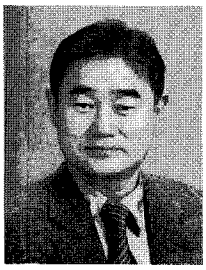
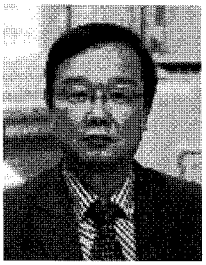
골조공사비 절감을 위한 공기단축의 요소 기술 및 시공기술 개발 방향



손 영 진
㈜콘스텍
대표이사



김 재 준
한양대학교
건축공학부 교수

들어가며

자본력이 열악한 후진 개발도상국들이 자국 기업의 육성을 위하여 국민의 희생을 강요하는 선 분양제도를 이미 세계 10대 경제력을 보유하고 있는 우리나라가 아직 이 제도를 시행하고 있는 점은 현재 엄청난 모순과 부작용을 우리사회에 일으키고 있는 원인이 되고 있다.

그 이유로 선 분양제도가 시행사로서는 상거래 질서 유지의 기본인 정상 투자에 의한 상품 생산 판매가 아닌 소위 말뚝만 박아 놓고 분양해서 남의 돈으로 집을 지어 이윤을 챙기는 결과를 가져왔고, 이는 사업 타당성 검토(Feasibility Study)결과에 의한 금융 차입(Construction Loan)을 통해서 시공 후 분양이라는 정상 절차가 없이 이루어 짐으로서 모든 위험 부담 등을 소비자에게 전가시킨 현상이며, 다른 한편으로 소비자에게는 미래 가치 증대에 대한 기대 심리 유발로 가 수요를 일으켜 투기 촉발의 근원으로 악용되게 된 것이다.

만시지탄으로 금년부터 공기업 발주 부분부터 후 분양을 실시한다고 하니 그나마 경제 질서 정의 실천이라는 측면에서 큰 다행이라고 생각되나 아직 민수 부분에 대한 적용이 늦어 지고 있는 것은 건설사 측면에서의 보다 향상된 기술 개발 유도 와 향후 재건축 발생 근원을 처치하기 위해서도 후 분양제 동참 유도가 시급히 필요한 시점이다.

1. 공기 단축의 필요성 및 건축골조공사의 당면과제

최근 공기단축에 대한 회자는 많이 되고 있으나 실제 시공사 입장에서는 그 필요성을 느끼지 못하고 있다는 점이다. 그 이유는 앞서 언급한대로 선 분양제로 인하여 금융비용에 대한 부담을 분양자인 국민들이 부담을 하고 있기에 절감의 필요성이 없기 때문이다. 단지 최근 리모델링법의 제정으로 용적률 인세티브(Incentive)에 의한 동기 부여로 인하여 개방형 무량판 슬래브 구조(Support & Infill구조)로의 변화는 이루어 질 것으로 예상되나 과연 공기 단축에 대한 의지가 발현이 될 수 있을 지는 대형 건설사가 아닌 일반 중소 건설사들에게 까지 리모델링 구조 유도 만으로 공기단축 기술 개발에 영향을 미치기에는 다소 역부족이 될 것으로 예상된다.

사진 1. 라스베가스 Stardust Hotel Remodeling현장

1.1 공기적인 측면에서 비교 시 기회손실

표1 에서 나타난 바와 같이 우리나라의 건설공사 기간의 실상은 최소 2배 이상의 기간이 소요되고 있는 점이 파악되고 있다는 것이다. 산술적 계산을 하더라도 30층의 건물을 예로 든다면 최소 15개월 이상의 공기를 더 많이 소요하고 있다고 볼 수 있으며 이에 대한 금융비용과 현장관리비를 계산한다면 국내의 공사비가 약4~5%를 추가 투입하고 있다고 볼 수 있다. 또한 미국의 경우와 비교 시 같은 기간에 동일 규모의 공사를 최소 2개를 연속 사업할 수 있는 사항인 바 금융비용에 대한 추가 부

담 이외에도 사업의 이익 율을 동일 기간 내에서 2배로 창출할 수 있는 기회까지 상실하고 있어 기업의 기회 이윤조차 놓치고 있는 실정이다.

표 1. Phil. Calvert외2004.0

구분		미국	일본	한국
층당건축소요일수	최소	10.5일	15.0일	29.0일
	최대	16.9일	36.9일	35.0일
	편차(최소-최대)	6.4일	21.9일	6.0일

1.2 구조 설계의 변화 필요

현재의 우리나라의 주거 형태는 공동 주택인 아파트가 주종을 이루고 있으나 아파트의 구조 형식이 가변 및 확장이 불가한 벽식 구조로 설계 시공되어 왔음에 따라 최근 오래된 아파트 보유자들은 현 생활에 맞게 리모델링의 불가한 점을 이유로 자기 자본의 투자 없이 엄청난 부를 취득할 수 있는 재건축을 고집하고 있어 소위 부동산 투기라는 사회적인 문제를 안고 있다. 그러나 더욱 큰 문제는 현재까지 일어난 현상에 대한 걱정은 추후에 하더라도 지금 현재에도 벽식 구조로 계속 설계 시공이 되고 있다는 점이다. 벽식 구조는 향후 리모델링이 불가하다는 문제 이외에도 시공상에서 공기는 현재 보다 단축 될 수 있는 여지가 사실상 불가하며 그 대책이 결국 Open Housing Support구조인 것이다. 특히 무량판 구조는 골조공사비 측면에서도 벽식 구조 대비 약 20% 정도가 절감됨[1]은 물론 공기 단축을 할 수 있는 근간이 될 수 있기 때문이다.

특히 주상복합의 경우에는 1개 동의 건물을 보더라도 현재는 최소 3가지 이상의 구조 형식을 적용하고 있으나 가능한 1가지 유형으로 적용하고 부득이 그 이상을 적용시는 유사 형식을 적용토록 함으로서 공사 도중 시공 방법 변경으로 발생될 아이들 타임(Idle Time)을 줄일 수 있도록 하여야 할 것이다. 또한 라멘조의 경우에도 기둥 및 보의 크기를 규격화하며 층변화에 따른 규격 변화를 줄이는 것은 재료비 추가 부담보다 시공비가 우리 실정에서는 훨씬 크다는 점에 유의해야 할 것이다.

