

개구분출화염에 의한 건축물 외벽 화재시 화염확산인자 도출을 위한 실험적 연구

신이철^{1*}, 정재군²

¹ 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원, ycshin@kfpa.or.kr

² 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원, jgjeong@kfpa.or.kr

An Experimental Study on the Flame Spread Parameter in Building Façade Fire by Ejected Flame from an Opening

Yi-Chul Shin^{1*} and Jae-Gun Jeong¹

¹ Fire Insurers Laboratories of Korea (Korean Fire Protection Association)

(2017-4-12 접수; 2017-5-25 수정; 2017-5-26 채택)

요 약

건축물 외장재의 화재 위험성 평가 기준 마련을 위한 기초 연구로서 건축물의 외벽 화재 시 열기류 Trajectory 추정
을 위한 모형 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 개구 아스펙트비 및 개구부 양쪽에 측벽의 설치 여부에 따른 개구분출
화염의 성상을 파악하기 위하여 측정된 온도 데이터를 바탕으로 상층부로의 화염 확산 위험성을 검토하였다. 그 결과
개구 아스펙트비가 클수록 즉 횡장형 개구일수록 열기류의 Trajectory가 외벽에 근접하여 상승하는 결과를 나타냈다.
또한 측벽을 설치한 경우는 개구 아스펙트비에 상관없이 모든 개구조건에서 외벽에 근접하여 열기류가 상승하는 경향
을 나타냈다. 더불어 각 실험 조건에서 온도 분포는 벽면의 하부로부터 상부로 가면서 점차적으로 감소하는 경향을 나
타냈다.

키워드: 외벽 화재, 분출화염, 화염 확산, 화재 위험성 평가, 모형 실험

* Correspondence to: Yi-Chul Shin, Tel.: +82-31-887-6619 E-mail: ycshin@kfpa.or.kr
본 연구는 산업통상자원부 국가표준기술력향상사업의 연계 결과 논문임.

ABSTRACT

In the event of a fire on the outer walls of an architectural structure, through a model experiment with the purpose of estimating the flame trajectory, the behavior and risks of expanded combustion to an upper architectural compartment of the fire flame ejected from an opening according to changes in the aspect ratio of the opening were examined. The results also showed that the larger the aspect ratio was, the more likely it was for the flame trajectory to approach the outer walls and rise up. In each of the experiment conditions, as the flame rose from the lower part of the wall to the upper part of the wall, a steady decrease was shown for the temperature distribution.

Key words: façade fire, ejected flame, flame spread, fire risk assessment, model experiment

1. 서론

최근 건축물은 시공기술의 향상과 사회 요구 등으로 인해 초고층화, 대규모화, 복합화 되는 경향이 있다. 또한 그 건축물 중에는 디자인의 관점 및 온열 환경, 광 환경 등의 관점에서 외관의 요구되는 기능도 다양화 되고 있다. 예를 들어, 온열 환경에 대한 부분에서는 외관의 건축자재로 유기계 단열재를 사용하고 있으며, 외부 단열 공법이 채용되는 사례나 개구부의 형상이 횡방향으로 장대화 되는 사례, 개구부 주위에 측벽 형태의 수직 및 수평 Louver 차양을 설치하여 일사량과 시야를 제어하는 사례 등을 볼 수 있다. 더불어 이러한 건축물에서 화재가 발생하였을 경우 기존의 건축물 외벽화재와는 다른 위험성이 잠재 되어 있다는 가능성이 지적되고 있다.

건축물에서 화재가 발생하면 가연물의 연소 확대가 이루어지고 화재가 성장하면서 점차 구획 내 온도가 상승하게 되며, 상승 된 열의 영향으로 구획의 유리 등의 개구부의 부재가 손상 될 수 있다. 그리고 파손된 개구부로 화재실에서 발생한 고온의 열기

류가 분출되게 되며, 상층부의 개구 및 외벽의 외장재 등을 가열하여 상층부로 급격한 연소 확대를 유도하고 외벽 화재 규모가 증가되면 인접 건축물로 연소 확대 위험성도 증대된다.

