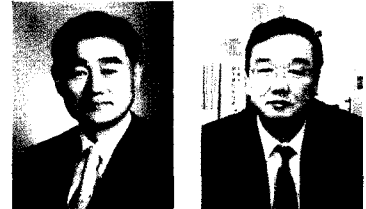


## 국내 골조공사 공기단축의 기술개발 방향에 관한 연구

손영진, (주)콘스텍 대표이사  
김재준, 한양대학교건축공학부 교수



### 들어가며

건축공사는 공사 전 최적공기를 설정하고 이를 달성할 수 있는 기술을 적용함으로써 공기의 최소화와 공사비의 최소화를 동시에 이루고자 한다. 그러나 국내 건설사들은 건축공사에서 타사와의 경쟁 우위를 확보하고 원가를 절감하기 위하여 공기단축 방안 마련을 경쟁적으로 하고 있으나 노력에 비하여 생산성 자체가 크게 향상되지 않고 있으며, 특히 공동주택의 경우 공기단축은 사실상 외면되고 있다. 이러한 결과에는 국내 건설사들이 공기 단축을 통하여 취할 수 있는 기대 이익이 그다지 크지 않은 점으로 이해하게 되었고 공기 단축이 건설공사 공사비 절감의 핵심요소가 아닌 것으로 인식되게 하고 있는 점이다. 그러나 이는 결과적으로 국내 건설 기술 발전의 저해 요인으로 작용되었음은 물론 해외 기술 대비 현격한 차이만 발생한 것이다.

한편 자본력이 열악한 후진 개발도상국들이 자국기업의 육성을 위하여 국민의 희생을 강요하는 선 분양 제도를 이미 세계 10대 경제력을 보유하고 있는 우리나라가 아직도 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 금융차입(Construction Loan)을 통해서 시공 후 분양이라는 정

상 절차가 없이 이루어짐으로서 모든 위험 부담 등을 소비자에게 전가 시킨 현상이며, 다른 한편으로 소비자에게는 미래 가치 증대에 대한 기대 심리유발로 가수요를 일으켜 투기 촉발의 근원으로 악용되게 된 것이다.

그 대책으로 금년부터 공기업 발주 부분부터 후 분양을 실시토록 되어 있으나, 민수 부분에서는 중소 건설사의 자금력의 한계로 인하여 사실상 실시는 불가능하다. 그러므로 중소 건설사도 기술력이 있으면 경쟁을 할 수 있는 제도가 필요하므로 선 분양제하에서 분양대금을 공사 자금으로 이용하지 못하도록 조건부 양도 계정(Escrow Account)으로 위탁하게 하고 이를 담보로 공사 금융(Construction Loan)을 이용 공사 완료 후 분양대금을 인출 사용하도록 제도 변경이 된다면 금융비용 절감을 위하여 공기 단축의 기술 개발에 대한 동기부여가 가능한 환경조성이 될 것이다.

### 1. 공기 단축 필요성에 대한 접근

#### 1.1 국내외 골조공사 공기 분석

아래 외국의 사례와 층당 건축 소요일수 비교표에서 국내의 공사기간이 2-3배 더 소요되고 있고 특히 골조공기가 6-8 Day Cycle/층당 기준으로 시공되고 있는 점은 그 동안 우리 현실에서 무엇인가 자기모순에 빠져있어 그 틀에서 벗어나지 못하기 때문이 아닐까 가정해 본다.

한편 간접비 부문 중 금융비용 부문이 국내의 경우 공기단축을 하였다 하더라도 실제 시공사 측에서는 그 절

감에 따른 이익의 실현이 현 제도상에서 사실상 불가능함이 가장 큰 이유라고 본다. 표 2에서 나타난 바와 같이 우리나라 건설공사기간의 실상은 최소 2배 이상 기간이 소요되고 있다. 산술적 계산을 하더라도 30층 건물을 예로 든다면 최소 15개월 이상의 공기를 더 많이 소요하고 있다. 이에 대한 금융비용(년 8%)과 현장관리비(전체 공사비의 약 8%)를 계산한다면 국내의 공사비가 최소 5% 이상이 추가 투입되고 있다.

또한 미국과 비교 시 같은 기간 동일 규모의 공사를 최소 2개 연속 사업할 수 있으므로, 금융비용에 대한 추가 부담이외에도 사업의 이익률을 동일 기간 내에서 2배로 창출할 수 있는 기업의 기회이윤 까지 상실하고 있다.

표1. 국가별 RC구조 골조공사 기준중 Cycle 비교

국가(지역)	구조형식	주요요소기술	총당공기
미국 (뉴욕)	Flat Plate	재래식 거푸집2.25벌 사용 동바리(Shoring) 기법 고강도 콘크리트	2일
미국 (시카고)	Flat Plate	코어3개 층 선행공법(ACS) VH 분리타설(Table Form & Column Form) 고강도 콘크리트 조강콘크리트 슬래브 Post-tension	3~4일
미국 (라스베이가스)	Flat Plate	코어선행공법(ACS-Hanging Rollback System) 1개층 L형 타설, VH 분리 타설, (Table Form & Column Form), 고강도 콘크리트, 슬라브 조강 콘크리트, Slab Post-tension	3~4일
캐나다 (토론토)	벽식구조 (세대간벽, 코어)	주동부 및 코어 동시 작업, VH 분리타설, (Table form & Ganged Wallform) 고성능 콘크리트 슬래브 조강콘크리트	3일
일본 (초고층건물)	라멘구조 RC Core + Flat Plate	PC, Half PC, 고강도콘크리트 3개층 코어선행공법(ACS) Deck form or Table form 고강도 콘크리트	6일
한국 (일본아파트)	벽식구조 (세대내부, 외벽포함)	Hand-set Form(내벽) GCS (외벽) 일반 콘크리트	4일
한국 (일본아파트)	벽식구조 (세대내부, 외벽포함)	Hand-set Form(내벽) GCS (외벽) 일반 콘크리트	6~8일

