내소사 대웅보전 포벽화 제작기법 연구

이화수 | 이나라* | 한규성¹

충북대학교 목재·종이과학과, *충북대학교 문화재보존기술지원센터

Study on Manufacturing Techniques of Bracket Mural Paintings of Daeungbojeon Hall in Naesosa Temple

Hwa Soo Lee | Na Ra Lee* | Gyu-Seong Han¹

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

*Heritage Science Center, Chungbuk National University, Cheongju, 28116, Korea

¹Corresponding Author: wood@chungbuk.ac.kr, +82-43-261-2807

초록 내소사 대웅보전 포벽화에 대한 벽체 구조 및 재질특성 그리고 채색층에 대한 정밀분석을 통해 제작기법을 연구하였다. 벽체 골조는 외가지 구조이며, 벽체층과 마감층 그리고 채색층의 세 층위로 구성되어있다. 벽체를 구성하는 벽체층 및 마감층은 석영과 장석류 등 모래와 황토를 혼합하여 제작하였다. 벽체층은 중립사 이상 크기와 세립사 이하 크기가 약 0.8:9.2 비율이고, 내·외부 마감층은 각각 약 6:4 비율로 벽체층보다 중립사 이상의 모래 비율이 상대적으로 높게 나타났다. 채색층 정밀분석 결과, 뇌록을 사용하여 최대 456.15 μm 로 비교적 두꺼운 바탕칠층을 마련하였으며 그 위로 녹염동광 및 백토 그리고 산화철 계통의 안료를 사용하여 채색하였다. 연구결과, 토벽체와 채색층 제작기법은 현재까지 연구된 조선시대 사찰벽화 제작양식 범주에 속하는 것으로 확인되었다. 그러나 마감층 모래 함량이 높고 중벽층과 짚여물이 확인되지 않는 점 등은 내소사 대웅보전 포벽화 벽체가 지닌 구조 및 재질특성으로서, 이와 같은 결과는 향후 벽화 보존상태 평가 또는 보존처리 방안 마련에 주요 정보가 될 수 있다.

중심어: 포벽화, 토벽체, 채색층, 제작기법, 보존

ABSTRACT The manufacturing techniques were studied by investigating a precise analysis on wall structure, features of materials and the painting layer of the bracket mural paintings at Daeungbojeon Hall in Naesosa temple. The wall frame is a single-branch structure, and The mural paintings are composed of 3 layers which are a support layer, a finishing layer and a painting layer. The support layer and the finishing layer are an earth wall that sand and clay such as Quartz, Feldspar, and etc. are mixed. The support and the finishing layers have a combination of medium particle sand and smaller than fine particle sand in the approximate ratios of 0.8:9.2 and 6:4, respectively. Therefore, the aforementioned ratio of sand with medium or large particles is relatively higher in the finishing layer than the support layer. As a result of a precise analysis on the painting layer, it has a relatively thick ground layer for painting which is maximum 456.15 μm by using Celadonite or Glauconite and the paintings were colored by using pigments such as Atacamite, Kaolinite or Halloysite, Oxidized steel, and etc. on it. The manufacturing style and the painting techniques of an earth wall are included in the category of the Joseon Dynasty style that have been studied up to now, but the facts that the finishing layer has a high content of sand and a middle layer and chopped straw have not been identified. These are remarkable points in terms of structure and materials, and can be crucial in the evaluation of the state of conservation of mural paintings or preparation of a conservation plan.

Key Words: Bracket mural paintings, Earth wall, Painting layer, Manufacturing technique, Conservation

1. 서론

벽화 제작기법의 역사는 작품의 기원과 역사적 발전을 담은 주요한 정보를 제공해주며, 미술사연구에 공헌한다. 또한 벽화의 올바른 보존을 위해서는 제작기술에 대한 정확한 지식이 필요하며, 이는 보존처리 전 반드시 연구되어야 하는 중요한 과정이다. 따라서 벽화 제작에 사용된 재료와 기법에 대해 정확하게 파악한다면 이를 기반으로 신뢰성 있는 벽화보존 연구가 가능할 것이며, 보다 체계적이고 효과적인 보존방안들이 제시될 것이다(Lee, 2013).

그간 국내에 있어서 1980년대 초반까지는 사찰벽화에 보존이 활발하게 이루어지지 않았던 시기로서 벽화에 대한 조사나 연구는 전무하였으며, 특히 사찰벽화 제작기술에 관한 연구는 비교적 늦게 시작된 편에 속한다. 2006년 강진 무위사 극락전 내벽 사면벽화의 전통재료와 제작기술에 대한 과학적 입증을 첫 연구사례로 하여(Chae *et al.*, 2006), 2008년에는 안동 봉정사 영산회상 벽화 벽체의 재료적 특성에 따른 제작기술 연구가 이루어졌다(Jeong and Han, 2008). 이후 여수 흥국사 대웅전 후불벽 배면벽화, 김제 금산사 미륵전 외벽화, 고창 선운사 대웅전 후불벽화 등 사찰벽화 제작특성을 비교하는 연구결과들이 제시되었다(Lee, 2016).

