

Research Paper

Fuzzy DEMATEL 방법을 활용한 토공사 생산성 영향요인 구조분석

Structural Analysis of Earthwork Productivity Influence Factors Using Fuzzy DEMATEL Method

이찬우¹ · 김현민² · 김형준² · 조훈희^{3*}

Lee, Chanwoo¹ · Kim, Hyeonmin² · Kim, Hyungjun² · Cho, Hunhee^{3*}

¹Ph.D candidate, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seongbuk-Gu, Seoul, 02841, Korea

²Master's Course, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seongbuk-Gu, Seoul, 02841, Korea

³Professor, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seongbuk-Gu, Seoul, 02841, Korea

*Corresponding author

Cho, Hunhee

Tel : 82-2-3290-3328

E-mail : hhcho@korea.ac.kr

Received : September 25, 2023

Revised : November 1, 2023

Accepted : November 8, 2023

ABSTRACT

Enhancing productivity in earthwork projects is crucial, significantly affecting both time and cost efficiencies. However, existing research in this domain predominantly relies on qualitative data and methodologies, which may not suffice given its critical significance. This study employed the fuzzy DEMATEL method to conduct a structural analysis of variables affecting productivity in construction projects. The findings reveal that plan changes possess the most substantial overall influence on earthwork productivity, with a comprehensive strength rating of 4.58. Additionally, it was observed that precipitation data exerted the most pronounced positive impact, with a rating of 0.48. These insights are anticipated to aid in identifying and prioritizing areas for productivity enhancement in construction projects.

Keywords : earthwork, productivity, influence factor, DEMATEL, structural analysis

1. 서론

1.1 연구 목적

토공사는 건설공사 중에서 건수로는 4.2%에 불과하지만, 금액으로는 13.6%를 차지할 만큼 건설공사에서 높은 중요도를 가지는 핵심 공종 중 하나이다[1]. 토공사는 건설공사의 공종 중 가장 기본적이면서도 공기단축과 원가 절감 효과가 큰 특징을 가지고 있어[2], 건설공사의 성공적인 수행을 위해서는 반드시 토공사의 효율적인 생산성 관리가 필요하다[3].

생산성은 건설업에서 생산 활동의 효율을 측정하는 중요한 지표로[4], 프로젝트 성과측정을 위한 지표임과 동시에 프로젝트 엔지니어링 과정의 의사결정 과정에서 중요한 역할을 한다[5,6]. 그러나 건설산업에서 생산성의 중요성과 유용성에 비해 국내에서는 생산성에 대한 분석이 체계화되지 않아 공사 계획 및 관리에 효과적으로 활용되지 못하고 있다[5]. 생산성을 체계적으로 관리하기 위해서는 생산성에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 것이 필수적이기 때문에, 1970년대부터 현재까지 다양한 연구가 수행되었다[4]. 하지만 대부분의 연구는 생산성 영향요인을 분석하는 과정에서 정량적인 방법보다는 정성적인 방법에 의존하는 경향이 있다.

이에 본 연구에서는 토공사 생산성 향상을 위한 영향요인을 대상으로 Fuzzy DEMATEL 방법을 활용하여 토공사 생산성에 영향요인 간의 구조분석을 통해 토공사 생산성 향상을 위한 핵심 영향요인을 제안하고자 한다.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1.2 연구 방법 및 과정

본 연구에서 토공사 생산성 영향요인 구조분석을 위해서 다음과 같은 방법을 사용한다. 첫째, 기존 문헌고찰을 통해 건설공사의 토공사 생산성에 영향을 미치는 다양한 요인을 분석 및 도출한다. 둘째, 토공사 생산성 영향요인을 바탕으로 Fuzzy DEMATEL 방법을 적용하여 영향요인의 구조분석을 수행한다. 셋째, 영향요인에 대한 정량적 분석을 통해 토공사 생산성 향상을 위해 고려해야 할 핵심 영향요인을 도출한다.

2. 이론적 고찰

본 연구에서는 토공사 생산성 영향요인 구조분석을 수행하기에 앞서, 건설산업 생산성 영향요인과 관련된 선행연구 분석을 수행하였다.

