

다중 상응 분석을 통한 아파트 건설현장 업무상 재해 유형 분석

Analysis of Occupational Accident Types in the Apartment Construction Sites using Multiple Correspondence Analysis

류 한 국¹

손 승 현^{2*}

Ryu, Han-Guk¹

Son, Seunghyun^{2*}

Associate Professor, Department of Architecture, Sahmyook University, Nowon-Gu, Seoul, 01795, Korea ¹
PhD Course, Department of Architecture, Kyunghee University, 1732, Deogyong-daero, Giheung-gu, Yongin-si,
Gyeonggi-do 17104, Korea ²

Abstract

In this study, we analyzed the safety accidents that occurred in the apartment construction site and the correlations between the victims according to the type of work accidents through multiple correspondence analysis. There is a lack of disaster-related studies on apartment construction sites, the third most frequent building type in Korea, and most of them have used survey techniques. Therefore, the exploratory data analysis was conducted in industrial accident cause data, and derived the correlation analysis between each disaster victim through multiple correspondence analysis. The results of the study are summarized in two as follows. First, as the number of heights increased due to the high rise and complexity of apartments, the fall rate and mortality rate were high. In addition, deaths are mostly caused by very few experienced workers or those with more than 10 years of experience, resulting from safety training, lack of experience, and insensitivity to safety. Second, multi-correspondence analysis showed that most safety accidents can be prevented by wearing safety equipment, and following proper work process and its safety action. The key factors derived from this study can be used for safety education, supervision, and management in apartment construction sites.

Keywords : construction safety management, exploratory data analysis, multiple correspondence analysis

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설현장은 다른 산업현장과 달리 매우 위험하며 현장에서 발생하는 다양한 요인으로 작간접적으로 산업재해에 영향을 미친다. 타 산업과 비교하면 건설업은 전체 산업재해 중 28.6%를 차지할 만큼 가장 위험률이 높은 산업이다[1]. 건설 작업은 가설공사 이후에 직접 공사가 진행되고 작업상

황과 공정이 빠르게 변화되기 때문에 그것에 맞게 안전 조치를 하는 것이 어렵다. 더구나 안전 시설물과 장치를 구축하고 작업을 하더라도 건설작업자의 안전 의식과 교육 등의 영향을 많이 받기 때문에 건설현장은 항시 재해의 위험에 노출되어 있으며 재해가 발생하게 되면 중대 재해로 이어지는 경우가 많다.

2017년 기준, 전체 건설 중 아파트가 전체 건설비용에서 27.2%를 차지하고 있다[2]. 아파트는 고층화, 복잡화, 대형화되고 있는 건축물로 아파트 이외 주거시설(16.1%), 사무실, 학습실 등 시설(10.4%), 아파트(7.0%), 상품판매 및 상가 시설(6.9%)로 건설현장에서 발생한 전체 재해 중 업무상 재해 유형 발생빈도가 세 번째로 높다.

그러나 건설업에서 높은 비중을 차지하는 아파트 건설현

Received : December 12, 2019

Revision received : January 14, 2020

Accepted : January 18, 2020

* Corresponding author : Son, Seunghyun

[Tel: 82-31-201-3685, E-mail: seunghyun@khu.ac.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

장에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다. Song and Boo[3]는 아파트 건설 시 치명적인 사고와 사고 요인을 조사 분석하여 단위 구조물의 사고 발생빈도가 높은 아파트 건설에 대한 효율적인 사고 예방 조치를 제안하였다. Lee et al.[4]은 공사가 완료된 아파트 건설현장을 대상으로 각 공종별 투입물과 작업 기간을 분석하여 작업 강도를 도출하여 중대 재해 사례와 작업 강도를 건축공사 위험성 평가하고 재해 예방을 위한 기초적 자료를 제시하였다. Lee and Jang[5]은 건축공사 중 아파트공사에 종사하는 430명을 대상으로 설문방법을 통해 아파트공사 기능직 종사자와 단순 노무 근로자의 직무 스트레스와 작업 능력에 관한 연구를 하였다.

한국의 빌딩건축공사현장에서 발생하는 치명적인 재해를 빈도분석, 상관분석 및 분산분석을 활용하여 재해의 패턴을 연구하였다. 치명적인 사고의 패턴을 월, 요일, 시간 간격과 상대적으로 개발이 적은 지역에서 발생하는 것으로 도출되었으며, 재해 유형과 재해의 심각성 간에 상관관계가 존재하는 것으로 도출되었다[6]. 하지만 대부분 연구는 설문기법의 분석이나 통계적 검정 또는 적은 양의 데이터로 인해 아파트에서 발생하는 산업재해를 파악하기에는 제한적이며 아파트 건설현장을 중심으로 분석한 연구들은 매우 부족한 편이다.

따라서 본 연구에서는 건설현장 중 아파트 건설현장을 중심으로 발생하는 산업재해를 분석하였다. 안전보건공단(KOSHA)에서 수집한 산업재해원인조사 데이터를 활용하여 현장에서 발생한 업무상 재해 유형의 특징을 도출하고자 재해요인과 각 재해의 발생형태 간의 연관성을 분석하고자 하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 아파트 건설현장을 중심으로 KOSHA의 데이터를 활용하여 탐색적 자료 분석 및 각 재해요인에 대한 다중 상응 분석을 하려는 방법 및 범위는 다음 Figure 1과 같다. 첫째, KOSHA 데이터를 정제하고 코드로 기록된 요인들을 분석하고 범주형 데이터로 변환하는 과정을 실시하였다. 둘째, 숫자에서 텍스트로 변환된 데이터를 분석하여 업무상 재해 강도인 사망과 부상에 따른 각 변수에 대한 독립성 검정(test of independent)을 사용하여 연관성이 없는 변수들은 제외하였다. 셋째, 추출된 변수들을 대상으로 탐색적 자료 분석을 하였고 직관적인 이해를 도우려고 시각화하였다. 넷째, 각 변수의 재해요인 간 연관성을 도출하기 위해

