

소규모 주거 공간 실물화재실험을 통한 적재 가연물의 연소특성 분석

양소연* · 문민호* · 원정훈**†

An Analysis of Combustion Characteristics of Residential Facilities through Real Fire Tests in a Small Residential Space

So Yeon Yang* · Min Ho Moon* · Jeong Hun Won**†

Corresponding Author

Jeong Hun Won

Tel : +82-43-261-2459

E-mail : jhwon@chungbuk.ac.kr

Received : February 7, 2022

Revised : July 10, 2022

Accepted : July 28, 2022

Abstract : In this study, real fire tests were performed on representative combustibles of residential facilities to analyze the fire behavior and combustion characteristics in a small residential space. The considered combustibles were a sofa, a combination of a desk and a chair, and a combination of a mattress and an electric mat. A compartment space fire test was performed using the room corner test equipment prescribed in the KS F ISO 9705 specification. Three real fire tests were conducted by placing the combustible material inside a small compartment with insulation and finishing materials and by igniting the combustible material. Results showed that the peak heat release rate and peak smoke production rate occurred in the combination of the mattress and electric mat. Furthermore, from the result of the fire rate analysis, it was estimated that the fire risk of the mattress and electric mat combination was the highest, followed by the sofa and the desk and chair combination.

Copyright©2022 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Key Words : real fire test, combustibles, small residential space, heat release rate, smoke production rate

1. 서론

단독가구의 증가에 기인한 주택공급 부족을 해결하기 위해 아파트 외에도 오피스텔, 연립주택, 원룸주택, 다가구주택 등의 다양한 주거 형태의 건설은 증가하고 있다¹⁾. 최근에는 고령화로 인한 독거노인의 증가와 경제적 어려움으로 인한 비혼주의 증가, 그리고 개인주의의 확산과 같은 사회적 변화로 1~2인 가구가 증가하면서 1~2인이 살기에 규모가 적당하고, 아파트나 오피스텔보다 경제적인 원룸이나 고시원과 같은 소규모 공간의 주거시설 수요가 증가되고 있다.

원룸 및 고시원과 같은 소규모 공간의 주거시설은 소방설비 설치 의무 대상에서 제외되거나 미설치로 인한 과태료 등의 법 규정이 적용되지 않아 소화기, 스프링클러 및 단독경보형 감지기 등과 같은 기본적인 소방시설이 미비한 경우가 자주 발생한다. 기본적인 소

방시설의 미설치는 화재 발생 시 초기진화와 대피시간 확보에 어려움을 주며, 가연성 외장재의 사용과 함께 화재 규모를 키워 많은 인명피해의 주요 원인이 된다.

화재 피해를 예방하기 위해 국내에서는 2012년 9월부터 신규 건축물에 대한 성능위주 설계²⁾를 적용하여 화재 안전성을 확보하도록 하고 있으나 주로 고층 건축물 등 일정 규모 이상의 건물에만 적용되고 있다. 소규모의 건축물은 법의 사각지대로 남아있으며, 소형주택 및 원룸에 관한 화재 안전정책의 개정 필요성과 소방설비의 부재로 발생하는 근본적인 대책 수립의 필요성이 지속적으로 제기되고 있다. Kim 등³⁾은 도시형 생활주택의 실태를 조사하고 유사대상지에 대한 화재 및 피난시뮬레이션을 통해 도시형 생활주택의 화재 위험성을 정량적으로 분석하고 도시형 생활주택에 대한 화재 영향성 평가제도의 필요성을 주장하였다. Heo 등⁴⁾은 원룸에 대한 피난 안전성을 평가하여 인명피해를

*(재)한국건설생활환경시험연구원 화재본부 주임연구원 (Fire Safety Division, Korea Conformity Laboratories)

**충북대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering & Department of Disaster Prevention Engineering & Department of Big Data, Chungbuk National University)

최소화하는 방안의 필요성을 제기하였으며, 배연설비의 배치 유무에 따른 피난시뮬레이션 분석 결과를 제시하였다.

