

## 가구(침대)의 유류방화 특성에 관한 실험적 연구

김수영

중앙소방학교 소방과학연구실

### An experimental study on the fire characteristics of liquid accelerant over furniture(mattress)

Kim, Soo-Young

National Fire Service Academy

#### 요 약

본 연구는 침대 매트리스를 초기 가연물로하여 소량의 인화성 액체를 사용한 방화 화재 특성에 관한 실험적 연구로서 인화성액체의 spill형태에 따른 가연물의 연소속도, 연소 Patterns의 분석과 동일한 공간·가연물에서 일반화재와 유류방화의 비교 실험 화재 실험 및 실험 현장에서 수거한 유류증거물의 인화성액체 종류별, 증거물의 상태에 따른 GC/Mass 분석 결과특성에 관한 연구이다.

#### 1. 서 론

화재사고를 저감하기 위해서는 화재원인 분석을 통한 예방대책이 가장 효율적이며 실용적인 대응 방법이 될 수 있을 것이다. 이를 위하여 먼저 선진국들의 주요 화재원인 분포를 조사하면 선진국들에서의 주된 원인이 방화(방화 추정포함)로서 미국 및 일본에서는 화재 원인으로 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 국내 또한 근래들어 화재 주요 원인으로 방화가 증가되어 지고 있는 실정이다. 이를 위하여 유류방화에 대하여 이미 선진국에서는 화재 patterns에 관한 기초 실험 data가 축적되어 화재 조사 및 교육시 사용되고 있다. 본 연구는 국내 실정에 맞는 방화 원인 분석을 위하여 소량의 인화성 액체를 사용한 가구(매트리스)화재를 대상으로 일반화재 및 방화 화재 특성 비교 및 구획화재에서의 fire patterns과 유류 화재 증거물을 분석하기 위하여 GC/Mass를 이용한 분석에 기초자료를 제공하고자 여러 설정을 통하여 본 연구를 수행 하였다.

#### 2. 매트리스 방화특성 실험 및 분석

##### 2.1 매트리스의 연소특성 실험

대기압 상태에서의 액체 가연물 화재는 액체가연물의 노출형태에 따라 Pool Fire 및 Spill Fire로 구분할 수 있다. Spill Fire의 성질은 유출원, 가연물이 유출되는 바닥재(콘크

리트, 지면등)의 표면 특성, 그리고 발화지점에 따라 높은 가변성을 갖고 있다. 보통 액체 가연물에 의한 유류 방화 특성은 일반 가연물과는 달리 유류 발화와 함께 잠복기간이 없이 급속한 화재성장속도로 연소되는 특성을 나타낸다. 그러므로 인화성 액체가 일반 가연물에 뿌려지는 일반적인 방화화재의 경우에 뿌려진 면적은 화재의 크기와 직결되어 있으며, 액체 가연물의 연소 시 발생하는 열에 의하여 일반 가연물도 일반가연물의 연소속도도 빨라 질 수 있다. 따라서 이러한 인화성 액체를 연소촉진제라고 표현하기도 한다. 본 연구는 연소촉진제로 사용될 수 있는 소량(0.5ℓ)의 인화성액체를 가연물(매트리스)에 뿌려 연소특성을 관찰하는 것으로서 구획공간 안에서 뿌려진 형태에 따라 화재시 천정에 미치는 열영향 및 연소속도 등의 연소특성을 분석하고자 하였다. 이는 유류 방화를 감식하기 어려운 상황을 가정하여 적은 양 인화성 액체(페인트 희석용 신나, 0.5ℓ)로 화재 성장에 미치는 영향을 분석하기 위한 본 실험의 장치는 그림 1 같이 구성되어졌으며 연소속도를 비교하기 위하여 로드셀을 이용하여 매트리스의 질량 감소속도를 측정하였다. 또한 화재실의 천정면에 영향을 주는 Plume의 높이를 측정하기 위하여 수직 0.5m 간격으로 4point에 K-type thermocouple을 설치하였다.

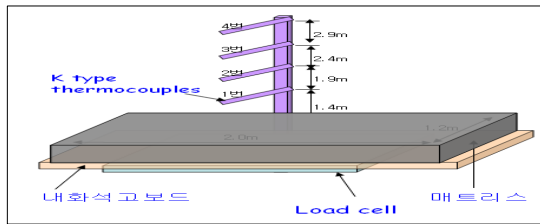


그림 1. 매트리스 연소 특성 실험 측정 구성도

그림 2와 같이 동일한 가연물인 매트리스 표면에 동일한 양인 0.5ℓ의 신나 연소촉진제를 면적 및 위치에 따라 뿌려 각각 연소속도 및 온도를 측정하였다.