표2. 층당 건축 소요일수 비교

구분	구분	미국	일본	한국
		최소	10.5일	15.0일
층당 건축 소요일수	최대	16.9일	36.9일	35.0일
	편차(최소-최대)	6.4일	21.9일	6.0일

(Phil. Calvert, 2004.)

### 1.2 공사비와 공기와의 관계

공사비와 공기와의 관계에서 최적공기란 최소의 공사비가 산정되는 공기이다. 건축공사의 핵심목표중 하나인

원가관리는 최적공기에 대한 근접도에 따라 달성여부가 결정된다. 최적공기이상으로 공기가 소요되면 간접비가 증가하게 되어 총공사비는 상승하게 되며 최적공기보다 적은 공기로 공사를 마치려고 하면 돌관 공사 등으로 인하여 더 많은 공사비가 요구되기 때문이다.

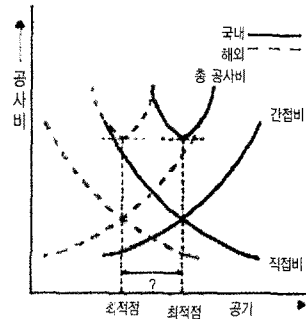


그림 3. 국내와 해외와의 공기의 관계도

그러면 표1과 표2에서 보는 바와 같이 국내 건설사와 해외 건설사간에서 최적공기가 차이 나는 원인에 대한 의문을 가져야 할 이유가 있다. 특히 분양제도와 같은 건설 환경적인 측면에서 다른 점도 있으나, 과연 수많은 해외 건설 시공사들은 비용을 더 많이 들여가면서 공기 단축을 공통적으로 하고 있는 이유가 있을까에 대한 의문을 가져 볼 수 있다.

역설적으로 그림1의 공기 차이를 비용이 동일 조건으로 투입 될 수 있다고 가정 할 시는, 분명히 국내의 인식과 다른 요소기술의 차이가 있기에, 해외와 국내 간의 상호 비교(표6)를 통하여 시공성을 고려하지 않은 설계, 구조 형식 과 재료 및 시공 기술 등에서 차이가 있음이 확인이 되고 있어 국내 콘크리트 골조 설계 및 시공에 관한 요소 기술 변화에 대한 방향을 기술해 본다.

## 2. 골조공사 공기단축을 위한 설계단계에서의 핵심요소 기술

### 2.1 시공성을 감안한 구조설계

콘크리트 구조의 개념적 예비 설계국면에서 고려해야 할 가장 큰 요소는 경제적인 형틀공사(Formwork) 비용이다. 어떠한 구조시스템 에서도 비용을 절감할 수 있는 여지는 있으나 그 중 형틀 공사가 약 60% 정도의 비중을 차지하는 것으로 볼 때, 시공성에 따른 설계원칙의 충실

여부에 따라 비용 절감의 효과가 가장 크다. 이에 따라 시공이 용이한 구조 설계 즉, 단순성(Simplicity)과 반복성(Repetition)에 근거한 설계 시, 대형화된 거푸집을 반복적으로 사용함으로써 작업능률을 올릴 수 있음은 물론 공사비가 절감된다(Alsamsam, 2004). 대부분의 경우 설계자들은 재료비를 가능한 줄이기 위해 노력하고 있다. 그러나 재료비를 줄이는 것보다는 전체 공사비에서 비중이 높은 형틀공사의 시공비용을 줄이는 것이 보다 나은 대안이라고 할 수 있을 것이다.

표3. 재료비 및 시공성 기준 설계에 대한 경제성비교

Cost Item	재료비를 경제적으로 설계한 공사의 공사비		시공성을 감안하여 설계한 공사의 공사비		절감 비율
Formwork 형틀시공용 가설 자재, 장비 및 인건비	\$5,25/ft <sup>2</sup>	51%	\$3,50/ft <sup>2</sup>	39%	-33%
Concrete 자재비, 타설 장비 및 인건비	\$2,85/ft <sup>2</sup>	27%	\$3,00/ft <sup>2</sup>	33%	5%
Reinforcing steel 자재비 및 설치 인건비	\$2,25/ft <sup>2</sup>	22%	\$2,50/ft <sup>2</sup>	28%	11%
Total Cost	\$10,35/ft <sup>2</sup>	100%	\$9,0/ft <sup>2</sup>	100%	-13%

(Peurifoy & Oberlander 3rd edition)

## 2.2 SI (Support & Infill) 구조 설계

공동주택인 아파트의 구조형식이 벽식 구조로 설계 건축되어, 생활 방식 변화에 따른 가변 및 확장이 사실상 불가능함에 따라 약 100년 지속 가능 해야 할 건축물이 약 30년 주기로 재건축되고 있어, 이에 따른 엄청난 환경적 경제적 부담을 안고 있다. 리모델링을 할 경우 재건축 비용 대비 약 90%의 사업비가 소요된다. 더욱이 현재의 벽식 구조는 공기단축이 사실상 매우 어려운 구조일 뿐 아니라 무량판 구조 대비 골조공사비가 높다(표4). 이에 대해 대안으로 Open Housing System 구조개념 도입으로 가변 확장은 물론 장수명 가능 구조로 변화되어야 할 것이다.

