

단열패널 종류별 이격거리에 따른 화재감식 평가

김정훈^{1*}, 김다슬²

¹호서대학교 안전보건학과, ²호서대학교 대학원 안전환경기술융합학과

Evaluation of Fire Investigation as the Separation Distances for Several Types of Insulation Panels

Jeong-Hun Kim^{1*}, Da-Seul Kim²

¹Department of Safety and Health Engineering, Hoseo University

²Department of Safety and Environmental Technology Convergence, Graduate School of Hoseo University

요약 단열패널(표면재, 심재, 마감재로 구성되어 있으며 경량성, 저가성 및 시공성 등의 장점)의 화재난연성과 적용 건축물 강화에도 불구하고, 화재발생 건수와 피해 영향은 지속적으로 증가하고 있다. 본 연구에서는 단열패널 종류별 이격거리에 따른 열영향(온도변화, 점화가능성, 내·외부 연소흔, 심재의 형상 변화)을 평가하고자 국내에서 사용빈도가 높은 EPS 패널, 글라스울 패널, 석고보드 패널의 3종을 선택하였다. 패널에는 지면으로부터 수직(30 cm, 90 cm, 150 cm)으로 온도센서를 설치하였고, 적층한 각목을 화원으로 패널로부터 각각 0 cm, 25 cm, 50 cm 이격거리를 변화시키면서 점화시켰다. 실험 결과, 최고온도는 EPS 패널에서 349 °C를 나타내었고, 패널의 내·외부 형상변화는 이격거리 25 cm를 임계점으로 하부에서 중부까지 높이로 국한되었다. 또한 연소흔은 평균 500 s 이후에서 나타났고, 화재강도가 큰 EPS 패널에서는 광폭의 U자형 패턴, 글라스울과 석고보드 패널에서는 중폭 또는 협폭의 V자형 패턴을 형성하였다. 도출된 정보를 통해 단열 패널로 구성된 건축물로부터 화재위험성 평가와 화재감식의 검증에 필요한 유용한 정보를 제공하고자 한다.

Abstract Despite strengthening requirements for fire retardancy and applied buildings of insulation panels, the number of fires and influence of damage have increased. In this study, the thermal effects were evaluated as the separation distances, and three types of EPS panel, glass wool panel, and gypsum board panel were then selected. Temperature sensors on the panels were installed vertically from the ground. The fire source on the lamination layer of lumber was ignited by changes in the separation distances (0 cm, 25 cm, 50 cm) from the panels. The test results suggested that the maximum temperature was 349 °C in the EPS panel. The inside/outside shape changes were limited by the height of the low and middle positions until the critical point of a 25 cm separation distance. Furthermore, the combustion marks appeared after 500 s on average, and then the EPS panel with a high fire strength showed a broad "U type" pattern, glass wool panel, and gypsum board panel showed medium or narrow "V type" pattern. Therefore, the acquired data can provide valuable information for evaluating the fire risks and verifying fire investigation from buildings composed of these insulation panels.

Keywords : Insulation Panel, EPS, Glass Wool, Gypsum Board, Fire Investigation

본 연구는 환경부 "화학물질 안전관리 전문인력 양성사업"의 지원을 받아 수행하였으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

*Corresponding Author : Jeong-Hun Kim(Hoseo Univ.)

email: kjh0789@hoseo.edu

Received January 22, 2021

Accepted April 2, 2021

Revised February 15, 2021

Published April 30, 2021

1. 서론

최근 5년간(2013~2017) 국내 공사장에서 발생된 화재는 4,133건으로 연간으로 환산하면 800여건에 달한다.[1-3] 이 중 공장 및 창고화재의 대표적인 예로는 이천 물류창고 화재, 제천 복합건물 화재, 밀양 세종병원 화재 등이 있다.[2] 화재의 주요 원인을 살펴보면 미완성 형태의 건물 구조 및 특성, 취급-시공상 가연물의 취약성, 건설현장의 부실한 화재안전관리 실태, 임시소방시설의 정비 부재, 반복 화재사고에 대한 경각심 지속 부족 등으로 요약할 수 있다.[2] 특히 화재감식에 있어 공통 위험요소로 중요한 것은 건설현장 내 단열재 등 가연물과 시공 과정에서 사용되는 가연성물질(스티로폼, 우레탄폼 등)로 용접 불꽃 등에 의해 쉽게 착화될 경우 염화수소(HCl), 시안화수소(HCN)와 같은 유독가스 및 일산화탄소(CO) 등의 연소가스를 발생하여 인체유해성이 크다.[2-3]

건축 단열재 용도로 광범위하게 사용되는 샌드위치 패널(Sandwich Panel)은 1970년대 후반 처음 생산 이후, 1980년대 말 건축시장의 양적 팽창과 시공 편의성, 높은 단열성, 저가성 등으로 수요가 급증하였다. 또한 고유가 및 에너지 절약정책의 강화에 따라 중요 건축자재로 급부상하였다. 경제적 이윤 창출이 목적인 사업주는 비용 절감을 위해 적극 활용하고 있고, 국내에서는 공장 건축 시 내·외장재의 약 60% 이상을 점유하는 것으로 보고되고 있다.[4] 샌드위치 구조의 단열 패널은 화재 발생시 소재 특성상 화염이 급속히 확산되지만 상대적으로 물은 침투가 어려운 구조로 화재 진압이 어렵다. 또한 난연성 및 가스유해성에 대한 사용 제한이 강화되고 있음에도 불구하고 화재발생으로 인한 피해는 지속적으로 증가하여 전체 화재의 30%를 차지하고 있다.[2,4]

화재안전성과 관련된 기존 선행연구로는 샌드위치 패널의 내화특성, 연기 생성-거동 특성, 패널 심재의 열방출율 계산, 패널 벽체 보호용 스프링클러 시스템, 건축물 플래시오버 지연을 위한 플레이트 시공방법, 경량벽체를 통한 다중구획공간의 화재위험성 등으로 다양하다.[5-8] 그러나 시판되고 있는 단열 패널의 화재위험성과 관련하여 이격거리에 대한 규정은 없으며, 이격 거리별 연소 특성을 평가한 연구 또한 거의 전무하다. 그리고 EPS, 글라스울 패널과의 비교 대상으로 석고보드 패널을 적용한 사례는 없다.

