

4M을 활용한 떨어짐 사망사고 저감 방안 연구

A Study on the Reduction of Falling Deaths Using 4M

김성은¹ · 박종용^{2*} · 김영권³Seung Eun Kim¹, Jong Young Park^{2*}, Young Kweon Kim³¹ Ph.D. Candidate, Department of Construction Safety Engineering, Kyonggi University, Suwon, Republic of Korea² Visiting Professor, General Graduate School, Kyonggi University, Suwon, Republic of Korea³ Ph.D. Candidate, Department of Construction Safety Engineering, Kyonggi University, Suwon, Republic of Korea

*Corresponding author: Jong Young Park, jypicaso@hanmail.net

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study was to analyze data from the Ministry of Health, Safety and Health and the Ministry of Employment and Labor, and the total number of deaths (disease + accidents) reached 2,020 in 2019 and the estimated economic loss was 27.6 trillion won. This is believed to be the time to present improvements to ensure that economic loss estimates are steadily increasing as in Table 1, and that government-level losses can be drastically reduced. **Method:** In this study, factors were selected through prior research, and reliability analysis, technical statistics and correlation analysis, and multi-term analysis were conducted through the Jamovi program for the analysis of results. **Result:** Multiple session analysis was conducted to verify the research theory indicated in this study, and the analysis showed that mechanical and management factors did not affect the fall death accident of the opening, and human factors, material and environmental factors had a static effect. In addition, mechanical and administrative factors do not affect the fall of the outer wall, and human and material and environmental factors have a static effect. **Conclusion:** As a result of analyzing 450 falling deaths over the past 13 years among the data posted to the Korea Health and Safety Corporation, the most common causes of falling deaths were the openings and outer walls.

Keywords: Reduced falls, Falls, Serious accidents, 4M, Fatalities

요약

연구목적: 본 연구의 목적은 안전보건공단과 고용노동부의 자료를 분석해본 결과 2019년 산업재해로 인하여 전체 사망자(질병+사고) 수도 2,020명에 달하며 경제적 손실추정액은 27.6조 원으로 나타났다. 이는 Table 1에서와같이 경제적 손실추정액은 꾸준히 증가하고 있으며 정부 차원의 손실액을 획기적으로 감소시킬 수 있도록 개선방안을 제시해야 할 때라고 판단된다. **연구방법:** 본 연구에서는 선행연구를 통한 요인을 선정하였으며, 서울, 경기지역을 우선으로 지방에 산재되어 있는 현장 관리 감독 업무를 담당하는 기술자들을 대상으로 설문조사를 실시하고 결과분석을 위해 Jamovi 프로그램으로 신뢰도 분석, 기술통계 및 상관관계 분석, 다중회기 분석을 시행하였다. **연구결과:** 본 연구에서 지시한 연구기설을 검증하기 위하여 다중회기 분석을 시행하였으며 분석 결과 개구부에 대한 떨어짐 사망사고방지를 위하여 기계적 요인과 관리적 요인은 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 인적 요인과 물질·환경적 요인은 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 외벽의 떨어짐 사망사고 방지를 위하여 마찬가지로 기계적 요인과 관리적 요인은 영향을 미치지 않으며 인적 요인과 물질·환경적 요인은 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. **결론:** 본 연구는 안전보건공단에 게시된 자료 중 최근 13년간 450건의 떨어짐 사망사고를 분석한 결과 떨어짐 사망사고가 가장 많이 발생하고 있는 개구부와 외벽부에 대하여 떨어짐 사망사고를 감소시킬 수 있는 요인을 분석하였다.

핵심용어: 떨어짐 사망사고, 추락, 중대재해, 4M, 사망사고 저감

Received | 5 February, 2021

Revised | 10 March, 2021

Accepted | 18 March, 2021



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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

