

침대 매트리스에 대한 화재안전성 평가지표의 고찰

Consideration on evaluating index of reaction-to-fire performance on real scale bed mattress

박계원 선임연구원

들어가는 글

침대는 크게 침상과 침대 매트리스로 구성이 되는데 특히 가연성 침대 매트리스(돌침대 등의 무기소재 제외)는 화재시 건물 전면 화재로의 확대 요인 중에 하나로 분석되어지고 있음. 특히 2010년 주택화재는 9 414건으로 전체 화재의 24.9 %를 차지하며 이중 5.55 %가 수면시에 발생되었음을 감안할 때 침대 매트리스로의 화염 전파시에 야기될 화재위험 개연성은 매우 높으며 이에 대한 심도 깊은 연구가 필요함.

주택의 내장 가구류 중에, 일반적인 침대 매트리스는 스프링 등을 기반으로 지지되는 직물 육면체로 공기층을 포함한 가연물이며 더불어 침대 매트리스가 유기 직물로 구성될 경우 인화점이 낮아 화재시 화염확산의 매개체로서 작용할 수 있음. 따라서 불완전 연소로 인해 실 전체로의 플래시오버 및 심재의 고분자물질 발화로 인해 유독가스 발생의 가능성을 내포하고 있음. 화재로 인한 실내 플래시오버 발생시에는 재실자의 피난(evacuation)이 불가능해지기 때문에 플래시오버 촉발체로서의 가능성을 억제하기 위해 국내 침대 매트리스에 대한 실험규모 화재 시험의 필요성이 제기되고 있음.

현재 국내에서 침대 매트리스에 대한 화재안전성을 평가하는 'KSP 자율안전확인 안전기준 : 부속서 43-침대 매트리스'는 실험규모 침대의 약 1/10 크기의 축소 침대시험편에 대한 것으로 담배 등으로부터의 불꽃이 착화(Ignitability)되는 지에 대한 검증이 주목적임. 이는 화재의 초기 반응만을 고찰하는 것으로 침대의 연소 현상(burning behavior)과 이를 통한 실내 화재 위험을 분

석하기 위해서는 실험규모 화재시험이 요구되어짐.

본 글에서는 관련 연구 및 각국 표준 현황을 파악하고, 국산침대들을 시험체로 샘플링 및 실험규모 화재시험을 수행하여 이에 대한 reaction-to-fire¹⁾ performance 분석을 토대로 평가지표에 대한 고찰을 하고자 함.

1. 연구 동향

1.1 침대 매트리스에 대한 국내외 동향

미국은 매트리스 제품에 대한 담뱃불 관련 표준은 제정되어 있으나 일반 火源(open fire: 라이터, 촛불, 성냥불 등)에 대한 기준은 마련돼 있지 않아 2006년 소비자 안전 위원회(CPSC : Consumer Product Safety Commission)에서 매트리스와 침구 제품의 안전도 개선을 위해 열방출율 등의 정량적 측정을 중심 평가항목으로 시험하는 난연 규정(CPSC 16 CFR Part 1633)을 제정하였음. 캐나다 또한, 미국의 난연규정을 근간으로 하는 침대 매트리스의 정량적 측정 시험방법인 CAN/ULC-S137을 채택하고 있음. 또한, 화재안전 국제표준화기구(ISO TC92)에서는 SC1(화재발생 및 성장분과)에서 2008년 침대매트리스에 대한 국제표준안 초안 작업에 착수하여 제정된 상태(ISO 12949)이나 이를 활용하기 위한 평가지표 및 국제상호평가를 통한 검증이 이뤄지지 않은 상태임. 이에 대해 현재 한국(FILK 방재시험연구원)에서 평가지표 수립 및 국제상호평가를 통한 ISO 12949의 검증 및 수정작업 제안을 위한 연구를 수행 중에 있음.

