

주거공간 가연물의 화재하중 산정방법의 비교연구

최수영 · 김정용 · 남동군* · 김성찬**†

경일대학교 대학원, *한국소방산업기술원, **경일대학교 소방방재학과

Comparative Study on the Estimation Method of Fire Load for Residential Combustibles

Su-Young Choi · Jung-Yong Kim · Dong-Gun Nam* · Sung-Chan Kim**†

Graduate School, Kyungil University

*Korea Institute of Fire Industry & Technology

**Dept. of Fire Safety, Kyungil University

(Received September 25, 2013; Revised November 18, 2013; Accepted December 6, 2013)

요 약

본 연구는 주거공간 내 가연물의 화재하중 산정방법의 신뢰성을 평가하기 위한 연구로서 가연물의 3차원 형상정보를 통해 체적을 산정하고 문헌조사와 시편실험을 통해 얻은 가연물의 물성을 적용하여 화재하중을 산정한다. 대상 가연물은 주방 싱크대, 가정용 소파, 책상 세트이며 실화재 실험을 통해 가연물에서 방출되는 총열방출량을 측정하였다. 실화재 실험에서 측정된 총열방출량을 기준으로 문헌조사에 기초하여 계산된 화재하중은 6~120% 정도의 상대오차를 보였으나 시편실험에 기초한 화재하중은 20% 이내로 나타났다. 본 연구는 화재하중 평가의 오차가 형상정보뿐만 아니라 가연물의 재료 물성에 큰 영향을 받는다는 사실을 보여주고 있으며 이러한 연구를 통해 화재하중 산정기법을 향상시키는데 기여할 수 있다.

ABSTRACT

As a preliminary study to evaluate the reliability of the calculation method of fire load for residential furniture combustibles, the present study estimates the fire load considering the volume data obtained by the 3D geometrical information of combustibles and material properties based on the literature survey and sample burning test. A kitchen sink cabinet, couch and workstation were investigated for estimating its fire load and real fire test have been performed to measure total energy released from the combustibles. Based on total energy measured from real fire test, the relative error of the estimated fire load due to literature survey and measured material properties showed 6~120% and less than 20%, respectively. It shows that the estimation error of fire load are greatly affected by its material properties as well as geometrical information of combustibles and the present study will be able to contribute to accurate estimation of fire load.

Keywords : Fire load, Heat release rate, Fire scenario, Performance based design, Design fire

1. 서 론

공간 내 화재특성을 이해하고 화재위험성을 평가하는데 있어서 화원의 설정은 가장 기본적인 인자로 인식되고 있으며 특히, 성능기반 건축물 화재안전 설계와 같이 공학적 화재해석이 요구되는 분야에서 타당한 화재시나리오를 설정하기 위해서는 화원에 대한 정보가 필수적이다. 이를 위해서는 공간 내 가연물의 종류와 양에 대한 정보가 요구되며 이는 화재하중(fire load)을 통해 정량적으로 표시할 수 있다. 가연물의 화재하중(fire load)은 가연물의 연소과정

에서 발생하는 총 열에너지로 정의되며 가연물의 질량(m_i)과 가연물의 유효연소열($\Delta H_{\text{eff},i}$, effective heat of combustion)에 의해 산정할 수 있다⁽¹⁻³⁾.

$$E_i = \sum_{i=1}^N m_i \Delta H_{\text{eff},i} \quad (1)$$

가연물의 질량을 평가하는 방법은 다양하지만 일반적으로 공간 내 가연물을 대상으로 직접 개별 중량을 측정하는 방법(weight technique)과 개별 가연물의 크기를 실측하거나 설문조사를 통해 파악하여 중량을 유추하는 방법

† Corresponding Author, E-Mail: sungkim@kiu.ac.kr
TEL: +82-53-600-5405, FAX: +82-53-600-5419

(inventory technique) 등이 널리 적용된다^(4,5). 보통의 경우 가연물의 중량을 측정하는 방법이 가장 정확하나 실제 공간에서 사용 중인 모든 가연물을 대상으로 실측하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한 크기 정보를 통한 가연물 질량의 유추방법은 가연물을 구성하는 재료에 대한 정보가 부정확할 경우 화재하중 산정에 상당한 오류가 발생할 수 있다.

