



주택 화재의 발달 특성 분석

An Analysis of the Developmental Characteristic of Housing Fire

이용익* · 김학중**

Lee, Yong Ik*, and Kim, Hak Joong**

Abstract

Dynamical changes in fires over the past few decades as a result of changes in housing size, fire loads, and building materials have added complexity to the fire description. Because of residential environment changes it has been increased latent risk to fire-fighter and occupant if not made suitable action for the spread of fire. Therefore, accurately predicting the fire characteristic and temperature distribution in a fire is a major issue for evacuation and fire-fighting. This study conducted a real fire test on an ordinary house. The house fire has more damage than the other fire. The fire development process and temperature distribution by each category were recorded during the real test. As a result of the test, the flash over was reached in the bedroom 360 seconds later. Afterwards, due to lack of oxygen, the temperature dropped to 110°C, then opened the window in 690 seconds, and when the front door was opened in 780 seconds, the temperature increased sharply to 901.4°C due to fresh air. Thus, unlike most existing temperature-time curves with only one temperature peak, the supply of oxygen by ventilation has at least one more temperature peak, and the temperature of the fire compartment has a close influence by indoor ventilation.

Key words : Residential Environment, Fire Test, Fire Behavior, Temperature Distribution, Compartment Fire, Ventilation

요 지

지난 수십 년 동안 주택 크기, 화재하중 및 건축자재의 변화에 따른 주택화재의 역학적 변화에 따라 화재 성상의 복잡성이 가중되어 왔다. 또한, 다양화된 주거환경 변화로 인해 화재 시 연소 확대에 적절한 전술로 대응하지 않으면 소방 서비스 자원 및 거주자에게 잠재적인 위험이 증가하여 왔다. 그러므로 화재 발생 시 정확한 주택 내부 화재 성상과 온도분포를 예측하는 것이 피난과 소방활동에 주요 현안이다. 본 연구에서는 화재 시 일반화재보다 인명 피해율이 높은 일반주택을 대상으로 실물화재실험을 하여 각 구획 별 화재발달과정과 온도분포를 분석하였다. 실험결과 침실에서 360초 경과 후 플래시오버에 도달했으며 이후 산소 부족으로 온도가 110°C까지 떨어졌다가 690초에 창문을 개방하고, 780초에 현관문을 개방하자 신선한 공기의 보충으로 실내온도는 901.4°C까지 급격히 상승하였다. 따라서 하나의 온도 정점만 있는 대부분의 기존온도곡선과 달리 환기에 의한 산소 공급으로 하나 이상의 온도정점이 나타날 수 있으며, 화재 구획온도는 실내 환기와 밀접한 영향이 있음을 알 수 있었다.

핵심용어 : 주거환경, 화재실험, 화재성상, 온도분포, 구획화재, 환기

1. 서 론

지난 수십 년 동안 주택 크기, 화재하중 및 건축자재의 변화에 따른 주택의 역학적 변화는 화재 성상의 복잡성을 가중했고(Kerber, 2011), 다양한 주거환경 변화는 화재 시

연소 확대에 대한 적절한 전술을 활용하지 않으면 대응하는 소방 서비스 자원 및 거주자에게 잠재적인 위험이 증가해 왔다(Kerber, 2012). 그러므로 화재에서 정확한 화재 성상과 온도분포를 예측하는 것은 피난과 소방활동의 주요 현안이다. 그러므로 이에 대한 연구와 소방전술의 변화가 필요하다.

*정회원, 경기대학교 도시방재학과 박사과정(E-mail: ick54@seoul.go.kr)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Urban Disaster Prevention, Kyonggi University

**교신저자, 정회원, 초당대학교 교수(Tel: +82-61-450-1228, Fax: +82-61-450-1271, E-mail: khj4513@hanmail.net)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire Administration, Chodang University

최근 5년간(2013~2017년) 전체 화재 21만 5,093건 대비 5만 6,342건(26.19%)의 화재가 주택에서 발생하였다(NFDS, 2018). 주택화재로 인한 인명피해(사망)는 전체 1,536명 중 949명(61.78%)으로 주택에서 매년 많은 사망자가 발생하고 있다(NFDS, 2018). 주택 화재 인명 피해는 일반 화재에 비해 사망 8배, 부상 23배로 높은 것으로 나타났다(NFA, 2018). 이러한 주택의 사망피해 증가요인은 주택의 여러 구성요소에서 발생한 변화로 인한 주거용 구조물의 화재성상의 이해부족으로 판단된다(Kerber, 2011).