Table 1. Foreign standards related to bed mattress

규격	번호	내 용	비고
BS	7177	Specification for resistance to ignition of mattresses, divans and bed bases	1996
NISTIR	6497	Flammability Assessment Methodology for Mattresses	2000
CPSC	16 CFR Part 1633	Standard for the Flammability (Open Flame) of Mattresses set	2006
CAN	ULC -S137	Standard Method of Test for Fire Growth of Mattresses (Open Flame Test)	2007
ISO	12949	Standard Test Method for Measuring the Heat Release Rate of Low Flammability Mattresses and Mattress sets	2008

국내의 침대 매트리스 관련 화재안전성능 기준은 KPS(자율안전확인 안전기준) 부속서 43(침대 매트리스)에 가연성시험(7.2.7절)으로 부분적인 시험을 기술하고 있으며, 이는 침대매트리스 소재에 담뱃불로 점화시, 불꽃 착화여부 및 손상범위를 육안 관찰하는 정성적 시험 평가에 국한되어 있는 실정으로 실제 화재를 가상하여 열방출 및 연기발생량을 정량적으로 계측하는 종합적인 화재안전성 시험방법의 도입이 절실히 요구되며, 침대 내부 구조 및 매트리스 소재에 대한 평가를 통해 플래시오버를 발생시킬 개연성을 분석할 수 있는 연구가 진척되어야 함.

Table 2. Korean standards related to bed mattress

규격	번호	내 용	비고
KS	G ISO 8191-1	가구-천을 씌운 가구의 가연성 평가방법 -제1부: 발화원, 타들어가는 담배	2003
KS	G 4300	주택용 보통 침대	2003
KPS	부속서 43	자율안전확인 안전기준 : 부속서 43-침대 매트리스	2008

1.2 침대 매트리스에 대한 선행연구결과

선행 연구 중 건축물에 적용되는 구성가구 및 단위공간의 실험대형 연소특성 분석을 위해 수행된 주택 내 일반적 단위 가연물들에 대한 열방출 연구 결과(Table 3의 최대열방출율은 2009년 한국건설기술연구원에의 “표준 화재모델에 따른 화재확대방지 및 피난안전기술개발”의 측정값을 발췌)를 참고하였으며, 이를 FIGRA(화재성장

지수: 특정시점의 열방출율을 해당 소요시간으로 나눈 수치)로 분석해보면 Table 3과 같음.

Table 3에서는 의자, 소파(1인용 및 3인용), 장롱, 침대 매트리스, 5 kg 의류, 책상, 책장에 대해 최대 열방출율 (Max HRR) 발생 순서는 책상 > 책상 > 침대 매트리스의 순서로 나타났으나, 해당 시간동안 얼마나 급격한 연소 확대가 진행되었는지를 나타내는 FIGRA(화재성장지수)로 환산하여 분석할 경우 침대 매트리스에서 가장 급격한 화재확산이 발생했음을 알 수 있음. 이때 FIGRA 지수는 최대 2.62 kW/s이며 이는 유럽 EN 13501-1을 준용하여 등급분류시 내장재로서 적용할 수 없는 등급(B등급보다 하위 등급)으로서 화재 위험성에 대한 고려가 필요함을 알 수 있음.

Table 3. HRR data for unit items

	Flashover (time)	Max HRR (time)	FIGRA
Chair	-	563.8 kW (579 sec)	0.97 kW/s
Sofa for 1 person	-	378.6 kW (497 sec)	0.76 kW/s
Sofa for 3 person	-	516.3 kW (384 sec)	1.34 kW/s
Cabinet drawer	-	832.1 kW (426 sec)	1.95 kW/s
Mattress	1000 kW (402 sec)	1061.9 kW (405 sec)	2.49 kW/s / 2.62 kW/s
5kg clothes	-	154 kW (612 sec)	0.25 kW/s
Desk	1000 kW (936 sec)	1 241.2 kW (966 sec)	1.07 kW/s
Book shelf	1000 kW (1044 sec)	1346.8 kW (1089)sec	0.95 kW/s / 1.24 kW/s

특히 책장, 책상, 침대 매트리스는 플래시오버가 발생 (열방출율 1 000 kW)하였지만, 플래시오버 발생시점에서의 FIGRA수치를 비교해 보면 각각 0.95 kW/s, 1.07 kW/s, 2.49 kW/s로 책장 및 책상에 비해 침대 매트리스에서의 FIGRA 수치가 현격히 높음을 나타내어 기타 소재에 비해 침대 매트리스의 화재해중의 심도를 가늠할 수 있음.

