

초고층 주상복합 건물의 구조시스템 분석 및 설계



최준식
주식회사 단·구조 대표이사

1. 구조설계 개요

1.1 건물개요



〈그림 1〉 두산 워브 포세이돈 전경

- 1) 공사명 : 수영만 두산워브포세이돈주상복합 신축공사
- 2) 위치 : 부산광역시 해운대구 우동
- 3) 대지면적 : 9,098 m² (2,752 평)
- 4) 연면적 : 126,660 m² (38,315 평)
- 5) 규모 : 지하5층, 지상45층
- 6) 주용도 : 업무시설(오피스텔), 공동주택

- 7) 구조형식 : 철근콘크리트 구조
- 8) 최고높이 : 161.5m (건축 최고높이)
154.5m (ROOF 기준)
- 9) 공사기간 : 2003년 ~ 2005년
- 10) 건축설계 : (주)부산건축
- 11) 구조설계 : 주식회사 단구조
- 12) 시공사 : 두산산업개발(주)

1.2 구조재료 강도

1) 콘크리트 강도

- 기둥 및 Core Wall : fck = 400~240 kgf/cm²
- 슬래브 : fck = 300~240 kgf/cm²
- Outrigger & Belt Wall : fck = 400~300 kgf/cm²

2) 철근 강도

- 보, 슬래브, Core Wall : fy = 4,000 kgf/cm²
- 고층부 기둥, 기초 : fy = 5,000 kgf/cm²
- Outrigger & Belt Wall : fy = 4,000 kgf/cm²

3) 철골 강도

- SRC기둥(Fin Wall 하부기둥) : Fy = 3,300 kgf/cm²

2. 구조형식

2.1 구조형식의 선정

1) 수직하중지지 구조형식

- 바닥 구조형식

- 플랫 플레이트 슬래브(Flat Plate Slab) 구조를 사용(Thk,200

mm)하였고, 400~600(B)×450(D)mm Perimeter Girder로 계획하였다.

· 기둥 & Core Wall 구조형식

- 고강도 콘크리트를 이용($f_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$)하여 부재의 크기를 조정하였으며, Core Wall은 Thk. 600mm와 Thk.300mm로 계획하였다.

2) 수평하중지지 구조형식

· 철근콘크리트 Core Wall을 주횡력지지 구조로 계획하고, Core Wall의 약축방향 Outrigger 및 Belt Wall을 이용하여 횡력에 대해 변위량을 제어하였다.

· Core Wall의 단변방향은 장변방향 길이의 1/3정도로, 충분한 강성확보가 필요한 단변방향에 대해 기준층의 세대간벽을 이용한 Fin Wall(Thk.400mm)을 추가로 계획하였다.

3) 지하주차장 구조형식

· 철근콘크리트 라멘조로 계획하였고, 고층부와의 연결부위 및 기둥 모듈의 불규칙성을 고려하여 Two-Way Slab System을 적용하였다.

· 지상1층 슬래브는 Thk.300mm를 사용하여 고층부에서 전달되는 횡력에 대해 Diaphragm 역할을 할 수 있도록 계획하였다.

4) 기초형식

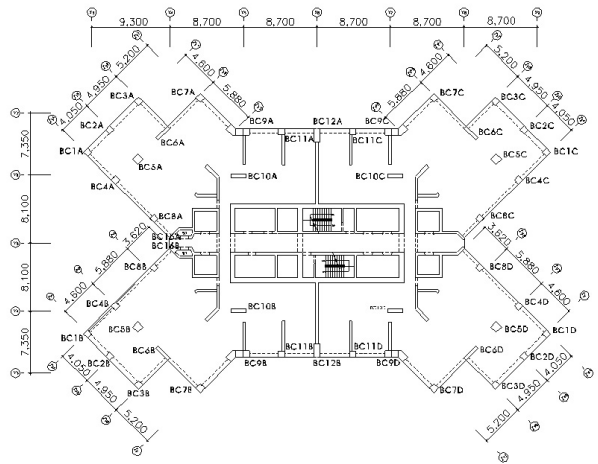
· 고층부 기초의 지내력($F_e = 120 \text{ tf/cm}^2$) 확보를 위해 고층부 기초 구간에만 지하5층 바닥에서 연암 Level(B5F-3.0~4.0m)까지 PTT층을 두어 Thk.2,300 ~3,000mm의 직접기초(온통기초)를 적용하였으며, 저층부 지하주차장 기초는 지하 5층 바닥에서 직접기초(독립기초)로 계획하였다.

