

CFT구조용 초고강도 콘크리트의 현장 적용을 위한 실험적 연구

An Experimental Study on High Strength Concrete for Concrete Filled Steel Tube Column for Field Application

이장환* 김영주* 정광식** 강태경** 정근호*** 정상진****

Lee, Jang Hwan Kim, Young Joo Joung, Kwang Sik Kang, Tea Kyung Jung, Keun Ho Jung, Sang Jin

ABSTRACT

Due to social problems such as the increasing of land price and the expanding of city, buildings require more complex and bigger components and structure. However, the complex and massive building projects need new technology to solve effect of local buckling and the needs for more space. Hence, Concrete Filled Tube Steel (CFT), the tube steel to hold concrete during pouring and curing of concrete procedure, which helps to reduce local buckling and space, was developed.

Most researches on CFT might not be focused on the characteristic of concrete filled in tube but structural analysis. However, it is the essential factor to increase the strength of concrete on CFT for having efficient results. Therefore, this paper will describe how to apply CFT into the construction site through examining High Strength Concrete ($800\text{kg}/\text{cm}^2$), the strength of core, and bleeding during pouring strategy.

1. 서론

용지 부족으로 인한 건물의 고층화와 건축물에서의 용도의 다양화, 복잡화, 의장의 기대감등으로부터 종래의 구조적형식이 개발되고 있다. 이러한 이유에서 현재 건축물의 보편적인 구조형식으로 이용되고 있는 철근콘크리트조, 철골구조, 철골-철근 콘크리트조 등이 제약받고 있는 장스팬 및 공간의 효율적 이용을 가능하게 하는 구조형식으로 각광 받고 있는 것이 콘크리트 충전강관구조(Concrete Filled steel Tube, 이하 CFT 구조라 함)이다.

일반적으로 CFT 기둥의 내부에 충전되는 콘크리트의 압축강도는 가능한 한 기둥의 치수를 감소시키기 위하여 주로 고강도 콘크리트를 요구하게 된다. 또한 강관의 내부에 콘크리트 충전시 시공성 측면에서는 콘크리트의 다짐이 불가능하기 때문에 콘크리트에 대한 고유동 특성이 요구된다. 그러나 국내의 CFT의 현장 적용을 위한 실험적 연구는 중심압축에 따른 내력특성, 기둥축소량에 대한 해석 등 구조적 분야에서는 활발한 연구가 되고 있지만, 강관에 충전되는 콘크리트에 대한 검토가 부족하고 특히 설계기준강도 $800\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이상의 고강도 콘크리트에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 연구는 기존의 CFT용 $800\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이상의 콘크리트에 대한 기초물성실험을 바탕으로 모의시험체 실험을 행하고자 한다.

2. 실험계획

기존의 기초 물성실험을 통한 최종 배합과 배합 목표값을 [표 1]과 [표 2]에 나타내었다.

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사수료

*** 정회원, 포항산업연구원 강구조연구소 책임연구원

**** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학전공 교수, 공학박사

표 1. 배합

	W	C	S	G	FA	SF	SP
배합	168	503	527.3	925.5	108	85.1	13.9

(단위 : kg)

표 2. 배합 목표값

슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	블리딩량 (cm/cm)	침하량 (mm)
18 이상	55이상	2.5±1	0.1 이하	2 이하

2.1 모의시험체 제작 및 콘크리트 타설

수화온도이력 및 부위별 코어 압축강도 실험을 실시하기 위해 500×500×H1500(mm)의 강관 모의시험체를 3본 제작하고 콘크리트의 타설은 지하층 또는 최상층에서 주로 사용되는 트레미관법으로 실시하였다. 강재의 재질 규격 및 재료강도는 <표 3>에 나타내었고, 모의시험체 제작 계획 및 측정항목은 <표 4>와 같다.

