

ETA를 활용한 근로자의 불안정한 행동과 떨어짐 사고의 관계

정은빈¹ · 최재욱² · 이찬식^{3*}

¹인천대학교 건축학과 석사과정 · ²인천대학교 건축학과 석사 · ³인천대학교 도시건축학부 교수

The Relationship between Unsafe Acts and Fall Accident of Workers Using ETA

Jeong, Eunbeen¹, Choi, Jaewook², Lee, Chansik^{3*}

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

²Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School, Incheon National University

³Professor, Department of Civil Engineering, Incheon National University

Abstract : The large-scaled and high-rise construction structures in recent years have increased high place work, leading to an increase in falling accidents (hereinafter, "accidents"). The need for prediction and management of unsafe acts of workers at construction sites has been raised as unsafe acts of workers are identified as the main cause of industrial accidents. This research aims at deriving the improvement effect of unsafe acts by presenting the relationship between unsafe acts of workers and accidents at construction sites as a probability. Unsafe acts of workers were derived based on the analysis of accident cases. In addition, surveys were conducted to calculate the probability of occurrence of accidents caused by unsafe acts (hereinafter, 'accident probability'). The Event Tree Analysis (ETA) was utilized to confirm the final probability according to the combination of unsafe acts and improvement effect. The accident probability by unsafe act was found to be the highest for working after drinking (95.41%) and to be the lowest for equipment and machine utilization (65.70%). The accident probability according to a combination of unsafe acts was the highest when all of the unsafe acts were conducted (13.23%) and was the lowest when none of the unsafe acts were conducted (0.00%).

Keywords : ETA, Unsafe Acts, Fall Accident, Relationship Between Unsafe Acts and Accident

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

노동집약적인 건설 산업은 과거부터 안전사고에 노출되어 왔으며(Min et al., 2019), 최근 건설구조물이 대형화, 고층화됨에 따라 고소 작업이 많아지면서 떨어짐 사고를 포함하여 각종 안전사고가 증가하고 있다(Kim, 2018; Shin & Son, 2018; Jang et al., 2018). 최근 5년간 국내 산업재해 현황을 보면 전체 산업 재해자 452,591명 중 건설업은 124,339명(27.47%)의 재해자 수를 보이고 있다. 건설업에서 주로 발생하는 사고 형태인 떨어짐은 31,156건(33%)을 차지하며 발생 빈도가 가장 높게 나타났다.¹⁾ 건설 재해를 발생시키는 원

인은 주로 불안정한 행동, 미흡한 관리와 안전교육, 안전불감증 등이다(Choi & Ryu, 2019). 건설 재해는 막대한 재산 손실과 인명 피해로 인한 사회적 문제로 연결되기 때문에 각별한 주의가 필요하다(Kim & Shin, 2019).

건설 산업재해로 인한 피해를 줄이기 위해, 사고 발생 매커니즘을 활용한 사고예방 연구들이 진행되어 왔다. 하인리히의 도미노 이론에 의하면 재해 발생 과정과 원인은 <Fig. 1>과 같으며, 불안정한 상태와 행동을 제거하는 것이 산업재해 예방의 핵심이라고 주장한다(Heinrich, 1931). 이때, 사고(Accident)는 불안정한 상태 및 행동이 원인이 되어 일어난 사건을 의미하고 재해(Injury)는 사고로 인한 부상 및 사망을 의미한다.

Heinrich (1931)는 불안정한 행동과 상태에 의해 발생하며, 그 비율은 불안정한 행동에 의한 사고가 88%, 불안정한 상태에 의한 사고가 10%, 그리고 천재지변에 의한 사고가 2%라고 하였다. McSween (2003)은 10년간 미국에서 발생

* **Corresponding author:** Lee, Chansik, Department of Urban Architectural Engineering, Incheon national University, Incheon, Korea, 22012

E-mail: cslee@inu.ac.kr

Received February 29, 2020; **revised** April 6, 2020

accepted April 7, 2020

1) KOSHA (2013-2017). 산업재해현황분석

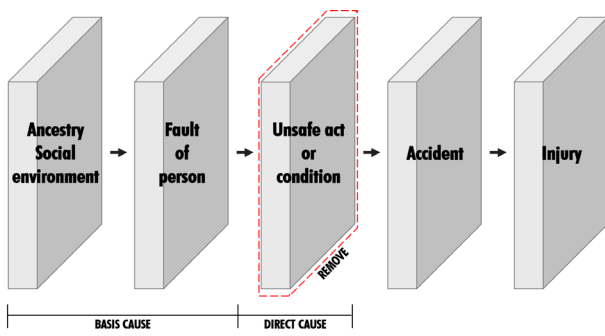


Fig. 1. Heinrich's domino model

한 산업재해의 원인을 조사한 결과, 사고의 96%가 불안정한 행동에서 기인한다는 사실을 발표하였다. 불안정한 행동이 산업재해 주요 원인이며(Jeong, 2017), 근로자의 불안정한 행동을 제거하는 것이 산업재해의 예방에서 가장 중요한 요소이다. 이에 따라 불안정한 행동으로 인한 사고 방지를 위해 불안정한 행동 예측 및 관리의 필요성이 제기되었다(Kim et al., 2017).

이 연구는 사건수 분석 기법(Event Tree Analysis; ETA)을 활용하여 불안정한 행동과 떨어짐 사고의 관계를 확률로 제시하고²⁾ 불안정한 행동의 개선 효과(Improvement Effect, 이하 I.E.)³⁾를 산출하는 것이 목적이다. 이를 위해 근로자의 불안정한 행동으로 인한 떨어짐 사고의 발생 확률(Accident Probability, 이하 A.P.)과 근로자의 불안정한 행동의 조합에 따른 최종 사고 확률(Final Accident Probability, 이하 F.P.)을 산출하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

연구 범위는 사고의 발생 형태 중, 떨어짐 사고(이하 사고)로 한정한다. 불안정한 행동의 주체는 근로자이다.⁴⁾ 피재자는 불안정한 행동을 직접 수행한 근로자로 간주한다.

연구의 절차 및 방법은 다음과 같다.

첫째, RISS와 AURIC에서 불안정한 행동을 키워드로 불안정한 행동 및 사고와 관련된 국내 연구 동향을 조사하여, 기존 연구의 한계 및 불안정한 행동과 사고의 관계를 고찰하였다.

둘째, 한국산업안전보건공단(Korea Occupational Safety and Health Agency; KOSHA)과 고용노동부의 2014-2019 건설업 재해사례를 분석하여 불안정한 행동의 범위 및 항

목을 재구성하였다. 불안정한 행동의 재구성 과정은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Reconstruction process of unsafe acts

Phase 1	Collection of serious accident cases in the construction industry between 2014~2019 *Type of accident occurrence: Fall *Including fall cases due to collapse or Inversion
Phase 2	Unsafe acts derived in reference to a summary of accidents, situation map, and safety measure *Main agent of action: Worker
Phase 3	Integration of similar unsafe acts
Phase 4	Verification of actual occurrence possibility of unsafe acts at construction sites as derived from experts who worked in the construction industry for over 10 years

셋째, 근로자의 불안정한 행동으로 인한 A.P.를 산출하기 위하여, 건설업 종사자를 대상으로 근로자의 불안정한 행동이 사고 발생에 미치는 영향에 대한 설문조사를 수행한다.⁵⁾ 이때, Likert scale 4점 척도를 활용하여 중간값으로 집중된 설문 결과가 도출되는 것을 방지한다. 보기의 형태는 '1. 떨어짐 발생에 전혀 영향을 미치지 않는다.', '2. 떨어짐 발생에 영향을 미치지 않는다.', '3. 떨어짐 발생에 조금 영향을 미친다.', '4. 떨어짐 발생에 매우 영향을 미친다.'로 구성하였다. 그리고 각 문항의 답변 빈도를 분석한다. 답변 1과 4는 2점을 부여하고 답변 2와 3은 1점을 부여하여 불안정한 행동별 A.P.를 산출한다.

