

# 건설공사의 추락재해예방을 위한 설계안전기법의 효과성 분석

김 경 환\* · 정 기 효\*

\*울산대학교 산업경영공학과

## Effectiveness of Fatal Fall Accident Prevention through Design for Safety in Construction Industry

Kyunghwan Kim\* · Kihyo Jung\*

\*Department of Industrial Engineering, University of Ulsan

### Abstract

Construction industry is considered as one of the most high-risk industries for work-related injuries and fatalities, accounting for more than half of fatalities in Korea. Advanced countries have recognized the critical role of designers in preventing construction accidents and have established regulations on design for safety. In line with this, the Korean government have also implemented regulations that require owners and designers to review the safety of design outcomes. However, it has been observed that designers face challenges in identifying hazards and integrating design solutions at the design stage mainly due to their shortage of required knowledge and skills. This study aimed to examine design solutions that can be applied to prevent fall accidents in the construction industry, and to establish a relationship between these solutions and fatal fall accidents occurred over the past three years in Korea. This study also analyzed the relationships of four variables (construction type, cost, work type, and fall location) with design solutions. The results indicated that all four variables have significant relationships with design solutions, with fall location showing the strongest relationship. The design solutions and their relationships with fatal fall accidents identified in this study can be utilized in identifying hazard and integrating design solutions to ensure design for safety.

**Keywords :** Fall prevention, Design solution, Fall location, Construction type, Work type

### 1. 서론

건설업의 2022년 사고성 사망자는 341명(2022년 12월 기준)으로 산업현장에서 발생하는 전체 사망재해의 약 53%를 차지하며, 그중에서 절반 이상이 추락에 기인한다[1]. 한편, 건설업의 재해는 약 25.7%가 계획 및 설계단계 결함으로 인해 발생하는 것으로 보고되고 있다[2]. 이러한 사고 통계는 정해진 공사기간과 금액 내에서 다수의 인력을 집중적으로 투입해야 하는 노동집약적 건설업의 산업적 특성과 더불어 시공단계에서 시공사에만 집중되는 재해 예방 활동의 한계에 기인한 것으로 추정되고 있다.

건설프로젝트는 착공 이전인 초기 단계에 발주자와 설계자에 의해 공사비용, 품질, 공정 등에 관해 중요한 의사결정이 이뤄진다. 이러한 중요 결정이 시공단계의 현실을 고려하지 못한 상태에서 이루어지면, 시공단계에서 작업 시간 촉박 및 혼재작업 등을 유발하여 건설공사의 안전에 큰 영향을 미치게 된다. 그로 인해, 건설업 산업재해 예방을 위해서는 착공 후 시공단계에서 작업자를 보호하는 것보다 프로젝트 초기인 설계단계에서 위험요인을 제거하는 것이 더욱더 효과적이라는 견해가 지배적이다[3]. 이러한 배경에서 국토교통부는 건설기술진흥법을 2016년 개정하여 기존 시공사 중심이 아닌 발주자와 설계자에게 건설 안전에 대해 일정한 역할을 부여하는 설계안전성검토제도

†이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1A2C1003282)

†Corresponding Author : Kihyo Jung, School of Industrial Engineering, University of Ulsan, 93 Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan, E-mail: kjung@ulsan.ac.kr

Received May 01, 2023; Revision June 14, 2023; Accepted June 26, 2023

(Design for Safety, 이하 DfS)를 도입하여 시행하고 있다. 그러나 동 제도에 대한 준비 및 인식 부족, 전문역량 부족 등으로 아직까지 제대로 정착되지 못하고 있는 실정이다[4].

DfS가 효과적으로 정착되기 위해서는 우선 발주자가 설계발주단계에 전문역량을 가진 설계자를 선정하고, 설계자는 설계시행단계에 위험성평가를 통해 안전보건 문제를 조정한 후 그 결과를 설계도서에 반영해야 한다. 그리고 시공단계에서는 발주자와 설계자가 제시한 안전보건상의 조치사항들에 대해 시공자의 이행여부를 확인해야 한다. 하지만 발주자와 설계자는 DfS 필요성에 대해서는 공감하지만 이를 정확하게 수행하지 못하고 있으며, 그 이유는 설계자가 설계단계에 설계안전에 대한 전문역량 등이 부족하여 위험요인 파악 및 대책 수립·적용을 못 하기 때문으로 알려져 있다[5].

