

국내산 저품위 고령토자원의 단청안료 원료로써의 활용 가능성

Applicability as a Dancheong Pigment Raw Materials of Korean Low Grade Kaolin

문동혁(Dong Hyeok Moon)^{1,2} · 한민수(Min Su Han)^{1,*} · 조현구(Hyen Goo Cho)² ·
김명남(Myong Nam Kim)¹ · 김재환(Jae Hwan Kim)³

¹국립문화재연구소 보존과학연구실

(Division of Conservation Science, National Research Institute of Cultural Heritage)

²경상대학교 지질과학과 및 기초과학연구소

(Department of Geology and Research Institute of Natural Science, Gyeongsang National University)

³조선대학교 공동실험실습관

(Center for Research Facilities, Chosun University)

요약 : 본 연구에서는 국내 산출 고령토자원의 문화재 단청안료의 대체원료로써 활용 가능성을 시험하기 위하여 X-선 회절분석, 색도측정, 현업종사자의 단청시공 및 평가, 촉진내후성시험, 방염성능시험 등을 실시하였다. 시험결과를 종합하면 고품위의 광석에 비하여 장석의 함량이 높으며 38.1 μm 이하의 작은 입자들로 구성된 광석일수록 백색 안료 고유의 용도로 시공에 유리하며, 시공 시편의 백색도와 은폐력 및 옥외 폭로 시 내구성 등에서 호분, 산화지당 등 기존 안료들과 유사하거나 크게 떨어지지 않는 것으로 판단된다. 또한 잠재적인 화재 위험도와 가연성을 평가한 방염성 시험에서는 장석 함량이 높은 시료가 비교군 안료들에 비하여 더 양호한 수치를 기록하였다. 결론적으로 미립의 장석질 백토와 저품위 고령토를 백색의 안료로 활용할 경우 기존 백색 안료제품과 유사한 채색특성과 내후성 및 더 우수한 방염성을 가지면서 경제성까지 갖춘 원료로 활용가능 할 것으로 기대된다.

주요어 : 고령토, 저품위 고령토, 장석질 백토, 단청안료, 대체원료

ABSTRACT : X-ray diffraction analysis, chromaticity measurement, execution and evaluation by Dancheong artisan, accelerated weathering test, and fire resistance test were conducted to test the applicability as a Dancheong pigment raw materials of Korean low grade kaolin in cultural properties. The ores that feldspar rich and composed of fine particles ($< 38.1 \mu\text{m}$) showing advantageous for the inherent purpose of the white pigment than that of high grade kaolin. And the test of whiteness, concealment force, outdoor exposure durability and fire resistance shows similar or better result than existing products (Hobun and Sanhwa jidang). In conclusion, it is expected that the use of fine feldspar rich white soil and low-grade kaolin can be used as a white pigment raw materials which have similar to better material properties and economic efficiency than existing products.

Key words : kaolin, low grade kaolin, feldspar rich white soil, Dancheong pigment, raw material for replacement

*Corresponding author: +82-42-860-9251, E-mail: dorner@korea.kr

서 론

국내 고령토 현황

국내 광업법이 규정하는 고령토의 범주에는 고령토뿐만 아니라 도석, 점토(와목, 목절), 벤토나이트 및 산성백토 등을 포함한다. 그중 카올리나이트(kaolinite)와 할로이사이트(halloysite) 등을 주구성 광물로 하는 전통적인 의미의 고령토는 백색도나 품위에 따라 도자기원료, 제지용 코팅제, 충전제, 타일, 내화물, 페인트, 화장품 등 산업원료용으로 다양하게 활용되어왔다.

국내에서 이러한 전통적인 의미의 고령토광상들은 여러 종류의 편마암류와 이들을 관입한 심성암류인 원생대의 회장암질암(Kwon and Jeong, 1990)과 중생대 쥐라기의 우백질 반려암이 넓게 분포하는 경남의 산청, 하동, 단성, 합천, 경북의 고령 및 성주군 일부지역에 다소 광범위하게 분포하고 있다(Jeong, 1982). 그중 회장암복합체의 최북단 분포지 즉 합천-고령-성주를 포함하는 가야산 일대의 고령토의 경우 풍화산류형 고령토광상이 발달하는 하동-산청 지역과는 다르게 백악기 관입암체에 의한 열수변질의 영향이 관여된 양상이 현저하고, 이에 따라 광체의 산출상태나 광석의 광물 조성 및 화학조성 등의 특성도 다소 다르게 나타나는 것으로 보고되고 있다(Noh, 2008).

이러한 고령토광상들의 대부분은 대규모로 개발되다가 광석고갈 및 채산성 확보 실패 등의 요인으로 개발이 종료되어 광석들이 잉여자원으로 방치되어 있거나, 2000년대 초반부터 광해관리공단에서 진행 중인 복원사업으로 인하여 공공시설이나 밭으로 개간되어 백토채굴의 혼적조차도 찾기 힘들게 된 곳이 늘어나고 있다.

현재까지 고령토의 채굴이 간헐적으로 유지되고 있는 중소규모광산의 광석들은 대부분 $Wc+Wd$ 등급에 해당하는 저품위광석들이며(KIGAM, 2015), 대부분 타일 및 벽돌용, 시멘트 및 페인트 원료 등 건설경기에 영향을 받을 수밖에 없는 용도로 개발되고 있다. 또한 전체 생산량에서 1% 미만에 불과한 고품위광석($Wa+Wb$)의 경우 지난 60여 년간의 무자비한 채굴로 인하여 부존량이 현저히 감소해 있으며, 수요처 확보 실패 및 상품화를 위한 인프라 부족 등으로 인하여 일본 등 해외로 철값에 수출되었다가 도자기 및 회화용으로 재가공되어 고가의 백토로 역수입되고 있는 실정이다(합천지역

익명의 광산업자 인터뷰 중).

이와 같이 국내 고령토 광업의 현실은 국내외 여러 요인, 특히 건설경기의 영향을 적지 않게 받는 구조이다. 또한 세라믹, 페인트 및 제지용 수유도 탄산칼슘이나 기타 새로운 소재로 대체되어 가는 추세에 있어 꾸준한 수요가 뒷받침되는 또 다른 활용분야의 개척이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 문화재 보존과학 및 복원기술 분야에 국내에서 산출되는 고령토자원의 활용 가능성을 소개하고자 한다.

