



주택 화재의 플래시오버 특성 분석

Analysis of the Flashover Characteristics of Residential 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 condition. Fire flame and smoke spread quickly because of decreasing compartment in house. The oxygen that can grow fire increase as the housing size is bigger and bigger. these days because the contents of house is constructed with plastic, composite material and polymeric material, fire growth velocity and flash-over reached time is faster. Because most house is constructed with lightweight material, the collapse risk of house is higher. This means that evacuation and fire-fighting time become short. This study conducted a real fire test on an ordinary house that have more damage of human life than other fire. The fire development process and temperature distribution were investigated during the real test. As a result of the test, fire development is influenced by the height of flame, the kind of combustibles, the amount of combustibles, the placement of combustibles and ventilation condition. The flash over was reached 4, 15 minute after ignition, and 5, 3 second at 500~600°C section. At before flash over, 400~500°C section average temperature was 450.2°C, 426.5°C and growth time was 3 second, 10 second. this shows that if combustion velocity is fast, the temperature rise is sharp. At after flash over, 600°C~max. temperature section average temperature was 729.8°C, 757.5°C and growth time was 69 second, 150 second. this shows that if average and max. temperature is high, the fire load is large.

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

요 지

지난 수십 년 동안 주거환경변화에 따라 화재환경도 변했다. 주택크기가 높고 넓어질수록 화재를 지탱하고 성장시킬 수 있는 공기가 더 많아지며, 주택 내 벽이 제거됨에 따라 구획이 줄어들어 연기와 화재가 빨리 전파된다. 오늘날 주택의 내용물은 카펫, 플라스틱, 복합재료 등 대부분 합성재료로 과거의 목재 기반재료 보다 열 방출 속도가 훨씬 높아 화재가 더 빠르게 성장하고 빠른 플래시 오버가 발생하고, 대부분의 주택들이 경량 재료로 시공되었기 때문에 화재 시 구조적 붕괴 위험성이 더 커졌다. 이러한 화재 환경변화는 거주자가 피난 할 수 있는 시간과 소방관이 화재에 대응 할 시간이 짧아졌음을 의미한다. 본 연구에서는 화재 시 일반화재보다 인명 피해율이 높은 일반주택을 대상으로 실물화재실험을 하여 각 세대 별 화재발달과정과 온도분포를 분석하였다. 실험결과 화재성장에서 화염의 높이, 가연물의 종류, 양, 배치, 환기조건이 화재성장에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 플래시오버는 점화 후 4분, 15분에 발생하였고, 500~600°C구간에서 5초, 3초 사이에 발생하였다. 플래시오버 전 400~500°C 구간에서 평균온도 및 상승시간은 평균온도가 450.2°C 및 426.5°C로 상승시간은 3초, 10초 소요되어 연소속도가 빠르면 급격한 온도 상승이 있는 것으로 판단되었으며, 플래시오버 후 600°C~최고온도 구간은 평균온도 및 상승시간은 평균온도는 729.8°C, 757.5°C 상승시간은 69초, 150초 소요되어, 평균온도 및 최고온도가 높아 화재하중이 높은 것으로 판단된다.

핵심용어 : 주거환경, 화재실험, 플래시오버, 온도분포, 환기

*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

1. 서론

지난 수십 년 동안 주거환경변화에 따라 화재환경도 변하였다. 주택크기가 높고 넓어질수록 화재를 지탱하고 성장시킬 수 있는 공기가 더 많아지며, 주택 내 벽이 제거됨에 따라 구획이 줄어들어 연기와 화재가 빨리 전파된다.

오늘날 주택의 내용물은 카펫, 플라스틱, 복합재료 등 대부분 합성재료로 과거의 목재 기반재료 보다 열 방출 속도가 훨씬 높아 화재가 더 빠르게 성장하고 빠른 플래시오버가 발생하고, 대부분의 주택들이 경량 재료로 시공되었기 때문에 화재 시 구조적 붕괴 위험성이 더 커졌다. 이러한 화재 환경변화는 거주자가 피난 할 수 있는 시간과 소방관이 화재에 대응 할 시간이 짧아졌음을 의미하며, 적절한 소방전술을 활용하지 않으면 대응하는 소방자원에 잠재적인 위험이 커진다(Kerber, 2012). 그러므로 화재에서 정확한 화재 성장과 온도분포를 예측하는 것은 피난과 소방 활동의 주요 현안이며, 이에 대한 연구와 소방전술의 변화가 필요하다.