DfS 관련 연구는 크게 발주자의 역할, DfS 제도 개선, 그리고 DfS 지원시스템 개발로 분류된다[10]. 먼저, 발주자의 역할은 계획-설계-시공 등 건설공사 단계별로 전문가의 도움을 받아 DfS 진행 여건을 조성하고 그 결과를 설계도서에 반영시키며 시공단계에 시행되도록 하는 것이다. 따라서 실제적인 DfS 수행은 설계자에 의해서 진행되어야 하지만, 선행연구에서 지적된 것과 같이 DfS 업무수행 시 설계자의 인식부족과 설계도서 검토를 통해 실시하는 위험성평가 역량 문제로 인해 DfS가 효과적으로 정착되지 못하고 있다. 이러한 사유로 인해 기존 연구에서 DfS 제도 개선 및 DfS 지원시스템 개발 등 여건 조성의 필요성이 제기되었다. 이러한 제도 개선 및 지원시스템 개발의 효과성을 높이기 위해서는 설계도서를 통한 유해·위험요인 파악과 그에 대한 안전보건 대책으로 적용 가능한 설계안전방안에 대한 구체적인 가이드가 필요하다.

본 연구는 DfS 관련 지식과 경험이 부족한 설계자가 설계단계에 유해위험요인을 파악하고, 그에 대한 해결방안인 설계안전기법을 적용하는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해, 본 연구는 영국 등의 선진국에서 적용하고 있는 설계안전기법을 파악(2장)한 후 국내에 발생한 중대재해에 대해 파악된 설계안전기법 적용을 통한 재해 예방 가능성을 분석(3장과 4장)하였다. 본 연구의 설계안전기법의 적용 효과성 분석은 과거 3년간 국내 건설 현장에서 발생한 추락사망재해(680건)를 대상으로 하였다. 설계안전기법의 적용 효과 판단은 중대재해 사례별 추락재해가 발생한 특성(공사종류, 작업공종, 추락발생지점 등)을 파악한 후 설계안전기법의 적용 및 사고 예방 가능성을 검토함으로써 이루어졌다.

## 2. 국내외 DfS 제도 및 실태

### 2.1 국내 제도

설계안전성검토제도(DfS)는 2016년 5월 19일 건설기술진흥법 개정을 통해 국내에 도입되었으며, 설계단계에 위험성평가를 통해 유해위험요인(Hazard)을 사전에 발굴하여 위험성 제거·감소대책을 수립하고 이를 설계도서에 반영하는 위험성 관리 활동이다[6]. DfS 도입은 건설안전의 책임과 역할의 무게 중심이 시공사에서 발주자와 설계자로 넘어오는 계기를 마련했다고 볼 수 있다. 하지만, DfS가 공공발주공사가 대상이고 그 적용 시점이 실시설계 공정률 80% 단계인 점에서 실제로 설계변경 등에 반영하는 것이 어렵다[2]. 한편, 2020년에 산업안전보건법 전부 개정이 이루어지면서 DfS는 민간영역으로 확장되었고, 총공사금액 50억원 이상인 건설공사의 발주자에게 계획, 설계 및 시공단계에 산업재해 예방에 필요한 조치를 하도록 규정되었다. 이 제도에서는 설계자가 기본설계단계에 위험성평가를 실시하여 위험요인을 제거 및 감소하는 대책을 수립하도록 하고 있으나, 이를 실현할 수 있는 전문성 확보와 설계안전기법에 대한 구체적 가이드 제공이 아직 이루어지지 못하고 있다[7].

### 2.2 국외 제도

#### 2.2.1 영국 CDM(Construction Design & Management) 제도

영국은 1994년 CDM 제도를 도입한 후 6년간 공사발주량이 1.5배 증가하였지만 사망만인율이 40% 감소하였다[2]. CDM 제도는 건설업 재해감소를 위한 발주자의 역할을 강조하고 있으며, 건설공사 관계자 간의 정보공유 및 협조를 통해 설계 및 시공이 안전하게 관리되도록 규정하고 있다. CDM 제도는 2007년 개정되면서 안전보건에 관한 전문성을 갖춘 조정자(CDM Coordinator)를 두어 발주자와 공사 관계자 간 안전보건업무를 조정하도록 하고 있다[8]. CDM 조정자는 발주자를 보좌하여 설계단계에 설계자가 안전한 설계를 진행하도록 하고, 설계자·시공사 등 관계자들의 안전보건 역할조정 업무를 수행한다. 설계자의 안전보건 역량이 향상되는 등 CDM 제도가 어느 정도 정착됨에 따라 CDM 제도는 2015년 개정을 통해 발주자가 설계자 중 안전보건 역량을 갖춘 주설계자를 선임하여 설계안전을 진행하도록 하고 주시공자와 협업하도록 변경되었다[9]. CDM 제도는 건설프로젝트 초기인 설계 전 기획단계부터 설계안전을 적용하도록 하고 있다[2].

