

LSC를 이용한 생활용품의 발열량 특성에 관한 연구

박영주 · 백창선** · 이해평 · 홍이표**

강원대학교 소방방재학부 · *강원대학교 방재전문대학원 · **삼척소방서
(2015. 3. 4. 접수 / 2015. 5. 8. 수정 / 2015. 5. 8. 채택)

A Study on the Heat Release Characteristic of Household Items using LSC(Large Scale Cone Calorimeter)

Ju Young Park · Chang Sun Baek** · Hae Pyeong Lee · Yi Pyo Hong**

Department of Fire & Emergency Management, Kangwon National University

*Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

**Samcheok Fire Station, Gangwon-do

(Received March 4, 2015 / Revised May 8, 2015 / Accepted May 8, 2015)

Abstract : For this study, fire tests were performed targeting household items (Sofa, Drawer, Refrigerator, Washing machine) using a large cone calorimeter (Large Scale Cone Calorimeter, LSC). The data were obtained focusing on the fire characteristic of the data when the actual fire occurs. The study results showed the following mean HRR of the household items; drawer 2843 KW, sofa 2939 KW, washing machine 719 KW, refrigerator 2907 KW, and THR is found in sofa 2202 MJ, drawer 1559 MJ, refrigerator 1193 MJ, washing machine 627 MJ. From the result, it could be found that the sofa can cause significant heat generation when the fire occurs, and the flashover tendency was found relatively high in compartment fire. In addition, a weight of the four our household items was reduced sharply in a similar time (20min before and after) degree after ignition. The drawer and sofa which has a high heat release can be considered to speed up the fire spread as their weight decrease rapidly and showed relatively weak to the fire compared to the refrigerator and washing machine.

Key Words : large scale cone calorimeter, household items, heat release rate, total heat release, mass loss

1. 서론

현대 산업과 건축 기술이 발달함에 따라 건축물의 형태는 다양화되고 복잡해지고 있다. 특히, 실내에 비치되어 있는 가연물의 종류와 양이 과거에 비하여 증가하고 있어 화재 노출의 위험성이 증가하고 있다.

소방방재청의 화재발생 통계연보에 의하면, 2008년 장소별 화재발생 비율은 비주거 35.5%, 주거 24.8%였으며, 특히 주거지역 가운데 단독주택에서 6,820건(13.7%)으로 가장 많았고, 자동차 6,057건(12.2%), 공동주택 4,737건(9.5%), 음식점 2,722건(5.5%), 공장시설 2,699건(5.4%)순으로 나타났다¹⁾. 하지만, 2013년에는 주거에서 가장 화재가 많이 발생하는 것을 보여주고 있으며, 2012년 보다 피해가 증가하고 있다²⁾. 주거 화재의 경우 가연물의 종류, 산화제 유입조건과 환경 변

수 등에 따라서 화재위험성을 예측하기가 쉽지 않으며, 특히 가연물에 대한 연소특성 파악 및 적절한 방재 계획이 수립되지 않는다면 많은 인명과 재산의 손실이 커지게 된다.

따라서, 화재위험성을 예측하기 위하여는 무엇보다 공간 내 화재특성 해석에 필수 요소가 되는 가연물의 화재성장 특성으로부터의 메커니즘 규명이 필수적이다. 화재의 성장은 시간에 따른 발열량의 변화로 나타나게 되며, 이러한 발열량의 변화는 화재안전설계나 화재의 재구성과 같이 공간 내 화재특성에 있어 필수적이다^{3,4)}.

또한, 화재 성상을 이해하고 화재안전설계를 위해서는 실물 가연물을 대상으로 한 신뢰성 높은 실험기법에 기초하여 데이터를 구축해 나가야 한다. 하지만, 국내에서는 실물실험에 대한 화재특성 데이터가 전문한

* Corresponding Author : Chang Sun Baek, Tel : +82-33-575-1199, E-mail : noh4723@hanmail.net

Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346, Hwangjo-gil, Dogye-eup, Samcheok-si, Gangwon-do 245-905, Korea

실정이다.