일반적인 침대 매트리스는 스프링 등을 기반으로 지지되는 직물 육면체로 공기층을 포함한 가연물이며, 선행연구 결과를 통해 피난 불능의 한계시점인 플래시오버에 영

향을 줄 수 있는 매개체로서 작용할 수 있음이 도출되었음. 주거 및 의료시설 등에서 화재시 침대 매트리스 등 침구 가연물에 인한 연소 확대가 인명 및 재산피해에 영향을 끼치고 있음이 고려되어야 함.

침대 매트리스에 대한 현재 국내 화재안전 시험방법은 담뱃불 점화에 의한 매트리스의 손상정도 및 착화여부 등을 육안으로 관측하는 방식으로서, 실제 침대 매트리스가 화재 노출시 인명피해에 미칠 수 있는 위험요인(플래시오버 등)을 정량적이며 종합적으로 파악·평가하기에는 한계점을 가지고 있어 다음에서 기술하는 바와 같은 실험규모 화재시험의 필요성이 강력히 제기되고 있음

2. 화재평가 시스템 기술

침대 매트리스의 실험규모 화재 시험은, 지정된 불꽃 발화원에 시험편을 노출시켜, 제어된 시험 영역에서 자유롭게 연소되도록 함으로써 매트리스 세트 시험편의 연소 성능을 측정하도록 설계되어지며 16 CFR Part 1633을 토대로 함. 1633에는 개방된 열량계(open calorimeter)나 지정된 치수에 맞는 실험실 중 하나를 사용하게 되어 있지만 FILK에서는 3 MW calorimeter(수평 투영면적으로 가로 5m, 세로 8m의 열량측정 후드 및 샘플링 가스 포집분석 시스템으로 최대 3MW의 열방출율을 20 kW미만의 불확요인하에 측정할 수 있음)를 적용하여 실험 환경을 구축되었으며 산소 소모에 따른 열방출 에너지를 산정하는 calorimeter법에 의해 reaction-to-fire의 핵심 인자인 열방출율 및 연기발생율을 측정함.

2.1 평가 장비의 점화원

침대 매트리스의 실험규모 화재시 가장 중요한 것은 화염을 발생시키는 점화원으로서 높은 수준의 정밀도가 요구되어짐. 침대 매트리스 시험편에 가해지는 점화원은, 시험편 상단과 측면에 일정시간 동안 서로 다른 열류량(Table 4)을 가하는 한 쌍의 프로판 버너로 지정됨. 한 쌍의 버너로부터 출력되는 27 kW의 열량은 이불, 베개 등에 불이 붙었을 때 발생하는 것을 모사한 것으로 점화원 버너에 대한 calibration은 최소한 두 개의 열방출율

(HRR) 수치(75 kW 및 200 kW)에서 수행하여 열량 측정 시스템의 안정도를 보증할 수 있어야 함. 본 연구에서는 미세 열량값이 27 kW에 대한 정밀 미세측정을 수행하여 5분간의 안정도를 체크하였음.

Table 4. Heat supply for bed mattress burner

버너 ²⁾	유량 (L/min)	± (L/min)	추정 열방출율	공급시간
상단	12.9	0.1	18 kW	70 초
측면	6.6	0.05	9 kW	50 초

상단과 측면 버너에는 불꽃의 흐름을 방해하는 난류환경을 방지하기 위한 필터 스크린을 설치하여야 함. 이때 exhaust hood에 대한 설정은 CFR 1633은 약 1.5 m³/s로 규정하고 있으나, 실제 플래시오버 등의 가혹조건을 원활히 소화하기 위해서는 3.5 m³/s이상의 유속을 유지함이 실험의 정밀도를 향상시킬 수 있다고 판단되었음.



Figure 1. Mattress & burner system

2.2 점화원 버너의 배치

측면 및 상단부의 버너는 시험편으로부터 (39~42)mm 사이의 거리를 유지하여야 하며 이를 위해 아래 그림에서와 같이 간격 유지틀(foot-off)을 활용하여 실험시간동안 일정거리로 정렬하게 됨.

