건축물에서 플래시오버 예측에 관한 실험적 연구

Experimental Study of Flashover Prediction for Building

권오상* · 권기석**

Kweon, Ohsang*, and Kwon, Kiseok**

Abstract

Preventing the spread of fire in buildings is necessary to avoid large fires that can occur by the spread of initial flames during a fire accident. Spread of fire in a compartment is affected by the internal fire load and ventilation characteristics, except for firefighting systems such as sprinklers. In this study, a real scale fire experiment was conducted in a compartment using wooden cribs to analyze the method of predicting the occurrence of flashover by ventilation characteristics such as opening size. The results revealed a maximum heat release rate of 2,091.67 kW and a maximum heat release rate difference of approximately 24-26%, caused by a difference in the opening size under the same fire load.

Key words : Flashover, Heat Release Rate, Real Scale Fire Experiment, Ventilation Factor

요 지

건축물에서의 화재확산 방지는 화재사고 초기에 화염이 건축물 전체로 확산되어 대형화재로 확대되는 것을 방지하고 이를 통해 인명과 재산의 피해를 저감하는데 목적을 가진다. 구획 공간 내에서의 화재확산은 스프링클러 등과 같은 소방시스템을 제외하고 내부의 화재하중과 환기 특성의 영향을 받는다. 본 연구에서는 개구부 크기와 같은 환기특성에 의해 플래시오버 발생을 예측하는 방법을 분석하기 위해서 목재크립을 사용하여 구획공간의 실규모 화재실험을 진행하였다. 실규모의 화재실험 결과는 최대 열방출률이 2,091.67 kW로 측정되었고 화재하중이 동일한 조건에서 개구부 차이에 의해 약 24~26%의 최대 열방출률 차이가 발생했다.

핵심용어 : 플래시오버, 열방출률, 실규모 화재실험, 환기특성

1. 서 론

건축물에서 발생하는 화재 사고에 따른 인명과 재산 등의 피해를 저감시키기 위해 제도적 장치와 화재방호 기술이 개발 및 발전되고 있지만, 현실적으로 다양한 화재 발생과 확산 원인을 모두 고려하기는 어려운 실정이다. 국내·외에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 법규위주의 기준과 성능위주의 기준을 제도에 반영해서 사용하고 있다.

법규위주의 기준은 법, 시행령 또는 규칙 등에서 대상 건축물의 화재안전 기준 및 성능을 제시하여 이를 준수하도록 하는 방법으로 보편적으로 다수의 건축물에 적용하기는

용이하지만 초고층과 대공간 건축물 등과 같이 다양하고 복잡한 화재위험을 내포하고 있는 건축물에서는 최적 설계가 어렵다. 이를 보완하기 위해 성능위주 기준들이 국내·외에서 제시되고 있으며, 현재 국내에서는 소방시설 분야에서만 적용되어 시행되고 있다.

성능위주 설계에 대한 기존 연구에서는 성능위주 설계의 핵심은 전산유체역학 등을 사용하여 설계단계에서부터 건축물의 화재 및 피난 안전성을 확보하는 것이어서 화재시물레이션용 전산유체역학 모델과 피난 시물레이션용 소프트웨어가 필요하고 화재 시나리오에 따라 정확한 입력 자료를 사용해야 타당한 결과를 얻을 수 있다고 제시하였다(Lee

*교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 수석연구원(Tel: +82-31-369-0546, Fax: +82-31-369-0540, E-mail: oskweon@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Department of Fire Safety Research, KICT

**한양대학교 건축시스템공학과 박사과정

Ph.D. Candidate, Department of Architectural Engineering, Hanyang University

et al., 2012).

성능위주 설계는 대상 건축물의 화재 크기 및 확산 위험을 사전에 예측하고 이를 위한 방호대책을 수립하는 방법으로 진행되기 때문에 화재 크기의 예측이 가장 중요하다. Lee (2014)는 화재로부터 안전한 성능설계안을 만들어 내기 위해서는 화재의 크기를 예측·분석하는 과정이 선행되어야 하는데 이러한 화재크기를 설계화재라고 하고 성능설계에서 설계화재의 개발 및 선정단계는 시험설계안의 개발 및 평가에서 그 위험의 대응방법을 밝히는데 중요한 요소가 된다고 나타내었다.