1.3 획일적인 건물 외관의 변화 필요

한편으로 우리나라의 아파트 또는 주상복합 등의 고층 건물 대부분들이 외부마감을 노출 콘크리트 마감으로 되어 설계 시공되어 있으며 사각형 또는 일명 저고리 형상의 와이(Y)형의 단조로운 형상 디자인으로 일관되어 도시 건축미관 확보에 한계를 드러내고 있다. 그 원인으로서 외부를 커튼 월 적용 시 골조 공사비부터 상당한 증가가 일어남에 따라 외부를 콘크리트로 처리 함으로서 공사비를 줄이겠다는 의도이나, 추후 리모델링시의 문제와 도시 미관적으로도 너무나 획일적임에 따라 다양한 평면 개발로 아름다운 건축물에 의한 도시 미관이 되도록 유도가 되어야 할 것이다. 이에 대한 대책이 건물의 다양성을 표현 할 수 있으며 가장 경제적인 재료로서 이미 선진국에서 널리 적용되고 있는 건축 외부 마감용 프리캐스트 콘크리트 판넬(Architectural Precast Concrete Panel)의 개발 적용이 시급한 실정이다. 그러나 벽식 구조에 적응해온 건설 환경이 외부 건축 마감 프리캐스트 콘크리트 판넬의 개발은 과거 아픈 기억으로 인하여 전혀 고려 조차해 온 적이 없었기에 오늘의 현실을 가져왔다고 볼 수 있다. 이는 시공성에 대한 고려가 없는 구조물의 설계가 일반화되어 온 원인이 되기도 하다.

1.4 골조공사의 일괄하도급 시스템의 변화

IMF이후 우리나라의 건축공사가 대형화되고 있으며 골조공사 기간은 주 공정(Critical Path)에 해당되며 그 중에서도 형틀공사가 주 공정에 해당된다. 현재 하도급 발주 방법은 설계와 시공에 대한 제안서를 받지 않고 물량에 의한 최저 금액 하도급 입찰이 일반화되어 있음에 따라 재래식 시공입찰이 될 수 밖에 없게 되어 있어 원청사에서는 다양한 골조 시공 방법 특히 가설엔지니어링에 대한 기술력 확보의 기회를 상실하게 된 것이다.

미국 특히 라스베이거스 지역을 예로 보면 원청사는 다른 공사들에 대하여는 100%하도급을 주고 있으나 골조 공사 중에서 형틀공사와 콘크리트 공사에 대하여는 원청사의 기술자들이 골조공사 계획을 직접 세워 노동조합으로부터 인원을 받아서 직접 시공을 하고 있다. 물론 철근 공사는 하도급으로 하고 있다. 그 이유는 주 공정에 대하여 직접 책임 시공을 통하여 공기관리를 함으로서 하도 관리로 일어날 수 있는 추후 기회 손실을 처음부터 막겠다는 의도인 것이다. 이런 제도에 따라 북미지역 기술자들의 가설 엔지니어링에 대한 기술 축적은 이미 상당한 위치에 도달되어 있으며 가장 경제적인 방법에 의한 설계 및 시공을 하고 있는 것이다. 그러므로 우리나라에서도 이에 상응하는 가설엔지니어를 양성할 수 있는 제도적 장치 및 교육제도가 시급한 실정이다.

1.5 생산성 대비 노무비 상승 심화

우리나라의 노무비의 수준은 북미 시장대비 약 70%에 육박하나 인당 생산성 대비 시는 아직 2~3배가 떨어 지고 있다. 하물며 동남아 국가 대비에서도 인당 생산성대비

1) 정주현, 가변성능향상을 위한 Support구조형식 연구,, 대한건축학회논문집, 2006년 7월.

인건비 역시 높은 것이 현실이다. 이는 우리나라가 생산성 대비 인건비가 세계에서 가장 높은 나라 인 것이다.

더불어 골조 공사는 신규 인력 충원 기피 업종으로 인하여 노령화와 함께 인력 부족 현상은 상당히 심화되어 있어 제 3국 인력으로 대체하고 있는 실정이다.

한편으로 최근 건설 노조가 확산되고 있어 그나마 일하는 시간까지 8시간으로 줄어들 경우를 상정 시 그 심각성은 더욱 심화될 것으로 예상된다.

이에 대한 대책은 결국 설계에서부터 장비에 의한 기계화 시공을 전제로 준비가 되어야 하며 인력 투입이 적은 시스템 거푸집 사용을 일반화할 수 있는 길을 열어야 할 것이다.

1.6 공기단축에 대한 필요성 인식 결여

그 동안 우리나라는 선 분양제도를 적용해옴에 따라 금융비용에 대한 절감에 대한 혜택이 시공 사에게는 없었다는 점이다. 분양대금 지급일정을 감안하여 시공만 하면 됨에 따라 구태여 공기 단축을 하더라도 오히려 시공 사로서는 지정된 수금 일정 대비 시 역 부담을 안게 되기 때문이다. 그러나 후 분양제도 실시 시는 건설비용이 시행사에서 선 투입됨에 따라 공기의 길고 짧음에 따른 비용의 차이가 엄청남에 따라 기업의 이윤추구 측면에서 새로운 기술 개발의 시도가 자발적으로 일어날 것으로 예상되므로 민간부문에서의 후 분양제도 도입은 시급한 실정이다.

현재 정부에서 민간부문에서 도입을 주저하는 것은 중소 건설업체들의 자금력 부족을 들고 있으나 모기지론의 활성화가 이루어진다면 분양은 생활 환경여건에 좌우될 것이며 건설비용은 우리나라의 건설금융제도가 이미 다양한 상품 개발과 함께 세계적인 수준에 이러고 있기에 사업의 타당성 있을 경우 우수 기술을 확보한 중소업체들에게는 오히려 기회가 될 수 있다고 본다.

