

文學碩士 學位論文

불화 문화재에 사용된 석록의 특성연구

慶州大學校 大學院

文化財學科

이 수 진

2018年 6月

불화 문화재에 사용된 석록의 특성연구

指導教授 도 진 영

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2018年 6月

慶州大學校 大學院

文化財學科

이 수 진

이수진의 碩士學位論文을 認准함

審査委員長 장봉원 장봉원

審査委員 장영수 장영수

審査委員 조진영 조진영

慶州大學校 大學院

목 차

I. 머리말	1
II. 연구내용 및 분석방법	5
1. 연구내용	5
(1) 문헌연구	5
(2) 채색문화재 연구	6
1) 기 보고된 채색문화재 분석	6
2) 채색문화재 직접 분석	8
(3) 원광(原鑛) 연구	8
2. 분석방법	8
III. 연구결과	10
1. 문헌자료 분석결과	10
(1) 고문헌 자료	10
1) 석록 산지를 밝힌 자료	10
2) 가공기술을 밝힌 자료	12
3) 용처를 밝힌 자료	14
4) 석록의 다른 이름	15
(2) 근·현대 자료 연구 결과	16
2. 채색문화재 내 석록안료 분석결과	17
(1) 기 보고된 연구의 분석결과	17

(2) 채색문화재 직접 분석결과	24
1) 청도 운문사 대웅보전 후불벽화 (보물 제1817호)	25
2) 울진 불영사 신중탱화 (경상북도 유형문화재 제423호)	29
3) 울진 수진사 소장불화 (경상북도 문화재자료 제553호)	31
4) 포항 보경사 괘불 (보물 제1609호)	32
5) 기타 불화문화재	37
3. 석록 원광분석	45
(1) 석록산지와 확보된 원광	46
1) 옥동광산	46
2) 전흥광산	47
3) 밀양광산	48
4) 대성광산	49
(2) 산지별 석록의 구성성분	50
 IV. 고찰	 54
 V. 결론	 62
 <참고문헌>	 66
 <Abstract>	 70
 <부록 표>	 73

〈표 차례〉

<표 1> 석록안료 연구내용과 방법	5
<표 2> 석록안료가 분석되어 보고된 채색문화재	6
<표 3> 직접 분석한 채색문화재	7
<표 4> 석록의 산지를 밝힌 고문헌 자료	11
<표 5> 석록의 가공기술을 밝힌 고문헌 자료	13
<표 6> 석록의 용처를 밝힌 고문헌 자료	14
<표 7> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료의 화학성분과 추정안료	19
<표 8> 청도 운문사 대웅보전 후불벽화 내 석록 측정 위치	26
<표 9> 청도 운문사 대웅보전 후불벽화 내 석록 분석결과와 추정안료	27
<표 10> 울진 불영사 신중탱화 내 석록 분석결과와 추정안료	30
<표 11> 울진 수진사 소장 불화 내 석록 분석결과와 추정안료	32
<표 12> 포항 보경사 괘불의 석록부위 분석결과와 추정안료	35
<표 13> 포항 보경사 괘불 석록부위의 전자현미경 사진과 EDS 피크	36
<표 14> 기타 불화 문화재 석록부위의 화학성분	39
<표 15> 분석된 채색문화재 내 석록안료	40
<표 16> 국내 구리광산 채취, 가공한 석록안료와 외산 공작석의 화학성분	50
<표 17> 녹색을 띠는 구리함유 광물	54
<표 18> 지역별 채색문화재 석록부위의 안료성분 분류	58

〈그림 차례〉

〈그림 1〉 비파괴분석에 사용된 기기	9
〈그림 2〉 기 조사된 채색문화재 내 석록부위의 미세구조	22
〈그림 3〉 청도 운문사 대웅보전 후불벽화 석록부위	25
〈그림 4〉 울진 불영사 신중탱화 후불벽화 석록부위	29
〈그림 5〉 울진 수진사 소장 불화 석록부위	32
〈그림 6〉 포항 보경사 괘불(보물 제1609호)	34
〈그림 7〉 불화 문화재 석록부위의 광물성분	42
〈그림 8〉 불화·벽화 석록부위의 안료입자 크기와 형태	44
〈그림 9〉 옥동광산 주변에서 채취한 석록원광 분말상태	46
〈그림 10〉 의성 전흥광산에서 채취한 녹색광물의 원광과 분말상태	47
〈그림 11〉 밀양광산 주변과 채취 녹색안료의 산출 원광 상태	48
〈그림 12〉 대성광산의 녹색 원광과 가공한 석록안료	49
〈그림 13〉 국내 구리광산 채취 녹색분말의 X-선 회절패턴	52
〈그림 14〉 외국산 석록원광 분말의 X-선 회절패턴	53
〈그림 15〉 구리 함유 녹색 광물 산출상태와 가공된 안료상태	56
〈그림 16〉 지역별 채색문화재 석록부위의 안료성분 점유율(%)	59

<부록 표 차례>

<부록 표 1> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료(경상북도)	72
<부록 표 2> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료(경상남도)	76
<부록 표 3> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료(전라북도)·	77
<부록 표 4> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료(전라남도)·	78
<부록 표 5> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료(충청북도)	80
<부록 표 6> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료(충청남도)	81

I. 머리말

석록(石綠 또는 石礫)이란 “돌을 갈아 만든 녹색안료”를 말한다. 녹색의 천연 암채(岩彩)를 의미하는데 우리나라에서 석록은 전통적으로 공작석 또는 청강석(靑剛石)이라고 칭해졌으며 일본에서는 녹청(綠靑)이라고 부른다. 석록은 고구려 고분인 안악 3호분 벽화(4세기 후반)와 진파리 4호분의 벽화(6세기 초엽)에서도 확인되는 것으로 보아 매우 오래전부터 사용되었음을 알 수 있고, 그 후 고려시대와 조선시대를 거치며 석록은 단청과 불화 등에 다량 활용되었다.

우리 조상들은 자연을 존중하며 자연의 초록빛을 생명력으로 믿고 다양한 곳을 녹색으로 채색·장엄하였다. 고구려 벽화고분에 묘사된 자연과 인물 표현에서부터 조선시대 초대형 패불에 이르기까지 주인공인 부처님의 광배, 궁궐과 사찰에 장엄한 단청의 바탕으로 쓰인 뇌록색 등 녹색은 전통 색상 가운데 가장 중요한 색의 하나로서 다량으로 사용되었다.

지구상에서 녹색으로 발색하는 광물로는 구리 (Cu), 철 (Fe), 그리고 크롬 (Cr) 함유광물 정도로 다양하지 않다. 우리 조상들은 필요한 녹색안료를 당연히 국내·외를 불문하고 어떻게든 입수해 사용했을 것이다. 현재 녹색안료뿐만 아니라 거의 모든 색상의 국내산 천연안료에 관한 정보는 단절되어 불명확해진 상태이며 필요한 안료는 거의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그렇다면 국내산 석채안료의 특성이나 원석의 산지, 연마, 수비 등 일련의 가공기술과 공급체계 등에 관련된 다양한 정보의 확인은 어떻게 할 수 있는 것일까? 현재까지 이에 대한 연구는 매우 미미한 상태이며, 겨우 문화재 조사·분석을 통해 약간의 광물명이나 안료명을 확인하는 정도이다.

채색문화재에 다량으로 사용되었던 녹색안료는 수입으로 공급하였을 뿐만

아니라 어느 정도 국내에서 원료 광물을 찾아 활용하였다는 증거가 후손들의 증언으로부터 밝혀졌다. 지금도 안료명으로 사용되고 있는 “뇌록”은 녹색안료로 경상북도 포항시 장기면 뇌성산에서 채취한 녹토의 일종이다. 즉, 한반도 지질에서는 구리나 크롬을 함유하는 녹색 광물이 많지 않지만 우리 조상들은 녹토를 사용함으로써 그 한계를 어느 정도 극복하였다. 뇌록이라는 녹토안료는 주로 단청의 가칠에 활용되었으며 그 광물명은 뇌록석[celadonite, $K(MgFe^{2+})(Fe^{3+},Al)Si_4O_{10}(OH)_2$]이다.¹⁾ 그러나 이러한 뇌록안료는 불화 등의 섬세한 채색문화재에 적용하는 녹색안료로는 한계가 있으며, 이전의 연구결과를 토대로 보았을 때 불화를 비롯한 회화의 재료로써 녹색에는 석록이라는 구리를 함유하는 광물안료가 주로 사용되었음을 알 수 있다.

다시 말해서 우리 민족의 채색문화재에 활용된 녹색안료는 토양에서 산출되는 녹토(綠土)와 암석에서 산출되는 석록(石綠) 두 가지로 분류할 수 있다. 두 가지 녹색은 각각 재료적 특성이 달라 발색과 그 용도 또한 다르지만 육안만으로는 명확하게 구분하기가 쉽지 않다. 녹색안료 중 뇌록에 대한 연구가 2000년대에 들어 활발히 진행되었고 그 특성이 밝혀진 바 있다.²⁾³⁾

그러나 현재 뇌록보다 더 수요가 많다고 할 수 있는 녹색안료의 다른 한 종류인 석록에 대해서는 여전히 연구가 미비한 상태이다. 다만 최근 불화 등의 채색문화재를 수리할 때 문화재에 사용된 것과 동일한 종류의 안료를 사용하기 위하여 안료분석을 실시하는 경우가 많아졌으며, 그로 인해 전통적으로 사용된 안료에 대한 자료가 획득되고 있다. 이때 얻어진 자료는 문화재의 특성상 비파괴분석을 통해 취득할 수 있는 화학성분이 대부분이며, 검출된 화학성분을 통해 채색부위에 사용된 안료를 추정한다.

1) 안병찬, 『전통 석채원료의 특성연구를 통한 고기능성 뇌록안료 개발 보고서』, 국립중앙과학관 2007

2) 도진영 외, 전통 녹색 석채로 사용된 “뇌록”의 특성연구, 한국광물학회지 21(3), 2008.

3) 안병찬 외, 『우리 땅 전통안료 뇌록연구보고서, 한국연구재단』, 2014.

석록은 Cu를 주성분으로 하는 녹색안료이며, 공작석이 (malachite, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) 대표 광물이다. 즉 이렇게 때문에 일반적으로 채색문화재 조사 분석 시 녹색부위의 화학성분에서 구리(Cu)가 검출되면 석록안료가 사용된 것으로 본다. 현재 석록이라 함은 당연히 공작석을 원료로 하는 안료로 일컬어진다. 실제 현재 안료상점에서 판매하는 석록안료는 공작석을 가공한 것이 대부분이며 화가들 중에는 직접 공작석 덩어리를 분말화 하여 안료로 사용하는 경우도 있다.

그러나 보고된 결과를 살펴볼 때, Cu가 검출되면 석록이라고 분류하였으나 이때 석록이 현재 사용하고 있는 공작석을 원료로 하는 석록이라고 보기는 어렵다. Cu의 부산물 중에는 공작석 외에도 다양한 광물이 존재하며, 실제 조사 결과에도 이를 추정해볼 수 있는 다른 화학성분들이 함께 검출된 것이 확인된다. 따라서 비파괴적인 분석결과인 화학성분만으로 이들의 정확한 광물 상태를 확인하는 것이 부적합하다고 할 수 있으며 이에 대한 보다 정밀한 분석이 실시되어 비파괴적인 분석결과를 검증할 필요가 있다고 하겠다.

채색문화재 특히 불화에 다량 사용된 석록안료가 가공품의 형태로 수입되었는지 또는 원광상태로 수입되어 가공하여 사용되었는지에 대한 정보는 없지만 석록안료는 막연히 중국에서 수입하여 사용되었을 것으로 전해져온다. 그러나 국내에서 필요한 다량의 석록안료를 전량 수입에 의존하였다고 볼 수 있는 근거도 없다.

석록이라고 알려진 공작석은 국내에서도 산출되기는 하나 덩어리 상태의 원광보다는 암석의 표면에 얇게 형성되어 있는 형태로 미량 산출된다. 그래서 공작석 원광 덩어리를 채광하여 분쇄한 후 석록안료로 가공한다고 할 때는 그 원광이 주로 외국에서 수입해온 것을 말한다. 공작석은 분말의 입도에 따라 다양한 녹색도를 지닌 석록안료로 가공하여 사용하며 비용 또한 상당하여 최

고급의 석록안료로 취급된다.

즉, 우리 조상이 채색문화재에 활용한 석록안료가 현재 일컬어지는 공작석을 의미하는 것인지 또는 녹색을 띠는 다른 종류의 동광물이 있었는지, 그리고 석록을 수입에만 의존했는지 아니면 국내산 석록도 사용했는지 등에 대한 여러 가지 의문이 제기된다. 이러한 점은 현재 석록안료로서 사용하는 공작석이 모든 채색문화재 수리에 적합한가에 대한 문화재보존 측면에서의 당면한 과제라고 할 수 있다.

본 연구에서는 위에서 제기한 점들을 바탕으로 우리 불화 등 채색문화재에 사용된 석록의 개념 또는 정의를 광물학적인 명칭과 관련하여 정립시키고자 하며, 석록안료의 출처에 대해 국내 동광산에서 산출되는 석록과 연관하여 국내산 석록안료의 사용 가능성을 살펴보고자 한다.

석록의 정의를 정립하기 위해서 고문헌과 근대 문헌 등에서 이와 관련된 정보 조사, 현재 채광이 가능한 석록산지연구, 채색문화재에 사용된 석록안료 연구 등을 실시하였다. 이와 더불어 현재 행해지고 있는 비파괴적인 방법에 의한 분석의 정밀성에 대하여 정밀 분석결과와 비교하여 검증하였다. 마지막으로 동광산에서 석록원광을 채광하여 석록안료로 가공한 후 그 특성을 살핀 후 채색문화재에 사용된 석록과의 상관성을 통하여 국내에서도 석록안료가 수급될 수 있었음을 예측할 수 있는 결과를 얻었다.

II. 연구내용 및 분석방법

1. 연구내용

석록의 정의를 정립하고, 우리나라 채색문화재에 사용된 석록안료의 정확한 광물을 규명, 그리고 수급된 석록안료의 산지로서 국내광산의 가능성을 규명하기 위해서 크게 다음과 같이 3가지 분야의 내용으로 연구를 진행하였다 <표 1>.

<표 1> 석록안료 연구내용과 방법.

내용	주제별	세 부 연 구 내 용	연구 방법
문헌 자료 연구	고문헌 조사	국내외 고문헌자료 해독을 통해 석록안료 산지와 가공기술 등 확인	역사정보통합시스템 등 활용
	근·현대 자료 조사	근대 광산 조사 자료 판독 연구	
문화재 조사 연구	채색문화재 조사	채색문화재에서 석록 조사 분석, 전통 가공기술과 활용기술 파악	기 보고된 연구결과 분석
			불화, 벽화 등 채색문화재 조사, SEM-EDS, XRD, p-XRF, 현미경
원광 연구	안료 원료 조사	안료의 원광을 채취하여 특성분석	SEM-EDS, XRD, XRF, 색도계, 현미경

(1) 문헌연구

고대 전통안료의 흔적을 地理誌, 각종 儀軌와 膳錄, 物産 地圖 등의 고문헌과 근대 광산조사 자료 등의 분석을 통해 여기에 기술된 석록안료 관련 정보와 동광 산지 및 가공기술을 파악하였다.

고문헌 탐독은 원전(原典)을 이용해야 했지만 연구의 효율을 높이고자 한국역사정보통합시스템(www.koreanhistory.or.kr)의 국역 자료를 적극 활용하였다. 이때 석록과 관련된 중요 키워드로 석록, 녹청, 하엽, 청강석, 공작석 등으로 정하고 검색을 수행하였다.

(2) 채색문화재 연구

1) 기 보고된 채색문화재 분석

석록은 조선시대 중요 불화에 대량으로 사용되었기 때문에 주 소비처인 불화에 대한 일련의 조사를 병행하는 것도 안료연구에 필수과정이다. 이미 조사 분석이 이루어진 채색문화재에 대해서는 보고된 보고서 자료 31점을 검토·분석하여 연구에 활용하였다 <표 2>.

기 보고된 불화 등 채색문화재를 지역별로 정리하여 사용된 석록안료의 지역적 특이점을 살펴보고자 하였으나 조사된 문화재의 수량이 지역별로 균일하지 못하여 각 지역을 대별하기 어렵기는 하나 본 연구에서는 그 결과를 중심으로 다루어 보고자 하였다.

<표 2> 석록안료가 분석되어 보고된 채색문화재.

지역	문화재명
경상북도 (11점)	- 상주 남장사 영산회 괘불탱 (비지정) - 상주 북장사 영산회 괘불탱 (보물 제1278호) - 대구 동화사 대웅전 삼장탱 (대구 문화재자료 제37호) - 사명당 유정진영 (보물 제1505호, 대구 동화사 소장) - 전 윤효전 초상 (보물 제1502호, 대구 중구 소장) - 성주 선석사 괘불탱 (보물 제1608호) - 울진 불영사 영산회상도 (보물 제1272호) - 영주 부석사 오불회괘불탱 (보물 제1562호) - 영천 수도사 노사나불괘불탱 (보물 제1271호) - 영천 은해사 대웅전 삼장 탕화 (경북 유형문화재 제342호) - 영천 은해사 괘불탱 (보물 제1270호)
경상남도 (4점)	- 남해 용문사 괘불탱 (보물 제1446호) - 합천 해인사 영산회상도 (보물 제1273호) - 양산 통도사 석가여래 괘불탱 (보물 제1350호) - 양산 통도사 괘불탱 (보물 제1351호)

<표 2> 계속.

지역	문화재명
전라북도 (2점)	- 부안 내소사 영산회 괘불탱 (보물 제1268호) - 부안 개암사 영산회 괘불탱 (보물 제1269호)
전라남도 (7점)	- 나주 죽림사 세존 괘불탱 (보물 제1279호) - 나주 다보사 괘불탱 (보물 제1343호) - 곡성 도림사 괘불탱 (보물 제1341호) - 화순 만연사 괘불탱 (보물 제1345호) - 해남 미황사 괘불탱 (보물 제1342호) - 구례 화엄사 영산회 괘불탱 (국보 제301호) - 여수 흥국사 노사나불 괘불탱 (보물 제1331호)
충청북도 (2점)	- 보은 법주사 괘불탱 (보물 제1259호) - 청원 월리사 아미타불탱화 (비지정)
충청남도 (5점)	- 공주 마곡사 석가모니 괘불탱 (보물 제1260호) - 천안 박문수 초상 대본(보물 제1189-1호) - 예산 대련사 괘불탱 (비지정) - 예산 수덕사 노사나불 괘불탱 (보물 제1263호) - 홍성 용봉사 영산회 괘불탱 (보물 제1262호)

<표 3> 직접 분석한 채색문화재.

지역	문화재명
경상북도 (4점)	- 청도 운문사 대웅보전 후불벽화 (보물 제1817호) - 포항 보경사 괘불 (보물 제1609호) - 울진 불영사 신증탱화 (경북 유형문화재 제423호) - 울진 수진사 소장불화 (경북 문화재자료 제553호)
경상남도 (2점)	- 양산 통도사 박물관 내 불화 - 양산 통도사 영산회상탱 (보물 제1353호)
전라북도 (3점)	- 완주 위봉사 보광명전 좌측불화 - 완주 위봉사 보광명전 후불탱화 - 완주 위봉사 보광명전 벽화
충청남도 (4점)	- 공주 마곡사 대광보전 불화 4점 (중앙 2점, 좌측 2점)
충청북도 (1점)	- 청원 안심사 괘불탱(국보 제297호)

2) 채색문화재 직접 분석

불화와 벽화 등 채색문화재 14점에 대해서는 직접 조사 분석하였다. 조사 분석한 채색문화재 대상을 <표 3>에 정리하였다.

