

Cone Calorimeter를 이용한 실물화재 예측 및 위험성 평가에 관한 연구

유상훈 · 문성웅* · 이동호**

페스텍인터내셔널 · 인천대학교 대학원 · 인천대학교 소방방재센터

The Study of Estimation Actual Fire Test Result and Evaluation Fire Hazard Using a Cone Calorimeter

Sang-hoon Ryu · Sung-Woong Moon* · Dong-Ho Rie**

FESTEC International Co., Ltd · University of Incheon Graduate School ·

University of Incheon Fire Disaster Protection Research Center

요 약

실제 화재의 위험성을 평가하는 가장 좋은 방법은 직접 실제 화재 조건을 모사 또는 구현하여 평가하는 방법이다. 그러나, 비용과 시간 및 환경 문제를 생각한다면 쉬운 일은 아니다. 따라서 단위 재료를 태우거나, 전산 시뮬레이션을 활용하여 화재를 예측하는 방법을 활용한다. 본 연구에서는 콘칼로리미터 실험 결과를 기초 데이터로 실제 화재 실험인 room corner test의 총열방출량을 추정 하였다. 그 결과 가연물의 파괴 및 밀도와 보정상수를 활용하여 실제 총열방출량에 근접한 결과값을 얻을 수 있었으며, 산출된 총열방출량을 근거로 전산시뮬레이션을 수행, 시뮬레이션 결과값을 통해 재실자의 화재 및 연기에 대한 위험성 평가를 할 수 있었다. 본 결과를 통해 화재 시뮬레이션 수행 시 가연물에 따른 화재에 의한 위험성 평가를 할 수 있을 것으로 보인다.

1. 서 론

현대 산업의 발달은 도시의 발달을 가속화 시켰으며, 이로 인해 인구 밀집도가 높은 고층 건물 건축이 증가하였다. 이로 인해 인명 및 재산에 대한 화재 위험성은 점차 증가하는 추세이다.

화재에 대한 피해를 줄이기 위한 연구는 지속적으로 진행되고 있으며, 이러한 연구는 크게 실물 화재 연구와 축소모형 실험 및 전산 시뮬레이션을 이용한 화재 모사 연구로 나눌 수 있다. 실물 화재의 위험성을 평가하는 가장 좋은 방법은 직접 실물 화재 조건을 모사 또는 구현하여 평가하는 방법이다. 그러나, 비용과 시간 및 실험으로 인한 2차 환경 오염 문제를 고려해야 하는 단점을 가지고 있다.

따라서 이러한 시간 및 비용 소모를 대체하기 위한 방법으로 첫째, 화재 수치해석 프로그램이 개발되었으며, 대표적으로 미국 NIST의 Fire Dynamics Simulator (FDS)가 있다 (i). 화재 시뮬레이션을 사용하면 장소에 구애 받지 않으며, 환경 문제를 유발하지 않고, 환경 및 변수를 자유롭게 변경하여 결과값을 도출할 수 있다. 그러나 재료 및 환경에 대한 정확한 값을 입력하지 않거나, 프로그램 자체의 문제점으로 인해 전혀 다른 실험 결과값을 얻을 수도 있다(ii).

두 번째, 단위재료를 연소시켜 실물화재를 유추하는 방법으로 대표적으로는 콘 칼로리 미터법이 사용되고 있으며, 100x100 mm의 작은 재료로 전체 화재의 HRR 및 연기발생량 등을 예상할 수 있다. 그러나 실물 화재 시 발생하는 환경 및 구조적인 해석이 병행되지 않는다면 정확한 결과값을 얻을 수 없다(iii).

이에 본 연구에서는 일반적인 데이터 값을 활용한 시뮬레이션과 실물화재 시험을 바탕으로 한 화재 시뮬레이션을 비교하였으며 실물 화재 데이터와 단위 재료시험의 상관성을 확인 하여 효과적인 화재안전설계를 하고자 한다.

2. Benched scale calorimeter와 real scale calorimeter 결과의 상호관계

Benched scale calorimeter 와 Real scale calorimeter의 시험 결과에 대한 상관성을 파악하기 위해 한 가지 물질로 이루어진 책장을 시험편으로 선정하였다.

이 시험편의 열방출률, 연기발생률, 온도 및 일산화탄소 생성률 등을 Real scale calorimeter인 Room Corner Tester 실험을 통해 도출하였다. 또한 시험편의 단위재료를 채취하여 Benched scale calorimeter인 Cone Calorimeter 실험을 진행하였다. 그림 1, 2는 두 시험을 통해 나타난 각각의 열방출률을 나타낸다.

