

고층 건물에서 시공성 요인이 생산성에 미치는 영향 분석 -철골 공사를 중심으로-

윤현보¹ · 김예상*

¹성균관대학교 초고층장대교량학과

Analysis of Constructability Factors Affecting on the Productivity of Tall Building Construction -With Focus on the Area of Steel Work-

Yoon, Hyunbo¹ · Kim, Yea Sang*

¹Department of Mega Buildings and Bridges, Sungkyunkwan University

Abstract : Achieving high productivity and constructability are very important issues in construction industry. Study on constructability have been conducted actively, and many researches referred that improving constructability can enhance cost, quality, schedule, productivity and so on. However, there are lack of quantitative analysis, since most studies have proved correlation between productivity and constructability using questionnaires and by case studies. Also, researches are mostly about specific detail scope of work to improve constructability, thus it is hard to apply constructability factors on various work in construction. In this paper, will deduct general factors affecting on constructability and evaluate effects of factors affecting on each work. Furthermore this paper will verify impact of factors affecting on productivity by multi regression analysis using actual data sets of high-rise building construction site.

Keywords : Constructability, Buildability, Productivity, SPSS, Multiple Regression Analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

전통적으로 건설산업은 고임금·저생산성의 산업으로 인식되고 있으며 특히 국가별 비교에서 우리나라 건설인력의 노동생산성은 낮은 수준이며(최석인 et al. 2009), 최근 초고층 건축물이나 대규모 복합개발 사업 등 프로젝트의 대형화, 복잡화가 이루어지고 있는 가운데 건설 인구의 고령화 및 건설인력의 부족현상 등으로 이를 극복할 수 있도록 건설 시공성의 제고가 이루어져야 한다.

시공성이라는 개념은 1970년대 후반 미국을 시작으로 CII, 영국의 건축, 토목협회(CIRIA), 호주 CIIA 등에서 활발한 연구가 진행되었으며 국내에는 1990년대 중반에 이르

러 소개되었다. 시공성에 대한 개념은 초기에는 주로 생산성에 초점을 맞춘 개념이었지만, 발전과정을 거치며 계획, 설계, 시공 등을 포함한 프로젝트 전 생애주기의 각 생산단계들을 통합한 개념으로 범위가 확대되고 있다. 이러한 시공성에 대한 정의는 최종적으로 공기, 원가 등의 주어진 목적을 효율적으로 달성하자는 취지에서 비슷하지만 다양한 연구 기관별로 서로 다른 정의를 내리고 있으며 시공성에 영향을 미치는 요소들 역시 제 각각이다.

또한 다양한 연구에서 시공성을 향상시키면 공기, 원가, 품질, 생산성을 향상시킬 수 있다고(A. Griffith and A.C. Sidwell 1995, 김한수 2003) 언급할 뿐 실제 데이터를 통해 시공성 향상이 미치는 효과를 실증적으로 검증한 사례는 Case Study만 몇 차례 있을 뿐 거의 없는 실정이다. 시공성을 정량화한 사례로 싱가포르의 정부 기관인 BCA에서는 시공성의 개념을 정량적으로 평가하는 Buildability Scores 와 Constructability Scores라는 것을 개발하였는데 이는 시공성을 척도화하여 일정 점수이상 획득해야 입찰에 참여가 가능하도록 의무화한 제도가 있다. 그러나 이는 협의의 시공성의 개념만을 차용하였으며 직관적이고 합리적이거나

* Corresponding author: Kim, Yea Sang, School of Civil and Architectural Engineering, Sungkyunwan University, Suwon, Gyeonggi-do 440-746, Korea
E-mail: yeakim@skku.edu
Received December 12, 2013; revised January 20, 2014
accepted March 3, 2014

단순히 투입 인원 절감에만 초점이 맞추어져 있다는 한계점을 가지고 있다.

시공성 향상은 생산성을 증대시키기 위한 요소이나, 좀더 근본적으로 국내 건설산업의 생산성을 증대시키기 위해 시공성에 영향을 미치는 요인들을 파악하고 실제 생산성에 어떻게 영향을 미치는지의 연구가 선행되어야 한다.

따라서 본 연구는 고층빌딩에서 시공성에 영향을 미치는 요소들을 체계적으로 분류하여 각 공종별 중요도의 차이를 분석하고, 시공성 요인이 생산성에 미치는 영향을 철골공종의 현장 데이터를 통해 검증함으로써 생산성을 향상시킬 수 있는 시공성 개선의 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 문헌 고찰을 통해 시공성에 영향을 미치는 요인을 도출하고 철골, 철근 콘크리트, 커튼월 공종에서 요인들이 각 공종 작업의 시공성에 미치는 영향도를 비교, 분석한 후 대표적으로 철골 공종에서 시공성 요인과 생산성 간의 상관관계 분석을 통해 검증하는 것으로 연구의 범위를 한정하였다. 본 연구의 주요 내용과 수행방법은 다음과 같다.

- (1) 기존 연구 고찰을 통해 시공성의 개념 및 시공성 영향 요인 항목을 살펴보고 본 연구에서 사용할 시공성의 개념을 정립한다.
- (2) 문헌고찰을 통해 시공성 영향 요인들을 통합 도출하고 시공성 요인들을 특성별로 분류한다.
- (3) 설문조사를 통해 시공성 요인들이 공종별로 미치는 중요도를 도출하고 그 결과 값을 각 공종별로 분석한다.
- (4) 시공성이 생산성에 영향을 미치는 정도를 검증하기 위해 철골 공사의 현장 데이터를 바탕으로 SPSS for Window 18.0을 활용하여 다중회귀분석을 통해 상관관계를 분석한다.
- (5) 마지막으로 본 연구의 한계점을 지적하고 향후 연구 방향을 제안한다.

