

콘크리트충전 각형강관 기둥의 축강성에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Axial Stiffness of the Concrete Filled Rectangular Steel Tube Columns

차 희 연* 송 형 수** 민 창 식***
Cha, Hee Youn Song, Hyung Soo Min, Chang Shik

ABSTRACT

AISC-LRFD, ACI 318 and Korean design specifications for concrete filled rectangular steel tube columns do not consider the increasing of axial stiffness such as the elastic modulus and the yield strength due to the confinement effect. AISC-LRFD and ACI 318, however, shows different basic philosophy and equations for computing the elastic modulus and the strength of CFT columns. Through this experimental study, nine rectangular CFT column specimens were made by varying thickness steel tube and concrete strength, the axial stiffness were compared.

The comparison between the design specifications and the test results shows different values on the yield strength of the CFT columns. Even though, yield strength of the CFT columns are very similar between AISC-LRFD and Korean design specifications.

요 약

현행 AISC-LRFD, ACI 318과 국내의 설계지침에서는 CFT 기둥의 탄성계수와 항복강도 산정 시 구속효과에 의한 축 강성의 증가를 반영하고 있지 않고 있다. 또한 AISC-LRFD와 ACI 318의 제시된 탄성계수와 항복강도의 산정방법으로 계산된 값이 차이가 큰 문제점이 있다. 본 연구에서는 CFT(Rectangular) 기둥을 강관의 두께 및 충전 콘크리트의 강도에 따른 시험체를 9개 제작하여, 실험을 통하여 AISC-LRFD, ACI 318과 국내의 설계지침과 비교하였다.

본 연구에서의 실험결과 현행 AISC-LRFD, ACI 318과 국내의 설계지침의 CFT 기둥의 항복강도는 실제 CFT 기둥의 항복강도와는 큰 차이가 있는 것으로 나타났다.

* 정회원, 동국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

** 정회원, 동국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

**** 정회원, 동국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · 공학박사

1. 서 론

최근 구조물의 대형화, 고층화 그리고 장경간화 추세에 따라 합성구조에 대한 관심이 높아지고 있으며, 그중 콘크리트충전 강관(CFT)기둥은 현재 국내·외 설계기준 및 지침에서 다루고 있으나, CFT 기둥 단면이 갖고 있는 구조적 장점을 효과적으로 설계에 반영하고 있지 못하는 실정이다. 현재 AISC-LRFD¹⁾ 및 국내^{2),3),4)}에서는 강재를 중심으로 콘크리트의 단면적을 무시하고 강재의 단면적만을 고려하여 CFT 기둥을 설계하도록 제시하고 있다. 반면, ACI 318⁵⁾에서는 CFT 기둥 설계에 관한 명확한 언급이 없어, 철근콘크리트 구조의 설계와 같이 강재의 단면적을 콘크리트의 단면적으로 환산하여 사용할 우려가 있다. 이러한 현행 국내·외 설계기준 및 지침별 CFT 기둥의 축강성에 대한 평가 차이는 실제 CFT 기둥 설계 시에 혼돈의 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 각형강관을 사용한 CFT 각형기둥에 대하여 축강성에 대한 평가를 실험을 통하여 국내·외 설계기준 및 지침들에 대하여 비교하고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험개요 및 시험체 제작

충전콘크리트 제작에 사용된 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, 골재는 강모래와 강자갈을 사용하였고, 충전콘크리트의 배합설계표는 표 1과 같다. 또한 각형강관은 일반구조용 압연강관인 SS 400을 사용하였다.

