

# 고층 건축공사의 시공성 향상을 위한 설계단계의 시공엔지니어링 업무 도출 - 가설공사를 중심으로 -

## Identifying Construction Engineering Tasks at the Design Phase for Enhancing Constructability in High-rise Building Construction - Focused on Temporary Work -

이진웅<sup>1</sup>

조규만<sup>2</sup>

김태훈<sup>2\*</sup>

Lee, Jin-Woong<sup>1</sup>

Cho, Kyu-Man<sup>2</sup>

Kim, Tae-Hoon<sup>2\*</sup>

Graduate School, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju, 61452, Korea<sup>1</sup>

School of Architecture, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju, 61452, Korea<sup>2</sup>

### Abstract

Due to the increase in the size of buildings and scale, the importance of construction engineering that reflects the constructability from the design stage of the project is increasing. Especially, engineering efforts related to facilities, equipment and construction methods for temporary work at the design stage can significantly contribute to improvement of constructability and project performance. The purpose of this study is to derive construction engineering tasks on temporary work at the design phase of the high-rise building projects. 27 preliminary tasks were firstly investigated through literature review and experts' group interview, and the necessity and importance analysis of each tasks were then performed based on questionnaire survey. Most of the tasks related to plans on structural framework and lifting equipment were analyzed as relatively more important ones. Lastly, 21 engineering tasks, which are classified into 5 factors, were proposed through factor analysis. The factors were determined as 1) structural framework, measurement and circulation, 2) lifting equipment and pumping, 3) space zoning, 4) water supply, 5) temporary facility, electric power supply and lighting. The results of this study can be used as basic data for establishing efficient work process of construction engineering on temporary work at the design phase.

Keywords : construction engineering, temporary work, high-rise building construction, constructability, design phase

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적

건축물의 고층화와 규모 증가에 따라 프로젝트의 설계단계에서부터 시공성(Constructability)을 반영한 엔지니어링

및 이에 따른 설계 수행의 중요성이 증가되고 있다[1]. 설계 단계에서 이루어지는 대부분의 의사결정은 프로젝트의 시공 성과에 상당한 영향을 미치며[2], 이에 적절한 시점에서 시공 경험 및 지식을 활용한 설계 결과물은 시공성 향상, 설계변경 및 재작업 최소화를 통해 전반적인 프로젝트 운영 효율성 향상에 기여할 수 있다[3]. 국내에서도 설계단계에서 설계감리, VE(Value engineering) 제도의 도입 등을 통한 시공성 향상 노력을 보이고 있으나 참여자 구성 및 시행시기 측면에서 근본적인 설계 성능 향상에 한계를 갖는다[2].

한편, 설계단계에서 건축 프로젝트의 가설공사를 위한 시

Received : August 23, 2017

Revision received : September 4, 2017

Accepted : September 12, 2017

\* Corresponding author : Kim, Tae-Hoon

[Tel: 82-62-230-7145, E-mail: thoonkim@chosun.ac.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

설, 설비, 장비 및 공법과 관련한 엔지니어링 노력은 시공 효율성 및 성과 향상에 크게 기여할 수 있다. 일례로 Peurifoy and Oberlender[4]는 설계단계에서 거푸집공사의 시공성 향상에 초점을 맞추어 설계를 진행할 시 빠른 속력도 향상에 따른 공기단축 및 약 25%의 골조공사비 절감효과를 가져올 수 있음을 보였으며, 이러한 효과는 건축물의 규모가 증가될수록 크게 나타날 수 있다. 그러나 현재 국내의 경우 가설공사의 시공성 검토 기술은 주로 시공 계획단계에 국한된 채 거푸집, 양중장비 등의 생산판매 또는 관련 전문 건설업체에서 개별적으로 수행됨에 따라, 시공엔지니어링 기술력 확보 및 효율적인 업무 수행이 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 고층 건축공사의 시공성 향상을 위하여 가설공사를 중심으로 설계단계에 요구되는 시공엔지니어링 업무를 도출하고자 한다. 본 연구결과는 설계단계에서의 효율적인 시공엔지니어링 업무 프로세스 구축을 위한 기초 자료로 활용될 것이며, 국내 건설업체의 엔지니어링 기술력 확보 및 프로젝트 운영 효율성 향상에 기여할 것이다.

**1.2 연구의 범위 및 방법**

본 연구에서 대상으로 하는 고층 건축물은 엔지니어링 도입 필요성 및 효과, 전문가 면담 결과를 고려하여 40층 이상의 규모로 설정하였다. 본 연구에서의 가설공사를 대상으로 한 시공엔지니어링은 가설 및 장비 운영의 효율성 향상을 도모하거나 최적의 해법을 찾아가는 과정으로 정의되며, 이를 설계단계에 진행함으로써 설계변경 및 재작업 등 프로젝트 운영상의 비효율성을 최소화하고, 본공사 진행시 시공성 향상을 도모할 수 있는 엔지니어링 업무 도출을 목적으로 하였다. 이에 시공엔지니어링 업무의 범위는 기존 가설공사 계획에 필요한 주요 공사 지원 시설 및 설비, 장비, 공법 등을 포함하는 반면, 안전시설(안전 발판, 가설울타리, 가설 구대 등), 토공사를 위한 공사용 가설시설물, 비계 등은 설계 단계에서의 엔지니어링 적용성이 낮다고 판단되어 본 연구의 범위에서 제외하였다.

본 연구의 주요 절차 및 방법은 다음과 같다.

- 1) 기존 관련 연구문헌 및 전문가 집단면접을 바탕으로 시공성 향상을 위한 시공엔지니어링 예비 업무를 도출한다.
- 2) 관련 실무자를 대상으로 한 설문조사를 통해 앞서 도출된 예비 업무의 필요성 및 중요도를 조사하여 설계단계에서의 각 업무의 적용가능성 및 시공성 향상의 기여

정도에 따라 2차적으로 필요 업무를 추출하고, 설계·CM-시공업무 수행 집단간 인식 차이를 분석한다.

- 3) 마지막으로 요인분석(Factor analysis)을 통해 업무 요인을 정제하고 유사특성을 지닌 요인들을 그룹화함으로써 최종적인 시공엔지니어링 업무 요인을 제시한다.

