토벽화 채색층 고착처리를 위한 도박풀 적용 연구

김설희 | 한경순¹ | 이화수*

건국대학교 회화보존연구소, *충북대학교 목재·종이과학과

A Study on the Application of Dobak-glue for Fixation Painting Layer of Earthen Mural

Seol Hui Kim | Kyeong Soon Han¹ | Hwa Soo Lee*

Institute of Conservation of Paintings, Konkuk University, Chungju, 27478, Korea

*Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea

¹Corresponding Author: conservation@kku.ac.kr, +82-43-840-3677

초 록 본 연구는 토벽화 채색층 고착제로서의 도박풀 적용 가능성을 파악하기 위하여, 내후성 실험에 따른 표면변화를 평가하였다. 내후성 실험에 대한 평가는 색차계(CR-400, MINOLTA)를 사용하였으며, 열화로 인한 변화가 특징적으로 나타난 주사 3% 조건은 반사투과장치(CARY-5000, AGILENT)를 사용하여 추가적인 평가를 실시하였다. 자외선 열화 실험 후, 대부분의 도박풀 도포 시료가 아교풀 도포 시료에 비해 색변화가 적었으며, 흡습·건조 열화시험 결과에서는 도박풀이 0.5%와 3% 조건에서 아교에 비해 색변화가 낮게 나타나는 것을 확인하였다. 또한 열화 실험 후 반사·흡수도 측정결과, 아교에 비해 도박풀의 열화 후 반사·흡수도 변화정도가 낮은 것으로 나타났다. 따라서 도박풀을 토벽화 고착제로 사용할 경우 열화에 따른 변색은 비교적 안정적일 것으로 판단된다.

중심어: 토벽화, 채색층, 도박풀, 아교, 색변

ABSTRACT This report compared and analyzed the degree of surface change and results of a deterioration experiment to assess the possibility of using Dobak glue as an adhesive in the fossilizing treatment of the paint layer in earthen mural paintings. The weathering experiments were performed with a color-difference meter (CR-400, MINOLTA). After the experiment, Cinnabar 3% specimens, which exhibited diverse changes in the durability test, were additionally tested with a reflection-transmission device (CARY-5000, AGILENT). Post UV degradation, most of the Dobak-glue samples exhibited lesser color change than animal-glue samples, and after moisture absorption and drying, the 0.5% and 3% Dobak samples displayed a lower degree of change in the value of color difference. Furthermore, results of the reflection-transmission test after deterioration indicated that Dobak glue presented a lesser color change than animal glue. Therefore, if Dobak glue is used as a consolidating agent, discoloration on account of degradation is minimal.

Key Words: Earthen mural painting, Painting layer, Dobak-glue, Animal glue, Color change

1. 서 론

우리나라의 사찰벽화는 흙으로 벽체를 제작한 토벽화가 주류를 이루며, 토벽 위에 안료(pigment)와 매체(medium)

를 혼합하여 채색층을 제작하였다. 사찰전각의 내·외부에 그려진 벽화는 온·습도 편차가 큰 주변 환경에 노출되어 있으며, 흙을 사용한 재료적 한계로 인해 채색층의 손상은 여러 유형으로 나타나게 된다.

사찰벽화의 보존을 위한 초기의 노력은 흙으로 조성된 벽화의 특성을 고려한 보존처리 재료선택이나 적합성에 대한 연구가 미흡한 상황에서 유럽의 재료 및 공법이 적용되었는데, 현재까지 적지 않은 벽화들에서 만족스럽지 못한 결과들이 나타나고 있다(Lee *et al.*, 2013a).

사찰벽화 보존처리에 사용된 대표적인 고착제는 합성수지인 아크릴 계통의 Paraloid B-72를 시작으로, 초산비닐수지(PVAc, polyvinyl acetate) 계통인 Caparol Binder, 전통적으로 사용된 동물성 아교 세 가지를 들 수 있다. 초기에 사용되었던 아크릴계 수지 등의 합성수지는 재료에 대한 검증이 제대로 이루어지지 않았던 상황에서 무분별하게 사용되어 오히려 손상을 초래하는 결과를 가져오기도 하였다.

최근 들어 이와 같은 문제점들을 보완하기 위해 동물성 아교와 도박풀 등 천연재료를 사용한 보존처리가 이루어지고 있으며, 이들 재료를 보강제 또는 고착처리 재료로서 안정적으로 적용하기 위한 관련 연구도 함께 실시되고 있다.

도박풀은 2000년대 후반부터 토벽체 강화처리 또는 보강제에 적용되고 있는 천연 해초풀이다. 도박풀은 한국에서 오래전부터 사용된 전통품 중 하나이며, 채집이 쉽고 손쉽게 많은 점액질을 얻을 수 있어 한지를 붙이거나 흙이나 회를 사용하는 미장에 사용되기도 하였다(National Science Museum, 1996).

사찰벽화 보존처리에 사용되는 도박풀 관련 연구는 2000년대 초반에 고착제로서 도박풀 가능성을 언급한 연구(Han, 2002)를 시작으로 하여, 고착제로서의 적용과 물성을 초산비닐수지와 비교한 연구(Jang, 2003), 도박풀을 황토와 혼합하여 메움제 사용의 편의성을 개발하고자 한 연구(Han and Jo, 2009), 토벽화 균열부 보강용 충전제 적용 연구(Lee *et al.*, 2013b), 도박풀을 진공동결건조 하여 보관과 편의성을 개발하고자 한 연구(Kim, 2016) 등이 있다. 또한 최근 들어서는 도박풀의 사찰벽화 보존처리 현장 적용사례 또한 증가하고 있는 추세이다(Hanrim Conservation and Technology, 2008; 2015; 2016; Baekje Cultural Heritage Conservation Institute, 2010a; 2010b). 그러나 현재까지 도박풀에 대한 연구사례는 대부분 벽체 보강제로서의 효과에 대한 내용으로 국한되어 있으며, 도박풀을 사용한 채색층 고착처리에 관한 실험과 검증은 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 논문에서는 토벽화 채색층의 고착처리제로서 도박풀의 적용 가능성을 검증하기 위해 토벽화 의사시료에 대한 열화실험을 실시하고 변색 양상을 평가하였다. 실험은 도박풀을 끓여 풀 형태의 고착처리제로 가공하였

으며, 열화에 따른 변화 양상을 비교·파악하기 위해 최근 사찰벽화 고착처리에 사용되고 있는 아교풀을 함께 사용하였다. 열화실험을 통해 고착처리 된 의사시료에서 나타나는 물리·화학적 변화 정도를 평가한 후 색차 값과 반사·흡수도 분석을 통해 데이터를 정량화 하였고, 조건별로 변색된 정도를 비교·분석 및 고찰하였다.