한편, 유효연소열은 가연물을 구성하는 재료가 명확한 경우 문헌자료나 기존 연구를 참고하여 간접적으로 적용할 수 있으나 재료에 대한 정보가 명확하지 않거나 다양한 물질로 이루어져 개별 물질을 파악하기 힘든 경우 유효연소열을 평가하는데 어려움이 있다.

이평강⁽⁶⁾ 등은 국내 9개 용도군의 40개 구획공간에 대하여 목록기술방법과 중량측정을 병행하여 공간 내 단위면적당 화재하중인 화재하중밀도(fire load density)를 평가하였으며 김운형은⁽⁷⁾ 바닥면적 165 m² 이하의 설계사무소에 대해 가연물의 화재 시 노출상태 등의 인자를 고려하여 목재로 환산된 연료 중량으로 화재하중을 산정하였다.

용도별 공간에 대해 화재 하중을 산정하기 위한 다양한 연구가 수행되었으나 이에 비해 평가방법의 정확도를 파악하는 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 특히 공간 내 가연물의 구성요소에 대한 명확한 정보 확보가 어렵기 때문에 가연물의 유효연소열은 주관적인 관찰에 의해 결정되는 경우가 많으며 공간 내 가연성물질의 유효연소열이 10~40 MJ/kg⁽⁸⁾ 정도로 재료의 의존성이 상당히 높은 편이다.

본 연구에서는 화재하중 산정방법의 신뢰성 수준을 평가하기 위한 기초연구로서 주거공간에서 주로 사용되는 가구류에 대하여 가연물의 크기를 조사하여 화재하중을 산정하고 이 결과를 실물화재 실험결과에서 얻은 실제 총열방출량과 비교하였다. 또한 자료조사에서 얻어진 유효연소열과 실제 가연물의 시편실험을 통해 얻어진 유효연소열을 비교하여 재료의 연소물성의 영향을 파악하고자 한다. 이러한 연구는 화재 하중 산정방법의 정확성을 향상시키고 신뢰성 높은 화재시나리오를 설정하는데 기여할 것으로 판단된다.

2. 화재하중 산정방법

2.1 실험대상 가연물

가연물을 구성하는 재료를 알고 있는 경우 화재하중의 산정은 가연물의 중량이나 크기에 의존하게 되는데 중량 측정법을 적용할 경우 가연물을 구성하는 재료가 다양하면 재료별로 중량을 측정하여야 정확한 화재하중을 산출할 수 있다. 그러나 실제 사용 중인 공간의 가연물을 해체하여 재료별로 중량을 측정하는 것은 매우 어려운 일이므로 본 연구에서는 크기정보에 기초하여 가연물을 구성하는 개별 요소의 체적을 계산하고 재료의 밀도를 고려하여 가연물의 질량을 산정한다. 본 연구에서는 Auto CAD 프로그램을 이용하여 가연물의 3차원 솔리드모델을 단순 형

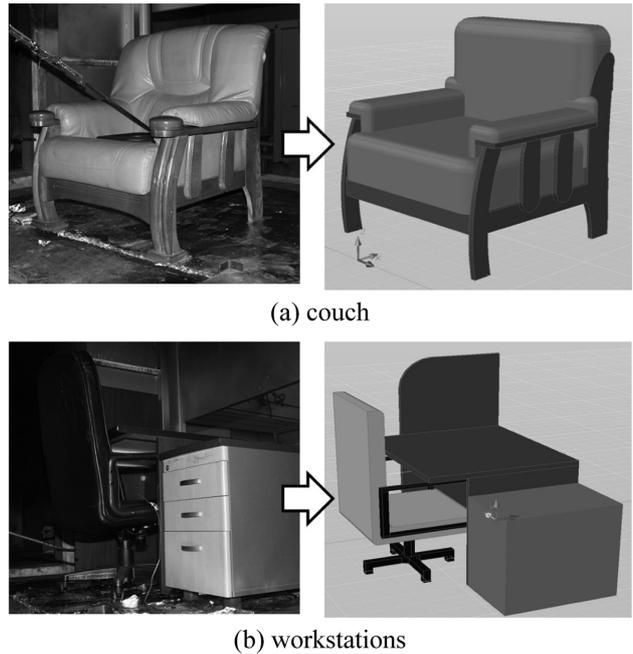


Figure 1. Photographs of the tested furniture and its idealized 3D geometrical model.

