

# 3D BIM을 활용한 골조 거푸집 공사의 생산성 분석에 관한 연구

## Productivity Analysis for Structural Formwork Using 3D BIM

최창훈<sup>1</sup>      박영진<sup>1</sup>      소지윤<sup>1</sup>      김성연<sup>1</sup>      이준복<sup>2\*</sup>

Choi, Chang-Hoon<sup>1</sup>    Park, Young-Jin<sup>1</sup>    Soh, Ji-Yoon<sup>1</sup>    Kim, Sung-Yeon<sup>1</sup>    Lee, Junbok<sup>2\*</sup>  
*Graduate School, Kyung Hee University, Giheung-Gu, Yongin, 446-701, Korea<sup>1</sup>*  
*Department of Architectural Engineering, Kyung Hee University, Giheung-Gu, Yongin, 446-701, Korea<sup>2</sup>*

### Abstract

The construction progress control is very important because there are many unexpected factors affecting time schedule delay and cost overruns. A complicated measure including item quantity and inherent time and costs is used to monitor the progress. Another element to be considered is a productivity, which is cost effectiveness because productivity is primarily measured by the costs. Productivity is stated as constant in-place value divided by inputs such as worker-hour. The main purpose of this paper is to analyze the productivity of structural formwork using a 3D BIM. In order to achieve the research objective, an integrated model of a BIM with a daily foreman's report is developed. The quantities being extracted from a 3D model and information are integrated with manpower utilized. The developed model is applied to a case project to measure and analyze the productivity in terms of individual building and work crew team. The results are discussed and further research topics will be addressed.

Keywords : 3D BIM, BIM-based estimation, productivity analysis, structural formwork

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적

건설 프로젝트가 점차 대형화, 복잡화되어 가고 있으며, 건설기술과 공법이 급속히 발전하였다. 이와 더불어 고객들의 요구도 고급화, 다양화되어 가고 있으며, 건설관련 제도가 빠르게 변화하고 있다[1]. 따라서 효율적인 건설관리의 중요도가 높아졌으며 고품질의 건축물을 주어진 공기 내에 시공하기 위해서 첨단 IT기술을 융합한 관리기법이 공사 관계자에게 효과적인 의사결정도구로 활용되고 있다.

건설관리 전산화 방안으로 CIC(Computer Integrated Construction), CALS(Continuous Acquisition and

Life-cycle Support), PMIS(Project Management Information System) 등이 있다. 그러나 이러한 연구의 대부분은 기존의 개별적인 건설관리를 위한 데이터를 하나로 취합하거나 혹은 시각적 표현장치를 이용하여 단순히 정보의 시각화에 중점을 두었을 뿐 기본적인 정보체계 내에서의 정보연계가 부족하였다. 이러한 문제에 대응하는 개념으로서 BIM(Building Information Modeling, 이하 BIM) 기술이 AEC(Architecture, Engineering and Construction) 산업계에 적용되기 시작하였다[2].

BIM은 건축물의 기획, 설계, 시공, 유지단계의 전 수명주기 동안 다양한 분야에서 정보를 생산하고 관리하는 기술로서 최근 활발한 연구가 진행되고 있다. BIM을 활용한 건설 프로젝트에서는 설계 시 작성된 모델 내 객체가 각각의 정보를 담고 있어 프로젝트 전체 생애주기 안에서 공유함으로써 정보전달의 효율성을 향상시킨다. 따라서 BIM기반의 통합 정보모델을 이용하여 객체별 물량 및 위치정보를 파악하고 이를 통해 효율적으로 생산성을 측정하는 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구는 BIM 모델을 이용하여 객체별

Received : November 26, 2013

Revision received : January 13, 2014

Accepted : June 13, 2014

\* Corresponding author : Lee, Junbok

[Tel: 82-31-201-3250, E-mail: leejb@khu.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

물량정보를 도출하여 이를 기반으로 생산성을 분석하는 방안을 제안하고자 한다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 3D BIM을 활용한 생산성 분석 방안을 제안하는 연구로서 다음과 같은 절차를 통해 수행되었다.

- 1) 건축공사에서 가장 높은 비중을 차지하는 시설물인 공동주택으로 연구범위를 한정하고, BIM 모델을 기반으로 한 생산성 분석 방안을 제안하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 공동주택의 골조 거푸집공사의 사례를 적용한다.
- 2) 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 관련 문헌조사를 실시한다.
- 3) 3D 설계에 따른 BIM 객체 모델링 개념부터 BIM기반 물량산출, 산출된 물량을 기반으로 생산성 분석까지 일련의 과정들을 제안한다.
- 4) 실제 현장데이터를 활용하여 제시하고 있는 생산성 분석 방안을 적용 및 검증한다.
- 5) 결론 및 향후 연구과제를 제시한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 거푸집 공사의 생산성 분석

일반적으로 경제행위를 통하여 특정 재화를 생산할 때에는 노동, 자본, 원자재 등 많은 생산요소들의 투입에 의하여 이루어지기 때문에, 생산성이란 생산물인 재화, 서비스 등과 같은 산출물과 생산요소들의 투입비율로 정의되는 기술적·동태적인 개념이라고 할 수 있다. 따라서 생산성이란 생산요소의 투입물과 이로 인한 산출물과의 관계를 표시하는 것으로 투입물에 대한 산출물의 비율로 정의할 수 있다[3].

거푸집 공사의 생산성 분석에 관한 기존의 연구문헌은 Table 1과 같다. Table 1에서 나타난 바와 같이 거푸집 공사의 생산성 분석에 관한 많은 연구가 진행되어왔지만, 단순 현장 데이터를 집계하여 생산성을 분석하거나[4,5] 예측모델을 개발하는 연구가 진행되었을 뿐이다[6,7,8]. 따라서 BIM기반으로 공사물량을 정미량으로 산정하여 이를 기반으로 생산성을 분석하는 연구가 미흡한 상황이다.

