

# 화재위험도 평가 Tool에 의한 물류창고 공사장 적용성 검증에 관한 연구

## Study on Verification of Applicability for a Warehouse Construction Site using a Fire Risk Assessment Tool

서용구<sup>1</sup> · 민세홍<sup>2\*</sup>YongGoo Seo<sup>1</sup>, SeHong Min<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Master Course, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University, Seongnam, Republic of Korea<sup>2</sup>Professor, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University, Seongnam, Republic of Korea

\*Corresponding author: SeHong Min, shmin@gachon.ac.kr

### ABSTRACT

**Purpose:** Fires that occur during construction are infrequent, but cause great damage. Recently, with the growth of the logistics and distribution industry, the number of construction sites for new logistics warehouses is increasing, so it was selected as a research subject and research was conducted to reduce accidents at construction sites through the development of a fire risk assessment tool to quantitatively approach fire prevention. **Method:** A comprehensive fire risk assessment tool was accumulated by classifying the work in progress, classifying combustibles and ignition sources by grade, excluding air (oxygen), which is difficult to control, and additionally substituting evacuation safety. **Result:** Using the developed and proposed fire risk evaluation tool, excavation work with low fire risk, facility construction with medium fire risk, and finishing work with high fire risk were sampled to derive the result (CGI). **Conclusion:** In this study, it was possible to establish specific preventive measures and evaluate evacuation safety by controlling physical conditions (combustibles) and energy conditions (ignition sources) according to the risk assessment by developing a tool that can evaluate the risk of 14 fire occurrence at construction sites. It is expected that in the future, through the application of the fire risk evaluation tool at construction sites, it will be provided as a criterion for establishing a process plan that can reduce risk and evaluating the adaptability of firefighting equipment. 14

**Keywords:** Fire Risk Assessment Tool, Logistics Warehouse Fire During Construction, 3 Elements of Combustion, Evacuation Safety

### 요약

**연구목적:** 공사 중에 발생하는 화재는 빈도는 적으나 그 피해가 크다. 최근 물류유통산업의 성장으로 신축하는 물류창고의 공사장이 증가하고 있어 연구대상으로 선정하고 화재예방을 정량적으로 접근하기 위해 화재위험도 평가 Tool의 개발을 통해 공사현장의 재난을 줄이고자 연구를 진행하였다. **연구방법:** 공정에서 진행되는 작업을 분류하여 연소의 3요소에서 제어가 어려운 공기(산소)를 제외한 가연물과 점화원을 등급별로 구분하고, 피난안전성을 추가로 대입하여 종합적인 화재위험평가 Tool을 객관적으로 정량화하여 정립하였다. **연구결과:** 개발하여 제시한 화재위험도 평가 Tool을 이용하여 화재위험도가 낮은 굴착공사와, 화재위험도가 중간정도인 설비공사, 화재위험도가 높은 마감공사를 샘플링하여 결과값(CGI)을 도출하였다. **결론:** 본 연구에서는 건설현장에서 화재발생 위험도를 평가할 수 있는 Tool의 개발로 위험도 평가에 따른 물적조건(가연물)과 에너지조건(점화원)을 제어하여 구체적인 예방대책의 수립과 피난안전성의 평가를 가능하게 하였다. 향후 건설현장의 화재위험도 평가 Tool의 적용을 통해 위험을 줄일 수 있는 공정의 계획 수립과 소방설비의 적용성을 평가하는 기준으로 제공되길 기대한다.

**핵심용어:** 화재위험도 평가 TOOL, 공사 중 물류창고 화재, 연소의 3요소, 피난안전성

Received | 23 August, 2023

Revised | 11 September, 2023

Accepted | 14 September, 2023

 OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

## 서론

국내 소방특정대상물은 건축물의 용도와 규모에 의하여 구분되며, 특정소방대상물에 포함되기 이전의 인허가 및 공사 중에는 특정소방대상물에 포함되지 않는다. 건축물이 새로이 준공되어 사용되기 전까지 일반적인 흐름을 보면, 건물주 또는 발주처의 계획에 의해 설계되고 설계된 도면 등의 자료로 해당기관의 인허가를 득하게 된다. 이렇게 허가된 도면은 실질적으로 공사가 시작되는 착공에 들어가고 공사가 시작되며, 일정공사기간을 거쳐 완성된다. 이렇게 공사가 완료된 건축물은 사용승인을 얻게 되고, 해당 건축물은 규정된 특정소방대상물로 분류되어 사용되며, 건물의 다른 시설과 함께 건물관계인에 의해 사용되고 있다.

재난의 발생은 완성된 건축물에서뿐만 아니라 구분이 명확하지 않은 준비단계에서부터 공사 중에도 발생할 수 있기 때문에 대상물을 규정하여 관리하기에도 제한적이다. 특히, 공사 중에 발생하는 화재의 경우 건축물의 준공이후에 발생하는 일반적인 화재와 비교하면 발생 빈도는 적으나 그 피해가 크다. 피해가 크게 발생하는 원인으로는 첫째 건축적요소(Passive)의 미완성으로 방화구획의 미비 및 피난경로의 잦은 변경과 확보가 어렵다. 둘째 소방시설(Active)의 부재로 공사기간 중에는 소방설비가 설치되어 있지 않아 화재발생의 감지와 화재상황전파 및 소화설비가 정상적으로 기능을 발휘할 수 없다. 셋째 공사기간을 계획할 때 경제성을 고려하여 산정되므로 각 공정간의 간섭으로 인한 화재발생 위험의 증가나, 준공을 임박하여 동시에 여러 공정들이 물리게 되어 위험요소가 커지게 된다. 공사에 가장 중점을 두게 되는 요인 중 하나인 공사금액의 결정은 적절한 공사기간 산정이 필요하게 되고 이러한 공사기간의 산정은 각 공정별로 작업에 소요되는 시간과 자재의 수급, 인원의 동원 등 여러 요소들을 고려하여 결정하게 된다.

본 연구에서는 다수의 공사현장 중에서 최근 시공이 많은 물류창고를 대상으로 공사 중 발생하는 화재의 원인을 화재발생 위험성평가 Tool을 이용하여 화재발생위험도를 정량화하고 이를 적용함으로써 화재발생위험을 정량적으로 대처할 수 있도록 제안하고자 한다.

