

특 집

|| 철근 콘크리트 구조물의 우수성과 미래 ||

주거 복합 건물에서의 철근 콘크리트

- Reinforced Concrete in Residential Buildings -



서현주*

1. 서론

요즘 건축 업계를 그나마 유지시켜주는 것이 주상 복합 건물의 건설이 아닐까 싶다. IMF를 거치면서 다른 산업에서도 마찬가지로 건설 업계에서는 공사 수요가 현저히 줄어들어 오피스나 공장 건물들은 거의 신축 공사를 찾아보기 어렵고 그나마 아파트나 주거 복합 건물들에 의해 건축 업계가 유지되어오고 있다. 이 같은 상황에서 일감은 정해져 있고 살아남기 위한 몸부림으로 같은 업계에서 서로의 경쟁은 더욱 치열해질 수 밖에 없다. 어떻게 하면 같은 조건에서 경제적으로 좀 더 나은 품질을 제공하면서 수요자의 입맛에 맞도록 상품의 질을 향상하느냐에 초점이 맞추어지고 있다. 과거에는 예전에 해오던 습관대로 또는 관행대로 하더라도 수요보다 공급이 부족하다보니 빨리만 제공하면 좋아하는 경우이었으나 먹을거리는 작아지고 수요자의 입맛이 까다로워 지다보니 가장 기본적인 경제 원리에 의해 건축 업계도 살아남기 위해 노력하는 흔적들이 발전의 모습으로 조금씩 나타나고 있다. 어려운 환경에 처해지면서 우리 업계가 얻은 것이 아닌가 스스로 위로해 본다.

주상 복합 건물의 설계 및 시공에서도 요 몇 년 사이 많은 변화와 발전이 이루어졌다고 생각한다. 층 규모도 높아졌으며 건축 평면도 과거의 형태인 일자 배치와는 다른 다양한 공간 구성이

이루어지고 있다. 층 규모가 높아지면서 구조 시스템의 변화도 나타나고 있으며 구조를 구성하는 구조 재료의 선택도 신중하게 고려되고 있다. 또한 경제적이고 살기에 안락한 주거 건물이 될 수 있도록 프로젝트 초기 단계부터 세심한 검토를 하고 있으며 품질이 우수한 골조 공사가 되도록 사전에 문제가 될 수 있는 부분에 대하여 미리 기술 검토들이 이루어지고 있는 실정이다. 이렇게 변화되는 상황에서 또 하나 우리가 주목해야 할 사실은 저층 구조물에서나 사용되던 철근 콘크리트의 재료가 초고층 주거 복합 건물을 통하여 요즘 각광을 받고 있다는 것이다. 주거 복합 건물 구조에서 가장 핵심이 되고 있는 경제성과 거주 쾌적성에 있어 철근 콘크리트라는 재료가 큰 몫을 하고 있다는 것이다. 본 내용에서는 요즘 활성화되고 있는 주거 복합 건물의 동향에 대하여 알아보고 구조 재료로서 철근 콘크리트가 주거 복합 건물에서 가지는 위상에 대하여 기술하고자 한다.

2. 주거 복합 건물의 설계 동향

2.1 건축 평면의 구성

우리나라의 공동 주택 건물은 1950-60년에 보강 콘크리트 블록조로 건설된 몇몇 소규모 아파트를 시작으로 1970년대 초반에 들어오면서 5층에서 10층 내외 규모의 대단위 철근 콘크리트 아파트가 들어서기 시작하였다. 이때의 구조 시스템은 주로 기둥-보 식의 라멘조이었다. 1970년대 후반부터 1980년대에 접어들

