

## 철근콘크리트 고층아파트의 설계

### Design of High-Rise Reinforced Concrete Apartments



박 의 식\*

#### 1. 머리말

우리나라에서는 아파트를 통상 11층 이상을 고층아파트, 16층 이상은 초고층아파트로 그리고 10층 이하를 저층아파트로 분류한다.

과거에는 우리나라의 아파트들이 5층내지 10층 전후의 것들이 대부분이었으나 근래에 이르러 땅값 상승으로 인한 분양가 중의 지가부담을 줄이고 옥외 여유공간을 확보할 목적으로 또 한편으로는 콘크리트 철근등 구조재료의 강도향상, 시공기술과 장비의 발달로 인하여 차츰 고층화하는 추세에 있다.

요즈음 한창 건설되고 있는 신도시 아파트나 기타 민영아파트들은 15층 전후가 주류를 이루고 있지만 25층 또는 30층 이상의 초고층 아파트도 등장하고 있다.

아파트 설계라 하면 건축을 비롯하여 구조 설비 전기 토목 조경등 여러 관련분야가 종합적으로 이루어져 있지만 본고에서는 이 가운데에서 건축과 구조계획을 중심으로 설명하고자 한다.

#### 2. 건축계획

우리나라 아파트형태의 가장 큰 특징으로 남향위주의 一字형 배치를 들 수 있다. 겨울이 길고 유난히 추위에 너저에 대한 부담이 크기 때문에 오랜 옛날부터 우리생각 속에는 밝고 햇빛이 많이 드는 남향을 선호하는 경향이 뿌리 깊게 자리잡고 있다 하겠다.

거실이나 안방등 주요방들을 가능한한 남쪽에 많이 배치하다 보면 자연히 一字형 배치가 이루어진다.

동남아 여러 나라들과 같이 날씨가 온화하여 겨울철 에너지문제가 그렇게 고려 대상이 되지 않는 지역이라든지 미국등과 같이 에너지비용이 크지 않은 나라에서는 남향위주의 배치보다는 오히려 전망을 중요시 하여 타워형 같은 전방위 형태의 아파트가 많은 것을 볼 수 있다.

우리나라에서도 타워형 아파트가 몇군데 시도된 것이 있지만 一字형배치 아파트보다 인기를 끌지 못하는 것은 위와 같은 이유때문이다.

아파트가 고층화되면 지진이나 바람과 같은 횡력을 많이 받게 되므로 이 외력에 견디도록 구조내력벽의 양이 증가하게 된다.

설비 및 전기용 수직덕트의 크기가 커지므로 평면계

\* 정희원, 종합건축사사무소 환경동인 소장

확시 유의해야 하며 엘리베이터는 일반 엘리베이터 대신에 운구가 가능한 운구용 엘리베이터로 대체되는 방향으로 변하고 있다.

아파트가 고층화가 됨으로써 운구문제가 심각하게 된다. 종래의 곤도라를 이용하는 운구에 문제가 있어, 엘리베이터의 뒷쪽에 훅처럼 튀어나온 포켓을 만들어 운구시 이용하도록 하는 것이다.

고층아파트 설계시 빠트릴 수 없는 중요 고려사항은 비상시에 대한 대비일 것이다.

16층 이상의 층에는 스프링클러를 설치해야 하므로 이로 인해 층고가 일반층보다 20cm가량 높아진다.

특별비상계단에는 전실을 만들고 배연덕트를 설치하여 비상시 안전하게 대피할 수 있도록 배려를 한다.

### 3. 구조계획

우리나라 아파트의 구조형태는 종횡 양방향 내력벽식 구조가 대부분이다.

일반적으로 一字형 배치에서는 종방향으로는 벽량이 충분하나 횡방향으로는 평면계획상 벽체를 설치할 수 있는 위치가 한정되어 있어 벽량이 부족하므로 횡하중 작용시 내력벽에 과도한 응력이 생기는 경우가 많다.

따라서 초고층 아파트에서는 이를 해결하는 방법으로 전후면 외벽도 내력벽으로 처리하는 방법을 쓴다.

그림1은 47평형 2세대 15층의 구조평면예이다. 종방향으로는 세대측벽 계단실벽등 길이가 긴벽이 충분히 배치되어 수평력을 지지하기 쉬우나 횡방향에는 ①②③④벽과 계단실의 ⑤⑥벽등 종방향에 비하면 벽량이 상당히 적다.

그림2는 같은형의 아파트로 20층의 예이다. 전후면 외벽을 콘크리트 내력벽으로 만들고 커플링 보를 두어 수평하중에 유효하게 저항하도록 한 것이다.

그림1의 경우에서 전후면 외벽을 과거에는 조적으로 하였으나 요즘은 조적공이 부족하고 인건비가 비싸므로 조적을 피하고 대신 60cm 각 크기의 단열기포콘크리트판을 붙여 외벽을 마감하는 현상이 많다.

