



CONSERVATION STUDIES 29

천연 접착제를 활용한
사찰벽화 화벽층의 충전 재료연구

*Study on the filling material for the painting wall layer
of the temple wall painting using a natural adhesive*

김순관 · 정혜영

천연 접착제를 활용한 사찰벽화 화벽층의 충전 재료연구

Study on the filling material for the painting wall layer of the temple wall painting using a natural adhesive

김순관 · 정혜영

Kim Soon-Kwan · Jeong Hye-Young

<ABSTRACT>

Considering the physical quality of the wall body in this study we tried to select a replenishing that is proper for filling the cracked part of the painting wall layer and apply the natural adhesives that have traditionally been used, investigating whether it is possible to substitute those for the chemical adhesive which is used at present time. The result of this study showed the red algae adhesive was, in a weathering environment, as safe as the synthetic resin originated from the polyvinyl acetate which is used generally on the present spot, and it was concluded that although the starch adhesive displayed its superiority in enhancing the strength of the earth mortar and its work disposition, it seemed proper for it to be used as a filling adhesive for the first or midterm layer because it showed a surface hardening phenomenon. And also the glue and fish glue were judged they were not qualified as a filling adhesive due to mold occurring in a environment of high moisture that is a biological problem, showing at same time a weak physical feature in a weathering environment. Therefore it would be possible to use the red algae adhesive or starch one substituting them for the original one sold on the present market, if among natural adhesives the weak points of the them were to be corrected.

I. 서론

국내의 사찰벽화보존처리에 사용된 충전재는 주로 석고, 흙, 접착제 및 기타 첨가물을 혼합하여 제작한 것으로 시대에 따라 가장 적합한 것으로 판단되는 재료들이 적용되어왔나 시간이 지남에 따라 보존처리가 완료된 일부 벽화에서 재처리를 요구하는 문제점들이 발생되고 있다 (Figure 1). 이는 벽화 자체의 내구성 약화 및 건축구조의 변화 등으로 기인한 것도 있겠지만 벽체 구성 물질과 보수재료의 현저한 물성 차이, 보수 재료 자체의 안정성 부재 등 기타 복합적인 요인들이 손상원인으로 작용하여 벽체에서 균열, 박락 및 이탈 됨으로 벽화의 손상을 가중시키고 있다.

이러한 문제점들에 주안점을 두고 본 연구에서는 벽화의 화벽층¹⁾의 보존 방안을 강구하기 위하여 벽체층위의 물성을 반영한 충전재를 연구하고자 하였다. 연구는 현재까지의 벽화 보존처

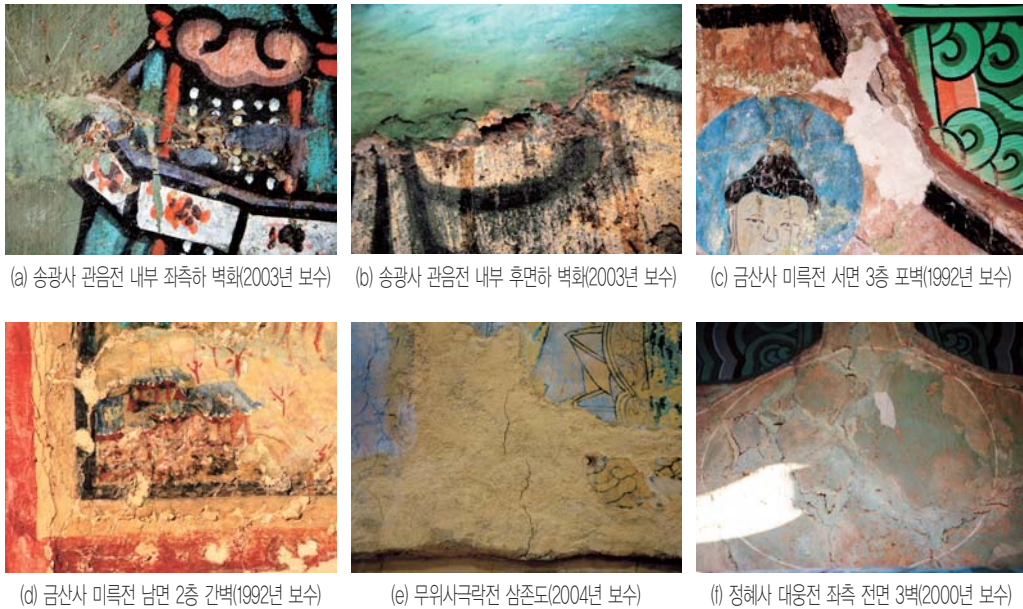


Figure 1. 충전 재료의 사용현황

1) 일반적으로 토벽(土壁)을 기초로 하는 국내의 사찰벽화는 벽체의 층위특성 및 기능에 따라 초벽(初壁), 중벽(中壁), 화벽(畫壁)으로 나뉘어 제작되며 각 층위는 재료 및 물성의 차이를 나타낸다. 벽체의 목조골격이 완성되고 제작되는 첫 번째 층은 초벽으로 보통 두께가 30~50mm가 되며 골조부분과 함께 벽체의 지지체 역할을 한다. 그 다음 층은 중벽으로 초벽을 보강하는 역할을 하며 10~30mm의 두께를 형성하며 세 번째 층은 화벽으로 그림을 그리기 위해 고운 흙이나灰를 5~10mm 두께로 제작한다. 마지막으로 벽 표면에 그림이 그려짐으로서 채색층(paint layer)이 형성되는데 1mm내외의 얇은 층으로 바탕칠과 그림으로 구분이 되며, 그림을 제작하기 위한 바탕칠은 대개 노록이나 황토색으로 제작한다(한경순, 2005).

리현황을 조사하고 15C~19C 사찰 벽화의 화벽층 시료를 입도 분석하여 이를 기초로 충전재료를 제작하고 임상실험을 실시하여 벽체 보존처리에 보다 안정적인 물성을 지닌 충전 재료를 선택하고자 하였다. 또한 현재 보존처리현장에서 사용되는 화학접착제를 대체할 수 있는 재료로 흙에 친화력 있으며 원재료와 이질감이 적은 천연접착제를 제시하여 그 사용가능성을 실험을 통하여 검토해 보고자 한다.

II. 연구방법

1. 충전재료의 검토 및 시험편의 제작

화벽용 충전재에 적합한 흙의 배합비율을 연구하기 위하여 문헌조사와 벽화가 있는 벽체의 화벽층에 대한 입도분석을 실시하였다. 문헌조사는 문화재 수리 표준시방서(문화재청 1994, 2005)의 정벌 바름층 흙 배합비율조사와 벽화 보존처리가 실시된 1970년대부터 현재까지의 벽화 보존처리 보고서를 참고하여 충전 재료의 사용현황을 파악하였다. 입도분석은 시료의 수급이 가능한 사찰벽체를 선택하여 화벽층에 한하여 입도분석을 수행하였고(금산사 미륵전 포벽의 화벽시료 1점, 봉정사 극락전 후불벽의 화벽시료 1점) 기존의 분석사례도 참고하여(봉정사 대웅전 후불벽 화벽시료 2점, 무위사 극락전 화벽시료 2점) 화벽층의 구성 물질간의 비율을 확인하였다. 입도분석에는 Laser Particle size analyzer(Mastersizer 2000, England)를 사용하였다. 충전재에 첨가되는 접착제를 선정하기 위하여 적용 가능한 접착제의 종류 및 제법을 조사하였고 예비실험을 통하여 접착제의 점도를 결정하여 조사 연구된 내용을 바탕으로 12종의 화벽용 충전재를 제작하였다.

2. 임상실험을 통한 충전재료의 물성변화연구

화벽용 충전재료 연구(흙의 배합비율 및 접착제연구)결과를 바탕으로 제작된 충전재를 활용하여 물성연구를 위한 임상실험용 공시체를 성형한 후 동결 용해 및 인공풍화 시험을 실시하였다. 임상실험을 통하여 공시체의 열화 전·후의 물리적 특성변화를 상호 비교하는 것으로 충전재의 사용가능성을 검토하였으며, 시험 내용은 표면상태, 색도, 부피변화율, 중량변화율, 압축강도 등 공시체의 물성을 측정 하였다.