이에 본 연구에서는 주택실물 화재실험을 실시하여, 화재 시 주택화재의 시간별 온도분포 및 플래시오버의 발생 및 전후 온도분포를 통하여 주택화재의 플래시오버의 특징을 알아보고자 하였다.

2. 주택 화재실험

실험은 재건축 예정인 다세대주택에서 2개 세대를 실시하였다. 실험일 기상조건은 기온 16.9℃, 습도 30%, 풍향 서, 풍속은 3.2 (m/s)로 측정되었다. 건물구조는 철근콘크리트 구조로 지상 4층 지하 1층으로 세대 당 면적은 59.4 m²이고, 층고는 2.3 m이며, 거주공간은 2개 세대가 공통적으로 방 1(2.7 m × 2.1 m × 2.3 m), 방 2(4.2 m × 3.0 m × 2.3 m), 방 3(2.3 m × 2.3 m × 2.3 m), 거실 겸 주방(2.8 m × 4.0 m × 2.3 m), 현관과 화장실 및 욕조로 Figs. 1과 2와 같이 구성되어 있다.

가연물의 종류는 실험 1은 책장(대) 1, 책장(소) 1, 소파 3인용 1, 소파 1인용 1, 옷장 1, 서랍장 1, 철재캐비닛 1, 싱크대(찬장 포함) 1, 컴퓨터 모니터 1, 컴퓨터 책상 1, 의류 및 책 이고, 실험 2는 책장(소) 1, 책상 1, 의자 1, 침대(매트리스 포함) 1, 옷장 1, 서랍장 2, 냉장고 1, 소파 3인용 1, 싱크대(찬장 포함) 1, 의류 및 책이다.

가연물의 배치는 Table 1과 같이 배치하였다.

계측기기는 구획 내부에서 온도변화를 측정하기 위해 K-type 열전대를 실험 1은 Fig. 3과 같이 방 1 중앙, 거실 겸 주방 중앙, 현관에 배치하였고, 열전대 트리플 총 9개의

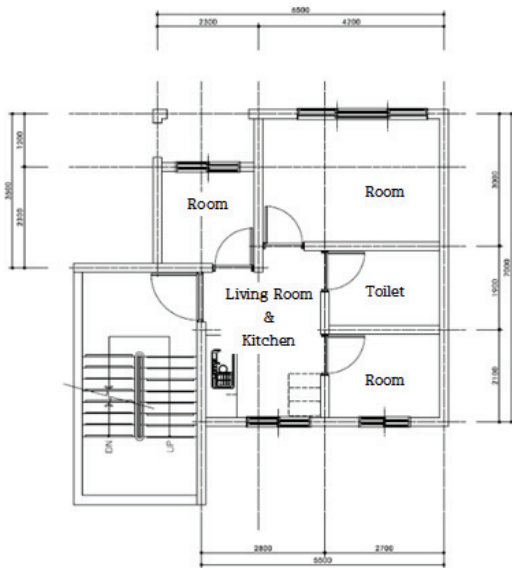


Fig. 1. The Floor Plan of House (Experiment 1)

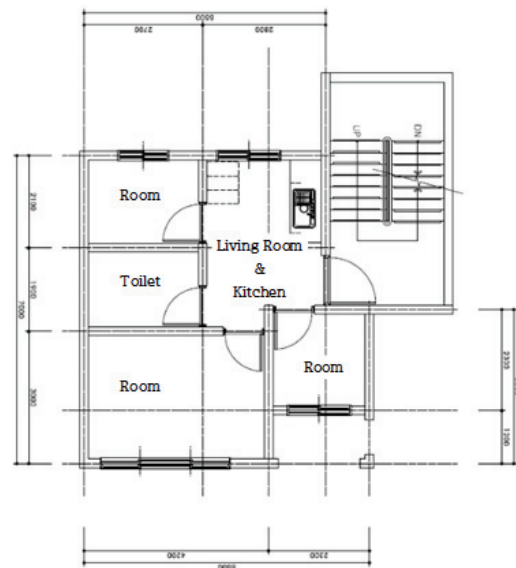


Fig. 2. The Floor Plan of House (Experiment 2)

