

## 방염처리된 단청목재의 방염성능 및 유독성에 관한 연구 A Study on the Flame Retardant Performance and Toxicity of the Painting Wood Painted with Flame Retardant Solution

김인범<sup>†</sup> · 현성호

In-Beom Kim<sup>†</sup> · Seong-Ho Hyun

경민대학 소방행정과  
(2009. 7. 30. 접수/2009. 10. 9. 채택)

### 요 약

본 연구에서는 방염처리 단청목재에 대한 방염성능 및 연소가스를 분석하여 그 독성지수에 근거한 유독성을 평가하였다. 시료에 대한 방염처리방법과 시료처리의 환경조건은 방염성능에 크게 영향을 미치지 않았다. 연소가스의 발생량은 방염액을 분무도포한 시료들에서 거의 비슷한 발생량을 보였고 독성지수는 위험등급 III에 해당하는 높은 위험도를 나타내었고, 방염액을 가압함침시킨 시료가 상대적으로 낮은 위험도인 위험등급 II를 나타내었다.

### ABSTRACT

In this study, I evaluated toxicity that analyze performance of flame-retardant about flame-retardant painting wood and combustion gas that is based on the toxicity index. Processing condition of flame retardant solution and treatment method of samples didn't affect greatly to performance of flame retardant. Occurrence of combustion gas showed a almost similar result from the sample which spraying flame retardant solution and toxicity corresponds to high level, Hazard Class III, and the flame retardant solution saturation sample which makes put out Hazard Class II which is a low toxicity relatively.

**Key words** : Flame retardant, Flame retardant painting wood, Toxicity index, Toxicity

## 1. 서 론

우리나라 목조 문화재에 사용되는 소나무 목재의 경우 내강성, 내굴곡성, 내구성이 우수하여 건축자재로 적합하지만 목질이 강하여 제재된 표면이 거칠고 건조시에 균열 등이 발생하고 충해 등의 침해를 받기 쉬워 예로부터 목재 표면에 단청을 칠해 그 기능을 보완하여 왔다.<sup>1,2)</sup> 그러나 화재의 발생 시 열에 의해 분해되어 가연성 가스를 배출하고 착화되어 연소하기 때문에 목재의 화재성능을 개선하기 위한 방법으로 방염액을 이용한 난연화 처리 및 방염처리를 진행하여 왔으며 주로 사용되는 방법으로는 방염액을 사용하여 목재에 함침시키거나 방염액을 적용대상물 표면에 분사하여 목재의 접화를 지연시키고 화염전파속도를 낮추는 방법이 이용된다. 방염이란 어떠한 가연성 물질을 물리

적 또는 화학적으로 처리하여 보통의 환경조건에서 불꽃연소가 일어나지 않게 하는 것을 의미하며 난연 또는 난연화라는 용어와 혼용되는 면이 있기도 하다. 우리의 일상에서 사용되는 목재류에 대한 방염처리는 처리대상의 종류 및 재료에 따라 달라지는데 목재에 대한 방염처리 방법으로는 물리적인 방염처리방법도 가능하지만 방염효과적인 면이나 경제적인 측면에서 화학적 처리방법을 따르지 못하기 때문에 대부분의 경우 화학적 처리방법에 의해 사용되어지고 있다.<sup>3-7)</sup>

단청목재의 경우는 방염액으로 처리함에 있어서 시간의 경과에 따라 단청의 구성성분과 방염액간의 반응으로 인해 단청의 탈리 및 염색현상과 단청의 변색이 발생할 수 있기 때문에 목재에 대한 방염제로서의 성능 이외에 채색된 단청과 방염제의 상관관계를 확인할 필요가 있으며 이러한 단청이 채색된 방염처리목재의 경우 방염성능과 연소 시 발생하는 유독가스의 양과 유독성에는 어떠한 상관관계가 있는지에 대한 부분은

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

연구되어진 바가 거의 없다.<sup>8)</sup>

따라서 본 연구에서는 단청이 채색되어진 목재에 대해 방염액을 도포 또는 함침시킨 후 단청목재가 노출될 수 있는 대표적인 환경조건에 적용시키고 브롬 화합물계와 불소-인 화합물계 및 인 화합물계 방염액 등 시중에서 판매되는 대표적인 목재 방염액 3종류를 선택하여 단청 목재에 방염 처리를 진행하였을 때 단청 목재에서 진행되는 방염성능과 연소 시 발생하는 유독 가스 및 그 유독성을 일반 육송의 단청목재와 비교하여 분석하여 보았다.



