

개구부 상부 차양설치 및 길이에 따른 외벽 수열온도분포에 관한 연구

A Study on the External Wall Heating Temperature Distribution According to Opening Upper Shading Installation and Length

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 follow : On top of this, the experimental conditions had whether to install shading and put a shading length differently, before measuring and analyzing the heating temperature of the exterior wall. Subsequent results were drawn as shown below. Based on the maximum temperature, the temperature was lowered as much as around 90°C at 150mm, around 150°C or over at 300mm and over 175°C at 450mm. It also turned out that the difference in maximum temperature dropped by around 180°C or over. This indicated that the shading installation works well in lowering flame temperature generated by fire spread of the exterior wall.

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

1. 서 론

소방청 통계에 의한 화재 발생 건수는 2009년부터 매년 40,000건 이상 발생 되고 있다. 이처럼 화재로 인한 인명피해와 재산피해 규모 역시 결코 간과할 수 없는 실정이다[1].

2010년에 발생 된 부산 해운대 우신 골드스위트 화재사고는 인명피해는 크지 않았으나, 외벽 마감의 화재확산 위험성에 대한 인식을 주었으며, 2015년 의정부 대봉그린아

파트 화재는 필로티 구조의 1층 주차장에서 실화되어 5명이 사망하고, 125명이 부상한 대형 화재사건으로 알려져 있다. 이를 계기로 가연성 외단열 건물의 화재 확산위험에 대한 인식이 확대되었으며, 관련법규의 개정과 외장마감에 사용되는 불연단열재에 대한 관심 또한 증가되었고, 관련 연구도 활발하게 진행되었다.

Lee et al.[2]는 10층 이하의 중층 규모로 지어지는 도시형 생활주택의 방화(防火)를 위한 보강재를 간이 가열실험을 통해 연구하였으며, 경질우레탄폼(PIR) 겉보기 밀도 45 kg/m³ 이상의 1종 1호 혹은 2종 1호를 사용할 경우, 30분의 화재대피시간을 확보할 수 있을 것으로 예상하였다.

Choi and Kim[3]은 건축물 외벽 개구부로의 분출화염 특성을 고려한 적정 차양형태에 관한 연구를 시뮬레이션을 통해 예측하였으며, 일반적으로 화재안전 측면에서 차양을

Received : December 12, 2019

Revision received : May 11, 2020

Accepted : June 10, 2020

* Corresponding author : Kim, Bong-Joo

[Tel: 82-41-521-9494, E-mail: bingma@kongju.ac.kr]

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

설치할 경우, 차양이 길면 길수록 유리하다는 생각을 가질 수 있지만, 일정길이(0.4-0.6m)이상에서는 다시 온도가 상승하는 모습을 나타냈으며, 동일한 길이의 차양이라도 차양의 폭이 넓어질수록 화염이 벽에서 떨어져 상승하는 모습을 나타내는 것으로 연구되었다.

Shin[4]은 화재 시 개구 분출화염으로부터 복사열유속의 위험성 추정에 관한 표준을 연구하였으며 화재가 최성기에 도달하여 분출화염이 발생할 경우 수직으로 화염이 급속도로 전파되고, 인접건물과의 거리가 협소할 경우 건물 간 연소 확대의 우려가 있어 이에 대한 대책 필요성과 더불어, 복사열유속 위험성 추정 알고리즘의 신뢰성을 검증하였다.

또한 건축물 내부에서 화재가 발생될 경우, 플래시오버 이후 폭발적으로 화재가 성장하며, 화재의 성장도 연료지배형화재에서 환기지배형화재로 전환되어 개구부를 통해 화염 및 미연소 가스가 분출하게 되고, 미연소 가스는 외부의 산소와 만나 격렬히 반응하여 대규모 분출화염을 형성하여 이로 인해 상층부로 연소가 확대된다.

