

평안감사향연도 (平安監司饗宴圖)의 채색 재료 특성 연구 -연광정연회도(練光亭 宴會圖)를 중심으로-

A Study of the Characteristics
of Painting Materials Used
in *Welcome Feast for the
Pyeongan Governor: Focusing
on Banquet at Yeongwangjeong
Pavilion*

박진호, 장연희, 고수린*

국립중앙박물관 보존과학부

Jin Ho Park, Yeon Hee Chang,
Soo Rin Ko*

Conservation Science Division,
National Museum of Korea

* Corresponding Author :
Soo Rin Ko

Tel : 82-2-2077-9429
E-mail : sko423@korea.kr

요약

본 연구에서는 조선 후기 기록화인 《평안감사향연도》 총 3점 중 〈연광정연회도〉를 분석하여 채색 재료를 규명했다. 포인트 위주의 분석으로 인해 발생 가능한 문제를 최소화하고자 우선 파장별 이미지를 촬영했다. 엑스선을 통해 먹, 금, 유·무기 안료를 분류했고, 적외선으로 먹과 구리계 안료를 파악했다. 초분광으로는 흑색, 청색, 녹색 재료 중에서 안료와 유기 염료를 구별해냈다. 색상별 선정 지점을 분석하여 백색(연백), 흑색(먹/쪽), 적색(연단+진사), 분홍색(염료), 자주색(염료), 갈색(산화철), 황색(석황/염료), 녹색(석록/석록+염료/쪽)과 청색(석청/연백+쪽/쪽), 자색(쪽+연지), 금색(금박) 등의 재료를 규명했다. 향후 파장별 라이브러리가 확보되면 더 효율적인 분석이 가능할 것으로 기대된다.

주제어 : 평안감사향연도, 조선 후기 기록화, 초분광 이미징, 무기 안료, 유기 염료

Abstract

This study analyzes the <Banquet at Yeongwangjeong Pavilion>, one of the three panels of *Welcoming Banquets for the Governor of Pyeong-an*, a documentary painting of the late Joseon Dynasty, with the aim to identify the coloring materials used in the painting. The painting was first imaged at each wavelength in order to minimize the potential problems in the process of analyzing specific parts. This study applied X-rays to identify ink, gold, and organic and inorganic pigments and used infrared rays to find ink and copper-based pigments. It also applied hyperspectral imaging to distinguish organic pigments from black, blue, and green materials. It also analyzed spots selected for each color to identify the following materials: white lead (white), ink/indigo (black), a combination of red lead and cinnabar (red), pink dye, purple dye, iron oxides (brown), orpiment/dye (yellow), malachite/malachite and yellow dye/indigo (green), azurite/white lead and indigo/indigo (blue), indigo and cochineal (violet), and gold leaf (gold). It is expected that more efficient analysis will be made possible by securing a sufficient library for each wavelength.

Keywords: *Feast for Welcoming the Pyeongan Governor*, Late-Joseon documentary painting, Hyperspectral imaging, Inorganic pigment, Organic pigment

투고일: 2022.09.30. 심사(수정)일: 2022.10.20. 게재확정일: 2022.10.27.

1. 서론

《평안감사향연도[平安監司饗宴圖]》는 『한겨울 지나 봄 오듯 - 세한歲寒평안平安』 특별전(2020) 전시 대상으로 조선 후기 평안감사의 부임을 축하하기 위해 열린 연회를 그린 기록화이다. 〈연광정연회도[練光亭宴會圖]〉, 〈부벽루연회도[浮碧樓宴會圖]〉, 〈월야선유도[月夜船遊圖]〉 총 세 점으로 구성되어 있으며, 제작 기법에 대한 과학적 조사를 실시하여 전시 도록에 소개하였다. 이 중 〈연광정연회도〉 1점에 대해 새로운 분석 방법을 도입하여 조사하였으며, 그 결과를 본 고에 수록하고자 한다.

일반적으로 회화 작품의 제작기법 조사는 엑스선 촬영(X-ray), 적외선 촬영(IR), 엑스선형광분석(XRF), 현미경 조사를 통해 이루어진다. 이 중 엑스선형광분석의 경우 전체 화면에서 색상별 포인트가 임의로 선정되어 모든 지점의 재료를 규명하기에 어려운 부분이 있었다. 이를 보강하기 위해 이번 조사에서는 초분광 촬영을 실시했고, 화면 전체의 재료적 특징을 확인할 수 있었다. 그림 전체 면에 대해 수집된 정보를 참고하여 색상별로 분류한 후 포인트 분석 지점을 결정하였고, 이 지점에 대한 현미경 관찰, 엑스선형광분석, 자외선-가시광선 분광 분석을 실시하여 분석의 정확도를 높이하고자 하였다.

《평안감사향연도》의 제작기법 조사는 조선 후기 안료의 사용 양상을 파악할 수 있는 사례로써 의의가 있다. 본 연구를 토대로 조선 후기 채색 기록화의 재료적 특징을 밝히고 나아가 채색 기록화 연구의 종합적인 비교·검토를 위한 기초 자료를 마련하고자 한다.

2. 연구대상

국립중앙박물관에서 소장하고 있는 《평안감사향연도》(덕수5769)는 〈연광정연회도〉, 〈부벽루연회도〉, 〈월야선유도〉 등 총 3점으로 구성된 조선시대 후기의 기록화이다. 그림 세 점의 크기는 가로 196.9 cm, 세로 71.2 cm로 각목을 격자로 결구시킨 나무틀에 그림을 부착한 액자 형태로 장황되어 있다. 이러한 장황 형태는 1990년 11월에 보존처리를 거치면서 현재의 모습을 갖춘 뒤로 현재까지 유지되고 있다^[1]. 본 연구에서는 3점의 그림 중에서 〈연광정연회도〉에 사용된 안료를 분석하였다^(도1).



도1. <연광정연회도>

3. 연구방법

<연광정연회도>에 사용된 안료와 제작 기법의 특성을 확인하기 위해 과학적 조사·분석을 실시하였다. 먼저 파장대별로 엑스선, 적외선, 초분광 촬영을 진행했고 각 이미지에서 확인되는 특징을 근거로 분류하였다. 이 중에서 분석 지점을 선정하여 포인트 분석을 실시하였다. 상세한 내용은 아래에 순서대로 서술하였다.

3.1. 엑스선 촬영

엑스선을 물질에 투과시키면 그 물질의 밀도, 두께 등에 따라서 투과율이 달라진다. 이러한 특징에 의해 엑스선 촬영 사진에는 명암 차이가 나타나게 된다. 밝게 나타나는 부분에는 밀도가 큰 물질이 있거나 두께가 두꺼워서 엑스선의 투과율이 낮은 부분이라고 할 수 있다. 엑스선을 채색 문화재에 조사[照射]하게 되면 안료의 밀도 등에 따라 명암 차이가 나타나므로 이를 이용하면 어느 정도 분류가 가능하다. 따라서 엑스선 촬영 기기(K-2, Softex, JPN)를 사용하여 가속전압 20 kV, 전류 1 mA, 촬영시간 60초의 조건으로 촬영하였다.

3.2. 적외선 촬영

적외선은 파장이 길어서 채색층을 쉽게 통과하는 특징이 있으며 주로 채색 문화재의 밑그림 여부를 확인하는 데 활용된다. 탄소와 구리계 화합물이 적외선을 잘 흡수하기 때문에 상대적으로 검게 나타나며, 이를 이용해 먹 또는 구리계 안료가 사용된 부분을 쉽게 파악할 수 있다. 디지털카메라(XF IQ4 150MP, PHASE ONE, JPN)에 렌즈(AF45mm f/3.5 LS Blue Ring, Schneider-KREUZNACH, DEU)를 결합하여 촬영시간 1/10초, ISO 320의 조건으로 촬영하였다.

3.3. 초분광 촬영

초분광 촬영은 초분광 카메라로 그림을 촬영하여 픽셀당 약 100개의 스펙트럼 밴드가 포함된 이미지를 획득할 수 있는 비파괴 분석 방법이다^{[2],[3]}. 각 픽셀의 분광 정보를 파악하여 타겟 물질과 관련된 정보를 추출하면 초분광 이미지 상에서 서로 다른 물질을 구별할 수 있다^[4]. 이를 활용하면 다른 파장에서 알아내기 어려운 재료적 특징을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 VNIR(Vis-Near Infrared, VNIR-1800, Hypspec, NOR, 400~1,000 nm)과 SWIR(Short Waves Infrared, SWIR-384, Hypspec, NOR, 960~2,500 nm) 영역대의 초분광 카메라를 사용하여 각각 노출시간 18,000 μ s, 5,000 μ s의 조건으로 촬영하였다. 초분광 이미지의 가공 및 분석에는 ENVI 소프트웨어(Harris Geospatial Solutions, U.S.A.)를 활용하였다.

