

방염처리 방법에 따른 단청목재의 방염 및 내후특성

Flame Retardant and Weather Proof Characteristic of Dan-Chung Treated Wooden by Flame Retardant Performance

박철우¹ 홍상완¹ 이종균² 임남기^{1*}

Park, Cheul-Woo¹ Hong, Sang-Wan¹ Lee, Jong-Kyun² Lim, Nam-Gi^{1*}
Department of Architectural Engineering, Tongmyong University, Nam-Gu, Busan, 608-711, Korea ¹
Department of Architectural Plant, Youngsun University, Junam-Dong, Yang-San, 626-300, Korea ²

Abstract

One of recent methods to protect wooden cultural assets from fire, there is the flame retardation which is applied directly to wood and it is to prevent fire through securing flame resistance for the material and delaying combustion when failed fire in advance and then to gain time for people in the room to evacuate and it has same goal with the Korean Fire Service Act by protecting life and property. However, in case of spraying flame retardant on the colored surface of the wooden cultural assets, there are continuous problems of decoloration, efflorescence and water absorption after sometime and accordingly there increases danger of damages of cultural assets. So when treating with flame retardant on wooden cultural assets, there has to be no problems on dancheong after sometime and securing sustainable methods for flame retardation should be preceded. Accordingly, this study aims to provide basic sources for selecting proper flame retardation methods by evaluating and analyzing flame retardation capabilities according to types of flame retardants which are frequently used nowadays and spraying them on the dancheong-painted surface and confirming if there is no problem on the dancheong and wood after sometime and if flame retardation effect is sustainable with its quality and capability through precise analysis.

Keywords : dancheong, flame resistant, flame retardant, wooden cultural heritage

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2008년 국보 제1호 송례문 화재가 발생 한 이후 문화재 보존과 방재대책의 필요성이 이슈화됨에 따라 문화재 보존에 대한 인식 변화 및 관심이 증대되고 있다. 목조문화재의 주요 구조부 및 실내마감은 대부분 화재에 취약한 고목(古木)으로써 오랜 세월 경과로 매우 건조하거나 습한 경우가 많으며, 화재와 충해 및 썩음으로 인해 목재의 사용성이 지

속적으로 감소되고 있다[1]. 특히 낮은 수분함유율로 인해 작은 화원에 의한 순간 착화로 매우 빠른 화염으로 확대되므로 이는 문화재 완전 소실이 가능한 대형 화재사고로 이어지고 있는 실정이다[2].

이에 목조문화재를 화재로부터 보호하기 위한 목적으로 4~5년 주기로 목재 표면에 방염약제를 뿔칠처리 하고 있지만, 기 축조되어 있는 구조물과 단청(丹青) 표면에 직접 분사하여 처리함으로써 환경적 및 재료적 열화요인에 의해 시간 경과에 따라 단청의 퇴색, 표면 백화, 수분흡수 등의 문제 발생으로 문화재의 지속적인 보존 및 화재 저항성에 문제가 제기되고 있다[3]. 이와 같은 문제는 방염처리 약제의 문제만이 아닌, 일률적이고 획일화되어 있는 문화재 현장 방염처리 방법에 대한 문제도 함께 내포하고 있으므로 현장 문화재 방염처리 방법에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

Received : August 9, 2012

Revision received : February 17, 2013

Accepted : February 26, 2013

* Corresponding author : Lim, Nam-Gi

[Tel: 82-051-629-2463, E-mail: ing@tu.ac.kr]

©2013 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

따라서 현재 상기와 같은 문제 발생을 감소시키며, 방염 효과의 지속가능 연구가 필요한 실정이므로 본 연구에서 방염약제 및 분사 방법에 따라 시간 경과 후에도 단청 처리된 목재의 지속보존 가능성에 대한 분석을 실시하여 방염처리 품질 및 성능 확인과 목조문화재에 적합한 방염처리법에 대한 기초 자료를 확보 하고자 한다.

1.2 연구 범위 및 방법

목재문화재 방염처리 시 사용되는 방염약제를 이용하여 단청 위 방염처리 후 방염성, 표면 백화 및 얼룩, 단청 박락 등의 분석과 해결 방안을 제시하는 것까지를 연구범위로 한다. 실험 및 분석으로는 방염처리 전용 액상의 구이니딘계와 인산염계를 사용하였으며, 실험용 목재는 문화재 목조건물 보수공사에 사용되는 국내산 육송을 접선방향 폭 100mm, 섬유방향길이 290mm, 방사방향 두께 8mm로 가공 후 사용하였으며, 목재 위 단청은 희분(흰색), 장단(주황), 육색(살구), 양청(파랑), 먹(검정)으로 5가지 색을 기준으로 문화재수리 표준 품셈에 의해 표면 처리하였다. 방염약제의 처리 및 단청의 도채방법에 따라 5가지 처리방법을 제시하여 단청 위 방염처리를 실시하였으며, 방염성능 평가는 목조문화재용 방염제 검정기준 지침에 따라 실시하였다. 또한 표면 얼룩 및 백화 등 내후성 평가와 각 재료의 특성과 처리법에 따른 침투성 분석을 위해 X-선 형광분석(이하 XRF), 주사전자현미경(이하 SEM)[4], 에너지 분산 X-선 분광분석(이하 EDS)으로 단청과 목재에 침투 및 석출된 약제의 성분분석 [5]을 실시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 단청

