

[Research Paper]

화재하중에 따른 구획화재 실험 연구

권오상[†] · 김흥열

한국건설기술연구원 화재안전연구소

The Study on Compartment Fire Experiment According to Fire Load

Oh-Sang Kweon[†] · Heung-Youl Kim

Fire Research Institute, KICT

(Received March 15, 2017; Revised September 22, 2017; Accepted November 1, 2017)

요 약

국내에서는 복잡해지고 다양해지고 있는 건축물에서의 화재위험에 대응하기 위해 성능기반 화재안전 설계가 논의되고 있지만, 건축물에서의 다양한 인자들에 의한 화재특성의 예측의 어려움으로 인하여 성능기반 화재안전 설계의 도입이 제한되고 있다. 본 연구에서는 뉴질랜드에서 제시하고 있는 화재위험도별 화재하중 값의 실험을 통해 성능기반 설계 도입을 위한 기준 방향 설정 및 기초 자료로 사용하고자 하였다. 실험은 10 MW 급의 실험용 칼로리미터에서 0.8(L)×2.0(H) m의 단일 개구부를 포함하고 있는 2.4(L)×3.6(W)×2.4(H) m 크기의 시험체들의 내부에 목재 크립을 화재하중에 따라 배치시켜, 목재 크립이 전소할 때 까지 진행하였다. 화재실험에서 열방출률의 변화는 목재 크립에 화염이 착화 된 후 외부로 출화되는 약 90초 이후부터 급격히 증가하였으며, 위험도 레벨 1에서는 최대 4743.4 kW의 열방출률이 실험시작 후 244 초에 측정되었고 위험도 레벨 2에서는 5050.9 kW의 최대 열방출률이 497 초에 측정되었다. 또한 위험도 레벨 3에서는 최대 열방출률이 4446.9 kW로 실험시작 677 초에 측정되었다.

ABSTRACT

In Korea, performance-based fire safety designs are being discussed to deal with the various risks of fire in complex and diverse types of structure. However, performance-based fire safety designs are not actively employed because it is difficult to estimate the fire characteristics related to the various factors in buildings. In this study, real scale fire tests were conducted based on fire severity levels and fire loads provided in He New Zealand Building Code, in order to use the results as guidelines and fundamental data for performance-based designs. In the real scale fire tests conducted in a 10MW full-scale calorimeter, wood cribs were placed in a 2.4(L)×3.6(W)×2.4(H)m mock-up of a compartment which had one 0.8(L)×2.0(H) opening for different fire loads and heating was continued until all of the wood cribs were burned down. The heat release rate started to increase rapidly 90 seconds after the wood cribs caught fire. In the test with a fire load level 1, the maximum heat release rate of 4743.4 kW was reached at 244 second. In the test with fire load level 2, a maximum heat release rate of 5050.9 kW was reached at 497 second. In the test with fire load level 3, a maximum heat release rate of 4446.9 kW was reached at 677 second.

Keywords : Fire Safety, Fire Load, Fire Experiment, Heat Release Rate, Fire Characteristic

1. 서 론

건축물에서의 화재안전은 인명보호, 재산보호와 소방활동 지원 등을 목표로 제도적 기틀위에서 설계되고 이는 액티브 시스템(Active System)과 패시브 시스템(Passive System)으로 구분될 수 있다. 하지만 점차 다양해지고 복잡해지고

있는 화재위험에 대응하기 위해서 국외에서는 기존의 제도에만 의존하지 않고 대상 건축물의 화재위험을 예측하고 이에 따른 화재안전 설계를 진행하는 성능기반 화재안전 설계(Performance Based Fire Safety Design)를 대안적 방법으로 적용하고 있다. 또한, 최근 많은 국가에서는 성능규정을 채택하여 안전성에 대해 증명할 수만 있다면 설계자들

[†] Corresponding Author, E-Mail: oskweon@kict.re.kr, TEL: +82-31-369-0546, FAX: +82-31-369-0540

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

이 원하는 화재안전전략을 사용하는 것을 허락하고 있다. 최근 화재공학의 발전에 의해 적용이 가능해진 성능기반의 화재안전 설계법은 새로운 건축 재료의 도입과 공간구성을 위한 설계유연성을 제공할 뿐만 아니라, 건축비용절감 및 화재위험에 대해 더욱 구체적이고 적극적으로 대처하는 것을 가능하게 만들었다.⁽¹⁾

