

## 방염처리 방법에 따른 MDF 목재의 방염성능에 관한 연구 A Study on the Flame Retardant Performance of MDF Wood According to Flame Retardant Treatment Method

차정민 · 현성호<sup>†</sup> · 김인범 · 윤명오\*

Jung-Min Cha · Seong-Ho Hyun<sup>†</sup> · In-Beom Kim · Myung-O Yoon\*

경민대학교 소방행정과, \*서울시립대학교 도시방재안전연구소  
(2011. 9. 26. 접수/2011. 11. 18. 수정/2011. 12. 9. 채택)

### 요 약

본 연구에서는 현장방염처리(방염후처리)가 적용되고 있는 MDF 목재에 국내에서 유통되는 5개사 제품을 MDF 목재에 부착한 방염필름과 MDF 목재(무처리, 비방염필름)에 수성·유성 방염도료로 도포된 시편을 대상으로 현재 시중에서 사용되고 있는 방염처리 방법에 따라 방염성능을 비교하는 실험을 실시하였다. MDF 목재에 5개사의 방염필름을 부착하여 연소 시험한 결과 2개사 제품은 4가지 기준 내에 적합한 값을 나타냈으나 나머지 3개사 제품은 10~40%의 불합격률을 나타냈다. 방염도료의 특성별로는 유성방염도료가 수성방염도료보다 방염성능 기준 내에서는 더 우수한 것으로 나타났지만 유성방염도료를 도포한 MDF 목재에서 수성방염도료를 도포한 MDF 목재에서 보다 독성지수의 위험등급은 상대적으로 더 높은 위험도를 나타내었다.

### ABSTRACT

In the study, test was carried out to compare the flame retardant performance for the specimen of MDF wood to which field flame retardant treatment (post processing flame retardant) is applied, which is coated with flame retardant film of 5 companies, locally distributed, and MDF wood (non-treated, flame retardant film non-coated) to which aqueous or oil-based fire-retardant paint is applied. As a result of combustion test of MDF wood which was coated with flame retardant film of 5 companies, 2 products showed suitable values in 4 criteria, but other 3 products showed 10~40% disqualification rate. In regard of characteristics of fire-retardant paint, oil-based fire-retardant paint is better than aqueous fire-retardant paint in flame retardant performance criteria, but MDF wood to which oil-base fire-retardant paint was applied was shown to have higher toxicity index grade than MDF wood to which aqueous fire-retardant paint was applied relatively.

**Key words :** Fire retardant, Field flame retardant treatment, Fire-retardant chemicals, Flame retarding agent, MDF (medium density fiberboard), Noxious gas

### 1. 서 론

현대사회는 산업의 발전으로 도시로의 인구 집중화, 고층화 및 밀집화로 인해 화재 발생원인과 장소들이 점차 다양화되어 곳곳에서 화재의 위험이 국민의 안전을 위협하고 있으며, 특히 건축물 및 주거공간에 대한 다양한 내장재를 사용하면서 보다 많은 부분에서 화재에 취약해질 수 있는 구조적 모순을 내포하고 있다.<sup>1)</sup>

이로 인해 우리나라에서는 지난 2010년 한해에만 총 41,863건의 화재가 발생하여 인명 피해 1,892명(사망 304명과 부상 1,588명)과 재산피해는 2,667억 7,600만 원에 달하였다.<sup>2)</sup> 따라서 소방관계 전문가나 연구기관에서는 화재로 인한 인적·물적 피해를 줄이기 위해 화재예방 및 방염제 개발에 보다 적극적일 수밖에 없는 시대적 상황이 되었다.

최근 10년간 다중이용업소 내장재의 무분별한 사용으로 인한 인명 피해는 나날이 증가하고 있는 추세이며, 이들 다중이용시설 공통점은 대부분 건축물의 내

<sup>†</sup>E-mail: shhyun@kyungmin.ac.kr

부구조를 전혀 알지 못하는 불특정다수인이 시설을 이용한다는 점, 대부분 화재가 연기 배출이 어려운 지하층, 무창층 등에서 발생하며 실내장식물의 과도한 사용으로 유독가스를 발생시키는 매개체 역할을 한다는 점 등이 공통적으로 일치하고 있다.<sup>3)</sup> 인명 피해에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 근래 들어 빈번히 발생하고 있는 고시원 화재의 사례(2003~최근까지 58명의 사상자 발생)<sup>4)</sup>에서도 알 수 있듯이 연기중독에 의한 사망이며, 부상자의 대부분은 다량의 연기 흡입에 의한 뇌 손상 등을 유발하여 2차적 피해의 문제점이 되고 있다.<sup>5,6)</sup> 이에 따라 친환경이 사회적 이슈가 되면서 화재에 취약한 인명 피해에 직접적 원인이 되기 때문에 이들 사용재료에 대한 방염성능의 향상은 당연한 가장 큰 문제점이라고 할 수 있다.<sup>7)</sup> 특히, 건축물의 내장재 및 실내가구 재료로 주로 사용되는 MDF(중질섬유판: medium density fiberboard) 목재의 경우 다른 건축 내장재에 비해 열방출율이 높아 쉽게 착화되고 발열량이 높으며 연소 시 발생하는 가스에 대한 유해성이 높게 나타난다.<sup>8)</sup> 또한, 화재 발생 시 열에 의해 분해되어 가연성 가스를 배출하고 착화되어 연소하기 때문에 목재의 화재성능을 개선하기 위한 방법으로 방염액을 이용한 난연화처리 및 방염처리를 진행하여 왔으며, 이로 인해 목재의 점화를 지연시키고 화염전파속도를 낮추는 방법이 이용된다.<sup>9)</sup> 최근에 와서 이와 같이 방염에 대한 사회적 관심이 증가하고 있지만, 실제 시공현장에서는 가장 많은 부분을 차지하고 있는 목재를 내장 물품으로 시공되는 방염처리에 대해서는 방염특성에 대한 연구가 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

