현대하이페리온의 구조시스템

정광량 대표이사
(주) 동양구조안전기술

1. 건물 개요

최근 하이페리온, 타워팰리스Ⅲ에 이어 부산에 60층이 넘는 센텀피에스타가 시공될 예정으로 있어 초고층 아파트가 국내의 대표적인 주거양식으로 떠오르고 있다. 이 시점에서 최근 입주가 시작되는 하이페리온을 통하여 초고층아파트에 적용되는 대표적인 구조시스템인 Outrigger 시스템과 적용된 제반 요소기술에 대하여 살펴보고자 한다.

현대 Hyperion은 국내에서 가장 높은 69층의 철골조 아파트이며, 서울의 강서지역에 새로운 스카이라인이 형성되게 된다. 현대 하이페리온에 대한 건축개요는 다음과 같다.

- 건축설계 : 예건축
- 구조설계 : (주)동양구조안전기술, OAP
- 시　공 : 현대건설(주)
- 건축면적 : 14,361 m^2
- 연 면 적 : 385,298 m^2
- 층　수 : Tower A – 69층(247.8m)
  Tower B – 59층(227.0m)
  Tower C – 54층(188.9m)
- 층　고 : 기준층 3.2 ~ 3.8m
- 구조형식 : 콘크리트 전단코어
  + Outrigger + SRC 기둥
- 재료강도 : 슬래브 – 270 kgf/cm^2
  Floor Beam – SS400, SM490A
  Column & Outrigger – SM490TMCP
  Core Wall – 350 kgf/cm^2 ~500 kgf/cm^2

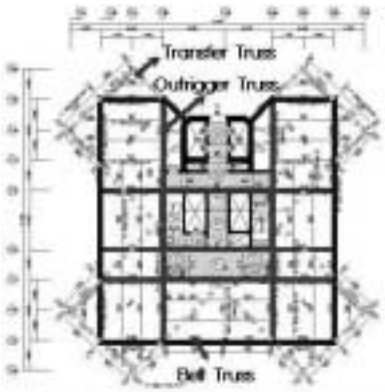
2. 구조시스템

현대 Hyperion에 적용된 Outrigger 시스템은 고층화에 따른 과도한 횡변위를 제어하기 위해서 건물의 일부층을 강성이 큰 벽체나 트러스 형태의 구조물을 띠같이 설치하여 시스템으로 건물의 일부층을 감싸는 벨트 시스템과 횡하중에 저항하는 코어를 건물 외부기둥과 연결하여 이루어진 구조시스템이다. 보통 골조-가새, 골조-전단벽 구조에서 횡하중을 부담하는 코어에 Outrigger와 Belt Truss를 설치하여 외곽기둥과 연결시킨다. F.R. Khan에 의하면 Outrigger 시스템은 60층까지 적합한 구조형식으로 평가되는 구조시스템이다.

코어는 철근콘크리트조, Outrigger 트러스는 철골조, 외부기둥은 SRC조를 사용하고 있으며 A동은 9층, 32층, 50층, B동과 C동은 9층과 32층에 Outrigger 트러스(Outrigger Truss)가 설치되었다. Outrigger 트러스가 설치된 층은 2개층 정도 높이의 설비층으로 사용되며 Out- rigger 트러스를 통한 하중 전달이 특정 기둥에 집중되는 현상을 방지하기 위해 모든 외곽 기둥은 벨트 트러스(Belt truss)

로 상호 구속되어 있다.

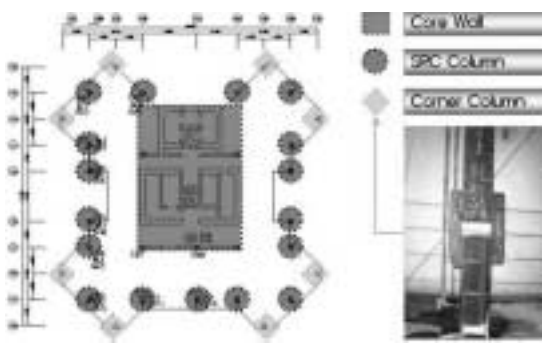
〈그림 1〉은 Hyperion의 평면도이며 굵은 실선으로 표현된 부분이 Outrigger 트러스이며 평면 외곽 기둥을 따라 가는 실선으로 표시된 부분이 벨트 트러스이다. 〈그림 1〉에서 보이듯이 비교적 약축에 해당하는 X방향에 대해서는 3개의 Outrigger가 설치되었고 Y방향으로는 2개의 Outrigger를 설치하였다.



