

경남 하노이 랜드마크 타워의 설계와 시공

Design and Construction of Keangnam Hanoi Landmark Tower in Vietnam



윤병익*

Byung-Ick Yoon



박문호**

Moon-Hyo Park



이희철***

Hee-Cheol Lee



유성훈****

Seong-Hoon Yoo



김선규*****

Seon-Gyu Kim

1. 건물 개요

베트남 하노이의 팜흥스트리트(Pham Hung Street)에 건설되는 경남 하노이 랜드마크 타워 프로젝트는 245m × 245m의 대지에 70층 규모인 랜드마크 타워와 49층 규모의 레지던스 타워 2개동 그리고 이들을 연결하는 포디움으로 구성되어 있다. 본 프로젝트의 지하층을 포함한 총 연면적은 약 58만 m²로써 랜드마크 타워에는 386개의 호텔 객실, 486개의 서비스레지던스 그리고 12만8,000 m² 규모의 사무실과 함께 각종 부대시설이 들어설게 되며, 900여 세대의 레지던스 타워 2개동과 각 타워들을 연결하는 포디움에 주차장 및 대형쇼핑몰 등이 설계되어 2011년 하반기 준공예정으로서 현재 시공중에 있다<사진 1>.

2. 구조 개요

현재 시공중인 경남하노이 랜드마크 타워의 구조 개요는 <표 1>과 같다.



사진 1. 현장 전경

- * 정희원, (주)아이스트엔지니어링 대표이사
pwrs@korea.com
- ** 경남기업(주) 하노이랜드마크타워 현장소장
- *** 경남기업(주) 설계팀 차장
- **** 정희원, 동양구조안전기술 소장
- ***** (주)마이디자인 상무

표 1. 경남 하노이 랜드마크 타워 구조개요

	랜드마크 타워	레지던스 타워	포디움 및 주차장
규모	지상 70층 1동	지상 49층 2동	지하 2층 지상 6층
스팬	9.0m × 13.5m	7.5m × 12m	8.7m × 12.9m
바닥구조 시스템	포스트 텐션 플랫 슬래브	포스트 텐션 플랫 슬래브	빔 & 거더 + 포스트텐션 시스템
횡력저항 시스템	전단벽 + 아웃리거월 + 벨트월	전단벽 + 아웃리거월 + 벨트월	모멘트골조
토공(흙막이)	D/Wall(t = 800) + 오픈컷 + 일부 시트파일		
콘크리트 강도	랜드마크 타워 		
	레지던스 타워 및 포디움 		
철근강도	D22 이하 : SD390, D25 이상 : SD490		
스트랜드	직경 15.2 mm, $f_u = 1,860$ MPa, $f_y = 1,670$ MPa		
파일규격	직경 2,000 bored pile, 직경 1,500, 1,000 bored pile		
설계기준 및 참고기준	TCVN 2737 Load and Actions - Design Code TCVN 375 Design of Structures for Earthquake Resistance UBC 97 Uniform Building Code ACI 318-05 Building Code Requirement for Structure Concrete, Post - Tensioning Manual		

3. 주요 구조시스템

3.1 흙막이 및 말뚝

당초 두께 800 mm의 다이어프램 벽체로 설계 되었으나 터파기에 대한 안정성 및 공사비, 공사일정 및 굴착장비 이용계획 등 현장의 종합적 여건을 고려하여 다이어프램 벽체와 함께 오픈컷(open-cut) 공법 및 일부구간 널말뚝(sheet-pile) 공법으로 변경 적용하였다.

현장타설 말뚝(bored-pile)에 대한 설계하중을 결정하기 위하여 4개소의 테스트 말뚝에 양방향 재하시험(osterberg-cell test)을 실시하여 선단지지력 및 주면마찰력을 확인하였으며, 하중 및 심도에 따라 직경 1,000 mm ~ 2,000 mm까지 적용하였다 <사진 2>.

