

한국 전통 적색광물안료 울릉도석간주의 기능성 연구

A Study on Functionality of the Ulreungdo Seokganju as Korean Traditional Red Pigment

도진영(Jin Young Do)^{1,*} · 김수진(Kim, Soo Jin)² · 이상진(Sang Jin Lee)^{1,*} · 안병찬(Byung Chan Ahn)^{1,*} · 윤성철(Seong Chul Yun)³ · 김광종(Kwang jong Kim)³

¹경주대학교 문화재학부

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

²서울대학교 지구환경과학과

(Department of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

³경기과학고등학교 지구과학과

(Department of Earth Sciences, Gyeonggi Science High School, Suwon 440-800, Korea)

요약 : 석간주는 적색과 적갈색 등 붉은 빛을 띠는 전통 광물성 안료로 주성분은 산화철이다. 석간주의 광물학적 특성과 기능성을 연구하기 위해서, 문헌에 옛 산지로 나와있는 울릉도 주토굴에서 석간주를 채취하였다. 울릉도주토굴의 석간주광석은 감람석현무암과 각섬석조면암 경계면에서 단속적으로 산출하며, 적갈색 또는 황갈색을 띠고 대체로 점토질이며 부분적으로 암편을 함유하고 있다. 석간주광석 중 적색은 적철석에 의한 것이며, 황갈색은 헤리하이드라이트에 의한 것이다. 울릉도석간주광석의 색상을 결정하는 산화철광물들은 고토양중에서 함철 수용액으로부터 헤리하이드라이트라는 광물로 침전되었으나 부분적으로 적철석으로 전이되었다. 석간주광석을 전통방식에 의해 안료로 제작하여 목재에 재현한 색상은 전통 건축물에서 측정된 붉은색 색상과 유사하였다. 울릉도석간주안료의 내습기능과 방염기능은 화학석간주안료에 비해 월등히 우수한 것으로 확인되었으며 연소시험에서 화학석간주안료는 발화와 연소를 촉진시키는 결과를 보였다. 울릉도석간주안료가 함유된 배지에서 목재부후균의 성장이 저지되는 경향을 보여 울릉도석간주는 방부성을 지닌 채색안료로 판단된다.

주요어 : 석간주, 산화철안료, 울릉도주토굴, 방염성, 방부성

ABSTRACT : The main compositions of "Seokganju", a Korean traditional red mineral pigment, are iron oxides. To investigate its mineralogical and functional properties, we had got its ore from Juto cave in Ulreoung island, which was a famous field of it in Korean documents. The ore occurs as a paleosol between the olivine basalt and amphibole trachyte in discontinuously. It is reddish brown and yellowish brown and consists mainly of clay minerals with minor debris. Its reddish and yellowish brown color are due to the hematite and ferrihydrate, respectively. These iron oxides are precipitated as ferrihydrate from the ferrous water in the paleosol and partly changed to hematite. The color reproduced in timber by using seokganju pigment with traditional tools and methods is similar to that in heritage building. The moistureproofing and fire resistance of Ulreungdo seokganju is far better than

*교신저자: hdjy@kju.ac.kr

that of artificial seokganju. Moreover, the combustion tests show that the artificial seokganju promote the ignition and combustion of the timber. Ulreungdo seokganju is regarded as a pigment with fungicidal efficacy because growth of two wood decay fungi (cov. and typ.) are inhibited in solid medium with it.

Key words : Seokganju, iron oxide red, Juto cave, fire resistance, fungicidal efficacy

서 론

“돌틈에서 나온 붉은색”이란 뜻의 “석간주(石間朱)”라는 용어에서 알 수 있듯이 석간주는 적색과 적갈색 등 붉은 빛을 띠는 광물성 안료로 주 성분은 산화철이다(Winter, 1989). 석간주는 목조 건축물의 기둥에 칠하는 안료로서 뿐만 아니라 각종 문화재의 채색에 중요 적색안료로 사용되었다(곽동해, 2002).

그러나 이러한 전통 광물적색안료인 석간주가 현재는 대부분 인공으로 제조된 화학석간주로 대체되어 모든 분야에 활용되고 있다(조남철 외 2002, 손진균 외 1998). 이렇게 된 데에는 인조안료의 선명한 색채, 채색의 간편함, 저가 및 독성이 적은 안정성과 전통적인 안료제작방식의 번거로움 등을 원인으로 꼽을 수 있으나, 이로 인해 우리 고유의 전통적인 단청의 색상과 재료제작 기술의 맥이 이어지지 못해서 재현이 불가능하게 되었다. 최근 국보 1호인 서울승례문의 화재로 “문화재의 복원”이 문화재계 전반의 큰 화두로 떠오르게 되면서 전통 목조건축물의 단청 복원이 현실적으로 필요한 시점이 되었다. 단청문양은 이미 조사가 되어 있어 복원이 가능하겠지만 지금과 같은 화학안료를 사용하여서는 “복원”이라 할 수 없기 때문에, 소실된 승례문 단청의 완벽한 복원을 위해서라도 전통안료의 특성 파악을 통하여 전통재료와 채색기술이 적용되어야만 한다.

