

초고층 건물 공기단축을 위한 기둥철근 3개층 선조립공법에 관한 연구

A Study on the Pre-fabrication of Three-story Column Re-bars for Saving Construction Time of High-rise Buildings

김 광 희*	김 재 엽**	서 덕 석***
Kim, Gwang Hee	Kim, Jae Yeob	Seo, Deok Seok
안 성 훈****	최 희 복*****	정 병 원*****
An, Sung Hoon	Choi, Hee Bok	Jung, Beong Won

Abstract

A high-rise building construction in Korea has some problems in engineering, construction and management technologies although the high-rise building construction is recently booming. In addition, the lack of skilled construction labors is increasing, so the development for methods is needed to reduce the labors by prefabrication and mechanization. A re-bar work is one of very important works with regard to cost and schedule management in the high-rise building construction. Nevertheless, the re-bar work has some problems that it is needed many re-bars for joints linking and much time for lifting due to high-rise buildings, and it is difficult to level the skill of labors. So, in this study, the pre-fabrication of three-story height in column re-bars is proposed and the results of an implementation are analyzed and explored by a case study. As the results of case study, the pre-fabrication of three-story heights in column re-bars could reduce the cost in the re-bar work and accelerate the time in the structural frame work. In addition, the pre-fabrication of three-story height in column re-bars could solve the problems such as the waste of many re-bars for joints linking, and the lack of the skilled labors.

키워드: 3개층 선조립, 철근공사, 공기단축, 초고층 건물공사

Keywords : Prefabrication of three-story height, Re-bar Work, Saving construction time, High-rise Building

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 초고층 건축물은 1990년대 후반 주거건축물을 중심으로 해서 현재까지 활발하게 진행되고 있는데, 이러한 현상은 서울지역뿐만 아니라 지방 대도시로 확산되어 일반화 되고 있는 현상까지 보이고 있다. 초고층건축이 활발히 진행되고 있으나 설계 및 엔지니어링 측면, 시공기술 측면, 그리고 관리기법 측면 모두에서 해결해야 될 문제점이 있는 것으로 지적되고 있는 것이 현실이다.

* 주저자, 목포대학교 건축공학전공 교수, 공학박사

** 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*** 한라대학교 건축공학과 교수, 공학박사

**** 교신저자, 고려대학교공학기술연구소 연구교수, 공학박사
(shan7208@hanmail.net)

***** 고려대학교 대학원, 박사수료

***** 삼성물산 건설부문, 현장소장

본 연구는 건설교통부 건설핵심연구개발사업의 연구비 지원(06건설핵심C24)에 의하여 수행되었음.

특히 초고층 건축물 시공 시 필요한 요소기술로 고강도 콘크리트 배합설계 및 매스 콘크리트 수화열 저감 엔지니어링, 골조공사의 성력화(省力化) 및 프리페브(Pre-fab)화, 거푸집시스템, 콘크리트 타설 방법과 장비계획, 철골 제작, 설치 및 장비, 수직정밀도의 확보, 양중 및 장비계획, 커튼월 공사계획, 설비공사계획, 전기공사계획, 엘리베이터 공사 등이 있으며, 대부분의 초고층 공법은 국내에 소개 적용되고 있으나 앞으로도 지속적인 발전이 요구된다. 특히 향후 기능공 부족 현상이 심화될 것으로 예상되므로 성력화공법, 건식화공법, 무인화(Robotics)공법 등에 대한 연구, 개발 투자가 필요하다(김종훈, 2002).

건설기능공의 부족은 앞으로 지속적으로 심화될 것으로 예상되므로 노동집약적인 공중에 대한 집중적인 성력화 및 프리페브화 공법의 개발은 필수적이라 하겠다. 이것은 건설생산성과 직결되는 사항으로 건설산업의 생산성을 향상시키기 위하여 산업차원에서 시행할 수 있는 것 중 프리페브화 및 공업화 그리고 공법개선과 자재개발 등이 제시되고 있다(Adrain, 1987). 또한 손창백과 이덕찬(2005)

의 연구도 설계 및 엔지니어링 관련요인 중 조립식 공법을 제시하고 있다.

건축공사에서 대표적인 노동집약적 공종으로 철근공사를 들 수 있으며, 철근공사는 현장작업의 불확실성과 숙련기능공의 확보 어려움 등(조훈희 외 5인, 2007)이 있어서 건설생산성 향상의 저해, 공기단축 어려움, 건설공사 안전관리의 어려움 등 향후 해결해야 할 많은 문제점이 있는 것이 사실이다. 그러나 철근공사는 건축공사에서 전체공사비 중 직접공사비의 약 9.8%를 차지하며, 현장 작업량이 많기 때문에 건축공사의 공사비관리 및 공정관리 측면에서 매우 중요한 공종이다(조훈희 외 5인, 2007).