일반적으로 단열 패널의 열방출율(Heat Release Rate) 및 열유속(Heat Flux) 측정은 ISO 9705 시험기준과 국토부 고시(2015-744호)에 의한 난연재료 등급의

성능시험인 콘칼로리미터법(KS F ISO 5660-1) 및 가스유해성시험(KS F 2271) 등에 의해 정량적 해석이 가능하다.[9-11] 다수의 선행 연구에서는 복사열 강도를 달리하였을 경우 EPS의 경우 30 kW/m² 내외, 글라스울의 경우 9~13 kW/m² 범위의 열유속을 나타내는 등 상당 부분 데이터가 축적되어 있는 상태이다. 다만, 해당 시험법들은 구획공간 내에서 실물 또는 축소 형태로 연소시키거나 소규모시험에 국한되어 있어 본 실험과 직접적인 비교가 어렵고, 시판 단열패널 자체를 실물 크기로 이격 거리를 변화시키면서 실험에 적용하는 데 상당한 제약이 있다.

따라서 본 연구에서는 처음 시도하는 현장 기반의 실험적 연구로 창고형 구획공간 내에서 외부 공기 유입을 차단한 상태에서 시판 단열패널을 대상으로 이격거리별 열영향을 평가하고자 하였다. 국내에서 가장 많은 사용빈도를 점유하고 있는 EPS 패널, 글라스울 패널, 석고보드 3종을 사용하여 화염으로부터 이격거리별 연소특성, 내·외장재간 온도 변화 및 연소흔, 내부 심재의 변형 특성 등 제반 실험을 실시하여 단열패널의 위험성을 재확인하고 화재감식 평가에 응용하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 단열 패널의 개념 및 구조

일반적으로 단열패널은 단판(single panel)과 복판(double panel)으로 구분되며, 여기서 복판을 일명 샌드위치 패널이라고 한다.[3,12] 외부 구조는 양면 도장한 강판과 강판사이에 내부 심재를 넣어 단열·차음·방수·방습 등의 기능을 향상시킨 것이 특징이다.[12]

국내에서 생산 및 사용되는 패널은 자동 연속 생산라인으로 접착·성형한 것으로 대표적인 조립식 건축자재이다. 주요 장점은 경량 구조체로서 가격이 저렴하고 강성이 우수하다는 점이다. 또한 자재의 규격화로 시공이 간편하여 공기를 단축할 수 있어 시공비 절감 등 비용 대비 경제성이 우수하다. 일반적으로 내부 심재인 단열재에 따라 글라스울, EPS, 우레탄, 폴리에스테르 등으로 나뉘며, 요구 성능별 종류 및 적용이 다양하다. 국내에서는 글라스울을 제외하고는 난연 등급이 없기 때문에 난연성재료를 적용하지 않는 경우 화재에 취약할 수 밖에 없다.

건축자재로 사용되고 있는 단열패널은 Table 1과 같이 외부를 구성하고 있는 금속재인 표면재, 표면재 사이에서 단열 및 차음성, 방수, 방습 등 기능을 하는 심재,

패널과 패널, 패널과 벽체 등의 틈새를 메우기 위한 마감재, 패널을 고정시키기 위한 고정재 등으로 구성되어 있다.[3,12]

Table 1. Details of Insulation Panels.[3,12]

	Used Materials	Composition
Surface Material	Gypsum board, Cement board, Wood board, Metal plate board, Synthetic resin	•Iron plate : zinc plated steel and galbanum of 0.5~0.6 [mm] •Zinc plated : 244~305 [kg/m ²] •Surface treatment : Silicone polyester, Fluorinated resin coating
Panel Core	EPS, Urethane, Glass wool, Mineral wool	•EPS : 10.25[kg/m ³] •PUR : 35~45[kg/m ³] •Glass wool : 48~64[kg/m ³]
Finishing Material	Back-up, Coating	•Airtight, Hermetic sealing
Fixed Material	Anchor, Bolt, Support	•Anchor bolt, Rivet, etc.

2.2 단열 패널의 분류

2.2.1 EPS 패널

EPS(Expanded Polystyrene) 패널은 내부 중간 단열 재료 EPS를 사용하고 외부 표면재는 상·하 양면에 양질의 착색 아연도금강판을 특수 열중합방식으로 일체화시킨 패널이다. 중간재를 폴리스티렌 수지에 발포제를 넣은 다공질 기포 플라스틱인 스티로폼을 사용하여 발포 폴리스티렌이라고도 한다. 단열 성능이 뛰어나고 경량이며, 자체강도와 내구성이 강하여 공장, 냉동창고, 주차타워, 상가 및 전시장, 사무실, 주택 등에 모두 적합하다. 또한 모세관 현상으로 흡수되는 경우가 전혀 없으며, 수증기의 투과에 대한 차단성도 우수하다. 반면 화기에 취약하고 유기질 단열로 인해 연소시 유독가스를 발생하는 단점이 있다.[3,13-14]