· 중요도 계수 : 1.5

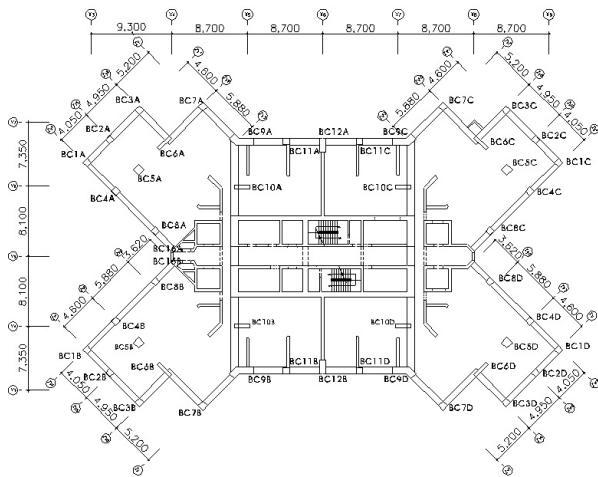
· 지반계수 : 1.5

· 반응수정계수 : 3.0

2.3 구조평면



〈그림 2〉 기준층 구조평면도



〈그림 3〉 Outrigger층 구조평면도

2.2 설계하중

1) 바닥하중(기준층)

구 분	고 정 하 중	적 재 하 중
아파트거실	820 kgf/m ²	200 kgf/m ²
오피스텔	820 kgf/m ²	250 kgf/m ²

2) 풍하중 · 기본풍속 : 40m/sec

· 노풍도 : D

· 중요도 계수 : 1.1

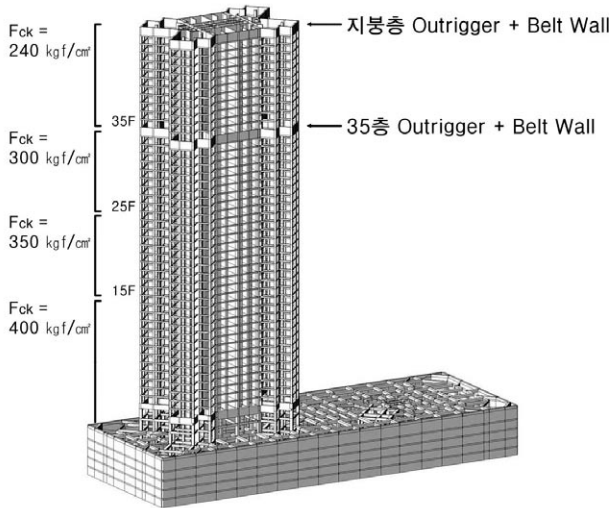
· 풍동실험에 의한 사용성 평가 (풍동실험 : (주)티이솔루션 김운석 박사)