2. 시공성의 정의 및 선행 연구

2.1 시공성의 정의

시공성은 1970대 후반 미국 건설 산업은 비용-효과(Cost-Effectiveness)와 품질의 감소로 Business Roundtable은 실무연구팀을 구성하여 시공성에 대한 연구를 하였고, 이 결과에 영향을 받아 1983년 설립된 Construction Industry Institute(CII)에서 University of Texas Austin의 O'Connor, S.E. Rusch 등에 의해 시공성과 관련된 수많은 연구가 진행되었다. 영국에서는 1983년 The programme report Buildability: An Assessment에서 Buildability를 정의하였고 뒤이어 1989년 Adams에 의

해 Practical Buildability에서 시공성을 향상시키기 위한 가이드라인에 대한 연구가 이루어졌다. 싱가포르의 BCA에서는 CIRIA의 시공성에 영향을 받아 Buildability Score 및 Constructability Score 등을 개발하여 입찰시 법적으로 설계도면 및 시공 방법이 특정 점수 이상을 맞도록 의무화 하는 등 활발한 연구가 진행 중에 있다. 호주 CIIA에서는 미국의 CII와 협력하여 시공성 원리에 대해 개발하고 task force 조직을 구축하였다. 시공성에 대한 미국, 일본, 호주, 영국의 기관별 정의는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Definition of constructability

Research Institute	Terms	Definition
CIRIA	Buildability	The extent to which the design of a building facilitates ease of construction, subject to the overall requirements for the completed building
CII	Constructability	Constructability is the optimum use of construction knowledge and experience in planning, design, procurement, and field operations to achieve overall project objectives
Kyoto Univ	Production Design	Enhancing the realizability by reconsidering in terms of ease of work, economics, stability of quality in design phase.
CIIA	Constructability	The integration of construction knowledge in the project delivery process and balancing the various project and environmental constraints to achieve the project goals and building performances at the optimal level

2.2 시공성이론 선행 연구

국내의 경우 1990년대 중반부터 해외 선행 연구를 토대로 시공성 이론에 관한 연구가 수행되고 있으며 연구들은 '건축물 시공 자동화 시스템을 위한 자립형 철골 접합부의 시공성 분석', '코어월 선행공법의 영향 요소 분석을 통한 시공성 향상에 관한 연구' 등 특정 공정의 시방에 가까운 내용이 주를 이루고 있다. 이희철(2011)의 연구는 시공이전단계에서 시공성 분석에 대한 체크리스트를 개발하여 업무의 활용에 도움이 될 수 있으나 항목들이 너무 세부적이고 시공성 분석보다는 설계 시 해야 할 업무지침에 가깝다는 한계점을 가지고 있다. 이와 같이 시공성 분석에 관한 연구들은 시공성을 분석하는 항목들이 특정 공정에 한정되어 있는 경우가 많았으며 전반적으로 소프트한 항목보다는 '조인트 부분의 이어치기 보강방법 부재'등의 시방에 가까운 하드(Hard)한 항목들이 주를 이루어 시공을 하는 경우 세부 시공성의 개선은 이루어질 수 있으나 건설 전반의 시공계획을 작성하는데 있어서는 한계점으로 작용할 수 있다. 소

프트한 항목들에 대해 시공성을 연구한 사례로는 시공성에 미치는 요인들을 열거하고 시공성의 방해 요인과 향상시키는 방법을 분석하여 시스템 다이내믹스를 통해 상호 영향을 평가한 것이 있으나(Franky W. H. Wong et al, 2004) 이는 단순히 시공성의 영향 요인을 음과 양으로만 구분하여 영향의 크기에 대해서는 알 수 없다는 한계가 있다. 주요 연구들은 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Advanced research for constructability

Researcher	Contents
Lee. H. C (2011)	Develop checklist for constructability review for office building at pre-construction phase by questionnaires.
Kang. K. H et al(2010)	Analyzing and contrasting between domestic cases with overseas case of new form work and new project management method.
Sui Pheng Low(2001)	By correlating quantitative measures, finding empirical evidence to support relationships between buildability, structural quality and productivity in construction
Kwon. D. H et al(2003)	Found out constructability issues that have been continually generated from high-rise office building and identified characteristics and importance, impact, frequency aspect of the constructability
Franky W.H. Wong et al	Identified the major factors affecting buildability of designs, and highlighted the need an principle for devising a dynamic design management system for improvement of buildability.

대부분의 시공성과 생산성 간의 상관관계 연구에서는 시공성을 향상시키는 것이 품질, 공기, 비용을 유리하게 하는 것으로 나타났다. 싱가포르의 BCA에서 일본의 In-house tool에서 영감을 얻어 Buildability Design Appraisal System(이하 BDAS)을 개발하였는데 이는 노동 효율적인 설계(Labor-efficient design)의 장려가 주목적으로 입찰시 법적으로 일정 점수 이상을 획득하도록 의무화하였다. 점수의 구성은 다음 Fig. 1과 같다.

