

콘크리트 충전강관 구조의 직경-두께비 및 콘크리트 강도 변화에 따른 휨 성능 평가

Bending Performance Evaluation of Concrete Filled Tubular Structures With Various Diameter-thickness Ratios and Concrete Strengths

이 상 열* 박 대 용** 이 상 범*** 이 래 철****
Lee, Sang-Youl Park, Dae-Yong Lee, Sang-Bum Lee Rae-Chul

Abstract

In this study we deal with bending behaviors of a concrete filled tubular(CFT) with various diameter-thickness ratios and concrete strengths. In finite element analysis using a commercial package(LUSAS), the bonding effect between concrete and steel in CFT structures is modeled by applying a joint element for the bonding surface. In order to consider the nonlinearity of concrete and steel tubes, stress-strain curves of the concrete and steel are used for the increased stresses in a plastic domain. The numerical results obtained from the proposed method show good agreement with the experimental data from load-displacement curves of a steel tube under distributed loads. Several parametric studies are focused on structural characteristics of CFT under bending effects for different diameter-thickness ratios and concrete strengths.

요 지

본 연구는 다양한 직경-두께비와 콘크리트 강도를 고려한 콘크리트 충전강관의 휨 거동을 다루었다. 유한 요소 해석을 위하여 상용 프로그램 LUSAS를 사용하였으며, 충전 강관의 콘크리트와 강 사이의 부착면의 상 세거동을 고려하기 위하여 조인트 요소를 적용하였다. 또한, 콘크리트와 강관의 비선형성을 고려하기 위하여 소성영역에서 증가된 응력을 사용한 콘크리트와 강의 응력-변형률 곡선을 사용하였다. 제안된 방법으로 구한 수치해석 결과는 등분포하중을 받는 강관의 하중-변위 곡선에 대한 실제 실험 결과와 잘 일치하였다. 몇 가지 매개변수 연구는 서로 다른 직경-두께비와 콘크리트 강도에 대하여 휨 영향을 받는 콘크리트 충전강관의 구조적 특성에 초점을 두었다.

Keywords : Concrete filled tubular(CFT), Concrete strength, Diameter-thickness ratio(D/t), Plasticity, Nonlinear finite element analysis

핵심 용어 : 콘크리트 충전강관(CFT), 콘크리트 강도, 직경-두께비, 소성, 비선형 유한요소 해석

* 정희원, 중부대학교 산학협력단 교수, 공학박사

** 정희원, 대림산업(주) 기술연구소, 공학박사

*** 정희원, SQ엔지니어링(주) 기술연구소 책임연구원, 공학박사

**** 정희원, SQ엔지니어링(주) 원장, 공학박사

E-mail : leesangyoul@hanmail.net 02-2253-8330

•본 논문에 대한 토의를 2009년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2009년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

콘크리트 충전강관 합성 구조는 강재와 콘크리트의 단점을 상호 보완하여 장점을 극대화시킨 구조물로서 현대 구조물에서 요구하는 재료 사용의 효율성과 구조 거동의 우수성을 만족시키고 있다. 콘크리트 충전강관 구조는 압축부재에 합성 구조형식을 적용하여 우수한 강성 증대를 기대할 수 있어 토목 및 건축 구조물에서 널리 사용되고 있다.

강관 내 콘크리트충전 효과는 콘크리트가 강관의 국부 좌굴을 억제하며, 좌굴이 발생하더라도 내부 콘크리트의 구속력 효과로 인해 압축강도가 상승한다는 사실이 여러 기존 연구에서 밝혀졌다[Johnson and Oehlers, 1981; Yi 등, 1996; Zhou and Zhu, 1997]. 그러나 합성 구조형식을 휨 하중을 크게 받을 가능성이 있는 해상 구조물의 파일, 아치 교량의 리브, 라멘 구조의 기둥, 고층 빌딩의 기둥, 교량의 거더 등에 적용할 경우에도 우수한 성능을 발휘할 수 있다 [Elchalakani 등, 2001]. 국내의 콘크리트 충전강관 합성 구조가 휨 하중에 지배되는 경우에 대한 이론 및 실험적 연구사례가 극히 미비한 상태이며 최근의 건설 기술력과 신기술 개발에 대한 시대적 요구에 따라 점차 합성 구조에 대한 연구가 증가할 것으로 전망된다. 따라서 본 연구에서는 CFT 부재를 해석모델로 선택하여 이에 대한 기본이론을 전개하고 각종 실험실험과 상용프로그램을 이용한 유한요소해석을 통하여 CFT 부재가 휨 하중에 지배되는 경우에 구조적 효과 및 특성을 규명하는 것을 연구목적으로 한다. 이러한 CFT 구조가 휨 하중에 지배되는 경우에 구조적인 특성에 영향을 미칠 수 있는 강관의 직경-두께비와 강관 내부에 채워지는 콘크리트 강도 변화에 따른 CFT 부재의 휨강도와 거동특성을 살펴보고자 한다.

