

콘크리트강도 및 단면특성에 따른 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥의 극한강도 분포에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Distribution of Ultimate Strength of Concrete-Filled Steel Tube Columns according to Concrete Strength and Section Properties Ratio

장 갑 철*
Jang, Gab-Chul

장 경 호**
Chang, Kyong-Ho

요 약

최근, 교량교각과 같은 기둥구조물의 사용성능을 향상시키고 동시에 복잡한 도심지 내 효율적 공간활용을 위해 콘크리트 충전강관(CFT: concrete-filled steel tube)의 적용이 점차 증가하고 있다. 이러한 기둥구조물의 정확한 설계를 위해서는 재료 및 기하학적 특성에 따른 콘크리트 충전강관 기둥의 거동에 관한 실험적 연구가 요구된다. 이에 본 연구에서는 압축강도실험을 통하여 외경-두께비 (D/t) 및 강재-콘크리트 단면적비 (A_s/A_c)에 따른 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도 분포특성에 대해 명확히 파악하였다. 또한 콘크리트 배합강도에 따른 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도 분포특성을 실험을 통하여 명확히 파악하였다. 실험결과와 고찰을 통하여 압축하중을 받는 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도는 콘크리트 강도보다 강관의 단면특성에 주로 의존함을 알수있었다.

Abstract

Recently, to improve the load carrying capacity of column structures such as bridge piers, application to concrete-filled steel tube(CFT) type columns are increased more and more. To design the concrete-filled steel tube(CFT) columns in accuracy, influence of material and geometry properties and aspect ratio on ultimate strength of the concrete-filled steel tube column is investigated by experimental researches. In this investigation, the ultimate strength distribution of the concrete-filled steel tube column in accordance with diameter-thickness ratio(D/t) and steel-concrete area ratio(A_s/A_c) are clarified by the compressive tests. Futhermore, parametric experimental investigation on concrete target strength is performed. It was known from experimental observation that ultimate strength of concrete-filled steel tube column under axial compressive loading more depends on section properties of steel tube rather than concrete strength.

키워드 : 극한강도, 콘크리트 충전강관 기둥, 단면특성, 콘크리트 강도

Keywords : Ultimate strength, Concrete-filled steel tube column, Section properties, Concrete strength

서 론

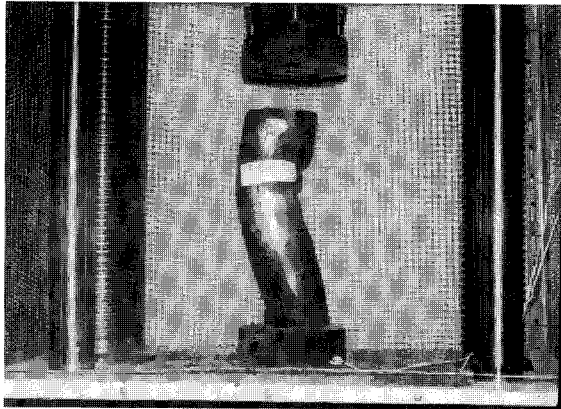
최근 도심지내 점차 증가하는 교통량을 해소하기 위해 도시고속도로, 고가도로 및 교량의 건설이 지속적으로 증가하고 있다. 도로 및 교량의 증가에 따라서 혼잡해지는 도심지 공간의 효율적 사용을 위해 상대적으로 소요 단면적을 줄일수 있는 강관 및 충

전강관 기둥구조물의 적용이 점차 요구되고 있다¹⁾. 콘크리트 충전강관은 강관 내부를 콘크리트로 충전하는 방법으로 기둥의 단면을 증가시키지 않고도 대상 부재의 내하력 및 사용성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 강관과 콘크리트의 상호합성작용으로 각 부재의 강도를 단순히 누가한 것 이상의 내하력 및 내구성을 기대할 수 있다. 이러한 콘크리트 충전강관 구조물의 장점은 기존 다양한 연구를 통하여 검증된 바 있으며 현재에도 지속적으로 연구중에 있다^{2,3)}. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 콘크리트 충전강관기둥 구조물의 정확한 설계를 위한 대상 구

