

건물의 개구부 크기에 따른 외벽 수열온도분포에 관한 연구

A Study on the External Wall Heating Temperature Distribution According to Opening Size in Building

정의인¹

홍상훈²

김봉주^{3*}

Jung, Ui-In¹

Hong, Sang-Hun²

Kim, Bong-Joo^{3*}

Research Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Seobuk-Gu, Chungnam, 31080, Korea ¹

Master's Course, Graduate School, Kongju National University, Seobuk-Gu, Chungnam, 31080, Korea ²

Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Seobuk-Gu, Chungnam, 31080, Korea ³

Abstract

This study used a real-scale model experiment to reproduce internal fires in residential buildings such as a multi-dwelling unit, in order to prevent damage caused by tens of thousands of fires witnessed each year and to take measures to cope with them. For experimental conditions, different opening sizes were applied to measure and analyze the heating temperature of the exterior wall. Results drawn are as following: when the experiment was conducted with opening sizes(horizontal length) each at 2,000mm, 1,600mm, and 1,400mm, the flashover occurred at 630 seconds, 505 seconds and 510 seconds, respectively. Also, the total heating time, in proportion to this, came to 815 seconds, 713 seconds and 721 seconds. The maximum heating temperature of the exterior wall by the opening size reached 282.4°C at 2,000mm, 382.9°C at 1,600mm, and 423.8°C at 1,400mm. This represented that as the opening size gets smaller, the heating temperature of the exterior wall by fire spread becomes higher.

Keywords : heating temperature, opening size, real-scale model experiment

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

2015년 1월에 발생된 의정부 도시형 생활주택 화재는 필로티 구조의 1층 주차장에서 실화되어 5명이 사망하고, 125명이 부상한 대형 화재사건으로 알려져 있다. 이후 가연성 외단열 건물의 화재 확산위험에 대한 인식의 확대와 관리사무소, 주차장 설치기준 등 관련 법규의 일부 개정 및 외장마감에 사용되는 불연 단열재에 대한 관심이 늘어나게 되

었으며, 관련된 연구도 다양한 측면으로 진행되고 있다. 신이철은 화재 시 개구부 분출 화염으로부터 복사열 유속의 위험성 추정에 관한 표준에 대해 연구하였으며 연구결과 화재가 최성기에 도달하여 분출 화염이 발생할 경우 수직으로 화염이 급속도로 전파되고, 인접 건물과 거리가 협소할 경우 건물 간 연소 확대의 우려가 있다고 연구되었다. 또한 건축물 내부에서 화재가 발생될 경우, 플래시오버 이후 폭발적으로 화재가 성장하며, 화재의 성장도 연료지배형 화재에서 환기지배형 화재로 전환되어 개구부를 통해 화염 및 미연소가스가 분출하게 되고, 미연소가스는 외부의 산소와 만나 격렬히 반응하여 대규모 분출화염을 형성하고 이로 인해 상층부로 연소가 확대되기 때문에 대책 필요성에 대해 언급하였다. 특히 환기지배형 화재는 외부 공기 유입에 따라 플래시오버 시기 및 외부로 확산되는 화염온도 등 화재성상이 변화되는 것으로 나타났다[1].

Received : December 12, 2019

Revision received : May 25, 2020

Accepted : June 1, 2020

* Corresponding author : Kim, Bong-Joo

[Tel: 82-41-521-9334, E-mail: bingma@kongju.ac.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

따라서 본 연구에서는 건축물 내부화재로 인한 외부로의 화재확산방지공법 연구를 위한 자료 제공을 목적으로 실물 화재실험을 실시하여 개구부 크기에 따른 외벽 수열온도 분포 측정 및 화재성상을 검토하고자 하였다.

1.2 기존 연구 고찰

Cho et al.[2] 등은 ISO 13785-2와 BS 8414-1을 비교하여 화원의 종류, 크기 및 지속시간의 차이로 인해 시험결과가 다르게 나타날 수 있다는 결과를 도출하였다.

