

연관규칙 기반 소규모 건설현장 사망재해 다중요인 분석

이강호¹ · 이찬식² · 구충완³ · 김태완^{4*}

¹인천대학교 대학원 건축학과 · ²인천대학교 건축공학과 교수 · ³인천대학교 건축공학과 조교수 · ⁴인천대학교 건축공학과 조교수

Identification of Combinatorial Factors Affecting Fatal Accidents in Small Construction Sites: Association Rule Analysis

Lee, Gangho¹, Lee, Chansik², Koo, Choogwan³, Kim, Tae Wan^{4*}

¹Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School, Incheon National University

²Professor, Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University

³Assistant Professor, Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University

⁴Assistant Professor, Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University

Abstract : The construction industry is suffering from a large number of fatal accidents. As many field works are being conducted in a dangerous condition such as working at height and adverse weather, they are always exposed to safety accidents with high frequency and severity compared to other industries. Such risk is even larger in small construction sites, but studies that focus on combinatorial factors leading to fatal accidents in small construction sites are lacking. Thus, in order to reduce the fatal accidents in the construction industry, this study analyzed 1,438 occupational death accidents cases in small construction sites and, then, conducted the association rule analysis to extract ten combinatorial factors that frequently led to fatal accidents in small construction sites. Based on the extracted association rules, this study also discussed possible countermeasures to reduce the fatal accidents. The results were explained to experts, who agreed on the results of the study. This study contributes to the construction safety management theory by providing a detailed analysis of fatal accidents in small construction sites that can be used for developing and deploying safety policies and educations for small construction site workers.

Keywords : Association Rules, Data Analysis, Construction Death, Small Construction, Safety Management

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설업은 특성상 외부에서 위험한 공종의 작업이 많이 수행되는 특징을 갖고 있으며, 타 산업에 비해서 재해의 빈도와 정도는 매우 크다. 최근 안전보건공단에서 발표한 건설업 재해 통계¹⁾를 보면 2019년 건설 재해 사망자수는 428명으로 전체 산업의 50.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 점에서 건설현장의 안전사고는 불가항력적으로 발생하는 것으로 치부해서는 안 되며, 안전사고를 일으키는 요인을 찾아내어 사고 예방과 대책 마련에 근거를 제시할 필요

가 있다. 특히, 건설재해는 중, 소규모 건설현장에서 많은 비중을 차지하며, 2019년 고용노동부 보도자료²⁾에 의하면 중, 소규모 건설현장의 추락에 대한 안전관리가 불량하며, 1,308곳의 건설현장 중 953곳에서 산업안전보건법을 위반하였다. 중, 소규모 건설현장의 사망사고를 예방하기 위해서는 안전 시설물 설치와 더불어 노동자의 안전에 대한 의식작용도 필수적임을 강조하였고, 안전점검 및 감독을 강화한다고 밝히고 있다. 따라서 중, 소규모 건설현장에 대해서 재해요인을 분석 및 재해요인을 도출한다면 중, 소규모 건설현장에 적합한 재해 예방과 대책에 실효성 높은 기여를 이룰 수 있다.

Lee (2011)는 소규모 건설현장에서 대부분의 건설업 재해 비중을 차지하며, 소규모 건설현장의 재해 저감을 위해 안전 관리환경에 대한 적극적 제도변화가 필요함을 보였으며, 위

* **Corresponding author:** Kim, Tae Wan, Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University Incheon, Korea, 22012

E-mail: taewkim@inu.ac.kr

Received April 29, 2020: **revised** June 18, 2020

accepted July 1, 2020

1) 고용노동부 (2019). "2019년 산업재해 발생현황"

2) 고용노동부 (2019). "중, 소규모 건설현장의 추락 방지 조치 여전히 불량"

협성평가 기법을 소규모 건설현장에 적용하기 위한 방안을 제시하였다. Park (2015)은 건설 재해발생은 필연적으로 간주하는 경향이 있으며 안전관리에 대한 인식 부족은 재래형 재해의 반복적 발생으로 귀결되며, 건설재해의 연령과 근로자 경력에 따른 재해의 유형, 강도, 원인을 통계적 분석으로 유의함을 나타내었다. Cheon (2015)은 소규모 건설현장의 부상 및 사망사고를 낮추는데 필요한 안전감독 관리와 안전교육이 미흡한 실정이며, 소규모 건설현장에 특화된 안전교육이 마련될 필요가 있음을 제시하였으며, 12개건의 산업안전보건관리비 사용내역을 비교 분석하여, 소규모 건설현장의 안전관리 체계와 안전교육의 문제점이 있음을 도출하였다. Yoo (2015)는 소규모 건설현장에서 지속적인 재해 증가가 발생하는 점을 주목하였으며, 주요 재해 원인이 비계 및 작업발판임을 제시함과 더불어 소규모 건설현장의 재해예방을 위한 안전작업매뉴얼을 제시하였다. Kim (2017)는 안전교육 정책 지속성에 변화를 일으키는 구성요소의 중요도 및 우선순위를 도출하여 실질적인 연속성을 확보할 필요성을 제시하였으며, AHP기법을 사용하여 안전교육 전문 인력양성은 국가적인 정책 과제임을 강조하였다. 소규모 건설현장의 안전 분야 선행연구들의 동향을 고찰하였을 때, 건설현장의 재해를 줄이기 위한 노력이 지속적으로 수행되어야 하며, 건설현장의 범주가 중, 소규모 현장으로 좁혀질 필요가 있음을 파악하였다. 또한 건설안전 선행연구에서 소규모 건설현장 범주의 실태와 안전관리의 문제점을 주목하였으며, 안전작업매뉴얼 개선, 안전관리환경 제도변화의 필요성, 안전관리 감독 및 안전교육의 강화를 제시하였다. 즉, 소규모 건설현장의 사망 재해를 줄이기 위해서는 소규모 범주에 적합한 안전교육, 안전작업매뉴얼, 안전정책이 필요하다. 본 연구에서는 사망 재해에 영향을 미치는 다중 요인으로 분석하여, 소규모 건설현장의 사망 재해를 도출하고, 정량적인 지표를 나타내었다. 이는 소규모 건설현장의 사망 재해 발생이 높은 요인과 재해 형태를 나타내며, 이를 활용하여 안전교육, 안전작업매뉴얼, 안전정책에 기초적인 자료로 활용될 수 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 안전보건공단에서 제시한 「업무상 사고사망자 리스트」 자료를 토대로 2011년-2017년 7개년 자료를 활용한다. 「업무상 사고사망자 리스트」 데이터는 해당연도의 전체 건설현장에서 발생한 사망사고에 대해 기록되어 있다. 먼저, 「업무상 사고사망자 리스트」에서 요인별 사망사고에 대한 빈도 분석을 수행하여 현장 규모에 따른 사망빈도를 비교한다. 이후, 50인 미만의 근로자 수를 소규모 건설현장으로 설정하고, 「업무상 사고사망자 리스트」의 46가지

