통도사 괘불탱의 채색상태 및 사용 안료의 과학적 분석

이장준 | 안지윤* | 유영미* | 이경민* | 한민수**¹

국립문화재연구소 보존과학연구실

*국립문화재연구소 문화재보존과학센터

**한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과

Diagnosis of Coloration Status and Scientific Analysis for Pigments to Used Large Buddhist Painting(Gwaebultaeng) in Tongdosa Temple

Jang Jon Lee | Ji Yoon Ahn* | Young Mi Yoo* | Kyeong Min Lee* | Min Su Han**¹

Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 34122, Korea

*Cultural Heritage Conservation Science Center, National Research Institute of
Cultural Heritage, Daejeon, 34122, Korea

**Department of Heritage Conservation and Restoration, Korea National University of
Cultural Heritage, Buyeo, 33115, Korea

¹Corresponding Author: dormer@korea.kr, +82-41-830-7381

초록 본 연구는 양산 통도사 괘불탱의 손상 및 채색 상태 유형에 대한 자료를 확보하고, 비파괴 방법과 박락된 시편의 교차분석을 통한 채색 안료의 종류를 밝혀내고자 하였다. 괘불탱의 손상 유형을 확인한 결과, 꺾임과 접힘, 들뜸, 결실, 박락 등이 관찰되었다. 채색 안료 분석 결과, 적색 계열의 안료는 연단과 진사, 유기 안료가 사용되었고, 녹색 안료는 공작석과 염화동(녹염동광)을 사용하였으며, 청색 안료는 석청과 군청, 백색 안료는 연백과 활석을 혼합하여 사용하였다. 또한, 황색 안료는 연백과 유기 안료를 혼합하여 사용하거나 연백 위에 유기 안료를 덧칠하였으며, 흑색 안료는 먹을 사용했을 것으로 추정된다. 박락된 시료를 수습하여 안료의 입자상태 분석을 통해 녹색안료의 결정형을 쉽게 구분할 수 있었으며, 진한청색과 연한청색도 마찬가지로 입자의 크기나 형태가 원료의 상이함에 따라 서로 다를 것을 확인하였다. 또한, 황색과 자색은 입자감이 없는 유기안료를 사용하였으며, 특이하게 어두운 적색은 주황색과 먹을 혼합하여 사용한 것으로 확인되었다.

중심어: 통도사, 괘불, 비파괴 분석, 무기안료, 유기안료

ABSTRACT The purpose of this study is to reveal that coloring status and the degree of damage and the kinds of pigments used in large buddhist painting (Gwaebultaeng) of Tongdosa temple using a scientific analysis methods. It was observed that the physical damage patterns of the Gwaebultaeng were folding, lifting, fading, and peeling. Lead red, cinnabar and organic pigments were used as red pigments. Malachite and atacamite were used as green pigments, azulite and lazulite were blue pigments, lead white and talc were white pigment. It is estimated that overlapping organic pigments on the lead white were used as the yellow pigment and carbon was the black pigment. Through the analysis of the particle status

of the pigments, it was confirmed that different types of raw materials were used for the green pigment, and the crystal form was easily distinguishable. Also, the dark blue color and the light blue color differed from each other depending on the size and shape of the raw material particles. Yellow and purple colors were organic pigments which did not have a graininess. The yellow and purple colors were organic pigments free from the graininess, and the pigments of dark red pigments was found to be mixed with the orange color pigments and carbon particles.

Key Words: Tongdosa temple, Large buddhist painting(Gwaebultaeng), Nondestructive analysis, Inorganic pigments, Organic pigments

1. 서 론

안료는 고대로부터 벽화나 불화, 패불 등 다양한 회화 문화재 뿐만 아니라 단청이나 공예품에 이르기까지 광범위하게 사용되어 왔다. 특히 안료는 무기 안료와 유기 안료로 나눌 수 있는데, 고대 고분벽화나 사찰벽화 및 회화에 주로 사용된 무기안료는 현재까지 변색하지 않고 잘 남아 있어 연구의 주 대상으로 이용된다(Gettens and Stout, 1966). 일례로 고려 불화에 주사, 석록, 석청 등이 사용되었고, 조선 시대에는 무기안료보다는 식물성 안료가 더 많이 사용되었다(Jeong, 2001a)고 알려져 있다.

