



CONSERVATION STUDIES 29

아크릴계 수지(Paraloid B-72)가
사찰벽화보존에 미치는
영향에 관한 연구

*Assessing the Effects of Acrylic Resin (Paraloid B-72)
on Buddhist Mural-painting conservation*

이경민 · 한경순 · 이화수

아크릴계 수지(Paraloid B-72)가 사찰벽화 보존에 미치는 영향에 관한 연구

– 금산사 미륵전 외벽화를 중심으로 –

*Assessing the Effects of Acrylic Resin (Paraloid B-72)
on Buddhist Mural-painting conservation*

– Focusing on Outside Mural Paintings of Mireuk Hall in Geumsan Temple –

이경민¹⁾ · 한경순²⁾ · 이화수³⁾

Lee Kyeong-Min · Han Kyeong-Soon · Lee Hwa-Soo

〈ABSTRACT〉

This study examines the status and the physical features of Paraloid B-72 layers with examination of microstructure and analysis of organic matters. Paraloid B-72 layers were coated on samples from the colour layer of outer wall painting in Mireuk hall in Geumsan temple.

On the basis of the previous examination result, it has made the samples which are similar to outer wall in Mireuk hall in Geumsan temple. The samples can be divided into two, one; 5% Paraloid B-72 coating and another is without coating. Then samples have been experimented under the compulsive environments of infrared radiation and immersion, thereafter compared the results of the damages and physical features between two samples. As a result of the comparison, the sample with Paraloid B-72 had more serious cracks, exfoliations and peeling layers than that of without Paraloid B-72.

Otherwise, in the examination of ultraviolet radiation, the sample with Paraloid B-72 coating showed weaker physical properties, less density in structure of colour layer and less hardness in

1) 국립문화재연구소 복원기술연구실
2) 건국대학교 회화학과 회화보존전공
3) 한림보존테크

surface of colour layer than the sample without coating. The percentage of moisture content after the ultraviolet radiation was higher in the sample without Paraloid B-72 than the sample with Paraloid B-72 coating. Observing the conditions before the ultraviolet radiation, the sample with Paraloid B-72 coating demonstrated lower rate in moisture evaporation rate than the sample without Paraloid B-72.

As a consequence, in examination of this samples, the change of physical features are increased in the sample with Paraloid B-72 coating than that without Paraloid B-72 when compulsive environment of heat, moisture and ultraviolet rays for a short term are imposed.

I. 머리말

국내 벽화 보존처리에서 합성수지가 처음 사용된 것은 1980년대 초반 사찰벽화 보존처리가 시작될 무렵으로, 벽체 균열부위의 접착제 용도로 아크릴 에멀전 수지(상품명 SB 510)가 사용되었다. 이를 1980년대 중반까지 사용하다가 이후 1990년대 초중반까지는 아크릴계 수지인 Paraloid B-72가 주로 사용되었다.⁴⁾ Paraloid B-72는 과거 이탈리아 국립문화재보존연구소(ICR)에서 실시한 프레스코 벽화를 대상으로 한 고착제 실험결과에서도 광학적, 물리적 측면에서 만족스러우며 시간의 경과 후에도 고정된 표면이 특성을 유지하는 것이 매우 성공적이라는 평가를 받았다.⁵⁾ 이후 Paraloid B-72는 벽화는 물론 다른 재질의 문화재에도 널리 적용되어 왔고 현재까지 사용 중에 있다.

과거 국내에서 합성수지를 사용하여 보존처리가 이루어진 사찰벽화들은 대부분 친수성과 유공성의 특성을 지닌 연질의 재료로 구성된 작품으로써, 온습도의 변화가 잦은 환경적 특성으로 인하여, 채색층간의 수축 또는 이완과 같은 물리적 저항력에서 기인하는 2차 손상이 발생되고 있는 것으로 조사되고 있다. 특히 외부환경에 노출되어진 벽화들은 그 손상이 매우 빠르게 진행되고 있다.

본고에서는 1992년부터 1993년까지 아크릴계 수지를 사용하여 보존처리가 이루어진 후, 약

4) 이수정, 한국사찰벽화 보존에 관한 연구 -보존처리 사례연구를 중심으로-, 동국대 대학원 석사학위논문, 2001

5) 한경순, 토벽화 보존에 따른 고착제에 관한 연구, 보존과학회지 Vol.11 No.1, 38~51p, 2002

15년이 경과된 금산사미륵전벽화의 현재 상태를 조사하고, 그 내용을 토대로 의사시료(擬似試料)를 제작하여 이에 대한 강제풍화실험을 실시하여 조선시대 사찰벽화 보존처리에 적용된 아크릴계수지가 벽화 보존에 미치는 영향에 대한 연구를 실시하였다.⁶⁾

II. 연구방법

아크릴계수지에 대한 특성 및 내후성, 벽화에 적용된 사례 등을 이론적 배경으로 하여, 조선시대 사찰벽화 시료와 제작한 의사시료를 사용하여 분석 및 풍화실험을 통해 두 시료가 갖는 상태 및 특성에 대하여 조사하였다.

실험에 앞서 금산사미륵전벽화에 이루어진 과거 보존처리 내용 및 현 상태 등 관련 자료에 대한 조사를 우선 실시하였다.

사찰벽화 시료는 과거 아크릴계수지가 사용되어 보존처리가 이루어진 금산사미륵전벽화의 파편이며⁷⁾, 의사시료 제작은 금산사미륵전벽화와 유사한 재료를 사용하여 제작하였다.

먼저 사찰벽화 시료에 대하여 전반적인 상태를 고찰하기 위하여 거시적 관점과 미시적인 관점에서의 조사 및 재질 분석을 실시하였다. 시료의 상태조사는 육안조사를 통한 제작기법 및 사용된 재료에 대한 조사 실시 후, 광학현미경(Optical Microscope, Axiotech 100HD/Progress 3012, Carl Zeiss, Germany)을 사용한 채색층 표면 및 단면 상태조사, SEM-EDS (Environmental Scanning Electron Microscope, JSM-5910LV, Jeol, Japan)를 이용한 미세조직 관찰, 그리고 과거 보존처리에 적용된 합성수지 확인을 위한 FT-IR(Furier Transform Infrared Spectroscopy) 분석 등 과학적 조사를 우선 실시하였다. 의사시료 제작을 위하여 벽체 중 마감층⁸⁾ 부위의 입도분석(Modal)을 실시하였다.

시료의 물리적 특성조사는 채색층 표면이 갖는 함수율 측정 및 채색층 표면에 대한 경도 테스트를 실시하였다.

의사시료 제작은 앞서 조사된 사찰벽화 시료의 재료적 특성 결과 및 사찰벽화 제작기법을 기

6) 금산사 미륵전 외벽화 중 일부 석회가 사용된 벽화가 있으나, 본 논문에서는 회벽(灰壁)이 아닌 토벽(土壁)으로 조성된 벽화 시료만을 대상으로 실험하였다.

7) 금산사미륵전벽화 시료는 자연풍화로 박락된 편(片)이며, 금산사미륵전벽화 보존처리를 위한 표면조사를 수행중인 한림보존테크로부터 조사기간 중 수습한 시료를 협조 받았다.

8) Phillipport, Mora Mora, 1984, 『The Conservation of Wall Paintings』, Butterworth, p.10~12.

석회벽의 구조층에 대하여 국제적으로 사용하는 이탈리아어로서 회벽의 중간층에 해당하는 부분을 *ariccio*(비탕층), 채색층을 그리기 위해 마감하는 층을 *intonaco*(마감층)라고 표현한다.

준으로 하였다. 의사시료는 본래의 사찰벽화 시료와 특징을 비교하기 위해 광학현미경(Optical Microscope, Axiotech 100HD/Progress 3012, Carl Zeiss, Germany)을 사용한 채색층 단면 및 상태조사와 SEM-EDS를 이용한 미세조직 관찰을 실시하였다.

제작된 의사시료 표면 일부에 과거 금산사미륵전벽화 보존처리에 사용된 합성수지를 도포한 뒤, 채색층과 그 위의 합성수지 층이 결합되어 있는 상태를 보다 더 세부적으로 관찰하기 위하여 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-5910LV, Jeol, Japan)을 이용한 미세구조 관찰을 실시하였다.

시료가 제작된 후 열, 습기, 빛 등 인위적인 환경 조성을 통한 강제풍화실험을 위해 열적외선 조사(照射) 및 침수(浸水) 반복실험, 그리고 자외선 조사(照射)를 실시하여, 풍화 전·후의 시료가 갖는 특성에 대하여 분석 조사하였다.

