승례문 복원 단청에 관한 연구

김순관¹ | 한민수* | 정선헌 | 김미정

국립문화재연구소 문화재보존과학센터, *국립문화재연구소 보존과학연구실

Study on the restored Sungnyemun Gate Dancheong

Soon Kwan Kim¹ | Min Su Han* | Seon Hye Jeong | Mi Jeong Kim

Cultural heritage conservation science center, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

*Conservation science division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

¹Corresponding Author: ksk59@korea.kr, +82-42-860-9372

초록 복원된 승례문 단청에서 박리·박락 등의 손상이 발생함에 따라 원인을 규명하기 위해 사용된 재료를 중심으로 연구하였다. 사용된 안료 12종에 대한 성분분석을 실시한 결과, 호분과 석간주를 제외한 10종은 인공안료로 확인되었다. 교착제의 종류와 비율을 달리하여 시편을 제작하였고, 현장에서 채취한 단청 시편을 대상으로 용해 비교 시험을 실시한 결과, 단청 시편은 변화가 없는 것으로 확인되었다. 교착제의 도포 순서를 달리하여 시편을 제작하고 촉진내후성을 평가하였다. 전체적으로 도막 층이 두꺼워지고, 다른 물성의 교착제를 교차하여 사용하였을 때 박리·박락의 발생률이 높은 것으로 확인되었다.

중심어: 승례문, 단청, 안료, 교착제, 박리, 박락

ABSTRACT This study is mainly about materials that are used in Sungnyemun gate's dancheong to find causes of dancheong's damage such as desquamation and peeling off. 12 kinds of pigments' components which are used in dancheong are analyzed. Except for Hobun and Seokganju, the pigments are artificial. Samples are made with different conditions of adhesives and the rate of binder. To estimate promotion weathering test, adhesives are applied in a different order. Desquamation and peeling off presented especially when different adhesives are used on dancheong and also, generally the layer thickened.

Key Words: Sungnyemun gate, Dancheong, Pigment, Adhesive, Desquamation, Peeling off

1. 서론

단청(丹青)은 청(靑), 적(赤), 황(黃), 백(白), 흑(黑)의 색상으로 도채하는 것을 뜻하며, 광의적 의미로 그림, 글, 화장, 조형물 채색 등 그림과 관련된 모든 것을 말한다. 협의적 의미로 우리나라에서는 현재 사찰, 궁궐, 능원, 향교 등 건축물에 채색된 것만을 표현하고 있다. 이러한 단청은 통상적으로 건축물을 화려하게 꾸미는 미적인 역할을 그 목

적으로 보고 있으나 건축물의 재료인 목재를 보호하고 장기적으로 건축물의 수명을 연장하는 역할도 한다고 잘 알려져 있다(Kim, 2014).

단청에는 다양한 재료들이 사용되며 이 중 안료와 교착제, 마감재가 대표적이다. 안료는 물 또는 기름 등에 용해되지 않는 분말 형태의 착색제로, 여기에는 천연재료로서 광물성, 식물성, 동물성 안료 등이 있으며 인공적인 합성 안료도 있다. 교착제는 분말 형태의 안료를 표면에 부착시

키는 역할로 안료 자체로는 도막이 형성되지 않기 때문에 단청 시 교착제를 혼합하여 도포해야 한다. 마감재는 비바람·햇빛 등으로부터 단청을 보호하기 위해 채색 후 표면 도포에 사용된다. 1973년 「문화재수리 표준시방서」가 개정됨에 따라 가격이 저렴하고 시공이 편리한 화학안료와 합성수지가 주로 사용되었다. 이에 따라 과거에는 동물의 뼈나 가죽에서 추출한 아교 등이 사용되었으나 오늘날에는 공업용 합성수지가 이를 대신하고 있다(Park *et al.*, 2013).

국내의 대표적인 목조건축물인 승례문은 2008년 2월, 방화로 인해 2층 누각이 대부분 손상되었다. 이후 2008년 5월부터 화재 수습단계, 복구 준비단계, 복구단계 순으로 승례문 복원이 시작되었다. 고증 연구와 전문가 자문 등을 통한 피해정도 파악부터 승례문 손상 목부재의 재활용 방안 모색, 단청연구 등의 과학적인 조사와 연구가 시행되었다(Park, 2013). 5년간의 복구를 통해 2013년 5월, 일반인에게 개방하였으나 단청 일부가 벗겨지는 박리·박락 현상이 발생하여 언론에 문제점들이 보고되었다. 단청의 박락 현상은 언론 보도 후 2013년 10월 23일, 최초 점검을 통해 여러 곳에서 발생한 것이 확인되었다.

