

건설 프로젝트 생산성 평가를 위한 측정 기준 수립

김준영¹ · 윤인석² · 정민혁³ · 주선우⁴ · 박성은⁵ · 홍영민⁶ · 조종우⁷ · 박문서^{8*}

¹서울대학교 건축학과 박사과정 · ²서울대학교 건축학과 박사과정 · ³서울대학교 건축학과 연구교수 · ⁴삼성전자 건설기획그룹 Staff Engineer
⁵서울대학교 건축학과 석사과정 · ⁶서울대학교 건축학과 석사과정 · ⁷서울대학교 건축학과 박사과정 · ⁸서울대학교 건축학과 교수

Establishment of Measurement Standards for Productivity Assessment in Construction Project

Kim, Junyoung¹, Yoon, Inseok², Jung, Minhyuk³, Joo, Seonu⁴, Park, Seungeun⁵,
Hong, Yeungmin⁶, Cho, Jongwoo⁷, Park, Moonseo^{8*}

¹Graduate Student, Department of Architecture & Architectural Engineering, Seoul National University
²Graduate Student, Department of Architecture & Architectural Engineering, Seoul National University
³Research Professor, Department of Architecture & Architectural Engineering, Seoul National University
⁴Staff Engineer, Infra Technology Innovation Group, Samsung Electronics
⁵Graduate Student, Department of Architecture & Architectural Engineering, Seoul National University
⁶Graduate Student, Department of Architecture & Architectural Engineering, Seoul National University
⁷Graduate Student, Department of Architecture & Architectural Engineering, Seoul National University
⁸Professor, Department of Architecture & Architectural Engineering, Seoul National University

Abstract : In general construction project planning ratio of manpower and quantity of outputs produced, such as the construction estimate standard, is used as the criterion for labor productivity. This method is highly effective in construction projects with repetitive work, however, there is a limit to apply in large-scale projects with high complexity. This is because the influence of non-work time caused by various work interruption factors that act complexly on the productivity of the project is greater than the average labor productivity derived from the performance data of the project. Therefore, this study proposes a productivity measurement method that can evaluate the characteristics of construction works and the cause of non-working time. To this end, first, detailed work processes and their non-work factors for each work type are defined, and the Adv-FMR technique is developed for quantitatively measuring them. Next, based on the concept of obtainable productivity, methods for comparative productivity analysis by work type, evaluating non-work factors, and deriving productivity improvement methods are proposed. Finally, a case study is conducted to validate that the analysis results based on Adv-FMR data can support the decision-making of construction managers on productivity management.

Keywords : Construction Productivity, Productivity Measurement, Productivity Assessment, Obtainable Productivity

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

생산성은 건설 프로젝트 유형에 따라 변동 폭이 크고 프로젝트 수익에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다(Rivas, 2011). 그러므로 건설 산업에서는 성공적인 프로젝트 수행을

위하여 생산성 개선의 중요성이 강조되고 있다. 국내 공공 및 민간사업에서는 표준품셈을 기준으로 현장 생산성을 관리한다(Jeon, 2008). 그러나 표준품셈은 일반적인 건설정보를 기준으로 작업당 소요되는 재료량, 노무량 및 장비사용량을 수치로 표시한 표준적인 기준으로 프로젝트별 특수성을 반영하지 못하기 때문에 개별 프로젝트의 생산성 저하에 대한 개선방안 수립에 적용하기엔 한계가 있다(MSIP, 2013).

생산성 향상을 위해서는 작업자 총 투입시간(man·hour) 대비 직접작업시간(Direct-work rate)을 증가시켜 작업효율을 높이는 것이 중요하다. 작업자의 투입시간 내에 작업 중단, 대기, 공중 간 간섭으로 인한 유휴시간의 비중이 커지면 작업효율이 낮아지며 생산성 저하가 발생한다. 이를 개선하

* **Corresponding author:** Park, Moonseo, Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

E-mail: mspark@snu.ac.kr

Received November 5, 2021; **revised** April 5, 2022

accepted April 19, 2022

기 위하여 작업자의 작업시간과 비작업시간에 대한 측정 기준이 필요하며, 작업자의 작업 영향요인 및 지연요인에 대한 기준이 필요하다(Son, 2003). 또한, 생산성 개선을 위해 비작업시간에 대한 정량적 평가방법이 필요하다(MSIP, 2013).

따라서 본 연구에서는 작업에 대한 새로운 생산성 측정 기준을 수립하고 이를 활용하여 생산성 개선방안을 도출할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 본 연구는 Work Sampling과 Five-Minute Rating 기법을 활용한 생산성 측정 방법을 제안하고, 이를 통해 집계한 데이터를 기반으로 획득 가능 생산성과 비작업요인의 영향도를 산출함으로써 생산성을 정량적으로 평가하는 기준을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 건설생산성 측정 기준을 수립하기 위하여 다음과 같은 절차를 통해 수행한다.

첫째, 문헌 고찰을 통해 건설 프로젝트를 대상으로 생산성 측정 지표에 대한 한계점을 도출한다.

둘째, 세부 작업 프로세스 정의 및 비작업요인의 유형별 분류를 통한 건설생산성 측정 기준 및 방법을 제안한다.

셋째, 본 연구에서 제안한 측정 기준 및 방법을 바탕으로 수집된 데이터에 대한 정량적 생산성 평가방법을 제안한다.

마지막으로, 사례연구를 통해 본 연구에서 제안한 생산성 측정 기준 및 방법의 실효성을 검토하고, 주요 생산성 관리 포인트에 대한 시사점을 도출한다.

2. 문헌고찰

2.1 세부 작업 생산성 지표

생산성 측정을 위해서는 작업자의 생산성에 대한 평가 기준이 필요하다. 보편적으로 작업자의 투입시간 대부분이 작업 수행에 소요되면 생산 물량이 많아져 생산성이 높아진다. 반대로 투입시간 대비 유휴시간의 비중이 크면 작업효율이 떨어지며 생산성도 낮아진다. 그러므로 작업효율성을 측정하기 위한 수단으로 작업 샘플링을 적용한 직접작업 효율(Direct-work rate, 이하 DWR) 개념이 건설산업에 도입되었다(Gouett, 2011). DWR이란 전체 투입 작업시간 중에서 실제 생산 작업시간의 비율을 계산한 값으로, 세부 레벨의 작업 분류와 비작업시간에 대한 발생 여부를 함께 측정하는 지표이다(Fig. 1).