〈그림 1〉 Hyperion 평면

Hyperion의 연직 하중은 SRC조 외곽 기둥과 콘크리트 코아월에 의해 지지된다. 코아월의 벽두께는 0.8 ~1.0 m 정도에 달하며 SRC조 기둥의 경우 각 기둥마다 다르긴 하지만 지하 6층에서 6,000 tonf 이상의 연직 하중에 저항하도록 설계되었다. 모든 연직하중은 콘크리트 코아월과 SRC조 기둥에 의해 하부로 전달되며 매트 기초(Mat Foundation)를 통해 지반으로 전달된다.

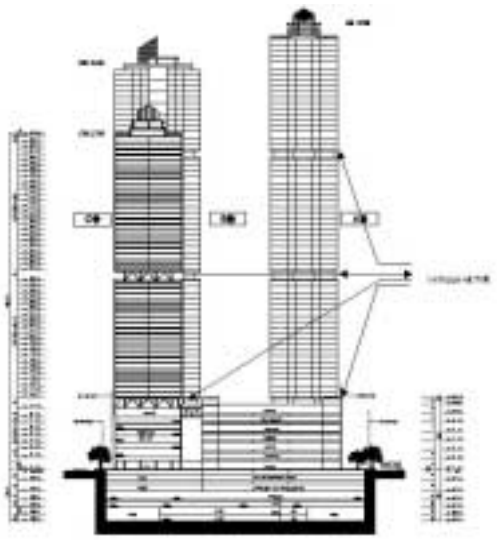
〈그림 2〉에서 ◯기호로 표시된 기둥은 모서리기둥(Corner Column)으로서 전체적인 연직하중 전달 시스템에서 큰 비중을 차지하지 않는 기둥으로 수직부재 축소량 해석 대상에서 제외되었다.



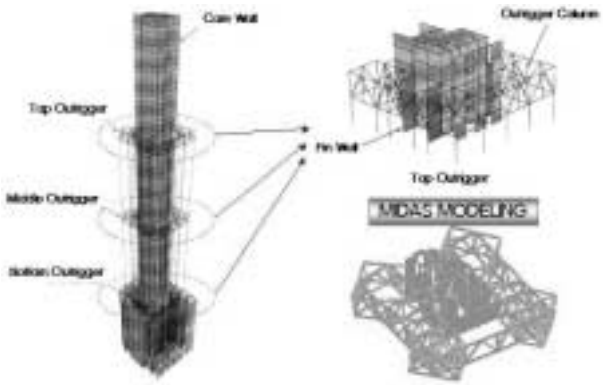
〈그림 2〉 Hyperion 연직하중 저항골조 평면

〈그림 3〉은 Hyperion의 단면도로서 Out- rigger 설치 위치가 표현되어 있다. A동에서 32층과 50층 Outrigger에는 Adjustment Joint, 9층에는 Delay Joint가 적용되었으며 B동과 C동에서는 모든 Outrigger에 Delay Joint가 적용되었다. Hyperion은 횡력저항시스템으로 Outrigger + Belt Truss 시스템을 사용하고 있다.

모든 횡력은 콘크리트 코어에 직접적으로 전달되거나 Outrigger로 연결된 외주기둥에 축력으로 전달된다. 〈그림 4〉에 Hyperion A동의 횡력저항시스템과 Outrigger + Belt Truss 시스템을 3D 모델링으로 표현하였다.



