

환기부족 구획화재의 열적 특성

김 성 찬[†], Anthony Hamins*

경일대학교 소방방재학부, *미국립 표준기술연구원

Thermal Characteristics of Under Ventilated Compartment Fire

Sung Chan Kim[†], Anthony Hamins*

School of Fire and Disaster Prevention, Kyungil University, Kyungsan, 712-701, Korea

**Building and Fire Research Lab., NIST, Gaithersburg, 20899, USA*

(Received February 14, 2008; revision received November 28, 2008)

ABSTRACT: The present study has been performed to investigate the thermal characteristics of under-ventilated compartment fire which is a typical fire condition in structures. A series of fire experiments was conducted to characterize the thermally driven flow in a 2/5 scale ISO 9705 fire compartment. Three different fuels were used in this test series, methane gas, heptane pool, and polystyrene pellets fire. In order to measure accurate temperature, double shield aspirated thermocouples reducing the effect of radiative energy exchange on temperature measurement were used in addition to bare bead thermocouples. The upper layer temperature for well ventilated fire was increased with increasing heat release rate, but it was slightly decreased for under-ventilated fire. The measured temperatures in the upper layer at the front sampling location were higher than at the rear. Thermal characteristics through the doorway were also analysed for a wide range of heat release rates. This study provides a comprehensive and quantitative assessment of fire behavior for under-ventilation condition of fire.

Key words: Enclosure(밀폐공간), Compartment fire(구획화재), Under ventilated fire(환기지배화재), Reduced scale experiment(축소모형실험)

기호설명

A_o	: 출입구 단면적 [m^2]
D	: 화원 직경 [m]
H_o	: 출입구 높이 [m]
ΔH_c	: 연소열 [kJ/kg]
MW	: 분자량 [g/mol]
\dot{m}	: 질량유량 [kg/s]
Q	: 발열량 [kW]

T : 측정온도 [$^{\circ}\text{C}$]

X : 몰분율 [mol/mol]

그리스 문자

ϕ	: 산소소모계수
a	: 화학적 팽창계수

하침자

[†] Corresponding author

Tel.: +82-53-850-7592; fax: +82-53-850-7592

E-mail address: sungkim@kiu.ac.kr

asp : 흡입형 열전대

bb : 노출 비드형 열전대

1. 서 론

일반적으로 화재실 내부의 연소상태는 환기조건에 따라 공기 공급이 부족한 경우 화재특성이 환기조건에 제배적인 영향을 받는 환기 지배형(ventilation controlled fire) 혹은 환기부족 화재(under ventilated fire)와 환기량이 충분하여 화재성상이 화원의 특성에 의해 지배되는 연료 지배형(fuel controlled fire) 화재 또는 과환기 화재(over ventilated fire)로 구분된다. 그중에서 환기 지배형 화재는 화재 성장에 의해 화재 공간 내부에 가연 연료가 충분하고 연소에 필요한 산화제의 공급이 상대적으로 부족하여 발생한다. 이러한 환기 지배형 화재는 화재실로 공급되는 공기의 양에 비해 열적 피드백(thermal feedback)에 의해 가연성 연료 증기(fuel vapor)가 과다하게 생성되기 때문에 공간내부는 불완전 연소상태가 되어 그을음(soot)이나 일산화탄소(CO)와 같은 유독가스가 다량으로 생성된다. 더욱이 다량의 가연 가스는 플래쉬오버(flashover)나 화재폭발(fire ball), 역화(backdraft)와 같은 상황으로 발전하여 화재공간으로부터의 피난이나 구조, 소방활동에 큰 위협요소로 작용하게 된다. 그러나 대부분의 실내화재에 대한 연구는 공기의 공급이 원활한 연료 지배형 화재에 대한 연구가 주류를 이루어 왔고 화염 거동에 의한 영향보다는 잘 발달된 화재에서 발생되는 연기 거동에 초점을 맞추어 공간내부의 열 및 물질 전달 특성을 해석하는 연구가 주로 수행하여 왔다.⁽¹⁻²⁾ 이러한 연료 지배형 화재의 경우 화재특성에 대한 이해가 상대적으로 높고 실험에 기초한 모델을 이용하여 수치해석이나 이론적 모델의 타당성이 비교적 잘 검증되어 왔다.⁽³⁻⁴⁾ 그러나 환기 지배형 화재의 경우 실험적인 재연 및 측정의 어려움과 수치해석 모델의 한계 등으로 인하여 지금까지 상세한 메커니즘을 규명하기 위한 연구가 제한적으로 이루어져 왔다. 그러나 최근 들어 측정기술 및 수치해석 모델의 발달에 따라 환기 부족 상태의 화재특성을 해석하고자 하는 연구가 활발히 진행 중이다.