우리나라 사찰벽화는 목조건물의 흙벽에 그려진 것으로서, 목가구재에 나뭇가지를 골격으로 하고 토양을 주재료로 벽체를 조성 후 천연 안료와 전색제를 혼합하여 채색층을 제작하였다. 재료 대부분이 자연에서 얻어지는 연질 소재로 구성된 사찰벽화는 주변 환경과 재료적 한계성으로 인해 보존에 있어 여러 가지 문제점이 발생된다. 이러한 요인들로 인해 한국 사찰벽화는 다른 문화재들에 비해 그 수

량이 상대적으로 적은 편이며, 벽화의 보존을 위한 다각적 분야의 연구가 절실히 요구되고 있다(Lee, 2013).

부안 내소사 대웅보전은 현재 보물 제291호로 지정되어 있으며, 대웅보전 내·외부 벽면에 후불벽 배면벽화를 포함하여 포벽화 및 판벽화 등 총 111점의 벽화가 남아있다. 그 중 포벽화는 동·서 측면에 각 7점, 남·북 측면에 각 10점으로 내·외부벽화 34점씩 총 68점으로 구성되어 있다.

내소사 대웅보전 후불벽 배면벽화는 2010년 보존처리 과정에서 이루어진 과학적 조사를 통해 벽화 제작기법이 확인되었으나, 포벽화에 대한 과학적 조사는 이루어지지 않았다. 현재 내소사 대웅보전 포벽화의 경우 벽체의 파손 및 채색층 열화 등 종합적 손상이 발생된 것으로 조사되어 이에 대한 보존처리가 시급한 것으로 판단된다. 따라서 안정적인 보존방안을 마련하기 위해서는 벽화를 구성하는 구조 및 재료에 따른 제작상태를 파악하는 연구가 우선적으로 이루어져야 한다.

이에 본 연구에서는 내소사 대웅보전 포벽화를 구성하는 벽체 및 채색층에 대한 면밀한 분석 조사를 실시하여 벽화 제작기법 특징을 파악하였으며, 이를 통해 학술적 주요 정보를 마련하고 향후 보존처리를 위한 효과적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 벽화 육안 조사

포벽화 표면에서 확인되는 채색상태 및 벽체 구조 등에 대한 육안조사를 우선적으로 실시하였다. 채색상태 조사로는 시료가 수습된 벽화를 대상으로 채색 종류 및 현황을 파

Table 1. List of analysis object and analysis equipment for material characterization

Sample name	Description	Location	Classification	Analysis equipment	
S-1	Support layer (inner)	West side on Daeungbojeon Hall	Microscopic analysis	Digital micro-scope	G-scope, Genie Tech, Korea
F-1	Finishing layer (inner)			SEM	Ultra plus, Zeiss, Germany
			Crystal phase	XRD	Miniplex 600, Ricacu, Japan
F-2	Finishing layer (outer)		Chemical component	EDX	NS7, Thermo Fisher Scientific, USA
			Particle size	PSA	Testing sieve, JIS Z 8801, Japan

악하였다. 벽체의 구조는 포벽화가 파손된 부위를 중심으로 층위 구조를 확인하였으며, 벽체 층위별로 두께를 측정하였다.

2.2. 벽체 재질특성 분석

포벽화 제작에 사용된 벽체층과 마감층에 대한 정밀분석을 실시하였다. 재질특성 분석연구는 벽체를 구성하는 재료에 대한 화학성분 및 광물결정상 그리고 입도분포도 등의 분석을 실시하였으며, 분석 대상은 벽화에서 박락된 일부 시료를 사용하였다(Table 1). 채취된 시료에 대해 우선적으로 디지털현미경(G-scope, Genie Tech, Korea)으로 기초조사를 하였으며, 주사전자현미경(Ultra plus, Zeiss, Germany)을 사용하여 미세조직분석과 에너지분산형 형광 엑스선분석기(NS7, Thermo Fisher Scientific, USA)를 사용하여 화학성분 분석을 실시하였다. 또한 미소부 엑스선회절분석기(Empyrean, Miniplex 600, Rigacu, Japan)를 사용한 광물결정상 분석을 실시하였다. 벽체 구성 입자 크기에 대한 분포비는 한국공업규격(KS)에서 정하는 입도 분석 시험(KS F 2302)법을 참고하여 건조된 시료를 적당량의 증류수에 분산시킨 후 스테인레스 표준체(JIS Z 8801, Okutani Ltd., Japan)에 거르는 습식 체가를 분석을 실시하였다. 입자 크기 분류는 미농무부(USDA) 및 국제토양학회(ISSS) 기준에 따라 잔류된 토양의 무게를 측정하여 누적백분율로 나타냈다.

2.3. 벽체 외가지 및 섬유질 분석

포벽화 벽체의 골격을 구성하는 외가지에 대한 수종분석과 벽체 반죽에 혼합된 섬유질 분석을 실시하였다(Table 2). 수종분석은 파손된 포벽화에 노출된 외가지에서 소량의 편을 수집하였으며, 벽체 섬유는 벽체층과 마감층에서 각각 실오라기 정도의 크기로 채취하였다. 외가지 시편은 면도날을 사용하여 핸드섹션(hand-section)으로 20~30 μm 의 두께로 삼단면(횡단면, 방사단면, 접선단면) 박편을 제작하였으며, 섬유편은 과산화수소수와 초산 혼합용액으로 해리하였다. 목재 박편과 해리된 섬유는 슬라이드 글라스(slide glass)에 놓고 글리세린 50% 수용액을 떨어뜨려 커버 글라스(cover glass)로 마감하였으며, 광학현미경(ECLIPSE 80i, Nikon, Japan)으로 세포 특징을 관찰 및 촬영하였다. 종식별은 충북대학교 목재연료소재은행 소장 목재재감 및 초본류 프레파라트와 상호 비교하였다.