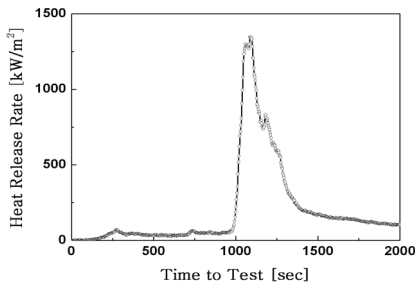


그림 1. The graph of the HRR of bookshelf

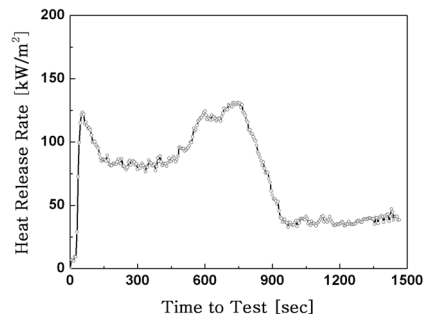


그림 2. The graph of the HRR of timber

보통 Benched scale의 결과값은 단위 재료당 열방출률을 측정하여 실물 화재의 연소 특성을 유추한다. 표 1은 단위재료의 총열방출량을 통해 실물화재의 총열방출량을 계산한 값이다.

표 1. 단위시험편의 총열방출량을 통해 예상한 실물화재 총열방출량

Combustible name	Timber	Book shelf
Dimension (mm)	100	910
Weight (Kg)	0.08	31.8
Total Heat Release (MJ)	107.475	413.460
예상 Total Heat Release 및 오차	427.213 MJ 약 3.22%	

총열방출량을 예상하기 위한 단위 재료시험의 오차는 표 1과 같이 3.22%로 나타났으며 실험 중 오차를 감안한다면 상당히 근접한 것으로 보인다. 그러나 그림 1, 2 와 같이 착화 시간, 시간에 따른 열방출률의 재현성은 상당히 부족한 것으로 파악된다. 재현성에 영향을 미치는 요인으로는 시험편의 구조, 화재에 따른 복사, 대류 및 전도 현상이 있다. 우리는 이 중 화재에 따라 증가하는 복사열의 변화에 따른 시험편의 연소 특성을 살펴보기 위한 다음 실험을 준비하였다.

3. 수치해석을 통한 화재 시나리오 도출 및 Benched (Lab') scale oxygen consumption calorimeter를 활용한 Real Scale Calorimeter 조건 구현.

축소 실험을 통해 열방출률을 측정하는 콘칼로리미터법은 ASTM E1354, ISO 5660과 같은 열방출률 및 연기 분석 등 실험에 사용되고 있다.[v, vi]

실물화재 시 가연물은 연소할 때 열선속은 계속 변하지만, 콘칼로리미터 실험은 일정 열선속을 시험편에 가한다. 이에 고정 열선속을 적용한 실험방법은 실물화재를 구현, 해석하는데 한계를 가지고 있다. 이러한 한계를 극복하고자 3단계 콘 히터 온도 변환 장치 (Conical Heater three step temperature controller, Festec International Co., Ltd.)를 사용하여 실물화재 발생시 변화하는 열선속을 적용 시켜 고정 열선속에서 연소되는 시험편과 비교하고자 한다.

본 실험에서는 고정 및 유동 열선속을 적용한 PMMA (polymethyl methacrylate)의 연소 특성을 관찰하였다. 유동 열선속 데이터 수집을 위해 수치해석 프로그램인 FDS 및 그 예제(room_fire.fds)를 활용하였으며, 이 데이터는 '화재성장단계'(The stage of fire development)인 착화(Ignition), 성장(Growth), 플래시오버(Flashover), 최성기(Fully developed), 감소(Decay)의 형태가 잘 나타나고 있다. 이에 수집한 데이터를 바탕으로 Conical Heater의 열선속(Heat Flux)을 조절하여 PMMA에 적용시켰다.

4. Cone calorimeter를 활용한 실제 화재 예측을 위한 실험.

앞선 두 시험을 통해 Lab' scale calorimeter를 통한 실물화재 모사 가능성을 확인하였다. 본 실험은 실물화재와 Lab' scale 실험 및 화재 시뮬레이션의 상관관계를 파악하고자 한다.

실물화재 시험은 Real scale calorimeter의 한 종류인 Room Corner Tester (ISO 9705)

를 이용하여 가연물에 대한 연소실험을 진행 하였다. 선정된 가연물의 재료로는 1인용 single sofa다. 그림 3은 Room Corner Tester를 통한 연소 시험의 결과값을 나타낸다. 시험결과, 동일하게 나타나는 특징은 열방출률, 연기발생률, CO 발생률 모두 두번의 급격한 성장이 있으며, 소화 후 연기발생은 없으나 열방출률과 CO발생률이 낮게 지속되는 것을 확인하였다. 열방출률 값의 급격한 성장의 발생 횟수는 주로 시험편의 주요 구성물의 숫자를 의미한다. 실제 시험편으로 사용된 소파는 내장재 솜과 프레임으로 사용되는 목재로 구성되어 있다. Room Corner Tester 에 적용된 실물화재 시험조건인 가연물의 질량 및 부피 값, 가연물로부터의 연소가스 온도 측정 거리, 착화원의 열량 값(Energy of ignition source) 등의 시험조건을 화재 시뮬레이션인 FDS의 재료 값에 적용하여 FDS5 에서 제공하는 소파(UPHOLSTERY)의 물성치 및 ramp 값을 적용하여 HRR의 결과값을 비교하였다.

