

낙하물에 기인한 안전사고의 연관규칙 분석

Association Rules Analysis of Safe Accidents Caused by Falling Objects

손 기 영¹

류 한 국^{2*}

Son, Ki-Young¹

Ryu, Han-Guk^{2*}

Associate Professor, School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Ulsan, 44610, Korea ¹
Associate Professor, Department of Architecture, Sahn Yook University, Nowon-Gu, Seoul, 01795, Korea ^{2*}

Abstract

Construction industry is one of the most dangerous industry. As the construction accidents occur due to the repeated factors found in each accidents, there is a limitation in analyzing all types of occupational accidents by the existing descriptive analysis and statistical test. In this study, we classified safety accidents caused by falling objects among the accident types occurring at construction sites into fatal and nonfatal accidents and deduced the factors. In addition, we deduced the association rules among the safety accidents factors caused by falling objects through the association rule analysis method among the machine learning techniques. Therefore, considering the association rules for fatal and nonfatal accidents proposed in this study, it would be possible to prevent accidents by searching for countermeasures against safety accidents caused by falling objects.

Keywords : construction safety, falling objects, data science, machine learning, association rules, hierarchical clustering

1. 서 론

1.1 연구의 목적

2017년 한 해 동안 국내에서 발생한 산업재해 보상금은 177,441억 원, 간접손실액 44,360억 원에 달하며 산업재해로 발생하는 근로손실일은 47,355,044일이다. 경제협력개발기구(OECD) 국가 중 산재 사망률은 10만 명당 9.6 명으로 최하위에 있으며 이는 산업재해가 근로자의 생명을 빼앗고 프로젝트가 지연되며 기업의 이미지에 막대한 손해를 입는 것으로 나타났다[1-3]. 이 중 건설현장에서 발생하는 산업재해는 전체 산업 중 약 28.55%에 해당하며 국내에서 가장 많은 재해가 발생하는 산업이다. 건설구조물이 점차 대형화, 고층화, 비정형화 등으로 건설현장의 자재,

장비, 시설과 건축공사는 매우 복잡해짐에 따라 잠재적인 위험 요인도 증가하고 있다[4]. 이러한 건설업의 재해 유형은 추락(60.16%), 물체에 맞음 (46.64%), 뒤집힘(37.30%), 부딪힘(32.49%), 넘어짐(23.05%) 등의 비율로 발생한다[1]. 특히, 고층화로 인해 건설현장에서는 추락과 낙하물로 인한 사고가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 고층화로 인해 발생하는 재해의 원인으로는 각종 건설자재, 장비, 시설 등이 혼재해있는 현장에서 잘못된 보관, 설치, 관리로 인해 높은 곳에서 물체가 떨어져 지상에서 작업하는 작업자에게 발생한다.

이를 예방하기 위하여 안전시설설치 의무화가 요구되며 낙하물 방지망, 안전난간 추락 방지용 망 등과 같은 낙하물을 예방하기 위해 관련 규정에 근거하여 관리되고 있다[5]. 그러나 안전교육 미흡, 안전에 관해 사업관리자와 시공관리자의 인식 차이 그리고 기존 안전관리에 대한 지침이 복잡하여 현장에 적용이 쉽지 않으며 낙하물 또는 추락재해 발생 시 실제 전개되는 상황을 체험하거나 이해하지 못하고 있다[6,7].

기존의 건설안전재해의 유형과 관련된 연구를 살펴보면 다음과 같다. Kim et al.[8]은 국내 건설현장에서 업무상

Received : May 9, 2019

Revision received : June 24, 2019

Accepted : July 10, 2019

* Corresponding author : Ryu, Han-Guk

[Tel: 82-2-3399-1853, E-mail: ryuhanguk333@gmail.com]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

사고로 발생한 일반재해자와 사망재해자를 대상으로 현황을 분석하고 기초자료를 제시하였다. Jo[9]는 건설현장에서의 재해유형별 원인 분석 및 예방대책에 관한 연구하였으며, Jang and Lee[10]는 정량적 위험해석을 이용한 크레인 낙하물의 위험성 평가를 하였다. Jeon et al.[11]는 건설장비 안전사고 저감을 위한 위험성을 평가하였다. 이처럼 안전재해의 유형 분석에 관한 연구는 안전사고의 현황 분석이 대부분이며 특정 재해에 관한 연구는 부족한 편이다. 업무상 재해 유형에 관한 연구는 전체적 사고 유형 분석과 가장 많은 사망자를 발생시키는 추락 재해를 위주로 연구되었다. 특히, 재해에서 발견되는 반복되는 요인들로 인해 재해가 발생하기 때문에 기존의 기술통계 분석 및 통계적 검정으로 업무상 재해 유형을 분석하는 데 한계가 있다.

따라서 국내 건설현장에서 업무상 재해 정도의 빈도가 높은 낙하물로 기인한 안전사고에 대한 연구는 매우 부족하고 단순 기술통계분석과 검정이 대부분이다. 이에 본 연구는 건설현장에서 발생하는 재해 유형 중 낙하물에 기인한 안전사고에 대하여 사망과 부상 사고로 구분하여 사고 원인들을 도출한다. 또한, 데이터 사이언스의 기계학습 기법 중 연관 규칙 분석 방법을 통하여 낙하물 재해로 발생하는 사고의 규칙을 발견하고, 낙하물의 요인들을 군집하여 중점 재해요인을 도출한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 업무상 재해 유형 중 낙하물 재해를 분석하고 재해에 영향을 미치는 규칙을 도출하여 예방과 관리방안을 제시하기 위해 기계학습 기법 중 규칙기반 기계학습 모형인 연관규칙 분석을 활용하였다. 또한, 각 문자열로 구성된 데이터에서 단어들의 군집을 시행하여 각 재해요인이 사망과 부상에 따른 군집을 파악하고자 계층별 군집화를 실시하였다.

