

# 고유동 콘크리트를 이용한 콘크리트 충전강관 기둥의 실물대 시공실험

## Full Scale Tests of Concrete Filled Steel Tube Column using High Fluidity Concrete

김 옥 종\* 이 도 범\*\*  
Kim, Ook-Jong Lee, Do-Bum

### 요 약

고층 건축물에 사용할 CFT 기둥에 적합한 고유동 콘크리트를 개발하고, 이를 적용하여 실물대의 Mockup 실험을 진행하여 시공시 문제점 및 관리기술을 확보하고자 하였다. 사전에 재료선정실험을 진행하여 CFT 기둥에 가장 적합한 재료를 선정하고, 시공성을 향상시키기 위하여 2단계에 걸쳐 실험을 진행하였다. 1차실험에서는 타설방법, 유도관의 유무, 타설속도, 낙하높이 등을 변수로 실험을 진행하여 그중 시공성이 우수하면서 품질관리에 문제가 없는 변수를 대상으로 2차실험을 진행하였다. 2차실험에서는 9.6m 높이의 강관에 타설방법을 달리하여 콘크리트 충전실험을 진행하였다. 실험결과 시공성 향상을 위하여 기존의 시공지침과 차이를 가진 변수에서도 우수한 충전성능을 보임을 확인하였다.

키워드: CFT 기둥, 타설방법, 타설속도, 관리기술

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

콘크리트 충전 강관(Concrete Filled steel Tube, 이하 'CFT'라 함.)기둥은 철골과 콘크리트의 장점을 조합하여 최대한의 성능을 발휘할 수 있는 합리적인 구조형식으로 강관의 구속효과에 의해 충전콘크리트의 내력상승과 충전콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 보강효과에 의해 부재내력이 상승하여 단면 크기를 감소시켜줄 뿐만 아니라 뛰어난 변형성능을 발휘한다.

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 불가능하고 압입공법의 경우, 상당한 높이까지 펌프를 이용한 압송이 불가피하므로 고유동 콘크리트의 특성도 동시에 요구되고 있다. 또한 CFT 기둥이 폐단면이기 때문에 콘크리트의 충전성능을 육안으로 확인하기 어렵고 특히 내다이어

프램을 가진 접합부의 경우 콘크리트가 충전후 다이어프램하부에 공극이 발생할 가능성이 항상 존재하고 있어 콘크리트의 품질 및 시공성을 확보하는 데 상당한 어려움을 가지고 있으며, 이에 대한 의문이 끊임 없이 제기되고 있다.

본 연구에서는 CFT 기둥의 시공성을 개선하면서 동시에 구조적인 성능이 확보되도록 일본의 신도시하우징협회에서 발간한 "CFT 구조기술지침·동해설"에 나타나 있는 지침을 기준으로 하여 시공사의 입장에서 여러 가지 시공성을 개선시킬 수 있는 방법을 변수로 하여 CFT 기둥의 내부 콘크리트의 충전에 따른 시공성능, 콘크리트 재료의 물성변화, 충전 콘크리트의 강도확보 및 품질관리적인 측면에서 CFT 기둥에 적합한 재료개발과 시공성능을 확보할 수 있는 방안을 찾아보고자 하였다.

이를 위하여 기존사례를 분석하여 CFT 기둥의 충전성에 적합한 소요강도와 유동성을 갖는 고유동 콘크리트의 물성치를 설정하였다. 이를 기준으로 하여 실물크기의 강관기둥을 제작하여 현장에서 조립부터 내부 콘크리트의 타설 단계까지를 Mockup 실험으로 진행하여 CFT 기둥의 충전성 및 현장적용 시 발생할 수 있는 문제점을 사전에 파악하여 해결방안을 마련하는 것을 본 연구의 목적으로 하였다.