단청 도막의 내후성에 영향을 미치는 요인은 목재의 수종과 함수율, 도로의 조성과 도막물성, 기법 등이 있다(Oh and Kawanobe, 2005). 그 외에도 단청 시공 당시의 온·습도·날씨 및 시공 기간, 단청기술자의 채색기술 미숙 등으로 다양하다.

본 연구에서는 승례문 단청의 손상원인을 규명하기 위하여 복구 당시 현장에서 사용했던 안료에 대한 성분 분석과 박락된 안료 시편에 대한 교착제를 규명하였다. 또한, 이 결과를 바탕으로 승례문 복구에 사용된 재료를 사용하여 교착제의 종류와 시공 방법을 달리한 의사시편을 제작하고 내후성 시험을 통한 손상양상을 승례문 복원 단청과 비교 연구하였다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1. 재료

안료는 문화재청에서 제공받은 승례문 복원에 사용된 단청용 12종으로, 색상은 적색의 경우 석간주·주홍·장단, 백색은 호분(설인, 백설)·연백, 녹색은 하엽·뇌록·양록, 황색은 황, 청색은 삼청·군청이다. 복원 단청 중 박리·박락이 발생한 부연개관과 연목 머리초의 주화문을 기준으로 하여 교착제 용해 시험 및 도막 성능 평가 시험 안료는 양록

과 뇌록, 호분, 장단과 주홍을 사용하였다. 교착제는 문화재 보존처리에 사용되는 일본산 우교(鳳凰, 播州粒膠)와 현재 단청공사현장에서 가장 많이 사용되고 있는 초산비닐-아크릴 공중합수지 에멀전 접착제(주)대양화학, 포리졸 506)를 사용하였다. 교착제 용해 시험 및 도막성능 평가 시험 목재시험편으로는 소나무(*Pinus densiflora*)를 68(R)×125(L)×5(T)mm로 제작하여 사용하였다. 현장에서 단청의 마감재로 사용된 동유는 문화재청에서 제공받았고, 실제로 사용된 비율과 동일하게 테레빈유와 3대 7로 혼합(동유:테레빈유)하여 사용하였다.

2.2. 방법

2.2.1. 단청용 안료 성분 분석

단청용 안료의 성분 분석은 승례문 현장에서 사용한 12종의 안료와 현장에서 채취한 17점의 시편을 대상으로 하였다. 채취 시편은 성분함량 분석을 중심으로 하였고, 백색, 육색, 적색의 시편은 추가적으로 결정구조 분석을 실시하였다.

안료의 결정구조 분석에는 X선 회절분석(X-ray Diffractometer, Empryean, PANalytical co., Netherlands)을 사용하였고, 40kV, 40mA, 5°~80°까지 0.026°/sec의 조건으로 실시하였다. 또한 성분함량 분석은 미소부 X선형광분석기(Micro X-ray Fluorescence Analyzer, Eagle 3-XXXL, EDAX Inc., America)를 사용하였고, Rh Target, 40kV, 500μA, collimator size 300μm의 조건으로 실시하였다.

2.2.2. 교착제 용해 시험

단청시료는 승례문 단청 채색면 중 박리되어 있거나 탈락된 시편을 취해 실험에 사용하였다. 교착제 종류를 비교·검증하기 위해 아교와 아크릴에멀전을 5종의 비율로 혼합하고 양록을 조채하여 시험편을 제작하였다. 조채 시 안료는 5g, 교착제는 10ml로 혼합하였다. 또한 제작된 시편에 동유를 2회 도포하여 마감칠에 따른 손상 양상도 비교하였다. 채취한 시편과 제작 시편을 증류수 60ml에 침적시킨 후 가열기(Hot plate, MSH-30D, Daihan science, Korea)를 이용하여 70℃에서 60분, 80℃에서 60분 중탕한 후 100℃로 30분 직접 가열하여 시편의 상태를 확인하였다.

