

저비용 · 고속시공을 위한 시스템 거푸집 및 양중기술 개발



강경인 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 교수
조훈희 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 교수

KICEM

I. 서언

국내 건설기업의 초고층 시공 기술력은 세계적인 수준으로 알려져 있다(윤도진, 2016). 국내 건설기업은 2010년 당시 세계 최고층인 두바이 Burj Khalifa 완공에 이어 현재 세계 6위의 말레이시아 KL118타워를 시공 중에 있다.

그러나 이러한 명성에도 불구하고 최근 국내 건설기업은 저임금의 강점을 앞세운 중국과 인도, 높은 기술력을 보유한 미국과 독일 등의 국가들 사이에서 고전하고 있는 실정이다. 현재 전세계에서 시공 중인 높이 100위 내 초고층 건설 프로젝트 중에서 국내 건설기업이 시공하는 것은 6건, 그 중 3건은 국내 프로젝트로 글로벌 초고층 건설시장에서 눈에 띄는 성과를 거두지 못하고 있다.

또한 해외 초고층 건설 수주는 단순시공에 집중되어 있으며 가설 장비 등 핵심기술은 해외 의존도가 비교적 높은 실정이다. 해외건설 외화가득률은 2013년 기준 약 31%, 특히 건축(시공)의 경우 약 21%를 유지하고 있으며, 그 이윤은 저조한 수준이다(김보람, 2014).

이에 국내 건설기업이 저임금과 높은 기술력의 장벽을 극복하고 수익률을 향상시킬 수 있는 고도화된 자립 기술이 요구된다.

초고층 건설에 있어서 가장 핵심적인 경쟁력은 얼마나 경제적으로 빠르게 지을 수 있는가라고 할 수 있다. 초고층 거푸집 공법은 이에 주요한 영향을 미치는 기술로, 거푸집 공사는 전체 공사기간의 약 25%, 전체 공사비의 약 10%를 차지한다(Hanna, A.S., 2010; 김태훈, 2013). 또한 지상층의 인력과 자재

를 작업층으로 운반하는 리프트 기술은 건물이 고층화 · 대형화 될수록 운반해야 할 자원의 양과 거리가 증가하면서 그 중요성이 커지고 있는 기술이다(이종렬 외 2인, 2004).

이에 본 고는 저비용 · 고속시공을 위한 시스템 거푸집 및 양중 기술을 소개하고자 한다.

II. 가설엔지니어링 기술

초고층 건설 프로젝트는 다양하고 복잡한 장비, 가설시스템, 골조공사 공법 등이 복합적으로 운영되며 시공계획 수립시 이들 간의 연계성을 고려하여 시공계획을 수립하여야 한다. 그러나 현재는 공법-가설-장비 계획을 순차적으로 수립하고 있어 최적의 공사계획을 도출하는데 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 가설엔지니어링 기술을 포함한 '프리콘 서비스(Pre-Construction Service)'가 국내외 초고층 시장에서 지속적으로 확대되는 추세이다.

본 고에서 소개하는 초고층 가설엔지니어링 통합 최적화 기술은 가설엔지니어링 최적화 플랫폼과 공사특성을 반영한 골조 시공관리 알고리즘으로 나눌 수 있다. 가설엔지니어링 최적화 플랫폼은 건물특성에 따른 골조공사 공법(코어선행/후행/동시), 공사구획(zoning), 가설시스템(거푸집/타워크레인/CPB)을 종합적으로 검토하여 각 건물특성에 적합한 공사계획 대안을 도출할 수 있는 통합공사계획 모델이다(그림 1). 최적의 공사계획 대안 도출과 더불어 각 가설 및 장비의 최적 운영방법까지 제공하는 통합 솔루션이라고 볼 수 있다.

1) 주력 수출산업의 외화가득률은 자동차산업 70~80%, 조선업 60~70%임.



그림 1. 초고층 가설엔지니어링 최적화 플랫폼 기술 개념

이 기술의 적용을 통해 초고층 공사 작업 효율성이 크게 향상될 것으로 기대된다. 또한, 시공시 발생될 비용, 공기, 안전, 품질 등 전반적 사항을 사전에 검토할 수 있는 모듈이 구축되므로, 설계단계에서 합리적으로 시공성을 고려하여 반영할 수 있게 된다.

