

DEMATEL 기법을 적용한 건설재해 영향요인 구조 분석

김동욱¹ · 정윤호² · 홍민기³ · 장현승^{4*}

¹서울과학기술대학교 일반대학원 건축과 석사 · ²서울과학기술대학교 일반대학원 건축과 석사 ·
³서울과학기술대학교 일반대학원 건축과 석사 · ⁴서울과학기술대학교 건축학부 교수

An Analysis of the Causal Relations of Factors Influencing Construction Accidents Using DEMATEL Method

Kim, Dongwook¹, Jung, Yunho², Hong, Minki³, Jang, Hyounseung^{4*}

¹Master, Department of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

²Master, Department of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

³Master, Department of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

⁴Professor, Department of Architectural Engineering, Seoul National University of Science and Technology

Abstract : As the construction industry accounts for 28.5% of industrial accidents in Korea and 29.6% of industrial accident deaths in 2017, it is necessary to search for a priority disaster reduction scheme for the construction industry in order to reduce the industrial accident rate. Therefore, this research suggested improvement direction for construction accidents reduction based on factors affecting construction accidents occurring in the construction site by DEMATEL analysis. As a result of the analysis, the 4M factors with the highest Prominence and Relation is 'Management', and the detailed analysis of the 4M factors were Personal characteristics of workers, Defects such as machinery and equipment, Inadequate inspection of machinery and equipment, Insufficient safety management plan, Inappropriate work orders from supervisors and field managers. The analysis results of this research can be used as a basic data for establishing direction of reduction and improvement of construction accidents.

Keywords : Factors Influencing Construction Accidents, 4M (Man; Machine; Management; Media), DEMATEL Method

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라 건설산업은 1960년대부터 성장위주의 경제정책을 통해 엄청난 발전을 이룩하였지만(Kim et al., 2010) 이러한 건설산업 발전의 이면에는 산업재해의 위험이 상존하고 있다(Kim et al., 2017). 한국산업안전보건공단(KOSHA) 자료에 따르면, 2017년 기준 국내 산업재해자 중 28.5%, 중대재해 기준으로 평가되는 산업재해 사망자의 29.6%를 건설업이 차지하고 있는 것으로 조사되어 산업재해율 저감을 위해서는 건설업을 대상으로 한 우선적 재해 저감 방안 모색이 필요하다.

이에 국가와 민간 차원에서 건설재해 저감을 위해 다양한 노력을 하고 있으나, 그에 비해 유효한 성과를 거두지 못하고 있는 실정이다(Ahn, 2018). 이는 건설재해가 건설산업의 특성에 기인한 다양한 요인들에 의해 복합적으로 영향을 받기 때문에(Kim, 2018) 주요 영향요인을 중심으로 집중적인 재해 예방활동이 필요하다. 이를 위해 국내·외에서 건설재해 개선방안 관련 연구가 다수 수행되었으나 영향요인을 단편적으로 분석하는데 그치고 있을 뿐, 각 영향요인들의 관계를 분석하여 우선적 개선방안을 도출하여 제시한 연구는 많지 않은 것으로 조사되었다. 따라서 건설재해 예방 및 저감을 위해서는 각 영향요인 사이의 인과관계를 분석하여 우선적 개선방안을 도출할 필요가 있을 것으로 판단되어 본 연구는 건설재해 영향요인을 도출하고 요인 간의 인과관계를 정량적으로 분석하는데 용이한 DEMATEL기법을 통해 해당 영향요인의 인과관계 구조를 파악하여 건설재해 예방 및 저감을 위한 개선방향을 제시하고자 한다.

* **Corresponding author:** Jang, Hyounseung, Department of Architectural Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, South Korea

E-mail: jang@seoultech.ac.kr

Received October 19, 2019; revised -

accepted November 5, 2019

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 건설재해에 영향을 주는 요인을 대상으로 요인 간의 인과관계 구조 분석을 수행하고자 한다.

본 연구의 흐름은 다음 <Fig. 1>과 같다. 첫째, 관련 문헌 조사와 전문가 면담을 통하여 건설재해 영향요인 도출 및 유형별로 분류하고자 한다. 둘째, 도출된 영향요인을 대상으로 관련 전문가에게 설문조사를 실시하여 구조 분석 기법인 DEMATEL 기법을 적용하여 인과관계를 도해적으로 제시하고자 한다. 마지막으로 도출된 인과관계를 통해 건설재해 영향요인 간의 연관성 및 우선적 개선요인을 분석하고 건설재해 예방 및 저감을 위한 개선방향을 통해 시사점을 제시하고자 한다.

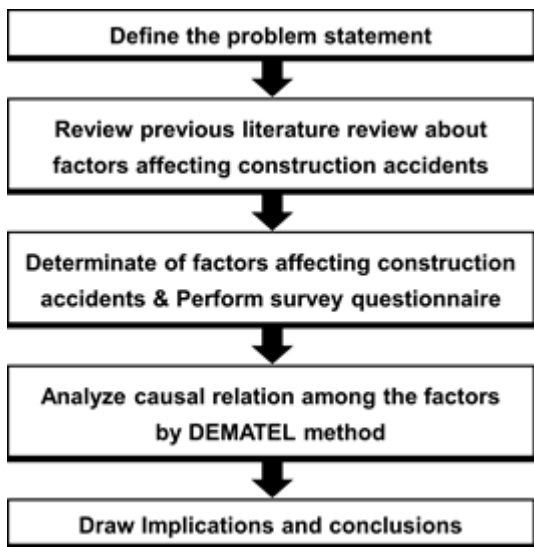


Fig. 1. Research flow

2. 이론적 고찰

2.1 국내·외 선행 연구 분석

건설재해 영향요인 관련 선행 연구는 국내·외에서 다수 수행되었으며, 본 연구에 활용된 선행 연구에 대한 내용은 다음과 같다.

Sawacha et al. (1999)은 피어슨 상관계수를 활용하여 건설재해와 영향요인 간의 상관관계를 분석하였다.

Rashid et al. (2007)은 기존 문헌조사를 통해 건설안전을 저해하는 63가지의 요인을 도출하고 80개 건설기업을 대상으로 설문조사를 수행하여 각 요인에 대한 중요도를 분석하였다.

Son et al. (2009)은 국내 전문건설공사 재해 1,146건을 대상으로 표적집단면적기법(FGI)을 적용하여 건설재해 발생 원인을 규명하고 각 세부요인 간 상관관계를 분석하였다.

Lee and Jaafar (2012)는 건설산업의 안전성과를 저해하는

24가지의 요인을 도출하고 110개 건설기업을 대상으로 설문 조사를 수행하여 각 요인의 상대적 중요도를 분석하였다.

Dumrak et al. (2013)은 24,764건의 건설 안전사고를 대상으로 재해원인과 사고심각도(Accident Severity) 간의 상관관계를 카이제곱검정을 활용하여 분석하였다.

Mohammadfam et al. (2015)은 13건의 대규모 건설현장에서 발생한 재를 대상으로 재해에 영향을 준 요인과 재해의 심각성과의 상관관계를 분석하였다.

Nawi et al. (2016)은 문헌조사를 통해 건설재해에 영향을 주는 요인을 도출하고 이를 보우타이 기법(Bowtie Method)을 적용하여 영향요인에 대한 위험성을 평가하고 개선방안을 제시하였다.

Lee (2016)는 60건의 소규모 건설사업장 재해사례를 토대로 영향요인을 도출하여 그에 대한 대책 방안을 제시하였다.

Lee (2016)는 2011~2015년 간 국내에서 발생했던 재해 원인을 도출하고 해당 요인들의 중요도에 따른 안전지향성이 건설재해에 미치는 영향을 분석하였다.