DWR 지표는 측정 대상이 되는 공종에 속련된 관측자가 생산성을 측정하는 초기 지표로 인정되나, 측정 데이터에 대한 통계적 검증이 부족하기 때문에 광범위한 적용에는 한계가 있다(Khosrowpour, 2014). 또한, 상세 작업 샘플링을 수행하는 방법에 대한 기준이 부족하여, 공종별 DWR 지표 수

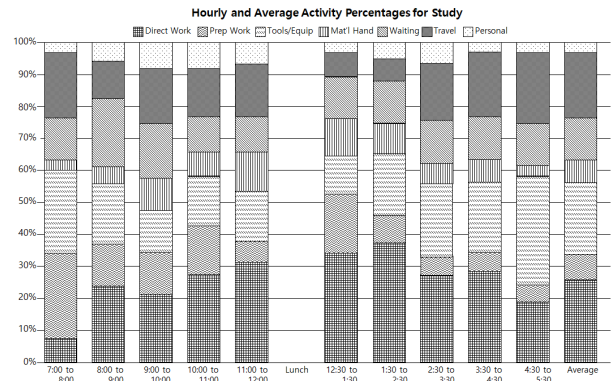


Fig. 1. Hourly Direct-Work Rate (Gouett, 2011)

립을 위한 측정방법이 필요하다.

2.2 기존 생산성 측정방법

생산성 관련 국내 연구에서의 생산성 측정은 주로 현장의 일일작업보고서, 작업자/관리자 설문 및 작업 샘플링을 토대로 이루어지고 있다(Son, 2002). 이러한 방식은 일간 투입 인력의 규모가 큰 건설 프로젝트에서 측정에 소요되는 인력 및 시간이 과대해지기 때문에 현장 적용성이 떨어지는 한계가 있다.

이의 해결을 위해 다수의 연구자에 의해 작업 분석에 대한 측정기법이 제시되어왔다. 작업 분석 데이터의 측정을 위해서는 현장의 작업자에 대한 직접 관측이 필요하나, 작업 과정 전체를 연속 측정·집계하는 방법은 많은 노력이 소요되고 휴먼 에러 발생 가능성이 높기 때문에 Work Sampling과 Five-minute Rating과 같은 측정기법이 활용되고 있다(Dozzi, 1993; Abukhalaf, 2021).

Work Sampling 기법은 연속관측법의 단점을 보완한 Sampling 기법으로 건설근로자를 관측하여 표준적인 가동률 및 생산성을 측정하는 기법이다(Liou, 1986;

Table 1. Five-Minute Rating Observation Sheet sample

Time	Spreader	Screeder	Grader	Bull-Floator
9:50	X	X	X	
9:55	X	X	X	
10:00				X
10:05	X	X	X	X
10:10	X		X	
10:15	X	X		X
10:20	X	X	X	X
10:25		X		X
Effective observations	6	6	5	5
Total observations = 32		Effectiveness = 22/32		
Observed effective = 22		5-Minute Rating = 68%		

Goodarzirad, 2021). 관측자는 제한된 시간 안에 관측된 생산성이 어느 정도인지에 대한 표본을 도출하고, 공종의 전체 작업을 관측하는 대신 작은 표본들을 수집하여 분석한다. 그러므로 Work Sampling 기법은 통계적 유의성을 갖기 위하여 관측대상 및 범위에 대한 정의가 필요하다.

Five-minute Rating(이하 FMR) 측정기법은 작업의 가장 낮은 단위, 즉 작업자 개개인의 생산성을 직접 측정하는 방법이다(Table 1). 관측자는 각 작업자의 행동을 최대 5분 간격으로 관측하고, 관측된 시간의 50% 이상이 작업시간으로 판단되면 작업을 수행하였다고 기록한다(Thomas, 1983).

FMR 측정기법은 다른 측정기법들과 마찬가지로 데이터 샘플에 대한 수집이 필수적이지만, 통계적 원리를 따를 필요가 없어 직관성이 높다는 장점이 있다(Thomas, 1983). 또한, 단일 관측자가 작업에 대한 효율성을 가장 빠르고 정확하게 평가할 수 있는 방법이다. 그러나 비작업에 대한 분류가 부재하여 생산성 저해요인들에 대한 분석 및 평가에 한계가 있어, 비작업 시간을 원인별로 분류하여 파악, 분석 및 평가하고 이에 따른 개선방안을 수립할 필요가 있다. 비작업 시간으로 인한 생산성 영향성을 평가하기 위해서는 단순히 비작업 시간을 작업시간으로 치환하는 것이 아니라, 발생원인, 발생빈도, Impact 등 생산성에 영향을 미치는 요인을 분류하여 분석하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 Work Sampling 및 FMR을 보완한 측정기법을 활용하여 세부 작업에 대한 생산성을 측정하고 실제 작업효율 대비 획득 가능 생산성에 대한 평가를 통하여 생산성 개선방안을 수립하는 기준을 제안하고자 한다.

3. 생산성 지표 기준정의 및 측정방법

3.1 세부작업 프로세스 정의

건설 프로젝트의 생산성을 측정하기 위해서는 측정대상인 공종별 작업자의 작업투입시간, 비작업시간에 대한 작업 샘플링 및 세부작업 프로세스 정의가 필요하며(Liou, 1986), 이를 위하여 각 공종에 대한 Activity를 사전 조사하고 전문가 및 작업숙련공과 인터뷰를 통해 세부 작업 프로세스를 정의해야 한다(Fig. 2).

공종별 작업순서는 동일 공종일지라도 프로젝트별 설계, 필요 자재, 지리적 위치, 협력업체 계약관계 등 다양한 특성에 따라 세부 작업 프로세스는 달라진다(MSIP, 2013). 그러므로 기존의 FMR 기법을 기반으로 공종별 작업시간과 비작업시간의 측정대상이 될 세부 작업 프로세스 정의를 통해 작업을 세부 단계로 분류하는 과정이 필요하다. 실제 건설 프로젝트에서의 세부 작업 프로세스 정의 과정은 4.1절에서 자세히 기술한다.

