업무공간의 화재모델 산정을 위한 실물화재 실험

Real Scale Experiment For Assessing Fire Model of Office Compartment

권오상* · 유용호** · 김흥열*** · 김정현****

Kweon, Oh Sang · Yoo, Yong Ho · Kim, Heung Youl · Kim, Jung Hyun

Abstract

The fire spread prevention in the buildings is designed to protect life and assets by prohibiting the fire spread to the adjacent space and, for this design, the outside through setting fire separations, and it is important to predict the accurate size of fire inside the unit separation. Therefore, in this paper, we have intended to select a office compartment from the building classification for use, and to propose HRR[Heat Release Rate], the engineering fire size, through the real fire experiment according to this. The fire experiment has been conducted with arranging real combustible substances and wood creep into the unit separation with 2.4(L)×3.6(W)×2.4(H) m size after analyzing fire load for the use of the buildings. The fire load of the office compartment is indicated as 19 kg/m². In the result of the experiment, the fire experiment with real combustible substances and with wood creep are shown as 2681.7 kW/m² and 2453.8 kW/m², in separate. The fire size shown through these positive fire experiment can secure prediction of the fire spread of the buildings in further, and reliability on prevention designing.

Key words : Fire experiment, Fire model, Fire load, office, Heat release rate, Large scale calorimeter

요 지

건축물의 화재확대방지는 방화구획 설정을 통하여 인접 공간과 외부로의 화염의 확산을 억제해 통한 인명과 재산의 보호를 위해 설계되며, 이러한 설계를 위해서는 단위 구획 내부의 화재모델을 정확히 예측하는 것이 가장 중요하다. 따라서 본 논문에서는 건축물 용도분류에서 업무공간을 선정하여 이에 따른 실물화재 실험을 통하여 공학적 화재크기인 HRR[Heat Release Rate]를 제시하고자 하였다. 화재실험은 건축물의 용도별 화재하중을 분석하여 내부의 실제 가연물 및 목재 크립을 2.4(L)×3.6(W)×2.4(H) m의 단위구획 내부에 배치하여 진행하였다. 업무시설의 화재하중은 19 kg/m²이며, 실험결과 실제 가연물을 배치한 화재실험은 2681.7 kW/m², 목재크립을 배치한 화재실험은 2453.8 kW/m²로 나타났다. 이러한 실증적 화재실험을 통해 나타난 화재크기는 향후 건축물의 화재확대 예측 및 방지 설계 시 신뢰도를 확보시킬 수 있을 것이다.

핵심용어 : 화재실험, 화재모델, 화재하중, 업무공간, 열방출률, 라지스케일칼로리미터

1. 서 론

건축물의 내·외부 마감재료의 화재안전 성능, 개구부의 영향, 가연물량과 배치 등은 화재 사고 발생시 화재를 확대시키는 중요한 요인으로 작용된다. 특히 공간 내에서의 가연물량과 배치는 화재 초기의 성장 속도에 영향을 주기 때문에 화재 확산 방지의 가장 중요한 요인으로 나타나지만 현실적으로 가연물량 조절과 배치를 통한 화재확산 방지는 불가능하다. 따라서 건축물에서의 화재확대방지 설계는 건축물 내의

방화구획 설정을 통하여 인접 공간과 외부로의 화염의 확산을 억제하고 소방대의 소방 활동을 도와 화재를 진압하는데 목적을 두고 있다. 방화구획은 해당 국가의 실정에 맞게 기준을 설정하여 방화구획 내부의 방화벽, 방화문 등의 구조부재를 통하여 건축물에서의 화염 확대를 방지하고 있다.