3) 지진하중

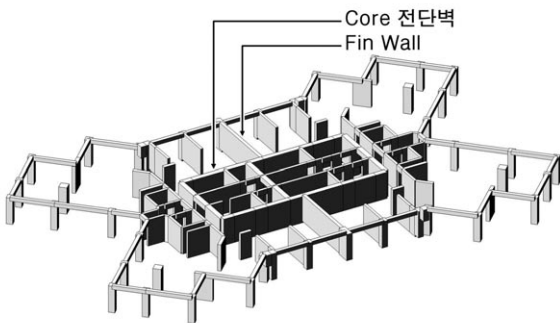
· 지역계수 : 0.11

3. 구조해석 개요

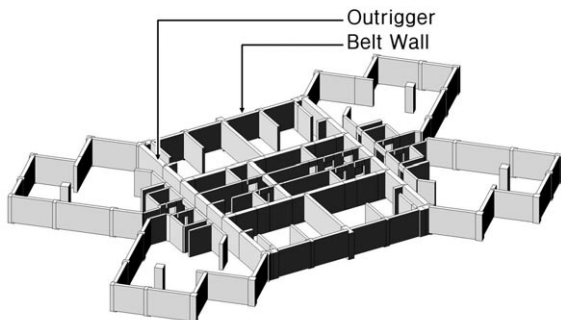
3.1 구조해석모델



〈그림 4〉 3차원 전체 해석모델



〈그림 5〉 기준층 해석모델



〈그림 6〉 Outrigger층 해석모델

3.2 구조시스템 비교분석

본 건물의 구조시스템 분석은 Core Wall, Outrigger, Belt Wall, Fin Wall 등 여러 가지 횡력저항 요소를 조합하여 아래와 같이 Case 별로 해석하고 그 강성을 비교하였다.

- 1) Case 1 : Core Wall Only
- 2) Case 2 : Core Wall + Outrigger(RF)
- 3) Case 3 : Core Wall + Outrigger + Belt Wall(RF)
- 4) Case 4 : Core Wall + Outrigger(35F, RF)
- 5) Case 5 : Core Wall + Outrigger + Belt Wall(35F, RF)
- 6) Case 6 : Core Wall + Outrigger + Belt Wall(35F, RF) + Fin Wall(3F~RF)

Outrigger & Belt Wall은 아파트와 오피스텔의 경계층인 34층~35층 사이 PIT층(층고 3.4m)과 Roof층 상부 2곳에 위치하고 있으며, Core Wall과 외부 기둥을 연결하고 있다.

Fin Wall(Thk.400mm)은 Core Wall의 약축방향 강성을 충분히 확보하기 위하여 3층~45층의 세대간벽을 이용하여 계획하였다.

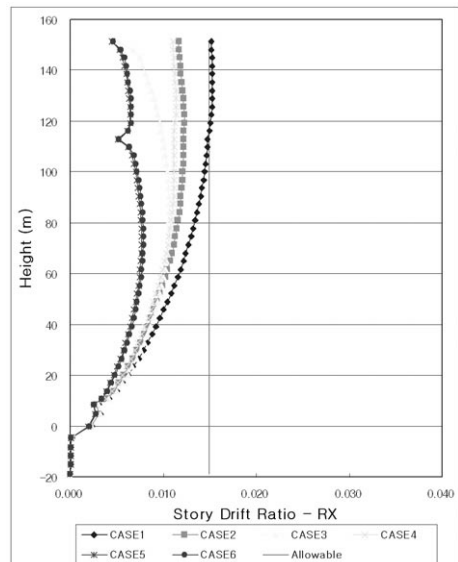
외측 Core Wall의 두께는 지하층 900mm(단변방향)와 700mm(장변방향), 지상 1층~지붕층은 600mm를 사용하였고, 내측 Core Wall의 두께는 지하층~지붕층 모두 300mm로 계획하였다.

Outrigger는 900(B)×3,400(D)mm, Belt Wall은 600(B)×3,400(D)mm를 사용하였고, 휨재의 균열단면을 고려하여 $0.5 \cdot I_g$ 인 단면(50% 강성 저감)을 적용하였다.

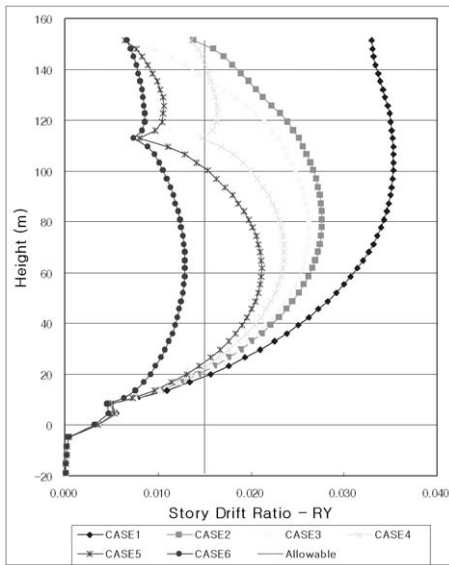
3.3 강성비교및분석결과

Case 1. Core Wall only System을 기준으로 하여 강성을 비교하였으며, 각 Case별 지진하중에 의한 층간 변위비 비교 및 풍하중에 의한 횡변위 비교는 다음과 같다.

