

## 전통 녹색 석채로 사용된 “뇌록”의 특성연구

### Characterization of Noerog, A Traditional Green Mineral Pigment

도진영(Jin Young Do)<sup>1,\*</sup> · 이상진(Sang Jin Lee)<sup>1</sup> · 김수진(Soo Jin Kim)<sup>2</sup> ·  
윤윤경(Yun Kyung Yun)<sup>1</sup> · 안병찬(Byung Chan Ahn)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경주대학교 문화재학부

(School of Cultural Assets, Gyeongju University, Gyeongju 780-712, Korea)

<sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부

(School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Korea)

요약 : 조선시대에 녹색 광물 안료로 사용되었던 “뇌록(腦綠)”은 경북 포항시 장기면 뇌성산에서 제 4기 현무암질 화산쇄설암 내에 맥상 또는 공극충진상으로 산출되며, 주 구성광물은 셀라도나이트(celadonite)로 소량의 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 모테나이트 및 단백석을 함유한다. 뇌록의 원석인 뇌록석은 주로 수백  $\mu\text{m}$ ~수십  $\mu\text{m}$  크기의 미세한 셀라도나이트라는 일종의 점토광물로 구성되어 있으며, 수  $\mu\text{m}$  이하의 작은 입자들은 응집현상을 보여준다. 입자크기가 71  $\mu\text{m}$  이하로 감소하면서 그 착색율은 월등히 증가하였다. 은폐력은 입자 크기가 0.2~0.3  $\mu\text{m}$ 일 경우 최대값을 나타내었으며, 초미분인 200 nm 이하에서 투명도가 최대값을 보였다. 내광성과 항균성은 일반안료와 비교했을 때 뛰어난 효과를 보여준다. 현존 단청 기술을 접목한 전색제 채색 실험 결과 32  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 가장 양호한 도색효과를 보여주고, 그 이상의 입도에서는 도색이 불가능하였다.

주요어 : 광물 안료, 셀라도나이트, 뇌록, 단청

**ABSTRACT:** The “Noerog”, a traditional green mineral pigment occurs as veins or cavity-fillings in the basaltic pyroclastic rocks of Quaternary Epoch in Mt. Noeseong in Janggi-myeon, Pohang. The “Noerog stone” mainly consists of celadonite with minor chlorite/smectite, mordenite and opal. Celadonite grains are several hundreds to several tens of  $\mu\text{m}$  in size. The particle sizes under several tens of  $\mu\text{m}$  are likely to coagulate to aggregates. The coloring rate increases rapidly with decreasing particle size under 71  $\mu\text{m}$ . The hiding power is maximum in the particle sizes of 0.2~0.3  $\mu\text{m}$ . The resistance properties of the Noerog to both the light and the bacteria are absolutely superior to ordinary chemical pigments. The transparency of the Noerog is maximum in the nano-powders under 200 nm. Examination of the color of the Noerog pigment which has been prepared by traditional technique for “dancheong” shows that the best coloring effect is found in the particle sizes under 32  $\mu\text{m}$  and that the painting was not successful for the Noerog of particle size over 32  $\mu\text{m}$ .

**Key words :** Noerog, mineral pigment, celadonite, Dancheong

\*교신저자: hdjy@kju.ac.kr

서 론

균성에 대한 연구도 시행하였다.

고건축의 단청, 전통 회화, 채색조각 등 각종 채색 문화재에는 다양한 광물안료가 전통 무기 안료로 이용되어 왔다. 그러나 근래 퇴락된 문화재의 보수가 진행되면서 전통적인 재료와 기술이 상세하게 밝혀지기도 전에 전통적인 광물 안료는 새로운 인공안료로 급속하게 대체되었다. 특히 우리 민족 고유의 단청을 보수 또는 복원할 때 일본 또는 유럽에서 제조된 인공 무기안료를 대부분 사용하고 있을 뿐만 아니라 단청기술자들마다 서로 다른 무기안료를 사용하고 있어서 우리나라 고유의 전통색상이 재현되고 있지 않아서 건축문화재의 보존이 크게 우려되고 있다(이상진 외, 2007a).

“뇌록(靑綠)”은 경북 포항시 장기면에 위치한 뇌성산(靑城山)에서 산출되는 녹색(靑色)을 띤 광물질 물질로서 고건축에 녹색 광물안료로 사용되어 왔다. 단청에는 녹색 안료가 기본 바탕색으로 사용되었는데(곽동해, 2002), 역사기록에 따르면 ‘뇌록’이 불국사 대웅전, 기림사 대적광전, 보경사 대적광전 등 조선시대 주요 건축물의 단청에 사용되었다(안병찬 외, 2007). 뇌록은 경상도 장기현, 황해도 풍천군, 평안도 가산군 등에서 산출되는 것으로 기록되어 있다(이상진 외, 2007b).

원료와 더불어 가공기술 또한 채색안료의 중요 관건으로, 광물안료는 원석 채취에서부터 연마, 수비 등 일련의 가공단계를 거쳐야 얻을 수 있으나(Mora et al., 1984), 이와 같은 가공기술에 대한 정보는 전해지고 있지 않으며, 광물안료에 대한 국내에서의 연구는 현재 고분벽화의 보존을 위해 벽화에 사용된 안료분석에 한정되어 있다(안병찬, 2003; 유혜선, 2005; Mazzeo, 2004).