## 2.2.2 싱가포르 DfS 제도

싱가포르 DfS 제도는 건설프로젝트 기획단계에 발주자가 선정한 전문가(DfS Professional)를 기본설계부터 실시설계까지 참여시켜 설계안전성 검토 및 대안을 제시하도록 하고 있다. 설계검토과정은 DfS 가이드에 따라 3단계(가이드-1, 2, 3)로 진행된다. 가이드-1은 기획설계 단계에 자재, 구조 시스템 적정성 등을 검토한다. 가이드-2는 실시설계단계에 구체적인 시공공법에 따른 유해위험요인 도출 및 위험성 제거·감소를 위한 설계안(Design Solution)을 검토한다. 가이드-3은 실시설계에 반영할 수 없었던 잔존 위험요인을 시공단계에 관리하고 관련 정보를 기록한다[10]. 싱가포르에서는 DfS 전문가의 역량확보를 위해 별도의 교육과정을 운영하고 있다.

## 2.2.3 미국 DfS 제도

미국에서는 국립직업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health)과 관계기관이 PtD(Prevention through Design) 결의안(Initiative)을 발표하고 2007년부터 관련 워크숍을 정례적으로 실시하고 있다. 또한, 국립직업연구기관(National Occupational Research Agenda)은 건설업에 초점을 맞춘 CHPtD(Construction Hazard Prevention through Design)를 주요 10대 과제 중 하나로 선정하였다. 미국산업안전보건청(Occupational Safety & Health Administration, 이하 OSHA)이 주관하는 건설 원탁회의(Round table)에서는 DfS 작업그룹을 만들어 추진해 왔으나, 법적 책임 문제 등으로 인해 OSHA는 DfS 관련법을 직접적으로 다루지는 않고 있다[3].

## 2.3 국내 DfS 적용실태

DfS는 설계자가 설계단계에 설계도서 검토 후 시공법 등을 가정한 위험성평가 실시를 통해 유해위험요인을 파악하고, 허용기준을 초과한 위험요인에 대해 그 위험성을 제거 또는 감소시킬 수 있는 설계안을 수립하게 한다. 이러한 DfS가 효과적으로 작동하기 위해서는 설계자의 DfS 역량확보가 중요하다. 그러나 그간 시공사 중심으로 진행되어온 위험성평가에 대해 설계자는 익숙하지 않으며, 시공 경험 없이 설계도서만으로 유해위험요인을 도출하는 것은 쉽지 않다[11]. 설계사무소 직원의 DfS 인식에 관한 선행연구에 따르면, DfS의 필요성 등에 대한 설계자의 인식 수준이 낮으며, DfS 업무수행이 가능한 설계사무소가 거의 없는 것으로 파악되었다[5]. 따라서 DfS의 국내 정착을 위해서는 관련 전문지식과 경험을 갖춘 전문 인력을

확보하는 등 업무수행 기반을 마련하는 것이 필요하다.

국토교통부의 설계안전성 검토 업무 매뉴얼에 따르면, 설계자는 실시설계 공정율 80% 정도에 설계안전성검토 보고서를 작성하여 발주자에게 제출하도록 하고 있다. 이 시기는 시방서, 내역서 및 구조·수리계산서가 완료된 시점으로 설계단계 위험성평가를 통해 위험성 제거 또는 감소대책이 도출되더라도 설계안에 반영하기는 어렵다. 그리고 DfS를 통해 파악된 위험성을 제거하기 위한 설계변경 비용 및 설계 기간에 대한 보상방안이 마련되어 있지 않다[10].

마지막으로, 설계단계에 설계자 단독으로 위험성평가를 실시하여 현장 여건이 고려되지 않은 위험성 감소대책을 수립하게 되면 시공단계에서는 그에 대한 대응성이 떨어지게 된다. 따라서 DfS 진행 시 설계자, 시공자 및 건설사업관리기술자가 함께 참여하여 협업할 수 있는 프로세스를 갖추는 것이 필요하다[10].

