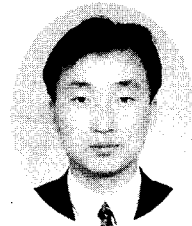


# 특집

|| 철근 콘크리트 구조물의 우수성과 미래 ||

## 철근 콘크리트 건축구조물의 새로운 동향

- New Trend of Architectural Reinforced Concrete Structures -



안종문\*



신성우\*\*

### 1. 일반사항

최근 세계적으로 경제, 사회, 문화적으로 급변하는 발전속에 건축구조물에도 혁신적인 변화의 물결이 일고 있다. 즉, 보다 높고(초고층 구조물), 보다 넓고(장스팬-무기둥 구조물), 보다 깊은(심층지하구조물, 해양구조물) 구조물을 요구하고 있으며, 실제 이를 충족시킬 수 있는 구조물이 속속 등장하고 있다. 이러한 구조물들은 초기에 시공성 및 구조적 특성을 고려하여 철골조나 철골-철근콘크리트조 등으로 설계 및 시공되는 경향이 있었으나, 현재에는 고성능의 재료개발과 설계 및 시공기술의 발달로 철근 콘크리트조로 건설되는 구조물도 점차 증가하고 있는 상황이다. 이러한 구조물을 설계하기 위해서는 우선적으로 고려하여야 할 기본 개념은 무엇보다 구조물의 안정성(Stability)을 확보하는 것이며, 이와 함께기능성(Serviceability), 아름다움(Beauty) 및 경제성(Economy)을 고려하여야 한다. 또한, 기본 설계 조건으로는 강도 및 강성(Strength and Stiffness), 사용성(Serviceability), 내구성(Durability)을 만족하는 구조물 설계와 시공이 이루어져야 할 것으로 기대된다. 본 고에서는 현재 그리고 미래의 건축구조물을 위한 철근콘크리트 구조의 가능성과 이를 위해 고려 혹은 사용되고 있는 개념(동향)을 소개하고자 한다.

\* 정회원, 한양대 STRESS 연구조교수

\*\* 정회원, 한양대 건축학부 교수

### 2. RC조 구조성능의 과제

19세기말 철근콘크리트가 발명된 이후 20세기를 지나면서 현대건축의 성립과 발전에 가장 큰 영향을 미친 구조재료는 콘크리트라 할 수 있으며 앞으로도 이를 이용한 구조물의 건설은 꾸준히 증가될 것으로 기대된다. 또한 21세기에 발전이 기대되고 있는 새로운 기술로는 ① 면진, 제진 구조를 사용한 자유로운 구조 형식, ② 내진성능이 향상된 RC벽식구조, ③ 인성을 증가시킨 프리스트레스트 콘크리트구조, ④ 콘크리트의 성능을 효과적으로 이용한 복합(hybrid)구조, ⑤ 신소재인 섬유보강 콘크리트구조의 확대 등으로 요약할 수 있을 것이다.<sup>1)</sup> 이에 대하여 간략히 언급하면 다음과 같다.

#### 2.1 면진, 제진구조

면진(免震)구조, 방진(防振)구조, 제진(制振)구조 등의 명칭은 구조물의 진동응답을 제어하는 구조형태를 총칭하는 용어로서 광범위하게 사용되고 있다. 구조물의 진동제어 방법에는 여러 형태의 제어 수법이 있으며, 각종 진동원의 성질과 진동제어 수법에 따라 다양한 용어들이 사용되고 있다. 여기서 진동이란 지진이나 바람 등에 의해 발생하는 구조물의 진동 뿐 아니라, 기계진동, 교통진동등과 같이 구조물에 입력되는 여러 형태의 모든 진동을 말한다. 건물에 입력되는 진동원의 종류 및 이들 각 진동원에 대한 진동제어 수법 및 제어 목표에 따라 분류하면 다음 <표 1>과 같다.

표 1. 진동제어의 종류와 진동원

	진동원	제어방법	제어목표
제진(除振)	잡다한 미진동, 기계진동		작업성, 기능성 확보
방진(防振)	건물내 설치된 기계로부터 발생하는 기계진동	방진고무, 방진받침	
제진(制振)	교통진동, 강풍	점탄성감쇠장치 (damper)진동흡진기	거주자의 불쾌감, 불안감 저감 및 거주성 향상
면진(免震)	지진	적층고무를 기초에 삽입한 수동적 (passive) 제어	
제진(制震)		액츄에이터를 이용한 능동적(active) 제어	

내진설계는 입력되는 지진동에 대하여 구조물이 미리 설정된 설계허용치 범위내에서 설계된다는 관점에서 볼 때, 면진구조와 함께 수동적 제진구조의 범주에 속한다고 볼 수 있다. 그러나 위의 표에서 구분한 용어들은 엄밀히 구분하여 사용되지 않고 있고, 각 분야의 기술자들에 따라 서로 혼용되고 있기 때문에 용어 상으로 명백히 구분하여 사용하기는 곤란한 실정이다. 이처럼 면진, 제진, 방진구조란 입력되는 진동원의 특성에 따라 대처하는 진동제어 방법의 차이에서 나온 용어들이고, 넓은 의미로는 구조물에 입력되는 진동에 대한 구조물의 진동제어 수법인 제진(制振)구조의 한 분야로 볼 수 있다.

여러 종류의 진동원에 대한 진동제어 수법의 기본원리는 다음과 같다.

