

특 집

|| 국내 초고층 RC 건축물에 사용된 최신 콘크리트 기술 ||

초고층 RC 건축물의 시공계획 및 공법

: I'PARK 삼성동 PROJECT 사례

- The Plan & Method of Construction in Super Tall RC Buildings -



이종상*
Lee, Jong Sang



조순호**
Cho, Soon Ho



박인서**
Park, In Seo



민병원***
Min, Byung Won

1. 머리말

21세기에 들어오면서 국내 주거용 건축시장이 점점 초고층화로 계획되어 시공하는 추세에 있으며 특히 타워형의 초고층 주거건물이 판상형의 획일적 고층건물군보다 주거성, 상징성, 효율적 대지공간 형성 및 도시의 랜드마크(landmark) 조성 등 유리한 면이 많아 도심지 주거 프로젝트에 점차 적용하는 경우가 많아지고 있다. I'PARK 삼성동 프로젝트는 ASEM과 영동대교 사이 영동대로 구릉에 위치하여 3개동 지상 46층의 타워형 초고층 아파트로 설계되었고 건폐율 9%의 쾌적한 단지 조성 및 주변 경관 조망(한강, 올림픽스타디움, 무역센터) 등 주거용 건물로서는 최상의 입지조건을 갖추고 있다.

철근 콘크리트 주거용 건축물에 플랫 플레이트 슬래브 시스템(flat plate slab system)을 적용하여 공간의 유연성 제공으로 향후 리모델링 및 다양한 평면개발이 가능하며 높은 천정고(2.6m) 확보로 주거공간의 개방감을 극대화 할 수 있다.

1.1 공사개요

- 공사명 : I-PARK 삼성동 신축공사
- 위치 : 서울특별시 강남구 삼성동 87번지
- 시행/시공 : 현대산업개발(주)

* 현대산업개발 I'PARK 삼성동 현장 상무

** 현대산업개발 I'PARK 삼성동 현장 부장

*** 현대산업개발 I'PARK 삼성동 현장 과장

- 설계 : (주)건원, (주)TLPA(美)
- 구조 설계 : (주)신기술자문, GROSSMAN(美)
- 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 : 9.17 %
- 공사기간 : 2001. 8. 20 ~ 2004. 3. 18(31.0개월)

1.2 기술적 소개

1.2.1 4-day cycle 공정(골조공정)

최초 1999년 건축계획시 SRC 구조로 설계되었고 CM(한미 파슨스)과 공정 검토한 결과 층당 4일 공정으로 계획 되었으며, 유사 초고층 프로젝트(도곡동 A-Project, T-Project, 목동 H-Project 등)와 층당 공정이 유사한 것으로 비교되었다.

사업추진과정에서 초고층 주거용 건물의 RC조 도입이 SRC조보다 주거 성능면에서 우수하고 내구성, 내화성, 경제적인 면에서 유리하여 사업승인변경을 추진하였다.

초기 검토된 SRC조의 4일 공정에 맞도록 RC구조 시스템을 검토하였고 여기에 시스템 거푸집, 철근 PRE-FAB, 고강도 콘

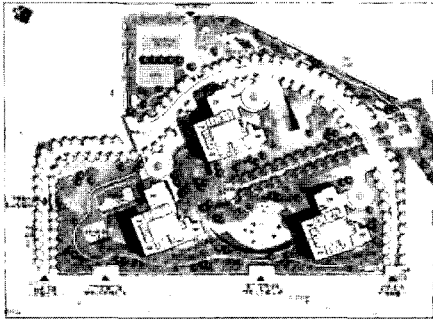


그림 1. 배치도



그림 2. 현장전경

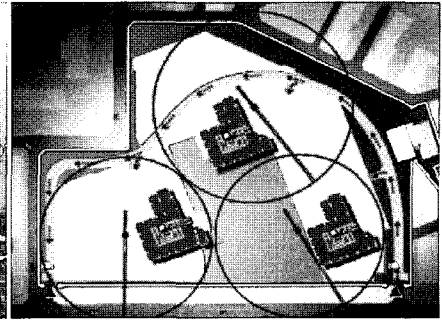


그림 3. 타워크레인 배치도

크리트를 적용하여 국내 최초로 4일 공정(working day 기준)을 실현하였다.