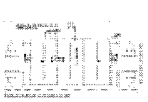
2. 외국 사례를 통한 공기 단축 공법 소개

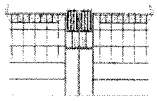
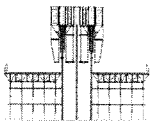
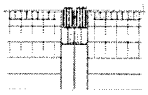
이와 같은 우리나라의 여건과 달리 북미 지역을 본다면 이미 저층과 고층의 구분 없이 모든 골조 공사가 3~4 Day Cycle이 일반화되어 있음은 물론 무량판 구조를 포스트 텐션 시공이 최근 추세에 이를 정도로 많은 발전을 하고 있는 점에 우리는 주목해야 할 것이다. 표2에서 나타난 바와 같이 노조의 입김이 강하여 재래식 방법 시공하는 뉴욕을 포함해서 보더라도 층당 골조공기는 우리나라와 현격히 차이가 난다.

표 2. 국가별 RC구조골조공사기준층 Cycle 비교

국가 (지역)	구조형식	주요요소기술	층당 공기
미국 (뉴욕)	Flat Plate	재래식거푸집2.25벌사용 동바리(Shoring) 기법 고강도콘크리트	2일
미국 (시카고)	Flat Plate	코어3개층선행공법(ACS) VH 분리타설(Table Form & Column Form)& 고강도콘크리트& 조강콘크리트& 슬래브 Post-tension	3~4일
미국& (라스베가스)	Flat Plate	코어선행공법(ACS-Hanging Rollback System)& 1개층 L형타설& VH 분리타설& (Table Form & Column Form)& 고강도콘크리트& 조강콘크리트& Slab Post-tension	3~4일
캐나다& (토론토)	벽식구조& (세대간벽, 코어)	주동부및코아동시작업& VH분리타설& Table form & Ganged Wall form)& 고성능콘크리트& 슬래브조강콘크리트	3일
일본	라멘구조	PC, Half PC& 고강도콘크리트	6일
한국& (초고층 건물)	RC Core + Flat Plate	코어선행공법(ACS)& Deck form or Table form & 고강도콘크리트	4일
한국& (일반아파트)	벽식구조& (세대내부, 외벽포함)	Hand-set Form(내벽)& GCS (외벽)& 일반콘크리트	6~8일

표 3. 사례현장별비교

구분	Park view Tower	340 Randolph	The MET
공사개요	지상 12층 157세대	지상 65층 지하 6층	지상 43층 387세대
구조평면			
바닥면적	1,250㎡	1250㎡	746㎡
기준층 골조공기	3일	3일	2.5일
골조 시공방식	3 Zoning 수직. 수평분리타설	2 Zoning 수직. 수평분리타설	- 수직. 수평분리타설

콘크리트 계획	벽체 35 MPa 슬래브 25 MPa 조강제적용	수직체 80 MPa 슬래브 35 MPa 조강제적용	벽체 50 MPa 슬래브 30 MPa 조강제적용
주요공법	Table form 대형벽체거푸집	Table form ACS (HRB) Post-Tension	Table form 대형벽체거푸집
콘크리트 타설	벽체버킷 슬래브버킷	CPB 및버킷	벽체버킷 슬래브펌프카
슬래브탈형	36시간	36시간	36시간
시공입면			
기타	계단 PC	계단 PC	계단 PC

2.1 Park view tower, Toronto, Canada.

지상 12층, 2개동 157세대 규모로 국내 일반 판상형 아파트와 유사한 평면을 가진 현장이다. 구조형식은 철근콘크리트 벽식 구조이며, 골조공사 기준 층 공정은 3일로 시공하고 있다.

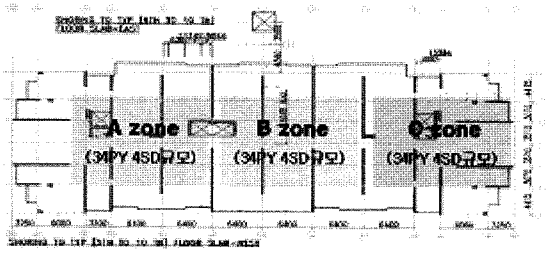


그림 1. 기준층 구조평면도

먼저 단위 구조평면을 살펴보면 테이블 폼 등의 대형 거푸집의 적용이 용이하도록 세대 간 벽체를 제외한 건물의 외부를 개방형으로 설계하였고, 벽체를 서로 평행하게 일방향으로 배치하였다.(그림 1) 콘크리트는 설계강도를 벽체 35MPa, 슬래브 25MPa로 국내 일반아파트보다 고강도를 적용 하였으며, 거푸집 탈형을 위한 조기강도확보를 위해 조강용 혼화제를 배합설계 시 반영하였다. 타워크레인은 동당 1대씩 배치 운용 하고 있으며 현장 관리인원은 2명이었다.

기준층 단위 공정 계획은 1동을 기준으로 전체 바닥을 단위시 공물량을 고려하여3개의 Zone으로 구분하고 골조시공방식은 수직.수평 분리 타설 방식을 채택하였다. 슬래브 거푸집은1개 층 분량을, 벽체 거푸집은 1/3개 층 분량으로 회전하여 사용하고 있다. T/C은 1개동 당 1대를 배치하였고 오전에는 거푸집 해체 및 설치 작업을, 오후에는 슬래브 및 벽체 콘크리트 타설하는 것으로 운용하고 있다. 철근 공종의 경우는 T/C양중 부하를 감안하여 상부 층 자재인양 후 현장에서 인력 배근하는 것으로 계획하였다.(표4) 콘크리트 타설은 슬래브와 벽체 모두 대형 버킷(2m3)을 이용하여 타설하고 있다.