Lee et al.[3] 등은 고층 아파트의 화재시 개구부 위치에 따른 열 유동 성상에 관한 연구를 이론해석 및 수치해석과 축소모형으로 제작하여 실험하여 개구부 위치와 크기에 따라 열 유동 성상에 차이가 있음을 알 수 있었으며, 비교적 좁은 공간에서의 화재 시 열 유동은 초기에는 단일의 면적에 영향을 받으며 시간이 경과함에 따라 개구부 위치와 크기의 영향이 있다는 결과를 도출하였다.

Oleszkiewicz[4]는 창문 크기에 따른 건물 정면의 화재 노출에 대한 영향을 분석하기 위한 수법으로 한변 1.13m 크기의 정사각형 실을 대상으로 각각 수평 및 수직부재를 설치하여 화재 확산에 따른 열 흐름의 감소율을 측정하였다.

외부 분출화염의 성상에 대하여 최인창 등은 기류가 처음에는 창면에 수평으로 지나간 뒤 부력에 의해 흐르는 방향을 점점 위쪽으로 바꾸며, 개구부에서도 기류가 일정하게 분출하지 않는다고 하였다. 또한 Figure 1과 같이 기류는 개구부 중성대의 윗부분에서만 분출하고, 분출속도도 중성대에서의 거리에 따라 다르며, 중성대 아랫부분에서는 반대로 공기가 유입되는 것으로 언급되었다[5].

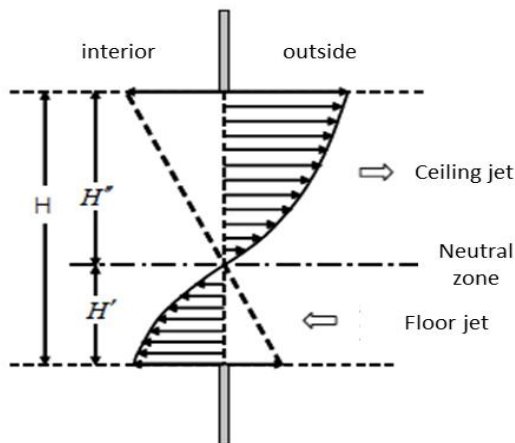


Figure 1. Combustion gas inflow & outflow model

Klopovic and Turan[6]는 실제모형 실험에 의한 유리창으로 분출되는 화염 형상에 대해 연구하였으며, 평균풍속 1.2 - 3.5m/s, 최대풍속 1.2 - 5.8m/s의 환경 아래에서 이루어졌다. 실험진행결과 외부로의 분출화염이 상층부에 미치는 영향에 대한 실험은 풍속 1m/s이하에서 실시될 경우 비교적 정확한 분석이 가능한 것으로 판단된다.

기존 문헌에 대한 검토결과 개구부의 크기에 따른 화재 온도조건 및 열 흐름은 변화될 수 있으며, 시험기준에 따라 결과가 변화되기도 하여 기존의 축소모형 혹은 시뮬레이션과 달리 다양한 실물화재 조건에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 ISO 13785-2 「Reaction to fire tests for-Part2: Large scale test」에 준하여 실험체를 제작하여 실험하였다[7]. 실험내용으로는 개구부 크기에 따른 외벽의 화재확산 수열온도와 플래시오버 시간 및 총 가열시간을 확인하였다. 수열온도는 실험체의 수직면에서 측정되는 화염온도이며, 플래시오버는 내부화재에서 외부분출 화염 성상으로 변화되는 시기로 정의되는데, 기존 문헌을 통해 개구부 크기가 플래시오버의 지연 혹은 분출화염 온도변화에 어떠한 영향을 주는가를 알아보고자 하였으며, 추가적으로 외벽의 화재온도 분포를 통해 외벽에 설치된 단열재가 외부 화원에 의해 가열되어 일어날 수 있는 유도착화온도 (Flash-Ignition Temperature, FIT) 가능성 검토 및 기존 건물의 화재확산방지 보강 필요정도를 확인하였다.