한편, 공사특성을 반영한 골조 시공관리 알고리즘은 설계단계에서 개략 공사비 산정시 초고층 공사특성을 반영하여 산정할 수 있도록 지원하는 알고리즘이다. 초고층 공사는 일반적인 건축물 공사와 비교하여 높은 작업층, 협소한 작업공간, 짧은 공사기간 등의 특성으로 인하여 공사비 산정에 있어서 단순 공사물량에 단가를 곱하는 방식이 아닌 시공성을 고려하는 것이 중요하다. 또한 산정된 공사비의 신뢰도를 높이기 위하여 시공성을 고려한 거푸집, 철근 배근 계획 등을 바탕으로 정확하게 공사비를 산정하는 것이 필요하다.

골조 시공관리 알고리즘의 적용을 통해 설계단계에서 신뢰도 높은 개선전적 산출이 가능할 것으로 기대된다.

III. 시스템 거푸집 기술

최근 건설 기능인력의 지속적인 감소 추세에 대응하여, 기존 인력중심 산업으로 인식되던 건설 산업도 장비 중심 산업으로의 전환이 대두되고 있다. 특히, 형태적 다양성과 더불어 높이 경쟁이 가속화되고 있는 초고층 프로젝트에서는 골조공사의 핵심 공종인 거푸집 공사의 공법적 패러다임 변화가 주요 이슈로 떠오르고 있다. 이러한 배경 아래, 대표적인 장비 중심적 거푸집 공법인 테이블 폼 공법 기술 개발이 지속적 이루어지고 있다.

1. 가변형 테이블 및 트롤리

가변형 테이블 폼은 국내에서 독자적으로 개발한 테이블 폼의 한 종류로서, 복잡하고 다양한 초고층 건축 평면에 유연하게 대처 가능한 테이블 폼이다(그림 2). 이 기술은 바닥 거푸집 공사시에 기존 정형의 거푸집으로는 설치할 수 없었던 비정형 부분에도 설치할 수 있기 때문에 평면에 적용되는 테이블폼 모듈 수를 최대화 할 수 있어 생산성 향상에 유리하고, 자투리 거푸집 제작 시간 및 비용을 절감할 수 있다는 장점이 있다(강경인 외 1인, 2013).

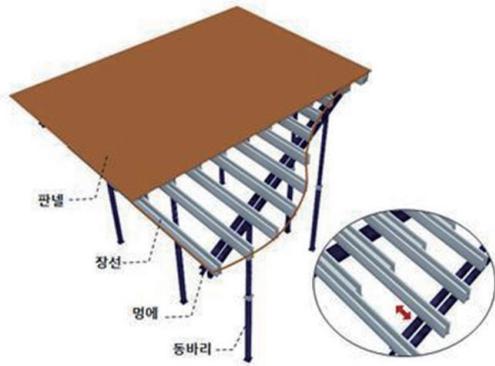


그림 2. 가변형 테이블 폼 구성

테이블 폼은 대형화된 거푸집이므로 기존의 알루미늄 폼과 같은 핸드셋 형태의 거푸집 공법에 비해 생산성이 높고 품질 향상에도 유리하지만 그 무게로 인해 설치 및 해체작업이 까다롭다는 단점이 있었다. 예를 들어, 기존에는 가변형 테이블 폼 설치 시 테이블 폼의 높이와 수평을 조정하기 위해 서포트의 높이 조절 나사를 망치로 쳐서 조정하였다(그림 3). 그러나 이와 같은 재래식 방법은 미세한 조정이 어려우며 작업도중 안전사고의 위험을 내포한다. 무엇보다 설치 및 해체 작업에 여러 번의 재조정 작업을 거치기 때문에 많은 노력과 시간이 소요된다.