* 정회원, (주)창민우구조건설컨설팅 소장

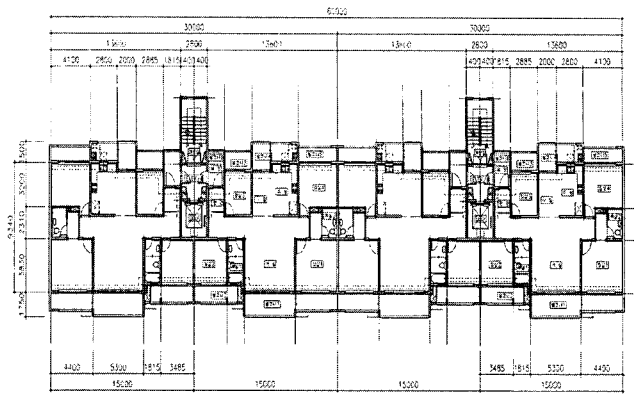
어 아파트 주거가 보편화되면서 15층 규모의 벽식 아파트가 거의 동일한 평면으로 남향을 선호하는 일자형 배치를 가지며 획일적으로 자리잡기 시작하였다. 이러한 형상은 20년이 지난 오늘날까지도 거의 변화 없이 많은 부분이 그대로 유지되어 오고 있다. 거주자의 입장에서 보면 일자형 남향 배치가 가장 쾌적한 주거 환경이 되겠으나 단지 계획에서 보면 천편 일률적인 Block Plan으로 거주자 이외의 사람들에게는 아름답지 못한 경관이 되므로 Block Plan의 변화가 요구되고 있다. 다행히 근래에는 일자형 배치를 지양하는 움직임이 보이고 있어 좀 더 나은 도시 경관이 고려되고 있다. 1990년대에 들어 오면서는 벽식으로 내려오던 아파트의 상부 벽식들이 일부 기둥으로 바뀌어 저층부에서 상업 용도 시설이 들어서게 되었으며 건물명도 주상 복합 건물이라는 용어가 사용되기 시작하였다. 건물 규모는 대략 15층에서 20층 내외이며 일자형 아파트 형태인 벽식 구조가 저층부에서 골조 구조로 전이되는 형태이었다. 1990년대 후반으로 접어들면서는 아파트의 고급화와 건축적인 외관 지향에 힘입어 일자형 벽식 아파트가 아닌 40~60층 내외 규모의 골조형 초고층 아파트가 생겨나기 시작하였으며 저층부에는 주민들 생활에 필요한 여러 가지 복합시설이 들어가도록 설계되면서 초고층 주거 복합 건물이라 불리게 되었다.

주거 복합 건물을 구성하는 건축 평면을 보면 상부층에는 아파트 형태와 유사한 공동 주택이 들어가고 저층부에는 주민 생활에 필요한 상가 및 운동 시설, 주민 편의 시설이 들어가며 지하층에는 주차장이 있는 것이 대부분의 평면 구성들이다. 현재 완공되었거나 시공중인, 혹은 설계중인 주거 복합 건물들의 대부분은 층 규모가 40층~60층 내외로 층 규모가 상당히 높아지고 있으며 건축 평면 형태는 아파트나 주상 복합 건물의 일자형 평면에서 탈피하여 가운데 코어가 있고 그 주변으로 4세대씩 공동 주택이 형성되어 있는 타워형으로 변하게 되었다. 주거 복합 건물의 특성은 오피스와는 달리 각 세대별 분양이 건축주의 최대 관심사이므로 세대별 단위세대평면의 설계가 가장 중요한 설계요소가 된다. 그러므로 코어를 중심으로 단위 세대 평면의 조합으로 이루어지게 되며 기준층의 건축 평면은 기둥의 주열이 일정한 정형의 형태로 구성되기는 대부분 어려운 상황이다.

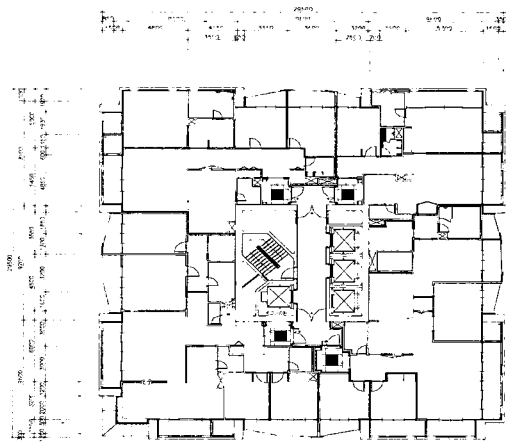
요즈음 국내에서 진행중인 주거 복합 건물들과 과거의 일자형 아파트 및 주상 복합 건물의 몇몇 사례를 보면 <그림 1>과 같다.

2.2 구조 형식

층 규모가 높아지면서 경제적인 일자형 벽식 아파트의 형태로는 풍하중이나 지진 하중과 같은 수평 하중을 효과적으로 저항할 수 없게 되었으며 코어를 중심으로 타워형 골조 형식으로 변화하기 시작하였다. 실제로 국내에서 시행되었던 몇 개의 주거 복합 건물들을 직접 설계하고 검토해본 경험에 의하면 25층~30층까지는 층고를 2.6m~2.8m로 가장 최소화할 수 있기 때문에 상부



벽식 아파트 예



골조형 주거 복합 건물 예

그림 1. 일자형 벽식 아파트와 초고층 주거 복합 건물의 평면 예

아파트에서는 경제적인 일반 벽식 구조를 사용하고 전이층을 통해 하부 주민 시설의 보-기둥 형식의 모멘트 골조로 전이되는 구조형식을 선호하는 것으로 나타나고 있다.