소규모 공간에 대한 피난 시뮬레이션을 통하여 화재 위험성 또는 피난 안전성을 평가하는 연구들이 활발히 진행되고 있으나⁵⁾, 시뮬레이션에 활용되는 가연물 특성의 수치는 국내 실정에 적합한 수치가 아닌 미국의 NFPA 101(National Fire Protection Association) 및 SFPE (Society of Fire Protection Engineers)에서 제시된 수치를 활용하고 있다⁶⁾. 국가별로 가연물, 피난자 특성 및 설계시공을 활용하는 방식에 차이가 있으므로 화재 시뮬레이션 수행 시 대상 가연물에 대해 국내 실정에 적합한 연소특성 물성치를 적용할 필요가 있다.

건축물의 화재위험도를 예측하기 위하여 사용하는 화재 성장 모델링 시 시간에 따른 특정 열방출률을 설계화재로 입력하고 있는데, 현재 사용되고 있는 화재 성장률은 국외 문헌에서 제시되고 있는 건축물의 용도별 화재성장속도를 적용하고 있으므로 실제 구획공간에서의 정확한 화재위험도를 예측하기가 어렵다. 또한, 데이터를 사용한 컴퓨터 시뮬레이션 기법에 대한 신뢰성을 평가하기 위해서는 필수적으로 실물화재 실험데이터를 통한 검증 작업이 진행되어야 한다⁷⁾.

국내에서는 주거 공간의 적재가연물의 연소 특성에 관한 연구가 진행되고 있다. Kim 등은⁷⁾ 침실공간에 대한 구획공간 내부에 침대, 이불장, 화장대, 장롱 등과 같은 가연물들을 배치하여 실규모의 화재실험을 실시하였으며, Park은⁸⁾ 주택내 대표적인 가연물인 소파와 침대와 전자제품인 냉장고, 세탁기에 대한 실물크기의 연소실험을 실시하였다. Nam과 Hwang은⁹⁾ 건축물 성능기반설계 활용을 위해 주거 및 사무공간에서 주로 사용되는 가구 및 전자제품을 시험체로 사용하여 화재 성장률 등을 제시하는 연구를 진행하였으며, An과 Nam은¹⁰⁾ 사무용 소파 및 의자를 대상으로 연소실험을 실시하여 열발생률 및 화재성장률 등을 제시하였다. 또한, Moon 등은¹¹⁾ 연구에서도 주거목적시설의 대표 가연물인 소파, 매트리스, 전기장판, 책상, 의자 등을 대상으로 가연물 화재실험을 실시하여 주거시설의 가연물 화재특성을 분석하였다. 다만, 기존의 연구들은 구획공간 내부에 적재가연물만 배치하고 가연물의 연소 특성을 분석한 것으로 구획공간 내부에 마감재 등과 같은 고정가연물 설치하지 않은 한계가 존재한다.

Kim 등은¹²⁾ 공동주택의 가연물을 조사하고 바닥재와 벽지에 대해 Cone Calorimeter 실험을 실시하고, TV, 서랍장, 매트리스, 소파는 Furniture Calorimeter 실험을 통해 가연물의 연소특성을 분석하였다. 다만, 해당 실험

은 고정가연물(바닥재, 벽지)과 단일가연물(TV, 서랍장, 소파, 매트리스)을 다른 장비에서 별도의 연소실험을 진행하여, 단일가연물 실험 시 구획공간 내부에 단일 가연물만 고려한 한계가 존재한다.

