[Research Paper]

건설공사 현장의 중대 위험요인 화재안전관리 체계 모형 개발 연구

배덕곤 · 윤명오^{*†}

서울시립대학교 재난과학과 대학원생, *서울시립대학교 재난과학과 교수

A Study on the Development of a Fire Safety Management System Model for Critical Risk Factors Assessment in a Construction Site

Deok-Gon Bae · Myung-Oh Yoon^{*†}

Graduate Student, Department. of Disaster Science, University of Seoul,

^{*}Professor, Department. of Disaster Science, University of Seoul

(Received August 30, 2021; Revised September 16, 2021; Accepted September 16, 2021)

요 약

본 연구에서는 NFPA Code의 화재안전계층도(FSCT)를 기반으로 건설공사 현장의 중대 위험요인에 대한 화재안전 관리 체계 모형을 개발하였다. 먼저 화재 통계와 다수 인명피해 사례를 분석하여 화재 발생과 성장, 인명피해의 주된 원인으로 작용한 중대 위험요인을 도출하고 관련 법규를 분석하여 화재안전관리 실태와 문제점을 분석하였다. 그리고 화재안전계층도의 기본구조에 따라 발화 방지와 소화 및 피난 관리로 구분하여 건설공사 현장의 특성이 반영된 차별화된 전략을 제시하였으며, 현장의 철저한 점검과 관리를 위해 화재안전관리 전담인력을 배치토록 하였다. 이 모형은 현행 화재안전관리상의 문제점을 개선·보강하는 차원에서 개발하였으며, 향후 건설공사 임법 관계자, 사업 책임자, 현장 관리·감독자, 작업자 등이 화재안전 전략들의 기능과 역할, 상호관계를 보다 체계적으로 이해하고 실천할 수 있는 도구로 활용할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

In this study, the authors developed a fire safety management system model for critical risk factor assessment in construction sites according to the National Fire Protection Association code Fire Safety Concepts Tree (FSCT). First, the fire statistics and heavy casualties were analyzed, and the critical risk factors as associated with the key causes of fire incident and break out and life-threatening damages were derived. Furthermore, the related laws and regulations were analyzed, and the actual conditions and problems of fire safety management were noted. Next, according to the basic structure of the FSCT, a differentiated strategy was presented to reflect the characteristics of the construction site by dividing it into fire prevention and extinguishing and evacuation management. In addition, the fire safety management personnel were proposed to be assigned for thorough site inspection and management. This model was developed to improve and reinforce the current challenges in fire safety management. In the future, legislators of the construction work, project managers, site managers, supervisors, workers, etc. would use this model as a tool to understand and practice the roles and interrelationships of fire safety strategies more systematically.

Keywords : Fire safety, Construction site fire, Fire safety concept tree, Fire safety management system model

1. 서 론

고용노동부 산업재해 통계자료에 따르면 경기도 이천 물류 냉동창고 공사 중 화재가 발생하여 다수의 인명피해가 발생한 2008년부터 2019년까지 건설공사 현장에서 사망자가 발생한 화재·폭발사고는 109건이었으며, 이로 인해

182명이 사망하고 1,730명의 부상자가 발생하였다⁽¹⁾. 그리고 지난해 4월 경기 이천 소재 물류센터 신축공사 현장의 지하 2층 저온창고 화재로 작업 중이던 근로자 38명이 사망하고 12명이 부상을 입었다⁽²⁾.

정부에서는 건설공사 현장에서 대형 화재가 발생할 때마다 화재안전대책을 마련하여 관련 법과 제도를 새롭게

[†] Corresponding Author, TEL: +82-2-6490-5376, FAX: +82-2-6490-5380, E-Mail: 5042yoon@naver.com

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

Figure 1. Basic strategies for fire safety management.

도입하거나 개선하여 왔다. 하지만 여전히 반복적으로 유사한 화재가 발생하고 있다.

화재로 인한 인명피해는 화재 발생을 예방하지 못하고, 발생한 화재가 성장·확산 되어 노출된 사람에게 영향을 주었을 때 발생하기 때문에 종합적이고 체계적인 관리가 필요하다. 또한 그 장소나 대상에 적절한 방법이어야 한다. 건설공사 현장은 공정에 따라 다양한 점화원과 가연물, 생성과 소멸을 반복하는 건축 구조, 변동성이 심한 작업인력 구성 등이 완공된 건축물이나 정형화된 작업장과는 상당히 다른 특성을 갖고 있을 뿐만 아니라 전도, 추락, 감전 등의 일반 산업재해 보다 발생과 성장에 여러 요소들이 연계되어 상호작용을 하는 복합적 형태의 기술적 재난이다.

