

# 팽창 콘크리트를 충전한 강관충전 콘크리트의 물성에 관한 연구

## A Study on Properties of CFT filled with Expansion Concrete

박 춘 영\*      이 진 성\*\*      송 종 목\*\*\*      김 호 열\*\*\*\*      강 병 희\*\*\*\*\*  
Park, Chun-Young    Lee, Jin-Sung    Song, Jong-Mok    Kim, Hyo-Youl    Kang, Byeung-Hee

### Abstract

The Purpose of this is properties of CFT filled with expansion concrete. CFT(concrete filled steel tube) is the structure that circle shape steel column filled with concrete. 3 kinds of expansive additives and variation of replacement rate, we changed expansive additive from 0%, 10%, 20%, 30% of ratio of addition rate are selected for this experiment. Merits of CFT are concrete internal force rising influenced by steel shape restriction, reinforcing the local buckling, excellent resistance to transformation, Generally, High rise building using CFT utilize the high strength and fluidity concrete for packing the tube inside. As the result a steel tube charged expensive concrete has stiffness 1.5times more than a steel tube not charged concrete. Increase of resisting power about compressive stress by binding expansion of expansive concrete affects strength increase and softness.

키 워 드 : 팽창콘크리트, CFT, 변형률, 스트레인 게이지  
Keywords : Expansion Concrete, Concrete Filled steel Tube, Stress, Strain Gauge

## 1. 서 론

초고층 건축물은 고강도콘크리트를 사용한 철근콘크리트구조가 경제성 측면은 물론 내진, 내풍 안전성 측면에서 유리하여 현재까지 많이 사용되고 있다. 그러나 최근 들어 건축계획에 대한 유연성, 거주공간에 대한 쾌적성 등에 대한 요구가 점점 증가하고 있어 아파트의 구조 형태도 다양화되는 경향이 있어 기둥 보 단면의 소형화경량화에 대한 필요성이 크게 증가하고 있다. 예전에는 이러한 요구에 대한 대응으로 철골철근콘크리트구조나 철골구조를 사용하는 것이 일반적이었으나, 최근에는 강관충전 콘크리트기둥 부재를 사용하는 구조공법이 크게 각광받고 있다. 이러한 강관충전 콘크리트구조 시스템을 실제로 사용하기 위해서는 부재의 역학적 거동 파악과 더불어 강관내부를 밀실하게 채워 강관과 일체로 거동할 수 있는 콘크리트 재료개발 및 충전시공 기술이 필수적이다.

콘크리트 충전 강관 기둥이 그 구조적 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 콘크리트가 그 내부를 밀실하게 채워 주어야 한다. 따라서 강관 충전용 콘크리트는 다짐을 하지 않더라도 강관의 구석구석을 밀실하게 채워줄 수 있는 유동성과 재료분

리저항성을 가져야 하며, 펌프 압송에 의한 역타설 작업시 원활한 압송과 충전이 이루어질 수 있어야 한다. 또한, 콘크리트가 강관 내부에 충전된 이후에는 침하 등에 의한 변형률이 최소가 되어야하는 등의 성능을 발휘하여야 한다. 그러나 일반적으로 콘크리트는 수축, 침하 등의 변형이 완전히 저감될 수 없으므로 강관충전 콘크리트 형성 시 강관과의 일체성이 저하하게 되며<sup>1),2)</sup>, 특히 기 형성된 구조부재에 있어 그 일체성을 검토하기에는 상당한 문제점이 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 팽창콘크리트를 강관충전 콘크리트용 충전재로서 활용한다면, 강관이 팽창콘크리트의 팽창력을 구속하는 효과를 발휘하여 콘크리트에 내부 자기응력이 유발된 케미컬 프리스트레스 콘크리트의 제조가 가능하며, 특히 강관과의 일체성이 증가하여 보다 양질의 품질을 확보한 고품질 및 고성능 강관충전 콘크리트의 제조가 가능할 것으로 예상하였다.

이에 본 연구에서는 케미컬 프리스트레스가 도입된 고성능 강관충전 콘크리트의 개발을 위하여, 팽창콘크리트가 충전된 강관충전 콘크리트의 역학적 물성을 검토하고자 하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험개요

팽창콘크리트를 충전한 강관충전 콘크리트의 물성을 검토하

\* 동아대학교 일반대학원 박사수료, 정회원  
\*\* 동아대학교 일반대학원 석사과정, 정회원  
\*\*\* 동아대학교 건축학부 외래교수, 정회원  
\*\*\*\* 김해대학 건축소방계열 전임강사, 정회원  
\*\*\*\*\* 동아대학교 건축학부 교수, 정회원

기 위하여, 본 연구에서는 콘크리트의 배합은 W/B 33.0%, S/a 45%로 고정하였다. 팽창재의 종류와 치환율은 선행연구<sup>3),4),5),6),7)</sup>에서 도출된 C-K 10%, A-K 10%, 20%, 30%로서, 각각 시멘트 중량에 대하여 치환한 배합을 결정하였다.

