

경복궁(景福宮) 근정전(勤政殿) 단청안료의 분석

조남철 · 문환석 · 홍종욱 · 황진주

국립문화재연구소 보존과학연구실, 서울시 종로구 세종로 1-57

Analysis of Danchung Pigments at Geunjeongjeon Hall in Gyeongbokgung Palace

Nam Chul Cho, Whan Suk Moon, Jong Ouk Hong and Jin Ju Hwang

Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Properties, Seoul, Korea

요약

경복궁 근정전 내·외부의 단청 안료를 X선형광분석기와 X선회절분석기로 성분 분석한 결과, 내부에 쓰인 안료들은 현대에 많이 쓰이고 있는 인공합성된 안료들이 아닌 천연광물에서 추출한 안료들을 사용한 것임을 알 수 있었다. 즉, 녹색안료는 청동의 녹색부식물과 뇌록석을 그리고 적색의 경우는 진사를 사용했다. 외부의 경우는 인공합성된 안료들을 사용한 것임을 알 수 있었다. 즉, 황색안료는 황연, 적색안료의 경우는 연단과 석간주를 사용하였으며, 녹색 안료는 화록청과 산화크롬녹을 사용하였다. 또한 청색 안료로는 군청을 그리고 백색 안료로는 산화티탄을 사용했다.

Abstract

The analysis of *danchung* pigments at the Geunjeongjeon Hall in the Gyeongbokgung Palace were carried out by FXRF and MXRD. The analytical results showed that mineral pigments were employed for the inside of the Geunjeongjeon Hall. The main ingredients of green pigments were chalcantite and celadonite. Red pigment was cinnabar. It was also revealed that synthetic pigments were applied for the outside of the Hall. Yellow pigment was chrome yellow. The main ingredients of red pigments were red lead and hematite. Green pigments were emerald green and chrome green. Lazurite was employed for blue pigment and titanium dioxide for white one.

1. 서론

안료라는 것은 물이나 용매에 용해되지 않는 유색 미립자의 무기 또는 유기 화합물을 말

하며, 이 안료를 접착제와 혼합하여 목조건물이나 성형물을 채색하였다. 이렇게 채색하는 것을 단청이라 한다. 목조건축에 단청작업을 함으로서 갑작스런 온·습도 변화에 의한 목재내부의 환경변화를 차단하여 목재의 노화를 방지하고, 또한 충해 방지를 통한 건축물의 내구성 향상뿐만 아니라 건축물의 아름다움을 느낄 수 있게 해준다(1).

우리나라에서 고대안료의 사용은 고구려 고분벽화의 채색에서 유래되며 그 후 궁궐이나 사찰 등 목조건축에 많이 사용하였다. 이러한 고대안료의 경우는 자연에서 채취하는 광물성 안료인 무기안료를 주로 사용하였으며, 특별히 만들 수 없거나 구할 수 없는 것들은 중국이나 서역에서 수입하여 사용하였다. 그러나 현재는 천연무기안료의 매입이 어려우며, 매입한 다해도 고가이므로 사용하기가 어려운 실정이다. 그러므로 가격이 저렴하고 구하기 쉬운 인공 합성한 안료들을 대체안료로서 많이 사용하고 있다.

본 고에서 다루고 있는 경복궁(景福宮) 근정전(勤政殿, 국보 223호)은 태조 3년(A.D. 1394)에 지었으나 임진왜란 때 불타으며 지금 남아있는 건물은 고종 4년(A.D. 1867)에 다시 지어진 것이다. 현재 근정전은 고종때 지은 후 처음으로 대대적인 보수공사를 진행중에 있다. 특히 근정전 외부 단청의 경우는 1971년 단청공사를 한 후 현재 색상이 많이 퇴색되어져 있는 상태이다. 그러므로 이번 분석은 경복궁 근정전 보수공사 중 근정전 내부와 외부에서 시료채취가 가능한 각 색상별 단청안료 채취하여 성분 차이를 알아보았다.

2. 분석 방법

2.1. 단면 관찰

단청 안료층의 단면 관찰은 에폭시수지로 마운팅한 후 연마지 # 200, 400, 800, 1000, 2000을 사용하여 안료층의 스크래치가 없을 때까지 연마하고, 광학현미경(Microscope, Carl Zeiss, Axiotech 100HD/Progress 3012, Germany)으로 관찰하였다. 또한 영상분석기(Image Analyzer, Carl Zeiss, KS 300 System, Germany)를 사용하여 안료층의 두께를 측정하였다.