2.2.3. 단청시험편 제작

단청 채색 순서는 크게 교착제 포수, 뇌록 가칠, 육색칠, 적색칠, 동유 마감칠 순으로 하였다. 단청 채색은 승례문 단청공사 특기시방서를 참고하였고, 단청 박락 원인을 규

Table 1. The order of colors of samples.

No.	Order of colors
1	priming glue(twice) → glue + noerok(twice) → tung oil
2	priming glue(twice) → acrylic resin + noerok → glue + noerok → tung oil
3	priming acrylic resin(twice) → acrylic resin + noerok(twice) → tung oil
4	priming acrylic resin(twice) → acrylic resin + noerok → glue + noerok → tung oil
5	priming glue(twice) → glue + noerok(twice) → glue + pale pink(three times) → tung oil
6	priming glue(twice) → acrylic resin + noerok → glue + noerok → acrylic resin + pale pink(three times) → tung oil
7	priming acrylic resin(twice) → glue + noerok(twice) → acrylic resin + pale pink(three times) → tung oil
8	priming acrylic resin(twice) → acrylic resin + noerok → glue + noerok → glue + pale pink(three times) → tung oil
9	priming glue(twice) → glue + noerok → acrylic resin + noerok → glue + pale pink(three times) → glue + juhong(twice) → tung oil
10	priming acrylic resin(twice) → acrylic resin + noerok → glue + noerok → glue + pale pink(three times) → acrylic resin + juhong(twice) → tung oil
11	priming glue(twice) → glue + noerok(twice) → glue + pale pink(three times) → glue + juhong(twice) → tung oil

명하기 위해 교착제를 달리하여 시편을 제작하였고 시편 별 채색 순서는 Table 1과 같다. 아교의 농도는 $6.5 \pm 0.5\%$, 아크릴에멀전 농도는 $20 \pm 0.5\%$ 로 조절하여 사용하였다. 육색의 경우 호분과 장단을 40:1 비율로 혼합하여 사용하였다.

2.2.4. 도막성능 시험 및 평가

내후성을 확인하기 위해 촉진내후성시험기(Ci4000 Xenon Weather-Ometer, ATLAS, U.S.A.)를 이용하였다. 시험조건은 한국산업표준 KS M 5000(도로 및 관련 원료의 시험 방법)의 도로의 촉진 내후성 시험 방법(3231)에 따라서 설정하였다. 수분의 직접적인 분무 없이 Xenon lamp를 광원(파장 영역 300~400nm)으로 하였고, 방사조도는 60.00 W/m^2 , 시편 및 챔버 온도는 $65^\circ\text{C}/38^\circ\text{C}$, 습도 75%의 챔버 안에서 총 시험 시간은 384시간으로 하였다.

단청시편의 시험 전·후 상태 비교를 위해 디지털 카메라(EOS 1Ds Mark III, Canon, JAPAN)를 이용한 육안관찰과 분광측색계(Spectrophotometer CM-700d, KONICA MINOLTA, JAPAN)를 이용한 색도 비교를 함께 실시하였다.