법규위주의 화재안전 설계에서는 법규를 만족시키는 설계는 적절한 안전도를 보장하고 있다고 판단하고 성능기반 화재안전 설계에서는 제안된 디자인을 평가하고 그것이 안전 기대치와 부합하는지를 검토해야 한다.⁽²⁾ 초고층 건축물에서 특히 취약한 화재 안전 분야는 성능기반 설계가 필수적이며, 이때 가장 기초가 되는 것이 공간의 화재성상을 예측하고 그에 따른 화재위험을 사전에 예측함으로써 건물특

성을 잘 반영한 안전한 건축물을 확보할 수 있다.⁽³⁾

건축물에서는 구획공간 내에서의 화재성상을 통해 화재 특성을 예측할 수 있다. 화재성상은 일반적으로 Fire Dynamics Simulator (FDS) 등과 같은 전산해석 프로그램을 활용하고 있으며, 이 때 사용되는 입력 데이터 중에서 가장 중요한 데이터는 설계화재(Design Fires)이다. FDS와 같은 화재 성장 모델링 소프트웨어를 사용할 때에는 대부분 시간에 따른 특정 열방출률을 설계화재로 입력해야 하며, 화재 성장은 연소 물질이외에도 발화원의 크기, 위치, 가연물량, 연소 물질 이외의 물체, 벽 또는 창문의 열린 부분까지의 거리 등과 같은 많은 인자들에 의해 결정된다.⁽⁴⁾ 화재방호 대책은 플래시오버 이전의 화재확산 방지, 피난, 연기제어와 소방 활동과 플래시오버 이후의 구조물 내화구조 설계로 구분될

Table 1. Fire Growth Rates

Category	Fire Growth Rate	Examples	Fire Growth Parameter
1	Slow	- Baking Hall, Limited Combustible Materials	0.0029 [kJ/s3]
2	Medium	- Stacked Cardboard Boxes, Wooden Pallets	0.012 [kJ/s3]
3	Fast	- Baled Thermoplastic Chips, Stacked Plastic Production, Baled Clothing	0.047 [kJ/s3]
4	Ultra fast	- Flammable Liquids Expanded Cellular Plastics and Foam	0.188 [kJ/s3]

Table 2. Design FLEDs for use in Modeling Fires

Design FLED [MJ/m ²]	Activities in the Space or Room	Examples
400	Display or other Large Open Spaces; or other Spaces of Low Fire Hazard Where The Occupants are Awake but May be Unfamiliar with the Building.	- Art Galleries, Auditoriums, Bowling Alleys, Churches, Clubs, Community Halls, Court Rooms, Day Care Centres, Gymnasiums, Indoor Swimming Pools
	Seating Areas Without Upholstered Furniture	- School Classrooms, Lecture Halls, Museums, Eating Places without Cooking Facilities
	All Spaces Where Occupants Sleep	- Household units, Motels, Hotels, Hospitals, Residential Care Institutions
	Working Spaces and Where Low Fire Hazard Materials are Stored	- Wineries, Meat Processing Plants, Manufacturing Plants
	Support Activities of Low Fire Hazard	- Car Parks, Locker Rooms, Toilets And Amenities, Service Rooms, Plant Rooms with Plant not using Flammable or Combustible Fuels
800	Spaces for Business	- Banks, Personal or Professional Services, Police Stations (without Detention), Offices
	Seating Areas with Upholstered Furniture, or Spaces of Moderate Fire Hazard where the Occupants are Awake but May be Unfamiliar with the Building	- Nightclubs, Restaurants and Eating Places, Early Childhood Centres, Cinemas, Theatres, Libraries
	Spaces for Display of Goods for Sale (Retail, Non-Bulk)	- Exhibition Halls, Shops and other Retail (Non Bulk)
1200	Spaces for Working or Storage with Moderate Fire Hazard	- Manufacturing and Processing Moderate Fire Load - Storage Up To 3.0 M High other Than Foamed Plastics
	Workshops and Support Activities of Moderate Fire Hazard	- Maintenance Workshops, Plant and Boiler Rooms other Than Those Described Elsewhere
400/tier of Car Storage	Spaces for Multi-Level Car Storage	- Car Stacking Systems. the Design Floor Area over which the Design Fled Applies is the Total Actual Car Parking Area
800/m Height, with a Minimum of 2400	Spaces for Working or Storage with High Fire Hazard	- Chemical Manufacturing and Processing, Feed Mills, Flour Mills - Storage Over 3.0 M High of Combustible Materials, Including Temperature Controlled Storage
	Spaces for Display and Sale of Goods (Bulk Retail)	- Bulk Retail (Over 3.0 M High)

수 있다. 현재 국내에서는 플래시오버 이전의 화재모델은 t^2 화재 성장, 구획화재 실험과 전산유체 해석 프로그램을 활용하고 있지만 플래시오버 이후의 화재모델은 ISO 834에서 제시하고 있는 내화시험을 위한 표준화재 모델을 사용하고 있어 성능위주 화재안전 설계에 어려움을 나타내고 있다.

