

# 콘크리트 충전 원형 및 각형 합성 강관 기둥의 압축 거동에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Compression Behavior of the Circular and Square Tubular Steel Pipe filled with Concrete

박강근\*  
Park, Kang-Geun

### 요약

본 논문은 콘크리트 충전 원형 및 각형 합성 강관을 기둥부재로서의 적합성 및 적용성을 위한 연구로 두개의 강관을 합성한 콘크리트 충전 강관 기둥의 축압축 좌굴내력 및 변형형상에 대한 실험적 연구이다. 강관 기둥에 대한 연구는 콘크리트 충전 원형 강관 기둥, 콘크리트 충전 각형 강관 기둥, 콘크리트 충전 합성 강관 기둥으로 분류하여 실험을 수행하였다.

### Abstract

Concrete-filled steel columns consist of circular, square or rectangular hollow sections filled concrete. Much research has studied for the behavior of concrete-filled steel structures. The advantages from structural point of view are the triaxial confinement of the concrete within the section, and the fire resistance of the column which largely depends on the residual capacity of the concrete core. The axial capacity of a concrete-filled rectangular or circular section is enhanced by the confining effect of the steel section on the concrete which depends in the magnitude on the shape of the section and the length of the column. Buckling tends to reduce the benefit of confinement on the squash load as the column slenderness increases. In circular sections it is possible to develop the cylinder strength of the concrete. When compare with reinforced concrete columns, the concrete-filled composite column possesses much better strength and ductility in shear and generally in flexure also. Many researches are being conducted about concrete filled steel column to get these advantages in building design. In this paper it is provided to the basic experimental study of compression behavior of the circular and rectangular tubular steel pipe filled with concrete.

**키워드 :** 콘크리트 충전강관기둥, 기둥 세장비, 좌굴

**Keywords :** Concrete-filled steel column, Column slenderness, Buckling

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

최근 건축물이 고층화, 대형화, 다기능화 됨에 따라 요구되는 건축구조 시스템 개발의 기초적 자료로 활용하기 위한 콘크리트 충전 강관 구조 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 콘크리트 충전 강관 시스템은 빈 강관에 콘크리트를 충전 함으로써 건축물의 구조적 요구에 충족할 수 있는 우수

한 내력, 변형능력 등을 제공하기 때문이다. 콘크리트 충전 강관은 외부의 강관이 내부의 콘크리트를 3축 응력상태로 콘크리트를 구속하기 때문에 압축내력이 상승하며 콘크리트에 의하여 강관의 국부좌굴이 방지되므로 뛰어난 변형 능력을 발휘한다.

콘크리트 충전 강관 구조를 건축에 적용한 것은 1950년 무렵이었다. 이후 많은 연구가 되어져 세계 각국의 구조기준에서는 이론적 해석과 실험 결과를 바탕으로 기둥에 대한 기준이 제안되어 사용되고 있다.

일반적으로 철골기둥에서 장주는 탄성 좌굴로 중간주는 비탄성 좌굴로, 단주는 재료의 항복에 의해 파괴에 이르게 된다. 세장비가 매우 큰 기둥의 탄성

\* 정희원, 부산대학교 산업건축과 교수  
Tel : 055-350-5345 E-mail : sampgk@mmu.ac.kr

좌굴은 극점에서의 응력이 재료의 비례한계를 넘지 않는다. 그러나 단주의 경우에는 응력이 재료의 항복점에 도달한 후 파괴가 일어나는 특성이 있다.

기둥 부재로서 충전강관의 사용시 구조적으로 매우 유리함 때문에 미국이나 유럽, 일본 등의 나라에서 뿐만 아니라 국내에서도 구조용으로 충전강관에 대한 실험은 최근 들어 활발히 진행이 되고 있다.

본 연구에서는 콘크리트 충전 합성 강관을 기둥부재로서의 적합성 및 사용성을 위한 연구로 두개의 강관을 합성한 콘크리트 충전 강관 기둥의 좌굴내력 및 변형형상에 대한 실험적 고찰을 하고자 한다.

## 2. 콘크리트 충전 합성강관의 시험체

### 2.1 실험 개요

본 연구에 사용되는 시험체는 원형 및 각형 강관에 콘크리트를 충전한 콘크리트 충전 원형 및 각형 강관 기둥, 합성 강관 기둥으로 원형 강관의 규격은  $\varnothing 89.1(t=4.05\text{mm})$ ,  $\varnothing 101.6(t=4.05\text{mm})$ ,  $\varnothing 114.3(t=4.50\text{mm})$ 이고, 각형 강관의 규격은  $\square-65 \times 65 \times 4.50$ ,  $\square-75 \times 75 \times 4.50$ ,  $\square-100 \times 100 \times 4.50$ 으로 길이는 1000mm이다. 합성 강관은  $\square-100 \times 100 \times 4.50 + \varnothing 89.1(t=4.05\text{mm})$ ,  $\varnothing 101.6(t=4.05\text{mm}) + \square-65 \times 65 \times 4.50$ ,  $\varnothing 114.3(t=4.50\text{mm}) + \square-65 \times 65 \times 4.50$ ,  $\varnothing 114.3(t=4.50\text{mm}) + \square-75 \times 75 \times 4.50$ 으로 4가지 종류로 실험을 실시하였다.