따라서 본 연구에서는 그동안 건설공사 현장의 화재사례에서 위험성이 높은 것으로 나타난 중대 위험요인에 대한 체계적이고 실효성 있는 화재안전관리를 위해 위와 같은 건설공사 현장과 화재의 다양한 특성이 반영된 차별화된 전략을 수립하고 이를 도식화하여 입법 관계자, 사업 책임자, 현장 관리·감독자, 작업자 등이 공유하고 실행할 수 있는 모형을 개발하였다.

2. 모형의 기준

화재안전관리 체계 모형은 미국의 national fire protection association (NFPA)가 화재 안전과 방호 전략에 대해 설계자, 엔지니어, 입법 관계자 등 관련 전문가들이 서로 정보를 교류할 수 있는 도구(tool)를 제공하기 위해 만든 화재안전 계층도(fire safety concept tree)를 기반으로 개발하였다⁽³⁾.

화재안전 계층도의 두드러진 이점은 화재안전에 대한 시스템적인 접근에 있다. 우리는 전통적으로 건축물의 형태, 내용물의 양과 특성, 방호장치, 거주자 등과 같은 화재안전 요소들을 서로 독립적으로 고려하여 왔다. 하지만 화

재안전 계층도는 화재예방과 화재피해 제어 전략들을 모두 확인하고 그들의 상관관계를 보여주기 때문에 보다 종합적이고 체계적인 화재관리가 가능하다. 또한 화재안전과 관련한 선택이나 결정을 함에 있어, 화재 방호 전략들의 조합을 통한 대안의 고려뿐만 아니라 존재할 수 있는 누락(gaps)과 중복 또는 여유(redundancy)를 확인하는데 사용될 수 있다. 다만 이 계층도에는 전략들에 대한 정량적 분석이나 시간적 순서에 대한 고려가 포함되어 있지 않다.

계층도는 Figure 1과 같이 건축물의 화재안전 목표를 달성하기 위한 방법으로 화재가 발생하지 않도록 예방하거나 발생한 화재를 진압하는 전략 또는 화재 부산물에 의해 영향을 받을 수 있는 사람이나 재산 등의 노출물을 적절히 관리하는 전략들을 제시하고 있다.

본 연구에서는 화재안전 계층도가 완공된 건축물의 종합적인 화재안전관리를 위한 도구이기 때문에 일부 전략들은 건설공사 현장에 적용이 불가능하거나 효과가 제한적일 수 있어 제외하였다. 하지만 제외된 전략들은 ‘OR gate’로 연결된 요소들로 이들과 관련한 상위수준의 목표와 전체적인 화재안전 목표 달성을 위해 필수적인 요소는 아니다.

3. 모형 개발을 위한 조사와 분석

건설공사 현장의 화재위험요인은 매우 다양하고 광범위하다. 본 연구에서는 선택과 집중을 통한 효율적인 화재안전관리를 위해 그동안 화재통계와 사례를 분석하여 화재발생과 성장, 인명피해의 주된 원인으로 작용한 중대 위험요인을 도출하여 집중적으로 고찰하였다.

3.1 중대 위험요인 도출과 특성 조사

고용노동부 산업재해 통계자료에 의하면 2008년부터 2019년까지 건설공사 현장에서 사망자가 발생한 화재·폭

Table 1. Recent ('08~'19) Fires with Multiple Casualties

Object (Place)	Floor	Occurrence	Casualty	Cause of fire
Cold storage (Gyeong-gi Icheon)	B1	'08.01	40	Oil vapor was ignited by an unknown ignition source
National museum of modern & contemporary art (Seoul)	B3	'12.08	4	The spark of the temporary lamp ignited the ceiling Urethane foam
Living facility (Gyeong-gi Kimpo)	B1	'16.09	4	Small fire source was ignited in garbage or oil vapor
Shopping mall (Gyeong-gi Dongtan)	B3	'17.02	4	A flaming fire was ignited on the demolished object (Styrofoam, etc.)
Residential complex (Sejong Saerom-Dong)	B1	'18.06	3	Temporary work wiring sparks ignited on ceiling styrofoam, etc.