서론

연구의 배경 및 목적

산업체계가 고도화, 첨단화되어가고 있는 4차 산업혁명 시기에 획기적인 변화 없이 중대재해 사망사고가 지속되고 있는 가운데 현 정부는 산업재해를 획기적으로 감소시키고, 노동자들의 생명과 안전이 보장될 수 있는 일터를 조성하기 위해 「산업재해 사망사고 감소대책」을 수립·발표하였다. 지금까지 법 개정과 현장에서의 자율적인 안전 활동에 맞추어 시스템을 구축하고 지도/교육/감독을 추진해 왔지만 ‘떨어짐 사망사고’를 줄이기에는 역부족임을 증명하고 있다. 최근 13년간 안전보건 공단에 게시되어있는 중대 재해사고 중 ‘떨어짐 사망사고’ 450건을 분석하여 ‘떨어짐 사망사고’가 가장 많은 개구부와 외벽을 종속변수로 선정하였으며, 중대재해 발생 위험요인 분석을 위해 위험성 분석기법인 4M(Men, Machine, Media, Management) 기법을 활용하여 떨어짐 사망사고의 원인을 분석하고 개구부와 외벽에서의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소방안의 모색이 절실히 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 안전보건공단과 고용노동부의 자료 분석 결과 2019년 산업재해로 인한 전체 사망자(질병+사고) 수도 2,020명에 달하며 경제적 손실추정액은 27.6조 원으로 나타났다. 건설현장에서 사망자수 428명 중 떨어짐 사망자수는 265명으로 61.9%를 차지하며, 산업재해 떨어짐 사망자수 대비 76.08%를 차지하고 있어 떨어짐 사망사고의 대부분이 건설현장에서 일어나고 있음을 알 수 있다. 이는 Table 1에서와 같이 경제적 손실추정액은 꾸준히 증가하고 있으며 정부 차원의 손실액을 획기적으로 감소시킬 수 있도록 떨어짐 사망사고 감소요인을 명확히 제시하여 선택과 집중을 통해 개선하고자 한다.

Table 1. Estimation of the death toll and loss of industrial accidents by year

구분		2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
산업	업무상사고 사망자수	955	969	964	971	855 (산업재해 사망자수 대비 42.3%)
재해	떨어짐 사망자수	339	366	366	376	347 (산업재해사고사망자수 대비 40.5%)
건설	업무상사고 사망자수	437	499	506	485	428 (산업재해사고사망자수 대비 50.0%)
현장	떨어짐 사망자수	257	281	276	290	265 (건설현장 사망자수 대비 61.9%)
경제적 손실 추정액(조원)		20.4	21.4	22.2	25.2	27.6 (18년 대비 9.5% 증가)

연구 방법

연구 방법은 다양한 규모의 현장을 대상으로 건설사업관리자, 관리감독자, 안전관리자와 근로자를 대상으로 설문조사를 실시하였으며 조사 기간은 20. 12. 15~21. 01. 25까지 42일간 지인을 통한 설문조사를 실시하였다. 연구 절차 과정은 1단계는 이론적 고찰과 선행연구 결과를 바탕으로 예비요소와 지표를 도출하였다. 2단계는 도출한 예비요소와 지표를 바탕으로 기술사들을 중심으로 심층 면접과 Focus Group Interview를 실시하여 설문을 위한 4M 분석을 위한 세부 내용을 정리하였으며 3단계는 건설사업관리기술자를 대상으로 Pre-Test를 실시한 후 응답 결과와 의견을 바탕으로 설문 문항을 완성하였다. 4단계는 서울, 경기지역을 우선으로 지방에 흩어져 있는 현장 기술사들을 대상으로 설문조사를 실시하고 결과분석을 위해 Jamovi 프로그램으로 신뢰도 분석, 기술통계 분석 및 상관관계 분석, 다중회기분석을 시행하였다.

이론적 배경 및 선행연구

이론적 배경

떨어짐 재해의 정의

‘떨어짐’이란 인간이 지구의 중력에 의해 높은 곳에서 떨어지면서 다른 장애물의 방해를 받지 않으며 자유낙하 하는 것을 말하며 떨어짐은 다른 형태의 사고와 다르게 경험을 통하여 사전에 경고되거나 숙달할 수 있는 아차 사고는 거의 없다. 전혀 예상하지 못한 떨어짐이나 실수로 인한 사고는 대부분 신체장애를 동반하는 중상해 이상 사망에 이르는 경우가 대부분이다. 그리고 떨어짐 사고재해는 목숨을 잃거나 신체 일부에 상해를 입는 사고를 말하며 현장의 중대사고 중 과반수 이상이 ‘떨어짐 사고’로 발생하고 있다. 이러한 떨어짐 사고는 모든 산업 업종에서 나타나고 있지만, 건설업에서 차지하는 비율이 특히 가장 높게 나타나고 있다.

