

[Research Paper]

## 냉각프레임 설치 유무에 따른 스프링 침대 매트리스의 화재성상에 관한 연구

서보열<sup>†</sup> · 박계원 · 홍원화<sup>\*</sup>

방재시험연구원, <sup>\*</sup> 경북대학교 건축학부

### Study on the Fire Behavior of Spring Bed Mattress with and Without a Cooling Frame

Bo-Youl Seo<sup>†</sup> · Kye-Won Park · Won-Hwa Hong<sup>\*</sup>

Fire Insurers Laboratories of Korea, <sup>\*</sup> School of Architecture, Kyungpook National Univ.

(Received February 9, 2018; Revised March 2, 2018; Accepted March 8, 2018)

#### 요 약

스프링 침대 매트리스의 화재안전성을 향상시키기 위한 방안으로 냉각재료(물)를 포함한 냉각프레임을 제작하여 침대 매트리스 아래 또는 침대 매트리스와 침대 매트리스 받침대 사이부분에 냉각프레임을 설치하여 냉각프레임 설치 유무에 따른 실험규모 화재시험을 실시하였다. 시험 초기(약 3분)에는 비슷한 화재성상을 보이나 이후에는 냉각프레임이 없는 경우는 급격한 화재성상이 확인 되었으며, 냉각프레임이 있는 경우는 성장되지 않고 쇠퇴가 진행되었다. 침대 매트리스 상단표면에서의 화염전파는 반원방향으로 유사하게 진행되었으며, 평균 화염전파속도는 약 0.005 m/s 분석되었다. 최대화염높이는 냉각프레임이 없는 경우 약 2.7 m, 냉각프레임이 설치된 경우 약 1.8 m 로 분석되었다. 또한 최대열방출율(Heat release rate)은 냉각프레임이 없는 경우는 약 740 kW, 냉각프레임이 설치된 경우는 약 400 kW 측정되었다. 결과적으로 냉각프레임 설치를 통해 침대 매트리스 화재시 화염높이 및 열방출율이 저감되는 것으로 확인되었다.

#### ABSTRACT

To improve the fire safety of spring bed mattress, a cooling frame including cooling material (water) was made and a cooling frame was installed under the bed mattress or between the bed mattress and bed mattress base; fire tests (real scale) were conducted with or without a cooling frame. Similar fire behavior was observed at the beginning of the test (approximately 3 minutes). Subsequently, rapid fire growth in the mattress without a cooling frame, but with a cooling frame, the decline progressed without growth. The flame spread on the top surface of the bed mattress was similar in the semicircular direction, and the average flame speed velocity was analyzed at approximately 0.005 m/s. The maximum flame height was found to be approximately 2.7 m without a cooling frame, and approximately 1.8 m with a cooling frame installed. In addition, the maximum heat release rate was measured to be approximately 740 kW without a cooling frame, and approximately 400 kW with a cooling frame installed. As a result, the flame height and heat release rate were reduced when the bed mattress was fired through the installed cooling frame.

**Keywords :** Spring bed mattress, Cooling frame, Mock-up test, Fire behavior, Heat release rate

#### 1. 서 론

침대 매트리스는 화재 시 인명 및 재산피해의 주된 원인으로 높은 화재위험성을 가지고 있다. 이에 국내 침대 매트리스에 대한 실험규모 화재시험을 실시한 결과 대부분 약 5분 이내에 플래시오버(Flashover) 및 전소가 이뤄졌으며,

최대열방출율은 평균 약 1000 kW 수준으로 측정되어 해외(미국) 기준(CPSC 16 CFR Part 1633)<sup>(1)</sup>과 비교할 경우 최대 열방출율 기준인 200 kW 와 상당한 차이가 확인되었다.

