

유리제 문화재 복원용 광경화성 수지의 물성 연구 및 적용

The Physical Properties of
UV-curable Resin for the
Restoration of Glass Cultural
Properties and Its Application
in Conservation Treatment

이해순*, 나아영

국립중앙박물관 보존과학부

Lee Hae Soon*, Na Ah Young

Department of Conservation Science, National
Museum of Korea

요약

본 논문은 유리제 문화재 복원에 안정한 물성을 지닌 복원재료를 선정하기 위한 연구이다. 아크릴계 광경화성수지(FLGPCL04 Clear®)를 기준으로 우레탄계 광경화성수지(SECURE CP-7321®)를 10%씩 가감한 혼합 시편 11종을 제작하고 6종의 물성실험을 실시하였다. 실험결과 굴절률, 비중, 접착력, 황변도의 측정값에 대해서는 11종 혼합재료 모두에 대하여 유사하였으나 표면경도 및 압축강도 측정값에서는 우레탄계 광경화성 수지의 혼합 비율이 10~20% 범위일 때 가장 적합하였다. 즉, 유리제 유물을 복원한 이후의 상태 유지에 가장 효과적이다. 이와 같은 연구결과를 바탕으로 아크릴계와 우레탄계 광경화성 수지를 9:1로 혼합한 재료(AU9010)를 경주 황남대총 북분에서 출토된 유리잔 (황북519)의 보존 처리에 적용하였다.

주제어 : 유리 문화재 복원재료, 광경화성수지, 접착력, 내황변성

Abstract

This study investigated the material properties of UV-curable Resin in order to identify stable materials for use in the restoration of glass cultural properties. Tested samples were based on acrylic UV-curable Resin (SECURE CP-7321®), to which urethane UV-curable Resin (FLGPCL04 Clear®) was added in 10% increments to produce eleven samples. The results showed that all eleven samples had similar properties in terms of refractive index, density, adhesive strength, and anti-yellowing. But the surface hardness and compressive strength were optimal and effective for maintaining the shape of artifacts after restoration treatment when the proportion of urethane resin was in the range of 10-20%. Based on these findings, the mixing sample [acrylic UV-curable Resin(9) : urethane UV-curable Resin(1)] was applied in the conservation treatment of a glass cultural property (Hwangbuk 519) excavated from the North Mound of Hwangnamdaechong, Tomb in Gyeongju.

Keywords : Glass cultural property, UV-curable resin, Adhesive strength, Anti-yellowing

* Corresponding Author:
Lee Hae Soon

Tel : 82-2-2077-9446
E-mail : potcup@korea.kr

투고일: 2019.4.8. 심사(수정)일: 2019.4.29. 게재확정일: 2019.5.10.

I. 머리말

우리나라의 유리제 문화재는 다른 재질의 문화재에 비하여 현저하게 적은 수량만 존재하는데 이들 대부분이 구슬과 같은 장신구류이고 그릇류는 약 20점에 불과하다. 게다가 유리제 유물에 대한 과학적 분석 및 고고학적 연구가 이루어진 경우에도 보존 처리 방법이나 재료에 대한 연구는 거의 진행되지 않은 상황이다.

유리제를 복원한 예로 5세기에 조성된 것으로 알려진 황남대총 남분에서 출토된 국보 제 193 호 일괄품 4점 중 완파된 채로 발굴된 봉수형 유리병과 유리제배의 보존 처리를 들 수 있다. 봉수형 유리병 (鳳首形 琉璃瓶)은 1980년대에 국립중앙박물관 보존과학실에서 최초로 보존 처리하였는데 순간접착제를 사용하여 접합하고 에폭시 수지로 복원하였다는 기록이 있다. 유리제배 (琉璃製杯)는 1970년대 문화재 연구소에서 형태를 식별할 수 있도록 접합만 하고 결실부는 복원하지 않은 채 국보로 지정되어 그대로 전시에 활용되었다. 유리제배의 접합 단면에 황변된 투명한 필름이 여러 군데에서 관찰되었다. 이 필름은 스스로 수축되어 접착력을 잃고 단면에서 분리되어 있었으며 아세톤에 매우 잘 용해되는 점으로 미루어 보아 세메다인 (CEMEDINE-C®)을 유리제배의 접착제로 사용한 것으로 추정된다.