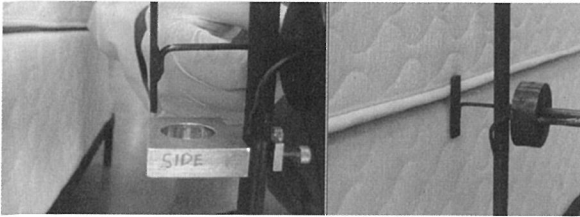


Figure 2. Side burner's foot-off

2.3 시험편의 준비 및 시험절차

침대 매트리스 시험편은 시험 전 (23 ± 2)°C 온도 및 (50 ± 5) %의 상대 습도에서 최소 48 시간 연속으로 공기 중에서 양생해야 하며, 매트리스 시험편이 점화 전 20 분 이상 양생 구역 외부에 있는 경우, 양생 구역으로 소환되어야 함.

- 1) 버너준비 이후 버너에서 나오는 불꽃의 기류 안정화를 위한 스크린을 설치.
- 2) 유량 측정 시스템을 가동시키고 버너 점화 전 비디오 램프, 비디오 카메라 및 데이터 로깅 시스템을 시작함.
- 3) 상단 버너 70초, 측면 버너 50초로 가열 후 버너가 아웃되면, 기류 안정 스크린을 제거하고 상단 버너 튜브를 조심스럽게 들어 올린 다음, 매트리스 시험편 표면에서 점화 조립품을 다시 회수하여 간섭을 최소화함.
- 4) 육안상으로 연기 발생이 보이지 않고, 훈소나 잔광이 없으며 5분 연속으로 불꽃이 관찰되지 않는 것으로 모든 연소 흔적이 사라진 것으로 판단한 경우, 시험 5분 후 시험을 종료할 수 있으나, 5분 연속으로 육안상 연기 발생이 보이지 않고 훈소나 잔광이 없으며 개방 불꽃이 없어, 모든 연소 흔적이 사라진 경우에는 30분 시험 주기 종료 이전에 종료함. 본 연구에서는 모든 케이스에서 5분의 유효 관찰 시간을 유지하였음.
- 5) 실물규모의 침대 매트리스 실험 환경 구축을 위해서는 점화원인 버너의 제어설계가 매우 중요함. 30 kW 미만의 미세 열량을 점화원 버너로 공급해야 하기 때문에 Mass flow controller와 같은 제어틀을 활용하는 것이 추천되어지며 온도와 압력에 따른 기

준 공급 열량이 달라질 수 있으므로 시험실시전 미세 교정을 통해 요구되는 설정 열량을 보증할 수 있도록 노력해야 할 것임.

- 6) 시험결과의 기록은 실험환경에 대한 조건과 시험편에 대한 상세, 그리고 정량적인 reaction-to-fire 결과물(특히 열방출율), 정성적인 관찰사항들이 면밀히 포함되어야 할 것임.

3. 화재안전성 분석 및 평가지표

3.1 침대 매트리스 샘플링

일반적으로 많이 사용되는 스프링 및 쿠션재로 이뤄진 매트리스(이하 스프링 내장 매트리스)와 스프링이 내장되지 않은 라텍스 등의 매트리스(이하 비스프링 매트리스)로 분류하여 샘플링을 하였음. 스프링 내장 매트리스에는 독립형 스프링 타입과 일체형 스프링 타입을 포함시켰으며 비스프링 매트리스는 라텍스 타입과 메모리폼 타입을 포함하였음. 샘플링 되어진 매트리스들의 전반적인 두께는 약 (20 ± 3)cm 분포를 나타냈음. 또한 싱글 사이즈를 기본으로 하였으며 매트리스 크기에 따른 화재 하중 강도의 상관성을 파악하기 위해 퀸 사이즈 매트리스를 일부 샘플링 하였으며 총 14개 매트리스를 샘플(Table 5)로 화재 시험을 수행하였음.

Table 5. Mattress sample physical spec.

