KJCEM 24. 3. 003~011
May 31, 2023

www.kicem.or.kr (pISSN 2005-6095 / eISSN 2465-9703)
http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2023.24.3.003

건설 프로젝트 데이터 특성을 반영한 기준생산성 산정 방법

김은서[1] · 김준영[2] · 주선우[3] · 안창범[4*] · 박문서[5]

[1]서울대학교 건축학과 석사과정 · [2]서울대학교 건축학과 박사과정 · [3]삼성전자 인프라기술혁신팀 Staff Engineer
[4]서울대학교 건축학과 조교수 · [5]서울대학교 건축학과 정교수

A Method of Calculating Baseline Productivity by Reflecting Construction Project Data Characteristics

Kim, Eunseo[1], Kim, Junyoung[2], Joo, Seonu[3], Ahn, Changbum[4*], Park, Moonseo[5]

[1]Graduate Student, Department of Architectural and Architectural Engineering, Seoul National University
[2]Graduate Student, Department of Architectural and Architectural Engineering, Seoul National University
[3]Staff Engineer, Infra Technology Innovation Team, Samsung Electronics
[4]Associate Professor, Department of Architectural and Architectural Engineering, Seoul National University
[5]Professor, Department of Architectural and Architectural Engineering, Seoul National University

Abstract : This research examines the need for a quantitative and objective method of calculating baseline productivity in the construction industry, which is known for its high volatility in performance and productivity. The existing literature's baseline productivity calculation methods rely heavily on subjective criteria, limiting their effectiveness. Additionally, data collection methods such as the "Five-minute Rating" are costly and time-consuming, making it challenging to collect detailed data at construction sites. To address these issues, this study proposes an objective baseline calculation method using unimpacted productivity BP, a work check sheet to systematically record detailed data, and a data collection and utilization process that minimizes cost and time requirements. This paper also suggests using unimpacted productivity BP and comparative analysis to address the objectivity and reliability issues of existing baseline productivity calculation methods.

Keywords : Baseline Productivity, Unimpacted Productivity, Data Collection, Stochastic Based Model

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

투입한 자원(Input) 대비 산출물(Output)의 가치인 생산성(Productivity)은 일반적으로 산출량과 생산 요소/수단 투입 간의 비율로 정의되며 작업의 효율을 나타내는 핵심 지표로써(Asitha et al., 2023), 생산성의 모니터링 및 관리는 프로젝트의 성공적 수행에 직결되기 때문에 건설뿐만 아니라 회계학, 경제학, 공학 등 여러 분야에서 그 정의와 측정에 관한 다양한 연구가 이루어지고 있다(Yi & Chan, 2014; Chien et al., 2010). 생산성을 활용하여 정확한 운영 성과를 측정하기 위해서는 여러 가지 요인들을 포함한 기준생산성이 필요하다. 그러나 기존 대부분의 연구는 생산성에 영향을 미치는 요인들을 조사하고, 그 요인과 생산성의 관계를 조사하는 데 그친 연구가 대부분이다(Park, 2006). 또한, 많은 기업과 연구자들은 회계 시스템을 기반으로 생산성 측정 시스템을 구축하였지만, 공통된 정의 및 방식을 통해 표준 생산성 데이터 수집 및 생산성 분석 프레임 워크를 개발하는 데에 한계점을 보이며 제한적인 연구가 진행되었다(Mohamed et al., 2020).

건설 프로젝트는 실적 물량과 생산성 변동이 심하고 단순 모니터링을 통한 현황 파악이 어려워, 시공 과정에서 시공자가 일관성 있게 달성할 수 있는 기대성과를 정확하게 예측하고 실적을 평가하기 매우 어렵다. 따라서 실적 생산성

* **Corresponding author**: Ahn, Changbum, Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
E-mail: cbahn@snu.ac.kr
Received December 2, 2022 **revised** April 6, 2023
accepted April 26, 2023

의 식별과 평가를 위한 정량적·객관적 기준인 기준생산성(Baseline Productivity; BP) 산출은 건설 프로젝트 관리를 위해 매우 중요한 요소이다. 기준생산성 산출 방법을 제안한 다양한 문헌이 있지만(Thomas et al., 1999; Ibbs & Liu, 2005; Gurmu & Ongkowijoyo, 2020), 주관적 기준 혹은 주관성을 내재한 Confidence Level (이하, CL)에 기반하여 BP 값을 산출하기 때문에 실무 적용 시 프로젝트 참여자 간 BP에 대한 합의를 이루는 데 한계가 있다. 실비정산 계약제도 아래 공사 진행 시, 발주처는 시공사의 정확한 실적 생산성을 확인하기 어려워, 공사비용의 증가에 따른 손해를 감수해야 하는 상황이 발생한다(Lee et al., 2018). 또한, 다양한 분야가 함께 팀을 이루어서 공사를 진행해야 함에 따라 시공사의 손실을 최소화하기 위해, 각 공종에 대한 BP 설정은 필수 불가피한 요소 중 하나이다. 또한, 기존 연구에서 제시하는 산정 기준 검증을 통한 BP 수치의 신뢰도 확보를 위해서는 실적 자원, 실적 물량 및 생산성 저해 요인을 포함하는 체계화된 형식의 데이터가 필요하나, 대부분의 건설 프로젝트에서는 이러한 데이터가 잘 수집되지 않거나 활용하기 어려운 서술적 보고서 형태로 구성되어 있다.

이에 본 연구는 건설 프로젝트에서 생성되는 정보의 특성을 고려하여 참여자 간 검증을 통한 합의에 적합한 BP 산출 방식을 도출하고, 보다 신뢰도 높은 BP 산출에 필요한 데이터 수집과 활용을 위한 프로세스를 제안하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

건설 프로젝트 데이터 특성을 반영한 BP 산정 방법 도출을 위해 다음과 같은 절차로 연구를 수행한다.

