주거시설의 가연물 연소 DB구성에 관한 연구

A Study on the Combustible Materials DATA BASE of a Residential Facilities

김동은* · 서동구** · 권영진***

Kim, Dong Eun · Seo, Dong Goo · Kwon, Young Jin

Abstract

As a result of experimenting 6 loading combustibles in domestic residential facilities by using Furniture Calorimeter, values of 2,391.26 kW were appeared from sofa, 1,891.80 kW from drawer, 1,778.95 kW from mattress, 1,104 kW from chair, 291 kW from desk, and 135.09 kW from TV. Also, if applying α value of fire growing rate by classifying fire- growing speeds at NFPA 72 (National Fire Alarm Code 2007, Annex B), mattress can be defined as Ultra-Fast, sofa and drawer Fast, TV Slow, desk Slow, and chair Medium.

Key words : Furniture Calorimeter, Data Base, Fire growing rate

요 지

화재성상예측에 필요한 기초 DATA확보를 위하여 Furniture Calorimeter실험을 통하여 가연물의 연소특성 DATA를 확보하고 이를 국내에 적용 가능한 DATA BASE정립방안 제시를 목적으로 연구를 수행하였으며, 실험대상은 국내 주거시설에서의 적재 가연물 6개를 선택하여 Furniture Calorimeter실험결과 소파는 2,391.26 kW, 서랍장 1,891.80 kW, 매트리스 1,778.95 kW, 의자 1,104 kW, 책상 291 kW, TV 135.09 kW의 결과값이 측정되었으며, 이를 NFPA72(National Fire Alarm Code 2007, Annex B)에서 제시하고 있는 가연물 화재성장속도로 분류하여 화재성장률 α 값을 적용하여 분류하였다. 이를 통하여 매트리스는 Ultra-Fast, 소파와 서랍장은 Fast, TV는 Slow, 책상은 Slow, 의자는 Medium의 결과값을 도출하였다.

핵심용어 : 퍼니처 칼로리 미터, 데이터 베이스, 화재성장을

1. 서 론

일반적으로 건축물의 가연물은 바닥, 천장과 같은 건축 구조체에 고정되어 있는 고정가연물과 가구류, 의류 등 수납하는 적재 가연물로 구분되어진다. 최근 경제 발전과 사용자의 편의를 고려하여 가연물의 종류가 다양해지고 있는 추세이다. 특히 사용자가 이용하는 수납가연물의 경우 고정적인 기준이 아닌 이용자에 따라 달라는 경우가 많다. 이러한 적재 가연물의 경우 건축물 화재성상에 큰 영향을 끼치는 요소로 작용할 수 있다.

이에 따라 국외에서는 건축물의 안전을 위하여 가연물이 화재에 미치는 영향에 대해서 지속적으로 연구를 수행있다. 그러나 국내에서는 일반적으로 외국의 가연물의 특성을 이용하고 있으나, 국내외적으로 가연물의 종류 및 크기가 다르기

때문에 국내에서도 이에 대한 기초적인 자료가 필요하다.

따라서 본 연구는 국내 건축물 중 주거시설의 화재성상예측을 위하여 기초적 가연물 연소정보를 확보하고자 주거시설의 대표적 가연물 6개를 선택하여 Furniture Calorimeter실험을 실시하여 가연물의 연소 특성 데이터를 확보하고 이를 통하여 향후 국내 주거시설 가연물 DATA BASE 정립방안에 대하여 제시하고자 한다.

2. 적재가연물의 연소특성 실험

적재가연물의 경우 소비자들의 이용성 및 편의성을 고려하여 가연물을 선택한다. 예를 들어 소비자가 소파를 구입하면 소비자는 소파의 화재위험성 및 안전성보다는 디자인 및 안락함을 위주로 선택한다. 이러한 대부분 적재 가연물은 화재

*정회원. 호서대학교 소방방재학과 박사과정(E-mail: kde29@nate.com)

Graduate Student, Fire Protection, Univ. of Hoseo

**정회원. 호서대학교 소방방재학과 박사과정

Graduate Student, Fire Protection, Univ. of Hoseo

***교신저자. 정회원 호서대학교 소방방재학과 교수(Tel: +82-41-540-5497, Fax: +82-41-540-5738, E-mail: jungangman@naver.com)

Corresponding Author. Professor, Dept. of Fire Protection Eng, School of Eng, Univ. of Hoseo, Dr Eng

