

초고층 골조공사의 바닥 거푸집별 생산성 분석

- 기준층 3일 공정을 중심으로 -

The Productivity Analysis by Slab Formwork of Structural Frame Work in Tall Building Construction - Focused on 3-Day Cycle -

김 태 훈*
Kim, Tae Hoon

신 윤 석**
Shin, Yoon-Seok

조 성 수***
Cho, Seong-Soo

강 경 인****
Kang, Kyung-In

Abstract

A tall building construction is needed to reduce the construction duration for project profitability. Reducing the cycle time of typical floor in the structural frame work which have the largest duration in the whole construction, greatly affects construction duration. Nowadays, some projects are accomplished in the 3 day cycle. In order to accomplish efficiently 3 day cycle, productivity information of similar projects is supported.

Therefore, this study proposed labor productivity and application by slab formwork to construct by the 3 day cycle. In order to perform an analysis, we selected 3 cases and analyzed the labor productivity on the basis of the amount of slab forms, labors, and durations. Then, we performed the questionnaire to analyze the application by formwork of tall building construction engineers.

This study will contribute to establish a reasonable scheduling in structural frame work of a new similar project.

키 워 드 : 초고층 건물, 골조공사, 3일 공정, 바닥 거푸집, 생산성

Keywords : Tall Building, Structural Frame Work, 3-Day Cycle, Slab Formwork, Productivity

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

초고층 건축물은 일반 건축물의 공사에 비해 규모가 대형화 되고 대부분 동일 평면의 반복 작업으로 이루어진다. 따라서 기준층 층당공기(cycle time)는 프로젝트의 성패를 좌우하며, 층당공기가 길어지면 전체 공기가 크게 증가되어 프로젝트의 사업성이 상실된다.

이에 초고층 건축공사에서는 새로운 공법 적용 및 효율적인 공정 계획 수립을 통해 지속적으로 공기 단축을 도모한다. 특히 전체 공사 중 가장 많은 공기를 차지하는 골조공사의 층당 공기 단축은 프로젝트 전체 공기에 미치는 영향이 매우 크며, 현재 국내 초고층 골조공사는 기준층에서 층당 3일 공정까지 달성하고 있다. 층당 3일 공정을 보다 효율적으로 달성하기 위

해서는 기존 유사 공사에서의 각 단위 작업별 생산성 정보를 토대로 소요자재, 인력 및 장비 투입에 대한 계획 수립이 이루어져야 한다¹⁾.

골조공사 중 거푸집 공사는 공기 및 공사비 측면에서 가장 많은 비중을 차지하며²⁾, 결과적으로 거푸집 공사의 생산성은 골조공사 공정계획의 수립에 가장 큰 영향을 미친다.

따라서 본 연구는 초고층 골조공사 기준층을 층당 3일 공정으로 시공한 현장의 바닥 거푸집별 작업자 생산성 및 적용성을 비교 분석하여 제시함으로써, 향후 유사 프로젝트의 합리적인 골조공사 공정계획 수립에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구의 진행을 위해 현재 골조 공사가 완료되었거나 진행 중인 국내 대형 건설업체 60개 초고층 공사 현장을 대상으로 현장별 기준층 층당공기 및 바닥 거푸집 적용현황을 파악하였다. 본 연구는 현재 국내 30층³⁾ 이상의 초고층 건축물 중 주를 이루고 있는 철근콘크리트 구조의 주거용 초고층 건물만을

* 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정, 정회원

** 고려대학교 건축공학과 박사수료, 정회원

*** 국제대학 건축디자인과 부교수, 정회원

**** 고려대학교 건축사회환경공학과 교수, 정회원

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심기술 연구개발사업(03산 C04-01)의 연구비 지원에 의한 연구의 일환으로 수행되었음.

1) 오세욱 외 2인, 단위작업 생산성 정보를 활용한 공정관리 지원시스템 개발, 한국건설관리학회논문집, 6권, 5호, pp.181-192, 2005. 12

2) 고성석, 오준호, 거푸집공사 위험성 평가에 관한 연구, 산업안전학회지, 17권, 3호, pp.96-101, 2002

3) 박영기(2004)의 연구에서 건축실무자들을 통한 설문조사에 따르면 30층 이상을 초고층 건물로 보는 의견이 지배적이었다.

대상으로 하였다.

