

초고강도 콘크리트(800kgf/cm² 이상)를 이용한 콘크리트충전 강관기둥에 대한 실물대 실험

An Experimental Study on Concrete Filled Steel Tube Column of Mock-up test take advantage of the High Strength Concrete(over the 80MPa)

○ 이 장 환* 공 민 호** 전 판 근** 정 근 호*** 이 영 도**** 정 상 진*****
Lee, Jang-Hwan Gong, Min-Ho Jun, Pan-Keun Jung, Keun-Ho Lee, Young-Do Jung, Sang-Jin

Abstract

The column for Steel Framed Reinforced Concrete Structure (SFRCS) and the column for Reinforced Concrete Structure (RCS) could be the most common building structure. The increasing of the need for massive space has affected the size of building components for supporting the massive structure. However, the changing of components size makes inefficient space of building. Hence, to meet the need for acquiring efficient space comparing the budget and cost the new structure method, Concrete Filled Tube Steel (CFT), was developed.

CFT is the structure for which steel tube instead of other materials such as wood for holding concrete is used. The most benefit of this one is to help in reducing the size of the building components and local buckling because of tube steel holding concrete. For this reason, this research will examine the probability of applying CFT on construction sites by using the concrete (800kg/cm²) especially for CFT through the data from the real size mock-up

키워드 : 콘크리트 충전강관, 실물대 실험, 수화열, 관리용 공시체, 양생방법, 고강도 콘크리트,

Key Ward : Concrete Filled Tube Steel, Mock-up Test, heat of hydration, Curing Method, High Strength Concrete.

1. 서 론

현대의 건설산업은 인구의 도시집중화로 인한 고밀도화 및 고층화의 요인과 ISO나 WTO 체제에 의해 환경을 고려한 건축이라는 지향 아래에 거듭된 발전을 하고 있다. 특히 건축물의 고층화는 건설산업의 구조 및 시공기술을 발전시킴으로써, 현재 고층 건축구조물의 설계 및 시공기술 연구에 있어 초고층 및 장스팬화에 그 초점이 맞추어져 있으며 현장공정의 단순화를 통하여 경제성을 추구하고 있다. 그 결과 건축구조에 있어 새로운 구조시스템과 재래공법에 대한 개선이 대두되었으며 이중 하나가 콘크리트충전 강관구조(Concrete Filled steel Tube Structure) 즉, 합성강관 구조(이하 CFT 구조라 함)이다.

CFT구조방식은 강관 속에 콘크리트를 충전함으로써 충전된 콘크리트가 강관의 국부좌굴을 보강해주고, 강관이 콘크리트를 구속해 줌으로써 콘크리트의 내력을 향상시켜준다. 이러한 상호 보완적 관계는 철골구조의 기둥이나 철근콘크리트기둥 보다 작은 단면으로 같은 효과를 누릴 수 있게 하여 구조

부재를 축소화 할 수 있게 된다. 본 연구에서는 기존의 CFT 구조용 콘크리트로 800kgf/cm²강도 이상의 실험 데이터를 바탕으로 실물대 시험체를 제작해 현장에서의 적용성에 대해 검토하고자 하였다.

2. 실험계획

기존에 배합실험과 모의 시험체 시험 결과를 바탕으로 800kgf/cm²의 CFT용 콘크리트를 이용하여 7m의 실험체를 2본 제작, 상부타설법과 압입법으로 타설방법을 달리하여 실험을 계획하였다.

