MUNHWAJAE *Korean Journal of Cultural Heritage Studies Vol. 47. No. 1, March 2014, pp.18~31.*
Copyright©2014, National Research Institute of Cultural Heritage

창녕 관룡사 약사전 단청안료의 과학적 분석

한민수 · 김진형 · 이장존
국립문화재연구소 보존과학연구실

Corresponding Author : Lee Jang-jon, E-mail : jang824@lycos.co.kr

국/문/초/록

관룡사 약사전에 사용된 단청안료에 대해 과학적 분석을 실시하여 사용안료의 종류와 특성을 밝혀내고, 이를 약사전 벽화 뿐만아니라 대웅전 단청에 사용된 안료와도 비교하고자 하였다. 분석결과, 적색과 녹색, 백색계열의 안료는 채색 부위에 따라 전혀 다른 종류의 안료를 사용한 것으로 나타났으며, 여러 가지 색상 구현을 위해 2종류 이상의 안료를 혼합하여 일부 사용하였다. 확인된 안료의 색상별 원료광물은 적색계열의 경우, 진사(Cinnaba)와 연단(Minium), 석간주(Hematite)이며, 백색계열은 합분(Oyster shell white)과 백토(White Clay), 녹색계열은 녹염동광(Atacamite)과 뇌록석(Celadonite)이었다. 또한 흑색계열은 먹(Carbon)이나 카본블랙(Carbon Black), 황색은 황토(Yellow Ocher)이며, 청색계열은 청람석(Lazulite)으로 확인되었다. 이러한 분석결과를 관룡사 내 약사전 벽화나 대웅전 단청에 사용된 안료의 연구결과와 서로 비교했을 때, 전체적으로는 비슷한 원료광물을 사용했으나 녹색이나 백색, 황색 등의 안료들에서 서로 다른 원료광물이 가감되어 사용되었음을 일부 확인하였다. 결국 같은 시기, 같은 사찰내에서도 회화의 종류나 대상건물에 따라 안료의 원료광물은 선택적으로 사용될 수 있다는 것을 보여주는 결과이다.

주제어 관룡사, 약사전, 단청안료, 광물분석, 원료광물

투고일자 : 2013. 09. 25 I 심사일자 : 2013. 10. 17 I 게재확정일자 : 2013. 11. 06

서론

색은 인류가 삶을 영위하면서부터 다양한 곳에 이용되었고, 선사시대부터는 장신구나 회화 등에 발색물질을 사용하여왔다(정종미 2001: 18).

우리가 일반적으로 알고 있는 단청이나 벽화에 사용되는 색물질, 즉 안료(顔料)는 물에 녹지 않는 미세한 발색 물질로, 전색제(展色劑)와 함께 사용되어 채색이 되며, 전색제 속에 용해되지 않고 미립자로 존재한다는 점에서 염료와 대조되는 물질이다(정종미 2001: 18; 이상현 2012: 9). 그러나 이러한 안료중에서 고대에 사용되어 현재까지 남아있는 재료는 광물성 무기안료가 대부분이며, 자연과학적 연구는 주로 이들을 대상으로 이루어진다.

단청(丹靑)이란 오방색(청색, 적색, 황색, 백색, 흑색)을 기본으로 하는 각종 안료를 사용하여 조각이나 공예품 등에 채화(彩畵)하는 것과 서(書), 회(繪), 화(畵)의 개념을 통틀어 일컫지만, 주로 건물의 내외부 목재부, 벽면, 천장면 등에 여러 가지 색으로 무늬를 놓아 그리거나 색칠한 것(임영주 1991: 14; 장기인 1999: 361)이 단청의 일반적인 의미라 할 수 있다. 이러한 단청을 고대 목조 건축물에 주로 실시한 이유는 비바람이나 기후의 변화에 대비한 부재의 풍해와 부식, 건습 등을 방지하고, 내구성을 강화하여 건축물의 수명을 연장하기 위한 것 이외에도 절대 권력의 왕권을 상징하기 위해 궁궐을 장식하거나 종교적 의식을 위한 사원 등의 장엄을 위해서 행해졌다. 또한 목재의 표면에 나타난 각종 옹이나 흠집 등을 감추고 외관의 미려함을 주기 위해서 실시하였고, 일반적인 것과 구분되는 특수 기념비적인 건축물의 전시와 기록을 위한 것(임영주 1991: 17; 곽동해 2002: 120~134, 2001: 11~12) 등 다양한 목적이 있었다.

단청 안료에 사용된 재료는 동식물 등의 유기물을 발색성분으로 하는 안료인 유기 안료보다 무기질의 광물질이나 금속산화물을 더 많이 사용하였다. 이는 유기 안료가 유기용제에는 가용성이나 착색력이 크고 선명도는 우수하지만 내광성이 적고 내열성이 약한 단점이 있는 반면, 무기 안료는 안정성이나 피복력, 내광 · 내열성이 강하고, 각종 용제에는 용해되지 않는 장점이 있기 때문이다(장기인 · 한석성 1998: 75; 곽동해 2001: 115~118). 이러한 무기 안료는 토양이나 광석으로부터 천연상태로 얻을 수 있으며(이상진 외 2007: 2), 대부분이 광물질이다. 물론 이러한 광물질 안료는 인류의 역사가 시작될 무렵부터 사용되었으며, 주사나 석청은 거의 같은 시기인 기원전 3000년경부터 쓰인 것으로 보고(Gettens & Stout 1966: 139~143)되고 있다.

우리나라의 안료의 역사를 보면 고구려 벽화에 주사와 그을음 그리고 황토 등이 사용되었고(Mazzeo et al. 2005: 3~17), 고려 시대에는 주사, 석록, 석청 등의 안료가 불화에 사용되었는데, 거의 모든 여래상에서 가사는 주사로, 대의는 석록으로, 치마에는 석청을 사용하고 있음을 알 수 있다. 하지만 조선시대에는 문인풍 수묵화에 대한 선호도가 높았기 때문에 간편하고 광물성 안료보다 저렴하며 쉽게 구할 수 있었던 식물성 안료를 많이 사용하였다(정종미 2001: 23~25). 이러한 안료의 사용과 더불어 고대 안료에 대한 자연과학적 분석 연구는 이숙연(『고대 단청의 분석학적 연구』, 1963년)이나 John Winter(『한국 고대 안료에 성분분석』, 1989년)에 의해 본격화 되었고, 최근에는 우리나라 사찰벽화 및 건축물에 대한 기록화 사업과 각종 보수사업을 통해 안료에 대한 비파괴적 연구가 폭넓게 실시되어 대량의 정보가 축적되어 활용되고 있다.