첫째, 건설 프로젝트에서의 기준생산성 산정 방법에 대한 기존 문헌을 고찰한다.

둘째, 사례연구를 통해 기존 문헌에서 제시하는 기준생산성 산정 방식을 비교 분석하여 실제 현장 데이터 특성 반영에 적합한 방법을 도출한다.

마지막으로, 도출한 기준생산성 산정 방식을 검증하고, 데이터 수집 및 활용 프로세스를 제안한다.

2. 문헌고찰

2.1 기준생산성의 정의

건설 프로젝트는 노동 생산성에 일정, 비용 등 많은 부분을 의존하고 있기 때문에 생산성 관리가 중요하며, 효과적인 생산성 관리를 위해서는 목표 수립 및 현재 생산성의 수준 파악을 위한 정량적 비교 기준이 필요하다. BP는 이러한 생산성 관리의 기준 지표 중 하나로, 생산성 저해 요인이 발생하지 않았을 때 일정하게 달성할 수 있는 생산성(Unimpacted Productivity)으로 정의할 수 있다(Liao et al., 2011). 투입 자원과 프로세스를 일정하게 제어할 수 있는 환경에서 동일한 산출물의 생산이 가능한 제조 산업에 비해 건설 산업은 목적물(산출물)인 매 프로젝트가 독립적인 특성을 가진다. 따라서 동일 기준으로 비교할 수 있는 벤치마킹 데이터를 구하기 어렵고, 생산 효율에 영향을 주는 요인들의 영향도의 정량적 분석과 제어가 어렵기 때문에 실적 데이터를 기반으로 BP를 산출하여 활용한다.

2.2 기준생산성 산출 방법

건설 프로젝트 실적 물량 및 투입인력 기반의 생산성 데이터를 활용한 BP 산출에 관한 주요 연구 문헌들에서 제시하는 BP 산출 방법론은 다음과 같다.

2.2.1 Thomas's Methodology (Thomas et al., 1999)

전체 공사 기간 작업 일의 10%를 데이터 포인트 개수 N으로 설정한다. 이때 N은 5 이하이거나, 짝수이면 안 된다. 만약 산출된 N이 짝수일시 반올림하여 홀수로 만들고 생산량이 가장 많은 N만큼의 근무일들을 데이터 포인트로 설정하여 그 중앙값을 작업자가 저해 요인 없는 상황에서 일관성 있게 달성할 수 있는 최대 생산성인 BP라고 산정한다. 본 방법은 관리를 통해 일정 구간에서 지속적으로 실제 달성할 수 있는 생산성을 기준생산성으로 제시한다는 장점이 있다, 그러나 데이터 포인트 산정 기준 N을 10%로 설정하는 것, N이 5 이상이어야 하는 것 등 측정 기준 설정이 주관적이라는 한계가 있다.

2.2.2 K-Means Clustering (Ibbs & Liu, 2005)

실적 최대 생산성과 최소 생산성을 기점으로 K-Means Clustering을 하여 상위 군집의 중심 값을 BP로 산정한다. 이는 두 가지 Clustering을 통해 Unimpacted Productivity와 Impacted Productivity를 모두 산출할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 본 방법은 분석에 활용되는 최대 생산성과 최소 생산성의 기준이 모호하다는 한계가 있다.

2.2.3 Stochastic Based Model using Monte Carlo Simulation (Gurmu & Ongkowijoyo, 2020)

실적 생산성 데이터를 확률 변수로 활용, Monte Carlo Simulation을 통해 일일 생산성 달성 가능 확률의 누적 분포를 도출하고, 누적 분포의 CL 90%의 생산성을 최적 BP로 산정한다. 실적 데이터가 적을 때도 모집단의 확률 분포를 추산함으로써 생산성 수치별 일일 달성 가능 확률을 산출할 수 있다는 장점이 있으나, 산출된 BP가 확률 분포상 신뢰도 90% 수준의 높은 수치 요구하기 때문에 실제 프로젝트에서 일관적으로 달성하기 어렵고, CL이라는 기준 설정이 주관적

이라는 한계점이 있다.

4) Stochastic Based Model using Bootstrap Method

Bootstrap 방법은 Efren (1979)이 제안한 방법으로서 주어진 표본 데이터를 바탕으로 데이터를 리샘플링 하여 새 데이터 포인트를 생성하고 이러한 새 데이터 포인트를 활용하여, 분석 대상이 되는 확률 분포 매개변수의 성질을 추론하는 방법으로, 모수의 분포를 확실히 알 수 없거나 복잡한 형태일 경우, 주어진 자료로부터 그 분포를 추정하는 통계적 방법이다. Monte Carlo Simulation과 같이 적은 데이터 포인트로 BP를 산출할 수 있다는 장점이 있지만, 기존 생산성 데이터 외 저해 요인, 공기 지연 등 다른 변수들을 고려하지 않아, 정확한 BP 산출은 어렵다는 한계가 있다.

5) Multiple Regression Analysis

Regression Model은 다양한 저해 요인이 직접적으로 영향을 미치는 노동집약적 산업인 건설 프로젝트의 Activity의 생산성을 산출하는 전통적인 방법이며(Thomas & Yiakoumis, 1987; Sander & Thomas, 1993; Kim et al., 2015) 독립 변수(설명 변수)가 2개 이상인 경우를 분석 대상으로 하는 회귀 분석 방법 중 하나다. 다중 회귀 분석은 변수 간의 인과 관계를 통계적 방법에 따라 추정하는 회귀 분석의 일종으로, 독립 변수의 변화에 의해 종속변수가 어떻게 변화하는지를 검증하는 분석 방법이다. 이는 Multiple regression Analysis를 통해 생산성 데이터를 분석한다. 분석한 뒤 나온 결과의 Constant (Base Unit Rate) 값을 기준생산성으로 산출한다(Sander & Thomas, 1993).