단청이란 붉은색과 푸른색의 대비와 조화에 국한되는 말이다. 그러나 명사적 의미에서 단청이란 각종 안료를 사용하여 건물의 벽과 부재에 도채(圖彩)하는 모든 행위를 일컫는다. 나아가 조형품, 공예품, 석조건축, 고분, 불화, 동굴 등에 채화(彩畵)하는 경우 등 서(書), 회(繪), 화(畵)의 개념을 통틀어서 말한다.[6] 즉, 목조 건축물을 화려한 문양으로 도채하는 것 뿐 아니라 사람의 몸에 그림을 그리고 색칠하는 것이나 고분, 공예품, 조각상 등에 문양을 그리고 도채하는 것을 모두 넓은 의미의 단청이라 할 수 있다. 하지만 본

연구에서는 건축물의 내·외부 벽, 천정, 기둥에 양식화된 문양으로 장식한 것을 의미한다.

2.2 단청 위 방염약제 처리 후 문제점

국내 목조문화재를 화재로부터 가장 안전하게 보호할 수 있는 방법은 각종 방염기술의 향상을 통한 재료적 화재저항 기능성 향상에 있다고 할 수 있다.[7] 또한 이러한 조치가 불가능할 경우 별도의 방화대책으로 화인을 완전히 제거하여 관리하거나 목조문화재 전체의 방염화 및 소화전 등을 포함한 각종 소화시설을 확충하는 방법 등이 있다. 이미 건축된 목조문화재의 경우 직접적이고 근원적인 화재보호 대책은 문화재 전체의 방염화라고 할 수 있지만 목구조상 완전 방염처리는 한계가 있으며, 현재와 같이 목재의 표면에 도포 및 분사하여 방염처리 하는 방법이 차선책인 실정이다.

하지만 상기와 같은 방염처리방법으로 인해 다양한 문제가 발생하고 있으며, 그 예로써 국보와 보물로 지정된 전북 김제 금산사 미륵전, 귀신사 대웅전, 익산 승림사 보관전, 부안 내소사 대웅보전, 부안 개암사 대웅전 등의 주요 구조 부재의 백태 및 뒤틀림, 단청의 문양과 색이 퇴색되면서 부스러지는 등의 현상으로 문제가 발생하고 있는 목조문화재의 수가 눈에 띄는 정도로 늘어나고 있는 실정이다.

이와 같은 하지는 방염약제 도포작업 후에 발생한 것이며, 벽화는 퇴색되어 형상파악이 힘들 정도이며, 장식물(철제 등)의 부식도 동반된 것으로 나타났다. 또한 방염약제 도포 후 목재 마루바닥이 항상 습윤상태와 같은 정도로 유지된 것으로 나타나 부후균의 서식 등 보존 및 사용상 큰 문제점이 제기되고 있다. 목조 문화재의 처마, 기둥, 단청 등에 방염약제 분사 후 발생하는 하지는 Figure 2와 같다.

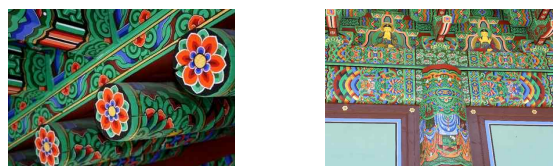


Figure 1. Dancehong of wooden cultural assets



a) Dancheong Exfoliation b) Efflorescence and Dancheong Drop Out
Figure 2. Efflorescence phenomenon on the Dancheong

3. 실험개요

3.1 실험개요 및 인자

Table 1. Summary of the experiment

Temperature/Humidity	Average 26°C / 75%	
Wood	Korean Pine Tree	
Sample	Direction of dotted line 00mm	Direction of spray 8T
	Direction of fiber 290mm	
Dancheong paint	Plaster(white), Meat Color(Apricot), Permanent Orange(Orange), Cobalt Blue(Blue), Chinese Ink(Black)	
Dancheong agglutinative agent	Poly-Sol(25wt% of Dancheong)	
Flame Retardant	A company, Korea	guanidine
	B company, Korea	phosphoric acid
Dancheong treatment	Cultural Asset Repair Standard Guide	
Flame Retardation Capability Standard	Time of flame remaining	Less than 10s
	Time of embers dying fire	Less than 30s
Notice of NEMA 2008-24 (2008.12.12)	Length of Carbonization	Less than 20cm
	Area of Carbonization	Less than 50cm ²

Table 2. Experiment factors

Classification	Flame Retardant		Spray methods of flame retardant				
	A	B	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Guaniidine	Phosphoric acid	None (distilled water)	Dancheong coloring after spray of flame retardant on the wood	Dancheong coloring on the wood after mixing the dancheong retardant and dancheong paints	Flame retardant spray on the dancheong-painted wood	Flame retardant and dancheong paints + flame retardant spray on the dancheong-painted wood
Yang-8T-Plain			○				
Yang-A-8T-②	○			○			
Yang-A-8T-③	○				○		
Yang-A-8T-④	○					○	
Yang-A-8-⑤	○						○
Yang-B-8T-②		○		○			
Yang-B-8T-③		○			○		
Yang-B-8T-④		○				○	
Yang-B-8T-⑤		○					○

* Bun, Yuksaek, Jangdan and Meok are same factor
 * Mixing rate of flame retardant and dancheong paints: Flame retardant, 10wt% of Poly-Sol.