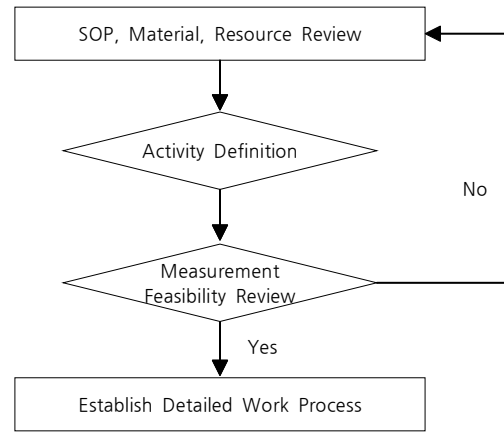


Fig. 2. Establishment of Detailed Work Process

3.2 발생원인에 기반한 비작업요인 유형별 분류

기존 FMR 측정기법에서 공종별 작업시간 외 휴식, 이동, 단순대기 등 작업을 수행하지 않은 시간이 관측될 경우 비작업으로 분류된다. 그러나 휴식, 이동, 작업대기 등의 비작업 행동이 작업시간과 생산성에 영향을 미친다면 그에 대한 영향도를 파악하고 요인별 개선방안을 수립하기 위해서는 비작업시간에 대한 세분화된 정의가 내려져 있어야 하며, 이는 작업 연속성에 미치는 영향도 평가에 중요한 요소로 작용한다(Tomczak, 2020). 예를 들어 작업 연속성이 중요한 조적공사와 유사한 공종에서 작업 간섭이 발생하여 작업 수행을 못할 경우 작업자의 생산성 저하에 크게 영향을 미칠 수 있다(Jibril, 2020).

공사현장에서 생산성에 영향을 미치는 대표적인 요인은 이동(Traveling), 대기(Waiting or Idle), 작업속도 저하(Working slowly), 재작업(Doing rework), 비효율작업(Doing in-effective work) 등 5가지 형태로 구분할 수 있다(Borcherding, 1986). 하지만 이러한 분류는 현실에서 발생하는 구체적인 생산성 저하 요인을 정확하게 기록하기 어렵다는 단점이 있다. 특히 작업속도 저하, 비효율작업은 관측자의 주관적인 판단과 작업자의 숙련도 차이로 발생할 수 있는 요인이기 때문에 정량적 생산성 평가에 어려움이 있으며, 생산성 저하의 근본적인 원인을 제공하는 요인과 생산성과 관계없이 발생하는 요인의 구분이 명확하지 않기 때문에 생산성 저하에 직접적으로 영향을 미치는 요인들의 객관적 측정을 위한 세부적인 분석을 위한 새로운 기준이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 비작업시간에 대한 항목을 분류하고, 각 항목이 생산성에 영향을 미치는 정도를 분석하기 위해 전문가 인터뷰를 통해 11개의 분류그룹에 대한 총 72개 비작업요인을 정의하였다.

11개 분류그룹은 비작업요인을 작업장 내외간 이동 및 이탈(O), 공통사항(C), 가설/부대시설관련(T), 자재관련(M), 도

Table 2. Classification of Non-work Factors

Classif.	Item	Code	Classif.	Item	Code	Classif.	Item	Code	Classif.	Item	Code
Travel, Idle/Wait, Departure (O)	Vertical Movement Wait	O1	Material (M)	Delivery Delay	M1	Construction Work (W)	Work Planning	W1	Labor (L)	Idle	L1
	Wait for Gate	O2		Supplement Delay	M2		Change of Work Plan	W2		Guide for work	L2
	Travel (Non-work)	O3		Unloading Delay	M3		Rework	W3	Safety Inspection	S1	
	Rest/Toilet Use	O4		Lifting Delay	M4		Travel (Work)	W4	CCM Examination Interview	S2	
	Early Departure	O5		Material shortage	M5		Predecessor Activity delay	W5	Error Correction	S3	
Common (C)	Tool Box Meeting	C1	Equipment, Tool (E)	Tool/Rigging Inspection	E1		Work Interference	W6	Safety (S)	Not following Safety Instruction	S4
	Paperwork Waiting	C2		Tool Supplement	E2		Top-down Simultaneous Operation	W7		Accident	S5
	Cleaning	C3		Equipment shortage	E3		Wait during work	W8		Install/Transfer/Dismantle Safety Facility	S6
	Recruit Training	C4		Equipment Setting	E4		Support other work	W9	Contractor Inspection	Q1	
	Quality assurance Training	C5		Equipment Move	E5		Work Preparation	W10	CM Inspection	Q2	
	Regular Safety Training	C6		Equipment Failure	E6	Environment (EV)	Unworkable Environment	EV1	Quality (Q)	Inspection Wait	Q3
	Irregular Training	C7		Regular Inspection	E7		Extreme Climate(Rain)	EV2		Construction Error Correction	Q4
Special Inspection				E8	Extreme Climate(Storm)		EV3	Material/Equip. Inspection		Q5	
Temporary (T)	Electricity/water shortage	T1		Driver Absence	E9		Extreme Climate(Snow)	EV4		Specification Error Correction	Q6
	Blackout	T2		Equipment Wait (Apply for Equip. Only)	E10		Extreme Temp.(Heat)	EV5		Unexpected (U)	Owner Request
	Telecommunication interruption	T3	Extreme Temp.(Cold)				EV6	Contractor Request			U2

Table 3. List of Interview Participants

Classification	Job Title	Number
Owner	Principal Research Engineer	2
	Senior Research Engineer	4
	Junior Research Engineer	1
CM(1)	Managing Director	1
	General Manager	3
	Deputy General Manager	2
CM(2)	General Manager	3
	Deputy General Manager	2
	Assistant Manager	1
General Contractor(1)	Principal Research Engineer	3
	Senior Research Engineer	6
	Junior Research Engineer	1
General Contractor(2)	Senior Professional	1
	Professional	6

구/장비관련(E), 시공관련(W), 작업환경관련(EV), 작업자관련(L), 안전관련(S), 품질관련(Q), 그리고 돌발상황(U)으로 정의하였다(Table 2).

첫째, 이동/대기/이탈(O)의 경우 작업자의 비작업성 이동,

휴식, 조기 이탈 등 작업구역 내-외부 간 작업과 관계 없이 발생하는 비작업요인들로 정의하였다. 이러한 요인들은 작업자의 사기를 적절히 유지하기 위해 적당한 시간이 허용될 수 있는 비작업요인이다. 그러나 너무 많은 시간을 허비할 경우 작업 착수가 늦어지거나 작업연속성이 단절되어 생산성 저하가 발생할 수 있기 때문에 건설관리자의 주의를 요구하는 요인으로 분류된다.

둘째, 공통(C)의 경우 서류작업, 청소, 교육 등 모든 공종에서 작업 수행을 위하여 필수적으로 수행해야 하는 요인들로 정의하였다. 이러한 요인들은 정상적인 작업 수행이 이루어지기 위해 일정시간을 반드시 할애해야 하는 비작업이나, 이동/대기/이탈(O)과 유사한 이유로 생산성 저하 방지를 위해 적절한 관리가 필요한 요인으로 분류한다.

