

고대 안료의 성분분석 연구

- 쌍계사 탕화 안료를 중심으로 -

A study on the analysis of ancient pigments

- Focus on the Buddha pigments at the Ssanggye temple -

韓旼洙 · 洪鐘郁

Min Su Han and Jong Ouk Hong

ABSTRACT

In ancient times, many kinds of different inorganic pigments were used as colorants for making objects. These pigments are still evident in well known objects such as Danchung, mural painting and Buddhist painting. This study discusses the results obtained from an analysis of the pigments used on the Buddha pigments.

The results can be briefly summarized as below;

Firstly, the microcrystalline structures revealed on the cross section of analyzed pigments, samples of which were taken from various parts of Buddha pigments show that different sizes and shapes of pigment particle were used for different purposes such as coloring, toning of the pigments. The arrangement of pigments and their usages are varied according to the owner temples and the place where it was created.

Secondly, a result of the analysis on the composition and structure of the pigments shows that the main components in their composition are:

Red pigments - Red lead(Pb_3O_4) and Cinnabar(HgS)

Green pigments - Malachite[$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$] and

Prussian Blue[$Fe_4(Fe(CN)_6)_2$]

Gold pigments - pure gold(Au)

Yellow pigments - Orpiment(As_2S_3)

White pigments - Lead Cyanamide[$Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$]
Ultramarine pigments - Azulite[$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$]
Especially, we knew that pigments used on the Ssanggye temple not repaired to the artificial synthetic pigment.

I. 서론

인류가 최초로 사용하였던 안료는 지표에서 용이하게 발견할 수 있었던 흙 속의 산화철을 주성분으로 하는 적색, 황색, 다색 등이 였으며¹⁾, 고대 벽화, 단청과 불화 등의 채색 안료는 내구성이 있는 희귀 색암석(色岩石)인 암채를 분말화하여 사용하거나 자연산 색토분(色土粉)을 수비하여 얻는 이채(泥彩)를 사용하였다.²⁾ 현재 이 같은 천연안료는 생산량이 적어 구하기 힘들고, 너무 고가이기 때문에 일부 천연안료를 사용하나, 대부분 화공처리된 합성안료를 조색하여 사용하고 있다.^{3,4)}

우리나라에서 고대 벽화 등에 사용된 안료 성분분석은 1963년 이숙연이 『고대 단청의 분석학적 연구』를 통해 해남 대흥사 목조부 단청안료 등에 대해 정성성분으로 화합물의 조성을 규명하였다.⁵⁾ 이후 1989년 John Winter에 의해 연구된 『한국 고대 안료에 성분분석』과 1990년 홍종욱 등의 『금산사 벽화 안료성분에 관한 비교분석』은 형광X선분석기와 X선회절분석기를 사용하여 안료의 성분분석이 실시되었다. 이어 봉정사 극락전 벽화안료의 재질분석 연구, 나주 복암리 3호분 출토 토기내 적색안료 분석과 서삼릉 태실 태항아리 태토의 안료분석 등의 연구에서 단편적으로 고대 안료 물질에 대한 성분분석이 이루어졌다.⁵⁻¹⁰⁾ 또한 최근에는 휴대용형광X선분석기를 사용하여, 6세기초 고아동 벽화고분의 안료분석 등 현장에서 문화재에 손상을 주지 않고, 고대 사용 원료를 연구하고 있다.^{11,12)} 그러나 이러한 연구 외에는 고대 사용 무기 안료에 대한 연구가 미비한 실정에 있다.

본고는 전국사찰 소장 불화의 미술사적 조사 과정에서 우리나라의 고대 사용안

료의 성분을 규명하여 연구자료로 활용하기 위해, 쌍계사 소장 탕화에서 수습된 안료에 대한 분석결과를 서술하고자 한다.

II. 분석 대상

쌍계사는 통일신라 성덕왕 21년(722) 대비화상과 삼법화상이 세워 옥천사라 불리웠으며, 정강왕(재위 886~887)이 두 개의 계곡이 만나는 절 주변의 지형을 보고 쌍계사로 고친 후, 임진왜란 때 절이 불에 탔던 것을 벽암대사가 인조 10년(1632)에 다시 재건한 것이 오늘날까지 이르고 있다.

쌍계사에는 삼세불도, 팔상도, 신중도, 지장보살도, 각종 조사진영 등 다양한 종류의 탕화가 남아있고, 이 가운데 신중도, 석가모니 후불도, 산신도, 지장보살도, 진감국사 진영 등 총 5폭에서 각각 수습된 안료에 대해 분석을 실시하였으며, 각 탕화별 분석을 실시한 안료의 목록과 색상, 분석위치는 Table 1과 같다.

신중도의 경우 조선 정조 5년(1781)에 그려진 것으로 족자형이며, 배접지의 약화로 인해 안료의 탈락이 심하고, 접혔던 부분에 훼손이 심하다.

삼세불화 중 1폭인 석가모니 후불도는 족자형으로 정조 5년(1781)에 조성된 것으로 도난과 훼손방지를 위해 말아서 보관하였던 것을 쌍계사성보박물관 개관시에 옮겨 전시하고 있으며, 일부 화면에 찢김이 있고, 접혔던 부분을 중심으로 안료 탈락이 심하나 색상은 화려하고 선명하다.

산신도는 전체적으로 군청색, 황색, 녹색이 주류를 이루는데, 녹색부분의 안료탈락이 심한 편이고, 족자형으로 접힌 부분들에도 훼손이 있다.

명부전의 지장보살도는 철종 11년(1860)에 그려진 것으로 족자형이며, 전체적으로 선명한 적색과 녹색, 군청색이 주류를 이루며, 보존상태는 전체적으로 양호한 편이다.

진감국사 진영은 철종 14년(1863)에 그려진 것으로 지본채색의 액자형이고, 배경이 되는 하늘색 부분의 안료 탈락을 제외하고 선명한 색채가 잘 남아있다.

Table 1. 탕화 안료색상 및 분석위치

안료색상	시료번호	분석위치	채색	비고
녹 색	1	신중도 (국사암)	견본(絹本) 채색 추정	쌍계사 탕화
적 색	2			
백 색	3			
금 색	4			
녹 색	5	영산회상도 (삼세불화중 1폭)	견본(絹本) 채색 추정	
적 색	6			
주황색	7			
백 색	8			
흑색(선)	9			
금 색	10			
군 청	11	산신도	견본(絹本) 채색 추정	
청 색	12			
백 색	13			
녹 색	14			
연두색	15	지장보살도 (명부전)	견본(絹本) 채색 추정	
흑색(선)	16			
녹 색	17			
적 색	18			
백 색	19			
청 색	20	진감국사 진영 (영모전)	지본(紙本) 채색 추정	
흑색(선)	21			
하늘색	22			

Ⅲ. 분석 방법

1. 단면관찰

안료층의 단면관찰은 안료를 에폭시수지에 마운팅한 후 연마지 #200, #400,

#800, #1000, #2000, #4000 순으로 사용하여 안료층에 스크래치가 없을 때까지 연마하였다. 연마된 각 시료에 대해 광학현미경(Microscope, Carl Zeiss, Axiotech 100HD/Progress 3012, Germany)을 사용하여, 안료층의 단면을 관찰하였으며, 영상분석기(Image Analyzer, Carl Zeiss, KS 300 System, Germany)를 이용하여 안료층의 두께를 측정하였다.