본 연구의 수행절차는 Figure 1과 같다. 첫째, 한국산업 안전보건공단에서 수집한 데이터를 분석하고 모형을 구축하기 위해 데이터를 전처리하였다. 둘째, 전처리된 데이터를 업무상 재해 강도에 따라 분석하기 위해 사망과 부상 두 개의 그룹으로 나누어 연관규칙 분석을 시행하였다. 셋째, 계층적 군집화를 통해 재해요인을 군집화하고 중점 재해요인을 도출하고 시각화하였다. 마지막으로 결과를 분석하고 건설현장에서 실제 발생한 데이터를 활용하여 재해의

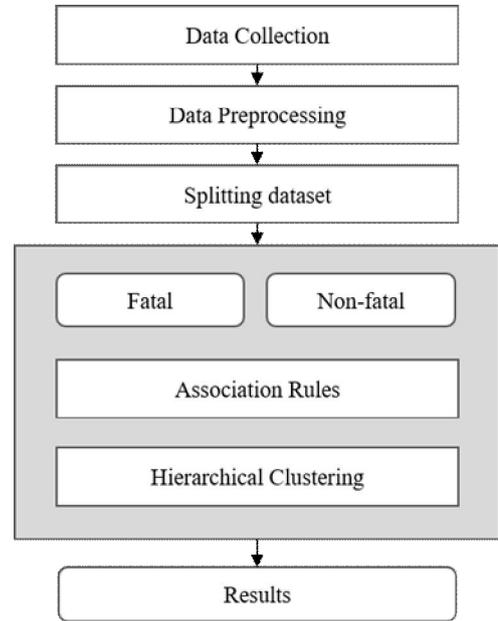


Figure 1. Methodology

규칙과 중점 재해요인을 도출하였다.

2. 연관규칙 분석과 계층별 군집화

2.1 연관규칙 분석

연관규칙(association rules) 분석은 규칙기반 기계학습(rule-based machine learning)으로 경영학에서는 장바구니 분석(market basket analysis)이라 불리며 데이터의 두 항목 집합에서 발생하는 숨겨진 패턴을 찾는 분석기법이다. 이는 과거의 이력을 바탕으로 발생한 항목을 다시 발생할 항목의 가능성을 추론하지만, 논리에서의 if-then과 달리 확률적이며 if 부분을 조건부(antecedent)라 하며 then을 결론부(consequent)라 한다[12].

연관규칙 분석의 결과는 수십 또는 수천 개가 발생하기 때문에 다양한 평가척도를 사용하여 규칙성이 높은 항목들의 집합을 도출한다. 연관규칙분석에서 사용하는 평가척도는 지지도(support), 신뢰도(confidence), 향상도(lift) 등이 있으며 다음과 같다.

- 지지도(support): 전체 재해자 중 재해요인 X와 재해요인 Y가 동시에 나타난 비율이며 식(1)에서 N은 전체 재해자의 수이고, P(X ∪ Y)는 재해요인 X와 재해요인 Y를 모두 포함하는 재해자 수이다.

$$\text{support}(X \rightarrow Y) = \frac{P(X \cup Y)}{N} \quad \text{-----} \quad (1)$$

- 신뢰도(confidence): 재해요인 X 를 가지고 있는 재해자 중 재해요인 Y 가 포함된 재해자의 비율(조건부 확률)이며 식(2)에서 $P(X)$ 는 재해요인 X 가 포함된 재해자의 수이며, $P(X \cup Y)$ 는 재해요인 X 와 Y 를 모두 포함하는 재해자 수이다.

$$\text{confidence}(X \rightarrow Y) = \frac{P(X \cup Y)}{P(X)} \quad \text{-----} \quad (2)$$

- 향상도(lift): 재해요인 X 로 발생한 재해 중 재해요인 Y 가 포함된 재해와 재해요인 Y 가 포함된 재해의 비율이며, 식(3)에서는 분모는 지지도이며, 분자는 신뢰도이다. 이는 향상도가 1보다 크거나 작다면 우연적 기회보다 우수함을 의미하며 1이면 서로 독립이다.

$$\text{lift}(X \rightarrow Y) = \frac{P(X \cup Y)}{P(X) \cdot P(Y)} \quad \text{-----} \quad (3)$$

본 연구에서는 지지도를 사용하여 정렬하였다. 지지도는 좋은 규칙을 찾거나 불필요한 연산을 줄일 때 사용한다. 그리고 연관규칙 분석을 위해 Agrawal and Srikan[13]이 제안한 Apriori 알고리즘을 사용하였다. 재해자-재해요인 집합을 이진 행렬(binary matrix)로 만들고 규칙생성을 위해 가능한 모든 경우의 수를 탐색하지만 요인의 수가 증가하면 높은 계산비용이 기하급수적으로 증가하기 때문에 빈발 집합(frequent item sets)만을 고려하여 연관규칙을 생성하는 Apriori algorithm을 사용하였다.

