Taipei F·C 건물의 신공법 시공사례
-세계 최고층(508m) 프로젝트-

Taipei Financial Center Project

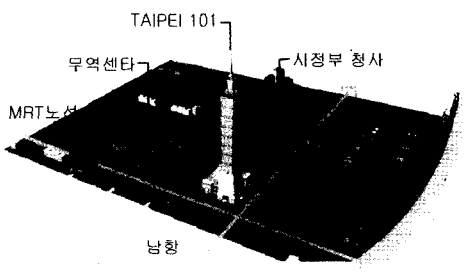
글 / 玉 裕 坤
(Ok, Yoo-Kon)
건축시공기술사,
서울대 건축과,
삼성물산 건설무분 부장.
E-mail:ykok@samsung.com

목 차

1. 머리말
2. 건축개요
3. Design Concept
4. 구조계획
5. 주요공법 및 기술
6. 맺음말

1. 머리말

왜 이렇게 높이 지어야 하는가? 그 가장 큰 목적은 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 시정부 센터의 개발안에서 발전되어, 시정부 건물과 무역센터를 중심으로 남북 쪽의 남항과 신의 쪽의 MRT노선과 연결하고 주변의 업무시설과 상업구역, 주택가와 인도 등을 정돈하여 주거와 상업행정의 특별구역을 만드는 것으로 개발되었다. 또한 타이베이 금융센터의 주변은 무역센터와 시정부 청사 외에 부속적인 상업업무와 오락·숙박시설 개발을 전제로 계획 되었다.

도시가 발달함에 따라 1991년 초 정부는 행정부의 아태지역금융정책에 맞춰 1996년에 도시개발계획안을 변경하여 건폐율 60%, 용적률 630%의 타이베이 금융센터를 금융, 서비스, 외식업, 쇼핑 및 여가활동시설 등의 용도로 개발하기로 하고, 금융센터의 개발을 목적으로 1995년에 재정국, 신공처(정부공무국), 도시개발국을 중심으로 팀을 만들어 타이베이 금융센터 BOT안의 개발경영과 지상권을 설정하는 등 전체개발계획을 추진하게 되었다.

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

금융센터의 BOT안이 순조롭게 진행되도록 하기위해 시정부는 입찰개발계획과 입찰응모에 필

요한 준칙 등 문서를 전문적인 고문단체에 위탁하고, 1997년 「타이베이 국제금융센터 지상권 개발계획」을 완성하여 70년 지상권을 임대하는 BOT 방식 계획안이 시의회에서 가결되었다. 이에 따라 시정부는 입찰 공고를 거쳐 1997년 7월 12일, 타이베이 금융센터를 206억8,889만NTD(6억3천만 USD)으로 개발 운영권을 낙찰 받게 된다.

이 건물을 설계한 건축가 C.Y.Lee는 고층건물에 대한 많은 경험이 있었고, 오너와 이 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 한계를 극복하는 원동력이 되었다.

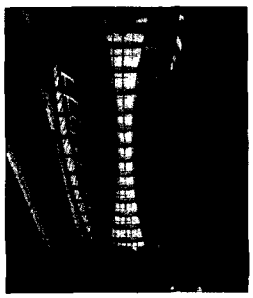
2. 건축개요

- 대지면적 : 30,277m²
- 건 폐 율 : 50%
- 건축면적 : 15,138m²
- 용 적 율 : 630%
- 연 면 적 : 지상 374,220m², 지하 374,220m² [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 디자인 하였다. 외벽은 공항의 관제탑과 같이 7°의 경사를 두고 있으며,이 각도로 하늘과 땅을 바라볼 수 있도록 하였다. 태양 또한 적당한 각도로 반사되므로, 일반 유리창보다 훨씬 효율적으로 디자인 하였으며, 한 단위 한 단위사이에 평면의 발코니도 생겨, 이 공간으로 대피장소로서의 역할 또한 겸할 수 있도록 했다.



디자인에서 주목되는 것은 포디움의 수퍼트러스로, 두 건물 중 타워부분은 그 고도로서 모든 것을 대변할 것이고, 포디움도 충분히 사람들의 눈길을 끌 수 있어야 하므로, 길게 가로지르는 수퍼트러스와 채광기능을 적용하여 두 건물이 나름대로의 특색을 갖추게 되었다.

