

[Research Paper]

## 건축물 구획공간에 따른 화재성상 및 열방출을 측정에 관한 실험적 연구 - 실물규모 침대 매트리스 화재시험 중심으로 -

서보열<sup>†</sup> · 장우빈<sup>\*</sup> · 박계원<sup>\*\*</sup> · 흥원화<sup>\*\*\*</sup>

방재시험연구원 선임연구원 · 경북대학교 건축학부 대학원생, <sup>\*</sup>방재시험연구원 수석연구원, <sup>\*\*</sup>방재시험연구원 책임연구원,  
<sup>\*\*\*</sup>경북대학교 건축학부 교수

## Experimental Study on the Measurement of Fire Behavior and Heat Release Rate in Building Compartment Space - Focus on Full Scale Fire Test of the Bed Mattress -

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

Senior researcher, of Fire Insurers Laboratories of Korea · Graduate student, Dept. School of Architecture, Kyungpook National Univ.,

<sup>\*</sup>Principal researcher fellow, of Fire Insurers Laboratories of Korea,

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

(Received September 14, 2018; Revised October 12, 2018; Accepted October 16, 2018)

### 요 약

건축물 구획공간에 따른 화재성상 및 열방출을 측정하기 위하여 실물규모 침대 매트리스의 표준화재시험방법(KS F ISO 12949 : 2011)으로 화재시험을 수행하였다. 개방형공간과 구획공간 모두 버너착화 후 초기 약 3분까지는 유사한 화재성장의 경향을 보이는 것으로 확인되었다. 3분후 구획공간에서의 열방출율이 개방형 공간보다 증가되어 높은 것으로 확인되었다. 침대 매트리스(SS)의 경우, 개방형 공간에서의 최대열방출율은 735 kW이며, 구획공간에서의 최대열방출율은 992 kW 로 측정되었다. 침대 매트리스(Q)의 경우 3분후 구획공간에서의 열방출율이 개방형 공간보다 급격하게 증가되는 것으로 확인되었다. 개방형 공간에서의 최대열방출율은 1,087 kW, 이 때의 측정시간은 346 s 이며, 구획공간에서의 최대열방출율은 2,127 kW, 이때의 측정시간은 287 s 측정되어 구획공간에 따른 최대열방출율 및 측정시간의 차이가 확인되었다.

### ABSTRACT

To measure the full scale fire test and heat release rate of bed mattresses according to the building compartment space, a fire test was performed using the Standard test method to determine the heat release rate of mattresses and mattress sets (KS F ISO 12949: 2011). Both test locations showed similar fire growth until approximately 3 minutes after burner ignition. After 3 minutes, the heat release rate in the test room was higher than the open calorimeter. For bed mattresses (SS), the maximum heat release rate in the open calorimeter was 735 kW and the maximum heat release rate in the test room was 992 kW. For bed mattresses (Q), the heat release rate in the test room increased more rapidly than the open calorimeter. The maximum heat release rate in the open calorimeter was 1,087 kW (346 s) and the maximum heat release rate in the test room was 2,127 kW (287 s). The difference between the maximum heat release rate and the measurement time according to the test location was confirmed.

**Keywords :** Building compartment space, mock-up test, Heat release rate, Bed mattress, Fire behavior

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

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

### 1. 서론

침대 매트리스는 화재시 급격한 화재성장으로 인한 심각한 화재위험도를 보유하고 있다<sup>(1)</sup>. 이에 화재위험을 분석하기 위하여 침대 매트리스에 대한 실물규모 화재시험이 수행되어져 오고 있으나 대부분 개방된 공간에서 수행되었다<sup>(2)</sup>. 그러나 침대 매트리스는 대부분 건축물내의 구획공간에서 사용하고 있으며, 구획공간의 경우 침대 매트리스의 화재성장은 더 빠르게 진행됨과 동시에 구획공간내의 다른 가연물로의 화염확산 및 연소확대가 이루어져 결과적으로 인명 및 재산 피해의 대형사고로 전개되는 심각성을 내포하고 있다. 따라서 구획공간에서의 실물규모 화재시험이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 구획공간에 따른 침대 매트리스의 화재 위험성을 분석하기 위해, 침대 매트리스 및 매트리스 세트의 열방출을 측정에 관한 표준 시험방법(KS F ISO 12949:2011)을 준용하여 개방형 공간(Open calorimeter) 또는 지정된 크기의 구획공간을 구성하여 두 가지 시험장소에 대하여 침대 매트리스의 실물규모 화재시험을 실시하여 구획공간 여부에 따른 화재성장 및 열방출을 측정에 관한 실험적 연구를 수행하고자 한다.

