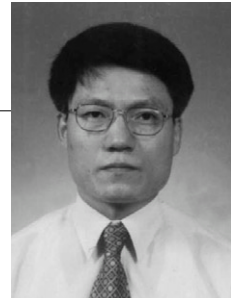


# 초고층 주거용 건물의 FLAT PLATE SYSTEM의 구조설계와 시공

## Structural Design and Construction of Flat Plate System for High Rise Residential Building



이왕희 부장  
현대산업개발 구조설계팀

### 1. 일반사항

#### 1.1 건물개요

- 1) 공 사 명 : I-PARK 삼성동 신축공사
- 2) 위 치 : 서울특별시 강남구 삼성동 87번지
- 3) 시행/시공 : 현대산업개발(주)
- 4) 설 계 : 현대산업개발 건축설계팀+(주)건원종합건축사사무소
- 5) 구조 설계 : 현대산업개발 구조설계팀+(주)신기술자문
- 6) C M : (주)한미파슨스
- 7) 공사규모
  - 규 모 : 3개동, B4 ~ 46F, 449세대
  - 구 조 : 철근콘크리트(FLAT PLATE)
  - 평 형 : 55평형 ~ 104평형(9개 평형)
  - 대지면적 : 32,259㎡
  - 연 면 적 : 146,483㎡(용적률 296.20%)
  - 건축면적 : 2,924㎡(건폐율 9.06%)
- 8) 공사기간 : 2001. 8. 20 - 2004. 5. 30 (33.0개월)

#### 1.2 구조형식

- 1) 수직하중에 대한 구조형식  
수직방향 하중은 Flat Plate (THK=250mm), 기둥 및 코아의 내력벽으로 구성 된 골조에 의해 지지된다.
- 2) 수평하중에 대한 구조형식  
풍하중과 지진하중 등과 같은 수평하중은 코아의 콘크리트 전단벽과 Flat Plate 에 의해 구성되는 등가골조(Equivalent Frame)가 각각 부담하는 이중골조 형식 이다.

#### 3) 기초형식

기초형식은 콘크리트 전단벽이 상부로부터 내려오는 코아는 온통기초로 외곽부 기둥의 하부는 독립기초(소요지내력  $Fe \geq 200$  t/m<sup>2</sup>)로 구성되었다.

#### 1.3 구조재료

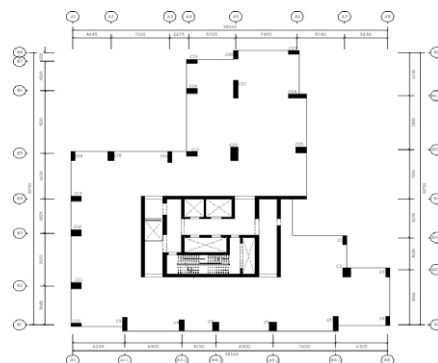
##### 1) 콘크리트

- 슬 래 브 :  $f_{ck} = 360 \text{ kgf/cm}^2$   
 $f_{ck} = 270 \text{ kgf/cm}^2$  (코아 내부 슬래브)
- 벽체, 기둥 :  $f_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$  (지하 3층 ~ 10층)  
 $f_{ck} = 450 \text{ kgf/cm}^2$  (11층 ~ 20층)  
 $f_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$  (21층 ~ 지붕층)

##### 2) 철근 : KSD 3504 SD400 ( $F_y = 4000 \text{ kgf/cm}^2$ )

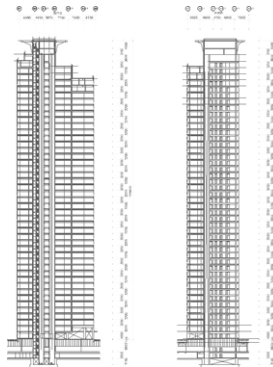
### 2. 구조 평,단면도 (Structural Plan & Section)