넷째, ETA 분석 기법을 활용하여 근로자의 불안정한 행동으로 인한 사고의 발생 경로 및 F.P. 그리고 F.P.의 순위를 도출하고 사건수를 작성한다. 이때, 초기사건⁶⁾은 근로자의 건설 현장 출근으로 설정하고, 안전 요소⁷⁾는 근로자의 불안정한 행동으로 설정한다. 안전 요소별 성공 확률⁸⁾은 설문 결과를 통해 산출한 불안정한 행동별 A.P.를 활용하며, 실패 확률⁹⁾은 <식 (1)>과 같이 산출한다. F.P.는 해당 경로의 성공 확률 혹은 실패 확률을 곱하여 산출한다. F.P.의 순위는 F.P.의 내림차순으로 도출한다.

$$\text{Failure Probability} = 1 - (\text{Success Probability}) \quad (1)$$

2) 어떤 불안정한 행동의 항목의 A.P.값이 두 배 크다고 해서 그 항목이 사고 발생에 영향을 미치는 정도가 두 배라고 말하기 힘들기 때문에 불안정한 행동이 사고에 미치는 영향의 정도를 수치로 접근하지 않고 확률로 접근하였다.

3) 불안정한 행동을 개선하기 전과 후의 떨어짐 사고 발생 확률의 차이

4) 국내 건설 현장에서 직접 작업을 수행하는 사람

5) 재해 사례에서 불안정한 행동은 기록자에 따라 서술 방식이 상이하여 피재자의 정확한 불안정한 행동을 알 수 없다. 따라서 재해 사례 분석을 통한 사실치가 아닌 설문조사를 통한 추정치로 접근하여 A.P.를 산출하였다.

6) 초기사건(Initiating Event): 시스템 또는 기기의 결함, 운전원의 실수 등

7) 안전요소(Safety Function): 초기사건이 실제 사건으로 발전되지 않도록 하는 안전장치, 운전원의 조치

8) 성공 확률(Success Probability): 해당 안전요소가 성공할 확률

9) 실패 확률(Failure Probability): 해당 안전요소가 실패할 확률

다섯째, 불안정한 행동의 I.E를 산출하기 위하여 F.P.가 가장 높은 불안정한 행동 조합을 기준으로 불안정한 행동을 하나씩 개선하였을 경우의 F.P.를 비교한다.

2. 예비적 고찰

2.1 떨어짐 사고

KOSHA는 떨어짐(구 명칭: 추락)을 “높이가 있는 곳에서 사람이 떨어짐” 또는 “사람이 인력(중력)에 의하여 건축물, 구조물, 가설물, 수목, 사다리 등의 높은 장소에서 떨어지는 것”이라고 정의하고 있다.¹⁰⁾

떨어짐은 계단·사다리에서 떨어짐, 개구부 등 지면에서 떨어짐, 재료 더미 및 적재물에서 떨어짐, 지붕에서 떨어짐, 비계 등 가설구조물에서 떨어짐, 건물 대들보나 철골 등 기타 구조물에서 떨어짐, 운송수단 또는 기계 등 설비에서 떨어짐, 바람·진동 등에 의한 외부 영향으로 떨어짐, 그리고 의도적인 떨어짐으로 분류된다. 복합적 현상으로 인한 발생형태 기준에 따르면 유사한 재해 사례이지만, 재해 발생 위치에 따라 떨어짐과 유해·위험 물질 노출·접촉으로 구분되며, 상해 결과에 따라 떨어짐과 전류 접촉으로 구분된다. 그리고 바닥면과 신체의 접촉 여부 및 구조물의 높이와 보폭에 따라 떨어짐과 넘어짐으로 구분된다.¹¹⁾

이 연구에서는 KOSHA와 고용노동부의 건설업 재해 사례를 분석할 때, 범위를 근로자의 불안정한 행동으로 인한 떨어짐으로 한정하여, 바람·진동 등에 의한 외부영향으로 떨어짐 및 의도적인 떨어짐은 제외하고 재해사례를 분석하였다. 그리고 재해 발생 위치, 상해 결과, 바닥면과 신체의 접촉 여부, 그리고 구조물의 높이와 보폭에 관계없이 근로자가 떨어진 사례는 모두 분석하였다.

떨어짐 사고의 경로에 대한 선행 연구는 다음과 같다. Kim (2018)은 전문가 면담 및 워크숍을 통하여 37개 요인(직접적, 조직적, 정책적, 외부환경 등)에 대한 떨어짐 사고 영향도 및 주요 영향 경로를 도출하였다. 그러나 불안정한 행동이 사고에 미치는 영향 정도 및 사고 발생 경로는 알 수 없다. 따라서 이 연구에서는 불안정한 행동이 사고에 미치는 영향 정도를 산출하고, 불안정한 행동으로 인한 사고 발생 경로를 확인하였다.

2.2 불안정한 행동

KOSHA는 불안정한 행동을 “사고의 직접원인으로서 근로자의 불안정한 행동”이라고 정의하고 있다.

미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration; OSHA)은 불안정한 행동을 “작업 및 기타 행위 수행 방식이 근로자의 안전 및 건강을 위협할 가능성이 존재하는 행동”이라고 정의하고 있다.

미국 국방부(United States Department of Defense; DoD)는 불안정한 행동을 “사람의 실수나 안전하지 못한 상황을 초래하는 작동자에 의한 능동적 고장 또는 조치”라고 정의하고 있다.

한국과 미국의 기관별 불안정한 행동 정의와 분류를 비교한 결과, 불안정한 행동의 정의 및 항목에 차이가 존재하지만, 위험 장소 접근, 개인보호구 미착용 등 유사한 항목으로 구성되어 있었으며(Table 2), 불안정한 행동의 주체와 재해자의 관계(당사자 또는 타인)를 명확하게 알 수 없었다.