2. 성분분석

안료의 정성성분은 수습된 안료 파편을 가지고 실험실의 에너지분산형 형광X선 분석기(Energy Dispersive X-Ray Micro-Fluorescence Analyzer; EDXRF, KeveX, OMICRON, U.S.A)를 사용하여 분석하였으며, 분석조건은 20kV, 0.5mA, 분석시간 100초 및 300 μ m Collimator였다. 또한 EDXRF 분석 후 안료의 화합물 동정은 MCA(Multi Channel Analyzer)방식을 취하는 미소부X선회절분석기(Micro-area X-ray Diffraction system; MXRD, MAC Science, MXP18VA, Japan)를 사용하였다. 미소부X선회절분석시 Target은 Cu를 사용하였으며, 계측시 전압은 30kV, 100mA였으며, 100 μ m Collimator를 사용하여 계측하였다. 또한 시료 계측시 분석시간은 1000초로 하였고, 계측 후 분석데이터는 피크 매칭(peak matching) 프로그램을 이용하여 각 피크를 동정하였다.

IV. 조사결과

1. 단면관찰결과(Photo 1~16)

실체현미경을 통한 탕화 안료에 대한 각 색상별 안료층의 단면관찰 결과는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. 쌍계사 탕화 안료의 단면관찰 결과

시료 번호	조직특성	안료층두께	비 고
1	- 연한 녹색의 알갱이, 불균질한 층	17~50 μ m	Photo 1
2	- 적색 + 황적색 안료 알갱이 혼합 - 하부에 백색층 존재	22~45 μ m	Photo 2
3	- 미세한 알갱이상의 고른층으로 존재	26~74 μ m	Photo 3
4	- 매우 두꺼우며, 금알갱이가 산재한 형태	245~340 μ m	Photo 4
5	- 녹색과 초록색의 혼합되어 있음 - 굵은 결정형태	65~135 μ m	Photo 5
6	- 적색과 황색이 고르게 혼재하지 못함 - 주로 적색이 많이 존재	14~53 μ m	Photo 6
7	- 황갈색이 많이 존재하여 주홍빛을 냄	16~40 μ m	Photo 7
8	- 미세하고 고른 백색의 층을 가짐	17~60 μ m	Photo 8
9	- 소량씩 뭉쳐있는 형태를 보임 - 불규칙하고 고르지 못함 (일반적인 먹선과 다른 결정형태)	20~72 μ m	Photo 9
10	- 상부에 얇은 금박층이 있음 - 백색의 두꺼운 내부에도 금이 혼재함	금박두께 - 2 μ m 이하	Photo 10
11	- 진한 청색과 옅은 청색의 결정들이 혼합 되어 있음	44~82 μ m	Photo 11
12	- 어두운 청색의 결정이 많이 있음 - 치밀하지 못함	52~120 μ m	Photo 12
14	- 짙은 녹색이며, 대부분의 결정이 형태와 색상이 비슷함	31~120 μ m	Photo 13
15	- 녹색과 비슷하나, 연한 녹색이 다량 존재함	78~156 μ m	Photo 14
17	- 옅은 청색과 진한 녹색이 혼합됨 - 황색 알갱이도 존재	67~150 μ m	Photo 15
22	- 맑은 하늘색이며, 상층은 백색과 혼재함	27~70 μ m	Photo 16

단면 관찰결과에서 알 수 있듯이 녹색 안료의 경우, 진한 녹색과 연한 녹색, 초록색 등의 알갱이가 혼합되어 존재하며, 매우 불규칙하고 층의 두께는 탕화에 따라서 두껍거나 얇은 층을 형성하고 있다. 또한 산신도의 녹색과 연두색은 단면 상태로는 동일한 색상과 형태를 가지고 있으나 연두색은 옅은 녹색이 조금 더 많이 존재하는 것을 알 수 있고, 특이하게 지장보살도의 녹색에는 황색의 알갱이도 소량 분포하고

있었다.

적색은 하부에 고른 백색의 안료층이 존재하는 경우(신중도)도 있으며, 일반적으로 적색과 황적색, 황갈색 등이 다량 존재하고 부분적으로 입자가 집중하여 분포하는 경우가 있는데, 이는 입자의 가공시 미세의 분말형태로 가공되지 못하였거나 혼합시 고르게 혼합 되지 못하고 사용되었다는 것을 유추해 볼 수 있다. 흑색의 경우는 대부분 먹선으로 추정되어 현미경상에서 층의 관찰이 매우 어렵다. 그러나 영산회상도에서 나타나는 흑색층은 소량이 묻쳐져 층이 불균질해 양상이 조금 다름을 알 수 있었다.

영산회상도에서 나타난 군청과 청색은 입자의 분포나 형상이 매우 비슷한 양상을 보이고 있으나 청색 입자는 부분적으로 길쭉한 직사각형 모양의 입자도 존재한다.

진감국사 진영의 하늘색은 현미경상에서도 고른 분포를 보이고 있으며, 상부에 백색의 안료가 매우 안정되게 존재하고 있다.

2. 성분분석결과

EDXRF와 MXRD를 이용한 각 색상별 안료의 성분 및 광물 동정 결과를 Table 3에 나타내었다.

1) 녹색안료(시료 1,5,14, 17; Photo 1, 5, 13, 15; Fig. 1, 2 참조)

고대부터 녹색 계통의 안료는 주로 천연광물 중에서 염기성 탄산구리인 공작석 [$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, Malachite]이나 남동광 [$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, Azulite]을 또는 청동녹 계통인 염기성염화동 [$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$, Paratacamite, Atacamite, Botallackite] 등을 사용하였으며, 그 외에 단색으로된 암석인 뇌록석[Celadonite, $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_2(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$]을 수비하여 건조시킨 후 사용하였다. 그러나 현대에 와서 사용하는 녹색안료는 유기 안료인 Cyanine green이나 화록청 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{As}_3\text{Cu}_2\text{O}_8$, Emerald green) 또는 산화크롬녹(Cr_2O_3 , Chrome green)을

Table 3. 탕화 안료의 성분분석결과

안료색상	시료 번호	검출원소	화 합 물	비 고
녹 색	1	Cu	(NH ₄) ₂ Cu(SO ₄) ₂ · 6H ₂ O CaCO ₃	Fig. 1, 2
적 색	2	Pb, Hg	HgS Pb(CN) ₂	Fig. 3, 4
백 색	3	Pb, Fe	Pb ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Fig. 7, 8
금 색	4	Au	Au	Fig. 17, 18
녹 색	5	Cu	Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Fig. 1, 2
적 색	6	Pb, Hg	HgS PbSO ₄ FeO(OH)	Fig. 3, 4
주황색	7	Fe, Pb, Cu	PbSO ₄ FeO(OH)	Fig. 5, 6
백 색	8	Pb, Fe	Pb ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Fig. 7, 8
흑색(선)	9	Pb, Cu, Ca	nd*	
금 색	10	Au	미측정	
군 청	11	Cu	Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Fig. 9, 10
청 색	12	Co, Fe, As	Fe ₄ (Fe(CN) ₆) ₂ , Co(H ₂ PO ₂) ₂ · 6H ₂ O	Fig. 11, 12
백 색	13	Pb, Fe, K	nd*	Fig. 7
녹 색	14	Cu	Fe ₄ (Fe(CN) ₆) ₂ Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Fig. 1, 2
연 두	15	Cu, Cl	Cu ₂ Cl(OH) ₃	Fig. 13, 14
흑색(선)	16	Cu	미측정	
녹 색	17	Cu	Cu ₂ Cl(OH) ₃	Fig. 1, 2
적 색	18	Cu, Fe, Pb	Fe ₂ O ₃	Fig. 3, 4
백 색	19	Cu, Fe, Ca	CaCO ₃ PbSO ₄	Fig. 7, 8
청 색	20	As, Co, Fe	Fe ₄ (Fe(CN) ₆) ₂ Pb Fe(CN) ₆ · 3H ₂ O	Fig. 11
흑색(선)	21	Cu, Cl	미측정	
하늘색	22	Cu, Pb, Ca	CaCu ₃ (AsO ₄)(OH) CaCO ₃	Fig. 15, 16