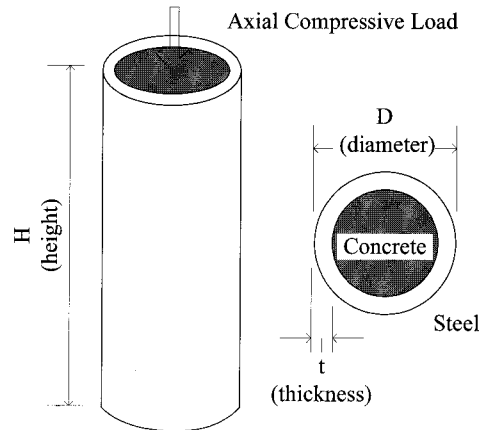
* 정회원 · 중앙대학교 기술과학연구소, 공학박사
Tel: 02-820-5337

E-mail : gabchul.jang@gmail.com

** 교신저자, 정회원, 중앙대학교 건설환경공학과, 교수



〈그림 1〉 UTM을 이용한 콘크리트 충전강관 기둥의 압축강도실험 전경



〈그림 2〉 콘크리트 충전강관 기둥의 단면, 형상 및 치수

조물의 기하학적 재료학적 특성과 사용성능과의 상호 역학적 상관관계에 대한 명확한 메커니즘 연구가 필요하다. 강관에 콘크리트 충전으로 인한 내하력 증진과 상대적인 단면적 감소효과를 정확한 재현한 구조설계를 위해서는 콘크리트 충전강관 기둥의 재료적 특성, 기하학적 특성에 따른 강도변화를 명확히 파악해야 한다. 하지만 콘크리트 충전강관 구조물의 강도특성에 영향을 미치는 인자의 상관성에 관한 연구의 경우 아직 미진하다.

이에 본 연구에서는 콘크리트 충전강관 기둥의 정확한 설계를 위해 구조물의 기하학적 특성인 단면특성(외경-두께비, 강재-콘크리트 단면적비)과 재료학적 특성인 콘크리트 강도가 대상구조물인 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도 분포에 미치는 영향에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 단면특성 즉, 외경-두께비(D/t), 강재-콘크리트 단면적비(A_s/A_c)를 파라

미터로한 콘크리트 충전강관 기둥의 압축강도실험을 수행하였다. 실험결과를 비교를 통하여 콘크리트 충전강관 기둥의 기하학적 특성에 따른 극한강도 분포 특성을 명확히 파악하였다. 또한, 콘크리트 강도를 파라미터로한 압축강도실험을 수행하여 콘크리트 강도가 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도변화에 미치는 영향에 대해 명확히 파악하였다.

2. 콘크리트 충전강관 기둥 압축강도 실험

2.1 실험조건 및 시편제작

본 연구에서는 콘크리트 충전강관 기둥 (CFT)의 외경-두께비, 강재-콘크리트 단면적비 및 콘크리트 강도를 변수로한 압축강도실험을 수행하였다. 압축강도 실험에 사용된 실험기기는 100tf 용량의 UTM (Universal Testing Machine)기기를 이용하였다. 압

〈표 1〉 실험모델

실험모델	콘크리트 설계강도 (MPa)	두께 (mm)	직경 (mm)	충전유무	실험 파라미터	
					직경-두께비 (D/t)	강재-콘크리트 단면적비 (A_s/A_c)
C-0-3.6	0	3.6	89	비충전	24.7	0.184
C-0-5.0	0	5.0	89	비충전	17.8	0.269
C-0-7.0	0	7.0	89	비충전	12.7	0.447
C-21-3.6	21	3.6	89	충전	24.7	0.184
C-21-5.0	21	5.0	89	충전	17.8	0.269
C-21-7.0	21	7.0	89	충전	12.7	0.447
C-30-3.6	30	3.6	89	충전	24.7	0.184
C-30-5.0	30	5.0	89	충전	17.8	0.269
C-30-7.0	30	7.0	89	충전	12.7	0.447

〈표 2〉 콘크리트 강도에 따른 재료구성비

설계강도(MPa)	unit weight			
	시멘트	모래	골재	물
21	337	647	1123	175
30	415	623	1082	175
설계강도(MPa)	압축강도(MPa)	슬럼프(cm)	Pmax(tf)	공기량(%)
21	21.2	12	38.5	4.0
30	26.6	13	47.9	4.3

축하중제하시 정적상태를 가정한 변위제어방식을 적용하였으며 이때 재하속도는 1 mm/min 이다. 그림1은 UTM을 이용한 콘크리트 충전강관 기둥 압축강도실험 전경 및 실험 후 변형된 콘크리트 충전강관기둥의 모습을 보이고 있다.