강관은 판 폭-두께비를 기준으로 하였고, 한계세장비의 1/2 정도로 가정하여 선정된  $\phi$ -139.8×3.0의 46.6을 기준으로, 판 폭-두께비가 1/4정도씩 줄어들도록 가정된  $\phi$ -101.6×3.2과  $\phi$ -76.3×3.2를 이용하였으며, 이에 선정된 배합에 따라 제작된 콘크리트를 충전하였다. 시험체는 팽창콘크리트의 팽창력을 구속하여 케미컬 프리스트레스를 도입하기 위하여 자체 고안한 강재 구속 장치를 이용하여 구속하였다.

## 2.2 사용재료

본 실험에서는 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 경남 하동산 강모래 및 용원산 쇄석자갈을 이용하였으며, 팽창재는 국내 K사의 A-K, C-K의 2종을 이용하였다. 고성능 감수제는 공기연행효과가 배제된 국내 H사의 폴리카르본산계 혼화제를 사용하였다. 실측치를 기준으로 판 폭-두께비, 강관 단면적, 콘크리트 단면적, 강재비 및 탄성계수 등의 강관의 물성 및 시험체의 단면 성능을 나타낸 것은 표 5와 같다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,200	0.02	220	400	20±2	30±3	38±0

표 2. 골재의 물성

종류	최대입경 (mm)	조립률	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )
잔골재	5	2.71	2.59	1.13	1,620
굵은골재	20	6.90	2.63	0.89	1,520

표 3. 팽창재의 물성

종류	성질	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	함량 (%)					
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	f-CaO
A-K		2.93	1.5	16.1	0.5	27.5	52.8	19.0
C-K		2.97	1~2	12~15	0.5~1.0	15~25	50~60	-

표 4. 고성능 감수제의 물성

종류	밀도	성상	고형분(%)	전체알칼리량 (kg/m <sup>3</sup> )
폴리카르본산계	1.07	연갈색 액체	20	0.03

표 5. 콘크리트와 강관의 탄성계수 및 면적비

	$\phi$ -76.3 x 3.2	$\phi$ -101.6 x 3.2	$\phi$ -139.8 x 3.0
D/t	23.84375	31.75	
Es	206,000 MPa		
Ec	26,000 MPa		
As(mm <sup>2</sup> )	735	989	1,289
Ac(mm <sup>2</sup> )	3837	7118	14,061
As/Ac	0.19	0.14	0.09

## 2.3 배합

콘크리트의 배합은 표 6과 같다.

표 6. 콘크리트의 배합

팽창재	치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )					SP (B-%)
				W	B		A		
					C	E	S	G	
-	0			165	500	0	797	978	1.7
A-K	10	33.0	45	165	450	50	796	977	
	20			165	400	100	795	975	
	30			165	350	150	793	973	
C-K	10			165	450	50	796	977	

\* W/B:물결합재비, S/a:잔골재율 W:배합수, B:결합재, C:시멘트, E:팽창재, S:잔골재, G:굵은골재, SP:고성능감수제

## 2.4 실험방법 및 측정

### 2.4.1 시험체 제작

시험체 길이는 단면 폭의 2배로 계획하였으며, 원형강관 시험체는 STK400급의 원형 강관  $\phi$ 76.3×3.2,  $\phi$ 101.6×3.2,  $\phi$ 139.8×3.0에 대해서 구속 및 무구속 시험체로 구분하여 각각 3개씩 제작하였다. 팽창 콘크리트의 구속은 자체 고안한 강재 구속 장치를 이용하였고, 시험체는 표준조건하에서 28일 동안 기중 양생하였다.

### 2.4.2 가력 및 측정 방법

실험체 형상 및 측정 위치는 그림1에서 보는 바와 같다. 실험은 300톤급 유압식 만능 시험기로 중심 압축이 되도록 하였고, 탄성 범위내의 가력 후 부착된 변형도 게이지의 값을 확인한 후 초기치를 설정하고 가력하여 본 실험을 실시하였다.

## 2.5 실험결과 및 분석

### 2.5.1 하중-변위 관계

비충전 강관의 경우 모든 시험체에서 단부가 구속되지 않아 최대 내력 이후 상부 와 하부에 모두 그림 1과 같은 링 모양의 국부좌굴이 발생하였다.