\* 정회원, 대림산업 기술연구소 선임연구원

\*\* 정회원, 대림산업 기술연구소 부장

## 2 기존의 시공지침 및 충전공법 비교

일본에서는 1959년부터 CFT에 관한 연구가 시작되었고, “콘크리트 충전강관구조 설계시공지침(1997)”을 발간하여 CFT구조를 적용하기 위한 기준을 정립하였다. 일본에서는 CFT 구조의 기술을 개발 및 보급하기 위하여 “신도시하우징협회”를 설립하고 설계 및 시공에 관한 지침인인 “CFT구조기술지침·동해설(1999)”을 제정하고 심사업무를 대행하도록 하였다. 국내에서는 금년 초에 한국강구조학회에서 “콘크리트 강관구조 설계 및 시공지침(안)(2001)”을 작성하여 발표한 바 있다. 상기 시공지침의 대부분은 일본의 “CFT 구조기술지침·동해설”을 참조하여 작성하였다. 일본의 “CFT구조기술지침·동해설”에 의한 기본적인 사항 중 본 연구와 관련한 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 충전용 콘크리트의 압축강도 적용범위는 240~600kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 고강도 콘크리트를 사용할 수 있다.

2) 압입공법의 경우, 압송관과 같은 크기의 유도관(곡관)을 부착하여 적용하는 것을 원칙으로 하나, 생략하고도 양호한 충전성이 확인되면 생략할 수 있다.

3) 집합부 내다이어프램의 타설공 면적은 충전콘크리트 단면적의 15%이상, 100mm이상, 트레미관직경 이상으로 한다. 우각부에 공기구멍을 30mm이상으로 설치한다.

4) 내부 콘크리트 충전방법은 압입공법 혹은 낙입 충전공법으로 하거나 원심성형 CFT 기둥을 채용할 수도 있다.

5) 압입시 측압을 고려하여 압입높이를 결정하고, 압입속도는 1m/분이하로 한다. 단, 외다이어프램의 경우는 제한이 없다.

또한, CFT 기둥의 내부에 콘크리트를 충전하는 시공방법은 그림 1과 같이 크게 3가지로 구분할 수 있다.

## 3. 재료선정실험

CFT 기둥에 사용할 콘크리트에 요구되는 특성은 고축력을 부담하는 부재로서 단면의 최적화하기 위하여 고강도 콘크리트를 적용하는 것이 경제적으로 유리하다. 또한 CFT 공법의 시공특성상 다짐작업이 필요하지 않으면서 10m 이상의 높이를 한번에 타설하기 위해서는 재료분리저항성이 우수하며, 콘크리트의

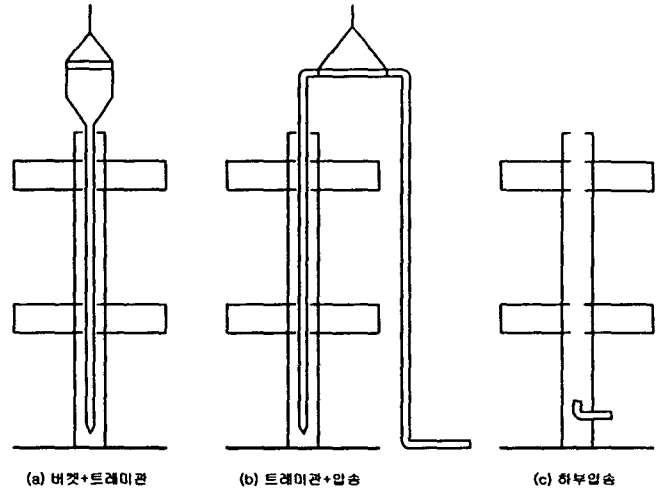


그림 1. 내부 콘크리트 충전방법

자기충전성을 가질 수 있는 고유동 콘크리트의 채택이 필요하다.

CFT 충전에 적합하다고 판단되는 소요강도, 유동성, 분리저항성 및 충전성 등에 대해서 요구되는 콘크리트의 성능기준을 콘크리트 시방서와 CFT 구조기술지침 및 실 시공사례를 분석한 후 성능기준을 설정하였다. 설정된 충전용 콘크리트의 성능기준은 표 1와 같다. 요구성능기준에 적합한 CFT 기둥용 고유동 콘크리트를 개발하기 위하여 고유동 콘크리트 생산능력을 가진 3개사를 사전 조사를 통하여 선정하고 실 내배합실험을 진행하였다. 3개사에서 제시한 배합표는 표 2와 같고, 콘크리트 물성시험 결과는 표 3과 같다.

