Cone Calorimeter를 활용한 천장재의 연소특성에 관한 연구

Study on Combustion Characteristics of Ceiling Materials Using Cone Calorimeter

허예림* · 김윤성** · 김혜원*** · 이병흔**** · 진승현***** · 권영진*****

Huh, Yerim*, Kim, Yunsung**, Kim, Hyewon***, Lee, ByeongHeun****, Jin, SeungHyen*****, and Kwon, YoungJin*****

Abstract

Urban living spaces with piloti structures are at high risk for deregulation of building protocols. Recent fire case investigation results have shown the path of the fire from the initial ignition point to the exterior material via combustible ceiling materials; thus, preventing the spread of the fire through the ceiling material is a priority. Accordingly, investigations were conducted on the ceiling materials used in piloti structures, and it was confirmed that SMC, aluminum, DMC, and gypsum board were the main components, with the SMC ceiling materials accounting for more than 70% of the composition. Cone calorimeter tests were performed on these ceiling materials, and the heat fluxes of SMC, aluminum, DMC, and gypsum board were determined to be 217.10, 15.07, 1.78, and 41.92 kW/m², respectively.

Key words : Field Survey, Fire Safety, Fire Case Analysis, PHR, THR

요 지

필로티 구조를 가진 도시형 생활주택은 건축 규제의 완화로 인해 화재위험성이 높은 실정이다. 또한, 기존 화재사례 조사 결과 최초 착화지점에서 발생한 화재가 가연성 천장재를 통해 외장재로 확대되는 경로를 보였기 때문에 천장재의 화재확대방지가 우선적으로 이뤄질 필요가 있다. 이에 필로티 구조물의 천장재에 대한 조사를 시행한 결과 SMC, 알루미늄, DMC, 석고보드 등이 주로 사용되는 것으로 확인되었으나 70% 이상이 SMC 천장재인 것으로 조사되었다. 조사된 천장재를 대상으로 Cone Calorimeter 시험을 진행한 결과 SMC 217.10 kW/m², 알루미늄 15.07 kW/m², DMC 1.78 kW/m², 석고보드 41.92 kW/m²로 조사되었다.

핵심용어 : 현장조사, 화재안전, 화재사례분석, 최대열방출률, 총방출열량

1. 서 론

국내의 인구의 밀집화 및 주거공간의 부족으로 인해 2009년 도시형 생활주택이 등장하였다. 도시형 생활주택은 일반

주거시설에 적용되는 규제와 허가를 벗어나 안전규제의 완화, 주차장 확보, 주택건설 규제 등 간소화 혜택을 받으며 점점 늘어나는 추세이며, 필로티 구조가 공중의 통행이나 주차 전용이 될 경우에는 바닥 면적에 산입되지 않는 등의

*정회원, 호서대학교 소방방재학과 학사과정(E-mail: huh531@naver.com)

Member, Undergraduate, Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

**정회원, 호서대학교 소방방재학과 석사과정

Member, Master's Course, Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

***정회원, 호서대학교 소방방재학과 공학석사

Member, Master of Engineering, Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

****정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정

Member, Ph.D. Candidate, Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

*****정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정

Member, Ph.D. Candidate, Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

*****교신저자, 정회원, 호서대학교 소방방재학과 교수(Tel: +82-41-540-5497, Fax: +82-41-540-5738, E-mail: jungangman@naver.com)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire&Disaster prevention of Hoseo University

이점이 있어 필로티 구조를 가진 도시형 생활주택이 증가하는 추세이다.

하지만, 2015년 의정부 아파트 화재, 2017년 제천 스포츠센터 화재, 2018년 오산 원룸 화재 사례에서 알 수 있듯이 필로티 구조물의 화재위험성은 매우 높은 실정이다(Kim et al., 2020). 이러한 화재확대에는 가연성 외장재가 주요한 원인으로 지목되었으나 실제 화재사례를 조사해보면 최초 착화원에서 발생한 화재가 가연성 천장재를 통해 수평적으로 확대되고 외벽의 가연성 외장재로 착화된다.