1.2.2 Long lead item 관리

패스트 트랙(fast track) 효과를 실현하기 위하여 long lead item을 조기 발주하여 공정 milestone에 맞추어 반입 및 시공이 될 수 있도록 관리하였으며, 특히 고강도 콘크리트, 시스템 거푸집, 자재 선정, 대구경 철근(HD41) 연결 커플러(coupler) 및 콘크리트 타설 장비 선정 등에 있어 철저한 사전 계획 및 실물모형실험(mock-up test)를 실시하여 최적의 공법 및 시스템을 적용하였다.

1.2.3 수직,수평 분리타설

타워동의 수직부재(기둥, 코어월)와 수평부재(슬래브)의 분리 타설은 수직부재의 고강도와 수평부재의 일반강도 조인트 처리의 어려움과 공정준수(4일 공정)를 목표로 공사전 단계에서 충분한 사전검토 및 실물모형실험을 거쳐 계획, 시공되었으며 특히, 콘크리트 조인트 부위(기둥 + 슬래브)에 대한 먼처리 및 레이턴스 제거 등에 현장 최우선 품질관리 목표로 진행하였고, 코어월과 유닛 슬래브 조인트(unit slab joint) 부위는 전단기 시공 및 high-bar 철근을 앵커시켜 구조적 일체성을 확보하도록 하였다.

2. 현장 주요 공법

2.1 양중계획

I'PARK 삼성동 현장은 골조 공정 단축을 위해 철근 콘크리트 보가 없는 플랫 플레이트 슬래브 구조이며, 수직, 수평 부재를 분리 타설하는 공법으로 거푸집은 코어 월 및 외부 기둥이 유압 장치에 의해 스스로 양중(self climbing)하는 ACS 거푸집을 적용하였고, 슬래브 거푸집은 경량 알루미늄 패널로 되어 있어 별도의 장비 없이 수작업으로 신속하게 운반 및 시공이 가능하여 타워크레인 의존도를 줄이면서 동당 1대의 타워크레인 설치만으로 4일 공정을 달성하였다.

표 1. SRC조와의 양중 비교

구분	T/C	양중횟수(1일)	가동률(1일)	비고
SRC조	2 ~ 3대	19 ~ 25회	82 %	
RC조	1대	20회	50 %	

표 2 타워크레인 자원

구분	사양	주요 양중 부하
기종	LIEBHERR 500HC	· 형틀 : 슬래브 거푸집, 내부 기둥 거푸집(2EA)
타입	"T"형(고정형)	· 철근 : 기둥 PRE-FAB 철근망, 벽/슬래브 철근
양중능력	20 톤	· 철골 : P/H 철골공사, 커플러 빔
tip load	10 톤	· 콘크리트 버킷(bucket)
반경	51.7 m	

2.2 고강도 콘크리트

고강도 콘크리트로 인한 단면 축소, 구조체 자중경감, 콘크리트 내구성 향상 및 조기강도(거푸집 조기 탈형으로 인한 공기단축) 확보를 위하여 고강도 콘크리트를 도입하였고, 도입을 위해 당사 기술연구소, 레미콘 업체, 구조설계팀, 현장이 주축이 된 T.F.T(Task Force Team)을 구성하여 최적배합 설정 및 공장 및 실물모형실험을 실시하여 현장 적용하였다.