3.4. 안료 분석

3.4.1. 현미경 관찰

파장대별 촬영 결과를 토대로 선정된 지점에 대하여 현미경 관찰을 실시하였다. 이를 통해 채색 상태, 안료 입자 확인, 안료 혼합 여부 및 형태 등을 확인하였다. 촬영 기기는 디지털카메라(Q-S1, PENTAX, JPN)에 현미경 렌즈(TS-8LEN-20WT, Sugitoh, JPN)를 결합하여 초점거리 135 mm, 노출시간 1초의 조건으로 20배 확대하여 촬영하였다.

3.4.2. 엑스선형광분석

엑스선형광분석은 엑스선이 물질에 조사되면 그 물질의 특성에 따른 형광 엑스선이 방출되는 원리를 이용해 구성 원소를 확인하는 분석 방법이다. 금속이나 광물 등의 무기물을 분석하는 데 주로 활용된다. 본 연구에서는 엑스선형광분석기(ArtTAX, Bruker, DEU)를 이용하여 타겟 Mo, 측정면적 0.65 mm, 가속전압 30 kV, 전류 0.5 mA의 조건으로 He purging하여 100초간 분석하였다.

3.4.3. 자외선-가시광선 분광 분석

광원에서 나오는 자외선, 가시광선 영역의 빛을 물질에 조사하면 해당 물질을 구성하는 분자, 이온 등이 빛 에너지를 흡수하게 된다. 물질이 이 영역대의 빛을 흡수하면 전자에너지, 회전에너지, 진동에너지가 변하여 전자 전이, 회전 등의 여러 분자 운동이 발생하게 된다. 이때 각 분자·이온들은 그들을 구성하는 원자들의 에너지 준위가 달라 고유의 흡수량을 가지고 있다. 따라서 물질마다 고유 스펙트럼이 나타나게 되며, 이를 이용하여 해당 물질에 대한 정보를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 엑스선형광분석을 실시한 지점 중에서 필요하다고 판단되는 부분을 중심으로 분석

하였다. 이때 자외선-가시광선 분광 광도계(DH-2000-BAL, Ocean Optics, U.S.A.)를 광파이버(R400-7-UV-VIS, Ocean Optics, U.S.A.)와 결합해서 boxcar width 10, Integration Time 500 ms의 조건으로 3회 스캔하여 획득한 반사 스펙트럼을 활용하였다.

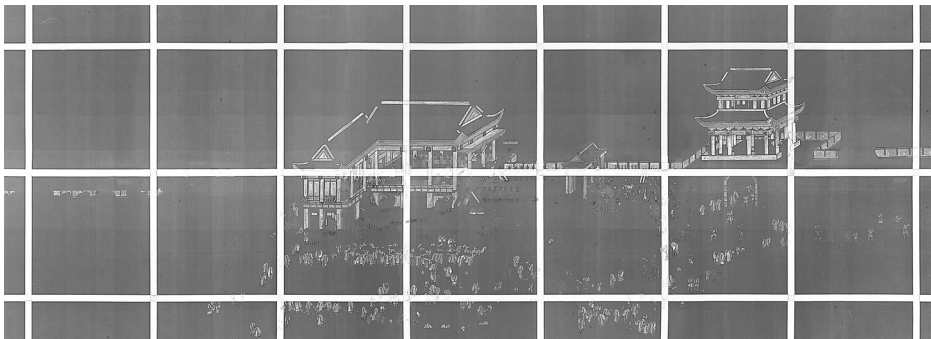
4. 연구결과

4.1. 엑스선 촬영

《평안감사향연도》의 그림 세 점 모두 각목을 격자 형태로 결구시킨 나무틀에 그림을 부착한 액자 장황 형식이다. 엑스선 사진을 보면 이를 쉽게 알 수 있는데, 나무틀 부분이 다른 부분보다 밀도가 높기 때문에 엑스선의 투과도가 낮아서 밝게 나타나는 것이 확인되었다^(도2).

백색, 적색, 분홍색, 갈색, 녹색, 청색 부분에서는 밝게 나타났고 흑색, 자주색, 분홍색, 갈색, 황색, 녹색, 청색, 자색, 금색이 채색된 곳은 어두운 것으로 확인되었다. 특히 분홍색, 갈색, 녹색, 청색은 밝고 어두운 부분이 모두 확인되었다. 이로 보아 같은 계열의 색상이라도 서로 다른 안료를 사용했거나 무기 안료와 유기 염료를 혼합하여 채색했을 것으로 생각된다. 밝게 나타난 6개 계열의 색상들은 색상별로 투과도 차이가 없어 따로 구분하기가 어려웠다^(도3). 그리고 엑스선 사진에서 인물들의 얼굴 윤곽선을 보면 얇은 선이 열게 확인되는 것으로 보아 무기 안료를 사용하여 윤곽선을 그렸던 것으로 추정되었다^(도4).

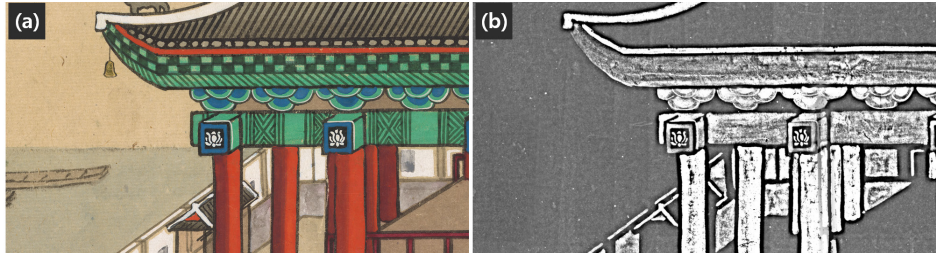
한편 <연광정연회도>의 구도를 중심으로 살펴보면 주변 풍경과 민가 등은 모두 엑스선이 투과되어 아무 것도 확인되지 않았고, 주로 연회와 관련된 건물과 일부 인물들만 밝게 나타났다. 이는 연회와 관련된 주요 부분을 위주로 선명하게 나타나는 무기 안료를 사용함으로써 화제[畫題]를 돋보이게 한 것으로 보인다.



도2. <연광정연회도>의 엑스선 촬영 결과



(a) 가시광선
(b) 엑스선



도3. <연광정연회도>의 엑스선 촬영 결과(세부 1)



(a) 가시광선
(b) 엑스선



도4. <연광정연회도>의 엑스선 촬영 결과(세부 2)

4.2. 적외선 촬영

적외선 촬영 결과 <연광정연회도>에서 밑그림, 화기[畵記] 등은 따로 확인되지 않았다. 유기 염료가 칠해진 위치는 모두 적외선이 투과하여 바탕과 같았다. 흑색, 녹색, 청색 등으로 채색된 위치에서는 다른 곳에 비해 상대적으로 어둡게 나타났고, 백색, 적색, 갈색, 황색 등에서는 바탕과 차이가 없었다. 이는 흑색, 녹색, 청색 안료가 다른 물질보다 적외선을 명확하게 흡수하는 탄소(C)와 산화구리(CuO)가 주성분이기 때문으로 판단하였다^(도5).

회색이 칠해진 곳은 적외선 사진에서 어둡거나 밝게 나타나는 두 가지 양상으로 구분되었다. 어두운 부분은 연광정[練光亭]과 읍호루[挹灝樓] 기와의 하단부, 양반들이 착용한 갓의 양태[涼太] 등에서 확인된다. 밝게 나타나는 부분은 기와 하단부를 제외한 나머지와 연광정 정문에서 사열하고 있는 사령[使令] 등이 있다. 회색은 보통 먹의 농담 조절을 통해 표현되며, 적외선 사진으로 보면 어둡게 나타난다. 이로 볼 때 <연광정연회도>의 회색 중 적외선 사진에서 밝게 확인되는 부분은 먹이 아닌 유기 염료를 사용했을 것으로 생각된다^(표1).

연광정, 탁청문[濯淸門], 읍호루의 기둥에 칠해진 적색은 세 단계로 나누어져서 점차 어두워지도록 표현되었는데 적외선 사진에서는 이러한 부분이 구분되지 않았다. 이로 볼 때 먹이 아니라 유기 염료로 중채[重彩]하여 색을 조절한 것으로 보인다^(도6).

한편 사자[獅子]탈의 눈과 방울, 연광정 입구 양쪽에 세워져 있는 절[節]과 월[鉞], 사령이 들고 있는 일산[日傘]의 꼭대기, 읍호루의 풍경[風磬]에서 확인되는 금[金, Gold, Au]은 아주 밝게 확인되었다^(도7). 금과 은 등은 대체로 적외선 반사도가 높는데, 그중에서도 금의 적외선 반사도는 약 98%이기 때문에 다른 부분보다 밝게 나타난다.