표 3 강재의 재질 및 규격

규격	명칭	종류	관두께 (mm)	강도		연신율 (%)
				Fy (tf/cm ²)	Fu (tf/cm ²)	
KS D 3503	일반구조용 압연강판	SS400	12	2.4	4.1	23

* Fy : 강재의 항복강도, Fu : 강재의 인장강도

표 4 모의시험체 제작 계획

모의시험체	양생 방법	타설방법	타설구 (mm)	개구부면적/ 전단면적 (%)	수량	측정항목
500×500 H7000(mm) (SS400)	기중	상부타설 압입타설	350	49	2	침하량 수화온도 이력 높이별 압축강도

모의시험체의 다이어그램은 [그림 1]처럼 콘크리트층전 강관구조 설계 및 시공지침을 기준으로 하여 두께 12mm의 강관에 개구율 49%, 한변의 길이가 350mm인 콘크리트 타설구멍을 두고, 다이어그램의 주변부에 균등하게 직경 30mm의 공기빠짐 구멍 4개소를 설치하였다. 모의시험체 강관 측면에는 시험체의 하단으로부터 50mm 지점에 직경 20mm의 물빠짐구멍을 설치하였다.

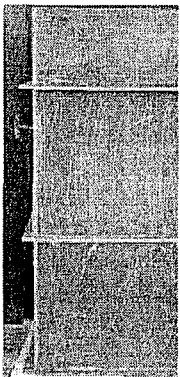


사진 1. 모의시험체

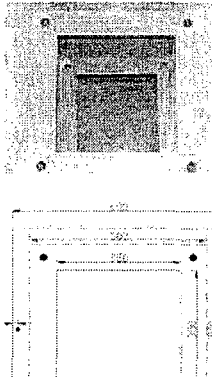


그림 1. 다이어그램

2.3 실험방법

2.3.1 관리용 공시체 강도 실험

고강도 콘크리트의 경우 높은 단위시멘트량으로 수화반응시 열이 높게 발생하고 초기 응결속도가 빠르기 때문에 보통 콘크리트와는 상이한 강도 발현성상을 나타낸다. 따라서, 일반강도의 콘크리트에 대한 강도관리를 위해 실시하고 있는 표준수중양생법만으로는 CFT구조용 초고강도 콘크리트의 관리용 공시체를 이용하여 강도를 추정하는 것은 무리가 있다고 판단된다. 따라서, 본 실험에서는 모의시험체 실험과 병행하여, 표준수중, 현장수중, 현장대기, 현장밀봉, 단열의 5가지 양생조건으로 강도관리용 공시체를 제작·양생하였으며 소정의 재령 경과 후 압축강도를 시험하였다.

2.3.2 수화열 특성 실험

다짐을 하지 않은 모의시험체를 단열재로 상·하부를 막음으로써 CFT 기둥부재가 외기온에 영향을 받는가를 검토하기 위해 [그림 2]과 같이 바닥에서 각각 300mm, 900mm, 1,350mm, 외부에서 20mm와 250mm 위치에 온도센서를 매설한 후 콘크리트 타설 직후부터 외기온과 비슷해지는 재령까지 자동온도기록장치를 사용하여 부재 내부 온도를 측정하였다.

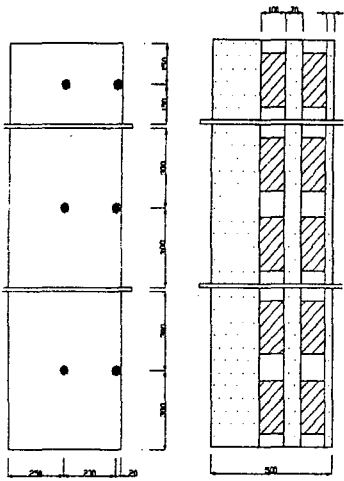


그림 2. 온도센서 매립 위치

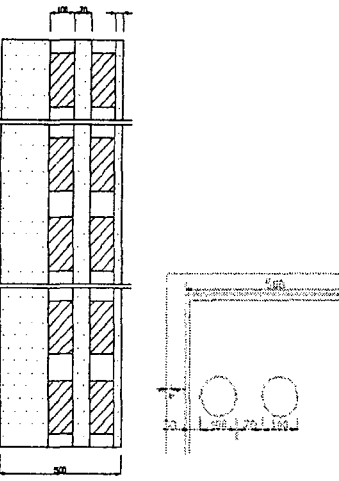


그림 3. 코어 공시체 채취 위치

2.3.3 코어공시체 채취 및 압축강도 실험

모의시험체 내부의 강도발현을 파악하기 위하여 [그림 3]과 같이 각 부분별로 코어 공시체를 채취하였다. 모의시험체에서 채취한 코어 공시체는 압축강도를 측정하기 위해 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 로 절단한 후 압축강도시험을 실시하였다.