Amede[6]의 연구에서는 case study 결과를 기반으로 고속도로 건설공사 중 땅파기 작업 생산성에 영향을 미치는 요인을 도출하였으며, 특히 기온, 바람, 습도와 같은 환경 요인에 대한 분석을 수행하였다. Papa et al.[7]은 산간 지역에서 수행된 도로공사의 토공사 작업량에 영향을 미치는 요인들을 분석하고, 이러한 요인들 간의 상관관계를 분석하여 생산성 향상 방법을 제안하였다. Zakeri et al.[8]의 연구에서는 건설공사에 영향을 미치는 변수들을 도출하고, 이러한 변수들의 중요성과 실행 가능성을 평가하여 변수들의 중요도 순위를 설정하였다. Mengistu et al.[9]의 연구에서는 도로 건설 프로젝트에서 중요한 비중을 차지하는 건설 노동 생산성 영향요인을 도출하고, 상대 중요도 지수를 사용하여 영향요인을 분석하고 우선순위를 설정하였다. 또한, Lee and Pyo[10]의 연구에서는 건설 프로젝트의 건설노동생산성을 저하시키는 영향요인을 분석하기 위해 AHP 기법을 적용하였으며, Jeong et al.[11]은 IPA 기법을 활용하여 현장 근로자 생산성 저해요인에 대한 대처와 근로자의 체감 상황을 분석하였다.

이처럼 기존의 선행연구에서는 AHP, IPA 등의 방법론을 통해 각각의 영향요인을 평가하는 방식으로 수행된 경우가 대부분이기 때문에, 독립적이지 않은 영향요인의 유기적인 관계를 충분히 고려하지 못한다. 생산성 향상을 위한 연구를 위해서는 영향요인 간의 관계를 고려한 시스템의 구조적인 분석이 필요하지만, 기존 연구에서는 영향요인 간의 관계에 대한 분석이 매우 미흡한 실정이다. 또한, 건설공사의 생산성 향상을 위해 노동생산성에 대한 집중적인 연구가 수행되어 왔으나, 토공사의 특성상 다른 공종에 비해 상대적으로 노동생산성의 중요도가 낮기 때문에 기존의 연구들은 토공사에서의 활용성이 다소 부족한 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구에서는 토공사에 영향을 미치는 주요 요인을 분석하여 영향요인 간의 관계를 분석할 수 있는 fuzzy DEMATEL 방법을 적용하여 토공사 생산성 향상을 위해 우선적으로 고려해야 할 핵심 영향요인을 포함하는 구조분석 결과를 제시하고자 한다.

3. 토공사 생산성 영향요인 분석

3.1 퍼지 이론

현실 세계에서는 목표, 제약 및 가능한 행동을 명확하게 알 수 없기 때문에 대부분의 의사결정은 불확실성을 포함하고 있다[12]. 또한, 의사결정의 결과는 주로 모호하며 부정확한 사람의 주관적인 판단에 크게 영향을 받는다. Zadeh[13]는 이러한 불확실성에 대한 문제를 해결하기 위해, 의사결정의 모호함을 수학적으로 표현하기 위한 퍼지 이론을 제안하였다. 전통적인 논리 구조에서는 명확한 참과 거짓을 0 또는 1로 분명하게 구분하지만, 퍼지 이론에서는 0과 1 사이의 수치를 사용하여 부분 참의 개념을 표현한다. 따라서, 퍼지 논리는 모호하거나 부정확한 판단을 수학적인 방법으로 표현하고 처리할 수 있다[14].

퍼지 이론에서 각 요인의 값은 퍼지 집합 \tilde{A} 의 원소인 멤버십 함수(Membership function)에 의해 결정된다. 멤버십 함수 $\mu_A(x)$ 는 퍼지 이론에서 해당 논리가 참인 정도를 표현하기 위해 사용되는 함수로, $x=1$ 인 경우 x 가 반드시 퍼지 집합 \tilde{A} 에 포함되며, $x=0$ 인 경우 x 가 퍼지 집합 \tilde{A} 에 포함되지 않음을 의미한다. 이때, 삼각 퍼지 수 \tilde{N} 을 삼중항 (l, m, r) 로 정의할 경우, 멤버십 함수 $\mu_A(x)$ 는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\mu_N(x) = \begin{cases} 0 & x < l \\ (x-l)/(m-l) & l \leq x \leq m \\ (r-x)/(r-m) & m \leq x \leq r \\ 0 & x > r \end{cases} \quad (l \leq m \leq r) \quad (1)$$