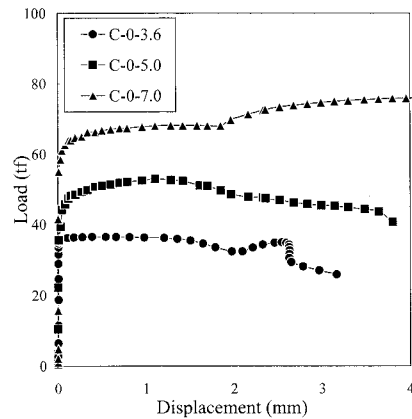
그림2는 실험에 사용된 콘크리트 충전강관기둥의 단면, 형상 및 치수를 나타내고 있다. 높이(H) 300mm, 외경(D) 89mm의 콘크리트 충전강관기둥을 사용하였으며 실험진행시 하부는 지그로 고정하였으며 콘크리트 충전강관기둥 상부에서 로드셀을 이용하여 축방향 압축하중을 재하하였다.

강관내부는 콘크리트로 충전하였으며 실험변수인 콘크리트 강도는 각각 21, 30 MPa로 산정하여 배합하여 충전하였다.

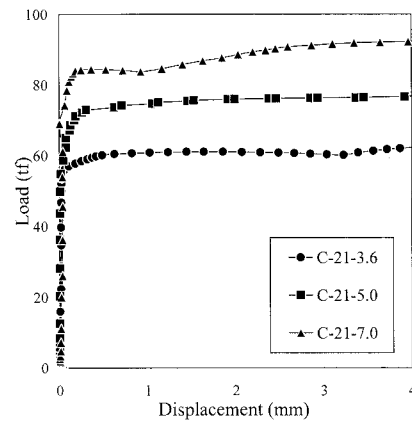
콘크리트 충전강관에 사용된 강관의 치수는 그림2에 보인바와 같이 높이(H)에 300mm 외경(D) 89mm이며 실험변수인 두께(t)는 3.6mm, 5mm, 7mm로 산정하여 각각 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 강관의 재질은 일반구조용 탄소강관인 SPS400 강재로 항복강도는 240MPa, 인장강도는 410MPa 이다.

2.2 실험모델

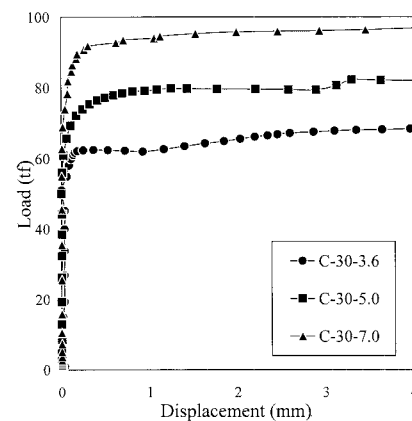
콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도분포를 파악하기 위해 단면특성 및 콘크리트 강도를 실험변수로한 압축강도 실험을 수행하였다. 실험모델은 단면 특성인 외경-두께비 (D/t), 강재와 콘크리트 단면적비(As/Ac)와 콘크리트 강도를 기준으로 실험시편을 제작하였으며 표1에 보이는 바와 같이 실험모델을 분류하였다. 표1에서 보이는 바와 같이 실험모델은 직경이 89mm로 고정된 상태에서 강관의 두께를 변화(3.6, 5, 7mm)하여 압축강도시험을 수행하였다. 또한 콘크리트 배합강도 변화하여 실험을 수행하였



(a) 비충전강관모델(C-0)



(b) 콘크리트강도 21MPa 모델(C-21)



(c) 콘크리트강도 30MPa 모델(C-30)

〈그림 3〉 하중-변위 곡선

으며 콘크리트 배합강도 0은 콘크리트를 충전하지 않은 비충전강관을 나타낸다.