**2. 예비적 고찰**

**2.1 시공성 및 시공엔지니어링**

시공성(Constructability)의 개념은 1970년대 영국에서의 연구를 시작으로 대두되었으며, 초기에는 생산성(Productivity)에 중점을 둔 협의의 개념이었으나 점차적으로 건설 산업의 비용 효율성(Cost-effectiveness)과 품질 향상을 위한 각 생산 단계들의 통합개념으로 확장되었다. 시공성에 관한 정의는 국가별로 상이하나, 보편적 개념은 설계 단계에서 시공 지식과 경험을 충분히 활용함으로써 효율적인 의사결정이 이루어질 수 있도록 하는 것이다.

**Table 1. Literature review on constructability**

Category	Authors (Year)	Contents
International	Othman [6]	Proposed an innovative framework to facilitate the integration of construction knowledge and builder experience at the design phase
	Lam et al. [7]	Analyzed the factors influencing the constructability of the design phase through questionnaires
	Pulaski and Horman [2]	Presented a process model to utilize constructability information at appropriate time of the design phase
	Fisher et al. [8]	Proposed constructability review process for efficient use of the analytical tools for the improvement of the constructability
	Fischer and Tatum [5]	Classified the knowledge by construction methods and structural elements to ensure appropriate and specific constructability input
Domestic	Yoon and Kim [11]	Deducted factors affecting constructability and verified impact of factors on productivity
	Kim et al. [12]	Suggested BIM work process to support constructability analysis from practitioners viewpoint
	Park et al. [10]	Proposed a design process management using dependency structure matrix technique that focus on information flows between design activities and constructability knowledge
	Park et al. [13]	Suggested a checklist for improving constructability in steel structure construction
	Oh et al. [9]	Presented basic directions for application of constructability through analyzing the actual condition of constructability in domestic construction

Table 2. Literature review on construction engineering

Category	Authors (Year)	Contents
Civil	Jang et al. [14]	Analyzed the safety of the structure and the distribution of crack stress through construction engineering
	Son et al. [15]	Described construction engineering tasks to efficiently construct a cable-stayed -suspension hybrid bridge
	Kim et al. [16]	Analyzed the effect of duration reduction and the structural behavior through the change of the construction methods for temporary work
Architectural	Lee et al. [18]	Investigated the applicability of construction engineering for temporary works in the design phase through the questionnaires
	Shon and Jang [17]	Presented the direction of engineering execution through case analysis of construction engineering for temporary work in the construction site

Table 1은 시공성과 관련한 기존 국내외 주요 연구를 나 타낸 것이다. 국외의 경우 시공성 원리의 개발[5] 및 가이드 라인 제정[6], 시공성 평가를 위한 점수 체계의 개발[7], 시 공성 검토 프로세스 내 적정 활용 도구 제시[8], 시공성 정보 의 효율적 활용을 위한 모델 제시[2] 등 다각적 연구가 활발 히 추진되어왔으며, 이들 문헌에서는 공통적으로 성공적인 프로젝트 수행을 위해서는 초기 단계 즉, 설계단계에서의 시공성 고려가 이루어져야 하며, 전문가의 시공지식 및 경험 이 수반되어야 함을 강조하고 있다. 한편, 국내에서는 2000 년대 들어 국외 선행연구를 토대로 하여 국내 건설공사 제 단계에서의 시공성 개념의 적용 방안[9], 설계단계에서 시공 성 지식 활용을 위한 정보흐름 기반의 설계프로세스 제안 [10], 시공성 요인의 생산성 영향정도 분석[11], 시공성 검 토 지원을 위한 BIM 업무프로세스 및 체크리스트 제안 [12,13] 등의 연구가 일부 진행되어 왔다. 하지만, 국내의 경우 법/제도적 체계의 정비 미흡, 발주방식 및 인식의 한계 등으로 인해 아직 설계단계에서 시공성 향상을 위한 업무 체계와 프로세스 수립 및 반영은 미비한 실정이다.

Table 2는 가설공사 중심의 시공엔지니어링에 관한 기존 연구문헌들을 나타냈다. 토목분야에서의 시공엔지니어링은 교량공사에서의 가설구조물, 공법상세, Cable 장력, 시공 장 비운영 등 현장에서의 제반문제점들에 대한 효율적 해결방안 을 제공하기 위한 연구문헌들로 분석되었다[14,15,16]. 반면, 건축공사에 있어서 시공엔지니어링은 Shon and Jang[17]이

건축물의 초고층화, 대형화 추세에 맞춰 거푸집 공사의 합리적 운영을 중심으로 한 시공엔지니어링 기술 적용의 필요성을 언 급하였으나, 현재까지 국내 건축공사의 설계단계에서 시공엔 지니어링 수행을 위한 구체적인 연구는 진행되지 못하고 있는 실정이다. 한편, Lee et al.[18]은 국내 건축공사의 설계단계 에서 시공엔지니어링 적용을 위한 기초연구로써 적용효과, 장 애요인 및 필요 업무 등을 분석하였으며, 국내 시공엔지니어링 업무의 효율적인 도입을 위해 전문가 양성 및 업무수행효과의 모니터링 체계 구축과 더불어 효율적인 업무 프로세스 정립의 필요성을 언급하였다. 이에 본 연구에서는 건축공사의 설계단 계에서 요구되는 시공엔지니어링 업무를 우선적으로 도출하고 자 한다.

## 2.2 시공엔지니어링 업무의 예비적 고찰

본 연구에서는 가설공사를 대상으로 한 시공엔지니어링 업무 도출을 위해 국내 고층 건축물의 가설공사계획 및 시공 성에 관한 기존 연구문헌을 우선적으로 분석하였다. 분석 결과, 시공성 향상을 위한 시공엔지니어링 업무는 크게 1) 가설건물, 2) 골조공사, 3) 양중장비, 4) 측량/계측 및 동선, 5) MEP로 분류할 수 있었다.

먼저, 가설건물에 관한 기존 연구문헌을 조사한 결과, 고 층건축공사에서의 가설건물 및 시설물의 위치 계획이 공기 단축, 비용절감 등의 시공성 향상효과를 가져올 수 있으며, 창고, 야적장 등의 가설시설물의 구역화는 작업공간 확보를 통한 작업효율성 증진에 기여할 수 있는 것으로 나타났다 [19,20].

골조공사에 관한 기존 연구 고찰 결과, 초기계획단계에서 의 거푸집 공사 운영계획에 따른 시공성 향상[21], 철근 조립 공법에 따른 공기단축 및 철근공사 효율성 향상[22], 설계단 계에서 콘크리트 공사계획에 따른 콘크리트 품질확보, 공기 및 비용 단축[23], 프로젝트 초기단계에서의 코어월 공법 선정 계획을 통한 시공성 향상[24] 효과 등이 조사되었다.