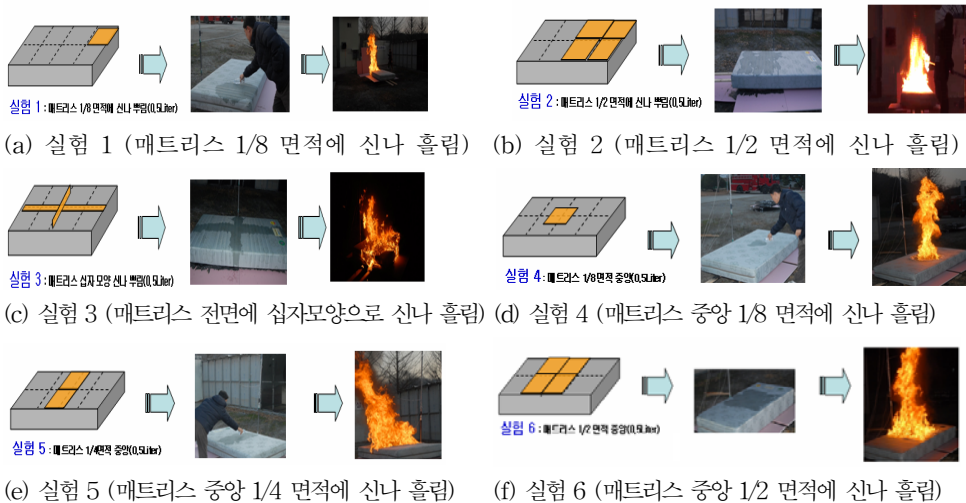
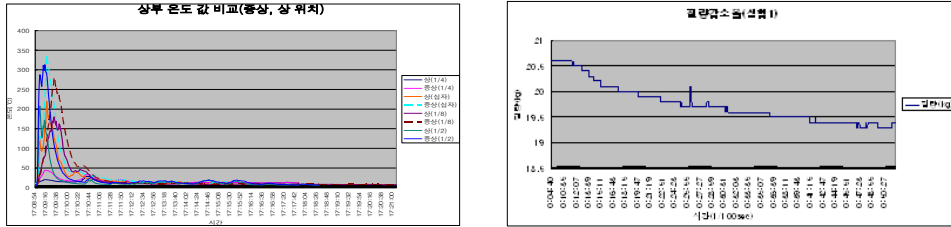


그림 2 인화성 액체를 뿌린 바닥면 형태에 따른 실험 모습

방화가 의심시 현장에서 Fire Plume에 의하여 일반적으로 우선 천정면의 화재 Patterns 형성에 영향을 미치는 화염의 높이 및 온도 기준으로 판단시 그림 3에서 보듯 상부 온도 조건으로 십자 모양이 가장 높았으며 다음으로는 중앙 1/2의 면적과 1/8의 면적 순으로 나타났다. 중앙에 모아지는 십자모양은 뿌려진 인화성액체의 영향으로 짧은 시간동안 연소가 집중된것으로서 이는 적은양의 유류 축진제를 넓게 뿌린 경우 순간적으로 많은 양의 유류축진제를 뿌린 효과를 나타내는 것으로 알 수 있다.

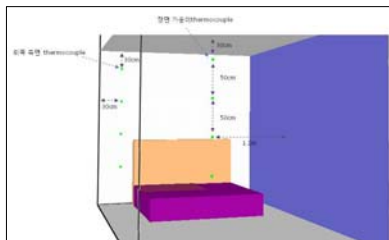


(a) 최상부(4번) 및 상부(3번) 온도 측정 비교 그래프 (b) 실험 조건 3(십자모형 연소)에서의 질량 감소 속도

그림 3. 실험을 통하여 측정되어진 온도분포 및 질량감소 그래프

## 2.2 구획화재에서의 유류 방화 화재 및 일반 화재 비교 분석

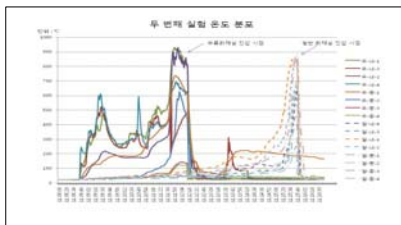
본 실험은 유류방화 화재 및 일반화재의 특성을 비교 분석하고자 2.4m×4.8m×3.6m의 공간으로 나누어진 두 개의 compartment 공간에서 각각 동일가연물에 유류방화 및 일반화재를 동시에 실험을 수행하여 연소속도 및 화재 패턴을 비교분석하기 위한 목적 실험을 수행하였다. 본 화재실험실은 합판과 화재 안전성을 위하여 화재 실험이 수행되는 안쪽