Thomas Methodology의 데이터 포인트 N이 5 이상이어야 한다는 주관적 기준, K-Means Clustering은 분석에 활용하는 최대, 최소 생산성의 기준이 모호하다는 한계, Stochastic Based Model을 활용한 기준생산성 산출은 실제 프로젝트에서 일관적으로 작성하기 어려운 신뢰도 90%를 기준으로 삼는다는 한계점들이 존재하여, 기존의 기준생산성 산출할 때 활용된 주요 방식들은 위와 같은 한계점들로 인해 건설 프로젝트에서 활용하기 어렵다는 한계가 있다.

3. 기준생산성의 산출 방법과, Unimpacted Productivity BP의 분석

3.1 기본 데이터를 활용한 BP 산출방법 비교분석

문헌고찰의 Multiple Regression Analysis를 제외한 나머지 4개의 기준생산성 산출방법을 비교하기 위해, 반복 공사이지만 다양한 물질들을 공급하여 시공 시 높은 품질 관리가 요구되는 공종 중 하나인 파이프 용접 공종(Wenying et al., 2017) 데이터를 활용하였다. S사 P 프로젝트 파이프 용접 공종에 대해 4가지 다른 작업 구간의 실적 물량, 실적 자원의 생산성 데이터를 수집 및 활용하였으며. 4가지 구간은 Non Module (이하, N.M), Main Module (이하, M.M), 구간, Lateral West (이하, L.W) 구간, Lateral East (이하, L.E) 구간이다. 생산성의 단위는 하루에 용접공 한 명이 작업한 배관의 길이(m/man*day)이며 총 57일의 데이터가 수집되었다. 각 방법에 따라 산출한 A 공종 용접 작업의 BP 수치는 각각 78.19, 79.32, 81.42, 80.34(M/man·day)로, 〈Table 1〉을 보면 Stochastic Model인 Monte Carlo Simulation과 Bootstrap이 다른 방법들과 다르게 산출이 이루어지지 않거나, 추세가 반대로 나오는 상황 없이 기준생산성의 추세 반영을 가장 잘 나타낸다.

Thomas's Methodology는 전체 공사 기간 작업일의 10%를 데이터 포인트 개수 N으로 설정하고, 생산량이 가장 많은 N만큼의 근무일들을 데이터 포인트로 설정하여 그 중앙값을 BP로 설정하는데, 데이터 포인트가 5 이하면 산출이 이루어지지 않는다는 한계점으로 인해 L.E 구간에서 산출한 BP 값이 다른 방법들로 산출한 결괏값 수치와 큰 차이가 난다. 작업일이 11일뿐인 L.E 구간의 경우 최소 데이터 포인트가 5 이상이어야 한다는 조건을 충족하지 못하여 BP 산출이 정상적으로 이루어지지 않았다.

K-Means Clustering을 활용하여 산출한 BP는 데이터가 부족하면 변동성을 정확하게 반영하지 못한다는 한계점으로 인해 다른 방법론들의 BP 값과 정 반대 경향의 값이 산출되었다. 다른 방법론들의 L.W 구간과 L.E의 평균 생산성은 41.9과 38.1로 L.E 구간의 평균 생산성이 L.W 구간보다 약간 낮은 경향을 보이는 데 반해 K-Means 방법으로 산출한 BP는 각각 64.88과 72.00으로, 구간별 평균 생산성의 경향과 상반된 결과를 나타내고 있다.

Stochastic Based Model 들의 경우 적은 실적 데이터 포인트만으로도 충분히 많은 통계적으로 유사한 데이터 포인트 들을 생성하여, 생산성 변동성을 상대적으로 정확하게 반영하지만, Stochastic Based Model의 Monte Carlo Simulation은 데이터 fitting을 통해 분포를 설정하여 임의 수치가 포함되므로, 산출된 BP가 과추정될 가능성을 내재하고 있다, 따라서 기존 데이터를 벗어나지 않는 범위에서 리샘플링 하여 확률 분포를 생성하는 Stochastic Based Model의 Bootstrap 방법이 위 4가지 방법론 중 가장 적합하다 보여 진다. 하지만 Bootstrap 방법은 기존문헌에서 제시된 CL 값에 따라 선정에 따라 답이 달라지므로 신뢰도 확보를 위해 Unimpacted Productivity BP를 활용해 산출한 결괏값과 비교분석이 필요하다.

검증과정을 수행하는 데 필요한 Unimpacted Productivity BP를 구하기 위해 실적 물량, 실적 자원과 저해 요인이 포함되어있는 상세한 데이터가 필요하다. 따라서, 현재 수집되어

있는 서술적 보고서 형태로 되어있는 발주처의 작업일지 데이터에서 저해 요인을 도출하는 작업이 필요하다.