단청과 안료

단청이란 청(靑), 적(赤), 황(黃), 백(白), 흑(黑) 등 각종 안료를 사용하여 건물에 문양이나 그림을 도채하는 것을 말한다. 광의적 표현으로써 단청은 그림을 그리기, 조형물에 채색하기 또는 채색화, 불화, 수묵화 등 회화의 전반적인 동적행위와 그림을 일컫는 보통명사를 표현하는 단어였지만 현재 우리나라에서는 협의적인 표현으로 사찰이나 궁궐, 능원, 향교, 서원 등 ‘건축물에 채색된 것’만을 이르고 있다. 단청의 목적은 일반적으로 건축물을 화려하게 꾸미는 미화(美化)의 역할로만 생각해왔으나 목재를 보호하고 건축물의 수명을 연장한다는 내용이 단청관련 서적들에 기술되어 있다(Jang and Han, 1983; Lim, 1991; Kwak, 2002; Jeong, 2006).

안료는 물, 기름, 알코올 등의 용제에 용해되지 않는 유색입상의 무기 또는 유기화합물을 말하며, 천연의 안료는 주로 광물질로 구성되어 있다. 이러한 안료는 또 다른 유색의 미립자로 용제에 용해되는 염료와 구분된다(천연의 염료는 식물성과 동물성 원료로부터 만들어진다). 과거 우리 조상들이 단청에 사용하였던 안료는 천연안료, 즉 광물질의 자연안료를 사용하였으며, 이 중에는 중국이나 서역 지방에서 도입된 것도 있었다. 하지만 개화기 이후, 전통적인 천연안료가 유럽 및 일본산 합성 안료 등으로 급격하게 대체되면서, 전통안료에 대한 원료 및 제법에 관한 기록과 시료 등이 남아 있지 않아 고미술 및 건축물 분야에 전통의 색과 기능을 재현하지 못하고 있다(Fig. 1). 이와 같은 시대의 흐름 속에 현재 빈번하게 사용되고 있는 합성 안료는 내공해성, 내광성, 내열성, 내수성 등에 문제가 꾸준히 제기되어 왔다(Doh et al., 2009). 최근 승례문 복원 단청재료에 대해서도 일부 색상을

제외하고는 대부분 합성안료의 사용비중이 여전히 높은 것으로 나타났으며(Kim *et al.*, 2014), 이를 계기로 단절된 전통 단청안료의 제법과 현장 수급 및 적용성 등 제반적인 방안 마련의 필요성이 국가적 차원의 문제로 제기되고 있다.

백색 안료

본 연구에서는 전통적인 단청안료의 천연원료물질 수급 및 적용성과 관련하여 단청시공자들에 의하여 고유의 백색(白色, white)은 물론 육색(肉色, skin color) 등과 같이 타색상과의 혼색에도 자주 이용되는 백색 안료의 원료물질과 성능에 대한 연구를 수행하고자 한다.

한국의 전통적인 백색 안료에 대하여 Winter (1989)는 삼국시대 고분벽화에 이용된 안료 중 백색은 탄산칼슘이거나 백악으로 분류되며, 이 중 백악은 여러 가지 백색 규토질 물질을 가리키는 용어로써 이들의 광물학적 공통점은 거의 없는 것으로 정의하였다. 또한 Jeong (2001)은 전통회화에 이용되는 백색 안료 중 백악을 규토질 물질뿐만 아니라 지표에서 산출되는 탄산칼슘인 석회석(lime stone)까지 포함한 의미로 언급하였으며, 선사시대 이후로는 백악이나 고령토가 주로 사용되었고 조개껍질 분말인 합분은 사용된 역사가 오래되지 않은 것으로 정리하였다. 이는 고대 선조들이 용도에 따라 주변에서 접할 수 있는 백색의 토양성·광물성 물질들을 안료의 원료로 활용하였으며, 특정된 원료물질만을 활용한 것은 아님을 추정할 수 있게 한다. 현대 단청 시공현장에서 가장 활발히 이용되고 있는 백색 안료는 호분과 산화지당이다. 호분은 전통적인 합분과 동일한 의미의 조개껍질 또는 이를 소성한 분말이며, 티타늄 화이트로 불리기도 하는 산화지당은 산화티타늄(TiO_2) 분말로 서양화에서도 1920년대 이전에는 사용된 작품을 찾아볼 수가 없을 만큼 역사가 짧은 안료이다(Gettens and Stout, 1942). 국내에서는 개화기 이후 소개되기 시작하여 최근에는 호분을 상회하는 백색도 등으로 인하여 재래의 백색안료를 대체하여 높은 활용도를 보이고 있다(Jeong, 2001).

본 연구에서는 호분과 산화지당과 같이 단청 시공현장에서 자주 이용되는 백색 안료제품들과 국내에서 산출되는 유형별 고령토자원들과의 비교를 통하여 이들의 백색 천연안료의 대체원료로써 활용 가능성에 대하여 고찰하고자 하였다.

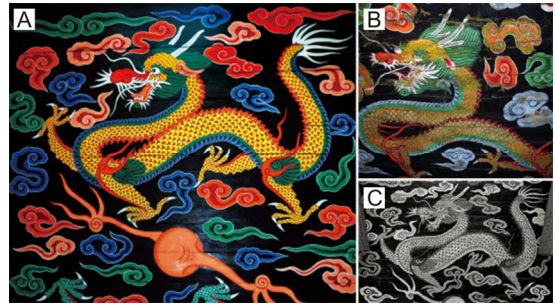


Fig. 1. Example of Sungnyemun restoration that can not reproduce traditional color and feeling due to using artificial pigment (Lim, 2013). (A) Dragon painting at ceiling of the Hongyemun (restored in 2013), (B) Before fired, (C) Painting in 1963 (standard of restoring Dancheong).

시료 및 연구방법

시료채취

국내산 고령토의 천연안료 원료로써의 활용 가능성을 시험하기 위하여 채굴이 종료된 광산과 현재까지 간헐적인 채굴이 이루어지고 있는 광산에서 각각 시료를 채취하였다. 경남 산청지역에 위치한 채굴이 종료된 광산의 경우 고령토가 거의 잔류하고 있지 않으며 대부분 장식입자로 이루어진 사질의 백색토양을 채취하였고, 동일지역 내 중소규모로 간헐적 채굴이 이루어지고 있는 광산의 저품위 고령토 광석을 채취하였다. 또한 경남 합천지역에 위치한 고품위 고령토광석의 채굴이 간헐적으로 이루어지고 있는 광산의 시료를 각각 채취하였다.

이렇게 채취된 시료들을 각각 장식질 백토, 저품위 고령토 및 고품위 고령토로 분류하여 분말화 한 후 안료로써의 성능을 시험하였다. 또한 실제 단청 현장에서 백색안료로 가장 빈번하게 사용되고 있는 호분, 산화지당 그리고 백색 친환경 페인트 등을 비교군으로 선정하여 동일한 시험을 수행한 후 안료로써의 성능을 비교 하였다.