기존 연구결과에서 알 수 있듯이 고정가연물이 설치된 구획공간에서의 적재가연물 화재특성 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 저자들이 선행 연구¹¹⁾에서 선정한 주거목적 시설의 대표 가연물에 대해 원톱과 같은 소규모 실내 공간에서의 화재거동 및 연소특성을 분석하고, 단일 가연물 대비 구획공간에서의 화재성장률을 분석하고자 한다. 선행연구와 달리 본 연구에서는 구획공간 내부에 벽과 천장에 단열재 및 마감재를 시공하여 실물화재실험을 수행하였으며, 소규모 공간 내부에서 화재확산 및 연소성능을 평가할 수 있는 KS F ISO 9705(Room Corner Test) 장비를 활용하여 실험을 수행하였다.

2. 화재실험 개요

2.1 KS F ISO 9705 Room Corner Test

KS F ISO 9705¹³⁾는 건축마감재의 노출된 부위 또는 내부로의 연소확산과 화재 연소성능을 평가하기 위한 기준 지침서이다. Fig. 1은 지침서에서 명시한 조건에 따른 시험장비의 개략도를 나타낸다. 실물화재실험은 환기가 잘 이루어지고 출입문이 1개만 있는 소규모 공간을 구축하여 실시되었으며 착화원을 사용하여 표면 제품이 화재 성장에 미치는 영향을 평가하였다. 소규모 공간은 길이 3.6 m, 너비 2.4 m, 높이 2.4 m의 크기로 구획되었으며, 실물화재시험 시 연기발생률(SPR, Smoke Production Rate)과 열방출률(HRR, Heat Release Rate)을 측정하였다.

연기발생률은 화재 시 연기의 발생 속도를 측정한 값이며, Room Corner 장비의 배기덕트에 설치된 광원과 수광부로 구성된 연기측정장치를 이용하여, 빛을

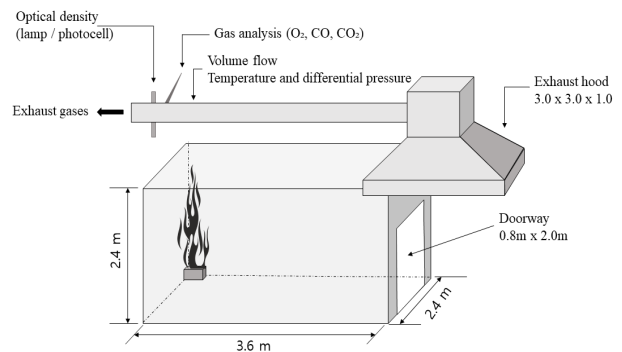


Fig. 1. ISO 9705 Room corner test.

투과시켜 광센서에 도달된 광투과율에 의한 연기발생률을 측정하였다¹⁴⁾. 연기발생률이 클수록 피난의 어려움이 크고, 질식에 의한 인명피해 확률도 증가하게 된다. 열방출률은 화재의 성장과 확산에 직접적인 영향을 미치는 요소로, 모든 재료의 연소시 소모되는 산소량 1 kg당 발생하는 열량이 약 13.1×10^3 kJ로 일정하다는 것에 근거하여 열방출률을 역으로 계산하여 측정하였다¹⁴⁾. 열방출률이 크면 클수록 화재 강도가 증가하는 것을 의미하므로 국내에서는 건축자재의 화재 안전성을 평가하는 기준으로 사용하고 있다. 본 연구에서는 KS F ISO 9705 표준의 시험장비를 이용하여 구획된 소규모 공간에 내부마감재를 설치하고 가연물을 배치하여 실물화재실험을 수행하였으며, 실내 공간에서 가연물의 화재거동과 열방출률 및 연기발생률을 측정하여 가연물의 화재 위험성을 분석하였다.

2.2 가연물 선정 및 실내 공간 구획

소규모 공간에서 가연물의 연소특성을 파악하기 위해서는 가연물의 선정과 실제 규모와 유사한 실내 공간을 구획하는 것이 필요하다. 저자들의 선행 연구¹¹⁾를 통해 주거시설의 대표 가연물로 매트리스, 책상, 의자, 소파, 전기매트를 본 연구의 가연물로 선정하였으며, 사용 용도가 유사한 매트리스와 전기매트, 책상과 의자, 소파로 구분하여 3번의 실물화재실험을 수행하였다. 실험에 사용된 각 가연물의 성분 및 특성은 Table 1과 같다.

