

샌드위치패널 창고의 벽 천장 접합부 방호용 스프링클러설비 실험

A Experiment of Sprinkler System to Protect Ceiling Joints of Sandwich Panel Warehouses

안병국^{1*} · 김운형² · 서동훈³ · 함은구⁴Byung-Kug An^{1*}, Woon-Hyung Kim², Dong-Hun Seo³, Eun-Gu Ham⁴¹CEO, Ankug Engineering & Consulting Co, Republic of Korea²Professor, Department of Firesafety., Kyungmin University Uijeongbusi, Republic of Korea³Researcher, Industry-Academic Cooperation Foundation Kyungmin University, Uijeongbu-si, Republic of Korea⁴Professor, Department Fire Protection & Safety Engineering, Open Cyber University of Korea, Republic of Korea

*Corresponding author: Byung-Kug An, brian_an@ankugenc.com

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to test the sprinkler performance to protect the wall and ceiling joints of the sandwich panel warehouse in case of fire. **Method:** Based on the field surveys, test was setup and combustibles were prepared. The sprinkler discharge tests were performed at the corner of the wall and right under the sprinkler head. **Results:** It has been found that operation of the K-80 closed sprinkler head prevents the ignition of the sandwich panel and therefore no damage to the joints of sandwich panels. To prevent skipping phenomenon, it is necessary to install the sprinkler head from the corner of the wall and to keep a minimum distance of 2.4m and a maximum distance of 3m. **Conclusion:** A Standard Operation Procedure should be prepared to suppress and rescue of fire brigade for a sandwich panel warehouse protected by perimeter sprinklers preventing a ignition of core materials and control fire.

Keywords: Sandwich Panel, Ceiling Joints, Corner Test, K-80 Closed, Sprinkler Head, SOP

요약

연구목적: 본 연구는 화재 시 샌드위치패널 구조 창고의 벽 천장접합부 방호를 위한 스프링클러 성능확인 실험을 목적으로 한다. **연구방법:** 현장조사결과를 기반으로 창고의 공간규격과 가연물을 선정하고 벽 코너 및 헤드 직하부에서의 방호실험을 수행하고 결과를 분석하였다. **연구결과:** 벽 코너 화재 시나리오에 대해서 K-80 폐쇄형 스프링클러헤드의 작동으로 샌드위치 패널의 착화 및 접합부 손상이 방지됨을 확인하였다. **결론:** 샌드위치패널 심재로의 착화 및 연소방지를 통한 화세제어로 이를 가정한 소방대의 소화 및 구조활동을 위한 표준진압대책이 마련되어야 한다.

핵심용어: 샌드위치패널, 천장접합부, 벽 코너 실험, K-80폐쇄형, 스프링클러헤드, 표준진압대책

Received | 5 January, 2019

Revised | 10 January, 2019

Accepted | 27 February, 2019

 OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

서론

최근 발생한 샌드위치패널 건물화재로는 용인물류센터 화재, 인천남동공단 화재가 있다. 이들 화재는 샌드위치패널이 급격히 연소되어 재산피해는 물론이고 많은 인명피해도 초래하였다. 공통점으로는 자동식 스프링클러설비 등 소화설비가 설치되었음에도 불구하고 연소확대가 빠르게 확대되어 인접소방대가 현장에 도착한 시점에 이미 최성기에 접어들어 유독가스, 건물붕괴 위험으로 소방대의 소방활동이 원활히 이루어질 수 없었다는 것이다.

국도교통부자료에 의하면 샌드위치패널 창고시설은 2016년 기준 76,628동이다. 연면적별로 보면 500㎡미만이 70,555동으로 전체의 92%인 것으로 조사되었다(MOLIT, 2017). 현행 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령에 따르면 창고시설에 설치되는 스프링클러설비는 수용인원, 바닥면적, 특수가연물 저장량에 따라 설치대상이 된다. 샌드위치패널 창고시설의 경우 지붕 또는 외벽이 불연재료가 아니거나 내화구조가 아닌 것에 해당되어 지하층·무창층 또는 층수가 4층 이상인 것 중 바닥면적이 500㎡인 경우와 랙크식 창고시설로서 천장높이가 10m이하로 바닥면적 합계가 750㎡이상인 경우 스프링클러설비를 설치한다. 기준에 따르면 대부분의 샌드위치패널 창고시설이 소화설비로 수동식소화기구가 유일하며 스프링클러설비는 설치가 제외되는 것을 알 수 있다.

국가화재통계를 보면 2009년부터 2017년까지 창고시설의 화재는 매년 약 1,200여건 발생되고 있다. 샌드위치패널은 화재 시 접합부가 벌어지면 심재에 직접적인 열에너지가 전달되는 시점에서 급속히 연소확대가 이루어지게 된다. 선행 연구와 통계에 따르면 샌드위치패널 건물 화재재현 실험결과 비난연성심재의 경우, 화재발생 후 6~7분 후 플래시오버에 도달하지만 소방대의 화재현장 도착시간은 전체 화재건수의 62%이상이 10분이상인 것으로 나타났다.