구획 공간 내에서의 화재특성을 예측하기 위해서 다양한 인자들을 예측 및 판단해야하기 때문에 성능기반 화재안전 설계의 어려움으로 나타나고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 국외에서는 건축물의 화재위험도별 화재성장률과 화재하중 값 등의 제시를 통해서 구획 공간 내의 화재크기를 예측하는 방법에 사용하고 있다. 특히 영국과 뉴질랜드에서는 건축물의 용도에 따라 해당 값을 제시하고 있으며, Table 1에서는 영국에서 제시하고 있는 화재위험도별 화재성장률⁽⁵⁾을 나타내고 Table 2에서는 뉴질랜드에서 제시하고 있는 화재위험도별 화재하중 값⁽⁶⁾을 나타내고 있다. 영국에서는 건축물의 용도별로 t^2 성장 곡선에 사용되는 값을 제시하고 있으며, 뉴질랜드에서는 건축물의 용도에 따라 화재하중 에너지밀도(FLED : Fire Load Energy Density)를 제시하고 있다.

국내에서의 성능기반 화재안전 설계를 위해서 대상 건축물의 화재 성장 및 크기 예측에 많은 어려움을 가지고 있으며, 앞서 뉴질랜드와 영국에서 제시하고 있는 기준 등이 국내에도 성능기반 화재안전 설계를 위한 한가지의 방법이 될 수 있을 것이다.

Table 3. Scenario of Feal Scale Fire Experiment

Mock up Size	2.4(L)×3.6(W)×2.4(L) m
Opening Size	0.8(L)×2.0(H) m
Internal Combustibles	Wood Crib - Size: 0.03(L)×0.03(H)×0.9(W) Meter - Type: Pine - Moisture Content: 10 %
Ignition Source	Heptane (0.5 L)
Measurement	Heat Release Rate
Experiment Equipment	Large Scale Calorimeter [10 MW]
Fire Load	Level 1: 400 MJ/m ² Level 2: 800 MJ/m ² Level 3: 1200 MJ/m ²

본 연구에서는 뉴질랜드에서 제시하고 있는 건축물의 화재위험도별 화재하중 값을 적용하여 실규모의 화재실험을 실시하였으며, 화재실험을 통해서 열방출률의 변화를 측정하였다. 화재실험은 0.8(L)×2.0(H) m의 단일 개구부를 포함하고 있는 2.4(L)×3.6(W)×2.4(H) m 크기의 시험체 틀의 내부에 목재 크립을 화재하중에 따라 배치시켜, 목재 크립이 전소할 때 까지 진행하였다.

본 연구에서는 뉴질랜드에서 제시하고 있는 건축물의 화재위험도별 화재하중 값을 적용하여 실규모의 화재실험을 실시하였으며, 화재실험을 통해서 열방출률의 변화를 측정하였다. 화재실험은 0.8(L)×2.0(H) m의 단일 개구부를 포함하고 있는 2.4(L)×3.6(W)×2.4(H) m 크기의 시험체 틀의 내부에 목재 크립을 화재하중에 따라 배치시켜, 목재 크립이 전소할 때까지 진행하였다.

2. 실규모 화재실험 방법

실규모의 화재실험은 10 MW급의 실대형 칼로리미터에서 진행하였으며, 단일 개구부를 포함하고 있는 시험체 틀 내부에 목재 크립을 가연물로 사용하였다. Table 3에는 화재실험에 대한 상세 계획을 나타내고 있다. 화재실험에 적용된 화재하중 기준은 위험도 레벨 1의 400 MJ/m², 위험도 레벨 2의 800 MJ/m²와 위험도 레벨 3의 1,200 MJ/m²이며, 해당 기준에 따라서 시험체 틀 내부의 6지점에 등분포 시켰다. 또한, 화염 착화는 목재 크립 하부에 헵탄 풀(Pool)을 배치시켜 착화재로 사용하였다. 화재실험은 내부의 목재크립이 전소될 때까지 각 위험도별로 진행하였으며, 실험을 통해서 열방출률의 변화량을 측정하였다.