Table 2. Definitions and items of unsafe acts by organization

Organization	Factors
Definition	
KOSHA	<ul style="list-style-type: none"> • Access dangerous place • Removal of safety device function • Misuse of wear and protective equipment • Misuse of machinery and equipment • Fixing of machinery in operation • Unsafe speed control • Carelessness in handling dangerous goods • Neglecting unsafe status • Unsafe posture and movement • Insufficient supervision and communication
Unsafe acts of workers as a direct cause of the accident	
OSHA	<ul style="list-style-type: none"> • Access to dangerous places • Unstable speed control • Incorrect use of clothing protection • Failure to tagout/lockout • Failure to warn people in the area of work activity • Bypass or removal of safety devices • Use of tools for other than their intended purpose • Mproper repair of equipment
Performance of a task or other activity that is conducted in a manner that may threaten the health and/or safety of workers	
DoD	<ul style="list-style-type: none"> • Access to dangerous places • Unintended operation • Checklist not followed correctly • Procedure not followed correctly • Over-or undercontrol • Breakdown in visual scan • Rushed or delayed necessary action • Inadequate real-time risk assessment • Failure to prioritize tasks adequately • Ignored a caution/warning • Choice of action during an operation • Performs work-around violation • Extreme violation-lack of discipline
Active failures or actions committed by the operator that result in human error or unsafe situation	

불안정한 행동에 대한 선행 연구는 다음과 같다. 불안정한 행동의 요인에 대하여, Ryu and Heo (2009)는 불안정한 행동을 정신적, 신체적, 직무적, 환경적, 관리적 영역으로 구분하였으며, Shin et al. (2014)은 국내 외국인 건설 근로자를 대상으로 불안정한 행동 요인을 분석하였다. Lim et al. (2016)은 소규모 건설 현장에서 근로자의 불안정한 행동을

10) KOSHA (2016). 산업재해 기록분류에 관한 지침

11) 노동부 & 통계청 (2010). 산업재해 시험표본조사 지침서

유발하는 요인을 도출하였다. 그리고 Kim (2018)은 감성 요인과 자아존중감이 불안정한 행동에 미치는 영향을 분석하고 불안정한 행동의 배후 요인을 도출하였다.

특정 요인이 불안정한 행동에 미치는 영향에 대하여, Jung (2010)은 개인과 조직의 특성이 불안정한 행동에 미치는 영향 및 상호 관계를 파악하였으며, Seo (2010)은 성격과 직무 특성이 불안정한 행동에 미치는 효과를 검토하였다. 그리고 Lee (2019)는 건설업 근로자의 라이프 스타일과 불안정한 행동 간의 연관성을 확인하였다.

그 외에 Han et al. (2014)은 국내 건설 현장에서 근무하는 한국인 및 외국인 근로자의 불안정한 행동을 분석하여 그 특성과 개선이 필요한 우선순위를 규명하였으며, Park (2015)은 근로자의 불안정한 행동 요인을 도출하고 그 요인들 간의 상관관계 분석을 통하여 불안정한 행동을 예방하는 핵심 요인을 도출하였다. Kim et al. (2017)은 시스템 다이내믹스를 활용하여 근로자의 불안정한 행동에 대한 인지과정을 파악하였다. 그리고 Min et al. (2019)은 불안정한 행동과 휴먼 에러의 관계를 규명하였다.

이처럼 불안정한 행동에 관련된 연구는 불안정한 행동의 요인, 특정 요인이 불안정한 행동에 미치는 영향, 그리고 불안정한 행동 예방 요인 등 다방면으로 수행되었으나, 불안정한 행동과 사고의 관계에 대한 연구는 부족한 상태이다.

2.3 불안정한 행동과 사고의 관계

불안정한 행동과 사고의 관계에 대하여 수행된 연구를 살펴보면, Jeong (2017)은 자아상태, 안전 및 불안정한 행동, 산업재해 간 상관분석을 수행하여 불안정한 행동이 사고의 빈도와 정적 상관관계가 있는 것을 확인하였다. 그러나 불안정한 행동과 사고가 얼마나 관계있는지 알 수 없다는 한계가 있다.

Umh (2011)은 아파트 공사 현장의 떨어짐 사고에 대한 예방 대책을 마련하고자 불안정한 행동별 사망자 발생 현황을 분석하여 불안정한 행동과 사망의 관계를 정량적으로 확인하였다. 그러나 불안정한 행동과 사고의 관계를 확인하지 못한다는 한계가 있다.

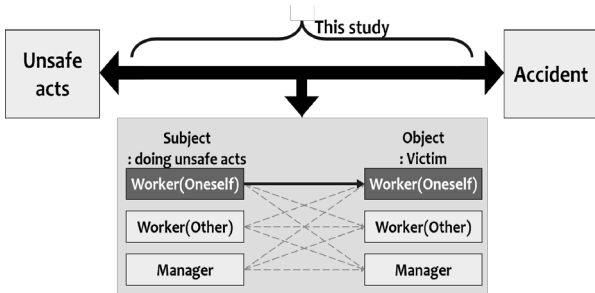


Fig. 2. Focused scope of the study

따라서 이 연구에서는 불안정한 행동의 주체를 근로자로 한정하고 재해자는 불안정한 행동을 수행한 당사자로 간주하여 불안정한 행동이 사고 발생에 미치는 영향 정도를 확인하여 불안정한 행동과 사고의 관계를 확률적으로 제시하고자 한다.

2.4 ETA 방법론

사건수 분석 기법(ETA)은 초기사건으로부터 발생하는 잠재적 사고 결과를 평가하는 귀납적 기법으로, 초기사건에 대한 안전시스템의 대응 성공 또는 실패에 따른 후속사건을 도식적으로 표현하며 상관관계 및 확률을 파악하는 기법이다(Andrews & Moss, 1993; Andrews & Dunnett, 2000). 사건의 수가 증가할수록 도식화된 그림은 나무의 가지처럼 퍼져나가므로 사건수(Event Tree)라고 한다(Hong et al., 2003) (Fig. 3).

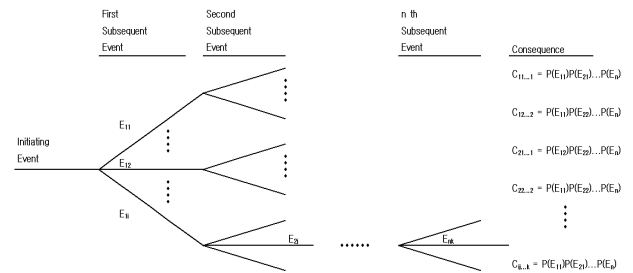


Fig. 3. Structure of TEA (Ang & Tang, 1984)

원자력 분야에서 위험도 분석을 위해 처음 사용된 ETA는 철도 사고와 해양 사고 등 점차 다른 분야로 확대되어 왔으며(Beim & Hobbs, 1997; Andrews & Dunnett, 2000), 주로 사고의 종류와 발생 빈도 및 예상 시나리오 도출에 활용한다.

ETA는 사건의 순서와 인과관계를 표현하는 데 가장 효과적이다.¹²⁾ 그리고 최종 경로의 사고 확률을 논리적으로 계산할 수 있다는 장점이 있으나, 예상되는 변수를 모두 열거해야 한다는 단점이 있다(Jeon et al., 2010).