봉수형 유리병과 유리제배의 보존처리 예는 시간경과에 따른 접착력 약화와 황변이라는 복원제의 대표적인 문제점을 분명하게 보여준다^(도1, 2). 이들 문화재에 사용된 접합제가 약화되어 매우 불안정한 상태가 되었으며 특히 복원제로 사용한 에폭시 수지가 빛과 열에 의해 심하게 황변이 되어 최근 년도에 재 보존처리 할 수 밖에 없었다.

투명한 유리에 사용된 접착제는 불투명 재질의 문화재에 사용되었을 때 보다 많은 양의 빛에 직접적으로 노출되므로 접착력 저하 및 황변에 더욱 취약하다. 따라서 유리 복원제에 대한 국내·외 선행연구에서는 아크릴계 수지 (Paraloid B-72®)가 경화 시간이 길어 접합 형태를 고정해 주기가 어려운 단점이 있음에도 불구하고 내황변성이 높은 점을 들어 가장 많이 추천하고 있다^[1]. 그러나 보존 처리 현장에서는 아크릴계 수지 (Paraloid B-72®)만을 사용하기에는 무리가 있어 시아노아크릴레이트 수지 또는 셀룰로우스 수지, 혹은 광경화성 수지 등을 추가로 사용하고 있다.

본 논문에서는 아크릴계 수지의 사용상 어려움을 보충하거나 단독으로 쓰일 수 있는 유리 복원 재료를 찾기 위해 우선, 즉시 경화되는 요건을 충족시키는 광경화성 수지의 물성을 측정하였다. 광경화성 수지 중에서 내황변성이 있는 아크릴계 (SECURE CP-7321®)와 우레탄계 광경화성 수지 (FLGPCL04 Clear®)를 선택하였고 이들의 혼합 실험을 통해 유리 복원에 적절한 물성을 가진 배합 비율을 찾고자 하였다.



도1. 봉수형 유리병의 황변



도2. 유리제배 접합부 약화

II. 실험 대상 및 방법

1. 실험 대상

현재까지 유리 복원용 에폭시 수지, 시아노아크릴레이트 수지, 아크릴 수지, 광경화성 수지에 대한 장단점은 정리된 바 있다. 이에 따르면 “에폭시수지는 인장력이 강해 풍화된 유리처럼 물성이 약한 재질을 파손시킬 가능성이 있으며 가역성이 전혀 없다는 단점이 있고 시아노아크릴레이트 수지는 사용하기 편하고 접착 속도나 강도가 우수하지만 열화에 대한 연구가 미흡하며 유리의 미세 균열로 침투하여 있다가 재해체를 위해 아세톤과 같은 유기 용제에 침적하면 재 파손되는 단점이 있다” 고 한다²⁾. 반면에 아크릴계 수지는 접착력 및 가역성이 있어 사용하기 까다로운 면이 있음에도 불구하고 복원 및 강화제로 오랜 기간 사용되면서 가장 안전한 재료로 인식되고 있다.

최근에 사용되기 시작한 광경화성 수지는 청색광 또는 자외선을 조사하면 수 초 내에 경화하는 특성 때문에 치과용 수복 재료나 적층조형 기반의 3D 프린팅 재료로 시판되는 것들이 있으며 이들은 UV-epoxy, UV-acrylic, UV-urethane, UV-ABS, UV-PLA, UV-PP 등으로 다양하다.

