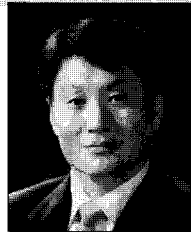
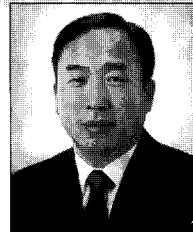


# 지하철정거장에서의 CFT기둥 설계사례

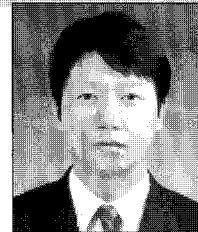
## An Example of CFT Column for Subway Station



구정희\*



강대완\*\*



조무승\*\*\*

\* GS건설 부장  
 \*\* 대우ENG 부장  
 \*\*\* 대우ENG 대리

### 1. 서론

도심지의 주요 대중교통 수단인 지하철 정거장은 도심지의 도로하부에 위치하는 지하구조물의 특성상 토피가 깊고, 각종 기능실 및 대합실 설치를 위한 넓은 지하공간 확보를 위한 긴 지간 적용으로 기둥에 작용하는 하중이 매우 큰 구조물이다. 국내에서는 이러한 지하철 구조물에 철근콘크리트구조만을 적용하고 있으며, 정거장 구조물의 경우 기둥단면이 커서 기능실 안의 각종 기기 배치가 곤란하고 이용객 동선을 제한하여 불편을 초래한다. 또한, 정거장이 고층화, 대형화되면서 지진에 보다 효율적으로 저항하는 구조에 대한 필요성도 절실하다. 이러한 상황에 효과적으로 대처하기 위한 새로운 구조로써 합성구조(Hybrid or Mixed Structure)의 하나인 CFT구조가 대안으로서 검토될 필요성이 있는 것으로 판단된다.

본고에서는 "00시설사업"의 기본설계 단계에서 지하철 정거장에 국내최초로 적용한 콘크리트충전강관(CFT, Concrete Filled steel Tube)기둥 구조의 설계 및 시공방안에 대해 소개하고자 한다.

### 2. CFT구조의 정의

CFT구조는 원형 또는 각형의 강관 속에 고강도의 콘크리트를 충전한 강관기둥의 약칭으로서, 강관이 콘크리트를 구속하

는 특성에 의해 강성, 내력, 변형, 내화, 그리고 시공 등의 여러 면에서 뛰어난 특성을 발휘하는 구조를 말한다. CFT는 경제성이 우수하고 범용성도 높기 때문에 재래구조 대부분의 분야를 대체하는 것이 가능하므로 저층으로부터 초고층까지, 주택에서 사무실 및 공공시설물까지, 작은 기둥단면으로 높은 층고와 비교적 장스팬구조가 가능한 구조형식이다.

### 3. CFT구조의 특징

#### 3.1 구조 성능

CFT의 구조적 성능을 확인하기 위한 연구에서 압축실험, 정축력실험, 전단실험 등 여러 가지 시험결과 다음과 같은 우수한 성능이 입증되었다.

- 충전되어 있는 콘크리트가 강관의 국부좌굴을 구속하여 좌굴에 따른 강관의 내력저하를 방지한다.
- 콘크리트는 강관에 의해 구속되어 있기 때문에 철근콘크리트 기둥이나 철골철근콘크리트 기둥에서 볼 수 있는 바와 같이 균열에 의한 박리가 없고 콘크리트 강도가 높아진다.
- 따라서, CFT기둥은 높은 내력과 변형 능력 즉, 최대내력이후 큰 수평 변형 능력까지 그 내력이 지속된다. 이와 같은 강관과 콘크리트의 상승효과를 CFT기둥의 Confinement 효과라고 칭한다.

- 이 Confinement 효과를 고려한 CFT기둥의 내력식은 지금까지의 SRC규준(일본건축학회)보다 유리한 평가를 얻었고, 변형능력을 확보하기 위하여 필요한 강관의 폭 내지 직경과 강관의 두께비의 제한도 대폭 완화하는 것이 가능하게 되었다.