영국의 경우 건축물의 용도 분류를 통하여 건축물의 높이를 제한하고 용도 분류별 스프링클러 설치유무에 따라 복층 및 단층건물별 바닥 면적을 제한하고 있다(TSO, 2006). Table 1에서는 뉴질랜드에서 제시하고 있는 화재위험도 및

*교신저자, 정회원. 서울시립대학교 재난과학과 박사과정(Tel: +82-31-3690-546, Fax: +82-31-3690-540, E-mail: oskwoen@kict.re.kr)
Corresponding Author. Member. Ph.D. Candidate, Disaster Science, University of Seoul

**한국건설기술연구원 화재안전연구센터 수석연구원
Senior Researcher, Korea Institute of Construction Technology

***한국건설기술연구원 화재안전연구센터 연구위원
Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology

****한국건설기술연구원 화재안전연구센터 연구원
Researcher, Korea Institute of Construction Technology.

Table 1. Fire hazard categories

Fire Hazard Category	Range of FLED [MJ/m ²]	Design Value of FLED [MJ/m ²]
1	0 - 500	400
2	501 - 1000	800
3	1001 - 1500	1200
4	>1500	-

화재 하중값을 나타내고 있다(DBH, 2011). 뉴질랜드에서는 건축물 용도별 화재 위험도 등급을 제시하고 이러한 화재위험도에 의해 건축물에서의 화재 하중이 결정되어 화재확대방지 설계가 이뤄지고 있다. 국내에서도 “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”을 통해 방화구획의 바닥면적 기준을 제시하고 있지만 스프링클러 설치 유·무에 의해서만 바닥면적이 정해지고 있어 건축물 용도에 따른 화재 위험도가 포함되지 못하고 있다.

향후 국내의 방화구획 기준은 앞서 제시하고 있는 국외 기준과 같이 건축물의 용도 분류를 포함시켜야 하지만 건축물의 용도 분류는 나라별 사회적·문화적·경제적 등 모든 부분이 포괄적으로 포함되어야 하기 때문에 단기간의 기준 설정을 해결하기에는 한계를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 건축물의 용도 분류 가운데 업무 공간을 선정하여 화재 모델 및 화재위험도 산정에 기초 자료로 사용하기 위해 실물 화재 실험을 통한 공학적 화재 크기인 HRR[Heat Release Rate]를 제시하고자 하였다.

2. 업무 공간의 실물화재 실험

2.1 실물화재 실험 방법

화재하중(Fuel Load 또는 Fire Load)은 공간 내 섬유성 가연물의 총량으로 정의되며 이를 구획된 바닥면적으로 나눈 값을 화재 하중 분포(Fire Load Density)라고 한다. 화재하중 분포는 공간내 가연물의 대부분이 목재임을 제시하고 있으며 이에 따라 섬유질 이외의 가연물은 목재를 기준으로 한 연소 열량으로 환산하여 가연물이 완전 연소할 때 예상되는 발열량을 구하게 된다(김운형, 1997). 건축물의 화재하중 조건은 서울에 위치한 15층 이상의 빌딩 사무실 9개소와 5층 건축물 1개소를 대상으로 조사한 결과인 화재하중(18.74 Kg/m²)을 적용하였다(김대희, 2003). 본 연구에서는 업무 공간의 화재 하중을 산정하고 이러한 화재 하중에 따라 실제 가연물 및 목재크립을 배치하여 실물화재 실험 장비[LSC: Large Scale Calorimeter]에서 화재 실험을 진행하였으며, 화재 실험을 통해 공학적 화재 크기인 열방출률[HRR: Heat Release Rate]를 측정하였다. Table 2에서는 실험 시나리오를 제시하고 있다.