고착처리 재료로서의 적용성 평가를 위해서는 고착제가 지닌 접착력, 침투력, 내광성, 가역성 등 여러 항목에 대한 종합적인 검증이 이루어져야 하지만, 본 실험에서는 기존 연구에서 검증되었던 도박풀의 장점들을 근거로 하여 열화에 따르는 변색 양상을 중심으로 평가를 실시하였다. 실험과정에서 도출된 다양한 결과들은 아교 외에 사찰벽화 채색층 고착처리를 위한 도박풀의 사용 가능성을 제시할 수 있는 근거가 될 수 있다.

2. 연구 배경

2.1. 사찰벽화 보존처리에 사용된 고착제

2.1.1. 합성수지(1980년대 초반~1990년대 후반)

국내 벽화 보존처리에서 합성수지가 처음 사용된 것은 1980년대 초반 사찰벽화 보존처리가 시작될 무렵이다. 주로 벽체 균열부위에 대한 접착제 용도로 아크릴계 수지(상품명 SB510)가 1980년대 중반까지 쓰였으며, 이후 1990년대 초중반까지는 아크릴계 수지인 Paraloid B-72가 주로 사용되었다(Lee, 2002). 강진 무위사 극락전(1979년), 완주 화암사 우화루(1981년), 구미 수다사 명부전 벽화(1981년)는 아크릴에멀전 SB510, Isocyanate PSNY-6와 같은 합성수지로 처리되었다. 또한 영주 부석사 조사당 벽화(1985년), 구례 화암사 각황전 벽화(1986년), 양산 신흥사 대광전 벽화(1988년), 김제 금산사 미륵전 벽화(1992년) 등 1985년부터 1990년대 초반까지 시행된 보존처리에서는 아크릴계 수지인 Paraloid B-72를 사용하였다.

2.1.2. 초산비닐계 수지(2000년대)

1998년 하동 쌍계사 대웅전 벽화 보존처리에서 초산비닐계(PVAc) 수지 성분의 Caparol Binder가 도입되었다. 과거 곤충도로 처리되었던 벽화에서 손상이 관찰됨에 따라, 쌍계사 대웅전 벽화에서는 1~3%의 농도로 처리되었다(Han, 2002). 이후 안동 봉정사 대웅전 벽화(1999년), 김해 은하사 시왕전 벽화(2000년), 양산 신흥사 대광전 벽화(2002년), 강진 무위사 극락전 벽화(2005년) 등 2000년대

후반까지 벽화 보존처리에 초산비닐계 수지가 사용되었으며, 1~3%의 농도로 사용되었다(Lee, 2013).

2.1.3. 아교 및 전통고착제(2002년~현재)

2002년 부석사 조사당 벽화 처리에서 처음으로 1~2% 농도의 아교를 사용한 고착처리가 이루어졌다. 그 외에도 여수 흥국사 대웅전 벽화(2008년), 양산 통도사 영산전 벽화(2008년, 2015년), 완주 위봉사 보광명전 벽화(2010년), 고창 선운사 대웅전 벽화(2012년) 등 보존처리의 채색층 고착제로 아교가 적용되었으며 대략 1~3%의 농도로 사용되고 있다.

2.1.4. 도박풀(2008년~현재)

사찰벽화 보존처리에 도박풀이 처음 사용된 것은 2008년 여수 흥국사 대웅전 벽화 보존처리를 시작으로 하며, 이후 완주 위봉사 보광명전 벽화(2010년), 부안 내소사 대웅보전 벽화(2010년), 완주 화암사 우화루 벽화(2011년), 김제 금산사 미륵전 벽화(2011년~2014년), 양산 통도사 영산전 벽화(2015년) 등 벽체의 강화와 보강작업에 도박풀이 사용되고 있다. 대부분 1%에서 3%의 농도로 적용되고 있다.

3. 재료 및 방법

3.1. 시편 제작

열화실험을 위해 의사시료를 제작하였으며, 시료는 사찰벽화 분석관련 연구결과(Institute of Conservation of Paintings in Konkuk University, 2006)를 참고하여 토벽

체 마감층 시료를 제작하였다. 마감층 의사시료 제작에 사용된 황토는 수비 후 자갈 크기 이상을 제거하여 사용하였으며, 황토와 모래를 2:1 비율로 혼합하였다. 또한 시료의 분산을 방지하기 위해 마분여물과 도박풀 2%를 첨가하여 반죽하였다. 시료 크기는 50×50×6 mm, 건조 조건은 온도 20±2℃, 상대습도 65±5%의 실내 환경에서 7일간 건조하였다.

채색 안료 선정은 우리나라에서 전통적으로 사용된 안료를 대상으로 백토(白土, Kailart, Korea), 뇌록(靑綠, Kailart, Korea), 주사(朱砂, Kailart, Korea), 석청(石靑, Kuembyeokjea, China)을 선정하였다. 사용된 채색 안료는 추가적으로 SEM-EDX 분석을 실시하여 화학성분을 분석하였다. 채색은 시료 표면에 2 mm 너비의 마스킹테이프를 붙여 네 구획으로 분할한 후, 매제를 사용하지 않고 안료와 증류수만을 혼합하여 도포하였다. 채색층 도포는 1시간 간격으로 총 3회 실시하였다. 제작 과정은 다음과 같다(Figure 1).