과거 대구지하철 전동차 내부 화재, 경기도 화성 씨랜드 화재, 인현상가(라이브 II 호프)화재에서도 대부분 건물 내의 설치 및 비치되어 있는 생활용품 등이 불을 확산시킴에 따라 이를 억제하기 위해 생활용품에 대한 안전성 확보를 위해 생활용품 화재안전성능 등급제 도입 방안을 강구하고 있으나 주거시설 및 사회취약계층 이용시설 등에서 화재안전 관리체계 및 정책 제시가 매우 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 생활용품 화재안전 등급 도입제 방안의 일환으로 구획공간의 화재 안전성 확보를 위한 실규모의 발열량 데이터 확보에 주안점을 두고 본 연구에서는 발열량의 신뢰성 있는 DB를 구축하기 위하여 실물크기의 생활용품을 대상으로 산소소모율 원리를 이용한 LSC 시험으로부터 발열량에 대한 실질적인 데이터를 제공하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

2.1 실험재료

실험에 사용한 가연물 대상으로는 주택 내 이동식 가연물로 비치될 수 있는 생활용품을 대상으로 소파(Sofa), 장롱(Drawer), 냉장고(Refrigerator), 세탁기(Washing machine) 4가지를 선정하여 실규모 그대로를 사용하였다.

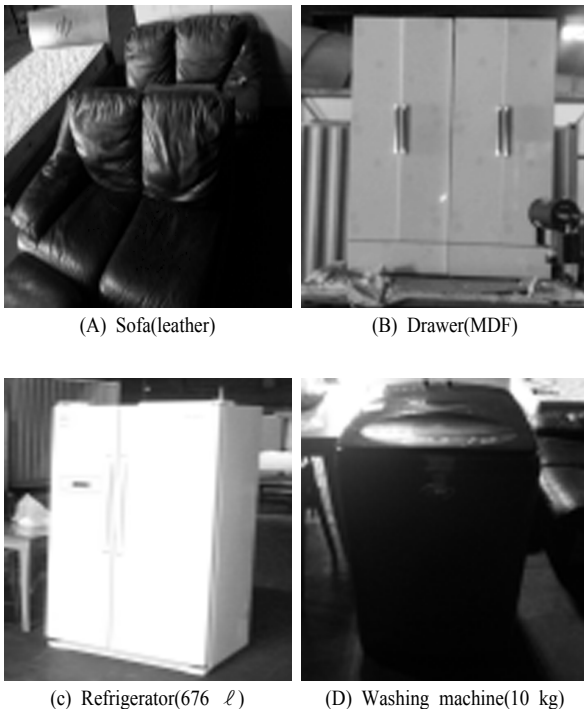


Fig. 1. Four Types of experiment materials.

Table 1. Four Types specification of household items

Household Items	Dimension(m)	Weight(kg)
Refrigerator(676 ℓ)	1.7*0.89*0.79	130
Drawer(MDF)	(0.58*1.97*0.8)*2	104
Sofa(leather)	1.35*0.88*0.73	39
	0.61*0.69*0.35	16
Washing machine(10 kg)	0.64*0.698*0.925	53

2.2 화재특성 분석

2.2.1 발열량 특성 분석

화재 시 발생하는 열방출율은 화재강도와 비례되며, 화재 규모 산정에 있어서 중요한 요소이다. 발열량은 가연물의 구성성분과 밀도에 따라 많은 차이가 나타나게 되는데, 본 연구에서는 생활용품을 대상으로 발열량에 대한 정보를 확보하고자 생활용품 가운데 일반적으로 주택에 많이 비치되어 있는 소파, 장롱, 냉장고, 세탁기를 대상으로 총열방출량과 시간, 평균열방출율을 분석하였다.

2.2.2 중량변화 특성 분석

가연물의 연소속도에 따라 화재 시 많은 피해 특성이 나타나는데 가연물의 중량변화 특성은 연소속도를 예측할 수 있는 중요한 요소이다. 따라서, 실제 초기중량을 측정하고, 시간변화에 따라 중량변화를 측정하였다.

