

국내 고층 주상복합 건물의 구조적 특성에 관한 조사 연구

An Investigative Study on the Structural Characteristics of High-Rise Complexes in Korea

강 석 원* · 이 성 호**

Kang, Suk-Won · Lee, Sung-Ho

요 약

Recently, the interest in a complex building increases rapidly in Korea. High-rise complex is not simply the combination of a residential apartment and a business office as previous but a building with the object of the convenience of the residents familiar with city-life style through adapting the high class life style and new residential culture to the business space, and the efficiency in using the limited building site in the town.

This study presents an exploratory analysis focusing the structural system with the help of the extensive survey of the construction site in Korea, and aims a guideline for the structural design and construction of high rise complex. Through the survey, change and development in the design and the construction can be seen as the height and size of the complex grow. It is almost indispensable to design a structural system against lateral forces like earthquake or wind, which is usually measured by story drift ratio or story displacement. Improvement of the structural materials and their usages is also included for the efficiency of the structural system. Useful slab-beam system contributing to the decrease of the story height is still a concern.

키워드 : 고층주상복합, 구조시스템, 구조설계 및 시공, 횡력, 구조재료, 슬래브-보 시스템, 층고

Keywords : High-rise complex, structural system, structural design and construction, lateral forces, structural materials, slab-beam system, story height

1. 서론

급속한 경제성장과 산업화에 따른 인구의 도시 집중화는 필연적으로 토지의 효율적인 이용을 추구하게 되었으며, 이와 같은 배경에 의해 아파트, 오피스텔, 또는 주상복합과 같이 쾌적성과 거주자의 편리성을 향상시킬 수 있는 집합주거 형식이 등장하게 되었으며, 국내의 대표적인 주거문화로 정착되었다.

최근 들어서, 수도권 내의 경제활동 인구의 증가와 함께 수도권의 급격한 팽창이 이루어지고 있다. 이러한 인구집중과 도시화 현상은 효율적인 대지사용을 위하여 건물의 고층화 및 대형화를 필연적으로 수반한다.

한편, 새로운 세대들이 경제활동의 주역으로 떠오르면서 보다 현대화하고 도시화된 생활습관에 의해 경제활동이 활발한 지역에서의 거주 공간이 필요하게 되었을 뿐만 아니라, 동시에 취미

나 여가생활을 누릴 수 있는 각종 편의시설이 주거 시설과 이웃하여 존재할 필요성이 증가하였다. 고층 주상복합 건물은 이와 같은 현실 하에서 도심지 내에서 한정된 토지의 사용률을 최대한 높일 수 있도록 실 거주 공간과 경제활동 공간, 그리고 취미와 여가활동을 동시에 만족시킬 수 있는 하나의 대안으로 활발히 진행 또는 계획되고 있다.

일반적으로, 아파트와 같은 국내 집합주택의 형식은 대개 벽식구조를 따르고 있다. 이와 같은 시스템에서는 보나 기둥과 같이 두께가 있는 부재가 사용되지 않고 돌출부가 제거되어 평면의 효율성이 높고 층고의 절감이 용이하다. 반면, 대부분의 벽체 자체가 구조부재로 개조가 곤란하므로 평면의 다변화가 어렵다. 또한, 내력벽의 두께가 그만큼 증가하여야 하기 때문에 건물이 고층화할 경우, 그 효율성이 크게 감소한다. 따라서, 비교적 고층화가 이루어진 주상복합 건물에 있어서는 프레임 골조형식을 사용하는 경우가 많음을 짐작할 수 있다.^{1,2,3)}

최근 국내의 주요 건설사 대부분이 고층 주상복합 사업에 적극적으로 참여하고 있으며, 각 사는 경쟁에서 우위를 차지하기

* 일반회원, (주)대우기술연구소 선임연구원, 공학박사

** 일반회원, (주)대우기술연구소 연구원

위하여 독자적인 브랜드를 내세워 고급화, 차별화를 추구하고 있으며, 차별화에 따른 건물의 건축적, 구조적 특성 또한 많은 다양성을 가지고 있는 실정이다. 고층 구조물의 설계에서 중요한 것은 건축적인 요구사항을 최대한 충족시키고 동시에 원가절감과 시공성의 저하를 유발하지 않으면서도 구조적 안전성을 확보할 수 있는 구조설계 능력이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 국내 주상복합 건물에 대한 현황과 주요 구조적, 기술적 특성을 살펴보고 향후의 나아갈 점에 대해서 제시하고자 한다.