따라서 본 연구에서는 앞에서 언급한 콘크리트 배합설계 및 매스 콘크리트 수화열 저감 엔지니어링, 골조공사의 성력화(省力化) 및 프리패브(Pre-fab)화 등과 같은 초고층 건축공사 개발이 필요한 요소기술 중의 한 분야로 초고층 건축물 기둥철근의 3개층 선조립 공법을 제안하고자 한다. 이것은 초고층 건축시공기술의 향상, 노동집약적인 공종에서 프리패브화 함으로서 건설산업의 생산성 향상과 지상에서 선조립하여 양중·설치하기에 골조공기의 단축이 가능할 것이고, 현장 대부분의 철근 조립인력이 지상 철근 조립장에서 작업을 시행하여 소수 작업자만이 지상층에서 선조립 철근의 조립만을 수행하므로 안전한 건축공사를 진행하는데 기여할 것으로 사료된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 초고층 건축물 기둥철근을 3개층 선조립하여 시공할 때 얻을 수 있는 효과를 실제사례를 통해서 검증하여 철근공사의 성력화에 기여하고자 한다. 따라서 본 연구의 대상은 초고층 건축물로 하였으며, 구조형식은 철근콘크리트 구조로 하였다. 또한 골조공사 중에서도 기준층 기둥철근공사만을 연구대상으로 한정하였다.

이러한 연구 범위를 바탕으로 본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행하였다.

- (1) 기존 연구를 통해서 골조공사의 생산성과 성력화 현황 및 철근공사의 현황을 파악하였다.
- (2) 3개층 기둥철근 선조립공법을 적용한 사례를 조사하였다.
- (3) 사례분석을 통해 3개층 기둥철근 선조립공법의 원가, 공정상 효과를 파악하고, 적용상의 주의사항을 제시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 골조공사 생산성

생산성은 일반적으로 생산체계를 통해 생산된 산출물량과 일정기간 그 생산물을 생산하기 위해 투입된 투입물량의 비로 표현된다(김예상, 1994). 생산성은 각 산업마다 특성을 가지고 있으며, 그 특성이 다양하나 건설산업은 타 산업에 비하여 옥외에 대상물의 위치가 고정된 상태에서 인력의 이동에 의하여 생산되므로 외기의 많은 영향을 받고, 노동집약적인 산업으로 인력의 의존도가 타

산업에 비하여 매우 높은 특성이 있다. 그러므로 건설산업은 타 산업에 비하여 생산성에 영향을 미치는 요소가 매우 다양할 뿐만 아니라 정형화하기가 매우 어렵다고 할 수 있다.

1) 건축공사에서 골조공사

건축공사에서 골조공사가 전체공사비 중 차지하는 비율이 건축물이 초고층화, 인텔리전트빌딩화 됨에도 불구하고 마감공사나 전기·기계설비보다 많은 것이 사실이다. 따라서 건축공사에서 생산성을 높이기 위해서는 골조공사의 생산성을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하는 것이 중요하다.

정근호외 2인(2002)의 연구에서 제시한 바에 의하면 골조공사비를 구성하는 비율이 거푸집공사 35%, 콘크리트공사 35%, 그리고 철근공사 30%이다. 또한 각 공사별 재료비와 노무비의 구성비는 그림 1과 같이 제시하고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 노무비 비율은 거푸집 공사가 가장 높고, 다음으로 철근공사, 그리고 콘크리트 공사 순으로 노무비 비율이 낮은 것을 확인할 수 있다.

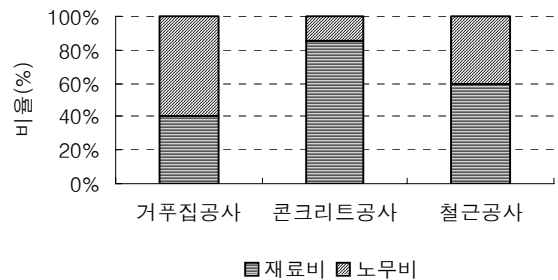


그림 1. 골조공사 공종별 재료비와 노무비 비율

2) 골조공사의 생산성

건설업 분야에서의 생산성은 건설산업의 생명이라 할 수 있는 시공능력을 평가할 수 있어야 하며 그러한 자료가 활용될 때 건설회사들의 시공능력 향상과 실질적인 경쟁력확보가 가능할 것이다. 이러한 건설산업의 생산성을 측정하는 방법으로 복합적인 투입자원 중 가장 대표적인 몇 가지에 중점을 두고 측정하는 부분생산성, 가능한 모든 투입자원을 고려하여 측정하는 총 생산성 그리고 생산활동의 부가가치에 관점을 두고 있는 가치생산성으로 구분할 수 있다(김예상, 1994).

우리나라 부분생산성에 해당한다고 할 수 있는 골조공사의 생산성을 미국과 비교를 하면 그림2)와 같다. 즉, 콘크리트 1M³를 타설하는데 소요되는 시간이 한국은 3.68시간이고 미국은 0.85시간이 소요돼서 미국이 한국의 약 23%밖에 소요되지 않고 있다. 철근의 경우는 1ton을 가공, 조립 및 설치하는데 49.6시간이 소요되며, 미국은 한국의 약 44%에 해당하는 22.05시간이 소요되고 있다. 그리고 거푸집은 거푸집의 종류에 많이 다르다고 할 수

1) 이복남, 생산성 향상을 통한 건설산업의 경쟁력 강화, 대한건축학회 국제세미나, pp. 63-104, 2003. 1.

있으나 합판거푸집을 사용하는 4층 건물을 기준으로 하면 거푸집 1M²을 제작 및 조립하는데 한국은 1.76시간, 미국은 1.44시간으로 한국의 82%밖에 소요되지 않는 것으로 제시되고 있다.