3.2 랜드마크 타워

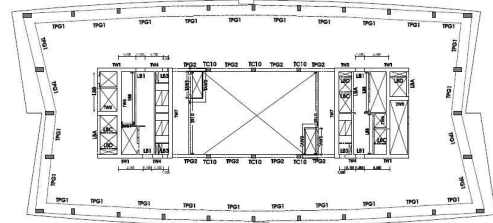
3.2.1 수직 구조시스템

지상 70층, 지상 329.6 m의 고층 구조물로서 호텔, 서비스레지던스, 오피스와 주차장 및 판매시설로 구성된 복합시설이다. 호텔, 서비스레지던스는 최대경간 12.2 m, 최대 캔틸레버 5.0 m(보설치)로 두께 320 mm의 포스트텐션(post tension : 이하 PT) 슬래브로 구성되어 있다. 업무시설의 경우 최대경간 13.5 m, 최대 캔틸레버 슬래브 3.7 m로 두께 275 mm의 PT 슬래브로 설계되었다. 내부에 보가 없어 천정고를 높일 수가 있었으며 PT 시스템을 적용함으로써 철골자재 수급에 어려움이 있는 현지 여건을 고려한 경제적인 설계가 가능하였다 <그림 1>.

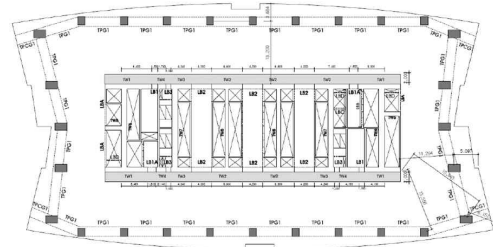
사용된 콘크리트는 실린더 강도 기준으로 35 ~ 70 MPa를 사용하였으며, 철근은 SD 390, SD 490이 사용되었다. 기초형식은 두께 4 m, 직경 2,000 mm의 현장타설 말뚝($R_a = 3,200$



사진 2. 현장타설 말뚝 철근망 근입



(a) 호텔, 서비스레지던스 기준층평면도



(b) 업무시설 기준층평면도

그림 1. 랜드마크 타워 기준층 구조평면도

tf/EA) 매트기초로 구성되었다.

지하를 제외한 지상층 바닥구조는 부착방식(bonded-type)의 포스트텐션 슬래브로 설계하였으며, 장경간의 구조물이므로 시간이력해석을 통한 진동검토와 장기처짐에 대한 검토를 수행하였다 <표 2>.

횡력저항시스템은 중심 코어 벽체, 링크 빔(link beam), 테두리 보, 47층에 위치하는 아웃리저월, 벨트월에 의하여 저항하도록 하였다 <그림 2>. 링크 빔의 경우 철골삽입을 줄이기 위하여 스트럿-타이 모델로 해석하였고, 일부 부재의 경우 철골을 삽입하였다. 당초 기본 계획시 지상 47층과 59층에 두 개의 아웃리저 설치 계획이었으나 풍동실험 결과에 따라 횡력에 대한 기여도가 작은 59층 아웃리저는 삭제할 수 있었다. 시공성을 고려하여 아웃리저월의 경우 SRC로도 검토하였으나 현지 여건상 RC