본 실험에서 콘크리트 강도는 21MPa와 30MPa로 하였다. 여기서, 콘크리트 강도 21MPa와 30MPa는 설계강도를 언급하며 실제 콘크리트 강도는 표2에 보인바와 같이 21.2MPa와 26.6MPa이다. 그리고 실험시 배합조건에 따른 콘크리트 재료구성비인 시멘트, 모래, 골재, 물 및 공기량은 표2에 보인바와 같다.

3. 콘크리트 충전강관 기둥 압축강도 실험결과 및 고찰

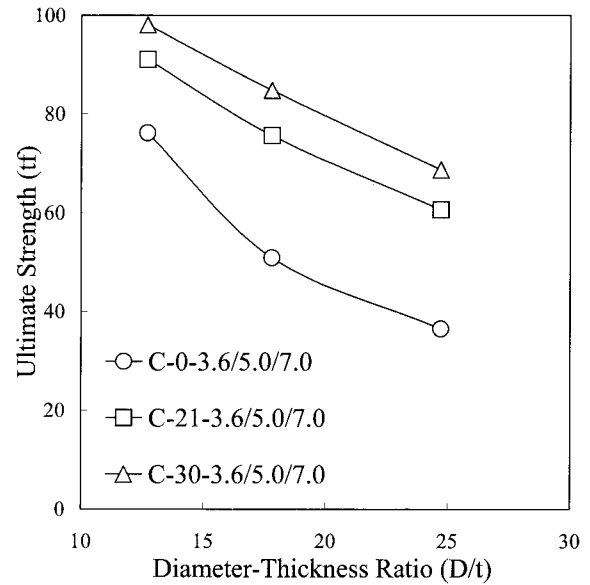
본 연구에서는 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도특성을 파악하기 위해 단면특성 및 콘크리트 강도를 실험 파라미터로한 압축강도 실험을 수행하였으며 실험결과는 그림3에 보이고 있다.

그림3은 콘크리트 강도에 따른 실험모델에 따른 하중-변위 곡선을 보이고 있다. 실험결과 동일 콘크리트 강도의 경우 단면의 두께가 증가할수록 하중-변위 곡선상의 강도가 증가함을 보이고 있다. 콘크리트 충전강관의 기하학적 특성 및 재료학적 측면에서 강도의 정량적·정성적 분포특성을 좀더 명확히 파악하기 위해 각각 실험모델에 따른 극한강도값을 산출하였다. 극한강도는 하중-변위 곡선상 최대내하력값을 극한강도로 정의하여 산출하였다. 실험결과는 단면특성(직경-두께비, 강재-콘크리트 단면적비) 및 콘크리트강도에 따라 극한강도의 분포를 파악하였으며 그 결과는 다음과 같다.

3.1 직경-두께비

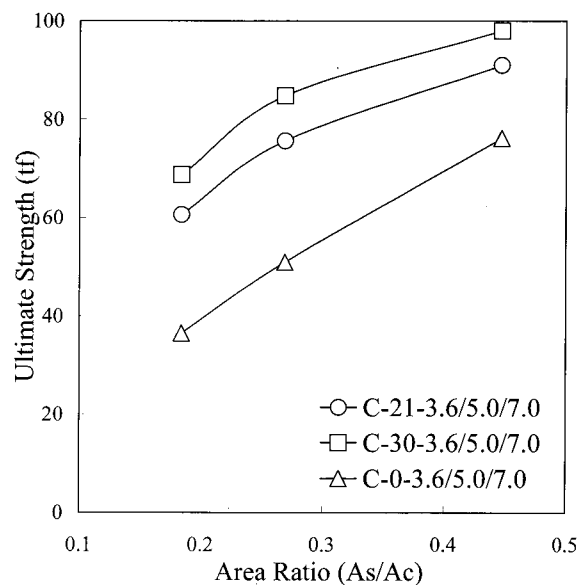
그림 4는 압축실험 결과 직경-두께비(D/t)에 따른 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도 분포를 보이고 있다. 그림4에서 ○, □, △는 콘크리트 배합강도에 따른 실험모델의 분류를 나타낸다. 본 실험결과는 충전강관 직경을 89mm로 고정하고 두께를 각각 3.6mm, 5.0mm, 7.0mm로 변화하여 수행한 압축강도실험 결과이다.

