봉정사 극락전 벽화 안료의 재질 분석 연구(II)

The analysis study of mural painting pigments at Pongjongsa Kuknakjon

趙南哲 · 洪鍾郁 · 文煥晳 · 黃振周

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

ABSTRACT

The pigments composition and structure of the mural painting at Pongjongsa Kuknakjon is discussed.

The structure of inner wall is consisited of Paint layer, Ground divided two layers of yellow and white pigments, Support. In case of outer wall, it is consisted of Paint layer, Ground divided three layers of yellow and green pigments, a layer mixed green pigments and paint layer, Support.

As a result of compositon analysis of mural painting pigments at Pongjongsa Kuknakjon using Micro-area X-ray diffraction system, the red pigment on inner wall is consisted of Heamatite(Fe_2O_3), Magnetite(Fe_3O_4) of deep black pigment, and Chalcocite(Cu_2S) of light black pigment. The white pigment on outer wall is consisted of Anglesite($PbSO_4$) and Atacamite($Cu_2Cl(OH)_3$) of green pigment.

We found out that natural pigments painted in the mural painting at Pongjongsa Kuknakjon has kept up its own color for a long time due to using the natural pigment not to artificial synthetic pigment.

Ⅰ. 서 론

우리 인류가 최초로 만들어 사용한 안료는 흙속으로부터 뽑아낸 적색, 황색, 갈색 등의 산화철을 주성분으로 하는 안료와 송연 등 탄소(C)를 주성분으로 하는 흑색 안료을 사용하였다고 한다. 그후 역사시대 초기부터는 진사(朱色, Cinnabar), 공작석(綠色, Malachite), 염동광(靑色, Azurite), 웅황(黃色, Orpiment), 계관석(赤色-橙色, Realgar), 유리(靑色, Lapislsguri), 녹토(綠色, Green earth) 등의 안료를 사용하였다고 한다(1).

문헌에 의하면 중국에서는 기원전 3000년경부터 천연안료라고 하여 적색안료인 진사가 사용되었다고 하며, 이집트에서는 기원전 2000년부터 이집트청이라 불리워지는 동-calium의 규산염을 인공적으로 제조하여 사용하였고 또한 밀타승(黃色, PbO), 연단(Pb3O4), 연백, 녹청 등도 고대로부터 사용되었다고 전하여지고 있다(1). 그러나 현대에 들어와서는 물질문명의 발달과 화학공업이 급속도로 진행되어지면서 화학적으로 많은 종류의 합성안료가 만들어져 사용되고 있다.

우리나라에서도 과거에는 천연의 무기안료를 사용하였을 것이며, 특별히 만들 수 없는 것들만 중국이나 서역에서 수입하여 사용되었을 것이다(1). 그러나 현재는 인공합성한 안료들을 많이 사용하고 있다. 대체로 전통안료를 사용한 고대 건물 및 사찰에 있는 벽화의 채색이 수백년이 지난 현재에도 고유한 색채가 생생하게 유지되고 있는 반면 요즘에 단청안료들은 불과 수년이 못되어 퇴색되는 경향이 있다. 그러므로 고대 안료의 성분들을 알아내어 벽화의 보존처리에 응용하는 것은 상당히 중요하다고 하겠다.

그러나 현재 고대 안료의 성분들에 대한 연구는 다른 문화재 연구에 비하여 많은 연구가 이루어지고 있지 않다. 고대 안료들에 대한 초기 연구는 1963년 이숙정에 의해서 분석한 [고대 단청의 분석학적 연구]와 1989년 John Winter에 의해서 연구된 [한국 고대 안료의 성분분석], 1990년도의 홍종욱에 의해서 연구된 [금산사 벽화 안료성분에 관한 비교분석]이 있으며, 그 외 발표된 논문들은 찾기 힘들 정도로 고

대 안료에 대한 연구가 미비한 실정이다. 그러므로 지금부터라도 많은 연구가 진행되었으면 한다. 이번에 게재하는 봉정사 극락전 벽화는 1999년 벽화조사시 박락되어진 것을 채취하여 벽화 안료 성분 및 벽화구조에 대하여 알아보았다.

Ⅱ. 봉정사 극락적의 연혁

경상북도 안동시에 소재하는 봉정사 극락전은 지난 1972년부터 1975년까지 3년에 걸쳐 해체복원공사가 이루어지면서 종도리 밑에 보관되었던『上樑文』과 묵서명을 통하여 이 건물이 고려 공민왕 12년(1363년)에 중수하였다는 것을 알게되어 우리나라에서 지금까지 보존되어 오고 있는 목조건물 중 가장 오래된 건물임이 밝혀졌다.

또한 봉정사 극락전에 해체 보수가 어느 시대에 이루어졌는지『上樑文』을 통하여 알 수 있다.『上樑文』에 의하면 봉정사 극락전은 天啓 5년, 조선 인조 3년(1625)에 중수되었으며 그 이전 至正 23년, 고려 공민왕 12년(1363)에도 옥개 부분을 크게 수리한 사실이 밝혀졌다.『兩法堂重修記』기록에 의하면 순조 9년(1809)에 세 번째 중수가 있었던 것으로 여겨진다. 또한 철종 14년(1863)에 보수가 있었고, 고종 19년(1882) 4월에는 극락전 현판의 改彩가 있었으며 1972년에 해체보수하게 되었다. 그러므로 벽화에 제작연대는 두 번째 중수시기인 1625년 이전으로 추정되며, 외벽화와 내벽화는 세 번째 중수인 1809년이나 1863년으로 추정된다. 대체로 채색은 전면 외벽 벽화의 경우 뇌록색에 백분과 퇴색되었지만 짙은 녹색, 먹색으로 처리하였고, 내벽 벽화는 석간주 바탕에 짙은 검은색 등으로 처리하였다(2).

1972년 극락전 해체공사 과정 중 훼손된 벽 교체공사가 실시될 당시 측벽 등 포벽에 벽화가 잔존하고 있었을 뿐만 아니라 후불벽에서는 덧칠의 흔적이 있어 파기시키지 않고 안전하게 보관하고 있었다. 그러므로 1972년 해체후 포장해 두었던 봉정사극락전(국보 제15호) 벽화를 1999년 9월 벽화를 정밀조사하였다.

III. 고대안료와 현대 안료의 비교

봉정사 극락적 벽화에서 분석에 쓰인 안료들에 대하여 고대안료에 대한 성분과 현대에 쓰이는 안료들의 성분에 대하여 간략히 알아보고자 한다.

1. 백색 안료

천연산 백토 또는 석회석을 구워 분말로 만들어 썼으며 또한 조개, 굴껍질 등을 구워서 호분($CaCO_3$)을 만들어 사용하였으나, 근래에는 화학적으로 조성된 티탄계의 백색안료를 많이 사용한다. 또한 일본에서는 약 7세기경부터 납을 소지로 한 백색 안료도 사용하였다고 한다(3).

중국의 기술서인『天工開物』에 의하면 호분이라하면 연백인 염기성 탄산납을 지칭하기도 한다.『天工開物』에 의한 호분의 제조법을 알아보면 먼저 납을 녹인 후 깎아서 박편을 만들고 이것을 감아서 통 모양으로 만든다. 이를 나무 시루에 넣고, 시루의 아래와 가운데에 각각 초 한병을 두고 숯불로 7일 동안 데운 다음 나무 뚜껑을 열면 납조각위에 서리 같은 가루가 가득히 생기는데 이 가루를 쓸어 모아 물항아리에 넣는다.

여기에 콩가루와 조개 껍데기 가루를 골고루 섞어 두었다가 위의 맑은 물은 버린다. 이 젖은 침전물을 틀에 넣어 성형한 후 바람을 쐬어 건조시킨다. 옛날에는 오직 호남성 진주와 광동성 소주에서만 가루를 만들었기에 이를 소분이라고 불렀으며, 민간에서는 조분이라고 하기도 했다고 한다(4). 그러나 근래에 들어와 단청에서 사용하는 백색안료는 지당(TiO_2)과 아연화(ZnO) 등을 많이 사용하고 있다.