따라서 침대 매트리스의 화재안전성을 향상시키기 위한 방안으로 침대 매트리스 아래 또는 침대 매트리스와 침대 매트리스 받침대 사이부분에 냉각프레임을 설치하여 냉각

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-Mail: byseo@kfpa.or.kr, TEL: +82-31-887-6694, FAX: +82-31-887-6680

© 2018 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

**Table 1.** Burner Specifications

Burner*	Top	Side
Flow (L/min)	12.9	6.6
HRR (kW)	18	9
Time (s)	70	50

\* (22±3) °C, (101±5) kPa

프레임 설치 유무에 따른 실물규모 화재시험<sup>(2)</sup>을 실시하여 화재성상(진행)과정을 관찰하고, 화염전파속도, 화염높이 및 열방출율(Heat release rate)를 측정 및 분석하고자 한다. 결과적으로 냉각프레임 설치 유무에 따른 종합적인 침대 매트리스 화재성상의 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 실물규모 화재시험

### 2.1 침대 매트리스 화재위험성

일반적인 침대 매트리스<sup>(3)</sup>는 스프링 등을 기반으로 하는 구조를 유지하며, 겉면은 직물 등으로 마감된 육면체의 형태로 공기층을 포함한 가연물로 구성된다. 직물로 인하여 발화점이 낮아 화재 시 화염확산의 매개체로 작용될 수 있으며, 동시에 급격한 화재성장(플레시오버)의 위험성을 내포하고 있다. 이는 재실자의 피난이 불가능해지는 결과를 초래하여 실물규모 화재시험을 통한 위험성분석이 필요하다.

### 2.2 시험개요

침대 매트리스의 실물규모 화재시험 방법은 CPSC 16 CFR Part 1633 및 ISO 12949<sup>(4)</sup>에 규정되어 있다. 이 시험 방법은 규격화된 착화원을 사용하여 통제된 시험 구역에서 자유 연소시킴으로써 매트리스 또는 매트리스 세트의 인화 성능을 측정한다. 시험 구역은 ISO 24473과 같은 개방 열량계(open calorimeter) 또는 집진 후드에 연결된 지정된 크기의 시험실 중 하나로 구성되어야 한다. 열방출률은 배기 덕트의 측정장치를 이용하여, 산소 소모 열량기법에 의해 측정된다. 시험은 30분간 진행 또는 시험관계자, 시험 장비 및 설비 안전에 위험이 발생할 때까지 지속한다.

### 2.3 착화원

착화원은 한 쌍의 프로판 버너로 구성되며, 세부사항은 Table 1과 같다. 침대 매트리스 상단과 측면에 각각 지정된 시간 동안 해당 열류량을 적용한다. 버너로부터 출력되는 27 kW 열량은 이불, 베개 등에 착화가 발생하는 것을 모사한 열량으로 버너에는 불꽃의 흐름을 방해하는 난류환경을 방지하기 위한 필터 스크린을 설치한다.

### 2.4 열방출율(Heat release rate)

화재시 생성되는 엔탈피를 정량화하기 위해, 매트리스에서 방출된 시간당 열방출율은 규정된 버너가 작동 중 또는

**Table 2.** Heat Release Rate Calculation Factor

$\dot{Q}$	The Heat Release Rate from the Fire, HRR [kW]
$E^1$	Amount of Energy Developed per Consumed Kilogram of Oxygen [kJ/kg]
$\dot{m}$	Mass Flow in Exhaust Duct [kg/s]
$M_{O_2}$	Molecular Weight for Oxygen [g/mol]
$M_{air}$	Molecular Weight for Air (Actually the Molar Weight for the Gas Flow in the Duct) [g/mol]
$\alpha$	Ratios Between the Number of Moles of Combustion Products Including Nitrogen and the Number of Moles of Reactants Including Nitrogen (expansion factor)
$x_{O_2}^0$	Mole Fraction for O <sub>2</sub> in the Ambient Air, Measured on Dry Gases [-]
$x_{CO_2}^0$	mole fraction for CO <sub>2</sub> in the Ambient Air, Measured on Dry Gases [-]
$x_{H_2O}^0$	Mole Fraction for H <sub>2</sub> O in the Ambient Air [-]
$x_{O_2}$	Mole Fraction for O <sub>2</sub> in the Flue Gases, Measured on Dry Gases [-]
$x_{CO_2}$	Mole Fraction for CO <sub>2</sub> in the Flue Gases, Measured on Dry Gases [-]

