

[Research Paper]

샌드위치패널 벽면보호용 스프링클러설비 적용 실험

서동훈 · 김운형[†] · 김종훈* · 이영재**

경민대학교 소방안전관리과, *(주)H2K솔루션, **한밭대학교 설비공학과

An Experimental Study of Sprinkler system for Sandwich Panel Wall Protection

Dong-Hun Seo · Won-Hyung Kim[†] · Jong-Hoon Kim* · Young-Jae Lee**

Development of Fire Safety Management Kyungmin University

*H2K Solutions Inc,

**Development of Building and Plant Engineering Hanbat University

(Received September 1, 2017; Revised October 11, 2017; Accepted October 24, 2017)

요 약

국내 샌드위치패널 건축물은 공장·창고시설의 벽·지붕에 널리 사용된다. 공장·창고시설은 용도특성상 화재하중이 높고 화재확산이 신속히 진행되어 대형화재로 이어지며 재료특성 상 벽·지붕이 무너져 인명피해 및 재산피해가 증가하고 있는 추세이다. 이를 위하여 본 연구에서는 샌드위치패널 스프링클러설비의 국내·외 관련기준을 검토하였다. 현장조사결과 가연물이 벽면에 밀착되어있는 경우가 있어 벽면으로부터 10 cm, 60 cm, 120 cm 이격하여 벽면보호여부를 확인하는 실험을 수행하였다. 화재실험결과, 방수압력 0.1 MPa, 방수량 K-80의 헤드 설치 시, 샌드위치패널 착화방지를 확인하였다. 또한 가연물이 벽면으로부터 60 cm일 때 샌드위치패널벽면의 최고온도가 525 °C, 120 cm에서는 최고온도가 276 °C로 측정되었다. 한편, 국외소방연구기관의 EPS 샌드위치패널연구에 따르면 발화점이 450 °C 인 것을 감안할 때, 패널 벽면에서 가연물거리는 120 cm 이상 이격하면 착화방지가 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

Domestic sandwich panel buildings are widely used on walls and roofs of factories and warehouse facilities. Factory and warehouse facilities have high fire load and rapid spread of fire due to their use characteristics, leading to large fires. Due to the characteristics of materials, walls and roofs are collapsed, resulting in life damage and property damage. In this regard, this study examined domestic and international standards of sprinkler facilities to prevent ignition of sandwich panel walls. Also, in order to check whether the fire was prevented by installing the head on the wall of the sandwich panel, the fire test was carried out with 10 cm, 60 cm, and 120 cm from the wall along the sprinkler head installation standard of domestic fire safety standards. As a result of the fire test, it was confirmed that the sandwich panel was prevented from igniting when the head of water pressure 0.1 MPa and water quantity K-80 was installed. According to the separation distance, it was impossible to measure the temperature at 10 cm, but at 60 cm, At the maximum temperature of 525 °C and 120 cm, the maximum temperature of the wall of the sandwich panel was measured as 276 °C. As a result of the fire test, considering the fire point of 450 degrees Celsius in the fire test of the sandwich panel, the distance from the sandwich panel wall to the combustible is more than 120 cm.

Keywords : Sandwich Panel, Ceiling Collapse, Perimeter Sprinkler, Wall Protection

1. 서 론

최근 3년간 국내에서 발생한 샌드위치패널 건물화재로는 2014년 경기도 반도체 공장 화재, 대전 화장품 창고형 공장 화재, 대전 타이어 공장 화재, 2015년 김포 물류창고

화재, 경기도 평택시 공장화재, 2016년에는 경기도 이천시 화재가 있다. 이들 화재사례는 내장재가 샌드위치 패널로 마감되어 있는 공통점이 있다. 일부는 스프링클러설비 등 소화설비가 작동했음에도 불구하고 화재가 급격히 확대되어 초기진화에 실패한 사례도 있다. 또한 유독가스, 건물

[†] Corresponding Author, E-Mail: nfpa101@daum.net, TEL: +82-31-828-7550, FAX: +82-31-828-7559

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

붕괴 위험으로 소방대의 진입이 곤란한 경우도 발생했다.