Table 1. Previous studies for productivity analysis of formwork

Author	Title
Kim, JH (2008)[4]	A study on productivity analysis of the forming method in high-rise building
Kim, TH (2009)[5]	Analysis of Labor Productivity in Reinforced Concrete Work
Park, YR (2009)[6]	Developing Model for Estimating the Form-work Productivity in the Dwelling Skyscraper Project
Kang, DW (2010)[7]	Development of Cost Data Prototype based on Production Crew by Productivity Analysis of Form Work
An, SB (2012)[8]	Development of Productivity Information based on Structural Work Crew of Multi-Housing Project

### 2.2 BIM기반 물량산출

물량산출이라 함은 건설 공사에서 공사에 소요되는 재료의 물량 및 작업의 소요량을 계산하는 것을 말하며, BIM기반 물량산출은 3차원 CAD 모델로부터 물량산출에 필요한 모델의 길이, 높이, 면적과 같은 물량정보를 불러들여 해당 내역과 연계하여 물량을 산출하는 것이라고 할 수 있다.

Table 2의 국내 주요 연구들을 살펴보면 물량산출 및 적산을 비롯하여 3차원 모델에서 물량을 자동 추출하는 분야, 공정과 연계하여 일정별 물량을 산출하는 분야에 관한 연구가 진행되었다. 이러한 선행연구들을 통해 BIM을 기반으로 물량이 정미량으로 산출하는 방안이 제시되었으며, 그 효용성이 사례 적용 등을 통해 충분히 입증되어 왔다. 이에 본 연구는 관련 선행연구[9]의 BIM기반 물량산출 개념을 활용하여 BIM기반으로 거푸집 공사의 물량을 산출하고, 산출된 물량을 통해 생산성을 분석하는 연구를 진행하고자 한다.

Table 2. Previous studies for BIM-based quantity takeoff

Author	Title
Park, YJ et al (2011)[9]	A Study on 3D BIM Collaborative Approximate Estimating Model of Structural Work for Apartment Projects
Ju, KH et al (2011)[10]	The case study of BIM-based quantity take-off for concrete and formwork
An, JH (2012)[11]	A Study on the BIM based Schedule and Cost Integrated Management System
Kim, JY (2013)[12]	A study of reliability-based quantity estimation error analysis apply
Kim, HS et al (2013)[13]	A Methodology of Open BIM-Based Quantity Take-Off for Schematic Estimation of Frame Work in Super-Tal

### 3. BIM을 활용한 거푸집 공사 생산성 분석

#### 3.1 생산성 분석을 위한 기준 설정

본 연구에서 생산성 분석은 출력된 인원의 생산성 검토를 목적으로 하기 때문에 투입된 인원 에 대한 실적 평가를 위해 기준이 되는 생산성 자료가 필요하다. 이에 기준 생산성 자료 구축을 위해 표준폼셈, 아파트 거푸집공사 입찰시 제출된 일위대가를 분석하여 아파트 공사 기준의 적정성을 검토하였다.

Table 3과 같이 표준폼셈에 의한 생산성은 합판거푸집 3회 사용의 경우 형틀목공이 9.62m<sup>2</sup>/인·일, 보통인부가 17.54m<sup>2</sup>/인·일이다. 결과값을 통해 표준폼셈을 기준으로 단순 생산성을 판단할 수 있다. 그러나 표준 생산성 자료로서 폼셈은 건물의 종류, 공사난이도 등의 공사여건에 따른 변화가 크기 때문에 표준 생산성 자료로 활용하는데 한계가 있다.

Table 3. Productivity by standard of estimation

Contents	Quantity(man·day/m <sup>2</sup> )	Productivity(m <sup>2</sup> /man·day)
Carpenter	0.22 X 47.1% = 0.104	1 m <sup>2</sup> /0.104 = 9.62
Labor	0.12 X 47.1% = 0.057	1 m <sup>2</sup> /0.057 = 17.54

또한 표준폼셈에서 제시한 기준수량 형틀목공 0.22와 보통인부 0.12를 통해 작업팀의 구성비율이 형틀목공 2명 에 대해 보통인부 1명이 귀속됨을 알 수 있다. 그러나 건설업의 일력수급 문제로 인한 작업팀 내의 형틀목공과 보통인부의 구성비율이 프로젝트 상황마다 상이하다. 또한 형틀목공과 보통인부의 작업 경계가 모호하여 인력 투입 시의 지급단가 기준설정 또한 어려우므로 형틀목공과 보통인부를 구분하여 생산성을 측정하고 관리하는 것이 무의미하다. 따라서 형틀목공과 보통인부의 통합적 생산성 기준을 마련하기 위하여 먼저 Table 4와 같이 2011년도 정부 노임단가에 의한 예정가격 및 실적단가의 노임단가 구성비를 분석하였다.

Table 4와 같이 정부 노임단가에 의한 예정가격의 노임비율은 형틀목공이 73%이고 보통인부가 27%로 분석이 가능하였지만, 실적단가의 경우 공사물량에 대한 전체 공사비만으로 계약이 진행되어 형틀목공과 보통인부의 노임비율을 분석 가능한 기반 자료가 전무하였으므로 예정가격의 노임비율을 동일하게 적용한다고 가정하였다.

그리고 분석과정에서 예정가격은 실적단가의 139.7%로 상당한 차이를 보였는데, 이는 단순한 노임의 차이에서 발생하는 문제가 아니라 예정가격을 산정하기 위해 사용된 생산성의 문제에 의해 발생하는 것으로 분석되었다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하여 보다 정확한 생산성 분석을 실시하기 위해 기준 생산성을 재정립하였다. 기준 생산성은 A건설사의 2011년 초 발주된 수도권 아파트 프로젝트 중 총공사비 및 연면적이 유사한 3개 프로젝트의 입찰 시 제시된 일위대가를 분석하여 도출하였으며, 도출한 결과는 Table 5와 같다.