#### 2.1 구조 평면도



<그림 1> 기준층 구조평면도

## 2.2 구조 단면도



〈그림 2〉 주 단면도

## 3. 설계하중 (Design Load)

### 3.1 고정하중 및 활하중

〈표 1〉 고정하중 및 활하중

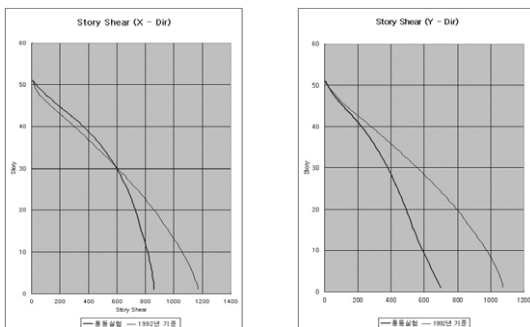
구 분	고정하중(kg/m <sup>2</sup> )	활하중(kg/m <sup>2</sup> )	비 고	
지 붕 층	885	200		
기준층	침 실	860	200	슬래브 두께 = 250mm
	거 실	880	200	
	복도, 현관	800	300	

### 3.2 풍하중의 산정

1) 풍하중 산정조건: “건축물의 구조기준등에 관한 규칙(건설교통부, 1996)”

- 기본풍속(V<sub>0</sub>) : 35 m/sec
- 노 풍 도 : B

2) 풍하중 비교(풍동실험과 규준에 의한 결과)



〈그림 3〉 풍하중 비교

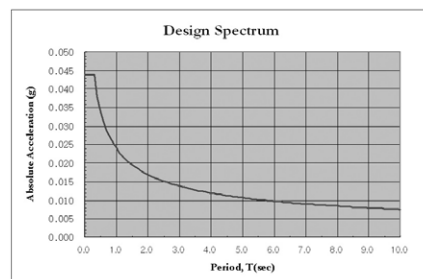
### 3.3 지진하중의 산정

1) 지진하중 산정 조건: “건축물의 구조기준등에 관한 규칙(건설

교통부, 1996)”

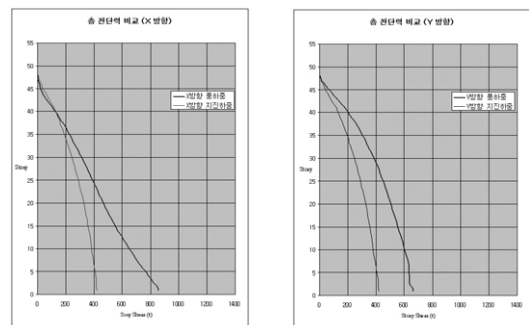
- 지역계수(A) : 0.12
- 중요도계수(I) : 1.2
- 지반계수(S) : 1.0
- 반응수정계수(R) : 5.0 (이중골조방식)
- 기본진동주기(T) :  $0.09h_n/\sqrt{B}$
- 동적계수(C) :  $1/1.2\sqrt{T}$

2) 동적해석을 위한 응답 스펙트럼



〈그림 4〉 동적해석을 위한 응답 스펙트럼

### 3.4 수평하중에 의한 전단력



〈그림 5〉 수평하중에 의한 층 전단력 비교

## 4. 구조해석 (Structural Analysis)

### 4.1 구조해석

- 1) 구조해석 S/W
  - 슬래브 해석(Slab Analysis) : SAFE PLUS Ver5.5
  - 프레임 해석(Frame Analysis) : MIDAS GEN Ver3.5

### 2) 구조해석 절차 요약

- (1) 슬래브 해석(SAFE)
  - 고정하중, 활하중만을 고려.
  - 해석결과 응력을 주열대, 중간대의 설계용 단면력으로 환산.
- (2) 기둥, 벽체의 지점 반력값 정리

- 기둥, 벽체의 지점 반력값을 프레임(Frame) 해석시 하중으로 입력.