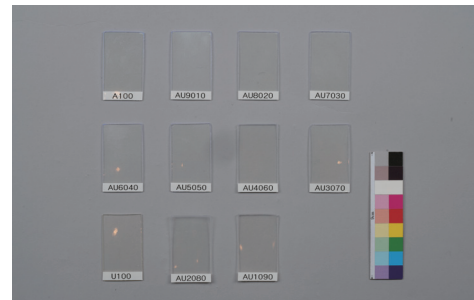
이번 복원 재료 실험의 목적은 안전한 재료로 인식되고 있는 Paraloid B-72®의 사용상 어려움을 대신하여 편리하게 사용할 수 있는 재료를 찾는 것이다. 투명하여 유리의 외관과 유사하며 즉시 경화하여 접합 및 고정제로 활용할 수 있고, 강도 및 접합력이 적절하여 복원 후 형태 유지력이 우수할 뿐 만 아니라 내황변성 및 가역성이 보장되는 재료를 찾고자 하였다.

실험 대상은 우레탄계 광경화성 수지 (SECURE CP-7321®)와 아크릴계 광경화성 수지 (FLGPCL04 Clear®)를 선택하였다. SECURE CP-7321®는 뜨거운 물에 제거가 된다고 알려져 있으며^[2] FLGPCL04 Clear®는 아세톤 및 강한 산에 박리된다고 이미 제조사에서 밝히고 있다. 가역성이 있는지 확인하기 위하여 이 두 가지 재료를 유리 판에 3번 겹쳐 칠하여 경화시킨 후 아세톤에 침적하였다. 5분이 경과된 후에 쉽게 박리됨을 확인하였으므로 이번 물성 실험에서 가역성 실험은 제외하였다^(도3).

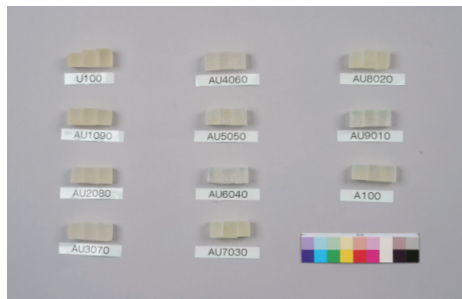
시편 제작은 아크릴계 광경화성 수지 FLGPCL04 Clear® 100%인 것을 “A100” 이라고 하고 우레탄계 광경화성 수지인 SECURE CP-7321®가 100%인 것을 “U100” 이라고 명명한 후 10%씩 가감하여 AU9010 (FLGPCL04 Clear® 90% + SECURE CP-7321® 10%)부터 AU1090 (FLGPCL04 Clear® 10% + SECURE CP-7321® 90%) 까지 총 11개의 시편을 만들었다^(도4, 5, 6). 이 11종의 시편에 대하여 표면 경도, 압축 강도, 굴절률, 비중, 접착력, 황변도를 측정하였다.



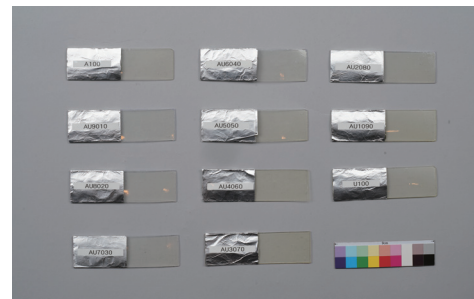
도3. 광경화성 수지의 가역성 실험 결과



도4. 표면경도 및 굴절률 측정 시편



도5. 비중 및 압축강도 측정 시편



도6. 황변도 측정 시편

2. 측정방법

2.1. 표면경도 측정

총 11 개의 혼합 시편을 가로 5 cm × 세로 3 cm × 높이 0.2 cm 크기로 제작하였

다. 표면의 신장율과 반발력 측정에 이용되는 표면경도의 측정은 규격화되어진 KS method가 없으므로 Showa 경도기 (JISK K 7215, D Type, TECLOCK, Japan)를 사용하여 표면 경도를 측정하였다. 경도 측정은 각각 시편의 5지점을 기준으로 측정하였으며 최고값과 최저값을 제외한 3 가지 결과 값의 평균을 산출하였다.