표 1. 배합

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

표 2. 배합 목표값

슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	블리딩량 (ml/ml)	침하량 (mm)
18 이상	55, 60, 65	2.5±1	0.1 이하	2 이하

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 단국대학교 대학원 박사수료

**** 정회원, 경동대학교 건축대학부 교수, 공학박사

***** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학전공 교수, 공학박사

2.1 모의시험체 제작 및 콘크리트 타설

7m 높이의 시험체를 2본 제작하여 기중 양성하였다. 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	판두께 (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 수화온도이력 높이별 압축강도

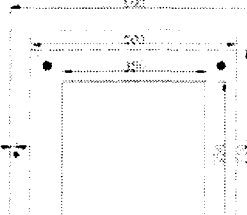


그림 1. 다이어그램



사진 1. 타설확인구멍

콘크리트의 타설은 D레미콘 회사의 콘크리트를 이용해 타설방법을 달리하여 실험하였다. 2본의 시험체에 1본은 압입타설로, 다른 1본은 상부타설로 하여 타설방법에 따른 충전성을 비교하고자 하였다. 또 강관에 콘크리트를 압송하기 전후, 압입공법의 경우 콘크리트를 타설할 때 상부에서 콘크리트를 채워해 콘크리트의 기초물성을 살펴보았다. [사진 2]처럼 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침을 기준으로 하여 두께 12mm 강판으로 제작된 실물대 실험체를 베이스플레이트 위에 설치하였다. 압입구의 형태는 압송관의 직경과 맞추어 4in의 크기로 제작하였다.

[그림 1]과 같은 개구율 49%에 타설구멍의 한 변이 350mm인 다이어그램을 제작하여 하부에서부터 2400, 3000, 5400, 6000mm의 위치에 설치 하였다.

강관의 제작은 <사진 2>과 [그림 2]의 1), 2)와 같이 제작하였다. 각각의 시험체에 Ø20mm의 충전확인 구멍을 설치하여 <사진 1>과 같이 육안으로 충전 상태를 확인할 수 있게 하였다.

2.2 수화열 특성

수화열 특성을 검토하기 위하여 압입법으로 콘크리트를 타설한 시험체에 온도센서를 설치하였다.

온도센서는 바닥에서 1,500mm 높이에, 단면의 최외부로부터 25mm, 250mm의 위치(중앙부와 표면부)에 온도센서를 매설한 후 콘크리트 타설 직후부터 외기온과 비슷해지는 재령까지 자동 온도기록 장치를 사용하여 부재 내부 온도를 측정하였다.

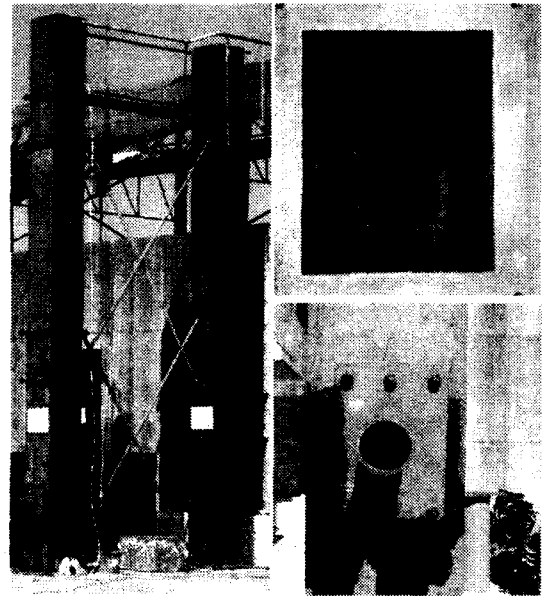
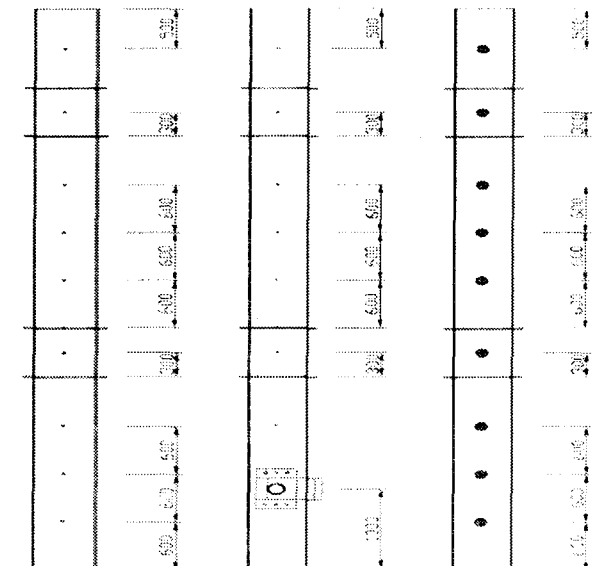