2.2. 성분 분석

단청 안료의 성분은 휴대용 X-선 형광분석기(Field X-ray fluorescence analyzer: FXRF, Seiko Instruments Inc., SEA200, Japan)를 사용하여 분석하였다. 이 때 분석조건은 50 kV, 200 μ A, He 분위기 상태로 분석하였으며, 2 mm collimator를 사용하였다. 이 분석 결과를 사용하여, 각 안료가 어떠한 화합물로 이루어져 있는지는 미소부 X-선 회절분석기(Micro-area X-ray diffraction system: MXRD, MAC Science, MXP18VA, Japan)로 분

석하였다. 미소부 X선회절분석시 target은 Cu, 계측시 전압은 30 kV, 100 mA이었으며, 100 μm collimator를 사용하여 계측하였다. 이 미소부 X선 회절분석장치는 MCA(Multi Channel Analyzer)방식을 취하고 있으며, 각 시료 계측시 분석시간은 1000 초이다. 또한 근정전 내부 녹색 안료인 시료 2의 경우는 시료량이 많아 분말화하여 wide XRD를 사용하여 계측하였다. 이때 계측조건은 30 kV, 100 mA, 4°/min이다.

3. 분석 결과

3.1. 안료층의 단면 구조

근정전 내부 적색안료의 단면층을 보면 크게 세 개의 층으로 이루어져 있는 것을 볼 수 있다(Fig. 1). 첫층은 뇌록을 칠한 바탕층이며, 그 위층은 그림을 그린 물감층으로 두 개의 층으로 이루어져 있다. 특히 가운데층은 적색과 흰색안료가 서로 혼합되어져 연한 적색을 지니고 있으며, 그 위층에는 적색안료로 얇고 고루게 칠했음을 관찰 할 수 있다. 영상분석기를 사용하여 각 층의 두께를 측정하여본 결과, 뇌록층인 바탕층은 평균 15 μm 이었으며, 가운데층은 평균 80 μm 그리고 맨 위층인 적색안료층은 평균 14 μm 이었다.

또한 근정전 외부 적색 안료의 단면층도 세 개의 층을 보여 주고 있다(Fig. 1). 바탕층인 첫층은 뇌록을 칠했으며, 그 위의 물감층은 두 개의 층으로 구성되어져 있다. 가운데층은 흰색과 적색안료를 혼합하여 엷은 적색층을 형성하고 있으며, 그 위층은 적색안료로 얇고 고루게 칠했음을 볼 수 있다. 영상분석기를 사용하여 각 층의 두께를 측정하여본 결과, 바탕층인 뇌록층의 평균 두께는 110 μm 이었으며, 가운데 엷은 적색층은 평균 45 μm 그리고 맨 위층인 적색안료층은 평균 11 μm 로서 균일하게 칠해져 있다.

3.2. 안료의 성분 분석

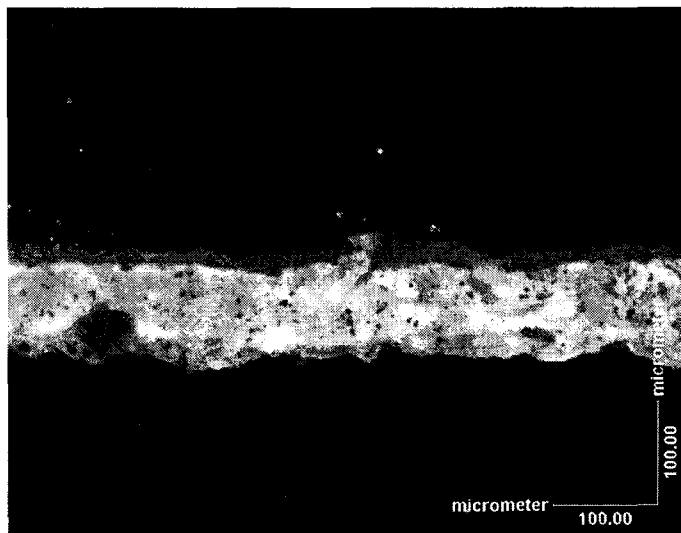
각 색상별 안료의 성분 분석은 휴대용 X선 형광분석기를 사용하여 정성분석한 후 미소부 X선 회절분석기를 사용하여 안료의 성분을 알아보았다(Table 1참고).