도5. <연광정연회도>의 적외선 촬영 결과

표1. <연광정연회도> 회색 부분의 적외선 촬영 결과

구분	파장	먹으로 채색된 회색(갓 모자/양태)	먹으로 채색되지 않은 회색(사령 군복)
가시광선			
	적외선		



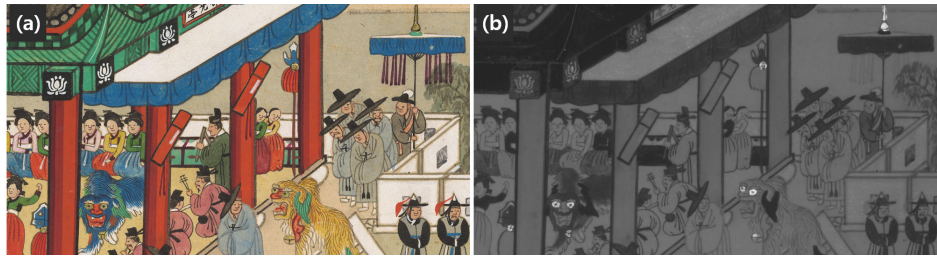
도6. <연광정연회도> 적색 계열 부분의 적외선 촬영 결과



(a) 가시광선
(b) 적외선



(a) 가시광선
(b) 적외선



도7. <연광정연회도> 금색 부분의 적외선 촬영 결과

4.3. 초분광 촬영

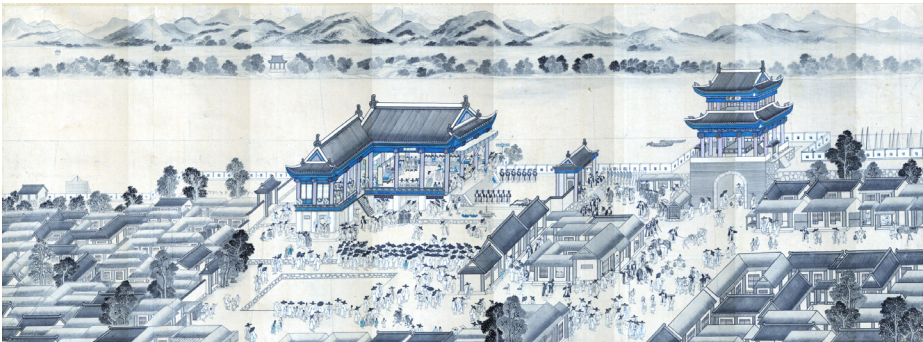
초분광 촬영을 통해 SWIR 및 VNIR 이미지를 획득하였다^(도8,도9). SWIR 이미지를 통해서 몇 가지 채색 재료들을 구분할 수 있었다. 건물 기둥에 채색된 적색은 연한 자색에 가까운 색을 띠고, 녹색은 진청색, 청색은 연한 청색으로 구분되었다. 이에 대한 특성 스펙트럼을 보면 더 명확하게 구분되나 여기서는 이미지를 통한 채색 부위의 분류에 초점을 맞추었다. 금은 반사도가 높아 매우 밝게 나타났다. 흑색 계열은 먹이 사용된 경우에는 모두 흑색으로 확인되었고, 유기 염료로 추정되는 위치에서는 색상과 관계없이 모두 바탕과 큰 차이가 없어서 차별점을 찾기 어려웠다.

VNIR 이미지는 근적외선과 함께 가시광선 대역이 포함되어 있어 True 이미지와 큰 차이가 나지 않아 변환시켜 해석하였다. 변환된 이미지 중에서 CIR(Color Infrared) 합성 이미지를 이용해 식물 계열의 염색에 대한 구분이 가능한지 확인하였다. 그 결과 청색, 남색, 어두운 녹색은 모두 적색으로 나타남을 알 수 있었다^(도10). 이를 통해 동일한 원료로 만든 유기 염료를 사용하여 세 가지 색상을 각각 표현했을 것으로 추정하였다. 연광정과 읍호루의 부연[附椽]을 보면 흑색 부분이 CIR 이미지에서는 흑색이 아닌 자주색으로 확인되었다^(도11). 먹으로 채색했다면 흑색으로 보여야 하지만 자주색인 것으로 보아 이 부분은 유기 염료를 사용했을 것으로 생각된다.

이 외에 CIR 이미지에서 적색은 황색, 녹색은 청색, 청색은 자색 등으로 변환되는 것을 알 수 있었다. 특히 건물 기둥의 음영을 표현하기 위해 채색된 적색 계열의 색상들은 엑스선과 적외선에서 구분되지 않았지만, CIR 합성 이미지에서는 구분이 가능하였다^(표2). 이 부분의 음영은 적색 안료와 유기 염료를 혼합하여 채색한 것으로 추정되며, 기둥의 외곽선에만 먹이 사용되었다.



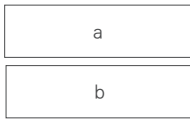
도8. 〈연광정연회도〉의 초분광 촬영 결과(VNIR)



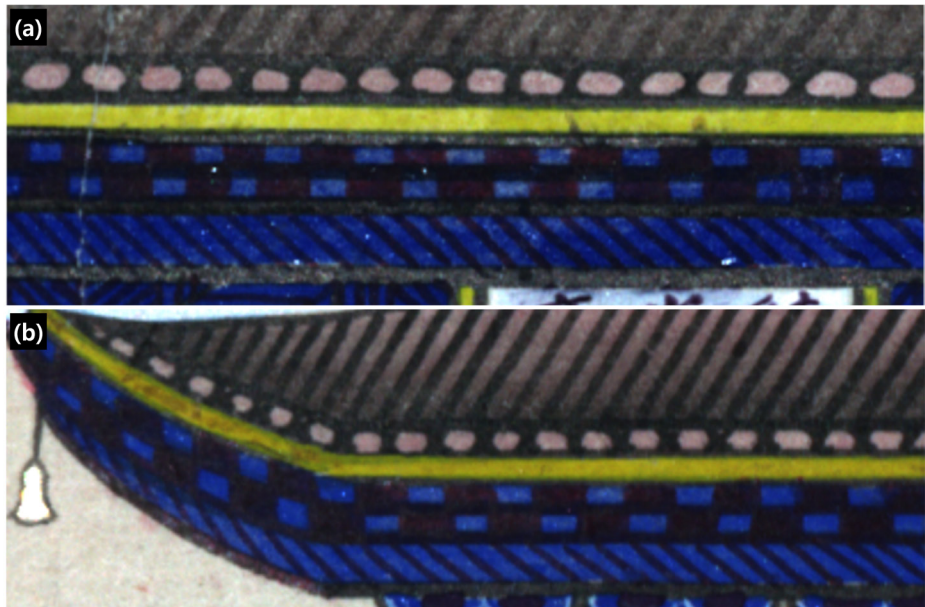
도9. 〈연광정연회도〉의 초분광 촬영 결과(SWIR)



도10. 〈연광정연회도〉의 초분광 촬영 결과(CIR 합성 이미지)



(a) 연광정 부연
(b) 읍호루 부연



도 11. 부연 흑색의 초분광 촬영 결과(CIR 합성 이미지)

표 2. 연광정, 탁청문, 읍호루 기둥의 파장별 촬영 결과

파장 위치	가시광선	엑스선	적외선	초분광 (CIR 합성 이미지)
연광정 기둥				
탁청문 기둥				
읍호루 기둥				


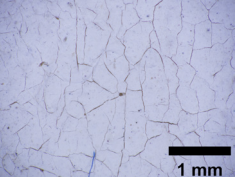
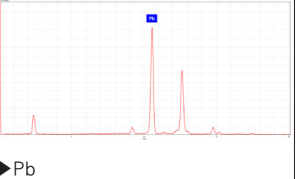

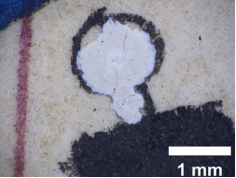
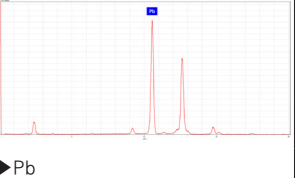
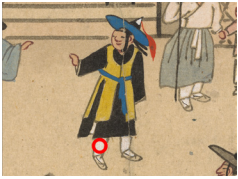
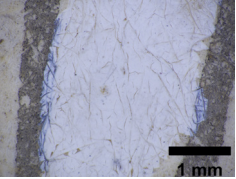
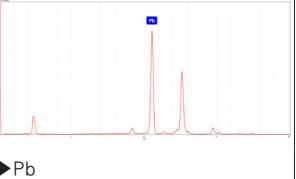

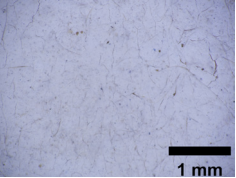
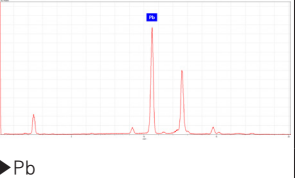
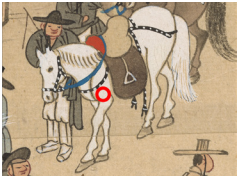
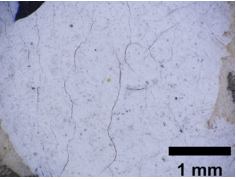
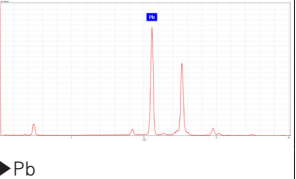
4.4. 안료 분석

4.4.1. 백색

백색은 연광정, 탁청문, 읍호루의 현판과 기단석, 여러 인물들의 의복, 말 등에 채색되었다. 현미경 상에서 모두 선명한 백색 안료가 치밀하게 채색되어 있고, 성분 분석 결과 납(Pb)이 검출되어 〈연광정연회도〉의 백색은 연백[鉛白, Lead White, $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$]으로 채색한 것을 알 수 있었다^[표3]. 이 그림과 비슷한 시기에 제작된 괘불탱[掛佛幀] 등에서는 연백과 함께 활석[滑石, Talc, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO} \cdot \text{H}_2\text{O}$] 등을 함께 사용하는 경우가 보고되었으나^[5], 〈연광정연회도〉에서는 연백만 확인되

었다. 그 이유에 대해서는 여러 가지가 있겠지만 백색도를 높여 선명한 백색을 표현하고자 하는 의도였을 가능성이 있다. 또는 이 그림을 어람용[御覽用]으로 그렸거나 관청에서 내입한 그림으로 제작되었을 가능성이 제시되었는데^[3], 이러한 경우라면 채색 재료의 가격에 따른 제약이 상대적으로 적었을 가능성도 고려해볼 수 있다.