셋째, 가설/부대시설(T), 자재(M), 도구/장비(E), 시공(W), 작업자(L)의 경우 자재 부족, 장비 세팅 및 이동, 재작업, 작업간섭 등 작업현장 내에서 작업 도중에 주로 발생하는 현상에 대한 요인들로 정의하였다. 이러한 요인들은 실제 현장에서 빈번하게 일어나는 요인들로써 한 번이라도 발생할 경우 소모되는 비작업시간에 대한 비중이 예상보다 커질 수 있다. 따라서 건설관리자는 주의 깊은 관리를 통해 발생 자체를 막

Daily Productivity Check Sheet										Section Info.		Work Info.		Date		W.Type-1		Total no.		1		Specification		Quantity		Unit																																						
										Building		Classif.						Team no.		2																																												
										Floor		Name						Note		3																																												
										Location		Sub-con								4																																												
										Etc.		Work Name																																																				
Observation Sheet																																																																
Team	Role	Name	Start Hr.	08:00	1					2					3					4					5																																							
					0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
					Work Code																																																											
					Work Code																																																											
					Work Code																																																											
					Work Code																																																											
					Work Code																																																											
					Work Code																																																											
					Work Code																																																											
					Specification																																																											
					Quantity																																																											
					Unit																																																											

Fig. 3. Advanced-Five Minute Rating Check Sheet

아야 하는 대표적인 건설 생산성 저하요인으로 분류된다.

넷째, 작업환경(EV), 돌발상황(U) 관련은 강우, 강풍, 혹서, 한파 등 불가항력적 요인으로 인해 작업을 수행할 수 없는 기상 상태나, 작업을 진행하기 어려운 조도, 공기질 등 작업 환경 부적합 요인들로 정의하였다. 이러한 요인들은 사전에 예측하기 어려워 작업계획을 변경해야 함으로써 생산성 저하를 유발하는 요인으로 분류된다.

마지막으로, 안전(S), 품질(Q) 그룹은 안전 지적사항 조치, 안전시설물의 설치·이동·해체, 품질 검측 등 작업자의 안전 보장이나 목적물의 품질 확보를 위해 건설현장에서 필수적으로 발생하는 요인들로 정의하였다. 건설 프로젝트의 전반적인 품질과 안전에 있어서 필수적인 요인이지만, 작업 도중 해당 비작업 발생 시 작업의 연속성을 방해하는 중요한 요인으로 분류된다.

3.3 Advanced-Five Minute Rating 측정시트 개발

본 연구에서는 앞서 분류한 11가지 그룹에 속하는 비작업 요인을 포함한 생산성 관련 데이터를 측정·기록할 수 있는 Advanced-Five Minute Rating (Adv-FMR)체크시트를 개발하였다. Adv-FMR 시트는 기존 FMR과 동일한 측정방법을 활용하여 앞서 언급한 세부작업 코드, 비작업 코드 및 단위 물량 정보를 최대 5분 간격으로 기록할 수 있다. 또한, 추가적으로 (1) 해당 프로젝트의 장소 및 구간 정보 (2) 날짜·시간, 관측자 및 작성자 정보, 작업자의 소속 협력사 정보, 공종 등의 작업 정보 (3) 총 투입인원 및 팀 구성을 기록하는 인원 정보 (4) 세부작업코드별 및 해당 차수의 총 물량 정보 등을 기록할 수 있도록 구성하였다. 본 연구에서 개발한 Adv-FMR 체크시트를 활용하여 수집한 데이터는 생산성 모니터링 및 분석 등 다양한 목적으로 사용할 수 있다(Fig. 3).

3.4 생산성 평가 기준

생산성 관리를 위해서는 Adv-FMR 측정시트를 활용하여 측정된 각 비작업 항목의 항목별 생산성 저하 영향도를 산

출하고, 생산성 저하 요인의 제어를 통해 개선 가능한 생산성 향상의 정도를 도출할 필요가 있다. 본 연구에서는 이를 위해 획득가능 생산성(Obtainable Productivity, 이하 OP) 개념을 활용한다(Fig. 4).

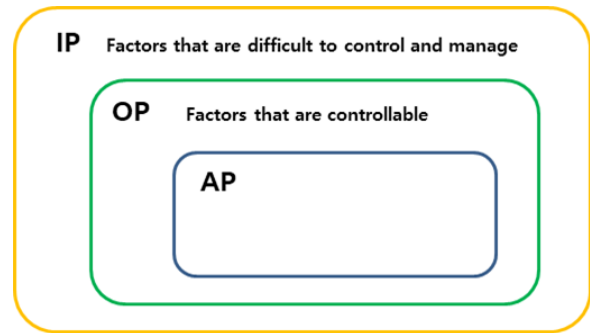


Fig. 4. IP, OP, AP Definition (Kim, 2003)

김태완(2003)은 건설 프로젝트의 생산성을 실제 생산성 측정을 통해 얻을 수 있는 현재 생산성(Actual Productivity, 이하 AP), 모든 저하요인이 제거된 최상의 조건에서 달성할 수 있는 이상적 생산성(Ideal Productivity, IP) 및 AP와 IP 사이에서 통상적으로 제어할 수 없는 저하요인을 제외한 통제·관리 가능한 저하요인 제어를 통해 현재 조건에서 최대로 얻을 수 있는 획득가능 생산성(OP)으로 정의하였다.

AP의 향상 가능 정도는 현 상황에서 비작업요인 관리를 통해 추가 획득할 수 있는 생산성의 값으로, OP값에서 AP값을 빼서 산출한다. AP값은 Adv-FMR로 측정된 “실작업 시간/전체작업시간”으로 산출할 수 있지만, OP는 제어 가능한 저하요인의 영향도 산출을 통해 계산되는 값이기 때문에 Adv-FMR을 통해 측정된 비작업요인을 제어 가능한 요인(우선관리대상)과 불가능한 요인(추후관리대상)으로 분류할 필요가 있다. 본 연구에서는 OP 산출을 위하여 비작업요인을 아래 그림과 같이 프로세스를 통해 분류한다(Fig. 5).