1) 금색(시료 1)

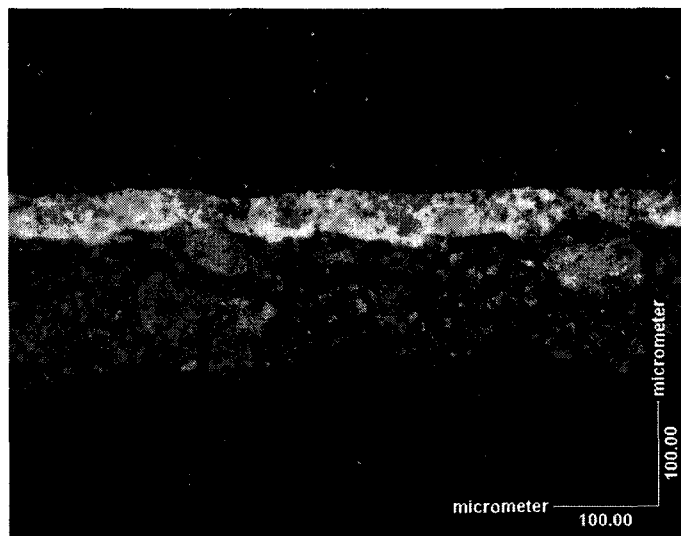
FXRF 분석결과 금(Au)이 주성분으로 검출되었다. 또한 MXRD 분석결과 금이 검출된 것으로 보아, 금을 이용하여 그린 것을 확인할 수 있었다.

2) 적색 (내부: 시료 5, 6 외부: 시료 10, 11)

예부터 많이 쓰이던 적색안료로는 진사(HgS, cinnabar)를 중국에서는 기원전 3000년경부터 사용한 것으로 알려져 있으며, 그 밖의 석간주(Fe_2O_3 , hematite)와 연단(Pb_3O_4 , red lead)도 고대로부터 사용되어진 천연안료들이다. 그러나 현대에 와서는 인공적으로 합성한



(a) 내부 적색단청의 단면사진(대물렌즈 배율 20×)



(b) 외부 적색단청의 단면사진(대물렌즈 배율 20×)

Fig. 1. 근정전 내·외부 적색단청의 단면사진.

연단과 석간주를 많이 사용하고 있다(2).

근정전 내부에 쓰인 적색안료는 FXRF 분석결과 주성분으로서 Hg, S가 검출되었다. 또한 MXRD 분석결과 HgS가 검출되어, FXRF 분석결과와 일치하고 있다. 그러므로 근정전 내부에 쓰인 적색 안료는 진사를 사용하여 칠한 것을 알 수 있다.

Table 1. 경북궁 근정전 단청 안료의 성분 분석 결과

시료 번호	색 명	채취 장소	주성분	안료 이름
1	금색	내부	Au	Au (gold, 금)
2	녹색(양록)		Cu, S	CuSO ₄ · 5H ₂ O (chalcanthite, 담반) Cu ₂ Cl(OH) ₃ (atacamite, 녹염동광) Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀ (talc, 활석)
3	녹색(양록)		Cu, S, Fe	(NH ₄) ₂ Cu(SO ₄) ₂ · 6H ₂ O (ammonium copper sulfate hydrate)
4	녹색(뇌록)		Fe, S, Si	K(Mg, Fe, Al) ₂ · (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ (celadonite, 뇌록석)
5	적색		Hg, S	HgS (cinnabar, 진사)
6	적색		Hg, S	HgS
7	백색		Pb	PbSO ₄ (lead sulphate, 황산납)
8	흑색		Fe, Pb	PbSO ₄
9	황색		Pb, Cr	PbCrO ₄ (chrome yellow, 황연)
10	적색(육색)		Pb	PbSO ₄ Pb ₃ O ₄ (red lead, 연단)
11	적색(석간주)		Pb, Fe	PbSO ₄ Fe ₂ O ₃ (hematite, 산화철)
12	녹색(양록)		Cu, As	C ₂ H ₃ As ₃ Cu ₂ O ₈ (emerald green, 화록청)
13	녹색(뇌록)		As, Cu, Cr	Cr ₂ O ₃ (chrome green, 산화크롬녹) CaCO ₃ (calcite, 호분)
14	청색(삼청)	외부	Ti, Ca, S	TiO ₂ (titanium dioxide, 산화티탄) Na ₆ Ca ₂ Al ₆ Si ₆ O ₂₄ (SO ₄) ₂ (ultramarine, 군청) CaCO ₃ Cr ₂ O ₃
15	청색(군청)		S, Ca, Cr	Na ₆ Ca ₂ Al ₆ Si ₆ O ₂₄ (SO ₄) ₂ Cr ₂ O ₃ CaCO ₃
16	백색		Ti, Ca, S	TiO ₂ Cr ₂ O ₃ CaCO ₃
17	흑색		Pb, Cr	Cr ₂ O ₃ PbCrO ₄ (chrome yellow, 황연) PbSO ₄