표 2. 진동검토 결과

MARK	주기 (cycle/sec)	응답가속도	결과
호텔	5.85	1.42 gal	V30* 만족
업무시설	5.87	2.30 gal	V70* 만족

* 일본건축학회식 검토



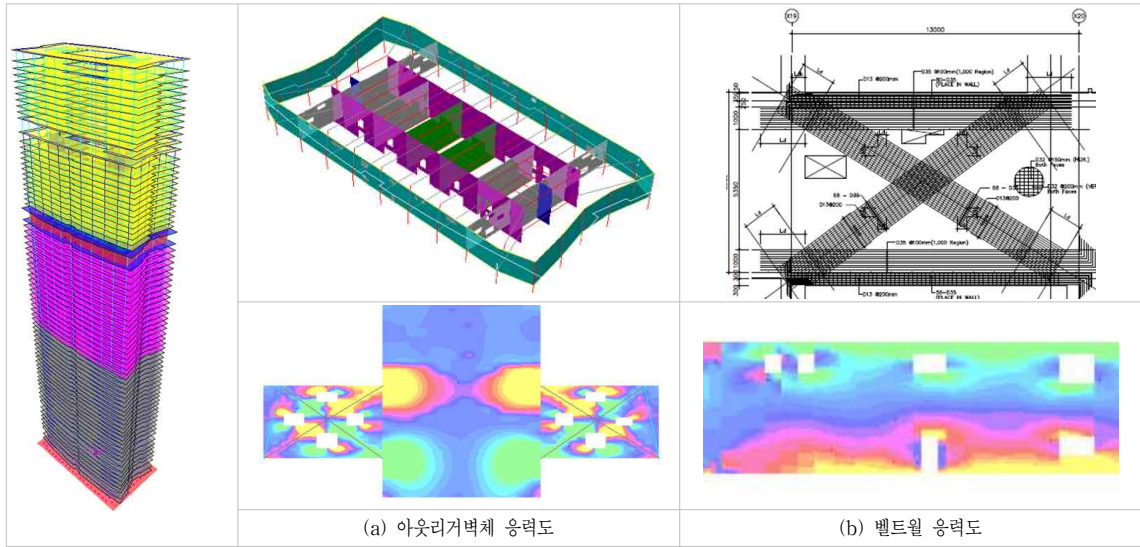
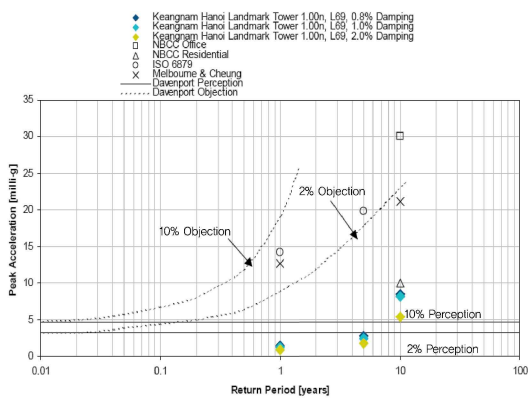
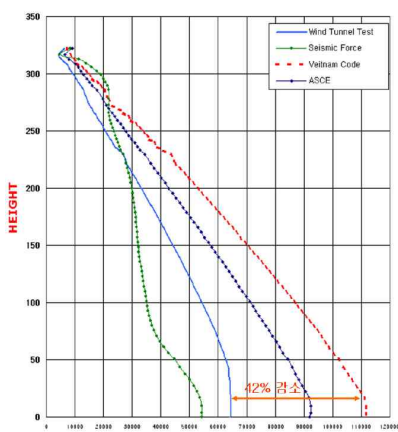


그림 2. 랜드마크 타워동 구조모델 및 주요부재 응력도



(a) 풍사용성 평가(응답가속도)



(b) 횡력 비교(지진, 풍하중)

그림 3. 풍사용성 평가 및 횡력 비교

로 설계하였으며 골조 완료 후 작동하도록 지연조인트를 계획하였다. 풍하중에 의한 횡변위는 약 520 mm($h/635$)로 $h/500$ 를 만족하였으며 풍진동에 의한 사용성 검토에서도 감쇠율 1% 적용시 관련기준을 모두 만족하였다.

3.3 레지던스 타워

3.3.1 바닥구조시스템

삼각형 모양의 레지던스타워는 중심에 있는 코어벽으로부터 슬래브 외부면까지의 거리가 14m와 15m로 장스팬에 속한다. 바닥구조는 랜드마크 타워동과 마찬가지로 부착방식의 포스트텐션 슬래브 구조를 적용하였고, 기둥을 외부로부터 3m지점에 설치한 캔틸레버슬래브 구조시스템을 도입하여 내부스팬을 줄임으로써 효율적인 구조계획이 되도록 하였다.

아래의 <그림 4>에서 <그림 6>까지 기준층 바닥에 대한 구조평면도와 포스트텐션슬래브의 구조해석 결과를 보여주고 있다.