2.2. 압축강도 측정

시편은 11 종의 혼합 재료를 한 변의 길이가 1 cm인 정육면체 형태로 경화시켜 준비하였다. 압축강도는 만능 재료 시험기 (UTM: Universal testing machine WL2100, WITHLAB, Korea)로 시료 높이의 10% 압축강도 시험을 실시하였으며, 시험 속도는 1.3 mm/min이고 로드셀은 3000N이며 시험 환경은 25(±2)℃, 45(±5)% RH이었다

2.3. 굴절률 측정

A100부터 U100까지 총 11개의 시편을 가로 5 cm × 세로 3 cm × 높이 0.2 cm 크기로 제작하였다. 굴절계 (DE/AR6, Kruss, Germany)를 사용하여 표면 굴절률을 측정하였다. 굴절률 측정은 접촉액을 굴절계의 프리즘 위에 한 방울 떨어뜨린 다음 접촉액 위에 시편을 놓고 굴절계의 대안 렌즈로 눈금을 읽어 굴절률을 측정하였다. 실제 유리편도 같은 방법으로 굴절률을 측정하여 시편의 굴절률과 비교하였다.

2.4. 비중 측정

총 11개의 혼합 재료에 대한 시편을 가로 5 cm × 세로 3 cm × 높이 0.2 cm 크기로 제작하였다. 측정에 사용한 정밀 저울 (PR503/Metter, TOLEDO)은 저울 위에 비중측정 장치를 추가 설치할 수 있는 기종이다. 측정 방법은 건조 상태의 질량을 측정(W1)하고, 22℃의 증류수에 넣은 시료를 고리에 매달린 상태에서 질량을 측정(W2) 후, 증류수의 비중값을 다음 식을 통해 계산하였다.

$$\text{비중 (g/ml)} = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \times \text{물의 비중}$$

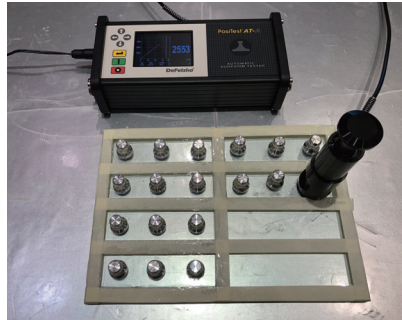
W_1 : 증류수 침적 전 시험편의 중량(g)

W_2 : 증류수 침적 후 시험편의 중량(g)

2.5. 접착력 측정

총 11개의 혼합 재료에 대한 접착 강도를 측정하기 위하여 접착력 테스트기 PosiTesrt AT-A Automatic (DeFelsko, USA)를 사용하여 측정하였다. 유리판 위에 실험 재료들을 골고루 도포하였다. 도포한 표면에 Dolly를 바닥면에 접착시켜

고정하였다. 실험 재료를 20초 동안 자외선을 조사하여 완전히 굳힌 순간접착제 (Aldeco, EE type)를 사용하여 Dolly를 접착시켰다. Dolly와 표면이 직각이 되도록 위치시킨 후 인장기의 압력을 Dolly에 가해 시험편과 분리될 때의 단위 면적당 압력 (MPa)를 측정하고 접착력이 큰 값을 안정한 것으로 판단하였다. 대조군이 되는 표준 시험편은 순간접착제 (Loctite 401®)를 선택하고 같은 방법으로 유리판 위에 도포하고 접착력을 측정하였다(도7).



도7. 부착력 측정

2.6. 황변도 측정

총 11개의 시험편을 가로 10 cm × 세로 6 cm × 높이 0.2 cm 크기로 제작하였다. 자외선 조사기 (CC-80, Spectroline, Japan)을 사용하여 200 시간 동안 자외선에 노출시킨 후, 분광측색계기 (NF555, Denshoku, Japan)으로 색차를 측정하였다. 분광측색계기는 국제조명위원회의 규격에 규정되어 있는 특성과 등가인 광원을 내장하고 있어 동일한 조건 (CIE standard illuminant D65)로 측정할 수 있다. ΔE^*ab 는 전체적인 색상의 변화 양상을 나타내며 아래의 식으로 계산한다.

$$\Delta E^*ab = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

색차표의 값을 측정하기 위하여 11종의 실험 재료에 대하여 자외선 조사 실험을 진행하였고 0시간, 2시간, 4시간, 6시간, 8시간, 10시간, 12시간, 24시간, 48시간, 96시간, 종료 후 L^* , a^* , b^* , ΔE^*ab 값을 측정하였다. 이때 ΔE^*ab 값이 미미하여 다시 120시간, 140시간, 160시간, 180시간, 200시간을 측정하여 상대적으로 급격한 황변이 시작되는 시점을 확인하였다. 각각의 시료마다 5곳의 자극치를 확인하였다.