### 2. 침대 매트리스 및 매트리스 세트의 열방출을 측정에 관한 표준 시험방법(KS F ISO 12949:2011)<sup>(3)</sup>

#### 2.1 시험방법 개요

침대 매트리스 및 매트리스 세트의 열방출을 측정에 관한 표준 시험방법(KS F ISO 12949:2011)은 매트리스에 규격화된 착화원인 상단버너(18 kW)를 70 s, 측면버너(9 kW)를 50 s 간 사용하여 개방형 공간(Open calorimeter) 또는 지정된 크기의 구획공간에서 자유 연소시킨다. 이때 화재 진행시간에 따른 열방출률은 배기 덕트의 측정장치를 이용하여, 산소 소모 열량기법에 의해 측정된다. 시험은 30분간 진행 또는 시험관계자, 시험 장비 및 설비 안전에 위협이 발생할 때까지 지속한다.

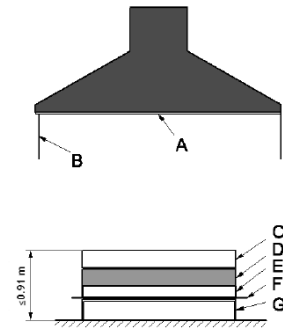
#### 2.2 시험장소

##### 2.2.1 개방형 공간(Open calorimeter)

시험 대상 침대 매트리스는 Figure 1과 같이 개방형 공간의 중앙 하부 시험프레임 위에 배치된다. 후드는 전체 연기 발생을 포집하여야 하며, 필요시 후드 주변에 기류방지막을 설치하여 연기발생 전체를 포집하도록 한다.

##### 2.2.2 구획공간(시험실)

구획공간의 규격은 최소 3 m (폭) × 3 m (깊이) × 2.4 m (높이)이어야 한다. 구획공간은 Figure 2에 나타난 것과 같



A calorimeter hood  
 B optional hood skirt  
 C mattress  
 D foundation  
 E bed frame  
 F catch surface  
 G elevated support (optional)

Figure 1. Test assembly under an open calorimeter.

이, 폭 (970 ± 5) mm에 높이 (2,030 ± 5) mm의 출입구를 제외한 공기 유입이 될 수 있는 큰 개구부가 없어야 한다. 배기 후드는 모든 연소 가스를 포집하도록 출입 개구부의 외부에 배치되어야 한다. 구획공간은 목재 또는 금속 구조이어야 하며, 최소 12.7 mm 두께의 불연성 재료로 마감되어야 한다. 매트리스도 Figure 2와 같이 구획공간의 시험 프레임 위에 배치하여야 한다. 매트리스의 한쪽 모서리는 벽에서 130 mm 에서 170 mm 를 이격시켜야 하며 다른 쪽 모서리는 벽에서 250 mm 에서 300 mm 를 이격시켜야 한다. 매트리스를 기울어진 각도로 설치하는 것은 구획공간 벽으로부터의 재복사열이 침대에 미치는 열적 영향을 최소화하기 위한 것이다. 또한 구획공간에는 매트리스를 제외한 가류류 또는 가연성 물질이 없어야 한다.

#### 2.3 열방출률(Heat release rate, HRR)

열방출률은 배기 덕트의 측정장치를 이용하여, 산소 소모 열량기법에 의해 측정된다. 열방출율(HRR) 계산식<sup>(4)</sup>은 아래 (1) 및 Table 1과 같다.