그림 3. 기존 테이블 폼 높이 및 수평도 조절 작업

또한, 테이블 폼 해체 시에는 하부에 테이블 폼 이동 트롤리를 지지한 후 서포트를 해체하거나 고정판을 풀어 테이블 폼을 하강시키며 해체를 수행한다. 이론적으로는 트롤리를 하강시키면 자중에 의해 쉽게 탈형되어야 하지만 실제로는 콘크리트와 테이블폼 판넬의 부착면이 넓어 그 접착력으로 인해 잘 떨어지지 않으며 상부에 부착되어 있는 많은 설비와 전기관들은 탈형 작업을 더욱 어렵게 한다. 작업자들은 강제 탈형을 위해 도구를 사용하여 모서리부분을 잡아 당겨 탈형 하는데 탈형 시에 한쪽부터 떨어져 트롤리에 내려앉기 때문에 안전사고의 우려가 있다(그림 4).



그림 4. 기존 테이블 폼 탈형 작업

고속 설치/해체형 가변형 테이블 폼 및 트롤리 기술은 테이블 폼 설치 시 높이 조절과 4방향의 미세한 수평 조절이 가능한 틸팅 트롤리(그림 5)와 기계식 탈형 장치가 결합된 새로운 테이블 폼(그림 6) 기술이다. 이 기술을 적용하여 작업할 경우 테이블 폼 하부에 트롤리가 항상 지지하고 있기 때문에 작업 안전성을 크게 향상시킬 수 있으며, 거푸집 탈형 작업 시에도 기계식 장치에 의해 자동으로 탈형되기 때문에 작업 시간을 단축시킬 수 있다.

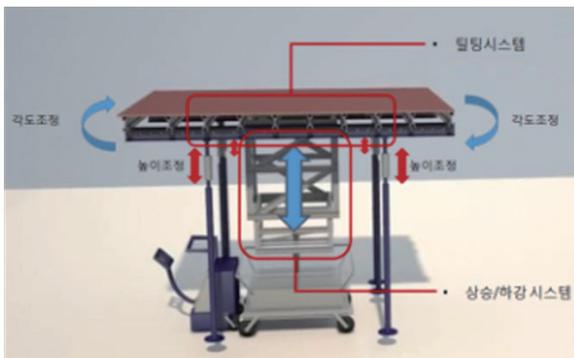


그림 5. 테이블 폼 설치/해체 지원 틸팅 트롤리 기술

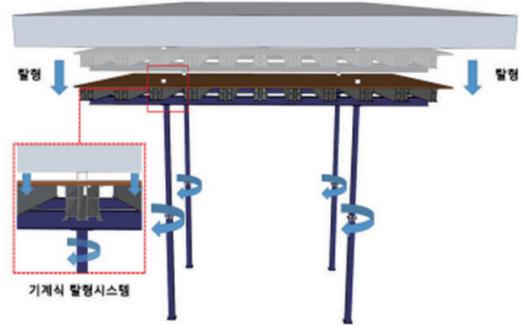


그림 6 기계식 테이블 폼 탈형 장치

본 기술이 적용될 경우, 기존의 테이블 폼 설치시 문제가 되었던 높이 조절 작업과 수평 조절 작업이 자동화되어 설치 작업 시간을 20% 이상 단축 가능하며, 작업에 투입되는 작업자 수도 30% 이상 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 자동상하차 인양플랫폼

자동상하차 인양플랫폼은 리프트의 마스트에 지지되어 상·하로 이동하는 인양플랫폼을 이용하여 테이블 폼과 같은 자재를 상부 층으로 인양하는 장비이다(그림 7). 기존 타워크레인을 이용한 운반 방식이나 별도의 인양 시스템을 설치하는 방식과 달리, 초고층 건설에 필수적으로 설치되는 리프트 마스트에 인양플랫폼을 설치하는 간편한 방식이기 때문에 타워크레인 없이도 경제적인 비용으로 자재를 인양할 수 있다는 장점이 있다.



그림 7. 인양플랫폼

인양플랫폼은 리프트와 마찬가지로 인양플랫폼과 정지층간 이격 간격이 크거나 높이가 맞지 않을 경우 테이블 폼의 이동작업에 어려움이 있다. 또한 운반시 테이블 폼이 흔들려 이탈하는 등의 문제를 방지하기 위하여 테이블 폼을 고정해야 하는 시간

이 소요된다.