Figure 1. A photo of 45° combustion tester.

## 2. 실험방법

### 2.1 시료의 준비

본 연구에 사용한 단청목재는 가로 0.29m × 세로 0.19m × 두께 0.01m의 육송을 사용하여 그 한 쪽 표면에 석간주(적색) 단청으로 도색한 후 건조된 면에 각각의 방염액을 도포 또는 함침하여 자연건조시켜 제조하였으며 실험에 사용된 시료에 대한 구체적인 내용을 Table 1에 정리하였다. 방염성능 테스트에는 방염처리된 단청목재가 실제로 노출되어 있는 외부환경과 내부환경에 대한 영향을 확인하기 위해 단청이 채색된 상태에서 햇빛과 비 등에 노출될 수 있는 외부환경을 고려하여 하나의 시료를 준비하였고 또한 단청이 채색된 상태에서 실내환경에 노출되는 시료를 고려하여 시료를 준비하였다. 방염액을 적용하는 방법으로 분무기를 사용하여 목재 표면에 3회 분사하여 도포하는 방식과 진공가압장치 내에서 방염액에 시료를 함침시키는 방식으로 적용한 시료를 사용하였다. 연소가스 분석실험에는 각각의 시료가 화염에 가열되는 면적을 동일하게 하고자 0.02m × 0.02m(2~3g)로 절단하여 23 ± 2°C, 상대습도 50 ± 5%의 조건에서 24시간 보관한 후 실험에 사용하였다.

### 2.2 실험장치 및 실험방법

방염처리된 단청목재의 방염 성능평가는 소방시설

설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 제20조 제 2항 규정에 의해 방염대상물의 방염성능 기준에 관한 사항을 기술한 방염제의 형식승인 및 검정기술기준 (KOFEIS 0201)에 근거<sup>9)</sup>하여 45° 연소시험방법에 의해 Figure 1에 보이는 45° 연소측정장치를 사용하였다. 시료는 실험장비 내의 시험체 받침틀 내에 느슨하지 않게 고정시킨 후 버너의 불꽃길이가 65mm가 되도록 한 뒤 불꽃 끝이 시편 중앙하단에 접하도록 하였고 가열은 시료에 대해 2분간 진행하였으며 가열시간 중에 착염되는 시료에 대해서는 착염한 후부터 2초 후에 버너를 제거하였다, 방염성능 평가기준은 버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 울리며 연소하는 상태가 그칠 때까지의 시간을 의미하는 잔염시간이 10초 이내, 버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 울리지 아니하고 연소하는 상태가 그칠 때까지의 시간(잔염이 생기는 동안의 시간은 제외)을 의미하는 잔신시간이 30초 이내, 불꽃에 의해 탄화된 면적이 0.005m<sup>2</sup> 이내, 불꽃에 의해 탄화된 길이를 의미하는 탄화길이가 0.2m 이내이어야 한다. 이 때 탄화면적의 측정은 digital planimeter인 KOIZUMI사의 KP-90N 기기를 이용하였다. 또한, 방염처리된 단청목재가 연소할 때 발생되어지는 연소가스에 대한 분석실험을 DS 02-713(Defence Standard

Table 1. Specimens used for this Study

시료명	시료	방염처리 여부	방염액 종류	방염처리 조건	방염처리
A	일반육송 + 단청	×	-	-	-
B		○	인 화합물계	방염처리 후 실외방치	분사도포
C		○		방염처리 후 실내방치	분사도포
D		○	브롬 화합물계	방염처리 후 실내방치	가압함침
E		○		방염처리 후 실내방치	분사도포
F		○	불소-인 화합물	방염처리 후 실내방치	분사도포

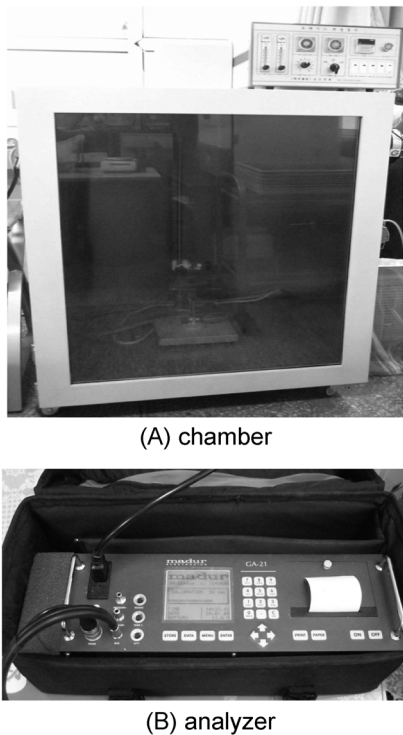


Figure 2. Experimental apparatus of combustion gas tester.