현재 석간주의 산출지역으로 알려져 있는 곳은 계룡산 일대이며, 주로 도자기의 원료로 사용되었다고 한다(이재황 외, 2003). 그러나 고문헌 조사에 따르면 조선시대에 울릉도 주토굴에서 석간주를 수토하여 조정에 공납하였다는 기록이 있으며, 국내에서 가장 유명한 석간주산지인 울릉도 주토굴을 끄는 문구들이 있는 것으로 보아 주토굴의 석간주가 중요 건축물의 적색채색안료로서 사용된 것으로 추측된다(안병찬 외, 2008; 최인숙 외, 2008).

본 연구에서는 전통 광물안료 중 적색을 띠는 석간주안료를 전통적인 수비가공방식으로 제작하고,

그 기능적인 특성을 파악하고자 하였다. 고문헌에서 찾아낸 석간주안료 산지인 울릉도 주토굴에서 원료를 채취하여 석간주광석에 대한 광물학적 특성을 밝히고, 전통 가공기술로 석간주 안료를 재현하였다. 안료를 채색하는 건축물의 단청은 목조 건물을 부식과 충해로부터 예방하며, 기후의 변화에 따른 부재의 풍해, 부후, 건습 반복 등을 방지하여 목부재의 내구성을 강화시켜 목재의 손상을 방지하려는 목적으로도 행해진다(김병호, 1997). 따라서 전통 광물성 석간주안료가 이와 같은 기능성을 지니고 있는지를 화학석간주안료와 비교시험을 통하여 살펴보고, 그 결과로서 광물성 석간주안료의 우수성을 규명해보고자 하였다.

연구 방법

경북 울릉군 서면 태하리 주토굴에서 산출되는 석간주광석에 대한 광물학적 특성을 연구하기 위하여 야외조사와 분석을 실시하였다. 하부의 감람석 현무암과 이를 피복하고 있는 상부 각섬석조면암의 경계부위에서 산출되는 울릉도 석간주광석을 색상별로 분류하여 박편을 제작하였으며, 구성광물의 광학적 특성을 연구하기 위하여 편광현미경 관찰을 실시하였다. 석간주광석의 미세구조와 광물조성을 밝히기 위하여 주사전자현미경 관찰 및 X-선회절 분석을 실시하였으며, 한국지질자원연구원에서 습식정량분석법으로 석간주광석의 주화합성분을 분석하였다.

현존하는 국내의 고문서에서는 석간주 안료의 가공법에 대한 언급을 확인할 수 없어서, 동일한 시기인 17세기에 중국에서 저술되었던 천공개물을 참고하여 석간주광석을 가공하여 안료로 제조하였다(송웅성과 최주, 1997). 문헌에 따라 약연기를 이용하여 석간주광석을 분쇄한 후 수비과정을 통해 입자크기 별로 분리하였으며, 수분을 건조시킨 후 주사전자현미경을 이용하여 입자크기를 확인하였다. 입자크기별 석간주안료와 전색체인 아교액을 혼합하여 목조건축물의 자재로 사용되고 있는 목재

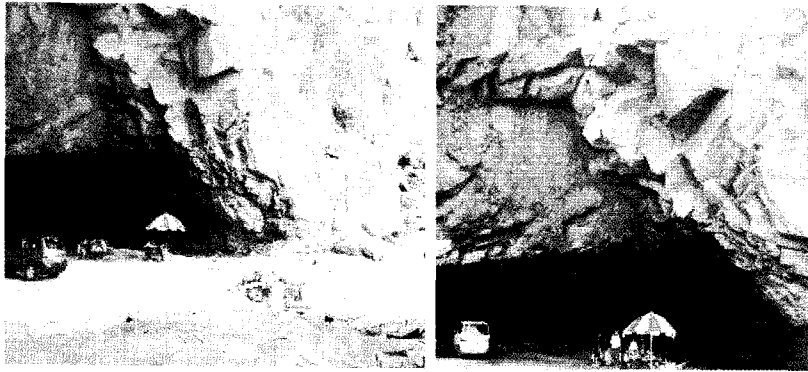


Fig. 1. The foreground of Juto cave, field of seokganju pigment, Taehari, Ulreungdo.

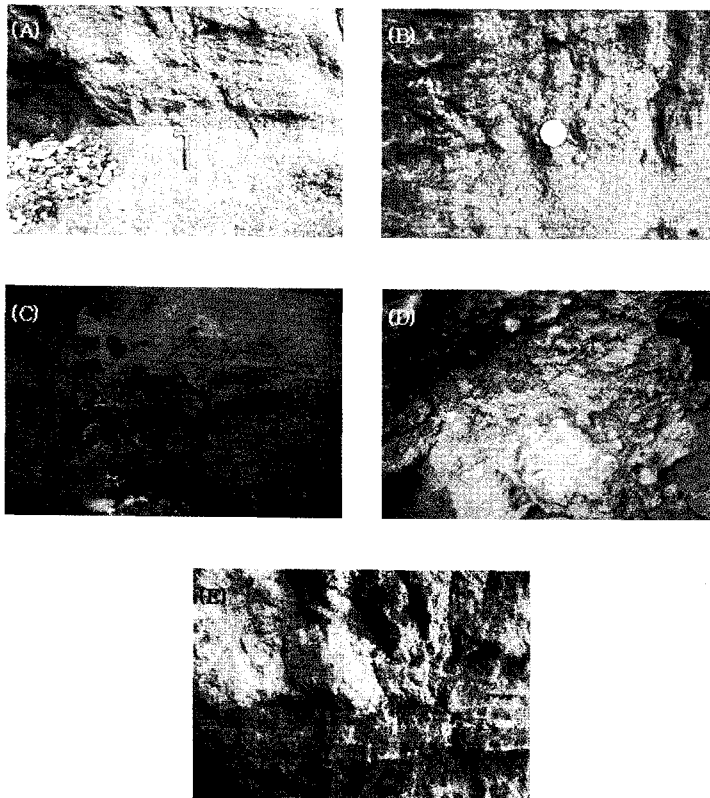


Fig 2. Occurrence of Ulreungdo seokganju ore. (A) Yellowish seokganju ore, (B) Reddish seokganju ore, (C) Covering with mangan oxide, (D) Mixing with olivine basalt, (E) Mixing with white salt.