Table 1. BP (M/man·day) Analysis results of piping welding work sections

Methodology	All Result	N.M	M.M	L.W	L.E
	57 Day	54 Day	35 Day	19 Day	11 Day
Thomas's Methodology	78.19	73.50	85.50	76.50	33.75
K-Means Clustering	79.32	80.04	78.78	64.88	72.00
Stochastic Based Model(MonteCarlo)	81.42	92.95	100.8	74.02	69.20
Stochastic Based Model (Bootstrap)	80.34	97.12	92.67	77.14	66.64

3.2 보고서 형태의 작업일지 데이터에서의 저해 요인 도출 작업 Process

Unimpacted Productivity BP는 실적 물량, 실적 자원과 저해 요인이 포함되어있는 데이터를 활용하여 도출할 수 있다. 하지만 현재 건설 분야에서 발주처는 실적 물량과 실적 자원 데이터는 대부분이 보유하고 있지만, 저해 요인 데이터는 수집되고 있지 않거나, 수집되어도 별도의 양식이 없는 보고서 형태의 서술적 방식으로 기록되어 있는 데이터 형태로 보관되고 있다. 따라서 저해 요인을 포함한 Unimpacted Productivity BP 산출을 위해 연구진이 개발한 Python Based Tool을 활용하였다. 연구진이 개발한 Python Based Key word Tool은 문자열 알고리즘을 적용하여, BERT 임베딩 및 클러스터 기반 표현을 사용하여 주어진 텍스트에서 가장 관련성이 높은 키워드를 식별하고 순위를 매긴 후 이를 통해 문서의 내용을 파악하고, 보고서 데이터 내에 연구진이 설정한 키워드 그룹 내의 키워드들과 같은지 파악하고 매칭하여 최종 결과물을 추출하는 목적을 가진 Python Based Key word Tool이다. 이를 활용해 연구진은 별도의 보고서 형태의 데이터에서 저해 요인을 추출하는 작업을 진행하였다. 이를 활용해 연구진은 별도의 보고서 형태의 데이터에서 저해 요인을 추출하는 작업을 진행하였다. 저해 요인은 건설 생산성 관련 논문에서 많이 인용되고 있는 저해 요인 분류 체계를 참고하여 분류하였으며(Son et al., 2002) 숙련도, 근무 태도 등 작업자 관련 주관적 Case Study에 활용한 보고서 데이터만으로 판단하기 어려워, 저해 요인 항목에 별도로 분류하지 않았다.

3.2.1 Natural language Process를 활용한 저해 요인 파악

Natural Language Process (NLP)는 텍스트 분석을 할 때 사용되며, 비정형 텍스트에서 특정 패턴을 찾아내어 의미 있는 정보로 만들어내는 과정이다. NLP를 통해 사람이 사용하는 언어를 컴퓨터가 인식할 수 있도록 하며, 사람이 작성 시에 단어를 조합하여 만든 문장, 문단, 문서를 최소 단위의 단어까지 분리하는 프로세스이다. NLP Tool을 활용하여 시공사 보고자료에서 〈Table 2〉와 같은 키워드 조합을 추출 하였다. 그 후, 키워드 조합을 Keyword Tool에 대입하여 시공사 보고자료에서 저해 요인을 추출하였다.

Table 2. Keyword combination extraction results from productivity report data

1st Keyword	+	2nd Keyword
Productivity	Is	Reduction
Output	With	Decline
Performance	Than	Loss
-	-	Insufficient
-	-	Low
-	-	Unreflected
-	-	Unfulfilled
-	-	Not Reflected
-	-	Not Fulfilled

3.2.2 Python Based Keyword Matching Tool을 활용한 저해 요인 추출

NLP Tool을 활용해 뽑은 60여 가지 키워드 조합을 본 연구진이 개발한 Python Based Keyword Matching Tool을 활용하여 작업일지에서 저해 요인들을 추출하였다. 저해 요인은 날씨로 인한 작업 저해가 72일로 가장 많았고, 그 뒤로 저중량 작업 64일, 타 작업 인력투입 26일, 작업 간섭 22일로 도출되었다〈Table 3〉. 저해 요인 중 명시되어 있는 저중량

Table 3. Impact factor derived from entire steel construction

Factor	Number
Lack of Planning	2
Non-Compliance with Education	2
Weather	72
Ladder Work	2
Prior Construction not completed	5
Change of Construction Plan	1
Movement Interference	3
Work Interference	22
Narrow Workspace	2
Equipment Failure	2
Change of Equipment	5
Lack of Equipment	10
Movement of Equipment	2
Low Weight Work	64
Waiting for Inspection	4
Regular Safety Training	1
Early Start/Extension Work	4
Ground Assembly Work	8
Personnel From Other Industry	2
Personnel From Other Section	3
Personnel From Other Work	26
Other Equipment Lift	3
Decrease of Input	5

Table 4. Example of productivity and impact factor matched by date

Time	Output	Input	Productivity	Impact Factor 1	Impact Factor 2
1	316	56	5.642857	Ground assembly work	-
2	337	59	5.711864	Ground assembly work	-
3	274	58	4.724138	Other equipment lift	-
4	89	53	1.679245	Lack of equipment	Weather
5	206	63	3.269841	Weather	-
6	122	64	1.90625	Weather	-
7	19	69	0.275362	Weather	-
8	265	63	4.206349	Weather	-
9	337	64	5.265625	Ground assembly work	-
10	401	60	6.683333	Movement of equipment	-
..	..	..	..	..	..

작업이란 2톤 이하의 물건을 드는 작업으로 작업에는 인력만으로는 처리가 어렵기 때문에 기계 장비를 사용하여 처리한다. 대표적으로는 크레인, 포크리프트, 작업대 등의 장비를 사용하여 건물 내부나 외부에서 창호나 천장, 바닥재 등을 설치하거나 제거하는 작업 등에 해당한다.

3.2.3 도출 저해 요인 날짜별 Matching

도출한 생산성과 저해 요인을 날짜별로 매칭 하였다. 이를 활용하여 날짜별 저해 요인과 생산성을 파악함으로써, 생산성이 저조한 날짜와 그 이유를 확인하여 보다 간편하고 신속하게 작업 현황을 분석할 수 있다〈Table 4〉.