과거 수백년 동안 전통 건축물에 사용된 뇌록의 특성과 제작기법에 대한 연구를 통하여 전통적인 단청의 색상을 재현하여 퇴락된 건축문화재를 보수 또는 복원할 때 이를 적용하는 하는 것이 시급한 단계에 와 있다. 그래서 본 연구에서는 우리나라 고유의 전통 색상 중에서 조선시대 건축물의 바탕칠(가칠)에 사용되었던 뇌록의 광물학적, 화학적 및 발색 특성과 함께 전통 뇌록안료를 제작하여 이에 대한 재료과학적 특성을 연구하였으며, 또한 뇌록안료가 바탕칠로서 이용된 이유를 찾기 위하여 뇌록의 향

연구 방법

경북 포항시 장기면 뇌성산 일대에서 산출되는 뇌록에 대한 광물학적 특성을 연구하기 위하여 야외조사와 실내연구를 실시하였다. 제4기 현무암 지대에서 화산쇄설암 내에 맥상 또는 간극충진상으로 산출되는 뇌록의 시료를 채취하여 박편을 제작하였으며, 구성광물의 광학적 특성을 연구하기 위하여 편광현미경 관찰을 실시하였다. 뇌록의 미세구조와 광물조성을 밝히기 위하여 주사전자현미경 관찰 및 X-선회절분석을 실시하였다. UV-VIS, FT-IR 분광분석과 전자현미분석을 실시하여 뇌록의 발색원인과 구성광물의 화학성분을 분석하였다.

현존하는 국내의 고문서에서는 뇌록의 가공법에 대한 언급을 확인할 수 없어서, 동일한 시기인 17세기에 중국에서 저술되었던 “천공개물(天工開物)”을 참고하여 뇌록 원석을 가공하여 분말로 제조하였다(송응성, 1997). 문헌에 따라 약연기를 이용하여 뇌록광석을 분쇄한 후 수비 과정을 거쳐 입자크기 별로 분리하였으며, 수분을 건조시킨 후 주사전자현미경을 이용하여 입자크기를 확인하였다.

입자 크기별로 분리된 뇌록시료는 색차계(Spectrophotometer CM-2600d, Japan)를 이용하여 입자크기에 따른 색상특성을 조사하였다. 제작된 뇌록분말과 아교액을 혼합하여 목조건축물의 자재로 사용되고 있는 홍송(紅松) 표면에 바탕칠(가칠)을 하여 입자크기에 따른 색상특성과 그리고 자외선조사기를 이용하여 채색한 뇌록 안료의 내광성을 연구하였다.

바탕칠로 이용된 뇌록안료의 기능성을 연구하기 위하여 곰팡이균을 이식하여 생장 상태를 조사하는 항균성 시험을 실시하였다. 뇌록안료의 항균성 시험을 위하여 홍송 시편(3 × 3 cm)을 제작하여 1) 뇌록분말과 증류수를 혼합하여 채색한 시편, 2) 뇌록분말과 아교액을 혼합하여 채색한 시편, 그리고 3) 표면 채색을 하지 않은 시편으로 구분하여, 각 시편에 대하여 10종의 곰팡이 배양액 일정량을 표면에 접종한 후 28℃로 유지되는 배양기에서 20일간 배양하여 접종 전과 후의 변화를 비교하였다.

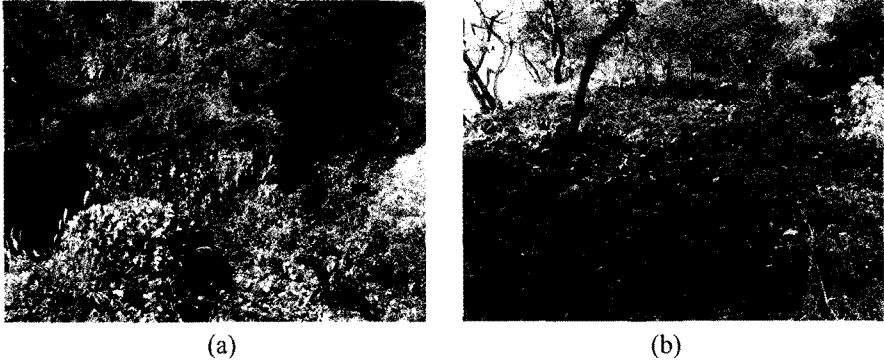


Fig. 1. (a) Open pit where the Noerog stone was mined in Janggi, Pohang. (b) Mine waste dump.

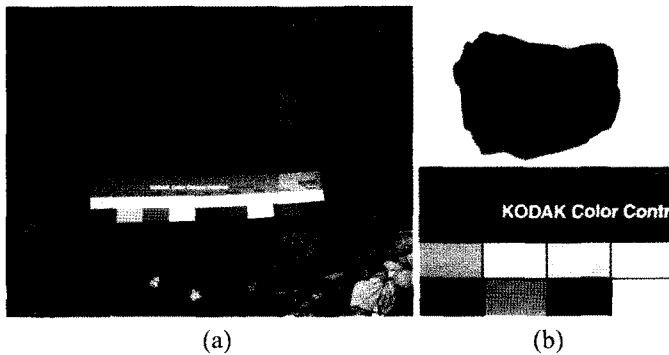


Fig. 2. (a) Occurrence of Noerog stone in veins or fissure filling. (b) Noerog specimen.