(3) 원광(原鑛) 연구

석록은 동광(銅鑛)에서 산출되는 공작석(malachite, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), 규공작석(chrysocolla, $\text{CuSiO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) 등 녹색광물을 가공한 것으로 알려져 있기 때문에 앞의 문헌조사를 통해 과거 동광산의 정보를 얻은 다음 인근 지역의 동광산을 답사하여 석록 광물시료를 얻었다.

본 연구에서 직접 방문하여 시료를 채취한 동광산은 경북 의성 옥산면의 옥동광산과 전흥광산, 경남 밀양 단장면의 밀양광산, 경북 안동 길안면의 대성광산 등 4개소이다.

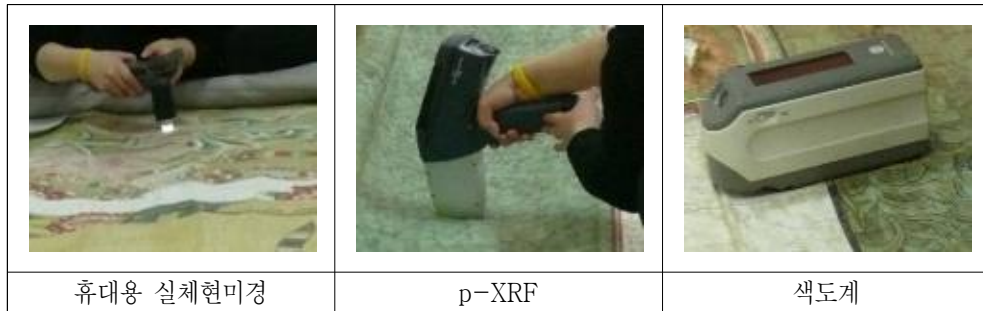
2. 분석방법

채색문화재의 직접조사는 비파괴적인 방법으로 현장에서 조사하고, 이탈되는 시료를 일부 확보하여 정성·정량적 관찰, 분석을 통해 화학성분과 미세구조를 더욱 정밀하게 분석하였다.

채색문화재와 원광의 분석방법은 현장에서 색도계를 (Spectrophotometer, Minolta 2600d, Japan) 이용한 색도조사, 휴대용 실체현미경을 (DG-2, scala, Japan) 이용한 미세구조조사, 휴대용 XRF를 이용한 (p-XRF, portable X-선 형광분석기, Innov-X, 15kV 30.7 μA /45kV, 11.55 μA) 화학성분분석 등 비파괴조사를 기본으로 하였다.

이와 더불어 이미 탈락된 시료를 소량 입수한 경우 실험실에서 보다 심도 있는 조사를 수행하였다. 시료단면을 박편으로 제작하여 현미경을 이용한 미세구조조사, 전자현미경 관찰 (SEM-EDS), 광물성분분석 (XRD), 등 정밀도

높은 분석 장비를 활용하여 문화재에 사용된 녹색 석록안료의 특성을 조사하였다 <그림 1>.



<그림 1> 비파괴분석에 사용된 기기.

대체적으로 위에 제시된 연구내용과 분석방법으로 본 연구는 진행되었으며, 효율적인 설명을 위해서 세부적인 연구방법에 대해서는 연구결과를 다룰 때 다시 기술하도록 한다.

다음 장에서는 본 연구를 수행하기 앞서 기존에 연구된 구리를 주성분으로 하는 녹색광물에 대해 살펴보고자 한다.

III. 연구결과

본 장에서는 석록안료에 대한 문헌연구, 채색문화재에서 분석된 결과, 그리고 국내외에서 산출된 원광과 그 산지에 대한 연구·분석결과를 정리하였다.

1. 문헌자료 분석결과

과거 석록과 관련된 정보를 파악하기 위해 중요 고문헌 자료를 조사하였다.

고문헌 자료로 『朝鮮王朝實錄』, 각종 『儀軌』와 같은 관찬사서, 地理誌, 국내외 기술서적으로는 『本草綱目』, 『天工開物』, 『五洲衍文長箋散稿』, 『五洲書種博物考辯』, 『林園經濟誌』 등을 해독하였다. 또한 근대 일제시기의 광산조사 자료와 현대 우리 정부에서 수행한 자원조사자료 등의 해독과 분석을 통해 여기에 기술된 석록 관련 정보, 특히 동광 산지를 파악하였다.

(1) 고문헌 자료

석록과 관련된 정보를 찾은 후 분석을 통해 과거의 산지, 가공기술, 활용 등 분야를 세분해 파악하였다.

1) 석록 산지를 밝힌 자료

국내 고문헌 자료에서 직접적으로 석록의 산지를 밝힌 자료는 찾을 수 없었으나 『朝鮮王朝實錄』, 『林園經濟誌』와 『本草綱目』의 일부 기록에서 이와 상관있는 문구를 확인하여 <표 4>에 간략히 정리하였다.

<표 4> 석록의 산지를 밝힌 고문헌 자료

서책	시기	내용	산지
朝鮮王朝實錄	세종 13년 (1431년)	최의를 해주에 보내 하엽록의 유무를 살피게 하다. 전 司正 崔義가 遂安에서 나는 深中青과 海州에서 나는 荷葉綠을 채취하여 올리니, 圖書院에 명하여 이를 시험한바 오직 하엽록이 쓸 만하여, 임금이 최의를 해주에 보내어 이를 채취...	황해도 해주
	세종 32년 (1450년)	일본국 사신 중 경릉이 원의성의 글을 가지고 와서 토산물을 바치다. 紺靑 1근, 綠靑 1근, 赤銅 3백근..	일본
	문종 1년 (1451년)	일본국 사신 경릉 등이 빈전에서 곡하고 예물과 서계를 바치다. ..紺靑 1斤, 綠靑 2斤... .	일본
林園經濟誌	19C (1806~ 1842년)	“석록은 동갱 중에서 생기는데 자양의 기운을 받으면 녹이 생기고 녹이 오래되면 돌을 이루니 그것을 석록이라 한다. 화공들이 이것으로 녹색을 나눈다. 품질이 가장 좋은 석록은 운남성에서 출토되며, 그 외 페르시아, 버마[미얀마], 인도 등지에서 수입한다.”	중국, 페르시아, 버마[미얀 마], 인도
本草綱目	1596년	石部 目錄 第十冊, “근래에는 蘇州, 新州에서 난다”, “석록은 음식으로 동갱 안에서 생겨난다. 즉 동의 초기이며 동의 생성과정에서 자양의 기가 녹을 생기게 하고 녹이 오래되어 석이 된다. 그 석을 석록이라 한다. 동은 그 속에서 생기는 것이니 공청, 증청과 동일한 근원이다.”	중국

朝鮮王朝實錄에서는 석록은 아니지만 석록보다 짙은 녹색을 내는 하엽록(荷葉綠)이 “해주(海州)”에서 난다는 점을 확인하였다. 이밖에 일본국 사신이 바친 토산물 목록에 녹청(綠靑) 즉 석록이 포함되어 있다는 점도 확인할 수 있었다.

林園經濟誌의 “품질이 가장 좋은 석록은 중국 운남성에서 출토되며, 그 외 페르시아, 버마[미얀마], 인도 등지에서 수입한다”라는 문구를 통해서 중국뿐만 아니라 더 먼 나라에서도 석록을 입수했을 가능성 등 석록의 구입처에 대한 정보를 찾을 수 있었다.

本草綱目에서는 산지에 대해서는 구체적으로 밝히고 있지 않지만 “산음의

혈중에서 생긴다.” 근래에는 소주(蘇州), 신주(新州)에서 난다고 하는 한편 “석록은 음식으로 동갱 안에서 생겨난다. 즉 동의 초기이며 동의 생성과정에서 자양의 기가 녹을 생기게 하고 녹이 오래되어 석이 된다. 그 석을 석록이라 한다. 동은 그 속에서 생기는 것이니 공청, 증청과 동일한 근원이다.” 라는 기록으로 보아 중국 또한 석록의 산지로 파악할 수 있다.

2) 가공기술을 밝힌 자료

석록의 가공기술을 직접적으로 기록한 국내 고문헌은 찾을 수 없었다. 단편적인 정보로서 靑莊館全書의 기록으로 석록을 가공하여 분말로 만든 후 수비로 입도와 색상별로 나누게 되는데 이때 입도가 크고 색이 진한 녹색을 두록, 이어서 입도가 작아지면서 색이 밝아지는 것을 이록, 삼록 등 세 종류로 분류했다는 것이다.

국의 자료로는 일본 에도시대 (1603~1868년) 고문헌인 『諸國產出石類略說』에 기술된 감청·녹청(紺靑·綠靑)의 제법에 대한 정보를 찾을 수 있었다.⁴⁾ 감청(남동광, azurite)·녹청(공작석) 원석을 작은 덩어리로 분쇄하여 물속에 담구어 저장해 두었다가 맷돌로 갈아 가루로 만들어 체로 걸러 물과 함께 항아리 속에 넣고 휘저어 돌과 흙을 제거하면서 입도별로 세 가지 종류로 분류한다. 나머지 굵은 입자는 다시 맷돌로 가는 작업을 반복하며 분리한다. 이어서 1차 분리한 분말을 얇은 함지에 물과 같이 넣고 수비를 통해 입도와 색상별로 분리한 다음 건조하여 제품화한다는 내용이다.

이밖에 중국 북송대의 營造法式⁵⁾과 명대 기술서인 天工開物⁶⁾에 기술된 내용을 들 수 있다. 營造法式에는 석록을 미세하게 갈아서 수비하여 綠華·三綠·二綠·大綠 등 네 가지색을 조제한 기록이 전한다. 녹화의 입자가 가장 미세하

4) 伊藤征司郎 總編集, 『顔料の辭典-普及版』, 朝倉書店, 2010, p. 151.

5) 李誠, 營造法式, 「彩畫作」 第1節 總制度, 1103.

6) 宋應星 저/ 최주 역, 『天工開物』, 민족문화사, 1997.

고 가장 밝으며 대록은 입자가 굵고 가장 어두운 색이다.

천공개물의 기록은 적색 안료인 주(朱 또는 朱砂, cinnabar, HgS) 제법을 밝힌 내용이지만 석록의 참고자료로 중요하므로 정리하였다. “광산에서 上質의 원광을 채취하여 쇠로 된 약연에 갈아 고운 가루로 만든다. 이 가루를 항아리에 넣고 맑은 물에다 3주야 담가 두었다가 휘저은 후 위에 뜬 것을 걷어내어 또 다른 항아리에 넣어 둔다. 이를 二朱라고 부른다. 또 아래에 가라앉은 것을 꺼내어 햇볕에 말린 것을 頭朱라고 한다.” 즉 원광을 쇠 약연에 갈아 분말로 만든 다음 물과 함께 항아리에 부어 둔 다음 휘젓고 위에 뜬 고운 입도의 것을 다른 항아리에 따라둬으로써 수비가 된다. 이러한 방법으로 입도와 색상을 분리했다는 것이다.

<표 5>에 위의 내용을 간략히 정리하였다.

<표 5> 석록의 가공기술을 밝힌 고문헌 자료

서적	시기	내용	가공기술
靑莊館全書	1795년	“석록은 청개구리의 등처럼 생긴 색깔이 가장 좋은데 수비(水飛)하여 두록(頭綠)·이록(二綠)·삼록(三綠)의 세 종류로 만들었다”	수비
諸國產出石類略說	에도시대 (1603~1868년)	감청·녹청 원석을 작은 덩어리로 분쇄하여 물속에 담귀 저장, 땃돌로 갈아 체에 걸러 물과 함께 항아리 속에 넣고 휘저어 돌과 흙을 제거하면서 입도별로 세가지 종류로 분류.	분쇄, 수비
營造法式	1103년	석록을 미세하게 갈아서 수비하여 녹화(綠華)·삼록(三綠)·이록(二綠)·대록(大綠) 등 네가지 색을 조제. 녹화의 입자가 가장 미세하고 가장 밝으며 대록은 입자가 굵고 가장 어두운 색.	분쇄, 수비
天工開物	1637년	주사의 제법 기록, 석록도 유사한 방법으로 제조하였을 것으로 추정.	분쇄, 수비

3) 용처를 밝힌 자료

석록의 용처는 모든 채색작업에 녹색의 색소로 사용한 것과 한의학에서 귀중한 약재로 사용한 것을 고문헌으로부터 확인할 수 있다.

<표 6>에 석록의 용처에 관한 내용을 간략히 정리하였다.

<표 6> 석록의 용처를 밝힌 고문헌 자료

서책	시기	내용	용처
承政院日記	영조27 1751년	정자각에 구멍이 뚫려 비가 새고.. 석록색 단청...	단청채색
嘉禮都監儀軌英祖 貞純王后	영조35 1759년	實入秩, 都監廳...三磔 1근. 石磔 2냥. 二靑 8돈. 三靑 1냥. 同黃 4냥. 荷葉 6냥. 石紫黃 5돈. 黃丹 3냥. 靑花 7냥. 磊磔 ...	의궤채색
世宗實錄地理誌	1454년	..운암(雲岩)의 금벽(金碧) 삼청과 석록으로 채색을 놓고 금으로 단장한 것..	채색용
靑莊館全書	1795년	제60권 양엽기 7, 靑綠色의 山水를 그리는 물감으로 쓰이고, 맨 밑에 자리잡은 것은 夾葉을 象嵌하거나 絹帖의 後面에 바르는 데 쓰이는데, 이것을 頭靑・二靑・三靑이라..	채색용
萬機要覽	1808년	채용편 3 戶曹貢物, 唐朱紅・唐粉・大磔・石磔・唐黃丹・二靑...	채색용
五洲衍文長箋散稿	19C	人事篇 / 服食類	채색용
		人事篇 / 技藝類	채색용
		萬物篇 / 草木類	채색용
本草綱目	1596년	氣를 益하고, 설사를 멈추며, 鼽鼻를 療한다. (別錄) 風痰을 吐하는 데 甚効가 있다.	의약용

承政院日記(영조27년 8월 17일, 1751년), “...崇陵忌辰祭處往見, 則祭器御井, 皆無頃, 諸執事亦無闕, 而丁字閣雨漏處, 則過忌辰祭後, 當修改云, 而丹青石綠色,...”로 정자각 단청수리에 채색용으로 사용되었음이 기록되어 있다.

嘉禮都監儀軌英祖貞純王后 (一房儀軌, 영조35, 1759) 6월 [實入秩] 都監廳...]에 “정분(丁粉) 2되. 금전지(金錢紙) 70장. 삼록(三碌) 1근. 석록(石碌) 2냥. 이청(二靑) 8돈. 삼청(三靑) 1냥. 동황(同黃) 4냥. 하엽(荷葉) 6냥. 석자황(石紫黃) 5돈. 황단(黃丹) 3냥. 청화(靑花) 7냥. 뇌록(磊碌)...” 으로 의궤의 채색용으로 석록이 사용되었음이 확인된다.

世宗實錄地理誌에서는 “운암사(雲岩寺) 【..고려 恭愍王이 妃 魯國公主를 절동쪽에 장사지내고, 이 절을 중창하였는데, 극히 장엄하고 화려하게 해서, 이른바 운암(雲岩)의 금벽(金碧)삼청과 석록으로 채색을 놓고 금으로 단장한 것이 산골짜기를 환하게 비친다고 할 ...” 로 건물의 단청채색에 석록이 사용되었음을 알 수 있다.

靑莊館全書(제60권 양엽기 7)에는 “...으로 된 靑綠色의 山水를 그리는 물감으로 쓰이고, 맨 밑에 자리잡은 것은 夾葉을 象嵌하거나 絹帖의 後面에 바르는 데 쓰이는데, 이것을 頭靑・二靑・三靑이라 한다.“이라는 기록에서 색상에 따른 석록의 이름과 채색부위에 대한 정보를 알 수 있다.

萬機要覽 재용편 3 戶曹貢物에서는 ‘彩色契’에 대해 언급되어 있다. “..唐朱紅・唐粉・大碌・石碌・唐黃丹・二靑의...” 등이 기록되어 있음으로써 석록이 채색용으로 사용되었음을 알 수 있다.

五洲衍文長箋散稿의 人事篇/服食類 諸膳, 人事篇/技藝類 雜技, 萬物篇/草木類 果種에도 석록이 채색용으로 사용되었음이 기록되어 있다.

本草綱目(石部 第十冊, 綠靑條)에 따르면 석록이 채색용 이외에 의약용으로도 사용되었음이 다음 문구로서 확인된다. “석록이 氣를 益하고, 설사를 멈추며, 鼽鼻를 療한다. 風痰을 吐하는 데 甚効가 있다.“

4) 석록의 다른 이름

석록을 지칭하는 용어로는 “공작석”과 “청강석”이 있음을 확인하였다. 두가지 이명(異名)은 석록의 원광을 지칭하는 데 사용했던 것으로 판단된다. 한편 석록을 색상차이에 따라서 부르는 이름도 확인할 수 있었다.

五洲書種博物攷辨 (卷2, 청강석류) 편에는 “[청강석] 곧 석록이며 속되게는 공작석(孔雀石)이라 부른다.”⁷⁾ 라고 기록되어 있으며, 靑莊館全書 (제60권, 양엽기 7)에는 畫家에게 소용되는 그림물감에 대해 다음과 같이 기록되어 있다. “...석록(石綠)은 청개구리의 등처럼 생긴 색깔이 가장 좋은데, 水飛하여 頭綠 · 二綠 · 三綠의 세 종류로 만들고 용도는 石靑과 같다...” 즉, 두록은 가장 짙은 녹색을, 이록과 삼록 등 숫자가 커짐에 따라서 단계적으로 흐린 녹색을 지칭하는 색명이라 할 수 있다.

(2) 근 · 현대 자료 연구 결과

동광의 위치에 관해서는 근대 일제에 의해 조사된 자료가 비교적 상세하다. 국내 자원을 수탈하기 위한 목적으로 조사가 상세하게 이루어진 결과로 생각된다. 광복 후 우리 정부 또한 국내에서 산출되는 자원에 대한 조사를 활발히 하였는데 새로운 산지를 찾기 보다는 일제의 조사결과를 바탕으로 정리한 것이다. 일제시기 발간된 자료 중 참고한 문헌은 『朝鮮の産物』, 『朝鮮鑛床調査要報』와 『朝鮮鑛産地』 등이다.⁸⁾ 조사 지역이 한반도 전역이지만 관련된 동광은 대부분 현재 북한지역에 속해서 현장 조사 또는 상황 파악이 불가능한 상태이다. 1920년대에 발간된 『朝鮮の産物』에서 기존의 동광으로 함경남도 갑산(甲山), 경상남도 창원(昌原), 평안북도 후창(厚昌)을 들고 있다. 이후 동광산은 급격히 늘어나 한반도 전역으로 확산되었지

7) 이규경 저/최 주 역, 『오주서종박물고변』, 학연문화사, 2008, p. 136.

8) 朝鮮總督府 編, 『調査資料第19輯 朝鮮の鑛物』, 朝鮮印刷株式會社, 1927.

朝鮮總督府地質調査所, 『朝鮮鑛床調査要報』, 第9卷, 1935.

朝鮮總督府農商工部, 『朝鮮鑛産地』, 1936.

만 위치 설명은 대체로 행정구역 면(面)과 동, 리(里) 단위로 기술되어 있어서 명확한 산출지를 확인하기는 불가능했다.

우리 정부 손으로 조사된 자료와 근래까지 채광되던 중요 동광산 중에는 경북 의성 옥산면의 옥동광산과 진흥광산, 경북 춘양의 춘양광산, 경남 밀양 단장면의 밀양광산 등이 알려져 있다. 1950년대 발간된 『全國主要企業體名鑑』(1956년판)⁹⁾ 등 근현대 기록물에서 확인되는데 이곳은 석록의 원광을 채취할 수 있는 중요 동광산으로, 현장 답사를 통해 원광을 확보하였다.