## 공사 중 화재발생 현황

최근 5년간(2018~2022년) 발생한 공사장의 화재는 3,286건으로 Fig. 2와 같으며, 사망 55명, 부상자 268명으로 총 323명의 인명피해와 약 1,054억원의 재산피해가 발생하였다. 특히, Fig. 1과 같이 2008년 1월에 발생한 이천물류 냉동창고 신축공



(a) Busan Refrigeration Warehouse New Construction Fire ('98.10.29)

(b) Icheon Logistics Refrigeration Warehouse New Construction Fire ('08.01.07)

(c) Fire during construction of Icheon Logistics Center ('20.04.29)

Fig. 1. Fire cases of cold storage

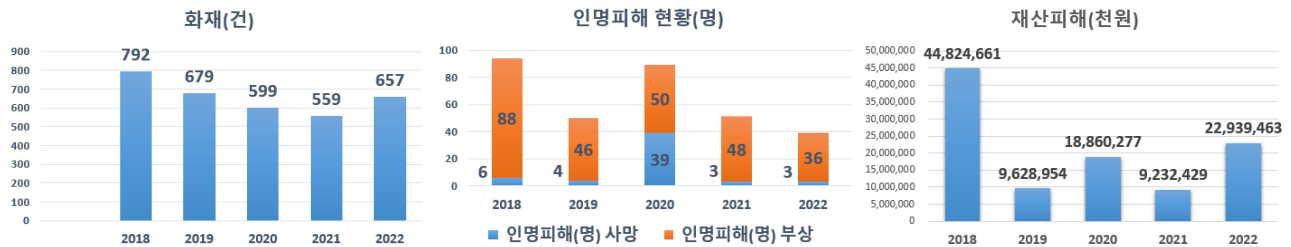
사장에서 발생한 화재는 사망 40명, 부상 10명의 피해가 발생하였으며, 2020년 4월에 발생한 이천물류창고 신축공사 중 화재는 사망 39명, 부상 50명으로 큰 인명피해가 발생한 화재로 기록되었다. 공사장에서 발생한 연도별 화재총괄현황은 Table 1과 같다.

**Table 1.** Construction site fire general status (2018~2022) (www.nfds.go.kr)

Division	Fire(case)	Casualties			Property damage (1,000won)
		Subtotal	Dead	Injury	
Total	3,286	323	55	268	105,485,784
2018	792	94	6	88	44,824,661
2019	679	50	4	46	9,628,954
2020	599	89	39	50	18,860,277
2021	559	51	3	48	9,232,429
2022	657	39	3	36	22,939,463

### 공사장화재 피해

최근 5년간 공사장에서 발생한 화재는 Fig. 2에서와 같이 총 3,286건으로 연평균 657건이 발생하였다. 화재로 인한 피해를 인명피해와 재산피해로 구분하면 Fig. 3에서와 같이 인명피해는 총 323명(사망 55명, 부상 268명)으로 조사되며, 이 중 2020년의 이천물류창고의 화재에서 발생한 피해(사망 39명, 부상 50명)가 가장 크다. 또한 Fig. 4와 같이 재산피해는 2018년에 약 440억으로 가장 크며, 2022년에 약 229억원, 2020년에 약 188억원으로 전체 피해는 약 1,054억원에 달한다.



**Fig. 2.** The number of fire(www.nfds.go.kr) **Fig. 3.** Damage of human life(www.nfds.go.kr) **Fig. 4.** Damage of property(www.nfds.go.kr)

### 공사장화재 원인별 화재 현황

화재발생을 원인별로 살펴보면 Fig. 5와 같이 용접·용단작업이 49%로 절반에 가까운 분포를 보이고 있으며, 다음으로 기타 25%, 전기적요인 11%, 담배꽂초 10%, 기기사용 및 설치부주의 3%, 기계적요인 2%의 순이다. 참고로 소방청에서 기기 사용 및 설치부주의 항목은 2020년부터 분류명이 생성되어 2020년 이후부터 분류되었다.

본 연구에서 화재발생위험성의 인자로 분류하고자 하는 가연물과 점화원의 기준으로 구분하면, 가연물의 경우 화재가 처음 발생하는 최초착화물로, 점화원의 경우 발화열원으로 분류하여 조사하였다.

### 공사장 최초착화물별 화재 현황

가연물은 화재가 발생시 처음으로 착화되는 최초착화물의 분류를 살펴보면 Fig. 6에서와 같이 합성수지류가 51%로 과반을 넘기고 있으며, 기타, 전기·전자, 종이·목재·건초 등이 각각 10%로 조사되었고 다음으로 쓰레기류 침구, 직물류, 미상 순이다.

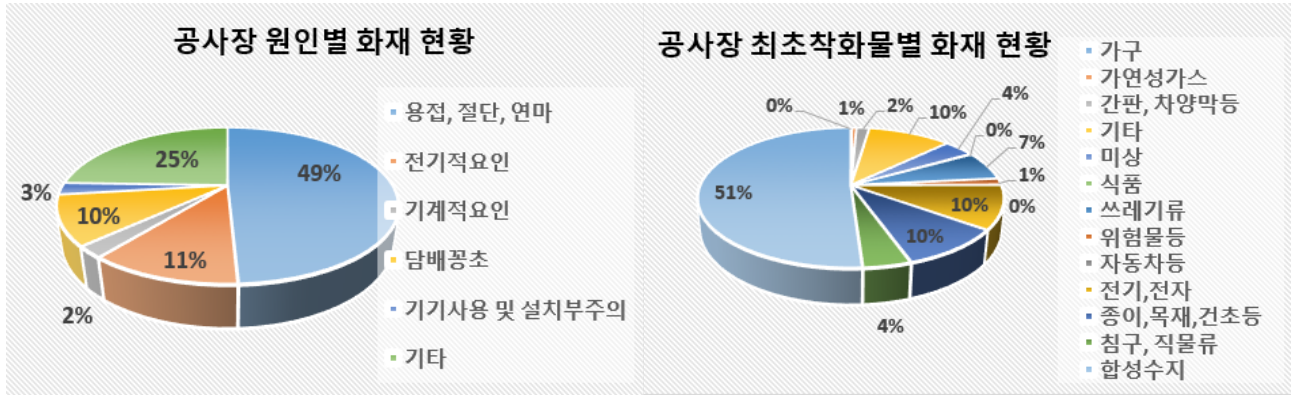


Fig. 5. Fire status by cause at construction sites(www.nfds.go.kr) Fig. 6. Fire status by first ignition cargo at the construction site(www.nfds.go.kr)

### 공사장 발화열원별 화재 현황

점화원으로 가장 많이 화재를 발생시키고 있는 원인은 불꽃과 불티로 54%로 절반을 넘기고 있으며 다음으로는 기기작동 중에 발생하는 열원이 22%로 조사되었고, 담뱃불·라이터불이 11%, 미상 7%, 마찰·전도·복사 4% 순으로 조사되었다. 위 조사와 같이 상기 3가지 원인이 전체의 87%에 달하고 있어 점화원으로써 대부분을 제공하고 있다.