(3) 프레임(Frame) 해석 모델링(Modeling)

- 슬래브는 유효폭 개념을 갖는 등가골조(Equivalent Frame)의 보 요소(Beam Element)로 모델링.

- 수직방향 하중은 2)의 기둥, 벽체의 지점 반력값을 입력

(4) 하중조합 및 해석 수행

- 3)의 프레임 해석(Frame Analysis) 모델의 해석 수행 및 하중 조합

(5) 슬래브 해석결과 조합(주열대)

- 1)의 해석결과와 3)의 해석결과를 이용하여 "주열대"의 설계용 단면력 산정을 위해 하중 조합.

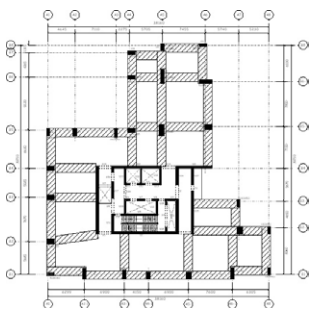
4.2 구조해석 Modeling

1) 슬래브-기둥(Slab-Column) 프레임(Frame)에서의 슬래브 유효폭 산정

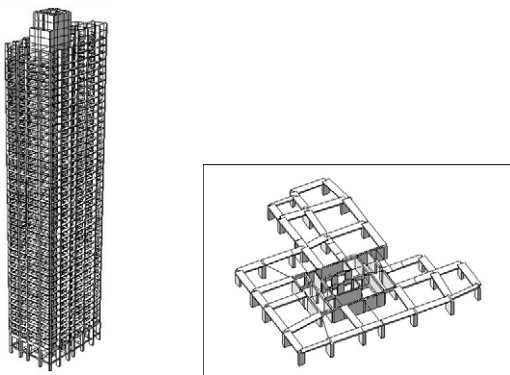
$$\alpha L_2 = 0.3L_1 + C_1(L_2/L_1) + (C_2 - C_1)/2 \quad (0.25 \leq \alpha \leq 0.5)$$

(ACI 318-95 13.5.1.2))

2) 해석 모델(Analysis Model)



<그림 6> 구조해석 모델을 위한 구조계획



<그림 7> 구조해석 모델

4.3 사용성 검토

1) 수평변위 검토

(1) 풍하중에 의한 최대 수평변위 검토

-  $\Delta x : 12.5 \text{ cm} < H/500 (31.1 \text{ cm})$

-  $\Delta y : 21.6 \text{ cm} < H/500 (31.1 \text{ cm})$

(2) 지진하중에 의한 층간변위 검토( $R \times (\delta_n - \delta_{n-1}) \times S.F$ )

-  $\delta x : 3.53 \text{ cm} (21F) < 4.8 \text{ cm} (0.015h_n)$

-  $\delta y : 3.60 \text{ cm} (30F) < 4.8 \text{ cm} (0.015h_n)$

2) 풍동실험 결과에 의한 사용성 평가

풍동실험시 고려한 풍속은 서울지역(서울기상대)에서 실 계측된 풍속을 이용하여 예측된 풍속을 사용하였으며, 사용성 평가 기준은 5년 재현주기 풍속을 사용하는 ISO6897 기준을 적용하였다.

<표 2> 풍동실험 결과에 의한 가속도

Damping Ratio(%)	X-Dir	Y-Dir	비 고
1.5	10.26 gal	9.66 gal	사용성 평가기준(ISO6897)
2.0	8.84 gal	8.37 gal	- X 방향 : 15.12gal
2.5	8.0 gal	7.5 gal	- Y 방향 : 15.92gal

