

사찰에 사용된 적색 및 녹색안료의 종류와 입자특성 분석

유영미 | 한민수¹ | 이장준
국립문화재연구소 보존과학연구실

Species and Characteristics of Particles for Traditional Red and Green Pigments used in Temples

Young Mi Yoo | Min Su Han¹ | Jang Jon Lee
Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage,
Daejeon, 305-380, Korea

¹Corresponding Author: dormer@korea.kr, +82-42-860-9251

초록 사찰의 단청 등 회화에 사용된 적색과 녹색안료에 대해 그 종류를 밝혀내고, 이들의 광물입자 특성을 관찰하여 서로 비교분석하고자 하였다. 성분분석 결과, 적색안료는 진사(Cinnabar)와 석간주(Hematite), 연단(Minimum) 등 3가지 종류가 사용된 것으로 확인되었고, 녹색안료는 녹염동광(Atacamite)과 뇌록석(Celadonite) 그리고, 일부 석록(Malachite)이 확인되었다. 이는 사찰별로 독특한 안료를 사용하였다기 보다는 다양한 종류의 안료를 회화의 특성에 맞게 모두 이용하였음을 알 수 있다. 안료의 입자특성에서는 적색안료 중에서 같은 진사라 할지라도 매끄럽거나 길쭉하고 각진모양, 판상 등 자형(hedral) 또는 타형(anhedral)의 다양한 형태를 가지고 있으며, 이는 녹색안료에서도 유사한 패턴을 보였다. 특히 지금까지 안료의 성분과 결정구조분석을 통해 광물을 확인하는 방법이 주로 이용되어왔으나 이에 비해 입자의 형태적 특성을 이용하는 것이 색상과 종류가 유사한 안료 그룹내에서는 이들을 보다 세밀하게 구분할 수 있고, 인자화 하는데 유리한 방법일 수 있을 것으로 판단된다.

중심어: 안료, 단청, 적색안료, 녹색안료, 입자특성

ABSTRACT The purpose of the present study is to determine the species of red and green pigments used on paintings of Korean temples and also to compare the two pigments according to the particle characteristics. The component analysis shows that the red pigment consists of cinnabar, hematite, and minium and the green pigment are composed of atacamite, celadonite, and malachite. The result suggests that mixture of various pigments were applied to the painting. When it comes to the particle characteristics, there are various hedral or anhedral shapes such as sharp, long, angular, and platy shapes even in the same cinnabar. In addition, the green pigment also shows a similar pattern with those of the red pigment. Up to now, an identification of minerals has been relied on examination of component and crystal shape. However, it is notable that using form related characteristics can be a better and useful method not only for categorization of pigments which are similar in terms of color and species but also specific index.

Key Words: Pigment, Dancheong, Red pigment, Green pigment, Particle characteristics

1. 서론

안료란 미세한 발색물질로 전색제(展色劑)와 함께 사용되어 채색이 되며, 전색제 속에 용해되지 않고 미립자로 존재한다는 점에서 염료와 대조되는 물질이다(Jeong, 2001; Lee, 2012).

고대 우리나라에서 회화에 사용된 안료의 역사를 보면 고구려 벽화에 주사와 그을음, 황토 등이 사용되었고(Mazzeo *et al.* 2005), 고려 시대에는 주사, 석록, 석청 등의 안료가 불화에 사용되었는데, 이후 조선시대에는 광물성 안료보다 간편하고 저렴하며 쉽게 구할 수 있었던 식물성 안료를 많이 사용하였다(Jeong, 2001). 이렇게 고대부터 현대에 이르기까지 서화, 회화, 장신구, 장식품, 무기, 일상용품 등에 사용된 안료 중 현재까지 남아있는 재료는 광물성 무기안료가 대부분이며, 특히 사찰의 벽화 및 단청의 형태로 남아 있어 고대 안료 물질을 밝히는 연구가 활발히 진행 중에 있다. 그러나 지금까지 안료에 대한 연구는 1963년 이숙연의 『고대 단청의 분석학적 연구』를 시작으로 고분벽화, 사찰벽화 및 건축물에 사용된 안료의 성분분석이 대부분이었다. 이는 문화재의 특성상 비파괴분석이 주를 이루었기 때문이며, X-선회절분석기 등을 활용한 결정구조분석은 일정량의 안료가 필요하여 제한적으로 시행되어왔다.

본 연구는 우리나라 사찰의 벽화 및 단청에 사용된 적색 및 녹색안료의 종류를 성분분석으로 확인하고, 현미경을 이용하여 입자특성을 분석하고 비교하여 입자 형태를 이용하여 실제 시대별, 지역별로 안료의 종류를 구별할 수 있는지 그 가능성을 확인하고자 하였다. 이를 통해 성분분석과 결정구조분석으로 구별이 불가능한 안료의 특성자료를 인자화하고, 지속적으로 데이터베이스화할 경우, 고대안료에 대한 해석뿐만 아니라 문화교류를 파악하는데 보조 자료로 활용될 것으로 기대 된다.