## 연구 결과

### 뇌록의 산출상태

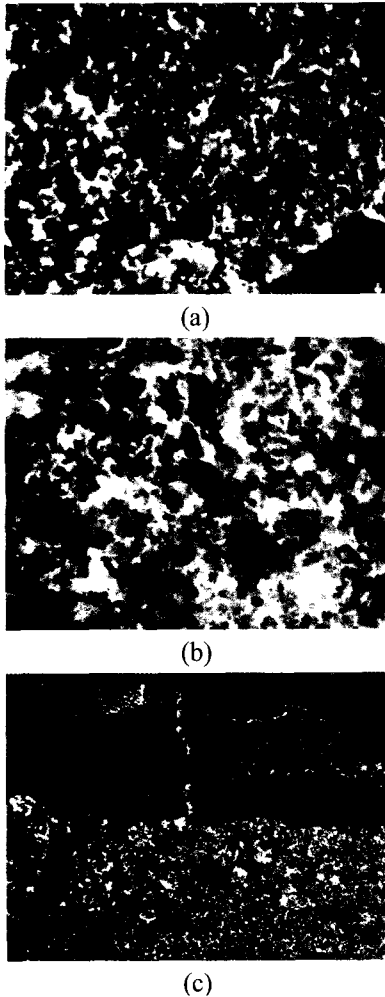
경북 포항시 장기면 뇌성산 동남쪽 사면의 현무암 지대에서 전통 녹색 안료로 사용되었던 뇌록이 산출된다. 이 뇌록은 채굴 흔적으로 보아 과거에 수차례에 걸쳐 채굴되었던 것으로 추측된다. 채굴적은 가로 약 40 m, 세로 약 20 m, 깊이 약 15 m로 관찰되며, 채굴 및 선광 작업 후에 폐기된 폐석더미로 보아 오랫동안 많은 채광 작업이 이루어졌던 것으로 추정된다(그림 1).

뇌록은 제4기 현무암질 화산쇄설암 내에 맥상 또는 간극 충전상으로 산출되며, 뇌록의 균열 충전 정도는 광화대 중심부에서는 높지만 가장자리로 갈수록 낮아진다(그림 2). 균열의 발달로 만들어진 암괴들의 장경은 20~50 cm이고 등변 사각형에서 장방형에 이르는 여러 모양과 크기를 가지고 있다. 현무암 균열을 충전하고 있는

뇌록은 그 두께가 대체로 1~3 cm 이하이며 수 mm 이하의 경우도 흔하게 관찰할 수 있다.

### 편광현미경 연구

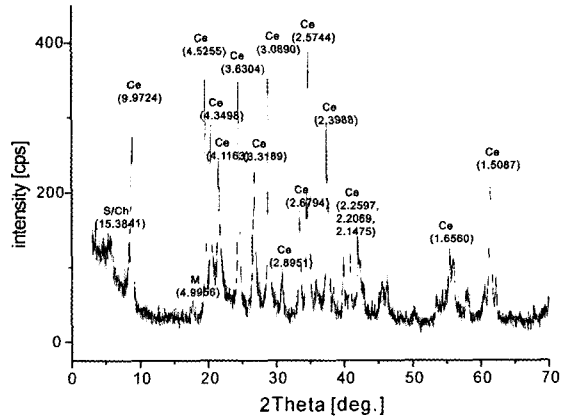
편광현미경하에서의 관찰에 의하면 셀라도나이트 입자들 사이의 공간에 녹니석/스멕타이트 혼합층광물이 채우고 있고, 경우에 따라서는 모데나이트 세맥이 관찰된다(그림 3a). 셀라도나이트는 편광현미경하에서 다소 두께가 두꺼운 경우에는 진한 녹색을 보여주지만 두께가 얇은 경우에는 담록색을 보여주고 있으며 극히 세립질인 경우에는 황록색을 띤다(그림 3b, c). 입자들은 결정면을 보여주는 경우도 간혹 있으나 일반적으로 타형을 이루고 있다. 입자들의 크기는 가장 큰 것이 0.3 mm이고, 0.3~0.07 mm의 입자도 소량 관찰되나, 대부분이 0.07 mm 이하이다. 이들 입자들도 실제로는 하나의 결정이 아니라 미세 입자들이 집합체를 이루고 있다.



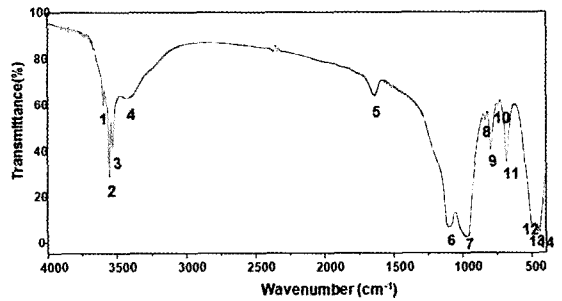
**Fig. 3.** Microphotographs of the Noerog stone. (a) Celadonite showing dark green color ( $\times 60$ ) (b) Celadonite showing pale green color ( $\times 120$ ), (c) The large celadonite grains are green (lower half), but nano-sized celadonite grains are yellowish green (upper half). Irregular mordenite thread and thin silica veinlet are seen ( $\times 120$ ).

### 뇌록의 광물학적 특성

뇌록은 편광현미경관찰(그림 3) 및 X선회절 분석(그림 4) 결과, 주로 녹색의 셀라도나이트(celadonite)로 구성되어 있으며 그 외 녹니석/스멕타이트 혼합층광물, 모데나이트 및 단백석을 포함하고 있다. 셀라도나이트는 2 : 1 층상구조를 가진 점토광물의 일종으로서 이팔면체형(dioctahedral) 층상구조를 가지고 있고 Fe가 풍



**Fig. 4.** X-ray powder diffraction pattern of the Noerog stone (S/Ch : smectite/chlorite, Ce: celadonite, M: mordenite).



**Fig. 5.** FT-IR spectrum of the Noerog stone.

부한 운모의 일종이며 단사정계이다. 셀라도나이트의 일반 화학식은  $K_2(Mg_2, Fe^{3+})_2(Si_8, Al)O_{20}(OH)_4$  (Bailey, 1980)이다.