그러나 근정전 외부의 안료중, 시료 10인 옥색의 경우는 FXRF 분석결과 주성분으로 Pb가 검출되었다. 또한 MXRD 분석결과, $PbSO_4$ 와 Pb_3O_4 가 검출되었다. 그러므로 적색 안료로는 연단을 사용했으며, Pb을 소지로 한 백색안료($PbSO_4$ 는 연백의 성분이 변질되어 나타나는 성분으로 추정됨)와 연단을 혼합하여 옥색으로 사용한 것으로 보인다. 또한 시료 11 석간주의 경우는 FXRF 분석결과 주성분으로 Pb와 Fe이 검출되었으며, MXRD 분석결과 $PbSO_4$ 와 Fe_2O_3 가 검출되어 FXRF 분석결과와 잘 일치함을 볼 수 있다. 그러므로 이 부분의 적색안료는 석간주를 사용하였으며, 납을 소지로 한 백색안료와 혼합하여 사용한 것으로 보인다.

3) 황색(시료 9)

예부터 황색 안료로는 천연광물에서 얻은 황토($FeO(OH) \cdot nH_2O$, iron oxide yellow)나 석황(As_2S_3 , Orpiment) 또는 밀타승(PbO , massicot)을 많이 사용하였으나, 현대에는 인공적으로 합성한 황연($PbCrO_4$, chrome yellow)을 많이 사용하고 있다(1).

근정전 외부에 쓰인 황색안료의 경우, FXRF 분석결과 주성분으로 Pb, Cr 등이 검출되었으며, MXRD 분석결과 $PbCrO_4$ 가 검출되어, 황색안료로 쓰인 것은 황연임을 알 수 있었다.

4) 녹색(내부: 시료 2, 3, 4 외부: 시료 12, 13)

예부터 쓰인 녹색 계통의 안료는 염기성 탄산구리인 공작석($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, malachite), 남동광($2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, azulite) 또는 단색으로 된 뇌록석($K(Mg, Fe, Al)_2 \cdot (Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$, celadonite)을 사용하였다(2).

그러나 현재 많이 쓰이고 있는 녹색안료로는 유기 안료인 cyanine green이나 산화크롬녹(Cr_2O_3 , chrome green) 등이 있으며, 화록청($C_2H_3As_3Cu_2O_8$, emerald green)은 비소(As)의 독성으로 인해 현재는 사용하고 있지 않다.

근정전 내부에 쓰인 녹색안료중 시료 2, 3의 경우 FXRF 분석결과 주성분으로 Cu, S 등이 검출되었으며, MXRD 분석결과 시료 2는 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $Cu_2Cl(OH)_3$ 등이 검출되었으며, 시료 3은 $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 등이 검출되었다. 즉 이 성분들은 청동녹 성분들이며 외부에 표출된 청동상에서 많이 나타나는 것으로 녹색색상을 지니고 있다(3). 또한 시료 4는 FXRF 분석결과 주성분으로서 Fe, S, Si 등이 검출되었으며, MXRD 분석결과 $K(Mg, Fe, Al)_2 \cdot (Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$ 이 검출되었다. 이 성분은 단색으로 된 녹색 암석인 뇌록석의 성분으로서 우리나라에서는 포항 뇌성산에서 산출되는 것으로 알려져 있다(1). 그러므로 이 성분들을 통하여 근정전 내부에 쓰인 녹색안료들은 인공합성된 안료들이 아닌 자연 천연광물에서 추출한 안료들을 사용했음을 알 수 있다.