우리나라 벽화 및 단청안료 중 호분을 사용하였던 예를 보면 1989년에 쓴 존 윈터에 연구에 의하면, 탄산칼슘($CaCO_3$)인 호분은 송산리 고분에서 발견되었으며, 그 밖에는 규산질 계열의 백색안료가 많이 사용되었다고 한다(3). 또한 금산사 벽화에 백색 안료성분들도 탄산칼슘($CaCO_3$)인 호분으로 발견되었다(5).

2. 흑색 안료

탄소화합물로서 유연과 송연으로 대별되고 분말 또는 수먹을 만들어 사용된다. 또한 흑색 계통은 철 및 구리 또는 어느 한쪽의 산화물이기도 하다.『天工開物』에 의한 먹의 제조법을 알아보면, 먹은 연기의 그을음을 아교와 섞어 굳혀서 만든다고 한다. 기름으로 만든 것이 10분의 1을 차지하고, 소나무를 태운 그을음으로 만든 것이 10분의 9를 차지한다고 한다. 기름을 태워 그을음을 얻는데는 기름 한 근마다 좋은 그을음 한 냥 남짓을 얻을 수 있다고 한다. 대개 일반적인 먹은 소나무의 그을음으로 만든다고 한다. 소나무를 태워 그을음을 얻으려면 소나무를 일정한 길이로 자르고, 땅에 대쪽으로 무지개 모양의 지붕을 만들어 이 지붕을 차례로 이어서 길이가 10여장에 이르면, 안팎과 이음매를 종이와 돗자리를 풀로 발라 단단히 밀봉하여 몇 구획마다 연기를 뽑는 작은 구멍을 내고 지붕과 땅이 닿는 곳은 진흙으로 덮는다고 한다. 뜸집 안에는 미리 벽돌로 연기가 통하는 불길을 만들어 주고, 그 안에서 소나무를 며칠동안 태운 후 식으면 사람들이 그을음을 긁어 쓸어모은다고 한다. 끝쪽의 1, 2구획에 달라붙은 그을음은 청연(淸煙)이라 하며, 좋은 먹의 원료가 되며 중간 구획의 것은 혼연(混煙)이라 하여 이것은 늘 쓰는 먹의 원료가 된다고 하며, 앞쪽 1, 2 구획의 것은 연자(煙子)라 하여, 책을 인쇄하는 가게에 팔아 그곳에서 곱게 갈아 사용한다고 한다. 그 나머지는 옻칠하는 사람에게 주어 가루로 만들어 흑색안료로 사용하였다고 한다(6).

1989년에 쓴 존윈터에 연구에 의하면 철제 불상 조각에서의 흑색은 분명히 흑색 산화철(Fe203, 자철광)이었다고 한다(3). 그러나 대체로 흑색안료는 탄소이며 가장 오래되고 일반적이다. 금산사 벽화에 안료성분 중 흑색안료인 C가 발견되었다고 한다(5).

3. 녹색 안료

금속구리 표면에 생기는 약간 어두운 빛을 띤 초록색의 녹으로서 염기성 탄산구리나 염기성 초산구리를 녹청이라 말한다. 천연광물중에는 염기성 탄산구리

($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$)인 공작석(malachite)에서 산출되며 암록색의 단사정계 결정이며, 이 공작석을 분쇄하여 녹색안료로 사용하였으며, 고운 분말로 만들수록 백녹청이 된다고 한다. 또 다른 천연광물로서 남동광(azulite)도 염기성 탄산구리($2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$)를 함유하고 있으며, 짙은 청색이다. 또한 조선시대 작성된 건축에 관한 의궤(儀軌)을 보면 황해도 해주의 북쪽 군장리와 경상도 장기현 뇌성산 암반틈에서 산출되는 단색으로 된 뇌록색 암석을 수비하여 건조시킨 후 사용하였다는 기록이 있다(7). 1989년에 쓴 존윈터의 연구에 의하면, 고신라의 두장식 물레 바퀴의 녹색안료는 녹토로 확인되었으며, 금산사 벽화의 녹색 안료 성분 중에는 남동광(azulite)이 발견되었음을 알 수 있다(3, 5).

그러나 현대에서 사용하는 녹색안료는 Cyanine green이나 Emerald green이다. 그러나 Emerald green은 비소(As)의 독성이 강해 일본에서 더 이상 생산하지 않고 있어, 사용하고 있지 않다. 그러므로 대체로 녹색안료는 Cyanine green을 사용하게 되며, 다음과 같은 성분들을 혼합하여 사용하게 된다. 호분($CaCO_3$), 산화지당(TiO_2), Ultramarin blue($2(Na_2O \cdot Al_2O_3, \cdot 2SiO_2) \cdot Na_2S_2$), Cyanine green (Chlorinated copper cyanine), 황토($FeO(OH) \cdot nH_2O$)등 다섯 개 성분들을 혼합하여 단청안료로 사용하게 된다(1).

4. 적색 안료

적색 안료로 많이 사용한 성분은 철산화물(Fe_2O_3)과 황화수은(HgS)이다. 철산화물을 주성분으로 사용한 안료를 석간주라 말하며, 적다색 안료이다. 색상은 적색, 황색미가 나는 것, 갈색미가 나는 것 등 다양하며, 붉은 산화철을 많이 함유한 붉은 흙에서 생산된다고 하며, 이 천연 철산화물은 유사이전부터 벽화용 안료로 많이 사용되어지고 있다. 1989년에 쓴 존윈터의 연구에 의하면, 신라시대에 유물 중 기와의 적색안료나, 토제 물레바퀴에 묻어 있는 것 모두 철산화물이었다고 하며, 금산화 벽화에 적색안료도 철산화물로 발견되었다(3, 5).

또한 적색 황화수은(HgS)은 옛날부터 천연광물로 알려져 있으며, 중국에서는

기원전 3000년경부터 사용한 것으로 알려져 있다. 중국의 기술서인『天工開物』에 의한 진사에 제조법으로는 천연진사를 제련하면 수은이 승화되어 금속수은을 얻을 수 있으나, 수은 값이 진사보다 싸 경제성이 없으므로 광산에서 캐낸 질이 낮은 진사를 제련하여 수은을 만들고, 이 수은을 다시 진사로 제련하고 있다. 이 제련진사는 주사광산에서 캐낸 부드럽고 붉은 주(朱)나 흰빛을 띤 질이 낮은 주를 물로 반죽하여 굵은 가락을 만들어 가마에 넣고 가열하여 수은을 승화시키고 이를 냉각시켜 물이 담긴 항아리에 받아 수은을 제련한다. 이 수은을 석정지(붉은색의 천연 유황)와 함께 갈아서 항아리에서 가열하면, 수은과 유황이 증발되며 반응하여 주색의 물질이 기벽에 붙는다. 이를 은주라고 하며, 수은 1근을 제련하면 은주 14량과 다음 등급의 주 3냥 반을 얻을 수 있다고 한다. 이와 같이 인공적으로 제련한 은주나 천연주사를 미세분말로 만든 주(朱)는 그 효율성이 동일하다. 천연단사를 갈 때는 돌벼루를 써야 선홍색이 유지되며, 주석벼루를 쓰면 반응하여 회흑색으로 변하므로 조심해야 한다. 납, 구리 등의 안료와 혼합 사용하면 변질된다고 쓰여 있다(8). 그러나 현대에 와서는 일반적으로 진사(HgS)이외에 화적(CdS+CdSe) 등도 쓰이고 있다.

우리나라에서 진사를 사용한 예로는 1989년에 쓴 존윈터에 연구에 의하면, 백제에서는 진사를 널리 사용하였으며, 신라시대의 칠기시료에서는 황화수은(HgS)이 발견되었음을 알 수 있다(3).

IV. 분석 방법

이번 분석에 사용한 벽화 안료들은 1972년 해체 후 포장해 두었던 봉정사 극락전(국보 제15호) 벽화를 1999년 9월 정밀조사 중, 벽화에서 박락되어진 부분들을 채취하여 그 당시에 쓰인 벽화의 안료성분 및 단면구조를 조사하였다.