*** nd* : not detected

많이 사용하였다. 그중 Emerald green은 비소(As)의 독성이 강해 일본에서 더 이상 생산하지 않고 있어 현재는 사용하고 있지 않다.

쌍계사의 녹색 안료는 EDXRF분석결과 모든 시료에서 주성분으로 구리(Cu)가 검출되었다. 그러나 MXRD 분석결과 공작석[CuCO₃ · Cu(OH)₂, Malachite]이나 청동녹의 염기성 염화동[(Cu₂Cl(OH)₃, Botallackite, Paratacamite]으로 각각 원료의 광물상이 다르게 동정되었으며, 이는 지금 쓰이는 합성안료가 아닌 천연광물에서 나타나는 무기 안료임을 알 수 있었다.

2) 적색 안료(시료 2,6, 18; Photo 2, 6; Fig. 3, 4 참조)

고대에 이용한 적색 계통의 무기안료는 석간주(Fe₂O₃, Hematite)와 장단(Pb₃O₄, Red lead), 진사(HgS, Cinnabar)를 많이 사용하였다. 또한 현대에도 석간주나 장단은 단청안료로 많이 사용하고 있다.

EDXRF를 이용한 적색안료의 분석결과 2과 6번 시료에서는 Pb, Hg가 검출되었으며, 18번에서는 Fe가 검출되었다. 또한 MXRD 분석결과 2, 6번의 두 시료는 진사(HgS, Cinnabar), 18번 시료는 철단(Fe₂O₃, Hematite)으로 동정되어 탕화에 따라 서로 다른 성분의 안료를 사용했고, 모두 천연광물을 이용했음을 알 수 있다.

3) 백색 안료(시료 3, 8, 13, 19; Photo 3, 8; Fig. 7, 8 참조)

백색 안료의 경우 고대에는 천연산 백토, 석회석 또는 석고(CaSO₄ · 2H₂O, Gypsum)를 구워 분말로 만들어 썼으며, 조개, 굴껍질 등을 구워서 호분(CaCO₃, Calcite)을 만들어 사용하였다. 약 7세기경부터는 납을 소지로 한 백색 안료인 연백[2PbCO₃ · Pb(OH)₂, White lead]을 사용하기도 하였다.⁵⁾ 그러나 현대에 사용하는 백색안료는 산화지당(TiO₂, Titanium dioxide)과 아연화(ZnO, Zinc oxide) 등을 많이 사용하고 있다.

탕화에 사용된 백색안료의 경우 EDXRF분석 결과 3, 8, 13번 시료에서 주성분으로 납(Pb)이 검출되고, 19번 시료는 칼슘(Ca) 등이 검출되었다. 또한 티탄늄(Ti)

나 아연(Zn)은 검출되지 않았다. MXRD 분석 결과에서도 3, 8번의 시료는 모두 연백[$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, White lead]으로 동정되었으며, 19번시료의 경우 Ca를 주성분으로하는 호분(CaCO_3 , Calcite)으로 동정되어 백색안료도 모두 천연안료를 사용한 것을 알 수 있다.

4) 흑색 안료(시료 9,16, 21; Photo 9 참조)

고대부터 사용한 흑색안료는 탄소화합물로서 분말 또는 수먹을 만들어 사용하였으며, 철과 구리, 또는 어느 한쪽의 산화물을 이용하였다. 그러나 대체로 흑색안료는 먹(탄소화합물)이며 가장 오래되고 일반적이다.

탱화의 흑색안료의 경우 EDXRF분석 결과 모든 시료에서 납(Pb)이나 구리(Cu)가 검출되는 것으로 보아 이들 대부분이 바탕색인 백색이나, 녹색안료의 성분이 검출되어 나오는 것으로 보인다. 또한 흑색안료는 일반적으로 먹을 사용한 경우 성분 분석시 잘 나타나지 않고, 현미경관찰에도 검은 탄분 알갱이들이 관찰된다.

5) 청색 안료(시료 12, 20; Photo 12, Fig. 11, 12 참조)

고대 청색안료로는 천연산인 동광석(銅鑛石) 계통의 편청석을 분쇄하여 암감청, 암군청을 제조하여 사용하였다. 그러나 현대에 많이 쓰이는 안료로는 군청 [$2(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \cdot \text{Na}_2\text{S}_2$, Ultramarine], 코발트 청($\text{CoO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$, Cobalt blue) 등을 사용하고 있다.

탱화의 청색 안료의 경우는 EDXRF분석 결과 코발트(Co)와 비소(As)가 주성분으로 검출되었다. MXRD를 이용하여 분석한 결과, 담청[$\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_2$, Prussian Blue]로 동정되었다.

6) 주황색 안료(시료 7, Photo 7, Fig. 5, 6 참조)

주황색 안료의 경우 고대에는 자연 천연광물에서 나는 황토[$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$, Iron oxide yellow] 또는 석황(As_2S_3 , Orpiment)이라 하여, 계관석(鷄冠石,

Realgar)에서 피상 또는 입상을 이루어 산출되는 것을 수비하여 사용하였다. 그러나 현대는 납(Pb)을 주성분으로 하고 있는 황연(PbCrO_4 , Chrome yellow)을 많이 사용하고 있다.

탱화 안료의 경우 EDXRF 분석결과 철(Fe)와 납(Pb)이 주성분으로 검출되었으며, 미소 파편에 대한 MXRD 분석결과 수산화철($\text{FeO}(\text{OH})$, Goathite)로 동정되어 이 역시 천연안료를 수비하여 사용한 것을 알 수 있다.

7) 금색안료(시료 4, 10; Photo 4, 10; Fig. 17, 18 참조)

금색안료는 EDXRF 분석결과 Au가 주성분으로 검출되었으며, MXRD 분석결과 또한 Au로 동정된 것으로 보아, 금박을 이용하여 부처님이나 보살의 광배 테두리에 붙여 찬란하게 묘사하였음을 알게 해주었다.