양중장비에 관한 문헌 조사 결과, 초고층 건축공사에서는 양중장비선정, 위치, 양중부하 등에 따라 생산성과 효율성이 크게 좌우되기 때문에 설계단계에서의 철저한 분석 및 검토 가 이루어져야 하며[25], 자재 및 작업자의 효율적인 운반을 위해 본설 엘리베이터의 사용시기와 리프트 설치 및 해체시 기를 고려한 양중계획이 요구된다고 언급하고 있다[26].

측량/계측 및 동선에 관한 연구문헌에서는 시공 중 발생할 수 있는 재난에 대비하여 가설대피동선 및 대피 공간 계획이

요구된다 하였으며[27,28], 건축구조물의 시공성 및 품질향상을 위한 측정기법이 요구되는 것으로 나타났다[29]. 또한 작업자와 자재운반간의 효율적인 동선계획을 통해 작업효율성을 증대시키고 공기 및 비용 측면에서의 긍정적인 효과를 얻을 수 있을 것으로 분석되었다.

마지막으로 MEP에 관한 기존 연구문헌들은 크게 공기조화, 급수, 소방/방재로 분류되었다. 공기조화 측면에서 Lee[30]는 초고층 건물에 요구되는 다양한 냉난방 시스템에 따라 설계단계에서의 효율적인 냉난방장비 계획이 요구된다고 언급하였으며, Cho et al.[31]은 설계단계에서의 공조방식 선정단계를 통해 에너지손실 줄일 수 있는 방안을 제시하였다. 급수측면에서 Cho[32]는 초고층건물의 층고로 인한 급수압의 문제, 수격현상 등을 방지하기 위해 철저한 급수설비 계획이 요구된다고 언급하였으며, 소방 및 방재 측면에서 Chun[33]은 본공사 화재예방을 위한 가설 방재시설 계획이 요구된다고 언급하였다.

이러한 기존 연구문헌 고찰 결과와 실무경력 20년 이상의

초고층 건축공사 전문가 3인과의 집단면접(2017년 1월~6월)을 토대로 고층 건축공사의 설계단계에서 수행하기에 적합하고 시공성 향상에 기여할 수 있는 시공엔지니어링 업무 항목을 도출하였다. Table 3은 이러한 과정을 통하여 도출된 시공엔지니어링 예비 업무항목을 보여준다.

### 3. 설계단계 시공엔지니어링 업무 항목 도출

#### 3.1 설문조사 개요

선행연구문헌 및 전문가 자문을 바탕으로 앞서 도출된 27개의 예비 업무를 정제하기 위해 시공, 설계, CM 분야의 실무자들을 대상으로 설문조사를 수행하였다. 설문지는 1) 응답자 일반사항, 2) 각 업무의 수행 필요성 및 중요도 조사(5점 척도)의 2개 파트로 구성되었으며, 전자우편 및 온라인 방식으로 배포되었다. 약 1개월 동안(2017년 7월~8월)의 설문기간동안 총 74부의 설문지가 회수되었으며, 그 중 40층 이상 고층 건축물의 공사 경력이 없고 실무경력 10년

Table 3. Preliminary tasks derived from literature review and group interview

Category	Code	Preliminary engineering tasks on temporary work	Literature review	Group interview
Temporary facility	A1.1	Standardization and fire protection of the temporary facility	✓	
	A2.1	Location of temporary facility for disaster prevention and switching plan to permanent facility		✓
Lifting equipment	B1.1	Location of lifting equipment considering finishing work	✓	
	B1.2	Selection of other equipment such as gantry cranes, monorails, forklifts, trucks	✓	
	B1.3	Switching plan to permanent elevator and platform design	✓	
	B1.4	Centralization of temporary systems for vertical transportation (temporary bridge, platform, and ramp)		✓
Structural framework	C1.1	Selection of core construction method and plan for formwork operation	✓	
	C1.2	Plan for concrete pumping method	✓	
	C1.3	Plan for rebar placing and splicing	✓	
	C1.4	Plan for construction joint(C/J)	✓	
	C1.5	Facade protection during structural framework		✓
	C1.6	Positioning and reinforcement of structural members according to the opening by installation of lifting equipment		✓
Measurement and circulation plan	D1.1	Plan for measurement method and sensor installation	✓	
	D1.2	Plan for access roads and pits for permanent measurement		✓
	D2.1	Circulation plan for vertical lifting of resources by construction phase		✓
	D2.2	Separation between built and working zones		✓
MEP	D2.3	Plan for evacuation routes and spaces	✓	
	E1.1	Plan for heating and cooling system for integrated management	✓	
	E1.2	Method for ventilation and dust reduction by working area during internal finishing	✓	
	E2.1	Switching plan between temporary and main water tank according to water consumption	✓	
	E2.2	Switching plan between temporary and main septic tank according to sewage capacity		✓
	E3.1	Size and location of the temporary fire fighting facility, and plan for the use of main facility	✓	
	E4.1	Plan for installation time of wireless communication systems		✓
	E4.2	Design of the temporary access control system and CCTV layout		✓
	E5.1	Plan for temporary electric power supply and electrical room		✓
	E5.2	Plan for temporary distribution board and switching plan to main board		✓
E5.3	Plan for lighting to prevent collision (tower cranes, airplanes, etc.)		✓	

미만의 설문지는 신뢰도가 부족하다고 판단하여 5부의 설문지를 제외한 69부를 분석에 이용하였다. 응답자의 대다수는 10년 이상의 실무경험(약 94%)과 고층 건축공사 수행 경험(약 58%)을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

### 3.2 신뢰도 분석

설문 응답자로부터 회수된 설문조사의 일관성을 측정하기 위해 신뢰도 검증을 수행하였다. 신뢰도 분석은 Cronbach's  $\alpha$  를 통해 측정하였으며, 응답 신뢰도의 기준은 0.7이상으로 판단하였다[34]. 분석 결과 필요성(0.908)과 중요도(0.913)는 기준치보다 높게 나타났으며, 이에 27개 요인의 설문에 대한 신뢰도는 높은 것으로 판단된다.