자동상하차 인양플랫폼은 레일시스템을 통해 테이블 폼을 골조 층에서 인양플랫폼으로 자동 상하차시킨다(그림 8). 즉, 상하차시 레일이 건물내부로 뺀어 나와 테이블폼을 건물내부에서 상차한 후, 레일이 들어와 테이블 폼을 인양플랫폼에 안착시킨다. 이로 인해 골조 층과의 층 맞춤 작업이 필요 없고 상차와 동시에 결속이 이루어지기 때문에 별도의 인력과 작업시간을 절감할 수 있으며 인양 작업의 안전성을 확보할 수 있다. 또한 트롤리가 직접 인양플랫폼으로 상차하지 않기 때문에 인양플랫폼의 경량화가 가능한 장점도 있다.

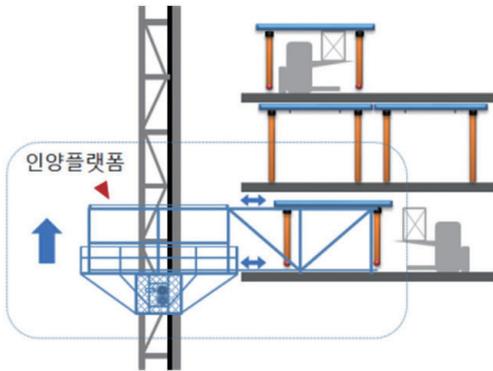


그림 8. 인양플랫폼 자동 상하차 방식

본 기술은 테이블 폼의 인양 안전성 향상 및 작업시간을 단축할 수 있고 요구되는 장비 허용하중이 감소됨으로서 제작비용의 감소 효과도 기대된다. 또한 본 기술은 테이블 폼 뿐만 아니라 알폼, 동바리 등 타 건축자재의 운반에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 상하연계형 더블데크 리프트 및 군제어 기술

건축물의 높이가 증가함에 따라 공사에 투입되는 공사 자원의 수직 동선이 길어지게 되며, 이로 인해 수직 양중을 담당하는 핵심 장비인 리프트의 중요성이 커지게 된다. 특히, 초고층 건축공사에서는 양중장비의 양중 효율이 전체 공사의 공기와 공사비를 크게 좌우하는 핵심 요인이 되므로, 리프트의 양중 효율을 높이기 위한 기술 개발이 지속적으로 이루어지고 있다.

1. 상하연계형 더블데크 리프트

상하연계형 더블데크 리프트(이하, 더블데크 리프트)는 세계 최초로 개발되는 기술로, 리프트의 물리적 양중효율 한계를 극

복하기 위하여 2대의 리프트 케이지를 상하로 연계하여 운행하는 리프트 기술이다(그림 9). 두 대의 케이지를 이용하여 자원을 양중하므로 운영 효율을 비약적으로 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 운영인력에 대한 인건비도 절감이 가능하며 마스트 설치 공간 감소로 후속 마감공정을 최소화할 수 있다.

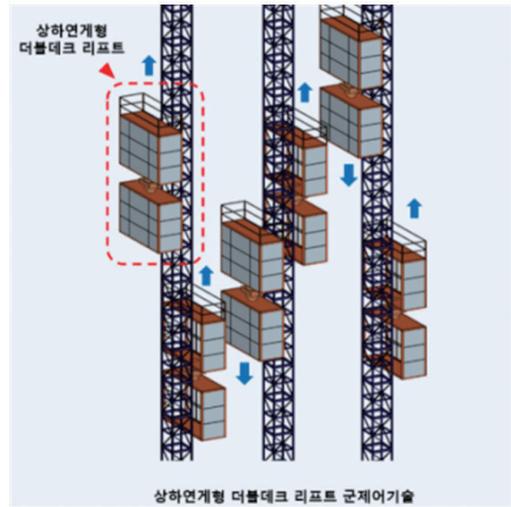


그림 9. 상하연계형 더블데크 리프트

더블데크 리프트는 피크타임에는 두 개의 케이지를 운행하여 증가된 양중부하에 대응하고, 그 외 시간에는 하부케이지를 탈착하여 상부 케이지만으로 평상시와 동일하게 운행한다. 초고층 건축공사에서는 공사 투입 자원 량이 특정시점(피크타임)에 집중되는 특성이 있다. 특히, 많은 작업원이 출, 퇴근 시간과 점심시간에 리프트를 주로 이용하기 때문에 이 시간 대의 리프트 양중부하가 크게 증가한다. 이와 같이 시간대에 따른 가변적 행을 통해 양중 부하에 가장 효과적이고 합리적으로 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