발사고는 109건이었다. 이로 인하여 모두 108명이 이었으며 기인물별로는 유증기 88명(48.4%), 탱크(드럼통) 18명(9.9%), 단열재 17명(9.3%), 인화성 액체 10명(5.5%), 기타의 요인에 의해 49명(26.9%)이 발생하였고, 점화원별로는 용접·용단 작업 시 발생한 불꽃 51명(28.0%), 전기누전 19명(10.4%), 난로소각 행위 10명(5.5%), 그라인더 작업으로 인해 8명(4.4%)의 인명피해가 있었다.

또한 3명 이상의 사망자가 발생한 화재는 Table 1과 같이 모두 5건이었다. 이 5건의 화재와 2020년 4월, 경기 이천 물류창고 화재에 대해 소방기관의 화재조사보고서와 백서, 경찰청 수사자료^(4,6), 언론보도 내용 등을 활용하여 화재의 발생과 성장, 인명피해 발생 원인 등을 분석한 결과 몇 가지 특이점이 확인되었다. 첫째, 화재가 모두 지하층 작업중에 발생하였다. 둘째, 단열재(스티로폼, 우레탄폼)가 발화 또는 연소확대의 주된 요인으로 작용하였다. 셋째, 급속한 연소 확대와 다량의 연기 및 유독가스의 발생이 있었다. 넷째, 다수의 작업자들이 화재 발생 사실을 조기에 인지하지 못했고 피난로가 확보되지 않았다.

위와 같은 조사와 분석을 통해 건설공사 현장의 화재 발생과 인명피해의 중대 위험요인이 i) 용접·용단, 연마 등의 작업 시 발생하는 고온의 불티, ii) 인화성 물질의 폭발, iii) 우레탄폼 등 단열재의 발화와 급격한 연소임을 확인하였다. 또한 다수 인명피해 방지를 위해서는 지하공간에 대해 보다 집중적인 관리가 필요함을 알 수 있었다.

용접, 절단 등의 작업 시 발생하는 불티는 한국산업안전보건공단 자료⁽⁷⁾에 의하면, 1,600 °C 이상까지 온도가 올라갈 수 있는 고온체로 점화원이 될 수 있는 크기는 직경 0.3~3 mm 정도이다. 그리고 비산거리는 작업의 높이, 철판 두께, 작업의 종류(세로방향, 아랫방향), 바람의 방향과 속도 등에 따라 매우 다양하다. 높이 20 m에서 16 mm 두께의 철판을 세로방향으로 4~5 m 속도의 바람을 등지고 작업할 경우 1차 불티는 10 m, 2차 불티는 15 m까지 비산하는 것으로 확인되었다.

인화성 물질의 경우 건설중기나 작업용 기계·기구의 엔진 구동, 냉·난방 기구의 가동 등을 위해 등유, 경유, 가솔린 등이 사용되고, 가스용접 방식의 작업에는 아세틸렌이나 프로판 가스가 이용된다. 또한 건축물의 실내·외부 벽이나 바닥 마감, 방수에 사용되는 용제나 희석제에는 도료의 특

성에 따라 차이가 있지만 크실렌, 톨루엔, 에틸벤젠, 암모니아 등과 같은 다양한 인화성 물질이 포함되어 있다.

가연물의 화재 위험성은 착화온도와 착화시간 그리고 연소하면서 발생시키는 열방출률(heat release rate)에 의해 좌우된다. 경질 폴리우레탄폼에 대한 선행연구 자료^(8,9)에 따르면 착화온도는 383~390 °C, 착화시간은 약 2~4 s, 열방출율은 평균(AHRR) 32~74 kW/m², 최고(PHRR) 233~357 kW/m², 총(THRR) 18.5~43.9 kW/m²로 측정되었다. 실험에 사용한 시험체의 종류(합성수지의 종류, 밀도, 발포제 등)와 복사열에 따라 차이는 있지만 폴리우레탄폼은 폼 내부로의 열전도가 낮아 셀 중합체가 복사된 열에 빠르게 반응을 함으로써 시험체의 표면 온도가 급격하게 된다. 그리고 이러한 온도상승은 폴리우레탄폼 시험체의 열분해를 촉진시키고, 열분해에 의해 발생한 가연성 가스가 발화되면서 급속한 연소가 진행되는 것으로 분석되었다.

