

# 방염법 및 방염액 종류별 방염성능에 관한 실험적 연구

## An experimental study on flame resistant performance by flame resistant method and agents

임 남 기\*      허 재 원\*\*      박 철 우\*\*\*  
Lim, Nam-Gi    Her, Jae-Won    Park, Cheul-Woo

### Abstract

This study targets to improve and complement the problem of existing flame resistant processing with flame resistant performance the same as existing flame resistant agents or better, keeping wooden surface & feel as they are, and to attempt to raise flame resistant performance and economic efficiency by applying phosphorous flame resistant agents, a colorlessness, odorless new product to woods for an improvement of flame resistant performance for wooden nature and to offer a basic data for an uniform high-performance for flame resistant woods by reinforcing wooden durability and usability

키워드 : 방염, 방염목재, 마이크로파, 내장목재  
Keywords : flame resistant, flame resistant-wood, microwave, interior-wood

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

친환경이 사회적 이슈가 됨에 따라 목조건축물이나 내장목재 등의 수요가 증가하고 있으나 화재에 취약한 요소가 인명과도 직결이 되고 있기 때문에 가장 신중히 다루어져야 하며 이에 따라 목재의 방염성능을 우선적으로 향상시켜야 하는 것이 목제품의 성능향상요구 중 우선 사항이 되고 있다. 특히 방염성능 향상은 전통 문화재 보존 뿐만 아니라 현대 건축물의 주요 자재로 사용되는 목재의 화재피해 저감과 인명 보호를 위하여 경제적이고 방염성능이 뛰어나며 목재의 표면 질감을 그대로 살릴 수 있는 새로운 방염목재의 필요성이 대두되고 있다.

이러한 현실에서 기존 방염액이 지닌 처리시의 문제점을 개선 및 보완하고 방염성능은 기존 방염액과 동등이상이며 방염처리시 목재의 표면 질감을 유지할 수 있는 무색, 무취의 신(新)개발품인 인산계 방염액을 목재에 적용하여 방염성능 및 경제성을 향상 시키며, 목재의 내구성과 사용성을 증진시켜 균질의 고성능 방염목재화를 위한 기초적 자료를 제공하고 자 한다.

### 1.2 연구방법 및 범위

방염처리된 고성능 내장목재 개발에 관한 기초적 자료 도출을 위하여 본 연구에서 사용한 방염액은 시중에서 쉽게 구입이 가능하며 내장목재용 방염액으로서 가장 많이 사용하고 있는 K사의 유기계 방염액과 새로이 개발된 국내 P사의 인산염계 방염액을 사용하였다. 실험용 목재는 현재 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 수종 3가지(Ash, Maple, Oak)를 선정하였으며 실험 방법은 예비실험과 본실험으로 구분하며 예비실험에서는 생체상태의 목재를 마이크로파를 이용하여 단시간 내에 일정시간별로 가열, 건조시켜 내장용 목재의 적정함수율(6~8%)까지 도달 시간을 체크하며, 본실험에서는 3회 도포법에 의한 방염처리와 적정함수율 도달시간을 기준으로 마이크로파를 이용하여 목재를 충분히 건조시켜 목재내의 수분을 제거한 후 목재를 방염액속에 침지시켜 약액이 목재의 수관을 통하여 일반 건조 목재보다 깊이 침투할 수 있도록 하였다. 이러한 과정을 통하여 제작된 시험체와 현재 마감공사용 내장목재 방염공사의 일반적인 시공방법인 3회 도포 방식과 비교·분석하였다.

시험체의 크기는 KS F 2201 목재의 시험 방법 통칙을 만족하도록 제작한 후 마이크로파를 이용하여 건조한 목재를 방염액에 각 10, 20, 30, 40, 50분 간격으로 침지하여 흡수량을 측정하였다. 또한 방염실험 및 시험에 대한 성능 기준을 확인하기 위하여 그에 대한 평가는 "소방법 제32조 2항 규정에 준한 방염 후 처리물품 시험방법"에 준하여 시험을 실시하였다.

\* 동명대학교 건축공학과 부교수  
\*\* 동명대학교 건축공학과 박사과정  
\*\*\* 동명대학교 건축공학과 석사과정  
본 연구는 (주)퍼펙트코리아의 지원을 받아 수행되었음

## 2. 실 험

### 2.1 실험방법 및 방염처리법

#### 2.1.1 방염 후 처리물품 시험

방염성능을 알아보기 위한 시험은 “소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 제20조 제2항”에 의거하여 성능시험을 실시 하였으며 이에 따른 성능시험 측정 방법은 다음과 같다.

