한국화재소방학회 논문지, 제23권 제2호, 2009년
[논 문]

J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 23, No. 2, 2009

방염 처리에 따른 화재지연 효과 연구

A Study on the Ignition Delay Effect by Flame-Resistance Paint Treatment

오규형† · 김황진* · 이성은**

Kyu-Hyung Oh† · Hwang-Jin Kim* · Sung-Eun Lee**

호서대학교 소방방재학과, *호서대학교 대학원,
**호서대학교 산업안전기술연구센터
(2009. 3. 2. 접수/2009. 4. 16. 채택)

요 약

시중에 유통되는 17종의 방염 도료를 소방법에서 요구하는 성능에 맞게 MDF에 방염처리하여 화재시 발생되는 복사열에 노출시켰을 경우 어느 정도의 화재지연 효과가 있는지를 연구하였다. 복사열의 크기는 콘히터를 이용하여 10kW/m^{2}에서 30kW/m^{2}까지 변화시키며 실험하였다. 착화시간과 착화형태를 측정하였으며 시료 표면의 온도를 측정하였다. 실험 결과 방염도료를 처리한 시료의 착화 임계열유속은 10kW/m^{2}였으며 30kW/m^{2}에서는 방염에 의한 착화지연효과가 없음을 확인할 수 있었다. 또한 시료 표면온도가 400°C 이상이 되어도 방염에 의한 화재 억재효과를 기대하기 어렵게 됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

17 kinds of fire resistant paint which are currently used were painted on the MDF(middle density fiber board), which suitable to the regulation of Fire Service Act. And we investigate a ignition delay effect under a exposure condition of radiative heat of fire. Radiative heat flux was controlled from 10kW/m^2 to 30kW/m^2 using the cone heater. Ignition time, ignition type and surface temperature of the sample were measured. Based on the experimental result, critical heat flux of the fire resistant paint treated sample was 10kW/m^2 and there were no ignition delay effect above the 30kW/m^2. And it was found that it will be difficult to expect the fire resistant effect above 400°C of sample surface temperature.

Keywords : Fire resistant, Ignition delay, Heat flux, Fire resistant paint

1. 서 론

실내장식물은 대부분 섬유류, 합성수지, 목재, 합판 등 불에 잘 타는 재료로 만들고 있어 화재 초기에 빠른 속도로 확산되어 대형 화재로 성장하는 요인이 되기 때문에 불특정 다수인이 이용하는 다중 이용업소 등의 공공장소는 경우에 방염처리하여 사용하도록 규제하고 있다. 제조공장에서 방염처리하지 아니하고 소방대상건축물에 설치된 합판 및 목재의 경우에는 설치된 현장에서 방염처리(“현장방염처리”라고 한다)하고 있다. 현장방염처리하는 방법에는 합판 및 목재위에 방염도료를 칠하거나 방염벽지를 부착하는 방법이 있다.[1,2)]

인천히트 노래방 화재사건을 계기로 다중이용업소에 대한 실내장식물의 방염기준이 강화되고 방염처리업 등록제가 도입됨에 따라 현장방염처리제도가 정비되고 “소방시설 설치 유지 및 안전관리에 관한 법률” 시행령 개정 및 “다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법” 제정으로 다중이용업소의 범위가 확대됨에 따라 이에 대비하고자 다중이용업소의 현장방염처리가 활성화 되었으나 실효성에는 의문이 많았다.[1,2)]

그동안 방염제도에 관한 연구와 일부 방염제의 방염특성에 관한 연구와[3)] 방염 물품의 연소특성[4,5)] 그리고 일부 내장재의 연소 특성[6,7)] 등에 관한 연구가 수행되는 등 방염분야에 대한 기초 연구들이 간간이 이어졌

† E-mail: khoh@hoseo.edu

다.[8] 또한 개념은 약간 다르지만 유사한 분야로 난연처리에 의한 목재의 난연 효과에 대한 연구들도[9-11] 수행되었으나 실제 화재 시 방염처리된 내장재가 어느 정도 화재 지연 효과를 가질 수 있을지에 대한 실제 적용에 관련된 연구는 수행되지 못했다.

