



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

건설현장 재해요인의 연관성 도출을
위한 연관규칙분석 적용 연구



안 전 공 학 과

이 가 연

공학석사학위논문

건설현장 재해요인의 연관성 도출을 위한 연관규칙분석 적용 연구

지도교수 : 신 성 우

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2020년 02월

부 경 대 학 교 대 학 원

안 전 공 학 과

이 가 연

이가연의 공학석사 학위논문을 인준함

2020 년 02 월 23일



주 심 공학박사 권 오 현



위 원 공학박사 장 성 록



위 원 공학박사 서 용 윤



목 차

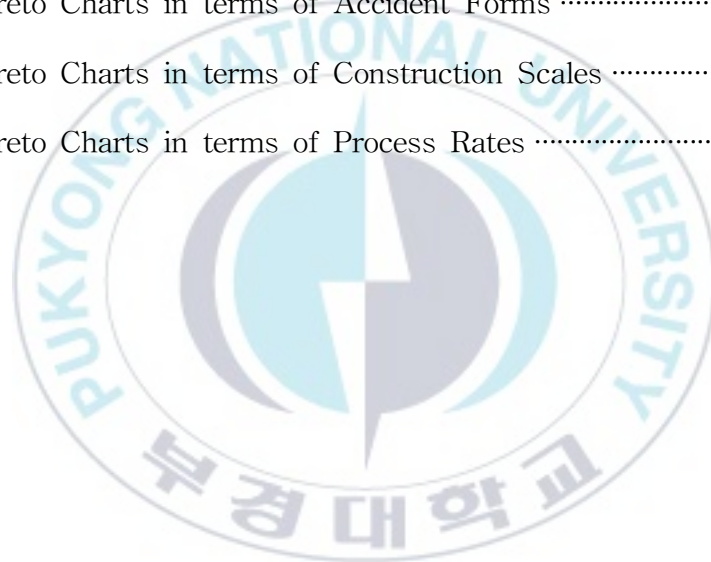
제 1 장 연구개요	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	3
1.3 연구범위 및 방법	4
제 2 장 연구배경	5
2.1 이론적 배경 : 건설업 재해 분석	5
2.2 방법론적 배경 : 연관규칙분석	7
제 3 장 연구방법론	12
3.1 연구절차	12
3.2 데이터수집	13
3.3 데이터전처리	15
제 4 장 연구결과	18
4.1 파레토 분석	18
4.1.1 발생형태별 현황 분석	18
4.1.2 공사규모별 현황 분석	20
4.1.3 공정률별 현황 분석	21
4.2 건설업 재해요인 연관규칙 도출	23

4.3 주요 연관규칙 해석	28
4.3.1 발생형태별 연관규칙 분석	28
4.3.2 공사규모별 연관규칙 분석	31
4.3.3 공정률별 연관규칙 분석	34
4.4 토의 및 시사점	38
제 5 장 결론	45
참고문헌	47
부록	50



Figures

Fig. 1. Research Composition	4
Fig. 2. Example of Association Rules in Search Services	7
Fig. 3. Example of Association Rules in Marketing	8
Fig. 4. Research Procedure	12
Fig. 5. Pareto Charts in terms of Accident Forms	19
Fig. 6. Pareto Charts in terms of Construction Scales	20
Fig. 7. Pareto Charts in terms of Process Rates	22



Tables

Table 1. Unprocessed Construction Accident Data	14
Table 2. Pre-processed Construction Accident Data	16
Table 3. Research Data	17
Table 4. Association Rules in terms of Construction Scales with Minimum Support 0.01	25
Table 5. Association Rules in terms of Construction Scales with Minimum Support 0.04	26
Table 6. Selected Minimum Support and Confidence	27
Table 7. Association Rules in terms of Accident Forms	30
Table 8. Association Rules in terms of Construction Scales	33
Table 9. Association Rules in terms of Process Rates	36
Table 10. Main Rules in terms of Accident Forms	39
Table 11. Main Rules in terms of Construction Scales	41
Table 12. Main Rules in terms of Process Rates	43

Association Rule Mining Approach to Extracting Relationships of Accident Factors in Construction Sites

Ga yeon Lee

Department of Safety Engineering, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

The purpose of safety management is to identify and control risk factors to prevent accidents. It is very important to analyze the causes of accidents based on past accident cases. The current state of construction accident analysis is often classified simply based on accident statistics. In addition, Analysis of accidents using simple statistics focuses on high frequency factors. However, since accidents are caused by a combination of factors, the relationships of accident factors must be considered. In this study, the association rule mining(ARM) is applied to extracting relationships of accident factors in construction sites. ARM of data mining techniques is suitable for scientific and probabilistic analysis of the associations between various items. This study collects construction accident data from 2010 to 2014 and extracts relationships of construction accident factors that occur simultaneously, regardless of frequency, based on probability. The purpose of this study is to identify the relationships of factors causing construction accidents according to the accident type, construction size, and process rate. It is expected to reduce the selection time of variable in the processing of information for accident analysis and be helpful for the decision making or the analyst.

제1장 연구개요

1.1 연구의 배경

고용노동부에서 발표한 2018년 산업재해 현황에 따르면 전체 사고사망자 수 971명 중 건설업이 485명으로 절반을 차지하고 있다. 건설업의 사망만 인율은 1.65‰로 전년도와 비교하여 0.01‰ 감소하였으나 다른 업종에 비해 월등히 높다¹⁾. 건설업은 다른 업종과 비교하여 업무, 환경 등의 다양하고 복잡한 특성과 넓은 현장 및 일시적인 작업자 등 가변적인 위험요소들을 가지고 있기 때문이다²⁾. 날씨나 상황에 따라 작업조건이 변화하는 유동적 특성으로 인하여 사고 또한 다양하고 복잡한 요인들이 복합적으로 연계되어 발생한다. 따라서 건설업의 재해율을 감소시키기 위해서는 기존 사고 사례를 바탕으로 재해 요인을 분석하여, 유사동종재해를 예방하는 것이 매우 중요하다.

지금까지의 건설사업의 안전관리를 위한 사고분석은 정성적 또는 정량적인 기법으로 많이 이루어지고 있다. 정성적 기법으로는, 선행연구를 통하여 건설재해에 영향을 미치는 요인들을 정리하고, 건설안전기술사와 같은 건설안전 전문가를 대상으로 면담조사 혹은 설문조사를 실시하여 재해발생에 영향이 큰 요인들을 추측통계 혹은 구조방정식으로 분석하는 방법이 주로 이루어지고 있다. 또한, 계층분석기법을 적용하여 건설재해에 영향을 미치는 다양한 위험요인들을 도출하고 각 요인들의 중요도를 파악하는 연구도 많이 진행되고 있다³⁾. 그러나 이와 같은 전문가들에 의해 재해요인을 평가하는 정성적 기법은 개인적 편차(Bias)나 주관적인 오류(error)가 포함되는 단점이 있다⁴⁾. 이에 따라, 객관적인 사고통계를 이용한 정량적 기법이 보완

적으로 이루어지고 있다. 이는 대부분 재해유형별, 작업형태별 등의 재해의 기술통계와 ‘공사종류 및 작업공종별’, ‘공사금액 및 작업공종별’과 같이 여러 요인의 교차 분석연구를 실시하고 있다⁵⁾. 그러나 건설 재해 분석을 위한 정량적 기법 연구 역시, 아직까지 개별변수 위주의 기술통계에 따른 연구가 주로 이루어질 뿐, 다양한 변수요인들 간의 연관성과 그 규칙을 확률적이고 체계적으로 분석하는 연구는 많이 이루어지지 않고 있다.



1.2 연구 목적

건설업은 다른 업종과 비교하여 유동적이고 복잡한 특성에 의해 재해율이 높다. 건설업의 재해율을 감소시키기 위해 재해 분석이 많이 이루어지고 있으나 사고 통계에 기반하여 단편적으로 분류되어있는 경우가 많다. 그러나 사고는 다양한 요인들이 유기적으로 연결되어 발생하는 것이므로 과거 사고 사례들을 분석하여 다양한 요인들 간의 복잡한 상관관계를 파악하는 것이 필요하다.

이를 위해 본 논문에서는 대량의 건설재해사례에서 건설재해요인 간의 연관성과 그 규칙을 과학적이고 확률적으로 도출하기 위해 최근 많이 연구되고 있는 데이터마이닝 기법을 적용하고자 한다. 특히, 건설 재해 데이터를 분석하기 위하여 연관규칙분석(ARM: Association Rule Mining) 기법을 활용한다. 연관규칙분석은 지지도(Support), 신뢰도(Confidence), 향상도(Lift) 세 가지 지표를 통해 동시에 발생하는 변수들의 조합을 확률적으로 수치화하여 변수들 사이의 연관성을 분석하는 방법이다⁶⁾. 건설 재해 데이터에 연관규칙분석을 적용하여, 많이 발생하는 빈도주의의 주요 요인이 아닌, 확률에 기반하여 동시에 일어나는 공통요인들 간의 연관규칙과 그 우선순위를 도출하고자 한다. 구체적으로는, 건설재해 데이터에 포함된 발생형태, 공사규모, 공정률 등 다양한 요인들이 사고에 영향을 미치는 주요 연관규칙을 도출하고, 각 요인에 따라 집중적으로 관리해야할 주요 재해요인들을 정리한다. 이와 같이 대량의 건설 재해 데이터에서 사고를 발생시키는 변수에 따라 요구되는 연관요인들을 제시하고 관리함에 따라, 정보처리의 신속성과 안전관리의 의사결정 편의성을 제시할 것이라 기대된다.

1.3 연구범위 및 방법

본 연구의 범위는 재해에 영향을 미치는 요인간의 연관성을 파악하는 것에 중점을 두어 ‘파레토 분석, 연관규칙 도출 및 해석’으로 한정하였다. 분석을 위한 재해 데이터는 업무상 재해를 유발하는 규칙을 도출하기 위해, 업무상 재해와 관련이 없는 질병사망자, 질병이환자 데이터를 제외하였다. 이러한 건설업 재해 데이터에서 요인의 발생빈도를 알아보기 위하여 파레토 분석으로 상위 빈도를 차지하는 요인을 도출한다. 이후, 데이터마이닝 기법 중 하나인 연관규칙분석을 기반으로 재해에 영향을 미치는 요인들 간의 연관규칙을 도출한다. 이를 통해 단순 기술통계만으로 알 수 없었던 재해 요인들 간의 연관성을 도출하고, 효율적인 안전관리업무 수행을 지원하기 위한 주요 재해요인들을 제시한다.

