

실내공간에서 화재 발생위치에 따른 연기거동에 대한 실험연구

정진용* · 유홍선† · 이재하* · 홍기배**

(2001년 9월 3일 접수, 2002년 3월 6일 심사완료)

An Experimental Study of Smoke Movement of the Various Fire Location in Room

Jeong Jin Yong, Ryou Hong Sun, Lee Jae Ha and Hong Gi Bae

Key Words : Center Fire(중심형 화재), Wall Fire(벽체형 화재), Corner Fire(모서리형 화재), Air Flow Rate(공기 유량), Fire Size(화재 크기), Neutral Plane Height(중립면 높이)

Abstract

In order to investigate the smoke movement in three dimensional room fires, the center fire, wall fire and corner fire plume in different sized fires were studied experimentally by rectangular pool fire using methanol as a fuel. As the fire size became larger for the center fires placed at the center of the floor, the air flow rate entrained through the opening, average hot layer temperature, flame angle deflected backwards and mean flame height was observed to increase. On the other hand, as the fire size became smaller, the neutral plane height in the door and time reached steady-state was observed to decrease. The average hot layer temperature, mean flame height and doorway neutral plane height obtained from corner fire were higher than those produced by wall fires and center fires. The simple model for describing the effect of walls on the mean flame height was presented. It was shown that the model provides a good description of the present measurements, when used with the assumption by Hansell(1993), that the increase of the average flame height is equal to the ratio of the open to the total perimeters of the trays. Also the two models for predicting the effects of walls on the mean flame height were presented. These models overestimated the measured values of the mean flame height above fuel trays close to a wall and in a corner by approximately 19-26%, respectively.

기호설명

D : 풀 화재의 특성 길이 [m]

EF : Entrainment factor

H_o : 개구부의 높이 [m]

\dot{m}_a : 개구부에서 공기 유입률 [kg/s]

N : 개구부에서 중립면 높이 [m]

\dot{Q} : 화재의 열 발생률 [kW]

T_u : 더운 경계층의 평균 Stack 온도 [K]

T_∞ : 대기 온도 [K], 293K

W_o : 개구부의 폭 [m]

Z_f : 평균 화염 높이 [m]

1. 서론

실내공간에서 화재로 야기되는 열 및 연기를 초기에 감지함으로써 연기 및 유독 가스의 흐름을 효율적으로 제어한다면 인명피해를 줄일 수 있고, 또한 연소가스에 의한 화재영역의 확산을 방지할 수 있기 때문에 그 동안 이 분야에 대한 연구는 많은 관심의 대상이 되어왔다. 특히 실내화재에서는 화재의 발생 위치에 따라 화원이 벽에 접하지 않고 바닥의 중심부근에서 발생하는 중심형 화재(center fire), 화원에 한 개의 벽이 접한 벽체형 화재(wall fire) 그리고 화원에 두 개의 벽이 접한 모

* 회원, 중앙대학교 대학원 기계공학과

** 회원, 충주대학교 열공학과

† 책임저자, 회원, 중앙대학교 기계공학과

E-mail : cfdmcc@cau.ac.kr

TEL : (02)820-5280 FAX : (02)813-3669

서리형 화재(corner fire)로 나뉘어 질 수 있으며 이때 확산 화염(diffusion flame)의 구조와 연기 거동은 화재안전 설계에 있어서 중요한 요소이다. 예를 들어 같은 크기의 화재라도 화원의 위치에 따라 화염의 높이와 개구부에서 형성되는 연층의 두께는 다르게 나타나는데, 이것은 화재가 벽과 인접하여 발생하였을 때 화염에 유입되는 공기의 양과 열 유속이 변하기 때문이다.

그 동안 국내외에서 이러한 중심형, 벽체형 그리고 모서리형 화재에 대하여 많은 연구가 이루어져 왔다.⁽¹⁻³⁾ 그러나 전형적인 실내화재에 있어서 부력으로 야기된 난류 혼합과 벽 영향에 대한 이해는 아직까지 부족한 실정이다.