3.3.2 횡력저항시스템

레지던스 빌딩은 $\frac{H}{\sqrt{BD}}$ 의 값이 6 이상인데 비해 코어비율이 층면적의 12% 정도로 강성이 작아 기둥을 따라 외부에 테두리보(perimeter girder)를 설치하여 프레임강성을 증가시키고 지상 21층 위에 있는 기계실에 아웃리거트러스와 벨트트러스를 설치하였다. 또한 저층부 RC 포디움 골조와 일체로 모델링, 해석함으로써 횡력에 대한 저항력을 극대화하였다<그림 6>.

지진력에 의한 밀면전단력과 전도모멘트가 풍력에 비해 훨씬

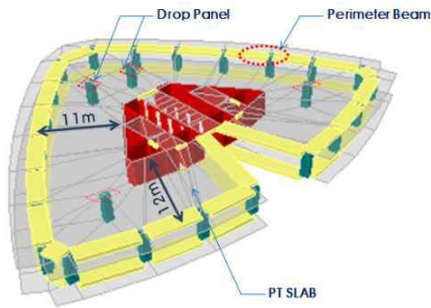


그림 4. 기준층 구조 평면도

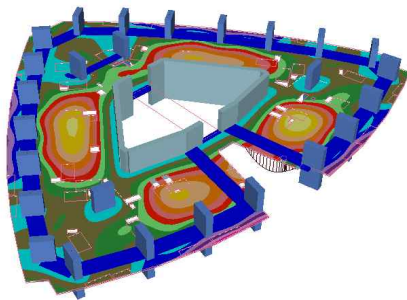


그림 5. 포스트텐션슬래브 해석결과

커서 구조물 설계는 지진하중에 의해 주로 설계되었다. 그러나 사용성 측면에서는 레지던스타워 1개동이 수평진동에 관한 외국의 설계기준을 일부 초과하는 것으로 나타나 코어 두께 등 구조

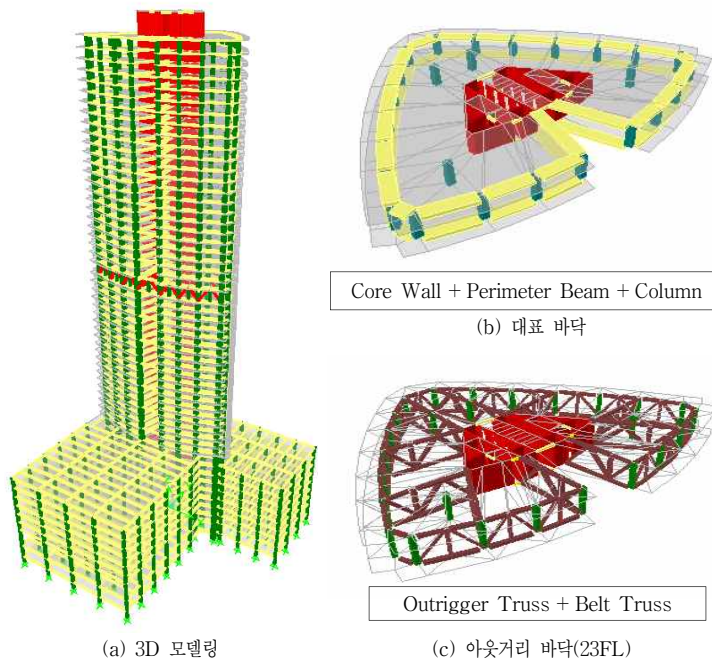


그림 6. 레지던스 타워 횡력 저항 시스템

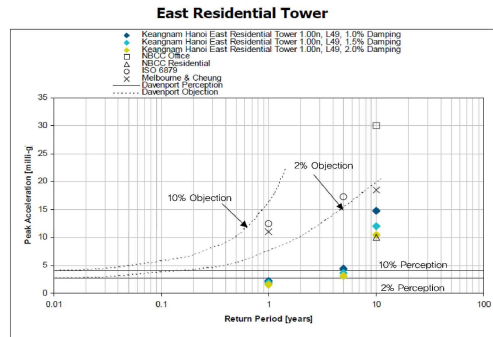


그림 7. 풍동실험에 의한 사용성 검토 결과

부재 일부를 변경하였다. 풍동실험에 적용한 여러 기준과 풍동 실험결과는 <그림 7>과 같다.