〈그림 3〉 Hyperion 단면도



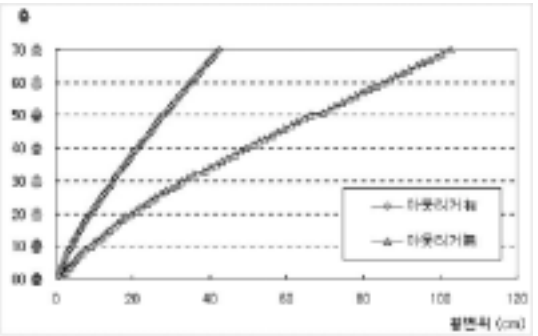
〈그림 4〉 Hyperion A동의 구조시스템

〈표 1〉과 같이 A동의 경우 Outrigger가 없을 경우 최상층에서 풍하중에 대한 횡변위는 103 cm인데 반해 Outrigger가 있을 경우 횡변위가 43 cm(< h/500 = 50 cm)로 줄어들어 58% 정도의 횡변위 감소 효과가 나타나난다. 코어가 부담하는 모멘트는 Outrigger가 없을 경우 1층에서 325,419 (tonf · m)이고 Outrigger가 있을 경우 218,159 (tonf · m)로서 33% 정도의 모멘트 감소효과가 나타났다.

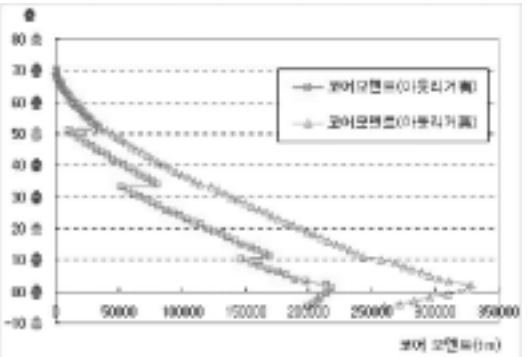
Outrigger+Belt Truss 시스템이 도입된 경우와 도입되지 않은 경우에 대한 횡변위와 코어의 모멘트 다이어그램을 〈그림 5〉와 〈그림 6〉에 표현하였다. 〈그림 6〉에서 Outrigger가 설치된 층에서 코어모멘트가 현저히 감소하는 것을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 Outrigger 유무에 따른 구조거동

	횡변위(cm)	전도모멘트(tf · cm)
아웃리거 無	103	325,419
아웃리거 有	43	218,159
(無-有)/無	58%	33%



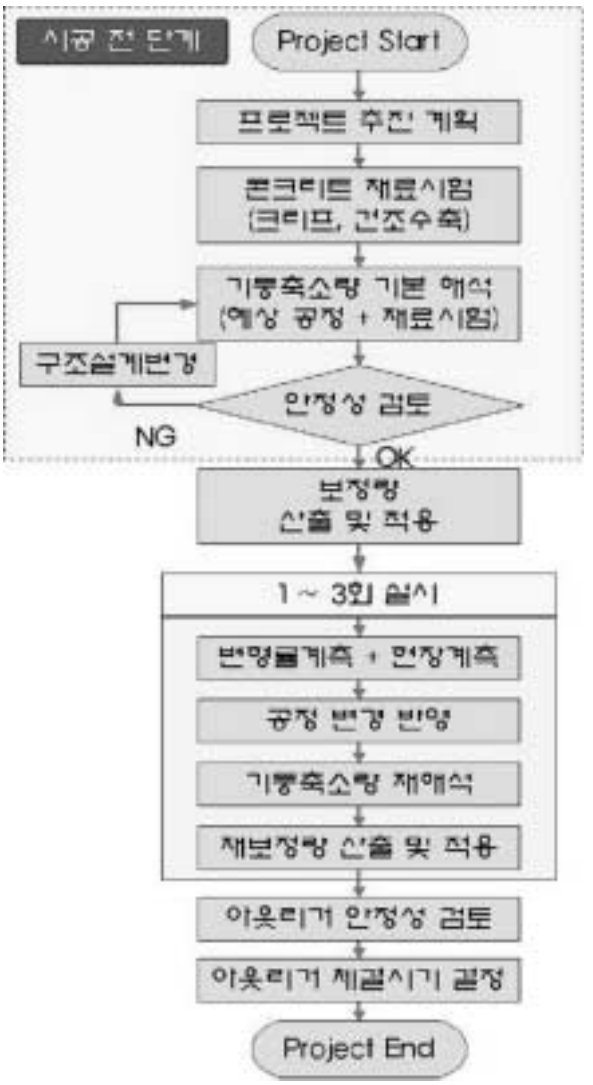
〈그림 5〉 완공 후 Outrigger 유무에 따른 Hyperion 횡변위 (Lateral Displacement)