실험 A에서는 책상, 서랍장, 컴퓨터 등과 같은 실제 가연물을 배치하였으며, 실험 B에서는 목재 크립을 단위 구획실 내부에 등분포 배치하였다. 단위 구획실은 2.4(L)×3.6(W)×2.4(H) m 크기의 철제 프레임으로 Mock-up을 제작하였고 외부에는 내화석고보드로 마감하였다. 내부에 배치되는 가연물은 Table 3에 나타내고 있다. 본 연구에서 사용한 화재하

Table 2. Scenario of fire experiment

	Scenario A	Scenario B
Material	Desk, Cabinet, Chair, Computer, etc.	Wood crib
Experimental apparatus	LSC : Large Scale Calorimeter	
Measurement	HRR, Temperature	HRR
Mock-up	• Size: 2.4(L) × 3.6(W) × 2.4(H) m • Opening: 2.0(L) × 0.8(H) m • External finishing : Fireproof plaster board	

Table 3. Methods of fire experiment

	Scenario A	Scenario B
	• Fire load : 19 kg/m ² • Area : 8.64 m ²	
Ignition source	• wad of cotton in wastebasket	• pool burner
Material	• Desk : 63.2 kg • Cabinet : 33.8 kg • Computer : 19.0 kg • Monitor : 10.4 kg • Chair : 17.9 kg • Book : 19.7 kg • Total : 164 kg	• Wood crib • Total : 199.9 kg

중 19 kg/m²(≒ 18.74 kg/m²)에 바닥면적을 고려하면 전체 가연물량은 164 kg으로 나타났으며, 이에 실험 A에서는 내부의 가연물들의 질량을 측정하여 업무공간의 화재하중을 산정하였다. 실험 B에서는 업무공간의 화재하중을 토대로 동일 발열량의 목재 크립을 중량으로 환산하였다. 바닥면적당 적용되는 등가 가연물량은 식 (1)을 사용하여 산출하였다(김홍열 외, 2009).

$$q_0 = k_c \cdot G_i \cdot h_a = k_c \frac{\sum (G_i \cdot H_i)}{H_0 \cdot A} = k_c \frac{\sum Q_i}{4,381 \cdot A} \quad (1)$$

q_0 : 화재하중(19 kg/m²)

k_0 : 가중계수(1)

H_i : 가연물의 단위 발열량

A : 화재구획내의 바닥 면적(8.64 m²)

G_i : 가연물 중량(kg)

H_0 : 목재의 단위 발열량(4,381 kcal/kg)

$\sum Q_i$: 화재구획내의 가연물의 전체 발열량(Kcal)

실험 B에서는 식 (1)에 의해서 가연물 전체 발열량은 719.1 Mcal로 나타났고 연소열을 15 kJ/g(James G, 1997)으로 고려하여 목재 크립의 총 질량을 200.7 kg으로 결정하였다. 목재 크립을 단위 구획실 내부에 등분포로 배치하였으며, 배치한 결과 총 질량은 199.9 kg으로 측정되어 기준값 대비 0.3%의 오차가 발생하였다.

2.2 실물화재 실험장비[LSC: Large Scale Calorimeter]

업무공간의 화재 크기를 측정하기 위해서 실물화재 실험은

a. Hood & Duct system

b. Measuring system

Fig. 1. Fire experiment facility of LSC

라지스케일칼로리미터[Large Scale Calorimeter, 이하 LSC]에서 진행하였다. LSC에서 측정되는 가장 기본적인 물리량은 열방출률[HRR:Heat Release Rate]이다. 화학조성이 알려지지 않은 재료의 화재시 열량의 측정을 위한 기본 원리는 순 연소열량은 연소에 필요한 산소의 양에 비례한다는 점을 기초로 산소 1 kg이 소모될 때 13.1 MJ/kg의 열량을 발생한다는 기본 원리에서 시작되며, 산소농도와 배출가스유량 등을 측정하여 계산할 수 있다(유용호 외, 2007). Fig. 1에서는 실물화재 실험에 사용된 LSC 및 측정시스템을 나타내고 있다.

3. 업무 공간의 실물화재 실험 결과

3.1 실험 시나리오 A

Fig. 2에서는 단위 구획실 내부에서 측정되는 온도의 위치가 제시되고 있으며, 단위 구획실 내부에는 총 3개의 온도 측정 트리가 설치되고 온도 측정 트리별 4개씩의 열전대선을 통해 총 12지점(T1~T12)에서 실물화재 실험동안의 내부의 온도 변화를 측정하였다.