Pitts⁽⁵⁾는 기존의 여러 가지 실험결과를 바탕으로 총괄 당량비(GER, global equivalence ratio)를 이용하여 환기상태에 따른 화재실 내부의 CO 농도를 예측하고자 하였고 제한적인 경우에 있어서

CO 생성 메커니즘을 규명하였다. Blomqvist et al.⁽⁶⁾은 ISO-9705 화재실 내부의 환기 지배형 화재에 대한 실험적 연구를 수행하였으며 국부적인 당량비와 독성가스의 생성에 관한 연구를 수행하였다. 한편 McGrattan et al.⁽⁷⁾은 화재 수치해석 분야에 널리 이용되고 있는 FDS(Fire Dynamics Simulator, version 5)의 새로운 버전에서 다변수 혼합분율 연소모델(multi-parameter mixture fraction combustion model)을 적용하여 화염에서 생성되는 CO 및 타지 않은 연료를 해석함으로써 환기조건이 원활하지 못한 화재에 대한 수치모델의 적용범위를 확장하고자 하였다. 그러나 여전히 환기 지배형 화재에 대한 연소모델의 타당성에 대한 검토가 필요할 뿐만 아니라 해석코드의 실험적 검증이 충분히 이루어 지지 않은 실정이다. 일반적으로 환기 지배형 화재의 경우 화재실 내부 온도가 화염온도에 근접하기 때문에 복사열전달이 상대적으로 중요한 열전달 기구가 되고 이로 인해 정확한 온도장의 측정에 어려움이 있다. 뿐만 아니라 고온의 화염층은 주변가연물로의 화재전파 유도할 뿐만 아니라 화재 진압에 큰 어려움을 제공한다.

따라서 본 연구에서는 실험적 불확실성을 최소화한 화재 실험을 수행하여 환기 지배형 화재시 공간 내부의 열적특성을 이해함과 동시에 수치해석과 같은 관련연구에 신뢰성 높은 화재측정결과를 제공하여 모델의 타당성을 확보하는데 기본자료를 제공하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 화재실과 화원

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 실험 대상 화재공간은 0.98 m × 0.98 m × 1.46 m로써 ISO-9705 표준 화재실을 40% 크기로 축소한 모형이다. 화재실을 지지하고 변형을 최소화하기 위하여 프레임은 강철로 제작되었으며 프레임내부는 단열 재료를 이용하여 화재공간을 제작하였다. 환기 지배형 화재를 재현하기 위하여 본 연구에서는 가스 연료인 메탄(CH₄), 액체 연료인 햄탄(C₇H₁₆), 고체연료인 폴리스틸렌(C₈H₈)을 이용하여 화재실험을 수행하였다. 축소 모형에 대한 표준 출입구 크기는 폭 0.48 m, 높이 0.81 m이다. 화재실 내부로

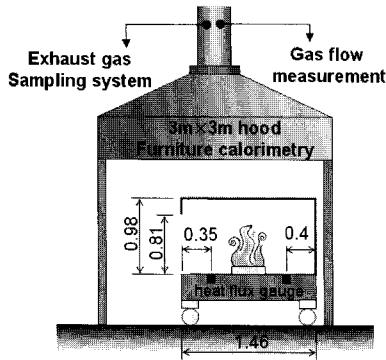


Fig. 1 Experimental setup for the reduced scale fire test.

공급되는 환기량의 영향을 파악하기 위하여 메탄 화재의 경우 표준 출입구 폭의 절반인 0.24 m 폭의 출입구에 대한 실험을 추가적으로 수행하였다. 메탄 화재와 헵탄 화재에 대해서는 한 변의 길이가 25 cm인 정사각형 베너가 사용되었다. 화원의 내부형상은 역 피라미드 형태로써 측면이 경사지게 제작되어 공급되는 연료의 양에 따라 표면적이 변화하도록 설계되었다. 화원의 깊이방향으로 설치된 열전대는 연료표면의 위치를 파악하는데 이용되었으며 외부에서 연료를 공급하여 준정상 상태에서 연료면의 표면적과 깊이가 일정하게 유지되도록 하였다. 고체 화재는 직경이 22 cm, 40 cm, 60 cm인 원형 팬(pan)에 폴리스틸렌 고형분(pellets)은 채운 후 파일럿 점화(pilot ignition)를 통해 초기 발화를 유도하였다.

