

## 건물화재시 창문재료에 따른 내화특성 연구 A Study on the Characteristics of Fire Resistance of Window Material in Compartment Fire

허만성<sup>†</sup> · 장문석\* · 조 수\*\*

Man-Sung Hur<sup>†</sup> · Moon-Seok Jang\* · Soo Cho\*\*

우송공업대학 소방안전관리과, \*한국에너지기술연구원 건물에너지연구팀

\*\*한국에너지기술연구원 에너지절약연구부

(2003. 2. 10. 접수/2003. 3. 19. 채택)

### 요 약

실제 건물화재에서 창문재료의 내화특성을 평가하기 위하여 건물화재실험이 수행되었다. 4 m×3.8 m×2.4 m 방에서 PVC 창문, 알루미늄 창문, AL+Wood 창문을 각각 설치하고 화원은 소파와 매트리스를 사용하였다. 창문은 아파트 베란다에 많이 사용하는 유리두께 6 mm 사이에 공기층 12 mm인 것을 사용하였다. 건물내부와 창문 주변의 온도분포를 살펴보기 위하여 총 32개 지점의 온도를 측정하였다. 실험 결과 건물내의 온도분포, 창틀의 변화, 유리창의 파손 정도 등을 조사하여 분석하였다.

### ABSTRACT

The full-scale compartment fire tests were carried out to evaluate the characteristics of fire resistance of window material under actual fire conditions. The room size used for full-scale room fire tests was 4 by 3.8 m with 2.4 m high ceiling. The windows with PVC, Aluminum and AL+Wood frame materials were established, sofa and mattress were used as fire sources. The window contained pair glasses with the air between 6 mm glasses. Temperatures at total 32 points in the room were measured to find the temperature distribution in the room fire. It is examined that thermal effects on window frame materials such as charring, distortion, melting, structural collapse, and other effects.

**Keywords :** Full-scale compartment fire, Window frame, Temperature distribution

### 1. 서 론

99년 화성 씨랜드 청소년수련원 화재, 인천시 중구 인현동 러브호프 화재, 광주시 송정동 대입전문 예지학원 화재, 대구지하철 방화참사 등 최근 국민들 관심을 끌었던 대형화재사고의 예에서 알 수 있듯이 건물 내부에 화재가 발생할 경우 건물내부의 내장재, 창틀의 종류 등에 따른 내부온도의 변화, 창틀의 변형 및 유리의 파손은 많은 인명피해로 이어지고 있음을 알 수 있다.

미국에서는 1990년부터 실물화재실험을 통한 화재 현상 연구의 필요성을 느끼고 NIST를 중심으로 많은 실험연구가 이루어지고 있다.<sup>1,2)</sup> 국내에서도 철근콘크

리트조 공동주택의 취약부위를 도출하기 위한 실물화재실험,<sup>3)</sup> 건물화재시 열적성층 및 연기층 형성에 관한 실험,<sup>4,5)</sup> 실물터널 화재실험을 통한 터널화재의 위험도 평가의 연구도 이루어 지고 있다.<sup>6)</sup> 그러나 아파트와 같은 건물 베란다에 유리창이 많이 사용되고 있지만 창문의 재료에 따른 화재의 내화성능에 관한 연구는 없었다. 따라서 국내 아파트에 많이 사용되는 유리창을 건물 벽에 설치하여 실물 화재실험이 수행되고 건물내부의 온도분포, 유리창의 파손유무, 창틀의 재질에 따른 변형 등을 살펴보았다.

### 2. 실험장치 및 개요

화재실험은 대전시 유성구 교촌 토지구획 정리사업

<sup>†</sup>E-mail: mshur@woosongtech.ac.kr

지구내의 1층 슬라브건물에서 실시하였다. 이 건물은 최근까지 사람이 거주하고 있던 건물로 이 건물 벽에 아파트 등에 사용하고 있는 알루미늄(AL) 창문, PVC 창문 및 AL+Wood 창문의 3가지 타입의 창문을 설치하였다.