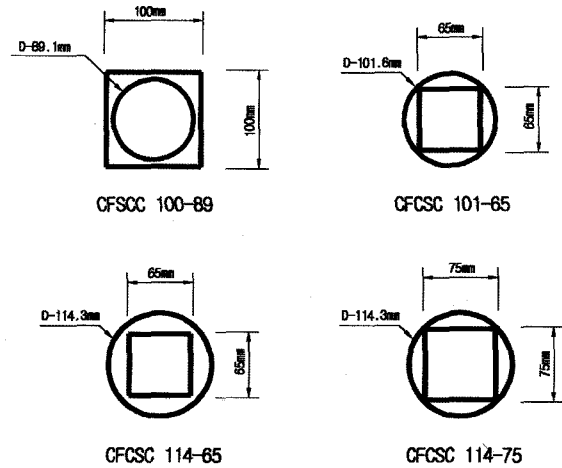
〈표 1〉 시험체 단면도

시험체 유형	단면 형상			
기존 연구 시험체 (원형 강관)				
	콘크리트 피복형	콘크리트 충전형	콘크리트 피복 충전형	
	기존 연구 시험체 (각형 강관)			
콘크리트 피복형		콘크리트 충전형	콘크리트 피복 충전형	
본 연구 시험체 (원형, 각형, 합성 강관)				
	콘크리트 충전형		콘크리트 충전 합성 강관	

시험체 종류는 단일 충전 강관과 복합 충전 강관으로 분류하였다. 기존의 연구에 주로 단일 충전 강관에 대한 실험이 대부분이며, 본 연구에서는 두 강관을 복합으로 만든 합성 강관에 대한 실험적 연구로서 시험체의 형상 분류는 <표 1>과 같다.

강관에 충전되는 콘크리트는 28일 강도가 약  $300\text{kgf/cm}^2$ 으로 각 강관에 충전 후 3일, 7일, 28일에 대하여 압축실험을 실시하였다.

강관 기둥의 유형은 콘크리트 충전 원형 강관 기둥, 콘크리트 충전 각형 강관 기둥, 콘크리트 충전



〈그림 1〉 합성 강관 시험체 형상

〈표 2〉 시험체 종류 및 규격

시험체명	형상	규격(mm)	두께(mm)	길이(mm)	비고
CC 89		$\varnothing 89.1$	4.05	1000	빈 강관
CC 101		$\varnothing 101.6$	4.05		
CC 114		$\varnothing 114.3$	4.50		
SC 65		$\square-65 \times 65$	4.50		
SC 75		$\square-75 \times 75$	4.50		
SC 100		$\square-100 \times 100$	4.50		
CFCC 89		$\varnothing 89.1$	4.05		충전 강관
CFCC 101		$\varnothing 101.6$	4.05		
CFCC 114		$\varnothing 114.3$	4.50		
CFSC 65		$\square-65 \times 65$	4.50		
CFSC 75		$\square-75 \times 75$	4.50		
CFSC 100		$\square-100 \times 100$	4.50		
CFSC 100-89	외	$\square-100 \times 100$	4.50		
	내	$\varnothing 89.1$	4.05		
CFSC 101-65	외	$\varnothing 101.6$	4.05		
	내	$\square-65 \times 65$	4.50		
CFSC 114-65	외	$\varnothing 114.3$	4.50		
	내	$\square-65 \times 65$	4.50		
CFSC 114-75	외	$\varnothing 114.3$	4.50		
	내	$\square-75 \times 75$	4.50		

합성 강관 기둥으로 분류하였다. 각 조건별 합성 강관 시험체의 형상은 <그림 1>과 같고, 시험체별 단면형상 및 규격은 <표 1>과 같다.

## 2.2 재료의 성질

### 2.2.1 강재

본 연구 대상 시험체인 원형 및 각형 강관은 국내에서 널리 사용되고 있는 강관이며 재료의 역학적 성질을 파악하기 위하여 빈 강관에 대하여 압축강도 시험을 실시하였다. <표 3>은 원형 및 각형 강관에 대한 압축실험 결과이며, <표 4>는 원형 및 각형 강관에 대한 제조 당시 시험성적서이다.

<표 3> 원형 및 각형 강관 압축실험 결과

시험체명	규격 (길이 1m)	두께 (mm)	최대하중 (ton · f)			평균 (ton · f)
CC 80	Ø 89.1	4.05	26.35	22.74	24.55	24.55
CC 90	Ø 101.6	4.05	29.68	29.79	28.98	29.48
CC 114	Ø 114.3	4.50	59.12	62.23	63.54	61.63
SC 65	□-65×65	4.50	33.00	32.11	33.55	32.89
SC 75	□-75×75	4.50	47.39	46.07	48.33	47.26
SC 100	□-100×100	4.50	63.83	64.76	63.22	63.94

<표 4> 원형 및 각형 강관 시험성적서

규격 (외경,mm)	두께 (mm)	인장시험			갯수 (개)
		인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	항복점 (kgf/mm <sup>2</sup> )	연신율 (%)	
Ø 89.1	4.05	34.1	25.3	44	100
Ø 101.6	4.05	34.1	28.2	40	100
Ø 114.3	4.50	35.5	27.1	47	100
□-65×65	4.50	48.8	33.8	37	50
□-75×75	4.50	48.8	33.8	37	50
□-100×100	4.50	48.8	33.8	37	50

### 2.2.2 콘크리트

본 연구 시험체에 사용된 콘크리트는 보통 포틀랜드시멘트 1종과 모래 5mm이하, 자갈 25mm이하의 골재를 사용하여 슬럼프 12cm이하로 배합 설계하였다. <표 5>는 시험체 제작시 사용된 콘크리트의 배합비, 물시멘트비 및 슬럼프를 나타낸 것이며, <표 6>은 콘크리트 공시체 압축강도 시험결과이다.