2. 강재와 콘크리트의 응력-변형률 관계

축이 빈 강관에 휨이 발생하는 경우 압축응력이 작용하는 부분은 국부좌굴이 발생한다. 국부좌굴은 강관의 직경에 대한 두께 비의 함수로 표현되며 역으로 국부 좌굴효과는 강관의 응력-변형률 곡선을 감소시켜

적용시킬 수 있다. 콘크리트의 응력곡선은 기본적으로 1축 압축실험결과를 이용하였으나 2축 또는 3축 압축 실험결과를 1축 압축실험결과보다 약 20~25%정도 큰 값을 나타내므로 합성효과를 고려한 응력-변형률 곡선을 적용하였다. 또한, 콘크리트의 압축응력은 극한강도이후에 원환효과에 의해 응력이 변화하지 않는 것으로 가정하였고 압축소성영역의 변형률 값의 한계를 0.003으로 설정하였다. 그리고 콘크리트의 인장응력은 극한강도의 10%를 적용하였다.

3. 콘크리트 충전강관의 휨 실험

3.1 실험 개요

본 연구에서는 원형 강관 내부에 콘크리트를 충전한 CFT 부재의 휨 거동 특성을 분석하기 위한 실험 방법으로 4점 휨 실험을 채택하였다. 실험체는 비충전 강관실험체 355 Steel-Tube와 508 Steel-Tube의 실험체를 기본으로 하였으며 강관의 강종은 모두 SS400이다. 먼저 직경이 355mm인 빈 강관인 355 Steel-Tube 실험체, 강도 27MPa인 콘크리트를 충전한 355 CFT 실험체를 제작하여 충전 콘크리트가 휨강도에 미치는 영향과 충전 콘크리트 종류에 따른 영향을 평가하였다. 직경 508mm인 강관인 508 Steel-Tube 실험체 및 콘크리트 강도 27MPa인 콘크리트를 충전한 508 콘크리트 충전강관 실험체를 제작하였다. CFT 실험체의 가력 장비는 직경이 355mm인 경우 UTM A200을 이용하여 재하하였으며, 직경이 508mm인 경우 최대 1000kN의 재하능력을 가진 MTS 유압식 재하실험기 2대를 이용하여 재하하였다. 모든 휨 부재 실험체의 가력방법은 강재의 탄성영역 내에서는 응력제어방법을 적용하였으며, 이후 변위제어방법으로 파괴시까지 가력하였다. Fig. 1은 실험체의 가력 및 변위 측정 위치를 보여준다. 하중 증가에 따른 CFT 부재의 수직 변위인 처짐을 측정하고자 선형 변위계인 LVDT를 중앙부, 가력부, L/4 지점에 그림과 같이 배치(CH03, CH04, CH05)하였으며, 강관과 충전 콘크리트 간의 상대변위를 측정하기 위하여 양쪽 단부에 2개의 LVDT를 설치(CH08, CH09)하였다.