표 1 충전콘크리트 배합설계표

설계기준 강도 f_{ck} (MPa)	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 범위 (mm)	공기량 범위 (%)	물/시멘트 비 (%)	잔골재율 S/a (%)	단위량 (kg/m ³)				
						물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	AE감수제 (g/m ³)
25	25	180	4.5	45.7	41.7	174	380	716	1,021	1,141
35				37.7	40.1		461	662	1,009	1,382
45				31.4	38.9		553	612	981	1,659

본 연구에서는 충전콘크리트의 강도를 측정하고자 CFT 시험체 외에 $\varnothing 100$ mm×200 mm 원주형 공시체를 제작하여, CFT 시험체와 동일한 조건으로 공시체를 기건 양생하였다. CFT 시험체의 제작은 너비 150 mm에 높이 300 mm인 각형강관에 25, 35, 45 MPa의 설계기준강도를 갖도록 충전콘크리트를 타설하였으나 CFT 시험체와 동일한 조건에 기건 양생된 공시체를 시험한 결과 표 2와 같은 결과를 얻었으며, CFT 시험체의 충전콘크리트 강도변수를 표 3에서와 같이 25, 38, 43 MPa로 하였다. 각형강관의 두께는 콘크리트충전 강관구조설계및시공지침(2003)³⁾, 콘크리트충전 강관구조(2004)²⁾와 콘크리트 설계기준(2003)⁷⁾ 기준에 따라 3.0, 4.0, 5.0 mm로 하였으며, 본 연구에서 사용된 시험체는 표 3에서와 같이 총 9개를 제작하였다.

표 2 충전콘크리트의 압축강도

양생방법	설계기준강도		
	25 MPa	35 MPa	45 MPa
기건 양생	25.4	37.9	42.6

표 3 시험체 개요

구 분	강관두께 (mm)	콘크리트 강도 (MPa)	구 분	강관두께 (mm)	콘크리트 강도 (MPa)	구 분	강관두께 (mm)	콘크리트 강도 (MPa)
S3-25	3.0	25	S3-38	3.0	38	S3-43	3.0	43
S4-25	4.0		S4-38	4.0		S4-43	4.0	
S5-25	5.0		S5-38	5.0		S5-43	5.0	

2.2 실험방법

본 연구에서는 CFT 시험체의 축방향 변위측정을 위하여, 그림 1과 같이 Strain Gauge(1-Direction gauge)와 LVDT를 설치하였으며, 1,960 kN급 만능시험기(UTM)를 사용하여 실험을 수행하였다. CFT 시험체에 하중재하는 콘크리트와 강재의 전단면에 동시에 축하중을 재하하였으며, 축하중 재하속도 및 강도시험 방법은 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)에 따라 수행하였다.



그림 1 CFT 시험체의 설치

3. 실험결과 및 분석

CFT 시험체의 파괴형상은 표 4와 같으며, 강관의 소성변형 및 충전 콘크리트의 압축에 의한 파괴가 진전되어 강관에서 좌굴 또는 면외변형이 일어난 후, 파괴하는 거동양상을 보였다. CFT 시험체에 단순압축재하를 강관과 콘크리트면을 동시에 가력하게 되면, CFT 시험체는 최대내력 이후 CFT 각형기둥에서 콘크리트 부분은 압괴가 진전되어, 강관 부분에 횡방향압력을 가하게 되며, 충전 콘크리트 부분의 압괴에 의한 파쇄된 콘크리트는 이미 발생한 강관의 국부좌굴부분의 공간을 채워 이 부분에 팽창압력을 지속시키게 된다. 이후, 이러한 강관부분은 항복내력을 초과하는 압력에 의해 변형이 급격히 진행되어, 종국에는 강관에 큰 면외변형이 발생하였다.

본 연구에서 실험을 통하여 측정한 시험체별 항복강도와 국내(Architectural Institute of Korea, AIK)^{2),3),4)}, AISC-LRFD¹⁾ 및 ACI 318⁵⁾에 따라 산정한 항복강도를 그림 2~4와 같이 비교하였다. 실험