이 중에서 패불탱(掛佛幀)은 불교에서 특별한 법회나 의식이 있을 때 사용되는 대형 족자 형태 불화이며, 직물 및 지류 등을 바탕재로 하여 그 위에 안료를 이용하여 채색한 것이다(Lee, 2003). 패불이 언제부터 시작되었는지 정확한 기록이 없어 그 시기를 추정하기는 어려우나 전각 내의 탱화를 야외로 옮겨 사용하던 것에서 의식용 불화를 전담하는 대형불화의 형식으로 발전된 것으로 추정해 볼 수 있다(Jeong, 2001b). 패불은 일반적으로 화기(畵記)가 남아있는데 불화의 명칭과 조성 시기 등이 기록되어 있어서 패불에 대한 다양한 정보를 얻을 수 있다(National Research Institute of Cultural Heritage, 1992). 이러한 패불은 무게나 크기 또는 보관 장소 등의 한계로 인하여 이동에 제약이 있어 지속적이고 체계적인 보존관리가 어려운 실정이다. 야외법회나 전시 등 특정한 목적이 있을 때만 현괘(懸掛)되고, 그 외에는 패불궤 속에 말려진 상태로 장기간 보관되므로 다른 문화재와 같이 자주 모니터링 하는 것이 불가능하다. 그러므로 한 번의 조사가 이루어질 때 면밀하고 정확한 조사와 기록이 요구되며, 이를 위해서는 과학적인 방법 및 장비를 활용한 조사가 함께 이루어져야 할 필요성이 있다.

우리나라에서 안료의 사용에 관해 확인된 것은 고구려 고분벽화에 그을음과 적철석, 녹토, 침철석 등이 사용

(Mazzeo *et al.*, 2005)된 것을 시작으로 고성 옥천사와 하동 쌍계사에 있는 불화 안료 분석(Han and Hong, 2003; Moon *et al.*, 2004), 패불안료 분석 연구(Yu *et al.*, 2007), 초상화와 기록화 등 회화문화재에 사용한 안료 분석 연구(Moon, 2010)에 이르기까지 다양한 채색 문화재에 사용된 안료가 과학적으로 분석되고 있으며, 최근에는 문화재청에서 사찰소장 대형 불화에 대한 조사연구를 통해 지속적으로 패불탱의 안료에 대한 연구가 진행 중이다.

본 연구는 통도사에 소장되어 있는 보물 제1351호 <통도사패불탱>에 대해 과학적 조사 및 분석을 실시하고, 이를 통해 보존 상태와 채색 안료 등에 대한 결과를 바탕으로 향후 대상 패불의 보존·복원방안 연구 및 안료의 시대별 제작특성의 학술연구를 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구재료

본 연구의 분석대상인 <통도사패불탱>은 예배용 불화로 조선 시대인 1792년 조성된 것으로 전해오고 있으며, 2002년에 보물 제1351호로 지정되었으며, 현재 경남 양산시 통도사 정보박물관에 보관되고 있다. 족자(簇子) 형태로 전체 크기는 세로 1177 cm×가로 553.8 cm, 화면 크기는 세로 1101 cm×가로 521 cm이며, 전체적인 화면 구성은 연꽃 가지를 든 보살형의 모습을 화면에 가득 차게 그렸다(Figure 1A). 그림에 대한 내력을 적어 놓은 화면 하단의 화기 기록에 의하면, 조선 정조 16년(1792)에 22명의 화승이 참여하여 조성되었음을 알 수 있다(Cultural Heritage Administration, 2017). 또한, 뒷면 배접지에는 Figure 1의 우측 사진(Figure 1B)과 같이 과거 보존처리 후 적어 놓은 범자와 보수 연화질(緣化秩)이 기록되어 있는데, 이 내용을 통해 1994년에 보존처리가 이루어졌음을 확인할 수 있다

(Cultural Heritage Administration and Research Institute of Sungbo Cultural Heritage, 2015).