2. 연구대상 및 분석방법

2.1. 연구대상

부안 내소사 대웅보전 등 3곳의 벽화 및 단청에 사용된 적색과 녹색안료를 대상으로 분석하였다. 이는 문화재청의 지원을 받아 성보문화재연구원에서 사찰건축물 벽화조사 사업을 진행하고 국립문화재연구소 보존과학연구실에서 벽화 및 단청의 비파괴분석을 지원하는 과정에서 대량

및 창방 틈 등에 박락되어 남아있는 안료 편을 수습하여 시료로 사용하였다. 이렇게 수습된 시료를 분석하기 때문에 정확히 어느 부분에 채색되어있던 안료인지 세부적인 위치를 제시하기에는 무리가 있으며, 수습된 시료 중 그 시대가 분명하며 분석이 가능한 적색 및 녹색안료 시편을 선정하여 분석하였다. 부안 내소사 대웅보전은 임진왜란 중 소실되어 1633년(인조 11) 중창하였고, 보물 제291호로 지정되어있으며, 후불벽을 포함하여 내·외부 벽면에 모두 111점의 벽화가 남아있는데, 모두 18세기 후반으로 보고 있다(Cultural Heritage Administration of Korea-Research Institute of Sungbo Cultural Heritage, 2013; Cho *et al.*, 2007). 구례 화엄사 각황전은 임진왜란 때 파괴되어 1702년(숙종 28)에 건물을 다시 지었으며, '각황전'이란 이름은 임금(숙종)이 지어 현판을 내린 것이라고 한다. 1962년 12월 20일 국보 제67호로 지정되었으며, 1900년대 이후 벽화 등이 수리된 보고는 없다(The Office of Cultural Properties, 1986). 안동 봉정사 대웅전은 고려 후기의 건물이고, 조선 시대에는 1435년에 대웅전을 중창, 2년 뒤에 상량하였으며, 벽화 등의 조성시기는 19세기 초로 추정된다(Cultural Heritage Administration of Korea-Research Institute of Sungbo Cultural Heritage, 2011; Andong-si, 2004). 이와 같이 대상이 되는 사찰은 조선후기에 재건되거나 중창되어 시대가 유사하며, 안료의 분석결과 비교가 용이하다. 또한 안료의 입자형태의 보다 정확한 비교를 위하여 현대안료 6점을 추가 분석하였다.

2.2. 분석방법

벽화 및 단청 안료는 내·외부 환경에 노출되어 있으며, 탈락되거나 박락된 후 창방 틈 등에 떨어져 오랜 시간 먼지 등의 오염이 진행된다. 이러한 안료 시편의 이물질 제거와 결정입자 확인을 위하여 Ethanol 1.5ml에 선정된 시료를 넣어 원심분리기(DW-41BR MINI Centrifuger, 2×0.2ml strips)를 30분간 실시하였다. 표면의 안료색상과 광물의 분포상태를 자세히 관찰하기 위하여 광학현미경(Optical Microscope, AxioTech 100HD, Carl Zeiss, Germany)을 이용하여 5배, 10배, 20배율로 확인하였다. 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-5910LV, Jeol, Japan) 및 부착된 에너지분산형분광계(Energy Dispersive Spectrometer, Oxford 7324, England)를 통해 구성입자의 미세조직 및 구성 안료의 주요성분을 확인하였다.

Table 1. Comparison of analysis data for the ancient pigments used in temples.

Group	Raw material(Estimated)			
	Color	Red pigments	Color	Green pigments
Wall painting pigments (Hwaecomsa)	Rich deep Red	Cinnabar	Bright Green	Atacamite
			Dark Green	Celadonite
Dancheong pigments (Hwaecomsa)	Bright Red	Red lead	Bright Green	Celadonite
	Dark Red	Hematite		
Dancheong pigments (Naesosa)	Bright Red	Red lead, Lead White	Dark Green	Atacamite
Wall painting pigments (Bongjeonsa)	Dark Red	Hematite	Dark Green	Atacamite

3. 분석결과

3.1. 성분 분석결과

색상별 안료입자에 대해 사용안료의 종류를 파악하기 위하여 전자현미경에 부착된 에너지분산형분광계를 이용하여 주요성분을 검출하였다. 대부분의 적색안료는 광학현미경 관찰에서 보여지듯이 밝은적색 또는 연한적색, 진한적색 등 3가지 정도로 나눌 수 있다. 화엄사 각황전의 포벽과 안수전등도의 벽화에 사용된 밝은적색(Figure 1-A)은 수은(Hg)와 황(S)이 검출되어 진사(Cinnabar, HgS)가 사용된 것을 알 수 있다. 이와는 다르게 진한적색(Figure 1-B)은 철(Fe) 성분이 주요원소로 검출되고, Si나 Al, Ca 등 점토에서 주로 검출되는 성분이 일부 확인되는 것으로 보아 석간주(Hematite, Fe₂O₃)임을 알 수 있다. 또한 연한적색(Figure 1-C)은 납(Pb)이 주요성분으로 검출되는 것으로 미루어보아 연단(Minimum, Pb₃O₄)을 사용한 것으로 판단된다. 물론 이는 EDS분석에서 백색안료의 연백[Lead white, 2PbCO₃·Pb(OH)₂]과 성분상으로는 유사하여 혼동할 수 있으나 광학현미경을 통한 색상입자의 분포상태를 보았을 때 백색안료 입자가 섞여 분석될 가능성은 낮다. 그리고 Figure 1-D의 내소사 대웅보전에서 적색은 입자형태가 상이한 두 가지 모양이 나타나는데 모두 납(Pb)이 주요 성분으로 검출되는 것으로 미루어보아 연단[Minimum, Pb₃O₄]과 백색안료의 연백[Lead white, 2PbCO₃·Pb(OH)₂]이 혼재하고 있음을 알 수 있으며, 광학현미경상에서도 확인할 수 있다. 또한 봉정사의 진한적색(Figure 1-E)은 철(Fe)을 주성분으로 하는 석간주(Hematite, Fe₂O₃)임을 알 수 있다.