### 3.3 순위 분석

설문결과를 바탕으로 각 시공엔지니어링 업무의 필요성과 중요도의 순위를 분석하기 위해 다음의 식(1)을 사용하였다. 여기서  $i$ 는 1에서 5까지 설문응답자에 의해 주어진 점수이고,  $w_i$ 는 각 점수별 가중치로서 '1'은 중요도와 필요성이 '매우 낮다', '5'는 중요도와 필요성이 '매우 높다'이다.  $w_i$ 의 가중치는 각 응답항목 점수에 대해 각각의 가중치를 적용하고,  $f_i$ 는 각 응답항목의 점수에 대한 빈도,  $n$ 은 응답자 수,  $a$ 는 응답의 최고점수(5점)를 의미한다[35].

$$\text{Severity Index(SI)} = \left( \sum_{i=1}^5 w_i \cdot \frac{f_i}{n} \cdot 100 \right) / (a \cdot 100) \quad \text{--- (1)}$$

SI값의 산출결과는 Table 4와 같다. 각 필요성과 중요도의 환산 점수 값(SI)이  $0.8 < SI \leq 1$ 에 해당되면 '상위 중요 업무',  $0.6 < SI \leq 0.8$ 에 해당되면 '중상위 중요 업무',  $0.4 < SI \leq 0.6$ 에 해당되면 '중간 중요 업무',  $0.2 < SI \leq 0.4$ 에 해당되면 '중하위 중요 업무',  $0 < SI \leq 0.2$ 에 해당되면 '하위 중요 업무'로 분류하였다. 분석 결과 27개의 예비 업무 요인 모두 중상위 이상의 업무 필요성과 중요도를 나타냈으며, 필요성과 중요도 모두가 높은 상위 업무(SI값 0.8 초과)는 골조공사 주요 공법 및 구획 계획(C1.1, C1.2, C1.4), 양중장비 위치 및 운영계획(B1.1, B1.3), 자원동선 및 대피계획(D2.1, D2.3), 전력용량 및 위치계획(E5.1)로 파악되었다.

앞서 구한 각 시공엔지니어링 업무 중요도와 필요성의 값을 x-y축으로 하여 Figure 1과 같이 나타내보았다. 각 업무의 필요성과 중요도 값의 추이는 대체적으로 비례하며, 일부

Table 4. Results on necessity and importance of tasks

Code	Necessity			Importance		
	SI	Rank	Grade	SI	Rank	Grade
A1.1	0.739	19	H-M**	0.730	19	H-M
A2.1	0.606	27	H-M	0.620	27	H-M
B1.1	0.849	2	H*	0.852	1	H
B1.2	0.745	15	H-M	0.733	18	H-M
B1.3	0.843	3	H	0.846	3	H
B1.4	0.751	14	H-M	0.757	13	H-M
C1.1	0.852	1	H	0.846	2	H
C1.2	0.835	5	H	0.841	4	H
C1.3	0.791	9	H-M	0.812	7	H
C1.4	0.823	6	H	0.800	8	H
C1.5	0.745	15	H-M	0.751	16	H-M
C1.6	0.774	10	H-M	0.780	11	H-M
D1.1	0.739	18	H-M	0.754	14	H-M
D1.2	0.733	20	H-M	0.725	20	H-M
D2.1	0.841	4	H	0.826	5	H
D2.2	0.762	12	H-M	0.783	10	H-M
D2.3	0.814	7	H	0.800	8	H
E1.1	0.719	22	H-M	0.716	23	H-M
E1.2	0.728	21	H-M	0.725	20	H-M
E2.1	0.713	24	H-M	0.713	24	H-M
E2.2	0.629	26	H-M	0.643	25	H-M
E3.1	0.751	13	H-M	0.774	12	H-M
E4.1	0.719	22	H-M	0.716	22	H-M
E4.2	0.638	25	H-M	0.635	26	H-M
E5.1	0.812	8	H	0.817	6	H
E5.2	0.771	11	H-M	0.754	14	H-M
E5.3	0.742	17	H-M	0.742	17	H-M

Notes \*H=High \*\*H-M=High-Medium

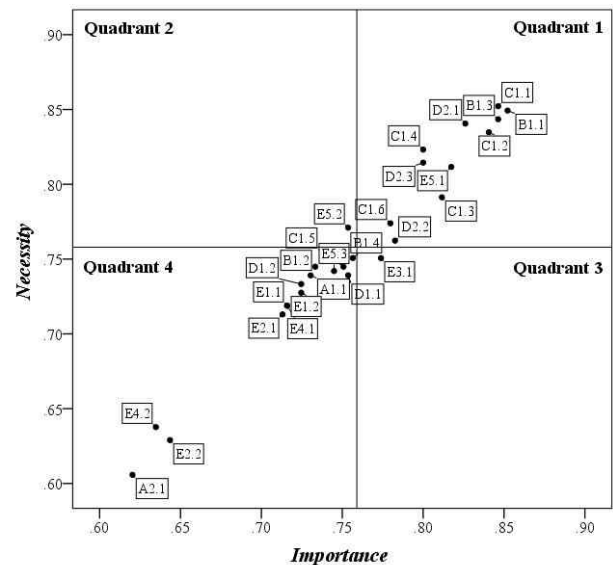


Figure 1. Importance-necessity analysis

를 제외하고는 분포 상 큰 차이를 나타내지 않았다. 타 업무에 비해 상대적으로 필요성과 중요도가 모두 높은 업무(1사 분면)에는 대부분 골조공사(5개) 및 동선(3개), 양중장비(2