3.2 화재안전관리 실태 분석

건설공사 현장의 화재안전관리에 관한 사항은 산업안전보건법규(고용노동부), 소방법규(소방청), 건축법규(국토교통부)에 규정되어 있다⁽¹⁰⁾.

본 연구에서는 관련 법규를 중심으로 중대 위험요인에 대한 발화와 화재영향 관리를 위한 기술적 기준과 현장의 관리·감독 체계에 대하여 살펴보았다.

3.2.1 중대 위험요인 발화 관리 기술기준

「산업안전보건기준에 관한 규칙」에 따르면, 용접·용단 등 고온의 비산불티가 발생하는 작업을 화재위험작업으로 규정을 하고 있다. 그리고 가연성 물질이 있는 장소에서 화재위험작업을 하는 경우에는 가연성 물질에 대한 방호조치, 불꽃·불티의 비산방지조치, 인화성 액체의 증기 및 인화성 가스가 남아 있지 않도록 환기 등의 조치를 하여야 하고(제241조), 위험물 또는 인화성 유류나 고체가 있을 우려가 있는 배관·탱크 등의 용기에 대하여는 인화성 유류 등을 제거하는 등 폭발이나 화재의 예방을 위한 조치를 한 후가 아니면 화재위험작업을 시켜서는 안 된다(제240조).

또한 인화성 액체, 인화성 가스 등을 수시로 취급하는 장소에서는 환기가 충분하지 않은 상태에서 전기기계·기구를 작동시켜서는 안 되며, 밀폐된 공간에서 스프레이 건

을 사용하여 인화성 액체로 세척·도장 등의 작업을 하는 경우에는 인화성 액체, 인화성 가스 등으로 인해 폭발위험 분위기가 조성되지 않도록 해당 물질의 공기 중 농도가 인화하한계값의 25퍼센트를 넘지 않도록 충분히 환기를 유지하여야 하며(제231조), 인화성 액체의 증기, 인화성 가스 또는 인화성 고체가 존재하여 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소에서 해당 증기·가스 또는 분진에 의한 폭발 또는 화재를 예방하기 위하여 통풍·환기 및 분진 제거 등의 조치를 하여야 한다(제232조).

그리고 우레탄폼 등 단열재 작업에 대해서는 「산업안전보건법」 제42조에 따른 유해·위험방지계획서를 작성해야 한다. 연면적 5,000 m² 이상 냉동·냉장 창고시설의 건설공사에서 밀폐공간 내 작업, 우레탄폼 등 단열재 작업 등을 하는 경우 작업의 개요 및 재해예방 계획을 수립해야 하며, 특히 통풍이나 환기가 충분하지 않거나 가연성 물질이 있는 건축물 내부나 설비 내부에서 단열재 취급·용접·용단 등과 같은 화기작업이 포함되어 있는 경우에는 세부계획을 포함하여야 한다.

중대 위험요인에 대한 위와 같은 관리 기술기준에는 몇 가지 문제점이 있다. 첫째, 화재위험작업에 위험한 가연물 취급이 포함되어 있지 않다. 둘째, 가연물과 점화원의 상호작용 제한이 지나치게 광범위하고 명확하지 않다. 셋째, 우레탄폼 성형 후 위험성에 대해 간과하고 있다.

3.2.2 임시소방시설

「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제10조의 2에서는 특정소방대상물의 건축·대수선·용도변경 또는 설치 등을 위한 공사 시공자는 공사 현장에서 가연성, 인화성 물품을 취급하는 작업 등 화재위험작업을 하기 전에 설치 및 철거가 쉬운 임시소방시설을 설치하고 유지·관리하도록 규정하고 있다. 이에 따라 건설공사 현장에는 소화기, 간이소화장치, 비상경보장치, 간이피난 유도선을 설치하여야 하고, 임시소방시설의 화재안전기준(NFSC 606)에서 성능과 설치 기준을 정하고 있다.

하지만 임시소방시설은 설치 시기가 명확하지 않을 뿐만 아니라 설치 대상, 성능, 설치 기준 등이 완공된 건축물과 유사하여 건설공사 현장의 특성을 적절하게 반영하고 있지 않다. 또한 비상경보장치 대응으로 휴대용확성기를 설치하는 등 일부 시설에 대해 다양한 대체 설비를 인정함으로써 실효성에 대한 문제가 제기되고 있다.