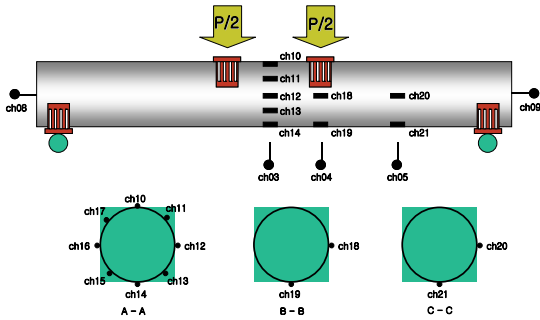


Fig. 1 Location of gauge and LVDT of CFT beam



(a) 355 Steel-Tube(빈강관)



(b) 355 CFT(충전강관)

Fig. 2 Specimen after test of D355mm series without or with filled concrete

3.2 실험 결과

3.2.1 휨 실험체의 파괴특성

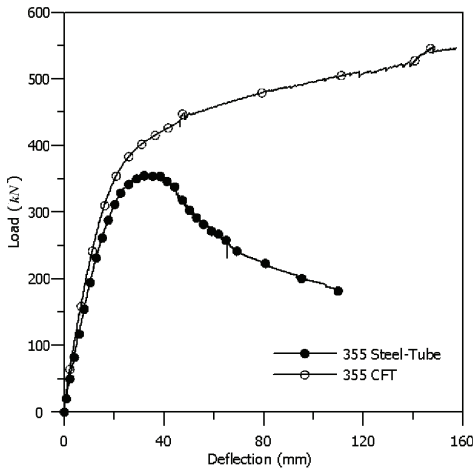
실험체 파괴성상의 경우, 빈 강관 355 Steel-Tube

실험체는 모두 하중이 증가함에 따라 하중 재하점 부근과 중앙부 사이에서 국부좌굴이 발생하여 최대 강도 이후 급격히 강도 감소하는 현상을 보였다. 내부에 충전재를 채운 나머지 실험체는 하중이 증가함에 따라 중앙부근의 강관이 불룩하게 부풀어 오르는 현상이 발생하였으나, 빈 강관 실험체와는 달리 충전재의 영향으로 급격한 강도 감소 없이 변위가 증가하는 현상을 보였다. Fig. 2와 같이 강관 내부 충전재의 유무에 따라 강관의 좌굴 변형도 차이가 있었다. 또한 충전재가 강관의 국부좌굴을 억제하여 급격한 강도 감소를 방지하는 역할을 수행하고 있다고 판단된다.

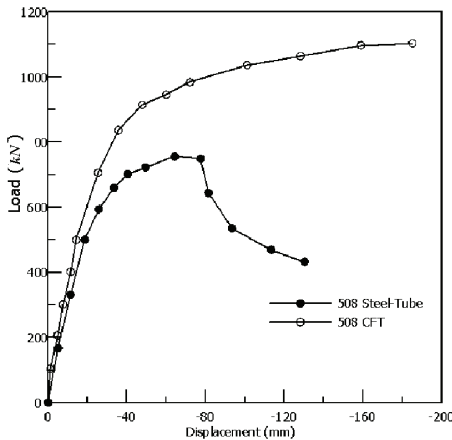
3.2.2 하중-변위 관계 곡선

직경 355mm 비충전 실험체인 355 Steel-Tube, 보통콘크리트를 충전한 355 CFT 실험체의 하중-변위 관계를 Fig. 3(a)에 나타냈다. 355 Steel-Tube 실험체에서 재하하중 200.51kN에서 강관의 압축부가 실제 항복응력에 도달했으나, 그 이후에도 계속 하중이 증가하여 327kN에서 순수 휨 구간의 강관 압축측에 국부좌굴이 발생하여 최대하중에 도달하였다. 최대하중 이후에는 급격히 하중이 감소하였으며, 중앙 처짐이 약 100mm에 도달한 시점에서 재하를 종료하였다. 콘크리트 압축강도 27MPa인 355 CFT에서 하중-변위 곡선은 빈 강관 실험체와 비교 시 하중감소 없이 계속해서 하중이 증가하였고, 중앙 처짐이 약 160mm에 도달한 시점에서 재하를 종료하였다. 이 경우, 강관내 충전 콘크리트의 영향으로 강관 하부가 먼저 항복되었다. Fig. 3(a)에서 충전강관 실험체는 빈 강관 실험체에 비해 실 항복 하중은 약 1.3배 정도 증가하는 것에 비해 최대하중에서는 약 1.5배 이상 증가하였다. 최대하중 이후 355 Steel-Tube에서 강관의 국부좌굴에 의해 하중이 급격히 감소한 반면, 355 CFT에서는 강관의 압축측이 불룩해 지는 국부좌굴현상이 약간 발생하지만, 국부좌굴 이후에 급격한 하중의 감소가 없었다.