본 연구의 구성은 Fig. 1과 같다.

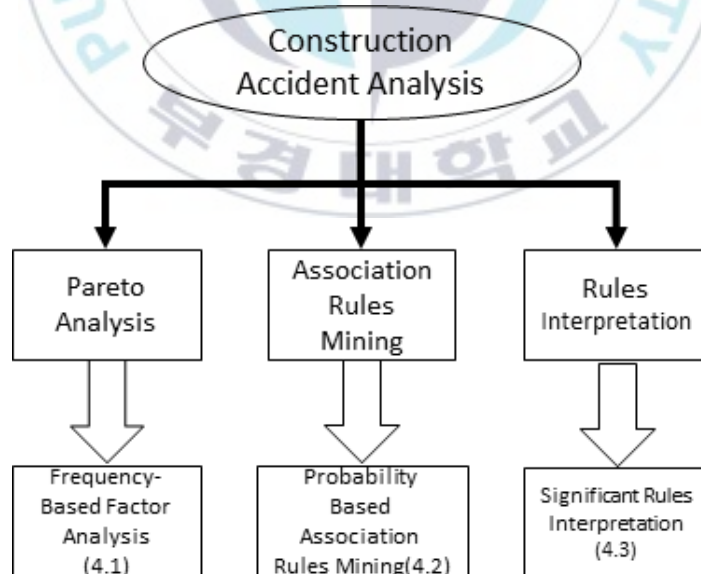


Fig. 1. Research Composition

제 2 장 연구배경

2.1 이론적 배경 : 건설업 재해 분석

재해 관리의 최선방안은 위험요인을 파악하고 제어하여 사고 발생을 미연에 방지하는 것에 있다. 건설업의 유사동종재해를 예방하기 위해 재해요인을 분석하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

김³⁾은 문헌 조사를 통해 건설 재해에 영향을 미치는 요인을 정리하고, 건설안전 전문가를 대상으로 면담 조사를 실시하여 건설 재해 영향요인을 도출하였다. 이러한 요인을 바탕으로 상대적 중요도와 우선순위를 파악하기 위해 건설안전 분야 교수, 경력자 등을 대상으로 계층분석기법(AHP) 설문조사를 실시하였다. 상대적 중요도인 복합가중치를 분석한 결과, 안전의식, 작업분위기, 안전관심 등과 같은 순위로 건설 재해 발생에 영향을 주는 것으로 나타났다.

김 등⁷⁾은 문헌 및 안전보건공단 등의 체크리스트 등 조사를 통해 추락재해에 대한 위험요인을 도출하고, 안전관리 실무자 및 전문가 면담을 통해 자주 발생하는 요인을 중심으로 위험요인을 분류하였다. 도출된 요인의 적절성 검증을 위해 리커트 척도를 활용하여 건설안전기술사를 포함한 건설안전전문가를 대상으로 설문조사를 수행하였다. 이후 적절성이 검증된 위험요인에 대해 현장 작업자 및 안전관리자의 직관적 경험에 의한 설문조사를 수행하여 실제 사례 데이터를 통한 빈도 분석 결과와 비교 분석하였고, 고소작업 및 사다리과 작업발판 항목에 대한 위험요인이 각별한 주의가 필요하다고 나타났다.

이⁸⁾는 소규모 건설현장의 재해요인을 분석하기 위해 문헌을 기반으로 재

해요인들의 일반적 특성을 정리하고, 인적, 관리적, 물적, 작업적(4M) 측면에 따라 요인을 분석하였다. 대표적으로 인적 측면에서 분석했을 때 소규모 건설현장은 고령근로자의 사고가 가장 빈번히 발생하며 이에 대한 대책을 제시하였다.

이와 같은 정성적 기법을 기반으로 한 재해분석은 개인적 편차나 주관적인 오류가 포함될 수 있다. 또한, 실제 발생했던 재해사례의 데이터와 비교, 분석이 부족하므로 도출된 요인들과 실제 재해 사이의 연관성을 파악하는 것이 어렵다. 이에 따라, 실제 재해통계를 이용한 정량적 분석도 활발하게 이루어지고 있다.

고용노동부는 매년 산업재해 발생 현황을 분석하여 발표하고 있다. 2018년 건설업 재해 현황에 따르면 사망사고 중 공사 규모별로는 120억 이상, 발생형태별로는 추락이 가장 많은 비율을 차지했다¹⁾.

안전보건공단에서는 건설업 중대 재해에 대한 심층 분석을 위해 ‘공사종류 및 작업공종별’, ‘공사금액 및 작업공종별’과 같이 여러 요인의 교차 분석 연구를 실시하였다. 2007년에서 2016년까지 10년간의 재해를 분석한 결과, 3억 미만의 영세규모 현장에서 공장·창고 공사가, 1000억 이상 대규모 현장에서는 아파트가 사망자 점유율이 가장 높았다. 또한, 지붕에 기인한 사망자와 작업발판에 기인한 사망자는 떨어짐 발생 형태가 가장 많았다⁹⁾.

이 등¹⁰⁾은 2010년부터 2014년까지 산업재해현황을 바탕으로 소규모 건설현장의 재해 특성을 분석하였다. 재해율과 재해 형태별 사망자 수 등을 분석한 결과 현장 규모가 작아질수록 재해율과 재해자 수가 증가하며, 연도별 재해율의 변화가 큰 것으로 나타났다.

이처럼 대부분 기술통계만을 이용하여 재해요인을 분석하는 경우 빈도를 중심으로 가장 많이 발생하는 재해발생형태, 기인물에 대한 분석이 주로 이루어지고 있다. 또한, 교차분석을 실시하는 경우 ‘공사금액 및 작업공종

별'과 같이 모든 가능한 조합에 대해 통계 분석을 실시하게 되므로 시간이 많이 소요된다.

2.2 방법론적 배경 : 연관규칙분석

연관규칙분석은 비지도 학습(Unsupervised Learning) 기법의 일종으로, 동시에 발생하는 변수들의 조합을 조건부 확률에 기반하여 도출하고 변수들 사이의 동시출현 가능성의 정도를 측정하는 기법이다¹⁹⁾. 대규모 데이터 베이스에서 변수의 관계, 잠재적인 연관성을 발견하는데 용이하다. 도출된 규칙은 알려지지 않은 관계를 밝혀내는 점에서 의의가 있으며, 예측 및 의사결정의 기초자료를 제공한다¹¹⁾. 보통 마케팅에서 고객의 장바구니에 들어있는 품목 간의 관계를 알아본다는 의미에서 장바구니분석(Market Basket Analysis)이라고도 부른다¹²⁾. 대표적인 예로는, 포털사이트의 연관검색어와 인터넷 쇼핑몰의 상품추천 서비스가 있다. Fig. 2와 Fig. 3과 같이 사용자가 검색한 항목들 간의 연관성을 분석하여 해당 항목을 검색한 사용자에게 맞춤 정보를 제공한다.



Fig. 2. Example of Association Rules in Search Services

• 이 책과 내용이 비슷한 책 ?



• 이 책을 조회한 회원들이 같이 본 책



Fig. 3. Example of Association Rules in Marketing

연관규칙분석은 지지도(Support), 신뢰도(Confidence), 향상도(Lift) 세 가지 지표를 통해 규칙의 유용성을 측정한다.

첫째, 지지도는 전체 데이터에 대해 X와 Y가 동시에 나타날 경우의 비율을 나타내며, 식으로 나타내면 (1)과 같다¹³⁾.

$$(1)$$

둘째, 신뢰도는 X가 포함된 경우의 비율 중 X와 Y가 모두 포함된 경우의 비율이다. 즉, X가 발생하면 Y가 발생할 조건부 확률을 의미하며, 식으로 나타내면 (2)와 같다.

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

마지막으로, 최소 지지도와 최소 신뢰도를 만족하는 연관규칙 중 유용한 규칙을 필터링하거나 의미 있는 순위를 매기기 위해 사용되는 지표가 향상도이다⁶⁾. 향상도는 임의로 Y가 포함된 경우에 대비해 X가 발생했을 때 Y가 발생할 비율이다. 즉, (3)과 같이 표현된 향상도가 1과 같은 값을 가지면 서로 독립인 상태를 나타내며, 1보다 큰 경우, 우연히 Y가 발생할 확률보다 X와 동시에 Y가 발생할 확률이 높은 것이므로 양의 상호 관련성을 나타낸다. 향상도가 클수록 X와 Y의 연관성이 강함을 나타낸다.

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

실제로, 다른 산업분야에서는 “마케팅”, “키워드분석” 등의 측면에서 다양한 변수들 간의 상호 관련성에 대한 규칙을 분석하고자 연관규칙분석을 활용한 많은 연구가 이루어지고 있다.

Zhu 등¹⁴⁾은 도서관의 대출데이터에 대한 연관규칙분석을 실시하여 독자들의 대출 습관을 파악하였다. 이를 기반으로 사용자가 검색하고자 하는 도서를 예측하여 권장 도서 목록을 제공하는 시스템을 개발하였다.

양 등¹⁵⁾은 한의학 서적을 통해 생성되는 대규모 처방 데이터베이스를 분석하기 위해 연관규칙 분석을 실시하였다. 연관성 분석을 통해 질병 증상과 주요 처방 약재 간의 패턴을 도출하였고, 한의사가 환자를 진단하고 치료할 때 유용한 정보를 제공하였다.

김 등¹⁶⁾은 뉴스 기사들에 포함된 키워드의 연관성을 분석하기 위해 연관

규칙 분석을 적용하였다. 도출된 키워드 집합은 연관검색 및 뉴스 요약 시스템에 활용되며, 사용자에게 검색 방향을 잡아줌으로써 검색 효율을 높일 것이라 보았다.

그 외에도 “사고분석” 측면에서 사고를 유발하는 요인들 간의 연관성에 대해 분석하고자 연관규칙을 적용한 연구도 이루어지고 있다.

Weng 등⁶⁾은 연관규칙분석을 적용하여 고속도로 공사 지역에서 발생한 차량 사고를 분석하였다. 근로자 혹은 운전자의 사망을 유발할 수 있는 특성과 기여 요인에 대해 분석하고, 도출된 연관규칙은 공사 지역 차량 충돌로 인한 사망자 수를 줄이는 데 도움을 준다.