그 이후에 측정된다. 열방출률은 배기 덕트의 측정장치를 이용하여, 산소 소모 열량기법에 의해 측정된다. 열방출율(Heat Release Rate) 모델 계산식<sup>(5)</sup>은 아래 (1)과 같다.

$$\dot{Q} = \frac{E^1 \dot{m} \frac{M_{O_2}}{M_{air}} (1 - X_{H_2O}^0)}{\frac{\alpha - 1}{X_{O_2}^0} + \frac{1 - \frac{X_{O_2}}{1 - X_{CO_2}^0}}{X_{O_2}^0 - \frac{X_{O_2}(1 - X_{CO_2}^0)}{1 - X_{CO_2}^0}}} \quad (1)$$

## 3. 화재시험

### 3.1 시험개요

침대 매트리스 하부에 냉각프레임 설치 유무에 따른 화재성상을 측정하기 위하여 CPSC 16 CFR Part 1633 및 ISO 12949에 따른 실물규모 화재시험을 수행하였다. 시험은 개방된 열량계 방식을 적용하였다.

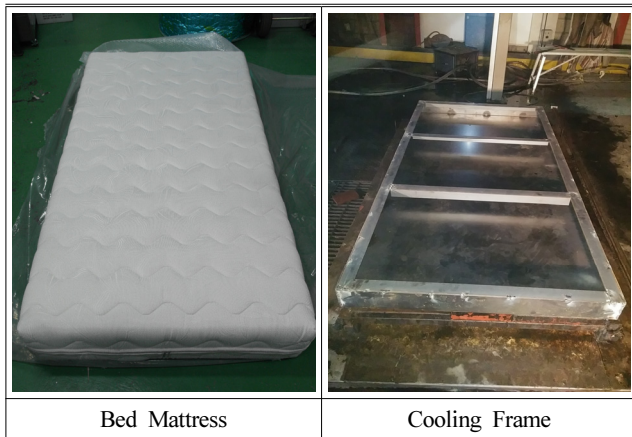
### 3.2 침대 매트리스 및 냉각프레임 사양<sup>(6)</sup>

침대 매트리스 크게 스프링 타입과 폼 타입으로 나누어지며, 이중 스프링타입이 전체의 약 70% 를 차지하고 있어 스프링 침대 매트리스를 선정하였다. 냉각프레임은 침대 매트리스를 지지 및 냉각재료를 설치하기 위한 기본구조로 구성하였다. 침대 매트리스 및 냉각프레임 구성사양은 Table 3, 4와 같다.

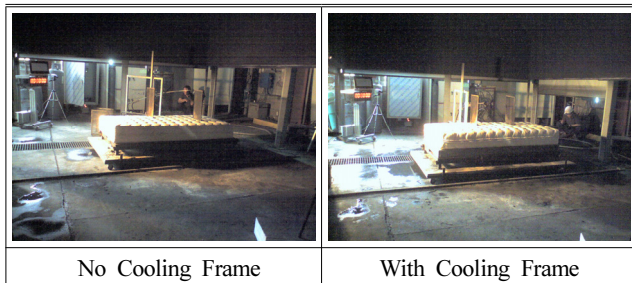
**Table 3.** Test Specification

	Bed Mattress
Size (mm)	1000*2000*250
Type	Spring
Fabric Composition	Fiber, Non-woven, Sponge
	Cooling Frame
Size (mm)	1000*2000*100
Material	Steel
Cooling Material	Water

**Table 4.** Photo of Bed Mattress and Cooling Frame



**Table 5.** Installation of Cooling Frame



침대 매트리스 하부 냉각프레임 설치모습은 Table 5와 같다.