Quintiere 등⁽⁴⁾은 실내화재에서 문 또는 창문의 크기에 따라 출구에서의 entrainment 높이, 화염의 기울기 그리고 공기 유입률 등을 실험적으로 비교 분석하였으며, Hansell⁽⁵⁾은 박사학위 논문에서 화원이 벽에 인접해 있는 경우 공기 유입률에 대한 계수 entrainment factor(EF)를 제안하여 벽체형 화재에 대한 화염의 높이와 연기 생성율을 수정한 바 있다. Kerrison 등⁽⁶⁾은 실내화재에서 출구의 폭과 화재 크기를 함수로 하는 공기 유입률, 출구에서 중립 평면 높이 그리고 더운 경계층의 평균 온도 등을 실험하고 FLOW3D 소프트웨어를 사용하여 수치해석 하였는데, 단열(adiabatic) 경계조건을 주었을 때보다 등온(isothermal) 경계조건을 적용하였을 때가 실험치와 더욱 근사한 결과를 얻을 수 있음을 보여 주었다. Poreh 등⁽⁷⁾은 벽체형 화재와 모서리형 화재를 실험 측정하여 화염의 높이와 연기 생성율에 대한 모델들을 비교 분석한 바 있고, Hasemi 등⁽⁸⁾은 0.5m 사각 가스버너로 실험을 수행하여 벽체형 화재의 경우 연속(continuous) 화염 높이가 중심형 화재보다 22% 증가됨을 보였으며 모서리형 화재의 경우 연속 화염 높이와 최대 화염높이가 중심형 화재 보다 각각 23%와 67%가 증가됨을 보였다. 정진용 등⁽⁸⁾은 SMEP 코드를 이용하여 실내화재에서 연기거동에 미치는 복사영향에 대한 수치해석을 수행함으로써 화재에서 복사열 전달의 중요성을 보여 주었다. 이와 같이 화재 현상을 예측하고 해석하기 위한 많은 모델들과 실험이 수행되고 있지만 아직까지 화재 현상을 적절히 예측하기 위한 상용 소프트웨어 또는 개발중인 소프트웨어들의 검증에 위한 실험 데이터들이 부족한 실정이다.

본 연구에서는 일정한 크기의 개구부가 있는 3차원 실내 공간에서 메탄올을 연료로 하는 사각 용기를 화원으로 하여 화재의 크기와 화원의 위치에 따른 화염의 구조와 연기 거동의 특성을 알아

보기 위한 실험을 수행하였으며 더불어 화재 현상을 예측하기 위한 상용 소프트웨어들과 개발중인 화재 모델들의 검증에 유용한 데이터를 제공하고 자 한다.

2. 실험 장치

본 실험에서 사용한 기하학적 모양이 Fig. 1에 나타나 있다. 가로와 세로가 1.8m×1.8m 이고 높이가 1.38m 인 실내공간이며 한쪽 벽면에는 폭이 0.48m 이고 높이가 1.18m 인 개방된 개구부가 중앙면에 놓여 있다. 화염부근의 벽면은 7mm의 두께를 갖는 석면판을 사용하였으며 개구부 벽면은 10mm 두께의 아크릴판 그리고 나머지 천장과 벽면들은 7mm 두께의 아크릴판을 사용하여 단열벽면을 구성하였다. 연료는 순도 99%의 메탄올을 사용하였으며 사각 용기는 중심형 화재인 경우 바닥의 중앙면 (Fig. 1의 A)에 벽체형 화재인 경우 개구부에서 반대쪽 벽의 중앙면 (Fig. 1의 B)에 그리고 모서리형 화재인 경우 Fig. 1의 C 위치에 놓여 있다. 사각 용기는 정사각형으로 한 변의 길이가 15cm (화재 크기 7.65kW), 25cm (화재 크기 21.25kW) 그리고 39cm (화재 크기 51.71kW)인 2mm 두께의 철판을 사용하였고 각각의 발열량은 로드 셀(load cell)로 연소량을 측정하여 얻어졌다 K-type thermocouple (측정 범위: -270°C~1300°C)이 개구부 중심에서의 온도 분포와 모서리에서의 온도 분포를 측정하기 위해 Fig. 1에서와 같이 설치되었다. 화염의 기울기를 관찰 하기위해 한쪽 벽면에 디지털 비디오 카메라가 설치되었으며 또한 벽체형과 모서리형 화재에서 화염의 높이를 측정하기위해 화원의 뒤쪽 벽면에 cm 단위의 높이를