본 연구에서는 일반적 화재성상에 의한 내부화재의 상층부 확산 피해예방을 위해 화재 시, 차양설치 유무와 차양 길이에 따라 상층부로 상승되는 화염의 외벽 수열온도분포를 측정 및 분석하고자 하였으며, 이를 통해 화재확산방지공법의 기초적인 자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 ISO 13785-2 「Reaction to fire tests for-Part2: Large scale test」에 준하여 실험체를 제작하여 실험하였다[5]. 실험내용으로는 개구부 상부에 차양을 설치하고, 조건별로 차양길이를 다르게 하여, 이에 대한 외벽의 수열온도분포를 측정하였다. 추가적으로 외벽의 수열온도분포를 통해 외부화원에 의해 가열되어 일어날 수 있는 기존 단열재의 유도착화온도(Flash-Ignition Temperature, FIT) 가능성을 검토하였다.

2.1 실험계획

본 실험은 2T 두께의 Stainless steel로 제작한 차양에 화염에 의한 휘어짐으로 인한 오차를 방지하기 위해 25T의 세라크 보드로 외부를 마감하였다. 설치모습은 Figure 1과 같으며 인자로는 차양의 길이를 달리하여 이에 따른 외벽의 수열온도 분포를 측정하였다. 실험을 위한 인자와 수준은



Figure 1. Awning installation

Table 1. Factors and levels

Factor	Levels	Number of levels
Opening size(mm)	1,600	1
Awning size(mm)	0, 150, 300, 450, 600	5

다음의 Table 1과 같다.

2.2 실험방법

Figure 2의 가열실험체는 ISO 13785-2 「Reaction to fire tests for-Part2: Large scale test」에 준하여 제작하였으며, 외벽화재확산정도를 정확히 확인하기 위해 ISO 기준에서 제시하는 Side wall(Wing)은 제외하였다. 실험체는 전면(외벽)과 연료가 연소되는 챔버(룸)으로 구성되어 있으며, 개구부의 크기는 가로 2,000mm, 높이 1,200mm로 제작되었다. 가열실험체의 크기 및 마감은 다음의 Table 2와 같다[6].

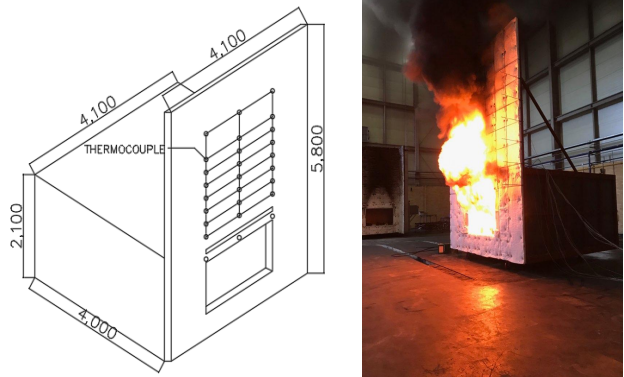


Figure 2. Heating experiment

Table 2. Heating experiment

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

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 다음의 Figure 3과 같다. 화재 실험을 위한 연료로는 헵탄(C7H16)을 사용하였으며, ISO 13785-2 표준의 대체 점화원으로 헵탄 사용 시 제시된 연료량 60L를 사용하여 파일럿 실험에서 시험설비 콘칼로리미터의 수용 능력을 초과하여, 표준 시험장비의 화재성상과 유사한 경향을 나타낸 34L로 연료량을 선정하였다.