본 연구는 고대 단청안료에 대한 과학적 조사 연구와 관룡사 대웅전 단청모사 사업의 추진과정에서 수습된 약사전 내 중요 단청 채색안료를 분석하여 사용안료의 특성을 밝혀내고, 약사전내 벽화안료와 비교하고자 하였다. 또한 현재 같은 시기인 1712년에 중수된 대웅전 단청안료의 비파괴 성분분석 결과와도 그 특성을 비교하여 관룡사내에 잔존하고 있는 고대 안료를 종합적으로 고찰하였다. 이러한 결과는 더 나아가 고대 안료의 특성 분석연구와 보존과학적 처리 등에 활용될 것으로 기대된다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

관룡사 약사전은 보물 제146호로 주심포(柱心包) 건물의 전형을 잘 나타내고 있어 학술적 가치가 매우 크다(창녕군 2001: 15). 조성 시기에 대한 정확한 연대는 알 수 없으나 약사전의 묵적(墨蹟)인 '영화오년기유(永和五年己酉)'와 한국사찰전서(韓國寺刹全書)에 따라 349년 신라 때로 추정할 수 있다(창녕군 2001: 38~39).

이번에 분석된 단청안료의 시대는 약사전의 연혁을 볼 때, 창건 이후 1965년 발견된 대웅전상량문(大雄殿上樑文)의 기록(1401년)과 약사전상량문(藥師殿上樑文)에 기록된 약사전의 재창(再創) 시기(1507년), 이후 조선 영조 5년(1729년) 단청을 했다(창녕군 2001: 39~48)는 것으로 미루어 보아 조선시대 것으로 볼 수 있을 것이다.

약사전의 단청은 여러 번 재단청한 것으로 문양은 모로단청에 속하고(창녕군 2001: 105), 일부 해체보수공사에 따라 정밀실측 조사용역이 실시된 2001년도 보고서(창녕군 2001: 15)에 따르면 익공, 보모리, 운공, 대공 등에는 먹으로 당초문을 그려놓고 마구리면은 초각해 놓은 상태로 외부단청의 무늬는 거의 퇴색하여 서측우주의 익공부분과 남측면의 보뺄목 부분에 일부가 남아있고, 내부 단청은 형태가 대부분 남아 있는 상태라고 기록(창녕군 2001: 93)되어 있었으나, 2010년 조사 당시에는 일부 내부부재에서 퇴색 및 박락현상이 관찰되었다.

분석시료는 대량과 창방 근처에서 박락되어 떨어져 나온 시료들을 수습하여 실험실에서 이물질을 분리한 후 적색계열, 녹색계열, 청색계열, 백색계열, 황색계열, 흑색계열로 그룹화 하고 이를 색상별 차이가 있는 총 14점을 대상으로 하였다. 그러나 안료는 수습편을 이용하였기 때문에 정확히 어느 부분에 사용된 안료인지 세부적인 위치를 제시하기에는 무리가 있다.

추가적으로 관룡사내 사용안료에 대한 비교 대상으로는 먼저 같은 시기에 중수된 대웅전 단청안료(남측 정문 창방, 대방, 중앙 대량, 천장 판자) 분석결과[01]와 약사전 포벽안료(내부 세 벽면과 창방위, 외부 북쪽 벽면과 사방의 창방위) 비파괴 분석자료[02]를 그 대상으로 하였다.

2. 연구방법

안료는 색상별로 대부분 2개 이상의 층으로 구성되어 있고, 각 층은 서로 부착되어 있기 때문에 앞면과 뒷면을 모두 분석하여 실제로 해당 색상의 표면에 나타나는 주요성분과 광물을 서로 비교하여 사용원료를 동정하였다.

표면층의 안료색상과 광물의 분포상태를 자세히 관찰하기 위하여 광학현미경(Optical Microscope, Axiotech 100HD/Progress3012, Carl Zeiss, Germany)을 이용하였으며, 기본적인 색상차 뿐만아니라 입자들이 불규칙적으로 혼재되어 있기 때문에 향후 분석결과와 전자현미경하에서 입자들을 개별적으로 분석할 때 비교자료로 사용하고자 하였다. 주요 구성성분은 비파괴 분석장비인 에너지분산형 미소부 X-선형광분석기(Energy Dispersive Micro X-ray Fluorescence Analyzer, Eagle 3-XXL, EDAX Inc., America)을 이용하였으며, 분석조건은 Rh Target, 40kV, 500㎂, spot size 300㎛이었으며, 분석환경은 경원소 분석에 적합한 진공상태에서 실시하였다. 안료의 광물 조성 및 화학적 성질을 동정하기 위해 X-선 회절분석기(X-ray Diffractometer, EMPYREAN, PANalytical co., Netherlands)로 High resolution Pixel 3D-256ch Detector와 Cu Target을 이용하여 40kV, 40mA, 5°~80°까지 0.026°/

01 문화재청, 창녕군, 2013, 「단청의 과학적 분석」『창녕 관룡사 대웅전 단청모사 보고서』, 보고서 분석자료를 참고하였음.
02 전유근, 김원국, 조영훈, 한두루, 김선덕, 이찬희, 2009, 「창녕 관룡사 약사전 벽화의 안료분석 및 비파괴 훼손도 진단」『보존과학회지』 Vol.25, No.4, pp.383~398. 논문 분석자료를 참고하였음.

sec의 조건으로 벌크(bulk)시료를 그대로 Spinner stage에 올려 분석하였다. 분석된 데이터는 X'Pert HighScore Plus 소프트웨어로 주구성광물을 동정하였다. 또한 안료를 카본테이프에 고정시킨 후 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-5910LV, Jeol, Japan)으로 구성 입자의 형태와 부착상태를 고배율에서 관찰하였으며, 입자별 성분조성을 에너지분산형분광계(Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer, Oxford 7324, Oxford, England)로 확인하였다.

분석결과

약사전 단청안료의 색상별 안료상태 및 성분분석, 결정구조분석 결과를 〈표 1〉에 종합하여 나타내었으며, 원료광물이 확인된 안료의 X-선회절패턴을 〈그림 1〉에 제시하였다. 추가적으로 색상별[03] 광물입자의 형태 등은 〈사진 1〉과 같다.