Table 4에서는 본 실험에서 사용된 시험체 틀의 바닥 면

Table 4. Wood Crib by Fire Load

Level 1	183.47 kg
Level 2	366.94 kg
Level 3	550.41 kg
Calorific value of wood: 4,500 kcal/kg Floor area: 3.6(W)×2.4(L)=8.64 m ² 1 Kcal=4,186 J	



Figure 1. Photo of wood crib by FLED.

적과 목재의 발열량 기준을 통해 산정된 위험도 수준별 총 목재 무게를 나타내고 있다. 시험체 틀의 바닥 면적은 8.64 m²이며, 목재의 열량은 4,500 Kcal/kg으로 적용하였다. 이를 통해서 위험도에 따른 목재 크립의 전체 무게는 183.47, 366.94와 550.41 kg으로 나타났으며, 화재실험에서는 ±0.1 kg 범위 내에서 목재 크립을 배치하였다. 목재크립은 0.03(L)×0.03(H)×0.9(W) m 크기의 소나무를 사용하였으며, 시험 시에 측정된 함수율은 평균적으로 10 % 로 나타났다. 본 화재실험에서 사용된 10 MW급의 실험용 칼로리미터는

순 연소 열량은 연소에 필요한 산소의 양에 비례한다는 점을 기초로 하여 산소 1 kg이 소모될 때, 13.1 MJ/kg의 열량이 발생한다는 산소소모율법⁽⁷⁾을 통해서 열방출률을 측정하게 된다. 다음 식에서는 산소소모율법에 의한 열발생율의 환산식을 나타내고 있다. 식 (1)은 배기가스 중에서 산소농도만을 측정할 경우 적용되는 식이고 식 (2)는 배기가스 중의 산소, CO 및 CO₂의 농도를 측정할 경우의 적용되는 식으로 연료의 불완전연소를 고려한 식이다.⁽⁸⁾

