한국 사찰벽화 채색층 고착처리제 적용 연구

이화수 | 한경순¹ | 이상진*

건국대학교, *(주)세영씨앤티

A Study on Painting Layer Fixative Processing of Mural Paintings of Buddhist Temples in Korea

Haw-soo Lee | Kyeong-soon Han¹ | Sang-jin Lee*

Department of Fine art, Konkuk University, Chungju, 380-701, Korea

*Seiyoung Conservation and Tech., Co. Ltd., Gyeongju, 780-170, Korea

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

초 록 과거 국내 사찰벽화 보존처리는 유공성과 친수성의 특성을 고려한 재료선택이나 적합성에 대한 연구가 미흡한 상황에서 유럽의 재료 및 공법이 적용되었다. 그리고 합성수지를 사용하여 채색층 고착처리가 이루어진 벽화들은 현재 까지 만족스럽지 못한 결과들이 나타나고 있다. 따라서 본 논문에서는 보존처리 효과를 규명하고자 사찰벽화 채색층 보강에 사용되는 고착제를 선별하여 고착처리 적용연구를 실시하였다. 고착제의 점도와 접착력 그리고 침투상태의 관계성을 파악한 결과 대부분 점도가 높은 시료에서 접착력이 증가하였고, 저점도의 시료에서는 접착력이 낮게 측정되었다. 시료별 고착제의 침투상태는 유사하지만 채색층과 토양 마감면의 상응 및 결합반응은 큰 차이점이 있는 것을 발견할 수 있었다. 동물성 아교와 MC의 경우, 채색층을 포함하여 토양과의 고착반응이 우수한 것으로 보이며, 토양과 견고하게 결속되어 안정적인 고착효과를 나타내는 것으로 판단된다. 합성수지계인 PVAc와 아크릴수지는 침투는 원활하지만, 토양과의 고착반응은 효과가 떨어지는 것으로 보인다.

중심어: 사찰벽화, 고착제, 마감층, 채색층, 동물성아교, 합성수지, 셀룰로오스

ABSTRACT In the past, European material and method were applied to conservation of Buddhist mural paintings in Korea. At that time, there were inadequate to selection of materials in consideration of porosity and hydrophilicity, therefore insufficiency to assessing their suitability for materials. The treatment result of mural painting are dissatisfied with consolidation of painting layer using synthetic resin. Therefore, it has experimented on applying fixative for reinforcement of painting layer on Buddhist mural painting in order to establish the effects of conservation. In relationship of binder's viscosity, adhesion and penetrating depth, adhesion increased in high-viscosity specimen whereas it decreased in low-viscosity specimen. While the binder's penetrating depths show similar patterns, the surface's response and combination adjacent to painting layer have differences. Animal glue and methyl cellulose (MC) shows excellent performance in their reaction with soil and painting layer. It is estimated that the fixative penetrates deep into soil to produce a stable fixing effect. The viscosity of polyvinyl acetate resin (PVAc) and acrylic resins are low, and thus penetrates well into soil, but they adhere poorly to soil.

Key Words: Mural paintings of Buddhist temples, Fixative, Finishing layer, Painting layer, Animal glue, Synthetic resin, Cellulose

1. 서론

벽화보존에 대한 중요성이 비교적 늦게 인식되었던 우리나라는 보존철학과 윤리에 대한 체계적인 논의가 부족한 상태에서 손상된 문화재를 보수하는 실질적인 작업에 열중한 결과 많은 시행착오를 겪었다. 특히 한번 손상되면 회복하기 어려운 벽화는 이미 많은 작품이 훼손된 채로 외부에 방치되어 있거나 전각을 보수하는 과정에서 소멸되었다(Han, 2003).

사찰벽화의 보존을 위한 초기의 노력은 흙으로 조성된 벽화의 특성을 고려한 보존처리 재료선정이나 적합성에 대한 연구가 미흡한 상황에서 유럽의 재료 및 공법이 적용되었는데, 현재까지 적지 않은 벽화들에서 만족스럽지 못한 결과들이 나타나고 있다. 특히 1980~1990년대에 주로 사용된 아크릴계 고착제의 경우 현재 다양한 부작용이 발생하고 있는데, 이는 사찰벽화 재질과 보존처리 재료 적용성에 대한 기초연구의 부재에서 비롯된 결과라고 할 수 있다.

지금까지 실시된 사찰벽화의 보존처리는 대부분이 이론적 배경에 의한 일부 적용실험을 바탕으로 진행되어 왔으며 기술적 검사 및 적용 연구는 전무하였다. 따라서 본 연구에서는 사찰벽화 채색층 보강에 사용되는 고착제의 특성을 파악하고, 과학적 검증을 통해 보존처리 효과를 규명하고자 하였다.

연구방법은 사찰벽화와 유사한 의사시료를 제작하고, 시료를 대상으로 채색층 고착처리 적용 실험 및 분석을 실시하였다. 고착제는 현재 사찰벽화 채색층 보강에 사용되거나 적용 가능성이 있는 재료를 선정하였으며, 고착처리 후 상태에 대한 효과를 파악하였다.

2. 연구배경

사찰벽화 보존처리에서 가장 우선시되는 부분은 채색층에 대한 보강이며, 채색층이 마감층과의 결속력을 잃어 균열 또는 박리·박락을 나타내거나, 안료의 분말화가 발생되었을 때 인위적으로 고착제를 사용하여 채색층을 보존하게 된다.

