

석고보드의 실내화재 성능평가

김충환· 김중훈· 김운형*· 하동명**· 이수경
서울산업대학교 안전공학과*, 경민대학 소방안전과*, 세명대학교 안전공학과**

1. 서론

현재 미국과 유럽, 일본 등에서는 실내 벽 및 천장 마감재에 관하여 성능 기준 설계에 의한 새로운 평가방법이 활발하게 연구되고 있다. 예를 들면 시험에 소요되는 시간과 경비를 절감하고자 Bench-scale test 결과를 이용하여 화재위험성을 예측하는 내장재의 Performance-based fire safety design에 관한 연구가 진행되고 있다. 한편, 성능기준 화재안전 설계를 적용하기 위하여 현재 사용하는 대부분의 존 모델 프로그램은 공간화재시 가연성 마감재의 발화 및 화염확산 및 위험성을 충분히 고려하지 못하고 있다. 이러한 배경에서 Colleen Wade(1994)에 의해 개발된 BRANZFIRE 모델은 재료의 화염확산과 화재 성장과정과 단일 공간의 존 모델을 결합한 모델로 위에서 기술한 현 모델의 문제점을 극복할 수 있는 새로운 대안으로 볼 수 있다. 내장재 화재성능은 피난시간 및 플래쉬오버 도달시간에 매우 큰 영향을 미치는 주요 설계 요소가 된다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 국내에서 사용되는 가연성 마감재를 대상으로 종합적인 성능기준설계를 적용하기 위한 다음과 같은 내용을 포함하고 있다.

- BRANZFIRE 모델을 이용한 내장재의 화재성능 평가
- Room-Corner Test를 적용한 실대 화재 실험 시행
- 내장재 시험방법의 한계 및 제안

2. BRANZFIRE 모델

본 연구에서 사용된 BRANZFIRE 모델의 주요 특성은 아래와 같다.

- 재료의 화염확산과 화재 성장과정과 단일 공간의 존 모델을 결합한 모델로 중앙 화재 또는 구석화재 시나리오를 적용할 수 있다.
- 공간화재시 가연성 내장재가 화재 성장에 미치는 화재 위험도를 정량적으로 평가한다.

3. Computer Simulation

3.1 시험재료

국내에서 널리 사용되는 석고보드와 합판(4mm)을 대상으로 BRANZFIRE 모델을 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 진행했고 모델 입력에 필요한 자료는 방재시험 연구소의 시험 결과를 이용하였다. 방재시험 연구소에서는 ASTM E 1454 및 ISO 5660 기준에 따라 Cone calorimeter를 사용하여 재료의 발화시간, 열방출비율 및 유효연소열량을 측정하여 발화시간과 최대열방출비율 값을 입력하였다. 3가지의 복사 플럭스 ($25, 35, 50 \text{ kW/m}^2$)를 적용하였으며, Room-corner 화재 시나리오 조건에서 복사플럭스는 35 kW/m^2 에서 측정된 Heat release rate를 입력하였다. 유효 연소열량은 cone data를 기준으로 입력하였으며 화염확산

변수와 최소표면확산온도는 관련자료를 인용하여 입력하였다. 모델에서는 이러한 입력자료를 이용하여 발화점과 Thermal inertia를 계산한다.