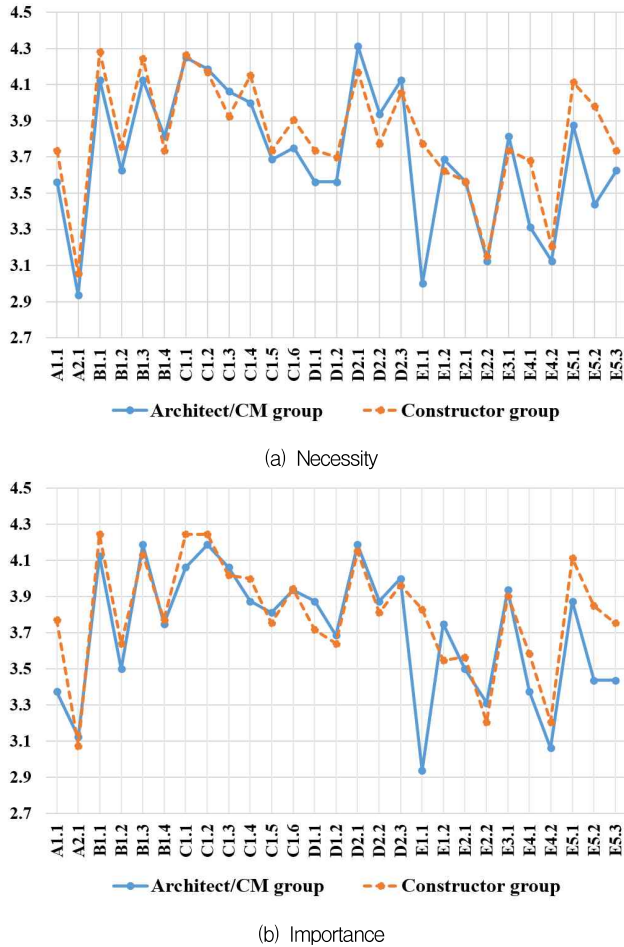


Figure 2. Comparison of average values on each task by groups

개) 계획과 관련한 업무 요인이 포함된 반면, 상대적으로 중요도와 필요성이 낮은 업무(4사분면)에는 대부분 MEP계획(7개) 관련 업무 요인이 포함되었다. 이 중 ‘가설방재실 위치 및 본공사 방재실과의 전환 계획’ 업무(A2.1)는 절대적·상대적 업무 필요성과 중요도 정도 및 타 업무(E3.1)와의 중복 가능성을 고려하여 제외하는 것이 적합할 것으로 판단되어, 총 26개의 업무 요인으로 1차 정제하였다.

### 3.4 집단간 인식 차이 분석

시공엔지니어링을 설계단계에서 효율적으로 수행하기 위해서는 각 참여주체간의 원활한 의사소통이 요구되므로 각 집단의 업무 인식에 대한 차이를 조사할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 설계/CM업무자 집단과 시공자 집단간의 업무 요인에 대한 인식 차이 정도를 분석하였다.

설문 인적사항을 바탕으로 설계/CM업무자 집단(16명)과

시공자 집단(53명)으로 구분하여 각 집단간 업무 필요성 및 중요도의 평균을 도출하였다(Figure 2). 결과적으로 필요성과 중요도 모두 유사한 값의 추이를 보였으며, 대부분의 업무에서 집단간 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 하지만, 필요성 측면에서는 3개(E1.1, E4.1, E5.2) 업무, 중요도 측면에서는 4개(E1.1, E5.2, E5.3, A1.1) 업무에 있어 타 업무에 비해 상대적으로 집단간 인식 차이가 크게 나타났다. 즉, 이들 업무에 있어서는 시공자 집단이 설계/CM업무자 집단에 비해 업무의 필요성과 중요도를 비교적 높게 인식함을 보였다. 한편, D1.1의 경우 업무 필요성에 있어서는 시공자 집단이, 중요도에 있어서는 설계/CM업무자 집단이 상대적으로 약간 높게 인식하는 것으로 나타났다.

각 집단간 업무 인식 차이에 대한 보다 정확한 분석을 위하여 독립표본 t-test를 수행하였다. 이는 두 표본집단 간의 평균 차이를 검토할 때 사용하는 분석방법으로[34], 본 연구에서는 두 집단간 각 시공엔지니어링 업무들의 필요성 및 중요도 값의 평균이 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 확인하기 위해 적용하였다. 분석 결과 E1.1을 제외한 다른 요인들은 필요성과 중요도 모두에서 통계적으로는 유의적 차이가 없는 것으로 나타났으며, E1.1에 대한 t-test 결과는 Table 5와 같다. 즉, ‘냉난방의 통합관리를 위한 본 공사 냉난방 장비계획(E1.1)’ 업무만이 시공자 집단이 설계/CM업무자 집단에 비해 업무의 필요성과 중요도를 높게 인식함을 의미한다. 이는 냉난방장비의 효율적 계획이 뒷받침될 때 마감공사 단계에서 자원의 보다 효과적 관리를 통한 시공 효율성 향상이 가능한데, 직접 공사를 수행하는 시공자 집단은 이러한 사안에 대해 좀 더 분명한 인식을 갖게 됨에서 기인한 것으로 사료된다.

Table 5. T-test results on E1.1

Category	Code	Group	Average(SD)	t-value	p
Necessity	E1.1	Architect/CM	3.00(1.37)	2.493	0.015*
		Constructor	3.77(0.99)		
Importance	E1.1	Architect/CM	2.94(1.18)	3.053	0.003**
		Constructor	3.83(0.98)		

Note : \*P<0.05, \*\*P<0.01, SD = Standard deviation

### 3.5 요인분석을 이용한 최종업무 도출 및 분류

요인분석(Factor analysis)은 다수 변수들 간의 관계(상관관계)를 분석하여 변수들의 바탕을 이루는 공통차원들을 통해 변수들을 설명하는 통계기법[36]이다. 본 연구에서는

앞서 도출된 26개의 시공엔지니어링 업무 요인을 정제하고 기존 선행연구와 집단면접에 근거한 기준을 재분류하기 위해 요인분석을 실시하였으며, 중요도 데이터를 바탕으로 SPSS 23.0을 이용하여 분석하였다.

먼저 타당도를 검증하기 위해 탐색적 요인분석을 실시하였으며, 결과 해석을 위해 KMO와 Bartlett의 검정, 공통성을 확인하였다. KMO와 Bartlett의 구형성 검정은 요인분석으로 설정된 모형의 적합성을 검정하는 것으로 KMO값은 1에 가까울수록, 그리고 Bartlett의 유의확률은 0.05 미만이면 모형이 적합하다는 것을 의미한다. 분석 결과, KMO값은 0.793, Bartlett의 유의확률은  $p=0.000$ 으로 나타나 도출된 업무들의 요인분석 적합성이 검정되었다 본다. 그리고 타당성 분석을 위한 요인추출모델로는 주성분분석(Principal component analysis)을 사용하였으며 베리맥스(Varimax) 방법을 적용하였다. 초기의 회전된 성분행렬에서 26개의 업무가 7개의 요인으로 묶인 것으로 나타났으며 전체 요인의 설명력은 70.68%로 나타나 높은 수준의 설명력 값을 보여주었다.