Liao 등¹¹⁾은 대만의 건설업 직업상 부상의 특성을 파악하기 위해 연관규칙분석을 적용하였다. 일반적인 산업재해 원인 분석에서 기상 조건에 관련된 구체적인 요인에 대해서 고려하지 않았으므로, 이 논문은 일반적인 요인뿐만 아니라 기상 조건과 관련된 특정 요인을 포함하여 분석하였다. 도출된 사고 요인 패턴을 활용하여 효율적인 안전점검 정책과 직업 안전 프로그램을 수립할 수 있을 것이다.

신 등¹⁷⁾은 우리나라 건설업 중대 재해 요인 중 사망자 및 중환자를 유발하는 요인들 간의 연관성을 분석하기 위하여 연관규칙분석을 적용하였다. 그 결과, 기술통계분석으로 알 수 없는 재해 발생과 관련된 요인들의 연관성을 통계적으로 나타내었다. 그러나 이 논문에서는 최소 지지도, 최소 신뢰도에 대한 시행착오(trial error)를 고려하지 않아 “규모가 5인~9인 현장에서 일어나는 사망 사고는 지지도 5.84, 신뢰도 68.70, 향상도 1.15을 가지고 1개월 미만의 미숙련자에게서 일어난다”와 같이 이미 알고 있는 의미 없는 규칙이 도출되었다. 또한, 연관규칙을 해석함에 있어 조건절과 결과절을 직접적인 인과관계로 보기보다는 상호 연관성으로 보아야 하므로 사망자와 중환자에 대한 변수가 결과절에 나타난 규칙만 규명하였기 때문에 이

를 유발하는 요인들 간의 연관성을 분석하기에 부적절하다.

이와 같이 “사고분석” 측면에서 많은 연구가 이루어지고 있으며 우리나라 건설업 재해를 분석하기 위하여 연관규칙분석을 적용한 사례가 있으나, 임계값에 대한 trial error를 고려하지 않고 단순히 규칙을 도출하는 것에 그쳤다. 따라서, 본 연구에서는 최소 지지도와 최소 신뢰도에 대한 trial error를 고려하여 다양한 임계치를 바탕으로 분석하였으며, 유용한 규칙을 필터링하기 위해 향상도 순으로 우선순위 규칙을 도출하였다. 또한, 발생형태별, 공사규모별, 공정률별로 사고를 유발하는 요인들 간의 연관성을 알아보기 위하여 발생형태별, 공사규모별, 공정률별로 데이터를 필터링한 후 해당 변수를 제거하여 연관규칙분석을 실시하였다.



제 3 장 연구방법론

3.1 연구절차

본 연구의 절차는 Fig. 4와 같이 진행된다. 우선 발생형태, 기인물, 직종 등 다양한 요인들이 포함된 건설 재해 데이터를 수집한다. 다음으로 발생 형태, 공사규모, 공정률에 따라 재해 데이터를 분류하고, 건설재해를 유발하는 요인들의 연관성을 분석하기 위해 연관규칙분석(ARM) 기법을 사용하였다. 마지막으로 확률론적으로 동시에 발생하는 요인들의 연관규칙을 도출하고, 주요 규칙을 해석한다.

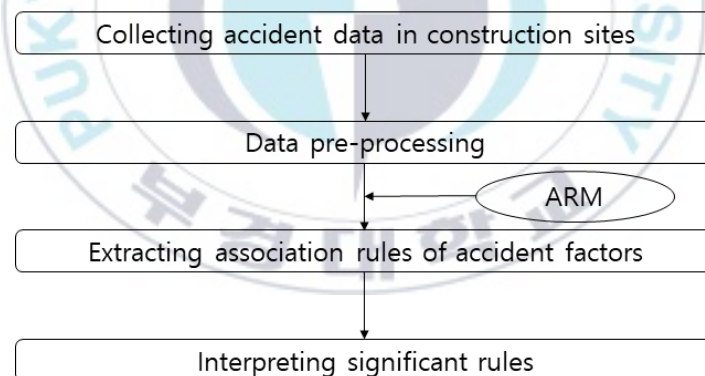


Fig. 4. Research Procedure

3.2 데이터수집

재해 데이터는 안전과 관련된 일을 하는 공공기관을 통해 2010년부터 2014년까지 5년 동안 총 115,904건의 건설 재해 데이터를 수집하였다. 본 연구에서는 업무상 사고 요인들의 연관성을 분석하기 위해 질병사망자와 질병이환자 데이터는 제외하였다. 수집된 데이터는 공정률과 업종명, 직종, 재해요일 등을 포함하고 있으며, 그 중에서 사고에 영향을 미치는 공정률과 공사규모, 발생형태, 기인물(소), 직종, 연령, 요양기간, 근속기간, 재해시간, 시설물(중) 변수를 선택하였다. 정확한 데이터 분석을 위해 ‘분류불능’이 포함된 데이터는 삭제하였고, 총 65,978건의 선택된 데이터는 Table 1과 같다.

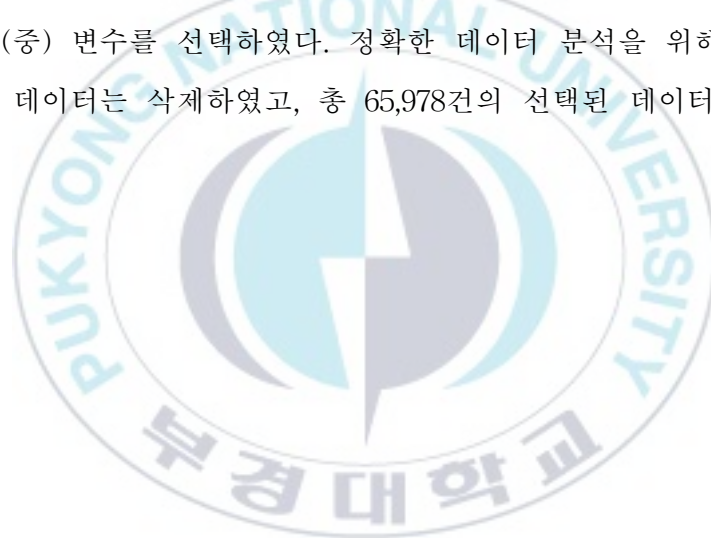


Table 1. Unprocessed Construction Accident Data

	Definition	Data Example
Process Rate	Progree of the construction	"After completion of construction" "90~100%" "80~90%" "70~80%"...
Construction Scale	Amount of construction	"More than 100 billion Won" "50 billion to 100 billion Won" "30 billion to 50 billion Won"...
Accident Form	Form of an accident that caused the injury	"Fall" "Injuries from falling object" "Slip and fall; Trip and fall" "Traffic accident"...
Original Cause Material	Cause of an accident	"Edge" "Scaffolding" "Ladder" "Portable tool"...
Occupation	Occupation of a casualty	"Skill workers involved in construction finishing" "Welder" "Electrical engineer"...
Age	Age of a casualty	"83" "82" "81" "80"...
Medical Treatment Period	Period of medical treatment from an injury	"The dead" "More than a year" "6 months to 1 year" "91 to 180 days"...
Working Year	Working year of a casualty	"More than 20 years" "10 to 20 years" "5 to 10 years" "4 to 5 years"...
Accident Time	Time of an accident	"00" "23" "22" "21"...
Facility	Construction structure	"Apartment" "Detached house" "Road transport facility" "Water supply facility"...

3.3 데이터전처리

다음으로 개별 데이터를 그룹화해주는 전처리를 실시하였다. 공정률에 대한 데이터는 ‘0~20%’, ‘20~40%’와 같이 20퍼센트의 단위로 분류하였고, 재해자의 연령 데이터는 ‘20대’, ‘30대’와 같이 연령대별로 분류하였다. 산업안전보건법에 따르면 규모 120억 이상의 공사에서는 타 업무와 겸직을 할 수 없는 안전관리자를 선임해야 하며, 규모 50억~120억 미만의 공사에서는 유해위험방지계획서 제출대상일 때 타 업무와 겸직을 할 수 있는 안전관리자를 선임해야 한다. 유해위험방지계획서 제출대상이 아닌 경우와 규모 3억~50억 미만의 공사에서는 재해예방기술지도를 받아야 한다¹⁸⁾. 이와 같은 규정에 따라 공사 규모에 대한 데이터를 ‘3억원 미만’, ‘3억~50억원 미만’, ‘50억~120억원 미만’, ‘120억원 이상’으로 분류하였다. 또한, 재해시간에 대한 데이터를 야간작업(22시~06시)과 주간작업(07시~21시)으로 나누었고, 주간작업은 3시간 단위로 나누어 분류하였다. 전처리를 완료한 건설 재해 데이터는 Table 2이며, 실제 데이터마이닝에 사용된 데이터는 Table 3과 같다.

재해요인을 분석하기 위하여, 각 요인을 코드화하여 다음과 같이 변수와 세부변수로 표기하였다.

“WY-1” → WY : Working Year , 1 : 1개월 미만

이와 같은 레이블링 후, 프로그램 R을 사용하여 연관규칙분석을 수행하였다. 해당 코드의 내용은 부록을 참고하기 바란다.

Table 2. Pre-processed Construction Accident Data

	Unprocessed data		Pre-processed data
Process Rate	"After completion of construction" "90~100%" "80~90%" "70~80%"...		"After completion of construction" "80~100%" "60~80%"...
Construction Scale	"More than 100 billion Won" "50 billion to 100 billion Won" "30 billion to 50 billion Won"...		"More than 12 billion Won" "5 billion~12 billion Won" "300 million~5 billion Won"...
Accident Form	"Fall" "Injuries from falling object" "Slip and fall; Trip and fall" "Traffic accident"...		"Fall" "Injuries from falling object" "Slip and fall; Trip and fall" "Traffic accident"...
Original Cause Material	"Edge" "Scaffolding" "Ladder" "Portable tool"...		"Edge" "Scaffolding" "Ladder" "Portable tool"...
Occupation	"Skill workers involved in construction finishing" "Welder" "Electrical engineer"...	⇒	"Skill workers involved in construction finishing" "Welder" "Electrical engineer"...
Age	"83" "82" "81" "80"...		"80s" "70s" "60s" "50s"...
Medical Treatment Period	"The dead" "More than a year" "6 months to 1 year" "91 to 180 days"...		"The dead" "More than a year" "6 months~ 1 year" "91~180 days"...
Working Year	"More than 20 years" "10 to 20 years" "5 to 10 years" "4 to 5 years"...		"More than 20 years" "10~20 years" "5~10 years" "4~5 years"...
Accident Time	"00" "23" "22" "21"...		"22~06" "07~09" "10~12"...
Facility	"Apartment" "Detached house" "Road transport facility" "Water supply facility"...		"Apartment" "Detached house" "Road transport facility" "Water supply facility"...