또한, 최근 발생한 울산 주상복합화재에서도 가연성 천장재를 통해 화재가 대형화되는 현상이 확인된 바 있다. 울산 주상복합 건물은 30층 이상의 고층 건축물이기 때문에 소방법령 상 특급에 해당하는 만큼 규제가 이뤄지고 있음에도 화재확대방지가 이뤄지지 않은 문제점이 발견되었다.

비교적 저층에 해당하는 필로티 건축물의 경우에는 관련 규제마저 간소화 되어있는 실정이기 때문에 화재위험성이 상당히 높은 실정이다(Han, 2015; Park, 2016; Cho et al., 2020).

이러한 문제의 해결을 위해 관련 법령은 지속적으로 개정되었고 2019년 11월 건축법 시행령 61조 2항에 의거하여 3층 이상 또는 9 m 이상의 건축물은 외기에 접하는 천장재 및 가연성 외장재의 사용이 불가하다. 하지만, 기존에 시공되어 있는 건축물의 경우에는 여전히 화재위험성에 노출되어 있으며, 국토교통부에서 조사한 '가연성 외장재 사용 건축물 등 1단계 조사 결과보고'에 따르면, 약 650,000여 동의 건축물 중 약 23%에 해당하는 약 145,000여 동의 건축물이 여전히 가연성 외장재를 사용하는 것으로 조사되었다.

울산 주상복합화재 및 필로티 구조의 건축물에서 발생한 화재사례에서 확인한 바와 같이 가연성 천장재는 수평적인 화재확대 통로의 역할을 수행하기 때문에 소방법령 상 사각지대에 존재하는 필로티 구조의 건축물에 대한 대책이 필요하다. 우선적으로 실제 필로티 건축물에 시공된 천장재의 종류 및 연소특성에 대한 데이터를 확보할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 서울, 경기, 천안, 아산을 대상으로 필로티 건축물의 천장재에 대해서 현장조사를 진행하고 현장조사를 통해 조사된 시료를 대상으로 Cone Calorimeter 시험을 진행하고 이에 대한 기초적인 자료를 확보하고자 한다.

2. 가연성 천장재를 통한 화재확대사례 조사

2.1. 의정부 도시형 생활주택 화재

의정부 도시형 생활주택 화재(2015)는 의정부에 위치한 아파트 1층 필로티 주차장에서 발생한 화재이다. 화재는 4륜 오토바이 운행 후 주차하면서 얼어붙은 오토바이 키박스를 라이트로 녹였는데 이 때, 키박스 내에서 전기합선이 일어나 화재가 발생한 것으로 추정된다. 이렇게 발생한 화재

는 천장재(SMC)에 옮겨 붙고 천장재가 낙하하면서 주차장에 주차된 차량에 화재가 옮겨 붙었다. 이후 1층 전체로 화재가 확대 되었고 인근 건물로까지 불이 옮겨 붙었다. 필로티 주차장에서 화재가 시작되어 필로티 구조 상 하나밖에 없는 출입구가 막혔고, 이로 인해 화염과 유독가스에 따른 사망 5명 부상 125명의 인명피해가 발생하였다.

이 화재의 문제점으로는 첫 번째로 주차장의 천장재로 SMC 소재를 사용한 것에 있다. 필로티 구조의 경우 1층의 천장이 외기와 접하게 된다. 앞서 기술한 것과 같이 필로티 건축물의 경우 결로와 동파를 막기 위해 단열재를 시공하게 되는데, 본 화재사례의 경우 최초 화재 이후 천장 단열재에 화재가 옮겨 붙어 화재가 수평 확산되어 화재 확산에 큰 영향을 미쳤다.

두 번째로, 가연성 외장재의 문제가 있다. 의정부 아파트 건물의 외장재는 알루미늄 복합 패널로 시공 되었다. 화염이 처음 옮겨 붙은 SMC 천장재에서 수평 확대되어 외장재에 착화되면 단시간에 건물 외벽을 매개로 수직 확산될 수 있다.

마지막으로 필로티 건물 구조상의 문제이다. 의정부 아파트는 필로티 구조 상 건물의 주 출입구가 하나로 시공되었다. 이에 화재 발생 이후 피난로가 봉쇄되어 화염 및 유독가스에 의한 인명피해가 다수 발생한 바 있다(Choi and Choi, 2016; Choi et al., 2016).