사건수는 초기사건(Initiating Event), 안전요소(Safety Function), 노드(Node), 경로(Path), 확률(Probability) 등으로 구성되어 있다. 그중, 초기사건은 시스템 또는 기기의 결함, 운전원의 실수 등을 말한다. 안전요소는 초기 사건이 실제 사건으로 발전되지 않도록 하는 안전장치, 운전원의 조치 등을 말한다. 노드는 초기사건에서 다음 사건으로 전개되는데 반드시 필요한 연결 과정으로, 인간의 행동을 사고로 이어지는 행동(Success Node)과 그렇지 않은 행동(Failure

12) 한국도로공사 도로교통연구원 (2017). 터널 시공 중 안전관리를 위한 리스크 관리 체계 구축 연구

Node)으로 분류할 수 있는 수단이다. 확률은 안전요소의 성공과 실패에 따른 확률과 최종 경로의 사고 확률이 있다. 안전요소의 성공과 실패에 따른 확률은 해당 안전요소가 성공 또는 실패할 확률을 의미하며, 하나의 안전요소의 성공 확률과 실패 확률의 합은 1이다. 최종 경로의 사고 확률은 그 경로에 존재하는 모든 하위 사건의 성공 확률 또는 실패 확률을 곱하여 구한다(Hong et al., 2007).

사건 수는 왼쪽에서 오른쪽으로 진행하며, 사고 발생의 원인이 되는 초기사건을 사건수의 가장 왼쪽에 기입하고, 안전요소의 성공(수행) 여부에 따라 이진 분기하여 작성한다. 이때 안전요소가 성공(수행) 되는 경우는 이진 분기된 노드의 위쪽으로, 안전요소가 성공(수행) 되지 않는 경우는 이진 분기된 노드의 아래쪽으로 진행한다.¹³⁾

ETA의 유형에는 ETA 기법을 설명할 수 있는 가장 간단하고 보편적인 기본 모델인 표준 사건가지분석기법(Normal Event Tree Analysis; NETA)과 NETA를 사건의 발생 유무에 따라 유연하게 사용 가능하도록 일부 변경한 모델인 가지저감 사건가지분석기법(Reduced Event Tree Analysis; RETA), 그리고 실패한 이벤트를 실패하기 전으로 되돌리는 복구 요인이 존재하는 모델인 결합 사건가지분석기법(Connected Event Tree Analysis; CETA)이 있다(Fig. 4). 이때, A_S는 안전 요소 A가 성공할 확률, A_F는 안전 요소 A가 실패할 확률을 의미한다(Jo, 2016).

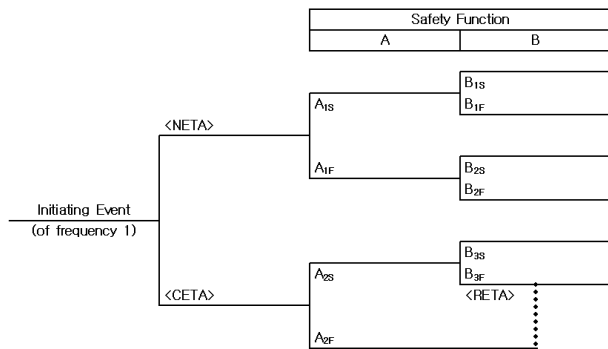


Fig. 4. ETA model by type

이 중, NETA는 초기 사건에 대하여 순차적으로 사건이 발생하고, 발생한 사건은 성공과 실패로 이진 분기된다. NETA는 전체 경로에 대한 각 경로의 확률 순위를 판단하기 쉬우나 가지가 이진 분기하기 때문에 안전요소가 증가할수록 경로가 2ⁿ으로 증가한다는 단점이 있다.

건축 분야에서 ETA를 활용하여 수행된 연구는 다음과 같다. Cho et al. (1997)은 실제 건설 프로젝트의 위험도 평가

모델을 제시하기 위해 NETA를 활용하였으며, Hong et al. (2007)은 위험도의 정량적인 분석을 통해, 발생 가능성이 큰 잠재적 위험 요소에 대해 분석 및 정량화에 예측되는 주요 문제점의 대응 방안을 검토하기 위하여 NETA를 활용하였다. 그리고 Jeon et al. (2010)은 초고층 건축물의 확률론적 피난안전성 평가 수행을 통해, 각 경로의 확률과 경로 및 피난 성공 여부를 제시하기 위하여 RETA를 활용하였다.

이 연구에서는 건설 현장에서 근로자의 불안정한 행동으로 발생 가능한 사고의 모든 경로 및 F.P.를 도출하여 불안정한 행동의 I.E.를 산출하기 위해 NETA를 활용하였다.

3. 설문조사·분석

3.1 불안정한 행동 항목 선정

KOSHA와 고용노동부의 2014-2019년 건설업 재해 사례의 떨어짐 사고를 분석하여 행동의 주체가 근로자인 불안정한 행동 항목을 재구성하였다(Table 3). 이때, 불안정한 행동의 조합에 따른 F.P.를 산출할 수 있도록 각 불안정한 행동은 독립적으로 구성하였다. 재해사례 분석을 통해 도출된 불안정한 행동 항목의 건설 현장에서 수행 가능 여부를 건설업 경력 10년 이상의 전문가에게 자문을 받은 결과, 재해사례 분석을 통해 도출된 불안정한 행동의 항목이 건설 현장에서 근로자가 수행하는 불안정한 행동의 대부분을 적용할 수 있을 것이라는 평가를 받았다.

Table 3. Worker's unsafe acts in construction

Unsafe acts in this study		Definition
A	No safety training	When a worker performs work without attending safety training
B	Access dangerous place	When accessing or working in a place where many fall deaths occurred
C	Use of machinery and equipment	When using a machine or equipment while performing the work
D	Working performed by unauthorized persons	When an unqualified person performs the work
E	Failure to wear personal protective equipment	When a worker performs work or moves in the site without wearing personal protective equipment and when personal protective equipment fastening is faulty
F	Removal of safety features	When a safety device is worn or installed but removed temporarily to perform work or to move
G	Performing unsafe work	When unnecessary posture for work or unsafe acts are performed
H	Simple worker mistake	When an accident occurs due to a mistake by a worker without a particular reason
I	Working after drinking	When work is performed after drinking
J	Failure to follow safety instructions and work procedures	When the KOSHA or in-house safety regulations or work procedures are not followed

13) KOSHA (2012). 사건수 분석기법에 관한 관리지침

3.2 설문조사 개요

설문조사는 2019년 10월 23일부터 11월 3일까지(약 2주간) 건설업 종사자를 대상으로 수행하였다. 설문지는 총 15 문항(일반 사항 5문항, 떨어짐 발생에 영향을 미치는 정도 10문항)으로 구성하였다. 총 127명을 대상으로 조사를 실시하였으며, 유효하지 않다고 판단된 9부를 제외한 118부를 분석하였다. 설문 응답자의 일반 사항은 <Table 4>과 같다.

설문 문항의 신뢰도를 확인하기 위해 IBM SPSS Statistics 25 프로그램을 활용하여 Cronbach's α (이하 α)분석을 수행하였다. α 는 0과 1사이의 값을 가지며, 일반적으로 α 의 값이 0.6 이상이면 신뢰도가 적절하다고 판단한다(Nunnally, 1978). 이 조사에서 α 값은 0.828로 신뢰도가 높게 나타났다.

