

샌드위치패널의 화재 시 스프링클러의 초기 진압에 대한 실험적 연구

권오상*, 유용호**, 김흥열**, 안형진***

서울시립대학교*, 한국건설기술연구원**, 한국내화건축자재협회***

The Study on Real Scale Fire Test for Fire Suppression Performance of Sprinkler System in Sandwich Panel

Kweon, Oh Sang* · Yoo, Yong Ho** · Kim, Heung Youl** · An, Hyeong-Jin***
University of Seoul*, KICT**, KFBMA***

요 약

스티로폼 샌드위치패널은 심재의 연소 특성에 의해 화재 사고 발생 시 많은 인명과 재산 피해를 발생시키며, 복합재료로 구성되어 있는 재료의 특성으로 화재 안전에 대한 정확 기준이 정립되어 있지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 (4.8(L) × 7.2(W) × 4.8(H) m) 크기의 Mock-up을 제작하고 내부에 스프링클러를 설치하여 스티로폼 샌드위치패널의 화재 시 스프링클러의 초기 진압 가능성 여부를 판단하고 하였다. 실험 시작 약 2분 후 스프링클러가 작동하였으며, 스프링클러 작동 후 약 4분후에 천장부가 파괴되면서 플래시오버가 발생되었다. 내부의 최대 온도는 버너 근처에서 약 335.6 °C로 측정되었다.

1. 서 론

샌드위치패널은 시공의 편의성, 단열성능, 경제성 등으로 인하여 건축 현장에 많이 사용되고 있으며, 관련 건축 시장도 매년 증가 추세에 있다. 하지만 샌드위치 패널의 다양한 장점에도 불구하고 화재의 취약한 구조에 의해 씨랜드 화재사고(1999년), 이천냉동창고 화재사고(2008년) 등과 같이 많은 인명과 재산 피해를 발생시키는 대형화재사고가 발생되고 있다. 샌드위치패널은 외부의 불연재료(아연강판, 알루미늄강판 외)와 내부의 심재(스티로폼, 우레탄폼, 그라스울 외)로 구성되는 복합재료로서, 내부 심재의 화염이 착화가 되면 소방대의 소화활동이 제한을 받게 되어 대형화재로 발생할 위험성을 가지고 있다.

화재 사고시 초기 진압은 화재 사고의 대형화를 막는 중요한 요소이며, 샌드위치패널에서는 특히 내부 심재의 급격한 화재 확대에 인하여 다른 화재사고에 비해 초기 진압의 효과가 더 중요하게 나타난다. 건축물에서 화재 사고시 화재 사고 초기 진압을 위해 사용되는 소방시스템은 자동화재탐지기, 스프링클러 등이 있으며, 본 연구에서는 소방시스템 중에서 스프링클러를 사용하여 샌드위치패널의 화재 사고 시 초기 진압 효과에 대해 연구하였다. 샌드위치패널의 화재 사고를 재연하기 위해서 스티로폼 샌드위치패널을 이용하여

(4.8(L) × 7.2(W) × 4.8(H) m) 크기의 Mock-up을 제작하고 내부에 스프링클러를 설치하였으며 화원으로 KS F ISO 9705 “화재 시험-표면 제품에 대한 실물 크기 시험실 시험”에서 제시하고 있는 버너 규격을 준용하였다¹⁾.

2. 샌드위치패널의 Mock-up 화재 실험 방법

2.1 LSC(Lagre Scale Calorimeter)를 이용한 실물 화재 실험 방법^{2),3),4)}

본 연구에서는 10 MW급의 라지스케일칼로리미터(LSC: Large Scale Calorimeter)는 기본적으로 화재 실험에서 발생하는 연소생성물의 측정을 통하여 방출되는 열량과 생성가스 농도 및 연기밀도 등을 측정하는 장비이다. 열량 측정은 덕트내 유속과 산소질량 소모율(consumption of O₂)로부터 계산한다. 일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO₂)는 주된 생성가스로서 질식사의 주요 원인 가스일 뿐 아니라 보다 정확한 발열량 산정을 위해 계측된다. 산소 소모율법은 순 연소 열량은 연소에 필요한 산소의 양에 비례한다는 점을 기초로 산소 1 kg이 소모될 때 13.1 MJ/kg의 열량을 발생한다는 기본 원리에서 시작되며, 그에 따른 열방출률은 다음과 같다. 식 (1)은 배기가스 중에서 산소농도 만을 측정할 경우 적용되는 식이고, 식 (2)는 배기가스 중의 산소, CO 및 CO₂의 농도를 측정할 경우의 적용 되는 식이다.

$$\dot{Q}(t) = \left(\frac{\Delta h_c}{r_0} \right) (1.10) C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_e}} \frac{(X_{O_2^0} - X_{O_2}(t))}{1.105 - 1.5X_{O_2}(t)} \quad (1)$$

여기서 =13.1 kJ/g이며, C는 검정상수(calibration constant)이다. 또한 는 오리피스 양단의 압력차이며, 는 배기가스 온도이다. 여기서 위첨자 0는 연소 전의 상태를 표시한다.

$$\dot{Q} = 1.10 \left(\frac{\Delta h_c}{r_0} \right) X_{O_2^0} \left[\frac{\phi - 0.172(1-\phi) \frac{X_{CO}}{X_{CO_2}}}{(1-\phi) + 1.105\phi} \right] \cdot \dot{m}_e \quad (2)$$

여기서 이며, 는 다음과 같이 정의된다.

$$\phi = \frac{X_{O_2^0}(1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2}}{X_{O_2^0}(1 - X_{CO_2} - X_{CO} - X_{O_2})} \quad (3)$$

2.2 실물화재실험을 위한 Mock-up 제작

본 연구에서는 4.8(L) × 7.2(W) × 4.8(H) m 크기의 스티로폼 샌드위치패널의 Mock-up을 제작하여 실물화재실험을 진행하였으며, 화재시 스프링클러의 초기 진화 가능성 여부를 확인하기 위하여 Mock-up 내부에 5 지점에 스프링클러를 설치하였다. 그림 1에는 LSC에 설치된 스티로폼 샌드위치패널 Mock-up, 내부에 설치되어 있는 스프링클러, 온도 변화 측정을 위한 열전대선과 버너의 설치 모습을 나타내고 있다.