우리의 일상에서 사용되는 목재류에 대한 방염처리는 처리대상의 종류 및 재료에 따라 달라지는데 목재에 대한 방염처리방법으로는 물리적인 방염처리방법도 가능하지만, 방염 효과적이며 면이나 경제적인 측면에서 화학적 처리방법을 따르지 못하기 때문에 대부분의 경우 화학적 처리방법에 의해 사용되고 있다. 방염처리 제도는 제조 또는 생산 공정에서 방염 처리하는 제조 공정방염처리(방염 선처리)와 설치 현장에서 방염 처리하는 현장방염처리(방염 후처리)로 나누어 적용하고 있으며 목재 및 합판류와 같은 가연성 내장재의 경우 현장에서 시공한 후 방염도료나 방염 선처리된 필름을 부착하여 직접 방염성능을 부여하는 방식으로 현장방염처리를 적용하고 있다. 현장방염처리 물품의 경우 1984년 소방법 시행규칙에 근거하여 선처리 제품의 방염성능검사를 한국소방산업기술원(구 소방검정공사)에서 수행하고 있으며 방염후처리 물품에 대한 방염성능 검사 업무는 1998년부터 소방시설설치유지 및 안전관

리에 관한 법률 제12조 및 동 시행령 제19조와 제20조에 근거하여 일선 소방서에서(소방용 기계·기구의 형식승인 등에 관한 규칙 제2장) 소방공무원이 현장에 출장하여 시료 채취 후 사용내용을 확인하고 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이, 탄화면적을 측정하여 일정기준에 대하여 적합여부를 판정하고 있으며 발생하는 연기의 양에 대해 연기밀도를 측정하는 것으로 방염성능을 평가하고 있다.<sup>10)</sup>

따라서 본 연구에서는 가연성 내장 재료로써 MDF 목재 물품에 후처리로서 방염도료와 방염필름을 부착하여 현재 시중에서 사용하는 처리방법에 따른 시료별 방염성능을 비교·분석하고 또한 방염도료로서 유성과 수성도료 특성에 따른 연소 시 발생하는 유독가스의 양과 유독성에 대한 상관관계로부터 방염처리방법에 따른 실내건축물재료로써 MDF 목재의 연소특성에 대한 기초자료를 조사하고자 하였다.

## 2. 이론적 고찰

방염(防炎)이란 어떠한 가연성 물질을 화학적 또는 물리적으로 처리하여 보통 환경조건에서 불꽃연소가 일어나지 않게 하는 것을 의미하며 난연(難燃)이라는 용어와 혼용되는 면이 있으나 다소 다른 의미를 갖는다. 난연이라는 말은 일반 가연성 물질보다 연소속도가 상대적으로 느린 경우에 사용되는 정성적인 용어이다.<sup>11)</sup>

생활주변에서 발생하는 화재 원인의 대부분이 사소한 원인에 근거한 점화원에 의해 시작되므로 가능하다면 생활주변의 대상물에 대한 방염처리를 사용하여 화재 예방을 하는 것이 필요하다.

이때 연소대상물의 종류와 특성에 따라 화학적 또는 물리적으로 작용하여 연소를 억제한다.

물리적인 작용에 의해 연소의 과정을 지연시키는 방법에는 첫째, 수산화알루미늄과 같은 물질을 첨가함으로써 발생하는 일련의 흡열과정들을 통해 가연물질의 온도를 낮추어 연소반응이 지속할 수 없도록 하는 방법이 있으며 둘째, 인 화합물과 같은 물질을 사용하여 집적된 연소가능 층이 보호층을 형성하여 연소과정에 필요한 산소를 막아주고 고체 혹은 기체 보호층에 의해 차폐시킴에 의해 열전달을 방해하는 방법이 있으며 셋째 불활성 가스를 생성함으로써 산소의 공급을 방해하거나 산소를 희석하는 방법이 사용된다.

화학적인 방염이란 방염대상물을 방염효과가 우수한 화학약품, 즉 방염제로 처리하는 것을 말하며 연소반응을 억제하는 가장 중요한 화학반응들은 고체상과 기

체상에서 일어나는데 기체상에서 일어나는 연소과정 중 발생하는 유리기에 대하여 방염제가 작용하여 발열 반응이 중단되고 시스템의 온도가 내려가고 가연성 가스의 공급이 감소함으로써 연소반응이 중지되는 방식으로 할로겐계 방염제가 이용되며 앞서 설명된 물리적인 방염작용의 결과로 고리화 반응과 가교 반응에 의해 탄화 층이 발생하는 물질을 사용하거나 불활성 가스의 발생이 가능한 물질을 사용하는 방법이 사용된다. 방염처리 방법으로는 처리대상물의 재질에 따라 섬유류나 플라스틱 제품의 경우에는 원료합성단계에서 방염성분을 공중합 시키는 공중합법(copolymerization)과 방사 또는 성형단계에서 방염제와 혼합하는 폴리블렌드(polyblend)법 그리고 제품표면에 방염제를 그라프트(graft) 또는 코팅하는 표면처리법 등이 있고 목재류의 경우에는 방염제나 방염도료를 목재표면에 스프레이 또는 직접 도장하는 표면처리법, 금속판이나 기타 불연재를 목재표면에 부착시키는 라이닝(lining)법, 방염제를 목재 내부까지 침투시키는 함침법(含浸法, impregnation) 등 세 가지로 나눌 수 있다.<sup>12)</sup>