2. 채색문화재 내 석록안료 분석결과

(1) 기 보고된 연구의 분석결과

기 보고된 채색문화재 내 석록부위의 화학성분 분석결과를 <표 7>에 정리하였다. 보고된 녹색안료를 규명하기 위해서는 화학성분뿐만 아니라 미세구조, 더 나아가서는 광물성분까지의 결과가 필요하나, 기존의 연구들은 대부분 화학성분 분석에 치중되어 있다. 그러나 동일한 화학성분으로 구성되었지만 다른 형태의 광물이 존재할 수 있기 때문에 화학성분만으로는 정확한 광물명을 알 수 없고 큰 테두리 안에서 추정만을 할 수 있다.

분석대상의 모든 불화와 벽화의 석록으로 보이는 녹색채색부위에서 구리(Cu)가 주화학성분으로 검출되어 구리를 주성분으로 하는 석록임은 확인되었다. 그러나 구리만 검출된 것 보다 다른 성분이 함께 함유하는 것이 더 많다. 보고된 기 연구대상 31점 중 10점에서 (대구 동화사 대웅전 삼장탱, 사명당 유정진영 (대구 동화사 소장), 성주 선석사 괘불탱, 영주 부석사 오불회 괘불

9) 대한상공회의소, 『全國主要企業體名鑑』, 1956. 자원개발연구소, 『고흥지역 동광상에 대한 연구』, 1979. 대한광업진흥공사, 『한국의 광상 제8호 금속편』, 1979. 한국자원연구소, 『금속광물자원탐사 연구』, 1997.

탕, 영천 은혜사 패불탕, 전 윤효전 초상 (대구 중구 소장), 남해 용문사 패불탕, 합천 해인사 영산회상도, 공주 마곡사 석가모니 패불탕, 예산 대련사 패불탕) 검출되었으나 보고서에 실린 실체현미경 하에서의 녹색도를 볼 때 녹색은 매우 미약한 것으로 보인다 <그림 2, 부록 표 참조>. 즉 Cu 이외의 다른 주요 원소가 검출되지 않아서 공작석으로 분류하였지만 색상 등을 고려하였을 때 순수하게 공작석인 지에 대해서는 의문점이 남는다.

기 보고된 채색문화재의 녹색부위에서 구리 이외의 주성분으로 검출된 원소는 Cl, S 등이다. 이중 Cu와 Cl을 주성분으로 하는 녹염동광 ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)으로 볼 수 있는 것이 31점 중 22점에서 검출되었다 (부안 개암사 영산회 패불탕, 상주 남장사 영산회 패불탕, 부안 내소사 영산회 패불탕, 나주 다보사 패불탕, 예산 대련사 패불탕, 곡성 도림사 패불탕, 화순 만연사 패불탕, 해남 미황사 패불탕, 천안 박문수 초상 대본, 보은 법주사 패불탕, 상주 북장사 영산회 패불탕, 예산 수덕사 노사나불 패불탕, 홍성 용봉사 영산회 패불탕, 울진 불영사 영산회상도, 영천 은혜사 대웅전 삼장 탕화, 나주 죽림사 세존 패불탕, 청원 월리사 아미타불 탕화, 양산 통도사 패불탕, 양산 통도사 석가여래 패불탕, 구례 화엄사 영산회 패불탕, 여수 흥국사 노사나불 패불탕,).

Cu와 S가 함께 검출된 문화재는 화순 만연사 패불탕 1점으로 이들 성분을 함유하고 있는 brochantite ($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$), antlerite ($\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$) 또는 chalcantite ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 등이 사용되었을 것으로 볼 수 있다.

Cu, S, Cl이 함께 검출되어 녹염동광과 황함유 구리광물이 함께 쓰였다고 볼 수 있는 문화재도 11점 있다. 부안 개암사 영산회 패불탕, 부안 내소사 영산회 패불탕, 예산 대련사 패불탕, 곡성 도림사 패불탕, 화순 만연사 패불탕, 보은 법주사 패불탕, 상주 북장사 영산회 패불탕, 예산 수덕사 노사나불 패불탕, 양산 통도사 석가여래 패불탕, 해남 미황사 패불탕의 석록부분이 여기에 속한다.

이외에 녹색부위에서 Cu를 함유한 현대안료인 에메랄드 그린 (양록)이 검출되기도 하는데 이는 후대에 수리로 인해 발생한 것으로 보인다.

<표 7> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료의 화학성분과 추정안료.

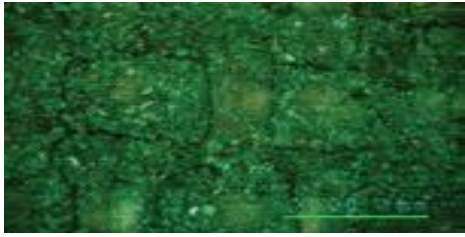
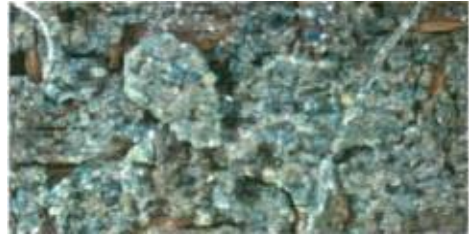
지역	문화재명	검출 화학성분	추정안료
	대구 동화사 대웅전 삼장탱	Fe, Cu	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)
	사명당 유정진영 (보물 제1505호, 대구)	Cu, Fe, Pb, Co	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)
	전 윤효전 초상 (보물 제1502호, 대구)	Cu, Pb	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)
	상주 남장사 영산회 괘불탱	Cu, Cl	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)
	상주 북장사 영산회 괘불탱 (보물 제1278호)	Cl, Cu, Pb, Si, Al, Ca, Fe	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)
		Cu, Pb, As, Ti, Ca, Si, Al, Cl	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), 양록($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_3$)
		Cu, S, Cl, Si, Ca, Al, Pb, Fe	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
	경상북도 성주 선석사 괘불탱 (보물 제1608호)	Cu, Fe, Ca, Pb	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)
경상북도	영주 부석사 오불회괘불탱 (보물 제1562호)	Fe, Cu, Pb	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)
	영천 수도사 노사나불괘불탱 (보물 제1271호)	Cl, Cu, S, Ca, Si, Pb, Al, P, Fe, Zn	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
		Cu, Pb, Si, Al, P, Sn, As, Hg, Fe, Zn	양록($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_3$) (보견 부위)
	영천 은해사 대웅전 삼장 탕화 (유형문화재 제342호)	Cu, Cl	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)
		Cu, Cl	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)
	영천 은해사 괘불탱 (보물제1270호)	Ca, Fe, Cu, Pb	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)
	울진 불영사 영산회상도 (보물 제1272호)	Cu, Cl	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)

<표 7> 계속.

지역	문화재명	검출 화학성분	추정안료
경상남도	남해 용문사 패불탱 (보물 제1446호)	Ca, Fe, Cu, Pb	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$)
	합천 해인사 영산회상도 (보물 제1273호)	Ca, Fe, Cu, Pb	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$)
	양산 통도사 패불탱 (보물제1351호)	Cu, Si, Al, P, Ca, Fe, Cl	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$)
	양산 통도사 석가여래 패불탱 (보물 제1350호)	Cu, Cl, Ca, Al, Si, Pb, Fe, P	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$)
		Cu, Cl, Si, Al, S, Ca, Pb, As, Fe, Hg	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
		Al, Si, Ca, Cl, Cu, P, Fe, Pb, As, S	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$), 양록($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_3$)
전라북도	부안 개암사 영산회 패불탱 (보물 제1269호)	Cu, Cl, Si, Al S, Ca	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
	부안 내소사 영산회 패불탱 (보물 제1268호)	Cu, Ca, Al, Si, Ti, Cr, S, Cl	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
전라남도	구례 화엄사 영산회 패불탱(국보 제301호)	Cu, Cl, Mg, Ca, Si	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$)
	곡성 도림사 패불탱 (보물 제1341호)	Cl, Cu, S, Ca, Si, Al, Pb, P, Fe, Zn	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
	화순 만연사 패불탱 (보물 제1345호)	Cl, Cu, S, Si, Ca, Al, Pb, P	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
		Cu, Si, Al, S, Ca	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl(OH)}_3$)
		Cu, Si, Al, S, Fe	brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)

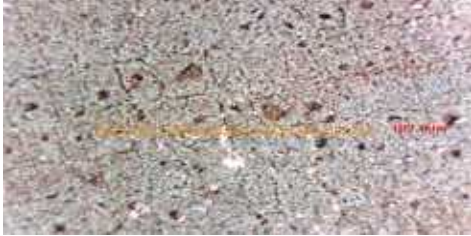
<표 7> 계속.

지역	문화재명	검출 화학성분	추정안료
		Cu, S, Si, Pb, As, S	양록($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_3$) brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
	해남 미황사 패불탱 (보물 제1342호)	Cl, Ca, Cu, Pb	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)
		S, Cl, Ba, Fe, Cr, Cu, Pb	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$), 크롬그린
	나주 죽림사 세존 패불탱(보물 제1279호)	Cu, Cl	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)
	나주 다보사 패불탱 (보물 제1343호)	Cu, As, S	양록($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_3$)
		Cu, Cl, Si, Al	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)
	여수 홍국사 노사나불 패불탱(보물 제1331호)	Cu, Cl, Ca	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)
충 청 북 도	보은 법주사 패불탱 (보물 제1259호)	Cu, Cl, Si, Al, Pb, S, Ca, As Fe, Sn, P	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
	청원 월리사 아미타불 탱화	K, Si, Cl, As, Cu	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), 양록($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_3$)
충 청 남 도	공주 마곡사 석가모니 패불탱 (보물 제1260호)	Cu, Pb	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)
	예산 대련사 패불탱	Cu, Cl, Si, Al, S, Ca, Pb	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
		Cu, Pb, Al, Si	공작석($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)
	예산 수덕사 노사나불 패불탱 (보물 제1263호)	S, Si, Pb, Cl, Cu, Ca, Fe, As, Ti	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), brochanite($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$)
	박문수 초상 대본 (천안)	Cl, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Au	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), 크롬 그린
	홍성 용봉사 영산회 패불탱 (보물 제1262호)	Cu, Cl, Si, Al	녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)

 상주 남장사 영산회 괘불탱, 녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	 대구 동화사 대웅전 삼장탱 공작석 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
 상주 북장사 영산회 괘불탱 brochantite $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$	 사평당 유정진영 (대구 동화사 소장) 공작석 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
 예산 수도사 노사나불 괘불탱 brochantite $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$	 영주 부석사 오불회 괘불탱 공작석 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$

<그림 2> 기 조사된 채색문화재 내 석록부위의 미세구조.

<그림 2> 계속

 영천 은해사 패불탱 (보물 제1270호) 공작석 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	 울진 불영사 영산회상도 (보물 제1272호) 녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
 양산 통도사 석가여래패불탱 (보물 제1350호) 녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	 양산 통도사 패불탱 (보물 제1351호) 녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
 합천 해인사 영산회상도 (보물 제1273호) 공작석 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	 영천 은해사 대웅전 삼장탱화 (경북 유형문화재 제342호) 공작석 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$

(2) 채색문화재 직접 분석결과

석록부위의 화학성분은 안료의 특성을 일차적으로 확인할 수 있게 해 준다. 일반적으로 전통석록은 공작석(孔雀石, malachite, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), 규공작석(硅孔雀石, chrysocolla, $(\text{Cu}, \text{Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$) 등 동광(銅鑛)에서 채취·가공하여 사용하는 녹색안료이기 때문에 화학성분으로 구리(Cu)가 주원소로 확인되어야 한다. 현대 불화에 사용하는 인공 석록안료는 색상에 따라 양록(洋綠, emerald green, $(\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_3$)과 하엽과(荷葉, emerald green) chrome oxide green의 혼합, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 3\text{CuO}(\text{AsO}_2)_2\text{Cr}_2\text{O}_3$ 이며 이들의 주성분도 Cu이지만, 양록은 As를, 하엽은 Cr과 As를 함유한다. 따라서 화학성분 분석결과에 따라 우선적으로 전통석록과 인공석록을 구분지을 수 있다.

불화 등 분석대상이 문화재임을 고려하여 우선 비파괴적인 방법으로 화학성분을 측정할 수 있는 휴대용 장비인 p-XRF를 이용하여 현장에서 바로 적용하였다. 그러나 이 기기는 경원소 부분의 분석이 난해하여 정확한 결과를 도출하기에 어려운 점이 있다. 이에 가능한 문화재에 한해서 이탈되어 있는 부분을 소량 채취하여 전자현미경으로 미세구조를 관찰하고 이에 부착되어 있는 에너지 분산 엑스선 분광기로 (SEM-EDS) 반정량분석을 실시하였다.

화학성분 분석결과 만으로 사용안료를 규명하기에는 부족한 점이 있다. 동일 화학성분이라도 구조에 따라 다른 광물을 이루고 있을 수 있기 때문이다. 따라서 이러한 점을 보완하기 위해서 현장에서 불화 표면에 휴대용 실체현미경으로 관찰하고 현미경 사진을 촬영하여 안료의 입자형태와 크기 등을 분석하였다. 광물분석이 가능한 정도의 시편이 확보된 것에 대해서는 광물분석을 (XRD 분석) 실시하여 정확한 광물을 동정하였다.

직접 분석의 대상이 된 불화문화재는 보존처리 과정에서 안료분석이 실시된

것이며, 앞서의 기 조사된 연구결과에서 보듯이 양록 등 현대 안료가 과거의 수리 시 보채(補彩)되어 사용된 경우가 있기 때문에 안료분석을 통하여 동일한 종류의 안료를 사용할 목적에서 조사된 것이다. 조사된 불화는 벽화와 불화로 벽화는 2점으로 경상북도 청도 운문사 대웅보전 후불벽화와 완주 위봉사 보광명전 벽화에 사용된 석록을 대상으로 하였다. 불화는 12점이며, 포항 보경사 괘불, 울진 불영사 신중탱화, 울진 수진사 소장불화, 양산 통도사 박물관 내 불화, 양산 통도사 영산회상도, 공주 마곡사 대광보전 불화 4점, 완주 위봉사 보광명전 내 불화 2점, 청원 안심사 괘불탱을 조사하였다.

1) 청도 운문사 대웅보전 후불벽화 (보물 제1817호)

청도 운문사 대웅보전의 후불벽화에서는 바탕의 연한 녹색과 두광부 및 꽃 부분에서 석록으로 보이는 진한 녹색이 관찰된다 <그림 3>. <표 8>에 표현된 것과 같은 석록부위 6지점을 조사하였으며, 바탕 등의 연한 녹색부위도 함께 분석하였다.



<그림 3> 청도 운문사 대웅보전 후불벽화 석록부위.

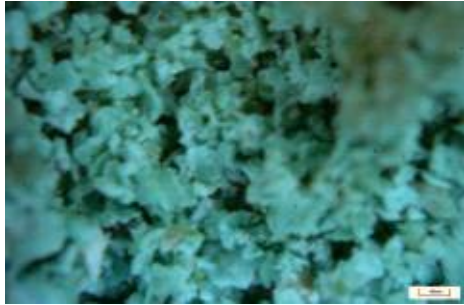
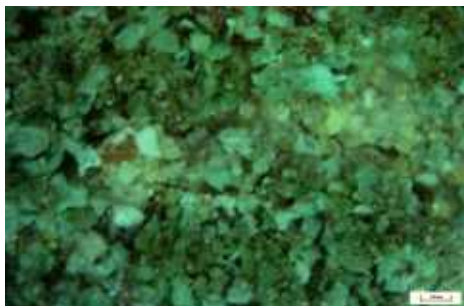
<표 8> 청도 운문사 대웅보전 후불벽화 내 석록 측정 위치.

연번	위치	비고
녹 1	달마 두광	2가지 색상 (바탕뇌록 위에 녹색)
녹 2	관음보살 두광	2가지 색상 (바탕뇌록 위에 녹색)
녹 3	달마 대좌	2가지 색상 (바탕뇌록 위에 녹색)
녹 4	관음보살 우측 가사 (진녹)	2가지 색상 (바탕뇌록 위에 녹색)
녹 5	관음보살 좌측 연잎	3가지 색상 (옥색 위에 녹색, 바탕 뇌록)
녹 6	달마 우측 승 손 주변	3가지 색상 (옥색 위에 녹색, 바탕 뇌록)

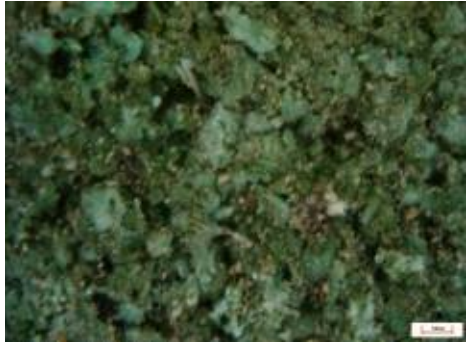
우선 바탕의 연한 녹색부위에서는 구리성분이 검출되지 않았기에 석록이라고 볼 수는 없으며 Fe, Si, Al 등의 점토를 구성하는 성분이 검출됨으로서 녹색을 띠는 점토광물인 “뇌록”이 사용된 것으로 볼 수 있다.

<표 9>에 석록부위에서 관찰한 실체현미경사진과 검출된 화학성분 그리고 이를 토대로 판단된 안료를 정리하였다. 실체현미경 관찰사진에서 보듯이 석록부위라고 하더라도 색상에서는 차이가 있으나 입자의 형태나 크기는 거의 유사하다. 즉 동일 안료에 다른 것이 배합되어 색상에서는 차이를 보인다고 할 수 있으나 p-XRF 및 EDS로부터 분석된 화학성분이 Cu와 Cl가 주를 이루므로서 사용된 석록안료는 Cu와 Cl을 주성분으로 하는 녹염동광($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$) 이라고 판단된다.

<표 9> 청도 운문사 대웅보전 후불벽화 내 석록 분석결과와 추정안료.

색상	현미경사진	검출성분	추정안료
녹 1		Cu, Cl, Pb, Fe, K	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
녹 2		Cu, Cl, Pb, Fe, K	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
녹 3		Cu, Cl, Pb, Fe, K	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

<표 9> 계속

색상	현미경사진	검출성분	추정안료
녹 4		Cu, Cl, Pb, Fe, K	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
녹 5		Cu, Cl, Pb, Fe, K	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
녹 6		Cu, Cl, Pb, Fe, K	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

2) 울진 불영사 신증탱화 (경상북도 유형문화재 제423호)

경상북도 유형문화재 제423호인 울진 불영사 신증탱화에서도 다량의 녹색안료가 사용되었음이 확인된다 <그림 4>.



<그림 4> 울진 불영사 신증탱화 후불벽화 석록부위.

<표 10>에 이들 석록부위를 휴대용 실체현미경으로 관찰한 미세구조와 p-XRF로 검출된 화학성분 결과를 정리하였으며 이를 토대로 추정한 안료명도 함께 기재하였다.

진한 녹색을 띠는 2곳과 연한 녹색을 띠는 2곳을 분석한 결과 진한 녹색부위 2곳에서는 모두 Cu, Cl이 주성분으로 검출되었으며, 안료입자 모양은 판상을 보인 청도 운문사 대웅보전 후불벽화에서와는 달리 둥근 공모양으로 구성되어 있으며 입자의 크기는 유사하다. 다만 분석부위 녹색 2에서는 Cu와 Cl 외에 Cr이 일부 검출되어 과거 불화의 수리 시 크롬그린이라는 현대 안료가 보채(補彩)로 사용된 것으로 추정된다.