조사 현장 중 각각 다른 바닥 거푸집으로 층당 3일 공정을 달성한 사례 현장을 선정하였으며, 각 현장의 바닥 거푸집별 생산성을 비교 분석하였다. 본 연구에서는 코어부를 제외한 주동부 바닥 거푸집으로 연구의 범위를 제한하였다.

생산성 분석을 위해 각 사례 현장의 작업자 생산성과 거푸집별 적용성을 파악하였다. 작업자 생산성은 각 사례 현장의 실무자로부터 실 소요물량, 인원 및 공기에 대한 자료를 확보하여 도출하였으며, 거푸집별 적용성은 경제성, 시공성, 품질 측면에 대하여 초고층 공사 실무자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문은 적용성이 우수할수록 높은 점수를 주도록 하여 각 항목에 대해 5점 리커트 척도(Likert scale)로 조사를 실시하였다.

2. 초고층 골조공사 바닥 거푸집 적용 현황

본 연구에서는 60개 초고층 공사 현장의 주동부 바닥 거푸집 적용 현황을 파악하였으며, 그 결과는 표 1과 같다. 현재 국내 초고층 공사에서는 알루미늄폼(aluminum form)이 37개소(61.7%)로 가장 많이 적용되는 것으로 나타났다.

이 중 재래식 거푸집은 설치 방식이 유사한 합판 거푸집과 콘판넬이 포함되며, 마찬가지로 알루미늄폼은 알루미늄 우드폼(aluminum-wood form)을 포함한다.

표 1. 국내 초고층 공사 바닥 거푸집 적용현황

거푸집 종류	적용개소	비율(%)
재래식 거푸집	14	23.3
알루미늄폼	37	61.7
테이블폼	4	6.7
스카이덱	5	8.3

또한 60개 현장의 기준층 층당공기⁴⁾에 따른 바닥 거푸집 적용현황은 그림 1과 같다. 현재 초고층 공사는 3일에서 10일까지의 층당공기로 진행되고 있었으며, 7일 이상의 층당공기는 바닥 거푸집에 따라 좌우되지 않는 것으로 판단되어 함께 파악하였다.

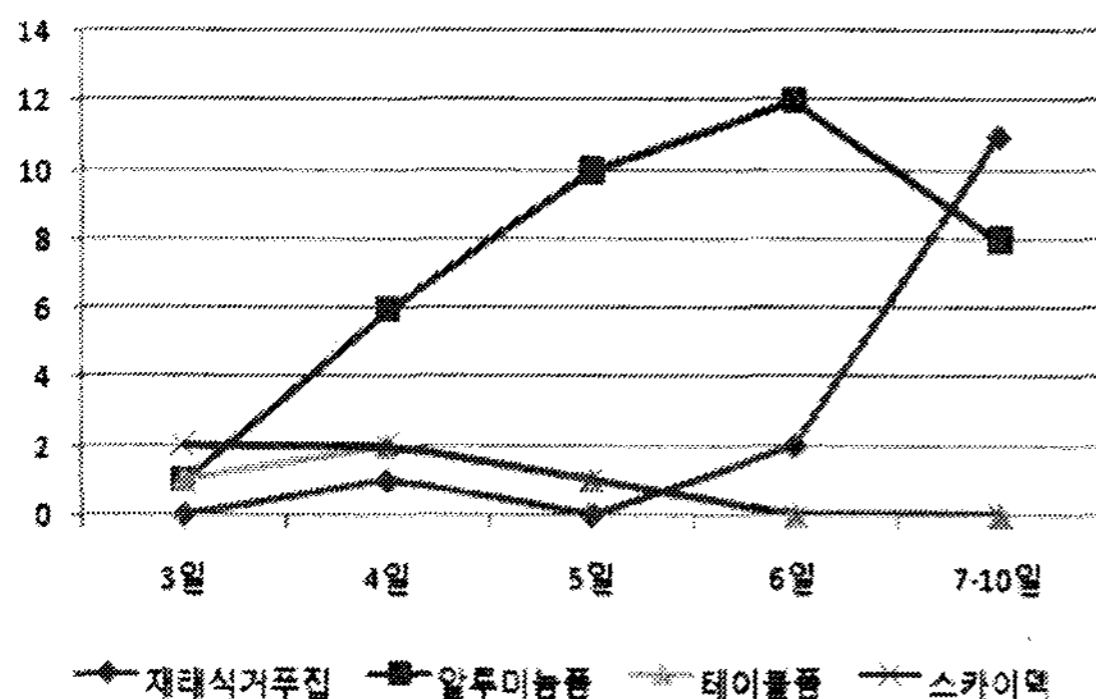


그림 1. 층당공기에 따른 바닥 거푸집 적용현황

4) 층당공기는 실 작업일수(working day)를 기준으로 조사하였다.