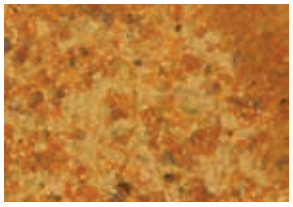
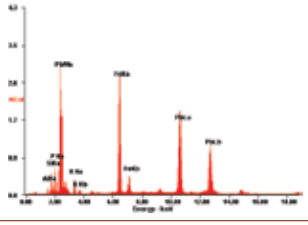
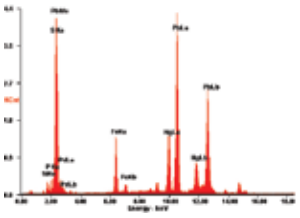
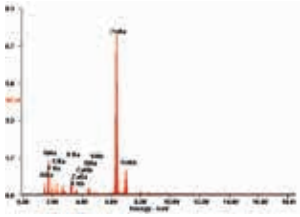
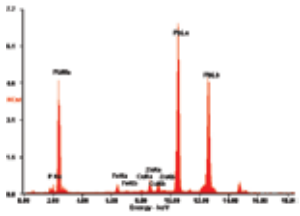
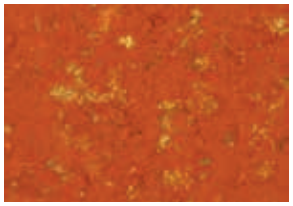
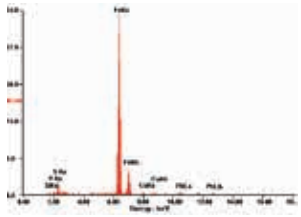
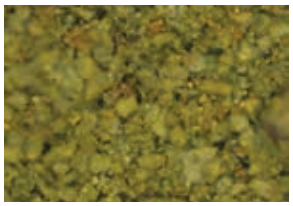
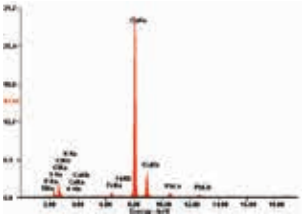
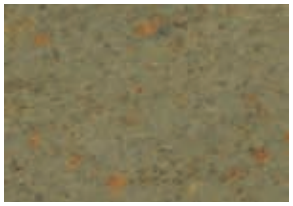
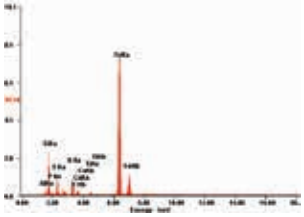
적색계열의 안료(GY-1~5)는 육안과 광학현미경 관찰에서 진적색에서부터 육색에 이르기까지 5가지 색상으로 대별되며, 적색을 띠는 원료광물은 진사(Cinnabar, HgS)와 석간주(Hematite, Fe_2O_3), 연단(Minium, Pb_3O_4) 등 3가지 종류가 모두 사용된 것으로 확인되었고, 이는 일반적으로 고대 안료의 연구결과들(문화재연구소 1994: 165~167; 문환석 외 2002: 165)과 일치한다.

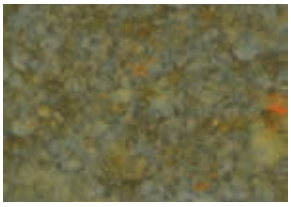
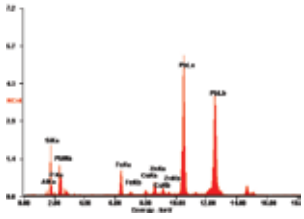
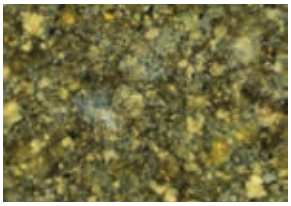
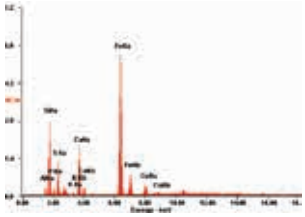
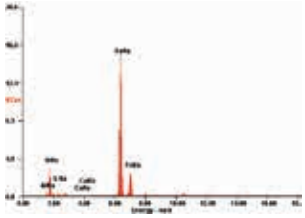
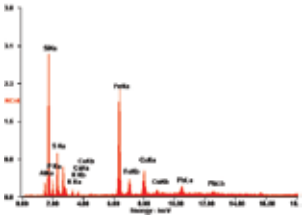
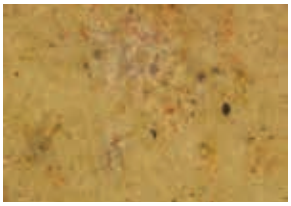
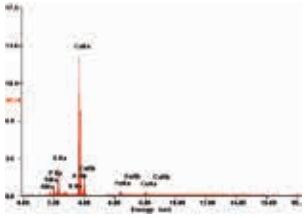
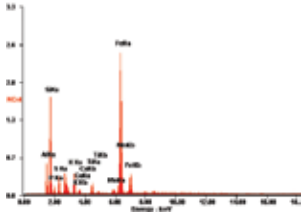
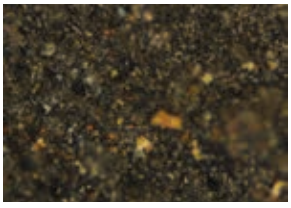
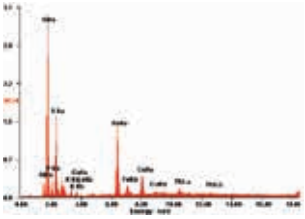
적색을 보다 세분화하여 살펴보면, 진적색은 일반적으로 짙은 적자색으로도 표현되며, 석간주가 주원료 광물로 확인되었다. 이러한 석간주는 주로 단청에 많이 사용되며, 벽화에도 일부 사용되는데 이는 석간주의 사용이 주사를 사용하는 것보다 색상의 구현이나 수급적인 측면에서도 훨씬 유리하기 때문이라는 보고(Gettens & Stout 1966: 118, 한민수 외 2011: 136)와도 관계가 있을 것이다. 반면, 밝은 적색은 진사나 연단을 주로 사용하였다. 특히 진사는 괘불이나 탱화에서도 주로 사용되는 안료(한민수 2011: 283~284)로 붉은 색의 표현이 필요한 여래상의 가사나 보살상의 천의와 장식에 자주 사용되었고(신은정 외 2005: 362~363), 연단은 보다 주황에 가까운 색상을 보이는 안료(GY-4번)에서 확인되었는데 이 또한 기존에 연구결과(신은정 외 2005: 375~382, 한민수 외 2011: 144)와 일치하는 것이다. 육색(GY-1)은 연단에 백색안료인 백토(Kaolin)를 혼합한 것으로 보인다. 이는 전자현미경하에서 안료 입자를 분석한 결과, 길쭉한 직육면체의 입자는 납(Pb)이 주성분이었고〈사진 1-a〉, 혼재되어 있는 백색입자는 백토를 구성하는 원소(Si, Al, K, Fe, Mg)들로 동정되었기 때문이며, 일반적으로 적색에 백색이나 황색을 혼합하거나 주홍에 진분(호분, 백토)을 섞어 사용하였다(한민수 2011: 285)는 연구결과와도 일치한다. 이러한 현상은 연한적색(GY-4)에서도 동일하게 나타나고 있다〈사진 1-b〉. 또한 석간주가 주구성광물인 GY-3과 GY-5는 날카롭게 깨진 입자들이 다량 존재하는데 이는 Si를 주성분으로 하는 석영입자이며〈사진 1-c〉, 석간주 자체가 토양(점토) 등의 주요 구성물질과 공존하여 생성되는 것이 일반적임으로 석영이나 장석 등이 다량 함유된 것으로 판단된다.