그림 1. 샌드위치패널 Mock-up 사진

스프링클러 시스템의 화재 초기 진화 가능성 여부를 판단하기 위하여 샌드위치패널 Mock-up 천장부 5지점에 스프링클러를 설치하였으며, 스프링클러 설치 지점 마다 7 point 씩의 온도 측정선(K-Type)을 총 35 point를 설치하여 실물 화재 실험시 내부 온도 변화를 측정하고자 하였다. 온도 측정은 스프링클러 설치 지점마다 하부에서 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m, 3.5 m, 4.0 m, 4.5 m, 4.8 m에 총 7 point를 설치하였으며, 실물 화재실험에 따른 내부온도 변화 및 상부 4.8 m에 설치된 온도 측정선에 의해 스프링클러의 작동 온도를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 실물화재 실험 결과

그림 3에서는 스티로폼 샌드위치패널의 Mock-up 화재 실험을 나타내고 있다. 실험은 KS F ISO 9705 시험법에 의해 버너 출력을 100 kW(10분), 300 kW(10분)로 진행하였다. 실물화재실험은 실험 시작 1분 후에 화염이 천장부에 도달하였으며, 그 후 약 6분경에 천장부가 도피되면서 플래시오버가 발생하여 실험을 종료하였다. 실험 시작후 약 4분 경에 스프링클러가 작동하였지만 스티로폼 샌드위치패널 Mock-up에서는 화재에 의한 시험체의 도피가 발생되었다. 이는 샌드위치패널의 구조적 특징을 정확히 나타내는 것으로서 샌드위치패널의 내부 심재의 화재 사고 발생시 외부에서의 스프링클러와 같은 소방시스템에 의한 화재확대 방지의 어려움을 가지고 있다. 온도 측정 결과를 통해서 실험 시작 100초 까지 5지점 모두에서 급격하게 화재가 성장하였으며, 버너 근처인 Position 4에서 가장 높은 온도가 측정되었으며, 실험결과에 의해 화염이 Position 1로 전파되는 것으로 나타났다.

표 1에서는 각 Position에 따른 높이별 최대 온도 측정값을 나타내고 있다. 최대 온도 측정값은 Position 4의 4.8 m지점에서 335.6 °C로 나타났다. 각 Position 별로 상부지점에서 가장 높은 온도가 측정되었으며 하부지점으로 내려갈수록 측정 온도값도 감소되었다.



그림 2. 실물화재실험 결과

표 1. 실물화재실험 결과(내부온도)

	Position 1 [°C]	Position 2 [°C]	Position 3 [°C]	Position 4 [°C]	Position 5 [°C]
4.8 m	266.0	135.6	176.4	335.6	155.0
4.5 m	164.1	129.2	100.4	97.4	117.7
4.0 m	104.4	76.2	52.3	65.3	48.0
3.5 m	45.7	38.7	36.3	45.2	63.0
3.0 m	33.3	36.4	34.2	50.4	56.8
2.0 m	29.9	34.9	35.5	42.4	37.7
1.0 m	26.2	32	31.3	57.8	44.0

4. 결 론

본 연구에서는 (4.8(L) × 7.2(W) × 4.8(H) m) 크기의 스티로폼 샌드위치패널의 Mock-up을 제작하고 내부에 스프링클러를 설치하여 스티로폼 샌드위치패널의 화재 시 스프링클러의 초기 진압 가능성 여부를 판단하고 하였다.

- 실물화재실험은 실험 시작 1분 후에 화염이 천장부에 도달하였고 그 후 약 6분경에 천장부가 도피되면서 플래시오버가 발생하여 실험을 종료하였다.
- 최대 내부온도 측정값은 Position 4의 4.8 m지점에서 335.6 °C로 나타났다. 각 Position 별로 상부지점에서 가장 높은 온도가 측정되었으며 하부지점으로 내려갈수록 측정 온도값도 감소되었다.
- 스티로폼 샌드위치패널의 실물화재실험 결과 Mock-up 내부에 설치되는 스프링클러에서의 소화수는 내부의 적체 가연물에 대해서 화재 억제만 가능할 뿐 스티로폼 샌드위치패널과 같이 외부의 불연재료와 내부의 가연성 심재로 구성된 복합자재의 경우 내부로 소화수 침투가 어려워 화재 초기 진압이 불가능한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2011 한국건설기술연구원 주요사업 “표준화재모델에 따른 화재확대방지 및 피난 안전설계기술개발”의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. KS F ISO 9705, “화재 시험-표면 제품에 대한 실물 크기 시험실 시험”
2. 이의주, “화재연구를 위한 대형 콘 칼로리미터의 설계”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.20, No.4, pp.65-71(2006).
3. 권오상, 유용호, 김홍열, “창고 모델 실물화재 특성에 대한 실험적 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.4, pp.47-54(2010).
4. V. Babrauskas, S.J. Grayson “Heat Release in Fires”, Elsevier(1992).