30층~35층까지는(100m 내외 높이) 예전의 벽식 아파트 구조 형식을 크게 벗어나지 않으면서 벽체의 강도와 두께를 증대시켜 수직 하중과 수평 하중에 저항할 수 있으나 경제성이나 구조적 안정성에서 그 한계가 아닌가 싶다. 이러한 한계성을 벗어나고 좀더 효과적인 구조 시스템이 되도록 하기 위해 벽식 구조 시스템만으로 구조 형식이 이루어지기보다는 모멘트 골조와 함께 사용되기도 한다.

상부 아파트 구조 형식이 벽식 구조인 경우는 아파트의 벽체와 상가 및 주민 편의 시설의 저층부 기둥 주열이 대부분 맞지 않아 아파트가 시작되는 저층부의 상부바닥에서 전이층을 형성하게 된다. 상부로 25개층~30개층의 아파트를 지탱하는데는 주열의 Grid Line이 8.0m×8.0m 내외인 경우, 2.5~3.0m이상의 층을 가지는 Transfer Girder가 필요하므로 그 이상 층 규모에서는 너무나 육중한 전이층이 형성된다고 볼 수 있다. 이러한 전이층을 피하기 위하여 고층화가 되면서 골조형 주거 건물이 등장하기 시작하였다.

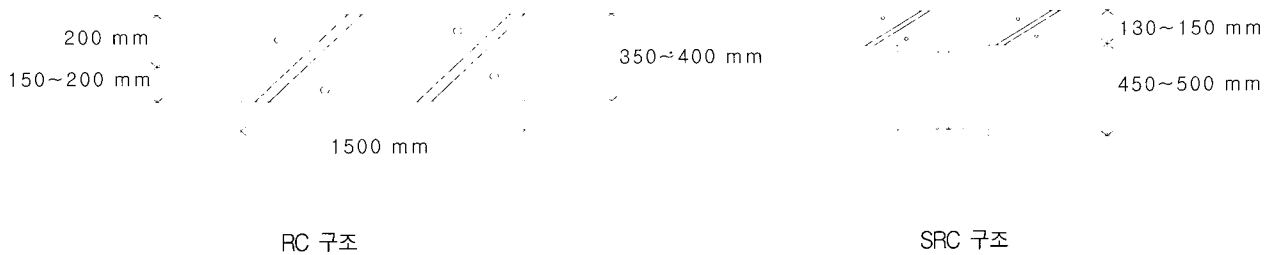


그림 2 초고층 주거 복합 건물에서 나타나는 RC 구조와 SRC 구조의 바닥판 단면

40층 규모 이상 건물에서는 코어 전단벽과 모멘트 골조 만으로 수평 하중에 저항하기는 어렵고 Outrigger Girder 나 Outrigger Wall이 추가되어지는 것을 알 수 있다. 이와 같이 주거 건물이 벽식 구조의 아파트에서 보-기둥 시스템의 골조 형식으로 변화되면서 구조 재료도 벽식의 RC 구조물에서 Steel조로 혹은 SRC 구조로, 또는 순수 RC 구조로 설계가 여러 가지 재료로 다변화되고 있다. 그러나 한가지 재미있는 일은 구조 재료가 다변화되어 골조의 재료가 Steel조가 되던, SRC 구조가 되던, 코어 벽체 만큼은 모두 RC 구조로 설계하며 시공된다는 것이다. 이와 같은 현상은 같은 코어 크기 내에서 Braced System보다 RC 전단벽 시스템이 강성도 크고 경제적이기 때문이라고 생각된다. 주거 복합 건물의 고층화는 내력 벽식 구조 시스템의 공동 주택 구조 형식을 많은 부분 변화하게 만드는 요인이 되었다. 국내에서 시도되었던 주거 복합 건물이나 주상 복합 건물의 구조 시스템 중에서 당사에서 수행한 주거 고층 건물 사례를 통하여 구조 형식을 살펴보면 <표 1> 같다.

2.3 건축주의 요구사항

주거 복합 건물의 건설을 시행함에 있어서 건축주의 가장 큰 요구 사항은 분양이 잘 되도록 하는 것이다. 우리가 쉽게 보는 주거 건물의 광고 선전 문구에서도 알 수 있듯이 지진이 와도 무너지지 않는 튼튼한 건물, 진동이나 소음이 없는 조용하고 쾌적

한 건물, 편리하면서도 멋진 공간 구성, 동일한 조건에서 분양가가 싼 경제적인 건물이 분양이 잘 되는 주거 건물일 것이다. 건축주들도 건축 평면이나 구조 형식에 대한 지식이 매우 높아져 건축 설계자나 구조 기술자들은 모두 이러한 요구 사항에 만족하도록 애를 쓰고 있다. 보이지 않는 골조 부분은 좀 더 싸고 안전하고 경제적으로, 보이는 부분은 좀 더 우아하고 멋있게, 건물 사용자들로부터는 거주가 쾌적하다는 소리를 들도록 설계에 임하게 된다. 이러한 건축주의 요구 사항이 설계 주요 현안으로 나타나고 안전성과 경제성, 사용성 검토로 이어지게 된다.