지금까지 건축물의 연소 확대에 따른 피해를 줄이기 위해 개구분출화염에 관한 연구가 진행되고 있다. 그러나 유기계 재료가 건축물 외장재의 단열재로 사용되는 경우 연소 확대 위험성이 증대 될 수 있으며, 최근 건축물의 개구부 형상이 다양화되고 있어 화재 발생시 개구부를 통한 상층으로의 연소 확대 성상을 파악하고 평가 기준을 정립하는 것은 매우 중요한 과제라 판단된다.

따라서 본 연구에서는 고층 건축물의 개구부 형상 및 개구부 주위에 측벽이 설치되어 있는 조건을 상정하여 반폐쇄적 공간에 면하는 개구부에서 발생하는 열기류의 성상을 파악하고자 한다. 이를 위해 개구분출화염에 의한 상층으로의 연소 확대 위험성을 평가할 때 중요한 인자인 개구부 상부의 벽 부근의 분출열기류 온도성상에 착안하여 구획 모형 실험을 실시하고 실험결과 고찰을 통해 건축물 외장재 화재 위험성 평가지표 도출을 위한 기초 자료로 활용하고

자 한다.

2. 구획 모형 실험

2.1 구획 모형

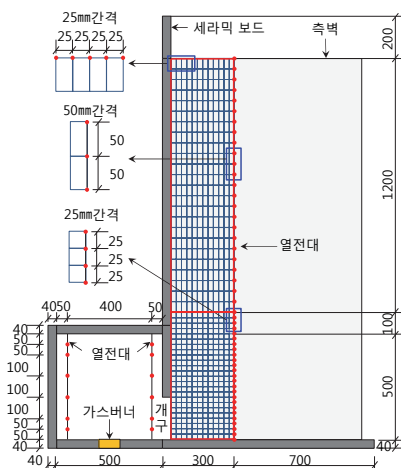
그림 1은 본 실험에 사용 된 구획 모형의 개요도 이다. 실험에서 화재실로 설정한 부분은 두께 40mm의 세라믹 보드를 주 구성 재료로 사용하였다. 구획 모형의 내부 크기는 500mm의 입방체가 되도록 설정하였다. 구획에는 단일 개구를 설치하였으며 개구부 하단이 구획의 바닥과 일치하도록 설정하였다. 개구부를 설치한 벽의 위쪽에는 개구부 하단에서 2000mm 높이까지 폭 1000mm에 두께 40mm의 세라믹 보드 벽을 설치하였다. 또한 개구 양쪽에 측벽을 설치하는 조건에서는 높이 1800mm, 폭 900mm, 폭 50mm의 세라믹 보드를 사용하여 측벽을 설치하였다.

2.2 화원

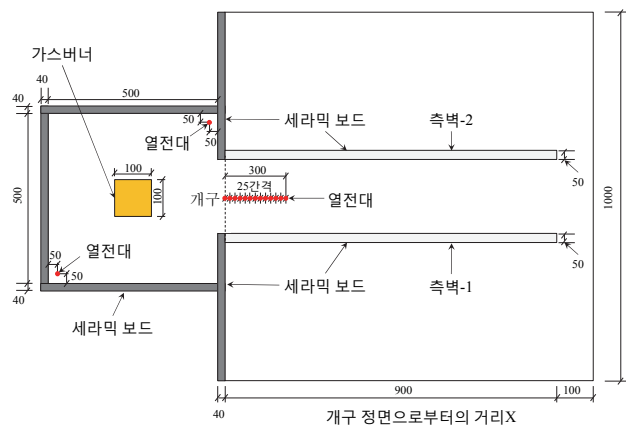
화원은 기체연료인 프로판 가스를 연료로 가로 100mm, 세로 100mm의 가스버너를 사용하였다. 화원의 열방출률은 유량계를 사용하여 프로판 가스의 공급량을 조정하였다. 가스버너는 구획 모형의 중앙에 설치하였다.