2.2.2 글라스울 패널

글라스울(Glass Wool) 패널은 심재로 무기질계 재료인 글라스울을 사용한 것이 차이점으로 소정의 기본 성능을 만족시키면서 한국산업규격(KS)에서 정하는 난연 2급(준불연재료)의 성능을 가지고 있다. 가격적인 부분에서는 EPS 패널 등에 비해 상대적으로 고가이지만 화재 초기진화시 유리하기 때문에 방화구획과 내화구조 시공이 가능한 패널로 많이 사용된다. 일반적으로 두께가 50 mm 이상이면 30분 내화성능을 갖고, 100 mm 이상인 일부 패널의 경우 1시간의 내화성능을 나타내고, 최고 안전사용온도는 약 350 ℃ 정도이다. 반면 제작 및 시공과

정에서 비산 등으로 인한 분진 발생의 우려가 있어 시공성과 안전성이 기타 패널에 비해 취약한 단점이 있다.[3,14]

2.2.3 석고보드

석고보드(Gypsum Board)는 주원료인 소석고에 물과 혼화제를 넣고 반죽하여 두 장의 보드용 원지 사이에 주입시켜 판상으로 제조한 것이다. 방화성이 우수하여 건물골조의 초기 방화 및 연소지연에 큰 역할을 하고, 시공이 간편하여 공기를 단축시킬 수 있으며, 보온성이 높고 중량이 가벼울 뿐만 아니라 차음 성능이 뛰어나며, 건물 구조비를 절감할 수 있다. 단점으로는 타 마감재에 비해 내구성이 낮고 수직 하중에 취약하여 앵커볼트 적용시에도 붕괴가 일어날 수 있다. 그리고 습기에 취약하여 곰팡이가 서식하기 쉽고, 이 경우 악취문제로 보드 교체시 전체를 철거 해야 하는 문제점이 있다.[3,14-15]

3. 실험

3.1 실험 재료 및 장비

실험 재료는 EPS 패널, 글라스울 패널, 석고보드 3종을 가로 100 cm × 세로 200 cm로 시중에 유통되는 규격 제품을 사용하였다. 또한 실험은 10월 초순 3일간, 온도 20 ℃ ± 2 ℃, 습도 45 ~ 47 % 조건에서 하루 패널 1종씩 수행하였다.

EPS 패널은 실리콘 폴리에스터 또는 불소수지로 코팅되어 있는 0.4 ~ 0.8 mm의 연회색 아연도금강판으로 양면이 덮여있고, 중량은 5.2 kg 이다. 또한 글라스울 패널은 양면이 0.45 ~ 0.8 mm의 진황색 아연도금강판으로 중량은 8.57 kg 이고, 석고보드 패널은 황산염 광물로서 양면이 두꺼운 종이로 둘러싸인 석고 형태로 중량은 5.4 kg 이다. 3종의 두께는 시판 기준으로 각각 0.5 mm, 0.5 mm, 9.5 mm 이다.

실험에 사용한 장비로는 패널 심재의 온도변화와 형상변화를 관찰하기 위해 온도변화 측정용 온도센서(K-type), 데이터 로거(Agilent 34970A, Keysight Tech.), 열화상 카메라(T420, Flir), 영상현미경(ICS-305B, New Tech)을 사용하였다.

3.2 실험 방법

이격거리에 따라 화염에 의한 단열패널의 열적 영향을

관찰하기 위해 시료를 고정틀을 사용하여 수직으로 고정시켰다. 단열패널 당 3회씩 연소실험을 실시하였으며, 가연물로는 예비실험을 통해 가용용 화재 용이 조건인 전기히터 2기의 열량(전체 약 10,000 kcal, 5,000 kcal/기)을 적용하였다.

구체적으로 해당 열량을 맞추기 위해 A급 화재시험인 ANSI/UL 711에 따라 1-A 능력단위의 1/2.5배로 축소하여 각목 50 cm × 8 EA, 25 cm × 12 EA를 두 개, 세 개 순으로 번갈아서 적용하였다. 점화는 점화판(ignition pan)의 크기를 동 시험방법의 1/2.5배로 축소(213 mm × 213 mm × 40.8 mm) 하여 적용하였고, 휘발유 10 mL를 점화판 좌측 하부 모서리부에 집중하여 각목에 자연착화되게 하였다.[16]

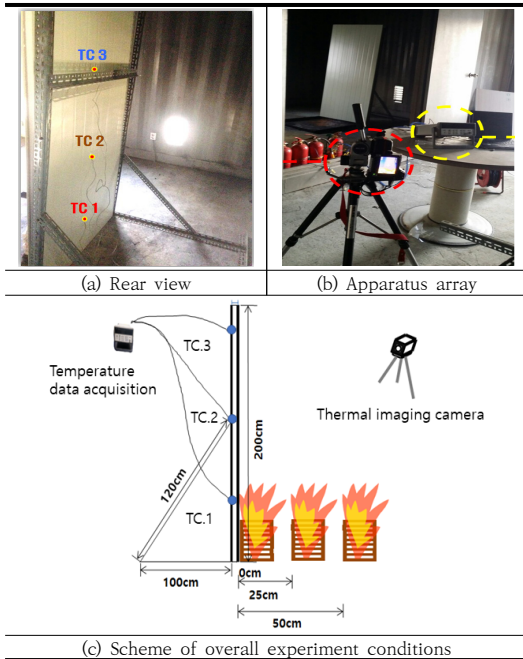


Fig. 1. Photos of Fire Experiment for Insulation Panels.

온도센서는 패널의 하부(지면으로부터 30 cm, TC.1), 중부(지면으로부터 90 cm, TC.2), 상부(지면으로부터 150 cm, TC.3)에 드릴을 이용하여 각각 타공하여 설치하였다. 또한 이격거리는 패널의 수직면으로부터 0 cm, 25 cm, 50 cm 로 변화를 주었다. Fig. 1은 설치 사진과 모식도를 나타낸 것이다.

연소 실험은 각목이 연소가 완료될 때까지 실시하였고, 연소가 진행되는 과정에서 패널의 상부, 중부, 하부별 평균 온도변화를 기록하였고 내·외장재의 형상 변화를

연소흔 패턴으로 분석하였다. 이후 하부를 10 cm × 10 cm로 절단하여 영상현미경으로 내부 심재의 열적 변형을 관찰하였다. 전체 실험방법은 Fig. 2와 같다.