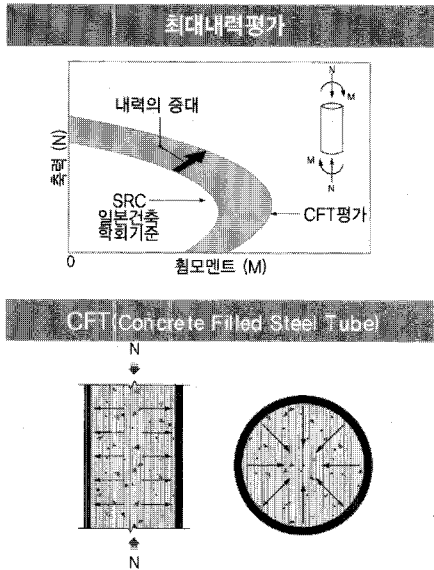


그림 1 강관과 콘크리트의 상호작용에 의한 내하력 증가

### 3.2 내화 성능

CFT기둥은 온도가 상승함에 따라 강관이 먼저 열팽창하는데 열용량이 큰 콘크리트 부분은 거의 팽창하지 않는다. 강관은 콘크리트가 부담하고 있던 축력을 부담하게 되고 국부좌굴이 발생해 강도를 잃는다. 그 후, 콘크리트가 축력을 부담하게 되고 콘크리트의 온도가 상승하여 강도가 저하된다. 그 때문에 서서히 기둥의 압축변형이 증가하여 어떤 시점에서 콘크리트가 압괴하여 하중 지지능력을 잃는다. 결국, CFT기둥의 내화 성능은 강관의 내화 성능에 관계없이 콘크리트 단면의 온도상승과 재하력 관계에 의해 결정된다. 따라서, CFT기둥은 일반적으로 철골구조에 비해 내화 성능이 우수하여, 일정 조건하에서는 내화피복이 필요 없으며, 내화피복 설치시 피복두께를 비충전 강관보다 줄일 수 있다.

현행의 내화규정에서는 강구조의 경우 화재시 내화피복이 필요하다. 그러나 CFT기둥은 강관내부에 열용량이 큰 콘크리트가 충전되어 있기 때문에 얇은 내화피복으로서 표면온도를 낮게 억제할 수 있고, 일정 조건하에서는 무내화 피복도 가능하다.

### 3.3 시공성 및 시공기술

- 짧은 공기 - CFT기둥은 콘크리트 충전작업이 공정에 영향을 미치는 경우가 없다. 철골철근콘크리트와 비교하여 철근·형틀공사가 필요치 않아 공기단축이 가능하다.

- 자원절약 - CFT기둥은 형틀재가 필요없기 때문에 환경 보호에도 공헌할 수 있다.
- 콘크리트충전기술 - CFT기둥은 강관내부에 콘크리트를 공급없이 충전하는 것이 필수조건으로, 다이아프램 형식일 경우에는 더욱 주의해야 한다. 유동성이 우수하고, 블리딩과 침하가 적은 콘크리트의 배합계획과 타설기술이 요구된다.
- 콘크리트 충전법 - 강관에 콘크리트를 충전하는 방법은 위에서부터 트레미관을 사용하여 타설하는 상부타설법과 기둥하부에 압입구멍을 만들어 하부로부터 콘크리트를 충전하는 압입법이 있으며, 일반적으로 압입법이 품질이 우수한 것으로 검토되었다.

### 3.4 장점

- 설계적 측면  
일반적인 강재나 철근콘크리트 기둥에 비해 세장비가 크고, 단면적이 작은 기둥으로 만들 수 있어 구조물 내 유효공간을 최대한 확보가 가능하며, 충전된 콘크리트의 열용량에 의해 내화성능이 우수하여 별도의 내화피복은 작은 두께로도 가능하다.
- 구조적 측면  
콘크리트는 강관의 구속에 의해 더 큰 압축강도를 발휘할 수 있으며, 작은 세장비를 갖는 단주에서는 콘크리트가 압괴된 후에도 박리에 의한 단면결손이 없으므로 갑작스런 내력저하가 거의 발생하지 않는다. 또한, 연성과 에너지 흡수능력이 뛰어나 초고층 구조물의 내진성을 고려한 최적의 구조형식이 가능하다.
- 시공적 측면  
기둥시공을 위하여 거푸집이 필요하지 않으며, 공장에서 표준화된 제작공정으로 생산이 가능하여 시공속도가 빠르고, 공사비와 공사기간을 단축할 수 있다.