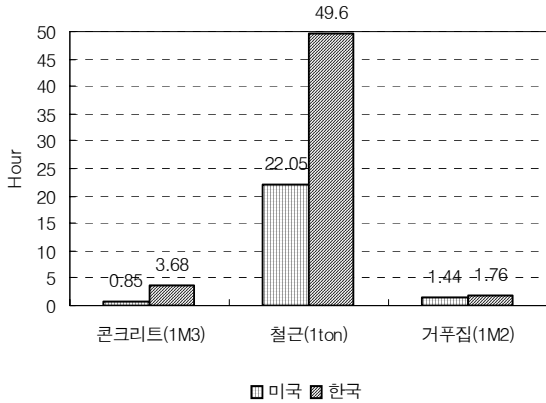


그림 2. 골조공사 생산성 비교(한국 vs 미국)

3) 골조공사의 성력화

골조공사의 인력투입을 최소화하고 생산성을 향상시키기 위해서 성력화가 필요하다. 골조공사 성력화 방안으로 철근공사는 선조립공법의 적용, 거푸집공사는 유니트 공법의 적용, 그리고 콘크리트 공사에서는 레디믹스트 공법의 적용을 정근호외 2인(2002)에서 제시하고 있는데(그림 3 참조),

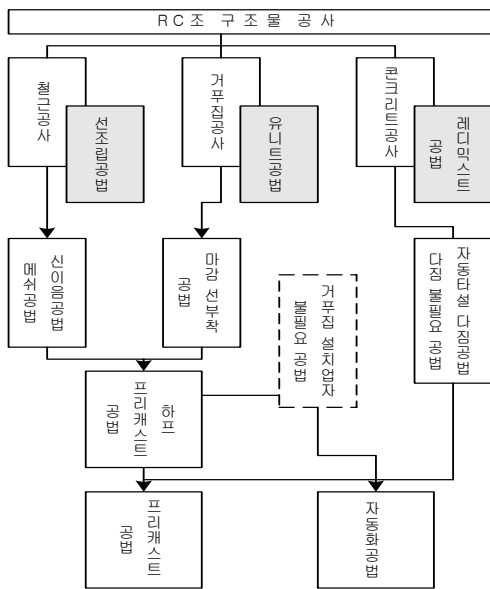


그림 3. 골조공사의 성력화, 합리화 방향

거푸집 공사에서 유니트공법은 최근 초고층 건물의 시공에서 ACS 품 또는 갱품으로 대부분 적용되고 있다고 할 수 있다. 콘크리트 공사에서 레디 믹스트 공법의 채용 또한 일반화 돼 있다고 해도 과언이 아니다. 그러나 철근 공사에서는 현장작업의 간소화, 공기단축 및 구조물의 품

질확보를 위한 공업화 등 합리화 정도가 비교적 낮은 실정으로 철근공사의 합리화를 위해서 철근선조립공법의 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 그러나 선조립부재의 이동, 양중 및 정착부, 그리고 철근이음처리의 문제 등으로 그 실용화 정도가 미미하다(오보환 외 2인, 2006).

2.2 철근공사의 현황

철근공사는 골조공사의 공정관리, 품질관리, 그리고 안전관리에 주요한 역할을 함에도 불구하고 철근공장가공, 철근 선조립공법 및 철근 조달과 같은 물류 시스템의 개선 등과 같이 철근공사의 생산성과 품질 향상을 위한 시도에도 불구하고 그 효과가 미미한 상태이다(조훈희 외 5인). 일반적인 철근공사 수행 프로세스는 그림 4와 같은데, 그 과정을 배근시공도작성, 가공, 그리고 조립 등으로 크게 세 단계로 구분할 수 있다. 각 단계별로 현황과 문제점을 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 배근시공도의 작성

철근공사를 수행하기 위한 배근시공도(Placing Drawing)는 국내 공사에서 90년대 말에 작성되기 시작하였고, 현재는 관급공사를 중심으로 대다수의 현장에서 배근시공도를 작성하고 있다. 그러나 배근시공도를 작성하는데 있어서 나타나는 문제점으로는 배근시공도 작성을 위한 적절한 인력이 양성돼 있지 않을 뿐만 아니라 작성된 배근시공도는 현장 실시공 상황을 반영하지 못하여 실효성을 거두지 못하고 있는 것이 현실이다(김광희 외 2인, 2002). 배근시공도와 철근 가공도를 작성하는 시기도 그림4에 제시된 바와 같이 ① 또는 ② 흐름으로 진행되고 있는데, ①의 경우는 배근시공도와 철근 가공도를 단순히 철근가공 및 조립에 활용하는 경우이고, ② 경우는 철근자재의 발주에 활용하는 경우이다. 현재 대다수의 현장에서 철근 배근시공도와 철근 가공도의 활용도 측면에서 ① 흐름으로 진행되고 있으나 이상적인 방향은 철근자재의 주문에 활용하여 철근 가공·조립 품질 뿐만 아니라 철근 절단 손실을 최소화하는 것이 바람직하다 하겠다.

