

초고층 주거용 건물의 구조시스템 분석 및 설계



김종수 대표이사
(주)C.S구조엔지니어링

1. 건축개요 및 구조설계 개요

1.1 건축개요



〈그림 1〉 갤러리아 팰리스 전경

- 공사명 : 잠실 갤러리아 팰리스 신축공사
- 위치 : 서울시 송파구 잠실동
- 연면적 : 80,370 평
- 규모 : 지하5층, 지상46층(3개동)
- 용도 : 주거복합시설
- 구조형식 : 철근콘크리트 구조
- 최고높이 : 149.6m
- 공사기간 : 2001년 1월~2003년 12월
(Diaphragm Wall 시공기간이 제외된 골조공사 기간)

- 건축설계 : 희림+간삼 콘소시움
- 구조설계 : C.S 구조엔지니어링
- 시공사 : (주)한화+삼성물산 주택부문

1.2 구조재료 개요

1) 콘크리트 강도

수직부재 : $f_{ck} = 500 \sim 350 \text{kgf/cm}^2$

수평부재 : $f_{ck} = 350 \text{kgf/cm}^2$

2) 철근 강도 (고강도 철근사용)

29mm 이상 : $f_y = 5000 \text{kgf/cm}^2$

25mm 이하 : $f_y = 4000 \text{kgf/cm}^2$

1.3 구조형식

1) 중력하중 시스템

가변형에 유리한 Frame 구조로 수직재는 콘크리트 기둥과 Core Wall, 수평재는 두께 200mm의 슬래브, $1500 \times 350 \text{mm}$ 의 Perimeter Girder로 구성하였다.

2) 횡력저항 시스템

이중골조 방식으로 Core Wall과 Perimeter Girder, Outrigger Girder(16층, $1600 \times 1500 \text{mm}$)를 이용하여 횡력에 저항하였으며, Core Wall의 강성이 떨어지는 방향에는 세대간벽을 이용한 Fin Wall(Thk, 300mm)로 강성을 보강하였다. 그리고 Outrigger Girder는 기계실이 설치되는 층에 계획하였다.

3) 기초형식

비교적 지반의 상태가 양호($f_0=150\text{ton}/\text{m}^2$)하여 고층부에는 2500mm 두께의 매트기초를 적용하였으며, 저층부의 기초는 독립기초를 사용하였다.

4) 지하주차장 PC조 활용

도심지 공사의 경우 시공에 필요한 작업공간 확보가 어려우므로 이를 대처하기 위해 적당한 시기에 제작, 운반하여 바로 현장에서 조립할 수 있는 PC조를 사용하여 현장내의 작업공간을 최소화하였다.

5) 효율적인 평면 시스템 사용

기준층 바닥 시스템을 그림2와 같이 1-Way Wide Beam System 채택하였으며 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 낮은 층고 : 아파트층 2.95m, 오피스텔층 2.9m로 설비에 필요한 공간을 확보하였으며 우물천장을 사용하여 층고를 줄였다.
- 시공성 향상 : 1방향 보이기 때문에 거푸집 작업이 비교적 간단하다.

6) 고강도 SD500($f_y=5000\text{kgf}/\text{cm}^2$) 철근 사용

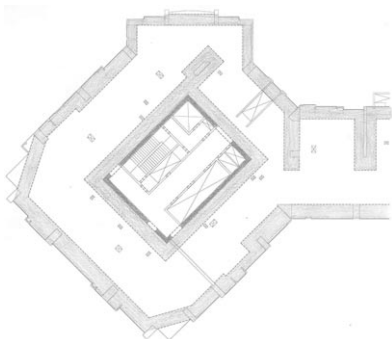
직경이 29mm 이상인 철근이 필요한 부위(기둥, Core Wall, 기초)에 사용하였다.

- 경제적 이익 : 필요철근량의 감소(재료원가 약 11% 절감), 철근 가공조립비 절감, 이음비율 절감 등으로 재료비를 감소시켰다.
- 시공성 향상 : 철근의 직경 및 본수 감소로 작업성 및 시공성이 향상되었다.

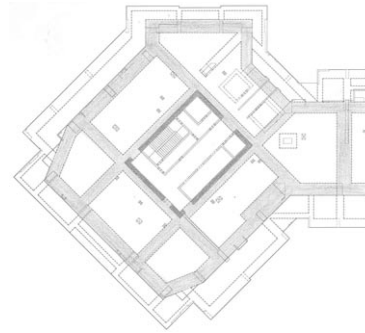
1.4 구조평면및 단면계획

1) 평면도

본 주거복합시설의 평면도는 다음과 같다.

