

# 불국사 대웅전 석가모니후불탱화 안료의 과학적 분석

김소진<sup>a</sup>, 한민수<sup>b\*</sup>, 이한형<sup>c</sup>

<sup>a</sup>국립문화재연구소 보존과학연구실, <sup>b</sup>국립문화재연구소 연구기획과, <sup>c</sup>한국전통문화대학교 보존과학과

투고일자 : 2012. 06. 30 · 심사일자 : 2012. 08. 17 · 게재확정일자 : 2012. 08. 27

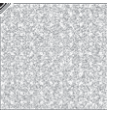
## 국문초록

고대부터 회화·장신구·장식품·무기·일상용품 등에 사용된 안료는 시대·제작기법·문화이동을 확인할 수 있는 중요한 물질로, 우리나라에서는 1963년부터 분석을 통해 안료의 성분을 확인하였으며 최근에는 휴대용형광X선분석기를 사용하여 안료에 손상을 주지 않고 성분분석을 실시하여 고대 안료 물질을 밝히는 연구가 활발히 진행 중에 있다. 그러나 이러한 단편적인 연구로는 시대별, 지역별 안료의 쓰임 및 사용시기를 파악할 수 없기 때문에 안료에 대한 종합적이고 체계적인 연구가 필요한 실정이다. 따라서 이 연구는 조성시기가 전해지는 불국사 대웅전 석가모니후불탱화의 안료를 과학적으로 분석하여 사용안료를 밝히는 한편, 시대와 지역이 비슷한 조선시대 불화 안료와 비교·분석하고자 하였다.

성분분석 결과와 기존의 연구자료를 종합해본 결과, 불국사 대웅전 석가모니후불탱화는 연백을 이용해 배채하였으며, 채색 안료로는 연백, 주사, 연단, 구리 화합물인 석록(혹은 동록, 녹염동광), 철산화물인 석간주 및 금분 등을 이용하여 색을 표현한 것으로 판단된다.

불국사 대웅전 석가모니후불탱화에 사용된 안료들은 전통안료를 혼합하여 사용된 것으로 추정되나 모든 안료에 대해 결정 구조를 분석한 것이 아니므로 명확히 판단하기는 어렵다. 이러한 결과를 통해 향후 회화 안료의 성분 및 제작특성, 특히 조선 시대 불화의 안료에 대한 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

※ 주제어 : 불국사, 탱화, 고대안료, 성분분석, 휴대용형광X선분석



## 서론

인류는 원시시대부터 생존을 위해 또는 어떤 사물을 표현하거나 장식하기 위해 색을 내는 물질(色彩素材)을 사용해왔다. 선사시대부터 동물·식물·광물에서 얻은 천연재료를 회화를 비롯한 각종 장신구·장식품·무기·일상용품 등에 사용하였으며, 이러한 문화재는 그 시대의 역사 및 문화를 밝힐 수 있는 중요한 자료로 연구되고 있다. 색을 내는 물질은 안료(顔料)와 염료(染料)로 크게 나눌 수 있으며, 안료는 다시 무기안료(無機顔料)와 유기안료(有機顔料)로 구분된다. 고대 고분벽화, 사찰벽화 및 회화에 주로 사용된 무기안료는 현재까지 변색되지 않고 잘 남아있어 연구의 주 대상으로 이용된다. 무기안료는 자연에서 존재하는 광석이나 광물로 만든 천연안료(天然顔料)와 금속을 화학적으로 합성한 인공안료(人工顔料)로 나눌 수 있다(Gettens, Stout 1966: 134-135, 160).

전통안료는 고구려 고분벽화, 안악3호분 등의 고분벽화 및 건물 내·외부를 장식하기 위한 건물벽화의 일종인 사찰벽화, 목재의 내구성 향상을 위한 단청 등에서 사용되었지만 그 중 쓰임이 많이 나타나는 것은 회화이다. 특히 회화 중 불교회화(불화)에서 안료의 쓰임이 잘 나타난다.

과학적인 분석을 통한 안료의 연구는 1963년부터 시작되어 안료의 성분 및 그에 따른 시대적 특징에 대해 연구되고 있다. 천연안료에서 합성안료로, 광물성 안료에서 식물성안료로의 쓰임이 많아지는 조선시대 후기의 회화 및 불화에 대한 연구는 2004년 문환석 등에 의해 고성 옥천사, 운흥사 및 산청사 등에서 소장하고 있는 괘불과 하동 쌍계사에서 소장하고 있는 불화의 안료를 자연과학적으로 분석한 것을 시작으로(문환석 외 2004: 187-210, 한민수 외 2003: 131-152), 2005년 유혜선이 『태조어진 안료 분석』(유혜선 2005, 국립전주박물관)에서 이동형X선형광분석기를 이용하여 어진을 구성하고 있는 안료의 성분에 대한 연구를 수행하였다. 또한 한민수 등은 『일월오악도 안료에 대한 과학적 분석』(한민수·홍종욱 2005: 165-182)을 통해 회화에 사용되는 배채, 바탕칠 안료 및 체질안료 사용에 대한

가능성을 언급하였다. 2007년에는 하와이 호놀룰루 박물관에서 소장하고 있는 해악반도도의 안료를 X선형광분석기를 이용하여 색상별 성분 분석을 실시하였으며(김규호 외 2007: 122-147), 2009년에는 『조선시대 기록화 채색안료』라는 연구를 통해 서울역사박물관에서 소장하고 있는 조선시대 기록화의 채색안료를 비파괴 분석방법을 이용하여 체계적으로 정리하였다. 서정호 등은 가평 현등사의 수월관음도를 적외선분광분석, X선형광분석 및 영상현미경을 이용하여 안료의 성분에 대해 연구하였다(서정호 외 2011: 223-229). 국외의 경우 TOF-SIMS(Time-Of-Flight Secondary Ion Mass Spectroscopy)를 이용하여 1641년 Rembrandt van Rijn가 제작한 Nicolaes van Bambseeck의 초상화 안료층의 단면을 분석하여 사용된 안료 및 유기물의 특성에 대해 연구된 바 있다(Jana Sanyova et al., Anal. Chem., 83, 753-760). 이와 같이 비파괴 및 파괴분석을 이용하여 회화 안료에 대한 다양한 연구가 진행되었으나 조성 시기가 전해지는 회화가 많지 않은 관계로 시대별 사용안료에 대한 체계적이고 종합적인 연구가 부족한 실정이다.

