

말레이시아 Petronas Tower 프로젝트 (세계 최고층, No.3)



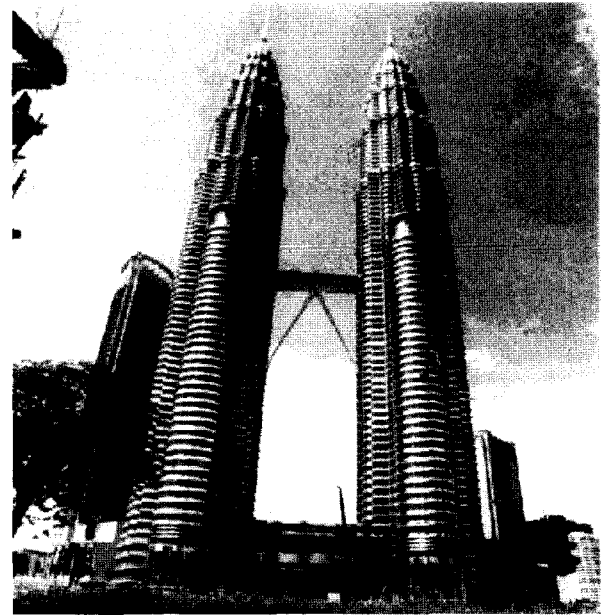
최 경 렬
삼성물산 건설부문
건축사업본부장



강 선 중
삼성물산 건설부문
건축기술팀/초고층팀장

이 회사의 안은 전체 100에이커 부지중 40에이커 (48,968평)만 상업적 용도로 사용하고 나머지 60에이커 (73,452평)를 도심공원으로 사용하여 상업성과 공공적 토지이용의 조화를 추구했다는 특징이 있다.

상업적 용도에는 총 연면적 51만 여평이 넘는 소매점, 국제회의장, 콘서트홀, 비즈니스 클럽, 레크리에이션, 음식점, 영화관, 엔터테인먼트 센터, 오피스, 호텔 및 아파트, 백화점 등이 포함되어 있고 주거, 상업 및 위락시설을 총체적으로 제공하는 복합용도개발이며, 상주인구 5만명 이상 되는 도시규모의 거대한 개발안이다.



Petronas Tower 전경

1. 서 언

삼성건설과 극동건설이 현지업체인 Jasatera사와 J/V로 시공하였으며 당시 여러 가지 면에서 세계 최고기록을 갱신하며 우리나라 건설 기술을 세계에 과시하는 계기가 되었다. 우리나라 매스컴에도 자주 소개되었던 이 프로젝트는 말레이시아의 2020년 선진국 진입을 목표로 경제개발에 박차를 가하고 있는 마하티르 수상외의 관심 사업으로서 그 규모나 개발면에서 세계적이라고 할 수 있다. 04년 12월 Taipei 101(높이 508m)가 준공되기 이전까지는 높이 452m로서 세계 최고층 건축물이었다.

특히 일본과의 공동수주로 더욱 관심을 모았던 이 공사는 말레이시아에 거주하는 약 3,000여명의 교포사회에서 초미의 관심사가 되었으며, 한층 한층의 골조경쟁에서 이기고 질때마다 교포들의 일회일비가 되었다.

2. 프로젝트 개요

2.1 프로젝트 배경

위치 : Kuala Lumpur Golden Triangle

대지면적 : 100에이커 (122,420평)

개발계획 : 처음 개발아이디어가 탄생한 것은 1988년이며 1990년에 국제 Competition이 개최되어 미국 Klages Carter Vail & Partners라는 개발회사 안이 당선되었다.

이처럼 51만 여평에 이르는 개발을 동시에 진행한다는 것은 많은 어려움이 상존하여 발주처는 프로젝트의 구체적인 추진을 위하여 1991년 9월 KLCCB라는 별도의 회사를 설립하였으며, 대지의 북서쪽(총 대지면적 17,322평, 연면적 281,000평)에 대한 Master Plan을 국제현상방식으로 다시 실시하여 1991년 11월 Cesar Pelli를 당선 시켰다.

또한 가장 먼저 착공하는 Petronas Twin Towers와 Podium 부분에 대한 건축기본설계 (Schematic Design)을 발주 시켰다.