녹색계열 안료(GY-6~7)는 녹염동광[Atacamite, $Cu_2Cl(OH)_3$]과 뇌록석[Celadonite, $K(Mg, Fe, Al)_2(Si, Al)_4$]으로 확인되었다. 일반적으로 기존 연구결과(Winter 1989: 5; 김사덕 외 1999: 122~123; 조남철 외 2001: 101; 정종미 2001: 91)들에서도 천연의 광물안료로 이들 안료가 많이 쓰이며, 이외에도 석록[Malachite, $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$]과 사록 등이 있다. 특히 녹토는 단청작업시 바탕재로 사용되는 안료로 잘 알려져 있으며(조남철 외 2001: 97~102), 봉정사 대웅전 후불벽화에서는 녹염동광과 녹토가 쓰였고, 고아동 고분벽화에서 녹염동광 또는 석록이 사용된 예(문환석 외 2002: 168, 180)도 있어 고대 회화작업에 널리 사용된 재료임을 알 수 있다. 약사

03 색상의 명칭은 단청안료의 오방색을 기준으로 옅음('연')과 짙음('진')으로 표시했으며, 색상이 혼합되어 있는 경우에는 두가지 색상명칭을 혼용한 단어를 사용하였음.

【 표 1 】Summary of analysis data for the Dancheong pigments at Yaksajeon Hall

Sample No.	Color	Optical Microscope(X50)	Micro-XRF	M-XRF, SEM-EDS	XRD
GY-1	Red (육색)			Pb≫ Fe, K, Si, Al	Minium (Pb_3O_4),
GY-2	적색			Pb, Hg, S, Fe, Si	Minium (Pb_3O_4), Cinnabar (HgS)
GY-3	적색 (주황)			Fe≫ Si, Al, Na, K	Hematite (Fe_2O_3)
GY-4	적색 (연적색)			Pb	Minium (Pb_3O_4)
GY-5	적색 (진적색)			Fe≫ Na, S, P, Al, Si	Hematite (Fe_2O_3) Minium (Pb_3O_4)
GY-6	녹색 (진녹색)			Cu≫ Cl, S, Pb, Mg	Atacamite [$Cu_2Cl(OH)_3$]
GY-7	녹색 (연녹색)			Fe≫ Si, K, S, Al	Celadonite [$K(Mg,Fe,Al)_2(Si,Al)_4$]

Sample No.	Color	Optical Microscope(X50)	Micro-XRF	M-XRF, SEM-EDS	XRD
GY-8	청색 (청녹색)			Si, Pb, Al, Fe, K, Mg, Na	Quartz (SiO_2) Albite ($Al_1Na_1O8Si_3$)
GY-9	청색 (회청색)			Si≫ Fe, Ca, S, Al, Na	Lazulite $[(Na,Ca)_8(Al,Si)_{12}O_{24}(S,SO_4)]$
GY-10	청색			Fe, Si≫ Al, Na, K, S	Lazulite $[(Na,Ca)_8(Al,Si)_{12}O_{24}(S,SO_4)]$
GY-11	백색 (회백색)			Si≫ Fe, Al, P, K	Kaolinite, $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$
GY-12	백색			Ca≫ Si, S	Calcite ($CaCO_3$)
GY-13	황색			Si, Al≫ Fe, K	Kaolinite $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ Illite $[K(Al_4Si_2O_9)(OH)_3]$ Magnetite(Fe_3O_4)
GY-14	흑색			Si≫ S, Fe, P, Al	Quartz (SiO_2) Albite ($Al_1Na_1O8Si_3$)

전 단청에서 확인된 진녹색을 띠는 녹염동광과 연녹색을 띠는 뇌록석을 광학현미경과 전자현미경에서 보다 자세히 살펴보면 녹염동광 입자는 각이 지고 매우 굵으며, 밝은 녹색의 입자일수록 Cu와 Cl의 함량이 높게 나타났다〈사진 1-d〉. 즉, 불순물이 거의 없는 순수한 Atacamite임을 알 수 있다. 반면, 연녹색의 뇌록석은 입자가 미세하며, 적색이나 녹색, 백색 등의 바탕색으로 주로 쓰였음을 분석결과로 알 수 있다.

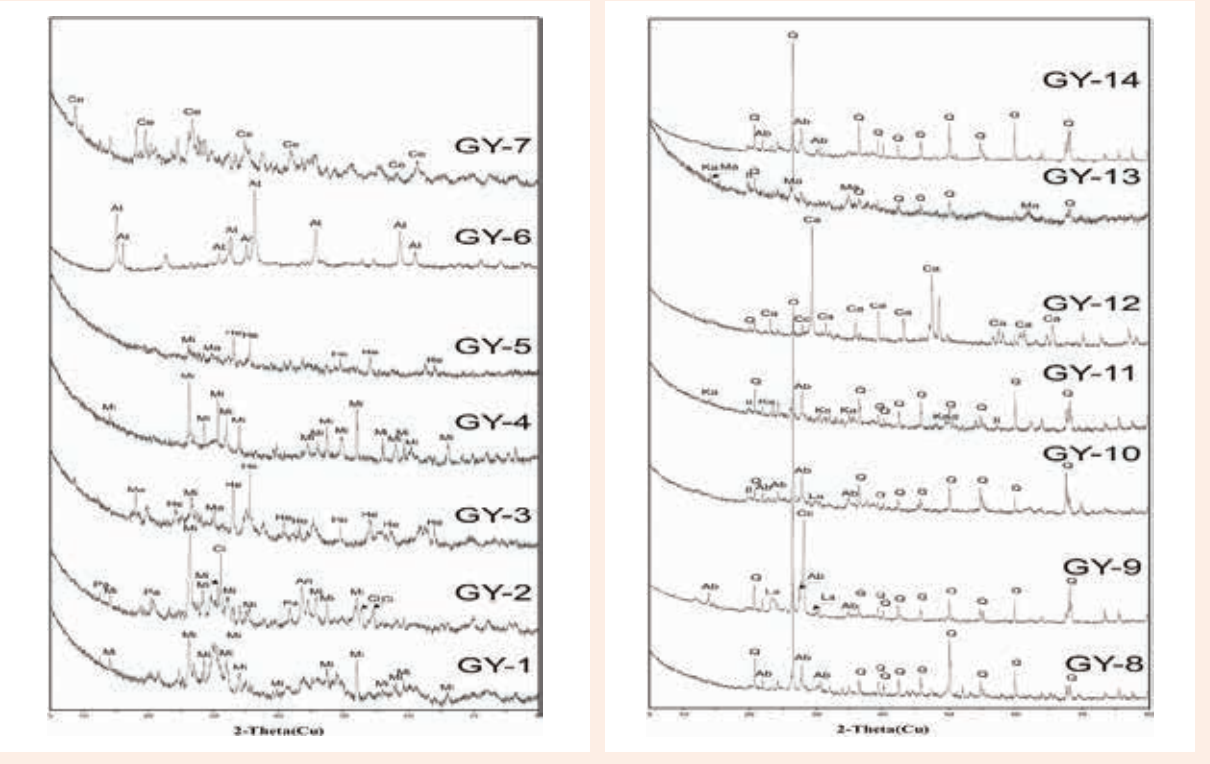
청색계열(GY-8~10)의 안료는 진한 청색과 녹청색, 회청색 등 3가지로 대별되며, 이들 안료의 원료광물은 청람석[Lazulite, $(Na, Ca)_8(Al, Si)_{12}O_{24}(S, SO_4)$]로 확인되었다. 물론 GY-8번 시료에서는 결정구조분석으로 청람석이 동정되지 않았으나 현미경 관찰에서 GY-9번이나 GY-10번 입자와 형태가 유사하였으며, 전자현미경 분석에서 이들 입자의 주요성분은 청람석을 구성하는 것(Na, Ca, S, Al, Si, S)과 같은 성분으로 확인되었다. 고대 청색안료로는 남동석[Azurite, $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$]이 주로 사용되었으며, 벽화에서 많이 확인되고, 괘불이나 탱화에서는 코발트 청도 사용되는 것으로 보고(한민수 외 2003: 140)되고 있다. 세부 색상별로 살펴보면, 진한청색은 청람석이 주원료이며, 녹청색은 청람석에 뇌록석을 혼합하였고, 회청색은 청람석에 흑색(carbon)을 섞은 것으로 확인되었다. 청람석을 전자현미경에서 적층된 입자형태를 보이고 있으며, Si와 S의 함량이 높다. 또한 곤충 날개모양의 길쭉하고 얇은 황(Sulfur)입자가 부분적으로 존재하고 있는 것을 확인할 수 있다〈사진 1-e〉.