Table 3. Research Data

Process Rate	Construction Scale	Accident Form	Original Cause Material	Occupation	Age	Medical Treatment Period	Working Year	Accident Time	Facility
20~40%	5 billion~12 billion Won	Fall	R o o f , Crossbeam	S e r v i c e worker	40s	The dead	2 ~ 3 months	16-18	Apartme nt
60~80%	300 million~5 billion Won	Fall	Scaffolding	Skill workers involved in construction	60s	The dead	2 ~ 3 months	10-12	R o a d transport facility
60~80%	300 million~5 billion Won	Fall	Edge	Skill workers involved in construction	50s	The dead	6months~ 1 year	16-18	Religiou s facility
40~60%	300 million~5 billion Won	Slip and fall; Trip and fall	Floor, Aisle	Skill workers involved in construction	60s	The dead	Less than a month	07-09	S a l e s facility
0~20%	5 billion~12 billion Won	Slip and fall; Trip and fall	Floor, Aisle	Skill workers involved in construction	60s	The dead	Less than a month	10-12	L i v i n g facility
40~60%	5 billion~12 billion Won	Fall	Scaffolding	Welder	40s	The dead	3 ~ 4 months	16-18	Educational facility

제 4 장 연구결과

4.1 파레토 분석

앞서 전처리 된 재해 데이터를 활용하여 연관규칙분석을 실시하기에 앞서 각 요인들이 차지하고 있는 비율을 분석하였다. 발생형태별, 공사규모별, 공정률별로 구분하여 분석하였으며, 상위 5개의 요인을 도출하였다.

4.1.1 발생형태별 현황 분석

발생형태별 분석은 가장 많은 비율을 차지하는 떨어짐, 넘어짐, 물체에맞음 사고에 대하여 분석하였다. 발생형태별 요인들의 항목 중 상위 비율을 차지하고 있는 요인은 아래 Fig. 5와 같다.

넘어짐, 떨어짐, 물체에맞음 세 가지 발생형태에서 공통으로 가장 많은 비율을 차지하고 있는 요인은 근속기간 1개월 미만의 근로자(WY-1)이고, 50대 연령의 근로자(A-1)가 사고를 당한 것으로 나타났다. 또한, 넘어짐과 물체에맞음 사고는 3억~50억원 미만의 현장(CS-2)에서 사고가 가장 많이 발생하는 반면, 떨어짐 사고는 3억원 미만의 현장(CS-1)에서 가장 많이 발생하였다.

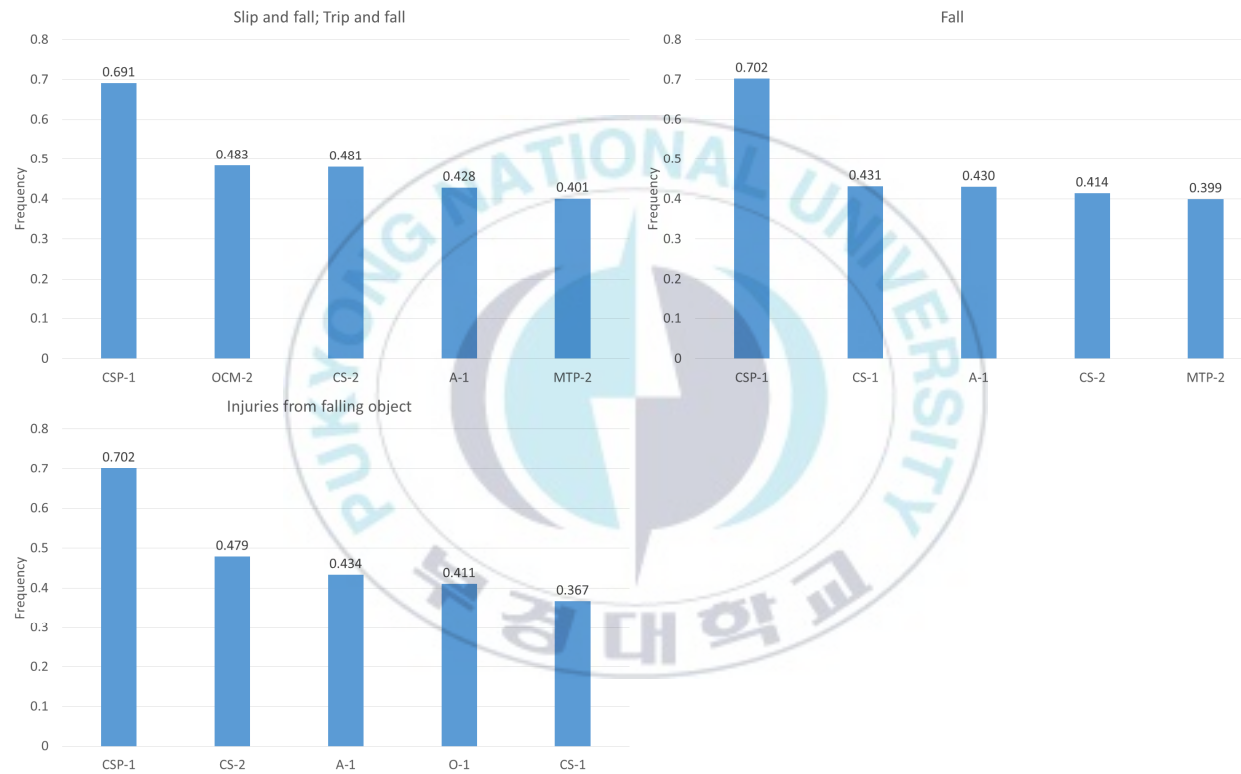


Fig. 5. Pareto Charts in terms of Accident Forms

4.1.2 공사규모별 현황 분석

공사규모별 요인들의 항목 중 상위 비율을 차지하고 있는 요인은 아래 Fig. 6과 같다.

모든 공사규모에서 공통으로 근속기간 1개월 미만의 근로자(WY-1)가 가장 많은 비율을 차지하고 있었고, 50대 연령의 근로자(A-1)와 91일~180일의 요양기간(MTP-2) 항목이 나타났다. 3억~50억원 미만을 제외한 규모의 현장에서는 떨어짐 사고(AF-2)가 많이 발생 하였으며, 3억원 미만을 제외한 규모의 현장에서는 주로 건설 관련 기능 종사자(O-1)가 사고를 많이 당했다.



Fig. 6. Pareto Charts in terms of Construction Scales

4.1.3 공정률별 현황 분석

공정률별 요인들의 항목 중 상위 비율을 차지하고 있는 요인은 Fig. 7과 같다. 공사완료후를 제외한 모든 공정률을 가진 현장에서는 근속기간 1개월 미만의 근로자(WY-1)가 사고를 당하는 비율이 가장 크게 나타났으며, 그에 반해 공사가 완료한 현장에서는 3억원 미만의 소규모 현장(CS-1)에서 사고가 발생할 비율이 가장 크게 나타났다. 또한, 60% 이후의 공정률이 진행된 현장에서는 떨어짐 사고(AF-2)가 발생한 비율이 상위 5개에 도출되었다. 공사 초기와 공사완료후에 규모가 3억원 미만인 현장(CS-1)에서 사고가 발생한 비율이 높게 나타났다.

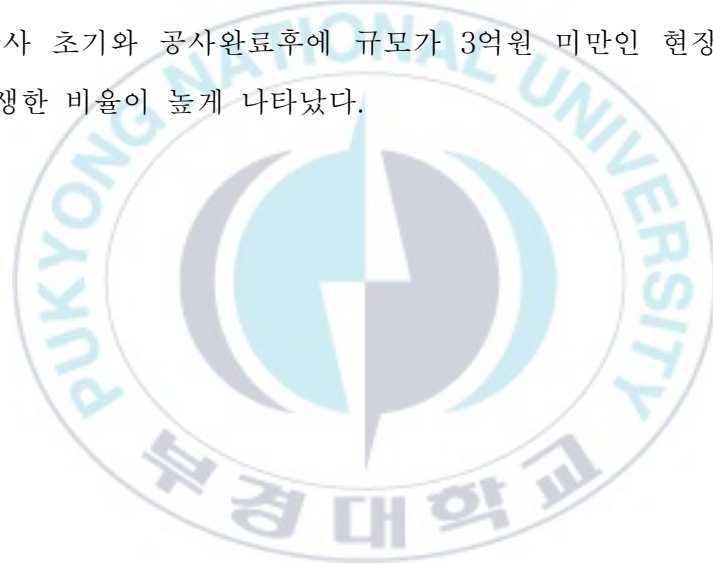




Fig. 7. Pareto Charts in terms of Process Rates

4.2 건설업 재해요인 연관규칙 도출

연관규칙분석은 지지도(Support), 신뢰도(Confidence), 향상도(Lift) 세 가지 확률 지표를 활용하여 데이터 속에서 동시에 발생하는 요인들 간의 규칙을 도출하는 분석방법이다. 예를 들어, ‘사다리 사고가 발생하였을 때 떨어짐의 발생형태이다’ 규칙에서 지지도는 전체 데이터 중 ‘기인물-사다리’와 ‘발생형태-떨어짐’이 동시에 발생할 확률을 나타낸다. 신뢰도는 ‘기인물-사다리’가 발생했을 때 ‘발생형태-떨어짐’과 같이 발생할 확률을 나타낸다. 향상도는 임의로 ‘발생형태-떨어짐’사고가 발생하는 경우에 대비해 ‘기인물-사다리’가 발생했을 때 ‘발생형태-떨어짐’의 사고가 발생할 비율을 뜻한다. 따라서 향상도가 1보다 큰 경우 ‘기인물-사다리’와 ‘발생형태-떨어짐’은 연관관계를 가지고 있다. 본 논문에서는 빈도에 기반하여 요인을 분석하는 것이 아닌 동시에 일어나는 공통요인들 간의 연관규칙을 도출하기 위해 각 항목이 개별적으로 일어날 확률 대비 동시에 발생할 확률을 나타내는 향상도 값을 기준으로 상위 5개의 규칙을 도출하였다.