사진 2. 강관의 외·내형 및 압입구



1)상부타설강관 2)압입타설강관 3)코어채워위치

그림 2. 제작 강관 및 코어채워위치

2.3 경시변화실험

실험 현장까지 레미콘 차량의 도달시간이 소요 되지 않았기 때문에 레미콘 차량의 운반시간을 고려하여 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량의 경시 변화를 두 시간 동안 측정 하였다.

2.4 관리용 공시체

고강도 콘크리트의 경우 강도 발현성에서 보통 콘크리트와는 상이한 강도 성상을 보여주기 때문에 일반적으로 콘크리트의 강도를 확인하기 위해 행해지고 있는 표준수중양생으로 고강도 콘크리트의 공시체를 이용하여 강도를 추정하는 것은 무리가 있다. 따라서, 본 실험에서는 레미콘의 현장 도착 직후 콘크리트 시료를 채취, <사진 3>와 같이 각 양생별로 구분하여 강도관리용 공시체를 제작·양생하였으며 소정의 재령 경과 후 300ton U.T.M 만능시험기를 이용하여 압축강도 시험을 하였다.



(a)표준수중 (b)현장수중 (c)현장대기 (d)현장밀봉 (e)단열
사진 3. 공시체의 양생

2.5 모의 시험체 코아 채취

실물대 실험체의 높이별 콘크리트의 성상을 살펴보기 위해 그림 2의 위치에서 <사진 4>와 같이 코아를 채취하여 압축강도 실험과 단위 용적 중량을 측정하였다.

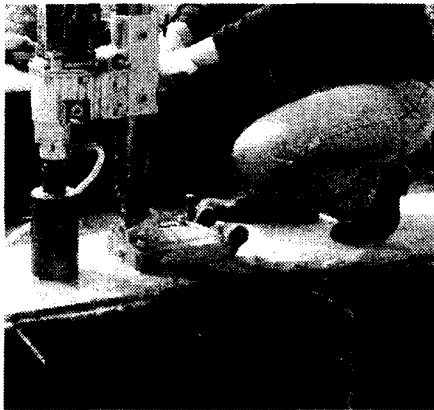


사진 4. 코아 채취

2.6 침하량 시험

침하량 시험은 실물대 시험체 상부에 마그네틱 베이스를 이용하여 다이얼게이지를 설치하고 상단의 침하량을 측정하였다.(그림 3)

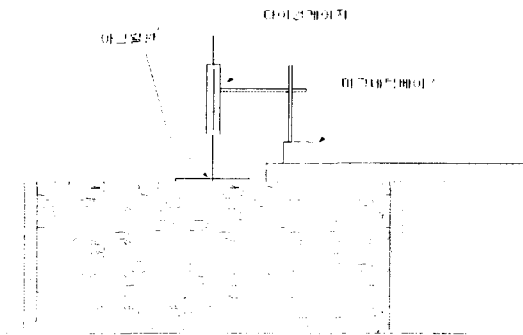


그림 3. 침하량 시험

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 경시변화실험

표 5. 공기량, 슬럼프, 슬럼프 플로우 경시변화

경과시간(분)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
공기량(%)	3.6	3.6	3.2	2.8	3.1	2.9	2.6	2.4	2.6
슬럼프(cm)	25	26.5	26	25.5	27	27.5	27	25	26
플로우(cm)	60	65	65	64.5	69	70	66	60.5	60

표 6. 압입타설 상부 채취 콘크리트

	압입 타설 상부 콘크리트
공기량(%)	2.5
슬럼프(cm)	26
플로우(cm)	63

레미콘 차량의 현장까지의 운반 시간과 타설 시간을 고려하여 콘크리트의 경시변화를 2시간 측정된 결과 배합 목표값을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

3.2 침하량 실험

실물대 시험체 상부에 설치한 다이얼 게이지로 침하량을 측정된 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 상부타설한 시험체가 4.94mm로 압입타설한 시험체 보다 2.3mm가 적게 침하하였다.