2.3.4 코어 공시체 단위용적중량 및 정탄성계수 측정
코어 공시체의 단위용적중량을 파악하기 위해 정밀저울을 사용하여 공시체의 질량을 확인하고 버니어 캘리퍼스로 공시체의 높이를 측정하여 용적을 확인한 후 단위용적중량을 계산하였다.

각각의 공시체에 대한 정탄성계수 값은 대한건축학회의 철근콘크리트 구조계산규준의 다음과 같은 식을 이용하여 도출해내었다.

$$E = 2.1 \times 10^5 \times \left(\frac{\rho}{2.3}\right)^{1.5} \sqrt{f_{ck}/200} (\text{kgf/cm}^2)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 관리용 공시체

모의시험체 타설 전 제작한 각 양생별 관리용 공시체의 압축강도 측정결과를 <표 4> 및 [그림 4]에 나타내었다.

관리용 공시체의 압축강도시험을 행한 결과 재령 3일(595 kgf/cm²)과 7일(782kgf/cm²)에서 단열양생한 공시체의 강도가 가장 높게 나타났다.

재령 28일에서 공시체의 강도는 839~869kgf/cm²로 모두 800kgf/cm²이상의 강도발현을 나타내었다. 또한 재령 28일에서 표준수준양생한 공시체의 압축강도가 869kgf/cm²으로 가장 높게 나타났지만, 각 양생방법에 따른 압축강도의 차이는 그다지 크지 않았다.

재령 56일에서는 단열양생 공시체가 854kgf/cm²로 가장 낮은 강도값을 나타냈고, 표준수준양생 공시체가 902kgf/cm²으로 가장 높은 강도를 나타냈다. 초기 강도발현이 빠르게 진행되었던 단열양생한 공시체의 경우 재령 56일에서의 강도발현은 완만하게 진행되었고, 표준수준양생한 공시체의 강도는 비교적 높은 강도발현을 보이고 있다.

3.2 수화열 특성 실험

모의시험체의 타설을 위한 콘크리트 온도는 20℃를 유지하였다.

수화온도이력의 측정결과 모의시험체는 5시간 이후부터 수화반응이 시작되면서 2.24℃/h의 속도로 상승, 타설 후 약 17.5시간 경과 후 최고온도에 달하게 되었고 이후 온도가 점차 하강하여 약 70시간이 지난 후 외기 온도와 거의 같은 온도 경향을 보이고 있다.

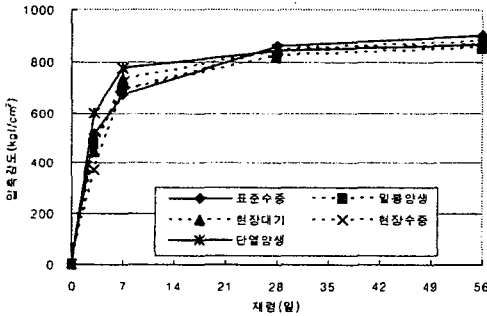


그림 4. 양생별 압축강도

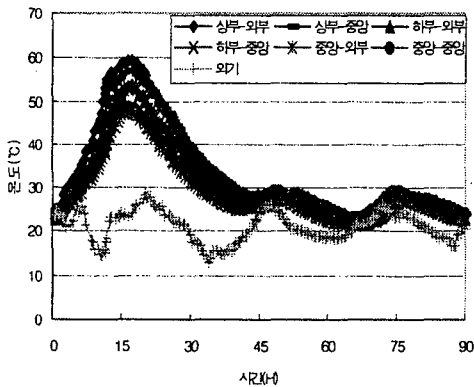


그림 5. 수화열 시험

모의시험체의 최고 온도는 59.3℃, 최저온도는 21.1℃로 나타났다. 또한, 모의시험체의 높이별 수화온도이력을 살펴보면 하부의 경우 상부에 비하여 낮은 수화열이 발생하였다. 이는 콘크리트를 트레미관법으로 타설하였기 때문에 비중이 큰 굵은골재가 밑으로 가라앉아 하부에서의 단위시멘트량이 상부에 비하여 적기 때문으로 판단된다.

3.3 코어 압축강도

제작된 3개의 모의시험체에서 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 크기로 코어 공시체를 채취하여 압축강도를 측정하였다.

