

# 구조 설계 측면에서 본 국내 초고층 주거복합 건물의 현재와 미래

A Study of present and future highrise residential complex buildings in  
a structural practitioner's point of view

김종호\*  
Kim, Jong-Ho

## 요 약

최근 설계 및 시공되고 있는 국내 초고층 주거복합건물들의 유형과 구조설계내용들을 재점검하고 더 안전하고 경제적인 초고층 주거복합건물을 설계하기 위한 향후 과제로서 고강도 콘크리트 사용의 범용화와 구조적으로 유리한 기둥 배치계획과 횡력저항 요소로서의 Tubular 구조 및 Flat slab 등가골조 적용 등을 추가로 제시하며 또한 P.O.E의 구조적 측면에서의 도입과 인건비상승 및 후분양제도실시로 인한 공기단축등을 대비하는 칠골조 아파트에 대한 지속적 상세연구가 필요하다고 판단된다. 또한 기둥의 부동축소문제, 내구성증대 및 거주성 향상문제 등도 관련 전문가들과 계속적 연구와 협의가 필요한 것으로 생각된다.

### 1. 시작하면서

초고층 주상복합 또는 주거복합 건물이 최근 서울과 부산 등 대도시를 중심으로 공사중이거나 공사완료되어 입주하는 건물들이 날로 늘어나고 있어 그에 대한 관심이 고조되고있다. 초고층 건물을 설계하고 공사하는 모든 엔지니어 및 건축가들은 더 나은 품질과 경제성을 추구하고자 계속 노력하고 있는 중이다. 따라서 본 기고를 통해 현재의 국내 초고층 주거복합건물의 현주소를 알아보고 향후 일어날 수 있는 문제점을 분석하여 우리가 기술적으로 풀어가야 할 과제들을 예측함으로써 더 안전하고 경제적인 초고층 주거복합건물이 될 수 있도록 하는데 의미가 있다하겠다.

### 2. 초고층 주거복합 건물의 구조요소

초고층 건물이라하면 대체적으로 수직하중보다는 풍하중이나 지진하중과 같은 수평하중에 의해 구조체가 영향을 더 받는 구조물로 정의하고 있다. 또한 초고층 건물은 그 사회가 일상적으로 사용하는 기술력이나 문화요소와는 좀 다른 기술 발전적 양상으로 건축계의 도약을 나타내는 구조물이 되기도 한다.

#### 2.1 수직하중 저항 요소

- 철근 콘크리트 바닥 시스템

#### 일방향 구조시스템

양단부에서 보나 벽체에 의해 지지되며 일반적으로 두께는 120mm - 250mm 정도로 장스팬이 필요한 경우 프리스트레스트 슬래브를 사용할 수 있다.

#### 조이스트(JOIST) 시스템

75mm 정도의 발판슬래브에 리브를 1방향 혹은 2방향으로 설치한 형태로 1방향의 경우 PAN JOIST라 하고 있으며 2방향의 경우 WAFFLE이라고 통칭하고 있다. 이 구조시스템에서 리브의 크기는 폭 150 ~ 250 mm, 높 300 ~ 500 mm 로 하고, 리브의 간격은 450 ~ 900 mm 정도로 하여 6.0 m ~ 16.0 m 스패를 지지할 수 있다.

#### 보-슬래브 시스템

가장 일반적인 시스템으로 우리나라에서 고층, 저층에 널리 이용되고 있다. 이 방법은 철근콘크리트 구조체의 경우 보-기둥의 접합이 강점으로 되어 횡력을 지지하는데 유리하다.

#### 플랫 슬래브 또는 플랫 플레이트

플랫 슬래브 시스템은 횡력에 대한 강성이 약한 단점이 있으나 전기, 기계 설비 시스템 뿐만 아니라 층고를 최소화할 수 있는 바닥시스템으로 고층건물에 널리 사용되고 있다.

\* 일반회원, (주)창·민우구조건설тан트 대표이사, 건축구조기술사

■ 철골 및 합성 바닥 시스템

- 철골 및 합성 바닥구조의 형성은 대부분이 현장타설 혹은 프리캐스트 콘크리트 슬래브로 되어 있다. 철골보와 슬래브가 합성거동을 할 수 있도록 하기 위해서 스티드 볼트 등을 경계면에 사용하고 있으며 합성거동의 경제성을 높이고 강성을 얻을 수 있다.

- 연직하중의 상당부분을 바닥구조 시스템이 차지하므로 슬래브 스패를 짧게 하여 슬래브의 두께를 줄일 수 있는 방법이 사용되면 고층건물에서는 축력을 감소시켜 수직하중 저항 시스템의 경제성을 도모할 수 있다.

현장타설 콘크리트 슬래브

현장타설 콘크리트 철골부재 위에 거푸집을 설치한 후 콘크리트를 타설한다. 슬래브 두께는 스패와 하중에 따라 스패의 1/30 ~ 1/15 정도로 하게 된다. 슬래브 두께는 대부분 일정하게 사용하며 보 주변에서 현치를 주거나 철골보를 콘크리트로 감싸 방청, 내화성능을 높인다.