이것은 강관 내부의 충전 콘크리트에 의해 강관의 국부좌굴 현상을 방지하여 원형상태를 유지하는 효과로 판단되며, 강관과 콘크리트의 합성효과가 어느 정도 기여하는 것으로 판단된다.



(a) 355 Steel-Tube, CFT



(b) 508 Steel-Tube, CFT

Fig. 3 Load-displacement curve

Fig. 3(b)는 508 Steel-Tube 실험체와 508 CFT의 하중-변위 곡선을 나타낸다. 508 Steel-Tube 실험체에서는 재하하중에서 강관의 인장축이 실제 항복 응력에 도달하였고 그 후 최대하중에 도달 후 강관의 압축 축에서 강관의 국부좌굴에 의해 강도가 급격히 떨어졌다. 콘크리트 배합강도 30MPa의 508 CFT 실험체는 강관의 항복이후에도 하중은 급격하게 증가하여 최대하중에 도달하였고 그 이후에 하중-변위 곡선의 기울기가 감소하였다. Fig. 3(b)에서 충전한 실험체는 빈 강관 실험체에 비해 실험복 하중에서는 1.22배, 최대하중에서는 1.51배 증가함을 보였다.

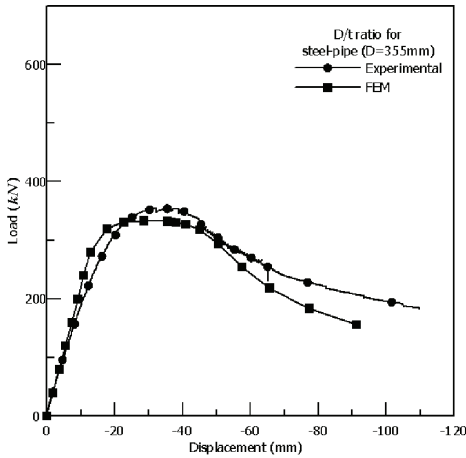
4. 실물 실험과 유한 요소 해석 비교

4.1 유한요소 해석모델

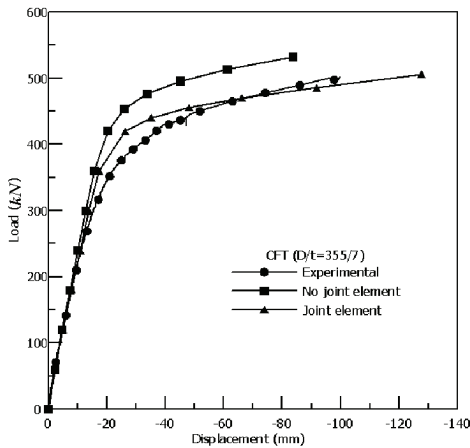
본 연구에서는 빈 강관과 콘크리트 충전강관의 다양한 매개변수들에 대하여 범용 유한요소해석 프로그램인 LUSAS를 사용하였다. 강관의 탄성계수는 $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, 프아송비는 0.3이고 콘크리트 탄성계수는 도로교 설계기준·해설에 따라 적용하였다. 상세 모델링을 위하여 빈 강관은 4절점 감절점 쉘 요소, 콘크리트를 감싸고 있는 강관은 4절점 감절점 쉘 요소, 강관과 콘크리트 접촉면은 4절점 조인트 요소, 콘크리트에 대해서는 강화된 변형률장을 사용한 8절점 솔리드 요소를 각각 사용하였다.(LUSAS, 2004)