상화하고 내부 함수를 적용하여 체적을 산정하였다. 화재하중 산정의 대상 가연물은 주방용 싱크대, 가정용 소파, 책상세트 등이며 Figure 1은 가정용 소파와 책상세트의 사진을 3차원 형상모델과 비교하여 나타낸다.

2.2 가연물 물성의 문헌조사 및 화재하중 산정

Table 1은 개별 구성요소에 대한 얻어진 체적과 주요 문헌조사^(2,3,9,10)에서 얻어진 재료 물성을 적용하여 화재하중을 산정하는 과정을 정리하여 나타낸다. 주방용 싱크대의 경우 주요 가연물은 합판재이며 PVC 소재의 받침대로 구성되어 있다. 받침대 내부는 중공형이며 받침대 외형 체적의 30% 정도만이 가연물로 구성된다. 구성요소의 체적과 밀도에 의해 산정된 가연물의 중량은 20.24 kg_f이며 실제 측정중량은 18.9 kg_f로서 약 7% 정도의 오차를 보였다. 가정용 소파의 경우 합성피혁과 폼으로 이루어진 쿠션재와 소파를 지지하는 목재골격으로 구성되며 구성요소의 체적과 밀도를 조사하여 산정한 중량은 최소 11.93 kg_f, 최대 25.42 kg_f이며 실제 측정중량은 21.3 kg_f으로 최대산정 중량을 기준으로 약 20% 정도의 오차를 보인다. 책상 세트의 경우 MDF 소재의 책상, 쿠션재와 PVC 플라스틱 소재로 이루어진 의자 그리고 MDF 소재의 서류함으로 이루어진다. 연소열은 문헌조사를 통해 얻어진 값이며 유사 명칭의 소재라 하더라도 문헌마다 다소 차이를 보였다. 특히, 목재계열의 판재의 경우 사용되는 나무종류에 따라 최대 2배까지 차이를 보였다. 따라서, 화재하중의 산정 시 가연물 구성요소의 종류 및 물성을 명확히 파악하는 것이 무엇보다 중요한 요소로 판단되

Table 1. Calculation of Fire Load Using Material Properties Based on Literature Survey

Furniture Type	Item	Volume (m ³)	Density (kg/m ³)	Estimated Mass (kg)	Heat of Combustion (kJ/kg)	Fire Load of individual item (kJ)	Total Fire Load (kJ)
Kitchen Sink	SUS Panel	0.000411	8030	3.30	0	0	119,400~219,400
	Plywood	0.027270	600	16.36	6,700~12,700	109,600~207,800	
	PVC base	0.001375	1400 × 0.3	0.58	17,000~20,000	9,800~11,600	
Couch	Wood frame	0.018103	400~800	7.24~14.48	17,000~18,000	123,100~260,700	230,900~566,900
	Cushion	0.195290	24~56	4.69~10.94	23,000~28,000	107,800~306,200	
Workstation	MDF desk	0.049764	600~800	29.86~39.81	14,400~18,600	430,000~740,500	744,900~1,291,800
	Chair cushion	0.061247	24~56	1.47~3.43	23,000~28,000	33,800~96,000	
	Base & armrest	0.005612	1400 × 0.3	2.36	17,000~20,000	40,100~47,200	
	Drawer	0.027904	600~800	16.74~22.32	14,400~18,600	241,000~415,200	

며 본 연구에서는 추가적으로 합판재와 쿠션재, MDF 소재등에 대해 유효연소열을 측정하여 문헌조사 결과와 비교한다. 문헌조사에서 얻어진 밀도와 연소열 정보를 이용하여 산정한 화재하중을 이론화재하중으로 정의하고 E_{th}로 표기한다.