### 2.1 방염제의 종류

할로겐계 방염제는 할로겐 원소를 포함하는 물질로서 방염효과는  $F(\text{불소}) < Cl(\text{염소}) < Br(\text{브롬}) < I(\text{요오드})$ 의 순인데  $F(\text{불소})$ 는 탄소와 강하게 결합하고 있기 때문에 기체상에서 자유라디칼들과 효과적으로 결합하지 못하기 때문에 불소계 방염제는 실질적으로 사용되지 않으며  $I(\text{요오드})$ 는 탄소와의 결합력이 매우 약해서 낮은 에너지에 의해서도 결합이 끊어져 열분해온도 이하에서 이미 방염효과를 상실함으로 할로겐계 방염제로는 염소계와 브롬계가 주로 이용되고 있다.<sup>13)</sup>

인을 함유하는 방염제는 주로 응축 상에서 일어나는 반응에 영향을 끼치는데 특히 산소를 함유하는 플라스틱이나 셀룰로스와 셀룰로스 치환체와 같은 높은 산소 함유량을 갖는 물질에서 효과적인 방염제이다.

무기물질은 플라스틱의 일반적인 분해온도인 150에서 400 °C 사이에서 통상 불활성을 나타내기 때문에 효과적이지 못한 경우가 많아 방염제로 사용할 수 있는 화합물은 극히 제한되어 있다. 그러나 할로겐계 방염제와 혼련하면 화학적인 연소반응을 방해하는 삼산화안티몬( $Sb_2O_3$ )은 방염효과가 있으며 수산화알루미늄과 붕소(boron)를 함유한 무기 방염제는 물리적 방법에 의해 연소 반응에 영향을 주기 때문에 가장 광범위하게 사용되는 무기 방염제이다. 내구성을 겸비한 목재 표면처리에 사용될 수 있는 방염처리법은 이론적으로 “아미노수지법”, “무기염의 불용화 고착법”, “수지

경화 고착법”의 방법이 가능하다.<sup>12)</sup>

### 2.2 독성지수 측정

DS 02-713 방법<sup>14)</sup>에서는 시료에서 발생하는 유독가스의 양을 평가하기 위해 가스를 1 m<sup>3</sup>의 체적을 기준으로 100 g의 시료에 대해 발생하는 연소가스의 값으로 환산하여 평가하게 되며 이렇게 계산된 각각의 연소가스 발생량은 그 시료가 연소함에 의해 발생하는 연소가스의 값으로 환산하여 평가하게 되며 이렇게 계산된 각각의 연소가스 발생량은 그 시료가 연소함에 의해 발생하는 연소가스가 인체에 노출될 때 얼마나 치명적일 수 있는지를 독성 지수(toxicity index)로 표현하게 되는데 먼저 발생하는 각각의 가스들은 GA-21plus 가스분석기를 통해 측정된 값을 시료 100 g에 대한 발생량(C)으로 환산하여 사용하며 그 계산식으로 다음 식(1)을 이용하였다.

$$C_0(\text{ppm}) = \frac{C_i \times 100 \times V}{m} \quad (1)$$

$C_i$ : 각각의 연소가스 농도(PPM)

$V$ : 연소챔버의 체적(m<sup>3</sup>)

$m$ : 시료의 질량(g)

또한 각각의 시료에 대한 독성지수(toxicity index)는 다음의 식(2)에 의해 계산되어졌는데

$$\text{Toxicity index} = \frac{C_{01}}{C_{f1}} + \frac{C_{02}}{C_{f2}} + \dots + \frac{C_{0n}}{C_{fn}} \quad (2)$$

**Table 1.** The Values of Concentration of the Gas Considered Fatal to Man for a 30 minute Exposure Time

Gas	$C_f$ (PPM)
CO <sub>2</sub>	100,000
CO	4,000
H <sub>2</sub> S	750
NH <sub>3</sub>	750
HCHO	500
HCl	500
CH <sub>2</sub> CHCN	400
SO <sub>2</sub>	400
NO <sub>x</sub>	250
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	250
HCN	150
HBr	150
HF	100

**Table 2.** Criteria for Danger Grade of Toxicity Index

독성지수 범위 (Toxicity Index Range)	위험등급 (Hazard Class)	Hazard Response
0.4 미만	0	none
0.4~1.5	I	A Little Hazard
1.5~2	II	Hazard
2~4	III	Heavy Hazard
4 초과	IV	Severe Hazard

C: 각각의 연소가스 측정농도(PPM)

C<sub>f</sub>: 30분 노출 시 사람에게 치명적일 수 있는 가스농도

여기서 C<sub>f</sub> 값들은 가스의 종류에 따라 다르기 때문에 그 값을 다음 Table 1에 나타내었는데 이렇게 측정과 계산을 통해 얻어진 독성지수의 값은 그 값이 큰 시료일수록 그만큼 인체에 대해 유독한 결과를 발생시킬 수 있음을 의미하며 다음 Table 2에 독성지수에 대한 위험등급 기준을 명시하였다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험시료