발화 열원에 따른 화재특성을 살펴보면 담뱃불·라이터불과 불꽃·불티에 의한 화재는 주말에 발생빈도가 높고, 작동기기에 의해 발생하는 화재는 주말보다 평일에 발생빈도가 높게 조사되었다. 시간별 분석결과로는 오후 시간대가 가장 많고 그 다음으로는 오전, 저녁, 새벽 시간대 순이었다(Lee et al., 2022).

지하공간의 피난 시 고려요소를 살펴보면 인명구조나 화재진압활동에 어려움이 있으며, 불특정다수인이 이용하는 폐쇄적 이미지로 인해 적은 국소화재임에도 대형인명 피해가 가능하며, 화재 발생 시 연기가 급속도로 충전될 가능성이 높은 폐쇄공간이다(Bae et al., 2011). 화재발생 장소에 따라 특히 인명피해의 규모가 차이를 보이는데 밀폐된 공간에서 발생한 화재는 개방된 공간에서의 화재보다 연소생성물의 배출이 어렵고 열이 축적되는 특성으로 빠른 화재확산의 특징을 가지고 있다. 공사장 화재에서 지하공간 및 이와 유사한 밀폐공간은 피난 환경을 더욱 어렵게하여 인명피해가 크게 발생하였다.

### 공사장화재와 관련된 규정

공사장 화재에 관련된 규정은 주로 산업재해에 포함되어 있어 산업안전보건법에서 규정되고 있으며, 2018년 이후 공사장에도 임시소방시설을 설치하도록 화재안전기준이 재정되면서 소방법에서도 규정하게 되었다, 2022년제정된 주요내용 중에 기존의 공사장 안전관리자 외에 별도의 소방안전관리자를 선임하도록 하여 2023년부터 현장에 적용하고 있다.

### 국내 공사장 화재 예방을 위한 규정

첫 번째로 산업안전 보건법에서는 주로 용접과 용단 작업중 발생하는 불꽃이 주변 가연물에 착화되지 않도록 관리에 중점을 두어 가연물과의 이격거리를 통해 안전을 확보하거나 이격 거리를 확보하지 못할 경우 용접불꽃 비산방지포, 용접 방화포 등으로 착화를 방지하고 있으며 작업공간 주변에 소화기를 비치하여 화재 발생시 초기에 대응토록 하였다.

**Table 2.** Occupational safety and health standards rules(www.law.go.kr)

Division	Detail
Article 232	Prevention of explosion or fire
Article 236	A place where there is a risk of fire, etc.
Article 239	Prohibition of use of firearms in places with dangerous materials
Article 240	Welding of piping or containers containing oil, etc.
Article 241	Requirements for Fire Hazard Work
Article 241-2	fire watcher
Article 242	No use of fire
Article 243	fire extinguishing equipment
Article 244	arson measures
Article 245	Fire prevention in places where fire is used
Article 244	incinerator

산업안전보건법에서의 화재예방에 관한 관련조항들을 살펴보면 Table 2와 같다. 주요내용으로는 화기작업장에 소화기 비치와 화재감시자의 배치를 규정하고 있으며 위험물의 관리를 위한 예방조항이다.

두 번째로 소방기본법에서는 특수가연물을 규정하고 있다. 특수가연물의 경우 화재가 발생하면 화재확대가 급격하게 빠르고 소화작업이 매우 어려운 물질로 저장 및 취급에 대한 내용도 함께 규정하였다.

세 번째로 소방시설법(시행령 제18조제2항 및 제3항, 별표 8)에서는 공사장 규모에 따라 설치하는 임시소방시설에 대하여 규정하였다.

네 번째로 소방시설법(제20조 제1항 6호, 시행령 제24조 제1항)에서는 특정소방대상물의 관계인과 소방안전관리자는 화기 취급 작업에 대한 사전안전조치 및 감독 등의 공사 중 소방안전관리사항을 소방계획서에 포함하여 작성·관리하도록 규정하였으며, 위험물관리법(제5조 2항)에서는 지정수량 이상의 위험물을 저장장소가 아닌 장소에 임시로 저장하는 경우 임시 저장소의 위치구조 및 설비의 기준은 시·도의 조례로 정하도록 하였다.

다섯 번째로 화재예방 및 안전관리에 관한 법률에서는 준공 이후 특정소방대상물에 안전관리자를 선임하도록 한 기존규정에 더하여 2022년 12월 1일부터 공사장의 규모에 따라 공사 현장에도 소방안전관리자를 선임하도록 하여 강화하였다.

### 해외의 공사장 화재예방을 위한 규정(Korea Occupational Safety and Health Agency, 2022)

화재감시자 관련 해외규정을 살펴보면, 미국 산업안전보건청(OSHA)의 화재감시자규정(OSHA Standard 1910.252-General requirements)에서 화재감시(Fire watch)에 대하여 다음과 같이 규정하였다.

첫 번째로 화재감시자의 배치가 필요한 경우로 작업반경 35 ft(11 m) 이내에 구조자체나 내부에 상당한 가연성물질이 있을 경우, 많은 양의 가연성물질이 35 ft(11 m) 이상 떨어져 있지만 스파크에 의해 쉽게 발화될 수 있을 경우, 반경 35 ft(11 m) 이내에 위치한 벽, 바닥 개구부 또는 벽이나 바닥의 은폐된 공간으로 가연성 물질이 노출될 경우, 가연성 물질이 금속 칸막이, 벽, 천장 또는 지붕의 반대쪽 면에 인접해 있고 열전도나 복사에 의해 발화될 수 있을 경우로 하고 있다.

두 번째로 화재감시자의 역할 및 업무를 살펴보면 화재감시자는 소화장비를 즉시 이용할 수 있어야 하며, 이를 사용할 수 있게 훈련받도록 하고 있으며, 화재발생 시 경보발생시설에 익숙해야하고, 모든 지역에서 화재를 감시하고, 화재진압이 가능한 경우 소화를 실시하여야 하며, 소화하지 못할 경우 경보를 작동하여야 한다. 화재 감시는 용접 또는 용단작업이 완료된 후 적어도 30분 이상까지 현장을 확인하도록 하고 있다.

