

도료의 주성분에 따른 편백 합판의 방염성능 비교 분석

임수희* · 공하성**

*우석대학교 소방·안전공학과 박사과정

**우석대학교 소방방재학과 교수

Comparative Analysis of Flame Retardant Performance of Japanese Cypress Plywood Based on the Main Ingredients of Fire Retardant Paint

Soo-Hee Lim* · Ha-Sung Kong**

*Ph.D. Candidate Dept. of Fire Protection & Safety Engineering Woosuk University

**Associate Professor, Department of Fire & Disaster Prevention, Woosuk University

Abstract

The purpose of this study is to compare and analyze the flame retardant performance of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plywood, commonly used in indoor decoration, furniture, and tableware, by treating it with three different fire retardants with different primary ingredients. The experiment was conducted in compliance with Article 31, Paragraph 2 of the Enforcement Decree of the Fire Facilities Installation and Management Act and Articles 4 and 7-2 of the Flame Retardant Performance Standards. After flame time, after glow time, char length, and char area were measured. As a result, first, after flame time was measured at 0 seconds regardless of whether the flame retardant treatment was applied. Second, after glow time was relatively long, measuring 22.7 seconds without treatment, which is likely due to the weak fire resistance and high concentration of carbon monoxide generated by the chemical characteristics of the Japanese cypress itself. Third, it was confirmed that the effects of the primary ingredient, phosphorus, in the flame retardant treatment varied depending on the technological development of the manufacturers of the same species of Japanese cypress plywood. In the future, it is expected that the results of this study will provide fundamental data to select flame retardant treatments that show high flame retardant performance according to the botanical characteristics of the wood.

Keywords : Japanese cypress plywood, After flame time, After glow time, Char length, Char area

1. 서론

목재는 섬유방향이 크고 가볍고 가공하기가 용이하며 단열효과도 좋아 건축재료로서 우수성이 크다[1]. 국내의 건축 역사를 보면 목재로 이루어진 건축물은 근대까지 중심적인 역할을 해 왔고 오늘날에 이르러 한류가 세계적으로 뻗어가면서 한국의 전통적 공간의 모체로 목재를 주목한다[2]. 이러한 시대적 흐름에 따라 친환경 건축재료로서 목재의 이용률은 증가추세를 보인다. 또한 다중이용시

설의 경우, 공간 및 미관상의 이유로 다양한 인테리어 재료를 활용하는데 목재, 목질 합판의 이용이 급증하고 있다 [3].

그러나 목재는 연소하기 쉬운 단점을 갖고 있으며 특히, 오염된 상태에서는 자연발화 가능성이 있다. 또 목재에 열 분해가 일어나면 1g당 30cal 정도의 발열을 일으켜 저온 상태로 장기간 가열이 이루어져 불꽃 없이도 착화가 일어날 가능성이 있다[4]. 이러한 목재의 화재 위험성을 줄이기 위해 「다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법」에 따

†Corresponding Author : Ha-Sung, Kong, 443, Samnye-ro, Samnye eup, Wanju-gun, Jeonbuk, E-mail: 119wsu@naver.com
Received February 2, 2023; Revision March 20, 2023; Accepted March 25, 2023

라 방염처리를 해야 한다. 이는 화재 시 실내 내장재의 착화시간을 지연시켜 재실자의 피난시간을 확보하는 것을 목표로 한다[5].

