

## 초고층 주상복합 무량판 구조의 시공 사례

Construction Technology Introduction of the Multi-USED Tall Residential Buildings with Flat Plate System



이명근\*  
Myung-Keun Lee



박용현\*\*  
Yong-Hyeon Park

### 1. 머리말

공동주택의 구조 형식을 과거에는 내력 벽식 구조로 적용하는 것이 일반적이었으나 거주자 수요의 다양화 및 주택정책의 변화 등으로 최근들어 공동주택(주상복합 포함)의 구조 형식을 내력 벽식 구조 보다는 기둥식 구조로 설계, 시공하는 사례가 증가하고 있다<그림 1>. 현대건설에서도 최근 분양한 용인상현 힐스테이트, 파주힐스테이트 등을 포함하여 향후 분양 예정인 프로젝트에도 기둥식 구조로 확대 적용할 예정이다. 현대건설에서 분석한 기둥식 구조(무량판구조)에 대한 설계 및 시공 사례에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

### 2. 기둥식 구조(무량판)의 구조설계 및 골조물량 분석

#### 2.1 구조 설계 개요

내력 벽식 구조의 경우 세대 내외부 벽체 및 코어벽체 등 횡력에 대한 강성이 충분하기 때문에 구조 해석 및 설계가 비교적 용이하나 기둥식 구조(이하 '무량판 구조'로 표기)의 경우 횡력에 저항하는 구조강성이 내력 벽식 구조에 비해서 상대적으로 적기 때문에 설계 초기 단계부터 구조 해석에 대한 고민이 더욱 필요하다. 이에 무량판 구조의 횡력저항을 위하여 고려될 수 있는 구조 시스템 별 구조 해석 및 설계를 수행하여 그 결과를 가지고 물량 분석을 실시하였으며 본 분석 내용을 기본으로 무량판 구조에 대한 구조설계지침서를 작성하여 적용 중에 있다<그림 2>.

무량판 구조는 슬래브의 처짐, 불균형모멘트에 의한 전단편심 설계, 뿔립전단에 의한 붕괴 방지 등 구조 설계 시 주의해

야 할 내용이 많다. 특히 평면 계획 시 AD, PD등 개구부가 기둥에 근접하지 않도록 주의가 필요하며, 또한 기둥에 전기배관을 위한 박스(home automation 등)를 매립하여 기둥 단면의 결손이 불가피하게 발생하는 사례가 있다. <그림 3>과 같이 초기 구조 계획 시 기둥단면 결손을 고려하여 설계해야 한다.

#### 2.2 골조물량 분석

내력 벽식 구조와 기둥식 구조의 골조 물량에 대한 비교 분석 결과 무량판 구조의 경우 골조공사비는 약간 감소하나 마감 공사(경량칸막이) 및 전기, 설비 공사비의 상승으로 전체적인 공사비는 약 3.4%~7.4% 정도 공사비가 상승하는 것으로 분석되었다<그림 4>.