시편(육송, $5 \times 5 \times 2$ cm)에 칠하였을 때의 채색특성을 조사하였다. 색차계를 이용하여 채색된 석간주안료의 색상특성과 이와 더불어 석간주안료 채색층 위에 전통방식에 따라 참기름과 들기름을 도포한 후 변화된 채색층의 색상의 특성을 분석하였다. 울릉도석간주안료의 기능성을 연구하기 위하여 시

편 화학석간주안료와 함께 목재시편에 채색하여 다양하게 비교시험하였다. 석간주안료들로 채색된 목재시편을 자외선조사기 내에서 손상 가속화시험을 실시하여 석간주안료의 내광성을 조사하였다. 울릉도 석간주안료를 목재시편에 채색완료한 후 상대습도 100%인 곳에 48시간을 둔 후 변화된 무게를 재

Table 1. Color change of the timber specimen painted with Ulreungdo seokganju and artificial seokganju by irradiation of UV in 96 hours

Red pigment	Paint with Oil	UV irradiation				
		L*	a*	b*	Color	
Ulreungdo seokganju	-	Before	46.81	27.88	41.21	
		After	49.85	24.90	37.95	
	perilla oil	Before	25.95	31.35	35.52	
		After	46.33	20.11	31.25	
	sesame oil	Before	24.24	28.73	33.65	
		After	44.18	20.57	30.10	
Artificial seokganju (Iron oxide red)	-	Before	24.16	27.58	21.60	
		After	27.80	33.96	25.24	
	perilla oil	Before	24.16	27.58	21.60	
		After	27.80	33.96	25.24	
	sesame oil	Before	24.16	27.58	21.60	
		After	27.80	33.96	25.24	

어 울릉도석간주의 내습기능을 살펴보았으며, 불꽃 가까이 시편을 접근시켜 시편에 불이 붙는 시간과 일정 시간 후 불꽃에서 떼었을 때 불이 소화되는데 걸리는 시간을 측정하여 석간주의 방연기능을 조사하였다. 석간주안료의 방부성 연구를 위하여 목재 부후균의 생장시험법에 따라 석간주분말을 첨가한 고체배지를 제조하고 입연연구원 목재보존연구실에서 보존균주(목재부후균 cov. typ.)를 분양받아 이식하였다(이명재 외, 2003). 석간주함량에 따른 균의 생장정도를 살펴보기 위하여 배지에 입자가 25 μm 이하의 석간주를 양을 달리하여 0.5 g, 1.25 g, 2 g씩 배합하였다. 균의 배양조건은 실외목조건 측물에 영향을 주는 환경을 고려하여 인공풍화기실에서 최대 30℃ 최하 -5℃정도로 온도를 변화시키면서 실험을 진행하였으며 배양은 약 14일 정도를 하였다.

연구결과 및 고찰

울릉도 석간주광석의 산출상태

울릉도 석간주광석은 울릉도 북서쪽에 위치한 태하리 해안 암벽 아래쪽의 주토굴(또는 황토굴)에

서 산출한다(좌표 N 37° 39' 50.9", E 130° 47' 41.6"). 주토굴은 하반이 평탄하고(현재 인공적으로 조성되어 있음) 상반이 위쪽으로 만곡된 렌즈(planconvex lens) 모양의 공간에서 대략 그 중간 지점에서 해안선에 평행하게 수직절단되어 렌즈모양의 절반이 남아 있는 형태이다. 주토굴의 크기는 가로 36 m, 높이 3.5 m이며 깊이는 약 32 m로 주토굴은 원래 석간주광석으로 충진되어 있었던 것으로 추측되나, 현재는 주토굴의 우측(동쪽) 연변부에만 석간주광석이 잔류하고 있다. 주토굴에 배태되어 있는 석간주광석은 그 연장이 34 m이고 두께는 위치에 따라 달라서 1.0 ~ 3.8 m에 이른다. 위쪽으로 만곡된 렌즈모양의 절반이 남아 있는 주토굴의 형태로 보아 석간주광석층은 안쪽으로 갈수록 두께가 감소할 것으로 예상된다(그림 1).

석간주광석이 산출되는 지역의 지질은 하부의 감람석현무암과 이를 피복하고 있는 각섬석조면암으로 구성되어 있다. 석간주광석의 부존위치는 하부의 현무암과 상부 조면암의 경계부위에 해당하며, 석간주광석은 주토굴 뿐만 아니라 현무암과 조면암의 경계부위를 추적한 결과 주토굴에서 떨어진 곳에서도 단속적으로 발견된다.