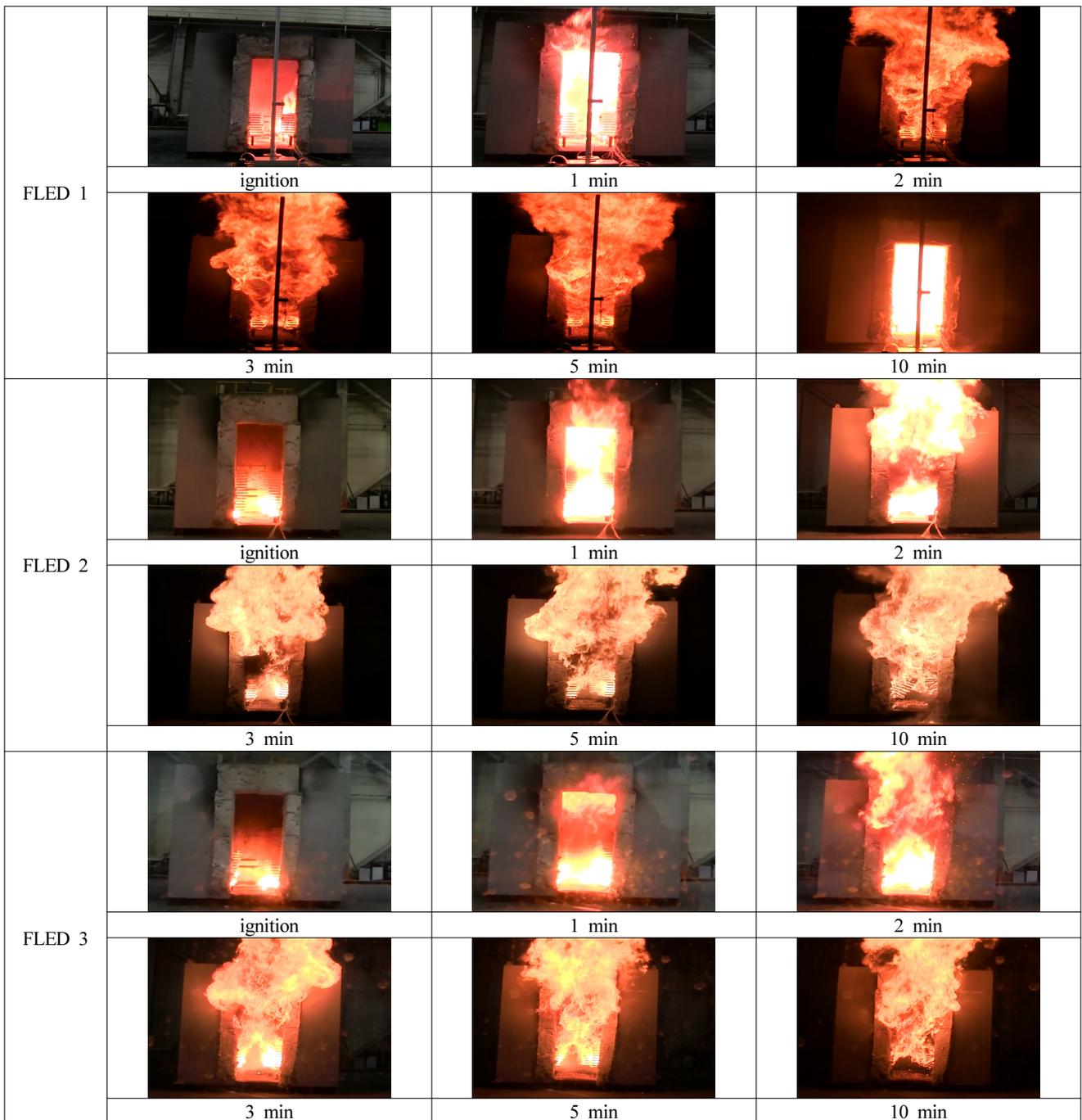


Figure 2. Photo of real Scale fire experiment.

$$\dot{Q}(t) = \left(\frac{\Delta h_c}{r_o}\right) C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_e}} \frac{(X_{O_2^0} - X_{O_2}(t))}{1.105 - 1.5X_{O_2}(t)} \quad (1)$$

$$\dot{Q}(t) = 1.10 \left(\frac{\Delta h_c}{r_o}\right) X_{O_2^0} \left[\frac{\varnothing - 0.172(1 - \varnothing) \frac{X_{CO}}{X_{CO_2}}}{(1 - \varnothing) + 1.105\varnothing} \right] \dot{m}_e \quad (2)$$

여기서 $(\Delta h_c/r_o)=13.1$ kJ/g이며, C는 검정상수(calibration constant), ΔP 는 오리피스 양단의 압력차, T_e 는 배기가스 온도이고 위첨자 0는 연소 전의 상태를 나타낸다. 또한, $\dot{m}_e = C\sqrt{\frac{\Delta P}{T_e}}$ 이며, \varnothing 는 다음과 같이 정의된다.

$$\varnothing = \frac{X_{O_2^0}(1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2}}{X_{O_2^0}(1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2}} \quad (3)$$

3. 실규모 화재실험 결과

화재 실험은 화재하중 에너지밀도별로 내부의 가연물이 연소될 때까지 실시하였으며, Figure 2에서는 실규모의 화

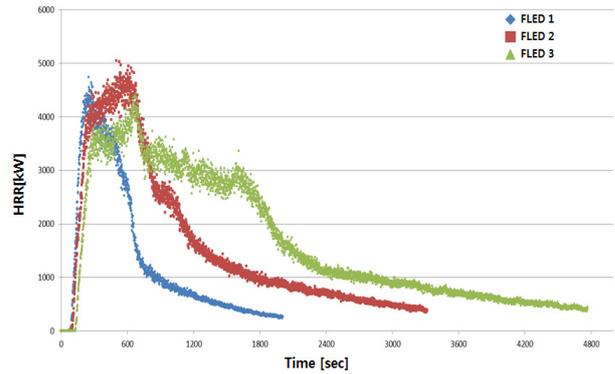


Figure 3. Results of HRR measurement.

재실험을 보여주고 있다.

