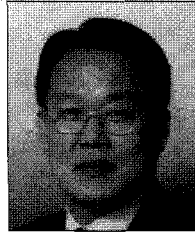
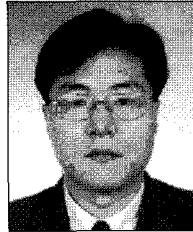


싱가폴 Marina Bay Sands IR 호텔의 설계와 시공

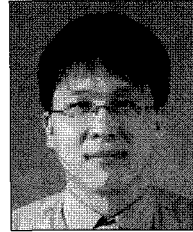
Brief Introduction of Design and Construction Methods for
Marina Bay Sands IR Hotel in Singapore



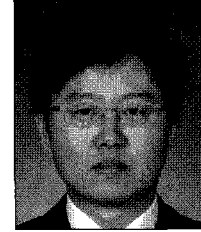
문보현*



장동운**



강지훈***



채승윤****

* 쌍용건설(주) 건축사업본부장
 ** 쌍용건설(주) 건축기술부 구조팀장
 *** 쌍용건설(주) 건축기술부 구조팀 과장
 **** 쌍용건설(주) 건축기술부 구조팀 대리

1. 서론

Marina Bay Sands IR 사업은 싱가포르 정부가 상위권 선진국으로 도약하기 위한 성장 동력을 마련한다는 차원에서 국책사업으로 추진중인 초대형 프로젝트로 CBD(Central Business District, 중심업무지구) 인근에 위치한 싱가포르 최고의 요지 Marina Bay 매립지에 대규모 복합리조트를 조성하는 사업이다.

이 사업은 2,600객실 규모의 Marina Bay Sands Hotel과

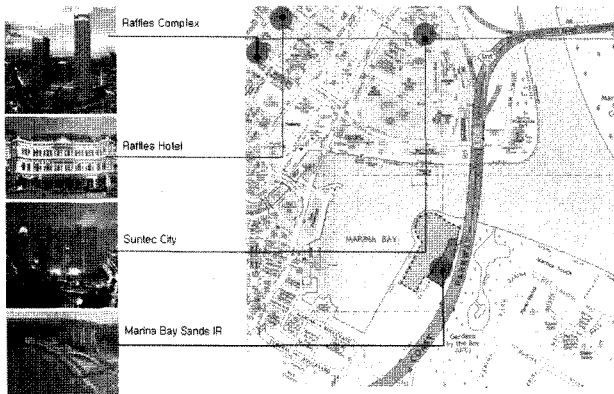


그림 1 현장위치

표 1 공사개요

공사명	Marina Bay Sands Integrated Resort Hotel
위치	Lot265A TS 30 at Bayfront Avenue
발주처	Marina Bay Sands Pte.Ltd
공사기간	2008년1월4일~2010년4월30일(28개월)
계약형태	Lump Sum Contract(SPSC2005)
계약금액	\$S1,032,025.033

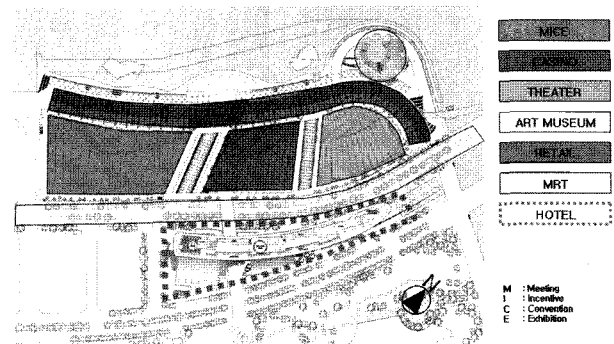


그림 2 Resort 사업구성

* MICE(Meeting, Incentive, Conventions, Exhibition) 기업회의(Corporate Meeting)와 보상관광(Incentive Travel), 국제회의(Conventions), 전시회(Exhibition)를 융합한 합성어로서 전시, 회의, 관광, 오락을 위한 공간을 의미한다.
 * MRT(Mass Rapid Transit, 싱가포르의 지하철)

54,000명을 수용할 수 있는 Conventions, 각종 전시관, 회의실로 구성된 MICE(Meeting, Incentive, Conventions, Exhibition), 2개의 2,000석 규모의 Theater, 아시아 최대규모의 Casino, 연꽃을 형상화한 Art Science Museum, 싱가포르 대중교통 수단의 핵심인 MRT, 쇼핑센터, 1만명 수용 규모의 야외 가변식 공연장 등으로 구성되어 있다.

당사가 수행하는 Hotel Tower는 63빌딩의 약 2배에 가까운 23,400m² 부지에 55층 Hotel 3개동, 지상 약 200m 높이에 3개동을 연결하는 약 12,000m² 규모의 Sky Park, 그리고 저층부를 관통하는 Atrium으로 구성되어 있다.