이에 본 연구에서는 화재 시 주택 구획 별 내부의 온도변화, 플래시오버의 발생, 환기에 의한 온도변화를 분석하여 주거환경 변화에 따른 주택화재 성상을 파악하고자 한다.

2. 주택 화재실험

실험은 서울 동작구 상도동 소재 재건축 예정인 다세대주택에서 실시하였으며, 실험일 기상조건은 기온 16.9°C, 습도 30%, 풍향 서, 풍속은 3.2(m/s)로 측정되었다. 건물구조는 철근콘크리트 구조이며, 거주공간은 방 1(2.7 m × 2.1 m), 방 2(4.2 m × 3.0 m), 방 3(2.3 m × 2.3 m), 거실 겸 주방(2.8 m × 4.0 m), 현관과 화장실 및 욕조로 Fig. 1과 같이 구성되어 있다.

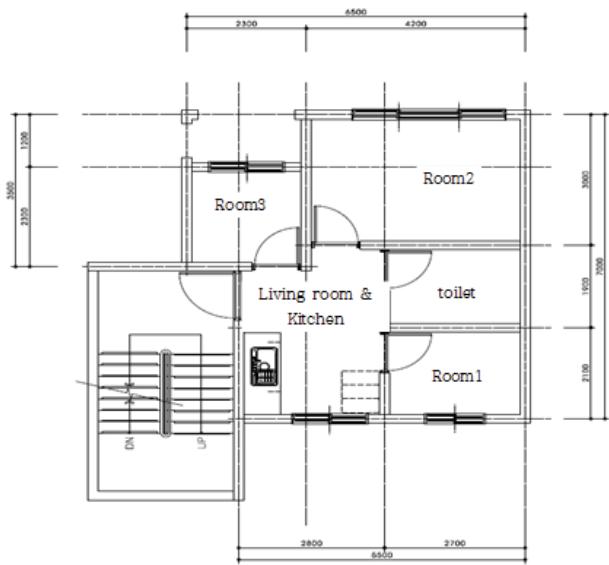


Fig. 1. The Floor Plan of Test House

가연물로는 방 1에 책상 1, 의자 1, 책장(대) 1, 책장(소) 1, 서랍장 1, 소파 2인용 1 의류와 거실 겸 주방에 싱크대 1, 소파 1인용 1, 옷장 1, 캐비닛 1을 배치하였다.

계측기는 구획 내부에서 온도변화를 측정하기 위해 K-type 열전대를 방 1 중앙, 거실 겸 주방 중앙에 배치하였고, 열전대 트리플 총 6개의 열전대선을 설치하였다. 열전대는 바닥 면에서부터 500 mm, 1100 mm, 2000 mm에 설치하였다.

그리고 현관 내부에 CCD 카메라를 Fig. 2와 같이 설치하였다.