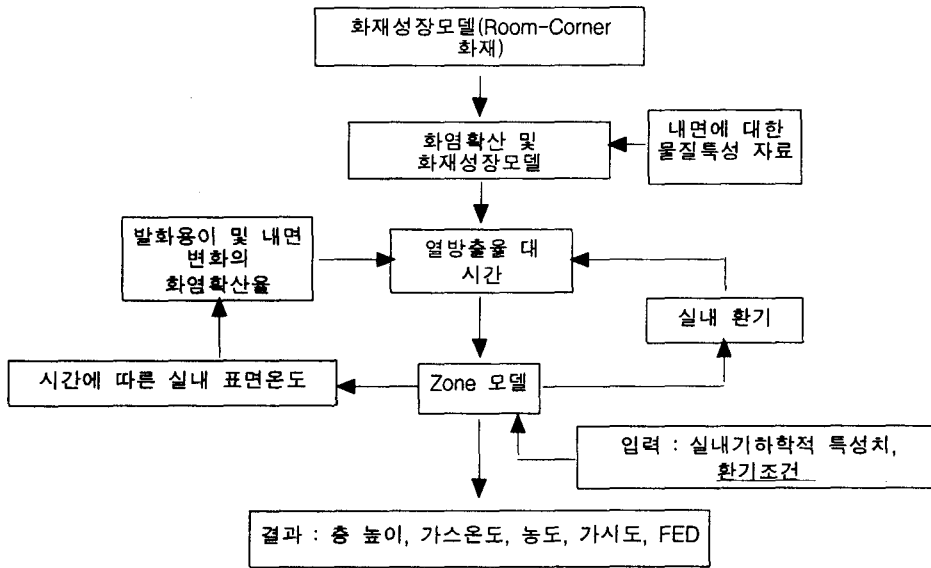


그림1. 모델의 구성체계

3.2 Simulation

3.2.1 평가 요소

- 복사 플럭스 > 2.5 kW/m²
- 상부층 온도 > 500 °C
- 가시거리 바닥 위 1.5m 높이 < 10m
- 바닥 위 온도 1.5m 높이 > 80°C
- Tenability limit FED > 1

3.2.2 Simulation 결과

석고보드의 경우, 연기층의 하강은 약 30초 후에 1.5 m 정도를 유지하였고 상부층의 온도는 50초후 80°C에 도달하고 약 300초경과 후 120°C로 상승하면서 이후 큰 변화가 없어 플래쉬오버 도달온도로 볼 수 있는 500°C 보다 매우 낮은 온도상승을 보이고 있다. 이산화탄소의 경우 약 150초 후에 0.1% 정도로 나타나 Purser의 안전기준인 0.5%보다 낮은 농도를 보이고 있다. 가시거리는 20m 이내를 유지하였고 화상의 피해가 예상되는 바닥 위 1.5m 높이 온도가 80°C 에 도달하는 시간은 64초로 예측되었다. 열방출비율은 40kW에서 큰 변화가 없었다. 거실내 체류한도를 나타내는 FED가 1을 초과하는 시간은 160초로 나타났지만 이시간까지 상부층 온도가 500°C에 도달하지 않으며 가시거리도 10m 이상을 유지하고 있어 난연성이 우수한 것으로 판단된다.

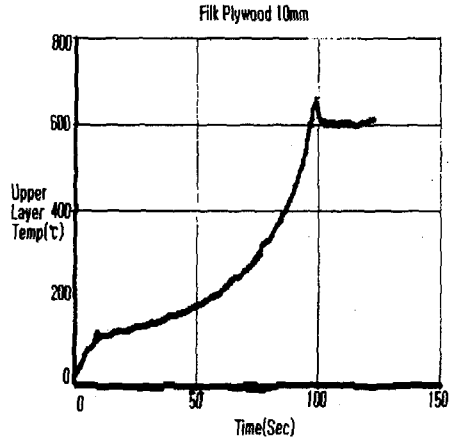
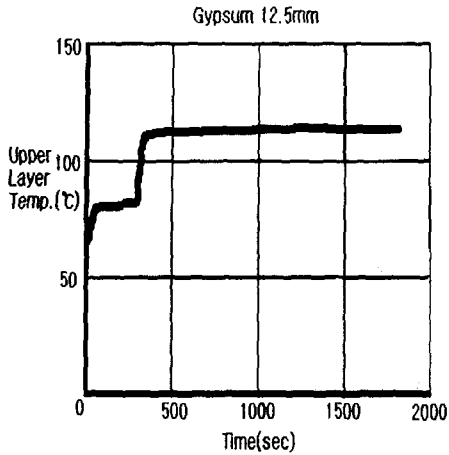


그림1. 시뮬레이션의 상부층 온도(석고보드, 합판)

