천장 발화 화재의 문제점과 대책 분석

Analysis of Problems of and Measures Against Fires Originating from Ceilings

이의평*

Lee, Euipyong*

Abstract

Five or six catastrophic fires occur in Korea each year. When catastrophic fires originate from a ceiling, they commonly result in many casualties. This study focused on six catastrophic fire cases that originated from the ceiling, which resulted in many casualties, and analyzed their characteristics and problems. According to this analysis, five measures were proposed. 1) When fires originate from a ceiling, an indoor hydrant should be used instead of an extinguisher. 2) The spread of fire and smoke to the upper floors should be blocked against vertical penetration using fireproof charring. 3) The use of combustible materials above the ceiling must be avoided. 4) Synthetic resin conduits, connections, and cable trays must be replaced with metal conduits, connections, and cable ducts to prevent fires caused by electrical factors. 5) Fire detectors must be installed if combustible materials are present in the space above the ceiling.

Key words : Ceiling Fire, Catastrophic Fire, Fire Case Analysis, Fire Investigation

요 지

우리나라에서 매년 5~6건의 대형화재가 발생하고 있는데, 이들 대형화재에서 천장에서 발화된 경우에 다수의 사상자가 발생한 공통점이 있다. 이 논문에서는 천장에서 발화되어 다수 사상자가 발생한 여섯 대형화재사례를 제시하고, 천장에서 발화된 화재의 특징과 문제점을 분석한다. 그리고 이들 특징과 문제점 분석을 토대로 5가지 대책(① 천장발화 시 소화기가 아니라 옥내소화전설비를 사용하여 진화해야 함을 홍보, ② 수직관통부분의 내화 충전으로 위층으로 화재와 연기 확산 차단, ③ 천장 또는 반자 위에 가연성 재료의 사용 제한, ④ 전기적 요인에 의한 화재가 발생하지 않도록 합성수지제 전선관과 접속함, 케이블트레이를 금속제 전선관과 접속함 및 케이블 덕트로 개선, ⑤ 반자 위 공간에 가연물이 있는 경우에 화재감지기 설치)을 제안하고 있다.

핵심용어 : 천장화재, 대형화재, 화재사례분석, 화재조사

1. 서 론

소방통계에 의하면 우리나라는 최근 매년 4~5만 건의 화재가 발생하고 있다. 이들 4~5만 건 화재의 대부분은 큰 인명피해나 재산피해 없이 마무리가 되지만 일부는 많은 인명피해가 발생하거나 큰 재산피해가 발생하여 사회적인 문제가 되기도 한다. 소방청 훈령인 ‘화재조사 및 보고규정’에서는 사망 5명 이상이거나 사상자가 10명 이상 발생한 화재,

재산피해가 50억 이상으로 추정되는 화재를 대형화재로 분류하고 있다. 소방청에서 발행하는 화재통계연보에 의하면 대형화재는 2000~2017년 103건이 발생하여 연간 5.7건 이상이다(NFA, 2018).

이들 대형화재는 다양한 원인으로 발생하고 최초 발화된 곳도 다양하지만, 천장에서 발화된 경우에 다수 사상자가 발생한 대형화재가 많다는 공통적인 특징이 있다. 우리 사회에 큰 충격을 준 제천 스포츠센터 화재와 밀양 세종병원

*교신저자, 정회원, 전주대학교 소방안전공학과 교수(Tel: +82-63-220-2039, Fax: +82-63-220-2056, E-mail: krfirechief@empas1.com)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University

화재도 천장에서 발화된 공통점이 있었다.

지금까지 대형화재 사례를 분석한 논문은 있지만 천장에서 발화된 대형화재에 대한 문제점과 대책을 발표한 논문은 없다.

천장에서 발화된 화재가 사회적 문제가 되고 있음에도 분석이나 연구가 되지 않고 있는바, 천장에서 발화하는 화재에 대한 대책을 강구할 목적으로 이 논문에서는 2000년도 이후 발생한 대형화재 중 천장에서 발화되어 다수 사상자가 발생한 사례들에 대해 알아본 후 천장 발화 화재의 특징과 문제점 및 대책을 분석한다.

