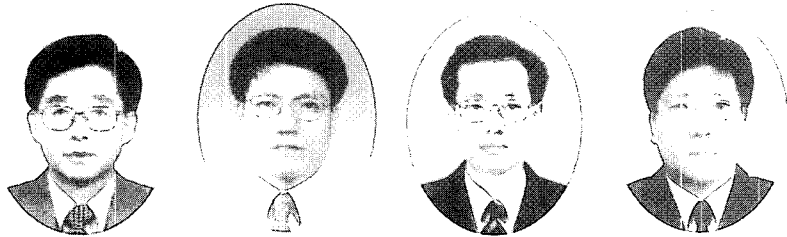


초고층 주거용 건물 FLAT PLATE SLAB SYSTEM 시공 사례

- Structural Design & Construction of Flat Plate Slab System
for High Rise Residential Building -



최용석* 이왕희** 최호철** 최은규***
Choi Yong Suk Lee Wang Hee Choi Ho Cheol Choi Eun Kyu

1. 서 론

최근 주거형태 및 문화의 다양성에 부합하는 아파트 평면의 개발 및 향후 리모델링을 고려하여 가변성의 자유로움을 제공할 수 있는 구조형식이 요구되고 있다. 따라서 주거용 건물들에 적용되어 온 구조형식 중 특히, 기존의 벽식구조를 탈피하고자 하는 시도가 구체화되고 있는 실정이다. 최근 당사에서 설계, 시공하고 있는 I-PARK 삼성동 프로젝트는 이러한 요구에 대해 플랫 플레이트 슬래브 시스템(Flat Plate Slab System)을 적용하여 공간의 유연성 제공 및 층고 절감 등 여러 가지 긍정적 효과를 거두었다. I-PARK 삼성동은 무역센터에서 영동대교 사이의 구릉에 위치한 지상 46층, 지하 3층의 주거용 건물로서 3개 동 449세대로 구성되었고, 각 동을 4세대 조합의 타워형으로 설계되었다. 본 프로젝트는 철근콘크리트 구조로 설계, 시공되는 국내의 최고층 건물일 뿐만 아니라, 플랫 플레이트 슬래브 시스템을 적용한 국내의 최고층 건물로서

본고에서는 구조설계 개요 및 공사과정에서 적용된 기술들에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

2. 공사개요

- 공사명 : I-PARK 삼성동 신축공사
- 위치 : 서울특별시 강남구 삼성동 87
- 시행/시공 : 현대산업개발(주)
- 설계 : (주)건원종합건축사사무소
- 구조 설계 : (주)신기술자문
- CM : (주)한미파슨스
- 공사규모 : 3개 동, B4 ~ 46F, 449세대
- 구조 : 철근콘크리트(FLAT PLATE SLAB)

- 평형 : 55평형 ~ 104평형(9개 평형)
- 대지면적 : 3만 2,259 m²
- 연면적 : 14만 6,483 m²
- 건축면적 : 2,924 m²
- 용적률 : 296.20 %
- 건폐율 : 9.06 %
- 공사기간 : 2001. 8. 20 ~ 2004. 5. 20(33.0개월)

3 구조계획 및 설계

3.1 구조계획

타워동은 높이가 지상 약 155m로 중앙부에 수직 코어를 위치시킴으로써, 콘크리트 전단벽으로 하여금 수평하중을 부담

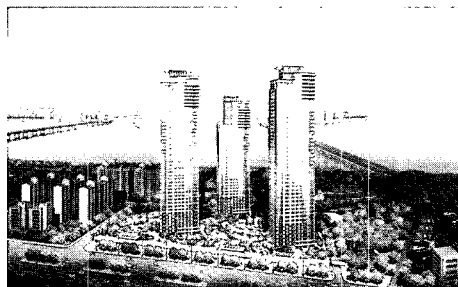


사진 1. 조감도



사진 2. 현장전경(2002년 10월)