2.3 대형 콘 열량계(Large Scale Cone Calorimeter) 실험

2.3.1 실험장비 및 조건

Fig. 2는 대형 콘 열량계의 구조로서 대형 콘 칼로리미터(Large Scale Cone Calorimeter, LSC)는 실규모 화재로부터 방출되는 발열량을 측정하고 화재 현상을 실험적으로 분석하기 위해서 구축된 장비이다⁵⁻⁸⁾. 발열량은 화재 규모에 따라서 보통 100 ~ 10⁸ W 이상까지 매우 폭넓은 크기를 갖지만⁵⁻¹⁰⁾, 화재 강도가 증가할수록 가연물과 산화제가 혼합되는 화재 특성이 환경 인자나 주변 요소에 따라서 달라질 수 있기 때문에 발열량을 정량화하는 것은 매우 어려운 과정으로 인식되고 있다⁵⁻⁷⁾. 그럼에도 불구하고 국외에서는 보통 5 MW 이상의 열량을 측정할 수 있는 LSC를 25년 전부터 개발하여 왔으며⁸⁾, FDS, CFAST 등과 같은 해석 모델의 결과를 검증하는 등 LSC의 활용성은 앞으로 더욱 증가할 것으로 판단된다. 현재, LSC에서 사용하고 있는 산소 소모법은 실규모 크기의 개방형 화재실험에 적합하고 연소생성물의 화학적 조성에 근거해서 발열량을 산출하므로 가연물의 종류에 제한을 받지 않는 장점을

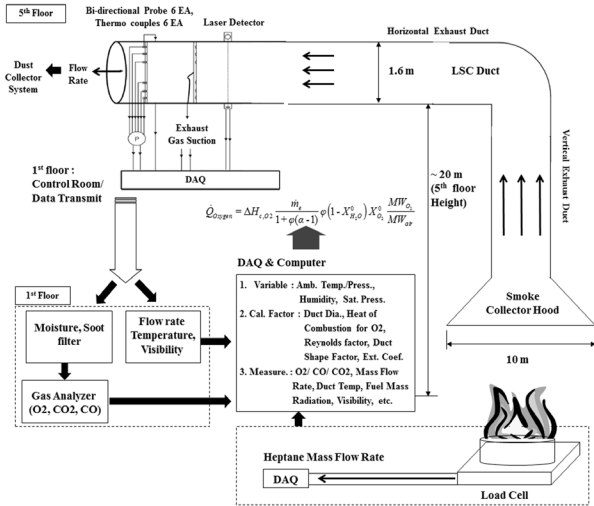


Fig. 2. The Construction of LSC.

갖고 있다⁶⁾.

LSC의 구성은 연소실험대, 로드셀, 연소가스 포집 후드, 덕트, 집진설비, 가스포집장치, 후처리장치, 제어 및 측정장비로 구성되어 있다.

연소 생성물을 포집하는 후드 직경 10 m, 덕트 직경 1.6 m 그리고 배기 덕트의 직선길이 26 m로 배기 덕트에서 유속과 온도를 측정하기 위해서 유동의 흐름방향에 대해서 수직으로 6개 지점에 양방향 유속계(bi-directional velocity probe)와 열전대(K-type)를 설치하였다. 화재실험이 진행되면 가연물에서 발생된 연소생성물과 주변의 공기가 후드로 유입되고 수평 덕트를 통해서 집진설비로 빠져나가게 된다.

이와 동시에 별도의 흡입 펌프에 의해서 연소생성물이 후처리 장치로 유입되어 수분과 그을음(soot)이 전처리되고 산소, 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂)의 농도, 배기 덕트의 질량유량을 측정하도록 구성되어 있는데 배기 덕트로 빠져나가는 연소생성물의 질량유량과 전처리된 연소생성물의 농도를 측정하는 과정에서 시간 차이가 발생하게 되므로 지연시간을 고려해서 발열량을 산출한다. 식 (1)은 산소소모법에 의한 발열량 산출 관계식을 나타내고 있다^{9,10)}.

$$\dot{Q} = \frac{\Delta H_{c,O_2} \dot{m}_e}{1 + \phi(\alpha - 1)} \phi (1 - X_{O_2}^0) X_{O_2}^0 \frac{MW_{O_2}}{MW_{air}} \quad (1)$$

여기서 \dot{Q} , ΔH_c , \dot{m}_e , ϕ , X^0 , α , 그리고 MW 은 각각 발열량, 연소엔탈피, 배기 질량유량, 산소인자(oxygen depletion factor), 초기상태의 물분율, 화학적팽창계수 그리고 분자량을 의미하며 하첨자 O₂와 air는 산소 그리고 공기를 의미한다.

