

타워팰리스 III 현장의 첨단 시공 및 엔지니어링 기술 적용사례

Applied cases of advanced construction & engineering technology at Tower Palace III Project

왕 인 수
Wang, In-Soo

요 약

타워팰리스 III 현장은 현존하는 국내 건축물로는 가장 높은 초고층 주상복합건물이다. 초고층 현장에는 일반현장과는 다른 시공기술 및 엔지니어링 기술의 적용이 요구되는 바, 타워팰리스 III 현장은 지금까지 축적된 기술을 바탕으로 보다 발전된 시공기술과 엔지니어링 기술, 그리고 공정관리기법을 통하여 마감공사 포함 층 당 13.4일이라는 공사 속도를 달성하였다. 이와 같은 공사를 성공적으로 수행하기 위하여 적용된 첨단 시공기술로 1) 골조공사 및 외벽공사의 3-Day Cycle을 달성하기 위한 여러 가지 공법, 2) 초고층 주거건물의 마감공사 공정관리를 위한 Tact 공정관리 시스템, 3) 현장관리 시스템으로 물류관리 및 정보공유 시스템 등이 적용되었다. 또한 엔지니어링 요소기술로 1) 고유동 무다짐 콘크리트와 국내 최초의 압축강도 800kgf/cm²의 초고강도 콘크리트 등의 New Material, 2) 냉각수 순환형 파이프쿨링 시스템 등의 New Method, 3) Smart Fan Control 주방환기 시스템을 포함한 Mechanical System 4) False Car System을 포함한 Electrical System 등이 있다.

키워드: 3-Day Cycle, Tact 공정관리 시스템, 고유동 무다짐 콘크리트, 초고강도 콘크리트, 냉각수 순환형 파이프쿨링 시스템

1. 개요

1.1 배경

서울 강남구 도곡동에 소재하고 있는 타워팰리스 III 현장은 국내에서 현존하는 건축물로서는 가장 높은 63빌딩보다 약 30m 정도 더 높은 초고층 주상복합 건축물을 건설하는 현장으로 향후 서울의 Landmark가 될 건축물이다.

이러한 건축물을 시공하고 있는 당사에서는 이미 같은 도곡동 단지 내에 있는 타워팰리스 I 과 II를 통하여 필요한 기술력을 확보하였으며, 여기서 얻은 자신감을 가지고 좀 더 진일보된 시공기술의 개발 및 공정관리 기법을 적용함으로써 국내에서 가장 빠르며, 선진 미국과도 동일한 속도로 공사를 추진하는 기록을 달성하고 있다. 본 고에서는 초고층 건축물인 타워팰리스 III에 적용된 첨단 시공기술 및 엔지니어링 기술을 소개하여 향후 계속되어 질 초고층 건축물의 시공과 기술개발에 도움이 되고자 한다.

1.2 타워팰리스 III 현장의 공사개요

타워팰리스 III 현장은 타워동 지상 69층+옥탑2층의 주상복합건물 1개동과 지상7층 규모의 스포츠센터 1개동으로 건립되어 지고 있으며, 지하는 6개 층으로 주차장과 기계실 용도로 사용되어지고 있다. 당 현장의 공사개요는 <표 1>과 같다.

표 1. 공사개요

명 칭	도곡동 타워팰리스 III 신축공사		
시 공 자	삼성중공업 + 삼성물산 JV		
용 도	아파트(13 Type 480세대), 오피스텔(7 Type 130세대)		
설 계 사	SOM-기본설계, 삼우-실시설계		
공사기간	2001년 4월~2003년 12월(33개월)		
최고높이	263m		
지역지구	일반상업지역, 도시설계지역		
대지면적	5,442평	건축면적	2,001평
건 폐 율	38.15%	용 적 율	794.88%
연 면 적	67,620평(지상 43,258평, 지하 24,362평)		
층 수	Tower(지하 6층+지상69층) Sports Club(지하1층+지상7층)		
구 조	철골 철근 콘크리트조		
주차대수	1,772대(세대당 2.9대)		
승강기대수	승객용(17인승 17대), 서틀용 2대 비상용(20인승, 15인승 각 1대)		

* 일반회원, 삼성물산 건설부문 상무,
타워팰리스 III 현장 총괄소장

초고층 건축물의 시공에서 가장 중요한 요소는 전체공사기간이라고 할 수 있는데, 당 현장에서는 전체공사기간을 33개월로 설정하였고(그림 1. 전체공정표 참조) 이를 총 당 소요일수로 계산하면 총 당 13.4일이라는 시공속도가 된다. <표 2. 공정비교>에서 볼 수 있듯이 골조공사는 3-Day Cycle을 달성하여 총 당 5.3일을 기록하였으며, 마감공사를 포함하여 총 당 13.4일의 시공속도는 미국 Trump Tower의 총 당 13.1일에 근접한 것으로 국내 주상복합건물의 마감특성(바다 온돌마감)을 고려하면 상당히 빠른 시공속도임을 알 수 있다.

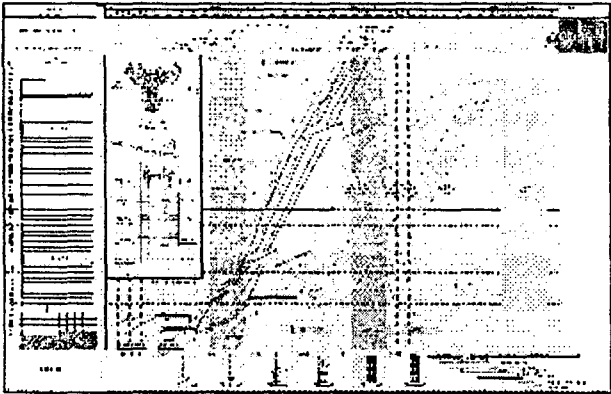


그림 1. 전체공정표

표 2. 공정비교표

구분	구분	단위공사량(일)									
		5	71	2	72	8	52	3	48	3	57
공사개요	총수	86	71	2	72	8	52	3	48	3	57
	공사기간(개월)	36	31	37	36	38					
지하공정	호공사	4.5	-	7.0	7.0	4.5					
	기초공사	2.0	-	1.5	2.0	1.5					
	저하골조	2.5	-	2.5	5.5	3.0					
	토공사	9.0	4.0	11.0	14.5	9.0					
지상공정	골조공사	54.9	61.0	59.9	147.4	59.9					
	외벽공사	13.2	15.0	13.5	14.5	22.0					
	외부도장	6.1	6.5	9.0	10.3	9.0					
	외부도장	13.8	12.0	12.5	7.0	7.0					
지하+지상공사기간	합계	27.0	27.0	28.0	21.5	29.0					
	합계	12.5	11.8	17.2	15.3	17.2					
합계		13.4	15.5	13.1	21.7	23.9					

- 2) New Method 측면에서의 냉각수 순환형 파이프클링 시스템과 Up-Up공법
- 3) Mechanical System
- 4) Electrical System을 중심으로 소개하고자 한다.

