

[Research Paper]

성능위주설계를 위한 가연물의 열발생률 및 화재성장률 측정 - 주거 및 사무공간 가연물을 중심으로

남동군[†] · 황철홍*

한국소방산업기술원 소방기술연구소, *대전대학교 소방방재학과

Measurements of the Heat Release Rate and Fire Growth Rate of Combustibles for the Performance-Based Design - Focusing on the Combustibles in Residential and Office Spaces

Dong-Gun Nam[†] · Cheol-Hong Hwang*

R&D Laboratory, Korea Fire Institute, *Department of Fire and Disaster Prevention, Daejeon University

(Received January 24, 2017; Revised March 8, 2017; Accepted March 16, 2017)

요 약

가연물의 열발생률에 근거한 설계화원은 성능위주설계의 화재안전성 평가에 매우 중요한 영향을 줄 수 있다. 그러나 현재 성능위주설계에서는 국내 가연물의 화재정보의 부족으로 인하여 제한된 외국 문헌정보가 추가 검증이 없이 적용되고 있다. 본 연구의 목적은 성능위주설계의 신뢰성을 확보하기 위하여 다양한 주거 및 사무공간 가연물을 대상으로 열발생률 및 화재성장률에 관한 정보를 제공하는 것이다. 이를 위해 총 14가지의 단일 및 다수 가연물에 대한 화재실험이 수행되었다. 본 연구에서 고려된 가연물의 최대 열발생률은 36 kW~1,092 kW의 범위를 갖는 것으로 측정되었다. 화재성장률은 주거용 가연물이 0.003 kW/s²~0.0287 kW/s²이고, 사무용 가연물이 0.003 kW/s²~0.0838 kW/s² 범위를 갖는다. 특히 소파는 최대 열발생률 및 화재성장률의 관점에서 가장 높은 화재 위험성을 갖는다. 마지막으로, 다양한 가연물들의 최대 열발생률과 노출 표면적의 상관관계 분석을 통해 공간 내의 최대 열발생률을 산출하는 방법론이 제안된다.

ABSTRACT

The design fire based on the heat release rate (HRR) of combustibles can significantly affect the assessment of fire safety in the performance-based design (PBD). In the present PBD, however, limited information in the foreign literature has been used without further verification due to the lack of fire information in domestic combustibles. The objective of this study is to provide information on the HRR and fire growth rate for various combustibles in residential and office spaces. To end this, the fire experiments were carried out with single and multiple combustibles. The peak HRR of combustibles used in the present study had a range of 36 kW~1,092 kW. The fire growth rates were also 0.003 kW/s²~0.0287 kW/s² and 0.003 kW/s²~0.0838 kW/s² for the residential and office spaces, respectively. In particular, a sofa had the highest fire risk in terms of the peak HRR and fire growth rate. Finally, a methodology for calculating the peak HRR in a space was proposed through correlation analysis between the peak HRR and exposed surface of various combustibles.

Keywords: Performance-Based Design; Design fire; Heat Release Rate; Fire Growth Rate; Burn Surface Area

1. 서 론

건축물의 성능위주설계에서는 건물 용도별로 가연물의 화재성장률에서 열발생률을 산정하여 연기하강시간 등을 예측한다. 가연물의 화재성장률은 성능위주설계의 평가결과를 크게 좌우하므로, 성능위주설계의 신뢰성을 확보하기 위해서는 실험규모의 연소실험을 토대로 다양한 가연물의

열발생률이 측정되어야 한다. 그러나 국내의 경우, 가연물의 연소 발열량은 주거용도의 가연물을 대상으로 연소실험에 의해 일부 제시되었지만, 다른 건축용도의 가연물에 대한 정보는 거의 제공되지 않고 있다⁽¹⁻⁷⁾. 반면 국외의 경우는 오래전부터 가연물의 연소 발열량의 중요성을 인지하여 사무용도 등의 다양한 건물 용도별로 다양한 가연물의 연소 발열량을 측정하여 성능위주설계에 활용하고 있다⁽⁸⁻¹⁴⁾.