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

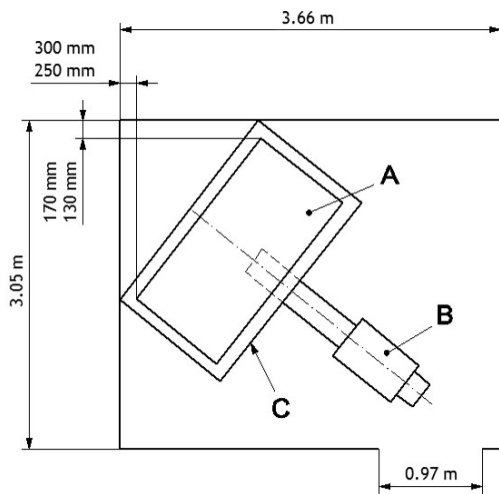
### 3. 구획공간에 따른 실물규모 화재시험

#### 3.1 시험개요

침대 매트리스를 대상으로 개방형 공간(Open calorimeter) 및 구획공간에 따른 실물규모 화재시험을 관련 표준 시험

**Table 1.** 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 [-]



A mattress and foundation on bed frame  
 B burner footprint  
 C catch surface  
 NOTE All dimensions are ± 5 mm.

**Figure 2.** Apparatus and specimen arrangement in test room.

방법을 준용하여 화재시험을 수행하였다.

**3.2 화재시험 사양**

실물규모 화재시험에 사용된 침대 매트리스는 Table 2과 같으며, 많이 사용되는 Super single (SS) 및 Queen (Q) 사이즈로 선정하였다. 구획공간은 Figure 2 기준으로 폭 3,660 mm,



**Figure 3.** Open calorimeter installation.



**Figure 4.** Test room installation.

**Table 2.** Test Specification

	Bed Mattress (SS)	Bed Mattress (Q)
Size (mm)	1,100 × 2,000 × 250	1,500 × 2,000 × 250
Type	Spring	Spring
Fabric Composition	Fiber, Non-woven, Sponge	Fiber, Non-woven, Sponge
Test Room		
Size (mm)	3,660 × 3,050 × 2,400	
Opening (mm)	970 × 2,030	

깊이 3,050 mm 및 높이 2,400 mm 규모의 크기로 폭 중 한 벽면에 출입구 폭 970 mm, 높이 2,030 mm 로 제작하였다. 침대 매트리스 설치위치는 Figure 1, 2에 따라 설치하였고, 설치 모습은 Figure 3, 4와 같다.

**4. 실험결과 및 분석**

**4.1 화재성상 관찰**

구획공간에 따른 침대 매트리스의 실물규모 화재시험의 화재성상 관측결과는 Table 3, 4, 5, 6과 같다.

개방형 공간의 화재성상은 상기 침대 매트리스의 측면 및 상부 버너를 차례로 제거 후 자유연소가 시작되었으며,







**Table 3.** Fire Behavior Observations (SS)

Time (min : s)	OPEN
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 : s)	ROOM
00:50	- Remove Side Burn
01:10	- Remove Top Burn
01:30	- Growth to Top, Side and Inside
02:00	- Growth and Spring Fall in Frame - Small Amount of Smoke Coming out of Opening
03:30	- Growth Top and Side Growth - Large Amount of Smoke Coming out of Opening
04:00	- Peak of Fire and Smoke
05:00	- Decline of Fire - Continuous Smoke
06:00	- Fire Extinguishing

**Table 4.** Fire Behavior Observations (Q)

Time (min : s)	OPEN
00:50	- Remove Side Burn
01:10	- Remove Top Burn
01:30	- Growth to Top, Side and Inside
03:00	- Growth and Spring Fall - Pool Fire Formation
03:30	- Rapid Growth
04:30	- Peak of Fire (large Amount of Smoke)
05:00	- Flash Over
05:40	- Fire Extinguishing
Time (min : s)	ROOM
00:50	- Remove Side Burn
01:10	- Remove Top Burn
01:30	- Growth to Top, Side and Inside - Small Amount of Smoke Coming out of Opening
02:30	- Growth and Spring Fall in Frame - Large Amount of Smoke Coming out of Opening
03:30	- Back Draft Coming out of Opening
04:00	- Peak of Fire and Smoke - Flash Over
04:30	- Fire Extinguishing