뇌성산에서 산출하는 뇌록의 주 구성 녹색광물에 대한 X선회절분석결과,  $d_{060} = 1.509$ 이며, IR 흡수스펙트럼에서  $3610 \sim 3530 \text{ cm}^{-1}$ 에서 예민한 OH stretching 흡수곡선을 보여주고 있어서 셀라도나이트가 확실하다. 셀라도나이트의 화학조성을 알기 위하여 전자현미분석(표 1 중 1~3번) 및 광석 중 불순물이 적은 종합시료에 대한 습식분석(표 1의 4번, 한국지질자원연구원에서 분석수행)을 시행하였다. 화학분석 중 전자현미분석값은 셀라도나이트 입자들의 경도가 낮아서 연마편 제작시에 연마편의 연마편이 평탄하지 못하게 제작되어 분석값이 다소 적게 나왔지만 전반적인 원소들의 경향을 보여주기 위하여 습식분석값과 함께 표시하였다. 또한 습식분석값도 검토결과 많은 양의 실리카를 함유하고

**Table 1.** Chemical analyses of celadonites in “Noerog stone” from Janggi, Pohang, Korea

	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	54.21	53.60	51.89	61.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.76	3.50	3.47	6.84
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.04	0.04	0.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.35	9.69	9.27	8.93
FeO	3.42	3.21	3.07	2.22
MgO	6.23	5.68	6.17	3.80
MnO	0.05	0.04	0.03	0.02
CaO	0.06	0.14	0.08	1.88
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.03	0.04	0.74
K <sub>2</sub> O	8.87	9.11	8.55	5.09
H <sub>2</sub> O*	13.89	14.96	17.48	8.40
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

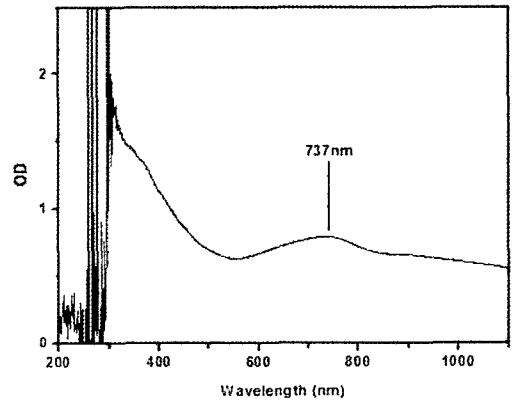
H<sub>2</sub>O\*: by difference, 1-3 : by Electron microprobe analyses, 4 : by wet chemical analysis

있어서 셀라도나이트의 화학식을 계산하는데 어려움이 있었다.

셀라도나이트와 글로코나이트(glaucanite)는 구조적 및 화학적 유사성 때문에 오랫동안 논쟁의 대상이 되어 왔다. 성인적으로 글로코나이트는 퇴적층에서 산출되고 셀라도나이트는 화산암에서 변질물로 산출되는 것으로 과거에 인식되었으나 이러한 성인적 구분은 옳지 않은 것으로 판명되었으며(Weaver and Pollard, 1957; Newman, 1987), 이 두 광물이 서로 동일한 결정구조를 가지고 있는 유질동상의 관계에 있다는 것이 밝혀졌다(Foster, 1969). 이 두 광물은 광물학적으로 서로 독립된 광물종이며 화학적 및 구조적으로 구분되는 것으로 밝혀져서(Buckley *et al.*, 1978), AIPEA 용어위원회에서도 이를 수용하고 있다. 이 셀라도나이트의 결정구조에 있어서 팔면체 사이트에는 3가의 Al과 Fe<sup>3+</sup>가 2가의 Mg와 Fe<sup>2+</sup>에 의하여 치환되어 있어서 팔면체 시트에 3가 양이온과 2가 양이온이 쌍쌍을 이루고 있으며, 층간에 존재하는 양이온(Na, Ca, K)의 함량도 대체로 셀라도나이트의 영역에 속한다.

적외선흡수분광분석

셀라도나이트의 적외선흡수분광스펙트럼은 3600 ~ 3532 cm<sup>-1</sup> 범위 내에서 3개의 예민한 피크(3600, 3556, 3532 cm<sup>-1</sup>)와 3578 cm<sup>-1</sup>에서 약한 피



**Fig. 6.** UV-VIS spectrum of the Noerog stone.

크를 보여주고 있다(그림 5). 이 4개의 피크는 광물 내에서 수소결합을 하지 않은 O-H 스트레칭에 의한 것으로서 Al, Mg, Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>를 포함하고 있는 팔면체구조에 있어서 3가 이온들의 쌍쌍결합을 나타낸다. 839 cm<sup>-1</sup> (AlMgOH)와 798 cm<sup>-1</sup> (Fe<sup>3+</sup>MgOH) 피크는 팔면체 사이트의 쌍쌍결합에 대한 O-H 변형에 의한 것이다.