모호한 개념을 포함하는 퍼지 상태의 집합에 대한 수치적인 분석을 위해서는 반드시 비퍼지화(Defuzzification) 작업이 수행되어야 한다. 비퍼지화란 다양한 퍼지 수를 포함하고 있는 퍼지 집합을 대표할 수 있는 명확한 값을 선택하여 변환하는 과정이다[15]. 가장 일반적으로 사용되는 비퍼지화 방법은 Figure 1과 같은 COG(Center of gravity) 방법이며[16], 본 연구에서도 COG 방법을 활용하여 비퍼지화 작업이 수행되었다.

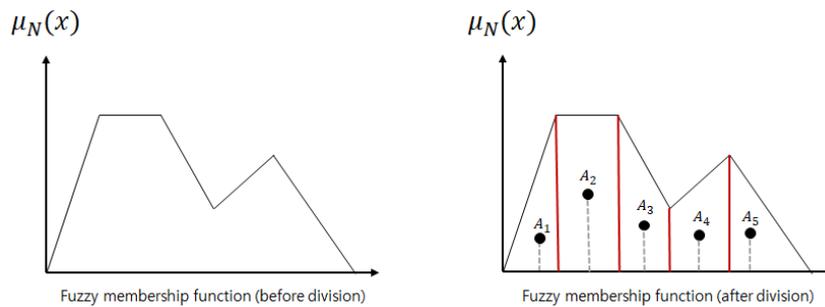


Figure 1. Center of gravity(COG) defuzzification method

COG 방법은 퍼지 집합의 무게 중심을 활용하여 명확한 값을 도출하는 방법으로, 각 하위 영역의 면적과 무게중심을 계산하여 퍼지 집합에 대한 비퍼지화 값을 결정한다. COG 방법을 활용한 퍼지 집합의 비퍼지화 값은 식 (2)를 통해 계산할 수 있다.

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * x_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

3.2 DEMATEL 방법

DEMATEL 방법은 복잡한 현실 시스템 내의 영향요인 간의 관계를 분석하기 위한 구조 모델을 도출하는 기법이다. DEMATEL 방법은 각 영향요인이 독립적이라고 가정하는 AHP(Analytic Hierarchy Process)와 같은 전통적인 기법과는 달리, 인과관계를 통해 시스템 내의 영향요인들 간의 상호 의존성을 분석할 수 있어, 복잡한 현실 시스템의 분석에 널리 활용되고 있다[17]. DEMATEL 방법은 다음과 같은 절차로 진행된다.

- 1) 기존 문헌 검토, 브레인스토밍 및 전문가의 의견을 종합하여 시스템 영향요인을 도출한다.

2) 도출된 영향요인을 기반으로 전문가 설문조사를 실시하여 영향요인 간의 상호 의존성을 평가하고, 식 (3)과 같은 형태의 직접 관계 행렬(X)을 구성한다.

$$X = \begin{pmatrix} 0 & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & 0 & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

3) 식 (4)와 같이 직접 관계 행렬의 각 행과 열의 합 중 최댓값을 도출한다. 또한 최댓값으로 직접 관계 행렬을 나누어 식 (5)와 같이 규준화 직접 관계 행렬(N)을 도출한다.

$$s = \max_{(1 \leq i \leq n)} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$N = \frac{X}{s} \quad (5)$$

4) 종합 관계 행렬(T)을 식 (6)을 통해 도출할 수 있으며, 이때 n 는 단위 행렬을 의미한다.

$$T = \lim_{k \rightarrow \infty} (N + N^2 + \cdots + N^k) = N(I - N)^{-1} \quad (6)$$

5) 종합 관계 행렬의 각 열과 행의 합을 통해 구조분석을 위해 필요한 두개의 지수를 계산한다. 식 (7)을 통해 계산한 각 열의 합은 영향도(D), 식 (8)을 통해 계산한 각 행의 합은 피영향도(R)를 의미한다.