프리캐스트 콘크리트 슬래브

프리캐스트 콘크리트 슬래브는 철골보의 간격에 따라 1.2 - 9.0 m 범위에서 사용할 수 있으며 장스팬의 경우 프리스트레스트를 이용하기도 한다. 일반적으로 접합부가 철골보 위에 있도록 하여 단순지보 형태가 되도록 하며 횡력에 대해 다이어프램 거동을 할 수 있도록 슬래브 상부에 콘크리트를 타설하기도 한다. 슬래브의 자중을 줄이기 위하여 중앙부를 비운 HOLLOW CORE SLAB를 사용하기도 하며 장스팬을 확보하기 위해 HOLLOW CORE SLAB에 프리스트레스트를 가하기도 한다. 고층 철골구조의 효율적인 시공을 위해서는 현장타설과 같은 습식공법 보다는 프리캐스트와 같은 건식공법을 고려할 필요가 있다.

메탈데크 위 콘크리트 슬래브

이 방식은 현장타설 콘크리트 슬래브 시공시 별도의 거푸집을 사용하지 않고 메탈데크를 사용한 것으로 메탈데크는 용도에 따라 구조용과 거푸집용으로 나누어 진다. 메탈데크를 사용할 때에도 철골부재 위에 스티드 볼트를 사용하여 합성작용을 하도록 한다.

■ 구조 요소

기둥

고층건물의 기둥은 철골부재를 사용할 경우 일반적으로 부재의 크기는 일정하게 하고 축력에 따라 두께를 조절하는 형태로 기둥을 형성하고 있으며, 철근콘크리트의 경우 부재의 크기를 비교적 자유롭게 할 수 있으나 거푸집의 재사용, 공업화를 위해서는 전층을 하나의 크기로 하고 콘크리트 강도를 조절하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이 경우 지층부 기둥에는 고강도 콘크리트를 사용하고 상부로 갈수록 강도를 작게 사용하는 방법이다.

내력벽

내력벽은 두께는 얇고 길이는 긴 형태로 압축응력이 낮은 것이 특징이다. 압축응력이 일반적인 기둥 정도이면 이를 벽기둥(WALL COLUMN)이라고 한다. 재료는 철골, 철근콘크리트, 조적 등이 있으나 철근콘크리트가 일반적이다.

전이보(TRANSFER GIRDER)

전이보는 고층건물에서 자주사용되는 구조시스템으로 상부기둥의 배치를 하부에서 변경하기 위하여 사용된다. 따라서 전이보는 상부의 기둥하중을 하부기둥으로 전달하는 역할로 보의 춤이 1개층 또는 2개층을 차지할 경우도 있으며 전이보 좌우에 있는 기둥은 이보에서 오는 하중을 받을 수 있게 충분한 강도와 강성을 갖도록 설계되어야 한다.

2.2 수평하중 저항 요소

구조 형식

- 초고층건물의 구조형식은 수평하중 저항시스템의 경제성에 의해 결정되는 것으로 일반적으로 경제성은 총 바닥면적에 대한 구조체 물량으로 평가하고 있다. 1960년대 중반 Fazlur Kahn은 당시 고층건물의 구조형식으로 주류를 이루었던 2차원 강성골조시스템을 개선하여 구조물을 전체적으로 해석, 설계하는 3차원적 구조시스템을 고안하여 적용하였다.

- Kahn은 일반적인 형태와 모양을 가진 사무소 건축에서 적용할 수 있는 구조시스템을 다음과 같이 제안하였다.

철골조		철근 콘크리트조	
층수	구조시스템	층수	구조시스템
20	Staggered Truss	20	라멘조(일반적)
30	강접 골조	35	전단벽
40	골조 / 전단벽	50	골조 / 전단벽
60	Belt Truss	55	골조로 된 속 빈 튜브
80	골조 튜브	65	이중 튜브
100	내부기둥 / 가새된 튜브	75	뭉음튜브
110	뭉음 튜브	90	내부 전단벽이 있는 골조튜브
140	Space Truss, Megastructure		

이것은 매우 단순화 된 것으로 실제 적용할 구조시스템은 여러가지 구조적 요소를 고려하여 선택해야 한다.

한편, 철골조 건물에서 경제성을 검토하기 위해 철골량의 개략적 산정에 다음과 같은 식을 이용할 수 있다.

$$w = 30 + 5N/3 \quad (N: \text{층수}, w = \text{철골량})$$

복합구조, 합성구조일 경우  $w * (40\% \sim 60\%)$ 로 하면

된다.

요즘 초고층 구조물에 나타나는 경향은 구조체를 하나의 구조체로 사용하지 않고, 구조재료의 복합적 사용, 합성화, 하이브리드화로 나가는 추세이다. 이는 컴퓨터의 발달과 구조재료 등에 대한 연구가 상당한 정도까지 진행되어 해석에 의해 구조물의 거동을 비교적 정확히 예측할 수 있는데 기인한다고 볼 수 있다. 구조해석 및 설계방법이 크게 발전되어 부재 단위의 경제성 및 안전성은 쉽게 확보할 수 있다. 그러나 부재단위나 재료자체만으로 구조물이 외력에 대해 충분한 강성을 확보하기는 어려우므로, 초고층건물의 구조형태는 3차원으로 충분한 강성을 가질 수 있는 형태로 하여야 경제적인 구조체로 형성할 수 있다.