- 1) 지진하중에 의한 층간변위비

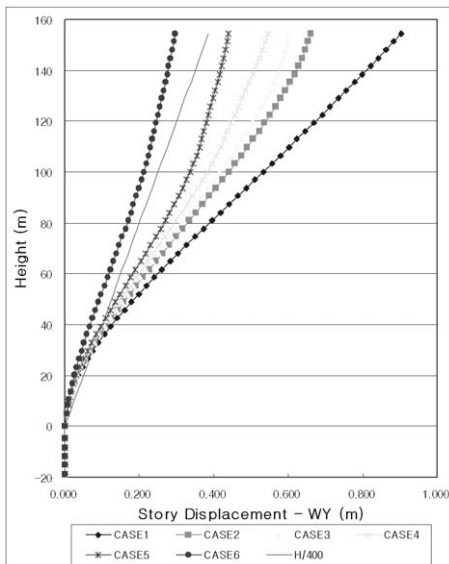


〈그림 7〉 X방향 층간변위비



〈그림 8〉 Y방향 층간변위비

2) 풍하중에 의한 변위



〈그림 9〉 Y방향 변위

3) 풍하중에 의한 횡변위 비교

종류	X방향			Y방향		
	변위(cm)	H/강성(%)	강성(%)	변위(cm)	H/강성(%)	강성(%)
Case 1	22.26	H/694	100	90.31	H/171	100
Case 2	18.43	H/838	120	66.02	H/234	135
Case 3	13.87	H/1114	160	60.19	H/257	150
Case 4	17.13	H/902	130	54.62	H/283	165
Case 5	10.70	H/1444	210	43.88	H/352	205
Case 6	10.70	H/1444	210	29.62	H/522	305

각 Case별로 비교 분석한 결과 Fin Wall은 구조물의 강성을 확보하는데 가장 효과적이었으며, Outrigger & Belt Wall의 위치는 본 건물 구조계획시 예상했던 것과 같이 PT2층과 Roof층 2개소에 적용해야만 횡변위 제어를 할 수 있었다.

Outrigger와 연결된 외부기둥의 단면적 또한 횡변위지지 강성에 매우 효과적이므로, Outrigger의 강성이 확보되는 위치의 단면적을 찾아 적용하였다.

Outrigger층의 상·하부 슬래브 설계는 각각 작은 플레이트 모델링한 유한요소 해석모델에 의해 횡하중에 대한 Flat Plate Slab의 휨강성을 검토하였다.

4. 주요 부재검토 및 설계

4.1 Outrigger

Outrigger의 개수와 위치는 건물의 강성에 직접적인 영향이 있으므로 층간변위나 횡변위를 감소시키는데 매우 효과적이지만, 변위 제어에 따른 응력집중 현상이 발생하므로 Outrigger 설계시 과다철근량 및 그에 따른 접합부의 정착과 시공성 등도 검토되어야 한다.

특히, 연직부재인 기둥과 Core Wall의 Column Shortening과 인접부재간의 Differential Shortening 등으로 인해 발생하는 사용성 문제 및 Outrigger의 추가응력에 따른 구조적인 문제가 발생된다.

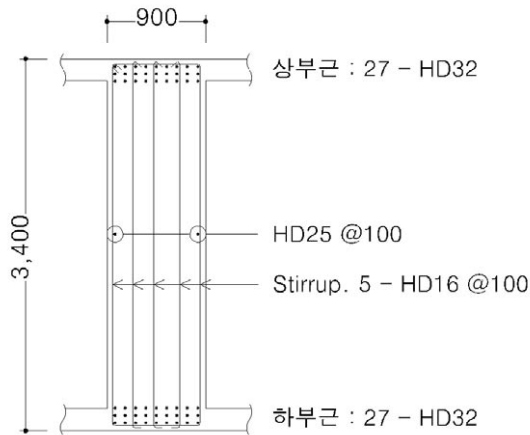
Outrigger에 수직부재의 Differential Shortening에 따른 수직하중의 전달을 최소화하여, Outrigger가 횡력에 대한 저항시스템으로서의 역할을 충분히 할 수 있도록 다음과 같은 방법을 검토하였다.