실내 공간의 구획은 Fig. 2와 같이 KS F ISO 9705 시험장비 내부 공간에 「건축물의 에너지절약설계기준」의 중부지역 단열재 두께 기준에 따라 내단열재인

Table 1. Specifications of combustible materials.

Type	Materials	Mass (kg)	W×L×H (mm)
Desk	Particle board(PB), Medium density Fiberboard(MDF)	40	1200 × 700 × 720
Chair	Wood, Poly urethane(PU)	8	420 × 480 × 820
Mattress	Fabric, Sponge	34	1000 × 2000 × 250
Electric pad	Leatherette	4	980 × 1900
Sofa	PolyVinly chloride(PVC), sponge	11.5	710 × 760 × 770

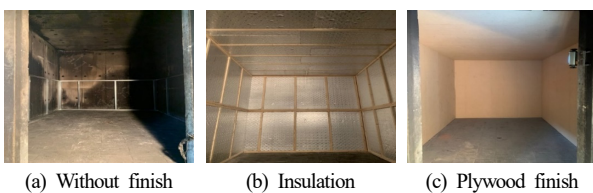


Fig. 2. Interior finish of test room.

준불연 PF보드 단열재(80 mm)를 설치하고, 그 위에 벽 마감재(12 mm)로 마감처리를 하여 실내 공간을 구획하였다.

2.3 구획공간에서의 가연물 화재실험방법

ISO 9705 룬코너 시험장비를 이용한 구획공간 화재실험은 단열재 및 마감재가 시공된 소규모 구획 공간 내부에 가연물을 Fig. 3과 같이 벽 가까이 배치하고 가연물이 쉽게 점화될 수 있도록 인화성 액체인 헵탄 30 mL를 적신 솜뭉치를 이용하여 가연물을 점화시켜 진행하였다.

점화원의 위치는 가연물별로 화재 발생 상황을 고려해 발화가 용이한 위치로 선정하였다. 실험 측정은 가연

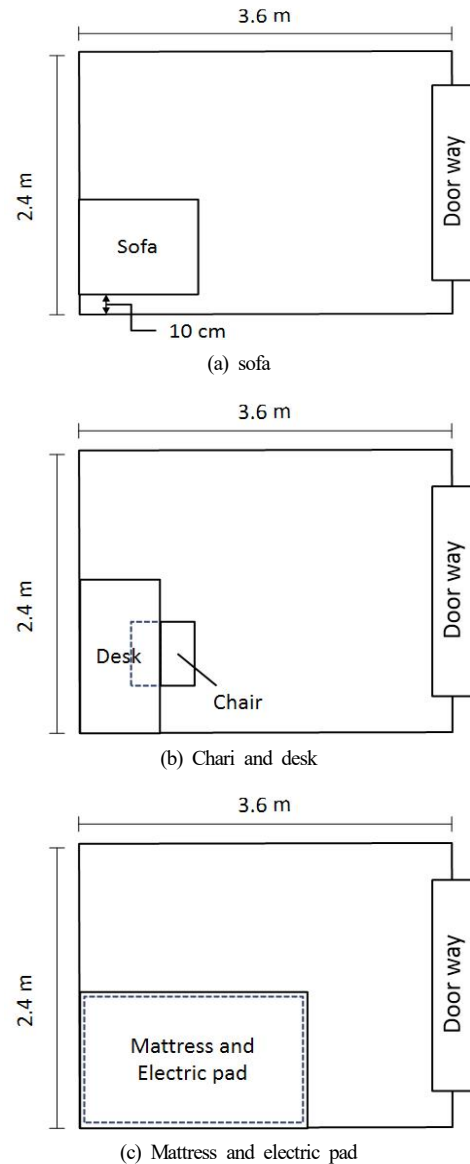


Fig. 3. Schematic of combustibles location.