국외 선행연구에 따르면, 목재 건축에서 화재가 발생하였을 시 안전 및 구조 요건을 높이고자 벤토나이트 나노시트를 목재 적층에 처리한 후 난연성을 실험하였다. 그 결과 목재 적층에 불꽃이 직접 노출된 지 7분이 지나야 연소가 시작될 뿐 아니라 최대 열방출율이 50% 이상 감소하는 것으로 나타났다[6]. 또한, 난연성 목재를 생산하기 위해 질소-인계 난연제를 처리한 결과, 최대 한계산소지수(Limited Oxygen Index; LOI)가 78%로 측정되었다. 이는 불연재료 범위에 근접한 수치로 방염처리를 통해 목재의 화재 취약성이 개선됨을 확인하였다. 구아니딘인산아연-붕산염 복합 난연제를 목재에 처리한 후 난연성 실험을 한 결과, 한계산소지수(LOI)가 47.8%로 증가하여 내화성이 우수해진 것으로 나타났다[7]. 국내 선행연구에 따르면, 붕산 및 5붕산암모늄을 혼합 처리한 편백(*Chamaecyparis obtusa*)의 연소 특성을 분석하고자 콘칼로리미터를 이용하여 실험한 결과, 총열방출을 값이 6.1~14.1% 감소하였다. 붕산 및 5붕산암모늄의 시너지 효과로 인해 화재성능지수가 증가한 것으로 보고되었다[8]. 또한, Boric acid와 Boronic acid 유도체를 Tetraethoxy orthosilicate와 반응시켜 합성한 붕소·실리콘 화합물을 편백나무에 처리한 후, 화재 강도를 외부 열 유속 50kW/m²로 고정된 후 콘칼로리미터를 사용하여 열방출 성질을 측정하였다. 그 결과, Boric acid·Silicone sol이 1.6배, Phenyl boronic acid·Silicone sol은 1.1배로 화재성능지수가 증가하였다[9].

따라서, 목재의 화재 취약성을 보완하기 위해 국내 및 국외적으로 다양한 방염제를 개발하고 있으며 방염성능이 어느 정도 효과가 있는 것으로 판명되었다. 그러나 방염제 별로 방염성능 정도는 상이하였다. 또한 다양하게 방염제가 개발되는 속도에 비해 방염제에 따른 수종별 방염성능의 차이를 비교하는 것은 미비한 실정이다. 따라서 주성분

이 다른 방염도료에 따른 수종별 방염성능의 효과를 비교하는 연구가 추가로 이루어질 필요가 있다고 판단한다.

이 연구는 도료별 주성분이 다른 방염제를 3종 선정하여 각각의 이론 도포량을 기준으로 실내 장식 및 가구류, 집기류 등에 많이 사용되는 편백으로[10] 만든 합판에 방염처리를 하여 방염도료에 따른 방염성능을 분석하고자 한다.

2. 시료 및 실험방법

2.1 시료

목재는 천연적인 단열 특성으로 인해 건물의 에너지 효율을 높이는데 유리한 건축재료[11]일 뿐 아니라 국내의 전통적인 목조건축이 산업기술이 발전함에 따라 공학목재가 생산되고 보편화되면서, 오늘날에 이르러 건축물의 내·외장재, 가구재 등의 용도로 친환경 재료로 활용되고 있다. 나무의 결이 곧고 균일하며 목질이 가볍고 연하며 기후변화, 수분, 습기 등에 매우 강한 목재로 수축률이 적어 최상급으로 분류되는[12] 편백으로 만든 합판을 대상으로 도료의 주성분에 따른 방염성능을 실험하였다. 이 연구에서는 주성분이 다른 방염도료 3종을 선정하였는데, 방염도료의 주성분은 각 암모늄 폴리인산염, 에멀전 수지, 인계 혼합물이다[13],[14],[15].

2.2 실험환경 및 방법

도료별 주성분에 따른 방염성능을 비교하고자 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」 제31조 제2항 및 「방염성능기준」 제4조, 제7조, 제7조의 2를 준수하여 실험하였다. 편백 합판은 가로 19cm, 세로 29cm, 두께 1.2cm로 제작한 후 방염도료 3종을 이론 도포량을 기준으로 각각 150g/m², 180g/m², 180g/m²를 3번에 걸쳐