따라서 소방대가 도착하기 전에 효율적인 스프링클러설비의 설치로 벽 및 천장 접합부를 방호하여 화재확산을 방지하고 더 나아가 화재진압을 도모, 화열로 인한 구조물의 붕괴 및 낙하를 방지하는 대안이 필요하다. 본 연구에서는 천장과 벽 접합부 방호를 위한 성능실험을 통하여 창고화재의 소방활동을 위한 스프링클러설비 방호기준을 제시하고자 한다. 이를 위하여 샌드위치패널 접합부에 대한 스프링클러설비 방호기준을 조사하고 선행연구에 따라 위험도가 높은 가연물을 선정하고 후 현장조사를 바탕으로 화재시나리오를 구성하였다. 실험 구조물은 일반적으로 샌드위치패널 창고에서 적용하는 철골+샌드위치패널 구조를 적용하고 스프링클러헤드는 폐쇄형헤드로 국가화재안전기준에 의거 80 l/min을 적용하였다.

관련기준 분석

국내기준

현재 창고시설을 위한 국내 스프링클러설비 기준은 따로 마련되어 있지 않다. 따라서 모든 시설에 일률적으로 적용되는 스프링클러 기준인 NFSC 103은 창고에서 보관하는 저장물품의 소화·제어를 목적으로 특수가연물을 저장하는 경우 기준개수 30개, 그 외에는 20개를 적용한다. 스프링클러헤드는 0.1MPa의 방수압력 기준으로 80 l/min 이상으로 하고 작동시간 20분으로 한다. 스프링클러헤드의 배치는 정방형을 기준으로 특수가연물을 저장 또는 취급하는 경우 스프링클러헤드간 수평거리는 약 2.4m로 배치한다. 스프링클러헤드 간 수직거리는 특수가연물을 저장하는 경우 4m 이하마다, 그 외에는 6m 이하마다 스프링클러헤드를 설치한다. 스프링클러헤드의 종류는 일반적으로 표준형헤드를 설치한다. 표시온도는 높이가 4m 이상인 경우 121℃ 이상의 것으로 적용한다. 스프링클러헤드와 벽과의 거리는 10 cm 이상으로 한다.

NFSC 103B의 경우, 천장높이가 13.7m 이하인 랙크식창고에 적용되는 기준으로 화재조기진압용 스프링클러헤드의 기준개수는 12개이며 천장높이와 저장높이에 따라 방수량이 결정되게 된다. 작동시간은 60분으로 한다. 스프링클러헤드의 배치는 방호면적에 따라 6.0m^2 이상 9.3m^2 이하로 하거나 천장높이에 따라 천장의 높이가 9.1m 미만인 경우에는 2.4m 이상 3.7m 이하로, 9.1m 이상 13.7m 이하인 경우에는 3.1m 이하로 한다. 헤드의 종류는 조기반응형 헤드를 설치한다. 표시온도는 74°C 이하의 것으로 적용한다. 스프링클러헤드와 벽과의 거리는 헤드 상호간 거리의 2분의 1을 초과하지 않으며 최소 102mm 이상으로 배치한다.

국외기준

미국의 FM Global Property Loss Prevention Data Sheets (FMDS)규정에는 샌드위치패널구조 건축물의 방호기준이 기술되어 있다. 이에 따르면 건축물의 EPS 샌드위치패널의 밀도와 스프링클러의 방수밀도($\ell/\text{min}/\text{m}^2$)에 따라 습식 또는 건식 시스템으로 선정하며 벽면스프링클러헤드(Perimeter Sprinklerheads) 설치여부를 결정한다.

주요기준으로는 천장높이 9.1m 이하인 경우, 스프링클러헤드는 약 0.1MPa의 방수압력으로 114 ℓ/min 이상, 작동시간은 60분을 요구한다. 스프링클러헤드 간 수평거리는 3m이며 스프링클러헤드와 벽과의 거리는 $0.6\text{m} \pm 90\text{mm}$ 로 배치한다. 스프링클러헤드의 기준개수는 습식스프링클러 시스템의 경우 10개, 건식스프링클러시스템의 경우 14개를 적용한다. 건식스프링클러시스템의 경우 첫 번째 스프링클러헤드가 작동한 후 30초 이내에 소화수가 전달되어야 한다. 스프링클러헤드는 조기반응형 헤드로 Response Time Index (RTI) 값이 50 이하이고 표시온도 74°C 이하인 것을 사용한다.

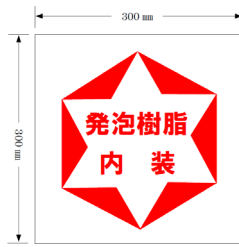
천장높이가 9.1m를 초과하는 경우, 중간레벨의 스프링클러헤드가 요구되며 벽에서 $0.6\text{m} \pm 90\text{mm}$ 에 설치한다. 2열의 경우 스프링클러헤드당 최소 20 gpm (76 ℓ/min)의 방수량으로 상단 열은 14개, 아래 열은 6개를 배치한다. 두열 사이의 스프링클러헤드간의 수직거리는 9.1m이내로 동일 간격으로 배치하며 천장에 설치하는 스프링클러헤드 또는 집중분사식스프링클러의 소요수량과 압력균형을 이루어야 한다. 아래 열의 스프링클러헤드는 인렛헤드를 설치한다.