- 시험체는 시험 받침틀에 고정할 것
- 버너의 불꽃의 길이는 65mm로 할 것
- 불꽃의 선단이 시험체 중앙하단에 접하도록 버너를 설치할 것
- 가열은 각 시험체에 대하여 2분간 실시할 것

#### 2.1.2 방염성능 기준 및 시험방법

방염성능 기준 및 개별 시험방법은 표 1 및 2와 같다.

표 1. 방염성능 기준<sup>1)</sup>

구분	얇은 표	두꺼운 표	카페트	합판, 섬유판, 목재
잔염시간	3초이내	5초이내	20초이내	10초이내
잔신시간	5초이내	20초이내	-	30초이내
탄화면적	30cm <sup>2</sup> 내	40cm <sup>2</sup> 이내	-	50cm <sup>2</sup> 이내
탄화길이	20cm 내	20cm이내	10cm이내	20cm이내
접염회수	3회이상	3회이상	-	-

#### 2.1.3 실험방법

표 2. 방염성능 실험방법

시험체 크기	290×190mm
잔염시간	불꽃을 제거한 때부터 불꽃이 그칠때 까지의 시간
잔신시간	불꽃이 그친 후 연기가 완전히 사라질때까지의 시간
탄화길이	탄화면적 중 가장 긴 직선길이 측정
탄화면적	탄화면적 촬영 후 AutoCAD2004 이용 면적 산출

#### 2.1.4 도포법

시중에 유통되고 있는 유기계 방염액의 목재표면 시공방법을 정의하면 다음과 같다.

- 바탕처리
  - 표면의 수분, 먼지 등 기타 오염물질 제거

- 연마지로 나뭇결에 따라 가볍게 밀어내면서 거친면을 연마 후 도장
- 재도장시 고운 연마지로 연마한 후 도장
- 도장방법
  - 도료를 균일하게 교반한 후 맑은 물로 15%이내 희석하여 붓 또는 롤러로 건조도막두께 100 $\mu$ m가 되도록 도장하되 1회에 너무 두껍게 도장하지 말고 3회에 나누어 도장을 한다.
  - 재도장 간격은 매회 도장시 20℃에서 3시간 이상 경과한 후 도장을 한다.  
(재도장 간격은 최저 3시간으로써 같은 종류의 도료를 재도장할 경우임.)
  - 목재면에 하도 없이 도료만 3회 도장한다.
- 주의사항
  - 비오는 날, 습도가 높은 날(상대습도 85% 이상), 기온이 낮은 날(10℃이하)에는 정상적인 물성을 발휘하지 못하므로 도장작업 금지
  - 1회에 너무 두껍게 도장을 하면 주름이 발생할 수 있으니 3회에 나누어 도장
  - 타 도료와 혼합하여 사용하면 혼용성 및 방염성능에 문제가 발생할 수 있으므로 혼합사용 금지
  - 도료중 유기용제가 함유되어 있으니 작업시 적절한 환기를 시키고 보호장구 착용

#### 2.1.5 침지법

마이크로파로 단시간에 목재를 탄화되지 않는 범위 내에서 가열시켜 목재내부의 도관과 세포 및 목질부에 남아있는 수분의 함유량을 저하시킨 후 목재내 빈공간으로 방염액을 침투시켜 침지시간의 단축과 방염성능의 향상을 꾀할 수 있는 신개념의 방법으로써 침지시간은 최대 40분이며 최소 10분정도가 소요 된다. 이러한 방법은 국내의 연구논문<sup>2)</sup>을 바탕으로 본 연구에서도 적용하였으며 마이크로파를 이용하여 목재를 침지하는 경우의 시공방법을 정의하면 다음과 같다.