본 연구는 조성시기가 전해지는 불국사 대웅전 내 석가모니후불탱화를 대상으로 불화에 사용된 안료의 종류를 자연과학적인 분석 방법으로 규명하여 안료의 성분 및 회화 제작 기법의 연구자료로 활용하고자 하였다.

## 분석대상

불교회화는 용도에 따라 장엄용·교화용·예배용으로 나눌 수 있는데 장엄용 회화로는 건축을 장엄하기 위한 단청, 벽화 등이 해당한다. 교화용 불화는 대중에게 교리를 이해시키고 감동을 주기위한 것으로 팔상도·감로도·경변상도 등이 있으며 예배용 불화는 예배를 위해 그려진 것으로 괘불, 불전의 후불탱화 등이 포함된다(문명대 1993: 150-154; 문화재청·정보문화재연구원 2008: 23).

분석대상인 불국사 대웅전 석가모니후불탱화는 예배용 불화로, 1769년에 조성된 것으로 알려져 있으며 불국사 대웅전 내부에 위치하고 있다(그림 1). 대웅전은



그림 1 불국사 대웅전 석가모니후불탱화 현황

1765년(영조 41)에 중창된 것으로 초석과 기단은 통일신라시대에 쌓은 모습을 유지하고 있으며 내부 중앙에는 목조삼존불이 봉안되어 있다. 삼존불은 석가모니불을 중심으로 좌우에 미륵보살과 제화갈라보살(정과불)이 협시하고 있으며 그 좌우에는 소조로 조성한 가섭과 가난, 두 제자상이 봉안되어 있다. 이 중 삼존불은 「불국사고금창기」에 의하면 1769년(영조 45)에 개금하였다는 기록이 있어 그 이전에 조성된 불상임을 알 수 있다(문화재청·성보문화재연구원 2010: 238). 석가모니후불탱화는 영산회상도를 바탕으로 아미타불, 관음보살, 대세지보살, 약사불과 일광보살, 월광보살이 각각 좌우에 협시한 구도가 일반적이나 불국사 대웅전 석가모니후불탱화의 경우 앞서 언급한 바와 같은 수기삼존(授記三尊)으로 구성되었다. 이러한 배치는 웅진전의 불상배치 및 후불탱화에서 흔히 찾아볼 수 있는 구도이다.

석가모니후불탱화의 안료 분석은 모든 색상을 분류한 후, 안료의 보존상태가 좋고 오염되지 않은 총 7지점을 대상으로 실시하였으며 분석 위치는 <표 1>에 나타내었다.

## 분석방법

석가모니후불탱화를 구성하는 안료의 색상별 성분분석은 휴대용X선형광분석기(Field X-ray Fluorescence Analyzer; F-XRF, Seiko Instruments Inc., SEA200, Japan)를 이용하여 분석하였으며, 분석 조건은 50kV, 200 $\mu$ A, 분석시간은 100sec,

collimator는 2mm를 사용하였다. 그 중 탈락된 바탕 및 적색 시편을 수습하여 에폭시 수지로 마운팅한 후, 연마지 및 광택지를 이용하여 관찰면을 경면으로 가공하였다. 전처리된 각 시편에 광학현미경(Optical Microscope, Carl Zeiss, AxioTech 100HD /Progress3012, Germany)을 이용하여 안료층의 단면을 관찰하였으며 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, Jeol, JSM-5910LV, Japan) 및 부착된 에너지분산형분광계(Energy Dispersive Spectrometer, Oxford 7324, England)를 통해 구성입자의 미세조직 및 구성 안료의 성분을 확인하였다. 다목적고분해능 X선회절기(Multi Purpose X-ray diffraction, PANalytic, Empyrean, Netherlands)를 이용하여 적색 안료의 결정구조를 확인하였으며 분석 조건은 40kV, 45mA 였다. 바탕층에 부착된 유기물에 대한 분석은 적외선분광기(FT-IR Spectrometer, DE/Vertex 70, Bruker, Germany)를 이용하여 실시하였다.

## 분석결과

### 1. 성분분석

불국사 대웅전 석가모니후불탱화의 색상별 분석 위치 및 형광X선분석기로 분석한 결과를 <표 1>에 나타내었다. 거의 공통적으로 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb) 등이 검출되었으며, 다양한 색상을 구현하기 위해 2개 이상의 안료를 사용한 것으로 추정된다.

#### 1) 적색 안료

불국사 대웅전 석가모니후불탱화의 색상별 분석 위치 및 형광X선분석기로 분석한 결과를 표 1에 나타내었다. 거의 공통적으로 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb) 등이 검출되었으며, 다양한 색상을 구현하기 위해 2개 이상의 안료를 사용한 것으로 추정된다.