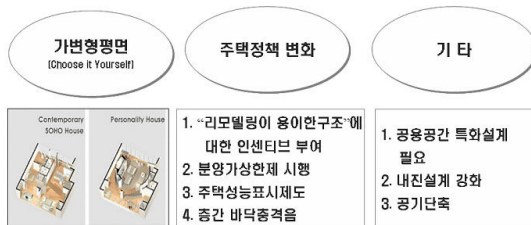


그림 1. 내력 벽식 구조에서 기둥식 구조로 변화 요구

목 차	페이지
1.1. 목 차	311
1.2. 목 차	311
1.3. 목 차	311
1.4. 목 차	311
1.5. 목 차	311
1.6. 목 차	311
1.7. 목 차	311
1.8. 목 차	311
1.9. 목 차	311
1.10. 목 차	311
1.11. 목 차	311
1.12. 목 차	311
1.13. 목 차	311
1.14. 목 차	311
1.15. 목 차	311
1.16. 목 차	311
1.17. 목 차	311
1.18. 목 차	311
1.19. 목 차	311
1.20. 목 차	311
1.21. 목 차	311
1.22. 목 차	311
1.23. 목 차	311
1.24. 목 차	311
1.25. 목 차	311
1.26. 목 차	311
1.27. 목 차	311
1.28. 목 차	311
1.29. 목 차	311
1.30. 목 차	311
1.31. 목 차	311
1.32. 목 차	311
1.33. 목 차	311
1.34. 목 차	311
1.35. 목 차	311
1.36. 목 차	311
1.37. 목 차	311
1.38. 목 차	311
1.39. 목 차	311
1.40. 목 차	311
1.41. 목 차	311
1.42. 목 차	311
1.43. 목 차	311
1.44. 목 차	311
1.45. 목 차	311
1.46. 목 차	311
1.47. 목 차	311
1.48. 목 차	311
1.49. 목 차	311
1.50. 목 차	311
1.51. 목 차	311
1.52. 목 차	311
1.53. 목 차	311
1.54. 목 차	311
1.55. 목 차	311
1.56. 목 차	311
1.57. 목 차	311
1.58. 목 차	311
1.59. 목 차	311
1.60. 목 차	311
1.61. 목 차	311
1.62. 목 차	311
1.63. 목 차	311
1.64. 목 차	311
1.65. 목 차	311
1.66. 목 차	311
1.67. 목 차	311
1.68. 목 차	311
1.69. 목 차	311
1.70. 목 차	311
1.71. 목 차	311
1.72. 목 차	311
1.73. 목 차	311
1.74. 목 차	311
1.75. 목 차	311
1.76. 목 차	311
1.77. 목 차	311
1.78. 목 차	311
1.79. 목 차	311
1.80. 목 차	311
1.81. 목 차	311
1.82. 목 차	311
1.83. 목 차	311
1.84. 목 차	311
1.85. 목 차	311
1.86. 목 차	311
1.87. 목 차	311
1.88. 목 차	311
1.89. 목 차	311
1.90. 목 차	311
1.91. 목 차	311
1.92. 목 차	311
1.93. 목 차	311
1.94. 목 차	311
1.95. 목 차	311
1.96. 목 차	311
1.97. 목 차	311
1.98. 목 차	311
1.99. 목 차	311
1.100. 목 차	311

그림 2. 현대건설 기둥식 아파트 구조설계지침서

\* 현대건설(주) 건축사업본부 용산파크타워 현장소장, 부장  
\*\* 정희원, 현대건설(주) 주택영업본부 상품개발실 구조팀장, 차장  
yhpark88@hdec.co.kr

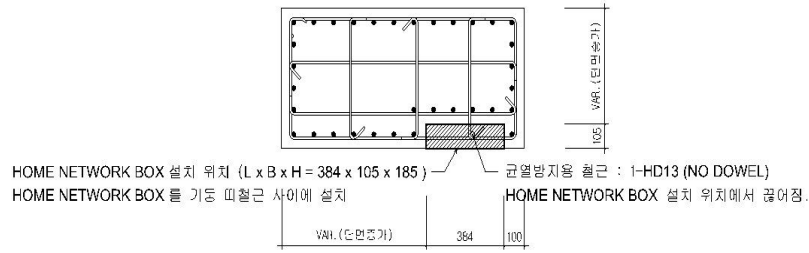


그림 3. Home network box 설치로 인한 기둥 배근 상세(예)

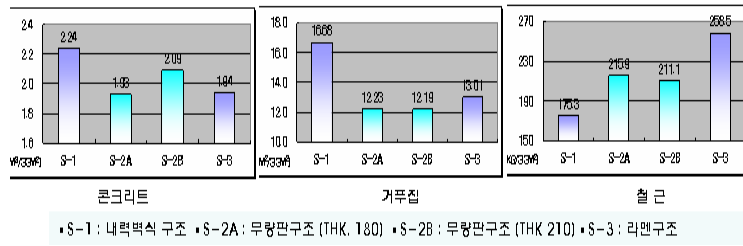


그림 4. 골조 물량 비교 분석표

2.3 구조 형식 별 골조 공기 비교

내력 벽식 구조와 기둥식 구조의 거푸집 종류 및 현장 조건이 동일하다고 가정할 경우 공동주택의 구조 형식 별 개략적인 골조공사 기간은 2층~4층까지는 내력 벽식 구조 10일/층, 무량판 구조 8일/층, 라멘조 9일/층, 5층 이상의 경우 내력 벽식 구조 9일/층, 무량판구조 7일/층, 라멘구조 8일/층 소요될 것으로 예상된다. 지상 25층 공동주택의 경우 <표 1>에서 보듯이 골조공사 기간이 전체적으로 내력 벽식 구조 대비 무량판 구조의 경우 2개월, 라멘구조의 경우 1개월 정도 단축될 것으로 예상된다. 단 기둥식 무량판 구조의 경우 기준층을 층당 7일 사이클로 진행하기 위해서는 형틀 및 철근 작업반을 0.5일 단위로 관리하고, 슬래브 철근 배근 시 충분한 철근 배근공을 투입해야 한다.