표3. <연광정연회도>에 사용된 백색 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과


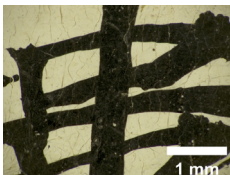
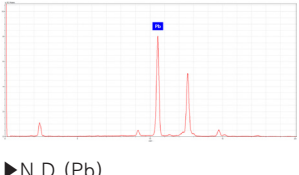
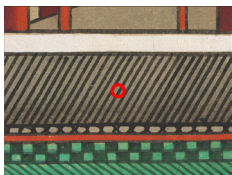
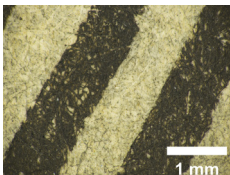
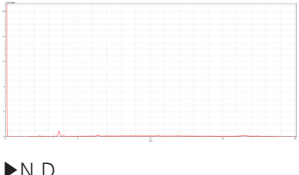

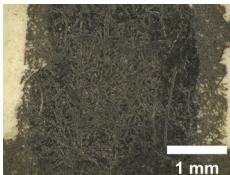
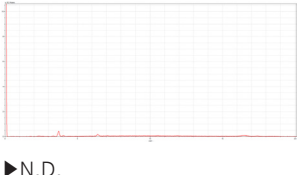
No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1				연백
2				연백
3				연백
4				연백
5				연백


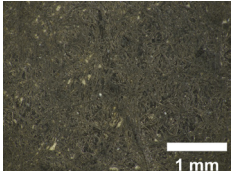
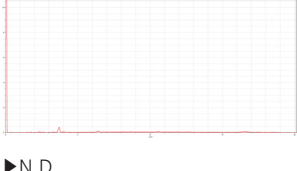
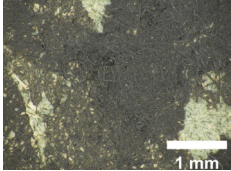
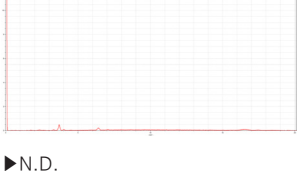

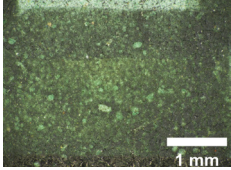
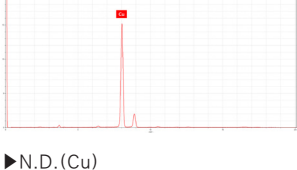

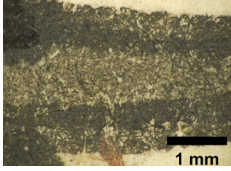
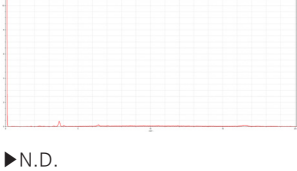
4.4.2. 흑색

흑색은 연광정, 탁청문, 읍호루의 현판과 기와, 단청, 여러 인물들의 의복, 갓, 나뭇잎 등을 표현하는 데 사용되었다. 성분 분석 결과 주성분 원소는 검출되지 않고, 현미경 상에서도 특정 입자가 관찰되지 않아 모두 탄소를 주성분으로 하는 먹[墨, Ink Stick, C]이 채색된 것으로 추정하였다^(표4).

연광정과 읍호루 부연의 흑색 부분은 적외선 상에서는 녹색 안료층의 영향으로 구분되지 않았지만, 초분광 이미지를 통해 차이점이 확인되었다. 이 부분을 중심으로 현미경 관찰을 실시하였고^(표4-6), 부연의 흑색과 먹선은 서로 다른 것으로 나타났다. CIR 합성 이미지에서 유기 염료로 추정된 부연의 흑색은 자주색으로 확인되었으나, 아전[衙前]의 신발과 양반의 갓에서는 흑색으로 나타났다^(도12). 흑색으로 나타난 부분은 먹으로 보이고 자주색 부분은 유기 염료로 판단되어 두 부분을 비교하기 위해 자외선-가시광선 분광 분석을 추가로 실시하였다. 먹의 자외선-가시광선 스펙트럼에서는 피크가 나타나지 않았다^[도13(a)]. 반면에 부연의 흑색 부분에 대한 스펙트럼을 녹색과 비교한 결과, 480~500 nm 부근에서는 녹색 안료와 겹쳐 확실하게 알기 어렵지만 680 nm 부근부터 상승하는 특징이 쪽[藍, 靑花, Indigo, $C_{16}H_{10}N_2O_2$]을 지시하는 것으로 판단하였다^[도13(b)]. 이러한 결과들을 종합해 볼 때 연광정과 읍호루의 부연은 녹색 안료 위에 쪽을 중채하였고, 외곽선은 먹으로 그렸음을 알 수 있었다.

표4. 〈연광정연회도〉에 사용된 흑색 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1			 ▶ N.D. (Pb)	먹 (연백 밑칠)
2			 ▶ N.D.	먹
3			 ▶ N.D.	먹

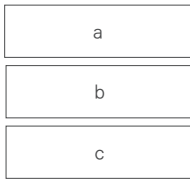
No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
4				먹
5				먹
6				유기 염료 (석록 밀칠)
7				먹



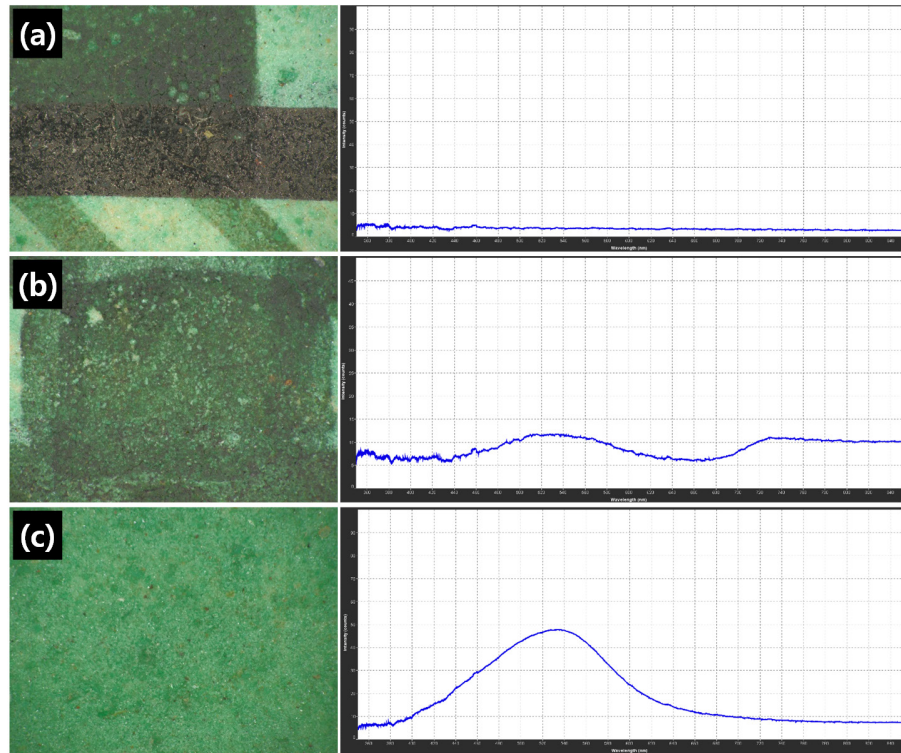
a
b

(a) 연광정 부연
(b) 아전 신발 및 양반 갓

도12. 초분광 이미지(CIR 합성 이미지)를 이용한 흑색 재료의 구분



(a) 먹
(b) 유기 염료
(c) 석록



도 13. 연광정 부연에 채색된 흑색의 현미경 관찰 및 자외선-가시광선 분광 분석 결과

4.4.3. 적색

적색 계열의 안료는 적색, 분홍색, 자주색으로 구분하였다. 적색은 연광정, 탁청문, 읍호루의 기둥, 평안감사가 쓴 주립[朱笠]의 구슬과 홍다회[紅多繪], 각종 의복, 사자탈, 말 안장 등에서 확인되었다^(표5). 엑스선형광분석에서 모두 수은(Hg), 납(Pb), 황(S)이 검출되었고, 현미경 상에서 연단[鉛丹, Minium, Pb_3O_4] 바탕에 진사[辰砂, Cinnabar, HgS] 입자가 있는 것이 확인되었다. 적색의 발색 원소인 수은과 납의 비율이 평균 1:1.65(σ : 0.28)로 유사하게 나타나 색상이 다른 일부 적색 사이에서 비율상 차이를 확인하기는 어려웠다.