4. A Room-corner test

4.1 시험 개요

난연성 석고보드를 대상으로 모델과 동일한 조건에서 신태화재 시험을 1,2차로 시행하였다. 또한 합판의 경우는 ISO 9705의 기준으로 시험을 실시하였다. 석고보드의 경우는 시험 방법은 미국 NFPA 265를 기준으로 Room Corner 화재 시나리오를 적용하였지만 1차 실험에서의 화원은 최초 5분간 40kW, 이후 27분 까지 68kW를 적용하여 NFPA 265 기준인 40kW(5분), 150kW(15분)과 총 발생열량이 같도록 하였고 2차 실험에서는 처음 5분간 30kW, 이후 15분까지는 150kW로 실험을 실시하여 NFPA 265의 실험조건에 부합하도록 실시하였다. 시험 중에 열방출율, 플래쉬 오버의 유무와 발생시간, 화염이 개구부로 유출되는 시간, 유독성 가스의 농도를 측정함으로써 국내에서 사용하고 있는 내장 재료의 화재 위험성을 평가하였으며 주요 시험 내용은 아래와 같다.

- 공간크기 : 2.4 m × 3.6 m x 2.39 m (H)
- 내부 벽(Wall) : 내화벽돌
- 화원 : LPG 사용, 0.3m × 0.3m 크기,
- 시험체 : 석고보드(12.5mm)(난연1급),합판(4mm) - 3면과 천장에 설치,



사진 1 Test Room

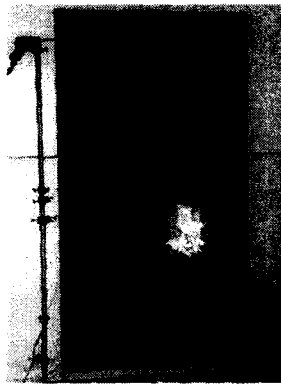


사진 2 초기화재 모습



사진 3 화재실험의 결과

4.2 Room-Corner Test

석고보드의 경우 1차 실험에서는 연기층의 온도는 천장 중앙에 설치한 4번 열전대를 기준으로 약 400 초에서 온도가 약 134°C에 도달, 이후 천천히 상승하였다. 이것은 그림2의 Simulation 예측과 매우 유사한 결과를 보인 것이며 약 7~8분 경과 후 소량의 연기도 육안으로 관찰되었다.

최초 5분간 40kW를 유지하여 약 3분 38초 후에 오른쪽 석고보드에서 그을음이 발생되었고 68kW 변화 후 화염의 높이가 2배정도 확산되었으며 7분 28초 후에 오른쪽 석고보드에서 착화하였다. 탄화면적도 거의 대칭을 이루며 천정면으로 확산되는 것을 관찰할 수 있었다. 이후 화염의 높이나 연기의 생성량, 온도, 연기 농도 등이 큰 변화 없이 실험이 종료되었다. (그림3)

2차 실험에서는 그래프상으로 1차 실험과 비슷하게 약 380초경에 약 180°C의 온도분포를 나타내어 Simulation 결과와 비슷하게 나왔다. 2분5초경에 오른쪽 석고보드가 그을기 시작하였고, 2분 33초경에는 미약하지만 연기층이 관찰되었다. 이때까지의 화염의 높이는 실험실 중간까지 달하였고, 화원을 증가시킨 5분 이후에는(150kW) 화염의 높이가 간헐적으로 천장에 달았다. 6분3초경에는 그을음의 면적이 대칭적으로 상부에 전달되는 모습이 관찰되었고 이후 온도는 일정하게 상승되었다. (그림4) 13분 3초에는 석고보드가 타는 소리까지 들을 수 있었고 이후 15분에는 실험을 중지하였다. 연기생성량 및 온도는 1차 실험과는 달리 5분 이후에 온도가 급히 상승하다니 이후에는 일정한 증가량으로 관찰되었다. 그리고 연기층은 약 7분정도부터 일정한 높이를 유지하였고, 농도의 변화에는 큰 변화가 없었다.

1.2차 실험에서 상부층의 온도평균을 아래와 같이 나타내었다. 참고로 7번 열전대는 화재실 개구부 상단에 설치된 것이고, 8번 열전대는 배연덕트내에 설치된 열전대다.