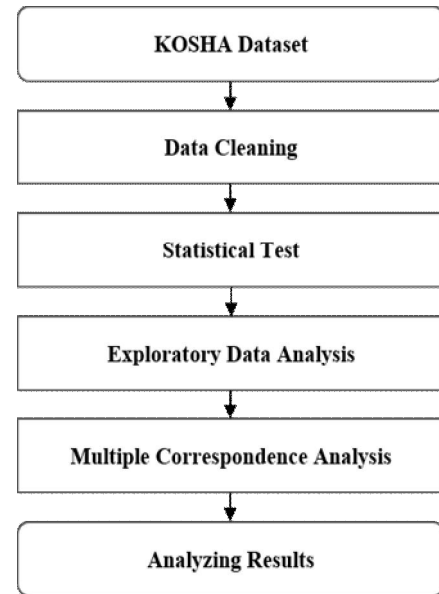


Figure 1. Methodology

다중 상응 분석을 적용하고 그 결과를 분석하여 아파트 건설현장에서 발생하는 재해요인들과 그 요인들 간의 연관성을 도출하고자 하였다.

2. 선행연구

2.1 업무상 재해 발생유형

산업재해는 건설공사 및 생산 활동 과정에서 발생하는 사고로서 인적 및 물적 피해를 뜻하며, 산업재해보상보험법에 따르면 업무상 재해는 근로자가 업무상의 사유에 따른 근로자의 부상·질병·장해 또는 사망을 뜻한다[8]. 산업안전보건법 제2조에서 산업재해란, 근로자의 작업과 관계되는 각종 건설물·설비·원재료·가스 등에 의하거나 작업 또는 업무 등으로 인해 사망 또는 부상하거나 질병에 걸리는 것이라 규정하고 있다.

건설업에서 발생하는 재해의 특징은 천재지변에 의한 자연재해와 부실공사 및 산업재해 등 인위적인 재해로 분류할 수 있으며 부실공사로 인한 중대 재해는 법 개정을 통한 감리제의 시행과 관리 감독으로 상당히 개선되었으나 산업재해의 경우 정부와 기업 그리고 수많은 연구에도 불구하고 반복되어지고 있는 실정이다[7]. 이러한 건설현장에서 발생하는 재해의 유형은 추락(떨어짐), 전도(넘어짐), 붕괴·도괴(갈림·뒤집힘), 낙하비레(물체에 맞음), 협착·충돌(끼임·부딪힘), 감전, 화재·폭발, 유해물질접촉 등으로 분류된다. 각 재해

유형의 정의는 다음과 같다. 추락은 높이가 있는 곳에서 사람이 떨어지는 것을 뜻하며, 전도는 사람이 미끄러지거나 넘어지는 것과 물체의 쓰러짐이나 뒤집힘을 나타낸다. 충돌·협착은 물체에 부딪히거나 기계설비에 끼이거나 감김을 뜻하며 낙하·비래는 날아오거나 떨어진 물체에 맞음을 의미한다. 붕괴·도괴는 건축물이나 쌓인 물체가 무너짐을 뜻한다[1,8]. 업무상 재해 유형의 발생 단계는 불안정한 환경과 노동자의 개인적인 결함인 불안정한 행동, 즉 부주의로 이어지고 부주의가 사고를 일으켜 재해가 발생하며 이러한 재해를 기록하고 관리하기 위해 분류된 항목들은 매우 중요하다. 본 연구에서는 아파트 건설현장에서 발생한 업무상 재해 유형에 따른 재해요인들을 분석하고 연관성을 분석하고자 하였다.

2.2 탐색적 자료 분석

탐색적 데이터 분석(exploratory data analysis)은 주어진 데이터를 이해하는 것이 목적이다. 다양한 목적을 위해 데이터를 다양한 각도에서 관찰하고 이해하는 과정으로 데이터를 모형에 적용하거나 분석하기 전 그래프나 통계적인 방법으로 데이터를 직관적으로 바라보는 과정을 뜻한다. 이는 데이터의 분포 및 관측값을 검토함으로써 데이터가 표현하는 현상을 잘 이해하고 데이터에서 잠재적인 뜻이나 문제를 발견할 수 있다. 또한, 분석에 들어가기 전 추가적인 데이터 수집 의사를 결정할 수 있다. 탐색적 데이터 분석은 다양한 각도에서 살펴보는 과정에서 문제 정의 단계에서 발견하지 못한 다양한 패턴을 발견하고 이를 바탕으로 기존의 가설을 수정하거나 새로운 가설을 세울 수도 있다. 탐색적 데이터 분석의 과정은 다음과 같다. 첫째, 분석의 목적과 변수가 무엇인지 확인하고 둘째, 데이터에 문제가 없는지 탐색한 후 이상치 및 결측치 등을 확인한다. 셋째, 데이터의 개별 속성값을 관찰하여 속성값이 예측한 범위와 어떤 분포를 띄는지 탐색하는 것이다. 넷째, 속성 간의 관계에 초점을 맞추어 개별 속성 관찰에서 찾아내지 못한 패턴을 발견하는 것이다 [9,10]. 본 연구에서는 탐색적 데이터 분석을 KOSHA의 데이터에 적용하여 아파트 건설현장에서 발생하는 패턴 및 시각화를 통해 직관적으로 이해할 수 있도록 분석하였다.

2.3 다중 상응 분석

상응 분석(correspondence analysis)은 명목척도로 측정된 두 개 이상의 범주형 요인 간의 연관성을 분석하고 결과를 시각화하여 해석이 쉽도록 기하학적으로 제시하는 다

변량 통계기법이다[11]. 다차원 척도법(multi dimensional scaling)이나 주성분 분석(principal component analysis)과 같이 수치 정보를 시각적으로 표현하는 방법이다. 상응 분석 전 두 변수 간의 연관성 유무를 파악한 뒤 적용하는 것이 좋으며 만약 두 변수가 서로 독립적이라면 상응 분석의 의미가 없다. 또한, 세 개 이상 변수의 복합적인 관계를 정의할 때 다중 상응 분석(multiple correspondence analysis)이라 한다[12]. 다중 상응 분석은 세 개 이상의 변수들이 가질 수 있는 요인들 간의 관계를 분석하여 이를 시각적으로 나타내며 범주형 변수 간의 빈도 분할표를 이용하여 분석하는 것이다. 따라서 이러한 상응분석은 서로 다른 정보를 나타내는 행과 열을 하나의 공통 공간상에 나타낼 수 있다는 특유의 이점을 가지고 있다[11-12]. 따라서 본 연구에서는 업무상 재해 유형의 다양한 재해요인의 연관성을 파악하기 위해 다중 상응 분석을 적용하였다.