Table 6. KMO and bartlett's test

Kaiser-Meyer-Olkin measure of Sampling Adequacy		.829
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	698.193
	df	210
	Sig.	.000

요인분석을 통해 업무들을 정제하기 위하여 업무들의 요인적재량 및 신뢰도 분석과정을 반복하였다. 1차 요인분석 결과, 그룹화 되지 않은 업무(E3.1, E4.1)가 나타났으며 모두 신뢰도가 상대적으로 낮게 나와 두 업무를 제거하였다. 그 후, 2차 요인분석을 다시 실시하였으며, 신뢰도 분석을 통해 항목이 삭제된 경우 Cronbach's  $\alpha$  값이 증가 하는 업무(E5.2)를 추가적으로 제거하였다. E5.2업무는 '가설 전력 용량 및 변대위치, 중간 전기실 본수전 계획(E5.1)' 업무 진행시 실행 가능한 업무로 판단되어 제거된 것으로 사료된다. 3차 요인분석 결과, E1.1 업무의 신뢰도가 매우 낮은 것으로 분석되어 추가적으로 제거하였으며, C1.6업무는 요인적재량이 중복적으로 0.4이상으로 상대적으로 높게 나타

Table 7. Communalities and total variance explained

Communalities			Component	Total Variance Explained								
				Initial			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loading		
Code	Initial	Extraction		Total	%of Variance	Cumulative %	Total	%of Variance	Cumulative %	Total	%of Variance	Cumulative %
A1.1	1.000	.793	1	7.554	35.973	35.973	7.554	35.973	35.973	3.982	18.961	18.961
B1.1	1.000	.694	2	2.246	10.695	46.668	2.246	10.695	46.668	3.694	17.592	36.553
B1.2	1.000	.545	3	1.574	7.495	54.163	1.574	7.495	54.163	2.312	11.010	47.563
B1.3	1.000	.706	4	1.326	6.312	60.475	1.326	6.312	60.475	1.975	9.405	56.968
B1.4	1.000	.641	5	1.186	5.646	66.121	1.186	5.646	66.121	1.922	9.153	66.121
C1.1	1.000	.422	6	.928	4.417	70.538						
C1.2	1.000	.603	7	.800	3.811	74.349						
C1.3	1.000	.736	8	.699	3.331	77.680						
C1.4	1.000	.682	9	.629	2.996	80.676						
C1.5	1.000	.565	10	.593	2.825	83.501						
D1.1	1.000	.712	11	.577	2.748	86.249						
D1.2	1.000	.691	12	.474	2.259	88.508						
D2.1	1.000	.664	13	.415	1.975	90.484						
D2.2	1.000	.551	14	.369	1.755	92.239						
D2.3	1.000	.623	15	.325	1.550	93.788						
E1.2	1.000	.539	16	.309	1.469	95.257						
E2.1	1.000	.796	17	.288	1.371	96.629						
E2.2	1.000	.725	18	.210	1.001	97.630						
E4.2	1.000	.722	19	.201	.958	98.588						
E5.1	1.000	.724	20	.157	.745	99.333						
E5.3	1.000	.750	21	.140	.667	100.000						



나 제거하였다. 초기 요인분석결과에서는 27개의 업무, 8개의 요인이었으나 적합하지 않은 업무들의 제거를 통해 21개의 업무, 5개의 요인으로 최종 결과가 도출되었다.

최종 도출된 항목들에 대하여 KMO와 Bartlett의 유의확률을 확인해보면(Table 6) KMO값은 0.829로 최초의 값보다 높은 값을 나타냈으며, Bartlett의 유의확률  $p=0.000$ 의 값을 가져 모형의 적합성은 매우 높게 유지되고 있는 것으로 분석되었다.

Table 7은 공통성과 설명된 총 분산을 나타낸 표이다. 공통성(communality)은 변수에 포함된 요인들에 의해서 설명되는 비율이라 할 수 있으며[37], C1.1 업무는 0.5미만의 비교적 낮은 공통성을 가지나 초기 26개의 업무를 대상으로 요인분석 시 공통성 값(0.55)이 다른 업무에 비해 상대적으로 낮은 값을 가지고 있었고 최종요인분석결과 그 차이가 크지 않았기에 C1.1 업무를 제거하지 않는 것으로 결정하였다. 또한 순위 분석에서 C1.1 업무는 필요성과 중요도가 모두 매우 높게 나타난 업무로 제거하지 않는 것이 바람직하다고 판단되었다.

또한 설명된 총 분산을 살펴보면, 각 요인의 고유값(Eigenvalue) 합계(Total)와 설명력(% of variance)을 보여준다. 고유값은 그 요인이 설명하는 분산의 양을 나타내며, 이 값이 클수록 그 요인이 변수들의 분산을 잘 설명함을 의미한다[36]. 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 고유값 1을 기준으로 요인의 수를 결정하였으며, 이에 따라 21개 업무(변수)가 총 5개의 요인으로 추출되었다. 회전이후 총 누적 분산 설명율(Rotation sums of squared loading)은 66.12%로, 전체에서 5개 요인의 설명력이 66.12%라는 것을 의미한다. 결과적으로, 초기 26개 업무를 대상으로 요인 분석 시 7개 요인의 설명력(70.68%) 보다는 약간 감소하였으나, 요인의 수가 7개에서 5개로, 업무의 수가 26개에서 21개로 감소하였음에도 불구하고 설명력이 60%이상의 값을 나타내고 있어 보다 효율적으로 정보를 요약하고 있음을 알 수 있다.

Table 8은 최종 회전된 성분행렬에서 5개 요인에 속한 각 업무의 요인적재량(Factor loading)과 신뢰도 계수값(Cronbach's  $\alpha$ )을 나타낸 표이다. 요인 적재량은 각 변수와 요인간의 상관관계 정도를 나타내 주며 각 변수들은 이 값이 가장 높은 요인에 속하게 된다. 보통 요인 적재량의 기준은 0.4이상이며, 요인 적재량 값이 높은 변수(업무)가 해당요인에서 중요한 변수라고 할 수 있다[38]. 각 업무의

Table 8. Rotated component matrix and reliability statistics

Component	Code	Factor loading	Cronbach's $\alpha$	Cronbach's $\alpha$ if item deleted
1	D1.2	.824	0.894	.886
	C1.4	.768		.875
	D1.1	.703		.871
	C1.3	.640		.868
	D2.1	.608		.875
	D2.3	.569		.883
	C1.1	.542		.897
	C1.5	.414		.887
	B1.3	.788		.772
	B1.4	.773		.802
2	B1.1	.721	0.826	.774
	B1.2	.641		.817
	C1.2	.634		.797
	E4.2	.810		.559
3	E1.2	.644	0.69	.636
	D2.2	.589		.601
	E2.1	.869		-
4	E2.2	.820	0.76	-
	A1.1	.865		.593
5	E5.3	.836	0.716	.451
	E5.1	.530		.752

요인적재량은 5개의 요인 모두에서 0.4 이상의 값들로 나타나 유의한 변수들로 구성되었음을 나타낸다. 신뢰도 분석 결과에서는 4개 요인들의 신뢰도 계수값이 0.7이상으로 나타났다. 나머지 1개 요인의 계수값도 기준치와 상당히 근접한 값을 나타내고 신뢰성을 저해하는 업무가 없음에 따라 신뢰도가 확보된 것으로 판단하였다. 항목이 삭제된 경우의 계수값 역시 요인의 계수값 보다 작거나 미미하게 증가함에 따라 신뢰성을 저해하는 업무가 잘 제거된 것으로 판단된다. 따라서 종합적인 요인분석 결과를 고려하였을 때 요인의 정제와 분류가 적절하게 이루어진 것으로 분석된다.