아파트평면은 구조적인 면에서 보면 가능한 대칭인 정형으로 하는 것이 바람직하다. L형이나 T형과 같

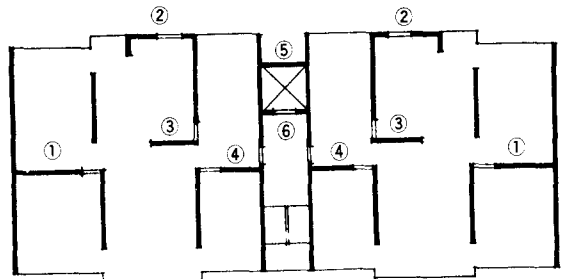


그림1. 47평형(15층) 2세대 내력벽 배치도

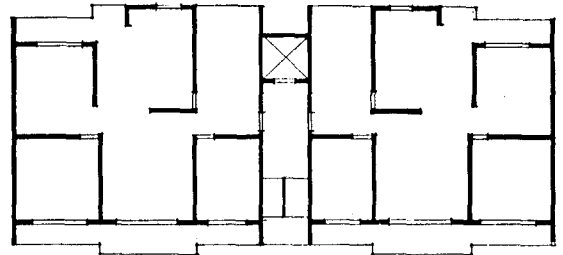


그림2. 47평형(20층) 2세대 내력벽 배치도

은 비대칭형태에서는 모서리 부분에 응력이 집중하는 경향이 있으므로 이런 형태는 피하는 것이 좋고 불가피한 경우 모서리부분 응력집중에 대한 조치를 하여야 한다.

신축조인트는 될 수 있는대로 설치하지 않는것이 좋다. 신축조인트를 두게 되면 조인트 사이 간격을 충분히 유지하여야 지진시 두 건물의 햄머링(Hammering) 작용으로 인한 건물의 파손을 막을 수 있다.

15층 아파트의 경우 지진시 최상부의 수평변위를 10cm로 볼 경우 그 두배의 거리 즉 신축조인트의 간격이 20cm가 되므로 상세처리가 상당히 어렵다.

#### 3.1 구조설계

고층아파트에서 콘크리트는 기준압축강도  $f_c = 210\text{kg/cm}^2$  내지  $240\text{kg/cm}^2$ , 초고층아파트의 저층부에서  $270\text{kg/cm}^2$ 가 일반적이다. 철근은 기준항복강도  $f_y = 4000\text{kg/cm}^2$ (SBD40)인 고강도철근을 많이 사용한다.

내력벽두께는 150~200mm가 일반적인데 높은 강도의 콘크리트를 사용하지 않는 이유는 고강도 콘크리트 사용으로 인하여 내력벽두께가 얇아지면 방음상의 문제가 따르고 층고에 비하여 너무 세장해 지므로 구조적으로 바람직하지 않은 결과가 생기기 때문이다.

슬래브두께는 대부분 120~150mm 범위에 있다. 벽체와 슬래브가 이런 두께일 때 방음상으로는 Airborne Sound (공기를 통하여 전달되는 음)는 해결되지만 Impact Sound (충격음)에 대하여는 완벽하지 못한 것으로 나타나는데 우리나라 현실에서는 이 정도의 수준에서 입주자들이 큰 불만없이 받아들이는 것으로 생각된다.

### 3.2 지진력 설계

구조설계시 하중이나 기타 기본적인 구조기준은 건설부령 “건축물의 구조기준등에 관한 규칙 1988”에 따르고 철근콘크리트 부재설계는 대한건축학회간행 “극한강도 설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산규준 및 해설, 1988”에 의한다.

하중조합 가운데에서 연직하중의 조합보다는 바람 지진동 수평하중 특히 지진하중의 조합에 의해 내력벽의 배치라던가 벽두께 및 철근량이 결정된다.

지진하중을 고려해야 하는 대상건물로는 6층 이상의 건축물, 연면적 1,000m<sup>2</sup> 이상인 병원 발전소 공공업무 시설 방송국 및 전신전화국, 연면적 5,000m<sup>2</sup> 이상인 관람집회시설, 10,000m<sup>2</sup> 이상인 판매시설, 공공주택 및 공장을 제외한 21층이상 이거나 연면적 100,000m<sup>2</sup> 이상인 건축물, 기타 박물관 기념관 등이다.

따라서 6층 이상의 아파트는 모두 지진고려 대상이 된다.

지진하중 설계에는 등가정적해석법 또는 동적해석법이 모두 허용된다.

등가정적해석법은 동적인 지진하중을 정적하중으로 바꾸어 설계하는 방법으로, 구조물의 동적특성 및 기동을 충분히 고려할 수 없는 단점은 있으나 계산이 간편하므로 널리 쓰이는 방법이다.

