

연관분석에 기반한 건설현장 사고발생 시나리오 구축

김기남*, 이민재*

*충남대학교 토목공학과

e-mail:go7140@cnu.ac.kr

Establishment of Construction Accident Scenario Based on Association Analysis

Ki-Nam Kim*, Min-Jae Lee*

*Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University

요 약

본 연구에서는 공종별 재해 시나리오 구축을 위하여 선행연구 분석과 국토안전관리원의 건설공사 안전관리 종합정보망(Construction safety Management Integrated Information, CSI)에서 관리하는 위험요소프로파일(Hazard Profile)을 기반으로 건설현장에서 발생하는 건설재해의 위험요소분류 및 공종별 재해발생 시나리오 구축방안을 제안하고자 한다. 재해발생 시나리오는 건축공종의 토공사에서 수행되어지는 가설공사, 건축 토공사, 지정공사의 3,584건의 재해사례를 대상으로 도출하였으며, 각 공종의 중분류, 소분류, (세부작업), 위험요인객체, 위험요인위치를 활용하여 재해발생 시나리오를 추출하였다. 추출결과 총 62건의 재해발생 시나리오를 도출하였으며, 이중 향상도를 기준으로 30건의 재해발생 시나리오를 추출하였다.

1. 서론

건설업의 산업재해는 과거보다 감소 추세이나, 산업별로 비교할 때, 건설업 산업재해가 차지하는 비중이 매우 높다. 안전보건공단에서 발표한 ‘2019년 산업재해현황’의 통계자료에 따르면 전체 산업별 재해자 109,242명 중 건설재해자수는 27,211명(24.9%)으로 제조업의 재해자수에 못 미치나 사망자수는 2,020명 중 517명(25.6%)으로 제조업의 492명(24.4%)보다 사망사고의 발생확률이 높게 나타났다(안전보건공단 2020). 건설업의 산업재해의 발생빈도는 저감되었으나, 노동 집약적인 건설업의 특성상 타 산업에 비해 사망사고가 높다는 걸 의미한다. 따라서, 작업분류체계(Work Breakdown Structure, WBS)를 활용하여 건설 프로젝트의 공종, 작업등을 체계적으로 분류하여 건설공사 안전관리 종합정보망(CSI)에서 제공하는 위험요소 프로파일의 재해사례 연관분석을 통한 사고유형 공종별 시나리오를 구축·예측하여 건설사업의 공종별·객체별 재해위험성을 파악할 수 있어 건설안전사고 저감에 기여할 것으로 판단된다.

2. 문헌고찰

Son (2019)은 기존 안전재해에 관한 연구에서는 재해발생객

체에 의한 재해연구가 건설안전사고 저감에 기여할 수 있음을 밝히며, 연관규칙을 통해 사망사고와 부상사고의 낙하물에 기인한 건설 재해를 연구하였다. 그러나 재해는 낙하물 뿐만 아니라 근로자의 특성 요인, 공종에 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 일반화하기 어렵다.

3. 공종별 연관규칙 구성

3.1 연관분석(Association Analysis)

기본적인 연관 규칙을 찾는 방법은 모든 빈발항목 집합을 발견하여 만족하는 강한 규칙을 찾아내는 것이다. 그러나 Apriori 알고리즘은 앞서 설명한 “하나의 항목집합이 빈발항목집합이면, 이 항목집합의 모든 부분집합도 빈발항목집합이다”는 전제되는 규칙에 의해 빈발항목집합의 개수를 감소시키는 방법이다. 선정된 데이터 세트에 Apriori 알고리즘을 적

용하여 연관 규칙을 찾아내고 그에 따라 분석을 한다. 또한, 전체 데이터에서 연관규칙의 평가 측도는 지지도(Support), 신뢰도(Confidence), 향상도(Lift)로 나타낼 수 있다.

지지도(Support)는 전체 재해사례에서 재해요인 X와 Y가 동시에 나오는 비율로 재해요인간의 관련 규칙이 얼마나 의미 있는가를 나타내며, 전체 재해요인을 기준으로 결과값을 반환한다. $P(X \cap Y)$ 는 재해요인 X와 Y를 포함하는 재해요인이며, N은 전체 재해요인을 나타낸다.

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

신뢰도(Confidence)는 재해요인 X가 포함되는 관계 속에서 X와 Y가 동시에 나올 비중이다. $P(X)$ 는 재해요인 X가 포함된 재해요인이며, $P(X \cap Y)$ 는 X와 Y가 포함되는 재해가 발생될 확률을 의미한다.