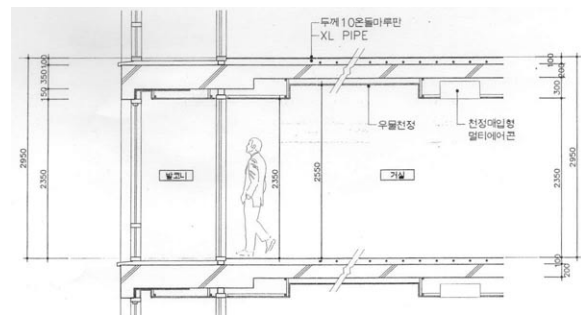


〈그림 2〉 기준층 평면도



〈그림 3〉 아웃리저층 평면도(16층)

2) 단면도



〈그림 4〉 기준층 단면도

Core Wall과 기둥 사이에 보가 없고, 테두리모만 설치되는 Perimeter Girder 방식을 채택함으로 기준층고를 낮게 계획하였다.

1.5 설계하중(Design Load)

1) 중력하중(기준층)

구 분	고정하중	활하중	슬래브두께
거 실	760kgf/m ²	200kgf/m ²	200mm
저층 공용부	570kgf/m ²	600kgf/m ²	200mm

2) 풍하중

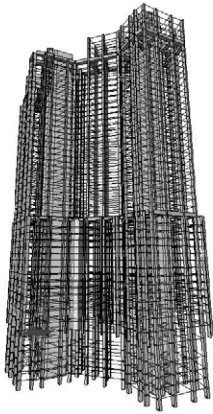
- 기본풍속 : 30m/sec
- 노 풍 도 : B
- 풍동실험 결과에 의한 사용성 평가(풍동실험 : 전북대 김영문 교수, O.A.P기술자문)

3) 지진하중

- 기 준 : 건축물의 구조기준등에 관한 규칙
- 지역계수 : 0.11
- 중요도계수 : 1.5
- 지반계수 : 1.2
- 반응수정계수 : 4.0

2. 구조해석(Structural System Analysis)

2.1 해석모델(Analysis Modeling)



〈그림 5〉 3차원 해석 모델

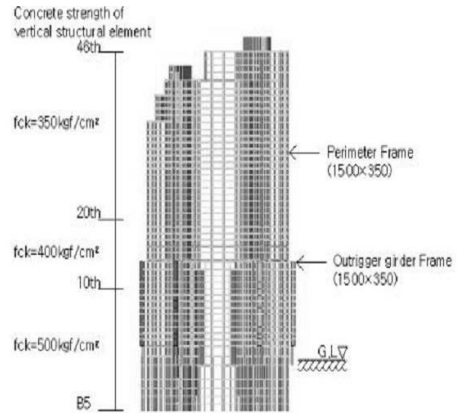
2.2 구조시스템 결정(Structural System)

고층건물 설계시 초기단계에서 가장 중요한 것은 횡력저항 시스템에 대한 결정이다. 보통 전단벽 시스템은 40층 이하의 콘크리트 건물에 적용되며, 고층건물에 적용될 경우 횡하중에 대하여 유연한 구조물이 되기 때문에 비경제적이다. 따라서 본 건물의 구조시스템을 결정할 때 아래와 같이 여러 가지 횡력저항 요소를 조합하여 결과를 분석하고 결정하였으며, 특별히 횡방향 강성을 증가시키기 위하여 Outrigger Girder를 사용하였다.

- Case 1: Core Wall Only
- Case 2: Core Wall + Lower Outrigger
- Case 3: Core Wall + Upper Outrigger
- Case 4: Core Wall + Lower & Upper Outrigger
- Case 5: Core Wall + Lower Outrigger + Perimeter Frame
- Case 6: Core Wall + Lower & Upper Outrigger + Fin Wall
- Case 7: Core Wall + Lower Outrigger + Perimeter Frame + Fin Wall

Lower Outrigger(1600×1500mm)는 기계실이 위치한 16층에, Upper Outrigger(1500×1500mm)는 세대가 변경되는 43층에 각각 위치하고 있다. Perimeter Frame은 크기가 1500×350mm으로 외부 기둥을 연결하고 있다.

Core Wall의 약축방향 강성이 적어 Lower Outrigger와 Upper Outrigger 사이의 층간변위를 만족시키기 위하여 16층~43층의 세대간벽을 이용하여 Fin Wall을 계획하였다. Core Wall 두께는 지하층은 800mm, 2~16층은 600mm, 17~지붕층은 450mm이다.



〈그림 6〉 구조계획 입면도

2.3 각 경우에 따른 강성비교

Case 1인 Core Wall Only System을 기준으로 하여 각 경우의 강성을 주기 및 변위에 대하여 비교하였으며, 그 결과는 다음과 같다. Outrigger Girder와 Core Wall을 연결하는 인방보의 경우 균열단면과 편심접합부에 대한 고려로 50% 강성저감된 단면을 적용하였다.