2. Marina Bay Sands Hotel 구조특징

당사가 수행하는 Hotel Tower는 63빌딩의 약 2배에 가까운 23,400m² 부지에 57층 3개동 Hotel, 지상 약 200m 높이에 3개동을 연결하는 약 12,000m² 규모의 Sky Park, 그리고 저층부를 연결하는 Artrium으로 구성된다.

표 2 구조개요

대지면적	23,400m ² (7,090평)	연면적	302,171m ² (91,566평)
건물구성	Hotel Tower: 55층 3개동 Sky Park : 57층 Atrium : Podium Level Basement : 3층 -지하주차장/BOH/MEP Services Room		
구조시스템	- Hotel 횡력저항 시스템 : 전단벽시스템 중력저항 시스템 : PT One-Way Slab Transfer Truss : Sloping Structure 기초 : Barrette Pile - Basement 지하층 골조시스템 : Flat Slab with Drop 지상1층 : Beam&Girder 지하외벽 : Diaphragm Wall(1500mm, 1200mm)		
콘크리트 강도	Location	Concrete Grade	
	Pilecap	Grade 45	
	Basement Slab& Beam	Grade 45	
	Basement Column	Grade 50	
	Tower Slab & Beam	Grade 40	
	Tower RC Wall(B3~L40)	Grade 60	
	Tower RC Wall(Above L40)	Grade 50	
철근강도	Grade 460(460N/mm ²)		
철골강도	S355		
설계기준	CP 65 : 1999(Structural Use of Concrete) BS 8110 : 1997(Structural Use of Concrete) BS 5950 : 2000(Structural Use of Steelworks)		

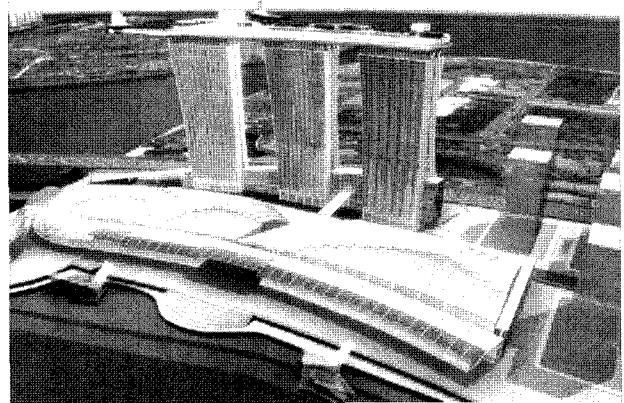


그림 3 조감도

2.1 지하흙막이 구조

Donut과 Peanut 형태의 원형 가설 Diaphragm Wall(각각 직경 100m, 75m)은 TERS(Temporary Earth Retaining Structure)의 핵심이다. 3개층의 지하 토압을 Strut없이 지지하여 지반의 안정성을 확보하게 된다.

이러한 D-Wall로 인해 Strut의 지지가 필요없는 대공간을

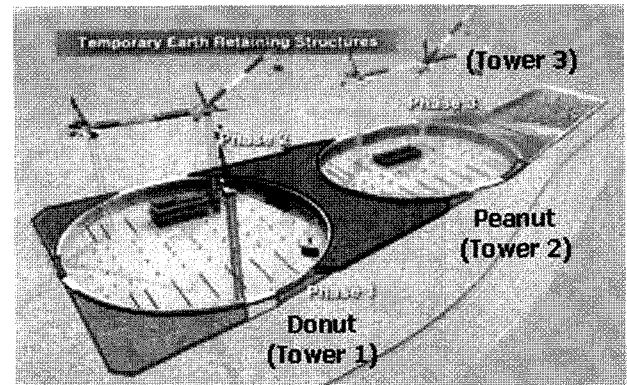


그림 4 D-Wall 배치도

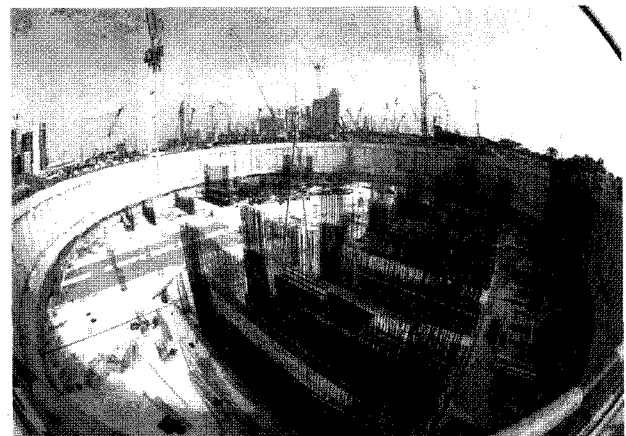


그림 5 Tower 1 Donut D-Wall 사진

확보할 수 있어 자재와 장비 진입이 원활해지며, 또한 Tower 골조공사 공정을 먼저 진행하면서 별도로 토목공사를 진행이 이루어지므로 공기단축의 효과를 거둘 수 있다.

