

인류 역사와 함께한 건설 상품 100선 97



(좌) 초고층 마천루 가운데 우뚝 선 상하이타워 이미지(출처:Gensler).
(우) 공사 중인 상하이 타워.

김 원 태 한국건설산업연구원 연구위원
wontkim@cerik.re.kr

두바이의 버즈 칼리파에 이어 세계에서 두 번째로 높은 건물이 될 상하이타워의 준공이 임박하고 있다. 당초 2014년에 완공될 계획이었으나, 현재 2015년 준공을 앞두고 내부 마감 공사의 막바지 작업이 한창이다. 새로운 랜드마크가 될 상하이타워는 높이 632미터, 지상 121층, 지하 5층의 규모로, 중국의 초고층 마천루 단지로 지정된 푸둥 구역의 빌딩 숲속에 위치해 있다. 상하이타워의 인근에 앞서 준공된 420미터

높이의 진마오타워(1998년)와 492미터 높이의 상하이세계금융센터(2008년)가 자리하고 있다.

지난 1993년에 개발 승인된 상하이타워는 상하이 정부가 전략적으로 추진한 숙원 사업 중 마지막 하나로, 지난 20여 년 동안 진행된 초고층 빌딩의 개발 경험과 기술이 집약된 사업으로 평가된다. 본고에서는 초고층 건물의 미래상을 엿볼 수 있는 상하이타워를 미리 견학해본다.¹⁾

1) 본 글은 상하이타워의 홈페이지(<http://www.shanghaitower.com.cn/>) 수록 자료 : 설계 주판사 겐슬러의 홈페이지(<http://du.gensler.com/>) 수록 자료 : Mitsubishi Electric Corporation, "Mitsubishi Electric to Install World's Fastest Elevators in Shanghai Tower", 2011. 9. 28 ; 김진희, "상하이타워 프로젝트", 한국BIM학회, 2013. 9 등을 참조하여 작성하였음.

인류 역사와 함께한 건설 상품 100선 97

숫자로 보는 상하이타워 사업 개요

1	도 : 각 층의 회전각
2	번째 : 세계에서 건물 높이 순위
9	구역 : 타워 분할 수
18	미터 : 엘리베이터 초당 상승 거리
63	시간 : 기초 콘크리트 타설 연속 시간
106	대 : 엘리베이터 수
124	미터 : 타워 최대 직경
125	층 : 건물 층수
270	개 : 타워 상층부 풍력 터빈 수
632	미터 : 메인 타워 높이
980	개 : 말뚝 기초 수
1,200	톤 : 댐퍼 중량
3,500	명 : 최대 일일 건물 작업자 수
40,000	명 : 예상 일일 건물 이용자 수
576,000	제곱미터 : 건물 면적
850,000	톤 : 건물 자중
2,500,000	달러 : 이중 외벽을 통한 연간 에너지 절감액

자립 커뮤니티 위한 복합 공간 조성

상하이타워는 수직 공간, 친환경 공간, 스마트한 공간, 문화적 공간의 융합을 꿈꾸는 다목적 복합 시설로, 자립 가능한 하나의 소도시로 기능하도록 계획되어 있다.

수직 공간은 12~15개 층을 한 구역으로 하는 9개 구역(zone)으로 구분되는데, Zone1은 상가, Zone2에서 6은 사무 공간으로, Zone7과 8은 특급 호텔, Zone9는 전망대와 문화 시설이 들어선다. 특히, Zone2와 Zone8 사이에 위치한 21개의 스카이 로비에서는 상하이의 도시 전경을 다른 눈높이에서 향유하는 이채로운 경험이 가능하다.

상하이타워에 도입된 다양한 첨단 녹색 기술은 주변 환경에 미치는 부정적 영향을 최소화시키는 동시에 건물 이용자의 건강까지 챙긴다. 상하이타워는 또한 광섬유, 무선 식별(radio frequency identification) 장치 등을 포함하는 최신 정보통신 기술을 활용하여 사물 인터넷(internet of things)과 클라우드 컴퓨팅(cloud computing) 시스템이 작동 가능한 스마트 커뮤니티의 환경 기반을 조성한다. 상하이타워 내에는

중국의 풍부한 문화를 홍보하고 체험할 수 있는 공간도 마련되는데, 관푸(觀復)박물관이 유치될 예정이라고 한다.

초고층 혁신 기술의 쇼케이스

세계적 건축설계사인 젠슬러는 632미터 높이의 초고층 건물을 안전하고도 경제적으로 짓기 위해서, 구조적 효율성이 높은 메가 프레임(mega-frame)을 사용하였다. 상하이타워의 기본 골격은 메가 프레임으로 구성된 다단식 케이크 모양이다. 중앙부에 위치한 철근콘크리트 코어는 외주부에 위치하는 8개의 초대형 기둥(super-column)과 연결되어 있다. 그리고 14개 층마다 2개 층 높이의 아웃트리거(outrigger)와 원형 벨트 트러스(belt truss)가 각 층상 구조의 하부 기초가 되어 코어와 초대형 기둥을 연결하며 일체화된 메가 프레임을 완성시키는 구조이다.