2.2. 제천 스포츠센터 화재

제천스포츠센터 화재사례(2017)는 9층 높이의 건물 1층 주차장 배관열선 설치 작업 중 발화한 것으로 추정되고 있다. 이로 인해 착화 된 스티로폼이 아래 주차장에 있던 차량으로 떨어지면서 옮겨 붙어 불길이 번졌다. 불붙은 주차장 내부차량 15대와 외부차량 1대를 태우고 가연성 외장재인 건물외벽 드라이 비트와 건물 내부 통로(계단실, E/V 등)를 타고 순식간에 9층까지 옮겨 붙었다. 제천 스포츠센터화재에서 화재피해가 확대된 원인은 크게 3가지로 구분할 수 있다.

첫 번째 필로티 건축물의 구조적 문제점이 있다. 필로티 구조의 특성상 1층 주차장에서 화재가 발생하면 주차장의 차량들은 높은 발열량을 가지고 있고, 외기의 흐름이 원활하여 연소확대에 큰 영향을 미친다. 주차장에서 발생한 화재가 외벽을 타고 상층부로 화재가 확산됨과 동시에 필로티 1층의 주차장에서 발생한 화재가 연결된 주출입구를 통해 연기 및 화염이 확산되어 상층부의 재실자들에게 큰 피해를 입혔다. 또한, 지상층으로의 진입이 어려워 소방관의 소화활동에 영향을 미쳤으며, 이로 인해 인명구조가 지연 되는 사태로 다수의 사망자가 발생했다(Kwon et al., 2018; Lee, 2018).

두 번째로는 천장재의 재료적 문제점이 있다. 필로티 건축물의 경우 외기에 접하는 주차장 천장부에 결로 및 동파를 방지하기 위해 단열재를 시공하게 되는데 천장 단열재가 최초 발화점이 되었으며, 1층 천장부 전체로 화재가 확산되며 외벽을 통해 확산되는 결정적인 원인이 되었다. 이는

외기의 흐름이 원활한 필로티 건축물의 특성과도 연관되어 화재확산에 영향을 미쳤다.

세 번째는 외벽의 가연성 단열재이다. 드라이비트 공법을 시공한 필로티 건축물에서의 화재는 2015년 의정부 화재 이후 제천스포츠센터 화재, 오산원룸 화재 등 지속적으로 발생하고 있다.

2.3. 울산 주상복합 화재

2020년 10월 8일 23시 7분경 3층 테라스에서 발생한 화재로써 화재가 발생한 건물은 지하 2층, 지상 33층, 최고높이 115 m 규모이고 공동주택 127가구, 오피스텔 9실과 상가가 입주해 있다. 화재가 발생한 위치는 3층 테라스였으며, 화재 원인은 아직 미상이고 인명피해로는 부상자 93명과 약 100억 원의 재산피해가 발생했다.

당시 울산광역시에는 14호 태풍 찬홈의 영향으로 강풍이 불고 있었고 이로 인해 화재가 발생한 건축물에서 약 200 m 거리에 위치한 롯데마트 옥상에 불티가 비산해 화재가 확산되는 등 위험상황이 연출되었다. 화재의 경우 야외테라스 바로 위에 알루미늄 패널이 위치하고 있었고, 상층부로 확대된 것이 V자 패턴을 통해 확인되었다.

화재가 발생한 당시 내부 거주자의 증언에 따르면 화재가 발생한지 약 15분이 경과한 23시 24분까지는 화재가 관찰되지 않았으나 23시 28~35분 사이에 붉은 빛이 관찰되다가 연기가 육안으로 확인되고 이후 불기둥 형태로 불길의 위로 향하기 시작했다고 한다. 이후 3층을 넘어 6층까지 치솟기 시작하며 화재가 33층 건축물 전체로 확대되었고, 상층부 72세대 중 16세대가 전소, 8세대는 반소, 28세대는 부분소 판정을 받는 등의 큰 재산피해가 발생했다.

건축물의 화재가 최상층까지 확대되지 않았음에도 반대편으로 확대된 원인은 Fig. 1과 같이 15층 피난층을 통한 것으로 확인되었다.