2. 천장 발화 대형화재 사례

천장에서 발화된 화재의 문제점과 대책을 분석하기에 앞서 천장에서 발화되어 다수 사상자가 발생한 대형화재 사례를 제시한다.

2.1 이천 냉동창고 화재(Lee, 2008)

이천 냉동창고 화재는 2008년 1월 7일 10시 45분쯤 지하 1층(PC구조로 바닥면적 23,338.35 m², 가로 187 m, 세로 121.5 m, 높이 약 6 m) 안쪽의 냉동실 천장(우레탄폼 부착)에서 발화하였다. 작업 중이던 노동자들은 발화 지점에서 100 m 가량 떨어져 있는 지게차가 드나드는 출입구와 하역장, 비상계단을 찾아 탈출해야 하나 23,338.35 m²의 지하1층 공간은 삼시간에 검은 연기를 내뿜는 유독가스와 불길로 가득 차게 되어 내부에서 작업 중이던 57명 중 40명이 탈출하지 못하고 사망하였고 10명이 부상을 입었다.

이천소방서 소방대가 119신고(10:45)를 받고 현장 도착(10:51)했을 때는 Fig. 1과 같이 이미 화염이 냉동창고를 뒤덮고 있었고 하역장 및 출입구 쪽으로 불기둥이 분출되는 상황이어서 소방대가 인명구조를 하지 못하였다.

Fig. 1. On Arrival of Fire Brigade at Icheon Cold Storage Fire

2.2 국립현대미술관 신축공사장 화재(Lee et al., 2012)

2012년 8월 13일 11시 23분경 서울 종로구 소재의 국립현

대미술관 서울관 신축공사장에서 482명 중 지하층에 152명이 작업을 하고 지하3층 기계실에서 5명이 블록 쌓기와 물빠기 작업을 하던 중 지하 3층 기계실 천장(우레탄폼 부착)에 설치된 임시 가설전등 연결전선에서 전기적 요인에 의해 화재가 발생하였다.

천장에 뿜칠 된 우레탄폼이 연소되면서 급속히 확산되어 발화장소 인근의 지하3층 전기실 청소작업 노동자, 지하2층 기계실 방향 우레탄폼 작업 노동자, 지하1층 기계실 방향과 가까운 탈의실 이전작업 노동자 2명 등 4명이 유독가스에 의해 질식 사망하였고, 24명이 부상을 입었으며 지하공간 32,923 m² 중 15,166 m²를 태웠다.

이 신축공사장은 2011년 12월 착공하여 2013년 2월 완공 목표로 화재당시 공정을 35%로서 지상은 골조 작업 중이었고 지하는 설비 및 단열재 시공 중이었다.

지하3층 기계실에서 블록 쌓기 작업 중이던 노동자가 천장 가설전등(메탈할라이드)에서 스파크가 발생하며 전등 부근에 불이 붙는 것을 목격하였고, 발화지점과 약 20 m 떨어진 지점에서 약 51초간 자신의 핸드폰으로 동영상 촬영하였다. Fig. 2는 핸드폰으로 촬영한 동영상을 캡처한 것이다.

Fig. 2. Ignited Fig.s on the Ceiling at NMMC Fire

2.3 고양종합터미널화재(Lee, 2017, 2018c)

고양종합터미널화재는 지하1층의 9,371.09 m² 공간에서 방화구획 변경과 반자철거 등을 하는 대수선공사 중 천장 부근에서 2014년 5월 26일 09시경 화재가 발생하여 급격히 확대되고 연기가 확산되어 많은 인명피해(사망자 8명, 중상 4명, 경상 111명)와 큰 재산피해(6개월 이상의 영업중지로 인한 피해 포함 약 600억 원)가 발생하였다.