Table 2. Characterization of Combustion Chamber

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

02-713)방법에 의해<sup>10)</sup> 유독성을 평가하였는데 테스트 챔버와 시료 등을 DS 02-713 방법에 근거하여 준비하고 실험하였으며 가스의 측정은 가스 검지관을 테스트 챔버 내에 삽입하여 분석하였고 Madur사의 가스분석 장치인 GA-21plus를 이용하였는데 장치 및 장치의 구성요소와 규격은 Figure 2와 Table 2에 나타내었다.

연소챔버 바닥 중앙에 위치한 시편지지대에 시편을 올려놓고 버너 불꽃의 길이를 100mm 정도로 유지시켜서 시편에 노출되도록 하였으며 연소챔버의 밀폐를 확인하고 강제배출장치가 꺼져 있는 것을 확인한 다음 연소챔버 우측에 위치한 가스검지관 삽입구를 통해 가스 검지관을 삽입하고 버너에 연료를 공급함과 동시에

점화시킨 다음 시간을 측정하였다. 연소시간은 시료가 충분히 연소할 수 있도록 자유연소시킨 후 그 시간을 기록하고 버너를 끈 후 30초 동안 혼합팬을 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 가동시켜 연소 챔버 내의 잔류 연소생성물을 완전히 배출시키고 3분 이상 강제배출을 진행하였다. 이 때 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.

DS 02-713 방법에서는 시료에서 발생되는 유독가스의 양을 평가하기 위해 가스를 1m<sup>3</sup>의 체적을 기준으로 100g의 시료에 대해 발생되는 연소가스의 값으로 환산하여 평가하게 되며 이렇게 계산되어진 각각의 연소가스 발생량은 그 시료가 연소함에 의해 발생되는 연소가스가 인체에 노출되어질 때 얼마나 치명적일 수 있는지를 독성 지수(toxicity index)로 표현하게 되는데 먼저 발생하는 각각의 가스들은 GA-21plus 가스분석기를 통해 측정된 값을 시료 100g에 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<sub>i</sub>: 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<sup>10)</sup>

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

C: 각각의 연소가스 측정농도(ppm)

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

여기에서 C값들은 가스의 종류에 따라 다르기 때문에 그 값을 Table 3에 나타내었는데 이렇게 측정과 계산을 통해 얻어진 독성지수의 값은 그 값이 큰 시료일 수록 그만큼 인체에 대해 유독한 결과를 발생시킬 수 있음을 의미한다.

**Table 3.** The Values of Concentration of the Gas Considered Fatal to Man for a 30minute Exposure Time

Gas	C <sub>f</sub> (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

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 방염성능 평가

방염 성능기준 KOFEIS 1001에 근거한 45° 연소시험방법으로 얻어진 실험결과를 Table 4에 정리하였다. 단청목재로 일반적으로 사용되는 육송(A)에 대한 방염 테스트의 경우 탄화면적과 탄화길이는 방염 성능기준 내에서 그 값을 나타내었지만 버너의 불꽃을 제거한 후 시료에 존재하는 잔염이 90초 이상 지속되고 이 잔염이 사라진 후 시료 표면의 잔신 또한 30초 이상이 지속되어지므로 일반적인 단청목재의 경우 방염성능을 갖추고 있지 않음을 알 수 있으며 방염액을 도포 또는 함침시킨 나머지 모든 시료에 있어서 방염 성능기준을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 동일한 인 화합물계 방염액을 도포하고 시료를 실외에 방치한 시료

B와 실내에 방치한 시료 C의 경우 잔염이나 잔신은 발생하지 않았으며 탄화면적과 탄화길이는 기준 내에서 실외에 방치한 시료 B가 다소 우수한 값을 나타내었지만 큰 차이를 보이지 않기 때문에 시료들이 노출되었던 환경조건이 방염성능에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 생각되어지며 방염액을 분사시켜 도포한 시료 C와 방염액을 고압으로 함침시킨 시료 D의 실험결과를 비교하면 방염액을 고압함침시킨 시료 D의 탄화면적과 탄화길이가 다소 낮은 값을 나타내나 큰 차이를 보이지 않으므로 방염액의 적용방법은 단청목재의 방염성능을 크게 좌우하지 않는 것으로 생각되어진다.