1. 벽화의 안료 성분

미소부 X선 회절분석기(Micro-area X-ray diffraction system, MAC Science, MXP18VA, Japan)를 이용하여 각 안료가 어떠한 화합물로 이루어져 있는지 알아보았다. 미소부 X선 회절분석시 Target은 Cu를 사용하였다. 비교적 시료양이 많은 후불벽 흰색안료의 경우는 Wide-angle X선 회절분석기(XRD)를 이용하여 분석하였으며, 그 밖에 시료량이 적은 안료는 미소부 X선 회절분석기(MXRD)를 이용하여 분석하였다. Wide-angle XRD를 이용할 때 Power는 30kV, 50mA이었으며, 미소부 XRD를 이용할 경우에는 40kV, 300mA, Collimator의 직경은 50μm인 것을 사용하여 계측하였다. 또한 이 미소부 X선 분석장치는 MCA(Multi-Channel Analyzer)방식을 취하고 있으며, 각 시료 계측시 분석시간은 1000sec이다. 계측 후 분석데이타는 피이크 매칭(peak matching) 프로그램을 이용하여 각 피이크를 동정하였다.

2. 벽화의 단면 구조

벽화의 안료층이 남아 있는 곳을 단면으로 취해 에폭시수지로 마운팅한 후 연마지 # 200, 400, 800, 1000, 2000을 순서대로 사용하여 벽화 안료층에 스크레치가 없을때까지 연마하여, 광학현미경을 이용하여, 벽화의 단면을 관찰하였으며, 영상분석기(Image Analyzer, Carl Zeiss, ks 300 system, Germany)를 이용하여 각 층에 두께를 측정하였다.

Ⅴ. 분석 결과

1. 벽화의 단면 구조

벽화의 단면은 보통 3개층으로 다음과 같이 구성되어진다. 먼저 벽화표면에는 그림이 그려짐으로서 물감층(Paint layer)이 형성되고 그 밑에는 그림을 그리기 위해 고운 흙으로 1 2회 이상 바름질한 바탕층(Ground)이 있으며, 이 밑에는

벽화를 지탱하는 벽체(Support)가 있다(9).

봉정사 벽화에 경우 Photo 1을 보면 내벽에 구조를 볼 수 있다. 먼저 그림이 그려져 있는 물감층(Paint layer)과 그 밑에 그림을 그리기 위한 바탕층(Ground)으로 백색분말을 조금 두껍게 바른 후, 그 위에 황색분말(황토)를 고루게 바른 후 그림이 그려져 있음을 볼 수 있다. 또한 Photo 1을 보게 되면 물감층(Paint layer)과 바탕층(Ground)층 사이의 또 하나의 층이 보이나, 이는 벽의 구조층이 아닌 물감층과 바탕층 사이가 박락되어져 갈라져 있는 것이다. 그 바탕층 아래는 벽체(Support)부분이 있다. 벽체(support)부분은 짚푸라기와 점토로 섞어져 있는 것을 볼 수 있다. 영상분석기를 이용하여 내부층 두께를 측정하여본 결과, 물감층(Paint layer)은 최소 94㎛에서 최대 150㎛이었으며, 평균적으로 127㎛이었다. 바탕층(Ground)의 두께는 먼저 황색 분말층의 두께는 최소 32㎛에서 최대 77㎛이었으며, 평균 53㎛이며, 백색 분말층은 최소 160㎛에서 최대 211㎛로 평균 174㎛로 다른 층보다 두껍게 칠해져 있음을 볼 수 있었다.

Photo 2를 보게 되면 외벽에 경우 내벽과는 구조와 성분이 다름을 볼 수 있다. 먼저 그림이 그려져 있는 물감층(Paint layer)과 그 밑에 그림을 그리기 위한 바탕층(Ground)이 내벽과는 다른 녹색 안료로 고루게 발라져 있다. 그러나 이 바탕층을 자세히 보면 녹색안료층인 바탕층과 물감층 사이의 또 하나의 층이 보이는데 이는 백색안료인 물감층과 녹색안료가 섞여져 있는 것을 볼 수 있으며, 그 밑부분에 황색 분말층이 아주 얇으나 고루게 칠해져 있다. 그 밑 부분은 벽체(Support)로 이루어져 있다. 이 벽체(Support) 또한 내벽과 같이 짚푸라기와 점토로 섞여져 있는 것을 볼 수 있다. 외벽 또한 영상분석기를 이용하여 두께를 측정하여본 결과, 물감층의 두께는 최소 35㎛에서 최대 58㎛이며 평균적으로는 45㎛로 고루게 칠하여져 있다. 그리고 바탕층 중 백색안료와 녹색안료가 섞여져 있는 층의 두께는 최소 56㎛에서 최대 75㎛로 평균 64㎛로 이루어져 있으며, 녹색안료층은 최소 29㎛에서 최대 46㎛이며 평균 38㎛로 고루게 칠해져 있다. 이 녹색안료층 아래의 황색 분말층은 최소 17㎛에서 최대 34㎛로 평균 25㎛로 칠해져 있는 것을 볼 수 있다.