특히, 초기진화에 실패할 경우 화재로 인한 건물 붕괴 위험은 소방관 인명피해의 주원인으로서 이천 공장, 대조동 나이트, 이천 냉동창고 화재는 소방관이 부상당하거나 사망한 사례이다.

국토교통부자료에 의하면 샌드위치패널 건물은 대부분의 공장이나 창고시설에 벽과 지붕에 널리 사용된다. 공장이나 창고시설은 물품을 생산하거나 저장하는 용도로 필연적으로 화재하중이 높아질 수밖에 없다. 따라서 초기소화에 실패하면 대형화재로 연결되는 경우가 많다. 국가화재정보시스템 자료(2012년부터 2016년)에 따르면 샌드위치패널 건축물 화재는 연간 1720건이 발생하였고 화재발생건수당 재산피해액은 2천여만 원에 이르는 것으로 조사되었다. 전체 화재대비 화재발생건수는 4%인 반면 재산피해액은 전체 화재 피해액의 9%에 달해 화재발생시 쉽게 대형화재로 이어지는 것을 알 수 있다.⁽¹⁾

샌드위치패널 화재는 발생하는 열에너지(복사열, 화염 등)가 벽면이나 천장에 영향을 미쳐 패널 심재가 연소하게 된다. 이 과정에서 샌드위치패널의 마감재인 철판 또는 알루미늄 판이 외부로 열 방출을 차단하여 수직 또는 수평으로 급격히 연소가 확산되게 된다. 화재가 시작되면 소화수가 패널내부로 침투하기 어려워 화재진압에 실패할 가능성이 높게 된다. 결국 화재 최성기에 이르면 샌드위치패널 일부가 낙하되거나 건물이 붕괴되는 상황을 초래한다.

이와 관련하여 소방기관에서는 샌드위치패널 양면주수기법에 의한 연소확대방지, 파괴 장비를 이용한 파괴구 설치, 배출구를 이용한 배연 등 화재진압대책을 제시하고 있다.

본 연구에서는 이 중 양면주수기법에 의한 화재진압사례를 활용하여 샌드위치패널벽면 보호를 위한 스프링클러설비의 소화성능확보를 위한 실험을 수행하였다.⁽²⁾

2. 연구방법 및 범위

먼저, 샌드위치패널의 국내·외 스프링클러설비 관련기준을 살펴보고 패널 화재실험을 통해 가연물의 이격 거리에 따라 가연물 연소에 따른 스프링클러헤드 동작시간 및 샌드위치 패널 착화여부를 확인하여 화재 안전성을 확인하였다. 이격 거리는 화재위험도 및 화재시 피난을 위한 통로 너비를 고려하여 배치하였다.

실험구조물은 샌드위치패널 물류창고에 대한 건물 구조조사자료에 따라 일반 상온창고의 경우 철골구조+샌드위치패널이 60%, 철근콘크리트조는 28%, 조립식 패널은 6%, 기타 6%로서 사용면적의 효율성이 높은 철골조+샌드위치패널 구조가 가장 많이 사용되고 있어 철골구조+샌드위치패널을 대상으로 하였다.⁽⁸⁾ 또한, 최근 (2015년, 2016년) 전국 샌드위치패널조 공장 및 창고시설 건축물 연면적별 건축허가현황 자료를 바탕으로 전체 건축허가동수 중 약 81%를 차지하는 500 m² 미만의 규모를 대상으로 고려하였다.⁽⁹⁾

