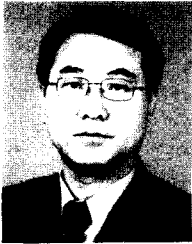


Taipei 101 Project (세계 최고층, No.2)



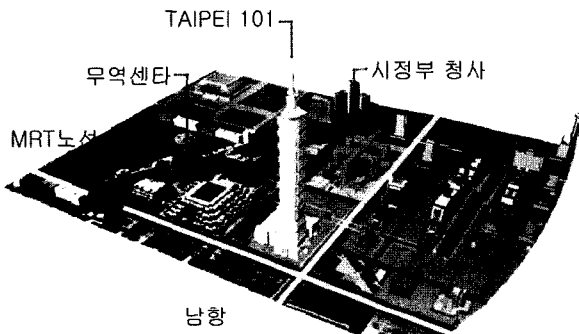
최 경 렬
삼성물산 건설부문
건축사업본부장



강 선 중
삼성물산 건설부문
건축기술팀/초고층팀장

1. 서 언

왜 이렇게 높이 지어야 하는가? 그 가장 큰 목적은 당연히 초고층 건축물의 건축을 통해 세계와 경쟁하고, 인간의 능력, 즉 현시점의 건축기술 한계에 대한 도전이자 경제, 문화수준의 발산일 것이다. 그런 관점에서 아무도 세계에서 제일 높은 건축물을 대만에 지으리라 생각하지 않았을 것이다.



「신의(信義)계획구역」은 1970년의 신 시정부센터의 개발안에서 발전되어, 시정부 건물과 무역센터를 중심으로 남북 쪽의 남향과 신의 쪽의 MRT노선과 연결하고 주변의 업무설비와 상업구역, 주택가와 인도 등을 정돈하여 계획적인 주거지역과 상업행정의 특정구역을 만드는 것으로 개발되었다. 또한 타이페이 금융센터의 주변은 무역센터와 시정부청사의 부속적인 상업업무와 오락, 숙박시설 개발을 전제로 계획하게 되었다.

도시가 발달함에 따라 1991년 초 대만 정부는 행정원의 아태지역금융정책에 맞춰 1996년에 도시개발계획안을 변경하여 전폐율 60%, 용적율 630%의 타이페이 금융센터를 금융, 서비스, 외식업, 쇼핑, 여가 활동시설 등의 용도로 개발하기로 하고, 금융센터 개발을 목적으로 1995년에 재정국, 신공처(정부공무국), 도시개발국을 중심으로 팀을 만들어 타이페이 금융센터 BOT안의 개발경영과 지상권을 설정하는 등 전체개발계획을 추진하게 되었다.

시정부 소유의 토지를 BOT방식으로 입찰하여 민간투자가 주도하도록 하고, 대만의 아태구역 금융정책의 핵심이자 국내금융업계와 국제금융시장을 개척하는 중추로서 금융관련업계의 발판이 되기 위해 국내외의 주요기업들을 끌어들이어 대만금융의 최고의 지표가 되도록 뜻을 모았다.

금융센터의 BOT안이 순조롭게 진행되도록 하기위해 시정부는 입찰개발계획과 입찰응모에 필요한 준칙 등 문서를 전문적인 고문단체에 위탁하고, 1997년 「타이페이 국제금융센터 지상권 개발계획」을 완성하여 70년 지상권을 임대하는 BOT방식 계획안이 시의회에서 가결되었다. 이에 따라 시정부는 입찰 공고를 거쳐 1997년 7월 12일, 타이페이 금융센터를 206억 8,889만 NTD(6억 3천만USD)으로 개발 운영권을 낙찰 받게 된다.

이 건물을 설계한 건축가 C.Y.Lee는 이미 고층건물에 대한 많은 경험이 있었고, 오퍼와 건물의 규모에 대하여 연구한 결과 세계에서 제일 높은 건축물로 계획하기로 결정했으며, 대만에 세계최고의 건축물을 건축하겠다는 것이 모든 대만 민·관 관련자들의 공통된 신념이 되었다. 그리고 이 신념이야말로 세계 제일을 만드는 한계에 극복하는 원동력이 되었다.