* 정회원, 현대산업개발(주) 삼성동 I-PARK 현장 상무
** 현대산업개발(주) 구조설계팀 부장
*** 현대산업개발(주) 구조설계팀 과장

하도록 하였으며, 세대 유닛의 슬래브 시스템은 플랫 플레이트를 적용하여 수평하중을 전달하는 강막효과(diaphragm)는 물론 수직, 수평하중에 저항하도록 하는 등가골조(equivalent frame)로 사용하여 건축적 기능 및 시공성과 경제성을 확보하도록 하였다. 그리고 부재의 크기를 최소화하기 위하여 수직부재(코어 월, 기둥)에 고강도 콘크리트(최대 500 kgf/cm²)를 사용하여 콘크리트의 내구성 향상 및 각 부재의 크기를 최소화하였으며, 플랫 플레이트의 콘크리트 강도는 360 kgf/cm²로 하여 수직부재와 수평부재간의 하중전달이 원활히 되도록 하였다. 또한 플랫 플레이트를 적용함으로써 두꺼운 슬래브(250 mm)는 기존 아파트(두께 150 mm)보다 소음, 진동면에서 우수한 성능을 확보하도록 하였다. 이러한 일련의 구조계획은 현대산업개발(주)의 구조설계팀에서, 엔지니어링 업무는 구조설계자인 신기술자문(주)에서 수행하였으며, 또한 설계 과정 및 결과에 대한 기술적 검증을 위해 미국의 Rosenwasser Grossman Consulting Engineers, P.C.에서 재검토(review) 및 추천(recommendation)을 통해 그 안전성 및 경제성을 입증하였다.

3.2 구조설계 개요

3.2.1 구조형식

- 수직하중에 대한 구조형식
 - : 플랫 플레이트 슬래브 시스템
- 수평하중에 대한 구조형식
 - : 이중골조 방식(전단벽 + 등가골조)
- 기초형식
 - : 독립기초 + 온통기초(core)
 - (소요자내력 $F_e \geq 200 \text{ t/m}^2$)

3.2.2 재료

① 콘크리트

- 슬래브

$$: f_{ck} = 270/360 \text{ kgf/cm}^2$$

- 벽체, 기둥

$$: f_{ck} = 500/450/400 \text{ kgf/cm}^2$$

② 철근 : KSD 3504 SD40

3.2.3 설계하중 조건(하중기준 변경전 조건)

① 풍하중 조건(풍동실험 풍하중 적용)

- 설계 기본풍속 : 35 m/sec

- 노풍도 : B

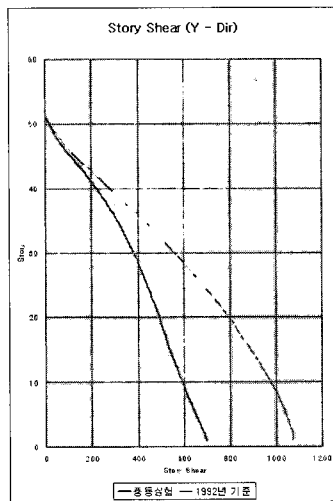
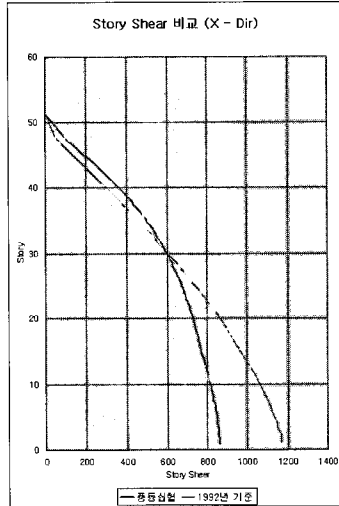


그림 1. 풍하중 비교

② 지진하중 조건

- 지역계수 : 0.12
- 중요도 계수 : 1.2
- 지반계수 : 1.0
- 반응수정계수 : 5.0(이중골조방식)

3.3 구조해석(structural analysis)

구조해석을 위해 사용된 유한요소해석용 모델은 보다 정확한 구조적 거동의 분석과 설계를 위해 타워동 구조물 전체(지하층 포함)에 대해 3차원으로 모델을 하