합판의 경우는 열전대의 위치가 석고보드의 실험에서와는 달리 ISO 9705 기준에 의거해 열전대를 다르게 설치하였다. 1번 열전대의 위치는 화원 바로 상부에 설치되어 있었다. 그림에서와 같이 약 120초후 온도가 급격히 상승하고 있는 모습을 볼 수 있었다. 이는 40kw의 일정한 열량에서 합판이 급속한 연소로 보이고 있음을 알 수 있다. 온도는 약 900°C를 가리키고 있다. 2번 열전대의 경우 화원으로부터 대각선 방향으로 약 1.5m 떨어진 위치에 설치되어 있으며 약 140초후 급격한 온도의 상승이 관찰되었다. 3,4,5번 열전대에서도 마찬가지로 약 150초대에서 온도의 급격한 상승과 더불어 플래쉬오버를 관찰할 수 있었다. 그림에서 알 수 있듯이 약 120초후 많은 연소가스가 화재실 상층에 위치하여 약 150초에 연소가스의 급격한 연소가 플래쉬오버를 일으키는데 기여한 것으로 보인다.

6번 열전대의 경우 화원으로부터 약 3m 위치에 설치되었다. 6번 열전대는 시간이 지날수록 화염의 확산으로 인해 온도가 서서히 상승하였으며 210초에서 550°C로 최고치를 나타냈다.

또한 개구부 좌측 모퉁이에 ISO 9705의 Test 기준에 따라 설치된 7,8,9,10번 열전대는 완만한 온도분포를 나타냈다(그림 6). 약 210이후 플래쉬오버로 인한 화재의 실험실 확산을 막기 위해 진화작업을 실시하였으며 220초 이후 화재는 진화되기 시작하였다.