2.2 발열량 측정

발열량(HRR, heat release rate)의 측정은 NIST (National Institute of Standards and Technology)의 화재 실험동에 설치되어 있는 3 m × 3 m 정사각 후드를 가진 산소소모 열량계를 이용하였다. 이 열량계의 순간 최대 측정 발열량은 1 MW 정도이며 측정 불확실성(measurement uncertainty)은 연료의 물성을 알고 있는 경우 약 14%이며 연료의 물성이 알려지지 않은 경우 약 20% 정도이다. 발열량은 산소 소모법⁽⁸⁾(oxygen consumption principle)에 의해 산정되었으며 배기덕트에서의 가스농도와 질량유량의 측정에 의해 다음과 같이 결정된다.

Table 1 Summary of fire tests

Fuel type	Pan size [cm]	Range of HRR [kW]	Opening size [cm]
methane	25	75~400	48/24
heptane	25	0~400	48
polystyrene	22, 40, 60	15, 67, 357*	48

주) * heat release rate of quasi-steady state.

$$Q = \Delta H_{c,O_2} \phi \frac{m_e}{1 + \phi(\alpha - 1)} (1 - X_{H_2O}^o) \frac{MW_{O_2}}{MW_{air}} \quad (1)$$

여기서 $\Delta H_{c,O_2}$ 는 산소의 연소열, m_e 는 배기덕트의 질량유량을 나타내고 α 는 화학적 팽창계수, MW 는 분자량을 나타낸다. ϕ 는 산소소모계수(oxygen depletion factor)로써 다음과 같이 나타낸다.

$$\phi = \frac{X_{O_2}^o (1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2} (1 - X_{CO_2}^o)}{(1 - X_{O_2} - X_{CO_2} - X_{CO}) X_{O_2}^o} \quad (2)$$

여기서 X 는 측정 가스의 몰분율, 윗첨자 ^o는 초기 조건을 의미한다. Table 1은 본 연구의 실험조건을 요약하여 나타낸다.

2.3 열유동장 측정

화재실 내부의 온도장은 일반적으로 널리 이용

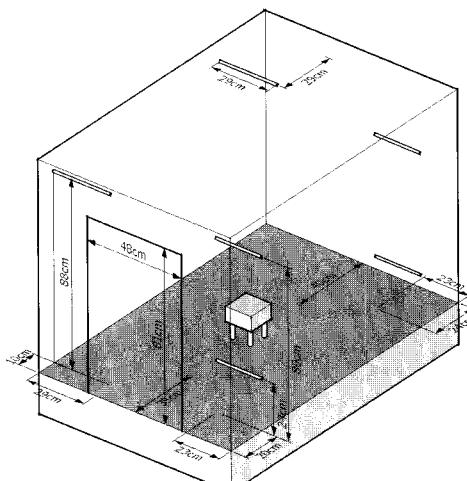


Fig. 2 Location of measurement probes inside of the fire compartment.

되는 노출 비드형(bare bead) 열전대와 흡입형 열전대(aspirated thermocouple)를 이용하여 측정되었다. 노출 비드형 열전대는 구조가 간단하고 측정이 용이한 장점이 있으나 주변으로부터의 복사 열전달에 의해 신뢰할 만한 온도를 측정하는 데 어려움이 있다. 본 연구에서는 복사 열전달의 영향을 최소화 하고 대류열전달 효과를 극대화 하여 기상의 온도를 상대적으로 정확하게 측정하는 이중 차폐 흡입형 열전대(double shield aspirated thermocouple)를 이용하여 온도측정 불확실성을 최소화 하였다.⁽⁹⁾ Fig. 2에서 보는 바와 같이, 화재실 내부의 온도는 상층부의 4개 위치와 하층부의 2개 위치에서 흡입형 열전대와 노출 비드형 열전대를 이용하여 동일위치에서 동시에 측정되었으며 출입구를 통한 수직방향의 온도분포는 바닥에서 10 cm 간격으로 설치된 노출 비드형 열전대와 바닥으로부터 30 cm, 50 cm, 70 cm 위치에 설치된 흡입형 열전대에 의해 측정된다.

화재실 바닥면에서의 열유속을 측정하기 위하여 6.4 mm 직경의 Schimit-Boelter type 열유속계(heat flux gauge)를 설치하였으며 측정오차는 약 $\pm 6\%$ 정도이다. 열유속계는 화재실의 중심을 따라 바닥면에 설치되고 출입구에서 35 cm와 106 cm 떨어진 위치에 설치된다.