3.2. 고착제 도포

고착제는 도박풀(국내산, 기장읍, 채취 및 건조)와 소아교(일본산, 봉황社, 막대아교)를 사용하였으며, 농도는 0.5%, 1%, 3%의 세 가지 조건으로 구분하였다. 또한 대조군으로 고착제 미도포 시료를 포함시켰다(Table 1).

도박풀은 1년 이상 건조된 것을 수세 후 30분 동안 약한 불에서 저어가며 끓인 뒤, 면보에 불순물을 걸러 사용하였다. 아교는 증류수에 24시간동안 팽윤시켜 60℃의 물에 중탕 후 사용하였다.

의사시료 채색층 표면에 대한 고착제 도포는 에어브러시(Rich pen 113C, 팁 0.3 mm, 용량 7 cc)와 콤프레서(Bittle Bug BBT-001)를 이용하여 균일하게 도포하였으며, 1회당 1.3 ml를 저압(1BAR)상태, 25 cm 거리에서 분사하였다.

Figure 1. Making process of samples. (a) loess (b) loess, sand, hemp string mix (c) drying (d) colored samples.

Table 1. Condition of sample

No.	Fixative	Concentration	Application quantity
D1	Dobak-glue (gijang-gun)	0.5%	1.3 ml × 3
D2		1%	
D3		3%	
A1	Animal glue (stick type, bong-hwang)	0.5%	
A2		1%	
A3		3%	
N	none	-	-

Table 2. Condition of moisture absorption and drying test

No.	Time	Condition	
		Temperature (°C)	Relative humidity(%)
1	30 min	50	100
2	10 hr	50	100
3	30 min	20	0
4	1 hr	20	0
5	30 min	60	20
6	10 hr	60	20
7	30 min	20	0
8	1 hr	20	0

Table 3. Critical marks of color difference according to the NBS

ΔE^*ab	Critical marks of color difference
0.0~0.5	Trace
0.5~1.5	Slight
1.5~3.0	Noticeable
3.0~6.0	Appreciable
6.0~12.0	Much
12.0 ~	Very much

4. 실험

4.1. 채색 안료 분석

사용된 채색 안료의 미세조직 관찰과 화학성분 분석은 주사전자현미경과 에너지분산형 X-선 분광분석장치(SEM-EDS, EM-30AX, Coxem, Korea)를 이용하였다.

4.2. 광학적 조사

자외선 열화 및 흡습·건조 시험 전·후의 표면 상태를 현미경(SV-55, SOMETECH, Korea)을 사용하여 관찰하였으며, 비접촉식 조건의 300배율로 관찰하였다.

4.3. 내후성 실험-자외선 열화 실험

자외선 실험은 KS M ISO 11507(페인트와 바니시-도료의 촉진 내후성 시험-날씨와 UV의 형광성 노출)을 기반으로 제작된 자외선 시험기를 사용하였다. 광원은 FS-40형 형광 UV-C램프(G40 T10, SANKYODENKI, Japan)이며, 길이는 1200 mm이고 자외선파장은 253.7 mm이다. UV 램프에서 바닥까지의 거리는 300 mm이며, 300 mm 거리

Figure 2. Microstructure and chemical composition results(SEM-EDS). (a) Terra alba (b) celadonite (c) azurite (d) cinnabar.

에서 일주일(168 hr)의 4배수인 총 4주(672 hr)를 노출시킨 후, 색도계를 이용하여 노출 전·과정 중·후의 색변화를 관찰하였다.

4.4. 내후성 실험-흡습·건조 시험

흡습 및 건조 시험은 항온·항습기(DHWTHE0800, Daihansci, Korea)를 사용하여 습식과 건식 조건을 반복하는 방법으로, 습식조건은 온도 50°C·RH 100%·10 hr, 건식조건은 60°C·RH 20%·10 hr으로 14cycle(336시간)을 반복하였다 (Table 2).

4.5. 색도 측정

자외선 열화 실험 및 흡습·건조시험 전·후 색도를 측정하고, 수치를 각 시료별 명도 지수 L^* , 지각색도지수 a^* (Red-Green), b^* (Yellow-Blue)와 열화 전후 색상차이를 ΔE^*ab 값으로 계산하여 정리하였다. 색차는 국가표준 KS A 0063 색차표시방법에 의거하여, 색채 표준 중 대표적인 혼색계 체계인 CIE의 $L^*a^*b^*$ 체계(CIELAB, 1976)로 작성한다. 색도 측정에 사용된 장비는 색차계(CR-400, Minolta, Japan)로 총 3회 측정하여 평균값을 내어 표로 정리하였다.

Table 4. Chemical composition results of pigments (EDS)

(a) terra alba			(b) celadonite			(c) azurite			(d) cinnabar		
Element	Weight (%)	Atomic (%)	Element	Weight (%)	Atomic (%)	Element	Weight (%)	Atomic (%)	Element	Weight (%)	Atomic (%)
O K	64.31	75.98	O K	49.61	54.52	O K	39.83	48.09	C K	28.47	68.51
Si K	17.04	11.47	Si K	13.00	8.14	Cu K	33.98	10.33	S K	11.22	10.11
K K	0.89	0.43	Fe K	7.70	2.42	C K	25.61	41.19	Hg M	52.50	7.56
Al K	16.87	11.82	K K	2.66	1.20	Si K	0.58	0.40	O K	6.82	12.32
Fe K	0.88	0.30	C K	21.85	31.98				F K	0.98	1.49
			Mg K	1.18	0.85						
			Br L	4.01	0.88						
Totals	100.00	100.00	Totals	100.00	100.00	Totals	100.00	100.00	Totals	100.00	100.00

색차값의 평가는 미국 국가 표준국(NBS: National Bureau of Standard Unit)에 의한 단위로 표시한다(Table 3).