2.2. 연구방법

괘불탱 조사는 먼저 현장에서 보존 상태 조사 및 손상지도 작성, 채색 상태, 안료의 입자 크기, 혼색 여부 등을 확인하기 위하여 고성능멀티디지털현미경(High Performance Multi Digital Microscope, DG-3, Scala, Japan)을 이용하였다. 또한, 휴대용 X-선형광분석기(Handheld Fluorescence Analyzer, Delta Professional, Olympus, USA)을 이용하여 주요 검출 원소를 확인하였으며, 이 결과를 참고하여 채색안료의 종류를 추정하였다. 수습된 색상별 안료는 광학현미경(Optical Microscope, Axiotech 100HD/Progress3012, Carl Zeiss, Germany)을 이용하여 안료 입자의 부착 상태

와 색상 등을 관찰하였으며, 일부 박락편은 에폭시 수지에 마운팅한 후, 연마지 및 광택지를 이용하여 표면을 경면으로 가공하여 채색층위에 대한 상태를 관찰하였다. 또한, 안료 입자의 형태를 보다 자세히 관찰하고, 혼색층에 대한 입자별 성분을 정확하게 판단하기 위하여 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-IT300, Jeol, Japan)과 주사전자현미경에 부착된 에너지분산형X-선분광분석기(Energy Dispersive Spectrometer, X-MAX^N, Oxford, England)를 이용하였다. 추가적으로 결정구조 분석을 통한 안료 원료 물질을 확인하기 위하여 다목적고분해능X-선회절기(Multi Purpose X-ray diffraction, Empyrean, PANalytical, Netherlands)를 이용하여 안료의 결정구조를 확인하였으며, High resolution Pixel 3D-256ch Detector와 Cu Target을 이용하여 40 kV, 40 mA, 5°~80°까지 분석하였다.

Figure 1. The Large Hanging Buddhist Painting in Tongdosa temple(Treasure No. 1351; A: Front, B: Back) (Source: Cultural Heritage Administration and Research Institute of Sungbo Cultural Heritage, 2015).

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 보존상태 조사

통도사괘불탱에서 관찰되는 손상상태 유형을 바탕으로

손상지도(Figure 2A)를 작성해 본 결과, 바탕섬유가 전체적으로 열화되어 바스라지는 상태였으며, 화면에서 관찰되는 상태 유형은 꺾임(Figure 2B), 접힘(Figure 2C), 들뜸(Figure 2D), 박락(Figure 2E, 2F) 등의 물리적 손상과 얼룩(Figure 2G, 2H) 및 곰팡이 흔적 얼룩(Figure 2I), 이물

Figure 2. Weathering damage map and investigation of situation for Tongdosa Gwaebultaeng. (A: Weathering damage map, B: Crack, C: Crease D: Lifting E: Crack, E, F: Exfoliation, G, H: Stained, I: Mold stain, J: Foreign, K, L: Previous treatment of loss parts, M: Condition of mounting).

질 부착(Figure 2J), 과거에 이루어진 보수 부분(Figure 2K, 2L)이 있다.

화면 가로썬임 현상이 가장 두드러지는 손상형태로 괘불에서 전체적으로 관찰되었는데, 꺾임이 있는 부분에서 꺾임으로 인한 결실, 들뜸, 박락 등의 2차 손상이 함께 발생함을 확인할 수 있다. 이는 주로 족자형식에서 나타나는 손상형태로 장시간 말아서 보관하거나 말고 펴는 과정이 반복되어 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

안료 손상은 화면 꺾임과 함께 두드러지는 손상형태로 화면 전체적으로 균열, 박락, 들뜸, 굵힘 손상이 있으며, 특히 적색, 녹색, 청색, 백색에서 심하게 나타났다. 물리적인 손상 이외에 습해로 인한 얼룩 및 안료 번짐 및 갈색 반점 얼룩, 과거 곰팡이가 발생한 것으로 추정되는 얼룩, 표면 이물질 부착 등이 화면 부분적으로 관찰되었다. 우측 회랑에서는 갈색 얼룩이 규칙적으로 관찰되었는데, 이는 말려있을 때 습해를 입은 부분이 시간이 지나면서 갈변한 것으로 추측된다.