Table 1. Classification of Fire Load in Unit Space

Sortation	Room	Living Room & Kitchen
Experiment 1	Book Case (Large) 1, Book Case (Small) 1, 3-seat Sofa 1, Chiffonier 1, Computer Monitor 1, Computer Desk 1, Clothing & Books	Sink (with Cupboard) 1, 1-seat Sofa 1, Closet 1, Steel Cabinet 1
Experiment 2	Book Case (Small) 1, Desk 1, Chair 1, Bed (with Mattress) 1, Closet 1, Chiffonier 2, Clothing & Books	Sink (with Cupboard) 1, 3-seat Sofa 1, Refrigeration 1

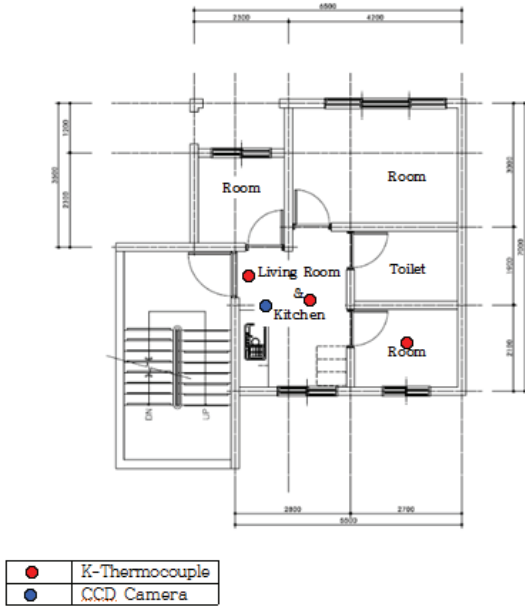


Fig. 3. K-Thermocouple and CCD Camera Position (Test 1)

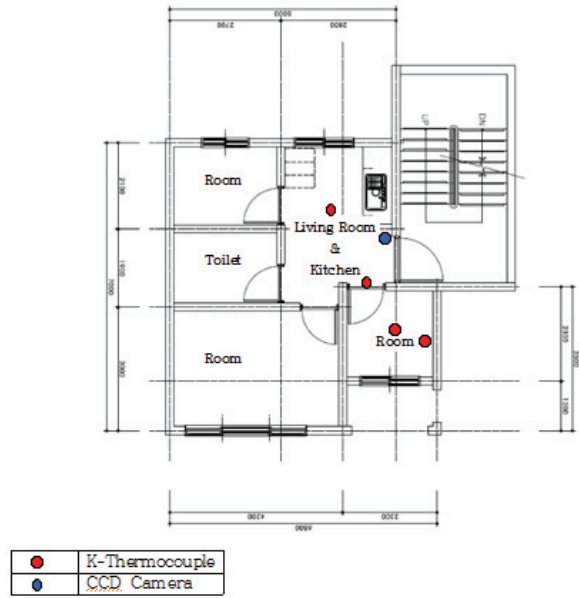


Fig. 4. K-Thermocouple and CCD Camera Position (Test 2)

열전대선을 설치하였으며, 현관 내부에 CCD Camera를 설치하였다. 실험 2는 Fig. 4와 같이 방 1 중앙, 우측 외벽, 방문 1 상부, 거실 겸 주방에 배치하였고, 열전대 트리플 총 9개의 열전대선을 설치하였으며, 현관 내부에 CCD Camera를 설치하였다.

열전대의 높이는 실험 1은 바닥 면에서부터 500 mm, 1100 mm, 2000 mm에 설치하였고, 실험 2는 발화위치 상단 및 바닥 면에서 500 mm, 1100 mm, 2000 mm에 설치하였다.

화재실험 구역은 Figs. 5, 6과 같이 방 1(2.7 m × 2.1 m × 23 m), 거실 겸 주방(2.8 m × 4.0 m × 23 m)에 가연물을

배치하고, 방 2, 방 3, 화장실, 발코니는 석고보드로 차단했다.

화재실험 진행순서는 실험 1은 방 1 소파 옆 쓰레기통에서 발화하여 화재 중간에 현관문 개방 및 60초 동안 고압방수(15 kgf/cm²) 실시, 소방관 진입 소화활동이며, 실험 2는 방 1 책상 위 촛불에서 발화하여 화재중간에 60초 동안 고압방수(15 kgf/cm²) 실시, 소방관 진입 소화활동이다.