상하이타워는 각 층마다 1도씩, 건물 최하층에서 최상층까지 총 120도가 비틀려 회전하는 나선형 형상이다. 상하이 지역에 빈번히 출현하는 태풍 규모의 거센 바람에도 거뜰히 견딜 수 있도록 풍동 시험을 거쳐 최적화된 설계의 결과물이다. 상하이타워 설계팀은 이러한 비대칭 형상, 상층으로 갈수록 뾰족해 지는 종단면, 건물 모서리의 둥근 모양 처리 등을 통해 건물이 지탱해야 하는 풍하중을 24% 정도 줄일 것으로 예상하고 있다. 그 결과 투입되는 구조 부재 물량은 32%를 줄일 수 있게 되고, 580만 달러의 절감 효과를 거둘 수 있다고 한다.

상하이타워에 설치될 초고속 엘리베이터는 세계에서도 가장 빠른 속도를 자랑하는데, 진동과 소음을 줄이는 한편 급격한 압력 변화에 따른 탑승객의 불편함을 최소화시키기 위해 기압 제어 장치가 설치되어 있

다. 승객 수송 부하를 최대화하기 위해 상하 2개 층에서 동시에 운행하는 효율성이 높은 7대의 더블 데크 엘리베이터도 설치된다. 타워의 디젤 발전기는 아시아 최대 규모로 10,000킬로와트의 비축 용량을 갖추고 있다. 또한, 유지관리의 편의성을 위해 마련될 나선형으로 움직이는 유리 청소용 곤돌라 시스템도 흥미롭다.

BIM 기술 적용, 친환경 원칙 고수

비정형 형태의 상하이타워를 설계하고 시공하는 데는 종래 방식과는 차별화된 전략이 필요했다. 방대한 설계 정보를 생산 및 처리하고 공유해야 했으며, 최대 3,500명의 작업자가 동시에 투입되어야 하는 만큼 효율적인 시공 계획 및 관리가 필요했기 때문이다. 그리고 이러한 요구에 대응하기 위하여 BIM(Building Information Modeling)이 그 중추적 역할을 담당하며 프로세스 혁신에 기여했다. BIM은 전체 설계 작업의 속도를 증가시켰을 뿐만 아니라, 설계 품질을 제고시켰다고 한다. 건물의 시공 단계에서도 3D 가상 건물의 시각화를 통해 공간간 간섭을 최소화하는 조정 작업을 진행했고, 이는 재작업을 사전에 차단하는 데 일조했다.

상하이타워는 현존하는 초고층 건물 중에서 가장 친환경성이 높은 건물로 평가되고 있다. 건물 부지 인근의 생태학적 환경을 고려하여 다양한 녹색 기술을 초고층 건물에 접목하였으며, 미국 녹색건물위원회(US Green Building Council)의 LEED Gold 등급의 녹색화를 추진 중이다. 상하이타워의 이중 외피 구조는 내·외벽 간 완충 공간을 제공함으로써 단열 효과 및 자연 채광을 극대화시켰으며, 그 결과 연간 250만 달러의 에너지 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대되고

있다. 건물 최상층 옥상 부분의 나선형 난간은 빗물을 모아 재활용하도록 고안되었다. 지열 펌프와 얼음 저장 시스템 등을 이용한 통합된 냉난방 시스템도 갖추고 있다. 상하이타워는 무려 270개의 풍력 터빈을 운영하며 135킬로와트의 전력을 생산할 수 있다.

초고층 건물의 진화는 진행형

상하이타워에는 '최고(最高)' 또는 '최초(最初)'라는 수식어가 자연스레 붙는다. 세계에서 가장 높은 곳에 위치한 회전 레스토랑은 상하이타워의 120층(556.7미터)에, 세계에서 가장 높은 수영장은 84층(393.4미터)에 들어선다. 최대 2만명까지 지원이 가능한 클라우드 컴퓨팅 시스템이 도입된 최초의 초고층 건물이기도 하다. 상하이타워는 세계에서 가장 높은 곳(656~578미터)에 설치된 풍력 터빈을 보유하고 있다. 초당 18미터를 움직이는 세계에서 가장 빠른 엘리베이터 3대가 관광객 서비스 용도로 설치된다. 비상용 엘리베이터는 세계에서 가장 긴 거리를 움직이는 엘리베이터가 지하 3층에서 지상 121층까지 총 578.5미터의 구간을 움직이게 된다.

상하이타워의 공사 과정에서도 물량적으로나 기술적으로 다양한 기록들이 양산되었다. 상하이타워는 세계 최초로 점토성 연약 지반 위에 세워지는 85만톤 무게의 초대형 건물이다. 건물 기초 작업에는 콘크리트 믹서 차량 450대와 펌프 설비 8대가 동원되어 총 6만㎡의 콘크리트를 63시간에 걸쳐 연속 타설하는 진기록을 세웠다. 외부 커튼월 공사는 최대 2mm 수준의 초정밀 시공으로 완수했다.

초고층 건물의 진화는 지금 이 순간도 멈추지 않고 있다. 더 높고, 더 안전하면서, 더 쾌적하고, 더 친환경적인 초고층 건물의 미래 모습을 기대해본다. CERIK