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

$$D_i = \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

6) 영향도와 피영향도를 활용하여 종합 강도($D+R$)와 원인도($D-R$)를 계산한다. 종합 강도는 시스템 내에서 해당 영향요인의 중요성을 나타내며, 원인도는 해당 요인이 다른 영향요인과 어떤 관계에 있는지를 의미한다. 원인도가 양수인 경우 해당 요인이 다른 영향요인에 영향을 미치는 경향이 있음을 의미하며, 음수인 경우 해당 요인이 다른 영향요인에게 주로 영향을 받는 경향이 있음을 의미한다.

4. 결과 및 분석

본 연구에서는 토공사의 생산성 영향요인 간의 구조분석을 수행하기 위해 DEMATEL방법에 퍼지 이론을 적용한 Fuzzy DEMATEL 방법을 활용하였으며 그 과정은 Figure 2와 같다.

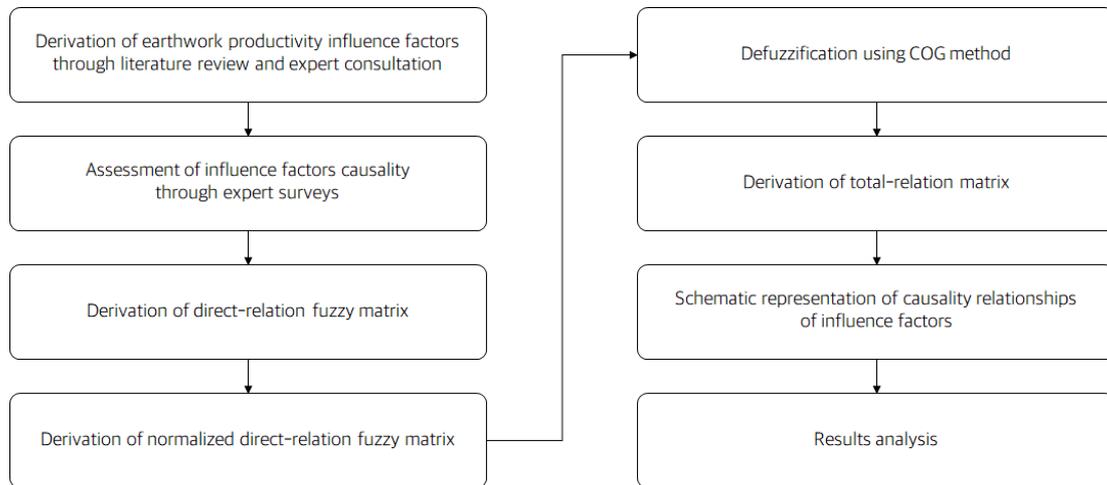


Figure 2. Outline of research methodology

1) 선행연구, 관련 문헌 조사 및 전문가 자문을 통해 토공사 생산성에 영향을 미치는 요인을 선별하고, 중요도와 빈도를 분석하여 15개의 영향요인을 Table 1과 같이 도출하였다.

Table 1. Factors influencing earthwork productivity

Code	Influence factor
F01	Soil condition
F02	Accuracy of geotechnical investigation
F03	Productivity of equipment
F04	Worker's skill level
F05	Worker's work efficiency
F06	Accuracy of earthwork planning
F07	Precipitation data
F08	Wind speed data
F09	Safety training
F10	Safety accident
F11	Legal issues and complaints
F12	Site manager's experience
F13	Change in construction method
F14	Occurrence of plan change
F15	Number of labor and equipment

2) 건설산업 종사자 32명을 대상으로 토공사 생산성 영향요인 간에 인과관계에 대한 리커트 5점 척도 기준의 설문조사를 실시하여 영향요인 간의 영향 정도를 수치화하였다. SPSS를 활용하여 설문조사 결과에 대한 신뢰성 분석을 수행하였으며, 크론바흐 알파(Cronbach's α) 값은 0.87로 충분히 일관성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

3) 본 연구에서는 Table 2의 응답자 평가에 대한 퍼지 척도[18]를 기준으로 구성하였으며, 전체 설문조사 결과의 산술 평균으로 계산되는 직접 관계 퍼지행렬을 Table 3과 같이 도출하였다. 설문조사의 결과에 따라 각 영향요인 간의 관계성이 Very poor(VP), Poor(P), Fair(F), Good(G), Very good(VG)의 5단계로 분류되었다.