3. 무량판 구조의 시공 사례

무량판 구조에 대한 시공 사례는 공동주택보다는 공기단축이 필요한 초고층 주상복합을 중심으로 활발하게 이루어져 왔다. 무량판 구조로 설계되어 있는 공동주택의 골조공사는 내력 벽식 구조의 거푸집 시스템과 동일한 형식으로 시공되고 있다. 후반양제 시

행, 기능인력 부족 등으로 향후에는 공동주택에도 골조공기를 단축시키기 위하여 주상복합 현장에 적용중인 거푸집 시스템 등이 도입될 것으로 예상된다. 본 원고에는 현대건설과 삼성건설 공동으로 시공 중인 초고층 주상복합 현장인 용산파크타워의 골조공사를 중심으로 시공 사례에 대해서 소개하고자 한다<그림 5>.



(a) 조감도



(b) 현장 전경

그림 5. 조감도 및 현장 전경사진('08.1.현재)

표 1. 공동주택의 구조형식별 골조공사 기간 비교

구분	내력벽식구조	무량판구조	라멘구조	비고
작업일	300일	250일	275일	
Calendar day	429일 (약14개월)	358일 (약12개월)	393일 (약13개월)	비작업일 30% 고려
기준층 사이클	9일/층	7일/층	8일/층	

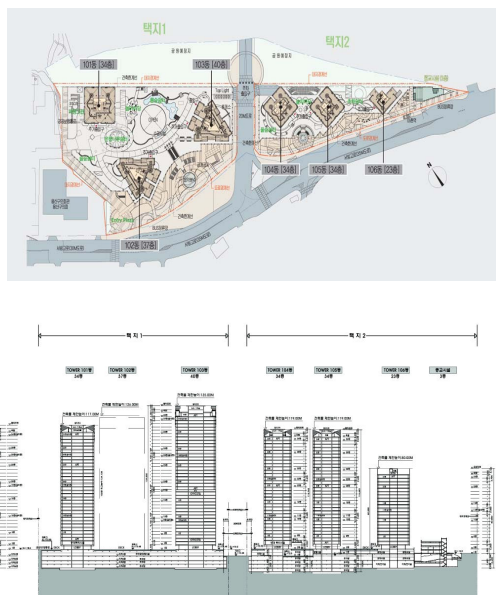
### 3.1 프로젝트 개요

본 프로젝트는 2개단지(택지1,2)로 구성되어 있으며, 지하 4층/지상 23층~40층으로 현대건설(주)과 삼성건설(주)이 공동으로 시공하는 대규모 초고층 주상복합 프로젝트이다. 공사기간이 41개월로 지상층 골조공사를 3일~4일 사이클로 계획하였다. 구조 형식은 지하층 SRC구조(SPS공법), 지상층 철근콘크리트 기둥식 구조(무량판)로 되어 있다. 현대건설에서는 지상부 103동(37층), 105동(34층), 106동(23층) 및 택지2 지하구간(지하4층) 및 교회부지(지하3층~지상2층)의 공사를 수행하였다.

#### 3.1.1 공사 개요

구분	공사 개요
공사명	용산 파크타워 신축공사
위치	서울시 용산구 용산동 5가 19번지 일대
발주처	용산공원남측 도시환경정비사업 조합
공사기간	2005.06 ~ 2008.10(착공후 41개월)
구조	지하 : SRC 구조 / 지상 : 철근콘크리트 (RC 무량판구조)
설계	(주) 종합건축사 사무소 건원(건축), (주)정밀구조(구조) ARUP(Review)
감리	(주) 건원엔지니어링(CM, 시공감리), (주) 시아플랜건축(설계 및 인테리어 감리)
시공	현대건설(주), 삼성물산 건설부문(주)
공사규모	연면적 : 272,505M <sup>2</sup> (용적율 496.69%) 지하4층 지상23~40층 6개동 주상복합 아파트 888세대, 오피스텔 126실, 판매시설 및 집회시설