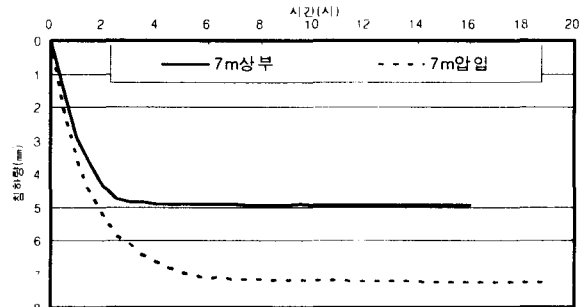


그림 4. 침하량

3.3 수화열 실험

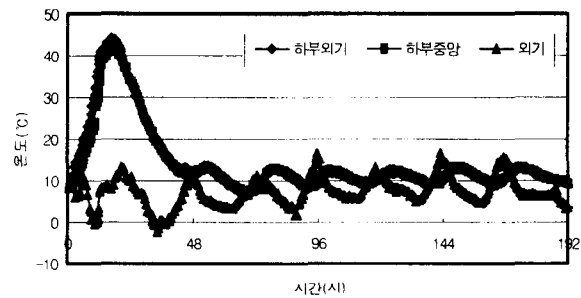


그림 5. 수화열 측정실험

압입공법 실물대 시험체의 수화열을 측정된 결과 중앙부가 최고온도 43.7도 외부가 42.2도로 비슷한 온도 성상을 나타내었다. 수화온도 발현은 약 48시간이 지난 후부터 외기온과 비슷한 온도 성상을 나타내었다.

3.4 관리용 공시체 압축강도

관리용 공시체의 압축강도를 살펴본 결과 강도 발현은 표준수중양생에서 1,013kgf/cm²로 가장 높은 강도 값을 나타내었다. 다음으로는 단열양생, 밀봉양생, 현장대기양생 현장수중양생의 순으로 강도가 발현되었다. 28일의 압축강도는 다소 큰 편차를 보였으나 모두 800kgf/cm² 강도를 상회하는 것으로 나타났다. 강도의 편차가 다소 크게 나타난 것은 플라이애시의 치환이 많이 된 점과 외기온이 낮았던 것으로 판단되며 이를 감안하여 재령 56일 이상의 장기강도의 확인이 필요할 것으로 판단된다.

표 7. 관리용 공시체 압축강도

재령	3일	7일	28일
양생조건			
표준수중양생	436	699	1013
밀봉양생	268	491	831
단열양생	375	574	848
현장수중양생	317	502	802
현장대기양생	315	499	803