배관공(46세, 남)이 50 mm 도시가스배관을 받쳐주는 보조 역할을 하는 상태에서 용접공(51세, 남)이 공조덕트 위에 방화포를 깔고 바닥에서 4.725 m 높이에서 50 mm 도시가스배관과 50 mm 90도 엘보를 좌우상하 네 군데 가용접과 원주 전체에 용접(완접)을 하려는 도중에 가용접을 좌우 두 군데

를 하고 세 번째 가용접을 배관 위쪽에 할 때 도시가스가 흘러와서 순간적으로 50 cm-1 m 정도의 화염이 솟구치고 천장에 12.5 cm 두께로 뿜칠되어 있는 우레탄폼에 착화되며 급속히 화재가 확대되었다.

천장 우레탄폼에 착화된 후 진화하지 못하고 방화구획이 되어 있지 않아 화재가 지하층 우레탄폼이 있는 천장 전체로 급속히 확산하는 과정에 우레탄폼에 착화된 후 터미널 대합실과 연결된 에스컬레이터 통로와 칸막이 역할을 하고 있던 샌드위치패널이 54초 만에 붕괴되면서 에스컬레이터 통로 쪽으로 화염과 고온의 열기와 다량의 연기를 분출하고, 에스컬레이터 통로를 통해 분출한 화열과 연기는 곧바로 1층과 터미널 대합실과 매표실이 있는 터미널 2층 천장까지 상승하여 순식간에 터미널동을 암흑세계로 만들었다.

Fig. 3은 도시가스배관을 용접작업을 하였던 공조덕트와 우레탄폼이 부착되어 있던 천장을 나타내고 있으며, 천장에 부착된 테이프 아래의 덕트 위에서 도시가스배관 용접을 작업을 하는 중에 화재가 발생하였다. 용접작업을 하던 도시가스배관에서 천장 우레탄폼까지의 거리는 67.5 cm이었다.

Fig. 3. Near the Ceiling Where Welding was Taking Place in Goyang Terminal Fire

2.4 제천스포츠센터화재(Lee, 2018a, 2018b, 2018e, 2019b)

제천스포츠센터화재는 2018년 12월 21일 15:48경 1층 필로티 주차장 천장(스티로폼 부착) 쪽에서 발생한 화재로 29명이 사망하고 40명이 부상을 입었다.

화재 당시 스포츠센터건물 안에는 근무자 16명을 포함하여 150여명이 있었다. 건물관리인이 필로티 주차장에서 사다리를 놓고 올라가 천장 속 얼음제거 작업을 한 후 천장 안의 보온등의 축열(과열) 또는 정온전선의 절연파괴로 인한 전기적인 요인으로 발화된 화재는 Fig. 4와 같이 건너편 가게의 CCTV에 15:48:38 필로티 주차장 천장에 발생한 화염이 녹화되어 있고, 3층 남탕에서 목욕을 마친 뒤 15:48경 1층 필로티 주차장에 나온 손님이 매캐한 냄새를 맡고 주차장 천장의 화재를 목격하고 1층 카운터 여직원에게 화재를 알리었다.

카운터 여직원은 건물관리인 등이 소화기로 화재를 진화하도록 돕다가 카운터로 되돌아와서 내선전화로 15:53에 119신고를 하였다.

16:00경 소방대가 현장에 도착했을 때는 1층 주차장은 최성기 상태로 건물 전체가 연기에 휩싸여 있고 2톤 저장의 LPG탱크가 화염이 닿고 있어 제천소방서의 소방력으로는 감당할 수 없는 상황이었다.

Fig. 4. Flame Produced First in the Parking Lot Ceiling 15:48:38

2.5 밀양세종병원화재

밀양세종병원화재는 2019년 1월 25일 07:25경 1층 응급실 안의 탕비실 천장(스티로폼 부착)에서 발생한 화재로 39명이 사망하고 151명이 부상을 입었다.

응급실 당직 간호조무사가 야간에 사용하였던 전열기구를 원무과에 반납하려고 자리를 비운 사이인 07:25경 자동화 재탐지설비 지구경종 소리를 듣고 응급실로 되돌아와서 탕비실 천장에서 화재를 발견하였다. 3.3 kg 분말소화기 7대로 진화를 시도하였음에도 진화되지 않자 밖으로 나와서 119신고를 하였다.