#### 3.1.2 배치도 및 단면도



### 3.1.3 구조설계 개요(지상 : 102동, 지하 : 택지 2구간)

구분	세부 내용
규모	지하4층~지상37층, 기준층 층고 3.1m, 건물높이 124.1m
구조형식	고층부 : RC 기둥식구조(무량판구조), 지하 : SRC구조(SPS공법)
콘크리트 강도	고층부 : 수직부재 50, 40, 35MPa, 수평부재 35MPa 저층부 : 27MPa
철근	D25이상 : ft=500MPa(SD500), D22이하 : fy=400MPa(SD400)
철골	보 : Fy=240MPa(SS400), 기둥 : Fy=330MPa(SM490)
기초형식	지내력기초 : fe=700.0kN/m <sup>2</sup>
지하수위	G.L-1.0M(영구배수시스템 적용)
지진하중	A=0.11, I=1.5 S=1.0, R=5.5(CODE : AIK2000)
풍하중	V <sub>0</sub> =30M/SEC, 노풍도 B, I <sub>w</sub> =1.1

### 3.2 주요 시공 기술

초고층 주상복합 건축물은 일반 공동주택과 달리 고강도콘크리트, 거푸집시스템, 부등축소, 수직도동의 계층관리, 연돌 효과 제어등 구조적, 기술적 측면에서 한 차원 높은 전문적인 지식을 요한다. 국내외 초고층 건축물 건설에 대한 붐이 일면서 많은 기술 사례들이 소개 되었지만, 실제 적용에 있어서는 다품종 소량생산의 건설업 특성상 공정, 원가, 품질, 안전관리 측면에서 수립된 계획의 수많은 피드백 과정은 필수적이다. 당 현장의 전체공정 계획은 <그림 6>과 같으며 본 내용에서는 공기의 가장 높은 비중을 차지하는 102동 37층 건물의 지상층 골조공기와 관련된 거푸집 시스템을 중심으로 소개하고자 한다.

#### 3.2.1 골조공사에 영향을 주는 요인

초고층 골조공사에 영향을 주는 여러 가지 요인 중 몇 가지는 설계도면 현황 분석 및 공사 중의 기상조건, 휴일 등 비작업일에 대한 분석이 공기산정에 고려해야 할 중요한 요인이다.