건물내부에서 발생하는 화재의 규모는 건물내의 천장, 벽, 바닥의 재질, 내부 가연물의 종류 및 성질 등에 따라 다르다. 따라서 건물내부 화재의 크기는 소파와 매트리스 2가지로 정하고 건물 내부 바닥 중앙에 가연물이 위치해 있을 때의 시나리오로 실물화재실험을 수행하였다. 방안의 온도변화를 측정하기 위하여 열전대와 외부에서는 유리의 파손 유무와 창틀의 변화를 확인하기 위하여 비디오키메라를 설치하였다.

그림 1은 실험이 수행된 창문의 전경을 보여주고 있으며, 그림 2는 화재실험이 실시되기전 내부의 가연물과 창문의 모습이다.

화재실험에 의해 발생하는 온도변화를 파악하고 건물내부의 유동조건을 확인하기 위하여 그림 3과 같이 32개 K-type 열전대를 설치하여 데이터처리장치와 컴

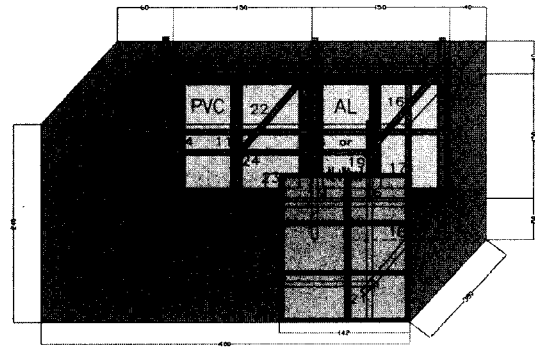


그림 3. 건물 내부의 온도측정 위치.

퓨터에 연결하였다. 외부에서 유리창의 파괴와 건물 외부로의 연기 유동의 상태를 파악하기 위하여 비디오키메라를 외부에 설치하였다. 건물내부의 방 크기는 그림 3과 같이 가로, 세로, 높이가 4 m×3.8 m×2.4 m (천정 2.9 m)이고, 방문 크기는 1.42 m×1.8 m이다. 창문의 크기는 1.5 m×1.5 m이며 유리창은 6 mm×12 mm(공기층)×6 mm인 페어 글래스를 사용하였다. 가연물인 소파의 재질은 틀이 나무, 패딩(padding)이 폴리우레탄으로 되어있고 크기는 가로, 세로, 높이가 73 cm×73 cm×80 cm이고, 매트리스는 132 cm×191 cm×17 cm이었다.

점화원은 신문지 4장이 매트리스 위에 놓여있는 상황에 라이터불로 점화되어 화재가 발생한 것으로 실험하였다. 바깥 창문은 밀폐된 상태로 하고 안쪽의 방문은 공기의 공급을 위해 반이 열린 상태로 실험을 하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 건물내부의 온도분포

건물내부의 온도분포도는 그림 4와 같다. 그림 4(a)는 화재실 하부(50 cm)의 온도분포로 2분경에 약 200°C에 도달하고 그 상태를 2분 정도 유지하다가 5분경부터 온도가 상승하기 시작하여 약 300°C에 도달하였다. 이후 점차적으로 온도가 상승하기 시작하여 8분경에는 화염에 직접 닿은 곳은 온도가 급상승하여 약 800°C가 되었다. 그외는 약 400°C를 유지하다가 18분경에 최고인 약 850°C를 기록하였다. 그림 4(b)는 화재실 중간 높이(1.5 m)의 온도분포로 그림(a)와 비슷한 온도 경향을 나타내었지만 전반적으로 온도는 그림(a)의 하부보다 약 150°C 정도 상승되었고 최고온도는 약 1200°C가 되었다. 그림 4(c)는 화재실 상부(2 m)의 온



그림 1. 실험건물의 창문 설치현황.



그림 2. 건물내부 가연물과 창문.