의사시료의 풍화 전·후 상태에 대한 조사는 다음과 같이 진행하였다. 먼저 열적외선 조사(照射) 및 침수(浸水) 반복실험 결과는 채색층 표면에 나타나는 물리적 손상상태를 광학현미경으로 관찰하여 실험 횟수에 따라 가중되는 손상도에 대하여 조사하고 그래프를 사용하여 훼손상태를 도식화 하였다. 자외선 조사(照射)실험에 대한 결과는 육안조사 및 광학현미경을 이용하여 채색층 표면에서 나타나는 박리현상 등 물리적 손상상태를 조사하였다. 그리고 채색층 표면의 함수율 변화 여부를 측정하였으며, 경도 테스트를 통한 물성저하 여부 조사를 실시하였다.

Ⅲ. 금산사 미륵전 벽화 현황

1. 금산사미륵전벽화 개요

금산사미륵전 벽화는 나무골조와 흙 반죽으로 조성된 흙벽화이다. 이러한 양식은 조선시대 사찰벽화에서 전형적으로 나타나는 구조 및 제작기법으로서 전각의 1층, 2층, 3층 내 외로 벽화가 185폭이 남아있다. 벽화는 목부재를 중심으로 외가지를 지르고 흙으로 벽체를 구성한 후, 벽체 위에 다시 그림이 그려질 벽면을 마련하고 그 위에 채색층을 제작하였다. 벽체는 1, 2, 3층의 외변주사에 설치된 주벽(周壁)과 내진 고주선상에 설치된 불벽과 각층 공포사이의 간벽인 포벽이다. 각층 벽체에는 모두 불벽화(佛壁畫)와 포벽화(包壁畫)를 그려서 배열하고 있는데 내부는 1897(高宗)경 중수 때 그려진 것으로 보이며, 외부는 1946년경에 새로 그린 것으로 추정 된다.

미륵전 보수공사 기간 중 제4차 공사 중인 1992년 9월부터 1993년 6월, 그리고 제8차 공사

인 1999년에 벽화에 대한 해체 또는 현 상태로 보존처리가 이루어졌으며, 당시 벽화는 균열 및 채색층의 박락과 전각 기둥 및 창방, 공포 등의 형태가 변화하면서 벽화에 물리적인 손상이 진행되고 있던 상태였다. 건물 1층의 벽화는 비교적 상태가 양호한 편이었으며, 2층과 3층의 벽화는 손상이 매우 심했던 것으로 당시 벽화보존처리 보고서에 기록되어 있다⁹⁾. 1992년부터 1993년간 이루어졌던 보존처리에 관한 보고서의 내용을 요약하면 다음과 같다.

건물 1층의 불벽화 및 포벽화는 해체하지 않고 기존 건물에 보호틀을 설치하여 보강조치 하였으며, 벽화 보존처리는 건식세척과 함께 채색층 박리박락부위에 대한 강화처리 작업이 실시되었다. 2, 3층의 벽화와 포벽화는 보호틀을 설치 후 벽화 테두리를 절개 후 분리하여 보존처리 후 원위치 하였다. 2, 3층의 상태가 양호한 14폭의 벽화에 대해서는 Stacco a masello 벽체보강법을, 2, 3층의 상태가 양호하지 못한 72폭에 대해서는 Strappo 벽체보강법을 적용하였다¹⁰⁾. 벽화면 보존처리는 벽화 표면에 대한 세척작업을 우선적으로 실시한 후 1차 표면강화처리는 Toluene을 용매제로 한 Paraloid B-72 약 2%, 3%, 5%를 분사방식으로 사용하였으며, 상태가 심한 응급조치 접착부위는 10%를 사용한 것으로 기록에 나타난다.

벽화 해체 및 벽체에 대한 보강작업이 완료된 후 벽화 표면 보강작업이 이루어졌으며, 조합 시너를 조제하여 벽화 해체 전 이루어졌던 1차 강화 처리된 Paraloid B-72를 용해시킨 후 다시 Paraloid B-72 2%, 3%, 5%를 낮은 농도부터 순서대로 각각 2회씩 분사하거나 주사하였다. 그리고 심하게 박락 균열된 곳은 Paraloid B-72 7%를 2회 분사, 주사하고 시아노아크릴레이트를 1회 주사하였다. 벽체와 채색층의 보강처리가 완료된 후 벽화를 원위치에 재설치 하였다.

Table 1. 과거 1차 강화제 용해에 사용된 조합 시너 성분 비율

성분	I-Butanol	N-buthyl acetate	Ethylene Glycol Mono Ethyl Ether Acetate	Toluene	Ethyl acetate
비율	6%	15%	2%	62%	15%

9) 문명대 외, 1993, 『金山寺 彌勒殿 壁畫保存處理 報告書』, 전라북도·한국미술사학회.

10) 스타코 아 마셀로(Stacco-a-masello) : 벽화를 구성하고 있는 채색층 및 마감층을 포함하여 벽체층 전체를 해체하거나, 벽체층의 일부만 제거하는 방법으로서, 벽화의 두께가 그대로 유지되거나 일부 감소된다.

스트라포 (Strappo) : 벽화를 구성하고 있는 벽체층을 제거하고 마감층의 대부분을 제거하는 방법으로서, 채색층과 마감층의 일부 두께가 약 5mm 이내가 된다.

2. 금산사미륵전 벽화의 보존 상태

과거 금산사미륵전 벽화에 대한 보존처리가 이루어진 후 현재 벽화 상태에 관한 내용은 2007년 12월부터 2008년 5월까지 김제시의 주관 하에 금산사미륵전 벽화의 보존현황에 대한 조사 결과를 참고로 하였으며, 그 내용을 요약하면 다음과 같다¹¹⁾.

현재 금산사미륵전 벽화의 주된 손상은 주로 그림이 그려진 채색층과 그림을 그리기 위해 마련되는 마감층에서 나타나고 있다. 1층 불벽화에서는 채색층의 박락현상을, 포벽화는 벽체 일부에 균열상태를 나타내고 있으며 2층 및 3층의 불벽과 포벽은 채색층과 마감층의 손상상태가 심화된 상태이다.

2층 및 3층 벽화의 손상은 한 겹 또는 여러 겹의 채색층이 벽화면에서 0.5mm 이하의 얇은 두께로 박락되었거나 박리되고 있는 현상이 나타나고 있으며, 이러한 채색층은 마감층의 일부와 함께 도막을 형성하며 박리·박락이 진행되는 부분들도 있다. 마감층 또한 벽체로부터 이탈되는 박리·박락 현상이 두드러지게 나타나는데, 이러한 손상은 벽화에 있어 부분적 또는 마감층 전체적으로 발생되고 있어, 벽화를 크게 훼손하고 있다(Figure 1, Figure 2).



Figure 1. 금산사미륵전벽화 손상 현황



Figure 2. 금산사미륵전벽화 채색층 손상상태

벽체의 균열 및 파손 등은 건물 하중에 의한 손상으로 보이며, 이러한 손상은 주로 포벽화에서 수직·수평균열을 발생시키고 있으며, 일부 벽체는 벽체 외곽의 목부재보다 돌출되는 현상을 보이기도 한다.

금산사미륵전벽화에서 현재 가장 손상이 두드러지게 나타나는 곳은 전각의 남측면 벽화로 조사되고 있으며, 남측면에서도 특히 일조량이 가장 높은 2층과 3층의 불벽에서 채색층 및 마감층의 손상이 가장 크게 나타나고 있는 것으로 조사되고 있다.

11) 한림보존테크, 2008, 『금산사미륵전벽화 보존처리를 위한 표본조사 연구보고서』, 문화재청·김제시청.

Table 2. 금산사미륵전벽화 건물 방향별 종합 손상도(벽화면적당 손상%를 합산한 평균수치(數値)임) (단위 : %)

위치	동측	서측	남측	북측
종합손상도	41	36	49	38

Table 3. 건물 방향별 포벽 및 불벽화 손상도(벽화면적당 손상%를 합산한 평균수치(數値)임) (단위 : %)

위치	동측	서측	남측	북측
포벽	42	36	43	46
간벽	41	-	55	30

Table 4. 건물 방향별 조도량(4월 오후 2시 기준) (단위 : LUX)

위치	동측	서측	남측	북측
포벽	6700	6000	8850	2870
간벽	20500	60000	165000	4800

Table 5. 건물 방향별 벽화 유형에 따른 손상도(벽화면적당 손상%를 합산한 평균수치(數値)임) (단위 : %)

위치	동측	서측	남측	북측
채색층손상도	21	4	30	24
마감층손상도	4	2	8	2
벽체균열	18	10	15	17

IV. 조사 및 실험

1. 금산사미륵전벽화 시료 조사

(1) 상태조사

① 광학현미경

금산사미륵전벽화의 시료 표면의 Paraloid B-72의 도포상태 및 채색층 단면상태조사는 광학현미경으로 실시하였다.