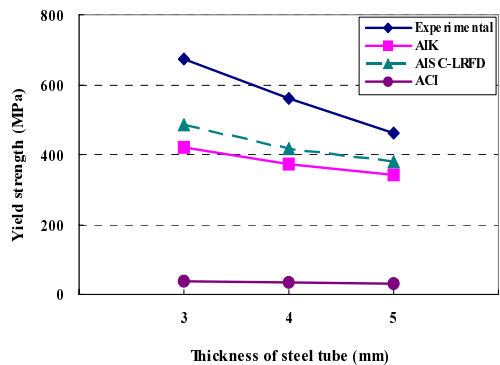




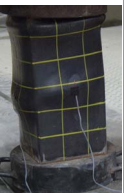






그림 2 충전콘크리트가 25 MPa인 CFT 시험체의 항복강도

표 4 CFT 시험체의 파괴형상

S3-25	S4-25	S5-25	S3-38	S4-38	S5-38	S3-43	S4-43	S5-43
								

결과 나타난 CFT 시험체의 항복강도는 AISC-LRFD의 항복강도와 시험체 별 약 10~40% 차이를 나타냈으며, 국내(AIK)의 방법과는 약 27~60% 차이를 보였다. 충전콘크리트의 강도와 강관의 두께에 따라 AISC-LRFD 및 국내(AIK)의 방법은 실험값에 약 62%~92%의 값을 나타내었다. 이러한 결과는 CFT 각형기둥의 구속효과를 충분히 고려하지 않아 나타나는 차이로 생각되며, 이러한 산정방법으로 설계 시에는 비효율적인 단면설계가 될 것으로 판단된다. 한편 ACI 318의 항복강도와는 13.7~19.8배로 큰 차이를 나타냈으며, CFT 각형기둥 설계 시 항복강도의 예측으로는 부적합할 것으로 판단된다.

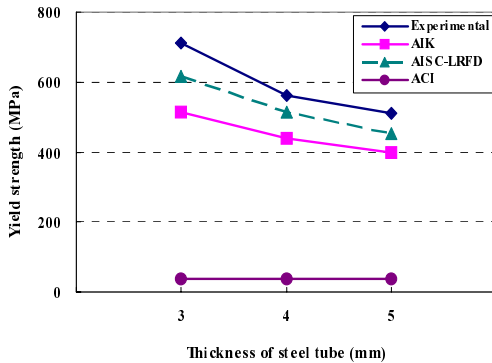


그림 3 충전콘크리트가 38 MPa인 CFT 시험체의 항복강도

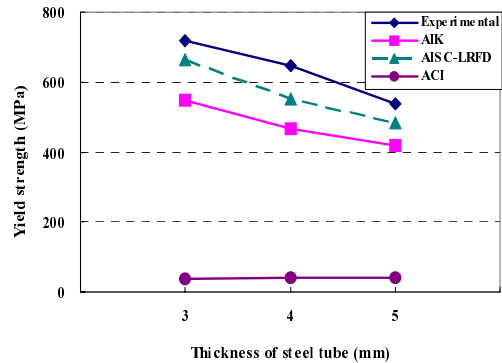


그림 4 충전콘크리트가 43 MPa인 CFT 시험체의 항복강도

4. 결론

본 연구에서는 중심압축력을 받는 CFT 각형기둥의 축강성에 대한 평가를 실험을 통하여 국내·외 설계기준 및 지침들에 대하여 검토하였다. 본 연구에서의 CFT 시험체 항복강도는 AISC-LRFD와 국내(AIK)방법과 유사한 경향을 나타냈으며, ACI 318은 CFT 각형기둥의 항복강도를 저평가하고 있어, CFT 각형기둥 설계 시 항복강도의 예측으로는 부적합한 것으로 나타났다. 또한 CFT 시험체의 충전 콘크리트의 강도에 따라 최대내력에 미치는 영향이 큰 것을 볼 수 있었으며, 이러한 결과를 통하여 CFT 기둥 설계 시 충전 콘크리트에 대한 고려가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. AISC-LRFD, "LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN.", AISC-LRFD, Vol. 1 Second Edition, 1994. 9. pp.2-22~45
2. 대한건축학회, "콘크리트충전 강관구조.", 기문당, 2004. 4
3. 한국강구조학회, "콘크리트충전 강관구조설계 및 시공지침.", 구미서관, 2003. 5
4. 한국강구조학회, 한국콘크리트학회, "합성구조 설계기법 및 최근 기술.", 한국콘크리트학회, 2003년도 제2회 기술강좌, 2003.
5. ACI-318, "Use of Concrete in Buildings-Design, Specifications, and Related Topics.", ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE, PART 3, 1999.
6. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준", 2003.