2.4. 채색층 정밀 분석

채색층 정밀 분석은 대웅보전 내부 동측 포벽화 인접 부재인 평방 위에 탈락되어 있는 벽화편 시료 4점을 대상으로 하였으며, 광학현미경 분석과 SEM-EDX을 통해 채색층 구조 및 층위별 화학성분을 분석하였다(Table 3). 광학현미경(SMZ18, Nikon, Japan) 분석은 채색 층위에 대한 현황을 우선 조사 후, 에폭시 수지로 전처리하여 채색층 단면 조사

Table 2. List of analysis object and analysis equipment for wood species and fiber identification

No.	Description	Location	Type	Analysis equipment	
1	Branch	South side 3 rd mural	Wood	Optical microscope	ECLIPSE 80i, Nikon, Japan
2	Branch	South side 6 th mural	Wood		
3	Branch	East side 6 th mural	Wood		
4	Support layer	South side 10 th mural	Wood		
5	Finishing layer	South side 10 th mural	Fiber		

Table 3. List of analysis object and analysis equipment for painting layer

Sample name	Location	Classification	Analysis equipment	
P-1	East side mural (inner)	Microscopic analysis	Optical microscope	SMZ18, Nikon, Japan
P-2				
P-3		Microstructure chemical component elemental mapping	SEM-EDX	Coxem, EM-30AX, Korea
P-4				

를 실시하였다. 다음으로 주사전자현미경 및 에너지분산형 X-선분광분석장치(EM-30AX, Coxem, Korea)를 사용하여 채색층 층위별 미세조직 및 화학성분 분석 그리고 원소 맵핑(elemental mapping) 등 채색층 단면에 대한 정밀분석을 실시하였다.

3. 분석 결과

3.1. 벽화 육안 조사

육안조사를 통한 포벽화의 구성은 토벽체와 채색층으로 크게 나눌 수 있으며, 벽체의 구조는 다시 외가지 부위와 벽체층, 마감층으로 구분된다.

외가지 부위는 벽체의 골재가 되는 부위로서, 나뭇가지를 가로와 세로 형식으로 하는 놀외와 설외를 새끼줄로 엮은 형태가 벽체 파손부위를 통해 확인된다.

벽체층은 벽체의 기초가 되는 층으로서, 외가지를 중심으로 내·외부 맞벽 형태로 구성되어있다(Figure 1). 벽체층 두께는 외가지로부터 내벽이 약 50 mm 두께이며, 외가지의 곧기 및 포벽화별로 다소 두께의 차이가 있다. 벽체층은 고운 황토에 모래를 섞은 반죽을 미장한 형태이며, 짚어물은 거의 확인되지 않는다. 또한 벽체층에 토양과 함께 크고 작은 불규칙한 크기의 목질이 혼합된 것이 확인되지만 대부분 크기는 2 mm를 넘지 않는다. 벽체층이 끝나는 표면은 거칠고 빠르게 미장이 이루어진 흔적이 남아있다.

마감층은 벽체층에 비해 입자가 크고 불규칙한 모래가 황토와 혼합되어 있는 상태이며, 미세한 섬유질이 고르게 첨가되어 있는 것으로 확인된다. 박락으로 인해 마감층 단면이 드러난 부위 10개소를 대상으로 마감층 두께를 측정 한 결과 얇게는 17 mm에서 두껍게는 23 mm로 측정되었으며, 비교적 균일하고 평활도가 높게 미장 되어있다(Figure 2, 3).

Figure 1. Single-branch structure.

Figure 2. Thickness of layer.

Figure 3. Condition of plastering.

Figure 4. Microscopic image of samples. (A) Support layer(inner), (B) Finishing layer(inner), (C) Finishing layer(outer).

3.2. 벽체 재질특성 분석

3.2.1. 디지털 현미경 조사 결과

내부 포벽화 벽체층 시료는 자갈 등의 큰 입자보다는 고운 모래와 실트 이하의 입자들로 이루어진 반면, 내·외부 포벽화 마감층 시료는 입자가 큰 모래알갱이와 실트 이하의 미세한 입자를 가진 토양이 혼합된 것으로 보인다. 또한 벽체 제작 과정에서 혼합한 것으로 추정되는 섬유질이 벽체층과 마감층 시료에서 모두 확인되었다. 벽체층의 경우 약 4-8 mm 길이에 해당하는 목질 또는 수피로 추정되는 섬유질들이 벽체에 혼합되어 있다. 마감층에서는 약 8 mm

내외의 미세한 굵기의 섬유질이 고르게 혼합되어 있는 것으로 확인되었다(Figure 4).