괘불의 상단 장황부분은 상축과 화면 연결 부분의 접착력이 약화되어 종이가 뜰며 갈라졌고(Figure 2M), 화면 결실,

들뜸, 안료 박락, 연결부 이음실 손상이 있는 상태였으며, 하단 장황부분은 약간의 화면 손상이 있으나 비교적 안정적인 상태였다. 백색과 녹색의 테두리 회랑부분은 화면 결실, 들뜸, 안료 박락 등이 관찰되었다. 과거 보수는 화면이나 안료 결실부에 비슷한 색상으로 채색하여 색 맞춤 처리를 하였다. 별도 보강처리 없이 노출된 바탕화면 직물이나 배접지 위에 바로 채색하였는데, 전반적으로 결실부 외에 본래 화면에까지 채색이 번져있는 형태로 보수되었다.

3.2. 채색 안료 추정 분석

통도사괘불탱의 채색 안료 분석은 총 90지점에 대해 현장에서 디지털현미경과 휴대용X선형광분석기로 상태와 주요성분을 분석하였다(Figure 3A). 또한, 박락된 시편이나 괘불체 안에서 수습한 시편 14점에 대해서 실험실에서 정밀분석을 실시하여 비파괴 분석 결과와 교차분석을 실시하였다. 본 논문에서는 중복된 색상과 결과를 제외하고 주요 색상에 대한 20지점의 표면 상태 및 주요 검출 원소를 소개하였으며(Figure 3), 수습한 시료 6점의 정밀 분석 결

Figure 3. Analytical points of XRF for Tongdosa Gwaebultaeng.

Table 1. Results of XRF analysis of pigments for Tongdosa Gwaebultaeng

Color group	No.	Major elements	Estimation of pigment
Floor surface	-	Cl, Ti, Ca, Zn	-
Back ground	-	Ca, Cl, Al, Pb	-
Red	1	Pb	Minium
	2	Hg, S, Pb	Cinnabar
Reddish purple	3	Ca	Organic pigment
	4	Ca	Organic pigment
Green	5	Cu	Malachite
	6	Cu	Malachite
	7	Cu, Cl, Si, Al	Atacamite
	8	Cu, Cl, Si, Al	Atacamite
Blue	9	Cu, Si, S	Azurite
	10	Cu, Si, S	Azurite
	11	Cu, Si, S	Azurite
	12	Si, Fe, Al, S	Ultramarine Blue
Yellow	13	Au	Gold
	14	Pb, Mg	Lead White, Talc
White	15	Si, Pb, Mg	Lead White, Talc
	16	Si, Pb, Mg	Lead White, Talc
	17	Si, Pb, Mg	Lead White, Talc
Black	18	Pb, Cl, Al, Ca	Carbon
	19	Pb, Cl, Al, Ca	Carbon
	20	Pb, Cl, Al, Ca	Carbon

과에 관해 기술하였다.

통도사괘불탱에 사용한 채색 안료의 분석에 앞서 XRF에서 조사된 X-ray가 투과하여 안료 표면 성분 이외의 바탕층과 바닥면 성분까지 검출되는 것을 고려하여 괘불탱이 누워 있는 바닥면과 채색되지 않은 바탕층을 분석하였다. 그 결과, 바탕층의 주요 검출 원소는 미량의 칼슘(Ca)과 염소(Cl), 알루미늄(Al), 납(Pb)이 검출되었으며, 바닥면은 염소(Cl)와 티타늄(Ti), 칼슘(Ca), 아연(Zn)이 검출되어 이를 참고하여 괘불탱 안료의 종류를 추정하였다(Table 1).