세 번째로 화기작업이 빈번한 조선소에서 화기감시자의 역할을 다음과 같이 규정하였다. 조선소에서 화기작업동안에 화재감시는 ‘화재감시 업무를 맡은 근로자들은 화기 작업 동안에 위험함으로부터 다른 근로자들과 재산을 보호하는 제일선 상에 있습니다. 화기작업은 리벳, 용접, 용단, 그라인딩 또는 파우더가 생기는 도구, 유사작업-불꽃을 일으키는 작업과 연관 되는 행위를 포함합니다.’ 라고 하였으며 사업주에게 작업장의 위험요소 제거와 관리 화재 시 대응할 수 있는 소화설비 및 화재감시요령 등을 요구하도록 한다.

## 공사장 화재발생 위험성평가 TOOL

화재의 발생은 연소현상으로부터 시작되므로 연소가 진행되기 위해서는 물적조건인 연소범위와 에너지조건인 점화원을 충족하여야 하며, 물적조건은 다시 연소범위의 영향인자인 산소농도와 가연물(가연성 가스 농도)로 나눌 수 있다.

연소의 3요소의 관점에서 살펴보면, 연소반응을 위하여 가연물과 산소, 점화원이 조건에 충족되어야 한다. 화재를 예방하기 위해서는 물적조건과 에너지 조건을 제어하므로써 가능하다. 건설현장은 일반적으로 개방되어 있는 공간으로 공기(산소)는 제어하기 어려운 환경이므로 본 연구에서는 공기(산소)를 제외한 가연물과 점화원을 중심으로 화재위험도를 산출하고자 한다. 또한 화재로 인한 피해는 인적, 물적으로 발생하는데 인적피해를 규정하기 위하여 인명구조조건을 적용하기에는 제한적이어서 성능위주설계에서 제시된 피난가능시간과 피난경로의 구성 여부, 피난유도시설의 설치 유무에 따라 피난의 용이도를 평가도구로 사용하였다.

### 공사장 화재발생 위험도 평가 요소

화재 발생의 위험도를 평가하기 위하여 가연물과 점화원을 핵심 요소로 사용하기로 한다. 공사가 진행되는 동안 각 공정에서 사용되는 자재 및 재료 등을 가연물로 작업 중 발생하는 불꽃이나 열원 등을 점화원으로 정리하였다. 또한 화재발생 이후 가연물의 종류 및 배치형태에 따라 화재성장속도의 차이를 보이고 있어 화재성장속도에 따라 구분하여 요소로 적용하였다.

기존의 연구에서는 창고시설이 완공된 이후 취급이나 수용되는 물품에 대한 위험등급을 제시하고 있으나, 본 연구에서는 공사 중 화재발생위험도평가에 대한 데이터로 사용하기에는 적절치 않아 작업장에서 사용되는 가연물로 적용하였다.

### 가연물의 위험도 분류

공사 중에 사용되는 자재의 다양성과 새로운 재료의 사용이 발생되므로, 가연물의 분류는 NFPA13 Standard for

Installation of Sprinkler Systems에서 제시한 위험용도를 적용하여, 경급위험용도, 중급위험용도(중급위험용도1, 중급위험용도2), 상급위험용도(상급위험용도1, 상급위험용도2), 특수용도로 적용하였다(Yoo, 2020).

이렇게 분류한 가연물에 위험계수를 부과하여 경급 I 은 C0로 하며 계수값은 0으로, 경급 II는 C1으로 하며 계수값은 1로, 중급 I 과 중급 II는 C2로 하며 계수값은 2로, 상급 I 과 상급 II는 C3으로 하며 계수값은 3으로, 특수용도의 경우 C4로 하며 계수값을 4로 구분하여 총 5단계로 적용하였으며 내용은 Table 3과 같다.

**Table 3.** Combustible classification and risk coefficient (Kaong et al., 2020)

Division	Amount of combustibles	Degree of flammability	Heat release rate	Loading height	Flammable & Combustible liquids	Risk coefficient
C0 Light class I	none	-	-	-	-	0
C1 Light class II	little	small	low	-	-	1
C2 Middle class I	middle	middle	commonly	2.4 m or less	-	2
C2 Middle class II	above average	above average	above average	3.7 m or less	-	2
C3 Upper class I	very many	very large	high	-	very few uses	3
C3 Upper class II	very many (wide distribution)	very large	high	-	very many	3
C4 Special use	-	-	-	-	-	4

**점화원의 위험도 분류**

점화원으로 작용되는 열원의 분류는 소방청에서 조사에 사용되는 요소 중 공사장에서 발생하는 요소를 추출하여 담뱃불(라이터불), 작동기기(불꽃, 스파크, 정전기, 전기적아크 등), 불꽃(용접, 절단, 연마 등), 마찰(전도, 복사), 폭발물, 자연적 발화열, 화학적 발화열중 각 공정에서 발생이 가능한 정도를 적용하였다.

점화원의 분류는 존재와 발생 유무에따라 점화원이 존재하지 않는 곳을 I0로 명하고 계수값은 0으로, 점화원이 간헐적으로 발생되며 방폭설비나 발화방지조치 등의 안전조치를 취한 곳을 I1으로 명하고 계수값은 1로, 점화원이 간헐적으로 존재는 곳에는 I2로 명하고 계수값은 2로, 점화원이 작업 중 상시 존재하는 곳을 I3라 정하고 계수값은 3으로, 점화원이 작업과 관계없이 상시 존재하는 곳을 I4로 하고 계수값은 4로 구분하여 가연물과 같이 총 5단계로 구분하였으며 내용은 Table 4와 같다.

**Table 4.** Classification of ignition sources and risk coefficient

Division	Ignition source (heat source)	condition	Risk coefficient
I0	none	-	0
I1	little	Exists only during work	1
I2	middle	Exists only during work	2
I3	ever-present	Exists only during work	3
I4	ever-present	Always present regardless of work	4

### 화재성장속도의 위험도 분류

건물화재의 특성에는 Flash over 발생을 기준으로 Pre Flash over에서는 연료지배형화재형태를 Post Flash over에서는 환기배형 화재형태를 보이고 있다.

화재성장속도는 Flash over 발생을 기준으로 하여 연소 후 발열량이 1 MW에 도달하는데 걸리는 시간으로 구분하고 있다.

화재성장속도의 영향인자인 발화, 화염확산, 연소속도는 가연물의 특성과 종류 및 배치형태에 따라 다르며 화재성장속도의 구분은 Table 5와 같이 4단계로 구분하며 위험요소 적용은 화재발생 후 화재가 확산하지 못하는 경우 G0로 하고 계수값은 0으로, 혼소성화재로 속도가 느린 Slow의 경우 G1으로 명하고 계수값은 1로, 화재성장속도가 보통인 Medium은 G2로 명하고 계수값은 2로, 화재성장속도가 빠른 Fast는 G3로 명하고 계수값은 3으로 하며, 화재성장속도가 매우 빠른 Ultra-fast는 G4로 명하고 계수값은 4로 한다.