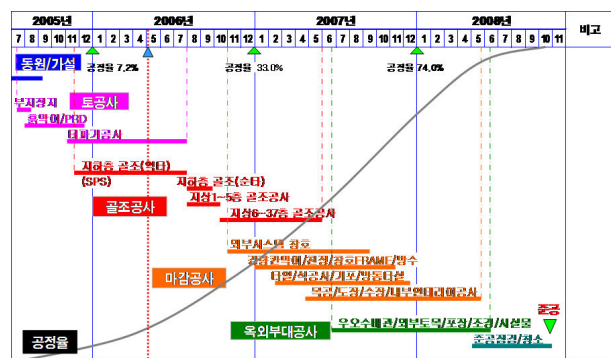


그림 6. 전체 공정표

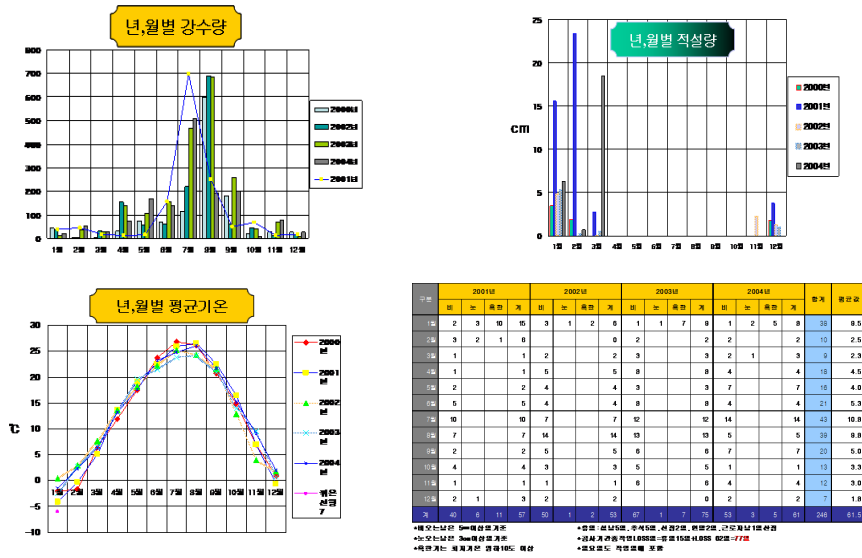


그림 7. 연중 비작업일 수 분석표

우선, 설계도면에 대한 분석 결과 10개층 단위로 계획된 설비 층으로 인하여 층고가 변화(3.1m→3.4m)와 함께 발코니 끝 단의 수벽높이가 일반층과 다르게 계획되어 있었다. 그리고 입면계획을 위하여 33층의 외부기둥이 100mm 셋백(set back) 되는 부분이 존재하였다. 이로 인해 거푸집 보완작업으로 공기에 대한 손실이 불가피하다. 연중 비작업일수는 비, 눈, 폭한기, 휴일 등을 고려한 결과 2001년부터 2004년까지 연중 평균 비작업일수는 약 77일로 계산되었다(그림 7).

3.2.2 기준층 골조공사 사이클

초고층 건축물의 골조공사 기간 산정을 위해서는 코어선행 여부, 양중장비, 콘크리트타설 계획 등 종합적으로 고려하여야 요인이 많다. 당 현장에서는 당초 코어선행공법을 검토하였으나 양중장비의 가동률 및 현장여건 등을 고려하여 동시타설공법으로 결정하였으며 기준층을 2개 존(zone)으로 구분하고 기준층 골조공사 사이클을 4일 사이클로 시공하였다. 골조공사 기간의 추가적인 단축을 위하여 3일 사이클과도 비교 분석을 실시하였으나 마감공사, 외장공사 등 후속공정 진행속도 및 협력업체 등 현장운영상의 문제로 인하여 몇 개 층만을 시범적으로 3일 사이클을 수행하였다. 슬래브 거푸집의 조기탈형을 고려하여 콘크리트강도는 초기강도 발현이 빠른 35 MPa로 설계하였다.

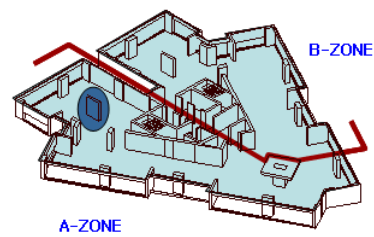
1) Zoning 및 골조물량 분석

한 개 동을 2개 존(zone)으로 구분하여 하루의 시차를 두고 골조공사를 순차적으로 진행하였다. Zoning시 작업소요 시간을

계산하기 위하여 1개 존의 골조물량 및 투입되는 타워(tower) 시간 등에 대한 면밀한 검토가 필요하다(그림 8, 표 2).

2) 3일과 4일 사이클 비교

한 개 층의 골조공사 사이클을 3일과 4일로 비교한 결과 102동의 경우 약 1.5개월 정도 골조기간을 단축시킬 수 있었다(표 3~5). 공기단축을 위하여 고려해야할 요소는 여러 가지가 있으나 가장 핵심적인 요소 슬래브 거푸집 체계를 위해서는 콘크리트의 조기강도 확보 여부가 관건이다. 본 프로젝트의 경우는 슬래브 강도를 35 MPa로 설계하였고, 조기강도 확보를 위하여 조강제 혼



구분	거푸집(M2)	철근(ton)	콘크리트(M3)
A zone	기둥/옹벽	1,084	23
	보/슬라브	952	25
	합계	2,000	48
B zone	기둥/옹벽	835	19
	보/슬라브	774	21
	합계	1,609	40