현재까지 널리 사용되고 있는 구조시스템은 다음과 같다.

■ 내력벽 구조

- 종래의 조적벽 구조와 직접적으로 연관이 있는 구조형식으로 우리나라 주거용 건물의 구조형식에 가장 널리 사용되는 구조형식이다. 철근콘크리트 구조에 이용되고 있으며 벽체의 위치, 방향에 따라 대린벽구조, 장벽구조, 2방향 구조 방사형구조 등으로 분류된다.

- 내력벽 구조는 주로 공간이 일정한 면적으로 분할되는 형태의 건축물에 사용되는 구조형식으로 간격을 3.6m ~ 5.4m 정도로 하여 축력과 횡력을 동시에 지지하는 방식이다. 하중에 대한 내력벽 구조의 거동은 구조재료, 벽체사이의 상호작용, 벽체의 위치 등에 따라 다르다. 즉, 벽체와 벽체, 벽체와 바닥사이의 연속 정도에 따라 달라진다. 벽체의 압축응력은 벽체의 간격, 건물의 높이 및 사용형태, 벽체의 개구부 위치 및 배치 등에 따라 달라지는데 압축응력이 집중되지 않도록 주의해야 한다. 횡력에 대한 벽체의 반응은 구조체 전체의 강성에 좌우되는데 슬래브를 휨이 없는 다이아프램(rigid diaphragm)으로 가정하여 분배할 경우 벽체와 벽체사이의 보나 슬래브가 충분한 강성을 갖도록 하여 횡력을 전달할 수 있어야 한다. 충분한 강성을 갖지 못할 경우 벽체에 전달되는 횡력이 달라지게 되므로 이를 주의해야 한다. 또한, 초고층 내력벽구조에서는 벽체가 주로 압축력을 받게 되나 횡력이나 기타 2차효과에 의해 휨 인장을 받을 경우가 있는데 이 경우 기초설계에 유의해야 한다.

- 이 구조형식은 10 ~ 20층 정도에서 경제성이 있다.

■ 코어 구조

- 주거용 건물의 경우 벽체를 쉽게 배치시킬 수 있으나 사무실이나 기타 상업용 건물의 경우 고정된 벽체보다는 공간 분할의 유연성을 부여하기 위하여 큰 공간이 필요하여 벽체를 배치하기가 어려워진다. 이 경우 수직 동선과 에너지 분배를 담당하는 부분(엘리베이터, 계단, 화장실, 설비 샤프트 등)을 모아 횡력을 부담하는 구조체로 이용하는 방식으로 코어를 사용하면 경제적이고 적절한 구조형식을 선택할 수 있다.

- 코어는 철골이나 철근 콘크리트 또는 두 재료를 합성

하여 사용할 수 있다. 철골 코어의 경우 비례된 트러스의 원리를 이용하여 횡력에 대한 안정성을 확보할 수 있으나 강성이 작으므로 초고층건물에 적용하기는 곤란하다고 할 수 있다. 초고층 건물에는 가새를 넣는 방식이 좋으며 철골 코어는 비교적 공사속도를 빨리할 수 있다는 장점이 있다. 반면 콘크리트 코어의 경우 수직, 수평하중을 부담할 수 있을 뿐만 아니라 공간을 분할해 주며 내화에 대해 고려할 필요가 없는 장점이 있으나 콘크리트 재료가 갖는 취성으로 인하여 연성을 가질 수 있는 부재 접합부의 상세가 필요하다.

- 초기 구조설계 단계에서 개구부가 입면의 30%를 넘지 않으면 개구부 효과를 무시하고 설계해도 무방하다. 또한, 개구부가 가능한 한 직선상으로 놓여지지 않도록 하는 것이 구조적으로 유리하지만 대부분의 경우 수직으로 개구부가 거의 같은 위치에 놓이게 된다. 이러한 벽체를 병렬 전단벽이라고 하며 병렬 전단벽의 개구부를 연결하는 보의 강성에 의해 거동이 달라지므로 연결보(Link Beam)의 강성부여 및 상세에 유의해야 한다.

- 횡력에 대한 코어의 구조적 반응은 평면형태, 강성의 정도, 횡력의 방향 등에 따라 달라지며, 코어의 형태가 열린 형태이거나 비대칭하중의 경우 코어구조가 비틀리게 된다. 이러한 비틀림 효과는 횡력에 의한 전단력과 함께 작용하므로 이러한 비틀림 효과를 고려할 수 있는 해석방법을 선택해야 한다. 코어가 건물의 평면상 비대칭일 경우도 비틀림 현상이 발생하므로 유의하여야 한다.