〈그림 6〉 Outrigger 유무에 따른 코어 전도모멘트 (Overturning Moment)

3. 요소기술

초고층 건물에서 가장 주의할 점은 재료의 물성과 응력비에 따른 부등수축량이다. 이를 해결하기 위하여 기둥축소량을 예측하며 발생하는 부등처짐량을 구조적, 시공적 방법으로 해결하여야 한다.



〈그림 7〉 기둥축소량 Process

3.1 기둥 축소량 해석

기둥축소량을 구성하는 요소는 탄성축소 (Elastic Shortening)와 비탄성축소(Inelastic Shortening)로 나눌 수 있으며, 비탄성축소는 다시 크리프(Creep)에 의한 축소와 건조수축(Shrinkage)에 의한 축소로 세분화할 수 있다.

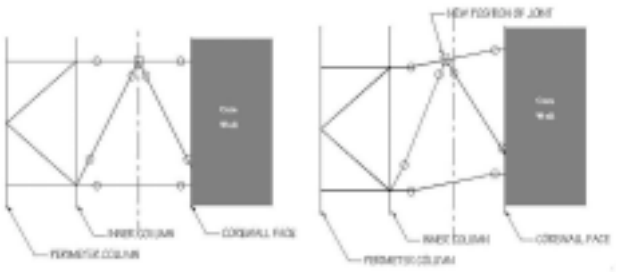
철골조의 경우에는 탄성축소만 발생하지만, RC조의 경우 탄성축소뿐만 아니라 비탄성축소도 함께 발생하기 때문에 순수 철골조에 비해 기둥축소량 산정이 더 어렵고 복잡하다. 전체 축소량에서 탄성축소가 차지하는 비율은 40 ~ 50% 정도이며 나머지 50 ~ 60%를 비탄성 축소량인 크리프와 건조수축이 차지하고 있다.

초고층 건축물에 있어 이러한 수직 부재의 축소 현상으로 인해 발생되는 부등 축소량은 구조적 요소 뿐 만 아니라, 설비요소, 내부 벽체 요소 등에도 문제를 일으키므로 시공 중 이를 해결하기 위한 시공방법이 고안되거나, 적절한 보정이 이루어져야 한다.

기둥축소량 문제를 합리적으로 해결하기 위해서는 초기 설계 단계에서부터 업무 계획을 수립하여 진행하여야 한다. 업무 내용은 콘크리트 재료 시험, 기둥축소량 해석 및 보정, 구조안정성 검토, 변형률 계측 등 크게 4가지로 분류할 수 있다. 초기 기둥축소량 해석 및 보정을 시행한 후 주기적인 변형률 계측과 측량을 통해 2 ~ 4회 정도의 재해석 재보정 작업을 반복적으로 수행하여야 하는데 이는 시공현장 상황이 가변성을 포함하고 있기 때문이다. 업무 진행 과정을 〈그림 7〉과 같다.

3.2 지연접합과 조절접합

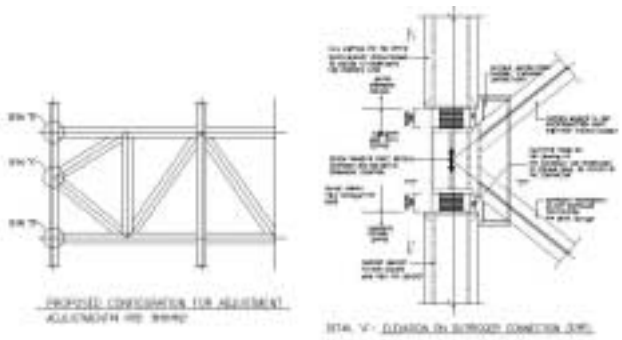
Outrigger 시스템을 적용하고 있는 초고층 건물의 경우 Outrigger 트러스를 설치하여 즉시 완전 체결을 하게 되면 코어부와 기둥 사이의 부등축소로 인하여 Outrigger 트러스에 과도한 응력을 유발하게 된다. 외부 기둥과 내부 코어 사이의 부등 축소량이 클 경우, 건물이 완공된 후 발생하는 부등 축소량에 의해서 유발되는 응력에 대하여서는 Outrigger 트러스가 지지할 수 있도록 설계를 하나, 시공 중 발생하는 부등축소는 응력을 발생이 시키지 않고 해소 시킬 수 있는 상세로 지연접합(Delay Joint)와 조절접합(Adjustment Joint)를 적용하는 것이 일반적인 방법이다.