였다. 여기서 플랫 플레이트의 등가골조는 유효폭 개념을 반영한 보 요소(beam element)로 모델 하였으며, 구조물의 경계조건은 지표면에 접하는 지하부 기둥과 연결되는 지점에 대하여 횡방향 변위가 구속되는 것으로 하여 지하부는 횡변위가 발생하지 않는 것으로 하였다. 또한 구조물 전체 모델에 하중을 동시에 재하 할 경우, 재하되는 하중이 실제 시공조건에서와는 달리 아직 시공되지 않는 상부층으로 전달되는데 따른 오차를 고려하고, 시공단계시 재하되는 시공하중에 의한 수직부재의 부등변형에 따른 오차를 고려하여 해석하였다. 즉, 수직부재의 하중재하 패턴에 따른 탄성처짐에 의한 기둥 축소(column shortening)현상을 시공단계별로 해석하여 각 부재를 검토하였다.

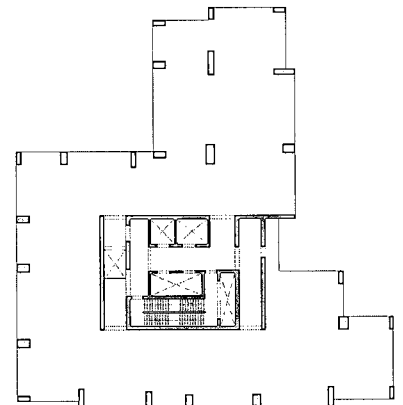


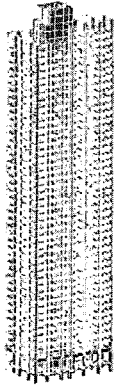
그림 2. 기준층 구조 계획

4. 공사계획

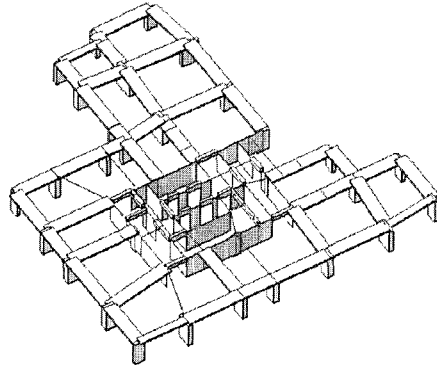
4.1 가설계획

3개의 타워 동(46층)과 지하구조물 면적이 대지의 70%를 차지하고 온통 터파기 공사를 시공함으로써 공정준수 및 공사추진을 위한 가설계획의 주안점은 수평동선과 수직동선의 합리적인 운영이다.

첫째, 수평동선은 전체 대지를 타워 3개 존(zone)과 주차장(car park) 4개 존, 총 7개 존으로 구획하였고, 타워 3개 동은 주차장 공정과는 별개의 공정으로 독자적으로 추진하여 크리티컬 패스로 관리하였고, 주차장은 A, B, C, D 존으로 구

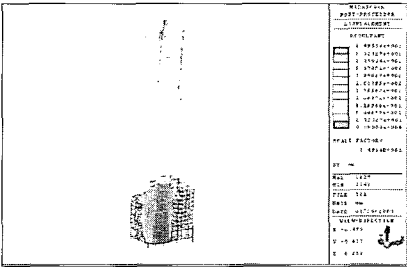


a. 타워동

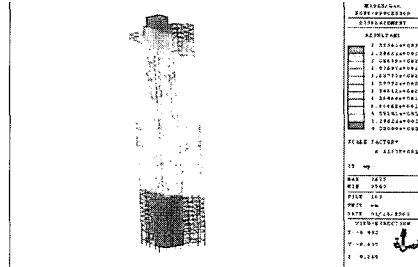


b. 구조해석 모델(기준층)

그림 3. 구조해석 모델

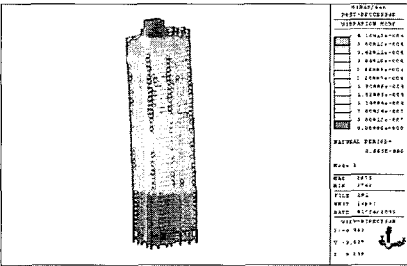


a. 풍하중에 의한 변위(X 방향)