서양에서는 20세기 후반기부터 이상적인 고착제를 선정함에 있어 필요한 기준을 마련하고, 그 조건을 충족시킬 수 있는 고착제에 대한 연구를 진행하였으며, 그에 따른 연구결과를 실질적인 벽화보존처리에 적용해 왔다. 그러나 이와 같은 연구들은 대부분 유럽의 석회질 벽화를 대상으로 한 합성수지에 대한 결과임에도, 토벽화의 재료적 특성을 고려한 고착제에 대하여 구체적인 연구가 이루어지지

않은 상태에서 동양의 토벽화 보존처리에도 일률적으로 사용되었다(Huang, 1996; Masuda, 1996). 우리나라 역시 토벽화 고착처리에 대한 기술적 검사와 재료 적용성에 대한 연구가 부족한 상태에서 1980년대 유럽의 합성수지가 유입되어(Lee, 2001) 다양하게 적용되었다. 친수성과 유공성의 특성을 지닌 사찰벽화에 대해 고농도의 합성수지를 사용하여 고착처리가 이루어진 경우 2차 손상이 발생되고 있으며, 이는 대부분 합성수지 고착제의 물리적 저항력에서 기인하는 것으로 보고 있다. 특히 외부 환경에 노출된 벽화들은 그 손상이 매우 빠르게 진행되는 것으로 조사되었다(Lee *et al.*, 2008).

양산 신흥사 대광전 벽화는 1989년에 Paraloid B-72를 사용한 고착처리가 이루어졌다(Institute of Cultural Heritage Kyongju University, 2002). 당시 보수 공사에서 과도한 경화처리로 인하여 벽화의 표면이 분리되어 벽체로부터 이탈되었고, 보존처리 후 약 12년이 경과된 이후에도 손상은 계속 진행되었다.

강진 무위사 극락전 내벽 사면벽화는 1974~1984년까지 합성수지를 사용한 고착처리가 이루어졌으며, 현재 고착제가 표면에 광택을 나타내거나 채색층 위로 흘러내려 고형화되어있다. 고착제의 강도가 원 벽화의 재질보다 높기 때문에 시간이 경과되면서 채색층 및 마감층의 박리·박락이 발생되었다(Han *et al.*, 2007). 2005년도에 실시된 보존처리에서 과거 고착제에 대한 일부 제거를 위한 노력이 있었으나 효과적인 방안을 찾지 못하였으며, 대부분의 고착제는 현재까지 남아있는 상태이다.

1992년 김제 금산사 미륵전 외벽화 보존처리에 사용된 Paraloid B-72는, 현재 벽화면의 다공질 광물조성면에 침투되어 고형화를 이루고, 채색층은 단단한 도막 형성과 함께 강한 광택을 나타내고 있다. 마감층은 경화제의 영향으로 광물 입자들이 응집되어 매우 단단한 응결체(aggregate)를 형성하고 있다(Han *et al.*, 2010). 또한 벽화면 일부가 일정한 두께로 융기되어 변형을 나타내거나 박리·박락되고 있으며, 일부는 벽체로부터 마감층 전체가 분리되는 현상을 보인다.

이와 같이 과거에 합성수지를 사용하여 보존처리가 이루어진 사찰벽화는 오랜 시간이 경과하면서 필연적인 손상이 나타나게 된다. 이러한 손상의 주된 요인은 합성수지의 열가소성 특성으로 인한 물성저하와, 광분해에 의한 기계적 절단 등의 현상이 사찰벽화 주변 환경적인 요인과 상호 복합적으로 손상에 작용하는 것으로 보고 있다. 과거 보강된 물질은 현시점에서 어려운 과제로 남아있으며 벽화의

물성이 바뀐 상태에서 가역성 있는 재료의 적용은 더 어려워지게 되므로, 우선적으로 토벽화 채색층에 안정적인 고착제 적용 실험연구가 선행되어야 한다.

3. 시편제작

의사(擬似)시료 제작을 위해 조선시대 사찰벽화 제작양식에 따라 벽체 및 채색층을 제작하였다(Figure 1). 목재 틀에 외가지를 설치하여 골조를 마련하고, 산에서 채취한 황토를 수비하여 기존 분석된 입도비에 맞도록 초벽과 중벽을 제작하였다. 마감층은 실트질 이하의 황토와 중립사 이하로 수비한 강모래를 1:1비율로 혼합하였다(Table 1).

사찰벽화 벽체제작 당시 첨가되었을 것으로 추정되는 혼합 풀은 고착제와 같은 유기물이다. 본 연구는 결속력을 잃은 채색층에 대한 고착제의 적용 실험에 대한 것으로서, 혼합풀에 의한 영향을 배제하기 위하여 벽체 제작에 풀을 첨가하지 않았다. 벽체는 실험을 실시하기 6개월 전에 제

작한 다음 기건 양생하며 보관한 후 사용하였다.

채색층은 황토안료를 사용하여 바탕칠을 하였으며, 그 위에 호분을 사용하여 채색하였다(Table 2). 조선시대 사찰벽화에서 채색층에 매제로 사용되었던 것으로 추정되는 아교는 유기물이므로 실험을 위해 아교를 사용할 경우 본 연구의 실험 대상인 고착제와 유사한 거동을 하게 된다. 따라서 본 연구에서는 아교 성분이 분해되었을 것으로 가정하고 안료와 물만 혼합하여 채색층을 제작하였다.