3. 데이터 및 탐색적 자료 분석

3.1 데이터 설명

본 연구의 목적은 다양한 건설현장 중 아파트 건설현장에서 발생한 재해를 특징을 분석하고 업무상 재해 유형과 업무상 재해 정도인 사망과 부상 간 연관성을 분석하고자 하였다. 또한, 업무상 재해 유형에 따른 재해요인들 분석하기 위해 KOSHA에서 수집한 데이터를 활용하였다. 산업재해원인조사 데이터는 2008년 1월 1일부터 2014년 12월 31일 까지 산업재해보상보험에 승인된 산업재해자를 대상으로 수집하였으며 아파트 건설현장에서 발생한 총 938건에 대한 데이터를 분석하였다. 데이터의 변수는 재해발생일, 업무상 재해 유형, 회사 규모, 공사금액, 고용형태, 근무 기간, 개인 보호장비착용여부, 직업, 질병명, 질병부위, 작업공정, 작업 내용, 기인물, 발생형태, 가해물, 불안정한 상태, 불안정한 행동, 추락 높이, 추락 장소 등 22개의 변수를 가지고 있다. 각 변수의 관측값은 숫자 코드로 기록되어있으므로 각 코드가 정의한 의미를 파악하기 위해 KOSHA에서 제공한 데이터 설명과 데이터 베이스 스키마를 활용하여 관측값을 변환하였고 이상치와 결측치는 제거하였다.

정제된 데이터를 분석하고 상응 분석에 적용하기 위해 독립성 검정을 시행하였다. 독립성 검정은 서로 다른 요인들에 의해 분할되어있는 경우 그 요인들이 관찰 값에 영향을 주

고 있는지 서로 연관이 없는지를 카이제곱 검정을 통해 통계적으로 검증하는 방법이다. 본 연구에서는 재해 유형의 부상과 사망에 따른 선택된 변수들이 종속적인지 독립적인지 독립성 검정을 한 결과는 p-값이 0.05 이하인 변수만 추출하였으며, 이를 기준으로 정렬한 다음 Table 1과 같이 데이터의 개수, 각 변수에 포함된 요인의 수, 카이제곱값, p-값, 자유도로 요약하였다.

Table 1. Summary of variables and test result

Variable names	Cat.	χ^2	p-value	df
Company sizes	11	27.65	0.002052	10
Construction cost	18	79.00	5.75E-10	17
Employment types	4	2.53	0.468242	3
Career periods	14	64.60	7.78E-09	13
Personal protective equipment	9	187.34	2.95E-36	8
Occupation	59	136.51	2.83E-08	58
Diagnosis names	11	621.07	5.3E-127	10
Injured body parts	7	417.55	4.7E-87	6
Work processes	21	36.47	0.013515	20
Work contents	42	149.82	2.61E-14	41
Original-cause materials	31	216.31	4.21E-30	30
Assailing materials	138	302.62	1.6E-14	137
Unsafe states	63	308.78	1.89E-34	62
Unsafe behaviors	65	348.38	9.8E-41	64
Fall heights	8	177.66	6.07E-35	7
Fall places	26	208.76	6.24E-31	25

3.2 탐색적 자료 분석

KOSHA의 데이터에서 아파트 건설현장에서 발생한 산업 재해를 추출하여 직관적인 이해를 위해 탐색적 자료 분석을 시행하였다. 각 변수로 요인의 빈도를 분석한 결과는 다음과 같다.

3.2.1 업무상 재해 발생 유형

아파트 건설현장에서 도출된 재해의 발생형태는 추락, 낙하비래, 전도, 충돌·접촉, 등 총 22개이다. 이 중 발생빈도가 10개 이하인 과도한 동작·힘, 유해·위험물질에 노출·접촉, 화재·폭발, 이상 온도 노출·접촉, 폭력행위, 산소결핍·질식은 기타로 병합하고 빈도를 Figure 2와 같이 시각화하였다. 아파트 건설현장에서 가장 많이 발생하는 발생형태는 추락(43.8%)이며, 그 뒤를 전도(16.3%), 낙하비래(13.3%), 충돌·

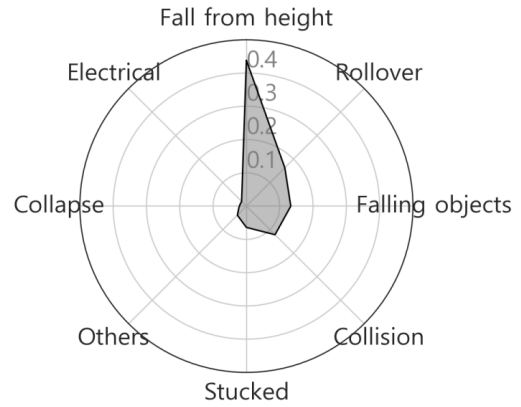


Figure 2. Occupational accident types in apartment construction sites

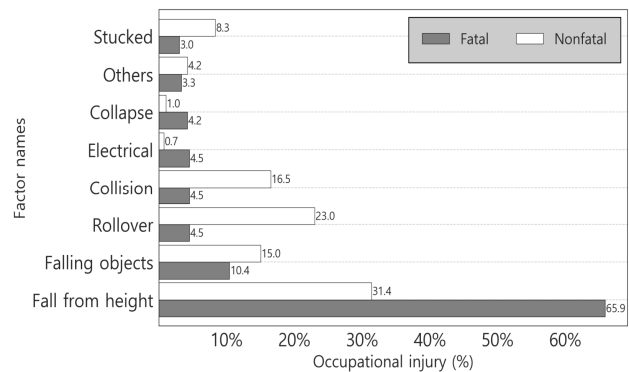


Figure 3. Occupational accident types in apartment construction sites based on occupational injury

접촉(12.2%), 협착·감김(6.4%), 붕괴·도괴(2.1%), 전류·접촉(2.0%), 기타(3.8%) 순으로 나타났다.

