

공정기반 재해발생 위험공종 추출 및 시나리오 구축

김기남*, 김태훈*, 이민재*

*충남대학교 토목공학과

e-mail:go7140@cnu.ac.kr

Construction Schedule-Based Risk Extraction

Ki-Nam Kim*, Tea-Hun Kim*, Min-Jae Lee*

*Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University

요약

본 연구에서는 건축시설물의 공정별 재해발생 위험공종 추출을 위하여 선행연구 분석과 국토안전관리원의 건설공사 안전관리 종합정보망(Construction safety Management Integrated Information, CSI)에서 관리하는 사고접수현황 데이터를 기반으로 건설현장에서 발생하는 공정별 재해발생 위험공종 추출을 통해 공정별에 따라 위험공종을 파악하고 공정에 따라 발생할 수 있는 사고유형을 도출하여 사전에 예방할 수 있는 위험공종시나리오를 구축하였다. 아울러, 빅데이터의 분석기법인 연관분석을 활용하여 건축시설물의 각 공정별 위험공종을 도출하였다. 재해발생 위험공종은 공정별 사고발생 빈도를 활용하여 90%이상, 20~29%의 공정률을 대상으로 분석하였으며, 각 1,986건, 1,322건의 재해사례를 토대로 각 공정별 공종을 도출하여 대분류, 중분류, 소분류(세부작업)로 분류하여 연관분석을 수행하였다. 분석결과 90%이상의 공정에서는 50건의 재해발생 위험공종 시나리오를 도출하였으며, 건축물 부대공사, 기계설비, 수장공사 등 17건의 공종분류(대)가 수행되었으며, 20~29%미만의 공정에서는 40건의 재해발생 위험공종 중 철근콘크리트공사가 32건으로 설치작업중 재해발생 빈도가 가장 높았으며, 넘어짐, 떨어짐과 같은 재해발생 유형을 도출하였다.

1. 서론

22년 1월부터 중대재해 처벌 등에 관한 법률(중대재해처벌법)이 시행되었으나 광주 아파트 붕괴사고와 같은 중대재해가 발생하여 건설현장의 안전관리에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 산업안전보건공단에 따르면 “2020년 국내 건설업에 종사하는 근로자수는 전체산업의 12%를 차지하고 있지만, 약 25%의 산업재해사고를 차지하고 있으며, 2019년 산업재해로 인한 건설업 사망자수는 통계조사 이후 최저치를 기록하였으나 2020년 다시 7% 증가한 567명이 사망하였다.” 또한 다른 산업은 전반적으로 사고재해가 감소하는 추세이나 건설업의 사망률은 증가하여 재해자수 대비 높은 사망률로 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 건설공사 안전관리 종합정보망에 접수되는 사고접수데이터를 통해 건설현장의 사고 사례를 토대로 시공과정의 공종과 세부공종에서 발생하는 재해유형을 대상으로 연관분석을 수행하여 「건설기술진흥법」 제62조(건설공사의 안전관리)에 근거한 “안전관리계획”의 주요 항목 중 공종별 세부안전관리계획 수립에 활용할 수 있는 공정별 재해발생 위험 공종을 추출하여 건설사업 진행 시 공사의 시설별, 공종별 프로세스에 따라서 발생

가능한 사고유형 및 위험발생 공종을 도출하여 공종별 세부 안전관리계획 수립에 기여할 수 있는 공정기반 재해발생 위험공종을 추출하려 한다.

2. 문헌고찰

건설재해를 예방하기 위한 선행연구들을 살펴보면 다음과 같다.

Lee, J.W(2022)는 스마트 건설 관제 시스템을 구축하기 위해 SCO(Smart Construction Object)를 개발하여 테스트 현장 검증을 한 뒤, Tri-axial diagram 분석법을 이용하여 센서활용과 관측 시스템의 활용성을 증진시키는 연구를 진행하였다.

Lee, Y.G(2022)는 국내 건설공기기업의 2020까지 발생한 사고재해 통계자료를 바탕으로 Text Mining을 이용하여 사고 유형별 현황과 사고원인, 지역별 재해빈도 등을 분석하고 위험요인에 맞는 안전대책에 대한 연구를 실시하였다.

Shin, W.S.(2021)은 산업재해통계자료를 바탕으로 S.N.A.(Social Network Analysis)분석기법을 통해 중대재해처벌법의 주 대상이 되는 이해당사자들이 안전사고 영향요인과

안전조직체계를 쉽게 파악할 수 있는 안전업무 협력네트워크 구성에 대한 연구를 진행하였다.

Kim, G.B. et al(2021)은 사물인터넷 기반 안전사고예방과 안전 프로세스를 접목하여 IoT기반 스마트 안전관리시스템을 구축하여 안전사고를 나타내는 다양한 수치와 위험요인을 감지할 수 있는 시스템개발을 진행하였다.