표4. 벽식구조와 FPS구조의 평당원가 비교

항목	35평형		45평형		
	벽식구조	FPS구조	벽식구조		FPS구조
			사례1	사례2	
Con'c	124,025	102,219	120,818	125,932	9588
철근	126,909	129,788	101,080	99,750	12103
거푸집	494,533	327,329	424,819	438,435	27368
계(원/평)	745,467	560,036	646,717	664,117	490,60

(정주현, 2006)

## 2.3 단일 구조(Single Frame)형식의 설계

한편으로 동일건물에 적용하는 구조(Frame System) 형식은 주상복합의 경우에는 1개동의 건물을 보더라도 최소 2가지 이상의 구조형식을 적용하고 있으나 가능한 1가지 유형으로 적용하는 것이 바람직하고 부득이하게 그 이상을 적용할 시에는 유사형식을 적용토록 한다. 이는 Formwork공사 도중 시공방법의 변경 등으로 발생될 수 있는 아이들 타임(Idle Time)을 줄이기 위함이다. 골조 공사의 공기 단축을 위한 선결과제로서 구조의 단순화(single frame)는 필수적이며 앞으로 설명 되어질 조사 현장의 경우도 구조평면을 분석하면 세대간 벽체를 제외한 건물 외부를 개방형으로 설계하였고, 세대간 벽체가 있을 경우 서로 평행하게 일 방향으로 배치함으로써 테이블 폼 등의 대형거푸집 적용이 용이한 구조를 채택하고 있었다. 표 6의 340 East Randolph의 경우도 개방형 Support & Infill 구조이며 저층부와 고층부의 구분이 없이 단일구조시스템을 적용하였다.

## 2.4 건축외장 마감 프리캐스트 판넬의 적용

골조공사의 공정관리상 주공정(Critical Path)은 기둥과 같은 수직부재가 아니라 슬래브와 같은 수평부재에 있도록 계획되어야 한다. 그러나 우리나라는 벽식 구조가 일반화됨에 따라 외부 수벽, 간벽 및 파라펫 등이 현장 타설로 설계 되어있어 아파트와 주상복합 건물 등의 대부분이 외부마감을 노출콘크리트방식으로 시공하고 있는데 이는 리모델링시 많은 제약을 가져온다. 또한 SI 구조로 형틀공사를 단순화하고 있으면서도 벽체 물량의 증가로 공기 관리에 있어 걸림돌이 됨은 물론, 외관 형상이 단조로운 디자인으로 일관되어 도시 건축미관 확보에 한계를 드러내고 있다. 이는 커튼월 공법의 적용시 요구되는 높은 비용을, 외부를 콘크리트로 처리함으로써 절감하겠다는 사고에서 비롯된 것이다. 그러나 이는 앞서 언급한대로 리모델링시 제약인자로 작용한다. 이러한 문제점에 대한 대책으로 건물의 다양성을 표현할 수 있으며 매우 경제적인 건축외부 마감용 프리캐스트 콘크리트 판넬(Architectural Precast Concrete Panel)의 개발, 적용이 필요하다.

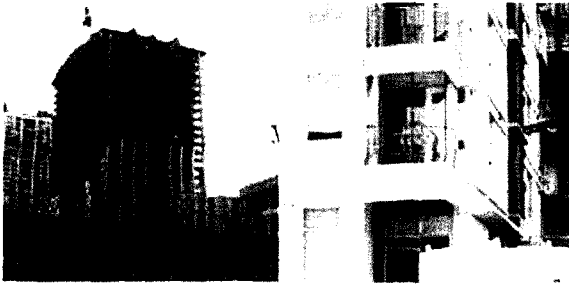


그림 4. APC 적용 골조공사 (북미)

APC는 알루미늄 커튼 월 공법에 비해 공사비가 저렴하다. 또한 다양한 외부 형상의 마감 표현이 가능하여 도시미관 확보에 유리하며 누수 및 단열 처리 등의 장점을 가지고 있다. 이를 프리캐스트로 시공 시 후속공정으로 처리할 수 있고 창호의 선발주가 가능하여 마감공정에서도 공기단축 효과를 얻을 수 있다.