Table 4. Estimation and actual costs on unit price by government

Contents	Unit	Quantity	Unit price	Estimated cost	Historical cost
Carpenter	man·day/m <sup>2</sup>	0.104	₩104,308 (73%)	₩10,848 (73%)	₩17,870 (labor ratio: 60%)
Labor	man·day/m <sup>2</sup>	0.057	₩72,415 (27%)	₩4,127 (27%)	
Total				₩14,975	₩10,722

Table 5. Productivity by breakdown costs for formwork

Contents	Quantity(man·day/m <sup>2</sup> )		Productivity(m <sup>2</sup> /man·day)	
	Carpenter	Labor	Carpenter	Labor
Superstructure	0.036	0.042	27.78	23.81
Substructure	0.070	0.048	14.29	20.83

이에 상기 Table 4의 정부 노임단가에 의한 노임비율과 Table 5의 형틀목공 및 보통인부 기준 생산성을 기반으로 도출한 거푸집 공사의 통합생산성 기준은 Table 6과 같다. 이는 아파트 공사의 발주내역체계를 기반으로 공사의 난이도가 구분되었으며, 이에 따라 노무비가 아파트 지상과 아파트 지하로 구분된 것이므로 생산성 분석의 기준자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

Table 6. Integrated productivity for formwork

Contents	Productivity		Labor ratio		Integrated productivity (m <sup>2</sup> /man·day)
	Carpenter	Labor	Carpenter	Labor	
Superstructure	27.78	23.81	73%	27%	(27.7×0.73) +(23.81×0.27) = 26.71
Substructure	14.29	20.83	73%	27%	(14.29×0.73) +(20.83×0.27) = 16.06

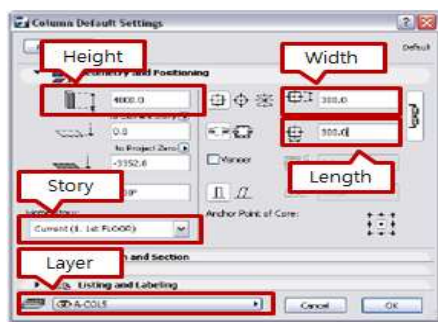
### 3.2. BIM기반 물량산출을 활용한 생산성 분석

생산성 분석을 위한 물량 파악은 최소한의 단위까지 물량 집계가 세분화 되어야 하는 점을 고려하여야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 BIM의 객체(Object) 단위의 물량정보를 활용하는 방안을 고려하였다.

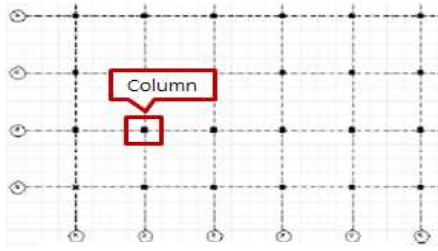
#### 3.2.1 BIM기반 물량산출 방법

Figure 1은 대표적인 BIM 도구인 ArchiCAD 상에서 객체(기둥)가 생성되는 예시를 나타낸 것이다. Figure 1의 (a)와 같이 기둥은 높이, 폭, 객체가 위치한 층, 객체가 속한 레이어에 대한 정보를 입력하여 (b)에서처럼 도면상 객체가 필요한 지점을 지정하여 객체를 생성하게 된다.

이렇게 생성되는 객체에는 Figure2와 같이 입력된 높이, 폭의 정보를 기반으로 폭 정보로 둘레가 자동연산되고, 높이와 폭 정보로 단면적이 자동연산되며, 높이와 둘레 정보로 체적이 자동연산되어 객체에 포함된다.



(a) Column Default Setting Dialog Box



(b) The completed column object

Figure 1. Example for creation of object - column

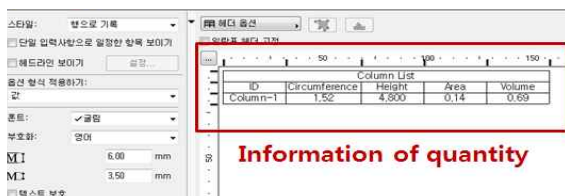


Figure 2. Example for information of quantity - column

이렇게 객체에 포함된 물량정보를 기반으로 Figure 3과 같이 기둥의 거푸집 물량이 산출될 수 있다. 하지만 Figure 3에서 나타난 바와 같이 기둥과 연결된 바닥 부재가 겹쳐서 모델링되므로, 겹쳐진 부분에 대한 거푸집 물량을 공제하여 중복 산출되는 것을 방지하기 위해 연결되는 바닥 부재의 두께 정보도 함께 활용하여 기둥의 거푸집 물량이 산출되어야 한다.

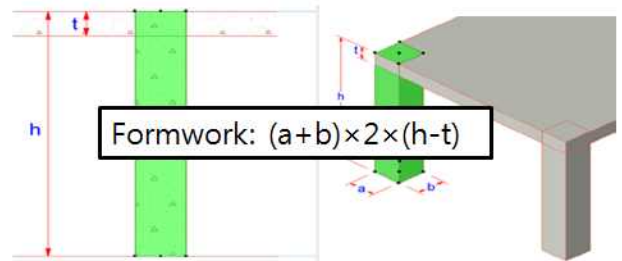


Figure 3. Estimation of formwork - column

또한 아파트 프로젝트의 경우 생성되는 객체의 수가 많으며, 생산성 분석을 위해 해당 객체들의 실제 현장 위치를 파악하기가 단순 3D 도면으로는 쉽지 않다. 따라서 Figure 4, Figure 5와 같이 상기 선행연구[9]의 공간 요인을 활용하여 객체들을 분류하여 조닝(Zoning)을 실시하였다. 먼저 아파트 지상부분은 Figure 4와 같이 도면의 세대조합 정보를 활용하여 코어, 세대간벽, 세대로 구분되어 객체가 조닝된다. 조닝 시 코어 및 세대 외에 세대간벽이 따로 조닝된 이유는 상기 선행연구에서 도출된 결과로 세대간벽이 포함된 각 세대에 중복 적용되거나 중복 누락되어 계산될 수 있으므로 독립적인 구역으로 구분하였다.