뇌록의 녹색 발색원인

뇌록광석이 가지고 있는 녹색의 발색원인을 살펴보기 위하여 UV-VIS 분광분석을 실시한 결과, 뇌록의 흡수스펙트럼은 결정장 분리에 의

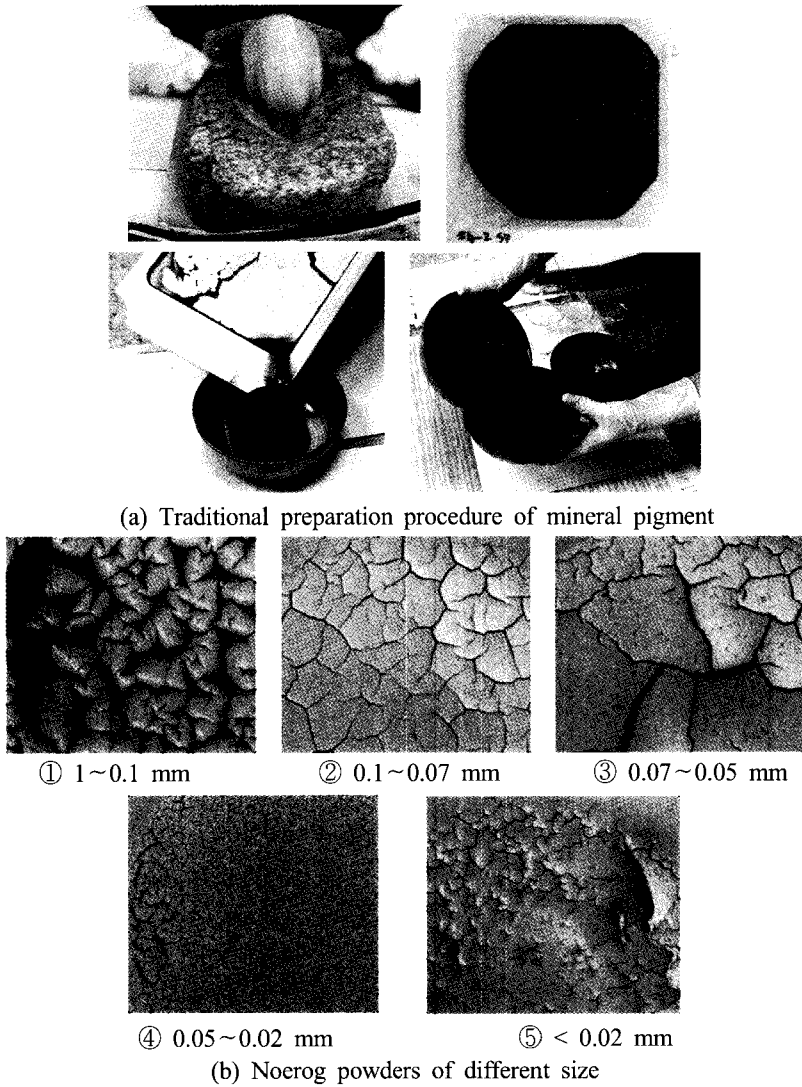


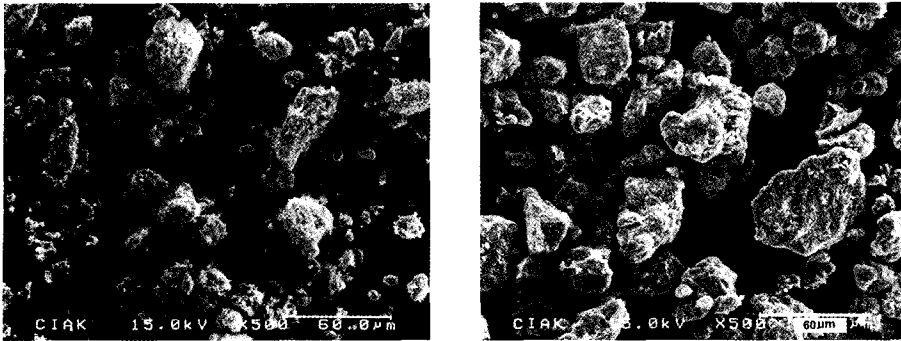
Fig. 7. Traditional preparation procedure of the Noerog pigment.

하여  $Fe^{2+}$ 의 3d 오비탈에서 생긴 에너지 차이에 해당하는 스펙트럼의 흡수가 주로 적색영역 (737 nm)에서 일어나고 있다는 것을 보여주고 있다. 그리고 자외선 영역에서의 강한 흡수가 보라-남색-청색 영역에까지 연장되고 있어서 백광 중의 녹색 파장이 통과되어  $Fe^{2+}$ 의 특징적인 녹색을 띠는 것으로 해석된다(그림 6).

#### 뇌록안료의 제작 연구

뇌록을 약연기로 분쇄하여 수비작업을 거친

후 입자 크기별로 구분하였다(그림 7). 전통방식으로 제작된 뇌록분말은 전자현미경하에서 수백  $\mu m$ 에서 수십  $\mu m$  크기의 입자 크기 분포를 가지는 것으로 확인되었으며, 특히 수  $\mu m$  이하의 입자들이 응집하여 형성되어 있는 것으로 나타났다(그림 8). 이와 같은 응집현상은 뇌록석을 수비와 건조를 거치는 과정에 자연적으로 형성되는 것으로서, 미분 원료의 콜로이드 현탁액은 일반적으로 높은 표면적과 비교적 낮은 용해도를 가지며 수계에서 수화에 의해 입자표면이 전하를 띠게 되므로 콜로이드 현탁액 내부에서 반대



**Fig. 8.** Microphotographs of the Noerog powder prepared by the method of traditional process. The celadonite particles are from several hundreds  $\mu\text{m}$  to several tens  $\mu\text{m}$  in size.

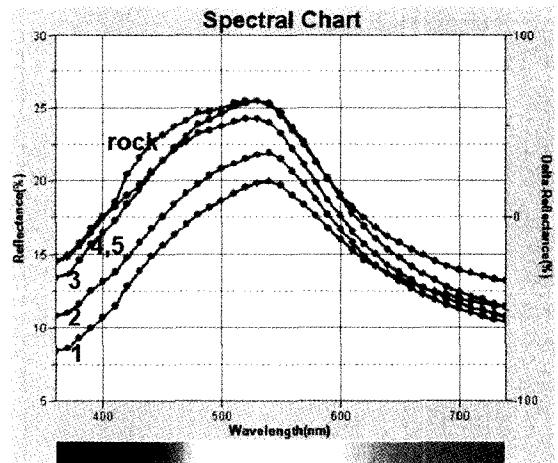
**Table 2.** Colorimetric system in  $L^*a^*b^*$  of Noerog pigment made by traditional process

particle size	$L^*$	$a^*$	$b^*$	color
Noerok ore	42.42	-5.22	3.63	
1~0.1 mm	49.54	-8.59	5.36	
0.1~0.07 mm	51.31	-10.11	3.93	
0.07~0.05 mm	54.69	-10.97	2.26	
0.05~0.02 mm	53.41	-10.68	0.16	
< 0.02 mm	54.87	-9.43	-0.25	

르발스 힘과 정전기적 힘으로 인한 입자간 인력에 의해 이러한 응집체들이 자발적으로 생성된다(Reed, 1988). 따라서 효과적인 분산을 위해서는 분산제를 첨가하거나 입자 표면의 전하를 제어하는 분산기술의 적용이 필수적인 것으로 판단된다(Chang & Lange, 1994).