2.1 실험계획

본 실험의 인자는 개구부 크기에 따라 내부 공기 유입량 차이로 발생하는 연소시간의 차이와 그에 따른 외벽 수열온도 분포를 확인하고자 개구부 크기를 선정하였다. 이는 공동주택 등 건물에 설치되어 있는 개구부의 크기가 실의 목적에 따라 다른 점에서 착안하였으며, 실험을 위한 인자와 수준은 Table 1과 같다.

Table 1. Factors and levels

Factor	Levels	Number of levels
Opening size(mm)	1,400, 1,600, 2,000	3

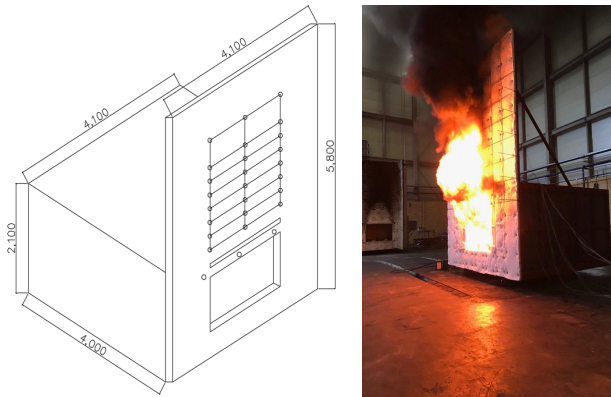


Figure 2. Heating experiment

Table 2. Heating experiment

Classification	Size(mm) (width×height)	Finishing materials
Main wall specimen	4,100×5,800	
Opening	2,000×1,200	Fireproof gypsum board 25T, Ceramic wool 50T
Room(chamber)	4,100×2,100(length4,000)	

2.2 실험방법

가열실험체는 ISO 13785-2 「Reaction to fire tests for-Part2: Large scale test」의 실험체 제작 기준을 참고하여 제작하였으며, 외벽화재 확산정도 및 수열온도를 정확히 확인하기 위해 ISO 기준에서 제시하는 Side wall(Wing)은 제외하였다.

실험체는 전면(외벽)과 연료가 연소되는 챔버(룸)로 구성되어 있으며, 개구부의 크기는 가로 2,000mm, 높이 1,200mm로 제작되었다. 실험체는 Figure 2와 같으며, 가열실험체의 크기 및 마감은 다음의 Table 2와 같다. 실험체의 마감에는 불연재인 방화석고보드와 세라믹 울을 사용하였다.

정확한 측정을 위해 온도측정 및 기록 장비로는 G사의 GL800 데이터로거를 사용하였으며, 온도측정은 K-type의 열전대(측정범위 -100~1,350℃)를 사용하였다.

온도측정 위치는 개구부 내부에 3개 지점(IL, IM, IR)을 선정하였고, 외벽에는 총 24개 지점을 선정(L1~L8, M1~M8, R1~R8)하여 측정하였다. 온도측정 위치는 Figure 3과 같으며 열전대는 외벽에 노출하여 설치하였다. 화재 실험을 위한 연료로는 헵탄(C7H16)을 사용하였으며, 파일럿 실험을 통해 연료량은 34L로 선정하였다.