## 3. 연구 방법

### 3.1 연구 대상 데이터

본 연구는 최근 3년간(2020~2022년) 건설 현장에서 발생한 추락사망재해(총 680건)를 대상으로 하였다. 연구 대상 추락사망재해에 대한 정보(예: 재해발생 원인, 공사종류, 공사금액, 작업공종, 추락발생지점)는 한국산업안전보건공단에서 재해조사를 통해 정리한 재해조사 요약자료로부터 취합되었다. 요약자료의 내용 중에서 명확한 이해가 어려운 재해 정보는 중대재해조사 보고서 열람을 통한 재해 정보 정제과정을 거쳤다.

### 3.2 추락재해와 설계안전기법의 연관성 분석 방법

본 연구는 4단계의 절차를 통해 추락사망재해와 이를 예방할 수 있는 설계안전기법을 분석하였다. 첫째, 본 연구는 설계안전기법 적용을 통해 효과적으로 추락사망재해를 예방할 수 있는 건설공사의 특성을 파악하기 위해 재해 발생 특성(공사종류, 작업공종, 공사금액, 추락발생지점)을 정의하였다. 공사종류와 작업공종은 OSHA 코딩표준을 참조하여 정의되었다[12]. 그리고 공사금액과 추락발생지점은 기존 연구 및 산업안전보건 관련 법령 등을 고려하여 분류되었다. 본 연구는 추락사망재해에 대한 정보를 토대로 재해 발생 분류별 재해 건수를 Table 3과 같이 파악하였다.

<Table 1> Design solutions applied in this study

Fall location	Fall event	Design solutions	Source
Roof	Falls from roof /Falls through thin roof	① Roof anchors	OSHA in the U.S.
		② Metal railing, wire-mesh, use of non fragile material around/on roof lights	
		③ Roof parapet on the edge of roof	
		④ Considering equipment' s location on the roof (4.5 m away from the edge)	
Steel structure	Falls from steel structure	⑤ Specifying holes in columns at 21 and 42 inches above each floor (wire-rope installing)	OSHA in the U.S
		⑥ Designing safety seats at column connections	
		⑦ Prefabrication (staircase framing with handrail, pipe-racks)	DBP (Design Best Practice) in the U.K.
		⑧ Pre-assembling of steel stair at the ground level	
Edge of floor	Falls from edge	⑨ Specifying guardrail system around edge of floor (e.g. cast-in socket)	OSHA in the U.S.
Ceiling structure	Falls through ceiling	⑩ Designing suitable ceiling structure considering the access of mobile elevating work platform (MEWP)	DBP in the U.K.
Others	Falls from ladders	⑪ Designing fixed ladders for accessing to roof or rooftop	OSHA in the U.S
	Falls from non-moving vehicles	⑫ Providing safe access for loading and unloading trucks	
	Falls from height	⑬ Pre-assembling each section of structure in a envelope at ground level	
	Falls from height while installing outdoor unit of air conditioner	⑭ Designing specific area for installing outdoor unit of air-conditioner on the ground level	Australia

둘째, 본 연구는 추락사망재해를 예방할 수 있는 설계안전기법을 파악하는 방법을 결정하였다. Michael Behm [12]은 재해를 예방하는 설계안전기법을 도출하는 방법으로 건설프로젝트의 설계와 연계된 물리적 특성 여부, 기존 제시·적용되고 있는 설계안전기법 유무, 마지막으로 새로 적용될 수 있는 설계안전기법 유무를 제시하였다. 본

연구는 Michael Behm이 제시한 3가지 방법 중에서 설계안전기법의 도출 명확성을 고려하여 두 번째 방법인 기존 제시·적용되고 있는 설계안전기법 유무를 기준으로 설계안전기법을 파악하였다.

셋째, Michael Behm의 두 번째 기준을 적용하여 본 연구는 영국과 미국에서 현재 적용되고 있는 설계안전기법을 추락 발생 지점을 기준으로 Table 1과 같이 조사하였다. 먼저, 영국과 미국에서 제시된 지붕·옥상 추락방지 설계방안, 철골구조물에서의 추락방지방안, 계단 또는 슬래브 단부에서의 추락방지방안 등 설계안전기법을 파악하였다. 그리고 난 후, 국내 건설 현장의 특성에 맞는 14개의 설계안전기법을 선정하였다.