분홍색은 사령 및 아전의 도포[道袍], 기생 저고리 등에서 확인된다. 일부 위치에서 검출된 납을 제외하면 주성분 원소는 확인되지 않았다. 현미경 사진 관찰 결과 납이 검출된 위치에서는 백색 안료층 위에 유기 염료가 중채되었고, 그 외에는 종이 위에 바로 분홍색의 유기 염료로 채색된 것이 확인되었다^(표6).

자주색은 연광정과 읍호루 단상의 난간, 평안감사 뒤에 있는 병풍 그림의 패선[野線]에서 확인되었으며 백색 안료 위에 유기 염료를 칠한 연꽃 외에는 모두 안료 입자와 주성분 원소가 확인되지 않았다^(표7).

표5. <연광정연회도>에 사용된 적색 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과


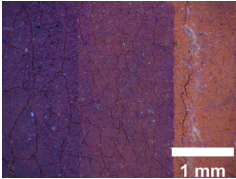
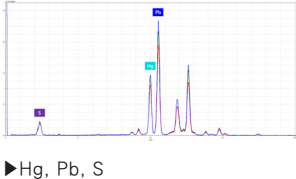

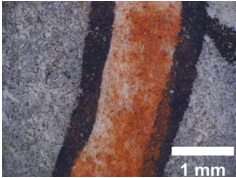
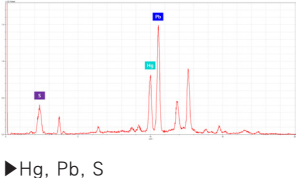

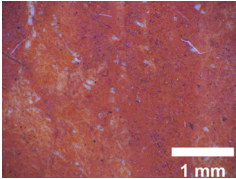
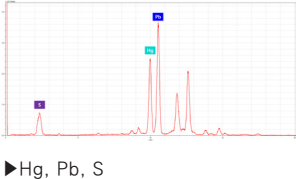

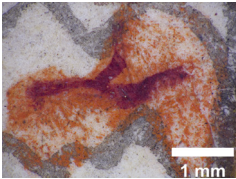
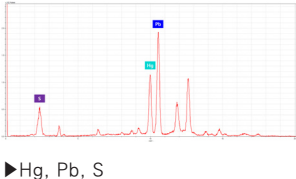
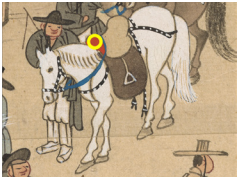
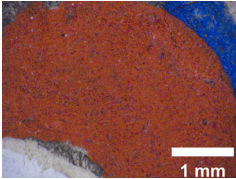
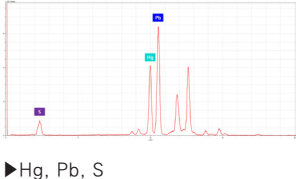
No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1			 ▶Hg, Pb, S	진사 연단
2			 ▶Hg, Pb, S	진사 연단
3			 ▶Hg, Pb, S	진사 연단
4			 ▶Hg, Pb, S	진사 연단
5			 ▶Hg, Pb, S	진사 연단

표6. <연광정연회도>에 사용된 분홍색 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과


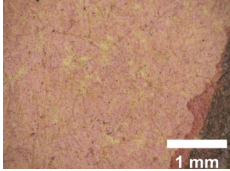


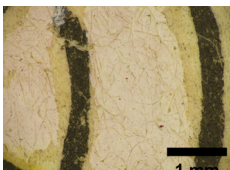
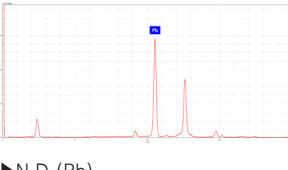

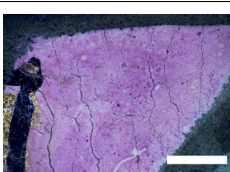
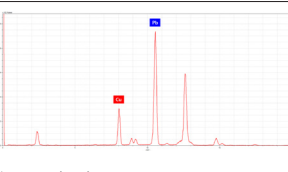

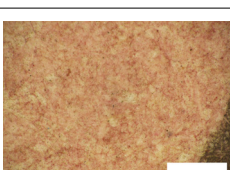
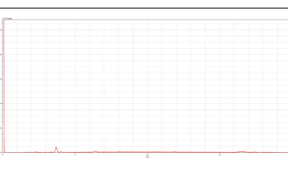
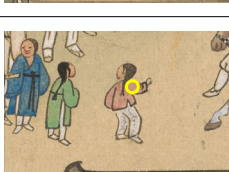
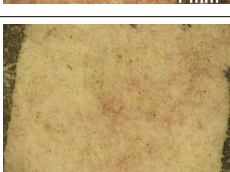
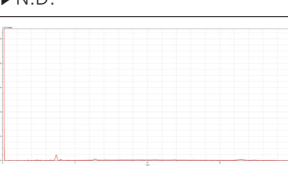

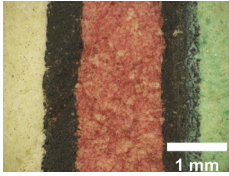
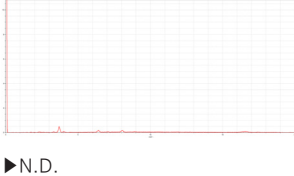

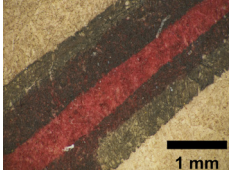
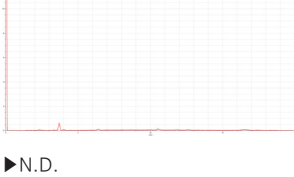

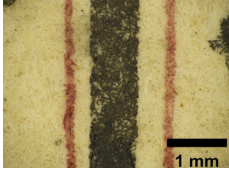

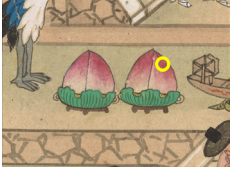
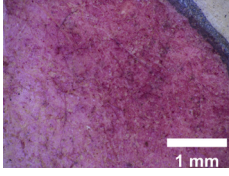

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1			 ▶ N.D. (Pb)	유기 염료 (연백 밀칠)
2			 ▶ N.D. (Pb)	유기 염료 (연백 밀칠)
3			 ▶ N.D. (Pb)	유기 염료 (연백 밀칠)
4			 ▶ N.D.	유기 염료
5			 ▶ N.D.	유기 염료

표 7. <연광정연회도>에 사용된 자주색 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과


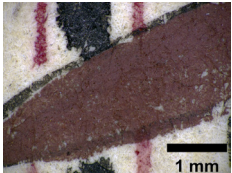
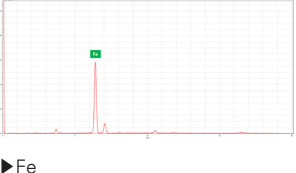

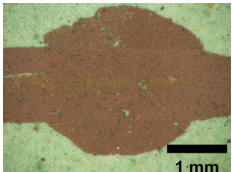
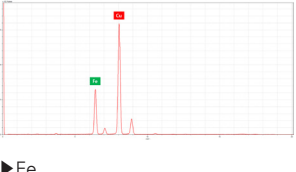

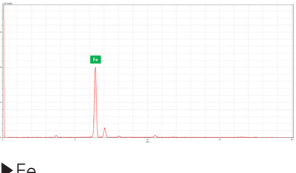

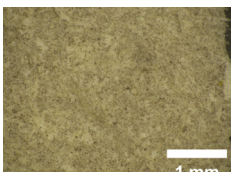
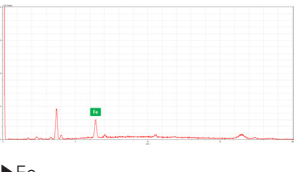

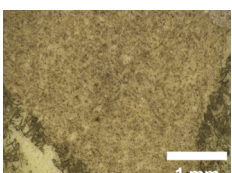
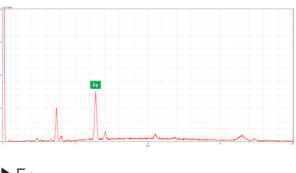
No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1				유기 염료
2				유기 염료
3				유기 염료
4				유기 염료 (연백 밀칠)

4.4.4. 갈색

갈색 계열은 갈색과 적갈색으로 구분되며 연광정 난간, 읍호루 단상, 나룻배, 평안 감사의 주립, 말, 얼굴 윤곽선 등에 사용되었다. 현미경 사진에서 갈색의 안료 입자가 관찰되었고 안료의 양을 조절해 색을 표현한 것으로 확인되었다. 엑스선형광분석 결과 모두 철(Fe)이 검출되어 산화철[酸化鐵, Iron Oxide, Fe_2O_3]을 사용한 것으로 보인다^(표8).