**Table 5.** Classification of fire growth rate (Kaong et al., 2020)

Division	Calorific value per 1 MW time to reach	Type	Risk coefficient	
G0	None	-	If the fire does not spread after a fire has occurred	0
G1	Slow	600 sec	Paper products, hard bundles of cotton, Smoky fires such as solid wood cabinets	1
G2	Medium	300 sec	Mattresses with polyester Fires on thick timber, etc.	2
G3	Fast	150 sec	5 ft wooden pallet, plastic foam, Fires such as thin wooden items	3
G4	Ultra-fast	75 sec	Oil fires, thin plywood wardrobes, Fires in upholstered furniture, etc. petroleum fire	4

### 피난요소의 위험도 분류

피난에서 화재경보의 전파 및 피난개시에 지연을 주는 특성을 살펴보면, 공간특성(건물)과 거주자(작업자)특성으로 구분할 수 있다. 공간(Space)특성의 분류는 피난경로가 존재하는 개수와 공간의 밀폐 여부를 기준하여 양방향피난이 가능하고 개방된 경우를 S0로, 양방향피난이 가능하고 밀폐된 구조의 경우를 S1으로, 단일방향 피난로와 개방된 공간의 경우 S2로 하고, 단일방향 피난로와 밀폐된 공간의 경우 S3로, S3와 같은 환경으로 지하공간이나 이와 유사한 경우를 S4로 구분하였다.

또한, 거주자 특성의 분류는 성능위주설계에서 제시된 피난가능시간에서 용도 선정을 「거주자는 상시 깨어 있으나 건물의 내부, 경보, 탈출로에 익숙하지 않음」의 조건을 적용하였다. 내용은 Table 6와 같이 W1은 방재센타 등 CCTV 설비가 갖춰진 통제실의 방송을 통해 육성지침을 제공할 수 있는 경우, 또는 훈련된 직원에 의하여 해당 공간 내의 모든 거주자들이 인지할 수 있는 육성지침을 제공하는 경우이며, W2는 녹음된 음성 메시지 또는 훈련된 직원과 함께 경고방송 제공할 수 있는 경우이고, W3는 화재경보 신호를 이용한 경보설비와 함께 비 훈련 직원을 활용할 경우이다.

피난가능시간의 적용은 피난층으로 양방향 이상 피난이 가능한 경우를 T0로, W1(2분 미만)을 T1으로, W2(3분)를 T2로, W3(6분 초과)를 T3로, T3의 환경에 지하층 및 이와 유사한 경우를 T4의 5단계로 구분하였다.



**Table 6.** Evacuation time standard (Performance based fire safety design) (Seoul Metropolitan Government Performance based design Guidelines, 2023)

Usage	W1	W2	W3
Office, commercial, industrial building, school, university (Occupants are familiar with the inside of the building, alarms, and escape routes, and are always awake)	< 1	3	> 4
Shops, museums, leisure sports centers, and other cultural gathering facilities (residents are always awake but not familiar with the interior of the building, alarms, and escape routes)	< 2	3	> 6
Dormitory, middle/high-rise housing (residents are familiar with the interior of the building, alarms, escape routes, may be sleeping)	< 2	4	> 5
For hotels and boarding houses (occupiers are unfamiliar with the interior of the building, alarms and escape routes, and may be sleeping)	< 2	4	> 6
Hospitals, sanatoriums, and other public accommodations (most residents need help)	< 3	5	> 8

위의 공간특성과 거주자특성의 분류를 통하여 계수값은 Table 7과 같이 1.0에서 2.0까지 각각 구분하여 적용하였다.

**Table 7.** Risk classification of evacuation factors

Spatial properties		Evacuation time		Risk coefficient (K)
If evacuation in both directions is possible and open	S0	If evacuation is possible in both directions to the evacuation floor	T0	1.0
In the case of two-way evacuation and closed structure	S1	W1 (less than 2 minutes)	T1	1.2
In the case of single-way evacuation routes and open spaces	S2	W2 (3 minutes)	T2	1.4
In the case of single-way evacuation routes and confined spaces	S3	W3 (greater than 6 minutes)	T3	1.6
In the same environment as S3, underground space or similar cases	S4	In the environment of T3, basement and similar cases	T4	2.0

**화재발생위험도 산출**

공사의 진행은 착공단계에서부터 준공까지의 일반적인 공정을 기준으로 하였으며 현장의 특성에 따라 특별히 적용되는 공정은 제외하였다. 또한 공정의 구분은 산업안전보건법에서 규정한 공정을 기준으로 분류하였으며, 각 공정별 화재위험도 구분은 다음과 같이 분류하였다.

화재발생위험도의 평가는 FMEA(이상도 위험분석법)의 산출과정인 「RPN(Risk Priority Number)= 심각도(Severity)× 발생도(Occurrence)×검출도(Detection)」의 식을 이용하여 심각도(S)에는 물적조건인 가연물(Combustibles)로, 발생도(O)는 점화원(Ignition source)으로, 검출도(D)는 화재성장속도(Fire growth rate)로 적용하였다. 이렇게 적용한 각각의 산출된 값을 곱하여 위험도를 산출하고, 여기에 피난계수(K)를 적용하여 최종 위험도를 아래 식과 같이 표현하였다.

$$CIG = [C(\text{가연물}) \times I(\text{점화원}) \times G(\text{화재성장속도})] \times \text{피난계수}(K) \tag{1}$$

### 화재발생위험도 분류

분류된 작업의 구분에 따라 화재위험도(CIG)와 피난안전성(K)을 고려하여 평가하였으며, 결과값에 따라 화재위험도를 산업안전보건공단(KOSHA)의 단위작업 위험도 산정구분을 참조하여 중대한 위험(16점 이상), 상당한 위험(11점부터 15점 이하), 경미한 위험(6점부터 10점 이하), 일반적 위험(0점 부터 5점 이하)의 4단계로 분류하였다.