**Table 5.** Photo of Fire Behavior in Bed Mattress (SS)

OPEN	ROOM
	
Time (min : s) 01:00	
	
Time (min : s) 03:00	
	
Time (min : s) 05:00	

상부 및 측면의 외곽방향으로 화재가 진행하였다. 이후 침대 매트리스의 내부 연소가 시작되고 연소 생성물 및 스프링 낙하로 침대 매트리스 하부로 화재가 성장되면서 상하 방향의 Pool fire를 형성하여, 침대 매트리스 전체로 급속도로 화재가 성장되어 플래시오버로 이어지는 화재성상이 관찰되었다. 이후 더 이상 화재성상을 관측하기에는 안전상 우려로 인하여 소화 및 종료하였다.






구획공간의 화재성상은 처음에는 개방형 공간과 유사하게 진행되는 것으로 관찰되었다. 발생한 연기가 구획공간 상부천장에 체류되면서 약 2분 내외에 발생한 연기가 출입구를 통하여 나오기 시작하였다.

이후 화재가 급격하게 성장하면서 연기량도 증가하여 출입구를 통해 나오는 것으로 확인되었다. 침대 매트리스(SS)의 경우 바닥에서 높이 약 1/3 지점까지 연기가 내려오면서 출입구로 나왔으며, 침대 매트리스(Q)의 경우 바닥까지 연기가 내려오면서 더 많은 양의 연기를 출입구를 통하여 나오는 것으로 확인되었으며, 동시에 다량의 연기와 함께 화염도 같이 나오는 플래시오버 현상도 확인되었다. 이후 인명 및 장비의 안전상 우려로 소화 및 종료하였다.

**4.2 열방출율(HRR) 및 산소소모율**

구획공간에 따른 침대 매트리스의 실물규모 화재시험

**Table 6.** Photo of Fire Behavior in Bed Mattress (Q)

OPEN	ROOM
	
Time (min : s) 01:00	
	
Time (min : s) 03:00	
	
Time (min : s) 04:00	

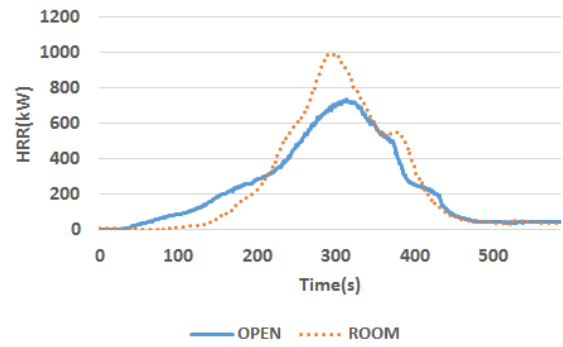
**Table 7.** HRR<sub>(peak)</sub> and Time<sub>(peak)</sub>

		HRR <sub>(peak)</sub> (kW)	Time <sub>(peak)</sub> (s)
Mattress (SS)	OPEN	735	313
	ROOM	992	295
Mattress (Q)	OPEN	1,087	364
	ROOM	2,127	287

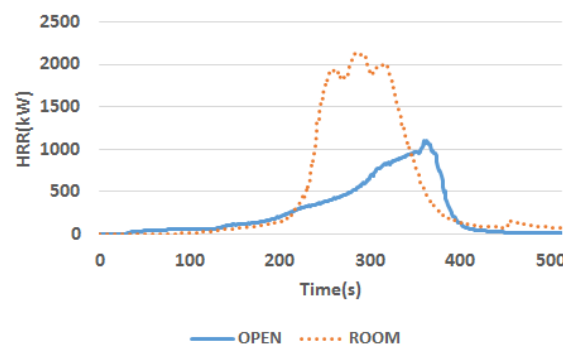
진행간에 열방출을 측정결과는 Table 7 및 Figure 5, 6과 같다.