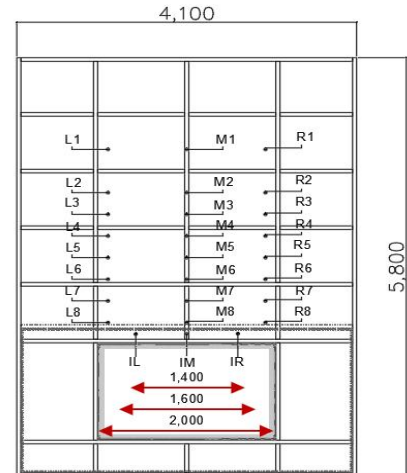


Figure 3. Temperature measure point

3. 실험결과 및 고찰

3.1 플래시 오버 및 총 가열시간

가열실험체 개구부의 가로크기를 변화시켜 실물화재실험을 수행한 결과는 다음 Table 3과 같다. 실험결과에서 나타난 것처럼 동일한 연료량을 사용하여 실험했음에도 불구하고 개구부 크기가 가장 큰 2,000mm에서 총 가열시간이 815초로 가장 큰 것으로 나타났다. 개구부 1,600mm와 1,400mm의 경우, 총 가열시간은 각각 713초와 721초로 나타나 큰 차이를 보이지 않았다. 플래시오버(Flashover)의 경우, 총 가열시간에 비례하여 개구부 2,000mm에서는 630초에 일어났으며, 개구부 1,600mm에서는 505초, 1,400mm에서는 510초에 일어났다. 실험결과로 유추할 때, 개구부 크기의 변화로 인해 외부 공기 유입량의 변화가 일어나며 챔버 내부에서 연소되는 시간의 차이에 의해 플래시오버 및 총 가열시간이 달라진 것으로 판단된다.

Table 3. Result of an experiment

Opening size(mm)	Start Time	End Time	Flashover (sec)	Total heating time
1,400	10:28	10:40:01	510	721
1,600	14:46	14:57:53	505	713
2,000	12:58	13:11:35	630	815

개구부 1,400mm 실험결과 Figure 4와 같이 내부 가열온도는 약 12분 가열조건에서 최고 1,000℃ 이상으로 상승하

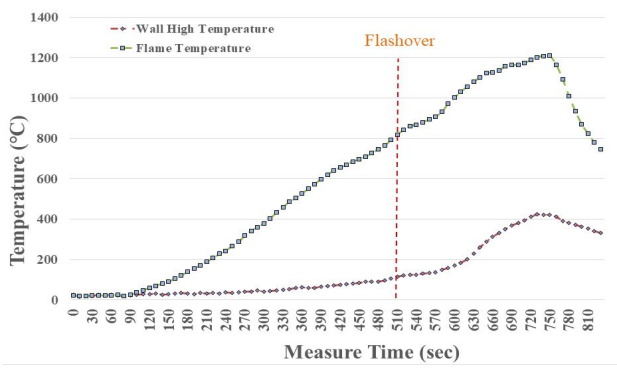


Figure 4. Opening 1,400mm heating result

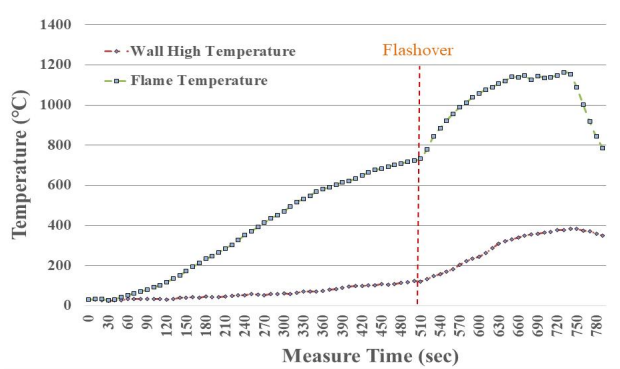


Figure 5. Opening 1,600mm heating result

였으며, 이는 KS F 2257-1의 표준시간-가열 온도 곡선보다 더욱 열악한 조건에서 실험된 것을 알 수 있다. 내부에 설치된 열전대인 IR, IM, IL의 측정결과 화재의 최성기까지 지속적인 온도상승 곡선을 나타내고 있고, 플래시오버에서 약 800°C까지 도달하는 것으로 나타났다.

플래시오버는 앞서 언급한 것과 마찬가지로 510초 후, 일어났으며, 이후에도 지속적인 온도상승이 일어나고 있다. 외벽 온도의 경우, 플래시오버와 함께 화재확산으로 상승하는 것을 그래프를 통해 알 수 있다.

가열실험체 외벽 최고 온도는 423.8°C(M8)로 나타났다.

이는 안전율을 고려하여 외벽 면의 온도가 350°C 이하가 되어야 한다고 할 때, 화재확산 위험이 예상되어 이에 대한 예방 조치가 필요할 것으로 판단된다[8].