3. 샌드위치패널 건축물 스프링클러설비 관련기준

3.1 국내 관련기준

현재 샌드위치패널에 대한 국내 스프링클러설비 기준은 따로 마련되어 있지 않다. 샌드위치패널 건물의 주용도인 공장, 창고시설에 설치되는 현행 스프링클러설비기준의 경우, 공장 또는 창고(랙크식 창고를 포함한다)는 특수가연물을 저장하는 경우 기준개수 30개, 그 외에는 20개를 적용한다. 헤드는 0.1 MPa의 방수압력 기준으로 80 L/min 이상으로 하고 작동시간 20분으로 한다. 헤드의 배치는 정방형을 기준으로 특수가연물을 저장 또는 취급하는 경우 헤드간 수평거리는 약 2.4 m로 배치한다. 헤드 간 수직거리는 특수가연물을 저장하는 경우 4 m 이하마다, 그 외에는 6 m 이하마다 헤드를 설치한다. 헤드의 종류는 기준에 제시되지는 않지만 일반적으로 표준형헤드를 설치한다. 표시온도는 높이가 4 m 이상인 공장 및 창고(랙크식창고를 포함한다)에 121 °C 이상의 것으로 적용한다. 헤드와 벽과의 거리는 10 cm 이상으로 한다.⁽³⁾

NFSC 103B의 경우, 천장높이가 13.7 m 이하인 랙크식 창고에 적용되는 기준으로 기준개수는 12개이며 천장높이와 저장높이에 따라 방수량이 결정되게 된다. 작동시간은 60분으로 한다. 헤드의 배치는 방호면적에 따라 6.0 m² 이상 9.3 m² 이하로 하거나 천장높이에 따라 천장의 높이가 9.1 m 미만인 경우에는 2.4 m 이상 3.7 m 이하로, 9.1 m 이상 13.7 m 이하인 경우에는 3.1 m 이하로 한다. 헤드의 종류는 기준에 제시되지는 않지만 일반적으로 조기반응형 헤드를 설치한다. 표시온도는 74 °C이하의 것으로 적용한다. 헤드와 벽과의 거리는 헤드 상호간 거리의 2분의 1을 초과하지 않으며 최소 102 mm 이상으로 배치한다.⁽⁴⁾

국내기준은 패널 벽면 착화방지에 대한 기준이 아닌 천장에 헤드를 설치하여 가연물을 진화하거나 억제하는데 그 목적이 있다. 패널 벽면 착화방지는 소화수를 벽면에 방사하여 열에너지로부터 열 장벽을 형성하여 샌드위치패널의 심재가 인화점이나 발화점에 도달하는 것을 방지하는 개념이다.

국내기준상 벽면에 설치하는 헤드는 측벽형 스프링클러헤드가 있으나 폭이 9 m 이하인 실내에 있어서만 설치할 수 있어 샌드위치패널 벽면착화방지를 위한 구체적인 기준이 필요한 실정이다.

3.2 해외 관련기준

미국의 FM Global Property Loss Prevention Data Sheets (FMDS)의 1-57 플라스틱 구조물규정은 EPS 샌드위치패널의 방호기준을 제시하고 있다. 우선 건축물의 EPS 샌드위치패널의 밀도와 방수밀도(L/min/m²)에 따라 습식 또는 건식시스템으로 선정한다. 그 다음 벽면헤드(Perimeter Sprinkler heads) 설치여부를 결정한다.⁽⁵⁾

천장높이 9.1 m 이하인 경우, 헤드는 약 0.1 MPa의 방수압력으로 114 L/min 이상, 작동시간은 60분을 요구한다.

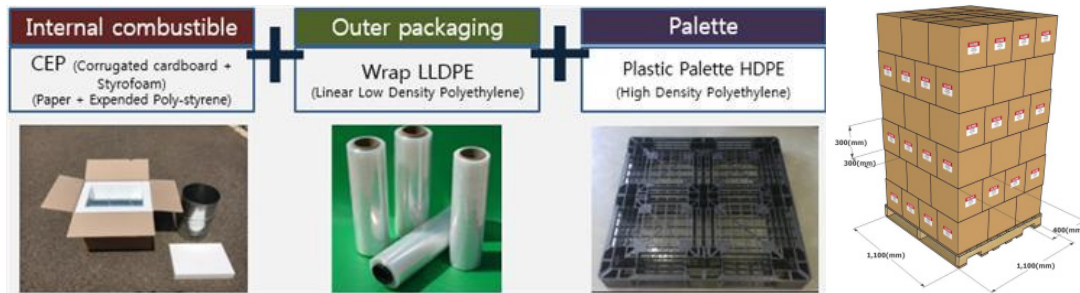


Figure 1. Standard combustible composition.