2.4 분석결과

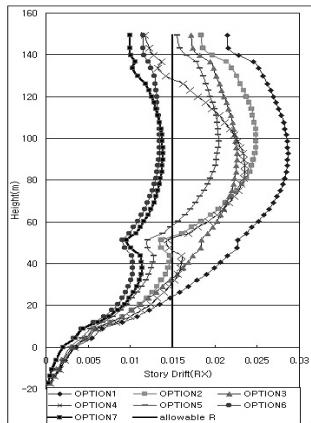
각 경우의 검토를 비교, 분석한 결과 Outrigger Girder는 변위제어와 구조물의 강성을 높이는 데 효과적이었다. 물론 Outrigger의 위치에 따라 Outrigger System의 효과는 차이가 크며, 본 건물에선 하부 Outrigger가 상부보다 높은 강성을 가진 것을 알 수 있다.

Upper Outrigger와 Frame 요소는 Case 1과 비교하여 약 10%의 강성을 증가시켰으며, 결과적으로 건물강성에 미치는 영향이 비슷한 것으로 나타났다.

Upper Outrigger는 Core Wall과 기둥사이의 부등처짐이 크게 나타나 불가피하게 지연줄눈(Delay Joint) 설치가 요구되었고, 또한 Outrigger층의 공기가 약 1개월 정도 소요되므로 최종 구조 시스템 선정시 Frame 요소를 채택하였다. Perimeter Frame은 보침이 적어 내진상세를 적용할 경우 시공성이 떨어지는 단점이 있으나, 시공사에서 공기단축을 우선시했으므로 예상되는 시공상의 어려움은 극복하기로 하였다.

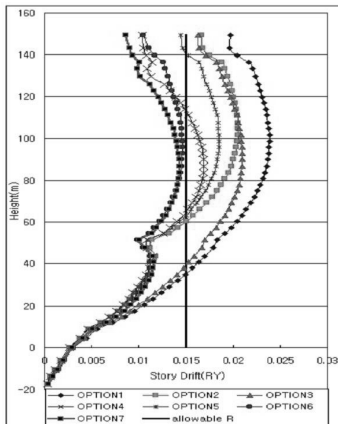
Fin Wall은 Core Wall의 약축방향인 X-축 방향의 강성을 보완하기 위하여 설치하였으며, 당연하지만 강성에 매우 효과적이라는 결과를 보였다.

· X방향 층간변위비



<그림 7>

· Y방향 층간변위비



<그림 8>

· 각 시스템의 강성과 횡변위 비교

종류	강 성			횡 변 위			
	X방향 (%)	Y방향 (%)	Z방향 (%)	X방향		Y방향	
				변위	강 성(%)	변위	강 성(%)
case1	100	100	100	0.585	100	0.305	100
case2	133	119	124	0.448	130	0.259	118
case3	109	111	97	0.492	119	0.255	120
case4	143	129	120	0.382	153	0.221	138
case5	140	124	116	0.371	157	0.222	137
case6	197	129	120	0.277	211	0.218	140
case7	214	133	134	0.266	220	0.222	138

3. Outrigger의 정밀 해석

3.1 검토배경

앞에서 분석한 것과 같이 Outrigger는 건물 강성의 20~30%를 차지하고 있다. 보통 Outrigger는 Core Wall에 발생하는 모멘트를 감소시키고 층간변위나 횡변위를 감소시키는데 효과적이다. 기존에 검

토된 연구는 Outrigger의 개수와 위치에 대한 강성평가가 이루어졌으나, 본 프로젝트에서는 정밀한 해석을 통하여 Core Wall과 Outrigger의 접합부에 대한 분석에 중점을 두었다.

Outrigger Girder 사용시 Core Wall보다 보폭이 넓어 접합부에서는 편심하중에 의하여 편심 모멘트가 발생하고 이에 따른 추가응력 발생 및 강성저하 효과를 고려하여 적절한 철근 배근방법을 검토하였다.

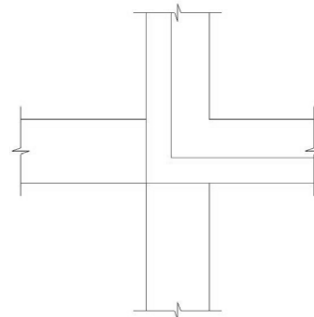
본 건물 16층에는 총 7개의 Outrigger Girder를 설치하였다. 강성의 비정형성을 피하기 위하여 8개를 설치하는 것이 상식적이지만, 평면계획상 Core Wall과 기둥이 가까이 설치된 곳의 Outrigger Girder에 부등처짐에 따른 매우 큰 응력이 발생하므로 설치할 수 없었다.

3.2 검토모델

Outrigger 위치에 따른 강성 검토를 위하여 그림9~11과 같이 Outrigger와 Core Wall의 위치를 변화시킨 4개의 모델을 사용하였으며, Outrigger와 Core Wall과의 국부적인 비틀림 모멘트를 검토하였다.