#### 2) 백색 안료

눈의 흰자 또는 천의의 깃을 표현한 백색 안료의 주성분으로는 납(Pb), 수은(Hg), 철(Fe), 구리(Cu) 등이 검출

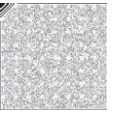



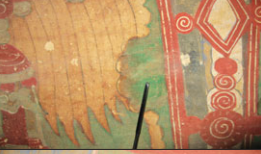
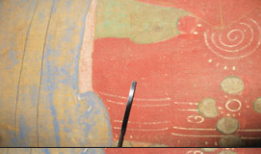
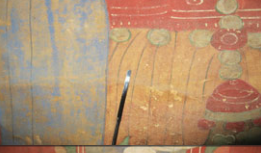
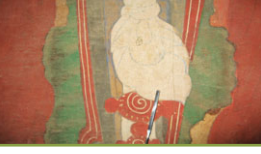


표 1 석가모니후불탱화의 안료분석 위치 및 분석결과

분석위치	색상	주성분	추정안료
바탕		Fe, Cu, Pb	연백[ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ]
청색		Fe, Ni, Cu, As, Pb	석청[ $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ]
금색		Fe, Cu, Au, Pb	금박 또는 금분(Au)
녹색		Fe, Cu, Pb	석록[ $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ] 또는 동록[ $2\text{Cu(CH}_3\text{CO)}_2 \cdot 2\text{Cu(OH)}_2$ ] 녹염동광[ $\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$ ]
적색		Fe, Cu, Pb, Hg	주사(HgS)
육색		Fe, Cu, Mn, Pb	석간주( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 및 연백[ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ]
백색		Fe, Cu, Pb, Hg	연백[ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ]

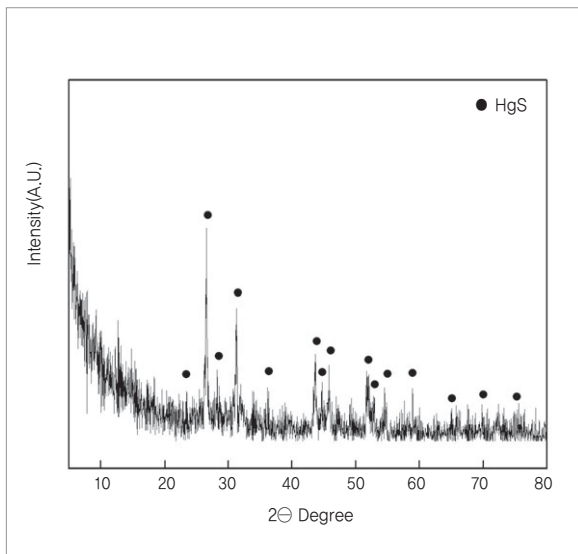
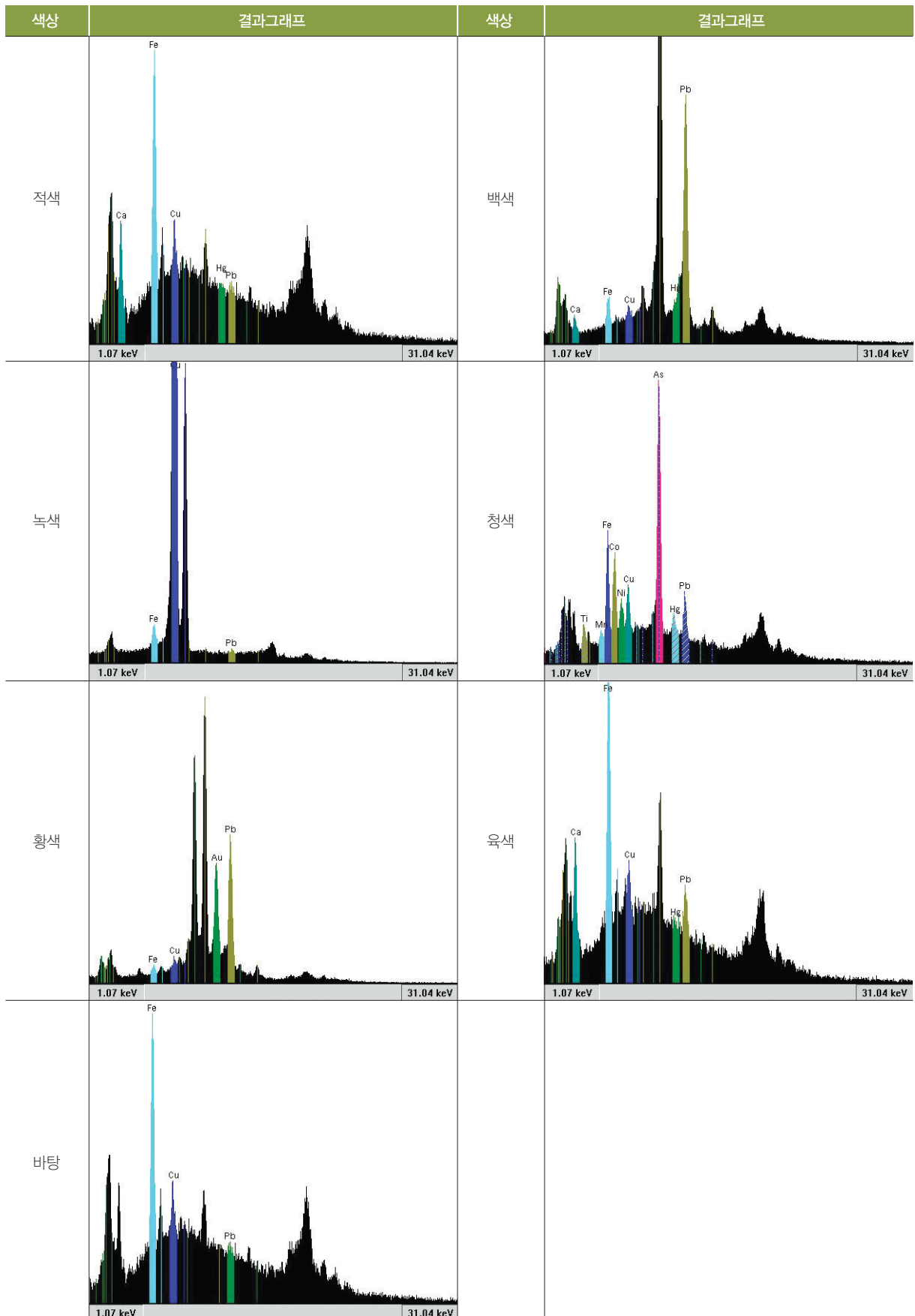