2 Temporary & Logistics

2.1 Temporary

2.1.1 종합가설계획

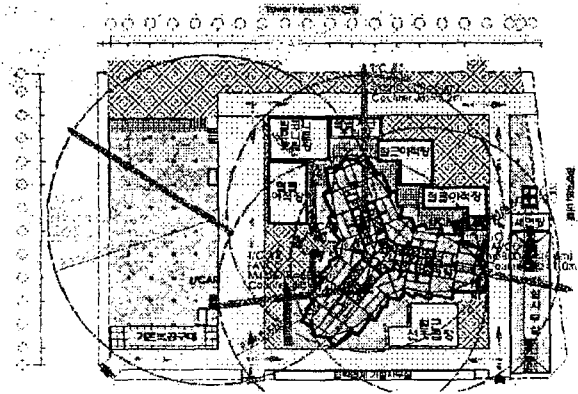


그림 2. 종합가설계획도

당 현장의 종합 가설계획은 위의 그림에서 보는 바와 같이 도심지의 협소한 부지에 효율적으로 대처하기 위하여 가설복공을 이용하여 지하공사와 지상공사를 동시에 진행할 수 있도록 계획하였으며, 초고층 건축물의 시공에 Key가 되는 양중장비로는 타워크레인이 FAVCO M380D와 M440D, 그리고 LIEBHERR 315HC-L등 3대가 사용되었다. 인원과 자재수송용인 호이스트는 6대를 사용하였으며, 콘크리트를 압송하기 위하여 SCHWING사의 BP8000이 사용되었다. 특히 호이스트는 별도의 가설인 호이스트 타워를 세워 집중 배치함으로써 마감공사의 미시공 부분을 최소화하고 가설 호이스트 해체 후 마감공사기간을 줄여 공기단축이 되도록 계획하였다.

이와 같은 공사를 수행하기 위하여 초고층과 관련된 많은 첨단 시공기술과 엔지니어링 요소기술이 적용되었는데, 먼저 초고층 건축물의 시공을 위하여 우선적으로 고려할 요소인 Temporary와 Logistics를 소개하고, 다음으로 타워펠리스 III에 적용된 초고층 첨단 시공기술로

- 1) 골조공사 및 외벽공사의 3-Day Cycle을 달성하기 위한 여러 공법과
- 2) 초고층 주거용 건물의 마감공사 관리를 위한 마감공사 Tact 공정관리 시스템
- 3) 초고층 대규모 현장의 현장관리를 위한 물류관리 및 정보공유 시스템과 엔지니어링 측면에서의 요소기술인

- 1) New Material 측면에서의 고유동 무다짐 콘크리트와 초고강도 콘크리트

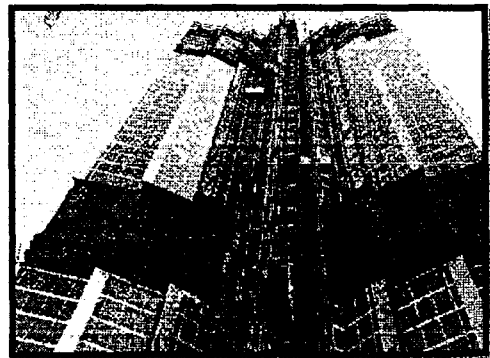


그림 3. 호이스트 타워

2.1.2 가설구대 선조립 및 복층 가설구대

Mat 콘크리트 타설 및 야적장으로의 활용을 위해 지하 구조물 기둥 위치에 가설구대용 H-Pile을 설치하여 구대를 선 조립하고, 해체 후 이를 콘크리트로 피복하여 지하 본설 구조물로 활용하였다.(그림 2. 가설계획도 참조)

또한 지상1층 Slab 타설에 따른 철골 야적공간의 부족을 해소하고 자재야적 중에도 지상층 마감공사의 진행이 가능하도록 복층 가설구대를 설치하였다.

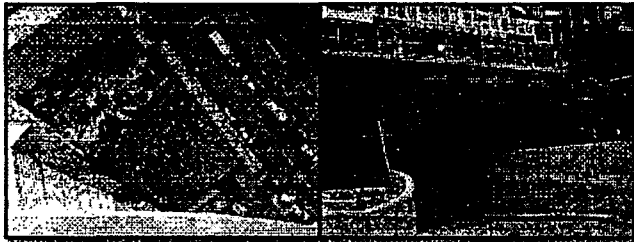


그림 4. 복층 가설구대

2.2 Logistics

2.2.1 Tower Crane

초고층 건축물의 시공에 있어 가장 중요한 요소는 양중장비의 선택이라 할 수 있다. 양중량 분석을 통하여(표 3. 양중량 분석표 참조) 2대를 사용할 경우 4.3일, 3대일 경우 2.9일이 소요되어 골조공사의 층 당 3-Day Cycle이 가능하도록 하고, 각 Wing별 분할작업이 가능하도록 3대 투입하는 것이 적절한 것으로 판단되었다. Tower Crane의 배치는 철골공사와 간섭을 피하고 Slab Open을 없애기 위하여 Core 내부에 배치하였다.

표 3. 양중량 분석표

구분	종류	양중량 분석표 (톤)											
		1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	8F	9F	10F	11F	12F
1F	콘크리트	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	철골	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	기타	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	합계	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
	2F	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	3F	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
	4F	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
	5F	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	6F	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	7F	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

2.2.2 고속 Lift Car

Lift Car의 대수를 산정하기 위하여 유사한 Project의 실적을 분석한 결과 0.6회/m²가 적절하였고, 이 경우 약

770명의 인원을 수송하면 약 25.6min가 소요되는 것으로 판단되었다.

또한 Lift Car에 의한 세대 마감공사 지연을 방지하기 위하여 Lift Car Tower를 공용 Zone에 배치하였다.

가설 Lift Car 해체 후 사용할 본설 Elevator 공사기간 단축을 위하여 초고층부의 Elevator 기계실 층은 골조완료 후 4개월 만에 완료하도록 하여 조속히 가설 Lift Car를 해체할 수 있도록 유도하여 마감공사 공기가 단축되도록 하였다.

2.2.3 저속 Lift Car

Core 공사에 투입되는 작업자의 원활한 동선확보와 자재 양증을 위하여 별도의 저속 Lift Car를 설치하였는데, 가설 비계다리나 ACS Form에 Hanging되는 Type의 계단에 비하여 효율이 좋고 가설재를 줄여 가설시설에 의해 골조공사에 미치는 방해요소를 줄일 수 있었다.



그림 5. 저속 Lift Car

위치는 Core 내부에 설치하면 Slab Opening에 의한 잔여공사를 줄일 수 있으나, 200m이상 설치가 어렵고 안전성과 효율성이 떨어져 Core 내부에 설치가 불가하여 Core 외부에 설치하였고, 마감공정 관계로 매 13층 간격으로 신규장비를 반대쪽에 설치하여 Jumping을 실시하도록 하였다. 또한 매 Jumping시마다 기초용 Slab의 보강을 실시하였다.

2.2.4 Concrete Placing Boom

Concrete Placing Boom은 SCHWING사의 KVM 31/27 기종을 사용하였는데, 이동 동선이 가장 적고 Tower Crane과의 간섭이 가장 적은 위치를 선정하여 배치하였다.