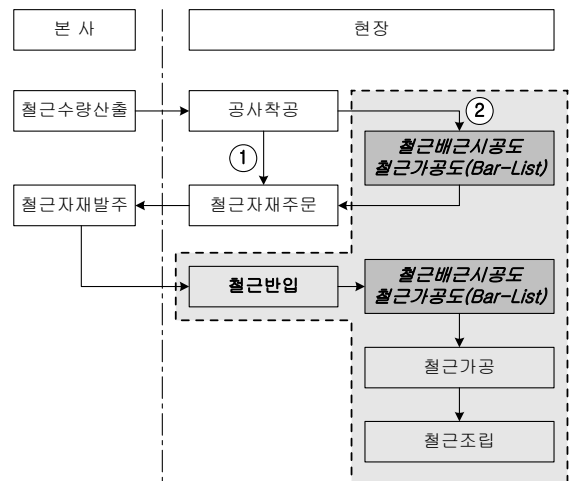


그림 4. 철근공사 수행 프로세스

2.2.2 철근가공

철근공사를 위한 철근의 가공은 반입된 현장에서 철근을 절단과 절곡 작업을 시행하는 현장가공 방식과 현장 밖에 별도로 설립된 가공공장 또는 가공장에서 철근을 절단 및 절곡작업을 시행하여 현장에 반입하는 공장가공 방식으로 구분할 수 있다. 김동진과 김옥중(2004)의 연구에서 제시한 현장가공과 공장가공의 장·단점은 표 1과 같다.

표 1. 철근 가공방식별 특징

구분	현장가공	공장가공
가공정밀도	일반	우수
철근 손실율	높다(3%내외)	낮다(3%이내)
단가	일반	높다(△운반비)
비상 대응능력	높다(현장대응)	낮다(추가운반 등)
현장내 공간	가공/자재 야적 공간 많이 필요	잔재 야적용 소규모 야적공간
관리업무 부하	일반	높다(세심한 발주관리)
투입물량 파악	어렵다	용이하다
가공도 작성	수작업	수작업 또는 전산작업

표 1에 제시된 바와 같이 공장가공의 장점은 가공정밀도, 철근 손실율의 저하, 현장 내 철근 작업 및 야적용 소규모 공간의 필요 공간, 그리고 투입 물량파악의 용이성 등을 들 수 있다. 공장가공을 시행할 경우 철근 손실율의 저하가 많이 되는 것으로 조사된 경우가 있으나 이것은 공장가공의 경우 한 개의 현장 철근을 보유하는 것이 아니라 여러 개 현장의 철근 물량을 확보하고 있으므로 현장간 단척 철근의 활용으로 철근의 손실이 감소할 수 있으나 과도하게 절감된 것으로 조사되는 것은 투입물량의 파악이 용이하여 반입물량과 투입물량을 정확히 파악하므로 손실이 절감된 것으로 인식되어지고, 현장가공의 경우는 별도의 철근 수량 산출작업이 없이 실행예산서 작성을 위하여 산출한 철근수량을 기준으로 하므로 상대적으로 철근 손실이 많이 발생하는 것으로 조사되는 것으로 판단된다.

따라서 현장가공과 공장가공과 같은 가공방식 또는 장소에 의해서 철근 손실이 크게 좌우되는 것이 아니라 현장가공 및 공장가공 공통적으로 철근 배근시공도의 작성 및 철근가공도의 작성을 통하여 제공사 발주시 최적의 정척을 발주하는 것이 철근 손실을 최소화하는데 가장 효율적인 것으로 사료된다.

2.2.3 철근조립

철근을 조립하는 방법에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있는데, 그 이유는 건설 기능공의 부족과 인건비의 상승에 기인하여 철근 조립 생산성을 극대화하고자 하는 것으로 판단된다. 철근 조립방법의 경우 건물의 해당부재가 위치한 장소에서 직접 조립하는 방법(현장조립), 현장내 별도의 장소에서 조립하여 양중장비로 인양하여 건물의 해당부재에 조립하는 방법(현장 내 선조립), 현장밖의 철

근가공공장이나 가공장에서 조립하여 현장내로 반입하여 양중장비로 인양하여 해당부재에 조립하는 방법(공장 선조립) 등 세 가지로 구분할 수 있다.

현재 대부분의 현장에서는 현장조립 방법을 채용하고 있는데, 그 이유는 첫째 양중장비의 과부하, 둘째 현장 내에서 선조립하여 인양·설치할 경우 철근 선조립장 확보의 어려움, 셋째 현장밖에서 조립할 경우 과도한 운반비 등을 들 수 있다. 그러나 철근을 선조립 할 경우 표 2²⁾와 같은 구조적인 측면과 시공적인 측면에서 많은 장점이 있는 것으로 기존 연구에 제시돼 있다. 따라서 최근과 같이 초고층 건축물이 많이 건설되고 있는 상황에서 공기단축을 위해서는 합리적인 철근 선조립 공법에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

표 2. 철근 선조립 공법의 장점

구조 측면	<input type="checkbox"/> 굵은 철근의 사용이 가능하여 RC조의 고층건물 적용에 유리 <input type="checkbox"/> 철근의 피복이 정확함 <input type="checkbox"/> 시공정도가 높아 안전율이 높으므로 고도의 구조계산이 가능함 <input type="checkbox"/> 고강도 콘크리트의 적용에 유리함
시공 측면	<input type="checkbox"/> 전문적인 철근공이 불필요하고, 주요 현장요소 재료의 손실이 적음 <input type="checkbox"/> 철근공사의 공사기간이 대폭 단축됨 <input type="checkbox"/> 각종의 콘크리트를 연속적으로 타설하여 공사기간을 절감 <input type="checkbox"/> 기존의 PC 공법과 비교해 운반부재의 중량이 적어 소규모의 타워크레인으로도 시공이 가능함