에 대한 안전성(방염성)을 고려하지 않았기 때문에 화재 발생 시 화재 확대의 원인이 되어 화재위험성을 내포하고 있다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 기존 주거시설의 가연물조사 연구 결과를 분석하여 주거시설의 대표적 가연물인 TV, 매트리스, 서랍장, 소파, 의자, 책상을 선정하였으며, 소비자의 선호도, 판매자의 의견을 바탕으로 하여 Furniture Calorimeter 실험 시료를 선정하였다. 본 연구에서는 ISO 9705 Fire test - Full scale room test for surface products를 기초로 하여 작성된 KS F ISO 9705 기준으로 실행하여 대표적 가연물에 대한 연소 특성을 알아보고자 하였다.

2.1 Furniture Calorimeter 실험

본 연구에서 실시한 Furniture Calorimeter 실험은 가연물의 열방출량, CO, CO₂, SPR 등을 측정하였다. 또한 실험 전 시료의 표면적과 중량을 측정하여 가연물의 기본 데이터를 수집하였으며, 실험에 이용되는 점화원은 헵탄 50 ml을 이용하여 화염의 전이가 용이한 곳에 점화하여 실험을 실시하였다. 또한 가연물의 연소 결과값은 3초단위로 측정하였다. 일반적으로 Furniture Calorimeter은 KS F ISO 9705 Room Test에 따라 가로 2.4 m, 세로 3.6 m, 높이 2.4 m의 체적에 가로 0.8 m, 세로 2.0 m의 개구부를 가지는 구획실에서 실험을 실시하였다. 본 연구에서 사용된 가연물의 기본적 데이터는 다음 Table 1에 나타내었다.

2.2 Furniture Calorimeter 실험 결과

본 연구에서 수행된 Furniture Calorimeter의 결과는 Table 2에 나타내고 있으며 결과값으로는 측정항목에 대한 각 가연물의 Peak값과 가연물의 연소 전후의 중량 변화를 나타내었다. 천과 스펀지로 구성된 소파의 경우가 가장 높은 결과값

으로 측정되어 가장 큰 화재위험성을 내포하고 있다고 판단된다. 본 연구에서는 Furniture Calorimeter실험의 측정항목 중 HRR값을 통한 분석을 실시하고자 Figs. 1~6까지는

Fig. 1. HRR results value of TV

Fig. 2. HRR results value of Drawers

Fig. 3. HRR results value of Mattress

Table 1. Experimental Sample's conditions of Furniture Calorimeter

	Size (W × D × H) [mm]	Weight [kg]
TV	510 × 470 × 470	17.75
Drawers	720 × 460 × 1110	38
Mattress	1090 × 200 × 2000	21.40
Sofa	1180 × 650 × 960	24.95
Desk	1200 × 700 × 700	41.65
Chair	490 × 500 × 750	13.5

Table 2. Experimental results of Furniture Calorimeter

	HRR[kW]	CO[ppm]	CO ₂ [%]	SPR[m ² /s]	Weight(kg)	
					Before	After
TV	135.09	199.6	0.12	14.17	17.75	14.90
Drawers	1891.8	1288	3.38	9.23	38.00	13.90
Mattress	1778.9	454.9	3.11	18.72	21.40	-
Sofa	2391.2	3069	4.20	49.62	24.95	5.10
Desk	281.26	2.817	0.386	1.77	41.65	18.1
Chair	1104	49.54	1.43	21.29	13.5	3.8

Fig. 4. HRR results value of Sofa

Fig. 5. HRR results value of Desk

Fig. 6. HRR results value of Chair

Furniture Calorimeter 실험결과를 통한 열방출량(Heat Release Rate: 이하 HRR)결과 변화를 제시하였다.

3. 가연물 연소 특성 DB정립방안

일반적으로 구획공간에서의 가연물 열방출량은 공간 내에서의 가연물 상태 및 배치를 재현하여 실험을 실시하여 측정된 결과값을 통하여 가연물의 발열속도 정립을 할 수 있으나, 현실적으로 가연물의 종류가 다양하며 또한 가연물의 배치도 건축물의 용도 및 구획실의 활용에 따라 상이하기 때문에 현실적으로 재현 실험을 통하여 정립하기 어려운 현실이다.