안료제작

채취된 품위별 고령토 시료는 링밀(ring mill)로 분쇄하여 안료로 제작하였다. 이때 모든 시료는 광석자체의 성능을 평가하기 위하여 별도의 처리과정은 생략하였으며, 안료로써 최적의 성능을 발휘하는

입도구간을 설정하기 위하여 입도분리만을 실시하였다. 입도분리는 미국 재료시험학회(ASTM; American Society for Testing and Material)의 페인트 용도로 활용하기 위한 장식분말의 입도 표준 중 Hegman's gauge (ASTM D-1210)의 기준으로 실시하였다. 입도구간은 Hegman's gauge 기준 0-8에 해당하는 101.6 μm 미만의 고른 입도분포를 가지는 분말, 0-5에 해당하는 38.1-101.6 μm 범위의 상대적으로 굵은 분말 및 5-8에 해당하는 38.1 μm 미만의 세립질 분말 등 세 가지 범위로 나누어 실시하였다. 단 비교군으로 선정된 호분, 산화지당 및 친환경페인트 등의 시판안료는 제품의 특성을 유지하기 위하여 입도분리를 실시하지 않았다.

광물조성

각 시료들을 구성하는 광물의 종류를 동정하기 위하여 분말로 분쇄한 후 가급적 방향성을 가지지 않게 마운트에 고정하여 국립문화재연구소에서 운용 중인 X-선 회절분석기(X-Ray Diffractometer, EMPYREAN, PANalytical, Netherlands)를 이용하여 분석을 실시하였다. 분석조건은 40 kV/40 mA 으로 5°-80° 2-theta 구간에서 주사간격 0.04° 2-theta, 주사시간 0.5 sec/step으로 설정하여 연속 스캔(continuous scan) 방식으로 회절 값을 기록하였다. 분석 시 Target은 Cu를 사용하여 흑연 단색화 된 파장($\text{CuK}\alpha = 1.5406 \text{ \AA}$)을 사용하였으며, 슬릿은 Divergence slit 1 mm, Anti scattering slit 0.5 mm로 고정하였다.

색도

분말화한 안료 시료자체의 색상을 측정하기 위하여 무광의 검정색으로 제작된 아크릴 홀더에 가급적 빈공간이 없도록 분말시료들을 눌러 담은 후 슬라이드글라스로 평행하게 만든 채색층을 대상으로 색도를 측정하였다. 색도의 측정은 국립문화재연구소 보존과학실에서 운용 중인 색차계(Color Spectrophotometer S60, X-rite co., U.S.A.)를 사용하여 국제조명협회(Commission International d'Eclairage, CIE)에서 제안한 CIE L^* , a^* , b^* 모델을 기준으로 기록하였다. 이때, L^* 은 광도(밝기) 요소이며, a^* , b^* 는 각각 초록(- a^*)에서 빨강(+ a^*), 파랑(- b^*)에서 노랑(+ b^*)까지의 범위를 나타내는 색조 요소이다.

시험편 제작 및 단청 시공

본 연구를 위하여 제작된 안료들의 성능을 평가하는 시험법들을 수행하기 위하여 용도별 시편 제작과 실제 단청 시공을 실시하였다. 시편 제작과 단청 시공은 현직 문화재 단청 수리기술자 719호로써 관련 현장에서 활발한 활동을 수행 중인 복촌 불교미술 보존연구소 김도래 대표에 의하여 블라인드 테스트(blind test)로 실시되었다.

성능시험 시 품종, 원산지, 보관상태, 나이테의 결, 심재 및 변재 여부에 따른 차이 등 목재의 특성에 의하여 발생할 수 있는 오차를 고려하여 KS F 3101 (보통합판)을 만족하는 규격의 합판에 시공하였으며, 안료와 혼합에 이용한 교착제(binder)는 소가죽으로 가공한 전통적인 천연아교로써 단청시공 시 시공자의 의견을 반영하여 일반적으로 이용되는 농도인 10%의 아교수로 제작하였다. 안료와 아교의 혼합 비율 및 칠의 두께는 시공자가 실제 시공 시 완성도를 부여하는 기준에 따라 각 시료마다 다르게 반영되었다(Table 1).

축진 내후성과 방염성 시험을 위한 시편의 채색면은 장비규격과 시험표준을 고려하여 각각 50 mm × 50 mm와 100 mm × 100 mm으로 설정하여 시공하였고, 단청 시공은 실제 백색 안료의 용도를 반영하여 바탕칠과 가칠을 실시한 채색면 위에 '선(line)'을 칠한 후 각 시료들의 성능을 비교하였다.

축진 내후성 시험

내후성 시험은 옥외에 노출될 경우 기후변화(일광 및 폭우)에 대하여 오래 견디는 정도를 측정하는 방법으로 인공 축진 내후성 시험(Weather-Meter)법을 사용한다. 단청기능자에 의하여 채색된 시편면의 내후성을 측정하기 위하여 국립문화재연구소 보존과학연구실에서 운용 중인 축진 내후성 시험기(Weather-O-meter, Ci4000 Xenon, ATLAS, U.S.A.)를 사용하였으며, KS M ISO 11341 (도로와 바니시-인공기후와 인공복사에 대한 폭로) 조건에서 시험을 진행하였고 습도만 기상청에서 발표한 대한민국 평균습도(60-75%)를 반영하여 70%로 설정하였다. 이때 실제 단청 시공 면이 지붕과 같이 강우가 수직낙하 하는 환경에 노출되지 않는 것을 고려하여 시편에 직접적으로 고압의 물을 분사하는 인공강우 조건은 생략하였다. 상세 시험조건

Table 1. Mixing ratio of 10% glue solution with each samples

	sample name	sample amount (g)	glue solution (mL)	sample/glue ratio (g/mL)
#1	feldspar rich white soil (0-8)	8	10	0.80
#2	feldspar rich white soil (0-5)	8	10	0.80
#3	feldspar rich white soil (5-8)	8	12	0.67
#4	low grade kaolin (0-8)	8	10	0.80
#5	low grade kaolin (0-5)	8	10	0.80
#6	low grade kaolin (5-8)	8	12	0.67
#7	high grade kaolin (0-8)	8	10	0.80
#8	high grade kaolin (0-5)	8	10	0.80
#9	high grade kaolin (5-8)	8	10	0.80
#10	hobun (manufactured product)	8	12	0.67
#11	sanhwa jidang (manufactured product)	8	12	0.67
#12	white eco-friendly paint	-	-	-

은 다음과 같다. 챔버 내부는 온도 38℃, 습도 70%를 유지하며, 시험편은 120분 동안 60 W/m²의 자외선을 방사하는 탄소아크램프(300-400 nm)의 조사를 받으면서 회전한 후 20초의 인터벌을 갖는 것을 1사이클로, 총 360사이클을 반복하도록 설정하였다. 총 시험 시간은 720시간으로 이는 광방사량 60 W/m²인 최악의 기후 조건에서 약 1,286일에 해당하는 기간의 옥외 폭로에 해당된다.

