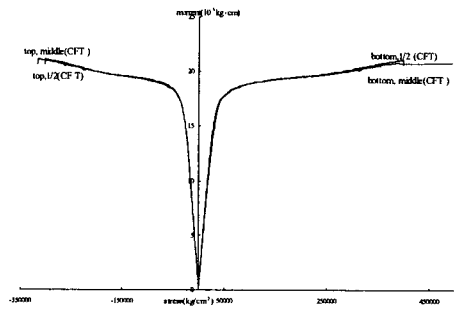


그림 9. 모멘트-응력 관계 곡선(D=208mm, t=6.3mm)

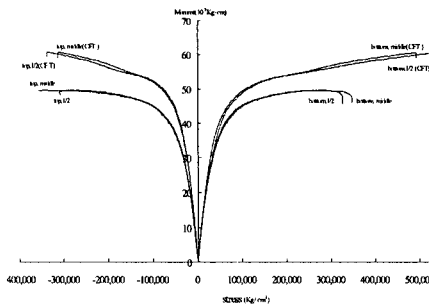


그림 10. 모멘트-응력 관계 곡선(D=406.4mm, t=9.0mm)

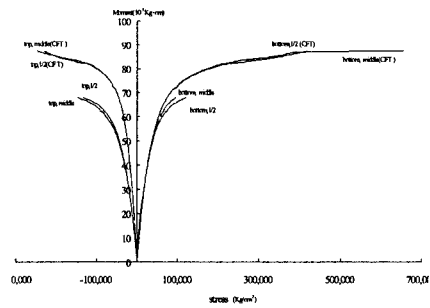


그림 11. 모멘트-응력 관계 곡선(D=508.0mm, t=9.0mm)

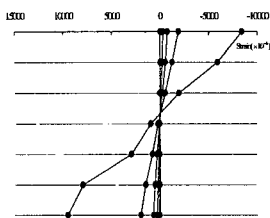
3.4 실험부재 단면에서의 응력 곡선

충전강관과 강관의 휨 거동에 대한 부재단면에서의 비교 평가 및 충전강관의 순수 휨에 대한 거동을 평가하기 위하여 실험부재 단면에서의 변형률을 표시하였다. 단면 내 변형률 게이지는 단면의 직경에 상관없이 중앙부에서 41°, 79° 및 90°로 설치하였으며, 단면 내 앞·뒤의 같은 위치에 있는 두 개의 변형률 게이지를 이용하여 평균값을 구하였다. 변형률 게이지의 위치는 단면 내에서 수직방향 등 간격으로 부착되었다.

실험부재의 단면 내 하중에 따른 변형률 변화를 하중에 따라 표현하였고, 각각의 부재에 따른 하중 단계는 표 3과 같다.

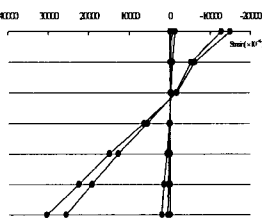
표 3. 각각의 부재별 하중 단계

부재 치수	부재 종류	하중 단계(tf)
D=355.6mm, t=6.3mm	충전강관	0.24, 5.0, 10.0, 11.8
	강관	0.48, 5.0, 10.0, 15.0, 16.6
D=355.6mm, t=9.0mm	충전강관	0.48, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0
	강관	5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0
D=355.6mm, t=12.0mm	충전강관	5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 24.0
	강관	5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 30.0
D=267.4mm, t=9.0	충전강관	0.2, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0
	충전강관	0.48, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0
D=406.4mm, t=9.0mm	강관	5.0, 10.0, 15.0, 25.0, 30.0
	충전강관	5.0, 15.0, 25.0, 30.0, 34.0
D=267.4mm, t=9.0mm	충전강관	5.0, 15.0, 25.0, 30.0, 34.0
	강관	5.0, 15.0, 30.0, 35.0, 44.0