3.2.4 영향요인 분석

도출된 저해 요인들의 생산성에 끼치는 영향도를 도출하기 위해 〈Table 5〉와 같이 회귀 분석을 하였다. 그 결과 날씨, 선행 공종 미완료, 작업 간섭, 장비 변경, 장비 부족, 타 공종 인력투입, 저중량 작업, 타 작업 인력투입으로 24개 중 9개 항목이 유의 확률이 0.05보다 낮게 나오며, 귀무가설 성립으로 정규분포를 따랐다. 9개 항목 중 장비 부족 및 장비 변경이 각각 -6.075, -5.101로 영향도가 높게 나와 본 사례 연구에서 가장 프로젝트 진행 시 장비 관련 저해 요인이 가장 중요한 관리 포인트임을 도출하였다. 공사 중 작업자가 장비를 세팅하고 이동하는 작업을 수행하며 시간이 많이 지체되었으며, 이에 따라 후속 공종 작업들의 대기시간이 증가하며, 생산성에 제일 큰 영향을 주었다.

3.3 Unimpacted Productivity BP를 활용한 신뢰도 확보

건설 프로젝트에서 단순 실적 물량과 실적 자원 생산성 데이터를 활용한 Stochastic Based Model의 CL 90%가 적정한 기준생산성을 산출하는지 저해 요인, 실적 물량과 실적 자원이 포함되어있는 데이터를 활용하여 Unimpacted Productivity BP를 도출하여 실적 물량과 실적 자원 생산성 데이터 기반 BP 산출 결과와 비교 분석하였다. Unimpacted

Table 5. Results of eliciting impact plots of hindering factor

Dependent variable: Productivity	Non-standardization coefficient		Standardization coefficient	t-test	P-value
	B	Standardization Error	Beta		
(Constant)	7.501	0.131	-	57.376	0.000
Lack of Planning	-3.218	1.962	-0.053	-1.640	0.101
Non-Compliance with Education	-2.444	1.962	-0.040	-1.246	0.213
Weather	-4.019	0.336	-0.394	-11.953	0.000
Ladder Work	-2.816	1.962	-0.047	-1.435	0.152
Prior construction not completed	-4.743	1.245	-0.124	-3.810	0.000
Change of construction plan	-0.243	2.771	-0.003	-0.088	0.930
Movement interference	-2.358	1.604	-0.048	-1.471	0.142
Work Interference	-3.391	0.636	-0.175	-5.333	0.000
Narrow Workspace	-2.926	1.962	-0.048	-1.491	0.136
Equipment Failure	-1.498	1.965	-0.025	-0.763	0.446
Change of Equipment	-1.543	1.962	-0.026	-0.787	0.432
Lack of Equipment	-5.101	1.245	-0.133	-4.097	0.000
Movement of Equipment	-6.075	0.810	-0.245	-7.502	0.000
Low Weight Work	-1.543	1.962	-0.026	-0.787	0.432
Waiting for Inspection	-2.818	0.374	-0.248	-7.536	0.000
Regular Safety Training	-1.340	1.390	-0.031	-0.964	0.336
Early Start/Extension Work	-0.046	2.771	-0.001	-0.017	0.987
Ground Assembly Work	-1.438	1.390	-0.034	-1.034	0.302
Personnel from other industry	-0.987	0.987	-0.033	-1.000	0.318
Personnel from other section	-3.913	1.962	-0.065	-1.994	0.047
Personnel from other work	-2.871	1.614	-0.058	-1.779	0.076
Other Equipment Lift	-2.154	0.557	-0.126	-3.864	0.000
Decrease of Input	-3.076	1.604	-0.062	-1.918	0.056

Baseline Productivity		Year	20XX																			
BP	CL																					
		Month	M1				M2				M3				M4				M5			
Category		Week	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
subcontract /Contractor		Planned Output																				
Type of construction		Planned Input																				
Type of construction		Performed Output (Day)																				
Sub construction		Performed Output (Night)																				
Section		Performed Input (Day)																				
Note		Performed Input (Night)																				
Productivity			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baseline Productivity Ratio			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Occurrence of Impact Factor			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 1. Daily Work Check VBA Excel Sheet

Table 6. Comparison of steel data BP Calculation results

Section	Stochastic Based Model BP (ton/man*day)	Unimpacted Productivity BP (ton/man*day)	BP Gap (%)	CL Gap (%)
A BLDG	9.987	8.051	+24.0	85.12
B BLDG	11.167	8.172	+36.6	85.96
C BLDG	9.529	6.831	+39.5	68.82
D BLDG	10.683	7.901	+35.2	81.78
E BLDG	8.967	7.370	+21.7	75.86
Overall Result	9.801	7.675	+27.7	80.10

Productivity BP 산출을 위해 S사 P 프로젝트의 A동, B동, C동, D동, E동 총 5개 Zone에서 수집한 4개의 회사가 진행한 철골 공종 실적 데이터와 저해 요인이 기록된 시공사 보고 자료에서, 휴일과 저해 요인이 발생한 날짜를 제외한 날의 Unimpacted Productivity BP를 산출하여 Stochastic Based Model과 비교분석 하였다.

〈Table 6〉의 결과 비교를 보면 A동, B동, C동, D동, E동에서 Unimpacted Productivity BP는 Stochastic Based Model BP와 24.0%, 36.6%, 39.5%, 35.2%, 21.7% 차이를 보였다. 또한, Unimpacted Productivity BP의 CL 값은 Bootstrap CL 값의 85.12%, 85.96%, 68.82%, 81.78%, 75.86% 수준으로 산출되었으며, 기존 문헌들에서 제시한 CL 값 90% (Gurmu & Ongkowijoyo, 2020)보다 낮게 산출되었다. 또한, 구간에 따른 편차도 존재했는데, 이러한 결과는 단순 실적 물량과 실적 자원 생산성 데이터를 기반으로 BP 산출 시 작업의 특성, 환경, 투입 자원 등에 따라 적정 수준의 CL을 산정할 필요성을 보여준다. 따라서 BP 산출 과정에서 적정 수준의 CL을 산정하기 위해 해당 작업 관련 전문가의 의견이 반영되어야 한다.