또한 각기 다른 방염액을 사용한 시료 C, E, F의 경우는 방염액의 종류에 따라 잔염시간, 잔신시간과 탄화길이에 있어는 약간의 차이는 있지만 방염 성능기준 내에 모든 시료가 위치하고 있으며 탄화면적도 방염 성능기준 내에 위치하여 소방법에 요구하는 기준을 만족하나 다만 탄화면적에 있어서 방염액의 종류에 따라 큰 차이를 보이고 있으며 인 화합물계 방염액의 탄화면적이 가장 작은 것으로 나타나 어떠한 종류의 방염액을 사용하느냐에 따라 방염성능에 영향을 줄 수 있는 요소가 존재하며 방염성능기준에 대한 부합성도 중요하지만 시료의 연소로 인해 발생되어지는 연소가스와 부산물들에 의한 유독성을 함께 고려하여야 할 필요성 또한 존재하는 것으로 생각되어진다.

#### 3.2 연소가스 분석 및 유독성 평가

DS 02-713 방법에 의거하여 연소시킬 때 발생되어지는 연소가스에 대한 측정결과를 시료 100g에 대하여 정량화한 결과를 Table 5에 나타내었다. 또한 이 데이터와 Table 3의 데이터를 근거로 식(2)에 대입하여 각 시편들의 독성지수를 계산하여 Table 6에 정리하였다.

Table 5에서 알 수 있듯이 단청목재를 연소시켰기 때문에 일반적으로 이산화탄소와 일산화탄소의 발생이 대부분을 차지하고 있으며 질소산화물과 이산화황 및

**Table 4.** Results of Flame Retardant Performance

시료	방염테스트 기준	잔염시간(초)	잔신시간(초)	탄화면적(m <sup>2</sup> )	탄화길이(m)
		10초 이내	30초 이내	0.005m <sup>2</sup> 이내	0.2 m 이내
A		90초 이상	30초 이상	0.00331	0.15
B		0	0	0.00057	0.055
C		0	0	0.00079	0.07
D		0	0	0.00067	0.065
E		3.8	3.7	0.00249	0.08
F		0	0	0.00201	0.06

**Table 5.** The Occurrence Quantities of Combustion Gases

	연소가스발생량(ppm/100g) C <sub>0</sub>				
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
A	13291	8506	337	245	0
B	10809	6336	32	193	33
C	10235	6671	47	200	0
D	8164	3843	63	120	21
E	13632	6146	81	231	0
F	11194	6671	11	238	23

황화수소가 일부 발생하는 것은 목재 표면에 도포되어 있는 단청으로부터 유발되어지는 것으로 생각되어지며 Table 6의 독성지수는 일반 단청목재를 연소시킨 경우가 가장 큰 값을 내어 위험도가 가장 심각한 IV등급을 나타냈으며 시료 D를 제외한 방염처리된 단청목재 모두 위험도가 높은 III등급을 나타내었고 방염액을 함침시킨 단청목재인 시료 D가 상대적으로 위험도가 가장 낮은 II등급을 나타내어 발생하는 연소가스에 기초한 독성지수만을 비교할 때 인체에 대한 유독성이 가장 낮다고 할 수 있다.

먼저 동일한 방염액을 사용하고 시료의 보관방법이 다른 시료 B와 C의 결과를 비교하면 발생하는 연소가스의 양과 독성지수(toxicity index) 모두 거의 비슷한 수치를 나타내므로 단청목재가 적용된 환경조건은 연소가스의 발생량과 및 그 유독성에 영향을 주지 않는 것으로 생각되며 동일한 인 화합물계 방염액을 사용하여 분무 도포한 시료 C와 가압함침시킨 시료 D를 비교하여 보면 가압함침시킨 시료 D의 경우가 발생되어지는 연소가스의 양도 상대적으로 적으며 독성지수에 있어서도 위험등급이 한 단계 낮아 위험도가 상대적으로 낮으므로 분무 도포의 방법보다는 가압함침에 의해 목재를 처리할 경우 유독성 가스로 인한 피해를 방지하는데 효과가 있을 것으로 판단되어지는데 이러한 결과는 방염액을 분무하여 단청목재 표면에 도포한 경우