Fig. 1. Ulsan Apartment Fire Accident

Fig. 2. Ceiling of 15 Floor (SMC panel)

울산 주상복합의 경우 피난안전구역의 설치 대상은 아니지만 15층과 28층을 피난층으로 운용하고 있었는데 건축물의 외벽을 통해 화재가 상층부로 확대되는 과정에서 양쪽이 뺨 뚫린 구조인 피난층이 화재 통로의 역할을 했다. 또한, Fig. 2와 같이 천장재가 SMC (Sheet Molding Compound)로서 15층에 설치된 피난 안전구역이 오히려 화재를 확산시키는 통로가 되었다.

이상의 3가지 화재사례를 조사한 결과 가연성 외장재로의 화재확대를 통해 대형화되는 경향을 보였으며, 이러한 주요 원인은 가연성 천장재를 통해 외장재까지 확대되는 경로로 작용했기 때문이다. 따라서, 기존 건축물에 대한 가연성 천장재 시공 여부에 대해 조사하고자 한다.

3. 필로티 건축물 현장조사

3.1. 현장조사 개요

사례조사에서 확인한 바와 같이 공통적으로 화재에 취약한 SMC천장재는 화재가 발생했을 때 빠른 화재확산 경로가 되며, 가연성 외장재가 시공되는 경우에는 건축물 전체로 확산되는 위험성을 가지게 된다(Lee et al., 2019). 특히 필로티 구조로 사용되는 건축물은 주차된 차량으로 인한 빠른 화재확산이 일어난다.

최근의 필로티 건축물의 법령의 개선으로 3층 이상의 건축물에는 가연성 외장재를 사용할 수 없으나 그 이전에 시공된 건축물에 대한 소급적용 기준이 없기 때문에 여전히 시공비율이 높을 것으로 판단된다.

따라서, 천장재 및 화재사례에서 문제점으로 도출되었던 가연성 천장재의 비율을 확인하기 위해서 화재 발생 건수가 많은 서울, 경기 지역과 실제 정보 취득이 용이한 천안, 아산 지역에서 6층 미만의 필로티 건축물 137개 동을 대상으로 현장조사를 진행하였다. 조사항목은 시공된 외장재의 종류, 천장재의 종류로서 이를 확인하기 위해 거주자를 대상으로 직접 질의하거나 외벽이나 천장재의 파손 부위를 직접적으로 관찰하는 방식으로 구분하였다.

Table 1. Part of the Investigation

Number	The year of construction	Floors	Exterior material	Ceiling material
1	2003	3	Dryvit	Aluminum
2	2012	4	Dryvit	SMC
3	2012	5	Dryvit	SMC
4	2011	5	Stone	Gypsum board
5	2017	5	Dryvit	Gypsum plaster
6	2015	5	Dryvit	SMC
7	2009	4	Dryvit	SMC
8	2012	5	Dryvit	SMC
9	2013	4	Dryvit	SMC
10	2011	4	Dryvit	SMC

조사된 방식은 Table 1과 같으며, 가능한 경우에는 건축물의 준공연도까지 확인하였다. 다만, 현장에서의 협조가 원활하지 않아 약 준공연도에 대한 확인은 대체적으로 어려웠다.

3.2 현장조사 결과

천장재에 대한 현장조사 결과는 Table 2와 같다. SMC 재질의 천장재의 사용비율은 총 97건으로 전체 137건 중 약 70.8%에 해당하며, 아연 도금이 이뤄진 DMC (Design Metal Ceiling) 재질의 천장재는 22건으로 16.08%의 비율을 보였다.

알루미늄천장재, 석고보드천장재는 각각 9건으로 조사되었다. 외장재의 경우 확인이 어려웠던 14건을 제외하면, 약 83.2%에 해당하는 114건이 외단열 공법으로 시공된

Table 2. Result of Survey (Ceiling Material)

Division	Number (EA)	Per (%)
SMC	97	70.80
DMC	22	16.08
Aluminum	9	6.56
Gypsum plaster	9	6.56
Total	137	100

Table 3. Result of Survey (Exterior wall)

Division	Number (EA)	Per (%)
Dryvit (EIFS)	114	83.22
Stone	9	6.56
Unknown	14	10.22

것으로 조사되었으며, 불연성 재질로 시공된 경우는 9건에 해당되며 약 6.56%에 불과했다.