Core Wall에 Climbing Shoe를 매립 후 Anchor로 지지하여 ACS Form과 연결된 Climbing Unit를 이용하여 매 1개 층마다 상승하며 장비의 상승시간이 짧아 기후, 장비 등 외부의 영향을 받지 않고 상승이 가능하였다.

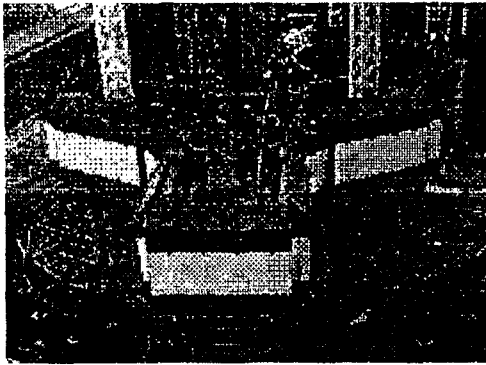


그림 6. Concrete Placing Boom

2.2.5 Concrete Pump Car

콘크리트 타설 장비는 장비의 타설 능력, 건물의 높이 콘크리트 Slump(Flow), 시간당 타설량, 장비의 효율 등을 기준으로 SCHWING사의 BP8000(초고압용)을 사용하였다. Core, Slab, Belt Wall, Core 및 Slab 장비구간 마감 등 지상층 4-Line을 설치 사용하였고, 동절기에는 Electric Heating Coil 및 아티론 보온재를 이용하여 파이프 보온을 하였으며, Pipe 마모율 검사로 기준 두께 이상 유지하도록 하였다.

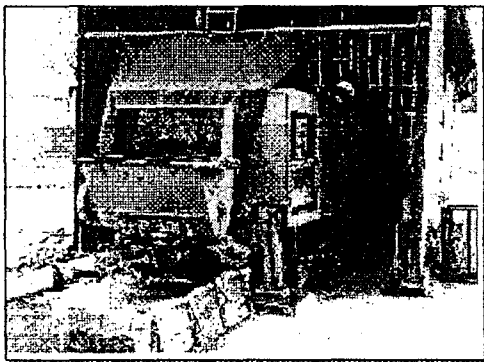


그림 7. Concrete Pump

3. 타워펠리스 III 현장에 적용된 초고층 첨단 시공기술

3.1 골조공사 및 외벽공사의 3-Day Cycle

층 당 소요일수 13.4일의 달성과 골조공사의 층 당 5.3일을 달성하기 위하여 골조공사의 매 단위공정을 3-Day Cycle로 진행하였다. 이 3-Day Cycle을 달성하기 위하여 Core 선행공법과 철골의 S-N공법, Curtain Wall의 Unitize System과 Super Block Unit공법 등이 적용되었다.(그림 8. 참조)



그림 8. 3-Day Cycle 개념도

3.1.1 Core 선행공법

타워펠리스 III의 구조형태는 Core가 철근콘크리트 구조로 되어있고 외주부는 철골철근콘크리트 구조로 되어 있다. 일반적으로 철근콘크리트 구조는 철골조 구조에 비하여 많은 가설재가 필요하며 현장관리가 어렵고 시공속도도 많이 뒤떨어지는 단점이 있었으나, 이를 극복하기 위하여 V.H공법(수직, 수평 분리 타설공법) 개념을 적용하였다.

즉, 수직부분인 Core를 ACS Form(Automatic Climbing System Form)을 사용하여 거푸집을 System 화합으로 유압 Jack과 같은 기계적인 힘을 활용하여 거푸집 설치 및 해체를 가능하게 함으로써 재래식 거푸집으로 하는 것보다 투입인력의 감소에 따라 노무비가 절감되었고, 또한 거푸집의 반복 사용에 따라 현장관리도 용이해 졌으며, 무엇보다 공사속도를 증가 시킬 수 있었다.

이러한 Core 공사를 골조공사 중 가장 선행하여 시공하고, 선행하는 Core 공정을 집중관리 함으로써 전체공기를 합리적으로 단축하는 것이 가능하게 되었다. 즉, 선행공정의 층 당 소요일수가 공사 진행속도에 큰 영향을 미치므로 당 현장에서는 Core Wall Zoning(Zone A, Zone B)으로 작업량을 배분하고, 철근 선조립공법(그림 9. 참조)과 P.C Link Beam(그림 10. 참조)을 적용하여 층 별 최단기간인 3-Day Cycle을 실현하였고, 후속공정도 동일한 속도로 공사를 추진하여 골조공사 전체를 3-Day Cycle로 유도하는 초고층 공정관리 기법을 정립하였다.

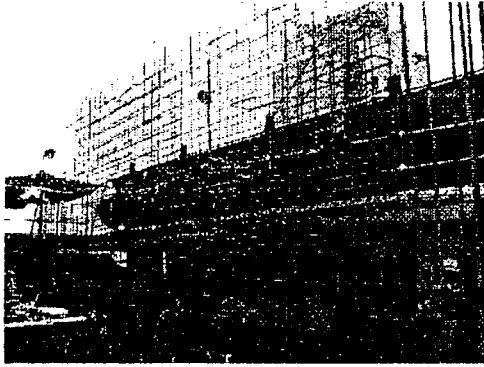


그림 9. 철근 선조립공법

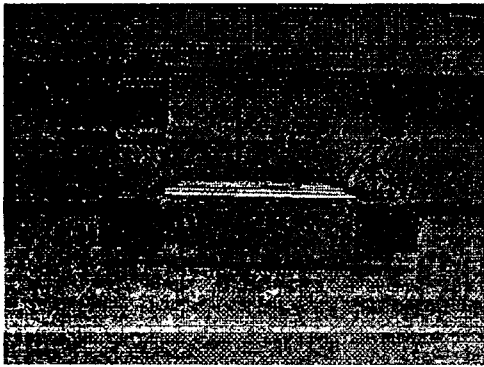


그림 10. P.C Link Beam

3.1.2 철골 S-N공법



그림 11. 철골 S-N공법 개념도

당 현장에서는 철골공사에 있어 Spiral N 공법을 적용하였는데, 위의 그림에서 보듯이 각 절의 시작 층을 Zone별로 다르게 하여, Zone마다 설치 층을 다르게 함으로써 Zone 단위로 작업을 진행하였다. 이렇게 함으로써 용접 작업을 각 Zone 별로 분산시켜 작업효율을 높이고 안전성을 증가시킴과 동시에 Zone별 철골설치, Plumbing, Welding, Deck Plate 판개 등이 동시에 작업 가능하게 하였다.

무엇보다 이 공법에서 중요한 것은 보와 Deck Plate는 절 단위로 설치하지 않고 층 별 마감함으로써 철골설치 층 하부에 Deck Plate가 설치되어 있으므로 철골 작업자의 안전성 증가와 함께 작업자 투입계획 수립이 용이하게 하였다.

3.1.3 Curtain Wall Unitize System

Unit System은 재래의 Knock-Down 방식과는 달리 공장에서 가공, 조립, Glazing 과정을 거쳐 Unit로 완성하여 현장에 반입하며, 현장에서의 작업은 반입, 양중, 설치의 과정만 거치면 되는 공법으로 현장의 작업을 최소화하고 대부분의 작업이 공장에서 이루어지게 되므로 현장에서 요구하는 1층 3-Day Cycle 공정을 달성하게 되었고 소요품질을 확보하게 되었다.