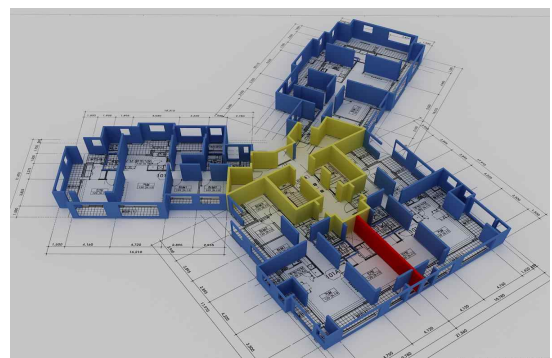
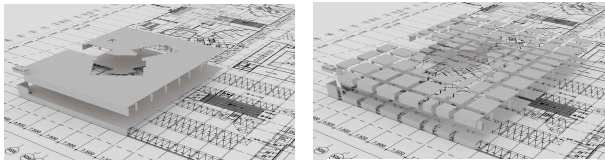


Figure 4. Concept of space zoning for a BIM model of superstructure

그리고 아파트 지하 객체의 조닝은 Figure 5와 같이 구분된다. Figure 5의 (a)와 같이 수평적으로 넓은 면적의 주차장 공사를 진행하는 프로젝트의 경우, 작업자가 현장의 위치를 정확하게 파악하여 작업량을 산정하는데 어려움이 있어 공간정보의 객관성을 유지하기 힘들기 때문에 작업 상황에 따라 선택된 공간의 물량으로 정확한 생산성을 도출하기 어렵다.



(a) Existing model (b) Zoning by grid  
Figure 5. Concept of space zoning for a BIM model of substructure

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 Figure 5의 (b)에서 나타난 바와 같이 도면의 그리드가 활용된다. 여기서 그리드란 기존 2D 도면에 사용되었던 것으로, 규칙적인 평행성이 두 개 이상 교차되면서 생기는 것이며, 그것이 일정한 간격으로 교차되는 곳에서 기하학적 패턴을 나타내며 규칙적인 영역을 나타낸다. 그리드는 면을 적당한 크기로 분할하고, 반복적인 기하학 형태로 구조를 통일시키는데 사용되며, 그리드에 의하여 형성되는 공간은 그 크기나 형태, 기능이 다르더라도 상호 공동의 관계를 가지게 된다 [14]. 이에 Figure 6과 같이 ArchiCAD의 요소 나누기 기능이 활용되어 그리드를 기준으로 객체가 분리된다. 상기 과정을 통해 각 객체들의 공간정보가 명확해지며, 이를 통해 선택된 공간의 작업현황에 따른 정확한 작업량 측정이 가능하다.

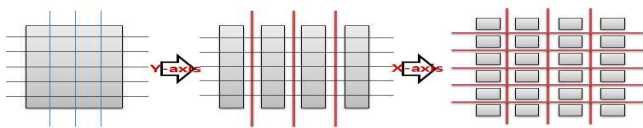


Figure 6. Object division with ArchiCAD

각 구역에 포함되는 부재(슬래브, 보, 기둥 등)의 물량정보는 상기 Figure 2에서 나타난 정보를 기반으로 Figure 7과 같이 Excel에 부재의 위치(지상과 지하, 층, 구역), 객체의 종류, 부재의 타입, 레이어, 폭, 높이, 길이, 단면적과 부피 정보 등으로 구분되어 수작업을 통해 재입력된다.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	DONG FLOOR	ASX	B01	ID	Layer	WIDTH	HEIGHT	Length	Area	Volume
4	PARKING B2	Y01-X01	WALL	DW1	옹벽(외)-Y01옹벽조	0.6	7.3	4.1	9.40	17.96
5	PARKING B2	Y01-X01	WALL	DW2	옹벽(외)-Y01옹벽조	0.6	7.3	4.9	11.00	18.83
6	PARKING B2	Y01-X02	GIRDER	B1	보(내)가로-Y01옹벽조	0.3	0.6	0.3	1.20	0.05
7	PARKING B2	Y01-X02	GIRDER	B3	보(내)세로-X02옹벽조	0.5	0.6	4.1	9.20	0.73
8	PARKING B2	Y01-X02	GIRDER	B1WG1	보(외)가로-옹조	0.6	0.6	7.2	15.60	0.80
9	PARKING B2	Y01-X02	GIRDER	B2C6	기둥(외)옹조	0.6	3.5		1.20	1.28
10	PARKING B2	Y01-X02	GIRDER	B1S3	슬라브(외)-Y01-02옹벽조	11.2	0.2	2.1	26.60	4.69
11	PARKING B2	Y01-X02	SLAB	B1S4	슬라브(외)-Y01-02옹벽조	0.7	0.2	2.1	5.52	0.13
12	PARKING B2	Y01-X02	WALL	B2W2	옹벽(내)-Y01-02옹벽조	0.3	3.5	2.1	4.80	1.89
13	PARKING B2	Y01-X02	WALL	B2RW1	옹벽(외)-Y01옹벽조	0.4	3.5	7.0	14.80	9.38
14	PARKING B2	Y01-X02	WALL	DW1	옹벽(외)-Y01옹벽조	0.6	7.3	0.5	2.20	1.56
15	PARKING B2	Y01-X01	GIRDER	B1S3	보(내)가로-Y01옹벽조	0.3	0.6	3.5	6.12	1.97
16	PARKING B2	Y01-X03	GIRDER	B1WG1	보(외)가로-옹조	0.6	0.6	0.5	2.20	0.02