2. 건축개요

- 대지면적 : 30,277㎡
- 건 폐 율 : 50%
- 건축면적 : 15,138㎡
- 용 적 율 : 630%

- 연 면 적 : 지상 374,220㎡, 지하 374,220㎡
[사무실면적 : 약 6만평, 상업시설 2.3만평]
- 규 모 : 지하 5층 지상 101층 (508m)
- 용 도 :
 - B5~B2 : 주차장
 - B1~4F : 백화점
 - 5F : 연회장 및 회의실 등
 - 6F~84F : 업무시설
 - 85F : 비즈니스 센터
 - 86F, 88F : 스카이 로비 레스토랑
 - 89F, 91F : 전망대
- 구 조 :
 - Super Structure : Steel Structure
 - Sub Structure : RC / SRC

3. Design Concept



고층건축물을 계획하기 위해 구조시스템이나 시공법 못지않게 어려운 점은 그 ‘형태’이다. 과거, 고층건물을 설계할 때에는 서양의 방식을 본 따는 것이 일반적이었으나 이번 TAIPEI 101은 중국문화의 ‘단(壇)의 개념’을 이용, 등고망원(登高望原)의 일단(壇) 이단, 삼단, 사단 등으로 점진적으로 쌓는 것으로, 쉬지 않고 성장하는 개념인 중국의 ‘수(數)’의 의미를 부여하여, 서양의 전체적 개념 ‘체(體)’의 의미와 달리하고 있다. 또한 중국의 통속적인 ‘발(發)’의 개념을 살려 매 여덟(八) 마다 하나의 단위를 두고, 위로 넓어지도록 적층하여, 계속되는 發(왕성해지다. 경제적으로 발전하다. 돈을 많이 벌다 등의 뜻을 포함)을 표현했다.

이 TAIPEI 101은 Super view, Super Structure, Super Safe의 세 가지 특성을 가진 고층 건물로 세계의 다른 건물과 차별화되도록 디자인하였다. 외벽은 공항의 관제탑과 같이 7°의 경사를 두고 있으며, 이 각도로 하

늘과 땅을 바라볼 수 있으며, 태양 또한 적당한 각도로 반사되므로, 일반 유리창보다 훨씬 효율적으로 디자인하였으며, 또한 한 단위 한 단위 사이에 평면의 발코니도 생겨, 이 공간으로 대피장소로서의 역할 또한 겸할 수 있도록 했다.

디자인에서 주목되는 것은 포디움의 슈퍼트러스로 두건물 중 타워부분은 그 고도로서 모든 것을 대변할 것이고, 포디움도 충분히 사람들의 눈길을 끌 수 있어야 하므로 길게 가로지르는 슈퍼트러스와 채광기능을 적용하여 두 건물이 나뉠대로의 특색을 갖추게 되었다.

이 건물이 가지고 있는 특징은 이 타워의 명칭이 된 TAIPEI 101이라는 알파벳을 대표화해서 자신들의 자부심과 설계의도를 잘 나타내고 있다.

1) Technology : 최고의 내풍, 내진, 제진설계

• 안정적인 구조

타이페이 국제금융센터의 구조설계상으로 2,500년의 재현주기 지진을 견딜 수 있으며 17급의 초당 60m의 강력태풍도 감당할 수 있는 구조.

내풍 설계상으로는 800톤의 Tuned Mass Damper를 이용 바람과 지진에 자동적으로 방향과 진폭을 조절, 요동을 줄임

2) Art : 예술적 조화

• 층층으로 "吉"이 연속적으로 연결

"吉"의 숫자 "8"의 단위로 층층이 쌓아, 외관상으로 박자와 운율적 미감을 느낄 수 있는 국제 고층건물의 품격을 갖추

• 허상을 진실화한 시각효과

7°의 각도로 올린 유리벽면, 반사광으로 인한 유해성이 없는 고도의 투명유리 벽면은 크리스탈과 같은 투명감으로 사람들에게 대만의 제일 높은 건물에서 도시를 전망하게 하고 자연과 주위환경과 조화를 이룸

3) Innovation : 창조의 추구

• 전 세계에서 제일 높은 건물

- 국내에서 최초로 정부와 민간이 합작한 대형 BOT안
- 대만 최초로 기업들이 기획되어 연맹함
- 대만에서 주도하여 외국기술을 도입, 건설, 경영하는 국제급의 초고층건물
- 선진관리제도를 도입하여 유행을 이끌어감