특히 FMDS 1-57은 2018년 개정판에서 FM 승인된 플라스틱패널만을 사용할 것을 요구한다. 이 경우 FM에서는 스프링클러설치를 제외한다. FM의 자체 실험에 따르면 대부분의 비승인 패널은 쉽게 발화하고 급속히 연소하는 현상을 보이며 스프링클러헤드가 작동하여도 강력한 화염과 고온의 천장부분이 관찰되었다.

미국 NFPA 13에서는 천장 및 지붕과 스프링클러 디플렉터간 거리를 규제하며 저장공간의 경우 특정유형의 스프링클러 요구사항을 적용하고 있다.

한편, 뉴질랜드의 NZS 4541-2007 212 절에서는 FM5880(FM 비승인) 또는 LPCB LPS 1181/1208 기준에 미달되는 플라스틱 샌드위치패널을 규정하고 있다. 헤드설치는 180평방m 이상의 경우, $8 \sim 18 \ell/\text{min}/\text{m}^2$ 으로 세분되며 벽 방호를 위한 측벽형 스프링클러헤드 설치를 포함한다.

일본의 경우, 샌드위치패널 창고의 방호대책으로서 별도의 스프링클러헤드설치기준이 없으며 소방대상물의 출입구 부근의 보기 쉬운 위치에 내장표시 마크의 표시(Fig. 1), 불연단열재 사용, 이음부의 처리, 마감재의 탈락방지시공, 관계인에게 화재위험성의 공지, 자체방화관리의 추진 등 제도적으로 적용하고 있다. 국내실정에 비교하여 가연성 외장재의 사용이 낮음에도 불구하고 화재 시 단열재의 연소상태를 현장외부에서 확인하기 어렵고 건물이용자의 피난 및 소방활동상의 위험이 높기 때문에 이러한 다각적인 조치를 마련하고 있다.



[부착위치]

내장재로 가연성 합성 수지 발포체를 이용한 단열재 등을 사용하는 객실의 출입구 부근 방화 대상물의 주요 출입구 부근 기타 소방대 재해에 진입하는 야외 계단 출입구 등 근처 등.

Fig. 1. Place to display interior display mark

현행 샌드위치패널 창고에 대한 스프링클러기준은 예상 가연물의 소화가 목적이므로 별도의 접합부방호에 대한 기준이 마련되어야 한다.

국외기준을 살펴보면 천장에 샌드위치패널을 사용하는 경우, 화재확산의 가능성이 존재하며 과도한 스프링클러헤드 개방으로 화세제어에 어려움이 예상될 수 있음을 지적하고 있다. 창고시설에서 발화는 통상 천장 하부로부터 진행되며 신속히 제어 또는 소화된다면 천장까지의 확산가능성은 배제된다. 천장에 스프링클러헤드가 설치된 경우, 천장보호를 위한 가연물의 종류에 따라 방수밀도 $8 \sim 16 \text{ l/min/m}^2$, 작동온도 74°C 또는 141°C 스프링클러헤드를 설치하며 간격은 최대 3.0m 방호면적은 최대 9.3m^2 이하로 설계한다.

관련 선행연구조사

창고 공간 및 구조

Kim and Lee(2017)는 국내 랙크식 창고 수용물품 등급분류를 위하여 경기도 26개 창고를 대상으로 현장방문조사를 수행하였다. 조사결과, 창고의 천장 높이는 10m이하가 23개로 대부분을 차지하고 있으며 적재방식은 랙크식+일부 바닥적재식이 90%로 나타났다(Fig. 2).

Jang et al.(2017)은 샌드위치패널 물류창고의 소화활동을 위한 유지관리 측면의 건축적 대응방안에 대한 조사를 진행하였으며 Lee의 2007년 조사 자료에 의하면 일반 상온창고의 경우 철골구조+샌드위치패널이 60%, 철근콘크리트조는 28%, 조립식 패널은 6%, 기타 6%로서 사용면적의 효율성이 높은 철골조+샌드위치패널 구조가 가장 많이 사용됨을 확인하였다.

Kim and Lee(2014)는 피난 및 소방대 활동의 개선방안을 위하여 경기도 소재 천장높이 6m인 랙크식 창고를 현장방문 조사한 결과, 수용물품을 공간중앙부의 랙크 외에 통로, 벽면부근 바닥에 분산 적재하여 피난 및 소화활동에 문제점을 제시하였다. 따라서 가연물이 랙크 주변에 적재되고 화재가 발생하는 경우 샌드위치패널 벽면의 착화를 방지하기 위한 스프링클러헤드의 필요성이 확인되었다.