아파트 건설현장에서 나타나는 재해 유형을 업무상 재해 정도인 사망과 부상에 따른 재해 유형을 분석한 결과 Figure 3과 같다. 아파트 건설현장에 나타나는 재해의 발생 형태에 따른 업무상 재해 유형은 추락이 전체 사망·대비 가장 많은 65.9%이며 부상 또한 31.4%로 가장 높게 나타났다. 낙하·비래의 경우 사망(10.4%)보다 부상(15.0%)이 높게 나타났으며, 전도, 충돌·접촉의 경우 사망 대비 부상의 비중이 매우 높게 도출되었다. 아파트 건설현장에서 사망자를 가장 많이 발생하는 사고는 추락과 낙하·비래로 나타났다. 이는 아파트 건설 특성상 수직적 높이가 높은 고소작업이기 많기에 추락이 높게 발생하는 것으로 나타났으며, 낙하·비래는 높은 곳에서 물체가 떨어져 발생하는 것으로 두 개의 재해는 사망으로 직결되는 중대 재해로 판단되었다.

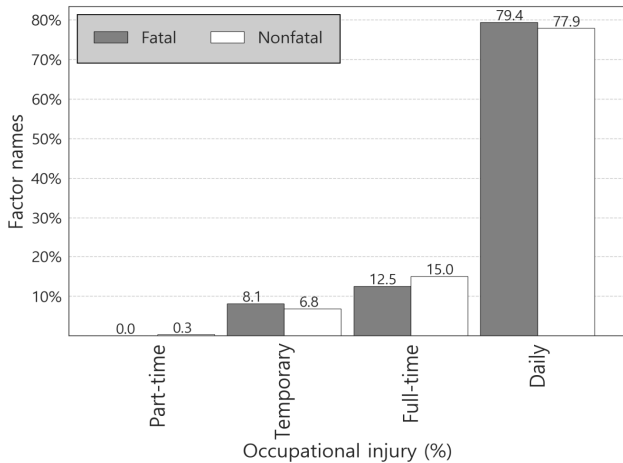


Figure 4. Occupational injury based on the employment types

3.2.2 업무상 재해 정도에 따른 고용형태

고용형태에 따른 업무상 재해 정도를 분석한 결과 다음 Figure 4와 같다. 대부분 재해자는 일용직에서 발생하며, 사망(79.4%), 부상(77.9%)으로 가장 높으며, 정규직, 임시직, 시간제는 일용직 대비 매우 낮은 것으로 도출되었다. 아파트 건설현장에서 작업하는 근로자의 대부분은 일용직으로 나타났다.

3.2.3 근무기간에 따른 업무상 재해 정도

해당 재해자의 근무 경력으로 재해 정도의 빈도를 분석한 결과 Figure 5와 같다. 아파트 건설현장에서 발생하는 산업재해 대부분은 1개월 미만의 경력과 10년에서 20년 이상의 경력을 가진 근로자에게서 극단적으로 나타났다. 1개월 미만의 작업자들은 부상의 비중이 높았으며, 10년 이상의 근로자들은 사망의 비중이 매우 높았다. 극단적인 두 상황이 높게 나타나는 원인에 대해서는 근무 기간이 낮은 근로자의 경우 안전교육 미흡하거나 작업 미숙한 것으로 나타났으며, 10년 이상의 높은 경력을 가진 작업자의 경우 안전 불감증으로 인해 안전장비 미착용, 부적절한 작업절차 등과 같은 불안정한 행동과 같은 인적인 요인들이 많은 것으로 판단되었다.

3.2.4 공사금액에 따른 업무상 재해 정도

공사금액에 따른 업무상 재해 정도의 빈도를 분석하면 Figure 6과 같다. 대부분 건설 재해는 300억 원 이상의 공사현장에서 발생하며 가장 많은 빈도를 보이는 500억 이상 ~ 1000억 원 미만과 1000억 원 이상의 아파트 건설현장에서

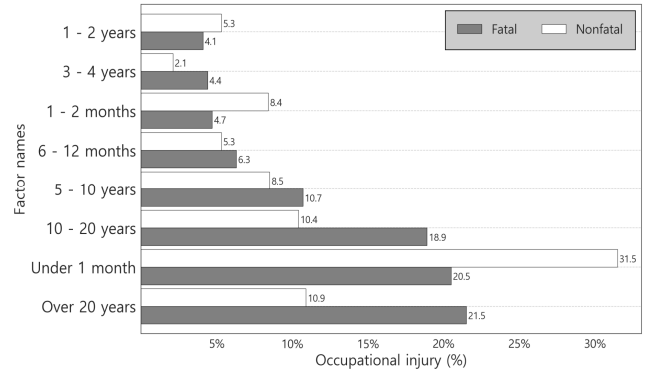


Figure 5. Occupational injury based on career periods

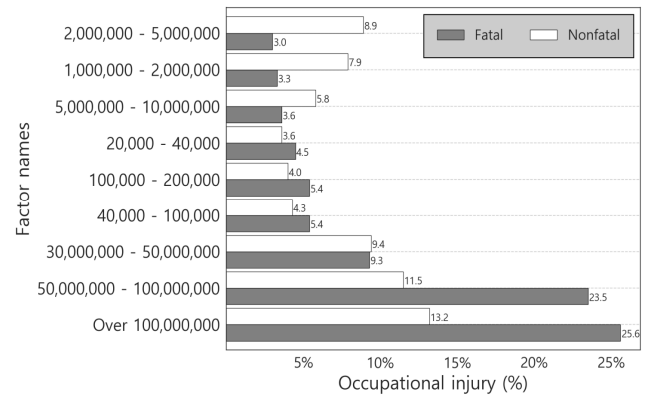


Figure 6. Occupational injury based on the construction cost

많은 사망 빈도가 발생한 것을 볼 수 있다. 이는 초고층(16층)의 아파트 건설현장으로 판단되며, 초고층으로 발생하는 높이의 특성으로 인해 추락사고로 사망하는 사례가 많은 것으로 도출되었다.

