

초고층 구조시스템 및 설계사례 분석 (초고층)



2009. 2. .



목 차

1. 서 론

2. 구조시스템의 소개

2.1 Mega Frame

2.2 Outrigger & Belt Frame

2.3 Diagrid Frame(대각가새 구조)

2.4 Tube Frame

3. 국내.외의 (초)초고층 사례 연구

4. 첨부자료

1. 서론

국내에서 설계가 진행 중인 100 층이상의 초고층 건물을 살펴보면 아래 조감도와 같다.



현재 전국에서 추진 중인 100 층 이상 초고층 빌딩은 **서울 송파구 잠실 제 2 롯데월드(555m/112 층)**와 **마포구 상암동 국제비즈니스센터 (580m/130 층)**를 비롯해 **중구 금융관광허브 초고층 빌딩(960m/220 층)**, **성동구 독성 글로벌비즈니스센터(450m/110 층)**, **용산역세권 랜드마크(620m/150 층)** 등 서울에서 5 곳, 그리고 **인천 송도 인천타워(610m/151 층)**와 **부산 롯데월드(510m/107 층)** 등 모두 7 곳에 이른다. 따라서 국내에서도 100 층 이상 초고층 빌딩시대가 본격 열릴 전망이다.

이는 현재 ‘세계 1 위’인 대만의 타이베이 101 빌딩(508m · 101 층)보다 훨씬 높은 수준이며, 아랍에미리트 두바이에 내년 완공을 목표로 건축 중인

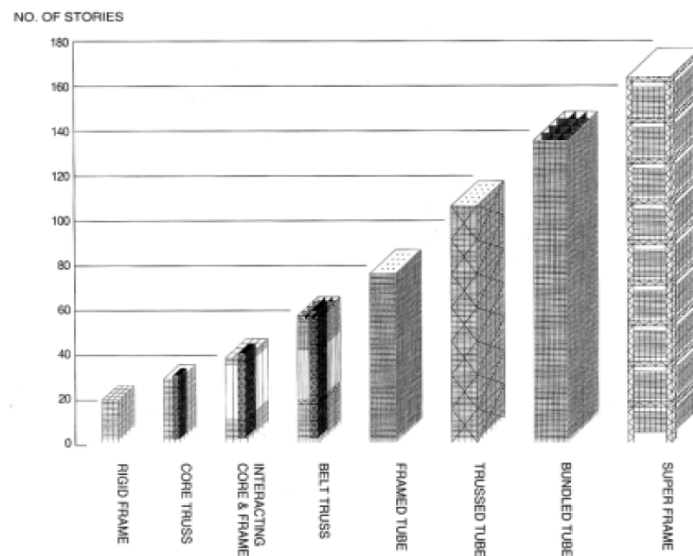
버즈두바이의 목표 높이 830m(160 층)를 추격하고 있다. 지금까지 지어진 국내 최고층 건물은 서울 강남구 도곡동의 타워팰리스(261m · 69 층)이다.

2. 구조시스템의 소개

2.1 Mega Frame

메가 프레임은 Super Column 과 Transfer Truss (Super Girder)를 사용하여, 횡하중과 연직하중에 모두 저항하는 3 차원 트러스 형태로 모듈화된 구조체를 반복적으로 사용하는 형식으로 DIB(Dynamic Intelligent Building)-200 에서 제시되었다.

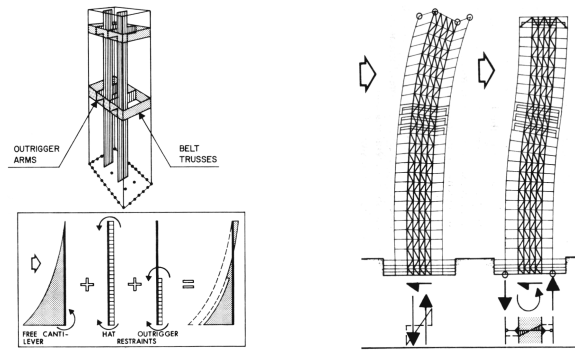
즉, 대형 규모의 기둥(Super Column)과 보(Super Girder), 그리고 가새(Transfer Truss) 등의 구조부재를 사용하여 횡하중과 연직하중에 모두 저항하는 3 차원 트러스 형태로 모듈화된 구조체를 반복적으로 사용하는 형식이다. 보통 4~24 개층마다 Super Girder 를 사용하고, 수직하중은 Super Girder 를 통해 Super Column 으로 전달하고, 수평하중은 Super Girder 와 Super Column 의 접합부 강성에 의하여 지지하는 구조시스템이다.



2.2 Outrigger & Belt Frame

건물이 고층화됨에 따라 횡하중에 의한 횡변형이 많이 발생하게 된다. 횡변위를 제어하기 위해서 건물의 일부층을 강성이 큰 벽체나 트러스

형태의 구조물을 허리띠같이 설치한다. 건물의 일부층을 감싸는 것을 벨트 시스템이라 하고 횡하중에 저항하는 코어를 건물 외부기둥과 연결하는 것을 아웃리거 시스템이라 한다. 보통 골조-전단벽, 골조-가새구조에서 횡하중을 부담하는 코어에 Outrigger 와 Belt Truss 를 설치하여 외곽기둥과 연결시킨다.