TERS의 시공순서는 다음과 같다.

- ① 1.5m 두께의 D-Wall을 설치
- ② Donut, Peanut 안쪽 터파기
- ③ Donut, Peanut 안쪽기초 및 1층까지 골조시공
- ④ Donut, Peanut 바깥 터파기 및 흙막이 시공
- ⑤ Donut, Peanut 바깥기초 및 1층까지 골조시공
- ⑥ D-Wall 해체 및 Donut, Peanut 내외부 연결

2.2 바닥구조시스템

호텔 타워의 바닥구조 시스템은 포스트텐션을 이용한 일방향 슬래브이며, Tower 1과 Tower 2는 스패 10m에 250mm 두께의 슬래브, Tower 3는 8.4m에 200mm 두께 슬래브로 계획되어 있다.

원설계 슬래브 포스트텐션은 외부벽체에서 텐던을 긴장시

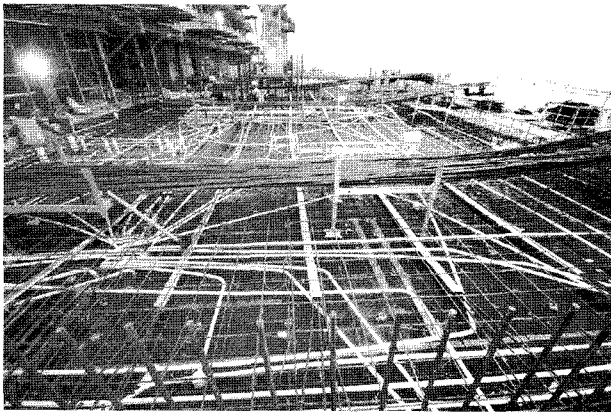


그림 6 슬래브 Post-Tension

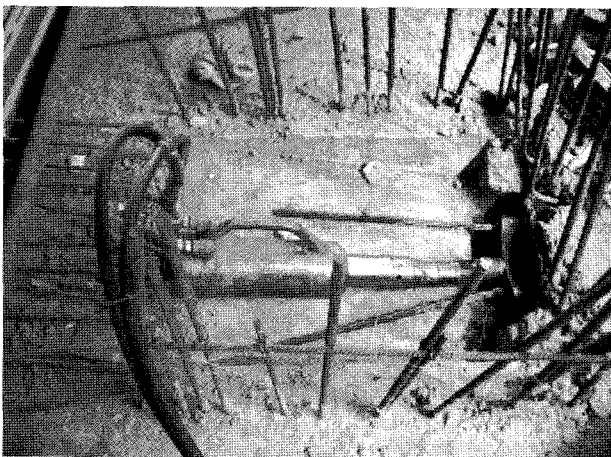


그림 7 Slab PT Stressing

키도록 계획되어졌다. 이는 콘크리트가 노출되는 마감이고, 공사시 외부벽체에서 텐던을 긴장시킬 경우 공사중 위험성이 큼으로 건물내부에서 텐던을 긴장시키는 Overlapping방법을 적용하였다.

코어선행구간에서는 벽체시공시 철근은 커플러를 이용하였고, 포스트텐션 Anchorage를 선시공하고 슬래브 시공시 연결하였다.

2.3 횡력저항시스템

싱가폴의 경우 지진하중과 풍하중이 한국과 비교하여 하중이 작으며, 풍하중에서 기본풍속은 32m/s(3second gust speed)를 적용하였고 풍동실험을 통한 풍하중 데이터를 사용하였다.

횡력저항 시스템은 600mm 두께의 Main 벽체와 300mm 두께의 Cross 벽체로 구성된 전단벽 구조시스템으로 되어 있다. 트랜스퍼 트러스로 경사진 건물과 수직 건물이 일체화 되기전까지는 사동단계에서 경사진 건물은 1방향 슬래

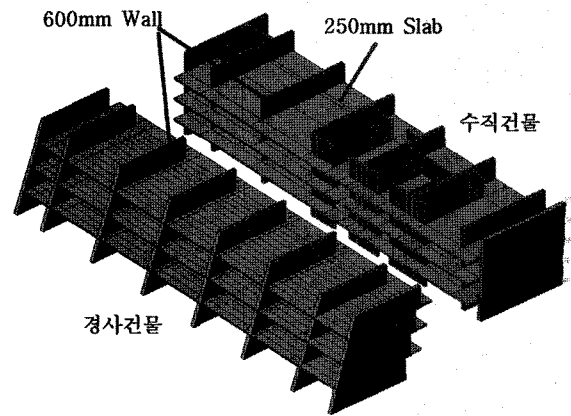


그림 8 기준층 구조시스템



그림 9 풍동실험

브와 600mm RC 벽체가 모멘트프레임을 이루어 횡력저항 시스템으로 사용되어졌다.