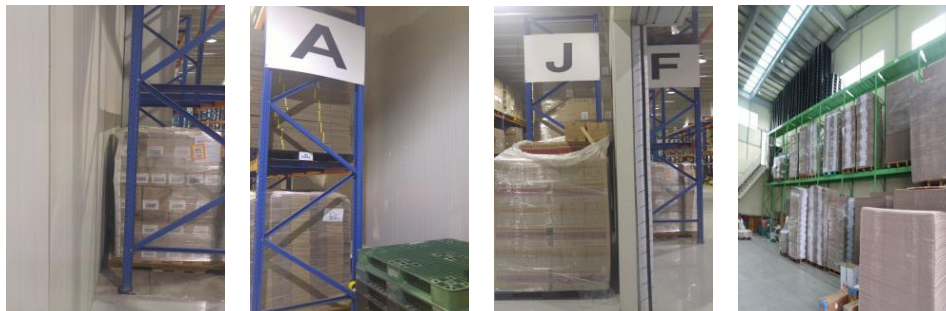



Figure 2. Storage items adjacent to the wall.

Table 1. Sprinkler Head Specifications

		Quick Response Type Sprinkler Head	Standard Type Sprinkler Head
	Discharge Flow Rate	80 L/min	
	Discharge Pressure	0.1 MPa	
	Response Time Index	≤ 50	80~350
	Sprinkler Temperature Rating	68 °C	

헤드 간 수평거리는 3 m이며 헤드와 벽과의 거리는 0.6 m ± 90 mm로 배치한다. 헤드의 기준개수는 습식스프링클러 시스템의 경우 10개, 건식스프링클러시스템의 경우 14개를 적용한다. 건식스프링클러시스템의 경우 첫 번째 헤드가 작동한 후 30초 이내에 소화수가 전달되어야 한다. 헤드는 조기반응형 헤드로 Response Time Index (RTI) 값이 50 이하이고 표시온도 74 °C 이하인 것을 사용한다.

천장높이가 9.1 m를 초과하는 경우, 중간레벨의 헤드가 요구되며 벽에서 0.6 m에 설치한다. 2열 이상의 경우 최소 헤드 당 20 gpm (76 L/min)의 방수량으로 최상단 열은 14개, 아래 열은 6개를 배치한다. 중간레벨 헤드간의 수직거리는 9.1 m 이내로 동일 간격으로 배치하며 천정헤드 소요수량과 조화를 고려한다. 높은 벽체의 경우, 중간레벨 헤드와 천장 헤드 및 천정주변헤드가 필요할 수 있다. 하나의 중간레벨 헤드경우에도 헤드 당 20 gpm (76 L/min) 10개의 유량을 확보한다. 중간레벨 헤드는 인렛헤드를 수평 벽과 보 직하단에 설치하여 하부헤드를 감싸게 하며 보가 없는 경우 차폐 판을 설치한다.⁽⁵⁾

4. 샌드위치패널 벽면 착화방지 실험

4.1 실험방법

현장조사를 통한 공장 층고를 고려하여 패널벽체를 6 m 높이로 설치하고 바닥 위 4.5 m 위치에 스프링클러 헤드를 설치하였다. 물류창고의 대표가연물인 Cartoned Expanded Plastic (CEP)박스를 가로 1.1 m×세로 1.1 m인 팔레트위에 2.1 m로 쌓아올리고 외장포장재인 랩으로 포장하여 패널벽면으로부터 3가지 이격거리를 두어 배치하였다. 이격거리는 Figure 2와 같이 현장조사를 토대로 가연물이 벽에 밀착해있는 경우를 중심으로 벽과 밀착경우를 가정한 10 cm 화재시 피난을 위한 통로너비를 고려한 60 cm, 120 cm로 나누어 실험하였다. CEP박스 내부는 골판지와 스티로폼으로 구성하였으며 팔레트는 플라스틱 High Density Polyethylene (HDPE)로 배치하였다.⁽⁷⁾