(1) 동결·융해 시험²⁾

공시체 건조 후 중량 및 부피를 측정 후 상대습도 100%가 유지되는 데시케이터에 공시체를 48시간 보관하여 침윤시킨다. 침윤과정이 끝난 공시체는 -23℃에서 24시간 동결시키고 동결이 완료된 공시체를 21℃, 상대습도 100%의 환경에서 24시간 융해시킨다. 이와 같은 사이클을 1주기로 하여 6주기를 간격으로 공시체의 변화양상을 파악하였고 총 12주기 동안 실험을 실시하였다. 시험에는 열충격기(Votsch, VCS 7018-5)를 사용하였다(Figure 2, Figure 4).

(2) 인공풍화시험³⁾

공시체 건조 후 중량 및 부피를 측정 후 인공풍화시험기(Weather-O Meter, ATLAS Ci65A)를 사용하여 인공풍화시험을 실시하였다. 200시간을 주기로 공시체의 변화양상을 파악하였고 총 400시간동안 실험을 실시하였다. 실험은 24시간 자외선을 조사하는 프로그램으로 실시하였으며 블랙판넬의 온도는 63℃, 상대습도는 50%를 유지하여 실험하였다(Figure 3, Figure 5).

(3) 압축강도 측정

자연건조 상태의 공시체와 열화시험 후의 공시체에 대하여 만능재료시험기(AUTOGRAPH, AG-IS, 250kN)를 사용하여 압축강도를 측정하였다. 열화시험이 끝난 시험체는 수평이 되도록 가공한후(높이 6cm) 분당 1%의 변형이 생기는 비율을 기준으로 하여 연속적으로 시험체를 압축하여 강도 측정하였다.

2) 6주기 후 공시체의 상태변화 관찰 시, 열화현상이 나타나지 않아 7주기 이후부터는 동결과 융해시간을 12시간으로 설정하여 동결·융해과정을 가속화함, (7주기부터 1주기에 24시간실험)

관련규격 1) KS F 2332(다져진 흙시멘트 혼합물의 동결융해 시험방법)

2) KS F 2604 - 건축용 외벽 재료의 내동해성 시험방법(동결 융해법)

3) 관련규격 1) KS B 5549(크세논 아크 램프식 내광성 및 내후성 시험기)

2) KS M SIO 1134(도료와 바니시-인공 기후와 인공 복사에 대한 폭로-걸리진 크세논-아크 복사에 대한 폭로)

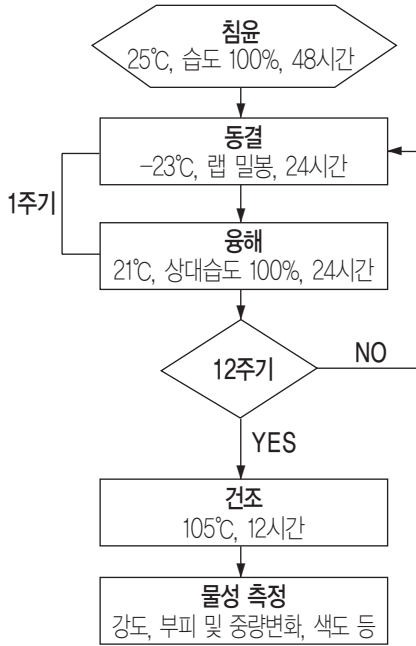


Figure 2. 동결융해 시험 과정 모식도

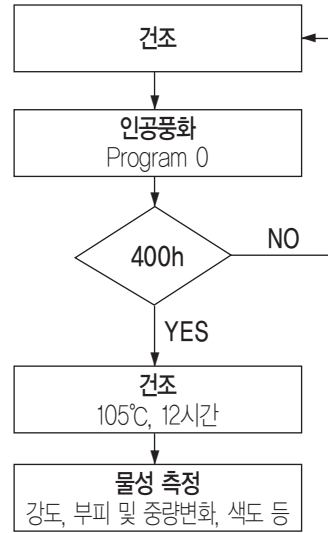


Figure 3. 인공풍화시험 과정 모식도



Figure 4. 동결·융해 시험



Figure 5. 인공풍화 시험

III. 연구결과

1. 조사연구

(1) 충전재의 사용 현황

국내 사찰벽화 보존처리에 사용된 충전재의 사용현황을 파악할 수 있는 자료는 90년대 후반

의 보고서에서 부터 찾아 볼 수 있으며, 사용된 재료의 특성 및 처리방법에 따라 크게 1990년대 이전, 1990년대, 2000년 이후로 그 특징을 나누어 볼 수 있다. 90년대 이전에는 주로 석회반죽을 충전용 보수재료로 활용하였으며, 90년대에는 기존에 사용된 재료와 황토 또는 황토와 세사의 혼합물을 사용하였다. 2000년 이후에는 주로 황토와 세사를 비율을 다르게 조정하여 사용하였으며 접착제로는 아크릴에멀전과 초산비닐계수지를 사용하고 있다(Table 1).

Table 1. 시기별 충전재의 사용현황

시 기	충전재의 사용현황	
	주 구성재료	접착제
1990년대 이전	주로 석회 반죽 사용	-
1990년대	석회 및 황토, 황토와 세사 모르타르	카세인, 아크릴에멀전, 초산비닐계수지
2000년 이후	황토와 세사 모르타르	아크릴에멀전, 초산비닐계수지

(2) 충전재의 배합비율

① 문헌조사

벽체의 층위특성을 고려한 보존처리는 1990년대 후반부터 이루어지고 있으며 보다 안정적인 보수재료 연구를 위하여 2000년 이후⁴⁾를 기준으로 배합비율을 조사 하였다. 2000년도 이후의 충전재는 황토와 세사를 주재료로 하여 저농도의 접착제를 첨가한 형태로 적용되었다. 황토는 미사질의 퇴적토에 해당되며 세사는 0.2~0.02mm 사이의 모래에 해당된다. 황토와 세사의 배

Table 2. 정벌 바름층의 배합 비율(문화재수리표준 시방서, 1994)

종별	색흙(ℓ)	색모래(ℓ)	모래(ℓ)	짚여물(kg)	풀(kg)
흙 물반죽 흙	100		80	분말여물 4.0	
풀먹임 흙	100		10	분말여물 3.2	해초풀 1.5
벽 풀반죽 흙	100		100		해초풀 2.5
모래벽	100	100내외			해초풀 0.9

4) 1980년대 초반부터 1990년대 중반까지는 유럽에서 개발하여 사용하고 있는 회화문화재 보존처리 기술과 재료들이 한국 사찰벽화에 적용되는 과정에서 적합성에 관한 실험 없이 그대로 적용되었다. 그러나 1990년대 후반부터는 이러한 재료나 기술의 적용에 보다 신중을 기하여 그 사용을 자제하고 있으며, 재료에 있어서도 한국의 사찰벽화의 특성을 고려하여 보다 적합한 재료를 찾고자 하는 시도가 이루어지고 있다(이수정, 2001). 따라서 1990년대 후반 이후인 2000년대부터 이루어진 보존처리 사례들을 참고하여 보다 안정성 있는 보수재료 연구를 위한 자료로 활용하고자 한다.

합비는 주로 황토 2 비율에 세사 1비율로 사용되었고 첨가된 접착제는 10%의 아크릴에멀전(Acrylic emulsion)과 3~6%의 초산비닐계수지(Polyvinyl acetate, Caparol Binder)가 사용되었다(Table 3). 또한 문화재수리표준시방서에서 화벽층에 해당되는 정벌바름층의 배합비율은 색흙과 모래를 1 : 1 혹은 1 : 0.8 비율로 혼합하여 사용함을 기준으로 제시하고 있다(Table 2).