그림 1. 실험 종료 후 상·하부에 국부좌굴

그림 2와 같이 하중-변형 곡선을 살펴보면 강재압축에 의하여 최대하중을 지나면 국부좌굴의 발생에 의하여 완만한 하강곡선을 이루고 있다. 최대하중은 세 종류의 강관의 단면적이  $\phi$ 101.6×3.2을 기준하여  $\pm 25\%$  정도씩 차이가 나 단면적이

넓은  $\phi 139.8 \times 3.0$ 의 경우가 가장 높아야 하지만, 강관단면적/강관직경의 비가 518로 가장 높은  $\phi 101.6 \times 3.2$ 가 가장 높고, 463인  $\phi 139.8 \times 3.0$ 와 396인  $\phi 76.3 \times 3.2$ 의 순으로 나타나고 있으나, 50kN의 차이로 거의 비슷하게 나타나고 있다.

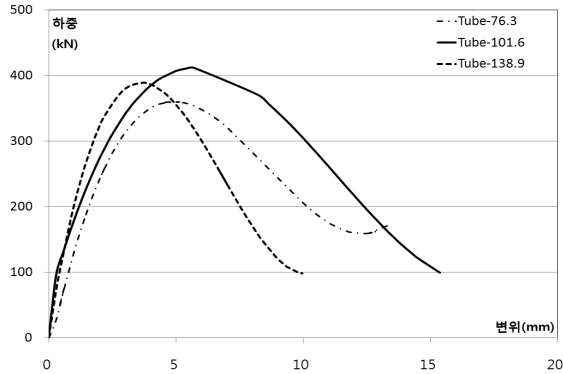


그림 2. 빈 강관 지름별 하중-변위 곡선

그림 3은 강관에 부착한 스트레인 게이지를 이용하여 변형률을 측정하고, 응력-변형률 곡선을 구한 것으로, 강관의 크기가 커질수록 변형률은 적으나 응력이 작아지는 현상을 나타내었으며, 이는 단면적의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

그림 4~그림 8에서 플레인 콘크리트를 사용한 CFT와 평창 콘크리트를 사용한 CFT의 하중-변위 곡선을 살펴보면  $\phi 76.3 \times 3.2$  강관의 경우 원형강관의 직경이 작고 내부 콘크리트의 단면적이 적어 내부 콘크리트의 하중 분담능력이 현저히 떨어지므로 최대하중은 가장 낮게 나타나고 있지만 하중에 비해 변형이 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 평창재를 사용하지 않은 경우와 A-K 20%의 경우는 최대하중 이후에 원형강관의 내부 콘크리트 구속력이 떨어져 변형이 적게 발생하였다.

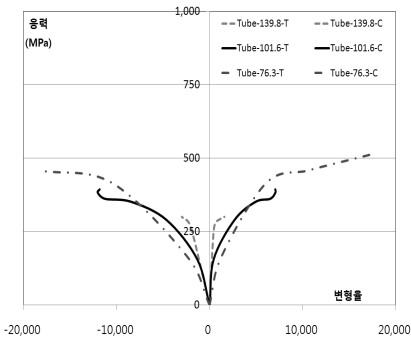


그림 3. 빈 강관 지름별 응력-변형도 곡선

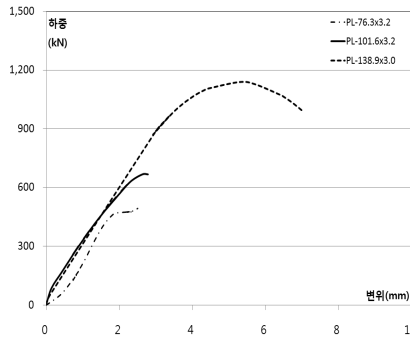


그림 4. 하중-변위 곡선(Plain)

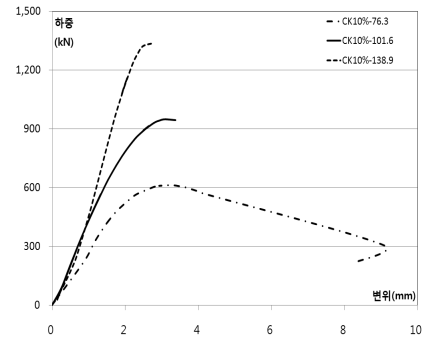


그림 5. 하중-변위 곡선(C-K 10%)