백색계열의 안료(GY-11~12)는 밝은 백색과 어두운 백색으로 나뉘며, 분석결과 원료광물은 합분(Oyster shell white, $CaCO_3$)과 백토[Kaolin, $K(Mg, Fe^{2+})(Fe^{3+}, Al)(Si_4O_{10})(OH)_2$] 등 2가지 종류가 사용된 것으로 확인되었다. 이 두 가지 광물은 백색의 천연안료로 고대 벽화나 단청 등 채색문화재에 많이 이용된 것으로 보고(Gettens & Stout 1966: 105; Winter 1989: 3~4; 김병호 1997: 106~137)되고 있다. 백토는 일반적으로 고령토를 이용하였으며, 합분은 석회석을 구워 분말로 만들거나 조개껍질 등을 구워서 만든 것으로 사용된 역사가 그다지 오래되지 않았다(정종미 2001: 39~40). 약사전에서 확인된 백토는 광학현미경에서 어두운 백색으로 관찰되었고, 전자현미경에서 구성입자들의 모양과 성분을 분석한 결과, 대부분이 Si, Al, K, Fe, Mg가 검출되었으며, 석영(SiO_2) 등 각이 지고 매끄러운 입자들이 주로 관찰되었다. 반면, 밝은 백색의 입자는 길쭉길쭉한 패각분말상(판상)이 관찰되고 있어 합분임을 알 수 있다〈사진 1-f〉. 이들 합분입자는 그 특징이 잘 관찰되는 부분도 있지만 판상의 입자가 일부 녹아 적층되어 있는 모습도 볼 수 있다. 물론 다른 색상에서와 같이 백토와 합분이 일부 섞여 있는 부분도 존재한다.

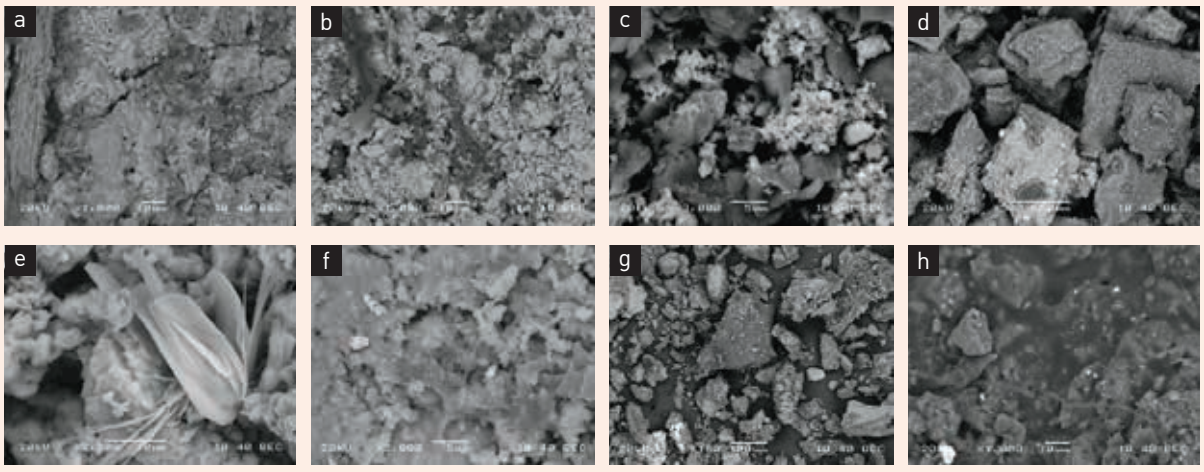
황색 안료(GY-13)는 결정구조분석에서 카올리나이트(Kaolinite)와 일라이트(Illite), 마그네타이트(Magnetite) 등이 동정되어 토양으로부터 추출된 원료인 황토(Yellow Ocher, $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$)임을 알 수 있다. 물론 고구려 고분벽화인 안악 3호와 진파리 1호 등에서 황토가 침철석(Geothite) 형태로 사용이 확인되었다는 보고(안병찬 · 홍종욱 2006: 214~215)와는 다르지만 황토는 일반적으로 다양한 형태로 존재하며, 금산사 미륵전 벽화와 봉정사 극락전 벽화에서도 석영과 조장석의 확인으로 황토가 사용되었다는 연구결과(조남철 외 2000: 132)와는 일치하는 것이다. 황색입자는 또한 광학현미경이나 전자현미경으로 관찰시 분말상에 가까웠다. 즉, 안료입자간의 결합이 다른 색상의 안료들에 비해 현저하게 저하되어 있고, 황색을 띠는 입자와 투명하면서 밝은 색을 띠는 입자가 혼재되어 있었다〈사진 1-g〉. 특히 적층된 입자형태를 가진 것은 Fe가 주성분이었으며, Si나 Al을 주성분으로 하는 장석과 각이있고 날카로운 석영입자도 혼재되어 있다.