- 바탕처리
  - 표면의 수분, 먼지 등 기타 오염물질 제거
  - 연마지로 나뭇결에 따라 가볍게 밀어내면서 거친면을 연마 후 도장
- 마이크로파 가열/건조
  - 방염처리 대상목재의 초기 함수율을 체크하며 내장목재 및 외장목재의 적정함수율(6~8%, 12~14%) 기준에 만족하기 위하여 내장용 목재는 3~4%, 외장용 목재는 7~9%정도로 마이크로파로 적정 가열시간에 준하여 가

1) 소방시설설치유지및안전관리에관한 법률 시행령 제20조 제2항 방염대상물품의 방염성능기준

2) 유전가열 마이크로파를 적용한 방수방염 내장목재 개발을 위한 기초적 연구, 동명대학교, 임남기 외, 2008

열/건조를 시킨다.

- 가열된 목재는 자연상태에서 충분히 식을때까지 보관을 한다.
- 방염액 침지
  - 마이크로파로 가열/건조된 방염처리 대상목재를 수중별 적정침지시간에 맞추어 침지를 시킨 후 꺼내어 자연건조를 시킨다.(실 내/외 건조 가능)
- 주의사항
  - 적정 가열시간 및 침지시간이 없는 목재의 경우 예비 실험을 통하여 그 기준에 부합하도록 할 것.

## 2.2 실험순서 및 인자

### 2.2.1 실험순서

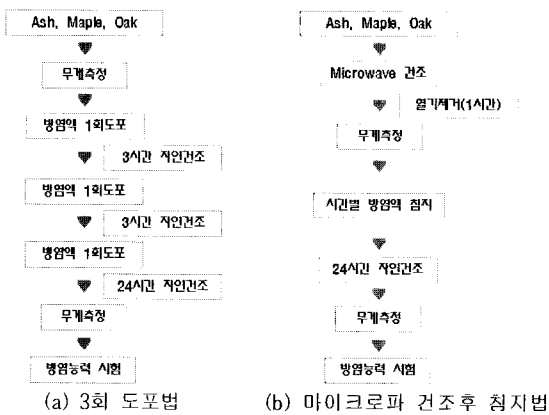


그림 1. 방염실험 순서

### 2.2.2 마이크로파 건조장치

마이크로파 건조장치의 특성은 표 3과 같으며, 형상은 그림 2와 같다.

표 3. 마이크로파 건조장치의 특성

챔버부피	주파수	적정출력
56,000cm <sup>3</sup>	2450±30MHz	2kW
사용목적	마이크로파를 이용한 목재 등의 건조 및 살충, 살균	
안전성	가정용 전자레인지와 사용방법 동일(안전성, 간편성 증대)	

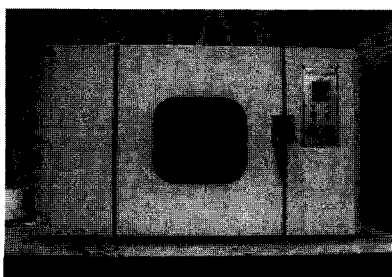


그림 2. 마이크로파 건조장치(2kW)

### 2.2.3 유기계 방염액

유기계 방염액은 연소과정에서 가연성 물질과 반응하여 응축된 탄화막을 형성함으로써 이로 인해 연소에 필요한 산소를 차단하여 방염효과가 나타난다.

본 실험에서 사용한 유기계 방염액은 호텔, 관광숙박시설, 유흥주점, 노래연습장, 헬스클럽, 실내운동시설 및 공연관람장소 등 소방법에서 정한 방염도료 처리 대상인 곳에 사용되는 것이며 물리적 특성은 표 4와 같다.

표 4. 유기계 방염액의 물리적 특성

색 상	광택 (60°,%)	고형분 적용비(%)	비 중	이론적 도포 면적
백 색	무 광	약 50	1.33~1.37	5.0m <sup>2</sup> /ℓ
재도장 간격		건조도막두께(μm)	주성분	
최저 3시간 × 3회		100	아크릴 에멀전 수지(발포성)	

### 2.2.4 인산염계 방염액

3분 실험에 사용한 인산염계 방염액은 국내 P사에서 연구 개발하여 방염액으로서의 성능 및 품질을 만족하며, 또한 기존 시중에 유통되고 있는 방염액에 비하여 가격경쟁에서도 유리한 이점을 가지고 있다. 색상은 무광 투명하며 방염대상물 품에 방염처리를 하면 기존 방염액 처럼 목재의 무늬 등을 차단하지 않으며 표면을 깨끗한 상태로 보존할 수 있다. 방염액의 구성 성분은 표 5와 같다.