표 4. 기준층공정표

Zone	시간별	1일차	2일차	3일차
A	07	Wall form 해체 (C-zone으로 이동설치) 아래층Table form 인양설치 철근,기전작업 계단설치	잔여철근마무리 CoreShaft Form 인양 Concrete 타설 타설방법 : 버킷 먹메김	Wall Form설치 철근설치 Concrete 타설 타설방법 : 버킷
	09			
	11			
	13			
	15			
B	07	잔여철근마무리 Core Shaft Form 인양 Concrete 타설 타설방법 : 버킷 먹메김	Wall Form설치 철근설치 Concrete 타설	Wall Form 해체 (B-zone으로이동설치) 아래층 Table form인양설치 철근,기전작업 계단설치
	09			
	11			
	13			
	15			
C	07	Wall Form설치 철근설치 Concrete 타설 타설방법 : 버킷	Wall Form 해체 (A-zone으로 이동설치) 아래층 Table form인양설치 철근,기전작업 계단설치	잔여철근마무리 CoreShaft Form 인양 Concrete 타설 타설방법 : 버킷, 먹메김
	09			
	11			
	13			
	15			

2.2 340 East Randolph, Chicago.

지상 63층, 지하 6층 규모로 구조설계로서 8m이상의 장Span적용으로 슬래브에 포스트 텐션을 적용하여 공간활용에 유리하게 하고 있으며 철근 작업량이 절감시켰다. 코어(Core Wall)는 ACS를 적용 주동부 대비3개층 선행 작업을 하며 수직 수평은 분리 작업을 하고 있다. 슬래브 포스트 텐션으로 인하여 36시간 양생 후 긴장 작업을 위하여 플라잉 테이블 거푸집(Flying Truss Table Form)을 2개층 분을 적용하여 작업 함으로서 3일 골조공정을 유지하고 있다. 슬래브 콘크리트는 36시간 이후 탈형이 가능한 조강콘크리트를 적용하고 있으며 동절기 보양의 경우는7℃정도에도 거푸집 단열, 외부 보양 막 설치, 내부 열풍기 가동으로 거푸집 탈형 강도를 확보하기 위해 콘크리트 양생온도를 관리하고 있다는 것이다.

2.3 The MET, Toronto, Canada.

지상 43층, 1개동 387세대 규모로 구조평면은 탑상형의 벽식 구조이고, 테이블 폼의 적용이 용이하도록 설계

되어있다. 콘크리트는 벽체, 슬래브 모두 국내 일반아파트 보다 고강도를 적용하였으며, 조강 혼화제를 배합설계 시 반영하였다.

기준 층 단위공정계획은 Zone구분 없이 수직. 수평 분리 타설 방식을 채택하였다. 슬래브와 벽체 거푸집은 각각 1개 층 분량을 사용하였으며, 대형 벽체거푸집의 경우는 탈형 과 동시에 지상 1층으로 하강한 후 추후 상부 층 시공 시 다시 인양 설치하는 방식으로 시공하고 콘크리트의 경우도 벽은 버킷(Bucket)으로 슬래브는 펌프카를 이용하여 타설하고 있으며 현장 공정은 주 5일 작업기준으로 매주 2개층 작업으로서 사실상2.5일 공정을 유지하고 있다. 작업인원 운용 분석에서는 국내 유사규모 현장과 비교하여 생산성이 상당히 높은 것으로 나타났다.

3. 골조공사 층당 공기단축을 위한 핵심 요소 기술

3.1 시공성을 고려한 구조계획

3.1.1 구조평면의 단순화

국내에서는 설계관리의 개념이 없거나 아주 희박하여, 설계관리를 설계일정 관리나 설계업체 관리 정도로 파악하고 있는 경우가 허다하다. 전체 프로젝트의 원가, 공기, 품질 등이 결정되는 사업 초기 설계 전 단계와 설계 단계에서의 설계 관리 (Design management)기능이 매우 중요한 요소로 대두된다.(김종훈 2004). 골조 공사의 공기 단축을 위한 선결과제로서 구조의 단순화(single frame)는 필수적이며(주6), 조사대상 현장의 경우도 구조 평면을 분석하면 세대 간 벽체를 제외한 건물의 외부를 개방형으로 설계하였고, 세대간 벽체가 있을 경우를 서로 평행하게 일방향으로 배치 함으로서 함으로써 테이블 폼 등의 대형 거푸집의 적용이 용이한 구조를 채택하고 있으며 340Est Randolf의 경우도 개방형 Support & Infill구조인 수직적으로 저층부 고층부 구분 없이 단일 구조 시스템 적용하였으며 벽체, 기둥 등 수직 부재의 위치와 규격을 동일화 하고 있다.

이러한 구조평면의 단순화는 가설 및 거푸집 전용성의 극대화와 반복 시공에 의한 작업자의 학습효과를 증진을 기대할 수 있다. 최근 국내 아파트의 평면구조도 전통적인 벽식 구조에서 가변성과 리모델링 향상성을 고려한 단순화된 평면구조를 제안되고 있으며[2] 시공성을 추가적으로 고려한 구조계획이 이루어 져야 할 것이다.

또한 기둥 이나 보의 규격을 동일하게 설계 토록 하는 것이 재료비 추가 투입 비용 보다 시공 도중에 변화로 인한 수정 작업으로 인한 작업 일정 지연은 물론 시공비가 훨씬 증가한다는 점에 유의해야 할 것이다. 라멘조의 경우 보의 규격이 변화되어야 한다면 보폭에 의한 수정이 되게 설계되어야 하며 보의 깊이는 전체 건물이 동일하게 하는 것이 유리하다.

대개 설계자는 재료비를 가능한 줄이기 위하여 노력하고 있다. 그러나 재료비를 줄이는 것이 경제적인 설계가 되지 못한다는 사실은 형틀시공비가 차지하는 비중이 높으므로 시공성을 우선 고려 대상이라는 점에 그 역할을 하여야 할 것이며 반복된 모듈의 설계 유도해야 하며 구조의 불규칙 변화는 피해야 할 사항이다.[3]

한편으로 국내는 주요 구조 부분을 복합화로 설계하는 경향이 있으나 이 역시 발상의 전환이 있어야 될 것이다. 복합화란 순환 공정 관리상에서 작업시간 지연이 발생하는 부위를 현타 콘크리트가 아닌 다른 재료로 처리 후속 공정으로 배치 함으로서 콘크리트 골조 공사가 빨리 이루어 지도록 해야 하며 그 근본이 골조 공기단축 및 공사비 절감의 개념으로 접근해야 하며 콘크리트 골조가 어느 다른 구조보다 경제적이며 빠른 방법이란 점을 인식하여야 할 것이다.