8) 청색계열안료(시료 11, 15, 22; Photo 11, 14, 16; Fig. 9, 10, 13, 14, 15, 16 참조)

기타 청색계열 안료에는 군청, 연두, 하늘색 등이 있으며, EDXRF 분석결과 군청은 구리(Cu), 연두와 하늘색의 경우 구리(Cu)와 염소(Cl)가 검출되었다. 이 파편을 가지고 MXRD 분석을 실시한 결과 군청색은 녹색에서 쓰이는 공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, Malachite)을 사용하였음을 알 수 있었으며, 연두색 또한 녹색 계열의 염기성염화동($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$, Paratacamite, Atacamite, Botallackite) 등을 사용한 것으로 나타났다. 또한 하늘색의 경우 Conichalcite($\text{CaCu}_3(\text{AsO}_4)(\text{OH})$)와 CaCO_3 가 동정되어 이들 색상은 녹색계열의 안료가 변색이나 탈색되어 생성되거나 색상별로 서로 혼합하여 사용한 결과 이러한 다양한 색상의 안료가 나타나는 것으로 사료된다.

V. 결론

하동 쌍계사의 탕화안료에 대한 자연과학적 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 안료층의 단면에 대한 미시적인 현미경 조사결과 안료층은 색상마다 서로 상이한 층구조를 이루고 있었으며, 각 층을 구성하는 입자의 크기나 형태, 분포상태는 안료의 색상뿐만아니라 안료 사용처에 따라 달라질 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 같은 색상의 안료지만 탕화의 종류에 따라 소장 사찰이 같아도 안료를 다르게 사용하였으며, 현미경관찰을 통해서도 쉽게 안료의 종류가 다름을 알 수 있었다.

둘째, 색상별 안료의 성분을 EDXRF와 MXRD를 사용하여 성분 및 광물을 동정해 본 결과 같은 색상, 같은 사찰의 소장 회화에서도 서로 다른 광물을 사용하였다는 것을 알 수 있었다. 그러나 대부분 쌍계사에서 사용된 안료의 경우 고대 안료의 제약성 때문에 적색의 경우 주로 진사(HgS), 철단(Fe_2O_3 , Hematite)등이 단일 또는 복합적으로 사용되었음을 알 수 있었고, 녹색은 공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, Malachite)과 염기성염화동($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), 담청($\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_2$, Prussian Blue), 금색은 금(Au, Gold), 주황색은 수산화철($\text{FeO}(\text{OH})$, Goathite), 백색은 연백($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, Lead Cyanamide), 호분(CaCO_3 , Calcite), 군청과 청색은 각각 탄산동($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, Azulite)과 담청($\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_2$, Prussian Blue)을 사용한 것으로 나타났다.

결론적으로 고대 탕화에 사용된 안료는 재료상의 제약성이 있었음에도 불구하고 시기와 탕화의 종류에 따라 각각 다른 광물을 단일 또는 혼합하여 사용한 것을 알 수 있었으며, 모두 천연 무기안료를 수비하여 사용하였음을 밝혔다.

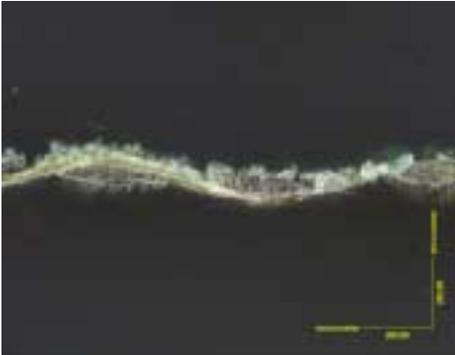


Photo 1. 시료 1번 - 녹색(좌)
Photo 2. 시료 2번 - 적색(우)



Photo 3. 시료 3번 - 백색(좌)
Photo 4. 시료 4번 - 금색(우)

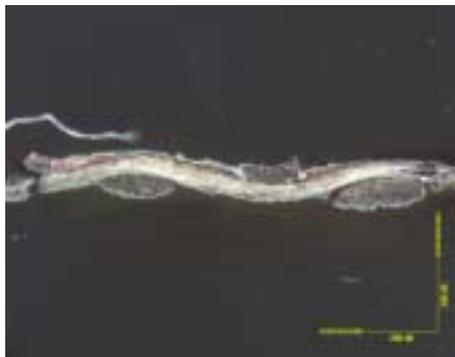
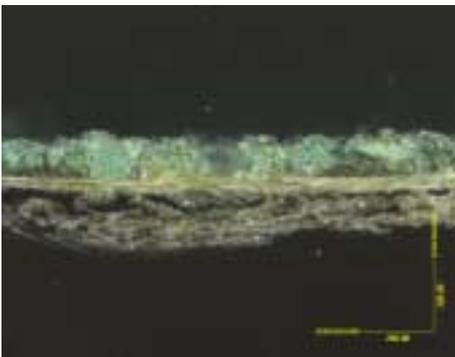


Photo 5. 시료 5번 - 녹색(좌)
Photo 6. 시료 6번 - 적색(우)

Photo 7. 시료 7번 - 주황색(좌)

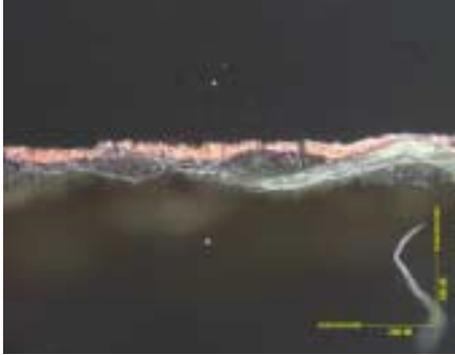


Photo 8. 시료 8번 - 백색(우)

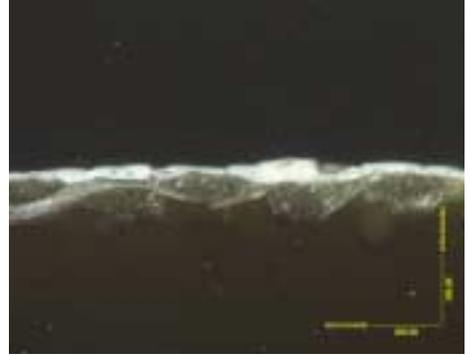


Photo 9. 시료 9번 - 검정색(좌)



Photo 10. 시료 10번 - 금색(우)

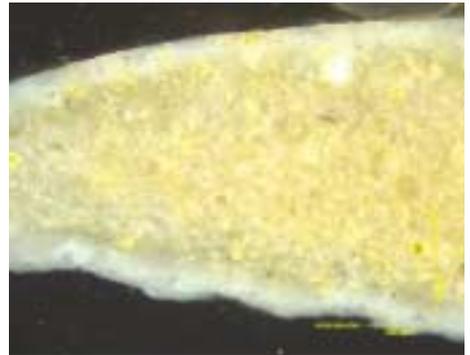


Photo 11. 시료 11번 - 군청색(좌)