Figure 7. The example of daily work report

그리고 거푸집 공사에 대한 물량산출은 상기 산출된 부재들의 물량정보를 기반으로 Table 7에서 제시한 물량산출식에 의거하여 도출되며, 도출된 공사물량에 Figure 8의 작업일보 상에 기입되어 있는 투입인원을 확인하고, 각 해당 물량에 투입된 인원을 나누어 생산성을 도출하여 Table 6에서 제시한 통합 생산성 기준과 비교분석한다.

Table 7. Formulas of quantity takeoff for formwork

Type	Formula
Slab	Slab's Width × Slab's Length
Column	(Column's Width + Column's Width) × 2 × (Column's Height - Slab's thickness)
Girder	(Girder's Height - Slab's thickness) × Girder's Length × 2
Wall	(Wall's Height - Slab's thickness) × Wall's Length × 2

날짜	구분	팀	등	중	작업내용	위치	인원
12월 01일	관리자						14
12월 01일	조공						52
12월 01일	행통공	박일종팀	주차자	1	주차자(외)보 및 슬라브 작업		16
12월 01일	행통공	최동환팀					3
12월 01일	행통공	김종갑팀					10
12월 01일	행통공	김경국팀1	104	6	말뚝 옹벽 및 슬라브 작업		6
12월 01일	행통공	김경국팀2	103	6	말뚝 옹벽 해체 작업		6
12월 01일	행통공	김경국팀3	102	5	말뚝 옹벽 설치 작업		6
12월 01일	행통공	김경국팀4	103	7	경용 인양작업		5
12월 01일	행통공	임정환팀	107	3	말뚝 셋팅 작업		9
12월 01일	행통공	해체팀1	107	1	피로티 슬라브 해체작업		6
12월 01일	행통공	시스템팀	106	1	피로티 시스템에게 해체 정리		14
12월 01일	행통공						81
12월 01일	철근공		101	6	슬라브 옹벽작업		5
12월 01일	철근공		102	5	옹벽 철근 작업		3
12월 01일	철근공		105	4	옹벽 철근 작업		14

Figure 8. The example of daily work report

### 3.2.2 BIM기반 생산성 분석 절차

Table 9는 앞서 언급했던 BIM기반 물량산출을 활용하여 생산성 분석을 하는 일련의 프로세스를 한눈에 알아볼 수 있도록 흐름도로 나타낸 것이다. 해당 프로세스를 기반으로 사례 현장의 생산성을 도출하여 분석결과를 얻을 수 있었다.



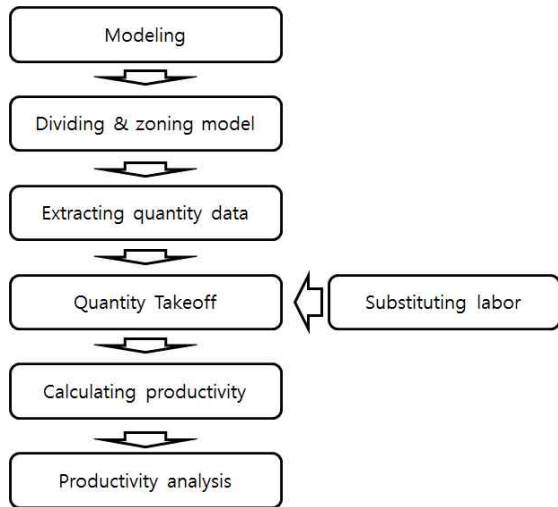


Figure 9. The flow chart of productivity analysis

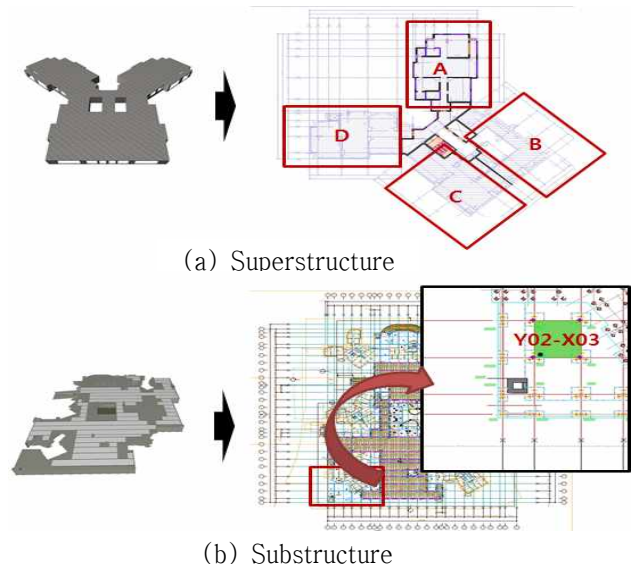


Figure 10. The adaption of space zoning for BIM model

### 4. 3D BIM기반 물량산출 적용 사례 프로젝트의 생산성 분석 및 검증

#### 4.1 사례 프로젝트의 개요 및 물량산출

3D BIM기반의 물량산출을 통해 생산성을 분석하고 검증한 현장에 대한 개요는 Table 8과 같다.