적색 계열의 안료는 밝은 주황과 어두운 적색, 분홍색으로 구분된다. 밝은 주황은 대부분 납(Pb)이 주성분으로 검출되었고(Table 1), 박락된 시편의 XRD 결과에서 연단[Minium, Pb_3O_4]이 동정되었다(Figure 4A). 따라서 밝은 주황빛을 내는 안료는 연단이 사용되었을 것으로 추정된다. 그러나 탁하고 어둡게 보이는 본존 입술에서는 다른 적

색과 달리 수은(Hg)과 황(S)이 검출되어 진사[Cinnabar, HgS]를 사용한 것으로 추정된다. 여기서 납(Pb)이 검출되어 연단을 혼합하여 사용했다고 보는 것보다 석가모니 얼굴 옥색에서 납(Pb)이 주성분으로 검출되는 것으로 보아 옥색에서 기인한 검출 원소로 보는 게 맞을 것이다. 분홍색은 구름 및 대의 의습선에 사용되었는데 규소(Si)나 칼슘(Ca)이 주성분으로 검출되고, 특별한 발색 물질이 검출되지 않은 것으로 보아 유기 안료로 추정된다. 이러한 적색 안료에서 특징적인 것은 도상이나 문양의 중요도에 따라 안료 원료의 차이가 있는 것인데, 원료의 수급이나 가격적인 측면과 화폭의 색감, 신앙적인 의미 등 다양한 이유가 작용하였을 것이다. 일례로 주사는 괘불이나 탱화에서 여래상의 가사나 보살상의 천의와 장식에 자주 사용되었고, 고려 불화에서는 다른 색과 혼합하지 않고 원색을 사용하여 화면에 붉은색의 화려함을 준다(Shin *et al.*, 2005)는 연

구 보고와 마찬가지로 통도사괘불탱에서도 중요한 부위인 여래상의 입술 등에서 주사의 사용이 확인되고 있다. 또한, 신장적인 의미에서는 붉은 색은 악귀를 쫓는 것으로 믿어 왔으며(Jeong, 2001a), 항마적(降魔的) 의미나 신령스러운 의미의 상징성을 더하기 위해(Shin *et al.*, 2005) 중요한 부위에 주로 사용하였을 것이다. 뿐만 아니라 천공개물(天工開物, 中國 明代 宋應星)에 보면 ‘광명, 전두, 경면 등 주사는 가치가 수은의 3배 정도이다’라는 기록에서 보듯이 매우 고가였으며, 석간주가 주사에 비해 수급적인 측면에서 나았을 것이기 때문이다(Yoo *et al.*, 2014). 그러므로 중요한 부위에 진사를 사용하고, 다른 부위는 연단 등을 사용하

였을 것으로 추정된다.

녹색 계열의 안료는 밝은 색상인 구름과 연봉 줄기·앞에서는 구리(Cu)가 주성분으로 검출되었으며(Table 1), 박락된 시편의 XRD 결과에서 공작석[Malachite, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$]이 동정되어 확실한 안료 추정이 가능하였다(Figure 4B). 반면 진한 색상인 두광과 본존 수염, 요의 끝단 등에서 구리(Cu)와 염소(Cl)가 검출되었고(Table 1), 괘불개 안에서 수습된 시편의 XRD 결과에서 구리의 염화 광물인 보탈라카이트[Botallackite, $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$]와 아타카마이트[Atacamite, $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$], 석영[Quartz, SiO_2]이 동정되어 염화동(녹염동광)을 사용한 것으로 추정된다(Figure 4C).

Figure 4. Results of XRD analysis of pigments for Tongdosa Gwaebultaeng. (A: Red, B: Green, C: Green, D: Blue, E: White, F: Yellow).