### 공정의 분류

공사단계별 주요공정의 구분은 굴착공사, 가설공사, 구조물공사, 설비공사, 마감공사로 구분하여 적용하였다. 작업내용을 살펴보면 굴착공사에서는 터파기(굴착)작업 및 흙막이지보공 작업으로 건축물의 구축을 위하여 기계장비 등을 사용해 지반을 굴착, 토사붕괴 방지를 위한 흙막이 벽체(지보공) 설치가 이루어진다. 비계 조립작업에서는 건축물외벽 및 옥탑구간 구조물 작업, 마감작업 진행시 작업공간 확보를 위해 구조물 작업에 선행하여 비계구조물(강관 시스템비계)조립이 진행된다. 양중기 설치작업에는 중량자재, 구조물 부재, 중량공구 등의 인양 및 운반용으로 타워크레인과 리프트 등이 설치되며, 철근콘크리트 구조물 작업에서는 RC(철근콘크리트) 구조물공사를 위한 철근조립 작업, 거푸집 및 동바리 설치작업, 코크리트 타설 등으로 구성되며, PC(Precast Concrete) 조립작업에서는 외부에서 제작된 보, 기둥, 슬래브 등의 콘크리트를 현장에서 양중장비를 이용하여 조립된다. 철골조립작업에서는 외부공장에서 제작된 철골을 현장에서 조립한다. 물류센터의 경우 대부분 지상층은 PC구조물, 지붕층은 철골(SRC)구조물로 시공된다. 다음은 기계설비 및 소방공사로 냉·난방설비, 위생설비, 소방설비 등이 설치된다. 우레탄 폼 등 단열재 작업에서는 열손실을 줄이기 위해 바닥·벽·천장·지붕 등에 폴리우레탄폼(우레탄폼), 유리섬유, 발포폴리스타리엔(스티로폼), 단열 모르타르 등의 각종 단열재를 시공하게 되며 작업중 화재발생위험이 높다.

위험도 산출을 위하여 단위작업의 구분은 Table 8과 같이 선행연구에서 제시한 건설공사의 세부공종을 A에서부터 Z까지 25가지로 구분하고, 세부공종의 단위작업을 87개로 재분류하였다(Kim et al., 2018).

**Table 8.** Work type and work units of construction work (Kim et al., 2018)

division	Work type and work unit	division	Work type and work unit	division	Work type and work unit
<b>A</b>	<b>Pile and foundation work</b>	<b>I</b>	<b>Brick and plastering</b>	S2	plumbing work
A1	Preparation (materials, equipment)	<b>J</b>	<b>Waterproof work</b>	S3	installation of machinery and equipment
A2	boring the file	<b>K</b>	<b>Tile and stone work</b>	<b>T</b>	<b>Lift work</b>
A3	Piling	<b>L</b>	<b>Painting work</b>	<b>U</b>	<b>Civil work</b>
A4	Pile cutting	<b>M</b>	<b>Metal work</b>	<b>V</b>	<b>landscape work</b>
<b>B</b>	<b>Excavation work</b>	<b>N</b>	<b>Window and glass work</b>	<b>W</b>	<b>Safety facility work</b>
<b>C</b>	<b>Retain of earth</b>	<b>O</b>	<b>Interior finishes</b>	<b>X</b>	<b>Tower crane</b>
<b>D</b>	<b>Backfill</b>	<b>P</b>	<b>Furniture work</b>	<b>Y</b>	<b>Other disasters</b>
<b>E</b>	<b>Form work</b>	<b>Q</b>	<b>Exterior finish work</b>	Y1	cleaning work area
<b>F</b>	<b>Gang form</b>	<b>R</b>	<b>Electrical and communication work</b>	Y2	temporary water supply, temporary electricity
<b>G</b>	<b>Rebar work</b>	<b>S</b>	<b>Machinery and equipment work</b>	Y3	construction machinery, construction equipment
<b>H</b>	<b>Concrete work</b>	S1	Preparation (materials, equipment)	<b>Z</b>	<b>Unclassified type</b>

## 공사장 화재예방을 위한 화재위험도 분석TOOL의 적용 결과 및 분석

### 화재위험도 분석 TOOL을 적용

본 연구에서는 분류한 주요공정의 작업 중에서 대표적인 공정인 굴착공사, 설비공사, 마감공사를 샘플링하여 이를 대상으로 위험성평가TOOL을 적용하여 화재위험도를 평가하였다.

#### 굴착공사(A:파일 및 기초작업)

굴착공사는 사용되는 장비는 천공기, 굴착기의 중장비들이 사용되며, 공사를 위한 기초 작업으로 안전조치가 시행되며 화재의 발생위험보다는 안전사고에 대한 비중이 높다. 사용되는 공사자재는 주로 철골과 철근이 사용되어 불연재의 사용이 높고 이를 가공하기 위한 작업들은 간간히 행하여 지나 이로 인한 발화가능성은 낮다. 또한, 공간적특성은 개방공간으로 화재 시 화재경보전파가 용이하고 양방향 피난이 가능한 조건의 작업이다.

굴착공사의 대표적인 작업인 파일 및 기초작업에 대한 화재위험도 평가 내용은 Table 9과 같다.

**Table 9.** Fire risk assessment (pile and foundation work)

Work Division		Combustibles (C) (material conditions)		Ignition source (I) (energy condition)		Fire growth rate (G)		Fire Risk (CIG)
A	Pile and foundation work	ingredient	①	type	②	division	③	④=①×②×③ evaluation
			evaluation		evaluation		evaluation	
A1	Preparation (materials, equipment)	Rebar (non-combustible)	C1 1	Safety measures (working)	I1 1	Easy fire detection / difficult to spread flame	G0 0	0
A2	boring file	Rebar (non-combustible)	C1 1	Safety measures (working)	I1 1	Easy fire detection / difficult to spread flame	G0 0	0
A3	filing	Rebar (non-combustible)	C1 1	Safety measures (working)	I1 1	Easy fire detection/ difficult to spread flame	G0 0	0
A4	file cutting	Rebar (non-combustible)	C1 1	Always present (working)	I3 3	Easy fire detection / difficult to spread flame	G0 0	0

앞선 평가내용에 피난안전성을 고려하여 종합안전평가를 시행하면, Table 10과 같이 종합평가내용을 도출하였다.

**Table 10.** Occupational safety and health standards rules

Work Division	Coefficient (K)				Fire Risk	Coefficient	Final risk	
	Spatial characteristics (S)		Evacuation time (T)					
A	Pile and foundation work	Division	⑤ evaluation	Division	⑥ evaluation	④ (CIG)	⑦=⑤×⑥ (K)	⑧=④×⑦ result

**Table 10.** Occupational safety and health standards rules (Continue)

Work Division	Coefficient (K)				Fire Risk	Coefficient	Final risk	
	Spatial characteristics (S)		Evacuation time (T)					
A1	Preparation (materials, equipment)	Evacuation in both directions / open space	S0 1.0	evacuation floor	T0 1.0	0	1	0
A2	boring file	Evacuation in both directions / open space	S0 1.0	evacuation floor	T0 1.0	0	1	0
A3	filing	Evacuation in both directions / open space	S0 1.0	evacuation floor	T0 1.0	0	1	0
A4	file cutting	Evacuation in both directions / open space	S0 1.0	evacuation floor	T0 1.0	0	1	0

위의 평가내용을 보면 굴착공사에서의 화재발생위험도값은 0으로 가장 낮은 일반적위험에 해당하여 화재 발생위험은 매우 적다. 따라서 화재위험도에 대한 대책보다는 안전사고에대한 대책수립에 중점을 두는 것이 효율적이라 판단된다.