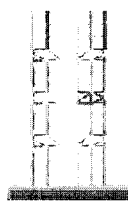
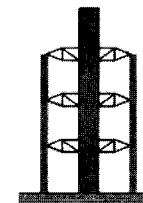

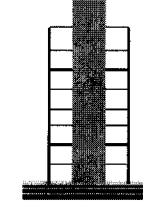

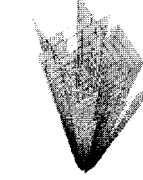
2. 국내 고층 주상복합 건물의 구조 특성

고층 구조물은 일반적인 건물과는 달리 수직방향의 중력하중 뿐만 아니라 바람이나 지진과 같은 수평방향으로의 하중에 대해서도 안전성을 확보하여야 한다. 구조물이 높아질수록, 상부층으로부터 전달되어 내려온 수직방향 하중에 의해 하부층에서의 부재치수가 증가하여 건물의 중량이 증가하게 되므로 수직하중에 대한 안전성 검토가 반드시 필요하다. 반면, 하부에 비해 상

표 1. 국내 주요 고층 주상복합 건물

건물명	소재지	시공사	설 계		층수/높이(m)
			계 획	구 조	
갤러리아 펠리스	서울시 송파구 잠실동 40번지	한화건설, 삼성물산	희림	CS구조	46 / 150
리첸시아	서울시 영등포구 61호	금호건설	MYA Group	창민우 구조	40 / 156
목동 웨르빌	서울 양천구 신정동 85번지 일대	삼성중공업	에이그룹	센구조	39 / 134
보라매 웨르빌	서울 동작구 신대방동 395-66		건원건축	센구조	49 / 175
미젤란 웨르빌	경기 성남시 분당구 정자동 180번지	현대건설	에이그룹	건양	38 / 126
슈퍼빌	서울 서초구 서초동 1446-11외 3필지		건원건축	단구조	46 / 161
아크로리버	서울시 광진구 구의동 589-10	대림산업	가우건축	센구조	37 / 123
아크로비스타	서울시 서초구 서초동		건원건축	CS구조	37 / 120
하이퍼리온	서울 양천구 목동 916 (오목교역)	현대건설	예건축	OveArup, 동양구조	69 / 256
I-Space	경기도 성남시 분당구 정자동	현대산업개발	해안건축	CS구조	34 / 157
Park View	경기도 성남시 분당구 정자동	SK건설, 포스코개발	명인, 건원, 아노마 건축	CS구조	35 / 113
타워펠리스 I	서울시 강남구 도곡동	삼성건설	삼우설계	삼우설계	59 / 234
타워펠리스 II				3D 구조	69 / 261
타워펠리스 III				SOM, 동양구조	69 / 261
트리폴리스	경기도 성남시 분당구 금곡동 210	코오롱건설	한울국제건축, AJLA	신화 Eng.	37 / 127
트럼프 월드 I	서울시 영등포구 여의도동 55-1	대우건설	해안건축	창민우 구조	41 / 133
트럼프 월드 II	서울시 영등포구 여의도동 48			CS 구조	36 / 127
트럼프 월드 III	서울시 용산구 한강로 3가 65-230			창민우 구조	32 / 100

표 2. 국내 고층 주상복합 건물의 구조 시스템

시스템	시스템 개념	적용 건물	시스템	시스템 개념	적용 건물
코어 + 아웃리거 + 벨트 트러스		트럼프월드 I, 트럼프월드 II, 갤러리아 펠리스, 리첸시아, I-Space, 타워펠리스 III, 목동 하이퍼리온,	코어 + 아웃리거 + 전단벽		파크뷰, 오벨리스크
코어 + 벨트트러스		슈퍼빌	코어 + 모멘트 프레임 (이중 골조 시스템)		트럼프월드 III
RC 코어		아크로비스타	전단벽		아크로리버

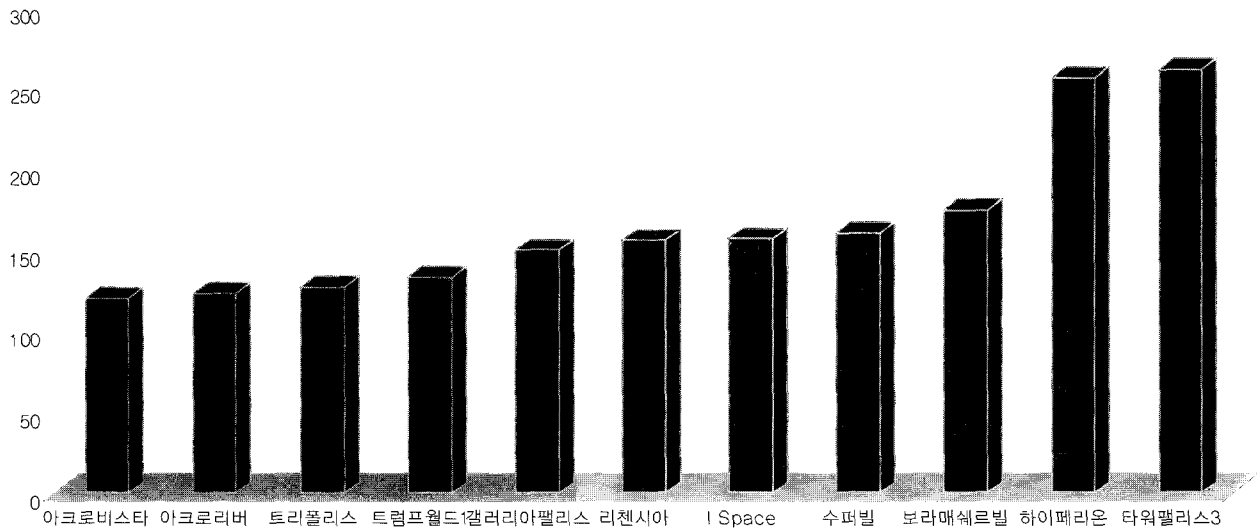


그림 1. 국내 주요 주상복합 건물의 높이

대적으로 강성이 줄어든 상부는 높이에 따라 크게 증가한 횡력에 대한 저항성이 떨어지므로 이에 대한 보강이 필수적이다.