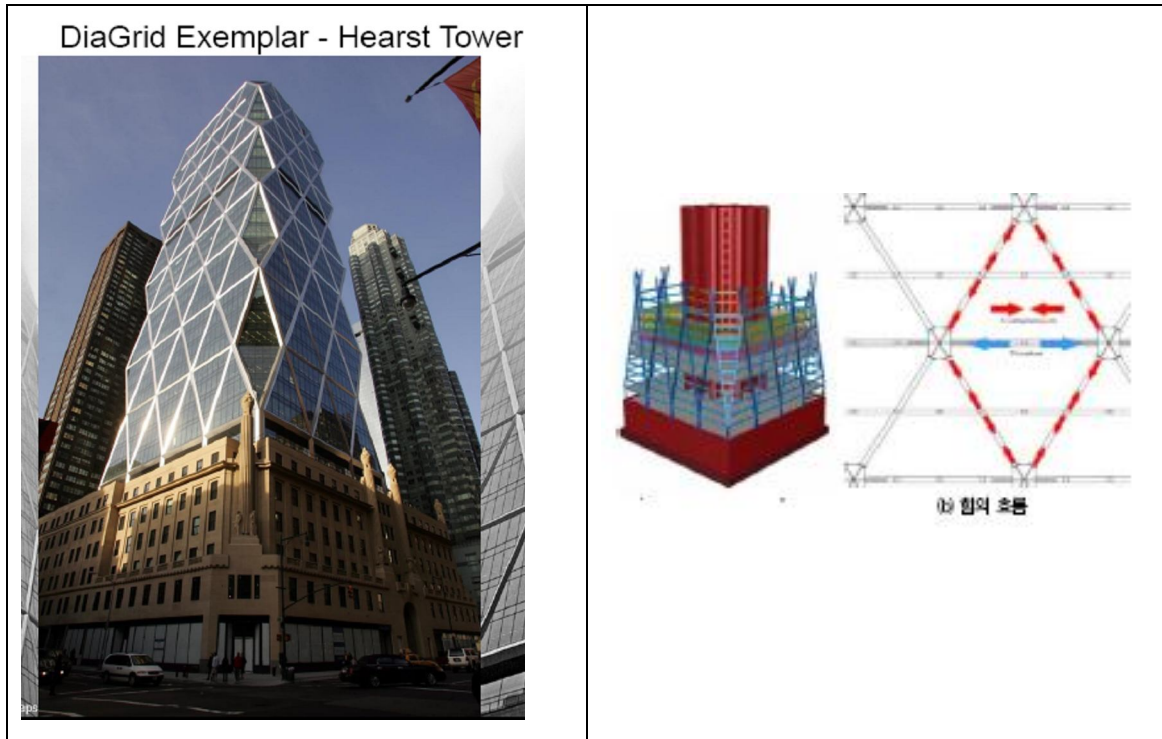


2.3 Diagrid Frame(대각가새 구조)

Diagrid 는 대각선 방향의 보를 사용하여 삼각형 구조물을 만들음으로써 철골조의 대형 건물을 건설할 수 있는 구조시스템이다. 즉, 경사진 수직부재와 보가 삼각형 형태의 배치를 이루고 수직하중을 적절하게 배분하여 기초와 지반에 안전하게 전달할 뿐만 아니라 Strut-Tie 와 유사한 형태로 외력에 저항하며, 건물의 최외곽에 위치하여 지진이나 풍하중에 효과적으로 대응할 수 있는 구조이다.

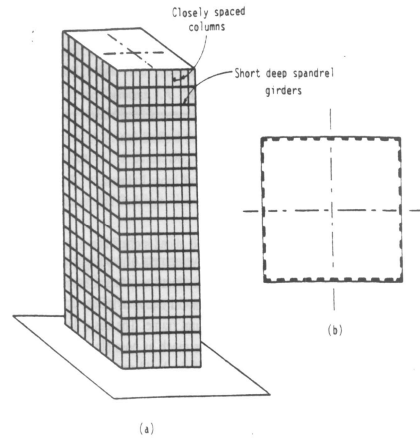
일반적인 가새구조는 층간변위에 의한 전단력을 수직기둥의 휨모멘트를 통해 전달하지만 Diagrid 구조는 가새부재의 축방향 거동을 통해 전단력을 전달한다. 이 구조시스템은 종래의 철골조보다 철골물량을 줄일 수 있으며, Hearst Tower 는 기존의 설계에 비해 약 21% 정도 철골물량이 감소된 것으로 보고 되고 있다. 또한 적절히 절충한다면 다이아그리드 구조는 코너의 대형기둥을 제거할 수 있으며, 하중분산을 보다 좋게 할 수 있다.

Outrigger 는 건물의 모멘트와 층간변위를 감소하는데 효과적이지만 Outrigger 만으로 전단강성을 제공하지 못해 코어가 반드시 필요하다. 그러나 Diagrid 구조는 휨강성 뿐만 아니라 전단강성도 제공하여 코아에 큰 강성을 요구하지 않는다.