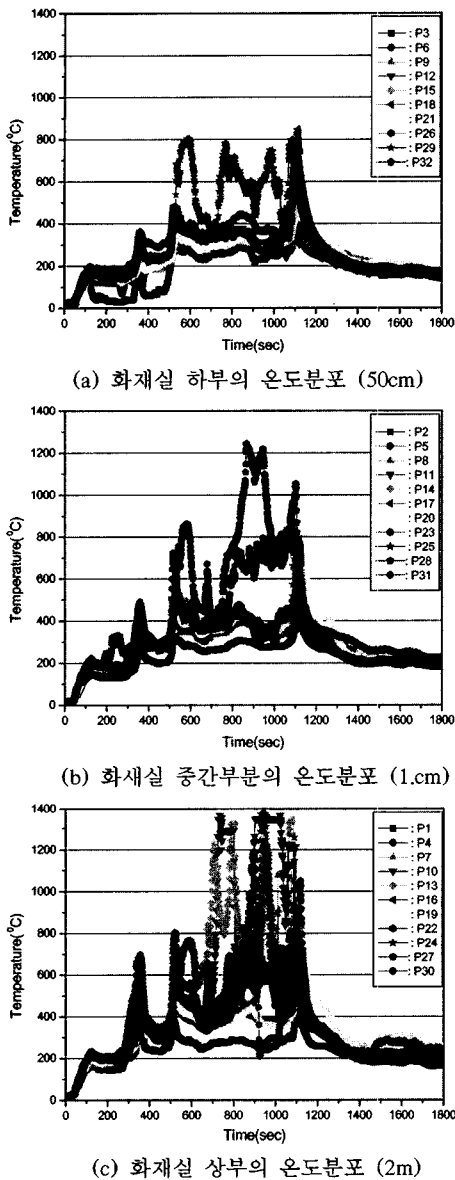


그림 4. 건물 내부의 온도분포도.

도분포로 최고 1300°C 정도까지 도달하여 열전대의 측정범위를 초과하였다. 이것은 하부의 불꽃과 열기가 상부로 올라가 온도가 급상승하였고 하부는 새로운 공기의 유입으로 중간부분이나 천장부분보다 온도가 하강한 것이다. 이후 18분경부터는 가연물의 연소가 감쇠기에 해당되어 점차 온도가 감소하여 30분경에는 200°C 정도를 유지하였다.

그림 5는 건물내부 창문 주위의 온도변화를 나타낸

다. 건물내부의 온도분포도인 그림 4와 같이 전반적인 온도분포 경향은 비슷하나 창문 주위의 온도는 화재실 전체보다 낮게 나타났다. 이것은 벽기류에 의해 창문 주위는 공기와 섞이면서 온도가 하강하기 때문이다. 그림 5(a)는 창문 하부틀 주위의 온도분포를 나타내는 것으로 문을 통한 공기의 유입으로 400°C 이하를 유지하였다. 그림 5(b)는 창문 중간부분의 온도분포로 하부보다 약 100°C정도 높은 최고 500°C 정도를 나타내었다. 그림 5(c)는 창문 상부틀 주위의 온도분포로 불꽃과 열기류가 직접 닿는 곳은 최고 1300°C 정도까지 나타났다. 그림 5(d)는 창문이 겹치는 부분으로 상부는 1300°C의 고온인 반면에 중간과 하부는 약 400°C 정도로 온도의 확연한 차이를 볼 수 있었다. 방안의 위치에 따라 온도분포가 큰 차이를 보이는 것은 가연물 상부의 불꽃과 열기류에 직접 닿는 곳은 다른 곳보다 온도가 훨씬 높게 나타났다. 이때 화재실 내부 PVC 창문 상부온도가 300°C에 도달하는 5분경에 내부 유리창에 금이 가는 소리를 외부에서 들을 수 있었다. 이보다 30초 정도 후에 알루미늄 창문의 유리창에서도 금이 가는 소리를 들을 수 있었다. PVC 창문은 알루미늄 창문보다 창틀이 화염에 먼저 녹아 타버린 관계로 유리창이 더 많이 파손되었다. 창문 상부의 온도가 500°C이상 급상승하는 6분경에는 창문의 바깥쪽 유리에서도 금이 여기저기 나타나기 시작하였고, PVC 창틀에서는 연기가 새어나오기 시작하였다.