그림 1의 결과를 보면 주로 재래식 거푸집은 6일 이상, 알루미늄폼은 4일 이상의 층당공기로 진행되는 현장에 적용되었으며, 테이블폼(table form)과 스카이덱(sky deck)은 모두 5일 이하의 층당공기로 진행되는 현장에 적용된 것으로 나타났다.

이 중 재래식 거푸집을 제외한 나머지 바닥 거푸집이 적용된 4개 현장에서 층당 3일 공정을 달성한 것으로 조사되었다. 알루미늄폼과 테이블폼이 각각 1개 현장, 스카이덱이 2개 현장에 적용되었으며, 건물 구조는 모든 현장에서 벽식이나 라멘 구조에 비해 구조 자체가 단순하고 작업 물량이 적어 시공성 및 수익성 확보 측면에서 유리한 플랫 플레이트(flat plate) 또는 플랫 슬래브(flat slab) 구조를 채택하고 있었다.

3. 바닥 거푸집별 생산성 분석

3.1 사례현장 개요

본 연구에서는 앞에서 파악한 것처럼 3일의 층당공기로 진행된 4개 현장 중 알루미늄폼과 테이블폼, 스카이덱이 적용된 각 1개 현장씩 3개 현장을 대상으로 바닥 거푸집별 생산성을 비교 분석하였다. 각 사례 현장 개요는 표 2와 같다.

3개 사례 현장은 기준층 바닥면적이 비교적 유사하며, 주동부의 내·외부 수직 거푸집이 동일하게 적용되어 주동부 바닥 거푸집의 생산성을 비교 분석하기에 적합한 것으로 사료된다. 다만 사례 3 현장의 경우 나머지 사례 현장과 달리 코어 선형 공법을 채택하였으나, 주동부의 바닥 거푸집별 생산성 비교에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.2 바닥 거푸집별 생산성 분석

3.2.1 작업자 생산성 분석

본 연구에서는 3개 사례 현장의 바닥 거푸집에 따른 작업자 생산성을 분석하기 위해 각 현장의 실무자를 통해 가장 전형적인 투입물량 및 인원, 소요공기에 대한 자료를 확보하였다.

사례 현장별로 기준층 1개 층에 투입된 물량, 인원 및 소요공기는 표 3과 같으며, 여기서 소요공기는 1개 구역의 거푸집 해체, 인양 및 설치에 소요된 시간을 나타낸다.