4.2 실물실험과 LUSAS 해석결과 비교

실물실험과 LUSAS 해석결과를 하중-처짐 곡선 비교를 통하여 검증하였다. 빈 강관의 경우 지름 355mm, 길이 4300mm, 두께 7mm, 전체 하중 40 이며 콘크리트 충전강관의 경우 지름 355mm, 길이 4300mm, 그리고 전체하중 600kN이다. 여기서 전체하중은 LUSAS의 쉘 요소에 등분포하중으로 재하된 하중의 총합을 의미한다. Fig. 4(a)에서 빈 강관의 실험 결과와 유한요소해석 결과의 하중-변위 형상은 극한하중 이후 강관 압축부 좌굴에 의한 하중 감소형태를 보이며 두 결과가 유사하게 나타났으며 선형 구간에서 유한요소해석에 의한 결과가 약간 크게 나타났다. Fig. 4(b)에서는 직경 355mm콘크리트 충전강관을 해석하는데 있어 경계면 요소의 역할을 살펴보기 위해 경계면 요소가 있는 경우와 없는 경우로 나누어 비교하였다. 그림에서 선형구간에서 유한요소해석 결과의 값이 완전합성의 경우 21.4% , 연결요소를 사용한 합성의 경우 11.3% 정도 크게 나왔으나, 처짐 80mm 소성 구간에서 하중 비교 시 완전합성의 경우 7.7%, 연결요소를 사용한 합성의 경우 1.5%로 연결요소를 사용하여 합성한 경우 실험값에 매우 근접함을 알 수 있다. 따라서 경계면 요소를 사용하지 않을 경우 강성을 과대평가하게 됨으로 CFT와 같이 이질재료가 합성된



(a) Load-displacement



(b) Effect of joint element

Fig. 4 Comparison of load-displacement for experimental and FEM of unfilled steel tube(355mm)

단면의 해석시에는 경계면 요소를 고려한 비선형 해석이 반드시 요구된다.

5. 직경-두께비 및 콘크리트 강도 변화에 따른 분석

빈 강관 및 CFT 부재에 중요한 영향을 미치는 직경-두께비 및 콘크리트 강도 변화에 대하여 비교 분석한다. 여기서 콘크리트가 충전된 CFT 구조에 대해서

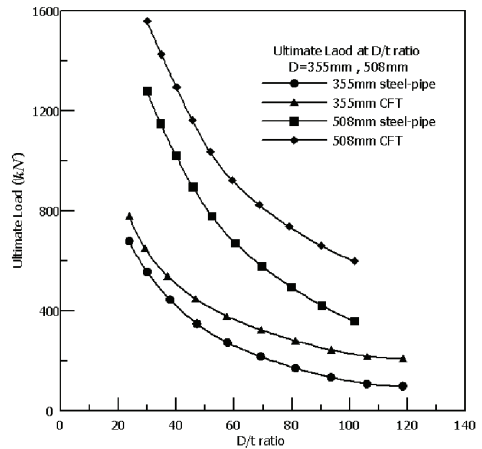


Fig. 5 Ultimate load of unfilled steel tube and CFT as D/t ratio

는 콘크리트는 압축강도까지 완벽한 탄성거동을 하지는 않으나 탄성거동으로 가정하여도 해석결과에는 큰 차이가 없으므로 탄성 거동하는 것으로 가정하였으며 최대 탄성변형율은 일반적인 콘크리트 응력변형을 곡선에서 가정된 0.003을 적용하였다.

5.1 직경-두께비 변화

5.1.1 극한하중 비교

D/t 에 따른 극한 하중의 변화는 Fig. 5와 같다. 그림에서 D/t 비 변화에 따른 최대극한하중의 변화는 D/t 비가 작아질수록 극한 하중이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 508mm 빈 강관과 CFT의 극한 하중 변화가 355mm 빈 강관과 CFT 보다 D/t 비 변화에 따라 더욱 크게 영향을 받으며 극한 하중의 증가율도 훨씬 크다. 직경이 355mm인 경우 D/t 비가 23.67에 대해 빈 강관과 CFT를 비교해 보면 약 26%의 최대극한하중의 증가를 보이고 D/t 비가 118.33에 대해 빈 강관과 CFT를 비교해 보면 약 112%의 최대극한하중 증가를 보였다. D/t 비가 클 경우 강관에 콘크리트를 채움으로써 극한하중증대 효과가 더욱 크게 나타남을 보여준다. 또한 직경이 508mm인 경우 D/t 비가 29.89에 대해 빈 강관과 CFT를 비교해 보면 약 33%의 최대극한하중의 증가를 보였으며 D/t 비가 101.6에 대해서는 약 103%의 최대극한하중의 증가

를 나타내었다. 직경이 크고 강관의 두께가 얇을 경우 강관내부 콘크리트에 의한 극한하중의 증대효과를 더 많이 기대할 수 있다.