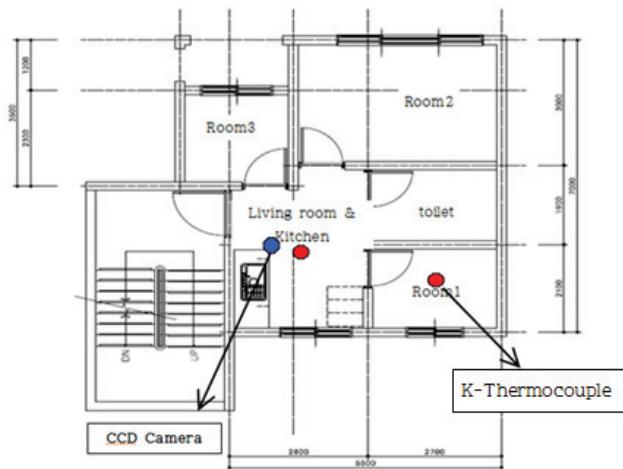


Fig. 2. K-Thermocouple and CCD Camera Position

3. 실험결과 및 고찰

점화부터 소화까지 전체 화재 실험은 약 1020초 지속하였다. 화재는 방 1 소파 옆 쓰레기통에서 발화하여 구획 전체로 화염이 확산하는 것으로 설정하였다. 실험결과 방 1 구획 내 온도 분포는 Fig. 3과 같이 점화 후 240초에 방1 천정 온도가 100°C에 도달했으며 266초에 202.3°C, 279초에 302.6°C 284초에 411.9°C, 287초에 501°C, 292초에 602.7°C, 297초에 706.5°C, 379초에 812°C에 첫 번째 최고온도 상승 후 온도가 떨어지기 시작했으며 705초 후 147.6°C까지 떨어졌다가 690초에 창문 파괴 및 780초에 현관문을 개방하자 구획 내 환기가 되면서 935초에 901.4°C 두 번째 최고온도로 올라갔다.

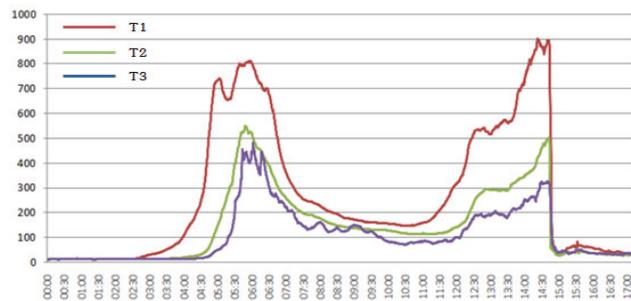


Fig. 3. Fire Compartment Temperature (T1, T2, T3)

거실 및 주방의 경우 Fig. 4와 같이 점화 후 340초에 천정 온도가 100°C 올라갔으며, 403초에 704.5°C로 방 1과 마찬가지로 첫 번째 최고 온도 상승 후 온도가 떨어지기 시작하다가 690초에 창문 파괴 및 780초 현관문을 개방하자 구획 내 환기가 되면서 956초에 796°C 두 번째 최고온도로 올라갔다.

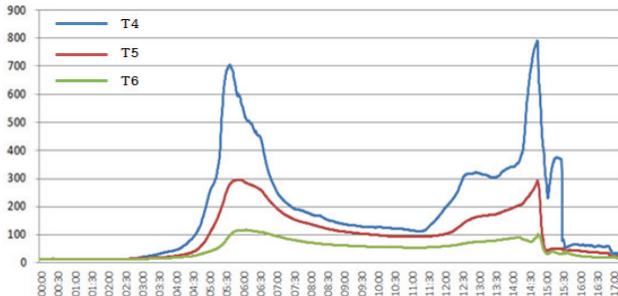


Fig. 4. Fire Compartment Temperature (T4, T5, T6)

플래시오버 조건은 다양한 방식으로 정의된다. 일반적으로 구획실의 천장 온도가 500~600°C에 도달해야 하며, 구획 바닥까지의 열 유속은 15 kW/m² 이상이고, (Peacock et al., 1999) 산소농도의 급격한 저하와 실내 순간 압력의 상승이 필요하다. 실험 결과 방 1은 292초에 600°C에 도달하였으므로 구획공간의 경우 연기 층의 온도변화를 고려할 경우 약 5~6분 사이에 플래시오버가 발생한 것으로 판단된다.

