

콘크리트충전 원형강관 기둥의 축강성에 관한 실험연구

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

김 정 회* 송 형 수** 박 진 수*** 민 창 식****
Kim, Jeong Hoi Song, Hyung Soo Park, Jin Soo Min, Chang Shik

ABSTRACT

AISC-LRFD, ACI 318 and Korean design specifications for concrete filled circular 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, 9 circular 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 elastic modulus and yield strength of the CFT columns. Even though, yield strength of the CFT columns are very similar between AISC-LRFD and Korean design specifications.

1. 서론

현대 건설산업에서는 인구의 도시 집중화와 도심지의 상업 및 사무용 건물의 지가 상승 및 한정된 부지를 효율적으로 활용하기 위하여, 고층 구조물의 설계 및 시공기술 연구에 있어서 초고층 및 장경간화한 구조물에 관심이 증가하고 있다. 이러한 구조물에 적합한 구조형식 중 하나인 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-LRFD⁷⁾ 및 국내^{2),4),5)}에서는 강재를 중심으로 콘크리트의 단면적을 무시하고 강재의 단면적만을 고려하여 CFT 기둥을 설계하도록 제시하고 있다. 반면, ACI 318⁶⁾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 설계시에 혼돈의 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 CFT 기둥중 합성단면의 기하학적인 특성으로 인하여 구속효과가 뛰어난 원형강관을 사용한 CFT 원형기둥에 대하여 축강성에 대한 평가를 실험을 통하여 국내·외 설계기준 및 지침들에 대하여 비교하고자 하였다.

*정회원, 동국대학교 토목환경공학과 석사

**정회원, 동국대학교 토목환경공학과 박사과정

***정회원, 동국대학교 토목환경공학과 석사과정

****정회원, 동국대학교 토목환경공학과 교수·공학박사

2. 실험

2.1 실험개요

충전콘크리트 제작에 사용된 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, 골재는 강모래와 강자갈을 사용하였고, 충전콘크리트의 배합설계표는 표 1과 같다. 또한 원형강관은 일반구조용 압연강판인 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 측정하고 자 CFT 시험체 외에 100 mm×200 mm 원주형 공시체를 제작하여, 표준양생과 기건양생의 두 가지 방법으로 공시체를 양생하였다. 표준양생한 공시체를 재령 28일에 압축강도 시험을 통하여 이한승³⁾ 강동현¹⁾ 등의 연구에서 보고된 기건양생에 따른 강도특성을 고려하여 CFT 시험체의 실험시 충전콘크리트의 압축강도를 추정하였으며, 실험결과는 표 2와 같다.

표 2 충전콘크리트의 압축강도

양생방법	설계기준강도		
	25 MPa	35 MPa	45 MPa
표준양생 (재령 28일)	25.1	23.5	44.9
기건양생	24.9 (재령 38일)	23.0 (재령 39일)	42.9 (재령 31일)

본 연구에서는 150 mm×300 mm의 원형강관에 25, 35, 45 MPa의 설계기준강도를 갖도록 충전콘크리트를 타설하였으나 CFT 시험체와 동일한 조건에 기건양생된 공시체를 시험한 결과 표 2에서와 같이 35 MPa의 시험체가 목표강도에 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 그러므로 CFT 시험체의 충전콘크리트 강도변수를 표 3에서와 같이 23, 25, 43 MPa로 하였다. 원형강관의 두께는 콘크리트충전 강관구조설계및시공지침(2003)⁴⁾과 콘크리트충전 강관구조(2004)²⁾의 기준에 따라 2.0, 3.0, 4.0 mm로 하였으며, 본 연구에서 사용된 시험체들은 표 3에서와 같이 총 9개를 제작하였다.

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)
S2-23	2.0	23	S2-25	2.0	25	S2-43	2.0	43
S3-23	3.0		S3-25	3.0		S3-43	3.0	
S4-23	4.0		S4-25	4.0		S4-43	4.0	

2.2 실험방법

본 연구에서는 그림 1과 같이 CFT 시험체의 축, 횡방향 변위측정을 위하여, 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.