화재환기 조건은 실험 1은 실험 전 방 1 창문 1/2 개방, 방문 개방 및 화재중간 현관문 개방이고, 실험 2는 실험 전 방 1 방문 개방, 거실 겸 주방 창문 1/2 개방으로 구성하였다. 구획 내 환기구는 Table 2와 같다.

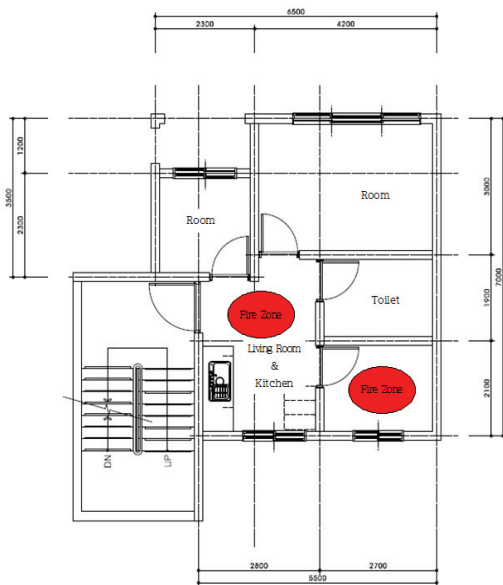


Fig. 5. Fire Testing Area (Experiment 1)

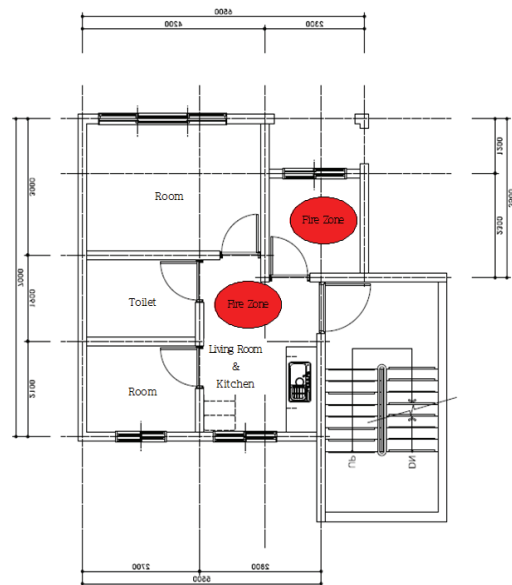


Fig. 6. Fire Testing Area (Experiment 2)

Table 2. Window and Door Dimensions

Sortation	Room	Living room & Kitchen
Experiment 1	Window 1100 mm × 1100 mm (1/2 Open) Door 920 mm × 2000 mm (Open)	Window 1100 mm × 1100 mm (Close) front door 830 mm × 2050 mm (intermediate opening)
Experiment 2	Window 1100 mm × 1100 mm (Close) Door 920 mm × 2000 mm (Open)	Window 1100 mm × 1100 mm (1/2 Open) front door 830 mm × 2050 mm (Close)

3. 실험결과 및 고찰

실험결과 실험 1은 소파 옆 쓰레기통에서 발화하여 구획 전체로 화염이 확산 되어 약 1020초에 화재가 종료 되었고 실험 2는 책상 위 촛불에서 발화하여 구획 전체로 화염이 확산되어 약 1935초에 종료 되었다. 실험 1·2 온도 분포는 Figs. 7, 8과 같이 나타났으며 실험 1은 빠른 시간 내 화재가 성장하였으나, 실험 2는 화재의 성장이 상당히 느리게 진행 되었다. 이러한 결과는 실험 1은 쓰레기통에서 점화하여

상부에 있는 의류로 연소 확대 되어 화염이 수직 상승하였고, 소파 등 가연물이 밀집되어 있어 여러 개의 가연물에 점화되어 연소시간이 빨랐으나, 실험 2는 책상위의 촛불이 주위 있는 책 등 가연물이 분산되어 있어 연소 확대가 쉽지 않아 연소 시간이 느린 것으로 판단된다. 그러나 실험 1의 화재 시간-온도는 빠른 시간 내 화재성장이 있었고 379초에 812℃ 첫 번째 최고온도 상승 후 705초에 147.6℃까지 온도가 떨어졌다가 935초에 901.4℃ 두 번째의 최고온도 후 화재가 쇠퇴한 반면 실험 2의 화재 시간-온도는 느리게 화재가 진행