설계화재에서 고려되는 대표적인 인자는 온도와 열방출률(Heat Release Rate, HRR)로 나타낼 수 있다(Barnett, 1998). Kweon et al. (2012)의 연구에서 건축물의 내·외부 마감재료의 화재안전 성능, 개구부의 영향, 가연물량과 배치 등은 화재 사고 발생 시 화재를 확대시키는 중용한 요인으로 작용한다고 하였다. 가연물량은 화재하중으로 제시될 수 있으며, Kwon and Lee (2008)는 가연물이 완전 연소한 경우에 발생하는 열량의 총계를 화재하중이라 나타내고 화재하중의 크기는 주로 건축물의 용도 및 구획용도에 따라 결정된다고 제시하였다.

특히 구획 공간이 환기배열일 경우의 연소율은 Kawagoe (1958)가 실험을 통해 개구부를 통해 유입되는 공기량에 의해 지배되는 것으로 제시하였고 Yun et al. (2016)은 구획화재에서 환기량과 구획의 형상은 화재특성을 결정하는 주요 물리인자로서 화재현상의 이해를 위한 중요 요소로 인식되고 있고 환기량과 구획 형상의 변화는 화재실 내부 유동과 열적 특성에 영향을 미치게 되어 연층 높이, 열 방출율과 플래시오버 발생 시기 등의 화재특성에 차이를 유발한다고 제시하였다.

구획 공간에서 환기특성에 따른 화재특성은 연구한 Hwang (2012)은 공간의 개방도가 큰 경우에는 플래시오버에 도달하는 시간이 길어지는 반면에 밀폐도가 증가된 공간에서는 보다 짧은 시간에 전실화재가 발생되는 큰 위험성에 노출되어 결과적으로 반밀폐된(semi-closed) 구획에서는 보다 쉽게 환기부족화재(또는 환기배열화재)로 성장될 수 있으며, 충분한 환기면적을 갖는 과환기화재(또는 연로지배형화재)에 비해 더욱 불규칙하고 복잡한 화재거동을 보이게 된다고 하였다.

Buchanan (2001)은 건축물에서 화재 발생 시 플래시오버를 기준으로 하여 화재성장 단계를 제시하였으며, 플래시오버는 구획 공간의 온도가 약 600 °C에 도달하고 바닥 표면의 복사열이 약 20 kW/m²에 도달하여 노출된 모든 가연성 표면이 발화하여 빠르게 연소 확대되는 상황을 나타낸다. 이러한 플래시오버 현상이 구획 공간에서 발생되면 화재가 아주 높은 열방출률 및 고온이 특징인 최성기 화재에 도달하게 된다.

구획 공간에서 플래시오버를 예측하기 위한 방법으로 NFPA

(2008)에서 환기계수를 고려한 이론식들이 다음과 같이 제시되고 있다. Babrauskas의 방정식은 Eq. (1), McCaffery, Quintiere와 Harkleroad의 방정식은 Eq. (2)에서 Thomas의 방정식은 Eq. (3)에서 나타내고 있다.

$$\dot{Q} = 600 \cdot A_0 \sqrt{H_0} \quad (1)$$

$$\dot{Q} = 610 \cdot (h_k A_T A_0 \sqrt{H_0})^{1/2} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = 7.8 \cdot A_T + 378 \cdot A_0 \sqrt{H_0} \quad (3)$$

Eqs. (1), (2) and (3)에서 A_0 는 구획 공간에서의 개구부 면적이고 H_0 는 개구부의 높이이다. Eqs. (2) and (3)에서 A_T 는 구획실 표면의 총면적(m²)이고 Eq. (2)에서 h_k 는 유효 열전달계수(kW/m²·K)이다.