연관규칙 분석을 건설 안전 분야에 적용한 연구들은 다음과 같다. Weng et al.[14]은 재해자의 특성 및 재해 발생에 영향을 미친 요인을 연관규칙분석을 활용하여 작업장에서 발생한 충돌 재해의 패턴을 분석하였다. 또한, 네트워크 분석을 활용하여 이를 시각화하였다. Cheng et al.[15]은 대만에서 발생한 1,347건에 대한 데이터를 활용하여 건설업에서 일어나는 대부분 재해는 수많은 요인으로 구성되어 있으며 이러한 요인들 간의 인과관계를 추론하기 위해 연관규칙 분석을 활용하였다. Li et al.[16]은 건설현장에서 안전모를 착용하지 않은 작업자와 착용한 작업자 간의 객관적

인 비교 분석을 위해 실시간 헬멧 착용 추적 시스템을 개발하였다. 건설현장에서 안전모 미착용 시 영향을 주는 요인을 분석하고 연관규칙을 적용하여 재해의 패턴을 탐색하고 위험요소를 도출하였다. 연관규칙 분석의 결과를 활용하여 다중위험요소의 강도를 평가하는 방법을 개발하였다.

2.2 계층별 군집화

군집은 기계학습에서 비지도 학습(unsupervised learning)으로 데이터에서 동질적인 값으로 구성된 군집이라는 그룹으로 나누는 기법이다. 군집 분석은 기계학습 기법 중 지도 학습(supervised learning)의 성능을 향상하는 데 사용하기도 하며 맞춤형 마케팅에서부터 산업 분석에 이르기까지 광범위하게 사용된다.

본 연구에서는 군집 분석 중 계층적 군집화(hierarchical clustering)를 사용하였다. 계층적 군집화는 트리 구조를 활용해 개별 군집을 순차적·계층적으로 유사한 군집으로 통합하는 알고리즘이다. 계층적 군집화는 모든 요인 간 유사도(similarity)를 계산하여 유사도가 가까운 요인들끼리 차례대로 군집화하며 덴드로그램(dendrogram)을 생성한다. 다시 군집과 요인들 간 유사도를 다양한 방법으로 계산하고 군집 내 군집 또는 군집과 요인을 군집화 한다. 알고리즘은 군집 가능한 대상이 없을 시 종료하기 때문에 k -평균 군집화(k -means clustering)와 달리 군집의 수를 정할 필요 없이 학습을 수행한다[17,18].

본 연구에서는 요인의 유사도를 코사인 유사도(cosine similarity)를 사용하고 각 군집과 요인 또는 군집의 유사도 측정엔 와드(ward) 기법을 사용하였다. 와드는 모든 군집 내 분산을 가장 적게 증가시키는 두 군집을 결합한다. 크기가 비교적 비슷한 군집이 만들어지면서 요인들을 결합하고 군집을 결합하면서 점진적으로 큰 군집을 생성한다.

3. 낙하물로 기인한 안전사고 데이터

3.1 데이터 개요

본 연구에서는 한국산업안전보건공단의 데이터를 활용하여 분석하였다. 2008년부터 2014년까지에 낙하물로 인해 발생한 총 1,618건의 재해 정보를 사용하였다. 해당 데이터는 업무상 사고 재해 정도, 근무 기간, 개인안전장비, 질병명, 작업내용, 기인물, 불안정한 행동 총 9개의

변수를 포함하고 있다. 각 변수에 대한 정의와 상세한 요인들은 Table 1과 같다.

Table 1. Data outline

Variable names	Definition	Factors
Occupational injury	Fatality due to falling objects	Nonfatal and Fatal
Career periods	Career periods of the accident worker	Under 1 month, Over 20 years, 10 - 20 years, 1 - 2 months, 5 - 10 years
Personal protective equipment	Protective equipment worn by accident worker	Not wearing, Safety helmet, Safety shoes, Safety goggles, Safety gloves
Diagnosis names	Diagnosis caused by falling objects	Injury of bone, nerve, spinal cord, Open wound, Intracranial injury traumatic, Damage of muscles, tendons, ligaments, joints, Superficial wound or bruise
Work contents	The work that the worker was doing at the time of the accident	Form assembly and disassembly work, product processing and handling work, Loading/unloading work, Manpower transportation work, Mechanical equipment installation and maintenance work
Original cause materials	The material that directly affected the accident	Materials, Form or support, Equipment and machinery parts or accessories, Nonmetallic products, Portable power tools
Assailing materials	The object that directly injured the worker	Form, Steel(steel beam, etc.), Brick, block, and tile, Soil, sand, etc., Other metal materials
Unsafe states	Unsafe acts caused by human error (human factor)	Inappropriate procedure of assembly or disassembly, Risk of handling water, Defective support or fasten, Defective fasten of cargo, Other improper work procedures
Unsafe behaviors	Inadequate environmental conditions, defects in machinery, equipment, defects in protective equipment (physical factors)	Improper assembly or disassembly procedure, Mistake of handling products, Not wearing or poor wearing protective equipment, Improper transporting process, Other mistakes during work

3.2 데이터 전처리

모형을 구축하기 전 데이터를 가장 작은 단위인 토큰(token)으로 나누기 위해 전처리 과정을 시행하였다. 데이

id_1	['Not wearing', 'Open wound', 'Under 1 month', 'Steel beam', ...]
id_2	['Safety harness', 'Nonfatal', 'Superficial wound or bruise', ...]
id_3	['Safety helmet', 'Injury of bone, nerve, spinal cord', ...]
id_4	['Not wearing', 'Improper assembly or ...', ...]
⋮	
id_n	['Inappropriate ...', 'Open wound', 'Under 1 month', ...]