개구부 1,600mm에 대한 실험결과 플래시오버에서 내부에 설치된 열전대의 온도는 약 700°C로 나타났다(Figure 5). 플래시오버는 개구부 1,400mm와 유사한 505초에서 일어났으며, 총 가열시간의 경우 713초로 개구부 크기변화에 관한 실험 중 가장 일찍 종료되었다.

가열실험체 외벽의 최고 온도는 382.9°C(M8)로 나타나 개구부 1,400mm와 마찬가지로 화재확산에 대한 위험이 있음을 알 수 있다.

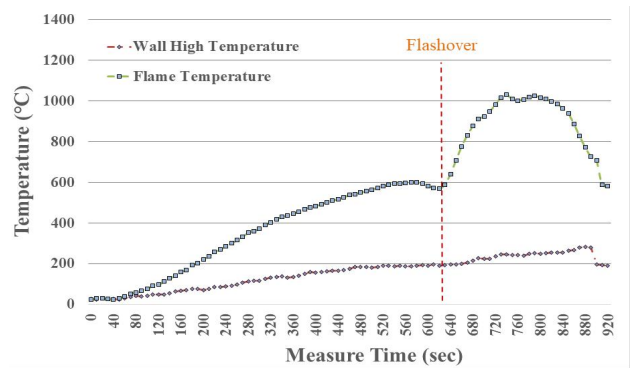


Figure 6. Opening 2,000mm heating result

개구부 2,000mm 실험결과 내부 열전대 온도는 앞선 두 실험과 동일한 시간대인 500초에서 약 550°C 가량으로 나타났고, 플래시오버상황에서 내부 열전대 온도는 약 600°C로 나타났다(Figure 6).

개구부 2,000mm에서 플래시오버는 630초에 일어났으며, 앞선 실험결과들과 비교할 때, 플래시오버가 지연되는 것을 알 수 있다. 이는 내부에 있던 산소를 모두 소진하는 과정을 거쳐 외부에 일부 미연소 가스가 방출되어 다시 연소 된다고 할 때, 미연소 가스의 양이 적게 방출된 것으로 판단된다.