■ 골조 구조

- 초기 초고층건물에서 널리 사용된 방식으로 요즘도 시공의 편의성으로 인해 재래식 시공방법을 이용하여 널리 시공되고 있다. 부재의 접합부 형식에 따라 부재 접합을 강접합으로 처리하여 보와 기둥으로 횡력을 부담할 수 있도록 하는 강성골조방식과, 횡력을 부담하는 부재를 별도로 두고 기둥-보의 접합부를 힌지로 하는 힌지골조방식이 있다. 철근콘크리트 건물의 경우 접합부가 강접되므로 보와 기둥에 횡력을 부담하는 해석이 필요하다.

- 한편 강성골조방식은 전단에 의한 변형이 전체변형의 80% 정도이며 20%정도가 휨에 의한 변형을 발생시킨다.

강성 골조

철골조나 현장타설 콘크리트조의 경우, 보와 기둥을 강접합으로 연결하는 방식으로 보와 기둥이 연직력과 횡력을 동시에 지지하도록 한다. 이 때 횡력에 대한 효율은 스펠과 부재의 춤에 따라 달라진다. 즉, 스펠이 작고 춤이 클수록 횡력에 대한 효율은 증가한다.(보간격이 작고 보의 춤이 클수록 증가한다)

강성골조방식은 횡력에 대하여 강성이 적으므로 해석시 횡변위 검토에 유의하여야 한다. 또한 슬래브는 횡력을 분배하는 역할을 하므로 개구부의 위치와 크기에 유의하여야 한다. 이 방식은 20층 내외 규모에서 사용되고 있다.

힌지 골조

힌지골조는 연직력을 지지하게 하고 수평력에 대해서는 강성골조로 지지하게 하는 방식으로 힌지골조, 강성골조, 가새, 벽체와 같은 수평하중 저항시스템을 혼합 사용하는 방식이다. 횡력을 지지하는 구조체와 혼합될 경우 가새된 골조 형태가 되어 횡력은 수평하중 저항시스템이 부담하게 된다. 이 방식은 철근콘크리트조 보다는 철골이나 목조의 경우에 종종 사용되는 방식이다.

■ 골조-전단벽 구조

- 횡력을 전단벽과 골조가 동시에 저항하는 방식으로 골조의 변형형태인 전단모드와 전단벽의 변형형태인 휨모드가 적절히 조합된 구조방식으로 저층건물에서 초고층건물까지 가장 널리 사용되는 구조시스템이다. 전단벽이 구조체의 강성을 크게 하여 풍하중이나 지진하중을 효율적으로 지지하지만, 전단벽의 강성이 클수록 연성이 감소되므로 적절한 강성의 확보가 중요하다.

- 강성골조-전단벽구조의 횡력에 대한 반응은 전단벽에 대한 골조의 상대강성에 따라 달라지는데 일반적으로 대부분의 횡력은 전단벽이 부담하며, 높이가 높아질수록 상부에서 골조가 횡력을 부담하게 된다. 보통 저층건물 설계시 전단벽이 전 횡력을 부담하는 것으로 하여도 큰 무리는 없다.

- 철근콘크리트조의 경우 한 층에서 전단벽의 강성이 총 기둥 강성의 6배 이상일 경우 가새된(braced) 것으로 규정한다. 이것은 철근콘크리트 기둥의 설계에 매우 중요한 개념으로 기둥에 대한 벽체의 상대강성을 나타내므로 전단벽의 길이, 두께를 결정할 때 유의해야 한다.

- 실제 20~30층 정도의 건물은 한층내 벽체의 총강성이 기둥 총강성의 6배 이상이면 거의 모든 횡력을 전단벽이 부담하는 것으로 설계하여도 큰 오차는 없다. 또한 플랫슬래브 구조는 횡력에 대해서는 강성이 약하므로 전단벽이 대부분의 횡력을 지지하는 것으로 설계하고 있다. 이 구조방식은 40~50층 정도까지 경제성이 있는 것으로 판단되고 있으며 경제성 여부에 따라 70~80층 정도까지 이용되고 있다.

■ OUTRIGGER 전단벽구조

- 건물의 높이에 비하여 횡력을 지지하는 전단벽의 길이가 짧은 경우 벽체가 세장하여 횡변위가 과도하게 발생하게 되며 골조-전단벽 구조형식은 비경제적이 된다. 이런 경우 횡변위를 감소시키고 구조체의 경제성을 확보하기 위하여 전단벽으로부터 외부기둥으로 층고 혹은 더 큰 Outrigger를 넣어 구조체의 효율을 크게 높일 수 있다. Outrigger는 코아로부터 캔틸레버 형태로 나와 외곽부의 기둥을 strut나 tie처럼 거동하게 하므로써 응력 및 하중을 재분배시키게 된다. 즉, 코아는 수평전단력을 지지하는데 사용하고 Outrigger는 수직 전단력을 코아로부터 외주부의 기둥에 전달시키는데 이용된다. 대개 Outrigger에 의한 효율 증가는 약 30% 수준으로 알려져 있다.

- Outrigger와 외주부 기둥의 접합부는 힌지로 처리하여 기둥 모멘트의 유발을 방지하고 바닥보와 외부기둥의 접합도 힌지로 처리하여 연직하중에 의한 기둥모멘트의 발생을

막는다. Outrigger는 주로 기제실 층에 위치하게 하여 사용상의 문제점을 최소화한다.

