

콘크리트 고층 건축물의 급속시공

Accelerated Construction of Reinforced Concrete
High-rise Building Structure

이현수 Hyun-Soo Lee
서울대학교 건축학과 교수

1. 머리말

최근 고층 건축물의 골조공사에서는 시스템 거푸집, 철근 선조립 공법 등의 적용으로 층당공기 3일 ~ 5일이 현실화되고 있다. 해외의 경우 시스템 거푸집 기술을 보유하고 있는 Peri, Doka 등 몇몇 회사를 중심으로 대규모 벽식 구조 건축물에서도 테이블 폼(table form), 스카이 데크(sky deck)과 같은 시스템 거푸집을 사용하여 골조공사 층당공기를 3일까지 단축시킨 사례가 있다. 그러나 국내 20층 ~ 40층의 중층형 벽식 구조 건축물에서는 거푸집, 철근 작업공정에서 재래식 공법을 사용함으로써 층당공기가 평균 10일 정도 소요되고 있으며, 이러한 이유로 골조공사 기간이 초고층 건축물 공사 기간보다 2배 이상이 길어져 간접비가 증가하고 공사기간에 발생할 수 있는 리스크가 커지게 된다. 따라서 콘크리트 지상구조물 공사에 있어 골조공사 공기 단축을 실현화시키기 위한 요소기술 개발과 이의 현장 보급이 중요하다. 본 고에서는 주거용 콘크리트 구조물의 공기단축의 필요성과 이를 달성하기 위한 방안들에 대한 고찰을 통해 건설산업 경쟁력 강화 방안을 제시하고자 한다.

2. 콘크리트 구조물 공기단축의 의의

2.1 공기단축의 필요성

건축공사에서 공기단축이 가지는 의의는 단순히 공사기간의 단축만이 아니라 이것으로부터 비롯되는 금융적 이득을 포함해 리스크 감소, 기술적 우위 등 다양한 긍정적인 효과를 포함한다. 특히 최근 건축공사가 대부분 복잡한 도심지에서 수행되어 이에 따른 공사기간 내의 주변 교통과 소음에 대한 민원이 더욱 민감한 사항이다. 하지만 건축공사에서 공사기간의 가장 중요한 부분을 차지하는 복합구조 시스템의 지상구조물 공사는 소요강도 발현을 위한 콘크리트 양생 기간의 확보, 재래식 거푸집 및 철근공법의 설치, 해체의 복잡성, 설계조건에 따라 개발된 요소기술의 제한적인 사용 등의 요인으로 공기단축의 한계성을 가지고 있다. 지상구조물의 공사기간 단축을 위해서는 골조공사의 층당 사이클(cycle)을 최소화하는 것이 필수적이며, 이를 위하여 요소기술에 대한 해결이 필요하다.

현재까지는 주거용 아파트 건물이 전반적인 주택 건설시장의 큰 비중을 차지하고 있는 상황이며, 일반 주거용 아파트 건물의 구조방식 또한 건물의 성능 및 생활소음 등 사용자의 주거환경을 고려하여 RC 벽식 구조의 설계가 대부분을 차

지고 있다. 향후에는 가변성의 문제점, 고층화 추세, 공기단축의 문제점으로 인하여 구조방식이 기존의 벽식 구조에서 무량판구조로 변경될 것으로 예상된다. 주거환경의 획기적인 개선이 없는 한 초고층을 제외한 일반 주거용 아파트 건물의 구조방식은 RC 벽식 구조 또는 무량판구조가 계속적으로 시장에서 우위를 차지할 것으로 보인다. 따라서 국내 건설산업의 지속적인 수익성 확보 및 국제경쟁력 강화를 위해서는 현행 층당 8~10일 공정을 선진국 무량판구조의 3일 공정 수준으로 맞출 수 있는 공기단축 기술개발이 요구된다.

2.2 국내외 동향을 통해 보는 공기단축의 필요성

공기단축을 위한 건축물 구조시스템의 대안으로 국내에서는 1980년대에 PC패널을 이용한 아파트 건설이 시도되었으나 기술적인 어려움과 시공성의 문제로 성공하지 못하였고, 아직까지 대부분의 경우 재래식 공법에 의존하고 있다. 그러나 선진국의 경우 구조시스템의 단순화와 조립식 공법의 도입으로 건설공사 기간을 획기적으로 단축하여 건설생산성을 높이고 있다. 예를 들어 미국과 일본 등 선진국에서는 무량판 주거용 건축물의 경우 층당 3일 공정이 일반화되어 있는 반면, 국내 벽식 아파트의 평균 층당공기는 8~10일로써 최대 3배 이상의 공사기간이 소요되고 있다. 이와 같은 공기지연은 공사비를 10~53%까지 증가시켜 선진국에 비하여 생산성이 떨어지고 기술경쟁력을 약화시키는 주요 원인이 되고 있다.