3. 실험결과 및 분석

본 연구에서 실험을 통하여 측정된 시험체별 항복강도와 국내 (Architectural Institute of Korea, AIK)^{(2),(4),(5)}, AISC-LRFD⁽⁷⁾ 및 ACI 318⁽⁶⁾에 따라 산정한 항복강도를 그림 2~4와 같이 비교하였다. 실험결과 나타난 CFT 시험체의 항복강도는 AISC-LRFD의 항복강도와 시험체 별 약 1.19~1.42배 차이를 보였으며, 국내(AIK)의 방법과는 약 1.28~1.62배 차이를 보였다. 충전콘크리트의 강도와 강관의 두께에 따라 AISC-LRFD 및 국내(AIK)의 방법은 실험값에 약 65%~80%의 값을 나타내었다. 이러한 결과는 CFT 원형기둥의 구속효과를 충분히 고려하지 않아 나타나는 차이로 생각되며, 이러한 산정방법으로 설계시에는 비효율적인 단면설계가 될 것으로 판단된다. 한편 ACI 318의 항복강도와는 15.7~27.0배로 큰 차이를 나타냈으며, CFT 원형기둥 설계시 항복강도의 예측으로는 부적합할 것으로 판단된다.

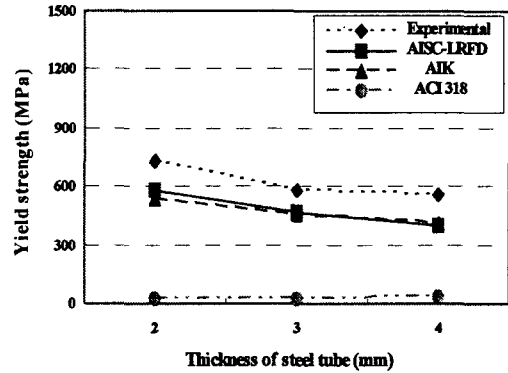
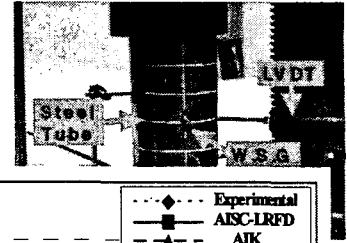


그림 2 충전콘크리트가 23 MPa인 CFT 시험체의 항복강도

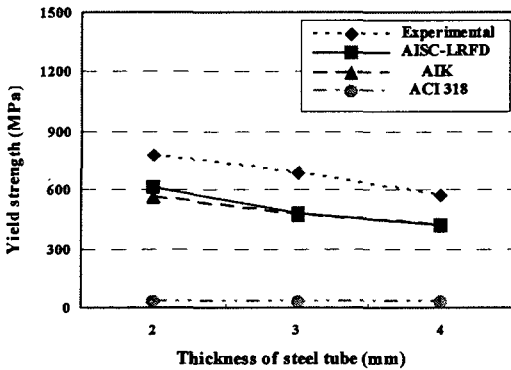


그림 3 충전콘크리트가 25 MPa인 CFT 시험체의 항복강도

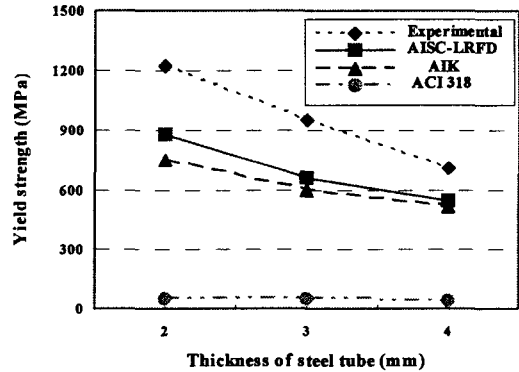


그림 4 충전콘크리트가 43 MPa인 CFT 시험체의 항복강도

본 연구에서 실험을 통하여 측정된 CFT 시험체의 탄성계수와 각 기준의 탄성계수를 그림 5~7과 같이 비교하였다. 현재 AISC-LRFD 및 국내(AIK)에서는 강재의 탄성계수를 기준으로 CFT 원형기둥의 탄성계수를 산정하고 있으며, 이러한 평가방법은 CFT 원형기둥의 탄성계수가 강재의 탄성계수보다 높게 평가되고 있다. 그러나 본 연구의 실험결과 CFT 시험체의 탄성계수는 AISC-LRFD와 국내(AIK)에서 제시한 CFT 원형기둥의 탄성계수에 0.16~0.36배를 나타냈다. 이러한 결과를 통하여 강재만의 단면적을 CFT의 단면적으로 고려하는 AISC-LRFD 및 국내(AIK)방법은 CFT 원형기둥의