청색 계열의 안료는 밝은 색상인 보관 장식이나 요의 끝단에서 구리(Cu)가 주성분으로 검출되었으며(Table 1), 패불계 안에서 수습한 시편의 XRD 결과에서 구리의 염기성 탄산염 광물인 남동석[Azurite, $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$]과 구리의 염기성 황산염 광물인 브로칸타이트[Brochantite, $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$], 석영[Quartz, SiO_2]이 동정되어 석청을 사용한 것으로 추정된다(Figure 4D). 반면 어둡고 진한 색상인 두광선이나 신평 당초문, 요의 끝단 등은 규소(Si)와 알루미늄(Al), 황(S) 등이 검출되어 군청[*Ultramarine Blue*, *Lapis Lazuli* or *Lazulite*, $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{S}$]을 사용한 것으로 추정된다.

백색 안료는 모두 납(Pb)과 마그네슘(Mg)이 주성분으로 검출되었으며, 박락된 백색 시편의 XRD 결과에서 염기성 탄산납인 수백연광[*hydrocerussite*, $\text{Pb}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$]과 활석[Talc, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO} \cdot \text{H}_2\text{O}$]이 동정되어 연분과 활석을 혼합하여 사용하였을 것으로 추정된다(Figure 4E). Lee *et al.* (2012)의 순천 송광사 소조사천왕상의 백색 안료에서 활석

이 검출된 사례가 있으나, 패불에서는 아직까지 백색 안료로 활석을 사용했다는 보고가 없어 의미가 있는 분석 결과로 사료된다.

황색 계열 안료는 승각기 연화 장식에서 금(Au)이 주성분으로 검출되어 금박을 사용한 것으로 판단된다. 부처님 얼굴의 황색에서 납(Pb)과 마그네슘(Mg)이 주성분으로 검출되었으며, 박락된 황색 시편의 XRD 결과에서 백색과 동일하게 수백연광[*Hydrocerussite*, $\text{Pb}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$]과 활석[Talc, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO} \cdot \text{H}_2\text{O}$]이 동정되어 백색 안료에 유기 안료를 혼합하여 사용한 것으로 추정된다(Figure 4F).

흑색의 경우는 주로 흑색 아래의 바탕층 성분 이외에 별도의 성분이 검출되지 않은 것으로 보아 탄소(C)성분이 주 구성 성분인 먹(墨)을 사용하여 채색된 것으로 추정된다.

3.3. 안료 입자상태 분석

광학현미경과 전자현미경을 이용하여 박락된 안료의

Figure 5. Microphotographs and elements mapping images of pigments using a optical microscope($\times 100$) and SEM-EDS. (A): Green pigment(Malachite), B: Green pigment(Atacamite), C: Elements mapping data of Malachite, D: Elements mapping data of Atacamite).

Figure 6. Microphotograph images of pigments using a optical microscope($\times 100$) and SEM. (A: Blue pigment(OM), B: Blue pigment(SEM), C: Sky blue pigment(OM), D: Sky blue pigment(SEM)).

Figure 7. Microphotograph images of yellow-red pigments using a optical microscope($\times 100$) and SEM. (A: Surface(OM), B: Cross section(OM), C: Particles of yellow-red pigment(SEM), D: Particles of black pigment(SEM)).

미세입자 형태를 관찰하고, 층위별 구성성분을 분석한 결과, 같은 색상이라도 채색 위치에 따라 안료 광물의 종류가 달라 특정 광물의 입자 형태와 결정 형태가 잘 나타났다. Figure 5에서와 같이 녹색 안료는 석록으로 색상이 다른 크고 작은 입자가 혼재하여 있으며, 염화동(녹염동광) 입자가 소량 포함되어 있고, 주상의 결정들이 붙어있는 형태이다. 그러나 점성선으로 보이는 녹색 안료는 염화동(녹염동광)으로 석록에 비해 상대적으로 광학현미경에서 입자