Lee and Lim (2017)은 2006~2015년 간 국내에서 발생했던 건설 안전사고를 대상으로 49가지 영향요인을 도출하고 각 요인에 대해 사망자 및 부상자 수, 피해액 등을 고려하여 위험성 평가를 수행하였다.

Jothsna and Jegan (2017)은 기존 문헌조사를 통해 프로젝트의 안전성에 영향을 주는 요인을 도출하고 프로젝트에 참가한 관계자를 대상으로 설문조사를 수행하고 이를 통해 상대적 중요도를 분석하였다.

Vasoya and Shah (2017)은 기존 문헌조사를 분석하여 건설안전에 영향을 미치는 60가지의 요인을 도출하고 중요도 지수(SI, Significance Index)를 통해 각 요인의 중요도를 분석하였다.

Durdyev et al. (2017)은 안전성과를 저해하는 요인과 안전성과 간의 상관관계를 피어슨 상관계수를 활용하여 분석하였다.

Williams et al. (2018)은 14건의 문헌 분석을 통해 도출된 건설 안전사고 영향요인을 건설사업 참가자별 및 환경적 요인으로 분류하였으며, 이를 토대로 각 참여자별 안전사고 저감 방안을 제시하였다.

Mahabadi et al. (2018)은 문헌조사를 통해 작업자의 불안정한 행동을 유발하는 94가지의 요인을 1차적으로 도출하고 주성분분석(PCA, Principal Component Analysis)을 통해 최종적으로 12가지의 요인을 도출하였으며, 불안정한 행동과 요인 간의 상관관계를 분석하였다.

Mohammadi et al. (2018)은 90건의 건설 안전 저해요인 관련 문헌 분석을 통해 요인을 도출하고 건설 안전 성능에 각 요인의 영향정도를 계층적 프레임워크를 제시하였다.

Kim (2018)은 기존 문헌조사 및 전문가 면담을 통해 37개의 건설재해 영향요인을 도출하고 계층분석기법(AHP)을 활용하여 상대적 중요도 조사 및 분석을 통해 건설재해 저감 방안을 제시하였다.

이처럼 건설재해 영향요인 관련 선행 연구는 국내·외에서 다수 이루어졌다. 그러나 건설재해는 건설산업의 특성에 기인한 다양한 요인들이 복잡하게 작용하여 발생하기 때문에 영향요인의 인과관계 분석을 통해 서로 연관되어 있는 영향요인들을 고려하여 건설재해 저감을 위한 개선방향을 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2.2 DEMATEL 기법

DEMATEL (DEcision MAKing Trial & Evaluation Laboratory)기법이란 1971년 스위스 소재 바텔(Battelle) 연구소에서 세계가 직면하고 있는 복합적인 문제에 대한 해결 방안을 모색하고자 개발된 방법론이며, 복잡하게 연관된 문제에 대해 전문가 집단의 의견조사를 토대로 데이터를 수집 및 분석하여 전체적인 구조를 규명하는 시스템 분석기법이다(Park, 2016). DEMATEL 기법은 의사결정을 구성하고 있는 요인들을 영향을 주는 요인(원인자)과 영향을 받는 요인(결과자)으로 구분하고 이를 유향그래프로 연결함으로써 요인 간의 인과관계를 분석할 수 있는 장점을 가지고 있어 (Kim, 2018; Cho, 2012), 본 연구는 해당 기법이 다양하고 복잡하게 작용하는 건설재해 영향요인들의 인과관계 구조를 파악하여 우선적으로 개선해야 할 요인들을 도출하는데 적합하다고 판단하였다. DEMATEL 기법은 다음과 같은 과정으로 진행된다.

첫 번째는 직접인과행렬을 구축하는 과정이다. 이를 위해 우선 DEMATEL 기법의 조사형식인 행렬조사표¹⁾를 작성하고 k명의 관련 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하는데 일반적으로 요인 간 영향도에 따라 0점(인과관계가 전혀 없음), 1점(인과관계가 다소 있으나 약함), 2점(인과관계가 보통임), 3점(인과관계가 강함), 4점(인과관계가 매우 강함) 등 5점 척도로 작성한다. 이렇게 k명의 전문가에 의해 작성된 행렬은 다음 식 (1)을 통해 통합되는데 이러한 과정을 일반화(Generalization)라고 한다. 여기서 H는 k명의 전문가에 의해 평가된 행렬을 산술평균한 직접인과행렬이다(Cho, 2012).

$$H = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k H_i \quad (1)$$

1) 해당 문제 항목이 다른 문제 항목에 얼마만큼의 직접적인 영향을 미치고 있는지를 질문하는 형식으로 구성되어 있으며 이를 통해 인과관계를 이루는 인과행렬을 작성하는데 행 쪽에는 원인, 열 쪽에는 결과를 나타내는 정방향의 비대칭 행렬을 작성하게 된다(Yun, 2015).

두 번째는 앞서 도출된 직접인과행렬 H의 모든 행과 열의 합을 구하고 그 중 최댓값 s로 직접인과행렬 H를 나누는 표준화(Normalization) 과정이다. 이때 표준화된 행렬 X의 가장 큰 행합은 1을 넘지 않는다. 표준화된 행렬 X와 관련된 식은 다음 식 (2), (3)과 같이 나타난다.

$$X = \frac{1}{s} \times H \quad (2)$$

$$s = \max \left(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij} \right), (0 < s < 1) \quad (3)$$

세 번째는 표준화된 행렬 X로 종합인과행렬을 도출하는 과정이다. 종합인과행렬 T는 투입산출모형에서의 유발계수와 같아 사이클을 고려한 전체의 영향을 의미하며, 다음 식 (4)을 통해 도출된다. 여기서 I는 단위행렬이다.

$$T = X^1 + X^2 + \dots + X^n = X(I - X)^{-1} \quad (4)$$

식 (4)로 도출된 종합인과행렬 T는 식 (5)과 같은 구조를 보이며 이를 활용한 종합적인 분석을 수행한다.

$$T = [t_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1j} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{i1} & t_{i2} & \dots & t_{ij} \end{bmatrix} \quad (5)$$

네 번째는 앞서 도출된 종합인과행렬 T를 통해 영향요인들을 구분하는 과정이다. 우선 종합인과행렬 T의 행의 합(식 (6))은 '영향도(D)'로서 요인에서 해당 요인이 차지하는 원인의 정도를 나타내며, 종합인과행렬 T의 열의 합(식 (7))은 '피영향도(R)'로서 요인 전체가 해당 요인을 야기하는 정도를 나타낸다. 여기서 '종합강도(D+R)'(영향도와 피영향도의 합)는 원인과 결과 여부와 별개로 요인의 중요도를 나타내며, '원인도(D-R)'(영향도와 피영향도의 차)는 해당 요인이 원인 혹은 결과에 해당되는지를 나타낸다. 여기서 원인자적 성격이 강한 요인은 원인도가 0보다 크며(D-R>0), 결과자적 성격이 강한 요인은 원인도가 0보다 작다(D-R<0).

$$D = \left[\sum_{i=1}^j t_{ij} \right]_{n \times 1} = [t_i]_{n \times 1} \quad (6)$$

$$R = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n} = [t_j]_{1 \times n} \quad (7)$$

다섯 번째는 유향그래프 도식화 과정이다. 유향그래프 작성을 위해 영향도 수준을 결정하는 기준값(γ)을 설정해야 하며, 이는 종합인과행렬 T의 평균값으로 설정한다. 유향그래프는 종합강도(D+R)를 수평축으로, 원인도(D-R)를 수직축으로 설정하고 상호 1대 1 맵핑하는 방법으로 작성한다.

3. 건설재해 주요 영향요인 분석

3.1 건설재해 영향요인 도출

본 연구는 건설재해 영향요인 관련 선행 연구 조사 및 분석과 전문가 의견 반영을 통해 건설재해 영향요인을 도출하고, 이를 통해 중복의미를 가지고 있는 영향요인을 통합하여 1차적으로 29개의 건설재해 영향요인을 다음 <Table 1>과 같이 도출하였다.