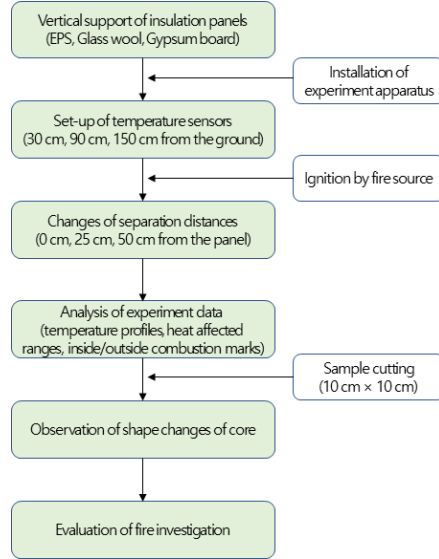


Fig. 2. Experimental Process.

3.3 실험 결과

3.3.1 이격거리별 내부면의 온도 변화

단열패널의 이격거리별 내부면의 온도변화를 측정된 결과 Fig. 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 또한 주요 관찰 시간대별 실사 및 열화상 카메라에 의한 연소 진행과정과 대략적인 부위별 온도변화는 Fig. 4에 나타내었다.

EPS 패널의 경우 0 cm 이격시, 직접적인 화염의 접촉으로 내·외장재가 가열 및 열축적되어 온도가 급격히 상승하였다. 500 s 이후부터 연소흔이 나타났고 화염의 크기는 작아졌으며, 패널의 상부까지 열 영향을 받은 것을 알 수 있었다. 온도 증가로 인해 내부면이 연소되고 용융되어 750 s 이후 연소가 종료되면서 온도가 점차 감소하였다. 최고온도는 TC.1은 349 °C(475 s), TC.2는 91 °C(268 s), TC.3은 49 °C(360 s)를 나타내었다. 그리고 25 cm 이격시, 500 s 이후 동일하게 연소흔이 나타났으며, 하부에 집중되어 있던 열이 상부로 전파되면서 내부온도가 증가하였다. 내부면이 가열되어 용융되었지만 0 cm와 비교하였을 때, 강판과 화염의 접촉면적이 작아 1/2 정도만 용융되었고 목재의 대부분이 연소하여 300 s 이후에는 온도가 감소하였다. 최고온도는 TC.1은 290 °C(315 s), TC.2는 70 °C(900 s), TC.3은 51 °C(850 s)를

나타내었다. 또한 50 cm 이격시, 화염이 형성되었지만 외부 강판에 어떠한 변화도 나타나지 않았다. 패널 하부는 열영향이 적은 것으로 나타났고, 연소가 종료될 때까지 온도 변화가 미세하였고 평균적으로 일정한 온도를 형성하였다.

글라스울 패널의 경우는 0 cm 이격시, 내부면은 연소되지 않아 더 많은 열이 축적되어 온도가 지속적으로 상승하였고, 750 s 이후 온도가 감소하였다. 최고온도는 TC.1은 340 °C(780 s), TC.2는 88 °C(850 s), TC.3은 60 °C(650 s)를 나타내었다. 그리고 25 cm 이격시, 화염

접촉으로 강판이 가열되어 750 s 부터 연소흔을 볼 수 있었다. EPS 패널과는 다르게 높은 온도까지는 열이 축적되지 않았으며 패널의 단열 특성으로 인해 시간이 경과하여도 일정 온도를 유지하는 양상을 나타내었다. 최고 온도는 TC.1은 178 °C(504 s), TC.2는 51 °C(902 s), TC.3은 41 °C(827 s)를 나타내었다. 또한 50 cm 이격시 화염으로 인한 열이 패널에 영향을 주지 않아 외부 강판의 변화가 없었고 EPS 패널과 유사하게 내부온도의 변화가 미미하였다.