4) People : 대중의 기대에 접근

- 한번에 가장 많은 수요를 만족
- 수만명이 종사하는 금융, 증권, 선물, 은행본사, 기

업, 경제무역활동의 사무실과 최신의 생활 소비공간을 제공

· 최고품질의 생활환경

1~5층의 개방공간은 활동적인 동선을 주어 신개념의 Urban Street를 통해 2만평의 쇼핑 공간을 제공함
국내외의 최고 메이커 생활용품, 패션, 레스토랑, 레크레이션 시설 입주
높은 건물에서 도시를 전망하게하고, 자연과 주위환경과 극도의 조화를 이룸

5) Environment : 아름다운 공동체생활을 소중히 여김

- 자연에 가장 가까운 건축물
어떤 방해도 받지 않고 넓은 하늘과 구름에 근접한 타이페이 분지에 우뚝 선 자연에 가장 가까운 건물을 볼 수가 있음.
- 환경보호에 앞장 선 녹색의 건축물
환경에 위배되지 않는 설계 및 건설과정에 환경보호에 대한 부단한 노력

6) Identity : 모두의 아름다운 지표

- 대만에 대한 긍지
대만본토가 탄생시킨 조직이 중심이 되어서, 세계 각국의 전문가, 공사고문, 건설업체, 선진기술을 도입하여 그들 자신의 손으로 최고의 건물을 기획에서부터 시공하였고 사용하게 된다는 자부심
- 세계의 지평선에서 선 자부심
2003년부터 세계의 고층건물을 논할 때에TAIPEI 101도 한자리를 차지하며 세계의 초고층건물대열에 서게 된 대만의 자부심

4. 구조계획

고층건물의 설계에서 구조안전성은 아주 중요한 부분의 하나이다. 과거에는 TAIPEI 101와 같은 고층 건물의 경험이 없었으므로 기존의 시방, 전통설계방식 및 전통의 구조자재 선택의 범위를 넘어서게 되었고 이에 학계, 설계사, 시공자간에 설계와 시공방식을 서로 토론해야만 했다.

구조시스템은 뉴욕의 세계무역센터의 Tube 타입부터 시카고의 Sears Tower의 Bundled Tube 타입, Johnn Hancock Center의 Braced Tube 타입, Miglin Beitler Tower의 Mega Structure 타입 등의 많은 해외의 고층건물의 설계를 참고로 했으며 모든 고층건물의 장단점을 감안한 결과 TAIPEI 101의 기능과 외관에 적합한 Mega Structure의 방식을 선택 했다.

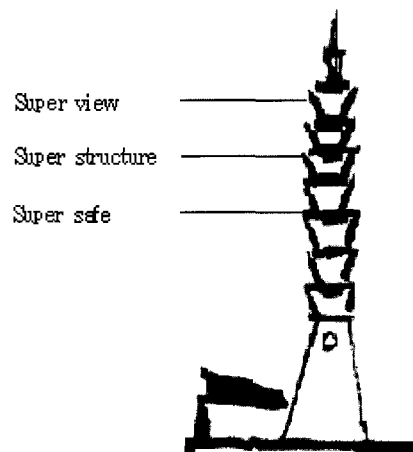
Mega Structure의 중심 부분은 반드시 직선으로 꼭대기까지 상승해야 하나 바깥 부분은 건물의 높이를 따라 좁혀져도 되며, 이에 따라 벽 부분도 안쪽으로 좁혀지고 빌딩의 외형은 이를 이용해 각종 변화를 가질 수 있게 되었다. 이것이 바로 Mega Structure의 디자인상의 장점이라 할 수 있겠다. 건물의 8개의 주요 기둥의 지지력만 견고하다면 구조체의 측면 저항을 고려하지 않고 다양한 디자인의 변화를 줄 수 있는 것이다.

1) 효율적인 Mega Structure 구조

사재(斜材)가 중심부분에 있으므로, 전체 구조의 길이와 넓이를 고려한다면, 풍력과 지진력은 사재만으로 지탱되기 어려우므로 지진력과 풍력이 기습할 경우, 우선 중앙의 사재에 전달되고, 나머지 두 사재를 거쳐 외곽의 큰 기둥으로 전달된다. 마치 스키를 탈 때 두개의 폴대로 안전성을 높여, 신체의 중심을 잡는 것과 같다.

2) 8개 층을 한 단위로 한 Mega structure 구조

동방의 문화에서 8이란 숫자는 극히 상서로우며, 운이 좋아지고 길하다는 의미를 가지고 있다. 따라서 8을 한 단위로 한 Mega structure구조를 채택하게 되었다. Mega structure구조는 2개의 거대한 틀을 가지고 있으며, 3개의 사재는 바깥쪽 기둥과 함께 Mega Frame의 역학 네트워크를 만들어 큰 기둥과 중심부분간을 아주 강한 거대한 보로 연결하였다. 구조체 층은 기계층, 대피층의 기능도 동시에 겸하게 했으며, 한단위의 꼭대기 부분에 2m가 넘는 발코니를 내밀어 비상시대피장소로 사용하도록 하였다.