단청처리 목재의 도포·분사될 최적의 방염처리 방법에 대한 기초 자료 도출을 위해 액상타입의 방염전용 약제로써 국내 목조 건축물 방염처리 시 주로 사용되는 구아니딘계와 인산계를 사용하였다. 이는 물과 같은 무색투명으로써 방염처리 후 단청의 색상을 그대로 보존할 수 있다. 목재 시험편은 현장 사용성에 적합한 문화재 수리용 국내산 육송을 선택하여 사용하였으며, 단청은 국내 문화재 단청 기능보유자가 제조한 단청을 문화재수리표준품셈에 따라 표면처리 하였다. 한편, 선행시험결과 5mm 두께의 목재 시험편은 방염시험 후 뒷면 탄화 및 뚫림으로 인해 본 실험인자에서 제외하였다. 실험개요 및 인자는 Table 1 및 2와 같다.

3.2. 방염약제 분사

단청 처리 면이 손상되지 않도록 표면의 먼지·오염물질 등을 브러쉬 등으로 제거한 후 컴프레셔와 분사기를 이용, 분무식으로 초당 분사량 도출 후 시험편 표면에 분사하였다. 방염약제 분사 횟수는 문화재수리표준시방서 및 목조문화재용 방염약제 검정기준 지침에 따라 45° 로 기대어 상부에서 하부로 압력 100psi, 분사량 10g씩 1차 분무 후 48시간 지난 후에 반복 분무로 총 3회 분사하였다. 최종 분사 후 시험편은 통풍이 잘되는 곳에서 직사광선을 피해 7일 이상 자연건조 시켰다[8].

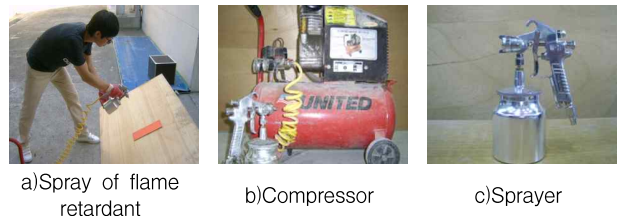


Figure 3. Spray of flame retardant

4. 실험결과 및 고찰

4.1 단청 및 방염약제 XRF 분석

본 시험에 사용된 단청 및 방염약제의 XRF 분석 결과는 Table 3, 4와 같다.

5가지 단청에서 희분은 내식성 및 내열성이 강한 Ti가 98%, 양청에서는 식물과 결합 시 수분손실 억제와 내충해성의 향상을 도모할 수 있는 Si가 64%, 육색과 장단에서 75%, 98%를 이루는 Pb는 공기중에서 쉽게 변질되지 않는

성분으로 단청의 변질이나 품질저하 예방 및 안정적인 보존이 가능한 성분으로 구성된 것으로 나타났다.

Table 3. Dancheong XRF Analysis

Bun(white)		Yangcheong (Blue)		Yuksaek (Apricot)		Jangdan (Orange)		Meok (Black)	
Componen ts	Ratio (%)	Componen ts	Ratio (%)	Componen ts	Ratio (%)	Componen ts	Ratio (%)	Componen ts	Ratio (%)
Ti	98.26	Si	64.40	Pb	75.02	Pb	98.94	Fe	53.12
Al	0.55	Al	21.07	Ti	20.39	Ra	0.67	Cu	14.96
Nb	0.38	Na	8.52	Ca	3.50	Cr	0.25	Ti	14.64
Si	0.25	K	3.22	Ra	0.51	Si	0.13	K	7.78
K	0.24	Fe	1.48	Cr	0.26	-	-	Ca	5.48
P	0.14	Ti	1.03	-	-	-	-	Si	2.33
-	-	-	-	-	-	-	-	Al	1.67

Table 4. Flame Retardant XRF Analysis

Guanidine		Phosphoric Acid	
Analyte	Result(%)	Analyte	Result(%)
S	96.0	S	99.4
Na	2.0	Ca	0.3
Ca	0.7	Ni	0.1
Ni	0.3	-	-

특히 떡의 경우 Cu가 15% 이상 함유하고 있는데, 이는 ACQ 목재방부처리제와 같은 성분으로 이를 목재에 도채하여 방부·방충 저항성을 가지게 한 것으로 사료된다. 단청이 일반적인 동·식물성 색안료 대비 대부분 무기금속계열로 이루어진 것으로 보아 목조 구조물에 도채를 통하여 오랜 기간 지속적인 보존과 목재의 열화요인(가벼운 화재, 수분접촉 및 충해피해 등)의 접근차단을 위한 자연적인 선택인 것으로 판단된다. 방염약제 결정을 분석한 결과 약제 구분없이 S의 비율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 공통적으로 Ca와 Ni가 함유된 것으로 나타났다.

4.3 방염성능

방염성능기준은 Table 1과 같이 소방방재청에서 고시[9]하는 4가지 기준에 적합여부를 분석 및 평가하였다. 또한 목조문화재용 방염약제 검정기준 지침에는 방사면 두께를 5T로 하지만, 이는 선행실험결과 뒷면까지 탄화 및 뿔림 현상이 발생되었으므로, 정량적인 평가가 어려울 것으로 판단 후 본 시험대상에서 제외하였으며, 이에 8T를 대상으로 시험편을 제작 하였다. 방염 후 처리물품 시험 형상은 Figure 4와 같으며, 결과는 Table 5~8, Figure 5~10과 같다.