또한, 화재사례 조사에서 알 수 있듯이 필로티 구조의 건축물에서 발생한 화재는 Fig. 3과 같이 주차되어있는 차량을 통해 발생하거나 대형화 되는 과정을 거치는데 이때 천장재를 통해 전파되고 이후 외장재를 통해 확대되는 경로를 보였다.

하지만, 천장재의 경우 일반적으로 열전도가 낮아 단열효과가 뛰어나고 흡음성이 좋고 사후관리가 용이하다는 장점을 가진 SMC 재질의 천장재가 많이 시공되는 것으로 사료된다. Table 2에서 알 수 있듯 가연성 천장재가 시공된 건축물의 비율은 조사대상 중 79% 이상이고 Table 3과 같이 가연성 외장재가 시공된 건축물의 비율이 80% 이상인 것으로 보아 유사한 화재위험성은 여전히 높다고 판단된다.

(a) Ceiling (1)

(b) Ceiling (2)

(c) Ceiling (3)

(e) Parking Space (1)

(f) Parking Space (2)

(g) Parking Space (3)

(d) Ceiling (4)

Fig. 3. Field Survey

4. Cone Calorimeter 시험

4.1. 시험방법

본 장에서는 3장에서 조사되었던 천장재의 연소특성을 검토하기 위해서 KS F ISO 5660-1 [연소성능시험-열 방출, 연기 발생, 질량 감소율-제1부 : 열 방출률(콘칼로리미터법)]의 기준에 따라 시험을 진행했다.

콘칼로리미터 시험은 실제 화재조건을 모사하는 방법 중 하나로서 연소 중에 산소 1 kg이 소비되면 13.1 MJ의 열량이 방출된다는 관계를 기반으로 시료에 일정량의 공기를 공급하면서 재료의 연소성을 평가하는 방법이다.

연소특성 시험은 KS F ISO 5660-1 (2008)의 방법에 의해 Fig. 4와 같이 Dual Cone Calorimeter (Fire Testing Technology)를 이용하여 열유속(Heat flux) 50 kW/m² 조건에서 수행하였다. 시험조건은 Table 4와 같다.

온도 23 ± 2 °C, 상대습도 50 ± 5%에서 함량이 될 때까지 유지한 다음 알루미늄 호일로 비 노출면을 감싼다. 시험에

Fig. 4. Schematic Apparatus of the Cone Calorimeter

Table 4. Test Condition of the Cone Calorimeter

Test Method	Test Condition
Measurement Data	Mass Loss, Heat Release Rate, Total Heat Release
Burner	Cone Heater
Intensity of Radiation	50 kW/m ²
Heating Time	1,800 Seconds After Continuous Combustion
Size (W × D × H)	100 × 100 × 50
Flow System	Dynamic (Flow) System
Exhaust Flow Rate	0.024 ± 0.002 m ³ /s
c-factor	0.0386

앞서 콘히터의 열량이 설정 값 ±2%이내, 산소분석기의 산소 농도가 20.95 ± 0.01%가 되도록 교정하고 배출유량을 0.024 ± 0.002 m³/s로 설정하였다. 시험편은 유리섬유를 이용하여 높이를 조절하였고, 시험편홀더로는 열전도율이 낮은 세라믹 판을 사용하였다.

또한 시험편의 밀도는 실험을 시작하기 전 부피와 질량을 측정하여 계산하였다. 연소 실험은 불꽃연소가 시작된 이후 30분 경과 후에 종료하였으며, 추가로 2분간의 데이터 수집 시간을 부여하였다. 이외의 변수에 대해서는 KS F ISO 5660-1의 기준에 의거하여 진행하였다.

시험편의 조건은 Table 5와 같다. 시험편의 선정은 현장 조사를 통해 얻은 4가지 천장재를 대상으로서 SMC, 알루미늄, DMC, 석고보드이다(Kim et al., 1999).