동적해석법에는 실제 지진기록을 근거로 하는 시각력

해석법 또는 설계응력스펙트럼을 이용한 모드해석법이 있는데 우리나라에서는 실제 지진에 대한 기록이 빈약한 실정이므로 동적해석법중의 모드해석법과 등가정적해석법을 병용하고 있다. 만일 모드해석법에 의해 구한 밀면전단력  $V_i$ 가 등가정적해석법으로 구한 진동주기에 1.5배를 하여 얻은 밀면전단력  $V_s$ 보다 작을 경우에는 모든 계산결과에 (변위, 모멘트, 전단력, 층간변위등)  $V_s/V_i$ 의 환증계수를 곱하여 밀면전단력을 보완함으로써 안전성의 확보를 도모한다.

현행 기준가운데 지진설계시 항상 문제가 되고 있는 것 중의 하나가 기본진동주기의 산정방식이다.

현행기준에는 기본진동주기

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{B}}$$

이다. 여기서 B는 지진이 고려되는 방향

의 건물의 저변길이이고  $h_n$ 은 건물의 높이이다.

아파트에서 종방향 길이는 10m 전후가 되므로 길이 B가 문제가 되지 않지만 횡방향길이는 아파트가 6세대 내지 8세대가 될경우 상당히 커지고, B가 크면 진동주기 T는 짧아진다. 따라서 계수 C가 커지므로 밀면전단력은 C에 비례하여 상당히 커진다.

문제는 B를 벽량이 많거나 적거나를 불문하고 무조건 건물전체 길이로 보는데 있다. 이런 모순을 해결하기 위하여 벽량이 많고 적음에 따라 T 값을 조정할 수 있는 미국 UBC 88년 코드에 나와있는 계산방법을 소개한다.

기본진동주기

$$T = C_t (h_n)^{3/4}, \quad C_t = 0.1 / \sqrt{A_c}$$

$$A_c = \sum A_e [0.5 + (D_e/h_n)^2] \quad \text{단 } D_e/h_n < 0.9 \text{이다.}$$

여기서

$A_c$  = 구조물의 1층에 있는 전단내력벽의 복합유효면적,  $f_1^2$

$A_e$  = 1층에 있는 내력벽의 최소전단 단면적,  $f_1^2$

$D_e$  = 지진력과 평행한 1층에 있는 전단내력벽 길이,  $f_1$

$h_n$  = 기초저면으로부터의 건물높이,  $f_1$

위의 식을 써서 그림1과 그림2의 경우에 대한 T와 C를 계산해 보면 다음과 같다.

표 1. 우리나라와 UBC의 기본 진동주기 및 지진계수비교

방향	현행우리나라기준		UBC 방법		
	기본진동주기 T T=0.09h <sub>n</sub> /√B	지진계수 C C=1/1.2√T	기본진동주기 T T=C <sub>1</sub> (h <sub>n</sub> ) <sup>3/4</sup>	지진계수 C C=1/1.2√T	
47평형 4세대 15층 그림1 참조	횡	0.513	1.163	1.048	0.814
	종	1.113	0.789	0.585	1.089
47평형 4세대 15층 그림2 참조	횡	0.513	1.163	0.835	0.912
	종	1.113	0.789	0.585	1.089

횡방향 길이 B(x)=57.0m, 종방향길이 B(y)=12.1m,  
건물높이 h<sub>n</sub>=43.0m

위 비교표에서 알 수 있듯이 우리기준은 C값이 전후면 외벽이 내력벽이 되더라도 벽량에 관계없이 일정하지만 (1.163 : 1.163) UBC방법에서는 벽량이 많아 집에 따라 변하는 것을 알 수 있다. (0.814 : 0.912). 또한 UBC방법은 우리기준과 비교하여 그림1과 2의 경우 모두 C값이 벽량이 적은 횡방향으로는 적어지고, (1.163 : 0.814, 1.163 : 0.912) 벽량이 충분한 종방향으로는 커짐(0.789 : 1.089)으로 합리적인 방법이라 생각된다.

### 3.3 구조계산

구조계산은 그간 컴퓨터의 비약적인 발달로 인하여 많은 발전을 해온 분야이다.

구조계산 자체는 이제 컴퓨터에 일임하면 자동적으로 해결되는 부차적인 문제가 되었으며 구조설계자는 구조계획을 어떻게 하여 보다 안전하고 경제적인 건물을 만들 수 있느냐 하는 구조계획 그리고 계산결과에 대한 확인과 축적된 경험을 토대로 하는 구조엔지니어로서의 판단이 중요시되는 시점에 와있다 하겠다.