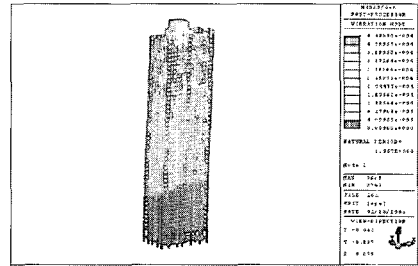


b. 풍하중에 의한 변위(Y 방향)

그림 4. 풍하중 해석 결과



a. 고유치 해석 결과(Mode 1)



b. 고유치 해석 결과(Mode 2)

그림 5. 동해석 결과

획하여 D-존을 서비스 존으로 할당하여 타워동의 골조공사(자재야적, 콘크리트 압송장비) 지원을 위해 작업공간(working platform)으로 활용하고, 주차장 자체의

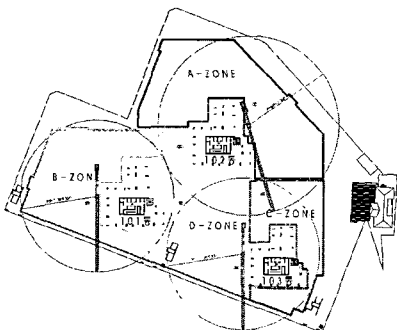


그림 6. 타워크레인 양중 계획

골조공사는 A, B, C 존의 순으로 골조공사를 완료하여 각 타워동을 지원할 여건이 완료한 후 D-존 골조공사를 착수하였다.

둘째, 타워동의 수직동선은 크게 자재와 인원 양중으로 구분하여 골조 자재 양중은 타워크레인(동당 1대)을 이용하였고, 마감 자재 및 인원 양중은 외부 고속 트윈 호이스트 카(twin hoist car)가 담당하고, 내부 저속형 호이스트 카는 주로 골조 인원 양중을 담당하였다. 먼저 타워크레인은 당 현장의 코어 내부에 상승하는 타입(climbing type)으로 설치하기에는 공간 협소 및 코어 골조공사 시 간섭이 되어 외부에 고정시킨 타입(stationary type)으로 설치하였고 골조공사의 양중부하를 최

소화 할 수 있는 자동 양중 시스템(auto climbing system) 및 스카이드ек (skydeck) 등 시스템화 된 거푸집 공법과 철근 선조립공법, 콘크리트 타설 장비의 셀프 클라이밍(self climbing) 등을 적용하여 1대의 타워크레인으로 타워 1동을 지원할 수 있도록 계획하였다.

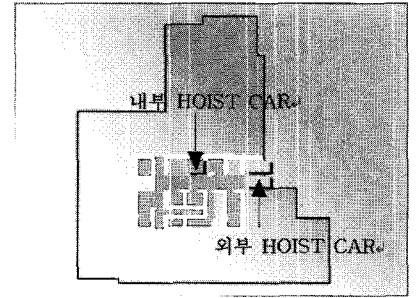
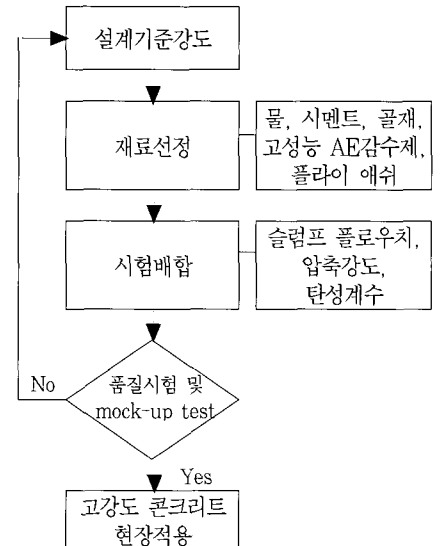


그림 7. 내·외부 호이스트 카 배치도

4.2 고강도 콘크리트

고강도 콘크리트로 인한 단면 축소, 구조체 지중경감, 콘크리트 내구성 향상 및 조기강도(거푸집 조기 탈형으로 인한 공기 단축) 확보를 위하여 고강도 콘크리트를 도입하였고, 도입을 위해 현대산업개발(주) 기술연구소, 레미콘업체, 구조설계팀, 현장이 주축이된 T.F.T(Task Force Team)을 구성하여 최적배합 설정 및 공장 및 현장 실물크기 테스트(mock-up test)를 실시하여 현장 적용하였다.