Table 3. 충전재의 배합비율 사례 조사결과

사례	배합비율	적용 전각명
1	황토(2) + 세사(1) + Acrylic emulsion(10%)	정혜사 대웅전, 미황사 응진전, 은하사 십왕전, 관룡사 대웅전, 화암사 극락전, 신흥사 대광보전, 봉정사 극락전
2	황토(2) + 세사(1) + Caparol Binder(3~6%)	관룡사 대웅전, 화암사 극락전, 신흥사 대광보전, 봉정사 극락전, 무위사 극락전, 봉정사 대웅전
3	황토(2) + 세사(1/2) + Caparol Binder(5%)	송광사 관음전
4	황토(2) + 세사(2/1) + Caparol Binder(3%)	"
5	황토(2) + 세사(1) + 비짐(1/3) + Caparol Binder(4%)	"
6	황토(2) + 고운진흙(7) + Caparol Binder	쌍계사 대웅전
7	미립자 소성 황토 + 세사 + Acrylic emulsion	봉정사 대웅전, 무위사 극락전
8	기존 벽체와 가능한 동일한 조건의 재료와 보강제	"

② 입도분석

화벽층 시료 6점의 입도분석 결과(Table 4, Figure 6), 분석된 대상 시료마다 각각 다른 입도 분포를 보이며 모래, 미사, 점토의 입도 중 한 부분에 집중되어 있는 양상을 보인다. 무위사 극

Table 4. 사찰벽화 화벽층의 입도분석 결과

사찰 및 전각명	시료무게(g)	모래(%)	미사(%)	점토(%)	비 고
무위사 극락전 화벽층 2	약 10	-	6.2	77.1	무위사 극락전 벽화에서는 2개의 화벽층이 관찰됨.
무위사 극락전 화벽층 1	약 10	-	22.2	57.4	
봉정사 대웅전 화벽층 2	약 10	30.0	66.8	3.2	섬유보강제 사용 : 닥 및 면섬유
봉정사 대웅전 화벽층 1	26.67	73.4	24.3	2.4	섬유보강제 사용 : 닥섬유
봉정사 극락전 화벽층	약 10	25.32	68.93	5.75	
금사산 미륵전 간벽 화벽층	약 2	86.80	13.02	0.18	

락전의 경우는 점토의 비율이 높은 반면, 봉정사 대응전 화벽층 1과 극락전의 화벽층에서는 미사의 비율이 높고, 봉정사 대응전 화벽층 2와 금사산 미륵전 간벽의 화벽층은 모래의 비율이 높게 분석되었다.

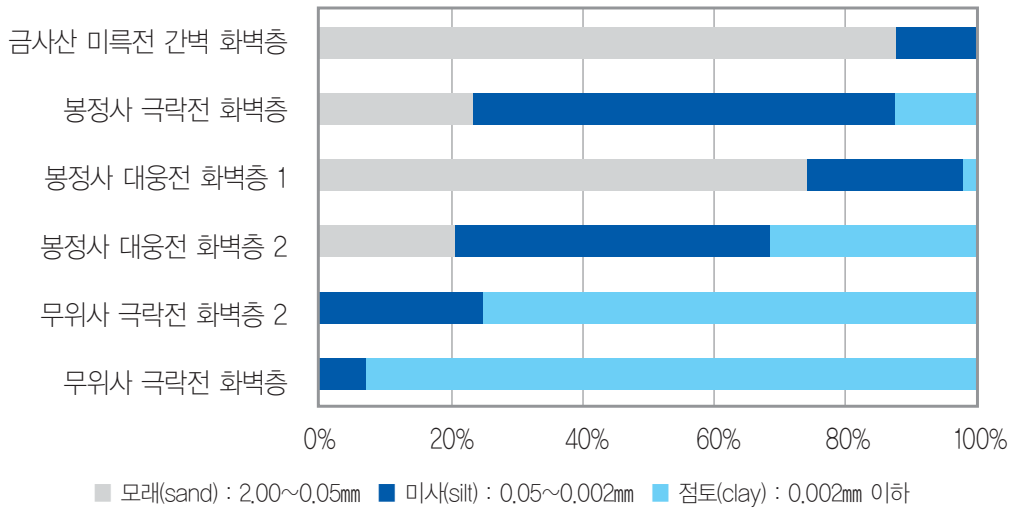


Figure 6. 사찰벽화 화벽층의 입도분석결과

③ 배합비율 결정

문헌조사 및 입도분석 결과를 토대로 3종류의 회벽용 충전재의 배합비율을 결정하였다. 아래의 비율에서 황토는 미사질의 퇴적토를 사용하고 세사는 0.2~0.02mm 사이의 모래를 사용하였다.

- A비율 - 황토(5) : 세사(5)의 비율
- B비율 - 황토(7) : 세사(3)의 비율
- C비율 - 황토(3) : 세사(7)의 비율

(3) 충전재 첨가 접착제

① 적용 가능한 접착제의 종류

1990년대에 들어 국내에 외국의 벽화 보존처리 사례가 소개되면서 다양한 화학접착제가 벽화보존처리에 적용되었다. 그러나 이러한 접착제들은 서구의 프레스코화를 대상으로 사용되고 연구되어온 것으로 동양의 토벽화에 적절하지 못한 부분들도 있어 처리 후 접착제로 인한 손상

이 발생되기도 하였다(김호정, 2003). 현재 벽화 보존처리 충전재 제작에는 초산비닐계수지와 아크릴계수지가 대표적인 접착제로 사용되고 있는데 그 중 초산비닐계 수지는 수용성수지로 흡수력이 빠르고 다른 수지에 비해 광택이 적으며 처리 후 안착상태가 비교적 안정하게 오랜 시간 지속되며 특별히 수지의 제거 없이도 재차 처리가 가능하여 앞선 접착제들을 대체하여 90년대 후반부터 현재까지 다양하게 사용되고 있다.

식물성 또는 동물성 원료에서 추출한 천연접착제들은 수용성 단백질이나 당류가 주성분으로 인체에 무해하고 공해물질을 배출하지 않으며 현재까지도 다양한 범위에서 사용되고 있다(Figure 7). 천연접착제 중 충전재의 접착물질로 사용가능한 접착제를 검토해보면 도박풀, 전분풀, 아교, 어교 등이 있으며 그 중 도박풀은 전통적으로 흙벽의 첨가물로서 벽체의 물리·화학적 성질을 향상시키는 것으로 알려져 있다(국립중앙과학관, 1996). 전분계 접착제 또한 벽체 제작에 사용된 사례들이 발견되어(정혜영, 2008) 충전재료의 접착물질로서의 가능성이 있으며 동물성 접착제인 아교나 어교는 이전부터 문화재 및 예술품의 복원에 사용된 재료로서 충전재료의 접착제로서 그 가능성을 검토해 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 천연접착제의 가능성을 비교해볼 대상으로 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 합성수지인 초산비닐계 접착제를 선택하였고, 이에 대한 대체 가능성 있는 천연 접착재료로 도박, 전분 및 아교, 어교로 선택하여 화벽용 충전재에 관한실험을 실시하였다.



Figure 7. 천연접착제의 원료

② 접착제 제작

문헌조사를 통하여 전통방법으로 각각의 접착제를 제작하였고 시판되는 접착제는 구입하여 농도를 희석하여 사용하였다(Table 5).

Table 5. 접착제의 제법(국립중앙과학관, 1996, 곽동해, 2001)

접착제의 종류	제 작 방 법
도박풀	건조도박(20g)에 물 7.2ℓ를 가하여 90분간 가열. 가열 시 센불(100°C/20min)과 약불(약 80°C/10min)을 번갈아 사용하여 3회 반복. 결과물 약 4~5ℓ 추출.
어교	1ℓ 도가니에 민어부레를 3~4개 넣고 물을 7~8배 부어 10시간 가열. 물을 계속적으로 부어 같은양 유지, 결과물 약1ℓ 추출.
아교	알아교 290g에 물 1ℓ를 가하여 하루정도 불린 뒤 중탕.
소맨전분풀	표구사에서 배접용 전분풀을 구입(4년 삭힌 것, 500g).
초산비닐계수지	약 10% 농도로 희석하여 제작.