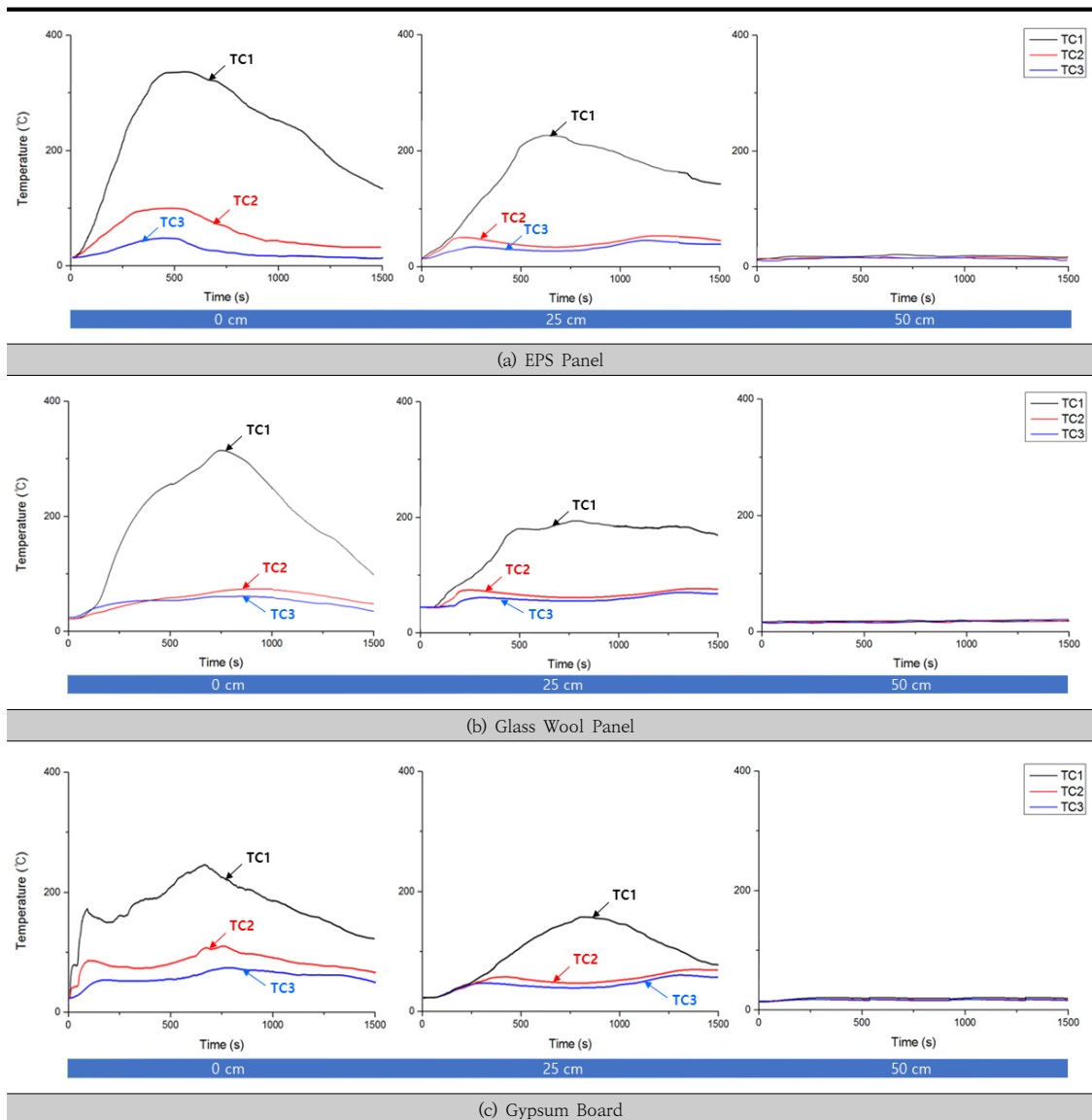


Fig. 3. Temperature Profiles of Insulation Panels as the Separation Distance.

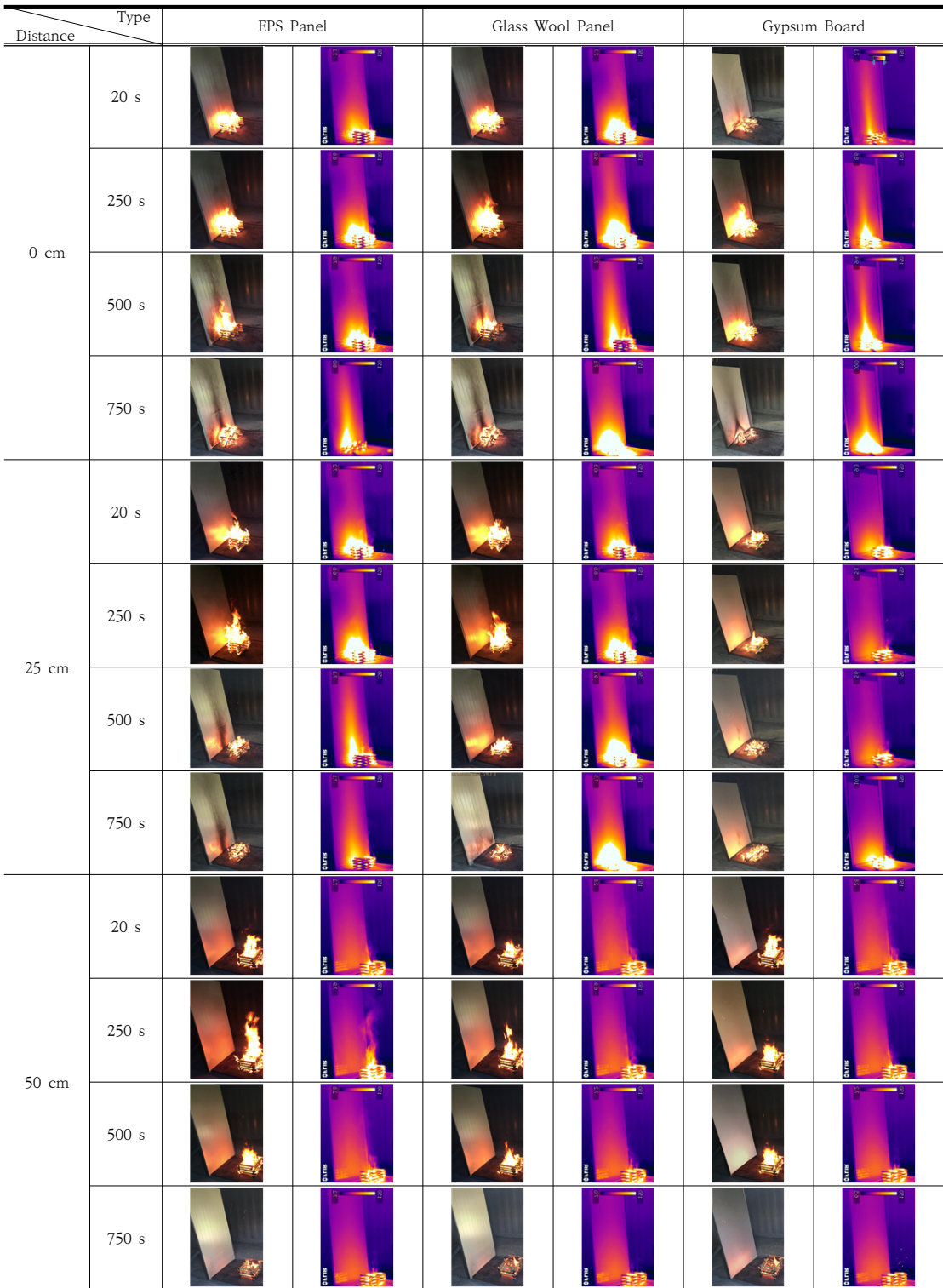


Fig. 4. Actual and Thermographic Photos of Insulation Panels as the Separation Distances.