<Table 1> Detailed flame retardant treatment methods for specimens

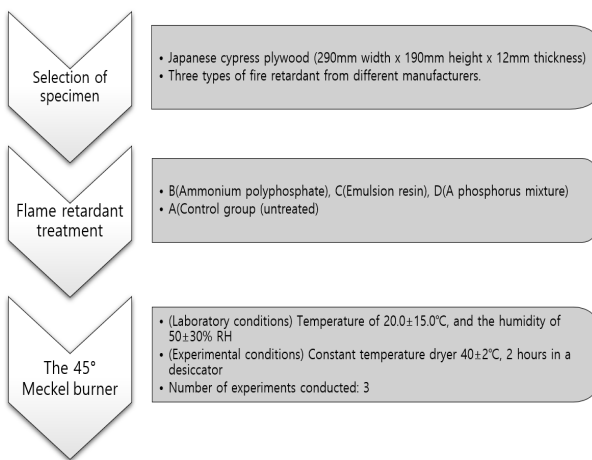
Specimens ¹⁾	Experimental materials		Fire retardant treatment quantity ²⁾	Treatment method
	Plywood	The main ingredient of fire retardants		
A	Japanese cypress plywood	-	-	-
B		Ammonium polyphosphate	150g/m ²	Brush application
C		Emulsion resin	180g/m ²	Brush application
D		A phosphorus mixture	180g/m ²	Brush application

1) A is untreated, B is a flame retardant treatment mainly composed of ammonium polyphosphate, C is a flame retardant treatment mainly composed of emulsion resin, and D is Japanese cypress plywood treated with a flame retardant treatment mainly composed of a phosphorus mixture.

2) The theoretical coating amounts were calculated based on the technical data provided by the manufacturers of each flame retardant coating.

붓칠하였다. 이후 상온에서 24시간 자연 건조하였다. 대조군으로 방염처리를 하지 않은 편백 합판을 추가하였다. 실험에 사용된 시료에 대한 세부적인 방염처리 방법은 <Table 1>과 같다.

방염성능을 분석하기 위해 45° 연소시험기를 이용하여 실험하였다. 편백 합판을 항온건조기에 넣어 40±2°C로 1시간 동안 건조하였다. 이후 실리카젤을 넣은 데시케이터 안에 2시간 동안 넣어두었다. 다음으로 시편을 꺼내 실험을 3회 반복하였다. 실험실의 내부 환경은 온도 20.0±15.0°C, 습도 50±30% RH였다. 실험에 대한 총체적 과정은 [Figure 1]에 있다.



[Figure 1] Holistic process of the experiment

2.3 45° 방염성능 실험기준

편백 합판의 방염성능은 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」 및 「방염성능기준」에 의거하여 ‘합성수지판, 합판 등의 방염성능측정기준 및 방법’에 관한 기술 사항을 근거로 45° 연소시험 방법을 진행하였다. 시료는 느슨하지 않게 받침틀에 고정된 후 버너의 불꽃 길이를 65mm가 되도록 한 뒤 시편 중앙 하단에 접하도록 설치하였다. 각 시편은 2분 동안 가열하였다. 방염성능은 ‘방염대상물의 방염성능기준(소방청 고시 제2022-29호)’에 따라 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이, 탄화면적을 측정하여 방염성능을 확인하였다. ‘합성수지판, 합판 등의 방염성능측정기준 및 방법’에 따르면 잔염시간은 10초 이내, 잔신시간은 30초 이내, 탄화 길이는 20cm 이내, 탄화면적은 50cm² 이내의 기준을 만족하여야 한다.

3. 실험 결과 및 고찰

방염도료의 주성분에 따른 방염성능을 비교하기 위해 「방염성능기준」에 의거하여 편백 합판을 대상으로 45° 연소시험기를 이용해 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이, 탄화 면적을 측정하였다. 최대연기밀도는 「방염성능기준」에 따라 선처리물품에 한하여 적용한다. 이 연구는 선처리물품이 아닌 설치현장에서 방염처리를 하는 합판에 관한 사항이므로 최대연기밀도는 제외하였다. 실험 결과는 [Figure 2], <Table 2>에 제시하였다.