따라서, 고층 주상복합 건물의 경우에는 수직 하중 뿐만 아니라 바람이나 지진과 같은 수평 외력에 대한 구조적 안전성의 확보를 위해서 거주성에 매우 효과적인 벽식 구조 형식을 채택하기가 곤란하다. 또한, 상층부로 갈수록 실의 용도가 거주용으로 주로 활용되고 있으므로 구조적 안전성뿐만 아니라 거주자의 사용성도 고려할 필요가 있다.

그러므로, 고층 주상복합 건물의 구조설계에는 일반적인 고층 오피스 건축물 공사에 필요한 특화 기술이 집적되어 있을 뿐만 아니라, 주거성과 사용성, 또는 편리성까지 고려하여야 하는 특징이 있다.

2.1 사용 구조 시스템의 종류 및 특성

현재 국내에서 건설되었거나 건설 중인 주요 고층 주상복합 건물과 이들이 채택하고 있는 전체적인 구조 시스템을 그림1 및 표 2에 나타내었다.

본 연구를 통해 조사된 국내 고층 주상복합 건물에 사용된 구조시스템은 크게 여섯 가지 정도로 구분할 수 있었다.

(1) 코어 + 아웃리거 + 벨트트러스 시스템

이 시스템은 평면 계획이 용이하고, 외부 골조의 기둥과 보를 핀접합으로 설계할 수 있다. 따라서 코어부분의 모멘트를 줄일 수 있으며 횡변위 제어나 기둥축소량 제어가 용이한 장점이 있다. 반면, 아웃리거가 설치된 층에서의 공간 사용에 제약이 많고 층고가 증가하는 단점이 있다. 그리고, 수직하중에 대해 코어부분에서 부담하는 부분이 증가하게 되므로 단면 크기가 증가하게

된다.

(2) 코어 + 아웃리거 + 외부 전단벽 시스템

첫 번째 시스템에서의 벨트트러스 대신 전단벽을 설치한 경우로, 평면 효율성이 증가하며, 전단벽의 설치로 인해 횡변위 제어가 매우 용이하다. 반면, 첫 번째의 경우와 마찬가지로 아웃리거 설치 층에서의 층고가 증가하는 단점이 있다.

(3) 코어 + 벨트 트러스 시스템

외부 벨트 트러스에 의해 코어부분의 응력 부담이 다소 감소하나 평면 공간 활용의 효율성이 다소 떨어진다.

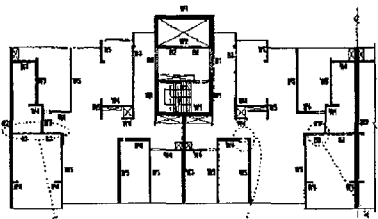

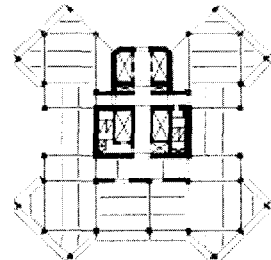
(4) 코어 + 모멘트 프레임 시스템

이중 골조 시스템이라고도 하며 순수 철근콘크리트 구조물로 건설이 가능하며 비교적 시공이 용이하다. 하층부에서는 전단벽 구조가 상부구조에서는 모멘트 골조가 횡변위에 저항하므로 구조적 효율성이 높다. 그러나, 고층이 될수록 구조체의 중량이 증가하며, 하부층에서 수직부재의 단면이 크게 증대되므로 평면 공간 활용의 경직성이 발생할 우려가 크다고 여겨진다.

(5) 철근콘크리트 코어 시스템

철근콘크리트 코어만으로 구조물을 지지하는 시스템이다. 시공이 용이하고 외부 골조의 기둥과 보를 핀접합으로 설계가 가능하다. 건물이 높아질수록 횡변위 억제를 위해 단면을 증대시켜야 하므로 효율성이 떨어진다.

표 3. 평면형태에 따른 구분

구분	판상형	코어 + 외부기둥형	코어 + 내부기둥 + 외부기둥형
평면 개념도			
적용 건물	아크로리버, Park view 등	트럼프월드 1~Ⅲ, 타워팰리스 Ⅲ, 갤러리아 팰리스, 리첸시아, 슈퍼빌, I-Space, 등	하이페리온, 아크로비스타 등

(6) 순수 전단벽 시스템

시공이 용이하며, 공사기간이 짧은 장점이 있다. 그러나, 평면의 가변성이 없으며, 건물이 높아질수록 횡력제어를 위해 단면을 증가시켜야 하므로 전체 공사비가 증가하게 된다. 또한, 지진등과 같은 횡하중이 건물에 작용할 경우 취성파괴의 가능성이 존재하기 때문에, 이를 위한 철근 배근에도 유의하여야 한다.