물을 점화시키는 순간부터 시작하며 가연물이 전소될 때까지 기록하였다. 다만, 플래시오버(Flash Over)¹⁵⁾가 발생하거나 마감재의 붕괴 또는 잠재적인 위험 상황이 발생할 경우는 가연물을 소화하여 실험을 종료시키며, 시각적으로 연소 현상이 중지될 때까지 지속적인 관찰과 측정을 실시하였다.

3. 실험 결과

3.1 구획공간에서 가연물의 화재성장

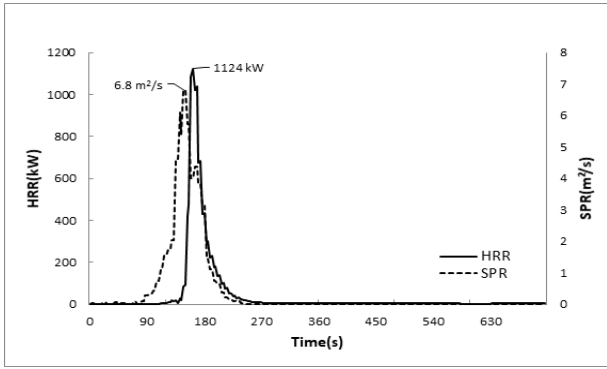
단열재와 마감재가 시공된 구획공간 내부에 가연물 5종을 혼용하여 실물화재실험이 수행되었다. 점화 이후의 화염크기 및 확산 등을 포함한 가시적인 화재거동을 확인하기 위해 가연물에 대한 화재양상을 화재성장단계에 따라 제시하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4(a)는 소파만 있는 경우의 화재성장 단계별 화재양상을 나타내며 초기 점화된 후 소파 등받이를 통해 수직방향의 화재확산 및 성장이 확인된다. 이후 벽체로 화염

이 접염되고 천장에 축적된 연기와 내부 열로 인해 최성기에 도달하게 된다.

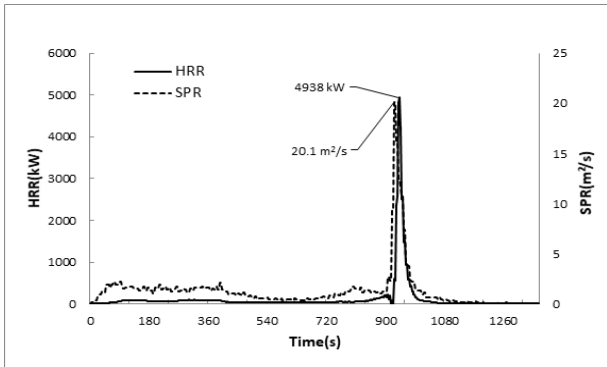
Fig. 4(b)는 책상과 의자과 같이 있는 경우의 화재성장 단계별 화재양상이며, 의자 쿠션에서 점화가 시작된 이후 화염의 수직확산으로 책상의 연소가 시작되었음을 알 수 있다. 이후 화염이 수평으로 확산되고 벽체로 접염되어 급격한 화재확산으로 최성기에 도달하였다. Fig. 4(c)는 겨울철 매트리스와 전기패드를 혼용한 상황을 고려한 경우로서, 전기패드 전원부에서 점화가 시작된 이후 매트리스가 벽체와 맞닿아진 부분을 따라 수평확산을 하다가 벽체 모서리를 통하여 수직확산하며 화재가 성장한 것이 확인된다. 화재성장 이후 전기패드로 화염이 전체적으로 수평확산하며 화재가 최성기에 도달하게 된다. 고려한 세 개의 가연물 화재거동 상황을 분석하면 화염이 벽체로 확산된 직후 급격한 화재성장과 함께 최성기로 도달하는 것으로 나타났는데, 벽마감재인 고정가연물 증가와 단열재 열축적에 의한 내부 공간의 고온이 영향을 준 것으로 판단된다.