Table 4. General characteristics of the subject

Gender	Male		Female		
	91.5 %		8.5 %		
Position	Worker	Manager	Researcher	Other	
	71.2 %	22 %	2.5 %	4.2 %	
Age	20's	30's	40's	50's	upper 60's
	5.1 %	35.6 %	25.4 %	26.3 %	7.6 %
Education	Graduated elementary junior high school	Graduated high school	In college community college	Graduated college community college	In or graduated graduate school
	13.6 %	50 %	14.4 %	19.5 %	2.5 %
Career	1 year less	between 1 year and 5 year	between 5 year and 10 year	between 10 year and 20 year	over 20 year
	2.5 %	34.7 %	25.4 %	23.7 %	13.6 %

3.3 설문조사 결과

각 불안정한 행동이 떨어짐 사고에 얼마나 영향을 미치는지에 대한 설문조사 결과의 빈도를 분석 및 보정하여 근로자의 불안정한 행동으로 인한 A.P.를 산출하였다. 그 결과, 불안정한 행동별 A.P.는 음주 후 작업 수행(I, 95.41%), 안전 수칙 및 작업 절차 미준수(J, 93.45%), 불안정한 작업 수행(G, 90.07%), 무자격자의 작업 수행(D, 88.31%), 안전 기능 제거(F, 85.76%), 개인보호구 미착용(E, 85.42%), 근로자의 단순 실수(H, 78.82%), 위험 장소 접근(B, 74.17%), 안전 교육 미이수(A, 66.32%), 기계 및 장비 활용(C, 65.70%) 순으로 높게 나타났다(Table 5).

불안정한 행동으로 인한 A.P.가 최소 65.70%부터 최대 95.41%까지 분포하여 모든 불안정한 행동이 사고 발생에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Table 5. A.P. by unsafe acts

Unsafe acts in this study		A.P.
A	No safety training	66.32%
B	Access dangerous place	74.17%
C	Use of machinery and equipment	65.70%
D	Working performed by unauthorized persons	88.31%
E	Failure to wear personal protective equipment	85.42%
F	Removal of safety features	85.76%
G	Performing unsafe work	90.07%
H	Simple worker mistake	78.82%
I	Working after drinking	95.41%
J	Failure to follow safety instructions and work procedures	93.45%

4. ETA분석 및 결과

4.1 초기 사건 및 안전 요소 설정

이 연구에서 사건수의 초기 사건은 근로자의 건설 현장 출근으로 설정하고, 안전 요소는 근로자가 건설 현장에서 작업을 수행하는 과정에서 수행 가능한 10가지 불안정한 행동으로 설정하였다. 안전 요소의 항목은 <Table 3>의 항목과 동일하며 순서는 안전 교육 미이수(A), 위험 장소 접근(B), 기계 및 장비 활용(C), 무자격자의 작업 수행(D), 개인보호구 미착용(E), 안전 기능 제거(F), 불안정한 작업 수행(G), 근로자의 단순 실수(H), 음주 후 작업 수행(I), 안전 수칙 및 작업 절차 미준수(J)이다. 안전 요소의 성공 확률은 <Table 5>의 A.P.를 활용하였다. 안전 요소의 실패 확률은 식 (1)과 같다. 예를 들어, 안전 요소 A의 성공 확률이 66.32%라면 실패 확률은 33.68%이다.

4.2 사건수 작성

불안정한 행동의 수행 여부에 따른 모든 경우의 F.P.를 확인하여 불안정한 행동의 I.E.를 산출하기 위해 사건수의 유형 중 모든 안전 요소가 성공과 실패로 이진 분기되는 NETA로 사건수를 작성하였다.

10개의 안전 요소의 성공 또는 실패 조합에 따라 총 1,024(2^{10})개의 경로를 작성하였으며 각 경로의 안전 요소에 해당하는 성공 확률과 실패 확률을 곱하여 F.P.를 산출하고, 모든 경로의 F.P.를 비교하여 경로별 F.P.의 순위를 도출하였다.

4.3 사건수 분석

불안정한 행동 조합에 따라 도출된 1,024개의 경로 중, F.P.가 3% 이상인 경로의 F.P. 및 F.P.의 순위는 <Table 6>과 같다. F.P.가 3% 이상인 경로를 RETA를 활용하여 <Fig. 5>

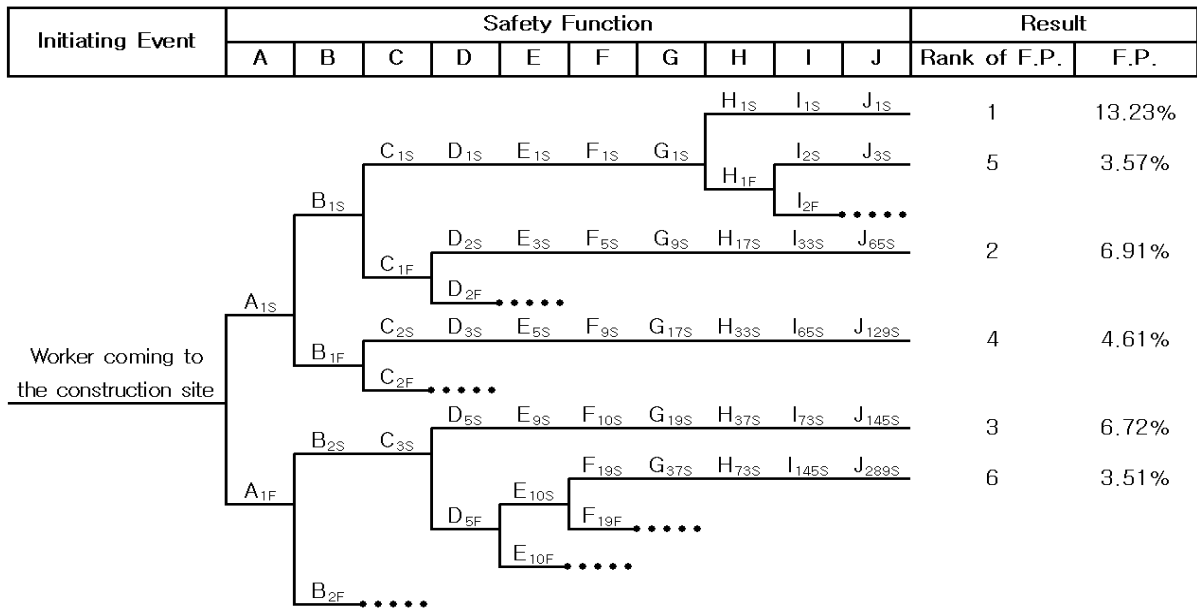


Fig. 5. Event Tree of Fall Accidents by Unsafe Acts (when A.P. is over 3%)

와 같이 표현하였다. 이때, A는 안전 요소에 해당하는 경우 즉, 근로자가 수행한 불안정한 행동을 의미하고, \bar{A} 는 안전 요소에 해당하지 않는 경우 즉, 근로자가 수행하지 않은 불안정한 행동을 의미한다.

예를 들어, 불안정한 행동의 조합에 따른 1,024개의 사고 경로 중, F.P.가 가장 큰 경로인 $ABCDEF\bar{G}H\bar{I}J$ (Case 1)는 10개의 안전 요소가 모두 해당하는 경우 즉, 근로자가 모든 불안정한 행동을 수행한 경우를 의미한다. 해당 경로의 F.P.는 모든 안전 요소의 성공 확률을 곱한 값을 소수점 아래 세 번째 자리에서 반올림한 13.23%이다(식 (2)).