구획 공간에서 플래시오버의 발생 유·무는 화재가 최성기로의 성장 가능성을 판단하는 것으로 실제 건축물의 방호 수준 설정에 중요한 부분이다. 플래시오버의 예측을 위해서는 이론식과 함께 전산유체역학 소프트웨어를 활용되고 있으며, 국외에서는 이러한 방법의 신뢰성 확보 등을 위해 실험규모의 화재실험의 데이터를 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 실험규모의 구획화재 실험을 통해서 플래시오버 발생 예측에 대해 분석해보고 구획 공간에서 화재크기의 영향을 주는 환기계수와 화재하중의 영향도 함께 분석해보고자 하였다. 실험규모의 화재실험은 대형 칼로리미터인 Large Scale Calorimeter (LSC)에서 2.4(L) × 3.6(W) × 2.4(H) m 크기의 구획 공간을 구축하고 화원으로 목재크립을 사용하였다.

2. 실험규모 구획 화재실험

화재실험에서 사용되는 칼로리미터(Calorimeter)는 몇 가지의 크기가 있다. 가장 일반적인 칼로리미터는 0.1(L) × 0.1(W) m의 시험체를 시험할 수 있는 콘칼로리미터와 1~2 MW급의 퍼니처 칼로리미터(Furniture Calorimeter)가 있다. 실물화재 시나리오의 실험을 위해 보다 큰 화재를 측정할 수 있는 장비로는 10 MW급의 LSC가 있으며, LSC는 실험규모의 화재실험을 통해서 발생하는 연소가스를 분석하여 열방출률을 측정할 수 있다(KICT, 2003). Barauskas and Grayson (1992)은 기존 연구에서 대형 칼로리미터에서 측정되는 가장 기본적인 물리량은 열방출률이고 기본 측정원리는 순 연소열량은 연소에 필요한 산소의 양에 비례한다는 점을 기초로 산소 1 kg이 소모될 때 13.1 MJ/kg의 열량을 발생한다는 산소소모율법으로 산소농도와 배출가스 유량 등을 측정하여 계산되어진다고 제시하였다.

Lee (2006)는 Fig. 1과 같이 대형칼로리미터의 덕트 내부에 구성되어 있는 측정부의 구성 개념도를 제시하였다. 덕트

Fig. 1. Schematic Diagram of Measurement Station

내부에는 속도, 온도, 가스 측정 probe와 연기밀도 측정시스템이 설치되어 있다.

본 연구에서는 이러한 대형 칼로리미터를 사용하여 열방출률을 측정하고자 하였으며, Fig. 2에는 화재실험에 사용된 2.4(L) × 3.6(W) × 2.4(H) m 크기의 구획 공간을 나타내고 있다. 구획 공간은 전면부를 교체하는 방법으로 2종류의 개구부 크기를 설정하였다. Table 1에는 구획 공간의 상세내용 및 실험에 사용된 목재크립의 화재하중 값을 나타내고 있다.

Opening Size 1은 0.8(L) × 2.4(H) m이고 환기계수($A_0\sqrt{H_0}$)는 2.97을 나타낸다. Opening Size 2는 0.4(L) × 2.4(H) m이고 환기계수는 1.49를 나타낸다. 화재실험에서 화원은 목재크립을 사용하였으며, 목재크립의 함수율은 10~15% 내에 분포한다. 목재크립은 4개로 등분포 배치하였으며 초기 착화원으로 헵탄을 1개의 등분포당 0.5 L를 사용하였다. 목재크립의 화재하중은 Magnusson and Thelandersson (1970)이 기존 연구에서 적용하였던 데이터와 화재실험 시설 규모를 고려하여 30, 60 Mcal/m²로 정하였다.

(a) Opening Size 1

(b) Opening Size 2

Fig. 2. Compartment Mock-up

Table 1. Scenario of Compartment Fire Experiment

Compartment Size	2.4(L) × 3.6(W) × 2.4(H) m
Opening Size	#1: 0.8(L) × 2.4(H) m #2: 0.4(L) × 2.4(H) m
Fire Source	Wood Crib
Moisture content	10~15%
Ignition Source	Heptane
Fire Load	30 Mcal/m ² , 60 Mcal/m ²
Measurement	HRR (Heat Release Rate)

3. 실규모 구획 화재실험 결과

LSC에서 진행된 실규모 구획 화재실험은 총 2 타입의 개구부와 2개의 화재하중 값을 사용하여 총 4회에 걸쳐 진행되었다. 화재실험에 사용된 구획 공간은 철제 틀을 사용하여 제작하였으며, 반복적인 화재실험에 대한 보강을 위해 내부에 세라코울로 마감하였다. 개구부 사이즈의 변경은 전면부를 개구부 #1, 2 크기별로 2개를 제작하여 화재실험시에 교체하는 방식을 선택하였다.