이상에서 본 바와 같이, 대다수의 건물이 횡변위 저항 시스템으로 건물 중심부에서의 철근콘크리트 코어 벽체와 외부로 연결되는 아웃리저 시스템을 채택하였다. 일부 건물에서는 안정성을 더욱 증대시키기 위하여 추가적으로 전단벽이나 벨트트러스가 설계에 반영되어 있기도 하였다. 순수 전단벽식 주상복합 건물에서는 일반적인 아파트 건물에서와 마찬가지로 횡력이 작용하는 각 방향에 대해서 철근콘크리트 벽체가 저항하도록 되어 있었다.

2.2 평면형태

국내 주상복합 건물의 주요 평면 형태를 표 3에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 판상형, 코어+외부기둥, 그리고 코어+내부기둥+외부기둥의 3종류로 구분할 수 있었다.

판상형 평면을 가진 건물로는 아크로리버와 파크뷰가 있으며, 일반 아파트와 유사한 벽식구조의 형식을 나타내는 특징이 있다.

트럼프월드 시리즈와 갤러리아 팰리스, 리첸시아, 슈퍼빌, I-Space, 타워팰리스 Ⅲ, 트리폴리스, 목동쉐르빌과 같은 국내의 고층 주상복합 건물은 중심부에 코어벽체를 설치하고 외부를 따라서 기둥을 배치하였다. 풍하중이나 지진하중과 같은 수평하중에 대해서는 각 하중 방향과 나란한 내부 코어 벽체가 주로 저항하고 수직하중에 대해서는 내부 코어 벽체 및 외부 기둥이 지지하는 시스템이다.

하이페리온과 아크로비스타와 같은 경우는 내부 코어 벽체와 외부기둥 사이에 추가로 내부 기둥을 설치하여 수직하중을 분담해 함으로써 더욱 안전성을 높인 것으로 여겨진다.

2.3 사용재료 및 요소기술

거의 모든 건물에서, 기둥이나 코어와 같은 핵심 구조 부재에 대해서는 400 내지 500kg/cm² 정도의 고강도 콘크리트를 사용하고 있었으며, 보나 슬래브와 같은 일반 구조 부재에는 240~270kg/cm² 정도의 보통강도 콘크리트를 사용하였다. 아웃리저 등과 같이 특수한 부재에 대해서는 최고 800kg/cm²의 고강도 콘크리트를 사용하기도 하였다. SD500과 같은 고장력 철근을 사용하여 시공성과 경제성 뿐만 아니라 공기단축의 효과까지 도모한 경우도 있었다.

충고절감을 위해서 많은 건물이 와이드 보를 채택하였으며, 철골 합성보의 경우에도 철골 웹에 유공을 설치하여 설비공간으로 활용하고 있었다. 기초는 수화열 해석과 검토를 수반한 매트기초가 주를 이루었다.

이 외에도 고층 건물의 영구적 수직변형을 사전에 보정하기 위한 기둥축소량 보정 기술, 철근 프리페브화 또는 철근 가스압접기술, 바닥진동성능 평가 등과 같은 요소기술이 사용되기도 하였다.

3. 구조 계획

3.1 구조설계 기준

고층 구조물의 설계시에는 자중이나 적재하중과 같은 중력하중 이외에도 바람과 지진과 같은 수평하중에 대한 안전성에 대해서도 충분한 검토가 이루어져야 한다. 특히, 지진하중이나 풍하중과 같은 횡력의 경우, 건물이 높아질수록 구조물 자체의 안전성에 미치는 영향이 비례하여 증가하게 되며, 뿐만 아니라 거주자의 사용 편의성을 위한 사용성 기준을 충족하여야 할 필요성이 있다.

풍하중에 대한 구조적 안전성 검토는 일반적으로 대한건축학

회가 제안한 건축물 하중 기준 및 해설(2000)⁴⁾을 따르고 있었다. 이 경우, 건물 위치에 따른 노풍도, 기본 풍속, 중요도 계수, 지붕면 평균 높이, 가스트 영향계수 등에 대한 이해가 필요하다. 이 외에도, 일본의 건축물 하중 지침 및 해설⁵⁾이나 미국의 UBC⁶⁾ 혹은 IBC 20007)의 규준을 따르고 있었다.

지진하중에 대한 구조안전성 검토에 대해서도 풍하중에서와 마찬가지로 대부분의 구조물이 건축학회의 건축물 하중 기준 및 해설을 따른 것으로 조사되었다. 지진하중에 대한 해석방법은 등가정적해석방법과 응답스펙트럼해석의 두가지 방법이 존재한다. 각 방법에 의한 거동해석 결과가 상이할 경우에는 각 해석방법에 의한 밀면전단력을 구한 후 이를 비교하여 각 결과의 차이를 보정할 수 있도록 보정계수를 산정하여 적용하고 있었다.