그리고 석고보드 패널의 경우 0 cm 이격시, 화염접촉으로 인해 표면에 많은 열을 받아 온도가 급격하게 증가하였다. 20 s 부터 표면에 화염을 형성하였으며, 상부가 열 영향을 받아 온도가 증가하였고, 후면까지 연소된 후에는 온도가 서서히 감소하였다. 최고온도는 TC.1은 233 ℃(661 s), TC.2는 89 ℃(728 s), TC.3은 57 ℃(733 s)를 나타내었다. 또한 25 cm 이격시, 500 s부터 연소흔이 나타났으며 화염이 작아졌고 상부에는 열이 축적되지 않은 상태에서 패널 하부에 미열이 유지되는 것으로 나타났다. 최고온도는 TC.1은 148 ℃(542 s), TC.2는 63 ℃(932 s), TC.3은 54 ℃(870 s)에서 나타났다. 또한 50 cm 이격시, 타 패널과 마찬가지로 표면에 어떠한 변화도 없는 상태에서 하부에만 열이 약하게 축적되는 것을 알 수 있었다.

3.3.2 내·외부의 형상 변화 및 내부 심재의 변형

단열 패널의 내·외부 형상 변화 및 내부 심재의 변형을 관찰한 결과 Fig. 5와 같은 결과를 나타내었다. EPS 패널의 경우 0 cm 이격시, 패널 외부 강판에서 하부로부터 중부까지 횡으로 강한 열이 집중되어 용융부분이 부풀어 있는 형태의 U자형 연소흔이 발견되었다. 반면 상부에서는 온도의 변화만 미세하게 있었고 외부의 형태 변화는 없었다. 내부면에서는 연소 화염 전파로 인해 패널 내부에 착화되어 외부 강판에 부착되어 있는 소재가 모두 연소되어 열을 축적하지 못하면서 소멸되었다. 25 cm 이격 시에도 외부 강판 하부부터 중부까지 열이 집중되었고 0 cm 이격시보다 좁고 열은 연소흔, 상부에서는 매우 열은 연소흔이 형성되었다. 내부면에서는 직접적인 착화가 되지 않아 열영향이 감소되어 하부의 외부 강판에 부착되어 있는 소재가 완전히 연소되지 않고 층을 이루며 남아있었다. 50 cm 이격 시에는 온도의 영향을 적게 받았고 열에 의한 패널 내·외부의 형태 변화는 없었

다. 또한 내부 심재의 변형은 0 cm 이격시, 화염과의 접촉면이 증가하고 온도가 급상승하여 외부 강판에 부착되어 있던 심재의 대부분이 연소되었다. 25 cm 이격시에는 화염의 영향이 감소하여 내부 심재가 전소되지 않고 용융되어 짙은 흑색의 잔해가 남아있었으며, 순간적인 온도의 급상승으로 인하여 탄화 물질이 형성되었다. 50 cm 이격시에는 화염에 의한 직접적인 영향은 없었지만 연기로 인해 심재가 검게 변하였다.

글라스울 패널의 경우 0 cm 이격시, 패널 외부 강판 하부부터 중부까지 U자형 패턴보다 상대적으로 화염강도가 작은 V자형 짙은 연소흔이 형성되어 있었고, 하부 밑 부분에 온도의 상승으로 인한 패널의 외부 강판 코팅이 같이 연소되었다. 상부에서는 온도의 변화만 미세하게 있었으며 외부의 형태 변화는 없었다. 내부면에서는 유리섬유로 만들어진 심재의 특성상 연소되지 않았고 탄화층만 발견되었다. 25 cm 이격 시에는 EPS 패널과 유사한 양상을 나타내었고, 상부에서는 휘발유 연소와 유사한 연소흔을 형성하였다. 50 cm 이격 시에는 화염에 의한 패널 내·외부의 형태 변화는 없었다. 또한 내부 심재의 변형은 0 cm 이격시, 유리 섬유로 만들어진 심재의 특성상 직접적 착화는 되지 않았고, 탄화되어 심재가 흑색으로 변하였다. 25 cm 이격시에는 화염의 영향이 감소하여 겉표면에 소량의 탄화 흔적이 생겼다. 50 cm 이격시에는 심재의 형태는 화염의 영향을 거의 받지 않아 연소 전과 거의 동일하였다.

석고 패널의 경우 0 cm 이격시, 하부 부분에 좁은 형태의 V자형 짙은 연소흔을 나타내었다. 타 패널들과는 달리 외장재가 화염에 약한 두꺼운 종이로 되어 있어 내부면에서는 열의 영향을 많이 받아 부식 패턴을 보였다. 25 cm 일 때는 하부 부분에 약간의 연소흔만 생겼고 내부면에서는 변화가 없었으며, 50 cm 일 때는 내·외부 모두 거리의 영향으로 열전달이 되지 않아 변화가 없었다. 또한 내부 심재의 변형은 0 cm 이격시, 화염과의 접촉면이 증가하여 쉽게 탄화되어 부식됨으로써 흑색의 분말과 탄화

Table 2. Total Comparative Table of Combustion Experiment as the Separation Distances.