	Not wearing	Open wound	Nonfatal	...	Under 1..
id_1	1	1	0	...	1
id_2	0	0	1	...	0
id_3	0	0	0	...	0
id_4	1	0	0	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
id_n	0	1	0	...	1

Figure 2. Data representation for the model

터의 모든 변수를 병합하여 각 변수의 요인을 한 행으로 결합하였다. 각 문자의 특수문자와 불필요한 단어를 삭제한 뒤 각 변수의 요인 그대로 문장을 토큰화 하였다. 그리고 본 모형에 적용하기 위하여 데이터를 표현하면 Figure 2와 같다.

3.3 빈출 단어

낙하물 연구에서 자주 등장하는 단어의 빈도를 도출하고 이를 시각화하면 Figure 3과 같다. 안전장비 미착용(1,032건), 뼈, 신경, 척수 손상(629건), 근무경력 1개월 미만(499건), 재료(자재)(422건), 거푸집 동바리 설치·해체작업(320건), 개방창(開放創)(296건), 거푸집 및 동바리(263건), 안전모(250), 근무경력 20년 이상(230건), 부적절한 조립, 해체 작업절차(225건), 부적절한 조립 및 해체작업(220건), 물 취급상 위험(213건), 근무경력 10년에서 20년 사이(210건), 물체 등 취급상 과실(210건), 거푸집(206건) 등이 가장 빈번하게 등장하는 빈출 단어로 도출되었다.

4. 낙하물에 의한 안전사고 연관규칙 분석과 계층적 군집화

본 연구에서는 업무상 재해 유형인 낙하물로 인해 발생

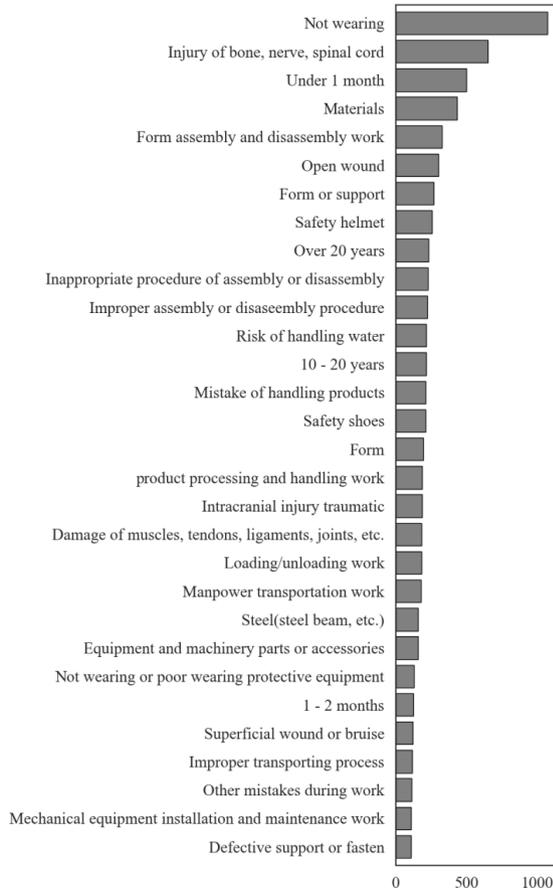


Figure 3. Frequent words

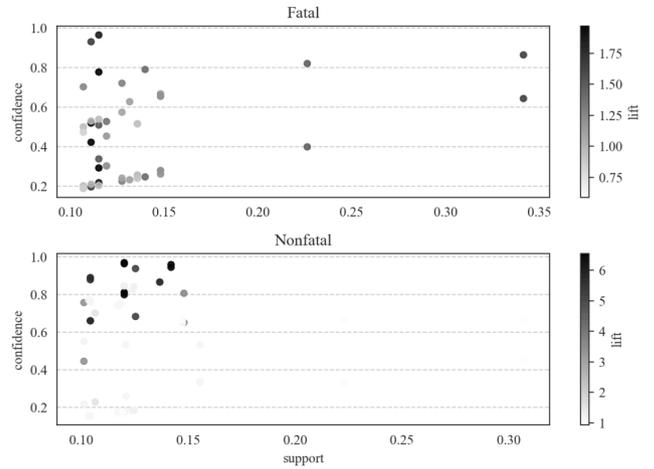


Figure 4. Scatter plot for association rules

한 재해 강도 사망과 부상에 대해 두 그룹으로 나누어 연관 규칙 분석과 계층적 군집화를 시행하였다. 2.1절에서 살펴본 연관규칙 분석의 평가척도인 지지도, 신뢰도, 향상도를 사망재해자와 부상재해자 두 그룹으로 구분하여 시각화한 결과, Figure 4와 같이 분포되었다.