풍하중에 대한 고층건물의 횡변위 제한은 대개 건물높이의 1/400~1/600을 기준으로 설계가 이루어지고 있었으며, 지진하중에 대한 층간변위는 층고의 최대 1.5% 정도까지 허용하고 있었다.

사용성 평가를 위한 바닥진동에 대한 검토는 주로 AISC Steel Design8)에서 제시된 기준을 주로 따랐으며, 이 경우 주로 가속도비를 이용하여 건물 용도에 따른 제한치 내에 속하는지의 여부를 검토하게 된다.

3.2 구조재료 특성

(1) 콘크리트

건물 기초부 또는 저층부에서 400kg/cm² 또는 그 이상의 압축강도를 가진 콘크리트가 사용되었으며 아웃리거와 같은 일부 특수한 부재에 대해서는 최고 800kg/cm² 정도의 고강도 콘크리트가 사용되기도 하였다. 그러나 중층부 이상의 부위에서는 400kg/cm² 이하의 강도로 사용하는 경우가 대부분이었다. 철근콘크리트조로 시공된 주요 해외 고층 건물에서 사용된 구조부재의 콘크리트의 강도가 대부분 600kg/cm² 이상임에 비해서는 아직 콘크리트의 고강도화가 외국과 비교하여 그다지 높지 않음을 알 수 있었다. 구조계획상 최하부층 기둥 한번의 치수가 2m 정도이므로 부재 자체의 안정성을 위해서는 철골을 사용하거나 또는 강도 500kg/cm² 이상인 콘크리트를 사용하는 것이 바람직하므로 고강도콘크리트의 사용이 점차 증가할 것으로 기대된다. 현재, 국내의 주상복합 건물 뿐만 아니라 국내 건설사에 의해 완공된 해외 고층 건물 사례에 대한 조사결과로는, 압축강도 500kg/cm² 정도는 큰 어려움 없이 사용할 수 있을 것으로 여겨진다.

유동성을 강화한 고유동성 콘크리트(flow 40cm 이상)는 수직 부재와 수평부재 접합부에서 철근 배근이 조밀한 경우에 매우 유리하다. 따라서 철근콘크리트조의 고층건물에는 그 사용성이 증

가할 것이라 예상할 수 있으며, 조사한 바로는 트럼프월드 시리즈에 이미 사용되었거나 사용 계획이 있음을 확인할 수 있었다.

조사 대상 건물은 대부분 기초 부분에서 두께 2m 내외의 매트콘크리트를 타설하였다. 이와 같이, 두께가 있는 콘크리트 구체 내에서는 수화작용시 발생하는 열에 의해 균열이 발생할 확률이 크다. 따라서 수화열 방지를 위해 파이프 쿨링과 같은 여러 수화열 억제 방법들이 사용되고 있었으며, 트럼프월드에서와 같이 고유동 콘크리트에 대한 수화열 대책도 실시되었다. 현재의 국내 기술로는 두께 2 m 정도의 매트에 대해서는 큰 어려움 없이 시공이 되고 있음을 확인할 수 있었다.

(2) 철골

철골재료는 SS400, SM490 등 중저층 건물에 일반적으로 사용되고 있는 H형강이 주로 사용되고 있으며 부분적으로 가공열처리강이 사용되고 있었다.

현재로는 50층 이상의 건물에는 철골-철근콘크리트조가 주로 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 각형관강이나 CFT(Concrete Filled Tube) 등과 같이 고층건물에 유용하다고 알려져 있는 부재들은 경제성이나 시공성, 사회적 인식 부족과 더불어, 거주자의 사용성을 고려하여 주상복합 건물의 주재료가 철골조에서 점차 철근콘크리트조로 변하는 추세에 의해 거의 사용되고 있지 못하고 있다.

(3) 철근

철근 가공을 공장에서 하고 있지만 전면적인 프리패브화는 아직 진행되고 있지 못한 실정이다. 수직 부재에 대한 철근의 프리패브는 부분적으로 적용되고 있으며 향후 적용이 활발히 진행될 수 있으나 수평부재의 프리패브는 여전히 시공상의 어려움이 많은 것으로 여겨진다.

일부 건물에 저층부 기둥 및 매트기초에 흔히 사용하는 SD400 D32대신 고강도인 SD500의 D29, D32 철근의 사용이 계획되어 있었다. 철근콘크리트 기둥에 대한 선호도가 높아지면서 저층부에서의 철근량을 줄이고 기둥철근 접합량을 감소시켜 원가절감과 시공성향상을 기대할 수 있는 것으로 파악되었으며 차후에도 사용이 증가할 것으로 예상할 수 있다.

철근 겹침이음이 곤란한 부위에 기계적 이음장치인 커플러를 사용하여 철근을 연결하였으며, 철근량의 증대 등에 따라 부재 단면 내에서의 공간이 부족할 경우에는 가스압접이 사용되기도 하였다. 가스압접에는 자동 및 수동 압접의 2가지 방법이 있으나, 작업시 불량률의 감소, 철근 프리패브 공법보다 우수한 것으로 판단되는 시공성 및 경제성의 조건 등과 같은 요인에 따라 비교적 고가임에도 불구하고 자동 압접 공법을 주로 사용한다.