③ 접착제의 농도 및 점도 결정(예비실험)

충전제에 혼합되는 접착제의 농도를 결정하기 위하여 조사된 제법에 따라 제작한 접착제를 고(100% 원액사용)·중(50%로 희석)·저(25%로 희석)농도로 만들어 점도를 측정하고(Table 6, Figure 8) 이를 사용하여 배합비율연구를 통하여 결정된 A, B, C 비율의 흙과 혼합하여 시료를 제작 한 후(Figure 9) 작업성 및 건조 후 특성을 관찰하였다. 실험결과 대부분의 시료가 저 농도 일 때 작업성이 좋고 균열 및 미생물발생률이 적은 것으로 관찰되어 저 농도에서의 점도(점도 15)에 맞추는 것⁵⁾으로 접착제의 농도를 결정하였다. 점도의 측정은 BL형 점도계(WiseStir, HT 120DX)를 이용하여 측정하였으며 C의 흙의 배합은 고농도일 때 균열 및 미생물발생률이 크고, 저 농도에서는 강도가 약하여 공시체 성형이 불가능하여 향후 실험에서 제외하는 것으로 결정하였다.

Table 6. 점도측정결과

접착제	고농도(mPas)	중농도(mPas)	저농도(mPas)
도박	434.6(150%)	104.8(100%)	18.2(50%)
어교	172.1(100%)	19.3(50%)	6.1(25%)
아교	228.8(100%)	16.0(50%)	4.0(25%)
전분	400이상(100%)	226.8(50%)	18.2(25%)
초산비닐계수지	23(15%)	11.9(10%)	5.9(5%)

5) 접착제별 원액의 농도가 다르기 때문에 동일한 점도를 기준으로 통일하여 충전제 제작에 사용하였다.

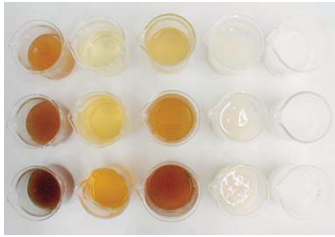


Figure 8. 농도별 접착제



황토 5 : 세사 5 황토 7 : 세사 3 황토 3 : 세사 7

Figure 9. 예비실험 시편

2. 충전재 및 공시체 제작

(1) 충전재의 종류

배합비율 연구를 통하여 결정된 A비율(황토 5 : 세사 5)과 B비율(황토 7 : 세사 3)의 흙에 천연접착제 4종과 합성접착제 1종, 접착제를 첨가하지 않은 충전재를 포함하여 총 12종의 화벽용 충전재를 제작 하였다(Table 7). 황토는 점력있는 퇴적토를 채취하여 50 μ m이하로 수비하여 사용하였고 세사는 강모래를 구입하여 0.2mm이하로 채질하여 사용하였다.

Table 7. 충전재의 종류 및 재료의 배합비율

A 비율(황토5 : 세사5)의 흙(2.3kg) + 접착제(700mℓ)		B 비율(황토7 : 세사3)의 흙(2.3kg) + 접착제(800mℓ)	
AD	흙(2.3kg) + 도박풀	BD	흙(2.3kg) + 도박풀
AS	흙(2.3kg) + 소맥전분풀	BS	흙(2.3kg) + 소맥전분풀
AG	흙(2.3kg) + 아교	BG	흙(2.3kg) + 아교
AF	흙(2.3kg) + 어교	BF	흙(2.3kg) + 어교
AP	흙(2.3kg) + 초산비닐계수지	BP	흙(2.3kg) + 초산비닐계수지
AN	흙(2.3kg) + 증류수	BN	흙(2.3kg) + 증류수

(2) 공시체 제작

화벽용 충전재의 물성연구를 위하여 강도측정용 공시체와 표면관찰 및 기타 물성측정을 위한 공시체를 제작하였다. 강도측정용 공시체는 KS규격(KS F 2314 흙의 일축 압축 시험방법)을 참고하여 지름 3.5cm, 높이 7cm의 원통형으로 제작하였다(Figure 10a,b). 시료의 성형을 위하여 원통형의 몰드에 같은 양의 흙을 넣고 다져 공시체를 제작하였으며 각 충전재 당 10개의

공시체를 제작하여 4개는 건조강도를 측정하고 3개의 공시체는 동결융해 시험 후, 나머지 3개의 공시체는 인공풍화 시험 후 각각 압축강도를 측정하였다(Figure 11a,b). 강도측정용 공시



Figure 10. 공시체 몰드 규격. (a) 강도 측정용 공시체 몰드 높이, (b) 강도 측정용 공시체 몰드 내경, (c) 표면관찰용 공시체 몰드 높이, (d) 표면관찰용 공시체 몰드 내경.

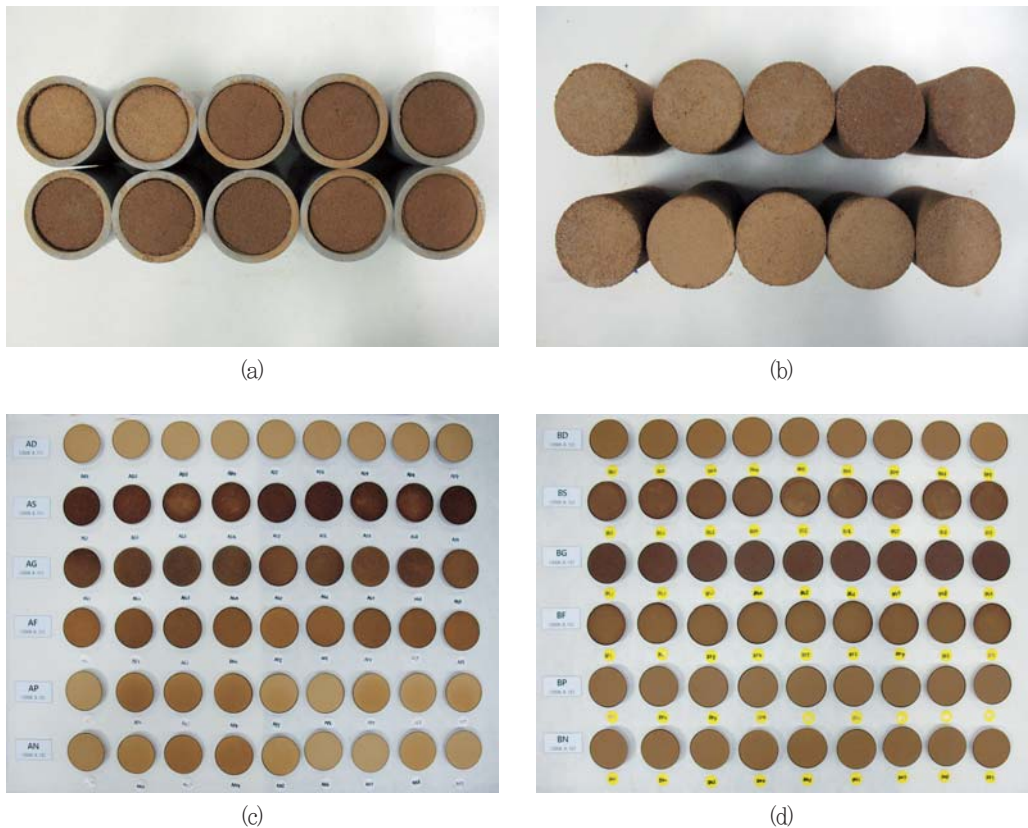


Figure 11. 압축강도 측정용 및 표면관찰용 공시체 (a) 강도측정용 공시체 성형 후(AD1-10, 건조 8일), (b) 강도측정용 공시체 성형 후(AD1-10, 건조 10일), (c) 표면관찰용 A비율의 시료 제작 후(건조 2일), (d) 표면관찰용 B비율의 시료 제작 후(건조 2일)

체는 열화시험 후 강도측정을 하기에 적합한 형태로 시료를 가공해야하기 때문에 표면관찰 및 기타물성을 측정하기 위한 공시체는 따로 제작하였다(Figure 10c,d). 표면관찰용 시료는 원반형의 시료물드에 같은 양의 흙을 넣고 다져 제작하였으며 제작된 공시체 3개는 자연 건조시키고, 3개의 공시체는 동결융해 시험용으로 사용하고 나머지 3개의 공시체는 인공풍화용 공시체로 사용하였다(Figure 11c,d).