흑색계열의 안료(GY-14)는 결정구조분석에서 석영(Quartz) 등 바탕 채색층의 원료입자만 동정되며, 산화철(Magnetite, Fe_3O_4)이 동정되지 않는 것으로 미루어보아 먹(Carbon, C)이나 카본블랙(Carbon Black)임을 알 수 있다. 물론 고대에는 흑석(석묵)지와 먹(송연, 유연), 산화철(Magnetite, Fe_3O_4) 등 다양한 흑색안료가 사용되었고, 식물성안료인 백초상이나 통초회, 오배자, 동물성 안료인 본 블랙(Bone Black, $C+Ca_3(PO_4)_2$)이 있으나(김병호 1977: 118; 문환석 외

2002: 170; 蔣玄怡 1986: 95, 266; 장기인 · 한석성 1998: 80; Gettens & Stout 1966: 99) 시대나 안료의 상태로 미루어보아 먹일 것으로 판단된다. 또한 전자현미경에서 흑색안료는 입자들 사이가 풀(glue) 같은 형태로 연결되어 있는 것을 알 수 있으며〈사진 1-h〉, 이들 부분을 반정량 분석해 본 결과, 카본(C)이 60wt.%이상으로 이 부분이 흑색의 색상을 나타내는 주요역할을 하는 것으로 보인다.



【 그림 1 】Results of XRD analysis for the Dancheong pigments at Yaksajeon Hall
(Mi: Minium; Ci: Cinnabar; He: Hematite; At: Atacamite; Ce: Celadonite; Pa: Palmierite; An: Anglesite, Ma: Magnetite; Q: Quartz; Ab: Albite; La: Lazulite; Ca: Calcite; Il: Illite; Ka: Kaolinite; Ma: Magnetite; Cc: Calsium Carbonate)



【 사진 1 】SEM images of particles for the Dancheong pigments at Yaksajeon Hall

고찰

1. 안료의 원료광물 추정과 혼합사용

고대 안료를 과학적으로 분석하여 원료광물을 확인하는 방법은 결정구조분석을 통해 광물조성을 알아내고, 입자의 형태를 관찰함으로 가능하다. 그러나 일부는 화학적 조성이 유사하여 결정구조분석으로 판단하기 어렵거나 안료표면에 오염물의 부착, 열화 등에 의해 입자의 형태를 전자현미경으로 판별하기 어려울 경우가 있다. 약사전 안료의 원료광물 추정에서도 이러한 부분의 고민이 필요하다. 먼저 백색안료는 앞에서 언급한 바와 같이 백토와 합분이 사용되었다. 백토는 광물명이 카올린(Kaoline)이며, 화학적 조성도 조장석(Albite)과 달라 구별이 가능하다. 그러나 합분의 경우, 결정구조분석에서 백악(Calcite)과 화학조성이 같고, 호분과도 명칭에서 혼동되는 경우가 많다. 물론 호분인 과거와 다르게 패각분(貝殼粉 혹은 貝粉)인 합분(蛤粉)을 지칭(장기인 · 한석성 1998: 37; 장경인 199: 264; 곽동해 2001: 130)하는 것이 일반적이어서 혼동하여 사용하지는 않는다. 그러나 패각분내에서도 민물조개나 대합, 굴, 가리비 등과 같이 사용된 패각의 종류(王概 1990: 27; 蔣驥 외 1973: 509; 장경인 1999: 264)가 많고, 침강성탄산칼슘($CaCO_3$)과의 구별이 까다로운 경우가 많기(김호정 외 2007: 57; 이한형 외 2008: 111~114) 때문에 주의하여야 한다. 약사전의 경우 결정구조분석과 함께 전자현미경하에서 입자를 고배율로 관찰한 결과, 길쭉길쭉한 패각분말상(판상)이 다량 관찰되고 있어 백악이나 침강성탄산칼슘이 아닌 합분임을 알 수 있었다. 다음으로 흑색안료는 일반적인 분석으로 명확하게 밝혀내기가 어렵다. 이는 고대 흑색안료로 드물게 보고되고 있는 산화철(Magnetite, Fe_3O_4)을 제외하고 주로 사용된 것은 흑석지(석묵)와 먹(송연, 유연)이며, 식물성 안료로는 백초상과 통초회, 오배자 등이 있고, 동물성 안료로는 본 블랙이 있으나(문환석 외 2002: 170; 장현이 1986: 266; 장기인 · 한석성 1998: 80; Gettens & Stout 1966: 99) 이들 모두 Carbon이 주성분이기 때문에 XRF나 XRD, SEM-EDS상에서 구별하기가 어렵다. 물론 유기물 분석법으로 일부 특성을 분류할 수는 있으나 일반적으로 안료 위에 덧칠하거나 혼합해서 사용하는 색상의 특성상 명확히 구분하기에는 어렵다. 다만, 약사전의 경우, 조선시대인 1729년 단청을 시행했다(창녕군 2001: 39~48)라는 기록과 흑석지는 먹이 생긴 이후부터는 사용이 줄어들었으며, 대체로 흑색안료는 먹이 일반적이다(蔣玄怡 1986: 95, 266; 장기인 · 한석성 1998: 80)라는 문헌들로 미루어 보아 수급이 상대적으로 쉽고 가격이 싼 먹을 사용하였을 것으로 판단하였다.

색상의 혼합사용에 대한 부분 또한 특이한 점이 있다. 약사전 단청안료는 하나의 색상을 표현하기 위하여 단일 원료광물을 사용한 경우 보다 동일 계열 또는 다른 계열의 원료를 혼합하여 사용한 경우가 더 많다. 이러한 안료의 혼합사용은 단청이나 불화, 고분벽화에서 일반적인 현상(임영주 외 2007: 264; 곽동해 2001: 43~44, 134~135)이며, 실제로 경복궁 근정전의 육색과 삼청색도 서로 다른 두 색상의 안료를 혼합하여 사용한 것으로 보고(조남철 외 2001: 101~102)되고 있어 단청에서는 당연한 채색 특성일 수 있다. 그러나 약사전에서 적색안료의 혼합사용은 조금 다르다. GY-2의 경우, 동일계열의 적색 안료임에도 불구하고 연단에 석간주와 진사 등 3가지 안료가 혼합되어 있다. 동일계열의 안료에서 단일 또는 2가지 정도의 안료를 혼합하는 경우는 있으나 3가지를 혼합하는 경우는 드물다. 물론 석간주가 결정구조분석에서 동정되지 않아 혼합사용을 확정짓기는 어렵지만 성분의 함량이 미량일 경우 해당 광물이 동정되지 않을 수 있고, 실제로 전자현미경으로 적색입자 중에서 적층된 형태로 존재하는 부분을 선택하여 SEM-EDS로 분석한 결과, Fe성분의 반정량 값이 50wt.%에 가까웠으므로 적색시료안에 소량이지만 Hematite가 존재하는 것은 분명하다고 하겠다. 이러한 혼합사용은 약사전의 모든 적색계열의 안료에서 나타난 특징이 아니기 때문에 중수나 보수시에 덧칠에 의해 발생되거나 일부 조채의 과정에서 섞여들어가서 발생된 현상일 수도 있으나 현재 시료의 표면 입

자 구성 상태로 미루어보아 덧칠이 되어 발생된 결과는 아닌 것으로 판단된다. 물론, 인위적인 사용인지에 대한 부분은 보다 다양한 시편의 분석이 필요하다.