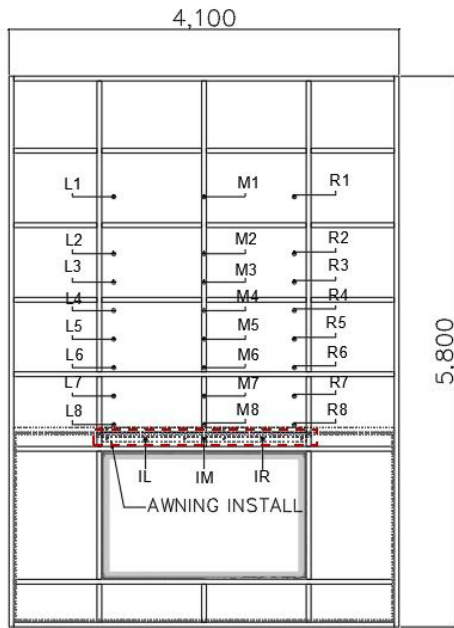


Figure 3. Temperature measure point

3. 실험결과 및 고찰

본 실험은 가열실험체의 개구부 외벽상부에 차양의 길이

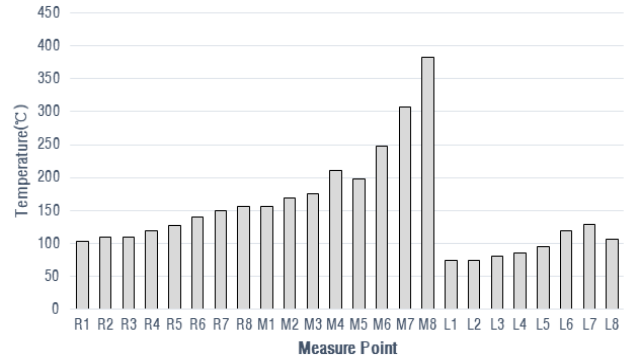


Figure 4. No awning highest temperature

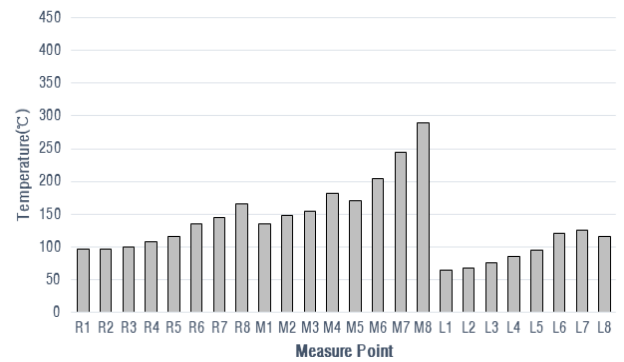


Figure 5. Awning 150mm highest temperature

를 조건별로 다르게 설치하여, 차양 길이에 따른 외벽온도 분포를 측정하고자 하였다. 개구부 크기는 1,600mm로 선정하여 고정하였으며, 실험조건인 차양길이는 0, 150, 300, 450, 600mm 총 5개의 길이조건으로 실험하였다. 차양길이에 따른 실험결과는 다음과 같다.

3.1 차양 없음

개구부를 1,600mm로 고정하고, 차양을 설치하지 않았을 때, 측정결과는 Figure 4와 같다. 최고온도는 M8 측정점에서 382.9℃로 나타났으며, M7은 308.0℃로 측정되었다. 또한 좌측에 설치된 열전대(L1~L8)가 우측에 설치된 열전대(R1~R8)보다 온도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 다른 실험결과들을 비교하여 분석할 때, 실험실에 위치한 라지스케일칼로리미터(Large Scale Calorimeter)의 연소가스 흡기에 따른 미세한 기체흐름의 영향에 기인한 것으로 판단된다. 우측에 설치된 열전대 중 최고온도는 R8에서 측정된 155.5℃이며, 좌측의 경우 L7에서 측정된 129.2℃로 나타났다. 측정된 최고온도로 볼 때, 개구부 상부 약 600mm

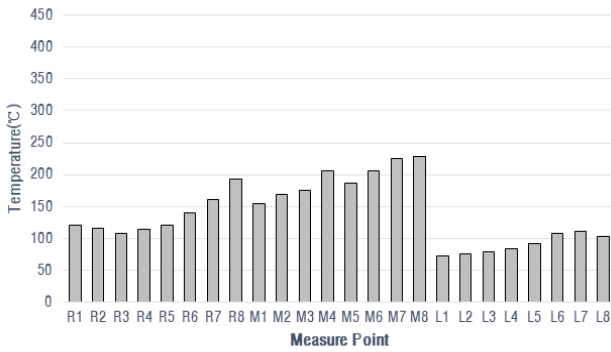


Figure 6. Awning 300mm highest temperature

지점까지 단열재 화재 확산에 의한 피해가 예상되어 이를 위한 대책마련이 필요할 것으로 판단된다[7].