Table 8. The outline of adapted site

Contents	Details
The name of project	Kimpo-Hangang new town project
Gross floor area	84,601 m <sup>2</sup>
the number of households	579
analysis object range	Formwork of 7-building apartment and basement parking area

상기 3.2장에서 설명한 바와 같이 선행연구 결과인 공간요인을 기반으로 해당 분석 현장의 아파트 지상 3D BIM모델은 Figure 10의 (a)와 같이 코어, 세대 및 세대간벽으로 부재가 zoning되었었으며, 세대의 경우 우측 상단을 기준으로 시계방향으로 A에서 D로 구분하였다. 또한 지하 3D BIM모델은 Figure 10의 (b)와 같이 그리드에 의하여 부재가 나뉘었으며 zoning되었었으며, 이를 “Y축열번호-X축열번호”로 구분하였다.

zoning에 의해 나누어진 구역을 기준으로 BIM기반 물량산출을 실시한 결과에 대한 예시는 Figure 11과 같으며, 산출한 물량데이터에 Figure 7을 통해 설명했던 각 물량이 속해 있는 동, 구역 등에 대한 추가적인 정보를 기입하여 물량의 위치를 명확히 하였다.

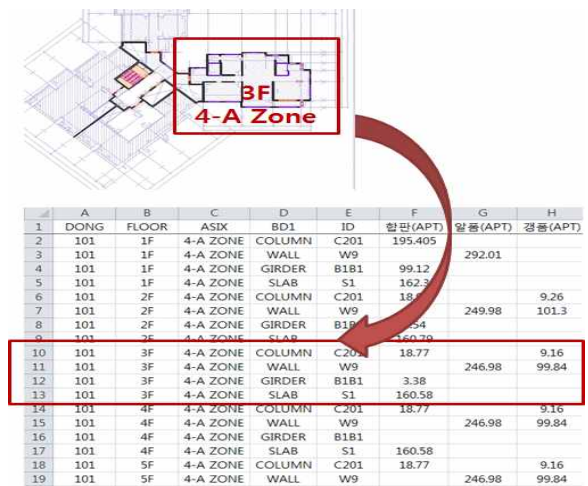


Figure 11. Results of BIM-based quantity takeoff

#### 4.2 생산성 분석 결과

각 구역 단위로 산출된 물량을 기반으로 작업이 완료된 물량을 파악하고 이를 합산하여 Figure 12와 같이 일별 작업량을 산출하고, 작업일보 상에 기입된 각 작업에 투입된 인원을 대입하여 일일 생산성을 도출하였다.

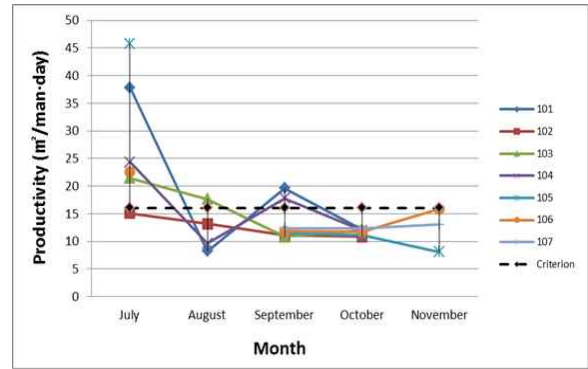
날짜	구분	팀	구분	위치	인원	당일작업량	당일생산성	
11월 01일	형틀공	최동환팀	101	3	관통 인양 작업	3	237.90	79.30
11월 01일	철근공		101	3	중벽 철근 배근작업	7	13.21	1.89
11월 02일	철근공		101	3	중벽 철근 배근작업	8	9.77	1.22
11월 03일	형틀공	김광국팀	101	3	말뚝 작업	17	452.62	26.62
11월 04일	형틀공	김광국팀	101	3	말뚝 작업	17	237.94	14.00
11월 05일	형틀공	김광국팀	101	3	말뚝 작업	21	472.64	22.51
11월 06일	철근공		101	3	슬라브 철근 배근	8	14.18	1.77
11월 08일	콘크리트공		101	3	4층 바닥 타설	6	307.18	51.20
11월 09일	형틀공	김광국팀	101	3	말뚝 해체 및 인양	10	356.85	35.69
11월 10일	형틀공	김광국팀	101	4	중벽 철근 배근작업	7	7.04	1.01
11월 11일	형틀공	시스템팀	101	1	물류티 해체 정리 작업	12	258.12	21.51
11월 11일	철근공		101	4	중벽 철근 배근작업	9	7.04	0.78
11월 12일	철근공		101	4	해체 작업	23	0.00	0.00
11월 15일	형틀공	김광국팀	101	4	말뚝 작업	12	473.80	39.65
11월 15일	형틀공	시스템팀	101	1	시스템 비계 해체 작업	11	237.90	21.63
11월 16일	형틀공	김광국팀	101	4	슬라브 알류 작업	12	356.80	29.73
11월 17일	콘크리트공		101	4	2층 바닥 타설	14	1,470.00	105.00