실험에 사용되는 고착제는 천연접착제와 합성수지 등 총 7종류를 선택하였다. 동물성아교계 고착제는 일본의 天野山文化遺産研究所에서 생산된 소가죽아교(牛皮), 그리고 회화보존처리에 널리 쓰이는 토끼가죽아교(卵膠)와 상어부레아교(魚鰾膠) 등 3종류의 아교를 사용하였다(Mora et al., 1984; Nicolaus, 1999). 합성수지계 고착제는 국내외 벽화 보존처리에 널리 사용된 아크릴계수지(Paraloid B-72)와 초산비닐계수지(Caparol Binder)를 선택하였다. 그리고 향후 벽화보존을 위한 적용 가능성을 판단하기 위해 셀룰로오스

Table 1. Mural samples.

sample	mixing ratio(by volume)	making method		
		additives	medium	size
first layer	loess 1 : fine sand 1	chopped straw	Non	350×500×100mm
middle layer	loess 1 : fine sand 1	(10%, volume ratio)		
finishing layer	clay 1 : fine sand 1	chopped raw hemp (10%, volume ratio)		

Table 2. Painting layer samples.

sample	making method		
	pigment	medium	size
ground	ocher ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	Non	50×80×100mm
painting layer	oyster shell white (CaCO_3)

Figure 1. (A) Production of wall, (B) Production of painting layer, (C) Manufactured sample completion.

Table 3. List of fixative samples.

sample	condition		
	kind of fixative	product	density
P-1	animal glue (cowhide)	天野山文化遺産研究所(牛皮和膠特 2)	1%,
P-2	animal glue (rabbit skin)	Talas(034001)	
P-3	fish glue (bladder of sturgeon)	Talas(035001)	3%
P-4	polyvinyl acetate resin (PVAc)	Caparol(Caparol Binder)	5%,
P-5	acrylic resin	Rohm&hass(Paraloid B-72)	
P-6	hydroxypropyl cellulose (HPC)	Sigma Aldrich(435007)	10%
P-7	methyl cellulose (MC)	Sigma Aldrich(M0512)	

계 고착제로써 methyl cellulose(이하 MC)와 hydroxypropyl cellulose(이하 HPC)를 사용하였다.

선별된 고착제는 희석 농도를 1%, 3%, 5%, 10%의 네 가지 조건으로 하였다. Paraloid B-72는 아세톤에 농도별로 희석하였으며, 나머지 고착제는 증류수에 농도별로 희석하여 제작하였다(Table 3). 고착제는 의사시료 표면에 농도별로 각각 고착처리 하였으며, 채색된 안료표면 위로 붓을 사용하여 2회 도포하였다.

4. 실험

4.1. 점도 테스트

고착실험에 앞서 고착제별 농도에 대한 점도 테스트를 실시하였다. 측정기기는 저점도용 점도측정 장치(LV-II, BrookField, U.S.)를 사용되었으며, Spindle Number는 3으로 하였고, 회전속도는 100 rpm으로 하여 농도별로 측정하였다.

4.2. 광택도 테스트

고착제로 인해 채색층 표면에서 발생하는 광택정도의 차이를 확인하였다. 광택도 측정은 KS L2405의 규정에 의거하여 광택계(WKIG-320, HORIBA, Japan)을 이용하여 측정하였다. 측정조건은 주광원 LED(파장:880nm)으로 주사각 60°, 수광각 60°, 측정면적은 12×6 mm로 하였다.

4.3. 색도 테스트

고착제로 인해 발생될 수 있는 시료의 색차를 비교 분석하기 위해 색도측정을 실시하였다. 측정 장비는 휴대용 색차계(Spectro-guide, BYK Gardner, Germany)를 사용하여

고 측정 기준은 국제조명위원회(CIE)에서 규정한 CIE L*, a*, b* 값으로 표시하였다.

4.4. 접착력 테스트

안료를 마감층 표면에 고착시키는 효과를 파악하기 위해 고착제의 접착력에 대한 테스트를 실시하였으며, 고분자의 반응시간을 고려하여 6주간의 건조기간을 갖은 후 실험에 착수하였다. 본 연구에서는 벽체 구조의 특성을 고려하여 인장 시험 법 중의 하나인 Direct pull-off method를 적용하여 접착력을 측정하였다(Kwon *et al.*, 1994). 접착력은 코팅부착력시험기(AT-A Automatic, De Felsko Posi Test, U.S.를 이용하여 측정하였으며, KS MISO4624의 규정에 의거하여 수치화하였다. 단위 면적(cm^2)당 압력(MPa)으로 측정하였으며, 농도별로 측정된 압력값을 평균으로 데이터화하였다.

4.5. 침투상태 조사

벽체층 내부로 고착제가 침투된 상태를 관찰하기 위하여 시료의 표면과 단면에 대한 미세조직 검사를 실시하였다. 분석장비는 주사전자현미경(S-2300, Hitachi, Japan)을 사용하였으며, 시료의 표면을 금으로 코팅(Au coating)한 다음 가속 전압을 15.00 kV로 하여 분석하였다. 단면 조사는 Scale Bar를 표준크기로 하였으며, 치수측정 프로그램을 사용하여 채색층에서 시료 내부까지 침투된 상태를 조사하였다.

5. 실험결과

5.1. 점도 테스트 결과

고착제별 점도 테스트 결과 농도별 점도 증가는 동물성

Table 4. Viscosity test results.

fixative product	density	viscosity(unit: cPs)			
		1%	3%	5%	10%
animal glue (cowhide)	天野山文化遺産研究所(牛皮和膠特 2)	5.5	7.8	38.4	69.9
animal glue (rabbit skin)	Talas(034001)	4.5	6	18	33
fish glue (bladder of sturgeon)	Talas(035001)	3.9	6	19.5	35.6
polyvinyl acetate resin (PVAc)	Caparol(Caparol Binder)	4.5	5.4	6.6	11.1
acrylic resin	Rohm&hass(Paraloid B-72)	1.8	2.4	3.3	4.8
hydroxypropyl cellulose (HPC)	Sigma Aldrich(435007)	7.8	17.1	33	104.7
methyl cellulose (MC)	Sigma Aldrich(M0512)	15	115.2	5351	∞