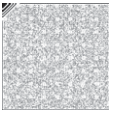
그림 2 적색 안료의 결정구조 분석 결과

되었으며 이를 통해 연백(鉛白)이 사용되었음을 추정할 수 있다. 연백[Lead white,  $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ]은 연분(鉛粉)이라고도 불리는 고대에 인공적으로 만들어진 안료로, 패불·탱화·단청 등에 많이 사용되나 습도나 자외선에 의해 산화되어 암갈색으로 반연(返鉛)된다(한경순 2001: 191~195). 중국에서는 은(殷)·상(尙)시대부터 한(漢)나라 사이에 사용되었으며 그리스 아테네 근처에서 발굴한 B.C. 400년경 도자기, 투르키스탄의 9세기 벽화, 돈황석굴 및 10세기로 추정되는 일본의 벽화에서도 연백의 사용이 확인되었다(한경순 2001: 182). 연백은 현대에도 사용되는 안료이기 때문에 고대안료인지 현대안료인지 구분하는 것은 불가능하다.

표 2 안료의 성분분석 결과그래프







### 3) 녹색 안료

녹색 안료는 두광과 천의에서 많이 사용되었으며 성분 분석 결과 Cu(구리), 철(Fe), 납(Pb)이 주성분으로 확인되었다. 주로 석록(石綠, Malachite)이나 동록(銅綠), 녹염동광(綠鹽銅鑛, Atacamite,  $Cu_2Cl(OH)_3$ )을 사용한 것으로 추정된다. 석록  $[2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2]$ 은 녹청(錄淸) 또는 대록(大綠)으로 불리며 남동석(藍銅石)과 거의 똑같은 특성을 가지는 광물로, 남동석과 함께 분포한다. 무령왕릉의 석수에 채색된 석록이 가장 이른 시기에 사용된 예로 보고되고 있으며(유혜선 2005: 21), 고구려 고분벽화(안병찬, 홍종욱 2006: 214~215) 및 고아동 고분벽화(문환석 외 2002: 180)에서도 석록이 사용되었을 것이라는 연구결과가 있다. 석록과 조성이 동일한 동록(Verdigris)은 고대에 만들어진 인공안료로 동계 기술 위에 강제로 녹을 생성시켜 얻는다. 녹색 안료의 경우, 결정

분석을 실시하지 않아 정확한 안료 동정이 어렵다.

### 4) 청색 안료

천의를 표현하는데 주로 사용된 청색 안료에서는 구리(Cu), 철(Fe), 니켈(Ni), 비소(As), 납(Pb) 등이 검출되어 석청(石靑)과 연백을 사용한 것으로 추정하였다. 석청  $[Azurite, 2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2]$ 은 남동석으로 주로 벽화에서 많이 확인되며, 패불이나 탕화에서는 석청 외에 코발트 청의 사용도 보고되고 있다(한민수 외 2003: 140).

### 5) 황색 안료

천의의 무늬를 표현하는데 사용한 황색 안료의 주성분으로 금(Au) 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb)이 검출되어 금(Au)이 사용되었음을 확인하였다. 금을 이용하여 회화를 표현할 경우 금을 짚어서 만든 금박이나 가루상태의 금분을 사용한다.

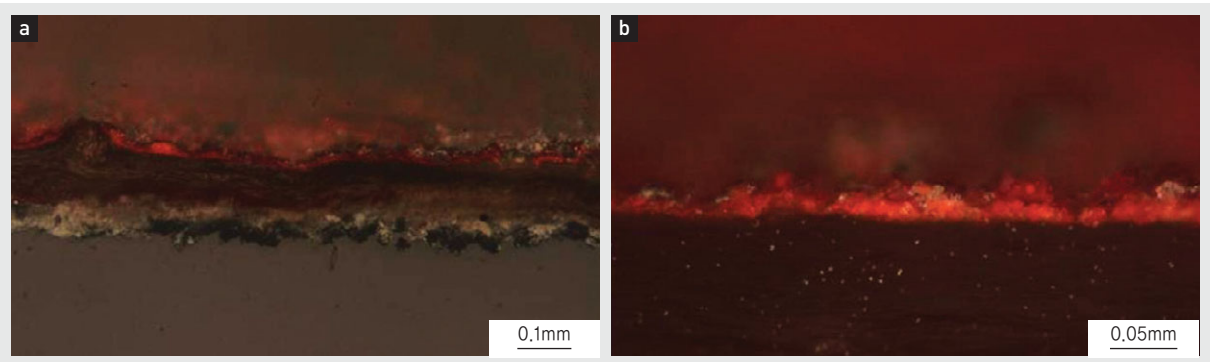


그림 3 적색안료층의 단면 관찰. a. 적색 안료층 단면(적색 안료-비탕 재질-백색 안료로 구분) b. 적색 안료 상세(적색 안료와 주황색 안료로 구분)