Table 2. Triangular fuzzy numbers assigned to linguistic terms

Linguistic term	Triangular fuzzy numbers
Very poor(VP)	(0, 0, 0.25)
Poor(P)	(0, 0.25, 0.5)
Fair(F)	(0.25, 0.5, 0.75)
Good(G)	(0.5, 0.75, 1.0)
Very good(VG)	(0.75, 1.0, 1.0)

Table 3. Matrix of direct relations in fuzzy terms

Code	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10	F11	F12	F13	F14	F15
F01	VP	G	F	F	G	G	P	P	P	F	P	F	G	G	G
F02	P	VP	F	G	G	G	P	P	P	F	P	P	G	G	G
F03	P	G	VP	F	G	P	P	P	P	G	F	F	F	F	G
F04	P	G	F	VP	VG	G	VP	VP	F	G	P	F	F	G	G
F05	VP	G	F	G	VP	F	VP	VP	P	F	P	P	F	G	G
F06	P	G	P	F	G	VP	P	P	P	G	G	P	G	VG	G
F07	F	P	P	P	G	G	VP	F	P	G	F	P	G	G	G
F08	P	P	P	P	F	F	F	VP	P	F	P	P	F	F	F
F09	VP	P	VP	F	F	P	VP	VP	VP	VG	F	P	P	F	P
F10	P	P	P	P	F	F	P	P	G	VP	G	G	F	VG	G
F11	P	P	P	P	F	F	P	VP	F	F	VP	F	G	G	G
F12	P	G	P	G	G	F	VP	P	F	VG	G	VP	F	G	G
F13	P	P	F	F	G	G	P	P	P	G	G	G	VP	VG	VG
F14	P	F	F	G	G	G	P	P	P	G	G	F	VG	VP	G
F15	P	F	F	F	G	F	VP	P	P	G	F	F	G	G	VP

4) 퍼지 직접 관계 행렬을 기반으로 식 (4)과 식 (5)를 활용하여 규준화 직접 관계 퍼지행렬을 Table 4와 같이 도출하였다. 규준화 과정은 임의의 행과 열의 값의 합을 1보다 작게 만들기 위한 과정으로, 모든 행과 열의 합 중 가장 큰 값으로 모든 행과 열을 나누는 과정이다. 정확한 구조분석을 수행하기 위해서는 디퍼지화가 수행된 단일 값을 필요로 하기 때문에 규준화 직접 관계 퍼지행렬의 디퍼지화를 수행하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

Table 4. Normalized matrix of direct fuzzy relations

Code	F01	F02	F03	F04	...	F14	F15
F01	(0, 0, 0.02)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.02, 0.03, 0.05)	(0.02, 0.03, 0.05)		(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)
F02	(0, 0.02, 0.03)	(0, 0, 0.02)	(0.02, 0.03, 0.05)	(0.03, 0.05, 0.07)		(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)
F03	(0, 0.02, 0.03)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0, 0, 0.02)	(0.02, 0.03, 0.05)		(0.02, 0.03, 0.05)	(0.03, 0.05, 0.07)
F04	(0, 0.02, 0.03)	(0.03, 0.05, 0.07)	(0.02, 0.03, 0.05)	(0, 0, 0.02)		(0.03, 0.05, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)
...							
F14	(0, 0.02, 0.03)	(0.02, 0.03, 0.05)	(0.02, 0.03, 0.05)	(0.03, 0.05, 0.07)		(0.05, 0.07, 0.07)	(0.03, 0.05, 0.07)
F15	(0, 0.02, 0.03)	(0.02, 0.03, 0.05)	(0.02, 0.03, 0.05)	(0.02, 0.03, 0.05)		(0.03, 0.05, 0.07)	(0, 0, 0.02)

Table 5. Defuzzification outcomes of the normalized fuzzy relation matrix

	F01	F02	F03	F04	...	F14	F15
D	0.01	0.05	0.03	0.03		0.05	0.05
R	0.02	0.01	0.03	0.05		0.05	0.05
D+R	0.02	0.05	0.01	0.03		0.03	0.05
D-R	0.02	0.05	0.03	0.01		0.05	0.05
...							
F14	0.02	0.03	0.03	0.05		0.06	0.05
F15	0.02	0.03	0.03	0.03		0.05	0.01

5) 규준화 직접 관계 퍼지행렬을 식 (6)에 적용하여 Table 6과 같이 종합 관계 행렬을 구성하였다. 종합 관계 행렬은 DEMATEL 방법의 최종 결과물 형태이며, 종합 관계 행렬의 셀 값을 바탕으로 구조적 분석을 수행하였다.