먼저, 우선관리대상(Controllable Factor, 이하 C)은 프로젝트에서 생산성에 직접적으로 영향을 미치는 요인으로 정

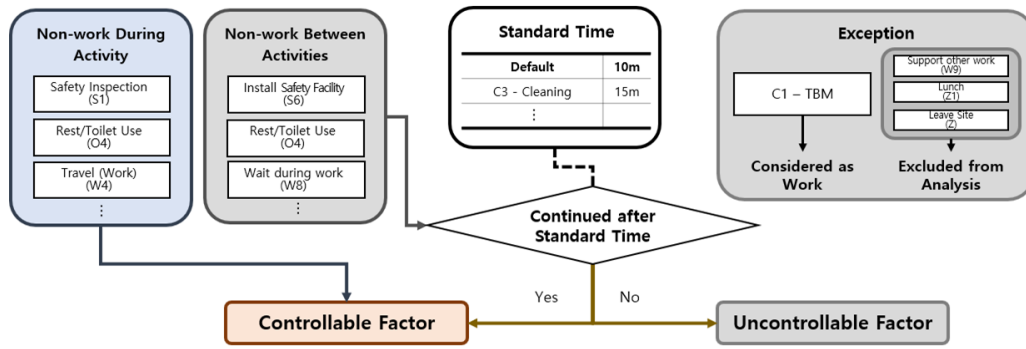


Fig. 5. Non-work Factors Classification Process

의한다. C는 작업 도중 발생하여 작업 연속성을 방해함으로써 발생 즉시 생산성을 저하시킬 수 있는 요인으로, 건설관리자가 우선적으로 관리해야 하는 비작업요인이다. 추후관리대상(Uncontrollable Factor, 이하 U)은 관리가 난해하거나 생산성에 간접적인 영향을 미치는 요인으로 정의된다. 이는 작업과 작업 사이에 발생하는 작업성 이동, 청소/정리 정돈 등 3.3절에서 기술하였던 것처럼 적절한 시간 소요는 필요하지만 기준 시간 이상 지속되면 생산성 저하를 야기할 수 있는 비작업요인이다. 이외 TBM, 점심시간, 타작업 지원처럼 시작·종료시간이 정해져 있는 공통요인이나 측정 모수에서 제외되는 비작업요인은 예외사항으로 분류하여 분석 대상으로 포함하지 않는다.

4. 사례 연구

4.1 대상 프로젝트

본 연구에서는 앞서 언급한 세부요인 분류 및 정의를 바탕으로 생산성 개선이 가장 필요한 공종을 도출하기 위하여 A 프로젝트 현장을 사례연구 대상으로 선정하여 Adv-FMR 기법을 통해 데이터를 측정하고, 결과를 분석하였다.

측정에 앞서, A 프로젝트에 참여하는 발주자, 감리사, 시공사와 협력업체 실무자를 대상으로 생산성 개선이 시급한 공종을 조사하여, 배관용접, 건식벽체, 전기 케이블 트레이, 이중바닥재 공사를 생산성 측정대상 공종으로 선정하였다. 이후 시공사로부터 선정한 4가지 공종의 표준작업절차서(Standard Operating Procedure, SOP)를 제공받아 작업 프로세스를 1차 분류하고, 투입자원(자재, 인력, 장비) 및 산출물(물량) 변경 발생을 기준으로 작업 프로세스를 세분화하여 상세 Task를 정의하였다(Table 4).

분석대상 4개 공종의 데이터 측정 및 수집을 2021년 4월 15일부터 10월 20일까지 수행하여, 466명의 작업자에 대한 총 414.9시간, 3,703.08 man·hour 분량의 생산성 데이터를 수집하였다. 466명의 작업자는 공종별 기술공과 보조공으로

Table 4. Detailed Work Process Sample (Access Floor)

Code	Work Type	Detail Work Process
A0	Access Floor	Preparation
A1	Access Floor	POST & BEAM Lifting
A2	Access Floor	POST & BEAM & Expendables Transfer
A3	Access Floor	Baseline Marking
A4	Access Floor	Anchor Drilling
A5	Access Floor	Setting Lower part of Corridor
A6	Access Floor	Dismantle Corridor Facility
A7	Access Floor	POST Installation
A8	Access Floor	BEAM Installation
A9	Access Floor	Column & Wall finish BEAM work
A10	Access Floor	Corridor finish BEAM work
A11	Access Floor	POST Verticality work
A12	Access Floor	POST and gird difference check
A13	Access Floor	BEAM Level Work
A14	Access Floor	Bolt I-Marking Work
A15	Access Floor	Pre-Inspection
A16	Access Floor	Work Inspection
A17	Access Floor	Completion Inspection
A18	Access Floor	Grating Lifting
A19	Access Floor	Grating & Expendables Transfer
A20	Access Floor	Baseline Marking
A21	Access Floor	Setting Lower part of Corridor (Grating)
A22	Access Floor	Dismantle Corridor Facility (Grating)
A23	Access Floor	Grating Installation
A24	Access Floor	Special Grating Protection
A25	Access Floor	Finish Grating marking
A26	Access Floor	Finish Grating Cutting
A27	Access Floor	Finish Grating Installation
A28	Access Floor	Grating PAD Attachment
A29	Access Floor	Grating Bolt Attachment
A30	Access Floor	Pre-Inspection
A31	Access Floor	Work Inspection

분류되어있고, 각 작업자는 시공사의 기술시험을 통해 선별된 숙련공이다.

4.2 결과 분석

4.2.1 DWR 도출

A 프로젝트의 작업효율성 파악을 위해 공종별 DWR을 도출한 결과 총 투입시간 대비 각 공종별 평균 작업 가동률은 77.46%, 비작업시간은 22.54%로 나타났다. 특히 배관용접 공종은 73.74%로 상대적으로 가장 낮은 작업 가동률을 보였으며, 건식벽체 75.18%, 전기 케이블 트레이 78.35%, 이중바닥재 82.57% 순으로 도출되었다(Fig. 6).

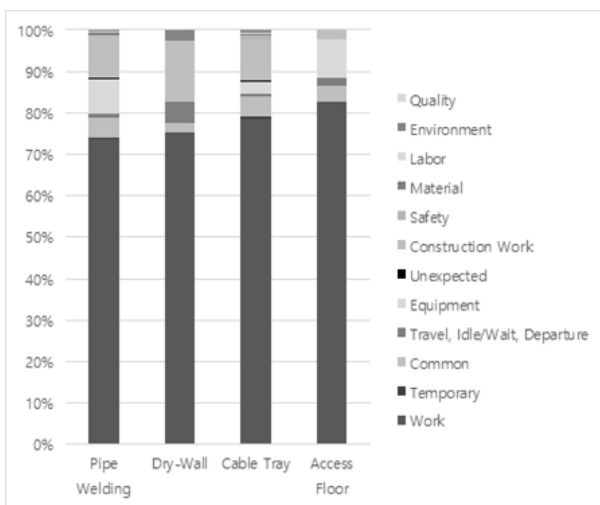


Fig. 6. Work/Non-work Ratio by Work Type

4.2.2 OP 산출

다음으로 공종별 획득가능한 생산성인 OP를 산출하기 위해 TBM 등 분석제외대상 외 비작업요인을 우선관리대상(C)과 추후관리대상(U)으로 분류하였다.