- (1) 구조물의 고유진동수를 입력진동의 지배진동수와 다르게 하는 방법
- (2) 구조물의 복원력특성을 비선형화하여 공진(resonance) 상태를 피하는 방법
- (3) 점성 혹은 이력특성에 의한 구조물의 감쇠성을 증가시키는 방법
- (4) 입력되는 진동에너지를 감소시키는 방법
- (5) 구조물에 명확한 고유진동이 나타나지 않도록 진동계를 형성하는 방법

위의 원리에서 알 수 있듯이 입력되는 진동에 대하여 구조물을 비공진 상태로 두고, 진동계에 입력되는 진동에너지를 억제하며, 또한 진동계에 입력된 진동에너지를 조기에 흡수하여 응답을 감

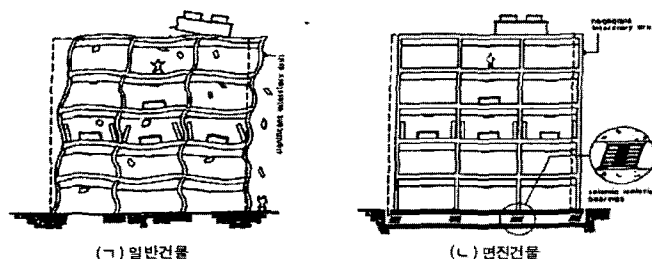


그림 1. 일반건물과 면진건물의 거동

소시키는 것이 진동제어의 기본원칙이다.

면진구조의 채용에 있어서 콘크리트 구조물은 큰 약점을 가지고 있어 많이 사용되지 않고 있지만, 최근 새로운 구조형식에 대한 가능성이 실험되고 있으며, 일본에서는 종래의 대형기둥, 보 구조체에 부착된 벽-슬래브구조의 면진RC건물(그림 2)이 시공단계에 있으며, 30층 정도의 면진고층 RC 아파트도 건설되고 있다. 면진구조를 채용하는 RC조 건물은 외력에 적절히 대응하도록 하여야 하며, 종래의 상식을 넘어서는 자유로운 구조형식의 개발이 필요하다.

제진구조는 주로 철골조를 대상으로 발전하여 왔으며, 콘크리트 구조에서는 면진효과를 도모하는 경우는 있어도, 제진구조를 적용하는 경우는 극히 드물었다. 그러나 최근 다방면에서 효과적인 제진구조가 연구되고 있는데, 특히 고층 RC구조에서는 저층에 비해 면진효과도 약화시키는 일도 있고, 형상비(Asspect ratio)가 큰 고층건물에 점성체(粘性体)와 강재(鋼材)등을 사용한 이력댐퍼(履歴damper)를 적용한 제진구조가 사용되기 시작하고 있다. 또한 RC조 댐퍼를 만들어 실험하고 있는데, 횡구속력을 높인 고인성 RC부재의 이력댐퍼, 휨철근에 저항도 철근을 사용하여 조기에 휨항복이 발생하도록 하는 이력댐퍼도 시험되고 있다. 또한 층간단단변형이 있는 고층건물 특유의 휨변형성분에 효과적인 오일댐퍼를 배치한 제진고층 RC구조도 실현되고 있다.

## 2.2 내진성능이 향상된 RC조 벽식구조

벽체는 RC구조의 내진요소로 가장 효과적으로 이용되고 있다.

지난 1994년 고베지진시 저층건물에서 벽식구조의 내진성능은 명확하게 입증되었다. 그러나 벽체의 변형성능의 향상이 어렵기 때문에 고층구조물에서 RC벽체는 내진요소에서 배제되는 경우가 많았지만 최근에는 2개층 이상의 연속층내진벽을 사용하여 에너지 흡수능력을 증진시켜 구조물의 내진성능을 향상시킨 구조물에 대한 연구도 행해지고 있다.<sup>2)</sup>

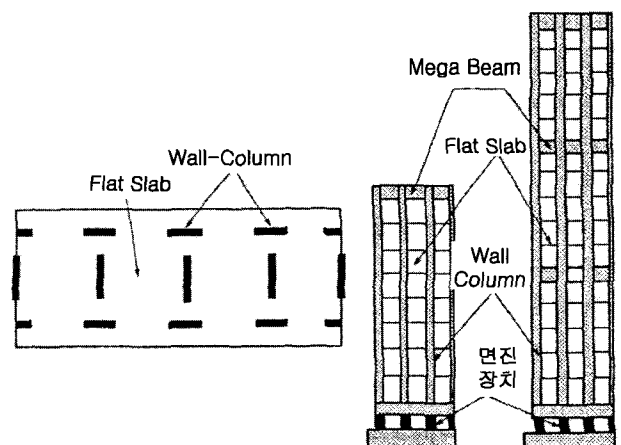


그림 2. 벽과 슬래브로 구성된 면진구조 예

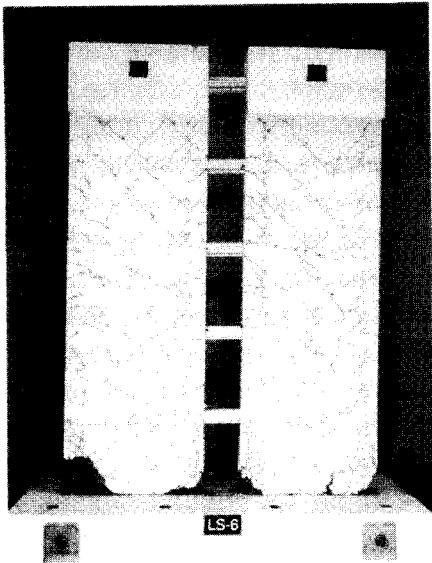


그림 3. Coupled Shear Wall의 실험

벽체와 바닥구조는 건물에서 필수적인 요소이므로 이들을 합리적인 건축계획에 의해 효과적인 주요 내진요소로 사용한다면 보다 자유롭게 공간을 구성하는 고층건축물을 실현할 수 있어 RC 조의 가능성을 크게 확대시킬 수 있다.