Table 5. Glossiness test results.

sample	density	glossiness(unit : GU)				remark
	1%	3%	5%	10%		
P-1	2.65	3.33	2.9	5.8	animal glue (cowhide)	
P-2	2.6	3.3	6.73	14.5	animal glue (rabbit skin)	
P-3	2.45	2.47	2.57	7.87	fish glue (bladder of sturgeon)	
P-4	3.67	4.23	7.27	9.57	polyvinyl acetate resin (PVAc)	
P-5	2.17	2.25	2.33	2.3	acrylic resin	
P-6	2.2	2.48	2.53	2.5	hydroxypropyl cellulose (HPC)	
P-7	2.4	13.85	∞	∞	methyl cellulose (MC)	
control group		2.03			non medium	

아교제와 셀룰로오스제에서 비교적 큰 차이를 나타냈고, 합성수지계열인 PVAc와 아크릴수지는 차이가 크게 발생되지 않았다. 그러나 MC는 점도 증가의 격차가 상당히 크게 나타났으며, 3%에서는 5,300(cPs)을 넘었고 10%에서는 점도 측정이 불가능했다(Table 4).

고착제는 접착력 이외에도 점도의 특징에 따라 적용 범위가 달라진다. 또한 점도는 접착력의 효과를 높일 수 있는 고착제의 유동성 즉, 벽체 내부로 침투된 상태와 밀접한 관계가 있다. 고착제의 점도는 유동성 흐름에 대한 내부 저항의 의미를 가지므로, 점도가 낮을수록 유동성이 향상되며 그로 인해 채색층과 마감층 뿐만 아니라 벽체 내부까지 고착제가 침투하여 접착력에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

5.2. 광택도 테스트 결과

광택도는 고착제의 농도별로 다양하게 나타났다. 먼저, MC는 3%에서 다른 시료들의 10%보다도 높은 광택도를 기록했다. 10%에서는 토끼가죽 아교(P-2)가 가장 높은 광택도를 보였고, 그 다음으로는 PVAc(P-4) 10%에서 높게 나타났다.

채색층에 고착제를 도포하지 않은 대조군 시료의 광택

도가 2.03인 것을 감안할 때 아크릴수지시료(P-5)와 HPC 시료(P-6)가 현저하게 낮은 편에 속한다. 소가죽 아교(P-1)의 경우 5%까지 대조군 시료와 큰 차이를 보이지 않았고, 토끼가죽 아교(P-2)와 상어부레 아교 시료(P-3)에 비해 낮은 광택도를 나타냈다(Table 5).

광택정도는 벽화보존처리에 있어 중요한 인자로 작용한다. 실험에 사용된 고착제들의 유기물 피막은 안료와 빛에 대한 굴절률이 다르기 때문에 광택이 형성될 수 있으며, 고착제가 농도별로 지닌 점도와 그에 따른 침투상태에서 기인하는 것이 가장 크다고 생각된다.

5.3. 색도 테스트 결과

동물성 아교제시료(P-1, P-2, P-3)의 농도별 색도값은 대체로 유사한 것으로 보인다. 그러나 저농도에서의 색도값은 변화가 미비한 반면, 10%의 농도의 토끼가죽 아교(P-2)는 b*값이 2배 정도 값이 상승하여 변색이 발생하였다. 상어부레 아교(P-3) 10%에서는 b*값이 크게 변화하지 않았으나 L*값이 다소 떨어져 저농도 시료의 색상에 비해 어두워졌다.

동물성 아교제시료(P-1, P-2, P-3)에 비해 나머지 시료(P-4, P-5, P-6, P-7)는 대부분 색도값이 유사하게 나타났다

Table 6. Chromaticity test results.

sample	density	L*	a*	b*	ΔE
oyster shell white	control group (non medium)	93.96	0.41	2.97	-
P1	1%	93.94	0.31	3.57	0.61
	3%	93.52	0.11	3.05	0.54
	5%	94.05	0.23	3.5	0.56
	10%	93.05	0.29	6.78	3.92
P2	1%	94.07	0.31	4	1.04
	3%	94.01	0.14	3.51	0.61
	5%	93.09	0.09	5.46	2.65
	10%	92.92	0.04	9.43	6.75
P3	1%	94.21	0.27	3.47	0.57
	3%	93.11	0.26	4.06	1.39
	5%	94.04	0.28	3.76	0.80
	10%	91.37	0.16	4.89	3.24
P4	1%	93.73	0.23	3.27	0.42
	3%	94.33	0.17	3.3	0.54
	5%	93.81	0.21	3.21	0.35
	10%	94.09	0.36	4.03	1.07
P5	1%	93.19	0.47	3.95	1.25
	3%	93.96	0.45	4.13	1.16
	5%	93.63	0.49	3.84	0.94
	10%	93.18	0.64	5.48	2.64
P6	1%	94.25	0.06	2.31	0.80
	3%	93.55	0.18	2.97	0.47
	5%	93.34	0.37	3.34	0.73
	10%	92.36	0.39	4.28	2.07
P7	0.10%	94.39	0.15	2.52	0.67
	0.50%	94.62	0.09	2.82	0.74
	1%	93.97	0.25	3.33	0.39
	3%	93.25	0.36	5.02	2.17

며, 10%농도에서는 b*값이 다소 높게 측정되었다.

각 시료들을 고착제를 도포하지 않은 대조군 시료와 색차값을 비교한 결과, 동물성 아교제시료(P-1, P-2, P-3)는 10%농도에서 색변화가 크게 나타났으며, 이 중 토끼가죽 아교 시료(P-2)가 가장 큰 변화값을 보였다. PVAc시료(P-4)와 아크릴수지시료(P-5) 그리고 HPC시료(P-6)의 색차값은 10%일 때 저농도에 비해 약 2배 정도 변화되었다(Table 6).