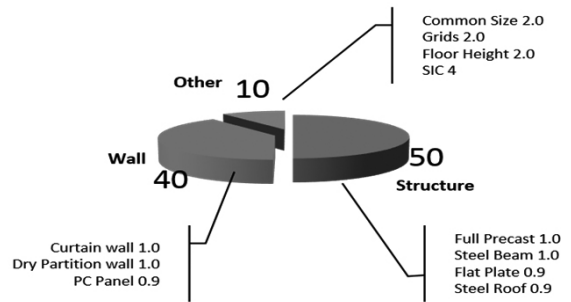


Fig. 1. Score Allocation of BDAS

Table 3. Constructability factors

	Constructability Factor	CII	CIRIA	Griffith and Sidwell	Hon, Gairns and Wilson	CPPM (NSW)	BDAS (BCA)	CIIA
Design Phase	Simplification of Design	o	o	o	o	o	o	
	Modularisation	o			o		o	
	Standardization of Design	o	o	o	o		o	
	Allowable tolerance		o	o				
	Requirement for Cost, Quality, Time					o		
	Structure system					o	o	
	Time for below ground		o					
Construction Phase	Site Investigation		o					
	Method of Construction			o	o		o	o
	Suitable material		o		o			
	Site Layout			o				
	Use of Equipment	o		o				
	Sequence of work	o		o	o	o		
	Site Access and Egress	o				o		o
	Time to achieve weather proof		o			o		
Reduction of work at height					o			
Preassembly work	o					o		
Project Traits	experience of personnel				o	o		
	Early involvement of G.C				o			
	Type of Building			o				
	Size of site			o				
	Available Resources			o		o		o
	Subsoil, location			o	o			
	Regulations, by-laws			o	o	o		o
	Climatic Condition			o		o		o
Storage & Workplace		o			o			

BDAS는 표준화(Standardization), 단순화(Simplicity), 요소들의 통합(Single Integrated Elements)를 근간으로 점수를 측정하고 있다. 어떤 재료와 어떤 구조를 쓰느냐에 따라 점수를 면적에 따라 다르게 할당하며, 그림 1과 같이 세부항목 옆의 1.0, 0.9 등의 점수가 1에 가까울수록 높은 것인데 이를 면적에 곱하여 1에 가까운 값일수록 100점에 가까운 점수를 얻게 된다. 세부 항목을 살펴보면 건식, PC, 선조립일수록 높은 점수를 받게 되는 것을 알 수 있다. 이는 시공성이라는 개념의 일부분만을 채용한 것이고 생산성이 높은 구조, 재료만을 사용해야 높은 점수를 받을 수 있기 때문에 본질적인 시공성의 정의와는 다른 관점에서 건물의 요구조건들을 제한하고 건물의 설계가 생산성에만 얽매이게 되는 맹점을 가지고 있다. Sui Pheng Low는 싱가포르의 건물들을 대상으로 Buildability Score과 생산성의 상관관계를 분석했으나 해당 연구에서 채용한 시공성은 앞서 언급한 싱가포르의 시공성 평가 시스템을 연구 대상으로 하였기 때문에 싱가포르 제도가 갖는 맹점과 같은 한계점을 가지고 있다. 권동혁(2003)의 연구는 고층 건물의 철근 콘크리트 공종에서 시공성 항목들이 공기, 품질, 원가에 대해 중요도, 영향도, 빈도에 대해 알 수 있어 공사의 비효율성을 감소시킬 방안을 찾을 수 있으나 연구가 설문조사로만 끝나는 한계를 가지고 있어서 검증이 필요하다.

이렇듯 건설효율성 측면에서 시공성 이론의 중요성과 효율성을 입증하는 연구가 주를 이루고 있으나 사례를 위주로 하고 있으며 실증적인 검증에 대해서는 미흡한 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 시공성의 분석 항목을 보다 Soft한 관점에 초점을 두고 여러 기관의 연구를 포괄할 수 있는 항목을 도출하며 실증적이고 정량적인 검증을 통해 기존 연구와의 차별성을 두었다.

3. 시공성 요인 도출 및 공종별 요인의 중요도 분석

3.1 시공성 요인의 도출

시공성 요인의 중요도를 평가하기 위해서는, 중요도 측정 시 활용할 요인의 도출이 선행되어야 한다. 시공성 요인을 도출하기 위해 시공성에 관한 문헌고찰을 바탕으로 자주 언급이되고 강조되는 총 34개의 요인들을 선정하였고 타 항목에 포함되거나 너무 포괄적인 항목, 그리고 시공성에 크게 영향을 미치지 않는 항목을 시공계획 업무를 하는 차장급 전문가의 면담을 통해 삭제하여 26개로 최종 도출하였다. 그 결과 문헌에서 언급하고 있는 시공성 요인들의 빈도는 '설계의 단순화(6)', '시공 표준화(5)', '작업 순서(5)', '법적 규제(5)', '적절한 시공법(4)', '접근로와 출구(4)', '모듈화(3)', '인력의 경험 및 가용성(3)' 순으로 높았다. 요인은

각 요인별 특성을 고려하여 설계적인 측면, 사공상의 측면, 프로젝트 자체의 특수성으로 기인한 프로젝트 특성 측면으로 구분하여 설계 7개, 시공 10개, 프로젝트 9개로 구성하였다. 도출된 시공성 요인은 Table 3과 같다.

3.2 공종별 요인의 중요도 분석

3.2.1 설문 개요

본 연구에서 도출된 시공성 요인들에 대해 실제 프로젝트를 수행하면서 실무자들이 인식하고 있는 중요도에 대해 파악하고, 도출한 시공성 요인의 타당성을 위해 2013년 10월 4일부터 11월 9일까지 국내 시공사를 대상으로 설문 조사를 실시하였다. 설문 대상은 본사에서 본사의 시공계획 담당자 및 현장에서 시공 계획 업무를 하는 기술팀의 직원들을 대상으로 하였으며 기본적으로 현장 경력을 가지고 있는 사람을 대상으로 하였다. 설문 방법은 e-mail을 이용한 설문과 현장방문으로 실시하였으며 배포한 설문의 수는 총 55부이고 31부가 회수되어 56.3%의 회수율을 보였다.

설문구성은 Table 4와 같이 응답자의 특성에 대한 문항이 총 3가지이며, 시공성 요인의 중요도 측정에 관한 문항은 철골, 철근콘크리트, 커튼월 공종에 대해 각각 26문항씩 총 78문항으로 구성되어 있다. 시공성 요인은 시공업무 수행 시 각 항목이 해당 공종에서 얼마나 중요한지에 대해 '매우 중요함', '중요함', '보통', '별로 중요하지 않음', '전혀 중요하지 않음'으로 총 5점 척도를 사용하여 평가하였다. 응답한 사람들의 시공 경력은 Fig. 2와 같다.