따라서 본 연구에서는 화재발생시 화재 확대의 주요 요인인 복사열의 열유속 증가에 따른 방염 처리된 시료의 방염성능을 비교하고 연소현상을 관찰하여 방염효과를 가질 수 있는 한계 복사열 유속과 방염효과가 없어지는 열유속을 구하여 화재 확대를 억제하는 지연효과를 고찰하고자 하였으며 방염효과에 영향을 줄 수 있는 요인이 무엇인지를 찾고자 하였다.

2. 이 론

일반적으로 화원의 에너지 방출속도에 대하여 일정 거리에 있는 목표물이 받는 복사열 유속은 다음 식으로 표현된다.[12]

$$\dot{q}'' = \frac{X_r \dot{Q}}{4\pi c^2} \quad (1)$$

여기서 X_r은 복사열 분율이고 $\dot{Q}$는 에너지 방출속도이며 c는 화원으로부터 가연물까지의 거리이다. 이 식은 가연물 중심으로부터의 거리가 화원 직경의 2배 이상인 경우에 적용하는 것으로 되어있다. 식 (1)을 이용하여 화재의 크기에 따라 복사열 유속을 구할 수 있으며 일반 가연물에 대하여 착화 임계열유속이 10~20kW/m^2인 점을 고려한다면 복사열에 의한 착화 가능성을 예측할 수 있다. 본 연구에서는 $\dot{q}''$ 값을 변수로하여 방염처리 된 합판이나 MDF에 대한 착화 실험을 하여 화재의 크기에 따라 착화지연시간에 어느 정도 영향을 미칠지에 대하여 예측할 수 있었다.

3. 실 험

3.1 시료

현장방염처리에 사용되어지는 방염도료는 유광과 무광, 발포성과 비발포성, 유성과 수성 및 주성분 등에 따라 구분되어진다.

본 연구에서 실험 시료의 선정은 현재 방염시공현장에서 가장 많이 사용되어 지고 있는 도료를 기준으로 각각의 특성이 다른 총 17가지 도료를 선정하였다. 실험 시료의 종류 별 주성분 및 특성은 다음 Table 1과 같다.

"소방시설 설치 유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령"에 따르면 방염대상물품의 성능기준에 따른 시편의 크기는 가로 · 세로 29 × 19cn로 하여 45도 연소시험을 하도록 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Table 1의 방염도료를 두께 4.5mm의 MDF(Middle density fiber board)에 45도 연소시험에서 방염성능의 만족을 위한 시방서의 규정대로 4회 이상 도포처리하고 건조시켰으며 "소방시설 설치 유지 및 안전관리에 관한 법"에서 요구하는 방염성능 확인 결과 모두 만족하였다. 방염처리된 MDF는 콘칼로리메터에서 사용하는 크기로 가로 세로가 각각 10cm가 되도록 절단하였다. 연소실험용 시료는 도료의 종류별로 3개씩 절단하여 실험을 실시하였으며 결과는 평균값을 사용하였다.

Table 1. The Principal Ingredient and Characteristic of Sample

시료의 구분	주성분	특성
A	수용성 수지	수성, 발포성, 무광
B	무기염류, 인계화합물	무광, 비발포성
C	아크릴계 수지	수성, 비발포성, 유광
D	아크릴계 수지	수성, 비발포성, 무광백색
E	아크릴계 수지	수성, 발포성, 무광백색
F	아크릴계 수지	수성, 발포성, 무광백색
G	아크릴계 수지	유성, 발포성, 무광백색
H	알키드수지	수성, 비발포성, 유광
I	알키드수지	유성, 비발포성, 무광
J	알키드수지	유성, 비발포성, 유광
K	알키드수지	유성, 비발포성, 무광백색
L	염화고무수지	유성, 발포성, 유광
M	염화고무수지	유성, 발포성, 유광
N	염화고무수지	유성, 발포성, 무광
O	염화고무수지	유성, 발포성, 무광
P	염화고무수지	유성, 발포성, 유광
Q	염화고무수지	유성, 비발포성, 무광

모재를 MDF로 선정한 이유는 합판보다 비교적 모재의 표면이 균일하고 재질이균질하기 때문 방염처리를 균일하게 할 수 있고 작업성이 편리하여 실제 작업현장에서 많이 사용하고 있기 때문이다.