[†] Corresponding Author, E-Mail: nam@kfi.or.kr, TEL: +82-31-289-2958, FAX: +82-31-287-1067

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

이러한 이유로 국내의 성능위주설계에서는 가연물의 연소실험에 의한 연소 물성데이터가 부족하기 때문에 해외 문헌을 참고하여 국외의 가연물의 연소 발열량을 그대로 적용하는 사례가 적지 않다. 그러나 각 국가의 사용 환경에 따라 가연물은 동일한 종류라고 해도 재질 및 형태 등에 차이가 있어서 연소발열성상이 다를 수 있다. 따라서 성능위주설계를 수행함에 있어 국외 문헌의 실험 데이터를 그대로 활용한다면 그 평가결과에 대한 신뢰성이 낮아질 수밖에 없다. 성능위주설계의 신뢰성을 확보하기 위해서는 국내 가연물을 대상으로 다양한 실험 및 평가를 통해 광범위하고 체계적인 연소물성 데이터를 축적해야 한다.

이에 본 연구에서는 건축물의 성능위주설계의 활용을 염두에 두고 주거용도 및 사무용도의 가연물을 대상으로 연소실험을 실행하여 열발생률 등의 연소 발열특성을 파악하고, 그 결과를 바탕으로 성능위주설계에 필요한 화재성장률 등을 제시한다.

2. 연소실험 개요

2.1 개요

실험에서는 ISO 9705 룸코너시험기^(2,3,15)를 사용하였으며, 공간 내부에 가연물을 설치하면 가연물이 연소할 때 연소 거동을 관찰하기 어렵기 때문에 공간 외부에 가연물을 배치하였다. 즉 실험에서는 집연 후드의 하부에 가연물을 놓고 소규모화원으로 점화하고 연소 중에 발생하는 가스 성분을 분석하여 산소소모법에 의해 열발생률 및 유해가스 발생량 등을 산출하였다. 연소 중에 형성되는 화염 형상은 카메라, 비디오카메라를 이용하여 기록하였다.

2.2 실험 방법

(1) 시험체

시험체의 종류 및 시험 방법을 Table 1에 나타내었다. 실험에서는 서울 초고층건축물 D 타워, 대구 주상복합건축물인 S, W 건물 등에서 실행한 가연물의 실태 조사 결과에 근거하여 공간 용도별로 대표적인 가연물을 시험체로 선정

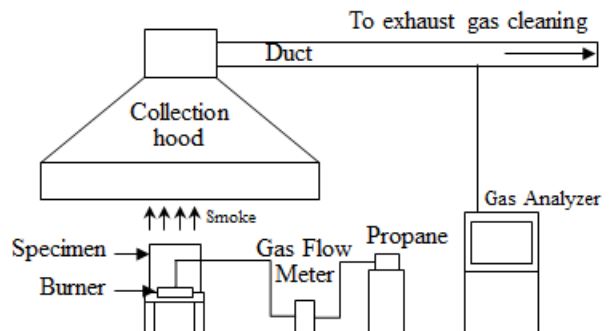


Figure 1. Overview of test apparatus.

하였다⁽¹⁶⁾. 실험에서는 주거용 및 사무용 가연물로 구분하고, 주거 및 사무공간에서 주로 사용되는 가구 및 전자제품을 시험체로 사용하였다. 실험 1~6에서는 소파 및 TV 등의 주거용 가연물을 시험체로 하고, 실험 7~14에서는 책상 및 의자 등의 사무용 가연물을 시험체로 하였다. 특히 실험 13에서는 컴퓨터 본체, 모니터와 프린터를 동시에 연소할 경우 연소발열특성을 파악하기 위해 컴퓨터 본체, 모니터와 프린터를 시험체로 사용하였다. 실험 14에서는 책상, 의자와 서랍장을 동시에 연소할 경우 화재전파특성을 파악하기 위해 책상, 의자 및 서랍장을 시험체로 사용하였다.

(2) 실험 방법

실험에서는 각 시험체를 보다 안정된 화원으로 점화한 경우에 착화 후의 연소확대 특성을 비교하기 위하여 일정 규모의 착화원을 반복적으로 사용할 수 있도록 프로판가스를 원료로 하는 가스버너를 이용하였다. 화원의 크기는 연소규모가 크면 시험체의 연소성상에 영향을 미치기 때문에 화원의 발열강도를 안정한 화원을 형성할 수 있는 범위에서 가능한 작은 수치로 제어하였다. 각 실험에서는 유량계를 통해 프로판 가스를 13 L/min 공급하여 가열하였는데, 이는 완전연소를 가정하면 약 16 kW의 열발생률에 해당한다.