Sample ID ^{a)}	property		Sample ID	property	
AQ1	Queen size	일체형 스프링	PQ2	Queen size	일체형 스프링
AQ2	Queen size	일체형 스프링	SS1	Single size	독립형 스프링
AS1	Single size	일체형 스프링	SS2	Single size	독립형 스프링
AS2	Single size	일체형 스프링	DS1	Single size	내장 전체 라텍스
PS1	Single size	일체형 스프링	DS2	Single size	내장 전체 라텍스
PS2	Single size	일체형 스프링	RS1	Single size	내장 전체 메모리폼
PQ1	Queen size	일체형 스프링	RS2	Single size	내장 전체 메모리폼

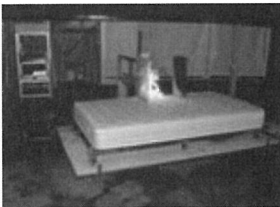
3.2 실물규모 화재시험 절차요약

베개 및 이불 등에 착화될 때 발생가능 열량인 27 kW의 에너지를 매트리스 시험의 착화원으로 가정하며 프로판으로 공급하는 파일럿 버너를 사용함. 시험 중 플래시오버(Flashover : 화재시 급격한 화염발생으로 인해 일시에 가연물의 연소가 급격히 진행되도록 화염이 외부로 분출되는 현상)가 발생시 시험을 중지하였으며, 또한 매트리스가 전소되었을 경우에도 시험을 중단하였고 플래시오버의 정량적 판정은 열방출율 1 000 kW 측정을 기준으로 하였음.

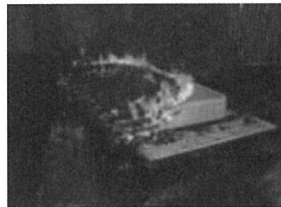
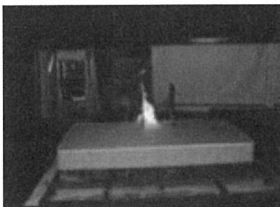
Table 6. Real scale mattress fire test procedure

Burner type & heat	<ul style="list-style-type: none"> • top burner : 18 kW (propane) for 70 sec • side burner : 9 kW (propane) for 50 sec
Test duration	<ul style="list-style-type: none"> • 5 minutes for test • test stop in case of flashover
calibration	<ul style="list-style-type: none"> • 27 kW에 대한 교정 수행 (5분간) • 70 kW 및 200 kW에 대한 교정 수행

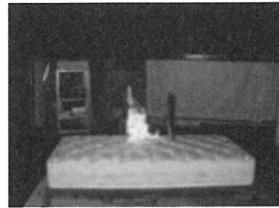
3.3 열방출율(HRR) 및 연기발생율(SPR) 측정결과



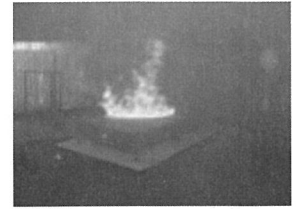
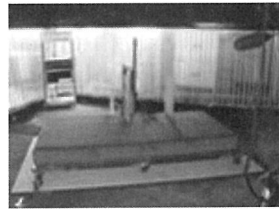
[AS1 at the beginning and at 4min 30s]
 - Flashover occur
 - Max SPR of 41.56 m²/s



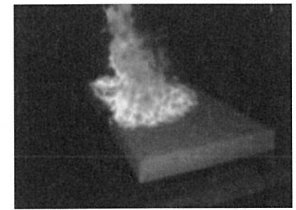
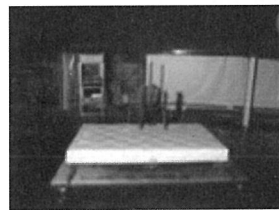
[PS1 at the beginning and at 4min 30s]
 - Max HRR of 146.16 kW
 - Max SPR of 3.42 m²/s



[SS1 at the beginning and at 4min 30s]
 - Flashover occur
 - Max SPR of 6.66 m²/s



[DS1 at the beginning and at 4min 30s]
 - Max HRR of 429.49 kW
 - Max SPR of 42.03 m²/s



[RS1 at the beginning and at 4min 30s]
 - Max HRR of 447.93 kW
 - Max SPR of 9.81 m²/s

Table 7. Fire test photos on bed mattress

총 14개 케이스 중에서 AQ1시험체는 시험중 측정 에러로 데이터 산출에서 제외시켜 13개 케이스에 대한 유효시험 결과를 산출하였음.

이중 3개 케이스 AS1, SS1, SS2에서 플래시오버가 발생하였으며 각각 4분 20초, 4분 15초, 4분 5초에서 발생되었음. AS2 또한 918.26 kW의 최대 열방출율을 나타내었는데 플래시오버 판정수치에 근접해 있다고 볼 수 있으므로, AS시편 및 SS시편은 플래시오버 발생 가능시편으로 간주할 수 있음.