**설비공사(S : 기계 및 장비 작업)**

기계설비 공사는 건축물의 용도에 따라 생활의 편의성을 제공하는 급·배수설비, 냉·난방설비, 공조설비 등의 공사가 시행된다. 물류창고에서는 물류의 보관에 필요한 온도 및 습도 유지를 주요 기능으로 한다. 특히, 냉동·냉장 창고의 경우에는 온도손실을 줄이기 위한 공사가 별도로 진행된다. 가연물을 살펴보면 작업에 사용되는 자재의 경우 대부분 금속 재료로 배관은 주로 주철관과 PVC배관이 사용되며, 동파 및 열손실을 줄이기위해 보온재 등의 여러종류의 재료들이 사용된다.

점화원으로는 금속자재의 사용으로 자재의 가공을 위한 절단, 연마, 용접 등의 작업이 수반된다. 최근에는 작업장내에서 불꽃 등이 발생하는 작업을 최소화하기 위하여 외부에서 가공된 자재들을 발주하여 화재위험을 줄이고 있다. 화재성장속도는 중간단계인 Medium으로 선정하였으며, 작업공간의 특성으로는 주요골조공사가 마감되어 벽이나 천장 등이 구성되어 있는 밀폐구조로 특히 장비의 설치는 대부분 지하공간에서 진행되므로 피난에는 매우 불리한 조건이다.

설비공사의 대표적인 작업으로는 배관의 설치 및 보온재 작업과 기계장비의 설치 작업으로 이에 대한 화재위험도 평가내용은 Table 11과 같다.

S1준비 작업에서는 사용되는 자재의 종류가 불연재인 steel이 많고, 보온에 필요한 보온재는 화재에 취약하다. 점화원의 발생은 작업중 간헐적으로 존재하며, 자재의 보관과 작업을 위해 대형공간에서 진행 되어 화재감시가 용이하고 화재성장속도는 slow와 medium으로 구분하였다.

화재위험도평가값(CIG)에 피난안전성을 대입하여 종합 평가하면 Table 12의 결과값을 얻을 수 있다.

**Table 11.** Fire risk assessment (Machine and equipment work)

S	Work Division	Combustibles (C) (material conditions)		Ignition source (I) (energy condition)		Fire growth rate (G)		Fire Risk (CIG)
		ingredient	① evaluation	type	② evaluation	division	③ evaluation	④=①×②×③ evaluation
S1	Preparation (materials, equipment)	plumbing, equipmen	C1 1	intermittent existence(working)	I2 2	Easy fire detection / fire growth rate is slow	G1 1	2
S2	Piping work, piping insulation work	Piping, valves, pipe parts, pipe insulation materials	C3 3	intermittent existence(working)	I2 2	Easy fire detection/ fire growth rate is medium	G2 2	12
S3	installation of machinery and equipment	Pumps, Heat Exchangers, Fans	C1 1	intermittent existence(working)	I2 2	Easy fire detection/ fire growth rate is medium	G2 2	4

**Table 12.** Occupational safety and health standards rules

S	Work Division	Coefficient (K)				Fire Risk (CIG)	Coefficient (K)	Final risk (8=4×7)
		Spatial characteristics (S)		Evacuation time (T)				
	Machine and equipment work	Division	⑤ evaluation	Division	⑥ evaluation	④	⑦=⑤×⑥	⑧=④×⑦
S1	Preparation (materials, equipment)	Two-way evacuation possible / closed space	S2 1.4	W3	T3 1.6	2	2.24	4.48
S2	Piping work, piping insulation work	Two-way evacuation possible / closed space	S2 1.4	W3	T3 1.6	12	2.24	26.88
S3	installation of machinery and equipment	Two-way evacuation possible / closed space	S2 1.4	W3	T3 1.6	4	2.24	8.96

위의 평가내용으로 기계 및 장비 작업에서의 화재발생위험도를 확인할 수 있었다. 작업의 준비에서는 최종 결과값이 4.48로 일반적인 위험으로 분류되며, 배관작업, 배관보온작업에서는 26.88로 중대한 위험으로 분류되며, 기계 및 장비설치에서는 8.96으로 경미한 위험으로 구분할 수 있다.

**마감공사(Y : 마감 작업)**

마감 공사는 마감청소 작업과 임시가설된 시설 및 장비들의 철거작업으로 구성된다. 마감청소 작업은 건축물의 준공을 앞두고 각종 인테리어 공사와 공사 중 발생한 자재와 폐기물 등의 부산물 처리가 진행되어 가연물이 산재하여 분포하게 된다.

작업 공종별로 살펴보면, 청소작업에서는 가연물의 발생이 동시다발적으로 발생하여 양적으로 증가되며, 임시 가설 설비 및 건설장비의 철거는 소규모의 가연물이 발생된다. 점화원으로는 청소작업 중에 사용되는 기계기구 등에서 간헐적으로 발

생되며 임시 가설설비 및 건설장비 철수에도 간헐적으로 발생하게 된다. 화재성장속도는 청소작업중에는 많은 가연물의 존재로 fast로 하였고, 임시 가설설비 및 건설장비의 철수에서는 slow로 하였다.

마감공사에서의 화재위험도 평가내용은 Table 13과 같다.

**Table 13.** Fire risk assessment (pile and foundation work)

Y	Work Division	Combustibles (C) (material conditions)		Ignition source (I) (energy condition)		Fire growth rate (G)		Fire Risk (CIG)
		ingredient	① evaluation	type	② evaluation	division	③ evaluation	④=①×②×③ evaluation
Y1	cleaning work area	large presence of combustibles	C3 3	intermittent existence(working)	I2 2	Easy fire detection / fire growth rate is fast	G3 3	18
Y2	temporary water supply, temporary electricity	Small combustibles present (working)	C1 1	intermittent existence(working)	I2 2	Easy fire detection/ fire growth rate is slow	G1 1	2
Y3	construction machinery, construction equipment	Small combustibles present (working)	C1 1	intermittent existence(working)	I2 2	Easy fire detection/ fire growth rate is slow	G1 1	2

마감공사는 건축공사가 마무리되는 단계이므로 화재위험도평가값(CIG)의 결과를 보면, 마감청소작업중의 화재위험발생 위험이 상당히 높다. 또한, 준공을 앞두고 실내의 공간은 구획되어 피난경로는 더욱 복잡해지고 정보의 전달 조건은 불리한 환경이 된다. 앞선 평가내용에 피난안전성을 대입하여 종합평가의 결과는 Table 14과 같다.