2.2 시편의 연소물성측정 및 화재하중 산정

본 연구에서는 주요 연소대상물인 합판재, MDF 판재, 쿠션재 등에 대해 파일럿 점화에 따른 시편화재실험을 수행하고 이를 통해 가연물 개별요소의 유효연소열을 평가한다. 가연물 시편은 Meker 버너에 의해 점화되고 발생된 연소생성물은 직경이 40 cm인 콘형후드를 통해 수집되어 배기덕트를 통해 외부로 유출된다. 발열량 산정을 위해 배기덕트 내에서 연소가스 샘플링, 온도 및 유속측정이 이루어지며 산소소모법(oxygen consumption method)을 적용하여 가연물의 발열량을 산정한다⁽¹¹⁾.

$$\dot{q}_{chem} = \Delta H_{c, O_2} \phi \frac{\dot{m}_e}{1 + \phi(\alpha - 1)} (1 - X_{H_2O}^o) X_{O_2}^o \frac{MW_{O_2}}{MW_{air}} \quad (2)$$

ΔH_{c, O₂}는 산소의 연소열(kJ/kg), φ는 산소소모계수, ṁ_e는 덕트를 통한 연소가스의 질량유량(kg/s)을 나타내며 MW_i와 X_i는 화학종의 분자량(g/mol)과 체적분율(volume fraction)을 의미한다.

Figure 2는 사무용 의자 쿠션재의 시편연소실험 과정에

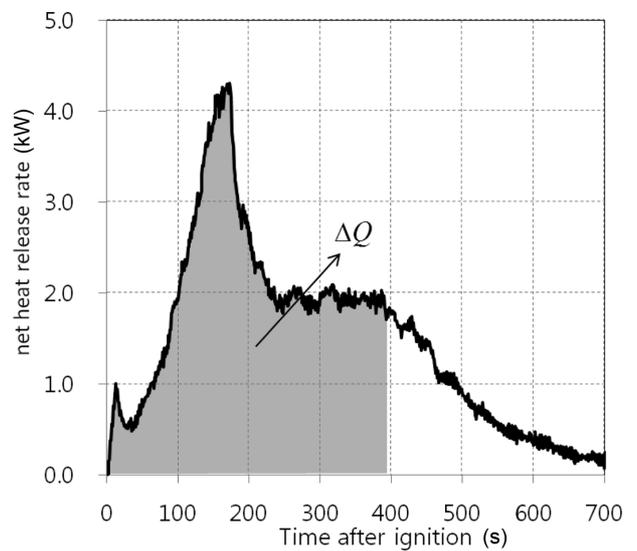


Figure 2. Net heat release rate from burning of cushion material of chair.

서 얻어진 전체 발열량에서 버너 발열량은 뺀 시편의 순 발열량(net heat release rate)를 나타내고 있다. 임의 시간 동안 방출된 시편의 열에너지는 식(3)과 같이 순발열량을 적분하여 얻어지며 가연물의 평균 유효연소열은 로드셀에 의해 측정된 질량변화를 고려하여 식(4)와 같이 계산된다.

Table 2. Calculation of Fire Load Using the Measured Material Properties for the Tested Furniture

Furniture Type	Item	Volume (m ³)	Measured Density (kg/m ³)	Estimated Mass (kg)	Measured Heat of Combustion (kJ/kg)	Fire Load of individual item (kJ)	Total Fire Load (kJ)
Kitchen Sink	Plywood	0.027270	696	18.98	7,700	146,100	146,100
Couch	Cushion	0.195290	28	5.47	26,500	144,900	144,900
Workstation	MDF desk	0.049764	571	28.42	10,700	304,100	562,300
	Chair cushion	0.061247	54	3.31	26,500	87,700	
	MDF drawer	0.027904	571	15.93	10,700	170,500	

$$\Delta Q = \int_{t_1}^{t_2} (q_{chem} - q_{burner}) dt \quad (3)$$

$$\Delta \bar{H}_{c,eff} = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad (4)$$

밀도는 정방향으로 절단된 시편에 대해 분해능이 1 mg 인 정밀저울을 이용하여 시편의 무게를 측정하여 산정하였다. 시편실험에서 얻어진 합판재의 밀도는 696 kg/m³, 유효연소열은 7,700 kJ/kg이며 MDF 판재의 밀도는 571 kg/m³, 유효연소열은 10,700 kJ/kg 정도로 측정되었다. 소파에 사용된 PU 폼의 밀도는 28 kg/m³ 정도이고 의자에 사용된 PU 폼의 밀도는 54 kg/m³으로 상대적으로 높게 나타났다으며, 유효연소열은 26,500 kJ/kg 정도로 유사한 값을 보였다. 시편실험에서 측정된 개별요소의 밀도와 유효연소열을 이용하여 산정한 화재하중을 물성측정 화재하중으로 정의하고 E_{prop}로 표기한다.