연녹색과 미록색 부분에서도 Cu, Cl을 주성분으로 하는 녹염동광이 사용되었으며 연한 것으로 표현된 부분에서는 석록입자가 바탕의 뇌록층을 완전히

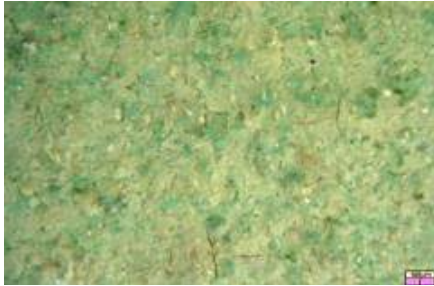
피복하지 못하는 데서 비롯된 것과 일부는 연백이 혼합되어 사용된 것에서 기인한 것으로 보인다.

결과적으로는 이 문화재에 사용된 석록은 녹염동광 ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)으로 판단된다.

<표 10> 울진 불영사 신증탱화 내 석록 분석결과와 추정안료.

세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
녹색 1		Cu, Cl	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
녹색 2		Cu, Cl, Cr	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ 산화크롬 (현대안료)
연녹색 1		Cu, Cl, Fe	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

<표 10> 계속

세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
연녹색 2		Cu, Cl, Pb, Fe	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
미록색		Cu, Cl, Fe	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

3) 울진 수진사 소장불화 (경상북도 문화재자료 제553호)

경상북도 문화재자료 제553호 울진 수진사 소장 불화에서도 두광을 비롯하여 가사 등에 다량의 녹색안료가 사용되었음이 확인된다 <그림 5>.

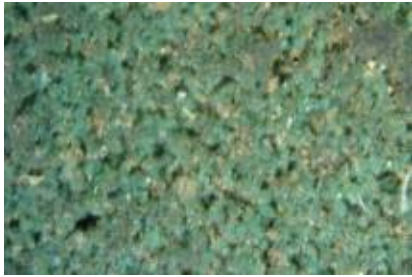
<표 11>에 이들 녹색 부위를 휴대용 실체현미경으로 관찰한 미세구조와 p-XRF로 검출된 화학성분 결과를 정리하였으며 이를 토대로 추정한 안료명도 함께 기재하였다. 녹색을 띠는 다른 부위 10곳 정도를 측정하였지만 동일한 결과를 보였기에 한 가지 결과만 정리하였다.

녹색부위를 분석한 결과 모든 녹색부위에서는 Cu와 Cl이 주성분으로 검출되었으며, 안료입자 모양은 울진 불영사 신중탱화에서와 유사한 둥근 공모양으로 구성되어 있고 입자의 크기 또한 유사하다. 사용된 석록안료는 녹염동광으로 판단된다.



<그림 5> 울진 수진사 소장 불화 석록부위.

<표 11> 울진 수진사 소장 불화 내 석록 분석결과와 추정안료.

세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
녹색		Cu, Cl	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

4) 포항 보경사 패불 (보물 제1609호)

보물 제1609호 포항 보경사 패불에서도 다량의 녹색안료가 사용되었음이 확인된다 <그림 6>.

포항 보경사 패불에서는 녹색 부위가 색상을 약간씩 달리하면서 관찰된다. 화면의 외곽 쪽에서는 연한 녹색을 보이고, 가사부분의 녹색은 선명한 녹색을 띤다. 외곽의 녹색부위에는 화학성분 분석결과 Fe, Si, Al 등이 검출됨으로서 석록이 아닌 녹색안료 뇌록이 사용된 것으로 확인되었다.

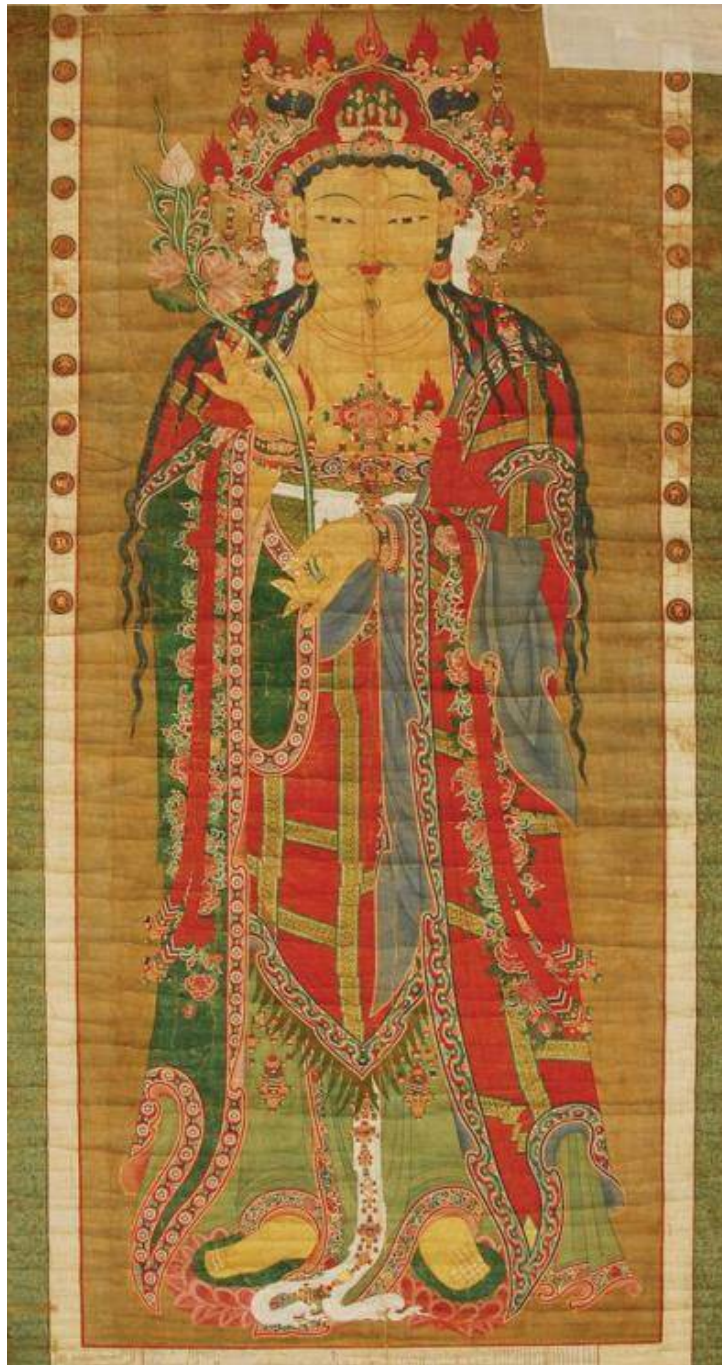
<표 12>에 석록안료 추정 부위를 대상으로 분석한 결과를 정리하였다. 휴대용 실체현미경에서 관찰한 미세구조와 p-XRF와 EDS에서 검출된 화학성분 결과, 이를 토대로 추정한 안료명을 함께 기재하였다.

결과를 우선 언급하자면, 포항 보경사 패불의 석록부위에는 공작석, 녹염동광, 황함유 구리광물 등이 모두 사용된 것으로 드러났다.

3가지 녹색의 색상으로 표현된 녹색방울 부위에서는 (녹색 1) Cu가 주로 검출되었으며, Pb와 Fe도 일부 측정되었다. 그러나 Pb나 Fe는 주변의 다른 안료에서 내포된 성분으로 보여 석록과는 관련이 없다고 할 수 있다 (Pb : 연백, Fe: 바탕 뇌록 또는 주변 적색). 즉 화학성분 분석결과로 볼 때 Cu 이외의 성분이 검출되지 않음으로서 탄산동인 공작석이라고 판단할 수밖에 없다. 현미경관찰로 본 입자형태로도 사용된 안료광물을 공작석으로 볼 수 있는 개연성은 크다.

두광 내 소불 두광의 녹색부위에서는 (녹색 2) Cu, Cl이 검출되었으며 이외에도 뇌록의 성분으로 볼 수 있는 Fe, K 등의 화학성분이 함께 검출되었다. 현미경관찰로 살펴보았을 때 녹색방울에 사용된 공작석의 입자와 형태와 크기가 유사해 보이기는 하나 화학성분에서는 다른 결과를 보였다. 화학성분으로 추정되는 이 석록부위에 사용된 안료는 녹염동광이다.

가사부위의 녹색부위를 (녹색 3) 분석한 결과 모든 녹색부위에서는 Cu, S이 주성분으로 검출되었으며, 안료입자 모양은 타 석록부위에서와 유사한 둥근 공모양으로 구성되어 있고 입자의 크기 또한 유사하다. 사용된 석록안료는 황함유 구리광물로 (brochantite) 확인된다.



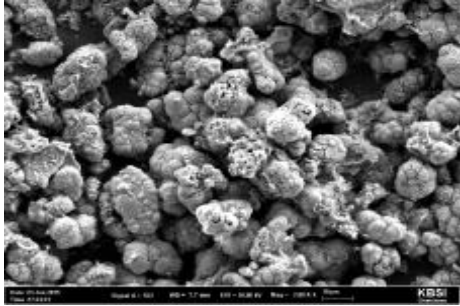
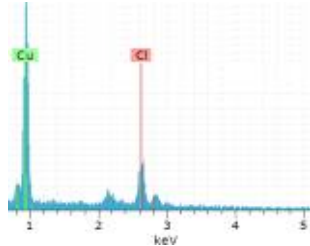
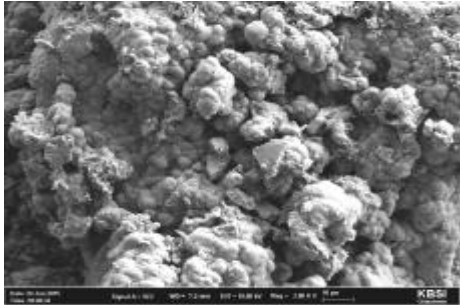
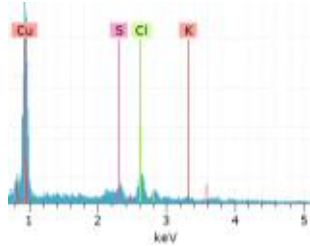
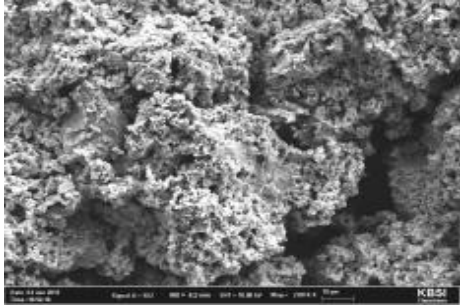
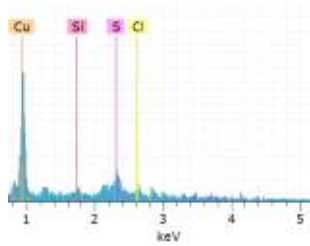
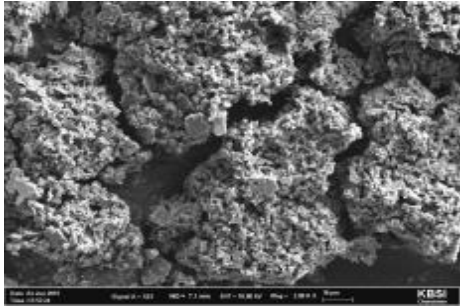
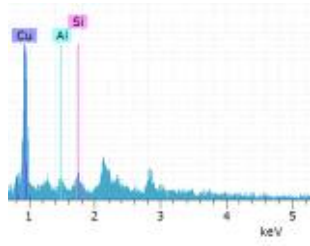
<그림 6> 포항 보경사 괘불 (보물 제1609호)

<표 12> 포항 보경사 괘불의 석록부위 분석결과와 추정안료

색상	분석부위 / 현미경사진	검출 화학성분	추정 안료
녹색 1 		Cu, Pb, Fe	공작석
녹색 2 		Cu, Cl, Ca, K, Ni, Fe	녹염 동광
녹색 3 		Cu, Pb, Fe, Ca, K, S	brochan-tite

<표 13>에 괘불에서 박락된 녹색채색부위에서 안료입자를 취하여 전자현미경(SEM) 하에서 미세구조를 관찰하고 부착되어 있는 EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometer)로 화학성분을 분석한 것을 정리하였다. 전자현미경에서는 실체현미경에서 관찰하는 것 보다 더욱 뚜렷한 석록안료 입자의 형태를 관찰할 수 있으며, 화학성분 또한 미세부분을 분석할 수 있기 때문에 현장 분석에 비해서는 정밀하다고 할 수 있다.

<표 13> 포항 보경사 패물 석록부위의 전자현미경 사진과 EDS 피크.

미세구조	화학성분	추정안료
		녹염동광
		녹염동광, brochantite
		brochantite, 녹염동광,
		공작석

Cu와 Cl 만이 검출된 녹색부분에서는 입자들의 형태가 둥글며 작은입자들이 군집되어 10-20 μ m 크기를 형성하고 있음이 관찰된다. Cu와 Cl 그리고 소량의 S가 검출되는 석록부위에서는 녹염동광의 둥근 입자의 형태가 관찰되기는 하나 선명하지는 않다. Cu와 S가 주를 이루고 소량의 Cl이 검출되는 석록부위에서는 녹염동광의 둥근 입자의 형태가 거의 보이지 않는다. Cu만이 주성분으로 검출된 석록부위에서의 미세구조는 위의 두 물질과는 상당히 다르다. 녹염동광과 나머지 두 안료의 미세구조는 뚜렷이 차이가 나서 구별이 가능한데, 공작석과 황함유 구리광물 brochantite의 미세구조는 상당히 유사해 보인다. 따라서 화학분석결과만으로 판정을 내리기 보다는 광물분석을 추가로 실시하여 정확도를 높힐 필요가 있어 보인다.

그러나 문화재로부터 비파괴적인 방법으로 광물분석을 실시하는 것이 여의치 않고, 또한 분석을 실시할 만큼의 많은 양의 시료를 확보하는 것이 불가능하기 때문에 현재로서는 아쉬움이 남는 결과이다.

정리하면, 포항 보경사 패불에서 녹색 부위에 사용한 석록안료는 공작석, 녹염동광, 황함유 구리광물 등 3가지로 확인된다. 한 문화재 내에 다양한 종류의 석록안료가 사용되었다고 하는 점은 상당히 특이로운 현상이다. 다만 이 석록안료들이 동시에 사용되었는지 또는 이후에 보채(補彩) 과정을 거치면서 덧붙여 칠해졌는지에 대해서는 알 수가 없다. 패불의 측면이나 안료의 안착상태를 볼 때 여러 차례 보수한 것으로 보이는 흔적이 있기 때문에 석록안료 또한 이후에 덧칠해졌을 가능성을 배제할 수는 없다.

5) 기타 불화문화재

양산 통도사 영산회상도, 청원 안심사 불화, 완주 위봉사 보광명전 불화 2점, 완주 위봉사 보광명전 벽화, 공주 마곡사 대적광전 불화 4점 등에서도 녹색의 석록부위가 관찰되어 화학성분, 미세구조 및 광물성분을 조사 분석하였다.

가. 화학성분

위에 언급된 문화재의 녹색부위에서 분석된 화학성분 결과를 <표 14>에 정리하였다.

양산 통도사 영산회상도의 석록부위에서는 Cu 만이 검출됨으로서 사용된 안료가 공작석 ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$)으로 추정된다.

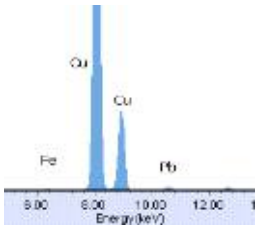
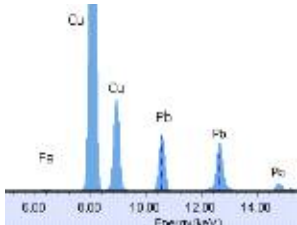
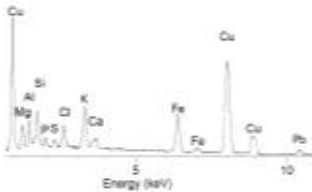
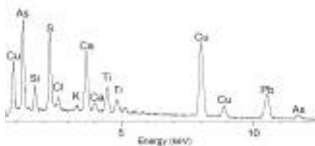
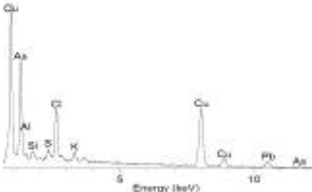
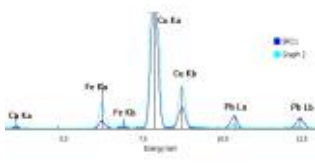
청원 안심사 패불에서는 Cu와 Pb가 주 피크로 검출되었으나 구리와 납이 함께 함유된 화합물 중 녹색을 띠는 것은 없기 때문에 녹색을 선명히 띠는 이 석록부위는 공작석으로 볼 수밖에 없으며, 납은 유입된 타 안료에서 기인된 것으로 판단된다.

완주 위봉사 보광명전 좌측 불화에서는 Cu, Cl, 그리고 소량의 S가 검출되어 녹염동광에 황함유 구리광물이 미량 들어 있는 것으로 보인다. 이 불화 뒤쪽에 있는 후불탱화의 석록부위에서는 Cu와 다량의 As가 검출되어 전통 석록 안료가 아닌 현대 인공 석록안료인 양록($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_3$)이 채색된 것으로 판단된다. 즉, 이 결과는 양록이 대량으로 사용된 시점을 고려할 때 후불탱화의 제작시기가 오래되지 않았음도 보여준다.

공주 마곡사 대적광전 비로자나 후불탱화에서도 위봉사 보광명전 후불탱화와 마찬가지로 Cu와 As가 주 피크로 검출되어 근대 안료인 양록의 ($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_3$) 사용이 추정된다. 다만 이 원소들 외에도 Ca, Si, S, Cl 등 다양한 성분이 함유되어 있는 것으로 나타나 화학성분 분석 결과만으로는 정확한 결론을 내리는 데는 애로점이 있다.

완주 위봉사 보광명전의 벽화 석록부위에서는 Cu, Cl이 주 피크로 검출되어 이들을 주성분으로 하는 녹염동광이 ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$) 안료로서 사용되었을 것으로 판단된다.

<표 14> 기타 불화 문화재 석록부위의 화학성분.

유물명	양산 통도사 영산회상도	청원 안심사 괘불
XRF/ EDS 패턴		
검출원소	Cu	Cu, Pb
유물명	완주 위봉사 보광명전 좌측 불화	공주 마곡사 대적광전 비로자나불 후불탱화
XRF/ EDS 패턴		
검출원소	Cu, Fe, Cl, Si, K, Al, Mg, P, S, Pb	Cu, As, Ca, S, Pb, Si, Cl, K, Ti
유물명	완주 위봉사 보광명전 중앙 후불탱화	완주 위봉사 보광명전 벽화
EDS/ p-XRF 패턴		
검출원소	Cu, As, Cl, Si, K, Al, S, Pb	Cu, Cl, Ca, K, Fe, Pb

<표 15>에 직접 분석한 불화 문화재 석록부위에서 검출된 화학성분과 추정 안료를 정리하였다. 직접 분석한 문화재에서도 석록부위는 크게 3가지 물질로 대별된다.