그러나 근정전 외부의 경우 FXRF 분석 결과 시료 12는 주성분으로 Cu, As가 검출되

었으며, MXRD 분석결과, $C_2H_3As_3Cu_2O_8$ 가 검출된 것으로 보아, 양록색으로는 화록청을 사용한 것으로 보인다. 또한 시료 13의 경우는 FXRF 분석결과 주성분으로서 As, Cu, Cr 등이 검출되었으며, MXRD 분석결과 Cr_2O_3 , $CaCO_3$ 등이 검출되었다. 이는 바탕층인 뇌록색으로 산화크롬녹과 체질 안료인 호분을 혼합하여 사용한 것임을 알 수 있다. 또한 FXRF 분석결과에서 주성분으로 As, Cu 등이 나타나는 것은 양록으로 쓰인 화록청 성분의 영향으로 검출된 것으로 보인다. 그러므로 근정전 외부의 녹색안료들을 분석한 결과, 이 곳에 쓰인 안료들은 자연에서 추출한 천연안료가 아닌 인공합성된 안료임을 알 수 있다.

5) 청색(시료 14, 15)

예부터 청색안료는 천연산인 동광석 계통의 편청석을 분쇄하여 암감청, 암군청 등을 제조하여 사용하였다. 그러나 현재 많이 쓰이고 있는 청색안료는 군청($2(Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) \cdot Na_2S_2$, ultramarine), 코발트 청($CoO \cdot nAl_2O_3$, cobalt blue) 등이 있다(1).

근정전 내부에서는 청색안료를 채취하지 못했으므로 외부에서 채취한 청색안료들만 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 시료 14는 FXRF 분석결과 주성분으로서 Ti, Ca, S 등이 검출되었으며, MXRD 분석결과 $Na_6Ca_2Al_6Si_6O_{24}(SO_4)_2$, TiO_2 , Cr_2O_3 , $CaCO_3$ 등이 검출되었다. 즉 삼청색은 청색 안료인 군청과 백색 안료인 산화지당(TiO_2 , titanium dioxide)를 혼합하여 삼청 성분으로 사용했음을 알 수 있다. 또한 검출된 산화크롬녹(Cr_2O_3 , chrome green)과 호분($CaCO_3$, calcite)은 바탕층인 뇌록의 성분이 검출된 것으로 보인다. 또한 시료 15의 경우는 FXRF 분석결과 S, Ca, Cr 등이 검출되었으며, MXRD 분석결과 $Na_6Ca_2Al_6Si_6O_{24}(SO_4)_2$, Cr_2O_3 , $CaCO_3$ 등이 검출되었다. 이는 군청색으로는 군청을 사용했으며, 산화크롬녹과 호분은 바탕층의 성분이 검출된 것으로 보인다.

6) 백색(내부: 시료 7, 외부: 시료 16)

예부터 백색안료는 천연산 백토나 호분($CaCO_3$)을 만들어 사용하였다. 약 7세기경부터는 납을 소지로 한 백색 안료인 연백도 사용하였다고 한다. 그러나 현재 많이 쓰이고 있는 백색안료는 산화티탄(TiO_2)과 아연화(ZnO) 등이 있다(4).

근정전 내부에 쓰인 백색안료는 FXRF 분석결과 주성분으로 Pb가 검출되었으며 MXRD 분석결과 $PbSO_4$ 가 검출되었다. 그러나 $PbSO_4$ 성분은 Pb 계열의 성분이 변질되어 나타나는 일반적인 성분이다(5). 그러므로 근정전 내부에서는 Pb를 소지로 한 백색안료를 사용한 것으로 추정된다.

근정전 외부에 쓰인 백색안료는 FXRF 분석결과 주성분으로 Ti, Ca, S 등이 검출되었으며, MXRD 분석결과 TiO_2 , Cr_2O_3 , $CaCO_3$ 등이 검출되었다. 즉 백색안료로 쓰인 것은 산화티탄이며, 산화크롬녹과 호분은 바탕층의 성분이 검출된 것이다.

7) 흑색(내부: 시료 8, 외부: 시료 17)

예전부터 쓰인 흑색안료는 탄소화합물로서 분말 또는 수먹을 만들어 사용하였으며, 또는 철, 구리 아니면 어느 한쪽의 산화물이 사용되었다. 그러나 대체로 흑색안료는 먹(탄소화합물)이며 가장 오래되고 일반적이다.