변수에서 10가지 변수로 데이터 열을 제외시키고, 규모 요인에서 소규모 건설현장에 해당하는 데이터에 대해 행을 추출한다. 전처리 과정을 걸친 데이터를 입력데이터로 활용하여 규칙기반 기계학습인 연관규칙 분석을 실시한다. 연관규칙으로 생성된 무수히 많은 규칙들 중 3가지 이상 포함된 요인과 발생형태로 이루어진 규칙들을 대상으로 분석한다. 본 연구의 수행 절차는 <Fig. 1>과 같다. 첫째, 연관규칙과 「업무상 사고사망자 리스트」에 대한 개요를 나타낸다. 둘째, 소규모 건설현장 범주를 설정하고, 「업무상 사고사망자 리스트」에서 요인별 사망빈도를 시각화하여 소규모 건설현장에서 발생하는 사망빈도를 나타내고 비교한다. 셋째, 「업무상 사고사망자 리스트」의 46가지 변수들에서 불필요 변수 열을 제외하고, 소규모 건설현장에 해당하는 행을 추출하는 데이터 전처리를 실시한다. 넷째, 연관규칙분석을 수행하고 시각화한다. 다섯째, 다중요인이 포함된 규칙을 추출하여 소규모 건설현장의 사망재해에 대한 해석을 제시한다.

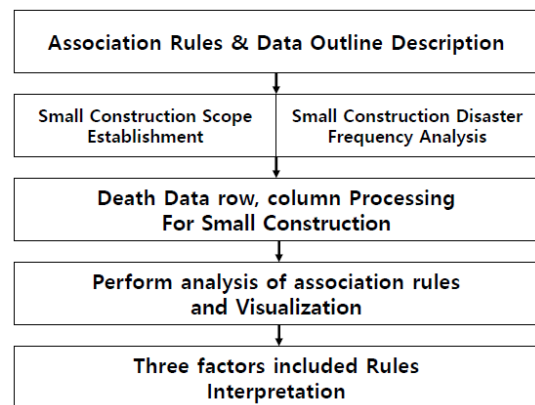


Fig. 1. Research Process

2. 이론적 고찰

2.1 선행연구

Son (2019)은 기존 안전재해에 관한 연구에서는 기인물에 의한 재해연구가 안전사고 저감에 기여할 수 있음을 밝히며, 연관규칙을 통해 사망사고와 부상사고의 낙하물에 기인한 건설 재해를 연구하였다. 그러나 재해는 낙하물 뿐만 아니라 근로자의 특성 요인, 공중에 따라 발생할 수 있기 때문에, 다양한 요인을 함께 분석할 필요가 있다. Lee et al. (2019)은 전문건설업 근로자 공제자료를 바탕으로 발생형태, 작업내용, 기인물 간의 상호연관성을 분석하는 연구를 진행하였고, 철근콘크리트 공사업과 토공사업의 위험성이 높은 업종으로 결과를 제시하였다. 해당 연구에서의 활용한 데이터는 전문 건설업에 한정된 데이터로서 전반적인 재해보다 특정 공종에 치중된 결과이고, 결과에 대한 대책마련에 있어서 일반

화하기 어렵다. Jang (2018)은 중, 소규모 건설현장의 재해율 감소를 위해 위험성 평가를 마련하는 방안을 제시하였다. 실태조사를 수행하여 현행되는 소규모 건설현장의 위험성 평가 문제를 파악하였으며, 위험성평가 모델을 구축하고 사전 작업허가제를 도입이 필요함을 제시하였다. 하지만 건설재해는 근로자의 특성과 더불어 현장의 특성이 함께 작용하여 건설재해에 영향을 미칠 수 있기 때문에 다중 요인과 함께 건설재해 분석이 필요하다. Lee (2016)는 연관규칙을 활용하여 기후요소에 따라 발생하는 사망재해를 분석하고, 기후조건에 효과적으로 대응할 수 있는 안전관리 방안의 기초 자료를 제시하였다. 하지만 기후조건으로 인한 사망재해는 변수요인이 매우 가변적이고, 제시한 대책으로 기후조건을 통제할 수 없다는 단점이 존재한다. Lee (2016)는 근로자의 특성과 안전의식간의 연관성 분석에 대한 연구를 진행하고, 근로자의 특성, 의식수준에 대한 결과를 나타내고, 안전교육의 현실화 및 안전교육의 다변화가 필요함을 제시하였다.

Table 1. Literature review

Authors	Scope	Using Data	Summary
Son (2019)	Falling Objects	Disaster due to Falling Objects	Through the Association rules, construction disasters caused by falling objects of deaths and injuries.
Lee et.al (2019)	Specialty Construction	Insurance Data Last 10 years	Research to analyze the relationship between the occurrence type, work content, and cause of the professional construction industry.
Jang (2018)	Risk Assessment in Medium and Small Construction Sites	Construction Manager Survey	This study is to identify the key risk items of common accident causes.
Lee (2016)	Climatic	Disaster Data & KMA Data	A study on mortality disasters in climatic conditions using Association rules.
Lee (2016)	Worker Safety awareness	120 Worker Survey	Analysis of the relationship between worker characteristics and safety consciousness.

※ Only certain factors, such as falling objects, climatic factors, or two to three, were used in the associated rules.
 ※ Small-scale construction site categories need to be used to extend the number of deaths to indicate fatalities.

〈Table 1〉의 선행연구와 달리, 본 연구에서는 소규모 건설현장을 대상으로 사망 재해 빈도를 분석하고, 이를 토대로 소규모 건설현장에 대한 건설현장의 특성과 근로자의 특성을 활용하여 다중요인에 따라 발생 가능성이 존재하는 사망 재해 형태를 도출하고, 정량적인 지표를 제시하였다. 이는 소규모 건설현장에 특화된 재해 분석과 결과를 나타내었다. 또한, 최신 데이터를 통해서 소규모 건설현장의 사망 재해 추세를 반영할 수 있었다. 결과적으로 연구의 결과가 소

규모 건설현장에서 예방 및 대책을 마련하기 위해 활용된다면 재해 저감에 기여할 수 있다.