사망과 부상의 신뢰도가 0.1 이상이며 향상도가 높은 구간은 0.5 이상부터 높은 분포를 나타내었다. 이에 따라 설명력이 높은 규칙들만 추출하고 그 결과를 정리하였다. 분석에 제시된 규칙은 문서 내 단어가 등장할 때 어떤 단어들

Table 2. Result of association rules based on fatal

Rule ID	Association rules		Support	Confidence	Lift
	Antecedent	Consequent			
1	(Under 1 month, Safety helmet)	(Intracranial injury traumatic)	0.115226	0.965517	1.818765
2	(Multiple damage or addiction)	(Not wearing)	0.111111	0.931034	1.63943
3	(Safety helmet)	(Intracranial injury traumatic)	0.341564	0.864583	1.628634
4	(Intracranial injury traumatic, Under 1 month)	(Safety helmet)	0.115226	0.777778	1.96875
5	(Other traumatic injuries or addiction)	(Not wearing)	0.226337	0.820896	1.44549
6	(Construction and mining machinery)	(Not wearing)	0.139918	0.790698	1.392315
7	(Intracranial injury traumatic)	(Safety helmet)	0.341564	0.643411	1.628634
8	(10 - 20 years)	(Not wearing)	0.127572	0.72093	1.269464
9	(Loading/unloading work)	(Equipment and machinery parts or accessories)	0.111111	0.519231	1.971454
10	(Transportation or lifting equipment)	(Not wearing)	0.106996	0.702703	1.237368
11	(Equipment and machinery parts or accessories)	(Loading/unloading work)	0.111111	0.421875	1.971454
12	(Under 1 month)	(Intracranial injury traumatic)	0.148148	0.654545	1.232981
13	(Under 1 month)	(Intracranial injury traumatic, Safety helmet)	0.115226	0.509091	1.490471
14	(Power transmission work)	(Not wearing)	0.148148	0.666667	1.173913
15	(Under 1 month)	(Safety helmet)	0.119342	0.527273	1.334659

과 함께 사용되고 있는지 전반적으로 파악할 수 있다.

4.1 사망 사고의 연관규칙 분석 결과

낙하물로 인해 발생한 사고 데이터를 사망과 부상 두 개의 그룹으로 나누어 연관규칙 분석을 시행하였다. 각 변수의 요인을 추출하여 각 재해자를 기준으로 다른 재해자와 빈번하게 나타나는 일련의 규칙을 도출하였다. 지지도 0.1 이상인 연관규칙 46개를 도출하고 신뢰도와 향상도를 기준으로 15개의 연관규칙을 내림차순으로 정렬하면 Table 2와 같다.

중요한 연관 규칙은 조건부에 1개월 미만의 근무경력, 안전모 그리고 결과부는 두개내 손상(외상성)의 규칙이 신뢰도 96.55%, 향상도 1.818 이상으로 양의 상관관계를 나타내었다.

다발성 손상 및 중독은 개인안전장비 미착용이며, 안전모를 착용했더라도 두개내 손상을 발생시켰다. 기타 외상성 손상 및 중독과 건설·광산용 기계과 운반, 인양 설비·기계 기인물, 작업내용으로는 동력운반 작업과 근무경력

10년에서 20년 사이의 근로자들은 개인안전장비를 착용하지 않은 것으로 규칙이 도출되었다.

1개월 미만의 작업자는 안전모를 착용하지만, 사망으로 직결되고, 10년 이상 경력자들은 개인장비를 착용하지 않고 사망으로 연결되는 것으로 나타났다. 분석 결과는 안전모를 착용하더라도 발생하는 두개내 손상으로 인한 중대 재해인 사망이 발생하며 대부분 낙하물은 설비기계기구 부품 및 부속물과 건설자재들을 옮기는 운반 작업 또는 인양 작업으로 나타났다.

4.2 부상 사고의 연관규칙 분석 결과

4.1절에서 도출한 방식으로 부상 사고에 따른 연관규칙의 결과는 총 54개로 이 중 신뢰도와 향상도를 기준으로 주요한 15개의 연관규칙은 Table 3과 같다. 부상 사고에서 가장 빈번하게 발생하는 연관규칙으로 부적절한 작업의 절차인 조립 해체 작업, 안전장비 미착용, 물체 등을 취급할 때 발생한 실수, 물 취급상 위험 등으로 인적인 문제로 인해 발생하는 것으로 나타났다.

Table 3. Result of association rules based on nonfatal

Rule ID	Antecedent	Consequent	Support	Confidence	Lift
1	(Not wearing, Inappropriate procedure of assembly or disassembly)	(Improper procedure of assembly and disassembly)	0.12009	0.96951	6.54915
2	(Improper procedure of assembly and disassembly)	(Inappropriate procedure of assembly or disassembly)	0.12009	0.96363	6.41132
3	(Improper procedure of assembly and disassembly)	(Inappropriate procedure of assembly or disassembly)	0.14199	0.95918	6.38170
4	(Inappropriate procedure of assembly or disassembly)	(Improper procedure of assembly and disassembly)	0.14199	0.94472	6.38170
5	(Form)	(Form or support)	0.12537	0.93785	5.10994
6	(Risk of handling water, Not wearing)	(Mistake of handling objects)	0.10423	0.89032	5.64013
7	(Mistake of handling products, Not wearing)	(Risk of handling water)	0.10423	0.87898	5.56828
8	(Mistake of handling products)	(Risk of handling water)	0.13671	0.86602	5.48623
9	(Risk of handling water)	(Mistake of handling products)	0.13671	0.86602	5.48623
10	(Improper procedure of assembly and disassembly)	(Not wearing, Inappropriate procedure of assembly or disassembly)	0.12009	0.81122	6.54915
11	(Inappropriate procedure of assembly or disassembly)	(Not wearing, Improper procedure of assembly and disassembly)	0.12009	0.79899	6.41132
12	(Form or support)	(Form assembly and disassembly work)	0.14804	0.80658	3.54789
13	(Form)	(Form assembly and disassembly work)	0.10121	0.75706	3.33006
14	(Form or support)	(Form)	0.12538	0.68312	5.10994
15	(Mistake of handling products)	(Risk of handling water, Not wearing)	0.10423	0.66028	5.64013

낙하물 재해로 인해 부상의 원인은 대부분 작업자의 실수나 부적절한 작업절차, 개인안전장비 미착용으로 발생하는 것으로 이를 예방하기 위해서는 안전교육과 올바른 작업 절차를 준수하고 관리자의 현장 지시 그리고 건설현장에서 안전장비를 꼭 착용하는 것이 중요하다고 판단된다.