1) Outrigger 시공지연의 방법

Outrigger가 설치되는 층에서 Outrigger를 그 층의 다른 구조체와 동시에 시공하지 않고, 기본골조 완공후 수직부재 사이의 부등축소량이 충분히 진행된 다음에 시공.

2) Outrigger 후타설부 설치

Outrigger를 시공하더라도 외부기둥과 연결시키지 않고 Outrigger와 Core Wall을 먼저 일체로 시공하되, 기둥의 축소량이 충분히 진행된 후에 Outrigger와 외부기둥을 연결.

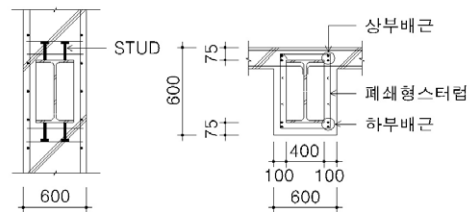
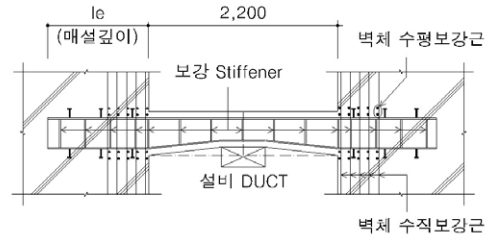


〈그림 10〉 Outrigger 설계 단면도

4.2 Coupling Beam

Core Wall의 단변방향에 적용된 3개소의 Coupling Beam은 ELEV 홀을 중심으로 분리된 단변방향 Core Wall의 횡방향 강성 확보에 매우 효과적이지만, 강성 확보를 위해 Coupling Beam에 집중되는 응력은 600(B) × 600(D)mm인 철근콘크리트 Beam으로 설계할 수 없는 구간이 발생하였다.

따라서, 철근콘크리트 Beam으로 설계할 수 없는 구간에 대해서는 Steel Beam을 사용(LRFD 적용)하여 강도가 확보되도록 검토하였다. Steel Beam 적용시 보강 Stiffener설치 및 Core Wall과의 매설깊이를 검토하였고, Steel Beam 매설에 따른 Core Wall의 추가 보강수직 철근도 검토하였다.



Max. 철골보 ; BH-450x400x32x75
($F_y = 3,300 \text{ kgf/cm}^2$)

〈그림 11〉 Coupling Beam 설계 단면도

요즘같이 어려운 경제상황 속에서 회원여러분의 부담이 크시겠지만, 우리 회의 활동이 더욱 활발하게 이루어질 수 있도록 회비납부의 당부를 드립니다.
회원 여러분의 많은 협조 부탁드립니다.

연회비 : ₩50,000

국민은행 (예금주 : (사)한국건축구조기술사회)

599301-01-083255

※ 입금시 보내시는 분 성명을 기입해 주세요.

「건축구조」는 회원여러분의 참여를 기다리고 있습니다.
보내주신 원고는 소중히 생각하겠습니다.
회원여러분의 많은 협조 부탁드립니다.

■원고구분

신기술·신공법, 구조시스템 소개
구조기술관련 법규신설 및 제도변경, 기술소식
일반소식, 학회소식, 칼럼, 참관기
용어해설, 문예마당, 회원동정

■제출내용 및 형식

- ① 원고원본 및 원고저장 디스켓, 저자 사진
- ② 원고제출시 성명, 소속기관, 직위, 연락처 표시
- ③ 한글, MS워드로 작성(분량 제한 없음)

■제출처

(135-895) 서울 강남구 신사동 629-1 하나빌딩 602호
TEL: (02)3446-4711 FAX: (02)3446-4773
E-mail: ksea@ksea.or.kr