그림 8. 102동 zoning 계획 및 존 별 골조물량 집계표

표 2. 타워 크레인 투입 시간 분석표

일별	A zone							일별	B zone							총시간 합계	
	구분	h/회	단위	수량/회	총수량	인양회수	인양시간		구분	h/회	단위	수량/회	총수량	인양회수	인양시간		
1 일 차	옹벽철근	15분	톤	1.8	8	4	1.1	3 일 차	슬래브 철근	15분	톤	1.8	11	6	1.5	3.2	7.6
	기둥 FRE-FAB	15분	회	1.0	14	7	2.3		PO계단인양	20분	회	1.0	2	2	0.7		
	기타공사(철근)	10분	회	1.0	6	6	1.0		기타공사(설비,전기)	10분	회	1.0	6	6	1.0		
	총 시간						4.4		총 시간								
2 일 차	테이블 폼	10분	회	1.0	29	29	4.8	4 일 차	콘크리트 타설								
	슬래브 철근	15분	톤	1.8	10	6	1.4		기타공사(타설용차재)	10분	회	1.0	6	6	1.0		
	기타공사(동바리)	10분	회	1.0	16	16	2.7		총 시간						1.0	9.9	
	총 시간						8.9		총 시간								
3 일 차	슬래브 철근	15분	회	1.8	15	8	2.1	1 일 차	옹벽철근	15분	톤	1.8	8	4	1.1	6.1	9.9
	PO계단인양	20분	회	1.0	2	2	0.7		기둥 FRE-FAB	20분	회	1.0	12	12	4.0		
	기타공사(설비,전기)	10분	회	1.0	6	6	1.0		기타공사(철근)	10분	회	1.0	6	6	1.0		
	총 시간						3.8		총 시간								
4 일 차	콘크리트 타설							2 일 차	테이블 폼	10분	회	1.0	24	24	4.0	8.1	9.1
	기타공사(타설용차재)	10분	회	1.0	6	6	1.0		슬래브 철근	15분	톤	1.8	10	6	1.4		
	총 시간						1.0		기타공사(동바리)	10분	회	1.0	16	16	2.7		
	총 시간						1.0		총 시간								

표 3. 3일과 4일 골조공사 기간 분석표

구분	3 일	4 일	차일
실작업일수	201일	232일	31일
작업불가일수	67일	81일	14일
전체공정일	268일	313일	45일

\*기준층 2층부터 공정시작  
-기준층 2층 시공예상일 : 2006-05-01, -Loss일 포함  
-일요일은 Loss일에 제외(작업일에 포함)

표 4. 기준층 골조공사 사이클(4일)

구분	공정	작업명	4 DAY CYCLE							
			D+1일		D+2일		D+3일		D+4일	
			AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
"A" ZONE	철근	철근인양								
		기둥,옹벽철근조립								
	거푸집	슬래브 철근 조립								
		측량 및 막배김								
		외부ACS/경품 인양								
		기둥,옹벽 형틀 조립								
		BOX Form 인양								
기타	PC 계단 인양									
	슬래브 설치 (Table Form)									
콘크리트	설비, 전기 배입물설치									
	타설 및 양생									

표 5. 기준층 골조공사 사이클(3일)

구분	공정	작업명	3 DAY CYCLE								
			D+1일			D+2일			D+3일		
			AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	
"A" ZONE	철근	옹벽/기둥철근인양 및 배근									
		기둥철근 조립									
		Slab 철근 인양 및 배근									
	거푸집	ACS인양 및 설치									
		기둥형틀 설치									
		계단폼 인양									
		CORE 폼벽 형틀 조립									
		SLAB 동바리 인양									
		SLAB Table Form 인양									
		형틀 마무리									
기타	전기, 설비물 배입물 설치										
콘크리트	검측 및 설치 타설 및 양생										

합 및 동절기 내외부 보온공사(heating/system)를 실시하였다.

3.2.3 폼 시스템(form system)

1) 슬래브 및 외부 폼 : 테이블 폼+ ACS 공법 적용  
콘크리트의 거푸집 탈형강도 확보 및 작업의 효율성을 고려하여 3개 층 테이블 폼을 사용하였고 A 존 29개 단위, B 존 24개 단위로 계획하였으며 외부 폼은 ACS 폼 21개의 단위로 계획하였다<그림 9, 10>. 세대 내 기둥하부에 설계된 드롭패널(drop panel) 부위(1개소)는 AL 폼을 설치하였다.

2) 내부 벽체 및 기둥 : AL 폼 적용<그림 11>

3) 엘리베이터 및 계단실

엘리베이터 PIT와 내부 계단실 폼은 강 박스 폼(steel box form)을 적용하였으며, 내부 계단부위는 옹벽을 선시공하고 계단부위는 halfen box에 의한 철근시공으로 1개 층 후속으로 시공하였다<그림 12>.