본 연구에서는 요인분석을 통해 초기 27개의 예비 시공엔지니어링 업무를 21개의 업무로 정제하였다. 또한, 문헌고찰 및 전문가 집단면접을 바탕으로 작성한 5개 대분류(Category)는 요인간 유사특성을 토대로 하여 '골조공사 및 측량/동선계획', '양중 및 콘크리트 압송계획', '공간구획계획', '용수계획', '가설건물 및 전력/조명계획'으로 재그룹화할 수 있었다(Table 9). 측량 및 동선에 관한 업무들은 골조공사와 같이 하나의 요인으로 분류되었는데 이는 골조공사 계획 진행시 측량 및 동선 계획에 관한 업무가 동시에 이루어질 때 시공성 향상에 더욱 효율적이기에 나타난 결과로 사료된다. 양중장비 및 압송계획 역시 유사한 이유에서 동일한 요인으로 분류된 것으로 판단된다. 공간구획, 용수, 가설건물 및 전력/조명 계획의 요인들은 건축공사에 직접적인 영향을 미치는 요인은 아니지만 투입자원의 효율적 활용을 가능케 하는 요인으로, 대부분의 세부업무들이 본 공사에



Table 9. Final factors for engineering tasks on temporary work

Group	Code	Tasks
Structural frame work, measurement and circulation	D1.2	Plan for access roads and pits for permanent measurement
	C1.4	Plan for construction joint(C/J)
	D1.1	Plan for measurement method and sensor installation
	C1.3	Plan for rebar placing and splicing
	D2.1	Circulation plan for vertical lifting of resources by construction phase
	D2.3	Plan for evacuation routes and spaces
	C1.1	Selection of core construction method and plan for formwork operation
Lifting equipment and pumping	C1.5	Facade protection during structural framework
	B1.3	Switching plan to permanent elevator and platform design
	B1.4	Centralization of temporary systems for vertical transportation (temporary bridge, platform, and ramp)
	B1.1	Location of lifting equipment considering finishing work
	B1.2	Selection of other equipment such as gantry cranes, monorails, forklifts, trucks
Space zoning	C1.2	Plan for concrete pumping method
	E4.2	Design of the temporary access control system and CCTV layout
	E1.2	Method for ventilation and dust reduction by working area during internal finishing
Water supply	D2.2	Separation between built and working zones
	E2.1	Switching plan between temporary and main water tank according to water consumption
Temporary facility, electric power supply and lighting	E2.2	Switching plan between temporary and main septic tank according to sewage capacity
	A1.1	Standardization and fire protection of the temporary facility
	E5.3	Plan for lighting to prevent collision (tower cranes, airplanes, etc.)
	E5.1	Plan for temporary electric power supply and electrical room

필요한 것들을 가설공사에 사용하고, 공사 완료 후 요구조건을 쉽게 만족시키기 위한 업무들로 볼 수 있다.

며, 도출된 업무가 설계단계에 효과적으로 적용될 수 있도록 설계 프로세스 구축에 관한 연구를 진행할 계획이다.

#### 4. 결 론

#### 요 약

고층 건축공사의 시공엔지니어링 기술력 확보는 해외시장 경쟁력 확보와 시공기술 및 프로젝트의 성과향상에 크게 기여할 수 있다. 특히, 설계단계의 적절한 시점에서의 엔지니어링 수행은 시공성 및 전반적인 프로젝트 운영 효율성 향상을 위해 반드시 요구된다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 고층 건축공사의 가설시설, 설비 및 장비운동을 효율적으로 도모하기 위해 설계단계에서 요구되는 시공엔지니어링 업무를 제시하고자 하였다. 이를 위하여 우선적으로 문헌고찰 및 전문가 집단면접을 통해 27개 예비업무를 도출하였으며, 설문조사 및 요인분석을 통해 최종적으로 1) 골조 및 측량/동선계획, 2) 양중장비 및 압송계획, 3) 공간구획계획, 4) 용수계획, 5)가설건물 및 전력/조명계획의 5개 대분류 및 21개 시공엔지니어링 업무를 제시하였다. 본 연구 결과는 국내 건축공사의 설계단계에서 효율적인 시공엔지니어링 업무 도입을 위한 기초자료 및 기준으로 활용될 수 있을 것이

건물의 고층화와 규모의 증가로 인해 프로젝트 설계단계에서의 시공성을 반영한 엔지니어링 기술의 중요성이 점점 커지고 있다. 특히, 설계단계에서의 가설작업을 위한 설비, 장비 및 공법과 관련된 엔지니어링 기술적용의 노력은 시공성 및 프로젝트 성과 향상에 크게 기여할 수 있다. 이에 본 연구에서는 고층 건축공사의 시공성 향상을 위하여 가설공사를 중심으로 설계단계에 요구되는 시공엔지니어링 업무를 도출하고자 하였다. 우선, 문헌고찰과 전문가 집단면접을 통해 27개의 예비 업무를 도출하였으며, 그 후 설문조사를 통하여 각 업무의 필요성 및 중요도를 분석하였다. 분석 결과, 골조공사 및 양중장비 계획과 관련된 대부분의 업무가 상대적으로 중요한 것으로 분석되었다. 마지막으로 요인분석을 통해 21개의 엔지니어링 업무를 선정하였으며, 이들 업무는 크게 1)골조공사 및 측량/동선계획, 2)양중 및 콘크리트 압송계획, 3)공간구획계획, 4)용수계획, 5)가설건물 및 전력/조명계획

의 5개 요인으로 분류되었다. 본 연구의 결과는 설계단계에서 시공엔지니어링 업무를 효과적으로 반영할 수 있는 프로세스 수립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

**키워드** : 시공엔지니어링, 가설공사, 고층건축공사, 시공성, 설계단계

## Acknowledgement

This research was supported by a grant (17AUDP-B106327-03) from the Architecture & Urban Development Research Program funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government.