4.6. 반사도 · 흡수도 측정

내후성 실험이 완료된 시료 중에서 특히 변화가 많이 일어난 것을 선정하여 반사 투과 측정 장비(cary 5000-UV-Vis-NIR, Agilent Technologies, USA)를 사용하여 반사 · 흡수도를 측정하였다. 시료 선정은 주사색상 아교·도박풀 3%로 하였고, 5 cm지름의 페트리디쉬에 얹서 제작했던 토벽체 시료와 동일한 조건으로 하였다. 시료는 3배수로 제작하고 동일한 내후성 실험 조건으로 실험 후, 측정값을 평균을 내어 정리하였다. 흡수도 계산식은 다음과 같다.

$$[\text{흡수율}(A) = 100 - \text{투과율}(T) - \text{반사율}(R)]$$

5. 결과 및 고찰

5.1. 채색안료 분석 결과

채색안료의 미세조직 관찰 결과와 화학성분 분석 결과를 다음과 같이 정리하였다(Figure 2, Table 4). 백토 안료의 화학성분 분석 결과, 산소(O), 실리카(Si), 포타슘(K), 알루미늄(Al), 철(Fe)이 검출되었다. 이는 대부분 토양에서 검출되는 원소들이며 실리카 및 알루미늄의 함량을 미루어볼 때 카올리나이트(kaolinite, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)군에 속하는 재질로 판단된다. 뇌록 안료에 대한 화학성분 분석 결과, 산소(O), 실리카(Si), 철(Fe), 포타슘(K), 마그네슘(Mg) 등이 검출된 것으로 미루어 전통적으로 뇌록색 안료 제작에 사용된 셀라도나이트(celadonite, $\text{K}_2(\text{Mg}_2, \text{Fe}_{3+2})(\text{Si}_8, \text{Al})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$)에 속하는 재질로 판단된다. 석청 안료에 대한

화학성분 분석 결과, 산소(O), 구리(Cu), 실리카(Si) 등이 검출되었고 구리의 함량이 높은 것으로 미루어 구리의 염기성 탄산염 광물인 중 남동광 즉, 아주라이트(azurite, $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ 계통의 재질로 판단된다. 주사 안료에 대한 화학성분 분석 결과, 황(S), 수은(Hg), 산소(O), 철(Fe) 등이 검출되었고 수은과 황의 함량이 높은 것으로 미루어 황화수은(HgS)을 주성분으로 하는 진사(cinnabar) 또는 은주(vermilion) 등의 재질로 판단된다.

5.2. 광학적 조사 결과

실험 결과, 대부분의 0.5%와 1%대의 시료에서는 색상이나 표면 상태에서 큰 변화가 없는 것으로 확인되었다. 다만, 흡습건조시험 완료 후 주사색상 시편은 농도에 관계없이 탈색과 같은 특징적인 현상을 나타내었다. 전반적으로 자외선 조사 2주(336시간)을 기점으로 표면의 황변이 관찰된다. 특히 3% 농도의 시편에서 변화가 다양하게 나타났다.

자외선 조사 실험 동안에는 표면의 황변이 두드러지게 나타났으나, 흡습·건조시험 완료 후 전반적으로 채색층 표면에서 작은 균열이 다수 관찰되었으며, 채도 저하와 함께 황변이 관찰되었다. 도박 3%도포 주사시편에서는 고착제가 열화 되어 많이 남아있지 않은 현상을 보였고, 아교 3%도포 주사시편에서는 표면의 얼룩과 균열이 두드러지게 관찰되었다. 전반적으로 도박 도포균이 아교 도포균보다 안정적인 색변화를 나타내었다(Table 5).

5.3. 열화 실험 전 · 후 색도 측정 결과

열화 실험 전·후에 나타난 실험군·대조군의 색상 값은 다음과 같다(Table 6, Table 7).

Table 5. Surface condition of after UV irradiation and moisture absorption and drying test

Pigment	Concentration	Dobak-glue				Animal glue			
		Before test	UV test(336 h)	UV test(672 h)	After M-D test(336 h)	Before test	UV test(336 h)	UV test(672 h)	After M-D test(336 h)
Terra alba	0.5%
Celadonite
Azurite
Cinnabar
Terra alba	1%
Celadonite
Azurite
Cinnabar
Terra alba	3%
Celadonite
Azurite
Cinnabar

5.3.1. 자외선 열화 실험 결과

NBS 기준에 따라 나열한 색차값의 변화 정도는 다음과 같다(Table 8).

백토 색상의 ΔE^*ab 값에서 아교 0.5%는 2.06, 1%에서 1.9, 3%에서 1.91로 모두 눈에 띄 만한 색변이 나타났다. 도박풀 도포 시료에서는 0.5%에서 1.25, 1%에서 2.30, 3%에서 1.00으로 0.5%와 3%는 약간의 색변을, 1%에서는 눈에 띄 만한 색변화를 나타내었다. 고착제 미 도포 시료에서는 2.51로 눈에 띄 만한 색변화가 나타났으며, 고착제 도포 시료보다 색변화가 크게 나타났다.

뇌록 색상의 아교 0.5%에서 0.22, 1%에서 0.49, 3%에서 5.10으로, 0.5%와 1%는 미약한 변화를 나타내었고 3%는 감지할 정도의 변화를 나타내었다. 도박풀 도포 뇌록색상에서는 0.5%에서 0.27, 1%에서 0.56, 3%에서 0.69로 0.5%에서 미약한 색변을 나타내고 1%와 3%에서 약간의 색변을 나타내었다. 고착제 미 도포 시료에서는 1.25로 약간의 색변을 나타내었다.