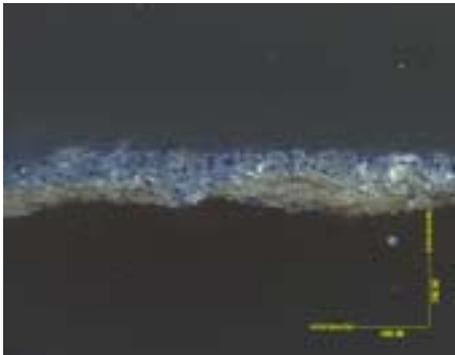
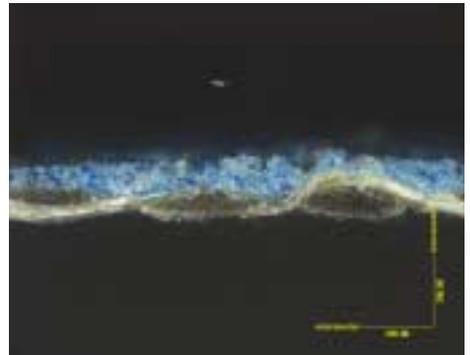


Photo 12. 시료 12번 - 청색(우)



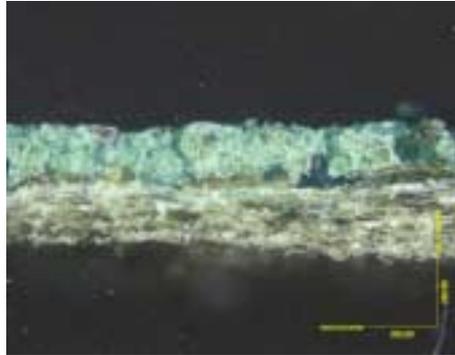
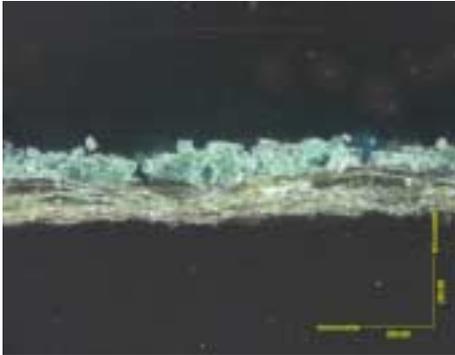


Photo 13. 시료 14번 - 녹색(좌)
Photo 14. 시료 15번 - 연두색(우)

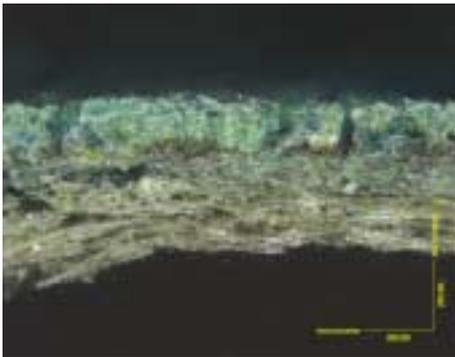


Photo 15. 시료 17번 - 녹색(좌)
Photo 16. 시료 22번 - 하늘색(우)