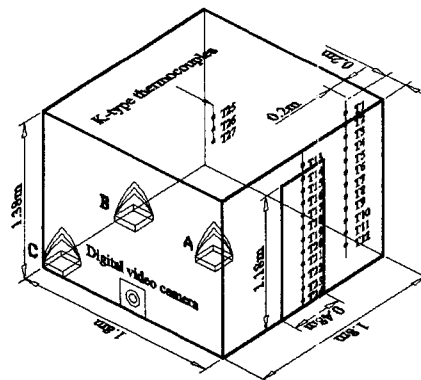


Fig. 1 Experimental arrangements and configuration

표시하고 화염과 마주보는 위치인 개구부와 투명 아크릴 벽면에 디지털 비디오 카메라를 설치하여 초당 30 fram 의 영상을 기록하도록 하였다

3. 이론 해석

화재에 있어서 연소현상과 그에 따른 연기의 유동은 굴뚝효과(stack effect), 풍압, 건물구조 및 환기와 같은 요인과 물질전달, 열 전달 그리고 화학반응 등이 포함된 매우 복잡한 메커니즘에 따라 변화한다. 화재 연구자들은 이러한 화재현상을 예측하고 해석하기 위해 실험과 이론적으로 얻어진 간단한 모델들을 사용하고 있다. 일반적으로 화염의 평균 높이(Z_f)는 화재형상, 대기조건, 연소 열 그리고 stoichiometric 비에 의존하며, 주변에 벽체가 없는 중심형 화재의 경우 Heskestad⁽⁹⁾에 의해 제안되어진 다음의 식을 널리 사용한다.

$$Z_f = 0.235\dot{Q}^{2/5} - 1.02D \quad (1)$$

여기서 \dot{Q} 는 화재의 열 발생률이며 D 는 풀 화재의 특성길이이다.

화원에 벽이 인접해 있는 벽체형 화재나 모서리형 화재의 경우 화염 높이는 벽 영향을 고려하여 다음과 같은 식을 사용한다.⁽⁷⁾

$$Z_f = EF^{-3/5} (0.235\dot{Q}^{2/5} - 1.02D) \quad (2)$$

여기서 EF는 Entrainment Factor로서 화원이 벽에 인접하지 않은 경우 entrainment에 대한 화원이 벽에 인접한 경우 유효 entrainment의 비를 나타낸다. Hansell⁽⁵⁾은 그의 박사학위 논문에서 EF는 화원의 전체 perimeter에 대한 공기가 화염으로 유입되는 유효 perimeter의 비와 같다고 제안하였다. 화원이 사각형일 때 중심형 화재, 벽체형 화재 그리고 모서리형 화재의 경우 EF는 각각 1, 0.75 그리고 0.5의 값을 갖는다. 그러나 Hansell은 그의 직관적 제안에 대하여 실험에 의한 실증을 한 것도 아니고 식 적용에 대한 제한범위를 설정하지도 않았다.

Zukoski⁽¹⁰⁾는 사각형 화원의 벽체형 화재에서 수직 벽 영향에 대한 실험을 수행하여 EF=0.57을 제안하였다. 이 값은 Hansell⁽⁵⁾이 제안한 0.75 값보다는 상당히 작고 Imaginary Fire Source Model 또는 Mirror Model에 의해서 얻어진 0.63 값보다는 약간 작은 값이다. Mirror Model^(3,10)은 화원에 접해 있는 수직 벽을 기준으로 같은 화재강도를 갖는 대칭의

가상 화원이 존재한다고 가정하는 방법으로 벽체형 화재의 경우 EF=0.63 그리고 모서리형 화재의 경우 EF=0.4의 값이 얻어진다.

실제로 연층의 경계를 설정한다는 것은 경계부근에서 대류 및 난류 확산 혼합과 복사로 인하여 상당히 어렵다. 본 연구에서는 Emmons⁽¹¹⁾가 제안한 최대 온도 구배인 점을 경계층으로 설정하는 최대 구배법(maximum gradient method)을 적용하여 개구부의 중립면에서 측정된(Fig. 1에서 T13~T24) 수직 온도분포에서 최소 기울기를 갖는 점을 개구부에서의 중립면 높이로 정하였다.

본 연구에서 개구부에서의 공기 유입률(\dot{m}_a)은 모서리에서 얻어진(Fig. 1에서 T1~T12) stack 수직 온도분포로부터 다음과 같은 McCaffrey⁽¹²⁾의 실험식으로부터 구하였다.

$$\dot{m}_a = 2.48W_o \left[\frac{T_\infty}{T_u} (1 - \frac{T_\infty}{T_u}) \right]^{1/2} (H_o - N)^{3/2} \quad (3)$$

여기서 W_o 는 개구부의 폭, H_o 는 개구부의 높이 그리고 N 는 중립면 높이를 나타낸다. 이 식은 10%내의 오차범위를 갖는다.