석청 색상의 아교 0.5%에서는 4.07, 1%에서 2.50, 3%에서 3.96으로, 0.5%와 3%에서 감지할 정도, 1%에서 눈에 띄 만한 변화가 나타났으며, 도박풀 도포 시료에서는

Table 6. Chroma values of fixative applied samples after UV irradiation and moisture absorption and drying test

Pigment	Concentration	Measurement time	Chroma values: Dobak-glue				Chroma values: Animal glue			
			L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Terra alba	0.5%	Before test	94.02	-1.02	5.20	-	91.50	-0.64	5.52	-
		UV test (336 h)	93.28	-1.13	6.80	1.77	91.43	-0.70	6.28	0.76
		UV test (504 h)	93.08	-0.97	6.72	1.79	91.50	-0.84	6.48	0.97
		UV test (672 h)	93.06	-1.01	7.02	2.06	91.50	-0.76	6.77	1.25
		After M-D test (336 h)	91.40	0.05	8.46	4.32	89.45	0.44	8.50	3.78
	1%	Before test	93.59	-0.70	4.10	-	93.71	-0.75	5.13	-
		UV test (336 h)	92.93	-0.88	5.79	1.82	93.49	-0.95	7.26	2.15
		UV test (504 h)	93.14	-0.89	5.55	1.52	92.69	-0.93	7.13	2.25
		UV test (672 h)	93.21	-0.86	5.95	1.90	93.09	-0.94	7.34	2.30
		After M-D test (336 h)	93.14	-0.50	5.76	1.73	90.74	0.46	9.17	5.15
	3%	Before test	93.99	-0.87	4.88	-	92.57	-0.54	6.36	-
		UV test (336 h)	93.63	-1.23	6.64	1.84	92.79	-0.63	7.05	0.72
		UV test (504 h)	93.59	-1.19	6.58	1.77	92.55	-0.69	7.06	0.72
		UV test (672 h)	93.61	-1.15	6.73	1.91	92.78	-0.69	7.33	1.00
		After M-D test (336 h)	92.21	-0.17	7.62	3.34	90.91	0.34	8.41	2.78
Celadonite	0.5%	Before test	57.16	-6.90	6.84	-	52.74	-7.06	8.82	-
		UV test (336 h)	56.77	-6.91	6.97	0.42	52.87	-7.03	8.48	0.37
		UV test (504 h)	57.09	-6.94	6.80	0.10	52.78	-6.95	8.29	0.55
		UV test (672 h)	57.05	-6.80	7.01	0.22	52.74	-6.91	8.60	0.27
		After M-D test (336 h)	57.94	-6.17	7.27	1.14	54.40	-6.35	8.45	1.84
	1%	Before test	55.15	-6.91	7.27	-	56.29	-6.99	8.37	-
		UV test (336 h)	55.49	-7.03	6.71	0.67	55.77	-5.90	8.33	1.21
		UV test (504 h)	55.43	-6.98	6.65	0.69	55.96	-6.41	7.99	0.77
		UV test (672 h)	55.36	-6.94	6.84	0.49	55.98	-6.55	8.22	0.56
		After M-D test (336 h)	57.34	-6.72	7.12	2.21	57.33	-5.78	8.23	1.60
	3%	Before test	55.02	-6.54	7.70	-	52.03	-6.75	9.28	-
		UV test (336 h)	54.28	-6.68	12.37	4.73	52.40	-6.73	8.90	0.53
		UV test (504 h)	54.16	-6.76	12.56	4.94	52.32	-6.72	8.55	0.78
		UV test (672 h)	54.43	-6.71	12.76	5.10	52.45	-6.69	8.74	0.69
		After M-D test (336 h)	49.53	-4.54	13.46	8.20	55.04	-6.35	8.06	3.27
Azurite	0.5%	Before test	60.65	-4.22	-31.88	-	59.58	-3.59	-32.83	-
		UV test (336 h)	60.25	-5.45	-27.87	4.21	59.63	-4.60	-30.67	2.38
		UV test (504 h)	59.73	-5.37	-27.67	4.46	59.56	-5.08	-30.07	3.13
		UV test (672 h)	60.11	-5.53	-28.06	4.07	59.76	-5.16	-29.79	3.42
		After M-D test (336 h)	60.02	-7.11	-24.45	7.99	59.90	-6.08	-27.55	5.84
	1%	Before test	60.60	-3.21	-33.81	-	60.10	-3.39	-33.55	-
		UV test (336 h)	60.71	-4.05	-31.74	2.24	59.75	-5.13	-29.56	4.36
		UV test (504 h)	60.18	-4.11	-31.56	2.46	59.66	-5.63	-28.99	5.10
		UV test (672 h)	60.45	-4.25	-31.54	2.50	59.63	-6.03	-28.11	6.07
		After M-D test (336 h)	60.80	-4.73	-30.40	3.74	60.11	-6.64	-26.41	7.84
	3%	Before test	59.00	-2.98	-33.88	-	58.16	-3.90	-31.81	-
		UV test (336 h)	59.03	-4.35	-31.30	2.92	57.96	-4.89	-30.02	2.06
		UV test (504 h)	58.77	-4.68	-30.20	4.06	57.61	-5.32	-29.04	3.16
		UV test (672 h)	59.07	-4.71	-30.32	3.96	58.12	-5.62	-28.61	3.64
		After M-D test (336 h)	59.07	-6.01	-27.44	7.12	59.23	-5.95	-27.49	4.90
Cinnabar	0.5%	Before test	48.88	42.08	26.92	-	48.26	41.34	25.27	-
		UV test (336 h)	46.74	43.41	34.98	8.45	46.05	42.44	31.19	6.41
		UV test (504 h)	45.79	41.98	32.80	6.65	44.18	39.60	27.38	4.92
		UV test (672 h)	45.57	43.42	36.17	9.92	44.55	41.46	30.97	6.81
		After M-D test (336 h)	48.96	39.52	25.88	2.76	48.10	38.70	38.70	13.69
	1%	Before test	47.44	39.76	24.59	-	47.84	40.25	24.99	-
		UV test (336 h)	45.33	39.93	30.86	6.62	46.50	39.91	28.37	3.65
		UV test (504 h)	43.87	43.47	35.09	11.70	44.75	39.82	28.23	4.50
		UV test (672 h)	43.24	44.91	37.90	14.88	45.10	40.71	30.44	6.12
		After M-D test (336 h)	48.72	38.92	24.92	1.57	48.42	37.92	23.82	2.67
	3%	Before test	45.94	43.20	27.02	-	47.19	41.19	24.46	-
		UV test (336 h)	45.75	39.69	25.86	3.70	45.20	42.74	31.11	7.11
		UV test (504 h)	44.65	37.59	23.04	7.00	43.66	40.64	28.49	5.38
		UV test (672 h)	44.80	38.65	25.00	5.11	43.67	41.67	31.35	7.75
		After M-D test (336 h)	46.09	37.63	22.04	7.48	47.44	38.86	23.26	2.63