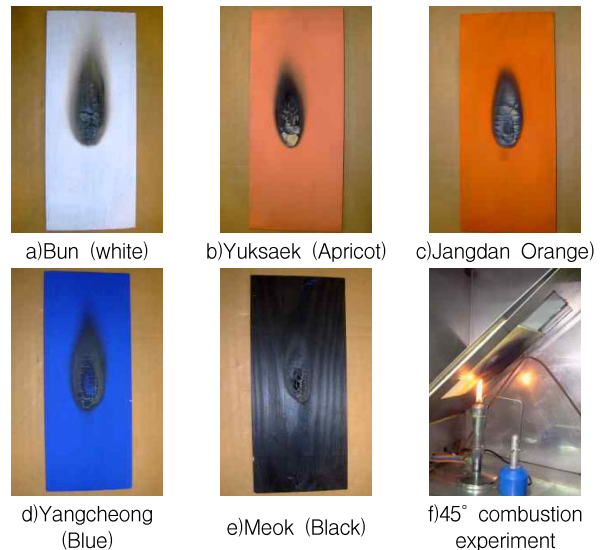


Figure 4. Samples of flame retardation experiment and 45° combustion experiment

Table 5. Plain flame retardation experiment results

Classification	Bun (white)	Yuksaek (Apricot)	Jangdan (Orange)	Yangcheong (Blue)	Meok (Black)	Average
Time of flame remaining (sec)	14.0	17.0	17.0	15.0	20.0	16.6
Time of embers dying fire (sec)	33.0	38.0	41.0	35.0	43.0	38.0
Length of Carbonization (cm)	20.0	20.4	21.1	20.2	21.6	20.7
Area of Carbonization (cm ²)	47.1	48.0	49.7	47.6	50.9	48.7

Table 6. Result of spray of Guanidine(A) retardant and mixing flame retardation

Classification	Bun (white)	Yuksaek (Apricot)	Jangdan (Orange)	Yangcheong (Blue)	Meok (Black)	Average	
Time of flame remaining (sec)	②	6.0	6.0	7.0	7.0	9.0	7.0
	③	7.0	14.0	14.0	11.0	14.0	12.0
	④	6.0	7.0	6.0	6.0	8.0	6.6
	⑤	4.0	5.0	6.0	5.0	7.0	5.4
	⑥	12.0	15.0	14.0	14.0	19.0	14.8
Time of embers dying fire (sec)	③	13.0	21.0	19.0	17.0	22.0	18.4
	④	15.0	10.0	16.0	15.0	16.0	14.4
	⑤	11.0	8.0	11.0	6.0	15.0	10.2
	②	9.5	10.7	10.8	10.8	11.6	10.7
	③	11.6	12.2	13.8	9.9	12.1	11.9
Length of Carbonization (cm)	④	8.2	9.9	11.3	9.3	11.3	10.0
	⑤	7.5	8.7	8.9	7.8	9.6	8.5
	②	22.4	25.2	25.4	25.4	27.3	25.1
	③	27.3	28.8	32.5	23.3	28.5	28.1
	④	19.3	23.3	26.6	21.9	26.6	23.5
Area of Carbonization (cm ²)	⑤	17.7	20.5	20.9	18.4	22.6	20.0

Table 7. Result of spray of Phosphoric acid(B) retardant and mixing flame retardation

Classification	Bun (white)	Yuksaek (Apricot)	Jangdan (Orange)	Yangcheong (Blue)	Meok (Black)	Average
Time of flame remaining (sec)	②	3	5	6	3	4.6
	③	8	9	13	6	9.0
	④	3	5	7	2	4.6
	⑤	1	4	5	1	3.2
	<hr/>					
Time of embers dying fire (sec)	②	4	7	13	9	9.6
	③	12	12	14	12	13.8
	④	4	7	12	7	9.2
	⑤	5	6	9	5	7.8
	<hr/>					
Length of Carbonization (cm)	②	9.1	10.0	9.5	8.2	9.1
	③	9.8	10.5	10.8	9.1	10.7
	④	8.5	9.7	9.2	8.6	9.3
	⑤	6.4	8.5	7.4	6.9	7.6
	<hr/>					
Area of Carbonization (cm ²)	②	21.4	23.5	22.4	19.3	21.6
	③	23.1	24.7	25.4	21.4	25.3
	④	20.0	22.8	21.7	20.2	21.9
	⑤	15.1	20.0	17.4	16.3	17.9

Table 8. Average of flame retardation experiments of Guanidine(A) and Phosphoric acid(B)

Classification	Time of flame remaining (sec)	Time of embers dying fire (sec)	Length of Carbonization (cm)	Area of Carbonization (cm ²)
Plain	16.6	38.0	20.7	48.7
guanidine	7.7	14.5	10.3	24.1
phosphoric acid	5.3	10.1	9.2	21.6

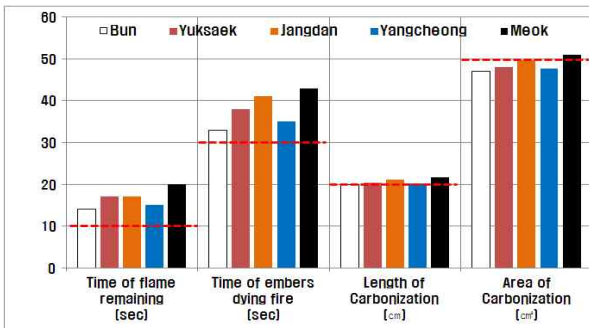


Figure 5. Result of plain flame retardation(.....:limit of standard)