Table 5. Characteristics of Various Samples

Division	Size [mm] (W × D × H)	Weight [g]
SMC	100 × 100 × 2	20.3
		19.4
		21.3
Aluminum	100 × 100 × 2	37.6
		33.1
		30.4
DMC	100 × 100 × 0.5	32.0
		33.4
		56.8
Gypsum Plaster	100 × 100 × 9	57.9
		58.6
		57.0

시험은 각 시료 당 3회씩 실시하였으며, 이에 대한 평균값을 산출하여 그래프를 도출해내었다. 측정항목은 단위면적당 열방출률(Heat Release Rate), 단위면적당 총방출열량(Total Heat Release)으로 연소 시 특성에 대해 측정을 실시했다(Lee et al., 2020).

4.2. 시험결과

각 시험편의 단위면적당 열방출률 특성은 Fig. 5와 같다. 각각의 최대 열방출률을 살펴보면 SMC 천장재는 217.10 kW/m², 알루미늄 천장재는 15.07 kW/m², DMC 천장재는 1.78 kW/m², 석고보드 천장재는 41.92 kW/m²로 조사되었다. 열방출률의 성상을 관찰해보면, SMC 천장재는 시험 시작에서부터 약 100초가 경과하는 시점에 최대 열방출률을 기록하였으며, 최대값을 기록하는 시점부터 약 300초를 전후로 급격하게 열방출률이 감소하는 성상을 보인다. 이후 약 800초가 경과하는 시점에서는 거의 열방출률이 측정되지 않는 모습을 보인다.

Table 6과 같이 총 네 가지 재료에 대한 착화시간, 소화시간, 최대 열방출률, 총방출열량을 정리하였다.

Fig. 5. Results of Cone Calorimeter (HRR)

Fig. 6. Results of Cone Calorimeter (THR)

Table 6. Data Figure

	Ignition time [s]	Extinguishment time [s]	PHR [kW/m ²]	THR [MJ/m ²]
Al	70	205	15.075	0.584
SMC	0	1,305	217.103	28.971
DMC	5	1,815	1.789	0.893
Gypsum Plaster	5	1,835	41.930	4.065
Average	20	1,290	68.974	8.628

알루미늄 천장재는 약 100초가 경과한 시점에서 약간의 반응을 보인 뒤 시험기간 내내 열방출률이 측정되지 않았다. DMC 천장재의 경우 약 100초 시점, 800초 시점, 1,700초 시점에서 약간의 열방출률이 측정되었다. 석고보드 천장재의 경우 약 100초가 경과하는 시점에서 최대 열방출률을 기록했으나 이후에는 약간의 열방출률이 측정되었다.

각 시편의 단위면적당 총방출열량 특성은 Fig. 6과 같다. SMC 천장재는 28.97 MJ/m², 알루미늄 천장재는 0.58 MJ/m², DMC 천장재는 1.19 MJ/m², 석고보드 천장재는 4.06 MJ/m²로 조사되었다.

SMC 천장재의 경우는 약 80초가 경과하는 시점부터 약 500초까지 급격한 속도로 열방출량이 상승하기 시작하며 약 800초가 경과하는 시점부터는 거의 증가하지 않는 성상을 보인다.

알루미늄 천장재는 약 100초가 경과하는 시점에서 열방출량이 측정되었으나 그 이후로는 크게 변화가 없는 것으로 보인다. DMC 천장재의 경우 약 100초 시점, 800초 시점, 1,700초 시점에서 약간의 열방출량이 증가하는 모습을 보인다. 석고보드 천장재는 약 100초가 경과하는 시점에서부터 약 1,000초 시점까지 지속적으로 열방출량이 증가하는 모습을 보이다가 그 이후에는 거의 증가하지 않는 것으로 확인되었다.

열 방출 특성에 대해 시험을 진행한 결과 SMC 천장재의 경우 재질의 특성에 따라 초기에 빠른 속도로 열 방출이

이뤄지며, 시험이 시작한 뒤 15분이 경과하기 이전에 모든 열분해현상이 이뤄지는 것으로 확인되었다. 알루미늄 천장재, DMC 천장재의 경우에는 급속으로 이뤄져 크게 열량의 방출이 없는 것으로 보이고 석고보드 천장재의 경우에는 큰 열량의 방출은 없었으나 시험이 진행되는 동안 지속적으로 열분해현상이 일어나는 것으로 관찰됐다.