근정전 내부에 흑색안료인 시료 8은 주성분으로 Fe, Pb 등이 검출되었으며, MXRD 분석결과 $PbSO_4$ 가 검출되었다. 즉 이 성분들은 흑색안료의 성분이 아닌 바탕층의 안료성분들이 검출된 것으로 보인다. 그러나 FXRF 분석결과 금속성분인 Fe이 검출되어 흑색 성분으로 철 부식물을 사용했을 가능성은 있으나, MXRD 분석결과 Fe과 관련된 어떠한 성분도 나타나지 않는 것으로 보아 이 곳에서 쓰인 흑색안료는 먹 계통인 탄소화합물을 사용한 것으로 추정된다.

근정전 외부에 흑색안료인 시료 17은 주성분으로 Pb, Cr 등이 검출되었으며, MXRD 분석결과로는 Cr_2O_3 , $PbCrO_4$, $PbSO_4$ 등이 검출되었다. 즉 이 성분들도 흑색 안료의 성분들은 아니며 단지 바탕층에 있던 안료성분들이 검출된 것이다. 즉 근정전 외부의 경우도 FXRF 분석결과 금속성분인 Fe, Cu 등이 검출되지 않은 것으로 보아 흑색안료로 먹 계통인 탄소화합물을 사용한 것으로 보인다.

4. 결론

근정전 내·외부에서 채취한 단청안료 17 점을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

근정전 내·외부 적색안료의 단면을 관찰한 결과, 세 개의 층으로 이루어져 있음을 관찰할 수 있었다. 즉 바탕층은 뇌록으로 칠했으며, 물감층은 두 층으로서 중간층은 적색과 흰색안료를 섞어 연하게 사용했으며, 그 위층은 적색안료를 사용해 얇고 고루게 칠했음을 관찰할 수 있었다.

또한 근정전 내부의 단청 안료를 성분분석한 결과, 이 곳에 쓰인 안료들은 현대에 많이 쓰이고 있는 인공합성된 안료들이 아닌 천연광물에서 추출한 안료들을 사용한 것임을 알 수 있었다. 즉, 금색안료는 순수한 금(Au)을 녹색안료는 청동의 녹색부식물($CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)과 뇌록석($K(Mg, Fe, Al)_2 \cdot (Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$)을 사용하였으며, 적색의 경우는 진사(HgS)를 사용했다.

그러나 근정전 외부 단청안료의 경우는 천연안료라기 보다는 현재 많이 쓰이고 있는 인공합성된 안료들을 사용한 것임을 알 수 있었다. 즉, 황색안료의 경우는 황연($PbCrO_4$, Chrome yellow)를 적색안료의 경우는 연단(Pb_3O_4)과 석간주(Fe_2O_3)를 사용하였으며, 녹색

안료의 경우는 화록청($C_2H_3As_3Cu_2O_8$)과 산화크롬녹(Cr_2O_3)을 사용하였다. 또한 청색안료로는 군청($Na_6Ca_2Al_6Si_6O_{24}(SO_4)_2$)을 그리고 백색안료로는 이산화티탄늄(TiO_2)을 사용했음을 알 수 있었다.

이번 분석을 통하여 근정전 내부에 칠한 단청안료의 경우는 현재는 잘 사용하고 있지 않은 안료이며, 또한 자연 천연광물에서나 얻을 수 있는 청동녹이나 뇌록석, 진사 등을 사용한 것으로 보아 1971년 단청공사시 외부에는 새로 단청을 칠했으나, 내부의 경우는 새로 칠한 것이 아니라 고종때 중건시 칠한 단청이 지금까지 내려온 것이라 추정된다.

참고문헌

1. 김병호, '단청의 재료', 문화재와 더불어 살아온 길, p. 106-137, 1997.
2. 조남철, 홍종욱, 문환석, 황진주, '봉정사 극락전 벽화안료의 재질분석 연구(II)', 보존과학연구 제21집, p. 119-144, 2000.
3. L. S. Selwyn, N. E. Binnie, J. Poitras, M. E. Laver, D. A. Downham, 'Outdoor bronze statues: Analysis of metal and surface samples', Studies in conservation vol. 41, p. 205-228, 1996.
4. John Winter, '한국 고대 안료의 성분분석', 미술자료, 제43집, p. 1-36, 1989.
5. M. Sawada and M. Tanaka, '안료의 조사연구법', 일본의미술, 9, p.69-73, 1999.