4.3 계층적 군집화 결과

계층적 군집화는 각 그룹에서 계층적으로 군집되는 가장 연관성 높은 요인들이 군집되며 해당 군집과 대상 군집의 유사도를 측정하여 군집 간의 군집으로 이어진다. 군집의 방법은 먼저 연관규칙 분석과 동일한 사망과 부상 그룹으로 생성하여 각 재해자의 모든 변수를 한 변수로 병합하여 문자열을 리스트로 만든 다음 빈도 행렬을 생성한 후 코사인 유사도로 각 행렬의 값을 도출하였다. 이를 ward로 군집하였으며, 최적의 순서로 정렬하였으며 군집한 재해요인들의 관계를 직관적으로 이해하기 위해 덴드로그램으로 Figure 5와 같이 제한적으로 시각화하였다. Figure 5의 x 축은 군

집 간의 거리를 나타내며, y 축은 각 재해의 특징에서 도출된 요인들이다. 세로 파선은 색상별로 군집된 상위 단계의 군집 분할을 표시하기 위함으로 두 선을 교차하여 시각적으로 보여주기 위함이다. 색상별로 건설재해의 요인이 유사한 것끼리 군집되며 다음과 같이 해석한다. 낙하물 재해로 발생하는 사망과 부상 사고의 전반적인 원인은 불안전 행동과 불안정한 상태의 작업과 같은 인적 및 물적 영향으로 발생하는 것으로 나타났다.

모든 군집화 결과를 Figure 5와 같이 시각화할 수 없으므로 사망과 부상 사고에 따른 군집화 내용을 정리하면 다음과 같다. 사망 사고의 경우, 불안정한 행동에서 부적절한 설치 및 해체 절차와 불안정한 상태에서 부적절한 조립, 해체 작업절차로 도출되었다. 작업내용은 거푸집 동바리 설치·해체작업 중 발생하며 기인물과 가해물은 거푸집 동바리나 지지대로 사망에 이르는 것으로 나타났다. 물체의 가공·취급작업 중 1개월에서 2개월 사이의 작업자가 다발성 손상 및 중독 질병으로 사망하였다. 불안정한 상태는