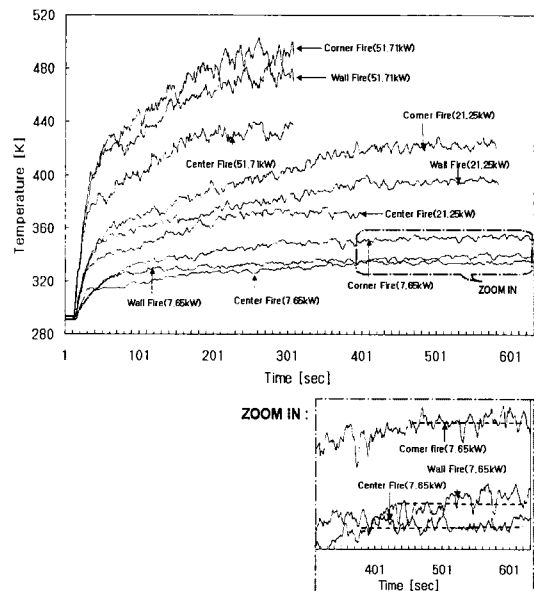


Fig. 2 Temperature distribution at T14 by the fire size 7.65, 21.25 and 51.71kW

Table 1 Summary of experimental results

Fire Scenario	Fire size Q [kW]	Steady Time [sec]	Neutral Plane Height, N [m]	Air Mass Flow Rate In, \dot{m}_a [kg/s]	Flame Angle [°]	Mean Flame Height [m]	Average Hot Layer Temp. (Stack) [K]
Center	7.65	390	0.66	0.141	63 ± 5	-	330
Wall	7.65	435	0.82	0.084	-	0.42	334
Corner	7.65	460	0.90	0.064	-	0.55	347
Center	21.25	210	0.64	0.188	55 ± 5	-	365
Wall	21.25	355	0.74	0.149	-	0.61	386
Corner	21.25	380	0.83	0.110	-	0.79	405
Center	51.71	175	0.60	0.243	45 ± 5	-	423
Wall	51.71	220	0.64	0.227	-	0.82	457
Corner	51.71	235	0.73	0.174	-	1.02	465

4. 결과 및 토의

Table 1 은 화재가 정상상태에 도달한 후 얻어진 실험 결과들로서 정상상태에 도달한 시간, 개구부에서 중립면 높이, 개구부에서 공기 질량 유입률, 중심형 화재의 경우 화염의 기울기, 평균 화염 높이 그리고 모서리 stack 에서의 평균 더운 경계층 온도 등의 데이터를 보여 주고 있다.

Fig. 2 는 개구부의 중립면에서 가장 위쪽에 위치한 T14 열전대에서 측정된 온도 분포를 나타낸 그래프이다. 화재의 크기가 증가할수록 정상상태에 이르는 시간은 감소하지만 화원 주위에 벽의 영향이 클수록 정상상태에 이르는 시간은 증가함을 볼 수 있다 (Table 1 에서 세 번째 column). 여기서 정상 상태란 개구부에서 외부공기의 유입량과 연기의 배출량이 질량균형을 이루는 상태로서 본 실험에서는 연기거동 변화에 가장 민감한 개구부의 가장 위쪽 부근인 T14 열전대의 평균온도가 거의 일정해지고 반응진폭이 균일해지는 시간을 기준으로 하였다. 또한 온도가 반응하는 진폭은 화재 크기가 증가할수록 커짐을 볼 수 있으며 같은 크기의 화재라도 벽 영향이 큰 모서리형 화재인 경우 불규칙적이고 가장 큰 진폭을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이것은 화재의 크기가 커짐에 따라 급속한 대류와 난류확산이 이루어지고 복사열 전달이 증가하게 되어 실내의 온도분포가 균일해지고 따라서 정상상태가 빨리 이루어지기 때문이다. 그러나 벽 영향이 큰 모서리형 화재의 경우 얇은 천장제트와 하향 벽 제트의 영향으로 천장과를 따르는 재순환 영역이 발생하게 되고 따라서 정상상태 도달시간이 늦어지게 된다. 또한 벽 영향으로 인하여 화염으로 공기의 질량 유입률이 급속히 변함에 따라 열 유속이 변하게 되고 따라서 온도의 진폭이 커지게 된다.