기존의 연구들은 사고데이터를 활용하여 다양한 분석기법을 통해 사고원인을 분석하고 재해예방을 위해 안전관제와 같은 시스템을 구축하기 위해 노력하였다. 이러한 기존 문헌들을 바탕으로 본 연구에서는 국내에서 발생한 사고 접수데이터를 활용하여 사고 빈도가 높은 90%이상, 20~29%미만의 공정율에서 발생하는 위험공종을 추출하고 이를 통해 안전관리자 혹은 공사감독자가 발생 가능한 위험공종을 예측하기 위한 공정에 따른 공종별 맞춤형 안전관리 지원시스템 개발을 위한 기초연구를 진행하였다.

3. 공정기반 재해발생 연관성분석

3.1 연관규칙(Association Analysis)

연관성 분석은 비지도 학습기법의 일종으로, 동시에 발생하는 변수들의 조합을 조건부 확률에 따라 도출하고 변수들 사이의 동시출현 가능성의 정도를 측정하는 기법이다. 또한, 빅데이터의 변수 및 잠재적인 규칙을 발견하는데 용이하다.

아울러, Apriori 알고리즘은 “하나의 항목집합이 빈발항목 집합이면, 이 항목집합의 모든 부분집합도 빈발항목 집합이다”는 전제되는 규칙에 의해 빈발항목집합의 개수를 감소시키는 방법이며, 전체 데이터에서 연관규칙의 평가 측도는 지지도(Support), 신뢰도(Confidence), 향상도(Lift)로 나타낼 수 있다.

지지도(Support)는 사고접수데이터에서 X와 Y가 동시에 나오는 비율로 재해발생공종과 공정간의 관련 규칙이 얼마나 의미 있는가를 나타내며, 각 공정별 재해발생공종기준으로 결과값을 반환한다. $P(X \cap Y)$ 는 재해발생공종 X와 Y를 포함하는 공정율이며, N은 사고접수데이터를 나타낸다.

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

신뢰도(Confidence)는 재해발생공종 X가 포함되는 관계 속에서 X와 Y가 동시에 나올 비율이다. $P(X)$ 는 재해발생공종 X가 포함된 재해발생공종이며, $P(X \cap Y)$ 는 X와 Y가 포함되는 공정율이며 각 공정율에 따라 재해발생 위험공종이 발생될 확률을 의미한다.

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

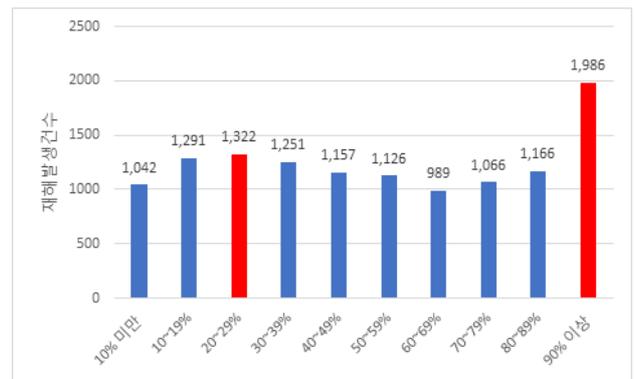
향상도(Lift)는 X와 Y의 공정율과 각 공정에 포함되는 재해 발생공종의 밀접한 관련성을 의미하며, 향상도의 평가방법은 X와 Y간에 서로 상관관계가 없다면 향상도는 1이 되며 향상도가 1보다 크면 양의 상관관계를 나타내고, 1보다 작으면 음의 상관관계를 의미한다. 1이상인 경우 공종율 X로부터 재해발생 위험공종 Y가 발생할 수 있다.

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

3.2 데이터구성

본 연구에서는 최근 3년간의 사고접수데이터인 12,396건을 대상으로 건축시설물에 대한 공정별 재해발생 위험공종을 추출하였다.

공정별 사고발생 빈도를 살펴보면, 90%이상과 10~39% 사이의 사고발생 빈도가 높았으나, 본 연구에서는 사고발생빈도가 높은 90%이상, 20~29%미만의 공정율의 대상으로 재해발생 연관성분석을 수행하여 건설공사의 각 공정 및 위험공종의 연관규칙을 도출하였다.



[그림 1] 공정별 재해발생건수

공정율 90%이상의 공종분류(대분류,W)는 1,986건으로 8종으로 분류되며, 이중 건축(923건), 토목(410건), 기타공종(304건)순으로 분류되었다. 또한, 공종분류(중분류,WM)는 기타공종(304건), 철근콘크리트공사(189건), 기계설비공사(135건)순으로 나타났으며, 공종분류(소, P)는 설치작업(290건), 이동작업(238건), 해체작업(171건)순으로 분류되어진다.