방염성능을 측정하기 위한 실험에서 사용된 MDF 목재는 가로·세로·두께 29 cm × 19 cm × 0.9 cm로 된 재료를 이용하였으며 표면에 아무런 처리가 되어 있지 않은 MDF 목재시료와 이 목재시료 위에 방염도료와 방염필름 및 비방염필름을 부착하여 방염성능을 비교하는 실험에 사용하였다. 사용된 방염도료는 시중에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 방염성능이 부여된 제

**Table 3.** Composition Condition of Samples used for Test

시료	구성조건	구분
I	MDF(무처리)	
II	MDF + 수성방염도료	
III	MDF + 유성방염도료	
IV	MDF + 방염필름	A사
		B사
		C사
		D사
		E사
V	MDF + 비방염필름	D사
VI	MDF + 비방염필름 + 수성	
VII	MDF + 비방염필름 + 유성	

품으로써 수성방염도료와 유성방염도료를 1종씩 선택하여 사용하였으며 방염필름과 비방염필름의 경우에는 시중에서 일반적으로 사용되고 있는 5개 사의 제품 중 방염성능이 우수한 결과로 나오는 1개사 제품을 MDF 목재에 부착시킨 후 사용하였다. 또한, 비방염필름을 부착한 MDF 목재에 수성, 유성 방염도료를 3회 도장한 후 건조하여 실험에 사용하였다. 방염처리방법 중 수성방염도료와 유성방염도료를 적용한 시료가 연소할 때 발생하는 연소가스의 분석실험에는 각각의 시료가 화염에 가열되는 면적을 동일하게 하고자 0.02 m × 0.02 m(2~3 g)로 절단하여 23 ± 2 °C, 상대습도 50 ± 5 %의 조건에서 24시간 보관한 후 실험에 사용하였으며 시료의 구성조건은 다음 Table 3과 같다.

#### 3.2 실험장치 및 방법

##### 3.2.1 방염성능실험

MDF 목재의 방염 성능 평가는 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 제20조 제2항 규정에 따라 방염대상물의 방염성능 기준에 관한 사항을 기술한 방염제의 형식승인 및 검정기술기준에 근거한 45° 연소시험방법에 의해 진행하였으며 40 ± 2 °C인 항온건조기 안에서 24시간 건조한 후 수분을 제거하기 위해 실리카겔을 넣은 데시케이터 안에 2시간 동안 넣어둔 후 실험을 진행하였다. 시료는 실험장비 내의 시험체 받침틀 내에 느슨하지 않게 고정된 후 버너의 불꽃길

**Table 4.** Flame Retardant Performance Criteria

구분	기준
잔염시간	10초 이내
잔신시간	30초 이내
탄화면적	50 cm <sup>2</sup> 이내
탄화길이	20 cm 이내



**Figure 1.** Equipment used in the experiment.

이가 65 mm가 되도록 한 뒤 불꽃 끝이 시편 중앙하단에 접하도록 하였고 가열은 시료에 대해 2분간 진행하였으며 가열시간 중에 작업 되는 시료에 대해서는 작업한 후부터 2초 후에 버너를 제거하였으며 방염성능 평가기준은 다음 Table 4와 같다.

이때 탄화면적의 측정은 digital planimeter인 KOIZUMI사의 KP-90N 기기를 이용하였으며 실험에 사용된 기기는 Figure 1과 같다.

### 3.2.2 연소가스 분석실험

방염처리방법 중 수성방염도료와 유성방염도료를 적용한 시료가 연소할 때 발생하는 연소가스에 대한 분석실험을 DS 02-713(Defence Standard 02-713)방법에 의해<sup>14)</sup> 유독성을 평가하였으며 테스트 챔버와 시료 등을 DS 02-713 방법에 근거하여 준비하고 실험하였다. 가스의 측정은 가스 검지관을 테스트 챔버 내에 삽입



Figure 2. Flue gas analyzer & test chamber.

Table 5. Components and Specification of Test Equipment

구성요소	규격 및 용도
연소챔버	부피 0.96 m <sup>3</sup>
분첸 버너	높이 125 mm, 구경 11 mm
순환 팬	챔버내 연소가스의 농도 균일화
강제배출	실험종료 후 연소가스 배출
가스검지관	가스농도 측정

하여 분석하였고 Madur사의 가스분석장치인 GA-21plus를 이용하였으며 장치 및 장치의 구성요소와 규격은 Figure 2와 Table 5에 나타내었다.

연소챔버 바닥 중앙에 위치한 시편 지지대에 시편을 올려놓고 버너 불꽃의 길이를 100 mm 정도로 유지해서 시편에 노출되도록 하였으며 연소챔버의 밀폐를 확인하고 강제배출장치가 꺼져 있는 것을 확인한 다음 연소챔버 우측에 위치한 가스검지관 삽입구를 통해 가스검지관을 삽입하고 버너에 연료를 공급함과 동시에 점화시킨 다음 시간을 측정하였다. 연소시간은 시료가 충분히 연소할 수 있도록 자유연소 시킨 후 그 시간을 기록하고 버너를 끈 후 30초 동안 환환팬을 작동시킨 후 즉시 연소챔버로부터 가스검지관에 의해 5분간 가스농도를 분석하였다. 연소가스의 농도에 대한 분석은 각각의 시료마다 3회의 실험을 통해 얻어진 값을 평균하여 사용하였으며 가스분석이 끝나면 연소챔버의 문을 열고 강제배출장치를 가동해 연소 챔버내의 잔류 연소생성물을 완전히 배출시키고 3분 이상 강제배출을 진행하였다. 이때 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO) 및 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 농도는 실험 전 연소챔버 내에서 버너의 불꽃을 1150 ± 50 °C로 조정된 다음 점화하고 1분간 자유연소시킨 후 연료를 차단하고 30초 동안 순환 팬을 작동시킨 후 가스농도를 분석하여 이 값을 실험값에 보정하여 사용하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 방염성능 비교