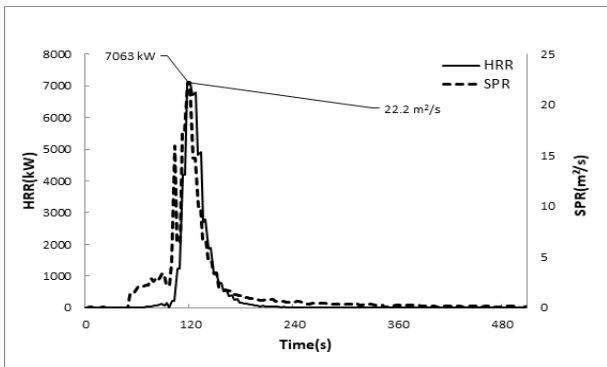
Fig. 4. Fire aspect according to fire growth stages for combustibles in test room.



(a) sofa



(b) Chari and Desk



(c) Mattress and electric pad.

Fig. 5. HRR and SPR of combustibles in the test room.

Fig. 5는 구획공간에서 가연물에 대하여 산소소모법 원리를 통해 측정된 시간에 따른 HRR 및 SPR을 도시한 결과를 나타낸다. 소파(Fig. 5(a))의 경우에는 최대 HRR이 1124kW, 최대 SPR은 6.8 m²/s로 측정되었다. 책상과 의자(Fig. 5(b))의 경우에는 최대 HRR이 4938 kW, 최대 SPR이 20.1 m²/s로 측정되었다.

매트리스와 전기패드를 혼용한 가연물(Fig. 5(c))의 경우, 최대 HRR이 7063 kW, 최대 SPR이 22.2 m²/s로 측정되었으며, 매트리스와 전기매트 가연성 가연물의 혼용과 소재, 노출 표면적에 의해 다른 두 가연물에 비해 다소 높게 측정된 것으로 판단된다.

3.2 화재성장률에 따른 가연물의 화재위험성 분석

화재성장률은 시간에 따른 발열량의 변화이며, 접화가 이루어진 순간부터 화재가 최성기에 도달하는데 걸리는 시간을 통해 화재성장률을 정의할 수 있다. 화재성장률은 화재성장과정을 정량적으로 나타내어 화재 해석에 적용할 수 있으며, 건축물의 성능위주 설계시 화재성장률을 바탕으로 설계회원을 설정하기도 한다. 또한, 미국의 NFPA 72⁽⁶⁾에서는 화재성장률을 통해 Table 2와 같이 화재성장을 크게 4가지의 형태로 분류하여 화재감지설비나 연기제어시스템 설계 시 활용하고 있다. 화재성장률은 식 (1)과 같이 도출할 수 있다.

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

여기서 Q_{max} 는 최대열방출률(kW), t_{grow} 는 화재의 최성기까지 도달하는 시간(sec), α 는 화재성장률(W/sec²)을 나타낸다.

Table 2. Values for α and t_g for different growth rates⁽⁶⁾

Fire growth rate	Growth Time t_g (s)	α (kW/s ²)
Slow	$t_g \geq 400$ s	$\alpha \leq 0.0066$
Medium	$150 \leq t_g < 400$ s	$0.0066 < \alpha \leq 0.0469$
Fast	$t_g < 150$ s	$0.0469 < \alpha \leq 0.1876$
Ultra-fast	$t_g \leq 75$ s	$\alpha > 0.1876$

내단열재와 벽마감재의 고정가연물이 설치된 구획공간 실물화재실험을 통해 측정된 가연물의 최대열방출률, 최성기 도달 시간을 이용하여 각 상황별 화재성장률을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 또한, Table 3에는 고정가연물 없이 본 연구와 동일한 적재가연물만 설치된 구획공간 실물화재결과⁽¹⁾에서 산출된 화재성장률을 같이 나타내었다. 표로부터 고정가연물을 고려하지 않은 기존 연구결과에 비해 고정가연물을 고려한 실물화재실험으로부터 도출된 화재성장률은 고려되는 세 가지 상황에서 모두 크게 증가되는 것을 알 수 있다. 특히, 매트리스와 건기매트의 조합사용의 경우 고정가연물 고려로 화재성장률이 0.00559 kW/s²에서 0.4905 kW/s²로 크게 증가되는 것으로 분석되었다.