녹색안료는 연한녹색(Figure 1-F)과 진한녹색(Figure

1-G)으로 크게 나뉘며, 전자의 경우 Figure 1-F에서 철(Fe)과 K, Mg, Si, Al 등 점토를 구성하는 성분이 같이 검출되는 것으로 미루어보아 뇌록석(Celadonite, K(Mg,Fe,Al)₂(Si,Al)₄)임을 알 수 있다. 반대로 진한녹색은 성분분석에서 구리(Cu)만이 주성분으로 검출되는 안료와 염소(Cl)가 구리와 함께 검출되는 안료 등 2종류가 존재했다. 이는 구리만을 주성분으로 하는 석록[Malachite, CuCO₃·Cu(OH)₂]과 염소를 동반하는 녹염동광[Atacamite, Cu₂Cl(OH)₃]이 상황에 따라 각각 사용되었음을 알 수 있다. 이는 내소사(Figure 1-H)와 봉정사(Figure 1-I)의 진한녹색에서도 같은 종류의 안료가 사용된 것으로 보여 일관성 있는 결과를 보였다.

성분분석 결과를 전체적으로 살펴보면, 색상의 밝기에 따라서 각 사찰에 사용된 안료의 종류가 같음을 알 수 있다. 이는 단청이나 벽화에 도안이 서로 다를 뿐만아니라 적색안료의 경우, 기존의 연구(Gettens & Stout, 1966; Han *et al.*, 2011; National Research Institute of Cultural Heritage, 1994)에서 언급된 것처럼 석간주는 주로 단청에 많이 사용되는 경향성과 함께 석간주가 주사에 비해 수급적인 측면에서 나왔을 것이기 때문일 것이다. 물론 주사는 괘불이나 탕화에서 여래상의 가사나 보살상의 천의와 장식에 자주 사용되었다는 보고(Shin *et al.*, 2005)와도 관련이 있을 것이다. 특히 밝은적색과 진한적색의 중간 단계인 연한 적색은 연단이 주로 사용된 것은 기존 연구들(Shin *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2011; Han *et al.*, 2014; Jeong, 2001)에서 주황색에 가까운 연한적색은 연단을 사용하는 경우가 대부분이며, 일부 백색안료와의 혼합사용한 경우가 있다. 이와 마찬가지로 녹색안료의 경우도 색상이나 색감에 따라 다양한 안료를 사용하였음을 알 수 있고, 특히 단청에서는 이미 알려진 바(Cho *et al.*, 2001)와 같이 바탕칠로 뇌

록이 많이 쓰였음을 다시 한번 확인 할 수 있었으며, 녹염 동광이나 석록은 기존 연구(Moon *et al.*, 2002; Jeong, 2001; Winter, 1989)에서 보고된 바와 같이 단청보다는 후 불벽화나 고분벽화 등에 주로 사용되어져 왔으므로 사찰 벽화에서도 주로 이용된 것으로 보인다. 결론적으로 색상에 따른 사찰별 사용안료의 종류를 성분분석을 통해 유추하고 비교해 보면 Table 1과 같이 정리할 수 있다.

3.2. 미세조직 분석결과

광학현미경과 전자현미경을 이용하여 안료의 미세입자 형태를 관찰한 결과, 같은 종류의 안료광물이라도 입자의 형태가 조금씩 달랐다. Figure 2에서와 같이 적색안료로 사용된 진사와 석간주, 연단은 서로 다른 입자형태를 가지고 있으며, 같은 진사라 하더라도 다른 입자형태를 보이고 있다. 먼저, 진사는 표면이 매우 매끄러우면서 10 μ m이상

크기의 덩어리로 모서리가 각져 있으며, 내부에 큰 균열이 존재한다(Figure 2-A, Figure 3-A). 그러나 Figure 2-B-a에서와 같이 화엄사 단청에서 사용된 진사는 길쭉하면서 각진 모양을 하고 있다. 즉, 진사에도 여러가지 형태가 존재함을 알 수 있으며, 이는 현대에 합성된 진사안료의 입자를 관찰한 결과(Figure 2-C), 매끄럽고 큰 덩어리 형태보다는 길쭉하면서 각진 형태를 하고 있음을 알 수 있다. 이것은 두 종류의 진사가 사용되었거나 한 종류의 진사가 물리화학적 반응에 의해 입자의 형태가 변했을 수 있다는 가정이 가능하다. 실제로 기존 연구(Shin *et al.*, 2005)에서도 조선 시대의 비석에 사용된 진사와 인사동에서 구입한 진사의 결정구조와 색상이 조금 상이한 결과를 보인 것으로 미루어보아 다른 종류의 진사일 가능성이 보다 높다고 판단된다. 적색안료 중에서 석간주는 판상의 크고 작은 덩어리들이 층을 이루며 적층되어 뭉쳐있는 형태를 보이고 있으며