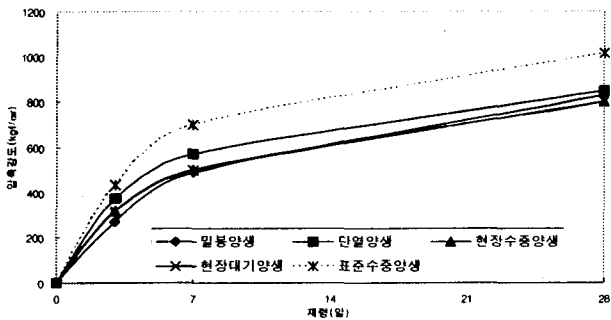


그림 6. 관리용 공시체의 압축강도

3.5 코어 압축강도 및 단위용적 중량

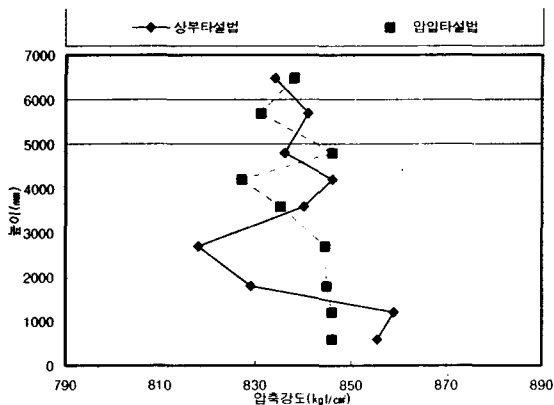


그림 7. 코어 압축강도

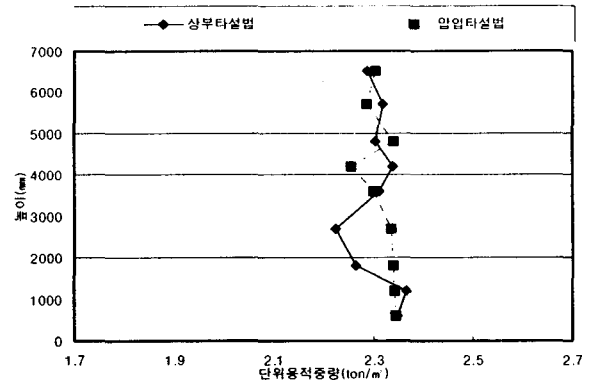


그림 8. 코어 단위용적중량

시험체에서 높이별로 채취한 코어의 단위용적 중량과 강도 값을 살펴 본 결과 압축강도는 단위 용적 중량과 유사한 경향을 나타냈다. 높이에 따른 강도 분포를 살펴보면 다이아프램 부분에서 다소 강도가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 전체적으로는 하부로 내려갈수록 강도가 증가하는 경향을 나타냈다.

4. 결 론

이상의 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트의 경시변화를 실험한 결과 래미콘 차량의 현장 도착 직후부터 타설 후 시간까지를 고려해 경시변화를 측정된 결과 2시간까지 배합 목표 값을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한 압입공법으로 실험한 실물대 시험체의 상부에서 채취한 콘크리트 역시 배합 목표 값을 만족하여 현장 적용가능성이 높다고 사료된다.
- 2) 실물대 시험체의 상부에 설치한 다이얼 게이지로 측정된 침하량 실험에서는 압입공법이 상부 타설 공법보다 2.3mm가 많이 침하 되었다. 수화열 측정 실험에서는 중앙부와 외부가 비슷한 온도 발현을 나타내었다.
- 3) 관리용 공시체의 압축강도 실험에서는 표준수중양생의 강도가 다른 양생방법에 의한 공시체들 보다 월등히 높은 강도 발현을 나타내었다. 양생기간 중 외기온이 낮았던 점과 플라이 애시의 치환율이 높았던 것을 감안해 56일 이상의 장기강도를 확인할 필요가 있다고 판단된다. 관리용 공시체의 강도는 모든 양생조건에서 목표 강도인 800kgf/cm²의 강도를 만족하였다.
- 4) 경화된 실물대 시험체에서 채취한 코어 공시체의 압축강도 실험 결과 단위 용적 중량과 압축강도가 유사한 경향을 나타내었다. 높이별 단위용적 중량과 압축강도, 정탄성계수 모두 하부로 내려갈수록 높아졌다. 압입공법으로 시공한 실물대 시험체의 코어 강도가 약간 높았으며, 높이별 압축강도의 편차도 적었다. 관리용 공시체와 비교해 볼 때 밀봉양생과 단열 양생한 공시체와 강도 발현이 유사한 것으로 나타나 이 두 양생방법에 의한 강도 관리가 가능할 것으로 판단된다.

실험대 실험을 통한 800kgf/cm²이상의 초고강도 콘크리트를 이용한 콘크리트 충전 강관 기둥의 적용은 가능한 것으로 나타났다. 다만 콘크리트가 고강도화 되어감에 따른 내화 성능에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 향후에는 800kgf/cm²이상의 콘크리트를 이용한 콘크리트충전 강관기둥의 내화 실험을 행하고자 한다.

참 고 문 헌

1. 김주인 외 2인, 콘크리트충전 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 高強度 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, 콘크리트충전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.