Table 4. Overview of questionnaire

Questionnaire	Contents	Number of Questions
Characteristics of respondents	Service Career at construction site, Main business, Division	3
Importance of Constructability factors	Importance of Constructability factors on Curtain-wall works, Reinforced Concrete works, Steel Works	78

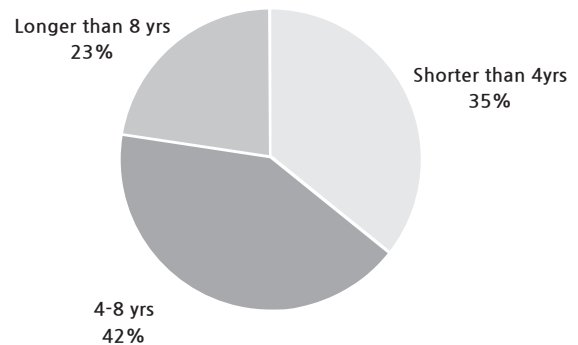


Fig. 2. Working years in construction site

3.2.2 설문 분석

철골공종과 철근콘크리트공종의 경우 시공성 요인들의 각 공종에 미치는 영향도가 대체적으로 비슷하나 영향도의 크기가 조금씩 다른 형태를 띠었으며 외장인 커튼월의 경우 골조공종과는 요인의 영향도가 다른 부분이 많음을 알 수 있다. 공통적으로 '설계의 단순화', '장비의 활용', '기후 및 날씨', '모듈화' 등이 높은 영향도를 갖는다고 나타났으며 이는 골조공종과 외장공종을 포함하여 건설 산업의 특수성에 의해 건설 공사의 전반적인 시공성에 영향을 미치는 요인이라고 볼 수 있다. 일반 제조업과는 다르게 외부에서 공사를 진행하기 때문에 날씨의 영향을 많이 받으며 대형 부재로 인한 장비 시공이 주로 이루어지나 세부 공종들은 인력에 의해 작업이 이루어지기 때문에 인력은 생산성에 영향을 미치는 큰 요소가 된다. 따라서 인력을 최소화하고 양중회수를 줄이기 위해 모듈화가 필요하며 설계의 단순화가 시공성에 절대적인 영향을 미치게 된다. Fig. 3은 각 공종별 시공성 요인의 영향도를 나타낸 것이다.

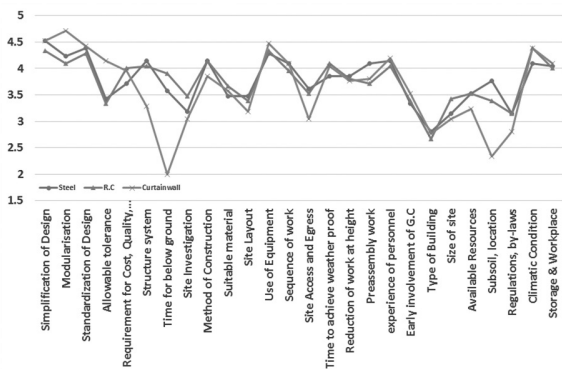


Fig. 3. Effect of factors on each work section

철골공종의 경우 영향도의 크기가 '설계의 단순화(4.5)', '설계의 표준화(4.38)', '장비의 활용(4.28)', '모듈화(4.24)', '구조시스템(4.14)', '인력의 경험 및 가용성(4.14)', '적절한 시공법(4.14)', '기후 및 날씨(4.1)' 순으로 높게 나타났다. 철골의 경우 주공정이 인양을 해서 설치를 하는 건식 공법이기에 때문에 본조임 또는 현장용접 시까지의 예상된 외력에 대하여 설치 부재의 변형 및 도괴를 방지하기 위해 가볼트의 조임을 하고 부재의 고정이 될 때까지 타워크레인 등의 인양장비에 의존해야 하며 현장 용접사의 기량에 따라 용접의 품질이 달라진다. 따라서 경사기둥 등 설계가 단순하지 않으면 인양장비에 의한 인양시간이 길어지고, 기둥에 접합하는 부재가 많아질 경우 용접량과 볼트 조임 수의 증가로 시공성에 불리한 영향을 미치게 되기 때문으로 사료된다. 또한 철골 공종에서의 구조시스템 역시 설계의 단

순화와 관련하여 아우트리거, 벨트 트러스 등 조립이 복잡해지며 철골 단위중량 당 용접량이 증가하기 때문에 큰 영향을 미친 것으로 분석된다. 다음 Fig. 4는 시공성 요인의 철골 공종에 대한 영향도이다.