5.4. 접착력 테스트 결과

접착력 측정 대조군인 마감층 흙 표면은 평균 0.32의 접착력을 보였으며, 고착제를 도포하지 않은 호분 채색층의 접착력은 0.13을 기록했다(Table 7).

전체 시료에 대한 접착력 테스트 결과 모든 1% 농도의 시료에서는 대조군과 유사한 값의 접착력을 나타냈으며, 각 시료의 농도별 평균 접착력은 소가죽 아교(P-1)가 가장 우수한 접착력을 보였다. 특히 3%와 5%의 농도에서도 다른 모든 고착제들보다 접착력이 높은 것으로 측정되었다. 동물성 아교제열 중 상어부레 아교(P-3)는 저농도인 1%와 3%에서 소가죽 아교(P-1)의 시료보다 접착력이 저하되는 것으로 나타났으나, 10%에서는 고착제들 중에서 가장 높은 접착력을 보였다.

동물성 아교제(P-1, P-2, P-3)에서 나타나는 0.33 이상의 접착력은 대조군인 벽체시료의 평균 접착력인 0.32에 해당하는 값으로써, 견고한 마감층의 응집력과 같다. 이는 고착제의 접착력이 끝까지 측정되지 못하고 마감층의 흙이 분

Table 7. Adhesive strength test results.

sample	density	adhesive strength(unit: MPa/cm ²)				remark
		1%	3%	5%	10%	
P-1		0.12	0.25	0.33	0.33	animal glue (cowhide)
P-2		0.11	0.12	0.35	0.22	animal glue (rabbit skin)
P-3		0.11	0.18	0.18	0.36	fish glue (bladder of sturgeon)
P-4		0.11	0.12	0.12	0.12	polyvinyl acetate resin (PVAc)
P-5		0.09	0.11	0.12	0.19	acrylic resin
P-6		0.10	0.11	0.12	0.21	hydroxypropyl cellulose (HPC)
P-7		0.28	0.27	-	-	methyl cellulose (MC)
control group (painting layer)			0.13			non medium
control group (finishing layer)			0.32			non medium

리되는데서 기인하는 값이라고 볼 수 있다.

MC(P-7)는 1%와 3%에서 높은 접착력을 나타내고 있으나, 5%부터는 점도가 높아 고착제로써의 사용이 불가능하여 5%와 10%의 접착력을 측정할 수 없었다.

1%와 3%의 시료들에서는 소가죽 아교와 MC를 제외하고는 전반적으로 고착처리를 하지 않은 채색층 대조군 시료와 같이 낮은 접착력을 보였다.

5.5. 침투상태 조사 결과

시료 표면과 단면에 대한 미세조직 검사 결과, 먼저 시료 표면의 미세조직에서는 고착제가 침투되는 정도에 따라 채색층 표면에 잔류되는 고착제로 인한 피막 형성의 차이점들을 확인할 수 있었다(Figure 2). 동물성 아교계시료(P-1, P-2, P-3)들은 고착제 농도에 따라 비교적 일정한 변화들을 보였다.

소가죽 아교 시료(P-1)의 경우 저농도에서 고농도까지 점차적으로 시료 표면에 피막이 형성되는 과정을 보이고 있다. 5%까지는 안료의 입자 형태가 확인될 정도로 고착제가 표면을 피복하고 있으나, 10%에서는 고착제가 채색층 표면을 완전히 피복하면서 피막을 형성하였으나 안료입자의 형태가 어느 정도 확인되어 고농도에서도 고착제가 마감층 내부에 침투된 것으로 판단된다.

토끼가죽 아교 시료(P-2)는 3%부터 고착제로 형성된 피막의 색이 짙어지고 5%와 10%에서는 고착제의 피막이 형성되어 안료 입자의 형태의 구분이 어려워지며, 균열도 발생하였다. 특히 10%에서는 안료 입자 형태를 전혀 확인할 수 없도록 두꺼운 도막이 형성되었다. 이러한 결과는 소가죽

아교 시료(P-1)에 비해 토끼가죽 아교 시료(P-2)가 5%와 10%의 조건에서는 마감층 내부로의 침투가 원활하지 못한 것으로 보인다.

상어부레 아교 시료(P-3) 역시 고착제로 인한 채색층 표면을 피복하는 과정이 농도에 따라 분명하게 구분되지만, 소가죽 아교 시료(P-1)와 토끼가죽 아교 시료(P-2)에 비해 두껍고 투명한 형태의 피막은 형성되지 않는 것으로 보인다.

합성수지계인 PVAc시료(P-4)의 경우 1%~3%까지는 얇은 피막을 형성하고 있으나, 5%부터는 피막이 두껍게 형성되고 10%에서는 피막층이 균열을 나타내거나 채색층과 함께 박리되는 현상이 관찰된다. 따라서 5%부터는 고착제가 표면에 잔류되는 현상이 증가하는 것으로 보인다.

아크릴수지(P-5)는 저농도부터 고농도까지 피막이 고르고 밀도 있게 형성되는 것으로 보이며, 상어부레 아교 시료(P-3)와 유사하게 고농도에서도 두껍고 투명한 형태의 피막은 관찰되지 않는다. 10%에서는 안료의 입자를 완전히 피복하였으나 균열은 관찰되지 않았으며, 대부분의 고착제가 마감층 내부로 양호하게 침투된 것으로 보인다.

HPC시료(P-6)는 1%를 제외한 나머지 시료들은 표면상태의 큰 차이점을 보이지 않고 일정한 피복상태를 나타냈으며, 10%까지 두꺼운 도막이나 균열 등이 발생하지 않았다.