도출된 29개의 영향요인을 모두 활용하여 DEMATEL 분석을 수행하는 것이 일반적이지만 요인의 수가 많을 경우, 설문지 형태가 복잡하여 응답자가 설문을 이해하기 어려울 수 있기 때문에 의미가 유사한 영향요인을 그룹화 하는 등 요인의 수를 줄여서 수행하는 것이 설문의 신뢰도와 정확도를 확보할 수 있다(Park et al., 2011; Choi, 2015).

또한, 도출된 건설재해 영향요인의 분류에 4M 요인을 적용하였다. 4M 요인이란 재해의 기본 원인을 Man(인적요인), Machine(설비적요인), Management(관리적요인), Media(작업적요인) 등 크게 4가지로 분류하여 규명하는 방법으로 미공군에서 개발하고 미국연방교통안전위원회(NTSB, National Transportation Safety Board)에서 활용되고 있다(Kim, 2016; Seo, 2013). 4M 요인을 대분류로 설정하여 총 17개의 건설재해 영향요인을 도출하였으며, 다음 <Table 2>와 같다.

Table 1. Factors influencing construction accidents derived from the first process

No.	Factors	No.	Factors
1	Absence of site manager	16	Personality of workers
2	Aging of machinery and equipment	17	Safety equipment installation
3	Composition of non-professional manpower	18	Safety facility installation
4	Configuration without consideration of risk	19	Safety knowledge
5	Cost for Safety	20	Safety management plan
6	Error of judgment	21	Speedy construction work
7	Failure to comply with safety rules	22	Unsafe instruction
8	Hazardous substances in the site	23	Work atmosphere
9	Inappropriate work posture	24	Work experience
10	Interest in safety	25	Work overview
11	Knowledge of work	26	Worker's habits
12	Lack of safety education and training	27	Worker's physical & mental characteristics
13	Material and equipment placement	28	Worker's proficiency
14	Organized status	29	Worker's rough behavior
15	Performance of machinery and equipment		

3.2 건설재해 영향요인 분석

3.2.1 설문조사

2019년 4월 건설 분야 전문가를 대상으로 설문을 수행하

Table 2. Factors influencing construction accidents through analysis of previous research

4M	Factors	Advanced Research																
		[4]	[5]	[10]	[12]	[19]	[20]	[21]	[22]	[24]	[25]	[26]	[27]	[30]	[31]	[34]	[35]	[36]
Man (M-1)	M-1.1 Personal characteristics of workers	●	●	●	●		●	●			●	●	●	●	●	●	●	●
	M-1.2 Lack of safety consciousness of workers		●	●	●	●	●		●	●		●		●	●	●	●	●
	M-1.3 Human error		●		●		●		●	●	●	●	●		●	●		●
	M-1.4 Lack of personal competence of workers	●	●	●	●		●		●		●	●		●	●	●		●
Machine (M-2)	M-2.1 Defects such as machinery and equipment	●	●		●		●		●	●	●	●			●	●		●
	M-2.2 Insufficient installation of safety protection facilities				●			●	●							●		●
	M-2.3 Inadequate ergonomic design and layout				●		●		●									●
	M-2.4 Inadequate inspection of machinery and equipment								●									●
Management (M-3)	M-3.1 Lack of safety education and training	●	●	●	●	●	●	●	●		●			●	●	●	●	●
	M-3.2 Inadequate safety and regulatory compliance	●	●	●	●	●	●						●	●			●	●
	M-3.3 Inadequate safety management cost enforcement	●	●	●	●											●		●
	M-3.4 Insufficient safety management plan	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●		●
	M-3.5 Inadequate safety management organization	●		●	●			●					●	●	●	●	●	●
Media (M-4)	M-4.1 Working environment and space	●	●	●	●		●		●	●	●	●		●	●	●	●	●
	M-4.2 Lack of work information			●	●		●					●		●			●	●
	M-4.3 Improper work methods		●	●	●		●	●	●		●	●		●	●	●	●	●
	M-4.4 Inappropriate work orders from supervisors and field managers				●				●							●		

였으며, 총 45부 중 36부(80%)를 회수하였다. 설문지는 ‘① 4M 요인 간, ② Man(인적요인) 세부요인 간, ③ Machine(설비적요인) 세부요인 간, ④ Management(관리적요인) 세부요인 간, ⑤ Media(작업적요인) 세부 요인 간’ 등 총 5개 항목으로 분류하여 작성하였으며, 각 요인 간 인과관계를 평가할 수 있도록 구성되었다. 설문 응답자의 특징은 다음 <Table 3>과 같다.

Table 3. Survey respondents overview

Type		Number of Respondents	Rate(%)
Sector	Industry	31	86.1
	Research	5	13.9
Experience	Less than 5 years	11	30.6
	5-10 years	9	25.0
	10-15 years	1	2.8
	15-20 years	3	8.3
	More than 20 years	12	33.3

Table 4. Generalization matrix

Factors			M-1	M-2	M-3	M-4	
4M	M-1	Man	0.000	2.129	2.903	2.677	
	M-2	Machine	1.936	0.000	1.807	2.387	
	M-3	Management	3.000	2.194	0.000	2.710	
	M-4	Media	2.742	2.000	2.065	0.000	
Factors			M-1.1	M-1.2	M-1.3	M-1.4	
Man (M-1)	M-1.1	Personal characteristics of workers	0.000	3.032	2.677	2.387	
	M-1.2	Lack of safety consciousness of workers	2.419	0.000	2.903	2.233	
	M-1.3	Human error	2.226	2.581	0.000	2.194	
	M-1.4	Lack of personal competence of workers	1.742	2.484	2.774	0.000	
Factors			M-2.1	M-2.2	M-2.3	M-2.4	
Machine (M-2)	M-2.1	Defects such as machinery and equipment	0.000	2.323	1.290	2.839	
	M-2.2	Insufficient installation of safety protection facilities	1.871	0.000	1.936	2.129	
	M-2.3	Inadequate ergonomic design and layout	1.742	1.936	0.000	1.968	
	M-2.4	Inadequate inspection and maintenance of machinery and equipment	2.871	2.355	1.581	0.000	
Factors			M-3.1	M-3.2	M-3.3	M-3.4	M-3.5
Management (M-3)	M-3.1	Lack of safety education and training	0.000	3.387	1.774	2.710	1.871
	M-3.2	Inadequate safety and regulatory compliance	3.032	0.000	1.419	2.516	2.097
	M-3.3	Inadequate security management fee enforcement	2.161	1.968	0.000	2.097	2.129
	M-3.4	Insufficient safety management plan	2.936	3.032	1.936	0.000	2.516
	M-3.5	Inadequate safety management organization	2.226	2.387	2.097	2.548	0.000
Factors			M-4.1	M-4.2	M-4.3	M-4.4	
Media (M-4)	M-4.1	Working environment and space	0.000	1.516	2.774	2.194	
	M-4.2	Lack of work information	2.129	0.000	3.161	2.742	
	M-4.3	Improper work methods	2.258	2.226	0.000	2.516	
	M-4.4	Inappropriate work orders from supervisors and field managers	2.484	2.516	3.290	0.000	

3.2.2 데이터 분석

본 설문조사를 통해 회수된 36부의 설문지를 토대로 식 (1)을 적용하여 직접인과행렬 H를 구축하였으며, 그 결과는 다음 <Table 4>와 같다.