표 5. 인산염계 방염액의 구성 성분

구성 성분	화학식	구성비(%)
인산나트륨	Na <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	8
제이인산암모늄	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	10
황산암모늄	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1
붕사	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	3
붕산	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1
인산계면활성제		7
기타		10
물(희석제)	H <sub>2</sub> O	60
합 계		100

### 2.2.5 목 재

실험 대상 목재는 생재가 아닌 건조목(함수율 15~20%)을 사용하였으며 매우 균질하고 활렬, 비틀림 등의 불량점이 없는 깨끗한 상태의 재료를 확보하여 실험하였다.

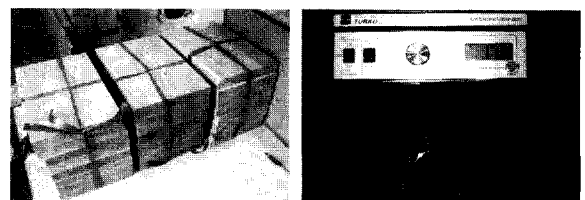


그림 3. 방염 실험용 목재, 함수율 측정기

### 2.2.6 연소시험 장치

본 실험에서 사용한 목재 연소시험 장치는 실험여건상 그림 4와 같이 KS F 2819에 준하는 45° 메켈버너 시험장치를 방염 성능시험 측정 기준에 부합하도록 제작하였으며, 시험에 사용한 연료는 KS M 2150(액화석유가스) 제4호에 적합한 것으로 하였다.

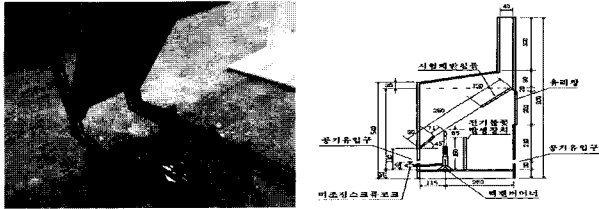


그림 4. 연소시험장치(45°메켈버너)

마이크로파로 건조시킨 목재를 시간별로 유기계 방염액에 침지시킨 목재는 침지시간이 늘어남에 따라 방염액 침투량이 증가하였으며 Oak의 경우 다른 활엽수에 비하여 밀도와 경도 등이 높으며 세포간의 조직이 더욱 치밀하기 때문에 방염액의 침투량이 다른 두 수종에 비하여 20~30% 가량 작게 나타났다. 또한 인산염계 방염액에 침지시킨 목재는 유기계 보다 50% 정도 방염액의 침투가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 유기계 방염액은 침지시 목재내에 실질적으로 침투되는 양보다 목재 표면에 유지되는 양이 더욱 많은 반면 인산염계는 침지 후 24시간 자연건조 과정에서 방염액의 60%를 차지하는 수분이 증발되어 순수 약제만이 목재에 남아 침투량이 적게 나타난 것으로 사료된다. Oak의 경우 인산계 방염액의 침투가 다른 수종과 유사하게 이루어진 것을 확인할 수 있는데 이는 인산계 방염액이 세포조직이 치밀한 목재에서도 침투가 용이하다는 것을 알 수 있다.

## 3. 실험결과

### 3.1 도포량 및 침투량

도포법 및 침지법에 의한 방염액 침투량은 그림 5 및 6과 같다.

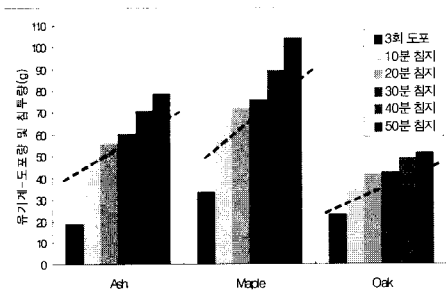


그림 5. 유기계 방염액 도포량 및 침투량

방염액 3회 도포시 목재에 도포된 양은 유기계 방염액이 5~6배이상 많은 것으로 나타났다. 이는 유기계 방염액의 특성상 도포후 일정한 두께(100 $\mu$ m)를 가지며 입자가 두꺼워 목재에 침투되는 양보다 표면에 도포되는 양이 많기 때문인 것으로 판단된다.