화재실 출입구를 통한 유속은 직경이 13 mm 인 이방향 차압 프로브(bi-directional probe)를 이용하여 측정하였고 불확실성 해석(uncertainty analysis)을 통해 얻은 측정오차는 화재의 종류 및 크기에 따라 최소 7%에서 최대 약 30%까지 나타난다. 이방향 차압 프로브에서 기상의 속도는 프로브전면부와 후면부의 압력차 (ΔP)와 측정온도에 의해 결정된다.

$$U = \frac{1}{K_p} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = \frac{1}{K_p} \sqrt{\frac{2R}{P_{ref}MW_{gas}}} \Delta P T_{gas} \quad (3)$$

여기서 ΔP 는 측정압력차, R 는 이상기체 상수, MW 는 분자량, T_{gas} 는 측정온도를 나타낸다. 이 때 K_p 는 프로브 상수 (probe constant)로서 레이놀즈수가 1000보다 큰 경우에 대해 1.08 ± 0.05 의 값을 적용한다.⁽¹⁰⁾

3. 실험결과 및 고찰

3.1 화재실 내부의 열유동장

환기 지배형 화재의 경우 화염이 화원부에 국한되는 것이 아니라 공간내부에 가연성 연료 증기가 충분히 존재하기 때문에 화염이 화재 공간 상층부에 걸쳐 형성되고 화재실 내부의 열적상태는 복사 열전달에 의해 큰 영향을 받는다. 본 연구에서는 화재실 내부의 열유동장을 분석하기 전에, Fig. 3에서 보는 바와 같이 출입구의 상층부 ($z = 70\text{ cm}$)와 하층부 ($z = 30\text{ cm}$)에서의 노출 비드형 열전대와 흡입형 열전대에 의해 측정된 온도차를 비교 분석하였다. 사용된 화원은 헵탄 풀화재이며 최대 발열량은 약 400 kW이다. 기상의 온도와 주변의 온도가 상대적으로 높은 상층부에서는 흡입형 열전대와 노출 비드형 열전대의 측정결과가 50 °C 이내에서 유사한 결과를 보인다. 그러나 기상의 온도가 상대적으로 낮고 주변의 온도가 높은 하층부의 경우 노출 비드형 열전대에 의해 측정된 온도는 화원 및 상층부로부터 직접적인 복사열의 영향으로 흡입형 열전대로 측정된 온도에 비해 최대 약 300 °C 이상 높게 측정되었다. 화재 조건에 대한 노출 비드형 열전대의 온도측정 불확실성은 이전연구에서 상층부의 온도가 증가함에 따라 하층부의 온도측정 불확실성이 상층부의 온도측정 불확실성에 비해 크게 증

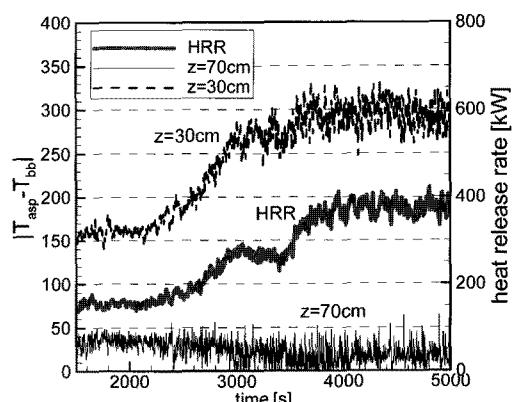


Fig. 3 Comparison of the measured temperature using the bare bead and the aspirated thermocouple at the doorway of the fire compartment for heptane pool fire.

가한다고 보고되고 있으며^(9, 11) 본 연구는 이러한 경향을 실험적으로 잘 보여주고 있다. 따라서 이러한 고온의 화재실 온도장을 보다 정확하게 측정하기 위해서는 복사열의 영향을 최소화하거나 보정할 수 있는 방법이 필요하며 본 연구에서는 상층부와 하층부의 주요 위치에 대하여 노출 비드형 열전대와 흡입형 열전대를 동시에 설치하여 온도를 측정하였다.

Fig. 4는 시간에 따른 메탄 화재의 발열량 변화 및 화재실 상층부에서 흡입형 열전대에 의해 측정된 온도변화를 나타낸다. 발열량이 약 180 kW인 경우 상층부의 온도는 1000 °C를 초과하여 최대 온도를 나타낸다. 이후 발열량의 증가는 외기의 공급에 의해 연료 과잉상태가 되고 환기 지배형 화재를 형성하게 된다. 이때 화재실 상층부의 산소농도는 희박하여 제한적인 연소가 일어나고 공기가 유입되는 경계면이나 출입구 근처에서 활발한 연소가 이루어지며 화염은 출입구를 통해 외부로 분출된다. 발열량 증가에 기인한 상층부 내 타지 않은 연료의 증가는 화염경계면을 하강시키고 이로 인해 발열량이 270 kW와 400 kW인 경우 환기부족으로 인하여 상층부에서 불완전 연소가 이루어진다. 이러한 화염면의 하강과 제한적인 연소반응으로 인해 상층부 측정위치에서의 온도는 감소하는 것으로 판단된다. 그러나 다시 연료의 공급이 감소하면 화염면은 상승하고 상층부의 온도는 증가하였다.