5. 결 론

본 연구는 가연성 천장재의 화재위험성을 평가하기 위한 연구로서 현장조사를 통해 천장재의 종류와 비율을 조사하고 이를 대상으로 Cone Calorimeter 시험을 실시하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 현장조사를 통해 가연성 천장재의 비율을 조사한 결과 약 70%에 해당하는 97개소가 열경화성 수지인 SMC 천장재를 사용하는 것으로 조사되었으며 알루미늄 천장재, DMC 천장재, 석고보드 천장재가 시공된 것으로 조사되었다.
- (2) 현장조사를 통해 얻은 천장재 4가지 종류를 대상으로 시험을 진행한 결과 단위면적 당 열방출률에서 최대 열방출률은 SMC 천장재는 217.10 kW/m², 알루미늄 천장재는 15.07 kW/m², DMC 천장재는 1.78 kW/m², 석고보드 천장재는 41.92 kW/m²로 측정되었다. 단위면적 당 총방출열량은 SMC 천장재 28.97 MJ/m², 알루미늄 천장재 0.58 MJ/m², DMC 천장재 1.19 MJ/m², 석고보드 천장재 4.06 MJ/m²로 조사되었다.
- (3) 화재사례에서 확인한 바와 같이 화재가 발생하여 대형화 되는 데는 가연성 외장재를 통한 확대와 더불어 초기 발화원에서 천장재를 통해 빠르게 전파되는 것이 주요 원인으로 조사되었다. 본 연구에서 조사된 것과 같이 가연성 천장재의 사용비율은 70%가 넘는 것으로 조사되었으며, 유사한 화재사례 방지를 위해서라도 천장재의 교체 등 관련 규정의 정비가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 대학혁신지원사업의 지원으로 이루어진 연구로 이에 감사를 표합니다.

References

- Cho, K.S., Chae, S.U., Choi, J.H., and Cho, B.Y. (2020). A study on the efficiency of vertical non-combustible blocking for external fire spread of eifs with combustible insulation in piloti building. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 20, No. 3, pp. 159-166.
- Choi, S.B., and Choi, D.M. (2016). A study on fire risk of apartment house with pilotis structure -focused on the fire case of Uijeongbu-si urban livig homes-. *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 3, pp. 48-54.
- Choi, S.B., Choi, D.C., and Choi, D.M. (2016). Study of the fire risk of occupants during pilotis space fires. *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 5, pp. 144-150.
- Han, J.Y. (2015). *Study on fire risk of urban living homes*. Master's thesis, University of Seoul.
- Kim, H.S., Oh, B.Y., and Park, M.Y. (2020). Fire spread in insulation materials in the ceiling of a piloti-type structure. *Fire Science and Engineering*, Vol. 34, No. 5, pp. 18-26.
- Kim, U.Y., Dillon, S.E., and Quintiere, J.G. (1999). ISO 9705 room-corner test & model simulations. *Fire Science and Engineering*, Vol. 13, No. 2, pp. 3-11.
- KS F ISO 5660-1. (2008). *Reaction to fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: heat release (cone calorimeter method)*.
- Kwon, S.A., Lee, J.E., Ban, Y.U., Lee, H.J., You, S.E., and Yoo, H.J. (2018). Safety measure for overcoming fire vulnerability of multiuse facilities: A comparative analysis of disastrous conflagrations between Miryang and Jecheon. *Crisisonomy*, Vol. 14, No. 5, pp. 149-167.
- Lee, B.H., Jin, S.H., Kim, D.E., and Kwon, Y.J. (2020). An experimental study on the combustion characteristics of major combustible materials in office buildings. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 20, No. 1, pp. 273-280.
- Lee, B.H., Jin, S.H., Park, S.H., and Kwon, Y.J. (2019). A study on the review of repair methods and repair materials for the prevention of fire spread of building exterior materials. *Fire Science and Engineering*, Vol. 33, No. 3, pp. 105-111.
- Lee, E.P. (2018). Analysis of causes of casualties in Jecheon sports center fire: Focus on structural factors of building and equipment. *Fire Science and Engineering*, Vol. 32, No. 4, pp. 86-94.
- Park, J.S. (2016). A study on the survey in terms of fire safety on urbanistic housing. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 5, pp. 143-148.

Received	December 30, 2020
Revised	December 30, 2020
Accepted	January 8, 2021