<Table 2> Example of relation matrix between fatal fall accidents and design solutions

		Design solutions							
		Roof anchors	Use of non-fragile material around / on roof (lights)	Roof parapet	Designing fixed ladders for accessing to roof (top)	Specifying holes in steel columns at 21 and 42 inches	Prefabrication / pre-assembling on the ground	Designing suitable ceiling structure considering the access of MEWP	Specifying guardrail system (around edge of floor)
Location of fatal fall accidents	Falls from concrete roof / rooftop	●		●	●				
	Falls through roof lights		●						●
	Falls through slate roof		●						
	Falls from steel structure					●	●		
	Falls through ceiling							●	
	Falls from edge of stair						●		●

마지막으로, 추락사망재해(총 680건)와 파악된 설계안전기법 간의 연관성을 Table 2에 예시적으로 나타낸 것과 같은 매트릭스도를 활용하여 파악하였다. 본 연구는 추락사망재해를 추락 발생 지점을 기준으로 총 22가지(지붕, 채광창, 철구조물, 계단·슬래브 단부, 천장, 이동식사다

리 등)로 분류하였다. 그리고 난 후, 추락 발생 지점을 기준으로 해당 재해를 예방할 수 있는 연관 설계안전기법을 도출하였다. 예를 들면, 추락 발생 지점이 옥상(옥탑)인 경우 세 가지 설계안전기법(안전대 걸이 설비인 지붕 앵커 설치, 옥상 파라넷 설치, 고정 사다리 설치)이 연관되는 것으로 파악되었다.

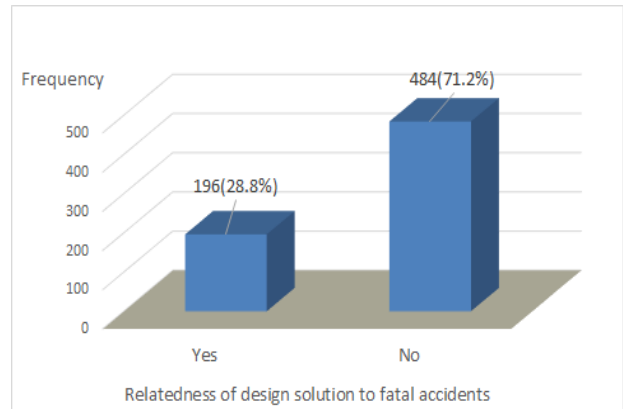
### 3.3 통계분석 방법

본 연구의 통계분석은 유의수준 5%를 적용한 SPSS 프로그램을 활용하여 이루어졌다. 본 연구의 독립변수는 재해 특성(공사종류, 작업공종, 공사금액, 추락발생지점)으로 설정되었으며, 종속변수는 설계안전기법 적용을 통해 예방할 수 있었던 재해의 빈도로 결정되었다. 본 연구는 종속변수(빈도)의 특성을 고려하여 교차분석에 해당하는 카이제곱(Chi Square) 분석을 사용하였다. 본 연구는 카이제곱 분석의 가정을 고려하여 출현 빈도가 5 미만인 경우는 제외하고 분석하였다. 한편, 본 연구는 독립변수와 종속변수 간의 연관성을 분석하기 위해 크래머 값(Cramer's Value)을 사용하였다. 본 연구에서 검정하고자 하는 가설은 (1) 공사 종류에 따라 설계안전기법의 추락사고사망 예방효과, (2) 작업 공종에 따라 설계안전기법의 추락사고사망 예방효과, (3) 공사 금액에 따라 설계안전기법의 추락사고사망 예방효과, (4) 추락발생지점에 따라 설계안전기법의 추락사고사망 예방효과이다.

## 4. 분석 결과

### 4.1 추락재해와 설계안전기법의 연관성

추락사고사망(680건)의 28.8%(196건)는 Figure 1과 같이 추락 관련 설계안전기법과 연관성이 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 국내 건설 현장의 실정을 고려하여 설계안전기법을 외국에서 적용되고 있는 것으로 한정하였다. 그런데도, 설계안전기법은 추락사고사망을 예방하는데 상당 부분 기여할 수 있는 것으로 분석되었다. 한편, 설계안전기법으로 예방이 어려웠던 추락사고는 비계, 거푸집동바리 등 가시설물과 크레인 등 양중장비에서 추락한 재해 등으로, 설계단계에서 세부적인 결정이 이뤄지지 않는 사항들이므로 나타났다.



[Figure 1] Relatedness of design solutions to fatal fall accidents

### 4.2 재해 발생 특성별 설계안전기법의 연관성

공사의 종류에 따라 설계안전기법을 적용해 예방할 수 있는 재해의 비율이 유의하게 차이가 나는 것으로 분석되었다( $\chi^2(16) = 87.0, p < 0.000$ ). Table 3과 같이 추락 재해로 인한 사고사망자는 유지보수(17.9%), 빌딩(12.5%), 공장·창고(9.4%), 주택(7.4%), 소규모 근린생활시설(7.2%) 순으로 높았다. 그중에서 유지보수(22.4%)와 공장·창고(14.3%)는 다른 공사 종류에 비해 설계안전기법과 연관성이 높은 것으로 나타났다.