3. 주거 복합 건물의 설계 주요 현안

3.1 경제성

경제성 검토에서 가장 먼저 대두되는 것이 층고 문제이다. 일반적으로 주거 복합 건물에서 실의 제일 낮은 천정고는 2,350mm에서 2,450mm 내외로 정해져 있고 거꾸로 천장 내부 Space와 필요한 구조체 치수를 더하여 층고가 결정된다. 전기, 설비에서도 최소한의 공간으로 공조를 해결하고 구조 분야에서도 경제적이면서 구조적으로 안전한 구조체 치수를 최소로 하는 것이 전체 층 높이를 낮추는 효과가 되며 때에 따라서는 제한 높이까지 몇 개층 층수를 높혀 사업성을 좋게 하는 경우도 된다.

표 1. 본사에서 수행한 국내 주거 고층 건물 사례

건물명	규모(층)	건물높이(m)	층고(m)	구조 형식	기초 형식	공사 단계
보라매 환타지아타워	지상 42 지하 8	139.2	3.0	SRC 모멘트 프레임+콘크리트 전단벽	독립 기초	1998 완공
현대파크빌	지상 36 지하 7	128.8	3.15	SRC 모멘트 프레임+콘크리트 전단벽	RCD 파일	2000 완공
트럼프월드(Ⅰ)	지상 41 지하 5	133.0	3.0	RC CORE WALL+OUTRIGGER Gider & Wall+RC WIDE BEAM 골조	온통 기초	공사중
분당로얄펠리스(Ⅰ)	지상 33 지하 3	100.0	2.9	벽식 구조+외부 테두리보+하부 전이층 구조	온통 기초	공사중
금호리첸시아	지상 40 지하 5	144.0	3.2	RC CORE WALL+OUTRIGGER Gider & Wall RC WIDE BEAM+SRC 기둥	온통 기초	공사중
상봉동 주상 복합	지상 25 지하 3	73.2	2.75	벽식 구조+전이층 구조	온통 기초	공사중
트럼프 월드(Ⅲ)	지상 33 지하 3	100.0	3.1	전단벽+RC WIDE BEAM 골조	BARRET 기초	공사중
분당 정자동 주거 복합	지상 35 지하 3	111.0	3.0	전단벽+RC WIDE BEAM 골조	온통 기초	설계중

그러므로 설계 초기 단계에서 경제성을 검토할 때 층고의 결정은 중요한 설계 요소가 된다.

우리가 국내에서 일반적으로 보는 주거 복합 건물의 스펠은 7.5m에서 9.0m 내외로 슬래브는 보통 철근 콘크리트로 타설되며 보가 RC인 경우는 슬래브를 2-방향 슬래브로 설계하여 보 춤을 낮추고 보 폭을 키워 슬래브와 일체가 되어 수평재의 역할을 할 수 있도록 설계한다. 철골 구조인 경우는 구조상 일 방향 슬래브로만 설계가 가능하므로 작은 보를 지지하는 큰 보의 최소한의 보 춤을 가지더라도 콘크리트 구조보다 커질 수 밖에 없으며 또한 철골보 위에 슬래브를 시공함으로 인해 발생하는 층고 상승 문제로 자연히 층고가 RC 구조보다 20~30cm 이상 커지게 된다. 또한 층고를 낮추기 위해 철골보의 춤을 줄이게 되면 철골 물량의 증대로 더더욱 경제성이 떨어지게 된다. 철근 콘크리트 구조가 철골 구조보다 층고를 낮출 수 있기 때문에 층고에 의한 경제성 검토에서는 철골 구조가 뒤떨어지게 마련이다.

일반적으로 골조로 구성된 국내 주거 건물의 층고는 RC 구조인 경우 3.0m-3.2m에서 해결이 가능하며 철골 구조인 경우는 약 3.2m-3.4m로 나타나고 있다. 이러한 문제점에 대하여 철골 조 건물들이 경제성에 대한 경쟁력을 가지기 위해 층고 절감을 위한 연구가 진행되고 있는 것으로 알고 있다.