〈표 1〉은 2010년 기준으로 작성된 국내외 일반적인 공사기간의 비교이며, 전 세계가 하나의 경제권으로 통합되어 가는 최근의 국제상황을 고려할 때 국내 건설기술의 경쟁력을 확보하고 나아가 기술선진국의 대열에 접어들기 위해서는 국내 건설기술의 환경 및 인력구조에 적합한 공기단축 기술 및 공법 개발이 절실하다.

3. 콘크리트 구조물 공기단축을 위한 방안

계속되는 건설경기 침체속에서 국내 건설업체들의 생존전략인 해외 진출 경쟁력 강화를 위해서는 다음과 같은 노력이 필요할 것이다. 아래의 방안들은 개별적인 기술과 여건의 개선도 중요하지만 각 부문의 결과

물이 조화를 이룰 때보다 효율적인 공사 수행이 가능하다.

3.1 시공성을 고려한 설계

국내 아파트의 골조공사 공기단축을 위해서는 설계단계에서 시공성을 고려한 합리적인 구조시스템 설계가 필수적으로 선행되어야 한다. 현행 국내 벽식 구조 평면은 골조 중 벽의 비중이 크므로 골조공사 시공 시 공기지연의 요인으로 작용하며, 공간의 가변성 및 부족한 리모델링 성능이 불리한 요소로 작용하고 있다. 구조평면설계시 세대간벽과 코어를 제외하고 단위세대 내부를 기둥으로만 처리하는 무량판 구조로 변경하거나 One-way 타입의 벽식 구조시스템을 고려할 수 있다. 외부면을 개방

표 1. 국내외 현장 골조공사 사례 비교(2010년 기준)

| 구분 | A 현장 (북미지역) | B 현장 (북미지역) | 국내 일반 벽식 아파트 | |
|-------|-------------|--|---|--------------------------------|
| 규모 | 바닥면적 | 746 m ² | 1,400 m ² | 673 m ² |
| | 지상층수 | 43층 | 12층 | 15층 |
| | 구조평면 | | | |
| 공기 | 전체공기 | 22개월 | 8개월 | 18개월 |
| | 층당 사이클 | 2.5일 | 3일 | 8일 |
| 거푸집 | 내벽 | Gang Form | Gang Form | Gang Form |
| | 외벽 | - | - | Gang Form |
| | 슬래브 | Flying Form | Flying Form | 합판거푸집 |
| 철근 | 조립 | 현장조립 | 현장조립 | 현장조립 |
| 콘크리트 | 벽체강도 | 500 | 350 | 240 |
| | 슬래브강도 | 300 | 250 | 240 |
| | 조강제 | O | O | X |
| PC | 계단 | PC | PC | RC |
| | 외벽 | PC | PC | RC |
| 공정 계획 | 공구분할 | - | 3 | - |
| | 시공방식 | VH 분리타설 | VH 분리타설 | 일체타설 |
| | T/C대수 (가동률) | 1대 (80%) | 1대 (80%) | 1대/2동 (40%) |
| | 콘크리트 타설 | 벽체 Bucket (50 m ³) 슬래브 Pump Car (150 m ³) | 벽체 Bucket (31 m ³) 슬래브 Bucket (83 m ³) | Pump Car (250 m ³) |

하고 One-way 타입의 벽식 구조를 채택하면 단위생산성이 높은 대형바닥거푸집 적용이 가능하고, 전후면의 외부 횡벽을 PC로 계획하면 건물입면의 다양한 연출이 가능하여 향후 리모델링에 대한 성능향상을 기대할 수 있다. 이는 설계단계에서 시공단계를 고려한 설계를 수행할 경우에 가능한 것으로 시공성을 고려한 구조설계 이외에도 자재선정과 공법계획 등에 적용할 수 있다.