다음으로 도출된 직접인화행렬 H에서 식 (2), (3)을 통해 표준화 과정을 수행하였으며, 그 결과는 다음 <Table 5>과 같다. 세 번째는 식 (4)를 적용하여 표준화된 행렬 X을 통해 종합인과행렬 T를 구축하였으며, 그 결과는 다음 <Table 6>과 같다. 네 번째는 식 (6), (7)을 통해 종합인과행렬 T를 영향을 미치는 요인과 받는 요인으로 구분하여 평가지표를 산정하였으며 영향도, 피영향도, 종합강도, 그리고 원인도는 다음 <Table 7>과 같다. 마지막으로 기준값(γ)을 토대로 유량그래프를 작성하였으며, 각 항목에 대한 기준값은 $\gamma_M=2.890$, $\gamma_{M-1}=1.930$, $\gamma_{M-2}=2.260$, $\gamma_{M-3}=1.874$, $\gamma_{M-4}=1.036$ 이다.

Table 5. Normalization matrix

Factors			M-1	M-2	M-3	M-4	
4M	M-1	Man	0.000	1.516	2.774	2.194	
	M-2	Machine	2.129	0.000	3.161	2.742	
	M-3	Management	2.258	2.226	0.000	2.516	
	M-4	Media	2.484	2.516	3.290	0.000	
Factors			M-1.1	M-1.2	M-1.3	M-1.4	
Man (M-1)	M-1.1	Personal characteristics of workers	0.000	0.363	0.321	0.286	
	M-1.2	Lack of safety consciousness of workers	0.290	0.000	0.348	0.267	
	M-1.3	Human error	0.266	0.309	0.000	0.263	
	M-1.4	Lack of personal competence of workers	0.209	0.297	0.332	0.000	
Factors			M-2.1	M-2.2	M-2.3	M-2.4	
Machine (M-2)	M-2.1	Defects such as machinery and equipment	0.000	0.335	0.186	0.409	
	M-2.2	Insufficient installation of safety protection facilities	0.270	0.000	0.279	0.307	
	M-2.3	Inadequate ergonomic design and layout	0.251	0.279	0.000	0.284	
	M-2.4	Inadequate inspection and maintenance of machinery and equipment	0.414	0.340	0.228	0.000	
Factors			M-3.1	M-3.2	M-3.3	M-3.4	M-3.5
Management (M-3)	M-3.1	Lack of safety education and training	0.000	0.314	0.165	0.252	0.174
	M-3.2	Inadequate safety and regulatory compliance	0.281	0.000	0.132	0.234	0.195
	M-3.3	Inadequate security management fee enforcement	0.201	0.183	0.000	0.195	0.198
	M-3.4	Insufficient safety management plan	0.273	0.281	0.180	0.000	0.234
	M-3.5	Inadequate safety management organization	0.207	0.222	0.195	0.237	0.000
Factors			M-4.1	M-4.2	M-4.3	M-4.4	
Media (M-4)	M-4.1	Working environment and space	0.000	0.164	0.301	0.238	
	M-4.2	Lack of work information	0.231	0.000	0.343	0.297	
	M-4.3	Improper work methods	0.245	0.241	0.000	0.273	
	M-4.4	Inappropriate work orders from supervisors and field managers	0.269	0.273	0.357	0.000	

Table 6. Total-Relation matrix

Factors			M-1	M-2	M-3	M-4	
4M	M-1	Man	3.416	3.108	3.407	3.648	
	M-2	Machine	3.079	2.439	2.834	3.093	
	M-3	Management	3.777	3.185	3.207	3.728	
	M-4	Media	3.365	2.836	3.064	3.085	
Factors			M-1.1	M-1.2	M-1.3	M-1.4	
Man (M-1)	M-1.1	Personal characteristics of workers	2.140	2.789	2.793	2.459	
	M-1.2	Lack of safety consciousness of workers	2.255	2.379	2.669	2.322	
	M-1.3	Human error	2.116	2.479	2.269	2.198	
	M-1.4	Lack of personal competence of workers	2.077	2.459	2.506	1.974	
Factors			M-2.1	M-2.2	M-2.3	M-2.4	
Machine (M-2)	M-2.1	Defects such as machinery and equipment	2.174	2.405	1.818	2.550	
	M-2.2	Insufficient installation of safety protection facilities	2.249	2.025	1.781	2.358	
	M-2.3	Inadequate ergonomic design and layout	2.164	2.163	1.503	2.260	
	M-2.4	Inadequate inspection and maintenance of machinery and equipment	2.577	2.517	1.927	2.374	
Factors			M-3.1	M-3.2	M-3.3	M-3.4	M-3.5
Management (M-3)	M-3.1	Lack of safety education and training	1.970	2.284	1.567	2.059	1.821
	M-3.2	Inadequate safety and regulatory compliance	2.109	1.954	1.482	1.970	1.764
	M-3.3	Inadequate security management fee enforcement	1.918	1.972	1.264	1.814	1.646
	M-3.4	Insufficient safety management plan	2.309	2.393	1.666	1.970	1.958
	M-3.5	Inadequate safety management organization	2.077	2.157	1.541	1.985	1.609
Factors			M-4.1	M-4.2	M-4.3	M-4.4	
Media (M-4)	M-4.1	Working environment and space	0.722	0.829	1.148	0.964	
	M-4.2	Lack of work information	1.034	0.808	1.334	1.136	
	M-4.3	Improper work methods	0.968	0.929	0.980	1.037	
	M-4.4	Inappropriate work orders from supervisors and field managers	1.080	1.043	1.372	0.933	

Table 7. DEMATEL evaluation index

Factors	Dispatcher (D)	Receiver (R)	Prominence		Relation		
			(D+R)	Rank	(D-R)	Rank	
4M	M-1	12.320	12.257	24.578	1	0.063	10
	M-2	10.203	10.493	20.695	4	-0.290	14
	M-3	12.546	11.162	23.708	2	1.383	1
	M-4	11.177	12.334	23.511	3	-1.157	20
Man (M-1)	M-1.1	8.285	6.918	15.203	16	1.366	2
	M-1.2	7.839	8.247	16.086	12	-0.409	15
	M-1.3	7.396	8.482	15.878	14	-1.085	19
	M-1.4	7.352	7.224	14.575	17	0.128	9
Machine (M-2)	M-2.1	9.380	9.433	18.813	9	-0.053	11
	M-2.2	8.704	9.515	18.219	10	-0.811	17
	M-2.3	8.358	7.352	15.710	15	1.006	4
	M-2.4	9.725	9.868	19.592	8	-0.143	12
Management (M-3)	M-3.1	9.686	10.254	19.940	6	-0.568	16
	M-3.2	9.178	10.623	19.801	7	-1.445	21
	M-3.3	8.494	7.459	15.953	13	1.035	3
	M-3.4	10.216	9.808	20.024	5	0.408	7
	M-3.5	9.268	8.698	17.966	11	0.570	6
Media (M-4)	M-4.1	3.691	3.899	7.590	21	-0.207	13
	M-4.2	4.419	3.632	8.051	20	0.787	5
	M-4.3	3.958	4.897	8.855	18	-0.939	18
	M-4.4	4.509	4.150	8.659	19	0.360	8

4. 종합적 인과관계 구조 분석

4.1 4M 요인 간 인과관계 구조 분석

영향도(D)가 가장 높은 요인은 관리적요인(M-3, 12.546)이며, 인적요인(M-1, 12.320), 작업적요인(M-4, 11.177), 설비적요인(M-2, 10.203) 순인 것으로 분석되었다. 피영향도(R)가 가장 높은 요인은 작업적요인(M-4, 12.334)이며, 인적요인(M-1, 12.257), 관리적요인(M-3, 11.162), 그리고 설비적요인(M-2, 10.493) 순인 것으로 분석되었다.