주토굴 입구의 석간주광석은 대체로 적갈색을

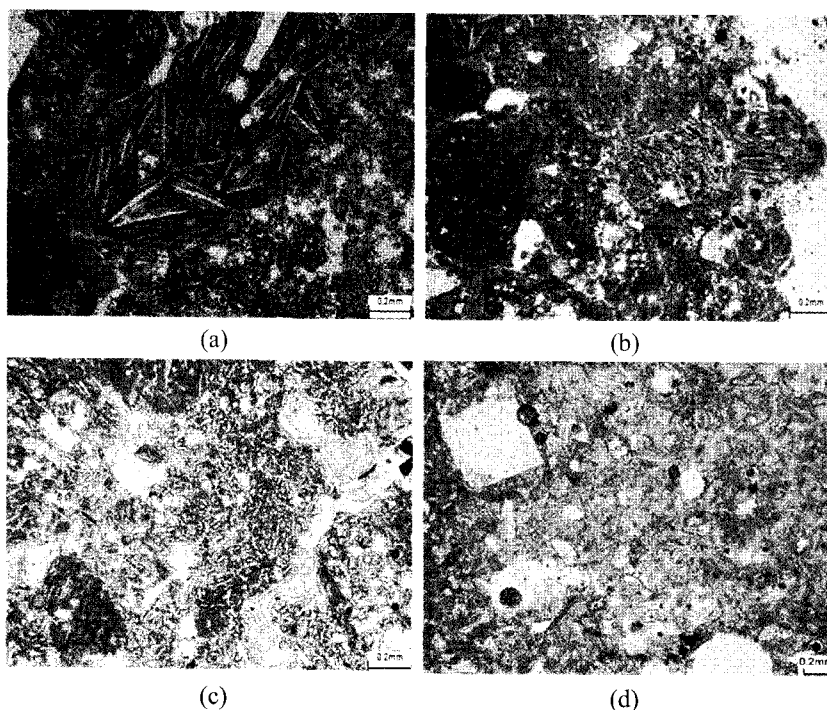


Fig. 3. Microphotographs of Ulreungdo seokganju ore. (a) reddish seokganju ore showing breccia texture. Soil plasma consists of hematite (red area) and clay minerals in a space between the sanidine (white) breccias. Hematites are observed as concretionary structure (dark red) and cavity-filling structure (reddish brown). (b) Reddish brown seokganju ore showing concretionary structure and cavity-filling structure (reddish brown) ($\times 120$), (c) Hematite as globular structure ($\times 120$) proves that it is precipitated as colloidal state, (d) Yellowish seokganju ore showing compact texture. Soil plasma consists of ferrihydrite (brown area) and clay minerals in a space between the sanidine (white) breccias.

따지만 동굴 안쪽으로 갈수록 황갈색이 우세하다. 석간주광석을 구성하고 있는 물질들은 대체로 점토 질이지만 특히 적갈색 석간주광석과 그리고 이를 피복하고 있는 각섬석조면암과의 경계 아래쪽 부위에는 크고 작은 흑색 현무암 암편이 함유되어 있다. 석간주광석은 대체로 피상을 보이며 부분적으로 층리구조를 보여주기도 한다. 그리고 동굴 안쪽 부위에서는 표면이 부분적으로 산화망간광물로 피복되어 있다(그림 2).

울릉도 석간주광석의 구성광물

울릉도 석간주광석은 색상에 따라 크게 적갈색 석간주광석과 황갈색 석간주광석으로 구분된다. 울릉도석간주광석의 화학조성을 표 1에 나타내었다. 석간주광석의 가장 특징적인 화학성분은 철이며, 적

갈색 석간주광석은 황갈색 석간주광석보다 훨씬 많은 양의 철을 함유하고 있다. 석간주광석이 적갈색과 황갈색을 띠는 것은 석간주광석에 함유되어 있는 산화철광물인 적철석과 수산화철광물인 웨리하이드라이트(ferrihydrite) 때문이다. 이 두 광물은 입도여하에 따라 다소 그 색조가 다르게 나타난다.

적갈색 석간주광석은 황갈색 석간주광석에 비하여 적철석을 다량 함유하고 있으며, 적갈색은 적철석에 의한 색이다. 적갈색의 석간주광석은 적철석, 웨리하이드라이트, 새니딘, 일라이트로 구성되어 있고, 각섬석, 다이아스포아, 자철석을 소량 함유하고 있으며, 시료에 따라 소금을 함유하는 경우가 많다(그림 3a). 새니딘과 각섬석은 인근에 존재하던 화산암의 풍화침식물이며 일라이트, 적철석 및 웨리하이드라이트, 다이아스포아는 화산암의 풍화로부터 이차적으로 생성된 광물들이다. 황갈색 석간주