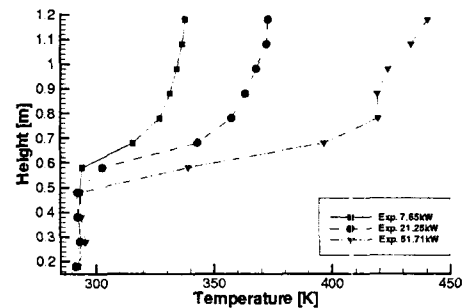
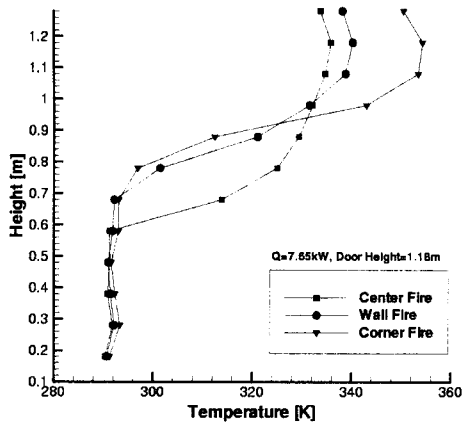


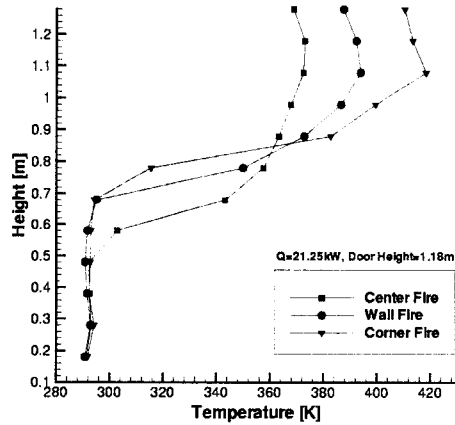
Fig. 3 Doorway centerline temperature for center fire

Fig. 3 은 중심형 화재의 경우 개구부에서 수직 온도분포를 보여 주고 있다. 화재 크기가 증가할수록 중립면 높이 (Table 1 에서 네 번째 column)는 낮아지고 중립면 높이가 위쪽에 해당하는 연기층의 온도는 증가됨을 볼 수 있다. 이것은 화재 크기가 커질수록 부력에 의한 난류 확산 및 모멘텀이 증가하고 따라서 연층의 경계부근에서 혼합률이 커지게 됨에 따라 연기의 성층화가 두꺼워지기 때문이다.

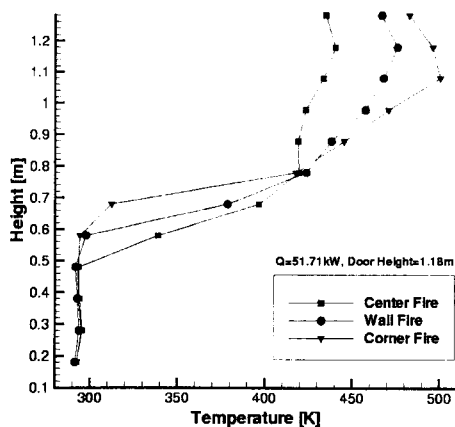
Fig. 4 는 화재 크기가 각각 7.65, 21.25 그리고 51.71kW 일 때 화원의 위치가 바닥의 중심에 있는 경우 (Center Fire), 화원이 한쪽 벽에 접한 경우 (Wall Fire) 그리고 화원이 두개의 수직 벽에 접한 경우 (Corner Fire)에 대하여 개구부에서의 수직 온도분포를 보여주고 있다. 화원 주위에 접한 수직 벽의 영향이 클수록 개구부에서 중립면의 높이가 높아지고 (Table 1 에서 네 번째 column) 중립면의 위쪽에 해당하는 연기층의 온도는 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 두개의 수직 벽이 접해있는 모서리형 화재의 경우 벽 영향으로 인해 공기의 질량 유입률이 감소하여 얇은 천장제트를 형성하



(a) $\dot{Q} = 7.65$ kW case



(b) $\dot{Q} = 21.25$ kW case



(c) $\dot{Q} = 51.71$ kW case

Fig. 4 Doorway centerline temperature for center, wall and corner fire on the fire size 7.65, 21.25 and 51.71kW

게 된다. 반면에 화원에 벽이 존재하지 않는 중심형 화재의 경우 부력 증가와 난류 확산에 의해 천장제트가 두꺼워지고 하향 벽 제트가 제대로 형성되지 않기 때문에 천장과 벽이 만나는 곳에서 유동의 정체현상이 나타나게 되고 따라서 연기층이 두꺼워지게 된다. 반면에 모서리형 화재의 경우 벽 영향으로 인하여 열 유속 증가와 함께 화염 높이가 증가하게 되어 천장에서 방사방향으로의 열 확산과 온도가 상승하게 된다. 따라서 밀도가 낮아지고 부력이 감소하게 되어 연기층의 두께가 얇아지고 천장과 벽이 만나는 곳에서 주위의 연기보다 더 높은 온도의 정체현상이 나타나게 된다. 한편 개구부의 바로 위쪽 모서리인 T13 위치의 온도는 T14 와 T15 위치에서의 온도보다 낮는데 이것은 모서리에서 유동 정체와 함께 압력이 높아져 열 확산을 밀어내기 때문이다.