방염성 시험

국제표준 ISO 5660-1 (Reaction-to-fire tests)에 따른 콘칼로리미터 시험방법은 재료가 50 kW/m² 등 가혹한 복사열량 조건에 놓여 있을 때 연소가 진행되며 방출시키는 열방출률(Heat release rate, kW/m²) 및 일정 시간 동안의 총방출열량(Total heat release, MJ/m²)을 측정할 수 있어, 재료의 화재 시 열적특성을 평가하기 위한 목적으로 국내외에서 널리 사용되고 있는 시험방법이다. 일반적인 유기물이 연소 시 산소가 1 kg 소모되면 13.1 MJ의 열량을 방출시킨다는 원리를 이용하여, 산소 농도의 감소량을 측정할 후 발열량을 계산하는 방식으로 재료의 열방출특성을 평가한다. 콘칼로리미터 분석은 KS F 5660-1 {열 방출률(콘칼로리미터법)}의 방법으로 국립산림과학원 임산공학부 목재가공과에서 운영 중인 FTT사의 콘칼로리미터 장비를

이용하여 실시하였다. 모든 시험은 합판 내 수분함량의 차이에 따른 오차를 줄이기 위하여 27℃, 35% 상대습도 조건에서 조습하여 시험을 실시하였다.

연구결과 및 토의

광물조성

각 시료에 대한 X-선 회절분석 결과를 장석질 백토(Fig. 2), 저품위 고령토(Fig. 3), 고품위 고령토(Fig. 4) 및 비교군(Fig. 5)으로 각각 정리하였다. 이때 X-선 회절도에서 주 peak의 위치가 겹치는 일부 광물들의 상세한 동정은 X-선 회절분석만으로는 부족하므로 본 연구에서는 동일 지역 내 회장암의 풍화로 인한 고령토 광석에 대한 선행연구들의 광물조성을 참고하여 카올린 광물(카올리나이트, 할로이사이트) 및 운모류 광물(일라이트, 백운모, 흑운모) 등으로 넓게 표현하였다(Jeong and Kim, 1994; Jeong *et al.*, 1998).

장석질 백토 시료들의 경우(Fig. 2), 장석질 백토(0-8)은 주로 사장석으로 구성되어 있으며 녹니석, 운모류 광물 및 카올린 광물들이 소량 수반되는 것으로 나타난다. 이를 입도별로 구분한 장석질 백토(0-5)와 장석질 백토(5-8)의 경우 각각 사장석과 점토광물의 peak영역이 상대적으로 우세함을 통하여

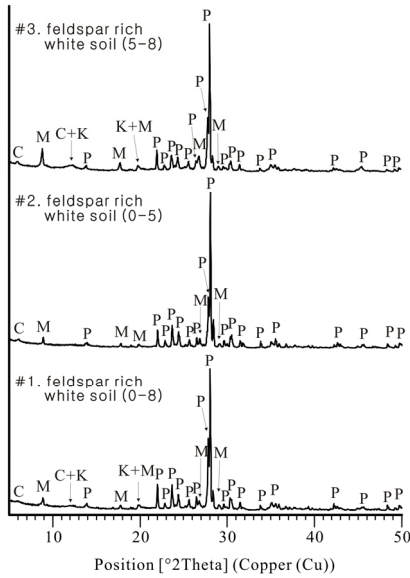


Fig. 2. Mineral composition of feldspar rich white soils. C: chlorite, K: kaolin minerals, M: mica minerals, P : plagioclase.

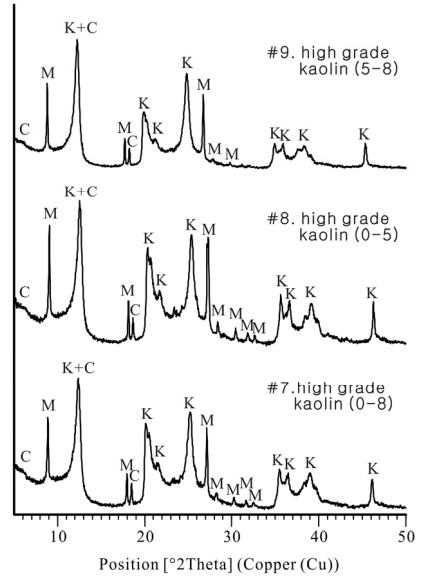


Fig. 4. Mineral composition of high grade kaolins. C: chlorite, K: kaolin minerals, M: mica minerals.

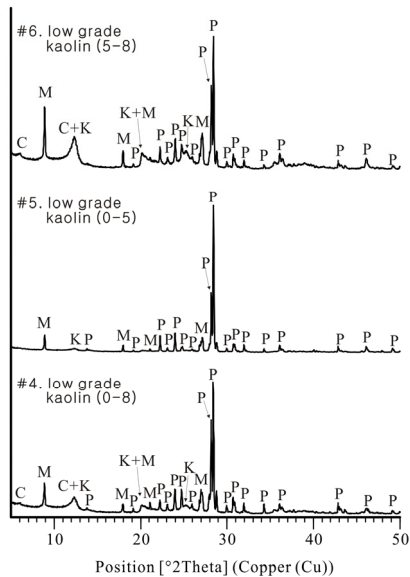


Fig. 3. Mineral composition of low grade kaolins. C: chlorite, K: kaolin minerals, M: mica minerals, P: plagioclase.

보다 세립의 입자에 점토광물들이 상대적으로 풍부하게 함유되는 것으로 판단된다.

저품위 고령토는 장식질 백토와 유사한 광물조성을 보이지만 전체적으로 카올린 및 운모류 광물

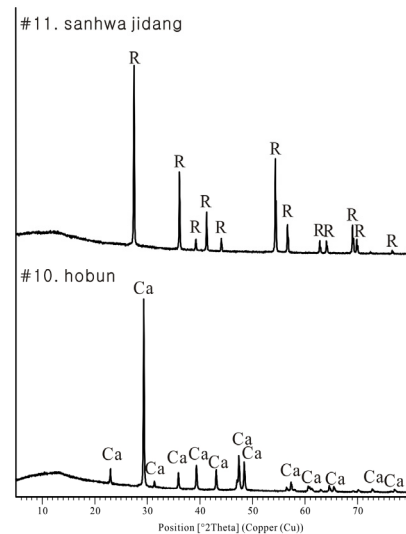


Fig. 5. Mineral composition of hobun and sanhwa jidang. Ca: calcite, R: rutile.

들의 비중이 상대적으로 높은 회절패턴을 보이며 특히 카올린 광물의 함량 비가 높을 것으로 판단된다(Fig. 3). 입도별로는 장식질 백토들과 유사하게 상대적으로 굵은 입자의 저품위 고령토(0-5)에서는 사장석이, 상대적으로 세립인 저품위 고령토(5-8)의 경우에는 카올린 등 점토광물의 비중이 높아지는 경향을 보인다.