2.2 연관규칙 분석

본 연구에서 활용한 연관규칙 분석은 규칙기반 기계학습이다. Korea Database Agency (2019)에서 장바구니 분석(Market Basket Analysis)로 정의하며, 입력 데이터에 대한 결과를 IF-THEN의 형태로 반환하여 데이터의 IF-THEN 집합에서 숨겨진 규칙을 찾는 분석기법이다. 예를 들어, 어떤 사건이 발생하였을 때, 발생한 사건과 연관된 요인들을 IF-THEN의 규칙형태로 도출하여, IF와 THEN사이의 관계를 나타낼 수 있다. 연관규칙 분석에서 IF는 조건부(Antecedent)라고 하며, THEN은 결론부(Consequent)라 한다. 생성된 규칙은 평가지표인 지지도(Support), 신뢰도(Confidence), 향상도(Lift)를 통해서 정량적으로 설명할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 연관규칙을 소규모 건설현장 사망재해 분석에 적용하여 소규모 건설현장의 사망재해와 연관된 요인들을 나타내고 평가지표를 통해 설명한다.

연관규칙 분석의 결과는 입력데이터의 개수에 따라 수십 또는 수천 개가 발생하며, 흔히 아래와 같은 평가지표를 사용하여 규칙을 평가한다.

- 지지도(Support): 전체 재해자 중 재해요인 X와 재해요인 Y가 동시에 나타난 비율이며, 전체 재해자의 수를 기준으로 결과 값을 반환한다. $P(X \cap Y)$ 는 재해요인 X와 Y를 포함하는 재해자 수, N은 전체 재해자수를 나타낸다.

$$\text{Support}(X \rightarrow Y) = \frac{P(X \cap Y)}{N} \quad (1)$$

- 신뢰도(Confidence): 재해요인 X를 가지고 있는 재해자 중 재해요인 Y가 포함된 재해자의 비율이며, $P(X)$ 는 재해요인 X가 모두 포함된 재해자 수이며, $P(X \cap Y)$ 는 X와 Y가 모두 포함하는 재해자 수이다.

$$\text{Confidence}(X \rightarrow Y) = \frac{P(X \cap Y)}{P(X)} \quad (2)$$

- 향상도(Lift): 재해요인 X 요인으로 인해 재해요인 Y가 발생할 가능성을 나타내며, 분모는 지지도, 분자는 신뢰도와 같다. 향상도의 값은 1을 기준으로 1이상인 경우 재해요인 X로 인해서 재해요인 Y가 발생할 수 있다.

$$\text{Lift}(X \rightarrow Y) = \frac{P(X \cap Y)}{P(X) \cdot P(Y)} \quad (3)$$

연관규칙 분석을 수행하기 위해서 R 통계 프로그램의 Apriori Algorithm 패키지를 사용하였다. 「업무상 사고사망자 리스트」 자료를 토대로 2011~2017년 7개년 자료를 활용하였으며, 46가지 요인 중 규모, 직종, 근속기간, 기인물, 연령, 공사규모, 공정률, 국가, 성별, 발생형태 10가지로 경력 5년 이상의 3명 건설현장 실무자와 상의하여 재해요인을 한정하였으며, 사망재해 행렬의 형태로 구성한다. Apriori Algorithm은 입력데이터를 바탕으로 모든 경우의 수를 탐색하며, 설정한 평가지표 이상의 규칙들을 대상으로 연구결과인 빈발 집합(Frequent Item Sets)을 반환한다. 이를 통해 재해요인에 대한 관계를 정밀하게 나타내어 소규모 건설 사망재해에 대해 면밀히 분석할 수 있다. 본 연구에서는 시행오차(Trial Error)방식으로 지지도 값은 0.01로 설정하였으며, 통계적 신뢰성 기준으로 생성된 규칙의 신뢰도는 0.85 이상, 데이터 분석 전문가 가이드에서 제시하는 향상도 1이상의 평가지표 값을 가진 규칙들을 연구결과로 반환한다.³⁾ 이를 통해, 소규모 건설현장 사망사고의 다중 재해요인에 따른 발생형태를 도출할 수 있고, 이를 바탕으로 단일 요인으로 분석한 대책보다 더욱 유효한 예방 및 대책을 마련할 수 있다.

2.3 소규모 건설현장 정의

소규모 건설현장의 분류는 총 공사비 20억 미만의 중규모 공사 및 3억 미만의 소규모 공사(Lee, 2016), 산업안전보건법상 산업안전보건관리비 계상 기준 4천만원 이하 기준, 또는 상시근로자 50인 미만 소기업(50인 이상, 300인 미만 중기업, 300인 이상 대기업)(Cheon, 2015)으로 크게 공사금액, 산업안전보건비, 상시근로자 인원 3가지 방식으로 소규모 건설현장을 정의하고 있다. (시설안전공단, 보건안전공단)(Kim, 2018; Kim, 2013; Cheon, 2015)은 소규모 건설현장의 재해 발생이 크게 증가하고, 「산업안전보건법」 「건설기술진흥법」에서는 대형사업장에 대해서만 문서를 제출하도록 의무화하고 있어 소규모 건설현장은 안전관리의 사각지대에 놓여 있는 상황임을 밝혔으며, 소규모 건설현장을 중소기업 기본법, 산업안전보건법 법규에 근거하여 50인 미만의 건설현장을 소규모 건설현장으로 설정하는 것이 타당함을 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 「업무상 사고사망자 리스트」에서 규모 요인 50인 미만에 해당되는 데이터로 추출하여 연관규칙 분석에 입력데이터 활용하였다. 이를 통해 소규모 건설현장 범주에서 발생하는 사망형태와 사망이 발생

할 가능성 있는 다중 요인들을 도출하였다.

3. 데이터 전처리 및 소규모 건설현장 사망 재해 빈도 분석

3.1 업무상 사고사망자 데이터 개요

본 연구에서 활용한 「업무상 사고사망자 리스트」는 1,923건의 사고사망 데이터이다. 「업무상 사고사망자 리스트」는 46가지의 변수 열을 포함하고 있다(Table 2). 사고사망 리스트의 46가지 변수들은 크게 발생지역 정보, 공사 특성 정보, 근로자 특성 정보, 재해 정보 4가지로 분류하였으며, 연구에서 활용할 10가지 변수(회색으로 표시)들의 상세한 내용은 (Table 3)에서 살펴볼 수 있다.