식 (1)에서 $\Delta H_{c,O_2} = 13.1 \text{ MJ/kg}$ 의 값을 가지며, \dot{m}_e , $X_{O_2}^0$ 그리고 ϕ 은 식 (2)~(4)와 같은 관계에 의해서 구할 수 있다⁽¹⁻²⁾.

$$\phi = \frac{X_{O_2}^0 (1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2} (1 - X_{CO_2}^0)}{(1 - X_{O_2} - X_{CO_2} - X_{CO}) X_{O_2}^0} \quad (2)$$

$$X_{H_2O}^0 = \frac{RH P_s(T_a)}{100 P_a} \quad (3)$$

$$\dot{m}_e = \left(\frac{P_a}{R_u T_c} \right) \frac{A}{k_c f(R_e)} \sqrt{\frac{2P_d}{P_a / (R_u T_d)}} \quad (4)$$

여기서 $f(R_e)$, k_c , RH , 그리고 $P_s(T_a)$ 는 각각 레이놀즈 수정계수, 속도구배 형상 인자, 상대습도 그리고 주위 온도에 대한 포화증기압을 의미한다.

화학적 팽창계수(α) 1.10, 덕트 형상계수(k_c) 1.0 그리고 레이놀즈 수정계수($f(R_e)$)는 1.08을 갖게 되므로 초기 환경조건에 따라서 상대습도(RH), 대기의 포화증기압(P_a)을 구하여 식 (1)의 발열량을 산출하게 된다^{9,10)}. Table 2에는 실험조건을 제시하였다.

Table 2. The experimental conditions of LSC¹¹⁾

Condition	Specification
Duct differential pressure	Output:4~20mA, Range: 0~1245Pa Model : PADT-D1000Pa
Duct Temperature	K-Type Wire, Range: -200 ~ 1,000 °C
Gas Analyzer	Output:4~20mA, Range: O ₂ 20.95%, CO ₂ 8%, CO 0.8% Model : Servomax 4100
Laser	Output:0~8.4mV, Range: 0~100 % Model : 25-LHP-213-249
Load Cell	Output: 4~20mA, Range: 0 ~ 3,000 kg Manufacturer : Sartorius
Heat Flux	Plate Type, Range:-200 ~ 1,000 °C Model : GTW-10-32-485A
Mass Flow	Output:4~20mA, Range:0 ~ 2,500 L/min Model : DPE-S

2.3.2 점화방법

가연물을 점화시키기 위하여 헵탄(heptane)에 적신 솜뭉치(cotton ball)를 사용하였다. 냉장고의 점화는 초기점화 헵탄을 솜뭉치 2개에 묻혀 라이터로 점화하고, 점화위치는 오른쪽 하단 환풍시설 인근으로 설정하였다. 장풍은 초기 점화 헵탄을 솜뭉치 2개에 묻혀 라이터로 점화하고, 점화위치는 오른쪽 하단 22 cm에서 점화 하하고, 오른쪽 문(개방 면적 0.4*1.71=0.684 m²)을 개방하였다. 또한, 소파의 점화는 헵탄을 솜뭉치 2개에 묻혀 라이터로 점화하고, 소파 사이 사각형 소파 중간

에 탈지면을 삽입하여 점화하였다. 세탁기는 초기 점화 헵탄을 솜뭉치 2개에 묻혀 라이터로 점화하고, 점화 위치는 오른쪽 아래에서 점화하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 HRR(Heat Release Rate, 열방출율)

Fig. 3에는 소파의 열방출율 곡선을 나타내었다. 소파의 경우, 점화 후 11 min 정도의 혼소 시간을 거쳐 12 min부터 연소가 성장하기 시작하여 19 min에서 최대값을 보였으며, 최대열방출율은 4001.3569 kW 정도인 것으로 나타났다. 평균열방출율은 562.061 kW 정도인 것으로 나타났으며, 이에 대하여 Table 3에 제시하였다.

Fig. 4에는 장롱의 열방출율 곡선을 나타내었다. 장롱의 열방출율 특성을 살펴보면, 15 min 정도에서 급격히 열방출율이 증가하는 것으로 나타나 16 min에서 2843.816 kW의 최대값을 보였으며, 25 min에서 2차적인 피크가 나타났는데 2580 kW의 값을 보였다.