3.1.2 건축 외장마감 프리케스트 판넬 적용

벽식 구조를 적용 재래식 시공이 일반화됨에 따라 국내는 외부 수벽, 간벽 파라펫 (Parapet)등의 비용을 절감하겠다는 이유로 습식 콘크리트로 시공하고 페인트 마감으로 처리가 만연되어 대부분의 건물들이 개방형이 아닌 막힘형 구조로 설계 시공이 되어왔다. 그러나 이를 습식으로 처리함에 따라 주 공정에서 상당한 시간과 비용이 소요되고 있으며 실제 실 크랙(Hair Crack)등으로 인하여 누수 문제와 추후 리모델링의 불가 등의 문제를 안고 있으나 개방형의 장점에 대한 인식을 하고 있으면서도 비용 추가 부담으로 인하여 커턴 월(Curtain Wall)등의 다른 대안에 대한 접목을 시도하지 않았던 것이다.

그러나 이제 공기단축에 대한 고려를 키워드가 되고 있는 이즈음에서 공기 관리적인 측면에서 주 공정에 속하는 이 부분을 알루미늄 커턴월 보다 경제적이며 다양한 형상을 표현 해 낼 수 있는 즉 건축 외장 마감용 프리캐스트 판넬 (Architectural Precast concrete Panel)을 적용하고 이를 후속 공정으로 조정함으로서 주 공정의 물량이 줄어 들게 함은 물론 시스템 거푸집을 적용할 수 있는 여건으로서 3~4Day Cycle운용이 가능하게 된다. 이 경우에는 외부를 설치되는 옹벽용 거푸집의 필요성이 없어지므로 비용 절감의 효과도 가져오게 된다.

한편으로 이미 북미 지역에서는 이미 건축 외장 마감

2) H 건설사 조사보고서에 따르면, 국내대비 166% 생산성 향상이 있는 것으로 분석함. 서울대학교, "국내 건설공사 공사기간 분석 연구", 2005. 12

3) 양지수 외,"판상형 무량판 아파트 시스템 개발 및 적용", 대한건축학회창립 60주년 기념자료집, 2005.10

프리캐스트(Architectural Precast)는 구조 프리캐스트(Structural Precast)와 별도의 시방으로 분리되어 다양한 형상으로 개발 표현되고 있다.

3.1.3 플라잉 테이블 폼(Flying Table Form)적용 고려

국내는 벽식 구조 아파트가 일반화됨에 따라 형틀공사가 많은 인력을 요구하는 유로폼등의 핸드 셋트(Handset Form)형태의 거푸집이 일반화 됨으로서 구조적으로 체계적인 시공기법의 원천 기술인 시스템 거푸집에 대한 기술 습득의 기회를 잃어버렸다. 이제 앞에서 본 바와 같이 방문 현장의 경우 골조공사의 3~4일층당 순환 공정(Cycle) 관리를 위하여는 제한된 건물 공간 내에서 효과적인 공정관리를 위하여 최대한 적은 인력으로 최대의 생산성을 높일 수 있는 방법이 시스템 거푸집을 적용하는 것이다. 특히 바닥판 거푸집의 경우에는 플라잉 테이블 폼을 사용하도록 권장되고 있다[4)]

테이블 폼에는 대개 2가지로 분류되는 데 동바리형 테이블(그림 4)과 트러스형 테이블(Truss Table Form)로 구분이 되는데 고층부 공사를 위하여는 플라잉형을 요구하는데 여기에 적합한 형식의 거푸집이 플라잉 트러스 테이블(Flying Truss Table)인 것이다(그림 3). 그 이유는 트러스가 구조상 슬래브 하중을 지켜주는 지지 기점으로부터 바깥 부위의 처짐을 지켜주며 작업 안전 발판 및 안전 난간대가 일체화되어 있기 때문이다.

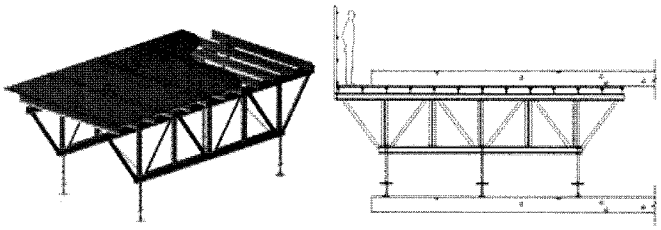


그림 3.

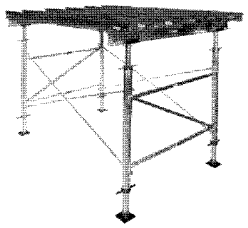


그림 4.

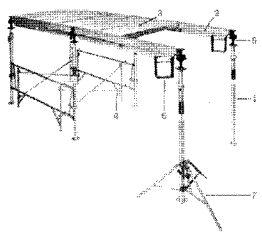


그림 5.

최근 알려진 바와 같이 두바이의 경우 거의 모든 고층 건물 공사에는 트러스형 테이블을 사용하고 있는 이유는 여기에 있다.

현재 국내에서는 바닥거푸집의 경우, 구조 평면의 형상을 고려하여 인력작업에 의한 모듈러 바닥 거푸집(그림5)을 많이 사용하고 있으나 기계화 및 인력 효과와 공기 관리가 유리한 테이블 폼의 적용 시 보다 유리한 장점이 많이 있음에 따라 국내 무량판 판상형 아파트의 구조에 대한 플라잉 테이블 폼은 단위 시공속도를 높일 수 있는 요소 기술이 될 것이다.