본 연구에서는 주거시설의 가연물 DATA정립을 위한 기초

자료의 일환으로 6가지의 시료를 2005년 일본건축학회에서 제시하고 있는 가연물 정립방법을 이용하여 국내에서 범용적으로 이용하고 있는 Simulation에 적용한 가능한 HRR 유형화작업을 실시하여 향후 화재위험성평가에 이용되는 Simulation의 합당한 국내 전용 Data Base정립을 제시하고자 한다.

3.1 발열속도의 모델화 방법

본 연구에서 실시한 Furniture Calorimeter의 HRR 결과값을 Fig. 7에 나타내고 있는 화재 변화패턴을 구분하면 총 4개의 시점과 4구간으로 구분된다. 화재의 성장 개시 시점(t_0), 화재성장 종료시점(t_{grow}), 최대 연소 종료시점(t_{max}), 화재감쇠시점(t_{decay})으로 구분하였으며, 최대 발열량을 Q_{max} 로 나타내었다. 또한 각 시점별 구간을 4개의 구간으로 구분하여 다음과 같이 정의하였다.

- 훈소기간(τ_0): 발화 후, 연소가 성장하기 시작할 때까지의 훈소상태의 기간($0 \sim t_0$).
- 성장기간(τ_{grow}): 연소가 성장하기 시작해 최대 연소에 도달할 때까지의 기간($t_0 \sim t_{grow}$).
- 정상 기간(τ_{max}): 최대 발열 속도 상태로 정상 연소하는 기간($t_{grow} \sim t_{max}$).
- 감쇠 기간(τ_{decay}): 연소가 감쇠하기 시작하고 화염이 소멸될 때까지의 기간($t_{max} \sim t_{decay}$).

본 연구에서 실시한 Furniture Calorimeter의 HRR 결과값을 모델화하기 위해서 Fig. 8에 나타낸 DATA BASE Sheet에 합당한 정보를 기입하였다.

본 연구를 위해 작성된 엑셀(Excel) Sheet는 Microsoft Visual Basic for Applications을 이용하여 Table 3의 내용을 중심으로 모듈을 생성하여 기존 Excel의 수학적 함수 이외의 함수명령어인 “HRR”를 연계시켜 기존 Furniture Calorimeter의 HRR 결과 값 위에 실선으로 표시하도록 코드를 작성하였다. “HRR” 함수모듈은 앞에 제시한 화재 변화패턴의 4개 시점과 4개 구간의 실험 결과값을 토대로 분석하여 지정하게 되면 자동적으로 HRR값이 모델링되어 나타나도록 구성하였다.

Fig. 7. Modeling of heating-speed curves

또한 모델화된 발열량에서의 화재성장률 α 은 다음 식 (1)과 같이 산출할 수 있도록 구성하였으며, 화재 감쇠율 α_d (최대 발열량으로부터 화염이 소멸될 때까지의 2차 곡선)는 식 (2)과 같이 산출할 수 있도록 구성하였다.

Experiment Responsibility		Experiment Date	
Experiment No.			
Combustibles Name			
Information	Size	Width	mm
	Weight	kg	Height
	Material ect.		
SUMMARY	Ignition Source		
	Ignition Position		
	Combustion Condition		
	Measurement Method		
Experiment Photograph			
Experiment Sequence	1	6	
	2	7	
	3	8	
	4	9	
	5	10	
Heat Release Rate [HRR Modeling]		$t_0 = 0$ [s] $t_{grow} = 0$ [s] $t_{max} = 0$ [s] $t_{decay} = 0$ [s] $Q_{max} = 0$ [kW]	
Note			

Fig. 8. Inputs Sheet of Furniture Calorimeter data

Table 3. HRR function's inputs at Excel

```

Function HRR(time, t0, tgrow, tmax, tdecay, Qmax)
  If (time < t0) Then
    HRR = 0#
  Else
    If (time < t0 + tgrow) Then
      HRR = Qmax * (((time - t0) / (tgrow)) ^ 2)
    Else
      If (time < t0 + tgrow + tmax) Then
        HRR = Qmax
      Else
        If (time < t0 + tgrow + tmax + tdecay) Then
          HRR = Qmax * (((t0 + tgrow + tmax + tdecay) - time) / tdecay) ^ 2
        Else
          HRR = 0
        End If
      End If
    End If
  End If
End Function