3.2.2. SEM-EDX 분석결과

주사전자현미경을 통한 미세조직 분석 결과, 내부 벽체층에서 모래와 점토광물 등 토양 입자들이 응집체를 형성하고 있는 것으로 확인되었으며 섬유질로 추정되는 물질이 다수 관찰되었다. 크고 작은 토양 입자들은 판상 형태의 미세조직으로 확인되었으며 이는 점토광물이 응집된 형태로 판단된다. 마감층에서는 석영으로 추정되는 큰 입자 표면에 실트 또는 점토광물로 보이는 토양 입자들이 크고 작은

Figure 5. Results of SEM-EDX. (A) Support layer(inner), (B) Finishing layer(inner), (C) Finishing layer(outer).

형태나 판상 형태로 응집체를 이루고 있는 모습이 관찰되었다. 내부 벽체층 화학성분 분석결과, 규소(Si), 알루미늄(Al), 철(Fe), 포타슘(K), 마그네슘(Mg), 나트륨(Na) 등이 검출되었으며, 내·외부 마감층에서도 벽체층과 유사하게 규소(Si), 알루미늄(Al)을 포함하여 철(Fe), 포타슘(K), 마그네슘(Mg), 나트륨(Na) 등 토양에서 나타나는 원소들이 검출되었다(Figure 5).

3.2.3. XRD 분석결과

광물 결정상 분석 결과, 내부 벽체층에서는 석영(quartz)과 함께 정장석(orthoclase) 및 회장석(anorthite) 등이 검출되었으며, 내·외부 마감층에서는 석영(quartz)과 함께 회장석(anorthite) 등이 동정되었다. 따라서 벽체층과 마감층에는 석영을 포함한 장석류 계통의 광물이 사용된 것으로 추정된다(Figure 6).

3.2.4. 입도분석 결과

습식 체가름에 의한 입도분석 결과(Table 4), 내부 포벽화 벽체층에 사용된 광물 입자들의 크기는 극조립사가 약 1.24%, 조립사 약 3.17%, 중립사 약 3.45%, 세립사 약 34.68%, 극세립사 약 22.67%, 실트 이하 약 33.33%의 분포도를 나타냈다. 세립사 이하의 분포도가 약 90% 이상으로 아주 미세한 입자의 토양이 혼합되어 제작된 것으로 판단된다. 내부 포벽화 마감층에 사용된 광물 입자들의 크기는 극조립사가 약 25.06%, 조립사 약 23.27%, 중립사 약 11.54%, 세립사 약 15.86%, 극세립사 약 12.09%, 실트 이하 약 11.85%의 분포도를 나타냈다. 외부 포벽화 마감층에 사용된 광물 입자들의 크기는 극조립사가 약 18.36%, 조립사 약 25.61%, 중립사 약 14.99%, 세립사 약 16.18%, 극세립사 약 12.12%, 실트 이하 약 9.56%의 분포도를 나타냈다. 마감층은 중립사 이상의 입자가 절반 이상을 차지하며 벽체층과 비교해 보았을 때, 상대적으로 모래의 비율이 높은 것으로 확인되었다.

3.3. 벽체 외가지 및 섬유질 분석 결과

포벽화 외가지에 대한 수중분석 결과 단풍나무속(*Acer* spp.)으로 동정되었으며, 벽체층에 포함된 목재는 소나무류(hard pine), 마감층의 섬유는 갈대(*Phragmites communis* Trin.)로 식별되었다(Table 5).

외가지에 사용된 단풍나무속(*Acer* spp.)은 도판으로 구성된 활엽수재로, 관공의 분포가 거의 균일한 산공재이다. 횡단면에서 관공은 지름의 이행이 완만하며(Figure 7A),

Figure 6. Results of XRD. (A) Support layer(inner), (B) Finishing layer(inner), (C) Finishing layer(outer).

Table 4. Results of particle size analysis

	over 1.0 (mm)	1.0-500 (mm- μ m)	500-300 (μ m)	300-212 (μ m)	212-100 (μ m)	100-75 (μ m)	75-45 (μ m)	45-25 (μ m)	through 25 (μ m)
W-1	0	1.24	3.17	3.45	34.68	8.8	13.87	12.08	21.25
F-1	5.10	19.96	23.27	11.54	15.86	4.54	7.55	5.60	6.25
F-2	5.43	12.93	25.61	14.99	16.18	6.06	6.06	5.20	4.36

(Unit : %)

Table 5. Results of wood species and fiber identification

No.	Description	Location	Type	Species
1	Branch	South side 3 rd mural	Wood	<i>Acer</i> spp.
2	Branch	South side 6 th mural	Wood	
3	Branch	East side 6 th mural	Wood	
4	Support layer	South side 10 th mural	Wood	Hard pine
5	Finishing layer	South side 10 th mural	Fiber	<i>Phragmites communis</i> Trin.

Figure 7. Micrographs of *Acer* spp. group. (A) and (B) Cross section, (C) and (D) Radial section, (E) Tangential section.

고립 또는 2~3개의 복합 관공을 이루며 분포하였다(Figure 7B). 방사단면은 단천공이며 도관내벽에 나선비후가 발달하였으며, 도관상호간 벽공은 교호상으로 관찰되었다(Figure 7C, 7D). 방사조직은 1~3열로 존재하였다(Figure 7E). 단풍나무속은 수종에 따라 방사조직의 세포나비 변동이 심하다. 따라서 1~10열은 복장나무, 1~5열은 고로쇠나무, 복자기, 당단풍, 1~2(3)열은 신나무, 시닥나무, 부계꽃나무, 산겨릅과 같이 3개군으로 구분할 수도 있다(Park *et al.*, 1999). 본 시료는 모두 방사조직이 1~3열로 존재하여 제 3군에 속하며, 단풍나무속(*Acer* spp.)으로만 분류하였다.