더블데크 리프트는 2가지 형태로 개발이 진행될 예정이다. 1차적으로 현재 2 개의 케이지가 상하로 고정된 형태의 더블데크 리프트 개발이 이루어지고 있으며, 향후에는 층간 높이에 대응 가능한 시스템을 개발할 예정이다.

2. 군제어 기술

리프트 군 제어 기술은 리프트 운영 기술 분야의 핵심 기술로서, 리프트의 중복호출을 방지하여 필요한 위치에 가장 빠르게 리프트를 도달할 수 있도록 제어하는 시스템이다. 이는 리프트의 정차 횟수를 최소화하여 양중 효율을 향상시킬 수 있다.

기존에는 피크타임 시 각기 다른 층에서 한꺼번에 리프트 탑

승 호출을 요청하는 경우, 리프트 운행원의 주관적 운행으로 인해 운행 경로를 고려하지 않은 빈번한 리프트의 정차로 양중 효율이 급격히 하락하였다. 규제어 시스템은 무인운영기술 시스템이 리프트의 호출 층과 목적 층을 사전에 수집하여 이를 최적으로 분리한 후 필요한 위치에 가장 빠르게 도달 할 수 있도록 운행 대안을 제공한다. 리프트가 중간에 정차하는 횟수를 최소화시켜서 제공하기 때문에, 공사 자원을 최단 시간에 목적 층으로 이동시킬 수 있다.

특히, 더블데크 리프트 기술을 초고층 현장에 적용하는 경우, 전체 리프트 설치 대수가 감소하게 되어 리프트 호출에 대한 부하가 증가하므로 규제어 기술의 적용이 필수로 병행되어야 운행 효율을 극대화 할 수 있을 것이다.

V. 맺음말

글로벌 초고층 건설 시장은 중국과 중동을 중심으로 지속적으로 성장하고 있다. 그러나 국내 건설기업은 저임금과 선진 기술력의 장벽 사이에서 고전하고 있으며 프로젝트 수주 시에도 그 이윤은 저조한 실정으로 이를 돌파하기 위한 경쟁력있는 기술이 요구된다. 이에 본 고에서는 초고층 시공에 있어서 핵심적인 기술인 시스템 거푸집과 양중기술을 소개하였다.

본 고에서 소개한 기술은 세계 최초로 개발되는 기술로 국내 건설기업이 글로벌 초고층 건설 시장 진출시 수주 경쟁력을 향상시키고 동시에 중소 전문건설업체 및 건설장비업체도 세계 시장으로 진출할 수 있는 발판이 될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 윤도진, "세계 '마천루'역사 우리가 쓴다", Businesswatch, 2016
2. 김보람, "초고층빌딩 연구개발 성과, 어디까지 왔나?", 국토경제신문, 2012
3. Hanna, A.S. (1999), "Concrete formwork systems", Marcel Dekker, Inc., New York
4. 김태훈 (2013), "초고층 시스템 거푸집 공법 및 시공계획 모델", 고려대학교 박사학위 논문
5. The Skyscraper Center, <http://www.skyscrapercenter.com>, 2016
6. 이종렬, 전용석, 박찬식 (2004), "고층건축공사 타워크레인 양중시간 예측모델", 한국건설관리학회 학술발표대회논문집,

pp.472-475

7. 강경인, 임현수 (2013), "고속시공을 위한 초고층 거푸집 시스템 개발", 한국건축시공학회지, 13(1), pp.9-14

■ 강경인 E-mail : kikang@korea.ac.kr

■ 조훈희 E-mail : hhcho@korea.ac.kr