화재실험은 목재크립을 화재원으로 사용하고 화재하중 값에 따라 4개의 단으로 등분포로 구성하였다. 단 하부에는 목재크립을 착화하기 위한 헵탄 풀버너를 점화원으로 사용하였다.

Figs. 3 and 4에서는 개구부 #1, 2에서 진행된 화재하중 30과 60 Mcal/m²의 화재실험을 보여주고 있다. 화재실험은 점화 → 화염확산 → 개구부 화염 출화 → 구획 공간 최성기 화재 → 쇠퇴기 → 화재실험 종료순으로 진행되었다.

화재실험은 헵탄 풀버너 착화 이후에 목재크립이 전소될 때까지 진행되었으며, 개구부 #1에서는 총 20분 동안 진행하였고 개구부 #2에서는 총 15분 동안 진행하였다. 헵탄 풀버너는 점화 후 약 2분에 소멸하였으며, 이후에 모든 목재크립으로 화염이 확산되었다.

동일 개구부 크기에서 화재하중별 화재실험 결과는 목재크립이 착화되고 개구부로 화염이 출화되는 시간은 약 1분으로 유사한 형태를 보였지만 출화된 이후의 화염의 크기는 화재하중이 큰 60 Mcal/m²에서 더 크게 나타났다.

동일 화재하중에서 개구부 크기의 차이별 화재실험 결과는 앞서 개구부 크기의 차이와 유사하게 외부로 출화되는 시간은 유사한 형태를 보이지만 개구부의 크기에 따라 출화되는 화염의 크기는 다르게 나타났다.

개구부 크기에 따라서 초기에 화재가 확산하는 상황은 유사하게 보이지만 구획 공간 내부의 공기량과 초기 이후에 외부에서 유입되는 공기량의 차이로 인해서 구획 공간 내부의 화재 성장의 차이가 발생하는 것으로 판단된다.

개구부 크기 및 화재하중별 화재실험을 통해서 시간에 따른 열방출률의 변화를 측정하였으며, Figs. 5와 6에 제시하였다.

Fig. 3. Photo of Real Scale Fire Experiment (#1)

Fig. 4. Photos of Real Scale Fire Experiment (#2)

(a) Opening Size #1

(b) Opening Size #2

Fig. 5. Results of Real Scale Fire Experiment (Fire Load)

실규모 화재실험을 통해서 측정된 열방출률은 내부의 가연물인 목재크립의 화재하중과 개구부의 크기에 따라 다르게 측정되었다. 개구부 #1에서는 화재하중이 30 Mcal/m²에서 실험 시작 1분에 최대 열방출률이 1,612.08 kW로 측정되었고 화재하중이 60 Mcal/m²에서는 실험 시작 2분 9초에 최대 열방출률이 2,091.67 kW로 측정되었다. 개구부 #2에서는 화재하중이 30 Mcal/m²에서 실험 시작 45초에 1,191.79 kW로 측정되었고 60 Mcal/m²에서는 1분 54초에 1,586.14 kW로 측정되었다.

열방출률은 착화과 함께 증가하면서 화재실험 시작 후 2분부터 감소되기 시작하였다. 개구부 #1에서는 약 7분부터, 개구부 #2에서는 약 9분부터 급격히 열방출률이 감소되기 시작하였다. 열방출률이 급격히 감소되는 것은 내부의 목재크립이 전소되는 시점이고 계속되는 열량은 구획 공간 내부의 열에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 6에서는 측정된 열방출률의 변화를 동일한 화재하중에서 개구부 크기의 차이에 따라 나타내었으며, Table 2에서는 최대 열방출률의 변동을 나타내었다.