각 가연물의 열방출률을 통해 도출된 화재성장률을 NFPA 72의 화재성장 분류기준을 활용하여 분석하면, 고정가연물이 설치된 실내 공간에서 소파는 Medium, 책상과 의자는 Slow, 매트리스와 전기매트는 Ultra-fast에 해당된다. 즉, 대상 가연물 중 매트리스와 전기매트의 조합 사용이 실내 공간에서 연소확대가 가장 빠른 가연물인 것으로 분석되었다. 반면, 고정가연물을 고려

Table 3. Fire growth rate by specimen

Division	α (kW/s ²)		B/A
	Without fixed combustibles ⁽¹⁾ (A)	With fixed combustibles (B)	
Sofa	0.02249	0.04389	2.0
Chair and Desk	0.00019	0.00536	28.2
Mattress and Electric pad	0.00559	0.4905	87.7

하지 않은 기존 연구결과의 화재성장률은 소파는 Medium, 책상과 의자는 Slow, 매트리스와 전기매트는 Slow로 나타나므로 고정가연물로 인해 화재성장률의 영향을 가장 많이 받는 것은 매트리스와 전기매트 조합인 것으로 확인된다. 따라서 구획공간내 적재가연물에 의한 화재성장률을 도출할 때 고정가연물의 영향을 고려하여야 된다고 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 국내 소규모 공간의 화재안전성을 위한 설계 및 화재·피난시뮬레이션에 활용을 염두에 두고 주거시설에서 대표적으로 사용하는 3가지 적재가연물인 소파, 책상-의자 조합, 매트리스-전기매트 조합을 대상으로 소규모 구획공간에서 실물화재실험을 수행하였다. 구획공간 내부에 내단열재와 벽마감재의 고정가연물을 시공하여 실물화재실험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 실내 공간에서 화재가 발생했을 경우 소파, 책상과 의자, 매트리스와 전기매트 순서로 대규모 화염이 형성되나, 화재성장률로 판단할 때는 매트리스와 전기매트 조합이 가장 빠른 연소 속도를 나타낸다. 화재성장률은 열방출률이 1MW에 도달하는 속도인 화재성장속도를 결정하는 계수이므로 화재성장속도를 통해 초기대응 유무를 판단할 수 있는 중요한 변수이다. 따라서 화재안전성을 위한 설계 및 피난시뮬레이션 고려시 가연물에 대한 화재특성 적용은 화염의 규모보다는 화재성장률의 적용이 타당하므로 구획 공간내 소파 매트리스와 전기매트 사용에 의한 화재·피난시뮬레이션 피해를 고려하여야 한다.

(2) 고정가연물을 고려함으로써 소파의 화재성장률은 2배, 책상과 의자의 경우 28.2배, 매트리스와 전기패드의 경우 87.7배 증가하는 것으로 분석되었다. 특히, 전기매트와 매트리스 사용의 경우 화재성장 분류가 Slow에서 Ultra-fast로 변경되어 영향이 크게 받았다. 단열재 및 마감재와 같은 고정가연물이 시공된 구획공간

에서 실시된 적재가연물의 화재성장률의 영향이 크므로 실질적인 건축물의 화재위험도 예측을 위해서는 구획공간에서 고정가연물과 적재가연물의 복합적인 조건을 통한 화재성장률을 도출하는 것이 필요하다.