조사결과, 채색상태는 비교적 밀도 있게 착색되어 있으나, 채색층 표면에서 일부 광택과 함께 고형화 된 합성수지를 관찰할 수 있다(Figure 5). 채색층이 합성수지와 함께 일부 도막을 형

성하며 채색층 균열 및 박리상태를 나타내는 부분도 관찰되는데 채색층의 광택 및 부분적인 고형화, 도막현상은 과거 보존처리 시 Paraloid B-72가 다소 과다하게 도포된 결과라고 판단된다. 또 단면을 관찰한 결과 미륵전 외벽화는 마감층 위 견고하게 착색된 주색계통 바탕칠 층과 이 위로 건식기법으로 채색된 다수의 채색층이 존재하는데 호분으로 추정되는 흰색 채색층과 그 위로 부분적으로 청색, 적색 등 약 3~5개의 채색층이 있다. 그 중 두껍게 칠해진 채색층에 층간 분리현상이 나타나고 분리된 공극에 이물질이 관찰된다(Figure 6).



Figure 3. 금산사미륵전벽화 시료(Sample 4)

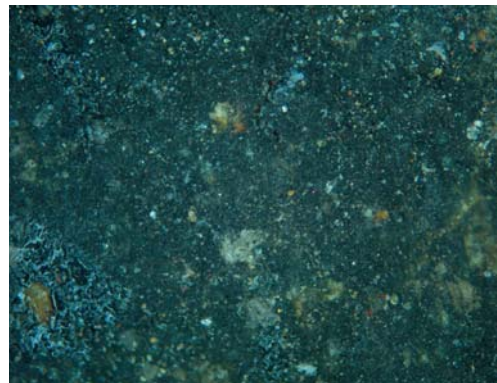


Figure 4. Sample 4 표면상태(×50)



Figure 5. Sample 4 표면 수지도포 부분(×100)

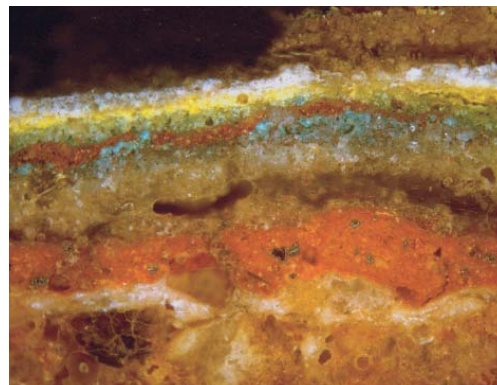


Figure 6. Sample 4 단면상태(×100)

② SEM-EDS 분석

Sample 4의 채색층 표면과 단면을 주사전자현미경(SEM)을 통하여 미세조직을 관찰하였다. 표면 미세조직의 형태를 살펴보면 표면을 이루고 있는 구성 물질들이 부분적으로 막과 층을 이루고 있는 상태를 관찰 할 수 있는데, 이는 벽화에 사용된 광물 입자 간에 고분자 수지가 유입

되어 도막을 형성하게 될 때 이와 같은 현상이 나타나게 된다(Figure 7). 따라서 본 미세조직 조사결과에서 관찰되는 도막형의 상태는 과거 보존처리 때 사용된 Paraloid B-72가 시료의 표면에서 관찰되는 것으로 보인다.

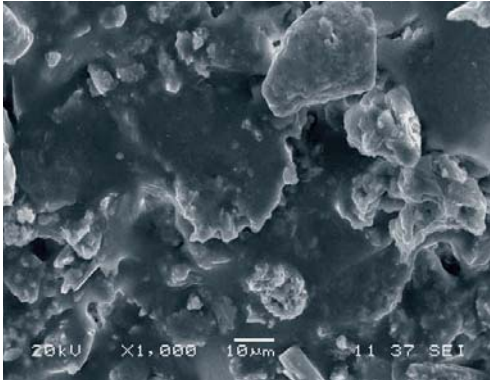


Figure 7. Sample 4 표면 채색층(black) 미세조직 (×1000)

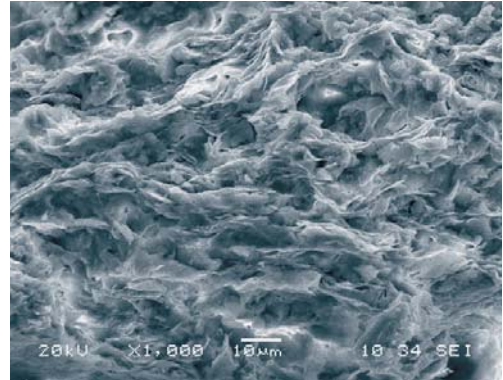


Figure 8. Sample 4 단면 채색층(white) 미세조직 (×1000)

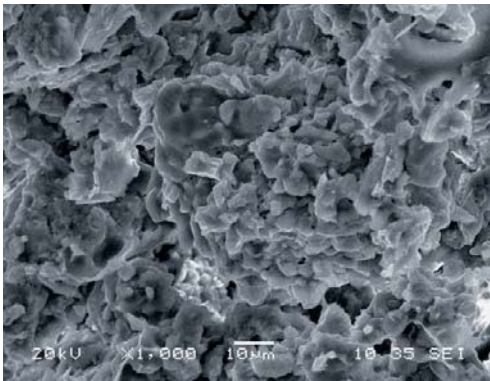


Figure 9. Sample 4 단면 채색층(blue) 미세조직 (×1000)

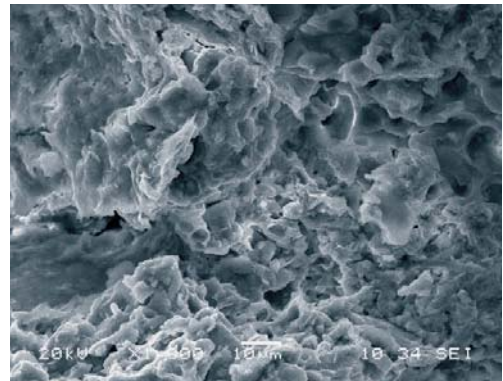


Figure 10. Sample 4 단면 채색층(red) 미세조직 (×1000)

③ FT-IR 분석

Sample 4에 대하여 과거 보존처리 당시 적용된 합성수지 성분을 검증하기 위해 FT-IR 분석을 실시하였다. 문헌자료를 근거로 하면 과거 보존처리 시 Paraloid B-72가 사용되었던 것으로 기록되었으므로, Paraloid B-72 고형물에 대한 FT-IR 분석을 실시하여 두 분석 결과를 비교하기로 하였다. 적외선분광분석 결과, Paraloid B-72 고형물의 스펙트럼과 금산사미륵전벽화 시료의 스펙트럼을 비교하였을 때 $2300\sim 2400\text{cm}^{-1}$ 과 $1600\sim 1700\text{cm}^{-1}$ 영역에서 유사한 피크가 검출됨을 알 수 있다.

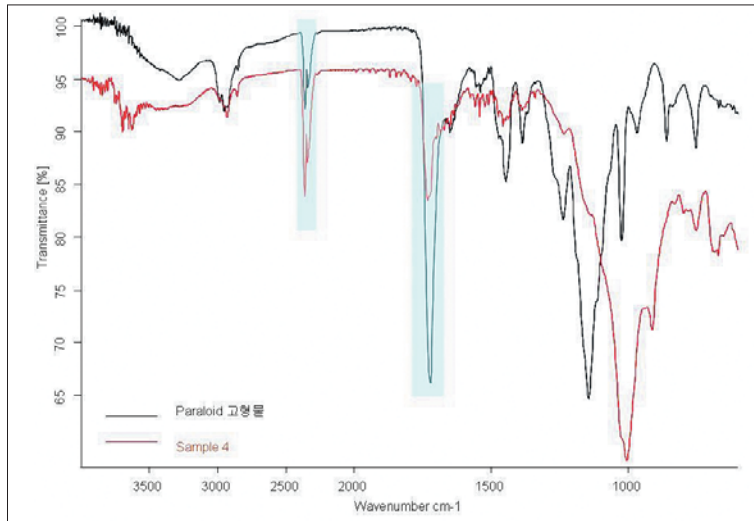


Figure 11. Paraloid 고형물과 Sample 4의 FT-IR 스펙트럼

④ 입도분석

Sample 4의 마감층 구성 물질을 조사하기 위해 Modal 입도분석을 실시하였다.