Seo et al.(2017)은 샌드위치패널구조의 랙크식 창고 화재 시 소방관의 내부진입소화 및 구조물붕괴 등에 따른 인명보호 등을 위한 벽면 보호를 위한 스프링클러설비 실험을 수행하였다. 선행연구에 따라 천장높이가 6~10m이하의 샌드위치패널 방호성능실험 결과, 가연물과 벽체와의 이격 거리에 관계없이 헤드의 방수량은 분당 80 l의 조기반응형 또는 표준형 헤드가 패널 착화를 방지함을 확인하였다.



Fig. 2. Floor loading (Gyeonggi-do)

창고 가연물 선정

Cho and Yeo(2016)은 랙크 내 파렛트 단위 적재물품의 화재특성에 관한 연구에서 국내 랙크식 창고의 적재방식을 대표하는 물품을 FM Global의 표준물품을 기준으로 4가지로 선정한 후, 표준 파렛트단위 적재물품의 열방출률, 연기발생률, CO 및 CO₂ 발생량을 도출하였다. 실험결과, Cartoned Expanded Plastic (CEP)가 8761.88 kW로 가장 높은 열방출률과 더불어 연기발생률, CO, CO₂ 모두 가장 높게 나타났다. 본 연구에서는 이를 근거로 파렛트 위 CEP 박스를 단위가연물로 선정하였다. 단위가연물은 가로 및 세로 각각 1.1m이며 파렛트 위에 KS 랙크 표준 높이인 2.1m 로 설치하고 외부포장재인 랩으로 포장하였다(Fig. 3).

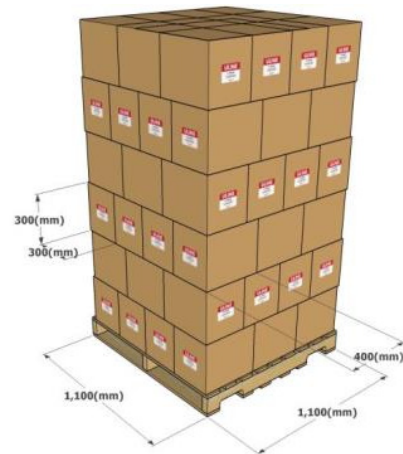


Fig. 3. CEP Commodity

샌드위치 패널 창고 방호성능실험

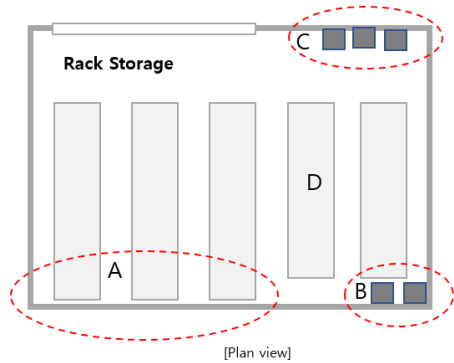
화재시나리오 및 실험개요

샌드위치패널 구조의 랙크식 창고화재 시 구조물 보호를 위한 스프링클러헤드의 방호성능실험을 수행하였다. 벽 또는 천장에 설치된 스프링클러헤드가 작동되어 벽과 천장부위 패널 접합부에 소화수를 방사하여 열에너지로부터 접합부가 벌어지는 것을 방지

하고 소방대가 화재현장 도착하기 까지 샌드위치패널의 심재가 인화점이나 발화점에 도달하는 것을 방지하는 것을 목적으로 한다.

먼저 샌드위치패널 창고에서 랙크에 적재된 물품이 아닌 패널 부근에 위치한 바닥 가연물을 화원으로 화재시나리오를 구성하였다. 이는 패널 부근에서 화재가 발생할 경우 벽면 및 천장에 빠르게 영향을 미쳐 창고의 붕괴가능성이 크기 때문이다.

Fig. 4에서 D와 같이 랙크에 적재된 가연물의 화재진압은 천장 또는 인락에 설치된 스프링클러헤드가 방호를 담당하지만 A, B, C와 같이 샌드위치패널과 가연물이 인접된 경우를 고려할 필요가 있다. 벽체와 인접한 A 화재 시는 천장 또는 인락스프링클러헤드로 보호가 가능하지만 B, C와 같이 가연물이 랙크 외부 또는 바닥에 적재된 화재는 패널의 착화방지를 위한 대안이 요구된다.



A : 천장 또는 인락스프링클러헤드로 보호

B, C : 패널의 착화방지를 위한 헤드적용이 필요

Fig. 4. Head installation by fire location

따라서 본 연구에서는 B, C 지점에서 발화 시 샌드위치패널로 화재확산을 방지하고 A지점에서 발화 시 천장스프링클러헤드나 인락스프링클러헤드가 함께 필요에 따라 동작하여 방호하는 방식을 고려하였다.