이러한 과정에서 주목해야 할 점은 전체 개발계획에

대한 Master Plan은 개발회사(developer)에게, 건축적인 내용이 중심이 되는 부분인 Master Plan은 건축전문 설계회사에 분리 발주 시킨 점이다. 이는 건축설계사무소가 모든 것을 총괄하게 하는 우리나라와는 달리, 개발 계획에 대한 아이디어는 전문가인 개발회사에서 구했다는 점이 서구 합리주의적인 성향을 보여준 부분이라고 할 수 있겠다.

상기의 분리발주 외에 또 한가지 단지개발방식 중 주목해야 할 점은 master plan 및 North West Development 공사분을 제외한 나머지 중앙공원을 둘러싸고 있는 21개의 상업용지에 대한 개발은 실수요자에게 땅을 팔고 (구획정리만 하고 분할매각)그 실수요자들과 KLCC가 J/V형태로 공사를 진행해나가는 방식이다. 이는 우리나라의 토지개발공사와 비슷한 스타일인데 민간부문에서도 이러한 방식을 취할 수 있게 한 말레이시아의 사회구조가 상당히 서구적이고, 진취적이라 할 수 있겠다.

이상의 개발과정을 간단하게 요약하면 다음과 같다.

- 1988년 : 개발 관련 아이디어 도출
- 1989년 1월 : Project 수행회사 설립
 KLCC(Holding) Sdn. Bhd.
 지분구성 - PETRONAS(국영석유회사) 49.5%
 MAI Holding Group 48%
 기타 2.5%
- 1990년 : 단지개발 master plan
 (land use program)현상설계
 : Klages Carter Vail & Parteners
 (미국 개발회사) 안이 당선.
- 1991년 9월 : Project 구체적 추진을 위한 별도 회사 (KLCCB) 설립.
- 1991년 11월 : 1차 개발부지에 대한 master plan을 현상설계를 통해 확정.
 : Cesar Pelli(미국 건축가)당선.
- 1991년 12월 : KLCCB 조직에 CM사(Ieherer Megovern)참여.
- 1992년 9월 : 실시설계 착수
 건축 : Adamson Associates (캐나다)
 구조 : Thonton-Tomasetti (미국)
 기전 : Flack & Kurtz (미국)
- 1992년 12월 : 터파기 착수
- 1993년 5월 : Petronas Twin Tower 입찰
- 1993년 11월 : Petronas Twin Tower 업체선정
- 1994년 1월 : Tower 1 기초 콘크리트 타설
- 1994년 2월 : Tower 1 공사착수, Tower 2 기초 콘크리트 타설
- 1994년 3월 : Tower 2 공사착수

당사가 참여한 Petronas Twin Towers project는 Tower 2이며 Tower 1은 일본업체가 참여하였다.

2.2 Petronas Tower II

본 타워동은 총 451.9m 의 쌍둥이 건물로서 대만 Taipei 101 다음으로 세계 최고 높이이다.

지상41층과 42층에서 58.4m의 독특한 Skybridge로 연결되어 있으며 이는 현대화된 쿠알라룸푸르의 관문을 상징하고 있다. 이 건축물은 세계적으로 유명한 건축가인 Cesar Pelli가 설계를 하였으며 이슬람 건축의 기하학적 문양을 현대적으로 형상화하여 역동성과 우아함을 표현했다고 찬사받고 있다.

건물 높이: 451.9m

층 수 : 지하6층, 지상92층 (총 98개층)

연면적 : 65,728평 (본타워 59,488평)

공사금액 : 약 2억3천만불

공사기간 : 27개월

삼성건설과 극동건설의 J/V로 참여한 이 KLCC 공사는 다음과 같은 측면에서 우리나라 초고층 건설공사의 이정표가 되는 중요한 의미를 가지고 있다.

1) 단순수주에서 종합 엔지니어링 수주

공사기술적인 성격뿐만 아니라 공사관리, 계약관리, 공정관리, 설계관리 등 관리/기술적 의미가 총체적으로 복합된 프로젝트 수주였을 뿐만 아니라 과거 중동 시절의 단순공사 수주 형식에서 벗어나 미국 Sub-con을 관리해야 하는 General Contractor로서의 차원이 올라간 수주 형태였다.