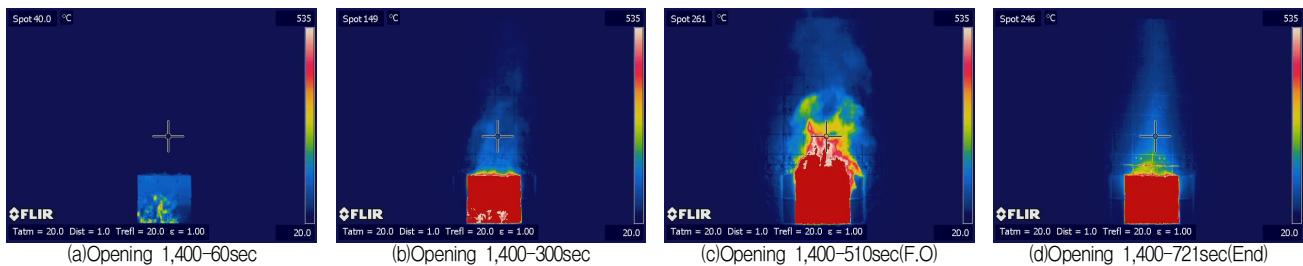


Figure 7. Opening 1,400(mm) thermography

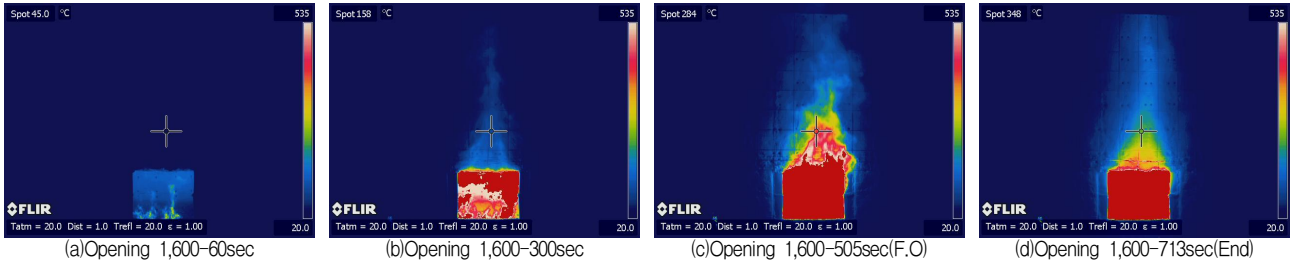


Figure 8. Opening 1,600(mm) thermography

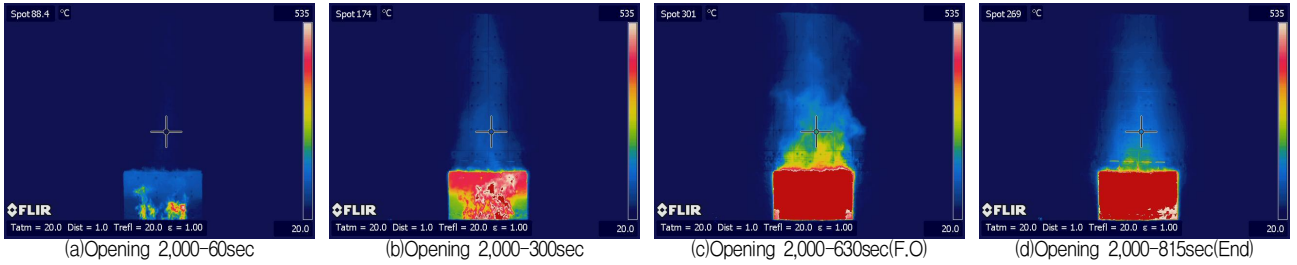


Figure 9. Opening 2,000(mm) thermography

3.2 개구부 크기에 따른 수열온도

개구부 1,400mm의 외벽 수열온도 중 각 지점의 최고온도 측정결과는 Figure 10과 같다. 실험결과 개구부의 중심에 설치한 열전대 M(Middle)1~8까지 온도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

M8 지점에서 최고온도는 423.8°C로 나타났으며, M8보다 300mm 상부에 위치한 M7의 경우, 308.0°C로 나타났다. M6 지점에서는 246.5°C, M5 지점에서는 206.2°C로 M8 지점을 제외한 개구부 상부 400mm 이상에서는 단열재의 유도착화(FIT)에 의한 화재는 발생되지 않을 것으로 예상된다.

그러나 화재확산에 대한 안전율을 고려할 때, 기존 건물에 대한 화재확산방지 보강은 1m 가량 실시하는 것이 양호할 것으로 판단된다.

개구부 1,600mm 시험에서 각 지점의 최고 수열온도를 측정한 결과는 다음의 Figure 11과 같다. 측정결과 개구부 1,400mm와 동일하게 개구부 중심측정지점의 온도가 높게 나타났다. 개구부와 가장 인접한 M8에서 382.9°C, M8에서 300mm 상부에 위치한 M7의 경우, 308.0°C로 나타났다.

실험결과에서 나타난 것과 같이 1m 이상의 위치에 있는 측정점 M6의 경우, 최고온도가 248.5°C로 나타나 단열재의 유도착화온도에 있어 양호한 것으로 판단되며, 실험결과로 유추할 때, 화재 시 상층부 단열재의 유도착화를 방지하기

위해서는 개구부의 약 1m지점까지 화재확산방지 보강을 해야 할 것으로 판단된다.