3.4 포디움 및 주차장

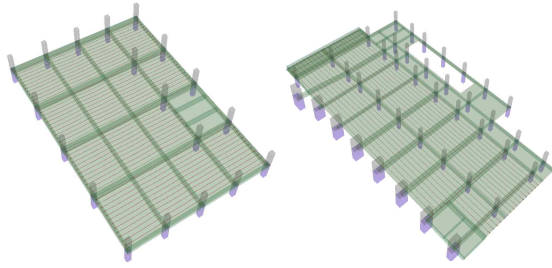
저층부 포디움은 주차장, 판매시설, 집회장의 용도로 계획되어 있으며 각 용도에 따라 RC 및 PT구조가 혼용되었다. 특히 컨벤션 센터 구간에 최대 26.1 m 장경간의 PT보를 설치하였고, 호텔 주차장의 경우 9 × 14.5 m의 모듈로 특히 5 m의 캔틸레버가 계획되어 있다<그림 8>.

지하 주차장의 경우 기본 모듈이 8.4 × 8.7 m, 일부 8.4 × 10.5 m 모듈로 계획되어있으며<그림 9>, 지상 1층은 레벨차를 반영하기 위하여 일방향 슬래브로 계획되었다. 또한 지하 1층의 2단 주차공간의 확보를 위한 층고 절감의 목적으로 지상 1층의 일부 구간에 플랫폼슬래브 PT시스템이 적용되었다.

4. 공정관리

일반적으로 초고층 공사의 경우 코어선행 공법 적용이 효율적이나 본 건물은 포스트 텐션 공정 및 외곽부 RC 테두리보 설치, 동절기 하노이지역의 기온(영상 5°C 이하)에 따른 양생문제 등을 감안하여, 타워동 및 주거동 기준층에서 층당 5일(working day 기준) 공정, 동시타설로 진행하였다<그림 10>.

RC공사시 타워동과 주거동 코어벽체 내부는 ACS폼 적용하였고, 슬래브는 알미늄 트러스 테이블폼(2벌 사용) 적용하여 작업성을 향상시켰으며<사진 3>, 기타 저층부 포디움 및 지하구간은 레벨변화 등에 따른 효율성 등을



(a) 컨벤션 센터(12.9 × 26.1 m) (b) 주차장(9 × 14.5 m)

그림 8. 포디움 및 주차장 PT 해석 모델

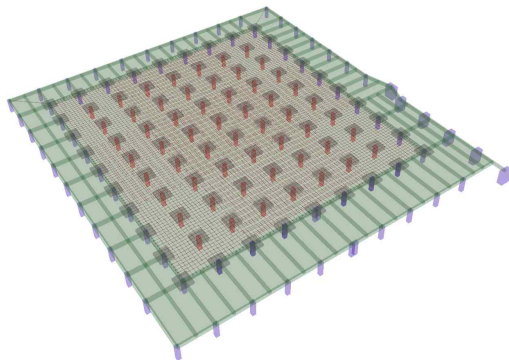


그림 9. 지상 1층 플랫슬래브(8.4 × 8.7 m)



사진 3. 트리스 테이블톱 현황



사진 4. 텐던 배치 현황

층당 5일 공정표(주거동)