Table 6. Comprehensive relation matrix

Code	F01	F02	F03	F04	...	F14	F15
F01	1.03	0.08	0.05	0.06		0.10	0.09
F02	0.04	1.04	0.05	0.08		0.10	0.09
F03	0.04	0.08	1.03	0.06		0.07	0.09
F04	0.04	0.08	0.05	1.04		0.10	0.09
...							
F14	0.04	0.07	0.06	0.09		1.12	0.10
F15	0.04	0.06	0.05	0.06		0.10	1.05

6) 종합 관계 행렬에 식 (7)과 식 (8)을 적용하여 토공사 생산성 영향요인의 영향도와 피영향도를 계산하였으며, 계산 결과를 활용하여 구조분석을 위한 종합강도와 원인도를 Table 7과 같이 도출하였다.

Table 7. Outcomes from the fuzzy DEMATEL analysis

	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10	F11	F12	F13	F14	F15
D	1.97	1.95	1.89	1.96	1.84	2.00	1.96	1.69	1.64	1.93	1.83	2.01	2.06	2.15	1.9
R	1.56	1.94	1.67	1.91	2.24	2.00	1.48	1.52	1.67	2.22	1.93	1.82	2.10	2.43	2.29
D+R	3.53	3.89	3.56	3.87	4.08	4.00	3.44	3.21	3.31	4.15	3.76	3.83	4.16	4.58	4.19
D-R	0.41	0.01	0.22	0.05	-0.40	0.00	0.48	0.17	-0.03	-0.29	-0.10	0.19	-0.04	-0.28	-0.39

7) 토공사 생산성 영향요인에 대한 구조분석을 수행한 결과를 Figure 3과 같이 도식화하였다. Figure 3의 가로축은 영향요인의 중요도를 의미하는 종합강도($D+R$), 세로축은 영향요인이 다른 영향요인에게 영향을 미치는 정도인 원인도($D-R$)에 해당한다. 종합강도는 영향요인 시스템 내에서 해당 영향요인이 다른 영향요인들과 얼마나 많은 영향을 주고받는지를 나타내는 요인으로, 시스템 내에서 영향요인이 차지하는 비중의 개념이다. Figure 3에서 오른쪽에 위치할수록 높은 종합강도를 가지는 영향요인임을 의미한다. 또한, 원인도는 영향요인 시스템 내에서 해당 영향요인이 다른 영향요인에게 영향을 주는 정도를 의미하며, 원인도가 양수(그래프에서 y축 값이 양수)인 경우에는 영향을 미치는 경향성을 가지는 요인임을 의미하며 음수(그래프에서 y축 값이 음수)인 경우에는 영향을 받는 경향성을 가지는 요인임을 의미한다.