2.4 Transfer Truss

일반적인 수직 구조체와 달리 본 프로젝트는 하부의 구조가 둘로 나뉘어져 있어 상부에서 늘리는 힘의 분산이 매우 중요함으로 Tower 1과 Tower 2의 23층에 철골 트랜스퍼 트러스를 설치하여 효과적으로 힘을 분산시켰다.

Tower 1은 16층~29층(14개층)에, Tower 2는 21층~26층(6

개층)에 걸쳐 shear wall 내부에 8개의 truss가 설치된다.

트러스 부재는 80mm Steel plate 두개로 이루어진 300mm 부재로 600mm 두께의 벽체내부에 설치되고 콘크리트를 타설하여 일체화되며, 이러한 truss가 두 개의 하부 구조물을 일체화하고 수직 하중을 효과적으로 분산시키는 역할을 하게 된다. 이러한 200ton이상의 무게를 가진truss는 30개의 unit으로 분리 양중 후 조립·용접되어 제 위치에서 truss를 형성하게 된다.

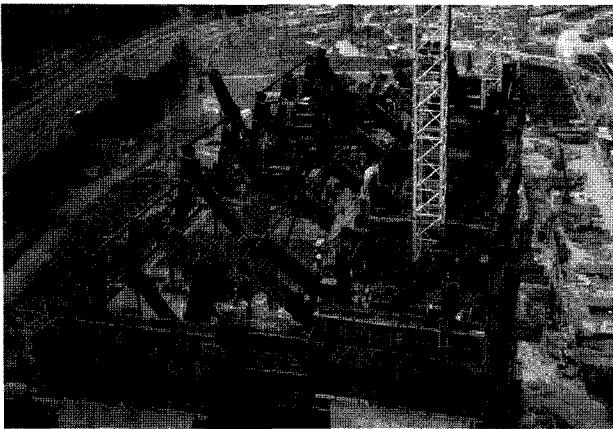


그림 10 Transfer Truss 설치사진

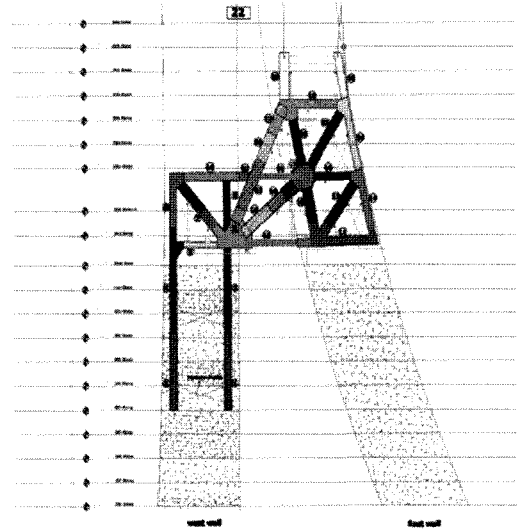


그림 11 Transfer Truss 상세

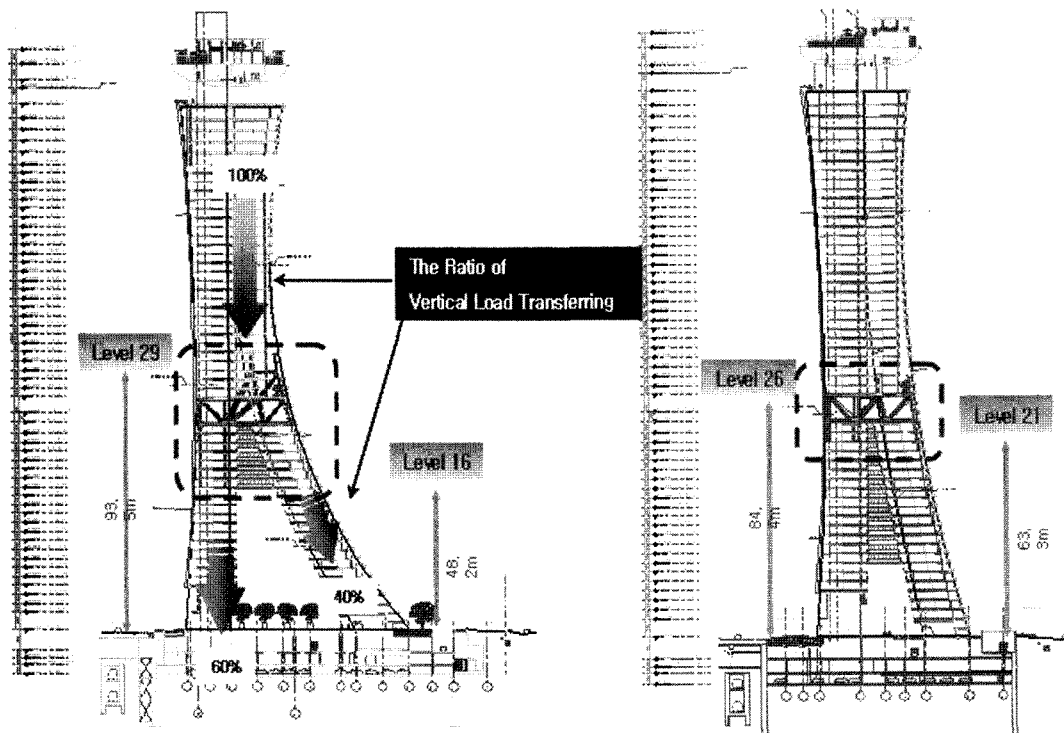