예를 들어 단일 세부작업(A1) 수행 중 상하동시작업(W7) 등 비작업요인 발생으로 인해 작업연속성이 단절되었을 경우, 불필요하여 통제가 필요한 대상으로 간주하여 C로 분류하였고, 선·후행 세부작업(A1-A2) 사이에 발생한 기준시간(10분) 이내의 비작업요인인 작업성이동(W4)은 작업상 필요한 비작업으로 보아 추후관리대상인 U로 분류하였다. 그러나 작업계획수립(W1)은 W4와 동일하게 A1-A2 사이에 발생하였으나 기준시간을 초과해 연속됨으로써 생산성 저하에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단하여 C로 분류하였다(Fig. 7).

Table 5. Calculation of Obtainable Productivity

Classification	Work Type			
	Pipe Welding	Dry-Wall	Cable Tray	Access Floor
Actual Productivity(AP)	0.737	0.752	0.801	0.826
Obtainable Productivity(OP)	0.930	0.935	0.954	0.970
Degree of Improvement(OP-AP)	0.193	0.183	0.153	0.144

분류된 작업시간과 C 및 U를 통하여 OP를 산출한 결과는 아래 표와 같다(Table 5).

획득가능 생산성 평가결과, 배관용접이 0.930으로 가장 낮은 값을 보였으며, 건식벽체 0.935, 전기 케이블 트레이 0.954, 이중바닥재 0.970의 순서로 나타났다. 또한, DWR을 AP로 환산한 값과 OP값 간의 차를 통해 산출한 생산성 향상 가능정도는 배관용접 0.193, 건식벽체 0.183, 전기 케이블 트레이 0.153, 이중바닥재 0.144로 나타나 배관용접 공사가 4개 공종 중 AP, OP가 가장 낮으면서 생산성 개선 여지는 가장 높았다.

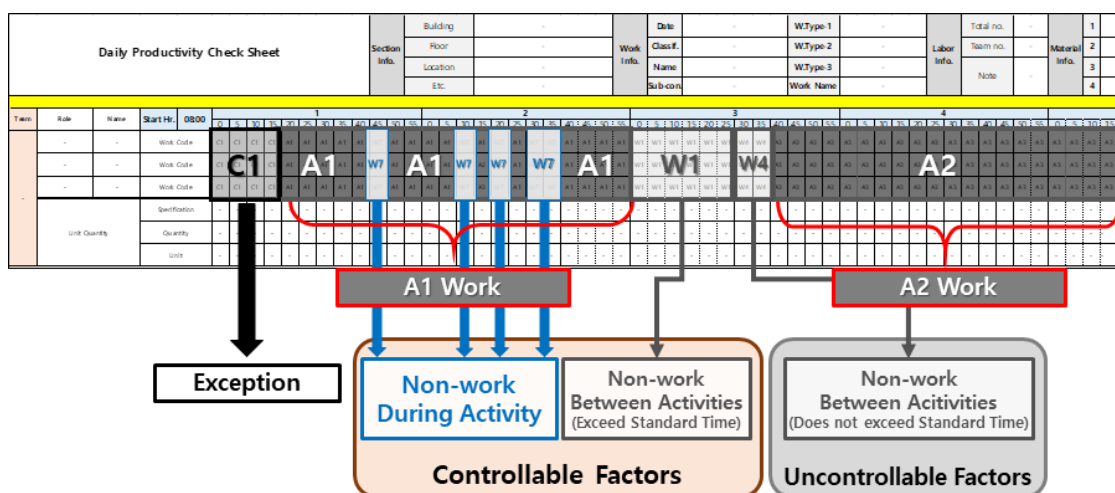


Fig. 7. Classification of Non-work Factors in Adv-FMR Check Sheet

장 높아 생산성 관리가 가장 필요한 공종으로 분석되었다. 이는 우선관리대상(C)으로 분류되는 비작업요인의 분포가 대상 공종 중 가장 높아, 현 상황에서의 생산성 저하 정도가 상대적으로 높게 산정되기 때문이다.

4.2.3 영향도 평가

OP와 AP값 산출 결과 생산성 향상 가능성이 가장 높게 분

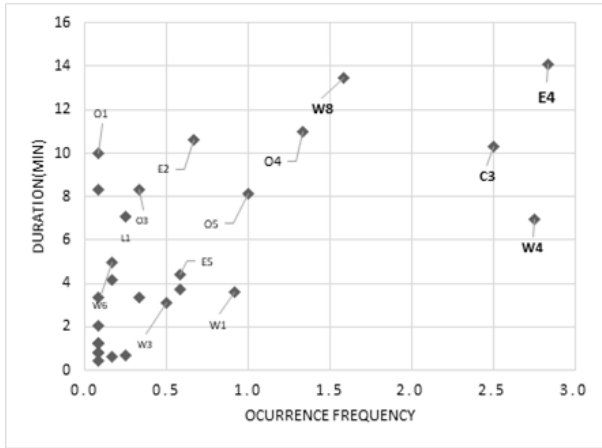


Fig. 8. Pipe Welding Non-work Impact Factors

Table 6. Non-work Factor Impact Assessment Result

Code	Non-work Factor	Occur. freq.	Duration(min)
C2	Paperwork Waiting	0.583	3.75
C3	Cleaning	2.500	10.28
C6	Regular Safety Training	0.083	8.33
E1	Tool/Rigging Inspection	0.333	3.33
E2	Tool Supplement	0.667	10.63
E3	Equipment shortage	0.083	0.83
E4	Equipment Setting	2.833	14.07
E5	Equipment Move	0.583	4.44
E6	Equipment Failure	0.083	2.08
EV5	Extreme Temp.(Heat)	0.083	1.25
L1	Idle	0.250	7.08
M2	Supplement Delay	0.167	4.17
M4	Lifting Delay	0.083	3.33
M5	Material shortage	0.167	0.63
O1	Vertical Movement Wait	0.083	10.00
O3	Travel (Non-work)	0.333	8.33
O4	Rest/Toilet Use	1.333	10.97
O5	Early Departure	1.000	8.13
Q1	Contractor Inspection	0.083	0.83
S1	Safety Inspection	0.083	0.42
S3	Error Correction	0.083	1.25
S6	Install/Transfer/Dismantle Safety Facility	0.250	0.69
W1	Work Planning	0.917	3.61
W2	Change of Work Plan	0.083	1.25
W3	Rework	0.500	3.13
W4	Travel (Work)	2.750	6.98
W6	Work Interference	0.167	5.00
W8	Wait during Work	1.583	13.47

석된 배관용접 공사를 대상으로 우선관리 대상 비작업요인 별 생산성 영향도 평가를 수행하였다. 영향도 평가는 비작업시간의 발생빈도 및 발생시점에 따른 지속시간을 평가하여 도출하며, 발생빈도는 일평균 발생횟수, 지속시간은 1회 발생 시 지속되는 시간의 평균값으로 정의하였다(Table 6, Fig. 8).