Specimens	Before the experiment	After the experiment
A		 111.0mm, 97.0mm, 114.0mm 6420.0mm ² , 5120.0mm ² , 5930.0mm ²
(a) Control group (untreated)		
B		 56.0mm, 55.0mm, 57.0mm 1950.0mm ² , 1690.0mm ² , 1940.0mm ²
(b) Ammonium polyphosphate treatment		
C		 82.0mm, 76.0mm, 79.0mm 4060.0mm ² , 3330.0mm ² , 3160.0mm ²
(c) Emulsion resin treatment		
D		 80.0mm, 65.0mm, 83.0mm 3222.0mm ² , 2560.0mm ² , 3070.0mm ²
(d) A phosphorus mixture treatment		

[Figure 2] Results of the specimens before and after the experiment

잔염시간은 방염처리 여부와 상관없이 모두 0초로 측정되었다. 잔신시간은 방염처리를 한 ‘B~D’는 0초로 측정되었으나 방염처리를 하지 않은 ‘A’는 22.7초로 측정되었다. 편백은 내화력이 약한 종류의 하나이며[16] 편백 자체에 일산화탄소(CO)의 생성 농도가 높다[17]. 일산화탄소는 탄소와 산소로 구성된 화합물로 불완전 연소 시 발생하는 가연성 물질로, 점화 시 푸른 불꽃을 내며 이산화탄소(CO₂)를 생성하는 화학적 성질을 가지고 있다[18]. 즉, 내화력이 약하고 목재 자체에 일산화탄소의 생성 농도가 높은 특성으로 인해 잔신시간이 22.7초로 비교적 긴 것으로 추정한다. 게다가 일산화탄소는 인체 내 헤모글로빈과 강한 결합력을 갖고 있어 적은 양으로도 치명적인 유독가스이기 때문에 화재 시 연료의 연기 발생이 더 큰 인적 피

<Table 2> Flame retardant performance according to the flame retardant treatment of each manufacturer

Categorization		Specimens			
		A	B	C	D
After flame time (second)	One time	0.0	0.0	0.0	0.0
	Two times	0.0	0.0	0.0	0.0
	Three times	0.0	0.0	0.0	0.0
	Average	0.0	0.0	0.0	0.0
After glow time (second)	One time	22.9	0.0	0.0	0.0
	Two times	18.7	0.0	0.0	0.0
	Three times	26.4	0.0	0.0	0.0
	Average	22.7	0.0	0.0	0.0
Char length (cm)	One time	11.1	5.6	8.2	8.0
	Two times	9.7	5.5	7.6	6.5
	Three times	11.4	5.7	7.9	8.3
	Average	10.7	5.6	7.9	7.6
Char area (cm ²)	One time	66.2	19.5	40.6	32.2
	Two times	51.2	16.9	33.3	25.6
	Three times	59.3	19.4	31.6	30.7
	Average	58.9	18.6	35.2	29.5
Suitability ^{1),2)}		Unsuitable	Suitable	Suitable	Suitable

- 1) According to the "Fire Protection Installation and Safety Management Act Enforcement Decree" Article 31 Paragraph 2 and "Flame Retardant Performance Standards" Article 4 and Article 7-2, the "Flame Retardant Performance Standards for Flame Retardant Materials (Fire and Disaster Headquarters Notice No. 2022-29)" require that for plywood, after flame time should be within 10 seconds, after glow time should be within 30 seconds, char length should be within 20cm, and char area should be within 50cm² to meet all standards.
- 2) The suitability of each item of flame retardant performance standards is judged based on the average of three repeated experiments for each item.
- 3) Bold markings are used to indicate that the specimen does not meet the flame retardant performance standards.

해를 불러일으킬 수 있어 이에 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다[19].

탄화길이는 'A'에서 10.7cm, 주성분이 다른 제조사별 방염도료가 처리된 'B~D'는 5.6~7.9cm로 측정되었다. 이는 방염처리의 유무와 상관없이 방염성능기준을 모두 만족하였다. 그러나 대조군 'A'와 방염처리된 'B~D'의 탄화길이를 비교한 결과, 'B'는 68.4%, 'C'는 40.6%, 'D'는 49.9%로 감소하였다. 즉, 방염처리를 하지 않았을 때보다 방염도료를 처리하였을 때 방염성능이 우수한 경향을 보였다. 그중에서도 폴리인산염을 주성분으로 하는 방염도료가 월등히 우수한 경향을 보였다.