Table 2는 개별 구성요소에 대한 체적과 시편실험을 통해 측정된 가연물의 재료 물성을 적용하여 화재하중을 산정하는 과정을 정리하여 나타내었다. 합판재와 소파, 의자에 적용된 PU 폼 그리고 MDF 시편에 대해 화재실험을 수행하였으며 측정된 값을 적용하여 화재하중을 계산하였다.

2.4 실화재실험

실화재 실험 과정에서 발생하는 총열방출율은 단위시간 당 방출에너지인 발열량을 연소가 진행된 시간 동안에 적분하여 얻을 수 있다⁽³⁾.

$$E_{HRR} = \int_0^t q(t) dt \quad (5)$$

실화재 실험은 한국소방산업기술원의 ISO-9705 룸코너 시험장치의 후드 아래에서 수행되었으며 발열량은 식(2)와 동일한 방법으로 산정된다. 가연물의 점화는 프로판가스를 연료로 하는 확산화염 가스버너를 사용하였으며 연료의 공급유량은 13 lpm (liter per minute), 버너의 이론 발열량은 약 20 kW 정도로 환산된다. 주방용 싱크대와 책상세트는 T자형 버너를 이용하여 점화하였으며 가정용 소파의 경우 가연물을 수평으로 놓은 상태에서 시트부분을 점화시키기 위해 CSB (california state bulletin) 133⁽¹²⁾을 이용하였다. 3가지 실험 모두 육안으로 잔염이 관찰될 때까지 실험을 진행하였으며 이후 훈소(smouldering)가 진행되어 더 이상 화재성장이 없다고 판단되는 경우 실험을 중단하였다.

3. 실험결과

Figure 3은 주방 싱크대의 점화 이후 발열량과 측정된 발열량을 시간에 대해 적분하여 계산된 총열방출량을 나타낸다. 주방용 싱크대의 경우 초기점화부와 바닥면에서 연소가 진행되었고 뒷면과 내부로 화염이 전파됨에 따라

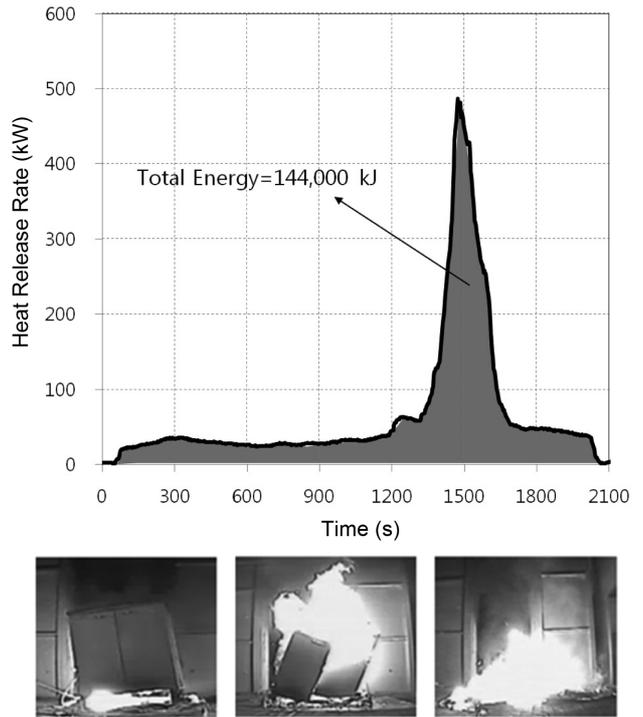


Figure 3. Measured heat release rate and total energy release during the sink cabinet burning.