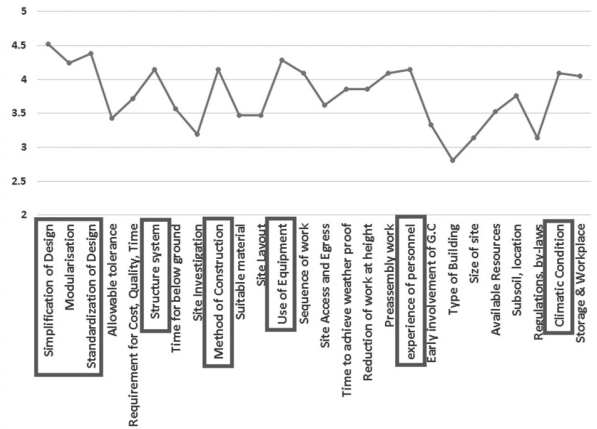


Fig. 4. Constructability factors affecting on steel work

철근콘크리트 공종의 경우 영향도의 크기가 기후 및 날씨(4.38), 설계의 단순화(4.33), 장비의 활용(4.33), 설계의 표준화(4.29), 적절한 시공법(4.14), 모듈화(4.1), 전천후 작업가능 시간(4.1) 순으로 높게 나타났다. 철근콘크리트공사의 경우 현장에서 콘크리트를 타설하고 양생하다 보니 외기에 의한 영향을 많이 받아 '기후 및 날씨'가 가장 큰 영향도를 지닌 것으로 나타났으며, 설계의 단순화는 콘크리트 양생을 위한 거푸집의 제작 및 전용이 유리해야 하기 때문으로 사료된다. 또한 콘크리트 공사 역시 콘크리트 펌프카, 거푸집 양중을 위한 리프트 등 장비의 의존도가 높은 공종이며, PC공법 및 대형 플라이 폼 등을 적용하여 공기단축이 가능하기 때문에(손영진 2008) 모듈화의 영향도가 큰 것으로 분석된다. 다음 Fig. 5는 시공성 요인의 철근콘크리트 공종에 대한 영향도이다.

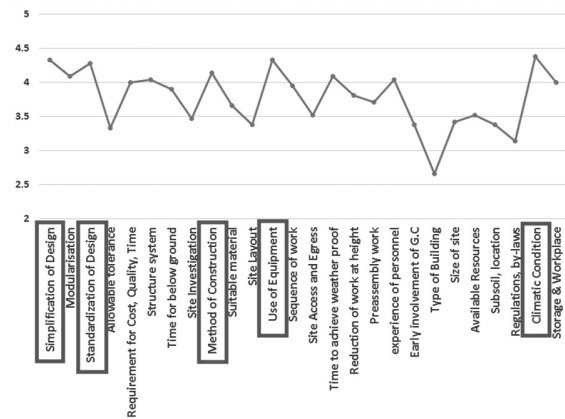


Fig. 5. Constructability factors affecting on R.C. work

커튼월 공종의 경우 영향도의 크기가 모듈화(4.71), 설계의 단순화(4.52), 장비의 활용(4.48), 설계의 표준화(4.43), 기후 및 날씨(4.38), 인력의 경험 및 가용성(4.1), 현실적인 허용오차(4.1) 순으로 높게 나타났다. 커튼월 역시 철골과 마찬가지로 양중 작업이 중요한 공종이며 건물 입면의 모양에 따라 공장 제작품인 커튼월 부재의 제작 난이도가 달라지기 때문에 적절한 장비사용 계획과 모듈화를 통해 양중 횟수를 줄임으로서 생산성을 높이는 것이 필요하다. 또한 공장에서 제작해오는 만큼 오차가 발생할 경우 현장에서 수정이 어려워 오차를 흡수할 수 있는 설계가 필요하며 충분한 사전 엔지니어링을 통해 오차를 방지해야 할 것으로 판단된다. 건물 외관에서 리프트, 타워크레인 등의 양중 장비를 활용하여 부착하기 때문에 양중을 안정적으로 하기 위해서는 풍속 등 날씨의 영향을 받는 것으로 분석된다. 타 공종에 비해 상대적으로 영향이 적은 요인은 '지하공사기간의 최소화', '접근로와 출구', '토질, 위치 등 현장의 조건'으로 나타났는데 이는 골조 공종인 철골과 R.C와는 다르게 외부 마감 공종이기 때문에 당연한 결과이며 '접근로와 출구'의 경우 타 공종의 부재보다 반입하는 자재의 크기가 작기 때문인 것으로 사료된다. 다음 Fig. 6은 시공성 요인의 커튼월 공종에 대한 영향도이다.

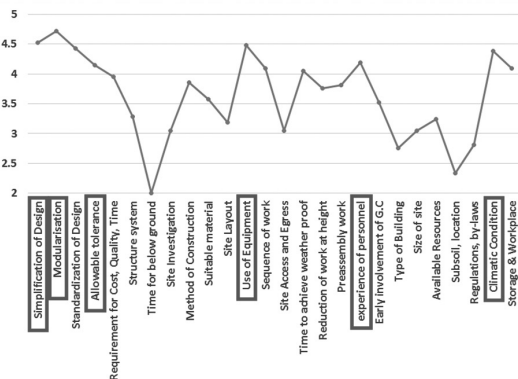


Fig. 6. Constructability factors affecting on curtain wall work

4. 시공성과 생산성의 상관관계 분석

4.1 조사대상 프로젝트 개요

시공성과 생산성 간의 상관관계를 검증하기 위하여 비교적 정형화되어있고 변수들을 수치화하기 쉬운 철골 공사를 대상 프로젝트로 선정하였다. 데이터는 준공된 21개의 철골조 및 SRC조 건물을 공사지를 통해 획득하였고 부득이 인당 생산성이 기록되어 있지 않은 공사지는 일일 투입 인원과 공정표상의 스케줄을 토대로 생산성을 도출하였다. 건물은 오피스 15개, 연구소 5개, 주거용 1개이며 층수는 16층부터 69층까지, 구조는 철골+RC코어17개, SRC+RC코어 2개, 순수 철골조 1개이다. 변수의 도출은 앞서 실시

한 설문조사에서 철골 공사에 미치는 영향도가 높은 시공성 요인과 공사지에 기술된 일반적 프로젝트 특성을 추가하여 총 10개를 선정하였다. '인력의 경험 및 가용성'은 국내 사업장 간에 비슷한 수준이므로 제하였다.