Fig. 5. Fire Origin at Sejong Hospital Fire

07:35 소방대가 화재현장에 도착했을 때는 1층은 최성기 상태이고 1층 출입구 등 개구부에서 검은 연기가 분출하며

건물 전체를 뒤덮고 있었으며, 세종병원과 세종요양병원 사이의 2층 연결통로를 통해 세종요양병원까지 열기와 연기가 확산되고 있었다.

입원환자 대부분이 거동이 불편한 환자들이고 화세가 강한 상태이어서 밀양소방서의 소방력으로는 대응할 수 없는 상황이었다.

Fig 5는 최초 화재가 천장에서 발견된 응급실 안 탕비실의 모습이다.

2.6 세일전자화재(E.P. Lee, 2019a)

2018년 8월 21일 15:40경 폭염경보가 발령된 상태에서 세일전자(주) 제1공장 지하층 지상4층 건물의 4층 천장(우레탄폼 부착) 복층공간에서 화재가 발생하여 4층에 근무하던 58명 중 9명이 사망하고 6명이 부상을 입는 인명피해가 발생하였다.

소방시설 점검과 관리를 위탁받은 소방시설관리 업체의 담당 직원은 4층 복층 연기감지기회로의 단선신호가 들어온다는 연락을 받고 연기감지기 회로에 연결된 중계기에 저항을 쫓아서 복층 공간의 화재를 수신할 수 없게 한 상태에서 화재가 발생하였다. 그리고 경비실에 있는 화재수신기에 ①~⑤ 노란스티커를 붙여 화재경보가 되면 경비원에게 순차적으로 ① (주음향), ② (지구경종), ③ (비상방송), ④ (부저), ⑤ (사이렌)버튼을 누르도록 하고 있었다.

화재경보가 되자 경비원이 순차적으로 화재수신기에서 정지버튼을 눌러 화재가 발생한 4층을 포함하여 건물 전체에 화재경보가 되지 않았다. 4층 근무자들이 화재발생을 알게 된 직후에 정전까지 되고 연기가 가득 차서 피난계단으로 피난이 불가능하여 4층 전산실로 10명이 피난하였다가 5명이 뛰어내려 2명이 사망하고 3명이 부상을 입었고 전산실에서 5명이 사망한 상태로 발견되었다.

소방대가 현장에 도착했을 때는 연기가 분출하는 4층 전산실 창문의 밖으로 5명이 머리를 내밀고 있는 긴박한 상황이었다.

Fig. 6은 소방대 도착 전 4층 장비반입구를 통해 다량의 연기가 분출하고 있는 모습이다.

Fig. 6. Smoke was Spilling out from Seil Electronic Fire Before the Fire Brigade Arrived

3. 천장 발화 화재의 특징과 문제점

위의 사례 중 이천냉동창고화재, 국립미술관 서울관 신축 공사장 화재와 고양종합터미널화재는 반자가 없거나 철거된 상태에서 천장 쪽에서 발화되었고, 제천스포츠센터화재, 밀양세종병원화재와 세일전자화재는 반자 안쪽에서 발화되었다.

3.1 화재 예방 사각 지대의 화재

반자 안쪽에 가연물과 발화원(열원)이 존재하는 경우에 천장 쪽에서 화재가 발생하면 초기에 발견하기 어려움에도 평상시 반자에 가려져 있으므로 화재취약 요인이나 전조증상이 있는지 확인하기 어렵다. 반자를 설치하는 목적은 반자 안쪽에 배관이나 전선 등을 설치하고 이들 전선 등이 보이지 않아 미관상 좋게 보이기 위함이다.

반자 안쪽에는 화재를 야기할 수 있는 전선 접속함 등이 있음에도 특별한 경우를 제외하고는 반자 안쪽을 확인하거나 화재예방과 관련된 점검을 하는 경우는 드물어서 평상시 반자 안쪽의 화재취약 실태를 알 수 없다.

전선 접속함이나 접속부에서 발열하는 경우에는 화재가 발생하기 전에 나타나는 전조증상이 있고 전조증상이 있으면 육안점검이나 열화상카메라를 통해 확인할 수 있다. 반자 내부에 있는 전선 접속함이나 접속부는 화재를 야기할 수 있어 점검이 필요한 곳임에도 특별한 경우가 아니면 확인하지 않고 있으며 점검(확인)이 안 되고 관리가 되지 않고 있으므로 화재예방 사각 지대에 놓인 경우가 많다.