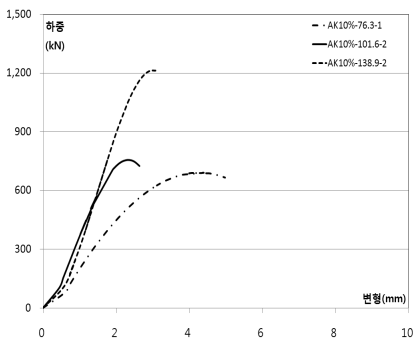


그림 6. 하중-변위 곡선(A-K 10%)

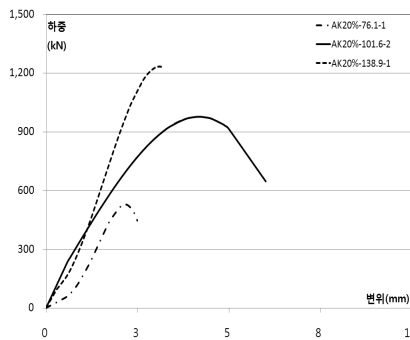


그림 7. 하중-변위 곡선(A-K 20%)

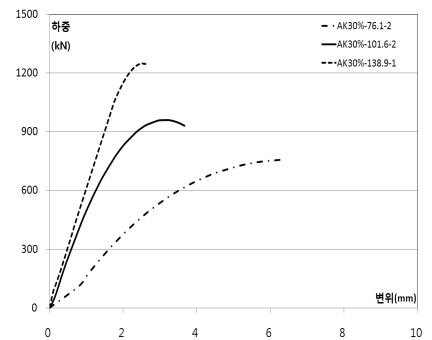


그림 8. 하중-변위 곡선(A-K 30%)

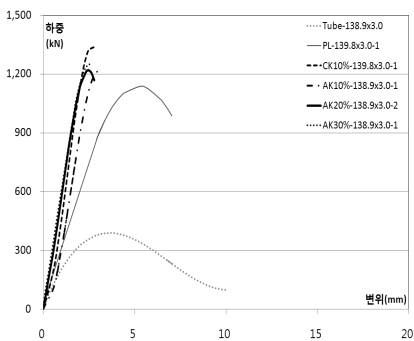


그림 9. 하중-변위 곡선( $\phi 139.8 \times 3.0$ )

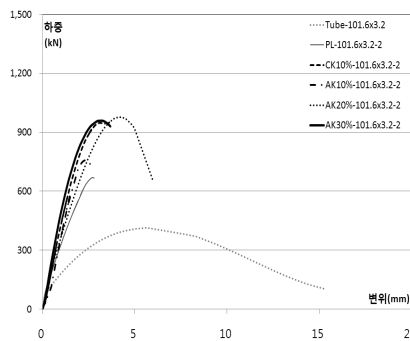


그림 10. 하중-변위 곡선( $\phi 101.6 \times 3.2$ )

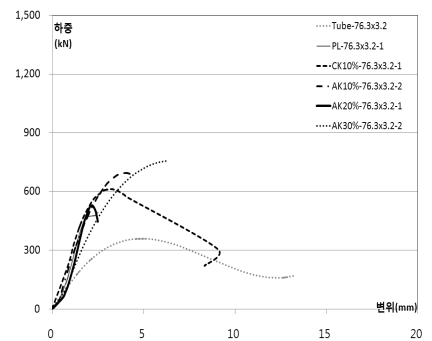


그림 11. 하중-변위( $\phi 76.3 \times 3.2$ )

Ø-139.8×3.0의 경우 원형강관의 크기가 크고 내부 콘크리트 면적이 넓어 콘크리트의 하중 분담능력이 커져 최대하중이 가장 크게 나타나고 있지만 A-K 30%를 제외하고는 Ø-101.6×3.2에 비해 초기 강성이 적게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 콘크리트의 분담 면적이 크므로 하중 재하 시 초기에 콘크리트가 충분히 하중에 저항하는 현상으로 하중이 증가하면 콘크리트의 팽창에 따라 강관의 구속력이 증가하므로 강성 및 하중도 증가하고 있다.

Ø-101.6×3.2의 경우를 살펴보면 A-K 10%의 경우를 제외하고 팽창재를 사용하지 않은 경우에 비해 거의 10% 정도의 강도 증가 효과를 볼 수 있다. 이는 내부 콘크리트와 강관의 하중 분담능력이 비슷하여 타 시험조건과는 달리 초기 강성 크게 나타나고 있다고 판단된다.

팽창재를 사용함으로써 콘크리트의 팽창력이 강관에 의하여 구속됨으로써 복합거동을 통하여 강성이 더 높게 나타나고 있다. 이는 급격한 파괴나 국부좌굴의 문제점이 없어 양쪽의 장점을 충분히 잘 활용하고 있는 것으로 판단된다.