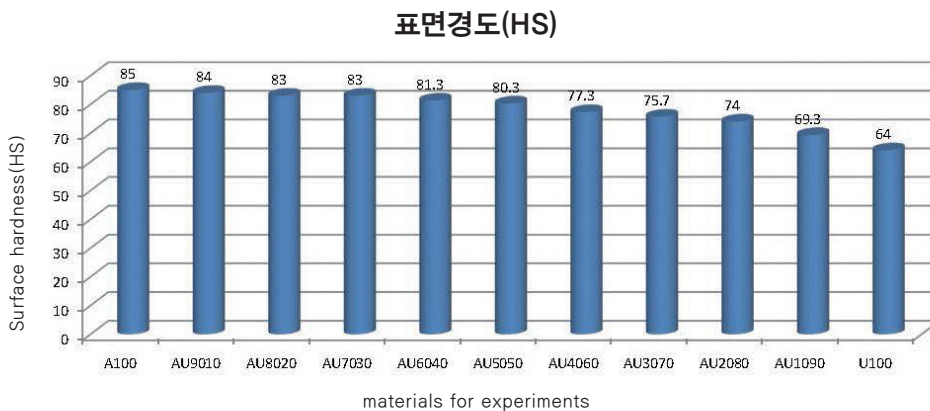
III. 결과 및 고찰

1. 표면경도

아크릴계 광경화성수지 FLGPCL04 Clear® 100%인 A100의 표면 경도가 85 HS로 가장 크고 우레탄계 광경화성 수지인 SECURE CP-7321® 100%인 U100이 64 HS로 가장 약하다. A100부터 U100 까지 차례로 조금씩 경도가 낮아지지만 현저한 변화는 보이지 않는다. 즉, 우레탄의 혼합 비율이 클수록 반비례하여 경도가 낮아지는데 아크릴계 수지의 혼합 비율이 50% 이상이면 80HS 이상으로 일정한 경도가 유지된다(표1, 도8).

표1. 표면경도 측정결과

복원재료	표면경도	측정회차			표면경도(HS)
		1st	2nd	3rd	
A100		86	84	85	85
AU9010		83	84	85	84
AU8020		83	83	83	83
AU7030		83	83	83	83
AU6040		81	81	82	81.3
AU5050		80	81	80	80.3
AU4060		77	77	78	77.3
AU3070		76	75	76	75.7
AU2080		74	74	74	74
AU1090		70	68	70	69.3
U100		63	65	64	64