3-Day Cycle을 유도하기 위하여 수평적으로는 평면적으로 3개의 Zoning을 통하여 3개 팀을 운영하였고, 수직적으로는 Zone별로 층수를 달리하여 설치함으로써 3-Day Cycle를 가능하게 하였다.

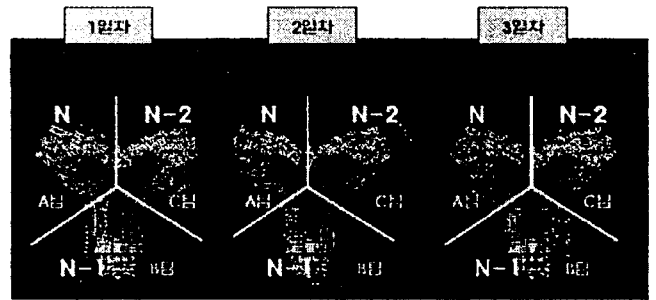


그림 12. Curtain Wall Zoning

당 현장에서는 내화피복보다 Curtain Wall을 선 시공하여 가설비용을 절감하였고 Up-Up 공법으로 Out Rigger 부위를 후속공사로 유도하여 공기단축에 기여하였다.

3.1.4 Curtain Wall Super Block Unit공법

타워펠리스 III의 구조는 횡력과 지진력을 9.6m 높이와 800mm 두께의 Belt Wall을 이용한 Outrigger System으로 견디는 구조로 되어 있다.

Curtain Wall에 있어서는 16층과 55층(Belt Wall층)의 시공이 문제로 대두되었는데, 그 이유는 Belt Wall의 RC공사의 난이도 때문에 공기단축을 위하여 Up-Up공법이 적용되어 이 Belt Wall 층은 상부층 Curtain Wall이 완료된 다음 설치되어야 했으며, 9.6m 높이를 풍압 350kgf/m²에 견디는 구조로 동시에 해결하여야 했다.

일반적인 설치 방법인 Knock-Down System이 적용 가능하나 타워크레인의 접근의 어려움, 그리고 Belt Wall 외부의 가설비계의 설치/해체의 어려움을 고려하여 당 현장에서는 수평 6 Unit x 수직 3 Unit(9,355mm x 9.6m)를 지상에서 조립, 초대형 Unit화하여 설치하는 Super Block Unit 공법을 개발하여 적용하였다. 이 공사를 위하여 수평, 수직, 상하이동이 가능한 별도의 Sub Crane을 자체 개발하여 적용함으로써 상부 Curtain Wall이 설치 완료된 다음에도 Main Crane의 접근을 용이하게 하였고 안전하게 시공, 가능하게 되었다.

최대 Super Block Unit 용량은 6.5Ton이며, 층간 내 풍압은 Mullion 보강 Beam으로 보강하여 해결하였다.

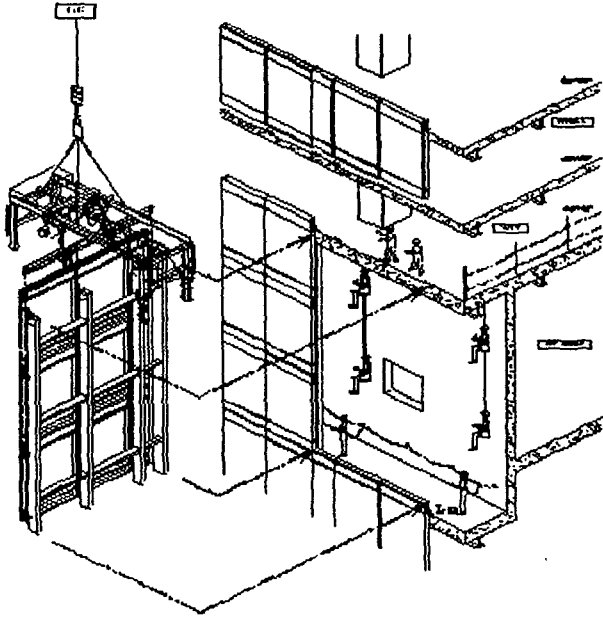


그림 13. Super Block Unit 개념도

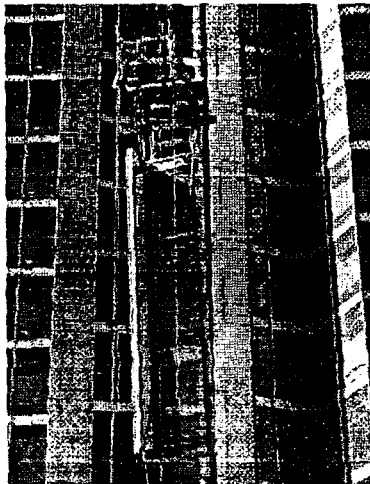


그림 14. Super Block Unit 양중정면

3.2 마감공사의 Tact 공정관리

타워펠리스 III의 마감공사는 전체공기 33개월에 총 당 13.4일이라는 목표를 달성하기 위해서 골조공사 완료 후 8.5개월에 전체 마감공사를 완료하여야 하였다. 이는 유사한 Project인 타워펠리스 I에 대비하여 마감공사에서 5개월의 공정을 단축하여야 했다. 이를 가능하게 하기 위하여 고려한 사항으로 인테리어 설계팀의 조속한 투입과 설계 확정, Mock-Up 세대의 조속한 사전 시공 및 Spec확정, Lift Car 및 Lift Car Tower를 공용 Zone에 배치함으로써 세대 마감공사 지연요인 방지, 본설 Elevator 공사기간 단축을 통한 가설 Lift Car의 조속 해체 등이 있다.

이와 더불어 중요한 요인은 초고층건물에서 효율적인 공정관리를 통하여 마감공사를 진행하는 것이 중요하다. 이를 위하여 적용된 것이 Tact 공정관리 기법이다. Tact

란 拍子라는 의미로 오케스트라의 지휘자가 사용하는 지휘봉처럼 여러 가지 음을 종합적으로 Rhythmical하게 지휘하는 것을 의미하는 것으로, 1 Tact는 주요 Activity와 이에 부수되는 Activity가 Grouping된 것으로 勞務의 연속화가 가능하게 Grouping하여 순차적으로 진행하는 기법이다.

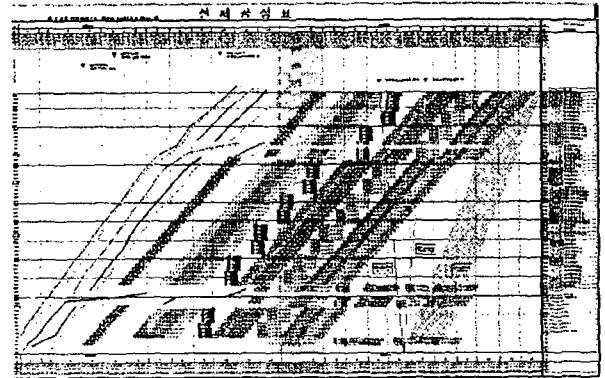


그림 15. Tact 공정표

당 현장에서는 42개의 Tact로 기본 4-Day Cycle로 Tact 공정표를 작성, 운영하였다. 당 현장의 Tact 기법의 공정 작성 순서는

- 1) 협력업체의 의견을 최대한 반영하여, 협력업체가 주체가 되어 작성
- 2) 전체공사의 작업순서를 명확히 하여 공사흐름 및 Milestone를 확정
- 3) 각 세부공사의 Grouping을 실시 후 작업량과 투입인원을 고려하여 작업 Group의 공사속도 결정(Cycle 공정)
- 4) 각 세부공사의 진행순서 및 검사항목 결정
- 5) 전체공사를 순차적으로 진행, 관리 등의 순서로 진행하였다.