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

향상도(Lift)는 X와 Y의 재해요인간의 밀접한 관련성을 의미한다. X와 Y가 우연에 의해 발생할 확률보다 X와 Y사이의 관계가 얼마나 근접되어 발생하는 가를 보여주는 것이다. X, Y간에 서로 상호관계가 없다면 향상도는 1이 된다. 향상도가 1보다 크면 양의 상관관계를 나타내고, 1보다 작으면 음의 상관관계를 의미하며, 1이상인 경우 재해요인 X로부터 재해요인 Y가 발생할 수 있다.

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

3.2 재해발생 데이터 구성

본 연구는 위험요소프로의 대분류인 건축, 중분류 토공사(가설공사, 건축 토공사, 지정공사)의 3,584건의 재해사례를 바탕으로 재해사례 시나리오를 구성하였다.

시나리오의 구성은 건축공종의 토공사를 중심으로 토공사에서 수행하는 세부공종인 가설공사, 건축 토공사, 지정공사를 대상으로 시나리오를 추출하였다.

[표 1] 연관분석 데이터 구성(중분류)

중분류	세부공종(3건)
토공사 (3,584건)	가설공사(1,765건), 건축 토공사(1,727건), 지정공사(92건)

가설공사는 총 1,765건 중 29건의 세부작업으로 구성되어 있

으며, 설치작업(648건)이 36.7%, 조립작업(196건)이 11.1%순으로 분석되었다.

[표 2] 연관분석 데이터 구성(가설공사_세부작업)

	세부작업(29건)
가설공사	거치작업, 고소작업, 굴착작업, 마감작업, 매설작업, 반출작업, 보수 및 교체작업, 부설 및 다짐작업, 설비작업, 설치작업, 쌓기작업, 양중작업, 연결작업, 용접작업, 운반작업, 이동, 인양작업, 적재작업, 전기작업, 조립작업, 준비작업, 천공작업, 타설작업, 향타 및 향발작업, 해체작업, 형틀 및 목공, 확인 및 점검작업, 기타

건축 토공사는 총 1,727건 중 26건의 세부작업으로 구성되어 있으며, 굴착작업(846건)이 49.0%, 설치작업(294건)이 17.0%순으로 분석되었다.

[표 3] 연관분석 데이터 구성(건축 토공사_세부작업)

	세부작업(26건)
가설공사	거치작업, 굴착작업, 매설작업, 반출작업, 부설 및 다짐작업, 상차 및 하역작업, 설치작업, 쌓기작업, 양중작업, 연결작업, 용접작업, 운반작업, 이동, 인양작업, 장약 및 발파작업, 적재작업, 전기작업, 조립작업, 준비작업, 천공작업, 타설작업, 향타 및 향발작업, 해체작업, 형틀 및 목공, 확인 및 점검작업, 기타

지정공사는 총 92건 중 9건의 세부작업으로 구성되어 있으며, 향타 및 향발작업(18건)이 36.7%, 이동(11건)이 22.4%순으로 분석되었다.

[표 4] 연관분석 데이터 구성(지정공사_세부작업)

	세부작업(9건)
지정공사	굴착작업, 부설 및 다짐작업, 설치작업, 양중작업, 이동, 정리작업, 타설작업, 향타 및 향발작업, 기타

또한, 재해발생 위험객체로는 위험발생객체 및 위험발생위치, 물적피해를 구성하여 재해발생 시나리오를 도출하였다. 시나리오 추출을 위하여 규칙 생성의 최소 기준인 지지도 0.01이상, 신뢰도 0.8, 발생 가능성 정도를 나타내기 위해 향상도 1이상인 규칙을 추출하였으며, 향상도 값을 기준으로 재해발생 시나리오를 도출하였다.

4. 재해발생시나리오 구축

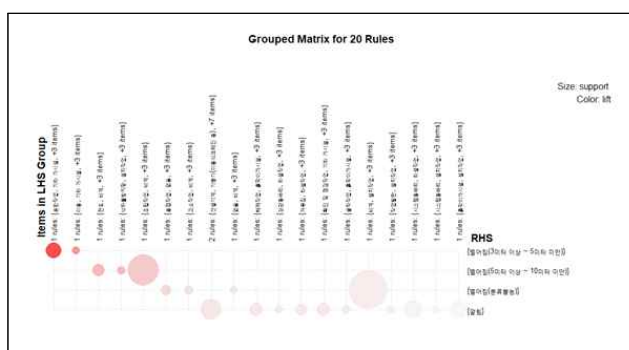
본 연구에서는 위험요소프로파일의 3,584건의 공종별 사고사례를 수집하여 건축공사의 토공사를 중심의 토공사의 세부공

사 및 세부작업, 위험발생객체를 토대로 총 62건의 재해발생 시나리오를 도출하였다.