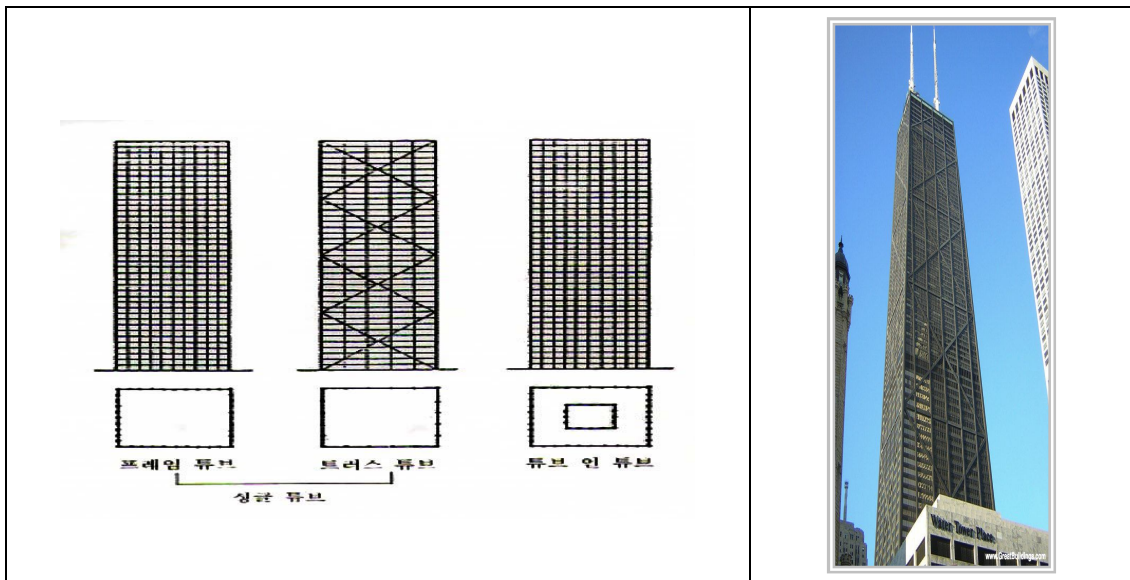


2.4 Tube Frame

튜브구조란 간격이 좁게 배열된 기둥과 보가 마치 튜브와 같이 건물의 외부를 둘러싸서 횡하중에 저항하는 시스템을 말한다. 일반적으로 튜브를 구성하는 기둥의 간격은 2~4m 이며, 이들 기둥은 춤이 큰 테두리보로 연결되어 있다. 횡력이 작용하는 경우 횡력이 작용하는 방향으로 배치된 튜브골조는 웨브와 같이 거동하며 이에 직각인 경우는 플랜지의 역할을 한다. 이 구조는 40 층에서 100 층 정도 규모의 건물에 적합한 시스템이라고 한다. 튜브구조는 횡력에 효율적이지만 ‘전단지연’과 같은 현상에 대하여 보완할 필요가 있다. 전단 지연이란 튜브플랜지의 모서리에 응력이 집중되고 중앙부에서는 응력이 덜 전달되어 결과적으로 전체적인 튜브 플랜지의 효율이 저하되는 현상을 말한다.

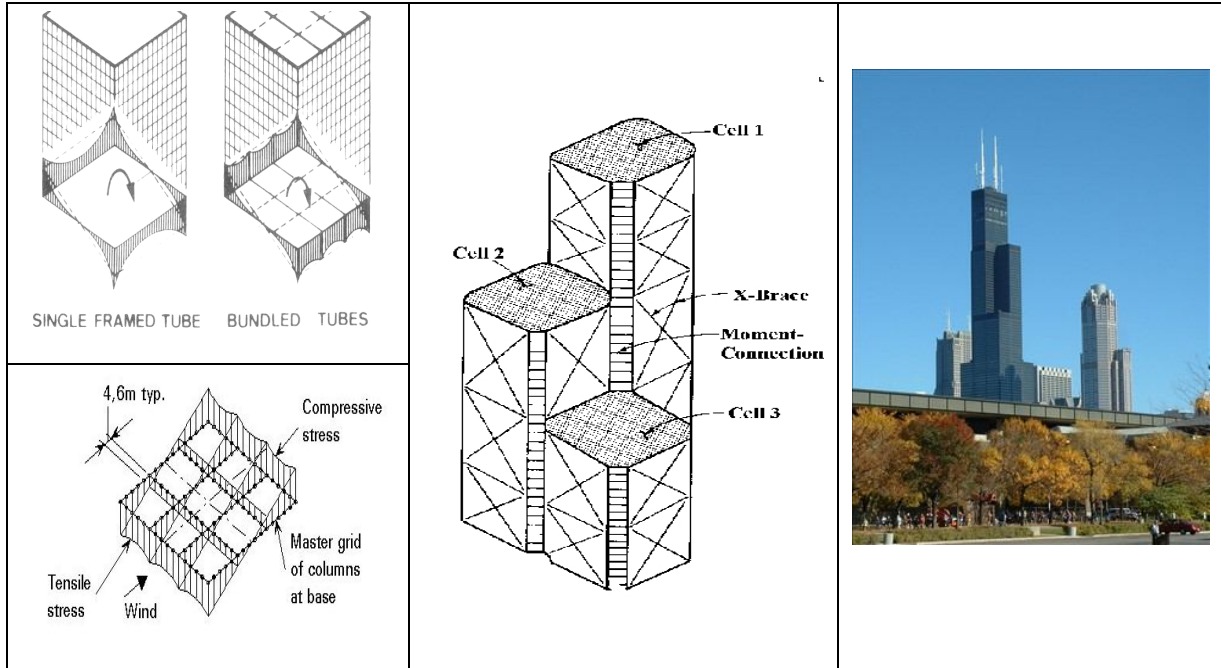


가새튜브구조 시스템은 전단지체 현상을 방지하고 강성을 증진시키기 위해 외부에 가새를 넣어 횡력을 부담하도록 하는 방식으로 튜브시스템보다 층고를 더 높힐 수 있는 방법이다. 일반 튜브구조보다 기둥의 간격이 넓어질 수 있으며 테두리보의 깊이도 감소시킬 수 있다. 이때 가새 부재의 역할은 하중과 부등변위를 재분배하고 벽체 응력을 균등화시키는 것이다.