스프링클러헤드는 Table 1에 따라 국내화재안전기준 0.1 MPa의 방수압력 기준으로 방수량 80 L/min 조기반응형, 표준형 2가지 유형으로 설치하였다. 미국 V사의 헤드로

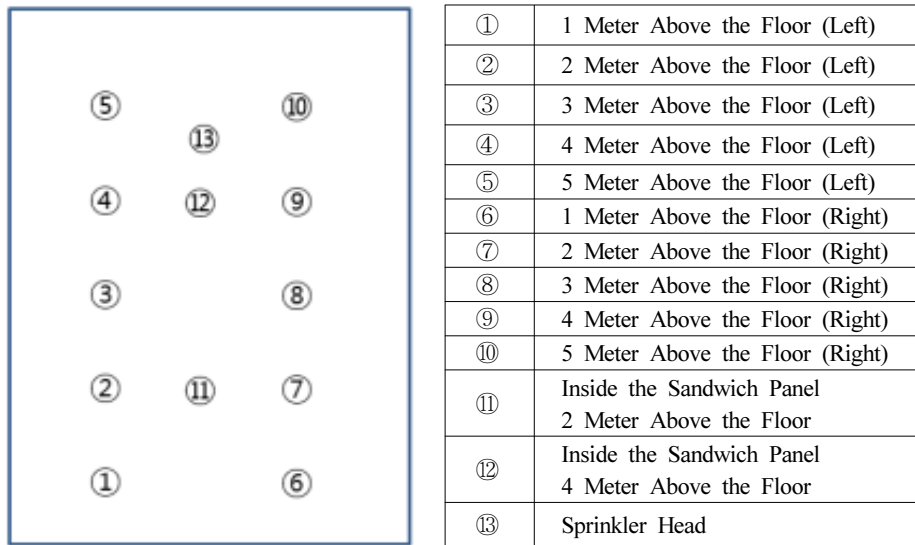


Figure 3. Temperature sensor (thermocouple) position.

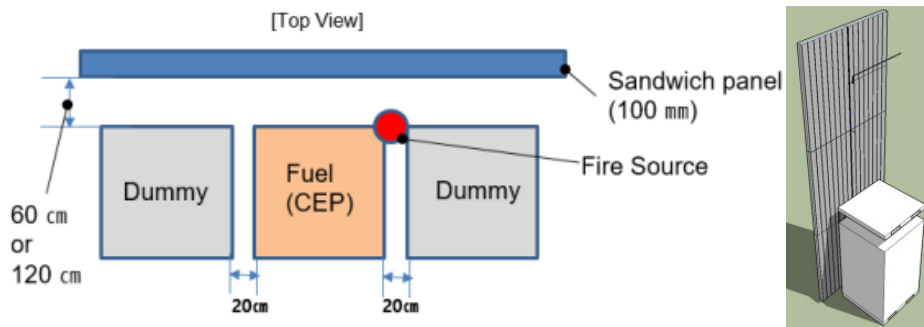


Figure 4. Arrangement of Fuel, Fire Source position, Head position.



Figure 5. Experimental process (Separation distance 10 cm).

K-factor는 80으로 동일하며 RTI값은 벽면으로부터 가연물의 거리에 따라 화재위험도를 고려하여 10 cm, 60 cm일 때는 조기반응형헤드를, 120 cm일 때는 표준형을 설치하고 살수방향은 상향형으로 하였다.⁽⁸⁾

실험에 사용된 샌드위치 패널은 창고 구조물에 일반적으로 많이 사용되는 100 mm 두께를 가진 비난연성 재질의

샌드위치 패널을 이용하였다. 화원은 N-heptane 300 mL을 지름 10 cm의 원통형 용기에 부어 점화시켜 표준가연물을 착화시킨 후 스프링클러헤드 작동여부 및 패널착화여부를 확인하였다. Figure 3은 샌드위치 패널 착화에 따른 열전이 특성을 확인하기 위하여 샌드위치 패널에 설치한 온도센서 위치를 나타낸 것이다.