금산사 미륵전 마감층 시료의 입도 분석 결과 전체의 13%는 silt이고, 약 87%가 모래, 0.2% 정도가 점토질로 구성되어 있다. 모래가 구성성분의 대다수를 차지하고 있는데 87% 가운데 입

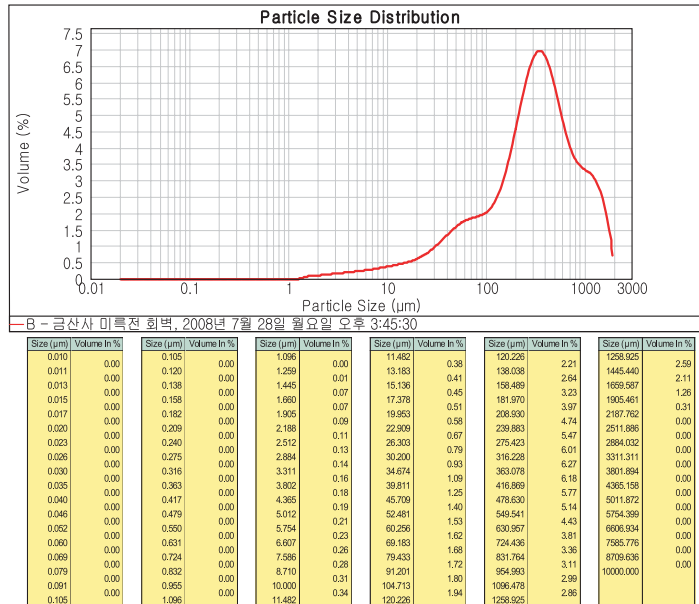


Figure 12. 금산사미륵전벽화 입도분석 결과

자 크기별로 5등분으로 구분하여 구성비율을 살펴보면 62.5~125 μ m(VF Sand)인 것이 약 9%, 125~250 μ m(F Sand)가 약 17.7%, 250~500 μ m가 약 30%, 500~1000 μ m가 약 19%, 1000~2000 μ m가 약 11% 이다. 가장 작은 입자인 VF Sand와 F Sand의 비율의 합과, 중간 크기인 M Sand의 비율과 큰 입자에 속하는 C Sand와 VC Sand의 비율의 합을 비교하여 보면 세 비율이 서로 비슷한 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이것으로 금산사 벽체층 물질은 전체적으로 세립질과 조립질 입자가 균일하게 분포하였다고 볼 수 있다.

(2) 물리적 특성 조사

① 함수율

Sample 4 표면의 임의의 부분을 정하여 10회 측정 후 평균값을 구하였다. 함수율 측정기는 KETT(JPN)사의 paper moisture tester(모델명 K-100)을 사용하였다. 총 10회 측정 결과, 평균값은 7.0 이 나왔다.

Table 6. 금산사미륵전벽화 시료 표면 함수율 측정 결과

시료명	금산사미륵전벽화 시료(Sample 4)										
측정횟수	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	평균
측정값	7.2	7.4	6.9	7.1	6.6	6.8	7.7	6.8	6.9	6.7	7.0

② 표면 경도¹²⁾

Sample 4의 채색층에 대한 경도 테스트 결과 표면경도 값은 98.8이었다. 측정기기는 IRHD 경도계(모델명:Hildebrand MICRO IRHD SYSTEM)로 하였고, 상온에서 상대습도 50%의 조건 하에서 측정하였으며 시료에 도달하는 접촉압력은 235mN이다. 측정위치는 시료 중심부를 기준으로 임의로 상, 중, 하의 위치를 정하여 3회 측정한 뒤 평균값을 내었다.

Table 7. 금산사미륵전벽화 표면 경도값

시료명	금산사미륵전벽화 시료(Sample 4)
표면 경도값	98.8

12) 본 논문의 시료들의 경도 측정은 한국화학연구원 신뢰성평가센터에 의뢰하여 측정하였다.

2. 의사시료 제작 및 조사

(1) 의사시료 제작

의사시료 제작은 현재까지 조사된 조선시대 사찰벽화 제작기법에 대한 연구 자료를 참고로 하여 제작하였다.¹³⁾ 의사시료의 마감층은 금산사미륵전 외벽화의 마감층 입도분석자료를 토대로 제작하였으며, 채색층 제작은 안료와 아교를 사용하였다. 채색은 실험에 필요한 정도에 따라 아교의 농도를 달리하여 실시하였다.

벽체가 제작된 후, 각 시료별(이하 Sample 1, Sample 2, Sample 3)로 표면 일부에 Paraloid B-72를 도포하였는데, 이 때 한 번에 도포하지 않고 1%, 3%, 5%의 농도 별로 단계적으로 도포하였다.

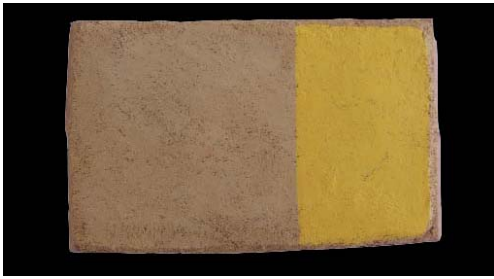


Figure 13. 의사시료 마감층 제작 및 채색과정



Figure 14. 의사시료 제작 및 Paraloid B-72 도포 상태

Table 8. 의사시료 구분 및 실험내용

의사시료 명	시 료 조 건	실험내용	
-1-a	Medium + Pigment / 얇은 채색(1회), 아교농도 少		
-1-b	Medium + Pigment + Paraloid B-72 5% / 얇은 채색(1회), 아교농도 少		
Sample 1	-2-a	Medium + Pigment / 채색(2회), 아교농도 中	열적외선 조사(照射) 및 침수 반응 조사
	-2-b	Medium + Pigment + Paraloid B-72 5% / 채색(2회), 아교농도 中	
	-3-a	Medium + Pigment / 두꺼운 채색(3회), 아교농도 中	
	-3-b	Medium + Pigment + Paraloid B-72 5% / 두꺼운 채색(3회), 아교농도 中	
Sample 2	Medium + Pigment 자외선 조사 전은 2-A, 자외선 조사 후는 2-B로 함	자외선 조사(照射) 및	
Sample 3	Medium + Pigment + Paraloid B-72 5% 자외선 조사 전은 3-A, 자외선 조사 후는 3-B로 함	경도 Test. 함수율 Test	

13) 무위사 극락전 내벽 사면벽화 보존처리 보고서, 건국대학교 부설 회화보존연구소 학술보고서, 2005
정혜영 · 한경순, 봉정사 대웅전 후불벽체의 제작기법에 관한 연구, 보존과학회지 Vol. 23, 53~65p, 2008

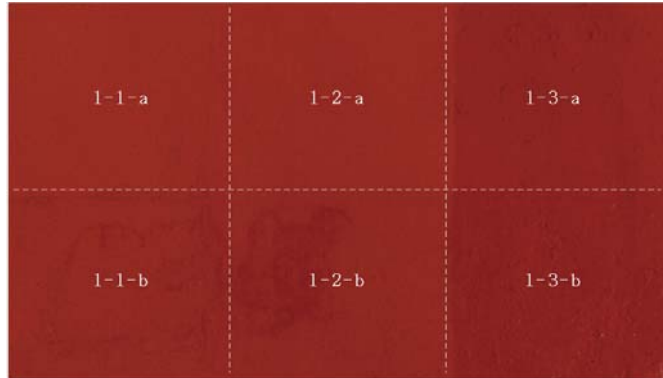


Figure 15. 열적외선 조사(照射) 및 침수 실험 대상시료(Sample 1)의 시료 조건에 따른 분할

(2) 의사시료 조사(照射) 및 분석

① 광학현미경

의사시료의 채색층 표면상태 및 Paraloid B-72 도포 상태, 의사시료의 단면구조 등을 관찰하기 위해 광학현미경 조사를 실시하였다.



Figure 16. Sample 1 수지도포 전 표면상태(×50)



Figure 17. Sample 1 수지도포 후 표면상태(×50)



Figure 18. Sample 2 단면상태(×100)

② SEM

주사전자현미경(SEM)을 사용하여 의사시료 채색층 표면의 미세조직을 관찰하였다.