장롱의 경우, 최대값의 형태를 보이는 두 개의 피크가 나타나는 이유는 장롱의 구조가 두 개의 박스형태로 구성되어 1차적으로 연소확대 진행 후, 2차적으로 화염이 확산 진행된 것으로 사료된다. 평균 열방출율

은 608.537 kW인 것으로 나타나 소파보다 46 kW 정도 열방출율이 높은 것으로 나타났다. 이에 대하여 Table 3에 제시하였다.

Fig. 5에는 냉장고 열방출율 곡선을 나타내었다. 냉장고의 열방출율 특성을 살펴보면, 18 min 정도에서 급격하게 열방출율이 증가하여 23 min 정도에서 최대 열방출율 값은 2907.489 kW인 것으로 나타났으며, 30 min 이내에 급격히 열방출율이 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 평균 열방출율은 509.37 kW인 것으로 나타났다. 이에 대하여 Table 3에 제시하였다.

Fig. 6에는 세탁기의 열방출율 곡선을 나타내었다. 세탁기는 점화 후 21 min 정도에서 급격하게 열방출을 방출하여 24 min에 719 kW의 최대값을 보이는 것으로 나타났다.

최대값을 보인 후 5 min 내에 급격히 열방출율이 감소하였으나 연소가 종료될 때 까지 300 kW정도의 지속적인 열방출율을 보이는 것으로 나타났다. 평균 열방출율은 208.861 kW 정도인 것으로 나타났으며, 이에 대하여는 Table 3에 구체적으로 제시하였다.

Fig. 7에는 4가지 생활용품의 열방출율 곡선을 함께 나타내었다. 먼저, 최대열방출율 값을 살펴보면, 장롱의 경우 16 min경에 2,843 KW, 소파는 22 min경에 2,939 KW, 세탁기는 24 min경에 719 KW, 냉장고는 23

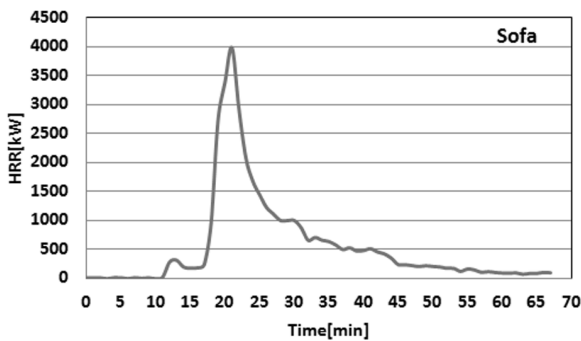


Fig. 3. HRR Characteristic of sofa.

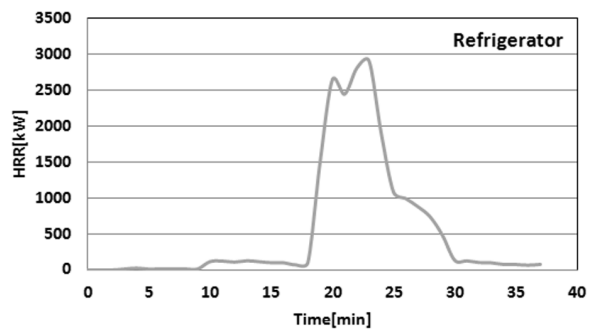


Fig. 5. HRR Characteristic of refrigeration.

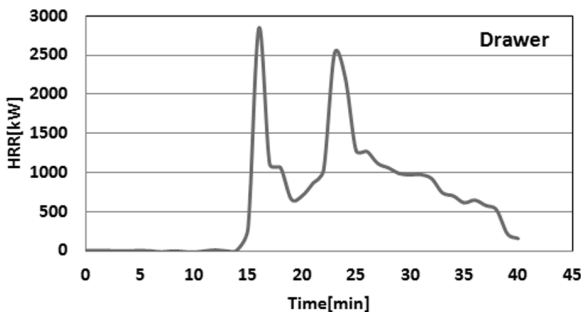


Fig. 4. HRR Characteristic of drawer.