Table 2. Fall speed and impact force relationship by drop height¹⁾

떨어짐 높이(m)	0.3	1.2	1.8	2.7	4.9	7.6	11.0	14.9
속도(m/s)	2.4	4.9	6.1	7.3	9.7	12.2	14.6	17.1
충격력(kg)	182	726	1,090	1,634	2,906	4,540	6,356	8,898

떨어짐 재해의 높이와 경과시간을 살펴보면 처음 1초 이내의 떨어짐 거리는 4.9m이며 30.5m까지 2.5초 소요된다. Table 2에서와 같이 1.8m 떨어짐 시 충격력은 체중의 10배 이상이며 미국의 경우 건설 현장 고소 작업 높이를 1.8m로 규정하고 있다. 따라서, 떨어짐으로 인한 안전 사고중 사망사고가 많은 이유를 알 수 있다.

4M 위험성 분석기법

4M 분석기법의 목적은 사업장에서 예상되는 산업재해 발생 위험요인을 분석하여 사고 발생 가능성을 최소화하는 것이다. 이는 분석하고자 하는 해당 공정 및 작업 내에 잠재하고 있는 위험요인을 Men(인적), Machine(기계적), Media(물질·환경적), Management(관리적)의 4가지 요인을 통해 파악하여 위험 제거 대책을 제시하는 방법이다(안전보건공단 2010).

위험성 평가는 평가 대상 작업에 있어 유해·위험 요인을 찾아내고 그 유해·위험요인이 사고로 발전할 가능성을 최소화하기 위한 대책을 수립하는 것으로 원인의 범위를 4M으로 분류하여 문제의 근본 원인을 도출하는 합리적 분석기법으로 인적 요인은 근로자 특성에 의한 불안전 행동 등이며, 기계적 요인은 방호장치, 안전화의 불량 등이며, 물질·환경적인 요인은 작업 공간(작업장 및 구조)의 불량 등이며, 관리적 요인은 교육, 훈련 부족 및 규정, 메뉴얼의 미작성 등 사고를 유발하는 관리적인 결함 사항을 평가한다.

선행연구

떨어짐 사망사고 요인 중 독립변수로는 4M 분석기법을 적용하였으며 먼저, 떨어짐 사망사고 요인 중 인적(Men)요인으로 안전의식과 휴먼에러에 대한 선행연구 내용은 ‘안전이 중요하다’고 느끼고 있음에도 불구하고 관리감독자와 근로자 사이에

1) 추락재해와 예방원리 (Korea Occupational Safety and Health Corporation, 2007)

불신이 있는 상태²⁾이며 ‘재해 원인을 크게 나누면 기술적 원인, 관리적 원인, 교육적 원인으로 분류할 수 있으나 연구 결과 안전의식 및 지식 등의 부족에 기인한 교육적 원인이 전체의 대부분을 차지하고 있음이 검증³⁾’ 되었으며 ‘휴먼에러와 관련된 요인을 분석하여 위험성을 관리, 예방하여 장기적으로 재해율을 감소 시킬 수 있을 것이다⁴⁾’

떨어짐 사망사고 요인 중 기계적(Machine) 요인으로 안전모, 안전대, 추락 방지시스템 등 개인보호장구와 상관관계를 알아보고자 하며 선행연구 내용은 ‘작업 중 안전모를 착용하는지에 대한 여부는 착용한다가 99%로 대부분이었다. 작업 중 안전모의 턱 끈을 반드시 매고 작업하는지는 반드시 맨다 45.93%, 맨다 30.89%로 대부분 매는 것으로 나타났다. 안전모의 필요성에 대해서는 꼭 필요하다가 82.53%였다⁵⁾’

떨어짐 사망사고 요인 중 물질·환경적(Media) 요인으로 안전난간, 안전 발판, 개구부 덮개, 추락방지망 등 안전 시설물과의 상관관계를 알아보고자 하며 선행연구 내용은 ‘추락재해 예방을 위해서 추락 위험 감소 산출 system을 공사 초기에 목표를 가지고, 계획 시 각종 유해 위험 방지계획서, PCM, 종합 시공계획서, 건기법 안전관리 계획서와 같이 연계하고 시물레이션을 통한 예측 안전 기법으로 활용한다면 떨어짐 재해는 적어도 반 이상 줄어들 것이다.⁶⁾’ 라고 말하고 있지만, 떨어짐 재해 감소는 미미한 수준이다.