4.2 분석변수의 정의 및 기술 통계량

본 연구에서는 시공성 요인이 철골공종의 생산성에 미치는 요인에 미치는 영향을 분석하기 위한 모델을 구축하기 위해 다중회귀분석을 실시하였다. 분석 변수는 종속 변수인 생산성을 포함하여 총 11개이다. 앞서 설문한 시공성에 대한 영향도와 생산성에 대한 영향도를 비교하기 위해 요인들을 서로 대응시켰으며 독립변수가 시공성에 대한 항목을 충분히 설명할 수 있도록 변수를 설정하였다. 설명회귀 분석의 정밀도를 높이기 위해 수치가 큰 연면적은 log 값을 취했다. 분석 변수의 특성과 이에 해당하는 시공성 요인과 설문 결과의 점수는 다음 Table 5와 같으며 기술통계량은 Table 6과 같다.

Table 5. Definition of analysis variables

Input variables	Input variables	Unit	Constructability factor	Effect
Dependent variable	Productivity	ton/person		
Independent variable	Structure System	Nominal	Structure system	4.14
	No. of typical Floor	Rate	Standardization of design	4.38
	Method of Construction	Nominal	Method of construction	4.14
	Number of T.C	EA	Use of equipment	4.29
	Working day /Calendar day	Rate	Climate condition	4.1
	Steel Ton / Steel PCS	Rate	Modularization	4.24
	Exist of tilted column	Nominal	Simplification of design	4.52
	Cycle time per floor	Floor /Day	Method of construction	4.14
	(log) Gross Floor Area	(log) M2	Size of site	3.14
	Building coverage ratio	Rate	Site layout	3.47

Table 6. Descriptive statistics quantity

Input variables	Average	Standard deviation	N
Productivity	1.1751	0.2451	21
Structure System	1.2857	0.6437	21
No. of typical Floor/No. of Total Floor	0.7360	0.0640	21
Method of Construction	1.5238	0.6796	21
Number of T.C	2.2857	0.9562	21
Working day/Calendar day	0.7606	0.0762	21
Steel Ton/ Steel PCS	1.3178	0.5265	21
Exist of tilted column	0.0952	0.3008	21
Cycle time per floor	5.9810	2.3409	21
Total Floor Area	4.4847	0.2224	21
Building coverage ratio	0.3903	0.0545	21

Table 7. Correlation analysis

Constructability Factor	Productivity	Structure System	Typical Floor# /Total Floor#	Const. method	Number of T.C	Working day /Calendar day	Steel Ton /Steel PCS	Exist of tilted column	Cycle time per floor	Total Floor Area	Building coverage ratio
Productivity	1.000	0.198	0.567	-0.306	0.376	-0.072	0.163	-0.369	-0.333	0.358	0.115
Structure System	0.198	1.000	-0.045	0.327	-0.139	0.107	0.636	-0.148	0.130	-0.589	-0.159
Np. of typical Floor /No. of Total Floor	0.567	-0.045	1.000	0.007	0.283	0.196	-0.095	-0.203	0.097	0.034	0.249
Method of Construction	-0.306	0.327	0.007	1.000	-0.165	0.742	0.184	0.722	0.346	-0.515	0.080
Number of T.C	0.376	-0.139	0.283	-0.165	1.000	0.168	-0.231	-0.099	-0.306	0.593	0.120
Working day/ Calendar day	-0.072	0.107	0.196	0.742	0.168	1.000	-0.120	0.514	0.315	-0.284	0.044
Steel Ton/ Steel PCS	0.163	0.636	-0.095	0.184	-0.231	-0.120	1.000	-0.080	0.150	-0.296	-0.173
Exist of tilted column	-0.369	-0.148	-0.203	0.722	-0.099	0.514	-0.080	1.000	-0.154	-0.061	-0.128
Cycle time per floor	-0.333	0.130	0.097	0.346	-0.306	0.315	0.150	-0.154	1.000	-0.433	0.422
Total Floor Area	0.358	-0.589	0.034	-0.515	0.593	-0.284	-0.296	-0.061	-0.433	1.000	0.140
Building coverage ratio	0.115	-0.159	0.249	0.080	0.120	0.044	-0.173	-0.128	0.422	0.140	1.000

Table 8. Examination of p-value

Model	Unstandardized coefficient		Standardized coefficient	t	p-value	Collinearity statistics	
	B	Standard error	beta			Tolerance	VIF
Constant	-5.708	1.084		-5.264	0.000		
Structure System	0.179	0.065	0.470	2.747	0.019	0.271	3.689
Np. of typical Floor/No. of Total Floor	1.904	0.402	0.497	4.732	0.001	0.719	1.390
Number of T.C	-0.134	0.040	-0.522	-3.338	0.007	0.325	3.077
Working day/Calendar day	1.973	0.548	0.613	3.603	0.004	0.274	3.648
Steel Ton/ Steel PCS	0.091	0.063	0.196	1.436	0.179	0.428	2.336
Cycle time per floor	-0.069	0.016	-0.658	-4.257	0.001	0.333	3.007
Total Floor Area	0.891	0.204	0.809	4.359	0.001	0.231	4.329
Building coverage ratio	1.017	0.522	0.226	1.948	0.077	0.590	1.694
Exist of tilted column	-0.467	0.120	-0.573	-3.887	0.003	0.366	2.735

4.3 상관관계 분석

변수들이 서로 어떤 상관관계를 미치는지 알아보기 위해 Pearson 상관계수를 이용하여 분석을 실시하였으며 그 결과는 다음 Table 7과 같다.