3. 3개 층 철근 선조립공법 사례

3.1 사례현장 개요

본 연구의 사례현장은 서울시 용산에 위치한 ○○타워 신축공사현장으로 건물규모는 지하4층 지상40층의 건물로써 지하는 주차공간으로 지상은 주상복합시설(공동주택+오피스텔)로 구성되어 있다(표 3 참조). 시공사는 A사와 B사가 공동도급으로 수행하고 있다. 지상층은 모두 6개동으로 구성되어 있는데 A사와 B사가 각각 3개동씩 시공하고 있다.

3.2 초고층 건축물 철근공사

기존에 시공된 초고층 건물을 대상으로 하여 현장자료 및 현장관리자를 대상으로 조사한 결과 초고층 건축물 철근 시공에서 도출되는 문제점으로는 첫째 수직부재 특히 기둥철근 이음물량이 과다하게 발생하여 철근 투입량의 증가, 둘째 시공중인 건물이 초고층인 관계로 양중시간이 과다하게 투입, 셋째 수직부재를 매층 시공할 경우 양중횟수의 증가로 인해서 인력 및 장비의 손실 발생, 넷째 초고층 건물이 여러 동을 시공할 경우 매층 철근을 시공할 경우 동별로 철근 조립량의 차이로 인해서 철근공 투입인력의 평준화가 불가능하다는 문제점이 나타나고 있다.

2) 대한주택공사, 철근 선조립 공법을 적용한 구체공사 시스템화 연구(I), 대한주택공사, p.5, 1992.

따라서 초고층 건축물 시공에 있어서 수직물류의 효율화를 기해서 초고층 건축물 공기를 단축하기 위해서는 상기 문제를 해결 할 수 있는 새로운 철근 조립공법의 도입이 절대적으로 필요한 상황이다. 그러므로 사례현장에서는 철근 이음방법 개선, 양중횟수의 축소, 1회 양중 철근량 확대, 건물위의 조립인력과 조립장의 조립인력의 구분, 즉 선조립 공법의 채택 등을 검토하였다.

표 3. 사례건물 개요

구분	주요 내용				
공사명	○○타워 신축공사				
위치	서울시 용산구 용산동				
용도	공동주택, 오피스텔, 판매시설, 주차장				
대지면적	34,756m ² (10,514평)				
건축면적	16,344m ² (4,944평)				
연면적	272,512m ² (82,435평)				
건물규모	B4F~40F (135m)				
공기	2005.06~2008.08 (39개월)				
구조형식	고층부 : 철근콘크리트 라멘조 (Flat Plate Slab) 저층부 : 복합구조 (SRC+PC)				
사용재료	콘크리트 강도	구분	부재	강도(MPa)	
			주상복합	기초	35
		수직부재 (기둥, 벽)		B4F~10F	50
				11F~20F	40
	수평부재	21F이상	35		
지하주차장		27			
철근	SD40 (HD10~HD22) SD50 (HD25이상)				

3.3 기둥철근 3개 층 선조립 공법

기둥철근 3개 층 선조립 공법은 3개 층의 기둥철근을 선조립하여 3개 층 분의 기둥철근을 양중·조립하는 것을 말한다.

3.3.1 철근 선조립을 위한 요소방법별 비교·검토

철근 선조립을 시행하는데 있어서 검토하여야 할 사항은 매우 다양할 수 있다. 그러나 모든 요소를 검토하기 보다는 대표적으로 문제가 될 수 있는 방법별로 검토하여 결정함으로써 철근 선조립이 공기, 원가, 안전, 작업성 등의 측면에서 유리한 요소 방법을 찾기위해 철근가공과 선조립 장소, 철근 이음방법, 철근 선조립 층수 등을 대상으로 비교·검토하면 다음과 같다.

1) 철근가공 및 선조립 장소

철근을 가공하는 방법으로는 현장에서 가공하는 현장가공과 철근가공을 전문적으로 시행하는 철근가공공장 또는 철근가공장에서 가공하는 방법으로 구분할 수 있다. 그리고 선조립하는 장소별로 가공된 철근을 철근가공공장 또는 철근가공장에서 선조립해서 운반하여 선조립하

는 방법, 철근가공장에서 가공된 철근을 현장으로 운반하여 현장에서 선조립하는 방법, 그리고 현장에서 철근을 가공하고 가공된 철근을 현장에서 선조립하는 방법으로 구분할 수 있다.