조선 후기 초상화에서 얼굴의 윤곽선을 그린 재료는 시기에 따라 변화했는데 18세기 초기에는 진사, 18세기 중반부터는 산화철로 그렸다^[6]. 이 그림에서는 산화철을 사용하여 인물들의 윤곽선 및 이목구비를 그린 것으로 확인되었다.


표8. <연광정연회도>에 사용된 갈색 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1				산화철
2				산화철
3				산화철
4				산화철
5				산화철

4.4.5. 황색

황색은 탁청문 현판, 황사자, 황학[黃鶴], 표피[豹皮], 사령 관복, 양반이 착용한 초립[草笠], 기생 저고리 등에서 확인되었다. 평안감사 주립과 사령의 모자, 그리고 황사자 등에서는 비소(As), 황(S)이 검출되었고, 그 외에는 모두 주성분 원소가 검출되지 않았다. 개체에 따라 석황[石黃, Orpiment, As_2S_3]과 황색 유기 염료를 구분해서 사용한 것으로 보이며, 황색 부분에서는 연백으로 밀칠한 경우가 확인되지 않았다(표9).

표9. <연광정연회도>에 사용된 황색 안료 엑스선형광분석 결과


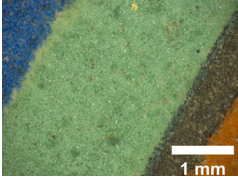
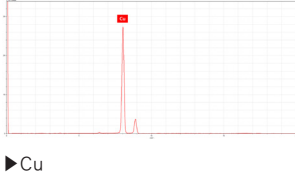

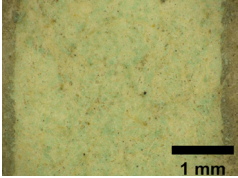
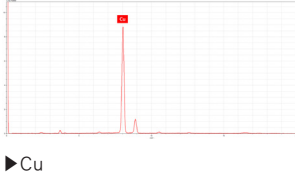

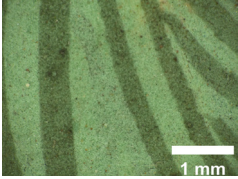
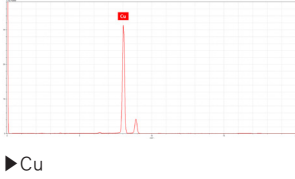

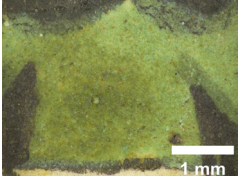
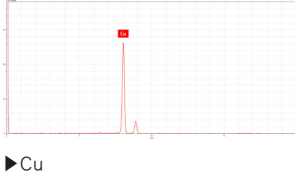
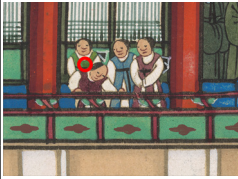
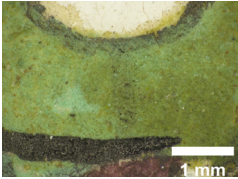
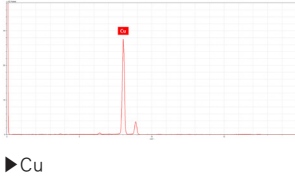

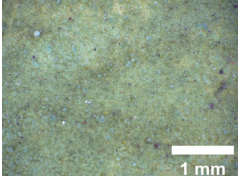
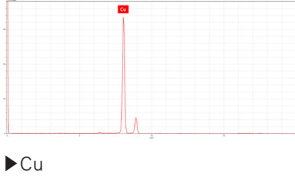
No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1			 ▶ As, S	석황
2			 ▶ As, S	석황
3			 ▶ N.D.	유기 염료
4			 ▶ N.D.	유기 염료
5			 ▶ N.D.	유기 염료


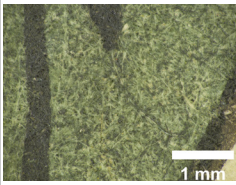
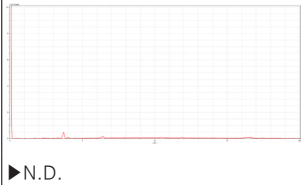

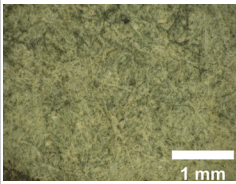

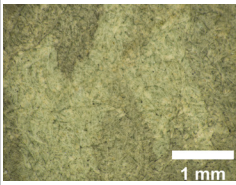
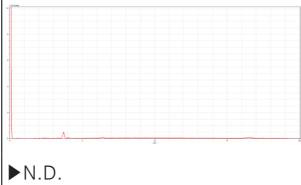
4.4.6. 녹색

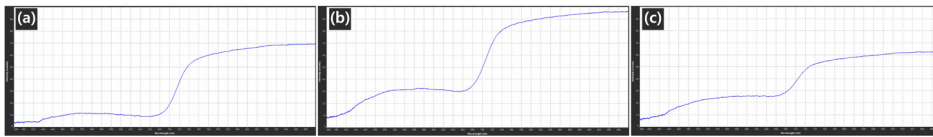
본 연구에서는 녹색 계열의 안료를 진한 녹색, 연한 녹색, 어두운 녹색으로 구분하여 서술하였다. 진한 녹색은 건물 단청, 의복, 황사자, 일산 꼭대기 받침 등에서 보인다. 연한 녹색은 기생 저고리, 관속[官屬] 의복, 어두운 녹색은 의복, 말 안장, 나뭇잎 등에 채색되었다^(표10). 진한 녹색과 연한 녹색은 모두 안료 입자가 관찰되었으며, 연한 녹색은 녹색 안료층 위에 유기 염료를 칠한 것이 확인되었다^(표10-4,5,6). 어두운 녹색에서는 안료 입자가 확인되지 않았다. 진한 녹색과 연한 녹색에서 구리(Cu)가 검출되어 석록[石綠, Malachite, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$]으로 추정되었고, 어두운 녹색에서는 검출되는 원소가 없었다. 초분광 CIR 합성 이미지에서 진한 녹색, 연한 녹색

색은 청색으로 나타났으나 어두운 녹색은 적색으로 확인되어 다른 재료로 판단되었다. 이에 어두운 녹색에 대해 자외선-가시광선 분광 분석을 실시한 결과, 460 nm와 670 nm 부근에서 증가하여 쪽으로 추정되었다^(도14). 결과를 종합해보면 진한 녹색은 석록으로 채색하였다. 연한 녹색은 석록 안료층 위에 유기 염료를 칠한 것으로 추정되었고, 어두운 녹색은 쪽으로 채색하였다.

표10. <연광정연회도>에 사용된 녹색계 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1			 ▶Cu	석록
2			 ▶Cu	석록
3			 ▶Cu	석록
4			 ▶Cu	석록 유기 염료
5			 ▶Cu	석록 유기 염료
6			 ▶Cu	석록 유기 염료

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
7				유기 염료
8				유기 염료
9				유기 염료



a b c

(a) 표10-7
(b) 표10-8
(c) 표10-9

도 14. 어두운 녹색의 자외선-가시광선 분광 분석 결과

4.4.7. 청색

청색 계열 안료는 진한 청색, 연한 청색, 회청색, 남색으로 구분된다^(표11). 진한 청색은 건물 단청, 연광정 현판 글자, 평안감사의 용복[戎服]을 비롯한 각종 의복, 청학[靑鶴], 일산, 산봉우리 등에 사용되었다. 진한 청색 입자 사이에 자색에 가까운 미세 입자가 전체적으로 퍼져 있는 상태로 관찰되었고, 주성분 원소로 구리와 철이 검출되었다. 결과를 종합해봤을 때 청색 입자가 구리를 주성분으로 하는 석청[石淸, Azurite, $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$]이고, 자색의 미세 입자가 프러시안블루[Prussian Blue, $\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_3$]로 생각된다. 프러시안블루는 1704년부터 유럽에서 사용되기 시작하였으나 조선에서는 언제부터 사용되었는지 전해지지 않는다. 다만 하동 쌍계사 패불탱(1799년), 고성 옥천사 패불탱(1808년)에서 프러시안블루가 확인된 바 있다^[8]. 《평안감사향연도》는 조선 후기인 18세기 후반~19세기 초반에 그려진 것으로 추정되는 그림이므로, 분석 결과와 시기적인 측면을 고려해보았을 때 〈연광정연회도〉에 채색된 청색은 석청과 프러시안블루의 혼합 안료를 사용한 것으로 판단된다.