**Table 14.** Occupational safety and health standards rules

Y	Work Division	Coefficient (K)				Fire Risk (CIG)	Coefficient (K)	Final risk (⑧=④×⑦)
		Spatial characteristics (S)		Evacuation time (T)				
	<b>Finishing work</b>	Division	⑤ evaluation	Division	⑥ evaluation	④	⑦=⑤×⑥	
Y1	cleaning work area	Two-way evacuation possible / closed space	S2 1.4	W3	T3 1.6	18	2.24	40.32
Y2	temporary water supply, temporary electricity	Two-way evacuation possible / closed space	S2 1.4	W3	T3 1.6	2	2.24	4.48
Y3	construction machinery, construction equipment	Two-way evacuation possible / closed space	S2 1.4	W2	T2 1.4	2	1.96	3.92

화재위험 종합평가를 확인하면 마감청소작업의 평가값은 40.42로 중대한위험으로 구분되고, 임시가설 설비의 철거 작업은 4.48로, 건설기계 및 전설장비의 철거작업은 3.92로 두 작업은 일반적 위험으로 구분할 수 있다. 결과값에서 확인할 수 있듯이 마감청소작업은 화재위험이 매우 높게 평가되어 작업 진행 중 별도의 관리가 요구된다.

## 결론

대부분의 공사장의 화재예방방법은 점화원이 발생 또는 존재하는 공간에 화재감시자 등을 두어 화기에 대한 관리가 이루어지고 있다. 초기 건축계획에서 공사기간 중 진행되는 공정과 공정 내에서 수행하는 작업을 앞서 제시한 화재예방 위험도 평가 Tool을 활용하여 위험도를 객관화하고 효과를 극대화 시킬수 있는 구체적인 대책을 제안하였다. 본 연구의 결과를 다음과 같이 정리한다.

첫 번째로 CIG 결과값은 C(가연물), I(점화원), G(화재성장속도), K(피난계수)로 구분되어 산출되므로 각 공정에서의 위험요소를 물적조건(가연물)과 에너지조건(점화원) 그리고 피난안전성을 구분하여 적용이 가능하다.

두 번째로는 각 요소에서 화재위험도가 높은 인자들을 구분하기에 용이하다. 위의 분석값을 참고하면 A1공정의 C값은 C1으로 1되고, Y1공정의 C값은 C3로 3처럼 수치화하여 정량적으로 표현할 수 있기 때문이다. 더불어 C(가연물)값을 제어하기 어려운 경우에는 I(점화원)값을 제어하며, I(점화원)값을 제어하기 어려운 환경에서는 C(가연물)값을 제어하는 대책을 수립하여 안전성을 확보할 수 있게 되었다.

세 번째로는 화재성장속도의 적용은 화재발생 이후 적용되는 소방시설의 적용성을 정량적으로 적용이 가능하게 되었다. 화재성장속도에 따라 방사되는 소화약제의 방사량 및 밀도가 다르게 적용되고 피난을위한 피난시간이 상이하게되므로 가연물의 종류에 따라 보관 및 배치방법, 소방시설의 종류 및 규모를 산정하는 기준값을 제공한다.

네 번째로는 피난안전성을 고려하여 공간의 특성을 구분하고 화재경보의 전달과 피난경로의 구성에 대한 대책을 수립할 수 있다. S(피난경로)값의 구성과 T(피난가능시간)값의 자료를 통해 경로의 추가 구성과 경보설비 및 피난유도설비의 보완을 통해 피난안전성을 확보할 수 있다.

다섯 번째로 위험도평가 Tool에서 제시된 평가내용은 각 공정에서 구분된 작업의 종류에 따라 도출된 값으로 위험도를 구분하여 작업별로 위험도를 분류할 수 있다. 위험도가 높은 작업의 종류와 위험도가 낮은 작업을 구분하여 관리할 수 있다.

본 연구에서 제시한 화재위험도평가 Tool은 재해의 발생 이후 피해를 축소하고 복구하는 것 보다는 재해의 발생을 사전에 방지할 수 있는 예방대책수립을 위한 연구이다. 위에서 제시한 위험도 평가 Tool에 의해 제공된 화재위험도평가(CIG) 값은 공사가 진행되고 있는 현장뿐 아니라 공사가 시작 전 계획 시에도 적용할 수 있어 전체 공정 중에 공사일정 조율을 통해 위험도를 줄일 수 있다고 판단된다. 일반적인 안전대책을 적용하기 보다는 공사 중 발생이 예상되는 화재위험을 정량적으로 접근하여 대책수립이 가능하며 또한 공사일정을 계획하는 단계에서 화재위험도를 평가하여 위험도가 낮은 공사일정을 수립할 수 있을 것이라 확신한다.

## Acknowledgement

본 연구는 2023년도 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(NO 00219137, DNA기반의 공사현장 임시가설용 화재안전모듈 및 관리운영플랫폼 개발).

## References

- [1] Bae, Y., Park, J. (2011). "Categorizing safety management elements for fire preparation and assesemnt of fire hazard." *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 7, No. 2, pp. 96-109.
- [2] Kaong, K.-W., Song, G.-C., Yoo, H.-J. (2020). *Fire Protection Professional Engineer*. Dong Hwa Gi Sool, Paju.
- [3] Kim, J., Kim, J. (2018). "Disaster risk assessment by work unit of construction work for improve the efficiency of design for safety task." *Architectural Institute of Korea Journal of Structures*, Vol. 34, No. 6, pp. 45-53.
- [4] Korea Occupational Safety and Health Agency (2022). *Refrigerated Logistics Warehouse Fire Accident Prevention Manual (Revised)*. Ulsan, Republic of Korea.
- [5] Lee, K.-S., Kim, T.-H., Lee, J.-O. (2022). "Analysis of fire occurrence characteristics according to ignition heat sources." *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 18, No. 2, pp. 280-289.
- [6] National Fire Information System ([www.nfds.go.kr](http://www.nfds.go.kr))
- [7] National Law Information Center ([www.law.go.kr](http://www.law.go.kr))
- [8] Seoul Metropolitan Government Performance based design Guidelines (2023). Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters, Seoul, Republic of Korea.
- [9] Yoo, H. (2020). *A Study on Fire Hazard Analysis and Fire Fighting Measures in Large Logistics Warehouses*. Master's Thesis, Graduate School of Industrial Environment, Gachon University.