그림 12 Transfer Truss의 수직하중 배분 원리

3. Sloping Structure

본 건물은 1층에서 52도 기울어져 올라가는 경사진 건물이 23층에서 트랜스퍼 트러스(㉓)를 통하여 수직건물과 일체화되어 구조적으로 안전성을 확보하는 건물이다. 그러므로 시공단계에서 경사진 건물은 구조적 안전성을 확보하여야 하고, 또한 경사진 건물의 수평변위를 예측하여 시공단계에서 Pre-camber를 적용하여 완공단계에서의 건축설계자가 계획한 곡선과 일치하도록 시공되어야 한다. 구조적 안전성을 위하여 벽체 내부에 포스트텐션(㉑)을 적용하였으며, 3개층에 철골 스트러트(㉒)를 이용하여 경사진 건물의 수평하중을 수직건물로 전달시켜 경사진 건물의 안전성을 확보하였다. 시공계획단계에서 시공단계해석을 통하여 벽체의 응력과 변위를 검토하였고, 이를 통하여 포스트텐션과 스트러트를 설계하였다.

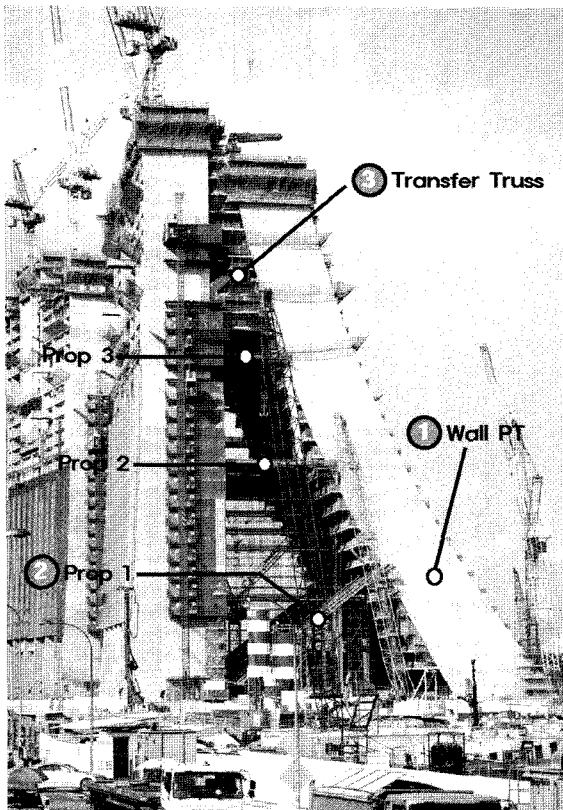


그림 13 Sloping Structure System

3.1 벽체 포스트텐션

경사진 벽체는 23층 트랜스퍼 트러스와 만나기 전까지는 캔틸레버로 거동을 하며 저층부터 고층으로 시공되어짐에 따라 캔틸레버의 팔길이 길어지고 자중이 증가하여 벽체