3.1.4 철근 계획

사례현장 대부분의 경우 대구경 철근을 사용하고 있으며 설계조건을 만족하는 범위에서 최대한의 굵은 철근을 사용하며 굽힘 철근을 사용하지 않고 일자형 철근으로 설계 사용 가공공정을 줄임으로써 시공물량 및 시공 인건비를 최소화하며, 수직의 경우 시공시 2개층 길이를 한번에 시공 가능하여 작업시간을 단축하고 있다. 또한 겹침 이음의 경우라 하더라도 우리나라의 경우 철근 스플라이스 (Re-Bar Splice)를 사용하나 북미에서는 오히려 겹침 이음을 권장하고 있다(주 3) 슬래브의 경우 340 East Randolph현장의 경우 철근량을 적게 사용하며 장스팬(Long Span)을 적용 공간을 넓게 사용하기 위하여 슬래브에 포스트 텐션(Post Tension)을 적용하는 기술까지 발전하고 있다. 특히 슬래브 포스트 텐션은 미국의 경우 거의 80%현장이상의 고층건물 현장에 널리 적용하고 있으며 두바이에도 상당히 보편화되어 있음은 우리의 현주소를 알려 주고 있다.

3.1.5 조강 콘크리트 설계

사례현장의 경우도 3일 공정 사이클 운영을 위해 벽체는 12시간 슬래브는 36시간에 탈형 강도이상의 강도를 가질 수 있도록 콘크리트를 계획하여 사용하고 있다.

이는 고층 구조물에서는 슬래브작업이 주 공정(Critical Path)에 해당되나 공기 단축을 위하여는 결국 현장타설 철근콘크리트 구조의 경우 슬래브 거푸집 조기 탈형을 위한 탈형 강도의 확보가 필수적이며, 조기강도 발현을 위한 조강제 적용이 고려되어야 한다.

국내의 경우도 초고층의 경우 설계강도 이상의 콘크리트 강도를 높이는 방법으로 접근하였으나 고성능 감수제를 이용한 콘크리트 조기 강도확보를 위한 재료개발에 대한 적용 노력과 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나, 이는 펌프카를 이용할 경우에 적용할 수 있는 고성능 조강 콘크리트에 해당되고 있어 버킷으로 타설 경우의 잇점도 살릴 수 있는 보다 다양한 재료 개발이 필요한 실정이다

4) OCCDC, "simple design rules that can reduce project costs," 2000.

표 5. P사 00현장용 조강콘크리트 시험자료

구분		1일		2일		3일		7일	14일	28일
		12도	20도	12도	20도	12도	20도			
25-300-18	일반con'c	2.6	32.2	42.1	97.7	73.8	130.5	191	245	314
25-300-40	조강con'c (冬)	16.4	67.4	120	162.5	157.4	196.4	299	354	381
25-300-40	조강con'c (夏)	15.5	65.8	87.8	149.6	146.7	195	283	348	376

3.2 가설 엔지니어링 기술 확보

3.2.1공정계획

조사대상 현장 모두 3일 공정을 위한 공정계획을 작성하고 있다. 상대적으로 저층이며 국내 판상형 아파트와 유사한 Park view tower현장을 대상으로 의 경우 바닥면적 1200m2로 3개의 Zone으로 구분하고 T/C운용의 경우 오전에 거푸집 해체 및 설치 오후에 슬래브 및 벽체 콘크리트 타설하는 것으로 계획하였으며, T/C양중 부하를 고려하여 철근의 경우는 자재인양 후 현장 배근하는 것으로 계획하였다. 벽체 거푸집은 1/3개층 분으로 회전하여 사용하고, 슬래브 거푸집은 1개층 분을 사용하고 있다. 여기에서 주목해야 될 점은 이미 현장 골조공사 시작 전에 구조의 모든 패턴과 규격 검토를 통한 최대한 대형화 모듈을 찾아 내어 규격화하여 이의 사용 회전 계획과 이에 필요한 장비 및 인원 운용 계획을 근거로 공정 계획을 입안 함으로서 보다 가시적인 통제와 예측이 가능하도록 하는 것이다.

이때 작업 량은 일일 작업량을 기준으로 반복 가능여부를 근거로 작성하게 되며 그러므로 다양한 시공 방법이 나오게 되는 것이다. 대형 공사에서 이러한 공사 계획은 절대 필요 요건이나 재래식 시공에 익숙한 우리나라는 아직 이런 가설 엔지니어링 계획에 익숙하지 못한 실정으로 인하여 돌관작업등으로 인하여 고비용 저 효율의 많은 시행 착오를 하고 있는 점이 현실이다. 그 이유는 가설엔지니어링의 근간은 공정관리의 주 공정인 형틀공사용 대형 시스템거푸집(System Formwork) 에 대한 이해도 부족도 그 원인이 되고 있다.

3.2.2 골조공사 시공방법

조사 대상 현장의 모두 수직 수평 분리 타설 방식을 채택하고 있다. 이 방식은 VH분리 타설 또는 L형 타설 방식[5]은 내부 벽체의 대형 거푸집 적용이 가능하고 철근 배근, 거푸집, 콘크리트 작업의 연속 작업이 가능 함으로 공기 단축이 가능하다

표 6. 공기단축을위한개선방안

구분		기존	무량판아파트	국내초고층건물
구조평면		기존 벽식 구조평면	공기단축이용이한무량판구조평면	무량판구조
골조공사 시공방식		일체 타설방식	VH분리타설or L형타설	코어선행or 동시 타설
자재 공법 선정	거푸집	유로폼, AL폼 (Handset 방식)	내벽 Gang Form, 외벽GCS Slab: Table form (T/C이용flying 방식)	코어벽 ACS폼 또는대형및Shaft form폼 Slab: Table form, (T/C이용flying 방식)
	철근	일반철근	고강도, 대구경철근적용	고강도, 대구경철근적용
	콘크리트	일반콘크리트	조강콘크리트	고강및조강콘크리트
	기타	-	PC계단적용	PC계단적용
공정 계획	층당 공기	6일 (Working Day 기준)	3일 (Working Day 기준)	3~4일 (Working Day 기준)
	공구 분할	동별 Zoning	층별 Zoning	층별 Zoning
	단위 작업 계획	주간단위작업계획	일일시간단위로작업계획 (T/C운용및작업인력투입계획포함)	일일시간단위로작업계획 (T/C운용및작업인력투입계획포함)