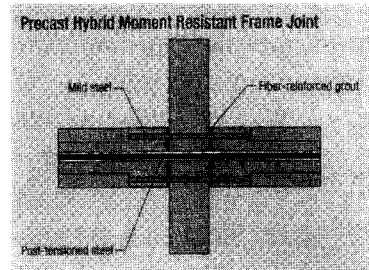
### 2.3 프리스트레스트 콘크리트 구조

프리스트레스트 콘크리트구조(PSC구조)는 콘크리트의 단점을 고강도 강재를 이용하여 장점으로 변환시킨 구조형식으로 20세기 후반부터 콘크리트 구조의 가능성을 확대시킨 구조이다. 최근 PSC구조를 고층구조물에 이용하기 위한 연구가 집중적으로 이루어져 PSC구조의 인성설계가 가능해지고 있어 21세기에는 PSC 구조의 사용이 크게 증가할 것이다. 특히 지진 후의 잔류변형이 적고 건조수축균열이 감소하여 콘크리트구조의 장수명화 기술에 최적의 구조형식이 될 것으로 기대된다. 또한 부재접합법으로 프리캐스트압착공법이 창고, 주차장에 사용되고 있지만 앞으로는 성력화(省力化), 고성능구조로서 일반건축에 확대적용될 것이다.<그림 4, 5>

PSC구조는 복원력이 우수하지만 RC구조에 비하여 이력감쇄가 어려워 면진구조로 하기에는 이러한 단점을 보완하는 것이 과제이다. 따라서 PSC구조와 면진구조가 복합된 구조시스템으로서 확대적용할 필요가 있다. 또한 PSC구조는 철골조에 비하여 강성이 크고 내구성이 우수하여 조정적으로 다양한 가능성이 크기 때문에 21세기에 빈번하게 채용되는 구조로 보급될 것으로 기대된다.

### 2.4 복합(Hybrid)구조 - CFT구조

복합구조의 정의는 명확하지 않지만, 서로 다른 종류의 구조형



PSC압착과 보통철근을 병용하여 내진성능을 향상시킨 39층 고층건물 (미국 샌프란시스코에 건설중)

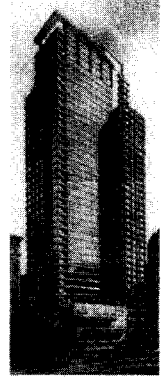


그림 4. PSC압착공법에 의한 고층건물

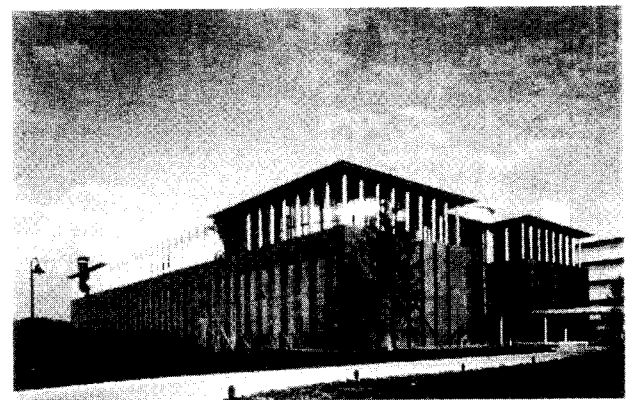


그림 5. PSC 압착공법을 사용한 면진건물(사무소건물)

식을 조합하여 각기 가진 장점을 결합함으로써 구조성능이 크게 향상된 구조형식을 의미한다. 이러한 의미로서의 대표적인 복합 구조로는 콘크리트 충전강관구조(CFT구조), 철골 보-철근콘크리트기둥 구조 등이 있다.

철근 콘크리트 기둥의 구속 효과 및 연성 증진 효과 등을 고려한 콘크리트 충전각형강관 기둥(Concrete Filled Steel Tube Columns ; CFST Columns)은 콘크리트가 강관에 의해 둘러싸여지기 때문에 축하중 저항 능력이 증가되는 장점과 동일한 단면으로 H형강을 사용한 순철골조 H형강 기둥의 강축(strong axis)과 약축(weak axis) 문제 해결과 동시에 강성(stiffness)을 증가시킬 수 있으며, 내화 성능이 향상되고 거푸집 대체 재료로 사용되는 등 여러 가지 장점을 지니고 있다. 또한 강관은 콘크리트를 황구속하여 압축성능을 향상시키고, 콘크리트는 강관의 국부좌굴을 방지함으로써 CFT구조체의 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 현재 CFT구조체는 주로 철골구조물의 기둥에 사용되고 있지만 앞으로는 트러스 구조체에서 압축력을 받는 현재(弦材)에도 사용을 고려해 볼 수 있을 것이다. 그러나 CFT구조의 경우 화재 발생시 강관은 고온을 받아 하중지지능력을 잃게 되지만 상대적으로 콘크리트는 저온이기 때문에 모든 하중이 내부 콘크리트로 집중될 염려가 있다.

또한 콘크리트와 철골의 탄성계수 차이로 인한 수직수축변위차가 발생하여 이로 인한 구조성능저하가 우려된다. 따라서 화재와 수축변위에 대한 적절한 대책이 마련된다면, 향후 CFT구조의 활용도는 크게 증가할 것으로 예상된다.

### 2.5 신소재 섬유보강 콘크리트구조

콘크리트를 보강하는 재료로서 신소재 섬유에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 탄소섬유시트를 사용한 기존 건물의 보강은 현재 일반적으로 사용되고 있으며 앞으로도 구조물의 장수명화에 중요한 기술로서 확대사용될 것이다. 또한 기존 철근부식으로 구조물의 성능이 저하되는 단점을 파이버로트나 파이버크리트를 이용하여 해결할 수 있어, 이에 대한 새로운 개념과 연구가 진행될 것으로 기대된다.