Table 2. 46 Variable in Occupational Accident Death List

Accident Area Information	Field office	Death Disaster Information	Disaster date
	Branch office		Disaster classification
	Administrative district		Occur Type
Construction Information	Type of project	Original cause materials(large)	
	Construction progress	Original cause materials(medium)	
	Construction assets	Original cause materials(small)	
	Start date	Original cause materials(detail)	
	Finish date	Days of treatment	
	Standard industrial classification	Date of approval	
	Number of workers	Date of approval death	
Construction scale	Disability approval date		
Worker Information	Worker name	Actual date of death	
	Occupational disease	Care period	
	Country	Day of week	
	Work Type(large)	Disaster time	
	Work Type(medium)	Days not worked	
	Work Type(small)	Disaster overview	
	Recruitment date	Disaster name	
	Age	Facility(large)	
	Sex	Facility(medium)	
	Career periods	Facility(small)	
	Employment type	Occupational disease Trigger	
	Worker status		

3) 한국데이터산업진흥원 (2019). "The Guide for Advanced Data Analytics Professional" : 지지도를 조절하여 높은 값에서 낮은 값으로 낮추어가며 실행해야 효율적이며, 향상도가 1보다 크면 해당 규칙은 결과를 예측하는데 있어 우수하다는 것을 의미한다.

Table 3. 10 Variable Contents

Variable	Definition	Range
Construction Progress	Construction Progress	5% to 90%, in 10% increments
Construction Assets	Construction project capital	Less than 10 million won to over 100 billion won.
Construction Scale	Career periods of the accident worker	20 years or more from less than 1 month
Country	Worker's Country	Nepal, Mongolia, Vietnam, Myanmar, Uzbekistan, Indonesia, China, Kazakhstan, Philippines, South Korea, Korean Russian, Korean Chinese
Worker Type (Medium)	Workers' positions at the construction site	Manager, Skill worker, Simple labor worker, Machine operation and Assembly worker
Age	Worker age of death on site	Age from 10s to 70s
Sex	Worker Gender of death on site	Male, Female
Career Periods	Career periods of the accident worker	20 Years or more from less than 1 months
Occur Type	Types of Accidents at the Construction site.	Falling, Slip down
Original Cause Materials (Medium)	The material that directly affected the accident	Construction structure and finishing surface, Transportation, Part accessories and materials, Equipment-Machine, Portable and Manpower Machine

3.2 소규모 건설현장 사망 재해 빈도 분석

사망사고의 빈도 분석은 규모, 공정률, 근속기간, 직종별 사망 재해요인으로 대표적인 사망재해 요인에 대해 수행하였다. 소규모 건설현장 범주의 규모인 5인 미만에서 1,438명 사망, 공정률 요인에서는 20~70% 구간에서 762명 사망, 근속기간 요인에서는 1개월 미만에서 1,060명 사망, 직종별 요인에서는 기능 종사자 790명 사망 빈도를 보인다. 전체 사망자 1,922명에서 소규모 건설현장에서 사망 빈도가 가장 많음을 알 수 있다. 소규모 건설현장의 사망 재해 단일 요인에 대한 결과를 시각화하였으며, 이를 통해, 소규모 건설현장에서 사망 재해가 취약함을 보이는 것을 나타내었다. 소규모 건설현장 범주에서의 재해요인 분석은 건설 재해 저감에 직결됨을 알 수 있다. 빈도 분석은 다음과 같다.

규모별 사망재해(Fig. 2)에서 5인 미만 665명, 5~9인 257명, 10~15인 165명, 16~29인 198명, 30~49인 153명이 사망

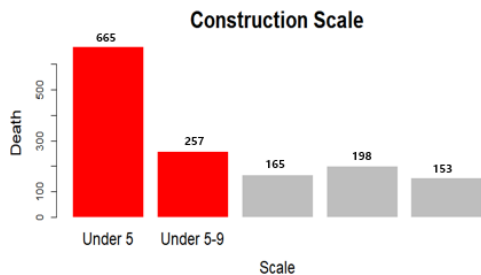


Fig. 2. Death Accident by Construction Scale

하였다. 이는 소규모 건설현장에서도 적은 근로자 수의 현장 일수록 사망재해에 취약함을 보인다. Kim (2018)은 소규모 건설현장에서 근로자들의 낮은 안전의식, 안전시설물 설치비용에 대한 투자기피와 인식부족, 재해예방 감독 어려움으로 획기적인 사망사고 감소대책은 수립되지 못하고 있음을 미루어볼 때, 소규모 건설현장에서도 적은 근로자 현장 일수록 안전대책이 실효성을 발휘하지 못하고 있음을 알 수 있다.

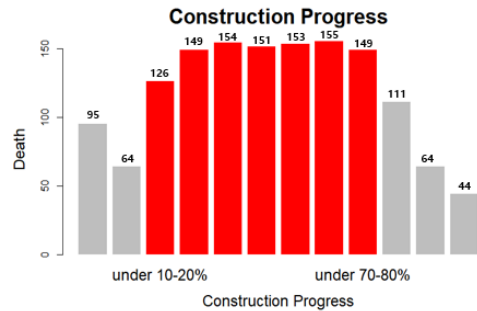


Fig. 3. Death Accident by Construction Progress

공정률별 사망재해(Fig. 3)는 사망빈도가 급격히 증가하는 공정률 10~20%를 시작으로 70~80% 구간에서 점차 감소하는 구간으로 설정하였다. 10~20% 미만 126명 사망자를 시작으로 70~80%까지 100명 이상의 사망자를 보이며, 총 20~70% 구간에서 사망재해는 762명으로 발생하는 것으로 나타났다. 건설 프로젝트의 20~70% 구간은 골조공사가 이루어지는 부분이며, Kim (2015)에서 공종별 사망사고 중 전체 67%의 사망사고가 골조 공사에서 발생하며, 마감 공사에서 16.5%의 사망재해가 발생함을 제시하였으며, (Fig. 3)와 비교해볼 때, 본격적으로 건물의 대형화, 복잡화가 나타나는 구간임을 알 수 있고, 이로 인해 근로자는 고소작업을 수행하게 된다. 따라서 안전사고의 위험정도가 고층화됨에 따라 증가함을 보였다. 또한 소규모 건설현장은 대, 중 규모 현장에 비해 작업 속도가 빠르기 때문에 골조공사가 이루어지는 구간에서의 안전사고 위험정도는 더욱 가중된다.