또한 주상 복합 건물의 경우 코어 선행 공법 적용을 일반적으로 인식하고 있으나 코어를 선행하는 이유는 같은 맥락에서 제한된 작업 공간 내에서 순환 공정 작업 중 발생될 코어와 슬래브 작업과의 간섭 또는 충돌을 방지하여 공기관리가 수월토록 하기 위하여 공정관리를 분리 선행하는 것이 그 이유이며, 현장 작업 여건과 목표

5) 수직 타설 후 타설 부위가 굳지 않은 상태에서 수평을 타설하는 방식으로 수직부분을 타설하고 양생 후 수평부분을 타설하는 수직 수평 분리 타설 방식과는 차이가 있다. (재인용, 홍영탁, 2006)

순환 공정에 따라 코아를 동시 타설 또는 1개층 선행 즉 L형 시공 또는 코어 후행 시공도 고려를 할 수 있는 것이다. 이런 판단은 결국 가설엔지니어링의 분석 기법과 경험 축적이 그 바탕이 되는 것이다.

3.2.3 타설 구획 분할(Zoning)기법

우리는 콘크리트 타설을 수직 수평 동시작업에 익숙되어 왔으나, 공기 단축의 기본이 되는 일일 작업량 관리를 기준으로 볼 때 반복작업으로 최소 인력을 투입하며 동일 기능공으로 계속 동일 작업을 하도록 하여 숙련도를 올리게 하는 방법으로서, 형틀의 일일 작업 가능량을 기준으로 콘크리트 타설 구획을 분할하여 목표된 순환공정을 운영할 수 있게 하는 것을 말한다

즉, 콘크리트 타설 구획 분할을 통해 철근 배근, 거푸집, 콘크리트 작업의 연속작업이 가능함으로 공정의 공백을 최소화하여 공기단축이 가능하다14). 그러나 일반 아파트의 경우 순환 공정 상의 공백을 방지하기 위한 전통적인 작업상의 분할은 공구 분할 방법으로 인접 2~4개동 단위로 묶어 작업조를 운영하는 방식으로 운영하고 있으며, 초고층 건물 경우는 층당 공기단축을 위해 1동의 단위평면을 3~4 개의 연속 타설 구획(zone)로 구분하여 적용하고 있다. 시공 사례 조사 Park view tower현장의 경우, 기준층을 3 zoning 함으로써, 공정 공백이 없이 작업의 연속성을 확보로 일정 인력 인원의 계속 작업하도록 하여 작업성을 높이고 벽체거푸집을 1/3개 층 분량으로 공구 별로 회전 하며 사용하고 있으며 거푸집 시공 중 Typical 구간 에서는 별도의 수정 없이 최대한 반복 작업[6]할 수 있게 함으로서 생산성 극대화를 이루고 있다.

3.2.4 시간단위의 일일 작업계획

국내 현장의 경우 일별 공정계획을 세우는데 반하여 사례현장들은 공히 일별 2시간 단위로 일일 작업을 계획하고 있다. 타설 구획 별 작업이 서로 다르고 형틀, 철근, 콘크리트 및 설비 전기등 각 직종별 작업종류 및 위치가 상이하여 상호 충돌을 방지하기 위하여 긴밀한 협조 체제가 이루어 져야 하므로 충돌 지점에서는 상호 선행 및 후속 공정으로 보완 협조를 유지를 위하여 시간 별 작업량을 기준으로 구분 일일 작업 계획을 설정하는 것이다. 이는 순환 공정 운영에서 가장 중요한 요소임에 따라 현장 소장의 리스크 관리에 대한 이해와 강력한 리더쉽이 우리에게는 필요로 할 것이다. 그러므로 이에 대하여 토공사 즉 골조 공사 이전에 리스크 발생요인에 대한 선행적 검토를 통하여 구체적 실천방안을 마련 추후 선정될 협력사에 이를 주지 이행토록 함으로서 예측 가능한 공사 관리를 이룰 수 있게 할 것이다.

3.2.5 양중 장비 및 인력운용 계획

공기 단축은 기계화 시공을 통하여 소위 타워 크레인 등의 양중 장비의 사용을 극대화 하는 방향으로 계획되어야 한다. 특히 라스베거스 지역의 경우 하루 8시간 및 주 5일 근무 체제 확립으로 3 Day Cycle운용을 위하여 인력운용의 경우도 필요에 따라 새벽4시 출근, 정오 퇴근 조부터 작업 시간대 별 필요에 따라 융통성 있는 운용체제를 갖추고 있으며 현장에 따라 작업시간이 사실상 2교대로 운영하는 경우가 많이 발생하며 T/C의 경우도 2교대 운용도 하고 있는 것이다. 한편 타워크레인 운용면에서도 이미 일일 시간대별 지원해야 할 작업이 나타나 있기에 계획에 의한 크레인이 지원 운영 되므로 직종간의 작업 충돌이 일어나지 않고 계획대로 진행을 이룰 수 있게 되어 있다. 그러나 국내의 경우 형틀공, 철근공, 콘크리트공 구분 없이 아침에 동시에 작업 투입이 되므로 타워크레인 양중 부하에 따라 작업 지연이 발생되며 오후에는 T/C 가동율이 떨어지는 현상도 발생하는 경우가 일반적으로 특정 공정이 지연될 경우에는 크레인 지원에 따라 작업 영향을 받음에 따라 작업원간 충돌도 발생하는 것이다. 토론토 사례 현장들의 경우 타워크레인의 경우 작업조를 오전 7시 와 오후 3시 2개조로 운영하여 골조 후속 공정을 지원하고 있다. 그러므로 국내 현장의 경우도 외국 현장에서 보는 바와 같이 앞으로 주 5일 작업을 기본으로 하는 시점에 대비한 공기 단축작업을 하는 전제하에서의 건설노무자 인력운용 방식을 모색해야 할 것이다.