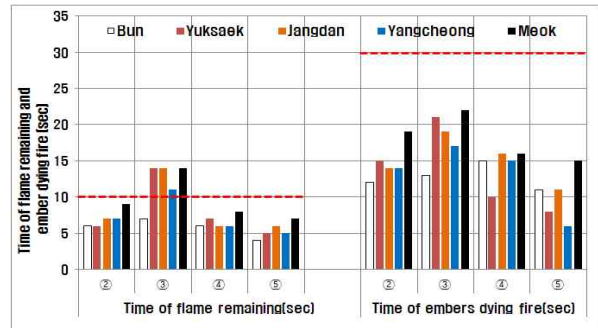


Figure 6. Results of Guanidine flame remaining and ember dying fire(.....:limit of standard)

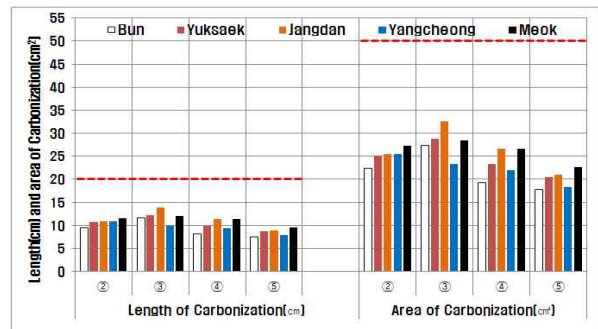


Figure 7. Results of length and area of Guanidine Carbonization(.....:limit of standard)

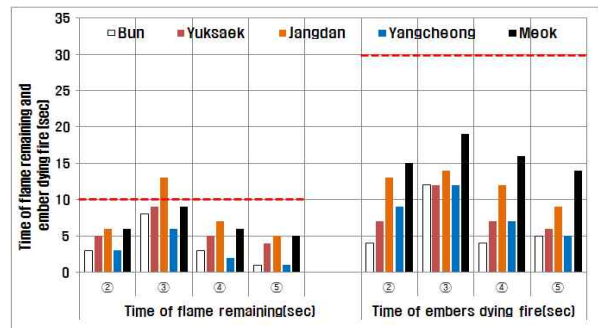


Figure 8. Result of Phosphoric acid flame remaining and ember dying fire(.....:limit of standard)

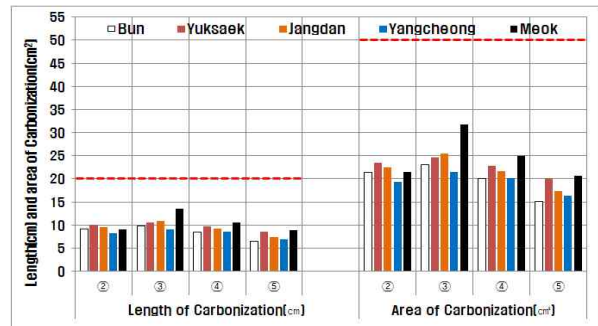


Figure 9. Result of length and area of Phosphoric acid Carbonization(.....:limit of standard)

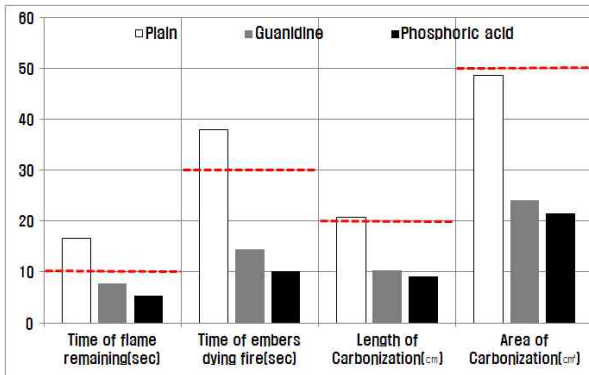


Figure 10. Average of results of retardation experiments of Guanidine(A) and Phosphoric acid(B)(.....:limit of standard)

방염처리방법에 따라 방염성능을 분석한 결과 Figure 5의 Plain은 탄화길이와 탄화면적이 방염성능 기준에 근사한 것으로 나타났으며, 잔염과 잔염시간은 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

Figure 6 및 7과 같이 구아니딘계를 사용하여 방염처리법을 달리하였을 경우 잔염시간은 방염약제와 단청을 혼합 후 도채한(③) 방법만 기준을 상회하였을 뿐, 모두 안정적인 방염성을 가지는 것으로 나타났다. Figure 8 및 9와 같이 인산계를 사용하여 방염처리법을 달리하였을 경우 구아니딘계와 유사한 결과로 ③의 방염처리법이 잔염시간 기준에 근사한 것으로 나타났으며, 그 중 장단만이 기준을 상회하는 것으로 나타났다. Table 2의 방염처리 방법 중 방염약제와 관계없이 ⑤의 방법이 가장 우수한 것으로 나타났는데, 이는 방염약제와 단청이 혼합된 표면 위 추가적인 약제 분사로 인해 다른 처리법 중 가장 많은 방염약제가 함유되었기 때문으로 판단된다. 방염처리법에 의한 단청 처리 목재의 방염성능은 ⑤, ④, ②, ③ 순으로 나타났다. 단청 종류에 따른 방염성 중 잔염과 잔염시간은 구아니딘계와 화합된 옥색, 장단, 먹이 기준을 상회하거나 희분, 양청 대비 높은 값을 가지는 것으로 나타났다. 먹의 경우 기준에는 포함되지 않지만 잔염시간과 탄화면적에서 다른 단청 대비 비교적 높은 값을 형성하는 것으로 나타났다. 또한, 인산계와 화합된 단청의 경우도 유사한 경향으로 나타났지만, 구아니딘계와는 달리 각기 다른 방염처리법이라도 비교적 안정적이며, 우수한 방염성을 가지는 것으로 나타났다. 한편, 상대적인 비교로써 두 가지 방염약제의 평균적인 방염성능을 확인한 결과 인산계 방염약제가 구아니딘계 대비 잔염 및 잔염시간은 약 30%, 탄화길이 및 탄화면적은 약 10% 정도 작은 것으로 나