### 3.2 건물내의 창문 변화

그림 6은 점화된 후 화재실 내부에서 화재가 진행되고 있는 불꽃 상태를 외부에서도 볼 수 있다. PVC 창틀 사이로 검은 연기가 새어나오는 것을 그림 7은 보여준다. 점화 후 6분경에는 창문의 바깥쪽 유리창에 금이 가기 시작하여 13분 경에는 외부에서 확연히 관찰할 수 있었고, 14분경에는 PVC 창문의 안쪽 잠금장치가 탁 풀어지는 소리가 나면서 PVC 창문의 틈사이에 검은 연기가 새어나오기 시작하였다. 이때의 PVC 창문 주위의 내부온도는 1300°C를 나타내었고, 15분경에는 알루미늄 창문의 바깥유리도 금이 가는 것을 볼 수 있었다. 이때의 내부온도는 1300°C 정도로 급상승하였다. 19분경에는 PVC 창문과 알루미늄 창문의 여기 저기서 바깥유리에 금이 가는 것을 확인할 수 있었다.

그림 8(a)는 PVC 창문의 탄 흔적과 깨진 유리의 상태를 안쪽에서 본 것이다. 그림에서 나타난 것처럼 안쪽 6mm 유리는 좌·우측 모두 완전히 깨졌고 바깥 유리도 금이 간 상태를 보여주고 있다. 그림 8(b)는

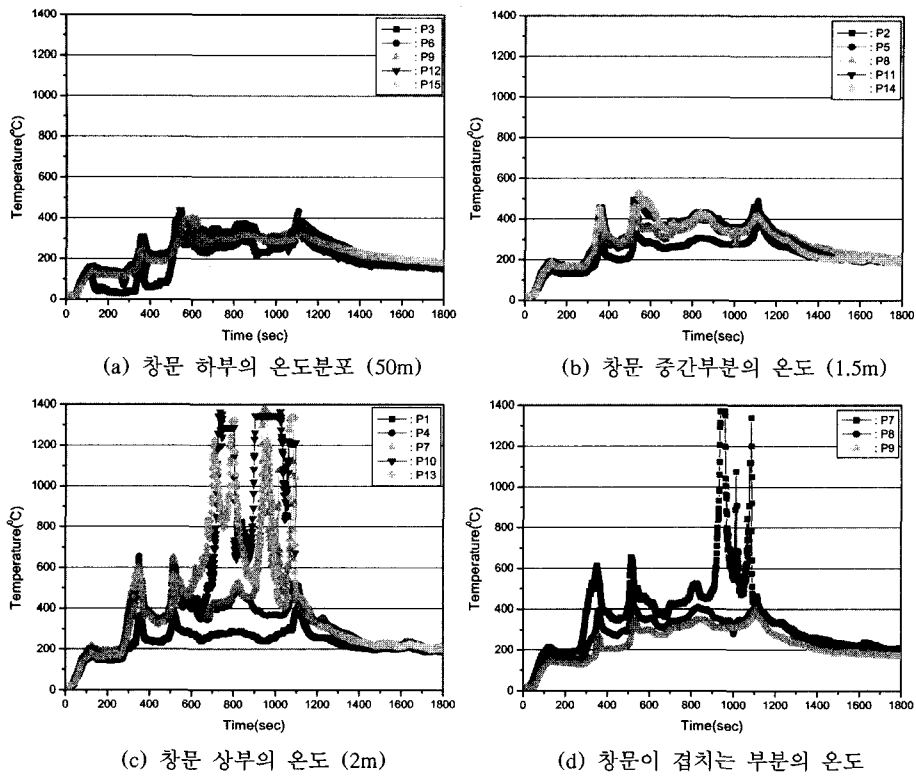


그림 5. 창문 주위의 온도분포도.