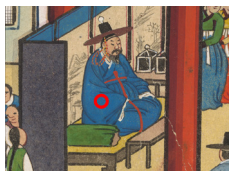
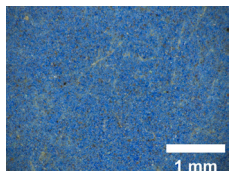
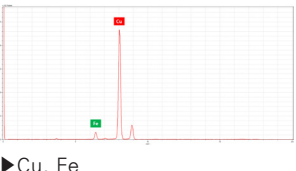

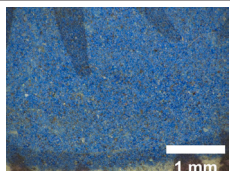
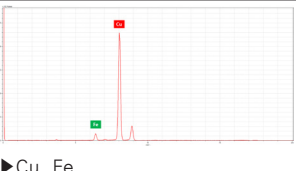

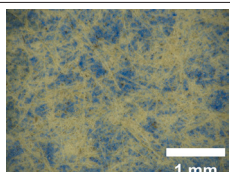
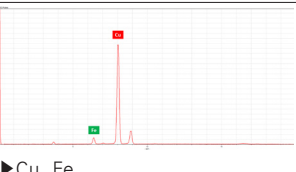

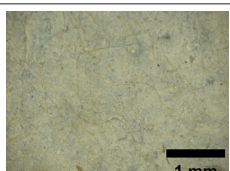
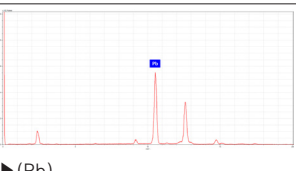
초분광 CIR 합성 이미지에서는 자색으로 변환되어 나타났다.


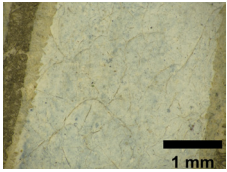
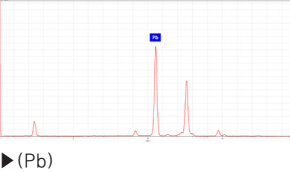

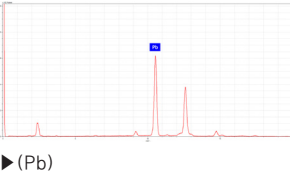

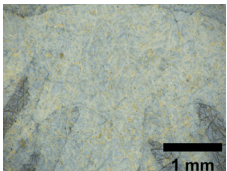
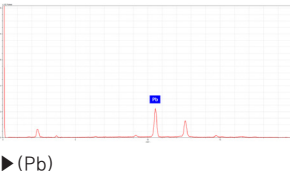

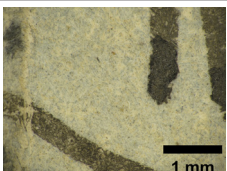

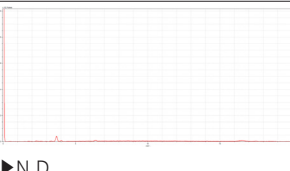

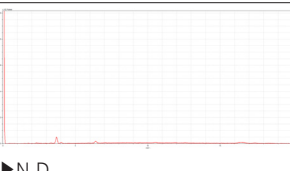

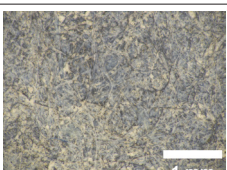
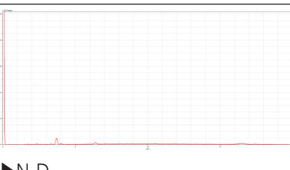
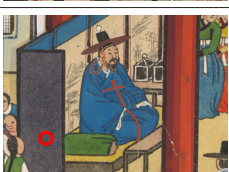
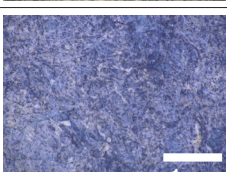

연한 청색은 수령, 양반의 도포, 각종 의복, 산봉우리, 대동강, 연못, 나뭇잎 등에서 확인되었다. 납이 검출되었으나 청색의 발색 원소가 아닌 백색 안료층의 주성분 원소로 판단되며, 그 위에 유기 염료를 중채한 것으로 보인다. 초분광 CIR 합성 이미지에서 연한 분홍색으로 나타났다. 백색 안료층의 영향으로 회청색보다 밝은 색으로 변환되어 나타난 것으로 생각된다.

회청색은 수령[守令], 비장[裨將], 사령 등의 도포에서 확인되었다. 수령의 도포는 백색 안료층 위에 유기 염료가 칠해진 형태이고 이를 제외한 나머지는 모두 유기 염료로만 채색되었다. 엑스선형광분석 결과에서도 수령 도포만 납이 검출되었다. 초분광 CIR 합성 이미지에서는 모두 분홍색으로 나타났다.

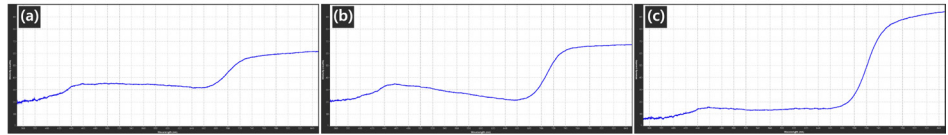
각종 의복과 병풍 뒷면에 채색된 남색은 CIR 합성 이미지 상에서 적색으로 변환되었고, 안료 입자와 주성분 원소가 확인되지 않았다. 이상의 결과를 종합하면 연청색, 회청색, 남색은 모두 유기 염료로 추정되어 자외선-가시광선 분광 분석을 실시하였고, 모두 쪽으로 확인되었다^(도15).

표11. <연광정연회도>에 사용된 청색계 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1			 ▶ Cu, Fe	석청 프러시안 블루
2			 ▶ Cu, Fe	석청 프러시안 블루
3			 ▶ Cu, Fe	석청 프러시안 블루
4			 ▶ (Pb)	유기 염료 (연백 밀칠)

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
5			 ▶ (Pb)	유기 염료 (연백 밀칠)
6			 ▶ (Pb)	유기 염료 (연백 밀칠)
7			 ▶ (Pb)	유기 염료 (연백 밀칠)
8			 ▶ N.D.	유기 염료
9			 ▶ N.D.	유기 염료
10			 ▶ N.D.	유기 염료
11			 ▶ N.D.	유기 염료
12			 ▶ N.D.	유기 염료

- a
b
c
- (a) 연한 청색(표11-4)
 (b) 회청색(표11-7)
 (c) 남색(표11-12)




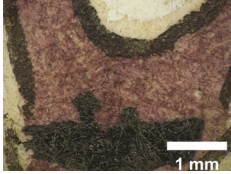
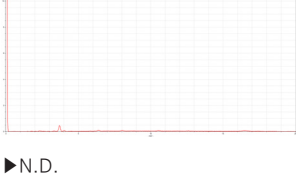

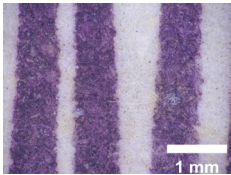
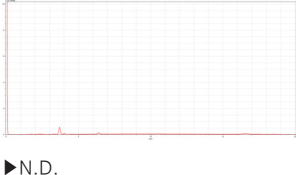
도 15. 청색 계열 유기 염료의 자외선-가시광선 분광 분석 결과

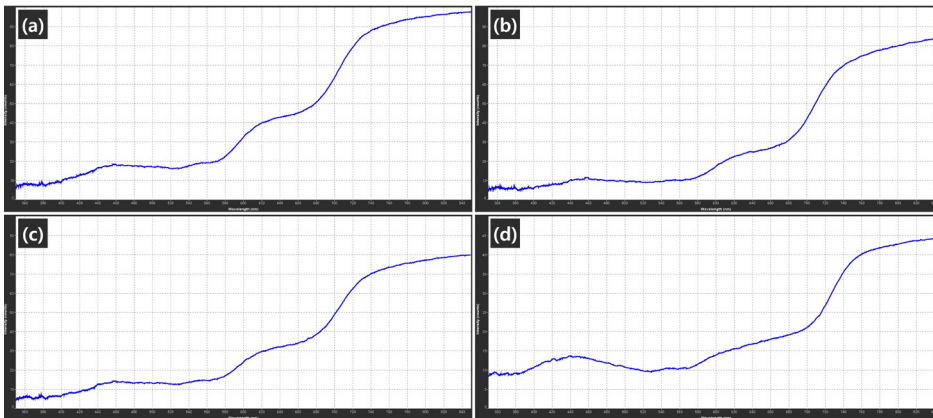
4.4.8. 자색

자색은 기생과 관속의 의복, 일산 유소[流蘇]에 주로 채색되었다(표12). 현미경으로 관찰한 결과 바탕 직물의 섬유가 그대로 나타나고 안료 입자도 관찰되지 않았다. 또한 주성분 원소가 검출되지 않아 유기 염료로 추정되어 자외선-가시광선 분광 분석을 실시하였다. 자색 부분의 자외선-가시광선 스펙트럼은 460 nm에서 한 번 증가하고, 600 nm와 760 nm에서 상승 곡선을 그리는 스펙트럼이 확인되었다. 이 중 460 nm와 760 nm는 쪽의 특성 피크이므로 쪽과 다른 유기 염료를 섞어 조색했을 것으로 추정하였다. 이에 쪽과 유기 염료를 혼합한 염색 시편에 대해 자외선-가시광선 분광 분석을 실시하였다. 그 결과 쪽과 혼합하여 자색을 낼 수 있는 염재 중에서 자색 부분과 일치하는 스펙트럼은 연지충[臙脂蟲, Lac]으로 확인되었다(도16).