떨어짐 사망사고 요인 중 관리적(Management) 요인으로 안전교육, 법규 지침 및 안전관리자의 역할 등 관리적 요인에 대한 상관관계를 알아보고자 하며 선행연구 내용은 ‘중·소규모 건설 현장의 안전보건 교육은 주로 강의식 이론교육 또는 회람식 교육으로 시행되어 교육 방법과 내용 측면에서 근로자와 현장의 특성을 고려하지 못한 채 형식적으로 이루어지고 있다.⁷⁾’ 따라서 현 안전교육의 실제적인 강화와 정상적인 교육을 통해 중대 재해를 감소시키기 위한 노력이 필요하다.

연구 방법

연구 문제 및 연구가설

독립변수 요인들은 4M 분석기법을 사용하여 위험요인을 인적, 기계적, 물질·환경적, 관리적 4가지 요인을 통해 ‘떨어짐 사망사고’의 원인을 파악하고 종속변수 요인으로는 최근 13년간 안전보건공단에 게시되어있는 중대 재해사고 중 ‘떨어짐 사망사고’를 분석하여 ‘떨어짐 사망사고’가 가장 많은 개구부와 외벽을 선정하여 그 영향을 분석하고자 다음의 연구 문제와 연구가설을 설정하였다.

연구문제 1 : ‘떨어짐 사망사고’의 주요원인(4M 요인)이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것인가?

H1-1 : ‘떨어짐 사망사고’의 인적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.

H1-2 : ‘떨어짐 사망사고’의 기계적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.

H1-3 : ‘떨어짐 사망사고’의 물질·환경적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.

H1-4 : ‘떨어짐 사망사고’의 관리적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.

- 2) 건설 현장 관리감독자와 근로자 안전관리 인식조사 연구 (Cheon, 2019)
- 3) 건설업 종사자들의 안전의식 및 안전교육과 산업재해의 인과 효과에 관한 연구(Cho, 2009)
- 4) 자율 안전보건경영시스템의 휴먼에러 요인분석을 통한 안전보건 경영성과 영향 연구 (Park, 2016)
- 5) 건설 현장 근로자들의 보호구 착용 실태와 착용 중대방안 (Lee, 2008)
- 6) 추락재해 예방을 위한 추락위험 감소 산출 시스템 구축에 관한 연구 (Kang, 2005)
- 7) 중·소규모 건설 현장의 안전보건 교육체계 개선에 관한 연구 (Jeong, 2016)

연구문제 2 : ‘떨어짐 사망사고’의 주요원인(4M 요인)이 외벽의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것인가?

H2-1 : ‘떨어짐 사망사고’의 인적 요인이 외벽의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.

H2-2 : ‘떨어짐 사망사고’의 기계적 요인이 외벽의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.

H2-3 : ‘떨어짐 사망사고’의 물질·환경적 요인이 외벽의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.

H2-4 : ‘떨어짐 사망사고’의 관리적 요인이 외벽의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.

설문지 조사

설문조사는 이미 개발된 설문 문항을 인용 수정하여 사용하였으며 건설사업관리자, 관리감독자, 안전관리자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 이론적 고찰과 선행연구 결과를 바탕으로 예비요소와 지표표를 도출하였으며 도출한 예비요소와 지표표를 바탕으로 기술사들을 중심으로 심층 면접과 Focus Group Interview를 실시하여 설문을 위한 4M 분석을 위한 세부 내용을 정리하였으며 건설사업관리업무에 종사하고 있는 건설사업관리 기술자를 대상으로 Pre-Test를 실시한 후 응답 결과와의 견을 바탕으로 설문 문항을 완성하였으며 표본추출 방법은 편의표본을 사용하였다.

본 연구는 Table 3에서 보는바와 같이 독립변수에 대한 척도는 4M 분석을 통하여 인적 요인(Man Factor), 기계적 요인(Machine Factor), 물질·환경적 요인(Madia Factor), 관리적 요인(Management Factor)으로 분류하여 문제의 근본 원인을 도출하고자 하며 요인별 선행연구자들의 설문지를 수정하여 사용하였다.