### 2.5 플라잉 테이블 폼의 적용

국내는 벽식 구조 아파트가 일반화됨에 따라 형틀공사가 많은 인력이 요구되는 유로폼 등의 핸드세트(Handset form)형태의 거푸집이 보편화됨으로서, 체계적인 시공기법의 원천 기술인 시스템 거푸집에 대한 기술습득 기회를 잃어 버렸다. 골조공사 3~4일 층당 순환(Cycle) 공정 관리를 위해서는 제한된 건물공간에서 적은 인력으로 최대의 생산성을 높이는 대형 시스템 거푸집을 적용하여야 한다. 특히 바닥판 거푸집의 경우에는 가장 경제적인 요소기술로서 설계 시부터 플라잉 테이블 폼을 적용 가능하도록 권장하고 있다(OCCDC 2000).



그림 5. 플라잉 테이블폼

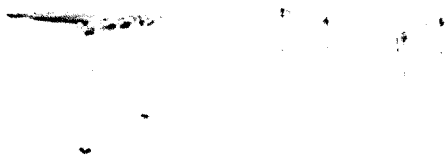


그림 6. 동바리형 테이블폼

그림 7. 핸드세트

테이블 폼이란 슬라브 콘크리트를 타설하기 위한 거푸집으로, 거푸집 판, 장선, 명에, 서포트 등을 일체로 제작하여 시공시 별도 분리, 해체작업 없이 수직 및 수평 이동 설치가 가능한 일체형 거푸집을 일컫는다.

테이블 폼은 동바리형 테이블(그림4)과 트러스형 테이블(Truss Table Form) 2가지로 구분된다. 고층부 슬라브 공사용으로 적합한 형식의 거푸집이 플라잉 트러스 테이블(Flying Truss Table)이다(그림3). 그 이유는 트러스가 구조상 슬라브 하중을 지켜주는 지지 기점으로부터 바깥 부위의 처짐을 지켜주며, 작업 발판 및 안전 난간대가 일체화 되어 있기 때문이다. 장점으로는 첫째, 일반거푸집과 달리 조립해체가 생략되어 설치 시간이 단축되며 이로 인한 공기절감이 가능해진다. 둘째 거푸집합판을 제외한 주요부재의 재사용이 가능하고 설치해체가 단순하므로 인건비의 절감을 가져올 수 있으며 셋째 주요부재가 알루미늄인 테이블은 치수 정밀도와 외력에 대한 안전성이 우수하므로 거푸집의 처짐이 없고 넓은 구획의 타설이 가능하다.(정광량 2003).

최근 알려진 두바이의 경우 거의 모든 고층 건물 공사에 트러스형 테이블을 사용하고 있는 이유는 여기에 있다. 현재 국내에서는 바닥거푸집의 경우 구조평면의 형상을 고려하여 인력에 의한 모듈러 바닥 거푸집(그림7)을 많이 사용하고 있으나 표6의 시공입면에 나온 바와 같이 안전을 목적으로 건물 외부를 감싸는 ACS 또는 GCS 설치에 따른 추가비용이 투입되는 점을 비교시, 테이블폼 적용은 시공 생산성 향상과 경제성에 유리한 장점으로 중요한 요소 기술이 된다.

### 2.6 슬라브 콘크리트의 조강콘크리트로 적용

골조 공사의 주공정(Critical Path)중에서 기간이 가장 많이 소요되는 분야가 형틀공사이며 특히 수직 부재보다 수평 부재가 더 많이 소요된다. 그 이유는 슬라브 양생 기간이 골조 공기에서 차지하는 비율이 높기 때문이다. 골조 층당 공기의 3~4일 유지를 위해서는 거푸집 자재를 2벌 이상 투입하든지 아니면 슬라브 거푸집을 1벌로 사용하되 슬라브 거푸집의 탈형이 콘크리트의 타설 36시간 이후 가능하도록 강도 발현이 될 수 있도록 조치해야 가능하게 된다.

표 5. P사100현장용 조강콘크리트 시험자료

콘크리트	구분	1일		2일		3일		7일	14일	28일
		12도	20도	12도	20도	12도	20도			
-18	일반	2.6	32.2	42.1	97.7	73.8	130.5	191	245	314
-40	조강형	16.4	67.4	120	162.5	157.4	196.4	283	348	376
-40	조강형	15.5	65.8	87.8	149.6	146.7	195	283	348	376

이에 따라 공기단축을 위해서는 결국 철근 콘크리트구조의 경우 슬래브 거푸집 조기탈형을 위한 탈형강도의 확보가 필수적이며, 조기강도 발현을 위한 조강제 적용이 고려되어야 한다. 현재 국내의 경우도 초고층의 경우 설계 강도 이상의 콘크리트 강도를 높이는 방법으로 고성능 감수제를 이용한 콘크리트 조기강도가 확보되도록 개발되어 사용되고 있으나 펌프카를 이용할 경우에 적용할 수 있는 고성능 조강콘크리트에 해당되고 있어 버킷으로 타설할 경우의 이점도 살릴 수 있는 보다 다양한 일반 조강콘크리트의 개발도 함께 이루어져야 시공형태에 따른 시장의 다양성을 충족해 줄 수 있을 것이다.