Table 2. Chromaticity of the each samples

	sample name	L*	a*	b*
#1	feldspar rich white soil (0-8)	89.47	0.19	5.41
#2	feldspar rich white soil (0-5)	86.98	0.36	6.24
#3	feldspar rich white soil (5-8)	90.90	0.12	4.98
#4	low grade kaolin (0-8)	90.81	0.38	6.25
#5	low grade kaolin (0-5)	89.14	0.50	6.58
#6	low grade kaolin (5-8)	91.86	0.34	6.17
#7	high grade kaolin (0-8)	94.55	0.08	3.80
#8	high grade kaolin (0-5)	93.53	0.04	4.59
#9	high grade kaolin (5-8)	95.18	0.08	3.68
#10	hobun (manufactured product)	96.31	0.61	0.95
#11	sanhwa jidang (manufactured product)	98.51	-1.05	3.36
#12	white eco-friendly paint	-	-	-

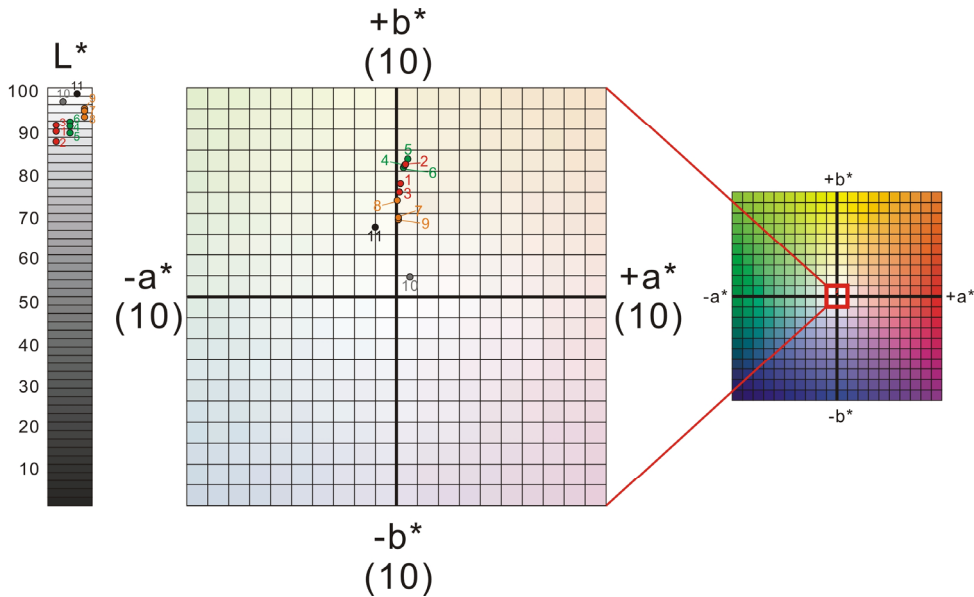


Fig. 6. Chromaticity diagram of each samples (refer to Table 2 for sample numbers).

고품위 고품토 시료들의 경우 입자크기에 상관없이 카올린광물이 주구성광물이며 녹니석 및 운모류 광물들을 부수적으로 수반하는 거의 균질한 광물조성을 가지는 것으로 나타난다(Fig. 4). 또한 비교군으로 설정한 시판안료 호분과 산화지당의 경우 각각 순수한 방해석과 금홍석(rutile)으로 구성되어 있는 것으로 확인되었다(Fig. 5).

분말 안료 색도

분말화하여 안료로 제작한 각 시료들의 색도를 측정된 결과를 Table 2와 Fig. 6에 정리하였다. 대부분의 시료들이 90 이상의 명도(L*)를 가지며 산화지당, 호분, 고품위 고품토, 저품위 고품토, 장식질 백토의 순으로 높은 경향을 보인다. 빨강(a*)과 초록(-a*)의 색조 값은 ± 1 이하 범위로 큰 차이를

Table 3. Artisan's evaluations about execution of the white line dancheong (○ : good, △ : normal, × : bad)

	sample name	particle size	spreadability	number of drawing	concealment force	slip
#1	feldspar rich white soil (0-8)	○	○	1	×	○
#2	feldspar rich white soil (0-5)	×	×	unavailable	×	×
#3	feldspar rich white soil (5-8)	○	○	1	△	○
#4	low grade kaolin (0-8)	○	○	1	×	△
#5	low grade kaolin (0-5)	△	△	1	×	△
#6	low grade kaolin (5-8)	○	○	1	△	○
#7	high grade kaolin (0-8)	○	△	1	○	○
#8	high grade kaolin (0-5)	△	△	1	△	△
#9	high grade kaolin (5-8)	○	△	2	○	×
#10	hobun (manufactured product)	○	○	1	△	○
#11	sanhwa jidang (manufactured product)	○	○	1	○	○
#12	white eco-friendly paint	-	○	1	△	○

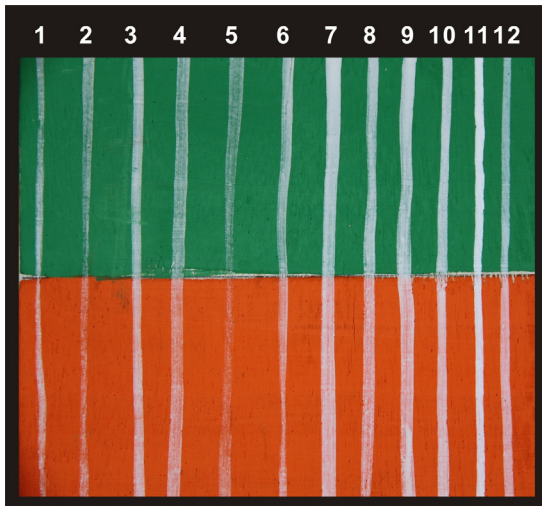


Fig. 7. Dancheong specimen of white lines (refer to Table 3 for sample numbers).

보이지 않는 것으로 나타났지만, 노랑(b*) 색조 값의 경우 저품위 고령토, 장식질 백토, 고품위 고령토, 산화지당, 호분의 순으로 상대적으로 높은 경향을 보인다.

전반적으로 모든 시료가 ± 100 (L*-a*-b*) 범위에서 백색의 영역에 해당하는 수치를 가지는 것으로 나타났으며, 범위를 ± 10로 확대할 경우 고품위

고령토가 호분 및 산화지당 등에 근접한 백색을 띠는 반면 저품위 고령토와 장식질 백토는 상대적으로 회색과 노랑에 가까운 색조를 가지는 백색을 띠는 것으로 나타났다(Fig. 6). 이러한 경향은 X-선 회절패턴에서 카올린 광물에 비하여 운모류 광물의 peak가 상대적으로 우세한 시료일수록 강해지는 경향을 보이는데(Figs. 2, 3, 4), 이는 광석 중 소량으로 수반되는 흑운모와 같은 유색광물에 의한 영향인 것으로 판단된다.