타나 방염성이 우수한 것으로 나타났다.

4.4 내후성평가

외기 노출로 인한 내후성 평가를 위해 2011년 10월부터 6개월간 시험편을 자연환경에 폭로하여 시험편 단청 박락 및 백화를 관찰하였다. 내후성 평가 시험편과 변화 형상은 Figure 11 및 12와 같다.

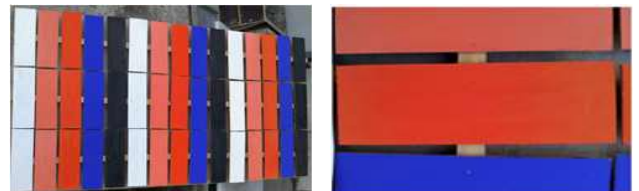


Figure 11. Samples for weather resistance

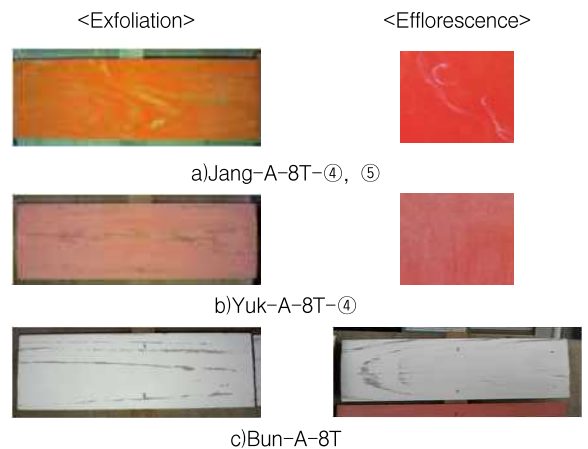


Figure 12. Samples for dancheong exfoliation and efflorescence

Plain 및 인산계 처리된 ②~⑤ 시험편의 경우 하자발생이 미미하거나 없는 것으로 나타났는데, Plain의 경우 목재와 단청과의 높은 정착성 및 인산계 처리의 경우 방염 방법과 상관없이 약제 자체의 높은 침투성 및 단청 구성분과의 낮은 반응성으로 인해 박락 및 백화 발생이 낮았던 것으로 사료된다.

목재 위 구아니딘계 방염약제 분사 후 단청 도채 및 단청과 혼합한 시험편(②, ③)의 경우 6개월 옥외폭로 이후에도 박락이나 백화현상이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이는 방염약제를 목재 시험편에 분사 시 목재 내부로 약제가 흡수되거나 목재 표면 및 단청 내부에 정착함으로써 환경 변화에 따른 물성 변화가 발생하지 않았기 때문으로 판단된다 [10]. 하지만 ②, ③의 방염처리법은 단청 도채 전 마감면에 선 방염처리를 실시함으로써 신축 및 보수되는 구조물 이의

에 방염처리법으로는 부적당할 것으로 사료된다.

한편, 단청 위 방염약제 분사를 실시한 시험편(④, ⑤) 중 장단과 육색에서 구아니딘계 방염약제를 표면에 분사한 시험편에서 Figure 12와 같이 단청 박락 및 백화가 발생하는 것으로 나타났다. 구아니딘계의 경우 강한 염기성을 가짐으로써 Table 4와 같이 반응성이 있는 Pb가 대량 함유된 장단과 육색에서 수산화물 및 결정 생성이 촉진되어 계면 팽창으로 인한 단청 코팅의 박락 및 수산화물 용출에 의한 표면 백화현상이 발생한 것으로 판단되며, 방염약제 분사 초기의 단청내부로의 방염약제 침투가 어려워 표면 백화발생이 더욱 유도된 것으로 사료된다. 또한 구아니딘계로 방염처리한 희분의 경우 기타 시험편 대비 박락현상이 높은 것으로 나타났으며, 목재 시험편의 섬유방향에 따라 많은 단청코팅의 박락이 발생하는 것으로 나타났다.

따라서 본 시험에서와 같이 옥외 폭로 시 단청 하자발생이 가장 낮은 방염처리법은 단청만을 처리한 Plain과 인산계 방염약제로 처리된 시험편 및 구아니딘계의 ②, ③ 방염처리법으로 나타났지만, 보다 장기적으로 보존적 관점에서 단청에 방염약제와 같은 제2성분계가 화합할 경우 결정생성물에 대한 정량적인 분석으로 화학적 안정성을 도모할 필요가 있을 것으로 사료된다.