3. 결 과

3.1. 단청용 안료 성분 분석 결과

승례문 단청에 사용된 안료 12종에 대한 성분 분석 결과는 Table 2, Figure 1과 같다. 적색 안료 중 석간주에서는

적철석(Hematite, Fe_2O_3)와 석영(Silica, SiO_2)이 확인되었고, 주홍은 탄산칼슘(Calcium Carbonate, CaCO_3) 분말 바탕에 황색물질(C.I. Pigment Yellow 13, $\text{C}_{36}\text{H}_{38}\text{Cl}_2\text{N}_6\text{O}_4$)을 발색물질로 사용한 분채안료로 판단되며 장단은 탄산칼슘만 확인되어 발색물질을 알 수 없는 분채안료로 추정된다. 백색 안료 중 호분(설인, 백설)은 탄산칼슘(Calcite, CaCO_3)으로 확인되었고, 연백은 염기성탄산납[Hydrocerussite, $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, Lead white]으로 확인되었다. 녹색 안료 중 하엽은 크롬옥사이드그린(Chromium Oxide Green, Eskolaite, Cr_2O_3)으로 확인되었고, 뇌록은 크롬옥사이드그린과 탄산칼슘으로 확인되며, 양록은 크롬코발트옥사이드(Chromium Cobalt Oxide, $\text{CoO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$)가 확인되었으나 정확한 발색물질은 확인되지 않았다. 황색 안료인 황은 탄산칼슘 바탕에 축합다환안료인 Flavanthrone Yellow(C.I. Pigment Yellow 3, $\text{C}_{16}\text{H}_{12}\text{Cl}_2\text{N}_4\text{O}_4$)가 확인되어 이를 발색물질로 사용한 분채안료로 확인되었다. 청색 안료 중 삼청은 지르코늄실리케이트[Zirconium Silicate, $\text{Zr}(\text{SiO}_4)$]와 탄산칼슘이 확인되었으나 발색물질은 확인되지 않았으며, 군청은 프리시안블루[Prussian Blue, $\text{Fe}_4(\text{FeCN}_6)_3$]와 울트라마린블루[Ultramarine Blue, $\text{Na}_7\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_3$]로 확인되었다.

승례문 현장에서 채취한 시료 8편을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 백색의 경우, 굿기단청인 육생 상부 덧칠층에서 채취하였고 그 외의 색상들은 박락된 시편을 수습하였다. 백색을 분석한 결과, 산화티타늄(Titanium Dioxide, TiO_2)과 염기성탄산납, 탄산칼슘이 확인되었다. 육색을 분

Table 2. The results of XRF and XRD analysis for pigments

		Image	Element	Crystal structures
1	Seokganju		Fe≫Si≫Al, K, Mg, Ti, Ca, P, Mn	Hematite(Fe ₂ O ₃ , Iron Oxide) Quartz(SiO ₂ , Silica)
2	juhong		Ca≫Cl>S, Si, Al	Calcium Carbonate(CaCO ₃ , Calcite) C.I. Pigment yellow 13(C ₃₆ H ₃₈ Cl ₂ N ₆ O ₄)
3	jangdan		Ca≫Cl>S, Si, Al	Calcium Carbonate(CaCO ₃ , Calcite)
4	Hobun (seolin)		Ca≫S, Si	Calcium Carbonate[Ca(CO ₃), Calcite]
5	Hobun (baekseol)		Ca≫S, Si	Calcium Carbonate[Ca(CO ₃), Calcite]
6	yeonbaek		Pb	Hydrocerussite[2PbCO ₃ ·Pb(OH) ₂ , Lead White]
7	hayeob		Cr≫Al, Zr, Ni, Ti, Co, Ca, Zn, Si	Eskolaite(Cr ₂ O ₃ , Chromium Oxide)
8	noerok		Cr≫Zn, Ca, Co, Fe, Al, Ba, Si, P	Eskolaite(Cr ₂ O ₃ , Chromium Oxide) Calcium Carbonate[Ca(CO ₃), Calcite]
9	yangrok		Ca≫Ni, Ti, Co, Zn, Cr, S	Calcium Carbonate(CaCO ₃ , Calcite) Chromium Cobalt Oxide(CoO·Cr ₂ O ₃)
10	hwang		Ca≫Cl>Sr, S	Calcium Carbonate(CaCO ₃ , Calcite) Flavanthrone Yellow(C ₁₆ H ₁₂ Cl ₂ N ₄ O ₄)
11	sancheong		Zr≫Ca, Co>Zn, Al, Si, Hf, V, Fe	Zirconium Silicate[Zr(SiO ₄)] Calcium Carbonate(CaCO ₃ , Calcite)
12	guncheong		Fe≫Si, S>Na, Al, K, Ca, Ni, Ti, Mn	Prussian Blue[Fe ₄ (FeCN ₆) ₃] Ultramarine Blue(Na ₇ Al ₆ Si ₆ O ₂₄ S ₃)

Figure 1. Results of XRD analysis for pigments. Qz: Quartz, Ht: Hematite, Cal: Calcite, Hc: Hydrocerussite, Co: Chromium Oxide, Zs: Zirconium Silicate, Cco: Chromium Cobalt Oxide, C.I.: C.I. Pigment yellow 3, Pb: Prussian Blue, Um: Ultramarine Blue.