극한강도를 비교한 결과 직경-두께비가 증가함에 따라 즉, 강관의 두께가 감소함에 따라 콘크리트 충



〈그림 4〉 직경-두께비에 따른 콘크리트 충전강관 극한강도 분포

전강관 기둥의 극한강도는 점차 감소하고 있다. 콘크리트가 충전된 실험모델인 C-21 모델과 C-30 모델의 경우 직경-두께비가 증가함에 따라 극한강도는 선형적으로 감소하고 있음을 보이고 있다. 반면, 비충전 강관모델인 C-0 모델의 경우 C-21과 C-30 모델에 비해 직경-두께비가 증가함에 따라 극한강도가 상대적으로 급격히 감소하는 경향을 보이고 있



〈그림 5〉 강재-콘크리트 단면적비에 따른 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도 분포

다. 이와 같은 실험결과는 실제 비충전강관에서 두께 감소로 인한 극한강도의 저하현상을 콘크리트 충전으로 인해 완화시키고 있음을 알 수 있다.

동일 직경-두께비에서 극한강도를 비교한 결과 콘크리트 충전으로 인하여 극한강도가 향상되며 직경-두께비가 증가할수록 즉, 강관 두께가 얇아질수록 극한강도 향상정도가 상대적으로 증가함을 알 수 있다. 또한 콘크리트 강도 변화에 따른 콘크리트 충전강관 모델의 극한강도는 직경-두께비에 따라 일정하게 변화함을 알 수 있다.

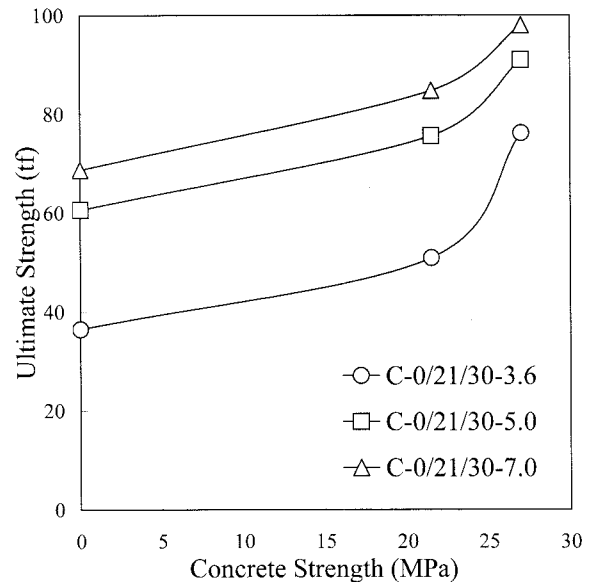
3.2 강재-콘크리트 단면적비

그림 5는 강재-콘크리트 단면적비(A_s/A_c)에 따른 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도의 분포를 보이고 있다. 강재-콘크리트 단면적비 A_s/A_c 는 순 콘크리트면적 대비 강관의 단면적비를 나타낸 것으로 단면적비가 증가함은 강관의 면적, 즉 두께가 증가함을 의미한다. 그림 5에서 ○, □, △는 콘크리트 강도에 따른 실험모델의 극한강도 분포를 보이고 있다. 여기서, △모델은 비충전 강관기둥 모델을 나타낸다. 실제 C-0모델은 비충전이기 때문에 강재-콘크리트 면적을 산출할수 없으나 타모델과의 비교를 위해 동일 두께에 따라 실험결과를 표시하였다.

실험결과 강재-콘크리트 단면적비가 증가함에 따라 즉, 강관의 두께가 증가함에 따라 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도가 점차 증가하고 있음을 보이고 있다. 그러나 극한강도 증가경향은 모델에 따라 차이를 보인다. 비충전 강관모델인 C-0 모델의 경우 강재-콘크리트 단면적비가 증가함에 따라 극한강도가 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 콘크리트 충전강관기둥 모델인 C-21모델과 C-30모델의 경우 두께 5.0mm에서 C-0모델과 동일한 기울기로 극한강도가 증가했다가 두께 7.0mm에서는 오히려 극한강도 증가기울기가 조금 완화됨을 알 수 있다.