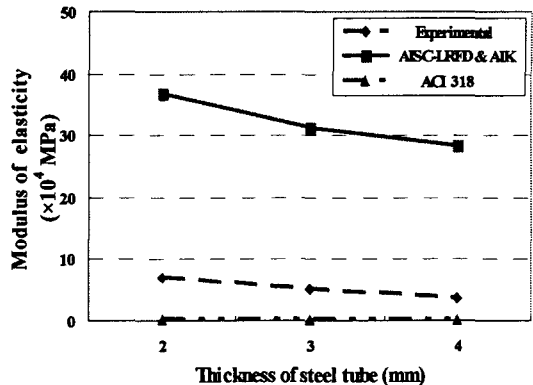


그림 5 충전콘크리트가 23 MPa인 CFT 시험체의 탄성계수

탄성계수를 과대평가하고 있는 것으로 판단된다. 또한, CFT 시험체에서 측정된 탄성계수는 ACI 318에서 제시한 탄성계수 보다 15.6~26.9배 크게 나타났다. 이러한 결과는 CFT 원형기둥 합성단면의 기하하적인 특성으로 인하여 발생하는 구속효과를 고려하지 않고 있어, 나타나는 현상으로 판단된다. 이러한 결과들을 통하여 현재 제시된 CFT 원형기둥의 탄성계수는 실제 CFT 원형기둥의 탄성계수와는 큰 차이가 있는 것을 알 수 있으며, 현행 설계기준 및 지침으로 CFT 원형기둥의 설계시에는 축강성을 과대 또는 과소평가의 우려가 있다.

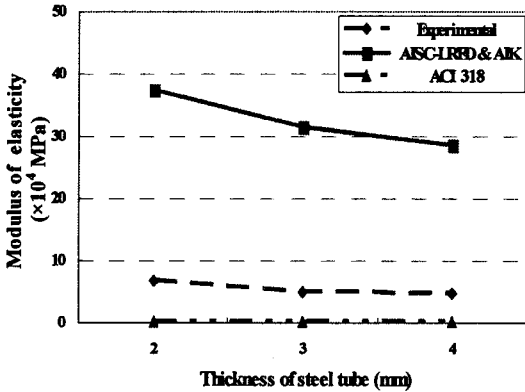


그림 6 충전콘크리트가 25 MPa인 CFT 시험체의 탄성계수

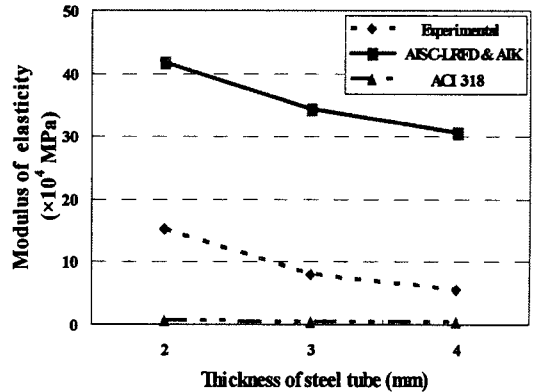


그림 7 충전콘크리트가 43 MPa인 CFT 시험체의 탄성계수

4. 결론

본 연구에서는 중심압축력을 받는 CFT 원형기둥의 축강성에 대한 평가를 실험을 통하여 국내·외 설계기준 및 지침들에 대하여 비교하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CFT 시험체의 항복강도는 AISC-LRFD와 국내(AIK)방법과 유사한 경향을 나타냈으며, ACI 318은 CFT 원형기둥의 항복강도를 저평가하고 있어, CFT 원형기둥 설계시 항복강도의 예측으로는 부적합할 것으로 판단된다.
2. 현행 설계기준 및 지침의 CFT 원형기둥 탄성계수와 CFT 시험체의 탄성계수와는 큰 차이를 나타냈다. 이러한 결과는 현행 설계기준 및 지침들로 CFT 원형기둥 설계시에는 축강성을 과대 또는 과소평가의 우려가 있다.

참고문헌

1. 강동현, 정근호, 김우재, 김진호, 정상진, 최문식, "현장타설 CFT용 고유동 고강도 콘크리트의 물성에 관한 실험적 연구.", 대한건축학회논문집, Vol. 18, No.7, 2002. 7, pp.115~122
2. 대한건축학회, "콘크리트충전 강관구조", 기문당, 2004. 4
3. 이한승, "콘크리트 양생.", 한국콘크리트학회지, Vol. 14, No.6, 2002. 11, pp.160~164
4. 한국강구조학회, "콘크리트충전 강관구조설계 및 시공지침.", 구미서관, 2003. 5
5. 한국강구조학회, 한국콘크리트학회, "합성구조 설계기법 및 최근 기술.", 한국콘크리트학회, 2003년도 제2회 기술강좌, 2003.
6. ACI-318, "Use of Concrete in Buildings-Design, Specifications, and Related Topics.", ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE, PART 3, 1999.
7. AISI-LRFD, "LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN.", AISI-LRFD, Vol. 1 Second Edition, 1994. 9. pp.2-22~45