4.4 고유치 해석 결과

<표 3> 고유치 해석 결과

Mode No	Frequency		Period(Sec)	비 고
	Rad/Sec	Cycle/Sec		
1	1.0641	0.1694	5.9046	
2	1.2936	0.2059	4.8573	
3	1.7260	0.2747	3.6402	
4	4.8018	0.7642	1.3085	
5	5.1568	0.8207	1.2184	
6	6.5699	1.0456	0.9564	
7	9.9874	1.5895	0.6291	
8	11.4799	1.8271	0.5473	
9	14.5092	2.3092	0.4330	
10	15.9558	2.5394	0.3938	
11	19.5235	3.1073	0.3218	
12	22.9040	3.6453	0.2743	
13	24.3256	3.8715	0.2583	
14	28.8183	4.5866	0.2180	
15	30.8017	4.9022	0.2040	
16	35.3836	5.6315	0.1776	
17	38.3338	6.1010	0.1639	
18	40.3149	6.4163	0.1559	

## 5. 지반조건 및 부재설계

### 5.1 지반조건

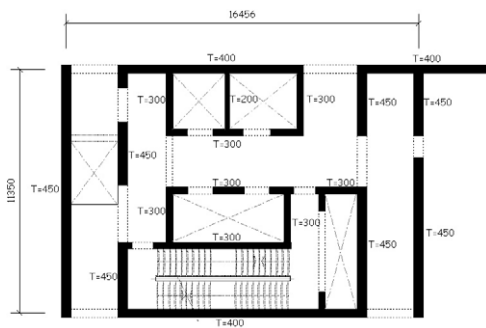
대지의 지층은 매립층, 풍화암, 연암, 경암반으로 구성되며, 지표에서 약 0.5~16.5m 깊이의 레벨에 경암반이 넓게 분포하고 있다. 암반의 상태는 강함-매우강함의 상태로 코아회수율(T.C.R)은 57~100%로 나타나고 R.Q.D는 16~98%로 나타나고 있다. 기초지반의 일축압축시험에 의한 압축강도는 약 370~1646 kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났으며, 절리면의 직접 전단시험 결과 내부마찰각은 32.79~33.92°로 나타났다. 따라서 구조물의 기초설계시 고려된 소요지내력은 타워둥이 200tf/m<sup>2</sup>, 지하구조물은 100tf/m<sup>2</sup>으로 결정하였다.

### 5.2 기둥 축력 및 단면크기

〈표 4〉 기둥 축력 정리 : Factored Force(1.4DL+1.7LL)

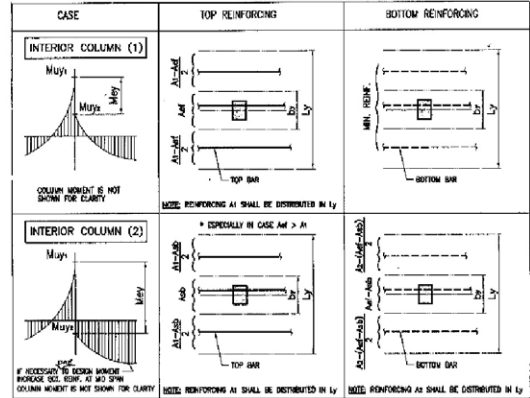
구분	C3	C8	C11	C12	C15	C18	C22	비고
	500X1300	600X1600	1300X900	1300X900	750X1300	1300X750	1530X880	
44F	117.00	44.50	63.20	128.60	43.90	28.30	14.80	
40F	258.00	284.70	369.60	366.90	255.80	211.00	387.00	
35F	435.70	580.40	750.60	716.30	519.00	437.10	922.90	
30F	614.10	871.10	1,128.20	1,014.30	781.40	663.70	1,453.60	
25F	792.80	1,258.30	1,504.30	1,357.50	1,043.00	889.90	1,980.90	
20F	971.30	1,444.10	1,879.90	1,667.80	1,304.40	1,115.30	2,506.40	
15F	1,148.80	1,730.20	2,256.80	1,982.90	1,566.30	1,339.30	3,032.80	
10F	1,324.90	2,018.20	2,636.30	2,320.90	1,829.00	1,560.90	3,562.10	
5F	1,498.60	2,309.70	3,019.80	2,652.00	2,093.30	1,779.00	4,096.40	
1F	1,637.10	2,548.30	3,333.70	2,912.80	2,309.10	1,954.10	4,497.40	
B3F	1,864.10	2,876.70	3,578.00	3,155.90	2,774.50	2,862.10	4,808.40	