5.1.2 모멘트-곡률 곡선 비교

직경 355mm 및 508mm 빈 강관과 콘크리트 충전 강관의 모멘트-곡률 곡선(Fig. 6)으로부터 극한휨강도를 산출하였으며 이것을 실험결과 및 다음과 같은 극한강도이론에 의한 휨강도 식과 비교하여 Table 1에

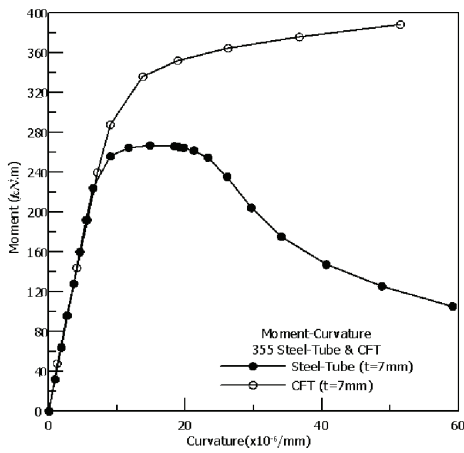


Fig. 6 Moment-curvature curve ($D/t = 50.71$)

Table 1 Ultimate moment of theory, experimental, and FEM as D/t ratio

Model	D/t	M_{theory} (식(1))	$M_{Exp.}$	M_{FEM}	M_{FEM} / M_{theory}	$M_{Exp.} / M_{theory}$
Steel-Tube	355	118.33	-	100.60	0.87	-
	50.71	270.92	-	260.20	0.94	-
	32.27	420.88	35.4	400.80	0.95	0.83
	23.67	570.12	-	560.40	0.99	-
CFT	118.33	160.40	-	170.50	1.07	-
	50.71	330.08	-	330.50	1.01	-
	32.27	480.55	42.3	480.20	0.99	0.87
	23.67	620.99	-	640.00	1.02	-
508 Steel-Tube	101.6	410.68	-	360.40	0.87	-
	56.44	730.84	71.6	690.00	0.93	0.97
	39.08	1040.96	-	1010.0	0.96	-
	29.89	1350.04	-	1320.4	0.98	-
508 CFT	101.6	540.24	-	570.90	1.07	-
	56.44	880.42	98.8	930.00	1.05	1.12
	39.08	1200.84	-	1240.0	1.03	-
	29.89	1510.65	-	1570.0	1.04	-

나타냈다.(박종면, 2004; Timoshenko and Gere, 1961; Pinkham, 1986; Shanley, 1947).

$$M_{theory} = M_{CC} + M_{ST} + M_{SC}$$

$$= \frac{2}{3} f_c r_i^3 \cos^3 \gamma_o + 4 f_y r_m^2 t \cos \gamma_o \quad (1)$$

$$\gamma_o = \frac{\frac{\pi}{4} \left(\frac{f_c r_i r_i}{f_y r_m t} \right)}{2 + \left(\frac{f_c r_i r_i}{f_y r_m t} \right)} \quad (2)$$

여기서, M_{CC} 는 콘크리트 압축력에 의한 모멘트, M_{ST} 는 강제 인장력에 의한 모멘트, 그리고 M_{SC} 는 강제 압축력에 의한 모멘트이다. 또한, f_{ck} 는 콘크리트 일축압축강도, f_y 는 강재의 항복강도, t 는 원형강관의 두께, r_i 는 강관의 내측반경, r_m 은 강관의 평균 반경을 각각 의미한다. 빈 강관의 경우 극한강도이론 식보다 FEM 해석 값이 더 적게 나오는데, 특히 D/t 비가 큰 경우, 이것은 압축부의 국부좌굴을 고려함으로써 휨강도가 약간 저하되었기 때문이다. 그러나 CFT의 경우 두 결과는 일치하고 있으며 FEM 해석 값이 약간 크게 나타났다. 아직까지 외국과는 달리 국내 시방서 규정에는 콘크리트 합성구조의 휨강도에 대한 식이 정립되어 있지 않고 있다.(도로교 설계기준, 2003; Stark, 1987; Wakabayashi, 1987; British Standard Institution, 1979). 본 연구에서 살펴본 바 CFT 구조의 중요한 매개변수인 D/t 비 변화에 따라 극한강도이론에 의한 휨강도와 3차원 유한요소해석에 의한 값이 잘 일치하고 있기 때문에 CFT의 휨강도에 대한 식으로 식(1)을 사용해도 무방하리라 사료된다.