4.2 SEM 및 EDS 분석

Table 2의 방염처리 방법에 따른 방염약제의 침투성 분석을 위해 방염성이 전체적으로 우수한 인산계 처리 시험편을 대상으로 단청과 목재의 계면을 SEM 및 EDS 분석한 결과는 Figure 13과 같다.

방염처리법 중 ④의 희분은 단청부에서 Table 3과 같은 Ti, Al, Si와 같은 성분이 많은 것으로 분석되었으며, 단청과 목재의 계면에서도 Ti 및 Table 4와 같이 방염약제의 S도 함께 분석됨에 따라 단청 외부에서 분사된 방염약제는 단청성분과 함께 목재 내부로 침투된 것으로 나타났다. 또한 육색의 경우 단청부에서 상기 분석 성분과 같은 Pb와 Ti가 분석되었으며, 희분과 같이 목재 내부에도 S가 확인됨에 따라 육색의 경우도 인산계 방염약제의 침투가 이루어진 것으로 판단되며, 장단, 양청, 먹의 경우도 상기와 같이 목재와 단청 계면 부근에서의 인산계 방염약제 침투가 이루어진 것으로 나타났다.

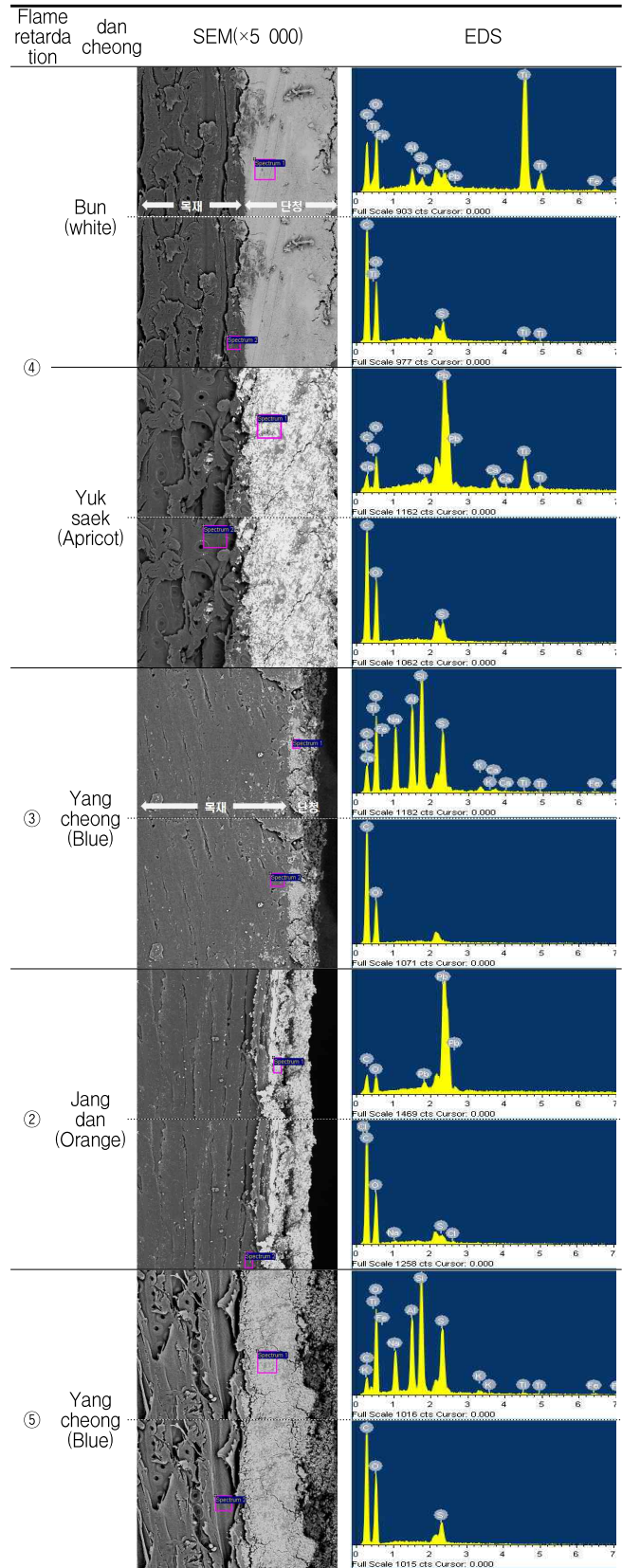


Figure 13. SEM and EDS Analysis according to spraying of Phosphoric acid flame retardant

③의 방법으로 제조된 양청의 경우 내부에서는 주요성분과 함께 방염약제 성분도 함께 나타났지만, 목재부에서는 그렇지 않은 것으로 나타났다. 이는 단청과 함께 혼합된 방염약제가 함께 경화하면서 결정화를 이루었기 때문으로 판단된다. ②의 방법으로 제조된 시험편은 장단과 같이 목재부에서는 방염약제 성분이 분석되었지만, 단청에서의 방염 성분은 분석되지 않은 것으로 나타났다.

한편, ⑤의 방법으로 제조된 시험편의 경우 양청과 같이 단청과 목재 내부에 방염성분이 분석됨에 따라 ②~④시험편 대비 높은 방염수준을 나타낸 것으로 판단된다.