<표 5> 콘크리트 배합비

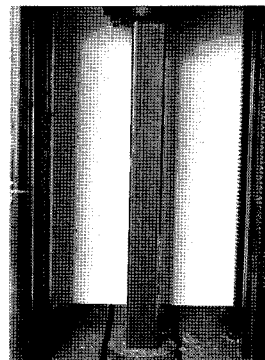
구 분	물시멘트비 (W/C)	중량비(kg/m <sup>3</sup> )				혼화제 (kg/m <sup>3</sup> )	슬럼프 (cm)
		물	시멘트	잔골재	굵은골재		
콘크리트	33.5%	154	459	755	945	1.15	12

<표 6> 공시체 압축강도

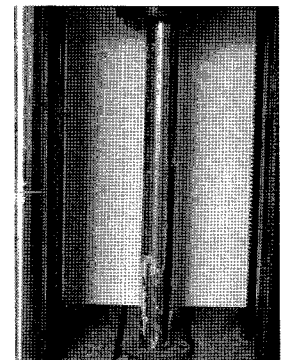
구 분	재령일에 따른 강도(kgf/cm <sup>2</sup> )					
	3일 강도		7일 강도		28일 강도	
콘크리트	212.12	219.40	260.65	263.60	290.30	298.95
	225.50		267.48		308.38	
	220.60		262.67		298.19	

## 2.3 가력장치 및 측정방법

가력장치는 200Ton 용량의 만능재료시험기(UTM 200Ton)를 사용하여 실험을 실시하였다. 재하방법은 편심이 생기는 것을 방지하면서 상하에 핀지점 역할이 가능한 원형 구조를 설치하였고, 각각의 재하하중 단계마다 변형도를 관찰하면서 시험체가 완전 변형될 때까지 실시하였다. <그림 2, 3>은 콘크리트 충전 강관 기둥의 가력 방법을 나타낸 것이다.



<그림 2> 각형 강관기둥 시험체 가력방법



<그림 3> 원형 강관기둥 시험체 가력방법

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 콘크리트 충전 원형 강관 기둥

본 실험에 대한 시험체는 콘크리트 충전 원형 강관 기둥으로 원형 강관 Ø89.1(t=4.05mm), Ø101.6(t=4.05mm), Ø114.3(t=4.50mm)에 콘크리트 28일 압

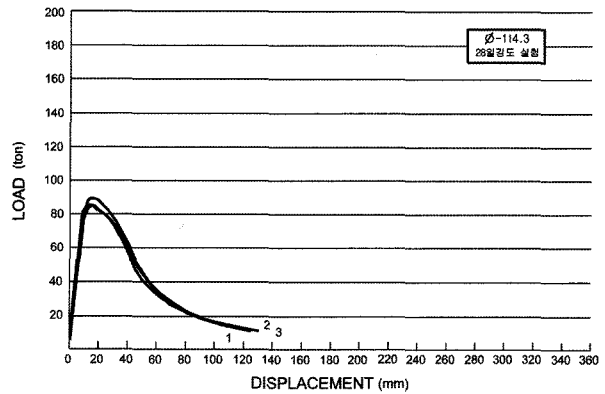
축강도가 약 300kgf/cm<sup>2</sup>인 콘크리트를 타설하여 중심 축압축 실험을 수행하였다. 축압축에 대한 최대내력은 <표 7>과 같고, <그림 4~6>은 축압축 실험에 대한 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. <그림 7>은 충전 강관 기둥 시험체 파괴현황을 나타낸 것이다.

콘크리트 충전 원형 강관 기둥 시험 결과 충전 강관 기둥이 빈 강관 보다 28일 압축강도실험 결과에서는 40.0%~109.0% 높게 나타났다. <표 8>은 콘크리트 충전 원형 강관 기둥 실험 결과를 빈 강관과

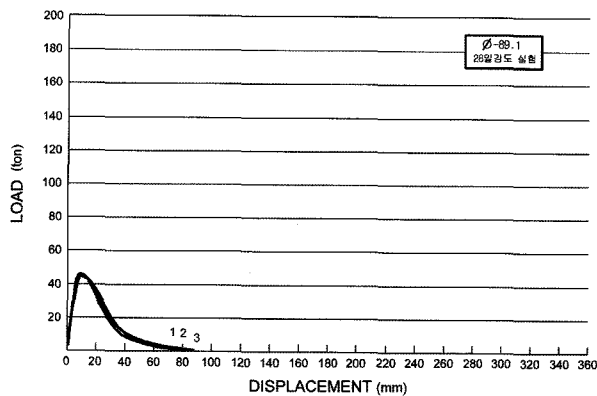
비교한 것이며, <그림 7>은 빈 강관을 기준으로 한 충전 강관의 내력 비교 그래프이며, <그림 8~12>은 충전 원형 강관 기둥의 하중-변위 실험결과를 비교하여 나타낸 것이다.

<표 7> 콘크리트 충전 원형 강관 기둥 실험 결과

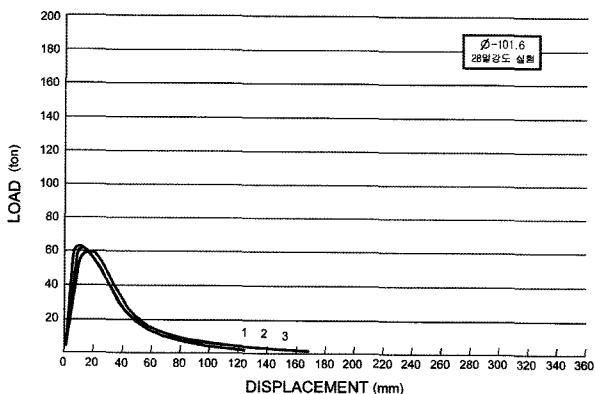
시험체명 재령일	CFCC 89 최대하중 (ton · f)		CFCC 101 최대하중 (ton · f)		CFCC 114 최대하중 (ton · f)	
	빈 강관	26.354	24.550	29.684	29.483	59.123
	22.743		29.791		62.231	
	24.553		28.975		63.535	
충전강관	45.075		61.994		85.245	
	44.932	46.128	63.003	61.629	89.020	86.387
	48.378		59.891		84.898	