MC시료(P-7)는 1%까지는 안료 입자형태가 분명하게 구분되어 대부분의 고착제가 마감층으로 침투된 것으로 보이나, 3%에서는 토끼가죽 아교 시료(P-2)나 PVAc시료(P-4)와 유사하게 안료 입자가 확인되지 않을 정도로 두꺼운 피막이 형성되었다.

다음은 고착제들이 채색층을 투과하여 마감층 내부까지 침투된 상태를 살펴보기 위하여 시료 단면 미세조직 상태

Figure 2. Surface micro-structure of samples(painting layer) with fixative concentration.

Figure 3. Cross section microstructure of samples with fixative concentration.

Table 8. The location of confirm the penetrated adhesive.

sample	The length from painting layer to adhesive checked point(μm)				remark
	1%	3%	5%	10%	
P-1	1,240	1,890	2,130	2,650	animal glue (cowhide)
P-2	950	2,010	1,820	1,570	animal glue (rabbit skin)
P-3	1,320	1,360	1,880	1,640	fish glue (bladder of sturgeon)
P-4	1,310	1,690	1,470	1,220	polyvinyl acetate resin (PVAc)
P-5	1,140	1,920	1,400	1,720	acrylic resin
P-6	1,080	1,490	1,150	970	hydroxypropyl cellulose (HPC)
P-7	1,650	1,480	-	-	methyl cellulose (MC)

를 조사한 결과이다(Figure 3, Table 8).

소가죽 아교 시료(P-1)는 3% 경우 채색층 표면부터 약 450 μm 지점에 침투된 고착제의 형태가 관찰되며, 시료의 약 1,890 μm 깊이까지 전반에서 고착제들의 흔적이 확인되었다. 10%에서는 채색층 표면에 피막을 형성하였음에도 약 2,650 μm 지점까지 침투된 상태들이 확인되었다.

토끼가죽 아교 시료(P-2) 3%는 소가죽 아교 시료(P-1)과 유사하게 시료 단면 전반에서 고착제가 침투된 상태를 확인할 수 있었으며, 5%는 약 1,820 μm 지점에서도 고착제의 고형물들을 확인할 수 있었다.

상어부레 아교 시료(P-3)의 10%에서는 채색층 표면에 반투명의 피막형태로 형성되어 있으며, 채색층 바로 아래의 마감층 토양입자 사이에 고착제가 침투되어 있는 상태를 확인할 수 있다.

PVAc(P-4)는 5% 이상부터는 침투가 원활하지 못하고 채색층의 표면에 피막현상을 발생하였다. 고착제가 45 μm 까지 강하게 침투된 후 그 부분에서 젖음(Wetting) 현상을 보이며, 그 두께만큼의 채색층을 박리시켰다. 10%의 경우는 고착제가 채색층 표면에 투명하고 두꺼운 피막을 형성하였고, 채색층과 함께 박리현상을 일으켰다.

아크릴수지시료(P-5) 5% 경우에는 채색층 표면에 젖음 현상이 관찰되며, 고착제가 피막을 형성하며 채색층과 함께 박리되는 것이 확인된다. 침투된 고착제는 진한 반투명 색에 예각의 형태들을 보이고 있으며, 약 1,400 μm 아래까지 고착제의 흔적이 관찰되었다.

HPC(P-6)시료 10%는 주로 채색층 인근에 고착제가 형성되어 있으며, 토양 입자를 비교적 넓은 면적으로 피복하고 있는 상태를 확인할 수 있다. 이러한 현상은 약 970 μm 지점에서도 나타나고 있다.

MC(P-7) 시료 1%는 양호한 침투상태를 보였으며, 채색층 인접지점부터 약 1,650 μm 깊이까지 침투된 고착제의 흔

적들을 확인할 수 있었다. 고착제는 토양 사이에 반투명의 고형물 형태를 이루고 있다. 3%의 경우는 고착제가 채색층 표면에 두꺼운 피막을 형성하고 있으며, 나머지 고착제들이 채색층 시료의 약 1,480 μm 지점까지 침투되어 있는 것이 확인되었다.

6. 고 찰

채색층 보존처리에 있어 고착제의 접착력은 가장 중요한 요소이며, 우수한 성능의 고착제라 하더라도 효과가 떨어져 접착력이 뒷받침되지 못한다면 고착제로서의 역할을 다 할 수 없다. 본 연구는 안료로 이루어진 채색층과 벽체 마감층에 대한 고착제의 접착 거동을 살펴보기 위한 것이므로, 흡착과 확산에 관한 이론적 모델을 적용할 수 있다. 흡착은 고착제의 채색층 표면 접촉에 관한 메커니즘, 그리고 확산은 고착제가 채색층을 통과하고 마감층으로 침투하여 접착력을 형성하는 메커니즘으로 이해할 수 있다.

채색층에 도포된 고착제의 침투정도는 고착제의 유동성 즉, 점도와 밀접한 관계가 있다. 특히 접착 메커니즘 중 하나인 확산 이론으로 설명할 수 있는데 실험에 사용된 고착제가 얼마만큼 효과적으로 피착물에 흡수되었는지에 대한 파악이 가능하다. 또한 고착제의 농도나 특성에 따라 침투 상태의 차이는 다르게 나타나며, 이것은 접착의 효과와도 밀접한 관계가 있다.