2. 관룡사 내 고대 사용안료의 비교

약사전 단청안료와 내부 벽화, 대웅전 단청안료 등 3곳의 안료에 대해 색상별 원료광물의 특성을 비교하였다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 모두 관룡사내에 위치해 있고, 창건된 이후 1712년에 모두 중수되었으며, 약사전 단청안료만 1729년 재단청 하였다는 기록으로 볼 때 동시대, 동일 사찰내 회화재료의 특성을 밝히는데 유용할 것으로 판단된다. 물론 약사전 단청안료를 제외하고 약사전 벽화안료와 대웅전 단청안료는 표면을 비파괴적 분석방법으로 얻은 결과이기 때문에 안료의 혼합사용 등 다양하고 세부적인 특성의 비교에는 한계가 있으나 기존 많은 연구결과들을 토대로 추정안료를 비교하는 것은 의미가 있을 것이다.

〈표 2〉[04]는 관룡사 내 사용된 고대 안료의 분석결과를 비교해 놓은 표이다. 여기에서 보는 바와 같이 적색과 흑색은 3곳에서 모두 동일한 원료를 사용한 것으로 판단된다. 그러나 그 외의 색상들은 일부 원료광물의 차이가 있다. 녹색의 경우 약사전 단청안료에서는 염화동과 뇌록석이 쓰였으나 벽화에서는 뇌록석은 쓰이지 않고 대신에 공작석이 쓰였다. 백색은 약사전과 대웅전 단청에서는 백토나 백토에 호분을 섞어서 많이 사용한 것으로 나타났으나 약사전 벽화에서는 백토가 사용되지 않고 납(Pb)화합물인 연백이 사용된 점이 다르다. 물론 보고(한경순 2001: 191~195)에 따르면 연분(鉛粉)이라고도 불리는 연백은 괘불, 탱화, 단청 등에 많이 사용되었다. 또한 벽화에서는 투르키스탄의 9세기 벽화와 돈황석굴 및 10세기로 추정되는 일본의 벽화에서도 연백의 사용이 확인되었다(한경순 2001: 182)고 한다. 그러나 이러한 벽화에서 연백의 사용은 매우 일반적이라고 하더라도 같은 시대, 같은 장소에서 그려진 회화에서 다른 원료광물이 사용되었다는 것은 특이하다고 하겠다. 물론 이러한 결과가 단순히 회화의 종류에 따른 사용안료의 선택에서 나타난 특징인지는 보다 고민해 볼 필요가 있다. 황색안료의 경우에도 약사전 단청안료에서는 순수하게 황토만이 사용되었으나 벽화와 대웅전 단청에는 황토와 함께 석황(Orpiment, As_2S_3)이 단독 혹은 혼합하여 사용되었다는 점이다. 마지막으로 청색안료는 청람석이 사용되었으나 벽화에서는 코발트(Co)가 검출되어 코발트 화합물의 사용을 추정하고 있다. 반면, 대웅전 단청안료에서는 청색안료가 확인되지 않고 있어 안료의 선택적 사용이나 제작자, 원료 수급 등 다양한 원인이 내포되어 있을 수 있으므로 이를 명확히 결론내리기 위해서는 향후 두 곳의 안료에 대해 결정구조분석 등 추가적인 정밀분석이 필요할 것이다.

【 표 2 】 Comparison of analysis data for the ancient pigments used in Gwallyoungsa Temple

Color Group	Raw material(Estimated)		
	Dancheong pigments (Yaksajeon)	Wall painting pigments (Yaksajeon)	Dancheong pigments (Daeungjeon)
Red	Cinnabar, Minium, Hematite	Cinnabar, Minium, Hematite	Cinnabar, Minium, Hematite
Green	Atacamite, Celadonite	Malachite, Atacamite, Cobalt	Celadonite, Atacamite or Malachite or Copper Green
White	Oyster shell white, White Clay	Calcite or Gypsum, White Lead	White Clay, White Clay + Oyster shell white
Yellow	Yellow Ocher	Yellow Ocher, Orpiment Hematite + Calcite or Gypsum	Yellow Ocher, Yellow Ocher + Orpiment
Blue	Lazulite	Cobalt compound	–
Black	Graphite or Carbon Black	Graphite or Carbon Black	Graphite or Carbon Black

04 관룡사 약사전 단청안료는 Micro-XRF와 XRD, SEM-EDS 분석법으로 확인된 안료이며, 약사전 벽화안료와 대웅전 단청안료는 각각 Portable XRF인 Innov-X와 SEA200을 이용하여 분석한 결과로 추정된 안료임.

결론

관룡사 약사전에 사용된 단청안료의 원료광물과 그 특징을 과학적으로 분석하고, 이를 관룡사 내 같은 시기에 조성된 다른 회화안료와 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 단청에 사용된 안료의 원료광물은 모두 천연재료이며, 원색의 색상별 안료원료는 서로 상이했다. 특히 동일계열의 안료도 원료광물은 전혀 다른 것을 사용했으며, 육색이나 연녹색, 녹청색 등 다양한 색상을 구현하기 위해 2개 이상의 안료를 혼합하여 사용하였고, 상황에 따라 같은 색상내에서도 서로 다른 원료광물을 혼합한 경우가 있었다.

둘째, 색상별로 확인된 안료의 원료광물은 다음과 같다. 적색계열은 진사(Cinnabar, HgS)와 석간주(Hematite, Fe_2O_3), 연단(Minium, Pb_3O_4)이 확인되었고, 녹색계열은 녹염동광[Atacamite, $Cu_2Cl(OH)_3$]과 뇌록석[Celadonite, K(Mg, Fe, Al)$_2$(Si, Al)$_4$], 백색계열은 합분(Oyster shell white, $CaCO_3$)과 백토[Kaolin, K(Mg, Fe^{2+})(Fe^{3+}, Al)(Si_4O_{10})$(OH)_2$], 황색은 황토(Yellow Ocher, $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$), 청색계열은 청람석[Lazulite, $(Na, Ca)_8(Al, Si)_{12}O_{24}(S, SO_4)$], 흑색계열은 먹(Carbon)이나 카본블랙(Carbon Black)을 사용한 것으로 확인되었다.

셋째, 약사전 단청안료와 벽화안료, 대웅전 단청안료에 사용된 원료광물을 서로 비교해보면 적색과 흑색안료를 제외하고 일부 색상에서 다른 원료광물이 가감되어 사용되었다. 이는 같은 시기, 같은 장소에서 조성된 회화라도 그 사용안료의 원료광물은 회화의 종류나 원료의 수급 등 다양한 영향에 의해 달라질 가능성이 있다는 것을 확인할 수 있었다.