2.3 측정 항목

구획 내의 수직온도분포를 측정하기 위하여 그림 1과 같이 K형 열전대(ϕ 0.65mm)를 2곳에 트리형태로 설치하였다. 구획 내 설치 위치는 개구부 오른쪽 코너와 그에 대각선 방향의 코너에 설치하였으며, 높이 방향으로 50mm, 100mm, 200mm, 300mm, 400mm, 450mm에 6개씩 총 12개를 설치하였다. 또한 개구분출열기류의 온도분포 측정을 위해서 K형 열전대(ϕ 0.2mm)를 이용하여 개구부의 폭 방향의 중심위치에서 수직방향에 대해 바닥으로부터 높이 600mm까지는 25mm 간격으로 측정하였고,



(a) 단면도



(b) 평면도

그림 1. 실험모형 개요 및 열전대 설치 위치

표 1. 실험 조건

개구 아스펙트비	개구조건		구획조건	열방출률	측벽
	$n=B/(H/2)$	폭 B			
[-]	[m]	[m]	[m]	[kW]	
n=1	0.1	0.2	가로 0.5 세로 0.5 높이 0.5	16.10	설치 유/무
n=1.5	0.15			24.15	
n=2	0.2			32.20	
n=3		0.1333		17.53	
n=4		0.1		11.38	
n=6	0.3			17.08	
n=8	0.4			22.77	
n=10	0.5	0.0667		28.46	
n=15				15.49	
n=20				0.05	

바닥으로부터 600mm에서 1800mm의 범위에서는 50mm 간격으로 설치하였다.

2.4 실험 조건

표 1에 실험조건을 정리하였다. 실험 조건은 개구 아스펙트비 및 측벽의 설치 유무를 변수로 설정하였다.

개구 아스펙트비 n 은 식(1)과 같이 개구 폭 B 를 중성대로부터 개구부 상단까지의 높이 $H-Z_n$ 으로 나눈 값이며, 개구 아스펙트비 n 이 커질수록 개구 형상이 횡장형이 되는 것을 의미한다. 본 실험에서는 편의적으로 중성대의 높이 Z_n 을 개구부 높이 H 의 1/2로 설정하였다.

$$n = B / (H - Z_n) \quad (1)$$

화원의 열방출률 조건 값은 표 2의 개구인자에 의해 산출하였다. 구획 내 가연물의 열분해 속도를 $0.1A\sqrt{H}$ (kg/s)로 하고 그 값에 목재의 연소열 18000(kJ/kg)을 곱한 식(2)를 사용하여 설정하였다.

$$Q = 18000A\sqrt{H} \quad (2)$$

표 2. 개구 아스펙트비에 따른 개구인자

개구 아스펙트비	개구조건		개구인자
$n=B/(H/2)$	폭 B	높이 H	$AH^{1/2}$
[-]	[m]	[m]	[m ^{5/2}]
n=1	0.1	0.2	0.0089
n=1.5	0.15		0.0134
n=2	0.2		0.0179
n=3		0.1333	0.0097
n=4		0.1	0.0063
n=6	0.3		0.0095
n=8	0.4		0.0126
n=10	0.5	0.0667	0.0158
n=15			0.0086
n=20			0.05