5. 결 론

목재 단청에 사용되는 방염약제의 적절한 사용방향을 제시하기 위한 일환으로 단청 도채 및 방염약제의 분사 방법을 달리하여 이화학적 분석, 방염성능 평가, 흡습 및 건조성 평가, 내후성 평가를 진행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 이화학적 분석 결과 단청은 대부분 무기금속 계열로 이루어져 있으며, 단청의 변질이나 품질 저하 예방 및 안정적인 보존이 가능한 성분으로 구성되어 있어 단청 도채만으로 일부 방부, 방충, 화재 저항성 효과가 있을 것으로 사료된다.
- 2) 방염성능 평가 결과 Plain의 경우 대부분 방염성능기준에 미치지 못한 것으로 나타났지만 탄화길이 및 탄화면적은 기준을 만족함으로써 약간의 방염성능을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 방염 방법에 따라 처리된 시험편의 경우 방염성능기준을 모두 만족하였으며, 성능은 ⑤, ④, ②, ③ 순으로 나타났다. 또한 인산계 방염약제로 처리된 시험편의 방염성능이 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 6개월간 옥외 폭로에 의한 내후성 분석 결과 구아니딘계로 방염처리한 일부 시험편에서 백화 및 단청 박락 등이 발생하는 것으로 나타났다. 단청 및 목재 단면에서 SEM 및 EDS 분석 결과 인산계를 사용한 시험편이 목재와 단청 내부에 방염성분이 고르게 분포되어 있는 것으로 나타났으며, 단청 및 목재 내부로 방염약제의 균등한 침투가 어려울 경우 단청 위 백화 등의 문제가 유발될 수 있는 것으로 사료된다.
- 4) 방염처리 방법의 경우 목조문화재의 보수 보강 시 신

규로 목재를 사용할 경우 선 방염처리 후 단청을 도채하는 것이 방염성능에 효율적이며, 단청만 보수할 경우 방염약제와 단청을 일정 비율로 혼합 후 도채하는 방법과 추가로 단청 위 분사하는 방법이 화재 저항에는 효율적인 것으로 사료지만, 하자발생 등을 고려하여 방염약제를 선택할 필요가 있는 것으로 판단된다.

요 약

최근 목조문화재를 화재로부터 미연에 방지하기 위한 방법 중 방호대상물인 목재 표면에 직접 적용하는 방염 처리가 있으며, 이는 화재를 사전에 차단하지 못했을 경우 재료에 대한 불꽃의 저항능력을 확보하여 연소를 지연시킴으로써 화재를 예방하고 또한 재실자의 피난시간을 확보하는 것으로서 생명 및 재산을 보호함으로써 소방기본법의 목적과 그 뜻을 같이 한다고 할 수 있다. 하지만 현재 방염제를 목조문화재의 단청면에 분사하여 사용할 경우 일정시간이 지나면 단청의 퇴색, 백화현상, 수분흡수 등의 문제가 지속적으로 발생하고 있으며, 이에 따른 문화재 손실 위험성 또한 증가하고 있다. 따라서 현행 목조문화재를 방염처리 할 경우 현장 시공 시 시간 경과 후에도 단청과 목재에 문제발생이 없어야 하며, 지속가능한 방염효과 기술의 확보가 선결되어야 한다.

이에 본 연구에서 최근 주로 사용되고 있는 방염제 종류에 따른 목재의 방염성능의 평가분석을 통하여 방염제를 단청표면에 분사하여 일정시간이 경과한 후에도 단청과 목재에 문제발생이 없으며, 방염효과가 지속가능한지에 대한 정밀분석으로 방염처리 품질 및 성능을 확인하여 목조문화재에 적합한 방염처리방법 선정에 대한 기초적 자료를 제공하고자 한다.

키워드 : 단청, 방염약제, 방염처리, 목조문화재

References

1. Choi MS. Suggestions for cultural asset policies for preventing the 2nd tragedy of Namdaemun, Republic of Korea National Assembly; 2008 Oct 10; Seoul (Korea): National Audits for Cultural Heritage Administration; c2008, p. 45-7.

2. Lim NG, Park CW, Her JW. Domestic architectural wood research and current situation of industry and advanced wood material development tendency. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2010 Dec;10(6): 6–15.
3. Cha JM, Kim, IB, Hyun SH. Study on Weather Resistance of Painted Wood treated by Flame retardant Solution. *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*. 2011 Apr;2011(4):408–11.
4. Park HJ, Wen M. Flame retardant performance of wood treated with flame retardant chemicals. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 2012 Oct;40(5):311–8.
5. Lim NG, Heo JW, Park CW. A Study on permeation of liquid flame retardant for wood using microwave. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2011 June;11(3):256–64.
6. Chang SW, Park YS, Park DW, Kim JK. A Study on dancheong paints used on old buildings in Gwangju and South Jeolla area Resource, Environment and Geology. 2010 June;43(3):50–7.
7. Oh KY, Kim HJ, Lee SE. A Study on fire delaying effects according to flame retardation. *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*. 2009 Apr;23(2):113–7.
8. Son DW, Kang MR. Fire performance of the wood treated with inorganic fire retardants. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 2012 Oct;40(5):335–42.
9. Korea Institute of Fire Industry & Technology. Standards and detailed regulation on flame retardant capabilities: KCFEIS 1001. Seoul (Korea): Korea Institute of Fire Industry & Technology; c2006. p. 10–5.
10. White RH, Nordheim EV. Charring rate of wood for ASTM E 119 exposure. *Fire Technology*. 1992 May;28(1):5–30.