4.1.1 방염필름이 MDF 목재의 방염성능에 미치는 영향  
서론에서 언급한 바와 같이 건축물의 내장재로 많이 사용되는 MDF 목재의 경우 방염도료나 방염필름을 부착하여 사용하는 현장방염처리방법이 사용되고 있으며 방염필름의 경우 방염성능기준을 통과한 제품을 사용할 경우 이를 적용한 시료에 대해서는 방염성능평가가 면제되고 있는 추세이다. 따라서 다음 Table 6은 현장 방염처리방법에 따른 방염성능 비교 실험에 앞서 이미 시중에서 가장 많이 시공되고 있는 5개사의 방염필름이 MDF 목재에 방염 후처리되는 경우 방염성능에 어떻게 영향을 미치는지 조사하기 위해 방염성능기준별 잔염시간, 잔신시간, 탄화면적, 탄화길이 등에 대해 비교실험을 실시한 결과이다. 표에서 보이듯이 시편 10개에 대해 전체적으로 모든 방염성능기준을 만족하는 제품은 2개사 제품뿐이었으며, 일부 회사 제품들의 경우 일부 항목에서 부적합한 결과가 나왔다. 따라서 방염필름이 방염성능기준을 만족하게 할지라도 최종적으

**Table 6.** Flame Retardant Performance Comparison According to Flame Retardant Treatment Method

구성조건	구분	잔염시간	잔신시간	탄화길이	탄화면적	평가
MDF 방염필름	A사	10 %	-	-	-	10 %-불합격
	B사	30 %	-	-	20 %	40 %-불합격
	C사	-	-	-	-	합격
	D사	-	-	-	-	합격
	E사	20 %	-	-	-	20 %-불합격

로 사용되는 대상물에 적용하여 방염성능평가를 진행할 때 불합격률이 발생하므로 방염성능을 가진 제품이라 하더라도 최종적으로 사용되는 대상물에 적용하는 경우 방염성능을 파악할 필요가 있을 것으로 사료된다.

4.1.2 구성조건별 방염성능 평가

다음 Table 7에서 보이는 바와 같이 원료 목재 MDF의 경우 아무런 방염조치를 하지 않았음에도 불구하고 잔염시간, 잔신시간 및 탄화길이에 대해 기준 내 적합

한 것으로 나왔다. 다만, 탄화면적에 대해서만 기준치인 50 cm<sup>2</sup>를 크게 초과하는 150 cm<sup>2</sup>를 나타내어 불합격하였다. 그 외 원료 목재에 수성 또는 유성 방염도료를 도포한 경우에는 비방염필름 부착 여부에 무관하게 모든 시편에서 방염성능기준에 적합한 것으로 나왔다. 다만, 원료 목재 MDF에 비방염필름만을 부착한 경우는 원료 목재 MDF와 마찬가지로 탄화면적에 대해서만 불합격이 되었다. 원료 목재 MDF에 방염필름을 부착한 경우는 앞서 분석한바 10~40 %의 불합격률이

**Table 7.** Flame Retardant Performance Comparison According to Flame Retardant Treatment Method

시료	구분	잔염시간(s)	잔신시간(s)	탄화면적(cm <sup>2</sup> )	탄화길이(cm)	평가
I	MDF+방염무처리	0	0	144.1	18	탄화면적 불합격
		0	0	146.95	16.8	
		0	0	160.3	18.7	
II	MDF+수성방염도료	0	0	49.2	9	합격
		1.8	1.1	43	8.8	
		0	0	46.9	9	
III	MDF+유성방염도료	0	0	26.25	6.2	합격
		0	0	29.95	7.8	
		12.5	1.1	31.05	7	
IV	MDF+방염필름(D사)	9.4	0.7	37.9	8.9	합격
		2.9	0	47.6	8.9	
		0	0	34.6	8	
V	MDF+비방염필름(D사)	0	0	45	9.6	탄화면적 불합격
		0	0	49.4	9.9	
		0	0	50.8	10.7	
VI	MDF + 비방염필름(D사) + 수성	0	0	22.5	7.3	합격
		0	0	37.1	9	
		9.7	0	33.6	8	
VII	MDF + 비방염필름(D사) + 유성	5.7	0	12.35	3.2	합격
		3.5	0.5	7.6	3	
		0.6	0.5	20.9	3	

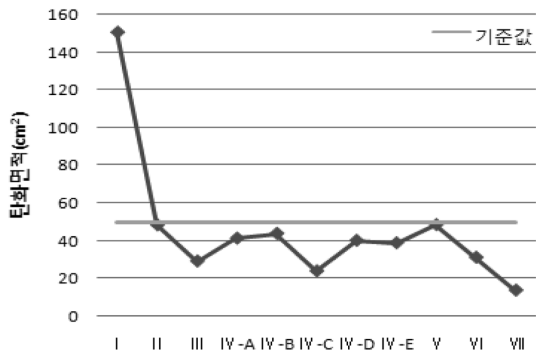


Figure 3. Char area comparison according to flame retardant treatment method.