### 2.7 계단 건식화 공법 적용

공기 단축을 위한 작업에서 형틀작업의 지연 요소 가운데 하나인 계단 부위를 콘크리트 현장 타설에서 프리캐스트 계단 등을 적용한 건식화 공법이 필요하다. 이는 계단의 시공 시간이 전체 공정의 장애요소임에 따라 벽체를 먼저 작업 후, 계단 부위의 소재를 건식화 하여 상부 슬라브 형틀 및 철근 작업 완료 이후 설치(그림6)를 함으로서 작업 동선에 지장이 없도록 조치할 수 있다. 라스베저스 등 타 일부 지역에서는 계단을 철제로 설치하는 것

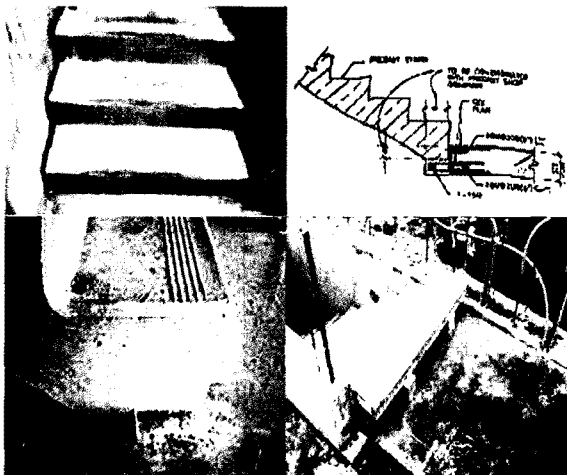


그림 8. PC계단 (콘스텍, 2006)

도 확인된 것은 계단작업이 골조 시공에서 상당한 장애요소임이 확인된 것이다.

표 6. 해외 공동주택 사례 비교

구분	해 외			국 내		
	340 Randcap, Chicago	Park View Tower	MET	A 현장 (주상복합)	B 현장 (아파트)	
1개 층 면적	1250m <sup>2</sup>	1400m <sup>2</sup>	746m <sup>2</sup>	1050m <sup>2</sup>	680m <sup>2</sup>	
지 역	시카고	토론토	토론토	서울	서울	
구 조	무량판	벽식구조	벽식구조	무량판	벽식구조	
층 수	B6, 65F	12F	43F	B2, 43F	15F	
총 공사기간	31개월	8개월	22개월	43개월	18개월	
Form	Wall	Aluma Wall Form	Aluma Wall Form	Aluma Form	Peri Form	
	Slab	Aluma Truss Table + Aluma Dek	Aluma Table Form	Aluma Table Form	Peri Sky Deck	Euro Form, AI Form
코어부	코어선형 ACS	수직 수평 분리	수직 수평 분리	코어선형 ACS	동시타설	
계단부	PC	PC	PC	RC	RC	
콘크리트 강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	Wall	800	350	500	500	210
	Slab	350	250	300	360	210
조강콘크리트	필수	필수	필수	사용 없음	사용 없음	
1개 층 Cycle	3일	3일 이하	2.5일	4~6일	8~12일	
Slab Form 탈형시기	36시간 후	36시간 후	36시간 후	3일 후	48일 후	
슬라브 Zoning	2개로 Zoning	3Part Zoning	구분안함	4개로 조닝	구분안함	
건축물 외피 마감	커튼월+APC	APC	APC	커튼월	RC	
콘크리트 타설	방법	VH분리타설	VH분리타설	VH분리타설	CPB	펌프카
	Wall	버킷	버킷	버킷	CPB	펌프카
	Slab	펌프카	버킷	Pumpcar	펌프카	펌프카
시공입면						

### 3. 시공기술향상을 위한 가설 엔지니어링 기술 확보

설계단계에서 이러한 요소 기술이 적용 되었다면 시공 운영 방법에 있어서 그동안 이제까지 콘크리트 기준으로 계획된 현장 시공 관리운영은 바뀌어야 될 것이다.

#### 3.1 공정계획

표6의 공동 주택사례 사례비교를 살펴보면 해외 사례 모두 3일 공정(3Day Cycle)계획방식을 적용하고 있었다. 이들 중 국내 판상형 아파트와 유사한 Park view tower현장의 경우 바닥면적 1200m<sup>2</sup>로 3개 Zone으로

구분하였고, T/C운용의 경우 오전에 거푸집해체 및 설치를 하고 오후에 슬래브 및 벽체 콘크리트를 타설하는 것으로 계획하고 있다.

표7. 골조공사 층당 공기관리를 위한 요소기술

시공 전 단계 (선행적 검토)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조 설계의 Formwork 시공성 검토</li> <li>- Formwork운용 계획 및 시뮬레이션</li> <li>- T/C 부하검토 및 운용 계획 수립</li> <li>- 슬래브 조강콘크리트 강도 시험(36시간 이후 탈형 가능 여부 확인).</li> <li>- 층당 순환공정(Cycle)및 타설 구획 분할 방법 결정</li> <li>- 선행 주공정 및 후속공정에 대한 관리 계획 및 운용 계획 수립 (Risk요인 파악 대책)</li> <li>- 현장 시공 QC및 안전 계획 수립</li> <li>- 토공사 및 작업 동선 결정</li> </ul>
시공단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장 운용 계획에 대한 골조 관련 시공인력 사전 및 수시 교육</li> <li>- 작업 충돌 부분에 대한 조율</li> <li>- 시공 감독 이행 철저 및 조율 계속</li> <li>- 형틀 탈형 전 콘크리트 품질시험 철저</li> </ul>