3.2 차양길이 150mm

차양길이를 150mm로 설치하여 화재실험을 실시한 결과는 Figure 5와 같다. 최고온도는 M8 지점에서 측정된 289.6°C로 나타났으며, M7 지점은 244.7°C로 나타났다. 앞선 실험결과인 차양이 없는 경우와 비교할 때, M8 지점에서의 최고온도는 90°C가량 감소했으며, M7에서의 온도는 63.3°C 감소했다. 그러나 우측 열전대 R8의 온도는 약 10°C 상승된 것을 알 수 있다. 이는 차양으로 인한 개구부 분출화염이 우측 외벽 쪽으로 이동되었기 때문으로 판단된다.

측정된 온도로 볼 때, 단열재의 화재확산 측면에서 직접 착화가 일어나지 않는다면, 상층부로 화재확산은 일어나지 않을 것으로 판단된다.

3.3 차양길이 300mm

차양길이가 300mm 일 때의 결과는 Figure 6과 같다. M8의 최고온도는 229.2°C로 나타났으며, M7에서는 M8과 유사한 226.0°C의 최고온도를 나타냈다. 이는 차양이 없는 경우와 비교할 때, M8 지점의 온도는 약 150°C 이상 감소하였으며, M7의 경우에는 80°C 이상 온도가 낮아진 것으로 나타났다. 차양의 길이가 길어짐에 따라 우측에 설치된 R1~R8의 온도도 조금씩 상승되는 것으로 나타났으나, 이는 단열재 유도착화에 의한 화재확산이 우려될 정도의 수준은 아닌 것으로 판단된다.

3.4 차양길이 450mm

차양길이가 450mm 일 때, 외벽 수열온도는 Figure 7과 같다. M8에서의 최고온도는 207.5°C로 나타났으며, M7의

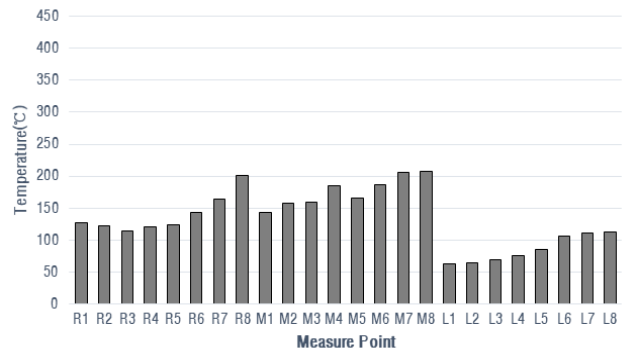


Figure 7. Awning 450mm highest temperature

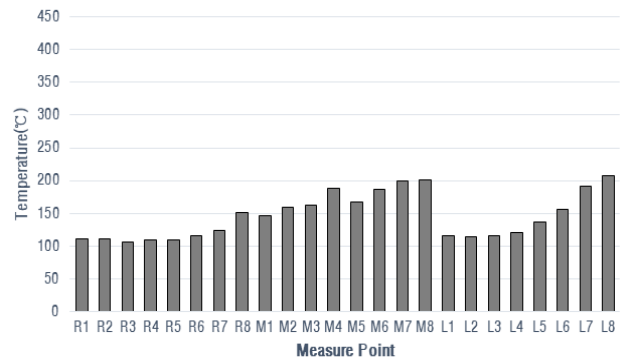


Figure 8. Awning 600mm highest temperature

최고온도는 205.3°C로 나타났다. 우측에 위치한 R8의 경우, 최고온도가 200.5°C로 나타나 앞선 실험과 마찬가지로 차양을 통한 화염의 이동이 일어난 것을 알 수 있다. 차양이 없는 경우와 비교할 때, M8에서의 최고온도는 175.4°C 낮아졌으며, M7에서도 약 100°C 이상 온도가 낮아진 것으로 나타났다. 차양이 없는 경우와 비교하였을 때, R8의 온도는 약 45°C가량 상승하였으며, 단열재의 화재확산 측면에서 유도착화는 일어나지 않을 것으로 판단된다.