따라서 구성조건별 방염성능 평가 결과 현재 소방법에서 처리하고 있는 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이 방염처리 하지 않은 상태에서도 기준에 적합하게 나오는 것으로 보아 현행 방염성능 평가 기준이 적합한지 검토해야 할 것으로 사료된다.

4.1.3 방염처리방법에 따른 탄화면적 비교

다음 Figure 3과 Table 8은 앞서 4.1.2에서 4가지 방염성능기준 중 가장 문제가 되는 탄화면적에 대해 자세한 고찰을 위해 탄화면적의 평균값을 시편별로 나타낸 그래프이다. 그림에서 보이는 것처럼 앞서 구성조건별 방염성능평가 고찰에서 언급했듯이 방염처리를 하지 않은 MDF 원료 목재의 경우만 탄화면적에 대해 기준을 크게 초과할 것으로 나타났다. 또한, 비방염필름을 부착한 경우도 기준을 넘어서는 결과가 나왔는데, 이는 후처리 방법으로서 비방염 필름만을 부착하는 경우 연소과정에서 연기의 발생이 많고 필름이 녹아내리

Table 8. Char Area Comparison According to Flame Retardant Treatment Method

구분	시료	탄화면적(cm <sup>2</sup> )
I	MDF 무처리	150.45
II	MDF + 수성방염도료	46.37
III	MDF + 유성방염도료	29.08
IV	MDF + 방염필름(A사)	41.22
	MDF + 방염필름(B사)	43.78
	MDF + 방염필름(C사)	23.85
	MDF + 방염필름(D사)	33
	MDF + 방염필름(E사)	38.76
V	MDF + 비방염필름(D사)	48.4
VI	MDF + 비방염필름 + 수성	31.07
VII	MDF + 비방염필름 + 유성	13.62

는 현상이 발생하며, 사용하는 필름의 재질이 PVC인 관계로 연소가 완전히 이루어지지 않는 문제점이 있는 것으로 사료된다. 그 외 방염처리를 한 경우 시편별로 기준 내에 들어오지만, 방염성능면에서는 기준대비 적게는 47.7%에서 많게는 96.8%까지 오차범위가 큰 것으로 나타났다.

또한, 다음 Figure 4, 5와 Table 9에서 보이는 바와 같이 탄화면적 측정 시 인위적으로 그을음을 제거한 후 방염성능을 평가하는 경우 그을음 제거 전 대비 제거 후 최소 20%에서 최대 80%까지 광범위한 차이를 보이고 있으며 평균 47.24% 정도 탄화면적이 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 현행 방염성능검사에서는 탄화면적의 경우 평가자가 인위적으로 그을음을 어느 정도만큼 제거하고 측정하느냐에 따라 탄화면적

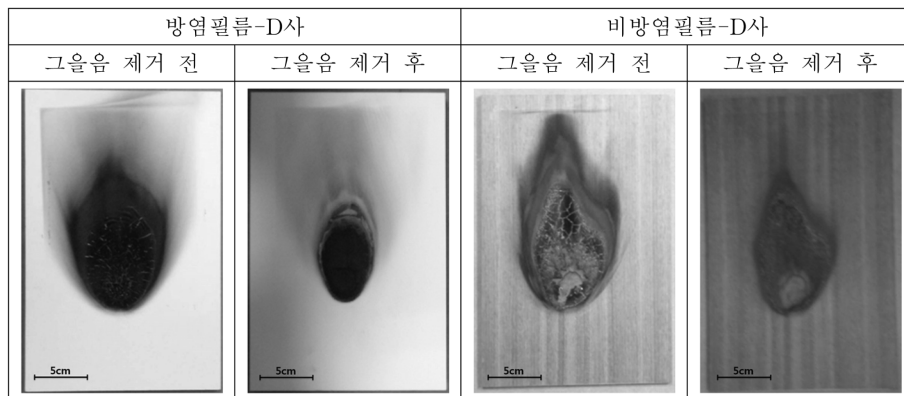


Figure 4. Char area comparison according to removing soot or not.

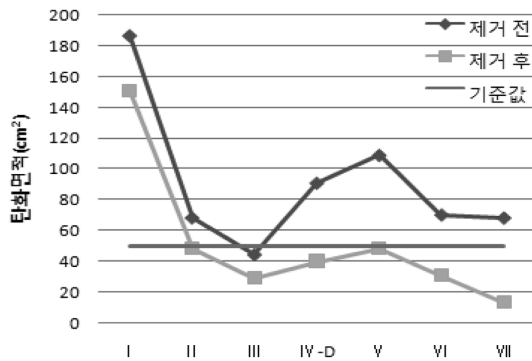


Figure 5. Char area comparison between before and after removing scorch.

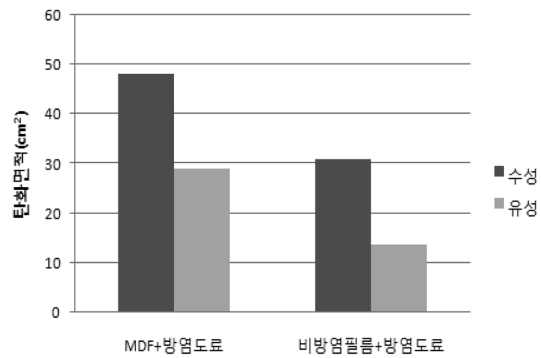


Figure 6. Char area comparison according to fire-retardant paint characteristics (aqueous and oil-based).