근속기간별 사망재해를 살펴보면(Fig. 4), 1개월 미만, 1~2개월 미만, 2~3개월 미만, 3~4개월 미만의 범주에서

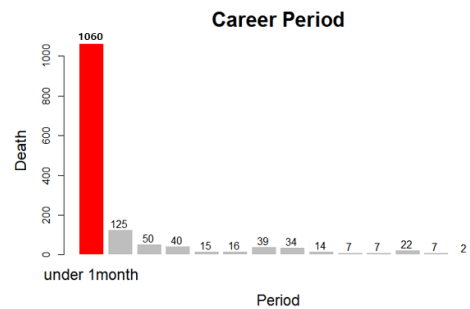


Fig. 4. Death Accident by Career Period

압도적으로 사망재해가 발생하는 것을 알 수 있다. Park (2015)은 경력이 없는 근로자들의 재해 원인을 불안전 자세, 안전감독 미흡, 안전교육 부족으로 재해 원인을 밝혔으며, 이는 건설공사의 경험이 없는 근로자들이 안전에 대한 실질적인 교육이 부족과 소규모 건설현장 특성에 따른 안전장비 지급이 상대적으로 저조하기 때문에 안전사고가 발생하면 재해로 이어짐을 알 수 있다. 따라서 소규모 건설현장 범주에서 근무기간이 적은 근로자에 대해서는 각별히 관리 감독을 할 필요가 있다.

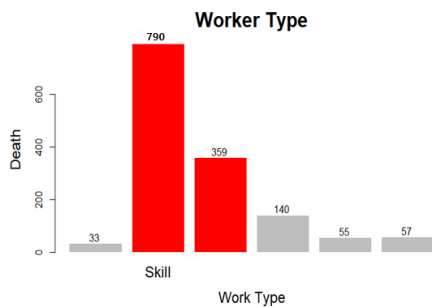


Fig. 5. Death Accident by Worker Type

직종별 사망재해(Fig. 5)에서는 기능원 및 관련 기능 종사자와 단순 노무 종사자가 가장 빈번하게 사망 재해를 겪는 것으로 나타났다. Park (2019)은 실질적으로 건물의 옥외작업과 공사를 수행하는 직종이 기능원과 노무 종사자임을 제시하였으며, 이는 소규모 건설현장에서도 동일하게 적용됨을 알 수 있다. 소규모 건설현장 1,438건의 사망데이터의 빈도 분석을 수행한 결과를 요약하면, 규모에서는 5인 미만의 범주에서 가장 빈번하게 발생하며, 공정률에 따라 철골 공정이 수행되는 20~70% 구간에서 발생빈도가 증가한다. 또한 근로자의 근무기간과 직종별에서는 경험이 적고, 특정 공사를 수행하는 기능원과 단순 노무 종사자에 대해서 사망재해 빈도가 압도적으로 나타남을 알 수 있다. Park (2019)의 단일 재해 요인 결과에서 공종별 안전사고에서 ‘거푸집 공사’, ‘철근 공사’의 ‘외벽공사’, ‘강구조 공사’가 발생 강도 1, 2위

를 차지하며, 이는 20~70% 공정률에서 안전사고 발생 강도가 매우 크게 나타나며, 직종별 요인에 관해서는 ‘직종(비계공 등)’과 ‘근로자의 연령’이 1, 2위로 안전사고 위험 영향 요인에 가장 밀접하게 작용함을 제시하였다. 이러한 점에서 본 연구의 소규모 건설현장에서 나타나는 단일 요인 사망 재해 빈도는 소규모 건설현장 사망 재해의 위험 정도가 매우 높음을 알 수 있다.

4. 소규모 건설현장 연관규칙 분석

4.1 데이터 전처리

「업무상 사고사망자 리스트」에서 우선적으로 분석에 사용할 변수를 추출하였다. 분석에 사용할 변수는 <Table 3>에서 표현하였다. 이후 규모 요인에서 50인 미만에 해당되는 행으로 데이터를 재구성하며, 추가적으로 결측치를 제거하여 데이터 전처리를 완료하였다.

최종적인 소규모 건설현장 사망 재해 데이터의 형식은 <Fig. 6>와 같다. 전처리한 데이터를 통해서 소규모 건설현장의 사망빈도 정도를 분석을 수행하고, 연관규칙의 입력데이터로 활용하여 연관규칙 최종 결과형태를 도출한다.

4.2 소규모 건설현장 사망 재해 연관규칙 결과

<Fig. 7>은 입력데이터를 바탕으로 연관규칙을 수행한 모든 경우의 수를 보여주며, 규칙의 개수는 38,323개가 도출되었다. <Fig. 7>의 Order는 조건의 개수를 나타내며, 생성규칙의 개수를 보인다. 연관규칙은 모든 경우의 수를 탐색하기 때문에 생성된 규칙들이 전부 유효하지 않다. 따라서 유효한 규칙들을 선별하기 위해 다음과 같은 과정을 수행하였다. 첫째, 사망의 가장 직전 단계는 발생형태에 의해서 정해지며, 이에 따라 결론부의 발생형태에 해당하는 결과들을 우선으로 추출하였으며, 해당 단계에서는 떨어짐과 넘어짐의 결과들로 도출되었다. 둘째, 규칙 생성 최소 기준인 지지도 0.01 이상, 신뢰도 0.8 이상, 규칙의 미래 발생 가능성 정도를 나

	Variable[1]	Variable[2]	Variable[3]	Variable[4]	Variable[5]	...	Variable[44]	Variable[45]	Variable[46]
List [1]	labor worker	Under 1month	Under 5 worker	36	Under 1,000Million	...	South Korea	Male	Falling
...	labor worker	Under 1month	Under 16worker	42	Under 4000Million	...	South Korea	Male	Falling
List [n]	labor worker	Under 1month	Under 100worker	50	Under 2000Million	...	South Korea	Male	Slip down

Worker Type	Career periods	Original cause materials	Construction scale	Age	Construction Assets	Construction Progress	Country	Sex	Occur Type
labor worker	Under 1month	Equipment-Machine	Under 5worker	36	Under 1,000Million	Under 5%	South Korea	Male	Falling
Man ager	Under 1month	Equipment-Machine	Under 5worker	62	Under 4000Million	Under 5%	South Korea	Male	Falling
labor worker	Under 1month	finishing surface	Under 16worker	50	Under 4000Million	Under 40%	South Korea	Male	Slip down