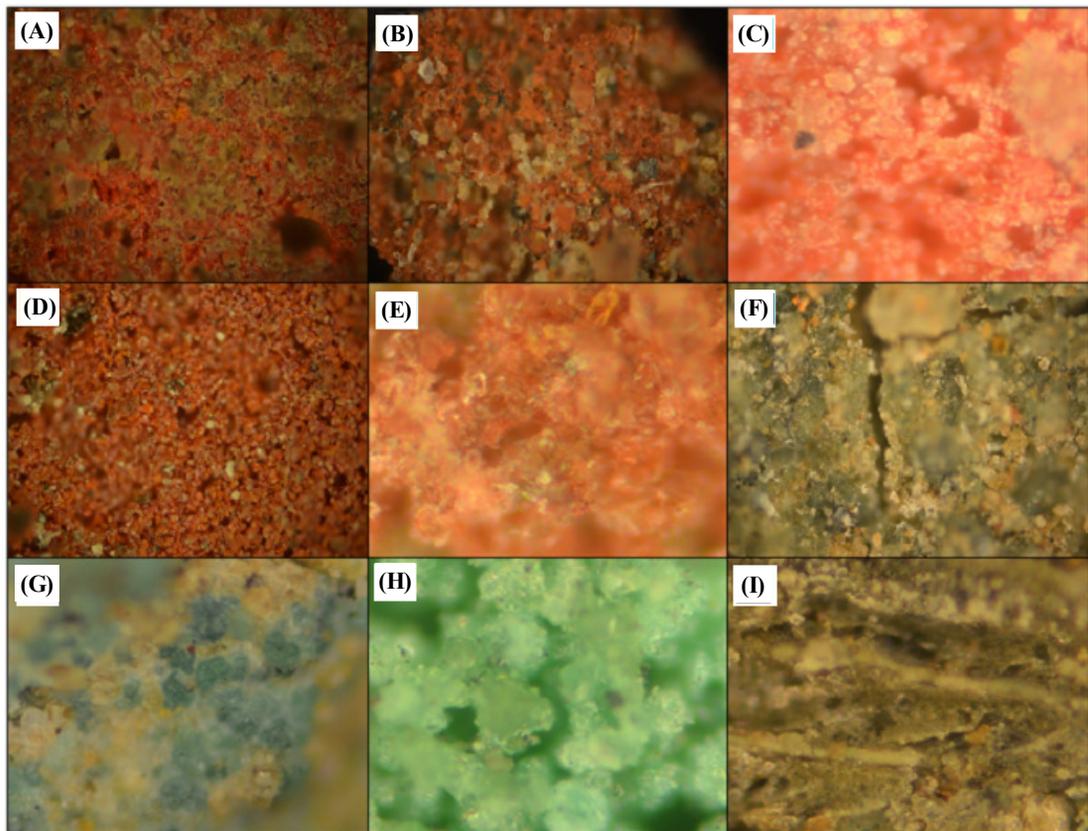


Figure 1. Microphotograph images of pigments($\times 200$). A: Wall painting pigments(red, Hwaecomsa); B: Dancheong pigments(red, Hwaecomsa); C: Dancheong pigments(red, Hwaecomsa); D: Dancheong pigments(red, Naesosasa); E: Wall painting pigments(red, Bongjeongsa); F: Dancheong pigments(green, Hwaecomsa); G: Wall painting pigments(green, Hwaecomsa); H: Dancheong pigments(green, Naesosasa); I: Wall painting pigments(green, Bongjeongsa).

(Figure 2-D), 연단은 대체적으로 크고 작은 둥근 입자들이 서로 뭉쳐 있는 입자형태의 특성을 보이고 있다(Figure 2-B).

일반적으로 석간주는 철산화물의 점토물질로써 미립질의 타형입자가 적층된 형태를 가지고 있으며, 기존의 연구 결과를 보면(Do *et al.*, 2009) 석간주의 주요산지로 알려진 울릉도 석간주는 미립질 또는 은미정질의 입자들로 구성되어 있다. 그러나 일부 석간주를 소성하게 되면 뭉쳐진 형태의 집합체로 변하게 된다. 하지만 이러한 입자의 형태는 실제 채색시 아교 등과 혼합하여 사용하고 오랜세월이 지나면서 주변의 먼지입자들과 물리화학적으로 결합함으로써 입자의 형태가 변하게 될 수도 있으므로 전자현미경을 통해 입자를 관찰할 때에는 에탄올이나 증류수를 이용하여 충분히 입자를 분리하여 관찰할 필요성이 있다. 또한 연단의 경우는 실제 근래에 합성된 입자를 관찰하여 비교해

보면 Figure 2-E에서와 같이 크고 작은 원형의 입자가 서로 뭉쳐져 있는 것을 확인할 수 있으며, 이는 화염사 각황전의 연단에서 보여지는 특징과 유사하다.