일반적으로 연관규칙분석은 분석자 혹은 데이터 분석 분야의 전문가가 설정한 최소 지지도와 최소 신뢰도를 만족하는 항목들로 구성된 빈발항목집합을 이용하여 연관규칙을 생성하는 기법이다. 따라서 유의미한 결과값을 도출하기 위해서는 최소 지지도와 최소 신뢰도 값을 설정하는 것이 매우 중요하다. 그러나, 각 데이터의 특성이 다르므로 최소 지지도와 최소 신뢰도 값에 따라 충분히 예상할 수 있거나, 의미가 없는 규칙이 도출될 수 있다. 예를 들어, Table 4에서 확인할 수 있듯이 최소 지지도를 0.01로 지정해주었을 때, 공사의 규모가 다름에도 불구하고 요인들의 연관규칙이 동일하게 나타났다. 또한, 목재가공기계(OCM-2) 혹은 휴대용공구(OCM-7)로 인해 생긴 사고 형태는 절단·베임·절림(AF-3)과 같이 충분히 예상할 수

있는 당연한 규칙이 도출되었다. Table 5에서 확인할 수 있듯이 동일한 최소 신뢰도에 최소 지지도를 0.04로 수정하였을 때 Table 4에서 도출된 연관규칙보다 유의미한 규칙들이 도출된 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 Lift 값을 기준으로 우선순위에 있는 규칙을 도출하였으므로 최소 신뢰도를 0.25로 고정하였고, [0.06 0.25] [0.05 0.25] [0.04 0.25] [0.03 0.25] [0.01 0.25] [0.001 0.25] [0.005 0.25] 와 같이 [최소지지도 최소신뢰도]를 다양하게 설정하여 반복 분석하였다. 결과적으로 가장 유의한 규칙이 도출된 [최소지지도 최소신뢰도]를 채택하여 결과를 해석하였다. 최소지지도와 최소신뢰도의 설정값은 Table 6과 같다.



Table 4. Association Rules in terms of Construction Scales with Minimum Support 0.01

rules(Less than 300 million Won, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
{AF-3,O-1,WY-1} => {OCM-2}	0.010435	0.280754	9.978725	283
{AF-3,O-1} => {OCM-2}	0.012648	0.273743	9.729537	343
{AF-3,MTP-2,WY-1} => {OCM-2}	0.010288	0.260504	9.258995	279
{PR-1,AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.013717	0.54386	7.415249	372
{PR-1,AF-1} => {OCM-3}	0.016372	0.53949	7.355666	444
rules(300 million~5 billion Won, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
{OCM-2,WY-1} => {AF-3}	0.013977	0.881838	10.05017	403
{OCM-2,O-1} => {AF-3}	0.010612	0.859551	9.796158	306
{OCM-7,MTP-2,WY-1} => {AF-3}	0.01356	0.729478	8.313738	391
{OCM-7,F-2} => {AF-3}	0.010647	0.729216	8.310758	307
{OCM-7,MTP-2} => {AF-3}	0.01963	0.723785	8.248862	566
rules(5 billion~12 billion Won, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
{OCM-7,AT-1} => {AF-3}	0.010218	0.730159	12.0852	46
{OCM-7,O-1} => {AF-3}	0.015104	0.723404	11.9734	68
{OCM-7,A-1} => {AF-3}	0.012661	0.662791	10.97016	57
{AF-3,AT-1} => {OCM-7}	0.010218	0.516854	10.67374	46
{AF-3,A-1} => {OCM-7}	0.012661	0.495652	10.2359	57
rules(More than 12 billion Won, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
{AF-3,A-1} => {OCM-7}	0.010864	0.517241	13.8006	60
{AF-3,MTP-2} => {OCM-7}	0.011769	0.503876	13.444	65
{OCM-7,A-1} => {AF-3}	0.010864	0.606061	13.12656	60
{OCM-7,MTP-2} => {AF-3}	0.011769	0.570175	12.34933	65
{AF-1,MTP-2,WY-1} => {OCM-3}	0.018468	0.563536	7.105956	102

Table 5. Association Rules in terms of Construction Scales with Minimum Support 0.04

rules(Less than 300 million Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.052251	0.500176	6.819651	1417
{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.052251	0.940903	6.7953	1417
{OCM-7,WY-1} => {AF-3}	0.052436	0.715292	5.792176	1422
{AF-3,WY-1} => {OCM-7}	0.052436	0.54441	5.689351	1422
{AF-2,MTP-2} => {OCM-5}	0.044839	0.320506	2.80743	1216
rules(300 million~5 billion Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.055317	0.946588	5.54191	1595
{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.055317	0.466374	5.470885	1595
{OCM-4,WY-1} => {AF-2}	0.046057	0.805337	2.573543	1328
{OCM-6,WY-1} => {AF-2}	0.045398	0.785714	2.510837	1309
{WY-1,F-2} => {PR-1}	0.04134	0.279944	1.899716	1192
rules(5 billion~12 billion Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.043758	0.488834	6.147289	197
{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.043758	0.965686	5.996579	197
{OCM-4,WY-1} => {AF-2}	0.04287	0.835498	2.492652	193
{O-1,MTP-3} => {AF-2}	0.044203	0.518229	1.546102	199
{AF-2,A-1} => {MTP-3}	0.047757	0.339652	1.477406	215
rules(More than 12 billion Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.040014	0.52	6.556986	221
{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.040014	0.96087	6.325247	221
{MTP-3,AT-2} => {AF-2}	0.043998	0.456767	1.344735	243
{MTP-3,WY-1} => {AF-2}	0.06989	0.442153	1.301713	386
{AF-2,A-1} => {MTP-3}	0.061742	0.425718	1.300464	341

Table 6. Selected Minimum Support and Confidence

	Minimum support	Minimum Confidence
Mining in terms of accident forms	0.01	0.25
Mining in terms of construction scales	0.04	0.25
Mining in terms of process rates	0.05	0.25



4.3 주요 연관규칙 해석

4.3.1 발생형태별 연관규칙 분석

최소 지지도 0.01, 최소 신뢰도 0.25로 지정하여 연관규칙분석을 실시한 결과는 Table 7과 같다.

넘어짐 사고에 대해 2번, 3번, 4번 규칙과 같이 0~20% 미만의 공정률(PR-1), 단독주택(F-2)을 건설하는 공사와 관련된 규칙이 많이 도출되었다. 대표적으로 2번 규칙에 따르면 1.6%의 확률로 드물지만, 건설 관련 기능 종사자(O-1) 중 1개월 미만(WY-1)의 미숙련자가 단독주택을 건설하는 공사에서 바닥, 통로(OCM-3)에 의한 넘어짐 사고를 당했을 때 0~20%의 공정률(PR-1)일 확률이 높다. Fig. 5에서 나타난 넘어짐을 유발하는 상위 빈도 요인 중 1개월 미만의 근속기간(WY-1)을 제외한 나머지 요인들이 연관규칙에 도출되지 않았다. 또한, 넘어짐 사고에서 상위 빈도로 나타난 공사규모는 3억~50억원 미만(CS-2)이지만, 도출된 연관규칙은 120억원 이상(CS-3), 3억원 미만(CS-1)의 공사규모와 관련된 규칙이 우선순위로 도출되었다.

떨어짐 사고에 대해 120억원 이상의 공사규모(CS-3), 공동주택 건설공사(F-1)와 관련된 규칙이 우선순위로 나타났다. 예를 들어, 8번 규칙에 따르면 120억원 이상의 공사(CS-3)에서 건설 관련 기능 종사자(O-1)가 떨어짐 사고를 당하는 경우 공동주택 건설현장(F-1)일 확률이 높다. Fig. 5에서 나타난 떨어짐을 유발하는 상위 빈도 요인에서는 3억원 미만(CS-1)과 3억~50억원 미만(CS-2)의 공사규모가 도출되었으나, 떨어짐을 유발하는 연관규칙에서는 120억원 이상(CS-3)의 공사규모에 관한 규칙이 우선순위로

나타났다.

물체에 맞음 사고에 대해 13번, 14번, 16번, 18번 규칙과 같이 3억원 미만의 공사규모(CS-1), 거푸집에 의한 사고(OCM-1)와 관련된 규칙이 많이 도출되었다. 13번 규칙에서는 3억원 미만의 공사(CS-1)에서 0~20% 공정률(PR-1)이 진행되었을 때 1개월 미만(WY-1)의 미숙련자가 거푸집(OCM-1)에 의한 물체에맞음 사고를 당하는 경우 단독주택 건설현장(F-2)일 확률이 높은 것으로 나타났다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 물체에맞음 사고를 유발하는 요인 중 3억원 미만 규모의 건설현장(CS-1)보다 3억~50억원 미만의 건설현장(CS-2)이 차지하는 비율이 더 높으나, 연관규칙에서는 3억원 미만의 규모(CS-1)에 관한 규칙이 상위에 도출되었다. 또한, 상위 6개의 규칙 중 15번 규칙을 제외한 모든 규칙이 3억원 미만 규모(CS-1)에 관한 규칙이다.