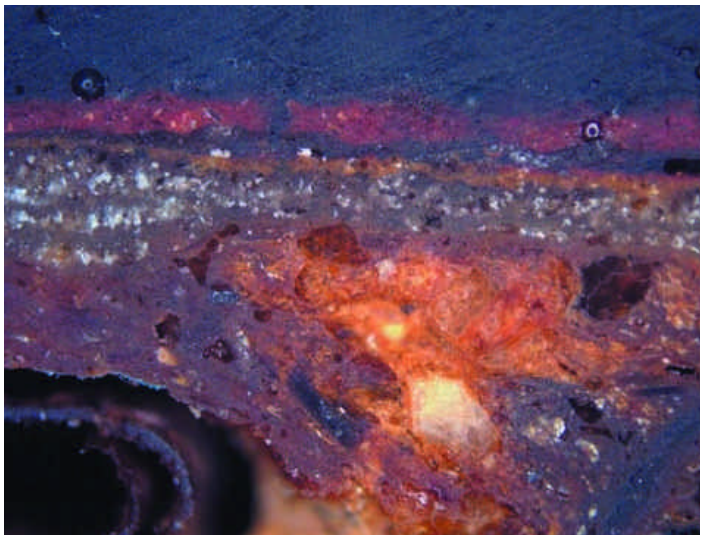

Photo 1.
봉정사 극락전 벽화
내벽의 단면 사진
대물렌즈 배율 5×

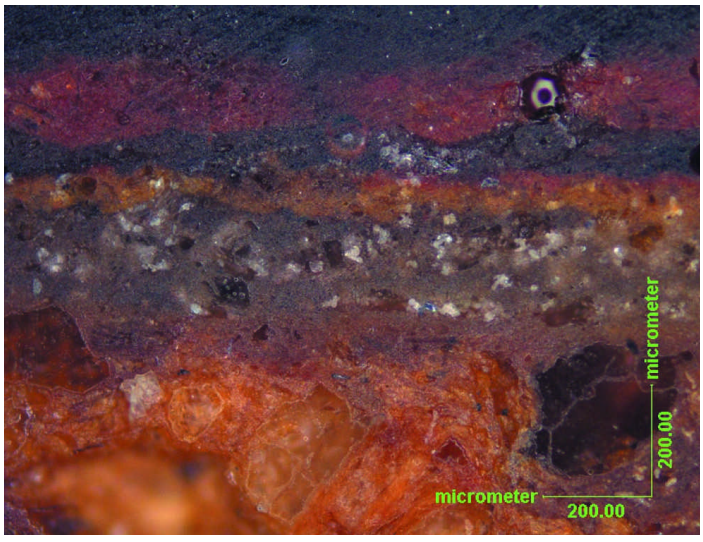

Photo 1-1.
봉정사 극락전 벽화
내벽의 단면 사진
대물렌즈 배율 10×

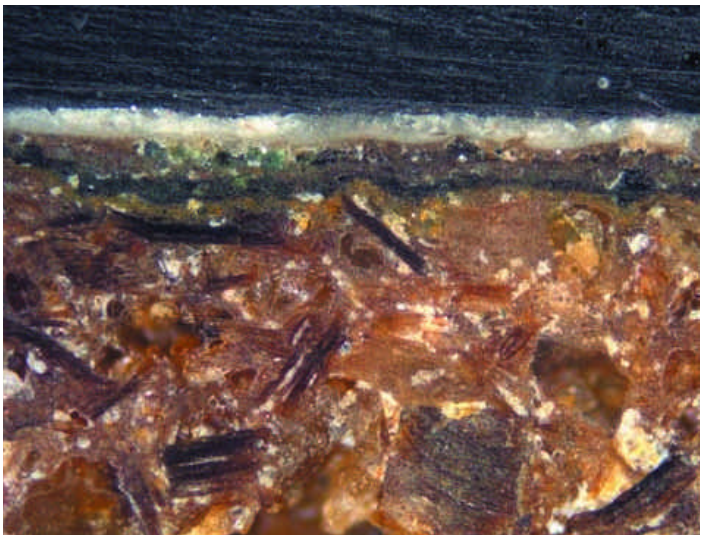

Photo 2.
봉정사 극락전 벽화
외벽의 단면 사진
대물렌즈 배율 10×

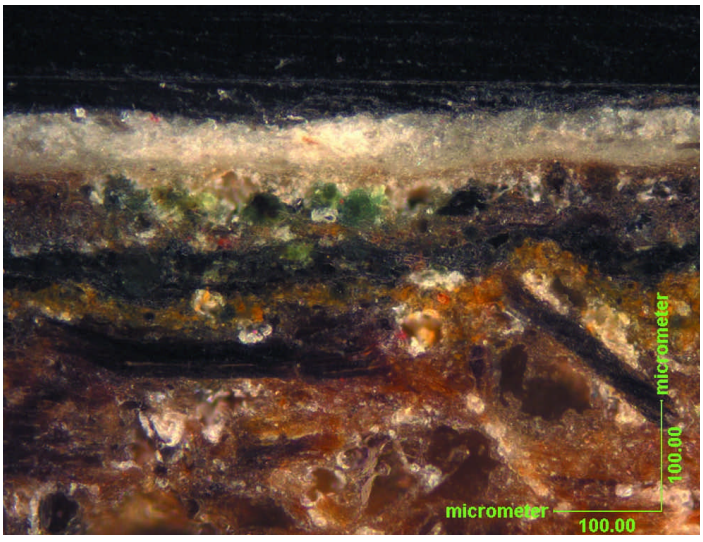

Photo 2-1.
봉정사 극락전 벽화
외벽의 단면 사진
대물렌즈 배율 20×

2. 벽화의 안료 성분

각 부분별로 XRD로 분석한 결과는 Table 1에 정리하였다.

Table 1. 안료의 분석 결과

위 치	색 상	분석 결과	
		광 물 명	화학 구조식
후불	흰색	Quartz, Albite, Microcline	SiO_2, $NaAlSi_3O_8$, $KAlSi_3O_8$
내벽	흰색	Quartz, Anorthite	SiO_2, $CaAl_2Si_2O_8$
	황색	Quartz, Anorthite	SiO_2, $CaAl_2Si_2O_8$
	붉은색	Quartz, Hematite	SiO_2, Fe_2O_3
	짙은 검은색	Quartz, Chalcocite	SiO_2, Cu_2S
	엷은 검은색	Quartz, Magnetite	SiO_2, Fe_3O_4
외벽	흰색	Quartz, Anglesite	SiO_2, $PbSO_4$
	검은색	Quartz, Anglesite	SiO_2, $PbSO_4$
	녹색	Quartz, Atacamite	SiO_2, $Cu_2Cl(OH)_3$

가. 후불벽 흰색 안료(Fig. 1)

Fig. 1을 보면 후불벽에 쓰인 흰색 체질안료는 석영(Quartz)과 장석 계열(Albite, Microcline)인 규산질 백색안료임을 알 수 있다. 이는 전통적으로 체질안료로는 호분인 탄산칼슘을 많이 사용하였으나, 이 후불벽에는 규산질계열에 백색안료를 사용했음을 알 수 있다. 이는 1989년에 쓴 존윈터의 연구 중, 탄산칼슘($CaCO_3$)은 송산리 고분에서 발견되었으나, 대부분은 규산질 계열에 백색안료들로 나타나는 것으로 보아 옛부터 호분인 탄산 칼슘이외에 구하기 쉬운 규산질 백색 안료들을 많이 사용했음을 알 수 있다(3).

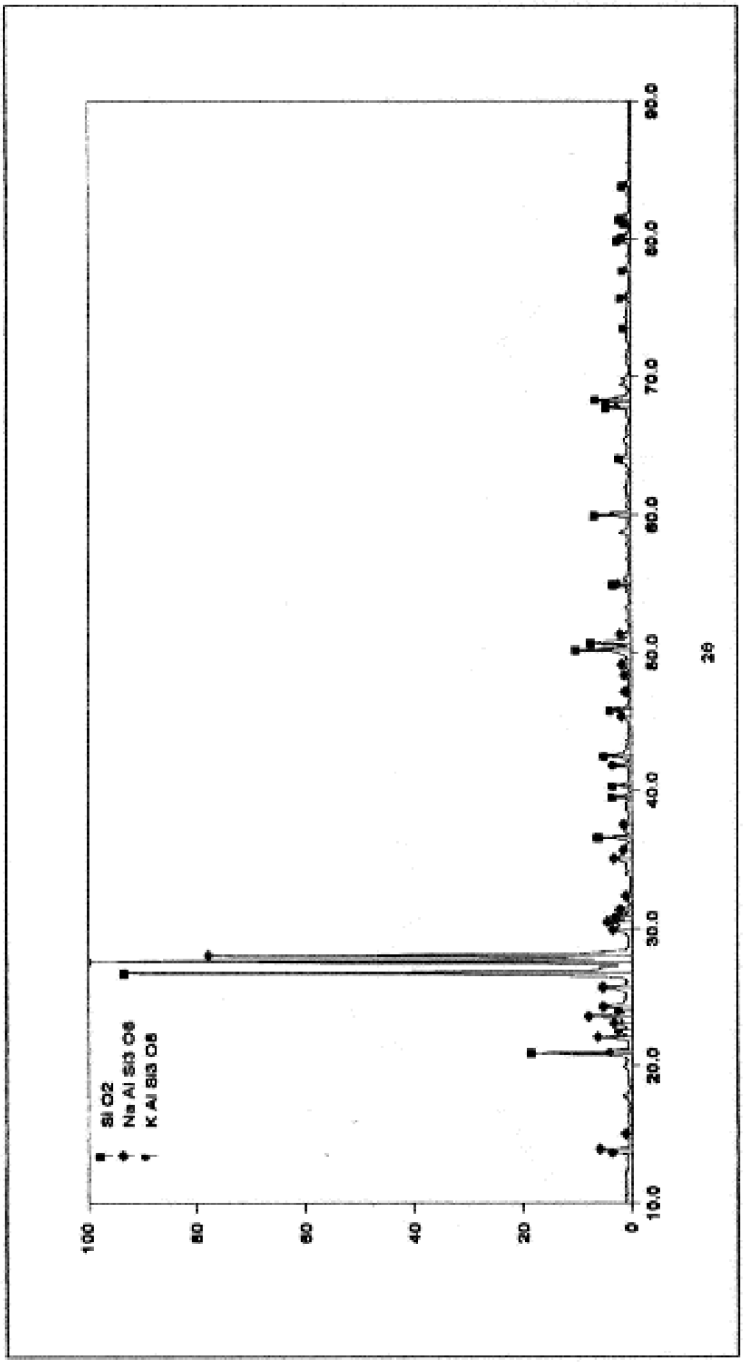

Fig. 1.
봉정사 극락전 후불벽화 흰색 안료 분석 결과

나. 내벽

1) 흰색 안료(Fig. 2)

벽화의 바탕층(Ground)으로 쓰인 이 흰색안료는 XRD 분석 결과 석영(Quartz)과 장석계열인 석회장석(Anorthite)으로 나타났다. 이 또한 전통적으로 체질안료로는 호분인 탄산칼슘을 많이 사용하였으나, 이 흰색안료는 규산질 계열에 백색안료를 사용했음을 알 수 있다.

2) 황색 안료(Fig. 3)

바탕층(Ground)으로 백색분말을 조금 두껍게 바른후, 그 위에 황색분말(황토)를 고루게 바른 후 그림이 그려져 있음을 볼 수 있다. 이 황색 분말을 미소부 XRD를 통하여 분석한 결과, 석영(Quartz)과 장석 계열인 석회장석(Anorthite)이 나타났다. 그러므로 그림을 그리기 위하여 고운 황색분말을 바탕층 위에 고루게 바른 후 그 위에 그림을 그린 것을 확인할 수 있다.