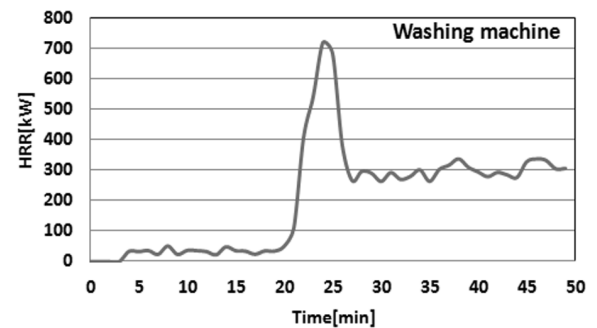


Fig. 6. HRR characteristic of washing machine.

Table 3. Mean HRR of household items

Household Items	Average [kW]	Peak [kW]	Peak Time [min]
Sofa	562.061	4001.356	19
Drawer	608.537	2843.816	16
Refrigerator	509.037	2907.489	23
Washing machine	208.861	719.058	24

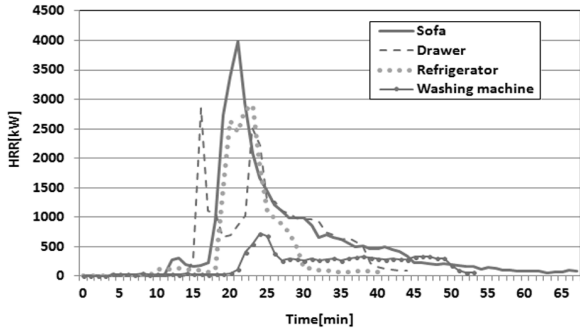


Fig. 7. HRR Characteristic for four types of household items.

min경에 2,907 KW로 나타나 최대열방출율이 높은 순서로는 소파, 냉장고, 장롱, 세탁기 순이었으며, 소파와 냉장고는 큰 차이는 없었으나 소파는 세탁기보다 4.09배 높은 값을 갖는 것으로 나타났다. 하지만 장롱의 경우 최대값은 상대적으로 낮지만 가장 빠른 시간에 최대값에 도달하였으며, 소파보다 6 min 정도 빠르게 최대값에 도달하는 것으로 나타났다.

평균열방출율은 장롱, 소파, 냉장고, 세탁기 순으로 평균적으로 장롱은 가장 많은 열량을 방출하였으며, 세탁기는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 또한, 피크가 두 지점으로 나타난 장롱은 평균열방출율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

열방출율은 화재가 발생하였을 경우, 얼마나 빠르게 화재가 진행되는지를 예측할 수 있는 화재에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나라고 할 수 있다. 착화시간이 화재가 얼마나 빨리 발생할 수 있는지를 확인한다면, 열방출율은 착화 후, 화재가 얼마나 빨리 진행되는지를 확인할 수 있는 요소이다. 착화시간이 빨라 화재가 빨리 진행이 될 경우, 최대 열방출율 역시 대부분의 시점에서 착화시간과 비례하는 결과로 나타난다.

따라서, 최대열방출율의 발생이 빨리 진행되었다는 것은 그만큼 화재가 빠르게 진행된다는 것을 의미하며, 장롱은 화재발생 시 화염형성이 상대적으로 빠르게 진행될 수 있어 초기 화재에 취약할 것으로 사료된다.

3.2 THR(Total Heat Release, 총열방출량)

Fig. 8에는 소파, 장롱, 냉장고, 세탁기의 총열방출량

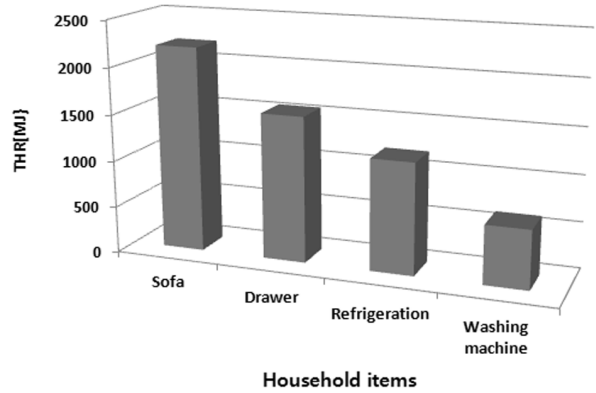


Fig. 8. THR of household items.

특성을 비교하여 나타내었다. 총열방출량을 살펴보면, 소파는 2,202 MJ, 장롱은 1,559 MJ, 냉장고는 1,193 MJ, 세탁기는 627 MJ로 나타나 생활용품별 총열방출량 차이는 큰 것으로 나타났다. 소파의 경우 가장 많은 열량을 방출하는 것으로 나타났으며, 다음으로 장롱, 냉장고, 세탁기 순으로 나타났다.