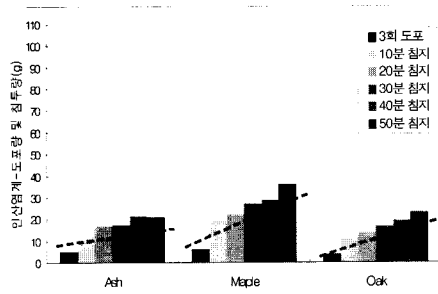


그림 6. 인산염계 방염액 도포량 및 침투량

### 3.2 잔염시간

도포법 및 침지법에 의한 잔염시간은 그림 7 및 8과 같다.

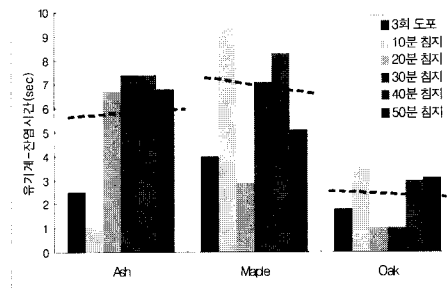


그림 7. 유기계 방염액-잔염시간

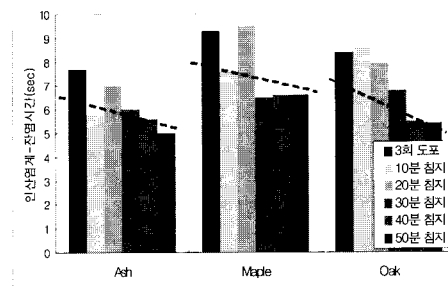


그림 8. 인산염계 방염액-잔염시간

도포 및 침지법을 사용한 방염목재는 모두 잔염시간 10초 이내의 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 유기계의 경우 침지시간별로 추세선의 기울기와 편차가 크게 발생하였으나 인산염계의 경우 대체적으로 고른 값과 추세선의 기울기가 거의 유사한 것으로 나타났다. 편차가 발생하는 큰 이유는 방염액에 침지 하였다 하더라도 입자가 굵은 유기계 방염액의 침투가 원활히 이루어지지 않았으며 또한 목재 표면에 남아 도막이 형성된 유기계 방염액 도막두께의 편차에 의한 것으로 사료된다. 유기계에 비하여 약간 높은 값이지만 인산염계 방염

액의 잔염시간이 대체적으로 고르게 나타나는 것은 방염액 침지시 마이크로파 건조 후 수분이 빠진 목재내부의 도관 및 빈 공간에 방염액의 침투가 균등하게 이루어 졌다는 것을 나타내며 이는 마이크로파로 목재를 건조시켜 방염액에 침지할 경우 입자의 크기가 작고 고율수축 침투가 용이할 것으로 사료된다.

### 3.3 잔신시간

도포법 및 침지법에 의한 잔신시간은 그림 9 및 10과 같다.

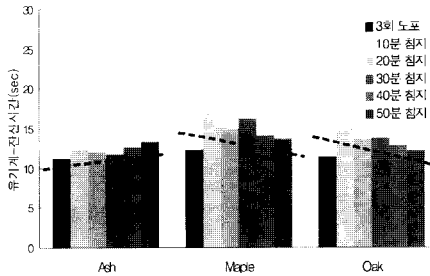


그림 9. 유기계 방염액-잔신시간

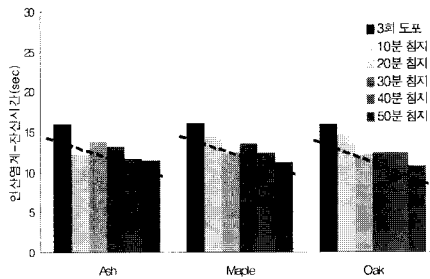


그림 10. 인산염계 방염액-잔신시간

도포 및 침지법을 사용한 방염목재의 잔신시간 측정결과 모두 잔신시간 기준(30초 이내)을 만족하며 그 성능 또한 우수한 것으로 나타났다. 인산염계 방염액에 침지한 경우 목재내에 방염액의 균등한 침투로 인하여 잔신시간에 대한 성능이 향상되어 잔신시간이 감소한 것으로 판단된다. 전체적으로 도포 및 침지시 잔신시간에 대한 방염성능은 큰 차이가 없으므로 사료되며 인산염계 방염액은 침지시간이 늘어날 수록 점차적으로 잔신시간이 줄어드는 것으로 나타나 적정 침지시간은 30분 이상이 적정하다고 판단된다.