Fig. 5는 다양한 화원조건에 대하여 준정상상

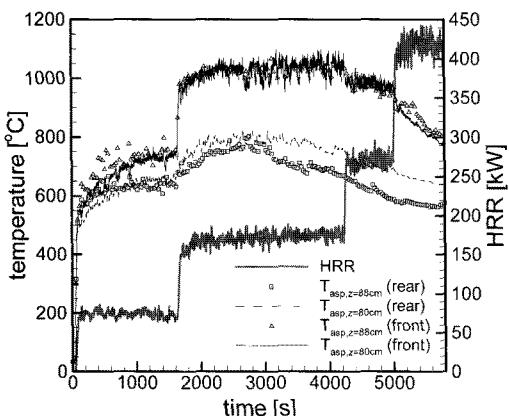


Fig. 4 The measured temperature of upper and lower layer in the fire compartment for given HRR of the methane fire.

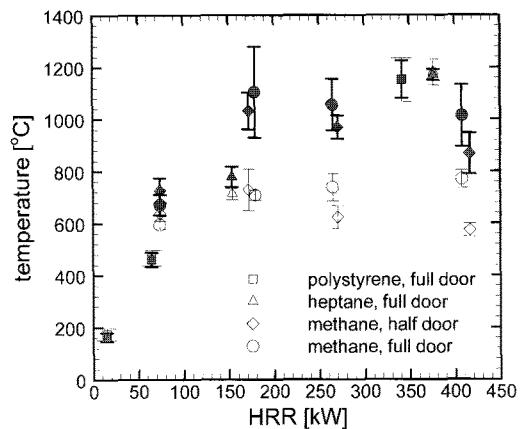


Fig. 5 Comparison of upper layer temperature using the aspirated thermocouple for the different fire types (solid symbols : front, hollow symbols : rear).

태의 화재공간 전실부(출입구 방향)와 후실부(화재실 안쪽)에서의 상층부 온도를 나타낸다. 화재 공간의 전실부는 출입구에서 공급되는 공기에 의해 연소반응이 후실부에 비해 상대적으로 활발하게 일어나고 화염의 경계면이 후실부에 비해 상대적으로 높게 된다. 이로 인해 화재공간의 전실부 측정위치에서의 온도가 후실부에 비해 상대적으로 높게 나타난다. 동일 화원에 대하여 환기조건에 따른 영향을 파악하기 위하여 출입구의 폭이 48 cm인 완전 개방 출입구 경우와 출입구의 폭이 절반인 반개방 출입구에 대하여 상층부 온도를 비교해 보면 완전 개방 출입구의 경우가 반개방 출입구에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 이는 반개방 출입구의 경우 출입구 면적 감소로 인하여 외부공기의 유입이 감소하고 이로 인하여 완전 개방 화재실에 비해 환기 부족상태가 심화되어 연소반응이 활발하지 못하기 때문에 상층부에서의 온도가 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 연료나 발열량에 따라 차이는 있으나 환기 지배형 화재의 경우 상층부의 온도는 전실부에서 약 900~1200 °C, 후실부에서 600~900 °C 정도로서 전체적으로 전실부에서 약 200~300 °C 정도 높게 나타났다.

Fig. 6은 바닥에 설치된 열유속계에 의해 측정된 준 정상상태에서의 연료 종류 및 발열량에 따른 열유속을 보여준다. 화원의 크기가 150 kW 이상인 경우 연료의 종류에 관계없이 바닥에서의

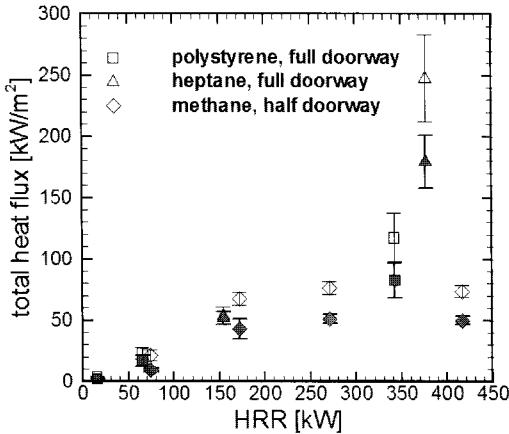


Fig. 6 Comparison of heat flux on the front and rear floor level for different fuel type and heat release rate(solid symbols : front, hollow symbols : rear).