본 연구에서 분말화 한 국내산 품위별 고령토 시료들은 별도의 전처리를 거치지 않은 시료임에도 단청 시공 현장에서 실제 이용되고 있는 백색안료와 비교하여 색감차이가 현저히 크지 않아 원료로서의 활용 가능성이 있을 것으로 사료된다. 또한 추후 흑운모 등과 같이 백색도에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 제거하는 처리과정을 거친다면 보다 백색도가 개선된 분말의 제작이 가능할 것으로 기대된다.

단청 시공

각 시료들을 실제 단청에서 백색의 용도 중 ‘선(긋기단청)’으로 시공하여 백색도와 은폐력에 대한 간단한 비교를 수행한 결과를 Fig. 7에 제시하였으며, 이에 대한 시공자의 항목 별 평가를 Table 3에

정리하였다.

실제 단청 시공 가능성 여부를 시험한 결과 장식질 백토(5-8), 저품위 고령토(5-8) 및 고품위 고령토(0-8, 0-5, 5-8) 등은 산화지당의 그것에는 다소 미치지 못하지만 호분 및 백색 친환경 페인트와 비교시 유사한 정도의 백색도와 은폐력을 가지는 것으로 나타났다(Fig. 7). 이를 통하여 고품위 고령토뿐만 아니라 저품위 고령토 및 장식질 백토라 할 지라도 38.1 μm 이하 입자의 분말을 사용할 경우 백색도나 은폐력 등에서 ‘선’을 칠하는 용도로써의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

단청시공자의 항목별 평가에서도 장식질 백토(5-8), 저품위 고령토(5-8) 및 고품위 고령토(0-8, 0-5) 등이 호분 및 백색 친환경 페인트와 비교하여 유사하거나 일부 상회하는 평가를 받은 항목이 있는 것으로 나타났다(Table 3). 이때 입도는 교착제와 혼합성이 좋은 입자 크기의 정도이며, 발림성(spreadability)은 채색을 위한 붓질이 원활한 정도, 채색횟수는 선을 그리기 위해 수행한 붓질의 횟수이다. 또한 은폐력(concealment force)은 가칠된 면에 대한 백색 선의 은폐 정도이며, 밀림(slip)은 채색 후 입자들이 뭉치지 못하고 주변으로 번지는 정도를 의미한다. 단, Table 3에 제시된 항목들에 대한 평가는 시공자 한 명의 주관적인 견해이기 때문에 과학적인 의미를 부여하기 위해서는 추후 여러 시공자의 견해를 검토한 통계자료 등이 필요할 것으로 판단된다.

촉진 내후성 시험

안료로 제작된 분말시료 자체의 내후성을 시험하기 위하여 바탕칠과 가칠 및 별도의 처리를 하지 않은 합판 위에 교착제와 혼합한 시료들을 단청 시공과 동일한 기준으로 채색하였다. 그 결과 장식질 백토(0-5) 및 저품위 고령토(0-8, 0-5) 등과 같이 합판의 목재 색과 무늬에 대한 은폐력이 떨어지는 시료를 제외하면 양호한 채색이 이루어진 것으로 나타났다(Fig. 8). 이러한 시료들의 경우 백색안료의 또 다른 용도인 타 색상 안료들과의 혼색 후 이루어지는 ‘면(plane)’에 대한 단청 시공에도 적합할 것으로 사료된다.

이들 시편을 이용하여 최악의 기후 조건에서 약 1,286일 동안의 옥외 폭로에 해당하는 촉진 내후성 시험을 실시한 결과, 산화지당을 제외한 모든 시편에서 교착제인 아교의 변색 등에 의한 황변현

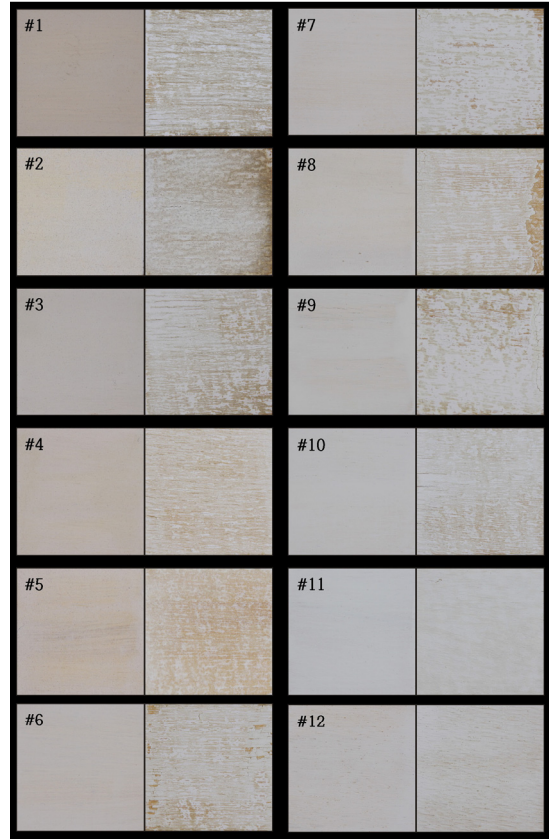


Fig. 8. Accelerated weathering test result of each painting specimens (refer to Table 3 for sample numbers). Left side: before test, Right side: after test.

상과 합판의 나무결 방향을 따라 안료가 탈락하는 현상 등이 강도의 차이를 두고 발견되었다(Fig. 8). 특히 저품위 고령토(5-8) 및 고품위 고령토(0-8, 0-5, 5-8) 등과 같이 고령토 광물의 함량비가 높은 것으로 판단되는 시료에서 탈락 뿐만 아니라 표면이 벗겨져 합판 면이 드러나는 박리현상이 두드러지게 관찰되었다. 반면 장식질 백토(5-8)의 경우 황변현상과 나무결 방향의 안료 탈락 등에서 산화지당에는 미치지 못하지만 호분과는 유사한 경향을 가지는 것으로 관찰된다(Fig. 8).