2) 12개국 인원 관리

많은 국가의 근로자들이 근무하는 공사이기 때문에 과거 중동시절 한국인 근로자 위주의 관리방식의 변화가 필요하다. 급상승한 한국인 근로자로 인하여 공사관리의 핵심이 되는 인원만 투입하고 나머지는 현지인 및 제3국인을 활용하였다.

무려 12개국의 인종이 같은 환경에서 작업을 하였으며, 모든 문화적 차이를 극복하여 한 목표를 향해 추진해 나가는 기존과론 다른 인력관리 능력이 필요하게 되었다.

3) 국가간 자존심 대결

시공당시 최고 높이의 건축물을 일본업체와 대등하게 시공했다는 점은 역사의 아리러니라 할 수 있었다. 쌍둥이 건물을 경쟁 관계에서 시공한 일본의 하자마

건설(미국 J.A JOHNS와 J/V)은 일본내 약 7위 업체로서 식민지 시절 우리나라의 경부선과 수풍댐을 시공한 업체이다. 이러한 회사와 종합 엔지니어링의 기술력을 가지고 대결했다는 점은 건설업계 뿐만 아니라 모든 분야에서 시작되는 격돌의 서막이라고 할 수 있겠다.

3. 초고층 시공의 관리 포인트

3.1 공정 관리

27개월내에 tenant area를 제외한 골조, 엘리베이터, 코어 마감, 커튼월 등 주요 마감 공사를 완료해야 했으며 이를 총당 공기로 본다면 4.5일의 공정을 준수해야 했었다. 특히 후속 공정의 원활한 진행을 위하여 선행 공종들의 일정관리가 가장 중요한데 이는 corewall, ring beam, 철골을 포함한 deck 슬라브 공정이 해당 된다. 이를 준수하기 위하여 골조를 담당하는 시공팀은 주간과 야간을 교대로 근무하며 밤과 낮이 바뀐 생활을 해야만 했다.

표 1. Petronas Tower 적층 공법

NO	Description	Example	기준층	비 고
1	Corewall	L74	D. FL	Aug,95
	Ring Beam	L72	D-2	
	Main Slab Beam	L70	D-4	
	Deck on Slab	L68	D-6	
	Inside Core Beam	L67	D-7	
	Inside Core Deck	L65	D-9	
	PPF	L65	D-9	
	Inside Core Slab Con`c	L64	D-10	
2	MEP Hanger	L63	D-11	
	Firespray	L62	D-12	
	Cable Track	L60	D-14	
	Sprinkler	L57	D-17	
3	Main Trunk Duct	L56	D-18	
	Inside Core Curb Con`c	L60	D-14	
	Inside Core Floor Finish	L59	D-15	
	Inside Corewall Remedial	L58	D-16	
4	Inside Core AHU Install	L55	D-19	
	Stair Working Deck	L58	D-18	
	Stair Formwork	L54	D-20	
5	Inside Core Finishing	L49~47	D-25~27	3 Floors

적층공법을 도입하여 corewall을 중심으로 2개층 하부에 Ring Beam, 4개층 하부에 Main Slab Beam, 6개층 하부에 Deck 슬라브 등을 순차적으로 시공함으로써 공종간 공기 손실이 최소화 되도록 공정관리를 하였다. 해당 공종 시행전 충분한 도면 검토 및 시뮬레이션을 통하여 오 시공을 방지한 결과로 일본업체에서 시공한

Tower 1에 비하여 1달 늦게 시작된 공정을 최종 콘크리트 타설을 기준으로 2시간 정도 일찍 끝내는 쾌거를 이루었다.

3.2 양중 관리 및 안전 관리

초고층 공사인 경우 각층에서 발생하는 각종 공사 및 수직 양중물을 통합적으로 관리 및 지원하기 위한 logistic 조직이 필요하다.