표 1. 충전용 콘크리트의 성능기준

목표성능	슬럼프플로우	65±5
	슬럼프플로우 50cm도달시간	5초이상 10초이하
	L플로우	40 ~ 80cm
	L플로우 30cm도달시간	1.5초이상 5초이하
	공기량	2±1.5
	V로트의 낙하시간	4초이상 11초이하
	설계기준강도	420 kgf/cm <sup>2</sup>
	품질기준강도	500 kgf/cm <sup>2</sup>
	콘크리트온도	35℃ 이하
	염화물량	0.2 kg/m <sup>3</sup> 이하
타설완료 시간	외기온 25℃미만	120분
	외기온 25℃이상	90분
침하량	2mm 이하 (φ150×300)	
블리딩량	0.1cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> 이하	
배합기준	물결합재비	40 % 이하
	단위수량	175 kg/m <sup>3</sup> 이하

표 3. 재료선정실험시 콘크리트 물성시험결과

업체		슬럼프플로우		L플로우		V로트 낙하 시간 (초)	침하량 (mm)	공기량 (%)	단위 용적 중량 (kg/m <sup>3</sup> )	온도 (°C)		압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		50cm 도달시간 (초)	최대값 (cm)	30cm 도달시간 (초)	최대값 (cm)					콘크 리트	대기	3일	7일	28일
K	제조후	3.4	68.0	2.4	72	5.8	2.11	4.0	2273	20.7	25.0	195	377	573
	1시간후	5.1	66.5	2.3	77이상	6.9		2.2						
H	제조후	8.6	67.0	2.1	77이상	8.3	2.04	2.5	2408	15.0	14.0	345	496	638
	1시간후	8.7	62.0	1.8	77이상	7.4		2.0						
S	제조후	5.3	65.2	2.3	77이상	18.5	1.75	1.1	2374	18.5	17.2	318	438	563
	1시간후	4.7	69.0	1.9	77이상	12.7		1.1						

표 2. 실내실험 배합표

업체	굵은골재 최대크기 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )					
				W	C1	C2	S	G	AD
K	25	31.5	53	167	424	106	858	767	-
H	20	32	50	175	438	109	801	820	C×1.7%
S	25	32	47	170	426	106	786	905	7.98

표 3에서 알 수 있듯이 성능평가시험은 고유동성 및 분리저항성에 초점을 맞추고 2장의 시공지침에서 요구하는 재료성능을 발휘하는 지를 판단하기 위하여 슬럼프 플로우 시험, L 플로우 시험, V 로트 낙하 시험, 단위용적중량, 공기량, 침하량, 압축강도, 온도 등을 측정항목으로 시험을 진행하였다.

선정시험결과 3개사 모두 전반적으로 기준치를 거의 벗어나지 않는 결과를 보여 CFT 기둥 충전용 콘크리트를 생산하는 데는 큰 어려움이 없는 것으로 판단되었다. 다만 슬럼프 플로우시간에서는 K사와 S사, V Lot 시험에서는 S사, 공기량에서는 K사가, 침하량에서는 K사가 기준을 약간 벗어나는 결과를 보였다. 종합적으로 평가하여 품질기준치를 가장 만족한 H사를 Mockup 실험진행 대상업체로 선정하였다.

#### 4. 실물대 시공실험

실물대 실험의 목적은 CFT 기둥의 콘크리트 충전 시공방법에 대한 시공성을 평가하여 향후 CFT 기둥에 대한 시공 기술력을 갖추기 위함이다. 재료선정실험을 통하여 선정된 업체를 대상으로 제시된 성능기준에 맞추어 배합설계 및 생산관리는 레미콘사가 주관하도록 하고 당 연구소에서는 품질관리 및 기술적인 문제해결 등의 관리에 중점을 두는 것으로 하였

다. 또한, 향후 CFT 공법을 일반화시키기 위하여 충전시 기술적인 문제점, 품질관리방법 및 시공성 평가 등을 통하여 기존의 설계상의 성능을 확보할 수 있는 방안을 마련하고자 하였다.