3) 붉은색 안료(Fig. 4)

옛부터 적색 안료로 많이 사용한 성분으로는 철산화물(Fe_2O_3)과 황화수은(HgS)이다. 봉정사 벽화에 쓰인 붉은색 안료를 분석한 결과, 철산화물(Fe_2O_3)인 Hematite로 나타났다. 이는 1989년에 쓴 존윈터의 연구에 의하면, 신라시대 유물 중 기와의 적색안료나, 토제 물레바퀴에 묻어 있는 것은 모두 철산화물이었으며, 금산화 벽화의 적색안료들도 철산화물이었다고 한다(3,5).

4) 짙은 검은색 안료(Fig. 5)

흑색 계통은 철 및 구리 또는 어느 한쪽의 산화물이거나 탄소계열이다. 그러나 봉정사 벽화에 짙은 검은색 안료을 분석하여본 결과, Chalcocite(Cu_2S)라는 황화구리 계열인 청동의 부식물로 나타났다. 옛부터 청동의 금속구리 표면에 생기는 약간 어두운 빛을 띤 초록색의 녹인 Malachite 또는 Azurite 등의 녹색안료

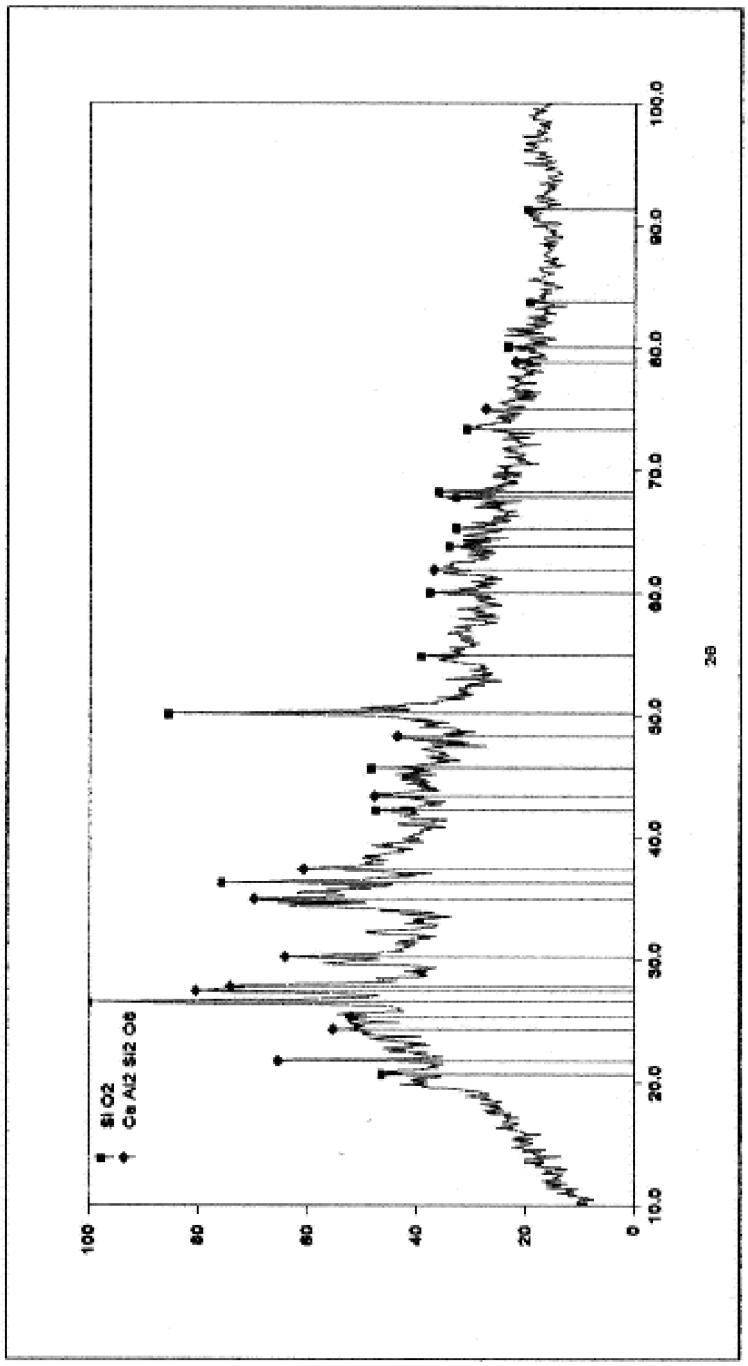

Fig. 2.
봉정사 극락전 벽화 내벽 흰색 안료 분석 결과

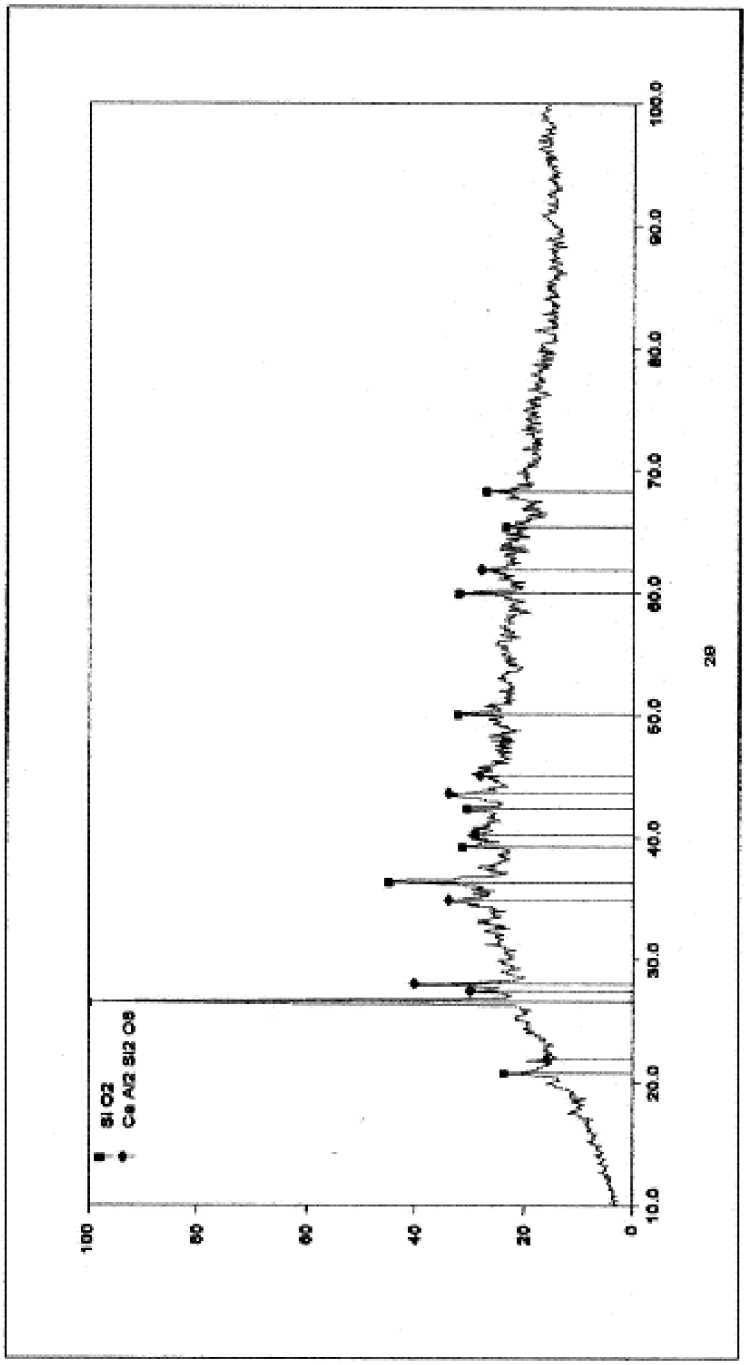

Fig. 3.
봉정사 극락전 벽화 내벽 황색 안료 분석 결과

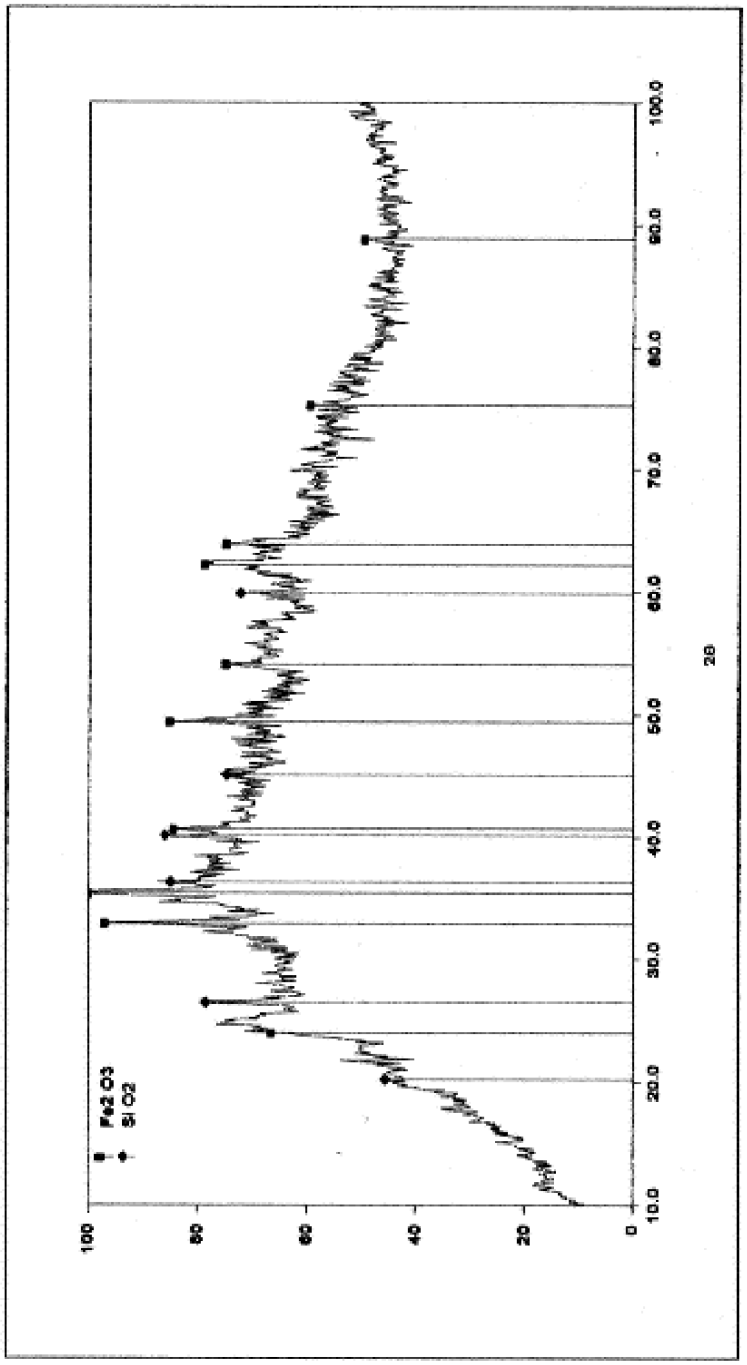

Fig. 4.
봉정사 극락전 벽화 내벽 붉은색 안료 분석 결과

5) 엷은 검은색 안료(Fig. 6)