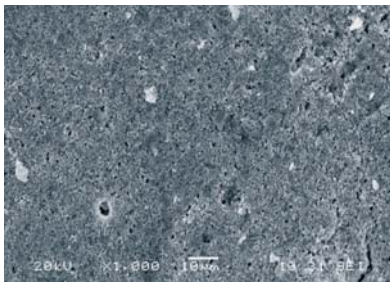


Figure 19. Sample 1-2-a 채색층 표면상태(×1000)

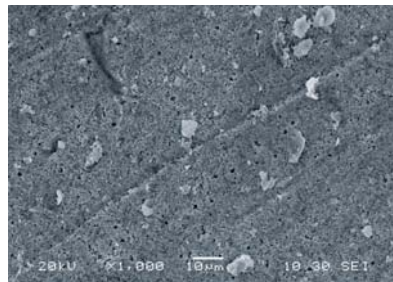


Figure 20. Sample 1-2-b 채색층 표면상태(×1000)

3. 실험 및 물리적 특성 조사

제작된 의사시료를 대상으로, 강제풍화실험의 실시 및 물리적 특성을 측정하여 Paraloid B-72가 도포된 시료와 도포되지 않은 시료의 상태 및 물리적 특성을 비교하여 보았다.

풍화실험은 금산사미륵전이 갖는 외부 환경과 동일한 조건에서 실시하는 것이 바람직하겠으나, 시간적·공간적 한계로 인해 인위적 환경을 조성하여 실험을 진행하였다.

(1) 강제 풍화 실험

① 열적외선 조사(照射) 및 침수 실험

열적외선 조사(照射) 실험은 의료용 적외선 Lamp(제품명 : PHILIPS, Infrared-R95E 100W)를 사용하여, 1차 실험 당 72시간을 조사(照射)하였으며, 12시간 간격으로 수분을 주입하여 건습을 반복시켰다.

1차 실험 당 열적외선 조사(照射) 실험이 완료된 시료는 시료 크기에 맞는 용기에 넣은 후, 증류수에 의사시료를 침수시켰다. 침수는 12시간을 유지하였으며, 열적외선 조사(照射) 1차 실험이 완료될 때마다 침수하여 3회 반복하였다. 실험 대상 Sample 1이다(Figure 15).

② 자외선 조사(照射) 실험

자외선 조사(照射) 실험을 하기 위하여 자외선열화시험기(모델명 : ATLAS UV-2000)를 사용하였다. 자외선램프는 파장이 313nm인 UV-B를 사용하였다. 조사(照射)시간은 300시간이고 환경조건은 set point 0.77W/m², Panel Temp는 50℃이다. 조사(照射)대상 시료는 Sample 2, Sample 3이다.

(2) 물리적 특성 조사

강제 풍화 실험 후 Paraloid B-72가 도포된 시료와 도포가 되지 않은 시료에서 나타나는 물리적 특성의 차이점을 알아보기 위하여 채색층 표면에 대한 함수율 및 경도 테스트를 실시하였다. 측정 대상 시료는 Sample 2-A와 2-B, Sample 3-A와 3-B이다.

① 함수율

의사시료의 채색층 표면 함수율 변화 여부를 측정하였으며, 함수율 측정기는 KETT(JPN)社의 모델명 K-100/K-200인 paper moisture tester를 사용하였다. 의사시료 중 Paraloid B-72가 도포된 시료의 채색층 표면에서는 고분자 재료의 밀도로 인해 수지 도포면의 함수율 값을 얻기 어려워, 함수율 측정 대상이 되는 모든 시료에 대하여 일정 수분을 유입시킨 후 일정 시간

동안 건조되는 과정에서의 함수율 변화 값을 측정하였다. 실험방법으로는 자외선 조사(照射)를 실시하지 않은 Sample 2-A와 Sample 3-A, 자외선 조사(照射)를 실시한 Sample 2-B와 Sample 3-B, 4개의 의사시료를 동일한 환경 하에 놓고, 일정한 양의 수분을 동시에 주입한 뒤 일정 시간이 흐르면 주기적으로 함수율을 측정하는 방법으로 진행하였다. 여기서 실내 환경 조건은 상온에 상대습도는 45%였으며 수분은 증류수를 사용하였고 스프레이로 분사하는 방식으로 하였다. 측정 횟수는 총 10회로 하고 측정 시간 간격은 2분, 3분, 4분 간격으로 총 30분 동안 측정하였다.

② 표면 경도

자외선 조사(照射)실험을 거친 시료와 조사(照射) 실험을 실시하지 않은 시료에 대한 물성저하 차이를 조사하기 위해 경도 테스트를 실시하였다.

측정기기는 IRHD경도계(모델명:Hildebrand MICRO IRHD SYSTEM)로 하였으며 온도는 상온, 상대습도는 50%의 조건 하에서 측정하였고, 시료에 도달하는 접촉압력은 235mN이다. 측정위치는 각 시료의 상, 중, 하 부위를 측정 후 평균값을 계산하였다.

V. 실험결과

1. 강제 풍화 실험 결과

(1) 열적외선 조사(照射) 및 침수 실험

열적외선 조사(照射) 및 침수 실험 후 의사시료의 상태를 육안 및 현미경으로 관찰한 결과 채색층 균열 및 박리 현상이 발생되었으며, 채색층 제작에 사용된 아교의 농도 및 채색층 두께, Paraloid B-72의 도포 유무에 따라 손상 정도가 다르게 나타났다. 의사시료 중 채색 두께와 아교의 농도가 비례하도록 제작하였는데, 채색층이 두껍고 고농도의 아교가 사용된 의사시료에 비해 채색층이 얇고 저농도의 아교가 사용된 의사시료가 비교적 표면 손상상태가 양호하게 나타났다. 또 회 차 별 손상 정도를 비교해 볼 때 두꺼운 층의 시료가 실험 시간이 경과될 수록 손상 범위가 증가함을 알 수 있었다. 여기서 다시 Paraloid B-72를 도포한 것과 도포하지 않은 시료를 비교해 보면 Paraloid B-72를 도포한 시료에서 손상이 두드러지게 나타나는 반면, 채색층이 얇고 아교가 적은 시료에서는 Paraloid B-72가 도포된 상태에서도 손상이 비교적 적게 발생되었다.



Figure 21. Sample 1-2-a 표면 균열상태



Figure 22. Sample 1-2-b 표면 미세균열 및 광택

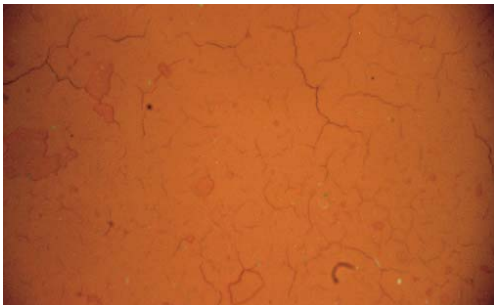


Figure 23. Sample 1-2-a 1차 풍화 후(×50)

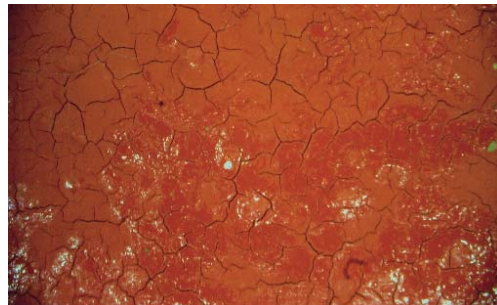


Figure 24. Sample 1-2-b 1차 풍화 후(×50)

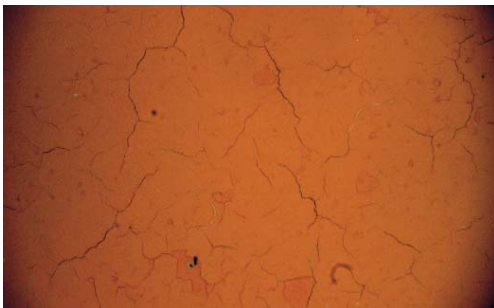


Figure 25. Sample 1-2-a 2차 풍화 후(×50)