3.2.3 현장의 관리감독 체계

「산업안전보건법」 제15조 및 제17조에 따르면, 사업주는 사업장의 생산과 관련되는 업무와 그 소속 직원을 직접 지휘·감독하는 직위에 있는 관리감독자에게 산업 안전 및 보건에 관한 업무를 수행하도록 하여야 한다. 그리고 다수의 인원이 상시 근무하는 사업장이나 일정 금액 이상의 건설공사 사업장에는 산업재해 예방계획의 수립, 안전보건

교육 등 실질적으로 안전보건 관리를 총괄하는 안전보건관리책임자를 두고, 안전에 관한 기술적인 사항에 관하여 사업주 또는 안전보건관리책임자를 보좌하고 관리감독자에게 지도·조언하는 업무를 수행하는 안전관리자를 두어야 한다.

그리고 「건설기술 진흥법」 제64조에 따르면, 안전관리계획을 수립해야 하는 건설공사의 사업자 및 주택건설등록업자는 안전총괄책임자, 토목, 건축, 전기, 기계, 설비 등 건설공사의 각 분야별 안전관리책임자, 현장에서 직접 시공 및 안전관리를 담당하는 안전관리담당자를 두어야 한다. 또한 「건축법」, 「주택법」 등에 의한 공사감리자에게도 안전관리에 대한 지도·감독책임이 있다.

이처럼 각 법규에 따라 안전관리책임자와 담당자가 지정되어 소관 안전관리 업무를 수행하고 있고 여기에 화재 안전과 관련한 내용도 일부 포함되어 있다. 하지만 화재는 일반적인 사고와 달리 발생과 성장 과정이 복잡하고, 그로 인한 피해 규모도 크기 때문에 전문성을 갖춘 전담 인력에 의해 체계적으로 관리될 필요가 있다.

4. 중대 위험요인 화재안전관리 체계 모형

중대 위험요인에 대한 화재안전관리 체계 모형은 건설공사 현장의 화재 발생과 성장, 인명피해의 주된 요인에 대한 관리상의 문제점을 분석하여 이를 개선·보강하는 차원에서 개발하였다⁽¹¹⁻¹⁵⁾.

모형은 Figure 2에서 볼 수 있듯이 NFPA의 화재안전 계층도의 구조를 기본으로 하였다. 하지만 발화 방지와 화재 영향관리를 위한 각 전략들은 건설공사 현장의 특성을 반영하여 차별화된 기술적 전략을 제시하였고, 이러한 전략들이 현장에서 이행되고 작동될 수 있도록 소방안전관리자에 의한 관리 방안을 포함하였다.

4.1 발화 관리

발화 방지를 위해서는 점화원과 가연물을 제거하거나 열방출 특성 등을 제어하는 방법이 있지만 점화원과 가연물의 상호작용 제한을 통해서도 가능하다.

건설공사 현장의 경우 가설공사, 골조공사, 방수와 도장, 내장, 전기·기계설비 공사 등을 위해 다양한 기계·기구, 재료들이 거의 상시적으로 사용되고 있고 대부분이 점화원이나 가연물이 될 수 있다. 하지만 원활한 공사의 진행과 비용 등을 고려할 때 이러한 요소들의 사용을 금지하거나 특성을 제한하기는 쉽지 않다. 따라서 화재 위험성이 높은 중대 위험요인들을 화재위험작업으로 지정하여 상호작용을 철저하게 관리하는 전략이 보다 현실적이고 효과적인 방안이 될 것이다.

4.1.1 화재위험작업의 지정

건설공사 현장의 화재 발생과 인명피해의 중대 위험요

Figure 2. Fire safety management system model for critical risk factors.

인으로 확인된 i) 용접·용단 등 고온의 불티를 발생시키는 작업, ii) 인화성 물질을 취급하는 작업, iii) 우레탄폼 등 단열재를 취급하는 작업을 화재위험작업으로 지정하여 관리하여야 한다. 다만, 우레탄폼의 경우 발포 이후에도 화재위험성이 매우 높기 때문에 작업의 범위를 폼의 발포부터 불연성 자재에 의해 마감되어 외부로의 노출이 차단되는 시점까지로 하고, 인화성 물질을 취급하는 작업은 인화성 물질이 건설공사 현장에서 각종 공정과 건설 기계·기구에 사용되기 때문에 이들로부터 발생된 가연성 가스가 체류할 가능성이 있는 장소로 한정할 필요가 있다.