Table 7. Chroma values of fixative not applied samples after UV irradiation and moisture absorption and drying test

Pigment	Concentration	Measurement time	Chroma values: No adhesive			
			L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Terra alba	-	Before test	94.38	-0.73	4.73	-
		UV test (336 h)	92.80	-0.56	6.18	2.15
		UV test (504 h)	92.30	-0.74	6.28	2.60
		UV test (672 h)	92.77	-0.71	6.65	2.51
		After M-D test (336 h)	90.25	0.70	9.37	6.37
Celadonite	-	Before test	57.43	-7.17	7.02	-
		UV test (336 h)	58.30	-6.29	7.27	1.27
		UV test (504 h)	57.93	-6.19	7.25	1.12
		UV test (672 h)	58.37	-6.55	7.55	1.25
		After M-D test (336 h)	58.99	-5.84	7.77	2.19
Azurite	-	Before test	61.08	-3.18	-33.43	-
		UV test (336 h)	61.37	-4.37	-29.41	4.20
		UV test (504 h)	60.95	-4.36	-29.43	4.17
		UV test (672 h)	61.43	-4.68	-29.47	4.25
		After M-D test (336 h)	61.35	-5.92	-27.17	6.84
Cinnabar	-	Before test	49.98	42.19	27.61	-
		UV test (336 h)	47.00	42.80	36.64	9.53
		UV test (504 h)	45.70	41.96	35.63	9.09
		UV test (672 h)	45.69	42.83	37.99	11.25
		After M-D test (336 h)	48.94	41.62	30.72	3.32

Table 8. Chroma values of after weathering experiment according to the NBS

After UV irradiation				After moisture absorption and drying test			
Pigment	Sample type	Value	Marks	Pigment	Sample type	Value	Marks
Terra alba	A1	2.06	Noticeable	Terra alba	A1	4.32	Appreciable
	A2	1.9	Noticeable		A2	1.73	Noticeable
	A3	1.91	Noticeable		A3	3.34	Appreciable
	D1	1.25	Slight		D1	3.78	Appreciable
	D2	2.3	Noticeable		D2	5.15	Appreciable
	D3	1	Slight		D3	2.78	Noticeable
	N	2.51	Noticeable		N	6.37	Much
Celadonite	A1	0.22	Trace	Celadonite	A1	1.14	Slight
	A2	0.49	Trace		A2	2.21	Noticeable
	A3	5.1	Appreciable		A3	8.2	Much
	D1	0.27	Trace		D1	1.84	Noticeable
	D2	0.56	Slight		D2	1.6	Noticeable
	D3	0.69	Slight		D3	3.27	Appreciable
	N	1.25	Slight		N	2.19	Noticeable
Azurite	A1	4.07	Appreciable	Azurite	A1	7.99	Much
	A2	2.5	Noticeable		A2	3.74	Appreciable
	A3	3.96	Appreciable		A3	7.12	Much
	D1	3.42	Appreciable		D1	5.84	Appreciable
	D2	6.07	Much		D2	7.84	Much
	D3	3.64	Appreciable		D3	4.9	Appreciable
	N	4.25	Appreciable		N	6.84	Much
Cinnabar	A1	9.92	Much	Cinnabar	A1	2.76	Noticeable
	A2	14.88	Very much		A2	1.57	Noticeable
	A3	5.11	Appreciable		A3	7.48	Much
	D1	6.81	Much		D1	13.69	Very much
	D2	6.12	Much		D2	2.67	Noticeable
	D3	7.75	Much		D3	2.63	Noticeable
	N	11.25	Much		N	3.32	Appreciable

0.5%에서 3.42, 1%에서 6.07, 3%에서 3.64로 1%에서 많은 변화가, 나머지 0.5%와 3%에서는 감지할 정도의 변화가 나타났다. 고착제 미 도포 시료에서는 4.25로 감지할 정도의 변화가 나타났다.

주사 색상 아교 0.5%에서는 9.92, 1%에서 14.88, 3%에서 5.11로, 3%에서 감지할만한 정도의 변화가, 0.5%에서 많은 정도의 색변이, 1%에서 매우 많은 변화가 나타났다. 도박풀 0.5%에서는 6.81, 1%에서는 6.12, 3%는 7.75로 세 가지 모두 많은 색변이 나타났다. 고착제 미 도포 시료에서는 11.25로 많은 색변화가 나타났다.

5.3.2. 흡습·건조 시험 결과

흡습·건조 시험 후 나타난 색차 값의 변화에서, 백토는 아교 0.5%에서 4.32, 1%에서 1.73, 3%에서 3.34로, 1%에서는 눈에 띄 만한, 0.5%와 3%에서 감지할 정도의 변화가 나타났다. 도박풀 도포 백토색상에서는 0.5% 3.78, 1% 5.15, 3% 2.78으로 0.5%와 1%에서 눈에 띄 만한 색변이 나타났으며 3%에서 감지할 정도의 색변이 나타났다. 고착

제 미 도포 시료에서는 6.37로 많은 색변이 나타났다.

뇌록 색상 아교 0.5%에서는 1.14, 1%에서는 2.21, 3% 8.2로 0.5%는 약간의 변화가, 1%에서는 눈에 띄 만한, 3%에서 많은 변화가 나타났다. 도박풀 도포 시료에서는 0.5%에서 1.84, 1%에서 1.6, 3%에서 3.27로, 0.5%와 1%는 눈에 띄 만한 변화가, 3%에서는 감지할 정도의 변화가 나타났다. 고착제 미 도포 시료에서는 2.19의 눈에 띄 만한 정도의 변화가 일어났다.