엷은 검은색 안료의 경우는 짙은 검은색 안료와는 다르게 철의 산화물 중 검은색 녹인 Magnetite(Fe_3O_4)를 사용하여 색칠한 것임을 미소부 XRD 분석결과 알 수 있었다. 1989년에 쓴 존윈터의 연구에 의하면 철제 불상 조각에서의 흑색은 산화철이었다고 한다(3). 그러므로 옛부터 산화철도 흑색 안료로 많이 사용하여 온 것임을 알 수 있다.

다. 외벽

1) 녹색 안료(Fig. 7)

봉정사 극락전 벽화에 쓰인 녹색안료를 미소부 XRD를 이용하여 분석하여 본 결과, 청동의 염화물 형태인 Atacamite($Cu_2Cl(OH)_3$)라는 청동녹임을 알 수 있었다. 대체로 청동녹 중 녹색안료로 많이 쓰이는 것은 Malachite나 Azulite가 많이 사용되나, 이 벽화에는 Atacamite를 사용한 것이 특이하다. 그러나 예전에는 녹색이라고 항상 Malachite나 Azulite가 아닌 Atacamite와 같은 청동녹이나, 녹토(Glauconite)등을 사용하였음을 알 수 있다(3).

2) 흰색 안료(Fig. 8)

외벽에 쓰인 흰색 안료는 내벽에 쓰인 안료(규산질 흰색안료)와 다르게 Pb 계통에 흰색 안료인 Anglesite($PbSO_4$)를 사용하였음을 미소부 XRD를 이용하여 분석하여본 결과 알 수 있었다. 이는 일본에서는 약 7세기경부터 납을 소지로 한 백색 안료를 사용하였다고 하니, 우리나라도 그 이전부터 납을 소지한 백색 안료를 사용하였음을 추측하게 한다(3).

3) 검은색 안료(Fig. 9)