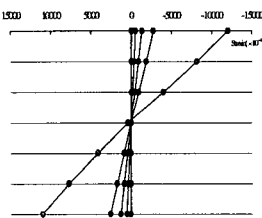


(a) 강관

그림 12 D=355.6mm, t=6.3mm의 변형률

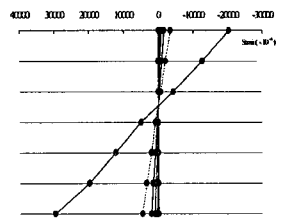


(b) 충전강관

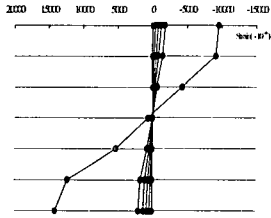


(a) 강관

그림 13 D=355.6mm, t=9.0mm의 변형률

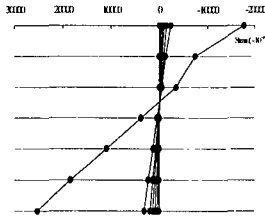


(b) 충전강관

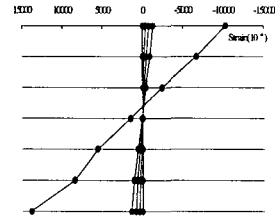


(a) 강관

그림 14 D=355.6mm, t=12.0mm의 변형률

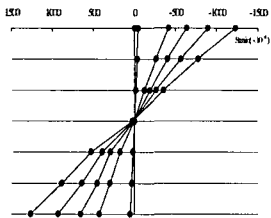


(b) 충전강관



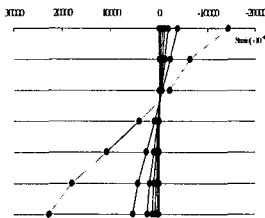
충전강관

그림 17 D=267.4mm, t=9.0mm의 변형률

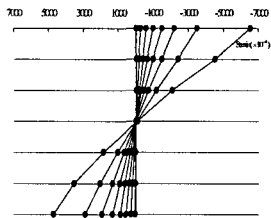


(a) 강관

그림 16 D=406.4mm, t=9.0mm의 변형률

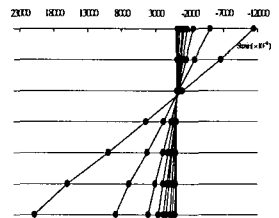


(b) 충전강관



(a) 강관

그림 17 D=508.0mm, t=9.0mm의 변형률



(b) 충전강관

4. 결 론

순수 휨을 받는 콘크리트 충전 원형강관의 4점 휨 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 충전강관이 강관에 비하여 순수 휨에 대하여 더 큰 내력과 연성거동이 나타났다.
- 2) 중공강관은 직경/두께비가 작을 수록 순수 휨에 대하여 큰 연성능력을 가짐을 알 수 있었으나, 충전강관의 경우 실험 제한 여건 내에서 직경/두께비에 상관없이 매우 큰 연성능력을 보이고 있다.
- 3) 충전강관의 실험에서 인장측 강관에 발생하는 강관의 인장응력은 압축측 강관의 압축응력보다 큰 것으로 나타났다.
- 4) 충전강관의 실험에서 중립축은 단면의 중심에 있지 않고 압축측으로 올라갔다. 또한 하중단계에 따라 인장측 콘크리트의 거동에 따른 중립축의 변화가 있었다.

참고문헌

1. D. R. Sherman, "Tests of Circular Steel Tubes in Bending", ASCE Journal of the Structural Division, Vol.102, No.11, 1976, pp.2181~2195.
2. A.T. Wheeler, "Thin-Walled Steel Tube Filled with High Strength Concrete in Bending", Engineering Foundation Conferences, Composite Construction IV, May 28-June 2, 2000, Vol.2, Banff, Alberta, Canada.
3. Vijaya Tangan, "Strength of Eccentrically Loaded Slender Steel Tubular Columns Filled with High-Strength Concrete", ACI Structure Journal, Nov.-Dec., 1992, pp.676~681.