선례연구를 토대로 실험세트는 철골+샌드위치패널 구조로 가로 4m, 세로 6m, 천장높이 7m로 구성하였다. 천장부근은 실제 설계사례를 참고하여 기울기 10°를 적용하였고 가연물은 화재 시 가장 위험하다고 판단되는 2곳에 배치하였다(Fig. 5). 가연물은 벽 패널에서 60 cm 간격을 두어 벽 코너와 스프링클러헤드 직하부에 위치하도록 하고 스프링클러설비의 방호성능을 관찰하였다.

방호용 스프링클러헤드는 패쇄형으로 작동온도 72°C, 방수량 80 l/min, 방수압력은 0.1MPa로 바닥으로부터 6m 지점에 3개를 설치하였다(Fig. 6). 스프링클러헤드는 벽면으로부터 60 cm 간격으로 스프링클러헤드 상호간의 거리는 3m로 배치하였다(Fig. 7).

실험결과는 바닥으로부터 3m 지점과 스프링클러헤드부근에 열전대를 설치하여 온도데이터를 측정하였다(Fig. 8). 점화원은 패널과 가연물 사이에 가로 40 cm × 세로 40 cm에 헵탄 40 L를 설치하였다(Fig. 9).



Fig. 5. Experimental setup



Fig. 6. sprinkler head

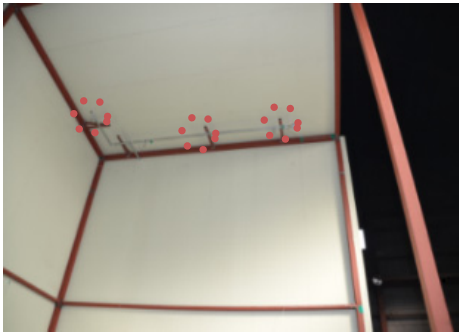


Fig. 7. Sprinkler head placement

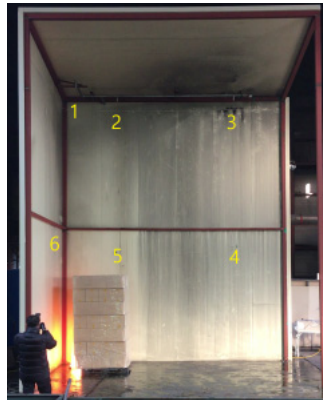


Fig. 8. Thermocouple location



Fig. 9. Ignition source

방호성능실험

코너 화재

점화 후 패널과 가까운 가연물표면에서 수직으로 급속히 연소가 진행되었으며 가연물의 높이보다 약 50cm 정도 높이까지 화염이 치솟았다. 점화 1분 20초경 지점 2의 스프링클러헤드 1개가 개방되었다. 스프링클러헤드 개방과 동시에 화염의 길이가 가연물보다 낮아지는 것이 확인되었다. 스프링클러헤드 개방 후에도 가연물의 연소는 계속 진행되었으며 점화 후 3분경에 흑연을 동반하며 다시 화재가 확대되었다. 점화 후 4분경에 가연물 절반이 연소되었으며 소화수가 패널로 지속적으로 흐르고 있어 패널 손상은 보이지 않았다. 점화 후 6분경이 되자 흑연이 천장높이 2분의 1가량 형성되었다. 점화 후 9분경 가연물이 6분의 1가량만 남으며 흑연이 회연에서 백연으로 점차 변화하였다. 점화 후 10분경 실험을 종료하였다. 실험종료 후 패널 상태를 살펴본 결과 약간의 그을림만 존재하였고 특히 접합부가 벌어지는 현상이 발생하지 않았다(Fig. 10, Fig. 11). 온도데이터를 분석한 결과 가연물과 가까운 6지점에서 120°C까지 온도가 상승하였으나 스프링클러헤드 개방 후 절반가량(60°C)까지 온도가 낮아짐을 확인할 수 있었으며 모든 지점에서 온도가 80°C 이상 상승하지 않았다(Fig. 12).