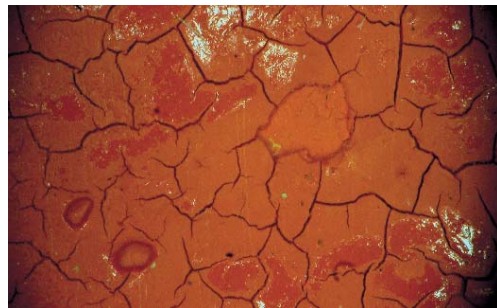


Figure 26. Sample 1-2-b 2차 풍화 후(×50)

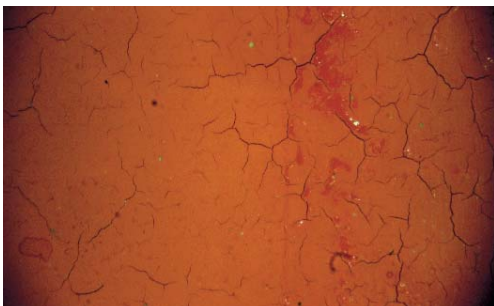


Figure 27. 1-2-a와 1-2-b의 경계 1차 풍화 후(×25)

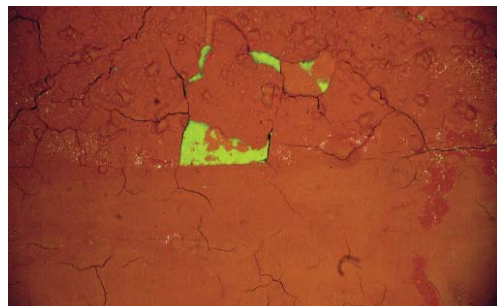


Figure 28. 1-2-a와 1-2-b의 경계 2차 풍화 후(×25)

Table 9. Sample 1의 열적외선 조사(照射) 및 침수실험 회 차 별 손상면적

	1-1-a	1-1-b	1-2-a	1-2-b	1-3-a	1-3-b
1차	5%	0%	15%	40%	5%	30%
2차	10%	5%	30%	90%	10%	50%
3차	20%	20%	20%	20%	20%	20%
합계	35%	25%	65%	150%	25%	100%

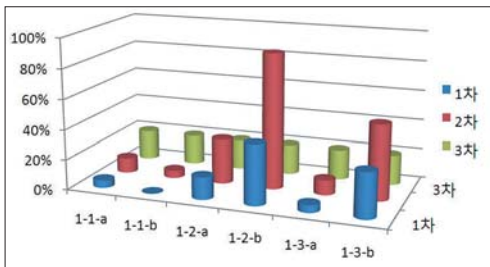


Figure 29. Sample 1의 시료별 풍화횟수에 따른 손상도

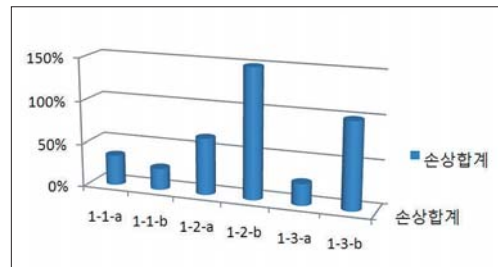


Figure 30. Sample 1의 시료별 풍화 손상도

(2) 자외선 조사(照射) 실험

자외선 조사(照射)실험 결과, Paraloid B-72를 도포한 시료와 도포하지 않은 시료의 표면에서 손상 정도의 차이가 육안으로 확인 가능한 차이를 나타냈다. Paraloid B-72를 도포한 Sample 3의 채색층 표면은 조사(照射) 후 약 50여 시간 만에 손상 상태를 나타내어 보이기 시작하였다. 채색층 박락 현상이 두드러지게 나타났으며, 채색층 표면에 균열이 발생 되었다. 조사(照射)시간이 더 경과된 후에는 균열이 진행된 채색층이 들뜸 현상을 나타냈다. Paraloid B-72를 도포하지 않은 Sample 2의 채색층은 자외선 조사(照射) 후 육안으로는 채색층 표면의 손상상태를 확인하기 어려웠으나, 현미경 및 미세조직 관찰을 통해 미세하게 진행된 채색층의 손상상태를 확인할 수 있었다.

또한 실험에 사용된 모든 의사시료에서 균열이 발생되었으나, Sample 2의 채색층 상태가 Sample 3과 비교했을 때 전체적으로 균열로 인한 손상면적이 적고 균열부위의 틈이 좁은 것으로 관찰되었다. Sample 2 와 3의 균열부위를 중심으로 미세조직을 관찰하였다. 자외선 조사(照射) 전의 채색층 상태는 안료 조직이 치밀하게 구성되어 있으나, 자외선 조사(照射) 후의 채색층 상태는 안료의 조직이 밀도가 저하되고, 일부 공극이 형성되는 상태를 관찰할 수 있었다.

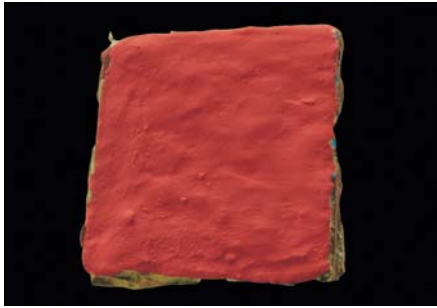


Figure 31. Sample 2-A

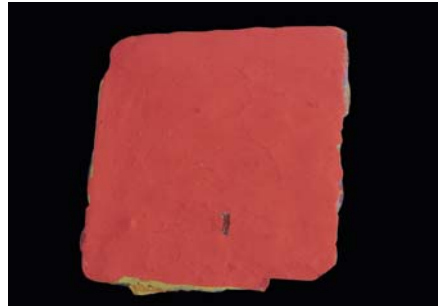


Figure 32. Sample 2-B

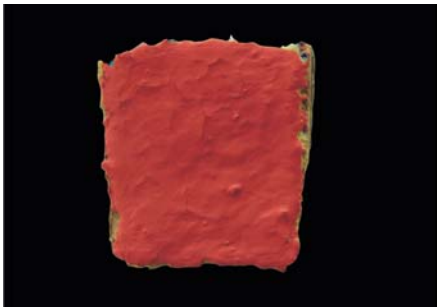


Figure 33. Sample 3-A



Figure 34. Sample 3-B

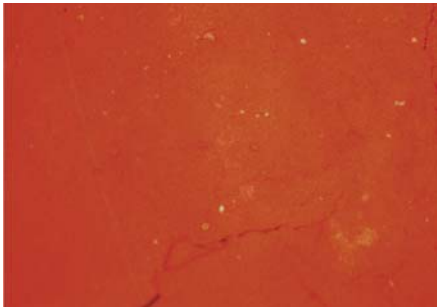


Figure 35. Sample 2-A 표면상태(광학현미경×100)

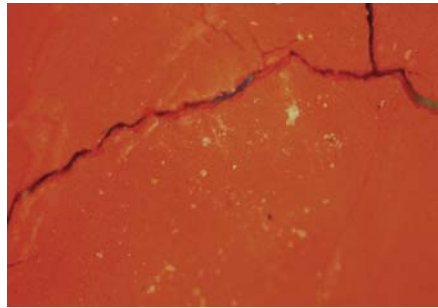


Figure 36. Sample 2-B 표면상태(광학현미경×100)



Figure 37. Sample 3-A 표면상태(광학현미경×100)

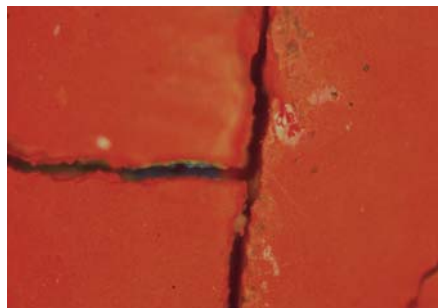


Figure 38. Sample 3-B 표면상태(광학현미경×100)

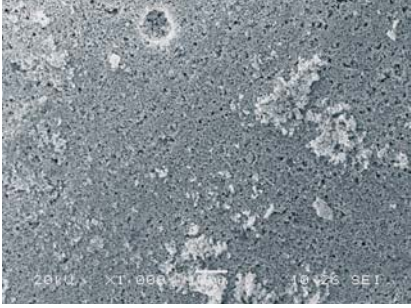


Figure 39. Sample 2-A 표면(SEM ×1000)

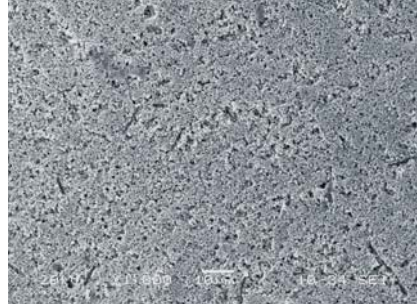


Figure 40. Sample 2-B 표면(SEM ×1000)