3.2.5 불안정한 행동에 따른 업무상 재해 정도

불안정한 행동에 따른 업무상 재해 정도를 비교하면 Figure 7과 같다. 대부분 건설현장 작업자들의 재해와 사망으로 직결되는 행동은 보호구 미착용 및 착용 상태 불량, 방호시설 미설치 상태로 방치로 나타났다. 이는 부상 대비 사망의 비중이 매우 높으며 나머지 불안정한 행동 요인들은 사망보다 부상의 비율이 높으므로 안전장비 및 안전방호시설 등 안전을 예방할 수 있는 것들의 관리, 유지 그리고 교육이 매우 중요한 것으로 판단되었다.

3.2.6 질병 부위에 따른 업무상 재해 정도

아파트 건설현장에서 발생한 재해에서 다친 부위에 따른

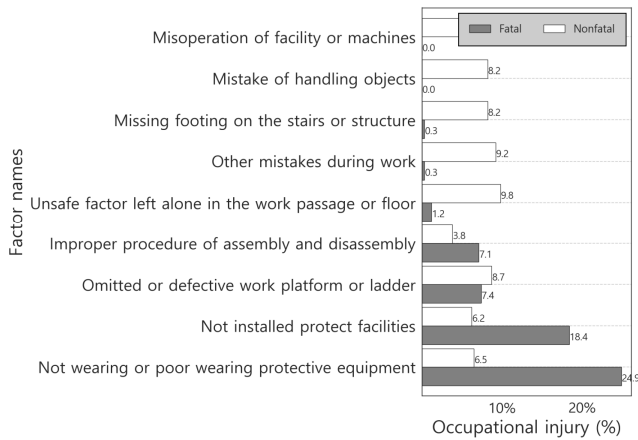


Figure 7. Unsafe behaviors based on occupational injury

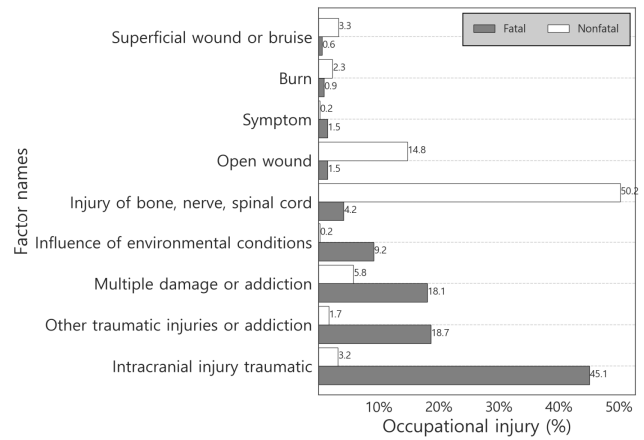


Figure 9. Diagnosis based on occupational injury

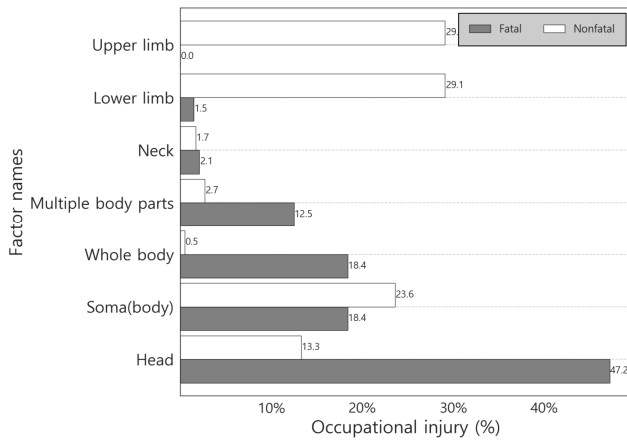


Figure 8. Occupational injury based on injured body parts



Figure 10. Occupational injury based on fall heights

재해 유형을 비교한 결과 Figure 8과 같다. 머리 부위를 다쳤을 때 사망으로 직결되며, 전신의 경우 매우 높은 비중을 차지한다. 머리와 전신은 추락재해로 발생한 경우이며 나머지는 전도, 낙하비래와 같은 재해에서 발생한 것으로 나타났다.

3.2.7 질병명에 따른 업무상 재해 정도

다친 부위에 따른 재해 정도의 비교에서 질병명에 따른 재해 정도 비교는 Figure 9과 같다. 가장 많은 사망을 가진 두개내 손상(외상성), 기타 외상성 손상 및 중독, 다발성 손상 및 중독으로 도출되었으며, 부상의 경우 뼈, 신경, 척수손상, 개방창, 근육, 건, 인대, 관절 등 손상으로 도출되었다. 다친 부위에 따른 재해 정도와 같이 추락재해로 인해 두개내 손상(외상성)이 높으며, 나머지 재해에 따라 뼈, 신경, 척수 손상 비중이 매우 높았다.

3.2.8 추락 높이에 따른 업무상 재해 정도

아파트 건설현장에서 매우 위험하고 사망과 직결되는 추락재해를 추락 높이에 따른 업무상 재해 정도 결과는 Figure 10과 같다. 30m 이상 - 50m 미만에서 사망 비율이 매우 높으며 전체적으로 높이가 높을수록 사망으로 직결되는 것을 볼 수 있다. 5m 미만인 높이에서는 사망보다 부상의 비중이 매우 높은 것으로 나타났다.