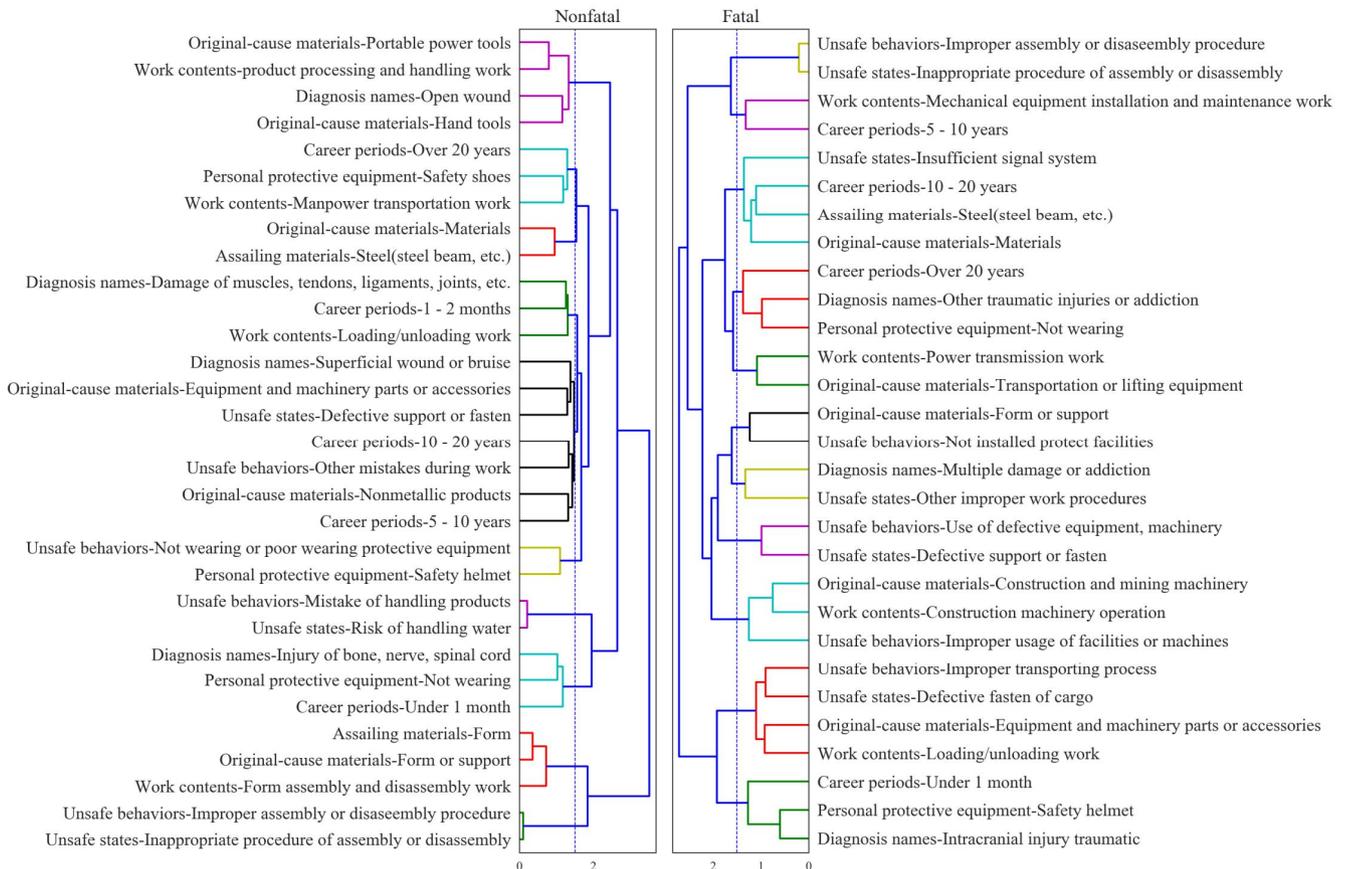


Figure 5. A dendrogram example of nonfatal and fatal accidents grouping caused by fall objects

Table 4. Summary of hierarchical clustering result based on the input variables

	Nonfatal	Fatal
Original-cause materials	1. Portable power tools, 2. Hand tools, 3. Materials, 4. Equipment and machinery parts or accessories, 5. Form or support	1. Materials, 2. Transportation or lifting equipment, 3. Form or support, 4. Construction and mining machinery,
Unsafe behaviors	1. Other mistakes during work, 2. Not wearing or poor wearing protective equipment, 3. Mistake of handling products, 4. Improper assembly or disassembly procedure	1. Improper assembly or disassembly procedure, 2. Not installed protect facilities, 3. Use of defective equipment, machinery
Unsafe states	1. Defective support or fasten, 2. Risk of handling water, 3. Inappropriate procedure of assembly or disassembly	1. Inappropriate procedure of assembly or disassembly, 2. Insufficient signal system, 3. Other improper work procedures, 4. Defective support or fasten
Work contents	1. Product processing and handling work, 2. Manpower transportation work, 3. Loading/unloading work, 4. Form assembly and disassembly work	1. Mechanical equipment installation and maintenance work, 2. Power transmission work, 3. Loading/unloading work
Diagnosis names	1. Open wound, 2. Superficial wound or bruise, 3. Injury of bone, nerve, spinal cord	1. Other traumatic injuries or addiction, 2. Multiple damage or addiction, 3. Injury traumatic
Career periods	1. Over 20 years, 2. 1-2 months, 3. 10-20 years, 4. 5-10 years, 5. Under 1 month	1. 5 - 10 years, 2. 10 - 20 years, 3. Over 20 years, 4. Under 1 month
Personal protective equipment	1. Safety shoes, 2. Safety helmet, 3. Not wearing,	1. Not wearing, 2. Safety helmet
Assailing materials	1. Steel(steel beam, etc.), 2. Form	1. Steel(steel beam, etc.)

단부 방호시설 미설치 또는 불량과 불안전 행동으로는 방호 시설 미설치 상태로 방치로 인해 재해를 예방하지 못한 것으로 나타났다. 또한, 과적, 적재방법 등이 부적절하고 적재상태가 불량하여 작업자들이 사망으로 이르는 것으로 나타났다. 낙하물 재해의 업무상 사망 재해를 예방하기 위해서는, 특히, 적재화물의 운반과 운송 시 작업 현장의 출입을 통제하고 잘못된 운반을 하거나 과적재일 시 작업을 중단하고 조치 완료 후 작업을 수행해야 할 것으로 판단된다.

부상 사고의 경우, 불안전 행동인 설비, 기계 오조작, 불안전 상태인 기계, 설비 취급상 위험으로 이러한 재해유인 군집은 기인물인 못, 리벳, 나사로 개방창 질병을 유발하며, 대부분 작업은 물체의 가공, 취급 작업 중 휴대용 공구로 인해 발생하고, 개인안전장비인 안전고글을 착용하여도 재해를 입는 것으로 나타났다. 이러한 군집의 상위 군집으로, 보호구 미착용 및 착용 상태 불량과 보호구 착용 상태 및 성능 불량으로 나타났다. 따라서, 부상 사고는 부적절한

기계 작동으로도 발생하지만, 결합 있는 안전장비나 잘못된 안전장비의 착용으로 발생하므로 이에 대한 기계와 안전장비 점검, 안전장비의 올바른 착용으로 낙하물로 인한 부상사고를 예방할 수 있다. 이러한 결과를 사망과 부상재해에 대한 발생변수별로 주요 요인의 순위를 종합해본다면 Table 4와 같다.

5. 결 론

본 연구는 건설현장에서 발생한 사고 데이터를 활용하여 건설 사고형태 중 낙하물로 인해 발생한 인명사고들을 분석하였다. 낙하물 사고에 영향을 미치는 다양한 요인들의 변수들을 분석하였고, 각 요인을 나열하여 연관규칙 분석과 계층적 군집화를 실시하였다.

각 변수의 요인이 사망 사고와 부상 사고 그룹으로 구분하여 각각 어떠한 규칙들이 발생하고 각 조건부와 결론부를

도출하고 서로 어떠한 연관성이 있는지 분석하였다.