RC 구조가 층고를 줄일 수 있어 경제적인 구조 재료라고 말하기 이전에 재료 자체의 가격에 있어 철골조보다 경제적인 구조 재료라는 점은 모두가 인정하는 바일 것이다. 당 사무실에서 수

행되었던 지상 40층 지하5층 ○○주거 복합 건물의 초기 단계에서 구조 재료에 따른 골조 공사비의 경제성을 검토해 본 결과 2안의 순수 철골조는 순수 RC 구조인 1안보다 2배 이상 골조비가 상승하고 있는 것을 보여주고 있으며 4안의 기둥만 SRC 조로 하고 코어를 RC 조로 한 경우 순수 RC 구조의 골조 공사비보다 약 20-30% 증가되는 것으로 나타났다. 일반적으로 철골 공사와 RC 공사의 장·단점을 비교할 때 철골 공사가 RC 공사보다 공기 단축의 이점을 들 수 있지만 대부분 주거 복합 건물을 보면 경제성을 고려하여 코어는 RC 전단벽으로, 기둥은 SRC 조로 시공되고 있기 때문에 크게 공기를 단축시키지 못하는 것으로 나타난다. 또한 요즈음 RC 구조가 고층화되면서 거푸집의 개발이 두드러지고 타설 공정 계획에 의한 시공이 이루어지고 철근 Shop Drawing에 의해 철근 가공 및 선 조립이 점차적으로 이루어지고 있으므로 SRC 공사의 공기 단축 이점은 크게 두드러지지 않는다고 생각한다.

3.2 사용성

산업이 발달하고 문명의 이기를 접하게 될수록 사람들은 편리한 생활을 쉽게 충족할 수 있으므로 좀 더 쾌적하고 안락한 환경에서 생활하고 싶어하게 된다. 주거 건물에서도 요즈음 크게 이슈가 되고 있는 부분이다. 얼마 전까지만 해도 사용성에 대한 설계조건은 처짐이나 균열에 대한 검토가 대부분이었다. 물론 처짐이나 균열은 미관상이나 구조 안전상의 위협을 줄 수 있는 사항이

표 2. 구조 재료에 따른 경제성 검토 (Continue)

방안	구조 평면	해석 결과 및 장·단점		경제성 검토(%)
1안 R.C CORE + OUTRIGGER WALL + R.C FRAME		고유 진동 주기	· 5.38 sec	100
		최상층 변위	· X-DIR 27.36 cm	
			· Y-DIR 20.33 cm	
		장점	· R.C 단일 공정으로 공사비 절감 · 층고 최소화	
단점	· 기둥의 단면적 증대로 면적의 효율성 저감 · 콘크리트 품질 확보 어려움			
2안 CORE WALL STEEL BRACE + OUTRIGGER TRUSS + STEEL FRAME		고유 진동 주기	· 6.05 sec	234
		최상층 변위	· X-DIR 27.34 cm	
			· Y-DIR 23.66 cm	
		장점	· 현장 조립으로 시공 정밀도 증대 및 공기 단축 · 건물 경량으로 기둥 크기 최소화	
단점	· 횡력에 대한 안전성을 확보하기 위해 물량 증대 · 건축 층고가 높아짐. · 거주성이 좋지 않음			

표 2 구조 재료에 따른 경제성 검토

방안	구조 평면	해석 결과 및 장·단점		경제성 검토(%)
3안 R.C CORE + OUTRIGGER WALL + S.R.C COL. + R.C보		고유 진동 주기	· 5.28 sec	128
		최상층 변위	· X-DIR 27.48 cm	
			· Y-DIR 19.40 cm	
		장점	· 기둥 크기 감소로 인한 면적의 효율성 증대 · 골조 품질 확보 용이	
단점	· R.C 공사에 비해 공사비 증대			
4안 R.C CORE + OUTRIGGER WALL + S.R.C COL. + 철골보		고유 진동 주기	· 4.92 sec	123
		최상층 변위	· X-DIR 26.11 cm	
			· Y-DIR 18.4 cm	
		장점	· 기둥 크기 감소로 인한 면적의 효율성 증대 · 골조 품질 확보 용이	
단점	· 건축 층고가 높아짐. · 거주성이 좋지 않음.			

므로 근래에도 중요한 부분을 차지하고 있지만 거기에 바닥 진동 이라든지 소음, 바람에 의한 흔들림 등이 새로운 설계 요소로 추가되고 있다. 이러한 새로운 설계 요소에 적절히 대응할 수 있는 구조가 철근 콘크리트 구조가 아닐까 생각해 본다.

가장 경제적인 구조 설계란 작용 가능한 모든 하중에 대해 안전하게 저항할 수 있는 최소의 구조 부재로 사용성까지 쾌적한 구조체를 설계하는 것이다. 작용하는 하중에 대해서는 부재의 내력이 여유가 있지만 처짐이나 진동 때문에 부재 치수가 커진다면 비경제적인 구조 설계가 되는 것이다. 처짐이나 진동은 스패ん 길이가 길어질수록 그 값이 크게 증가하므로 경제적이고 사용성이 우수한 구조체의 구조 설계가 되기 위해서는 경제적인 기둥 간격이 정해져야 한다. 우리가 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 골조형 주거 복합 건물의 스패ん은 7.5m~9.0m 이다. 이 정도 스패ん에서는 RC 구조나 철골 구조에서나 사용하는 바닥판 구조(그림 2) 참조)가 모두 바닥 진동에는 안전하도록 설계된 것으로 알고 있다. 그러나 원론적으로 볼 때 RC 구조가 Damping효과가 우수하고 중량이 크므로 바닥 진동은 RC 구조가 더 유리하다고 볼 수 있다.