2.2.1 Mock-up-test(102동 4 ~ 14층 기준)

고강도 콘크리트는 물-시멘트비가 적고 단위결합재량이 많아



그림 4. Mock-up-test(콘크리트 타설후 전경)

표 3. 부위별 콘크리트 적용 강도

적용부위		강도(MPa)	비고
코어	벽	50, 45, 40	
	슬래브	27	
유닛	기둥	50, 45, 40	
	슬래브	36	

표 4. 고강도 콘크리트 품질목표

배합강도 (MPa)	초기압축강도 (MPa)	플로우값(cm)	공기량(%)	비고
		30 ~ 60분 경과시		
50	16시간 : 10	60 ± 5	2.5 ± 1	B4 ~ 10F
45	16시간 : 10	60 ± 5	2.5 ± 1	11F ~ 20F
40	16시간 : 10	60 ± 5	2.5 ± 1	21F ~ 46F
36	35시간 : 10	50 ± 5	2.5 ± 1	전층

표 5. 콘크리트 타설방법 비교

구분	C.P.B	펌프카	포터블 배관 타설
정의	- tubular col.에 설치된 placing boom으로 타설	- 차량에 거치된 placing boom으로 타설	- 고정된 pump에서 배관 line을 통해 콘크리트를 압송하여 끝단에 설치된 호스를 인력으로 이동하여 타설
장점	- 타설 속도가 빠름 - 설치·해체가 빠름 - 이음부 발생 최소화 - 기둥 타설 용이 - 초고층 타설에 유리	- 타설 속도가 빠름 - 타설 위치 이동 편리 - 작업인원 감소	- 고층부 타설 가능 - 넓은 면적 타설에 유리
단점	- 넓은 면적 타설에 부적합 - 고가의 장비	- 고층부 타설에 한계	- 타설 속도 느림 - 배관으로 인한 콜드조인트 발생 - 타설인원의 증가

고성능 감수제를 첨가하여 유동성을 확보한 콘크리트이나 일반 강도에 비해 물성변화가 크고 점성이 강해 실제 현장 타설시의 문제점을 사전에 파악하고자 실물모형실험을 실시하였다.

2.1.2 콘크리트 타설

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

2.1.3 콘크리트 양생

서중기 콘크리트의 양생은 스프링클러 및 P.E 필름에 의한 습윤 양생과 양생용 화합물(curing compound)에 의한 피막양생을 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.

2.3 시스템 거푸집(system form)

당 현장은 골조공사의 4일 공정(working day 기준) 실현을 목표로 각종 공법 및 시스템 거푸집을 선정하였다.

2.3.1 시스템 거푸집 적용을 위한 전제 조건

코어 골조에 스스로 양중 할 수 있는 대형 거푸집을 적용하여 코어 골조를 유닛 슬래브보다 4개층 선형하여 시공하였고, 수직·수평 분리타설을 하여 유닛 슬래브의 외주부 기둥에도 스스로 양중 할 수 있는 대형 거푸집을 적용하여 시공성 및 안전성을 확보하였다.

그리고 유닛 슬래브(unit slab)를 3개 존(zone)으로 구획하여 층당 골조 작업량을 줄이고 슬래브 거푸집은 모듈화된 알루미늄 거푸집(PERI社, Skydeck)을 사용하여 작업성을 향상시켰다.

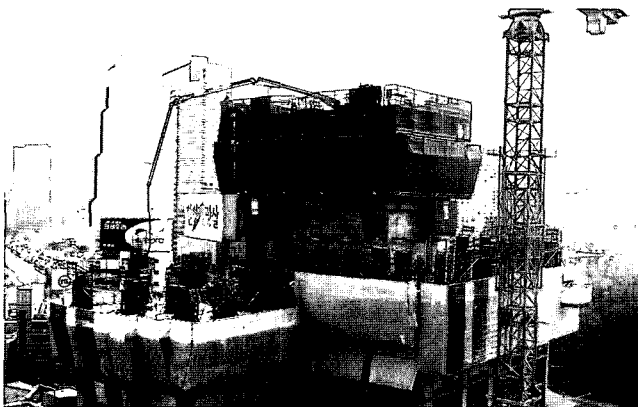


그림 5. C.P.B에 의한 콘크리트 타설 전경



그림 6. 히팅 코일에 의한 양생

표 6. Zoning 별 물량(20층 기준)

구분	형틀(m ²)	철근(톤)	콘크리트(m ³)
코어월	655	21	102
A-part	기둥	141	3.8
	슬래브	329	12.2
B-part	기둥	121	3.3
	슬래브	307	10.4
C-part	기둥	94	2.6
	슬래브	246	8.3