PVC 창문과 알루미늄 창문의 깨진 유리상태를 안쪽에서 본 것으로 그림에서 좌측의 PVC 창문의 유리는 양쪽 모두 깨졌으나 우측의 알루미늄 창문의 오른쪽은 창문의 좌측 반은 유리가 깨졌으나 우측 반은 유리가 깨지지 않았다. 이것은 PVC 창문 틀은 연소가 되어 틀이 약해졌고 알루미늄 창틀은 연소가 되지 않아 유리를 견고하게 지지하고 있었기 때문으로 판단된다.

그림 9는 알루미늄 창문에 금(Crack)이 크게 간 상태를 바깥에서 본 것으로 좌측 두 번째 유리에 금이 대각선으로 크게 깨지고 우측 상부 방향으로도 금이 크게 갔다. 그러나 창문의 틀이 알루미늄이므로 타거나 변형되지 않았기 때문에 바깥 유리에 금이 갖지만 그대로 붙어 있는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 화재 진화후 PVC 창문 위쪽의 깨진 유

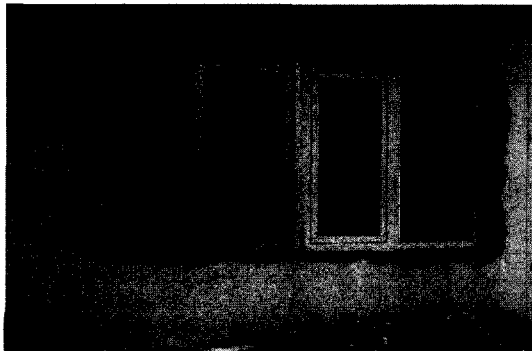


그림 6. 점화 후 화재실 내부의 불꽃.

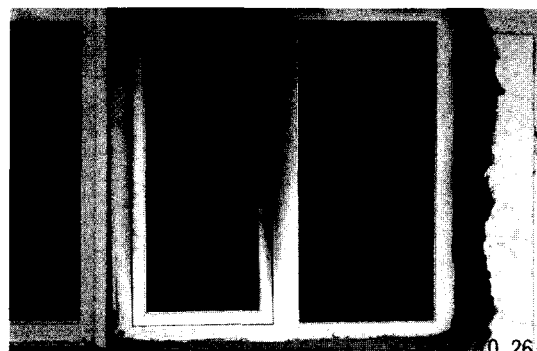


그림 7. PVC 창틀의 연기 누출.



(a)



(b)

그림 8. (a) PVC 창문의 유리 와 탄흔, (b) PVC와 알루미늄 창문 유리.

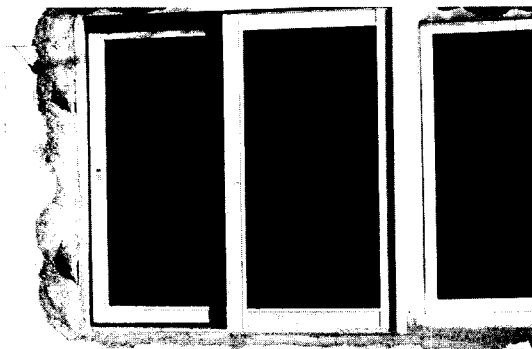


그림 9. 알루미늄 창문의 유리상태.

리창과 탄 흔적을 나타내 주고 있다. 틀이 완전히 타 버려 검은 숯덩어리만 남아 틀의 형체를 거의 알아볼 수 없을 정도이다.

그림 11은 화재진압후 알루미늄 창문과 PVC 창문의 탄흔의 차이를 나타내주고 있다. 그림에서 좌측이



그림 10. PVC 창틀의 검은 탄흔.



그림 11. PVC와 AL 창틀의 검은 탄흔.



그림 12. PVC와 AL-Wood 창틀 탄흔.