열유속은 목재나 다른 고체가연물의 임계 열유속(critical heat flux)인 약 30 kW/m²을 초과하고 있음을 보여준다. 연료의 종류나 발열량 크기 정도에 관계없이 전체적으로 후실부 바닥에서의 열유속이 전실부 바닥에 비해 상대적으로 높은 값을 나타낸다. 이는 출입구의 하부로 유입되는 외부공기에 의해 화재실의 전실부에서 대류열전달에 의한 냉각효과가 크기 때문이다. 또한 환기량이 부족한 화재의 경우 화염 경계면이 후실부 쪽에서 더 많이 하강하기 때문에 바닥에서부터 화염면 사이의 거리가 후실부 쪽이 더 가깝고 화염으로부터의 직접적인 열전달의 영향을 후실부 쪽에서 많이 받게 된다. 이러한 이유로 후실부 바닥의 열유속이 전실부 바닥에 비해 상대적으로 높게 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 준정상 상태의 폴리스틸렌 화재에 대한 화원크기별 화재실 출입구 중앙에서의 온도분포를 나타낸다. 준 정상상태의 발열량의 크기는 화원의 직경이 22 cm, 40 cm, 60 cm인 경우에 대하여 각각 15 kW, 67 kW, 357 kW이다. 발열량이 증가하여 상층부 온도가 상승함에 따라 노출 비드형 열전대의 측정온차는 증가한다. 또한 유입 공기의 온도가 낮고 주변의 온도는 높은 출입구의 하부에서 측정온차는 증가한다.^(9, 11) 발열량이 증가함에 따라 바닥으로부터 5 cm 위에 설치된 노출 비드형 열전대의 측정온도가 위쪽(10 cm)에 설치된 열전대에 의해 측정된 온도에 비해 높게

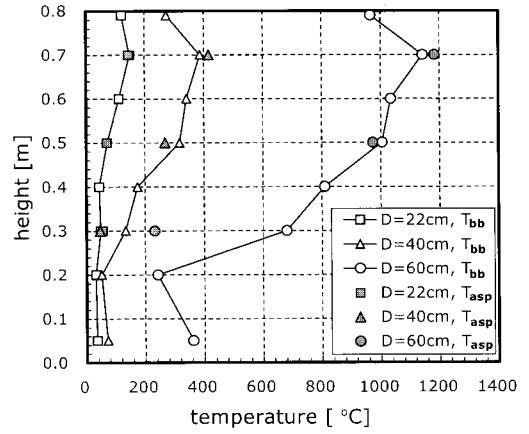


Fig. 7 Comparison of the vertical temperature profile through the doorway for the polystyrene fires.

나타나는데 이는 발열량 증가로 인해 바닥면에서 많은 복사열이 흡수되고 고온의 바닥면으로부터 가장 가까운 열전대로의 연전달이 증가하여 열전대의 측정 온도가 상승하는 것으로 판단된다. 최대발열량에 대하여 출입구 상층부에서의 최대온도는 1100 °C 이상을 나타낸다.

환경조건에 따른 출입구에서의 온도변화를 비교하기 위하여 Fig. 8에서 보는 바와 같이 메탄화재시 완전개방 출입구와 반개방 출입구에 대하여 외기공급이 충분한 75 kW 화재와 환기 지배형 화재인 400 kW 화재에 대하여 온도분포를 비교하였다. 발열량이 75 kW인 경우 연소 반응이 화원부근으로 제한되기 때문에 화재실의 상층부에는 화원에서 생성된 연소가스가 성층화를 이루게 되고 높이에 따라 출입구에서의 온도분포는 증가하는 경향을 보이게 된다. 일반적으로 환기량이 충분한 화재의 경우 외부에서 유입된 공기의 일부는 연소반응에 참여하여 열플럼(thermal plume)을 형성하고 나머지는 상층부로 유입되어 화재실의 온도를 냉각시키는데 기여하게 된다. 화재실로의 외기유입량(\dot{m}_a)은 출입구의 기하학적 형상에 의존하게 된다.⁽¹²⁾