침대 매트리스(SS)의 경우 약 3분까지는 개방형 공간에서의 열방출율이 구획공간보다 높게 측정되었다. 이는 개방된 공간에서는 발생한 연기가 상부의 배기덕트로 바로 유입되는데 비해, 구획공간에서는 초기에 발생한 연기가 구획공간내에 상부 천장에 체류하다 출입구를 나와 배기덕트로 유입될 때까지의 시간으로 인하여 구획공간에서의 열방출율이 낮게 측정된 것으로 판단된다. 이후로는 구획공간에서의 열방출율이 급격하게 증가되는 것으로 확인되었다. 화재성장은 유사한 경향을 보이는 것으로 확인되나, 개방형 공간에서의 최대열방출율은 735 kW이며, 구획공간에서의 최대열방출율은 992 kW로 측정되었다.

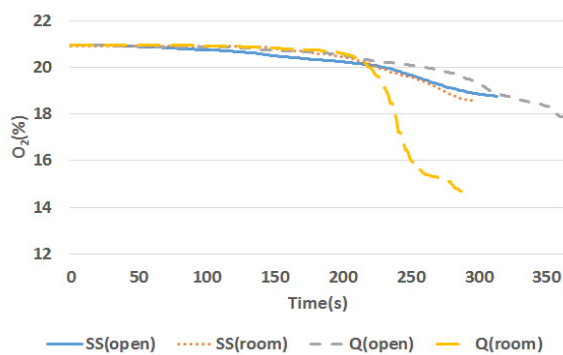
침대 매트리스(Q)의 경우 약 3분까지는 유사한 열방출율의 증가 경향을 보이나 개방형 공간의 열방출율이 다소 높게 측정되었다. 이후에는 구획공간에서 화재가 급격하게 성장하면서 열방출을 또한 급격하게 상승되는 것으로 확인



**Figure 5.** Heat release rate according to test location of bed mattress (SS).



**Figure 6.** Heat release rate according to test location of bed mattress (Q).



**Figure 7.** Oxygen consumption rate according to test location of bed mattress (Q).

되었다. 개방형 공간에서는 지속적으로 화재가 성장하여 최대열방출율은 1,087 kW, 이 때의 측정시간은 364 s 였다. 구획공간에서의 최대열방출율은 2,127 kW, 이때의 측정시간은 287 s 측정되어 시험장소에 따른 차이가 확인되었다. 침대 매트리스의 사이즈, 가연물 등의 화재하중에 따라 화재성장 및 열방출을 성장속도에 영향을 주는 것으로 판단된다.

앞선 열방출을 계산식(1)에 따라 산소소모율이 주요인자로 실험규모 화재시험 진행간에 산소소모율은 Figure 7과 같다. 약 3~4분까지는 모두 유사한 산소소모율의 경향을

보이는 것으로 나타났다. 그러나 이후부터는 화재가 성장함에 따라 산소소모율이 커지며 구획공간에서의 산소소모율이 개방형 공간보다 커지는 것으로 확인되었다. 특히, 침대 매트리스(Q)의 구획공간의 경우 산소소모율이 급격하게 커지는 것으로 측정되었다.

개방형 공간에서의 침대 매트리스는 표면에서 연소가 시작되며, 수평방향으로 표면 화염 확산이 진행되어 화재 성상은 가연물에 따른 화재 성장속도에 기한한 것으로 분석된다.

구획공간에서는 침대 매트리스의 연소에 의해 방출되는 고온의 열과 연기가 발생된 부력 등으로 인하여 천장 전체로 퍼져 구획공간의 천장과 벽의 온도를 상승시킨다. 이러한 고온으로부터 발산되는 복사의 영향으로 인하여 침대 매트리스 표면에 직접 가해져 동시에 연소가 빠르게 진행된 것으로 가연물의 질량손실 및 공기공급이 촉진된다. 화재가 성장할수록 복사로 인한 영향이 커져 화재 성장속도가 더욱 급격하게 진행된 것으로 분석된다.