■ 튜브 구조

튜브구조는 최근 Fazlur Khan에 의해 제안된 것으로 기본 개념은 건물의 외부 벽체에 개구부를 뚫으로써, 횡하중에 대하여 튜브와 같은 거동을 하도록 하여 휨강성을 최대화하여 건물의 높이를 최대화 할 수 있도록 하는 방식이다. 즉, 횡력에 대하여 건물 전체가 캔틸레버 보와 같은 거동을 하도록 하는 것이다.

튜브구조의 장점

수평하중 저항시스템이 건물 외주부에 위치하므로 건물의 전체 폭이 모멘트에 저항 한다.

수평하중 저항시스템이 건물 외주부에 위치하므로 내부 구조체는 연직하중만 지지하면 되므로 설계가 단순해진다. 결과적으로 기둥이나 보의 배치가 자유롭다.

튜브구조는 전층의 바닥구조를 동일하게 할 수 있다.

튜브구조는 튜브를 이루는 구조체를 전층 동일하게 하므로써 시공성이 뛰어나다.

John Hancock Center, Sears Tower, Standard Oil Building, World Trade Center가 이 구조방식으로 되어 있다.

골조 튜브

골조튜브형식은 튜브형식중 가장 먼저 사용된 구조방식으로 외부에 기둥을 1.2m ~3.0m 로 촘촘히 배치하고 기둥과 기둥 사이를 60cm ~ 150cm 의 큰 보를 강접합으로 연결하는 형태로 외부 기둥이 구조물의 횡하중과 연직하중을 동시에 지지하도록 한다.

건물의 평면에 대한 단면 2차 모멘트를 최대화할 수 있도록 계획하는 것이 전체적인 건물의 휨강성을 증가시키는 데 중요하다. 골조튜브구조는 횡력 방향에 평행한 기둥이 웹 역할을 하고 수직인 방향의 기둥이 플랜지 역할을 하여 횡력에 반응한다.

가새 튜브

골조튜브가 스펀드럴보의 강성에 의해 전단지연(Shear Lag)현상과 같은 문제가 야기되므로 이를 방지하고 강성을 증진시키기 위하여 외부에 가새를 넣어 횡력을 부담하도록 하는 방식이다. 이 구조방식은 모서리 기둥이 캔틸레버 트러스의 상,하현재 역할을 하므로 매우 큰 하중을 부담하게 된다. 연직하중하에서 가새부재는 하중과 부동변위를 재분배하는 역할도 하여 벽체응력을 균등화한다. 가새가 기울어진 기둥 역할을 하므로 일반적으로 인장력은 발생하지 않으며 경사 부재의 방향은 45도 정도가 바람직하다.

이 방식은 철골구조의 경우 100층 정도는 경제적인 것으로 나타나고 있다. John Hancock Center가 이 방식으로 되어 있다.

이중 튜브

골조튜브의 강성을 증가시키기 위해서 내부 코아를 가세된 철골구조나 콘크리트 전단벽을 배치하는 방법으로 외부 골조튜브의 전단변형을 감소시키고 외부 튜브와 상호작용으로 회전 저항능력을 향상시킨다. 즉 횡력에 대해 외부튜브는 상층부에서 지지하고 내부튜브는 건물의 저층부에서 지지하게 되어 보다 효율적으로 거동하도록 한 방식으로 골조-전단벽 구조형식과 비슷하다.

**묶음 튜브(Bundled Tube)**

건물의 높이가 높아질수록 골조튜브 방식은 Shear lag 현상이 심각하게 되는데, 이를 최소화하기 위해 평면 중간 부분에 횡력과 평행한 방향으로 튜브 구조체를 넣어 횡력을 지지하도록 하는 방식을 사용한다. 이 경우 중간에 삽입된 튜브도 웹 골조 역할을 하게 하여 하나의 건물에 몇 개의 튜브가 있는 형태를 보이는 구조방식을 말한다.

**MEGA STRUCTURE**

1960년대 이후 컴퓨터와 소프트웨어의 급격한 발달로 거의 모든 형태의 구조물의 해석이 가능하게 되어 구조적으로 효율성이 크고 경제적이고 특이한 형태의 고층건물이 등장하게 되었다. 즉, 모듈화된 구조부재를 반복해서 겹쳐나가는 형태의 복잡한 3차원 트러스 형태와 응력이 큰 곳에서 구조체를 집중적으로 배치하여 경제성, 안정성을 확보하는 구조체를 통칭하여 Mega Structure 혹은 Space Structure 라고 한다.

**합성혼합구조 (Hibrid Structure)**

1980년대 이후 전술한 여러 시스템을 혼합한 합성혼합구조 시스템이 초고층 건물에 많이 적용되고 있다.

**3. 국내 초고층 주거복합의 현황**

주거시설의 건축평면 형태는 크게 판상형, 정방형, 삼각형, Y자형, T자형, X자형으로 분류될 수 있으며 Twin의 형태로 정방형과 정방형을 연결시킨 형태와 평면형태가 정형이 아닌 비정형형태도 있다.

**3.1 평면 형태별 분류**

건축 평면 형태를 개략적으로 도식화하면 다음과 같다.