본 사례현장에서는 철근가공장에서 가공된 철근을 현장에 반입하여 현장에서 선조립후 인양하여 조립하는 방법을 채용하였다. 그 이유는 표 2에 제시된 내용과 같이 제강사에서 반입된 철근을 현장에 야적할 만한 공간확보가 불가능하였고, 철근손을 측면에서도 유리할 뿐만 아니라 철근관리가 현장가공보다 공장가공이 유리하다는 판단에서 공장가공을 선택하였다. 기둥철근의 선조립 장소를 철근가공장으로 결정할 경우 철근의 운반비 측면에서 상승분이 너무 크기 때문에 현장 조립으로 결정하였다. 그 이유는 철근가공장에서 가공된 철근을 선조립하지 않고 반입할 경우 운반비는 철근의 무게에 좌우되나 철근가공장에서 선조립하여 현장에 반입할 경우 운반비는 선조립된 철근의 부피에 의해서 결정되므로 운반비의 차이가 너무 크게 돼서 철근을 선조립하여 얻을 수 있는 여러 장점이 선조립철근 운반비의 과다로 상쇄될 수 있기 때문이다.

2) 이음방법의 비교

선조립시 철근 이음과정이 작업시간 등 다른 요소와 관련이 크기 때문에 철근 이음방법별로 표4와 같이 강점과 약점을 분석하였으며, 본 사례현장에서는 겹침이음과 기계적이음을 적용 공법으로 선정하여 시행하였다.

표 4. 철근이음 공법별 비교

구분	강점	약점
겹침 이음	<ul style="list-style-type: none"> 가장 간단한 이음 공사비 저렴 HD 10 ~ HD 25 	<ul style="list-style-type: none"> 굵은부재 사용불가 겹침부위의 내력저하 철근 Loss발생
수동가스압접	<ul style="list-style-type: none"> 이동 간편 외관 검사 자동압접의 60%저렴 	<ul style="list-style-type: none"> 속런도에 따라 품질차우 가열온도의 조절 및 시간 부족으로 품질저하 기후영향
자동가스압접	<ul style="list-style-type: none"> 작업능률우수 자동제어에 의한 품질 균일화 비파괴검사 시행 	<ul style="list-style-type: none"> 하루 작업량 제한 철근이음시 시간소요 기후영향
기계적 이음	<ul style="list-style-type: none"> 시공용이 공기영향최소 HD 29 ~ HD 32 	<ul style="list-style-type: none"> 나사편체 고정문제 필요에 따라 특수 기계 필요 수평 불량시 유압 Puller을 이용하여 수평 보정

3) 선조립 층수별 원가 비교

적절한 공법을 선정하기 위하여 커플러 단가와 지그 비용을 선조립을 수행하는 층수별, 즉 2개층 선조립 방법과 3개 층 선조립 방법의 공사비를 비교하여 공사비 측면에서 유리한 3개 층의 기둥을 선조립할 경우 이음 개소수가 감소함으로써 2개 층의 기둥철근을 선조립하는 비용보다 약 3천3백만 원 정도 절감되는 것으로 분석되었다 (표 5 참조).

표 5. 기동철근 선조립 층수 및 이음방법별 공사비 비교

구 분	커플러+2개 층 선조립(단위 백만원)		커플러+3개 층 선조립(단위 백만원)	
	커플러	JIG	커플러	JIG
A동	40	12	32	12
B동	70	19	51	19
C동	32	9	26	9
소계	142	40	109	40
합계	182		149	
비교	0		▼ 33	

4) 선조립 철근의 양중 횡수 비교

초고층 건물을 시공할 경우 양중장비의 과부하가 문제가 되므로 양중횡수를 최소화하는 방향으로 공사계획을 수립하는 것이 바람직하다. 양중횡수를 산정하기에 앞서 기동철근망의 중량을 표 6과 같이 산정하여 타워크레인 으로 양중가능 여부를 판단하였다. 그 후에 본 사례현장에서 기동철근의 2개 층 선조립과 3개 층 선조립의 양중 횡수 측면에서 살펴보면 B동의 기동 개수가 32개이므로 5층부터 40층까지 기동철근의 선조립을 시행하면 3개 층 선조립을 시행할 경우 기동철근의 선조립된 철근망은 384개의 철근망을 양중해야 되고, 2개 층을 선조립할 경우는 576개의 철근망을 양중 해야 된다. 그러므로 양중횡 수 측면에서 약192회가 차이가 나므로 절대적으로 양중 횡수를 줄일 수 있는 장점이 있다.

표 6. 선조립 철근망 중량 및 철근길이

구 분	선조립 층수	
	2개층	3개층
최대 중량	3.17Ton	4.7Ton
최대 길이	6.3M (A동)	9.45M (B동)

3.3.2 기동철근 3개 층 선조립 수직 Zoning

기동철근을 3개 층 선조립을 위하여 수직 Zoning을 하였는데, 이것은 양중하는 기동 철근 개수를 층별로 분산 하여 한 개층 양중횡수를 최소화하기 위함이었다. 사례현장에서 수직 Zoning을 세 개의 그룹으로 기동을 나누어서 각 층별로 조립하여야 하는 기동의 수를 적절하게 배 분되도록 하였다(그림 5 참조).

이것은 각 층별 조립할 철근 개수의 최소화, 이음위치의 엇갈림, 철근 조립인력의 평준화 등 여러 가지 현장관리 측면에서 유리할 수 있다.