### 5.3 코아벽계 두께

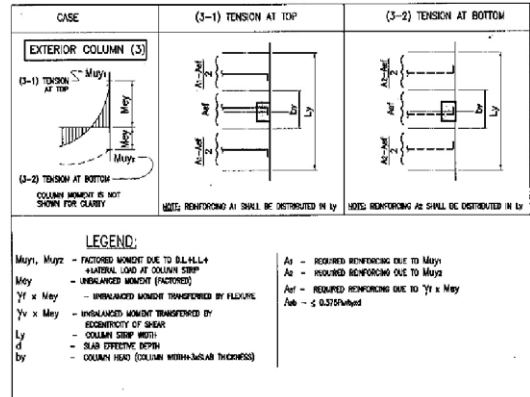


〈그림 8〉 코아 구조 평면

## 5.4 슬래브 설계용 단면력(Design Moment of Slab)의 산정 및 철근 보강



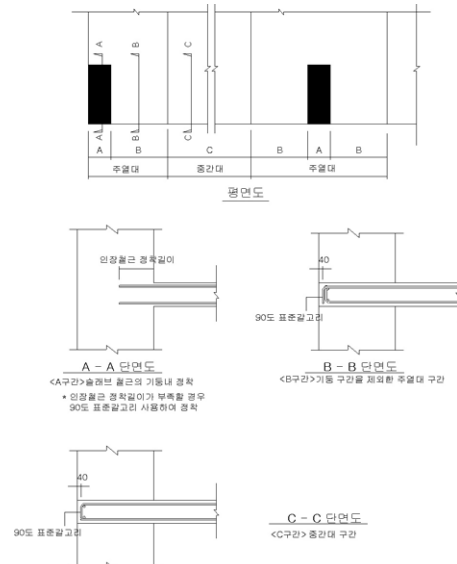
(a) Interior Column



(b) Exterior Column

〈그림 9〉 Design Force and Slab Reinforcement

## 5.5 슬래브 단부 철근 상세



〈그림 10〉 플랫 플레이트 불연속 단부 철근장착 상세

### 5.6 기둥의 부등축소 현상에 대한 검토(Column Shortening)

구조설계시 기둥의 부등축소에 의한 효과는 먼저 탄성처짐과 비탄성 처짐으로 나누어 고려하였다. 탄성처짐에 대한 고려는 먼저 시공공정에 맞추어 고정하중이 재하되도록 하는 “시공단계별 해석” 기법을 적용하여 구조해석 단계에서 고려하였다. 그리고 콘크리트 구조물에서 기둥축소량의 대부분을 차지하는 비탄성 처짐은 구조설계 Review 과정에서 Rosenwasser-Grossman사에서 검토하였다. 그 결과 시공 5년후 두개의 기둥 부재간 상대 처짐량은 저층부에서 약 1.5mm, 지붕층에서 약 25mm 정도 될 것으로 계산되었으며, 이것은 시공중 각 층에서 Leveling 작업을 하면서 건축수축이나 크리프에 의한 변형이 대부분이 상쇄 되므로 이 수치들은 다소 과장되었다고 할 수 있다. 따라서 실제 수직부재간 부등축소량은 예측수치보다 작을 것이며, 이것은 다른 부재들에 영향을 줄 수 있을 정도는 아닐 것으로 판단하였다. 이러한 판단에 따라 실제 시공시 기둥의 부등축소에 따른 어떤 보정조치도 취해지지 않았다.