또한 T/C양중 부하를 고려하여 철근의 경우는 자재인양 후 철근을 배근하는 것으로 계획하고 있었다. 벽체 거푸집은 1/3개 층 분을 사용하고, 슬래브 거푸집은 1개 층 분을 사용하였는데 여기에서 주목해야 될 점은 이미 현장 골조공사 작업시작 전에 구조의 모든 패턴과 규격 검토를 통한 대형화 모듈을 찾아내고 규격화하여, 필요한 장비 및 인원 운용을 근거로 공정 계획을 입안함으로써 보다 가시적인 통제와 예측이 가능하도록 한 것이다. 또한 이들 해외공사에서는 형틀의 일일 작업량을 기준으로 콘크리트 타설 구획을 분할하여 목표한 공정대로 공사가 이루어지도록 하였다. 이를 통해 철근배근, 거푸집설치, 콘크리트 타설 작업이 적은 일일 운영 인력으로 연속적으로 이루어질 수 있게 되며 공정의 공백이 최소화된다. 개선 4세대 판상형 무량판 아파트의 층당 3일 순환 공정표를 이러한 계획에 의거 작성해보면 다음(표 8)과 같다.

표 8. 층당 3일 순환공정표

ZON	부	공법	타설 순차	1일차		2일차		3일차															
				시작	종료	시작	종료	시작	종료														
A'	BLANK	철근	4 TON 15.3	2:30	10:10	11:12	14:15	16:17	3:10	11:12	14:15	16:17	3:10	11:12	14:15	16:17							
		기타	인양	8 SET 8	8:48	30:15	CONC 36	60:30	30	30													
		타설	6 SET 6	8:58																			
		타설	11 TON 10	8:00																			
		타설	1 TON 1	1:10																			
		타설	3 TON 19	2:20																			
		타설	4 TON 10	2:20																			
		타설	1 TON 1	1:10																			
		타설	8 SET 8	8:48																			
		타설	5 SET 5	8:58																			
B'	BLANK	철근	11 TON 10	8:00																			
		기타	인양	7 SET 7	7:05																		
		타설	1 TON 1	1:10																			
		타설	3 TON 19	2:20																			
		타설	4 SET 4	8:52																			
		타설	4 SET 4	8:24																			
		타설	5 SET 5	8:15																			
		타설	10 TON 10	8:00																			
		타설	1 TON 1	1:10																			
		타설	1 TON 1	1:10																			
C'	BLANK	철근	10 TON 10	8:00																			
		기타	인양	1 TON 1	1:10																		
		타설	4 TON 10	2:20																			
		타설	1 TON 1	1:10																			
		타설	1 TON 1	1:10																			
		타설	4 TON 10	2:20																			
		타설	1 TON 1	1:10																			
		타설	4 TON 10	2:20																			
		타설	1 TON 1	1:10																			
		타설	1 TON 1	1:10																			
합계				34	35	45	60	14	35	20	56	60	40	135	48	30	20	56	60	60	60	50	20
총계				104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104

### 3.2 골조공사 시공방법

조사 현장이 모두 수직 수평 분리 타설 방식을 채택하고 있다. VH분리 타설 또는 L형 타설 방식은 내부 벽체의 대형 거푸집 적용이 가능하고 철근 배근, 거푸집, 콘크리트의 연속 작업이 가능함으로 공기 단축이 가능하다. 또한 주상 복합 건물의 경우 코어 선행 공법 적용을 일반적으로 인식하고 있으나 코어선행 이유는 제한된 작업 공간 내에서 순환 공정 작업 중 발생될 코어와 슬래브 작업과의 간섭 또는 충돌 방지에 있으므로 이에 대한 검토 결과에 따라 선행 여부가 결정되어야 한다. 현장 작업 여건과 목표 순환 공정에 따라 코어를 동시 타설 또는 1개층 선행 즉 L형 시공 또는 코어 후행 시공도 고려할 수 있는 것이다. 이런 판단은 결국 가설엔지니어링의 축적된 경험과 분석 기법에 따라 영향을 받게 된다.

표 9. 공기단축을 위한 개선방안

구분	기존	개선		
		판상형 아파트	탑상형 구조	
구조평면	 기존벽식 구조평면	 공기단축이 용이한 무량판 구조평면	 무량판구조	
골조공사 시공방식	 일체타설방식	 VH분리타설 or L형타설	 코어선행 or 동시타설	
자재 공법 선정	거푸집	유로폼, AL폼 (Handset방식)	측벽: Gang Form Slab:Table Form (T/C이용 Flying 방식)	코어: ACS폼 또는 Shaft form 폼 Slab: Table form (T/C이용 Flying 방식)
	철근	일반철근	고강도, 대구경 철근 적용	고강도, 대구경 철근 적용
Slab Con'c	일반콘크리트	조강콘크리트	고강 및 조강 콘크리트	
기타	RC계단	PC계단적용	PC계단적용	
공정 계획	cycle	6일 (Working Day 기준)	3일 (Working Day 기준)	3-4일 (Working Day 기준)
	zoning	동별 Zoning	층별 Zoning	층별 Zoning
	단위 작업 계획	주간단위 작업계획	층별 단위 작업계획 (T/C 운용 및 작업인력 투입계획 포함)	일일시간 단위로 작업계획 (T/C 운용 및 작업인력 투입계획 포함)
	단위 작업 계획	주간단위 작업계획	층별 단위 작업계획 (T/C 운용 및 작업인력 투입계획 포함)	일일시간 단위로 작업계획 (T/C 운용 및 작업인력 투입계획 포함)