	Separation distance from panels			Remarks
	0 cm	25 cm	50 cm	
Temperature profiles	ignition possible		ignition impossible	Max. 349 ℃ in EPS
Inside combustion marks	observation of carbonization layer		almost not affected	mainly in EPS
Outside combustion marks	strong marks	medium marks	not affected	"U or V" pattern
Shape changes of core	almost combustion	change of dark color	not affected	mainly in gypsum board

재가 남아있었다. 25 cm 와 50 cm 이격시에는 화염의 영향이 감소하여 내부 심재는 원소재의 형태와 거의 동일 하였다. 전체적으로 상기의 실험방법에 따라 단열패널별

화원으로부터의 이격거리에 따라 취득된 각종 데이터를 통해 Table 2와 같은 종합 비교표를 얻을 수 있었다.

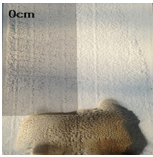
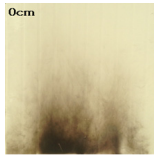
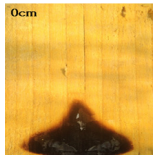
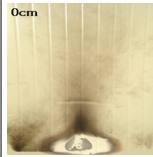

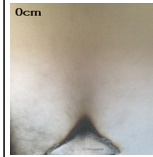
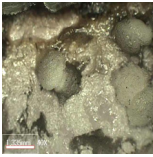
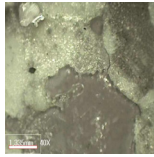
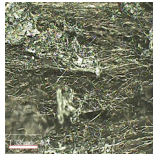
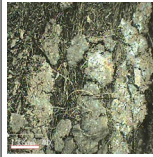
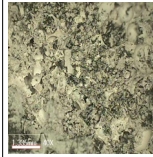
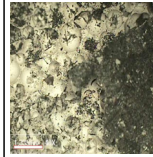
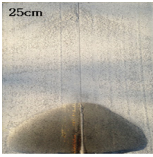
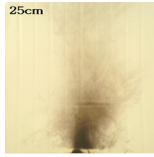
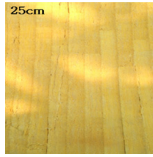
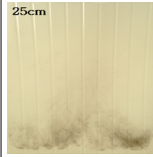

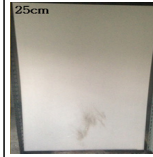
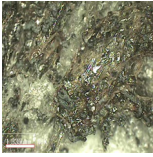
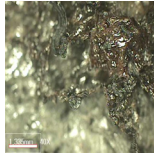
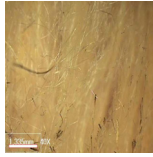
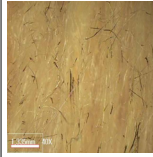
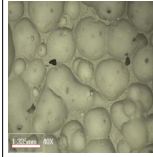
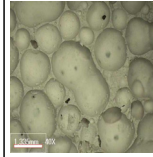
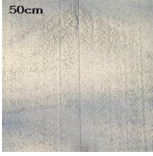

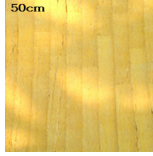
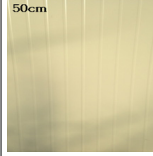
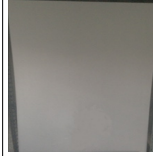
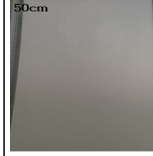

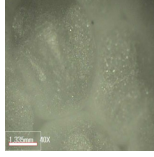

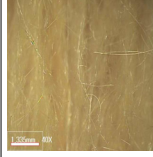
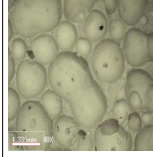
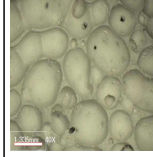
Type \ Distance	EPS Panel		Glass Wool Panel		Gypsum Board	
0 cm						
	inside	outside	inside	outside	inside	outside
						
	inside core		inside core		inside core	
25 cm						
	inside	outside	inside	outside	inside	outside
						
	inside core		inside core		inside core	
50 cm						
	inside	outside	inside	outside	inside	outside
						
	inside core		inside core		inside core	

Fig. 5. Combustion Marks of Inside/Outside Parts and Microscope Image of Inside Core(×60) Formed in Insulation Panels Affected by Heat.

4. 결론

단열패널의 연소실험에 관한 기존 선행연구에서는 주로 원재료를 샘플크기로 절단하여 열방출을 측정 위주로 연구가 수행되었으며 비교적 다수의 관련 데이터가 확보되었다. 본 연구에서는 상대적으로 배제되었던 현장 기반의 실험적 연구를 수행하고자 시판 단열재를 실물 크기로 적용한 상태에서 이격거리 변수를 신규 도입하는 시도를 하였다. 기존 연소실험에서 누락되었던 석고보드를 추가하여 단열패널 3종(EPS, 글라스울, 석고보드)에 대한 상호 비교 실험을 실시하였다. 구체적으로 착화에서부터 소염에 이르기까지 연소 전과정에서 일어나는 특징을 기록하였고 외부화염에 의한 이격거리별 온도변화 특성, 내·외부 형상 변화, 내부 심재의 변형을 관찰·측정하여 화재감식에 활용할 수 있는 다음과 같은 정보를 얻을 수 있었다.