녹색안료 중에서 녹염동광은 판형내지 원형의 크고 작은 입자가 서로 적층되어 완전히 결합되어 있는 모양을 확인할 수 있다(Figure 2-F). 그러나 기존 양산 통도사 영산전의 분석결과(Han, 2014)에서는 각이 지고, 굽은 입자의 형태로 관찰되기도 하여 화학조성은 같으나 입자형태가 다른 것인지, 열화 등 물리화학적 반응이나 교착제와의 상호작용에 의한 입자의 변화인지는 보다 세밀한 추가 연구가 필요하다. 또한 함께 분석된 석록은 녹염동광 입자에 비해 보다 미세하면서 크기가 다양한 입자가 부스러져 적층되어 있는 형태를 하고 있다(Figure 2-H). 반면, 연녹색의 뇌록석은 입자가 미세한 것이 특징이다. 이러한 미세한 입

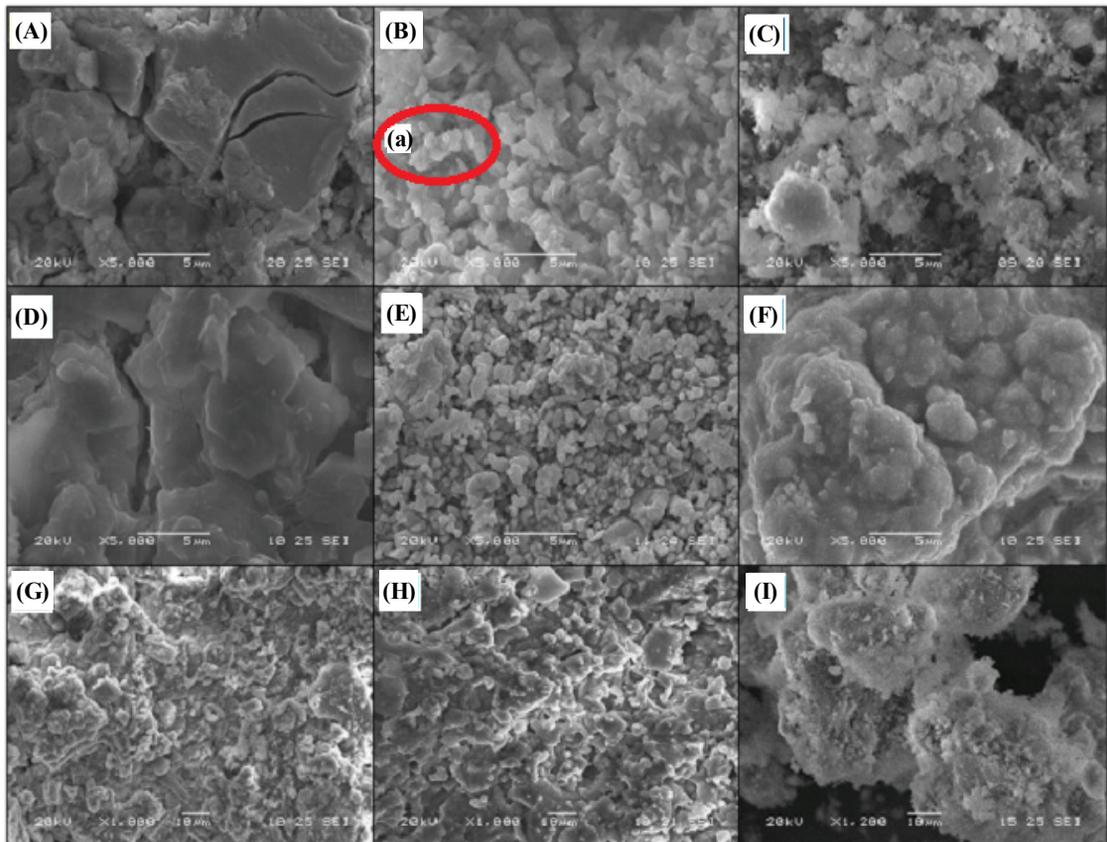


Figure 2. SEM Images of the pigments. A: Cinnabar(Wall painting pigments, Hwaeomsa); B: Cinnabar(a), Red lead(Dancheong pigments, Hwaeomsa); C: Cinnabar(modern natural pigment); D: Hematite(Dancheong pigments, Hwaeomsa); E: Red lead(modern natural pigment); F: Atacamite(Wall painting pigments, Hwaeomsa); G: Malachite (Wall painting pigments, Hwaeomsa); H: Celadonite(Dancheong pigments, Hwaeomsa); I: Celadonite(modern natural pigment).