4.1.2 상호작용 제어

Table 2에서 볼 수 있듯이 인화성 물질을 취급하는 작업

과 용접·용단 등의 작업을 같은 장소에서 동시에 수행하는 것은 원칙적으로 금지하되, 인화성 물질에서 발생하는 가연성 가스가 체류할 가능성이 없는 경우에는 예외적으로 허용할 수 있다.

우레탄폼 등의 단열재는 장소의 밀폐 여부와 상관없이 고온의 점화원에 의해 발화하여 급격하게 연소하므로 용접·용단 등의 작업과 동시작업을 허용해서는 안 된다. 다만, 다양한 단열재가 여러 공정에서 사용되고 있기 때문에 특히 위험성이 높은 우레탄폼을 일정 규모(면적, 양 등) 이상 성형하는 작업으로 국한할 필요가 있다. 그리고 일반 가연물의 경우에는 화재 발생 가능성은 있지만 건설공사 현장의 거의 모든 공정에서 사용되고 있기 때문에 방화포 등으로 차단 조치를 한 후 용접·용단 작업을 진행하도록 하되,

Table 2. Management Plan for Fire Risk Work

Classification	Work place	Welding / Cutting work	Condition / Safety measure
Handling of flammable substances	Closed	×	No possibility of gas retention
	opened	△	
Urethane foam molding work	Closed	×	
	opened	×	
Handling of General combustibles	Closed	○	Barrier membrane/ Fire Clotch Installation
	opened	○	Barrier membrane/ Fire Clotch Installation

산업안전보건법규에 따른 화재감시자를 배치하여 철저한 점검과 관리가 이루어지도록 하여야 한다. 또한 비산불티와 가연물의 접촉을 차단하기 위해서는 작업장소 직근에 차단막을 설치하거나 가연물 위에 방화포를 설치하여야 한다. 방화포는 작업장소로부터 최소 11 m 이상이 되도록 하여야 하며, 성능확보를 위해 공인된 시험기관에서 인증을 받은 제품이 사용되도록 하여야 한다.

4.2 화재 영향관리

건설공사 현장에 설치하는 소방시설은 설치비용, 시공 가능성, 건설공사 규모 등을 전반적으로 고려하여 그 종류나 성능, 설치 기준을 정하여야 하며, 공사의 진행 상황과 작업의 위험성 등에 따라 필요한 소방시설이 설치되도록 하여야 한다. 특히 다수의 인명피해가 반복적으로 발생하고 있는 작업이나 공간 등에 집중적으로 시설을 보강하여 화재안전을 강화할 필요가 있다

4.2.1 소방시설 설치

건설공사 현장에서 화재가 발생했을 때 현장의 모든 작업자들에게 화재 발생 사실을 알릴 수 있도록 발신과 경보기능이 있는 비상경보장치, 초기 화재진압에 사용할 수 있는 소화기와 간이소화장치를 설치하여야 한다. 또한 환기, 채광 등이 어려운 지하층(무창층 포함)에는 폭발 방지를 위해 가스경보기를 비치하고, 작업자의 신속한 대피를 위한 간이피난유도선, 비상조명등이 설치되어야 한다.

임시소방시설의 설치 시기는 소방시설의 종류별로 공사의 진행 상황, 작업의 위험도에 따라 다르게 정할 필요가 있다. 소화기는 기초공사가 시작되는 시점부터, 그 외 소방시설은 소방설비공사 착공시점부터 배치하는 것을 원칙으로 하되 지하공간이나 층별로 설치하여야 하는 소방시설은 골조공사가 완료되고 기계, 전기, 통신, 소방, 승강기 등의 설비공사가 시작되기 이전에 설치되도록 하여야 한다.

임시소방시설을 대체할 수 있는 시설은 기본적으로 대체하고자 하는 시설과 기능이 유사하여야 하고, 동등 이상의

Table 3. Criteria of Temporary Firefighting Facility

Type	Installation & Performance criteria
Emergency alarm device	- Install by floor near each stairwell entrance connected to the ground - Sufficient volume for all workers in construction site to recognize
Fire extinguisher	- Place near the entrance to each stairwell on each floor - Two or more extinguishers of capability unit 3 or more
Simple extinguishing device	- Install 1 unit on ground floor and first basement floor each - Watersource : 20 minutes or more - Pressure : 0.1 MPa or more - Amount : 65 L/min or more
Simple evacuation guidance line	- Install all entrances in basement floor - 10 m or more - Indicate the direction of evacuation
Emergency lighting	- Install all stairwell in basement floor - Interlink with alarm device

성능이 있는 경우에 한하여 제한적으로 인정하여야 한다.