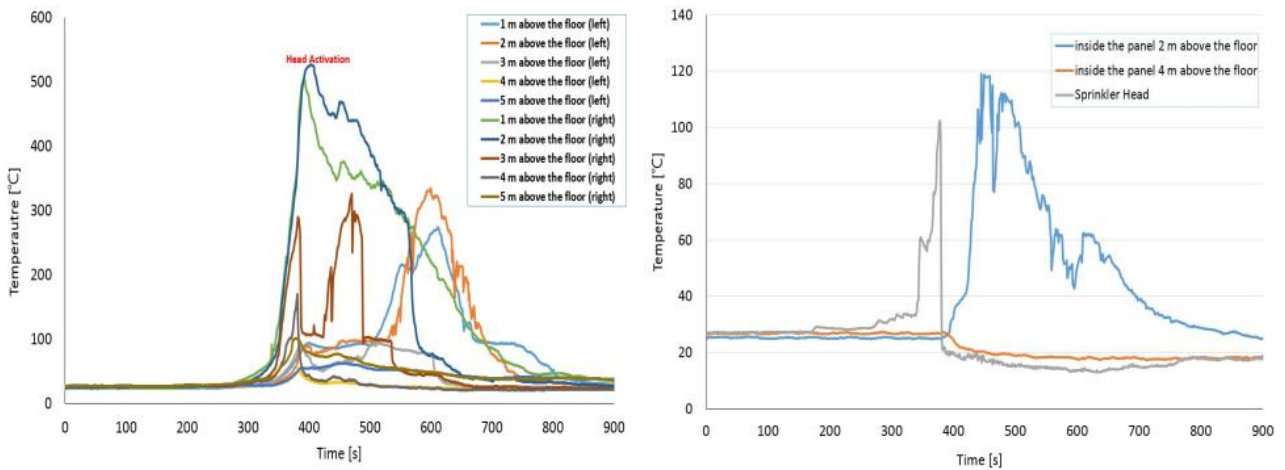


Figure 6. Panel temperature (left: outside, right: inside).



Figure 7. Experimental process (Separation distance 60 cm).

4.2 실험결과 분석

4.2.1 벽면과의 이격 거리 10 cm일 때

점화원에 착화후 약 4분이 지나자 화염이 수직으로 급속히 확대되어 가연물 높이까지 도달하였다. 5분이 되자 다량의 검은 농연이 발생하였고 화염이 헤드 설치지점까지 확대되었다. 화염이 패널에 전이되었다. 곧이어 5분 36초에 조기반응헤드가 작동되며 소화수가 방사되었다. 실험은 착화후 약 11분경에 종료되었으며 헤드 작동으로 패널에 착화되지 않는 것을 볼 수 있었다.

4.2.2 벽면과의 이격 거리 60 cm일 때

Figure 7는 조기반응형 헤드를 설치하고 패널과 가연물과의 거리를 60cm이격하였으며 랙크에 저장된 물품과 유사하게 가연물 양옆에 가연물과 비슷한 Steel Dummy를 20cm 간격으로 배치하였다. Figure 3과 같이 패널 표면 10개소, 스프링클러헤드 1개소, 패널 내부 2개소, 점화원 1개소로 총 14개소에서 측정하였다. 패널 표면온도는 바닥으로부터 높이 1m 간격으로 온도센서를 부착하여 측정하였다. 패널 내부온도는 바닥으로부터 높이 2m, 4m 지점에서 패널 뒷면에 구멍을 뚫어 패널 내부 중간까지 오도록 온도센서를 부착하였다.