3.2.4 기타

본 프로젝트는 도심지공사이면서 초고층공사이기 때문에 가설계획 등이 복잡하고 또한 현장 부지가 협소하여 철근가공은 공장가공을 실시하였고<그림 13> 이므로 인하여 철근가공의 품질 향상 및 원가절감 효과를 기대 할 수 있었다. 기둥철근은 PREFAB공법(현장조립)을 적용하여 기둥 2~3개 층 선 조립하여 시공하였다.

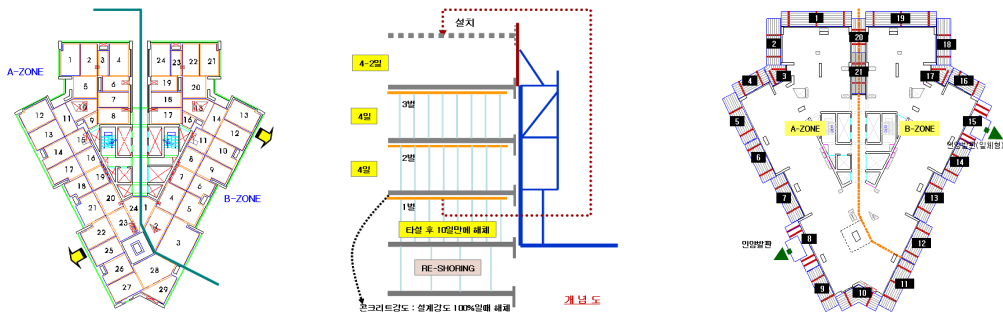


그림 9. 테이블 폼 및 ACS 폼 계획도



그림 10. 테이블 폼 및 ACS 설치 사진

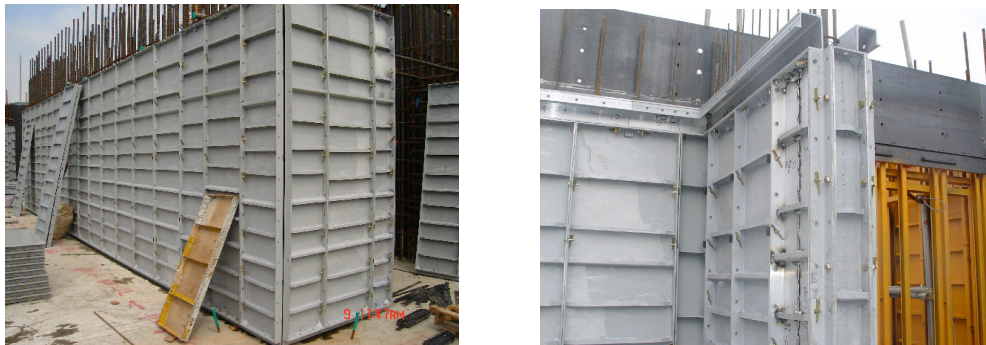


그림 11. 내부벽체 AL 폼 설치 사진

#### 4. 맺음말

공동주택 구조 형식은 과거에는 내력 벽식 구조로 적용하는 것이 일반적이었으나 거주자 수요의 다양화에 대응할 수 있는 가변형 평면 구현 및 정부 주택정책 변화 등으로 최근들어 기동식 구조로 설계, 시공하는 사례가 증가하고 있다. 지금까지는

주로 초고층 주상복합 건축물을 중심으로 기동식 구조(무량관)가 일반적으로 적용되었으나 현대건설에서는 일반 공동주택에도 무량관 구조를 적용하여 분양, 시공하고 있다. 그러나 공동주택의 경우 기동식 무량관 구조의 시공사례가 많지 않기 때문에 현장관리자, 작업자 모두 무량관 구조, 특히 슬래브 배근 방법 등에 대한 시공경험 부족으로 철근가공 및 배근 소요시간이