화재 크기가 7.65, 21.25 그리고 51.71kW 인 경우 화원 위치에 따른 개구부에서의 공기 질량 유입률을 Fig. 5 에서 보여 주고 있다. 화재 크기가 커질수록 화염으로의 공기 유입량이 증가하게 되어 개구부에서 공기의 질량 유입량도 증가하게 된다. 그러나 같은 크기의 화재일 때 화원이 수직 벽과 인접한 벽체형 화재나 모서리형 화재의 경우 벽 영향으로 인하여 중심형 화재보다 화염의 높이는 커지나 질량 유입률은 감소하게 되어 결국 개구부에서 공기의 질량 유입률도 감소하게 된다.

Fig. 6 사진은 초당 30 프레임씩 기록하는 디지털 비디오 카메라를 실내의 옆면에 설치하여 21.25kW 의 중심형 화재가 정상상태에 도달한 후 얻어진 그림이다. 사진에서 프레임간의 시간간격은 0.067 초이며 화염의 puffing 주기는 1 프레임에서 12 프레임까지 0.67 초임을 알 수 있다. 또한 화염의 기울기는 바닥을 기준으로 $(55 \pm 5)^\circ$ 가 됨을 볼 수 있다. 또한 Table 1 의 다섯번째 column

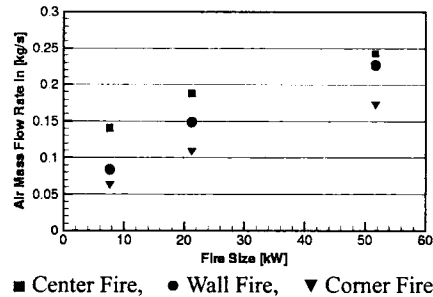


Fig. 5 Air mass flow rate in (kg/s) as a function of fire size (kW) for center, wall and corner fires

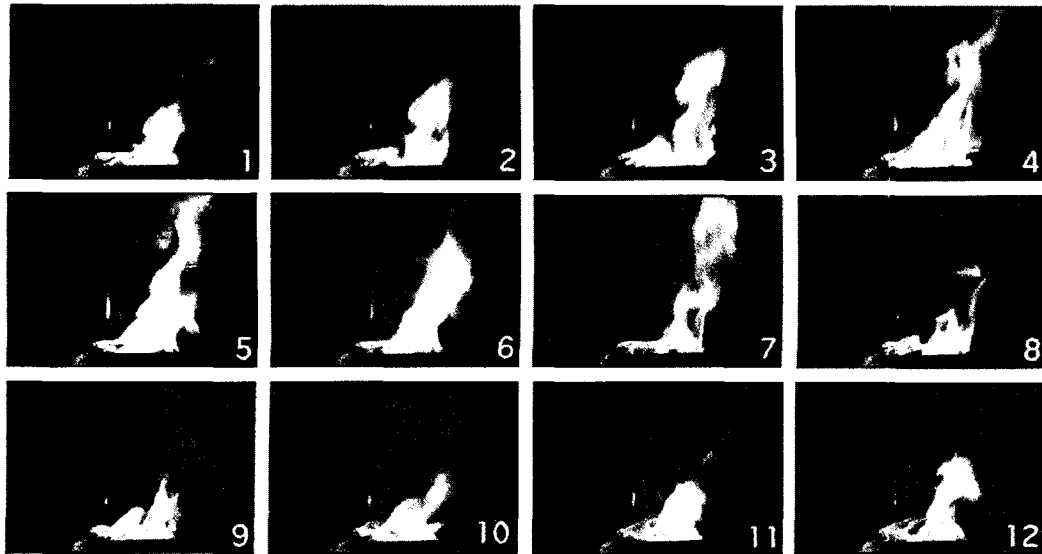


Fig. 6 Photographic series (Frms 1-12) of puffing flame for fire size 21.25kW

의 화염 기울기에서 보는 바와 같이 화재 크기가 증가할수록 커다란 공기 유입률로 인하여 화염이 더 크게 기울어짐을 확인 할 수 있다.