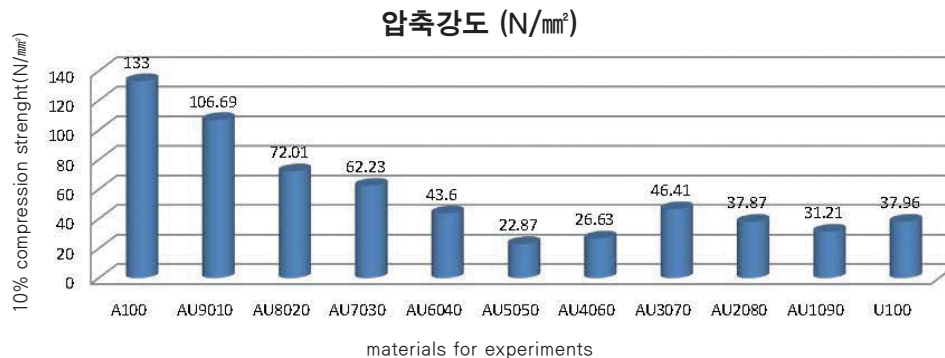
도8. 표면경도 측정 그래프

2. 압축강도

압축강도 측정 결과는 표면 경도 측정 결과와 마찬가지로 A100 (133N/mm^2)이 가장 높고 이에 비하여 U100 (37.96N/mm^2)는 현저히 낮다. AU9010 (106.69N/mm^2)은 A100와 비교하여 강도가 약간 낮아지는 것에 그쳤지만 우레탄계 광경화성 수지 비율이 20%인 AU8020 (72.01N/mm^2) 부터는 급격하게 낮아지고, AU6040 (43.6N/mm^2) 부터 U100 (37.96N/mm^2)까지는 모두 현저히 낮은 압축강도를 보인다.(표2, 도9) 일반적인 유리의 강도는 유리제작시 사용된 광물의 종류가 다양하기 때문에 간단히 정의할 수 없지만 모스 경도 상에서 4.5~6.5 사이에 위치함을 감안하면^[3] 우레탄계 광경화성 수지가 30% 이상 혼합된 경우는 유리제 문화재 복원에 알맞지 않다.

표2. 압축강도 측정결과

복원재료	압축강도	측정회차			압축강도 (N/mm^2)
		1st	2nd	3rd	
A100		111.7	132.0	155.3	133.0
AU9010		76.70	193.12	50.24	106.69
AU8020		63.35	73.19	79.50	72.01
AU7030		65.40	66.40	54.90	62.23
AU6040		66.37	27.47	36.97	43.60
AU5050		26.33	23.94	18.33	22.87
AU4060		31.89	26.43	21.57	26.63
AU3070		45.67	44.30	49.26	46.41
AU2080		33.58	42.19	37.83	37.87
AU1090		27.65	32.36	33.62	31.21
U100		27.77	41.62	44.48	37.96



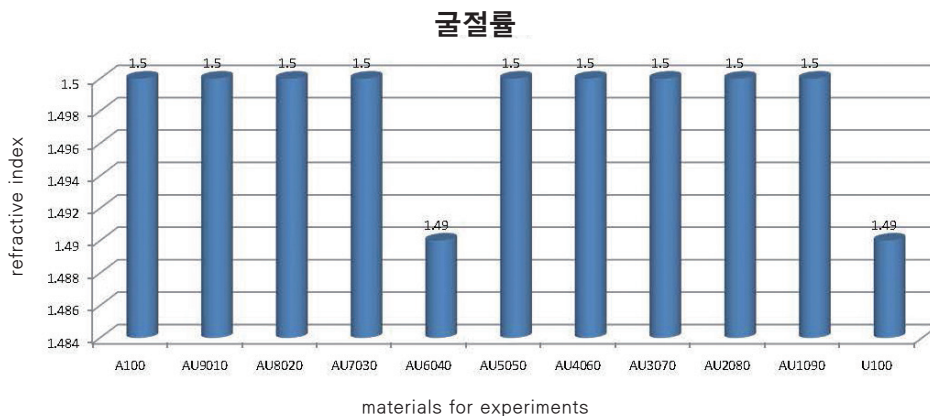
도9. 압축강도 측정 그래프

3. 굴절률

굴절률 측정 결과, 혼합 재료 11 중 모두가 1.5~1.49의 범위에 분포하고 수치상 0.01의 차이에 지나지 않으므로 모두 복원재료로 사용할 시 유리의 투명도와 유사한 외관을 구현할 수 있다(표3, 도10). 굴절률은 유리의 특징인 투명도와 관계하는 특징으로 일반적인 유리의 굴절률은 1.5~1.7로 매우 투명하지만 고대 유리의 굴절률은 표면 풍화도에 따라서 이 보다 낮다[3].