```

또한 육안으로 확인 화재사항을 기재하도록 하여 Furniture Calorimeter를 통한 실험 결과와 육안으로 측정된 화재확산경로를 비교할 수 있도록 엑셀(Excel) Sheet를 작성하였다.

$$\alpha = Q_{\max} / (t_{\text{grow}} - t_0) = Q_{\max} / \tau_{\text{grow}}^2 \quad (1)$$

$$\alpha_d = Q_{\max} / (t_{\text{decat}} - t_{\text{max}}) = Q / \tau_{\text{decay}} \quad (2)$$

3.2 발열속도의 모델화 방법을 이용한 Furniture Calorimeter 결과 분석

본 연구에서 실시한 Furniture Calorimeter의 결과값은 다양한 가연물의 소재가 있기 때문에 대표적인 가연물 연소특성이라고 할 수 없다. 그러나 본 연구에서는 향후 국내 화재 위험성평가를 위한 가연물 DATA BASE 정립의 일환으로 기초자료를 제시하고자 하였다. 본 연구에서 수행한 HRR 모델링의 결과를 다음 Figs. 9~13에 나타내었다. 또한 Furniture Calorimeter 실험상 Room 안에 남아 있는 잔존 HRR값은 제외하였으며 모델링을 하기 위한 시점 및 구간 지정은 다음 Table 4와 같이 설정하였다.

모델링 결과 TV와 Desk에서의 화재감쇠부분에 실험공간 내 잔존 HRR값이 측정되어 그 시간을 제외하여 나타내었다. 또한 Gregory et al.(2011)의 Fire Dynamics에서 나타내고

Fig. 9. Modeling on TV HRR results of Furniture Calorimeter

Fig. 10. Modeling on drawer HRR results of Furniture Calorimeter.

Fig. 11. Modeling on mattress HRR results of Furniture Calorimeter

Fig. 14. Modeling on chair HRR results of Furniture Calorimeter

Fig. 12. Modeling on sofa HRR results of Furniture Calorimeter

Fig. 13. Modeling on Desk HRR results of Furniture Calorimeter

Table 5. Fire growth rate of each sample

	Fire growth rate α (kW/sec ²)
TV	0.000388
Drawer	0.019874
Mattress	0.190432
Sofa	0.090429
Desk	0.000825
Chair	0.007110

있는 $Q_{\max}$ 모델링 방법을 적용하였다. 소파의 경우 가장 높은 발열량을 나타내고 있으며, 가연물이 연소시간이 다른 가연물 시료에 비해 짧은 연소시간에서의 화재성장율을 나타낸 것으로 판단된다. 반면 책상의 경우 TV 다음으로 낮은 발열량을 나타내고 연소시간이 다른 시료들에 비해 길어 낮은 화재성장율을 나타낼 것으로 사료된다. 모델화된 6개 시료의 화재곡선의 기울기는 매트리스, 소파, 서랍장, 의자, 책상, TV의 순으로 나타나는 것으로 사료되나 이는 모델화된 결과를 이용한 것이고 6개의 시료의 화재성장율은 식 (1)를 이용하여 산출하여 다음 Table 5과 같이 제시하였다.

NFPA 72(National Fire Alarm Code 2007, Annex B)에서는 Table 6과 같이 가연물의 화재성장속도를 분류하여 제시하였다. 본 연구에서 산출된 화재성장율 α 값인 Table 5을 Table 6에 적용하여 나타내면 매트리스는 Ultra-Fast, 소파와 서랍장은 Fast, TV는 Slow, 책상은 Slow, 의자는 Medium으로 정의될 수 있다.