$$\dot{m}_a = KA_o \sqrt{H_o} \quad (4)$$

여기서 A_o 는 출입구의 단면적, H_o 는 출입구의 높이, K 는 경험상수를 나타낸다. 따라서 상대적

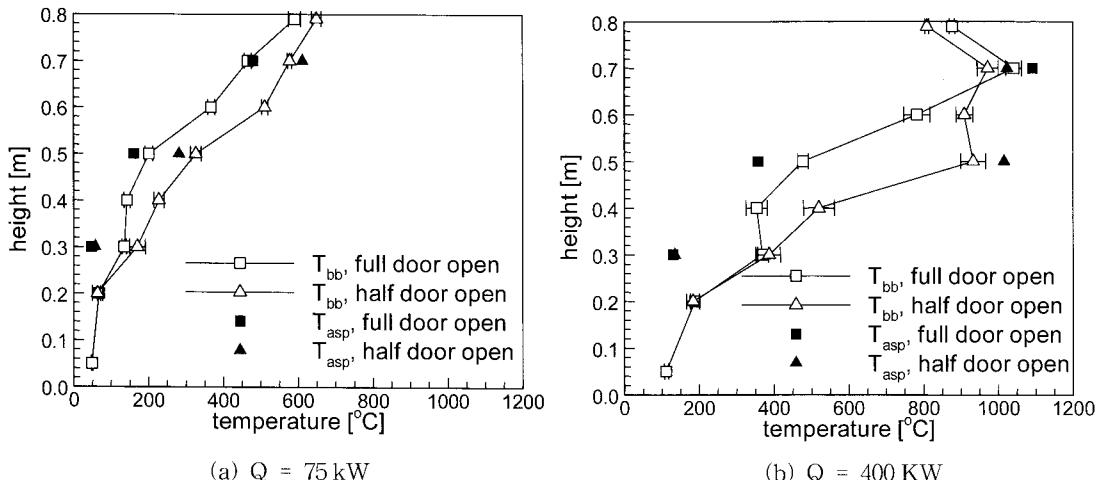


Fig. 8 Vertical temperature profiles through the doorway for the methane gas fires.

으로 외기의 공급이 많은 완전개방 출입구의 경우 외기에 의한 냉각효과로 인하여 상층부에서의 온도가 반개방 출입구에 비해 약 100°C 이상 낮게 나타났다.

발열량이 400 kW인 반개방 출입구의 경우, 화원에서 공급되는 연료에 비해 외부에서 유입되는 공기가 상대적으로 부족하여 불완전 연소가 일어나고 타지 않은 연료(unburned fuel)가 존재하게 된다. 그러나 상대적으로 산소공급이 원활한 출입구 근처나 하층부와의 경계에서는 활발한 연소반응이 이루어진다. 따라서 출입구의 온도분포는 화재실의 상층부에서 유출되는 가연 연료가 활발하게 연소되기 때문에 상층부의 온도는 1000°C 이

상 상승하고 상층부와 하층부의 온도구배는 증가하게 된다. 한편, 완전개방 출입구의 경우 출입구의 상층부에 화염이 존재하기 때문에 최대온도는 유사하지만 환기량에 따른 화염면의 위치는 완전 개방 출입구의 경우가 반개방 출입구에 비해 화염면이 더 높게 형성된다. 이는 상대적으로 더 많은 외부 공기가 화재실로 유입되기 때문에 연소반응이 보다 활발하고 상층부에서 타지 않은 연료량이 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 9는 75 kW와 400 kW 메탄 화재에 대한 출입구에서의 속도분포를 나타낸다. 발열량이 75 kW인 경우 상층부에서의 최대속도는 약 4 m/s 정도이며 400 kW의 경우 6 m/s까지 증가한다. 하층부에서의 화재실로 들어오는 유입속도는 약 0.5 m/s 범위에서 비교적 균일하다. 출입구에서 유입과 유출의 경계가 되는 중립높이는 400 kW 화재의 완전 개방 출입구에서 약 29 cm 정도로 가장 낮고 75 kW화재의 반개방 출입구에서 약 38 cm로 가장 높다. 그림에서 보는바와 같이 중립높이(neutral height)는 발열량이 클수록, 출입구의 폭이 좁을수록 감소함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 ISO 9705 표준화재공간의 40% 크기의 모형 공간에 대하여 연료종류, 출입구의 크기, 발열량 조건에 따른 화재실 내부의 열적특성을 파악하였으며 특히 환기 부족 상태의 화재특성을

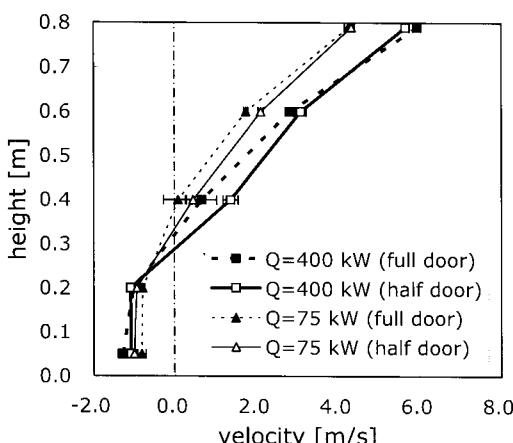


Fig. 9 Vertical velocity profile through the doorway for the methane gas fire.