표 7. 골조공사 층당 공기관리를 위한 요소기술

설계단계	- 단일구조시스템(Single Frame System) - 가변/확장형을감안개방형 Support &Infill구조& - 계단및건축외장마감 PC적용& - 테이블폼적용& - 대구경철근설계및굽힘철근지양
시공전단계 (선행적검토)	- Formwork시공을위한구조검토& - Formwork운용계획및시뮬레이션& - T/C 부하검토및운용계획수립& - 슬래브조강콘크리트강도시험(36시간이후&탈형 가능여부확인)& -. 층당순환공정(Cycle)및타설구획분할방법&결정& - 토공사및작업동선결정& - 선행, 주공정및후속공정에대한관리계획수립및운용계획수립 (Risk요인파악대책) & - 현장시공 QC및안전계획수립
시공단계	- 현장운용계획에대한골조관련시공인력&전체에 대한사전교육& - 작업충돌부분에대한조율& - 시공감독이행철저및조율계속& - 타설콘크리트시험철저

6) Alvin Burkhart 외, Repeating formwork greatly reduces costs. World of Concrete. 2007.

3.2.6 가설엔지니어 양성을 위한 제도적 보완

가설엔지니어링은 현재까지 시공관리에 묻혀 있었고 더욱이 가설이란 개념이 일반 동바리 또는 비계 자재 제조 또는 임대 업체의 범주로 간주 됨은 물론 시제 투입되는 많은 용역비에 대한 인정은 전혀 고려 대상에서 되지 않고 있다. 그러나, 이와 같이 가설엔지니어링은 공기단축에서 시공기술의 중요한 요소이며 공학적인 측면에서의 교육과 학문적 연구 및 기술 개발에 근거를 하여야 하나 재래식 시공에 의존이 일반화 되다 보니 사실상 관심의 대상에서 벗어나 가설 엔지니어 양성 기회가 없어져 버렸으며 오직 과거 경험에 의존하며 옆에 있는 현장 사례만 따라 가는 결과가 되어 버린 것이다. 그 예로서 가설 엔지니어링을 전문하는 회사를 경영하는 필자의 경우 구조 전문 인력의 채용은 사실상 불가하며 건축 전공 기사 조차 구하기 힘든 현실에 있다. 그 이유는 이 분야에 근무 시 기술자 경력에 대한 인정 조차 안되고 있기 때문이며 특히 가설엔지니어링에 대한 중요성에 대하여 대학 교육의 건축 시공학 분야에서 이 부분이 누락되어 있으며 구조 및 설계에서도 가설 구조 및 시공에 대한 인식이 그 바탕에 되어 있어야 한다.

그러므로 이제라도 하루빨리 관련 시공 시방서 기준과 제도적 보완이 병행되어야 할 것이다.

마치며

1960년대 구미에서는 전후 복구 및 현대화 사업으로 엄청난 공사물량이 발주되면서 발생한 급격한 인건비 상승은 많은 건설업체들을 도산에 이르게 함에 따라 건설사회는 생존의 차원에서 근본적인 패러다임의 변화를 가져와 기계화 및 인건비 절감은 물론 제도적 개선과 함께 현재의 공기 단축 기술로 발전된 것이다.

이제 우리 사회도 공공 발주 분야부터 적용되는 후 분양제로 인하여 공기단축에 대한 의제가 표면에 노출 되었으나 사실은 민수 부문의 적용이 되어야 기업 이윤 창출을 위한 본격적인 기술개발이 이루어 질 것으로 예상되나 앞에서 본 사례를 보면 공기 단축 기술에 대한 우리나라의 현실이 사실 아직 먼 곳에 있다. 그러나, 그간 많은 해외 경험을 통하여 이룩한 과거 수행 능력을 볼 때 우리의 잠재력은 충분히 숨어 있을 것으로 판단되므로 이제 제시 및 지적한 현안과 선결과제에 대한 본격적인 연구 및 개발을 통하여 공기 단축을 통한 경제적인 시공 개념 도입을 위하여 법제도 및 현실성 있는 시방서 개정 및 시공 개념 설정을 함으로서 우리 후손들에게 최소 부담은 주지 않는 경제적이며 능률적인 건설 환경 확립을 해 나가야 할 것이며 이를 위하여 필자는 헌신을 다할 것을 다짐한다.

참 고 문 헌

1. 김광희, 강경인, 초고층 골조공사를 위한 유닛 테이블 거푸집공법의 개발 및 적용에 대한 연구. 대한 건축학회 논문집(구조계), 19권 8호 2003년 8월.
2. 서울대학교, 국내 건설공사 공사기간 분석연구, 2005
3. 양지수 외, "판상형 무량판 아파트 시스템 개발 및 적용", 대한건축학회창립 60주년 기념자료집, 2005.10
4. 윤광섭, 홍원기, 슬래브형틀설계 표준화를 통한 고층건물의 공기단축공법 연구. 대한 건축학회 논문집(구조계) 16권 6호.2000년 6월
5. 정광량, 손영진, 무량판 바닥 시스템에 대한 구조계획 및 시공기술. 대한건축학회 2006.3월
6. 정주현. 공동주택의 가변성능 향상을 위한 Support구조 형식연구. 대한건축학회논문집 22권 7호 2006년 7월.
7. 판상형 무량판 아파트 구조설계 및 건설공법 세미나 자료, 2005 10
8. (주)콘스텍, 북미지역공기단축공법 소개서, 2005
9. Alvin Burkhart외, Repeating formwork greatly reduces costs. World of Concrete.2007.
10. Phil. Calvert외, 국내 건설 사업의 공사 기간, 공사비, 생산성분야 국제적 연구. 건설교통부 /건설기술평가원. 2004년 5월
11. The Power of Concrete. Simple design Rules that can reduce project cost. OCCDC 2000