Technology : 최고의 항풍, 내진, 제진설계	• **안정적인 구조 :** 타이베이 국제금융센터의 구조설계상으로 2,500년의 지진을 견딜 수 있으며 17급의 초당 60m의 강력 태풍도 감당할 수 있는 구조 항풍설계상으로는 800톤의 Tuned Mass Damper를 이용, 자동적으로 바람과 지진에 방향과 진폭을 조절, 요동을 줄임.
Art : 예술적 조화	• **층층으로 "古"이 연속적으로 연결 :** "古"의 숫자 "8"의 단위로 층층이 쌓아, 외관상으로 박자와 운율적 미감을 느낄 수 있는 국제 고층건물의 품격을 갖춤. • **허상을 진실화한 시각효과 :** 7°의 각도로 올린 유리벽면, 반사광으로 인한 유해성이 없는 고도의 투명유리 벽면은 크리스탈과 같은 투명감으로, 사람들에게 대만의 제일 높은 건물에서 도시를 전망하게하고, 자연과 주위환경과 극도의 조화를 이룸. 높은 건물에서 도시를 전망하게하고, 자연과 주위환경과 극도의 조화를 이룸.
Innovation : 창조의 추	• **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 새로운 조류를 이끌어감**
People : 대중의 기대에 접근	• **한번에 가장 많은 수요를 만족** 수만명이 종사하는 금융, 증권, 선물, 은행본사, 기업, 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, 레크리에이션시설 입주
Environment : 아름다운 공동체생활을 소중히 여김	• **자연에 가장 가까운 건축물** 어떤 방해도 받지 않고 넓은 하늘과 구름에 근접하여 타이베이 분지에 우뚝 선, 자연과 가장 가까운 건물을 설계함 • **Green Building 및 환경에 대한 고려** 환경보호에 앞장서서 설계기획단계에서부터 환경에 위배되는 것을 배제
Identity : 모두의 아름다운 지표	• **대만에 대한 긍지** 대만의 조직이 중심이 되어서, 세계 각국의 전문가, 공사고문, 건설업체, 선진기술을 도입하여 그들 자신의 손으로 최고의 건물을 기획에서 부터 시공하였고 사용하게 된다는 자부심 • **세계의 지평선에서 선 자부심** 2003년부터 세계의 고층건물을 논할 때에, TAIPEI 101도 한축을 차지하며 세계의 초고층건물대열에 서게 된 대만의 자부심

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

4. 구조계획

고층건물의 설계에서 구조안전성은 아주 중요한 부분의 하나이다. 과거에는 TAIPEI 101과 같은 초고층 건물의 경험이 없었으므로 기존의 시방, 설계방식 및 구조자재 선택의 범위를 넘어서게 되었고, 이에 학계, 설계사, 시공자들이 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 선택했다.

Mega Structure의 중심 부분은 반드시 직선

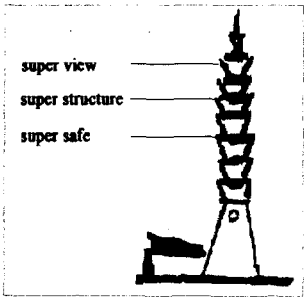
으로 꼭대기까지 상승해야 하나, 바깥 부분은 건물의 높이를 따라 좁혀져도 되며, 이에 따라 벽 부분도 안쪽으로 좁혀지고, 빌딩의 외형은 이를 이용해 각종 변화를 가질 수 있게 했다. 이것이 바로 Mega Structure의 디자인상의 이점이라 할 수 있겠다. 건물의 8개의 주요 기둥의 지지력만 견고하다면 구조체의 측면 저항을 고려하지 않고 다양한 디자인의 변화를 줄 수 있는 것이다.

(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 단위로한 Mega structure 구조를 채택하게 되었다.