또한, 대구경의 기둥철근은 겹침이음이 불가능하므로 가스압 접이나 커플러 이음 등의 공법이 사용되고 있었으며, 기초콘크리트의 분리타설을 위해 리브라쓰(Rib lath) 등을 사용한 경우도 있었다. 그러나 각 철근 접합방법에 대한 시각은 시공환경이나 시공자들의 입장에 따라 상이한 것으로 나타났다.

3.3 구조시스템 계획

(1) 수평저항시스템

다수의 건물에서 RC 코어 벽체와 함께 기계층에 아웃리저를 설치하였다. 이러한 시스템은 앞서 언급한 바와 같이 주로 RC 코어 벽체가 횡하중을 부담하기 때문에 외국의 사례에 비하여 비교적 구조물량이 많은 편이며, 아웃리저 층에서의 층고가 비교적 높아지게 된다. 반면, 평면의 효율성이 높아지고 횡변위의 제어가 비교적 용이한 장점이 있으며, 이와 같은 시스템에 외벽 및 벨트형태의 벽체(Belt wall)가 추가로 사용되어 구조적 안전성을 증가시킨 경우도 있다.

이 밖에도, 여러 개의 고층 건물의 하부층을 포디움으로 연결하여 각 타워를 연결하는 링크역할을 하게 함으로써 횡변위를 제어하는 경우도 있었다.

(2) 수직저항시스템

대부분의 수상복합 건물에 내부 코어가 존재하나 횡력에 저항하기 위한 시스템이므로 수직력에 대해서는 슬래브, 보, 기둥, 벽체와 같은 일반적인 구조부재가 주로 부담하게 된다.

각 부재에 사용된 구조재료는 거주성을 중시하는 최근의 경향에 따라 철근콘크리트조가 주를 이루었으며, 기둥이나 보에서 철골-철근콘크리트조가 채택된 경우도 있었으며, 데크를 이용한 슬래브가 있기도 하였다. 반면, 구조용 벽체는 모두 철근콘크리트조로 이루어졌다.

접합부 조건을 살펴보면, 철근콘크리트조의 건물에서는 주로

강접합으로 연결되었고 철골조에서는 코어와 외부기둥의 연결에는 핀접합, 외부기둥들 간의 연결에는 강접합을 주로 사용하고 있다. 특징적인 것은 철근콘크리트조에서의 강접합은 수직력에는 저항하지만 수평력에 대해서는 크게 고려되고 있지 않는다는 것이다.

부재의 크기는 최하층일 경우, 코어 벽체의 두께가 50~100cm 정도인 것으로 조사되었으며 기둥의 면적은 대개 1~2㎡ 정도이다. 사용된 콘크리트의 강도는 400~500kg/cm² 이다. 또한, 거의 모든 건물에서 층수별로 몇 개의 구역으로 구분한 후, 부재의 치수와 사용된 콘크리트의 강도를 변경하여 시공하고 있었다.

3.4 부재 계획

(1) 기둥

강도 450kg/cm² 내외의 직사각형 철근콘크리트 기둥 또는 정방형의 SRC 기둥이 주로 사용되었다. 철근콘크리트조일 경우, 장변 대 단변의 길이의 비가 2:1에 가깝도록 설계하는 경우가 늘어나고 있는 추세이며, 건조수축 및 크리프와 같은 콘크리트의 재료적 특성에 의한 장기변형을 사전예측하고 시공중 보정하여 건물을 초기 설계위치에 시공되게 하거나, 부등축소에 따른 보강방안 마련을 위해 기둥축소량 해석을 수행하는 경우가 많았다. 또한, 철근콘크리트조일 경우 층수에 따른 콘크리트 강도의 변화를 준 경우가 없는 반면, 철골-철근콘크리트조일 경우에는 높이에 따른 강도 및 평면 치수의 변화가 두드러진다.

이 외에도, 기둥의 치수를 고정화하는 대신 사용 콘크리트의 강도를 변화시켜, 각 유닛의 평면이 층수에 관계없이 동일하게 유지하고 시공의 편리성을 도모하는 경우도 있다.