(a) Fire Load 30 Mcal/m²

(b) Fire Load 60 Mcal/m²

Fig. 6. Results of Real Scale Fire Experiment (Opening Size)

Table 2. Opening Size vs. HRR

Opening Size (m)	Max. HRR (kW)	△HRR
Fire Load 30 Mcal/m ²		
0.8(L) × 2.4(H)	1,612.08	26.07%
0.4(L) × 2.4(H)	1,191.79	
Fire Load 60 Mcal/m ²		
0.8(L) × 2.4(H)	2,091.67	24.17%
0.4(L) × 2.4(H)	1,586.14	

화재하중 30 Mcal/m²일 때의 개구부 크기 차이로 인한 최대 열방출률 차이는 420.29 kW이고 변동율은 26.07%이다. 화재하중 60 Mcal/m²일 때의 개구부 크기 차이로 인한 최대 열방출률 차이는 505.54 kW이고 변동율은 24.17%이다.

실규모 화재실험에서의 개구부 크기의 차이는 2배이고 화재하중이 동일한 조건에서 약 24-26%의 최대 열방출률 차이가 나타났다. 구획공간에서의 초기 화재 성장은 개구부 크기에

대한 영향은 미비하지만 최대 열방출률은 개구부 크기 또는 환기 특성에 많은 영향을 받는 것으로 판단되어진다.

4. 플래시오버 예측에 대한 분석

화재가 발생될 수 있는 위험 요인을 사전에 분석하고 이를 제거하는 것이 가장 좋은 방법일 수 있지만 현실적으로 가능하지 않는다. 따라서 건축물에서의 방호대책은 화재가 발생되는 것을 전제로 하여 화재 발생의 초기 감지, 화재확산 억제 및 피난안전 등과 같은 분야에서 설계된다.

화재확산의 억제는 구획 공간 내에서 화염의 확산 억제를 위한 스프링클러 설비 등과 같은 소방시스템의 설치와 가연성 재료의 제한을 위한 마감재료의 성능 기준 등과 같은 건축시스템에 의해 설계된다.

현재 구획 공간 내의 화재확산에 큰 영향을 주는 환기특성을 방호대책에서는 포함시키지 못하고 있다. 일부 국가에서는 환기특성을 고려한 화재안전 기준을 제시하고 있으며, 그 예로 뉴질랜드에서는 건축물의 용도 및 특성에 따라 건축물 외벽에 창호 크기의 허용기준을 제시하고 있다(Ministry of Business, Innovation & Employment, 2014).

본 연구에서는 실규모 화재실험을 통해서 측정된 결과값과 기존에 사용되고 있는 이론적 계산값과의 비교 분석을 통해서 구획 공간 내에서의 환기특성에 따른 플래시오버 발생에 대하여 분석해 보았다.

Tables 3 and 4에서는 앞서 제시한 McCaffery, Quintiere와 Harkleroad의 식(이하 MQH), Babrauskas의 식과 Thomas의 식에 의해서 예측된 본 구획 공간에서의 플래시오버 발생 열방출률과 실규모 화재실험을 통해서 측정된 플래시오버 발생 열방출률의 도달 시간을 제시하고 있다.

구획 공간에서의 플래시오버 발생 가능 유·무를 예측하기 위한 이론식에서 MQH 식은 개구부 크기의 특성과 구획 공간 내부의 마감재료의 열전도율을 인자를 사용하고 있으며, Babrauskas와 Thomas의 식은 개구부 크기의 특성만을 고려하고 있다. 따라서 본 연구에서 MQH 식은 내부의 마감

재료의 열전도율에 따라 큰 차이를 보였다. 개구부 크기의 특성만을 고려한 Babrauskas와 Thomas의 식에서의 플래시오버 발생이 예측되는 열방출률의 값은 일부 차이가 발생하였다.