종합강도(D+R)가 가장 높은 요인은 인적요인(M-1, 24.578)이며, 관리적요인(M-3, 23.708), 작업적요인(M-4, 23.511), 그리고 설비적요인(M-2, 20.695) 순인 것으로 분석되었다. 원인도(D-R) 분석 결과, 원인자적 성격이 강한 요인(D-R>0)은 관리적요인(M-3, 1.383)과 인적요인(M-1, 0.063)이며, 결과자적 성격이 강한 요인(D-R<0)은 작업적요인(M-4, -1.157)과 설비적요인(M-2, -0.290) 인 것으로 분석되었다. 이를 통해 4M 요인 간의 인과관계를 유향그래프로 도식화하여 다음 <Fig. 2>와 같이 나타내었다.

분석 결과, 원인자적 성격이 매우 강한 요인은 관리적요인(M-3)이며, 인적요인(M-1), 작업적요인(M-4)에 강한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 따라서 건설재해 저감 방향을 수립하기 위해 관리적요인(M-3)의 우선적 개선을 목표로

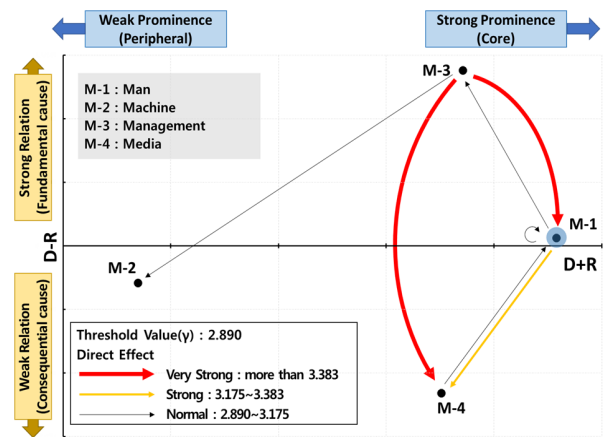


Fig. 2. Digraph of 4M factors

인적요인(M-1)과 작업적요인(M-4) 등을 개선해야 할 것으로 사료된다. 이에 현장관리자 및 안전관리자 차원에서 작업자의 불안정한 행동, 열악한 작업환경 등을 관리한다면 건설재해를 저감하는데 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

4M 요인 중 가장 중요한 요인은 인적요인(M-1)으로 분석되었다. 이는 노동집약적 성격이 강한 건설산업의 특성상 건설재해가 작업자로부터 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 인적요인(M-1)은 피드백 루프(Feedback Loop)가 포함되어 있어 스스로에게 영향을 주는 구조로 분석되었다. 따라서 '안전의식 확립, 불안정한 행동 지양, 작업에 대한 지식 확보'등 작업자 개인적 차원에서의 노력이 필요할 것으로 판단된다(Hong, 2009).

4.2 인적요인 세부요인 간 인과관계 구조 분석

영향도(D)가 가장 높은 요인은 작업자의 개인특성(M-1.1, 8.285)이며, 작업자의 안전의식 부족(M-1.2, 7.839), 인간오류(M-1.3, 7.396), 그리고 작업자의 개인역량 결여(M-1.4, 7.352) 순인 것으로 분석되었다. 피영향도(R)가 가장 높은 요인은 인간오류(M-1.3, 8.482)이며, 작업자의 안전의식 부족(M-1.2, 8.247), 작업자의 개인역량 결여(M-1.4, 7.224), 그리고 작업자의 개인특성(M-1.1, 6.918) 순인 것으로 분석되었다.

종합강도(D+R)가 가장 높은 요인은 작업자의 안전의식 부족(M-1.2, 16.086)이며, 인간오류(M-1.3, 15.878), 작업자의 개인특성(M-1.1, 15.203), 그리고 작업자의 개인역량 결여(M-1.4, 14.575) 순인 것으로 분석되었다. 원인도(D-R) 분석 결과, 원인자적 성격이 강한 요인(D-R>0)은 작업자의 개인특성(M-1.1, 1.366), 작업자의 개인역량 결여(M-1.4, 0.128)이며, 결과자적 성격이 강한 요인(D-R<0)은 인간오류(M-1.3, -1.085), 작업자의 안전의식 부족(M-1.2, -0.409) 인 것으로 분석되었다. 이를 통해 인적요인 세부요인 간의

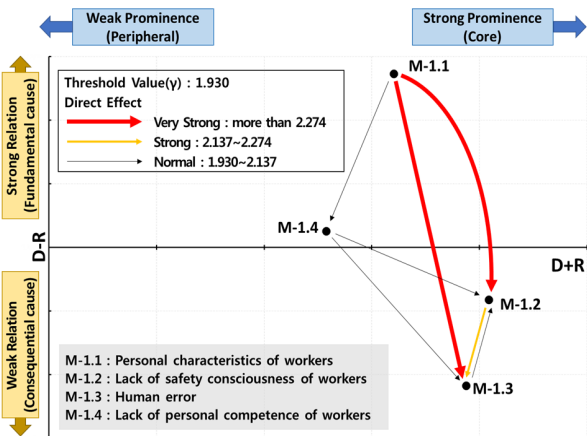


Fig. 3. Digraph of subfactors of man

인과관계를 유향그래프로 도식화하여 다음 (Fig. 3)과 같이 나타냈다.

분석 결과, 원인자적 성격이 매우 강한 요인은 작업자의 개인특성(M-1.1)이며, 작업자의 안전의식 부족(M-1.2)과 인간오류(M-1.3)에 강한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 따라서 건설재해 저감 방향을 수립하기 위해 작업자의 개인 특성(M-1.1)의 우선적 개선을 목표로 작업자의 안전의식 부족(M-1.2)과 인간오류(M-1.3) 등을 개선해야 할 것으로 사료된다.

재해를 발생시키는 위험요소는 개인의 행동 및 특성에 잠재되어 있으며, 개인의 신체 및 정신적 특징, 정서의 안정도 등에 따라 사고 발생 확률이 달라질 수 있다(Jang, 2010; Jin & Lee, 2013). 따라서 작업자의 개인특성으로 인해 발생하는 건설재해를 저감하기 위해서는 작업자 개인적 차원에서 자체적인 개선 노력을 수행하거나 작업자들이 불안정한 행동으로 이어지지 않도록 현장관리자 및 안전관리자 차원에서 통제가 우선되어야 할 것으로 판단된다(Yoo, 2007).

인적요인 중 가장 중요한 요인은 작업자의 안전의식 부족(M-1.2)인 것으로 분석되었다. 이는 안전의식 부재가 건설재해 발생에 중요한 영향을 미친다는 다수의 선행 연구 결과와 유사하다(Kim, 2018).

결과자적 성격이 강한 인간오류(M-1.3)는 노동의존성이 높은 건설산업에서 불가피하게 발생하지만 인간의 내면적 실수에 대한 특성을 파악한다면 인간오류로 인해 발생하는 건설재해를 사전에 방지할 수 있을 것으로 판단된다(Lim, 2019).

4.3 설비적요인 세부요인 간 인과관계 구조 분석

영향도(D)가 가장 높은 요인은 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비(M-2.4, 9.725)이며, 기계·설비의 자체결함(M-2.1, 9.380), 미흡한 안전시설 설치(M-2.2, 8.704), 그리고 미흡

한 인체공학적인 설계(M-2.3, 8.358) 순인 것으로 분석되었다. 피영향도(R)가 가장 높은 요인은 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비(M-2.4, 9.868)이며, 미흡한 안전시설 설치(M-2.2, 9.515), 기계·설비의 자체결함(M-2.1, 9.433) 그리고 미흡한 인체공학적인 설계(M-2.3, 7.352) 순인 것으로 분석되었다.