4. 다중 상응 분석 결과

본 연구에서는 재해의 발생형태 중 상위 네 개에 대해 다중 상응 분석을 시행하였다. 사망과 같은 중대 재해의 빈도가 매우 높은 추락과 낙하비래 재해와 부상의 빈도가 상대적으로 높은 충돌협착, 전도 네 가지 재해로 데이터를 나누어 각 변수의 요인들에 대한 전체적인 상응 분석 모형을 적

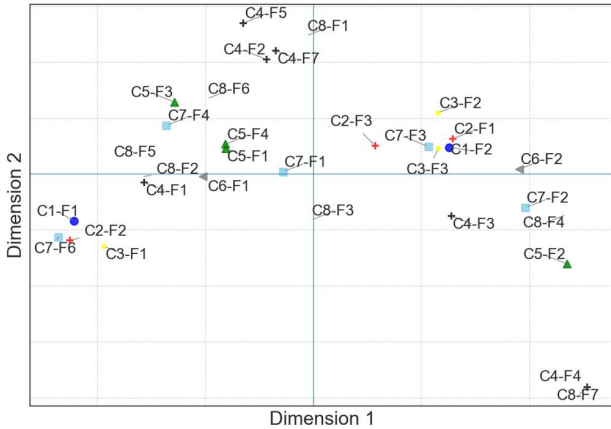


Figure 11. MCA result of falls from height

용하였다. 그리고 효과적으로 전달하기 위해 각 점의 명칭은 약어를 사용하였으며 앞부분은 변수, 뒷부분은 재해요인을 나타낸다.

4.1 추락

아파트 건설현장에서 발생한 추락재해에 대한 다중 상응 분석 결과는 Figure 11과 같다. 사망(C1-F1)과 부상(C1-F2)에 대한 연관성 높은 요인들은 사망의 경우 추락 높이인 10m 이상 20m 미만(C7-F6) 가장 연관성이 높은 요인으로 도출되었다. 추락으로 발생하는 질병명은 두개 내 손상(C2-F2)으로 머리(C3-F1) 부위를 다쳐 발생한다. 추락의 불안정한 행동은 보호구 미착용 및 착용 상태 불량(C4-F1)과 보호구 착용 상태 및 성능 불량(C8-F2)으로 나타났다.

부상의 경우 가장 연관성이 높은 요인으로는 하지(C3-F3), 체간(C3-F2)으로 인해 뼈, 신경, 척수손상(C2-F1)과 다발성 손상 및 중독(C2-F3)의 질병이 발생하며 이는 5m 이상 10m 미만(C7-F3)의 높이에서 나타났다. 다음으로 연관성 높은 요인은 안전장비 미착용(C6-F2)과 작업 발판, 사다리 등 미설치 불량 방치(C4-F3)로 도출되었다. 사망과 달리 부상의 경우 사망이 자주 발생하는 높이보다 상대적으로 낮고, 대부분 개인 안전장비 미착용으로 발생하기 때문에 현장관리·감독을 강화하여 안전장비 착용 여부를 확인하고 작업 발판 및 사다리 등과 같은 설치작업 준수와 불량품을 사용하는 것을 자제하는 것만으로도 산업재해를 줄일 수 있을 것으로 판단되었다.

4.2 낙하·비래

아파트 건설현장에서 발생하는 낙하·비래 재해는 다음

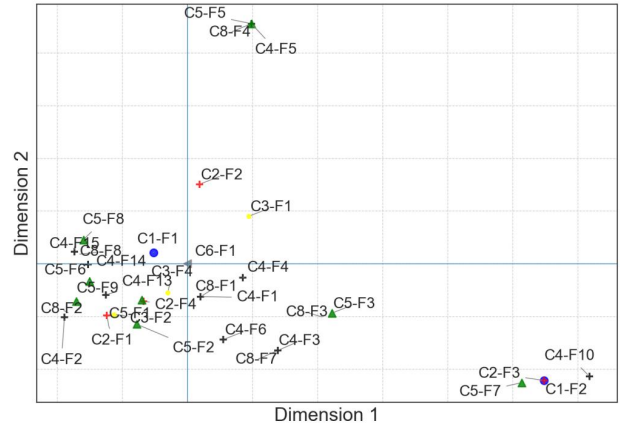


Figure 12. MCA result of falling objects

Figure 12와 같다. 낙하의 사망과 부상의 코드는 추락과 같으며, 사망과 연관성이 높은 재해요인들은 다음과 같다. 두개내 손상(외상성)(C2-F3)으로 직접 사망과 연결되는 요인이며 운반, 인양 설비·기계(C5-F7)과 결합 있는 설비 및 기계의 사용(C4-F10)으로 인해 적재 중인 자재나 장비의 낙하로 인해 현장에 있던 작업자가 깔린 것으로 판단되었다.

부상의 경우 가장 연관성이 높은 요인으로 안전장비 미착용(C6-F1)으로 상지(C3-F4), 상호연락, 신호 불충분(C4-F14), 휴대용 공구(동력)(C5-F8), 설비, 기계 오조작(C4-F15), 기계·설비 취급상 위험(C8-F8), 일반제조 및 가공설비·기계(C5-F6), 조각, 파편, 쓰레기(C5-F9), 다발성 손상 및 중독(C2-F4), 조립, 해체 작업절차 부적절(C8-F1) 요인으로 도출되었다. 종합해보면 사망은 결합 있는 운반 및 인양 설비·기계로 인해 적재된 화물이 떨어져 현장에 있던 작업자가 깔린 것으로 운반작업 중인 현장을 통제하면 충분히 예방할 수 있을 것으로 판단되었다. 부상의 경우 위험도가 높은 기계·설비 취급상 부주의나 부적절한 작업절차로 인해 조각, 파편, 쓰레기 등으로 상지가 다치는 것으로 나타났으며 현장에서 사용하는 전동 휴대용공구나 일반제조 및 가공설비·기계 가동 시 안전장비 착용과 안전방호설비를 마련한다면 충분히 예방할 수 있는 재해로 나타났다.