(2) 보 및 슬래브종류

슬래브는 상부의 하중을 지지할 뿐만 아니라, 상하층 사이의

표 4. 바닥 슬래브 시스템

종 류	특 성	단 면
RC beam	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래브 두께 h = 200~220 mm • 보폭 B = 350~400 mm • 슬래브 및 보는 시스템 거푸집을 사용하여 현장타설 • 보축 D = 350~400 mm • 6m 내외의 스패んに 사용됨 	
RC wide beam	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래브 두께 h = 200 mm • 보폭 B = 1,500~2,200 mm • 9m 내외의 비교적 장스패んに 사용됨 • 슬래브 및 보는 시스템 거푸집을 사용하여 현장타설 • 보축 D = 350~420 mm • 층고 절감을 위하여 철근콘크리트 와이드보를 채택함 	
Steel composite beam	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래브 두께 h = 135~150 mm • 보폭 B = 400~420 mm • 9m 이상의 장스패んに 가능하게 하기 위하여 철골합성보를 채택 • 슬래브는 수퍼덱크, 하이덱크, 페로덱크 등을 사용 • 보축 D = 535~570 mm 	

어느 정도 이상의 방음성능 및 방화성능을 갖추어야 하므로, 연결되는 부재와의 접합성 또는 기밀성이 요구된다. 그리고, 제한된 공간 내에서 최대의 임대수익을 창출하기 위해서는 층고의 절감이 필수적이다. 조사된 건물 중에서는 이를 위하여 철근콘크리트 와이드 보를 다수 채택하고 있다. 그러나 이 경우, 코어와의 접합 배근에 필요한 배근간격 확보가 어렵기 때문에 이에 대한 보완책을 마련하는 것이 필요하다. 반면, 층별 기준공기를 단축시키기 위한 노력에 따라 데크의 사용과 같은 건식공법이 사용되기도 하였다.

철골조 또는 철골 합성보의 경우에도 철골 웹에 유공을 설치하여 이를 설비공간으로 사용하고 있기도 하였다. 이 경우, 설비장치 시공으로 인하여 내화피복 부분에서 손상이 발생할 우려가 있다. 월드트레이드센터의 붕괴의 주요 원인이 슬래브 연쇄적 탈락에 의한 기동좌굴 파괴로 추정되며 특히 고층건물에서의 내화에 대한 관심이 증가하고 있으므로 내화성능을 확보하여 거주자의 최소한의 안전을 확보할 수 있는 방안이 우선적으로 고려되어야 한다. 철골조 또는 건식공법을 사용하는 시스템의 경우 내화피복 품질에 대한 각별한 주의가 요구된다.

보의 두께는 철근콘크리트조에서 350mm, 철골조에서 600mm 까지 사용되고 있다. 보층은 9m 스패일 경우, 350~400mm 정도이다.

국내의 경우 발주자 및 시공자의 플랫폼슬래브 형태의 슬래브 시스템이 거의 사용되지 않고 있다.

4. 시공시 소요 기술

4.1 거푸집

코어 부분을 선시공하는 방법에 있어 거푸집은 일반적으로 슬라이딩 공법과 ACS 공법(Automatic Climbing System)을 사용하였다. 슬라이딩 공법은 벽체를 연속적으로 타설해야 하므로 야간의 인원 및 자재수급에 문제가 있고, 후속의 골조공사와의 공기조절이 불가능한 점등의 문제점으로 인해 현재는 이러한 단점을 극복할 수 있는 ACS 공법이 주류를 이루고 있다. 조사대상 건물 중에서 코어+골조 형식에서는 대부분 ACS 공법을 사용하고 있으며, 벽식구조의 경우에는 알루미늄 폼과 갱폼과 같은 시스템 거푸집을 주로 사용하고 있었다.

기둥에는 시스템거푸집, 일반거푸집, 알루미늄폼 및 갱폼 등의 다양한 종류의 거푸집이 사용되고 있으며, 이는 현장여건에 따라 적절히 선택적으로 사용하며 뚜렷한 경향이 있는 것은 아닌 것으로 여겨진다.

바닥거푸집의 경우, 철골조 건물에서는 데크플레이트 또는 슈퍼텍 등을 주로 채용하고 있다. 무지보공 공법이 가능한 하이텍,

슈퍼텍 등을 많이 사용하고 있으며, 특히 슈퍼텍의 경우는 내화피복이 불필요하므로 많이 사용되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 슈퍼텍을 무지보공으로 시공한 경우 상당한 처짐이 발생하며, 스패이 클 경우 동바리 시공여부에 대한 검토가 필요하다.

철근콘크리트조 건물의 바닥에는 페리폼, 알루미늄폼, 테이블폼 등의 대형거푸집을 제작하여 사용하여 고층화에 따른 거푸집의 반복사용에 의한 장점을 살리고 공기단축을 도모하고 있었다.

4.2 코어 선시공

코어 선시공 방법은, 코어시공과 골조시공을 분리하여 코어부를 먼저 시공하고 골조공사는 이를 따라가는 형식을 취함으로써 각 부위가 서로 간섭되지 않고 동일 반복작업을 계속함으로써 공기단축을 도모한다. 코어 벽체에 ACS를 도입하여 동일하고 연속적인 작업을 반복함으로써 공기단축과 간편한 현장관리를 도모하므로 고층일수록 그 효과가 큰 것으로 조사되었다. 본 조사대상 건물들에서는 코어선행과 코어-골조 동시시공의 경우가 비슷한 비율로 채용되었다.

5. 기초

각 현장의 상황에 맞추어 각종 슬러리월, 소일네일링, 어쓰앵커, 톱다운 공법, SPS 공법 등과 같은 공기를 단축할 수 있는 공법들이 적용되고 있다.