실험체 계획은 당사에서 기시공한 주상복합건물의 주요 기둥의 내력을 충전강관으로 환산하여 크기를 50cm×50cm로 결정하였고, 콘크리트 충전시 측압력에 의한 강관웹의 변형능력이 상대적으로 취약한 각형강관을 실험대상으로 선정하였다. 접합부에서는 충전성능이 불리하고 공극발생우려가 있는 내다이어프램 형식을 채택하여 다이어프램 하부의 충전성능을 평가하고자 하였다. 충전성능 실험은 2단계로 계획하여 진행하였다. 1차 실험은 1개층 높이(3.6m)를 대상으로 6개의 변수로 실험을 진행하였고, 이것을 토대로 2차 실험은 3개층 높이(9.6m)의 1절을 대상으로 하여 타설방법을 변수로 실험을 진행하였다. 단계별 실험에서 고려한 변수를 정리하면 표 4~5와 같다. 실험체 형상을 그림 1에 나타내었다.

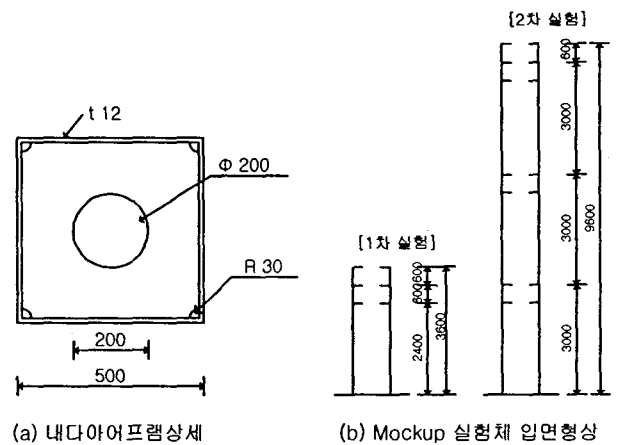


그림 1. 실험체 형상

표 4. 1차 실험변수

실험체명	D (mm)	t (mm)	L (m)	충전 방법	타설속도 (m/min)	낙하고 (m) 및 유도관유무
I W1	500	12.0	3.6	낙입	1.0	1.0
I W2				낙입	1.0	3.0
I W3				낙입	2.0	1.0
I W4				낙입	1.0	1.0
I P1				압입	1.0	유(有)
I P2				압입	1.0	무(無)
I P3				압입	2.0	무(無)
I P4				압입	2.0	무(無)

주) \*는 1차보완 실험임.

표 5. 2차 실험변수

실험체명	D (mm)	t (mm)	L (m)	충전 방법	타설속도 (m/min)	낙하고(m) 및 유도관유무
II W	500	12.0	9.6	낙입	1.0	1.0
II P				압입	2.0	무(無)

5. 실험결과 및 분석

CFT 기둥의 충전실험을 2단계로 진행함으로써 시공성을 향상시키고, 재료의 품질관리, 현장시공시의 문제 등을 해결하고자 하였으며, 실제로 실험을 진행하면서 재료적인 문제를 비롯하여 여러 가지 문제를 보완할 수 있었다. 실험결과는 고유동 콘크리트의 재료물성실험과 강관의 변형성능, 다이어프램 하부의 공극량 발생현황, 충전콘크리트의 강도 그리고 시공성 평가 등으로 나누어 비교 분석하였다.

5.1 콘크리트의 재료물성실험

CFT 공법에서 고유동 콘크리트는 공법을 구성하는 매우 중요한 요소임에도 불구하고 상대적으로 비중이 작게 다루어진 게 사실이다. 왜냐하면 CFT 공법의 성패 및 시공성과 경제성의 확보여부가 콘크리트공사에 의해 결정될 수 있기 때문이다. 1~2차에 걸친 재료의 물성실험의 결과는 표 7~8과 같다. 1차 실험의 재료 시험결과를 보면 압입후 및 낙입시 슬럼프 플로우 도달시간 및 플로우 값이 기준치를 벗어나는 결과를 보였다. 이는 배관 및 호퍼에 콘크리트 타설전 물을 살수하였는데 일반콘크리트와 달리 고유동 콘크리트는 수량에 민감하기 때문에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 2차 실험시에는 배관통과후 및