공동 주택의 거주성을 감안할 때 방음 및 바닥 진동 제어가 중요한 설계 요소가 되지만 또한 건물의 고층화로 바람 하중에 의한 흔들림도 불쾌한 거주 환경의 요인이 된다. 바람에 의한 흔들림을 느끼지 못하도록 쾌적한 거주성을 확보하는데도 콘크리트의 재료가 우수한 것으로 나타나고 있으며 <표 3>의 외국 사례를 보

더라도 많은 초고층 주거 복합 건물들이 이러한 이유로 철근 콘크리트 구조로 설계되는 것을 볼 수 있다. 지진 하중에 저항하는 구조체는 중량이 가벼운 건물일수록 유리하지만 바람 하중에 대한 흔들림은 중량이 다소 큰 것이 유리하다. 지진 하중이란 나라에 따라 또는 지역에 따라 발생 지역일 수도 있고 아닐 수도 있기 때문에 지진이 발생할 확률이 거의 없는 지역에서는 지진 하중을 고려하지 않는다. 그러나 바람 하중은 어느 나라, 어느 지역을 막론하고 항상 존재하는 것이고 또 층 규모가 고층화될수록 지진 하중보다 바람 하중에 의한 영향이 더 크게 나타나므로 지진 하중 못지 않게 바람 하중에 대한 중요성이 부각되고 있는 실정이다.

건물 형상과 건물의 노풍도에 따라 바람 하중이 다르기 때문에 층 규모에 따라 지진 하중이 더 큰지 바람 하중이 더 큰지 정확한 기준으로 분류하기는 어렵지만 십 수년간 국내에서 구조 설계를 해 온 경험에 의하면 우리나라의 경우 철골조인 경우는 약 20층~25층 이상, RC 구조인 경우는 40층~45층 이상이면 바람 하중이 지진 하중보다 대체로 크게 나타난다. 그러므로 고층화되는 주거 복합 건물에서 RC 구조로 인한 중량의 증가는 바람 하중에 의한 수평저항시스템에 불리하게 작용되지 않으며 또한 바람 하중에 의한 흔들림에도 유리하다고 볼 수 있다. 40층 이상 고층 건물에서는 일반적으로 풍동 실험을 수행하게 되는데 이 때 RC 구조가 감쇄율 및 질량 증대로 인해 거주성 평가에 사용되는 최상층의 최대 가속도를 줄이는 효과가 있는 것으로 나타난다.

4. 초고층 건물에서 철근 콘크리트 구조의 위상

4.1 철근 콘크리트 구조의 발전 배경

구조 기술자의 중요한 임무중의 하나는 건물의 골조를 어떤 구조 재료로 선택하느냐를 결정짓는 일이다. 앞에서 다루었던 설계상의 주요현안 문제인 경제성이나 사용성에 대해 철근 콘크리트 구조가 우수하다는 것은 알았으나 이러한 철근 콘크리트가 고층 건물에 적용될 수 있었던 것은 고강도 콘크리트의 개발과 거푸집의 재료 및 기술 발달, 콘크리트 타설 장비의 발달로 가능해졌다고 본다. 또한 주거 복합 건물과 같이 자유스러운 기둥 배치를 쉽게 골조화 할 수 있다는 장점과 구조체 자체가 내화 구조이므로 특별한 내화 조치가 필요하지 않다는 점이 또한 철근 콘크리트 구조의 큰 장점이라 말할 수 있다.

4.2 현재 안고 있는 문제점

아직까지 국내에서 초고층 건물의 철근 콘크리트 구조의 적용은 초기 단계에 있다고 할 수 있으며 앞으로 계속적으로 발전시키기 위해서는 우리가 지금 안고 있는 문제점을 해결하려는 노력이 필요할 것이다. 앞에서 언급한 많은 철근 콘크리트의 장점에도 불구하고 고층화가 되면서 RC 구조를 적용하는데 가장 큰 문제가 되는 것은 저층부의 기둥 크기일 것이다. 건축 평면 형태에 따라 다소 차이는 있지만 40층 규모 정도에서는 그래도 기둥 크기가 건축적으로 해결이 가능한 구조 치수가 되지만 그 이상 규모에서는 기둥 크기가 건축 평면상 문제가 될 수 있으며 이러한