4.3 전도

아파트 건설현장에서 발생하는 전도 재해의 다중 상응 분석 결과는 다음 Figure 13과 같다. 해당 재해의 경우 사망과 연관성이 높은 요인들은 도출되지 않았으며 부상과 연관성이 높은 건설현장 내 재해요인들은 다음과 같다. 안전장비 미착용(C6-F1), 바닥 및 지표면(C5-F1), 뼈, 신경, 척수손상

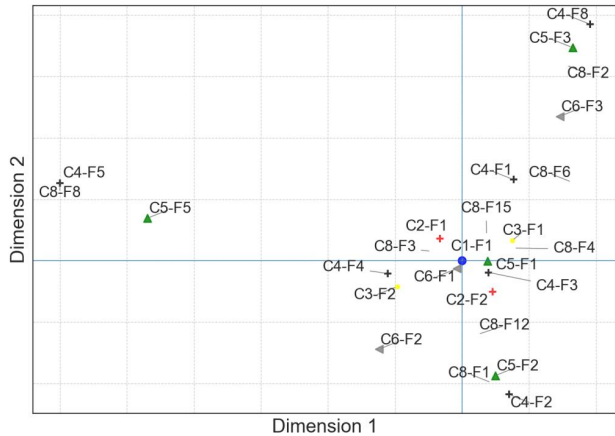


Figure 13. MCA result of rollover

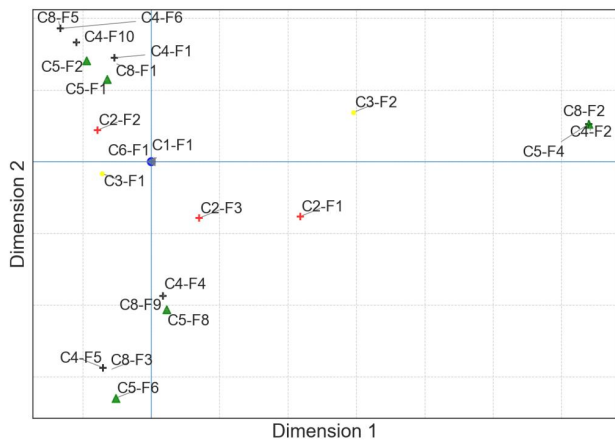


Figure 14. MCA result of collision by objects

(C2-F1), 옥외바닥 불량 및 위험(C8-F3), 하지(C3-F1), 옥내바닥 불량 및 위험(C8-F4), 조명 불량(C8-F15), 근육, 건, 인대, 관절 등 손상(C2-F2), 체간(C3-F2), 작업장 외 통로, 바닥 등의 불량 방지(C4-F4)로 도출되었다. 아파트 건설현장에서 발생하는 전도는 건설현장 바닥의 정리 및 정돈으로 충분히 예방할 수 있는 재해이며 현장 내에서 안전장비 착용과 야간작업이나 어두운 곳에서 조명의 유지·관리만으로 상당한 절감을 할 수 있을 것으로 판단되었다.

4.4 충돌·접촉

충돌·접촉 재해에 따른 업무상 사고 재해 정도에 연관성이 높은 요인들은 Figure 14와 같다. 전도 재해와 마찬가지로 사망과 연관성이 높은 요인들은 도출되지 않았으며 충돌·접촉 재해는 부상과 연관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 부상에 영향을 미치는 재해요인으로는 안전장비 미착용

(C6-F1), 체간(몸통)(C3-F1), 개방창(C2-F2), 근육, 건, 인대, 관절 등 손상(C2-F3), 일반제조 및 가공설비·기계(C5-F1), 휴대용공구(동력)(C5-F2), 기계, 설비 취급상 위험(C8-F1), 설비, 기계 오조작(C4-F1)으로 나타났다. 충돌·접촉 재해의 대부분 기계설비나 휴대용공구를 다룰 때 잘못된 조작으로 인해 발생하는 것으로 나타났으며 이를 예방하기 위해서는 지속적인 안전교육과 작업절차 준수 및 꾸준한 감독·관리가 필요할 것으로 판단되었다.

5. 결론

본 연구에서는 건설현장 중 아파트 건설현장에서 발생한 산업재해에 대해 분석하고 업무상 재해 유형에 따른 재해요인을 다중 상응 분석을 통해 연관성을 분석하였다. 건설현장을 기준으로 발생하는 재해의 빈도가 세 번째로 높은 아파트 건설현장은 국내 실정에 맞춘 연구가 매우 적으며, 기존 연구들은 설문 조사 기법을 활용한 연구들이 대부분이었다. KOSHA의 산업재해원인조사 데이터를 활용하여 각 변수와 요인에 대한 빈도분석을 시행하였고, 변수들과 업무상 재해 정도인 사망과 부상에 대해 독립성 검정을 사용하여 통계적 검정을 시행하였다. 또한, 아파트 건설현장에서 발생하는 중대 재해 중 추락, 전도, 낙하·비래, 충돌·접촉에 대한 다중 상응 분석을 통해 각 재해요인 간의 연관성을 도출하였다. 아파트 건설현장의 재해특성을 분석하고 효율적인 재해 예방을 위한 방안을 제시하고자 하였으며 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 최근 아파트의 형태는 초고층화와 설계의 복잡성으로 인해 고소작업이 많아지면서 아파트 건설현장에서 발생하는 산업재해는 다른 건설현장보다 높으며, 발생하는 업무상 재해 유형은 추락재해로 가장 많은 사망률을 가지고 있으므로 중점관리되어야 할 재해 유형이다. 추락재해는 개인 안전장비를 착용하더라도 사망 비중이 높으며, 이러한 발생 원인은 장비의 잘못된 착용 또는 불량으로 인해 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 사망은 경력이 적은 신입 작업자와 10년 이상의 경력을 가진 작업자가 재해 대부분을 차지하고 있으며 이는 안전교육 또는 경험 부족과 안전불감증으로 인해 재해가 발생하는 것으로 도출되었다.