모든 실험은 시험체의 연소성상을 비교하기 위하여 동일한 점화조건으로 실험 계획을 수립하였지만, 실험 5에서는 싱크대를 90초간 가열한 후에 점화원을 제거하면 싱크대의 표면이 연소되어 탄화하면서 연소상태가 지속되지 않았다. 실험 종료 후에 싱크대가 거의 손상하지 않았기 때문에 싱크대를 재활용하여 싱크대에 착화가 이루어지는 시간까지 가열하였다.

실험 1, 7~9에서는 시험체를 수평으로 놓은 상태에서 시험체의 상면을 점화시키기 위해 California State Bulletin 133 점화용 버너(이후, CSB 133 버너)를 사용하였다⁽⁴⁾. 다른 실험에서는 본래 수평면 점화용으로 설계된 CSB 133 버너로 점화하는 것은 어렵기 때문에 동일한 스테인리스 파이프를 T 자형버너를 제작하여 사용하였다⁽⁴⁾. 버너의 설치 위치에 관해서는 실험 1, 7~9는 의자와 소파의 좌판 상면에서 상방향으로 5 cm 거리에 CSB 133 버너를 설치하였다. 그 외 실험은 T자형 버너를 바닥에서 5 cm, 시험체에서 5 cm의 장소에 설치하였다.

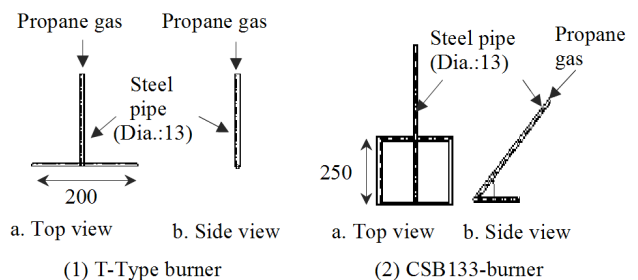


Figure 2. Fire test burner (unit : mm).

Table 1. Test Conditions used in the Present Study

Test NO.	Item	Specimen	Material	Mass (kg)	Size (mm)	Ignition Source (Propane Gas)		Ignition Burner
						Flow Rate (L/min)	Time (s)	
1	Residential space	Sofa	Urethane+Wood	21.2	800×800×880	13	90	CSB133 Burner
2		TV A	Plastic	21.0	500×470×450			T-Type Burner
3		TV B	Plastic	21.5	630×480×480			
4		Electric rice cooker	Plastic	2.9	370×250×200			
5		Kitchen cabinet	Wood	18.9	600×530×940			
6		Fan	Plastic	3.4	Diameter 360×H700			
7	Office space	Sofa	Urethane +Wood	17.7	770×800×820	13	90	CSB133 Burner
8		Chair A	Cushion+Plastic	14.1	600×550×1,100			T-Type Burner
9		Chair B	Cushion+Plastic	17.5	530×550×1,030			
10		Humidifier	Plastic	3.5	240×240×380			
11		Mineral water dispenser	Plastic	16.6	320×270×1,340			
12		Printer	Plastic	9.4	400×310×240			
13		Computer	Plastic	9.9	350×360×90			
		Monitor	Plastic	6.4	440×390×250			
14		Printer	Plastic	6.3	320×280×210			
		Desk	Wood	28.4	900×800×1,200			
	Chair	Cushion+Plastic	18.6	540×600×1,100				
	Drawers	Wood	26.3	400×600×560				

3. 연소실험 결과

3.1 주요 가연물의 연소거동 및 열발생률

실험 1(주거용 소파)에서는 점화와 동시에 좌판의 인조 가죽과 우레탄이 연소하기 시작하였다. 실험 2분 30초 후에 소파의 좌판에서 등받이로 화염전파하여 소파 전체가 연소하면서 소파의 연소가 최정점에 도달하였다. 이때 간헐화염높이가 2.5 m이었다. 소파는 내부의 골조인 목재가 탄화한 채 잔존하였지만 다른 부분이 전소하였다. 소파의 최대 열발생률이 1.1 MW로 큰 것을 보면, 주거공간에서 소파가 연소하면 이 화염이 천장에 접촉하여 열발생률이 증가함으로써 주위 가연물이 쉽게 연소할 가능성이 크다 (Figure 3, 4 참조).