### 2.6 RC조 건축물의 장수명화

고내구성 RC조 건축물을 실현하기 위해서는 콘크리트 재료자체의 고내구화도 중요하지만, 구조물 전체의 내구성을 확보하는 것도 중요하다 할 수 있다. 이를 위해 고려할 수 있는 몇가지 사항을 정리하면 다음과 같다.<sup>3)</sup>

#### 1) 콘크리트 내부로 유해물질의 침입억제

RC조 건축물의 장수명화와 고내구화를 위해서는 콘크리트 내부로 유해물질이 침입하는 것을 억제하여야 한다. 유해물질에는 철근을 부식시키는 물질, 콘크리트를 중성화시켜 철근부식억제효과를 감소시키는 물질, 콘크리트 자체조직을 변질시켜 강도를 저하시키는 물질 등을 고려할 수 있다. 이러한 유해물질의 침입을 억제하기 위해서는 물-결합재비를 적게 하여 콘크리트 조직을 치밀하게 하고, 혼화재를 적절히 사용함으로써 유해물질을 고착시켜 콘크리트로의 침입 및 콘크리트내부에서 확산을 억제하거나,

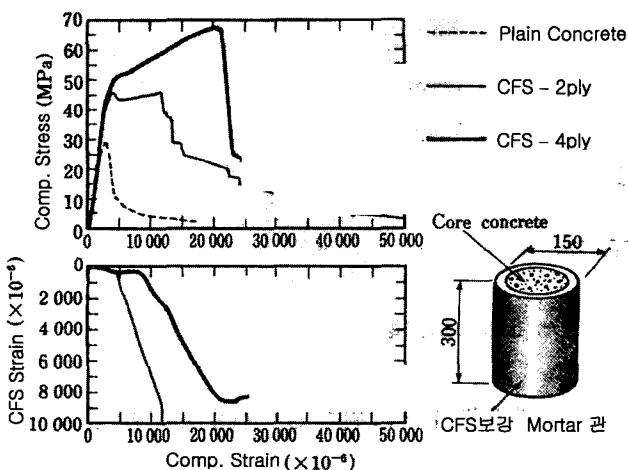


그림 6. 섬유보강콘크리트의 보강효과

표면에 도포재를 시공하여 내부로의 침입을 억제하는 방법을 고려할 수 있다.

#### 2) 균열발생 억제

콘크리트 자체조직을 치밀하게 하여 콘크리트 내부로의 염화물 이온이나 탄산가스 등의 유해물질침입을 억제하였다 할 지라도, 건조수축균열이나 온도변화의 반복에 의한 균열이 발생하여 균열로부터 콘크리트 내부로 유해물질이 침입하면 내구성이 크게 저하할 위험이 있다. 따라서 콘크리트의 건조수축을 적게 하여 수축균열과 온도균열을 억제하는 것이 중요하다.

#### 3) 시공결합의 발생 억제

콘크리트를 고강도화하고 고내구화하기 위하여 시공시 특별히 고려하여야 할 것은 굳지않은 콘크리트의 작업성이 저하되어 타설이 어렵고 골재분리나 시공조인트 등의 시공불량이 발생하는 것을 방지하는 일이다. 시공불량개소가 많아진다면 아무리 콘크리트 자체조직이 치밀하고 고내구화 된다고하여도 RC조 구조물의 고내구성은 얻기 어렵다 할 수 있다.

## 3. RC조 초고층 구조물

### 3.1 최근의 동향

최근 세계 초고층 건축을 이끌고 있는 중국 상하이시 당국은 높이 1,100m의 세계 최고의 초거대 빌딩(일명 바이오닉 타워, <그림 7>)을 5년 이내에 착공하여 20년 정도의 기간동안 건설할 것이라고 발표하였다.<sup>4)</sup> 이 건물이 완공될 경우 현재 세계 최고층 빌딩인 말레이시아의 페트로나스 타워보다 배 이상 높은 '하늘로 치솟아 오른 만리장성'이 될 것으로 기대되고 있다.

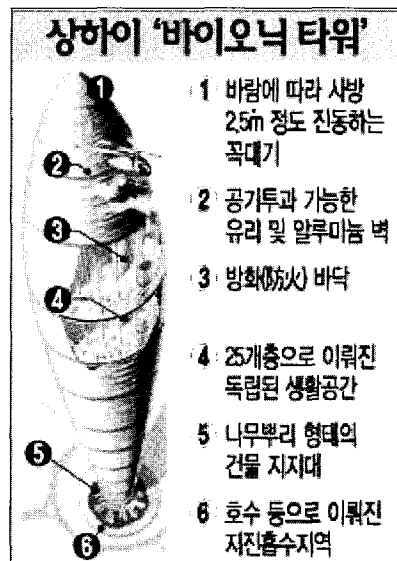


그림 7. 상하이 바이오닉 타워 계획안 개요

1990년대 이후 급변하는 국내·외적인 건설환경은 (초)초고층 구조물을 요구하고 있고, 우리나라의 경우도 최근 50~60층 높이의 주상복합건물이 다수 건설되고 있으며, 부산 롯데월드 II 프로젝트처럼 100층 이상의 복합기능을 갖춘 초고층 구조물이 건설되고 있거나 계획이 완료되어 있다(사진 1, 2, 3, 4).

그러나 이러한 초고층 구조물들의 대부분은 자중 및 항력에 의한 수직, 수평변위, 내진성능, 시공여건 등 여러 가지 구조적인 요인에 의하여 철근콘크리트조(RC조)보다는 철골조(S조)나 철골-철근콘크리트조(SRC조)로 계획하여 건설되고 있으며, RC조로 이루어진 초고층 구조물은 페트로나스 타워(사진 5)나 말레이시아 쿠알라룸푸르에서 시공중인 Plaza Rakyat 건물(사진 6) 그리고 국내의 타워펠리스(사진 4) 등과 같은 일부에 지나지 않는 실정이다. 그러나 최근 캐나다와 프랑스의 공동연구에서 압축강도 3,000kgf/cm<sup>2</sup> 인장강도 1,000kgf/cm<sup>2</sup>에 달하는 초고강도 콘크리트가 개발되어 시험사용되는 등 종래의 콘크리트에 비하여