#### 뇌록안료의 색상

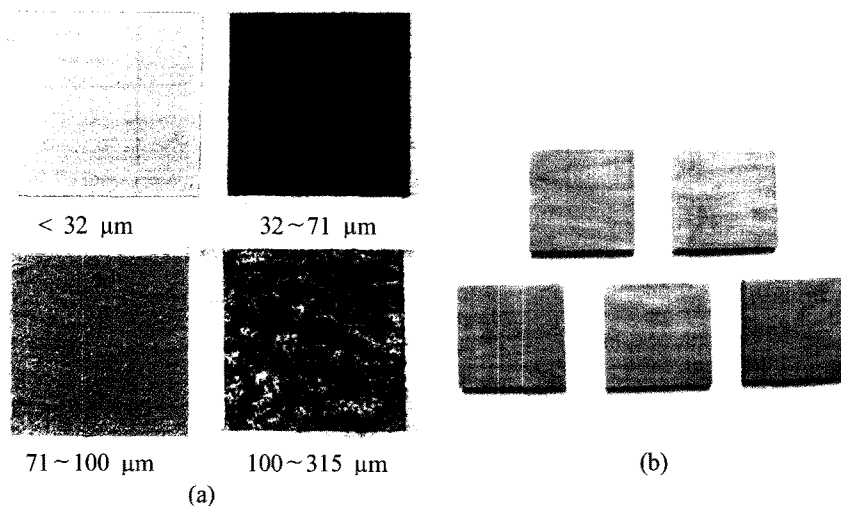
전통방식에 의하여 가공한 뇌록안료의 색상을 색차계를 이용하여  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값으로 표현하였으며 도출된 색상은 표 2와 같다.  $L^*a^*b^*$  색차표에서  $L^*$ 는 명도를,  $a^*$ ,  $b^*$ 는 색의 방향을 나타낸다( $b^*$ 는 노란색 방향을 표시하고  $-b^*$ 는 청색 방향을 표시한다). 각 방향으로 수치가 커짐에 따라서 색도는 증가하게 되고, 0에 가까울수록 무채색으로 된다. 뇌록은  $L^*$ 값에 비하여 분쇄한 뇌록분말의  $L^*$ 값은 증가하였으나,  $a^*$ 값은 감소하는 경향을 보였으며, 이러한 결과는 그림 9의 분광반사율곡선에서도 동일하게 확인되었다. 따라서 분쇄한 뇌록분말들은 입자크기가 작아질수



**Fig. 9.** Spectral reflectance of the Noerog pigment for different particle sizes. Note that the maximum reflectance takes place at slightly higher wavelength in the finer particles than in the coarser ones, and that the reflectance is more broad in the coarser particles than in the finer ones (particle size; #1 : < 0.02 mm, #2 : 0.05~0.02 mm, #3 : 0.07~0.05 mm, #4 : 0.1~0.07 mm, #5 : 1~0.1 mm).

**Table 3.** Colorimetric system in L\*a\*b\* of Noerog pigment by particle size with glue in wood

Particle size	L*	a*	b*	color
100 μm~315 μm	40.61	-5.11	11.00	
71 μm~100 μm	35.41	-9.06	6.32	
32 μm~71 μm	45.34	-10.12	8.62	
< 32 μm	52.44	-10.42	8.44	
150 nm	64.24	-5.41	10.05	



**Fig. 10.** Color of the Noerog pigments which were painted on the wood plates. (a) Color difference of the Noerog pigments of different particle sizes. (b) Transparent character of the ultrafine (150 nm) Noerog pigment.

록 뇌록 원석에 비하여 명도가 증가하여 밝아지는 경향을 보여주며, a\*값의 - 증가는 녹색 색상에 더욱 근접하는 경향을 보이는 것으로 해석할 수 있다.

뇌록안료의 채색성을 조사하기 위하여 사찰 등의 목조 건축물에 일반적으로 사용되고 있는 홍송의 표면에 입자 크기별 뇌록분말과 아교액을 혼합하여 채색한 결과를 표 3 및 그림 10과 같다. 이때 뇌록은 현대 안료분말가공법과 같이 처리하여 100~315 μm, 71~100 μm, 32~71 μm와 32 μm 이하의 입자크기 등 입자크기를 4 단계로 분리하였으며, 150 nm 크기의 초미분으로도 가공하여 입자크기별 채색성을 살펴보았다. 입자가 큰 뇌록분말로 채색된 것은 상대적으로 어두운 색상을 보였으며, 71 μm 이상의 입자크기는 채색이 불가능한 결과를 보였다. 입자가 커지면 굴절률이 커지기 때문에 어두운

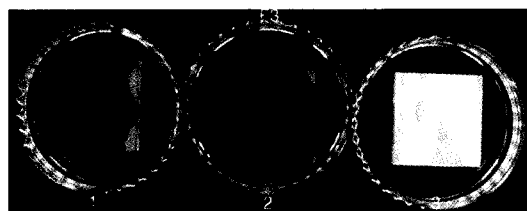
색상을 나타내는 것으로 보이며, 큰 입자의 경우 바인더인 아교액과의 혼합에서 분산성이 급격하게 저하되어 채색성이 떨어지는 것으로 해석된다. 안료의 채색성은 은폐력과 직접적인 관계가 있으며, 은폐력은 입자 크기의 감소됨에 따라 증가하고 0.2~0.3 μm 크기의 입도 범위에서 은폐력이 최대가 된다고 알려져 있다(배광현 외, 2002). 뇌록 분말 입자크기가 감소함에 따라 채색성은 향상되었으나 초미분의 150 nm 크기에서는 은폐력이 감소하여 바탕재인 홍송의 나뭇결이 드러났다. 이와 같은 결과는 200 nm 이하 초미분 입자의 입자 크기는 빛의 파장보다 작아서 투명성이 증대되었기 때문에 도출된 것으로 보인다. 뇌록 분말은 입자의 크기가 32 μm 이하일 때 착색력과 은폐력 등 채색성이 우수하여 안료로서 적합하다고 판정되었다.