분석 결과, 토공사_가설공사의 재해유형으로는 떨어짐(5미터 미만, 10미터 미만, 분류불능), 깔림으로 4가지 재해유형으로 도출 되었으며, 도출된 재해발생 시나리오 20건의 시나리오 중 향상도(Lift) 기준으로 10가지의 시나리오를 추출하였다.

[표 4] 토공사_가설공사 재해시나리오

재해발생 시나리오		향상도 (Lift)
재해발생 요인	재해유형	
운반작업, 가시설, 기타 가시설, 없음	떨어짐 (3미터 이상 ~ 5미터 미만)	10.61
이동, 가시설, 기타 가시설, 없음	떨어짐 (3미터 이상 ~ 5미터 미만)	7.91
설치작업, 가시설, 비계, 전도	떨어짐 (5미터 이상 ~ 10미터 미만)	5.89
설치작업, 가시설, 낙하물방지망, 붕괴	떨어짐 (5미터 이상 ~ 10미터 미만)	5.74
조립작업, 가시설, 비계, 붕괴	떨어짐 (5미터 이상 ~ 10미터 미만)	4.83
용접작업, 가시설, 흙막이가시설, 없음	떨어짐 (분류불능)	3.65
고소작업, 가시설, 비계, 붕괴	떨어짐 (분류불능)	3.05
양중작업, 건설기계, 기중기(이동식크레인 등), 전도	깔림	2.81
설치작업, 가시설, 기타 가시설, 붕괴	깔림	2.81
설치작업, 가시설, 비계, 없음	떨어짐 (분류불능)	2.76

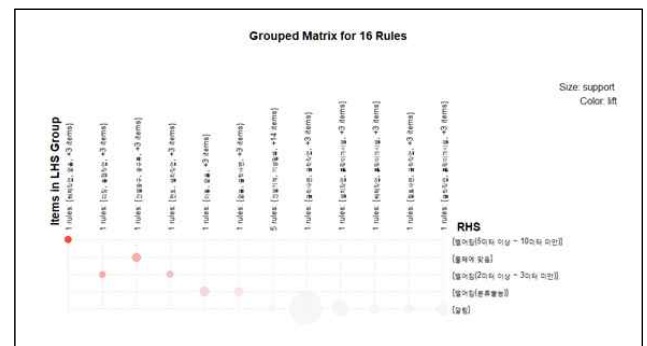


[그림 1] 토공사_가설공사 재해시나리오

토공사_건축 토공사의 재해발생 시나리오는 16건의 시나리오 중 향상도(Lift) 기준으로 10가지의 시나리오를 추출하였으며, 재해유형으로는 떨어짐(3미터 미만, 10미터 미만, 분류불능), 물체에 맞음, 깔림으로 5가지 재해유형으로 도출되었다.

[표 4] 토공사_건축 토공사 재해시나리오

재해발생 시나리오		향상도 (Lift)
재해발생 요인	재해유형	
해체작업,토사 및 암반,굴착사면,없음	깔림	38.38
용접작업,가시설,띠장,없음	떨어짐(2미터 이상 ~ 3미터 미만)	23.03
설치작업,건설공구,공구류,파열, 파단	깔림	21.32
설치작업,가시설,흙막이가시설, 전도	떨어짐(5미터 이상 ~ 10미터 미만)	16.05
부설 및 다짐작업,토사 및 암반,굴착사면,붕괴	깔림	1.45
굴착작업,토사 및 암반,지반,붕괴	깔림	1.45
적재작업,기성말뚝,부재,파열, 파단	물체에 맞음	1.45
항타 및 항발작업,건설기계,항타 및 항발기,전도	깔림	1.45
해체작업,가시설,흙막이가시설, 붕괴	떨어짐(2미터 이상 ~ 3미터 미만)	1.38
굴착작업,붕괴,절토사면,토사 및 암반	깔림	1.37