전단지연작용의 원인은 튜브를 구성하는 기둥과 보의 전단강성의 부족에서 기인하는데, 그림과 같이 여러 개의 튜브를 연결하여 Bundled Tube 로 할 경우 평면 내부에서 전단력이 전달될 수 있는 통로가 생기므로 전단지연현상을 크게 개선할 수 있다.

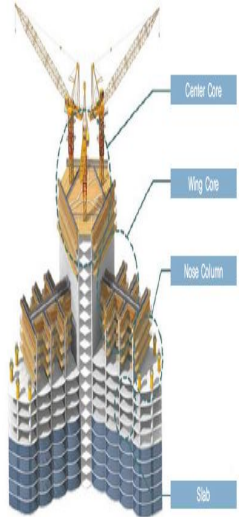
묶음튜브구조 시스템은 2 개 이상의 튜브를 서로 연결하여 개별 튜브 간의 상호작용을 통해 전단지연(Shear lag)현상을 감소시키고 큰 횡강성을 얻도록 한 구조형식을 말한다. 이 구조는 약 120 층 높이의 철근 콘크리트 구조물에서 경제적으로 활용할 수 있다.


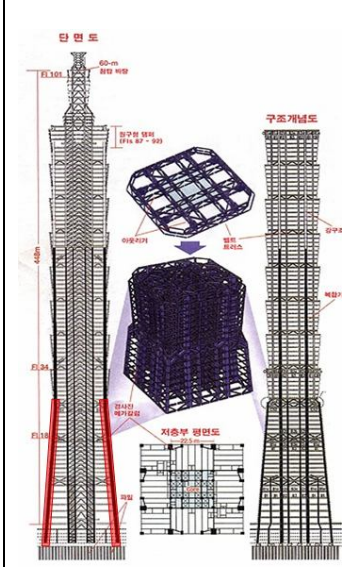


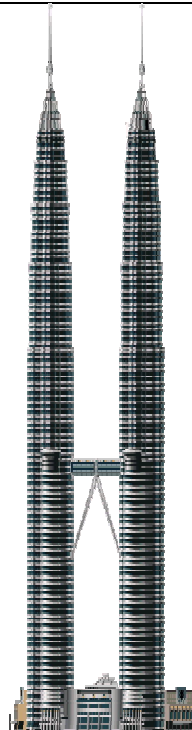
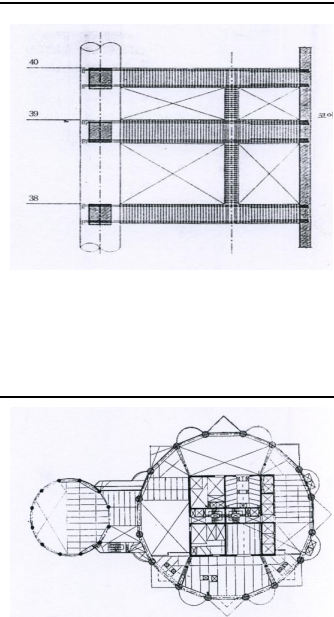
3. 국내.외의 초초고층 사례 연구

1900년대 초반부터 초고층으로 발전된 건축물들은 현대적 도시 기능의 주요한 부분으로 자리를 잡게 되었다. 1930년 크라이슬러 빌딩(Chrysler building, 319m, 뉴욕)의 완성과 함께 초고층 건물에 대한 경쟁이 시작되었다고 해도 과언이 아니다. 바로 1년 뒤인 1931년 102층의 엠파이어 스테이트 빌딩(Empire State Building, 381m, 뉴욕)이 완성되면서 수십년 동안 이 건물은 더 이상 높아질 수 없는 최후의 초고층 건물로 생각되어 왔으나, 다시 40년이 지난 1970년대에 들어와 세계 무역 센터(World Trade Center, 417m, 뉴욕), 시어즈 타워(Sears Tower :443m, 시카고) 등의 더 높은 건물에 최고의 자리를 내주었다. 현재는 페트로나스 트윈 타워(Petronas Twin Tower, 452m, 쿠알라룸푸르)가 세계 최고의 높이를 기록하고 있다. 최근의 초고층 건물 건립은 모두 아시아 특히 동남아시아에 집중되고 있는데 이는 1980년대 아시아의 경제적 발전과 더불어 아시아 국가들의 관심이 높아졌으며 아시아 국가들에 있어서 초고층 건축물은 도시 기능체로서의 가치보다는 개발도상국에서 선진국으로의 도약 혹은 변환을 의미하는 상징적 존재로서의 역할을 하고 있다.

해외에서 건설되었거나 건설 중인 초고층 건물들을 정리하면 아래와 같다.