Table 7. Association Rules in terms of Accident Forms

	rules(Slip and fall; Trip and fall, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
1	{CS-3,O-1} => {F-1}	0.010543	0.349515	2.66005	108
2	{OCM-3,O-1,WY-1,F-2} => {PR-1}	0.015814	0.421875	2.643234	162
3	{PR-1,CS-1,O-1,WY-1} => {F-2}	0.015717	0.612167	2.559609	161
4	{PR-1,CS-1,O-1} => {F-2}	0.017376	0.609589	2.548829	178
5	{CS-3,A-1} => {F-1}	0.011909	0.330623	2.516274	122
6	{CS-3,WY-1} => {F-1}	0.013178	0.317647	2.417516	135
	rules(Fall, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
7	{MTP-3,F-1} => {CS-3}	0.010869	0.317694	3.692774	237
8	{CS-3,O-1} => {F-1}	0.010089	0.3207	2.977087	220
9	{O-1,F-1} => {CS-3}	0.010089	0.250569	2.912536	220
10	{CS-3,MTP-3} => {F-1}	0.010869	0.311842	2.894861	237
11	{CS-3,A-1} => {F-1}	0.010731	0.292135	2.711917	234
12	{CS-3,WY-1} => {F-1}	0.012749	0.286303	2.657777	278
	rules(Injuries from falling object, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
13	{PR-1,CS-1,OCM-1,WY-1} => {F-2}	0.011214	0.774436	3.000082	103
14	{PR-1,CS-1,OCM-1} => {F-2}	0.012085	0.770833	2.986126	111
15	{CS-3,O-1} => {F-1}	0.011323	0.351351	2.782036	104
16	{PR-2,CS-1,OCM-1} => {F-2}	0.013936	0.677249	2.623589	128
17	{PR-2,CS-1,O-1,MTP-1} => {F-2}	0.010343	0.673759	2.61007	95
18	{CS-1,OCM-1,O-1} => {F-2}	0.021884	0.667774	2.586885	201

4.3.2 공사규모별 연관규칙 분석

최소 지지도 0.04, 최소 신뢰도 0.25로 지정하여 연관규칙분석을 실시한 결과는 Table 8과 같다.

3억원 미만 건설현장의 사고에 대해 19번, 20번과 같이 넘어짐 사고형태(AF-1), 21번, 22번과 같이 절단·베임·찢림 사고형태(AF-3)와 관련된 규칙이 도출되었다. Fig. 6에서 나타난 3억원 미만 건설현장에서 상위 빈도의 사고 요인에서는 떨어짐 형태(AF-2)의 사고가 도출되었으나, 연관규칙에서는 넘어짐(AF-1), 절단·베임·찢림(AF-3) 사고형태에 관한 규칙이 상위에 나타났다. 대표적으로 21번 규칙에 따르면, 1개월 미만(WY-1)의 미숙련자가 동력 휴대용 공구(OCM-7)에 의해 절단·베임·찢림 사고(AF-3)를 당할 확률이 높다.

3억 이상 50억원 미만 건설현장에서는 23번, 24번과 같이 넘어짐 사고형태(AF-1)와 관련된 규칙이 도출되었으며, 25번, 26번과 같이 떨어짐 사고형태(AF-2)와 관련된 규칙이 나타났다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 3억 이상 50억원 미만의 규모에서 상위 빈도로 나타난 요인 중 1개월 미만의 근속기간(WY-1)을 제외한 상위 빈도 요인은 연관규칙에서 상위에 도출되지 않았다.

50억 이상 120억원 미만 건설 재해에서는 넘어짐(AF-1)과 떨어짐(AF-2) 사고형태와 관련된 규칙이 도출되었으며, 넘어짐(AF-1)과 관련된 연관규칙이 떨어짐(AF-2)과 관련된 연관규칙보다 상위에 도출되었다. Fig. 6에 따르면 50억 이상 120억원 미만의 규모에서 발생형태는 떨어짐(AF-2)이 가장 빈도가 높으나, 연관규칙에서는 넘어짐(AF-1)에 관한 규칙이 상위에 나타났다.

120억원 이상 건설현장의 사고에 대해 넘어짐(AF-1)과 떨어짐(AF-2) 사

고형태와 관련된 규칙이 도출되었으며, 재해 시간에 관한 규칙이 상위에 나타났다. 33번 규칙에 따르면 120억원 이상의 규모인 건설현장에서 6개월에서 1년 미만의 요양 기간(MTP-3)을 일으키는 사고가 13시에서 15시 사이(AT-2)에 발생하였을 때 떨어짐 형태(AF-2)의 사고일 확률이 높다. Fig. 6에서 나타난 120억원 이상의 현장에서 상위의 빈도로 나타난 사고 요인에서 13시~15시의 재해 시간(AT-2)이 나타나지 않았으나, 연관규칙에서는 이와 관련된 규칙이 도출되었다.



Table 8. Association Rules in terms of Construction Scales

	rules(Less than 300 million Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
19	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.052251	0.500176	6.819651	1417
20	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.052251	0.940903	6.7953	1417
21	{OCM-7,WY-1} => {AF-3}	0.052436	0.715292	5.792176	1422
22	{AF-3,WY-1} => {OCM-7}	0.052436	0.54441	5.689351	1422
	rules(300 million~5 billion Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
23	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.055317	0.946588	5.54191	1595
24	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.055317	0.466374	5.470885	1595
25	{OCM-4,WY-1} => {AF-2}	0.046057	0.805337	2.573543	1328
26	{OCM-6,WY-1} => {AF-2}	0.045398	0.785714	2.510837	1309
	rules(5 billion~12 billion Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
27	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.043758	0.488834	6.147289	197
28	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.043758	0.965686	5.996579	197
29	{OCM-4,WY-1} => {AF-2}	0.04287	0.835498	2.492652	193
30	{O-1,MTP-3} => {AF-2}	0.044203	0.518229	1.546102	199
	rules(More than 12 billion Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
31	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.040014	0.52	6.556986	221
32	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.040014	0.96087	6.325247	221
33	{MTP-3,AT-2} => {AF-2}	0.043998	0.456767	1.344735	243
34	{MTP-3,WY-1} => {AF-2}	0.06989	0.442153	1.301713	386

4.3.3 공정률별 연관규칙 분석

최소 지지도 0.05, 최소 신뢰도 0.25로 지정하여 연관규칙분석을 실시한 결과는 Table 9와 같다.

공정률 0~20%까지의 건설현장의 사고에 대해 35번, 36번과 같이 넘어짐 사고형태(AF-1)와 바닥, 통로 등의 기인물(OCM-3)에 관한 규칙이 도출되었으며, 37번, 38번과 같이 떨어짐 사고형태(AF-2)와 사다리(OCM-5)에 의한 사고에 관련된 규칙이 도출되었다.

공정률 20~40% 미만의 건설현장 사고에 대해 41번, 42번 규칙과 같이 3억원 미만(CS-1)의 소규모 현장에 대한 규칙이 나타났다. 대표적으로 42번 규칙에 따르면 공정률 20~40%가 진행되었을 때 3억원 미만의 현장(CS-1)에서 건설관련 기능 종사자(O-1) 중 1개월 미만(WY-1)의 미숙련자가 사고를 당했을 때 단독주택(F-2)을 건설하는 현장일 확률이 높다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 20~40%의 공정률이 진행된 현장에서 3억~50억원 미만의 현장(CS-2)에서 사고가 발생한 빈도가 3억원 미만의 현장(CS-1)보다 높았으나, 연관규칙에서는 3억원 미만의 규모(CS-1)에 관한 규칙이 상위에 도출되었다.

공정률 40~60% 미만의 건설현장 사고에 대해 43번, 46번과 같이 떨어짐 사고형태(AF-2)와 관련된 규칙이 도출되었으며, 44번, 45번과 같이 3억원 미만의 공사 규모(CS-1)와 관련된 규칙이 나타났다. Fig. 7에서 나타난 40~60% 미만의 공정률이 진행된 건설현장에서 상위 빈도를 차지하는 사고 요인은 3억~50억 미만의 공사규모(CS-2)이나, 연관규칙에서는 3억원 미만의 규모(CS-1)에 관한 규칙이 나타났다.

공정률 60~80% 미만의 건설현장 사고에 대해 3억원 미만의 공사규모(CS-1), 떨어짐 사고형태(AF-2)와 관련된 규칙이 상위에 도출되었다. 대표

적으로 49번 규칙에 따르면 1개월 미만(WY-1)의 미숙련자가 6개월~1년 미만의 요양기간(MTP-3)을 가지는 사고를 당했을 때 떨어짐 사고(AF-2)를 당했을 확률이 높다.

공정률 80~100% 미만의 건설현장 사고에 대해 51번, 52번 규칙과 같이 떨어짐 사고형태(AF-2)와 사다리(OCM-5)에 의한 사고와 관련된 규칙이 나타났으며, 53번, 54번과 같이 3억원 미만(CS-1)의 소규모 현장에 대한 규칙이 나타났다.

공사완료후 건설현장의 사고에 대해 55번, 56번 규칙과 같이 절단·베임·절림의 형태(AF-3)와 휴대용 동력 공구(OCM-7)에 의한 사고와 관련된 규칙이 도출되었으며, 57번, 58번과 같이 떨어짐 형태(AF-2)의 사고에 대한 규칙이 도출되었다. 예를 들어, 57번 규칙에 따르면 공사가 완료된 3억원 미만(CS-1)의 현장에서 13시에서 15시 사이(AT-2)에 떨어짐 사고(AF-2)가 발생하였을 때, 사다리(OCM-5)에 의한 사고일 확률이 높다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 공사가 완료된 현장에서 상위 빈도의 사고 요인에서는 떨어짐 형태(AF-2)의 사고가 도출되었으나, 연관규칙에서는 절단·베임·절림 형태(AF-3)의 사고에 관한 규칙이 상위에 도출되었다.