3. 실험 결과

3.1 개구분출열기류의 온도분포 및 Trajectory

그림 2는 개구분출열기류의 온도분포를 정리한 결과이다. 그림에서 실선은 개구 상단으로부터의 높이

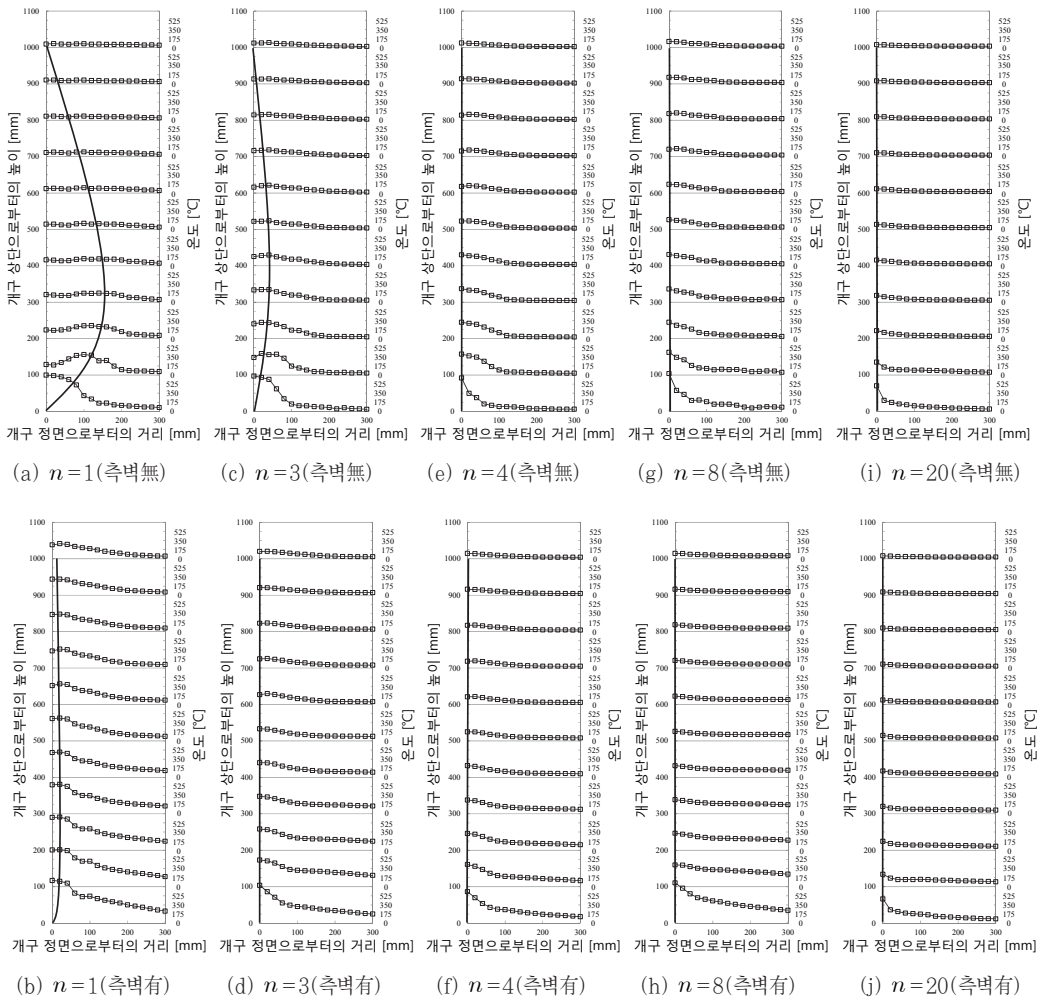


그림 2. 개구분출열기류의 수평 단면 온도분포 및 Trajectory

마다 수평 온도 분포 중 최고 온도를 나타내는 위치를 연결한 것으로 개구분출열기류의 Trajectory이자 중심축을 의미한다.

실험 결과 개구 아스펙트비 n 의 값이 작은 조건 ($n \leq 3$)에서는 측벽이 없는 경우 분출열기류의 중심축은 개구 상부의 벽면으로부터 이격되어 상승하는 경향을 나타냈다. 반면 측벽이 설치된 조건에서는 분출열기류의 중심축이 개구 상부의 벽면을 따라서 상승하는 것으로 나타났다.