4.2.2 설치 대상 및 위치

임시소방시설 중 발화 방지나 초기 소화를 위해 필요하고 비교적 설치와 유지관리가 용이한 비산방지막·방화포와 소화기는 모든 건설공사 현장에, 간이소화장치와 비상경보장치 장치는 화재안전관리 전담인력의 배치가 필요한 규모 이상에 설치하여야 한다.

그리고 작업인력의 변동이 많고, 건축물의 구조가 다양할 뿐만 아니라 공사 진행에 따라 수시로 변하는 건설공사 현장의 특성을 고려할 때 기본적인 위치를 명확하게 정할 필요가 있다. 모든 건축물에는 규모와 용도에 따라 층마다 1개 이상의 계단이 설치되므로 각 층에 있는 각 계단실 출입구 부근에 소화기와 비상경보장치를 설치하고, 간이피난 유도선은 지하층과 무창층의 계단실 출입구 부근에, 출입구부터 피난층에 이르는 계단실 내부에는 비상조명등을 설치하여야 한다.

4.2.3 성능

각 소방시설의 주요 성능 기준은 Table 3에 정리하였다. 소화기, 간이소화장치의 성능은 임시소방시설의 화재안전 기준(NFSC 606)과 같다.

다만, 비상경보설비의 음량은 국내 건설공사 현장의 공종별, 기계별 거리에 따른 건설소음 연구자료⁽¹⁰⁾를 고려할 때 100 dB 이상이 되어야 하고, 간이피난유도선은 넓은 작업공간이나 다양한 장애물이 있는 상황에서도 식별이 가능하도록 출입구로부터 10 m 이상 설치하고 피난방향이 표시되도록 하여야 한다. 그리고 비상조명등의 성능은 비상조명등의

화재안전기준(NFSC 304)에 따르되 신속한 대피를 위해 비상경보설비와 연동하여 작동하도록 구성하여야 한다.

4.3 화재안전관리 전담인력 배치

소방법규와 산업안전보건법규에 의한 안전관리자 배치 기준, 건설공사 현장에서 발생한 화재통계와 다수 인명피해 발생 화재사례, 연간 건설공사 현황 등을 고려할 때 최소한 i) 연면적 15,000 m² 이상 건축물, ii) 지상 11층 또는 지하 2층 이상 건축물, iii) 바닥면적 600 m² 이상 냉동·냉장창고 건설공사 현장에는 소방안전관리자를 배치하여 소방계획의 수립과 시행, 화재위험작업의 관리, 임시소방시설의 설치와 점검, 작업자에 대한 교육과 훈련, 건축자재와 위험물질의 저장과 취급 관리, 소방관서와의 협력 등 전문적이고 체계적인 화재안전관리를 할 필요가 있다.

건설공사 현장의 소방안전관리자는 작업 공정상 배관의 설치 등으로 용접·용단 작업이 늘어나기 시작하는 소방시설의 착공 시점부터 배치하되 한국소방안전원과 같은 공공성이 있는 제3자가 적합한 인력을 양성하여 배정하는 제도를 도입하여 사업주나 작업자가 화재안전과 관련한 규정과 절차를 준수하도록 감시하고 위험요인에 대해 필요한 조치를 하거나 요구할 수 있는 독립적 지위가 보장되도록 하여야 한다.

4.3.1 모형의 검증과 활용

개발된 모형의 적용성과 효용성을 높이기 위해서는 모형의 구성이나 내용 등에 대한 타당성 검증이 필요하다. 하지만 중대 위험요인에 대한 화재안전관리 체계 모형은 과거의 화재 통계와 사례 그리고 법규 분석자료를 활용하였고, 화재 안전과 방호 전략에 대해 관련 전문가들이 서로 정보를 교류하는 도구인 미국 NFPA의 화재안전계층도를 기반으로 개발하였기 때문에 별도의 검증 절차를 진행하지 않았다. 향후, 중대 위험요인에 의한 화재 발생 방지와 영향 최소화를 위한 최적의 모델이 되기 위해서는 건설공사 현장에서 발생하는 화재사례를 적용하여 지속적으로 타당성을 검증하고 개선할 필요가 있다.