의 형태나 색상이 거의 유사하며, 입자의 크기가 크고, 뭉쳐져 있는 형태이다. 또한, 결정 형태는 직육면체의 입자들이 나선형으로 뭉쳐져 꽃(flower) 모양을 하고 있다. Figure 6의 청색 계열 중에서 진청색은 무정형의 크고 작은 입자가 혼재되어 있으며, 연한 청색(삼청)은 상대적으로 작게 부서진 각형 입자들로 구성되어 있다. 적색 안료는 일반적으로 진사나 연단에서 나타나는 특징을 보인다. 다만 Figure 7에서와 같이 통도사괘불탱 적색과 주황색이 섞여있는 것

Figure 8. Microphotograph images of pigments using a optical microscope($\times 100$) and SEM. (A: White pigment(OM), B: White pigment(SEM), C: Yellow pigment(OM), D: Yellow pigment(SEM), E: Reddish purple pigment(OM), F: Reddish purple pigment(SEM)).

으로 보이는 시료는 실제 광학현미경 상에서 주황색 안료에 검정색 입자가 혼재되어 진한 적색으로 보인다. 이들 입자에 대해 성분 분석결과, 주황색은 연단(Lead red)이었고, 중간에 혼재되어 입자 사이를 메우고 있는 검정색 입자는 탄소(carbon)만이 검출되어 먹으로 추정된다. 이러한 결과는 괘불과 같은 불화에서 일반적으로 진한 적색 또는 적갈색에 석간주가 많이 사용된 것으로 지금까지 많이 보고된 사례에 비추어 본다면 특이한 분석결과이다. 나머지 색상의 안료는 Figure 8에서 볼 수 있듯이 백색은 미립의 입자로 이루어진 연백(Lead white)이며, 토양성 입자들이 일부 포함되어 있다. 황색과 자색은 모두 유기 안료로 판단되는데 황색의 경우, 두꺼운 층을 형성하고 있으나 실제 SEM-EDS 분석에서 전형적인 연백 성분과 입자 특성을 보이는 것으로 보아 백색 안료층 위에 황색의 유기 안료를 덧칠한 것으로 판단된다. 반면 자색은 바탕 안료 층이 없으므로 광학현미경상에서 색상을 떠나 SEM-EDS 분석에서 입자가 발견되지 않고, 전 섬유의 조직만이 보이며, 특정 성분 또한 검출되지 않았다.

4. 결 론

통도사에서 소장 중인 <통도사괘불탱>에 대해 손상 및 채색상태 유형에 대해 조사하고, 사용된 안료의 원료 물질을 과학적으로 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫 번째로 상태조사 결과, 과거 1994년 보수한 기록이 있지만 상·하단 장황 형식이나 축, 고리 등의 부속 재료가 그대로 사용되어 18세기 괘불의 장황 형식을 일부 확인 할 수 있었다. 바탕 화면은 전체적으로 섬유가 바스러지는 열화 상태를 보였으며, 하단 부분에 비교해 상단 부분에서 손상이 더 집중적으로 관찰되었다. 괘불에서 주로 나타나는 물리적 손상 형태인 꺾임, 접힘, 들뜸, 결실, 박락 등의 현상과 함께 습해 얼룩, 표면 이물질 부착, 과거에 이루어진 보수 부분 등도 관찰되었다.

두 번째로 안료의 주요 검출 원소와 결정 구조 분석을 통해 적색 계열의 안료는 연단과 진사, 유기 안료가 사용되었고, 녹색 안료는 공작석과 염화동(녹염동광)을 사용했을 것으로 추정된다. 또한, 청색 안료는 석청과 군청, 백색 안료는 연분과 활석, 황색 안료는 백색 안료(연분+활석)에 유기안료를 혼합하거나 연분 위에 유기 안료로 덧칠하였으며, 흑색 안료는 먹을 사용했을 것으로 추정된다.

세 번째로 안료의 입자 상태 분석을 통해 녹색 안료인

공작석과 염화동(녹염동광)의 결정형을 구분할 수 있었으며, 진한 청색과 연한 청색도 마찬가지로 입자의 크기나 형태가 원료의 다름에 따라 서로 상이함을 확인하였다. 또한, 황색과 자색은 입자감이 없는 유기안료를 사용하였으며, 특이하게 어두운 적색은 주황색과 먹을 혼합하여 사용한 것으로 확인되었다.