(a) 부등변 위 발생 전　　(b) 부등변위 발생 후

〈그림 8〉 Delay Joint 개념

〈그림 8〉과 같이 지연 접합 공법(Delay joint method)은 Outrigger의 완전체결 시점을 골조 공사 완료 시점 정도로 연기함으로써 Outrigger의 부등변위를 줄일 수 있게 해주며, 조절접합의 경우 지연접합이 가진 특성에 추가하여 시공 중 횡력에 대해 코어와 Outrigger가 함께 저항할 수 있는 이점을 지니고 있다.



〈그림 9〉 Adjustment Joint 상세

〈그림 9〉와 같이 조절 접합 공법(adjust joint method)은 심공법(Shimming Method)이라고도 하는데 이 방법은 시공 중에 발생하는 부등축소는 해소시키면서도 시공 중에 발생하는 태풍과 같은 큰 횡하중에 대하여서는 완전 조립을 하지 않은 Outrigger 트러스가 역학적인 거동을 하게 하여 건물의 안정성을 유지 시킨다.

Hyperion 수직부재의 부등축소에 의해 Outrigger에 전달되는 부가응력 문제를 해결하기 위해 Delay Joint와 Adjustment Joint를 적용하였다. Outrigger 트러스와 외주기둥 사이의 접합부 완전 체결 시점을 특정 시점 이후로 연기하는 것이(Delay) 건물 전체 구조 시스템 측면에서 볼 때 훨씬 유리한 선택이므로 Delay Joint를 적용하였다. Outrigger에 Delay Joint를 사용할 경우 시공 중에 작용하는 횡하중을 코어 단독으로 저항하기 때문에 시공하중에 대해 반드시 해석을 수행하여 구조 안정성을 확인하여야 한다.

A동의 경우 3개 Outrigger를 Delay Joint로 가정하고 시공중 횡하중(완공 후 풍하중의 70 %)에 대해 안정성 검토를 수행한 결과 코어가 부담해야 하는 모멘트가 코어의 능력(Capacity)을 초과하기 때문에 3개 Outrigger 중 2개 Outrigger (50층과 32층 Outrigger)에는 시공 중 횡하중에 저항할 수 있도록 Adjustment Joint를 적용하였으며, B동과 C동의 경우 확인 결과 시공 중 횡하중에 대해 코어 단독으로 저항할 수 있다는 결론을 얻었기 때문에 Outrigger 접합부로서 Delay Joint를 적용하였다. Hyperion에 실제로 적용된 접합부 상세

를 〈그림 10〉, 〈그림 11〉에 나타내었다.

〈그림 10〉 Hyperion Delay Joint

〈그림 11〉 Hyperion Adjustment Joint

4. 맺음말

이상에서 살펴본 바와 같이 현대 Hyperion은 층고 면에서 60층 이상의 국내의 초고층 주거건물로 최근 대다수 초고층 주거건물에 적용되는 대표적인 구조시스템인 Outrigger-코어 시스템이 적용되었다. 또한 초고층 시공시 필수적인 요소기술인 기둥축소량을 고려하여 Delay Joint, Adjustment Joint를 적용하였다. 현대 Hyperion은 국내 초고층 주거건축을 위한 설계, 시공, 구조에 대한 기술력 축적의 초석을 이루었다고 생각된다.

원고모집

「건축구조기술사회지」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
(143-848) 서울 광진구 능동 237-4 삼진빌딩 2층 사무국
TEL: (02)443-4711 FAX: (02)443-4713
E-mail: ksea@ksea.or.kr