표 12. 〈연광정연회도〉에 사용된 자색 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1			 ▶ N.D.	유기 염료
2			 ▶ N.D.	유기 염료
3			 ▶ N.D.	유기 염료

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
4				유기 염료
5				유기 염료



a	b
c	d

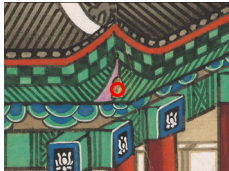
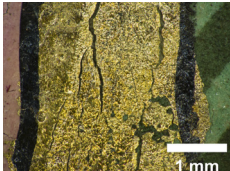
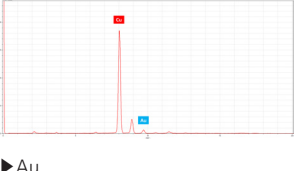

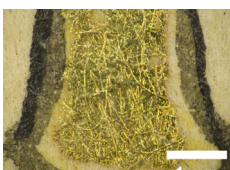
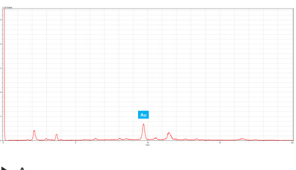
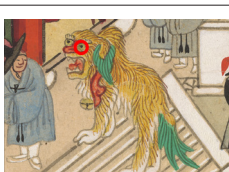
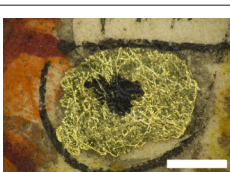
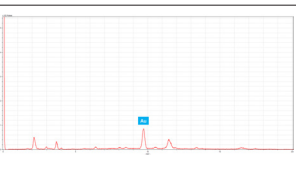

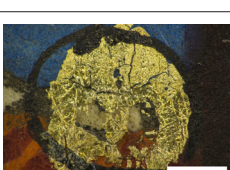
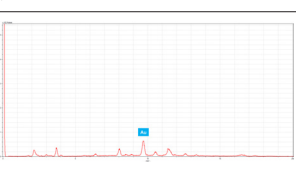
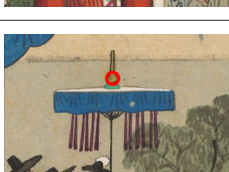
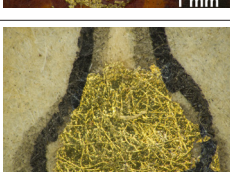
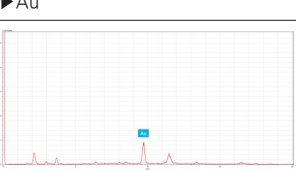
(a)~(c) 자색
(d) 쪽+연지충

도 16. 자색 유기 염료의 자외선-가시광선 분광 분석 결과

4.4.9. 금색

금색은 읍호루 지붕에 달린 풍경, 연광정 입구 양쪽에 세워져 있는 절과 월의 장식, 일산 꼭대기, 사자탈의 눈 등에서 확인되었다. 성분 분석 결과 금(Au)이 검출되었으며 현미경 상에서 금색 판상[板狀] 물질의 가장자리가 살짝 들떠있는 것으로 관찰되어 금박을 붙인 것으로 보인다^(표13).

표 13. 〈연광정연회도〉에 사용된 금색 안료의 현미경 관찰 및 엑스선형광분석 결과

No.	분석 위치	현미경 사진	주성분 원소	추정 안료
1			 ▶ Au	금박
2			 ▶ Au	금박
3			 ▶ Au	금박
4			 ▶ Au	금박
5			 ▶ Au	금박

5. 결론

본 연구에서는 국립중앙박물관에서 소장하고 있는 《평안감사향연도》의 세 그림 가운데 〈연광정연회도〉를 중심으로 과학적 조사를 실시하였다. 〈연광정연회도〉를 대상으로 엑스선·적외선·초분광 촬영, 현미경 관찰, 엑스선형광분석, 자외선-가시광선 분광 분석 등을 실시하여 채색 재료에 대해 알아보고자 하였다.

〈연광정연회도〉에서 확인된 색상은 백색, 흑색, 적색, 갈색, 황색, 녹색, 청색, 자색, 금색 등 9가지로 구분되었다. 백색은 연백으로만 채색하였다. 이는 명암 조절할 필요 없이 원색적인 표현을 위해 백색도가 높은 연백을 사용했을 수 있고, 이 그림이 어람용이라면 고가의 연백을 무리 없이 사용할 정도로 재료 수급에 제약이 거의

없었기 때문이라고 생각해 볼 수 있다. 흑색은 기본적으로 먹을 사용하였고, 농담 조절을 통해 다양하게 표현하였다. 다만 연광정과 읍호루의 부연 단청에는 녹색과 흑색이 교차로 채색되어 있는데, 이 부분의 흑색은 초분광 CIR 합성 이미지를 통해 자주색으로 나타나 먹으로 채색된 흑색과의 차이점을 파악할 수 있었다. 이를 토대로 현미경 관찰 및 자외선-가시광선 분광 분석을 실시하여 녹색 안료층 위에 쪽을 중채한 상태임을 확인하였다. 적색은 진사와 연단을 섞어 사용하였다. 건물 기둥의 적색은 모두 우측에서 좌측으로 가면서 단계적으로 어두워졌다. 이 부분이 어떻게 표현된 것인지 엑스선과 적외선 사진상으로는 확인하기 어려웠지만 초분광 촬영을 통해 파악할 수 있었다. 음영을 표현하기 위해 먹을 열게 칠한 경우에는 CIR 합성 이미지 상에서 검게 나타나야 하지만 그러한 양상이 확인되지 않아 유기 염료를 덧칠하였음을 알 수 있었다. 분홍색과 자주색은 일부 연백으로 밀칠된 부분을 제외하고는 모두 유기 염료로만 채색되었다. 갈색은 산화철의 양을 조절하여 채색하였다. 특히 이 그림에서는 인물들의 이목구비와 얼굴의 윤곽선에 산화철이 사용되었는데, 18세기 초기에 진사로 윤곽선을 그리고 18세기 중반부터는 산화철로 그렸으므로 이러한 특징이 제작 시기를 추정하는 단서가 될 수 있다. 황색은 경우에 따라 석황과 유기 염료를 구분하여 사용하였다. 녹색 안료는 석록을 사용하였고, 석록 위에 황색 유기 염료를 덧칠하여 연한 녹색을 표현하였다. 어두운 녹색은 쪽으로 채색하였다. 청색은 석청과 프러시안블루를 혼합하여 사용하였고, 쪽으로 회청색을 나타내거나 연백 위에 쪽을 칠해 연한 청색을 표현하기도 하는 등 다양한 방법으로 채색하였다. 자색은 유기 염료, 금색은 금박을 붙여 나타내었다.

지금까지 《평안감사향연도》(연광정연회도)를 중심으로 조선 후기 기록화에 채색된 재료에 대해 살펴보았다. 초분광 촬영으로 그림 전체 면을 빠르게 파악하여 포인트 분석에 효과적으로 적용하였고, CIR 합성 이미지를 활용해 쪽의 사용 여부를 판단할 수 있었다. 추후 안료의 라이브러리 확보를 비롯한 추가적인 연구가 이루어진다면 효율적이고 세밀한 안료 분석이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 문동수, 평안감사향연도《平安監司饗宴圖》에 대한 고찰, p8-23, *평안, 어느 봄날의 기억*, 국립중앙박물관, 서울, (2020).
2. 이문섭, 김거식, 민기현, 손동훈, 김정은, 김성창, 초분광 이미징 기술동향, *전자통신동향분석* **34(1)**, p86-97, (2019).
3. 정참희, 초분광 기술을 이용한 단청안료 분석법 연구-녹색을 중심으로-, 한국전통문화대학교 대학원 문화재수리기술학과, 석사학위논문, p2-5, (2019).
4. 심민섭, 초분광 영상을 이용한 객체의 재질 분류, 영남대학교 대학원 전자공학과, 석사학위논문, p1, (2014).
5. 이장준, 한민수, 권혁남, 이종수, 윤지현, 권윤미, 금탑사 괘불탱과 만연사 괘불탱의 식물 및 채색 안료 특성 비교, *불교미술사학* **28**, p523-546, (2019).
6. 송유나, 이한형, 정용재, 이혜윤, 비파괴 성분 분석을 통한 18세기 초상화의 채색 특성 비교 고찰-유언호 초상화를 중심으로-, *보존과학회지* **32(1)**, p89-100, (2016).