Table 9. Association Rules in terms of Process Rates

	rules(Process rate 0~20%, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
35	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.066472	0.554734	6.644438	750
36	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.066472	0.954198	6.584845	750
37	{CS-1,AF-2} => {OCM-5}	0.058141	0.292988	3.795388	656
38	{CS-1,OCM-5} => {AF-2}	0.058141	0.945245	3.042853	656
	rules(Process rate 20~40%, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
39	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.054812	0.50162	6.095851	774
40	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.054812	0.93253	6.059944	774
41	{CS-1,O-1} => {F-2}	0.080518	0.524689	1.960605	1137
42	{CS-1,O-1,WY-1} => {F-2}	0.059061	0.48715	1.820333	834
	rules(Process rate 40~60%, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
43	{MTP-3,WY-1} => {AF-2}	0.064111	0.523407	1.589992	928
44	{WY-1,F-2} => {CS-1}	0.081658	0.575182	1.589493	1182
45	{CS-1,WY-1} => {F-2}	0.081658	0.306615	1.544813	1182
46	{AF-2,WY-1} => {MTP-3}	0.064111	0.288827	1.475738	928
	rules(Process rate 60~80%, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
47	{CS-1,WY-1} => {F-2}	0.072353	0.303076	1.743894	995
48	{WY-1,F-2} => {CS-1}	0.072353	0.575145	1.724305	995
49	{MTP-3,WY-1} => {AF-2}	0.063554	0.520858	1.497249	874
50	{AF-2,WY-1} => {MTP-3}	0.063554	0.27467	1.37355	874

Table 9. Association Rules in terms of Process Rates(Cont'd)

	rules(Process rate 80~100% , min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
51	{OCM-5,WY-1} => {AF-2}	0.058354	0.942222	2.658369	636
52	{AF-2,WY-1} => {OCM-5}	0.058354	0.25573	2.468733	636
53	{CS-1,WY-1} => {F-2}	0.05918	0.258621	1.768323	645
54	{WY-1,F-2} => {CS-1}	0.05918	0.565294	1.697282	645
	rules(After completion of construction, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
55	{CS-1,AF-3} => {OCM-7}	0.052486	0.589147	6.181777	76
56	{CS-1,OCM-7} => {AF-3}	0.052486	0.690909	6.100222	76
57	{CS-1,AF-2,AT-2} => {OCM-5}	0.054558	0.572464	2.939459	79
58	{AF-2,MTP-3} => {OCM-5}	0.062155	0.552147	2.835139	90

4.4 토의 및 시사점

먼저, 발생형태별 연관규칙을 비교하면 Table 10과 같다. 물체에 맞음 사고는 한 개의 규칙을 제외한 5개의 상위 규칙이 3억원 미만의 공사규모(CS-1)와 관련되어 있으나, 떨어짐 사고는 상위 6개의 규칙 모두 120억원 이상의 공사규모(CS-3)와 관련된 규칙이 도출되었다. 또한, 넘어짐 사고는 3억원 미만(CS-1), 120억원 이상(CS-3)의 공사규모에 관한 규칙이 도출되었다. 떨어짐 사고에 대해서 120억원 이상 규모(CS-3)에 관한 규칙만 도출된 것은 대규모 공사는 소규모 공사와 비교하여 건축물이 높은 것의 영향으로 보인다. 또한, 물체에맞음 사고에 대해 상위 규칙이 대부분 3억원 미만의 공사규모(CS-1)와 거꾸집(OCM-1)에 관한 규칙인 것은 안전관리자가 있거나, 재해예방기술지도를 받는 다른 규모의 공사와 비교하여 작업장 정리정돈이 잘 이루어지지 않고, 상대적으로 부실한 안전관리에 의한 것으로 판단된다. 넘어짐 사고와 물체에맞음 사고에 대하여 0~20% 미만의 공정률(PR-1)에 관한 규칙은 3억원 미만(CS-1)의 단독주택 건설공사(F-2)가 연관되어 발생하였다. 넘어짐 사고와 물체에맞음 사고가 발생했을 때, 3억원 미만(CS-1)의 소규모 현장이면서 0~20%의 초기 공정률(PR-1)일 경우 단독주택 건설공사(F-2)일 경향이 높다.

Table 10. Main Rules in terms of Accident Forms

	rules(Slip and fall; Trip and fall, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
1	{CS-3,O-1} => {F-1}	0.010543	0.349515	2.66005	108
3	{PR-1,CS-1,O-1,WY-1} => {F-2}	0.015717	0.612167	2.559609	161
4	{PR-1,CS-1,O-1} => {F-2}	0.017376	0.609589	2.548829	178
5	{CS-3,A-1} => {F-1}	0.011909	0.330623	2.516274	122
6	{CS-3,WY-1} => {F-1}	0.013178	0.317647	2.417516	135
	rules(Fall, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
7	{MTP-3,F-1} => {CS-3}	0.010869	0.317694	3.692774	237
8	{CS-3,O-1} => {F-1}	0.010089	0.3207	2.977087	220
9	{O-1,F-1} => {CS-3}	0.010089	0.250569	2.912536	220
10	{CS-3,MTP-3} => {F-1}	0.010869	0.311842	2.894861	237
11	{CS-3,A-1} => {F-1}	0.010731	0.292135	2.711917	234
12	{CS-3,WY-1} => {F-1}	0.012749	0.286303	2.657777	278
	rules(Injuries from falling object, min.Support=0.01, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
13	{PR-1,CS-1,OCM-1,WY-1} => {F-2}	0.011214	0.774436	3.000082	103
14	{PR-1,CS-1,OCM-1} => {F-2}	0.012085	0.770833	2.986126	111
16	{PR-2,CS-1,OCM-1} => {F-2}	0.013936	0.677249	2.623589	128
17	{PR-2,CS-1,O-1,MTP-1} => {F-2}	0.010343	0.673759	2.61007	95
18	{CS-1,OCM-1,O-1} => {F-2}	0.021884	0.667774	2.586885	201

공사규모별 연관규칙을 비교하면, Table 11과 같다. 모든 공사규모에서 넘어짐 사고(AF-1)에 대한 규칙이 도출되었으며, 3억원 미만의 현장을 제외한 모든 공사규모에서 떨어짐 사고(AF-2)에 대한 연관규칙이 도출되었다. 유일하게 3억원 미만의 현장에서 휴대용 동력 공구(OCM-7)에 대한 규칙이 상위에 나타났으며, 3억~50억원 미만의 현장에서는 작업 발판(OCM-6)에 대한 규칙이 상위에 나타났다. 이는 3억원 미만 현장이 나머지 규모와 비교하여 단독주택과 같은 저층 건축물을 건설하기 때문이라 고려된다. 또한, 3억 이상 50억원 미만 건설현장과 50억 이상 120억원 미만 건설현장의 상위 사고 요인에서 차이가 있으나, 연관규칙에서는 유사한 결과가 도출되었다.

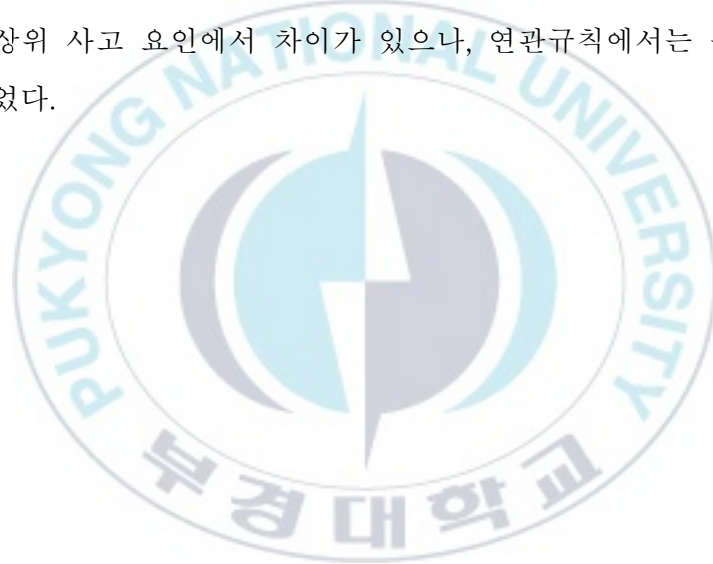


Table 11. Main Rules in terms of Construction Scales

	rules(Less than 300 million Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
19	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.052251	0.500176	6.819651	1417
20	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.052251	0.940903	6.7953	1417
21	{OCM-7,WY-1} => {AF-3}	0.052436	0.715292	5.792176	1422
22	{AF-3,WY-1} => {OCM-7}	0.052436	0.54441	5.689351	1422
	rules(300 million~5 billion Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
23	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.055317	0.946588	5.54191	1595
24	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.055317	0.466374	5.470885	1595
25	{OCM-4,WY-1} => {AF-2}	0.046057	0.805337	2.573543	1328
26	{OCM-6,WY-1} => {AF-2}	0.045398	0.785714	2.510837	1309
	rules(5 billion~12 billion Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
27	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.043758	0.488834	6.147289	197
28	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.043758	0.965686	5.996579	197
29	{OCM-4,WY-1} => {AF-2}	0.04287	0.835498	2.492652	193
30	{O-1,MTP-3} => {AF-2}	0.044203	0.518229	1.546102	199
	rules(More than 12 billion Won, min.Support=0.04, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
31	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.040014	0.52	6.556986	221
32	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.040014	0.96087	6.325247	221
33	{MTP-3,AT-2} => {AF-2}	0.043998	0.456767	1.344735	243
34	{MTP-3,WY-1} => {AF-2}	0.06989	0.442153	1.301713	386

공정률별 연관규칙을 비교하면, Table 12와 같다. 공정률 40% 미만에서는 넘어짐 형태(AF-1)의 사고에 대한 규칙이 많이 도출되었으나, 공정률 40% 이상에서는 넘어짐 형태(AF-1)의 사고에 대한 규칙이 도출되지 않고 떨어짐 형태(AF-2)의 사고에 대한 규칙이 많이 도출되었다. 이는 공사가 진행될수록 고소작업이 많아지기 때문이라 고려된다. 또한, 0~20% 미만의 초반 공정률과 80% 이상의 후반 공정률에서 사다리(OCM-5)와 떨어짐(AF-2)에 대한 규칙이 나타났다. 유일하게 공사완료 후의 공정률에서 휴대용 동력 공구(OCM-7)에 대한 규칙이 제일 높은 연관성을 나타내었다. 이는 공사 중과 비교하여 공사완료 후에 마감 혹은 유지·보수 등의 작업을 위해 휴대용 동력 공구를 사용하는 작업이 많은 것에 기인한 것으로 판단된다.