한편, 개구 아스펙트비 n 의 값이 큰 조건 ($n \geq 4$)에서는 측벽의 유무에 관계없이 분출열기류의 중심축이 개구 상부의 벽면을 따라 상승하는 경향을 나타냈다. 높이에 따른 최고 온도는 측벽의 유무와 관계없이 유사한 성상을 보였다.

3.2 개구 상부의 외벽 표면 온도분포

그림 3은 개구 상단으로부터 동일한 높이마다 측

벽의 설치 유무 조건에 따른 외벽 표면의 상승온도에 대한 비교 그래프이다. 개구 아스펙트비 n 의 값이 작은 조건($n \leq 3$)에서는 측벽을 설치하지 않은 조건에 비하여 측벽을 설치한 조건이 동일 측정 점에서 온도가 높은 경향을 나타냈다. 이는 개구 아스펙트비 n 의 값이 작은 조건에서는 측벽의 설치로 인하여 분출열기류의 중심축이 벽면으로 근접하는 것을 의미한다. 반면, 개구 아스펙트비 n 의 값이 큰 조건($n \geq 4$)에서는 측벽의 설치 유무와 관계없이 대체로 유사한 온도를 나타냈다.

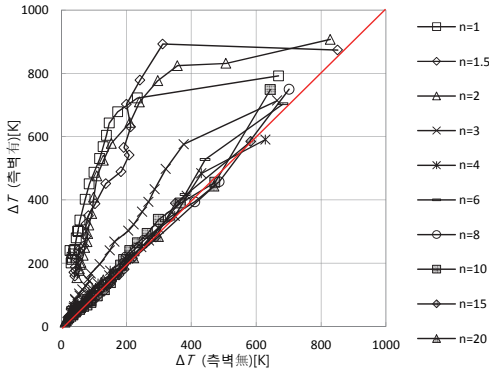


그림 3. 외벽 표면 온도분포

4. 개구분출열기류의 보유열량을 이용한 무차원 온도 고찰

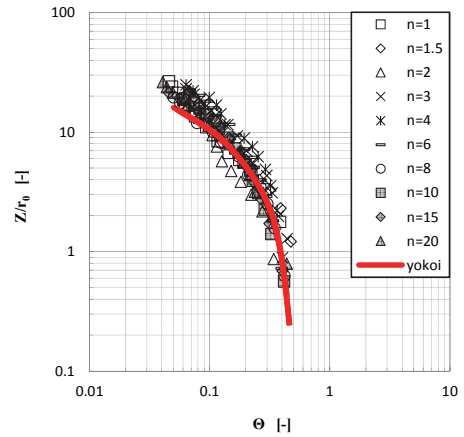
기존 연구결과에 따르면 개구분출열기류의 중심축의 온도를 무차원 온도 θ 로 정리한 식(3)이 제안되어있다.

$$\theta = \frac{\Delta T_f T_0^{5/3}}{\sqrt[3]{Q_{EX}^2 T_0 / c_p^2 \rho^2 g}} \quad (3)$$

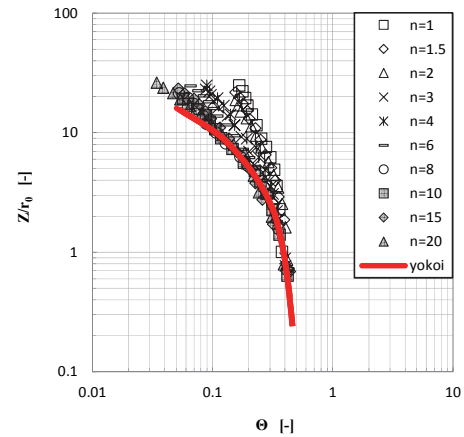
Q_{EX} : 개구분출열기류의 열방출률 [kW]

- ΔT_f : 기류중심축상의 상승온도 [K]
- T_0 : 공기(외기) 온도 [K]
- c_p : 정압비열 [kJ/kg/K]
- ρ : 화재구획내의 가스밀도 [kg/m³]
- g : 중력가속도 [m/s²]

여기서 개구분출열기류의 열방출률 Q_{EX} 와 상당개구반경 r_0 는 식(4),(5)로 정의된다.