표 7. 1차실험시 콘크리트 물성실험결과

시험 항목	Slump Flow			L Flow		V Lot 유하 시간	공기 량 (%)
	50cm 도달시간	최대값	최대값 도달시간	30cm 도달시간	77cm 도달시간		
출하시	8.6	66	43	3.5	40.7	9.0	2.8
도착후	9.4	68	49	2.8	47.6	8.8	0.8
배관통과후	7.7	69	40	2.0	30.8	6.9	0.7
압입후	3.9	75	22	1.7	27.8	5.8	1.3
낙입시	3.8	68	31	1.2	19.3	4.0	1.4

표 8. 2차실험시 콘크리트 물성실험결과

시험항 목	Slump Flow			L Flow		V Lot 유하 시간	공기 량 (%)
	50cm 도달시간	최대값	최대값도 달시간	30cm 도달시간	77cm 도달시간		
출하시	6.8	61	27	-	-	7.4	-
도착후	5.7	71	27	1.7	21.2	5.8	2.1
배관통과후	3.4	60	10.3	1.0	미도달	2.7	-
압입후	2.4	72	22.6	1.2	9.6	2.7	1.5
낙입시	5.4	69	33.3	2.1	37.7	7.2	1.7

압입후 물성변화가 기준치를 벗어나는 것으로 나타났는데 이는 콘크리트 배관을 70m정도 배관하고 콘크리트타설전 선행물탈을 통과시킴으로써 부분적으로 물탈이 혼입되어 나타난 현상으로 판단된다. 따라서 향후 이를 개선하기 위한 연구가 필요하다

5.2 강관의 변형성능 비교

강관의 변형은 강관의 내부에 작용하는 콘크리트의 액압에 의해 발생하게 된다. "CFT 구조기술지침·동해설"에서는 콘크리트의 타설높이를 강관의 항복강도와 강관의 폭두께비를 고려하도록 하고 있다.

또한, 내부 콘크리트의 액압에 의한 강관에 미치는 변형률 및 변위는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

· 변형률

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ 단, } \sigma = -\frac{M}{I}y + \frac{N}{A} \tag{1}$$

· 변위

$$\delta = \frac{w(D-2t)^4}{384EI} \tag{2}$$

콘크리트의 충전시 강관의 표면에 Strain Gauge를 부착하여 변형률을 측정하였다. 최대변형시 실험결과를 그림 2~3에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 약간의 편차가 있으나 변형률이 이론치와 유사한 결

과를 나타내고 있다. 다만 2차실험의 압입실험체의 경우 하부에서 강관변형률을 상당히 초과하는 결과를 나타내었는데 이는 압입높이가 높아짐에 따라 고유동 콘크리트의 큰 점성저항에 의해 압력이 부가되기 때문으로 사료된다.