### 3.5 단점

- 설계적 측면  
철골비의 측면에서 강관 내부에 충전될 콘크리트를 적절하게 조합하는 설계법이 아직 확립되어 있지 않다.
- 구조적 측면  
보와 기둥에서 반력, 전단력과 모멘트를 전달하는 모멘트 연속 접합시공이 어렵다.
- 시공적 측면  
보와의 접합부에서 콘크리트의 충전성을 확보하고 충전된 콘크리트의 품질을 검사하기가 쉽지 않으며, 내화성능이 중공강관보다는 뛰어나다고 보고되어 있지만, 화재시 밀폐된 강관에 갇혀있는 습기가 강관을 파열시킬 수 있다. 또한, 동결로 인해 강관이 파열될 수 있는 가능성도 있다.

## 4. 지하철 구조물 적용성

### 4.1 도입배경

일반적으로 지하정거장 구조물은 고정하중에 의한 연직하중이 지배적인 구조물로서, 기둥에 작용하는 하중이 매우 큰 구조물이다. 일반적으로 지하철 정거장 기둥은 큰 하중으로 인해 철근콘크리트 구조로 계획시 단면이 비대하여 이용객들에게 중압감을 주고, 각종 기능실 공간에 기기배치시 사공간이 발생하여 추가면적 확보 등의 문제점이 있다. 또한, 승강장에 설치한 단면이 큰 기둥은 이용자의 동선 장애 요인이 된다.

본 설계에서는 이러한 지하철 정거장의 문제점을 개선하기 위해 CFT기둥을 적용하여, Slim한 기둥으로 개방감을 확보하고, 이용자 동선 장애를 최소화하여 최적의 정거장 구조물을 계획하였다.

### 4.2 CFT적용에 따른 효과

- 지하공간 활용을 극대화한 기둥단면 계획

RC기둥 적용시  $\phi 1300\text{mm}$ 의 기둥단면이 발생하나 CFT기둥을 적용할 경우  $\phi 800\text{mm}$ 의 기둥으로 대체가 가능하여 지하공간 활용을 극대화 하였다

표 1 단면비교

구분	RC기둥	CFT기둥
단면도		



(a) RC기둥



(b) CFT 기둥

그림 2 적용이미지

- 경제성 향상

CFT기둥 적용시 기둥 구조물 자체만을 고려했을 경우 재료 변경에 따른 약간의 공사비 증가가 있지만,

건축마감을 고려할 경우 CFT기둥은 내화도료 이외에 별도의 건축마감이 불필요해 전체 공사비는 감소하는 것으로 나타나, 경제성이 우수한 것으로 판단된다.

### 4.3 설계중점 검토항목

CFT구조는 국내·외 건축구조물에는 이미 일반화된 공법이지만, 국내 지하철구조물에서는 적용한 사례가 아주 적어, 구조 및 내화관련 설계기준의 정립 또한 미비한 실정이다. 따라서, 본 설계에서는 국내·외 CFT관련 설계기준 및 내화성능기준을 검토하여 합리적인 설계기준을 적용하였다. 또한, 콘크리트 보와 CFT기둥의 연결부에 대한 검토를 통해 보수적인 연결부 처리 방안을 계획하였다.

### 4.4 구조설계기준

현재 국내에는 CFT구조 설계를 위한 설계기준은 『건축구조설계기준(KBC 2005)』가 유일하며, 토목분야 구조물(특히 지하철)에 대한 설계기준, 해석방법 등 제반기준 정립은 미비한 상황이다. 따라서, 구조설계기준은 건축구조설계기준(KBC 2005)를 적용하였으며, 해외기준인 Eurocode 및 AISC-LRFD는 국내 기준의 제시가 미비한 부분에 대해서 추가적으로 검토하였다.