마찬가지로, F.P.가 두 번째로 큰 경로인 $ABCDEF\bar{G}H\bar{I}J$ (Case 129)는 C를 제외한 9가지 안전 요소가 모두 해당하는 경우 즉, 근로자가 기계 및 장비를 활용하지 않고 다른 불안정한 행동을 모두 수행하는 경우를 의미한다. 해당 경로의 F.P.는 식 (2)에서 C 안전 요소의 성공 확률(65.70%)만 실패 확률(34.30%)로 바꾸어 곱한 값을 소수점 아래 세 번째 자리에서 반올림한 6.91%이다(식 (3)). 이는 Case 1의 F.P.와 약 2배 차이가 존재한다.

마지막으로, 경로 $\bar{A}BCDEF\bar{G}H\bar{I}J$ (Case 1024)는 10개의 안전 요소가 모두 해당하지 않는 경우 즉, 근로자가 모든 불안정한 행동을 수행하지 않은 경우를 의미한다. 해당 경로의 F.P.는 모든 안전 요소의 실패 확률을 곱한 값인 $4.57832078786786 \times 10^{-9}$ %이다(식 (4)). 이는 F.P.가 가장 큰 경로 (Case 1)와 약 13배 차이가 존재하며, 불안정한 행동을 수행하지 않는다면 사고가 거의 발생하지 않는다는 것을 의미한다.

$$F.P. \text{ of Case 1} = 66.32 \times 74.17 \times 65.70 \times 88.31 \times 85.42 \times 85.76 \times 90.07 \times 78.82 \times 95.41 \times 93.45 = 13.23\% \quad (2)$$

$$F.P. \text{ of Case 129} = 66.32 \times 74.17 \times 34.30 \times 88.31 \times 85.42 \times 85.76 \times 90.07 \times 78.82 \times 95.41 \times 93.45 = 6.91\% \quad (3)$$

$$F.P. \text{ of Case 1024} = 33.68 \times 25.83 \times 34.30 \times 11.69 \times 14.58 \times 24.24 \times 9.93 \times 21.18 \times 4.59 \times 6.55 = 4.58 \times 10^{-9}\% \quad (4)$$

Table 6. Rank of F.P (when A.P. is over 3%)

Rank of F.P.	Path	Case Number	F.P.
1	$ABCDEF\bar{G}H\bar{I}J$	1	13.23%
2	$ABCDEF\bar{G}H\bar{I}J$	129	6.91%
3	$\bar{A}BCDEF\bar{G}H\bar{I}J$	513	6.72%
4	$\bar{A}BCDEF\bar{G}H\bar{I}J$	257	4.61%
5	$ABCDEF\bar{G}H\bar{I}J$	5	3.57%
6	$\bar{A}BCDEF\bar{G}H\bar{I}J$	641	3.51%

사건수 분석을 통하여, 성공 확률이 높은 안전 요소로 조합된 경로일수록 F.P.가 높은 것을 확인하였다. 또한 F.P.는 불안정한 행동의 성공 또는 실패 확률의 곱으로 산출하므로, 불안정한 행동을 수행할수록 F.P.가 높아진다.

4.4 불안정한 행동 개선 효과

I.E.는 불안정한 행동을 개선하기 전과 후의 F.P.의 차이라고 정의하였다. 사건수의 경로 중, F.P.가 13.23%로 가장 높은 경로($ABCDEF\bar{G}H\bar{I}J$)를 기준으로 불안정한 행동을 하나씩 개선한 경로와 F.P.를 비교하여 I.E.를 확인하였다. 개선 효과를 산출하는 식은 식 (5)와 같다.

$$I.E. = (F.P. \text{ Before Safety Function Improvement}) - (F.P. \text{ After Safety Function Improvement}) \quad (5)$$

예를 들면, 안전 요소 A(안전 교육 미이수)를 개선할 경우의 F.P.는 6.72%이다. 개선 전의 F.P.는 13.23%이고, 개선 후의 F.P.는 6.72%이므로 I.E.는 식 (6)에 따라, 6.51%로 산출된다. 이는 안전교육을 이수하지 않은 채 건설 현장에서 작업을 수행하던 근로자가 안전교육을 이수할 경우, F.P.가 이 수하기 전보다 6.51% 감소하는 것을 의미한다. 즉, I.E.가 클 수록 불안정한 행동을 개선하기 전보다 F.P.가 감소한다는 의미이다.

$$I.E. \text{ of Safety Function A} = 13.23 - 6.72 = 6.51 \quad (6)$$

I.E.가 가장 큰 불안정한 행동은 I. 음주 후 작업 수행을 개선한 경우(ABCDEF \bar{G} H \bar{I} J)로, 해당 경로의 F.P.는 0.64%이며 I.E.는 12.60%로 나타났다. 두 번째로 I.E.가 큰 불안정한 행동은 J. 안전 수칙 및 작업 절차 미준수를 개선한 경우(ABCDEF \bar{G} H \bar{I} J)로, 해당 경로의 F.P.는 0.93%이며 I.E.는 12.31%로 나타났다. 반면, I.E.가 가장 작은 불안정한 행동은 C. 기계 및 장비 활용을 개선한 경우(ABCDEF \bar{G} H \bar{I} J)로, 해당 경로의 F.P.는 6.91%이며 I.E.는 6.33%로 나타났다. 불안정한 행동별 I.E.는 <Table 7>과 같다.

I.E.는 최소 6.33%부터 최대 12.60%까지 분포하여 모든 불안정한 행동은 개선하면 F.P.가 감소하는 것을 알 수 있다.

Table 7. I.E. of unsafe acts

Item	Improved unsafe acts	F.P. (%)	I.E. (%)
A	No safety training	6.72	6.51
B	Access dangerous place	4.61	8.63
C	Use of machinery and equipment	6.91	6.33
D	Working performed by unauthorized persons	1.75	11.48
E	Failure to wear personal protective equipment	2.26	10.97
F	Removal of safety features	2.20	11.04
G	Performing unsafe work	1.46	11.77
H	Simple worker mistake	3.56	9.56
I	Working after drinking	0.64	12.60
J	Failure to follow safety instructions and work procedures	0.93	12.31

F.P.가 가장 높은 경로의 안전 요소별 I.E.를 비교한 결과, I, J, G, D, F, E, H, B, A, C 순서로 I.E.가 컸다. 그러나 B. 위험 장소 접근과 C. 기계 및 장비 활용의 경우 작업 수행을 위한 행동이므로 실제 건설 현장에서의 개선이 어려울 것으로 예상된다. 또한 I. 음주 후 작업의 경우 음주 측정기를 비치

하여 음주자의 출입을 통제하고 있는 일부 건설 현장에서는 실제 개선 효과는 낮을 것으로 예상된다. 따라서 실제 건설 현장에서 사고 방지를 위해 불안정한 행동의 개선 순위 도출 시, I.E.가 큰 순서대로 개선 순위를 도출하되, 실제 현장에서의 개선 가능 여부를 고려하여야 한다.

I.E.를 비교한 결과, 안전 요소의 성공 확률의 크기순서와 I.E.의 크기순서가 동일한 것을 확인하였다. 이는 F.P.가 해당 경로에 존재하는 모든 안전 요소의 성공 또는 실패 확률을 곱하여 산출했기 때문이다.