공사금액에 따라 설계안전기법을 적용해 예방 가능한 재해의 비율이 유의하게 차이가 나는 것으로 나타났다( $\chi^2(6) = 35.4, p < 0.000$ ). Table 4와 같이 3억미만(45.9%), 3억~20억미만(21.0%), 20억~50억미만(11.9%) 순으로 재해빈도가 높은 것으로 분석되었으며, 20억미만 소규모 현장이 설계안전기법과 연관성이 높은 것으로 파악되었다.

작업 공종에 따라 설계안전기법으로 예방할 수 있는 재해의 비율이 유의하게 차이가 나는 것으로 파악되었다( $\chi^2(17) = 223.9, p < 0.000$ ). Table 5와 같이 도장·방수작업(13.1%), 지붕·판넬마감작업(10.9%), 콘크리트작업(8.4%), 철거·해체작업(7.9%), 철골작업(6.6%) 순으로 높은 재해빈도를 보였다. 한편, 설계안전기법과의 연관성은 철골작업(19.9%), 지붕·판넬마감작업(15.8%), 철거·해체작업(13.8%), 도장·방수작업(12.8%) 순으로 높게 나타났다.

추락발생지점에 따라 설계안전기법을 적용하여 예방할 수 있는 재해의 비율이 유의하게 차이가 나는 것으로 나타났다( $\chi^2(26) = 631.2, p < 0.000$ ). Table 6과 같이 추락사망자는 이동식사다리(8.2%), 단부·수직개구부(6.8%), 철골구조물(6.2%), 판넬 지붕(6.0%), 비계(5.7%), 지붕채광창(5.7%) 및 차량탑재형 고소작업대(5.7%) 순으로 높은 빈도를 보였다. 한편, 설계안전기법이 적용될 수 있는 추락발생지점의 빈도는 철골구조물(21.4%), 지붕채광창

(19.9%), 콘크리트 지붕/옥상/옥탑(15.8%), 슬레이트지붕(8.2%) 순으로 높게 나타났다.

<Table 3> Frequencies of fatal fall accidents preventable by design solutions for construction type

Construction type	Accidents		Preventable accidents by design solution	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
Sum	680	100.0	196	100.0
Maintenance	122	17.9	44	22.4
Building	85	12.5	11	5.6
Factory, storage	64	9.4	28	14.3
Housing	50	7.4	14	7.2
Small commercial building	49	7.2	15	7.7
Interior, Remodeling	42	6.2	10	5.1
Apartment	35	5.1	4	2.1
Demolition	30	4.4	11	5.6
Electricity, Communication	17	2.5	3	1.5
Cattle shed	17	2.5	11	5.6
Photovoltaic generating facilities	13	1.9	10	5.1
Warehouse	9	1.3	2	1.0
Elevator, Machinery	8	1.2	1	0.5
Religious facilities	8	1.2	1	0.5
School	8	1.2	-	-
Road, Bridge	7	1.0	-	-
Others	116	17.1	31	15.8

<Table 4> Frequencies of fatal fall accidents preventable by design solutions for construction cost

Construction cost (billion won)	Accidents		Preventable accidents by design solution	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
Sum	680	100.0	196	100.0
Under 0.3	312	45.9	109	55.6
0.3 - 2	143	21.0	46	23.5
2 - 5	81	11.9	23	11.7
5 - 12	46	6.8	10	5.1
12 - 80	61	9.0	5	2.6
80 - 150	17	2.5	1	0.5
150 over	20	2.9	2	1.0

<Table 5> Frequencies of fatal fall accidents preventable by design solutions for work type

Work type	Accidents		Preventable accidents by design solution	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
Sum	680	100.0	196	100.0
Painting, Waterproofing	89	13.1	25	12.8
Roofing, Panel-siding	74	10.9	31	15.8
Concrete work (Formwork, Reinforcing)	57	8.4	4	2.0
Wrecking and demolition work	54	7.9	27	13.8
Structural steel erection	45	6.6	39	19.9
Installation or dismantling of temporary facilities	42	6.2	2	1.0
Electric or Communication facility work	24	3.5	7	3.6
Glass or glazing work	23	3.4	2	1.0
Plastering, Insulation work	22	3.2	4	2.0
Other interior finishing work	21	3.1	4	2.0
Plumbing, heating, air-conditioning	19	2.8	5	2.6
Installing building equipment	17	2.5	3	1.6
Other exterior finishing work	11	1.6	1	0.5
Photovoltaic generating facility work	11	1.6	10	5.1
Stone or tile work	10	1.5	2	1.0
Cleaning work	10	1.5	4	2.0
Masonry	8	1.2	-	-
Others	143	21.0	26	13.3