벽체층에 혼합된 목질인 소나무속(*Pinus*)은 목재조직의 대부분이 가도관으로 구성되어 있는 침엽수재이다(Figure 8A). 방사조직은 방사가도관과 방사유세포로 이루어져 있으며, 방사가도관에는 거치상비후가 발달하였고, 직교분야 벽공은 창상형으로 관찰되었다(Figure 8B). 접선단면에서 방사조직은 단열방사조직으로 구성되었다(Figure 8C). 본 시료는 크기가 작아 횡단면에서 수직수지구를 발견할 수 없었으며, 부후가 많이 진행되어있어 접선단면에서는 수평수지구를 포함하는 방추형방사조직의 존재가 명확히 확인되지 않았다. 그러나 침엽수재이며, 직교분야벽공은 창상

Figure 8. Micrographs of hard pine group. (A) Cross section, (B) Radial section, (C) Tangential section.

Figure 9. Micrographs of *Phragmites communis* Trin. group. (A) Fiber and parenchyma, (B) Long cell and silica, (C) Guard cell.

Figure 10. Results of microscopic analysis of samples. (A) P-1, (B) P-2, (C) P-3, (D) P-4.

형이며, 방사가도관의 거치상비후의 존재로 미루어 소나무과(Pinaceae) 소나무속(*Pinus*)의 소나무류(hard pine)로 식별하였다. 우리나라의 소나무류에 속하는 수종으로는 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.), 곰솔(*P. thunbergii* Parl.), 중곰솔(*P. densi-thunbergii* Uyeki)이 있으나, 이 수종들은 목재 해부학적으로 큰 차이가 없다.

마감층에 혼합된 섬유인 갈대(*Phragmites communis* Trin.)의 경우, 후벽이며 폭이 다양하고 끝이 무디거나 뾰족하다. 길이는 1~2 mm 정도이고 폭은 20 μ m 이내이다. 유세포는 직사각형의 둥근 형태이며(Figure 9A), 장세포는 가장자리가 성곽모양으로 요철이 심하고 실리카체는 십자모양의 사각형이다(Figure 9B). 기공은 두 개의 공변세포가 있으며 그 윤곽은 깔끔하였다(Figure 9C). 유세포의 모양이 계란형, 직사각형인 점, 장세포가 성곽모양이며 실리카체가 말안장 또는 십자모양인 점 등으로 벼과 갈대(*Phragmites communis* Trin.)로 식별하였다.

3.4. 채색층 정밀 분석

3.4.1. 광학현미경 조사 결과

먼저, 채색층에 대한 광학현미경 조사결과, P-1 시료의 경우 일부 채색층이 박락된 부분에서 토양층이 관찰되어 바탕칠층 부위에 해당되는 것으로 판단된다. P-2 시료의 경우, 채색층이 박락된 아래에 바탕칠층으로 추정되는 비교적 연한 녹색 계통의 채색층이 확인된다. 따라서 바탕칠층 위에

다른 계통의 녹색이 채색된 것으로 추정되며, 두광부 녹색 채색 부위에 해당되는 것으로 보인다. P-3 시료는 적갈색과 황갈색 계통의 안료가 바탕칠층 위에 채색되어 있으며, 바탕칠층 위에 황갈색이 그리고 그 위로 적갈색으로 채색된 순서가 확인된다. 그림의 박락 상태로 미루어 벽화 외곽의 채색 부위에 해당되는 것으로 추정된다. P-4 시료의 경우, 녹색 바탕칠층 위로 다른 계통의 녹색과 황갈색 계통의 채색층이 확인되며, 그 위로 백색의 채색이 이루어져 있다. 시료가 수습된 포벽화의 박락 상태로 미루어볼 때 두광이 끝나는 오른편 어깨 부위에서 탈락된 파편인 것으로 추정된다.

Table 6. Category of sample used to analyze and analytical result

Sample name	Content	Major elements
P-1	Ground layer	Si, Al
P-2	Ground layer	Si, Al
	Green pigment	Cu, Cl
P-3	Ground layer	Si, Al
	Reddish brown pigment	Fe
	Yellowish brown pigment	Fe
P-4	Ground layer	Si, Al
	Green pigment	Cu, Cl
	Yellowish brown pigment	Fe
	White pigment	Si, Al

Figure 11. Result of typical spectrum regarding pigment. (A) Ground layer, (B) Green pigment, (C) Reddish brown pigment, (D) Yellowish brown pigment, (E) White pigment.

Figure 12. Elemental mapping result of P-4 sample.