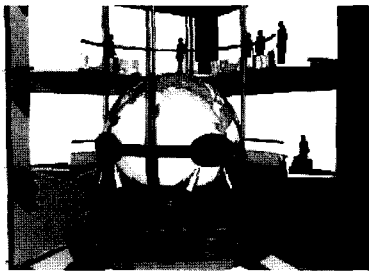
- Super view : 외형은 위에서 아래로 좁아지는모양 (공항의 관제탑의 경사진 창과 같이 시야를 밝고 넓게 해준다.)
- Super structure : 매 8개 층마다 구조기계층 배치
- Super Safe : 매 8개 층마다 대피장소 제공

3) Wind tunnel test

고층건물은 Wind tunnel test로 구조체의 풍압과 Curtain Wall의 풍압을 정할 필요가 있다. 시험목적은 고층건물의 와류반응을 줄이기 위한 것이다. 건물 사방을 계단식 각으로 처리, 기류를 교란하여 바람과 건물의 공진으로 인한 흔들림을 방지한다. 101은 당초 사각형으로 지으려 했다. 그러나 건물 구조체는 모양이 사각형, 원형, 타원형에 관계없이 와류현상이 일어난다. 구조체는 풍력으로 인해 와류반응을 일으키고 그 힘으로 건축물은 좌우로 흔들리게 하고, 건축물은 좌우로 주기적으로 움직이게 된다. 이 힘은 정면바람의 힘보다 크므로, 구조체 모서리에 각을 만들어 기류를 방해 한 것으로 구조설계상으로 일반적인 처리방식이라 할 수 있다.

4) 피동식(被動式) Wind Damper

세계 최초의 외부 노출형이며 예술품으로 감상 가능한 Wind Damper로서 680T 12.5cm 두께의 강철판을 접쳤고, 16개의 Cable로 구성되어 하부에 정밀한 유압식 시스템이 있다.



• TMD : TMD(Tuned Mass Damper)는 유일하게 본 건물의 필요에 의해 특수 제작한 피동식 TMD로 87F~91F의 코아부분에 설치했다. 그 목적은 건물의 풍력으로 인한 요동을 절감, 조절시키는데 있고 이 건물에서 일하는 사람들에게 편안함을 주기 위해서이다. 일반 전통적인 Damper와는 다른 시스템으로 Taipei 101-TMD는 건물의 기능과 구조기능을 고려, 88F과 89F에서 TMD의 작동을 눈으로 볼 수 있다.

• Mass Block : 직경 5.5m, 지상 41층에서 12.5cm 의 두꺼운 강철판을 접쳐 용접하여 금색의 공 모양으로 만들었고 총무게는 680톤이다.

• Cable : 공 모양체를 8개의 직경 9cm, 길이42m의 Cable로 92층에 매달았다. 사용기한연장과 유연성을 확보하기 위해 각 Cable은 2000개의 작은 Cable로 묶여 만들어 졌고, 자체 중량 상으로 안전지수는 약 9에 달하고, 각 Cable은 자체적으로 충분히 TMD의 무게를 감당 할 수 있다.

• Tuning Frame : 91층의 Tuning Frame은 모든 Cable 이 묶여있고 건물의 흔들림의 주기에 따라 Cable의 길이를 조절함으로써 건물과 TMD의 주기를 같게 하고 TMD의 피동반방향 기능과 최대의 효능을 발휘하게 유도했다.

• Bumper 기능 : TMD는 건물이 풍력의 영향을 받을 때 그 유동력을 40%줄이며 TMD는 일년 안에 약 35cm 좌우로 몇 번 정도 흔들리게 된다. 건물과 TMD의 주기가 같기 때문에 약 7초에 한번정도로 왕복 순환 한다. 그러므로 일상적으로 작동할 경우 TMD의 기능과 작동 움직임은 쉽게 보이지 않는다. 100년에 한번 정도 오는 드문 대형 태풍이 급습했을 때 TMD는 왕복 150cm 정도 움직이며, 특수 Bumper System 을 통해 이 150cm의 흔들림을 예방, 감소시킨다.