Table 12. Main Rules in terms of Process Rates

	rules(Process rate 0~20%, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
35	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.066472	0.554734	6.644438	750
36	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.066472	0.954198	6.584845	750
37	{CS-1,AF-2} => {OCM-5}	0.058141	0.292988	3.795388	656
38	{CS-1,OCM-5} => {AF-2}	0.058141	0.945245	3.042853	656
	rules(Process rate 20~40%, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
39	{AF-1,WY-1} => {OCM-3}	0.054812	0.50162	6.095851	774
40	{OCM-3,WY-1} => {AF-1}	0.054812	0.93253	6.059944	774
	rules(Process rate 40~60%, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
43	{MTP-3,WY-1} => {AF-2}	0.064111	0.523407	1.589992	928
46	{AF-2,WY-1} => {MTP-3}	0.064111	0.288827	1.475738	928
	rules(Process rate 60~80%, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
49	{MTP-3,WY-1} => {AF-2}	0.063554	0.520858	1.497249	874
50	{AF-2,WY-1} => {MTP-3}	0.063554	0.27467	1.37355	874
	rules(Process rate 80~100%, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
51	{OCM-5,WY-1} => {AF-2}	0.058354	0.942222	2.658369	636
52	{AF-2,WY-1} => {OCM-5}	0.058354	0.25573	2.468733	636
	rules(After completion of construction, min.Support=0.05, min.Confidence=0.25)	support	confidence	lift	count
55	{CS-1,AF-3} => {OCM-7}	0.052486	0.589147	6.181777	76
56	{CS-1,OCM-7} => {AF-3}	0.052486	0.690909	6.100222	76
57	{CS-1,AF-2,AT-2} => {OCM-5}	0.054558	0.572464	2.939459	79
58	{AF-2,MTP-3} => {OCM-5}	0.062155	0.552147	2.835139	90

종합적으로, 발생형태별과 공사규모별, 공정률별 연관규칙을 도출함에 따라 연관성이 높은 요인들에 대해 동시에 관리할 필요성이 있다. 같은 공정률로 진행 중인 공사 일지라도, 공사규모와 건설물의 종류 등에 따라 연관되어 발생하는 사고 요인 조합이 다르므로 적절한 안전관리방안을 고려해야 한다. 도출된 요인 규칙을 바탕으로 안전관리자가 현장을 관리 하는데 방향을 제시할 수 있고 의사결정에 도움을 줄 수 있다.

마지막으로, 도출된 연관규칙은 Fig. 5, 6, 7의 상위 빈도를 차지하고 있는 요인과 추이가 다른 것을 확인했다. 이는 전체 사고에 대한 분석을 통해 동시에 일어날 확률을 기반으로 빈도는 낮으나, 동시에 일어나는 요인들의 규칙을 도출하였기 때문이다. 본 연구에서는 기존의 빈도 위주의 기술통계와 달리 다양한 요인들 간의 연관성을 확률적이고 체계적으로 분석하였다. 이는 향후 건설 재해 데이터를 분석하는 데 정보처리 시간을 감소시킬 것이다.

제 5 장 결론

건설업은 작업, 환경 등의 다양하고 복잡한 특성과 현장, 인력 등의 임시적인 특성으로 인해 위험성이 높다. 이러한 유동적 특성으로 인하여 사고 또한 다양하고 복잡한 요인들이 복합적으로 연계되어 발생한다. 따라서 건설업의 재해율을 감소시키기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있으나, 대부분 정성적 및 정량적 기법을 사용하여 개별변수 위주의 분석이 주로 이루어질 뿐, 요인들 간의 연관성을 확률적이고 과학적으로 분석하는 연구는 많이 이루어지지 않고 있다. 연관규칙분석을 적용하여 건설업 재해 분석을 실시한 사례도 있었지만, 단순히 최소 지지도와 최소 신뢰도를 만족하는 규칙들을 도출하여 빈도 위주의 해석을 하였다. 이에 본 연구에서는 건설업 재해요인 간의 의미 있는 규칙을 도출하기 위해 임계치에 대한 시행착오(trial error)를 고려하여 연관규칙분석을 실시하였다. 2010년부터 2014년까지의 질병사망자, 질병이환자를 제외한 건설업 재해 데이터를 이용하여 발생형태별, 공사규모별, 공정률별로 파레토 분석과 연관규칙분석을 하였다. 발생형태는 대표적으로 ‘넘어짐’, ‘떨어짐’, ‘물체에맞음’ 사고로 나누어 비교, 분석하였고, 공사 규모는 ‘3억원 미만’, ‘3억~50억원 미만’, ‘50억~120억원 미만’, ‘120억원 이상’으로, 공정률은 20%의 단위로 나누어 분석하였다. 파레토 분석을 통하여 각 사고를 유발하는 요인들의 항목 중 상위 빈도를 차지하고 있는 요인을 도출하였으며, 가장 유의한 규칙이 도출된 임계값을 채택하여 재해요인 간의 연관규칙을 분석하였다. 연관규칙은 각 항목이 개별적으로 일어날 확률 대비 동시에 발생할 확률을 나타내는 향상도 값을 기준으로 상위 규칙을 도출하였다. 대표적인 결과로, 3억원 미만의 소규모 현장에서는 휴대용공구와 절단·베임·절림에 관한 규칙이 도출되었으

나, 3억원 이상의 현장에서는 넘어짐과 떨어짐에 관한 규칙만 도출되었다. 이는 3억원 미만의 소규모 현장은 비교적 작고 저층 건축물이 대부분이기 때문에 나타난 결과라고 볼 수 있다. 또한, 파레토 분석에 따르면 3억원 미만의 현장에서는 떨어짐 형태의 빈도가 가장 높은 점에 비추어 보았을 때, 연관규칙은 빈도와 관계없이, 확률적으로 동시에 일어나는 요인들의 규칙이 도출된 것을 알 수 있다. 이와 같이 연관규칙 분석을 통해 도출된 요인들의 규칙은 향후 교차분석 등 재해 데이터를 분석하는 데 정보처리 시간을 감소시킬 수 있고 분석자의 의사결정에 도움을 줄 수 있다. 또한, 안전관리자가 현장을 관리 하는데 적절한 안전관리방안을 고려할 수 있도록 도움을 줄 것이라 기대된다.

본 연구는 최소 지지도, 최소 신뢰도를 설정하는 데 있어 다양한 조합에 대해 분석하여 최적의 결과값이 나오는 임계값을 채택하였지만, 객관적으로 설정하기 어렵다는 한계점이 있다. 따라서 추후 연구에서는 민감도 분석을 통하여 임계치 변화에 따른 연구가 추가적으로 이루어져야 한다. 또한, 공사 규모, 공정률 등을 분류하는 기준도 다양하게 고려해볼 필요가 있다. 또한, 본 연구에서 사용한 데이터 내에 계절과 날짜에 대한 데이터가 포함되어있지 않으므로 재해 개요에 대한 텍스트 분석이 추가로 필요할 것으로 사료된다.

References

- 1) Ministry of Employment and Labor (MOEL), Industrial Accident Statistics, 2018.
- 2) H. S. Lee, H. S. Kim, M. S. Park, K. P. Lee and S. B. Lee, "Construction Risk Assessment Methodology Using Site Risk Influence Factors", Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 10, No. 6, pp. 117-126, 2009.
- 3) E. J. Kim, "Analysis on the Factors of Construction Disaster Applying the AHP", Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 20, No. 1, pp. 197-204, 2018.
- 4) D. H. Kim, W. Y. Kim and Y. C. Choi, "A Study on application Limitation of AHP priority vector with Expert measurement", Journal of the Korean Society for Aeronautical and Flight Operation, Vol. 18, No. 3, pp. 92-98, 2010.
- 5) The Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), Industrial Accident Statistics.
- 6) J. Weng, J. Z. Zhu, X. Yan and Z. Liu, "Investigation of work zone crash casualty patterns using association rules", Accident Analysis & Prevention, Vol. 92, pp. 43-52, 2016.
- 7) D. S. Kim and Y. S. Shin, "A Study on the Risk Factors according to the Frequency of Falling Accidents in Construction Sites", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 19, No. 2, pp. 185-192, 2019.
- 8) M. J. Lee, "The Study of Drawing Safety Accident Factors and

- Measurement Plan in a Small Construction Site”, Yeonsei University, 2016.
- 9) The Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), Analysis of Factors of Major Accidents in Construction, 2017.
 - 10) H. D. Lee, K. J. Song, J. H. Won, “Accident Characteristic Evaluation of Korea Construction Workplace by Analyzing Industrial Accident Date from 2010 to 2014”, Journal of the Institute of Construction Technology, Vol. 35, No. 1, pp. 43-49, 2016.
 - 11) C. W. Liao and Y. H. Perng, “Data Mining for Occupational Injuries in the Taiwan Construction Industry”, Safety science, Vol. 46, No. 7, pp. 1091-1102, 2008.
 - 12) J. D. Kim, “A Study on comparative of Apriori Algorithm and LASSO in Customer Relationship Management(CRM)”, Seoul National University, 2014.
 - 13) J. Y. Oh, “Design of Recommendation System Using Association Rule in e-Commerce”, Myongji University, 2004.
 - 14) Z. Zhu and J. Y. Wang, “Book recommendation service by improved association rule mining algorithm”, 2007 international conference on machine learning and cybernetics, Vol. 7, pp. 3864-3869, IEEE, 2007.
 - 15) D. H. Yang, J. H. Kang, Y. B. Park, Y. J. Park, H. S. Oh, and S. B. Kim, “Association Rule Mining and Network Analysis in Oriental Medicine”, PLoS One, Vol. 8, No. 3, e59241, 2013.
 - 16) H. J. Kim and J. Y. Chang, “Discovering News Keyword

- Associations Using Association Rule Mining”, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 11, No. 6, pp. 63-71, 2011.
- 17) D. P. Shin, C. B. Son, and D. E. Lee, “Association Analysis of Construction Accident Attributes Causing Fatalities”, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 28, No. 2, pp. 87-94, 2012.
- 18) Ministry of Employment and Labor (MOEL), Occupational Safety and Health Act, 2016.
- 19) Y. Y. Suh, “Exploring Convergence Fields of Safety Technology Using ARM-Based Patent Co-Classification Analysis”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 32, No. 5, pp. 88-95, 2017.

부록

재해요인 코드표

항목	영문명	코드	세부요인
공사규모	Construction Scale	CS-1	3억원 미만
		CS-2	3억~50억원 미만
		CS-3	120억원 이상
공정률	Process Rate	PR-1	0~20% 미만
		PR-2	20~40% 미만
		PR-3	80~100% 미만
근속기간	Working Year	WY-1	1개월 미만
기인물	Original Cause Material	OCM-1	거푸집
		OCM-2	목재가공기계
		OCM-3	바닥, 통로 등
		OCM-4	비계
		OCM-5	사다리
		OCM-6	작업발판
		OCM-7	휴대용공구(동력)
시설물	Facility	F-1	공동주택
		F-2	단독주택
연령	Age	A-1	50대
요양기간	Medical Treatment Period	MTP-1	29일~90일
		MTP-2	91일~180일
		MTP-3	6개월~1년 미만
재해시간	Accident Time	AT-1	07-09시
		AT-2	13-15시
재해형태	Accident Form	AF-1	넘어짐
		AF-2	떨어짐
		AF-3	절단·베임·찢림
직종	Occupation	O-1	건설 관련 기능 종사자
		O-2	단순 노무 종사자