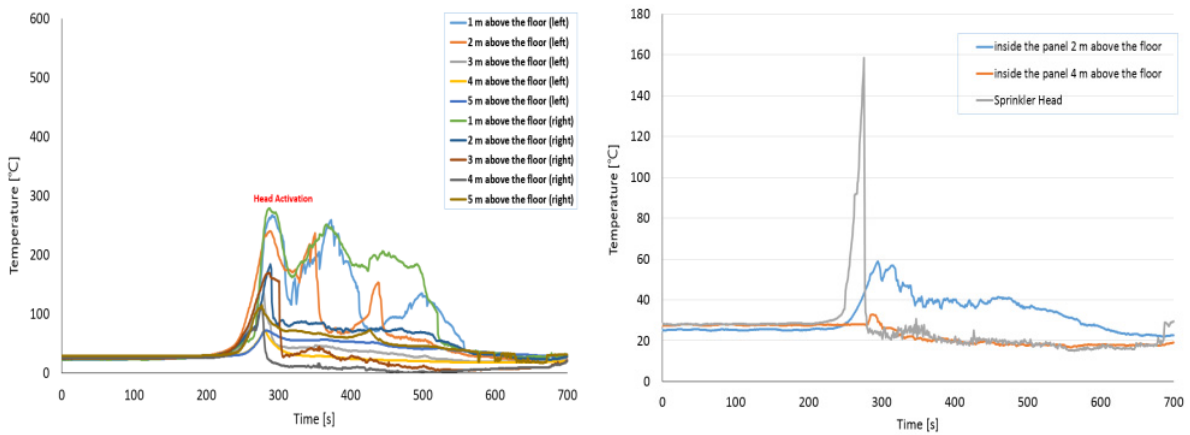


Figure 8. Panel temperature (left: outside, right: inside).



Figure 9. Experimental process (Separation distance 120 cm).

실험결과 점화원에 착화 후 약 2분 30초 지나자 패널 벽면과 가까운 가연물의 표면으로 연소가 급격히 확대되어 가연물 높이까지 화염이 치솟았다. 약 3분경에는 하얀 연기가 서서히 발생하였으며 약 3분 30초경에 가연물의 비화하며 화염이 헤드설치지점까지 확산되었다. 약 4분경에는 회색연기가 발생하며 헤드가 작동되었다. 헤드 작동 후 가연물의 연소는 계속 진행되었지만 패널 온도는 낮아지는 모습을 보였다.

연소시작 약 15분이 경과되어 실험이 종료되었다. 패널 표면온도는 2 m 높이에서 최고 525 °C까지 상승하였고, 패널 내부온도는 2 m 높이에서 온도가 약 120 °C까지 상승하였다. 패널 벽면은 헤드 작동으로 착화되지 않았다.

4.2.3 벽면과의 이격 거리 120 cm 일때

Figure 9은 헤드의 종류를 표준형으로 하고, 가연물과의 거리를 120 cm 변경하여 실험을 진행하였다. 60 cm이격조건과 동일하게 Figure 3과 같이 패널 내·외부온도를 측정하였다.

실험결과 점화원에 착화후 약 4분이 지나자 패널 벽면과 가까운 가연물의 표면으로 연소가 급격히 확대되어 가연물 높이까지 화염이 치솟았다. 곧이어 4분 30초경에 화염이 헤드 설치지점까지 도달했으며 4분 42초경에는 헤드가 작동되었다. 헤드 작동 후에도 가연물의 연소는 계속 진행되어 패널 높이까지 도달하였다. 하지만 헤드 작동으로 화염이 점차 수그러들며 패널 온도도 낮아지는 모습을 보였다.

연소시작 약 11분이 경과되어 실험이 종료되었다. 패널 표면온도는 1 m 높이에서 최고 276 °C까지 상승하였고, 패널 내부온도는 2 m 높이에서 온도가 약 60 °C까지 상승하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 샌드위치패널 벽면보호를 목적으로 표준 가연물을 구성하여 화재실험을 수행하였으며 주요 연구결과는 다음과 같다.