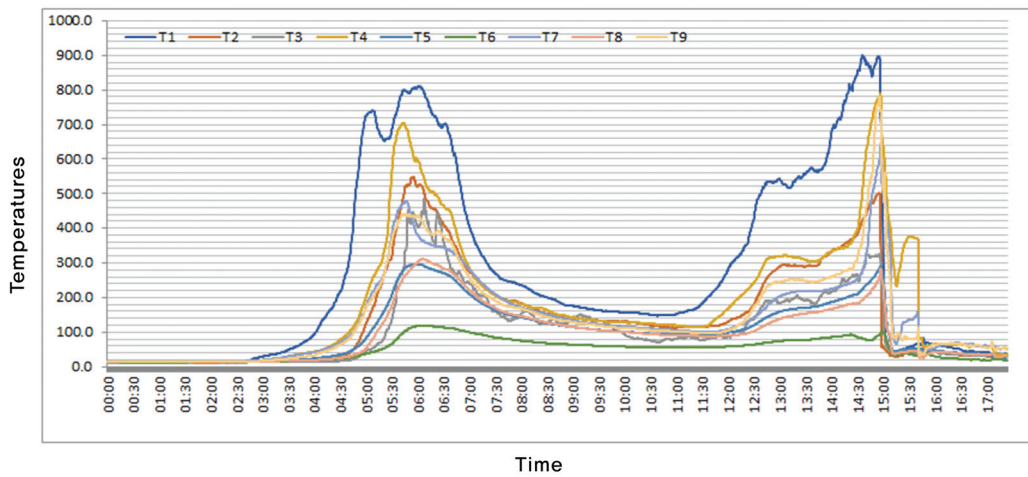


Fig. 7. Compartment Temperatures (Experiment 1)

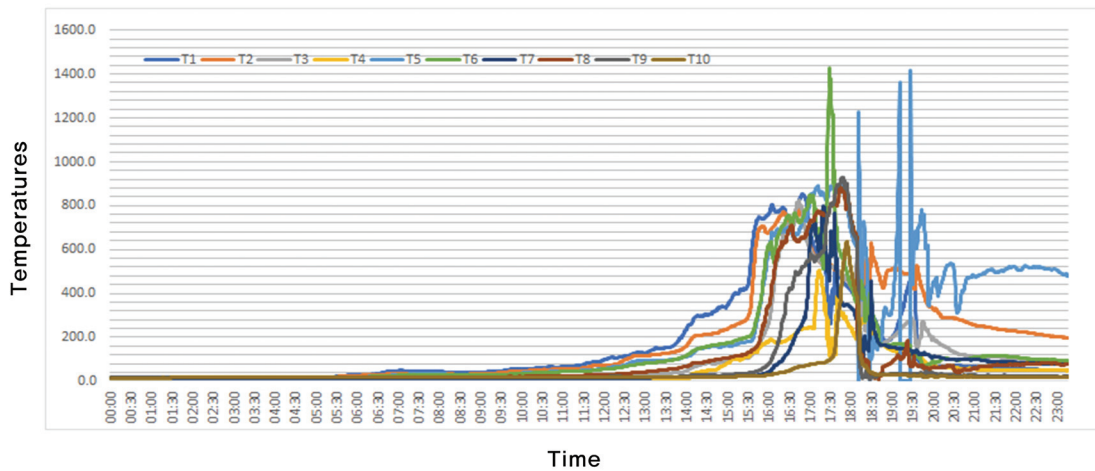


Fig. 8. Compartment Temperatures (Experiment 2)

되어 1048초에 1417.3℃, 1054초에 1429.0℃, 1090초에 1447.1℃ 세 번의 최고온도를 나타내며 전체적으로 고온의 화재가 지속 되었다.