4.2.1 고강도 콘크리트 개발 과정



4.2.2 부위별 콘크리트 적용 강도

적용부위		강도(kgf/cm ²)	비고
코어	벽	500, 450, 400	
	슬래브	270	
유닛	기둥	500, 450, 400	
	슬래브	360	

4.2.3 고강도 콘크리트 품질 목표

배합 강도	초기 압축강도 (kgf/cm ²)	플로우값 (cm)	공기량 (%)	비고
		30~60분 경과시		
500	16 hr : 100	60 ± 5	2.5 ± 1	B4~10F
450	16 hr : 100	60 ± 5	2.5 ± 1	11F~20F
400	16 hr : 100	60 ± 5	2.5 ± 1	21F~46F
360	35 hr : 100	50 ± 5	2.5 ± 1	전층

고강도 콘크리트는 현장적용시 A. C. S 거푸집 사용에 의한 조기강도 확보가 필수적이므로 초기 압축강도 발현을 16시간에 100 kgf/cm²을 유지시켰다. 이것은 A. C. S 거푸집 탈형과 인발에 필요한 소요 강도이고 이와 같이 조기강도가 확보됨으로써 4-day 사이클이 가능하였다. 초고층 높이로 압송을 하기 위해 콘크리트 유동성을 확보하는데 주력하였으며, 유동성 확보와 동시에 재료분리저항성을 유지시켜 유동화에 따른 재료분리로 인한 콘크리트 품질저하를 방지하였다. 레미콘의 공장출발에서 현장도착 타설전까지 시간경시 변화에 따른 슬럼프 플로우 로스치를 최소화하기 위해 W/C비와 고성능 감수제를 적절히 유지하여 슬럼프 플로우 변화를 최대한 억제하였다.

4.2.4 콘크리트 타설

지상 46층(155 m)의 구조물에 콘크리트를 타설함에 있어 고강도 콘크리트는 점성이 높고, 초고층 압송시 배관 내 수분의 감소로 압송 능력의 저하 및 콘크리트 펌핑 압력의 변화에 따라 배관 라인(line)의 막힘 현상을 방지하기 위하여 압송능력 200 bar 이상의 고압 펌프를 사용하였고, 압송된 콘크리트는 C.P.B(Concrete Placing Boom)를 이용하여 타설 위치에서 콘크리트를 타설하였다.

4.2.5 콘크리트 양생

서중기 콘크리트의 양생은 스프링클러 및 P.E 필름에 의한 습윤 양생과 curing compound에 의한 피막 양생을 하여 콘크리트의 표면 건조를 방지하였다. 동절기 콘크리트의 양생은 현장공정 및 품질향상을 위하여 히팅 코일(heating coil) 양생 시스템을 적용하여 벽 및 기둥은 거푸집 외부측에 히팅 코일을 부착하여 보온하였고, 슬래브는 콘크리트 타설시 히팅 코일을 매입하여 콘크리트를 보온하였다.

4.3 시스템 거푸집

골조공사의 4-day 사이클(working day 기준) 실현을 목표로 거푸집 공법을 검토하였으며 독일 PERI社의 A.C.S (Auto Climbing System) 및 skydeck 을 적용하였다.

4.3.1. 시스템 거푸집 적용을 위한 전체 조건

코어 골조에 셀프 크라이밍(self climbing) 할 수 있는 대형 거푸집을 적용하여 코어 골조를 유닛 슬래브 보다 선행시키는 코어 월 선행 공법을 적용하여 코어 골조를 4개 층 선행하여 시공하였고, 수직, 수평 분리타설을 하여 유닛 슬래브의 외주부 기둥에도 셀프 클라이밍 할 수 있는 대형 거푸집을 적용하여 시공성 및 안전성을 확보하였다.

그리고 유닛 슬래브를 3개 파트(prat)로 구획하여 층당 골조 작업량을 줄이고 슬래브 거푸집은 모듈화 된 알루미늄 거푸집(PERI社, skydeck)을 사용하여 작업성을 향상시켰다.