Figure 41. Sample 3-A 표면(SEM ×1000)

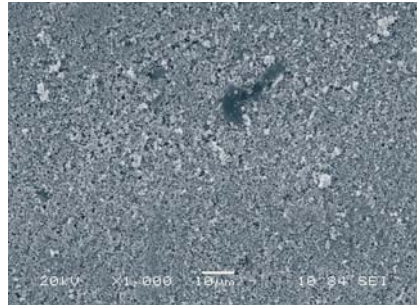


Figure 42. Sample 3-B 표면(SEM ×1000)

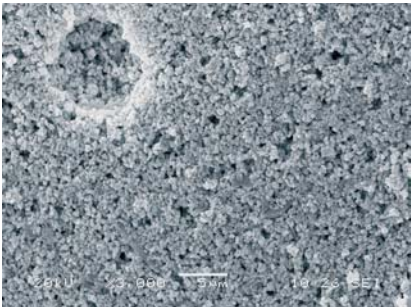


Figure 43. Sample 2-A 표면(SEM ×3000)

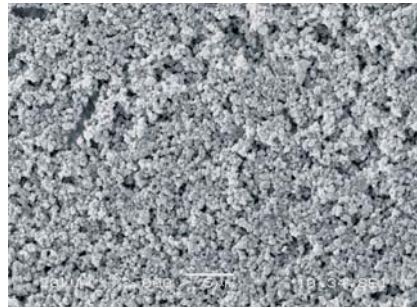


Figure 44. Sample 2-B 표면(SEM ×3000)

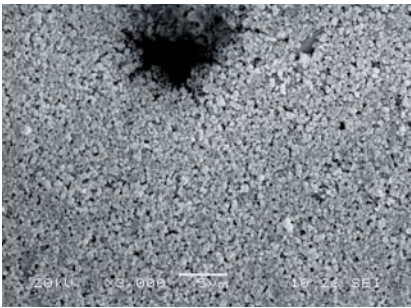


Figure 45. Sample 3-A 표면(SEM ×3000)

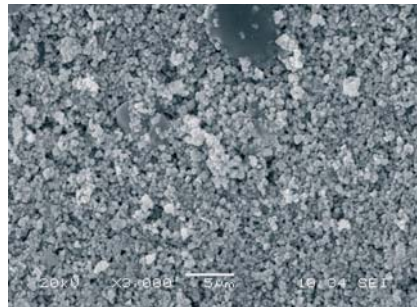


Figure 46. Sample 3-B 표면(SEM ×3000)

2. 물리적 특성

(1) 함수율

함수율 측정결과, 전체적으로 자외선 조사(照射)를 실시한 B시료들이 A시료들에 비해 함수율 값이 높게 나왔다. 그 중 파라로이드가 도포되지 않은 Sample 2-B의 경우 30분 동안 지속적으로 함수율 측정이 가능하였고, 파라로이드가 도포된 Sample 3-B의 경우도 3-A보다 더 오랜 시간 측정이 가능하였는데, 이는 자외선의 영향으로 물성저하를 나타낸 B시료들이 A시료들보다 수분의 침투가 더 용이하여 수분 증발에도 더 오랜 시간이 소요되기 때문인 것으로 판단된다.

또 자외선 영향을 받지 않은 A시료 중에서는 파라로이드를 도포한 시료인 Sample 3-A가 도포하지 않은 Sample 2-A에 비해 평균적으로 높은 함수율 값이 나왔다. 그러나 자외선을 조사(照射)한 후에는 파라로이드를 도포하지 않은 Sample 2-B가 Sample 3-B보다 측정값이 더 높게 나왔다.

두 가지 경우에서 나타난 결과와 같이 자외선의 영향을 받은 시료들 사이에서는 Paraloid B-72를 도포한 시료의 함수율 값이 평균적으로 더 낮게 측정되었으며, 자외선의 영향을 받지 않은 시료에서는 Paraloid B-72를 도포한 시료의 함수율 값이 더 높게 측정되었다.

Table 10. 함수율 Test 결과

측정횟수-경과시간 \ 시료명	Sample 2-A	Sample 2-B	Sample3-A	Sample 3-B
1회 - 2분 후	∩	∩	18,5	18,6
2회 - 4분 후	16,8	22,9	19,2	20,4
3회 - 6분 후	21,9	22,1	18,2	19,2
4회 - 9분 후	14,0	20,6	15,7	17,4
5회 - 12분 후	11,4	18,2	11,7	13,3
6회 - 15분 후	9,2	16,3	16,8	12,9
7회 - 18분 후	×	14,8	8,0	9,3
8회 - 22분 후	×	8,2	×	7,5
9회 - 26분 후	×	6,8	×	×
10회 - 30분 후	×	7,3	×	×

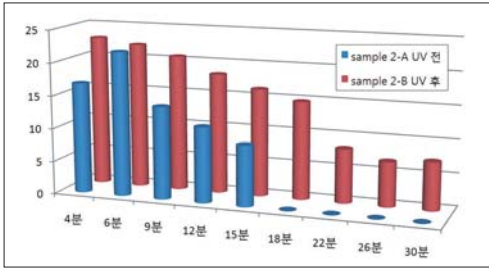


Figure 47. 자외선 조사(照射) 실험 전, 후의 Sample 2의 함수율 변화

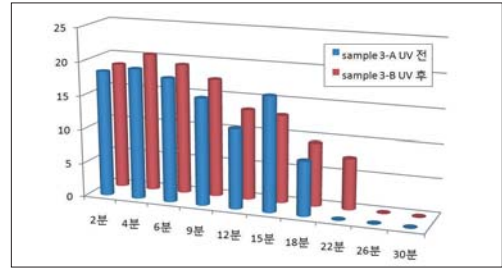


Figure 48. 자외선 조사(照射) 실험 전, 후의 Sample 3의 함수율 변화

(2) 표면 경도

표면 경도 실험결과, 자외선 조사(照射)를 실시하지 않은 시료 중 Paraloid B-72를 도포한 시료는 99.6의 값을, Paraloid B-72를 도포하지 않은 시료는 99.8로 두 시료에 대한 경도 값은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 자외선을 조사(照射)한 시료에서는 Paraloid B-72를 도포하지 않은 것은 99.8로 자외선 조사(照射)를 실시하지 않은 시료와 경도 값의 차이가 발생하지 않은 반면, Paraloid B-72를 도포한 시료는 95.4로 경도 값이 저하되었다.

Table 11. 경도 Test 결과

	Sample 2-A	Sample 3-A	Sample 2-B	Sample 3-B
평균값(3회 측정)	99.8	99.6	99.8	95.4

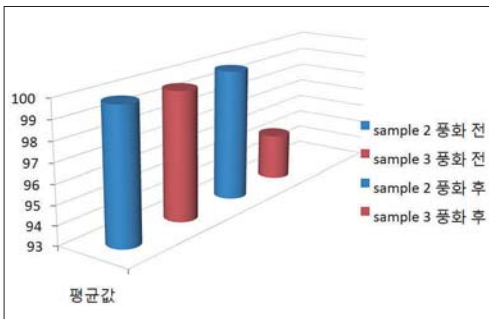


Figure 49. 시료별 풍화실험 전, 후 경도 측정값

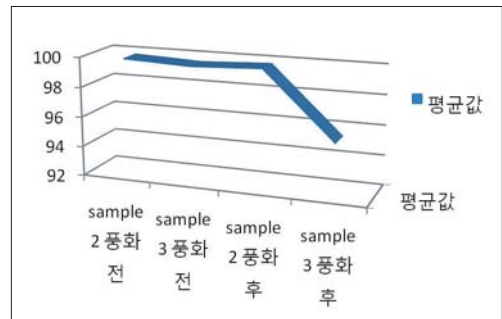


Figure 50. 시료별 풍화실험 전, 후 경도변화 곡선

VI. 결 론

금산사 미륵전 외벽화 시료를 대상으로 한 의사시료를 제작하여 조사 및 분석을 실시하였으며, 실험 결과를 통해 Paraloid B-72를 처리한 사찰 벽화의 보존성에 대하여 알아보았다.