이러한 차이 발생은 제품별 구체적인 구성성분과 함량을 밝힐 수 없지만 다양한 유·무기질의 함량 및 배합비에 기인한 것으로 사료된다.

시간변화에 따라 누적된 열량은 최대열방출율 값이 가장 큰 소파의 경우가 가장 많은 열량을 방출하는 것으로 나타나 화재 시 화재하중에 미치는 영향은 클 것으로 사료된다.

총열방출량(THR)은 구획화재에서의 화재위험성을 판단하는 요소 가운데 플래쉬오버 성향 예측에 사용되며, 착화시간(T_{ig})과 최대열방출율(pkHRR)을 이용하여 플래쉬오버 성향을 예측하기도 한다. 이 두가지 방법 중 전자는 향후 구체적인 열방출 특성과의 상관관계 규명이 필요한 것으로 사료된다는 연구결과가 나와 있다^[2,13]. 또한, 총발열량은 연소물량을 통해 다음 식 (5)와 같이 연소열 계산 또한 가능하다. 여기에서 H_c : Heat of Combustion [MJ/kg], THR : Total Heat Release[MJ], C : Combustibles [kg]이다.

$$H_c = \frac{THR}{C} \tag{5}$$

3.3 Mass Loss Rate

Fig. 9에는 중량감소 곡선을 나타내었다. 생활용품별 초기 중량은 소파는 131 kg, 장롱 98 kg, 냉장고 152 kg, 세탁기 147 kg으로 측정되었다. 시간흐름에 따른 중량변화 특성을 살펴보면, 착화 후 4가지 생활용품이 거의 비슷한 20 min 전·후 시간 정도에서 급격하게

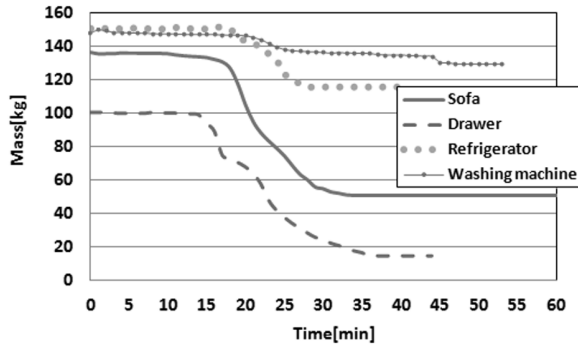


Fig. 9. Mass loss of household items.

Table 4. Mass loss of household items

Household Items	0 min	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min	40 min	45 min
Sofa	131	131	131	110	75	53	53	53	53	53
Drawer	98	93	65	38	22	13	13	13	13	13
Refrigerator	152	151	151	149	134	113	113	113	113	113
Washing machine	147	147	146	146	142	136	135	134	133	128

중량이 감소하는 것으로 나타났는데, 연소가 종료된 후 최종 잔류량은 소파는 53 kg, 장롱 13 kg, 냉장고 113 kg, 세탁기 128 kg 정도로 잔류량 차이도 큰 것으로 나타났으며, 장롱과 소파는 냉장고와 세탁기에 비해 상대적으로 중량이 급격히 줄어들어 중량감소율(%)이 큰 것으로 나타났다. 이에 대하여 Table 4에 자세히 나타내었다.

대체적으로 열방출량이 높은 소파와 장롱 실제 중량 감소가 빠르게 이루어지는 것으로 나타나 중량감소율(%)은 열방출율의 데이터를 예측할 수 있는 중요한 인자로 사용할 수 있으며, 화재발생 시 화재의 크기나 화재의 확산속도 예측에 중요한 인자로 사용된다.

4. 결론

본 연구에서는 주택 내 대표적인 가연물인 생활용품인 소파와 침대, 전자제품인 냉장고, 세탁기를 대상으로 실규모 실험(LSC)으로 부터 다음과 같은 화재특성 결과를 얻을 수 있었다.