대폭 성능이 향상된 고강도-고유동-고내구성인 고성능콘크리트가 실용화되고 있고, 컴퓨터 시스템의 발달, 국내 구조설계기술의 발전으로 S조나 SRC조에 비하여 구조성능이 떨어지지 않으면서도 경제적인 효과가 큰 RC조 초고층 구조물의 건설계획이 활발하게 추진되고 있다.<sup>5)</sup>

### 3.2 고성능 콘크리트의 사용

21세기 미래형 초고층 구조물의 해석과 설계에 크게 영향을 미칠 수 있는 대표적인 요인은 ① 합성구조요소의 사용, ② 초대형 기둥과 고강도 콘크리트의 사용, ③ 횡방향 강성증대를 위한 코아벽체와 가새(Bracing)의 사용, ④ 매우 강력하고 큰 부피의 감쇄시스템(Damping System) ⑤ 고성능의 해석 시스템 및 실험시설 등으로 요약할 수 있다.<sup>6)</sup>

일반적으로 초고층 건물은 세장비가 5.0이상이거나 지진이나 풍하중 등과 같은 횡하중이 구조설계에 큰 영향을 미치는 구조물로서 구조재료의 강도보다는 강성이 중요시되는 건물을 의미한다. 이러한 초고층 구조물에 적용가능한 구조시스템은 전단벽 및 가새로 보강된 라멘구조, 다양한 형식의 튜브구조, 아웃리거-벨트트러스구조, 그리고 거대구조 등을 들 수 있으며 각 구조시스템의 세장비별 작용하중에 대한 효율성은 수평하중에 대한 저항 방식에 크게 영향을 받는다. 이러한 구조시스템의 효율성은 단위면적당 필요한 구조체 물량으로 정량적으로 평가할 수 있다.

RC조 초고층 건물의 대표적인 경우라 할 수 있는 말레이시아의 페트로나스 타워와 같이 국외에서는 강성과 진동제어에 유리한 콘크리트를 초고층 건물에 사용하고 있으며, 특히 이웃나라 일본에서는 철골조로 건축된 아파트 입주자들이 사용성(진동, 소음)에 대한 문제를 제기하면서 1988년 이후로는 RC조나 SRC조로 전환하고 있다.

이러한 초고층 구조물에 고강도 콘크리트를 사용할 경우, 강도 증가에 따라 단위면적당 하중부담능력이 증가하고 이에 따라 단면크기가 축소되는 장점이 있어 앞으로  $f_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$  이상의 고강도 콘크리트의 사용이 활발할 것으로 기대된다. 구조적인 측면에서 초고층건물에 사용되는 고강도 콘크리트는 기둥 및 내력벽의 두께를 감소시켜 사용면적의 확대를 통한 자유로운 공간 구성, 임대면적 증가 등 건축주 및 입주자의 요구를 만족시키는 데 유리하며, 단면감소에 따른 재료절감으로 공사비 절감효과도 기대할 수 있다. 강도에 관계없이 일정한 탄성계수를 가지는 철골과 달리 강도의 증가에 따라 증가되는 탄성계수는 수직 및 수평강성을 증대시켜 수직 및 수평변위를 감소시키고, 전단용력에 대한 보강효과를 증대시킬 수 있다. 또한 고강도화에 따른 조기강도의 증진으로 거푸집교체 시기가 빨라지게 되어 공기를 단축할 수 있으며, 바닥판에 고강도-경량 콘크리트를 사용할 경우 공기단축효과는 더 클 것으로 기대된다.



사진 1. 삼성 도곡동 프로젝트 계획안

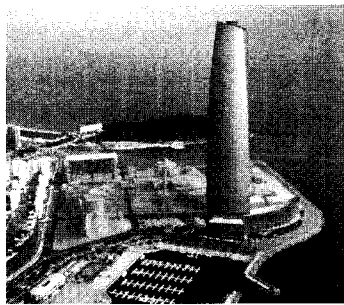


사진 2. 부산 수영만 타워 계획안 (대우건설)

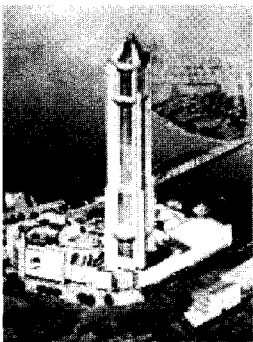


사진 3. 부산 롯데월드 II 프로젝트



사진 4. 도곡동 타워펠리스 | 전경



사진 5. 페트로나스타워



사진 6. Plaza Rakyat 건물

이외에도 장래의 RC구조물의 실현을 위하여는 각종 고성능콘크리트(혹은 고기능성콘크리트)의 개발과 실용화가 필요하며 여기에는 고유동콘크리트, 초경량콘크리트, 고내구성콘크리트, 고인성콘크리트, 저수축콘크리트, 저발열콘크리트, 비자성콘크리트, 인텔리전트콘크리트(자기응력콘크리트) 등이 있다.

이중 고인성 콘크리트의 경우는 고인성과 미소균열의 분산으로 자기손상저감을 동시에 갖춘 고인성 섬유보강시멘트복합재료(이하 HPRCC : High Performance Fiber Reinforced Cement Composite)가 개발되어 콘크리트의 최대 단점인 인장응력의 대폭적인 보강효과가 기대되고 있다.<sup>7, 8)</sup> HPRCC는 종래의 단섬유보강 시멘트복합재료의 일종이지만 균열발생이후의 변형경화특성과 다수의 미소균열이 분포되는 균열성상(Multiple Cracking)과 같은 특징을 가지고 있다(그림 8). 이러한 재료특성을 구조요소로 고려한다면 교차원의 구조성능과 내구성을 지닌 새로운 구조시스템의 실현이 가능할 수 있다.