<Table 6> Frequencies of fatal fall accidents preventable by design solutions for fall location

Fall location	Accidents		Preventable accidents by design solution	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
Sum	680	100.0	196	100.0
Movable ladder	56	8.2	4	2.0
Edge of floor	46	6.8	12	6.1
Steel structure	42	6.2	42	21.4
Panel roof	41	6.0	-	-
Steel pipe scaffold	39	5.7	-	-
Roof light	39	5.7	39	19.9
Aerial lift	39	5.7	2	1.0
Hanging scaffold by rope	36	5.3	-	-
Movable scaffold	32	4.7	-	-
Concrete roof, rooftop	31	4.6	31	15.8
Opening	21	3.1	-	-
Retaining wall, slope	19	2.8	-	-
Systemic scaffold	19	2.8	-	-
Crane, lift	19	2.8	-	-
Form shoring system	17	2.5	-	-
Slate roof	16	2.4	16	8.2
Ceiling structure	16	2.4	15	7.7
Edge of stair	12	1.8	12	6.1
Canopy	10	1.5	10	5.1
MEWP & Steel structure	7	1.0	7	3.6
Dumping bed of truck	6	0.9	6	3.1
Others	117	17.1	-	-

설계안전기법은 추락발생지점, 작업공종, 공사금액, 공사종류 순으로 높은 연관성이 있는 것으로 분석되었다. 추락발생지점은 설계안전기법과의 연관성(크래머 값)이 0.964으로 나타나 가장 높았다. 이렇게 높은 연관성은 추락발생지점에 따라 설계안전기법의 추락사고 예방효과가 유의미하게 큰 차이가 있다고 해석될 수 있다. 한편, 작업공종(0.547), 공사종류(0.358), 공사금액(0.228)은 설계안전기법과 연관성이 있었으나, 추락발생지점보다는 낮은 것으로 파악되었다.

## 5. 토의 및 결론

추락발생지점은 재해자가 추락하기 바로 직전에 있었던 지점으로 설계자가 설계도서 검토 시 추락재해를 예방하는 설계안전기법의 선택과 적용에 도움을 줄 수 있는 중요한 정보이다. 추락발생지점은 이동식사다리(8.2%), 단부·수직개구부(6.8%), 철골구조물(6.2%), 판넬 지붕(6.0%), 비계(5.7%), 지붕채광창(5.7%) 및 차량탑재형 고소작업대(5.7%) 순으로 높은 빈도를 보였다. 한편, 설계안전기법이 적용될 수 있는 추락발생지점의 빈도는 철골구조물(21.4%), 지붕채광창(19.9%), 콘크리트 지붕/옥상/옥탑(15.8%), 슬레이트지붕(8.2%) 순으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 John A. Gambatese가 지붕과 철골구조물이 설계안전 개념을 효과적으로 적용할 수 있는 영역이라고 기술한 것과 일치하는 결과로, 설계단계에 설계안전기법을 적용하면 지붕과 철골구조물에서 발생하는 추락사고사망 재해를 상당수 예방할 수 있음을 시사하고 있다.

설계안전기법이 적용 가능한 공사종류, 작업공종, 공사금액에 대한 정보는 건설현장의 추락재해 예방을 위한 정책 입안 시 유용하게 활용될 수 있다. 본 연구에서 파악된 설계안전기법이 적용될 수 있는 공사종류는 유지보수(22.4%), 공장·창고(14.3%), 소규모 근린생활시설(7.7%) 순으로 높게 나타났고, 작업공종은 철골작업(19.9%), 지붕·판넬작업(15.8%), 철거·해체작업(13.8%), 도장·방수작업(12.8%) 순으로 나타났다. 이러한 결과는 유지보수 공사현장의 지붕교체 및 옥상방수작업과 공장·창고 신축현장의 철골작업 중에 발생한 추락재해와 설계안전기법의 연관성이 높음을 시사하고 있다. 한편, 설계안전기법이 적용될 수 있는 공사금액은 3억원 미만(55.6%), 3억이상 20억미만(23.5%) 순으로 나타나, 20억원 미만 소규모 건설현장에 설계안전기법 적용이 절실한 것으로 파악되었다. 따라서, 소규모 건설현장의 재해예방을 위해 설계안전기법을 적용할 수 있는 정책 및 제도적인 장치 마련이 필요하다고 사료된다.