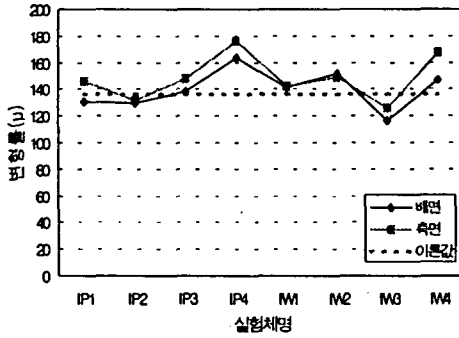


그림 2. 1차실험에서 강관의 변형률 비교

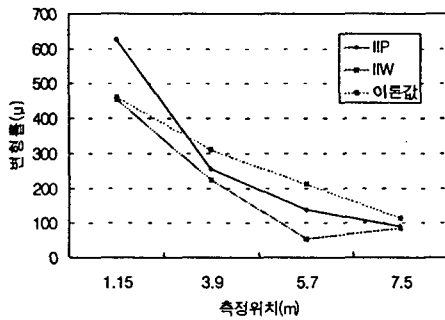


그림 3. 2차실험에서의 강관의 변형률 비교

### 5.3 침하량 비교

콘크리트의 침하량은 콘크리트의 특성상 피할 수 없는 현상이다. CFT 시공지침에서는 표준공시체에서 2mm이하로 규정되어 있다. 따라서 시공성 실험시 본 실험체와 별도로 표준공시체를 별도로 준비하여 침하량을 측정하였다. 침하량 측정결과 1차실험의 경우 표준공시체는 0.75mm, IP-4 실험체는 2.51mm, IW-4 실험체는 1.60mm가 침강하였다. 2차실험의 경우는 표준공시체 2.49mm, IP 실험체 3.32mm, IW 실험체 8.77mm로 낙입실험체의 침하량이 상대적으로 많이 발생하였다.(그림 4~5 참조)

### 5.4 공극발생량 비교

충전 콘크리트는 양생이 진행되면서 수축 및 침하에 의해 다이어프램 하부에 공극이 발생할 가능성이 있다. 이 공극은 CFT 기둥이 압축력을 받을 때 저항하는 축강성에 영향을 미치게 되며, 공극이 커지게

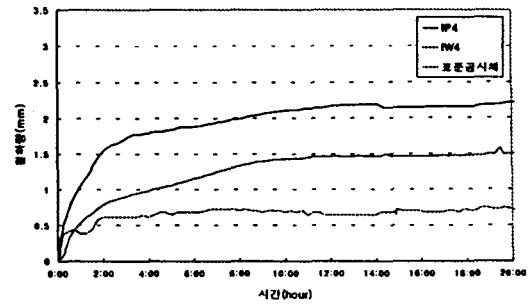


그림 4. 1차실험에서의 침하량 측정결과

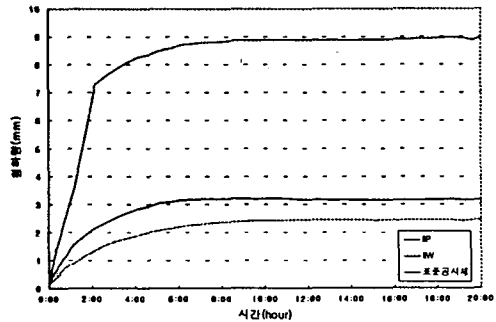


그림 5. 2차실험에서의 침하량 측정결과

되면 기둥의 내력에도 영향을 미치게 된다. 그러나 공극이 구조성능에 미치는 영향에 대한 명확한 규명은 현재까지 이루어지지 못하였다. 현재까지도 CFT 기둥의 공극이 구조물의 강도 및 강성에 미치는 영향에 대한 의문은 계속적으로 제기되고 있다. 본 연구에서도 변수별로 공극이 발생하는 현황을 파악하기 위하여 콘크리트가 양생된 이후에 강관을 해체하여 다이어프램 하부의 공극률을 조사하였다. 1차 실험은 2.4m와 3m지점의 다이어프램 하부에서 공극률을 조사하였다. IP-4 실험체는 8%와 15%를 IW-4 실험체는 34%와 25%가 발생하여 낙입공법에서 공극이 많이 발생하는 경향을 나타내었다. 2차 실험의 공극발생량을 보면 압입공법인 IP 실험체는 높이 2.4m, 4.8m, 9.0m의 위치에서 공극률이 각각 0%, 0.36%, 4.3%이고, 낙입공법을 사용한 IW 실험체의 경우 공극률이 각각 5.7%, 16.8%, 25%가 발생하였다. 1차실험과 마찬가지로 낙입공법이 압입공법보다 공극의 발생확률이 크고 하부에서 상부로 갈수록 공극발생량이 많다는 것을 알 수 있다. 이는 압입공법이 보다 충전시 압밀성이 좋으며, 하부가 중력에 의해 압밀하게 충전되기 때문이라고 사료된다.