구분	1일차	2일차	3일차	4일차	5일차	6일차	7일차	8일차
Z O N E A	기둥	거푸집 철근배근	폼 타설	폼 타설			폼 타설	폼 타설
	코어	거푸집 철근배근	ACS 인양 철근배근	외부경통 타설	N층		ACS 인양 철근배근	외부경통 타설
	슬래브	거푸집 철근배근	폼 타설	테이블톱 철근배근	폼 타설			테이블톱 철근배근
		Post-Tension 콘크리트타설	타설	Stress & Grooving(N-1층) 현장설치	타설			타설
		거푸집 철근배근	폼 타설	폼 타설				폼 타설
		거푸집 철근배근	ACS 인양 철근배근	외부경통 타설	N층			ACS 인양 철근배근
Z O N E B	기둥	거푸집 철근배근	폼 타설	폼 타설			폼 타설	폼 타설
	코어	거푸집 철근배근	ACS 인양 철근배근	외부경통 타설	N층			ACS 인양 철근배근
	슬래브	거푸집 철근배근	폼 타설	테이블톱 철근배근	폼 타설			테이블톱 철근배근
		Post-Tension 콘크리트타설	타설	Stress & Grooving(N-1층) 현장설치	타설			타설
		거푸집 철근배근	폼 타설	폼 타설				폼 타설
		거푸집 철근배근	ACS 인양 철근배근	외부경통 타설	N층			ACS 인양 철근배근

그림 10. 레지던스 타워 공정표

고려하여 재래식 폼과 혼합 적용 하였다.

PT 슬래브 설계강도는 35 MPa, 40 MPa, 50 MPa로 타설 약 2일 경과 후 24 Mpa 강도 발현시에 텐던 스트레싱 및 그라우팅 후 테이블톱 탈형하였으며, 테이블톱 2번 사용시 구조검토를 통해 탈형후 하부층 1개 및 2개층까지 버팀목을 재설치 하였다<사진 4>.

구조계획 당시 수평/수직부재 강도차 1.4배 이하로 계획되었고, 지상부 PT구간에 대해선 와이드보에 의해 ACI-규준상의 패널존 구속효과 만족되는 것으로 보아 수평-수직 접합구간은 특별한 분리조치 없이 수평재 강도로 타설 하였다. 그러나 주거

동 저층부 RC구간에서는 사방 보폭이 기둥폭에 비해 현저히 좁아 구속효과 기대하기 어려워 부족한 압축내력만큼 수직 보강철근을 설치하였다.

매트기초 두께는 최대 4.0m로 수화열 관리가 필요하였으며, 타설후 5일차(120시간)까지 담수 및 천막양생 실시하여 중앙부와 표면부의 온도차 25℃ 이하가 되도록 관리하였다.

5. 기둥 부등축소

수직하중 누적에 의한 수직부재의 탄성 및 비탄성 변형량에 대한 정밀예측을 위하여 호텔동 및 주거동의 수직부재에 사용된 콘크리트 강도 50, 60, 70 MPa에 대하여 4개월간의 장기 변형 특성 분석을 위한 재료시험을 실시하였으며, 주거 A동과 호텔동에 각각 50개, 104개의 변형률 계측기를 설치하였다. <표 3>은 재료시험에 의한 극한건조수축과 특정 크리프계수 예상 결과이며, <사진 5, 6>을 재료시험과 계측기 설치장면을 보여준다.

현재 축소량에 대한 ACI 209-92에서 제안하는 예측법을 토대로한 재해석이 진행중이다. 축소량의 대부분이 발현되는 입주

표 3. 강도별 극한건조수축 및 특정크리프 예상

Design Str. of Concrete Specimen	Ultimate Shrinkage	Theoretical Value (PCA)	Ratio
50 MPa	408	500 ~ 800	81.6% ~ 51.0%
60 MPa	341	500 ~ 800	68.2% ~ 42.7%
70 MPa	232	500 ~ 800	46.4% ~ 29.0%

단위 : $\mu\text{cm/cm/kgf/cm}^2$

Design Str. of Concrete Specimen	Specific Creep	Theoretical Value (PCA, $3/fc' \sim 5/fc'$)	Ratio
50 MPa	4.314	4.241 ~ 7.068	101.7% ~ 61.0%
60 MPa	3.444	3.663 ~ 6.104	94.0% ~ 56.4%
70 MPa	2.660	3.312 ~ 5.520	80.3% ~ 48.2%