실험 5(싱크대)에서는 점화버너로 싱크대의 하부를 가열 하였지만 연소확대하지 않았고 점화를 중지하면 곧바로 자 연소화하였다. 소손상태는 싱크대의 바퀴가 연소하였지만 싱크대 전체의 손상이 거의 없었다. 시험체를 재활용하여 싱크대를 24분 동안 재가열하였는데, 재점화 6분 40초 후에 점화원의 가열부분에서 연소하다가 싱크대의 내부와 뒷

면에 화염전파하였다. 싱크대 내부에서 화염이 확대하면서 형체가 붕괴하여 전체적으로 연소하였다. Figure 3를 보면 재가열 개시 후에 열발생률이 상승하지 않고 있다가 싱크대의 연소와 동시에 열발생률의 최대치인 486 kW 까지 상승하는 것을 알 수 있다. 이 결과에서 싱크대는 인화해도 외부가열이 없으면 자력으로 연소하지 않는다는 것을 알 수 있다.

실험 7(사무용 소파)에서는 점화와 동시에 소파의 좌판과 등받이가 연소하기 시작하였다. 실험 40초 후에 소파의 등받이 전체로 화염이 전파하였다. 실험 1분 40초 후에 소파의 팔걸이와 뒷부분까지 화염전파하고, 실험 2분 52초 후에 화염이 급속하게 성장하면서 소파의 옆면을 제외한 모든 부분이 화염에 휩싸였다. 실험 5분 후에 소파가 전소하였다. Figure 3을 보면 사무용 소파의 최대 열발생률이 크고 점화와 동시에 급속하게 상승하는 것을 알 수 있는데, 만약 실제 사무실에서 소파가 연소하면 주위 가연물에 착화하여 급속하게 대형화재로 전개될 가능성이 크다.