자형태는 현대의 천연 뇌록석 원료물질을 관찰한 결과 (Figure 2-I)에서도 일부 유사하게 나타나며, 이는 기존의 연구결과(Do *et al.*, 2008)에서 보고된 바와 같이 우리나라에서 산출되는 뇌록은 셀라도나이트(Celadonite)를 말하

며, 2:1 층상구조를 가진 점토광물의 일종으로 입자의 크기가 불규칙하고 결정면을 보이는 것도 있으나 일반적으로 타형이기 때문에 판단된다. 그러나 일부 뇌록 원료를 소성하게 되면 입자가 판상의 입자와 각진 자형으로 변화하

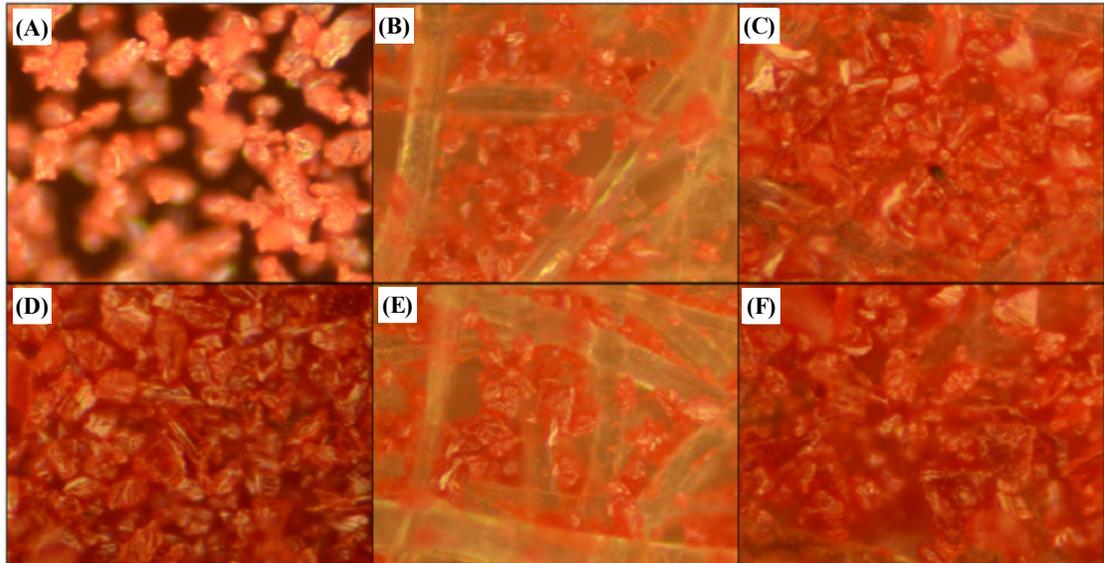


Figure 3. Microphotograph images of modern pigments($\times 200$). A:Cinnabar(natural mineral); B:Painting(one time, mixed with Stick glue); C:Painting(two times, mixed with Stick glue), D:Painting(three times, mixed with Stick glue); E:Painting(one time, mixed with Deerhorn glue glue); F:Painting(two times, mixed with Deerhorn glue glue).

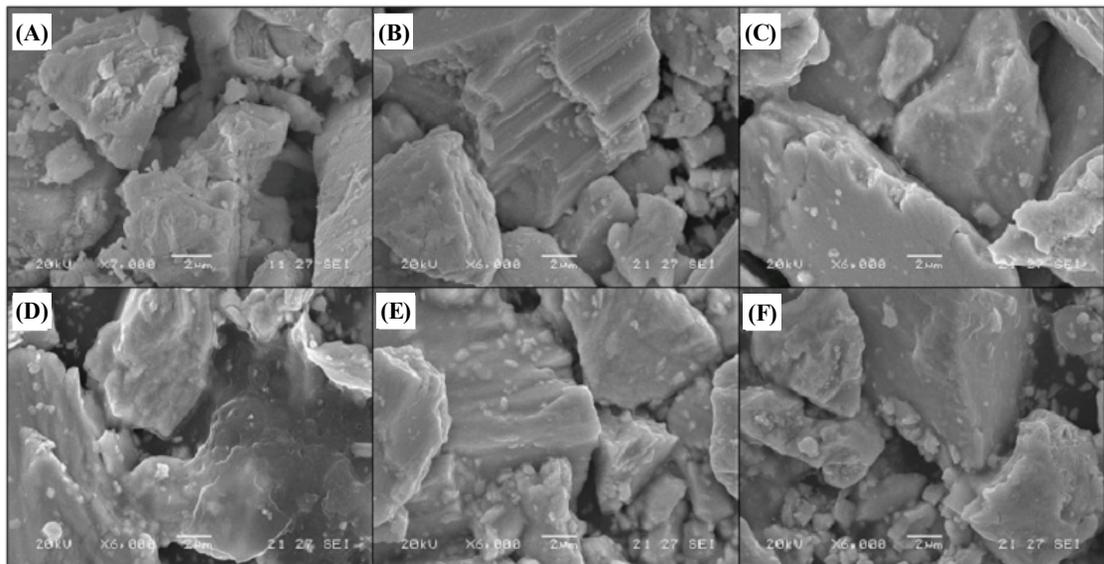


Figure 4. SEM Images of modern pigments. A:Cinnabar(natural mineral); B:Painting(one time, mixed with Stick glue); C:Painting(two times, mixed with Stick glue), D:Painting(three times, mixed with Stick glue); E:Painting(one time, mixed with Deerhorn glue glue); F:Painting(two times, mixed with Deerhorn glue glue).