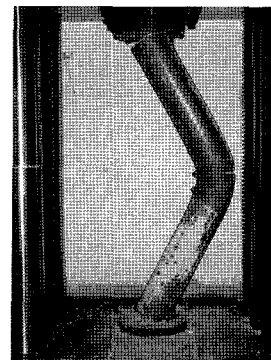
<그림 6> CFCC 114 하중-변위 곡선



<그림 4> CFCC 89 하중-변위 곡선



<그림 5> CFCC 101 하중-변위 곡선

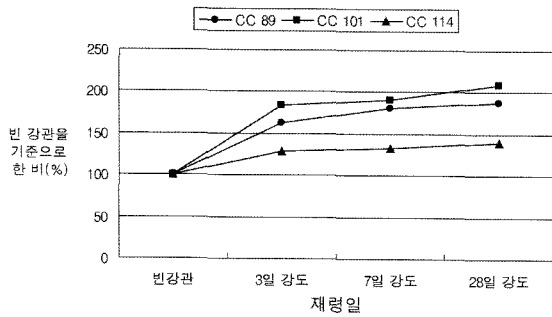


<그림 7> 충전 강관 기둥의 파괴현황(CFCC 101)

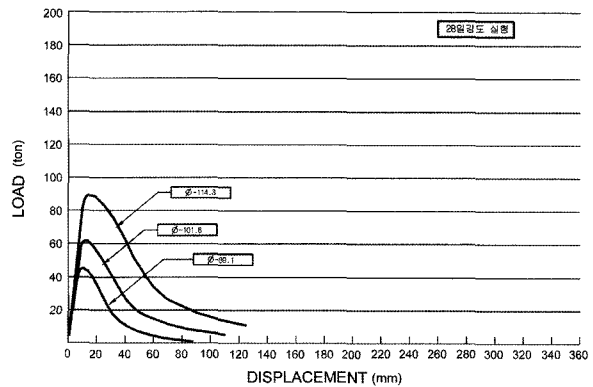
<표 8> 콘크리트 충전 원형 강관 기둥 실험 결과

시험체명	외경 (mm)	두께 (mm)	재령 (일)	최대내력		비고
				하중 (ton)	% <sup>1)</sup>	
CC 89	Ø 89.1	4.05	-	24.550	100	빈 강관
CFCC 89			3	39.775	162.0	충전 강관
			7	44.423	180.9	
			28	46.128	187.8	
CC 101	Ø 101.6	4.05	-	29.483	100	빈 강관
CFCC 101			3	53.973	183.0	충전 강관
			7	56.247	190.7	
			28	61.629	209.0	
CC 114	Ø 114.3	4.50	-	61.629	100	빈 강관
CFCC 114			3	79.316	128.6	충전 강관
			7	81.823	132.7	
			28	86.387	140.0	