특히 본 공사의 경우 초고층 건축이라는 특성외에 건물의 모양이 위로 갈수록 좁아지고 4개소에 걸쳐 평면이 set-back되는 특수한 형상을 가지고 있기 때문에 지상 300m 이상의 고소작업인 경우 4번을 갈아타야 해당층에 도달할 수 있다. 이와같은 제약조건 등으로 인하여 아침 peak time 시 작업장소로 이동하려면 최소 40분 이상이 소요되었으며 이를 해소하기 위하여 근로자 이동 현황을 자주 모니터링 한 후 중간층 매점 운영, 호이스트 고층부 저층부, 정지층을 구분하여 하루 최대 3,000명의 인원을 효과적으로 해당층에 투입할수 있었다.

또한 고층부 화재에 대비하여 설비공사의 방재설비를 임시로 사용하는 방안을 강구하였으며, 비나 가설수도의 오작동에 대비한 지수계획(止水計劃)도 중요한 관리 포인트라고 할 수 있다.

제3국인(인도네시아, 방글라데시 등)으로 구성된 근로자들은 교육수준 및 안전의식이 낮은 상태였기에 현장 안전조직 구성에 보다 많은 시간과 노력을 할애 하여야 했다.

3.3 건축물 수직관리

초고층 건축공사에 있어서 측량의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 본 공사는 약 100개층에 해당하는 높이를 가지고 있어서 1층에 1mm 오차만 있어도 100층에서는 10cm의 오차가 생겨 커튼월 및 엘리베이터 공사에 치명적인 영향을 주게 된다.

따라서 공사개시 전 충분한 검토를 통하여 survey method statement를 작성 및 운영 관리해야 하며 측량팀은 풍부한 경험이 있는 전문가를 확보해야 한다. (본 공사의 경우 40년 이상 경험을 가진 호주 기술자를 활용하였음)

1995년 8월 Corewall 69층 진행 시점에서 최초로 25mm의 오차가 발생되었으며 이 당시 일본은 40mm의 오차가 발생되었다.

이는 시공오차 25mm를 감안한다면 총 50mm 가 되어 엘리베이터 운행에 지장을 줄 수도 있는 정도이었다. 이러한 문제로 인하여 일본측은 약 2주간 원인규명을 위하여 공사를 중지하였으며 이를 기회로 한국측은

층별 보정을 하면서 그 동안 늦었던 공기를 만회하여 막판 대역전극을 펼치는 중요한 발판이 되었다.

3.4 콘크리트 품질관리 및 압송관리

본 현장에서 사용한 콘크리트는 800kg/cm²의 초고강도 콘크리트를 사용하였다.

우선 골재 채취 및 batcher plant, 콘크리트를 타설하는 현장에는 발주자 및 시공자측 품질관리 담당이 배치되어 출하시간, 슬럼프 시험 등을 시행하여 발주처의 승인 및 협의가 이루어진 후에 진행되었다.

특히 콘크리트 타설 기준인 외부온도 35도 이하, 슬럼프 21cm, 배합후 90분 이내 타설 등의 규정은 정확하게 관리되었으며 특히 품질관리 및 운반시간 단축을 위하여 단지내에 별도의 batcher plant를 마련하였다.

콘크리트 압송방식은 초고층 건물에 있어 대단히 중요한 시공방식인데, 일본은 콘크리트 호이스트를 이용한 다단식 압송방식을 채택했던 것에 비하여 당사는 직압송 방식을 채택하여 지상 381m 까지 성공리에 타설을 완료하였다.

이는 그동안 Hong Kong Central Plaza가 보유하였던 306.5m 최고 타설높이 기록을 경신한 것이다.