5.2 콘크리트 충전강관의 콘크리트 강도 변화

5.2.1 콘크리트 강도변화에 따른 하중-변위 곡선

Fig. 7은 강관 직경 355 mm 콘크리트 충전강관의 콘크리트 강도변화에 따른 하중-변위 곡선을 콘크리트 강도 27MPa를 기준으로 나타낸 것이다. 그림으로부터 강관 내부의 충전 콘크리트 강도 변화에 따라

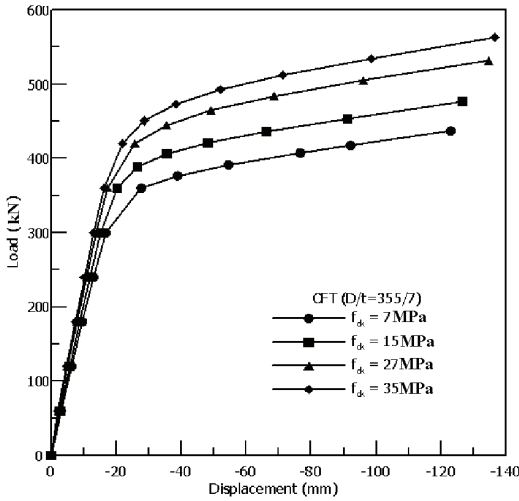


Fig. 7 Load-displacement curve of CFT as concrete strength

극한 하중의 증대를 약간 기대할 수 있으나 강관의 D/t 비 변화보다는 극한 하중 증대의 효과가 적음을 알 수 있다. 즉, 수치적으로 비교해보면 직경 355 mm 인 경우 D/t 비가 118.33에서 23.67로 약 5배 감소하면 약 300%의 극한하중이 증가하지만 콘크리트 강도가 7MPa에서 35MPa로 5배 증가하더라도 극한하중은 단지 약 29%의 증가만을 기대할 수밖에 없다. 따라서, 콘크리트 강도의 증가는 콘크리트 충전 강관 보에서 큰 효과를 발휘 할 수는 없으나 압축 부 영역에서 강관의 국부좌굴을 방지한다는 개념에서는 큰 비중을 차지할 수 있다. 또한, 콘크리트 충전강관 보의 자중을 줄이는 방법으로 강관 내부에 경량기포콘크리트 등을 사용하여 자중을 저감시킬 수 있으며 이러한 경량기포콘크리트가 일반콘크리트에 비해 강도는 적지만 본 결과에서 알 수 있듯이 콘크리트 강도증가가 콘크리트 충전강관 보나 거더의 하중저항능력에 크게 영향을 미치지 않으므로 자중감소에 큰 역할을 할 수 있다.

5.2.2 콘크리트 강도변화에 따른 모멘트-곡률 분포

Table 2는 강관 직경 355mm와 508mm 콘크리트 충전강관의 콘크리트 강도변화에 따라 산출한 모멘트-곡률 곡선을 도해법을 사용하여 극한모멘트를 산출하고 식(1)의 극한강도이론에 의한 휨강도와 비교한

Table 2 Comparison of ultimate moments

Model	Concrete Strength (MPa)	M_{theory} (식(1))	$M_{Exp.}$	M_{FEM}	M_{FEM} / M_{theory}	$M_{Exp.} / M_{theory}$
D355mm CFT (t=7mm)	7	290.95	-	290.1	0.97	-
	15	310.43	-	310.8	1.01	-
	27	330.08	35.4	330.5	1.01	1.07
	35	340.01	-	350.3	1.04	-
D508mm CFT (t=9mm)	7	790.58	-	800.0	1.01	-
	15	830.77	-	840.0	1.00	-
	27	880.42	98.8	930.0	1.05	1.12
	35	910.11	-	950.1	1.04	-

것이다. 비선형 FEM 해석에 의한 극한휨강도와 이론에 의한 값이 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 대체로 비선형 FEM 해석 값이 약간 큰 경향을 보였다. 따라서 CFT 부재의 콘크리트 강도 변화에 따른 휨강도 산정 시에도 극한강도이론에 의한 식(1)을 적용하여도 무방하다고 사료된다.