Table 3. The results of XRF and XRD analysis for samples.

	Color	Elements	Crystal structures
1	White	Ti, Pb, Ca ≫ Al, Si	Titanium Dioxide(TiO ₂), Hydrocerussite[2PbCO ₃ ·Pb(OH) ₂], Calcium Carbonate(CaCO ₃ , Calcite)
2	Pale pink	Ca ≫ Ti, Pb > Al, Si, Na	Calcium Carbonate(CaCO ₃ , Calcite), Titanium Dioxide(TiO ₂), Minium(Pb ₃ O ₄ , Lead Red)
3	Red	Ca, Ba ≫ S, Si, Al, Fe	Calcium Carbonate(CaCO ₃ , Calcite), Barium Sulfate(BaSO ₄)
4	Green	O, Ca, C ≫ Ti, Co, Ni, Zn,	-
5	Green	O, C, Ca > Fe, Ba, S	-
6	Blue	O, Ca, C > Cr, Si	-
7	Blue	Cu, O > C	-
8	Black	C, O > Ca, Si	-

Table 4. The results of dissolution of adhesive for control.

	Before	After	
		untreated tung oil	twice tung oil treatment
C-1 (glue 100%)
C-2 (glue 90% : acrylic resin 10%)
C-3 (glue 70% : acrylic resin 30%)
C-4 (glue 50% : acrylic resin 50%)
C-5 (glue 30% : acrylic resin 70%)
C-6 (glue 10% : acrylic resin 90%)
C-7 (acrylic resin 100%)

Table 5. The results of dissolution of adhesive for samples

	Before	After		Before	After
S-1			S-6
S-2			S-7
S-3			S-8
S-4			S-9
S-5			S-10

석한 결과, 탄산칼슘과 일부 산화티타늄, 연단(Minim, Pb_3O_4 , Lead Red)이 확인되었다. 적색 안료를 분석한 결과, 탄산칼슘과 황산바륨(Barium Sulfate, $BaSO_4$, 중량제)과 적철석이 확인되었다. 두 종류의 녹색안료를 분석한 결과, 탄산칼슘과 코발트옥사이드를 혼합한 것이 추정되었으며, 이외에도 탄산칼슘에 발색물질을 혼합한 것으로 추정된다. 두 종류의 청색안료를 분석한 결과, 착색제를 입힌 것으로 추정되나 정확한 판단은 어렵다. 흑색안료에 대한 분석결과, 탄산칼슘에 먹을 혼합하여 사용된 것으로 추정된다.

3.2. 교착제 종류 규명 연구 결과

2개의 교착제의 비율을 다르게 하여 제작한 시편을 용해한 결과는 Table 4와 같다. 아교 100%인 C-1의 경우 교착제가 완전 용해되어 기존 안료 분말 형태만 남는 것으로 확인되었다. C-2의 경우, 동유 무처리인 C-1과 동일하게 교착제가 완전 용해되어 안료 분말 형태로 확인되었고, 동유 2회 도포의 경우, 육안상 90% 정도 분말 형태가 확인되었다. C-3의 경우, 동유 무처리인 육안상 70% 정도 용해된

것으로 확인되었고, 동유 2회 도포 시료는 육안상 40% 정도 용해된 것으로 확인되었다. C-4, 5의 경우, 동유 무처리인 안료 분말은 확인되지 않았으나 시료가 2개의 편으로 분리된 것이 확인되었다. 동유 2회 도포는 처리 전, 후 변화가 확인되지 않았다. C-6, 7의 경우, 동유 도포와 상관없이 처리 전, 후 변화가 없는 것으로 확인되었다.

승례문 현장에서 채취한 단청 채색편 10종을 대상으로 용해 시험을 실시한 결과는 Table 5와 같다. 10개의 시편 모두 70℃, 80℃의 중탕 가열에서는 용해 등의 변화가 확인되지 않았다. 100℃의 조건에서 직접 가열을 실시하여 증류수가 끓어오르면서 발생하는 기포로 인해 일부 시편에서 변화가 확인되었다. S-3, S-6, S-10 시편의 경우, 발생한 기포가 시편에 물리적인 충격을 주면서 층 분리가 발생하고 도막 층이 깨지는 등의 손상이 확인되었다. 그러나 3개의 시편을 제외한 7개의 시편에서는 깨짐 등의 손상이 발생되지 않았고, 변화 또한 없는 것으로 확인되었다.