종합강도(D+R)가 가장 높은 요인은 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비(M-2.4, 19.592)이며, 기계·설비의 자체결함(M-2.1, 18.813), 미흡한 안전시설 설치(M-2.2, 18.219), 그리고 미흡한 인체공학적인 설계(M-2.3, 15.710) 순인 것으로 분석되었다. 원인도(D-R) 분석 결과, 원인자적 성격이 강한 요인(D-R>0)은 미흡한 인체공학적인 설계(M-2.3, 1.006)이며, 결과자적 성격이 강한 요인(D-R<0)은 미흡한 안전시설 설치(M-2.2, -0.811), 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비(M-2.4, -0.143), 기계·설비의 자체결함(M-2.1, -0.053)인 것으로 분석되었다. 이를 통해 설비적요인 세부요인 간의 인과관계를 유향그래프로 도식화하여 다음 (Fig. 4)와 같이 나타냈다.

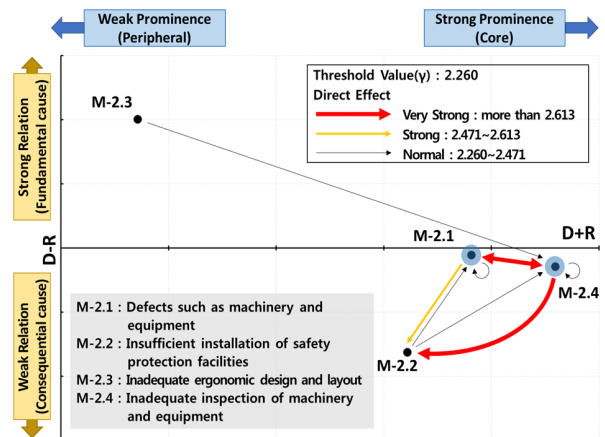


Fig. 4. Digraph of subfactors of machine

분석 결과, 원인자적 성격이 매우 강한 요인은 기계·설비의 자체결함(M-2.1)과 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비(M-2.4)이며, 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비(M-2.4)가 미흡한 안전시설 설치(M-2.2)에 강한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 따라서 건설재해 저감 방향을 수립하기 위해 기계·설비의 자체결함(M-2.1)과 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비(M-2.4)의 우선적 개선을 목표로 미흡한 안전시설 설치(M-2.2)를 개선해야 할 것으로 사료된다. 미흡한 인체공학적인 설계(M-2.3)가 원인자적 성격으로서 매우 강하지만 중요도가 다른 요인들에 비해 상대적으로 낮은 것으로 분석되었지만 해당 요인으로 인해 건설재해가 발생할 수 있어 이에 대한 개선도 분명 필요하다고 판단된다. 따라서 미흡한 인체공학적인 설계(M-2.3)는 다른 요인에 비해 상대적 중요도가 낮은 뿐, 개선의 필요성이 낮다는 의미는 아니다.

기계·설비의 자체 결함에 대한 예방대책으로는 현장에서 자재 및 장비 반입 시 철저한 인수검사를 통해 안전인증을 받지 않은 장비의 반입을 제한하는 것이 중요하다(Hwang, 2017). 또한, 작업 수행 전 기계·설비에 대한 점검과 장비운전원에게 예방정비의 중요성을 인식시킴으로써 점검 및 정비 미흡으로 인해 발생한 건설재해를 예방하는 것이 필요한 것으로 판단된다(Son, 2015).

건설현장은 추락, 전도, 낙하/비래, 충돌, 협착 등 다양한 형태로 재해가 발생하는데 이를 사전에 예방할 수 있도록 안전시설 설치의 필수적이다. 따라서 미흡한 안전시설 설치로 인해 발생한 건설재해를 사전에 방지하지 위해서는 국가 차원에서 안전시설물 설치에 대한 지원 등이 필요할 것으로 판단된다(Kim, 2018).

4.4 관리적요인 세부요인 간 인과관계 구조 분석

영향도(D)가 가장 높은 요인은 미흡한 안전관리 계획(M-3.4, 10.219)이며, 안전교육훈련 부족(M-3.1, 9.686), 안전관리조직 구성의 부적절(M-3.5, 9.268), 미흡한 안전수칙/규정 준수(M-3.2, 9.178), 안전관리비 집행의 부적절(M-3.3, 8.494) 순인 것으로 분석되었다. 피영향도(R)가 가장 높은 요인은 미흡한 안전수칙/규정 준수(M-3.2, 10.623)이며, 안전교육훈련 부족(M-3.1, 10.254), 미흡한 안전관리 계획(M-3.4, 9.808), 안전관리조직 구성의 부적절(M-3.5, 8.698), 안전관리비 집행의 부적절(M-3.3, 7.459) 순인 것으로 분석되었다.

종합강도(D+R)가 가장 높은 요인은 미흡한 안전관리 계획(M-3.4, 20.024)이며, 안전교육훈련 부족(M-3.1, 19.940), 미흡한 안전수칙/규정 준수(M-3.2, 19.801), 안전관리조직 구성의 부적절(M-3.5, 17.966), 안전관리비 집행의 부적절(M-3.3, 15.953) 순인 것으로 분석되었다. 원인도(D-R) 분석 결과, 원인자적 성격이 강한 요인(D-R)0은 안전관리비 집행의 부적절(M-3.3, 1.035), 안전관리조직 구성의 부

적절(M-3.5, 0.570), 미흡한 안전관리 계획(M-3.4, 0.408)이며, 결과자적 성격이 강한 요인(D-R)0은 미흡한 안전수칙/규정 준수(M-3.2, -1.445)와 안전교육훈련 부족(M-3.1, -0.568)인 것으로 분석되었다. 이를 통해 관리적요인 세부요인 간의 인과관계를 유향그래프로 도식화하여 다음 <Fig. 5>와 같이 나타냈다.

분석 결과, 원인자적 성격이 매우 강한 요인은 미흡한 안전관리 계획(M-3.4)이며, 안전교육훈련 부족(M-3.1)과 미흡한 안전수칙/규정 준수(M-3.2)에 매우 강한 영향을 주고 있으며, 안전교육훈련 부족(M-3.1)이 미흡한 안전수칙/규정 준수(M-3.2)에 매우 강한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 미흡한 안전관리 계획(M-3.4), 안전교육훈련 부족(M-3.1), 그리고 미흡한 안전수칙/규정 준수(M-3.2)는 스스로에게 영향을 주는 피드백 루프가 형성되어 있고 각 요인들이 영향을 주고받는 순환 구조를 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 건설재해 저감 방향을 수립하기 위해서는 미흡한 안전관리 계획(M-3.4)의 개선을 통해 각 요인들이 선순환 구조를 형성해야 할 것으로 사료된다.

건설기술진흥법에 따른 안전관리계획서 제도는 건설재해 방지를 위한 가장 기본적인 제도임에도 불구하고 해당 제도를 이행하는데 있어 유의미한 효과를 거두지 못하고 있는 실정이다(Yun, 2018). 따라서 건설현장에 적합한 안전관리계획을 수립하여 안전교육 내실화를 이루고, 이를 통해 안전수칙을 준수하는 안전분위기가 조성 및 확산될 것으로 사료된다.

4.5 작업적요인 세부요인 간 인과관계 구조 분석

영향도(D)가 가장 높은 요인은 부적절한 감독자/현장관리자의 작업지시(M-4.4, 4.509)이며, 부족한 작업정보(M-4.2, 4.419), 작업방법의 부적절(M-4.3, 3.958), 작업환경/공간(M-4.1, 3.691) 순인 것으로 분석되었다. 피영향도(R)가 가장 높은 요인은 작업방법의 부적절(M-4.3, 4.897)이며, 부적절한 감독자/현장관리자의 작업지시(M-4.4, 4.150), 작업환경/공간(M-4.1, 3.899), 부족한 작업정보(M-4.2, 3.632) 순인 것으로 분석되었다.