## 6. 공법 및 공정

### 6.1 시스템 거푸집(System Form)

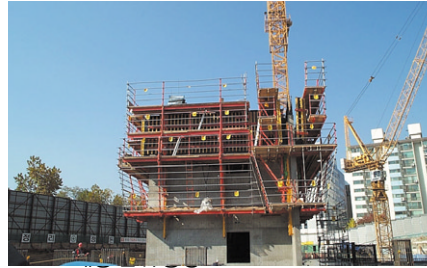
골조공사의 4-Day Cycle(Working Day 기준) 실현을 목표로 거푸집 공법을 검토하였으며 독일 PERI社의 A.C.S(Auto Climbing System) 및 Skydeck을 적용하였다.

#### 1) System Form 적용을 위한 전제 조건

Core의 전단벽에 Self Climbing 할 수 있는 대형 Form을 적용하여 Core 골조를 Unit Slab보다 선행시키는 Core Wall 선행 공법을 적용하여 Core 골조를 4개층 선행하여 시공하였고, 수직, 수평 분리타설을 하여 Unit Slab의 외주부 기둥에도 Self Climbing 할 수 있는 대형 Form을 적용하여 시공성 및 안전성을 확보하였다. 그리고 Unit Slab를 3개 Part로 구획하여 층당 골조 작업량을 줄이고 Slab Form은 Module화된 알루미늄 Form(PERI社, Skydeck)을 사용하여 작업성을 향상시켰다.

#### 2) A.C.S (Auto Climbing System)

A.C.S는 대형 Wall 및 기둥 Form을 유압식 인양장치를 이용하여 Self Climbing하는 공법으로 자체 유압장치에 의한 인양으로 Tower Crane의 의존도가 적고, 대형 Form 사용으로 인한 골조 품질 향상 및 공기단축이 가능하며, 기계화 시공으로 인한 성력화 및 고층 작업에 따른 안전성 확보가 용이하였다.



(그림 11) A.C.S 설치 전경그림



(그림 12) 기존층 골조 공사

### 〈표 5〉 1개층 단위 공정

구 분	1일차	2일차	3일차	4일차
CORE WALL (D-PART)	WALL 철근 배근	FORM탈형 및 CLIMBING	FORM SETTING	WALLCONC
A-PART	기둥 FORM CONC	SKYDECK	SLAB/기둥 철근 배근	SLAB CONC
B-PART	SLAB CONC	기둥 FORM 기둥CONC	SKYDECK	SLAB/기둥 철근 배근
C-PART	SLAB/기둥 철근 배근	SLAB CONC	기둥 FORM 기둥CONC	SKYDECK

### 6.3 고강도 콘크리트

#### 1) 고강도 콘크리트의 품질관리

고강도 콘크리트의 현장적용시 거푸집 사용에 의한 조기강도 확보가 필수적이므로 초기 압축강도 발현을 16시간에 100kgf/cm<sup>2</sup>을 유지시켰다. 이것은 거푸집 탈형과 인발에 필요한 소요 강도이고 이와같이 조기강도가 확보됨으로써 4-Day 사이클이 가능하였다. 초고층 높이로 압송을 하기 위해 콘크리트 유동성을 확보하는데 주력하였으며, 유동성 확보와 동시에 재료분리 저항성을 유지시켜 유동화에 따른 재료분리로 인한 콘크리트 품질저하를 방지하였다.

#### 2) 콘크리트 타설

지상 46층(155m)의 구조물에 콘크리트를 타설함에 있어 고강도 콘크리트는 점성이 높고, 초고층 압송시 배관 내 수분의 감소로 압송 능률의 저하 및 콘크리트 펌핑 압력의 변화에 따라 배관 라인(Line)의 막힘 현상을 방지하기 위하여 압송능력 200bar 이상의 고압 펌프를 사용하였고, 압송된 콘크리트는 C.P.B(Concrete Placing Boom)를 이용하여 타설 위치에서 콘크리트를 타설하였다.