3.5 차양길이 600mm

차양길이가 600mm 일 때, 외벽 수열온도는 Figure 8과 같다. 최고온도는 L8 측정점에서 207.1°C로 나타났으며, M8에서의 최고온도는 200.8°C, M7에서는 199.8°C로 나타났다. 실험결과에서 나타난 것처럼 앞선 실험과 달리 좌, 우측에 위치한 열전대의 온도가 높아진 것을 알 수 있다. 이는 Figure 8에서 나타난 것과 같이 차양의 좌, 우로 화염의 방향이 전환된 후, 상승하며 나타난 현상으로 판단된다. 실제 실험결과 차양길이가 600mm일 때, M8에서의 온도는 차양을 설치하지 않았을 때에 비해, 약 180°C 이상 온도가 낮

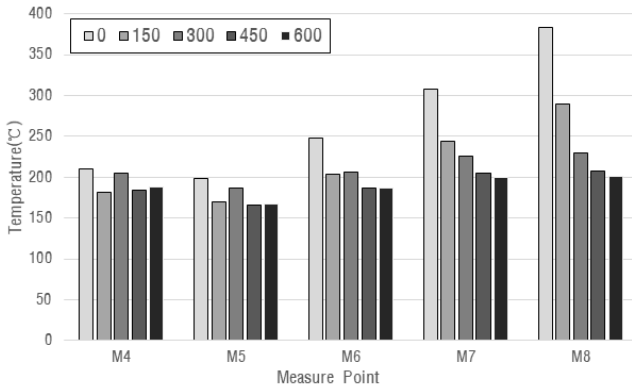


Figure 9. Highest temperature by awning length

아지는 것을 알 수 있으며, M7에서는 약 100°C 이상 온도가 낮아진 것을 알 수 있다.

차양길이에 따른 외벽 수열온도 실험결과를 종합하여 볼 때, Klopovic and Turan[8]의 기존 연구결과에 의해 외부로의 분출화염이 상층부에 미치는 영향에 대한 실험은 풍속 1m/s 이하에서 실시될 경우 비교적 정확한 분석이 가능한 것으로 연구되었다. 본 연구의 실험환경은 외부 풍속요인이 배제된 것임에도 불구하고 차양길이 300mm부터는 주변에 설치된 외벽온도가 달라지는 것으로 나타났다. 따라서 차양의 설치로 인한 수직 외벽온도 저감에 따른 주변 벽체의 온도상승에 대한 대책 또한 필요할 것으로 판단된다.

3.6 차양길이에 따른 수열온도분포

차양길이에 따른 외벽 수열온도 분포에 관한 측정결과, Figure 9와 같이 모든 실험조건에서 M1~M3의 최고온도는 200°C 미만으로 나타났다.

M8과 M7 측정점의 경우, 차양길이가 길어짐에 따라 측정된 외벽 수열온도가 낮아지는 것으로 나타났다. M6 측정점의 경우, 차양길이 450, 600mm에서 최고온도 200°C 미