### 3.4 탄화길이

도포법 및 침지법에 의한 탄화길이는 그림 11 및 12와 같다. 도포 및 침지법을 사용한 방염목재의 탄화길이 측정결과 모두 방염성능 기준(20cm 이내)을 만족하는 것으로 나타났다. 유기계 방염목재는 타원모양으로 거의 둥근 형태를 띠는 반면 인산염계 방염목재는 불꽃이 조사되기 시작하면서 좌·우로 탄화되는 길이보다 상하로 탄화되는 길이가 길게 나

타나 원뿔모양의 형태를 나타내었다. 이로 인하여 인산염계가 유기계 보다 탄화길이가 길게 나타났지만 그 값의 분포는 침지시간이 30분 이상 늘어날 수록 고른 분포를 나타내고 있다.

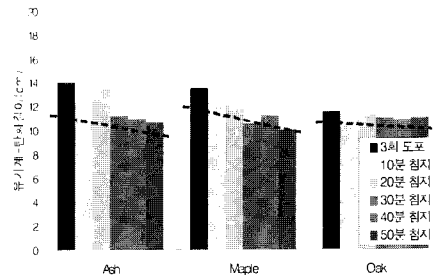


그림 11. 유기계 방염액-탄화길이

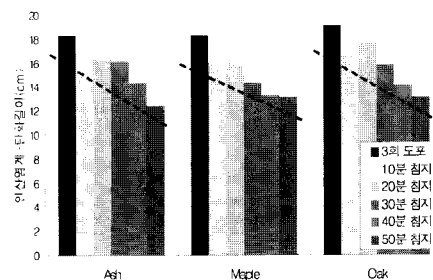
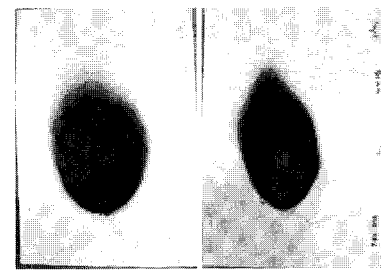


그림 12. 인산염계 방염액-탄화길이



(a) 유기계 (b) 인산염계

그림 13. M/W 건조 후 방염액 침지시 탄화 형상 (수종 : Maple, 10분 침지)

### 3.5 탄화면적

도포법 및 침지법에 의한 탄화면적은 그림 14 및 15와 같다.

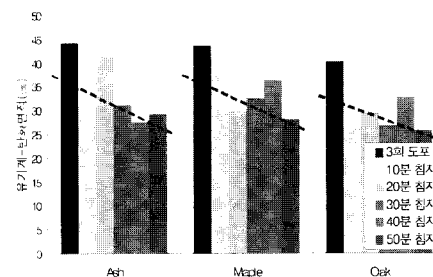


그림 14. 유기계 방염액-탄화면적

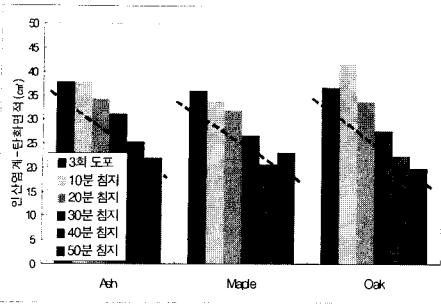


그림 15. 인산염계 방염액-탄화면적

마이크로파 건조 후 유기계 방염액은 침지시간이 늘어났음에도 잔염, 잔신시간, 탄화길이, 탄화면적의 감소 등 방염성능의 향상 없이 불규칙적인 분포를 보이며 편차가 발생하였으나 인산염계는 늘어난 침지시간에 따라 목재의 방염성능이 크게 향상된 것으로 나타났다. 이상의 시험결과에서와 같이 편차가 심하며 탄화면적의 비율이 일정하지 않는 유기계 방염액에 비하여 인산염계 방염액의 성능이 우수한 것으로 나타났는데 이는 마이크로파로 건조시킨 목재내에 자연적으로 균등하게 방염액의 침투가 이루어진 때문으로 사료되며 적정 침지시간은 30분 이상일 경우가 적정하다고 판단된다.