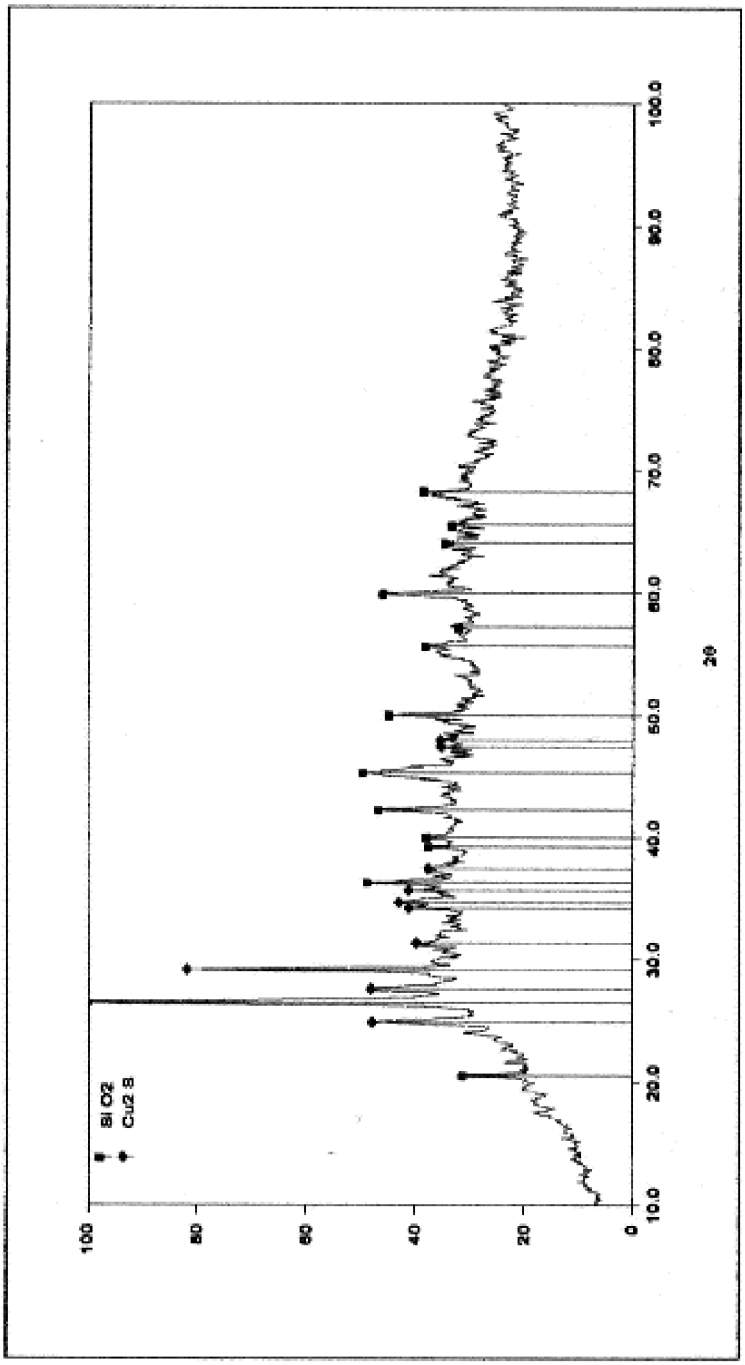

Fig. 5.
봉정사 극락전 벽화 내벽 짙은 검은색 안료 분석 결과

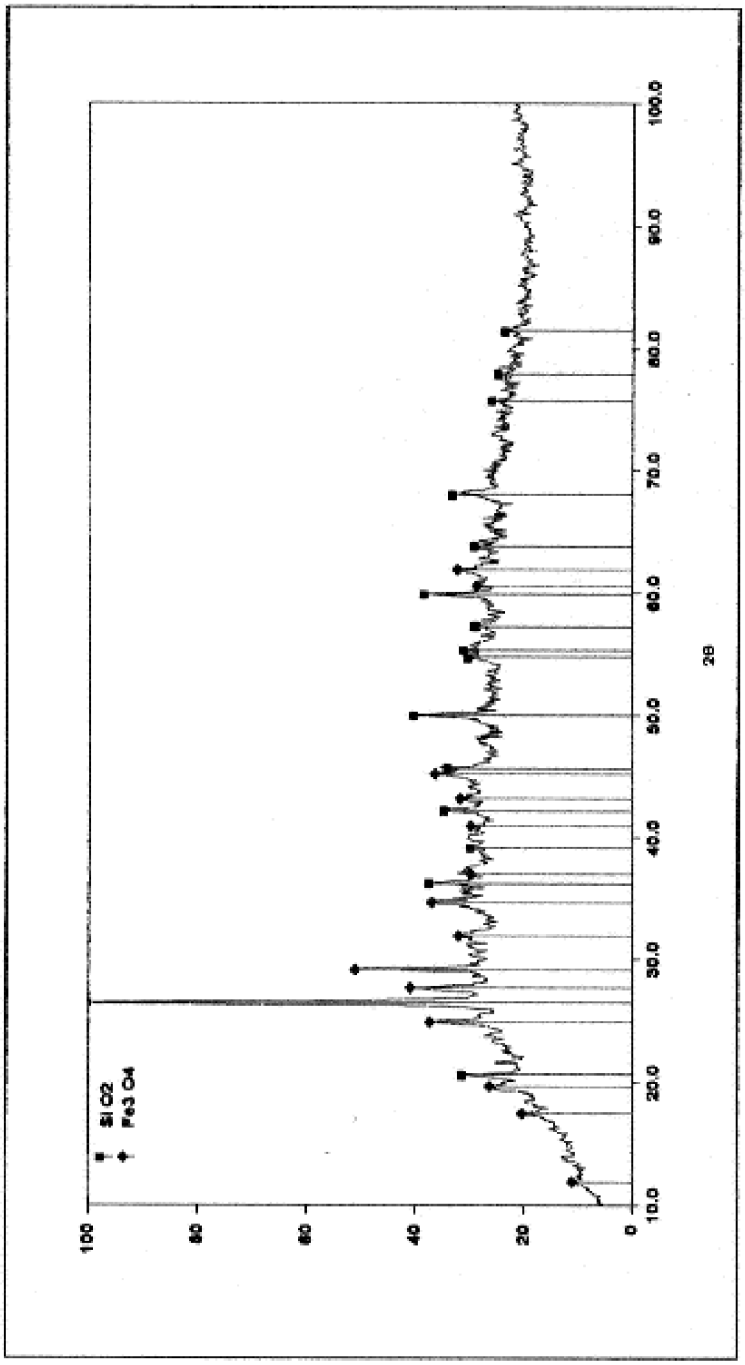

Fig. 6.
봉정사 극락전 벽화 내벽 엷은 검은색 안료 분석 결과

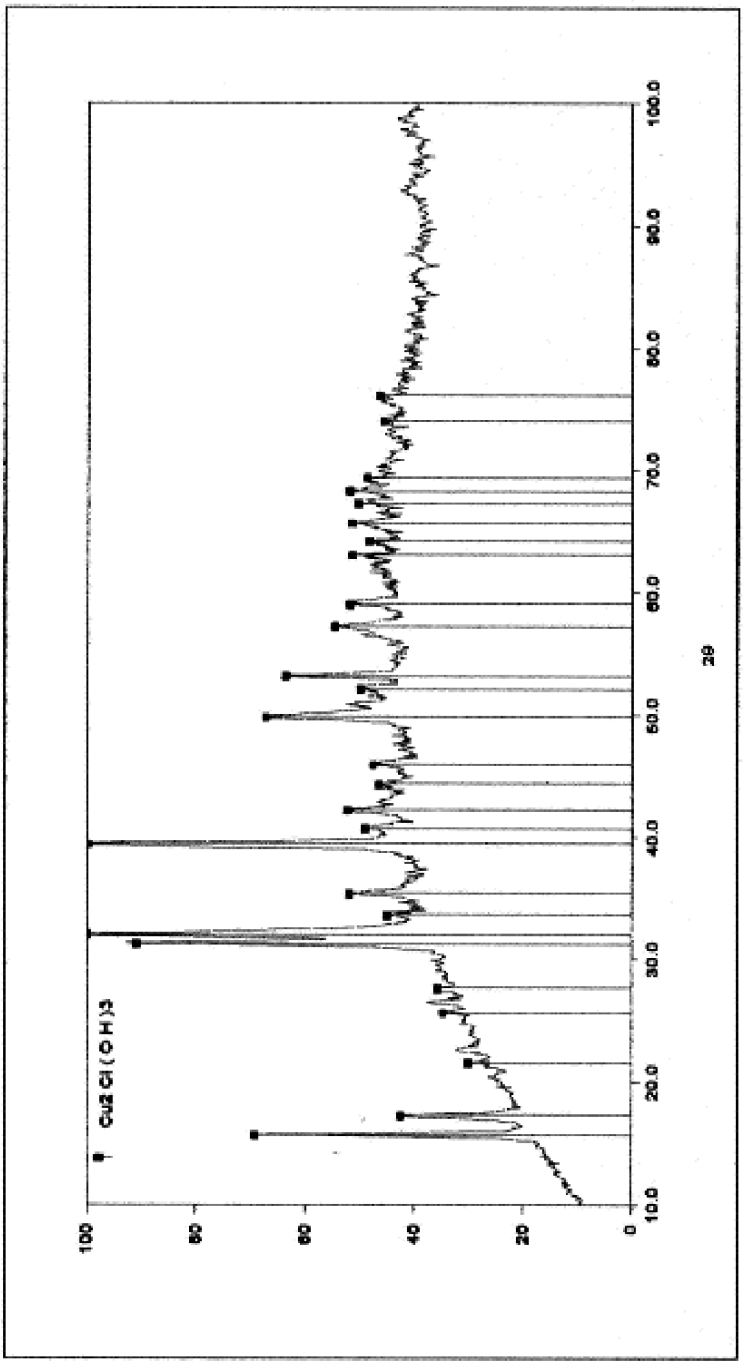

Fig. 7.
봉정사 극락전 벽화 외벽 녹색 안료 분석 결과

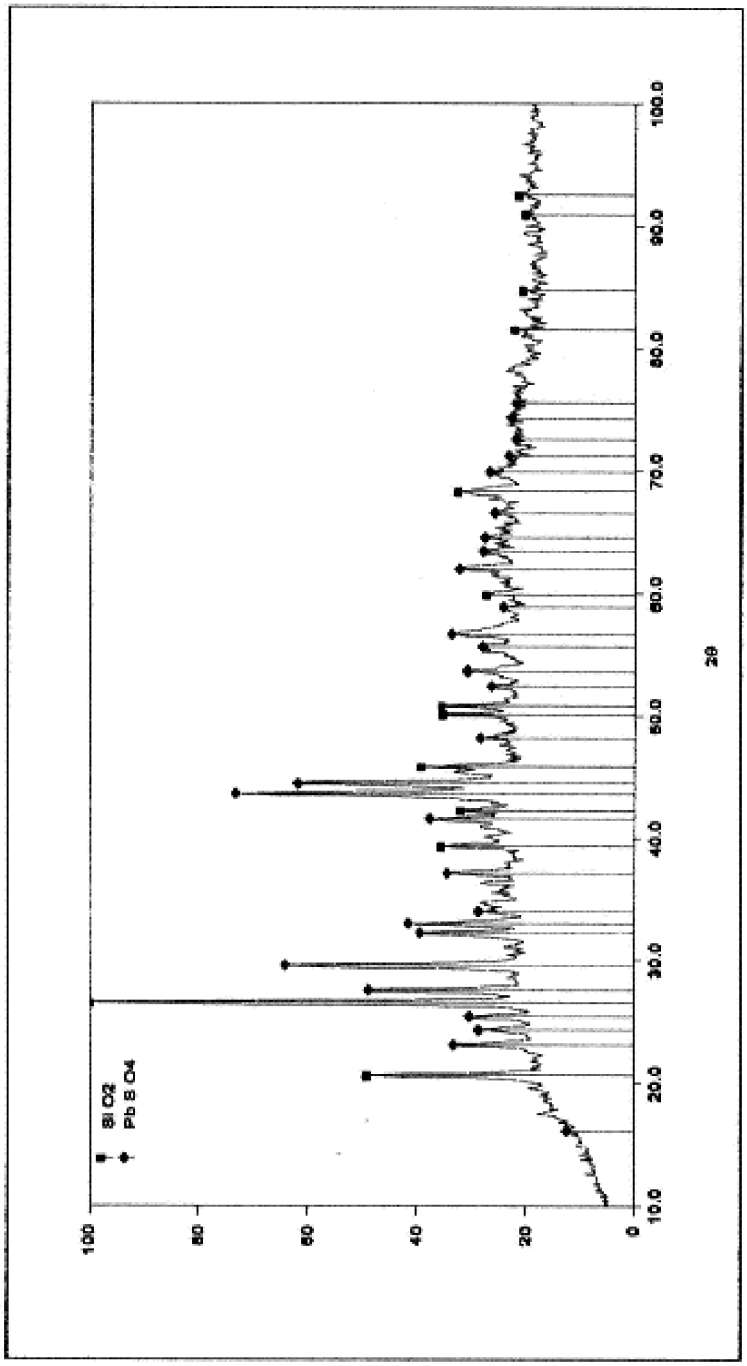

Fig. 8.
봉정사 극락전 벽화 외벽 흰색 안료 분석 결과

대체로 검은색 안료는 탄소계열이나 철, 구리 산화물 형태가 많이 사용되었으나, 이 부분을 분석하여본 결과, 석영과 납계열의 흰색 안료인 Anglesite($PbSO_4$)만 검출되었으며, 다른 특별한 성분은 알 수가 없었다. 이는 색칠한 흑색의 성분의 양이 너무 작아 흑색의 성분이 아닌 밑부분 흰색 안료의 성분만이 검출된 것으로 볼 수 있다.

VI. 결 론

봉정사 극락전 벽화의 구조를 보면, 내벽에 경우는 먼저 그림이 그려져 있는 물감층(Paint layer), 그 밑에 그림을 그리기 위한 규산질 흰색 안료인 바탕층(Ground)과 바탕층(Ground) 아래 벽체(Support)부분으로 구성되어 있으며, 외벽에 경우 먼저 그림이 그려져 있는 물감층(Paint layer)과 그 밑에 그림을 그리기 위한 바탕층(Ground)이 내벽과는 다르게 녹색 안료로 칠해져 있으며 그 밑부분에 황색안료가 칠해져 있다. 황색안료 밑 부분이 바로 벽체(Support)로 이루어져 있다.