실험 11(정수기)에서는 가열과 동시에 정수기의 전면 플라스틱이 녹으면서 상부로 급격하게 연소하였다. 실험 1분

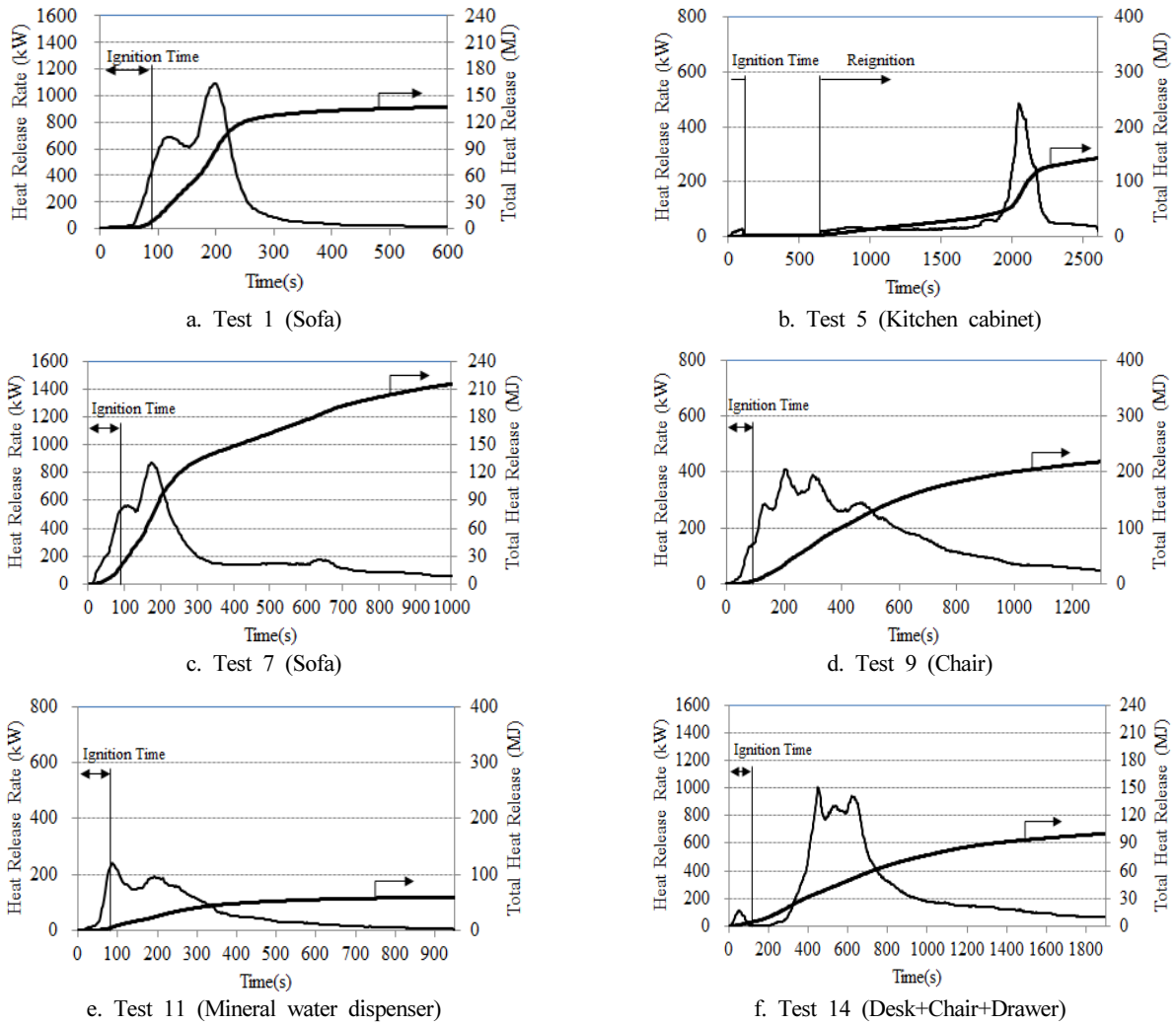


Figure 3. Heat release rate and total heat release in tests.

Table 2. Summary of the Burning Characteristics

Test NO.	Specimen	Time of Peak Heat Release Rate (s)	Peak Heat Release Rate (kW)	Total Heat Release (MJ)	Peak CO Volume Fraction (%)	Peak CO ₂ Volume Fraction (%)
1	Sofa	195	1,092	139	0.147	2.198
2	TV A	138	61	13	0.061	0.085
3	TV B	123	36	3	0.028	0.070
4	Electric rice cooker	471	64	18	0.006	0.120
5	Kitchen cabinet	2046	486	144	0.036	0.859
6	Fan	279	77	32	0.011	0.152
7	Sofa	102	872	223	0.054	2.127
8	Chair A	84	327	182	0.018	0.499
9	Chair B	204	409	221	0.009	0.801
10	Humidifier	375	45	27	0.014	0.115
11	Mineral water dispenser	75	244	59	0.045	0.379
12	Printer	159	123	81	0.021	0.240
13	Computer+Monitor +Printer	285	121	106	0.046	0.213
14	Desk+Chair +Drawers	447	1,003	475	0.117	2.223



Figure 4. Burning behaviors of major combustible materials over time.

50초에 상부의 플라스틱 물통이 연소하면서 플라스틱이 녹아 바닥에 낙하하였다. 전면부의 플라스틱 전부가 녹으면서 화염이 뒷면으로 분출하였고, 바닥에 녹은 플라스틱이 연소하면서 정수기 전체를 가열하였다.

실험 14(책상, 의자, 서랍장)에서는 가열과 동시에 의자의 등받이 뒷면과 좌판이 연소하였다. 실험 6분 40초에 의자의 등받이와 좌판의 우레탄에 착화하면서 급격하게 연소하였다. 실험 10분에 의자의 화염이 책상 하부를 가열하였

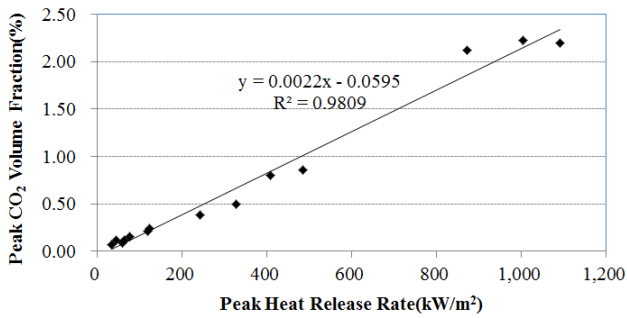


Figure 5. Relationship between peak heat release rate and peak CO₂ volume fraction.

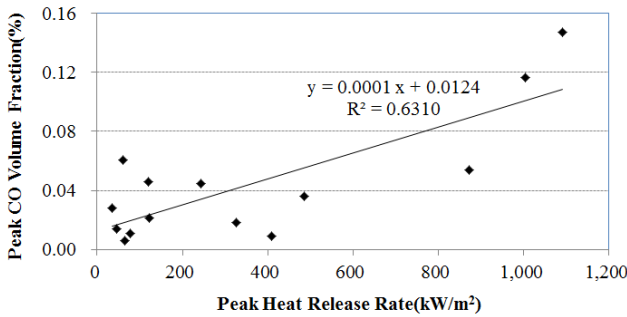


Figure 6. Relationship between peak heat release rate and peak CO volume fraction.