Table 8. Mattress test result

Sample ID	Flashover	HRR max	SPR max	Flame spread on surface	FIGRA [kW/s]
AQ1	-	881.77 kW (344 sec)	22.93 m ² /s (309 sec)	135/150	2.56
AQ2	-	(error)	(error)	100/150	-
AS1	●	1 000 kW (260 sec)	41.56 m ² /s (235 sec)	100/100	3.84
AS2	-	918.26 kW (276 sec)	17.15 m ² /s (238 sec)	100/100	3.32
PS1	-	146.16 kW (316 sec)	3.42 m ² /s (265 sec)	100/100	0.46
PS2	-	129.14 kW (339 sec)	3.28 m ² /s (271 sec)	100/100	0.38
PQ1	-	105.59 kW (338 sec)	2.5 m ² /s (301 sec)	110/150	0.31
PQ2	-	130.72 kW (344 sec)	2.69 m ² /s (303 sec)	127/150	0.38
SS1	●	1 000 kW (245 sec)	5.94 m ² /s (211 sec)	100/100	4.08
SS2	●	1 000 kW (245 sec)	5.94 m ² /s (211 sec)	100/100	4.08
DS1	-	425.49 kW (287 sec)	42.03 m ² /s (253 sec)	100/100	1.48
DS2	-	307.82 kW (245 sec)	37.99 m ² /s (219 sec)	100/100	1.25
RS1	-	447.93 kW (325 sec)	9.81 m ² /s (304 sec)	95/100	1.37
RS2	-	250.00 kW (324 sec)	4.28 m ² /s (303 sec)	80/100	1.37

열방출율(heat release rate, HRR)은 SS > AS > AQ > DS > RS > PS > PQ의 서열을 보이며, 연기발생율(Smoke Production Rate, SPR)은 DS > AS > AQ > RS > SS > PS > PQ의 서열을 나타냈으며 라텍스 등으로 이뤄진 내장재 밀도가 높은 DS는 연기발생율이 열방출율에 비해 상대적으로 매우 높았음.

장축 길이 방향의 표면 연소율(flame spread on surface)은 모든 케이스가 90 % 이상의 표면 연소가 진행되었음이 파악되었음. 200 kW 이하의 열방출율을 보인 케이스는 PS와 PQ의 두가지 시편밖에 없었으며 연기 발생을 또한 낮게 나타냈음을 알 수 있음.

3.4 FIGRA 상관성의 고찰

침대 매트리스에 대한 실험규모 화재시험시에 나타나는 연소현상(Reaction-to-fire) 중에서 제품군에 따른 HRR(열방출율, Heat Release Rate)과 SPR(연기발생

율, Smoke Production Rate)의 상관성을 분석하고, 이를 통해 침대 매트리스 화재 안전성을 평가시 적합한 평가지표를 도출해 내고자 함. 화재시에 위험성은 화재의 열하중 규모와 화재의 확산 속도라는 두가지 측면을 고려하여야 하는데, HRR 및 SPR의 양적 크기가 클수록 위험하다고 볼 수 있으며 또한 HRR 및 SPR의 발생 속도가 빠를수록 화재 위험성이 높다고 결정할 수 있음. HRR과 SPR의 양적 크기를 개별 발생시간의 급속성으로 미분할 경우 FIGRA(Max HRR/ elapsed time) 및 SMOGRA(Max SPR/ elapsed time * 1 000)로 환산이 되며 이 두 지표는 각각 화재성장지수 및 연기성장지수로 이해될 수 있음.

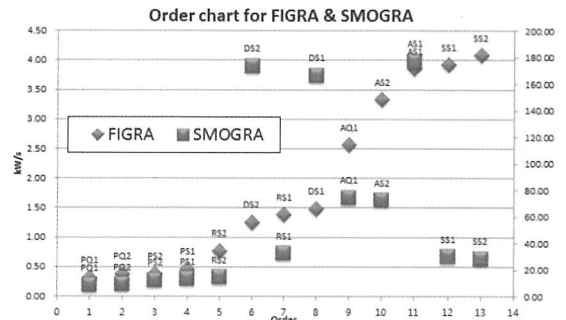


Figure 3. Test Result as FIGRA order

플래시오버가 발생한 AS1, SS1, SS2 시편에 대해서, 최대 HRR과 최대 SPR 발생시점의 표준편차는 4.6초로써 최대 SPR 발생이후 평균 30초 이내에 최대 HRR 값이 측정되었음.