Babrauskas의 식은 개구부 #1의 Fire Load 30 Mcal/m²에서 열방출률이 1,784.67 kW 이상일 때, 플래시오버가 발생되는 것으로 계산되어졌다. 화재실험은 그 값에 열방출률이 도달하지 못하여 플래시오버가 발생되지 않는 것으로 예측될 수 있지만, 화재실험 시의 외부 화염 출화 등으로 판단할 경우 플래시오버가 발생한 것으로 판단되어 이는 해당 식이 정확히 열방출률을 예측하지 못한 것으로 분석된다.

5. 결 론

건축물에서 발생하는 화재사고에 대비하기 위해서 다양한 방호대책이 수립되고 있다. 화재확산의 억제는 초기 화재가 대형화재로 확산되어 인명과 재산의 피해가 커지는 것을 방지하는 대책으로 스프링클러 등과 같은 소방시스템과 내부 마감재료의 사용제한 등과 같은 건축시스템으로 구분될 수 있다.

스프링클러 등과 같은 소방시스템의 작동유무와 상관없이 화재확산은 내부의 가연물과 환기 특성 등에 따라 결정지을 수 있다. 건축물 내부 공간의 사용을 위한 가연물은 사전에 판단하고 사용을 제한하는 방식은 가능하지 않기 때문에 건축물의 용도 특성에 따라 화재하중을 결정하는 방법을 사용하고 있다. 하지만 환기배형 화재 특성을 갖는 구획 공간의 화재특성에서는 공간 내의 개구부 크기 등과 같은 환기 특성이 초기 화염확산에 중요한 요인으로 판단되지만 이에 대한 기준 및 기존 연구는 미흡한 상황이다.

또한 구획 공간 내에서의 화재특성은 성능위주 화재안전 설계에 가장 핵심이 되는 부분으로 국외에서는 용도 및 특성에 따른 화재특성을 코드 등에서 제시하고 있다. 현재 국내의 성능위주 화재안전 설계 기준의 미비도 해당 기초 자료 등의 부족이 하나의 원인이 된다. 성능위주 화재안전

Table 3. Predicting Compartment Flashover [Heat Release Rate]_#1

	MQH Method [kW]	Babrauskas Method [kW]	Thomas Method [kW]
	629.83	1,784.67	1,465.71
Fire Load 30 Mcal/m ²			
Experiment Time [sec]	28	×	50
Fire Load 60 Mcal/m ²			
Experiment Time [sec]	25	74	46

Table 4. Predicting Compartment Flashover [Heat Release Rate]_#2

	MQH Method [kW]	Babrauskas Method [kW]	Thomas Method [kW]
	450.17	892.23	912.44
Fire Load 30 Mcal/m ²			
Experiment Time [sec]	20	32	34
Fire Load 60 Mcal/m ²			
Experiment Time [sec]	19	32	34

설계의 시작은 건축물의 구획 공간 특성에 따라 화재특성이 결정되고 이러한 화재특성에 따라 다양한 화재방호 대책이 수립된다. 따라서 본 연구에서는 구획공간의 개구부 크기의 따른 화재 특성을 분석하기 위해서 실규모의 화재실험과 플래시오버 발생 예측을 위한 이론적 열방출률 값을 분석하고자 하였다.

실규모 화재실험은 10 MW급의 열방출률을 측정할 수 있는 LSC에서 2.4(L) × 3.6(W) × 2.4(H) m 크기의 구획 공간 시험체 틀을 설치하여 진행하였다. 개구부는 0.8(L) × 2.4(H) m와 0.4(L) × 2.4(H) m 크기의 개구부를 갖는 2종류의 전면부를 제작하여 화재실험 시에 전면부를 교체하는 방식을 선택하였다. 내부의 가연물은 함수율 15% 이내의 목재크립으로 하고 초기 착화는 헵탄 연료를 사용하였다. 착화 방식은 목재크립을 4개로 등분포하고 헵탄 연료를 목재크립 하부에 배치한 후에 헵탄 연료에 화염을 점화하여 목재크립이 화염에 전부 착화되는 방법을 사용하였다.