- 1) 이격거리별 온도 변화는 전체적으로 EPS와 글라스울 패널이 유사한 패턴을 보였다. 착화 가능성이 있는 온도변화는 25 cm 까지 형성되었으며, 50 cm에서는 3종 패널 모두 큰 차이가 없었다. 연소흔은 패널의 특성상 석고보드에서 가장 빠르게 형성되었으며, EPS는 500 s 이후에, 글라스울은 750 s 이후에 나타났다.
- 2) 실험을 통해 얻어진 최고온도는 EPS 패널에서 349 °C 였으며 하부 측정센서 TC.1에서만 착화 가능성이 있는 온도변화를 나타내었고, 이격거리 순으로는 EPS, 석고보드, 글라스울 패널 순으로 온도강하가 일어났다. 측정센서 위치별로는 하부 TC.1에서 상부 TC.3으로 이동함에 따라 뚜렷한 온도강하를 나타내었다.
- 3) 내·외부 형상 변화의 유효 한계는 패널의 하부에서 중부까지였으며, 패널 외부가 강한 화염 전파로 인해 연소흔이 집중된 양상을 나타내었다. 상대적으로 패널 내부는 외부 집중 열소실로 인해 열을 축적하지 못하고 소멸되었다.
- 4) 열영향이 집중된 패널 하부를 대상으로 한 내부 심재의 변형은 0 cm 이격시 심재의 대부분이 연소되어 입계상 구조(granular structure)가 관찰되는 반면, 25 cm 이격시에는 심재가 용융되면서 변색되거나 탄화물질이 형성되는 수준으로 조직구조상 뚜렷한 변화는 없었다. 석고보드는 25 cm 이상 이격시부터 내부 심재의 변형이 원소재와 크게 다르지 않아 열영향 한계를 벗어나는 수준이었다.
- 5) 상기 단열패널을 이용한 화재위험성을 종합적으로 판단할 때, 패널의 용융에 따른 외부 표면재의 연소흔 집중, 내부 심재의 변형, 화염 접촉부에 집중된 형상 변화 등이 주요 결과로 판단된다. 기존 연구와 비교시 단열 패널을 실물 크기로 적용한 결과, 패널의 수직면과 수평방향 이격거리에 따른 열영향 범위의 한계를 신규로 도출하여 학술적 범위를 확장하는 계기가 되었다. 또한 일반 가정에서 가정용 전기히터 2기 열량과 유사한 아차사고로 인해 화재가 발생하기 위해서는 화원이 패널 구조물에 거의 근접한 상태로 유지되어야만 가능할 것으로 판단된다. 따라서 25 cm 초과 이격거리가 유지될 경우 착화의 가능성은 현저히 감소하게 되어 이 거리 이상에서의 복사열 영향은 크지 않은 것으로 해석된다.

향후 기존 사고사례에서 도출된 결과분석 중 하나인 패널 구조물의 열집중으로 인한 중량감소와 이에 따른 붕괴의 위험성을 동시에 고려한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

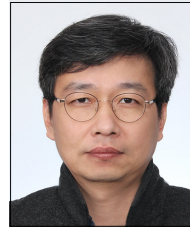
- [1] Inspect of the Government Offices, National Fire Agency, 2018.
- [2] 119 Plus Magazine, Vol.14, Jun., Korea, 2020.
- [3] T. U. Mun, *A Study on Fire Safety Improvement Measures for Fire Protection in Large Warehouse*, Master's thesis, Gachon University, pp.1-21, 2014.
- [4] Fire Statistical Yearbook, National Fire Agency, 2018.
- [5] O. S. Kweon, Y. H. Yoo, H. Y. Kim, S. H. Min, "An Experimental Study on Fire Safety Performance of Glass Wool Sandwich Panel", *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*, Vol.26, No.5, pp.21-27, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.5.021>
- [6] S. M. Park, S. G. Choi, S. Y. Jin, S. K. Kim, "A Study on Fire Hazards in Multiple Compartments with Lightweight Partition Walls", *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*, Vol.34, No.2, pp.14-21, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7731/kifse.129a7348>
- [7] S. M. Park, S. G. Choi, S. K. Kim, "Study on the Characteristics of Conduction Heat Transfer According to the Heating Temperature of a Composite Wall in a Light-weight Partition", *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*, Vol.33, No.1, pp.60-68, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.7731/kifse.2019.33.1.060>

- [8] H. J. Park, M. H. Cho, "A Study on the Heat Release Rate of EPS Sandwich Panel Core", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol.22, No.5, pp.72-78, 2008.
- [9] J. W. Park, N. W. Cho, "A Study on the Cone Calorimeter Evaluation Method of Sandwich Panels", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol.31, No.6, pp.74-82, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2017.31.6.074>
- [10] D. H. Kim, N. W. Cho, "Experimental Study on the Flash Over Delay Effects according to the Prevention of Flame Spread between Composite Material Panels", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol.31, No.2, pp.1-8, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2017.31.2.001>
- [11] O. S. Kweon, Y. H. Yoo, H. Y. Kim, S. H. Min "An Experimental Study on Fire Safety Performance of Glass Wool Sandwich Panel", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol.26, No.5, pp.21-27, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.5.021>
- [12] S. K. Seo, A Study on Reduction of Fire Damage on Sandwich-panel Structures, Master's thesis, Kyonggi University, pp.4-6, 2014.
- [13] H. S. Lim, Study on the Classification System of the Combustion Properties of Sandwich Panels for Building Materials, Master's thesis, Hanyang University, pp.1-4, 2009.
- [14] I. H. Yu, A Study on the Properties of the Glass Wool Associated with the Fireproof Performance of the Sandwich Panel, Master's thesis, Hanyang University, pp.1-11, 2008.
- [15] K. S. Youm, H. G. Jeon, "Fire Resistance Performance of High Strength Concrete Columns with Fireproof Gypsum Board", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.22, No.2, pp. 229-235, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.4334/ikci.2010.22.2.229>
- [16] ANSI/UL 711 Wood Crib Fire Tests.

김 정 훈(Jeong-Hun Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 호서대학교 산업안전공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : 호서대학교 대학원 안전공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 호서대학교 대학원 안전공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 안전소방학부(안전보건학) 교수

<관심분야>

위험물질화학 및 신소재, 기능성젤, 나노물질안전, 방화방폭, 감식안전

김 다 슬(Da-Seul Kim)

[준회원]



- 2016년 2월 : 나사렛대학교 심리 재활학과 (심리재활학학사)
- 2020년 8월 ~ 현재 : 호서대학교 안전환경기술융합학과 석사과정

<관심분야>

일반독성, 환경독성