### 3.3 고강도 경량콘크리트의 사용

현대 건축물의 가장 보편화된 구조 재료로서 폭넓게 활용되고 있는 콘크리트는 그 성능이 비교적 우수한 것으로 평가되고 있으나, 비강도(단위중량에 비하여 압축강도)가 작은 단점(Low Strength to Unit Weight → 즉, 동일한 압축강도를 발휘하는데 필요한 재료의 양이 많아짐을 의미하고, 따라서 부재의 단면이 커지고 자중이 증가하게 된다)이 있다.

따라서, 구조물의 (초)고층화, 대형화, 장스팬화를 위해서는, 그리고 에너지 절약(경량콘크리트는 기존콘크리트에 비하여 단열 성능이 훨씬 우수하다)이라는 측면에서도 콘크리트의 경량화는 우선적으로 해결되어야 할 문제로 남아 있다. 이에 이미 선진 외국에서는 콘크리트의 고강도화 이외에도 자중을 줄여주어 자원의 절약을 기하고 구조물의 내구성을 높여주는 고강도-경량콘크리트에 관한 연구가 30여년 전부터 진행되어 왔으며, 이 중 고강도 콘크리트에 관하여는 최근 국내에서도 이미 400~500kgf/cm<sup>2</sup>이 실용화되고 있으며, 시험적으로 700~1200kgf/cm<sup>2</sup>까지 시공을 마친바 있어 비교적 활발한 개발 및 연구가 되고 있다. 그러나 경량콘크리트의 경우 비구조용으로는 기존 구조물의 증축에 따른 하중 경감의 목적으로 일부에서 사용되고 있으나, 이의 본격적인 활용(구조용)은 요원하며, 400kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 초고강도-경량콘크리트에 관하여는 실험실 단계의 기초적 배합연구 이외에는 실용화된 것이 없어 콘크리트 분야의 최우선 과제로 남아있다.

구조용 경량콘크리트를 사용한 구조물의 경제성은 콘크리트의 단가상승에도 불구하고 자중감소에 의한 효과로 전체 건설비용이 줄어드는 데 있다. 즉, 경량콘크리트의 1m<sup>3</sup>당 가격은 보통중량 콘크리트에 비해 비싸지만, 구조물의 자중을 줄임으로써 기둥이나 교각, 기초 등 하부지지구조의 단면이 축소되고 철근 및 철골의 물량이 감소되어 전체 건설비용을 줄이게 된다. 구조물 경량화에 의한 경제성은 기본적으로 철근량의 감소에 의해 결정되는데, 특히 프리스트레스트 콘크리트에서는 긴장력(prestressing force)의 계산이 주로 구조물의 자중에 의해 결정 되므로 자중감소의 효과가 매우 크게 나타난다.

또한, 구조물의 자중감소로 지진하중이 줄어들게 되므로 내진 구조부재의 크기도 줄일 수 있으며, PC부재에 적용할 경우 운송 및 양중기계의 용량감소로 시공비용이 절감되는 등의 효과를 얻을 수 있다.<sup>9)</sup>

실제로, Oakland Bay Bridge(San Francisco, 1936)의 경우 교량상판에 경량콘크리트를 적용하여 3백만 달러의 철골 물량을 줄일 수 있었고, Australian Square(sydney, 1967, 50층)는 7층 이상의 보, 기둥, 슬래브에 31,000m<sup>3</sup>의 고강도 경량 콘크리트를 사용하여 13%정도의 건설비용을 절감할 수 있었으며, 그 밖의 많은 시공사례를 통해 경제성이 입증되었다.

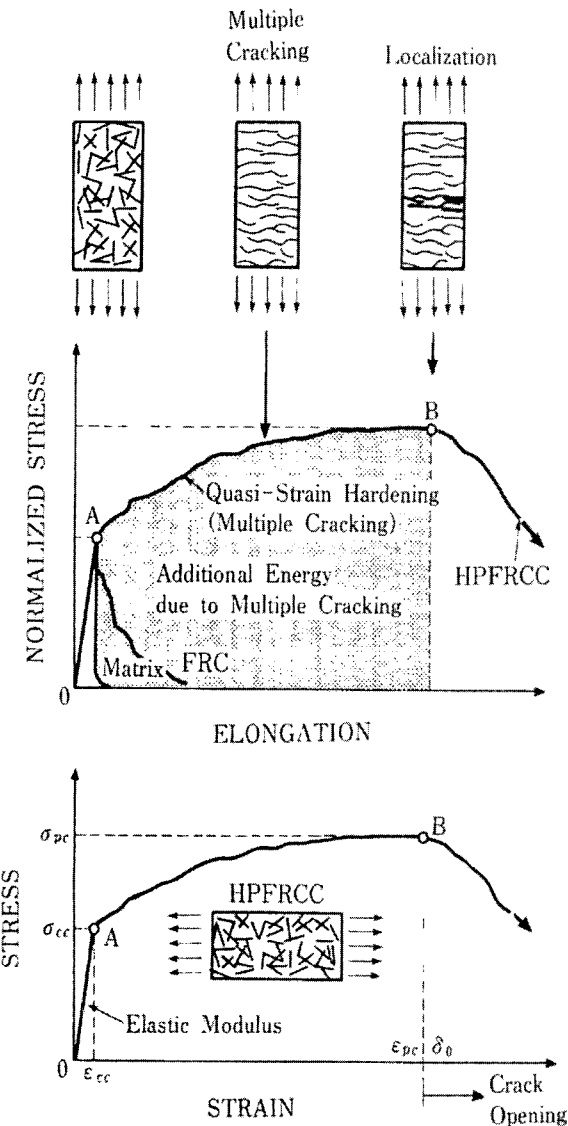


그림 8. HPRCC의 인장특성 개념도

이러한 경제성뿐만 아니라 산업부산물의 건설자재로의 활용과 천연골재의 고갈에 대한 대체재료로서 인공경량골재를 이용한 콘크리트의 제조기술개발에 관한 연구의 필요성은 두말 할 나위도 없을 것이며, 국내 건설자재의 효율적 이용과 비용절감 면에서 더 이상 늦출 수 없는 연구분야 중 하나임에 틀림없다.