## 4. 화재성상 분석

### 4.1 화재성장 관찰

냉각프레임 설치 유무에 따른 스프링 침대 매트리스의 실물규모 화재시험 수행 관측결과는 Table 6과 같다.

상기 침대 매트리스 시료 측면(50 s) 및 상부(70 s) 버너를 차례로 제거 후 자유연소가 시작되었으며, 상부 및 측면의 외곽방향으로 화재가 진행하였으며 시각 초기(약 3분)에는 유사한 화재성장을 보이는 것으로 확인되었다.

냉각프레임이 없는 경우 발생된 화재로 내부 연소가 시작되면서 상부연소생성물 및 스프링 낙하로 하부의 매트리스

**Table 6.** Fire Behavior Observations

Time (min:sec)	No Cooling Frame
00:50	- Remove Side Burn
01:10	- Remove Top Burn
01:30	- Growth to Top, Side and Inside (Lower Ignition)
03:00	- Growth and Spring Fall - Pool Fire Formation
03:30	- Rapid Growth
04:30	- Peak of Fire (Large Amount of Smoke)
06:00	- Fire Extinguishing
Time (min:sec)	With Cooling Frame
00:50	- Remove Side Burn
01:10	- Remove Top Burn
01:30	- Growth to Top, Side and Inside
03:00	- Growth and Spring Fall in Frame - Lower Part Falls Into Frame
03:30	- growth Top and Side Growth
04:30	- Peak of Fire (Small Amount of Smoke)
05:00	- Decline of Fire
08:00	- Fire Extinguishing

스로 화재가 성장되면서 상하방향의 Pool fire를 형성하여 약 3분 이후 침대 매트리스 전체로 급속도로 화재가 성장(진행) 및 플래시오버가 확인되었다.

냉각프레임을 설치 한 경우 냉각프레임 내 물로 인하여 하부 매트리스가 연소되지 않고 프레임내로 떨어지면서 화재는 상부와 측면으로만 진행되어 화재성장 후 쇠퇴하는 것으로 확인되었다.

### 4.2 화염전파 및 화염높이

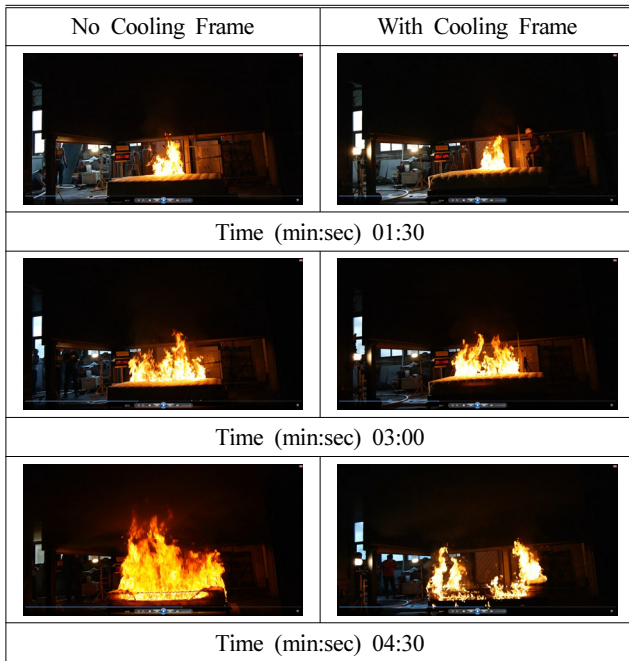
침대 매트리스 상단표면에서의 화염전파 및 화염높이는 영상촬영자료 분석<sup>7)</sup>을 통해 측정하였다.