3. 물성변화 연구

(1) 표면상태 및 변화

공시체의 제작 후 아교, 전분풀을 접착제로 한 공시체는 시료가 건조 및 열화되면서 접착제의 성분이 표면으로 응집되어 표면경화현상이 두드러지게 나타났으며(Figure 12c) 특히 전분풀을 접착제로 첨가한 공시체는 표면이 불균일한 색상을 나타내었다(Figure 12a).

강도측정용 공시체와 같이 많은 양의 충전재가 제작에 사용된 공시체는 건조되는 동안 고습한 상태가 유지되어(쉽게 건조되지 않음) 도박과 전분풀을 제외한 아교, 어교, 초산비닐계 접착제를 첨가한 공시체는 미생물이 현저하게 발생되었다(Figure 12d).

열화시험이 진행되는 동안 표면의 색도변화는 관찰되었지만 대부분의 시료에서 균열 또는 미세균열은 관찰되지 않았다. 단, 어교를 접착제로 사용한 시료에서 열화시험도중 파손현상이 발생되어 내구성이 좋지 않은 것으로 판단된다(Figure 12b).



Figure 12. 문제점이 발생된 시료의 표면 상태. (a) BS6 : 표면의 색상이 불균일함. (b) AF2 : 동결융해 시험후 파손 현상이 발생. (c) AS3 : 표면에 접착성분이 응집되어 표면경화현상이 발생. (d) BF5 : 동결융해 시험과정에서 곰팡이가 발생됨.

(2) 색도변화

대부분의 공시체들이 풍화시험 후에 색도 변화를 보였으며 B비율에서 A비율보다 좀더 큰 색차를 보였다. 특히 동결융해 시험 후에는 대부분의 시료들이 색도변화를 보였고 가장 작은 색

차를 보이는 공시체는 A비율에서 아교를 접착제를 사용한 공시체이며 B비율에서는 도박을 사용한 공시체의 변화율이 적은 것으로 나타났다. 가장 큰 색차를 보이는 공시체는 B비율에서 전분을 첨가한 공시체이다(Table 8, 9, Figure 13, 14).

Table 8. 명도변화

시료명	시험전	동결융해	인공풍화
AD	58.82	56.65	57.88
AS	37.03	40.48	36.17
AG	42.74	41.38	43.14
AF	57.73	52.70	56.01
AP	61.63	59.33	60.58
AN	61.11	56.83	58.79
BD	60.42	58.45	60.25
BS	47.44	41.48	48.63
BG	47.23	42.64	46.28
BF	59.34	54.17	58.73
BP	62.18	59.49	61.70
BN	60.94	58.41	60.15

Table 9. 색차변화율

	$\Delta E^{(6)}$	동결융해	인공풍화	자연건조
AD	-1.80	0.36	-0.74	
AS	2.07	0.84	-0.41	
AG	1.03	0.24	-0.44	
AF	-2.65	-0.88	-0.87	
AP	-1.88	0.37	-0.71	
AN	-2.27	0.04	-0.61	
BD	-1.36	0.40	-0.70	
BS	-2.49	1.53	0.11	
BG	-2.37	-1.13	-0.85	
BF	-1.34	1.40	-0.59	
BP	-2.02	0.81	-0.65	
BN	-2.11	0.46	-0.45	

(3) 부피변화

공시체 제작 후 자연건조 상태의 부피변화율은 A비율에서 4.5%의 수축현상이 나타나고 B비율에서는 7.1%의 수축현상이 발생되었다. 이는 B비율에서 황토의 첨가비율이 높아 충전재 제작 시 더 많은 양의 물이 첨가되어 물의 증발로 인하여 보다 높은 부피변화율을 나타내는 것으로 추정된다. 건조 시 부피변화량이 가장 적은 공시체는 접착제를 첨가하지 않은 시료들이며 접착제를 첨가한 공시체 중에는 초산비닐계의 접착제를 사용한 공시체의 부피변화율이 작게 나타났다. 풍화시험 후 부피변화에서 가장 적은 부피변화율을 보인 시료는 도박풀을 첨가한 시료로 이 시료는 동결융해와 인공풍화시험에서 모두 적은 부피변화율을 보여주었다. 초산비닐계 수지는 동결 융해에는 작은 부피변화율을 보이거나 인공풍화시험에서 동결융해시험에서 많큼 뛰어

6 0~0.5 : 전문가도 식별불가 / 0.5~1.5 : 비전문가는 식별불가 / 1.5~3.0 : 비전문가도 식별가능 / 3.0~ : 현저한 색차

난 성질을 보여주진 않았다. 풍화시험 후 부피변화에서 가장 취약한 성질을 보인 공시체는 아교와 어교를 첨가한 공시체로 이는 동결융해와 인공풍화에서 다른 시료에 비하여 높은 부피변화를 보였다(Table 10, Figure 15).