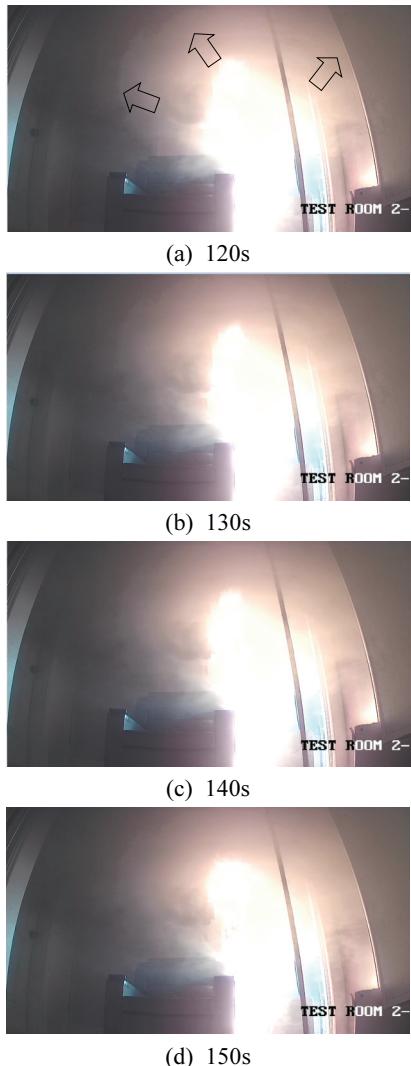


Fig. 5. Push Openings by Burning Gases

Fig. 5는 플래시오버 전 발생하는 연소하는 기체가 실내 순간 압력 상승으로 개구부를 상당한 속도로 밀어내는 것을 나타내고 있다(Karlsson and Quintiere, 1999).

Fig. 6은 2개 이상의 구획에서 화재 성상이 건물 전체에 걸쳐 다양하게 나타나는 것을 보여준다. 방 1은 화재 성장기 단계를 보여주며, 거실 겸 주방은 화재 초기 단계에 있음을 알 수 있다.

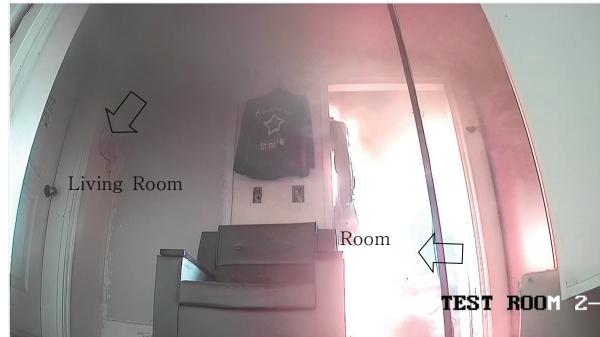


Fig. 6. Difference of Fire Development Stage

Fig. 7에 나타난 바와 같이 구획화재의 경우 충분한 산소가 공급되지 않을 경우 화재가 감쇠 단계로 이동하는 것을 볼 수 있으며, 창문이나 문을 개방함으로써 환기가 되는 경우 구획온도가 다시 상승하며 빠르게 최고 온도에 도달했다(Zhang et al., 2014). 구획화재의 온도 변화는 실내 환기와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

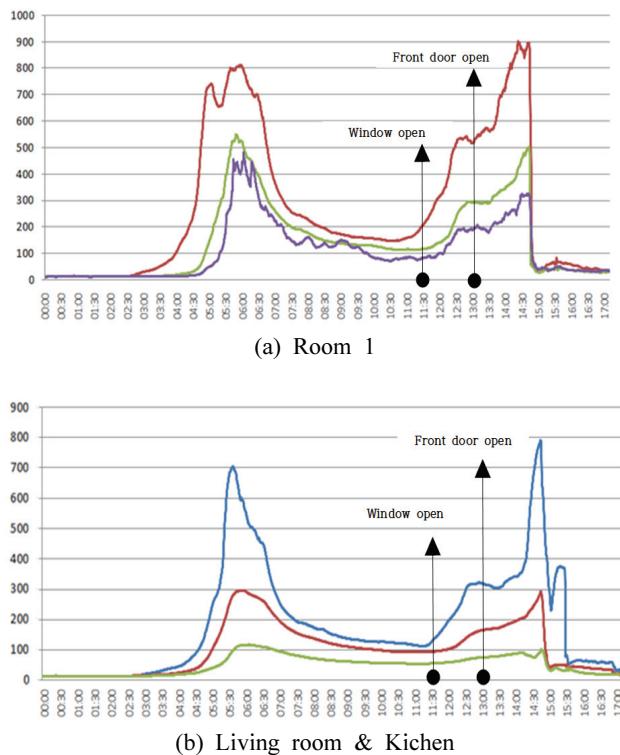


Fig. 7. Temperature Change by Ventilation

Fig. 8은 구획 내 화재전파 경로를 나타내는 것으로 방1 쓰레기통에서 점화되어 120초 경 방 1에서 방문 쪽으로 뜨거운 가스와 화염이 거실 겸 주방으로 전파되었고 300초 이후에는 전 구획이 화염이 확산 되었다.