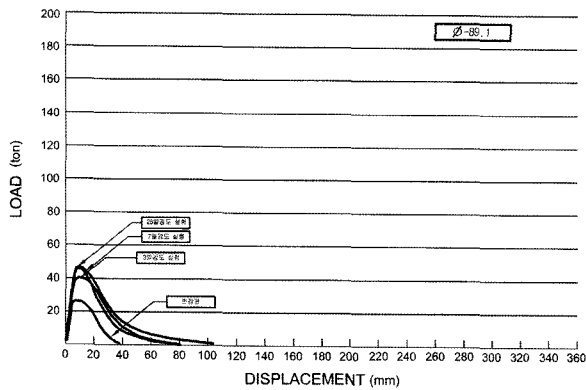
1) 빈 강관의 내력을 기준으로 한 %



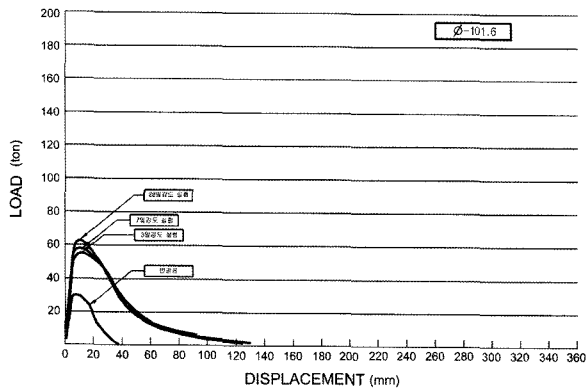
〈그림 8〉 빈 강관을 기준으로 한 하중 비율 곡선



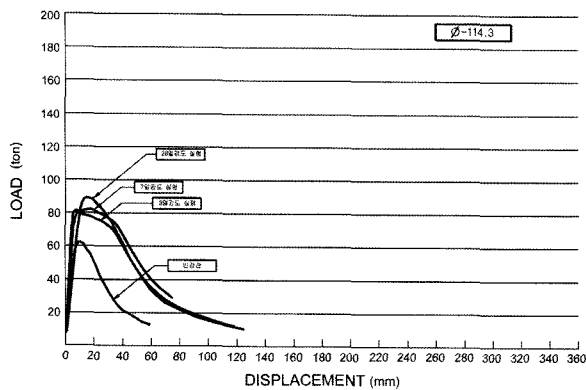
〈그림 12〉 원형 강관 기둥 실험결과 비교



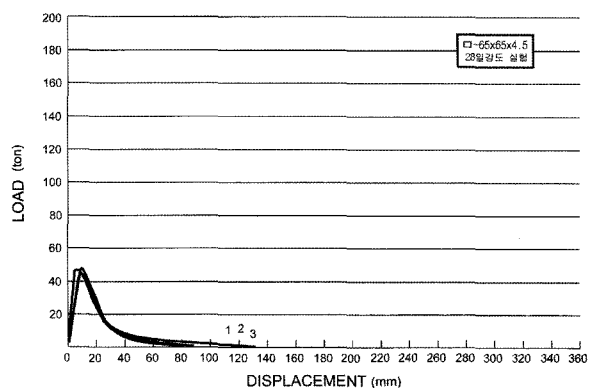
〈그림 9〉 CFCC 89 하중-변위 곡선



〈그림 10〉 CFCC 101 하중-변위 곡선



〈그림 11〉 CFCC 114 하중-변위 곡선



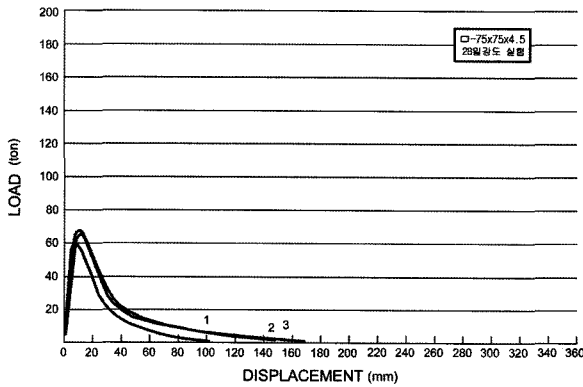
〈그림 13〉 CFSC 65 하중-변위 곡선

### 3.2 콘크리트 충전 각형 강관 기둥

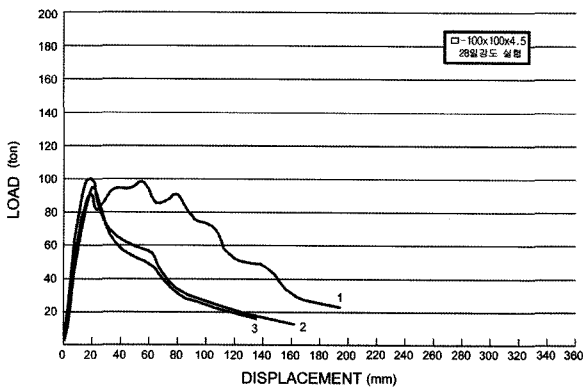
본 연구 대상 시험체인 콘크리트 충전 각형 강관 기둥은 각형 강관 □-65×65×4.5, □-75×75×4.5, □-100×100×4.5에 콘크리트 28일 압축강도가 약 300kgf/cm<sup>2</sup>인 콘크리트를 타설하여 하중 변위에 대하여 축압축 실험을 하였다. 실험 결과는 <표 9>와 같고, <그림 13~15>는 실험결과 하중-변위 곡선 그래프이다. <그림 16>는 시험체 파괴현황을 나타낸 것이다. 콘크리트 충전 각형 강관 기둥 시험 결과

〈표 9〉 콘크리트 충전 각형 강관 기둥 실험 결과

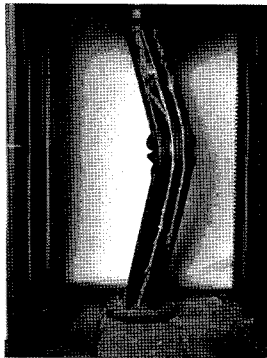
시험체명 재령일	CFCC 89 최대하중 (ton · f)		CFCC 75 최대하중 (ton · f)		CFCC 100 최대하중 (ton · f)	
	빈 강관	33.001	32.889	47.385	47.261	63.825
충전강관	32.114		46.074		64.760	
	33.552		48.325		63.223	
	47.144	46.429	65.407	64.268	98.376	97.520
	47.791		59.428		99.095	
	44.354		67.970		95.091	



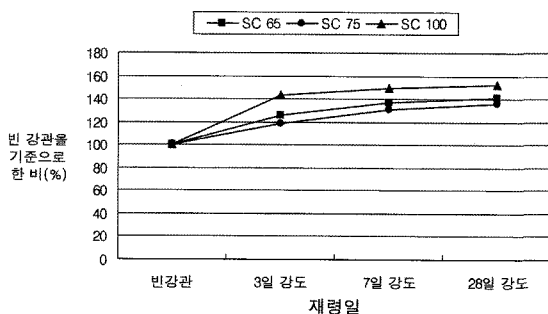
〈그림 14〉 CFSC 75 하중-변위 곡선



〈그림 15〉 CFSC 100 하중-변위 곡선



〈그림 16〉 충전 각형강관 기둥의 파괴 현황(CFFC 75)



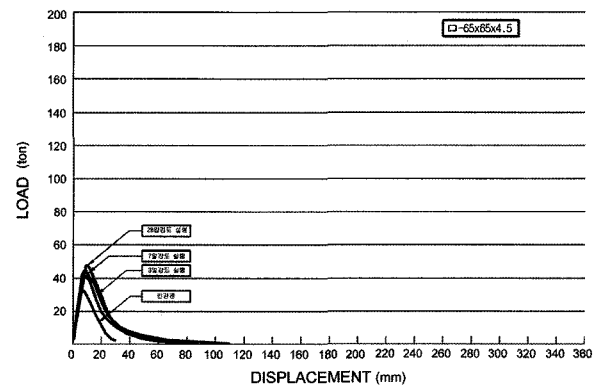
〈그림 17〉 빈 강관을 기준으로 한 하중 비율 곡선

충전 강관 기둥이 빈 강관보다 최대하중이 28일 압축강도실험 결과가 35.9%~52.5% 높게 나타났다. <표 10>은 콘크리트 충전 각형 강관 기둥 실험 결과를 나타낸 것이다.