버너는 침대 매트리스 길이방향의 가운데 위치한 후 상단버너는 침대 매트리스 한쪽 길이방향 모서리에서 중앙방향으로 100 mm, 측면버너는 침대 매트리스 두께(높이) 중앙에 위치하였다. 버너의 점화용 불꽃은 침대 매트리스 표면에서 직접 닿지 않도록 상단버너는 39±1 mm, 측면버너는 42±1 mm 간격으로 설치하였다. 화염전파 및 화염높이 측정은 버너가 제거되는 70 s 이후부터 측정하였다.

#### 4.2.1 화염전파

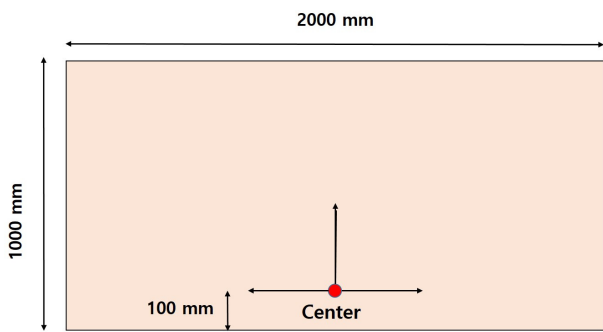
냉각프레임 설치 유무에 따른 침대 매트리스 상단표면에서의 화염전파를 측정하였다. 화염전파는 연소중심에서 반원방향으로 화염전파가 진행되어 상단표면 전체로 확산되었다. 연소중심에서 각 좌측, 우측 및 아래 방향으로

**Table 7.** Photo of Fire Behavior



**Table 8.** Flame Spread Distance Measurement (mm)

No Cooling Frame				With Cooling Frame			
Time (s)	Left	Right	Down	Time (s)	Left	Right	Down
70	250	250	200	70	230	230	200
80	300	280	300	80	250	250	250
90	350	300	350	90	280	280	300
100	400	310	370	100	320	300	350
110	450	350	400	110	350	350	400
120	550	380	420	120	400	380	430
130	600	400	450	130	450	400	450
140	650	450	480	140	500	450	480
150	680	500	500	150	550	480	500
160	700	550	520	160	600	500	550
170	720	600	550	170	650	600	650
180	800	680	600	180	680	620	700
190	820	700	650	190	700	650	730
200	850	720	700	200	800	750	800
210	900	800	800	210	850	800	1000
220	1000	950	900	220	900	900	-
230	-	1000	1000	230	1000	1000	-



**Figure 1.** Burning area in mattress.

유사한 속도로 화염전파가 진행되었으며 각 방향의 평균거리에 따른 시간별 화염전파는 Table 8과 같다.

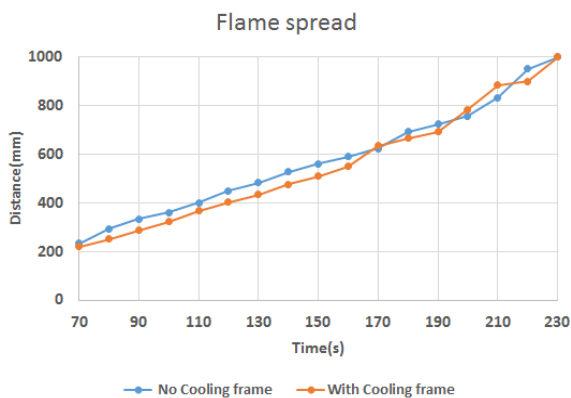
냉각프레임을 설치하지 않은 경우와 냉각프레임을 설

치한 경우 모두 유사한 경향의 화염전파가 측정되었으며, 평균속도는 약 0.005 m/s 분석되었다.