의사시료 제작은 금산사 미륵전 외벽화 시료에 대하여 미시적 구조 및 재료적 특성을 파악하고 이를 바탕으로 하여 제작하였고, Paraloid B-72를 도포한 시료와 도포하지 않은 시료에 대하여 적외선 조사(照射) 및 침수 환경 조성, 자외선 조사(照射) 등을 실시하여 두 가지 조건의 시료가 보여주는 손상 상태와 물리적인 특성의 차이를 비교하였다. 금번 실시된 실험에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 금산사 미륵전 외벽화 시료의 채색층 조사 결과, 원 벽화의 채색층과 과거에 덧칠되었을 것으로 추정되는 채색층을 포함하여 약 5개의 비교적 두꺼운 채색층을 보이고 있으며, 일부 채색층간 분리 현상을 나타내는 공극부위에 이물질이 형성되어 있다. 그리고 금산사 미륵전 외벽화 시료에 대한 유기물 분석을 통하여 과거 벽화 보존처리 시 채색층 고착재료로 사용된 합성 수지가 Paraloid B-72임을 확인하였다. 채색층에 대한 광학현미경 조사 및 미세조직 관찰을 통해 Paraloid B-72가 채색층 위에 고형물 형태의 광택을 갖거나 도막현상을 나타내는 것을 관찰할 수 있었다.

2. 의사시료에 대하여 강제 풍화 실험을 실시한 결과, 적외선 조사(照射) 및 침수 환경 하에서 Paraloid B-72가 도포된 시료에서 채색층의 균열 및 박리·박락현상이 Paraloid B-72가 도포되지 않은 시료에 비하여 두드러지게 나타났으며, 채색층이 두껍게 제작된 시료에서 손상의 정도가 심하게 발생하는 결과가 나타났다.

이러한 결과는 열적에너지가 고분자의 내후성에 미치는 영향에 기인하는 것으로 판단되며, 고분자 자체의 화학적 영향 이외에 온도변화의 주기성으로 인한 물성저하로 보인다. 의사시료 채색층 상태가 금산사 미륵전 외벽화의 채색층과 유사하게 비교적 두꺼운 층을 형성하고 있으며, 채색층 구성하고 있는 복합 물질간의 열팽창계수 및 탄성계수가 각기 다른 잔여응력으로 인하여 채색층간분리, 채색층 균열 등의 기계적 절단 현상을 나타내는 것으로 판단된다.

3. 자외선 조사(照射) 이후 채색층 표면의 안료가 분말화 현상을 보이거나 채색층의 균열 및 박리 상태를 나타냈고, 주사전자현미경 조사를 통해 채색층의 미세조직 관찰 결과 안료간 조직의 밀도가 저하되는 현상을 관찰하였다. 또한 Paraloid B-72를 도포한 시료 중 자외선 조사(照

射)를 실시한 시료에서 채색층 표면 경도가 자외선 조사(照射)를 실시하지 않은 시료보다 약 4% 감소되는 등 Paraloid B-72를 도포한 시료가 도포하지 않은 시료에 비해 자외선 조사(照射)로 인한 물성 약화 현상이 발생하였다.

이러한 결과는 광분해에 민감한 고분자물질이 자외선 에너지로 인해 평균 분자량 변화를 초래하며 나타난 기계적 물성 변화로 볼 수 있다. Paraloid B-72가 도포된 부위에서 채색층의 손상이 두드러지게 나타나는 것은 안료층과 함께 고착된 고분자 물질이 자외선 에너지에 의해 고분자 고리가 끊기며 수지의 물리적 성질이 저하되는 과정에서 안료의 분말화 또는 채색층의 박리 현상을 야기 시킨 것으로 판단된다. 이러한 현상은 현재 금산사 미륵전 외벽화 상태에서도 볼 수 있듯이, 건물의 사면(四面) 중 일조량이 가장 높은 건물 남측면의 외벽화들에서 채색층의 손상이 크게 나타나고 있으며, 남측면 외벽화 중에서도 지붕으로 인해 음지(陰地)에 위치한 포벽에 비해, 양지(陽地)에 위치한 불벽의 손상이 매우 크게 나타나고 있는 상태 등으로 미루어 Paraloid B-72가 사용된 사찰벽화의 채색층이 자외선으로부터 영향에 민감한 것으로 볼 수 있다.

4. 함수율 측정결과 자외선 조사(照射) 전 상태에서 Paraloid B-72를 도포한 시료가 도포하지 않은 쪽보다 수분 증발 속도가 더 느리게 나타났다. 그리고 Paraloid B-72를 도포한 시료가 자외선 조사(照射) 후의 함수율이 조사(照射) 전 함수율보다 저조하게 나타났는데, 이러한 결과 역시 고분자의 광분해 현상으로 인한 것으로 보인다. 그리고 함수율의 변화는 흙으로 조성된 사찰벽화의 보존에 밀접한 관계를 갖는데, 유공성 및 친수성의 재질적 특성을 지닌 벽화가 Paraloid B-72와 같은 고분자물질이 벽화의 미세공극에 침투하게 되면 재질의 함수율이 변화한다. 이러한 결과는 습도 변화에 따른 각 층별 수축 이완의 반복에 있어 물리적 저항을 일으키게 되는데, 그러한 상호 작용에 의해 채색층의 균열 및 층간 분리현상을 야기 시키는 것으로 판단된다.

의사시료에 대하여 단기간에 강제적으로 열과 수분, 자외선에 의한 환경변화 실험을 통해, Paraloid B-72를 도포한 시료가 도포하지 않은 시료에 비해 채색층의 균열, 안료 분말화, 채색층간 분리 및 박리 등의 손상상태를 나타냈다. 그리고 채색층의 경도 및 함수율이 감소되는 물리적 특성 변화가 다소 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.

Paraloid B-72가 과거 사찰벽화 보존처리에 사용된 사례 중 벽화의 손상이 가중된 금산사 미륵전 외벽화의 상태를 미루어, 사찰벽화 보존처리에 사용된 합성수지가 환경변화에 따른 손상 유무를 파악하기 위해 본 논문을 작성하였다. 그리고 실험은 과거 금산사미륵전 외벽화 보

존처리에 사용되었던 Paraloid B-72의 농도를 준하여 실험을 진행하였으며, 향후 합성수지의 적용 농도(%)에 따른 변화에 대한 실험이 필요하다고 생각된다.

Paraloid B-72는 문화재 적용재료로서 적합성을 인정받아오며 오랜 기간 동안 다국적으로 널리 사용되어 왔으며, 한국 사찰벽화 보존처리에 있어서도 그 장점을 인정받아 90년대 초반까지 사용되어온 재료이다. 그러나 실험 결과를 통해서도 알 수 있듯이, 외부 환경에 노출되어 장기간 자외선 및 온·습도에 의한 손상 및 물리적 특성 변화로 인한 장기적인 보존성을 보장받기는 어려우며, 이러한 재료적 한계성 문제는 지속적으로 연구되어야 할 현재 우리에게 주어진 과제일 것이다.

〈참고문헌〉

1. 한경순, 「토벽화 보존에 따른 고착제에 관한 연구」, 『보존과학회지』 Vol.11 No.1, p.38~51, 2002.
2. 「金山寺 彌勒殿 壁畫保存處理 報告書」, 전라북도 · 한국미술사학회, 1993.
3. 「금산사 미륵전 벽화보존처리를 위한 표본조사 연구 보고서」, 문화재청 · 김제시청, 2008.
4. 「무위사 극락전 내벽 사면벽화 보존처리 보고서」, 건국대학교 부설 회화보존연구소 학술보고서, 2005.
5. 이화수 · 한경순, 「고구려 고분벽화의 석회 마감층에 관한 연구」, 『보존과학회지』 Vol. 19, p.43~56, 2006.
6. 정혜영 · 한경순, 「봉정사 대웅전 후불벽체의 제작기법에 관한 연구」, 『보존과학회지』 Vol. 23, p.53~65, 2008.
7. 박종신, 「고분자 재료의 내후성」, 『Journal of Korean Fiber Society』, Vol.28 No.7, p.12~23, 1991.
8. 「신흥사 대광전 벽화 보존처리 보고서」, 경주대학교 부설 문화재연구소 학술보고서, 2002.
9. 이수정, 「한국사찰벽화 보존에 관한 연구」, 동국대학교 대학원 석사학위논문, 2001.
10. K. S. Han, 「Restoration and Conservation of the Buddhist Mural Paintings of Korea」, Ph.D Dissertation, University of Herzen State Pedagogical, 2003.
11. P. Mora, L. Mora, P. Philipport, 『The Conservation of Wall Paintings』, Butterworth, 1984.
12. Isabelle Brajer, 『The Transfer of Wall Paintings』, Archetype Publications, 2002.