특히, 당 현장에서 Tact 기법 진행 시 고려한 중점사항은 다음과 같다.

- 1) 협력업체의 참여유도 및 자발적 작성
- 2) 철저한 설계검토 및 공사계획
- 3) 선행공정의 완벽한 작업 끝맺음

3.3 Management System

3.3.1 물류관리 시스템

초고층 건축물 시공의 성패는 얼마나 원활하게 물류를 이동 시키느냐에 있다. 적은 관리 인력과 협소한 부지의 대규모 건설공사에 있어 Just In Time의 실현이 무엇보다도 중요한 요소라고 할 수 있다. 또한 현장과 업체간의 원활한 상호 Communication과 돌발 상황에 대한 신속한 대응체제 구축을 위한 물류관리 시스템을 적용하였다.

지금까지의 물류 시스템은 현장까지의 물류관리에 중점을 두었다면, 당 현장에서는 현장내부의 물류의 흐름에 대한 파악이 가능한 시스템으로 발전시켰다.

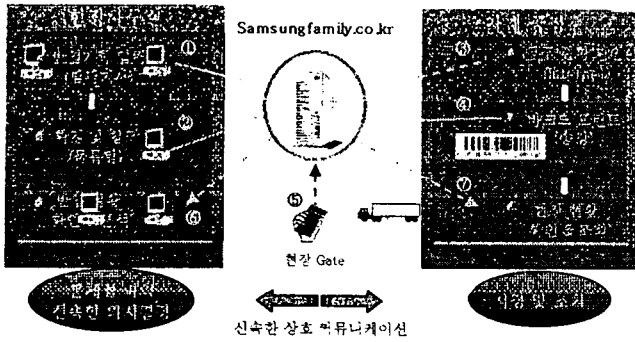


그림 16. 물류관리 시스템

당 현장에서 적용한 물류관리 시스템은 Bar Code를 이용한 자재관리 시스템(그림 16 참조), 카드를 통한 인원관리 시스템, 통문관리 시스템, 양중관리 시스템, 작업일보 시스템, Hoist운행 시스템, 색상계획과 부재코드 시스템을 통한 자재관리 등이 있다.

3.3.2 정보공유 시스템

또 하나의 관리 시스템으로 적용한 것이 정보공유 시스템이다. 현장 홈페이지를 활용하여 전문 협력업체와 대화의 창구로 활용하며, 업무관련 지식의 공유로 관련 정보를 습득하고 현장의 공동목표를 향한 방향을 제시토록 하였다. 특히 자유게시판을 통하여 현장 근로자의 생생한 목소리를 접할 수 있었으며, 소장과 직원의 목소리를 공지사항 게시판을 통하여 직접 전달하고, 일일 위험 Point 공지와 안전신문고, 안전관련 자료공유를 통하여 보다 근로자의 직접적인 참여를 유도하였다. 또한 마감공사관리 시스템도 정보공유 시스템에 공개하여 세대별 공사 진척 사항과 Punch List관리도 이 시스템을 통하여 관리하였다.

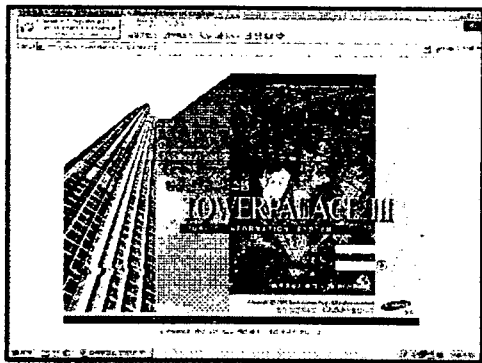


그림 17. 정보공유 시스템 Main 화면

4. 타워팰리스 III 현장에 적용된 초고층 엔지니어링 시공기술

4.1 New Material

4.1.1 고유동 무다짐 콘크리트

고유동 무다짐 콘크리트는 고유동성을 가지고 있어 별도의 진동다짐기를 투입하지 않고서 콘크리트를 재료분리 없이 밀실하게 타설 할 수 있는 콘크리트를 이르며, 일반 콘크리트에 비하여 단위체적당 시멘트가 많아 수화열이 많이 발생하는 경향이 있음에도 불구하고 본 콘크리트를 당 현장의 Mat Foundation에 적용하였다.

약 8,000m³의 일반 콘크리트를 14시간 이내에 타설을 완료하기 위해서는 펌프카 10대와 30여대의 진동다짐기가 사용되어야 했고, 이것은 주변의 많은 민원을 초래할 것으로 예상되었다. 또한 3.5m 높이의 기초를 타설 하기에는 어려움이 예상되어 약 6개월간의 개발과정을 통하여 고유동 무다짐 콘크리트를 개발, 적용하였다.

표 4. 무다짐 콘크리트 배합표

호칭강도	20-400-65	
W/B(%)	33.6	
Gv(m ³ /m ³)	0.297	
Sa(%)	51.8	
단위재료량 (kg/m ³)	B	515
	W	173
	C	386
	F/A	129
	Ad(%)	8.24(1.6)

고유동 무다짐 콘크리트는 고성능 AE감수제 등을 이용하여 유동성을 크게 확보한 콘크리트로 유동성 및 충전성이 증가되어 시공 후 결함 최소화로 향후 하자 발생을 최소화 할 수 있었고 콘크리트 마감면의 향상을 가져올 수 있었다.

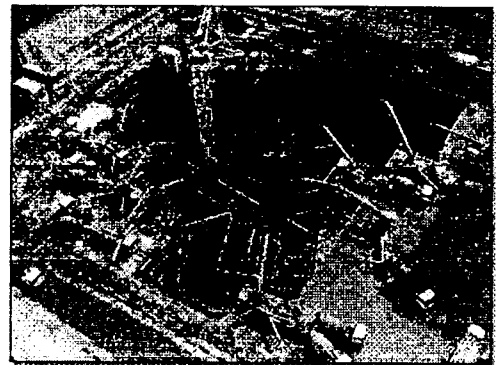


그림 18. Mat 기초 타설 전경

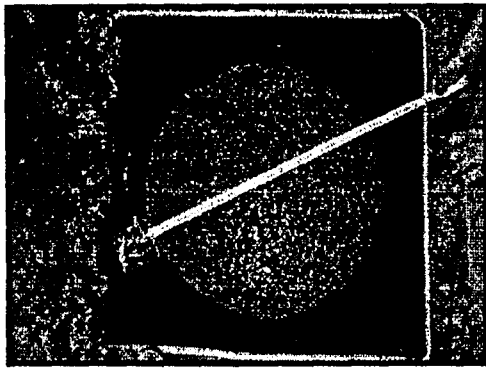


그림 19. 고유동 무다짐 콘크리트의 Slump Flow

4.1.2 초고강도 콘크리트

당 현장에 적용된 고강도 콘크리트의 강도는 Core 부위에 500kgf/cm², 400kgf/cm² 그리고 초고강도 콘크리트로 Column에 800kgf/cm²가 적용되었다.