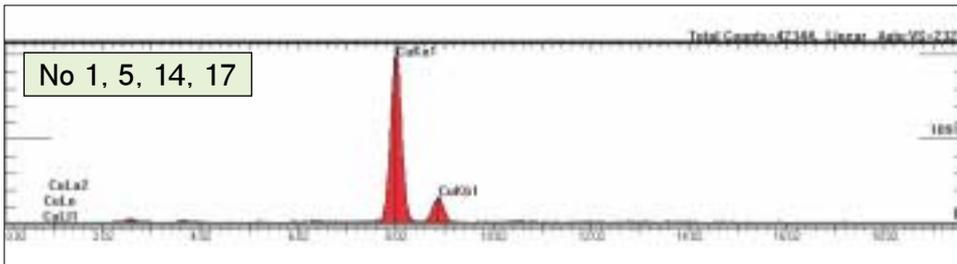


Fig. 1.
녹색안료 EDXRF 성분분석 결과

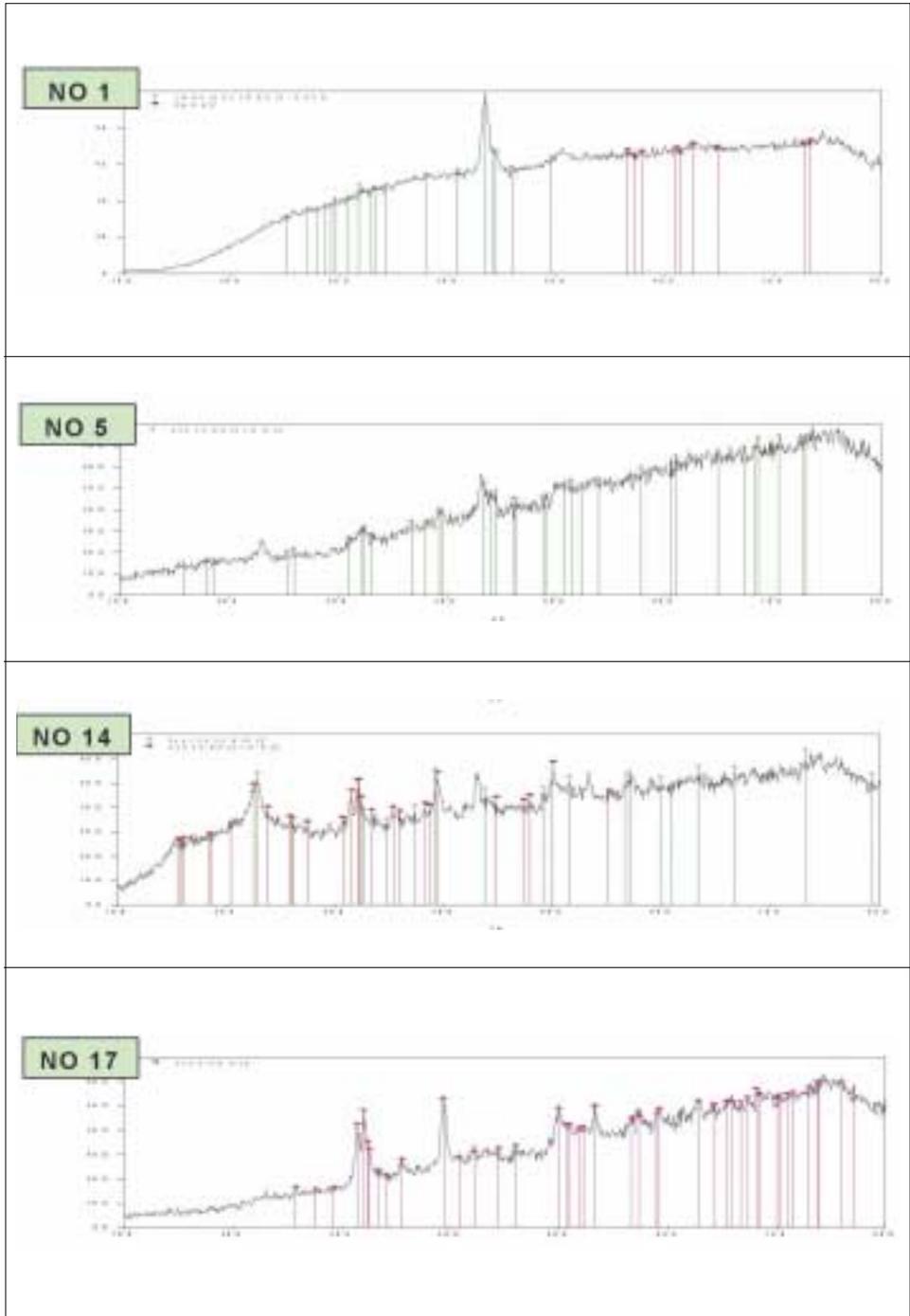


Fig. 2.
녹색안료 MXRD 분석 결과

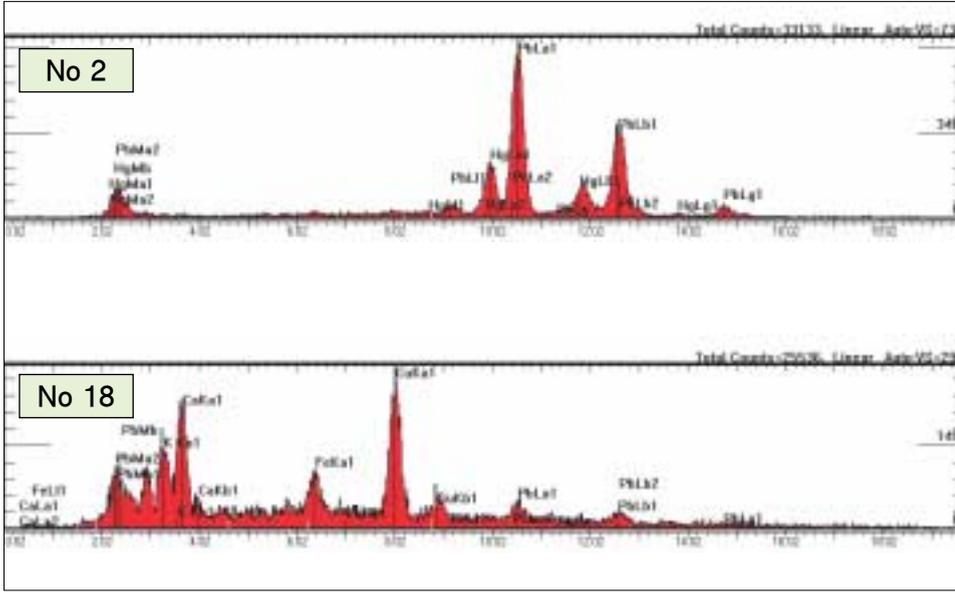


Fig. 3. 적색안료 EDXRF 성분분석 결과

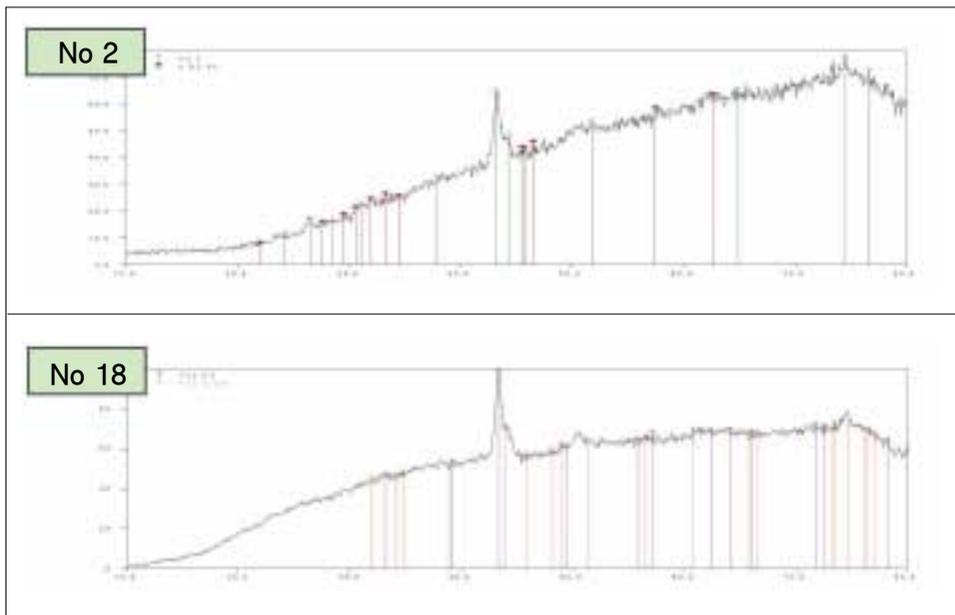


Fig. 4. 적색안료 MXRD 분석 결과

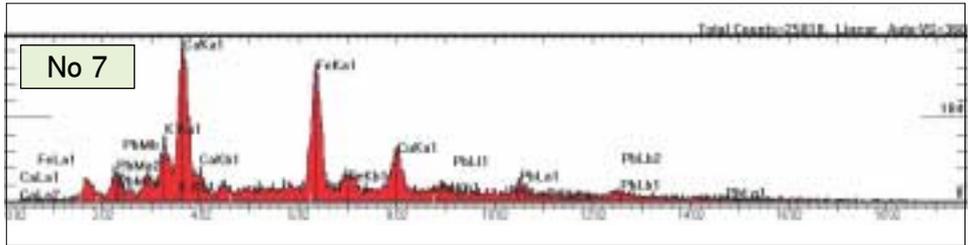


Fig. 5.
주황색안료 EDXRF 성분분석 결과

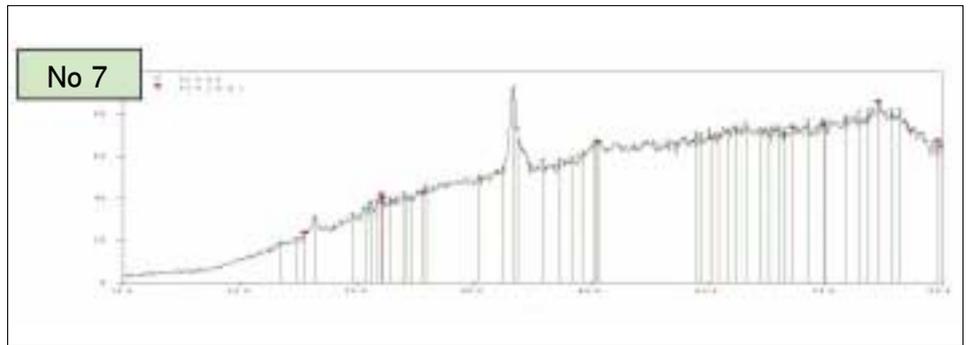


Fig. 6.
주황색안료 MXRD 분석 결과

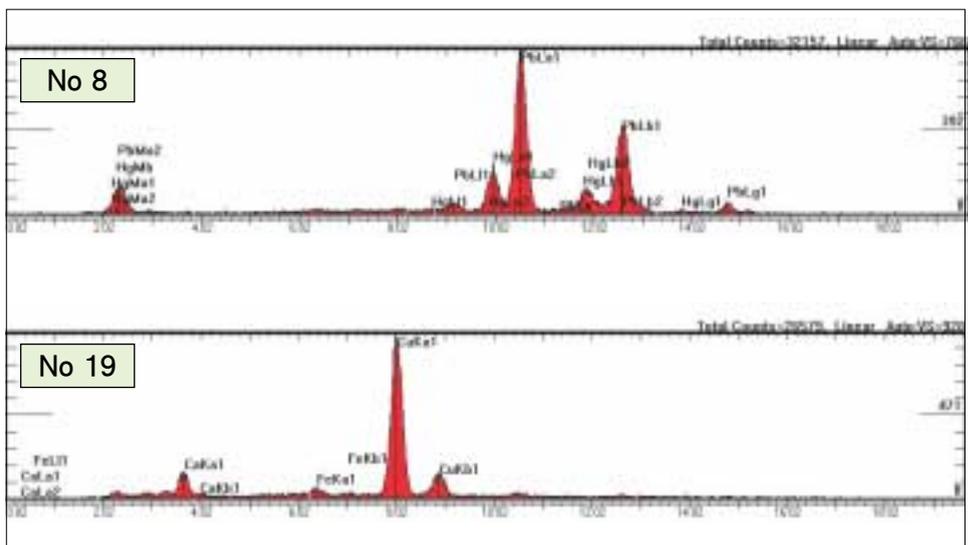


Fig. 7.
백색안료 EDXRF 성분분석 결과

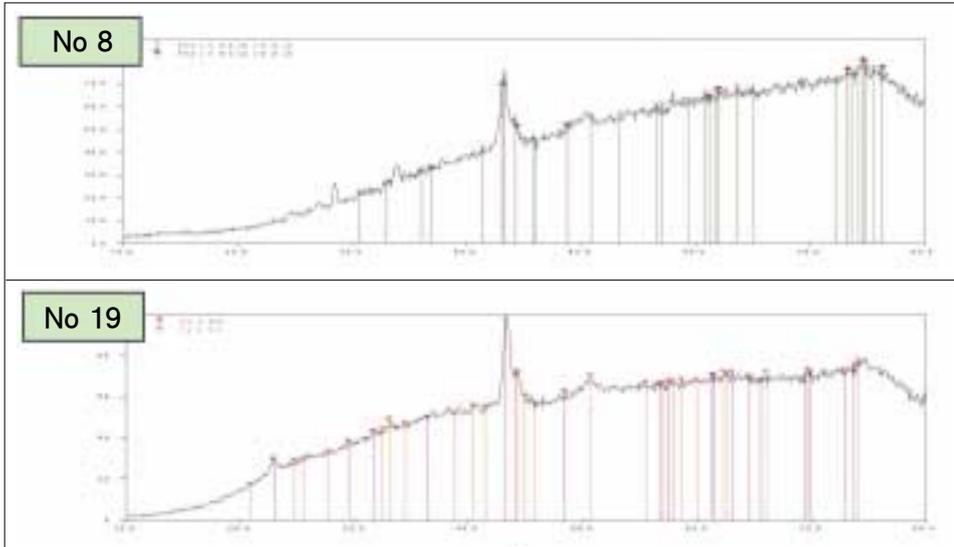


Fig. 8.
백색안료 MXRD 분석 결과

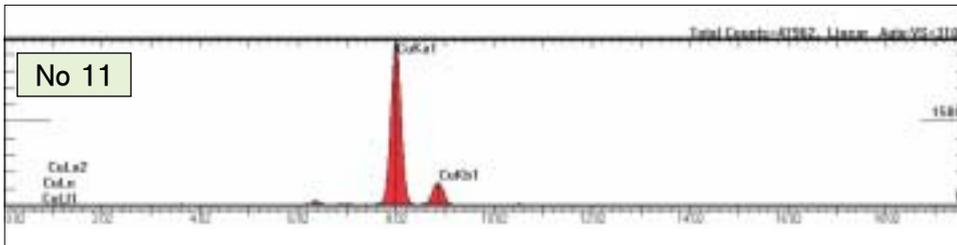


Fig. 9.
균청색안료 EDXRF 성분분석 결과

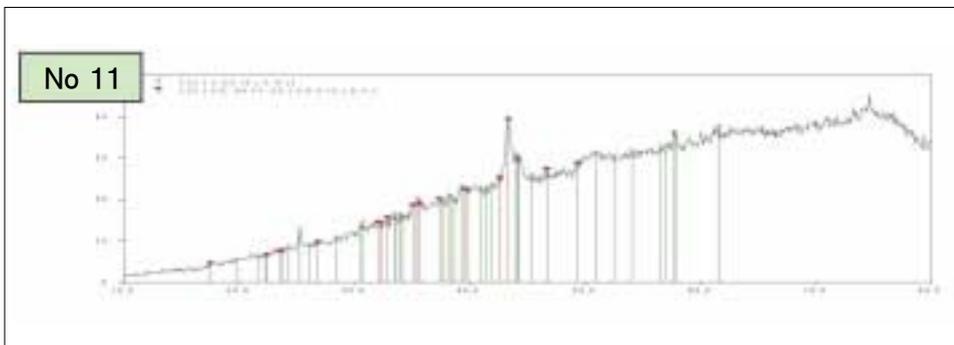


Fig. 10.
균청색안료 MXRD 분석 결과