종합강도(D+R)가 가장 높은 요인은 작업방법의 부적절(M-4.3, 8.855)이며, 부적절한 감독자/현장관리자의 작업지시(M-4.4, 8.659), 부족한 작업정보(M-4.2, 8.051), 작업환경/공간(M-4.1, 7.590) 순인 것으로 분석되었다. 원인도(D-R) 분석 결과, 부족한 작업정보(M-4.2, 0.787)와 부적절한 감독자/현장관리자의 작업지시(M-4.4, 0.360)이며, 결과자적 성격이 강한 요인(D-R)0은 작업방법의 부적절(M-4.3, -0.939), 작업환경/공간(M-4.1, -0.207)인 것으로 분석되었다. 이를 통해 작업적요인 세부요인 간의 인과관계를 유향그래프로 도식화하여 다음 <Fig. 6>과 같이 나타냈다.

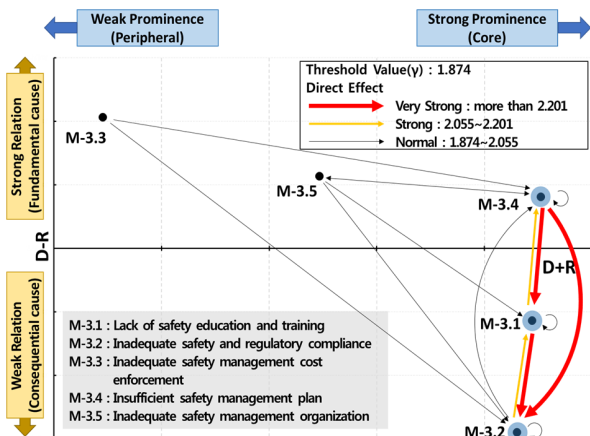


Fig. 5. Digraph of subfactors of management

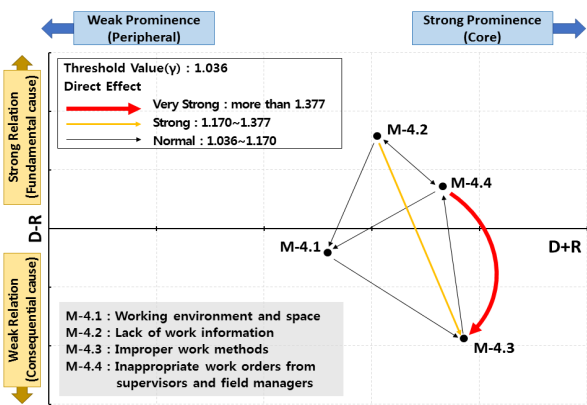


Fig. 6. Digraph of subfactors of media

분석 결과, 원인자적 성격이 매우 강한 요인은 부적절한 감독자/현장관리자의 작업지시(M-4.4)이며, 작업방법의 부적절(M-4.3)에 강한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 따라서 건설재해 저감 방향을 수립하기 위해 부적절한 감독자/현장관리자의 작업지시(M-4.4)의 우선적 개선을 목표로 작업방법의 부적절(M-4.3) 등을 개선해야 할 것으로 사료된다.

따라서 현장관리자 및 안전관리자가 작업자를 대상으로 적절한 작업방법을 지시하기 위해서는 작업 전 안전회의(TBM, Tool Box Meeting)²⁾를 적극적으로 수행하여 작업자들이 안전하고 적절한 작업방법을 통해 해당 작업을 수행한다면 건설재해가 저감될 것으로 사료된다.

작업적요인 중 가장 중요한 요인은 작업방법의 부적절(M-4.3)인 것으로 분석되었는데, 이를 개선하기 위해 작업자를 대상으로 한 실질적 안전교육 시행, 안전관리조직의 체계적인 운영을 통한 작업 점검 등 관리적요인을 통해 개선할 필요가 있을 것으로 사료된다.

4.6 시사점

분석 결과, 종합강도 및 원인자가 가장 높은 영향요인의 우선적 개선이 필요할 것으로 판단된다. 4M 요인 중에서는 관리적요인, 4M 세부요인 별로는, 작업자의 개인특성, 기계·설비의 자체결함과 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비, 미흡한 안전관리 계획, 부적절한 작업지시인 것으로 분석되었다.

건설재해를 저감하기 위해서는 현장관리자와 안전관리자를 중심으로 한 작업자 통제를 통해 작업자들의 불안정한 행동을 줄여야 하며, 철저한 인수검사를 통한 건설재해 및 장비 반입, 사전점검 및 정비의 중요성을 작업자들에게 인식시켜주는 것이 필요하다. 또한, 전반적인 사업과정에서 재해 예방 모니터링을 통해 안전계획이 잘 이행될 수 있도록 하

2) 건설현장에서 작업별 소그룹을 만들어 현장관리자가 작업자들에게 작업지시 사항과 위험요소를 인지시키고 안전한 작업방법을 교육하여 작업자가 이를 인지하고 있는지 재확인하는 활동이다(Kim, 2018).

고, 작업자들과 작업 전 안전회의(TBM)를 실시하여 작업자 스스로 작업위험요소 및 작업방법을 숙지함으로써 건설재해가 저감될 수 있도록 하는 것이 필요하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구는 건설재해 영향요인의 인과관계를 분석하기 위해 국내·외 선행 연구 분석 및 전문가의 의견을 반영하여 최종적으로 17개의 건설재해 영향요인 선정과 4M 요인을 기반으로 영향요인을 분류하였다. 이를 토대로 DEMATEL 분석을 적용하여 영향요인 간 인과관계를 분석하여 유향그래프로 도식화하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 건설재해 영향요인 중 4M 요인은 관리적요인이 가장 근본적이고 중심적인 요인으로 분석되었으며, 각 4M 요인 별로는 세부요인 별 분석 결과, 작업자의 개인특성, 기계·설비의 자체결함, 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비, 미흡한 안전관리 계획, 부적절한 감독자/현장관리자의 작업지시 등으로 분석되었다.

2. 건설재해 저감을 위해 작업자들의 불안정한 행동에 대한 현장관리자 및 안전관리자 중심의 작업자 통제가 우선되어야 하며, 철저한 인수검사를 통한 기계·설비의 자체 결함 예방, 장비운전원을 대상으로 한 사전점검 및 정비의 중요성 각인이 필요하다. 또한, 사업 전반의 과정에서 재해 예방 모니터링을 통한 안전관리계획의 철저한 이행, 작업자들의 작업방법 숙지를 위한 작업 전 안전회의(TBM) 실시를 통해 건설재해 저감을 달성할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

본 연구는 건설재해 영향요인의 인과관계를 도식화하여 분석함으로써 건설재해 저감방향 수립을 위한 기초 자료로 활용가능할 것으로 판단된다. 향후 수행될 연구는 도출된 건설재해 영향요인을 대상으로 전체적인 인과관계 구조를 파악하여 이에 기반한 개선방향을 수립하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2018R1D1A1B07051055).

References

Ahn, H.S. (2018). "A Study on the Comparison of Construction Safety Management Legislations between ROK and UK." *Journal of the Regional Association of Architectural*