고 의자와 책상이 전체적으로 화염에 휩싸였다. 실험 13분 20초에 책상과 의자가 붕괴하면서 바닥에서 연소하였다. 이 화염이 서랍장을 가열하였지만 연소가 진행하지 않고 자연소화하였다. Figure 3을 보면 점화 후에 열발생률이 상

승하지 않고 있다가 실험 447초 후에 1 MW에 도달한 것을 알 수 있다.

3.2 가연물의 최대 열발생률과 CO와 CO₂ 농도의 관계

가연물의 최대 유해가스농도는 Table 2에 제시되었으며, 최대 열발생률과 유해가스농도의 관계는 Figures 5와 6에 나타내었다. Figures 5와 6을 살펴보면 최대 열발생률과 최대 이산화탄소농도는 98 % 정도의 상관관계로 아주 높은 관계성을 갖고 있지만, 최대 열발생률과 최대 일산화탄소농도의 상관관계는 63%로 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 건축물의 화재안전설계에서는 화재실의 유해가스농도를 예측하여 인명안전여부를 판단할 필요가 있는데, 실험에서 측정된 가연물의 최대 열발생률이 있다면 화재실 내부의 최대 이산화탄소농도를 추정할 수 있다.

4. 가연물의 연소발열성상에 근거한 고찰

4.1 가연물의 열발생률에 근거한 화재성장률 평가

건축물의 성능위주설계에서는 가연물의 화재성장률을 바탕으로 설계화원을 설정한다. 여기서는 주거용 및 사무용 가연물의 연소실험에서 측정된 열발생률에서 화재성장률을 구하였다.

화재성장률은 식(1)과 같이 가연물의 열발생률 곡선에서 점화 시점을 원점으로 하여 최대 열발생률을 연결하는 근사 곡선으로 산정하였다. 단 실험 5(싱크대)에서는 화재성장률의 원점을 재가열 시점으로 하면 과소평가되므로 시험체가 연소하기 시작하는 시간을 기점으로 하여 산정하였다.

Table 3. Peak Heat Release Rate per Burning Surface Area and Fire Growth Rate in Tests

Test NO.	Specimen	Burning surface area (m ²)	Time to peak heat release rate (s)	Peak heat release rate (kW)	Peak heat release rate per burning surface area (kW/m ²)	Fire growth rate (kW/s ²)
1	Sofa	3.36	195	1,092	325	0.0287
2	TV A	0.71	138	61	86	0.0032
3	TV B	0.96	123	36	38	0.0024
4	Electric rice cooker	0.30	471	64	216	0.0003
5	Kitchen cabinet	2.02	264	486	241	0.0070
6	Fan	0.23	279	77	330	0.0010
7	Sofa	2.60	102	872	335	0.0838
8	Chair A	1.32	84	327	248	0.0463
9	Chair B	1.87	204	409	219	0.0098
10	Humidifier	0.34	375	45	131	0.0003
11	Mineral water dispenser	1.52	75	244	161	0.0434
12	Printer	0.59	159	123	209	0.0049
13	Computer+Monitor+Printer	0.81	285	121	148	0.0015
14	Desk+Chair+Drawers	3.17	447	1,003	317	0.0050

$$Q_{max} = \alpha t_{max}^2 \quad (1)$$

여기서 Q_{max} 는 최대 열발생률, α 는 화재 성장 계수, t_{max} 는 최대 열발생률의 도달시간을 의미한다.

Table 3을 보면 가정용 및 사무용 소파는 최대 열발생률이 각각 1,092 kW, 872 kW으로 화재규모가 크고, 화재성장률이 각각 0.0287 kW/s², 0.0838 kW/s²로 연소속도가 매우 빠르다. 간헐화염은 주거용 및 사무용의 소파가 각각 2.5 m, 2.3 m로 높았는데, 이 높이는 일반 사무실 및 주거실의 천장 높이에 근접하므로 만약 소파가 염상하면 화염이 천장에 접촉하여 열발생률이 증가함으로써 주위 가연물을 착화하여 연소가 확대할 가능성이 크다.

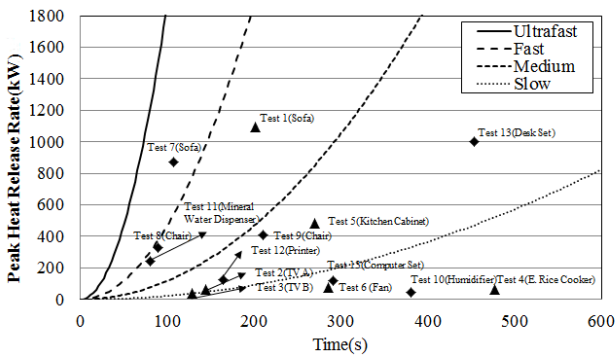


Figure 7. The relationship between the time to peak heat release rate and the peak release rate.