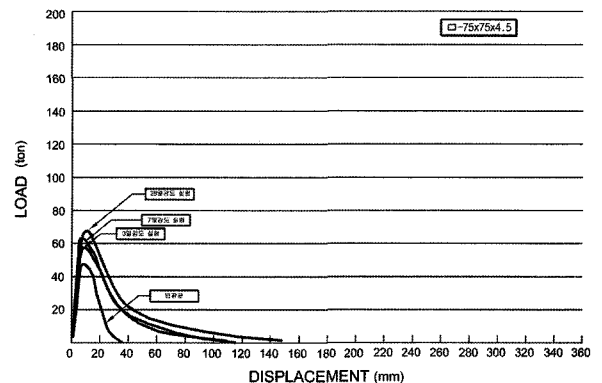
〈표 10〉 콘크리트 충전 각형 강관 기둥 실험 결과

시험체명	구격 (mm)	두께 (mm)	재령 (일)	최대내력		비고
				하중 (ton)	% <sup>1)</sup>	
SC 65	65×65	4.50	-	32.889	100	빈 강관
CFSC 65			3	41.342	125.7	충전 강관
			7	44.955	136.6	
			28	46.429	141.1	
SC 75	75×75	4.50	-	47.261	100	빈 강관
CFSC 75			3	56.275	119.0	충전 강관
			7	61.642	130.4	
			28	64.268	135.9	
SC 100	100×100	4.50	-	63.936	100	빈 강관
CFSC 100			3	91.476	143.0	충전 강관
			7	95.246	148.9	
			28	97.520	152.5	

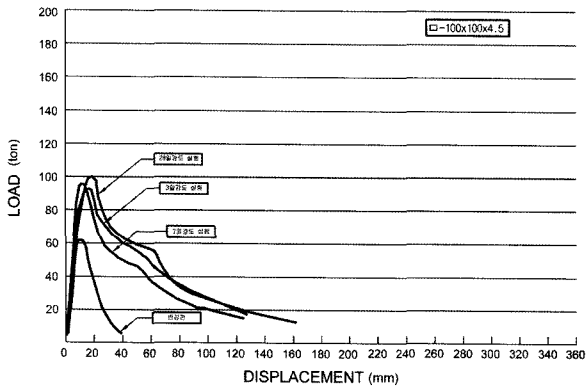
1) 빈 강관의 내력을 기준으로 한 %



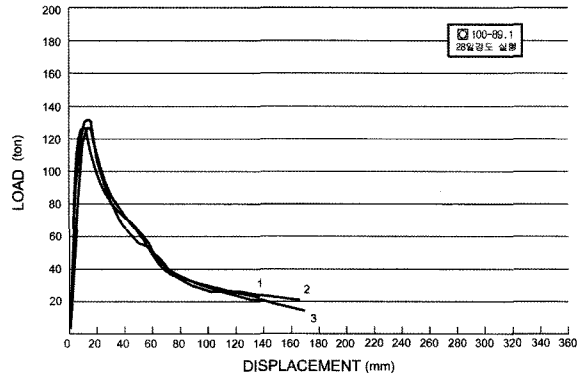
〈그림 18〉 SFSC 65 하중-변위 곡선



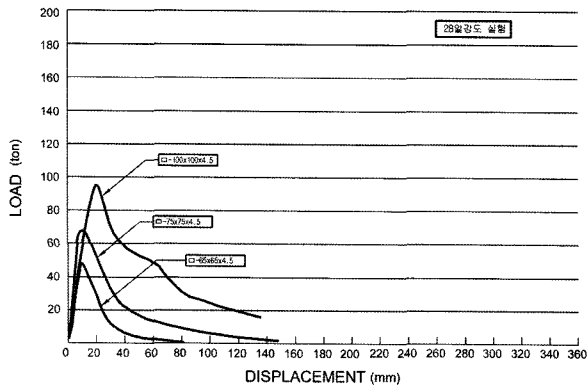
〈그림 19〉 SFSC 75 하중-변위 곡선



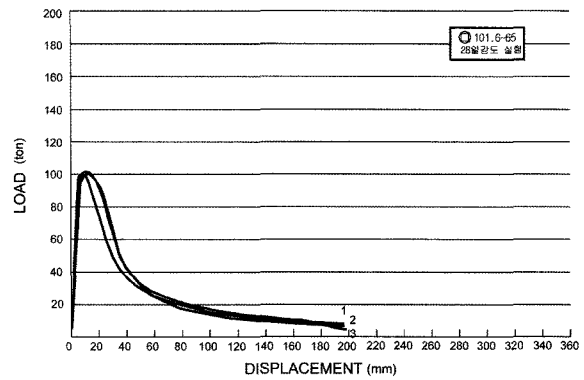
<그림 20> SFSC 100 하중-변위 곡선



<그림 22> CFSCC 100-89 하중-변위 곡선



<그림 21> 각형 강관 기둥 실험결과 비교



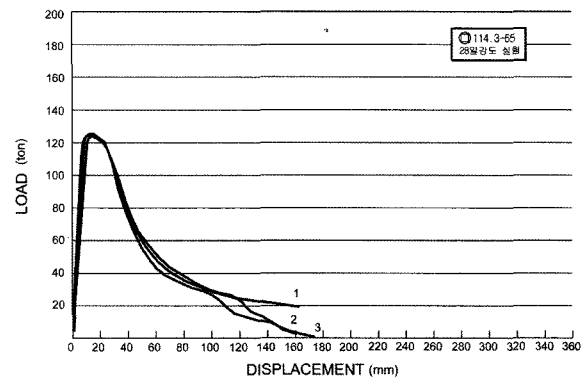
<그림 23> CFSCC 101-65 하중-변위 곡선

### 3.3 콘크리트 충전 합성 강관 기둥

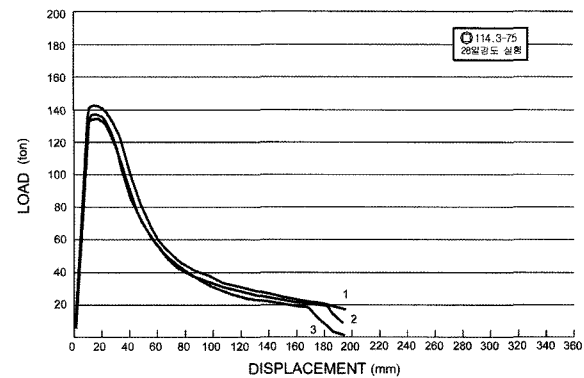
본 연구 대상 시험체인 콘크리트 충전 합성 강관 기둥은 각형 강관과 원형 강관의 조합으로 이루어진 합성 강관에 콘크리트 28일 압축강도가 약 300kgf/cm<sup>2</sup>인 콘크리트를 타설하여 하중 변위에 대하여 실험을 하였다. 실험결과에 대한 최대내력은 <표 11>과 같고, <그림 22~26>은 실험결과 하중-변위 곡선 그래프이다. <그림 27, 28>은 시험체 파괴현황을 나타낸 것이다.