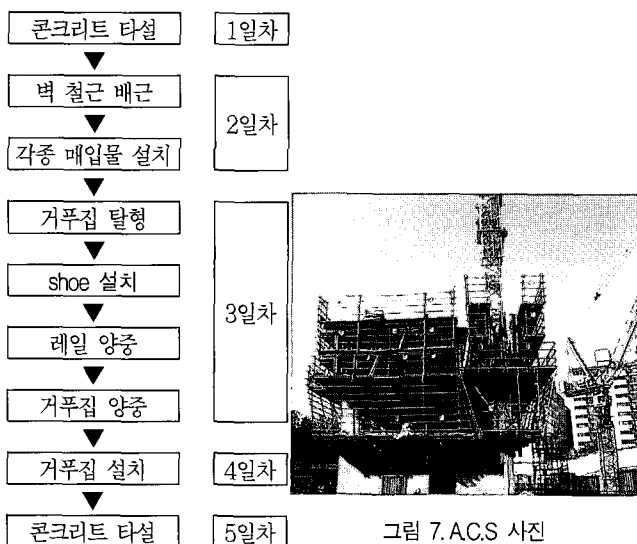
표 7. 코어 선행공법 거푸집 공법 비교표

구분	ACS 거푸집(auto climbing form)	알루미늄 거푸집	슬립(slip) 거푸집
공법 설명	- 벽체 거푸집을 자동 승강 장치를 이용하여 타워 크레인 지원 없이 거푸집 자체를 인양시키는 공법 - 폼타이 제거후 벽패널 탈형 및 후퇴하고 hydraulic system에 의한 1개층 단위 인양 - 층당 골조공기 4일 공정	- 갱폼 형태로 제작, 타워 크레인을 이용하여 양중시키는 공법 - manual 작업 시스템 - 층당 골조공기 5일 공정	- 유압 잭에 의한 연속인양, 연속철근 배근 및 콘크리트 타설 공법 - 층당 골조공기 3일 공정
장점	- 시공 정밀성 - 공사관리 용이 - 설계상의 변화(단면 및 평면) 치수 시공편리 - 개구부 처리, 매입물 시공성 양호 - 고소 작업시 강한 풍속에 견딜수 있는 강한 시스템 - 고소작업시 추락 및 낙하 방지에 대한 안전성 확보 - 타워크레인 양중부하 감소 - 시공실적이 많음	- 가격이 저렴함 - 바닥 및 벽 동시타설	- 1회 30cm 이하로 콘크리트의 타설 높이가 제한 되므로 다짐작업의 정밀성 확보 - 시공 정도가 우수하며 이음 조인트가 발생되지 않음 - 타이 홀(tie hole) 충전 불필요
단점	- 가격이 비쌌 : 고층화에 따른 자재 전용횟수가 증가되어야 경제적임 - 타이 홀 충전 필요	- 타워크레인에 의한 양중으로 양중 부하 증가 - 일기변화에 대처 어려움 : 기상 악화시 양중의 어려움 : 열전도를 높은 알루미늄 거푸집 사용으로 혹서기 공사시 문제점 발생 우려 - 시공실적이 미약 - 타이 홀 충전 필요	- 연속작업에 의한 공사관리문제 : 레미콘 공급, 민원, 작업 인원의 2~3교대 운영, 좁은 공간에 여러 공정 작업 간섭 : 연속공법 기준으로 초기 거푸집 셋팅후 설계상의 변화 및 시공상의 돌발 상황에 대처 곤란 - 시공실적이 미약 - 코어월 골조공사(거푸집, 철근, 콘크리트) 전체를 일식 하도급 해야 함

2.3.2 A.C.S(Auto Climbing System)

① A.C.S는 대형 벽(wall) 및 기둥 거푸집을 유압식 인양장치를 이용하여 스스로 양중하는 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(코어월)