Core 선행공법으로 층 당 3-Day Cycle을 실현하기 위해서는 ACS Form이 사용되었고, 이 ACS Form은 크레인의 지원 없이 거푸집 자체에 부착되어 있는 유압 Jack을 이용하여 상승하는 System으로 유압 Jack은 콘크리트 Wall에 매립된 Anchor에 지지되게 되어 있다. 따라서 거푸집의 상승속도는 콘크리트의 초기강도 발현과 상당히 밀접한 관계를 가지게 된다. 콘크리트 타설 후 14~16시간 후 탈형하여 거푸집이 상승하게 되어 있으므로 이때의 콘크리트 강도가 80kgf/cm² 이상이 되어야 거푸집 상승이 가능하다. 이를 위하여 고강도 콘크리트를 적용하게 되었으며 배합표는 아래 <표 5>와 같다.

표 5. 고강도 콘크리트 배합표

호칭강도	20-500-23	20-400-21	
W/B(%)	29.5	32.9	
Gv(m ³ /m ³)	0.357	0.348	
Sa(%)	40.74	44.70	
단위재료량 (kg/m ³)	B	580	510
	W	171	168
	C	493	434
	F/A	87	76
	Ad(%)	9.86(1.7)	9.18(1.8)

또한 Column 부위는 초고층 건축물에서 피할 수 없는 Column Shortening을 최소화하여 Core 부위와 Column 부위간의 부등축소(Differential Shortening)를 줄이고 기둥 단면적 축소와 철골량 축소를 통한 원가 절감을 위하여 초고강도 콘크리트를 국내 최초로 적용하였다.

표 6. 초고강도 콘크리트 배합표

호칭강도	20-800-21	20-600-23	
W/B(%)	24.9	28.0	
Gv(m ³ /m ³)	0.34	0.36	
Sa(%)	41.5	39.0	
단위재료량 (kg/m ³)	B	650	625
	W	162	175
	C	500	531
	S/F	52	
	F/A	98	94
	Ad(%)	16.9(2.6)	15.0(2.4)

4.2 New Method

4.2.1 냉각수 순환형 파이프쿨링 시스템

균열의 한 원인인 수화열에 의한 온도 상승량을 최소화하기 위하여 콘크리트 내 배관을 설치하고 냉각수를 통수시켜 온도 상승을 억제하는 시스템인 냉각수 순환형 파이프쿨링 시스템을 개발하여 적용하였다. 당 현장은 Mat Foundation의 깊이가 3.5m로서 거대한 Mass 콘크리트이다. 따라서 수화열에 의하여 기초 중앙부의 최고 온도가 93℃까지 올라가고 양생기간(콘크리트 내부 온도와 대기온도간의 차이가 20℃ 이내가 되는 시점)이 약 50일 이상 소요될 것으로 예상되어 전체공기에 큰 영향을 미치게 되었다. 이 문제를 해결하기 위하여 냉각수 순환형 파이프쿨링 시스템을 적용하였는데 최대 온도를 83℃로 제어가 가능하였고 양생기간도 10일 정도만 필요하게 되어 약 40일의 공기단축을 실현 할 수 있었다.

표 7. 파이프쿨링 미적용시

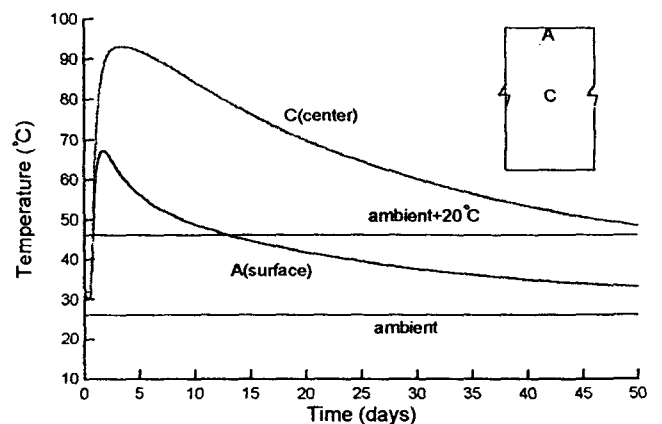
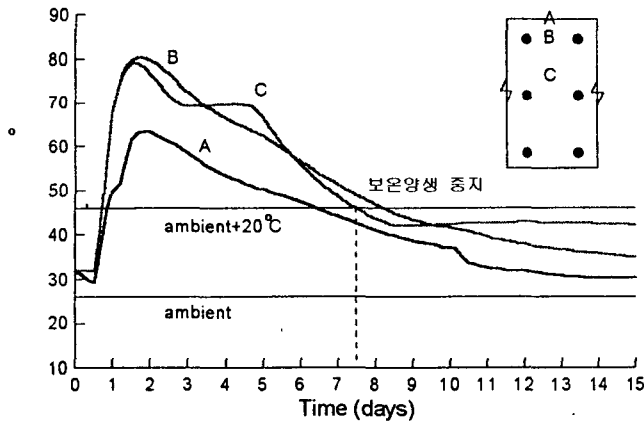


표 8. 파이프쿨링 적용시



시스템 검토 절차는

- 수화열 해석으로 적정 파이프의 간격 및 위치 설계
- 유입수 및 유출수의 설계한계온도를 산정하여 물의 유입속도를 결정하고 총 유입량 산정
- 현장조건을 기준으로 수화열 해석, 통수속도 및 통수시간 제어값 검토
- 타설 후의 보온 양생기간 산정 등이다.

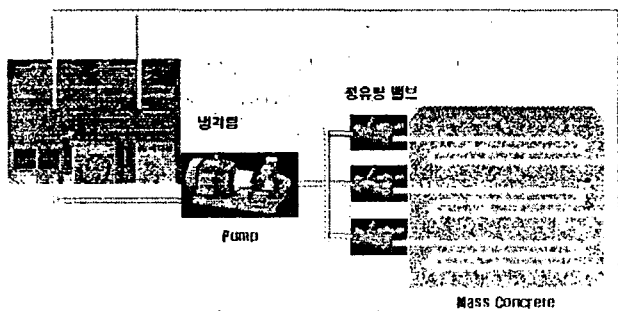


그림 20. 파이프쿨링 시스템 개념도

4.2.2 Up-Up공법

당 현장의 초고층 구조형식 중 Outrigger의 구조형식으로 풍하중과 지진하중과 같은 횡력은 건물 중심에 있는 철근콘크리트 구조로 되어 있는 Core Wall과 16층, 55층에 있는 Belt Wall에 의해 견디게 되며, 철골철근콘크리트 구조로 되어있는 외주부 기둥은 건물의 중력하중에 견디게 설계되어 있다. 이 Belt Wall은 9.6m의 높이와 800mm의 두께로 외주부를 따라 콘크리트 Wall로 구성되어 있어 순차적으로 시공하는 방법으로는 5개월의 공기가 소요되게 되어 있어 전체공정에 영향을 미치게 되었다. 따라서 Non 기준층인 이 Belt Wall층은 표준공정대로 진행이 어렵기 때문에 이를 Skip하고 상층부공사를 일정대로 진행하며, Non 기준층인 16층, 55층은 별도의 공정대로 진행하는 Up-Up공법을 적용함으로써 약 5개월(2.5개월 x 2개층)의 공기단축을 실현하였다.