4.3.2 A.C.S(Auto Climbing System)

① A.C.S는 대형 벽체 및 기둥 거푸집을 유압식 인양장치를 이용하여 셀프 클라이밍하는 공법으로 자체 유압장치에 의한 인양으로 타워크레인의 의존도가 적고, 대형 거푸집 사용으로 인한 골조 품질 향상 및 공기단축이 가능하며, 기계화 시공으로

인한 성력화 및 고층 작업에 따른 안전성 확보가 용이하다.

② 작업 과정(코어 월)

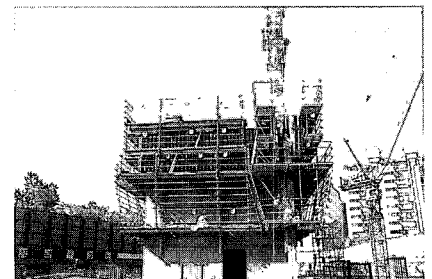
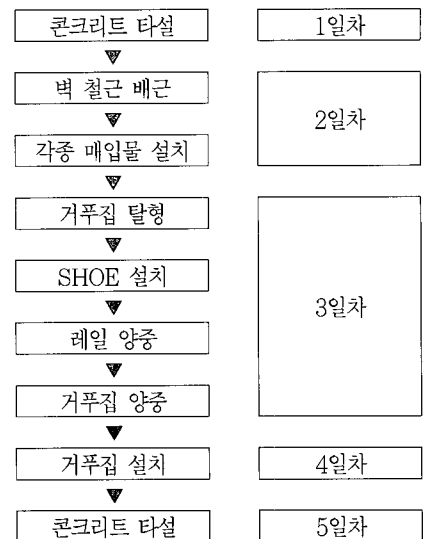


사진 3. ACS 사진

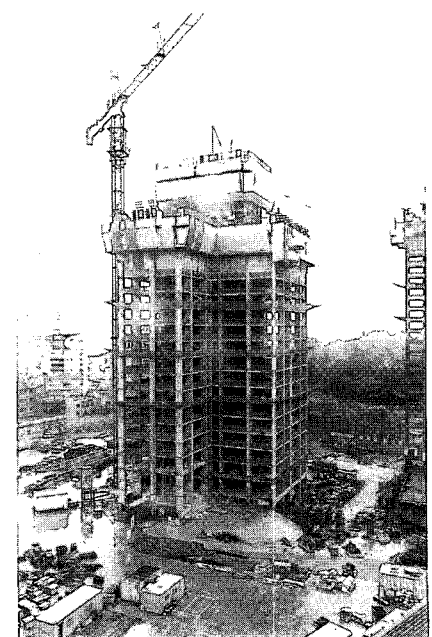


사진 4. 기준층 골조 공사 전경

4.3.3 Skydeck(슬래브 거푸집)

① 기존의 거푸집과 달리 거푸집, 장선, 명에, 동바리 등을 구조물의 시공계획과 전용 횡수를 고려하여 일정한 형태로 일체화시켜 골조공사의 작업 효율을 최대한 알루미늄 시스템 거푸집으로 톱이나 망치질이 거의 필요 없고, 따라서 단순기능공으로도 재래식 공법과 비교할 수 없는 생산성을 올릴 수 있는 슬래브 거푸집이다. 독일 PERI社에서 개발하여 국내에 처음으로 도입된 시스템 거푸집으로 플랫폼 플레이트 슬래브에 사용하기에 적격이다.

드롭 헤드 시스템(drop head system)에 의한 pre-shoring이 가능하여 슬래브 패널이 해체되어도 동바리(multi-prop)는 존치되는 시스템으로 간단한 조립 및 해체로 인력절감 및 공기단축이 가능한 공법이다.