고착제의 점도 차이는 고분자 사슬에 대한 내부 마찰력이 상이한데서 기인하며, 유동성 흐름에 따라 접착력에 영향을 미치게 된다. 접착제는 점도가 낮을수록 또는 시간이 경과될수록 피착물의 공극으로 유입이 원활해진다. 개방된 모세관을 갖는 다공질 피착제의 경우에는 접착제의 공급이 충분하면 모세관 현상에 의해 침투하여 접착력을 증대시키게 된다. 그러나 접착제의 공급이 불충분하면 주요

부분이 접착제의 층이 얇아져서 접착력 저하를 초래하게 된다(Choi, 1990).

이러한 이론들을 볼 때, 사찰벽화와 같이 다공성 물질의 경우 안정적인 고착처리의 효과를 보기 위해서는 고착제의 충분한 공급이 이루어져야 한다. 이때 고착제의 충분한 양이 확보되더라도 침투가 원활하지 못하면 고착효과는 떨어지게 된다. 따라서 벽화 보존처리에 있어 고착제의 점도는 고착효과를 나타내는데 중요한 요인으로 작용하는 것으로 판단된다.

소가죽 아교와 MC 그리고 HPC의 경우 다른 시료에 비해 점도가 높게 측정되었다. MC의 경우 3%부터는 점도가 115.2 (cPs)이며, HPC 10%의 경우 MC 3%와 유사한 104.7 (cPs)의 점도를 보였는데, 이러한 고점도의 조건은 채색층 표면에 도포하는 방식의 고착제로는 적합하지 않다. 세 가지 시료의 접착력에 있어 HPC의 경우 10%를 제외한 나머지 농도의 시료는 채색층 대조군 시료의 접착력인 0.13 (MPa/cm²)과 유사하게 낮기 때문에 고착제로써 사용하기는 어렵다. 그러나 MC시료는 1%와 3%에서 각각 0.28 (MPa/cm²)과 0.27(MPa/cm²)의 접착력을 보였다. MC 1%의 점도는 15 (cPs)로써 채색층 고착처리에 충분히 사용 가능하며, 접착력 또한 다른 고착제 농도대비 우수한 것으로 보인다.

소가죽 아교의 3%의 점도는 7.8 (cPs)로써 다른 동물성 아교들과 유사하지만 접착력은 0.25 (MPa/cm²)로 약 두 배에 달한다. 이러한 결과는 저농도 조건에 있어 높은 접착력을 나타내는 것이며, 광택도나 변색 또한 낮아 채색층 고착처리에 적합한 조건을 보이는 것으로 판단된다. 그러나 5%부터는 다른 동물성 아교에 비해 점도는 두 배가량 높고 접착력은 비슷하게 측정되어, 고농도의 조건에서는 고착제로써 적합성이 다소 떨어진다.

토끼가죽 아교와 상어부레 아교는 10%까지 접착력이 양호한 것으로 조사되었으나, 두 재료는 광택도와 변색이 다소 높게 나타났다. 특히 토끼가죽 아교의 경우는 5%부터 고착제 자체의 색상이 탁하고 10%부터는 육안으로도 변색이 두드러졌으며, 상어부레 아교는 5%까지 접착력이 다소 낮게 측정되었다. 따라서 이 두 가지 고착제를 사용함에 있어서는 농도와 조건에 따른 선별적인 판단이 필요할 것으로 사료된다.

과거 국내외 벽화 고착제로 사용되었던 합성수지인 PVAc와 아크릴수지는 점도가 낮아 침투는 양호하게 이루어지는 것으로 보이지만, 아크릴수지의 10%를 제외하면 모두 0.12 (MPa/cm²) 이하이므로 역시 접착력이 현저하게 떨어진다. 따라서 이 두 가지 고착제는 10% 이내의 농도에

서는 고착처리의 효과를 보기 어렵다. 또한 5% 이상의 농도에서는 고착제가 채색층 주변에 맺히고 박리되는 현상들이 관찰되므로, 접착력을 증가시키기 위해 농도를 높이거나 고착처리를 반복하는 것은 위험하다.

위의 실험결과들을 요약하면 변색과 광택, 그리고 접착력에서 고착제로서의 유리한 효과를 보인 것은 소가죽 아교 3% 이하와 상어부레 아교 5%, 그리고 MC 1%로 나타났다. 그러나 채색층의 손상유형은 다양하게 나타나며, 위와 같은 조건의 고착제들만을 필요로 하는 것은 아니다. 채색층과 마감층의 두 피착제가 공극률이 크고 두꺼운 도막을 형성하는 경우, 고착제의 점도가 낮고 침투율이 높으면 고착의 효과를 볼 수 없으며, 고착처리를 반복하게 되면 또 다른 2차손상이 발생될 우려가 있다. 따라서 이 같은 경우에는 액상보다 점성이 높은 HPC 10%나 MC 3%를 사용하여 고화된 응집강도를 높일 수 있어야 한다. 또한 과거 합성수지로 고착처리 된 채색층에 대한 재처리가 필요할 경우는 우선적으로 전 처리된 물질과 변화된 벽화의 물성에 대한 검증이 이루어진 후 고착제를 적용할 필요가 있다.

따라서 내후성을 포함하여 고착과 관련된 더 많은 검증이 이루어지기 전까지는 향후 재처리를 염두 하고 고착처리가 이루어져야 한다. 즉, 장기적인 유지를 위해 고농도 또는 강한 합성수지의 사용은 지양되어야 하며, 현재까지는 고착제의 분해기간 및 정도에 대한 정확한 판단이 어렵기 때문에 분해성이 높은 저농도의 고착제를 사용하여 최소한의 효과적인 고착이 이루어져야 한다. 또한 모니터링을 실시하여 채색층의 분말화 및 박리상태를 지속적으로 파악하고 필요에 따라 상시 재처리의 가능성을 열어두어야 한다.