경우 축력의 증가로 기둥만 SRC로 하는 경우도 생기고 부득이한 경우 기둥, 보 모두 SRC 구조로 하는 경우도 있다. 고강도 콘크리트의 사용이라면 해결될 수 있는 문제이기에 고강도 콘크리트의 개발과 적용이 시급하다 하겠다. 국내 실정으로 보아 현재는 콘크리트 강도 $f_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$ 까지는 크게 무리 없이 사용할 수 있으나 $f_{ck}=500 \text{ kgf/cm}^2$ 이상인 콘크리트 강도에서는 아직까지 특별한 배합 강도에 대한 관리가 필요하여 일반적으로 사용할 수 있는 콘크리트 강도로는 아직 어려움이 많은 것으로 알고 있다. 해외에서 설계한 주거 복합 건물의 사례를 보더라도 대부분 콘크리트의 강도가 $500\sim600 \text{ kgf/cm}^2$ 로 60~70층 규모를 순수 RC 구조로 해결하는 것을 볼 때 우리나라에서도 고강도 콘크리트의 개발 및 실용화가 시급하다고 하겠다.

또 다른 문제점으로 철근 콘크리트 구조는 철골 재료와는 달리 우수한 품질의 골조를 만들기 위해서는 시공 기술자 및 골조 작업 기능공이 철근 이음 정착 및 철근 피복, 기타 약간의 구조 지식을 알아야 하는데 실제로 많은 시공 현장에서 이러한 부분이 부족한 경우가 많다. 더구나 초고층 콘크리트 구조가 발달한 동남아나 외국 현장에서 보면 반드시 철근 Shop Drawing을 작성하여 구조 설계자의 의도에 따라 시공자가 쉽게 작업하도록 되어 있는데 아직까지 우리나라에서는 정확한 철근 Shop Drawing이 작성되지 않은 채 대부분 철근 배근 작업이 이루어지고 있어 구조 설계자의 의도를 제대로 반영하고 있는지 확인할 길이 없다. 그렇다고 구조 기술자가 구조 감리자가 되어 현장 감리를 할 수 있는 여건도 되지 못하니 하루 빨리 해결되어야 할 문제라고 생각한다.

이 밖에도 기초 지지 기반이 연약한 지반에서는 건물 중량의 증대로 기초 공사비가 증대되기는 하지만 다행히 국내의 대부분

표 3. 해외의 주거복합건물 사례

건물명/위치/ 완공 년도	규모/ 건물 높이	구조 형식	수평 하중 조건	아파트 층고	콘크리트 강도	풍하중에 의한 최대 가속도
Metro-politan Tower New York USA 1985	지상68층 지하 2층 218 m	철근 콘크리트 구조 전단 벽구조 + 외부 테두리보 19층에 전이층 형성	100년 재현 주기 설계 기본 풍속: 47m/s 지진 하중 무시	2.95 m	수평 부재: 280~420 kgf/cm^2 수직 부재: 390~580 kgf/cm^2	10년 재현 주기 15 mg
City Spire New York USA 1987	지상75층 지하 2층 248 m	철근 콘크리트 구조 전단벽 구조 + Outrigger System 20개 층마다 Set-Back된 부분에 전이보 겸 Outrigger Girder 설치	100년 재현 주기 설계 기본 풍속: 47m/s 지진 하중 무시	2.85 m 2.95 m 3.05 m	수직 부재: 560 kgf/cm^2	10년 재현 주기 15 mg
Trump Tower New York USA 1982	지상58층 지하 3층 202 m	철근 콘크리트 구조 전단벽 구조 + Outrigger System 지붕에 H=6.0m 전이층인 19층에 H=7.3m Outrigger Wall 설치	100년 재현주기 설계 기본 풍속: 47m/s 지진 하중 무시	2.90 m	수직 부재: 490 kgf/cm^2	10년 재현주기 16.5 mg
Onterie Center Chicago USA 1985	지상57층 지하1층 174m	철근 콘크리트 구조 외부 골조 튜브 (Flat Plate 구조) 외주부 간격 1.68m	100년 재현주기 설계 기본 풍속: 34m/s 지진 하중 무시	2.62 m	수직 부재: 490 kgf/cm^2	

지반은 GL-20m 내외에서 풍화암 이상의 단단한 암반들이 형성되어 있으므로 RC 구조의 고층 건물로 인한 중량 증대는 공사비 증가에 크게 문제되지 않는 것으로 생각된다.