3.2 실험장치 및 방법

복사열의 크기에 따른 시료의 연소특성 및 착화시간을 측정하기 위한 실험장치는 Figure 1과 같다.[9] 실험장치의 구성은 콘히터(Cone heater)와 히터 제어기, 시

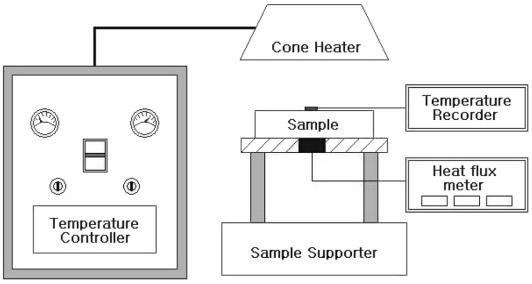


Figure 1. Schematic layout of experimental system.

료를 고정하기 위한 홀더, 유량측정장치를 부착한 배출시스템, 스파크점화회로, 열류계, 데이터 수집 및 분석장치 등으로 구성되어져 있다. 일반적으로 10kW/ 이상의 복사열 유속일 때 고체가연물에 착화가 일어나는 것으로 문헌에서 알려져 있어[12] 10kW/m^2, 15kW/m^2, 20kW/m^2, 25kW/m^2, 30kW/m^{2}의 복사열유속을 가하여 실험하였다. 복사열의 크기는 연소실험 전에 제어장치의 전류를 조정하면서 열류계로 복사열유속을 측정하여 보정하여 놓았다.

콘히터에 의한 착화실험을 통해 방염도료를 칠한 시료와 칠하지 않은 일반 MDF의 연소특성을 비교하였다. 연소특성을 비교하기 위하여 복사열에 의한 착화지연 시간의 측정, 시료표면의 온도측정 및 착화현상을 관찰하였다.

Figure 2는 콘히터에 의한 실험과정이며 Figure 2의 (b)에서와 같이 시료에 복사열을 가할 때 K-type의 열전대를 시료 표면에 설치하여 복사열 변화에 따른 시료표면의 온도를 측정하였다. Table 2는 복사열량에 따른 콘히터 내부와 시료표면의 온도를 측정한 값이다.

4. 결과 및 고찰

복사열 유속의 변화를 주면서 착화되는 현상을 관찰하고 착화시간을 측정하였다.

Figure 3은 적열착화와 유염착화를 나타낸 사진이다. (a)와 같이 적열착화가 일어날 경우 시료 전체표면에 탄화가 일어난 후 시료의 모서리부터 적열되기 시작하여 점차 시료 전체가 적열되는 현상을 보였으며 (b)와 같이 유염착화 하는 경우는 시료의 전체표면에 탄화가 일어난 후 발연량이 증가함에 따라 가연성 가스에 점화되면서 시료 전체에 착화되는 현상을 나타냈다.

Table 3은 각각의 복사열 유속변화에 따른 시료의 착화현상 및 착화 시간을 측정한 결과를 나타낸 것으로 마지막의 NA는 방염처리하지 않은 MDF이다. 결과의 비교를 쉽도록 하기 위해 15kW/m^{2}와 30kW/m^{2}의 경우만 Figure 4와 Figure 5와 같이 그래프로 나타내었다.