본 연구를 통해 파악된 작업공종 및 추락발생지점과 설계안전기법의 연관성은 설계자가 설계도서를 검토할 때 추락재해 관련 설계안전성을 확보해야 할 위험영역을 확인하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 그리고 본 연구에서 파악한 미국과 영국에서 활용되고 있는 설계안전기법은 국내 건설 분야에 바로 적용하거나 이를 토대로 새로운 개선 방안을 도출할 때 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 본 연구의 결과는 설계자에게 DfS 관련 실제적인 정보를 제공할 수 있다는 점에서 의미가 있을 것으로 판단되며, 국내 실정에 적합한 설계안전기법의

연구·개발을 통해 적용 영역을 확대해 가는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 설계안전기법의 효과성을 통계적으로 검증하기 위해 추락재해로 한정하여 연구를 수행하였다. 따라서 건설현장의 재해 예방을 위해서는 보다 다양한 재해 유형에 대해 설계안전기법의 효과성을 밝히는 학술적 연구가 필요하다고 판단된다. 한편, 본 연구는 설계안전기법과 추락재해 간의 연관성을 명확히 파악하기 위해 Michael Behm이 제시한 3가지 연관성 분석 방법 중에서 기존 제시·적용되고 있는 설계안전기법 유무 기준만을 적용하였다. 그러나 본 연구 결과를 보다 일반화하기 위해서는 본 연구에 고려하지 못한 두 가지 기준(건설프로젝트의 설계와 연계된 물리적 특성 여부, 새로 적용될 수 있는 설계안전기법 유무)을 적용하는 후속 연구가 필요하다고 사료된다.

## 6. References

- [1] Ministry of Employment & Labor(2023), Status of industrial accidents in 2022.
- [2] S. J. Yeom, J. H. Kim, D. H. Lee(2020), "A study on the improvement of design for safety through the analysis of overseas cases." Journal of the Korea Institute of Construction Safety, 3(1):25-31.
- [3] T. M. Toole, J. Gambatese(2008), "The trajectories of prevention through design in construction." Journal of Safety Science, 46:675-691.
- [4] W. S. Shin, C. B. Son(2019), "An awareness analysis on the design for safety of construction project and its improvement measures." Journal of the Korea Institute of Building Construction, 19(4):351-359.
- [5] S. G. You, K. H. Lee, W. S. Shin, C. B. Son(2018), "A study on perception level of D.F.S in architecture design firm and solutions." Journal of the Korea Institute of Building Construction, 8(1):43-44.
- [6] S. L. Lee, S. W. Cho, D. E. Kim, J. Y. Yu, E. M. Lee(2019), "A study on the improvement of Design for Safety(DfS) system." Journal of the Korea Institute of Construction Safety, 2(2):70-75.
- [7] Ministry of Employment & Labor(2020), Guidance on the preparation of safety and health plan of construction work.
- [8] Health and Safety Executive of U.K.(2007), Construction design and management 2007 approved code of practice.
- [9] H. S. Ahn(2011), "Built-in mechanisms of client-initiative construction safety management in CDM." Journal of Architectural Institute of Korea-RA, 13(4):297-304.
- [10] S. E. Kim, J. M. Jeong, J. W. Jeong(2019), "Improvements of design for safety in Korea based on the comparative analysis with other countries." Journal of the Korean Society of Safety, 34(6):38-49.
- [11] K. H. Ji, B. J. Choi(2017), "A study on safety improvement of domestic construction industry subject to design for safety review." Journal of Korea Safety Management & Science, 19(4):63-76.
- [12] Occupational Safety & Health Administration in the U.S.(1987), Standard Industrial Classification(SIC) manual.
- [13] M. Behm(2005), "Linking construction fatalities to the design for construction safety concept." Journal of Safety Science, 43:589-611.

## 저자 소개



### 김 경 환

현재 울산대학교 대학원 산업경영공학부 박사 과정 중.  
관심분야 : 건설안전, 사고분석, 안전보건경영 시스템



### 정 기 효

포항공과대학교 산업경영공학과 박사 취득.  
현재 울산대학교 산업경영공학부 교수 재직 중.  
관심분야 : 인간공학, 산업안전보건, 데이터 분석