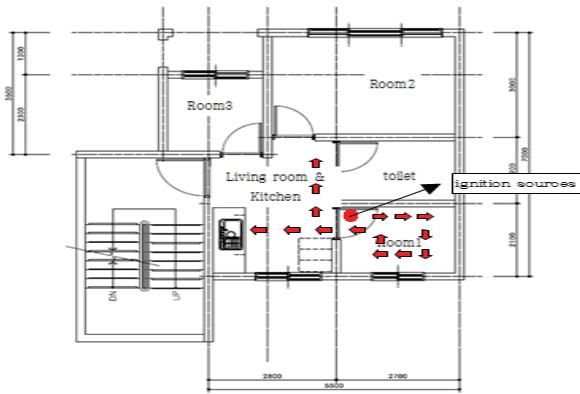


Fig. 8. Fire Spread Path

4. 결 론

본 연구에서는 실제 실험을 통하여 주택 구획 별 내부의 온도변화, 플래시오버의 발생, 환기에 의한 구획 내 온도변화를 분석하여 주거 환경 변화에 따른 주택화재 성상을 확인하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 대부분의 기준 시간-온도 곡선과 달리 812°C , 901.4°C 두 번의 최고 온도점이 나타났다. 이는 연소로 인하여 플래시오버 시점에 산소농도가 급격히 저하하였기 때문으로 판단된다.
- (2) 구획된 주택화재의 경우 플래시오버 조건으로 볼 때 약 5~6분 사이에 플래시오버가 발생할 것으로 판단된다. 그리고 플래시오버 발생 전 실내 순간 압력 상승으로 개구부를 상당한 속도로 밀어내는 것을 확인하였다. 이는 플래시오버 발생으로 추가적인 공기공급이 가능한 조건이 될 수 있음을 알려준다.
- (3) 주택 내 2개 이상의 구획에서 화재 성상은 주택 전체에 걸쳐 다양함을 확인하였다. 동일 시간대에 방 1은 성장

기 단계에서 플래시오버 단계로 거실 겸 주방은 초기 단계에서 성장기 단계로 전환되었다.

- (4) 주택 구획에 충분한 산소가 공급되지 않을 경우 화재가 감쇠 단계로 이동하는 것을 볼 수 있었으며, 창문이나 문을 개방함으로써 환기가 되는 경우 구획온도가 다시 상승하며 빠르게 최고 온도에 도달함을 확인하여, 구획 화재의 시 실내 온도는 환기와 밀접한 영향이 있음을 확인하였다.

References

- Karlsson, B., and Quintiere, J. (1999) *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press.
- Kerber, S. (2011) *Impact of Ventilation on Fire Behavior in Legacy and Contemporary Residential Construction*. UL Reports, UL Firefighter Safety Research Institute.
- Kerber, S. (2012) Analysis of Changing Residential Fire Dynamics and Its Implications on Firefighter Operation Timeframes. *Fire Technology*, Vol. 48, No. 4, pp. 865-891.
- NFA (2018) Press Release.
- NFDS (2018) *E-Fire Statistics*.
- Peacock, R.D., Reneke, P.A., Bukowski, R.W., and Babrauskas, V. (1999) Defining Flashover for Fire Hazard Calculations. *Fire Safety Journal*, Vol. 32, No. 4, pp. 331-345.
- Zhang, G., Zhu, G., Yuan, G., and Huang, L. (2014) Methods for Prediction of Temperature Distribution in Flashover Caused by Backdraft Fire. *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2014, Article ID 707423, pp. 1-6.

| | |
|-----------------|----------------|
| <i>Received</i> | March 20, 2018 |
| <i>Revised</i> | March 22, 2018 |
| <i>Accepted</i> | April 5, 2018 |