일반적으로 화재성장률은 Ultrafast, Fast, Medium, Slow의 4단계로 구분하는데, 사무용 소파(실험 7)의 화재성장률은 0.0838 kW/s²이며, 실내에서 연소확대가 빠른 Fast에 해당한다.

4.2 가연물의 노출표면적 및 최대 열발생률의 상관관계 분석

건축물의 화재안전설계에서는 가연물의 연소로 발생할 수 있는 열발생률의 한계를 예측할 필요가 있다. 이 열발생률의 한계 값은 가연물의 노출 표면적이 증가할수록 화염에 노출하는 연소 표면적이 증가하므로 연소 표면적에 따라 예측할 수 있다. 여기서는 건축물의 성능위주설계의 활용을 염두에 두고 가연물의 노출표면적에서 열발생률의 한계 값을 예측할 수 있도록 가연물의 노출 표면적당 최대 열발생률을 산정하였다.

가연물의 노출 표면적당 최대 열발생률을 Table 3에 나타내고, 가연물의 최대 열발생률과 노출 표면적의 관계를 Figure 8에 나타내었다. 가연물의 노출 표면적은 가연물의 틈새를 포함한 공기에 접촉하는 모든 표면적을 합산하여 산정하였다.

Figure 8을 보면 가연물의 노출 표면적과 최대 열발생률은 R²=0.8901으로 89% 정도의 상관을 갖는 것으로 나타났

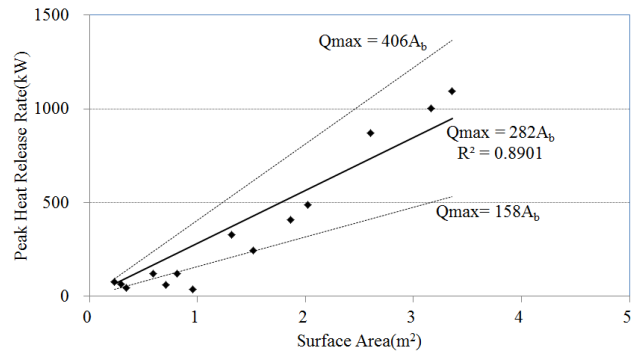


Figure 8. Relationship between peak heat release rate and burning surface area.

으며, 높은 관계성을 갖고 있다. 최대 열발생률과 노출 표면적의 관계를 비례한다고 가정하여 회귀직선의 비례계수와 표준편차에서 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{max} = (k_Q \pm \sigma) A_b = (282 \pm 124) A_b \quad (2)$$

여기서 Q_{max} 는 최대 열발생률, k_Q 는 회귀직선의 비례계수, σ 는 표준편차, A_b 는 노출 표면적이다.

Figure 8에는 가연물의 최대 열발생률과 노출 표면적에서 구한 회귀곡선의 비례계수에 표준편차를 합산하여 직선으로 나타내었는데, 이 직선이 모든 실험값을 포함하므로, 가연물의 노출 표면적이 주어진다면 최대 열발생률을 보수적 수치로 예측이 가능하다.

5. 결론

본 논문에서는 건축물의 성능위주설계의 활용을 염두에 두고 주거용 및 사무용 가연물을 대상으로 연소발열량을 파악하기 위해 소규모 화원으로 연소실험을 실행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 주거용 및 사무용 가연물은 최대 열발생률이 36 kW ~ 1,092 kW 이었다. 특히, 소파의 최대 열발생률이 최대 1,092 kW로 다른 가연물보다 가장 크며, 일단 연소하면 화재성장이 빠르고 대규모 화염이 형성하는 것을 알 수 있었다. 주거공간 및 사무공간에서는 소파가 일반적인 실화에도 인명안정상 위협이 되는 규모로 화재가 급속히 성장할 우려가 있다.