균질한 지반 내력을 얻기 위해서는 매트 기초가 매우 적절하기 때문에 조사 대상 건물 대부분이 매트 기초를 사용하고 있었으며, 일부 지내력이 부족한 부분에 대해서만 부분적으로 파일 보강을 실시하기도 하였다.

매트의 두께는 대략 2.2~2.5m 정도로 건물의 높이나 바닥면적에 따른 변화는 그다지 크지 않은 편이다. 사용 콘크리트의 강도 또한 300~400kg/cm² 정도였으며, 하부 지반의 지내력(20~200t/m²)과의 상관관계는 거의 없는 것으로 조사되었다. 매트 기초 타설 시에는 콘크리트의 경화 중에 시멘트의 수화열에 의한 온도균열이나 부재 표면과 내부의 온도차에 의한 콜드조인트가 발생하기 쉽다. 따라서 수화열에 의한 손상을 방지하기 위해서 수화열해석에 의한 관리에서부터 파이프 쿨링, 매트 보양, 저발열 콘크리트 등의 다양한 기술이 채용되고 있다.

부지가 협소한 도심지의 경우에는 슬러리월 또는 슬러리월과 톱다운공법이 병행되고 있었으며, 부지의 여유가 있는 곳은 어쓰앵커 또는 소일네일링이 많이 사용된다. 소일네일링 공법은 지하가 깊지 않고 부지에 여유가 있을 경우에 많이 사용되고 있으며, 어쓰앵커는 민원 등의 문제로 제거식 앵커를 사용하는 경

우가 증가하고 있는 것으로 조사되었다. 그리고, 소일네일링과 어쓰앵커를 동시에 사용할 경우, 사면구배의 조절이 용이할 뿐만 아니라, 파일, 띠장, 버팀 등과 같은 가시설 비용이 생략되어 공정을 단순화하고 안전성도 개선하는 효과가 있는 것으로 여겨진다.

6. 맺음말

본고에서는 현재 국내에서 건설되었거나 건설 중인 고층 주상복합 건물에 대해서 구조적인 특성을 중심으로 살펴보았다. 본문에서 언급한 주요 구조적 특성 또는 설계 기술은 대개 이전부터 관습적으로 내려오던 구조설계 관행을 탈피하여 최신의 구조 기술을 최대한 활용하려는 노력이 접목된 것으로 보인다.

구조적 안전성을 증진시키기 위해서 고층 주상복합에 사용된 주요 구조기술에 대해서 요약하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

- 1) 수평하중에 대한 효과적이며 경제적인 안전성 확보를 위한 시스템이 필수적이다. 조사결과, 아웃리거와 벨트트러스를 동시에 사용한 복합 시스템이 주로 사용되었다.
- 2) 층별 구획 및 부담 하중의 크기에 따른 사용 구조재료의 복합화 및 세분화가 이루어지고 있다.
- 3) 지하부 또는 저층부에서는 재료의 고강도화가 두드러졌다. 이 외에도 주상복합 건물 건설 및 이용과 관련된 경제성을 고려할 경우, 다음과 같은 건축적, 시공적 요구사항을 들 수 있다.
- 4) 공기의 단축을 위해서 코어 선시공 혹은 ACS공법이 주로 적용되었다.
- 5) 건물의 효율적인 사용을 위해서는 층고 절감을 위한 노력이 필수적이며 이를 위해서 wide beam이나 합성보 등이 이용되었다.

일반적으로 초고층 건물은 위치한 도시 또는 나라의 경제력, 기술력을 상징하는 랜드마크 기능을 해왔다. 또한, 서두에서 언급한 바와 같이 일반인들의 욕구를 충족시킬 수 있는 고급의 초고층 주거 건물이 최근 들어 유행하고 있으며 향후의 전망 또한 밝다.

따라서, 본고에서 행해진 조사 연구가 고층 주상복합 건물뿐만 아니라 고층의 주거용 및 상업용 건물에 대해 가장 경제적이거나 효과적인 구조시스템을 선택하는 데에 활용될 수 있을 것으로 여겨진다. 또한, 지금까지 축적된 현장에서의 경험과 기술을 결합하여 보다 경제적이고 미래지향적인 구조시스템의 개발에도 나서야 할 것이다.

참고문헌

1. 김상모, 이창남, “철골조 아파트의 구조설계 현황 및 연구방향,” 한국강구조학회지, 제 11권 4호, 1999. 12. pp. 22 - 29
2. 고병민, “초고층 골조 시스템,” 건축, 대한건축학회, 2001. 10., pp. 39 - 42
3. 정하선, 김철환, “철골조 주상복합건물의 구조시스템,” 한국강구조학회지, 제 9권 1호, 1997. 3. pp. 4 - 13
4. 대한건축학회, 건축물 하중기준 및 해설, 2000
5. 건축물 하중 지침 및 동해설, 일본건축학회 (1993)
6. Uniform Building Code, Vol. 2 (1997)
7. International Building Code, International Code Council, 2000
8. Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building, AISC (1995).