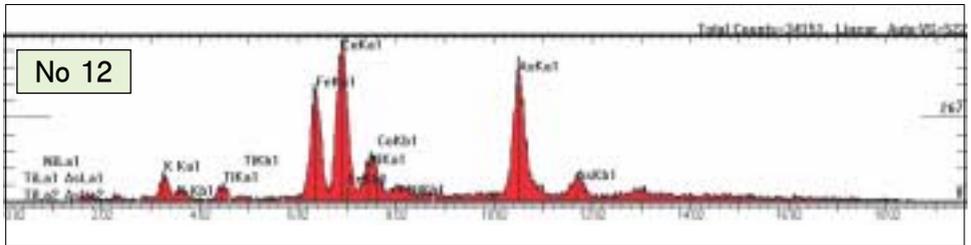


Fig. 11.
청색안료 EDXRF 성분분석 결과

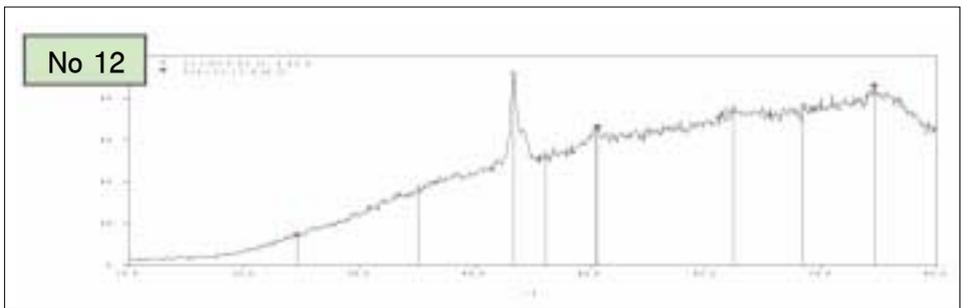


Fig. 12.
청색안료 MXRD 분석 결과

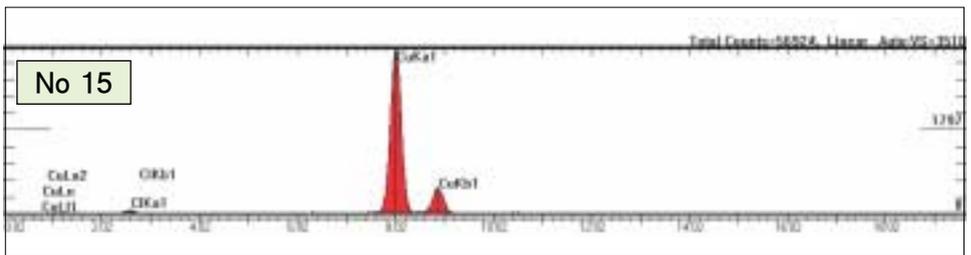


Fig. 13.
연두색안료 EDXRF
성분분석 결과

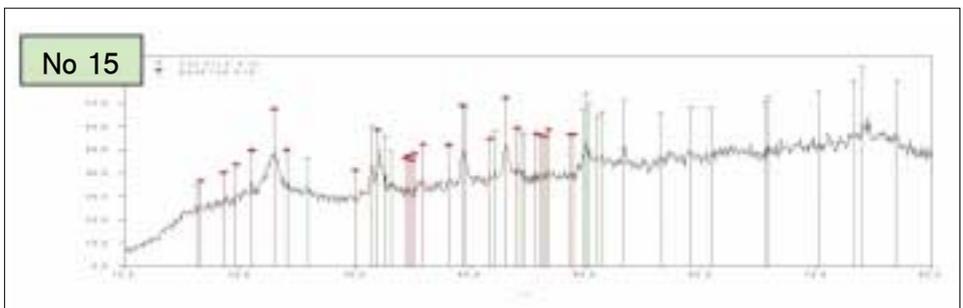


Fig. 14.
연두색안료 MXRD 분석 결과

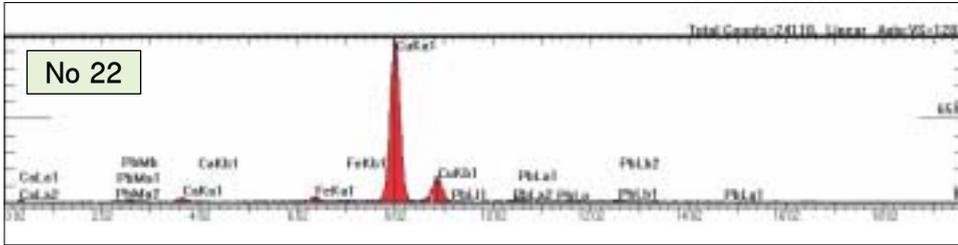


Fig. 15.
하늘색안료 EDXRF
성분분석 결과

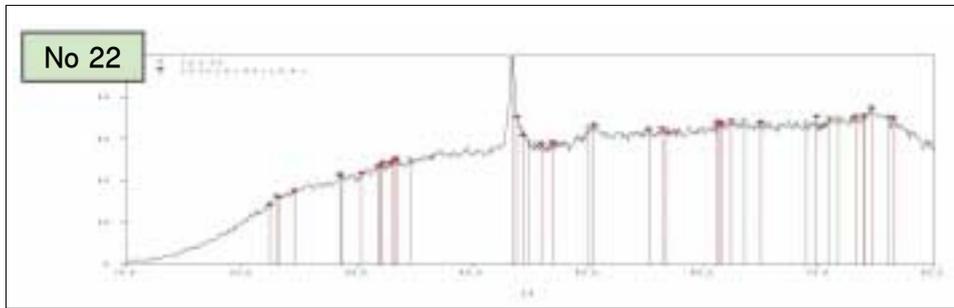


Fig. 16.
하늘색안료 MXRD 분석 결과

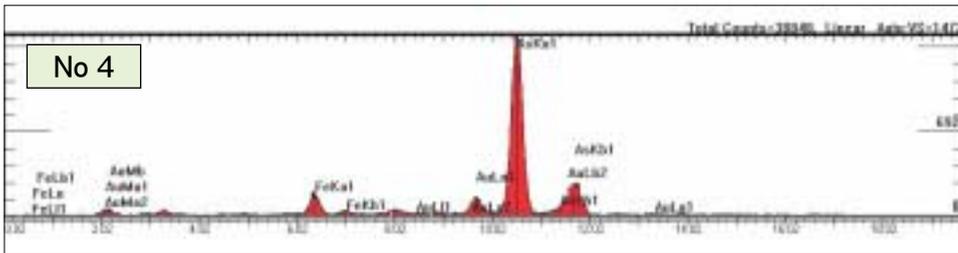


Fig. 17.
금색안료 EDXRF 성분분석 결과

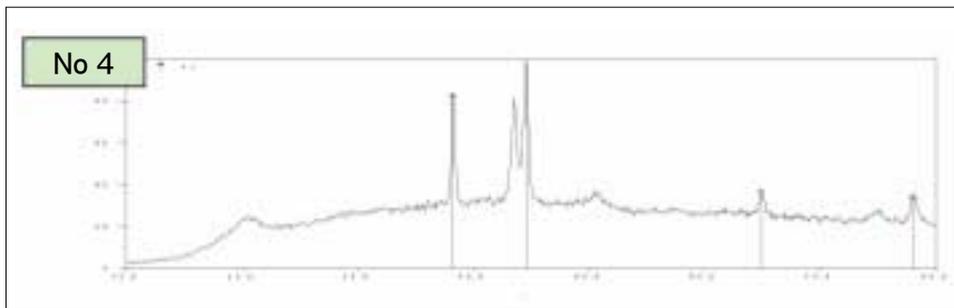


Fig. 18.
금색안료 MXRD 분석 결과

참고문헌

1. 김병호, 1988, 안료 및 접착제, 문화재보수기술교재, 문화재관리국: 357.
2. 張起仁, 韓奭成, 2002, 韓國建築大系Ⅲ, 丹青, 普成閣:74-88.
3. 金炳虎, 鄭亨均, 1985, 丹青의 剝落防止 試驗, 保存科學研究, 6:86-102.