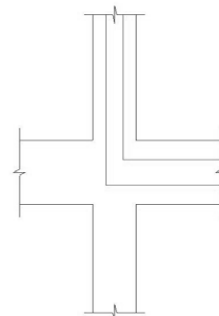
모델은 Core Wall과 기둥의 간격을 9m, Outrigger의 크기를 1600x1500mm, 그리고 Core Wall 두께를 600mm로 하였으며, 수직하중은 전체모델링으로부터 계산되어진 하중을 입력하였다.

case 1 : Core wall 안쪽에 Outrigger가 위치



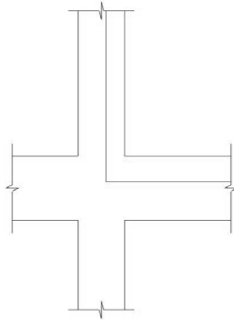
<그림 9>

case 2 : Core wall 중앙에 Outrigger가 위치

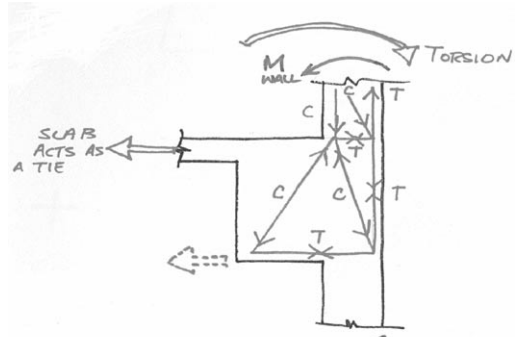


<그림 10>

case 3 : Core wall 바깥쪽에 Outrigger가 위치



〈그림 11〉



〈그림 13〉 중력-횡력(1)

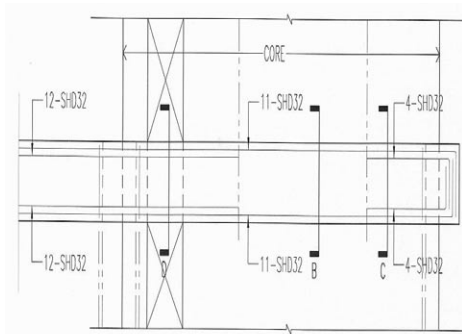
case 4 : Solid 요소를 이용한 단일 Span의 모델

3.3 분석결과와철근배치

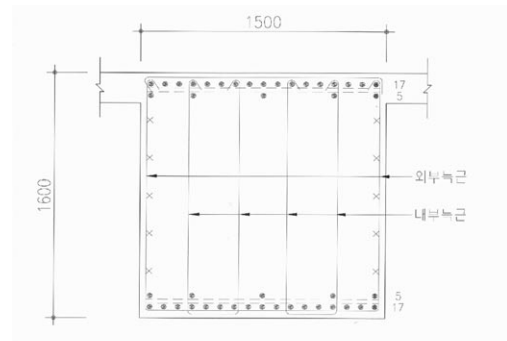
Case 1~3의 분석결과는 아래의 표에서 알 수 있듯이 편심 접합부에 의한 강성감소는 미미하고, Case 4와 Case 1~3의 결과로 볼 때 지지부의 접합 강성이 약 25%정도 떨어지므로 전체 모델링에 접합 강성과 균열단면에 대한 고려로 50%의 강성저감된 부재로 전체강성을 평가한다.

분 류	변 위(cm)	강성비율(%)
case1	15.54	72.08
case2	14.12	74.22
case3	14.28	73.39
case4	10.48	100

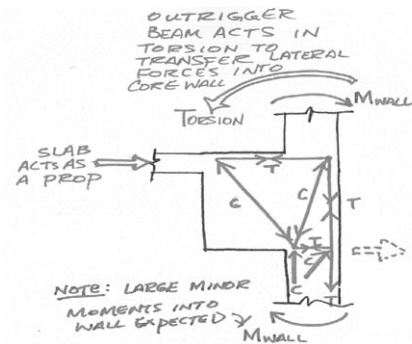
다음 그림에서 볼 수 있듯이 편심 접합부에 의하여 Outrigger Girder에는 비틀림 모멘트가 생기며, Core Wall에는 국부적인 면외 모멘트가 발생한다. 따라서 접합부분에는 각 응력에 적합한 보강 상세를 사용하도록 하였다.



〈그림 14〉 Outrigger Girder 입면도



〈그림 15〉 Outrigger Girder 입면도



〈그림 12〉 중력+횡력(↓)

Top Bar : 22-SHD32
 Bottom Bar : 22-SHD32
 Stirrup : Outer 2-leg-HD22@100
 Inner 4-leg-HD13@100