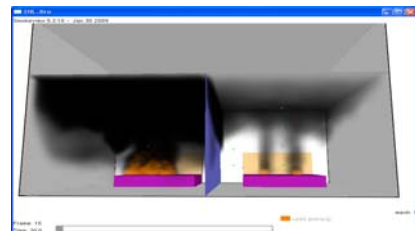
(a) 온도 센서 위치도



(b) 점화 후 30초 경과 모습



(c) 화재실 온도 측정 그래프



(d) 화재 simulation(FDS)해석 모습

그림 4. 일반 및 방화 화재 비교 실험

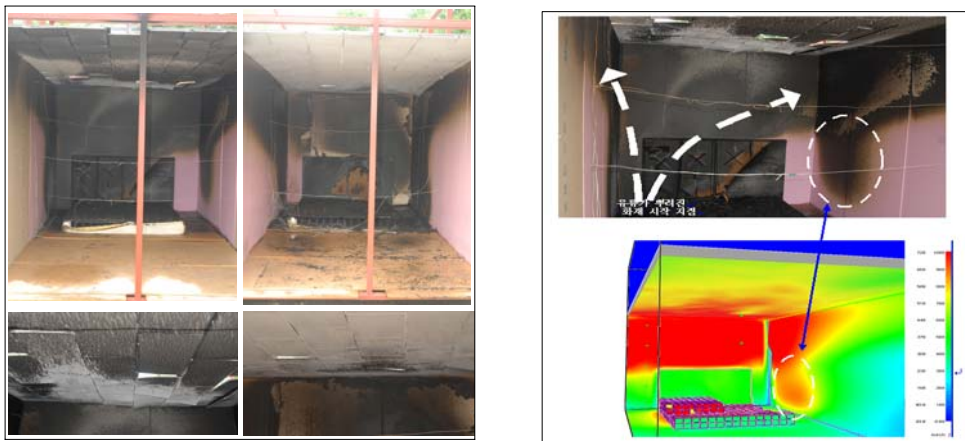
벽에 내화 석고보드로 마감하였으며 천장은 일반사무실 및 상점에 주로 사용하는 텍스로 시공을 하였다.

본 실험을 통하여 그림4의 (c) 그래프의 상부센서들을 볼때 유류 방화실험실이 화재 시작 후 바로 유류 축진재로 인하여 천정면에서 화재의 복사열 영향을 받는 것을 알 수 있다. 화재실 온도 분포를 유류방화 및 일반화재실로 각각 비교하여 보면 매트리스 하부 센서가 일반화재실 보다 유류 화재실이 초반에 매우 높은 양상을 보인다. 이는 유류 연소 축진재(신나)가 분포된 부분 및 도포시 아래 바닥면으로 흘러내린 영향을 온도그래프를 통하여 알 수 있다. 또한 화재실 내부의 센서들이 서서히 온도가 상승하는 일반화재실에 비하여 온도그래프가 높았다 낮았다하는 반복적인 모습을 보이며 이는 연소축진재로 인한 급격한 화재의 진행으로 공기의 공급이 일정하게 이루어지고 있지 않은 것과 급격한 난류 현상이 일반화재실보다 더욱 심한 것을 보여 주고 있다.

### 3. 분석 및 감정

#### 3.1 화재 Patterns 분석

그림 5를 보면 각각의 화재실의 화재 pattern은 유류 방화 화재 실험실보다 오히려 일반화재실의 내부 벽들이 더 많은 손상을 입은 것처럼 보인다. 이는 화재 진압시점을 화재실에서 불이 밖으로 분출되는 시점을 진압시점으로 한 것으로서 일반화재실이 화재 진행이 천천히 진행하여 매트리스가 더 많이 소실된 이유로 인하여 이러한 형태를 보인다. 그러나 각 천정면 텍스를 관찰하면 열에 의한 손실은 확연히 유류방화실이 일반 화재실보다 더욱 열에 의한 파손이 큰 것을 알 수 있다. 또한 본 연구에서는 그림 5의 (b)에서 보듯 화재 simulation의 Wall temperature를 활용하여 Fire pattern을 분석한 예를 보여 주고 있다. 동그란 점선은 화재조사시 발화지점으로 오인할 수 있는 부분으로서 오른쪽



(a) 실험후 유류방화 및 일반화재실 모습 (b) 화재Simulation을 이용한 화재패턴 분석

그림 5. 실험 후 화재 패턴 분석 모습

벽면에 존재하는 부분은 관한 현장에서의 원인분석시 어려운 부분들로서 화재 simulation 을 통하여 매트리스 연소 시 복사열에 의하여 생성된 Pattern으로서 알 수 있다.