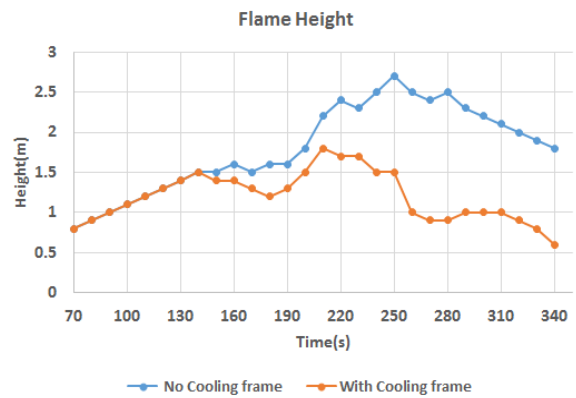
이는 실내에서 수행되어 외기의 영향이 없는 조건으로 침대 매트리스 표면에서 연소과정을 통해 화염전파가 진행되는 표면의 구성(겉감)의 특성(밀도, 비열) 및 단면적이 동일하여 유사한 화염전파의 특성이 진행된 것으로 분석되며, 하부면의 연소로 인한 복사열 등은 상부면의 직접적인 화염전파에 미치는 영향은 낮은 것으로 판단된다.

**4.2.2 화염높이**

냉각프레임 설치 유무에 따른 침대 매트리스 상단표면



**Figure 2.** Flame spread in mattress.



**Figure 3.** Flame spread in mattress.

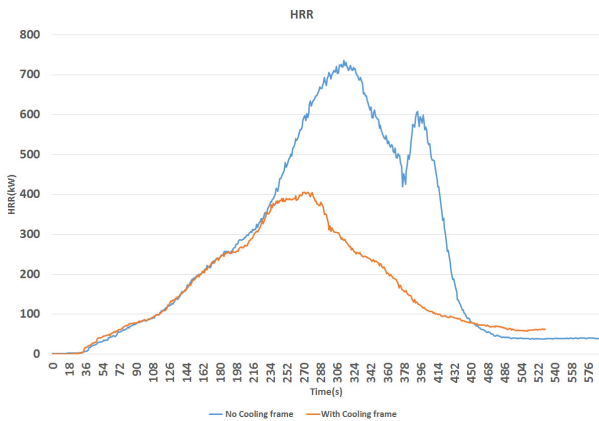


Figure 4. Heat release rate according to cooling module frame of spring bed mattress.

에서의 화염높이를 측정하였다.

140 s까지 유사한 화염높이를 보이나 이후 냉각프레임 없는 경우에는 계속 증가해 250 s에 최대 화염높이 약 2.7 m 높이가 측정되었다. 냉각프레임 설치된 경우는 약 1.5 m 화염높이를 계속 유지하면서 210 s에 최대 화염높이 약 1.8 m 높이가 측정되었다.

침대 매트리스 상단에서 연소생성물 등이 하단으로 떨어져 동시에 연소되면서 급격하게 화재가 성장함과 동시에 화염높이도 높아지는 것으로 확인되며, 냉각프레임을 설치한 경우에는 침대 매트리스 상단으로 진행되면서 화염높이가 낮은 것으로 확인되었다.

### 4.3 열방출율

냉각프레임 설치 유무에 따른 스프링 침대 매트리스의 실험규모 화재시험 진행간에 열방출율을 측정하였다.

시험시작 후 약 4분간의 열방출율은 유사한 경향으로 증가하는 것으로 측정되었다. 이후 냉각프레임을 설치하지 않은 경우는 열방출율이 급격하게 상승하여 최대열방출은 약 740 kW (약 6분 10초) 로 확인되었다. 냉각프레임을 설치한 경우는 열방출율은 상대적으로 낮은 성장을 보이며 최대열방출은 약 400 kW (약 4분 30초) 로 확인되었다.

이는 침대 매트리스의 버너 착화 후 상단을 중심으로 화재가 성장되는 동안은 유사하나, 하단 매트리스가 상단 매트리스와 동시에 화재가 진행되는 유무에 따라 급격한 열방출율의 차이가 나타나는 것으로 확인되었다.