### 4.5 내화설계

- 내화성능기준

국내 내화성능기준은 건축물의 용도와 규모에 따라 내화성능을 제시한 기준인 『건설교통부 고시 제2005-122호(내화구조의 인정 및 관리기준), [별표1] 참조』가 있으나, 지하철과 같은 토목구조물에 대한 명확한 내화구조의 성능기준이 제시되어있지 않다. 국내 철도분야 사례를 조사해본 결과 철도 역사의 내화성능기준은 『건설교통부 고시 제2005-122호』에 따라(용도 및 규모에 따라) 적용되었으나, 지하철 정거장의 경우 지하 구조물에 대한 기준이 명확하지 않아 보수적으로 안전측인 3시간을 적용하고 있는 실정이다. 이와 별개로 클라이언트의 요구에 따라 내화성능기준을 만족시키는 경우도 있으며, 인천공항의 경우 인천공항공사의 요구에 따라 2시간 내화성능기준으로 설계하였다.

본 설계에서는 정거장구조물이 지하4층과 심도 30m 이내로 『건설교통부 고시 제2005-122호』에 의거 2시간 내화성능기준으로 적용하였으며, 해외 내화기준인 NFPA(미국), BR(영국), NBC(캐나다) 등의 기준의 적용은 국내 기준의 제시가 미비한 부분에 대해서 추가적으로 검토하였으나, 국내 내화성능기준과 상충되어 국내 내화성능기준으로 설계에 반영하였다.

표 2 내화구조의 인정 및 관리기준 (단위 : 시간)

용도 구분	구성부재		벽	보 기둥	바 닥	지 붕
	용도 규모	층수 / 최고높이(m)				
일반 시설	12 / 50	초과	3	3	2	1
		이하	2	2	2	1/2
주거 시설	12 / 50	4 / 20 이하	1	1	1	1/2
		초과	2	3	2	1
		이하	2	2	2	1/2
산업 시설	12 / 50	4 / 20 이하	1	1	1	1/2
		초과	2	3	2	1
		이하	2	2	2	1/2

• 내화대책

본 설계에서는 CFT기둥의 내화성능기준을 만족시키기 위해 별도의 내화피복을 비교·검토하였으며, 내화 재료 별 특징은 다음과 같다.

구분	도료	내화뿔칠	피복콘크리트
직경 <sup>1)</sup>	800mm	1,080mm	1,160mm
공사비 <sup>2)</sup>	4.7만원/m <sup>2</sup>	11.6만원/m <sup>2</sup>	12.6만원/m <sup>2</sup>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개방감 우수</li> <li>• 시공성 용이</li> <li>• 내구성 우수</li> <li>• 건축마감 無</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분진발생</li> <li>• 시공성 저하</li> <li>• 내구성 저하</li> <li>• 건축마감 有</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개방감 불량</li> <li>• 시공성 저하</li> <li>• 내구성 우수</li> <li>• 건축마감 有</li> </ul>
적용	◎	-	-

주: 1) CFT기둥 800mm 적용했을 경우 직경  
2) 내화재료 및 건축마감 공사비

본 설계에서 CFT기둥은 『건설교통부 고시 제2005-122호』에 따라 2시간 내화성능시간으로 계획하였고, 2시간 내화성능을 확보하기 위해 별도의 건축마감을 하지 않고 내화도료를 적용하여 CFT의 장점인 Slim한 기둥을 유지하였다.

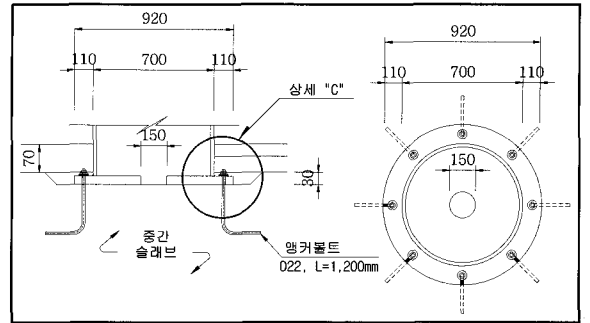
4.6 콘크리트 보와 CFT기둥 연결방안 검토

• 기본형식

콘크리트 보와 CFT기둥의 연결부는 지하구조물의 특성상 가시설이 복잡하게 설치되어 있으므로, 시공성을 고려하여 노출형 주각을 적용하였으며, 노출형 주각 적용시 강결구조(모멘트, 전단력, 축력 전달)를 적용할 경우 베이스 플레이트가 과대해지고, 주각부가 복잡하므로 힌지구조(전단력, 축력 전달)를 적용하여 주각부를 단순화 하였다.