3.2 현장 공법의 개선

3.2.1 대형화 거푸집 적용

대형화된 거푸집공법의 적용은 단위생산성 향상으로 거푸집 설치 및 해체시간을 단축하고, 거푸집해체 후 골조마감 및 뒷정리, 청소 등에 소요되는 시간을 절약할 수 있으며, 후속 마감공정의 조기투입이 가능하여 골조공기와 마감공기를 동시에 단축할 수 있다. 뿐만 아니라 거푸집공사비의 50~60%를 차지하고 있는 노무비를 절감할 수 있고, 골조 품질이 향상되어 마감공사비를 절약할 수 있으므로 전체 공사비 측면에서 원가절감이 가능하다. 현재 국내의 고층건축물의 경우 많은 현장에서 대형 거푸집을 적용하고 있으며, 이로 인한 공기단축 효과를 확인할 수 있다. 이러한 대형거푸집 사용을 위해서는 이를 반영한 설계도면 작성이 선행되어야 하며, 설계단계부터 거푸집의 선정과 적용을 고려한 계획이 수립되어야 한다.

3.2.2 조강 콘크리트 사용

현장 타설하는 방식의 RC 구조의 골조공사 층당 공기 단축을 위해서는 거푸집을 최대한 빨리 해체하는 것이 필수적이다. 국내의 경우 거푸집을 2벌 사용하거나 설계 강도 이상의 고강도콘크리트를 사용하여 거푸집을 조기에 해체하는 방법이 제안되고 있으나 이는 경제성 측면에서 불리한 방식이다. 북미지역의 경우는 조강콘크리트 적용을 일반화하고 있으며, 최근 국내에서도 대형건설사를 중심으로 기존콘크리트 대비 원가상승을 최소화하면서(105% 내외) 조기강도발현을 통해 공기단축이 가능한 조강콘크리트 개발 및 실용화 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

3.2.3 철근 선조립 공법

철근 선조립의 효과는 우수하긴 하나 이를 현장에서 활발히 적용하기 위해서는 몇 가지 어려움이 존재한다. 철근 선조립 활성화 방안을 위한 전문가 설문조사 결과, 원도급 업체의 공사수행 능력 배양 및 전문 CM의 도입, 관련 업체 육성, 고층건물의 시공기회 증가로 인한 저변 확대, 시방서 마련, 기능공의 경험 및 숙련도 배양, 선조립 기능공의 자격관리 등이 주요 방안으로 제시되었다. 철근 선조립 공법의 현장 적용을 확대하게 되면 공사기간의 단축뿐만 아니라 현장야적의 편이, 현장 내 작업 감소로 인한 리스크 절감 등의 다양한 효과를 가져올 것이다.

3.2.4 양중장비 운영 개선

국내사례조사 결과, 일반아파트현장의 T/C 일일평균 가동률은 30~40% 정도로 추가적인 양중장비의 증가 없이도 대형거푸집 등을 적용할 수 있는 여지가 있으며, 북미지역 사례에서처럼 합리적인 양중계획수립을 통해 T/C 효율성 극대화하는 방안이 수립되어야 한다. 현재 국내에서도 T/C 및 Hoist-car의 기술적 개선 및 운영기술에 대한 연구가 지속적으로 수행되고 있으며, 이러한 양중계획 및 양중관리의 요소기술과 합리적인 공정계획이 합치될 때 고속시공의 가능성이 증가할 것이다(그림 1).

3.2.5 관리기술의 선진화

골조공사 공기단축을 위해서는 설계단계에서 시공성과 경제성을 고려한 합리적인 구조시스템 설계가 선행되

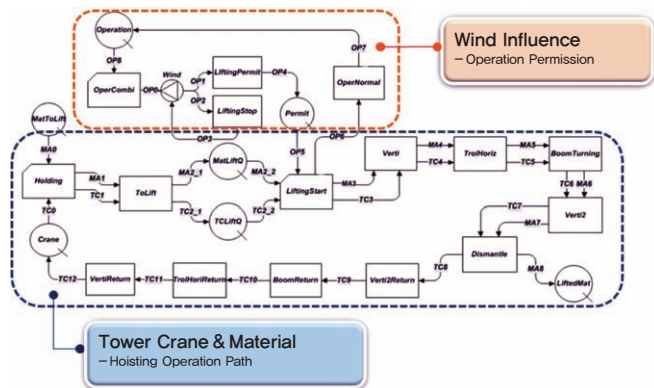


그림 1. T/C 양중 시뮬레이션

어야 하며, 이는 곧 계획단계부터 공기단축을 위한 지속적인 노력이 필요하다는 것을 의미한다. 가장 경제적인 설계는 단순히 철근과 콘크리트 등의 재료뿐만 아니라 거푸집의 제작, 설치, 해체 시 요구되는 공기, 인력, 장비 등의 전체 시공과정을 고려한 설계이며, 이를 위해 선진화된 공사 관리기법을 적용할 필요가 있다. 프로젝트 초기, 시공 전 단계부터 공법과 시공 프로세스를 고려한 구조시스템을 채택함으로써 시공성을 높일 수 있다. 이를 위해 발주자, 설계자, 시공자 간의 긴밀한 협조가 사전에 이루어져야 한다.