1차 실험 온도 분포

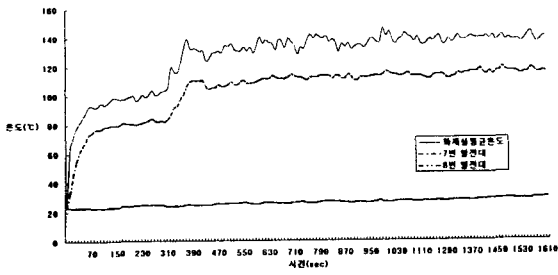


그림 3. 1차 실험 온도 분포

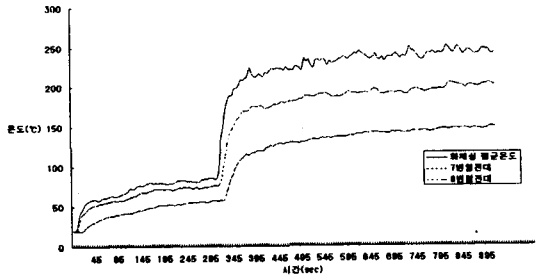


그림 4. 2차 실험 온도 분포

화재실 상부 온도 분포

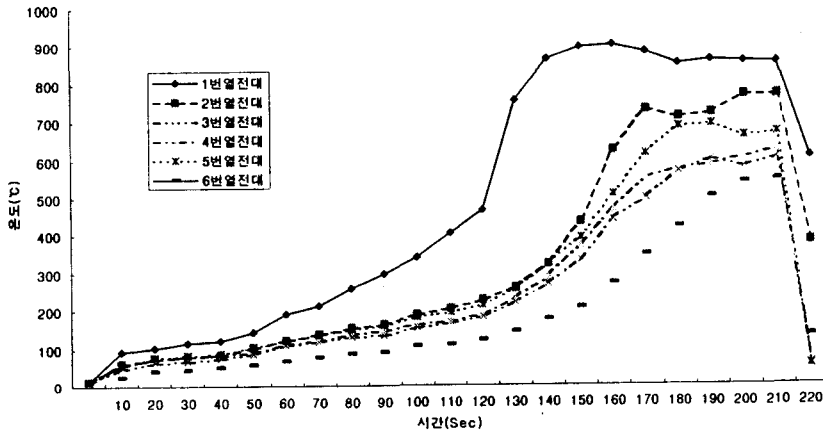


그림 5. 합판 실험 온도 분포

높이에 따른 화재실의 온도 분포

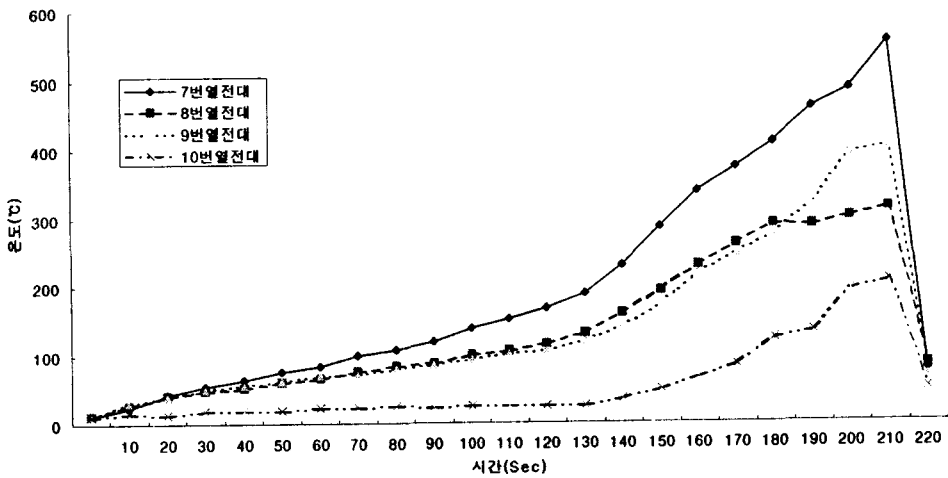


그림 6 높이에 따른 화재실의 온도 분포(합판 4mm)

5. 결론

본 연구의 실험결과를 전체적으로 분석하여 볼 때 석고보드의 난연 성능은 Basket Fire 정도의 화재를 가정한 Room-corner 화재시나리오에서 비교적 양호한 것으로 판단된다. 그리고 합판의 경우에는 플래쉬오버 도달 시간이나 연기 생성량 그리고 체류한도를 검토할 때 합판의 화재위험성은 매우 높다고 판단된다. 연기유독성 평가의 기본이 되는 단위 가연물 당 유독성 가스생성 비율등에 관한 국내 내장재의 정확한 실험 자료가 없는 현실에서 이에 대한 관련 연구가 진행되어야 할 것임을 볼 수 있었다. 한편, Cone test data를 이용한 내장재의 실대 화재 성능 평가방법은 향후 보다 다양한 재료에 관한 검증과 모델의 신뢰성 평가를 통하여 현실적인 대안으로 적용될 수 있다고 판단된다. 다만 모델의 특성상 재료의 열전도율, 밀도 및 비열에 따라 결과가 크게 영향을 받는 점을 고려할 때 육안으로 발화시간을 측정하는 cone test의 결과만을 의존하기보다는 다른 방법 예로서 LIFT test 등을 통하여 발화시간의 정확한 측정이 모델 결과에 신뢰성을 증진시킬 수 있다고 보여진다. 아울러 현재 국내에서 적용되는 내장재의 등급분류 기준은 화재 시 생성되는 연기의 유독성 평가가 실제적으로 반영되지 못하는 한계가 있으므로 이에 관한 보완이 필요하며 유독성 평가의 기본이 되는 유독성 가스생성 비율 등에 관한 국내 내장재의 정확한 실험 자료가 없는 현실에서 이에 대한 관련연구가 신속하게 진행되어야 할 것이다. 끝으로 향후 모델의 정확성을 평가하기 위하여 석고보드 이외에 다양한 재료에 관한 폭넓은 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

1. Woon Hyung Kim., S. E Dillon, Quintiere, J. G., "Discussions of a Model and Correlation for the ISO 9705 Room-Corner Test", Annual Conference on Fire Research, National Institute of Standard and Technology, MD, U.S., 1998.
2. 김운형, A Room-Corner Fire Model을 적용한 건축내장재의 화재확산 특성평가 (I, II), 방재기술, 한국화재보험협회, 제 24-25호, 1998
3. S. E. Dillon, J. G. Quintiere & Woon Hyung Kim., "Discussion of a Model and Correlation for the ISO 9705 Room-Corner Test", 6th International Symposium on Fire Safety Science, IAFSS, France, July 1999
4. D C Robertson, " An Appraisal of Existing Room-Corner Fire Models", Fire Engineering Research Report 97/6, University of Canterbury, New Zealand, May 1997.