Mega structure 구조는 2개의 거대한 틀을 가지고 있으며, 3개의 사재는 바깥쪽 기둥과 함께 Mega Frame의 역학 네트워크를 만들어, 큰 기둥과 중심부분간을 아주 강하고 거대한 보로 연결하였다. 구조체 층은 기계층, 대피층의 기능도 동시에 겸하게 했으며, 한 단위의 꼭대기 부분에 2m가 넘는 발코니를 내밀어 비상시 대피장소로 사용하도록 하였다.

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

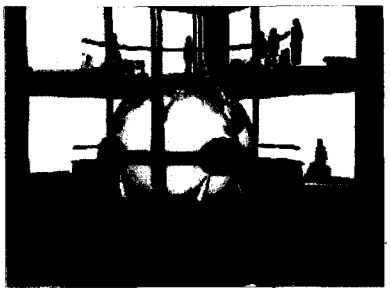
(3) Wind tunnel test

고층건물은 Wind tunnel test로 구조체의 풍압과 Curtain Wall의 풍압을 정할 필요가 있다. 풍압측정은 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 구조설계상 일반적인 처리방식이라 할 수 있다.

(4) 피동식(被動式) Wind Damper

세계 최초의 외부 노출형이며 예술품으로 감상가능한 Wind Damper로서 680T의 추는 12.5cm두께의 강철판을 겹쳐 만들어졌고, 16개의 cable로 매달려 있으며 하부에 정밀한 유압식 시스템이 있다.

Tuned Mass Damper(TMD)는 일반적으로 항진용으로 생각하나, 사실상으로는 항진기능은 극히 적고, 주로 항풍용이다. Wind Damper는 커다란 추로서 구조체의 진동주기에 따라 움직인다. 실제 구조주기는 분석된 자료와는 다르게 마련이다. 그러므로 장차 미묘한 진동을 이용, 구조체의 주기를 측량하고, 그 후 Wind Damper의 주기를 조절한다.



Cable의 길이가 주기를 좌우한다고 볼 수 있다.

꼭대기의 50m 정도의 Pinnacle은 언제나 흔들리고 있으며, 금속자재는 피로하중이 빨리 생기므로 Pinnacle에 두개의 TMD(사각형)를 설치하여 항풍기능을 살리고 지진폭을 줄였다. Life cycle을 100년으로 계산한바, Pinnacle의 뚜렷한 진동은 수백만 번으로, 이로 인하여 피로하중이 쌓인다. 이를 Wind Damper로서 Life cycle내의 진동의 폭과 힘을 줄이고, 피로현상으로 인한 구조체의 위험을 줄이고, 안전성을 확보하는 것을 원칙으로 한다.

5.주요공법 및 기술

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

저층부 PODIUM 부분은 RC를 기본 골조로 하여 TOP-DOWN 방식의 공법을 채택하였고 고층부 부분은 철골구조로 세우는 방식으로 분리하여 계획하였다. 토공사는 6개월에 거쳐 542,116m^{3}으로 터파기가 실시되고 이에 따라 총 7,500t의 중량, 길이로는 42,000m의 Strut가 7개 층으로 된 흙막이 구조로 시공되었으며, 또한 기초공사는 3개월에 거친 공기로 3.5m 높이의 매트기초로 시공되었다. 이 매트기초에는 약 28,000m^{3}의 콘크리트가 타설 되었다.

타워부분의 철골공사는 3년여에 걸친 공사로 35절의 철골로 구성되었으며, 총 무게 107,000t (저층부 상부 포함)이 소요 되었는데, CSSC 카오슝 공장에서 3.0×2.4×8.4(t=80mm) 크기의 Super Column을 제작하여 연결 설치하였다. 또 건물 구조에 큰 영향을 주는 외주부는 CFT Column (Concrete Filling Tube Column)으로 설치하였는데 이안에 들어간 콘크리트는 10,000 PSI HPC (High Performance Concrete)의 콘크리트로 약 24,000m^3 타설되었다. 그밖에 130,000m^{2}의 커튼월이 시공되었다.

Pinnacle 시공방식을 설명하자면, Pinnacle의 사용 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 철골을 '中鋼'이 자체적으로 연구, 개발, 생산한 것이나, Thornton-Tomasetti와 같은 세계적인 구조 컨설팅 회사와의 합작을 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.