3.2 화재 조기 발견 한계

반자 안쪽에서 발화한 화재는 반자 안쪽에 화재감지기가 설치되지 않고 있고 반자에 가려져 있으므로 화재가 성장하여 반자를 붕괴시키거나 반자 틈새를 통해 연기가 분출할 때 발견되므로 조기 발견에 한계가 있을 수 밖에 없다. 자동화재탐지설비 및 시각경보장치의 화재안전기준 제7조 제3항 제2호에서 감지기는 천장 또는 반자의 옥내에 면하는 부분에 설치하도록 규정하고 있을 뿐이어서 반자 내부에 설치하지 않아도 되므로 화재나 연기가 반자를 돌파하거나 틈새를 통해 실내 쪽으로 분출하지 않으면 감지할 수도 없다.

3.3 급속한 연소확대

단열 등을 위해 천장 쪽에 스티로폼이나 우레탄폼을 부착하는 경우에는 천장 쪽에서 발화하면 스티로폼이나 우레탄폼을 연소시키며 급속히 연소확대가 된다. 스티로폼이나 우레탄폼은 불이 붙으면 용융되고 중력에 따라 불붙은 용융물이 아래로 낙하되므로 연소되고 있지 않은 아래쪽 가연물에 화염확산을 하게 할 수 있다(Gorbett and Pharr, 2011; NFPA, 2016).

Fig 7은 세종병원 건물의 3층 반자 내부의 모습으로 천장

쪽에 전체적으로 스티로폼이 부착되어 있음을 알 수 있다.

천장에서 발화되고 천장에 스티로폼이나 우레탄폼이 부착된 경우에는 열기(fire plume)가 천장에 쌓여 연소되지 않은 가연물을 열분해시켜 열분해가스를 분출시키고 천장의 화염에 의한 복사열이 아래쪽 가연물에 복사시키므로 급속히 연소확대가 된다.

Fig. 7. Inside the Unburned 3th Floor Ceiling

3.4 소화기로 초기소화 불가

소화기로 진화하려면 우선 화재규모가 크지 않고 접근이 가능하며 조작자의 시야보다 낮은 화점의 화재이어야 한다. 소화기 조작자의 시야보다 높은 천장에서 발화한 경우에는 분말소화약제를 분사키면 소화약제가 천장에 도달하기도 쉽지 않고 화점에 도달하기 전에 대부분이 중력에 의해 아래쪽으로 내려와서 화점에 소화약제가 충분히 도달하지 않아서 소화하기 어렵다. 또한 화점이 분출되면서 소화약제가 도달하는 높이라고 하더라도 조작자의 시야를 가려서 화점에 소화약제를 분출시키기도 어렵다. 특히 반자가 있으면 반자에 가려서 소화약제가 화점에 직접 도달하기도 쉽지 않다.

반자 안쪽의 화재나 천장의 화재는 소화기로 초기소화가 거의 불가능하다.

3.5 스프링클러설비로 소화 불가

대표적인 자동소화설비로 스프링클러설비가 있다. 스프링클러설비는 자동소화설비이므로 천장이나 반자 안쪽에서 발화된 경우에도 소화할 수 있는 것으로 오해하는 경우가 있다.

스프링클러설비는 스프링클러헤드에서 살수된 물이 불타고 있는 가연물에 떨어지거나 적시어 진화한다. 스프링클러헤드는 반자가 있으면 반자에 하향형헤드를, 반자가 없으면 상향형헤드를 설치한다. 천장과 반자 사이에는 상향형헤드를 설치한다.