영향도 평가 결과 장비세팅(E4)의 발생빈도가 일평균 2.83회, 작업성이동(W4)이 2.75회, 청소 및 정리정돈(C3)이 2.5회 순으로 높게 나타났으며, 지속시간은 장비세팅(E4)이 1회 평균 14.07분, 작업내 대기(W8)가 13.47분, 휴식/생리현상(O4)이 10.97분 순으로 높게 분석되었다. 이를 통해 종합적으로 발생빈도와 지속시간이 가장 높은 장비세팅(E4)이 배관용접 생산성 저하에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 파악할 수 있으며, 생산성 향상 효과를 높이기 위해선 장비세팅(E4)과 함께 종합적 발생빈도와 지속시간이 높은 청소 및 정리정돈(C3), 작업내 대기(W8), 작업성 이동(W4)에 대한 우선적인 집중 관리가 필요한 것으로 분석되었다.

4.3 Discussion

도출한 우선 관리대상 비작업요인의 상세 생산성 관리포인트 파악을 위해 Adv-FMR 시트에 세부작업 코드와 함께 시계열로 배열하였다(Fig. 9).

장비세팅(E4)과 작업내 대기(W8)의 경우 시편제작(A19), 배관접합(A20) 작업에 주로 분포되어 있다. 특히, 시편제작 중에 장비를 재세팅 해야 하는 경우 작업내 대기(W8)가 최대 85분(DAY 6) 지속되며 작업효율을 저해하고 있어, 과도한 시편제작 횟수를 주요 지표로 관리해야 하는 것을 파악할 수 있다. 작업성 이동(W4)은 주로 배관 정렬·고정(A17) 및 배관접합(A20) 작업에 주로 분포되어 있으며, 지속시간은 5분 내외로 길지 않지만, 빈도수가 높아 배관 정렬·고정 또는 접합 작업 중 잦은 이동을 발생시키는 요인을 파악하여 최소화할 필요가 있다. 반면, 청소 및 정리정돈(C3)의 경우 점심시간 및 작업종료 직전 외에는 주로 배관·서포트 절단·면처리(A15), 배관 양중·세팅(A16) 및 배관 정렬·고정(A17) 작업 이후에 조공 1명만 투입되고 있는 것으로 확인되어 DAY 7, DAY 12처럼 과도하게 발생한 사례 위주로 현황을 파악하여 재발을 방지하는 형식의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

이와 같이 본 연구 방법을 따라 주요 우선 관리대상으로 도출한 비작업요인을 세부작업 코드와 연계하여 Adv-FMR 시트에 시각화함으로써, 관리포인트를 직관적으로 유형화·상세화하여 파악하고 개선대책 수립에 활용 가능한 것을 확인하였다.

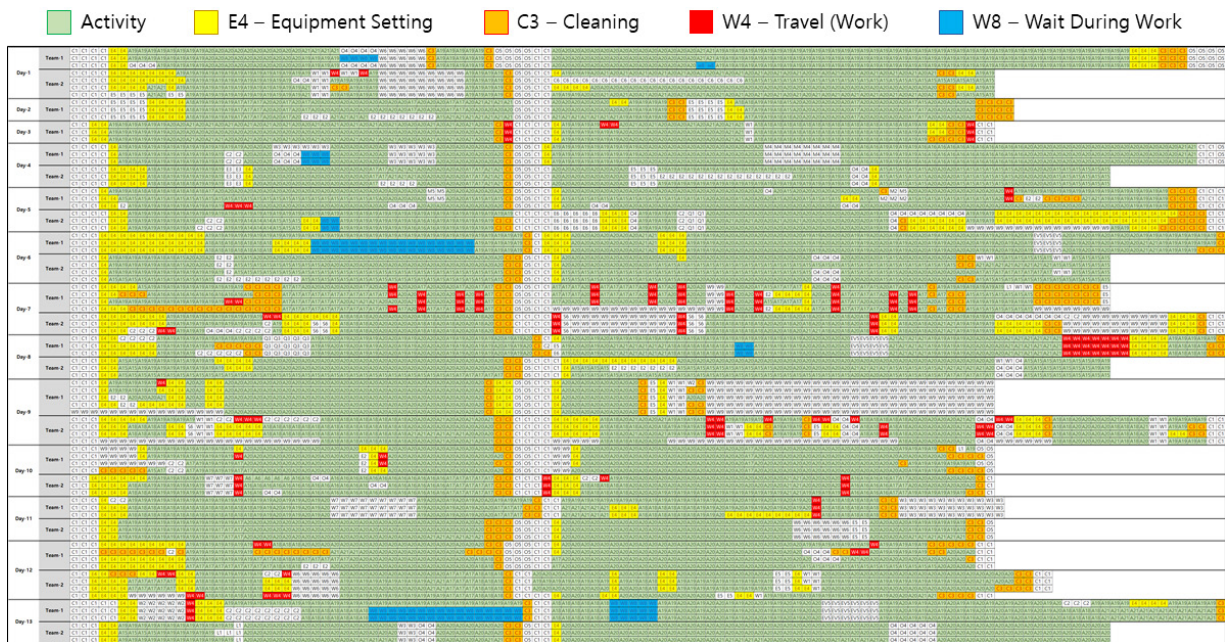


Fig. 9. Pipe Welding Adv-FMR Data

5. 결론

본 연구에서는 건설 프로젝트의 공종별 세부 작업 프로세스를 정의하고, 발생원인에 기반한 비작업요인들을 유형별로 분류하여 복잡한 세부 작업 프로세스를 가진 공종의 생산성을 측정하는 기준을 수립하고, 이를 측정할 수 있는 기법을 제시하였다. 또한, 획득가능 생산성(OP) 개념을 통해 생산성 데이터를 활용하여 프로젝트의 공종별 생산성을 평가하고 우선관리 대상 요인을 도출하는 방법론을 제안하였다.