Fig. 6. Data Preprocessing

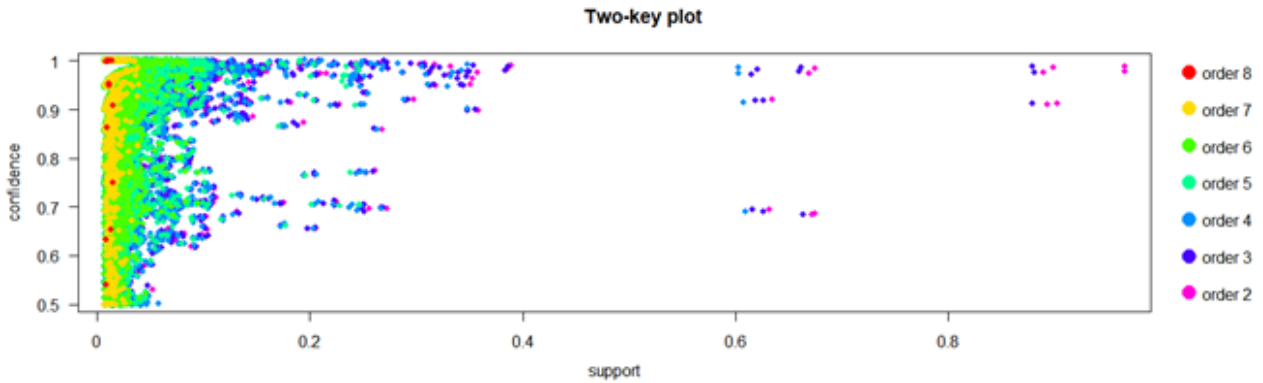


Fig. 7. All Association Rules

Table 4. Top 10 of Association Rules

No	IF	THEN	Confidence	Lift	No	IF	THEN	Confidence	Lift
[1]	Construction scale: Less than 5, 5-9worker, Country: Korea, Worker type: Skill worker, Age:[59,79], Sex: Male Career periods: Less than 1 month, Original cause materials: Scaffolding	Failing	0.985	1.0082	[6]	Construction progress: Less than 60-70% Construction scale:5-9 worker, Country: Korea, Worker type: Simple labor workers, Age:[59,79],[22,51], Sex: Male Original cause materials: Scaffolding	Failing	0.984	1.0070
[2]	Construction progress: Less than 5%, Less than 40-50% , Construction assets: Less than 500 million to 1 billion, Construction Scale: Less than 5, 5-9 worker, 16-29worker, Country: Korea, Worker Type: Skill worker, Age:[51,59], [59,79],[22,51], Sex: Male, Career periods: Less than 1 month, Original cause materials: Scaffolding	Failing	0.985	1.0080	[7]	Construction Assets: Less than 40million-1 billion, Less than 5-10 billion, Construction scale:5-9 worker, Country: Korea Worker type: Skill worker, Simple labor workers Age:[59,79], Sex: Male Career periods: Less than 2-3 month, Original cause materials: Scaffolding	Failing	0.983	1.0067
[3]	Construction progress: Less than 40-50% , Less than5% Construction scale: Less than 5, 5-9 worker, Country: Korea, Worker type: Skill worker, Age:[51,59], [59,79], Sex: Male Career periods: Less than 1 month, Original cause materials: Scaffolding	Failing	0.984	1.0077	[8]	Construction Assets: Less than 40million-1 billion, Construction scale:5-9worker, Country: Korea Worker type: Skill worker, Simple labor worker, Age:[59,79], Sex: Male, Career periods: Less than 2-3 month, Original cause materials: Scaffolding	Failing	0.983	1.0065
[4]	Construction progress: Less than 40-50%, Construction scale: Less than 5, Construction Assets: Less than 10-20 billion, Country: China, Age:[59,79],[51,59], Sex: Male Career periods: Less than 1 month	Failing	0.984	1.0075	[9]	Construction progress: Less than 40-50%, Construction assets: Less than 5-10 billion, Construction scale:5-9worker, Country: Korea, Worker type: Skill worker, Age:[51,59],[59,79], Sex: Male, Career periods: Less than 2-3 month, Less than 1 month, Original cause materials: Formwork	Failing	0.983	1.0062
[5]	Construction progress: Less than 60-70%, Construction Assets: Less than 10-20 billion Construction scale:30-49 worker, Country: Korea, Worker type: Skill worker, Age:[59,79], [51,59], [22,51], Sex: Male, Career periods: Less than 1 month	Failing	0.984	1.0073	[10]	Construction progress: Less than 20-30%, Less than 5% Construction assets: Less than 40million-1 billion Construction scale: Less than 5, Country: Korea Worker type: Finishing workers, Skill worker, Age:[59,79],[51,59], Sex: Male Career periods: Less than 1 month, Original cause materials: scaffolding	Failing	0.983	1.0059

타내기 위해 향상도 1 이상인 규칙들을 대상으로 최종 10개의 규칙을 나타내었다. “성별이 여자이면 한국 사람이다”와 같은 사망재해 분석에 있어 의미가 적은 규칙들은 상기 선별과정을 통해 제외하였다.

본 연구의 결과인 <Table 4>은 다섯 개의 그룹으로 묶어 설명할 수 있다.

- [1], [2], [3], [5] 규칙은 전반적인 소규모 건설현장의 사망재해 패턴을 보인다. 최소 규모 5인 미만, 최대 규모 16~29인 미만의 현장에서 건설관련 기능 종사자가 1개

월 미만의 경력이며, 근로자 연령이 60대, 70대이며, 소규모 건설현장에서 역 단위 금액으로서, 40~50%의 공정률에서 비계 및 작업발판으로 인해 떨어짐 사망이 발생할 수 있다.

- [4] 규칙은 소규모 건설현장 외국인 근로자에 대한 규칙을 의미한다. 규모 5인 미만에서 1개월 미만의 경력자가 공사규모 10~20억원 미만이며, 공정률 40~50% 구간에서 한국계 중국인의 남자가 떨어짐으로 사망이 발생할 수 있다.