는 경우가 있다. 결국 이미 채색된 안료가 원료 물질과 다른 점은 시간이 경과됨에 따라 일부 입자들이 서로 결합되고, 입자와 입자 사이가 glue형태로 매꿔지게 되는데 이는 먼지 등 오염물과의 결합, 열화 등 물리화학적 변화로 생긴 결과일 가능성과 초기 회화의 채색시 교착제(아교 등)의 영향일 수도 있다. 특히 교착제와 결합된 안료 입자는 실험을 통해서도 그 변화 양상을 확인할 수 있는데, 진사 입자(Figure 3-A, Figure 4-A)는 각진 타형의 입자이나 아교나 녹교를 안료와 혼합하여 2회 이상 도포할 경우, 입자 표면의 파쇄면이 뚜렷하지 않게 보이거나(Figure 4-C, Figure 4-E) 입자와 입자 사이가 glue 상태로 연결된 모양(Figure 3-D, Figure 3-F, Figure 4-D, Figure 4-F)으로 보이게 된다.

결론적으로 이러한 안료 입자의 모양은 노출환경의 다양성에 따른 변화 뿐만 아니라 채색 당시에 도채의 기법이나 함께 혼합되어진 물질(아교 등 접착제나 혼합되어진 다른 종류의 안료광물 등)의 종류와 배합비율의 차이이기도 하며, 나아가 근본적으로 원료생산지의 차이나 중간 안료 제법 과정(분쇄, 불순물 제거, 수비 등)의 차이에서도 형태의 변화가 나타날 가능성이 있다. 즉, 광물성 천연안료의 대부분은 지각에서 자연적으로 생성된 광물임으로 주변지질 등의 환경적인 영향을 받게 된다. 그럼에도 불구하고 안료는 물리화학적 법칙에 따라 만들어지는 물질임으로 기본적인 입자의 특성을 안료 분석에 이용하는 것은 매우 유용한 방법이 될 수 있을 것이다.

4. 결 론

화엄사 각황전 등 사찰의 단청과 벽화에 사용된 적색과 녹색안료에 대해 그 종류를 파악하고, 입자형태를 비교분석한 결과, 아래와 같은 결론을 얻었다.

성분분석을 통한 색상별 안료의 종류를 파악한 결과, 적색안료는 진사(Cinnabar, HgS)와 석간주(Hematite, Fe₂O₃), 연단(Minimum, Pb₃O₄) 등 3가지 종류가 모두 또는 일부만 사용된 것으로 확인되었고, 녹색안료는 녹염동광[Atacamite, Cu₂Cl(OH)₃]과 뇌록석[Celadonite, K(Mg,Fe,Al)₂(Si,Al)₄]이 주로 쓰인 것으로 확인되었으며, 일부 석록[Malachite, CuCO₃·Cu(OH)₂]도 사용되었음을 알 수 있다. 이러한 결과는 사찰에 사용된 안료 원료의 시기적 차이를 배제하면, 고대 안료에 대한 기존 연구결과들과 유사한 결과이다.

색상에 따른 안료 종류별 입자의 형태 특성을 살펴본 결과, 적색안료 중에서 진사는 매끄럽거나 길쭉하고 각진모양, 판상 등 다양한 형태를 가지고 있으며, 석간주는 주로

판상의 입자가 적층된 형태를 보였고, 연단은 원형의 입자가 서로 뭉쳐져 존재했다. 녹색안료 중에서 녹염동광은 판상내지 원형의 입자형태를 보였고, 석록은 녹염동광에 비해 입자가 작았으며, 뇌록은 크고 작은 미세 분말형태의 입자가 혼재되어 있었다. 또한 이들 색상입자를 현대의 천연 안료와 비교하면 그 형태가 유사하거나 일부 변형된 모양을 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 입자의 특성을 이용하여 색상별, 안료 종류별로 그 특징을 구분 지을 수 있으며, 시간에 따른 변화양상도 관찰할 수 있다는 것이다.

결론적으로 안료의 종류에 따른 입자특성은 화학조성이나 결정구조분석을 통한 광물종 확인과 더불어 보다 추가적인 안료원료의 독특한 특성을 구별할 수 있는 인자로 활용할 수 있을 것으로 생각되며, 이를 통해 지역이나 시대에 따라 다양한 회화안료의 특성자료를 지속적으로 데이터베이스화할 경우, 고대안료에 대한 해석뿐만 아니라 문화교류를 파악하는데 보조자료로 활용할 수 있을 것이다. 또한 시간의 경과에 따른 안료광물의 열화 등을 직접적으로 확인할 수 있는 지표로도 쓰일 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립문화재연구소의 문화유산융복합연구개발(R&D)사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Andong-si, 2004, Dismantlement and Repair Survey Report of Main Building in Bongjeongsa Temple, 67-68.
- Cultural Heritage Administration of Korea-Research Institute of Sungbo Cultural Heritage, 2010, Temple Murals of South Korea, Vol.38.
- Cho, H.J. and Kim, W.J., 2007, A Study on Conservation Works Trend of Architecture Heritage in Buddhism, Korean Association of Architecture History, 16(3), 45.
- Do, J.Y., 2008, Characterization of Noerog, A Traditional Green Mineral Pigment, J. Miner. Soc. Korea, 21(3), 271-281.
- Do, J.Y., 2009, A Study on Functionality of the Ulreungdo Seokganju as Korean Traditional Red Pigment, J. Miner. Soc. Korea, Vol.22, No.2, 153-162
- Han, K.S., 2001, Pigments of Mural Paintings in Dunhuang Mogao Caves, Art History Association of Korea,