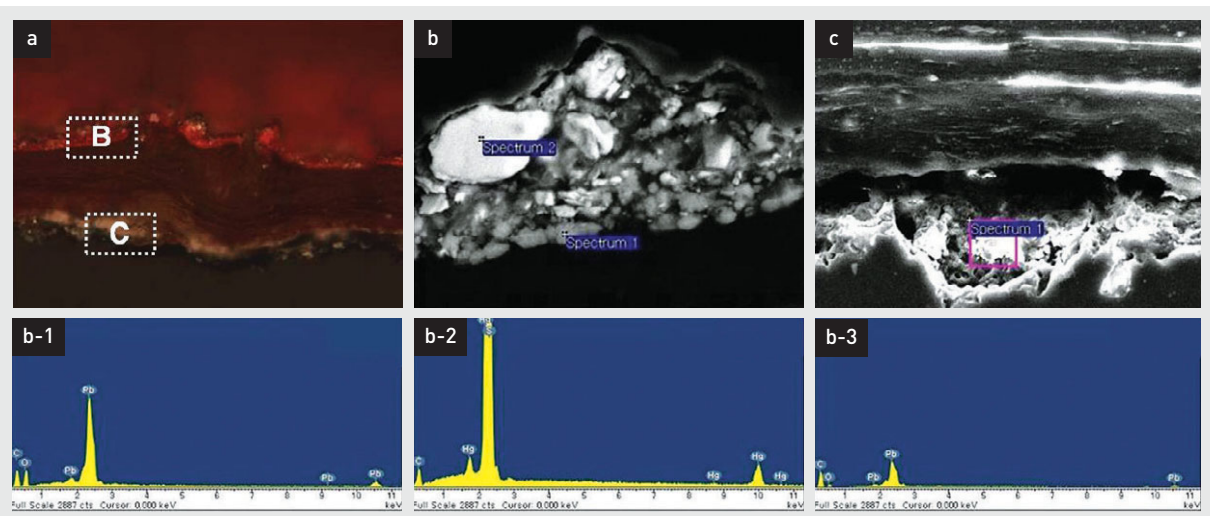


그림 4 적색 안료층의 성분분석. a. 적색 안료층 단면(x50) b. 적색 안료 c. 백색 안료

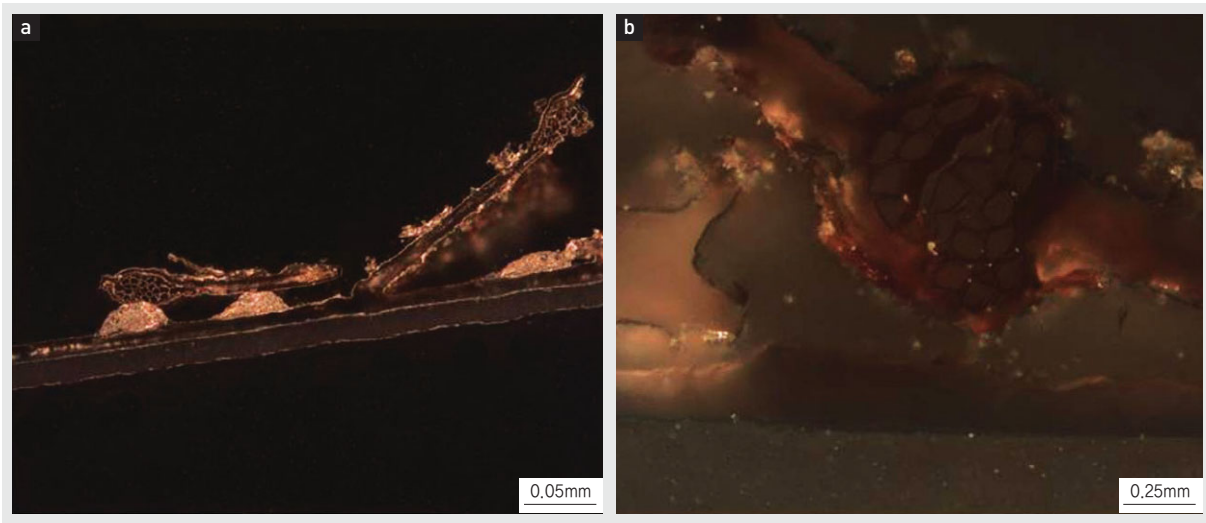


그림 5 바탕층의 단면 관찰. a. 바탕층 단면(암시아, ×20) b. 바탕층 단면(×50)

### 6) 육색 및 바탕층

육색은 혼합하여 도채한 것으로 철(Fe), 납(Pb), 구리(Cu), 망간(Mn)이 주성분으로 검출되었다. 육색은 일반적으로 적색에 백색이나 황색을 혼합하거나 주홍에 진분(호분, 백토)을 섞어 사용하였다(한민수 2011: 285)고 보고되고 있으며 다른 색상(40~50cps)에 비해 철(Fe)의 검출 강도가 높은 것(60cps)으로 보아 석간주(石間硃)와 연백이 혼합되어 사용한 것으로 추정하였다. 안료가 채색되지 않은 바탕층에서는 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb)이 검출되었으며, 이를 통해 바탕칠 또는 배채의 여부를 추정할 수 있다.

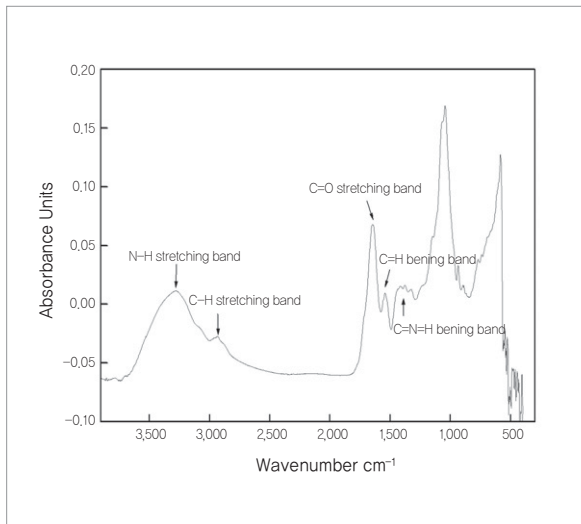
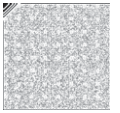


그림 6 바탕층의 성분분석 결과

### 2. 적색 안료층의 단면 관찰 및 성분 분석

일부 박락되어 떨어진 적색 안료 시편을 수습하여 광학현미경을 이용하여 단면을 관찰하였다(그림 3). 적색 안료층은 적색 안료, 바탕 재질 및 백색 안료층으로 구분된다(그림 3a). 적색 안료는 다시 적색과 주황색의 2개의 층으로 구분되며, 적색 안료 입자의 경우 구성입자가 크고 불균일한 반면 주황색 안료는 구성입자가 작고 비교적 균일한 것을 확인할 수 있었다(그림 3b).