'기준 층수/전체 층수'와 '생산성'이 가장 높은 양의 상관관계를 갖았고, 뒤를 이어 '타워 크레인의 대수', '연면적'이 클수록 '생산성'이 높은 것을 알 수 있으며 각각에 대한 유의확률도 0.004, 0.046, 0.056으로 유의함을 확인할 수 있다. 이는 시공성 요인이 철골 공중에 미치는 영향도에 대한 설문 중 '설계의 표준화', '장비의 활용'의 영향이 높았던 것과 유사한 결과이며 '연면적'의 경우 층수가 많아질수록 학

습효과에 의해 생산성이 증가(부승현 2002)하였다고 판단된다. 또한 음의 상관관계가 높은 순으로는 '경사 기둥의 유무', '층당 사이클'임을 알 수 있고 경사기둥은 시공이 어렵기 때문에 설계가 복잡한 것에 해당하며 '설계의 단순화'에 역행한 것으로 분석할 수 있다. '층당 사이클'의 경우 한정된 작업 공간에서 작업할 수 있는 인원은 한정되어 투입 인원은 무한정 증가시킬 수 없기 때문에 분모는 일정한데 짧은 시간 동안 분자인 작업량은 증가한 것이기 때문에 층당 사이클이 짧아질수록 인당 생산성은 증가한다고 볼 수 있다. 설문 결과와는 반대로 '가동율'과 '생산성'은 음의 상관관계가 나왔으나 유의 확률이 0.379로 0.1보다 높기 때문에 이 상관계수는 유의하지 않다.

4.4 다중회귀분석을 이용한 생산성 영향 요인 분석

본 연구에서는 회귀분석을 활용하여 철골 공종의 생산성을 예측하기 위하여 이미 설문을 통해 생산성에 영향을 미치는 요인들을 도출하였기 때문에 모두 입력 방식을 사용하여 회귀식을 산정하였다.

Table 9와 같이 수정된 결정 계수의 값은 0.825이며 이는 추정된 회귀선이 변수 사이의 관계를 잘 설명할 수 있는 수준의 설명력을 갖는다고 할 수 있다.

Table 9. Abstract of multiple regression model

Model	R	R2	Adjusted R2	Standard error of estimate
1	0.955a	0.913	0.825	0.1024920

하지만 모두 입력방식을 사용할 경우 유의수준이 0.05 이내에 있고 공선성 진단을 통해 공선성 10이상의 변수들을 제거해야 한다. 아래 Table 10을 보면 ‘공법’과 ‘경사기둥의 유무’의 공선성의 값이 10 이상이므로 다중공선성에 문제가 있는 것을 알 수 있다. 따라서 ‘공법’을 제외하고 회귀모형을 다시 구축하여 검증을 한 결과 유의 확률과 공선성이 모두 이상이 없는 것으로 나타났다.

Table 10. Examination of p-value

Model	p-value	Collinearity statistics	
		Tolerance	VIF
Constant	0.001		
Structure System	0.046	0.204	4.908
Np. of typical Floor/No. of Total Floor	0.001	0.678	1.476
Method of Construction	0.988	0.054	18.498
Number of T.C	0.012	0.299	3.347
Working day/Calendar day	0.008	0.248	4.030
Steel Ton/ Steel PCS	0.203	0.422	2.369
Exist of tilted column	0.126	0.075	13.248
Cycle time per floor	0.006	0.239	4.185
Total Floor Area	0.004	0.184	5.442
Building coverage ratio	0.112	0.515	1.941

공선성이 높은 ‘공법’을 제거하고 회귀분석 모델을 다시 구축하여 회귀모델의 유의성을 검토한 결과 수정된 결정계수 값이 0.841로 신뢰할 수 있는 수준의 모델이라고 할 수 있는 설명력을 갖는다. 다중회귀모델의 요약은 Table 11와 같으며 회귀모델의 유의성 검토는 Table 12와 같다.

Table 11. Abstract of modified multiple regression model

Model	R	R2	Adjusted R2	Standard error of estimate
1	0.955a	0.913	0.841	0.0977233

공선성 높은 변수를 제거한 모두 입력방식의 회귀모형의 분산분석 결과 다음 표 12와 같이 유의확률은 0.000이 나왔으며 데이터의 공선성도 모두 10이하 0.01 이상으로 모두 통계적 타당성을 지닌 것으로 나타났다. 설문결과와 유사하게 ‘설계의 표준화’와 관련된 항목인 ‘기준층수/전체층수’는 높은 상관관계가 있는 것으로 나왔으나 나머지 변수들의 영향도 순위는 다른 것으로 나타났다. ‘설계의 단순화’와 관련된 ‘경사기둥의 유무’는 시공성에 대한 영향도는 2위인 반면 생산성의 영향도는 5위로 나타났으며, ‘장비의 활용’과 관련된 ‘타워크레인 대수’는 예상했던 것과 반대로 음의 상관관계가 나왔다. 이는 시공계획 당시 공기 및 양중량을 계산하여 타워크레인 대수를 산정하였기 때문에 타워크레인 자체가 생산성에 영향을 크게 미치지 않고 다른 양중작업 등의 다양한 변수와 맞물려 발생한 결과로 사료된다. ‘사이클 타임’은 Pearson 상관계수를 이용해 분석한 결과와 유사하며, 상관관계가 높을 것으로 예상했던 ‘모듈화’와 관련된 항목인 ‘철골 전체 TON/철골 부재수’는 유의 확률이 0.1이상이므로 분석에 활용할 수 없다. 상관관계는 앞서 언급한 Pearson 상관관계를 활용한 상관관계 분석에서 설명과 유사하나 생산성에 대한 정량적인 크기에 대한 순서는 다르게 나타났다. 특히 가장 큰비표준화 계수를 갖는 ‘가동률’ 항목은 낮을수록 작업의 흐름이 단절되어 효율성이 떨어지며 일의 인력 및 자재의 수급 등이 영향을 주어 생산성이 떨어지는 것으로 판단된다. 마찬가지로 설문에서의 순위가 낮았지만 높은 비표준화계수를 갖은 항목은 ‘건 폐울’인데 높을수록 작업 공간 및 야적 공간에 유리하기 때문인 것으로 판단된다. 상관관계의 크기에 대한 순위는 다르나 유의확률 때문에 분석하지 않았던 ‘공법’과 ‘모듈화’를 제외하고는 상관관계가 모두 있는 것으로 나타났다.