분류	건축평면형상
정방형	
해당건물	트럼프월드 I, 트럼프월드 II, 아크로빌, 타워팰리스 I

T자형		해당건물	리첸시아, 스타시티
X자형		해당건물	하이페리온
비정형		해당건물	I-Park, 트럼프월드 III
판상형		해당건물	파크뷰, 분당 위브파빌리온, 보라매 환타지아, 분당 로얄팰리스 I
삼각형		해당건물	현대 슈퍼빌

Y자형	
해당건물	타워팰리스 III
정방형 + 정방형	
해당건물	갤러리아 팰리스, 타워팰리스 II

### 3.2 구조 형식별 현황

사례조사에서 얻은 각 주상복합건물들의 구조시스템 및 건물개요를 건축평면 형태별로 분류하여 요약하면 다음과 같다.

#### 1) 판상형

건물명	구조설계	층 규모	기준층 층고	구조재료	구조시스템
분당 로얄팰리스	창·민우 구조	지하 3층, 지상 33층	2.9 m	RC	전단벽+테 두리보
분당 파크뷰	CS 구조	지하 3층, 지상 35층	2.9 m	RC	전단벽+전 이보
분당 위브 파빌리온	3D 구조	지하 4층, 지상 33층	3.0 m	RC	전단벽+전 이보
보라매 환타시아	창·민우 구조	지하 8층, 지상 42층	3.2 m	SRC	전단벽+모 멘트 골조

#### 2) 정방형

건물명	구조설계	층 규모	기준층 층고	구조재료	구조시스템
트럼프 월드 I	창·민우 구조	지하 5층, 지상 41층	3.0 m	RC	코아벽+Out rigger
트럼프 월드 II	CS 구조	지하 6층, 지상 36층	3.0 m	RC	코아벽+Out rigger
아크로빌	T & T	지하 6층, 지상 36층	3.2 m	SRC	코아벽+모 멘트골조
타워팰리스 I	삼우설계	지하 5층, 지상 66층	3.2 m	SRC	코어벽+Out rigger+모멘 트골조

#### 3) 삼각형

건물명	구조설계	층 규모	기준층	구조재료	구조시스템
-----	------	------	-----	------	-------

서초 슈퍼빌	단 구조	지하 3층, 지상 46층	층고 3.2 m	SRC	전단벽+모 멘트골조
-----------	------	------------------	-------------	-----	---------------

#### 4) T자형, Y자형, X자형

건물명	구조설계	층 규모	기준층 층고	구조재료	구조시스템
타워 팰리스 III	동양 구조	지하 6층, 지상 69층	3.4 m	SRC	코어벽+모 멘트골조+B elt Wall
여의도 리첸시아	창·민우 구조	지하 5층, 지상 40층	3.2 m	RC (부분적 SRC)	코어벽+Wid e Beam+Outri gger
하이패리 온	동양 구조	지하 6층, 지상 69층	3.0 m	SRC	코어벽+모 멘트골조+O uttrigger
스타시티	창·민우 구조	지하 3층, 지상 58층	3.0 m	RC	코어벽+ Flat Plate 등가골조

#### 5) 정방형 + 정방형

건물명	구조설계	층 규모	기준층 층고	구조재료	구조시스템
타워팰리스 II	3D 구조	지하 6층, 지상 55층	3.2 m	SRC	코아벽+Out rigger
갤러리아 팰리스	CS 구조	지하 5층, 지상 46층	3.0 m	RC	코아벽+전 단벽+Outri gger
아크로비 스타	CS 구조	지하 6층, 지상 37층	3.15 m	RC	전단벽+Wid e Beam

#### 6) 비정형

건물명	구조설계	층 규모	기준층 층고	구조재료	구조시스템
트럼프 월드 III	창·민우 구조	지하 3층, 지상 32층	3.2 m	RC	코아벽+테 두리보
I-Park	신기술 자문	지하 3층, 지상 46층	3.2 m	RC	코아벽+등 가골조
현대 파크빌	창·민우 구조	지하 7층, 지상 36층	3.2 m	SRC	전단벽+ 모멘트골조

## 4. 향후 과제

### 4.1 콘크리트 재료강도

주거복합건물의 사례조사에서 알 수 있듯이 구조재료는 대부분 철근콘크리트 구조로 층 규모가 60층에 이르고 있다. 주거복합건물은 대부분 상부 층에 아파트가 위치하고 공동주택의 거주성을 감안할 때 방음 및 진동 제어가 중요한 설계요소가 되며 풍하중에 의한 진동을 느끼지 못하도록 쾌적한 거주성을 확보하는데는 콘크리트의 재료가 우수한 것으로 나타나기 때문에 많은 주거복합건물이 철근콘크리트구조로 설계되는 것으로 생각된다. 그러나 층 규모가 커지고 수직하중이 증대되면 하부 층의 기둥크기는 상대적으로 커질 수 밖에 없고 그렇게 되면 사용할 수 있는 건축

면적이 줄어들고 너무 육중한 구조물이 될 수 있다. 그러므로 이러한 콘크리트의 우수한 성질을 초고층건물에 활용할 수 있도록 고강도 콘크리트의 연구가 필요하다.