Figure 12. Results of productivity analysis

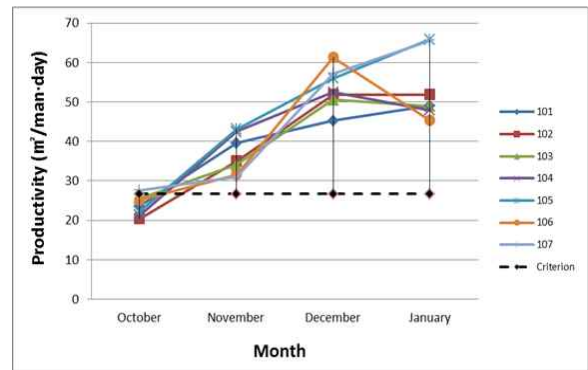
Figure 12에서 도출된 생산성은 Table 9, Figure 13과 같이 동별 생산성으로 데이터가 취합되어 비교·분석되었다. 아파트 지하의 경우는 7월(평균 173.3%)을 제외하고 8월(평균 75.7%), 9월(평균 84.5%), 10월(평균 72.9%), 11월(평균 76.8%)에는 현장 생산성이 기준 생산성보다 낮고, 아파트 지상의 경우는 10월(평균 88.7%)을 제외하고 11월(평균 137.3%), 12월(평균 200.3%), 1월(평균 200.3%)에는 현장 생산성이 기준 생산성보다 높았다. 특히 102동(월평균 78.13%), 107동(월평균 78.19%)의 지하 생산성이 다른 동에 비해 저조하였는데 이는 지하 평면의 구조가 기계실, 램프 등이 위치하여 다른 동에 비해 복잡하며, 스캔의 구성도 다양하여 작업 변경 요소가 비교적 많아 생산성이 저하되는 것으로 분석되었다. 그리고 아파트 지상의 경우 동일한 평면이 반복되어 작업의 학습효과로 인해 작업자들의 작업효율이 증가하면서 생산성이 향상된 것으로 분석되었다.

Table 9. The results of productivity analysis by block

Contents	(Unit: m <sup>2</sup> /man·day)							Criterion
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	
101	Sub	37.83	<b>8.17</b>	19.63	<b>12.05</b>			16.06
	Sup				<b>23.61</b>	39.57	45.23	48.98
102	Sub	<b>15.09</b>	<b>13.18</b>	<b>11.06</b>	<b>10.86</b>			16.06
	Sup				<b>20.42</b>	34.98	51.86	51.83
103	Sub	21.44	17.64	<b>10.82</b>	<b>12.02</b>			16.06
	Sup				<b>25.56</b>	34.07	50.55	48.94
104	Sub	24.32	<b>9.64</b>	17.80	<b>11.92</b>			16.06
	Sup				<b>21.25</b>	42.45	52.48	47.88
105	Sub	45.74		<b>11.51</b>	<b>11.07</b>	<b>8.10</b>		16.06
	Sup				<b>22.24</b>	43.11	55.94	65.82
106	Sub	22.57		<b>11.83</b>	<b>11.73</b>	<b>15.86</b>		16.06
	Sup				<b>25.10</b>	31.60	61.30	45.35
107	Sub			<b>12.31</b>	<b>12.32</b>	<b>13.04</b>		16.06
	Sup				27.76	30.95	57.19	65.63



(a) Substructure



(b) Superstructure

Figure 13. The results of productivity analysis by block

또한 Figure 12에서 도출된 생산성은 Table 10, Figure 14와 같이 팀별 생산성으로도 데이터가 취합되어 비교·분석되었다. 팀별 생산성 분석 결과도 동별 생산성 분석 결과와 동일하게 아파트 지하는 7월(평균 158.3%)를 제외하고 8월(평균 70.3%), 9월(평균 69.6%), 10월(평균 69.8%), 11월(평균 80.2%)은 현장생산성이 기준생산성보다 낮고, 아파트 지상은 10월(평균 87.9%)을 제외하고 11월(평균 123.8%), 12월(평균 187.0%), 1월(평균 226.4%)에는 현장 생산성이 기준 생산성보다 높았다. 생산성이 분석된 팀 중 D팀(월평균 76.7%), E팀(월평균 76.6%), F팀(월평균 36.5%)의 지하 생산성이 다른 팀에 비해 저조하였는데 이 팀들은 102동과 107동 공사를 담당했던 팀으로 상기 102동과 107동의 생산성 저하 경우와 동일한 요인에 의한 것으로 분석되었다. 단, 팀별 생산성 분석은 데이터 간의 연계성을 확보하기 위하여 전체 데이터 중 현장에 3개월 이상 현장에 투입된 팀들의 데이터만을 활용하여 분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다.

Table 10. The results of productivity analysis by team

		(Unit: m <sup>2</sup> /man·day)							
Contents		Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Criterion
A	Sub	25.47	<b>10.79</b>	<b>10.72</b>	<b>12.18</b>				16.06
	Sup				<b>21.56</b>				26.71
B	Sub	28.18	<b>12.07</b>	<b>10.61</b>	<b>6.21</b>				16.06
	Sup				<b>12.41</b>				26.71
C	Sub	26.03	<b>10.21</b>	<b>10.07</b>					16.06
	Sup				<b>16.15</b>				26.71
D	Sub	22.04	<b>10.70</b>	<b>12.40</b>	<b>13.69</b>	<b>12.88</b>			16.06
	Sup				27.68	<b>25.24</b>	43.24		26.71
E	Sub		<b>12.65</b>	<b>12.12</b>	<b>12.12</b>				16.06
	Sup				<b>24.33</b>	<b>16.48</b>	<b>25.45</b>		26.71
F	Sub				<b>5.86</b>				16.06
	Sup				39.2	55.30	70.35	72.33	26.71
G	Sub								16.06
	Sup				<b>23.02</b>	36.18	50.72	47.37	26.71
H	Sub								16.06
	Sup					33.07	50.98	52.67	26.71
I	Sub								16.06
	Sup					32.13	58.97	69.52	26.71

## 5. 결 론

최근 첨단 IT기술들이 건설프로젝트에 적용되고, BIM을 건설 프로젝트에 도입하기 위한 많은 연구들이 진행되어왔다. 따라서 본 연구에서는 관리자의 경험에 의해 작업물량을 파악하여 산출되던 생산성을 BIM기반 산출된 정미량의 데이터를 활용하여 분석할 수 있도록 하는 방안을 제시하였다.