플래시오버가 미발생된 시편은 최대 HRR과 최대 SPR 발생시점간의 표준편차가 14.2초로써 분석되었음.

Table 9. Correlation index for FIGRA & SMOGRA

		FIGRA	SMOGRA
FIGRA	Pearson 상관계수	1	.317
	유의확률 (양쪽)		.291
	N	13	13
SMOGRA	Pearson 상관계수	.317	1
	유의확률 (양쪽)	.291	
	N	13	13

Specimen	Time to HRR _{max}	Time to SPR _{max}	Time Gap (sec)
A series AS1	260.0	235.0	25.0
S series SS1	255.0	224.0	31.0
S series SS2	245.0	211.0	34.0
Average for Time Gap			30.0
Standard Deviation for Time Gap			4.6

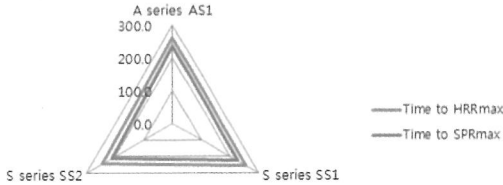


Figure 4. Correlation on HRR & SPR of Specimen with Flashover

Specimen	Time to HRR _{max}	Time to SPR _{max}	Time Gap (sec)
A series AQ1	344.0	309.0	35.0
A series AS2	276.0	238.0	38.0
P series PS1	316.0	265.0	51.0
P series PS2	339.0	271.0	68.0
P series PQ1	338.0	301.0	37.0
P series PQ2	344.0	303.0	41.0
D series DS1	287.0	253.0	34.0
D series DS2	245.0	219.0	26.0
R series RS1	325.0	304.0	21.0
R series RS2	324.0	303.0	21.0
Average for Time Gap			37.2
Standard Deviation for Time Gap			14.2

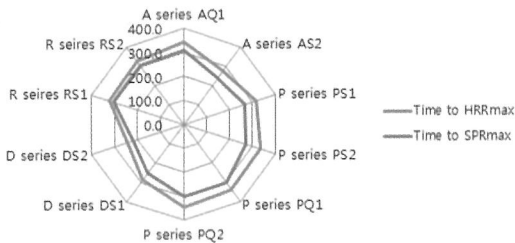


Figure 5 Correlation on HRR & SPR of Specimen without Flashover

플래시오버 미발생시편에 비해서 발생 시편이 최대 HRR과 최대 SPR간에 촉발성이 더욱 긴밀하다고 볼 수 있음. 플래시오버 발생시 최대 연기량이 발생된 이후 평균 30초 이내에 최대 열방출이 발생함을 고찰할 수 있음.

HRR과 SPR의 발생시점 및 발생량을 동시에 파악하는 지표인 FIGRA(화재발생지수; 최대HRR/경과 시간) 및 SMOGRA(연기성장지수, 1 000 * 최대SPR/경과시간)으로 상관성을 분석할 경우 유의적인 상관성이 적다고 볼 수 있음.

3.5 침대 매트리스 평가지표 서베이

1) 12 case에 대한 5점 척도 서베이

- 시험 연구 결과를 바탕으로 전문가 워크샵을 통한 5점 척도 서베이를 수행하여 화재안전 성능 인자를 도출함.
- 평가 기준에 대한 서베이와 위험 요인에 대한 서베이의 2가지 기준을 구축.

2) 평가 기준에 대한 우선순위 서베이 결과

: 열 > 연기 > 온도 > 육안관찰의 서열로 평가기준이 순위화 되었으며, HRR를 최우선 평가지표의 인자로 분석하며, SPR을 보조적인 인자로 분석함에도 출됨.