Table 3. measurement item scheme

	변수 정의	변수 설명	문항 수	척도
독립변수	인적 요인	안전의식, 휴면 에러	26	리커트 5점 척도
	기계적 요인	안전장구(안전모, 안전대, 추락방지시스템등)	18	
	물질·환경적 요인	안전시설물(안전난간, 안전발판, 개구부덮개, 추락방지망등)	14	
	관리적 요인	각종 안전교육, 법규, 내규, 지침, 안전관리자 역할	34	
종속변수	개구부	슬래브 단부, 철골 포함	15	
	외벽	달비계 포함	19	
일반 통계학적 특성		지역, 성별, 연령, 직무	각 1문항	명목 척도
		작업 공종, 근무 경력, 공사 규모, 인원	각 1문항	

자료수집과 분석 절차

자료수집

본 연구에서 제작한 설문지를 바탕으로 서울, 경기 및 기타지역의 건설 현장의 건설사업관리자, 관리감독자, 안전관리자와 근로자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사를 위해서는 비확률추출의 편의 표본조사를 시행하였으며 설문 기간은 20. 12. 15~21.01. 25까지 42일간 실시하였다. 설문조사에는 250부를 배포하여 203부를 회수하여 분석자료로 활용하였다.

분석 절차

본 연구에서 제기한 연구가설은 검증하기 위하여 설문조사에서 수집한 자료를 통계 패키지 프로그램 R-Studio로 코딩하

고 통계적 분석을 시행하였다. 통계적 분석 절차는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 선정한 연구대상의 검토를 위하여 인구통계학적 현황을 살펴보았으며 이를 위해 빈도 분석을 시행하였다.

둘째, 본 연구에서 사용한 측정 도구의 구성체계에 대한 계층화된 도구의 차원을 감소시킬 목적으로 알아내고자 하는 개념의 내용 타당성을 확인하기 위하여 주성분 법에 따른 분석을 시행하였다.

셋째, 본 연구에서 사용한 측정용 도구의 구성체계에 대해 얼마나 믿을만한 도구인지 신뢰도를 확인하기 위하여 내적일관성을 의미하는 Cronbach's α 값을 도출하였다.

넷째, 타당성과 신뢰성이 확보된 문항으로 평균화에 의한 변수계산을 시행하여 주요 변수로 생산하였으며 주요 변수의 기술통계 현황을 파악하기 위하여 기술통계분석을 시행하였다.

다섯째, 주요 변수 간의 상관관계를 파악하기 위하여 피어슨 상관분석을 실시하였다.

여섯째, 본 연구에서 지시한 연구가설을 검증하기 위하여 다중회기 분석을 시행하였다.

연구 결과

응답자 일반 특성 분석

연구대상에 대한 일반적 특성을 살펴보기 위하여 Table 4와 같이 빈도 분석을 시행하였으며 203명의 응답자에 대한 일반 특성은 건설사업관리자, 관리감독자, 안전관리자가 대상으로 50대 인원이 가장 많았으며 직무 문항에서는 관리감독자가 52.2%로 가장 많았다.

Table 4. Typical characteristics of respondents

문항	Levels	Counts	% of Total	Cumulative %
나이	20대 이하	12	5.9 %	5.9 %
	30대	57	28.2 %	34.2 %
	40대	49	24.3 %	58.4 %
	50대	65	32.2 %	90.6 %
	60대 이상	18	9.4 %	100.0 %
직무	건설사업관리자	61	30.0 %	30.0 %
	관리감독자	106	52.2 %	82.3 %
	안전관리자	36	17.7 %	100.0%

측정도구 구성체계에 대한 타당도와 신뢰도

연구대상에 대한 반복측정을 가정하였을 때, 동일한 값을 얻어낼 가능성을 확인하는 신뢰도 분석은 측정용 도구에 대한 타당성 검증(요인분석)한 후 실시한다. 신뢰도 분석은 요인분석 결과를 어느 정도 신뢰할 수 있는가를 확인하는 과정이다. Table 5의 신뢰도 분석 결과 인적요인과 기계적 요인의 Cronbach's α 신뢰도 값은 0.787로 나타났으며, 물질·환경적 요인의 Cronbach's α 신뢰도 값은 0.854로 나타났으며, 관리적 요인의 Cronbach's α 신뢰도 값은 0.862로 나타나 0.7 이상으로 전반적인 신뢰도는 높다고 할 수 있다.

Table 5. Reliability analysis

구분	mean	sd	Cronbach's α
인적요인	3.87	0.418	0.787
기계적 요인	3.77	0.46	0.787
물질·환경적 요인	4.09	0.486	0.854
관리적 요인	3.69	0.431	0.862
개구부	4.25	0.557	0.952
외벽	4.22	0.615	0.878

주요 변수의 기술통계와 상관관계

상관관계 분석은 피어슨의 상관계수를 이용하였다. Table 6의 상관분석 결과 인적요인과 물질·환경적 요인이 0.613으로 가장 높았으며 $p < 0.001$ 로 유의하고 두 변인의 관계는 정적 상관관계를 보여 인적요인과 물질·환경적인 요인의 관계가 높다는 것을 알 수 있다. 인적요인과 관리적인 요인의 상관관계는 $p < 0.001$ 로 유의하고 두 변인의 관계가 0.452로 높은 정적 상관관계를 보여 인적요인이 높을수록 관리적 요인이 높아진다.