일반적으로 건축구조물에 사용하고 있는 콘크리트의 설계기준강도는 보통 중-저층건물에서는  $f_{ck} = 210 - 240 \text{ kg/cm}^2$ 이며 층 규모가 20층 이상 되는 고층건물에서는  $f_{ck} = 270 - 300 \text{ kg/cm}^2$ 를 사용하고 있으며 30층 이상 RC 초고층 구조물에서는  $f_{ck} = 300 - 400 \text{ kg/cm}^2$ 을 사용하고 있다. 50층 이상 건축물에서 콘크리트 전단벽체에 콘크리트 강도를  $f_{ck} = 500 \text{ kg/cm}^2$ 을 사용하기도 하지만 특별한 배합 강도에 대한 관리가 필요하여 일반적으로 사용할 수 있는 콘크리트 강도로는 아직 어려움이 많은 것으로 알고 있다.

따라서  $500 \text{ kg/cm}^2$  이상의 고강도 콘크리트의 일반적 적용이 가능할 수 있는 방안연구가 필요하다고 하겠다.

#### 4.2 기둥 배치

해외와 국내의 주거복합건물에 대한 기둥간격을 비교해 보면 국내인 경우는 9.0m내외의 비교적 넓은 스패인데 비해 해외의 경우는 기둥간격이 6.0m-7.5m로 비교적 작고 기둥 배치도 국내의 경우보다 한결 자유스러운 것을 알 수 있다. 기둥간격이 좁다는 것은 슬래브의 두께를 작게 할 수 있고 그러므로 자중을 줄일 수 있어 초고층 건물이 되더라도 하부 층의 기둥크기를 건축평면에 맞게 적당한 크기로 설계할 수 있는 잇점이 있다. 우리나라의 주거문화에 맞추더라도 아파트에서 기둥 배치를 자유스럽게 할 수 있다면 현재 우리가 쓰고 있는 기둥간격보다는 촘촘히 배치할 수 있을 것이다. 하부 층에서 복합시설이나 주차장에서 필요한 기둥간격도 우리가 사용하고 있는 기둥간격보다 좀 더 작은 기둥간격으로도 가능하다고 생각되며 다만 건축용도상 기둥간격이 넓게 요구되는 공간이 필요하다면 타워부가 아닌 저층부에서 해결할 수 있도록 건축계획 당시 건축평면에 고려할 수 있을 것이다.

#### 4.3 전이층이 형성되는 위치

대부분 주거복합건물은 주거시설인 아파트와 오피스, 상가 및 주민복합시설로 이루어지며 용도에 따라 필요한 기둥배치가 다를 수 있고 입면의 변화를 주는 목적에서도 전이층이 형성되는 경우가 많다. 전이층의 구조는 대부분 상부층의 축력과 수평하중을 안전하게 하부에 전달시키기 위하여 비교적 큰 부재의 Transfer Girder나 RC벽체 또는 브레이스 시스템이 적용된다. 이러한 전이층의 위치가 건물 전체높이의 어디에 있느냐에 따라서 전이층 구조가 단순히 상부 축력만을 하부구조로 안전하게 전달하는 역할만 하는지 아니면 축력전달 뿐만 아닐 수평하중에 대해서도 효과적으로 저항할 수 있는지 그 기능이 달라질 수 있다. 전이층의 위치가 Ground Level에서 전체 높이의 1/3지점 정도에 위치하도록 하여 축력전달 뿐 아니라 수평하중에 대해서도 Outrigger의 역할을 동시에 충분히 할 수 있도록 함이 바람직하다. 그러나 국내의 주거복합건물은 대부분 전이층의 위치가 2층-4층 정도의 하부 층에서 이루어지기 때

문에 전이층의 역할이 단순히 축력전달에만 있다고 볼 수 있으며 코어와 연결되어 Outrigger로서의 역할은 못하고 있는 실정이다.

#### 4.4 슬래브 콘크리트의 강도

주거복합건물의 층수가 높아지면서 수직부재인 기둥과 코어벽체의 축력이 커져 수직재의 콘크리트강도가 고강도화 되고 있다. 그러나 아직까지 고강도 콘크리트의 가격이 비싸서 국내에서는 고강도 콘크리트가 특별히 요구되지 않는 수평부재에서는 일반 콘크리트 강도를 사용하고 있는 실정이다. 그러나 콘크리트 규준에 따르면 수직재와 수평재의 콘크리트강도가 1.4배 이상 차이가 나면 기둥주변으로부터 수평부재의 60cm 폭까지는 기둥의 콘크리트강도로 타설 하게 되어 있으므로 끊어 치기 하는 부분에 메탈라스를 설치하고 시공해야하는 어려움이 있다. 예를 들어 기둥에  $f_{ck}=580 \text{ kg/cm}^2$ 의 강도가 사용된다면 슬래브의 콘크리트 강도는  $420 \text{ kg/cm}^2$ 를 사용하여 시공 시 타설도 용이하게 하고 바닥판의 치짐도 줄이고 내구성도 좋게 함이 바람직 하다.