만으로 나타났다. 차양길이가 450mm일 때, M5에서의 최고온도는 165.5°C, M4에서는 184.7°C로 나타났으며, 차양길이가 600mm 일 때, M5에서는 167.1°C, M4에서는 188.4°C의 최고 온도로 나타났다. 이처럼 차양길이가 길어짐에 따라 외벽의 수열온도가 감소되는 이유는 외부 분출화염의 성장에 의한 것으로 열원기류가 초기에는 수평으로 진행되다가 개구부 주변에서 부력에 의해 상승기류를 형성하게 되는데, 차양이 이를 차단하는 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다. 실험 결과에서 비례적으로 차양길이가 길어짐에 따라 외벽 온도가 감소되는 경향이 나타나지 않은 것은 기존 문헌의 고찰과 유사한 결과로 차양의 길이로 상층부의 수열온도를 낮추는 것의 한계가 있음을 나타내며, 본 연구에서 측정된 최고 온도로 판단할 때, 개구부 1,600mm에서 차양 길이는 450mm로 설치하는 것이 경제성 및 인접 건물과의 간섭, 단열재의 유도착화 측면으로 볼 때, 외벽 화재 확산을 방지하는데 더 효과적인 것으로 판단된다. 또한 측정점 M6까지 가열실험의 화염에 의해 외벽온도가 250°C 이상 상승하는 것으로 나타나 화재에 의한 상층부(수직) 확산 방지를 위해서는 약 1m 가량 외벽 보강이 필요할 것으로 판단된다.

3.7 차양길이에 따른 가열시간

Figure 10을 통하여 나타난 것과 같이 플래시오버 순간 수평상승기류가 수직상승으로 전환될 때에 차양에 의해 화재가 개구부 상층부로 직접 전파되는 것을 차단할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 가열실험체의 차양 설치유무와 차양 길이를 다르게 하여 실물화재실험을 진행하였을 때, 플래시오버(Flashover)와 총 가열시간은 다음 Table 3과 같다. 개구부는 1,600mm로 동일한 조건이며, 차양이 없을 때의 총 가열시간은 713초로 나타났다. 플래시오버의 경우 505

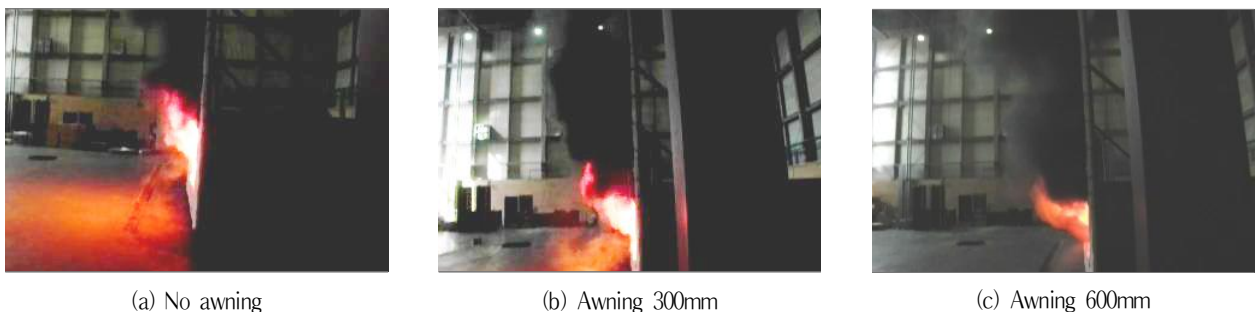


Figure 10. Fire peak period as awning length

초에 일어났다. 차양길이가 600mm일 때, 총가열시간은 580초로 나타났으며, 플래시오버는 328초에 발생되었다.

실험결과 차양길이에 따라 가열시간 및 플래시오버 발생 시간이 줄어드는 것으로 나타났으며 결과로 유추할 때, 차양의 설치와 길이에 따라 외부공기 유입량의 변화가 일어나며, 챔버 내부에서 연소되는 시간의 차이에 의해 플래시오버 및 총 가열시간이 달라진 것으로 판단된다.