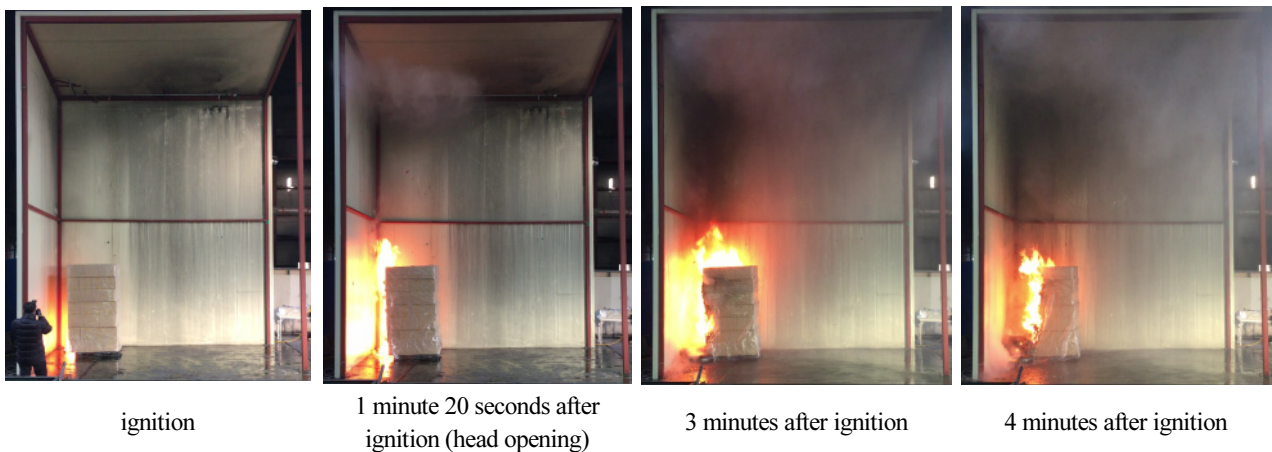


Fig. 10. Corner Fire Experiment progress (1)

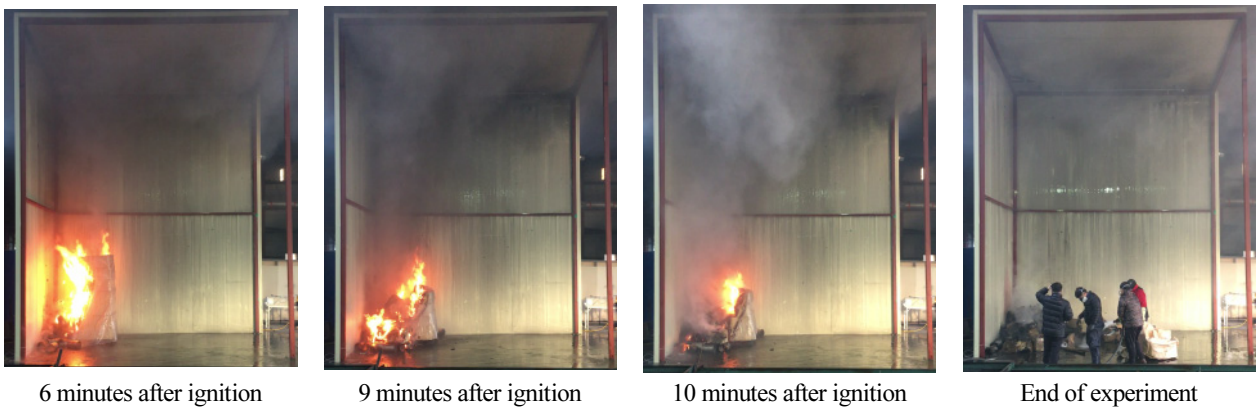


Fig. 11. Corner Fire Experiment progress (2)

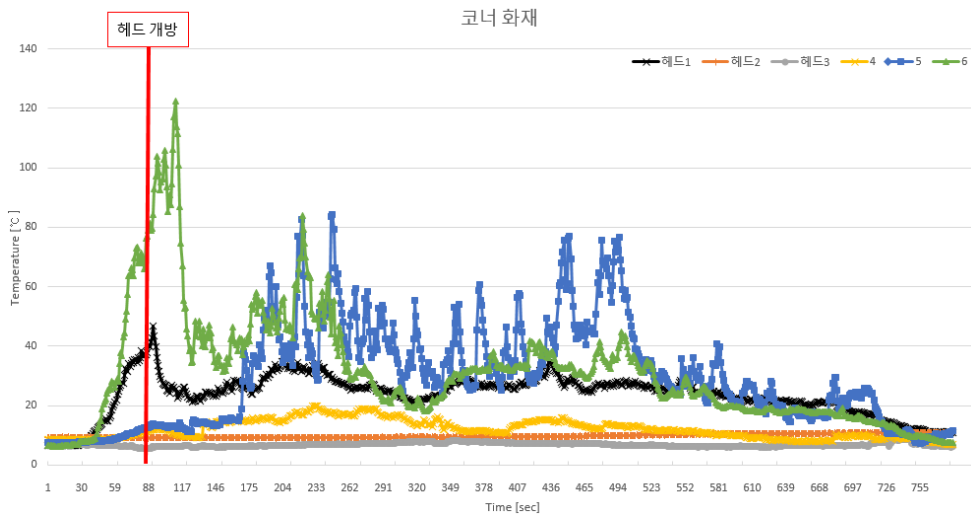


Fig. 12. Corner Fire - Temperature history

스프링클러헤드 직하부

점화 후 패널과 가까운 가연물표면에서 수직으로 연소가 확대되며 점화 1분 38초경 화염이 3m지점까지 치솟았다. 점화 후 1분 50초경 지점 3의 헤드 1개가 개방되었다. 스프링클러헤드 개방 후에도 화염은 수그러들지 않고 성장하는 모습을 보였다. 점화 후 2분경 화염이 3m 지점을 도달하며 화세가 점점 강해졌다. 점화 후 3분경 화염이 스프링클러헤드부근까지 확대되며 다량의 흑연이 발생되었다. 점화 후 4분경 샌드위치패널 옆면에서 백연이 발생되었다. 점화 후 5분경 가연물 부근 패널이 화세로 내부 심재가 용융되는 현상이 발생되었다. 점화 후 6분경 화재실험을 중단하고 소화작업을 진행하였다. 실험종료 후 패널상태를 살펴본 결과 패널 마감이 화세로 벗겨졌으며 가연물 부근 심재가 녹는 현상이 발생되었다(Fig. 13).