- Institute of Korea*, 20(1), pp. 189-196.
- Cho, H.K. (2012). "Development of Decision Making Models for Purchasing Foreign Weapon Systems." Ph.D. Dissertation, Seoul National University of Science and Technology, Seoul.
- Choi, K.M. (2015). "A Study on the importance Analysis of Decision Factors of the Island Cadastral Registration Management Policy." Ph.D. Dissertation, Cheonju University, Chungbuk.
- Dumrak, J., Mostafa, S., Kamardeen, I., and Rameezdeen, R. (2013). "Factors Associated with the Severity of Construction Accidents: The Case of South Australia." *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 13(4), pp. 32-49.
- Durdyev, S., Mohamed, S., Lay, M.L., and Ismail, S. (2017). "Key Factors affecting Construction Safety Performance in Developing Countries: Evidence from Cambodia." *Construction Economics and Building*, 17(4), pp. 48-65.
- Hong, J.S. (2009). "A Safety Management Activity Model in Construction Sites through Analysis of Success Factors." Ph.D. Dissertation, Hanyang University, Seoul.
- Hwang, B.J. (2017). "Study on the effective safety control method for the speedy construction work." Master of Construction Safety Management, Kyunghee University, Seoul.
- Jang, W.J. (2010). "A Study on the Establishment of Engine Room Resource Management System based on Requirements of STCW Convention and ISO 9000 Family." Master of Marine System Engineering, Korea Maritime University, Busan.
- Jin, H.S., and Lee, D.E. (2013). "Developing the Path Model defining the Relationship between Construction Worker's Personal Characteristics and Safety Behaviors." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, KIC, 13(2), pp. 169-180.
- Jothisna, C., and Jegan, R. (2017). "Factors Influencing Safety in Construction Project and Behavior based Safety Management Approach." *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 5(3), pp. 436-441.
- Kim H.K. (2018). "A Study on the Effect of Safety Activities on the Safety Culture of Construction Sites." Master of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul.
- Kim, E.J. (2018). "Analysis on the Factors of Construction Disaster Applying the AHP." *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 20(1), pp. 197-204.
- Kim, G.C. (2018). "A Study on the Causal Relations of Construction Project Manager's Competency Using DEMATEL Method." Master of Architectural Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul.
- Kim, J.W., Kim, Y.H., Kim, J.H., and Kim, J.J. (2010). "A Study on the Methods of Reducing the Safety Accident through Pattern Analysis of Construction Disasters." *Proceedings of the 2010 Korea Institute of Building Construction Conference*, 10(2), pp. 137-140.
- Kim, P.K., Bang, S.D., Kim, K.S., and Kim, H.K. (2017). "Research of Actual Condition and Mitigation Plan for aging Workers' Health and Safety at Construction Sites", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 18(1), pp. 37-47.
- Kim, S.E. (2019). "A Study on the Reduction Measurement in Construction Fall Deaths : Focusing on small construction sites of 50 persons or less." Master of Architecture and Safety Engineering, Kyonggi University, Gyeonggi.
- Kim, T.B. (2016). "4M Analysis of the Factors Aggravating Firefighter's Field Safety." Master of Environmental Engineering, Ajou University, Seoul.
- Korea Occupational Safety & Health Agency., <<http://www.kosha.or.kr/kosha/data/industrialAccidentStatus.do?mode=view&articleNo=347608&article.offset=0&articleLimit=10>> (Apr. 27, 2018)
- Lee, C.K., and Jaafar, Y. (2012). "Prioritization of Factors Influencing Safety Performance on Construction Sites: A Study based on Grade Seven (G7) Main Contractors' Perspectives." *International Proceedings of Economics Development and Research Conference*, pp. 6-12.
- Lee, J.S., and Lim, M.K. (2017). "Analysis on the Degree of Risk According to the Causes of Accidents in Construction Projects in Korea", *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(11), pp. 2821-2831.
- Lee, M.J. (2016). "The Study of Drawing Safety Accident Factors and Measurement Plan in a Small Construction Site." Master of Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul.
- Lee, W.G. (2016). "A Study on Safety Importance and Safety Orientation on the Main Factors of Industrial Accidents." Master of Safety Engineering, Seoul National University

- of Science and Technology, Seoul.
- Lim, D.J. (2019). "Influencing Factors that a Technology Instruction of Disaster Prevention at Small and Medium Scale Construction Sites Affects a Disaster Model." Master of Architecture and Safety Engineering, Kyonggi University, Gyeonggi.
- Mahabadi, H.A., Khosravi, Y., Rangi, N.H., Hajizadeh, E., and Behzadan, A.H. (2018). "Factors Affecting Unsafe Behavior in Construction Projects: Development and Validation of a New Questionnaire." *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, pp. 1-8.
- Mohammadfam, I., Soltanzadeh, A., Moghimbeigi, A., and Akbarzadeh, M. (2015). "Factors Affecting Occupational Accidents in the Construction Industry (2009-2013)" *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, 3(2), pp. 88-95.
- Mohammadi, A., Taakolan, M., and Khosravi, Y. (2018). "Factors Influencing Safety Performance on Construction Projects: A Review." *Safety Science*, pp. 382-397.
- Nawi, M.N.M., Ibrahim, S.H., Affandi, R., Rosli, N.A., and Basri, F.M. (2016). "Factor Affecting Safety Performance Construction Industry." *International Review of Management and Marketing*, 6(S8), pp. 280-285.
- Park, C.S. (2017). "Analysis of Organizational Performance Perceptions in Newly Established Organization with DEMATEL Method." Ph.D. Dissertation, Mokwon University, Daejeon.
- Park, S.H., Osamu, S., and Choi, S.Y. (2011). "A Structured Analysis of Urban Decay Problems by DEMATEL -Focused on Nisikawaguchi Area of Saitama Prefecture, Japan-" *Korea Real Estate Academy*, 46(0), pp. 321-337.
- Rashid, I.A., Bassioni, H., and Bawazeer, F. (2007). "Factors Affecting Safety Performance in Large Construction Contractors in Egypt." *Proceedings 23rd Annual ARCOM Conference*, pp. 661-670.
- Sawacha, E., Naoum, S., and Fong, D. (1999). "Factors Affecting Safety Performance on Construction Sites." *International Journal of Project Management*, 17(5), pp. 309-315.
- Seo, S.H. (2013). "A Study on Hazard Managements of Steel Manufacturing Industry Using Risk Assessment Technique." Ph.D. Dissertation, Dongguk University, Seoul.
- Son, D.H. (2015). "A Study on Disaster Prevention of Construction Machinery in Railroad Construction Sites." Master of Architectural Engineering, Chonnam National University, Gwangju.
- Son, K.S., Lee, K.Y., and Gal, W.M. (2009). "Analysis Techniques for Accidents Causes of Subcontract Work at Construction Site." *Journal of the Korean of Safety*, 24(5), pp. 35-42.
- Vasoya, S.M., and Shah, R.A. (2017). "Evaluation of Factors Affecting Safety Performance for Building Construction Projects in Rajkot City." *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 4(2), pp. 462-469.
- Williams, O.S., Hamid, R.A., and Misnan, M.S. (2018). "Accident Causal Factors on the Building Construction Sites: A Review" *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 5(1), pp. 78-92.
- Yoo, T.Y. (2007). "The Relationship between HEXACO Personality Factors and a Variety of Performance in Work Organization." *Korean Journal of Industrial and Organizational Psychology*, Korean Psychological Association, 20(3), pp. 292-299.
- Yun, S.H. (2015). "A Study on Strategies of Small and Midsize Construction Companies for Joint Overseas Expansion." Master of Architectural, Seoul National University of Science and Technology, Seoul.
- Yun, Y.G. (2018). "A Study on strengthening implementation of safety management plan in the Construction Technology Promotion Act." Master of Safety Engineering, Incheon National University, Incheon.

요약 : 2017년 기준 우리나라 산업재해자의 28.5%, 산업재해 사망자의 29.6%를 건설업이 차지하고 있어 국내 산업재해를 저감을 위해서는 건설업에 대한 우선적 재해 저감 방안 모색이 필요하다. 따라서 본 연구는 건설재해 영향요인을 대상으로 DEMATEL 분석을 수행하여 이에 기반한 건설재해 저감을 위한 개선방향을 제시하였다. 분석 결과, 4M 요인 중에서는 관리적요인, 4M 세부요인 별로는, 작업자의 개인특성, 기계·설비의 자체결함과 미흡한 기계·설비의 점검 및 정비, 미흡한 안전관리 계획, 부적절한 작업지시가 가장 근본적이고 중심적인 요인인 것으로 분석되었다. 본 연구는 DEMATEL 분석을 통해 건설재해 개선방향 수립을 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 건설재해 영향요인, 4M(Man; Machine; Management; Media)요인, DEMATEL 기법