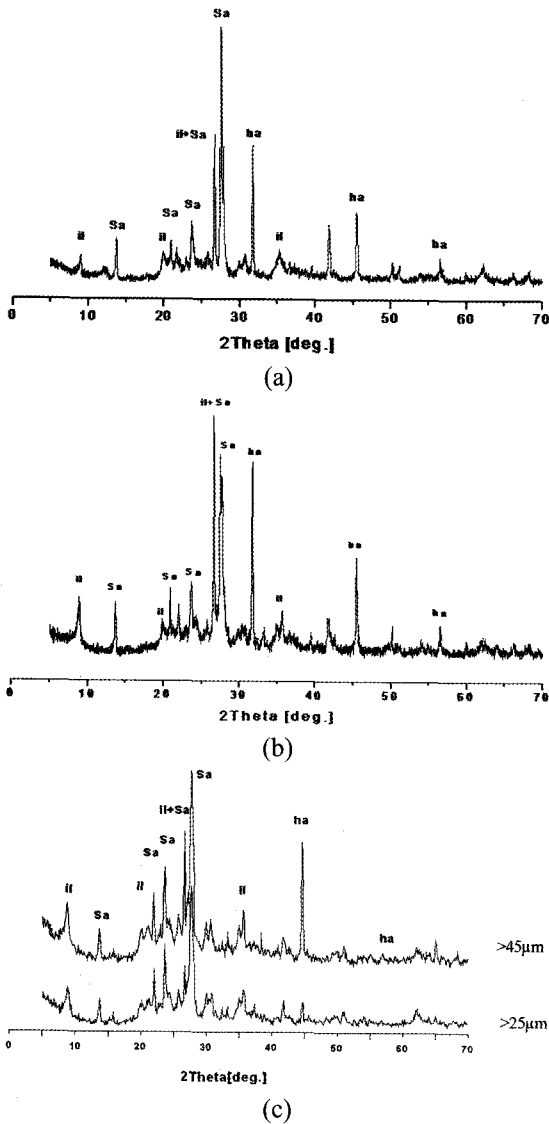


Fig. 4. X-ray powder diffraction patterns of Ulreungdo seokganju ore and seokganju pigments reproduced by traditional methods. (a) Yellowish brown, (b) Reddish brown, (c) Reproduced seokganju powder, particle size upper; >45 μm , lower: >25 μm , (il : illite, Sa: sanidine, ha: halite).

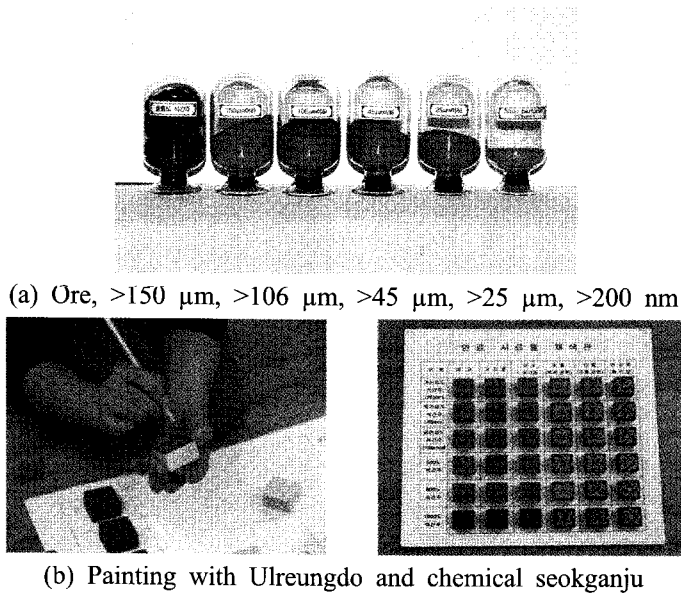
광석은 웨리하이드라이트, 새니딘, 일라이트로 구성되어 있고 다이아스포아와 적철석을 소량 함유하며, 해수로부터 유래된 소금도 다소 함유되어 있다.

석간주광석을 구성하고 있는 광물은 주로 새니딘, 일라이트, 석영, 적철석, 웨리하이드라이트, 할라이트와 다이아스포아이다. 그러나 석간주광석을

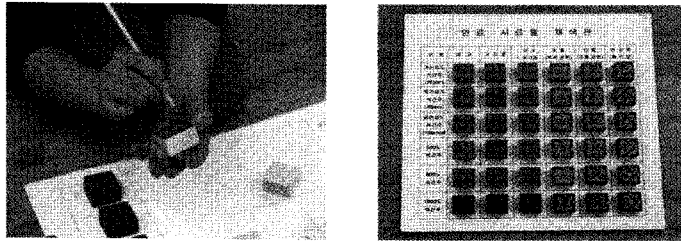
구성하고 있는 광물들 중 적철석과 웨리하이드라이트는 결정도가 매우 낮아서 X선회절분석에 의한 정량분석은 곤란하다(그림 4).

적철석은 석간주광석이 적갈색을 띠게 하는 물질로서 석간주광석에 광범하게 분포한다. 적철석은 현미경하에서도 그 입자들을 구별할 수 없을 정도의 미립질이다. 적철석은 석간주광석이 형성되는 오랜 기간에 걸쳐 생성되었다. 초기에 생성된 적철석은 현미경하에서 진한 적갈색을 띠고 그리고 최후기에 생성된 적철석은 옅은 황적색을 띤다(그림 3a, 3b). 적철석의 색은 함께 혼합되어 있는 점토광물의 종류와 그 양에도 영향을 받고 있다. 즉, 초기에 생성된 적철석은 대체로 일라이트, 다이아스포아와 같은 점토광물을 함유하고 있어서 순수하지 못하다. 후기에 생성된 적철석은 다소 황갈색의 색조로부터 적갈색의 색조까지의 다양한 색조를 보여 준다. 적철석의 구상구조(globular structure)는 적철석도 당시에는 콜로이드 상태로 침전되었을 것으로 보인다(그림 3c). 주토굴 입구 쪽에 있는 석간주광석이 안쪽에 있는 석간주광석에 비하여 훨씬 높은 적갈색을 띠고 있는 것으로 보아 입구 쪽의 석간주광석이 오랫동안 햇빛을 받으면서 탈수에 의하여 웨리하이드라이트가 적철석으로 전이된 것으로 보인다.