• Primary Hydraulic Viscous Damper : TMD 공 밑에 8개의 비스듬한 Primary Hydraulic Viscous Damper 를 설치하였다. 이 설계개념은 자동적으로 TMD 공의 저항력을 흡수하고, 건물의 흔들림을 이용, 흡수한 에너지를 소화시킨다.

• Bumper System : TMD 공 밑에 공의 움직임을 조절하는 Bumper Ring을 설치, 이 Bumper Ring은 8개의 Snubber Hydraulic Viscous Damper를 연결하여, 아주 드문 대형 태풍 또는 지진으로 인해 TMD의 왕복 움직임이 150cm를 초과하게 만드는 힘을 줄이고 안전시스템을 조절하게 했다.

• Pinnacle TMD: 고도 450~508m인 Pinnacle내에도 2개의 TMD를 설치하였다. 이것은 6톤으로 강철구조의 피로로 인한 압력을 줄이는 것이 그 목적이다.

5. 주요공법 및 기술

TAIPEI 101은 구조설계, 시공상, 기술사(技術史) 상 등 전 업계에 다방면의 종합적인 기술배양에 공헌하게 되었다. 종합적인 CM관리는 Turner International에서 관리 감독하고 KTRT JV (Kumagai Gumi, Taiwan Kumagai Gumi, RSEA, Ta-Yo-Wei)가 골조 시공을 맡았고 삼성물산 건설부문이 Phase2(공용부분 마감)의 시공을 맡았다.

저층부 PODIUM 부분은 철근콘크리트조를 기본 골조로 하여 TOP-DOWN 방식의 공법을 채택하였고 고

층부 부분은 철골구조로 세우는 방식으로 분리하여 계획하였다. 토공사는 6개월에 걸쳐 542,116㎡으로 터파기가 실시되고 이에 따라 총 7,500톤의 중량, 길이로는 42,000m의 Strut가 7개 층으로 된 흠막이 구조로 시공되었으며, 또한 기초공사는 3개월에 걸친 공기로 3.5m 높이의 매트기초로 시공되었다. 이 매트기초에는 약 28,000㎡의 콘크리트가 타설되었다.

타워부분의 철골공사는 3년여에 걸친 공사로 35절의 철골로 구성되었으며, 총 무게 107,000톤(저층부 상부 포함)이 소요 되었고 CSSC 카오슝 공장에서 3.0 x 2.4 x 8.4(두께=80mm) 크기의 Super Column을 제작하여 연결 설치하였다. 또 건물 구조에 큰 영향을 주는 외주부는 CFT Column (Concrete Filling Tube Column)으로 설치하였으며 이안에 들어간 콘크리트는 70.3Mpa HPC (High Performance Concrete)의 콘크리트로 약 24,000㎡ 타설되었다. 그밖에 130,000㎡의 커튼월이 시공되었다.

Pinnacle 시공방식을 설명하자면, Pinnacle의 가용 면적이 극히 좁으므로 크레인 지지에 필요한 시공대를 96층에 유압식으로 설치하여, Pinnacle을 하나씩 올리고 이에 따라 유압을 이용하여 위로 올라가도록 하였다.

6. 맺음말

이러한 선도적인 프로젝트를 통해 대만의 자체적 기술능력과 시공경험을 쌓을 수 있는 기회를 얻은 것은 물론 민족적인 자부심을 높이는 등 그 기대효과는 매우 클 것이다. 예를 들어 TAIPEI 101에 사용된 철골은 타이완 카오슝에 있는 'China Steel' 이 자체적으로 연구, 개발, 생산한 것이나, Thornton-Tomasetti와 같은 세계적인 구조 컨설팅 회사와의 협력을 통해 기술력을 세계적인 수준으로 향상시킨 점을 꼽을 수 있다.

TAIPEI 101을 통해 '동방의 초고층건축물에 대한 해석은 이러하다' 라는 것을 알리게 되었으며, 이전의 초고층건축물처럼 서양인 주도에 의한 것이 아니고 중국인에 의한 그들의 문화를 표현하게 되었다는데 그 의의가 있다고 할 수 있다. 또한 이러한 대규모 사업을 기획하고 설계하는 일을 자국의 건축가와 엔지니어를 주축으로 추진했다는 점은 기술경쟁력을 부르짖으면서도 중요한 프로젝트는 무조건 선진국의 기술에 의지하려고 하는 우리에게 시사하는 바가 매우 크다 하겠다.