다음은 예폭시 수지로 전처리 후 연마한 채색층 단면 촬영 결과이다. P-1 시료의 바탕칠층으로 확인되는 녹색 계통 채색층의 경우, 두께가 얇은 곳은 $104.49\ \mu\text{m}$, 두꺼운 곳은 $456.15\ \mu\text{m}$ 로 측정되어 약 $379.32\ \mu\text{m}$ 의 비교적 큰 두께 차이를 갖는다. P-2 시료에서는 바탕칠층의 녹색과 다른 종류의 녹색 채색층이 확인된다. 얇은 곳은 $38.45\ \mu\text{m}$ 이고 두꺼운 곳은 $63.08\ \mu\text{m}$ 로서, 약 $24.63\ \mu\text{m}$ 의 차이를 보이며, 바탕칠층에 비해 얇고 두께 차이 또한 작다. 채색층이 복합적으로 관찰되는 P-3 시료의 단면에서는 녹색, 황갈색, 적갈색 계통의 3개의 채색층이 확인된다. 바탕칠층은 최소 $59.85\ \mu\text{m}$ 에서 최대 $208.26\ \mu\text{m}$ 이며, 그 위의 황갈색층은 최소 $24.26\ \mu\text{m}$ 에서 최대 $117.27\ \mu\text{m}$, 적갈색은 최소 $33.16\ \mu\text{m}$ 에서 최대 $103.52\ \mu\text{m}$ 의 두께로 측정되었다. P-4 시료 또한 3~4개의 색이 확인되어 복합적인 채색 층위를 지니며, 바탕칠층은 $28.31\ \mu\text{m}$ 에서 $224.84\ \mu\text{m}$, 그 위의 황갈색층은 $63.08\ \mu\text{m}$ 에서 $130.21\ \mu\text{m}$, 황갈색층 위의 백색층은 $38.82\ \mu\text{m}$ 에서 $178.74\ \mu\text{m}$ 이다. 그리고 바탕칠층 위의 녹색층은 $28.31\ \mu\text{m}$ 에서 $224.84\ \mu\text{m}$ 로 확인되었다(Figure 10).

3.4.2. 원소 맵핑 분석결과

광학현미경 조사 결과를 토대로 채색 층위를 구분하여 시료 4점에 대한 주요성분 검출 결과, Table 6과 같이 구분하였다(Figure 11). 그 중 P-4 시료의 경우 녹색 계통의 바탕칠층과 황갈색 및 적갈색 채색층뿐만 아니라 녹색 채색층 층위가 존재하며 그 위로 백색 채색층 있는 등 여러 채색층이 복합적으로 함께 관찰되어 SEM-EDX를 사용한 원소맵핑(elemental mapping)을 실시하였다. 원소맵핑을 통한 채색층위별 화학성분 분석 결과, 녹색 계통의 바탕칠층

은 규소(Si), 알루미늄(Al)이 주성분을 이루며, 녹색 채색층에서는 구리(Cu), 염소(Cl) 성분이 확인되었다. 적갈색 채색층과 황갈색 채색층에서는 철(Fe) 성분이 주를 이루었으며, 백색 채색층에서는 규소(Si), 알루미늄(Al)이 주로 검출되었다(Figure 12).

4. 고찰 및 결론

내소사 대웅보전 포벽화 벽체 구조 조사결과, 나뭇가지를 엮고 흙 반죽을 사용하여 두 차례에 걸친 미장을 통해 흙벽을 제작한 것을 알 수 있다. 이와 같은 구조는 외가지를 골조로 하여 흙으로 초벽층, 중벽층 그리고 마감층을 구성하는 전형적인 조선시대 사찰벽화 제작양식을 따르고 있으나(Lee, 2013), 층위별로 사용된 재료나 기술의 흔적으로 미루어 볼 때 일반적인 양식에서 벗어나는 특징을 보인다.

먼저, 안동 봉정사 영산회상 벽화와 강진 무위사 극락전 내벽사면벽화에 대한 벽체 구조 조사결과(Chae *et al.*, 2006; Jeong and Han, 2008)와 여수 흥국사 대웅전 후불벽 배면벽화 및 완주 위봉사 보광명전 후불벽 배면벽화, 부안 내소사 대웅보전 후불벽 배면벽화, 고창 선운사 대웅전 후불벽화 그리고 김제 금산사 미륵전 외벽화에 대한 벽체 구조 조사결과(Lee, 2016) 등 조선시대 전반적인 시기에 걸쳐 제작된 사찰벽화 구조에서는 초벽층, 중벽층, 마감층으로 벽체 층위가 구성되는 특징을 보인다. 그러나 내소사 대웅보전 포벽화에서는 초벽 개념으로 제작된 벽체층 위로 중벽층 없이 다소 두꺼운 두께의 마감층이 제작되어 있다.

다음으로, 대부분의 사찰벽화는 초벽과 중벽에 짙어물이 혼입되는 것이 일반적이나, 내소사 대웅보전 포벽화 벽

체에서는 짙어물로 추정되는 물질이 극히 드물게 확인되므로 의도적인 혼합으로 보기에는 어렵다. 또한 포벽화 벽체층에 혼합된 목질 수중분석 결과에 따라 소나무류의 목질을 혼합한 것으로 미루어볼 때, 기존 조선시대 사찰벽화 벽체층에 일반적으로 짙어물이 사용된 경향과는 상당히 다른 특징이 확인되었다.

마지막으로 마감층 특징으로서, 내소사 대웅보전 포벽화의 마감층 두께가 크게는 23 mm로 두꺼우며, 사용된 모래의 크기가 크고 함량이 높은 것을 알 수 있다. 강진 무위사 극락전 내벽 사면벽화의 경우 마감층의 두께가 7~10 mm(Chae *et al.*, 2006), 안동 봉정사 영산회상 벽화 마감층은 5~6 mm(Jeong and Han, 2008), 여수 흥국사 대웅전 후불벽 배면벽화 마감층은 5~8 mm, 완주 위봉사 보광명전 후불벽 배면벽화 5 mm 내외, 부안 내소사 대웅보전 후불벽 배면벽화 5 mm 내외, 고창 선운사 대웅전 후불벽화 5 mm 내외, 김제 금산사 미륵전 외벽화 5 mm 이내 등(Lee, 2016) 모두 10 mm를 넘지 않는다.