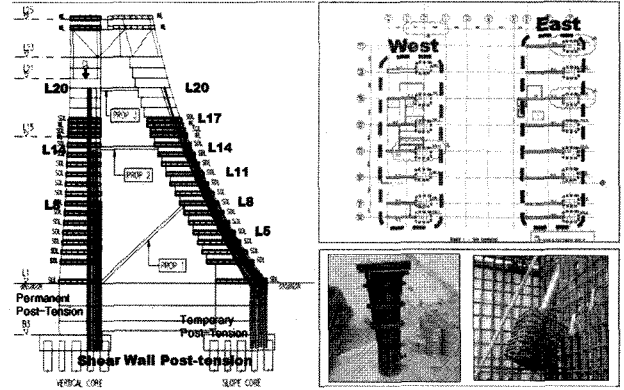


그림 14 벽체 포스트텐션 Layout

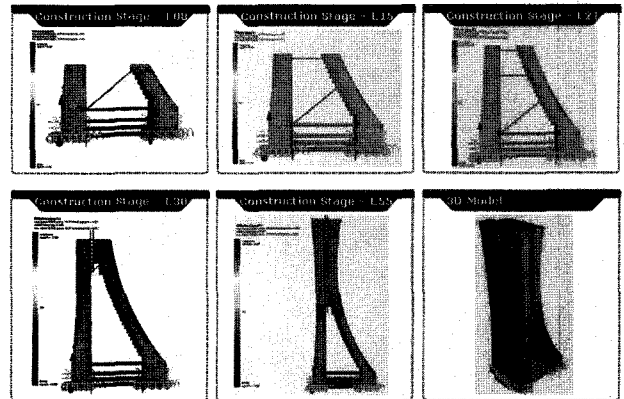


그림 15 구조해석 시뮬레이션

에 작용하는 응력이 증가한다. 이렇게 증가하는 벽체의 응력을 효과적으로 대응하기 위하여 벽체 내부에 포스트텐션을 적용하여 증가하는 응력의 양만큼 포스트텐션의 텐션을 증가시켜 긴장시키며 벽체응력을 컨트롤하였다. 철골스트러트를 통하여 경사진 건물의 수평하중이 수직건물로 전이됨에 따라 수직건물에도 인장측에 포스트텐션을 적용하였다.

경사진 벽체는 5개, 수직건물은 3개의 긴장위치를 계획하여 텐션의 스트래싱을 조닝하였다.

3.2 철골스트러트

경사진 벽체의 응력과 변위를 줄이기 위하여 철골 스트러트를 이용하여 경사진 벽체의 하중을 수직건물로 전이시

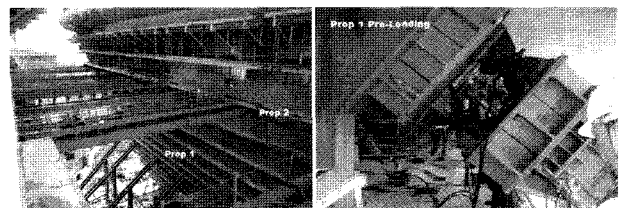


그림 16 철골 스트러트 설치사진

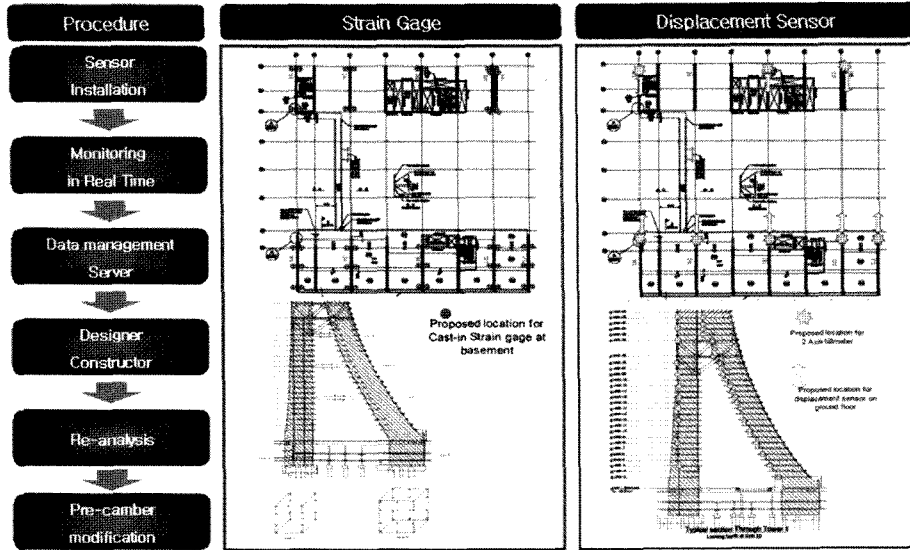


그림 17 Monitoring System

키는 공법을 사용하였다. 첫 번째 스트러트(Prop 1)은 수직 벽체의 지상 1층에서 경사진 벽체의 지상 8층까지 대각선으로 연결하였으며 스트러트의 내력을 증진시키기 위하여 킹포스트를 설치하여 좌굴하중을 줄였다. 두 번째 스트러트(Prop 2)는 지상 14층, 세 번째 스트러트(Prop 3)는 지상 19층에 수평으로 설치하였다. 초기 설치시 하이드로잭을 이용하여 사전검토시 요구되었던 Pre-Loading을 가하였다.