탄화면적은 'A'에서 58.9cm²로 측정되었다. 이는 방염성능기준인 50cm² 이내를 만족하지 못한 결과로 방염처리를 하지 않은 편백 합판은 부적합 판정을 받았다. 반면, 방염처리를 한 편백 합판은 18.6~35.2cm²의 범위로 국

내 소방청의 방염성능기준을 만족하였다.

이 연구에서 사용된 도료의 주성분에 따른 방염성능은 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」 및 「방염성능기준」을 만족하였다. 그러나 도료의 주성분에 따라 방염성능에 차이가 있었다. 'B'가 'C', 'D'보다 방염성능이 우수하였다.

선행연구에 따르면, 편백 판재를 대상으로 인계 방염제를 300g/m², 500g/m²로 처리하여 45° 연소시험을 실시한 결과, 탄화길이는 각각 8.4cm, 8.1cm, 탄화면적은 25.0cm², 24.5cm²로 방염성능기준을 만족한 것으로 보고된 바 있다[20].

이 연구에서는 인계 혼합물로 된 방염도료를 180g/m²를 편백 합판에 처리한 결과, 탄화길이 7.6cm, 탄화면적 29.5cm²로 방염성능을 만족하였다. 동일 성분을 주성분으로 하는 방염도료라 할지라도 제조사별 방염도료의 기

술개발에 따라 방염성능의 효과에 편차가 발생하는 것으로 사료된다.

4. 결론

이 연구는 실내 장식 및 가구류, 집기류 등에 많이 사용되는 편백 합판을 대상으로 도료의 주성분에 따른 방염성능을 비교하는 데 목적이 있다. 방염성능은 국내 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」 및 「방염성능기준」을 따라 편백 합판의 잔염시간, 잔신시간, 탄화길이, 탄화면적을 측정하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 잔염시간은 방염처리 여부와 상관없이 모두 0.0초로 측정되어 방염성능기준을 만족하였다.

(2) 잔신시간은 방염처리를 하지 않았을 때 22.7초로 비교적 긴 시간으로 측정되었다. 이는 편백이 내화력이 약하고, 목재 자체에 일산화탄소의 생성 농도가 높은 화학적 특성이 잔신시간에 영향을 주었을 것으로 추정한다.

(3) 도료의 주성분에 따른 방염성능시험에서 암모늄 폴리인산염을 주성분으로 하는 방염도료를 편백 합판에 처리하였을 때 탄화길이, 탄화면적의 수치가 가장 적은 값으로 방염효과가 가장 우수한 것으로 나타났다.

(4) 선행연구 및 이 연구의 결과를 토대로 동일 수종인 편백으로 만든 합판을 대상으로 주성분이 같은 인계 혼합물인 방염도료를 처리하였을 때, 제조사별 기술개발에 따라 방염성능이 상이할 수 있다는 것을 확인하였다.

이 연구를 통해 편백 합판을 대상으로 도료의 주성분에 따른 방염성능을 비교하였다. 결과적으로, 도료의 주성분에 따라 방염성능의 효과가 상이한 것으로 나타났다. 방염도료의 주성분 및 성분비에 따라 수종별로 방염성능의 편차가 있을 것으로 추정된다. 따라서 이 연구는 주성분이 다른 방염도료별 방염성능의 효과 및 편차를 분석하는 선행적 연구로서 추후 주성분 및 성분비의 정량적 측정을 통한 방염성능의 비교를 위한 추가적인 연구가 필요하다는 것을 시사한다. 특히, 방염도료를 붓칠 도포하는 경우 합판에 처리되는 방염도료의 양이 일정할 수 없는 실험의 한계를 개선하기 위해 방염처리 전·후의 합판의 무게를 측정하여 실제 처리되는 도료량을 확인하는 단계를 설정할 필요가 있다고 판단한다. 향후 다양한 방염도료 및 다양한 수종을 대상으로 주성분에 따른 방염성능을 비교하여, 화재 시 높은 방염성능의 효과로 재실자의 피난시간을 확보할 수 있는 수종별 적합한 방염도료를 선정할 수 있도록 객관적 데이터를 구축할 필요가 있다고 판단한다.