Table 6. Correlation matrix

구분	인적 요인	기계적 요인	물질·환경적 요인	관리적 요인	개구부	외벽
인적 요인	—					
기계적 요인	0.552 ***	—				
물질·환경적 요인	0.613 ***	0.683 ***	—			
관리적 요인	0.452 ***	0.681 ***	0.756 ***	—		
개구부	0.554 ***	0.529 ***	0.764 ***	0.600 ***	—	
외벽	0.530 ***	0.550 ***	0.719 ***	0.589 ***	0.822 ***	—

Note. * $p < 0.5$, ** $p < 0.1$, *** $p < 0.001$

가설 검증

연구문제 1의 “‘떨어짐 사망사고’의 주요 원인(4M 요인)이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것인가?”를 검증하기 위해 회귀 분석을 시행하였다. 다중회귀분석은 독립변수와 종속변수 간의 상대적 영향력을 비교할 목적으로 선형식을 구하여 독립변수 값의 증가 또는 감소에 따라서 종속변수 값의 변화 정도를 예측하고 종속변수에 대한 독립변수의 영향 정도를 분석하는 방법이다. Table 7은 개구부에 대한 분석으로 수정 결정계수 $R^2 = 0.59$ 로 독립변수가 종속변수 분산의 약 59%를 설명하는 것으로 나타났다. 회귀모형 검증은 $F = 72.9$, 유의확률 $p < 0.001$ 으로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

Table 7. Model fit measures

Model	R	R ²	Adjusted R ²	F	Overall Model Test		
					df1	df2	p
1	0.773	0.598	0.59	72.9	4	196	< .001

모형계수 Table 8은 독립변수가 종속변수에 유의한 영향을 미치는가를 보여주는 표이다. B값은 비표준화 계수로 회귀모형의 계수 값이며 β값은 표준화 계수로 독립변수의 영향력을 의미한다. t 값은 가설을 검증하기 위한 통계값을 비표준화 계수를 표준오차로 나누어 구할 수 있으며 이값을 잔차 자유도에 대한 t-분포로 가설검정을 하게 된다. 다중공선성 확인은 공차한계(Tolerance) 통계값이 0.1 이상, VIF(Variance Inflation Factor)통계값이 10 미만이면 다중공선성에 문제가 없다고 판단한다.

Table 8. Model coefficients

Predictor	B	SE	개구부		β	VIF	Tolerance
			t	p			
Intercept	0.2893	0.2671	1.083	0.28			
인적요인	0.2015	0.0794	2.539	0.012	0.1504	1.71	0.584
기계적 요인	-0.0573	0.0829	-0.692	0.49	-0.0473	2.27	0.44
물질·환경적 요인	0.7433	0.0916	8.116	< .001	0.6473	3.1	0.322
관리적 요인	0.097	0.0956	1.014	0.312	0.0751	2.67	0.374

다중공선성은 VIF값<10, 공차 한계 값≥0.1로 문제가 없는 것으로 나타났으며 t-분포로 연구문제에 대한 연구가설 검증은 다음과 같다.

연구가설 H1-1의 “‘떨어짐 사망사고’의 인적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.”를 검증한 결과 떨어짐 사망사고의 인적요인의 t 통계치가 2.539, 유의확률 p<0.05로 통계적으로 유의한 것으로 나타나 대립가설을 채택한다. 즉 인적요인은 떨어짐 사망사고에 15.04%의 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

연구가설 H1-2의 “‘떨어짐 사망사고’의 기계적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.”를 검증한 결과 떨어짐 사망사고의 기계적 요인의 t 통계치가 -0.692, 유의확률 p>0.05로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타나 대립가설을 기각하였다.