### 3.3 타설구획 분할기법

국내 콘크리트 타설은 수직 수평 동시작업에 익숙하나, 이는 콘크리트 비용이 타설량의 과다에 따라 타설 장비 손료가 적어지므로 대개 콘크리트량에 의거한 시공 계획에 익숙하며 분리타설이나 동일 슬라브를 끊어 치는 것을 기피하고 있다. 일반 아파트의 경우 순환 공정상의 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 1개동의 단위평면을 3~4 개의 연속 타설 구획(zone)으로 구분하여 적용하고 있다.

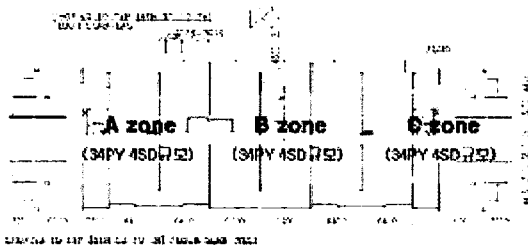


그림 7. ParkView 기준층 평면도에 대한 Zoning 구분

그러나 Park view tower현장의 경우, 기준층을 3 zoning 함으로써, 공정 공백이 없이 작업 연속성의 확보로 일정 인력 인원이 계속 작업하도록 하여 작업성을 높이고 벽체거푸집을 1/3개 층 분량으로 공구 별로 회전하며 사용하고 있으며 거푸집 시공 중 Typical 구간에서는 별도의 수정 없이 최대한 반복 작업할 수 있게 함으로서 생산성 극대화를 이루고 있다. 타설량은 하루 60~80M3를 매일 콘크리트를 Bucket으로 타설하도록 계획되어 있으며 East Randolph의 경우 2개 구획으로 구분 펌프카에 의해 타설되고 있다. 이는 형틀공사의 일일 작업량을 기준으로 철근 및 콘크리트 타설 구획이 분할되어 작업되고 있으며 타설량의 과다에 관계없이 매일 타설을 전제로 모든 공종에서 최소 인력의 출역으로 반복 작업을 근거로 콘크리트 타설 구획을 분할하여 목표된 순환공정을 운영하고 있다. 가능한 타워크레인을 최대 활용 Bucket을 이용함에 따른 장비비 부담을 최소화하고 있다.

### 3.4 철근계획

사례현장 대부분의 경우 대구경 철근을 사용하고 있으며 설계조건을 만족하는 범위에서 최대한의 굵은 철근을 사용하며 굵힘 철근을 사용하지 않고 일자형 철근으로 설계하여 사용함으로써 가공공정을 줄임으로써 시공물량 및 시공 인건비를 최소화하며 작업시간을 단축하고 있다. 또한 겹침 이음의 경우라 하더라도 우리나라의 경우 철근 스플라이스 (Re-Bar Splice)를 사용하나 북미에서는 오히려 겹침 이음을 권장하고 있다. 슬래브의 경우 340 East Randolph현장에서는 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 미국 서부 지역의 경우 거의 80% 이상의 고층건물 현장에 널리 적용하고 있으며 두바이에도 상당히 보편화되어 있다.

### 3.5 시간단위의 일일 작업계획

국내 현장은 일별 공정계획을 세우는데 반하여 해외현장들은 공히 시간 단위로 작업을 계획하고 있다. 타설 구획 별 작업이 서로 다르고 형틀, 철근, 콘크리트 및 설비 전기등 각 직종별 작업종류 및 위치가 상이하어 상호 충돌을 방지하기 위해 긴밀한 협조 체제가 필요하다. 충돌 지점에서 상호 선행 및 후속 공정으로 보완 협조 유지를 위하여 시간 별 작업량을 기준으로 구분, 일일 작업 계획을 설정하는 것이다. 이는 순환 공정 운영에서 가장 중요한 요소이므로 현장 소장의 리스크 관리에 대한 이해와 강력한 리더십이 필요할 것이다. 이에 대해 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.

### 3.6 양중장비 및 인력운용계획

공기 단축은 기계화 시공으로 타워 크레인 등의 양중장비의 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,

표 10. 3일 순환 공정에 따른 타워크레인 부하량 검토

현장에 따라 작업시간이 사실상 2교대로 운영하는 경우가 많이 발생하고, T/C의 경우 2교대 운용도 하고 있다. 한편 타워크레인 운용면에서도 이미 일일 시간대별 지원해야 할 작업이 나타나 기기에 계획에 의한 크레인 지원 운영이 되므로 직종간의 작업 충돌이 일어나지 않고 계획대로 진행되어진다. 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 일반적이다. 특정 공정이 지연될 경우에는 크레인 지원에 따라 작업 영향을 받으므로 작업원간 충돌도 발생되고 있다. 토론토 사례 현장들의 경우 타워크레인의 작업조를 오전 7시 와 오후 3시 2개조로 운영하여 골조 및 후속 공정을 지원하고 있다. 그러므로 노무비가 원가의 상당한 비중을 차지하고 있는 국내 현장의 경우도 외국 현장에서 보는 바와 같이 앞으로 주 5일 작업을 기본으로 하는 시점에 대비한 기계화 시공 유도에 근거한 건설노무자 인력운용 방식을 모색해야 할 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서 골조공사의 해외와 국내사례를 비교, 공기단축에 적용되는 기술항목을 분석함으로써 상호간의 차