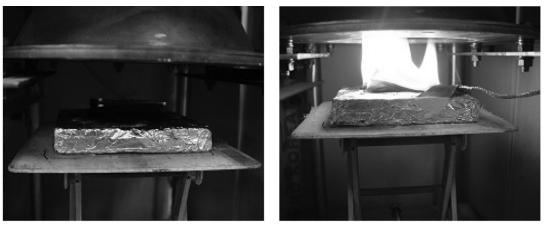
Table 3에서 보는 바와 같이 10kW/m^{2}의 복사열유속에서는 방염처리하지 않은 시료(NA)에서만 9분30초에 적열착화가 되었을 뿐 나머지 방염처리 한 모든 시료에서는 탄화만 일어날 뿐 착화는 일어나지 않았다. Figure 5는 15kW/m^{2}의 복사열을 가하였을 경우 착화지연시간을 그래프로 비교한 것으로 방염처리 한 MDF에서도 적열착화(glowing)가 일어나기 시작했으나 일반

(a) Test sample (b) Heating (c) After test

Figure 2. Photograph of combustion test procedure by cone heater.

Table 2. Radiant Heat Flux and Sample Surface Temperature According to Cone Heater Temperature

10kW/m^2		15kW/m^2		20kW/m^2		25kW/m^2		30kW/m^2	
콘히터	시료표면	콘히터	시료표면	콘히터	시료표면	콘히터	시료표면	콘히터	시료표면
365°C	155°C ± 20	415°C	205°C ± 20	465°C	260°C ± 20	515°C	305°C ± 20	565°C	360°C ± 20



(a) Glowing mode ignition (b) Flaming mode ignition

Figure 3. Photograph of ignition mode of specimen.

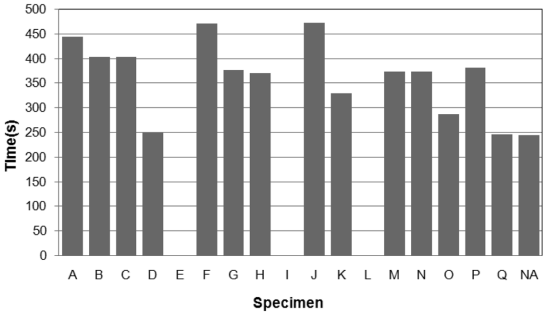


Figure 4. Ignition time of specimens at 15kW/m^2 radiant heat flux.

MDF보다는 착화지연효과가 나타나는 것으로 나타났다.

20kW/m^{2}의 복사열을 가하였을 때 방염처리하지 않은 MDF에서 유염착화(flaming)가 일어났으며 일부 방염처리 한 시료에서도 유염착화가 일어났다.

그리고 25kW/m^{2}의 복사열을 가하였을 때는 E시료를 제외한 모든 시료에서 유염착화가 일어났으나 일반 MDF보다는 약간의 착화지연효과가 있는 것으로 나타났다. Figure 5에서 보는 바와 같이 복사열유속이 30kW/m^{2}가 되었을 때는 방염처리 한 시료에서 뚜렷하게 착화지연효과가 나타나지 않는 것으로 나타났다. 전체 시료 중 9개 시료가 방염처리 하지 않은 MDF보다 착화가 빠르게 일어났으며 늦게 착화된 시료도 방염처리 하지 않은 MDF에 비해 착화지연시간의 차이가 크지 않은 점으로 보아 30kW/m^2 이상에서는 방염처리효과를 얻기 어려울 것으로 판단된다.

Figure 6은 복사열을 30kW/m^2 증가시켜 가열하여도 점화되지 않은 E시료의 연소실험 결과를 나타낸 사진이다.