<표 15> 분석된 채색문화재 내 석록안료

지역 / 문화재명		검출 화학성분	추정안료
경상북도	청도 운문사 대웅보전 벽화 (보물 제1817호)	Cu, Cl, Pb, Fe, K	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
	울진 불영사 신중탱화 (경상북도 유형문화재 제423호)	Cu, Cl	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
	울진 수진사 소장불화 (경상북도 문화재자료 553호)	Cu, Cl	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
	포항 보경사 패불 (보물 제1609호)	Cu, Pb, Fe, Ca, K, S	황함유 구리광물 brochantite
		Cu, Pb, Fe	공작석 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
		Cu, Cl, Ca, K, Fe	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
경남	양산 통도사 영산회상도	Cu	공작석 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
전북	완주 위봉사 보광명전 좌측 불화	Cu, Cl, >>S	녹염동광, $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ 소량 황함유 구리광물 brochantite
	완주 위봉사 보광명전 중앙 후불화	Cu, As	양록 (근대 안료)
	완주 위봉사 보광명전의 벽화	Cu, Cl	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
충북	청원 안심사 패불	Cu	공작석 $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
충남	공주 마곡사 대적광전 비로자나 후불탱화	Cu, As	양록 (근대 안료)
	공주 마곡사 대적광전 중앙불화	Cu, Cl	녹염동광 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

불화의 석록부위에는 Cu, Cl을 주성분으로 하는 녹염동광이 주로 사용되었으며, 공작석 또한 사용되기는 하였으나 양산 통도사 영산회상도, 포항 보경사 패불 일부, 청원 안심사 패불 등으로 보편적으로 사용된 안료는 아닌 것으로

판단된다. S를 함유하는 구리광물 안료는 포항 보경사 패불과 완주 위봉사 불화에서 검출됨으로서 이 안료 또한 보편적으로 사용된 석록안료로는 볼 수 없다고 하겠다.

나. 광물성분

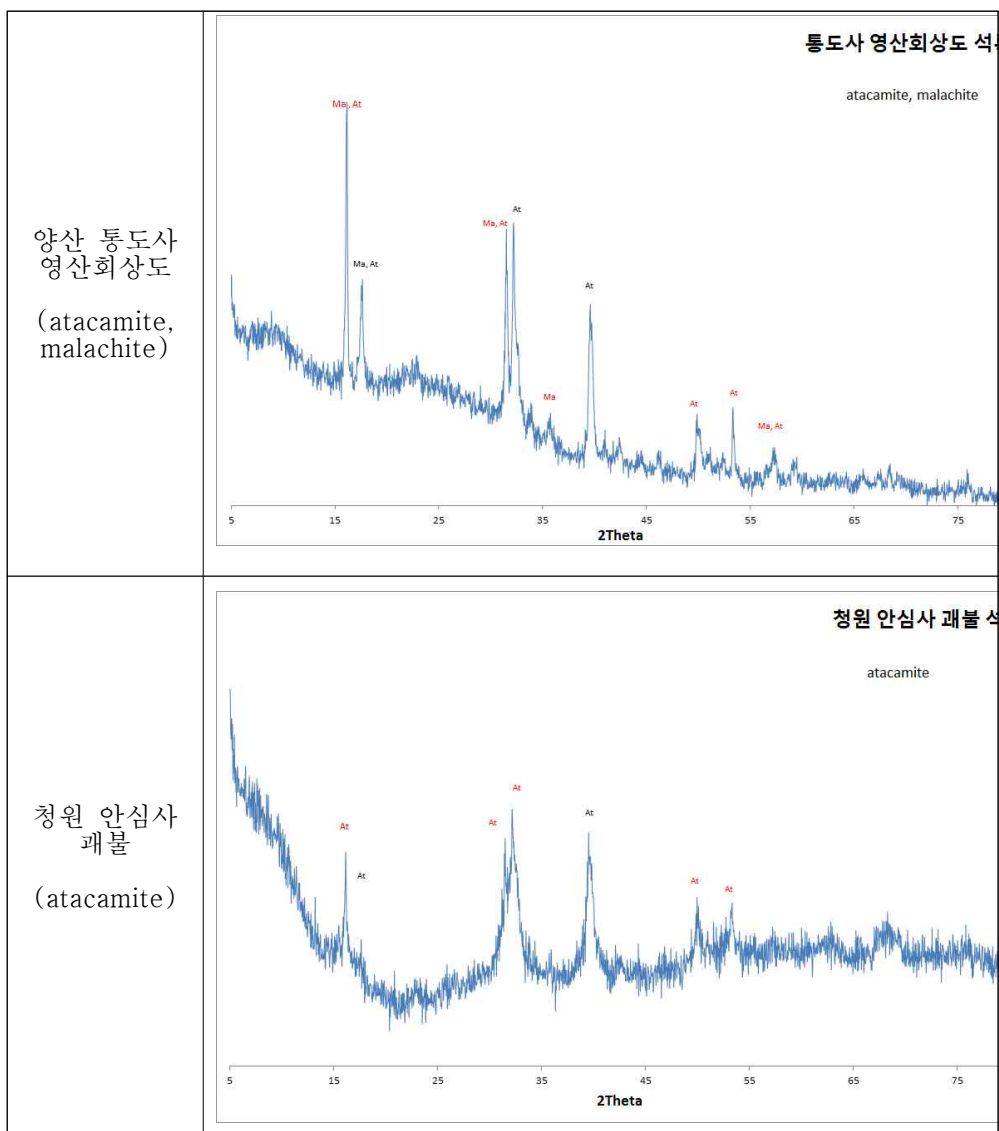
채색문화재에 사용된 석록이 공작석 등 전통 석록안료 이거나 또는 구리를 함유한 석채 등 천연광물로 조성된 것이라면 광물성분분석을 통하여 정확한 물질을 동정(同定)할 수 있다. 그러나 이 분석방법은 비파괴적인 방법으로는 수행하기가 어려워 분석대상물로부터 시료를 상당량 채취하여야 하기 때문에 문화재를 대상으로 하는 본 연구에서는 한계가 있다.

석록부위에 이탈이 있는 문화재에 한해서 이탈되어 있는 부분을 소량 채취하여 미소부 X-선 회절분석(micro X-ray diffraction)을 실시하여 석록부위가 함유하고 있는 광물을 동정하였다. 불화 문화재 석록부위의 X-선 회절패턴과 동정광물을 <그림 7>에 나타내었다.

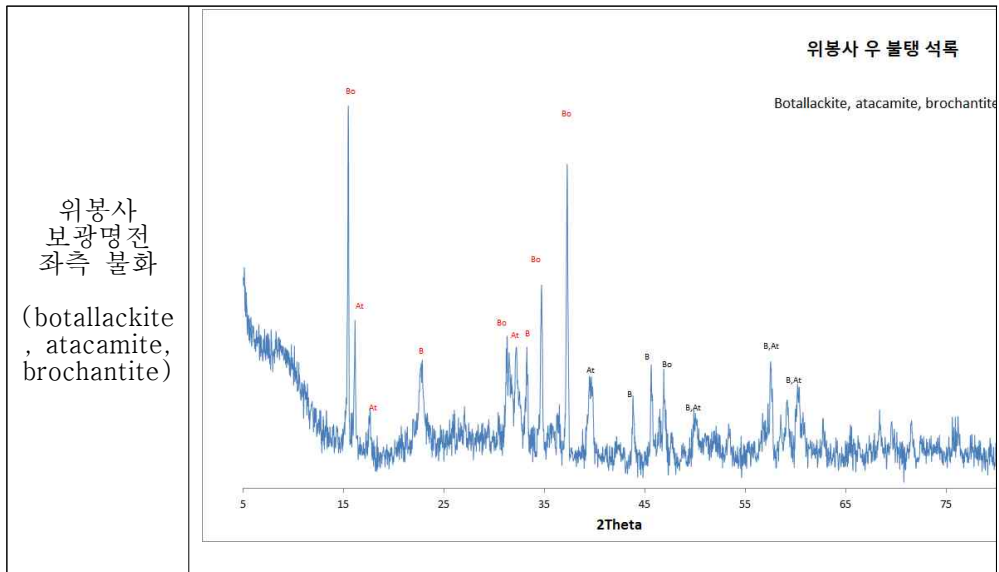
불화는 단청과는 달리 채색층이 탈락됨이 잘 관찰되지 않아 광물분석을 할 수 있을 만큼의 시료채취가 어렵다. 과거 양산 통도사 영산회상도와 청원 안심사 패불의 수리 시에 수집된 석록부위를 대상으로 분석하였으며, 완주 위봉사 보광명전의 좌측불화는 채색층의 박락이 심하여 불화하부에 탈락된 편을 취하여 분석에 사용하였다.

불화 문화재의 석록부위에서는 Cu와 Cl을 주성분으로 하는 atacamite ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)와 botallackite ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)가 주로 검출되었다. Cu와 S를 주성분으로 하는 brochantite는 ($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$) 위봉사 좌측 불화에서 검출되었다. As를 함유하는 것으로 밝혀진 불화에서는 시료를 채취할 수 없어 형성된 광물의 형태를 확인하지 못하였다. 양산 통도사 영산회상도에서는 광물분석결과 녹염동광과 공작석이 함께 검출되어 화학성분에서는 검출되지 않았던 녹염

동광이 광물분석에서 추가로 확인되었다. 마찬가지로 청원 안심사 패불에서도 화학성분 분석에서는 녹염동광을 추정할 수 없었으나 광물성분 분석결과로는 사용안료가 공작석이 아니라 녹염동광임으로 밝혀졌다.



<그림 7> 불화 문화재 석록부위의 광물성분.



<그림 7> 계속

다. 입도 및 입자형태

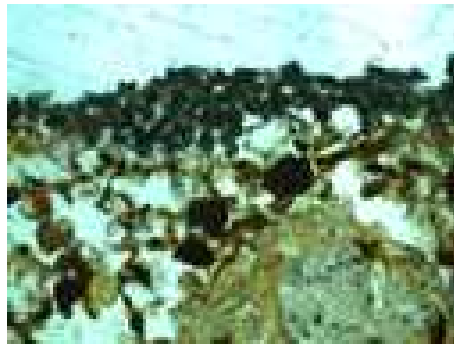
불화문화재에 적용된 석록안료는 입자의 형태를 이루기 때문에 크기와 모양에 따라 특히 입자의 크기에 따라 색상이 달라지는 성질이 있다. 따라서 채색 문화재에서 관찰되는 안료입자의 크기와 형태는 안료를 복원하는데 중요한 단서를 준다. 대상 문화재에서 미량의 석록부위를 채취하여 휴대용 실체현미경, 광학현미경과 전자현미경하에서 관찰하여 입자의 크기와 형태를 분석하였다.

불화·벽화 석록부위의 미세구조를 <그림 8>에 도시하였다.

완주 위봉사 보광명전 벽화의 단면을 박편으로 제작하여 관찰한 결과, 석록부위 구성입자의 모양은 둥근 것에서 아각형에 이르기 까지 다양한 것으로 나타났다. 입자의 크기도 20 ~ 100 μm 의 미세한 것에서 조립질에 이르기 까지 다양하다. 완주 위봉사 보광명전 좌측불화 석록부위 안료의 구성입자는 원마도가 양호하며, 대략 50 μm 정도로 구성되어 있고 그 보다 더 작은 크기도 관찰

된다. As가 검출된 공주 마곡사 대적광전 불화의 석록부위에서는 입자의 크기가 $10\sim50\mu\text{m}$ 로 크기는 다양하며 입자의 형태는 대체로 둥근편이다.

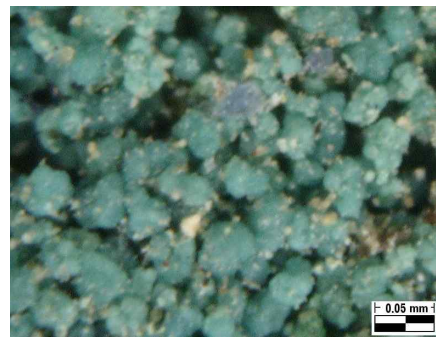
즉 불화와 벽화의 석록부위 구성입자는 대략 $10\sim100\mu\text{m}$ 범주에 있으며, 벽화에 사용된 석록의 입자가 불화에서보다 비교적 크며 그 또한 균일한 크기가 아닌 다양한 크기로 존재함을 보였다.



완주 위봉사 보광명전 벽화



공주 마곡사 대적광전 비로자나
후불탱화



공주 위봉사 보광명전
좌측 불화

<그림 8> 불화·벽화 석록부위의 안료입자 크기와 형태.

3. 석록 원광분석

앞서 살펴본 바에 따르면, 불화나 벽화 등의 채색문화재에는 다량의 녹색 석록안료가 사용되었다. 그리고 채색문화재 석록부위가 함유하고 있는 광물은 주로 atacamite와 botallackite로 대별되는 녹염동광이며, 문화재에 따라서는 황함유 구리광물인 brochantite와 공작석이 검출되기도 하였다.

고문헌에 따르면 석록안료는 중국과 일본 등 국외에서만 아니라 국내에서도 수급이 되었다. 따라서 본 장에서는 국내의 광산에서 채취한 석록안료를 채색문화재에 사용된 석록안료와 비교하여 봄으로써 실제 채색문화재에 사용된 석록안료의 수급처를 살펴보고자 한다.

석록은 동광(銅鑛)에서 산출되는 공작석(malachite, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), 규공작석(chrysocolla, $\text{CuSiO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) 등 녹색광물을 가공한 것으로 알려져 있기 때문에 앞의 문헌조사를 통해 과거 동광산의 정보를 얻은 다음 인근 지역의 동광산을 답사하여 석록 광물시료를 얻었다. 본 연구에서 직접 방문하여 시료를 채취한 동광산은 경북 의성 옥산면의 옥동광산과 진흥광산, 경남 밀양 단장면의 밀양광산, 경북 안동 길안면의 대성광산 등 4개소이다. 이들 광산은 근대 이전부터 동광이 산출되었던 곳이다. 경북의 춘양광산에서는 육안으로 보이는 녹색광물을 찾을 수 없었다.

문헌자료를 통해 얻은 광산정보만으로는 정확한 위치를 찾기가 불가능했다. 대략적인 지역명을 기록한 것이기 때문이다. 또한 이들 광산은 폐광된 지 20 ~ 30년 이상 되었고 주변은 광산에서 유출되는 광재(鑛災)를 막기 위해 입구는 물론 주변의 폐석더미 등 광범위한 지역까지 토양으로 두껍게 덮어버렸기 때문에 시료 광물조차 찾기 어려운 상황이었다. 구체적인 광산위치는 지질학 전문가와 함께 공동 탐사로 진행되었고 인근 마을주민들의 도움을 받아 찾아낼 수 있었다.

(1) 석록산지와 확보된 원광

1) 옥동광산

옥동광산 (경북 의성군 옥산면 입암리 산 70) 부근의 지질은 경상계 신라통의 퇴적암류인 회색 셰일, 담녹색 셰일, 담황색 내지 담회색 셰일, 담회색 사암, 적자색 셰일 등으로 구성되며, 이들은 서로 호층을 이루고 있다. 광상은 퇴적암 중에 발달된 열극을 충전한 함동, 연, 아연 석영맥으로, 주광석 광물은 황동석, 방연석, 섬아연석, 황철석, 공작석이다 (대한광업진흥공사, 1979¹⁰⁾).

옥동광산은 현재 폐광되어 폐석과 광미가 토양으로 덮힌 상태로, 다량의 원광을 채취하기는 불가능한 상태이나 주변에 흩어진 원광덩어리를 그림에서와 같이 빈번히 관찰할 수 있다.

										
석록함유 원광석(단면)	석록함유 원광									
	<table><tr><th>L*</th><th>a*</th><th>b*</th></tr><tr><td>67.42</td><td>-8.00</td><td>4.60</td></tr><tr><td>67.89</td><td>-8.16</td><td>4.70</td></tr></table>	L*	a*	b*	67.42	-8.00	4.60	67.89	-8.16	4.70
L*	a*	b*								
67.42	-8.00	4.60								
67.89	-8.16	4.70								
원광에서 추출하여 분말화한 석록안료 (좌: 표준색상표)	녹색안료 분말의 색도									

<그림 9> 옥동광산 주변에서 채취한 석록원광과 분말상태.

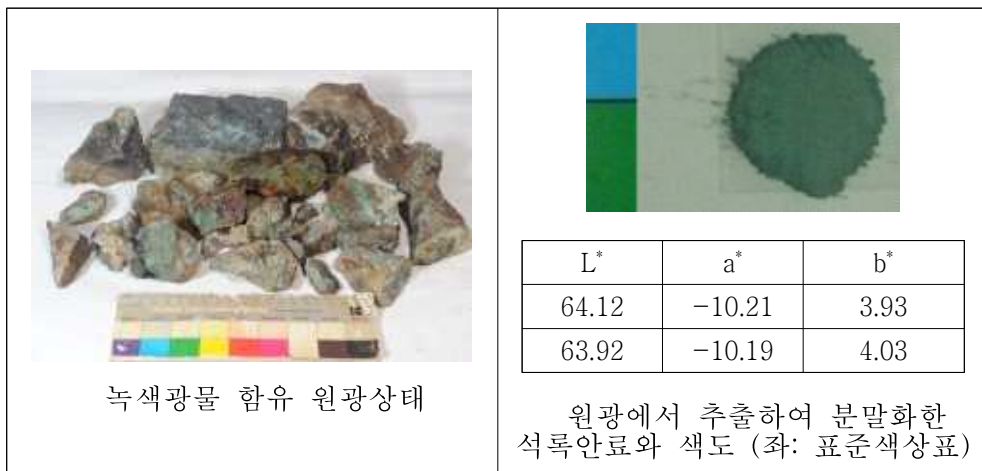
10) 대한광업진흥공사, 『한국의 광상 제8호 금속편』, 1979.

옥동광산에서 녹색을 띠는 동광물은 덩어리로 존재하는 것이 아니라 <그림 9>에서 보는 바와 같이 모암표면에 얇은 층막을 형성하며 다른 광물들 틈 속에서 산출된다. 따라서 안료 원료로서의 수익율은 매우 낮으며, 녹색 색상 또한 육안상으로도 균일함을 띠지 않으나 색도계로 측정된 색도로 볼 때 녹색 계열로 분류할 수 있다.

2) 전홍광산

전홍광산 (경북 의성군 옥산면 입암리 산 70) 부근의 지질은 경상계 퇴적층인 사암, 이암, 셰일 및 이들이 변성된 호온펠스 등이다. 광상은 경상 퇴적층 내 열극을 충전한 열극충진 광상으로 주요 광석광물은 황동석, 방연석, 섬아연석, 남동석, 공작석, 황철석 등이다.

폐석더미에서 찾은 녹색광물 함유 암석은 의성광산에서와 마찬가지로 얇은 층막 형태로 모암의 표면에 녹색광물이 형성되어 있어 그 수익율은 매우 낮았다.

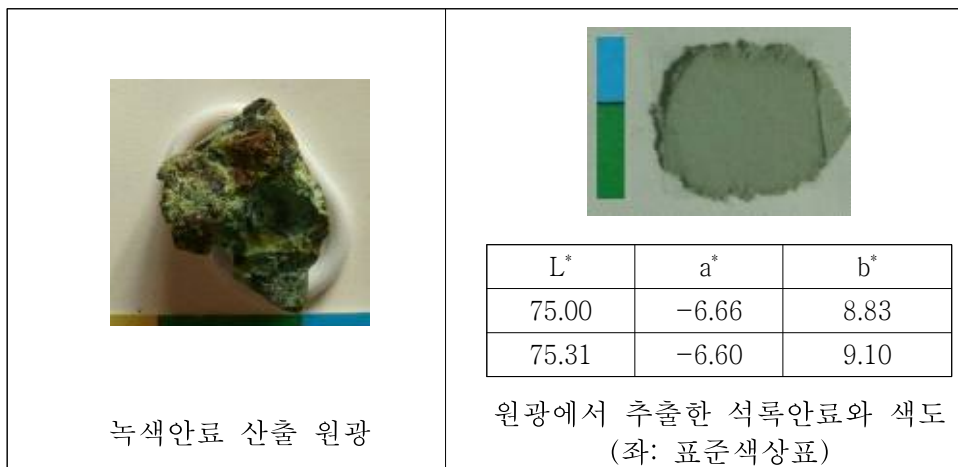


<그림 10> 의성 전홍광산에서 채취한 녹색광물의 원광과 분말 상태.