본 연구의 목적을 달성하기 위해 통합 생산성 기준을 정립하였으며, BIM기반 물량산출을 실시한 프로젝트를 대상으로 생산성을 도출하여 도출된 현장의 생산성을 동과 팀별로 취합한 후 통합 생산성 기준과 비교·분석하였다. 하지만 본 연구는 현재는 공동주택의 거푸집공사에만 적용할 수 있는 방안으로 향후 보다 많은 공정에 보편적으로 활용 가능한 방안을 도출할 것이며, 동과 팀별로 분석된 생산성 자료를 바탕으로 생산성이 저하되는 동과 팀의 저하요인을 분석하여 생산성을 향상시킬 수 있는 방안을 도출할 수 있도록 하는 연구가 진행될 예정이다.

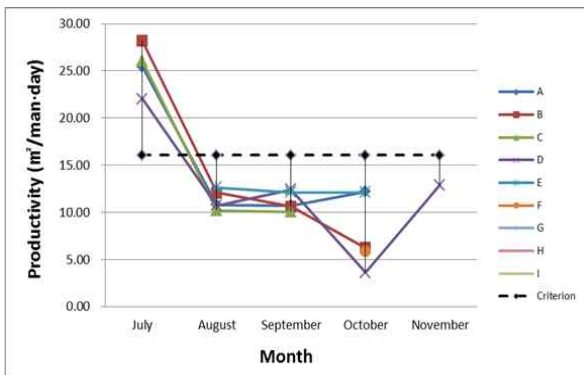
## 요 약

건설 프로젝트에 BIM기술이 적용되기 시작하면서, BIM은 전 생애주기 동안 다양한 분야의 정보를 생산하고 활용될 수 있도록 활발한 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구는 BIM기반의 물량산출 데이터를 활용하여 생산성을 분석할 수 있는 방안을 제시할 목적으로 진행되었다. 본 연구에서는 3D BIM기반 모델을 기반으로 부재의 물량정보를 활용하여 물량을 산출하였으며, 이를 활용하여 현장 생산성을 도출하여 통합 생산성 기준과 비교·분석하였다. 향후 본 논문의 연구 결과를 기반으로 생산성 저하요인을 분석하여 현장 생산성을 향상시킬 수 있는 관리방안 도출이 가능할 것으로 사료된다.

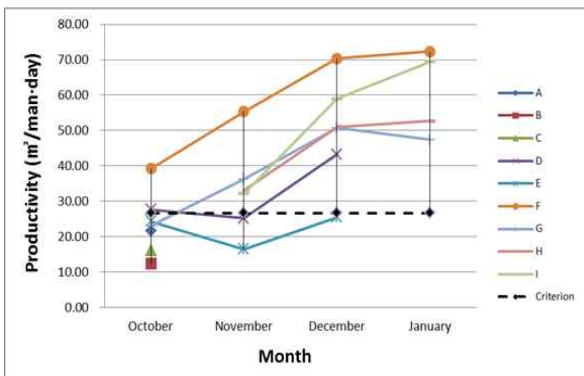
**키워드** : 3D BIM, BIM기반 물량산출, 생산성 분석, 거푸집 공사

## Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) Grant funded by the



(a) Substructure



(b) Superstructure

Figure 14. The results of productivity analysis by team



Korean Government(MOE)(No. 2010-0025794).

## References

1. Kim WY, A Model for Construction Data Integration based on Growth of Construction Object throughout the Overall Project Phases [dissertation]. [Korea]: Seoul National University; 2002, 197 p.
2. Kang HC, Lee MS, A Study on the Development of Construction Business Integrated Model through case studies of BIM, Jin J, Lee SH, Choi CS, editors, Proceedings of conference in the 27rd Architecture institute of Korea; 2007 Oct 26-27; Chungbuk Univ, Cheongju (Korea): Architecture institute of Korea; 2007, p. 61-64
3. Korea Institute for Industrial Economics & Trade, (2000), Productivity Analysis of Korean Industry (Research Rep. No. 439). Seoul: Korea, KIET.
4. Kim JH, A study on productivity analysis of the forming method in high-rise building [master 's thesis]. [Korea]: DONG\_EUI university; 2008, 56 p.
5. Kim TH, Analysis of Labor Productivity in Reinforced Concrete Work [master 's thesis]. [Korea]: Hanyang university; 2009, 53 p.
6. Park YR, Developing Model for Estimating the Form-work Productivity in the Dwelling Skyscraper Project [master 's thesis]. [Korea]: Hanyang university; 2009, 55 p.
7. Kang DW, Development of Cost Data Prototype based on Production Crew by Productivity Analysis of Form Work [master 's thesis]. [Korea]: university of Seoul; 2010, 103 p.
8. An SB, Development of Productivity Information based on Structural Work Crew of Multi-Housing Project [master 's thesis]. [Korea]: university of Seoul; 2012, 124 p.
9. Park YJ, Won SK, Han CH, Lee JB, A Study on 3D BIM Collaborative Approximate Estimating Model of Structural Work for Apartment Projects, Journal of Architecture institute of Korea, 2011 Jun;27(6): 123-30.
10. Jun KH, Yun SH, The case study of BIM-based quantity take-off for concrete and formwork, Journal of Korean Institute of BIM(Building Information Modeling). 2011 Mar;1(1): 13-7.
11. An JH, A Study on the BIM based Schedule and Cost Integrated Managemnet System [master 's thesis]. [Korea]: Hanyang university; 2012, 59 p.
12. Kim JY, A study of reliability-based quantity estimation error analysis apply [master 's thesis]. [Korea]: Hanyang university; 2013, 209 p.
13. Kim HS, Choi JS, Kim IH, A Methodology of Open BIM-Based Quantity Take-Off for Schematic Estimation of Frame Work in Super-Tal, Journal of Architecture institute of Korea, 2013 May;29(5): 31-8.
14. Ching, Francis D. K, Architecture: Form, Space, & Order, 3rd ed, Hoboken: John Wiley&Sons; c2007, 448 p.