- [6], [7] 규칙은 4,000만원 현장으로 세분화된 규칙이다. 규모 5~9인에서 건설 단순 노무자가 2~3개월의 경력으로 60, 70대 근로자이며, 공사금액이 4,000만원 공사에서 비계 및 작업발판으로 떨어짐에 의한 재해가 발생할 수 있다.
- [7], [8], [10] 규칙은 소규모 건설현장 직종에 관한 규칙이다. 규모 5인 미만, 5~9인에서 건축 관련 기능종사자와 건축마감관련 종사자가 1개월, 2~3개월 미만의 경력을 가지고, 공사금액이 4,000만원에서 비계 및 작업발판으로 인해 떨어짐 사망재해가 발생 할 수 있다. 따라서 4,000만원 공사에서도 재해가 발생할 수 있으므로 세분화된 공사금액에 따른 안전대책 마련이 필요하다.
- [9] 규칙은 기인물에 관한 규칙이다. 규모 5~9인으로 건설관련 기능 종사자가 2~3개월 미만 경력으로 거푸집 및 동바리로 인해 60대, 70대 근로자가 공정률 40~50% 구간에서 떨어짐에 의한 사망재해가 발생할 수 있다.

〈Table 4〉의 결과들의 신뢰도와 향상도를 살펴보면 신뢰도 0.8, 향상도 1이상의 값으로 소규모 건설현장 다중 재해 요인으로 인한 사망 재해 패턴이 유효함을 보인다.

전체적인 연구의 결과를 요약하면 건설 재해를 예방 및 대책 마련을 위해서 한국인 근로자뿐만 아니라 해외 유입 근로자에게도 적용할 수 있는 안전 매뉴얼과 방안을 마련해야 한다. 또한 [7], [8], [10] 규칙에서 나타난 4,000만원 공사에서도 재해가 발생할 수 있으므로 세분화된 공사금액에 따른 안전대책 마련이 필요하다. 소규모 건설현장에서 기존 건축기능 관련 직종과 더불어 건축 마감 관련 직종과 단순 노무자 역시 재해에 취약한 것으로 나타나며, 소규모 건설현장에서도 전체 직종을 관리 할 수 있는 체계적인 매뉴얼과 재해 대책이 필요하다. 기인물에 관해서는 비계 및 작업발판, 거푸집 및 동바리로 인해 발생하며, 소규모 건설현장에서 일정 경력 미만, 고령 근로자를 대상으로 해당 기인물에 대해 안전교육과 재해예방을 마련할 필요가 있다. 마지막으로 소규모 건설현장에서도 떨어짐에 의한 재해가 연구결과에서 뚜렷하게 보이며, 소규모 건설현장에 대해서도 떨어짐 관련 안전시설에 대한 규제를 강화하여 건설 재해를 대비하여야 한다.

4.3 연구결과 검증

연구결과를 검증하기 위해, 실무경력 5년 이상의 현장관리자 4명(평균 7.8년)을 활용하여 인터뷰 형식으로 결과에 대한 동의 정도를 확인하였다. 연관규칙 결과가 복잡하여 개별 동의 정도를 확인하기 어려우므로, 전체 연관규칙 결과를 설명하고 의견을 수집하는 형식으로 진행하였다. 그 결과 네

명 모두 연관규칙 결과에 동의하였으며, 다음과 같은 의견을 제시하였다.

- 소규모 현장은 공정률 40~50% 구간에서 특히 사망재해가 자주 발생한다.
- 소규모 현장에서 작업자 연령이 높을수록 사망재해가 빈번하게 발생한다.
- 소규모 현장에서 재해는 거푸집 및 동바리 작업에서 빈번하게 발생한다.
- 소규모 현장에서 재해는 비계 및 작업발판을 기인물로 하여 빈번하게 발생한다.

연구결과를 바탕으로 제시한 소규모 건설현장의 안전관리 대책에 대해서도 인터뷰를 통해 필요성에 대한 동의 정도를 확인하였다. 그 결과 본 연구에서 제시된 안전관리 대책에 대해 동의하였으며, 특히 소규모 현장에서 고령 근로자에 대한 안전교육 및 재해예방 대책 마련이 매우 필요하다고 응답하였다. 또한, 외국인 근로자에 대한 안전 매뉴얼 마련, 비계와 거푸집 작업에서의 사고 방지를 위한 예방대책 마련, 떨어짐 사고 방지를 위한 규정 준수 및 관리감독이 필요하다고 응답하였다.

5. 결론

본 연구에서는 건설재해 저감을 위한 목적으로 소규모 건설현장의 단일 요인에 대한 빈도분석과 연관규칙 분석을 수행하였다. 기존 연구의 소규모 건설현장 재해 분석은 단일 요인에 대한 분석과 예방 및 대책에 대해 수행되었지만 재해 발생은 단일 요인뿐만 아니라 다중요인에서도 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 소규모 건설현장에서 발생할 수 있는 다중요인과 사망유형을 규칙의 형태로 도출하였고, 규칙의 정확도와 미래 가능성을 정량적으로 나타내었다.

「업무상 사고사망자 리스트」의 데이터를 전처리 과정을 수행하였고, 소규모 건설현장의 사망사고 발생빈도를 분석하였다. 빈도 분석에서 공정률은 20~70% 구간, 근속기간 1개월 미만, 건축기능 종사자에서 빈번한 사망재해가 발생함을 보였으며, 실질적으로 건물의 높이가 높아지는 골조공사에서 사망 재해가 실제 작업을 하는 경험이 없는 작업자에게 강하게 발생함을 알 수 있다. 빈도 분석 이후, 해당 소규모 건설현장 규모에서 연관규칙 분석을 실시하여 조건부(IF)와 결론부(THEN)의 형태로 연관규칙들을 도출하였다. 첫째, 연구결과와 규칙은 상위 10개의 규칙이 도출되었으며, 10개의 규칙들은 신뢰도 0.8 이상, 향상도 1이상으로 유효한 값들을 보인다. 둘째, 소규모 건설현장에서는 전반적으로 5인 미만, 5~9인과 공사규모 4천만원~10억원 미만에서 작업

발판과 거푸집, 동바리 기인물로 인해서 사망 재해가 발생한다. 셋째, 경험이 없는 고령의 근로자가 공정률 70% 미만에서 건축기능 및 마감 관련 직종에서 작업을 수행할 때, 떨어짐으로 사망 재해가 발생한다. 넷째, 빈도 분석과 달리 연관 규칙 분석에서는 건축마감 관련 직종, 단순 노무 종사자도 사망 재해에 취약함을 나타내었으며, 한국 남성 근로자뿐만 아니라 중국 근로자에게서도 사망 재해가 발생할 수 있음을 보인다. 이는 국내 건설현장에서 외국인 근로자 유입이 증가로 인해 나타난 결과로 사료되며, 소규모 건설현장 역시 외국인 근로자에 대해 안전관리를 강화할 필요가 있음을 보인다. 다섯째, 공사금액에서는 선행연구에서 제시하는 3억원 미만보다 소규모 공사를 더욱 세분화된 정의를 수립하여 예방 및 대책을 마련하는 것이 유효할 것으로 사료된다. 연구의 수행결과는 기존 소규모 건설현장 재해 연구에서 제시하는 요인들을 세분화함과 동시에 소규모 건설현장에서 다중요인으로 발생할 수 있는 유형을 나타냄으로써 실질적인 재해 예방 및 대책을 마련하는데 기여할 수 있다.