Fig. 7 은 벽체형 화재에서 화재 크기를 함수로 하여 식 (2)에서 언급하였던 Hansell,⁽⁵⁾ Zukoski⁽¹⁰⁾ 그리고 Mirror Model^(3,10)로부터 제안된 평균 화염 높이식과 실험을 비교한 그래프이다. 여기서 평균 화염높이는 화염부의 시간평균 높이를 나타낸다. Zukoski 가 제안한 $EF=0.57$ 인 경우 실험치와 26% 내에서 예측하고 Hansell 이 제안한 $EF=0.75$ 인 경우는 실험치와 8% 내에서 예측한다. 그리고 Mirror Model 에서 얻어진 $EF=0.63$ 인 경우 실험치와 19%내에서 예측한다. 따라서 벽체형 화재에서 벽의 영향을 고려하여 평균 화염높이를 구할 경우 Hansell⁽⁵⁾이 제안한 $EF=0.75$ 값을 적용하는 것이 보다 타당함을 확인할 수 있다. 한편 모서리형 화재의 경우 (Table 1 에서 일곱번째 column) Hansell⁽⁵⁾이 제안한 $EF=0.5$ 인 경우 실험치와 10% 내에서 예측하며 Mirror Model^(3,10)에 의한 $EF=0.4$ 인 경우 실험치와 26% 내에서 예측하였다.

Fig. 8 은 중심형 화재 경우 화재크기에 따른 모서리에서의 수직 온도 분포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 화재 크기가 커질수록 더운 연기층이 바닥 가까이 내려오게 됨을 알 수 있고 또한 연기층의 온도도 증가함을 확인할 수 있다. Fig. 9 는 화재크기를 함수로 하여 중심형 화재, 벽체형 화재 그리고 모서리형 화재에 대한 더

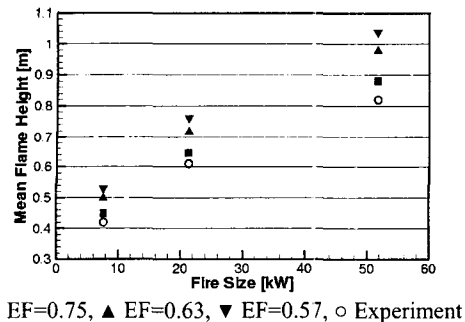


Fig. 7 Calculate and measured mean flame height (m) as a function of fire size (kW) for wall fire

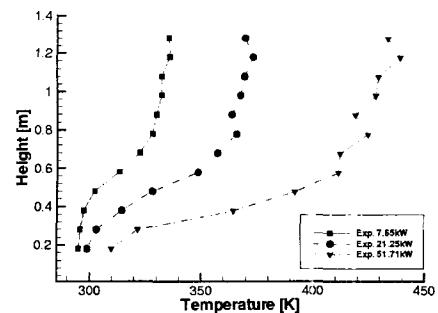


Fig. 8 Corner stack temperature of fire size 7.65, 21.25 and 51.71kW for center fire

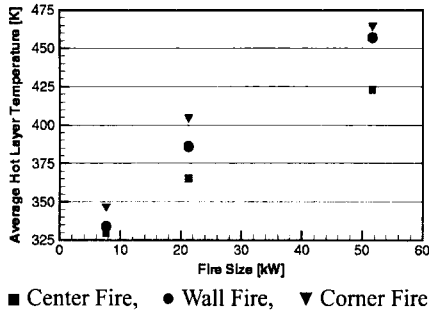


Fig. 9 Average hot layer temperature (K) as a function of fire size (kW) for center, wall and corner fires

은 연기층의 평균 온도값을 보여 주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 화재 크기가 커질수록 그리고 화원에 인접한 벽의 영향이 커질수록 더운 경계층의 온도도 증가하고 있음을 볼 수 있다. 이것은 앞에서 언급했던 것처럼 부력에 의한 난류확산과 복사 열 전달이 증가하고 또한 벽의 영향으로 인해 공기 유입률과 열 유속이 변하기 때문이다

5. 결론

(1) 개구부가 있는 실내공간에서 중심형 화재, 벽체형 화재 그리고 모서리형 화재가 발생하였을 경우 화염의 구조와 연기거동을 살펴보기 위해 정상상태 시간, 개구부에서의 중립면 높이, 공기 질량 유입률, 화염 기울기, 평균 화염 높이 그리고 더운 경계층의 평균온도 등을 측정하였다.