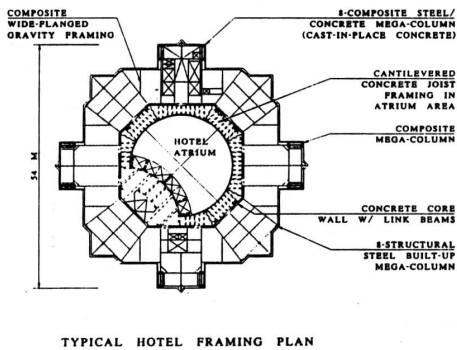
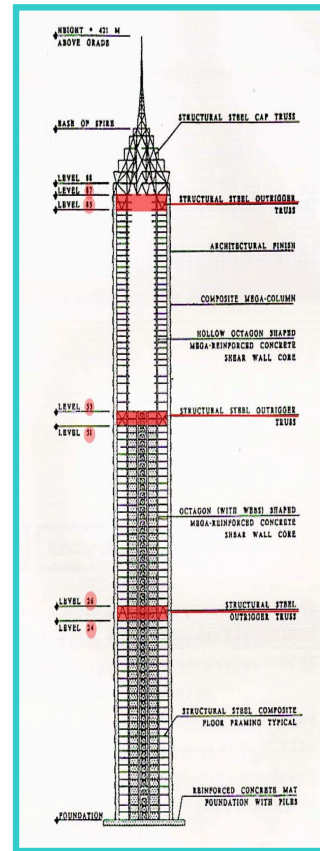
버즈 두바이		
<ul style="list-style-type: none"> ● 위치 - 두바이, UAE ● 용도 - 호텔/아파트/오피스 ● 높이(층) - 700m이상 (160층+상부첨탑) ● 완공예정 - 2008년 ● 구조 <ol style="list-style-type: none"> 1) Tower 부분(기초~156층): R C코어월(Thk=1,300~500mm) & 아웃트리거 시스템 5개소 2) Spire 부분(157층~Top Level): Steel Mega-Bracing system 		 <p style="text-align: center;">주요 구조 부위 개요</p>

Taipei 101		
<ul style="list-style-type: none"> ● 위치 - Taipei, Taiwan ● 용도 - 백화점/오피스/비즈니스센터 ● 높이(층) - 508m (101) ● 완공 - 2004년 ● 구조 - 아웃리거 시스템 + Mega Structure ● Mega-column <ul style="list-style-type: none"> - size : 3 x 2.4 m - 8개의 철골조 외부 기둥 - 하단부 25개 층에 설치 - 80mm의 후판을 용접 제작 - column 내부 : 700(kg/cm²) 고강도 콘크리트 타설 		

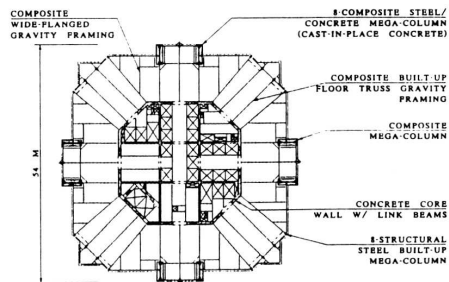
Petronas Towers		
<ul style="list-style-type: none"> ● 위치 - Kuala Lumpur, Malaysia ● 용도 - 업무/판매 시설 ● 높이(층) - 451.9m (88) ● 지름 - 46.2 m (152 ft) ● 완공 - 1998년 ● 구조 - 아웃리거 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - 코어와 Outrigger와 벨트 트러스를 설치, 외각기둥과 연결하여 코어의 응력을 외각기둥으로 전달 - Core : 횡력과 강성의 50%부담 Corewall과 Outrigger Beam : 횡력과 강성의 50%부담 ● 재료 - Concrete, Steel 		

Jin Mao Tower

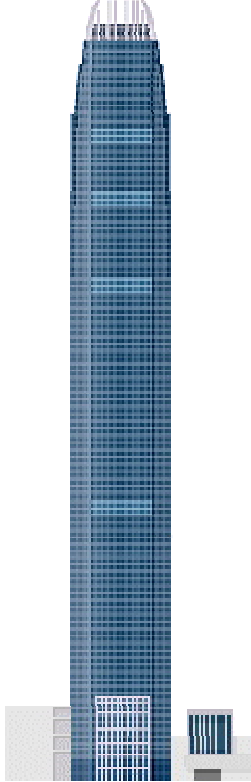
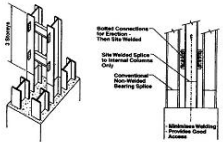
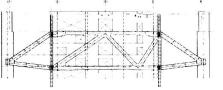
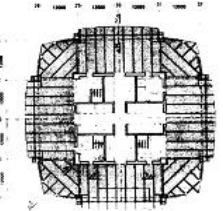
- 위치 - Shanghai, China
- 용도 - 사무실 50 개층
호텔 38개층
- 높이(층) - 420.6m (88)
- 구성 - 연면적 280,000 m²
- 전시실 2개층 순스팬 - 16.1 m
- 극장 등 순스팬 - 27m
- 완공 - 1998년
- 구조 - 아웃리거 시스템,
Mega Column
- mega-column
 - 8개소 (1.5m X 5m ~ 1m X 3.5m, SRC built-up)
 - 재료 : 강재+ 콘크리트
 - 위치 : 타워둘레 8개
 - 기능 : 수직하중에 저항
- Outrigger Truss
 - 2층 높이의 철골 트러스 3개소 설치
 - 재료 : 강재
 - 위치 : 25, 52, 86층에 위치
 - 기능 : 코어의 휨모멘트 저항