이와 같은 실험결과를 비충전기둥인 C-0모델을 기준으로 비교한 결과 강재-콘크리트 단면적비가 증가함에 따라 콘크리트 충전으로 인한 극한강도 증가효과가 점차 저하됨을 알 수 있다. 즉, 두께가

증가함에 따라 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도는 증가하나 콘크리트 충전으로 인한 극한강도 증가효과는 상대적으로 저하된다. 또한, 강재-콘크리트 단면적비가 증가할경우 콘크리트 강도가 증가함에 따라 극한강도도 일정하게 증가하였으며 그 편차는 미비하였다.



〈그림 6〉 콘크리트 강도에 따른 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도 분포

3.3 콘크리트 강도

그림 6은 콘크리트 강도에 따른 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도 분포를 보이고 있다. 그림 6에서 ○, □, △는 콘크리트 충전강관 기둥의 두께에 따른 분포를 보이고 있다. 본 실험결과와 콘크리트 강도는 위에서 언급했던바와 같이 설계강도 21MPa, 30MPa에 따른 실제 콘크리트 강도인 21.2MPa와 26.6MPa이다.

실험결과 콘크리트 강도가 증가함에 따라 콘크리트 충전강관 기둥의 강도도 증가하였다. 특히 두께가 얇은 두께 3.6mm모델의 경우 타 모델에 비해 콘크리트 강도증가에 따른 극한강도가 상대적으로 높게 향상됨을 알 수 있다. 그 외 두께 5.0mm 모델과 7.0mm 모델의 경우 콘크리트 강도증가에 따른 극한강도도 증가하였지만 두께 3.6mm 모델에 비해 강도증가 정도가 낮음을 알 수 있다.

두께 3.6mm 모델을 기준으로 두께 5.0mm 모델의 경우 극한강도가 상대적으로 크게 향상하였으며 두께 7.0mm 모델의 경우 극한강도는 증가하였으나 두께 5.0mm 모델에 비해 극한강도 증가정도가 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 이와 같은 극한강도 정성적 분포경향은 위 직경-두께비 및 강재-콘크리트 단면적비의 연구고찰에서도 밝혀진바 있다.

이와 같은 실험결과를 통하여 콘크리트 강도가 증가함에 따라 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도도 증가하지만 두께가 얇을수록 그 효과는 증가함을 알 수 있다.

3.4 정량적 분석 및 파괴모드

이상의 실험결과를 통하여 하중-변위 곡선의 정성적 분석인 극한강도 분포특성에 대하여 파악하였다. 실제 콘크리트 충전강관의 재료학적 기하학적 특성에 따른 극한강도의 정량적 분포를 파악하였다. 먼저 동일강도를 기준으로 극한강도의 차이를 파악하였다. 비교결과 무보강 강관의 경우 3.6mm를 기준으로 5mm인 경우 39%, 7mm인 경우 109%의 가파른 극한강도 증가경향을 보이고 있다. 반면, 콘크리트강도 21MPa 시편의 경우 3.6mm를 기준으로 5mm인 경우 25%, 7mm인 경우 50%의 극한강도 증가경향을 보였으며 콘크리트강도 30MPa인 경우 3.6mm를 기준으로 5mm에서는 23%, 7mm에서는 43%의 극한강도 증가 경향을 보였다.

극한강도분포 비교결과는 충전강관에 비해 비충전강관에서의 두께 증가에 따른 극한강도 증가정도가 상대적으로 높음을 알 수 있으며 충전강관에서는 콘크리트 강도에 상관없이 비슷한 극한강도 증가경향을 보임을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 위에서도 언급했듯이 두께가 얇은 3.6mm 시편에서 콘크리트 충전으로 인한 극한강도 향상효과가 높아 두께가 두꺼워진 시편에서 상대적으로 그 효과가 낮아진 것으로 사료된다.