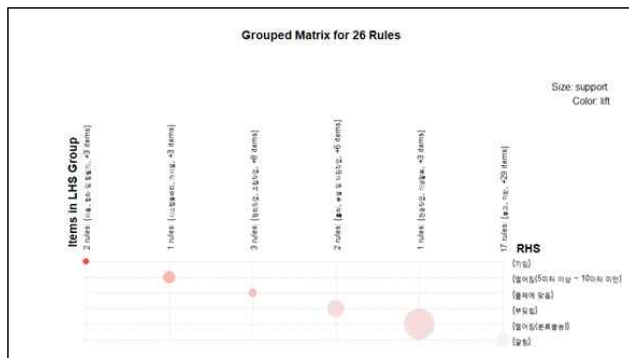
[그림 2] 토공사_건축 토공사 재해시나리오

토공사_지정공사의 재해발생 시나리오는 26건의 시나리오를 추출하였으며, 재해유형으로는 떨어짐(10미터 미만, 분류불능), 물체에 맞음, 끼임, 깔림으로 5가지 재해유형으로 도출되었다. 도출된 26건의 시나리오 중 향상도(Lift)기준으로 10건을 추출하였다.

[표 4] 토공사_지정공사 재해시나리오

재해발생 시나리오		향상도 (Lift)
재해발생 요인	재해유형	
이동, 건설기계, 항타 및 항발기, 전도	끼임	10.61
타설작업, 가시설, 시스템동바리, 붕괴	떨어짐 (5미터 이상 ~ 10미터 미만)	7.91

조립작업, 건설자재, 천정페널, 낙하	물체에 맞음	5.89
정리작업, 건설기계, 항타 및 항발기, 없음	물체에 맞음	5.74
항타 및 항발작업, 건설기계, 항타 및 항발기, 없음	물체에 맞음	4.83
부설 및 다짐작업, 건설기계, 롤러, 없음	부딪힘	3.65
인양작업, 기성말뚝, 부재, 없음	부딪힘	3.05
천공작업, 기성말뚝, 부재, 없음	떨어짐 (분류불능)	2.81
굴착작업, 지반, 토사 및 암반, 붕괴	깔림	2.81
상차 및 하역작업, 건설기계, 지게차, 파열(파단)	깔림	2.76



[그림 3] 토공사_지정공사 재해시나리오

5. 결론

본 논문에서는 연관분석을 활용하여 3,584건의 건축공사의 토공사 수행 시 세부공종별 재해사례를 수집하여 공종별·객체별 분류하였으며, 공종별 연관분석을 토대로 연관규칙을 도출하여 재해발생시나리오를 도출하였다.

- 1) 토공사의 세부공종은 가설공사, 건축 토공사, 지정공사로 3분류 하였으며, 가설공사의 세부작업으로는 29건의 세부작업이 분류되었고, 건축 토공사는 26건, 지정공사는 9건으로 분류됨.
- 2) 연관분석결과 62개의 시나리오를 도출하였다. 가설공사 20건, 건축 토공사 16건, 지정공사 26건의 시나리오를 추출하였으며, 재해유형으로는 떨어짐의 재해유형의 시나리오가 빈도 높게 추출되었음.
- 3) 가설공사의 시나리오는 설치작업 수행 시 재해발생 시나리오가 8건으로 도출되었으며, 건축 토공사는 굴착작업 5건, 지정공사는 타설작업이 5건의 시나리오로 도출됨.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 스마트건설기술개발사업의 연구비 지원(21SMIP-A156374-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 신동희 (2013). “빅데이터 동향 및 시사점” 한국인터넷정보학회 논문집, 14(2), 한국인터넷정보학회, pp. 5-17.
- [2] 홍민영 (2017). “사물인터넷 기반 빅데이터 분석을 활용한 스마트 건설안전관리 프레임워크 개발에 관한 연구” 대한건축학회추계학술발표대회 논문집, 37(2), 대한건축학회, pp. 1170-1175.
- [3] 손기영, 류한국(2019). “낙하물에 기인한 안전사고의 연관규칙분석” 한국건축시공학회지, 19(4), 한국건축시공학회, pp. 341-350
- [4] 이영재, 강성경, 유환(2019). “건설재해사례 분석에 의한 전문건설업종별 위험요인 탐색 : 전문건설업 근로자 공제자료를 중심으로”, 한국산업정보학회 논문지, 24(1), 한국산업정보학회, pp.45-63
- [5] 이강호, 이찬식, 구충완, 김태완(2020). “연관규칙 기반 소규모 건설현장 사망재해 다중요인 분석”, 한국건설관리학회 논문집, 21(4), pp.90-99