하지만 이러한 방식은 주관적이기 때문에, 같은 상황에 대해서도 전문가 의견에 따라 결과가 달라질 수 있다는 한계가 있다. 따라서 신뢰도 있는 BP 산출을 위한 보다 근본적인 해결 방법은 Unimpacted Productivity BP를 산출할 수 있는 생산성 관리 방법을 수립하는 것이다. 관리 방법 수립을 위해 구체적으로 작업 생산성과 저해 요인의 영향을 받은 것인지에 대한 여부를 파악할 수 있는 관리 프로세스가 요구된다.

4. Detailed Data 수집 방안 제시

객관화된 BP를 산출하기 위해서는 실적 물량과 실적 자원뿐만 아니라, 해당 실적이 저해 요인의 영향을 받았는지를 파악할 수 있는 데이터가 필요하다.

Detailed Data란 단순 실적 물량과 실적 자원 생산성 데이터에 저해 요인이 추가로 포함된 체계화된 형태의 데이터를 의미하며 신뢰도 높은 BP를 산출하기 위한 필수 요소 적 데이터이다. 하지만 현재 시공사나, 발주처에서 보유하고 있는 저해 요인 데이터들은 대부분 서술적 보고서 형태로 보관되고 있어, 데이터 내에서 저해 요인 도출을 위해 추가 작업이 요구되고 있다.

본 연구에서 Unimpacted Productivity를 산출하기 위해 3.2절에서 수행한 내용과 같이 시공사 보고자료와 생산성 데이터를 대조하는 작업을 통해 저해 요인이 발생한 생산성 데이터를 분류하였다. 하지만 이러한 작업 방법은 생산성 저하가 발생한 날과 발주처에서 보유하고 있는 데이터를 날짜별로 하나하나 매칭 하는 작업에 대한 인력이 별도로 요구되기 때문에, 실제 건설 현장에는 적용하기 어렵다. 실제 건설 프로젝트 현장에서 Detailed Data를 수집할 시 데이터의 중복 혹은 누락, 과도화된 인력투입이 되는 것을 방지하기 위해 체계화된 프로세스를 개발하고, 작업기록 제출 주기를 도출하였다. 또한, 프로세스의 원활한 진행과 3.2절과 같은 대조 작업 추가 인력이 들어가지 않게 하기 위한 Excel VBA를 활용한 데이터 수집 양식을 개발하였다.

4.1 작업기록 제출 주기

데이터의 정확성 또는 과도화된 인력투입이 되는 것을 방지하고 더 나은 데이터를 확보하기 위해, 시공사 보고자료 집계, 생산성 저해요인 Cycle 관리, Learning Curve를 고려한 적정한 주기에 따라 작업기록을 발주처에 제출해야 한다. 적합한 작업 주기 도출을 위해, 건설 프로젝트 시공사 측면에서 생산성 관리에 대한 인터뷰 수행 결과를 토대로 도출하였으며, 인터뷰 내용은, "공사비용의 추가 없이 측정할 수 있는 측정 레벨에는 한계가 존재하여, 측정하고자 하는 작업의 적절한 측정 레벨 협의가 필요하다. 또한, 이를 측정할 때 일일 단위로 투입 자원을 매칭 할 시, 정확한 매칭이 안 될 수 있으므로 적절한 매칭 주기가 필요하다."가 주된 내용이었다. 위의 한계점을 고려하여, 현장에 적용할 수 있게 공사의 물량 산출을 위한 작업시간 및 작업 일보 정리, 취합 등의 실무 수행시간을 고려하여 작업일 기준 공종별 5~10일이 보고 주기로 적합하다 도출하였다.

4.2 Detailed Data 수집 Daily work Check VBA Excel Sheet 개발

실제 건설 프로젝트 현장에서 Detailed Data 수집을 효율적이게 할 수 있는 Excel VBA를 활용한 Daily work Check VBA Excel Sheet를 개발하기 위해, S사에서 기존에 사용되고 있는 데이터 수집 Sheet를 분석하고 데이터 수집 시 필요한 요소를 종합하였다.

기존의 데이터 수집 양식은 저해 요인과 실적 물량이 각각이 따로 기록되고 보관되며, 생산성이 별도로 표기되어 있지 않았다. 또한, 생산성 저하가 발생한 날을 도출하기 위해 별도의 작업이 필요하고 저해 요인 기록 데이터는 서술적 형태로 되어있어, 저해 요인 파악을 위해, 많은 품이 요구되고 있었다.

이를 해결하기 위해 〈Fig. 1〉과 같이 Excel VBA를 활용하여 기존의 양식에서 CL, 기준생산성, 저해 요인 발생 여부, 공종란을 추가하여 더 Detail 하게 기록할 수 있는 작업기록 양식을 개발하였다.

프로젝트 초기 누적되어있는 Detailed Data가 없을시, Unimpacted Productivity를 통한 BP와 CL 값을 산출할 수 없으므로, 누적 데이터가 생기기 전까지 활용할 CL 값을, 데이터 Sheet 양식을 활용하기 전 시공사와 발주처는 협의를 통해 결정하여야 한다. CL을 결정한 후 발주처에서 보유하고 있는 과거에 수행했던 공사들의 데이터를 통해 산출한 기준생산성을 입력한다. 생산성이란 작업기록 작성자가, 실적주간물량과 실적주간자원을 입력하면 자동으로 실적주간물량을 실적주간자원으로 나눠서 생산성을 계산한 결괏값이 입력된다.