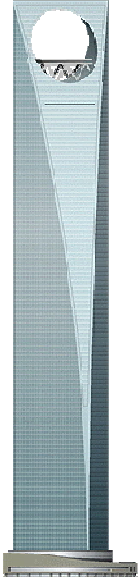


호텔 평면



사무소 평면

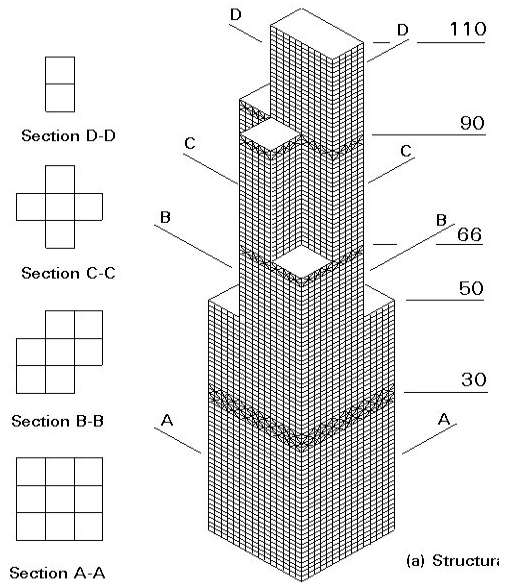
International Finance Center		
<ul style="list-style-type: none"> ● 위치 - Hong Kong ● 용도 - Office ● 높이(층) - 412.1 m (88) ● 구성 - 연면적 180,000 m² ● 완공 - 2003년 ● 구조 - Outrigger + Belt Truss + Mega Column <p>Steel Outriggers at three Levels Large Composite Mega columns Gravity structure in upper storeys Mega column: 작은 형강을 조립한 뒤 이를 콘크리트로 감싼 합성기둥</p>		 <p style="text-align: center; background-color: #800080; color: white; padding: 2px;">Mega-Column 구성</p>  <p style="text-align: center; background-color: #800080; color: white; padding: 2px;">아웃리거 시스템 형태</p>  <p style="text-align: center; background-color: #800080; color: white; padding: 2px;">평면도</p>

Shanghai World Financial Center	
<ul style="list-style-type: none"> ● 위치 - Shanghai, China ● 높이(층) - 494m (101) ● 완공 예정 - 2007년 ● 구조 - 이중튜브구조 ● 4개의 복합구조 Mega Column과 철근콘크리트 코어월 시스템 	

Sears Tower

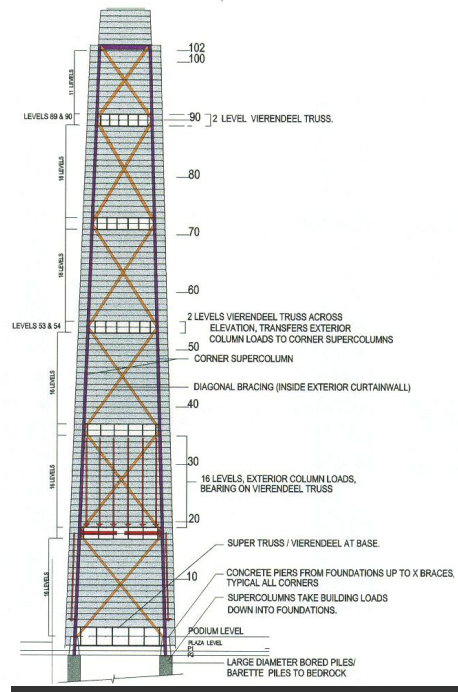
- 위치 - 시카고, 미국
- 용도 - 업무시설, 상업시설
- 높이(층) - 443m-안테나 527m (110)
- 구조-번들튜브(하부9개, 상부2개)
 - 1) Set Back
 - 설계레벨에서의 풍하중과 극한의 풍하중 모두 고려
 - 지진 다발 지역에 유리
 - 2) Belt Truss
 - 29~31층, 64~66층, 88~90층의 튜브를 2층짜리 Belt Truss로 건물 둘레를 단단히 묶어 하나의 연속체로 거동하게 하여 횡 하중에 저항

- 특징
 - 4.5m의 기둥간격으로 9개의 튜브구조 완성
 - 가새없이 내부 튜브구조로 횡력에 저항(순수 캔틸레버거동)
 - 가새없이 기둥과 보만으로 이루어져 내부 공간 극대화
 - 볼트접합 없이 용접접합



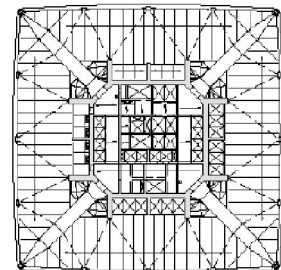
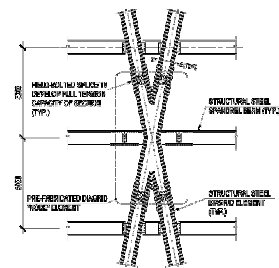
대우 송도타워

- 위치 - 인천
- 용도 - 오피스
- 높이(층) - 428m (108)
- 완공 예정 - ?
- 구조-**Tube in Tube + Outrigger + Braced Core + Mega Column**