녹색광물을 모암 표면으로부터 긁어내어 채취한 후 채색문화재에서 분석된 안료의 입도와 유사한 크기로 분쇄하여 분말화한 녹색안료를 <그림 10>에 나타내었다. 육안으로도 확인한 녹색을 띠며 색도계를 이용해 측정한 색도에서 옥동광산의 것보다 더 높은 녹색도를 (a^*)와 약간 낮은 황색도를 (b^*) 보였다 (녹색분말 사진 좌측의 표준색상표 참조).

3) 밀양광산

밀양광산 (경남 밀양시 단장면 국전리 366-1) 부근의 지질은 경상계 분출암인 응회암, 집괴암 및 규장반암으로 구성된다. 광상은 응회암의 열극을 충전한 방해석맥에 수반된 동광상으로 방연석, 공작석등이 산출된다.



<그림 11> 밀양광산 주변과 채취 녹색안료의 산출 원광 상태.

밀양광산은 현재도 채광 중에 있으며, 폐석더미에서 녹색안료 함유 원광을 쉽게 관찰할 수 있고, 녹색광물은 얇은 막의 형태로 암석의 표면에 형성되어 있어 수득율이 낮은 편이다.

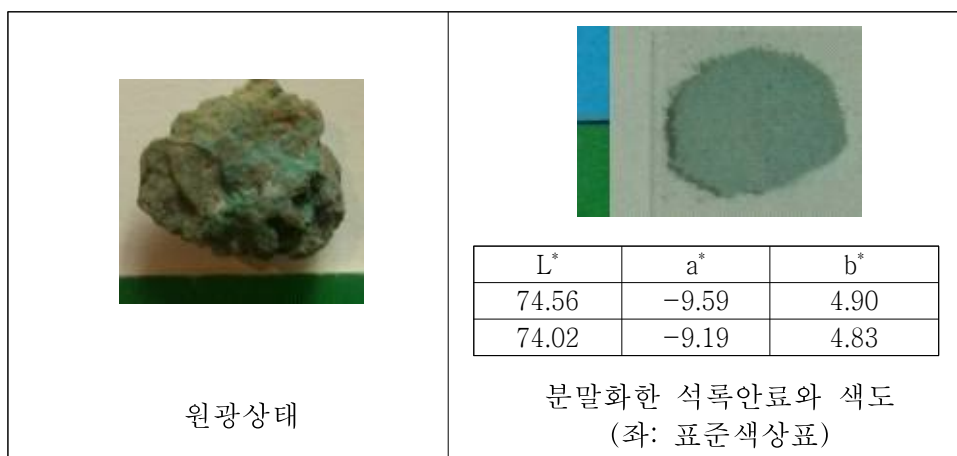
녹색부위를 동광 덩어리로부터 긁어내어 채취한 후 채색문화재에서 분석된 안료의 입도와 유사한 크기로 분쇄하여 분말화한 녹색안료를 <그림 11>에 나타내었다. 육안으로는 연두빛을 띠는 녹색이며, $L^*a^*b^*$ 색체계로 나타내었을

때 명도(L^*)는 75, 녹색도 (a^*)는 -6에 이르며, 황색도 (b^*)는 9 정도로 표현되었다. 의성지역 광산의 녹색안료 분말에 비해 밝고 녹색도는 낮으며 황색도는 높은 것으로 나타났다.

4) 대성광산

대성광산 (경북 안동시 길안면 묵계리 산 96) 부근의 지질은 경상계 퇴적층과 후기 층층 주입된 안산암으로 구성한다. 안산암은 녹색 내지 암록색을 띠며 층리면 따른 층리면 따른 관입 암상을 보여준다. 광상은 상기 퇴적층 내에 발달된 단층 열극대를 따라 충진 생성된 맥상광체로 주 광석광물은 공작석, 황동광, 방연광이며 맥석광물로는 방해석이 수반된다.

대성광산의 폐석더미에서 녹색안료 함유 원광을 쉽게 관찰할 수 있으며, 녹색광물은 얇은 막의 형태로 암석의 표면에 형성되어 있어 수득율이 낮은 편이다. 녹색안료 원료덩어리로부터 긁어내어 채취한 후 채색문화재에서 분석된 안료의 입도와 유사한 크기로 분쇄하여 분말화한 녹색안료를 <그림 12>에 나타내었다. 육안으로는 푸른빛이 도는 녹색이며, 분말을 분광측색계로 측정하여 $L^*a^*b^*$ 색체계로 나타내었을 때 의성지역 광산의 녹색안료분말에 비해 밝고 녹색도와 황색도는 비슷한 것으로 나타났다.

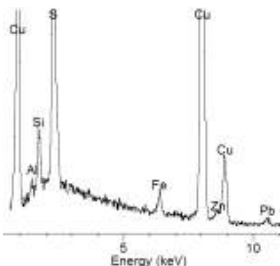
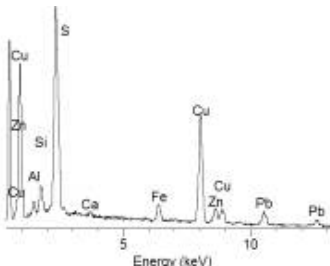
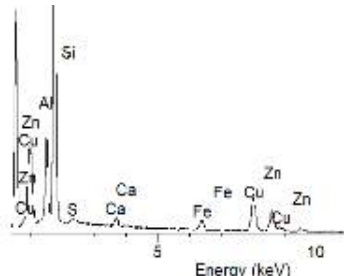
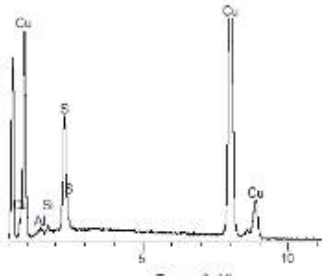
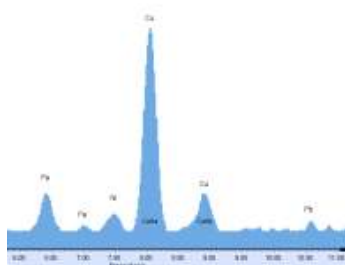
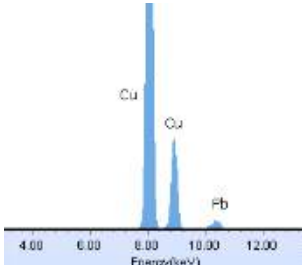


<그림 12> 대성광산의 녹색 원광과 가공한 석록안료.

(2) 산지별 석록의 구성성분

국내 광산 석록분말의 구성화합성분은 광산마다 약간씩 차이가 나지만 주구성 화학성분은 Cu이다 <표 16>.

<표 16> 국내 구리광산 채취, 가공한 석록안료와 외산 공작석의 화학성분.

시료	의성 옥동광산	의성 전흥광산
EDS 패턴		
검출원소	Cu, S, Fe, Si, Al, Pb	Cu, S, Si, Al, Zn, Pb
시료	밀양광산	안동 대성광산
EDS/XRF 패턴		
검출원소	Si, Al, Cu, Fe, Zn	Cu, S, Si, Al
시료	malachite 1 원광 (외산)	malachite 2 원광 (외산)
EDS 패턴		
검출원소	Cu, Fe, Ni, Pb	Cu, Pb

옥동광산과 전흥광산의 녹색분말에서는 Cu와 더불어 S가 주성분으로 검출되며 Fe, Si, Al 등이 소량성분으로, 그리고 Pb가 검출되는 것으로 확인된다.

대성광산의 녹색분말은 Cu를 가장 많이 함유하며, 그 다음으로 S, 그리고 Si, Al를 약간량 함유하고 있는 것으로 나타났다.

색상면에서도 약간 다른 양상을 띠었던 밀양광산의 녹색분말은 Si가 주성분이며, Al, Cu성분이 그 다음으로 함유되어 있고 그 외에 Ca, Fe, S 등이 소량 검출되었다.

외국산 석록원광의 분말에서는 Cu가 주성분이며, 이외에 Fe, Pb 등이 미량 함유되어 있는 것으로 분석되었다.

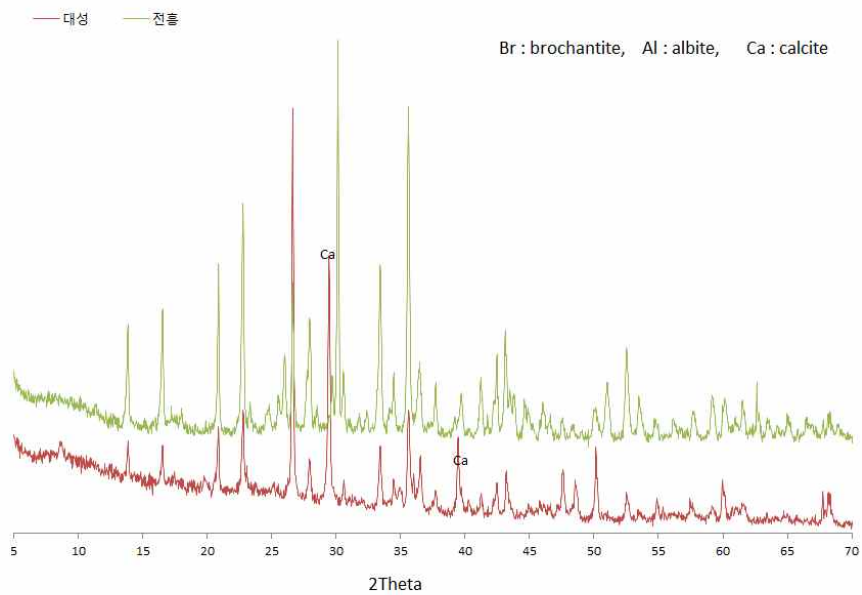
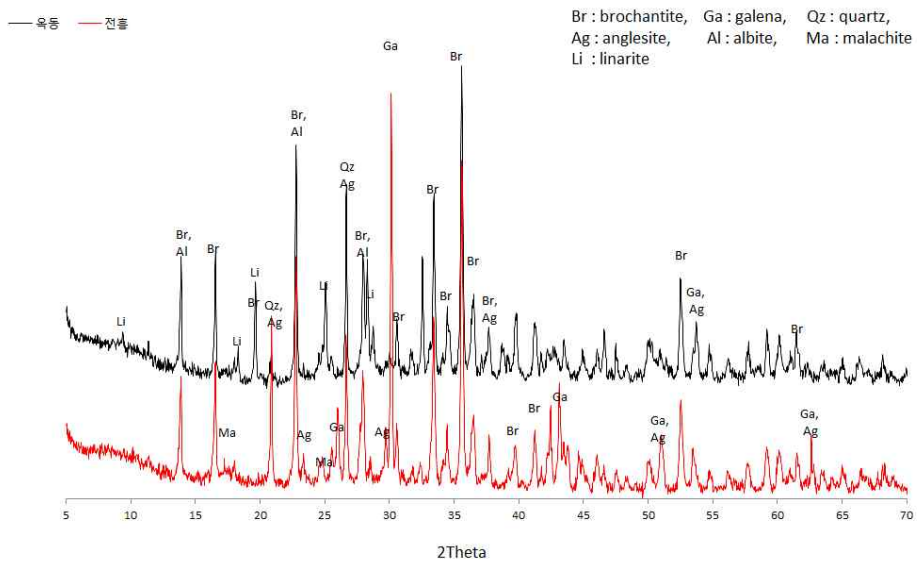
이러한 화학성분 분석결과도 마찬가지로 채색문화재의 석록부위에 국내 광산 획득 석록분말이 적용되었을 가능성, 그리고 불화 등에는 순도가 높은 외국산 석록원광의 분말이 사용되었을 수 있음을 말해준다.

의성지역 옥동과 전흥광산에서 채취한 녹색분말에서는 brochantite ($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$), linarite ($\text{PbCu}(\text{SO}_4)(\text{OH})_2$, sky blue)와 소량의 malachite ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$) 등 녹색계열 광물과 방연석 (galena, PbS), anglesite (PbSO_4) 등의 납함유 광물, 석영, 사장석 등의 규산염광물이 검출되었다 <그림 13>. 즉 공작석과 atacamite 등은 검출되지 않았다.

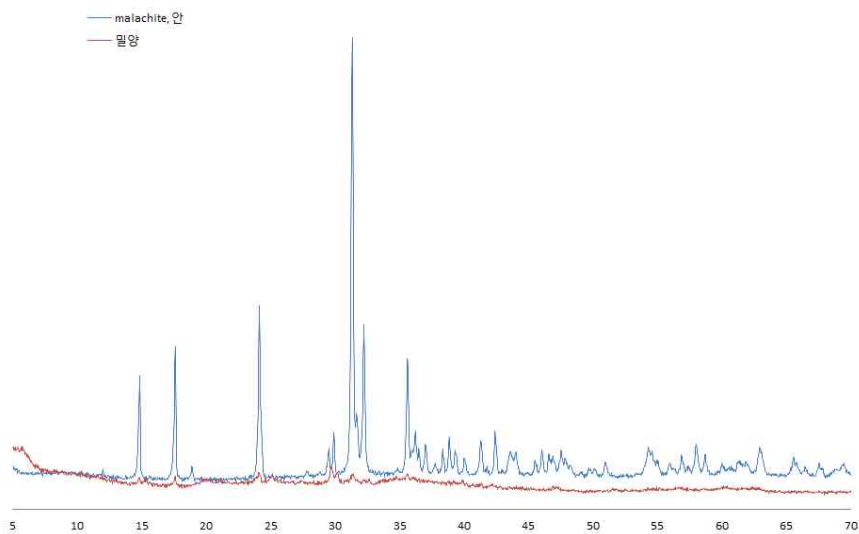
대성광산의 녹색분말은 녹색의 brochantite와 사장석, 방해석(calcite, CaCO_3)을 함유하는 것으로 분석되었다. 이곳에서도 공작석과 atacamite 등은 검출되지 않았다.

밀양광산의 녹색분말은 결정성이 약한 녹색의 공작석(malachite)으로 구성되어 있는 것으로 분석되었으며 그 외의 광물성분은 동정되지 않았다.

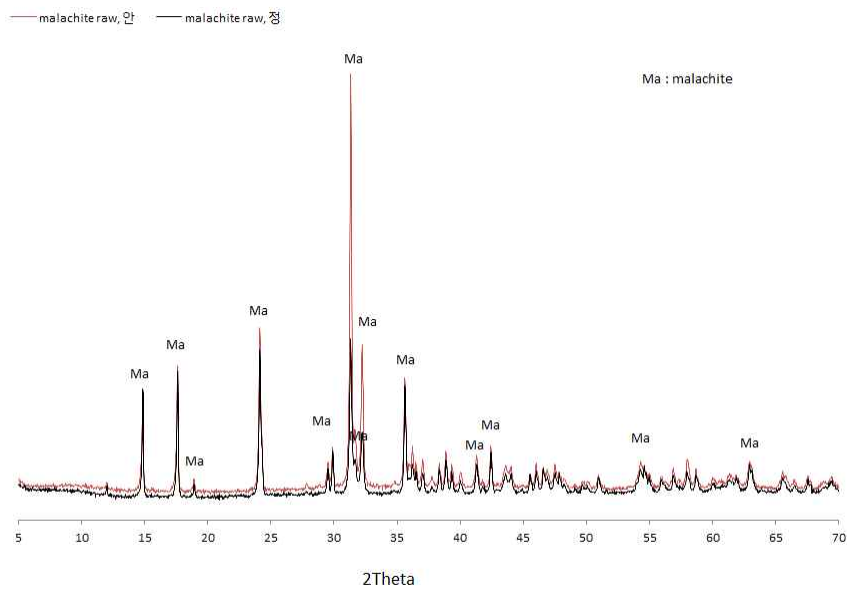
외국산 석록원광의 X-선회절 패턴에서는 뚜렷한 녹색의 공작석 피크만이 검출된다 <그림 14>. 현재 사용하고 있는 석록안료의 광물형태와 같다.



<그림 13> 국내 구리광산 채취 녹색분말의 X-선 회절패턴.



<그림 13> 계속.



<그림 14> 외국산 석록원광 분말의 X-선 회절패턴.

IV. 고찰

석록은 Cu를 기본으로 하는 녹색안료이며 공작석 (malachite, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$)이 대표 광물이다. 보통 석록이라고 하면 공작석으로 여기나 동부산물 중 녹색을 띠는 것은 공작석뿐만 아니라 다양하다. 즉 채색문화재에서 “석록”이라 할 때의 의미는 공작석만이 아닐 수 있다는 것이다.

<표 17> 녹색을 띠는 구리함유 광물.

광물명	화학식	색상
malachite	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	green, dark green, blackish green.
rosasite	$(\text{Cu,Zn})_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	blue green, light blue, sky blue.
atacamite	$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	green, yellow, yellow green, black green
botallackite	$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	blue green, green, light blue green, Light green
paratacamite	$(\text{Cu,Zn})_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	greenish black, dark green
brochantite	$\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$	green
antlerite	$\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$	green
chalcantite	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	green, green blue, light blue, dark blue
diopase	$\text{CuSiO}_2(\text{OH})_2$	dark blue green, emerald green, turquoise
chrysocolla	$(\text{Cu,Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$	green, bluish green, blue, blackish blue
chalcoalumite	$\text{CuAl}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12} \cdot 3(\text{H}_2\text{O})$	blue, blue gray, greenish blue, light blue green
spangolite	$\text{Cu}_6\text{Al}(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12}\text{Cl} \cdot 3(\text{H}_2\text{O})$	blue green, green, dark green, emerald green.
olivenite	$\text{Cu}_2\text{AsO}_4(\text{OH})$	olive green, yellowish brown, blackish green

<표 17>에서 나타낸 것과 같이 녹색 또는 녹색을 주로 띠는 구리광물들은 malachite를 비롯하여 rosasite, atacamite, botallackite, paratacamite, brochantite, antlerite, chalcantite, diopside, chrysocolla, chalcocite, spangolite와 olivenite 등과 같이 다양하다.

일반적으로 X-선형광을 이용한 기기분석에서 Cu만이 검출되는 공작석을 제외하고는 다른 구리광물들은 Cl, S, Si, Al, As 등 다른 화학원소를 함유한다.

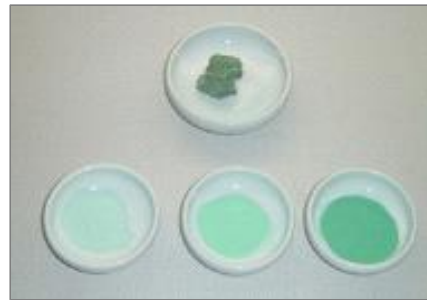
Malachite를 구성하는 화학원소는 구리 (Cu)이며, 여기에 탄산기(CO_3)와 수산기(OH)가 결합된 광물이다. 따라서 p-XRF, XRF 등 X-선형광을 이용한 분석기기에서는 Cu 성분만이 검출된다. 즉, 이론적으로 녹색 채색부위에서 이러한 분석기기를 이용하여 Cu만 검출되면 malachite라는 광물안료가 사용되었다고 추정가능하다.

Rosasite는 malachite와 유사한 화학식을 가지고 있으며, 구리 외에 Zn을 함유하고 있기 때문에 X-선을 이용한 분석기기에서는 Cu와 Zn 성분이 함께 검출된다.

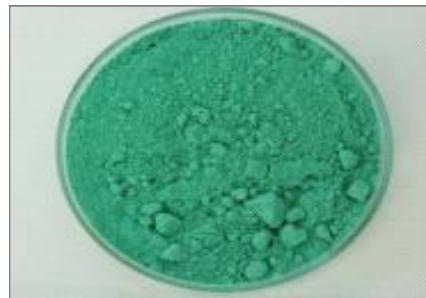
Atacamite, botallackite와 paratacamite는 Cu를 주성분으로 하며, 여기에 Cl과 수산기(OH)가 결합된 광물이다. 특히 atacamite와 botallackite는 화학식이 동일하기 때문에 화학성분결과만으로는 두 광물을 구분지을 수 없다. X-선형광을 이용한 분석기기에서는 Cu 성분뿐만 아니라 Cl가 다량 검출된다. 즉, 녹색 채색부위에서 이러한 분석기기를 이용하여 Cu와 Cl가 검출되면 atacamite, botallackite와 paratacamite라는 광물안료가 사용되었다고 추정가능하다.