7. 결 론

사찰벽화의 조건과 유사한 의시시료를 제작하여 보존처리에 적용 가능한 고착제에 대한 실험을 실시하였다. 실험결과 몇 가지 조건에 따른 접착강도와 투과력 등을 파악하여 사찰벽화 고착처리의 조건과 효과를 확인할 수 있었다. 고착제 적용 실험결과들을 종합하여 요약하면 다음과 같다.

1. 고착제들의 점도는 농도대비 MC가 가장 높았고, 점도의 증가는 소가죽아교와 HPC가 높았으며, 합성수지계 고착제는 농도증가의 큰 차이를 보이지 않았다.

2. 광택도는 토끼가죽 아교 10%와 MC 3%에서 높이가 타냈으며, 소가죽 아교는 점도에 비해 광택도가 낮았다. HPC와 아크릴수지의 광택도는 비교적 낮게 측정되었다.

3. 각 고착제들의 색차값을 비교하였을 때, 10%의 경우 대부분의 고착제에서 변색이 발생 하였으나, 동물성 아교계의 변색이 높고, 그 중 토끼가죽 아교가 가장 높은 변색을 보였다.

4. 각 시료의 평균 접착력은 소가죽 아교가 우수한 것으로 나타났고, 상어부레 아교 10%가 가장 높은 접착력을 보였다. MC는 1~3%에서 접착력이 높게 측정되었다.

5. 고착제 침투상태는 대부분 고착제들이 약 1~1.5 mm 깊이 침투되는 것으로 분석되었으며, 소가죽 아교가 10%의 고농도에서도 약 2.6 mm 깊이까지 침투된 것을 확인하였다.

실험결과를 종합하여 고착제의 점도와 접착력 그리고 침투상태의 관계성을 살펴보면, 대부분 점도가 높은 시료에서 접착력이 증가하였고, 저점도에서는 접착력이 낮게 측정되었다.

대부분 고착제가 고점도일 경우에는 표면에 피막을 형성하였으며, 약 1.5mm 정도 깊이까지 침투되는 것과 같이 유사한 경향을 나타내지만 접착력에 있어서는 각기 다른 결과들을 보였다. 이러한 결과는 침투된 깊이 보다는 고착제가 침투된 후 채색층과 인접한 토양면의 상응 및 결합하는 반응에서의 효과가 큰 것으로 보인다. 즉, 침투 깊이는 시료별로 유사할 수 있으나, 고착제가 채색층을 투과 후 내부에서 발생하는 마찰력의 차이가 영향을 미치는 것으로 생각된다.

동물성 아교와 MC의 경우 고농도의 조건에서 피막을 형성하지만 안정적인 고착효과를 보였다. 벽체 내부로 침투된 고착제가 토양과 견고하게 결속되어 나타난 현상으로 써, 이 두 종류의 고착제들은 채색층을 포함하여 토양과의 접착반응이 우수한 것으로 생각된다.

합성수지계인 PVAc와 아크릴수지는 점도가 낮아 침투는 원활하지만, 토양과의 접착반응은 효과가 떨어지는 것으로 보인다. 또한 이 두 가지 고착제들이 갖는 1mm 이상의 투과력은 접착력에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

연구결과를 총체적으로 함축하면 흙으로 조성된 한국 사찰벽화에는 천연 재료 적용이 충분히 가능하다는 결론을 내릴 수 있었으며, 향후 내후성 실험을 통해 일정기간의 보존성이 검증 된다면 사찰벽화에 안정적인 적용이 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

Choi, S.Y., 1990, Principle and Theory of Adhesive. Journal

of the Korea Institute of Rubber Industry, 25, 291-309. (in Korean with English abstract)

Han, K.S. and Lee, H.S., 2007, Conservation of Murals of Amitadha Hall at Muwi-sa Temple of Gangjin, The 26th National Symposium of the Korean, Society of Conservation Science for Cultural Heritage, 8, (in Korean)

Han, K.S., 2003, Restoration and Conservation of the Buddhist Mural Paintings of Korea, Ph.D. Dissertation, University of Herzen State Pedagogical, 4.

Han, K.S., Lee, S.J. and Lee, H.S., 2010, A Study on the Analysis of Outside Mural Paintings treated in Maitreya Hall of Geumsan-sa Buddhist Temple, Korea, Journal of Conservation Science, 26, 445-458, (in Korean with English abstract)

Huang, K., 1996, A Review of the Grotto Conservation Methods in China. The 19th International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property, Nara, Feb 1-3, 125-134.

Institute of Cultural Heritage Kyongju University, 2002, Conservation Report of Wall Painting in the Hall of Great Light at Shinheung Temple in Yangsan, 23-24, (in Korean)

Kwon, D.Y., Ahn, J.K., Kwon, D.I. and Lee, S.L., 1994, Mechanical Analysis Approach for Estimating Adhesion Strength at Hard Thin Film Interfaces, The 8th Symposium on Mechanical Behavior of Materials, 357-373. (in Korean)

Lee, K.M., Han, K.S. and Lee, H.S., 2008, Assessing the Effects of Acrylic Resin (Paraloid B-72) on Buddhist Mural Painting conservation, Conservation Studies, 29, 66-90. (in Korean with English abstract)

Lee, S.J., 2001, A Study of the Conservation of Korean Buddhist Wall Paintings. Master's Thesis in Dongkuk University, 60-76. (in Korean with English abstract)

Masuda, K., 1996, Reinforcing Materials for Wall Paintings of Dunhuang Mogao Grottoes. The 19th International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property, Nara, Feb 1-3, 189-198.

Mora, P., Mora, L. and Philippot, P., 1984, Conservation of Wall Paintings. Butterworths, London, 217-222.

Nicolaus, K., 1999, The Restoration of Paintings. Konemann, Berlin, 124-141.