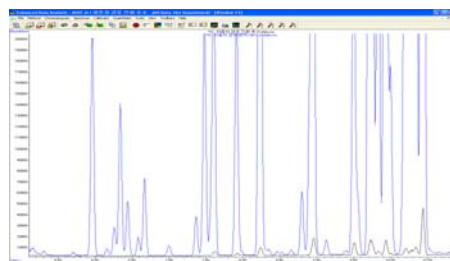
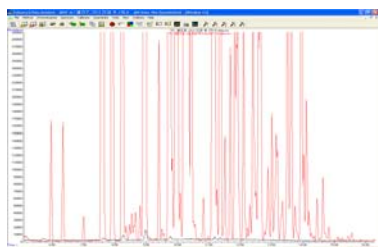
### 3.1 화재 Patterns 분석

본 연구에서는 시중에서 판매하고 있는 경유(자동차용 디젤유)와 페인트 희석용 신나 두가지 물질을 가지고 화재 현장에서 수거된 증거물로서 증거물들의 특성을 분석하고자 아래와 같이 각각 가정하여 그림6과 같이 분석용 시료를 만들어 분석 비교하였다.

- 조건 1) 실험용 인화성 액체(경유, 신나)가 각각 페브릭천에 묻혀 연소된 상태
- 조건 2) 실험용 인화성 액체가 100로 30초간 가열된 상태
- 조건 3) 실험용 인화성 액체가 물과 50%씩 혼합된 경우
- 조건 4) 실험용 인화성 액체가 물과 50%씩 혼합되고 3시간 경과한 후



(a) 인화성액체가 묻은 페브릭천의 연소된 모습 (b) Headspace 부착된 GC-Mass 분석 장비



(c) GC/Mass분석그래프(페브릭연소/신나) (d) GC/Mass분석그래프(페브릭연소/경유)

**그림 6. GC/Mass를 이용한 인화성 액체 증거물 분석 모습**

본 GC-Mass 분석은 ASTM E 1387에서 제시하는 조건과 동일하게 아래 조건으로 설정하여 전처리 장치인 Headspace와 GC-Mass 분석 장비를 이용하여 분석하였다.

Instrument : HP 6890 Gas Chromatograph  
 Detector : HP 5970 Mass Selective Detector  
 Column : 30 meter, Rtx-1 (polymethylsiloxance) 0.25mm ID, 0.25 Micron Film thickness  
 Initial Temperature : 50°C, 2.5 minutes Rate : 15°C/min Final Temperature : 50°C, 2.5 minutes  
 Total Run Time : 25:00 minutes Split 20:1

분석결과 경유와 신나는 조건 3, 4에서는 동일하게 원액 data와 비교시 거의 유사하게 일치되었으나 조건 1에서는 분자량이 큰 경유만 분자량이 큰 뒷 부분에서 원 data와 일치 되는 것을 보였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 유류방화화재 및 일반화재의 특성을 화재공학을 적용하여 비교 구분하였으며 다음 아래에 연구 결과를 구분하여 제시하였다.

1) 동일한 가연물에서의 유류 방화 화재 및 일반화재의 발열특성, Plume의 온도의 특성을 비교 분석하였으며 동일한 양의 인화성액체를 동일한 가연물에 뿌린 형태에 따라 연소특성을 분석하였으며 이를 통하여 천정면에서의 fire patterns이 틀려질 수 있음을 고찰하였다.

2) Compartment에서의 복사열에 의하여 발생되어지는 화재 Pattern을 화재 simulation을 적용하여 비교 분석을 수행하였으며 화재조사방법으로서의 가능성을 제시하였다.

3) 현장에서의 방화 유류 증거물(debris)을 채취하여 국제기준인 ASTM 분석 기법으로 GC/Mass를 이용하여 신나 및 경유를 여러 조건에서의 분석 data 특성을 관찰하였다.

본 연구를 통하여 화재 현장 감식·감정시 많은 변수들이 있으며 실제 방화 화재 감식능력 배양을 위하여 향후 국내 실정에 맞는 더욱 많은 재료 및 연소촉진제들을 실험에 적용하여 fire patterns과 증거물 감정 분석 data의 확보 필요성이 더욱 요구되어짐을 알 수 있다.

#### 참고문헌

1. NIAMH NIC DAEID(2004), "Fire Investigation", Forensic Science Series, CTC PRESS.
2. James G. Quintirere (2000), "Enclosure Fire Dynamics", CRC Press.
3. ASTM E 1387-01 (2005), "Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography".
4. Dougal Drysdale (2002), "An Introduction to Fire Dynamics", Second Edition, Edinburgh UNI, JOHB WILEY & SONS Ltd.
5. 최진 (2007), "방화(放火)화재의 특성 및 방재대책에 관한 연구" 논문, 명지대학교 공학 박사학위 논문.
6. 홍이표 (2009), "가스크로마토그래피를 이용한 방화연장 인화성 액체 감식에 관한 연구", 한국화재감식학회 기술지, Vol.1. No.1 June