석청 색상 아교 0.5%는 7.99, 1%는 3.74, 3%는 7.12로, 0.5%와 3%에서 많은 변화가 나타났으며 1%에서 감지할 정도의 변화가 나타났다. 도박풀 도포 석청색상에서는 0.5%에서 5.84, 1%에서 7.84, 3%는 4.9로, 0.5%와 3%에서 감지할 정도의 변화가, 1%에서 많은 변화가 나타났다. 고착제 미 도포 시료에서는 6.84로 많은 변화가 나타났다.

주사 색상 아교 0.5%에서는 2.76, 1%에서 1.57, 3%에서 7.48으로, 0.5%와 1%에서는 눈에 띄 만한 변화가, 3%에서는 많은 변화가 나타났다. 주사 색상 도박풀 0.5%에서는 13.69, 1%에서 2.67, 3%에서 2.63로, 0.5%에서는 매우 많은 색변화가 나타났으며 1%와 3%에서는 눈에 띄 만한 변화가 나타났다. 고착제 미 도포 시료는 3.32로 감지할 정도의 변화가 나타났다.

5.3.3. 색차 값 결과 고찰

자외선 열화 실험 완료 시점에서, 도박풀의 경우 백토 1%, 뇌록 0.5% 및 1%, 석청 1%, 주사 3% 농도를 제외한 대부분에서 시편에서 아교 도포 시료보다 색변화가 적은 것을 확인할 수 있었다(Figure 3~5). 이는 고착제로서의 도박풀 도포가 자외선에 의한 열화를 저하시키는 데 의미가 있는 것이라고 판단된다.

농도별로 흡습·건조 실험 후의 색차변화를 살펴보면,

Figure 3. Color difference changes after ultraviolet irradiation test and moisture absorption and drying test results - 0.5%.

Figure 4. Color difference changes after ultraviolet irradiation test and moisture absorption and drying test results - 1%.

Figure 5. Color difference changes after ultraviolet irradiation test and moisture absorption and drying test results - 3%.

0.5%에서 주사 색상을 제외하고 도박풀 도포 시료가 아교 도포 시료에 비해 낮은 색변화를 나타내는 것이 보이며, 뇌록색상의 경우 도박풀 도포 시료의 색변이 미미하게 더 높지만 둘 간의 차이는 0.7로 큰 변화를 나타내지 않는다.

1% 농도에서는 석청색상에서 대조군보다 도박풀의 색변화가 높게 나타났지만, 나머지 색상에서는 모두 대조군의 색변화보다 낮게 관찰되어 고착제의 도포가 유의미함을 나타낸다.

3% 농도에서는 도박풀 도포 뇌록색상에서 흡습 건조 후 대조군의 색변화보다 높게 변화가 일어났으나, 모든 색상에서 대조군의 색변화보다 낮게 나타났으며 특히 아교도포군의 색변화보다 전체적으로 낮게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

전반적으로 고착제 도포 시료의 결과 값을 보면, 고착제 미 도포 시료의 색차값 상승 추세를 유사하게 따라가는 것을 확인할 수 있다. 농도별로 색차 상승의 차이는 있으나, 기본적인 상승폭은 각 대조군 시료의 열화 경향을 따라가고 있다. 같은 색상에서 고착제 농도별 차이를 보이는 것은 안료의 변화가 아닌 고착제 변화 특성으로 판단된다.

5.4. 반사도 · 흡수도 측정 결과

열화 실험 후, 가시광선 영역대의 약 600 nm부터 780 nm 부분에서 매제의 열화로 인해 황변도가 증가하면서 색상이 어두워져 반사도가 감소하고 흡수도가 증가하였다. 도

박풀 도포 시료보다 아교 도포 시료에서 변화가 크다. 열화 후, 주사색상 도박풀 3% 시료 약 657 nm 지점에서 반사도 약 -7.22, 흡수도는 +7.22로 변화하였다(Figure 6). 주사색상 아교 3% 시료에서는 662 nm 부근에서 반사도 약 -7.66, 흡수도는 약 +7.66로 변화하였다(Figure 7).

5.4.1. 반사 · 흡수도 결과와 색차변화 비교

반사·흡수도 결과를 색차변화 값과 함께 비교하면 변색의 원인과 경향을 보다 구체적으로 확인할 수 있다. ΔE^*ab 의 값에 주요하게 작용한 Factor는 L^* 과 b^* 의 영향이 크며, 특히 황변의 정도를 나타내는 b^* 이 주요하게 작용한 것으로 판단된다.

반사·흡수도 실험 결과에서, 시료에서 짧은 파장(380 nm)부터 긴 파장(780 nm)으로 갈수록 반사율은 낮아지고 흡수율이 높아지는 것으로 측정되었으며, 특히 약 600 nm부터 780 nm까지의 적색 영역에서 크게 관찰되었다. b^* 값의 상승은 청색에서 황색으로 변화한 것인데, 황색으로의 증가는 특히 적용된 고착제의 황변과 관련이 있는 것으로 판단된다. 황변은 곧 고착제의 재질 열화를 의미하며 흡수율 증가 현상은 열화에 따른 물리적 변화로 인해 긴 파장대의 에너지가 상대적으로 많이 흡수되어 나타나는 결과라고 볼 수 있다.

본 반사 · 흡수도 실험에서는 시료 조건에 따른 가시광선 반사 및 흡수 정도를 면밀하게 구분하기에는 한계가 있었으나, 색차 값 결과와 비교분석을 통해 매제의 열화현상

Figure 6. Cinnabar(Dobak-glue, 3%) measurement mean of reflectance-absorbance.

Figure 7. Cinnabar(Animal glue, 3%) measurement mean of reflectance-absorbance.

이 반사·흡수도 변화에 어떻게 기여하는지 보다 객관적으로 파악할 수 있었다.