위의 작업기록 Check Sheet를 통해 Detailed Data를 수집할 수 있으며, 이를 실제 건설 현장 프로젝트에서 활용하여 데이터 수집 작업을 수행하기 위해서는 별도의 프로세스가 요구된다.

4.3 데이터 수집 및 BP 도출 프로세스 개발

작업기록 VBA Excel Sheet의 실제 건설 현장에서의 적용성 향상을 위해, 발주처의 업무와 시공사의 업무를 분담하고 적정 작업정보 주기를 도출하여, 너무 길거나 짧은 작업일보 제출 주기로 인해 데이터가 중복 혹은 누락 되거나 발주처와 시공사의 업무 중복으로 불필요한 Input이 들어가는 것을 방지한 효율적인 데이터 수집 및 활용 프로세스를 개발하였다〈Fig. 2〉.

사전 조사 및 기본 계획 수립 단계에서, 시공사와 발주처는 적정 CL 값을 협의하고 이를 통해 보유한 과거 데이터

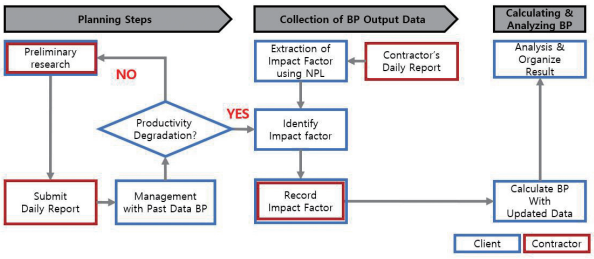

Fig. 2. Calculation process of baseline productivity using Detailed Data

를 활용하여 BP를 산출한다. 그 후 시공사는 발주처에 작성한 작업기록 Check Sheet를 5~10일 주기로 제출하고, 발주처는 제출받은 작업기록 Sheet를 활용하여, 생산성 저하 여부를 파악한다. 생산성 저하 여부 파악을 통해, 어떤 저해 요인이 발생하였는지 즉각적으로 파악 및 기록할 수 있으며, 데이터가 누락 되는 위험 없이 Detailed Data를 수집할 수 있다. 마지막으로 수집한 Detailed Data를 활용하여 Unimpacted Productivity BP 산출한다.

프로젝트 초기 계획 수립 단계에서 과정에서 수집된 데이터가 없을 수 있다. 이때 CL 기준값 협의를 통해 Stochastic Based Model을 활용하여 BP를 산출하여 임시방편으로 활용할 수 있지만, 신뢰도가 Unimpacted Productivity BP에 비교해 많이 떨어지기 때문에, 본 연구에서 개발한 작업기록 VBA Excel Sheet와 프로세스를 활용하여 Unimpacted Productivity BP를 산출하여 생산성 관리를 해야 한다.

5. Conclusion

본 연구는 기존 연구 고찰을 통해 데이터 종류에 따른 대표적인 BP 산출 방법론을 선정하고 실제 사례에 적용하여 결과를 비교 분석하였다.

Basic Data를 활용하여 BP를 산출하는 Stochastic Based Model은 특정 시간대별(일간, 주간, 월간, 연간) 산출물량 및 투입 자원 데이터만으로도 BP를 산출할 수 있어 프로젝트 초기에 적은 데이터로 BP를 추정하여 공사계획을 세울 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 신뢰도가 Unimpacted Productivity BP보다 떨어진다는 한계점이 있다.

본 연구에서는 Unimpacted Productivity BP와 Stochastic Based Model의 BP의 CL 값을 비교 분석한 결과 BP 값은 7.675, 9.801로 27.7%의 차이를 보였으며 CL 값은 80.10%, 90%로 Stochastic Based Model의 CL 값 90%는 과대 책정된 기준값이며, 신뢰도 높은 BP 산출이 어렵다는 한계점을 도출하였다.

위의 한계점을 해결하기 위해, 본 연구에서는 Unimpacted Productivity BP를 활용한 객관적 CL 값 산출 방법, Detailed Data를 체계적 형식으로 기록할 수 있는 작업기록 양식, 작업이 중복되거나 불필요한 인력투입이 발생하지 않게 데이터 수집과 활용을 할 수 있는 프로세스를 개발하였으며, 과도한 추가되는 비용 없이 정확한 데이터를 보고 받을 수 있는 작업기록 보고 주기를 도출하였다.

본 연구의 기여는 다음과 같다.

1) 문헌고찰과 Case Study를 통해 도출한 기존 BP 산출법의 한계점인 주관적인 CL 값의 검증 방법을 제시하고, 객관적인 BP 산출 방식을 도출하였다.

2) 기존의 데이터를 통해 자동으로 기준생산성을 산출하며, 공사 중 실적 물량과 실적 자원 데이터만 입력하면 생산성을 산출하여 기준생산성과 자동 비교하고 생산성 저하 여부와 저해 요인 발생 여부를 자동으로 체크 하여 데이터 손실과 최소한의 인력을 활용하여 데이터를 수집할 수 있는 VBA Excel Sheet를 활용한 작업기록 Sheet를 개발하였다.

마지막으로, 건설 프로젝트 현장에서 위의 양식의 적용성을 향상하게 시키는 프로세스를 제시하였다.