Brochantite, antlerite와 chalcantite는 Cu를 주성분으로 하며, 여기에 황산기와 (SO_4) 수산기(OH)가 결합 또는 수화물의 (H_2O)상태로 존재하는 광물이다. X-선형광을 이용한 분석기기에서는 Cu 성분뿐만 아니라 S가 다량 검출

된다. 즉, 녹색 채색부위에서 이러한 분석기기를 이용하여 Cu와 S가 검출되면 위의 광물이 사용되었다고 할 수 있다. 마찬가지로 이들 광물의 화학식은 매우 유사하기 때문에 화학분석결과만으로 정확한 광물명을 구분 지을 수는 없다.



孔雀石 원광과 입도에 따른 안료상태



綠礬(atacamite)의 원광상태와 안료상태



brochantite



chrysocolla

<그림 15> 구리 함유 녹색 광물 산출상태와 가공된 안료상태.

Diopside는 Cu를 주성분으로 하며, 여기에 Si, O와 수산기(OH)가 결합한 광물이다. X-선형광을 이용한 분석기기에서는 Cu 성분뿐만이 아니라 Si가 다량 검출된다.

Chrysocolla는 Cu와 Al를 주성분으로 하며, 여기에 Si, O, H와 수산기(OH)가 결합하며 수화물의 (H_2O)상태로 존재하는 광물이다. X-선형광을 이용한 분석기기에서는 Cu, Al, Si 성분이 검출된다.

Chalcoalumite는 Cu와 Al를 주성분으로 하며, 여기에 황산기(SO_4), 수산기(OH)가 결합하며 수화물의 (H_2O)상태로 존재하는 광물이다. X-선형광을 이용한 분석기기에서는 Cu, Al, S 성분이 검출된다.

Spangolite는 Cu와 Al를 주성분으로 하며, 여기에 황산기(SO_4), 수산기(OH), Cl가 결합하며 수화물의 (H_2O)상태로 존재하는 광물이다. X-선형광을 이용한 분석기기에서는 Cu, Al, S, Cl 성분이 검출된다.

Olivenite는 Cu와 As를 주성분으로 하며, 여기에 수산기(OH)가 결합된 광물이다. X-선형광을 이용한 분석기기에서는 Cu, As 성분이 검출된다.

<그림 15>에는 공작석, 녹염동광으로 불리는 atacamite, 그리고 황함유 구리광물인 brochantite, Si, Al을 함유하는 chrysocolla의 산출상태와 안료로 가공된 상태를 나타내었으며, 공작석은 광물의 입자크기에 따라 다르게 표현되는 안료의 색상을 함께 표현하였다.

현재 석록안료로 사용되는 malachite는 덩어리 상태로 산출되는 것을 사용하며, 녹염동광, brochantite와 chrysocolla 등은 모암 표면에 부착되어 있는 상태로 산출한다.

앞선 기 보고된 결과의 분석에 따르면 불화의 석록부위에 전통 석록으로 알려진 공작석이 단독으로 사용되지 않았음을 말해준다. 즉 공작석이 사용되었

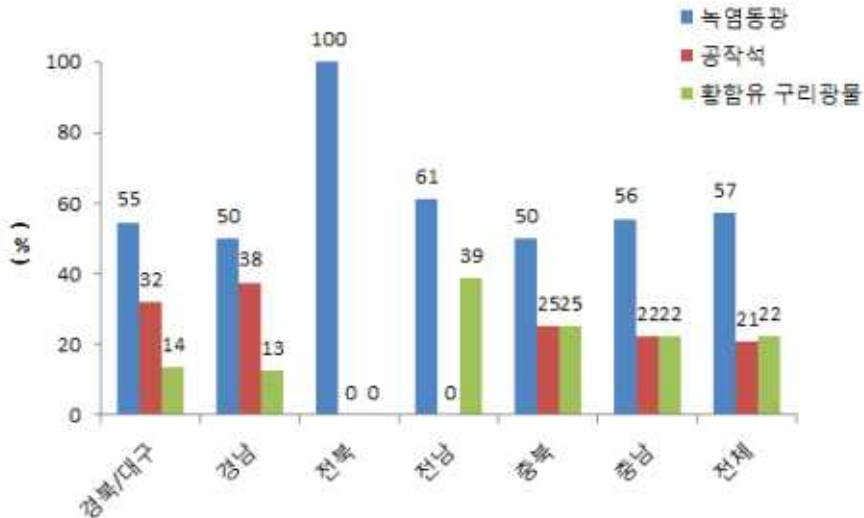
더라도 다른 성분과 혼합되어 적용되었거나 또는 공작석이 아닌 구리를 함유한 녹색안료가 사용된 것이 확인된다. 조사 대상 문화재의 71%에 해당하는 많은 채색문화재의 석록부위에는 Cu와 Cl을 주로 하는 녹염동광 (atacamite 또는 botllackite, $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)이 석록안료로 사용되었다고 보인다. 또 다른 녹색광물은 Cu와 S로 구성된 brochantite ($\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$), antlerite ($\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$) 또는 chalcantite ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 등으로 다수의 문화재에서 검출되었다. Cu, S, Cl이 함께 검출되어 녹염동광과 황함유 구리광물이 함께 쓰였다고 볼 수 있는 문화재도 다수 분석되었다. 이 석록이 원광 자체가 두 성분을 모두 함유하고 있는 원광으로 제작된 것인지 또는 녹염동광 안료와 황함유 구리광물 안료를 혼합하여 사용한 것인지에 대해서 현재로서는 알 수 없다.

직접 조사한 채색문화재의 석록부위 분석결과에서도 석록부위에는 Cu, Cl을 주성분으로 하는 녹염동광이 주로 사용되었으며, 공작석 또한 사용되기는 하였으나 보편적으로 사용된 안료는 아닌 것으로 판단된다. S를 함유하는 구리광물 안료 또한 보편적으로 사용된 석록안료로는 볼 수 없다고 하겠다.

앞서 살펴본 기 보고된 불화 등 채색문화재 내 석록안료와 직접 조사한 결과를 합하여 지역별로 정리하여, 사용된 석록안료의 지역적 특이점을 살펴보았다. 행정지역별로 구분하는 것이 어떠한 의미를 줄지에 대해서는 알 수 없지만 지역적 차이를 볼 수 있는 편의를 위해 정리하였다.

<표 18> 지역별 채색문화재 석록부위의 안료성분 분류 (수량/%).

지역	녹염동광	공작석	황함유 구리광물
경상북도/대구	12 (55%)	7 (32%)	3 (14%)
경상남도	4 (50%)	3 (38%)	1 (13%)
전라북도	2 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
전라남도	11 (61%)	0 (0%)	7 (39%)
충청북도	2 (50%)	1 (25%)	1 (25%)
충청남도	5 (56%)	2 (22%)	2 (22%)
전체	36 (57%)	13 (21%)	14 (22%)



<그림 16> 지역별 채색문화재 석록부위의 안료성분 점유율(%).

<표 18>과 <그림 16>에서 보는 바와 같이 전 지역에서 석록부위에 사용된 안료는 녹염동광이 가장 빈번하며 (전체 석록부위의 약 57% 차지), 공작석과 황함유 구리광물의 사용은 이에 비해 적은 편으로 나타났다 (각기 21%, 22%). 전라북도와 전라남도에 있는 채색문화재에서는 석록부위에서 공작석이 없는 결과를 보여 타 지역과는 차이가 있다. 물론 여기서 다른 채색문화재가

그 지역의 전체를 대별한다고 할 수는 없지만 분석된 결과만을 가지고 고찰해보았을 때는 위와 같은 결과를 보였다.

검출된 화학성분으로 안료를 구분지었다고 할지라도 안료입자의 형태를 고려하였을 때 동일한 종류의 안료라고 단정 짓기는 어렵다. 위의 결과에서 살펴본바와 같이 청도 운문사 대웅보전 후불벽화에서 검출된 녹염동광이 보인 얇은 판상의 입자 형태는 울진 불영사 신중탱화나 울진 수진사 소장 불화, 포항 보경사 괘불에서 보인 구형의 입자형태와는 다르기 때문이다. 이것이 벽화와 불화의 차이인지는 모르겠지만 두 안료의 입자형태가 분명히 다르기는 하다. 직접 분석한 채색문화재 중 불화의 석록부위에서 보인 녹염동광의 입자형태는 채색문화재가 위치한 지역과는 상관없이 거의 유사한 결과를 보였다. 지역에 따른 차이점이나 유사성, 그리고 벽화나 불화에 쓰인 안료의 차이점에 대한 결론을 얻기 위해서는 향후 더 많은 조사를 거쳐야 될 것으로 생각한다.

국내 구리광산에서 채취하여 녹색의 안료상태로 가공한 광물은 지역의 광산에 따라 약간씩 다른 결과를 보였다. 의성지역 광산에서 채취한 녹색분말에서는 Cu와 S를 함유한 brochantite가 주 광물이며, Cu, S, Pb를 함유한 청색의 linarite가 약하게 함유되어 있는 것으로 나타났다. 안동지역 대성광산에서는 육안으로는 푸른빛이 도는 녹색분말이 채취되었으나 광물성분은 Cu와 S를 함유한 brochantite이다. 밀양광산에서는 결정성이 약하기는 하지만 녹색의 공작석이 산출되는 결과를 보였다.

현재 시중에 판매하고 있는 수입 석록안료와 공작석 덩어리를 분말화한 것에서는 주광물이 공작석이며 다른 것은 매우 미량 함유되어 있는 것으로 나왔다.

위의 결과를 볼 때, 국내 동광 산지로부터 석록안료로서의 황함유 구리광물과 공작석을 수급했을 가능성이 충분하다. 현재 동광산의 폐쇄 등으로 이러한 원료를 수급하는 데는 애로점이 있겠지만 이전에는 어렵지 않게 취할 수 있을

것으로 보인다. 특히 황함유 구리광물이 산출되는 의성과 안동지역에서 가까운 경북지역 채색문화재 석록부위에서 황함유 구리광물이 검출되는 것으로 보아 지역에서 쉽게 수급할 수 있는 원료로 가공하여 채색안료로 사용했을 가능성이 크다.

그리고 국내 광산에서 채취된 공작석의 경우 외산에 비해 광물의 품위가 높지 않은 결과를 보였는데, 이는 오히려 일부 채색문화재에 사용된 석록안료로서의 공작석이 낮은 녹색도를 띠고 있다는 점을 고려해보면 국내 광산에서의 수급 가능성이 크다고 할 수 있다. 물론 색상이나 성분면에서 품위가 높은 공작석이 사용된 것도 채색문화재에서 확인되는 것으로 보아, 외국에서 수입된 공작석도 사용되었음을 알 수 있다. 다만 비용면에서 볼 때 외국산 순수 공작석이 다량 사용되기는 어려웠을 듯하다.

국내 원광분석에서 특이한 점이라고 하면, 이번 연구대상이 된 국내 동광산에서 채색문화재의 석록부위의 주를 이루는 Cu, Cl 함유 녹염동광을 얻을 수 없었다는 것이다. 이는 국내 채색문화재에 가장 많이 사용된 석록안료 녹염동광이 국내 동광산에서 쉽게 수급될 수 있는 광물이 아닐 수 있음을 시사한다. 좀 더 많은 광산을 대상으로 조사를 해보아야겠지만 석록안료 녹염동광의 산지가 국내 보다는 국외 일 가능성이 크며, 고문헌에 나오는 수입산 석록이 값비싼 공작석이기 보다는 상대적으로 저렴한 녹염동광이었을 가능성도 배제할 수 없다.

V. 결론

전통 녹색안료 석록(石綠)의 특성에 대하여 문헌연구, 채색문화재 내 석록의 과학적 특성 그리고 국내 동광산 산출 석록안료의 특성 연구를 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 과거 석록과 관련된 정보를 파악하기 위해 중요 고문헌 자료를 조사하였다.

《조선왕조실록》과 각종 《의궤》, 《본초강목》, 《천공개물》, 《오주서종박물고변》 등 국내·외 기술서적, 그리고 근현대 광산 조사 자료에 기술된 동광산지 등에 대해 파악하였다. 그 결과 석록을 채취한 명확한 산지는 찾을 수 없었지만 동광산 가운데 의성, 밀양 등지를 확인할 수 있었다. 전통 가공기술 정보도 얻을 수 없었지만 중국과 일본 문헌을 참고하여 그 대강은 예상할 수 있었다.

2. 채색문화재에서 석록부위에 대해 과학적 성질을 조사한 결과는 다음과 같다.

(1) 대부분 채색문화재의 석록부위에서 Cu가 주화합성분으로 검출되었으나 일부 문화재에서는 주성분이 아닌 부성분 또는 미량성분으로 검출되기도 하며, S, Cl, P, Si, Ca 등이 주성분으로 검출되기도 한다. 이러한 Cu 이외에 다양하게 검출되는 성분들은 대부분 안료의 구성성분으로 추정된다. 이는 불화의 석록부위는 전통 석록안료로 알려진 공작석이 단독으로 사용되지 않았으며, 녹염동광, 그리고 황함유 구리광물이 함께 사용되었음을 의미한다.

(2) 채색문화재의 석록부위에서는 Cu와 Cl을 주성분으로 하는 광물이 주를 이루었으며, 광물분석 결과 녹염동광 ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_2$)으로 밝혀졌다. 그리

고 Cu와 S를 주성분으로 하는 brochantite 등의 황함유 구리광물도 일부 문화재에서 동정되었다. Cu만을 주성분으로 하는 공작석도 일부 문화재에서 검출되었으나 대부분 녹색도가 낮은 상태를 띠었으며, 문화재에 따라 품위가 높은 공작석이 사용된 경우도 있다.

- (3) 국내 채색문화재에 사용된 녹색의 석록안료는 녹염동광, 공작석, 그리고 황함유 구리광물 (brochantite) 등 적어도 3가지 이상 형태의 물질로 구성되어 있으며, 석록안료가 공작석만을 의미하지 않음을 밝혔다. 따라서 석록은 구리를 주성분으로 하면서 녹색을 띠는 광물을 모두 칭할 수 있는 명칭이다.
- (4) 채색문화재에서 채취한 석록부위의 광물분석과 미세구조분석 등 정밀분석결과와 비파괴분석에 의해 검출된 화학성분으로 추정하는 광물성분이 일치하지 않는 경우도 있음을 밝혔다. 따라서 비파괴적인 분석을 수행할 때 화학성분 뿐만 아니라 현미경관찰에 의한 입자의 형태를 함께 분석하여 교차확인을 해야 하며, 정밀분석결과와도 비교하여 정확한 안료광물을 추정해야 한다.
- (5) 화학성분으로 추정한 녹염동광의 입자형태가 문화재에 따라 다양함도 밝혀졌다. 특히 벽화와 불화에 사용된 것에서 차이를 보였기 때문에 이런 경우 정밀분석을 통해 정확한 물질 규명이 필요하다.
- (6) 채색문화재 분석결과를 6개 행정구역으로 구분하여 사용한 석록안료의 지역적인 특성을 살펴보았으나 지역적인 뚜렷한 차이점을 찾아볼 수 없었다. 다만 본 연구의 전라도 지역 채색문화재에서 공작석이 석록안료로 사용된 것이 없었다는 점이 주목된다.

3. 국내의 광산에서 채취한 석록안료를 채색문화재에 사용된 석록안료와 비교하여 석록안료의 수급처를 살펴본 결과는 다음과 같다.

(1) 경북과 경남 등 4개 동광산에서 원광을 채취하였으나 석록의 원료인 녹색부분은 표면에 얇게 형성된 상태로 국내 광산에서 얻는 석록원광에서는 안료의 수득률이 높지 않다.

(2) 국내 구리광산에서 채취하여 녹색의 안료상태로 가공한 광물은 지역의 광산에 따라 약간씩 다른 결과를 보였다. 의성과 안동지역 광산에서 채취한 녹색분말에서는 Cu와 S를 함유한 brochantite가 주 광물이며, 밀양광산에서는 결정성이 약한 공작석이 산출되었다. 이러한 결과로 볼 때, 국내 동광 산지로부터 석록안료로서의 황함유 구리광물과 공작석을 수급했을 가능성이 있으며, 황함유 구리광물이 산출되는 지역과 가까운 지역의 채색문화재 석록부위에서 황함유 구리광물이 검출되는 것으로도 지역에서 쉽게 수급할 수 있는 원료를 가공하여 채색안료로 사용했을 가능성이 크다.

(3) 현재 시중에 판매하고 있는 수입 석록안료와 (malachite) 공작석 덩어리를 분말화한 것에서는 주광물이 공작석이며 국내 광산에서 채취된 공작석은 외산에 비해 광물의 품위가 높지 않다. 이는 오히려 일부 채색문화재에 사용된 석록안료로서의 공작석이 낮은 녹색도를 띠고 있다는 점을 고려해보면 국내 광산에서의 수급 가능성이 크다고 할 수 있다. 색상이나 성분면에서 품위가 높은 공작석이 사용된 것도 채색문화재에서 확인되기 때문에 외국에서 수입된 공작석도 사용되었음이 추정된다.

(4) 이번 연구대상이 된 국내 동광산에서는 채색문화재 석록부위의 주를 이루는 Cu, Cl 함유 녹색염동광이 산출되지 않았다. 이는 국내 채색문화재에

가장 많이 사용된 석록안료 녹염동광이 국내 동광산에서 쉽게 수급될 수 있는 광물이 아닐 수 있음과 따라서 그 수급처를 국외로 볼 수 있는 근거가 된다.

참고문헌

【학위논문】

김정현, 「19C 아미타불 탕화의 복원모사를 위한 과학적 분석 연구 : 청원월리 사 소장 아미타불탱화」, 공주대학교대학원 석사학위논문, 2009.

【보고서】

고창문화재보존연구소, 『해인사 영산회상도 보존처리』, 고창문화재보존연구소, 2009.

고창문화재보존연구소, 『남해 용문사 괘불탱 보존수리 및 괘불함 제작』, 2010a.

『영주 부석사 오불회 괘불탱 보존수리』, 2010b.

『은해사 괘불탱』, 2010c.

『朴文秀肖像 보존처리 용역』, 2016d.

담원문화유산, 『공주 마곡사석가모니괘불탱 조사·분석 보고서』, 2015.

대구 동화사, 『동화사 대웅전 삼장탱 보존수리』, 2011.

대한광업진흥공사, 『한국의 광상 제8호 금속편』, 1979.

문화재청, 정보문화재연구원, 「북장사 영산회 괘불탱」. 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2016a.

「통도사 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2016b.

「통도사 석가여래괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2016c.

「개암사 영산회 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2017d.

「내소사 영산회 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2017e.

「대련사 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2017f.

- 「도림사 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2017g.
- 「만연사 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2017h.
- 「법주사 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2017i.
- 「수덕사 노사나불괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2017j.
- 「수도사 노사나불괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2017k.
- 「남장사 영산회 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2018a.
- 「다보사 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2018b.
- 「미황사 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2018c.
- 「용봉사 영산회 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2018d.
- 「죽림사 세존괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2018e.
- 「화엄사 영산회 괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2018f.
- 「흥국사 노사나불괘불탱」, 『대형불화 정밀조사 보고서』, 2018g.
- 비전문화유산, 『영천시 은혜사 대웅전 후불탱화 및 삼장탱화 보존처리 보고서』, 2014.
- 신라보존과학연구소, 『(보물 1502호) 전 윤효전 초상 보존처리』, 2009.
- 안병찬, 『전통 석채원료의 특성연구를 통한 고기능성 뇌록안료 개발 보고서』, 국립중앙과학관, 2007.
- 안병찬·도진영·정종미, 『우리 땅 전통안료 뇌록연구보고서』, 한국연구재단, 2014.
- 정재문화재보존연구소, 『대구 팔공산 동화사 소장 보물 제1505호 사명당유정 진영 보존처리 및 모사 보고서』, 2009.
- (주)금오문화재보존, 『울진 불영사 신중탱화 보존처리 보고서』, 2016.
- 『울진 수진사 소장불화 보존처리 보고서』, 2016b.
- 『포항시 보경사 괘불탱화 보존처리 보고서』, 2016c.