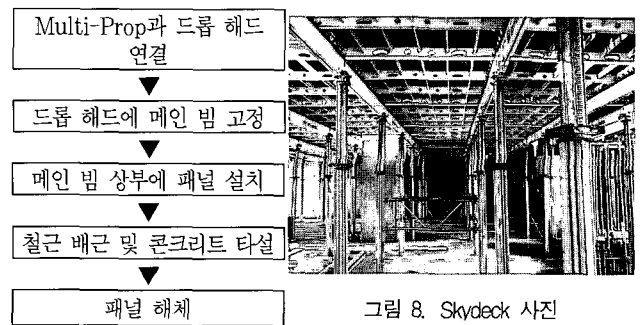
2.3.3 Skydeck(슬래브 거푸집)

① 기존의 거푸집과 달리 레고(lego)식 조립만 하면 되는 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 플랫 플레이트 슬래브에 사용하기에 적격이다.

드롭 헤드 시스템(Drop head system)에 의해 pre-shoring이 가능하여 패널이 해체 되어도 동바리(multi-prop)는 존치되는 시스템으로 간단한 조립 및 해체로 인력절감 및 공기단축이 가능하다.

② 시공 과정



2.4 철근공사

2.4.1 기둥 철근 PRE-FAB

지상에서 기둥 철근(HD41)을 선조립(2개층)하고 양중장비를 이용하여 목적지에서 커플러로 체결하는 공법으로 현장조립인원 감소 및 공기 단축, 품질 향상, 안전성 증대 등을 목적으로 도입하였다.

2.4.2 커플러(기계식 철근 이음)

HD41과 같이 겹침 이음을 할 수 없는 철근 이음 방법으로, 기계식 또는 가스압접 등의 방법이 있으나 당 현장에서는 작업

표 8. 슬래브 거푸집 공법 비교표

구분	Sky deck	테이블 거푸집	재래식 공법
구조	·플랫 플레이트 및 와이드 빔 타입 슬래브	·일반 RC 구조물	·일반 RC 구조물
작업방법	·슬래브 모듈화로 패널 정형화	·슬래브 모듈화로 패널 정형화	·멍에, 장선 설치후 합판 설치
특징	·분리형 shoring 시스템(슬래브 + 보 분리 조립) ·드롭 헤드에 의한 pre-shoring	·일체형 shoring 시스템 (슬래브 + 보 일체 조립)	·분리형 shoring 시스템 (슬래브 + 보 분리 조립)
동바리	·6 톤의 허용하중 ·패널 모듈화로 인한 작업성 우수 ·외부 충격에 의한 편심 없음 ·충고에 대한 제한 없음	·6 톤의 허용하중 ·일체형으로 작업성 우수 ·외부 충격에 의한 편심 없음 ·충고에 대한 제한 없음	·1.5 톤의 허용하중 ·분리형으로 작업성 약화 ·편심에 의한 전도 우려 ·충고에 대한 사용상 제재
장점	·시공 정밀성 ·공사관리 용이 ·폐기물 급감 ·인원 투입 감소 ·타워크레인 의존도 낮음	·시공 정밀성 ·공사관리 용이 ·폐기물 급감 ·인원 투입 감소	·보편화된 작업방법
단점	·초기 투자비 높음 ·수직,수평 분리타설	·초기 투자비 높음 ·수직,수평 분리타설 ·타워크레인 의존도 높음	·품질, 안전성 저하

표 9. 4-day cycle 공정표

구분	1일차	2일차	3일차	4일차
코어월 (D-part)	벽 철근 배근	거푸집 탈형/양중	거푸집 설치	벽체 콘크리트 타설
A-part	기둥 거푸집 기둥 콘크리트	Sky deck	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

속도, 타워크레인 양중부하, 안전성 등의 여러 가지 조건을 고려하여 철근에 숫나사를 가공하여 두 개의 철근을 암나사로 연결하는 기계식 이음법을 적용하였다.

2.4.3 철근 공장가공

Re-bar 스케줄에 의해 가공공장에서 소요 형상 및 규격에 맞게 철근을 가공하고 현장 공정 진행에 맞추어 적기에 납품하여 현장에서는 조립 작업만 수행하는 것으로 당 현장에서는 지하 구

조물 온통 터파기 및 본동과 지하 구조물 동시 시공에 따른 철근 야적 및 가공장 확보 등의 문제점 해결과 공장내 기계 가공에 의한 정확한 부재 생산 및 현장의 정밀시공을 기하기 위해 공장가공을 도입 하였다.