화재 실험은 목재 크립 하부에 있는 헵탄을 착화시킨 후에 목재 크립으로 화염이 전파되는 방법으로 진행하였으며, 헵탄에 의한 화염은 실험 시작 2분 안에 소멸되었다. 목재 크립으로 전파된 화염은 급격히 외부로 출화되었으며, 실험을 통해서 측정된 열방출률의 변화는 Figure 3에서 나타나고 있다. 또한, Figure 4에서는 화재실험을 통해 측정된 CO,

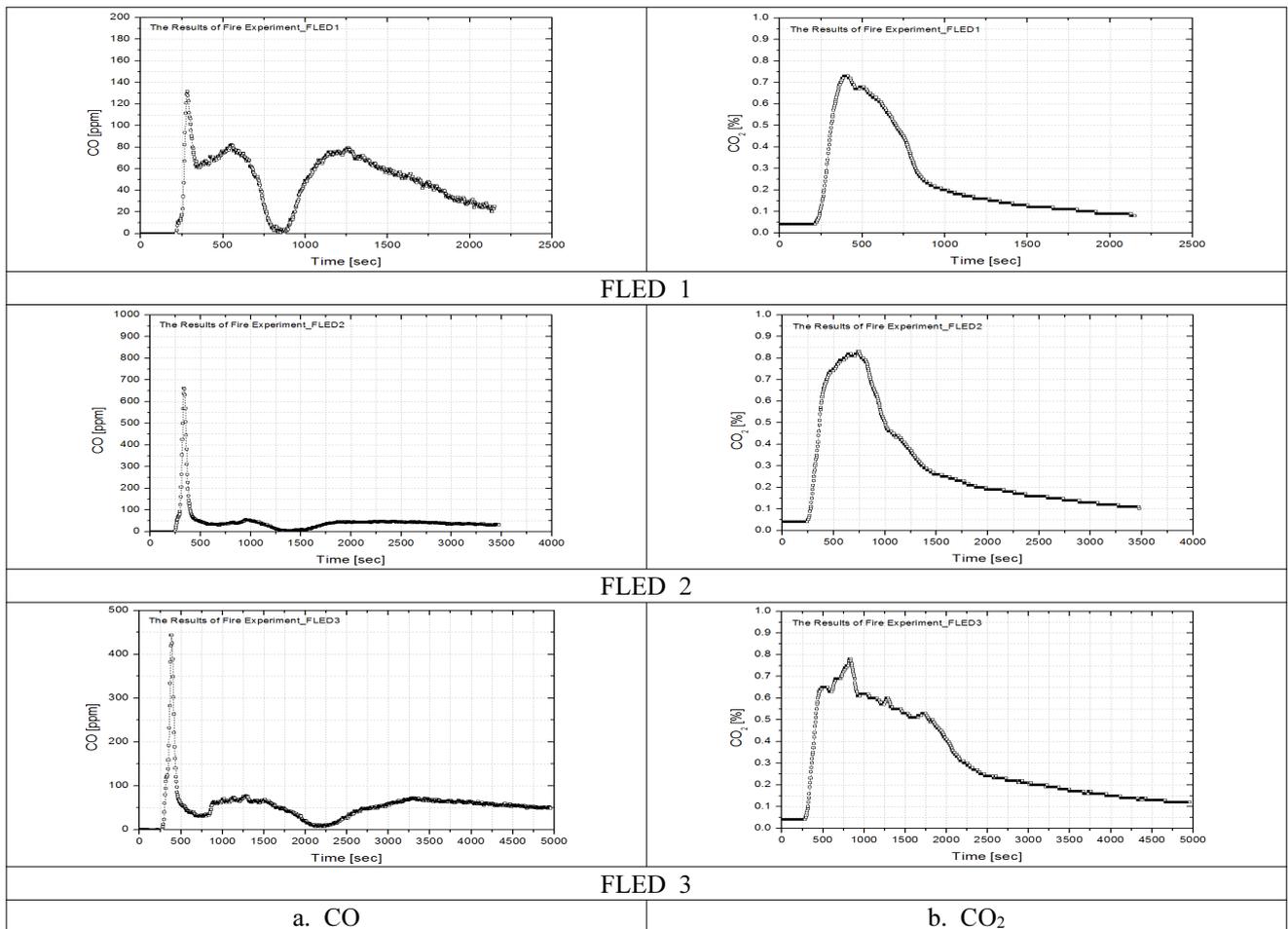


Figure 4. Results of CO, CO₂ measurement.