잠실 제2롯데월드

- 위치 - 서울
- 용도 - 오피스, 호텔,
- 높이(층) - 555m (112)
- 완공 예정 - 설계중
- 구조-**Core wall + Diagrid**
 - 대각가새(DIAGRID) : 기둥과 가새 역할 동시 수행
 - 고강성 · 고효율 구조 시스템
 - Strut-Tie와 유사한 메커니즘으로 외력에 저항



4. 첨부자료

4.1 각 지역별 연간 최대풍속의 재현기대값

지명	Vo	계수		$V(T) = -1/a \times \ln(\ln(T/(T-1))) + b$						비고
	m/sec	a	b	V(10)	V(20)	V(50)	V(100)	V(200)	V(300)	
인천	30	0.36	15.03	21.28	23.28	25.87	27.81	29.74	30.87	
부산	40	0.33	22.7	29.52	31.70	34.52	36.64	38.75	39.98	
서울	30	0.42	14.32	19.68	21.39	23.61	25.27	26.93	27.90	

4.2 Review of Design Acceleration and Periods of World Building

Building Name	Country	City	Building use	Frame system	Height	Period	Total storey drift	Damping	Frame Material	Acceleration
ACT Tower	Japan	Hanamatsu city	Hotel	Braced frames	211.9 m	4.52 sec 4.73 sec	H/46 H/200 100yrs return	1.0% serviceability 2.0% ultimate	Steel	52 mg (wind 100yrs return)
Kobe Fortopia Hotel	Japan	Kobe	Hotel	Moment and braced frame	112.0 m	3.58 sec 3.69 sec	H/32 H/320 -	2.0%	Steel	30 mg (wind) 35 mg (seismic)
Nankai South Tower Hotel	Japan	Osaka	Hotel	Rigid frame and shear wall	147.0 m	3.24 sec 3.00 sec	H/47 N/A -	2.0%	Steel/concrete	40 mg (seismic)
Marriott Marquis Hotel	USA	New York	Hotel	Braced and rigid frames	175.0 m	5.00 sec	H/35 H/580 100yrs return	1.0% serviceability 2.0% ultimate	Steel	20 mg (wind 10yrs return)
Taj Mahal Hotel	USA	Atlantic city	Hotel	Staggered steel trusses & Braced steel core	128.0 m	3.00 sec	H/43 H/504 -	1.0% serviceability	Steel/concrete	1.8 mg rms (wind 1yr return)
Kanagawa Grand Tower	Japan	Kanagawa	Hotel/residential	Moment resisting frame	105.0 m	1.92 sec 1.53 sec	H/61 N/A -	2.0%	Concrete	-
Metropolitan Tower	USA	New York	Office/residential	Shear wall	218.0 m	5.80 sec 4.00 sec	H/48 H/500 -	1.3% serviceability 2.5% ultimate	Concrete	15 mg peak
Embassy Suites Hotel	USA	New York	Hotel	Shear wall	146.3 m	5.40 sec 7.40 sec	H/23 H/450 H/700 -	2.0% serviceability	Concrete	21 mg peak
CitySpire	USA	New York	Office/residential	Shear wall with outrigger	248.0 m	5.50 sec 5.40 sec	H/46 H/500 -	1.5% serviceability 2.5% ultimate	Concrete	15 mg peak (10 yrs return)
Trump Tower	USA	New York	Office/residential	Shear core/outrigger/perimeter frames	202.0 m	5.20 sec	H/39 H/600 100yrs return	1.5%	Concrete	16.5 mg peak (10 yrs return)
Onisite Center	USA	Chicago	Office/residential	Perimeter diagonally braced frames	174.0 m	-	H/50 100yrs return	1.5% serviceability	Concrete	-
John Hancock Center	USA	Chicago	Office/residential	Diagonally braced perimeter framed tube	344.0 m	-	H/50 100yrs return	1.0% serviceability	Steel	-
Hotel de las Artes	Spain	Barcelona	Hotel	Diagonally braced tube	137.0 m	5.20 sec	H/26 H/500 50yrs return	1.0% serviceability	Steel	-
Melbourne Central	Australia	Melbourne	Office	Core/tube in tube	211.0 m	4.20 sec	H/30 H/2110 50yrs return	1.0% serviceability 5.0% ultimate	Concrete/steel	2.9 mg rms (5yrs return)