### 5.5 내부 콘크리트의 강도평가

강관 내의 압축강도를 평가하기 위하여 강관을 해체한 후 각 높이별로 코어를 채취하여 압축강도 실험

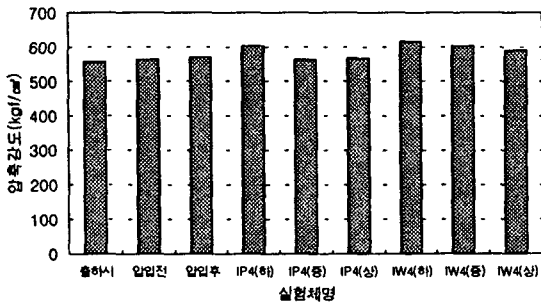


그림 6. 1차실험에서의 콘크리트강도 비교

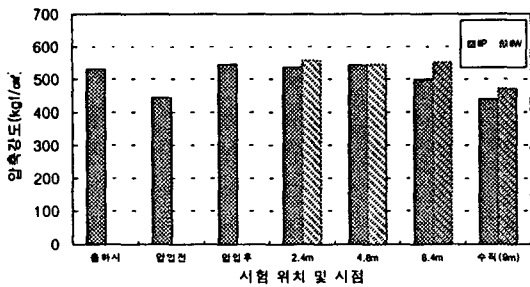


그림 7. 2차실험에서의 콘크리트강도 비교

을 진행하였다. 각 단계별 표준공시체 및 코어공시체에 대한 강도시험결과를 그림 6~7에 나타내었다. 그림 7에서 압입전 강도가 저하된 결과를 보인 것은 부분적으로 배관에 선행 몰탈이 혼입되었기 때문으로 판단되며, 이로 인하여 압입공법의 상부 콘크리트강도도 주변보다 다소 낮은 강도결과를 보인 것으로 사료된다.

## 5. 결론

CFT 기둥의 콘크리트의 충전에 따른 시공성능을 평가하기 위한 실물대 시공실험을 진행하고 얻은 결과

를 정리하면 다음과 같다.

1. 기존의 시공지침에서 제시한 유도관, 압입속도 낙하높이 등에 대한 변수로 진행한 1차 실험에서 지침안을 준수한 기준실험체와 품질면에서 큰 차이가 나타나지 않아, 향후 실험에 의한 검증을 통하여 시공성을 향상시킬 수 있는 공법의 선택이 가능하다고 판단된다.

2. 특히 압입공법의 경우, 충전콘크리트의 원활한 충전을 위하여 내부에 부착한 유도관은 강관의 변형, 배관압력 및 공극에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3. 시공성능을 향상시키기 위하여 일본의 지침안의 타설속도 기준치(1 m/min 이하)를 초과한 2 m/min 까지 타설속도가 증가하여도 콘크리트의 시공성 및 충전성능 등 내부콘크리트의 품질에는 큰 영향을 받지 않는 것을 확인하였다.

4. 내다이어프램을 가진 CFT 기둥의 경우 낙입공법보다는 압입공법이 시공성 측면에서 보다 우수한 것으로 나타났다. 또한 내다이어프램 하부의 공극 발생량에서도 압입공법이 낙입공법에 비해 적게 나타났다.

5. 압입공법 적용시 콘크리트 타설전 배관통과용 시멘트 몰탈을 사용함으로써 부분적으로 몰탈이 혼입되어 강도저하가 발생하는 현상이 나타났으며 향후 이를 개선할 수 있는 공법개발이 필요하다.

## 참고문헌

1. 新都市ハウジング協會(日), CFT構造技術指針・同解説, 1999.
2. 대림산업 기술연구소, 초고층 합성강관 구조의 충전기술 및 재료개발(I), 2000. 12  
[분량상 이하 참고문헌을 생략하였음.]

## Abstract

Full scale construction tests of CFT(concrete filled steel tube) column to solve construction problem and to confirm quality were performed in apartment site. To improve construction efficiency, the tests has been accomplished two stages after the tests for material mixing design had been completed. In the first stage, the experimental variables were the placing methods, existence of guiding pipe, placing velocity and drop height and the height of specimen were 3.6m. In the second stage, Filling steel tube of 9.6m height with concrete was performed by two ways, that is, the pump-up method and the dropping method. The filled condition of the concrete and concrete strength distribution according to the column height were checked and the quality of the CFT column was confirmed.

Keywords : CFT column, Placing method, Placing velocity, Construction efficiency