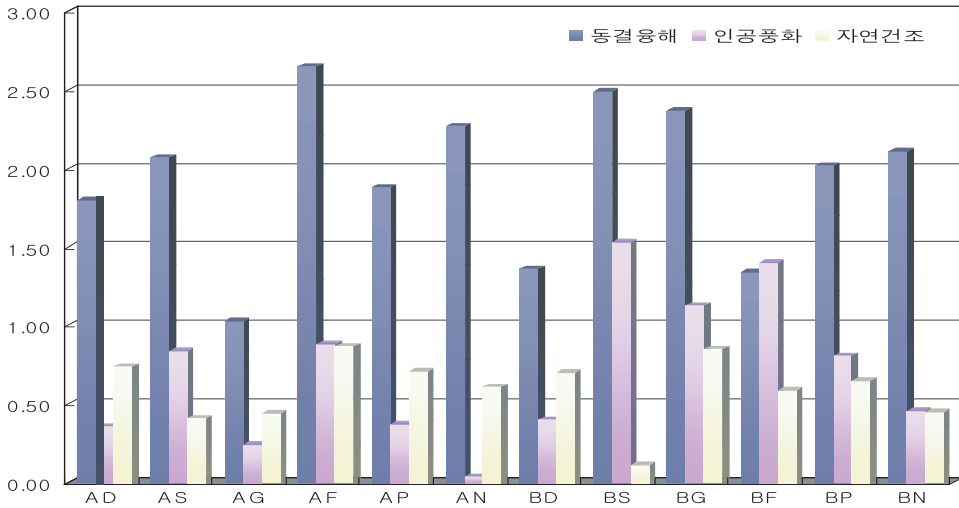


Figure 13. 색차변화율

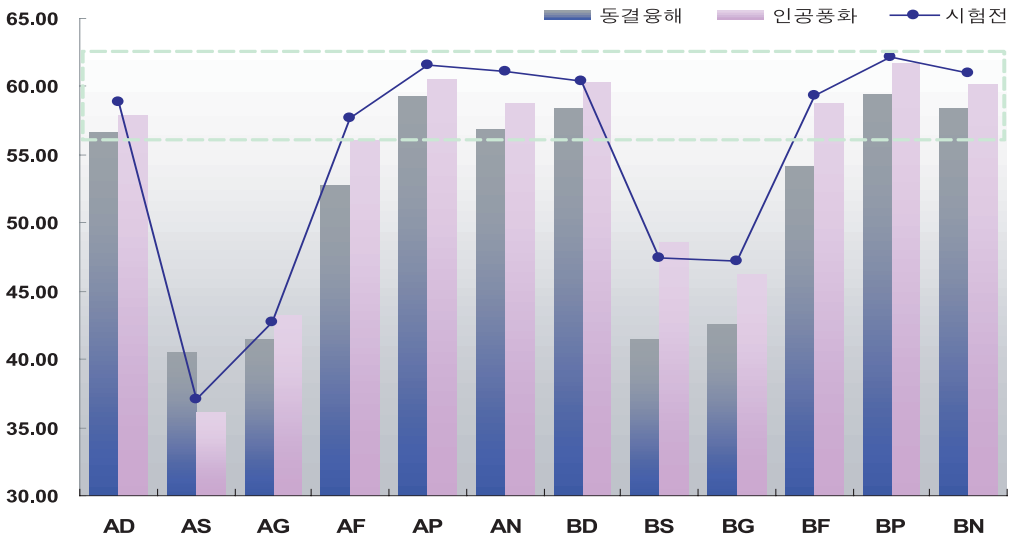


Figure 14. 명도 변화율 : 도박풀, 초산비닐계, 어교를 접착제로 사용한 시편은 건조 시 충전재의 명도가 접착제를 첨가하지 않은 충전재와 유사하다(도표에 표시된 부분의 접착체들은 충전재로 사용된 흙의 색상 변화를 주지 않는 범위에 포함된다)

Table 10. 부피변화율

시료명	건조부피변화율(%)	풍화부피변화율 1 (동결·융해, %)	풍화부피변화율 2 (인공풍화, %)	자연건조변화율(%)
AD	-5.14	-0.45	-0.05	0.45
AS	-5.35	-0.21	0.51	-0.20
AG	-5.04	-4.43	1.07	0.98
AF	-5.72	-3.72	-0.28	0.58
AP	-4.04	0.35	-0.57	-0.25
AN	-1.52	0.16	-0.16	-0.74
BD	-8.55	-0.47	-0.37	-0.39
BS	-7.98	-2.10	-0.24	-0.29
BG	-6.62	-2.49	-0.47	-2.00
BF	-7.64	-3.37	-0.52	-0.50
BP	-6.71	-0.50	-0.52	-1.51
BN	-5.03	-0.89	-0.59	-0.70

(4) 중량변화

풍화시험 후 공시체의 중량변화는 시료의 손실량으로 볼 수 있다. 동결 융해시험 후 A비율에서는 1.2% 중량이 감소하였고 B비율에서는 0.6% 중량이 감소하였다. 각각의 공시체 중 작은 변화율을 보이는 공시체는 도박풀과 초산비닐계 수지를 접착제로 첨가한 것이고 비교적 큰 중

Table 11. 중량변화율

시료명	건조중량변화율(%)	풍화중량변화율 (동결·융해, %)	풍화중량변화율 2 (인공풍화, %)	자연건조변화율(%)
AD	18.17	-0.34	0.00	-0.22
AS	19.08	-0.62	-0.42	-0.28
AG	15.76	-1.09	-0.36	-0.11
AF	18.24	-3.78	-0.32	-0.15
AP	17.95	-0.31	-0.24	-0.17
AN	16.77	-0.77	-0.80	-0.54
BD	20.49	-0.50	-0.46	-0.36
BS	20.51	-0.66	-0.50	-0.33
BG	17.70	-0.73	-0.26	-0.13
BF	20.94	-0.88	-0.29	-0.18
BP	20.89	-0.20	-0.26	-0.16
BN	18.41	-0.46	-0.46	-0.41

량변화를 보이는 공시체는 아교와 어교를 접착제로 사용한 공시체이다(Table 11, Figure 16). 특히 어교는 동결 용해 실험에서 취약한 것으로 나타났다.

(5) 강도변화

압축강도 측정결과 대체적으로 A비율보다 B비율에서 시험력이 크게 측정되었고 건조상태에서 강도는 전분, 초산비닐계 아교를 접착제로 사용한 공시체에서 크게 측정되었다. 어교를 첨가한 공시체는 다른 공시체에 비하여 작은 강도를 나타내었다(Table 12, Figure 17). 풍화 후에 보다 작은 강도변화를 보인 공시체는 초산비닐계 수지와 도박을 첨가한 공시체이며 높은 강도변화를 보인 시료는 아교와 어교이다(Figure 18). 따라서 초산비닐계수지는 흙과 혼합하였을 때 흙 구조물의 강도를 높여주고 열화에도 강한 특성을 보이며, 전분 접착제는 열화에 약간의 강도변화를 보이지만 흙의 강도를 가장 높게 높여줄 수 있는 재료로 초벽 또는 중벽층에 첨가했을 때 좋은 기능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다. 도박은 벽체의 강도를 강하게 높여주는 것은 아니지만 열화상황에서 변화량이 적고 특히 동결용해시험에서 강한 내구력을 보이는 것으로 판단된다. 반면 아교나 어교의 경우에는 풍화에 대하여 강도변화율이 타 접착제에 비하여 높은 것으로 나타났다.

Table 12. 강도측정 결과

시료명	건조강도(kgf)	동결용해 후 강도(kgf)	인공풍화 후 강도(kgf)
AD	89.75	95.99	79.66
AS	112.85	98.39	89.62
AG	145.51	68.90	129.45
AF	96.12	84.04	95.59
AP	133.38	136.22	131.84
AN	62.93	68.11	51.78
BD	144.19	147.77	138.21
BS	268.20	210.71	234.61
BG	124.01	248.28	99.18
BF	95.06	92.79	58.94
BP	159.06	174.86	142.20
BN	103.56	47.79	94.53