건축물의 표면에 채색을 하는 경우 자연광 또

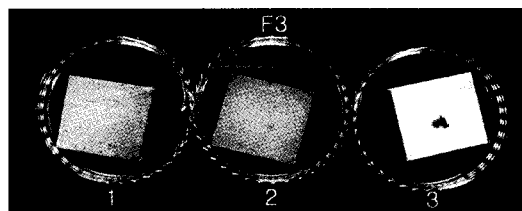


**Table 4.** Color change of various pigments by irradiation of UV in 96 hours

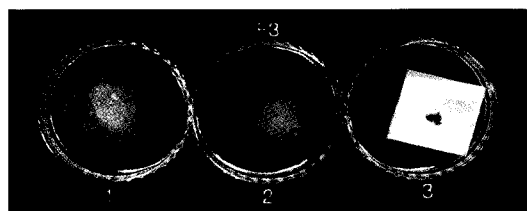
Pigments	Before UV irradiation			After UV irradiation			Difference of Color $\Delta E$
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
Noerog	56.41	-10.50	7.50	53.99	-9.12	6.48	2.97
Light Green	58.43	-46.26	45.14	68.00	-15.63	16.12	43.27
Cyanine Green	26.77	-11.48	-0.39	44.18	-20.49	-2.46	19.71
Olive Green	35.16	-4.53	17.36	60.25	-7.07	1.09	30.01
SAP Green	33.40	-17.78	12.13	52.58	-20.76	2.97	21.46



(a) inoculation of black fungi



(c) after 190 days



(b) after 42 days

**Fig 11.** Antibiosis test with black fungi for the Noerog powders on the wood plate. The photos show that the inoculated fungi are not cultivated in the Noerog powder (1 : Noerog powder and glue on the wood plate, 2 : Noerog powder and water on the wood plate, 3 : wood plate only).

는 조명 환경에 노출되므로 내광성은 안료의 중요한 기능 중의 하나로, 이에 대한 뇌록의 성질을 자외선 조사로 인한 색상변화로서 살펴보았다. 자외선 조사시험을 위해 착색력과 은폐력이 가장 우수한 것으로 판단된 32  $\mu\text{m}$  이하의 뇌록 분말을 선택하여 아교액을 혼합하여 홍송에 채색하였다. 시료에 대하여 96시간 자외선조사 후의 색상을 측정하여, L\*, a\*, b\* 색차표로 나타냈으며 도출된 색상결과를 표 4에 나타내었다. 자외선 조사시험 전과 후 뇌록분말의 L\*, a\*, b\* 색차  $\Delta E$ 는 2.97로 측정되어, NBS (National Bureau of Standard in USA) 규격에 따른 색차정도는 “눈에 떨 정도”이며 비전문가에 의해서도 색차가 식별이 가능한 것으로 판정되었다. 이 수치의 상대적 평가를 위하여 현재 건축물의 단청에 사용되고 있는 시판 녹색안료 4가지를 대상으로

자외선조사시험을 실시하여 시판안료의 L\*, a\*, b\* 색차  $\Delta E$ 가 19.7 이상, 특히 명도수치 L\*이 큰 값으로 변화하였음을 확인하였다. 이와 같은 비교시험결과로 볼 때 뇌록분말을 이용한 뇌록 안료는 상대적으로 내광성이 뛰어난 것으로 평가할 수 있다.

#### 뇌록안료의 항균성

뇌록안료의 항균성을 시험하기 위하여 곰팡이 10종의 배양액 일정량을 준비된 목재 시편에 접종하고 28°C에서 배양하였다. 배양하는 과정에서 곰팡이의 생장을 원활하게 하기 위하여 멸균 배양액 일정량을 주기적으로 목재시편에 처리하였다. 항균기능성 조사 결과, 뇌록안료로 채색한 시료와 채색하지 않은 시료 모두 곰팡

이균이 성장 속도가 매우 느린 것으로 나타났으나, 곰팡이균 접종 후 42일과 190일이 경과한 후 살펴본 결과, 뇌록안료에 의한 곰팡이균의 성장이 더 저지되는 경향이 확인되었다(그림 11). 이와 같은 결과는 뇌록안료가 항균 기능이 있다는 것을 입증하는 것으로 뇌록이 건축물의 바탕칠로서 이용된 주된 이유 중의 하나로 설명될 수 있다.

### 뇌록자원의 잠재성

뇌성산에서 산출하는 뇌록은 과거에는 지표로부터 하부로 노천채광 방식으로 채광되었던 것으로 추측된다. 광화대 중심부의 품위는 약 2~3%로 가장자리의 1% 이하보다 높다. 뇌록이 관찰되는 노두의 발달 상황을 고려하면 지하심부로 내려갈수록 뇌록 광물자원의 부존이 현 지표보다는 더 잘 발달될 것으로 추정된다. 지하에서의 뇌록석의 발달 상황에 대한 정확한 자료를 얻기 위해서는 좀 더 정밀한 지질조사와 함께 시추조사를 실시해야 할 것이다.