스프링클러설비의 화재안전기준 제15조 제1항에 따라 천장·반자 중 한쪽이 불연재료로 되어있고 천장과 반자사이의 거리가 1 m 이상인 경우와 천장 및 반자가 불연재료

외의 것으로 되어 있고 천장과 반자사이의 거리가 0.5 m 이상인 경우에는 스프링클러헤드를 설치해야 하는데, 이러한 경우에는 상향형헤드를 설치한다. 하향형헤드는 아래쪽으로 살수되므로 천장의 화재를 진화하지 못하는 것은 당연하며, 상향식 스프링클러헤드에서 정상적으로 소화수가 살수되더라도 소화수가 천장으로 쏟아지는 것이 아니라 상향형헤드의 반사판에 부딪혀서 아래쪽으로 쏟아지므로 천장에 부착된 우레탄폼 등의 화재를 진화할 수 없다(Lee, 2018d).

3.6 수직관통부를 통한 상승 연소확대 및 연기확산 용이

위에서 제시한 여섯 천장 발화 화재사례 중 이천 냉동창고 화재와 세일전자 화재 사례를 제외하고는 발화한 위층에서 많은 사상자가 발생하였다. 발화층이 아니라 발화한 위층에서 많은 사상자가 발생한 이유는 수직관통부를 통하여 위층으로 연소확대되거나 연기가 확산되었기 때문이다.

층과 층 사이의 배관이나 전선 등이 통과하는 수직관통부인 피트는 천장을 통해 연결하므로 천장에서 발화되고 피트에 층간구획이 확실히 되지 않은 경우에는 바로 위층으로 화열과 연기를 확산시킬 수 있다.

4. 천장 발화 화재 관련 대책

4.1 옥내소화전설비 사용하여 진화하도록 홍보

화재초기에는 소화기로 진화할 수 있는 것처럼 홍보되고 있지만 앞에서 언급한 것처럼 소화기는 접근 가능해야 하고 조작자의 시야보다 낮은 화점의 화재만 진화할 수 있는 한계가 있다. 옥내소화전은 노즐의 방수압이 0.17 MPa 이상이므로 조작자가 접근하지 않고 천장 쪽의 화점에 방수할 수 있을 뿐만 아니라 반자가 있는 경우에도 방수압력으로 반자를 파괴하며 화점에 방수할 수 있다.

천장 발화 시 소화기가 아니라 옥내소화전설비를 사용하여 진화해야 함을 적극 홍보할 필요가 있다.

4.2 수직관통부 내화 충전 철저

천장 발화 시 층과 층 사이의 수직관통부에 내화 충전이 안 되어 있으면 쉽게 수직관통부를 통해 위층으로 화열과 연기를 확산시킬 수 있다. 일반적으로 수직관통부가 노출된 부위에 있지 않고 피트 속에 있으므로 내화 충전을 하고 있는지 확인하지 않으면 알기 어렵다. 내화 충전을 철저히 하여 위층으로 화열과 연기의 확산을 차단시켜야 한다.

4.3 가연성 재료 사용 제한

천장이나 반자 안에 가연물과 접화원이 있어서 천장 발화 화재가 발생한다. 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제24조에서 거실의 벽 및 반자의 실내에 접하는 부분의 마감은 방화상 지장이 없는 재료(불연재료, 준불연재료)

료, 난연재료)로 하도록 규정하고 있으므로 실내에 접하지 않는 반자 위 천장의 마감은 방화상 지장이 있는 가연성 재료로 하여도 무방하다. 실내에 접하는 부분의 마감은 방화상 지장이 없는 재료로 규제하는 것은 실내에서 화재가 발생하는 경우에 마감재료가 착화되기 어렵고 착화되더라도 급격히 연소확대되는 것을 방지하기 위한 취지일 것이다. 실내에 접하는 부분의 마감은 방화상 지장이 없는 재료로 규제하는 것과 반자 위는 관련이 없으므로 반자 위에 가연성 재료가 있으면 반자 위의 공간에서 화재가 발생한 경우에는 연소확대를 저지하거나 지연시킬 수 없다. 반자 위에 가연성 재료의 사용을 금하거나 제한할 필요가 있다. 반재 내부의 가연성 재료 사용을 규제하기 어렵다면 위험성을 홍보하여 건축주 등이 스스로 가연성 재료 사용을 자제할 수 있게 할 필요가 있다.