3.3 실시간 모니터링

시공단계해석을 통한 사전해석결과와 건물의 실제 모니터링 결과를 비교분석하여 건축물의 안전성과 변형량을 평가하였다.

사전해석에서 각 요소별 건물의 변형량과 벽체의 부재력에 미치는 영향을 분석하고, 건물에 대한 Pre-Camber값을 산출하여 시공시 반영하였으며, 모니터링을 통하여 예측한 부재력과 변형량을 실시간으로 평가하고 보정하였다.

본 건물의 모니터링은 4가지 방법을 이용하였다. ①벽체 내부에 콘크리트 스트레인이지를 설치하여 벽체의 응력을 모니터링하였고, ②지상 1층의 경사진 건물과 수직건물을 결속시켜주는 RC PT 보에 작용하는 Kickout Force을 모니터링 하였고, ③철골 스트러트에 스트레인이지를 설치하여 스트러트 응력을 모니터링하며, ④벽체에 Tilt-Meter를 설치하여 벽체의 수직수평 변위를 측정하였다.

이러한 모니터링 결과는 Data Logger에서 데이터를 취합하여 인터넷을 통하여 모니터링 서버로 전달한다. 관계자들은 인터넷에 접속하여 실시간으로 모니터링 결과값을 확인할 수 있다.

사전 구조해석 결과, Tower 1 건물의 수평 최대 변위는

20층에서 150mm정도 발생하는 것으로 검토되었고, 벽체의 최대 축소량은 55mm정도 발생하는 것으로 검토되었다.

위험레벨에 도달하면 담당자에게 SMS문자를 자동 송신

Deformation Monitoring Tower 1 Soping wall

- ◆ Expected Deformation * T1_Sop_Str_
- ▲ Actual Def: T1M*9
- ▲ Actual Def: T1M*8
- ▲ Actual Def: T1M*7
- Actual Deformation T1*M7_M8_M9_Average

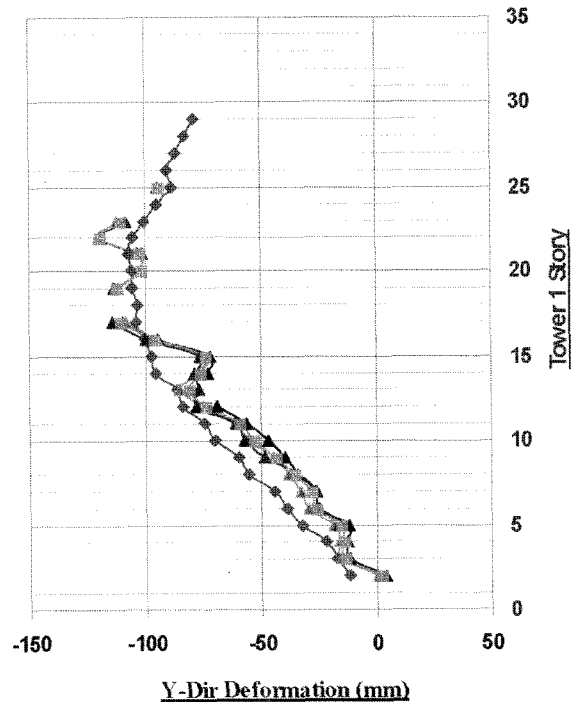


그림 18 Tower 1 경사건물의 변위 그래프

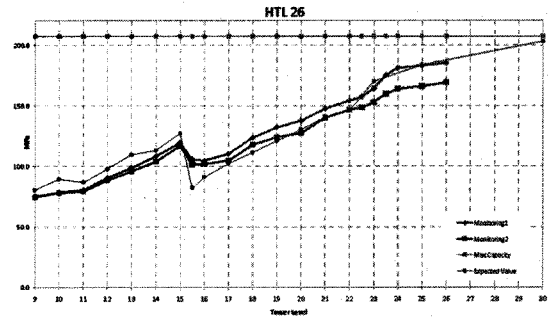
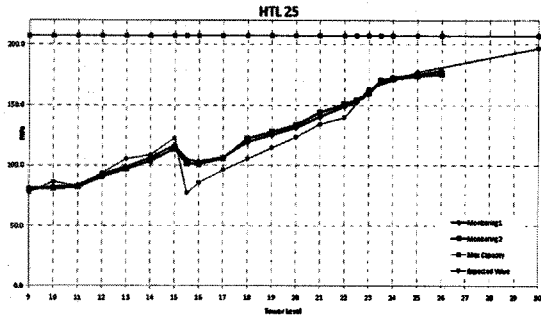