Table 3. Result of an experiment

Awning length(mm)	Start Time	End Time	Flashover (sec)	Total heating time
0	14:46	14:57	505	713
150	15:50	14:01	430	684
300	10:15	10:26	416	668
450	16:14	16:24	416	617
600	13:45	13:54	328	580

4. 결 론

공동주택, 일반 주거용 건물의 실내화재 조건으로 제시되는 ISO 실물화재실험을 통해 차양설치 여부 및 길이에 따른 외벽 수열온도 분포를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 개구부 상부에 차양을 설치하여 외벽 수열온도를 측정 한 결과, 기존 382.9℃의 최고온도를 나타낸 M8 측정점의 경우, 차양이 설치된 모든 실험에서 300℃ 미만의 온도로 나타나 차양의 설치가 외벽 수열온도를 낮추는데 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 2) 실험결과 차양 길이와 최고온도와의 관계가 비례적으로 나타나지 않아, 건물의 조건(개구부 크기 및 사용 단열재 등) 및 경제성, 주변 환경조건(인접건물의 이격거리 등)에 따른 외벽화재확산 방지를 위한 최적 차양 길이에 관한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 동일한 연료 및 내부용적 조건에서 차양길이에 따른 플래시오버와 총 가열시간은 차양길이가 길어질수록 빨라지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 미연소 가스의 외부방출과 공기유입량에 따른 차이에 기인한 것으로 판단되며, 동일한 화재조건에서 가스방출량을

측정하여 공기유입량을 추측하는 등의 연구를 통해 화재확산방지를 위한 지속적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

- 4) 2015년 시행된 건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준의 제7조는 화재 확산 방지구조로 현재는 재료에 대한 부분만 각 항목으로 제시되어 있으나 추가적인 실험과 검증을 통해 차양의 설치 또한 상층부의 화재 확산 방지구조로 반영될 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) 실험에 의한 연구결과로 볼 때, 개구부 수직 화재확산 방지를 위해서는 화재전파가 일어나지 않도록 약 1m 까지 불연재 시공 혹은 보강이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 매년 수만 건 발생하는 화재에서 화재확산에 의한 피해 예방과 대응 마련을 위해 공동주택 및 일반건물의 내부화재를 실물화재실험을 통해 재현하였다. 또한, 개구부 크기와 차양길이 조건을 달리하고 이에 따른 외벽온도 분포를 분석하여 화재확산방지 기초자료를 제공하고자 하였다. 실험결과, 차양을 설치하지 않았을 때 최고온도는 약 380℃ 이상으로 나타났다. 차양을 설치하지 않은 최고온도를 기준으로 차양길이가 150mm 일 때, 동일한 측정점에서 약 90℃가량 낮아졌으며, 300mm에서 약 150℃ 이상, 450mm에서 175℃ 이상 온도가 낮아졌으며, 차양길이 600mm 일 때, 최고온도 차는 약 180℃ 이상 낮아지는 것으로 나타나 개구부 상부의 차양 설치가 외벽의 수직화재 확산에 의한 화염온도를 낮추는데 효과가 있는 것으로 판단된다.

키워드 : 수열온도분포, 차양길이, 실대실험, 개구부 크기

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

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

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

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

References

1. Fire resistive construction [Internet]. Korea: National Indicators-Policy Research Information Services. 2015.-[cited 2019 December 11]. Available from:<http://www.index.go.kr/>
2. Lee KH, Jung UI, Kim BJ. Examined of reinforcement for the fire protection of the outside insulation urbantype housing with flammable insulation material. Proceeding of Korea Institute of Construction Engineering and Management: 2015 Nov 14; Seoul, Korea. Seoul (Korea): Korean Institute of Construction Engineering and Management; 2015. p. 28-9.
3. Choi IC, Kim HS. A study of a projection's dimensions considering externally venting flames in building – Focused on the length & width of horizontal projection. Journal of The Architectural Institute of Korea Planning & Design. 2005 Nov;21(11):261-8.
4. 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.
5. ISO 13785-2. Reaction-to-fire tests for facades-Part 2: Large-scale test. International Organization for Standardization. 2002.
6. Jung UI, Hong SH, Kim BJ. A Study on the External Wall Heating Temperature Distribution According to Opening Size in Building. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2020 Jun; 20(3):261-7.
7. 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. 64-74 p.
8. 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)