4.4 전선관과 접속함 개선

천장에서 발화한 여섯 화재사례 중 고양종합터미널화재를 제외하고는 전기적인 요인에 의한 화재로 추정된다. 이전 냉동창고화재가 용접불티 비산과 관련된 것이라는 논문 등(Jung et al., 2008; Lee, 2012; Y.J. Lee, 2019)이 있는데, 화재발생 당일 용접작업 자체가 없었으므로 용접과 관련이 없는 화재이었다(ICF, 2008). 냉동창고 안쪽에 위치한 13호 냉동실 천장에서 발화되었고 천장에는 전기적인 요인 이외에 화재원인이 될 만한 것이 없으므로 전기적인 요인과 관련된 화재로 추정할 수 있다.

천장에서 발화하는 이유는 천장에 가연물이 있고 점화원이 있기 때문이다. 단열 등을 위해 불가피하게 반자 안이나 천장에 가연물이 있는 경우에는 점화원이 없도록 제한하면 화재로 이어지기 어렵다. 천장이나 반자 속 대부분의 점화원은 전기적인 발열이나 스파크 등이다. 전기적인 발열이나 스파크 등은 전기 접속부나 접속함에 발생하고 있으므로 전기접속부나 접속함이 점화원을 제공하지 않도록 개선할 필요가 있다.

전기설비기술기준 제50조 제1항에서 배선은 시설장소의 환경 및 전압에 따라 감전 또는 화재의 우려가 없도록 시설하여야 한다고 규정하고 있을 뿐 천장이나 반자 안 배선에 대한 구체적인 규정은 없다.

Fig. 8은 세일전자 발화층 바로 아래 3층 천장과 반자 위의 전선관과 전선 접속함을 나타내고 있다. 합성수지제 주름관을 이용하고 있을 뿐만 아니라 접속함에 뚜껑도 없는 상태이어서 전선 접속부와 접속함에 화재예방과 관련된 아무런 보호조치가 없다.

반자 안쪽이나 천정의 전선 접속부나 접속함 주위에 가연물이 있는 경우에는 금속제 전선관이나 금속제 가요전선관을 사용하고 접속함도 금속제로 뚜껑을 닫아 전선관 내부나 접속함 내부에서 화염이나 스파크가 발생하더라도 가연물이 있는 외부로 스파크나 화염이 분출하지 않게 전선관

재료와 시공방법을 규제할 필요가 있다. 전선케이블을 트레이 위에 올려놓고 있는 케이블트레이는 전선케이블이 금속 덕트 안에 배선되도록 규제 검토를 할 필요가 있다.

Fig. 8. Conduit and Junction Box of the 3th Ceiling and False Ceiling at Seil Electronic Fire

4.5 반자 위에 화재감지기 설치

화재감지기는 열, 연기, 화염 또는 연소생성물로 화재를 감지하는데, 열감지기와 연기감지기가 일반적이다. 자동화재탐지설비 및 시각경보장치의 화재안전기준 제7조 제3항 제2호에서 감지기는 천장 또는 반자의 옥내에 면하는 부분에 설치하도록 규정하고 있다. 즉, 반자 위에 가연물이 있더라도 반자가 있는 경우에 반자 위 천장에 화재감지기 설치를 의무화하지 않고 있다.

일본 소방법규에서는 주요구조부를 내화구조로 한 경우를 제외하고는 반자와 천장 사이의 높이가 500 mm 이상인 경우에 화재감지기를 설치하도록 하고 있다.

반자 위에 가연물이 있는 경우, 또는 반자 위에 가연물이 있고 금속제 전선관과 접속함 기밀구조로 시공하지 않는 경우에는 반자 안쪽이나 천장 쪽에 화재감지기를 설치하도록 의무화할 필요가 있다.

5. 결 론

천장에서 발화하여 다수의 사상자가 발생한 여섯 대형화재 사례를 예시한 후 천장 발화 화재의 특징과 문제점을

분석하고, 대책을 제안하였다.