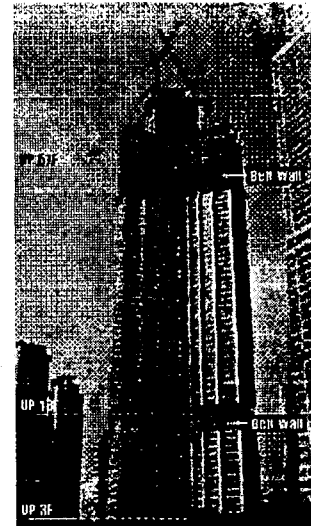


그림 21. Up-Up공법 개념

4.3 Mechanical System

4.3.1 Smart Fan Control 주방환기 시스템

일반적으로 각 세대마다 주방에서 음식을 조리할 때 발생하는 음식냄새는 주방후드로 빨아들여 입상덕트를 거쳐 옥탑 무동력 Fan에 의해 배출되나, 초고층 주상복합건물에서는 층마다 불균형한 정압, 높은 입상덕트로 인한 Stack Effect 등으로 원활한 배기가 어려우므로 특별한 배기 시스템을 요구한다.

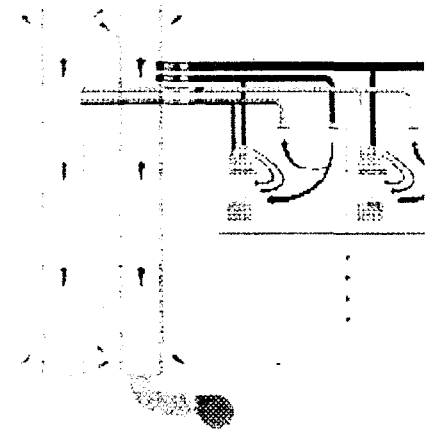


그림 22. Smart Fan Control 시스템 개념도

각각의 세대마다 일정한 정압으로 배기가 되도록 Smart Fan Controller가 적용되었고, Main 입상덕트에는 인버터를 장착한 저소음 동력 Fan을 설치하여 원활한 배기가 가능토록 하였다.

4.3.2 세대별 주거 환기 + 가습 시스템

高기밀 구조의 Curtain Wall로 마감되어진 초고층 주

상복합건물에서는 실내 거주 쾌적성을 위해 환기가 절대적으로 중요하기에 전열교환기를 이용한 주거 환기 시스템과 겨울철 적정습도를 유지하기 위한 가습기를 설계에 반영, 설치하였다.

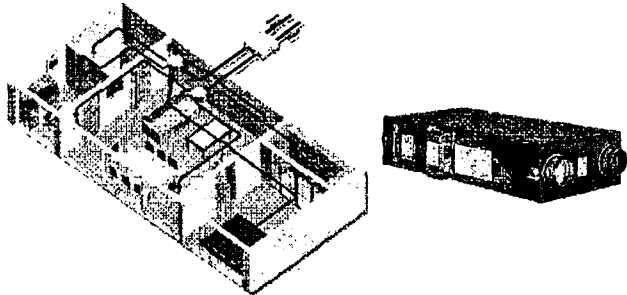


그림 23. 환기+가습 시스템 개념도

4.3.3 각 실별 온도조절 난방시스템

동서남북 각 방위마다 햇빛 투과의 양이 다르고, 난방시 방마다 일정한 온도 유지가 어려우므로 마이컴을 이용한 디지털 제어방식의 각 실별 온도조절 난방시스템을 적용하였다.

온도에 의한 제어와 온도차에 의한 타이머 기능이 가능하며 주 온도조절기에서 다른 방의 상태를 파악하여 온도조절이 가능한 장점이 있다.

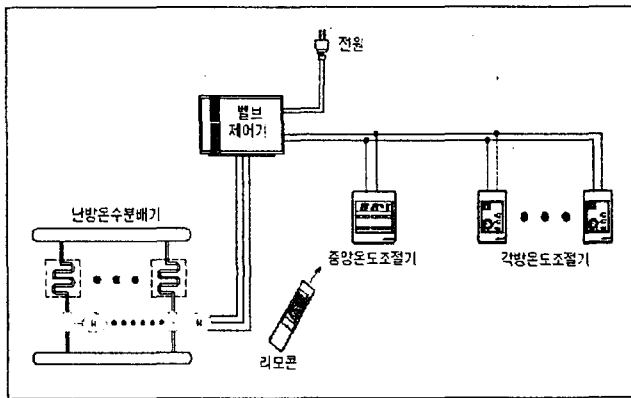


그림 24. 온도조절 난방 시스템 개념도

4.3.4 Unit Sleeve 공법

건축 Slab 공사 시 설비배관 Pit 부위의 개구부 발생으로 인한 안전사고의 위험과 입상배관 공사 시 정확한 수직도 유지가 어려우므로 각각의 Sleeve를 Unit화하여 공장에서 제작 후 건축 Slab 공사 시 개구부를 막아 시공 정확도와 안전에 유리한 공법이다.

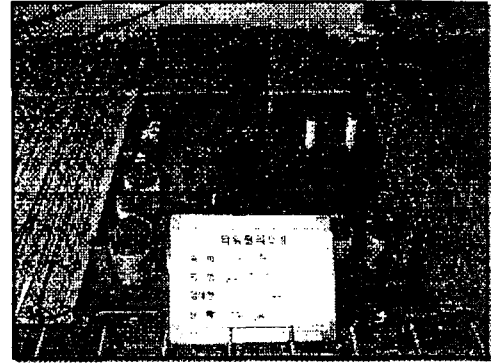


그림 25. Unit Sleeve 공법

4.3.5 세대별 급수급탕 2중관 매립공법

초고층 철골철근콘크리트 구조 및 세대 간벽 및 내벽을 건식으로 시공할 경우 급수급탕관을 동관 및 STS관으로 천장에 배관하는 시공방법이 일반적이나, 용접부위의 누수하자 위험을 내포하고 있으므로 CD관에 PB관을 삽입하여 건축 Slab 공사 시 철근속에 매립하는 세대별 급수급탕 2중관 매립공법을 적용하였다. 이음매를 없애 누수하자를 원천적으로 방지하였고 추후 개보수의 경우 PB관을 교체할 수 있어 리모델링 공사에도 적합하다.