Table 4. Combustion period of combustibles for modeling the heating curve

	TV	Drawer	Mattress	Sofa	Desk	Chair
τ_0	99s	539s	80s	118s	275s	355s
τ_{grow}	312s	361s	150s	152s	475s	358s
$\tau_{\max}$	289s	140s	20s	42s	195s	42s
τ_{decay}	800s	460s	235s	188s	2055s	783s
$Q_{\max}$	135.09 kW	1891.8 kW	1778.95 kW	2391.26 kW	281.3 kW	1104.39 kW

Table 6. Speed categories on fire growths of NFPA 72

Fire growth rate	Growth time (t_g)	α (kW/sec ²)	α (Btu/sec ³)
Slow	$t_g = 400$ sec ($t_c = 600$ sec)	$\alpha = 0.0066$	$\alpha = 0.0063$
Medium	$150 = t_g < 400$ sec ($t_c = 300$ sec)	$0.0066 < \alpha = 0.0469$	$0.0063 < \alpha = 0.0445$
Fast	$t_g < 150$ sec ($t_c = 150$ sec)	$0.0469 < \alpha = 0.1876$	$0.0445 < \alpha = 0.178$
Ultra-Fast	$t_g = 75$ sec ($t_c = 75$ sec)	$\alpha > 0.1876$	$\alpha > 0.178$

4. 결 론

주거시설의 화재위험성평가를 위한 기초자료로 대표적 적재 가연물을 대상으로 DB정립 방안을 주거시설에서 많이 이용하고 있는 적재 가연물 6개를 선정하여 Furniture Calorimeter 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 소파 2,391.26 kW, 서랍장 1,891.80 kW, 매트리스 1,778.95 kW, 의자 1,104 kW, 책상 291 kW, TV 135.09 kW의 값이 측정되었으며, NFPA 72(National Fire Alarm Code 2007, Annex B)에서는 가연물의 화재성장속도를 분류하여 화재성장률 α 값을 적용하면 매트리스는 Ultra-Fast, 소파와 서랍장은 Fast, TV는 Slow, 책상은 Slow, 의자는 Medium으로 정의될 수 있다.
- 2) 또한 국내에서는 적재 가연물의 DB 적용방안이 미흡하기 때문에 이에 대한 정립방안으로 데이터 정리 틀을 제안하였으며 제안된 틀을 통하여 향후 범용적으로 이용하고 있는 Simulation에 적용하는 HRR값을 쉽게 모델링하게 제시하였다.
- 3) 현재 국외 자료를 활용하여 이용하고 있는 화재 시물레이션 및 화재 재현 실험의 내용을 국내 현실에 합당한 소재 및 환경에 맞추어 기초적인 자료가 향후 연구가 필요하며, 이를 활용한 시물레이션 및 재현실험에 대한 연구도 진행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년 소방방재청 차세대소방안전기술개발사업단의 2012-NEMA06-013-01010000-2 012의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Kim, D.E. Hong, H.R. Seo, D.G., and Kwon, Y.J. (2012) A Study on the Fire Behavior of Combustibles for Prediction of Fire in an Apartment House, *Journal of the Architectural Institute of Korea(Planning&Design)*, Vol. 28, No. 3, pp. 73-80.
- Architectural Institute of Japan Fire-resistant design WG Team (2005) A part fire is supposed For Fire-resistant design, Architectural Institute of Japan, Japan.
- Gregory, E.G. and Jame, L.P. (2011) Fire Dynamics, Brady Fire, USA.
- Kim, N.H. Shin, Y.C., and Kwon, Y.J. (2009) Analysis of Case Studies on the Combustible Abroad to Calculate Domestic the Fire Load, Korean Institute of Fire Science & Engineering, Proceedings of 2009 Autumn Annual Conference, pp. 339-345
- Kim, D.E. (2011) A Fundamental Study on the Application Methods of FDS for Fire Investigation in Residential Facilities, Hoseo University the degree of Master Engineering a thesis, December.
- Lee, S.R. and Youk, K.H. (2009) A Study on Fire Behavior of Combustibles in a Residential Building, Korean Institute of Fire Science & Engineering, *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 23, No. 4, pp. 25-31.
- Choi, J.S. Choi, B.I. Jang, Y.J. Han, Y.S., and Kim, M.B. (2004) Heat Release Rates of Principal Fire Sources in Living Space, Korean Institute of Fire Science & Engineering, Proceedings of 2004 Spring Annual Conference, pp. 37-42.

© Received May 6, 2013

© Revised May 8, 2013

© Accepted May 21, 2013