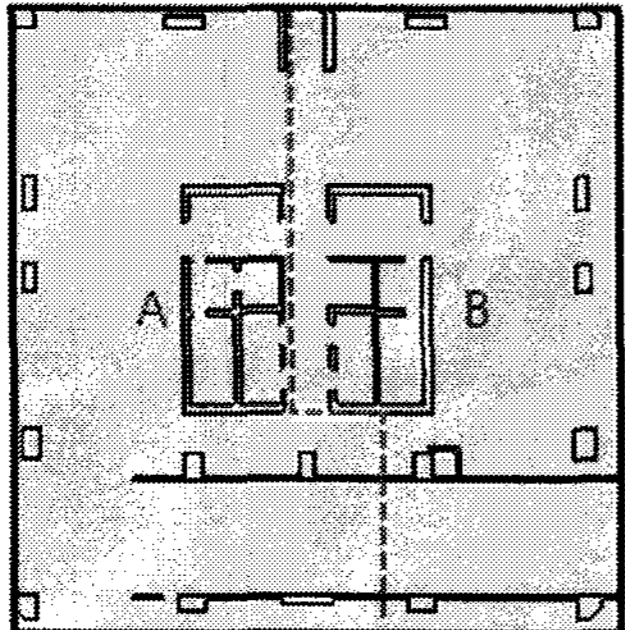
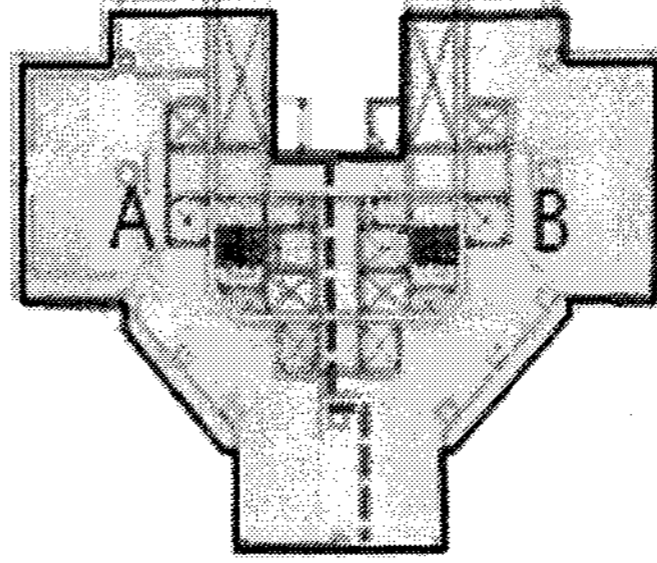
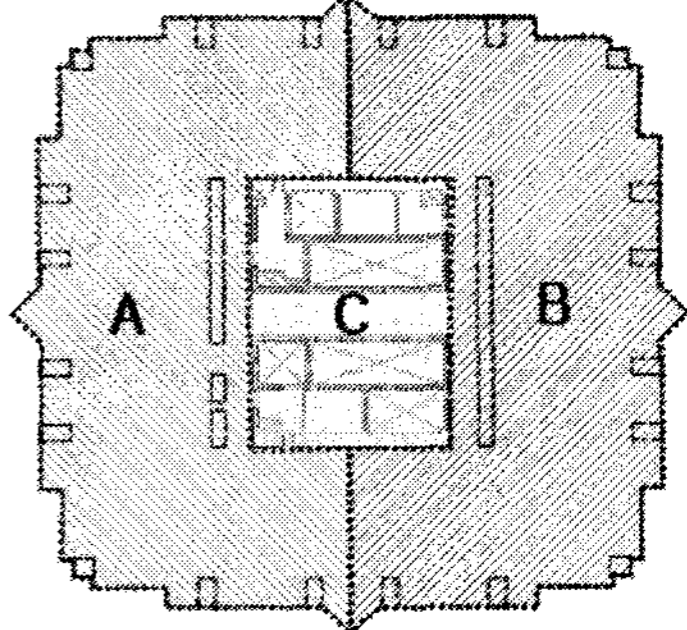
표 3. 사례 현장별 투입 물량, 인원 및 소요공기

구분	거푸집 종류	거푸집 물량(m ²)	투입인원 (인)	소요공기 (hr)
사례 1	알루미늄폼	1050	22	7
사례 2	테이블폼	1040	26	6
사례 3	스카이덱	1216	20	9

사례 1 현장의 경우 A 구역과 B 구역에 각각 10명, 12명이 투입되어 1개층의 바닥 거푸집 작업시 총 22명이 투입되었으며, 사례 2와 사례 3 현장은 각각 1개 구역에 13명, 10명씩 투입되어 1개층 작업에는 총 26명, 20명이 소요됨으로써 스카이덱을 적용한 현장이 거푸집 작업에 가장 적은 인원이 투입된 것으로 나타났다.

또한 1개층 거푸집 작업시 소요시간은 테이블폼을 적용한

표 2. 사례현장 개요

구분	사례 1	사례 2	사례 3
공사명	OO타워 신축공사	OO시티 상업지역 신축공사	THE# OO스타 주상복합신축공사
위치	서울시 용산구 용산동	서울시 광진구 자양동	부산시 해운대구 우동
기간	2005.06-2008.10 (41개월)	2004.12-2008.11 (47개월)	2004.12-2008.12 (49개월)
용도	공동주택, 오피스텔, 판매시설, 주차장	판매 및 영업시설, 복지시설, 근린생활시설, 운동시설	공동주택, 업무시설, 판매시설
건축면적	16,344㎡	11,399㎡	5,476㎡
연면적	272,512㎡	251,566㎡	205,993㎡
기준층(1개층) 바닥면적	1296㎡	1244㎡	1444㎡
건물규모(높이)	B4F-40F(135M)	B6F-50F(192M)	B5F-60F(208.5M)
구조형식	플랫 플레이트 슬래브	플랫 슬래브+테두리보	플랫 플레이트 슬래브
골조공사공법	코어+슬래브 동시시공	코어+슬래브 동시시공	코어 선행
주동부 거푸집	바닥	알루미늄폼	테이블폼
	외벽	ACS	
	내벽	알루미늄폼	
기준층 도면 및 공구 분할 (zoning)			

현장이 6시간으로 가장 적게 걸린 반면, 스카이덱을 적용한 사례 3 현장은 9시간으로 작업시간이 가장 많이 소요되었다.