이러한 결과는 가연물의 종류 및 양, 배치, 환기조건 등이 화재성장에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

플래시오버 조건은 다양한 방식으로 정의된다. 일반적으로 구획실의 천장 온도가 500~600℃에 도달해야 하며, 구획 바닥까지의 열 유속은 15 kW/m² 이상이고(Peacock et al., 1999), 산소농도의 급격한 저하와 실내 순간 압력의 상승이 필요하다. 실험 결과 플래시오버 발생시간은 Table 3과 같이 실험 1은 500-600℃ 구간인 287초-292초 사이에 플래시오버가 발생한 것으로 판단되며, 실험 2는 500-600℃ 구간인 932초-935초 사이에 플래시오버가 발생한 것으로 판단된다. 실험 1이 상당히 빠른 플래시오버가 발생하였다.

플래시오버 전 400-500℃ 평균온도 및 상승시간은 Table 4와 같이 실험 1의 플래시오버 전 400-500℃ 구간 평균온도는 450.2℃로 상승시간은 3초 소요됐으며, 실험 2의 플래시오버 전 400-500℃ 구간 평균온도 426.5℃이며 상승시간은 10초 소요됐다. 이러한 결과는 실험 1의 연소속도가 빨라 급격한 온도 상승이 있었다.

플래시오버 후 첫 번째 최고온도 까지 평균온도 및 상승시간은 Table 5와 같이 실험 1의 최저온도 602.7℃, 최고온도 812.1℃이고 평균온도는 729.8℃이며 292초에서 361초로 상승시간은 69초로 화재가 완전한 발달단계에 접어들었으며, 실험 2의 최저온도 614.0℃, 최고온도 853.2℃이고 평균온도는 757.5℃이며 935초에서 1085초로 상승시간은 150초로 화재가 완전한 발달단계에 접어들었다. 이 결과는 실험 2가 실험 1보다 평균온도 및 최고온도가 높아 화재하중이

높은 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 실제 실험을 통하여 주택 화재 시 시간별 온도분포 및 플래시오버의 발생 및 전후 온도분포를 통하여 주택화재의 화재 및 플래시오버의 특징을 확인하였다.

실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 화재성장은 많은 변수가 화재성장에 영향을 미치기 때문에 성장을 예측하기가 어렵지만 실험 1 및 실험 2의 화재점화 및 성장에서 화염의 높이, 가연물의 종류, 양, 배치, 환기조건이 화재성장에 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- (2) 구획된 주택화재의 경우 플래시오버 조건으로 볼 때 실험 1은 점화 후 약 4분에 500~600℃ 구간에서 5초 사이, 실험 2는 점화 후 약 15분에 500~600℃ 구간에서 3초 사이 플래시오버가 발생한 것으로 판단된다.
- (3) 플래시오버 전 400~500℃ 구간에서 평균온도 및 상승시간은 실험 1이 평균온도 450.2℃로 상승시간은 3초 소요됐으며, 실험 2는 평균온도 426.5℃이며 상승시간은 10초 소요되어 실험 1의 연소속도가 빨라 급격한 온도 상승이 있는 것으로 판단된다.
- (4) 플래시오버 후 600℃에서 첫 번째 최고온도 까지 평균온도 및 상승시간은 실험 1이 평균온도 729.8℃로 상승시간은 69초 소요됐으며, 실험 2는 평균온도는 757.5℃이며 상승시간은 150초 소요되어 실험 2가 실험 1보다 평균온도 및 최고온도가 높아 화재하중이 높은 것으로 판단된다.

Table 3. Comparison of Flashover

Sortation	Time (S)	Temperatures (℃)	Average Temperatures(℃)
Experiment 1	287 - 292	501.3 - 602.7	547.8
Experiment 2	932 - 935	499.9 - 614.0	556.2

Table 4. Comparison of Pre-Flashover

Sortation	Time (S)	Temperatures (℃)	Average Temperatures(℃)
Experiment 1	284 - 287	411.9 - 488.4	449.5
Experiment 2	916 - 932	402.3 - 499.9	426.0

Table 5. Comparison of Post-Flashover

Sortation	Time (S)	Temperatures (℃)	Average Temperatures(℃)
Experiment 1	292-361	602.7 - 812.1	732.0
Experiment 2	935 - 1085	614.0 - 853.2	757.5

References

- 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.
- 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.

<i>Received</i>	■	May 3, 2018
<i>Revised</i>	■	May 4, 2018
<i>Accepted</i>	■	May 11, 2018