3.3. 단청 손상 원인 규명 연구 결과

시편에 대한 촉진내후성시험 전·후의 표면 상태를 확인한

결과, 도막 층이 두꺼워지고 교착제를 교차시켜 사용했을 때 박리·박락이 잘 발생하는 것으로 확인되었다(Figure 2).

뇌록의 경우, 아교와 수지를 교차하여 제작한 2번과 4번에서 박리·박락이 확인되었고, 아교만 사용한 1번과 수지만 사용한 3번은 손상이 거의 없는 것으로 확인되었다. 2번 시편은 가장 외층에 위치한 아교 도막이 벗겨지고 바로 아래층에 위치한 수지 도막이 노출되었으며 같은 색상이더라도 층상 분리가 발생하는 것이 확인되었다. 4번 시편 또한 외층의 아교 도막과 내부의 수지 도막 간의 층상 분리로 박리되는 것이 육안 상으로 확인되었다.

육색의 경우, 색상 변화가 확연하게 확인되었다. 전체적으로 도막에 균열이 발생하고 일부 시편에서는 박리·박락이 확인되었다. 외층을 수지로 채색한 시편은 상대적으로 안정하였으나 아교로 채색한 시편은 균열발생, 도막박락 등이 확인되었다. 8번 시편의 경우, 아교·육색을 3회 채색한 도막은 하나의 층으로 분리되어 하단의 뇌록이 확인되었고, 아교·뇌록으로 채색한 층 또한 균열이 확인되었다.

주홍의 경우, 9번 시편은 다른 주홍 시편에 비해 손상 정도가 높은 것으로 확인되었다. 9번과 11번 시편의 경우 외층은 아교와 주홍을 혼합하여 채색하였으나 손상 차이가

Figure 2. Painting surface after artificial weathering test.(A: no.2, B: no.4, C: no.8, D, E: no.9, F: no.11)

Figure 3. Difference of color by artificial weathering test.

Table 6. Comparison of damages in dancheong.

	Sungnyemun Gate Dancheong	Samples after artificial weathering test
Microcrack
Crack development
Desquamation
Peeling off

발생하는데 이는 교착제 교차 사용 여부로 판단된다. 포수부터 주홍 채색까지 아교만 사용한 11번 시편에서 일부 손상되어 목재 층이 노출된 것으로 확인되었으나 9번 시편과 비교하였을 때 그 손상정도는 심각하지 않은 것으로 확인되었다. 9번 시편의 경우, 아교·육색과 아교·주홍이 하나의 층으로 박락되었고, 11개의 시편에서 손상 정도가 가장 심각한 것으로 확인되었다.

축진내후성시험 전과 후의 시편 색차(ΔE)를 비교·평가하였다(Figure 3). 그 결과 색상별로 보았을 때 색차는 육색이 가장 크고 뇌록, 주홍 순으로 확인되었다.

육색의 경우, 4개의 시편 모두 뇌록과 주홍과는 달리 매우 높은 색차가 발생하였고, 이는 실제로 육안 상으로도 육색이 탈색되어 기존의 색상과 확연하게 달라진 것이 확인되었다. 색차는 56부터 69까지 측정되었고, 이는 색차 범

위에서 다른 계통의 색으로 분류된다. 본 실험에서 옥색은 장단과 호분을 혼합하여 색상을 제작하였고, 장단의 경우 분석 결과에 따르면 탄산칼슘에 발색물질을 이용하여 색상을 제조한 것으로 확인됨에 따라 위에 언급한 것과 동일하게 자외선에 의해 발색물질이 열화되어 탄산칼슘만 남은 것으로 판단된다. 뇌록과 주홍의 경우, 동유를 칠한 표면에 수분이 흡착되어 얼룩이 생김에 따라 색상 차이가 발생한 것으로 판단된다.

축진내후성시험 시편과 승례문 복원 단청의 손상 양상을 비교한 결과는 Table 6과 같다. 시편과 단청의 손상 형태는 크게 미세균열, 균열확장, 박리, 박락으로 분류할 수 있으며, 그 양상이 유사한 것을 알 수 있다. 손상형태는 초기에 미세균열이 발생하고 균열부위가 확장되며, 점차적으로 박리·박락으로 발달하게 된다.