봉정사 극락전 벽화 안료를 성분 분석하여 본 결과, 내벽에 쓰인 적색안료는 산화철인 Hematite(Fe_2O_3), 짙은 검은색과 엷은 검은색의 경우는 산화철인 Magnetite (Fe_3O_4)와 청동녹인 Chalcocite(Cu_2S)를 사용하여 색칠하였다. 또한 외벽에 경우 흰색 안료는 Pb 계통에 Anglesite($PbSO_4$)를, 녹색의 경우는 청동녹의 하나인 Atacamite ($Cu_2Cl(OH)_3$)를 사용하여 색칠한 것임을 알 수 있었다. 이는 현대에서 많이 사용하는 인공합성된 화학 안료가 아닌 천연안료를 사용함으로써 벽화의 색채가 오랜기간동안 고유한 색상을 유지하며, 보존될 수 있었던 것으로 보인다.

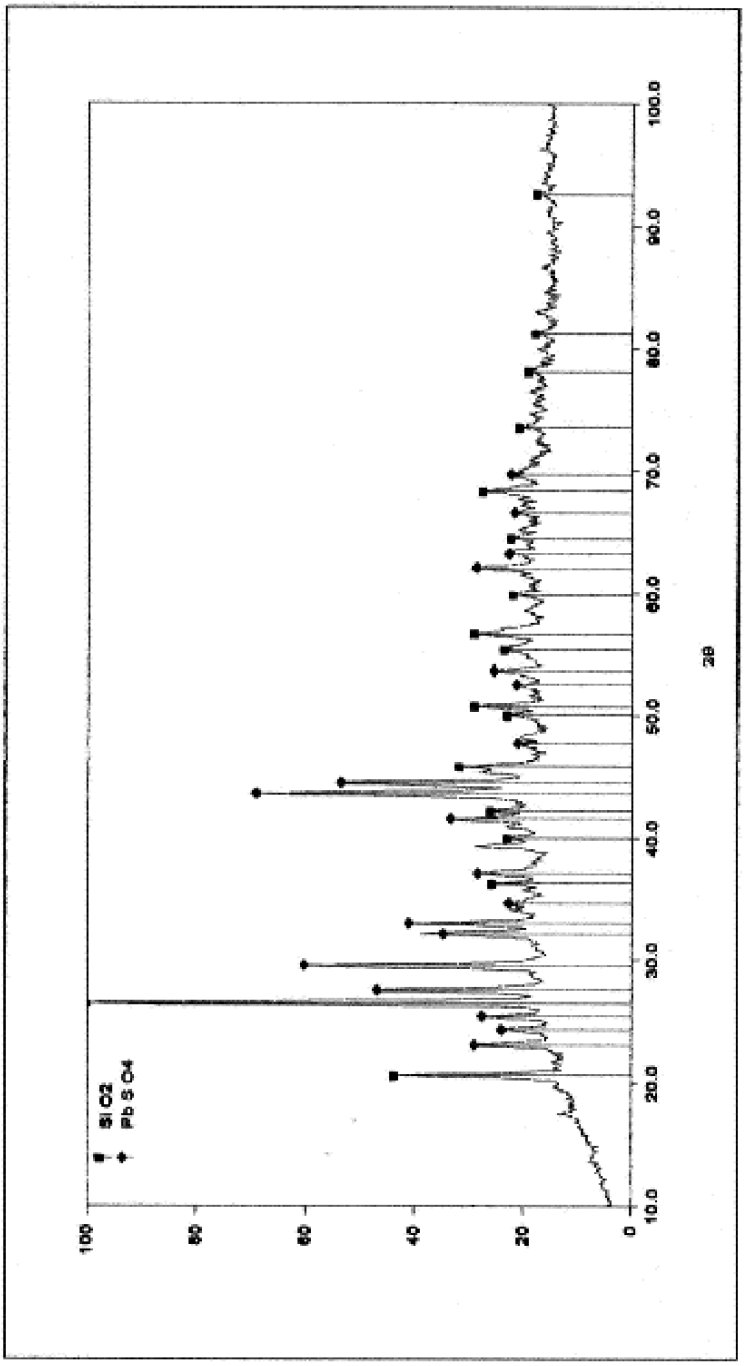

Fig. 9.
봉정사 극락전 벽화 외벽 검은색 안료 분석 결과

참고문헌

1. 김병호, "단청의 재료", 문화재와 더불어 살아온 길, pp. 106 137, 1997.
2. 김사덕, 이은희, 엄두성, 조남철, "봉정사 극락전 벽화조사(Ⅰ)", 보존과학연구, No. 20, pp. 175 207, 1999.
3. John Winter, "한국 고대안료의 성분분석", 미술자료, No. 43, pp. 1 36, 1989.
4. 송응성, 최주(역), 천공개물, 전통문화사, pp. 334 336, 1997.
5. 홍종욱, 정광용, "금산사 벽화 안료성분에 관한 비교 분석", 보존과학연구, No. 13, pp. 73 82, 1992.
6. 송응성, 최주(역), 천공개물, 전통문화사, pp. 371 375, 1997.
7. http://www.scienceall.com/science/?MIval=0000-0000-0
8. 송응성, 최주(역), 천공개물, 전통문화사, pp. 365 371, 1997.
9. 백찬규, "영풍 부석사 조사당의 벽화보존처리", 보존과학연구, No. 6, pp. 65 85, 1985.