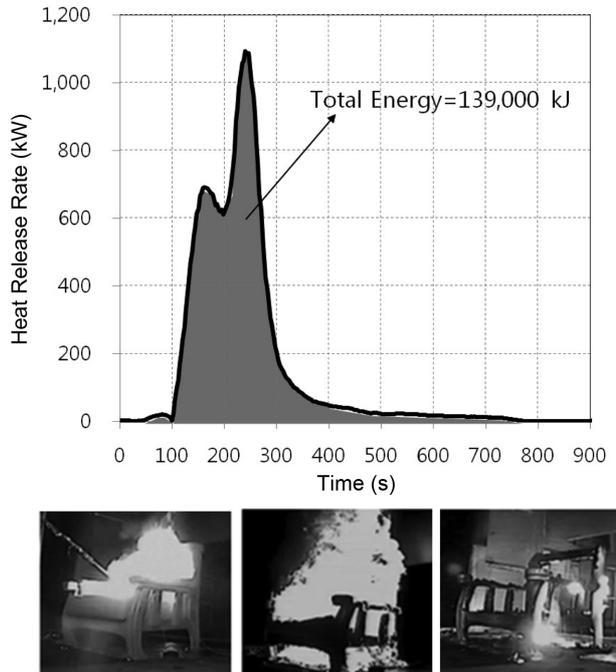


Figure 4. Measured heat release rate and total energy release during the couch burning.

가연물 전체가 붕괴되어 바닥에서 연소가 이루어졌다. 싱크대의 소재인 합판재는 대부분 연소되었으며 일부 타지 않는 부분은 훈소가 이루어졌으나 측정발열량이 최대발열량의 1% 이하로 떨어져 실험을 중단하였다. 주방용 싱크

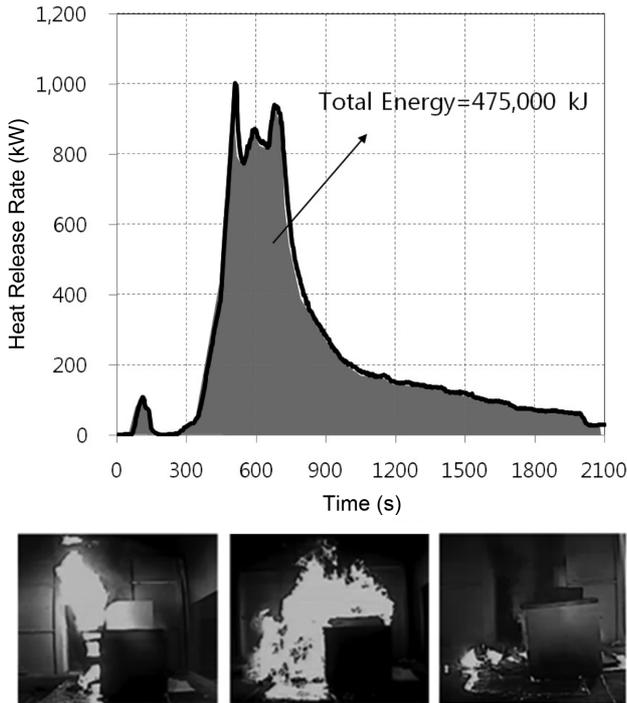


Figure 5. Measured heat release rate and total energy release during the workstation burning.

대의 최대발열량은 화재점화가 진행된 25분 후 500 kW 정도이며 방출된 총열방출량은 144,000 kJ로 산정되었다.

Figure 4는 가정용 합성피혁 소파에 대해 점화 이후의 발열량과 측정된 발열량을 시간에 대해 적분하여 계산된 총열방출량을 나타낸다. 가정용소파의 경우 초기 점화 이후 쿠션재의 연소과정에서 발생한 용융물이 바닥에 떨어져 소파의 타지 않은 부분으로 빠른 시간에 화재전파가 이루어졌으며 약 10분 경과 후 전체적인 소파 쿠션재는 바닥으로 녹아 용융상태에서 연소되었다. 반면에 소파의 프레임인 목재는 표면만 탄화되었고 직접적인 연소는 이루어지지 않았다. 따라서 이론적 화재하중과 시편물성측정값을 이용한 화재하중 산정시 실화재실험과의 비교를 위해 목재부분은 포함하지 않았으며 쿠션재의 질량과 연소열만으로 화재하중을 비교하였다. 가정용 소파의 최대발열량은 화재점화가 진행된 4분 후 1,100 kW 정도이며 총열방출량은 139,000 kJ로 산정되었다.