방염성 시험

각 안료 시료들을 시공한 단청시편들에 대하여 실시한 방염성 시험(콘칼로리미터법, KS F 5660-1)

Table 4. Fire Resistance of the Each Samples (TTI : time to ignition, HRR : heat release rate, THR : total heat release)

	sample name	TTI (s)	HRR (kW/m ²)	THR (MJ/m ²)
-	standard plywood	32	218.32	36.2
#1	feldspar rich white soil (0-8)	38	204.42	29.4
#2	feldspar rich white soil (0-5)	43	160.89	27.1
#3	feldspar rich white soil (5-8)	34	150.37	24.6
#4	low grade kaolin (0-8)	35	203.22	30.3
#5	low grade kaolin (0-5)	36	190.4	32.3
#6	low grade kaolin (5-8)	29	209.73	31.9
#7	high grade kaolin (0-8)	30	127.55	25.5
#8	high grade kaolin (0-5)	32	169.42	32.6
#9	high grade kaolin (5-8)	36	177.28	29.6
#10	hobun (manufactured product)	40	227.24	35
#11	sanhwa jidang (manufactured product)	35	196.65	31.8
#12	white eco-friendly paint	33	224.37	36.8

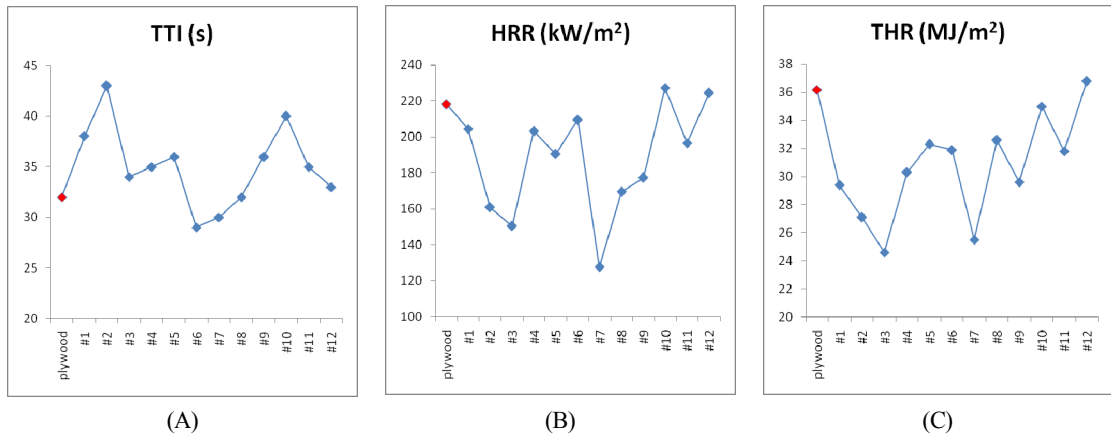


Fig. 9. Fire resistance diagrams of the each samples (refer to Table 4 for sample numbers). (A) time to ignition, (B) heat release rate, (C) total heat release.

결과를 Table 4와 Fig. 9에 정리하였다.

착화시간의 경우 저품위 고령토(5-8), 고품위 고령토(0-8) 및 고품위 고령토(0-5)를 제외한 모든 시편들이 무처리 합판에 비하여 연소가 일어나는 시기를 지연시키는 효과가 있는 것으로 나타났으며, 특히 장식질 백토(0-5)와 호분 등이 가장 오랜 시간 동안 화재를 지연시키는 것으로 나타났다.

열 방출률과 총열 방출량 항목에서는 각 유형별 고령토 자원들이 무처리 합판뿐만 아니라 비교군

인 호분, 산화지당, 백색 친환경 페인트 등에 비하여 낮은 수치를 기록하였다. 특히 장식질 백토(5-8)와 고품위 고령토(0-8) 등이 타 시료들에 비하여 양호한 수치를 기록하였으며, 이들 시료들은 착화 후 시편 전체의 탄화를 지연시키는 성능이 가장 좋은 것으로 판단된다. 반면 비교군 중 호분과 친환경페인트 등은 무처리 합판의 그것을 상회하는 값을 가지는 것으로 나타나 실제 화재 시 더욱 탄화가 빠르게 진행되어 잠재적인 화재 위험도와 가연

성이 높은 것으로 평가된다. 하지만 이에 대한 정확한 검증을 위해서는 통계적인 의미를 가질 수 있는 수량의 시편에 대한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

품위별 고령토 자원의 안료 원료로써의 활용 가능성

본 연구에서 수행한 국내에서 산출되는 품위별 고령토 자원의 백색 단청 안료의 원료로써 활용 가능성을 시험한 결과를 종합하면 고품위의 광석에 비하여 장식의 함량이 높으며 38.1 μm 이하의 작은 입자들로 구성된 광석일수록 백색 안료 고유의 용도인 ‘선’과 타색상과의 혼색 후 ‘면’에 대한 시공에 유리하며, 시공 시편의 백색도와 은폐력 및 옥외 폭로 시 내구성 등에서 호분, 산화지당 등 기존 안료들과 유사하거나 크게 떨어지지 않는 것으로 판단된다. 또한 잠재적인 화재 위험도와 가연성을 평가한 방염성 시험에서는 장식 함량이 높은 시료가 비교군 안료들에 비하여 더 양호한 수치를 기록하였다.

특히 높은 방염성을 가지는 특성을 이용하여 전통적인 안료의 역할인 ‘선’과 ‘면’의 채색뿐만 아니라 바탕칠용 원료로써의 활용 가능성 또한 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다. 전통적인 단청의 경우 Fig. 10과 같이 목재로부터 순서대로 아교포수(glue coating)-바탕칠(dead coloring)-가칠(added coating)-본칠(main painting)-보호칠(protective coating)의 순서대로 시공되는데, 바탕칠의 경우 아교포수로 완전히 채우지 못한 목재내부의 빈 공간을 채움과 동시에 본칠의 색상을 돋보이게 하기 위한 가칠

면이 평활하게 하는 기능을 한다(Kim, 2014). 이러한 바탕칠의 충전제로써의 기능을 부여하기 위한 체질안료로는 주로 호분을 이용해오고 있는데, 이를 작은 입도로 분말화 한 장식질 백토와 저품위 고령토로 대체할 경우 호분과 유사한 채색특성과 내후성 및 더 우수한 방염성을 가지면서 경제성까지 갖춘 원료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 최근 문화재 보존과학 및 복원기술 분야에서 이슈가 되고 있는 단청 안료의 대체원료로써 국내에서 산출되는 고령토자원의 활용 가능성을 시험한 결과와 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 국내 고령토 생산량의 1% 미만 규모로 합천 지역에서 산출되는 고품위 고령토의 경우 주로 카울리나이트 및 할로이사이트 등의 고령토광물로 구성되어 있으며 녹니석 및 운모류 광물 등이 불순광물로 소량 포함된다. 중소규모로 간헐적인 채굴이 이루어지고 있는 산청지역 저품위 고령토의 경우 고령토 광물에 비하여 사장석의 비중이 높으며 녹니석 및 운모류 광물을 불순광물로 포함한다. 동일 지역 내 채굴이 종료된 광산구역 내에 잔류되어 있는 장식질 백토는 사장석이 주구성광물이며 소량의 카울린광물과 함께 불순광물로 녹니석 및 운모류 광물 등이 포함된 광물조성을 가진다.