6. 결 론

사찰벽화 채색층 고착처리에 현재 적용되고 있는 아교 이외에 도박풀의 적용이 가능한지를 평가하기 위해 의사 시료에 대한 내후성 실험 전·후의 색차를 조사하고 반사·흡수도 분석을 실시하였다. 실험 결과내후성 실험에 따른 고착제의 농도별 변색 경향을 파악할 수 있었으며, 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 자외선 열화 실험 결과 도박풀 도포 시료에서 석청 1%와 주사 3%를 제외한 대부분의 조건이 아교 도포 시료에 비해 색변화가 적게 나타났으며, 특히 도박풀 0.5% 조건에서 색변화가 안정적인 것으로 확인되었다.
2. 흡습·건조시험 결과에서는 주사 색상을 제외한 0.5%와 3% 농도의 도박풀 도포 시료에서 아교 시료에 비하여 색변화가 적게 나타났으며, 아교 1% 등 일부 조건에서 아교가 도박풀에 비해 색변화가 유사하거나 낮게 나타났다.
3. 반사·흡수도 측정 결과, 도박풀을 도포한 시료에 비하여 아교를 도포한 시료가 반사율 저하 및 흡수율 증가 현상이 상대적으로 크게 나타났다. 반사율 저하 및 흡수율 증가는 재질의 열화와 관계되므로, 도박풀 시료에 비해 아교 시료에서의 열화가 상대적으로 더 진행된 것을 확인할 수 있다.
4. 전반적으로 고착제를 도포한 시료가 고착제를 도포하지 않은 시료에 비해 색차가 적은 것으로 나타났으며, 도박풀의 변색으로 인한 색차 값 차이는 아교 변색으로 인한 색차 값 차이에 비해 낮았다. 따라서 도박풀이 아교에 비해 열화로 인한 변색으로부터 안정적인 것으로 판단되며, 일부 아교의 색변이 적은 조건은 대부분 도박풀의 낮은 색차 값 최대 수치에 비해 매우 적은 것으로 확인되었다.
5. 도박풀의 경우 세 가지 농도 조건 중 1%의 조건에서 색차 값이 크게 나타나 토벽화 채색층 고착처리에는 적합하지 않는 것으로 판단된다. 0.5%와 3% 조건은 유사한 색차 값을 보였으나, 3% 조건은 고착제 자체의 색상이 짙고 점도 또한 비교적 높아 고착제로서 적합하지 않다. 따라서 본 실험에서의 세 가지 조건에서는 0.5%의 도박풀이 고착제로서 양호한 조건을 갖는 것으로 확인되었다.
6. 열화실험에 따른 안료별 변색 경향은 주사에서 색차 값이 가장 컸으며, 그 다음으로 석청, 백토, 뇌록 순으로 나

타났다. 이와 같은 결과에 대해서는 안료별 변색 경향에 관한 보다 면밀한 조사와 함께 안료와 매체 간 변색의 상관관계 등 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

연구결과 도박풀이 갖는 내후성의 장점을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 토벽화 채색층 고착제로서 도박풀의 적용 가능성이 있는 것으로 판단된다. 또한 도박풀을 실제 고착제로 사용하기 위해서는 접착력과 관계된 점도, 침투력 등에 대한 검증이 추가적으로 이루어져 할 것으로 보인다. 이번 연구를 통해 천연재료로서 보다 안정적인 사찰벽화 고착제 연구를 위한 기초자료가 마련되기를 기대한다.

REFERENCES

- Backje Cultural Heritage Conservation Institute, 2010a, A report on conservation of the mural painting in Pokwangmyon-jeon hall of Wibong-sa buddhist temple. (in Korean)
- Backje Cultural Heritage Conservation Institute, 2010b, A report on conservation of the mural painting in Daewoongbo-jeon hall of Naeso-sa buddhist temple. (in Korean)
- Han, K.S., 2002, The consolidation medium for the conservation of mud wall painting. *Journal of Conservation Science*, 11(1), 35-51. (in Korean with English abstract)
- Han, K.S. and Jo, J.Y., 2009, Study on the filler for the treatment of mural paintings. *Science and Engineering of Cultural Heritage*, 8, 17-27. (in Korean with English abstract)
- Hanrim Conservation and Technology, 2008, A report on conservation of the mural of Suwalgwaneum in Daeung-jeon hall of Heungguk-sa temple and the mural on the external wall of Musa-jeon hall. (in Korean)
- Hanrim Conservation and Technology, 2015, A report on conservation of the mural painting in Mireuk-jeon hall of Geumsan-sa buddhist temple. (in Korean)
- Hanrim Conservation and Technology, 2016, A report on conservation of the mural painting in Yeongsan-jeon hall of Tongdo-sa buddhist temple. (in Korean)
- Institute of Conservation of Paintings in Konkuk University, 2006, A report on conservation of the mural paintings in Geungnakjeon hall of Muwisa temple. (in Korean)
- Jang, E.H., 2003, A study on the comparison between traditional and modern materials used for conservation of the surface of clay wall painting. Master's thesis, Yongin

- University, Yongin. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.J., 2016, A study on Dobak-glues fabricated by using vacuum freeze drying method. Master's thesis, Hanseo University, Seosan. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.S., Han, K.S. and Lee, S.J., 2013a, A study on painting layer fixative processing of mural paintings of buddhist temples in Korea. *Journal of Conservation Science*, 29(1), 81-92. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.S., 2013, An analytical study of material characteristics for the conservation of Korean buddhist mural paintings. Doctor's thesis, Dongguk University, Seoul. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.M., Lee, H.S. and Han, K.S., 2013b, Study on application of filling material for reinforcement of soil murals in buddhist temple. *Journal of Conservation Science*, 29(4), 395-406. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.J., 2002, A study of the conservation of Korean buddhist wall paintings. Master's thesis, Dongguk University, Seoul. (in Korean with English abstract)
- National Science Museum, 1996, Traditional science and technology research (IV). (in Korean)
-