웨리하이드라이트는 석간주광석이 황갈색을 띠게 하는 광물로서 황갈색의 석간주광석에 광범위하고 풍부하게 함유되어 있다(그림 3d). 이 광물은 적갈색을 띤 석간주광석에도 소량 함유되어 있다. 황갈색 석간주광석에 함유되어 있는 산화철 광물은 주로 웨리하이드라이트이지만 적철석도 상당량 함유하고 있다. 웨리하이드라이트와 적철석이 각각 따로따로 독립된 입자로 함유되어 있지 않고 두 광물이 현미경하에서도 구별할 수 없을 정도의 은미정질 입자를 이루면서 서로 밀접하게 수반되어 산출한다. 그것은 처음에 웨리하이드라이트로 침전되었다가 시간이 지나면서 부분적으로 적철석으로 전이되어 있기 때문이다. 따라서 황갈색의 석간주광석도 그중에 함유된 웨리하이드라이트가 얼마나 적철석으로 전이되어 있는가에 따라, 그리고 석간주광석에 함유되어 있는 광물들의 종류와 함량에 따라 그 색조가 서로 약간씩 다르게 나타난다. 황갈색 석간주광석에서는 웨리하이드라이트와 적철석 집합체가 새니딘 각력 입자들 사이를 치밀한 조직을 보이면서 충전하고 있다.



(a) Ore, >150 μm , >106 μm , >45 μm , >25 μm , >200 nm



(b) Painting with Ulreungdo and chemical seokganju

Fig. 5. Ulreungdo seokganju and color of the Ulreungdo seokganju pigments which were painted on the wood specimen with traditional glue.

울릉도 석간주안료의 제작

입자의 크기에 따라 구분한 석간주 분말을 전색제인 아교와 혼합하여 목재시편에 채색한 결과, 입자 크기가 45 μm 이상의 입자 크기에서는 아교액과의 혼합에서 분산성이 급격하게 저하되어 채색성이 떨어졌고, 45 μm 이하 입자크기가 채색성과 은폐력에서 안료로서 적합한 결과를 보였다(그림 5). 목재시편에 채색된 45 μm 이하 입자크기 석간주안료의 색상을 색차계를 이용하여 측정된 후 L^* , a^* , b^* 색좌표 값(L^* 는 명도를, a^* , b^* 는 색의 방향을 나타냄. b^* 는 노란색 방향 - b^* 는 청색 방향, a^* 는 적색, - a^* 는 녹색을 표시. 각 방향으로 수치가 커짐에 따라서 색도는 증가하게 되고, 0에 가까울수록 무채색을 땀)으로 표현한 결과, 적갈색 석간주안료에서는 L^* ; 46.81, a^* ; 31.81, b^* ; 41.21, 황갈색 석간주안료로 채색된 시편에서는 L^* ; 47.37 a^* ; 27.88, b^* ; 41.50 값을 보였다. 전통적인 채색방식의 최종단계인 기름을 채색층에 도포한 후에 측정된 색상은 L^* ; 24.24~25.95 a^* ; 28.73~31.35, b^* ; 33.65~35.52을 보여 명도가 훨씬 낮아졌다.

현재 고건축물에 남아있는 울릉도석간주단청에서 보여지는 석간주의 색상은 재현된 색상과 비교하였을 때 명도에서 큰 차이를 보인다. 통도사 영

산전 기둥에서는 L^* ; 45.25 a^* ; 22.55, b^* ; 31.00 이, 부석사 무량수전 기둥에서는 L^* ; 40.27 a^* ; 26.35, b^* ; 20.75로 측정되는 것으로 보아 현존 석간주단청의 색상은 본색상에 비해 월등히 밝아졌음을 의미한다(안병찬 외, 2008).

울릉도 석간주안료의 기능성

목조건축물의 표면에 안료를 사용하여 채색을 하는 것은 건축물의 권위와 기념물의 성격을 나타내기 위한 것이기도 하였으나, 목재면의 결합을 은폐하면서 미화하고, 목재면의 부후나 손상 등을 방지하기 위한 것이기도 하다. 울릉도석간주안료와 현재 단청에 사용되고 있는 화학석간주안료(적색을 띠는 무기화합물, 현대단청에는 Iron Oxide Red라는 상품명으로, CI 77491을 사용함)를 비교 시험함으로써 내광성, 내습성, 방염성 및 방부성 등의 기능성을 살펴보았다.

내광성

건축물의 표면에 채색을 하는 경우 자연광 또는 조명 환경에 노출되므로 내광성은 안료의 중요한 기능 중의 하나로, 석간주안료로 채색완료된 목재시편에 자외선을 쬐어 변화된 색상을 측정하였다

Table 2. The growth of wood decay fungi in the Ulreungdo seokganju

Fungi	Solid medium for growth of wood decay fungi	Solid medium with Ulreungdo seokganju		
		0.5 g	1 g	2 g
cov.				
typ.				