5. 결론

이 연구는 불안정한 행동과 떨어짐 사고의 관계를 확률로 제시하고 불안정한 행동의 개선 효과를 산출하는 것을 목적으로 수행되었다. 연구의 범위는 건설 현장에서 근로자의 불안정한 행동으로 인한 떨어짐 사고로 한정하였다. 불안정한 행동과 떨어짐 사고의 관계를 확률적으로 접근하여 제시하기 위하여, KOSHA와 고용노동부의 2014-2019년 건설업 재해사례의 떨어짐 사고를 분석하여 10가지 근로자의 불안정한 행동을 도출하였다. 건설업 종사자를 대상으로 설문조사를 수행하여 불안정한 행동으로 인한 떨어짐 사고의 발생 확률을 산출했다. 그리고 초기 사건은 근로자의 건설 현장 출근, 안전 요소는 도출된 10가지 불안정한 행동으로 하는 사건수를 작성했다. 마지막으로, 최종 사고 확률이 가장 높은 경로를 기준으로 안전 요소를 하나씩 개선하여 불안정한 행동의 개선 전과 후의 사고 확률의 차이인 개선 효과를 산출했다. 주요한 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 불안정한 행동별 A.P.는 음주 후 작업 수행이 95.41%로 가장 높고, 장비 및 기계 활용이 65.70%로 가장 낮았다. 불안정한 행동으로 인한 F.P.의 범위는 65.70 ~ 95.41%이다. 건설 현장에서 근로자의 모든 불안정한 행동은 사고 발생에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

둘째, 불안정한 행동의 조합에 따른 F.P.는 모든 불안정한 행동을 수행한 경우가 13.23%로 가장 높고, 모든 불안정한 행동을 수행하지 않은 경우가 $4.57832078786786 \times 10^{-9}$ %로 가장 낮았다. 불안정한 행동을 수행할수록 F.P.가 높아지며, 특히 A.P.가 높은 불안정한 행동의 조합일수록 F.P.가 높다는 것을 알 수 있었다.

셋째, F.P.가 가장 높은 불안정한 행동의 조합을 기준으로 불안정한 행동별 I.E.를 산출한 결과, I.E.의 범위는 6.33 ~ 12.60%이다. 또한 I.E.가 클수록 F.P.가 감소하므로, I.E.가 큰 순서대로 불안정한 행동을 개선하면 F.P.가 감소할 것으로 생각된다. I.E.는 음주 후 작업 수행, 안전 수칙 및 작업 절차 미준수, 불안정한 작업 수행, 무자격자의 작업 수행, 안전 기

능 제거, 개인보호구 미착용, 근로자의 단순 실수, 위험 장소 접근, 안전 교육 미이수, 기계 및 장비 활용 순서로 켜다. 또한 불안정한 행동별 I.E.의 크기 순서는 불안정한 행동으로 인한 A.P.의 크기순서와 동일하다. 그러므로 I.E.를 크게 하기 위해서는 A.P.가 큰 불안정한 행동을 우선 개선하면 된다. 그러나 실제 건설 현장에서 B. 위험 장소 접근과 C. 기계 및 장비 활용의 경우 작업 수행을 위한 행동이므로 개선이 어려울 것으로 예상된다. 또한 I. 음주 후 작업의 경우 음주 측정기를 비치하여 음주자의 출입을 통제하고 있는 일부 건설 현장에서는 실제 개선 효과가 크지 않을 것으로 예상된다. 따라서 실제 건설 현장에서 떨어짐 사고 방지를 위해 불안정한 행동의 개선 순위를 결정할 때, 개선 효과뿐만 아니라 실제 개선 가능 여부를 고려해야 한다.

이 연구는 건설업 종사자가 생각하는 불안정한 행동의 상대적인 중요도를 밝힌 것에 의의가 있으며, 불안정한 행동의 개선 효과를 산출하여 사고 예방을 위한 불안정한 행동의 우선 개선 순위 및 개선 대책 제시를 위한 기초 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

건설 현장에서 근로자가 수행할 수 있는 불안정한 행동 중 반영하지 못한 불안정한 행동이 존재할 수 있다는 한계가 있다. 불안정한 행동의 주체가 재해자인 경우만 고려하여, 타인(관리자 또는 다른 근로자)의 불안정한 행동으로 인한 사고의 경우, 떨어짐 사고 확률이 달라질 수 있다. 또한 사고는 복합적 요인에 의해 발생하므로 불안정한 행동을 수행하지 않더라도 떨어짐 사고가 발생 가능하다. 그러므로 실제 떨어짐 사고 확률과 차이가 존재할 수 있다. 그리고 음주 측정기를 비치하여 음주자의 출입을 통제하는 현장의 경우 '음주 후 작업'의 개선 효과가 다른 불안정한 행동 항목보다 낮을 수 있다.

자신의 불안정한 행동으로 인한 사고 발생 확률뿐 아니라 타인의 불안정한 행동이 사고에 미치는 영향을 조사하여 사고 발생 확률에 반영할 경우, 불안정한 행동으로 인한 떨어짐 사고 확률이 더 정확해질 것이다. 또한 불안정한 행동과 사고의 관계에 대한 연구를 진척시킬 수 있을 것이다.

향후 사고의 발생 형태 확장 및 사망 확률과 연계 시, 불안정한 행동으로 인한 모든 형태의 사고 발생 확률 산출이 가능하며, 불안정한 행동으로 인한 사망 확률 산출 및 예측이 가능할 것으로 예상된다. 또한 불안정한 상태와 연계하면 직접 원인으로 인한 사고 발생 확률 산출이 가능할 것이다.

감사의 글

이 연구는 2019년도 인천대학교 교내학술연구비 지원에 의한 연구결과의 일부임.

References

- An Analysis of Industrial Accident Status, Ministry of Employment and Labor, 2014~2019.
- Andrews, J.D., and Dunnett, S.J. (2000). "Event-tree analysis using binary decision diagrams." *IEEE Transactions on Reliability*, 49(2), pp. 230-238.
- Andrews, J.D., and Moss, T.R. (1993). Reliability and risk assessment, Longman scientific and technical, London, pp. 1-368.
- Ang, A.H-S., and Tang, W.H. (1984). Probability Concepts in Engineering Planning and Design: 1st ed, John Wiley and Sons, NewYork, pp. 498-504.
- Beim, G.K., and Hobbs, B.F. (1997). "Event tree analysis of lock closure risks." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 123(3), pp. 169-178.
- Cho, H.N., Lim, J.K., and Kim, K.S. (1997). "Probabilistic Risk Assessment for Construction Projects." *Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 10(2), pp. 24-34.
- Choi, J.H., and Ryu, H.G. (2019). "Analysis of Occupational Injury and Feature Importance of Fall Accidents on the Construction Sites using Adaboost." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, JAIK_SC, 35(11), pp. 155-162.
- Guidelines for Industrial Accident Records and Classification, KOSHA (2016).
- Guidlines for the Survey of Industrial Accident Test, Ministry of Labor & STATISTICS KOREA (2010).
- Han, I.H., Yang, G.N., Cho, H.G., Jung, G.H., Kim, G.H., and Shin, Y.S. (2014). "The Analysis on the Unsafe Acts of Laborers at Domestic Construction Sites." *Journal of the Korean Society of Safety*, KOSOS, 29(4), pp. 132-139.
- Heinrich, H.W. (1931). Industrial accident prevention - a scientific approach; 1st ed, Mcgraw Hill, NewYork, pp. 1-357.
- Hong, E.S., Kong, J.S., Shin, H.S., and Lee, I.M. (2007). "A Case Study for Probabilistic Risk Evaluation based on Event Tree Analysis Technique for the Design of Shield TBM." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, 27(2C), pp. 139-147.
- Hong, E.S., Lee, I.M., Kim, D.H., and Kim, Y.I. (2003). "Risk Analysis in Shield Tunnelling using Event Tree Analysis Technique." *Proceedings of the 2003 KSCE Conference*, Daegu, KOREA.
- Industrial Accident Analysis, KOSHA (2014-2019).
- Industrial Accident Analysis, MOEL (2014-2019).
- Jang, J.Y., Yang, W.J., and Yi, W.H. (2018). "Preventive Measures Due To Accident Analysis Of Tower Cranes." *Proceedings of the 2018 KOSHAM Conference*, Seoul,