하지만 이는 거푸집 작업물량을 고려하지 않은 것으로 정량적인 비교 분석을 위해서는 작업물량에 따른 생산성을 도출하는 것이 필요하다.

표 4. 사례 현장별 1인당 작업물량 및 작업자 생산성

구분	1인당 작업물량 (㎡/인)	투입MH (인·hr)	작업자 생산성 (㎡/인·hr)
사례 1	47.7	154	6.82
사례 2	40.0	168	6.67
사례 3	60.8	180	6.76

표 4는 표 3의 결과를 바탕으로 사례 현장별로 1인당 작업물량 및 투입 Man-Hour(이하 MH)와 작업물량에 따른 바닥 거푸집별 작업자 생산성을 산출한 결과를 나타낸 것이다.

그 결과 작업자 1인이 작업한 면적은 사례 3 현장이 60.8㎡로 가장 크게 나타났으나, 작업자 1인이 1시간동안 작업한 면적인 작업자 생산성은 6.82㎡/인·hr로 알루미늄폼이 가장 높게 나타났다. 이는 사례 1 현장보다 사례 3 현장의 거푸집 작업 시간이 길어 투입 MH가 커졌기 때문이다.

또한 테이블폼을 적용한 사례 2 현장의 경우 1인당 작업물

량은 40.0㎡로 다른 2개 현장에 비해 낮았으나, 소요공기가 6시간으로 가장 짧아 결과적으로 3개 바닥 거푸집의 작업자 생산성은 미미한 차이를 보였다.

다만, 사례 2 현장은 플랫 슬래브에 테두리보를 가진 구조로 다른 현장에 비해 다소 작업의 난이도가 높았던 것으로 사료되며, 플랫 플레이트 구조에 적용시 테이블폼 작업의 생산성은 보다 향상될 것으로 판단된다.

3.2.2 거푸집별 적용성 분석⁵⁾

경제성, 시공성 및 품질 측면에서 바닥 거푸집별 적용성에 대해 설문조사를 실시하였다. 설문지는 초고층 공사 및 거푸집 선정 업무 경험이 있는 국내 대형 건설업체의 실무자를 대상으로 배포하였으며, 총 33부를 회수하여 신뢰성 및 정확도가 확보된 31부에 대하여 분석을 실시하였다. 바닥 거푸집별 적용성에 대한 설문 결과는 표 5와 같다.

경제성 측면에서 초기 자재비는 알루미늄폼이 가장 적고, 스카이덱이 가장 큰 것으로 나타났다. 하지만 현장 조사 결과 1벌당 일반적인 전용 가능횟수를 보면 알루미늄폼이 30회 정도인 데 비해 테이블폼은 15회⁶⁾, 스카이덱은 50회 이상으로 더 많은 전용이 가능한 것으로 파악되었다. 전용횟수가 커질수록

5) 김태훈 외 3인(2007)의 연구에서 일부 발췌하여 정리한 내용임.

6) 테이블폼은 알루미늄폼과 스카이덱이 보통 1개 현장당 1벌이 투입되는 것과 달리, 보통 3벌이 투입되어 1벌당 15회 전용시 총 45개층의 작업이 가능하다.

자재비 단가가 낮아지는 점을 고려할 때 테이블폼은 1벌당 10회 이상, 스카이덱은 40회 이상 정도의 현장에 적용하는 경우 자재비는 알루미늄폼과 크게 차이가 나지 않는 것으로 조사되었다.