PVC 창문으로 형체를 알아볼 수 없을 정도로 심하게 탄 흔적을 볼 수 있다. 반면에 우측의 탄흔이 없고 검은 그늘음만 있는 것이 알루미늄 창문이다. 그림에서 확연히 드러나듯이 PVC 창문의 틀은 완전히 타버려 창으로서의 기능을 상실하였고, 알루미늄 창문은 틀 표면에 거울리고 가는 금들이 생겼지만 전체적으로 틀의

기능을 잘 유지하고 있었다.

그림 12는 AL-Wood 창문과 PVC 창문의 화재진화 후의 상태를 나타낸다. 그림에서 우측은 AL-Wood 창문으로 틀의 형태는 그대로 벽에 견고하게 유지되고 있었다. 반면에 PVC 창문인 좌측은 틀이 타서 녹아버렸기 때문에 숯이 되어 떨어져 간격이 환하게 비치는 것을 보여주고 있다. 따라서 창문에 대한 화재실험결과와 내화성능면에서 보면 AL 창문이 가장 튼튼하였고 다음으로 AL-Wood 창문, 마지막으로 PVC 창문순으로 나타났다.

#### 4. 결 론

실제건물에서 소파, 매트리스를 가연물로 사용하여 건물화재실험을 수행하였다. 이를 통하여 건물화재시 창문재료에 따른 내화특성을 연구하기 위하여 화재실 내부의 위치와 높이에 따른 온도변화와 창문틀의 변화를 관찰하였으며 이로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 창문 상부의 온도가 300°C에 도달하는 5분경에 PVC 창문의 유리창에 금이 먼저 가기 시작하였고, 이보다 30초 정도 후에 알루미늄 창문의 유리창에 금이 갔다. PVC 창문은 알루미늄 창문보다 틀이 화염에 먼저 녹아 타버린 관계로 유리창이 더 많이 파손되었다.
- 2) 창문 상부의 온도가 500°C 이상 급상승하는 6분경에는 창문의 바깥쪽 유리에서도 금이 여기저기 나타나기 시작하였고, 14분경에는 PVC 창문틀에서 연기가 검게 새어나오기 시작하였다. 불꽃과 열기류가 닿은 부분의 온도는 최고 1300°C 이상까지 상승하여 열전대의 측정범위를 벗어났다.
- 3) PVC 창문의 경우는 열에 녹아서 타버리는 관계

로 우리가 빨리 파손될 뿐만 아니라 틀도 제형태를 유지하기가 어려웠다. 반면 알루미늄재료의 창틀은 열에 녹거나 타버리지 않은 관계로 형태를 그대로 유지하였고 유리도 PVC 창문보다 덜 깨졌다. AL+Wood 창문은 PVC창문보다는 덜 하지만 AL 창문보다는 좀더 그늘음과 숯을 많이 발견할 수 있었다. 따라서 내화성능면에서 AL 창문이 가장 우수하였고, AL+Wood 창문, PVC 창문 순으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. Kennedy, P.M., "Systems for Fire Investigation Analysis", Lecture at the Center for Fire Research of the National Institute of Standards Technology, Gaithersburg, Maryland(1990).
2. Kennedy, J.A., Shanley, J.H., Alletto, W.C., Corry, R., Herndon, J., Kennedy, P.M. and Ward, J., "USFA Fire Burn Pattern Tests", Federal Emergency Management Agency(1997).
3. 윤명오, "철근 콘크리트 구조 공동주택 실물화재 실험 연구", 한국화재·소방학회지, Vol. 10, No. 3, pp.41-50(1996).
4. 허만성, "가구화재시 열적성층의 형성에 관한 실험적 연구", 한국화재·소방학회지, Vol. 11, No. 1, pp.3-9(1997).
5. 허만성, "건물화재시 연기층의 형성에 관한 실험적연구", 한국산업안전학회지, Vol. 12, No. 1, pp.94-100(1997).
6. 최준석, 최병일, 김명배, 한용식, 장용재, 이유환, 황낙순, 김필영, "실물터널 화재실험을 통한 터널화재 위험도 평가", 한국화재·소방학회지, Vol. 16, No. 3, pp.71-76(2002).