중점적으로 해석하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같이 요약된다.

- 화재실 내부의 온도가 상승함에 따라 노출 비드형 열전대의 측정온차는 증가하게 된다. 특히 햅탄 폴화재의 환기부족 상태의 경우 출입구의 하층부에서 노출 비드형 열전대에 의해 측정된 온도는 흡입형 열전대에 비해 약 300 °C 이상 높게 나타났다.
- 발열량이 150 kW 이상인 경우 화재실 바닥에서의 열유속은 30 kW/m² 이상을 나타내며 이는 목재와 같은 가연성 고체물질의 발화를 유도하는 임계열유속 이상의 값을 나타낸다.
- 환기량이 충분한 상태에서 화재실 상층부의 온도는 발열량이 증가함에 따라 증가하지만 환기 지배형 화재에서는 상층부의 온도가 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 상층부내에 산소부족, 연료파이프로 인하여 연소반응이 제한적으로 발생하기 때문인 것으로 판단된다.
- 환기부족 화재에서 출입구의 감소는 화재실로 공급되는 외부 공기의 공급량이 감소하여 상층부내에 가연 연료의 양이 증가함과 동시에 산소농도가 감소하게 되어 화염면이 정상 출입구에 비해 더 아래쪽으로 하강하게 된다.

본 연구는 환기조건에 따른 화재실 내의 열적 특성을 파악하기 위한 기초연구로써 축소실험의 정량적인 검증을 위해서 향후 실규모 실험과의 비교검토등 다양한 추가적인 연구가 지속적으로 요구된다.

후 기

본 논문은 지식경제부 지정 경일대학교 자동차 부품시험지역혁신센터의 지원을 받아 수행하였음

참고문헌

1. Steckler, K. D., Quintiere, J. G. and W. J. Rinkinen, 1982, Flow induced by fire in a compartment, NBSIR 82-2520, National Bureau of Standards, MD, USA.
2. Tran, H. C. and Janssen, M. L., Room Fire Test for Fire Growth Modeling-A Sensitivity Study, Journal of Fire Science, Vol. 7, No. 4, pp. 217-236.
3. Kim, S. C. and Lee, S. C., 2006, Numerical prediction of smoke concentration in a compartment fire by using the modified volumetric heat source model, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 344-350.
4. McGrattan, K. B., Baum, H. R. and Rehm, R. G., 1998, Large Eddy Simulations of Smoke Movement, Fire Safety Journal, Vol. 30, No. 2, pp. 161-178.
5. Pitts, W. M., 1995, The Global Equivalence Ratio Concept and the Formation Mechanism of Carbon-Monoxide in Enclosure Fire, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 21, No. 3, pp. 197-237.
6. Blomqvist, P. and Lonnermark, A., 2001, Characterization of the combustion products in large-scale fire tests : Comparison of three experimental configurations, Fire and Materials, Vol. 25, No. 2, pp. 71-81.
7. McGrattan, K. B., Klein, B. W., Hostikka, S. and Floyd, J. E., 2007, Fire Dynamics Simulator(Version 5), User's Guide, NIST Special Publication 1019-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.
8. Parker, W. J., 1984, Calculations of the Heat Release Rate by Oxygen Consumption for Various Applications, Journal of Fire Science, Vol. 2, No. 5, pp. 380-395.
9. Kim, S. C. and Hamins, A., 2008, On the temperature measurement bias and time response of an aspirated thermocouple in fire environment, Journal of Fire Science, Vol. 26, No. 6, pp. 509-529.
10. McCaffrey, B. J. and Hesketh, G., 1976, Robust Bidirectional Low-Velocity Probe for Flame and Fire Applications, Combustion and Flame, Vol. 26, No. 1, pp. 125-127.
11. Blevins, L. G. and Pitts, W. M., 1999, Modeling of Bare and Aspirated Thermocouples in Compartment Fires, Fire Safety Journal, Vol. 33, pp. 239-259.
12. Drysdale, D., 1986, An Introduction of Fire Dynamics, A Wiley-Interscience Publication.