광학현미경 관찰을 바탕으로 전자현미경을 통해 안료층의 미세구조 관찰 및 성분을 분석한 결과, 적색 안료는 앞서 성분 분석 시 확인했던 주사(HgS)였으며(그림 4b-1), 주황색 안료는 납(Pb), 탄소(C), 산소(O)가 검출되어 연단(鉛丹, Minium, Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)임을 추정할 수 있었다(그림 4b-2). 기존의 연구결과를 보면 주사는 매우 붉고 밝은 적색인 반면, 연단은 황색입자가 일부 관찰되면서 주황색에 가깝다고 하였다(신은정 외 2005: 376~382, 한민수 외 2011: 144). 광학현미경과 성분 분석결과를 종합해볼 때 석가모니후불탱화에는 주사와 연단이 혼합 사용된 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 혼합 사용은 다양한 색의 표현 및 연단이 흑색의 이산화연(PbO<sub>2</sub>)로 변하는 것을 방지하기 위함(김혜경 2002: 38~39)이라 판단된다. 또한 바탕층 밑에 존재하는 백색의 안료가 연백(鉛白)으로 확인되어(그림 4c-1), 석가모니후불탱화는 배채가 시행되었음을 추정할 수 있다.



### 3. 바탕층의 단면 관찰 및 성분 분석

섬유는 광학현미경을 이용하여 섬유 단면의 형태학적 특징을 관찰하여 구분할 수 있으며 특히 면·모·마·견 등의 천연 섬유는 각각 고유한 형태를 가지고 있어 분석이 용이하다. 채색이 되어있지 않은 바탕층을 광학현미경을 통해 관찰한 결과, 단면이 불규칙한 삼각형임을 확인할 수 있었으며 이를 통해 견을 사용했음을 추정할 수 있다.

박락된 바탕층에 대해 FT-IR을 이용하여 성분 분석을 실시한 결과, 바탕 재질에서 아교의 주 성분인 단백질이 검출되었다. 아교는 색의 고착이나 안료의 박락방지 등에 쓰이는 고착제로, 분석에 사용한 시편에는 채색이 존재하지 않아 아교 포수의 영향임을 추정할 수 있으나 배체 혹은 바탕칠에 의한 것임도 배제할 수 없다.

### 고찰

불국사 대웅전 석가모니후불탱화 안료의 분석 결과를 이용하여 사용된 안료의 추정 및 불화의 제작 기법에 대해 고찰해보고자 하였다.

석가모니후불탱화에 사용된 안료가 비파괴분석이라는 한계로 인해 천연안료인지 합성하여 만든 안료인지 구분하기는 어렵다. 따라서 석가모니후불탱화와 유사한 시기 및 같은 경상도지역에서 조성된 불화의 안료 분석 연구결과(문환석 외 2004: 187~207, 한민수 외 2003: 131~152)와 비교하여 판단하였다(표 3).

1684년에 조성된 산청 율곡사 괘불은 적색 안료로 주사(HgS)를, 녹색 안료로는 화록청( $Cu(CH_2CO_2)_2 \cdot 3CuO(AsO_2)_2$ )과 Paris green( $Cu(C_2H_3O_2)_2 \cdot 3Cu(AsO_2)_2$ )

표 3 조선 후기(17~19세기) 불화 안료의 성분 분석 결과

대상	색상	검출원소	추정안료
산청 율곡사 괘불 (1684년 조성)	적색	Pb, Hg	주사
	녹색	Cu, As	화록청, Paris green
고성 율곡사 괘불 (1684년 조성)	적색	Hg, Pb, S	주사, 연단
	녹색	Cu, As	화록청, 구리산화물
하동 쌍계사 신종도 (1781년 조성)	적색	Pb, Hg	주사
	녹색	Cu	석록 혹은 녹염동광
	백색	Pb, Fe	연백
하동 쌍계사 삼세불화 (1781년 조성)	금색	Au	금분 혹은 금박
	적색	Pb, Hg	주사 및 철단
	주황색	Fe, Pb, Ca	수산화철
	백색	Pb, Fe	연백
	금색	Au	금
고성 옥천사 괘불 (1808년 조성)	군청	Cu	공작석
	청색	Co, Fe, As	담청
	적색	Pb	연단
	녹색	Cu	구리산화물
하동 쌍계사 지장보살도 (1860년 조성)	황색	As, S	석황
	녹색	Cu	석록 또는 녹염동광
	적색	Cu, Fe, Pb	철단
	백색	Cu, Fe, Ca	호분
하동 쌍계사 지장보살도 (1860년 조성)	청색	As, Co, Fe	담청



을 사용하였다(문환석 외 2004: 194~195)고 보고되었으며, 1730년에 조성된 고성 운흥사 괘불은 적색 안료로는 주사와 연단( $Pb_3O_4$ )이, 녹색 안료로는 화록청( $C_2H_3As_3Cu_2O_8$ ) 및 Conicalcite( $CaCu(AsO_4)(OH)$ )가 동정되었다(문환석 외 2004: 196)고 보고되었다.