『2016년 운문사 대웅보전 벽화모사사업 보고서』, 2017.
(주)한경문화재보존, 『(보물 1608호) 선석사 괘불탱 보존처리』, 2009.
한영문화재, 『울진 불영사 영산회상도 보존처리공사』, 2017.

【단행본】

이규경 저/최주 역, 『오주서종박물고변』, 학연문화사, 2008.
大韓商工會議所, 『全國主要企業體名鑑』. 1956.
朝鮮總督府農商工部, 『朝鮮鑛產地』, 1936.

【학술지】

도진영·이상진·김수진·윤윤경·안병찬, 「전통 녹색 석채로 사용된 뇌록의 특성 연구」, 『한국광물학회지』, 21(3), 2008.

【외국문헌】

諸國產出石類略說 伊藤征司郎 總編集, 『顔料の辭典-普及版』, 朝倉書店, 2010.
朝鮮總督府 編, 『調査資料第19輯 朝鮮の鑛物』, 朝鮮印刷株式會社, 1927.
朝鮮總督府地質調査所, 「古文獻に顯はれる朝鮮鑛產物」, 『朝鮮鑛床調査要報』, 第9卷, 朝鮮總督府地質調査所, 1935.

【고문헌】

嘉禮都監儀軌英祖貞純王后, 實入質編, 영조35년.
萬機要覽, 1808.
本草綱目, 1596.
世宗實錄地理誌, 1454.

承政院日記. 영조27년.

五洲衍文長箋散稿, 19C

營造法式, 「彩畫作」 第1節 總制度, 1103

林園經濟誌, 19C.

朝鮮王朝實錄, 세종13년, 세종 32년, 문종1년.

靑莊館全書, 1795.

【참고사이트】

한국역사정보통합시스템, (www.koreanhistory.or.kr),

A study on characteristics of Seokrok used in traditional Buddhist printing

Submitted by Lee, Soo-Jin

Department of Cultural Properties
Graduate School of Gyeongju University

(Supervised by Professor Do, Jin-Young)

(Abstract)

Green pigments used as traditional green pigment in Buddhist printings of Korea can be categorized into two types: Nokto, which comes from soils, and Seokrok, which comes from rocks. For the green of paintings, including Buddhist paintings, mineral pigments containing copper were primarily used. Seokrok is a pigment composed mainly of Cu, and is typically known as malachite ($\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$). Therefore, when Cu is detected in a Buddhist painting, it is presumed that Seokrok pigment was used and Seokrok is naturally referred to as a malachite-based pigment. A by-product of Cu, however, is composed of various minerals besides malachite and requires a study not only of the chemical components but also the mineral components. This study aims to conduct an analysis of chemical and mineral components to establish the definition of

Seokrok, in relation to the mineralogical name, used in traditional Buddhist printing of Korea.

In most traditional Buddhist printing, Cu was detected as the main chemical component in the green areas. In some cultural heritages, however, Cu was detected not as the main component, but as a minor or a trace component, revealing S, Cl, P, Si, and Ca as the main components instead. Various components detected in addition to Cu are usually recognized as components of the pigment. This signifies that malachite, which is known as a traditional Seokrok pigment, was not used exclusively in the Seokrok parts of Buddhist paintings, but rather in combination with atacamite and sulfur-containing copper minerals.

Seokrok of the traditional Buddhist printing were largely composed of a mineral having Cu and Cl as main components, a mineral identified as atacamite ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_2$) from a mineral analysis. Sulfur-containing copper minerals such as brochantite having Cu and S as main components were also identified in some cultural heritages. Malachite mainly composed of Cu was also detected in some cultural heritages, but most of them displayed low greenness and some even used high-grade malachite.

The green Seokrok pigment used in the traditional Buddhist printing of Korea does not refer only to malachite. It is a name that can

refer to all minerals that are green and having copper as the main component.

The result of the analysis of the traditional Buddhist printing were divided into six administrative districts to examine the local characteristics of the Seokrok pigments used, but no distinct regional differences were found. Nonetheless, it is noteworthy that malachite was not used as Seokrok pigment in the traditional Buddhist printing of Jeolla-do province as examined in this study.

부록. 기 보고된 불화 문화재 내 석록부위의 화학성분과 추정안료.

<부록 표 1> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료 (경상북도)

지 역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
경 상 북 도	상주 남장사영산회 괘불탱 ¹¹⁾	녹색 1		Cu, Si, Cl, Al	녹염동광
		녹색 2		Cu, Si, Cl, Al, Pb	녹염동광 +연백
		녹색 3		Si, Ca, Al	추정 불가
	대구 동화사대웅전 삼장탱 (문화재 자료 제37호 ¹²⁾)	열은 녹색		Ca, Fe, Cu, Pb	석록+연백
		녹색		Fe, Cu	석록
	상주 북장사영산회 괘불탱 (보물 제1278호) ¹³⁾	녹색 1		Cl, Cu, Pb, Si, Al, Ca, Fe	석록
		녹색 2		Cu, Pb, As, Ti, Ca, Si, Al, Cl	유기 합성 안료로 추정
		백록색		Pb, Si, Al, Fe	연백+뇌록
		청록색		Si, Pb, Cl, Ca, Fe, Al	군청
		연녹색		Cl, Cu, Si, Ca, Pb, Al, Fe, P	석록
		진녹색		Cu, Cl, Si, Ca, Al, Pb, Fe, P	석록

11) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『남장사 영산회 괘불탱』, 2018.

12) 대구 동화사, 「동화사 대웅전 삼장탱 보존수리」, 2011.

13) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『북장사 영산회 괘불탱』, 2016.

<부록 표 1> 계속

지역	문화재명(등급)	세부색상	현미경사진	검출성분	추정안료
경상 북 도	대구 동화사 소장 사명당 유정진영 ¹⁴⁾ (보물1505호)	녹색		Cu》 Fe》 Pb》 Co	석록
	성주 선석사패불탱 (보물 제1608호) ¹⁵⁾	녹색		Cu》 Fe, Ca, Pb》	공작석
		열은 녹색		Cu, Pb》 Fe	공작석
		옥색		Pb, Cu》 >	공작석
	영천 수도사노사나불 패불탱 (보물 제1271호) ¹⁶⁾¹⁷⁾	녹색 1		Cl, Cu, S, Ca, Si, Pb, Al, P, Fe, Zn	염화동 (녹염동광)
		녹색 2		Cu, Pb, Si, Al, P, Sn, As, Hg, Fe, Zn	염화동 (녹염동광)
		녹색 3		S, Pb, Cl, Si, Cu	(녹염동광) +연백
		녹색 4		Ca, S, Al, Ca, Si, P, Ti, Zn, Fe, Pb	추정 불가
	영주 부석사 오불회패불탱 (보물 제1562호) ¹⁸⁾	녹색		Fe, Cu, Pb	공작석
		열은 녹색		Ca, Fe, Cu, Pb	공작석
		녹갈색		K, Ca, Fe, Cu	염료

14) 정재문화재보존연구소, 「대구 팔공산 동화사 소장 보물 제1505호 사명당유정진영 보존처리 및 모사 보고서」, 2009.

15) (주)한경문화재보존, 「선석사 패불탱 보존처리」, 2009.

16) 문화재청, 성보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『수도사 노사나불패불탱』, 2017.

17) 수도사 노사나불패불탱, 열은 녹색 2 부분은 새로 보전한 부분

18) 고창문화재보존연구소, 「영주 부석사 오불회패불탱 보존수리」, 2010.

<부록 표 1> 계속

지역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
경 상 북 도	영천 은해사 대웅전삼장탱화 ¹⁹⁾ (경북유형 342호)	녹색		Cu, Cl	석록
	울진 불영사 영산회상도 ²⁰⁾ (보물 제1272호)	녹색		Cu, Cl	석록
	영천 은해사괘불탱 (보물 제1270호) ²¹⁾	옥색		Ca, Fe, Cu, Pb	공작석, 연백
		엷은 녹색		Cu, Pb	공작석
		녹색		Fe, Cu, Pb	공작석
	대구 중구 소장 전 윤효전 초상(보물 제1502호) ²²⁾	녹색		Cu, Pb	공작석
	청도 운문사 대웅보전 벽화 ²³⁾ (보물 제1817호)	녹색 1		Cu, Cl, Pb, Fe, K	석록, 연백 /바탕뇌록
		녹색 2		Fe, K, Ca	뇌록

19) 비전문화유산, 「영천시 은해사 대웅전 후불탱화 및 삼장탱화 보존처리 보고서」, 2014.

20) 한영문화재, 「울진 불영사 영산회상도 보존처리공사」, 2017.

21) 고창문화재보존연구소, 「은해사 괘불탱」, 2010.

22) 신라보존과학연구소, 「전 윤효전 초상 보존처리」, 2009.

23) (주)금오문화재보존, 「2016년 운문사 대웅보전 벽화모사사업 보고서」, 2017.

<부록 표 1> 계속

지 역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
경 상 북 도	울진 불영사 신중탱화 ²⁴⁾ (경북유형 제423호)	녹색 1		Cu, Cl	석록
		녹색 2		Cu, Cl, Cr	석록, 산화크롬 (현대 안료)
		연녹색		Cu, Cl, Fe	석록, (석간주 또는 적토)
		미록색		Cu, Cl, Fe	석록, 석간주 (또는 적토)
	울진 수진사 소장불화 ²⁵⁾ (경북 문자 553호)	녹색		Cu, Cl	석록
	포항 보경사 괘불탱화 (보물 제1609호) ²⁶⁾	녹색 1		Cu, Pb, Fe, Ca	석록, 연백
		녹색 2		Cu, Cl, Ca, K, Ni, Fe	석록
		연녹색		Cu, Pb, Fe, S	석록, 연백
		진녹색		Cu, Pb, Fe	석록, 연백, 먹
		황녹색		Cu, Fe, Ca, K, S, Cl	석록, 황색 유기 안료

24) (주)금오문화재보존, 「울진불영사 신중탱화 보존처리 보고서」, 2016a.

25) (주)금오문화재보존, 「울진수진사 소장불화 보존처리 보고서」, 2016b.

26) (주)금오문화재보존, 「포항시 보경사 괘불탱화 보존처리 보고서」, 2016c.

<부록 표 2> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료 (경상남도)

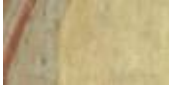
지 역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
경 상 남 도	남해 용문사 괘불탱 (보물 제1446호) ²⁷⁾	녹색		Ca, Fe, Cu, Pb	녹염동광
		옥색		Ca, Fe, Cu, Zn, Pb	근대 안료
	양산 통도사괘불탱 (보물 제1351호) ²⁸⁾	녹색 1		Cu, Si, Al, P, Ca, Fe, Cl	석록
		녹색 2		Cu, Cl, Si, Al, Ca, Pb, Fe, P	연단
		녹청색		Cu, Cl, Si, Al, Pb, Ca	석록+뇌록
		백록색		Cu, Si, Al, Cl, Ca, P, Fe, Pb	석록+연백
	양산 통도사석가여 래괘불탱 (보물 제1350호) ²⁹⁾	녹색		Cu, Cl, Ca, Al, Si, Pb, Fe, P	석록
		백록색		Si, Pb, Al, Cl, Cu, Fe, Ca	연백+석록
		연녹색1		Si, Cu, Cl, Al, Ca, Pb, Fe, P	석록
		연녹색2		Al, Si, Ca, Cl, Cu, P, Fe, Pb, As, S	석록+석황
		진녹색		Cu, Cl, Si, Ca, Al, Pb, Fe, P	석록

27) 고창문화재보존연구소, 「남해 용문사 괘불탱 보존수리 및 괘불함 제작」, 2010.

28) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『통도사 괘불탱』, 2016.

29) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『통도사 석가여래괘불탱』, 2016.

<부록 표 2> 계속

지역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
경 상 남 도	합천 해인사 영산회상도 (보물 제1273호) ³⁰⁾ 31)	연한 옥색		Ca, Fe, Cu, Pb	공작석 +연백
		옥색		Ca, Fe, Cu, Pb	공작석
		녹색		Fe, Cu, Pb	공작석

<부록 표 3> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료 (전라북도)

지역 별	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
전 라 북 도	부안 개암사영산회 괘불탱 (보물 제1269호) ³²⁾	녹색 1		Cu, Cl, Si, Al S, Ca	염화동 (녹염동광)
		녹색 2		S, Cl, Cu, Si, Al, Pb, P,	염화동 (녹염동광) +연백
	부안 내소사영산회 괘불탱 (보물 제1268호) ³³⁾	녹색 1		Cu, Ca, Al, Si, Ti, Cr, S, Cl	염화동 (녹염동광)
		녹색 2		S, Cl, Cu, Ca, Si, Pb, Al, P, Fe, Zn	염화동 (녹염동광)

30) 고창문화재보존연구소, 「해인사 영산회상도 보존처리」, 2009.

31) 해인사 영산회상도, 구리(Cu)성분 : 녹색>옥색

32) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『개암사 영산회 괘불탱』, 2017a.

33) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『내소사 영산회 괘불탱』, 2017b.

<부록 표 4> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료 (전라남도)

지역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
전라남도	나주 다보사괘불탱 (보물 제1343호) ³⁴⁾	녹색 1		Cu, As, S	에메랄드그린
		녹색 2		Cu, Cl, Si, Al	녹염동광
		녹색 3		Si, Ca, Al, Cl, Cu	추정 불가
		녹색 4		Pb, Cu, P, Ca, Cl	녹염동광, 연백, 유기안료
		녹색 5		Cu, Cl, Ca, Pb	녹염동광 +연백
	나주 도림사괘불탱 (보물 제1341호) ³⁵⁾	녹색 1		Cl, Cu, S, Ca, Si, Al, Pb, P,	염화동 (녹염동광)
		녹색 2		Cu, As, Pb, S, Si, Al, Cl, Ca	에메랄드그린
	화순 만연사괘불탱 (보물1345호) ³⁶⁾	녹색		Cl, Cu, S, Si, Ca, Al, Pb, P	염화동 (녹염동광)
	해남 미향사괘불탱 (보물 제1342호) ³⁷⁾	녹색 1		Cl, Ca, Cu, Pb	녹염동광 +연백
		녹색 2		Cl, Ca, Ba, Cr, Cu, Pb	크롬그린 (보채)
		녹색 3		Cl, Ca, Ba, Cr, Cu, Pb	크롬그린 +녹염동광
		녹색 4		Cl, Ca, Ba, Cr, Cu, Pb	크롬그린+연백 +녹염동광
		녹색 5		Cl, Ca, Cu, Pb	녹염동광 +연백
		녹색 6		S, Cl, Ba, Fe, Cr, Cu, Pb	크롬그린

34) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『다보사 괘불탱』, 2018.

35) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『도림사 괘불탱』, 2017.

<부록 표 4> 계속

지역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
전 라 남 도	나주 죽림사세존패 불탱 (보물 제1279호) ³⁸⁾	녹색 1		Ca, Cl, Cu	녹염동광
		녹색 2		Ca	추정 불가
	구례 화엄사영산회 괘불탱 (국보 제301호) ³⁹⁾	녹색 1		Cu, Ca, Si, Al, Ti, Fe, Cl	추정 불가 (보채)
		녹색 2		Cu, Si, Cl, Ca, Al, Ti	추정 불가 (보채)
		녹색 3		Ca, Si, Cu, Al, Cl	녹염동광
		녹색 4		Mg, Ca, Cl, Si, Cu, Al	녹염동광 +활석
	여수 홍국사노사나 불괘불탱 (보물 제1331호) ⁴⁰⁾	녹색 1		Ca, Si, Al, Cu	추정 불가
		녹색 2		Cu, Cl, Ca	녹염동광
		녹색 3		Cu, Cl, Ca	녹염동광 +연백

36) 문화재청, 성보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『만연사 괘불탱』, 2017.

37) 문화재청, 성보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『미항사 괘불탱』, 2018.

38) 문화재청, 성보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『죽림사 세존괘불탱』, 2018.

39) 문화재청, 성보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『화엄사 영산회 괘불탱』, 2018.

40) 문화재청, 성보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『홍국사 노사나불괘불탱』, 2018.

<부록 표 5> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료 (충청북도)

지역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
충 청 북 도	보은 법주사괘불탱 (보물 제1259호) ⁴¹⁾	녹색 1		Ti, Ca, S, Si, Al, Cl, Cu, Pb,	추정 불가
		녹색 2		Ca, Ti, Cl, S, Fe, Al, Si, Zn,	현대 안료
		녹색 3		Cu, Cl, Si, Al, Pb, S, Ca, As	염화동 (녹염동광)
		녹색 4		S, Cl, Cu, Pb, Si, Ca, Al	염화동 (녹염동광) +연백
	청원 율리사 아미타불탱화 ⁴²⁾	진녹색		K, Si, Cl, As, Cu	염기성 염화동

41) 문화재청, 성보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『법주사 괘불탱』, 2017.

42) 김정현, 「19C 아미타불 탱화의 복원모사를 위한 과학적 분석 연구-청원율리사 소장 아미타불탱화」, 공주대학교, 2009.

<부록 표 6> 기 보고된 채색문화재 내 석록안료 (충청남도)

지 역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
충 청 남 도	공주 마곡사석가모 니패불탱 (보물 제1260호) ⁴³⁾	에메랄드 색		Ca, (Cu), Pb	연백+합분 +석록 또는 녹염동광
		녹색		Ca, Fe, Cu	합분 +석록 또는 녹염동광
		연한 쭈색		Ca, Cu	합분 +석록 또는 녹염동광
		쭈색 (육색)		Ca, (Cu), Pb	연백+합분 녹염동광
	예산 대련사괘불탱 44)	녹색		Cu, Cl, Si, Al, S, Ca, Pb	염화동 (녹염동광)
	천안 박문수초상 대본 (보물 제1189-1호) 45)	녹색 1		Cl, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Au	석록 또는 녹염동광
		녹색 2		Cl, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Au, Pb	석록 또는 녹염동광/ 바탕 연백
	예산 수덕사노사나 불괘불탱 (보물 제1263호) ⁴⁶⁾	녹색 1		S, Si, Pb, Cl, Cu, Ca, Fe, As, Ti	염화동 (녹염동광) +연백
		녹색 2		Ca, S, Cu, Si, Cl, Al, Pb, P, Ti, Fe, Mn, As	염화동 (녹염동광) +먹

43) 담원문화유산, 「공주 마곡사석가모니패불탱 조사·분석 보고서」, 2015.

44) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『대련사 괘불탱』, 2017.

45) 고창문화재보존연구소, 「朴文秀肖像 보존처리 용역」, 2016.

46) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『수덕사 노사나불 괘불탱』, 2017.

<부록 표 6> 계속

지역	문화재명 (등급)	세부 색상	현미경사진	검출성분	추정안료
충청남도	홍성 용봉사영산회 괘불탱 (보물 제1262호) ⁴⁷⁾	녹색 1		Cu, Cl, Si, Al	녹염동광
		녹색 2		Ca, Ti, Fe	추정 불가 (보채)
		녹색 3		Cu, Cl, Pb	녹염동광 +연백

47) 문화재청, 정보문화재연구원, 「대형불화 정밀조사 보고서」, 『용봉사 영산회 괘불탱』, 2018.