기준대비 면적에 차이가 발생할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 향후 탄화면적 측정 시 그을음 발생부분에 대해 그을음 제거 전후에 대한 분명한 평가기준이 제시되어야 할 것으로 사료된다.

4.1.5 방염도료의 특성에 따른 방염성능비교

방염도료의 특성 중 수지를 용해하고 있는 성분의 종류에 따라 수성형과 유성형으로 나누어진다. 즉 도료를 희석하는 성분이 유기용제일 경우 유성도료, 물에 희석될 경우 수성도료로 구분되어진다.

다음 Figure 6, 7에서 보이는 것처럼 MDF 원료 목재 및 비방염필름에 유성방염도료를 도포한 경우 수성방염도료를 도포한 경우대비 약 50% 정도 탄화면적이 낮아지는 것을 알 수 있었으며, 탄화길이 또한 수

성방염도료보다 유성방염도료가 방염성능기준 내에서도 우수한 것으로 나타났다. 이는 유기계 방염도료는 연소과정에서 가연성물질과 반응하여 응축된 탄화막을 형성함으로써 이로 인해 연소에 필요한 산소를 차단하여 방염효과가 나타나는 것으로 사료된다.

또한, 유성방염도료는 수성방염도료에 비해 건조시간이 짧아 재도장과 작업이 용이하나 희석제로 유기화합물을 배합하여 제조하기 때문에 방염도료 자체에 화학물질이 작용하여 인체에 유해한 유해물질이 지속적으로 도료 표면에서 발생하여 화재 시에 유기용제에서 유독가스가 배출되어 안정성 저하의 문제점이 있을 것으로 사료된다. 실제로 실험 중 유성방염도료를 도포한 합판에서 수성방염도료를 도포한 합판에서 보다 많은 양의 연기가 발생하였으며 유독성에 대한 위험성은

Table 9. Char Area Comparison Between Before and After Removing Scorch

구분	시료	탄화면적 (cm²)		
		제거 전	제거 후	감소율 (%)
I	MDF 무처리	186.47	150.45	19.32
II	MDF + 수성방염도료	68.4	46.37	32.21
III	MDF + 유성방염도료	44.5	29.08	34.65
IV	MDF + 방염필름(A사)	-	41.22	-
	MDF + 방염필름(B사)	-	43.78	-
	MDF + 방염필름(C사)	-	23.85	-
	MDF + 방염필름(D사)	90.83	40.03	55.93
	MDF + 방염필름(E사)	-	38.76	-
V	MDF + 비방염필름(D사)	108.93	48.4	55.57
VI	MDF + 비방염필름 + 수성	70.27	31.07	55.78
VII	MDF + 비방염필름 + 유성	68.33	13.62	80.07



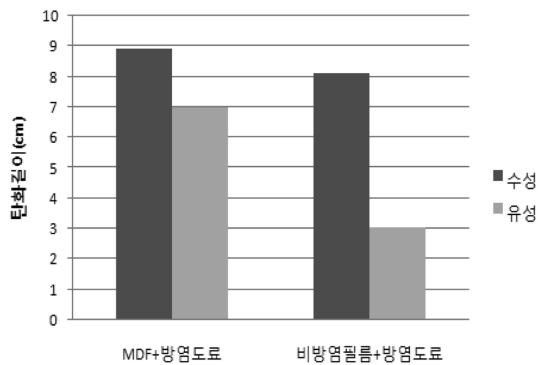


Figure 7. Char length comparison according to fire-retardant paint characteristics (aqueous and oil-based).

더 클 것이라고 예측된다.

따라서 향후 유성방염도료가 수성방염도료에 비해 방염성능에는 우수한 것으로 사료되나 현장 적용과정에서는 실제 화재시 많은 양의 연기발생으로 또 다른 인명피해의 원인이 될 수 있으므로 방염성능과 피난시간에 대한 인과관계의 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 4.1 방염성능 비교

방염처리방법에 따른 독성을 평가하기 위해 방염처리 된 시편에 대한 분석실험을 DS 02-713 방법에 의해 유독성을 평가하였다. 시편은 방염도료 중 유성과 수성의 차이점에 대한 것을 비교하기 위해 다음 Table 10에 보이는 것처럼 MDF 원료 목재에 유성과 수성을 도포한 경우와 MDF 원료 목재에 비방염필름 부착 상태에서 유성과 수성방염도료를 도포하여 방염실험을 하였다. 실험결과 Table 10에서 보이는 것처럼 많은 연소가스 중 화재 시 가장 많이 발생하는 CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S 등에 대해 분석 실험한 결과 수성방염도료 보다는 유성방염도료의 경우 연소가스 발생량이 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 대체로 MDF 목재에 유성을 도포한 경우 보다 수성을 도포한 경우 유독가스

는 유성을 도포한 것 대비 60~80 % 수준으로 나타났다. 다만, MDF 목재에 비방염필름을 부착하고 유성을 도포한 경우도 CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 등은 비슷한 경향을 나타내지만 NO<sub>x</sub> 만큼은 수성이 약 1.5배 더 많이 발생하는 것으로 보아 이 부분에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 독성지수에 대한 위험등급 기준에 의해 시료별 위험등급을 판정한 결과 다음 Table 10과 같이 유성방염도료 기준 수성방염도료가 약 60 %로서 위험등급이 낮아 위험도가 상대적으로 낮으므로 유성방염도료 보다는 수성방염도료로 원료 MDF 목재에 적용할 경우 유독성 가스로 인한 피해를 방지하는데 효과가 있을 것으로 예상된다.