E시료의 경우 발포성 수성방염도료를 칠한 시료로서 Figure 6에서와 같이 부풀어 오른 도막의 탄화층이 MDF

Table 3. Ignition Time and Phenomena of Specimen according to Radiant Heat Flux

복사열 시료	10kW/m^2 (착화여부 및 시간)	15kW/m^2 (착화여부 및 시간)	20kW/m^2 (착화여부 및 시간)	25kW/m^2 (착화여부 및 시간)	30kW/m^2 (착화여부 및 시간)
A	×	7분24초(glowing)	3분39초(flaming)	3분15초(flaming)	1분54초(flaming)
B	×	6분42초(glowing)	4분10초(glowing)	2분38초(flaming)	1분53초(flaming)
C	×	6분42초(glowing)	4분7초(glowing)	2분2초(flaming)	1분24초(flaming)
D	×	4분28초(glowing)	5분32초(flaming)	2분58초(flaming)	2분05초(flaming)
E	×	×	×	×	×
F	×	7분50초(glowing)	6분15초(glowing)	5분50초(flaming)	2분59초(flaming)
G	×	6분11초(glowing)	4분50초(flaming)	2분19초(flaming)	1분56초(flaming)
H	×	6분10초(glowing)	5분07초(flaming)	2분22초(착화)	1분27초(flaming)
I	×	×	5분57초(glowing)	3분59초(flaming)	2분11초(flaming)
J	×	7분51초(glowing)	7분25초(glowing)	3분34초(flaming)	2분45초(flaming)
K	×	5분29초(glowing)	3분53초(glowing)	2분20초(flaming)	1분38초(flaming)
L	×	×	3분35초(glowing)	2분13초(flaming)	1분45초(flaming)
M	×	6분12초(glowing)	4분50초(glowing)	2분57초(flaming)	2분24초(flaming)
N	×	6분13초(glowing)	3분38초(glowing)	2분30초(flaming)	1분53초(flaming)
O	×	4분46초(glowing)	4분1초(flaming)	2분53초(flaming)	1분46초(flaming)
P	×	6분20초(glowing)	4분42초(glowing)	3분36초(flaming)	2분5초(flaming)
Q	×	4분05초(glowing)	3분27초(flaming)	1분57초(flaming)	1분29초(flaming)
NA	9분30초(glowing)	4분03초(glowing)	3분5초(flaming)	1분55초(flaming)	1분55초(flaming)

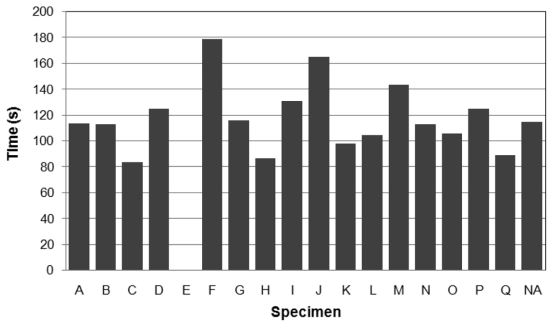


Figure 5. Ignition time of specimens at 30kW/m^2 radiant heat flux.

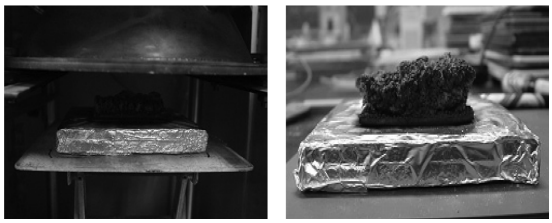


Figure 6. Photograph of combustion test result of E specimen at 30kW/m^2 radiant heat flux.

모재를 보호함으로서 30kW/m^{2}의 복사열을 가하여도 도막이 소멸되지 않기 때문에 열을 차단하여 착화되지 않는 것으로 판단된다. 30kW/m^{2}의 복사열을 가하였을 경우 E시료를 제외한 모든 시료에서 유염 착화가 일어났는데 이들 시료 모두 방염도료를 칠한 도막이 열에 견디지 못하고 소멸되거나 모재에서 분리되어 지면서 착화가 일어났다. 따라서 높은 열에서 방염성능을 갖기 위한 가장 중요한 요건은 도막이 열에 어느 정도 견뎌주고 열을 차단하는가에 따라 착화지연효과를 기대할 수 있다고 판단된다.