각형강관기둥의 높이에 따른 코어의 압축강도는 중앙부에서 836~856kgf/cm², 단부에서 826~853kgf/cm²의 강도 분포를 보이고 있어, 중앙부와 단부가 유사한 강도값을 나타내었다. 또한, 전체적으로 모의시험체의 하부에서 상부로 올라갈수록 압축강도가 16~20kgf/cm² 작게 나타났다. 이는 각각의 시험체에서 트레미관법으로 콘크리트를 상부에서 타설할 경우, 콘크리트의 골재가 하부로 가라앉았기 때문인 것으로 판단된다.

각각의 모의시험체 단부에서 채취한 코어의 압축강도는 다이아프램과 다이아프램 사이의 위치인 채취높이 400, 1000mm에서 중앙부보다 약 12~14kgf/cm² 정도 강도가 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 유동성 및 충전성이 좋은 모르타와 달리 굵은 골재가 다이아프램 하부의 구석진 곳까지 밀실하게 충전되지 못했기 때문으로 판단된다.

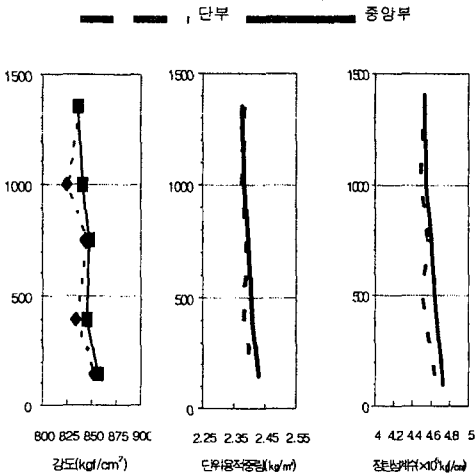


그림 6. 모의시험체의 코어 시험

3.4 코어 공시체 단위용적중량 및 정탄성계수

본 실험에서 모의시험체의 높이별, 부위별 단위용적중량 및 정탄성계수를 파악한 결과를 [그림 6]에 나타내었다. 정탄성계수의 측정결과 압축강도와 단위용적중량과 비교하여 비슷한 경향의 커브를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서 초고강도 콘크리트를 이용한 CFT 모의시험체 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 모의시험체에 타설한 콘크리트의 수화열 측정한 결과 시험체의 상부보다 하부의 수화열이 낮게 나타나는 경향을 보였다. 이는 콘크리트를 트레미관법으로 타설하였기 때문에 비중이 큰 굵은골재가 밑으로 가라앉아 하부에서의 단위시멘트량이 상부에 비하여 적기 때문으로 판단된다.
- (2) 각형강관기둥 모의시험체의 코어강도는 상부에서 다소 저하하는 경향이 나타났다. 따라서, 공사 현장에서 기둥의 상부 부분만의 코어를 채취하여 코어 강도를 측정함으로써 CFT 기둥에 대한 강도관리가 가능할 것으로 판단된다.
- (3) 모의시험체에서 채취한 코어의 단위용적중량 및 정탄성계수 값을 계산한 결과 각형강관 모의시험체의 코어 압축강도와 마찬가지로 하부에서 상부로 올라갈수록 값이 저하하는 경향을 나타냈다.

참고문헌

- 1) 김주인 외 2인, 콘크리트 充填 角形鋼管柱의 耐力에 관한 研究, 대한건축학회 논문집, 제 13권 6호, 1998. 6, pp. 243~253
- 2) 김화중 외, 중심압축을 받는 고강도콘크리트 충전각형강관 기둥의 내력특성, 대한건축학회 논문집, 18권 7호, 2002.7, pp. 11~18
- 3) 한국강구조학회지, Vol.14 No2 June. 2002 pp. 16~21
- 4) 한국강구조학회지, Vol.14 No2 June. 2002 pp. 28~34
- 5) 정상진 외, 現場打設 CFT用 高强度 高流動 콘크리트의 物性에 관한 實驗的 研究, 대한건축학회 논문집, 18권 7호, 2002.7, pp. 115~122
- 6) 日本建築學會, 콘크리트 充填鋼管構造設計施工指針, 1997
- 7) 新都市ハウジング協會, CFT構造設計技術指針-同解説, 1997
- 8) 戶祭邦之, 콘크리트 實務事典, 井上書院, 1997, pp. 84~85