그림 26. 2중관 매립공법

4.4 Electrical System

4.4.1 False Car System을 통한 승강로 분할공법

초고층건물의 시공에 있어 마감공사의 공기단축의 Key는 본설 Elevator를 조속히 완공하여 가설 Lift Car를 얼마나 빨리 해체하는가에 달려 있다. 당 현장에서는 초고층부 Elevator를 기계실 층 골조 완료 후 4개월 내에 완료하도록 계획되었고, 이러한 문제를 해결하기 위하여 골조공사 중에도 Elevator공사를 조기에 착수 가능하도록 중간층에 가설기계실 설치와 False Car System을 적용하여 레일 및 승강시설을 분할 시공하여 공기단축을 도모하였다.

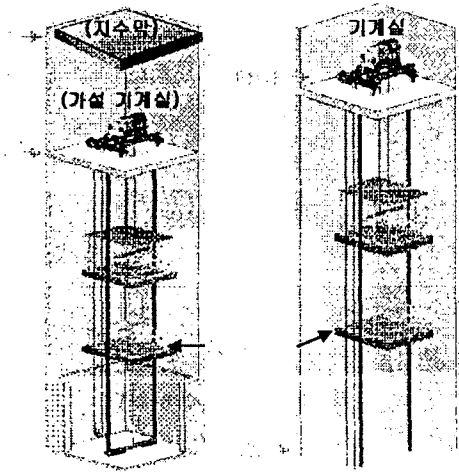


그림 26. False Car System 개념도

4.4.2 네트워크 이원 2중화

인터넷 네트워크와 홈 네트워크를 완전 분리함은 물론, 홈 네트워크를 아파트와 오피스텔로 2중화하여 시스템 자원 및 내부 사용자들을 보호하는 시스템을 적용하였다. 어느 한 곳에서 장애가 발생하여도 다른 네트워크에 영향을 주지 않으므로 독립된 서비스의 제공이 가능한 이 시스템은 Back Bone 스위치 두 대를 구성, Work Group 스위치에 각각 연결하여 부정지 네트워크 구성이 가능하게 되었다.

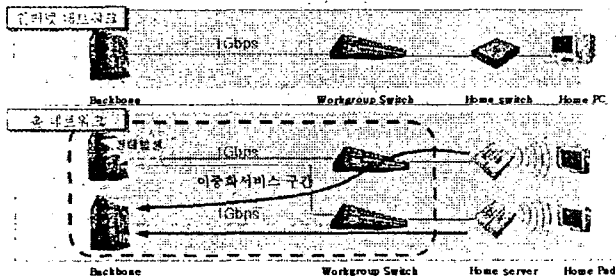


그림 27. 네트워크 2중화 개념도

4.4.3 전력선제어 시스템

전력선 통신(PLC: Power Line Communication)기술을 이용하여 인터넷 및 전화로 가전(세탁기, 에어컨 등), 난방, 전등 및 가스 제어가 가능한 시스템을 구축하여 보다 진일보 된 주거환경을 실현하였다.

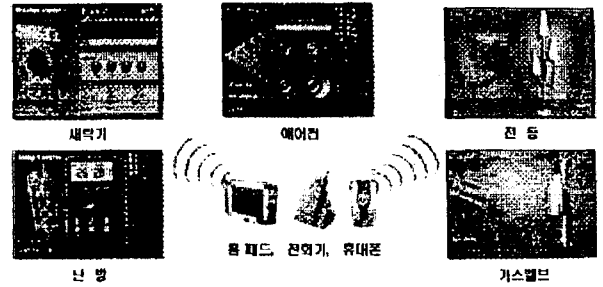


그림 28. 전력선제어 시스템 개념도

4.4.4 원격검침 시스템

가스, 전기, 냉수, 온수, 난방에 대한 에너지 사용량을 자동검침 가능한 시스템으로 구축하여, 입주민은 세대 내 단말기(Web Pad)로 실시간 사용내역 조회가 가능하도록 하였다.

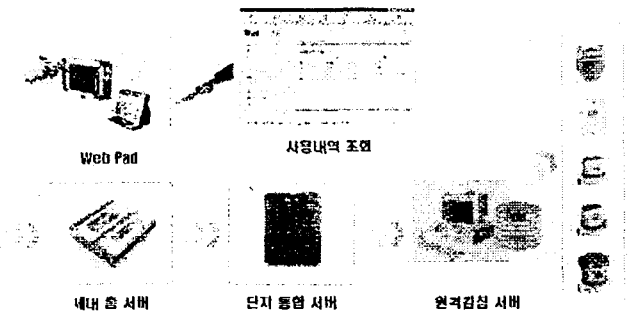


그림 29. 원격검침 시스템 개념도

5. 결론

타워팰리스 III 현장은 국내 건축물중에 가장 높은 초고층 주상복합건물이다. 초고층 건축물에는 일반현장과는 다른 시공기술 및 엔지니어링 기술의 적용이 요구되는데, 타워팰리스 III 현장에 적용된 가설시설물 및 물류장비로는, 가설구대 및 복층가설구대, 3대의 타워크레인과 6대의 고속 호이스트, 2대의 Core용 호이스트, Concrete Placing Boom 과 초고압용 Concrete Pump가 있으며,

시공기술로는

- 1) 골조공사 및 외벽공사의 3 Days Cycle을 달성하기 위한 공법,
- 2) 초고층 주거건물의 마감공사 공정관리를 위한 Tact 공정관리 시스템,
- 3) 현장관리 시스템으로 물류관리 및 정보공유 시스템 등이 적용되었다.

엔지니어링 기술로는

- 1) 고유동 무다짐 콘크리트와 국내 최초의 압축강도 800kgf/cm²의 초고강도 콘크리트 등의 New Material,
- 2) 냉각수 순환형 파이프쿨링 시스템 등의 New Method,

3) Smart Fan Control 주방환기 시스템을 포함한 Mechanical System

4) False Car System을 포함한 Electrical System 등이 적용되었다.

참고문헌

1. 박찬규, “냉각수 순환 형태의 파이프 쿨링 공법을 이용한 매스콘크리트 수화열 제어”, 2001 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집
2. 김규동, “초고층 빌딩 적용을 위한 설계강도 800kgf/cm² 고강도 콘크리트의 개발”, 2002 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집
3. 권상문, “ 초고층 건축물 시공을 위한 ACS Form 시공기술”, 2001 한국건축시공학회 학회지
4. 왕인수, “ 도곡동 타워팰리스 3차 현장에서의 초고층 시공기술과 다양한 콘크리트 개발 및 적용사례 소개”2002 한국콘크리트학회 학회지

Abstract

Tower Palace III project is the highest residential and commercial high-rise complex building in Korea. In order to construct a high-rise building, advanced construction and engineering technology is required. Therefore, with more developed construction and engineering technology based upon accumulated knowledge, construction speed of 13.4 days per floor including finish work was achieved in this project. To achieve this project successfully, three main advanced construction technology were applied: 1) Construction methods for 3-day cycle of structural work and curtain wall, 2) Tact scheduling method for finish work, 3) Management system of material, labor, work, and information. Also, four main engineering technology were applied: 1) New material such as high-flowing concrete and high strength concrete of 800 kgf/cm², 2) New method such as a pipe-cooling system of a cool water circulating type, 3) Mechanical system such as smart-fan controlling kitchen-ventilation system, 4) Electrical system such as false car system

Keywords: 3-day cycle, Tact scheduling method, High-flowing concrete, high strength concrete, pipe-cooling system of a cool water circulating type