#### 4. 결 론

방염액의 종류에 따른 기존 방염처리법과 마이크로파를 이용한 방염법의 비교를 위하여 유기계와 인산염계 방염액을 사용한 3회 도포법과, 마이크로파 건조 후 침지법에 대한 잔염 시간, 잔신시간, 탄화길이, 탄화면적 등 방염 후 처리물품 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유기계와 인산염계 방염액을 목재에 3회 도포할 경우 유기계가 약간 우수한 성능을 나타냈지만 이는 목재표면에 형성된 도막 두께의 편차 때문이지 방염액 자체 성분 때문은 아닌 것으로 판단되며 마이크로파를 이용할 경우 유기계 보다 인산염계가 방염성능상 전체적으로 고른 분포를 나타냈으며 30분 이상 침지시 방염성능의 향상이 뛰어난 것으로 나타났다.
- 2) 도포법과 침지법을 비교한 결과 유기계 방염액은 3회 도포법이 유리한 것으로 나타났으며 인산염계 방염액은 침지법이 우수한 것으로 나타났다. 이는 인산염계 방염액에 침지 후 자연건조 과정에서 수분의 증발로 인하여 순수 약제만이 목재내부에 존재하게 되지만 방염성능은 유기계에 비하여 동등이상으로 나타나고 있기 때문에 소량의 사용량으로도 최대의 효과를 나타내는 인산염계 방염액의 사용은 적절한 것으로 판단된다.

- 3) 방염처리 시간에서 침지법은 40~60분이 소요되는 반면 3회 도포법은 7시간 이상이 소요되는 것으로 나타나 마이크로파를 이용하여 단시간에 목재를 적정함수율까지 저하시켜 방염액에 목재를 침지 시키는 과정이 기존 3회 도포방식보다 5~6시간 단축이 가능한 것으로 나타났다.
- 4) 유기계 방염액은 도포나 침지시 목재의 표면에 새로운 불투명 도막을 형성하는데 비하여 인산염계 방염액은 유기계와는 달리 맑고 투명하며 무색·무취하므로 목재의 표면 질감과 그 상태가 깨끗이 유지되는 것으로 나타났다. 또한 수종별로는 소량의 방염액 침투만으로 최대의 효과를 나타내고 있는 Oak가 가장 유리하며 그 다음으로 Ash, Maple인 것으로 나타났다. 이는 목재 자체의 섬유 조직이 치밀하며 강도 및 비중이 큰 순으로 나타난 것이며 목재의 방염성능을 높이기 위해서는 목재 자체의 선별도 중요할 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터 마이크로파로 건조된 목재를 인산염계 방염액에 침지시켜 방염처리를 할 경우 기존의 도포법에 비하여 공기단축, 적재장소 및 보관시간의 절약, 공정의 간소화 등에 따른 경제성의 증대가 예상되므로 인산염계 방염액으로 처리한 방염목재를 소방법에서 정한 내장재용 방염목재로서 활용한다면 방염성능과 경제성 및 효율성 등에서 파급효과가 매우 클 것이라 예상된다. 또한 유기계 방염액에 비하여 깨끗한 표면과 질감을 나타낼 수 있다는 면에서 실내 인테리어적인 측면에서도 활용을 적극 권장할만한 수준으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 김영해, 공업용 마이크로파 응용기술. 기전연구사, 1999.
2. 박정규 외 1, 방염처리제의 환경위해성평가 및 대응방안 연구. 한국환경정책, 2001.
3. 박형주 외 1, 일정한 복사열원에 노출된 목재의 탄화속도에 관한 연구 한국소방학회 논문지. 제18권 제4호, 2004.
4. 박형주 외 3, 난연처리된 Douglas Fir의 특성화에 관한 연구 한국화재소방학회 논문지. 제19권 제2호, 2005.
5. 엄영근 외 4, 목재백과 사전. 한국목재신문사, 2008.
6. 이동홍 외 5, 천연유지류 처리제의 발수성능평가. 임산에너지(21)2, 2002
7. 임남기 외 2, 유전자열 마이크로파를 적용한 방수방염 내장 목재 개발을 위한 기초적 연구, 한국건축시공학회 춘계학술 발표대회 논문집, 제8권1호(통권 제 14집), 2008
8. 임남기 외 5, 건축재료실험. 기문당, 2003.
9. 정희석 외 6, 최신목재건조학. 서울대학교출판부, 2005.
10. 조재명 외 3, 세계목재도감. 선진문화사, 1998.
11. 한국소방검정공사 방염제도에 관한 연구. 기술자료집 Vol.5 No.2, 2001.

(접수 2008. 10. 3, 심사 2008. 11. 28, 게재확정 2008. 12. 5)