천장 발화 화재의 특징과 문제점은 첫째, 화재 예방 사각 지대의 화재인 점, 둘째, 화재 초기 발견에 한계가 있는 점, 셋째, 급속히 연소확대되는 점, 넷째, 소화기로 초기소화가 어려운 점, 다섯째, 스프링클러설비로 소화가 불가능한 점, 여섯째, 수직관통부를 통한 상층 연소확대가 용이한 점으로 분석하였다.

천장 발화 화재의 특징과 문제점을 바탕으로 대책을 ① 천장발화 시 소화기가 아니라 옥내소화전설비 사용하여 진화하도록 홍보, ② 수직관통부분의 내화 충전으로 위층으로 화열확산 차단, ③ 천장 또는 반자 위에 가연성 재료의 사용 제한, ④ 천장 또는 반자 위의 전선 접속부와 접속함에서 전기적 요인에 의한 화재가 발생하지 않도록 전선관과 접속함을 금속제로 하고 케이블트레이는 케이블덕트로 개선, ⑤ 반자 위 공간에 화재감지기 설치를 제안하였다.

이 논문이 천장 발화 화재를 줄이는데 기여하기를 기대한다.

References

- Gorbett, G.E., and Pharr, J.L. (2011). *Fire Dynamics*. New Jersey: Person.
- Icheon Fire Station (ICF). (2008) *White paper on Korea 2000 cold storage fire*. pp. 186-187.
- Jung, T.H., Park, S.H., and Kim, H.G. (2008). A study on enhancing institutionalization on the fire analysis of the warehouse at Icheon City. *Proceedings of 2008 Spring Annual Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 80-84.
- Lee, E.P. (2008). Problems and measures to prevent recurrence of cold storage fire. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 24, No. 12, pp. 39-46.
- Lee, E.P. (2017). Investigation and analysis of a Goyang bus terminal fire. *Proceedings of 2017 Autumn Annual Conference*, Korean Institute of Fire Investigation, pp. 11-42.
- Lee, E.P. (2018a). Analysis of causes of casualties in Jecheon sports center fire: Focus on an initial response and management. *Fire Science & Engineering*, Vol. 32, No. 5, pp. 57-66.
- Lee, E.P. (2018b). Analysis of causes of casualties in Jecheon sports center fire: Focus on structural factors of building and equipment. *Fire Science & Engineering*, Vol. 32, No. 4, pp. 86-94.
- Lee, E.P. (2018c). Analysis of the causes of catastrophic damage of Goyang bus terminal fire and the preventive measures for similar catastrophic fires. *Journal of Scientific Criminal Investigation*, Vol. 12, No. 1, pp. 39-48.
- Lee, E.P. (2018d). Analysis of the working conditions of fire protection systems in the Goyang bus terminal building fire. *Fire Science & Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 95-107.
- Lee, E.P. (2018e). Time line analysis before fire brigade arrival on Jecheon sports center fire. *Journal of Scientific Criminal Investigation*, Vol. 12, No. 4, pp. 265-273.
- Lee, E.P. (2019a). Analysis of the causes of multiple casualties in an electronics factory fire. *Fire Science & Engineering*, Vol. 33, No. 4, pp. 130-139.
- Lee, E.P. (2019b). Time line analysis after fire brigade arrival on Jecheon sports center fire. *Journal of Scientific Criminal Investigation*, Vol. 13, No. 1, pp. 50-59.
- Lee, S.R. (2012). An experimental study on the fire risk at welding-cutting process. *Fire Science & Engineering*, Vol. 26, No. 3, pp. 60-66.
- Lee, Y.B., Jeong, C.H., Jeong, T.J., and Kim, H. (2012). An experimental study on the fire characteristic of National Museum. *Journal of the Fire Investigation Society & Equipment Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 81-88.
- Lee, Y.J. (2019). *Improvements of fire watch arrangement system in construction site*. Master's thesis, Chung-Ang University.
- National Fire Agency (NFA). (2018). *2017 Fire statistical yearbook*. pp. 429-434.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2016). *Fire investigator: Principles and practice to NFPA 921 and 1033* (4th ed.). Jones & Bartlett Learning, NFPA, p. 32.

Received	September 20, 2019
Revised	September 23, 2019
Accepted	October 1, 2019