연구가설 H1-3의 “‘떨어짐 사망사고’의 물질·환경적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.”를 검증한 결과 떨어짐 사망사고의 기계적 요인의 t 통계치가 8.116, 유의확률 p<0.05로 통계적으로 유의한 것으로 나타나 대립가설을 채택한다. 즉 인적요인은 떨어짐 사망사고에 64.73%의 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

연구가설 H1-4의 “‘떨어짐 사망사고’의 관리적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.”를 검증한 결과 떨어짐 사망사고의 기계적 요인의 t 통계치가 1.014, 유의확률 p>0.05로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타나 대립가설을 기각하였다.

결과적으로 기계적 요인과 관리적 요인은 영향을 미치지 않으며 인적 요인과 물질·환경적 요인은 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

연구문제 2의 ‘떨어짐 사망사고’의 주요 원인(4M 요인)이 외벽의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것인가?를 검증하기 위해 회기 분석을 시행하였다(Table 9참조). 외벽에 대한 분석으로 수정 결정계수 R²=0.527로 독립변수가 종속변수 분산의 약 52.7%를 설명하는 것으로 나타났다. 회귀모형 검증은 F=56.7, 유의확률 p<0.001로 통계적으로 유의한 것으로 나타

났다.

Table 9. Model fit measures

Model	R	R ²	Adjusted R ²	Overall Model Test			
				F	df1	df2	p
1	0.732	0.536	0.527	56.7	4	196	< .001

Table 10의 모형계수에서 B값은 비표준화 계수로 회귀모형의 계수 값이며 β 값은 표준화 계수 추정값을 의미한다. t 값은 가설을 검증하기 위한 통계값을 비표준화 계수를 표준오차로 나누어 구할 수 있으며 이값을 잔차 자유도에 대한 t-분포로 가설검정을 하게 된다. 다중공선성 확인은 공차 한계 통계값이 0.1 이상, VIF 통계값이 10 미만이면 다중공선성에 문제가 없다고 판단한다.

Table 10. Model Coefficients

Predictor	B	SE	외벽				VIF	Tolerance
			t	p	β			
Intercept	-0.0446	0.317	-0.141	0.888				
인적요인	0.1986	0.0942	2.109	0.036	0.1342	1.71	0.584	
기계적 요인	0.0646	0.0984	0.657	0.512	0.0482	2.27	0.44	
물질·환경적 요인	0.6796	0.1087	6.253	< .001	0.5357	3.1	0.322	
관리적 요인	0.1293	0.1134	1.14	0.256	0.0906	2.67	0.374	

다중공선성은 VIF값<10, 공차 한계값 \geq 0.1로 문제가 없는 것으로 나타났으며 t-분포로 연구문제에 대한 연구가설 검증은 다음과 같다.

연구가설 H2-1의 “‘떨어짐 사망사고’의 인적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.”를 검증한 결과 떨어짐 사망사고의 인적요인의 t통계값이 2.109, 유의확률 $p<0.05$ 로 통계적으로 유의한 것으로 나타나 대립가설을 채택한다. 즉 인적 요인은 떨어짐 사망사고에 13.42%의 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

연구가설 H2-2의 “‘떨어짐 사망사고’의 기계적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.”를 검증한 결과 떨어짐 사망사고의 기계적 요인의 t 통계치가 0.657, 유의확률 $p>0.05$ 로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타나 대립가설을 기각하였다.

연구가설 H2-3의 “‘떨어짐 사망사고’의 물질·환경적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.”를 검증한 결과 떨어짐 사망사고의 기계적 요인의 t 통계치가 6.253, 유의확률 $p<0.05$ 로 통계적으로 유의한 것으로 나타나 대립가설을 채택한다. 즉 물질·환경적 요인은 떨어짐 사망사고에 53.57%의 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

연구가설 H2-4의 “‘떨어짐 사망사고’의 관리적 요인이 개구부의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소에 영향을 미칠 것이다.”를 검증한 결과 떨어짐 사망사고의 기계적 요인의 t 통계치가 1.14, 유의확률 $p>0.05$ 로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타나 대립가설을 기각하였다.