(a) 측벽無



(b) 측벽有

그림 4. 개구분출열기류 중심축의 무차원 온도분포

T_f 는 화재실 내의 온도이며, B 는 개구부폭이다. 개구부로의 유출되는 열기류의 유량 m 은 개구부

면적 A 와 개구부 높이 H 를 이용하여 식(6)으로 산출되어 진다.

$$Q_{EX} = c_p m (T_F - T_0) \tag{4}$$

$$r_0 = \sqrt{BH/2\pi} \tag{5}$$

$$m = 0.5A\sqrt{H} \tag{6}$$

그림 4는 무차원 온도에 대한 무차원 높이 Z/r_0 를 정리한 결과이다. 그림 4(a) 측벽이 없는 조건에서는 기존 연구결과인 Yokoi와 본 실험에서 얻어진 결과가 대체로 비슷한 분포를 나타냈다. 한편, 그림 4(b) 측벽이 있는 조건은 개구 아스펙트비 n 의 값이 작아질수록 측벽이 없는 조건에 비해 무차원 높이가 커짐에 따라 무차원 온도도 높아지는 경향이 보였다.

본 연구 결과를 통해 개구 아스펙트비가 크거나 측벽이 있는 조건에서 외벽화재 발생시 상층부로의 화재 확대 위험성이 높다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 건축물 외장재 화재위험성 평가지표 도출을 위한 기초 자료로 활용하기 위하여 모형 실험체를 활용한 건축물 외벽 화재 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- ① 개구 아스펙트비 n 의 값이 3이하의 조건에서 개구 상부의 외벽 표면 온도 분포는 측벽이 없는 조건에 비하여 측벽을 설치한 조건의 온도가 높은 경향을 나타냈다. 개구 아스펙트비 n 의 값이 작은 조건에서는 측벽의 설치로 인하여 분출열기류의 중심축이 개구 상부의 외벽으로 근접하는 경향을 보였다.

- ② 가로축에 무차원 온도 θ 를 세로축에 무차원 높이 Z/r_0 로 설정하여 Yokoi의 회귀 곡선과 비교한 결과 측벽이 없는 조건에서는 개구 아스펙트비 n 이 1~20의 모든 조건에서 Yokoi의 회귀 곡선과 대체로 일치하였다. 한편, 측벽을 설치한 조건은 개구 아스펙트비 n 의 값이 3이하의 조건에서 무차원 높이가 커질수록 무차원 온도가 높아지는 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구를 위해 국가표준기술력향상사업을 지원해 준 국가기술표준원과 산업기술평가원의 관계자 여러분에게 감사를 표하고자 합니다.

참고문헌

- [1] S. Yokoi, "Study on the Prevention of Fire - Spread Caused By Hot Upward Current," BRI Report No.34, Building Research Institute, Ministry of Construction, 1960
- [2] L. G. Seigel, "The Projection of Flames from Burning Buildings," Fire Technology, Vol.5, pp.43-51, 1969
- [3] Y. Ohmiya, S. Yusa, K. Matsuyama, K. Harada, "Prediction Method of Opening Jet Plume Behavior in the Presence of an Opening Soffit," Proceedings of the 5th AOSFST, pp.171-185, 2001
- [4] T. Yamada, K. Takanashi, E. Yanai, T. Suzuki, A. Sekizawa, H. Satoh and H. Kurioka, "An Experimental Study of Ejected Flames and Combustion Efficiency," Fire Safety Science

- [5] T. Tanaka, "Introduction to Building Fire Safety Engineering Revised Edition," The Building Center of Japan, pp.245 - 254, 2002
- [6] P. H. Thomas, M. Law, "The Projection of Flames from Burning Buildings on Fire," Fire Prevention Science Technology, No.10, pp. 19-26, 19747, pp.903-914, 2003