고층 건물에서 기둥의 축소 문제는 Steel 기둥은 탄성 축소량만 생기는데 비해 RC 나 SRC 기둥인 경우는 탄성 축소량 이외에 시간에 따라 크리프와 건조 수축에 의한 비탄성 축소량도 함께 발생하므로 해결하기가 복잡한 부분이다. 수직재의 축소량은 대부분 내부 코어와 기둥간의 축소량이 상이한 데서 부등 축소량으로 나타나며 이로 인해 수평 부재의 변형에 의한 균열과 추가 응력을 발생시키며 건물 외부의 마감이나 수직 배관 덕트 등에 영향을 미치기도 한다. 따라서 초고층 건물의 경우에는 건물 시공 과정을 고려한 정확한 기둥 축소량의 예측 기법이 필요하며 기둥의 부등 축소량에 대한 영향을 설계 단계에서부터 고려하여 부등 축소량을 최소화할 수 있도록 수직재의 크기를 결정하며 그 영향을 최소화할 수 있도록 시공 시 현장 계측을 통한 수직재의 보정 시공이 필요하다.

4.3 트럼프월드 I의 설계

국내에서 1990년대 후반부터 나타나기 시작했던 초고층 주거 복합 건물의 초기 구조 재료는 RC 코어에 기둥 및 Girder는 철골을 사용하여 텍크 바닥 시스템을 사용하는 것이 일반화되었다. 그러나 트럼프월드 I의 설계로 30층 이상 고층 건물에서는 철골 구조가 유리하다는 기존 생각의 틀을 벗어나게 해준 계기가 되었다고 생각한다. 트럼프월드 I은 지하5층 지상 41층의 순수 RC 구조로 우리나라에서는 최초로 시도되었던 초고층 주거 복합 건물이다. 40층 이상 주거복합건물 중에서 최소의 층고를 가지고 가장 경제적으로 설계된 건물로 평가받고 있다.

또한 앞에서 언급했던 RC 구조에서 우리가 안고 있던 문제점들을 해결하기 위하여 트럼프월드 I 현장에서는 철근 공사 전에 철근 가공도를 상세히 작성하여 미리 시공 중에 발생할 수 있는 문제점을 파악하였으며 이러한 문제점의 해결로 공사 중에 소모되는 불필요한 시간을 줄일 수 있어 공기를 단축하였으며 또한 작성된 철근 가공도를 원 설계자가 확인하여 승인함으로써 원 설

계자의 의도대로 철근 이음 및 정착이 이루어져 철근 콘크리트의 품질을 향상시킬 수 있었다. 현장에서는 철근 가공 및 설치를 철근 가공도 대로 작업하면 되므로 감리자와의 마찰도 줄일 수 있었으며 낭비되는 철근 없이 효율적으로 철근을 가공하여 총 철근 물량의 약 10%를 절감할 수 있는 효과도 있었다.

기둥과 내부 코어의 부등 축소량을 해결하기 위하여 현장 계측을 통한 수직재의 보정 시공도 현재 이루어지고 있다.

5. 맺음말

고층화되고 있는 주거 복합 건물의 설계를 통하여 잠재되어 있던 철근 콘크리트의 특성과 장점이 부각되어 RC 구조가 고층 건물에서 실용화되고 있다는 것은 반가운 일이다. 외국사례들을 보면 약 20여 년 전에 이미 RC 구조의 장점을 발견하여 주거 건물 뿐 아니라 50~70층 규모의 사무소 고층 건물에서도 적용하였다는 점을 감안한다면 국내에서는 RC 조에 대한 평가가 다소 늦게 되었다는 감도 없지 않다. 요즘은 경기가 침체되어 주거 건물이 건설 경기의 대부분을 차지하고 있지만 앞으로 경기가 활성화되어 주거 이외의 다른 용도 건물의 건설이 증대된다면 주거 건물에서 평가되었던 RC 고층 건물의 장점들을 살려 다른 용도의 고층 건물에까지 RC 구조가 확산되기를 기대해 본다. □

참고문헌

1. Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee, Structural Systems for Tall Buildings, McGraw-Hill, Inc., 1995, pp.109-115, 140-150, 170-172, 265-267.
2. Bungals S. Taranath, Structural Analysis & Design of Tall Building, McGraw-Hill International Editions, 1988, pp.311-315.
3. 김종호, 서현주, "2000년 콘크리트구조설계기준 건축구조물 및 RC 고층구조물설계 강연회-대우 트럼프월드의 구조설계," 대한건축학회 및 한국전산기술사회 주최, 2000. 5. 18.

표 4. 트럼프월드 I의 구조개요

구조 시스템	콘크리트 강도(kgf/cm ²)	부재 크기(mm)
수평 저항 구조 시스템: RC core wall & Link Beam(일부 철골 보강) 23층 Outrigger Girder (D=1800mm) 옥탑 1층 Outrigger wall (D=4000mm)	수직부재: $f_{ck}=240\sim400$ 수평부재: $f_{ck}=240\text{ kgf/cm}^2$	슬래브: $t=200$ Wide Beam: 1500×350 기둥: 650×1620 코어벽체: $t=500\sim650$ Mat 기초: D=2200mm(고층부) D=1300mm(저층부)
수직 저항 구조 시스템: Wide Beam-Column System		