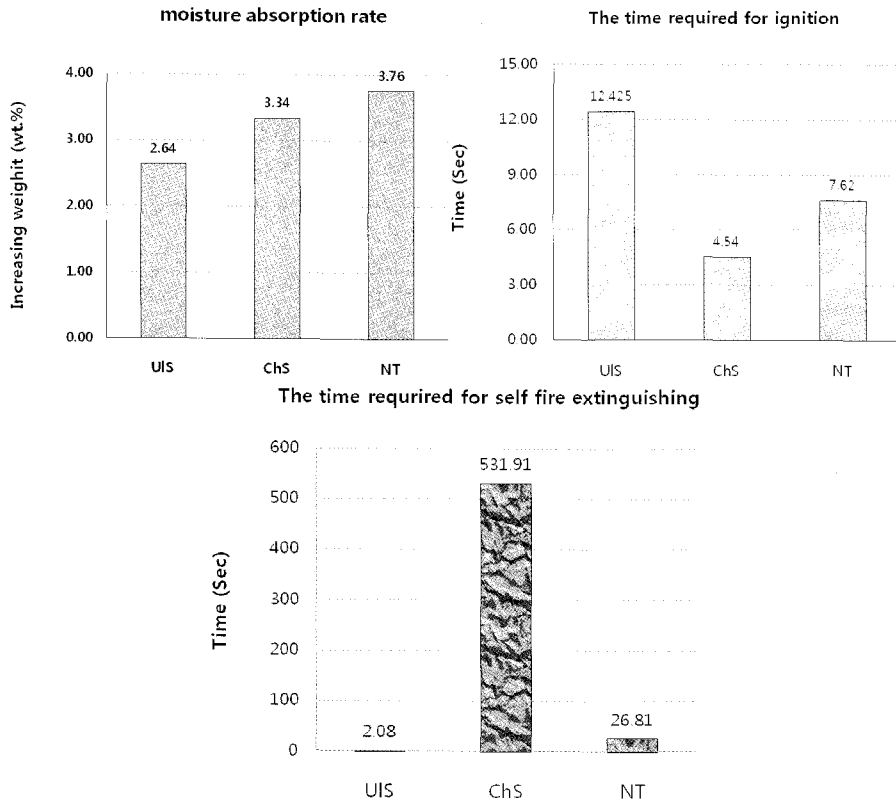


Fig. 6. Moistureproofing and fire resistance of the painting used seokganju (UIS : Ulreungdo seokganju, ChS : artificial seokganju, NT : wood only)

(표 2).

울릉도 적갈색 석간주안료만이 채색된 시편과 들기름과 참기름이 추가 도포된 시편 모두에서 자

외선조사 후 색상이 밝아졌으며, 특히 기름칠된 울릉도석간주 채색시료들의 명도가(L* 값) 현저하게 증가되었다. 적색과 녹색의 기준값인 a*, 황색과 청

색의 기준값 b^* 이 자외선 조사 후 모든 울릉도석간주 채색시편에서 감소하여 적색과 황색이 저하되는 경향을 보였다. 반면에 기름칠 여하에 상관없이 화학석간주가 채색된 시편에 자외선을 조사한 후에 L^* 이 높아지긴 하였으나, 울릉도석간주 채색시편에 비해 그 변화 폭이 적었다.

이러한 결과는 울릉도석간주안료가 화학석간주안료에 비해 내광성면에서는 성능이 뛰어나지 못함을 의미하나, 들기름칠 시공 후 5~10년이 지나 전체적으로 색이 뿌옇게 퇴색될 시점에 빛깔이 다시 살아나는 효과를 내기 위해 들기름을 재 도포하는 전통적인 방법을 통하여 그 단점을 보완시키고 있다.

내습성과 방염성

울릉도석간주안료를 사용하여 채색된 목재시편은 흡습시험 후 2.64%의 무게 증가가 있었으며, 화학석간주의 경우에는 3.34%로 측정되어 더 큰 흡습율을 보였다. 석간주안료가 채색되지 않은 목재시편은 3.76% 무게 증가를 보여서 석간주안료의 채색으로 인하여 목재가 습기를 빨아들이는 것을 저하시키는 효과를 보인다고 할 수 있다. 이러한 광물성 울릉도석간주안료의 내습성은 비바람이나 기후의 변화에 대비한 목부재의 풍해, 부후, 건습 반복 등을 방지하여 목부재의 내구성을 강화시키는 우수한 기능으로 여겨진다.

울릉도석간주안료를 사용하여 채색된 목재시편에 불이 발화되기까지 걸리는 시간은 12.4초이며 채색되지 않은 시편에서는 7.62초가 걸려 울릉도석간주안료가 발화를 지연시키는 효과가 있음이 확인되었다(그림 6). 반면에 화학석간주의 경우에는 4.54초로 측정되어 오히려 발화를 촉진시키는 효과를 보이고 있다. 발화되어 연소가 진행되는 과정에서 울릉도석간주안료로 채색된 목재시편은 2초만에 스스로 소화되었으며, 채색되지 않은 목재시편은 29초 만에 타다가 소화되었다. 그러나 화학석간주가 채색된 목재시편은 530초에 걸쳐 완소되었다. 울릉도석간주안료와 화학석간주안료 모두 동일한 조건, 즉 야교를 전색제로 하여 동일한 목재에 도포하였기 때문에 이와 같은 결과는 안료자체의 성질에서 나타난 것으로 판단된다. 따라서 위의 결과는 광물성 울릉도석간주안료의 채색이 연소가 확대되지 않도록 방지하거나 발화원이 가해지는 것을 억제하는 방염효과를 나타내는 것에 비해 화학석간주의 적용은 화재에 취약함을 확인시켜주었다.

방부성

울릉도석간주안료가 목재부후균의 생장에 미치는 영향 실험을 통해 방부기능성을 살펴보았다(표 3).