그림 9~그림 11에서 원형강관 크기에 따라 플레인과 팽창재를 사용한 CFT의 하중-변위 곡선을 살펴보면 Ø-139.8×3.0의 경우는 최대하중이 팽창재를 사용하지 않은 경우에 비해 팽창재를 사용한 모든 경우에서 거의 10% 정도 상승한 것을 볼 수 있다. 이는 팽창재를 사용하면 팽창과 구속효과의 상승 작용으로 강성이 증가하는 것으로 판단된다. 강성의 차이로 내부 콘크리트와 강관의 하중 분담 능력이 비슷한 Ø-101.6×3.2와 같은 경우는 팽창재를 사용한 콘크리트의 압축강도 증가 및 강관의 구속효과에 의해 최대 약 30%까지 최대하중과 강성이 증가하였다. Ø-76.3×3.2의 경우를 살펴보면 내부 콘크리트의 하중분담 능력 작아 최대하중은 차이가 나지만 강성의 차이는 없었다. 이는 팽창재를 사용한 콘크리트의 분담면적이 적어 강도에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 보여 진다.

표 7에서 보는 바와 같이 A-K 20%의 것이 모든 시험체의 경우에서 가장 높은 압축강도를 나타내고 있는데, 이는 기존에 실시한 무 구속 압축 실험의 결과와 동일하며 강제 압축에 대한 효과도 기여한 것으로 보인다.

표 7. 종류별 CFT의 압축강도 (MPa)

		Φ-76.3×3.2	Φ-101.6×3.2	Φ-139.8×3.0
Plain		144.77	117.20	83.39
AK	10%	157.59	123.24	85.77
	20%	198.73	129.85	93.57
	30%	197.66	129.26	90.23
CK10%		157.07	124.74	87.21

### 3. 결 론

본 연구에서 선행결과를 바탕으로 케미컬 프리스트레스가 도입된 고성능 콘크리트 충전강관 개발을 위하여, 팽창콘크리트가 충전된 강관충전 콘크리트의 물성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) CFT에 충전된 콘크리트와 강관의 단면적 비( $A_s/A_c$ )는 강관의 직경이 증가함에 따라 강관의 단면적 비율이 감소하였고, 충전된 콘크리트의 분담하중비( $P_c/P_s$ )는 강관이 커질수록 증가함에 따라 압축강도는 감소하였다.
- (2) 강성의 차이로 강관과 콘크리트의 분담하중 면적이 비슷한 Ø-101.6×3.2의 경우는 팽창재를 사용한 경우 최대 약 30%까지 최대하중과 강성이 증가하였다.
- (3) 최대하중은 강관의 크기가 클수록 높은 것으로 나타났다. 하지만 팽창재 종류별 시험체 중에서 A-K 20%를 사용한 것이 가장 높은 압축강도를 나타내었으며, 이는 강관이 팽창콘크리트를 구속하여 내부에 케미컬 프리스트레스가 도입되어 나타나는 현상으로 판단된다.
- (4) 비충전 강관과 CFT와의 실험결과를 살펴보면 일반강재의 탄성계수에 비해 CFT의 경우에서 최대 1.5배 이상 강성이 증가하였다. 이는 팽창재를 사용함에 따라 콘크리트의 팽창력을 강관이 구속함에 따라 강성이 증가하게 되며, 더욱이 팽창콘크리트를 충전한 CFT는 급격한 파괴나 국부좌굴의 문제점이 발생하지 않아 복합재료로서의 장점이 충분히 나타나고 있는 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 강병희 외 16인, 건축시공신기술공법, 기문당, 2002
2. 박남규 외, 팽창 콘크리트의 구속효과에 따른 강도특성, 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집 제7권 2호, 2007.11
3. 박민수 외, 케미컬 프리스트레스를 도입한 모르타의 강도발현 특성 연구, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회 논문집 제2권 1호, 2006. 11
4. 박민수 외, 팽창모르타의 구속효과에 따른 강도특성, 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집 제6권 2호, 2006.11
5. 박춘영 외, 팽창 모르타의 구속효과에 따른 강도발현 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계) 제24권 4호, 2008. 4
6. 박춘영 외, 팽창재 종류 및 치환율에 따른 시멘트 페이스트의 레올로지 특성, 한국건축시공학회 논문집 제8권 2호, 2008. 4
7. 석근영, 주기수, 최준영, 채승훈, 강주원, CFT기둥에서 강관과 콘크리트 부착응력의 해석기법 개선에 관한 연구, 한국공간구조학회지 제7권 2호, 2007. 4