2.5 4-day cycle(working day 기준)

철골구조의 장점중의 하나인 공기단축을 RC조에 실현키 위해 4일에 1개층씩 골조공사를 완료할 수 있도록 공구 분할, 시스템 거푸집, 철근 조립, 콘크리트 강도, 구조 시스템 등 다각적인 검토 및 시공관리에 의해 골조공사 4일 공정을 실현하였다.(<표 9> 및 <그림 10> 참조)

3. 결 론

당 현장의 골조공사는 앞에서 언급한 여러 공법을 접목하여 2001년 10월에 타워동 기초공사(103동)를 착수하여 2002년 11월초에 완료하였으며 기준층 층당 골조공기는 약 5.8일/층(calendar day 기준)이 소요되었고 전체 층당공기는 약 6.7일/층(calendar day 기준)을 기록하여 당초 계획공기보다 약 3.0개월 정도의 공기단축효과를 얻었다.

또한, R.C 초고층 주거용 프로젝트에 플랫 플레이트 슬래브 시스템과 수직,수평 분리 타설 등 각종 공법 및 구조 시스템을

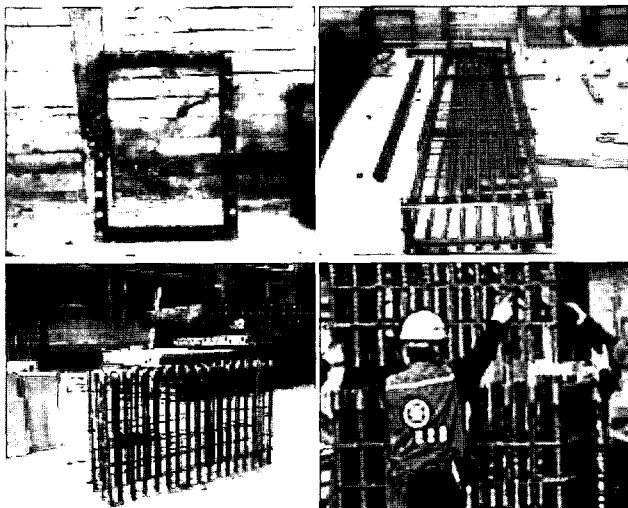
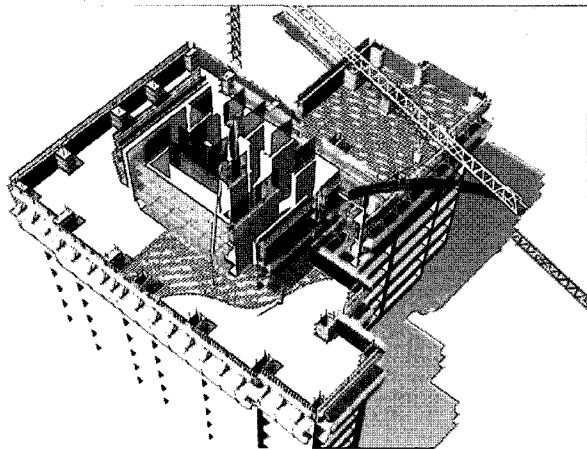
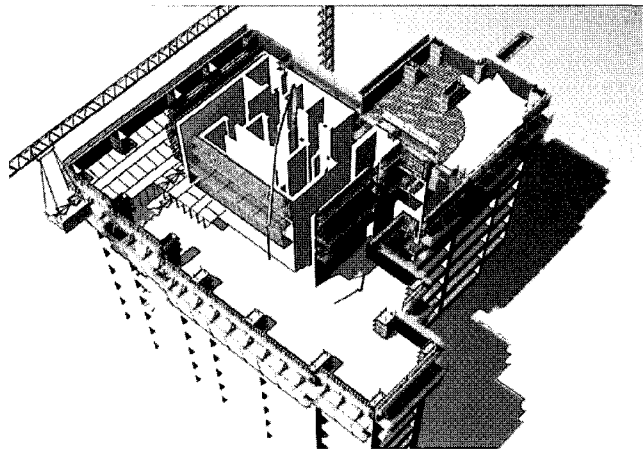