1781년에 제작된 하동 쌍계사 신중도 및 삼세불화(석가모니후불도)에서는 적색 안료로 주사(HgS) 및 철단( $Fe_2O_3$ )을 사용하였으며, 주황색 안료로는 수산화철( $FeOOH$ )이, 녹색의 경우 석록( $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ ) 또는 녹염동광( $Cu_2Cl(OH)_3$ )으로 추정되는 물질이 사용되었으며 백색 안료로는 연백( $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ )을, 청색 안료로는 담청( $Fe_4(Fe(CN)_6)_2$ )을 사용하여 제작하였다(한민수 외 2003: 131~152)고 보고되었다. 1808년에 조성된 옥천사 괘불에는 적색에는 연단( $Pb_3O_4$ ), 녹색은 석록( $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ ) 혹은 녹염동광( $Cu_2Cl(OH)_3$ )을 사용하였으며, 황색으로는 석황( $As_2S_3$ )을 사용한 것으로 확인되었다. 1860년에 제작된 쌍계사 명부전의 지장보살도는 철단( $Fe_2O_3$ ), 호분( $CaCO_3$ ), 담청( $Fe_4(Fe(CN)_6)_2$ ), 석록( $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ ) 또는 녹염동광( $Cu_2Cl(OH)_3$ ) 등을 사용하였다(한민수 외 2003: 131~152)고 보고되고 있다.

위와 같이 17~19세기 경상도지역의 괘불 및 탕화의 안료 분석 연구에서는 같은 색상, 같은 사찰의 소장 불화라 하더라도 서로 다른 광물을 사용하였으며 고대에 사용한 안료들이 제약적이었다는 것을 언급하고 있다. 이를 통해 1769년에 조성된 불국사 대웅전 석가모니후불탱화도 유사한 안료 위주로 사용했을 것이라 추정할 수 있다.

다음은 분석 결과를 통한 석가모니후불탱화의 제작 방법에 대한 고찰이다. 일반적으로 불화는 비단, 삼베, 모시 등을 바탕 재질로 사용하고 있다. 고려불화의 경우, 현존하는 불화의 모든 바탕이 비단이며, 조선으로 넘어오면서 초기에는 비단 바탕을 사용하다가 점차 삼베, 모시 등으로 바뀌는 것을 알 수 있다(한민수 외 2005: 180). 단면 관찰 결과를 통해 석가모니후불탱화는 비단(견)으로 제작된 것으로 추정되며 이에 따라 바탕 칠 및 배채의 가능성도 고려해야 한다. 배채란 바탕 재질의 앞과 뒷면을 안료로 접착시키는 작업으로, 색채의

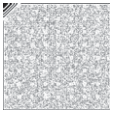
표현이 깊고 화견을 중심으로 앞뒤에서 접착시키므로 서로 끌어당기는 힘이 작용하여 안료의 접착력을 높여 주는 효과를 가져 온다. 이러한 배채는 화견을 사용하는 고려불화와는 달리 삼베를 사용하는 조선시대부터 점차 사라지다가 영·정조 이후 공신도상에서는 전면 배채한 후 부족한 것을 다시 보충하는 기법으로 변화되었다. 이러한 배채는 일본 보도사(寶島寺) 소장의 1588년명 조선불화 삼세보살도에서 확인된 바와 같이 주로 백토( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ )와 황토( $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ )를 아교에 섞어 사용하였다(박지선 1999: 197~201, 한민수 외 2005: 181). 바탕칠은 다른 안료의 발색을 좋게 하며 비단, 삼베의 결을 매워 바탕의 흡수력을 저하시키기 위해 시행하는 것으로 고려불화와 조선불화에서는 거의 행해졌다고 보고되고 있다(정종미 2001: pp.18~27, 박지선 1999: 197~201)

석가모니후불탱화의 적색 시편 단면을 관찰해보면 바탕 재질 하단으로 백색의 연백이 확인됨에 따라 배채의 가능성을 추정할 수 있으며, 안료 및 바탕층에 대해 공통적으로 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb), 비소(As) 등이 검출됨에 따라 바탕칠 역시 시행되었음을 추정할 수 있으나, 바탕칠 여부에 대해서는 추가적인 단면 관찰이나 석가모니후불탱화에 대한 다른 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 결론

1769년에 조성된 불국사 대웅전 석가모니후불탱화의 안료에 대한 과학적 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 다양한 색을 분석하지 못했지만 불국사 대웅전 석가모니후불탱화의 바탕과 거의 모든 안료에 공통적으로 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb), 비소(As) 등이 검출되었다. 이를 통해 바탕 및 배채의 가능성을 추정해볼 수 있다.



2. 성분 분석 결과를 토대로 각 색상별 사용 안료를 추정해 보면, 백색은 연백[ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ], 청색은 석청[ $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ]을 사용한 것으로 추정되며, 황색의 경우 금분 또는 금박(Au)을 사용하였으며 녹색은 석록[ $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ] 또는 동록[ $2\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CO})_2 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$ ], 녹염동광[ $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ]을 사용한 것으로 추정된다. 적색은 비파괴 성분 분석 결과 주사(HgS)만 확인되었으나 박락된 단면을 분석한 결과 주사와 연단( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ )이 검출된 것으로 보아 주사 혹은 주사와 연단을 혼합하여 사용한 것으로 추정된다. 옥색은 석간주( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )와 연백[ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ]을 혼합하여 사용한 것으로 판단된다.

3. 석가모니후불탱화는 다양한 색상을 사용하여 채색되었으며 옥색 등의 다양한 색상을 구현하기 위해 2개 이상의 안료를 혼합하여 사용한 것으로 추정된다.