구분	노출형(힌지)	매입형(고정)
형상		
특징	축방향력 및 전단력 전달	축방향력, 전단력 및 모멘트 전달
적용	◎	

연결부 적용상세는 다음과 같이 적용하였다.



• 경계조건

노출형 주각은 엄밀히 말하자면 Hinge와 Fix 사이의 중간 특성을 가진 구조로서, Hinge로만 고려하여 설계할 경우 안전에 대한 우려가 발생할 수 있다. 따라서, 구조해석시 CFT기둥 양단을 Hinge 및 Fix 2가지 Case로 검토하여 불리한 경우를 만족하도록 설계하였다.

4.6 시공순서 및 콘크리트 품질관리

기둥하부 연결부는 건축마감을 고려 앵커볼트가 건축마감위로 돌출되지 않도록 계획하였고, 강관기둥내부에 콘크리트가 밀실하게 채워질 수 있도록 시공계획을 수립하였으며 상부 베이스 플레이트 구멍은 트레미관을 고려하여 계획하였다.

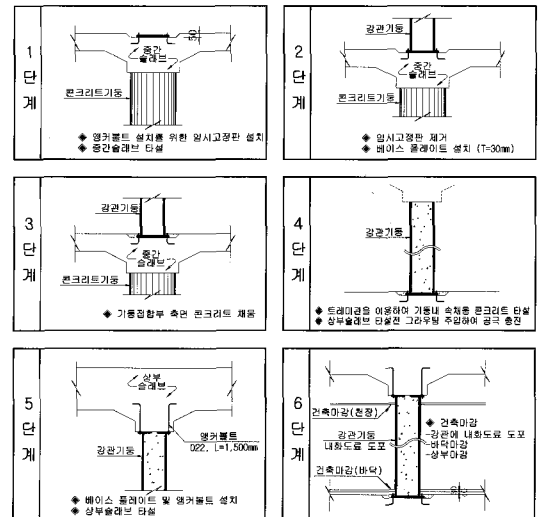


그림 3 시공순서

충전콘크리트는 CFT기둥으로서의 구조성능과 품질을 확보하기 위해 강관내를 밀실하게 충전하였으며, 충전 성능 확보를 위해 고품질의 시공수준을 만족하도록 계획되었다. 또한, 타설시 버킷에 트레미관을 연결하고, 트레미관 선단부가 타설콘크리트의 상면으로부터 일정한 깊이로 삽입된 상태를 유지하여 콘크리트 낙하에 의한 재료분리를 방지하며 타설하도록 하였다.

충전콘크리트는 충전시공 시에 우수한 유동성과 높은 재료 분리 저항성을 가지며, 충전 후에는 강관 내부에 발생하는 압밀에 의한 가압블리딩의 발생을 억제할 수 있도록 배합하였다.


## 5. 결 론

CFT구조는 일본의 경우에 1956년 지하철 정거장에 처음으로 도입되어 유용성이 이미 입증된 공법이지만, 국내 지하철구조물에서는 실제 적용 사례가 전무한 상황이다. 이에 “00시설사업”의 기본설계 단계에서는 지하공간 활용을 극대화하고 이용객의 편의향상을 위해 CFT구조를 정거장 기둥에 적용하였다.

아직 국내 토목분야에서는 CFT구조의 적용이 활발히 이루어지고 있지는 않으나, 기둥단면의 감소, 우수한 내화성능, 공기의 단축 등 여러 가지 장점을 가지고 있으므로 더욱 활발한

연구와 적용성 검토가 이루어져야 한다고 생각된다. 이를 위해서는 충전에 적합한 고강도·고유동콘크리트의 개발 등 재료적인 면에서 뿐만아니라, 실제 실무에 적용할 수 있도록 설계기준에 대한 연구가 선행되는 것이 중요하다고 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- “콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침” (2003), 한국강구조학회  
 “콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공매뉴얼” (2004), 대한건축학회  
 “(요설)콘크리트충전 강관구조” (2004), 대한건축학회  
 “철근콘크리트 구조물의 내화특성” (2004), 한국콘크리트학회  
 “고강도콘크리트 구조내화설계” (2004), 대한건축학회 

[ 담당 : 구정희, 편집부위원장 ]