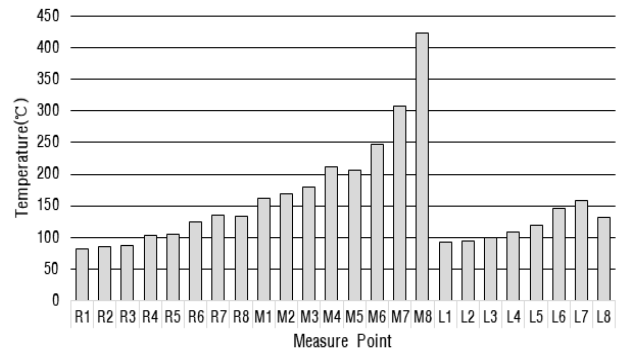


Figure 10. Opening 1,400mm highest temperature

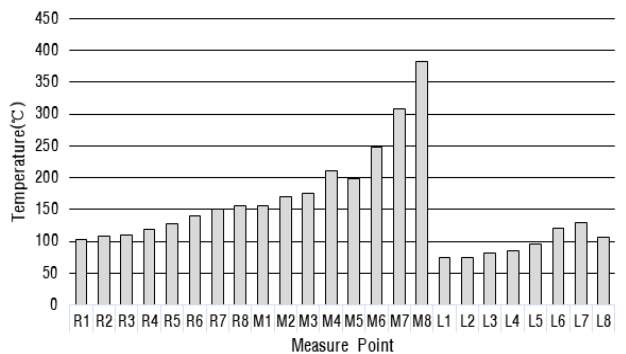


Figure 11. Opening 1,600mm highest temperature

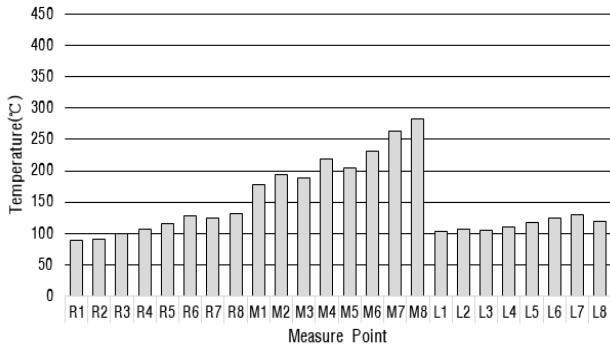


Figure 12. Opening 2,000mm highest temperature

개구부 2,000mm의 외벽온도 중, 각 지점의 최고 수열온도를 측정된 결과는 다음의 Figure 12와 같다. 측정결과는 앞선 실험과 동일하게 개구부 중심에 위치한 M(Middle)1~8까지의 온도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

또한 모든 측정지점 중 최고온도가 282.4°C로 나타나 개구부가 일정규모 이상으로 커질 경우, 단열재의 유도착화온도(FIT) 이하인 것으로 나타나 직접적인 착화가 일어나지 않는다면, 화재가 상부로 확산되지 않을 것으로 예상된다.

실험결과 개구부의 크기가 작을수록 내부화염의 온도가 높게 나타나고 있으며, 이는 플래시오버 때의 내부온도에도 동일하게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 건축물의 화재 확산을 방지하기 위해서는 개구부의 크기에 따른 화재온도의 예측과 사용단열재에 따른 유도착화를 방지할 수 있는 대책이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 공동주택의 화재상황에서 다양한 너비의 개구부를 고려하여 개구부 크기를 실험조건으로 실물화재실험을 실시하였다. 개구부 크기 조건에 따른 외벽의 수열온도분포 및 플래시오버 등의 화재성상과 단열재의 유도착화를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 동일한 연료 및 내부용적 조건에서 개구부의 크기에 따른 플래시오버와 총 가열시간은 다르게 나타났다. 이러한 결과는 미연소 가스의 외부방출과 공기 유입량에 따른 차이로 판단된다. 다만, 화재가 발생되는 곳의 용도에 따라 가구 등 가연물 조건이 상이하기 때문에 절대적인 결과조건이 될 수 없으나, 화재 확산의 측면에서 개구부가 클 경우, 플래시오버가 지연되는 것

로 나타나 내부 소화가 신속히 이루어지는 것을 가정할 때, 화재확산방지 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