(2) 화원부근에 벽이 존재하지 않은 중심형 화재의 경우 화재 크기가 커질수록 개구부에서 공기 질량 유입률, 화염 기울기, 평균 화염 높이 그리고 더운 경계층의 평균온도가 증가하였으며 반면에 화재가 정상상태에 이르는 시간과 개구부에서의 중립면 높이는 감소하였다. 이것은 화재가 커질수록 화염으로의 공기 유입률과 부력이 커지게 되어 난류 확산과 복사 열 전달이 증가하기 때문이다.

(3) 화원에 수직 벽이 인접한 벽체형 화재나 모서리형 화재의 경우 바닥의 중심에 있는 중심형 화재보다 정상상태 시간, 개구부에서의 중립면 높이, 평균 화염높이 그리고 더운 경계층의 평균온도가 높았으며 반면에 개구부에서의 공기 질량 유입률은 낮게 측정되었다. 이것은 벽 영향으로 인하여 평균 화염 높이는 증가하나 화염으로의 공기 유입률이 감소하고 열 유속이 증가하기 때문이다.

(4) 벽체형 화재와 모서리형 화재의 경우 평균 화염 높이에 대한 예측은 Hansell⁽⁵⁾이 제안한

Entrainment Factor(EF)를 사용하였을 경우 실험치와 10%내에서 예측하였으며 반면에 Zukoski⁽¹⁰⁾와 Mirror Model^(3,10)에서 제안된 EF 값을 적용하였을 경우는 실험치와 각각 26%와 19%내에서 예측하였다. 따라서 벽 영향이 있는 경우 평균 화염높이에 대한 예측은 Hansell 이 제안한 EF 값을 사용하는 것이 좀더 타당함을 확인할 수 있었다.

(5) 본 실험연구를 통하여 실내화재에서 화원의 위치에 따른 벽 영향이 화염 구조와 연기거동에 중요한 요소임을 확인할 수 있었으며 측정된 실험 데이터들은 화재소프트웨어 개발과 검증을 위한 유용한 자료가 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) Grella, J. J. and Faeth, G. M., 1975, "Measurementss in a two-dimensional thermal plume along a vertical adiabatic wall," *J Fluid Mech*, Vol. 71(Part 4), pp. 701~710.
- (2) Zukoski, E. E., Kubota, T. and Cetegen, B., 1981, "Entainment in fire plumes," *Fire Safety J*, Vol. 3, pp. 107~121.
- (3) Hasemi, Y. and Tokunaga, T., 1984, "Some experimental aspects of turbulent diffusion flames and buoyant plumes from fire sources against a wall out in a corner of walls," *Comb. Sci & Tech*, Vol.40, pp. 1~17.
- (4) Quintiere, J. G., Rinkinen, W. J. and Jones, W. W., 1981, "The effect of room openings on fire plume entrainment," *Comb. Sci & Tech*, Vol. 26, pp. 193~201.
- (5) Hansell, G. O., 1993, *Heat and mass transfer process affecting smoke control in atrium buildings*, Ph.D. thesis. South Bank Univ, London.
- (6) Kerrison, L., Galea, E. R., Hoffmann, N. and Patel, M. K., 1994, "A comparison of a FLOW3D based fire field model with experimental room fire data," *Fire Safety J*, Vol. 23, pp. 387~411.
- (7) Poreh, M. and Garrad, G., 2000, "A study of wall and corner fire plumes," *Fire Safety J*, Vol. 34, pp. 81~98.
- (8) 정진용, 유홍선, 홍기배, 2000, "실내화재에서 연기거동에 미치는 복사영향에 대한 수치해석 연구," 한국화재소방학회논문집, 제 14 권, 제 3 호, pp. 6~12.
- (9) Heskestad, G., 1984, "Engineering relations for fire plumes," *Fire Safety J*, Vol. 7, pp. 25~32.
- (10) Zukoski, E. E., 1995, *Properties of fire plumes*. In: Cox G, editor. *Combustion fundamentals of fire*, London: Academic Pres, pp. 101~220.
- (11) Emmons, H. W., 1995, *Vent flows*, In *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineers*, Boston, pp. 240~249.
- (12) MaCaffery, B. J., 1979, *Purely buoyant diffusion flames: Some experimental results*, National Bureau of Standards. NBSIR 79-1910.