[표 1] 공정을 90%이상 데이터 구성

	데이터 구성
공종대분류(8)	W1~W8
공종중분류(39)	WM1~WM7, WM39~WM40
작업프로세스(41)	P1~P37, P39~P42
사고유형(17)	H1~H17

공정을 20~29%이상의 공종분류(대,W)는 1,322건으로 6종으로 분류되며, 이중 건축(893건), 토목(227건), 기타공종(155건) 순으로 분류되어진다.

공종분류(중,WM)는 철근콘크리트공사(597건), 가설공사(185건), 기타공사(155건)순으로 분류되어지며, 공종분류(소, P)는 설치작업(271건), 해체작업(176건), 이동작업(129건)순으로 분류되어진다.

[표 2] 공정을 20~29%이상 데이터 구성

	데이터 구성
공종대분류(7)	W1~W7
공종중분류(38)	WM1~WM38
작업프로세스(40)	P1~P32, P34~P39, P41~P42
사고유형(17)	H1~H17

4. 재해발생 위험공종 시나리오 구축

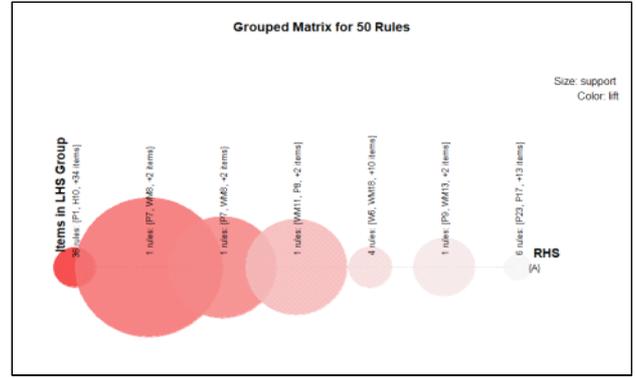
본 연구에서는 사고접수데이터의 12,396건의 사고사례를 수집하여 최소 지지도(Support) 1%를 설정하여 20~29%미만, 90%이상의 연관분석을 수행하였다.

공정을 A(90%이상)의 1,986건의 사고데이터를 활용하여 각 공종별 프로세스를 추출하였으며, 연관분석을 통하여 각 공종별 연관규칙을 도출하였다.

분석 결과, 재해발생 유형으로는 넘어짐, 떨어짐, 절단·베임 3가지 재해유형 순으로 도출 되었으며, 도출된 재해발생 위험공종은 50건이 도출되었으며, 도출된 공종은 향상도(Lift) 기준으로 10가지의 시나리오를 추출하였다.

[표 2] 공정을 90%이상 재해위험공종

재해발생 공종프로세스		향상도(Lift)
재해발생 공종(대,중,소분류)	재해유형	
건축, 도장작업, 이동작업	넘어짐	1.67
건축, 창호 및 유리공사, 설치작업	떨어짐	1.67
건축, 수장공사, 마감작업	떨어짐	1.67
건축, 건축 부대공사, 마감작업	떨어짐	1.67
건축, 수장공사, 마감작업	넘어짐	1.67
건축, 건축 부대공사, 기타	넘어짐	1.67
건축, 금속공사, 절단작업	절단,베임	1.67
건축, 창호 및 유리공사	떨어짐	1.67
토목, 토공사, 정리작업	넘어짐	1.67
건축, 수공사, 절단작업	절단,베임	1.67



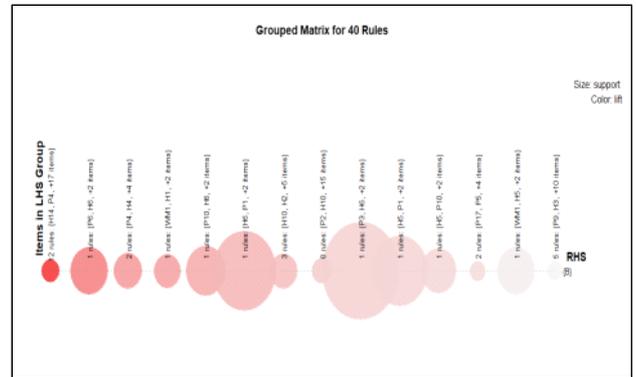
[그림 2] 90%이상 공정을 재해발생 위험공종 추출

공정을 B(20~29%미만)의 1,322건의 사고데이터를 활용하여 각 공종별 프로세스를 추출하였으며, 연관분석을 통하여 각 공종별 연관규칙을 도출하였다.

분석 결과, 재해발생 유형으로는 넘어짐, 떨어짐, 물체에 맞음 3가지 재해유형 순으로 도출 되었으며, 도출된 재해발생 위험공종은 40건이 도출되었으며, 도출된 공종은 향상도(Lift)기준으로 10가지의 시나리오를 추출하였다.