- 2) 개구부의 크기에 따른 실험결과 개구부 중앙에 위치한 M8 측정점에서 가장 높은 온도 값을 나타냈으며, 개구부 1,400mm에서는 423.8°C, 개구부 1,600mm에서는 382.9°C 개구부 2,000mm에서는 282.4°C 나타나 개구부의 크기가 커질수록 화재확산에 의한 외벽 수열온도가 낮아지는 것으로 나타났다.
- 3) 기존에 연구된 결과에서 약 350°C의 온도가 단열재의 유도착화온도(FIT)라고 할 때, 개구부의 크기가 커질수록 단열재의 유도착화에 의한 화재 확산에 있어 안전할 것으로 판단된다.
- 4) 본 연구 결과만을 토대로 외벽 화재확산방지를 위해서는 개구부 상부 측에 1m 가량 화재확산방지를 위한 보강이 이뤄질 경우, 단열재의 착화에 따른 수직 화재 확산의 방지에 유리할 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구는 내부 가연물을 동일한 것으로 가정한 실험 결과이며 실제 건물에 적용을 위해서는 가연물, 외부 환경(인접건물, 풍속 등)의 영향 외에도 개구부의 크기 및 사용단열재에 따른 화재확산방지 대책을 다르게 적용해야 할 것으로 판단되며 기존문헌 고찰결과 축소모형과 실물화재 조건에는 다소 차이가 발생할 수 있어 다양한 조건의 실물화재 데이터 확보가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 공동주택의 화재 및 화재확산에 의한 피해의 예방과 대응마련을 위해 실내화재 조건에 대한 정확한 데이터 확보를 목적으로 실물화재실험을 재현하였다.

실험조건으로 개구부 크기를 다르게 하여 외벽 수열온도를 측정 및 분석하였으며, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

개구부 크기를 2,000mm, 1,600mm, 1,400mm로 실험하였을 때, 플래시오버는 각각 630초, 505초, 510초에서 일어났으며, 총 가열시간은 개구부 크기에 따라 815초, 713초, 721초로 나타났다. 개구부 크기에 의한 외벽 최고 수열온도는 2,000mm에서 282.4°C, 1,600mm에서 382.9°C, 1,400mm에서 423.8°C로 나타나 개구부의 크기가 작아질수록 화재확산에 의한 외벽의 수열온도는 높아지는 것으로 나타났다.

키워드 : 수열온도, 개구부 크기, 실대실험

Funding

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 20CTAP-C143300-03).

ORCID

Ui-In Jung, <https://orcid.org/0000-0002-1829-2756>

Sang-Hun Hong, <https://orcid.org/0000-0003-2482-9852>

Bong-Joo Kim, <https://orcid.org/0000-0002-6275-2078>

References

1. Shin YC. Standardization on the risk assessment method of the radiation heat flux from ejected flame in building fire. *Journal of Standards and standardization*. 2018 Sep;8(3):41-53.
2. Cho KS, Chae SG, Choi JH, Kim HY. A study on comparison test for application of a full-scale fire spread test method of external cladding system of building. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 2017 Jun;17(3):1-10. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2017.17.3.1>
3. Lee JH, Choo YH, Hong WH, Kim WJ. A study on heat behavior of the opening effects in the high-rise apartment fires. *Journal Of The Architectural Institute Of Korea Planning & Design*. 2000 Apr;16(4):93-100.
4. Oleszkiewicz I. Fire exposure exterior walls and flame spread on combustible cladding. *Fire Technology*. 1990 Nov;26(4):357-75. <https://doi.org/10.1007/BF01293079>
5. Choi IC, Kim HS. An experimental study of externally venting flames in building. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*. 2003 Feb;19(2):203-10.
6. Klopovic S, Turan OF. Flames venting externally during full-scale flashover fires: Two sample ventilation cases. *Fire Safety Journal*. 1998 Sep;31(2):117-42. [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(97\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(97)00065-9)
7. ISO 13785-2. Reaction-to-fire tests for facades-Part 2: Large-scale test. International Organization for Standardization. 2002.
8. Park YK. An experimental study on the combustion risk characteristics of industry using insulating materials. [master's thesis]. [Seoul(Korea)]: Urban Sciences University of Seoul; 2005. p. 64-74.