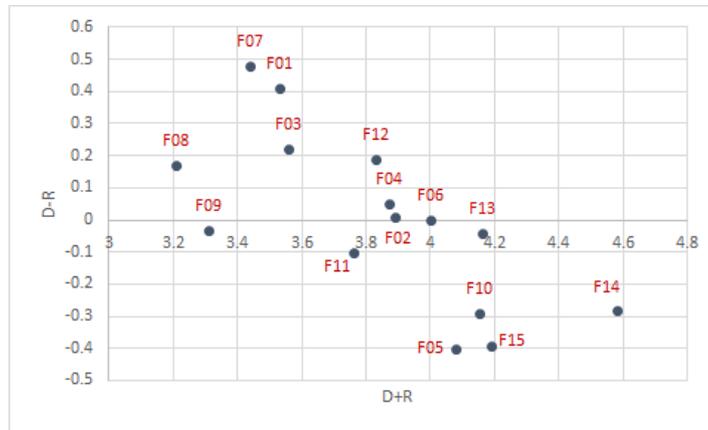


Figure 3. Schematic representation of factors influencing earthwork

8) Fuzzy DEMATEL 방법을 활용하여 토공사 생산성 영향요인의 구조분석을 수행한 결과, 종합강도는 계획변경 발생(4.58), 투입 인력 및 장비 수(4.19), 공법 변경(4.16), 안전사고 발생(4.15), 작업자의 작업효율(4.08), 토공사 계획 정확도(4.00), 지반조사 정확도(3.89), 작업자 숙련도(3.87), 현장 관리자의 경력(3.83), 법적 문제 및 민원(3.76), 장비 생산성(3.56), 토양 조건(3.53), 강수량 데이터(3.44), 안전교육(3.31), 풍속 데이터(3.21) 순으로 나타났다. 또한, 원인도는 기후 상태(0.48), 토양 상태(0.41), 장비 생산성(0.22), 현장 관리자의 경력(0.19), 풍속 데이터(0.17), 작업자 숙련도(0.05), 지반조사 정확도(0.01), 토공사 계획 정확도(0.00)가 양의 원인도를 가지며, 작업자의 작업 효율(-0.40), 투입 인력 및 장비수(-0.39), 안전사고 발생(-0.29), 계획변경 발생(-0.28), 법적 문제 및 민원(-0.10), 공법 변경(-0.04), 안전교육(-0.03)이 음의 원인도를 가지는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에는 기존문헌 고찰 및 전문가 자문을 통해 토공사 생산성에 영향을 미치는 요인들을 설정하고, 이를 기반으로 fuzzy DEMATEL 방법을 활용하여 영향요인 간의 구조분석을 수행하였다.

토공사의 생산성 향상을 위해서는 시스템 내에서의 영향요인의 중요도를 의미하는 종합강도에서 높은 수치를 가지는 계획변경 발생, 투입 인력 및 장비 수, 공법 변경 및 안전사고 발생에 대한 집중적인 관리가 필요할 것으로 판단된다. 계획변경 발생 종합강도는 다른 영향요인에 비해 특히 높은 값을 가지는 만큼, 토공사 계획 단계에서부터 체계적이고 효율적인 계획 수립을 통해 계획변경을 최소화하는 것이 매우 중요함을 확인할 수 있었다. 영향요인 중 다른 요인에 영향을 미치는 경향성이 강한 요인으로는 기후 상태와 토양상태가 도출되었으며, 이를 통해 토공사가 특히 환경적인 요인에 대한 영향을 많이 받음을 확인할 수 있었다. 해당 요인들은 토공사 생산성에 영향을 미치는 다른 요인들에 영향을 미치는 구조적 관계를 가지기 때문에, 토공사 생산성 향상을 위해 가장 중점적으로 관리해야하는 요인에 해당한다. 해당 요인들에 대한 우선적인 관리를 통해 다른 요인들에 직·간접적인 영향을 미쳐 효율적인 생산성 향상을 이끌어낼 수 있다. 토공사 생산성 향상을 위해서는 높은 종합강도를 가지는 계획변경이나 높은 양의 원인도를 가지는 환경적 요인들에 대해 우선적으로 개선을 수행한다면 효율적으로 토공사 생산성의 향상을 이끌어낼 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 토공사 생산성의 향상을 위해 집중적으로 관리해야 할 영향요인을 도출하여 효율적인 향상을 위해 우선적으로 고려해야 할 항목들을 제안하였으며, 건설산업의 생산성 향상을 위한 다양한 정책 및 제도 수립 시 우선순위 설정을 지원할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 본 연구에서는 토공사 전체의 넓은 범위에 대해 영향요인을 구성하였기 때문에,

본 연구를 통해 도출된 결과를 실무에 직접적으로 적용하기에는 어려움이 있다. 이에 향후 연구에서는 본 연구를 통해 도출된 주요 영향요인에 대해 구체적인 구조분석을 수행하여 실무에 적용 가능한 토공사 생산성 영향요인의 도출 및 적용방안에 대한 분석을 수행하고자 한다.