표 2는 각각의 시뮬레이션에 들어간 물성치를 비교한 값이다. FDS5 데이터에서는 2가지 재료로 구성되어 각각의 값을 적용하였으며, 실물화재 데이터는 복합재료의 실제 측정 데이터를 적용하여 density, heat of combustion 등을 수정하여 대입하였다.

그림 4는 Room Corner Tester의 열방출률, FDS 에 Room Corner Tester의 데이터를 적용한 결과값과 FDS 에 Room Corner Tester의 열방출률을 적용한 데이터를 비교한 그래프이다. 이 그래프를 통해 실물화재 실험 데이터를 효과적으로 화재전산 시뮬레이션 대입이 가능함을 확인하였으며, 기존 데이터 활용의 한계 또한 확인하였다.

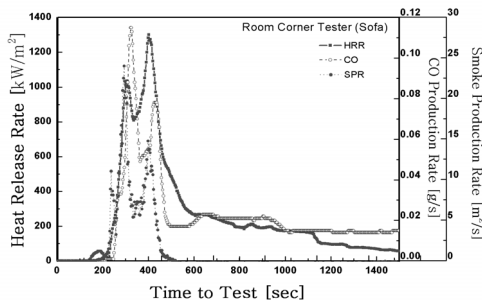


그림 3. The graph of Heat release rate, Smoke production rate, Ceiling temperature of Sofa by Room Corner Tester (Real scale calorimeter, ISO 9705)

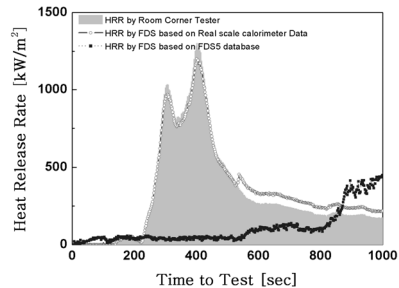


그림 4. The graph of Heat release rate of Sofa by Room Corner Tester, FDS data based on Room Corner Tester and FDS data based on FDS5 database

표 2. FDS5 의 데이터와 실물화재 데이터의 물성치

물성치 구성	FDS 5 Data		실물화재 데이터 집성목, 내장 솜, 가죽
	FABRIC	FOAM	
DENSITY	100.00	40.00	40.29
HEAT_OF_COMBUSTION	15000	30000	5350
N_REACTIONS	1	1	1
NU_FUEL	1.00	1.00	1.00
N_S	1.00	1.00	1.00

5. 결 론

본 논문을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. Benched scale calorimeter의 결과값을 통해 총열방출량을 예측할 수 있으나 시간에 따른 열방출량의 결과는 다소 차이가 있다.
2. Cone calorimeter의 Heat flux 조절에 따라 열방출률 그래프는 상당히 다르게 나타난다.
3. 화재 시뮬레이션을 사용할 때 NIST 등에서 제공하는 재료의 물성치를 대입하는 것과 실물화재 데이터는 상이한 결과를 가져올 수 있다.
4. 그러므로 실물화재를 모사할 수 있는 Benched scale 실험방법을 찾아 화재 시뮬레이션 작성 시 실제 구성된 재료를 활용하여 연소성향에 대한 결과값을 대입할 수 있도록 연구가 진행되어야 한다.

참고문헌

1. Kevin McGrattan, Bryan Klein, Simo Hostikka and Jason Floyd, "Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide", NIST, 2008.
2. Park, Woe-Chul, "Shortcomings in Simulation of a Vertical Wall Fire by Using FDS", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Proceeding of 2008 Autumn Annual Conference, pp. 68-75, 2008.
3. Oh-Sang Kweon, Yong-Ho Yoo, Heung-Youl Kim, Jung-Hyun Kim, "A Study on the Fire Safety of Expanded Poly-Styrene Foam Panel", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Proceeding of 2009 Spring Annual Conference, pp. 513-519, 2009.
4. Sang-Hoon RYU, Yong-ho YOO, Dong-Ho RIE, "The Study of a Correlation between Heat Release and Smoke Production by using Oxygen Consumption Calorimeter up to 10MW Facility", APSS, pp. 75-78, JSSE, 2009.
5. ASTM E 1354 - 021 "Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption calorimeter".
6. ISO 5660-1 "Reaction to fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate -Part 1:Heat release rate (cone calorimeter method)".
7. Sung-Woong Moon, Sang-Hoon Ryu, Dong-Ho Rie, " A Combustion Characteristic Analysis of PMMA by Cone Heater of the flexible Heat Flux", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Volume 24, No 3, 11 June 2010.