Table 12. Analysis of variance

Model	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F	p-value
Regression model	1.097	9	0.122	12.761	0.000a
Residual	0.105	11	0.010		
Sum	1.202	20			

5. 결론

본 연구에서는 문헌고찰을 통해 시공성 요인을 특성별로 분류 도출하였으며 도출된 시공성 요인이 철골, 철근콘크리트, 커튼월 공종에 미치는 영향의 크기를 설문을 통해 분석한 후 도출된 시공성 요인이 생산성에 어떻게 영향을 미치는지 검증하기 위하여 철골 공종의 데이터를 다중회귀분석을 통해 정량적으로 검증하였다. 연구를 통한 중요한 결과는 크게 다음과 같다.

(1) 기존 연구 고찰을 통해 시공성 영향 요인을 ‘설계 단계’, ‘시공 단계’, ‘프로젝트 특성’에 해당하는 요인을 도출하였다.

(2) 공종별 시공성 요인이 미치는 영향도는 세 공종 모두 ‘설계의 단순화’, ‘설계의 표준화’, ‘장비의 활용’, ‘날씨 및 기후조건’이 높은 영향도를 가진 것으로 밝혀졌으며 각 영향도의 순서는 다른 것으로 나타났다.

(3) 철골 공종의 생산성에 영향을 미치는 요인들에 대해 다중회귀분석을 실시한 결과 설문 결과에서 시공성의 영향도가 높은 요인들이 상관관계 크기에 대한 순위는 달랐으나 생산성에 모두 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히 ‘기후 및 날씨’, ‘설계의 표준화’를 대변하는 ‘가동률’와 ‘기준층수/전체층수’의 영향도가 높은 것으로 나타났다.

시공성에 대한 연구는 상당히 활발하게 진행되고 있으나 기존 연구된 시공성 이론들이 실제 생산성에 얼마만큼의 영향을 미치는지 정량적인 검증은 미흡하다. 본 연구에서 실제 공사 데이터를 통한 시공성과 생산성의 상관관계를 검증함으로써 기존 연구들을 뒷받침할 수 있는 근거자료로서의 의미가 있다. 또한 시공성 요인을 도출하여 각 공종별로 중요한 영향 요인들을 분석함으로써 시공자 입장에서 시공계획 작성 시 점검하고 참고하여야 할 사항을 도출하는데 유용할 뿐만 아니라 설계자의 입장에서 시공성과 생산성을 높이기 위해 어떤 요소를 고려해야 할지 사전에 판단할 수 있는 기준이 될 것으로 사료된다.

본 연구에서는 데이터를 확보하는데 있어 시간 및 데이터 가용성 등의 물리적인 제약에 있어 철골 공종에 한정하여 검증하였으므로 콘크리트, 커튼월 등에 대한 검증이 향후 이루어져야 할 것이다. 또한 향후 도출된 항목을 바탕으로 요인들을 세부 공종에 맞게 시공성 요인들을 세분화하고 분류하여 시공성에 대한 공종별 분류체계를 작성하고, 이에 대한 검증을 통해 실효성 있는 시공성 향상을 제고할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

- Kwon, D. H and Kim, H. S (2002). “A Preliminary Study on the Analysis of Constructability Issues in High-Rise Office Buildings“, Proceedings of KICEM Annual Conference, KICEM, 2, pp. 235-238.
- Yoon, H. B., Choi, J. H., and Kim, Y. S. (2012). “Application of Buildability Appraisal System to Domestic Construction Industry by Contrasting with Overseas Cases“, Proceedings of KICEM Annual Conference, KICEM, 12, pp. 257-258.
- Lee, B. N., Choi, S. I., and Sung, Y. K (2009). “International comparison of productivity and fee in construction industry“, Construction Issue Focus, 28(4), CERIK pp. 6-21
- A. Griffith, and A.C. Sidwell (1995). Constructability in Building and Engineering Projects, 1st ed. MACMILLAN PRESS LTD, London, pp. 2-29.
- W. D. McGeorge, A. Palmer, K. Lodon (2002). Construction management: new directions, 2nd ed. Blackwell Science, US, p. 54.
- Son, Y. J (2008). “A study on the Technical Development Direction for Reduction of Domestic Structural Working Duration through the Analysis of Overseas Projects“, MS thesis, Hanyang Univ.
- Bu, S. H, Yu, J. H, and Lee, H. S (2002). “Construction Productivity Improvement Methodology considering the Learning Curve Effects“, Journal of Architecture and Building Science.
- Lee, H. C (2011). “Development of Checklist for Constructability Review for Office Building at Pre-Construction Phase“ MS thesis, University of Seoul.

요약 : 시공성에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔으며 시공성이 공기, 원가, 품질, 생산성을 높인다고 다양한 연구에서 언급하고 있다. 그러나 실제 시공성이 생산성에 미치는 영향을 정량적으로 분석한 연구는 사례조사나 설문을 통한 결과가 대부분이어서 미흡한 실정이다. 또한 시공성에 관한 연구가 세부 특정 공정의 시공성을 높이기 위한 것들이 대부분이어서 다양한 공종에 적용하기에는 다소 hard하다고 할 수 있다. 따라서 본 논문은 시공성에 영향을 주는 인자들을 도출하고 이 요인들이 각 공종의 시공성에 미치는 영향도를 분석한 후 실제 공사 데이터를 가지고 시공성 요인이 생산성에 미치는 영향을 검증하여 기존 연구에 대한 뒷받침이 되고자 한다.

키워드 : 시공성, 생산성, SPSS, 다중회귀분석