아파트 구조해석의 컴퓨터 프로그램으로는 골조해석에는 ETABS(Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems)라는 3차원 골조해석 프로그램이, 슬래브설계에는 SAFE(Slab Analysis by The Finite Element Method)프로그램이 널리 쓰이고 있다.

#### 3.3.1 내력벽 설계

##### 1) 축하중과 면외휨을 받는 내력벽

실용설계법을 사용하여 간단히 구할 수 있다. 그러

나 이식을 쓰기 위하여는 모든 설계하중의 합력이 벽 두께의 중앙 1/3에 위치하여야 하는 조건이 따른다. 이런 제약때문에 실제로 고층아파트의 내력벽에는 실용설계법이 거의 사용되지 않는다.

##### 2) 축하중과 면내휨을 받는 내력벽

미국 포틀랜드시멘트협회(PCA)에서 제안하는 식을 사용하여 계산한다.

즉 축하중 P<sub>u</sub>와 휨력 M<sub>u</sub>가 주어지면 다음식을 만족하도록 철근량을 계산한다.

$$\phi M_n = 0.5 \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot l_w \left( 1 + \frac{P_u}{A_s \cdot f_y} \right) \left( 1 - \frac{C}{l_w} \right)$$

$$\frac{C}{l_w} = \frac{\omega + \alpha}{2\omega + 0.85\beta_1}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_y}{l_w \cdot h \cdot f_c'}$$

$$\alpha = \frac{P_u}{l_w \cdot h \cdot f_c'}$$

여기서

A<sub>s</sub>=내력벽의 수직철근 단면적, in<sup>2</sup>

f<sub>y</sub>=철근의 기준항복강도, psi

f<sub>c</sub>'=콘크리트의 기준압축강도, psi

l<sub>w</sub>=내력벽의 수평길이, in

P<sub>u</sub>=내력벽 단면에 작용하는 축력.

압축력이면 양의 부호, lbs

β<sub>1</sub>=중립축 위치를 정의하는 계수

h=내력벽두께, in

#### 3.3.2 슬래브 설계

내력벽식 아파트의 슬래브는 일반적으로 1방향슬래브

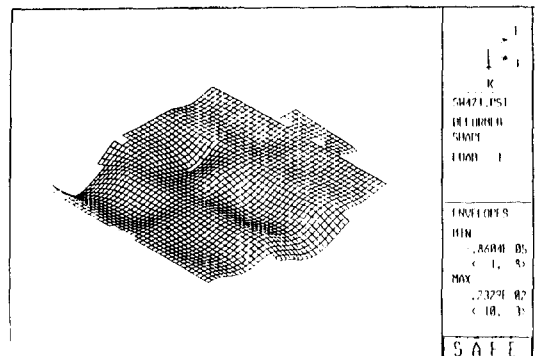


그림3. 47평형 1세대 슬래브처짐도

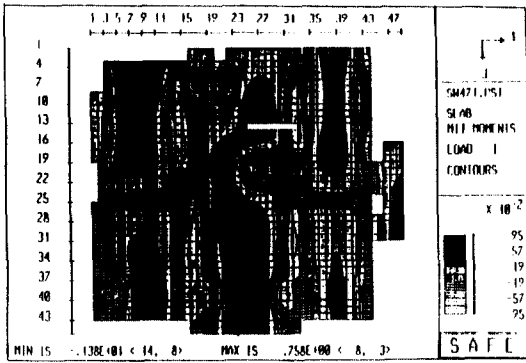


그림4. 슬래브 횡방향 모멘트 등고선도

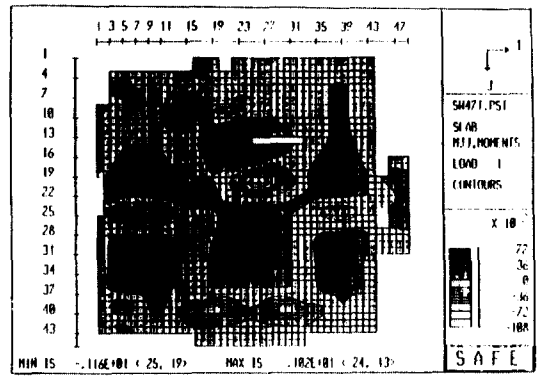


그림5. 슬래브 종방향 모멘트 등고선도

또는 3면지지슬래브가 대부분인데 지지벽체의 위치가 정형이 아니고 슬래브에 각종 설비용 개구부가 불규칙하게 있어서 응력의 흐름이 복잡하다.

앞에 소개한 SAFE프로그램을 쓰면 연직하중에 대한

정확한 치짐과 휨계산이 가능하다.

그림3은 그림2에 있는 47평형 아파트 1세대의 슬래브 치짐도이고 그림4 및 5는 같은 슬래브의 종횡방향 모멘트 등고선도이다.