2. 각 유형별 고령토 광석들을 분말화 하여 안료로 제작한 결과, 별도의 처리과정을 거치지 않았음에도 실제 단청시공 현장에서 활용되고 있는 호분, 산화지당 및 백색 친환경 페인트에 비하여 색차 값이 큰 차이가 나지 않는 것으로 나타났다 다만 색도 범위를 백색 내로 확대할 경우 저품위 고령토와 장식질 백토가 상대적으로 회색과 노랑에 가까운 백색의 수치를 기록하였는데, 이는 불순광물 중 흑운모 등 유색광물이 소량 함유된 것에 의한 결과로 판단된다.

3. 제작된 안료를 이용하여 실제 단청 시공 및 시험편 채색을 실시한 결과, 고품위 고령토뿐만 아니라 저품위 고령토와 장식질 백토 모두 38.1 μm 미만의 입도분포를 가지는 경우 가칠한 채색면 및 목재의 색과 무늬에 대한 은폐력을 가지며, 채색면의 백색도 또한 비교군 안료들과 큰 차이가 없을 정도로 양호한 것으로 나타났다. 또한 혹독한 환경에서 장시간 옥외 폭로 시 작은 입도로 분쇄한 장식의 함량이 높은 저품위 광석일수록 내구성이 강

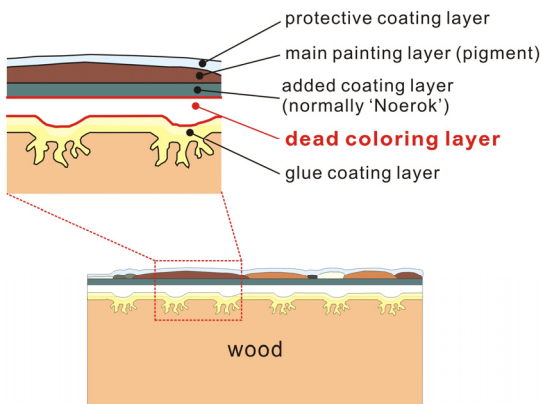


Fig. 10. Cross-section of the Dancheong (modified from Kim, 2014).

한 경향을 보이며, 이는 비교군 중 호분의 그것에 준하는 성능을 가진 것으로 판단된다.

4. 화재발생 시 내구성을 평가하기 위한 방염성 시험에서도 착화시간에서는 일부 예외가 있지만 호분, 산화지당 및 백색 친환경 페인트에 비하여 고령토 광석들로 제작한 안료의 채색시편이 상대적으로 양호한 성능을 기록하였다. 특히 장식질 백토(5-8)와 고품위 고령토(0-8) 등은 목재의 탄화를 뚜렷하게 지연시키는 경향이 있는 것으로 나타났다.

5. 결론적으로 현재 산업적으로 저품위 및 잉여 자원으로 분류되는 장식 함량이 높은 고령토 및 고령토 채광 종료 후 잔류 된 장식질 백토 등이라도 세립질 분말로 가공한 후 용도에 맞게 개선한다면 기존의 안료들과 유사하거나 더욱 개선된 기능성 및 내구성을 가진 원료로 활용 가능할 것으로 판단된다. 이는 문화재 분야에서는 보다 경제적이고 개선된 백색 안료 대체물질의 소개로, 산업광물분야에서는 잉여자원의 새로운 활용분야 개척이라는 측면에서 저품위 고령토 자원 활용의 의미를 가질 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2016년도 문화재청 국립문화재연구소 문화유산 융복합연구(2016) 사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 그리고 건설적인 조언을 많이 해주신 의명의 두 심사위원님과, 연구 진행과정에 큰 도움을 주신 한국전통문화대학교 이한형 교수님과 북촌 불교미술 보존연구소 김도래 대표님, 그리고 국립산림과학원 손동원 박사님께 감사의 말씀을 전합니다.

REFERENCES

- Do, J.Y., Kim, S.J., Lee, S.J., Ahn, B.C., Yun, S.C., and Kim, K.J. (2009) A Study on Functionality of the Ulreungdo Seokganju as Korean Traditional Red Pigment. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 22(2), 153-162 (in Korean with English abstract).
- Gettens R.J. and Stout, G.L. (1942) *Painting Materials: A short encyclopaedia*. D. Van Nostrand Company, 500p.
- Jang, G.I. and Han, S.S. (1983) *Dancheong-An outline of Korean architecture*. Boseonggak, 430p (in Korean).
- Jeong, G.Y. and Kim, S.J. (1994) Genesis of kaolin in the Sancheong district, Korea: Mineralogical and textural study. *The Journal of the Geological Society of Korea*, 30(3), 262-283 (in Korean with English abstract).
- Jeong, G.Y. (1998) Vermicular kaolinite epitactic on primary phyllosilicates in the weathering profiles of anorthosite. *clay and clay minerals*, 46(5), 509-520.
- Jeong, J.G. (1982) Petrologic studies on anorthositic rocks in Hadong-Sancheong district, Korea. *The Journal of the Geological Society of Korea*, 18(2), 83-108.
- Jeong, J.M. (2001) *Color and Drawing of Traditional Korean Painting*. Hakgojae, 259p (in Korean).
- Jeong, S.H. (2006) *Color in architecture*. Korean Cultural Heritage Foundation, 126p (in Korean).
- Kigam (2015) 2014/2015 Mineral commodity supply and demand (in Korean).
- Kim, D.R. (2014) A study on dancheong technique for conservation of traditional wooden architecture in Korean. Master's Thesis of the Konkuk University (in Korean with English abstract).
- Kim, S.G., Han, M.S., Jeong, S.H., and Kim, M.J. (2014) Study on the restored Sungnyemun Gate Dancheong. *Journal of Conservation Science*, 30(4), 447-456 (in Korean with English abstract).
- Kwak, D.H. (2002) *Korean Dancheong*. Hakyoun, 514p (in Korean).
- Kwon, S.T. and Jeong, J.G. (1990) Preliminary Sr-Nd isotope study of the Hadong-Sancheong anorthositic rocks in Korea: Implication for their origin and for the Precambrian tectonics. *The Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 341-349.
- Lim, G.J. (2013) Can not it be restored for 10 years?. *Hankyoreh21*, 944 (in Korean).
- Lim, Y.J. (1991) *Dancheong*. Daewon, 127p (in Korean).
- Noh, J.H. (2008) Mineralization and Characterization of Boseung Kaolin in Gaya Area. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 21(4), 397-413 (in Korean with English abstract).
- Winter, J. (1989) Identification of some early Korean pigments. *Misuljaryo (National Museum Journal of Arts)*, 43, 1-36 (in Korean with Chinese and English).

Received November 22, 2016, Revised November 26, 2016, Accepted November 28, 2016, Associate Editor: Jinwook Kim