5. References

- [1] Y. G. Eom(2007), "Wood and engineering wood as eco-friendly building materials." *Air Cleaning Technology*, 20(2):26-49.
- [2] J. H. Kim(2012), "Application of eco-friendly materials and wooden architects." *Korean Architects*, 80-83.
- [3] K. R. Cho, et al.(2016), "Study on the excellent heat resistance organic-inorganic hybrid flame retardant." *Fire Sci. Eng.*, 30(3):67-72.
- [4] S. C. Seong(2005), "Fire risk and safety measures for wooden buildings." *Disaster Prevention and Insurance*, pp. 18-23.
- [5] H. J. Kim, et al.(2011), "A study on the on-site flame resistant treatment in domestic." *J of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, 25(2):33.
- [6] J. H. Kim(2012), "Application of eco-friendly materials and wooden architects." *Korean Architects*, pp. 80-83.
- [7] L. Wang, Y. Yang, H. Deng, W. Duan, J. Zhu, Y. Wei, W. Li(2021), "Flame retardant properties of a guanidine phosphate-zinc borate composite flame retardant on wood." *American Chemical Society*, 6(16):15-24.
- [8] Y. J. Chung, E. Jin(2018), "Combustion characteristics of cypress specimens painted with solutions of boron compounds." *Sci. Eng.*, 32(2): 1-6.
- [9] E. Jin, Y. J. Chung(2019), "Heat risk assessment of wood coated with boron/silicone sol." *Fire Sci. Eng.*, 33(3):9-20.
- [10] S. H. Park, E. S. Baek(2015), "A study on the combustion characteristics of wood according to flame resistant treatment." *Fire Sci. Eng.*, 29(1): 12-18.
- [11] G. Chen, C. Chen, Y. Pei, S. He, Y. Liu, B. Jiang, M. Jiao, W. Gan, D. Liu, B. Yang, L. Hu(2020), "A strong, flame-retardant, and thermally insulating wood laminate." *Chemical Engineering Journal*, 383:109.
- [12] Buildmania, Results of an interview with the CEO of a timber shopping mall for businesses and professionals. (Quotation date: 2023.01.17.)
- [13] ESC Co., Ltd.(2022), Answer questions about

- ESCON-390Y products. ESC Co., Ltd., p. 1.
- [14] KCC(2021), Fireproof paint (transparent/matte) technical data into the forest. KCC, pp. 1-2.
- [15] Samhwa Paint Industry Co., Ltd.(2018), New fireproof coat plus water-borne product safety data, Samhwa Paint Industry Co., Ltd., pp. 1-6.
- [16] Forest Service(2000), Forests and forestry technology. Forest Service, p. 84.
- [17] Y. J. Chung, E. Jin(2018), "Generation by burning test of cypress plates treated with boron compounds." Appl. Chem. Eng., 29(6):670-676.
- [18] Y. G. Sung, C. H. Kim(2001), "Carbon monoxide." Chemical Dictionary, 7:576.
- [19] R. H. White(2000), "Charring rate of composite timber products." The Proceedings of Wood and Fire Safety 2000, Part 1, 4th International Scientific Conference, May, pp. 14-19.
- [20] S. H. Park, et al.(2020), "Flame retardancy of wood products by spreading concentration and impregnation time of flame retardant." J. Korean Wood Sci. Technol., 48(4):417-430.

저자 소개



임수희

현재 우석대학교 소방안전공학과 박사과정
관심분야: 소방방염성능기준, 소방안전관리 등



공하성

학위: 공학 박사
경력: 대한안전경영과학회 편집위원, 한국화재소방학회 평의원, 중앙소방기술심의위원회 위원역임, 지방소방기술심의위원회 위원역임, 행정안전부 소방관계법령 제도개선위원역임
관심분야: 소방전기시스템, 소방기계시스템 등
근무지: 우석대학교 소방방재학과 부교수