동일 두께를 기준으로 극한강도 분포를 정량적으로 비교하였다. 비교한 결과 두께 3.6mm 모델의 경우 비충전강관의 극한강도를 기준으로 비교한 결과 콘크리트강도 21MPa에서는 66%의 극한강도가 증가

하였으며 콘크리트강도 30MPa에서는 88%의 극한강도가 증가하였다. 두께 5mm 모델의 경우 콘크리트강도 21MPa에서 49%, 30MPa에서 67%의 극한강도 증가효과를 보였으며 두께 7mm 모델의 경우 콘크리트강도 21MPa에서 20%, 30MPa에서 29%의 극한강도 증가하였다.

콘크리트 충전강관 기둥의 압축강도 실험결과 모든 실험시편이 극한강도에 도달 후 그림1에 보이는 바와 같이 강관의 국부좌굴로 인하여 내하력이 저하되었다. 그림1에 보이는 바와 같이 실험시편의 대부분은 중앙지점에서 국부좌굴이 발생하였으며 재하지점 및 하부 경계지점에서도 종종 국부좌굴이 발생하였다.

위 콘크리트 충전강관 기둥의 압축강도 실험을 통하여 직경-두께비, 강재-콘크리트 단면적비 및 콘크리트 강도에 따른 극한강도분포 특성을 파악하였으며 그 결과 직경-두께비가 증가할수록 극한강도는 감소하였으나 강재-콘크리트 단면적비가 증가할수록 극한강도는 증가하였다. 그러나 콘크리트 강도에 따른 극한강도 분포는 일반적으로 일정하였다.

이와 같은 결과는 두께가 얇은 경우 콘크리트 충전으로 인한 충전강관 기둥의 극한강도가 상대적으로 향상되지만 점차 두께가 증가할수록 콘크리트 충전보다는 강재의 강성에 의해 콘크리트 충전강관의 극한강도가 결정됨을 나타내고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 충전강관의 단면특성 및 콘크리트 강도에 따른 극한강도 분포특성을 명확히 파악하기 위해 축방향 압축강도 실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 콘크리트 충전강관 기둥의 직경-두께비가 증가함에 따라 즉, 두께가 감소함에 따라 극한강도는 점차 감소하였다. 두께감소로 인한 극한강도 저하를 콘크리트 충전을 인하여 완화시키며 강관의 두께가 얇을수록 콘크리트 충전으로 인한 극한강도 향상효과는 증대되었다.

2. 강제-콘크리트 단면적비가 증가함에 따라 즉, 강관의 두께가이 증가함에 따라 콘크리트 충전강관 기둥의 극한강도가 점차 증가하였다. 그러나 강관 두께가 점차 증가함에 따라 극한강도 향상 효과는 저하되었다.

3. 콘크리트 강도가 증가함에 따라 콘크리트 충전 강관 기둥의 극한강도도 증가하지만 두께가 얇을수록 그 효과는 증가함을 알 수 있다.

4. 콘크리트 충전강관 기둥의 압축강도 실험결과 모든 실험시편이 극한강도에 도달 후 국부좌굴로 인하여 강도가 저하되었다.

5. 콘크리트 충전강관 기둥의 압축강도 실험결과 의 비교를 통하여 축방향 압축하중을 받는 콘크리트 충전강관의 극한강도는 콘크리트 강도보다는 강관의 단면특성에 주로 의존함을 알 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임

참고문헌

1. 장경호, 박도현, 소정현, 전정일, "콘크리트 충전 원형강관의 초기처짐이 내하력에 미치는 영향" 2000년도 대한토목학회 학술발표회논문집(I), 2000, pp.665-668
2. 이명재, "콘크리트 충전 각형강관 기둥제의 최대 내력", 한국강구조학회 논문 제9권 제3호, 한국강구조학회, 1997, pp.391 ~ 400
3. 박정민, 김화중, "축압축력을 받는 콘크리트 충전 강관 기둥의 거동특성에 관한 실험적 연구", 한국강구조학회 논문집 제7권 제4호, 한국강구조학회, 1995, pp.151-164

접수일자 : 2008년 1월 9일

심사완료일자 : 2008년 8월 4일

게재확정일자 : 2008년 9월 5일