- KOREA.
- Jeon, E.M., Choi, J.H., and Hong, W.H. (2010). "Probabilistic Evacuation Safety Assessment of High-rise Building through Event Tree Analysis." *Proceedings of the 2010 AIK Conference*, Daejeon, KOREA.
- Jeong, I.S. (2017). "Analysis of the Relationship between Workers' Ego-state, safe and unsafe Behaviors, and industrial Accident." MS thesis, Busna Digital Univ., Busan.
- Jo, S.S. (2016). "A Study on the Pattern Classification of Event Tree Analysis for Marine Accident Assessment." MS thesis, Mokpo National Maritime Univ., Mokpo.
- Jung, J.H. (2010). "The Effect of individual characteristics and organizational characteristics on safety-unsafety behavior." MS thesis, Catholic Univ., Seoul.
- Kenarangui, R. (1991). "Event-Tree Analysis by Fuzzy Probability." *IEEE Transactions on Reliability*, 40(1), pp. 120-124.
- Kim, D.S., and Shin, Y.S. (2019). "A Study on the Risk Factors according to the Frequency of Falling Accidents in Construction Site." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, JKIBC, 19(2), pp. 185-192.
- Kim, E.J. (2018). "A Method for Preventing Falling Accident in Small and Medium-sized Construction Companies." *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 20(6), pp. 25-32.
- Kim, E.J. (2018). "Analysis on the Factors of Construction Disaster Applying the AHP." *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 20(1), pp. 197-204.
- Kim, H.J., and Paik, S.W. (2010). "A Study on the Cause Analysis of Fall Accidents at Temporary Construction Sites." *Journal of the Korean Society of Safety*, KOSOS, 25(1), pp. 62-64.
- Kim, J.W., Lee, H.S., Park, M.S., and Kwon, N.H. (2017). "A System Dynamics Approach for Modeling Cognitive Process of Construction Workers' Unsafe Behaviors." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 18(2), pp. 38-48.
- Kim, K.S. (2018). "Influencing Factors of Sensibility Factor and Self-Esteem on Safe and Unsafe Behaviors." MS thesis, Kyonggi Univ., Kyonggi.
- Korea Expressway Corporation Research institute. (2017) A Development of Risk Management System for Safety Management During Tunnel Construction Stage, Research Report, 2017-12.
- Lee, S.M. (2019). "Correlation between Construction Workers' Lifestyles and Safe or Unsafe Behaviors." MS thesis, Kyonggi Univ., Kyonggi.
- Lim, H.L., Lee, Y.D., Kim, J.H., and Kim, J.J. (2010). "A Study on Safety Management and Improve Method through Analysis of Disaster Cases in Construction." *Proceedings of 2010 KIC Conference*, Daejeon, KOREA.
- Lim, H.W., Park, M.S., and Lee, H.S. (2016). "Identification and Analysis of Unsafe Behavior Incurring Factors of Workers by Each Project Scale of Construction Site." *Proceedings of the 2016 AIK Conference*, Seoul, KOREA.
- Management Guidelines for Event Tree Analysis, KOSHA, 2012.
- McSween, T.E. (2003). *Values-Based Safety Process - Improving Your Safety Culture With Behavior - Based Safety*; 2nd ed, Jon Wiley and Sons, NewYork, pp. 1-304.
- Min, K.H., Cha, Y.W., Han, S.W., and Hyun, C.T. (2019). "An Analysis of Relationship between Unsafe Acts and Human Errors of Workers for Construction Accident Prevention." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, JAIC-SC, 35(5), pp. 161-168.
- Nunnally, J.C. (1978). *Psychometric theory*; 2nd ed. McGraw-Hill, New York, pp. 1-701.
- Park, S.B. (2015). "A Study on the Key Factors to Prevent Unsafe Behavior of Construction Workers." MS Thesis, Seoul National University of Science and Technology, Seoul.
- Ryu, S.U., and Heo, D.G. (2009). "A Study on Evaluating Background Factors of the Unsafe Behavior using AHP." *Proceedings of the Safety Management and Science Conference*, Yongin, KOREA.
- Seo, H.Y. (2010). "The Effect of Personality Characteristics and Job Characteristics on Safety-unsafety behavior." MS thesis, Catholic Univ., Seoul.
- Shin, D.W., Yang, G.N., Han, I.H., Jung, G.H., Shin, Y.S., and Kim, G.H. (2014). "Analysis on Unsafe Act of Foreign Construction Laborers." *Proceedings of the 2014 KIC Conference*, Gyeonggi, KOREA.
- Shin, W.S., and Son, C.B. (2018). "An Analysis on the Accident Influence Factor and Severity of Construction General Workers." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, JAIC_SC, 34(3), pp. 69-76.
- Umh, G.S. (2011). "An analysis on fall accidents at the apartment construction site by making up questionnaires for employee." MS thesis, Hanyang Univ., Seoul.

요약 : 최근 건설구조물의 대형화, 고층화로 인해 고소작업이 증가하며 떨어짐 사고(이하 사고)가 증가하고 있다. 근로자의 불안정한 행동이 산업재해의 주요 원인으로 밝혀지며, 불안정한 행동 예측 및 관리의 필요성이 제기되었다. 이 연구는 건설 현장에서 근로자의 불안정한 행동과 사고의 관계를 확률로 제시하여 불안정한 행동의 개선 효과를 산출하는 것을 목적으로 수행되었다. 재해사례를 분석하여 근로자의 불안정한 행동을 도출하고, 설문조사를 통하여 불안정한 행동으로 인한 사고의 발생 확률(이하 사고 확률)을 산출하였다. 사건수 분석 기법(Event Tree Analysis: ETA)을 활용하여 불안정한 행동의 조합에 따른 최종 사고 확률과 개선 효과를 확인하였다. 불안정한 행동별 사고 확률은 음주 후 작업 수행(95.41%)이 가장 높았고, 장비 및 기계 활용(65.70%)이 가장 낮았다. 불안정한 행동의 조합에 따른 사고 확률은 불안정한 행동을 모두 수행한 경우(13.23%)가 가장 높았고, 불안정한 행동을 수행하지 않은 경우(0.00%)가 가장 낮았다.

키워드 : ETA, 불안정한 행동, 떨어짐 사고, 불안정한 행동과 사고의 관계