<표 11> 콘크리트 충전 합성 강관 기둥 실험 결과

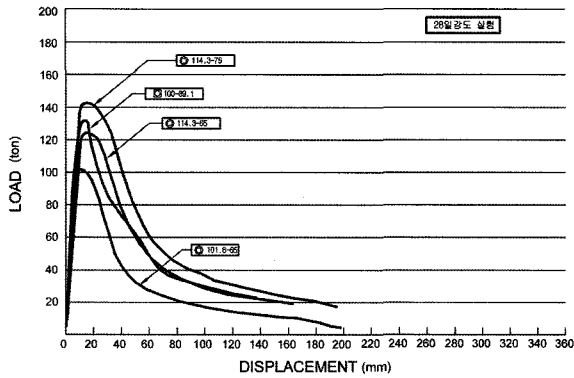
시험체 명	CFCC 100-89		CFCC 101-65		CFCC 114-65		CFCC 114-75	
	최대하중 (ton · f)		최대하중 (ton · f)		최대하중 (ton · f)		최대하중 (ton · f)	
합성 강관	127.133		100.574		125.137		137.546	
	126.947	128.553	100.473	110.973	124.297	124.659	135.347	138.599
	131.579		101.872		124.543		142.906	



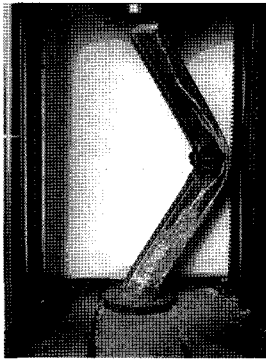
<그림 24> CFSCC 114-65 하중-변위 곡선



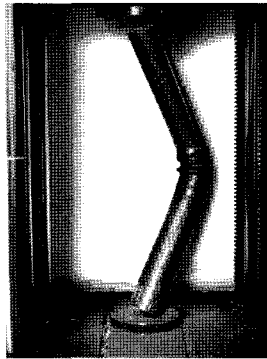
<그림 25> CFSCC 114-75 하중-변위 곡선



<그림 26> 합성강관 실험결과 비교



<그림 27> 합성강관 파괴 현황(CFSCC100-89)



<그림 28> 합성강관 파괴 현황(CFCSC101-65)

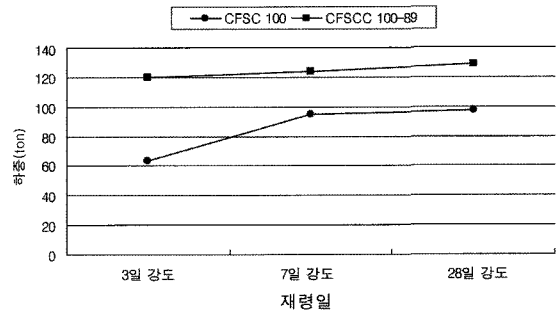
#### 4. 충전강관의 축압축 실험결과 비교 · 분석

콘크리트 충전 원형 강관 기둥, 각형 강관 기둥, 합성 강관 기둥에 대하여 축압축 실험을 실시한 결과를 비교·분석하였다. <표 12>는 콘크리트 충전 원형 및 각형, 합성 강관 기둥 실험 결과에 대한 축압축 강도를 비교하여 나타낸 것이다. 축압축 강도에 대한 실험결과를 비교·분석한 결과는 아래와 같다.

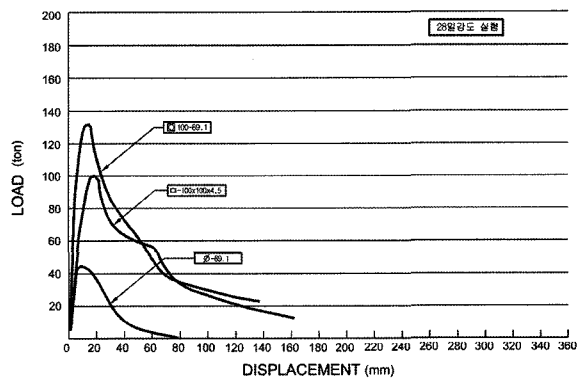
- (1) CFSCC 100-89의 경우 합성 강관 기둥이 CFSC 100 각형 강관 기둥보다 최대내력이 28일 압축 실험에서는 31.8% 높게 나타났다.
- (2) CFCSC 101-65의 경우 합성 강관 기둥이 CFCC 101 원형 강관 기둥보다 최대내력이 28일 압축 실험에서는 63.8% 높게 나타났다.
- (3) CFCSC 114-65의 경우 합성 강관 기둥이 CFCC 114 원형 강관 기둥보다 최대내력이 28일 압축 실험에서는 44.3% 높게 나타났다.
- (4) CFCSC 114-75의 경우 합성 강관 기둥이 CFCC 114원형 강관 기둥보다 최대내력이 28일 압축 실험에서는 60.4% 높게 나타났다.