Figure 5는 책상세트에 대해 점화이후의 발열량과 측정된 발열량을 시간에 대해 적분하여 계산된 총열방출량을 나타낸다. 책상세트의 경우 의자의 좌판 아랫부분에 점화

가 이루어졌고 약 5분 경과 후 쿠션재로 화재가 전파되어 급격한 연소가 진행되었다. 이후 책상으로 화재가 전파됨에 따라 책상 전체가 붕괴되어 바닥에서 연소가 이루어졌으나 서랍장은 책상부와 접한 일부만 탄화되었다. 따라서 이론적 화재하중과 시편물성측정값을 이용한 화재하중 산정 시 서랍장의 화재하중은 제외하였으며 의자와 책상부의 화재하중만을 고려하였다. 책상세트의 최대발열량은 화재 점화가 진행된 8분 후 1,000 kW 정도이며 방출된 총열방출량은 475,000 kJ로 계산되었다.

Table 3은 실화재 실험을 통해 측정된 총열방출량과 문헌조사에서 얻은 가연물 물성을 적용한 화재하중 그리고 시편연소실험을 통해 가연물 물성을 적용하여 산정한 화재하중을 상호 비교하였다. 실화재 실험에서 얻어진 화재하중을 기준으로 한 화재하중 산정방법의 상대적인 오차는 다음과 같이 계산된다.

$$\varepsilon_i = \left| \frac{E_i - E_{HRR}}{E_{HRR}} \right| \times 100 \quad (6)$$

실화재 실험에서의 측정된 화재하중 대비 문헌조사에서 얻은 가연물 물성을 적용한 이론적 화재하중은 최소 6%~최대 120%까지 상대 오차를 보였다. 특히, 가정용 소파의 경우 상대적으로 높은 상대오차를 보였는데 이는 PU 폼의 밀도가 용도에 따라 2배 이상 차이가 나기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 가연물 물성을 측정하여 산정한 화재하중은 전체적으로 20% 이내의 상대오차를 나타냈으며 형상의 단순화에도 불구하고 비교적 정확한 결과를 제공하였다. 이는 화재하중을 산정하는 과정에서 형상정보의 오류에 기인한 오차보다 가연물의 정확한 물성 정보의 부재에서 오는 불확실성이 상대적으로 크다는 사실을 의미한다. 특히 문헌조사에서 유사 소재에 대해서 물성값의 범위가 큰 경우 화재하중 산정에 신중을 기해야하며 필요할 경우 시편실험을 통해 가연물 물성을 적용해야만 신뢰성 높은 화재하중의 평가가 가능하다.

4. 결 론

본 연구는 주방 싱크대, 가정용 소파, 책상세트에 대해 가연물의 3차원 단순모델을 형상화하여 체적을 산정하고 문헌조사를 통해 얻은 가연물 물성을 적용한 경우와 시편실험을 통해 측정된 물성을 적용한 경우의 화재하중을 실화재 실험을 통해 얻은 총열방출량과 비교분석하여 주거

Table 3. Calculated Fire Load and Relative Error of Evaluation Method

Item	E_{HRR} (kJ)	E_{th} (kJ)	E_{prop} (kJ)	ε_{th} (%)	ε_{prop} (%)
Kitchen Sink	144,000	119,400~219,400	146,100	17.1~52.3	1.5
Couch	139,000	107,800~306,200	144,900	22.4~120.3	4.2
Workstation	475,000	503,900~797,300	431,800	6.1~67.9	18.4

공간 내 화재하중 산정방법의 신뢰성을 평가하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같이 요약된다.

- 가연물 체적정보와 밀도를 적용하여 산정한 가연물의 중량은 실측된 가연물 중량과 20% 이내의 오차를 보였으나 유효연소열의 경우 문헌조사를 통해 얻은 결과와 가연물의 시편실험결과가 상대적으로 큰 차이를 보였다. 또한, 목재계열 소재의 경우 폴리머계열에 비해 유효연소열의 재료 의존성이 상대적으로 크게 나타났다. 따라서 보다 정확한 화재하중을 산정하기 위해서는 공간 내 주요 가연물의 정확한 재료를 파악하는 것이 매우 중요하다.