본 연구를 통해 불국사 대웅전에 위치한 석가모니후불탱화는 고대 전통안료를 바탕으로 채색된 것으로 추정하였다. 조선시대 이후에도 천연안료의 사용이 가능했기 때문에 비파괴분석을 통해 전통안료의 사용을 단정지을 수는 없지만 기존의 연구결과와 불화의 제작연대를 고려해볼 때 가능성이 높다고 판단된다. 이러한 분석 결과를 조선시대 불화 안료에 대한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

---

## 참고 문헌

---

- 서울역사박물관, 2009, 『조선시대 기록화 채색안료』, pp.8~48.
- 신재수, 2009, 「광물성안료의 사용과 우리나라의 역사」 『세라미스트』 12권 4호, pp.98~105.
- 문화재청·성보문화재연구원, 2010, 『한국의 사찰벽화』 38권
- 김원룡·안희준, 2004, 『한국미술의 역사』, 시공사
- 정종미, 2001, 『한국화의 재료와 기법—우리 그림의 색과 칠』, 학교재
- 한민수·홍종욱, 2005, 「일월오악도 안료에 대한 과학적 분석」 『보존과학연구』 26집, 국립문화재연구소, pp.165~188.
- 한민수·홍종욱, 2003, 「고대 안료의 성분분석 연구—쌍계사 탕화 안료를 중심으로」 『보존과학연구』 24집, 국립문화재연구소, pp.131~152.
- 한민수, 2011, 「전통안료에 대한 과학적 분석」 『지류·직물문화재 보존』, 국립문화재연구소, pp.276~289.
- 문환석·홍종욱·한민수·황진주, 2004, 「과불 안료의 과학적 분석 연구」 『과불』, 국립문화재연구소, pp.178~201.
- 유혜선, 2005, 「태조어진 안료 분석」 『왕의 초상』, 국립전주박물관, pp.242~265.
- Rutherford J. Gettens·George L. Stout, 1966, 『Painting Materials: A Short Encyclopaedia』 Dover Publications, Inc., New York
- 서정호·차병갑·정희수, 2011, 「현등사 수월관음도의 안료분석 및 보존방법」 『보존과학회지』 27권 2호, pp.223~229.
- 김규호·송유나·임덕수·송정주, 2007, 「해학반도도 채색안료에 대한 비파괴 특성 분석」 『보존과학연구』 28호, 국립문화재연구소, pp.122~147.
- 문선영, 2007, 「우학문화재단 소장 감로왕도 안료 분석」 『2007년 용인대학교박물관 특별전 문화재 보존 10년』, 용인대학교, pp.207~215.
- 한경순, 2001, 「돈황석굴 벽화안료에 관한 연구 - 안료의 흑변원인을 중심으로」 『한국미술사학회 미술사학연구』, pp.177~197.
- 문선영·유혜선·함승욱, 2009, 「이하응초상 - 금관조복본 - 채색안료의 과학적 연구」 『고문화』 73집, pp.111~134.
- 김혜경, 2002, 「돈황석굴 벽화에 관한 연구 - 안료를 중심으로」 『불교고고학』 2호, 위덕대학교, pp.21~28.
- 한민수, 2011, 「휴대용X선형광분석기를 이용한 통도사 영산전 벽화 안료의 과학적 분석」 『문화재』 44권 3호, pp.132~149.
- 박지희·김소진·김순관, 2011, 「현충사관리소 소장 팔사품도에 사용된 직물·종이·섬유 식별 및 안료 분석」 『보존과학연구』 32집, pp.76~87.
- Michele R. Derrick·Dusan Stulik·James M. Landry, 1999, 『Infrared Spectroscopy in Conservation Science—Scientific Tool for Conservation』, The Getty Conservation Institute
- Jana Sanyova·Sophie Cersoy·Pascale Richardin·Olivier Laprevote·Philipp Walter·Alain Brunelle, 2011, 「Unexpected Materials in a Rembrandt Painting Characterized by High Spatial Resolution Cluster-TOF-SIMS Imaging」 『American Chemical Society』 83, p.753~760.
- 박지선, 1999, 「불화의 과학적 보존관리」 『한국의 불화』 18, 성보문화재연구원, pp.197~210.
- 신은정·한민수·강대일, 2005, 「비석에 칠해진 주사 안료에 관한 연구」 『문화재』 38호, pp.362~382.
- 김영희, 1997, 「고려불화의 재료 및 기법에 관한 연구」 『동양학연구』 2집, pp.233~282.



MUNHWAJAE Korean Journal of Cultural Heritage Studies Vol. 45, No.3, September 2012, pp.212~223  
Copyright ©2012, National Research Institute of Cultural Heritage

## A Scientific Analysis of Pigments for A Scroll Painting in Daeungjeon Hall of Bulguk Temple

Kim, So Jin<sup>a</sup> · Han, Min Su<sup>b\*</sup> · Lee, Han Hyoung<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage · <sup>b</sup>Planning and coordination Division, National Research Institute of Cultural Heritage ·

<sup>c</sup>Dept. of Conservation Science, Korea National University of Culture Heritage

Received : 2012. 06. 30 · Revised : 2012. 08. 17 · Accepted : 2012. 08. 27

### ABSTRACT

Pigments used paintings, ornaments, weapons and various objects have been recognised as important elements to ascertain the history, manufacturing technique and cultural migration. Since the understanding of composition of pigments by analysis began in 1963, its technique and methodology has much advanced in recent years; recent study used the portable X-ray Fluorescence as non-destructive analysis has been practiced in particular. However the study on pigments necessitates overall and systematic research because it is difficult to understand periodical and regional use of pigments, by fractional studies.

Therefore this research investigates the coloring materials and painting techniques of the scroll painting depicting preaching scene of Sakyamuni Buddha in Daeungjeon Hall, a main hall of Bulguk temple, through scientific analysis and comparison of various pigments which had been applied to the buddhist paintings of Joseon Dynasty.

Consequently, it is confirmed that the scroll painting used pigments of white lead[ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ] for ground layer and used mixture of different pigments such as cinnabar ( $\text{HgS}$ ) · minium( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) · malachite( $2\text{CuO} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) · hematite( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) · gold(Ag) for presenting various colors on the painting layer.

It has been also believed that mineral pigments were applied to the scroll painting, yet it is difficult to confirm whether it is natural or synthetic pigments because the crystal structures of pigments were not analyzed. The results of this study, however, provide useful reference data for the understanding of the components of pigments and manufacturing techniques of buddhist scroll paintings, in particular, of Joseon Dynasty.

**Key Words\_** Bulguk Temple, Buddhist Painting, Ancient Pigment, Qualitative Analysis, P-XRF