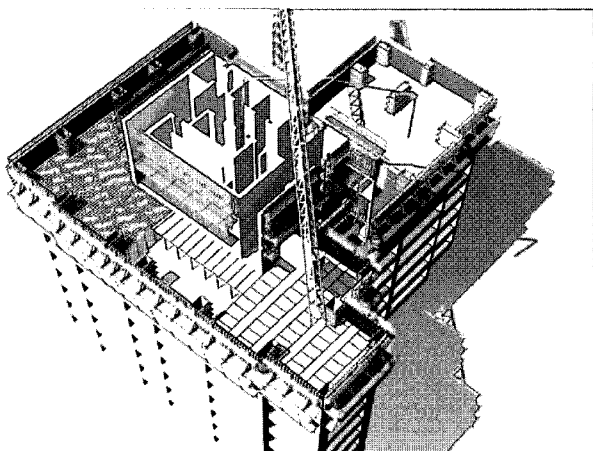
그림 9. 철근 PRE-FAB 및 커플러 이음



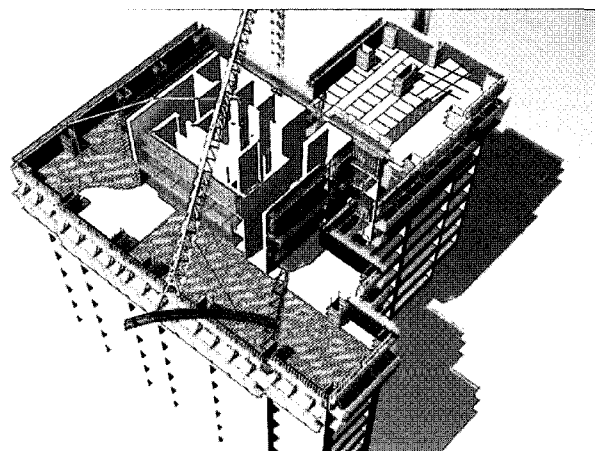
a. 1일차



b. 2일차



c. 3일차



d. 4일차

그림 10. 4-day cycle

현장, CM, 구조 엔지니어링, 설계, 자재 공급사 및 전문시공업체 등의 각 분야 전문가들이 사전 충분한 협의 및 검토를 거쳐 성공적으로 완료하였고, 최초의 초고층 주거용 프로젝트 개발에 있어 좋은 표본이 되어 점차 RC조를 적극적으로 적용하는 계기가 된 것 같다.

향후 국내 초고층 건축의 발전을 위하여 좀 더 많은 기술개발 및 투자가 필요하며 I'PARK 삼성동 현장이 해외 RC 건물에서 시공되고 있는 층당 골조 2일 또는 3일 공정 실현의 첫 시작이 되었으면 한다. □

도서소개 - “콘크리트 구조설계기준 해설”

◆ 소개

“...1999년 5월에 건설교통부 제정 「콘크리트 구조설계기준」이 발간되었으며, 2000년 9월에 본 학회에서는 「콘크리트 구조설계기준」을 실무에 사용하는 설계기술자들이 설계기준의 배경을 이해하고, 이를 실제 설계에 적합하게 적용할 수 있도록 「콘크리트 구조설계기준 해설」을 발간하게 되었습니다. 그러나 통합 제정 당시의 설계기준에서 몇몇 오류가 발견되고 또 그 동안의 연구결과를 반영하기 위해 2003년 4월에 「콘크리트 구조설계기준」을 개정하였으며, 이 개정판에 대한 해설집을 이번에 발간하게 되었습니다...”(머리말 중)

• 제 목 : 콘크리트 구조설계기준 해설
• 출판일 : 2004년 2월

• 저 자 : 사단법인 한국콘크리트학회
• 페이지 : 405쪽

• 출판사 : 기문당
• 정 가 : 28,000원