온도데이터를 분석한 결과 가연물과 가까운 지점 4에서 600°C까지 온도가 상승하였으며 스프링클러헤드 개방 후에도 지속적으로 온도가 상승함을 확인하였다(Fig. 14).

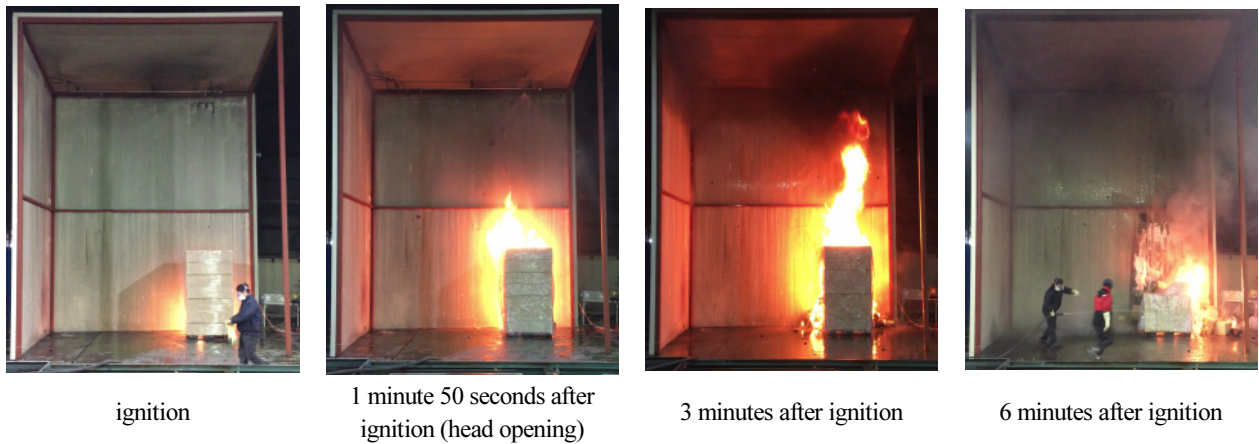


Fig. 13. Under head Fire Experiment progress

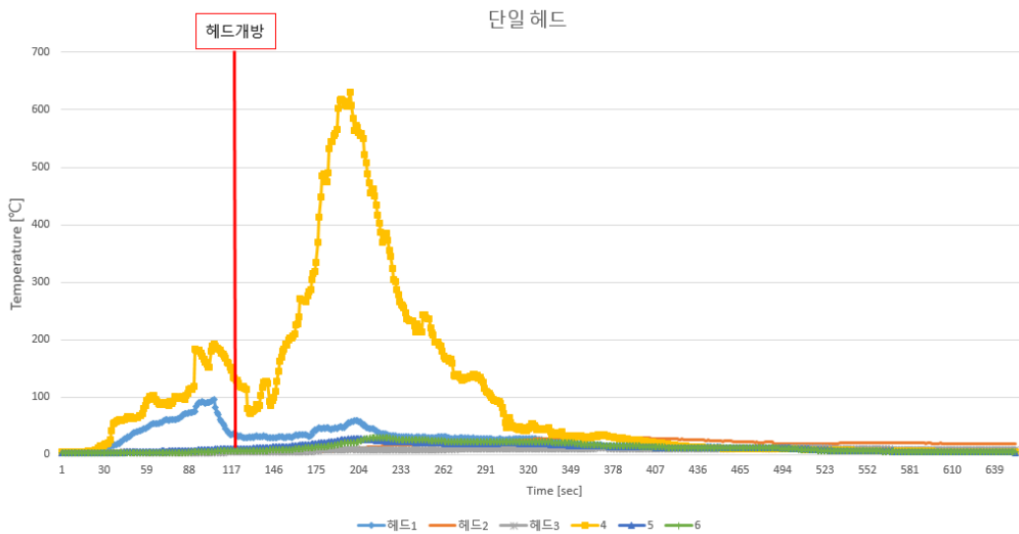


Fig. 14. Under head Fire - Temperature history

소결

스프링클러헤드 개방시간의 경우, 코너 화재는 1분 20초경, 스프링클러헤드 직하부는 1분 50초경으로 약 30초의 시간 차이가 발생되었다. 스프링클러헤드작동 이후의 화재상황을 비교하면 코너 화재의 경우에는 패널을 효과적으로 방호하며 패널 손상이 나타나지 않았다. 반면에 스프링클러헤드 직하부의 경우에는 스프링클러헤드가 개방되었음에도 불구하고 화재가 지속적으로 성장하며 가연물 부근의 패널에 손상을 가져왔다. 이는 헤드 1개의 개방으로는 패널의 연소 확대를 방지할 수 없음을 보여주었다. 따라서, 스프링클러헤드의 방사량을 증가할 필요가 있다고 판단된다. 단순히 스프링클러헤드의 간격을 가깝게 하여 유량증가를 도모하는 경우에는 방사된 물방울이 열기류에 동반 상승하여 인근 스프링클러헤드의 감열부를 냉각시켜 스킵핑(Skipping)현상을 초래하기 때문이다. 아울러, 국내기준도 미국 NFPA나 FM Global과 같이 스프링클러헤드간의 최소 설치간격에 대한 규정을 마련하여 스킵핑 현상에 의한 감열개방지연 및 연소확대에 한 문제를 고려할 필요가 있다.