- 177-197.
- Han, M.S. and Hong, J.O., 2003, A study on the analysis of ancient pigments - Focus on the Buddha pigments at the Ssanggye temple, National Research Institute of Cultural Heritage, Vol.24, 131-152. (in Korean with English abstract)
- Han, M.S. and Hong, J.O., 2005, A scientific analysis of pigments for the Ilweoloakdo, Conservation Studies, National Research Institute of Cultural Heritage, Vol.26, 165-188. (in Korean with English abstract)
- Han, M.S., 2011, A Scientific Analysis of Ancient Pigments on Wall Paintings at Yeongsanjeon in Tongdo Temple Using a Field-XRF, Korean Journal of Cultural Heritage Studies, Vol.44, No.3, 132-149.
- Han, M.S., 2011, Scientific Analysis of Traditional Pigments. Tributaries Fabric Cultural Heritage Conservation, National Research Institute of Cultural Heritage, 276-289. (in Korean with English abstract)
- Jana Sanyova-Sophie Cersoy-Pascale Richardin-Olivier Laprevote-Philipp Walter-Alain Brunelle, 2011, Unexpected Materials in a Rembrandt Painting Characterized by High Spatial Resolution Cluster-TOF-SIMS Imaging, American Chemical Society, Vol.83, 753-760.
- Jeong, H.S., Byung, G.C. and Hee, S.J., 2011, Pigment Analysis and Conservation Method of Avalokitesvara in Potalaka of Hyeondeungsa, Gapyeong, Conservation Studies, Vol.27, No.2, 223-229. (in Korean with English abstract)
- Jeong, J.M., 2001, Materials and Techniques of Korean Painting, Color and Fill in Our Pictures, Hakgojae.
- Kim, H.K., 2002, Focusing on the Pigment Study on Dunhuang Grottoes Murals, Buddhist Archeology, Vol.2, Uiduk University, 21-28.
- Kim, K.H., Song, Y.N., Lim, D.S. and Song, J.J., 2007, The Nondestructive Analysis of the Pigments on the Korean 12-fold screen, Haehakbando-do, Conservation Studies, National Research Institute of Cultural Heritage, Vol.28, 122-147. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H., 1997, Study on the materials and techniques of fluoride considered, Study of Oriental Studies, Vol.2, 233-282.
- Kim, W.R., An, H.J., 2004, History of Korea Art, Contractor.
- Michele R. Derrick-Dusan Stulik-James M. Landry, 1999, Infrared Spectroscopy in Conservation Science-Scientific Tool for Conservation, The Getty Conservation Institute.
- Moon, S.Y., Yu, H.S. and Ham, S.W., 2009, A Study on Pigments used to Portrait of Lee Ha-eung(GeumGwan JoBokBon), Hochkultur, Vol.73, 111-134.
- Moon, S.Y., 2007, Woohak Foundation Possession Royal Nectar Pigment Analysis, Cultural properties conservation the 10 years, Yong In University, 207-215.
- Moon, W.S., 2004, Scientific analysis of the pigments gwaebul, Gwaebul, National Research Institute of Cultural Heritage, 178-201.
- Park, J.H., Kim, S.J., Kim, S.K., 2011, Analysis of fiber and pigment in Palsapumdo from Hyeonchungsa, Conservation Studies, Vol.32, 76-87. (in Korean with English abstract)
- Park, J.S., 1999, Scientific Conservation and Management of Fluoride, Fluoride in Korea, Vol.18, Research Institute of Sungbo Cultural Heritage, 197-210.
- Rutherford J. Gettens-George L. Stout, 1966, *Painting Materials: A Short Encyclopaedia*, Dover Publications, Inc., New York.
- R. Mazzeo-E. Joseph-V. Minguzzi-G. Grillini-P. Baraldi, 2005, Scientific Investigations of the Tokhung-ri Mural Paintings of the Koguryo Era, Democratic People's Republic of Korea, Koguryo Mural Paintings Conservation International Seminar, 3-17.
- Seoul Museum of History, 2009, Pigments Applied On Documentary Paintings Of The Joseon Dynasty, 8-48. (in Korean with English abstract)
- Shin, E.J., Han, M.S. and Kang, D.I., 2005, A study on the Red Painting of stone monuments, Korean Journal of Cultural Heritage Studies, Vol.38.
- Sin, J.S., 2009, Using the History of Our Country and of the Mineral Pigments, Ceramist, Vol.12, No.4, 98-105
- The Office of Cultural Properties, The Survey Report of Hwaeomsa in Gurye, Ministry of Culture and Communications, 1986, 140-145.
- Yu, H.S., 2005, Taejo a given pigment analysis, Jeonju National Museum, 242-265.