사진 5. 재료시험 사진



사진 6. 계측기 설치 사진

후 5년 시점을 Target-day로 하여 주거동에는 최대 22.3 ~ 33.2 mm, 호텔동에서는 36.6 ~ 65.7 mm의 부등축소량 발생이 예상되어 주거동보다 호텔동에서 코어-기둥간의 부등축소량이 크게 발생할 것으로 예상되었다. 이에 따라 각 동에서 슬래브 경사 해소를 위한 골조보정이 실시되었으며, 커튼월, 칸막이 벽체에 대한 마감재 검토가 수행되었다. 슬래브 및 아웃리거 등 각종 수평부재에 대한 부가응력 검토시 기존 설계 여유내력을 고려하였으며, 해외 연구 문헌의 내용에 따라 크리프 수축에 따른 응력 소산을 50%로 적용하였다<그림 11>.

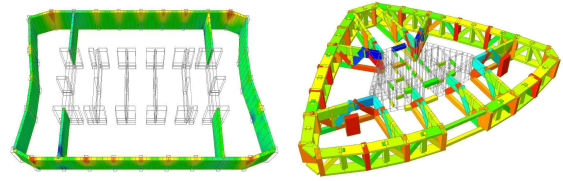


그림 11. 축소량에 의한 아웃리거 부가응력 검토(좌:호텔동, 우:주거동)

6. 맺음말

하노이 랜드마크 타워 프로젝트는 베트남 최고층의 건물로 베트남 정부에서 하노이 천도 1,000년을 기념하기 위해 추진하는 베트남 최대 규모의 개발사업이다. 최근 국내건설사들이 중동이나 동남아 등에서 초대형 건설공사 수주가 급증하고 있는 이유는 오랜 경험에 의한 탁월한 시공기술력을 인정받을 수 있었기 때문으로 보여진다.

초고층 건설의 수행을 위해서는 첨단공법의 도입 및 고도의 현장관리 능력을 바탕으로 한 기술력 확보가 중요하며, 특히 해외선진국들에 비해 상대적으로 미약한 엔지니어링 및 설계에 대한 노하우의 극대화와 공기단축을 위한 최적구조시스템 개발이 필요할 것으로 보여진다. 본 프로젝트에서 적용한 포스트텐션 바닥구조는 기둥간 스패의 증가를 통해 건축평면의 다양화를 이룰 수 있고, 거푸집의 단순화를 통한 공기단축 효과 등 장점이 많은 공법임에도 불구하고 국내에서는 포스트텐션 공법에 대한 인식부족과 전문적인 설계 및 엔지니어링 능력의 한계 등으로 인해 그 적용실적이 많지 않은 공법이다. 그러나 최근 고강도콘크리트 기술의 발전과 함께 국내의 50층 이상 초고층 건물들이 대부분 RC조로 설계되고 있으며, 향후 초고층 공사에 포스트텐션 공법의 적용이 지속 증가할 것으로 예상됨에 따라 해외 시공경험을 통해 얻은 노하우를 토대로 국내에서도 포스트텐션 공법의 보편화를 통한 시공경험 및 전문적 설계기술의 축적이 시급한 것으로 보여진다. 아울러 대형 건축공사의 경우 패스트 트랙(fast-track) 방식이 일반화되고 있는 추세로 발주관련 선행 도서 및 시공중의 잦은 설계변경 도서에 대한 효율적 출도관리, 패스트 트랙 설계에 따른 합리적 설계 계약방식의 정립과 공사 참여자간 다양한 의견 및 갈등이 상존함에 따른 합리적 의사결정 과정을 통한 발주자, 시공자, 설계자, CM사 및 각 전문업체 상호간의 유기적 협조 체제 구축이 필요하다. 과거 어느 때보다도 초고층 건축이 활발히 진행되고 있는 시점에서 향후 국내 건설사들의 지속적인 해외 초고층 프로젝트의 성공적 실현을 기대해본다. □

담당 편집위원 :
 천영수(한국토지주택공사) cysoo@lh.or.kr