## References

- Kim MH. Management and organization of the building construction, Seoul(Korea): Kimoodang; 2006. 425 p. Korean.
- Pulaski MH, Horman MJ. Organizing constructability knowledge for design, Journal of Construction Engineering and Management, 2005 Aug;131(8):911-9.
- Arditi D, Elhassan A, Toklu YC. Constructability analysis in the design firm, Journal of Construction Engineering and Management, 2002 Apr;128(2):117-26.
- Peurifoy RL, Oberlender GD. Formwork for Concrete Structures, 4th ed, United States of America: McGraw-Hill; 2011. p. 35-132.
- Fischer M, Tatum CB. Characteristic of design-relevant constructability knowledge, Journal of Construction Engineering and Management, 1997 Sep;123(3):253-60.
- Othman AAE. Improving building performance through Integrating constructability in the design process, Organization, Technology and Management in Construction, 2011 Feb;3(2):333-47.
- Lam PII, Wong FWH, Chan APC. Contributions of designers to improving buildability and constructability, Design Studies, 2006 Jul;27(4):457-79.
- Fisher DJ, Anderson SD, Rahman SP. Integration constructability tools into constructability review process, Journal of Construction Engineering and Management, 2000 Mar/Apr;126(2):89-96.
- Oh JW, Song KR, Ahn YS. A study on the application of constructability in construction project process, Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2002 Dec;18(12):157-64.
- Park M, Ham Y, Lee HS, Kim WY. Development of design process management model using dependency structure matrix for constructability, Korean Journal of Construction Engineering and Management, 2010 Sep;11(5):65-74.
- Yoon H, Kim YS. Analysis of constructability factors affecting on the productivity of tall building construction : with focus on the area of steel work, Korean Journal of Construction Engineering and management, 2014 Jul;15(4):30-8.
- Kim DS, Choi HM, Kim JH. A proposal BIM work process to support construct-ability analysis from practitioners viewpoint, Journal of The Korea Institute of Building Construction, 2014 Oct;14(6):561-9.
- Park JS, Hyun CT, Hong TH, Park SH, Moon HS. Development of checklist for improving constructability in steel structure construction, Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2009 Dec;25(12):197-206.
- Jang JS, Park SH, Lee DH, Song SH, Choi MS, Lee JK. Method of construction stability for the curved concrete pylon of cable stayed bridge by the construction engineering, Proceeding of the Korea Concrete Institute Conference; 2016 May 11; Yeosu, Korea, Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2016. p. 691-2.
- Son Y, Hong HS, Paik H, Cho N. Construction engineering of the 3rd bosphorus bridge, Journal of The Korean Society of Civil Engineering, 2016 Oct;64(10):74-8.
- Kim SI, Lee GJ, Yang GJ, Kim KS. Review on the behavior and construction method changing of steel composite stayed-cable bridge by the construction engineering, Korea Society of Steel Construction article, 2009 Sep;21(5):35-43.
- Shon YJ, Jang KS. Understanding temporary work engineering, The Korean Structure Engineers Association, 2008 Sep;15(3):80-5.
- Lee JW, Cho K, Kim T. Basic research on applying temporary work engineering at the design phase, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, 2017 Feb;11(2):214-7.
- Lee JS, Kwon W, Chun JY. Web-based knowledge database of temporary facility site-layout planning for high-rise buildings, Proceeding of the Architectural Institute of Korea Conference; 2003 Apr 12; Samcheok, Korea, Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2003. p. 427-30.
- Ahn BJ, Kim JJ, Kim K, Kim SG. A study on the optimization of site layout in the high-rise building construction, Journal

- of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 1999 Dec; 15(12):107-18.
21. Kim T. Advanced system formwork and construction planning model for tall building construction [dissertation]. [Seoul (Korea)]: Korea University; 2013. 1-3 p.
  22. Jung YC, Lee BY, Kim GH. Application possibility of folding pre-fabricated rebar cage in domestic construction fields. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2010 Apr;10(2):125-32.
  23. Kim MS. A study on the planning for construction of high-rise building project [dissertation]. [Busan (Korea)]: Pukyong National University; 2010. 70 p.
  24. Ahn BJ. A decision-making model of integrated vertical and horizontal move plan for finishing material in tall building construction [dissertation]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2004. 190 p.
  25. Park MS, Ha SB, Lee HS, Kim SY. An optimization model of temporary lift's vertical zoning for worker lifting operation in the high-rise building construction. *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2011 Nov;27(11):193-202.
  26. Ahn BJ, Kim JJ, Jee N. Planning an optimized horizontal move for finishing material in high-rise building construction. *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2001 Aug;17(8):119-30.
  27. Lim YJ, Yun JI, Joung EI, Lee SJ. A study on the emergency exitways in super high-rise buildings. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea Conference*; 2007 Oct 26; Chungju, Korea, Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2007. p. 355-8.
  28. Choi GL, Kang SJ. Disaster prevention plan during the construction of super high-rise buildings. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2003 Jun;3(2):50-5.
  29. Sho KH, Jung DW, Yang KY. A study on the survey method for compensation of column shortening in high-rise building construction. *Journal of The Architectural Institute of Korea (Structure & Construction section)*. 2003 May;19(5):169-76.
  30. Lee JH. A study on the design of heating and cooling system in super high-rise building [dissertation]. [Seoul (Korea)]: Chung-Ang University; 2013. 69 p.
  31. Cho JK, Jeong CS, Kim BS. The energy conservational HVAC system design approaches of the large-scale buildings. *Journal of The Architectural Institute of Korea (Planning & Design section)*. 2008 Jun;24(6):347-54.
  32. Cho CS. Water supply system planning of high-rise building. *Korean Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers*, 2005 Jan; 22(1):36-41.
  33. Chun BJ. A study on development of fire protection system in super high rise building [dissertation]. [Suwon (Korea)]: Kyonggi University; 2009. 58 p.
  34. Kim WP. Basic Statical Analysis. Seoul(Korea): WiseIN Company; 2017. 328-74 p.
  35. Chen Y, Okudan GE, Riley DR. Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. *Automation in Construction*, 2010 Mar;19(2):235-44.
  36. Lee HS, Lim JH. Statistical package for the social sciences SPSS 12.0 manual. Paju(Korea): Bobmunsa; 2005. Chapter 14, Factor analysis; p.338-64
  37. Song JH. SPSS/AMOS Statistic analysis method. 2nd ed. Paju(Korea): 21CBOOK; c2013. Chapter 7, Factor analysis; p.61-114.
  38. Jung CY, Kim JJ, Jung YG. Recycling factor analysis on wood wastes in the construction site by classification origination reason. *Korean Journal of Construction Engineering and management*, 2007 Feb;8(1):107-15.