Page 1 of 3

Building Name	Country	City	Building use	Frame system	Height	Period	Total storey drift	Damping	Frame Material	Acceleration
Riverside Center	Australia	Brisbane	Office	Tube in tube	150.0 m	3.80 sec	H/39 H/2380 50yrs return	2.0% serviceability 5.0% ultimate	Concrete	-
Bourke Place	Australia	Melbourne	Office	Tube in Tube	223.0 m	4.80 sec	H/46 H/1115 50yrs return	1.0% serviceability 5.0% ultimate	Concrete	-
Central Plaza One	Australia	Brisbane	Office	Core/framed tube	174.0 m	4.48 sec 3.80 sec	H/42 H/497 25yrs return	-	Concrete	16 mg peak (5yrs return)
Singapore Treasury Building	Singapore	Singapore	Office	Core wall	234.0 m	5.60 sec	H/42	2.0% serviceability	Concrete/steel	-
77 West Wacker Drive	USA	Chicago	Office	Shear core Perimeter steel frames	203.6 m	6.67 sec 5.88 sec	H/32 H/500 -	2.0% serviceability	Concrete/steel	29 mg peak
Casselden Place	Australia	Melbourne	Office	Core	160.0 m	3.45 sec 5.00 sec	H/38 H/1067 100yrs return	1.0% serviceability 5.0% ultimate	Concrete/steel	4.5 mg rms (5yrs return)
Majestic Building	New Zealand	Wellington	Office	Core and perimeter frame	116.0 m	2.90 sec	H/40	-	Concrete	10 mg peak (1 yr return)
Telcom Corporate Building	Australia	Melbourne	Office	Core/tube in tube	192.0 m	4.50 sec	H/43 H/1560 100yrs return	1.0% serviceability 5.0% ultimate	Concrete	4.4 mg rms (5yrs return)
Chifley Tower	Australia	Sydney	Office	Steel perimeter frames/ braced core/outrigger	215.0 m	5.00 sec	H/43 H/400 50yrs return	2.5% serviceability 6.0% ultimate	Steel	20 mg peak (5yrs return) with CTMD
One Liberty Place	USA	Philadelphia	Office	Braced core/steel girder	288.0 m	5.50 sec	H/52 H/450 10yrs return	1.0%	Steel	15 mg peak (10yrs return)
17 State Street	USA	New York	Office	Braced core tube/ moment frames/outrigger	167.3 m	4.70 sec 5.00 sec	H/34 H/500 100yrs return	1.0% serviceability	Steel	20 mg peak
Two Prudential Plaza	USA	Chicago	Office	Shear core/outrigger/ perimeter frame	278.0 m	7.20 sec 5.80 sec	H/43 H/570 50yrs return	2.0% serviceability	Concrete/steel	19 mg peak (10yrs return)
181 West Madison Street	USA	Chicago	Office	Steel perimeter tube/ concrete core tube	207.0 m	8.30 sec 6.70 sec	H/28 H/518 100yrs return	1.5% serviceability	Concrete/steel	18.4 mg peak
AT&T Corporate Center	USA	Chicago	Office	Concrete framed tube	270.0 m	6.50 sec	H/42 H/790	1.5% serviceability	Concrete/steel	20 mg (10yrs return)

Page 2 of 3

Building Name	Country	City	Building use	Frame system	Height	Period	Total storey drift	Damping	Frame Material	Acceleration
Georgia Pacific	USA	Atlanta, Georgia	Office	Hybrid perimeter tube	230.0 m	6.20 sec 4.40 sec	H/ 43 H/432 100yrs return	1.0% serviceability 2.0% ultimate	Steel	20 mg peak (10yrs return)
450 Lexington Avenue	USA	New York	Office	Perimeter tube with braced core	168.0 m	5.50 sec	H/ 31 H/500 50yrs return	1.0% -	Steel	20 mg peak
Mellon Bank	USA	Philadelphia	Office	Perimeter tube	259.0 m	6.00 sec	H/ 43 H/500 50yrs return	1.5% -	Concrete/steel	20 mg peak (10yrs return)
Dorsey Square Tower	USA	Boston	Office	Perimeter tube	187.0 m	5.58 sec 4.30 sec	H/ 37 H/604 100yrs return	1.0% serviceability 2.0% ultimate	Steel	23 mg peak (10yrs return)
Morton International	USA	Chicago	Office	Perimeter framed tube	170.0 m	4.00 sec	H/ 43 H/515 50yrs return	1.0% serviceability	Steel	15 mg peak (10yrs return)
Central Plaza	HK	HK	Office	Perimeter tube and core	314.0 m	-	H/785 50yrs return	-	Concrete	10 mg (10yrs return) typhoon wind
Hopewell Centre	HK	HK	Office	Perimeter tube and core	216.0 m	-	H/1440 50yrs return	-	Concrete	16 mg (2yrs return)
780 Third Avenue	USA	New York	Office	Diagonally braced exterior tube	174.0 m	4.80 sec 2.00 sec	H/ 51 H/966 -	1.0% serviceability 2.0% ultimate	Concrete	12 mg (10yrs return)
Sears Tower	USA	Chicago	Office	Bundled framed tube	443.0 m	7.80 sec	H/ 57 H/550 100yrs return	1.3% serviceability	Steel	20 mg peak (10yrs return)
Carnegie Hall Tower	USA	New York	Office	Side-by-side concrete tube	230.7 m	4.80 sec 3.00 sec	H/ 59 H/500 100yrs return	1.0% serviceability 2.5% ultimate	Concrete	20 mg peak (10yrs return)
Citicorp Center	USA	New York	Office	Braced perimeter tube/ braced core/TMD	279.0 m	6.90 sec 7.20 sec	H/ 40 H/600 -	1.1% serviceability 4.0% by TMD	Steel	20 mg peak (10yrs return)
Columbia Scaifirst Center	USA	Seattle	Office	Braced core/diagonal steel members	288.0 m	5.30 sec	H/ 54 H/596 100yrs return	2.5% w dampers 2.0% w/o dampers	Concrete/steel	20 mg peak (10yrs return)
First Bank Place	USA	Minneapolis, Minnesota	Office	Supercolumns/braced frames	236.5 m	6.48 sec 5.26 sec	H/ 40 H/444 -	1.3% serviceability 1.5% ultimate	Concrete/steel	24 mg peak (10yrs return)
HK Bank Headquarters	HK	HK	Office	Steel mass/suspension trusses	180.0 m	4.40 sec	H/ 41 -	1.0% serviceability	Concrete/steel	20 mg peak (10yrs return) typhoon wind