[표 2] 공정을 90%이상 재해발생 공종프로세스

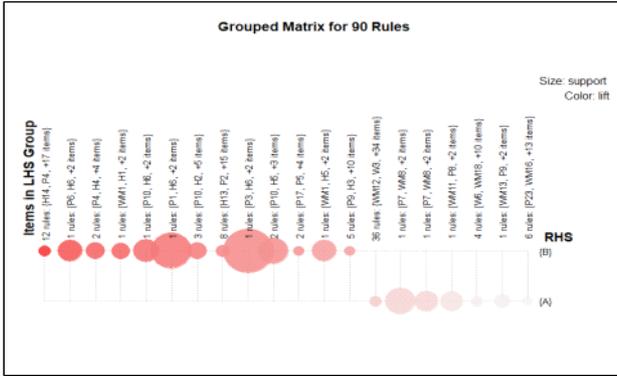
재해발생 공종프로세스			향상도(Lift)
재해발생 공종(대,중,소분류)	재해유형		
건축, 철근콘크리트공사, 조립작업	넘어짐		2.50
건축, 철근콘크리트공사, 운반작업	넘어짐		2.36
건축, 철근콘크리트공사, 형틀 및 목공작업	넘어짐		2.25
건축, 철근콘크리트공사, 설치작업	넘어짐		2.22
건축, 철근콘크리트공사, 형틀 및 목공작업	물체에 맞음		2.19
건축, 철근콘크리트공사, 설치작업	기타		2.19
건축, 철근콘크리트공사, 이동작업	넘어짐		2.12
건축, 철근콘크리트공사, 설치작업	떨어짐		2.11
건축, 철근콘크리트공사, 형틀 및 목공작업	떨어짐		2.11
건축, 가설공사, 설치작업	떨어짐		2.03



[그림 3] 20~29%미만 공정을 재해발생 위험공종 추출

각 공정별 위험공종을 추출한 결과 공정별 진행되는 사고위험의 공종을 도출하였다. 20~29%미만의 공종은 철근콘크리트공사, 가설공사, 기타공사와 같은 공종분류(대)가 도출되었으며, 공정특성상 설치작업이 주된 세부작업으로 도출되었다. 또한, 90%이상의 공정율은 17건의 위험공종이 도출되었으며, 각 공종의 마감작업이 주된 세부작업으로 도출되었다.

- 한 건설안전 사고발생 유형분석 및 대책 수립에 관한 연구” 경상국립대학교 융합과학기술대학원, 석사학위논문
- [3] 신원상(2021). “중대재해처벌법의 시행과 S.N.A. 기반 건설 안전 네트워크 분석” 한국건축시공학회지, 21(2), 한국건축시공학회, pp. 11-19
- [4] 김광배, 정지영, 송일형, 신용태(2021). “IoT 기반 건설안전 서비스의 수용의도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구”, 한국IT정책경영학회 논문지, 13(2), 한국IT정책경영학회, pp.2395-2401
- [5] 이강호, 이찬식, 구충완, 김태완(2020). “연관규칙 기반 대규모 건설현장 사망재해 다중요인 분석”, 한국건설관리학회 논문집, 21(4), pp.90-99



[그림 4] 공정율별 재해발생 위험공종 추출

4. 결론

4차 산업혁명 산업기술로 다양한 분석기법 중 연관성분석을 활용하여 건설재해감소와 건설 안전관리 업무를 위해 90% 이상, 20~29%미만의 공정율을 대상으로 재해발생 위험공종 및 사고유형을 도출한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 구조물이 일정 규모 이상 건설이 된 이후 실내에서 준공을 위해 17공종(공정률 90%이상)들이 동시에 진행되면서 가장 많은 사고가 발생하는 것을 확인할 수 있다.
- 2) 20~29%미만의 공정 시 주된 공사인 철근콘크리트와 그에 따른 설치작업 및 형틀 및 목공작업으로 떨어짐, 넘어짐과 같은 재해유형이 도출되었다.

본 연구를 통해 전체 공정율에 적용하여 재해발생 위험공종 및 사고유형 분석뿐만 아니라 다양하고 동시다발적으로 진행되는 건설현장에서 맞춤형 재해발생 위험인지 공정표를 작성할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 스마트건설기술개발사업의 연구비 지원(22SMIP-A156374-03)에 의해 수행되었습니다

참고문헌

- [1] 이정우 (2022). “건설 안전 및 생산성 강화 통합 스마트 안전시스템 연구”, 명지대학교 대학원, 박사학위논문
- [2] 이윤기 (2022). “텍스트마이닝(Text Mining) 기법을 이용