실제 가연물을 배치한 실험 시나리오 A(이하 실험 A)의 실물화재 실험을 Fig. 3에 나타내었다. 실물화재 실험은 총 16분 동안 진행되었으며, 실험 시작 약 7분에 플래시오버가 발생되어 개구부를 통해 화염이 외부로 출화되었다.

실험 A의 실물화재 실험을 통해 측정된 온도 데이터는 Fig. 4에 나타내고 있으며, 온도의 변화는 실험과 동시에 성장한 후 시험 종료 시점에서 서서히 감소하였다. Table 4에

업무공간의 화재모델 산정을 위한 실물화재 실험

a. Horizontal point

b. Vertical point

Fig. 2. Measurement point of temperature

a. test start

b. Ignition

c. Flash over

d. Decay

Fig. 3. Photo of scenario A fire experiment

서는 실물화재 실험을 통해 측정된 온도의 최대값을 나타내고 있다. 온도는 중앙부에 위치한 온도 트리의 상부 지점에서 가장 높게 측정되어 T5 1213°C, T6 1323.2°C로 측정되었다.

3.2 실험 시나리오 B

목재 크립 배치한 실험 시나리오 B(이하 실험 B)의 실물화재 실험을 Fig. 5에 나타내었다. 실물화재 실험은 약 11분

a. Temp. 1 ~ 4

b. Temp. 5 ~ 8

c. Temp. 9 ~ 12

Fig. 4. Results of Temp. measurement by scenario A fire experiment

동안 진행되었으며, 목재 크립은 하부의 액체 연료인 헵탄을 이용하여 착화시켰다.

실물화재 실험을 통해 측정된 열방출률은 Fig. 6에 제시되고 있으며, 실험 A에서는 책상 하부에 위치하고 있는 쓰레기 통에서의 발화에 의해서 전체 단위 구획으로 화재가 성장되

Table 4. Maximum HRR & temperature

T1	T2	T3	T4	T5	T6
852.3 [°C]	955.2 [°C]	910.4 [°C]	968.2 [°C]	1213 [°C]	1323.2 [°C]
T7	T8	T9	T10	T11	T12
958.3 [°C]	951 [°C]	963.4 [°C]	990.9 [°C]	937.5 [°C]	889.3 [°C]

a. Ignition

b. Flash over

Fig. 5. Photo of scenario B fire experiment

게 하였다. 열방출률은 내부 가연물에 착화에 의해 점차 성장한 후 가연물들에 화염이 전파되면서 성장과 감소를 반복적으로 나타내고 있다. 실험 B는 헵탄을 점화원으로 사용하여 실험 A에 비해 빠른 성장속도를 나타내고 있으며, 초기에 열방출률의 증가는 내부의 헵탄의 연소 반응에 의해 발생되었다. 증가 이후 목재 크립에 화염이 착화되면서 단위 구획실에서 화재가 성장하였다.

실물화재 실험을 통해 측정된 열방출률의 최대값을 Table 5에 나타내었다. 실험 A는 실험 시작 878초에 최대 열방출률이 2524.4 kW로 측정되었고 실험 B는 실험 시작 657초에 최대 열방출률이 2450.0 kW로 측정되었다.

업무공간의 화재 크기를 산정하기 위해서 단위 구획실 내부에 조사한 화재하중 값을 고려하여 실제 가연물을 배치하였고 실제 가연물의 실물화재 실험 시 내부 공간의 배치에 따른 영향을 감소시키기 위해 목재 크립을 등분포로 배치하였다. 실물화재 실험 결과 두 실험방법에 의해 측정된 최대 열방출률은 약 3%의 오차가 발생되었다.