이와 같은 연구결과는 일본의 목조 문화재 방염 연구 결과에서도 유사하게 나타나고 있는데 목재에 방염처리를 하였을 경우 복사열이 20kW/m^2 이하에서는 확실히 착화지연효과가 있으나 30kW/m^{2}를 넘게 되면 착화지연효과가 현저히 감소하는 경향을 보인다고 판단할 수 있다.

앞의 식 (1)로부터 주어진 복사열유속을 갖는 화재의 크기를 개략적으로 계산하면 복사열이 30kW/m^2 정도이면 2단위 휘발유 화재 규모에서 1m 거리에서 받는 복사열과 같은 정도로 이 이상이 되는 경우에는 방염처리 한 목재를 설치하였어도 방염 효과를 기대하기 어렵게 됨을 알 수 있었다. 또한 30kW/m^{2}의 복사열에서 시료의 표면에서 측정된 온도가 360±20°C였다. 일반적인 화재 시 확산 연소 화염의 온도가 800°C 정도임을 고려할 때 방화나 화재의 확대에 의해 직접 화염에 노출될 경우에도 방염에 의한 화재 지연효과를 기대하기 곤란함을 알 수 있었다.

5. 결 론

소방시설 설치 유지 및 안전관리법에서 요구하는 방염성능을 갖도록 처리된 시료들이 실제의 화재 시에 어느 정도 화재 지연효과를 나타낼 수 있을지에 대한 평가를 위하여 시중에 유통되는 17종류의 방염도료를 사용하여 처리된 MDF를 콘 히터를 사용하여 연소 특성 실험을 실시하였다 실험결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1. 방염도료 처리에 의한 착화한계 열유속은 10kW/m^2 정도임을 알 수 있었다.

2. 소방시설 설치 유지 및 안전관리법에 적정하도록 방염처리를 하였을 지라도 30kW/m^2 이상의 복사열을 갖는 화염에서는 방염에 의한 화재 지연 효과는 기대하기 어려울 것으로 판단된다.

3. 화재에 의해 화염에 직접 접촉하는 400°C 이상의 온도범위에서는 방염에 의한 화재 지연효과를 갖기는 곤란 할 것으로 판단된다.

4. 방염도료에 의한 화재 지연효과를 높이기 위해서는 방염도료의 도막이 열을 차단할 수 있는 구조를 갖는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 한국소방검정공사, “방염제도에 관한 연구”, 연구보고서(2001).
2. 한국화재소방학회, “방염업무개선을 위한 연구”, 연구보고서(2008).
3. 최돈묵, “플라스틱 재료용 방염제의 종류 및 방염 특성”, 한국화재소방학회 논문지, 제31호(1997).
4. 한국과학기술연구원, “방염물품의 연소가스 유해성에 관한 연구”, 연구보고서(2000).
5. 박형주, “다중이용업소에서 사용하는 실내장식재에 대한 방화방염제도 개선에 관한 연구”, 한국화재소방학회지, Vol.15, No.1, pp.47-54(2001).
6. 최연이, “벽면 내장재로서의 벽지 연소특성에 관한 연구”, 호서대학교 대학원 석사학위논문(2005).
7. 이주헌, “다중이용업소의 내장재 규정의 적용에 관한 연구”, 한국화재소방학회지, Vol.15, No.1, pp.100-107(2001).
8. 임상학, “방염의 개념 및 원리”, 한국화재소방학회지, 제

49호, pp.26-34(2002).
9. 박형주, 김홍, 오규형, “난연처리된 Douglas Fir의 탄화특성에 관한 연구”, 한국화재소방학회지, Vol.19, No.2, pp.105-110(2005).
10. Ergun Baysal, “Fire Resistance of Douglas Fir Treated with Borates and Natural Extractives”, Bioresource Technology, 98 pp.1101-1105(2007).
11. 노호성, “난연도료 도포처리방법에 따른 난연성능특성”, 서울산업대 대학원 석 사학위논문(2003).
12. Quintere, “Principle of Fire Behavior”, Delmar (2003).