1) 헤드의 방수량은 이격거리와 관계없이 K-80의 스프링클러헤드(조기반응형, 표준형)가 소화수 방수시 샌드위치패널에 착화되는 것을 방지할 수 있었다.

2) 패널 표면온도를 살펴보면, 벽과의 이격거리가 60 cm 일 때는 2 m 높이에서 최고 525 °C까지 상승하였고 벽과의 이격거리가 120 cm일 때는 1 m 높이에서 최고 276 °C까지 상승하였다. 이격거리가 2배 증가시 패널표면의 최고온도는 2분의 1 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 화염의 영향으로 이격거리가 가까울수록 패널표면의 최고온도 지점이 높아지는 것을 알 수 있었다.

3) 패널 내부온도는 벽과의 이격거리가 60 cm일 때는 2 m 높이에서 최고 120 °C까지 상승하였고 벽과의 이격거리가 120 cm일 때는 2 m 높이에서 최고 60 °C까지 상승하였다. 패널 표면온도와 마찬가지로 이격거리가 2배 증가시 패널 내부의 최고온도가 약 50% 감소하는 경향을 나타냈다.

4) 국외의 EPS 샌드위치패널 연구자료에 따르면 EPS는 50 kW/m²의 복사열에서 연소되며 인화점은 320~380 °C, 발화점은 450~510 °C로 추정되었다.⁽¹⁰⁾ 본 연구결과 복사열은 측정하지 못하였으나, 발화점 450 °C을 기준으로 CEP가연물과의 거리가 60 cm일 때는 385초에 화재위험수준에 도달하며, 120 cm일 때는 화재위험수준에 도달하지 않았다.

5) 국가화재통계자료에 따르면 공장,창고시설에서 화재 발생시 소방대의 현장도착시간은 20분 이내로 나타났다.⁽¹⁾ 본 연구결과 샌드위치패널 벽 부근에 스프링클러설비 미설치시 약 6~7분 이내에 화재위험수준에 도달함으로 샌드위치패널 건물의 화재안전성을 높이기 위해선 소방대 현장도착시간을 고려하여 화재발생후 20분 이상 샌드위치패널의 착화를 방지할 수 있는 수준의 스프링클러설비가 요구된다.

향후 본 실험결과를 기반으로 샌드위치 패널벽면의 착화방지를 위한 헤드의 배치, 방수량, 방사압력 등의 시스템 설치기준에 대한 추가연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 소방청 현장중심형 소방활동지원 기술개발사업(MPSS-소방안전-2015-67)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Ministry of Public Safety and Security, "E-Fire Statistical" (2012~2016).
2. Changyeong Fire Department, "Sandwich panel structure fire suppression method improvement" (2012).
3. National Fire Safety Code 103, "Fire Safety Code for Automatic Sprinkler System" (2017).
4. National Fire Safety Code 103B, "Fire Safety Code for Early suppression of fire Sprinkler System" (2017).
5. FM Global, "Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities". Property Loss Prevention Data Sheets 8-9 (2015).
6. FM Global, "Plastic construction". Property Loss Prevention Data Sheets 1-57 (2014).
7. G. H. Cho and I. H. Yeo, "A Study on the Fire Characteristics of Palletized Unit-Load Commodities on Racks", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 3, pp. 23-30 (2016).
8. D. B. Kim and J. H. Jang, "A Study on Architectural Countermeasures of Prevention of Fire Propagation Through the Field Survey of Warehouse", J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 17, No. 1, pp. 15-21 (2017).
9. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Building Life Cycle Management System "Year of 2015, Year of 2016 Sandwich Panel Factory and Warehouse Facilities Building" (2017).
10. R. J. B. Nelligan, "Guidelines for the use of Expanded Foam Polystyrene Panelsystems in Industrial Buildings so as to Minimise the Risk of Fire", Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Private Bag 4800 Christchurch, New Zealand (2006).