사망과 부상 사고의 각 변수의 요인을 추출하여 각 재해자를 기준으로 다른 재해자와 빈번하게 나타나는 일련의 규칙을 지지도 0.1 이상인 사망 사고 연관규칙 46개, 부상 사고 연관규칙 54개를 도출하고 신뢰도와 향상도를 기준으로 주요한 15개의 연관규칙을 도출하였다. 또한, 계층적 군집화를 통해 두 그룹의 요인들을 군집하여 직관적으로 이해할 수 있게 시각화하고 각 그룹에서 군집하는 요인들의 차이를 도출하였다.

이와 같이 본 연구에서 제안한 낙하물에 기인한 사망과 부상 사고에 대한 규칙을 감안하여 낙하물에 기인한 안전사고에 대한 대처방안을 모색하면 보다 정확한 사고 예방이 가능할 것으로 판단된다.

요 약

건설업은 전체 산업 중에서 가장 많은 재해자를 발생시키는 산업 분야이다. 각 재해에서 발견되는 반복되는 요인들로 인해 재해가 발생하기 때문에 기존의 기술통계 분석 및 통계적 검정으로 업무상 재해 유형을 분석하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 건설현장에서 발생하는 재해 유형 중 낙하물에 기인한 안전사고에 대하여 사망과 부상 사고로 구분하여 사고 원인들을 도출한다. 또한, 기계학습 기법 중 연관 규칙 분석 방법을 통하여 낙하물에 기인한 안전사고의 규칙을 발견하고, 낙하물의 요인들을 군집하여 중점 재해요인을 도출한다. 본 연구에서 제안한 낙하물에 기인한 사망과 부상 사고에 대한 규칙을 감안하여 낙하물에 기인한 안전사고에 대한 대처방안을 모색하면 보다 정확한 사고예방이 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 건설안전, 낙하물, 데이터 사이언스, 기계 학습, 연관규칙 분석, 계층적 군집화

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2017R1A2B4003722).

ORCID

Kiyong Son, <https://orcid.org/0000-0002-5592-7458>

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

References

1. Ministry of Employment and Labor, 2017 Industrial disaster status analysis, Sejong Metropolitan Autonomous City(Korea): Ministry of Employment and Labor; 2018. 732 p.
2. Ministry of Employment and Labor, Collection and payment of workers' compensation insurance for e-country indicators [Internet]. Sejong Metropolitan Autonomous City(Korea): Ministry of Employment and Labor; 2016 [updated 2018 Mar 26; cited 2019 Mar 9]. Available from : http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2742
3. Statics Korea, Number of fatal industrial accidents per 100,000 workers(OECD)[Internet]. Daejeon Metropolitan City(Korea): Statics Korea; 2017 [updated 2018 Oct 10; cited 2019 Mar 10]. Available from : http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_2KAA308_OECD
4. Jo JH, Woo HS, Park MK, An empirical study on the influence of industrial safety education to workers in construction field: Focus on the supervisor and the worker. *Journal of Korea Safety Management & Science*. 2009 Dec;2(1):43-55.
5. Ahn YS, Study on the analysis of present situation and improvement direction of construction safety empirical education. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2008 Aug;8(4):95-103.
6. Paik SW, Kim HJ, Choi DH, A study of decreasing critical disasterous accidents in small construction sites. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 2012 Nov;54(6):121-31. <http://dx.doi.org/10.5389/KSAE.2012.54.6.121>
7. Kim YK, Kim JD, Kim GH, A comparison of the ranking for safety motivations factors between construction engineers and construction managers. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2019 Jun;19(3):247-54. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2019.19.3.247>
8. Kim JM, Lee JB, Chang SR, A study of the accident analysis of architectural work. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2012 Jun;31(3):96-101. <http://dx.doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.3.96>
9. Jo JH, A study on the causes analysis and preventive measures by disaster types in construction fields. *Journal of Korea Safety*

- Management & Science, 2012 Mar;14(1):7–13,
<https://doi.org/10.12812/ksms.2012.14.1.007>
10. Jang CH, Lee JS. Risk assessment of dropped object in offshore engineering through quantified risk analysis. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 2017 Apr;54(2):143–50, <https://doi.org/10.3744/SNAK.2017.54.2.143>
 11. Jeon HW, Jung IS, Lee CS. Risk assessment for reducing safety accidents caused by construction machinery. *Journal of the Korean Society of Safety*, 2013 Oct;28(6):65–72, <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2013.28.6.064>
 12. Agrawal R, Imielinski T, Swami A. Mining association rules between sets of items in large database. In *ACM Sigmod Record*, 1993 May;22(2):207–16.
 13. Agrawal R, Srikant R. Fast algorithms for mining association rules. *Proceedings of the 20th Very Large Data Bases Conference*; 1994 Sep 12–15; Santiago, Chile: VLDB; 1994. p. 487–99.
 14. Weng J, Zhu JZ, Yan X, Liu Z. Investigation of work zone crash casualty patterns using association rules. *Accident Analysis & Prevention*, 2016 Jul;92:43–52, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.03.017>
 15. Cheng CW, Lin CC, Leu SS. Use of association rules to explore cause–effect relationships in occupational accidents in the Taiwan construction industry. *Safety science*, 2010 Apr;48(4):436–44, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.005>
 16. Li H, Li X, Luo X, Siebert J. Investigation of the causality patterns of non–helmet use behavior of construction workers. *Automation in Construction*, 2017 Aug;80:95–103, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.006>
 17. Shmueli G, Bruce PC, Patel NR. *Data mining for business intelligence: concepts, techniques, and applications with XLMINER*, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley; 2016. 509 p.
 18. Muller A, Guido S. *Introduction to machine learning with python*, Sebastopol, CA: O’ reilly; 2016. 447 p.