결론

본 연구는 샌드위치패널 랙크식 창고에서 바닥 부근 화재 시 벽면으로의 화재확산 저지를 위한 벽체 방호형 스프링클러헤드의 오동작 또는 제어범위 초과 시 상부로 확대되는 화재에 대한 벽면과 천장 접합부의 방호성능 실험을 수행하였으며 주요 연구결과는 다음과 같다.

1. 화재확산측면에서 가장 위험한 벽 코너 화재에 대하여 작동온도 72°C, 방수량 80 l/min, 방수압력 0.1MPa 의 K80 쇠형 스프링클러헤드의 작동으로 샌드위치 패널의 착화 및 접합부 손상을 방지함이 확인되었다.
2. 스프링클러헤드개방시간은 코너화재가 1분 20초경, 헤드 직하부는 1분50초경으로 개방 이후 코너화재는 모든 위치에 서 80°C이하를 유지하였으나 스프링클러헤드 직하부에서는 최고 600°C까지 상승하여 추가적인 스프링클러헤드개방이 필요함을 알 수 있다.
3. 방호용 스프링클러헤드 간격은 스키핑 현상이 발생하는 것을 방지하기 위하여 벽체의 코너 부근부터 설치하여 최소 2.4m, 최대 3m 이상으로 설치하고 K-factor 80 이상의 스프링클러헤드를 적용하는 것이 필요하다.
4. 벽 코너 화재 시나리오에서는 스프링클러헤드의 설치로 샌드위치패널 심재로의 연소확대방지를 통해 소방대의 소화 구조활동을 위한 최소시간확보가 가능함을 확인하였다. 따라서 이를 반영한 소방대의 소화 및 구조활동을 위한 표준진압대책이 마련되어야 한다.

향후 연소 시 가스 유독성과 심재의 난연성에 따른 화재확산 위험성 등과 함께 가연성 샌드위치패널 창고시설의 벽 천장 보호를 위한 스프링클러설비 관련기준의 도입이 진행될 필요가 있다.

Acknowledgement

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

References

- [1] Cho, G.-H., Yeo, I.-H. (2016). "A Study on the Fire Characteristics of Palletized Unit-Load Commodities on Racks." Fire Science and Engineering, Vol.30, No.3, pp.23-30.
- [2] FM Global (2014). Property Loss Prevention Data Sheets 1-57, Plastic construction
- [3] FM Global (2015). Property Loss Prevention Data Sheets 8-9, Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities
- [4] Jang, J.-H., Yoon, S.-C., An, B.-K. (2017). "A Study on Architectural Countermeasures of Maintenance Aspect for the Fire Fighting Activity in the Sandwich Panel Warehouses." Korean Society of Hazard Mitigation Journal, Vol.17, No.6, pp.11-18.
- [5] Kim, J.-G. (2015). Defects of a Ceiling Collapse by Loads in the event of a Sandwich Panel Building Fire(Priorities identified via a practiced experiment). M.S Dissertation, Graduate School, University of Seoul.

- [6] Kim, W.-H., Lee, Y.-J. (2014). "An Improvement of Fire Safety Code for Rack-Type Warehouse in Korea." *Fire Science and Engineering*, Vol.28, No.6, pp.69-75.
- [7] Kim, W.-H., Lee, Y.-J. (2016). "A Field Survey of Rack-Type Warehouse for Commodity Classification System in Korea." *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 2, pp. 98-105.
- [8] Korea Ministry of Government Legislation (2018). Act on Fire Prevention and Installation, Maintenance, and Safety Control of Fire-Fighting Systems.
- [9] MOLIT (2017). Year of 2015, Year of 2016 sandwich panel factory and warehouse facilities building.
- [10] National Fire Safety Code 103, "Fire Safety Code for Automatic Sprinkler System".
- [11] National Fire Safety Code 103B, "Fire Safety Code for Early suppression of fire Sprinkler System".
- [12] Seo, D.-H., Kim, W.-H., Kim, J.-H., Lee, Y.-J. (2017). "An Experimental Study of Sprinkler system for Sandwich Panel Wall Protection." *Fire Science and Engineering*, Vol.31, No.5, pp.37-43.
- [13] The Ministry of Public Safety and Security, Republic of Korea (2018). E-Fire Statistical.