이 모형은 건설공사 입법 관계자, 사업 책임자, 현장 관리·감독자, 작업자 등이 화재안전 전략들의 기능과 역할, 상호관계를 보다 체계적으로 이해하고 실천할 수 있는 도구로 활용될 수 있을 것이다

5. 결 론

본 연구는 건설공사 현장의 다양한 위험요인 중에서 위험성이 높고 통제가 가능한 요인을 집중적·체계적으로 관리할 수 있는 체계 모형을 개발하기 위해 진행하였으며, 실태 분석과 모형 개발에는 화재안전에 대한 시스템적인 접근을 위해 미국 NFPA Code의 화재안전계층도(FSCT)를 활용하였다.

먼저 그동안 화재 통계와 다수 인명피해 사례를 조사하여 화재 발생과 성장, 인명피해의 주된 원인으로 작용한 중대 위험요인을 도출하고 관련 법규를 분석하여 화재안전관리 실태와 문제점을 분석하였다. 그리고 화재안전계층도의 기본구조에 따라 발화 방지와 소화 및 피난 관리로 구분하여 건설공사 현장의 특성이 반영된 차별화된 전략을 제시하였으며, 현장의 철저한 점검과 관리를 위해 화재안전관리 전담인력을 배치토록 하였다.

발화 방지를 위해서는 가연물과 점화원의 제거나 특성 제어보다 상호작용을 제한하는 전략에 중점을 두었다. 그리고 화재 영향의 최소화를 위해 다수 인명피해 발생이 집중된 지하공간의 피난시설을 보강하고, 생성과 소멸을 반복하는 건축 구조, 비정형적인 작업과 근로자 구성 등에 적합한 소방시설의 성능과 설치 기준 등을 탐구하였다.

이 모형은 현행 화재안전관리상의 문제점을 개선·보강하는 차원에서 개발하였으며, 향후 건설공사 입법 관계자, 사업 책임자, 현장 관리·감독자, 작업자 등이 화재안전 전략들의 기능과 역할, 상호관계를 보다 체계적으로 이해하고 실천할 수 있는 도구로 활용할 수 있을 것이다.

References

1. Office for Government Policy Coordination, "Direction to Strengthen Fire Safety in Construction Site" (2020).
2. Gyeonggi Icheon Fire Station, "White Paper on Fire in HanExpress Southern Icheon Logistic Center" (2020).
3. NFPA 550, "Guide to the Fire Safety Concepts Tree" (2017).
4. National Fire Data System, <https://www.nfds.go.kr> (2020).
5. Gyeonggi Icheon Fire Station, "White Paper on Fire in Gyeonggi Icheon Korea 2000 Frozen" (2008).
6. Gyeonggi Southern Provincial Police Agency, "Briefing Materials of Interim investigation results about a Construction Site Fire at Hanexpress Logistics Center" (2020).
7. KODHS, "A Guide on Fire Prevention while welding and fusing" (2014).
8. Y. K. Kong and D. H. Lee, "A Study on Ignitability and Heat Release Rate Characteristics of Rigid Polyurethane Foam", Fire Science and Engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 117-123 (2003).
9. M. Gunther, A. Lorenzetti, B. Scharrel, "Fire Phenomena of Rigid Polyurethane Foams", Article of Polymers (MDPI Journal) (2018).
10. Korean Law Information Center, <https://www.law.go.kr> (2020).
11. J. O. Park, "A Study on the Development of Cadastre Information Management Model", Doctoral Thesis, Kyungil University (2012).
12. I. G. Jung, "Study on the Improvement of Fire Safety in High-rise Building Construction", Master's Thesis, Master

- of Graduate School of Engineering Hanyang University (2014).
13. C. M. Cho, "A Study on Improvement of Fire Safety Measures at Construction Work Sites", Master's Thesis, Graduate School of Construction Industry Kyonggi University (2015).
14. NFPA 241, "Standard for Safeguarding Construction, Alteration, and Demolition Operations" (2019).
15. SFPE, "Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection" (2007).
16. M. J. Kim, "A Study on the Status of Construction Noise of Domestic Projects and Methods of Improvement", Master's Thesis, Graduate School of Industry Hanyang University (2000).