본 연구의 기여는 다음과 같다.

(1) 건설 프로젝트 내 각 공종의 직접작업효율을 파악하기 위하여 공종별 세부 작업 프로세스 및 비작업요인 항목을 정의하고 이를 정량적으로 측정하는 방법(Adv-FMR 기법)을 제공하였다.

(2) OP 기법 도입을 통한 공종별 생산성 비교평가 방법과 측정 데이터 트렌드를 기반으로 비작업요인을 우선 관리해야 하는 요인, 추후 관리해야 하는 요인 및 분석대상 제외 요인으로 세부적으로 분류하는 로직을 제안하고, 이를 통해 생산성을 평가하고 개선 방향을 수립할 수 있는 방법론을 제시하였다.

(3) 마지막으로 사례연구를 통해 실제 현장에서 측정된 Adv-FMR 데이터로 공종별 OP값과 비작업요인 별 영향도를 정량적으로 산출하였다. 따라서 본 연구결과가 건설관리자 관점에서 작업연속성을 방해하는 C를 주요 생산성 관리 포인트로 가져감으로써 생산성 향상을 위한 의사결정을 지원할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서 활용한 생산성 평가 및 분석 방법은 실제 데이터가 축적될수록 활용성과 신뢰도가 높아질 수 있으나, 프로젝트의 규모가 커질수록 Adv-FMR 기법을 활용한 데이터 수집에 대규모 인력이 필요하여 측정 효율성 저하 및 휴먼에러 발생 가능성이 있다. 그러므로 AI 및 ICT 기반 기술을 활용한 전체 프로젝트의 Adv-FMR 데이터 측정 자동화에 대한 후속연구와 Sampling Data로 신뢰도 높은 분석 결과를 획득할 수 있는 통계적 방법론 수립에 대한 후속 연구가 진행될 필요가 있다. 또한, 본 연구에서 제안한 방법의 실무적용을 통해 실제 생산성 개선 효과를 분석하고 현장 적용성을 개선하는 연구도 병행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2021년도 삼성전자 연구비 지원(과제번호:0583-20210019)에 의한 결과의 일부임

References

Abukhalaf, A.H.I., and Abusal, D. (2021). Measuring Labor Efficiency in Green Construction Projects. *Academia Letters*, 2.

Dozzi, S.P., and AbouRizk, S.M. (1993). "Productivity in construction." Ottawa: Institute for Research in Construction, National Research Council, p. 54.

Goodarizad, P., Mohammadi Golafshani, E., and Arashpour, M. (2021). "Predicting the construction labour

- productivity using artificial neural network and grasshopper optimisation algorithm.” *International Journal of Construction Management*, pp. 1-17.
- Gouett, M.C., Haas, C.T., Goodrum, P.M., and Caldas, C.H. (2011). “Activity analysis for direct-work rate improvement in construction.” *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(12), pp. 1117-1124.
- Jibril, J.D., and Mukarram, M.A. (2020). “An evaluation of the critical factors influencing productivity of masonry work in construction sites in Kano, Nigeria.” *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 12(2), pp. 40-48.
- Khosrowpour, A., Fedorov, I., Holynski, A., Niebles, J.C., and Golparvar-Fard, M. (2014). “Automated worker activity analysis in indoor environments for direct-work rate improvement from long sequences of RGB-D images.” In *Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network*, pp. 729-738.
- Kim, T.W., Yu, J.H., and Lee, H.S. (2003). “Productivity Management Methodology using Productivity Achievement Ratio.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 19(9), pp. 103-111.
- Liou, F.S., and Borcharding, J.D. (1986). “Work sampling can predict unit rate productivity.” *Journal of Construction Engineering and Management*, 112(1), pp. 90-103.
- Rivas, R.A., Borcharding, J.D., González, V., and Alarcón, L.F. (2011). “Analysis of factors influencing productivity using craftsmen questionnaires: case study in a Chilean construction company.” *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(4), pp. 312-320.
- 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.
- Ministry of Science, ICT and Future Planning (MSIP) (2013). *A system for modeling and measuring the labor productivity to improve reliability and efficiency of the Construction Standard Estimating System*, MSIP Research Report, 2013-09.
- Son, J.W., Yoon, J.S., Paek, J.H. (2003). “A Study on Construction Productivity Measurement Method.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 19(10), pp. 101-108.
- Thomas, H.R., and Daily, J. (1983). “Crew performance measurement via activity sampling.” *Journal of Construction Engineering and Management*, 109(3), pp. 309-320.
- Tomczak, M., and Jaśkowski, P. (2020). “New approach to improve general contractor Crew’s work continuity in repetitive construction projects.” *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(5), 04020043.
- Jeon, S.H., and Koo, K.J. (2008). “Comparison of labor inputs from standard quantities per unit and actual quantities in apartment reinforced concrete work.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 9(2), pp. 182-189.

요약 : 일반적인 건설 프로젝트에서는 계획 수립에 표준품셈 등 작업 물량·투입 품의 비율을 생산성의 기준으로 활용한다. 이러한 방식의 생산성 기준은 표준화된 반복작업이 많은 프로젝트에서 실효성이 높으나, 복잡성이 높은 대규모 프로젝트의 표준적인 생산성 관리 기준으로 활용하기에는 한계가 있다. 이는 기존 프로젝트의 실적 데이터로부터 추출한 평균적 작업생산성보다는 당해 프로젝트의 생산성에 복합적으로 작용하는 다양한 작업중단 요인으로 인해 발생하는 비작업시간의 영향성이 크기 때문이다. 본 연구에서는 세부작업 프로세스에 작용하는 비작업요인의 영향성 산출을 통해 생산성을 평가하고 관리 포인트의 우선순위를 도출할 수 있는 생산성 측정 기준을 수립한다. 이를 위해 먼저 세부작업 프로세스와 유형별 비작업요인을 정의한 후, 이를 정량적으로 측정하기 위한 기법을 제안한다. 그리고 획득가능 생산성 개념을 활용하여 개선 가능한 생산성 향상의 정도와 각 비작업요인별 생산성 저하 영향도를 평가하는 방법론을 수립한다. 마지막으로 실제 현장에서 수집한 생산성 데이터를 토대로 사례분석을 수행하여 본 연구결과가 건설관리자에게 주요 생산성 관리 포인트에 대한 의사결정을 지원할 수 있음을 검증한다.

키워드 : 건설 생산성, 생산성 측정, 생산성 평가, 획득가능 생산성