결론적으로 통도사괘불탱은 같은 도상에서 동일 색상이라 할지라도 여래상의 가사나 보살상의 천의와 장식 등 문양의 중요도에 따라 그 사용 안료의 원료가 달랐음을 알 수 있으며, 이러한 과학적 조사 분석을 통해 축적된 자료는 향후 대상 괘불의 장기적 보존 방안 및 학술 연구를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 2015년도 문화재청 국립문화재연구소 문화유산 융복합연구(R&D)사업의 지원을 받아 이루어졌으며, 행정적 및 재정적 지원에 깊이 감사한다.

REFERENCES

- Cultural Heritage Administration, 2017, Treasure No. 1351 Tongdosa Gwaebultaeng. <http://www.cha.go.kr/> (August 23, 2017)
- Cultural Heritage Administration and Research Institute of Sungbo Cultural Heritage, 2015, Research report of large buddhist painting: Gwaebultaeng Treasure No. 1351 Tongdosa Gwaebultaeng, 19-21. (in Korean)
- Gettens, R.J. and Stout, G.L., 1966, Painting materials: A short encyclopaedia. Dover Publications, Inc., New York, 91-181.
- Han, M.S. and Hong, J.O., 2003, A study on the analysis of ancient pigments - Focus on the buddha pigments at the Ssanggye temple. Conservation Studies, 24, 131-152. (in Korean with English abstract)
- Jeong, J.M., 2001a, Materials and techniques of Korean painting, color and fill in our pictures. Hakgojae, 23-69. (in Korean)
- Jeong, J.M., 2001b, A study on the Gaebul painting of the late Chosun dynasty. Master's thesis, Hong-ik University, Seoul, 21-25. (in Korean with English abstract)

- Lee, Y.S., 2003, Study on Gwaebultaeng during the latter period of Joseon dynasty. Master's thesis, Dongguk University, Seoul, 1-6. (in Korean with English abstract)
 - Lee, H.H., Park, J.H., Hong, J.O., Ham, M.S., Seo, M.S. and Heo, J.S., 2012, The analytical study of pigments on fourguardian statues in Song-gwang buddhist temple in Suncheon - Focusing on pigments of Virupaksha -. MUNHWAJAE Korean Journal of Cultral Heritage Studies, 45, 122-147. (in Korean with English abstract)
 - Mazzeo, R., Joseph, E., Minguzzi, V., Grillini, G. and Baraldi, P., 2005, Scientific investigations of the Tokhung-ri mural paintings of the Koguryo era. Democratic People's Republic of Korea, Koguryo Mural Paintings Conservation International Seminar, 3-17. (in Korean)
 - Moon, H.S., Hong, J.O., Han, M.S. and Hwang, J.J., 2004, Scientific analysis of pigments for buddhist ceremonial paintings. Investigation report for hanging paintings of Korea III. National Research Institute of Cultural Heritage, 178-210. (in Korean)
 - Moon, S.Y., 2010, A study of pigments applied on paintings since the mid-Joseon dynasty. Doctor's thesis, Chung-ang University, Seoul, 60-200. (in Korean with English abstract)
 - National Research Institute of Cultural Heritage, 1992, Investigation report for hanging paintings of Korea I, 69-82. (in Korean)
 - Shin, E.J., Han, M.S. and Kang, D.I., 2005, A study on the red painting of stone monuments. Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 38, 362. (in Korean with English abstract)
 - Yoo, Y.M., Han, M.S. and Lee, J.J., 2014, Species and characteristics of particles for traditional red and green pigments used in temples. Journal of Conservation Science, 30(4), 367. (in Korean with English abstract)
 - Yu, H.S., Cheon, J.H. and Park, S.W., 2007, The buddhist hanging scroll at Buseoksa viewed from conservation science, Buddhist hanging scroll at Buseoksa. National Museum of Korea, 37-46. (in Korean)
-