본 연구에서 활용한 Unimpacted Productivity BP를 활용한 기준생산성 산출 및 비교분석은 철골 공종 데이터만을 활용하여 분석하여, 다양한 데이터를 활용한 분석을 하지 못했다는 한계점과 보고서 자료의 한계로 인해 작업자의 숙련도 관련 저해 요인을 별도 분류하지 못했다는 점, 마지막으로 본 연구에서 제시한 VBA EXCEL Sheet 기반의 건설 프로세스를 활용한 검증이 이루어지지 않았다는 한계점이 있다. 향후 연구에서 다양한 공종과 프로젝트의 데이터와 작업자 숙련도 관련 저해 요인을 포함한 데이터를 활용한 기준생산성 분석 및 VBA EXCEL Sheet 기반의 건설 프로세스의 검증을 하는 연구가 진행될 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 삼성전자 연구비 지원(과제번호:0582-20220021)에 의한 결과의 일부임.

References

Abdel-Hamid, M., and Mohamed Abdelhaleem, H. (2022). “Impact of poor labor productivity on construction project cost.” *International Journal of Construction Management*, 22(12), pp. 2356-2363.

Al-Zwainy, F.M.S., Abdulmajeed, M.H., and Aljumaily, H.S.M. (2013). Using multivariable linear regression technique for modeling productivity construction in Iraq.

Eforn, B. (1979). “Bootstrap methods: another look at the jackknife.” *The Annals of Statistics*, 7, pp. 1-26.

Gulezian, R., and Samelian, F. (2003). “Baseline determination in construction labor productivity-loss claims.” *Journal of Management in Engineering*, 19(4), pp. 160-165.

Gurmu, A.T., and Ongkowijoyo, C.S. (2020). “Predicting construction labor productivity based on implementation levels of human resource management practices.” *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(3), 04019115.

Kim, J., Yoon, I., Jung, M., Joo, S., Park, S., Hong, Y., and Park, M. (2022). “Establishment of Measurement Standards for Productivity Assessment in Construction Project.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 23(3), pp. 3-12.

Hong, Y.M., Lim, J.H., Jang, J.H., Kim, J.H., and Lee, K.T. (2023). “Analysis of Productivity Impeding Factors and Suggestion of Countermeasures in Small and Medium-Sized Construction Project through Modified Delphi Survey.” *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 39(1), pp. 321-330.

Lee, S.J., Cha, Y., Han, S., and Hyun, C.T. (2021). “A Rating Method for the Estimation of the Additional Overhead Expenses incurred by Schedule Extension in Public Construction Projects.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 22(3), pp. 79-90.

Liao, P.C., O’Brien, W.J., Thomas, S.R., Dai, J., and Mulva, S.P. (2011). “Factors Affecting Engineering Productivity.” *Journal of Management in Engineering*, 27(4), pp. 229-

235.
Lin, C.L., and Huang, H.M. (2010). "Improved baseline productivity analysis technique." *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(3), pp. 367-376.
Liu, M., Ballard, G., and Ibbs, W. (2011). "Work flow variation and labor productivity: case study." *Journal of Management in Engineering*, 27(4), pp. 236-242.
Park, H.S. (2006). "Conceptual framework of construction productivity estimation." *KSCE Journal of Civil Engineering*, 10, pp. 311-317.
Rathnayake, A., and Middleton, C. (2023). "Systematic Review of the Literature on Construction Productivity." *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(6), 03123005.
Sanders, S.R., and Thomas, H.R. (1993). "Masonry productivity forecasting model." *Journal of construction engineering and management*, 119(1), pp. 163-179.
Son, C.B., and Lee, D.C. (2002). "An Analysis on the Factors Decreasing Productivity of Building Construction." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, JAIK, 18(12), pp. 125-132.
Song, L., and AbouRizk, S.M. (2008). "Measuring and modeling labor productivity using historical data." *Journal of construction engineering and management*, 134(10), pp. 786-794.
Thomas, H.R., and Zavrski, I. (1999). "Construction baseline productivity: Theory and practice." *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(5), pp. 295-303.
Tsehayae, A.A., and Fayek, A.R. (2016). System model for analysing construction labour productivity, Construction Innovation.
Yi, W., and Chan, A.P. (2014). "Critical review of labor productivity research in construction journals." *Journal of management in engineering*, 30(2), pp. 214-225.
Zayed, T.M., and Halpin, D.W. (2005). "Productivity and cost regression models for pile construction." *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(7), pp. 779-789.
Zink, D.A. (1990). "Impacts and construction inefficiency." *Cost Engineering*, 32(11), p. 21.

요약 : 건설업은 노동집약적 산업으로, 성능과 생산성의 변동성이 매우 높다. 따라서 계약자의 실제 성과를 파악하기 위해 기준생산성을 정량적이고 객관적으로 산출하여야 한다. 하지만, 기존 문헌에서 주로 제시된 기준생산성 산출 방법은 주관성이 내재된 기준을 사용하여 기준생산성을 산출한다는 한계가 있다. 또한, 데이터 수집에 과도한 비용과 시간이 투입되는 기존의 'Five-minute Rating'과 같은 데이터 수집 방식으로는 공사 현장에서 실적 물량, 실적 자원과 저해 요인이 포함된 Detailed Data를 수집하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 Unimpacted Productivity BP를 산출할 때 활용되는 Detailed Data를 체계적인 형식으로 기록할 수 있는 작업 체크시트 와 과도한 비용과 시간을 들이지 않고 데이터를 수집하고 활용할 수 있는 프로세스를 제시하였다. 또한 기존 기준생산성 산출 방법의 객관성과 신뢰도 문제를 해결하기 위해 비교 분석하여. Detailed Data를 활용한 보다 더 객관적이고 정확한 Unimpacted Productivity BP를 활용한 기준생산성 산출을 제안한다.

키워드 : 기준생산성, 최대 생산성, 자료 수집, 확률적 모형