결과적으로 고대에 사용된 안료원료의 정확한 재질과 그 특성을 밝혀내기 위해서는 결정구조분석 등 보다 다양한 방법을 적용하여 정확히 확인하여야 하며, 동일 권역내 다른 건물에 존재하는 회화들을 같이 비교하여 연구한다면 안료원료나 제작기법에 대한 시대적 특성과 동향도 파악할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 곽동해, 2002, 『한국의 단청』, 학연문화사
- 곽동해, 2001, 『중요무형문화재-단청장』, 화산문화
- 김병호, 1997, 「단청의 재료」 『문화재와 더불어 살아온 길』
- 김사덕 · 김순관 · 홍정기 · 강대일 · 이명희, 1999, 「양록단청 대체안료 개발 연구」 『보존과학연구』 20
- 김호정 · 이한형 · 김순관 · 김숙경, 2007, 「전통호분 제조방법에 관한 연구」 『문화재과학기술』 6
- 문화재연구소, 1994, 「일본과 한반도의 고대 무기안료」 『한일보존과학 공동연구 발표요지』
- 문환석 · 홍종욱 · 황진주 · 김순관 · 조남철, 2002, 「고대벽화안료 재질분석연구」 『문화재』 35, 국립문화재연구소
- 신은정 · 한민수 · 강대일, 2005, 「비석에 칠해진 주사 안료에 관한 연구」 『문화재』 38, 국립문화재연구소
- 안병찬 · 홍종욱, 2006, 「고구려 고분 벽화의 안료분석」 『고구려 벽화고분 보존실태조사보고서』 제1권 조사보고, 남북역사학자협의회 · 국립문화재연구소
- 王槪, 1990, 「芥子園畫傳」 『芥子園畫譜全集(原典)』, 文化圖書
- 이상진, 최인숙, 이강근, 도진영, 안병찬, 2007, 「경주지역 사찰 단청에서 사용된 뇌록의 분석 연구」 『경주문화연구』 9, 경주대학교 문화재연구소, pp.1~12.
- 이상현, 2012, 『전통회화의 색』, 가일아트
- 이한형, 김순관, 김호정, 정혜영, 2008, 「전통호분(합분) 제조기술 연구: 소성방법을 중심으로」 『보존과학회지』 23
- 임영주 · 전한효, 2007, 『문양으로 읽어보는 우리나라 단청 Ⅰ』, 태학원
- 임영주, 1991, 『단청』, 대원사
- 장경인, 1999, 『한국건축대계 Ⅷ -재료-』, 화산문화
- 蔣驥 · 傳神秘要 · 俞崑(編), 1973, 『中國畵論類編』, 上 第四編, 華正書局有限公司
- 張起仁, 1999, 「丹靑」 『韓國建築大系Ⅷ』, 普成閣
- 張起仁 · 韓奭成, 1998, 「丹靑」 『韓國建築大系Ⅲ』, 普成閣
- 蔣玄怡, 1986, 『中國繪畫材料史』, 上海書畵出版社
- 전유근 · 김원국 · 조영훈 · 한두루 · 김선덕 · 이찬희, 2009, 「창녕 관룡사 약사전 벽화의 안료분석 및 비파괴 훼손도 진단」 『보존과학회지』 Vol.25, No.4
- 정종미, 2001, 『우리 그림의 색과 칠 -한국화의 재료와 기법-』, 학고재
- 조남철 · 문환석 · 홍종욱 · 황진주, 2001, 「경복궁 근정전 단청안료의 성분분석」 『보존과학연구』 22, 국립문화재연구소
- 조남철 · 홍종욱 · 문환석 · 황진주, 2000, 「봉정사 극락전 벽화안료의 재질분석 연구(Ⅱ)」 『보존과학연구』 21, 국립문화재연구소
- 창녕군, 2001, 『관룡사 약사전 실측조사보고서』, 도서출판 삼아
- 한경순, 2001, 「돈황석굴 벽화안료에 관한 연구-안료의 흑변원인을 중심으로」 『미술사학연구』, 한국미술사학회
- 한민수, 2011, 「전통안료에 대한 과학적 분석」 『지류 직물문화재 보존』, 국립문화재연구소
- 한민수 · 이한형 · 김재환, 2011, 「휴대용X-선형광분석기를 이용한 통도사 영산전 벽화 안료의 과학적 성분분석」 『문화재』 Vol.44, No.3
- 한민수 · 홍종욱, 2003, 「고대 안료의 성분분석 연구-쌍계사 탱화 안료를 중심으로」 『보존과학연구』 24, 국립문화재연구소
- John Winter, 1989, 「韓國古代 顔料의 成分分析」 『美術資料』 43

- R. Mazzeo · E. Joseph · V. Minguzzi · G. Grillini · P. Baraldi, 2005, 「Scientific Investigations of the Tokhung-ri Mural Paintings of the Koguryo Era, Democratic People's Republic of Korea」『고구려 고분벽화 보존 국제세미나』, 문화재청 · 국립문화재연구소
- Rutherford J. Gettens · George L. Stout, 1966, *Painting Materials: A Short Encyclopaedia*, Dover Publications, Inc., New York

MUNHWAJAE *Korean Journal of Cultural Heritage Studies Vol. 47. No. 1, March 2014, pp.18~31.*
Copyright©2014, National Research Institute of Cultural Heritage

A Scientific Analysis of Dancheong Pigments at Yaksajeon Hall in Gwallyoungsa Temple

Han Min-su · Kim Jin-hyoung · Lee Jang-jon

Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage

Corresponding Author : Lee Jang-jon, E-mail : jang824@lycos.co.kr

Abstract

This study aims at identifying of characteristics and types of the pigments used for Dancheong(surface decorative and protective pigments) of Yaksajeon Hall in Gwallyoungsa Temple using a Micro-XRF, XRD, SEM-EDS and thereafter, comparing it with the pigments of the wall painting in the same building and with Dancheong pigments of Daeungjeon Hall.

The results can be briefly summarized as two points. First, different types of pigments for red, green and white colours had been applied based on different parts of the building and more than two different pigments had been mixed to produce various colours in so me parts. Second, scientific analysis has confirmed that raw minerals for each colour groups are: Cinnabar, minium and Hematite for red; white clay and oyster shell white($Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 4H_2O$) for white; Atacamite and Celadonite for green; carbon(C) for black; Yellow Ocher for yellow; and Lazulite for blue. Comparative analysis of such result with that of the wall paintings and of Dancheong of Daeungjeon Hall has revealed that similar minerals had been used in overall except that several different pigments had been added or removed for making green, white and yellow colour groups in some parts. In conclusion, the result has displayed that painters had used different ways of producing pigments by a type of painting or a building within the same period or for the buildings in the same buddhist temple compound.

Key Words Gwallyoungsa Temple, Yaksajeon Hall, Dancheong Pigmnents, Minerals Analysis, Raw Material

Received : 2013. 09. 25 I Revised : 2013. 10. 17 I Accepted : 2013. 11. 06