- 실험대상 가연물에 대해 화재하중산정에서 문헌조사를 통해 얻은 가연물 정보를 적용한 이론적 화재하중이 가장 큰 값을 나타냈으며 시편실험의 물성을 적용한 화재하중은 상대적으로 낮은 유효연소열이 적용되어 이론적 화재하중보다 낮게 산정되었다. 실화재 실험을 통해 측정된 화재하중을 기준으로 이론적 화재하중은 6~120% 정도로 재료의 물성에 따라 매우 큰 상대오차를 보였으나 가연물 물성을 측정하여 산정한 화재하중은 전체적으로 20% 이내로 상대오차가 감소하는 경향을 보였다.

- 가연물 형상의 단순화에도 불구하고 시편의 물성을 측정하여 산정한 화재하중은 신뢰성 높은 결과를 보여주었으며 화재하중을 산정하는 과정에서 형상정보의 오류에 기인한 오차보다 가연물에 대한 정확한 물성 정보의 부재에서 오는 불확실성이 상대적으로 클 수 있음을 보여준다.

본 연구는 문헌조사에 기초한 화재하중 산정방법의 불확실성과 주요인자의 영향을 파악하고 화재 하중 산정방법의 정확성을 향상시키기 위한 기초연구이며 추가적인 연구를 통해 다양한 가연물에 대한 화재하중 정보를 데이터베이스화하여 효과적인 화재시나리오 설정하는데 기여할 수 있다.

후 기

본 연구는 2013년도 소방방재청의 차세대핵심소방안전기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 실화재 실험에 도움을 주신 한국소방산업기술원 관계제위께 감사드립니다.

References

1. H. W. Yii, "Effect of Surface Area and Thickness on Fire

Loads", Fire Engineering Research Report, ISSN 1173-5996, Univ. of Canterbury (2000).

2. J. Hietaniemi and E. Mikkola, "Design Fires for Fire Safety Engineering", VTT-WORK-139, ISBN 978-951-7479-7, VTT (2010).

3. L. Staffansson, "Selecting Design Fires", Report 7032, Lund Univ (2010).

4. E. Zalok and G. Hadjisophocleous, "Characterizing of Design Fires for Clothing Stores" Proceedings of the 5th International Seminar on Fire and Explosion Hazards, pp. 328-337 (2007).

5. P. R. Shrivastava and P. H. Sawant, "Estimation of Fire Loads for an Educational Building - A Case Study", International Journal of Scientific Engineering and Technology, Vol. 2, No. 5, pp 388-391 (2013).

6. P. G. Lee, Y. J. Lee, I. C. Choi and H. S. Kim, "A Study on the Fire Resistance Design of Building Considering the Fire Load Energy Density", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 10-16 (2003).

7. W. H. Kim, "A Study of Fuel Loads in Office Buildings", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 37-45 (1997).

8. J. G. Quintiere, "Principles of Fire Behavior", Delmar Publisher (1997).

9. O. Grexa, M. Janssens, R. White and M. Dietenberger, "Fundamental Thermophysical Properties of Materials Derived From the Cone Calorimeter Measurements", Proceedings of 3rd International Scientific Conference Wood and Fire Safety, pp. 139-147 (1996).

10. B. Gunther, K. Gebauer, R. Barkowski, M. Rosenthal and C. T. Bues, "Calorific Value of Selected Wood Species and Wood Products", European Journal of Wood and Wood Products, Vol. 30, No. 5, pp. 755-757 (2012).

11. R. A. Bryant, T. J. Ohlemiller, E. L. Johnsson, A. Hamins, B. S. Grove, W. F. Guthrie, A. Maranghides and G. W. Mulholland, "The NIST 3 MW Quantitative Heat Release Rate Facility - Description and Procedures", NISTIR 7052, National Institute of Standards and Technology (2004).

12. Technical Bulletin 133, "Flammability Test Procedure for Seating Furniture for Use in Public Occupancies", State of California Department of Consumer Affairs (1991).