#### 4.5 Tubular System의 적용 모색

국내의 초고층 주거복합건물의 외부마감은 일반 아파트 외부마감과는 다른 커튼월을 대부분 사용하고 있다. 그러므로 외주부의 기둥간격이 넓더라도 커튼월의 수직 보강재 때문에 계획했던 대로 탁 트인 전망을 보기는 어려울 것이다. 그렇다면 기존의 평면 계획에서 외주부의 기둥을 촘촘히 두어 튜브 골조의 역할을 할 수 있다면 상당히 효과적이고 경제적인 구조설계를 할 수 있을 것이다. 또한 Onterie Center 건물과 같이 외부 튜브 골조에 Infilled panel을 건축입면에 맞추어 구조적으로 설치한다면 외부 입면의 변화를 줄 수도 있고 구조적으로 Brace역할을 할 수 있어 효과적이고 국내 정서에도 어울리는 구조형식이 될 듯 싶다.

#### 4.6 Flat Plate 등가골조 적용 모색

최근 서울시는 상부는 전단벽구조 하부는 라멘구조인 복합구조형식에 대하여 내진성능 미확인을 사유로 허가를 불허하고 있다. 따라서 향후 아파트 리모델링 등에 적극적으로 대응하면서 층고를 최소화 하는 방편으로 Flat Slab 또는 Flat Plate의 구조형식이 초고층 아파트에도 적용되고 있다. 이때 횡력저항을 위해 슬래브의 적정 유효폭 만큼을 등가골조로 보고 전단벽+모멘트골조 형식을 채택하는 방법이다. 적정유효폭의 산정방법이나 불균형모멘트에 대한 처리방법, 내진성능확보를 위한 상세적용 등이 설계실무자에게 제시될 수 있도록 실험적 연구가 계속 추진되어야 할 것으로 보인다. 특히 시공기술자들은 콘크리트 소정강도의 정확한 확보와 슬래브 철근의 유효높이가 정확히 지켜질 수 있도록 현장지도를 게을리 하면 안되겠다.

#### 4.7 기타

환경적 측면에서만 현재 다루어지고 있는 P.O.E (Post Occupancy Evaluation)가 구조적 측면에서도 다루어져서 내

풍 내진에 대한 계층관리방법도 강구되어야 하며 강제활용 시 대두되는 내화성능기법에 대한 계속적 연구 및 재난방지 기법도 함께 연구되어야 할 것으로 보인다. 현재 초고층 아파트들이 철근콘크리트 재료로 주로 시공되고 있지만 향후 인건비의 상승, 후분양제로 인한 공기단축필요성, 저렴한 고강도강재의 생산 등의 요인을 감안한다면 철골조 아파트 설계에 관심을 가질 필요가 있으며 층고절감을 위한 상세개발, CFT 기둥사용의 활성화 등에 대하여도 지속적 관심과 연구가 필요하다고 생각된다.

5. 최용석외 4인, “초고층 주거용 건물 FLAT PLATE SLAB SYSTEM 시공사례”, 콘크리트학회지, 제15권2호, 2003.03

## 5. 끝내면서

국내의 초고층 주거복합건물은 선진국에 비해 약 20년 정도 늦게 시작하였다고 볼 수 있으나 그 발전 및 시장 수요는 가속될 수 있는 현실 속에 있다고 판단된다. 여기서 언급하고자 하는 것은 좀더 좋은 초고층 주거복합건물을 설계하기 위해서는 건축주, 건축가와 구조엔지니어 모두가 연구와 노력을 아끼지 않아야 하며, 특히 구조엔지니어는 현재 각자가 하고 있는 프로젝트에 대하여 좀 더 이론적인 연구와 확신을 가지고 구조설계를 발전시켜 나가야 한다는 점이다.

최근 우리가 사용하고 있는 3차원 구조해석 프로그램, 알고리즘의 이해와 적용기법에 대하여 숙지가 부족하여 경험 및 이론적 배경이 적은 엔지니어에 의해 종종 잘못된 결과를 도출하기도 한다. 그러므로 전형적인 구조시스템의 응용과 그에 대한 배경설명도 중요하겠지만 제대로 된 설계를 위해서는 우리가 사용하고 있는 컴퓨터 범용 프로그램의 정확한 알고리즘의 이해와 기법에 대해서 숙지를 게을리해서는 안되겠고 또한, 그에 따른 상세설계도 하나, 둘씩 정리하여야 하겠다.

기둥의 부동축소 문제, 내구성 증대 및 거주성 향상 문제 등은 관련 전문가들과 계속적인 연구와 협의가 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. 김종호, “국내의 실례를 통해서 본 국내 초고층 주거 복합건물의 현재와 미래”, 대우건설기술, 2001.05
2. 서현주, “국내 사례로 본 고층 주상복합건물의 구조시스템”, Preceedings for the 3rd Symposium of KSTBF, 2003.
3. 이성호 외 4인, “국내 고층 주상복합건물의 구조적 특성”, 대우건설기술, 2003.05
4. 정광량, “초고층건물의 기본설계에 대한 실무적 접근”, 초고층 건축물 선진기술워크샵, 2003.08