### 3.4 바닥구조시스템

고층구조시스템에서 바닥구조인 슬래브는 주공정선(critical path)에서 공기에 가장 큰 영향을 많이 미치는 공사의 하나이므로 슬래브 시스템을 어떤 구조형식으로 선정하는가 하는 것은 공기 및 건설비용 측면에서 매우 중요한 문제이다.

아래 <그림 9>는 건물의 층수에 따른 구조부위별 건설비용 증가를 나타낸 것으로서, 기둥 및 횡력저항 구조시스템의 건설비용은 건물이 고층화 될 수록 급격히 증가하는 반면, 슬래브의 건설비용은 1개층의 건설비용이 일정하므로 건물의 층수증가에 무관하게 일정하게 누적되어 증가하게 된다.

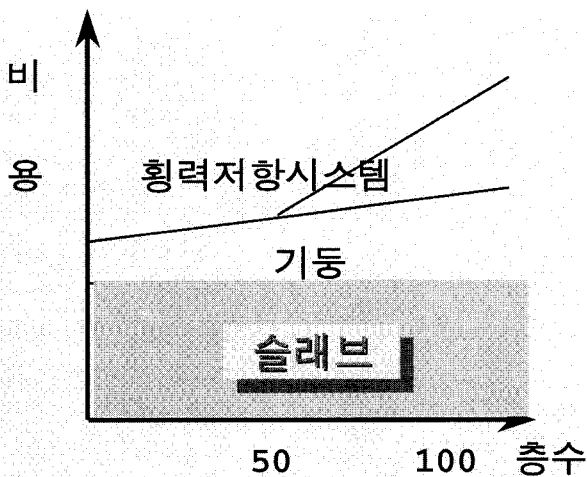


그림 9. 건물의 층수에 따른 구조부위별 건설비용 비교

철근콘크리트조 건물에서는 슬래브 공사에 일반 거푸집을 사용함으로써 지보공이 필요하게 되어 거푸집 공사에 소요되는 비용과 공기가 증가하여 후속공정이 늦어지게 되며 건설안전의 측면에서도 불리하다. 그러나 철골조에서 사용되고있는 데크플레이트(Deck Plate)의 경우는 이러한 RC조의 단점이 보완되어 일반 거푸집과 지보공이 필요없고 공기가 단축되게 된다. 그러나 데크플레이트의 경우 단면이 작은 경우 내화피복이 법적으로 필요하게 되어 내화피복에 따른 추가공정과 추가비용이 발생하게 되는 단점이 있어왔다.

이에 따라 내화피복이 필요없는 내화구조용 데크플레이트가 개발되어 사용하게 됨으로써 고층건물의 슬래브 공사에서 RC조의 단점과 기존 데크플레이트의 단점을 보완하여 공기단축 및 건설비용 절감측면에서 한층 더 유리하게 된다.

또한, 슬래브의 자중을 줄이면 보·기둥과 기초의 단면이 감소되어 하부 지지구조의 건설비용이 절감되며, 이는 건물의 층수가 증가할수록 효과가 더욱 크게 나타나므로 내화구조용 데크플레이트에 고강도-경량콘크리트를 함께 사용함으로써 가장 합리적인 슬래브 구조시스템을 구축할 수 있다고 볼 수 있다.

철골조 건물의 경우 건설단가(재료비+노무비+시공비)가 철근콘크리트조보다 높기 때문에 자중감소에 의한 비용절감 효과도 더 크게 나타나게 되는데, 최근에 많이 사용되는 내화구조용 데크플레이트는 내화피복과 인장철근이 필요없기 때문에 여기에 구조용 경량콘크리트를 적용할 경우 양자의 이점이 극대화되어 공기단축과 건설비용의 절감이라는 두 가지의 목적을 모두 달성할 수 있게 된다. 최근, 국내에서 철골조건물의 슬래브 시스템으로 많이 사용되고 있는 내화구조용 데크플레이트에 고강도 경량콘크리트를 적용할 경우, 골조공사비의 약 10% 정도를 절감 할 수 있는 것으로 추정된다.<sup>10)</sup>

### 4. RC조 복합구조

건물을 구성하는 구조 부재에서 사용하는 재료중 RC부재는 압축력에 강하고 철골부재는 휨과 전단력에 대한 저항성이 우수하다는 특성을 가지고 있으므로 이 두 가지 구조 부재를 적절히 조합하기만 한다면 현재 건축물에 이용되고 있는 재료만을 이용하여 가장 합리적인 구조 형식을 개발할 수 있을 것이다(사진 7). 또한 재래의 RC조에 비하여 보의 철근량, 거푸집 양을 절감할 수 있고 동바리가 필요 없으며, 작업의 다원화가 이루어져 공기가 단축되는 이점을 가지고 있다. 그러나, 이러한 특성을 가지고 있음에도 불구하고 접합부에서의 응력 전달기구가 명확하지 않을 뿐만 아니라 기둥이나 보 등 주요 구조 부재가 소정의 강성과 내력을 충분히 발휘하지 못한다는 문제점을 가지고 있어 실제 건물의 설계와 시공에 쉽게 적용되지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 혼합 구조는 이종 부재 사이의 응력 전달 기구 또는 저항 기구의 규명에 그 발전 여부가 결정된다고 할 수 있다.<sup>11, 12, 13)</sup>