따라서 유성방염도료의 경우 수성방염도료에 비해 방염성능은 우수하지만 일정 시간이 지난 뒤 발생하는 연소가스는 오히려 피난자에게 인명피해를 확대할 우려가 있으므로 건축물에 방염도료 적용 시 피난시간의 인과관계 분석 후 적용하는 것이 바람직할 것이다.

또한, 비방염필름을 부착한 시료의 경우 할로겐 원소가 포함된 방염제를 사용했기 때문에 연소가스 중에 HBr, HCl, HF 등의 유독성 가스가 발생할 것으로 예측되나 사용된 분석기기에서 이러한 가스의 분석이 동시에 이루어지지 않아 필름을 부착한 시료에 대해서는 독성지수의 수치가 상승할 수 있을 것으로 결론 되어진다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 현장방염처리(방염후처리)가 적용되고 있는 MDF 목재에 국내에서 유통되는 5개사 제품을 MDF 목재에 부착한 방염필름과 MDF 목재(무처리, 비방염필름)에 수성·유성 방염도료로 도포된 시편을 대상으로 현재 시중에서 사용되고 있는 방염처리 방법에 따라 방염성능을 비교하는 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 현장 방염처리방법 중 후처리 방법으로써 MDF 목재에 5개사의 방염필름을 부착하여 연소시험한 결과

Table 10. Quantity of Combustion Gas & Danger Grade of Each Sample

구분	연소가스 발생량(ppm/100 g) C					독성지수 (Toxicity Index)	위험등급 (Hazard Class)
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S		
MDF + 수성	68923	4283	232	84	14	2.91	III
MDF + 유성	87976	7249	380	147	0	4.58	IV
MDF + 비방염필름 + 수성	56585	1892	282	78	0	2.36	III
MDF + 비방염필름 + 유성	67811	3157	186	152	0	2.59	III

2개사 제품은 4가지 기준 내에 적합한 값을 나타냈으나 나머지 3개사 제품은 10~40%의 불합격률을 나타냈다. 따라서 방염필름이 방염성능기준을 만족시킬지라도 최종적으로 사용되는 대상물에 적용하는 경우 방염성능을 확인하고 시공해야 할 것으로 생각된다.

둘째, 필름이 부착된 MDF 목재의 경우 탄화된 필름에 의해 탄화된 면적이 가려지는 점이 있어 실제의 탄화면적과 상이하게 나타났으며 그을음의 제거 여부에 따라라도 탄화면적이 변하기 때문에 성능판정을 위한 방법적인 서술이 필요할 것이다.

셋째, 방염성능기준 내에서는 수성방염도료 보다는 유성방염도료가 우수한 것으로 나타났으나 유성방염도료를 도포한 MDF 목재에서 수성방염도료를 도포한 MDF 목재에서 보다 많은 양의 연기가 발생한 것으로 보아 유독성에 대한 위험성은 더 클 것이라고 예측된다.

넷째, 현장방염성능검사시 소방공무원이 현장 출장으로 시료를 채취하여 방염성능에 대한 일정기준 적합 여부 판정 시 평가자마다 표준화 되지 않은 검사방법으로 인한 혼란성을 줄일 수 있는 제도적 보완책이 필요할 것으로 판단되어 진다.

### 참고문헌

1. 차정민, “방염처리 방법에 따른 실내건축용 MDF재료의 연소특성에 관한 연구”, 서울시립대학교 도시과학대학원, 석사학위논문(2011).
2. 소방방재청, “소방행정자료 및 통계”(2011).
3. 박성현, “다중이용업소 현장 방염처리물품의 방염 실효성 확보 방안”, 동신대학교 대학원, 석사학위논문(2009).
4. 한겨레신문, “고시원 화재 일지”(2008).
5. 박형주, 곽동일, “다중이용업소에서 사용하는 실내장식재에 대한 방화·방염제도 개선에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.15, No.1 pp.45-54(2001).
6. 오규형, 김황진, 이성은, “방염처리에 따른 화재지연 효과”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.23, No.2, pp.111-116(2009).
7. 임남기, 허재원, 박철우, “방염법 및 방염액 종류별 방염성능에 관한 실험적 연구”, 한국건축시공학회지, Vol.8, No.6, pp.117-122(2008).
8. 이장원, “콘 칼로리미터를 이용한 건축 내장재의 연소거동과 가스유해성 연구”, 부경대학교 대학원, 석사학위논문(2008).
9. 김인범, 현성호, “방염처리된 단청목재의 방염성능 및 유독성에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.23, No.5, pp.66-71(2009).
10. 차정민, 김인범, 현성호, “방염처리된 목재의 방염성능평가방법에 대한 고찰”, 한국화재소방학회 학술대회 논문집, Vol.2010, No.10, pp.271-274(2010).
11. 손연수, “국내 목조문화재의 방염현장과 그 대책에 대한 소고”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.2, No.2, pp.31-41(1988).
12. 손연수, “목조 문화재의 방염”, 한국소방안전협회, Vol.73, pp.8-12(1993).
13. 최돈목, “플라스틱 재료용 방염제의 종류 및 방염 특성”, 한국소방산업기술원, Vol.31, pp.8-13(1997).
14. DS 02-713(Defence Standard 02-713), “Determination of the Toxicity Index of the Products of Combustion from Small Specimens of Materials; Issue 2”(2002).