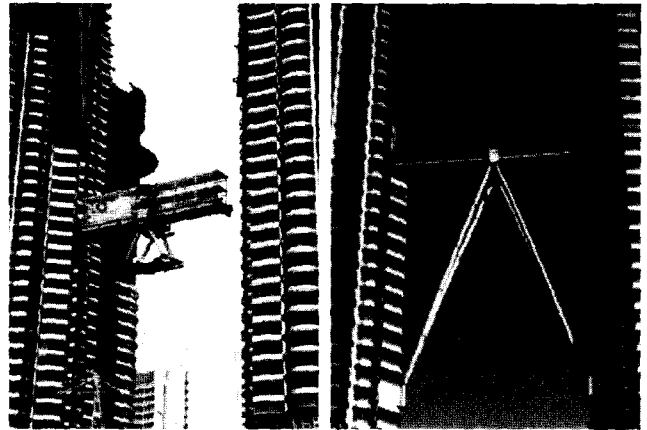


이 부분에 두 타워를 연결하는 skybridge가 설치되었는데, 이는 앞서 언급한 modern kuala lumpur의 관문이라는 상징적 의미가 있을뿐 아니라 양타워의 로비를 연결시켜 주어 식당, 회의실 등 양 타워의 공공 시설물을 공동으로 사용할 수 있도록 하고, 비상 시에는 대피통로로 사용하는 다목적 용도의 구조물이다. 이 skybridge는 지상 170미터 높이에 길이 59.177미터로 설치되는 세계최고 높이의 다리로 마감포함 약 800톤의 무게를 갖고 있다.

설치를 위하여 사용된 유압잭 공법은 lifting시 약 540톤의 무게를 가지고 있는데 풍력이나 설치시 30mm 흔들림 이상 시 자동으로 정지되는 기능을 가지고 있다. 설치 시간은 1시간에 10cm 상승이 가능하기에 약 2일이 소요되었다.

특히 이 공사는 한국측이 단독으로 수주한 공사였으므로 일본측에서는 많은 관심을 가지고 지켜보았으며, 성공적인 설치를 계기로 우리기술이 일본을 압도하였다는 분위기로 반전되었다.

또한, Skybridge lifting ceremony 시에는 미국 CNN의 생중계 및 말레이시아의 마하티르 총리가 참석하여 지켜보는 가운데 이루어졌기 때문에 더욱 가슴을 졸이며 수행하였던 공사였다.



4. 특수 구조물 공사

본 프로젝트에서는 두가지의 특수한 구조물 공사가 진행되었는데 모두 세계적인 관심을 불러 일으켰던 것으로 특히 skybridge 공사의 경우는 미국 CNN 방송으로 생중계될 정도로 위험성이 크고 기념비적인 공사였다.

4.1 Skybridge 공사

Petronas Twin Tower의 41층과 42층은 건물의 상층부와 하층부를 나누는 중심이 되며 장차 관광 명소가 될 sky lobby가 위치하는 곳이다.

4.2 Pinnacle 공사

건물 최상부에 위치하는 pinnacle은 스테인레스 마스트와 이를 지지하는 primary frame으로 구성되어 있다. Mast는 길이 65m, 중량 130톤, 하부지름 2.3m, 상부지름 1.8m로 좁혀지는 형상을 하고 있으며 전체가 SUS 304L 부재로 되어 있다.

130톤의 거대 중량인 mast 인양은 타워크레인만으로 이루어져야 했으므로 10개의 블록으로 분할해서 양층한 다음 400m 고소(高所)에서 다시 용접되어 유압잭으로 밀어올리는 방식으로 시공되었다.

이러한 고소로 중량물을 올리는 작업은 무척 위험한

공사인데 특히 구름위의 작업으로 인한 시야 확보가 가장 어려운 부분중의 하나였다.

흥미롭게도 이 공사는 일본과의 마지막 대결이었는데 87층 마지막 콘크리트를 2시간 정도 먼저 타설한 여세를 몰아 1996년 3월6일 말레이시아 쿠알라룸푸르 하늘에 451.9m의 철탑을 Tower 1 보다 약 1주일 가량 먼저 완료하였다. 이 또한 skybridge 시공과 함께 우리나라 건설 기술 우수성을 다시한번 알린 또 하나의 쾌거라고 할 수 있다.

이러한 성공의 요인으로는 현장 작업자들의 노고를 일차적으로 들 수 있지만 현장 개설초기부터 시공계획 전담팀을 운영하여 모든 조건에 대비한 치밀한 시공계획을 준비한 데 있었음을 간과할 수 없다.

5. 맺음말

Petronas Tower 프로젝트가 한국건설 역사에 차지하는 의미는 매우 크다고 할 수 있다. 세계 최고의 건물을 한국인의 힘으로 성공적으로 건설하여 한국의 기술력이 세계적으로 인정받는 계기가 되었고 한국 건설업의 위상을 올리는 계기가 되었으며, 향후 건설되는 국내의 초고층 프로젝트의 기술적, 관리적 모델이 되었음을 부인할 수 없다.