는 목재 표면에 방염액이 분포하지만 고압으로 목재에 방염액을 함침하는 경우는 목재의 내부까지 방염액이 침투하여 목재의 연소를 방해하기 때문인 것으로 생각되어진다. 그리고 본 실험에 사용되어진 3가지 종류의 방염액을 분무처리한 시료들을 기준으로 유독성 및 연소가스의 발생량을 상대적으로 비교하여 보았을 때 브롬계 방염액을 사용한 시료 E가 이산화탄소의 발생량이 상대적으로 많아 방염처리된 단청목재 시료 중에서는 독성지수 또한 가장 높게 나타났으나 위험등급 분류상으로는 같은 범위 내에 존재하였다. 그러나 방염처리방법이 다른 시료 D와 함께 비교하여 본다면 상대적으로 위험등급이 가장 낮은 II등급을 나타내므로 단청목재의 방염처리방법으로서 방염액을 가압함침시키는 방법이 시료의 연소 시 발생하는 연소가스의 양과 유독성을 낮추는 데 더 유리하게 작용할 것으로 판단되어지며 시료 E, F의 경우 할로겐 원소가 포함되어진 방염제를 사용하였기 때문에 연소가스 중에 HBr이나 HF 등의 유독성 가스가 발생할 수 있을 것으로 사료되나 사용되어진 분석기기에서 이러한 가스의 분석이 동시에 이루어지지 않아 시료 E, F에 있어서는 독성지수의 수치가 다소 상승할 수 있을 것으로 생각되어진다.

#### 4. 결 론

이상과 같이 방염 처리되어진 단청목재에 대해 방염 성능 및 연소가스를 분석하고 그 독성지수에 대해 분석하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

방염액을 처리한 단청목재 모두 소방법에 근거한 방염성능기준을 만족하였으며 시료에 대한 방염액의 적용방법과 시료를 처리한 후 보관되어진 조건 등은 방염성능에 크게 영향을 미치지 않았으며 방염액의 종류에 따라 탄화면적과 같은 일부의 방염성능 조건에서 차이를 나타내므로 방염액의 사용에 유의할 점이 존재할 것으로 사료되며 방염처리된 단청목재의 연소가스

**Table 6.** Result of Toxicity Index Using CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S and a Division of Hazard Class by Toxicity Index

Specimen	Toxicity Index	Hazard Class	Toxicity Index Range	Hazard Class	Hazard Response
A	4.22	IV	0.4 미만	0	None
B	2.35	III	0.4~1.5	I	A Little Hazard
C	2.46	III	1.5~2	II	Hazard
D	1.62	II	2~4	III	Heavy Hazard
E	2.57	III	4 초과	IV	Severe Hazard
F	2.45	III			

발생량은 방염액을 분무도포한 시료의 경우 거의 비슷한 발생량을 보였고 독성지수 또한 약간의 차이는 있지만 모두 위험등급상 III등급을 나타내었고 방염액을 가압함침한 시료만이 상대적으로 낮은 등급인 II등급을 나타내어 단청목재의 방염처리방법으로서 방염액을 가압함침시키는 방법이 시료의 연소 시 발생하는 연소 가스의 양과 유독성을 낮추는 데 도움을 줄 것으로 판단되어진다.

### 참고문헌

1. 국립문화재연구소, “단청의 개관”, 능원단청연구보고서, pp.18-58(1981).
2. 홍창원, “한국의 단청”, 보존과학기초연수보고서, 국립문화재연구소, pp.86-104(2004).
3. A.F. Grand, “Fire Retardancy of Polymeric Materials”, Marcel Dekker Inc., pp.449-474(2000).
4. D.P. Nolan, “Encyclopedia of Fire Protection”, Delmar Thomson Learning, pp.109-112(2001).
5. R.M. Aseeva and G.E. Zaikov, “Combustion of Polymer Materials”, Hanser Publishers, pp.309-321(1981).
6. O. Grexa and H. Lubke, “Flammability Parameters of Wood Tested on a Cone Calorimeter”, Polym. Degrad. Stab., pp.427-432(2001).
7. G. Dobelev, I. Urbanovich, A. Zhurins, V. Kampars and D. Meier, “Application of Analytical Pyrolysis for Wood Fire Protection Control”, J. Anal. Appl. Pyrolysis, Vol.79, pp.47-51(2007).
8. 오규형, 김황진, 이성은, “방염처리에 따른 화재지연 효과연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.23, No.2, pp.111-116(2009).
9. 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 제20조 제2항.
10. 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).