이와 같은 특징들을 통해 내소사 대웅보전 포벽화 벽체의 층위는 다른 사찰벽화의 구조와 비교할 때 벽체 층위가 간소화되어 있으며, 굵은 입자크기 모래의 함량과 짙어물의 부재 그리고 벽체층 표면 마감상태 등을 미루어 벽체 제작과정이 비교적 단조로웠던 것으로 판단된다. 마감층이 두꺼울 경우 하중을 증가시켜 벽체 및 마감층간의 분리로 인한 손상을 가중시킬 수 있으며, 짙어물과 같이 벽체에 사용되는 섬유보강제는 벽체의 수축으로 인한 균열과 분산작용을 방지하는 역할을 하므로(Han, 2003), 이와 같은 재료의 부재는 벽체의 물리적 손상이 발생될 경우 취약한 요소로 작용될 수 있다.

또한 조선시대 사찰벽화 마감층에 사용된 섬유질의 경우 마섬유가 사용되는 것이 일반적이지만(Lee *et al.*, 2015), 내소사 대웅보전 포벽화 마감층에는 갈대가 동정되었다. 갈대의 경우 섬유질로 가공하여 토벽체에 혼합하여 사용된 사례는 보고되지 않았다. 갈대를 이용한 펄프는 수 세기 동안 사용되었으며(Ilvessalo-Pfaffli, 1995), 한국에서도 갈대를 사용한 저급 종이 사용되었으므로, 갈대 섬유로 제작된 종이를 해리시켜 마감층 반죽에 혼합하였을 가능성이 있을 것으로 보인다.

포벽화의 각 층위를 구성하는 입자에 대한 미세조직 및 화학성분 분석 결과, 다양한 크기의 토양입자 또는 판상의 결정상 응집체와 규소(Si)와 알루미늄(Al) 등 일반적인 토양 물질에서 확인되는 화학성분이 검출되었다. 또한 석영

과 장석류 계통의 광물 결정상이 동정되는 등 벽체층 및 마감층을 구성하는 주재료는 암석에서 기인하는 풍화토와 모래 등이 사용된 것으로 볼 수 있으며, 기존 연구된 사찰벽화 벽체 재질특성 분석결과(Lee, 2016)와 유사한 범위에 속한다.

입도분석 결과, 육안상 조사된 내용과 같이 벽체층은 황토의 함량이 높은 반면, 마감층은 모래의 함량이 상당히 높은 것으로 나타났다. 벽체층은 중립사 이상이 8%, 세립사 이하가 92%로 모래와 세립사 이하 크기의 토양을 약 0.8:9.2로 비교적 균일하고 미세한 크기의 토양을 혼합하여 제작한 것으로 추정된다. 마감층은 내부의 경우 중립사 이상이 약 60%, 세립사 이하가 약 40%로, 세립사 이하 크기의 토양보다 모래의 함량이 높은 것으로 확인된다. 외부 마감층 또한 중립사 이상과 세립사 이하의 비율은 내부 마감층과 동일하게 나타났다. 벽체층과 마감층을 비교해보았을 때, 벽체층은 세립사 이하 입자가 많고 마감층은 중립사 이상 입자의 함량이 높은 특징을 보인다. 이는 벽체층과 마감층의 밀도 차이를 나타내며, 이러한 조건은 토벽체에 흡습 및 방습이 반복될 경우 벽체 층간 체적비 변화를 가져오게 되고, 장기적으로는 응력 차이를 발생시켜 층간 균열 및 분리 등의 물리적인 손상을 야기하는 원인이 될 수 있다(Lee *et al.*, 2018).

디지털현미경을 통한 시료 분석에서는 바탕칠층 녹색을 포함하여 녹색, 적갈색, 황갈색 계통과 백색 등 다섯 종류의 색상이 확인되었으며, 시료 모두에서 바탕칠층이 관찰되었다. 녹색 바탕칠층의 경우 규소(Si)와 알루미늄(Al)이 주성분으로 검출되어 뇌록 또는 녹토(celadonite or glauconite) 안료가 사용된 것으로 추정되며, 녹색 채색층에서는 구리(Cu), 염소(Cl)가 주 원소로 관찰되어 녹염동광(atacamite) 이, 백색에서는 알루미늄(Al)과 실리카(Si)가 주성분으로 나타나 백토(kaolinite or halloysite) 안료가 사용된 것으로 보인다. 적갈색과 황갈색은 철(Fe)이 주성분으로 검출되어 산화철계 안료가 사용된 것으로 추정되나 이 부분에 대해서는 추가적인 분석이 필요하다.