Table 10. Statistics on Evaluation index

	N	최소값	최대값	평균	표준편차
온도	12	1.00	5.00	2.6667	1.23091
열	12	3.00	5.00	4.5833	.66856
연기	12	1.00	5.00	3.6667	1.37069
육안관찰	12	1.00	3.00	2.2500	.75378
유효수 (목록별)	12				

3) 침대 화재 위험요인에 대한 우선순위 서베이 결과

: 침대 쿠션의 종류 > 난연처리 정도 > 쿠션의 밀도 > 침대의 크기의 서열 순서로 침대화재에 위험을 미치는 요인으로 서베이가 되어짐.

Table 11. Statistics on Evaluation criteria

	N	최소값	최대값	평균	표준편차
쿠션밀도	12	1.00	4.00	3.0833	.99620
쿠션종류	12	4.00	5.00	4.8333	.38925
침대크기	12	1.00	4.00	2.1667	.83485
난연처리	12	1.00	5.00	3.1667	1.33712
유효수 (목록별)	12				

: 매트리스의 단위 화재하중을 증가시키는 요인으로 어떤 성분의 쿠션을 사용하는지, 난연처리의 정도가 파악 되었음. 이는 향후 침대 매트리스의 난연화로 인한 단위 화재하중을 감소시키는 요인으로 응용이 가능할 것임.

맺음말

- 1) 다양한 종류의 13개 국내 매트리스에 대한 실물규모 화재 시험을 실시한 결과 11개 매트리스가 최대 열방출을 200 kW를 초과하였으며 이중 3개 매트리스는 플래시오버 판정기준인 1 000 kW로 측정되어 높은 화재 위험을 나타내었음. 열방출을 200 kW를 오버하는 물체가 실내에 있을 경우 화재시 집 전체로의 플래시오버를 야기시킬 수 있음을 유의하여야 함.
- 2) 5종류(single 및 queen 사이즈 통합시킬 경우 5종류)의 매트리스에 대한 열방출을 결과를 FIGRA(화재성장지수)로 환산할 경우, A series는 (2.56~3.84) kW/s, P series는 (0.31~0.46) kW/s, S series는 (3.92~4.08) kW/s, D series는 (1.25~1.48) kW/s, R series는 (0.77~1.37) kW/s의 화재성장속도를 나타냄. 따라서 S series의 매트리스가 가장 급격한 화재성장 및 화염전파를 보여 화재위험성이 매우 높음을 알 수 있으며 상대적으로 P series의 매트리스는 가장 낮은 화재위험성을 보였음.
- 3) A series와 P series의 예에서, 싱글사이즈와 퀸사이즈의 HRR, FIGRA를 분석해보면 가연물이 더 많은 퀸사이즈가 더 위험할 수 있을 거라는 일반적인 시각과는 달리 싱글사이즈와 퀸사이즈의 화재위험 상관성은 나타나지 않았음. 따라서 향후 연구에서는 퀸사이즈에 가중치를 줄 필요가 없으며 싱글사이즈 매트리스를 기준으로 화재 위험성을 분석하는 것이 효율적일 것으로 판단됨.
- 4) 최대 HRR과 최대 SPR의 발생시점은 플래시오버발생시 30초 이내, 미발생시 37초 이내의 두 지표간 발생시점 차이가 나타났으며, FIGRA와 SMOGRA의 상관성은 낮은 것으로 분석되었음. 따라서 침대 매트리스에 대한 화재위험성을 측정시 열방출율과 연기발생량을 개별 지표로 측정해야 할 것으로 파악되었음.

참고문헌

1. 16 CFR part 1633, CPSC, US, 2011
2. Flammability assessment methodology for mattresses, NISTIR 6497, NIST, 2000
3. “표준화재모델에 다른 화재확대방지 및 피난안전기술 개발”, KICT, 2009
4. B. Sundstrom, "European Classification of Building Products", Interflam '99, 1999

각주

- 1) ISO TC92에서 연소성능에 대해 reaction-to-fire로 통칭하여 명명함.
- 2) $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ 의 온도, 표준 대기압(101 ± 5) kPa를 기준으로 함.
- 3) 아이디는 세자리 문자로 구성되며 마지막의 숫자 1 및 2는 재현성 고찰을 위해 2번 시험을 하기 위한 것. 한 종류당 2개의 동일 시편이 적용된 것으로 7종류의 시편을 두 번씩 실험함.