(2) 화재성장률은 주거용 가연물이 0.003 kW/s²~0.0287 kW/s²이고, 사무용 가연물이 0.003 kW/s²~0.0838 kW/s²의 범위를 갖는다. 특히 사무용 소파는 화재성장률이 0.0838 kW/s²로 다른 가연물보다 성장 속도가 매우 빠르고 간헐화염 높이도 2.3 m로 매우 높다. 이 높이는 일반 사무실의 천장 높이에 근접하므로 소파가 연소하면 화염에 의해 주위 가연물로 화재가 확산되어 대형 화재로 성장할 우려가 있다.

(3) 가연물의 최대 열발생률과 노출 표면적의 상관관계

를 분석한 결과에 따르면 89%의 상관관계로 높은 관계성을 지니고 있었다. 이를 바탕으로 가연물의 노출 표면적에서 열발생률의 한계 값을 보수적 수치로 예측하는 관계식을 제시하였다. 현재 성능위주설계의 설계화원은 실제 공간화재와 달리 화재성장률에 따라서 열발생률이 지속적으로 상승하는 것으로 설정하는데, 이 예측방법을 활용한다면 공간내부의 열발생률의 한계치를 적용할 수 있으므로 성능위주설계의 신뢰성이 개선될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 국내에서 사용하는 14종의 가연물을 대상으로 실험을 실행하여 가연물의 노출표면적에서 최대 열발생률을 산출하는 예측방법을 제안하였다. 이 예측방법의 신뢰성을 더욱 높이기 위해서는 향후 보다 다양한 가연물을 대상으로 추가 검증이 필요할 것이다.

후 기

본 연구는 2015년도 국민안전처의 소방안전 및 119 구조구급기술연구개발사업의 지원을 받아 수행되었으며 관계 제위께 감사드립니다.(NEMA-소방안전-2015-66).

References

1. B. I. Choi, Y. S. Han, C. B. Oh, M. B. Kim and J. S. Choi, "Heat Release Rate Measurements of Residential Combustibles Using Oxygen Consumption Method", Proceedings of 2007 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 123-127 (2007).
2. Y. H. Yoo, O. S. Kweon and H. Y. Kim, "The Real Scale Fire Test for Unit Space in Apartment Housing", Proceedings of 2009 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 346-351 (2009).
3. S. R. Lee and K. H. Youk, "A Study on Fire Behavior of Combustibles in a Residential Building", Fire Science and Engineering, Vol. 23, No. 4, pp. 25-31 (2009).
4. D. G. Nam, "Heat Release Characteristics of Typical Live Fire Load in Large Bookstore", Fire Science and Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 88-94 (2011).
5. D. G. Nam, "Experimental Study on Combustion Characteristics of Live Fire Load in a Bookstore", Fire Science and Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 47-53 (2011).
6. H. J. Kim, I. K. Kwon, O. S. Kweon, H. Y. Kim and S. U. Chae, "The Real Fire Test in Bedroom for the Performance Based Fire Design", Fire Science and Engineering, Vol. 27, No. 6, pp. 32-37 (2013).
7. S. Y. Choi, J. Y. Kim, D. G. Nam and S. C. Kim, "Comparative Study on the Estimation Method of Fire Load for Residential Combustibles", Fire Science and Engineering, Vol. 27, No. 6, pp. 38-43 (2013).
8. T. Mizuno "Burning Behavior of Urethane Foam Mattresses", Science and Technology, No. 1(1), pp. 33-44 (1983).
9. T. Mizuno and K. Kawagoe, "Burning Behavior of Upholstered Furniture", Science and Technology, No. 4, pp. 1-5 (1984).
10. A. Natori, H. Harada, Y. Ohmiya and T. Wakamatsu, "An Estimation Method of Heat Release Rate of Real Combustible Objects", Lund University (1993).
11. Sardqvist, "Initial Fires - RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests", Lund University (1993).
12. R. Filipczak, S. Crowley and R. E. Lyon, "Heat Release Rate Measurements of Thin Samples in the OSU Apparatus and the Cone Calorimeter", Fire Safety Journal, Vol. 40, pp. 628-645 (2005).
13. J. Hietaniemi, J. Mangs and T. Hakkarainen, "Burning of Electrical Household Appliances- An Experimental Study", VTT Building and Transport (2001).
14. Technical Bulletin 133, "Flammability Test Procedure for Seating Furniture for Use in Public Occupancies" (1991).
15. ISO 9705, "Fire Tests-full Scale Room Test for Surface Products" (1993).
16. S. C. Kim, D. G. Nam, C. H. Hwang, M. O. Yoon, et al., "Validation and Reliability Analysis of Guideline of Performance Based Fire Protection Design of a Super Tall Building", National Emergency Management Agency (2014).