## 5. 결 론

침대 매트리스의 화재안전성을 향상시키기 위하여 침대 매트리스 아래 또는 매트리스와 매트리스 받침대 사이부분에 냉각프레임을 설치하여 냉각프레임 설치 유무에 따른 실험규모 화재시험을 실시하여 화재성장(진행)과정을 관찰하고, 화염전파속도, 화염높이 및 열방출율(Heat release

rate)을 측정 및 분석하였다.

1. 초기 약 3분까지 유사한 화재성장을 보이나 이후 냉각프레임이 없는 경우에는 상하방향의 Pool fire를 형성되고 급속도로 화재확산(플래시오버)확인되었다. 냉각프레임을 설치한 경우에는 급격한 화재확산은 진행되지 않으며, 냉각프레임 내 물로 인하여 하부 매트리스가 연소되지 않고 상부와 측면으로만 지속적으로 화재가 진행되면서 쇠퇴하는 것으로 확인되었다.

2. 화염전파는 냉각프레임을 설치하지 않은 경우와 냉각프레임을 설치한 경우 모두 유사한 경향의 화염전파가 측정되었다.

3. 화염높이는 냉각프레임 없는 경우에는 250 s에 최대 화염높이 약 2.7 m, 냉각프레임 설치된 경우는 210 s에 최대 화염높이 약 1.8 m 높이가 측정되었다.

4. 침대 매트리스 화재 초기에 열방출율은 유사한 경향으로 증가하는 것으로 측정되나 이후 냉각프레임을 설치하지 않은 경우는 열방출율이 급격하게 상승하여 최대열방출은 약 740 kW (약 6분 10초), 냉각프레임을 설치한 경우는 열방출율은 최대열방출은 약 400 kW (약 4분 30초) 로 확인되었다.

5. 냉각프레임 설치를 통해 침대 매트리스 화재시 화염높이 및 열방출율이 저감되는 것으로 확인되었다.

향후 본 연구결과를 바탕으로 침대 매트리스의 화재위험성을 저감시키기 위하여 화재성장속도(시간), 화염전파, 화염높이, 열방출율 및 플래시오버 유무 등을 종합적으로 반영하여 재실자의 피난안전을 확보할 수 화재안전시스템을 개발하기 위한 연구를 진행할 예정입니다.

## 후 기

본 연구는 2017년도 산업통상자원부 제품안전품질혁신 기술기반조성사업 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

1. CPSC 16 CFR Part 1633, "Standard for the flammability (open flame) of mattresses sets", Federal Register Vol. 71, No. 50 (2007).
2. B. Y. Seo and K. W. Park, "A Study on Reducing Heat Release Rate of Spring Bed Mattress", Proceedings of 2017 Spring Annual Conference, Architectural Institute of Korea, Vol. 37, No. 2, p. 490 (2017).
3. Y. H. Yoo, K. W. Park and S. M. Kim, "A Real Scale Fire Test for the Fire Risk Assessment of Mattress", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 13, No. 6, pp. 039-044 (2013).
4. ISO 12949, "Standard Test Method for Measuring the Heat

- Release Rate of Low Flammability Mattresses and Mattress sets”, International Organization for Standards (2011).
5. V. Barbrauskas and S. J. Grayson, “Heat Release in Fires”, Elsevier Applied Science, Chapter 3, pp. 31-44 (1992).
  6. Y. E. Shin, B. Y. Seo, S. H. Park and K. W. Park, “A Study on Technology Development of Cooling Module Frame of Spring Bed Mattress”, Proceedings of 2017 Falling Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 209-210 (2017).
  7. K. W. Park and J. J. Jeong, “Mechanism of Horizontal Flame Spread (Focusing on Fire Behavior of Bed Mattress according to ISO 12949)”, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 14, No. 3, pp. 243-251 (2014).