동일한 가연물이더라도 주변 환경에 따라 화재특성이 다르게 나타나므로 데이터의 신뢰성을 위해서는 동일 조건에서 반복적인 실험과 소규모 주거공간의 mock-up 실험을 통한 추가 검증이 필요하며, 국내 가연물의 다양성으로 향후 다양한 소재 및 규모의 가연물을 대상으로 하여 실물화재실험을 통한 DB 구축이 필요하다.

Acknowledgement: This study was financially supported by Ministry of the Interior and Safety as Human Resource Development Project in Disaster Management.

References

- 1) H. S. Kim, "A Study of Current Conditions and Future Tasks of One-room Housing", Journal of the Korean Housing Association, Vol. 24, No. 1, pp. 61-68, 2013.
- 2) S. H. An, S. Y. Mun, I. H. Ryu, J. H. Chou and C. H. Hwang, "Analysis on the Implementation Status of Domestic PBD (Performance Based Design) - Focusing on the Fire Scenario and Simulation", J. Korean Soc. Saf., Vol. 32, No. 5, pp. 32-40, 2017.
- 3) D. W. Kim, S. N. Baek and J. H. Choi, "A Study on Plan for Introduction of Fire Influence Evaluation System through Risk Assessment of the Urban Lifestyle Housing Buildings", Fire Sci. Eng., Vol. 31, No. 1, pp. 10-17, 2017.
- 4) I. W. Heo, S. J. Han, H. Kang, S. J. Hwang, Y. H. Ju and K. S. Kim "Performance-based Evaluation on Evacuation Safety of Studio Residential Buildings according to Installation of Smoke Exhaust System", J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 18, No. 7, pp. 1-8, 2018.
- 5) G. T. Nam, J. J. Kim, S. P. Yoon and J. K. Kim, "Analysis of Sensitivity, Correlation Coefficient and PCA of Input and Output Parameters using Fire Modeling", J. Korean Soc. Saf., Vol. 34, No. 5, pp. 46-54, 2019.
- 6) B. H. Lee, "A Study on the Fire Load and Combustible Characteristics for Fire Safety Design related to BIM of Building Structures", Master thesis of Hoseo University, 2017.
- 7) 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 Sci. Eng., Vol. 27, No. 6, pp. 32-37, 2013.
- 8) Y. J. Park, “A Study on the Flame Growth Characteristics of Household Items(Refrigerator · Washing machine · Drawer · Sofa)”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 3, pp. 45-51, 2015.
 - 9) D. G. Nam and C. H. Hwang, “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”, Fire Sci. Eng., Vol. 31, No. 2, pp. 29-36, 2017.
 - 10) S. H. An and D. G. Nam, “Heat Release Characteristics of Typical Live Fire Load for Performance-Based Design in Offices”, J. Adv. Eng. and Tech., Vol. 10, No. 4, pp. 445-451, 2017.
 - 11) M. H. Moon, S. Y. Yang, K. I. Han, J. H. Lee and H. J. Kim, “Fire Tests for Representative Combustibles in Residential Facilities for the Development of Field Commander Training Content”, Fire Sci. Eng., Vol. 34, No. 2, pp. 22-29, 2020.
 - 12) D. E. Kim, H. R. Hong, D. G. Seo and Y. J. Kwon, “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. 23, No. 3, pp. 73-80, 2012.
 - 13) Korean Agency for Technology and Standards, “Fire Tests: Full-Scale Room Test for Surface Products”, KS F ISO 9705, 2009.
 - 14) H. S. Lim, “Disaster Prevention Test Research – Development Trend of ISO Sandwich Panel Fire Test Method”, Disaster Prevention and Insurance, Vol. 101, No. 0, pp. 49-55, 2004.
 - 15) O. S. Kweon and K. S. Kwon, “Experimental Study of Flashover Prediction for Building”, J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 19, No. 1, pp. 161-168, 2019.
 - 16) NFPA 72, “National Fire Alarm and Signaling Code”, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, 2017.