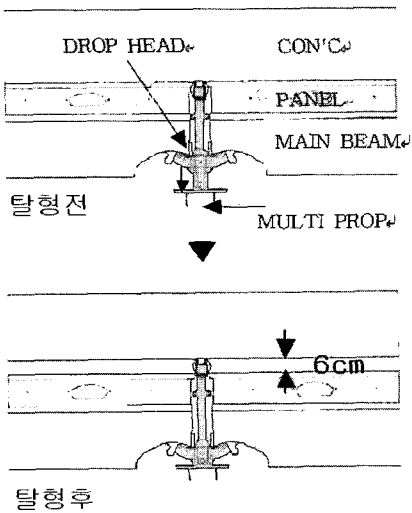


그림 8. 드롭 헤드 시스템

② 시공 과정

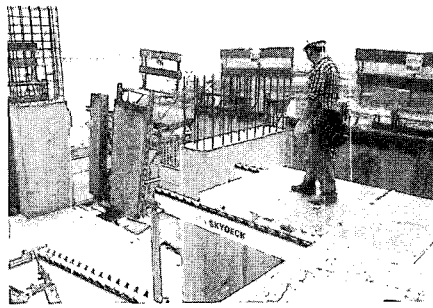
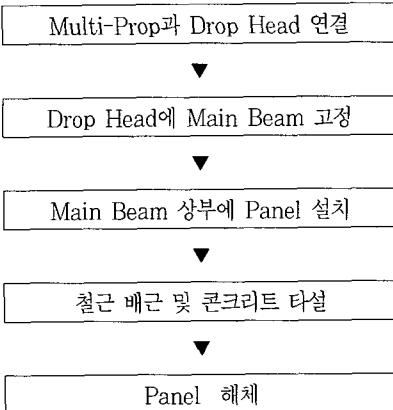


사진 5. Skydeck 설치 전경

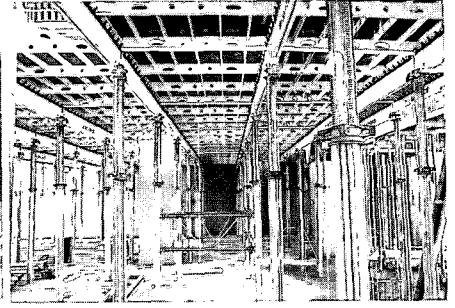


사진 6. 설치후 전경

표 1. 1개 층 단위 공정표

구분	1일차	2일차	3일차	4일차
코어 월 (D-part)	벽 철근 배근	거푸집 탈형 및 양중	거푸집 설치	벽체 콘크리트 타설
A-part	기둥 거푸집 기둥 콘크리트		슬래브/기둥 철근 배근	슬래브 콘크리트 타설
B-part	슬래브 콘크리트	기둥 거푸집 기둥 콘크리트	Skydeck	슬래브/기둥 철근 배근
C-part	슬래브/기둥 철근 배근	슬래브 콘크리트	기둥 거푸집 기둥 콘크리트	Skydeck

표 2. 골조공사 실행공정(actual day)

구분	콘크리트 타설일	일수	층당 사이클	비고
B4~B2	2001.12.5	48일	16일	5회 타설
1~23F	2002.5.27	173일	7.5일	
24~47F	2002.9.14	110일	4.6일	
PH1~2F	2002.10.3	19일	9.5일	3회 타설
전체		350일	6.7일	기준층 : 6.0일

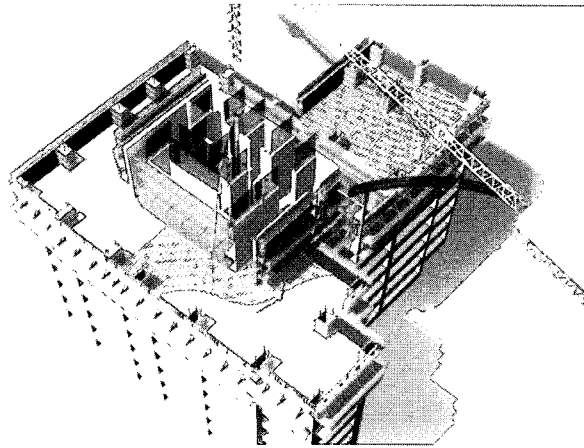
4.4 4-day 사이클(working day 기준)

철골구조의 장점중의 하나인 공기단축을 R.C조에 실현키 위해 4일에 1개층씩 골조공사를 완료할 수 있도록 공구분할, 시스템 거푸집, 철근 조립, 콘크리트 고강도화, 구조 시스템 등 다각적인 검토를 하여 적용하였다.