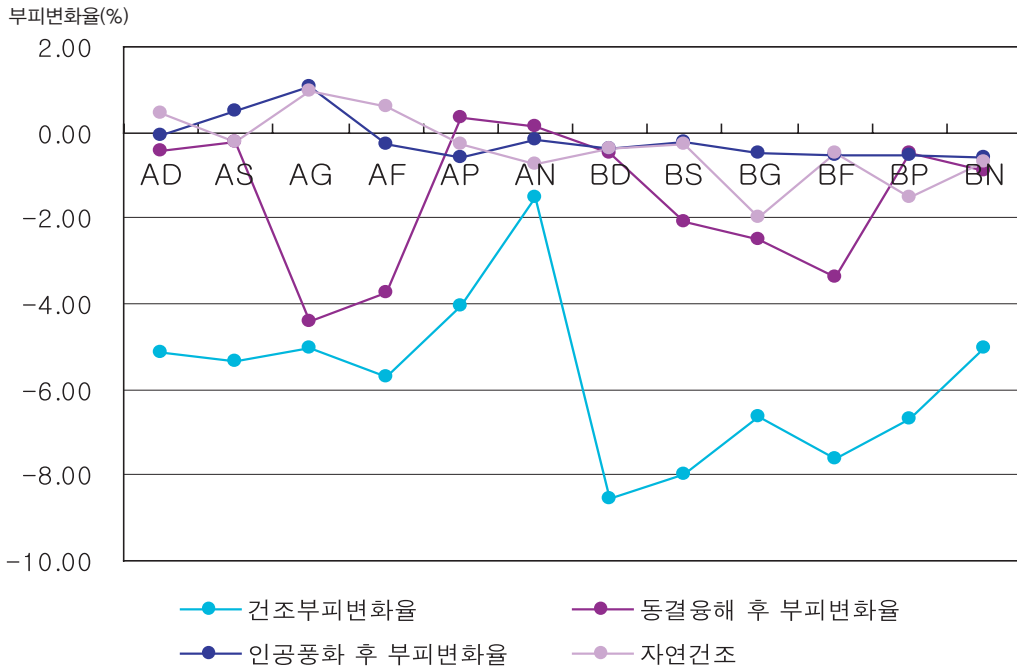


Figure 15. 부피변화율

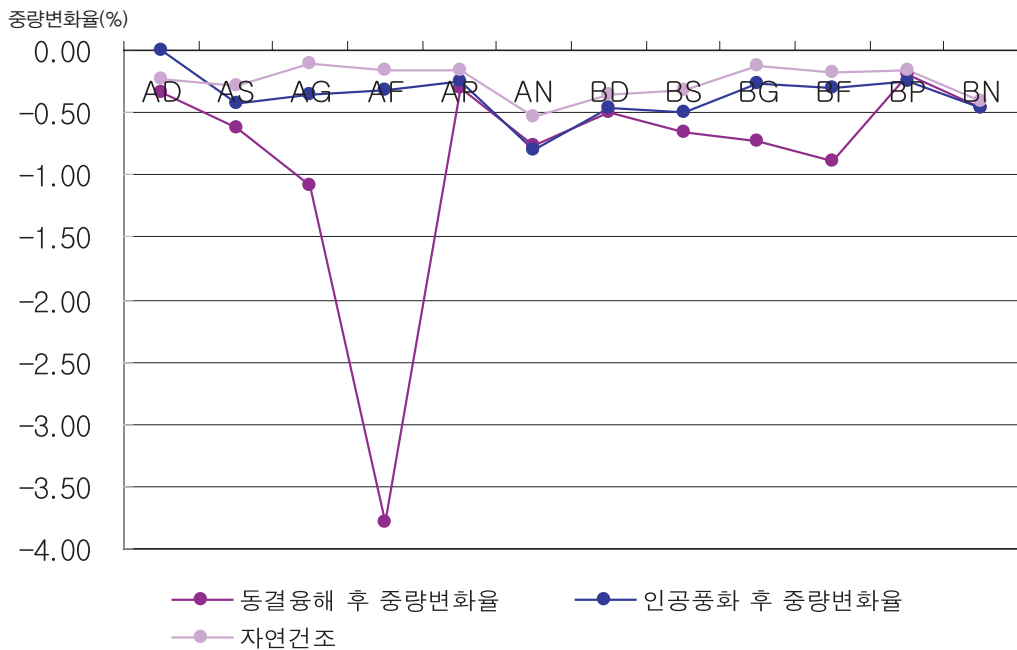


Figure 16. 중량변화율

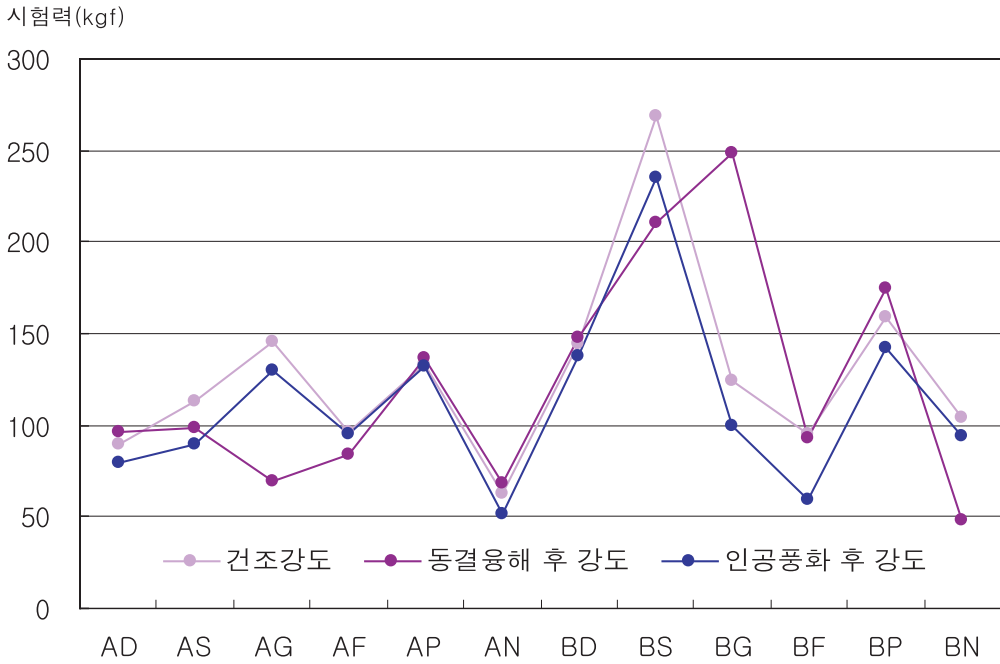


Figure 17. 강도 측정 결과

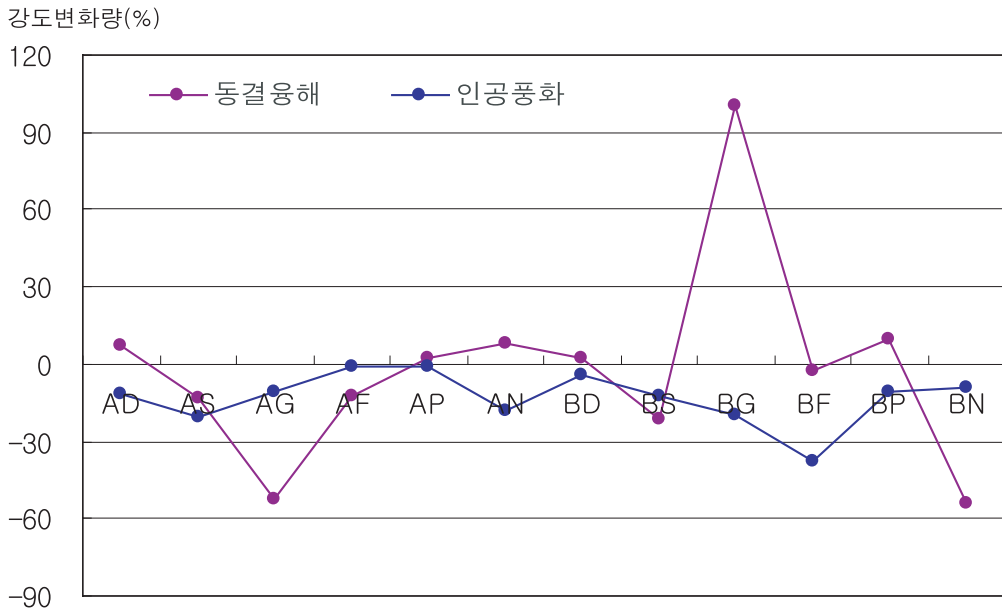


Figure 18. 강도 변화량

Ⅲ. 고찰

연구된 배합비율과 접착제의 종류에 따라 공시체를 제작하여 열화시험 한 후, 각 충전재에 따른 물성변화양상을 살펴본 결과(Table 13),⁷⁾ 충전재의 접착물질로 사용가능성이 있는 천연접착제와 사용이 불가능한 천연접착제가 파악되었다. 사용가능성이 있는 천연접착제는 도박풀이며 도박풀의 경우, 열화환경에서 현재 벽화보존처리 현장에서 사용되고 있는 합성수지보다 흙물탈에 우수한 내구력을 주는 것으로 보인다. 이는 도박의 접착성분들이 물질의 입자를 조밀하게 해주며 물질의 표면에 피막을 형성하고 당지질 성분이 있어 노화를 촉진시키는 수분에 대하여 내수성을 가지는 것을 원인으로 들 수 있다. 초산비닐계수지는 도박에 비하여 건조 시 수축변화율이 적고 같은 점도에서 흙 물탈에 강도를 훨씬 높여 주지만 풍화환경에서 도박풀보다 색도변화율이 높고 고습환경에서 내균성이 부족하였다.