국내의 초고층, 대공간 건축물 등과 같은 특수 목적 건축물에서는 기존의 사양기준에서 벗어나 성능위주의 화재안전설계의 필요성이 증가하고 있다. 성능위주 화재안전설계를 위해서는 건축물에서의 화재 크기를 산정하는 것이 가장 중요

a. Scenario A

b. Scenario B

Fig. 6. Results of HRR measurement by fire experiment

Table 5. Maximum HRR & time

	Scenario A	Scenario B
HRR [kW]	2524.4	2450.0
Time [sec]	878	657

하다. 선정된 화재 크기에 따라 내화, 피난, 제배연, 소방시스템 등의 화재안전 설계가 진행 될 수 있지만 현재 국내에서는 국외의 제한적인 자료에 의존하고 있다. 따라서 본 연구 결과에서 나타내고 있는 업무 시설의 화재 크기, 화재 성장 곡선을 통해 국내 건축물에서의 용도별 화재 크기 산정에 따른 화재 안전 설계가 진행될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

건축물에서 화재확대 방지 설계를 위해서 방화구획 기준이 제시되고 있지만 국내의 기준은 건축물의 용도에 따른 화재 위험도를 포함하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 업무 공간의 실물화재 실험을 통해 업무공간에서의 화재크기를 제시하여 향후 화재 모델 및 화재위험도 산정에 기초 자료로 활용하고자 하였다.

- 실물화재 실험은 조사된 화재하중(18.74 Kg/m^2)을 적용하여 실제 가연물(실험 A)과 목재크립(실험 B)을 배치하여 $2.4(\text{L}) \times 3.6(\text{W}) \times 2.4(\text{H}) \text{ m}$ 크기의 Mock-up에서 진행하였다.

- 실제 가연물을 통한 화재 실험 시 가연물의 배치 등과 같은 요인이 고려되기 어려운 상황에서 목재크립을 내부에 등분포 시켜 실물 화재 실험을 실시하였다. 내부에 배치된 실제 가연물량은 164 kg 이며 목재크립은 발열량 등을 고려하여 199.9 kg 을 배치시켰다.

- 실험 A 결과 최대 온도는 단위 구획 중앙부에 위치한 온도 측정지점인 T5와 T6에서 1213°C , 1323.2°C 로 나타났다. 최대 열방출률은 실험 시작 878초에 2524.4 kW 로 측정

되었으며, 실험 B에서의 최대 열방출률은 실험시작 657초에 2450.0 kW 로 측정되었다. 본 실물화재 실험을 통해 실험방법 상에 최대 열방출률의 오차는 약 3%로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원하에 한국건설기술연구원에서 수행하고 있는 국가 R&D인 “(12주요)표준화재모델에 따른 화재확대방지 및 피난안전설계 기술 개발” 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Department of Building and Housing (2011) Compliance Document for New Zealand Building Code Fire Safety.
- James G. Quintiere (1997) Principles of Fire Behavior, Delmar Publishers, pp. 101-127.
- Kim, D.H. (2003) *A Study on the Establishment of the Fire Load by Building Occupancy*, Konkuk University, pp. 85-93.
- Kim, H.Y., Lee, J.S., Yoo, Y.H., Cho, B.H. and Kim, H.J. (2009) A Study on the Fire Experiment of Medical Modular Block for the Structure Behavior and Deformation under Fire Load Condition, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*, Vol. 25, No. 12, pp. 21-30.
- Kim, W.H. (1997) A Survey of Fuel Loads in Office Buildings, *Journal of Korea Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 37-45.
- TSO (2006) The Building Regulations 2000: Approved Document B.
- Yoo, Y.H., Kim H.Y., Shin, H.J. and Ryu, S.H. (2007) Development and of large cone calorimeter for the real scale fire test, *Proceedings of 2007 Spring Annual Conference of KIFSE*, pp. 18-23.

© 논문접수일 : 2012년 10월 24일
 © 심사의뢰일 : 2012년 10월 31일
 © 심사완료일 : 2012년 11월 06일