목재부후균 cov.균을 1주일 배양시킨 결과, 울릉도석간주 미첨가 배지에서는 균이 활발하게 생장하였으며 석간주 0.5 g 첨가 배지와 석간주 1g 첨가 배지에서도 균의 생장은 확인되었다. 그러나 석간주의 함량이 2 g인 배지에서는 균의 생장이 매우 느려지고 있음이 확인되었다. 목재부후균 typ.균을 이식시킨 석간주 미첨가 배지에서는 균의 활발한 생장이 관찰되었으며 석간주 0.5 g 첨가 배지에서부터 균의 생장이 저하됨이 관찰되었다. 반면에 화학석간주를 첨가한 배지에 목재부후균을 첨가하여 배양시켰을 때 목재부후균의 생장이 뚜렷이 저하되는 결과는 나타나지 않았다.

이와 같은 결과는 목건축물의 단청시에 석간주안료가 가칠을 하는 기능외의 문양부위에는 뇌록안료를 채색한 후 사용하기 때문에, 이미 밝힌 전통 뇌록의 항균기능성(도진영 외, 2008) 더불어 광물성 석간주안료의 목재부후저지 기능은 우리의 전통광물안료가 문화재의 복원에 적용되어야 하는 우수한 특성 중의 하나임을 의미한다.

결 론

전통 건축물의 바탕칠에 사용되었던 적색안료인 울릉도석간주광석의 산출상태와 광물학적 특징에 대한 연구와 함께 그 기능성에 대해 살펴본 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

울릉도석간주광석은 감람석현무암이 분출한 후 지표에서 진행된 풍화작용과 침식작용 및 퇴적작용에 의하여 지표에 형성된 고토양(古土壤, paleosol) 층이다. 따라서 주토굴 지역의 지질과 지질구조로 보아 울릉도석간주광석은 감람석현무암과 각섬석조면암 사이의 경계면에 단속적으로 산출한다.

울릉도석간주광석은 적갈색 또는 황갈색을 띠고 대체로 점토질이며 부분적으로 암편을 함유하고 있다. 적갈색석간주광석은 주로 주토굴의 입구 쪽에서, 황갈색석간주광석은 주토굴의 안쪽에서 산출된다. 적갈색을 띠는 석간주광석은 다소 다공질이며 주로 적철석, 세니딘, 일라이트로 구성되어 있고 소량의 다이아스포아, 각섬석을 함유하며, 적색은 적철석에 의한 것이다. 황갈색을 띠는 석간주광석은 치밀한 조직을 가지고 있으며 주로 휘리하이드라이트, 세니딘, 일라이트, 다이아스포아로 구성되어 있

으며, 황갈색은 웨리하이드라이트에 의한 것이다.

울릉도석간주광석을 전통방식에 의해 채색안료로 제작한 후 전색제를 사용하여 목재시편에 도색하고 들기름이나 참기름을 사용하여 추가 도포한 다음 측정된 색상은 현 전통 건축물에서 측정한 색상과 유사하였다. 자외선 조사에 따른 울릉도석간주안료의 내광기능은 화학석간주안료에 비해 우수하다고는 평가할 수 없었으나, 내습기능과 방연기능에서는 월등히 우수한 것으로 확인되었다. 더구나 현재 건축물의 단청소재로 사용하고 있는 화학석간주안료는 발화와 연소를 촉진시키는 것으로 나타나 목재보호에는 악영향을 미칠 것으로 보인다. 울릉도석간주안료가 함유된 배지에서 목재부후균의 성장이 저지되는 경향이 실험결과 나타나 울릉도석간주가 방부성을 지닌 채색안료로 판단된다.

참고문헌

곽동해 (2002) 한국의 단청. 학연문화사. 서울, 514p.
김병호 (1997) '단청의 재료', 문화재와 더불어 살아온 길, 미광출판사, 768p.
도진영, 이상진, 김수진, 윤운경, 안병찬 (2008) 전통 녹색 광물안료 “너록”의 특성연구, 한국광물학회지, 21(3), 271-282.

손진균, 김대영, 이재영, 이훈하, 강원섭 (1998) 산화철 안료의 현황, 한국자원리싸이클링학회 제5회 산화철분과 Workshop 발표개요집, 45-60.
송응성, 최주 주역 (1997) 천공개물. 전통문화사. 서울, 600p.
안병찬, 도진영, 김수진, 이강근, 이상진 (2008) 전통 무기안료인 석간주의 특성과 채색기술 응용 연구, 연구보고서, 국립중앙과학관.
이명재, 이동흙, 손동원 (2003) 단청처리재의 방부·방미·방의(흰개미)효력 평가, 임산에너지, 22(2), 36-43.
이재황, 최석원, 채상정, 서만철 (2003) 철화분청사기 철화안료로 사용한 석간주 연구, 문화재과학기술, 2(1), 37-47.
조남철, 문환석, 홍종욱, 황진주 (2002) 경복궁 근정전 단청안료의 분석, 제15회 학술대회 발표논문집, 한국문화재보존과학회, 12-20.
최인숙, 도진영, 이상진, 이승렬, 안병찬 (2008) 울릉도 석간주의 특성 분석 연구, 제28회 학술대회 발표 논문집, 한국문화재보존과학회.
Winter, J. (1989) 한국 고대 안료의 성분분석, 미술자료, 43, 1-36.

접수일(2009년 5월 22일), 수정일(1차 : 2009년 6월 15일), 수정일(2차 : 2009년 6월 20일), 게재확정일(2009년 6월 22일)