요약

토공사 프로젝트에서 생산성 향상은 공기와 비용에 직접적인 영향을 미치는 중요한 키워드이다. 그러나 토공사의 생산성에 대한 기존 연구는 정성적인 데이터와 방법에 의존하는 경우가 많아 중요성에 비해 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 fuzzy DEMATEL 방법을 적용하여 토공사의 생산성에 영향을 미치는 요인에 대한 구조분석을 수행하였다. 본 연구의 결과는 토공사 생산성 향상을 위한 우선 개선사항 도출에 기여할 것으로 판단된다.

키워드 : 토공사, 생산성, 영향요인, 데마텔 방법, 구조분석

Funding

This research was conducted with the support of the “National R&D Project for Smart Construction Technology (No.23SMIP-A158708-04)” funded by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement under the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and managed by the Korea Expressway Corporation.

ORCID

Chanwoo Lee,  <https://orcid.org/0000-0002-4966-169X>

Hyeonmin Kim,  <https://orcid.org/0009-0005-7368-329X>

Hyungjun Kim,  <https://orcid.org/0009-0000-8731-6195>

Hunhee Cho,  <https://orcid.org/0000-0002-2010-6641>

References

1. Korea Specialty Contractors Association [Internet]. Seoul (Korea): 2021 Contract performance of industrial classification. 2022 [updated 2022 Nov 14; cited 2023 Sep 1]. Available from: https://www.kosca.or.kr/I0/I040601.asp?GBN=C&m_y=2021&area=00
2. Won SK, Han CH, Kim SK. A combination model of earthwork equipment using system dynamics. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2007 Aug 31;8(4):194-202.
3. Kim JH, Seo JW. BIM based intelligent excavation system. *Journal of KIBIM*. 2011 Mar;1(1):1-5. <https://doi.org/10.13161/kibim.2011.1.1.001>
4. Lim JI, Kim YS, Kim YS, Kim SB. A process of selecting productivity influencing factors for forecasting construction productivity. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2008 Aug;9(4):92-100.
5. Yu JH, Lee HS. Productivity management system for construction projects. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2002 Jul;18(7):103-13.
6. Amede E. A relationship between productivity and significant controlling factors of highway construction earthwork. *Cogent Engineering*. 2022 Aug;9(1):2114203. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2114203>

7. Papa I, Picchio R, Lovrinčević M, Janes D, Pentek T, Validžić D, Venanzi R, Duka A. Factors affecting earthwork volume in forest road construction on steep terrain. *Land*. 2023 Feb;12(2):400. <https://doi.org/10.3390/land12020400>
8. Zakeri M, Olomolaiye P, Holt GD, Harris FC. Factors affecting the motivation of Iranian construction operatives. *Building and Environment*. 1997 Mar;32(2):161-6. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(96\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(96)00044-3)
9. Mengistu M, Quezon ET, Kebede G. Assessment of factors affecting labor productivity on road construction projects in Oromia region, bale zone. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2016 Nov;7(11):899-910.
10. Lee SB, Pyo YM. A study on the analysis of factors decreasing construction labor-productivity using AHP method. *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*. 2007 Feb;9(1):179-87.
11. Jeong JH, Lee SW, Ahn BJ, Jee NY, Kim JJ. A comparative analysis of hindrance factors to labor productivity in each construction site using the IPA. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2014 Nov;15(6):71-82. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2014.15.6.071>
12. Bellman RE, Zadeh LA. Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*. 1970 Dec;17(4):B141. <https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141>
13. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965 Jun;8(3):338-53. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
14. Al-Najjar B, Alsyouf I. Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. *International Journal of Production Economics*. 2003 Apr;84(1):85-100. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00380-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00380-8)
15. Opricovic S, Tzeng GH. Defuzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*. 2003 Oct;11(5):635-52. <https://doi.org/10.1142/S0218488503002387>
16. Yager RR, Filev DP. Generation of fuzzy rules by mountain clustering. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 1994 Jan;2(3):209-19. <https://doi.org/10.3233/IFS-1994-2301>
17. Shieh JI, Wu HH, Huang KK. A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality. *Knowledge-Based Systems*. 2010 Apr;23(3):277-83. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2010.01.013>
18. Li RJ. Fuzzy method in group decision making. *Computers & Mathematics with Applications*. 1999 Jul;38(1):91-101. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(99\)00172-8](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(99)00172-8)