6. 결론

본 연구에서는 콘크리트 충전강관 부재가 휨 하중에 지배되는 경우에 이 부재의 구조적인 특성에 영향을 미칠 수 있는 매개변수인 강관의 직경-두께비 (D/t), 강관 내부에 채워지는 콘크리트 강도 변화에 따른 해석모델에 대해 비선형 유한요소해석 해석을 수행하였다. 또한 본 연구의 결과를 실험실시험의 결과와 비교·분석하였으며 극한강도이론에 의한 CFT 부재의 휨강도와 비교·분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 연구와 실험실시험의 하중-변위 곡선 결과는 잘 일치하였다. 본 연구에서 사용한 비선형 유한요소 해석시 경계면에 대한 Joint 요소 사용은 강성에 영향을 미치지므로 매우 중요하다.
- 2) 빈 강관과 CFT의 극한하중 값을 비교해 보면, 직경이 크고 강관의 두께가 얇을 경우 강관내부에 채워지는 콘크리트에 의한 극한하중의 증대효과를 더 많이 기대할 수 있다.
- 3) 극한강도이론에 의한 휨강도 값과 본 연구의 비선형 유한요소해석에 의한 휨강도 값은 잘 일치하였다. 아직까지 우리나라 시방서 규정에는 콘크리트

합성구조의 휨강도에 대한 식이 정립되어 있지 않으므로 CFT 구조의 중요한 매개변수인 D/t 변화에 따라 극한강도이론에 의한 휨강도와 3차원 유한요소해석에 의한 값이 일치하고 있기 때문에 CFT의 휨강도에 대한 식으로 식(1)을 사용하여도 무방하리라 판단된다.

- 4) 강관 내부의 충전 콘크리트 강도 변화는 강관의 직경-두께비 (D/t) 변화보다는 극한 하중 및 극한 휨강도의 증대의 효과가 적음을 알 수 있으나 압축부 영역에서 강관의 국부좌굴을 방지한다는 개념에서는 큰 비중을 차지할 수 있다. 콘크리트 충전강관 보나 거더의 자중을 줄이는 방법으로 강관 내부에 경량기포콘크리트 등을 사용하여 자중을 저감시킬 수 있다.
- 5) CFT의 두께변화만을 고려하였으나 강관 직경변화에 따른 휨 성능경향 파악도 필요하리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업의 지원을 받고, 한국시설안전공단 연구단과제 "국가 주요 시설물 안전관리 네트워크 시범구축 및 운영시스템 개발"의 협동과제로 수행중이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박종면, 콘크리트 충전강관 거더의 휨 내력에 대한 이론 및 실험적 연구, 서울시립대학교 박사학위논문, 2004.
2. 도로교 설계기준·해설, 대한토목학회, 2003

3. Elchalakani, M., Zhao, X. L., and Grzebieta, R. H., "Concrete-filled Circular Steel Tubes Subjected to Pure Bending", Journal of constructional steel research, Vol. 57, 2001, pp. 1141-1168.
4. Johnson and Oehlers, "Analysis and Design for Longitudinal Shear in Composite T-beams", Proceedings, Institution of Civil Engineers, Part 2, Vol. 73, 1981, pp. 989-1021.
5. LUSAS, Version 13.5, "Finite Element Analysis System, Theory and Example Manual", FEA Ltd., London, 2004.
6. Pinkham, C. W., "1986 AISC LRFD, Design of Composite Buildings", Proc. of Engineering Foundation Conference on Composite Construction, N.H, June 1987, ASCE, pp. 84-93.
7. Shanley, F. R., "Inelastic Column Theory", Journal of the Aeronautical Science, Vol. 14, May, 1947. pp. 261-268.
8. Timoshenko, S. P., and Gere, J. M., Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill, 1961.
9. Yi, W. H., Lee, J. Y., and Lee, L. H., "Nonlinear Analysis on the Behavior of Shear Connectors in Composite Steel and Concrete Beam", Journal Architectural Institute of Korea, Vol. 12, No. 5, 1996, pp. 189-197.
10. Zhou, P., and Zhu, Z., "Concrete Filled Tubular Arch Bridge in China", Structural Engineering International : Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering(IABSE), Vol. 7, No. 3, 1997 pp. 161-163.

(접수일자 : 2008년 4월 1일)
(심사완료일자 : 2009년 1월 20일)