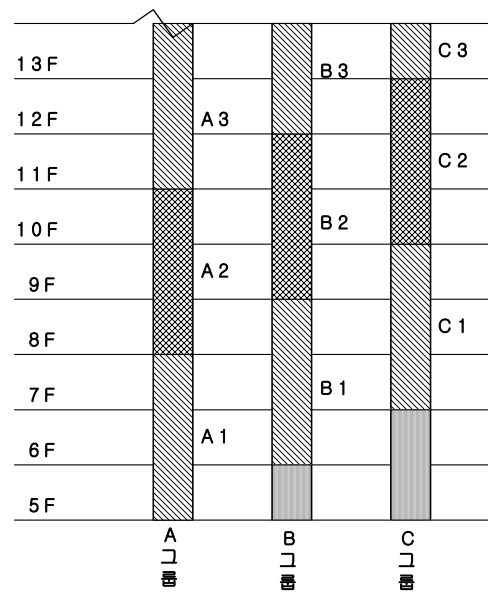


그림 5. 기동 철근 수직 Zoning 예

3.3.3 기동철근 수평 Zoning

기동철근의 조립(세우기) 인력의 평준화를 위해서 각 건물을 두 개의 작업 Zone으로 구분하였다. 작업 Zone 구분은 철근 작업인력의 평준화뿐만 아니라 거푸집 작업인력의 평준화 그리고 콘크리트 타설량의 적절한 배분 및 콘크리트 타설인력의 평준화를 동시에 만족시킬 수 있기 때문에 구분한 것이다.

그림 6은 A 동을 2개의 Zone으로 구분한 예를 보여주고 있으며, 두 개의 Zone으로 구분할 경우 한 개 층의 철근 조립(세우기)량이 적을 경우 2개이고, 많을 경우 5개 인 것을 표 7에서 확인할 수 있다. 표 7에 제시된 내용 중 1개 층 기동철근 수량과 1개 층 선조립 기동 수량이 차이를 보이는 것은 기동철근 중에서 선조립하기에 적합하지 않은 기동, 즉 건물평면에서 코너에 위치한 다각형 기동은 제외하였기 때문이다.

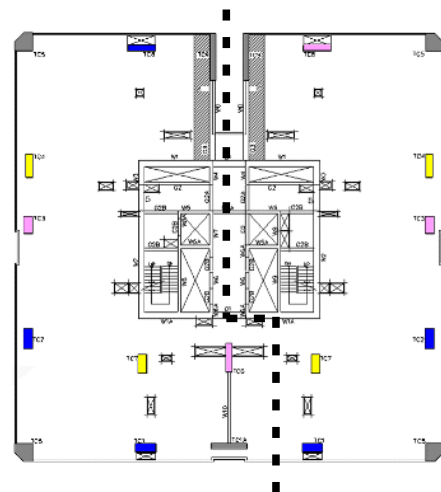


그림 6. 수평 Zoning

표 7. Zone별 기둥갯수 및 3개층 선조립 기둥 갯수

구 분	A동(EA)	B동(EA)
1개 층 기둥 수량	20	34
Zone당 기둥 수량	9/11	20/14
1개 층 선조립 기둥 수량	13	27
Zone별 3개 층 선조립 기둥 수량	2/3	4/5

표 8은 수직으로 철근 선조립 층을 Zoning하고 수평으로 작업 Zoning 한후 다시 세 개의 그룹으로 선조립 철근을 분할했을 경우 철근조립이 행하여지는 층을 구분하여 나타낸 것이다.

표 9. 기둥철근 선조립 프로세스

공 정	설 명	사 진
기둥철근 선조립	조립용 틀을 이용하여 현장내 조립장에서 기둥철근을 사전조립함	
조립위치로 이동	조립된 철근을 설치할 위치로 타워크레인을 이용하여 이동시킴	
인양용 트러스 설치	설치를 위한 인양용 트러스를 조립된 기둥 철근망에 정착함	
철근이음	선조립된 기둥철근 망을 해당위치에 설치하고 이음함	
전도방지	조립완료된 기둥철근의 전도를 방지하기 위하여 전용 지지대를 이용하여 지지하고 로프로 고정함	
인양 트러스 해체	인양하기 위하여 장착한 트러스를 해체함	

표 8. 수직 및 수평 Zoning에 의한 철근 조립층

범 례	기둥철근 조립층
3N	5, 8, 11, 14, 17, 20, 23,
3N+1	6, 9, 12, 15, 18, 21, 24,
3N+2	7, 10, 13, 16, 19, 22, 25,

3.3.4 기둥 3개층 선조립 Process

본 사례현장에서 시행한 기둥 철근 3개층 선조립 프로세스를 간략하게 설명하면 표 9와 같다.

4. 적용결과 분석

본 연구의 사례현장에서 3개 층 기둥 철근의 선조립철근 공법을 적용한 후 그 결과를 원가적인 측면과 공기적인 측면에서 분석한 결과는 다음과 같다.

4.1 원가측면의 효과

기둥철근의 3개 층 선조립 공법을 사례현장에 적용한 결과를 원가측면에서 살펴보기 위해서 철근의 절감부분을 우선적으로 알아보면 다음 표 10과 같은데, 3개 층 선조립을 시행하여 매층마다 조립하고, 겹침이음공법을 적할 경우 대비해서 210Ton의 철근이 절감되었다.

절감된 철근량을 금액으로 계산하면 자재비 약 1억원, 노무비 약 4천만 원으로 약 1억4천만 원의 공사비가 절감된 것으로 분석할 수 있다(표 11 참조).