Table 13. 충전재별 물성변화 상호비교표

시료명	부피변화율 ⁸⁾		중량변화율 ⁹⁾		색차 ¹⁰⁾		강도변화율 ¹¹⁾		내균성 ¹²⁾		적합성			
	동결 융해	인공 풍화	동결 융해	인공 풍화	동결 융해	인공 풍화	동결 융해	인공 풍화	강도 시료	표면 시료	상 (○)	중 (△)	하 (×)	
A	도박풀	○	○	○	○	×	○	○	△	○	○	8	1	1
	전분풀	○	△	△	△	×	△	△	△	△	○	2	7	1
	비 아 교	×	△	×	△	△	○	×	△	×	○	2	4	4
	울 어 교	×	○	×	○	×	△	△	○	×	×	3	2	5
	초산비닐	○	△	○	○	×	○	○	○	×	○	7	1	2
B	도박풀	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○	7	3	-
	전분풀	△	○	△	△	×	△	△	△	△	○	2	7	1
	비 아 교	△	○	△	○	×	△	×	△	×	○	3	4	3
	울 어 교	×	△	△	○	△	△	○	×	×	×	2	4	4
	초산비닐	○	△	○	○	×	△	○	△	×	○	5	3	2

7) 흙의 배합비율과 접착제의 종류에 따른 물성 변화 양상을 시료 비교하여 본 연구자가 임의로 정한 수치이다.

8) ○ : 부피변화율 0.5%이하 / △ : 부피변화율 0.5% 초과~2.5%이하 / × : 부피변화율 0.25% 초과

9) ○ : 중량변화율 0.35%이하 / △ : 중량변화율 0.35% 초과~1.0%이하 / × : 중량변화율 1.0% 초과

10) ○ : 색차 0~0.5 / △ : 색차 : 0.5~1.5 / × : 색차 1.5 이상

11) ○ : 강도변화율 105%이하 / △ : 중량변화율 10% 초과~30%이하 / × : 중량변화율 30% 초과

12) ○ : 미생물 발생 없음 / △ : 약간의 미생물 발생 / × : 미생물 발생이 현저함

전분풀을 혼합한 충전재는 높은 강도를 보이고 작업성이 우수하며 다른 접착제에 비해 내균성이 있는 것으로 파악되었다. 그러나 표면경화현상이 두드러지게 나타나고 표면의 색상이 매우 불균일하게 제작되어 화벽용 충전재로는 적합하지 않은 것으로 판단되나 중벽이나 초벽의 충전물질 접착제로 사용 가능할 것으로 판단된다.

아교와 어교와 같은 동물성 천연접착제는 열화시험에서 충전재의 물성변화량이 크고, 열화 환경 하에서 취약함을 보여 화벽용 충전재의 접착물질로 부적합한 것으로 판단된다. 아교의 경우는 전분풀과 같이 건조되었을 때 표면 경화현상이 두드러지며 고습환경에서 미생물의 발생이 현저하였고 어교는 취약한 물성을 가지며 내균성이 부족하여 접착물질로 사용하기에 적절하지 않았다.

따라서 도박풀 및 전분풀은 일부 취약점들을 보완하고 개선한다면 현재 사용되고 있는 합성수지를 대체할 수 있는 가능성이 있는 접착물질로 판단된다.

IV. 결 론

국내 토벽 사찰벽화의 보존처리를 위한 안정한 충전재를 천연 물질에서 찾고자 실시한 이번 실험에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 벽화보존처리용 충전재의 사용 현황조사결과, 1990년대 이전에는 주로 석회반죽이 사용되었고 1990년대에는 기존에 사용된 재료와 황토, 또는 황토와 세사의 혼합물이 사용되었다. 또한 접착물질로 카세인, 아크릴에멀전, 초산비닐계수지 등 다양한 종류의 합성수지들이 충전재에 첨가되어 사용되었으며, 2000년 이후에는 황토와 세사의 혼합물에 아크릴에멀전 또는 초산비닐계수지를 첨가한 몰탈을 충전재로 사용하였다. 현재 보존처리 현장에서는 주로 황토 2, 세사 1의 비율의 충전재에 아크릴계수지 또는 초산비닐계수지를 첨가하여 사용하고 있는 것으로 조사 되었다.

2. 충전재의 주 재료인 흙(황토 및 모래)의 조합에 대한 실험결과는 황토 7, 세사 3의 비율은 건조 시 수축변화율이 7%정도 나타났으며, 황토와 세사를 1:1 비율로 적용한 충전재는 약 4%의 수축율을 보였다. 그러나 황토 3, 세사 7 비율은 C의 흙의 배합은 수축률은 적으나 균열 및 강도가 약하여 충전재로서는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

3. 충전재의 접착제에 대한 실험 결과 전분계의 접착제는 작업성과 강도에서 뛰어난 물성을 보이지만 저 농도에서도 표면경화현상이 관찰되며 표면에 얼룩현상이 심하게 발생되어 화벽용 충전재 접착제로 적당하지 않은 것으로 판단되나 화벽을 제외한 중벽 및 초벽용 충전재료의 접착제로서는 사용가능할 것으로 판단된다.

4. 동물성 접착제인 아교와 어교는 고습도의 환경에서 곰팡이가 발생하는 등 내균성이 부족하며 열화에 취약한 특성을 보여 충전재의 접착제로 적합하지 않은 것으로 판단된다.

5. 실험대상중(총12종) 도박을 이용한 충전재가 가장 안정적인 것으로 나타났으며 제작 방법은 황토 5, 세사 5 비율의 흙(2.3kg)에 도박(700ml)을 첨가하여 제작한 것이다.

〈참고문헌〉

1. 1996, 『전통과학기술 조사연구(Ⅳ)』, 국립중앙과학관.
2. 1994, 『문화재표준수리시방서』, 문화재관리국.
3. 2005, 『문화재표준수리시방서』, 문화재청.
4. 곽동해, 2001, 『단청장』, 화산문화.
5. 한천구 외 공저, 2003, 『건축재료 실험』, 기문당.
6. 조준현 외 공저, 2003, 『최신 건축 재료학』, 기문당.
7. 신영오 외 공저, 1976, 『土壤學』, 집현사.
8. Loren A. Raymond, 2000, 『퇴적암석학』, 시그마프레스.
9. 2007, 『한국의 사찰벽화—충청남도, 충청북도』, 문화재청, 성보문화재연구원.
10. 관조스님, 박도화, 1999, 『사찰벽화』, 미술문화.
11. 2006, 『불국토, 그 깨달음의 염원, 사찰벽화전』, 국립대구박물관.
12. 2006, 『무위사 극락전 내벽사면 벽화 보존처리보고서』, 건국대학교 회화보존연구소.
13. 정혜영, 2008, 「봉정사 대웅전 후불벽체의 제작기법에 관한 연구」, 『보존과학회지』, 한국 문화재보존과학회.
14. 채상정, 양희제, 한경순, 2006, 「전통 벽화의 토벽체 비파괴진단 조사연구—강진 무위사 벽화보존각내 벽화를 중심으로」, 『보존과학회지』, 한국문화재보존과학회.
15. 한경순, 2003, 「사찰벽화의 주변환경에 의한 손상원인과 보존방안」, 『문화재과학기술』, 공주대학교 문화재보존과학연구소.
16. 한경순, 2002, 「양산 신흥사 대광전 벽화 보존처리」, 『문화재과학기술』, 공주대학교 문화재보존과학연구소.
17. 김용부, 1992, 「흙 建築과 技術」, 『대한건축학회지』, 36권 3호, 통권 116호. 대한건축학회.
18. 김호정, 2004, 「사찰벽화 보존에 사용되는 고착제에 관한 연구」, 경주대학교 대학원 석사학위논문.
19. 장은혜, 2002, 「흙 벽화의 보존처리 재료에 관한 연구 - 흙 벽화 표면의 보존처리에 사용되는 전통재료와 현대재료에 관한 고찰—도박풀과 caparol」, 용인대학교 대학원 석사학위논문.
20. 이수정, 2002, 「한국사찰벽화 보존에 관한 연구 : 보존처리 사례연구를 중심으로」, 동국대학교 대학원 석사학위논문.
21. 심유진, 2006, 「아교와 첨가제에 따른 물성변화연구」, 한서대학교 예술대학원 석사학위논문.