실규모 화재실험 결과는 개구부 #1에서는 화재하중이 30 Mcal/m²에서 실험 시작 1분에 최대 열방출률이 1,612.08 kW로 측정되었고 화재하중이 60 Mcal/m²에서는 실험 시작 2분 9초에 최대 열방출률이 2,091.67 kW로 측정되었다. 개구부 #2에서는 화재하중이 30 Mcal/m²에서 실험 시작 45초에 1,191.79 kW로 측정되었고 60 Mcal/m²에서는 1분 54초에 1,586.14 kW로 측정되었다.

실규모 화재실험을 통해서 측정된 열방출률 값과 이론식에서 제시하고 있는 플래시오버 예측 열방출률을 비교한 결과는 플래시오버 예측 열방출률이 MQH 식에서 가장 낮고 Babrauskas 식에서 가장 높게 계산되었다. MQH 식은 내부 마감재료의 열전도율에 영향을 받고 Babrauskas 식은 일부 화재실험 결과값과 상이한 결과를 나타내었다. Thomas 식에서 실제 화재실험과 유사한 결과값을 나타내었다.

건축물에서 플래시오버의 발생 유·무의 예측은 화재확산에 중요한 판단 근거로 활용될 수 있으며, 실규모 화재실험을 통해서 Thomas 식이 개구부 크기의 특성을 가장 유사하게 예측할 수 있다고 판단되어 진다. 또한, 실규모 화재실험의 특성상 반복적이고 다수의 실험이 어렵기 때문에 향후의 관련 연구들을 통해서 체계적인 기초 DB 구축이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설연구원 주요연구사업인 “(19주요)건축물의 화재취약 특성을 반영한 화재위험 평가기술 개발”의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

Barauskas, V., and Grayson, S. J. (1992). *Heat release in*

fires. Elsevier.

Barnett, C. R. (1998). Design fires for structural engineers. *Transactions of the Institution of Professional Engineers New Zealand: Civil Engineering Section*, Vol. 25, No. 1, pp. 47-58.

Buchanan, A. H. (2001). *Fire engineering design guide*. Christchurch, New Zealand: University of Canterbury, Centre for Advanced Engineering.

Hwang, C.H. (2012). Effects of change in heat release rate on unsteady fire characteristics in a semi-closed compartment. *Journal of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 26, No. 2, pp. 75-83.

Kawagoe, K. (1958). *Fire behaviour in room*. Report No. 27, Building Research Institute, Tokyo.

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). (2003). *Advanced fire safety in building and plan of establishment · operation for fire research center*. pp. 129-134.

Kweon, O.S., Yoo, Y.H., Kim, H.Y., and Kim, J.H. (2012). Real scale experiment for assessing fire model of office compartment. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 6, pp. 61-65.

Kwon, Y.J. and Lee, J.Y. (2008) A research direction of structural fire resistance design of steel structures for recommendation of PBD in Korea. *Proceeding of 2008 Autumn Annual Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 229-234.

Lee, E.J. (2006). Design of large cone calorimeter for the fire study. *T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 20, No. 4, pp. 65-71.

Lee, S.M. (2014) A study on the appropriateness of design fire size determining for performance based design in Korea. *Fire Sci. & Eng.*, Vol. 28, No. 4, pp. 50-56.

Lee, Y.J., Ko, K.C. and Park, W.C. (2012). A study on performance-based design enforcement. *Journal of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 26, No. 1, pp. 68-73.

Magnusson, S.E., and Thelandersson, S. (1970). *Temperature: Time curves of complete process of fire development*. Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Bulletin Vol. 16, Lund Institute of Technology, pp. 103-128.

Ministry of Business, Innovation & Employment. (2014). *C/AS2 Acceptable Solution for Buildings with Sleeping (non institutional) (Risk Group SM)*. New Zealand Government, pp. 89-94.

National Fire Protection Association (NFPA). (2008). *The*

SFPE handbook of fire protection engineering (4th ed.). pp. 3-217~220.

Yun, H.S., Mun, S.Y., and Hwang, C.H. (2016). Effects of the internal volume of compartment on the fire characteristics. *Proceeding of 2016 Autumn Annual Conference*, Korean Institute of Fire Science &

Engineering, pp. 83-84.

<i>Received</i>	■	November 6, 2018
<i>Revised</i>	■	November 12, 2018
<i>Accepted</i>	■	November 15, 2018