4. 고찰 및 결론

색상별 안료의 성분함량과 조성분석을 통해 승례문에 사용된 안료 원료물질을 분석한 결과 백색안료인 호분과 적색안료인 석간주를 제외하고 모두 인공안료로 확인되었다. 일부 분채안료의 바탕재로 쓰인 탄산칼슘은 이미 발색물질이 안료와 결합되어 있어 그 원료물질을 정확히 판단하기가 어렵다. 또한 승례문에서 박락된 단청 시편의 안료 성분을 분석한 결과, 원료물질의 결과와는 다르게 백색과 옥색에서 지당이 검출되었고, 적색에서 연단이 검출되었다.

교착제 중 아교는 일반적으로 고체 상태에서 중탕가열 시 60℃를 넘어가면 용해되는 특성을 갖고 있으나(Seo, 2007) 본 연구에서는 10개의 시편 모두 60℃ 이상의 온도에서도 용해되지 않는 것으로 확인되었다. 또한 대조군 시편과 비교한 결과, 승례문 채색 시편의 경우, 아교가 아닌 다른 교착제가 사용되었을 것으로 판단된다.

축진내후성시험 결과, 전체적으로 도막 층이 두꺼워짐에 따라 박리·박락 발생률이 높고, 다른 물성의 교착제를 교차하여 사용하였을 때 박리·박락 발생률이 높은 것으로 확인되었다. 시편은 초기에는 잔 균열이 발생하고, 풍화가 지속됨에 따라 균열 부위가 확장되며 터짐에 따라 최종적으로 박리·박락이 발생된다. Table 6에서 제시한 바와 같이 축진내후성시험 시편에서 발생한 손상 양상과 승례문에서 발생한 손상 양상을 비교하면 그 형태가 유사한 것을 알 수

있다. 색상 변화의 경우, 장단과 호분을 혼합하여 채색한 옥색에서 다른 계통의 색으로 확인되었고, 이는 장단 안료가 자외선 조사로 인해 탈색된 것으로 판단된다.

손상이 확인된 시편은 채색 순서로 2, 4, 8, 9번으로 4개 시편의 공통점은 단청 채색 시 교착제를 교차하여 제작하고, 육안으로 보이는 바깥층이 아교로 제작되었다는 점이다. 아교와 합성수지는 건조·고화 밀착되면서 연속적인 피막을 형성하지만 두 재료는 건조속도, 광택, 굳기, 내구성 등의 성질이 다르다. 이러한 차이로 인해 형성된 피막 층은 물성차이를 보이며, 박리·박락의 손상으로 이어지게 된다. 아교를 칠하고 그 위에 합성수지를 도포할 경우, 상대적으로 안정하지만 합성수지 위에 아교를 도포할 경우 상이한 2개의 피막이 형성되면서 전자에 비해 그 손상이 더 급격하게 발생하게 된다. 승례문 단청의 박리·박락은 이러한 요인으로 인해 손상이 발생된 것으로 판단된다.

본 연구는 목재, 안료의 요인을 제외하고 교착제의 시공 방법에 따른 손상 원인 규명을 연구 범위로 설정하였기에 차후 목재 및 안료와 단청 손상과의 관계 해석을 위해서는 차후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Kim, D.R., 2014, A study on dancheong technique for conservation of traditional wooden architecture in Korean. Master thesis, Konkuk University, Seoul. (in Korean with English abstract)
- Oh, J.S., Kawanobe, W., 2005, Influence of mechanical properties of painting layers and priming methods to weathering resistance of danchung. Journal of conservation science, 17, 19-32. (in Korean with English abstract)
- Park, J.H., Jeong, S.H., Kim, I.J. and Chung, Y.J., 2013, A study on the film performance by physical properties of gelatin(glue) in dancheong. Journal of conservation science, 29, 25-33. (in Korean with English abstract)
- Park, J.J., 2013, Find Happiness at work. The monthly electric engineers, 370, 18-19. (in Korean)
- Seo, S.H., 2007, A study on the pigments binder. Master thesis, Kyonggi University, Seoul. (in Korean with English abstract)