본 연구에서는 건설 재해가 소규모 건설현장 범주에서 빈번하게 발생함을 보였으며, 소규모 건설현장 안전사고 예방과 대책이 개선되어야 함을 파악하였다. 따라서 본 연구의 결과를 바탕으로 소규모 건설현장 범주에서 발생 정도가 높은 사망규칙과 주요한 요인, 그리고 평가지표를 통해 도출된 정량적인 값을 근거로 소규모 건설현장의 사망사고에 대한 대처방안, 안전교육 개선, 정확한 사고예측이 가능할 것으로 판단된다. 더 나아가 더욱 정확한 결과 값과 재해 요인을 보완하기 위해서는 국가 차원의 건설재해 데이터베이스를 구축하여 사망 재해를 분석한다면 실질적인 소규모 건설 재해 요인과 예방 및 대책을 위한 근거를 마련할 수 있다.

향후 연구에서는 소규모 건설현장의 사망 재해 사례 데이터를 추가적으로 수집하고, 연구에서 활용한 10개 변수 개수를 확장시켜 소규모 건설현장 사망재해를 분석한다면 더욱 나은 결과 값을 도출할 수 있을 것으로 보인다.

References

- Park, Y.J. (2015). "The types, causes, and intensities of accidents on construction sites - A comparative analysis based on age and work experience." MS Thesis, Hanyang Univ., Seoul.
- Cheon, T.H. (2015). "Problem Analysis and Improvement Plan for Safety Management of Small-Scale Construction Sites." MS Thesis, Chungang Univ., Seoul.
- Lee, Y.S. (2011). "Study on the Plan of Improvement to reduce the occurrence of accidents of Small Construction site." MS Thesis, Myongji Univ., Seoul.
- Yoo, H.D. (2014). "Research of the reduction measures for fall accident death in small scale construction sites. - On the Basis of work plate and scaffolding." *J. Korea. Saf. Mang. Sci.*, 16(3), pp. 55-62.
- Kim, H.C. (2017). "A Study on Relative Importance and Priority among the Components for the Persistence of Safety Education Policy." MS Thesis, Soongsil, University.
- Son, K.Y., and Ryu, H.G. (2019). "Association Rules Analysis of Safe Accidents Caused by Falling Objects." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 19(4), pp. 341-350.
- Lee, Y.J., and Kang, S.K. (2019). "A Study on Risk Factor Identification by Specialty Construction Industry Sector through Construction Accident Cases: Focused on the Insurance Data of Specialty Construction Worker." *Korea Industrial Information Systems Research*, 24, pp. 45-63.
- Lee, K.H. (2016). "An Analysis on the Correlation Between Climate Factors and Fatal Accident in Construction Site." MS Thesis, Semyung University.
- Lee, H.J. (2016). "Study on Safety Management Improvement Plan Based on the Analysis of Safety Awareness of Workers." MS Thesis, Kyung Hee University.
- Korea Database Agency. (2019). "The Guid for Advanced Data Analytics Professional." ADP, ADsP. Korea Database Agency, p. 988.
- Agrawal, R., Imielinski, T., and Swami, A. (1993). "Mining Association in Large Databases." Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data - SIGMOD '93, 207-216. <https://doi.org/10.1145/170036.170072>
- Lee, M.J. (2016). "The study of drawing safety accident factors and measurement plan in a small construction site." MS Thesis, Yonsei Univ., Seoul.
- Kim, C.H. (2015). "A study on analysing basic safety-health training and improving effectiveness of safety training in small and medium-sized construction site." MS Thesis, Kyung Hee University.
- Kim, K.H. (2015). "A Study on the Analysis and Prevention of Construction Accidents & Harzards." MS Thesis, Seoul National University.
- Park, H.P., and Han, J.G. (2019). "Development of Risk Assesment Index for Construction Safety Using Statistical Data." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 19(4), pp. 361-371.
- Kim, S.E. (2018). "A Study on the Reduction Measurement in Construction Fall Deaths: Focusing on small construction sites of 50 persons or less." MS Thesis, Kyonggi University.
- Kim, M.J. (2013). "A Study on the Accident Prevention Method Through the Establishment of Risk Class -

Focused on Manufacturing Enterprise Accidents Statistics -.” MS Thesis, Myongji University.

Yun-Ra, J. (2018). “A Risk Assessment Counterplan for Reducing the Accident Rates in Medium and Small sized Construction Sites.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM. 19(5), pp. 90-100. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6106/KICEM.2018.19.5.090>

Jeong, K.H. (2016). “The Study on Improvement of Safety and Health Education System for Small- and Medium-sized Construction Sites.” MS Thesis, Kyonggi University.

요약 : 건설 산업은 중대 재해가 지속적으로 발생하고 있는 실정이다. 이러한 이유로는 많은 건설 현장의 작업이 고소작업과 옥외작업의 약천후의 작업과 같은 위험한 조건에서 수행되기 때문에 다른 산업에 비해 재해의 빈도와 강도가 심각하고, 이로 인해 안전사고에 노출된다. 소규모 건설현장은 사망재해의 위험이 매우 크지만 소규모 건설현장의 사망재해로 이어지는 다중 요인의 연구는 부족한 것으로 드러났다. 따라서 건설업의 사망재해를 줄이기 위해 본 연구에서 소규모 건설현장에서 발생한 1,438건의 사망재해 사례를 분석하고, 소규모 건설현장에서 치명적인 사고를 일으키는 10가지 요인으로 연관규칙 분석을 수행하였으며, 연관규칙 분석으로 나타난 결과를 기초로하여, 본 연구는 소규모 건설현장의 사망재해를 줄이기 위한 대책에 대해서도 논의하였다. 연구 결과에 대해서는 결과에 동의하는 전문가들에게 설명하여 인터뷰 형식으로 진행하였다. 본 연구는 소규모 건설현장 근로자를 위한 안전 정책 및 안전관리 이론에 기여 할 수 있다.

키워드 : 연관 규칙, 데이터 분석, 건설 사망 재해, 소규모 건설현장, 안전관리