고층건축물 공사의 요소기술들의 적용성과 실용성을 검토할 수 있는 방법론으로는 공정시뮬레이터가 있다. 공정시뮬레이터는 가깝게는 현재까지 진행된 연구과제 내 기 개발된 요소기술들의 적용성을 검토하는데, 활용할 수 있을 뿐만 아니라 시공현장에서 최적공법, 공정계획 조합 등을 찾아내 공기를 단축시킬 수 있는 획기적인 기술으로써 기능할 수 있다. 특히 최근 BIM을 활용하여 다양한 공사 관련 정보를 통합 관리하는 방안에 대한 연구가 전 세계적으로 이루어지고 있으며, 이러한 노력을 통

해 계획단계부터 관련 이해관계자들이 함께 공기단축을 고려한다면 현행 공사에 비해 보다 효율적인 공사수행이 가능할 것이다. <그림 2>는 현재 개발 중인 BIM을 활용한 공사관리시스템의 예시이며, 지속적인 자료 축적과 시스템 개선을 통해 고속시공계획의 합리적인 운영을 가능하게 할 수 있다.

4. 맺음말

우리나라의 건설산업의 지속적인 발전을 위해서는 기술 경쟁력 강화가 필요하다. 특히 건축물의 공사수행에서 중요한 비중을 차지하는 구조물 시공의 경우 기본적인 구조물 기능구현과 함께 보다 짧은 시간 안에 시공할 수 있는 고속시공기술의 역할이 크다고 할 수 있다. 국내 건설산업의 지속적인 발전과 성장을 위해서는 해외진출이 중요한 시점이며, 이를 위한 기술경쟁력 확보 측면에서 한 부분을 차지하고 있는 것이 구조물의 급속시공능력이다. 현재 국내에서 적용되고 있는 기술들은 아직 개선의 여지가 남아있으며, 급속시공을 위해 각 기술들의 발전과 더불어 통합관리를 바탕으로 조화를 이룰 때 보다 긍정적인 효과를 얻을 수 있을 것이다.

본 고에서 제안된 콘크리트 고층 건축물의 고속시공을 위한 몇 가지 방안이 향후 건설산업의 발전에 도움이 되길 진정으로 희망해 본다. □

담당 편집위원 : 조재열(서울대학교) jycho@snu.ac.kr

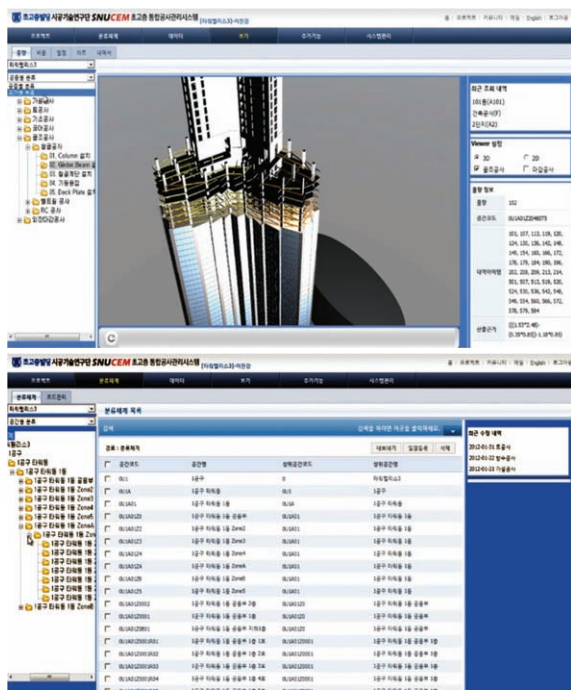


그림 2. BIM 활용 공사관리시스템



이현수 교수는 서울대학교 건축학과를 졸업하고, 미시간대학교에서 건설경영 석사(1988년)와 박사학위(1992년)를 취득하였다. 그 후 인하대학교 교수로 재직하다가 1997년 이후 서울대학교 건축학과 건설기술연구실의 지도교수로 활동하고 있다. 한국건설관리학회장과 대한건축학회 부회장을 역임하였다.
hyunslee@snu.ac.kr