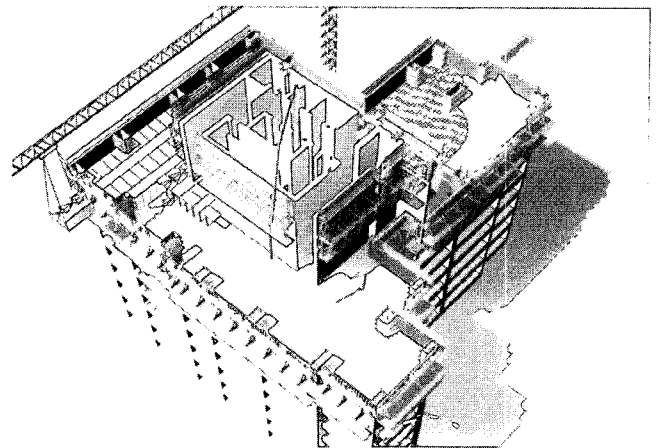
3. 결론

당 현장에 적용한 플랫폼 플레이트 슬래브 시스템은 여러 면에서 기술력 및 품질 향상, 신공법 신재료의 도입 등 엔지니어로서 새로운 것에 대한 도전과 자신감을 얻을 수 있는 계기가 되었다.

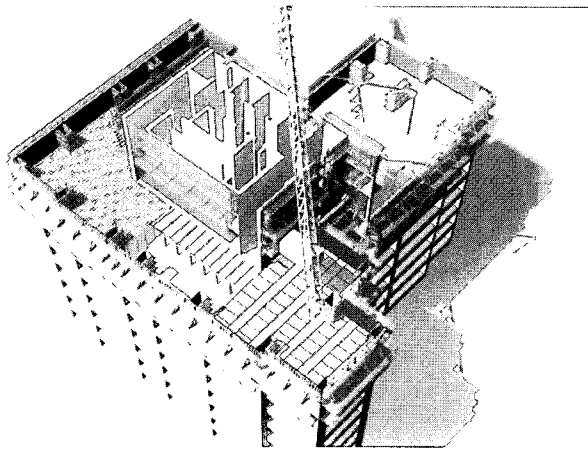
특히 Per-Construction 단계에서 설계, 구조 파트와의 협의를 통해서 시공성, 안전성, 공기단축 등의 효과를 얻기 위해



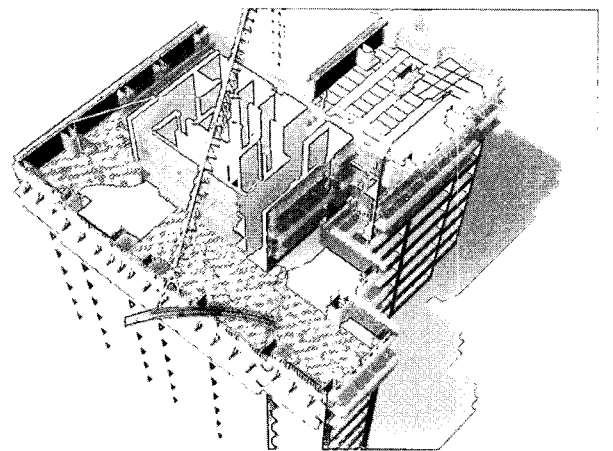
a. 1일차



b. 2일차



c. 3일차



d. 4일차

그림 8. 4-day cycle

부분 구조 형태 조정, 부재단면 통일, 콘크리트 강도 변경 등을 이루었다.

초고층 주거용 건물에서의 플랫폼 플레이트 슬래브 시스템은 슬래브 두께 증가로

인한 주거성 향상, 천정 배관 작업의 용이
에 따른 천정고 조정(2.6m), 거푸집 작
업의 단순화로 인한 시공성 향상 및 공기
단축 등 많은 효과를 얻었으며 이를 계기

로 국내 건축산업이 한발 더 발전할 수 있
는 계기가 되었다고 말할 수 있다. ☑