Table 5. Max. HRR & Time

	Max. HRR	Time
FLED 1	4743.4 kW	244 sec
FLED 2	5050.9 kW	497 sec
FLED 3	4446.9 kW	677 sec

Table 6. Fire Severity by Fire Load

	L_f [kg]	A_s [m ²]	A_v [m ²]	Fire Severity [sec]
Level 1	183.47	44.08	1.6	1310.8
Level 2	366.94			2621.6
Level 3	550.41			3932.4

CO₂의 변화량을 나타내고 있다. 모든 화재실험에서 열방출률의 변화는 목재 크립에 화염이 착화 된 후 외부로 출화되는 약 90초 이후부터 급격히 증가하였다. 열방출률의 최대값과 도달시간은 Table 5에서 제시하였다. 위험도 레벨 1에서는 최대 4743.4 kW의 열방출률이 실험시작 후 244 초에 측정되었고 위험도 레벨 2에서는 5050.9 kW의 최대 열방출률이 497 초에 측정되었다. 또한 위험도 레벨 3에서는 최대 열방출률이 4446.9 kW로 실험시작 677초에 측정되었다.

목재 크립을 사용한 화재실험은 플래시오버 이후에서 적용되는 구획 공간의 내화 요구시간을 분석하기 위해 진행되었으며, 플래시오버 이전에 화재성장을 예측하기 위해서는 일반적으로 구획공간 내의 실제 가연물을 배치시킨 시험방법이나 건축물의 용도별 특성에 따른 t² 화재 곡선을 활용하고 있다.

화재 실험을 통해서 측정된 열방출률의 최대값은 위험도별로 약 ±600 kW, 도달시간은 약 ±7분의 차이로 나타났다. 구획공간에서의 환기 지배형 화재는 연료의 양보다는 구획 공간의 크기와 환기 계수에 의해 화재특성이 결정되고 이는 건축구조물의 내화설계에서 등가화재 심각도와 같이 시간에 의한 내화요구 수준을 결정하는 방법에 활용될 수 있다. NFPA⁽⁹⁾에서는 목재를 사용하여 구획공간 내에서의 화재심각도를 다음의 식과 같이 제시하고 있다.

$$t = 60 \left(\frac{L_f}{\sqrt{A_s A_v}} \right) \quad (4)$$

여기서 t는 화재심각도(sec), A_s 는 개구부를 제외한 전체 면적(m²), A_v 는 개구부 면적(m²)이고 L_f 는 목재의 양(kg)을 나타낸다.

목재크립을 활용한 실규모 화재실험 결과를 바탕으로 상기에서 제시하고 있는 화재심각도를 분석하였으며, Table 6에 나타내었다. 화재심각도는 위험도 1에서 1310.8 초(21.9분), 위험도 2에서 2621.6 초(43.7분)로 위험도 3에서는 3932.4 초(65.5분)으로 계산되어 진다. Figure 5에서는 화

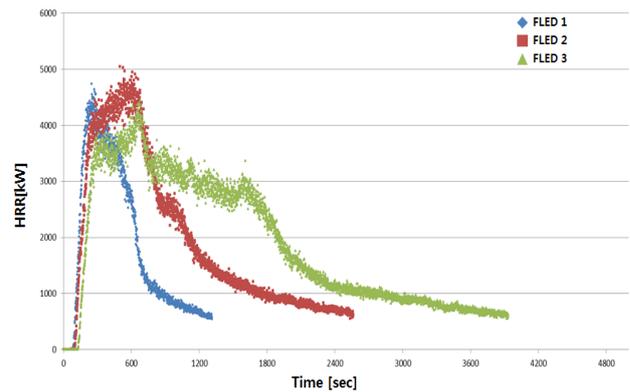


Figure 5. Modified HRR measurement.

재 심각도에 의한 시간에 따른 수정된 열방출률의 변화를 도식화하였다.

4. 결 론

구획 공간 내에서의 화재특성을 예측하기 위해서는 다양한 인자들을 예측 및 판단해야하기 때문에 성능기반 화재안전 설계의 어려움으로 나타나고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 국외에서는 건축물의 화재위험도별 화재성장률과 화재하중 값 등의 제시를 통해서 구획 공간 내의 화재크기를 예측하는 방법에 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 방법을 국내에 적용해보기 위해서 뉴질랜드에서 제시하고 있는 건축물의 화재위험도별 화재하중 값을 적용하여 실규모의 화재실험을 실시하였으며, 화재실험을 통해서 열방출률의 변화를 측정하였다.