표 5. 바닥 거푸집별 적용성 설문 결과

고려사항		거푸집 종류(순위)		
항목	요소	알루미늄폼	테이블폼	스카이덱
경제성	초기 자재비	2.20(1)	1.93(2)	1.60(3)
시공성	동바리 간격에 따른 작업용이성	3.67(3)	4.03(2)	4.36(1)
	조립, 해체, 운반 작업의 편의성	3.55(3)	3.75(2)	3.96(1)
	양중 작업의 편의성	3.24(3)	3.43(2)	3.71(1)
	보 및 수직부재 규격변화에 따른 대응성	2.76(1)	2.61(3)	2.67(2)
	벽체 거푸집과의 결속 용이성	3.57(2)	3.41(3)	3.76(1)
	숙련공 수급용이성	3.43(1)	2.86(2)	2.84(3)
	필러(iller)처리 용이성	3.77(1)	3.28(3)	3.48(2)
품질	거푸집 탈형 후 품질	3.77(3)	3.90(2)	4.20(1)
	배관 개구부 위치 정확도 확보	3.47(3)	3.55(2)	3.96(1)

또한 시공성 측면을 보면 테이블폼과 스카이덱이 알루미늄폼에 비해 동바리 간격이 다소 넓어 그에 따른 작업 용이성에서 우수한 반면, 숙련공의 수급용이성은 알루미늄폼이 다소 나은 것으로 나타났다. 이는 테이블폼과 스카이덱이 최근에 적용되기 시작하여 적용 현장이 적기 때문으로 사료된다. 나머지 요소에서는 모두 유사한 적용성을 나타내었으며, 부재 규격 변화에 대한 대응성을 제외하고는 비교적 우수한 적용성을 가진 것으로 파악되었다.

마지막으로 품질에 대한 결과는 스카이덱이 다른 거푸집에 비해 약간 우수한 것으로 나타났으나, 3개 거푸집 모두 우수한 적용성을 보였다.

4. 결 론

초고층 건축공사는 사업성 확보를 위해 공기 단축이 요구되며, 전체 공사에서 가장 많은 공기를 차지하는 골조공사는 새로운 공법 등의 적용을 통해 현재 기준층 층당 3일 공정까지 달성하고 있다. 하지만 보다 효과적으로 3일 공정을 이루기 위해서는 사전에 기존 유사 현장의 생산성 정보를 기반으로 한 합리적인 공정계획 수립이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 층당 3일 공정으로 공사가 진행된 현장 중 골조공사 공기 달성에 가장 큰 영향을 미치는 바닥 거푸집에 대하여 적용 거푸집별 생산성을 분석하여 제시하였다.

우선 작업자 생산성 분석 결과 1인당 작업면적은 스카이덱이 가장 크나, 작업자 생산성은 알루미늄폼이 가장 높게 나타났다. 하지만 거푸집별로 그 차이가 미미하며, 테이블폼의 경

우 나머지 거푸집과 마찬가지로 플랫 플레이트 슬래브 구조의 현장에 적용될 경우 생산성은 보다 향상될 것으로 판단된다.

또한 경제성, 시공성 및 품질 측면에서의 적용성 설문 결과 자재비는 알루미늄폼이 가장 저렴하나 전용횟수가 큰 현장에 적용될 경우 그 차이는 크지 않으며, 시공성 및 품질은 3가지 거푸집 모두 대체로 우수한 편이나 테이블폼 및 스카이덱이 알루미늄폼에 비해 약간 더 뛰어난 측면을 보였다.

본 연구의 결과를 통해 보다 합리적으로 골조공사의 공정계획 수립이 가능할 것으로 사료된다. 향후 보다 많은 현장 적용 자료의 수집을 통한 생산성 데이터 확보 및 전체 적용 부위에 대한 거푸집별 생산성 분석이 추가로 이루어져야 할 것이며, 나아가 철근 및 콘크리트 공사의 생산성 분석을 통해 골조공사 전반에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 고성석, 오준호, 거푸집공사 위험성 평가에 관한 연구, 산업안전학회지, 17권, 3호, pp.96-101, 2002
- 김태훈 외 3인, 국내 초고층 골조공사의 거푸집별 적용성 분석, 한국건설관리학회 학술발표대회논문집, 2007. 11예정
- 박영기 외 2인, 초고층 주거 건축에 있어서 설계 정보에 대한 실무자의 의식 연구, 대한건축학회논문집, 20권, 12호, pp.115-122, 2004. 12
- 오세욱 외 2인, 단위작업 생산성 정보를 활용한 공정관리 지원시스템 개발, 한국건설관리학회논문집, 6권, 5호, pp.181-192, 2005. 12