### 고찰 및 결론

우리나라 고유의 전통 색채가공법을 적용하여 뇌록석상 가운데에서 조선시대 건축물의 바탕칠(가칠)에 사용되었던 녹색 안료인 뇌록의 특성과 활용성을 연구하였다. 고문헌에 수록되어 있는 뇌록의 생산지에서 뇌록을 채취하여 뇌록의 광물학적 특성과 뇌록의 발색특성을 연구하였다. 또한 전통 광물안료를 단청에 사용가능성을 알아보기 위하여 뇌록을 그 산출지에서 채취하여 이것으로부터 분쇄, 수비, 가공 등 과정을 거쳐 뇌록안료를 제작하여 홍송 표면에 시험시공한 결과 우리나라 고유의 색감을 재현할 수 있었다. 전통 녹색 광물안료인 뇌록에 대하여 시행한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

뇌록은 경북 포항시 지행면 학계리에 위치한 뇌성산 동남쪽 사면 제4기 현무암 지대에서 화산쇄설암내에 맥상 또는 간극충진상으로 산출한다. 뇌록은 지질작용에 의하여 생성된 일종의 광물자원으로서 녹색을 띠고 있고 쉽게 분말로 제작할 수 있어서 전통 무기안료로 사용되어 온 광물안료이며, 주로 셀라도나이트(celadonite)라는 점토광물로 구성되어 있다. 셀라도나이트는 담록색

에서 진한 녹색을 띠고 있으며 산출되는 입자크기는 큰 것이 0.3 mm이고, 0.07~0.3 mm의 입자들도 소량 관찰되나, 0.03~0.07 mm의 크기가 대부분이다.

전통 제작기법을 이용하여 가공한 뇌록분말 입자는 수백 μm에서 수십 μm에 이르는 입자 크기분포를 보여주고 있으며, 수 μm 이하의 뇌록분말 입자들에서는 응집현상이 나타났는데 효과적인 분산을 위해서는 분산제를 첨가하거나 입자표면의 전하를 제어해야만 한다. 분쇄한 뇌록분말입자들은 입자크기가 감소할수록 뇌록 원석에 비하여 명도가 증가하여 밝아지는 경향을 띠었으며, 단청안료로서 채색성과 은폐력이 적합한 안료로서의 뇌록분말 입자크기 범위는 71 μm 이하, 특히 32 μm 이하에서 우수한 것으로 나타났으나, 초미분 입자는 투명함을 띄었다. 뇌록안료의 자외선 조사에 대한 내광성시험 결과 색차변화가 미미하였으며, 항균기능성 조사결과 뇌록안료로 채색한 시료에서 채색하지 않은 시료에 비해 곰팡이균이 성장 속도가 느린 것으로 나타나 뇌록이 채색안료로서의 뛰어난 특성을 지니고 있음이 확인되었다

### 사 사

본 연구는 2007년도 국립중앙과학관 겨례과학기술 응용개발사업 지원에 의해 이루어졌으며, 분석과 해석에 도움을 주신 안동대학교 김정진 교수에게 감사드린다.

### 참고문헌

- 송용성, 최주 주역 (1997) 천공개물. 전통문화사. 서울, 600p.
- 곽동해 (2002) 한국의 단청. 학연문화사, 서울, 514p.
- 배광현, 손정수, 박제신, 안기오 (2002) 카리장석을 이용한 기능성 안료제조 기술 연구, 연구보고서, 산업자원부.
- 안병찬 (2003) 高句麗 古墳壁畫의 製作技法 研究-마당벽 제작기법을 중심으로, 高句麗 壁畫의 世界 제9회 국제학술대회발표집.
- 안병찬, 도진영, 김수진, 이강근, 이상진 (2007) 전통석채원료의 특성연구를 통한 고기능성 뇌록안료 개발 연구, 연구보고서, 국립중앙과학관.
- 유혜선 (2005) 고구려 쌍녕총 벽화의 안료분석, 박물관 보존과학, 6, 국립중앙박물관.
- 이상진, 이강근, 도진영, 김수진, 안병찬 (2007a) 포항 장기 산출 조선시대 뇌록안료의 재료학적 특성 연구

- 구, 2007 동아시아 문화유산 보존 국제심포지엄 발표요지집, 231-232.
- 이상진, 이강근, 김수진, 도진영, 안병찬 (2007b) 조선시대 뇌록색 단청안료에 관한 연구-포항 보경사 대적광전 뇌록색 단청안료, 한국문화재보존과학회 제 26회 학술대회 발표논문집, 77-7
- Bailey, S.W. (1980) Summary of recommendation of AIPEA Nomenclature Committee. *Clay Minerals* 15, 85-93.
- Buckley, H.A., Beva, J.C., Brown, K.M., Johnson, L.R., and Farmer, V.C. (1978) Glauconite and celadonite: two separate mineral species. *Miner. Mag.* 42, 373-382.
- Chang J.C. and Lange, F.F. (1994) Viscosity and yield stress of alumina slurries containing large concentrations of electrolyte, *J. Am. Ceram. Soc.*, 77(1), 19-26.
- Foster, M.D. (1969) Studies of celadonite and glauconite. Prof. Pap. U.S. Geol. Survey 614-F.
- Mora, P., Mora, L., and Philippot, P. (1984) Conservation of Wall Paintings, Butterworths. 250p.
- Mazzeo R. (2004) Scientific Investigations of the Tokhung-Ri Mural Paintings (408 A.D) of the Koguryo Era, Democratic People's Republic of Korea-북한 고구려 덕흥리 고분벽화의 과학적 조사, Conservation of Koguryo Tombs 고구려 고분의 보존, 문화재청 · UNESCO 공동주최보고서.
- Newman, A.C.D. (1987) Chemistry of Clay and Clay Minerals. Mineralogical Society, Monograph No.6, pp.480.
- Reed, J.S. (1989) Introduction to the Principles of Ceramic Processing, Wiley, 486p.
- Weaver, C.E. and Pollard, L.D. (1975) The Chemistry of Clay Minerals. Elsevier Pub. Co., pp.2.
- 
- 접수일(2008년 8월 19일), 수정일(1차 : 2008년 9월 8일), 게재확정일(2008년 9월 9일)