결과적으로 구획공간에서는 침대 매트리스가 연소되면서 발생한 고온의 열과 연기의 영향으로 구획공간내의 복사의 영향으로 인하여 화재가 급격하게 성장하게 된다. 화재 성장속도 상승으로 가연물의 질량손실 및 산소소모율이 커지며 열방출율도 높게 측정되는 것으로 분석된다. 이는 구획공간에서의 침대 매트리스 화재가 개방형 공간에서보다 화재위험성이 더욱 높다는 것을 나타낸다.

### 5. 결 론

건축물 구획공간에 따른 침대 매트리스의 실물규모 화재시험 및 열방출을 측정에 관한 실험을 수행하였다.

1) 개방형 공간 및 구획공간 모두 버너착화 후 초기 약 3분까지는 유사한 화재성장의 경향을 보이는 것으로 확인되었다.

2) 개방형 공간에서는 발생한 연기가 상부의 배기덕트로 바로 유입되는데 비해, 구획공간에서는 초기에 발생한 연기가 구획공간내에서 출입구를 나와 배기덕트로 유입될 때까지의 시간으로 인하여 초기 열방출율이 다소 낮게 측정되었다.

3) 침대 매트리스(SS)의 경우 3분후 구획공간에서의 열방출율이 개방형 공간보다 증가되어 높은 것으로 확인되었다. 개방형 공간에서의 최대열방출율은 735 kW 이며, 구획공간에서의 최대열방출율은 992 kW 로 측정되었다. 침대 매트리스(Q)의 경우 3분후 구획공간에서의 열방출율이 개방형 공간보다 급격하게 증가되는 것으로 확인되었다. 개

방형 공간에서의 최대열방출율은 1,087 kW, 이 때의 측정시간은 346 s 이며, 구획공간에서의 최대열방출율은 2,127 kW, 이때의 측정시간은 287 s 측정되어 시험장소에 따른 최대열방출 및 측정시간의 차이가 확인되었다.

4. 구획공간에서의 산소소모율이 개방형 공간보다 커지는 것으로 확인되며, 화재가 급격하게 진행 및 플래시오버로 이어질 경우 산소소모율 또한 급격하게 증가하여 결과적으로 열방출율이 높게 측정되었다.

5. 구획공간에서 발생된 고온의 열과 연기로 인한 공간내의 복사의 영향으로 화재성장이 더욱 빠르게 진행되며, 침대 매트리스의 사이즈, 가연물 등의 증가에 따라서도 화재성장에 영향을 주는 것으로 판단된다.

본 연구결과는 향후 구획공간에서의 실물규모 화재시험시 복사로 인한 영향을 분석하기 위하여 구획공간 사이즈, 가연물의 화재하중 및 설치 위치에 따른 열방출을 측정에 관한 연구에 활용될 예정이다.

### 후 기

본 연구는 2018년도 산업통상자원부 국가표준기술력향상사업사업 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### References

1. Y. H. Yoo, H. J. Shin, H. Y. Kim, B. J. Lee, C. S. Ahn, E. K. Hwang, D. H. Kim, O. S. Kweon, et al., "Development of Fire Spread Prevention and Escape Safety Design Technique According to Standard Fire Model, Multi-dimensional Fire Behavior in an Under-ventilated Compartment Fire", KICT 2008-116, Korea Institute of Construction Technology (2008).
2. J. H. Jeong, J. G. Jeong, K. W. Park, J. W. Kim, W. J. Yang and E. C. Chin, "Development of the Classification and the Technical Requirement for the Fire Safety of the Domestic Bed Mattress", Fire Insurers Laboratories of Korea (2016).
3. KS F ISO 12949:2011, "Standard Test Method for Measuring the Heat Release Rate of Mattresses and Mattress Sets", Korean Industrial Standards (2017).
4. V. Barbrauskas and S. J. Grayson, "Heat Release in Fires", Elsevier Applied Science, chapter 3, pp. 31-44 (1992).