그림 19 철골 스트러트(Prop 1)의 응력 그래프

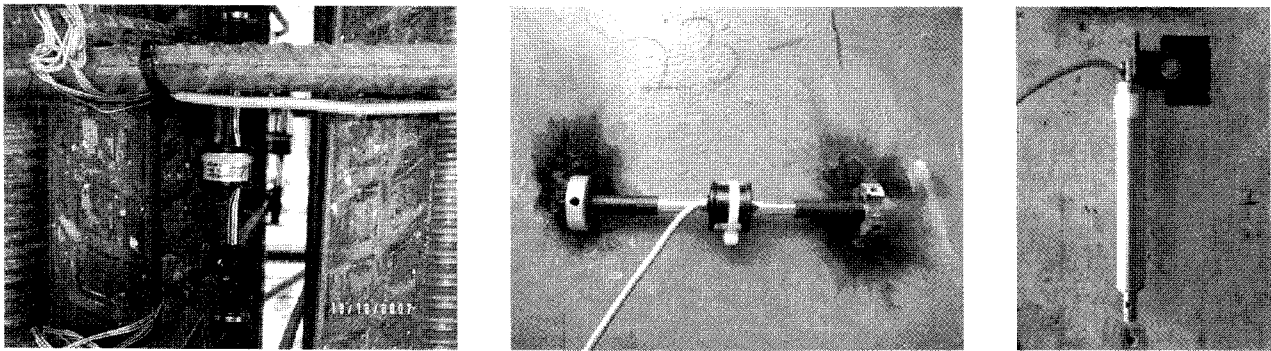


그림 20 진동현식 스트레인게이지 및 Tilt-Meter 설치사진

하도록 시스템을 계획하였다. 부재는 부재공칭강도의 80%, 건물의 변위는 사전해석을 통한 시공단계별 변위에 대하여 $\pm 20\text{mm}$ 위험레벨을 정하였다.

4. 맺음말

Marina Bay Sands IR Hotel은 싱가포르의 랜드마크 건물로서 현재까지 완공되고 시공되어지는 가장 짓기 어려운 건물 중에 하나이다. MBS IR Hotel 사례와 같이 최근 해외 건설시장의 발주 경향을 보면, 발주처는 단순하고 정형적인 디자인을 벗어나 부정형이며 독특한 디자인을 선호하며, 기술력과 시공성을 동시에 충족시킬 수 있는 건설사의 역량을 필요로 하고 있다.

이러한 고난이도의 건물을 발주처가 요구하는 기술수준과 공기를 만족시킬 수 있다는 것은 우리나라 건설기술이 세계적인 수준에 도달했다는 것을 의미한다.

또한 최근 해외건설 시장상황을 보면 단순도급계약형태의 공사 발주와 달리 Design Build 등 프로젝트 전반을 통제하고 책임질 수 있는 PM형 발주가 증가하고 있다. 이는 발주처가 수행하고자 하는 프로젝트 전반에 대한 리스크를 줄이려는 욕구에서 비롯된 것으로 시공사에는 큰 부담으로 작용하고 있지만, 이러한 해외건설 시장의 경향에 발맞추어 내부 기술력 축적 및 국내의 우수한 설계/엔지니어링 업

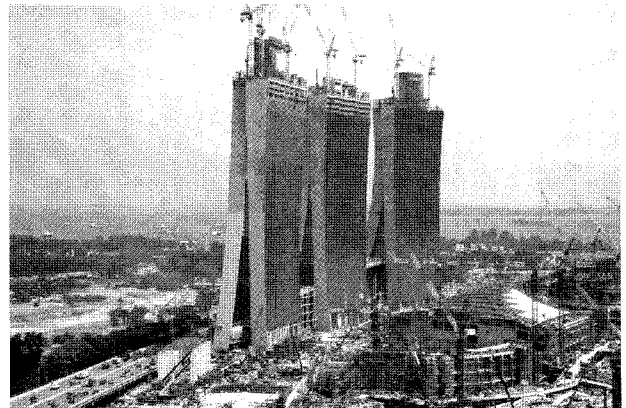



그림 21 현장 최근 전경사진

체와의 제휴 확대 등의 노력이 필요한 시점이 아닐까 한다.

아직 국내 엔지니어링회사의 해외진출이 활발히 이루어지지 않고 있으므로 국내 엔지니어링회사와 건설회사가 서로 유기적인 관계를 맺으며 해외시장에 동반 진출하면 좀 더 큰 시너지 효과를 낼 것으로 사료되며, 국가경쟁력이 상승될 것으로 본다.

이번 Marina Bay Sands IR Hotel의 순조로운 진행을 통해서 세계시장에 한국의 건설기술을 알릴 수 있는 좋은 기회가 되었다고 본다. 

[담당 : 이재철, 편집위원]