4. 김사덕, 김순관, 홍정기, 강대일, 이명희, 1999, 양록단청 대체안료 개발 연구, 보존과학연구, 20:121-137.
5. 李淑淵, 1963, 古代丹青의 分析學의 研究(1), 論文集, 3: 317-320.
6. John Winter, 1989, 韓國 古代 顔料의 成分分析, 美術資料, 43:1-36.
7. 홍종욱, 정광용, 1992, 금산사 벽화안료 성분에 관한 비교분석, 보존과학연구, 13: 73-82.
8. 趙南哲, 洪鍾郁, 文煥哲, 黃振周, 2000, 봉정사 극락전 벽화안료의 재질분석 연구(Ⅱ), 보존과학연구, 21:119-144.
9. 文煥哲, 黃振周, 趙南哲, 洪鍾郁, 姜大一, 李命憲, 2001, 나주 복암리 3호분 출토 유리구슬의 과학적 분석, 羅州 伏岩里 3號墳(분석), 국립문화재연구소: 77-98.
10. 文煥哲, 黃振周, 姜大一, 李命憲, 1999, 西三陵 胎室收拾 遺物 非破壞 調查研究, 西三陵胎室, 國立文化財研究所:400-411.
11. 문환석, 조남철, 홍종욱, 황진주, 2002, 단청성분분석, 부석사 무량수전 실측 조사보고서: 380-402.
12. 한국전통표준색명 및 색상, 1991, 국립현대미술관:36-45.

〈감사의 글〉

이번 조사작업에 이용된 탕화안료는 2000년 쌍계사 탕화 자체조사에서 쌍계사성보박물관측이 수습한 시료이며, 시료를 협조해 주신 쌍계사측과 신은정씨에게 지면을 통해서 감사드린다.