이점을 파악할 수 있었다. 국내의 경우 총공사비 절감을 위해 현재까지도 재료비 절감이 형틀공사비와 같은 시공비를 절감하는 것보다 이익을 남긴다는 잘못된 인식을 바뀌어야 될 것이다. 구조 설계에서 시공을 감안한 설계가 되지 못함에 따라 공정 운영방법이 인력에 의한 재래식 시공을 근거로 계획된 측면이 있었다. 시공방법에 있어서 해외사례의 경우 외벽체를 PC공법으로 대체했을 뿐 아니라 Open Housing System으로 대형 플라잉 테이블 폼을 적용하여 타워크레인을 최대로 활용하고 적은 인력으로 시간 단위의 작업관리 운용을 통하여 최대 4일 이내에 기준층의 공정을 마칠 수 있도록 운영되고 있다. 반면 국내의 경우는 실내의 경우 단순하지 않은 평면구조로 인하여 인력에 의존 시공이 불가피하게 이루어진 측면이 있다. 이는 해외사례와 비교할 경우 국내골조공사의 공기지연의 주요인으로 꼽을 수 있었다. 주 공정의 단축 요인으로 콘크리트 구조의 설계단계에서 고려해야 할 가장 중요한 요소로서 형틀공사(Formwork)의 경제성을 꼽을 수 있는데 대형화된 형틀의 반복적 사용을 통해서 시공이 용이해지고 작업능률을 향상시킬 수 있음은 물론 공사비도 절감된다는 것이다. 이와 같은 많은 차이점이 발생하고 있음에도 국내에서 문제의식이 없었던 이유는 오랜 관행의 일괄 하도급 발주에 따라 가설 전문 엔지니어링의 양성 기회를 상실함에 있다고 본다. 이에 따라 본 연구를 통하여 국내골조공사의 공기단축방안은 구조 설계 단계부터 보다 효율적인 공정계획과 기계화 시공을 고려하여야 하며 적은 인력으로 최대의 효율을 전제한 가설 엔지니어링 기술에 대한 새로운 사고의 접근이 이루어져야 함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 정주현, “공동주택의 가변성능 향상을 위한 Support구조 형식연구”. 대한건축학회논문집 22 권 7호 2006년 7월.
2. The Power of Concrete. Simple design Rules that can reduce project cost. OCCDC 2000
3. Alvin Burkhardt의, Repeating formwork greatly reduces costs. World of Concrete.2007.
4. 김광희, 강경인, 초고층 골조공사를 위한 유닛 테이블



- 블 거푸집공법의 개발 및 적용에 대한 연구. 대한 건축학회논문집(구조계), 19권 8호 2003년 8월.
5. 정광량. 플랫슬라브 설계 및 시공에 관한 특성과 주안점. 대한건축학회 2003.10월
  6. 정광량, 손영진, 무량판 바닥 시스템에 대한 구조계획 및 시공기술. 대한건축학회 2006.3월
  7. 윤광섭, 홍원기, 슬래브형틀설계 표준화를 통한 고층 건물의 공기단축공법 연구. 대한 건축학회 논문집 (구조계) 16권 6호.2000년 6월
  8. Phil. Calvert외, 국내 건설 사업의 공사 기간, 공사비, 생산성분야 국제적 연구. 건설교통부 /건설기술평가원. 2004년 5월
  9. 양지수 외, "판상형 무량판 아파트 시스템 개발 및 적용", 대한건축학회창립 60주년 기념자료집, 2005.10
  10. 판상형 무량판 아파트 구조설계 및 건설공법 세미나 자료, 한국복합화 건축기술 협회 2005 10
  11. 박송우 국내아파트 골조공사 공기경쟁력 강화전략, 2007.
  12. (주)콘스텍, 북미지역공기단축공법 소개서, 2005
  13. 생산성향상을 통한 건설산업의 경쟁력 강화 국제 세미나 자료, 이복남 2005
  14. 대우건설기술연구소, FMEA를 이용한초고층건축 시공의 공기영향요인평가, 2005
  15. Formwork for concrete structures 3rd edition. Robert L.Peurifoy & Garold D. Oberlender.
  16. Tower design breaks out of the box. Daily Journal of Commerce. Ma4 2007. Cary Kopczynski
  17. Formwork for Concrete. 7th edition. M.K.Hurd. ACI.
  18. 백인희,, 철골공사 N공법 및 미국식공법 적용으로 골조공사 총당 3일 사이클을 달성한 사례연구, 대한건축학회, 2007년
  19. Simplified Design 3rd edition. Lyad M. Alsamsam.PCA,2004.
  20. 손상현, 초고층 골조공기 단축방안 (3Day Cycle), 대한건축학회, 2007년
  21. 이찬식, 공동주택 골조공사의 적정 공사 계획 시스템 , 대한건축학회, 2003년