전처리된 거친 시료 단면을 통해 채색층위 구성 및 두께 특징을 살펴본 결과, 앞선 시료 현황 조사 결과와 동일하게 녹색 계통의 바탕칠층 위에 녹색, 적갈색, 황갈색, 백색 등이 채색된 것을 확인할 수 있었다. 층위별 두께 특징에서는 바탕칠층이 다른 채색층과 비교하여 상대적으로 두께 차이가 큰 것이 확인되었다. 특히 P-2 시료의 경우, 같은 녹색계통이지만 바탕칠층과 채색에 사용된 각각의 녹색층 두께가

상이며, 바탕칠층의 녹색이 확연히 두껍고 편차가 크다. 또한 P-3 시료에서 채색층의 색상별 두께 차이가 최대 녹색 148.41 μm , 황갈색 93.01 μm , 적갈색 70.36 μm 의 순으로 확인되어, 상대적으로 바탕칠층을 두껍게 조성 후 그 위로 채색이 얇게 이루어진 것을 알 수 있다. 이는 마감층을 매끄럽게 하도록 바탕칠층을 다소 두껍게 칠한 결과로 해석할 수 있다. 입자가 큰 모래가 다량 사용된 마감층은 표면이 상대적으로 거칠기 때문에 안정적인 채색층을 조성하기 위해서는 벽화면을 매끄럽게 조성된 바탕칠층이 필수적이다. 벽체 성분 및 입도분석 결과, 그리고 단면 조사 이미지에서 제시되는 마감층 표면의 요철과 그 위로 조성된 바탕칠층의 불규칙한 두께가 이를 방증한다.

지금까지 분석 조사된 벽체 구조, 벽체 구성재질, 채색층위 특징 등 종합적 연구결과를 통해 내소사 대웅보전 포벽화의 제작기술을 정리하면 다음과 같다.

내소사 대웅보전 포벽화는 외가지를 골조로, 황토, 모래와 갈게 자른 소나무류의 목질을 혼합하여 벽체를 조성하였으며, 그 위로 모래 함량이 높은 황토 반죽에 미세한 갈대 섬유를 혼합하여 마감층을 제작하였다. 채색층은 뇌록을 사용한 바탕칠로 매끄러운 벽화 표면을 마련 후 녹염동광, 백토, 산화철 계통 안료 등을 사용하여 1~3회 덧바르며 도상을 채색한 것으로 판단된다. 특히 시료 단면에 대한 채색층위별 정밀분석을 통해 사찰벽화에 널리 사용된 바탕칠층의 기능적 역할을 확인할 수 있었다.

이와 같은 토벽체 제작양식과 채색기법은 현재까지 연구된 조선시대 사찰벽화의 제작양식 범주에 포함되는 것으로 사료된다. 그러나 마감층에 사용된 모래 함량이 높은 점은 직지사 대웅전 포벽화 마감층 및 금산사 미륵전 외벽화 마감층의 입도분포도와 유사한 경우로서(Lee, 2016; Lee *et al.*, 2018), 조선시대 전기에 해당되는 사찰벽화 마감층의 입도분포도와는 다른 특징을 갖는다. 또한 벽체 구조에서 중벽이 확인되지 않으며, 벽체층 제작에 짚여물을 사용하지 않고 목질을 혼합한 점 등은 내소사 대웅전 포벽화의 벽체가 지닌 구조 및 재료적 특이점으로 볼 수 있다.

금번 내소사 대웅보전 포벽화가 갖는 토벽체 및 채색층 제작기법 특징에 대한 연구결과가 향후 벽화 보존상태 평가 또는 보존처리 방안 마련에 주요 정보로 활용될 수 있기를 기대한다.

사 사

이 논문은 2017학년도 충북대학교 연구년제 사업에 의해 연구되었음.

REFERENCES

- Chae, S.J., Yang, H.J. and Han, K.S., 2006, Nondestructive investigation of clay wall structure containing traditional mural paintings -The clay walls having mural paintings housed in the protective building in Muwisa temple, Kangjin, Jeollanamdo Province. *Journal of Conservation Science*, 18, 51-62. (in Korean with English abstract)
- Han, K.S., 2003, Restoration and Conservation of the Buddhist Mural Paintings of Korea. Ph. D. dissertation, University of Herzen State Pedagogical, Saint Petersburg.
- Ilvessalo-Pfaffli, M-S., 1995, Fiber atlas: Identification of papermaking fibers. Springer Verlag, Berlin, 314-315.
- Jeong, H.Y. and Han, K.S., 2008, Study on the making wall techniques behind the Buddha in main building of Bongjeonsa temple. *Journal of Conservation Science*, 23, 84-86. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.S., 2013, An analytical study of material characteristics for the conservation of Korean buddhist mural paintings. Ph. D. dissertation, Dongguk University, Seoul. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.S., Han, K.S. and Chung, Y.J., 2015, Understanding of the conservation of mural. Jeongin Publishing House, Seoul. (in Korean)
- Lee, H.S., 2016, Study on Material Characterization of Earthen Wall of Buddhist Mural Paintings in Joseon Dynasty. *Journal of Conservation Science*, 32(1), 84-86. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.S., Kim, S.H., and Han, K.S., 2018, Scientific Investigation for Conservation Methodology of Bracket Mural Paintings of Daeungeon Hall in Jikjisa Temple. *Journal of Conservation Science*, 34(2), 107-118. (in Korean with English abstract)
- Park, S.J., Lee, W.Y., and Lee, W.H., 1999, Timber organization and identification, Hyangmunsa, 321. (in Korean)