결과적으로 기계적 요인과 관리적 요인은 영향을 미치지 않으며 인적 요인과 물질·환경적 요인은 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

결론

본 연구는 안전보건공단에서 게시된 자료 중 최근 13년간 450건의 떨어짐 사망사고를 분석한 결과 떨어짐 사망사고가 가장 많이 발생하고 있는 개구부(슬래브 단부 포함)와 외벽(달비계 포함)부에 대하여 떨어짐 사망사고를 감소시킬 수 있는 요인을 분석하였다. 이를 위해 떨어짐 사망사고가 가장 많은 시공단계 위험요인을 전문가 인식조사를 통해 4M의 4가지 요인으로 분류하였으며 4M 기법을 활용하여 떨어짐 원인을 인적, 기계적, 물질·환경적, 관리적 요인을 구분하여 분석하고 개구부와 외벽에서의 ‘떨어짐 사망사고’ 감소방안의 유의성을 모색 하였으며, 현장 기술자들을 대상으로 설문조사를 실시하고 결과분석을 위해 Jamovi 프로그램으로 신뢰도 분석, 기술통계 분석 및 상관관계 분석, 다중회기분석을 시행하였으며 조사 분석 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 본 연구에서 선정한 연구대상의 검토를 위하여 인구통계학적 현황을 살펴보았으며 일반 특성은 건설사업관리자, 관리감독자, 안전관리자가 대상으로 50대 인원이 가장 많았으며 직무 문항에서는 관리감독자가 52.2%로 가장 많았다.

둘째, 신뢰도 분석 결과 인적요인과 기계적 요인의 Cronbach's α 신뢰도 값은 0.787로 나타났으며, 물질·환경적 요인의 Cronbach's α 신뢰도 값은 0.854로 나타났으며, 관리적 요인의 Cronbach's α 신뢰도 값은 0.862로 나타나 0.7 이상으로 전반적인 신뢰도는 높다고 할 수 있다.

셋째, 주요 변수 간의 상관관계를 파악하기 위하여 피어슨 상관분석을 실시하였으며 상관분석 결과 인적 요인과 물질·환경적 요인이 0.613으로 가장 높았으며 $p < 0.001$ 로 유의하고 두 변인의 관계는 정적 상관관계를 보여 인적 요인과 물질·환경적 요인의 관계가 높다는 것을 알 수 있다. 인적 요인과 관리적 요인의 상관관계는 $p < 0.001$ 로 유의하고 두 변인의 관계가 0.452로 높은 정적 상관관계를 보여 인적요인이 높을수록 관리적 요인이 높아진다.

넷째, 본 연구에서 지시한 연구가설을 검증하기 위하여 다중회기분석을 시행하였으며 분석 결과 개구부에 대한 떨어짐 사망사고 방지를 위하여 기계적 요인과 관리적 요인은 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 인적 요인과 물질·환경적 요인은 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 외벽의 떨어짐 사망사고 방지를 위하여 마찬가지로 기계적 요인과 관리적 요인은 영향을 미치지 않으며 인적 요인과 물질·환경적 요인은 정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

코로나-19사태로 인하여 집합금지 및 단체 모임 금지로 인하여 현장 근로자들에 대한 설문조사에 제한이 많아 건설사업관리자, 관리감독자, 안전관리자를 대상으로 1차 설문조사를 진행하였으며, 향후 사태가 호전될 시 추가적인 설문조사를 통해 관리자와 근로자들 상호 인식의 차이를 통한 떨어짐 사망사고 감소 유의성을 확인하고자 하며 ICT, IoT 스마트 안전기술의 조절변수를 통하여 떨어짐 사망사고의 감소 방안을 제시하고자 한다.

References

- [1] Cheon, W.-S. (2019). A Study on the Perception of Safety Management of Construction Site Supervisors and Workers. Ph.D. Dissertation, Hanse School.
- [2] Cho, J.-H. (2009). A Study on the Safety Awareness and Safety Education of Construction Workers and the Causal

Effect of Industrial Accident. Ph.D. Dissertation, Engineering, Dongguk University.

- [3] Jeong, K.-H. (2016). A Study on the Improvement of Safety and Health Education System in Small and Medium-sized Construction Sites. Doctoral Dissertation, Engineering at Kyunggi University.
- [4] Kang, Y.-T. (2005). A Study on the Establishment of a Fall Hazardous Site Calculation System for the Prevention of Fall Accidents. Doctoral Dissertation, Engineering at Myongji University.
- [5] Korea Occupational Safety and Health Corporation (2007). Fall Accident and Prevention Principles. Educational Data.
- [6] Lee, D.-J. (2008). The Actual Condition of Wearing Protective Clothing for Workers in Construction Sites and the Improvement of Wear. Master Dissertation, Engineering, Hankuk University of Transportation.
- [7] Park, J.-M. (2016). A Study on the Health and Safety Management Performance and Impact of Human Error Factors in Autonomous Safety and Health Management System. Doctoral Dissertation, Engineering at Chosun University.