<표 12> 콘크리트 충전 원형 및 각형, 합성 강관 기둥 실험 결과 비교

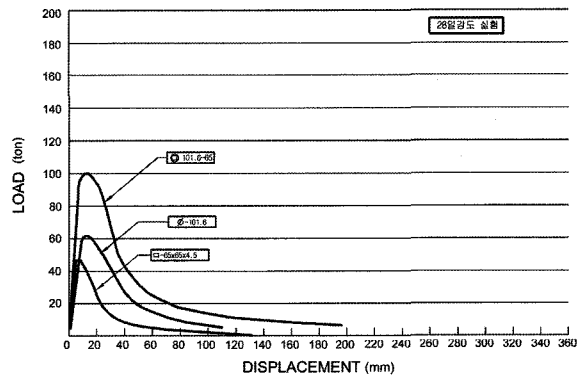
시험체명	최대하중 (ton · f)	합성강관 시험체명	최대하중 (ton · f)	내력 증가비(%)	비고
CFSC 100	97.520	CFSCC 100-89	128.553	31.8	28일 강도
CFCC 101	61.629	CFSCC 101-65	100.973	63.8	
CFCC 114	86.387	CFSCC 114-65	124.659	44.3	
CFCC 114	86.387	CFSCC 114-75	138.599	60.4	



<그림 29> 각형 강관 기둥 및 합성 강관 기둥 비교

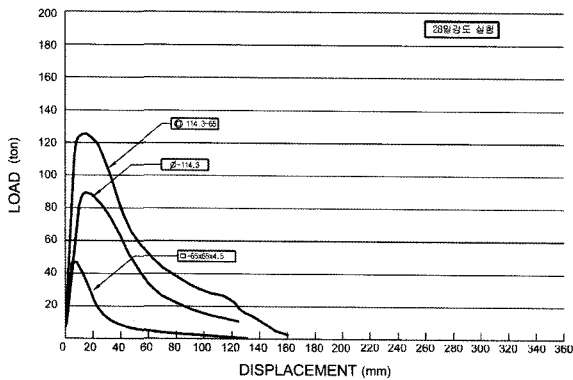


<그림 30> 원형, 각형, 합성 강관 기둥 강도 실험 결과 비교(CFSCC 100-89)

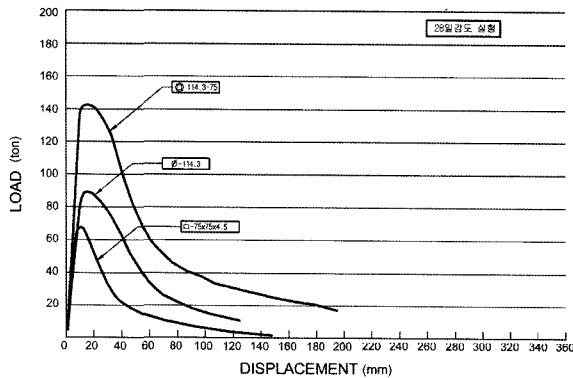


<그림 31> 원형, 각형, 합성 강관 기둥 강도 실험 결과 비교(CFCSC 101-65)





〈그림 32〉 원형, 각형, 합성 강관 기둥 강도 실험 결과 비교(CFCSC 114-65)



〈그림 33〉 원형, 각형, 합성 강관 기둥 강도 실험 결과 비교(CFCSC 114-75)

## 5. 결론

콘크리트 충전 원형 및 각형 합성 강관 기둥의 축압축 거동에 관한 연구의 실험 결과는 다음과 같다.

- (1) 충전 원형 강관 기둥과 빈 강관의 최대 하중값을 비교해보면, CFCSC 89가 CC 89보다 87.8%, CFCSC 101 이 CC 101보다 109.0%, CFCSC 114가 CC 114보다 40.0% 높게 나타났다.
- (2) 충전 각형 강관 기둥과 빈 강관의 최대 하중값을 비교해보면, CFCSC 65가 SC 65보다 41.1%, CFCSC 75가 SC 75보다 35.9%, CFCSC 100이 SC 100보다 52.5% 높게 나타났다.
- (3) 콘크리트 충전 합성 강관 기둥의 실험에서 CFCSC 100-89의 경우 단일 충전 형강 보다 최대내력이 31.8% 높게 나타났고, CFCSC 101-65는 63.8% 높게 나타났고, CFCSC 114-65는 44.3% 높게 나타났고, CFCSC 114-75는 60.4% 높게 나타났다.

본 연구 실험결과에서 콘크리트 충전 원형 강관 기둥이 충전 각형 강관 기둥보다 축압축의 증가 효과가 훨씬 좋다는 것을 알 수 있고, 합성 강관 기둥은 축압축의 증가가 우수하여 설계시 기둥 단면의 크기를 줄여서 압축력을 줄일 수 있는 좋은 방법으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 대한건축학회, 강구조한계상태설계 기준(안) 및 해설 작성에 관한 연구, 대한건축학회, 1995
2. 한국강구조학회, 강구조 한계상태 설계법, 한국강구조학회, 1997
3. 한국강구조학회, 강구조의 설계, 구미서관, 2000
4. 한국강구조학회, 콘크리트 충전 강관구조 설계 및 시공지침, 한국강구조학회, 2001
5. Joseph Zicherman, Fire Safety in Tall Buildings,
6. American Institute Steel Construction, Manual of Steel Construction, Second Edition, 1994
7. American Concrete Institute, Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-395) and Commentary(ACI 318R-395), 1995
8. N.J. Gardner & R. Jacobson, "Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tubes", ACI, July 1967
9. AISC, Manual of Steel Construction - Allowable Stress Design, Ninth Edition, 1989
10. AISC, "Manual of Steel Construction - Load Resistance Factor Design", Second Edition, 1994.
11. AISC, "Manual of Steel Construction - Load and Resistance Factor Design", 1986
12. Grotmann, D., Sedlacek, G., "Stability Aspects for Hollow Section Columns, Beams and Beam-columns, Tubular Structures VI, Proceedings Sixth International Symposium on Tubular Structures", Australia, December 1994