화재실험은 0.8(L)×2.0(H) m의 단일 개구부를 포함하고 있는 2.4(L)×3.6(W)×2.4(H) m 크기의 시험체 틀의 내부에 목재 크립을 화재하중에 따라 배치시켜, 목재 크립이 전소할 때 까지 진행하였다. 실규모의 화재실험은 10 MW급의 신타형 칼로리미터에서 진행하였으며, 실험을 통해서 열방출률의 변화량을 측정하였다. 화재실험에 적용된 화재하중 기준은 위험도 레벨 1의 400 MJ/m², 위험도 레벨 2의 800 MJ/m²와 위험도 레벨 3의 1,200 MJ/m²이며, 시험체 틀의 바닥 면적과 목재의 발열량 기준을 통해 산정된 위험도에 따른 목재 크립의 무게는 183.47, 366.94와 550.41 kg으로 나타났으며, 화재실험에서는 ±0.1 kg 범위 내에서 목재 크립을 배치하였다.

모든 화재실험에서 열방출률의 변화는 목재 크립에 화염이 착화된 후 외부로 출화되는 약 90초 이후부터 급격히 증가하였으며, 위험도 레벨 1에서는 최대 4743.4 kW의 열방출률이 실험시작 후 244초에 측정되었고 위험도 레벨 2에서는 5050.9 kW의 최대 열방출률이 497초에 측정되었다. 또한 위험도 레벨 3에서는 최대 열방출률이 4446.9 kW로 실험시작 677초에 측정되었다. 화재하중에 따른 열방출률에 변화를 보면 화재하중은 최대값보다는 화재지속 시간에 영

향을 주는 것으로 나타났으며, 이는 화재심각도로 표현될 수 있다. 화재심각도는 위험도 1에서 1310.8초(21.9 분), 위험도 2에서 2621.6초(43.7분)로 위험도 3에서는 3932.4초(65.5분)으로 나타났다.

본 연구를 통해서 구획공간 내에서의 화재하중에 따른 특성은 화재지속 시간에 영향을 주는 것으로 나타났으며, 이는 화재 위험도별로 건축물의 화재 특성을 결정지을 수 있을 것으로 기대된다. 국외에서 제시하고 있는 건축물의 용도 및 위험도별 화재하중 값은 성능기반 화재안전 설계 시 건축물의 화재 특성을 예측하기 위한 방법으로 적용될 수 있지만, 아직 국내에서는 이러한 기준 설정이 미비한 실정이다. 따라서 국내에서도 이러한 건축물의 화재특성을 예측할 수 있는 기준이 제시된다면, 국내의 성능기반 설계 시 적절한 위험 예측 및 이에 대한 화재방호에 효율적일 것으로 판단된다. 본 연구에서는 건축물에서의 화재위험을 예측하기 위한 국외 방법을 실물 화재 실험을 통해서 기초 DB를 확보하였으며, 향후 이러한 방법론적 방법에서 벗어나 제도적으로 제시될 수 있는 방법이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(과제번호:17AUDP-B100356-03)에 의해 수행되었습니다.

References

1. P. G. Lee, I. C. Choi and H. S. Kim, "A Study on the Application of the Fire Load of Building Occupancy for Architectural Fire Safety: Focused on the Establishment of the Required Fire Resistance & the Prediction of Temperatures in Post-flashover Compartment Fires", *Journal of The Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 19, No. 9, pp. 139-146 (2003).
2. Y. H. Yoo, P. H. Park, K. S. Cho, O. S. Kweon and H. Y. Kim, "A Case Study on Evaluation Criteria for Performance Based Design", *Proceedings of 2011 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 384-387 (2011).
3. J. H. Lee, W. J. Kim and J. C. Lee, "A Literature Review on Compartment Fire Temperatures during Fully Developed Fire", *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 30, No. 10, pp. 21-28 (2014).
4. A. H. Buchanan, "Fire Engineering Design Guide", University of Canterbury (2001).
5. BS 9999, "Code of Practice for Fire Safety in the Design, Management and use of Buildings" (2008).
6. Ministry of Business, Innovation & Employment, "C/VM2 Verification Method: Framework for Fire Safety Design", New Zealand (2014).
7. V. Babrauskas and S. J. Grayson, "Heat Release in Fires", Elsevier (1992).
8. B. I. Choi, Y. S. Han and M. B. Kim, "Heat Release Rate Measurements of Residential Combustibles Using Oxygen Consumption Method", *Fire Science and Engineering*, Vol. 22, No. 2, pp. 104-107 (2008).
9. A. E. Cote, "Fire Protection Handbook Vol. 1", 19th edition, National Fire Protection Association, pp. 137-138 (2003).