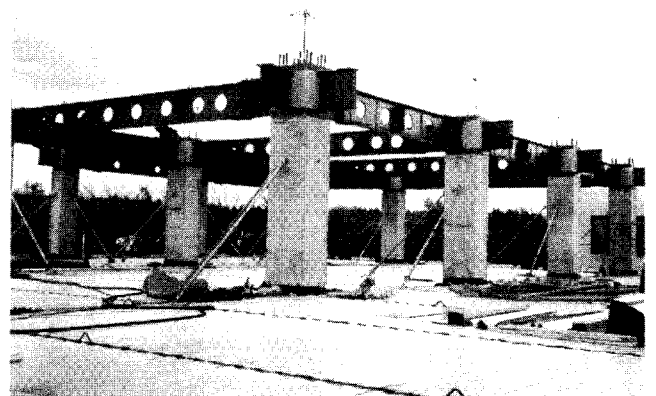


사진 7. RC기둥-철골 보 복합구조 예

참고문헌

철골-콘크리트 접합부 지역의 대표적인 상세법은 판넬지역의 구속효과(Confinement) 및 콘크리트 스트러트(Strut) 작용이 효율적으로 발생하도록 철골보에 스티프너(Stiffner)형식의 플레이트를 용접하여 기둥면에 접하도록 배치하며, 추가적으로 수평 철근을 철골보 웨브를 관통시켜 묶어주고 있다. 이러한 접합형식은 시공성을 고려할때 용접을 최소화/자동화 할 수 있는 전단스틸드 류의 연결장치 사용 및 철골보 웨브에 수평타이를 관통시키기 위한 구멍설치 작업을 배제하는 방향으로 개선하는 것이 바람직하다. 또한, 슬래브의 효과를 고려할때 추가적인 지압작용이 예상되므로 어느정도 지압판의 기여정도를 제한할 것으로 예상된다.

철골보와 고강도 콘크리트 기둥 접합부는 인접부재로부터 전달되는 상호 작용력 -휨모멘트, 전단 및 축력들에 대하여 충분한 지지능력을 보유하여야 하며, 그 여부를 판단하기 위해서는 무엇보다도 콘크리트와 강재 사이에 발생하는 하중전달/지지 기구를 정확히 규명하여야 한다. 콘크리트 기둥-철골 보 접합부의 형상에 대해서는 여러 가지 형상이 고려될 수 있으나 이러한 다양한 접합부에 대하여 하중전달/지지에 대한 기본적 거동이 규명되면, 이에 따라 보다 효율적으로 외력을 저항할 수 있는 전달기구를 유도할 수 있도록 접합부 상세를 개발할 수 있게 된다.

5. 결 언

콘크리트는 지금까지 강재와 함께 주요한 건설재료로 사용되어 왔지만, 지구온난화방지와 자연환경과피방지와 같은 지구환경의 문제, 자원과 에너지의 한정으로 인한 건설용 자원의 효과적인 사용 등의 시급한 문제에 직면하여 새로운 개념의 건설기술이 요구되고 있다. 또한 콘크리트 구조물에 대한 각종 설계기준이 성능규정형으로 바뀌면서 새로운 콘크리트 기술을 채용하는 사례가 증가할 것으로 예상된다. 21세기 RC구조물은 성능규정화·국제화, 환경과의 조화, 경비절감, 장수명화, 품질보증, 고성능·고기능 콘크리트의 사용 등으로 다양한 형식의 구조물이 출현할 것으로 기대되고 있어 이에 대한 적절한 대비와 연구가 철근콘크리트 구조 분야에 종사하고 있는 각 주체들에게 요구된다 할 수 있다. □

1. 角彰, “建築構造物-設計の立場から-, 21世紀のコンクリート建築構造の課題,” 콘크리트공학, Vol. 39 No. 1, 2000. 1, pp. 26~30.
2. 官内靖昌 等, “鐵骨鐵筋コンクリート造ユ壁の耐震性狀に關する研究,” 日本建築學會論文集, 第 508号, 1998. 6.
3. 梶田佳寛, “構造物の高性能を目指す21世紀のコンクリート技術,” 콘크리트공학, Vol. 39 No. 1, 2000. 1, pp. 11~49.
4. 동아일보, “中 1100m 초거대빌딩 짓는다”, 2001. 2. 26
5. 신성우, 한범석, “RC초고층 구조시스템”, 초대형 고층건물 심포지움 논문집, 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터, 2001. 2. 22, pp. 45~53.
6. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, “Structural Systems for Tall Buildings,” McGraw-Hill, Inc., 1995, 422.
7. “High Performance Fiber Reinforced Cement Composites - Volume 2(HPFRCC-95),” Pre-Proceedings of the Second International Workshop on HPFRCC, A. E. Naaman, and H. W. Reinhardt, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, 1995. 6.
8. 閑田徹志, “高性能纖維補強材料の設計技術の現状,” 콘크리트공학, Vol. 38, No. 6, pp. 9~16, 2000. 6.
9. P. K. Mehta, and P. J. Monterio, “Concrete Structure, Properties, and Materials,” 2nd Ed., Prentice Hall, Newsersey, 1993, pp. 358~367.
10. 신성우 외, “산업폐기물활용 고강도경량콘크리트의 개발 및 실용화 연구,” 1996 건설기술연구개발사업 최종보고서, 건설교통부, 1999. 5, pp. 335.
11. 日本コンクリート工學協會 “混合構造研究委員會報告書”, 1991. 12.
12. 이리형, 이원호, 서수연, “RC기둥-철골보 DBCS 시스템의 접합부 이력거동,” proceedings of STRESS international Seminar on New Building Construction Technology for the 21st Century, 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터, 1996. 5. 31, pp. 39~57.
13. 建設省建築研究所 等, “共同研究PC構造設計・施工指針の作成,” 最終年度研究報告書, 平成 11年 3月.

알립니다 . . . . .

개편된 홈페이지(<http://www.kci.or.kr>)에 반드시 개인 회원정보 확인 및 새로운 아이디를 신청하여 주시기 바랍니다.

회원정보 확인 및 아이디 신청은 본 학회 정회원 및 신입회원만이 가능하며 성명 및 주민등록번호를 기입하신 후 확인하여 주시기 바랍니다