1) 평균 열방출율은 장롱은 2843 KW, 소파 2939 KW, 세탁기 719 KW, 냉장고 2907 KW 정도 였으며, 총열방출량은 소파 2202 MJ, 장롱 1559 MJ, 냉장고 1193 MJ, 세탁기 627 MJ 정도인 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 소파는 화재 시 방출되는 열량이 크게 발생하여 구획화재에서의 플래시오버 성향이 상대적으로

로 높을 것으로 사료되며 향후 구체적인 규명이 필요한 것으로 사료된다.

2) 중량감소 특성 결과로는, 착화 후 4가지 생활용품이 거의 비슷한 20 min 전·후 시간 정도에서 급격하여 중량이 감소하는 것을 알 수 있었으며, 발열량이 높은 장롱과 소파는 중량감소가 빠르게 진행되어 화재시 확산속도가 빠르게 진행될 것으로 사료되며, 냉장고와 세탁기에 비해 상대적으로 화재에 취약한 것을 알 수 있었다.

3) 국내 생활용품에 대한 실질적인 화재특성 데이터는 매우 미미한 실정으로 실질적인 위험성을 평가하기에는 한계가 있으며, 상대적인 값을 비교하여 위험성을 예측하기보다 국내 실화재시험에 대한 DB는 전무한 실정이므로 본 연구에서는 DB 구축에 주안점을 두고 연구를 수행하였다. 따라서, 생활용품별 구성성분과 성분함량의 범위가 매우 넓고 다양함에 따라 대표 값으로 위험성을 평가하는 것에는 한계가 있기 때문에 추가적인 데이터 확보로 부터 종합적인 평가가 이루어져야할 것으로 사료된다.

4) 또한, 규모가 큰 화재 실험은 발화원의 위치, 가연물의 종류, 산화제 유입조건과 환경 변수 등에 따라서 화재 현상을 재현하기 어렵기 때문에 발열량 측정의 안정성 확보에 관한 연구가 선행되지 않는 경우 단 한 번의 실험으로 산출 결과를 보장할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 대형콘열량계의 발열량 측정값의 신뢰성 확보를 위한 기초 데이터를 제공하고자 한다.

감사의 글 : “이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2013R1A1A3013320)”

References

- 1) “Fire Statistics Yearbook”, NEMA, 2013.
- 2) National Fire Information System, <http://www.firedata.go.kr>.
- 3) W. K. Chow, “Design Fire in Performance based Fire Safety Design for Green and Sustainable Buildings”, The 23ed Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 2006.
- 4) T. Tanaka, “Integration of Fire Risk Concept into Performance-Base Evacuation Safety Design of Buildings”, 10th IAFSS Symposium, Maryland, USA, 2011.
- 5) V. Barauskas and R. D. Peacock, “Heat Release Rate : the Single Most Important Variable in Fire Hazard”, Fire Safety

- J. Vol. 18, pp. 255-272, 1992.
- 6) S. C. Kim, "Application of Numerical Model for the Effective Design of Large Scale Fire Calorimeter", J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., Vol. 24, No. 6, pp. 10-15, 2010.
 - 7) S. C. Kim and M. Bundy, "Numerical Model of a Large-Scale Oxygen Consumption Fire Calorimeter", J. Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 93, No. 3, pp. 1013-1019, 2008.
 - 8) E. J. Lee, "Design of Large Cone Calorimeter for the Fire Study", J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., Vol. 20, No. 4, pp. 10-15, 2006.
 - 9) B. I. Choi, Y. S. Han and M. B. Kim, "Heat Release Rate Measurements of Residential Combustibles", J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., Vol.22, No. 2, pp. 10-15, 2008.
 - 10) K. C. Noh, C. Hoon. S. C. Kim and D. H. Lee, "Calculation of Uncertainty in Measuring Heat Release Rate in Room Corner Test", Kor. Inst. Fire Sci. Eng., Vol. 26, No. 1, pp. 10-15, 2012.
 - 11) V. Babrauskas, "Combustion of Mattresses Exposed to Flaming Ignition Sources, Part I. Full-Scale Tests and Hazard Analysis", NBS, NBSIR, pp. 77-1290, 1977.
 - 12) K. W. Lee, K. E. Kim, D. H. Lee, "Combustion Characteristics of Fiber Reinforced Plastic by Cone Calorimeter", Vol. 18, No. 2, pp. 68-72, 2004.
 - 13) R. V Petrella, "The Assessment of Full-scale Fire Hazards from Cone Calorimeter Data"