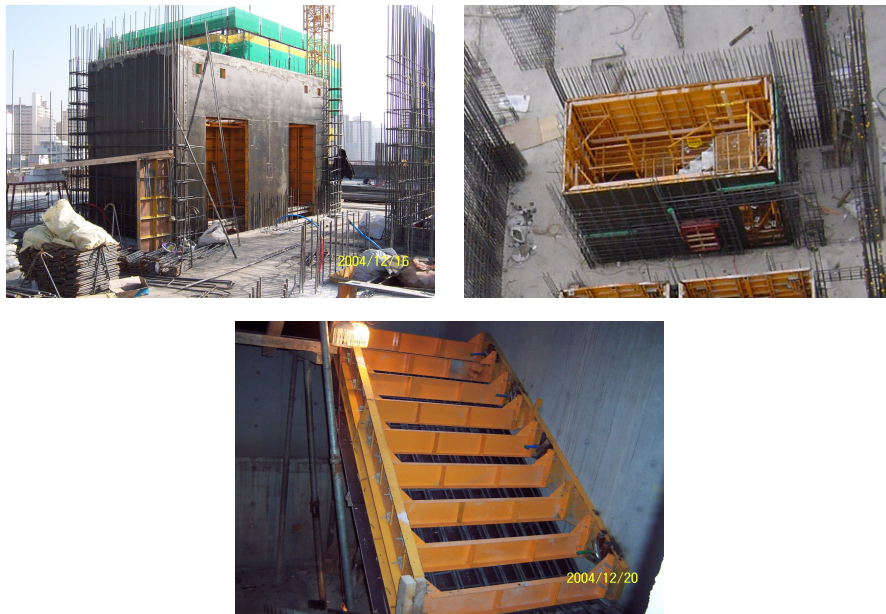


그림 12. 엘리베이터 및 계단실 폼 설치 사진

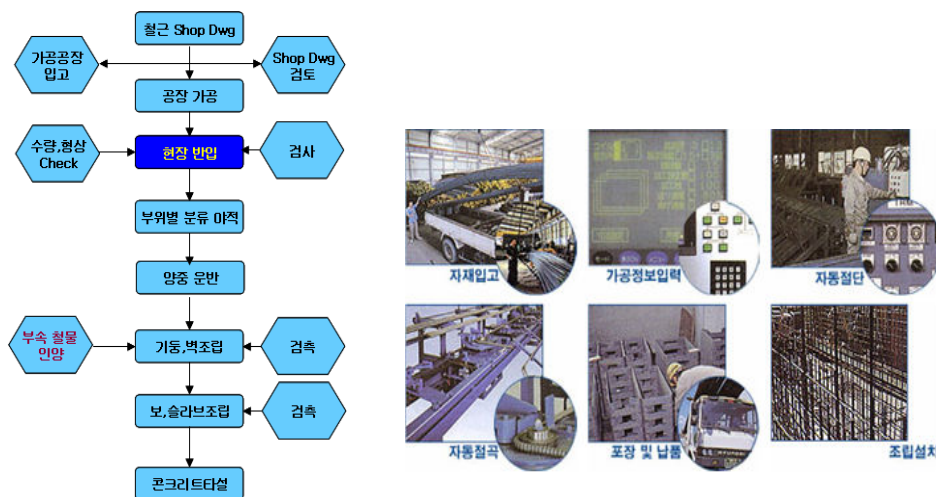


그림 13. 철근의 공장가공 절차도 및 관련 사진

초기에는 오래 걸리는 것이 현실이다. 또한 거푸집 시스템도 기존 내력 벽식 구조와 동일한 방법으로 시공하고 있다. 그러나 일반 공동주택의 무량관 구조에 대한 인식의 폭이 넓어지고 설계 및 시공기술이 보편화되고 또한 후분양제 시행, 기능인력 부족 등에 대비하여 골조공기를 단축시키기 위하여 거푸집 시스템, 철근배근 공법, 평면계획 등 다양한 연구가 수행될 것으로 생각된다.

주상복합을 중심으로 일반화되어 있는 초고층 무량관 구조의 시공에 필요한 공법, 요소기술에 대한 발전 및 인식의 폭도 넓

어지고 있는 것이 현실이다. 향후에는 초고층건축 설계 및 시공기술이 축적되어 많은 발전이 있으리라 기대하며 현시점에서 보다 계획적이고 고품질의 시공을 위해서 설계초기단계부터 건축계획, 구조설계, 공법등과 연계하여 거푸집계획, 양중계획, 공정관리계획 등 종합적인 공사관리에 대한 사전계획이 충분한 경험과 지식을 바탕으로 정확하게 수립되어야 하며, 또한 실제 시공현장에서 발생한 문제점들을 개선하고자 하는 적극적인 엔지니어의 마인드가 필요하며 또한 설계자와의 지속적인 피드백이 필요하다고 생각한다. □