둘째, 아파트 건설현장에서 발생하는 추락, 전도, 낙하·비래, 충돌·접촉 재해들과 재해 유형에 대한 다중 상응 분석 결과, 각 재해는 공통된 요인들이 아닌 각자 특징에 따른 재

해로 도출되었다. 추락의 경우 개인 안전장비를 착용 여부와 장비의 유지관리를 감독하고 작업 발판 및 사다리 등과 같은 설치작업 준수와 불량품 사용하지 않는다면 발생빈도를 줄일 수 있을 것으로 나타났다. 낙하·비재는 결합 있는 운반 및 인양 설비·기계로 인해 적재된 화물이 떨어져 현장에 있던 작업자가 깔린 것으로 운반작업일 때 현장을 완벽하게 통제하고 위험도가 높은 기계·설비를 취급할 경우 적절한 작업절차를 준수하여 전동 휴대용공구나 장비를 다룰 시 안전 장비와 안전방호설비를 구축한다면 충분히 예방할 수 있는 것으로 나타났다. 아파트 건설현장에서 발생하는 전도는 건설현장 바닥을 정리 및 정돈하는 것만으로도 충분히 예방할 수 있고 야간작업 또는 어두운 곳에서 작업할 경우 조명의 지속적인 유지·관리만으로 재해를 절감할 수 있는 것으로 판단되었다. 충돌·접촉 재해의 대부분 기계설비나 휴대용공구를 사용할 때 잘못된 조작 또는 잘못된 작업절차로 발생하기 때문에 이를 교육하고 감독·관리한다면 아파트 건설현장에서 발생하는 재해의 빈도를 낮춤으로써 산업재해를 예방할 수가 있을 것이다.

본 연구는 아파트 건설현장에서 발생한 재해 데이터를 활용하여 탐색적 데이터 분석을 통해 데이터의 특징을 살펴보고 다중 상응 분석을 적용하여 범주형 데이터에서 도출되는 연관성 높은 업무상 재해 유형의 재해요인을 추출하였다. 추출된 중점 재해요인을 아파트 건설현장에 안전교육과 감독·관리에 유용한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

요 약

본 연구에서는 건설현장 중 아파트 건설현장에서 발생한 산업재해에 대해 분석하고 업무상 재해 유형에 따른 재해요인을 다중 상응 분석을 통해 연관성을 분석하였다. 국내에서 세 번째로 재해빈도가 높은 아파트 건설현장에 대한 재해 관련 연구가 부족하고 설문 조사 기법을 활용한 연구들이 대부분이다. 따라서 본 연구에서는 산업재해원인조사 데이터에서 탐색적 데이터 분석을 진행하고 다중 상응 분석을 통해 각 재해요인 간의 연관성을 도출하였다. 연구의 결과를 두가지로 요약하면 다음과 같다. 첫째, 최근 아파트 시공이 초고층화 및 설계의 복잡화로 인해 고소작업이 많아짐에 따라 추락재해가 높은 빈도와 근로자의 사망률을 나타냈다. 또한, 사망은 경력이 매우 적은 작업자와 10년 이상의 경력을 가진 작업자가 대부분을 차지하고 있으며, 이는 안전교육 미

실시, 경험 부족 그리고 근로자의 안전불감증으로 인해 발생하는 것으로 나타났다. 둘째, 다중 상응 분석 결과 대부분 발생하는 산업재해는 안전장비 착용, 올바른 작업절차 준수 및 관리·감독으로 충분히 예방할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 도출된 중점 재해요인은 아파트 건설현장의 안전교육과 감독·관리에서 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

키워드 : 건설 안전 관리, 다중 상응 분석, 탐색적 자료 분석

Funding

This paper was supported by the Sahmyook University Research Fund in 2019.

ORCID

Hanguk Ryu, <https://orcid.org/0000-0001-6101-560X>

Seunghyun Son, <https://orcid.org/0000-0003-1349-5586>

References

1. Ministry of Employment and Labor. Analysis of industrial accidents. Sejong (Korea): Ministry of Employment and Labor: 2017. 773 p. Korean.
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Comprehensive Construction Industry Statistics Survey. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport: 2017. 105 p. Korean.
3. Song HK, Boo CY. The study on the prevention of accident in construction. Proceeding of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction: 1995 Oct 21; Seoul, Korea. Seoul (Korea): 1995. p. 719-24.
4. Lee JB, Go SS, Jang SR. A study on the risk rate of work type according to the fatal accident cases and the work strength in construction work. Journal of the Korean Society of Safety. 2006 Jan;21(4):102-7.
5. Lee JB, Chang SR. A study on job stress and work ability of technical workers and simple labor workers in apartment construction. Journal of the Korean Society of Safety. 2014;29(5):129-35. <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2014.29.5.129>
6. Shao B, Hu Z, Liu Q, Chen S, He W. Fatal accident patterns of building construction activities in China. Safety science. 2019 Jan;111:253-63. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.019>

7. Lee HC, Yeo AK, Go SS. A study on the improving safety management by analyzing safety consciousness of construction labors. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2009 Jun;9(3):51-8.
8. Kim DC, Kim WJ. A plan of the accident classification system for the analysis of disaster information in construction projects. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2001;17(11):139-45.
9. Amant RS, Cohen PR. Intelligent support for exploratory data analysis. *Journal of Computational and Graphical Statistics*. 1998; 7(4):545-58. <https://doi.org/10.1080/10618600.1998.10474794>
10. McKinney W. *Python for data analysis: Data wrangling with Pandas, NumPy, and IPython*, Sebastopol. CA: O'Reilly Media, Inc; 2012. 453 p.
11. Kim BH, Kim KJ, Park IS, Lee KJ, Kim JK, Hong JJ, Lee MW, Kim HY, Yoo IY, Lee HY. A comparison of phenomenological research methodology: Focused on Giorgi, Colaizzi, Van Kaam methods. *Journal of Korean Academy of Nursing*. 1999 Dec;29(6):1208-20. <https://doi.org/10.4040/jkan.1999.29.6.1208>
12. Abdi H, Valentin D. Multiple correspondence analysis. *Encyclopedia of measurement and statistics*. 2007;2:1-13.