표 10. 기둥철근 3개 층 선조립에 의한 철근 절감량

구 분	철근절감 길이(M)	철근 절감중량(Ton)
A동	6,445	40
B동	22,371	139
C동	4,899	31
계	33,715	210

표 11. 기둥철근 3개 층 선조립에 의한 절감금액

구 분	시공 단가(원/Ton)	절감금액(백 만원)
자재비	487,000	102
노무비	190,500	40
계	677,500	142

4.2 공정측면의 효과

본 사례현장에서 골조공사의 공정을 철근 선조립공법만으로 판단하기에는 무리가 있다. 그 이유는 골조공사의 공정은 거푸집공사, 철근공사, 그리고 거푸집공사가 유기적으로 결합하여 골조공사의 공기를 좌우하기 때문이다.

그러나 당 사례현장의 골조공사가 3-Day Cycle로 진행되었으며, 3-Day Cycle로 공사가 수행되는데 기둥철근의 3개 층 선조립 공법이 어느 정도 기여했다고 정량적 표현은 어렵지만 정성적으로 판단할 수 있는 것으로 사료된다. 왜냐하면 앞에서 타워크레인의 양중횟수의 축소로 인해서 양중장비 운영의 효율성을 높일 수 있었고, 기둥철근 조립시간을 단축함으로써 기둥과 철근의 거푸집조립 작업을 콘크리트 타설 다음날 오전에 완료함으로써 3-Day Cycle을 실현하는데 크게 기여했기 때문이다.

4.3 기둥철근 3개 층 선조립 적용상 주의사항

기둥 철근의 3개층 선조립 공법을 적용하는 과정에서 발생하거나 발생할 수 있는 문제점으로는 첫째 선조립 작업을 시행 할 수 있는 장소의 확보이다. 본 사례에서는 약 300M²의 선조립장을 현장내에 확보하여 시행하였다. 둘째 조립된 철근의 전도를 예방하는 것이 무엇보다 중요하다. 왜냐하면 조립된 철근의 높이가 약 10M 정도가 되므로 자립이 불가능하여 전도 가능성이 매우 높기 때문이다. 셋째 철근을 인양할 때 선조립된 철근망이 변형되는 것을 방지하기 위한 대책이 충분히 강구되어야겠다. 본 사례현장에서는 D25 철근으로 상단, 중앙, 하단 부분을 보강하였고, 가새로 보강하여 변형을 예방하였다.

5. 결 론

최근 국내외에서 많이 건설되고 있는 초고층 건축물의 시공에서 골조공사 중 철근공사에서 도출될 수 있는 철근 이음물량이 과다하게 발생하는 것, 초고층인 관계로 양중시간이 과다하게 소요되고 양중횟수가 많다는 문제점, 그리고 작업인력의 평준화가 어렵다는 문제점 등을 해결하기 위해서 기둥철근의 3개 층 선조립 공법을 계획하였고, 사례적용을 통하여 그 결과를 분석하였다.

그 결과 전체 공사금액 대비 절대적인 량을 적은 금액이나 원가 절감이 가능하고, 골조공사의 공정을 단축할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 초고층 골조공사에서 도출되는 문제점, 즉 이음물량의 과다, 양중시간과 양중횟수의 과다, 그리고 근로자 대기시간의 증가와 노무 평준화의 어려움이라는 문제점을 어느 정도 해소할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 기둥철근의 3개 층 선조립 공법을 기둥철근 뿐만 아니라 벽체 철근 등에 확대함으로써 초고층 건축물 골조시공 기술의 향상을 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 벽체 철근의 3개 층 선조립공법 등에 대한 추가적인 검토와 사례적용이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김광희외 2인, 국내 건축물 철근공사 품질·원가 개선을 위한 시스템 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집(구조계), v.18, n.5, pp.121-129, 2002.5.
2. 김동진, 김옥중, 철근공사 공장가공 합리화 방안, 대한건축학

- 회 학술발표대회논문집, V.24, pp.419-422, 2004.4.
3. 김동진, 김옥중, 철근공사 공장 가공 합리화 방안, 대림기술정보, 2004 여름호, pp. 58-65, 2004.6.
4. 김예상, 건설 생산성에 영향을 미치는 요인 분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, v.10 n.10, pp. 267-73, 1994.10.
5. 대한주택공사, 철근 선조립 공법을 적용한 구체공사 시스템화 연구(I), 대한주택공사, p.5, 1992.
6. 오보환외 2인, 철근 접이식 결속선을 이용한 철근 선조립 공법, 대우건설기술, No.28, pp.176-179, 2006.6.
7. 왕인수, 서울 도곡동 타워팰리스 프로젝트의 CM수행사례 / Tower Palace 3차를 중심으로, ConsMa(Construction Management) 국제행사, 2005.4.
8. 이복남, 생산성 향상을 통한 건설산업의 경쟁력 강화, 건설산업 경쟁력 강화와 콘크리트 품질향상, 대한건축학회 국제세미나, pp.63-104, 2003.01.
9. 정근호외 2인 거푸집공사의 전망, 한국건축시공학회지, v.2 n.4, pp.64-68, 2002. 12.
10. 조훈희외 5인, 철근공사의 공장가공 현황분석과 활성화 방안, 한국건설관리학회논문집, v.8, n.1, pp. 57-65, 2007.2.
11. Adrain, James J. Construction productivity improvement, Elsevier Publishing, New York, 1987.