표3. 굴절률 측정결과

복원재료	굴절률	측정회차			굴절률
		1st	2nd	3rd	
A100	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
AU9010	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
AU8020	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
AU7030	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
AU6040	1.49	1.5	1.49	1.49	1.49
AU5050	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
AU4060	1.51	1.5	1.5	1.5	1.5
AU3070	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
AU2080	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
AU1090	1.5	1.5	1.51	1.5	1.5
U100	1.5	1.49	1.49	1.49	1.49



도10. 굴절률 측정 그래프

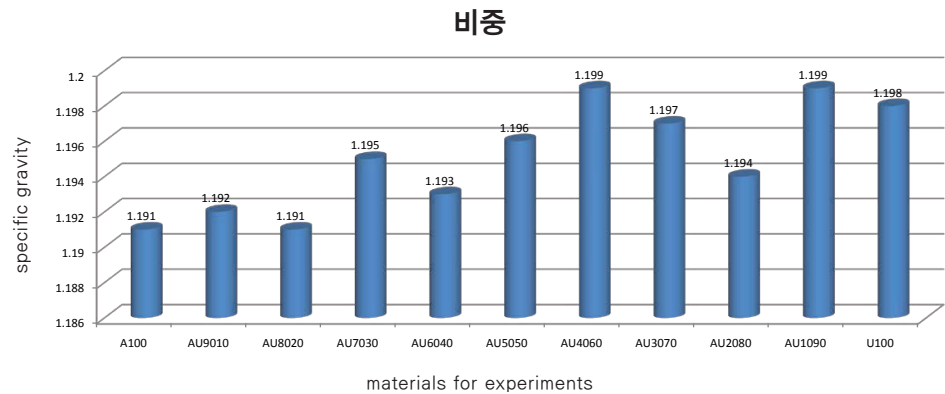
4. 비중

비중 측정 값은 AU4060와 AU1090의 비중이 1.199로 가장 높고 A100과 AU8020

의 비중이 1.191로 가장 낮지만 혼합 재료 11종 모두에 대하여 오차가 0.001에 불과하며 1.19를 유지하여 유리보다 밀도가 작다(표4, 도11). 일반 유리의 비중 2.5에 못 미치는 작은 값이지만 복원 재료로 쓰이기에는 문제없는 값이라 판단한다.

표4. 비중 측정결과(22℃)

복원재료 \ 비중	공기중 무게	액체중 무게	비중
A100	1.996	0.317	1.191
AU9010	2.0	0.318	1.192
AU8020	2.002	0.317	1.191
AU7030	2.026	0.326	1.195
AU6040	2.024	0.324	1.193
AU5050	2.058	0.333	1.196
AU4060	2.100	0.345	1.199
AU3070	2.111	0.344	1.197
AU2080	1.993	0.320	1.194
AU1090	1.985	0.325	1.199
U100	1.979	0.323	1.198



도11. 비중 측정 그래프

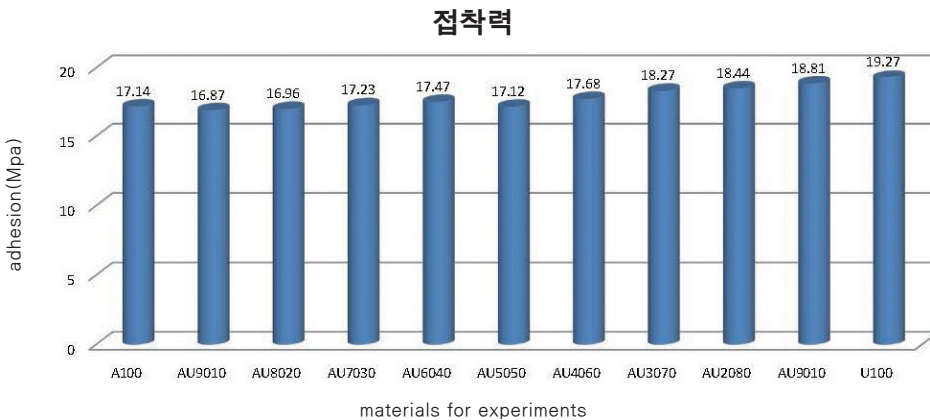
5. 접착력

접착력 측정 결과, 대조군으로 선택한 순간접착제 (Loctite 401®)의 접착력이 18.33MPa이다. 실험 재료 중에 아크릴계 광경화성 수지 A100의 접착력이 17.14 MPa로 가장 약하고 U100이 19.2 7MPa로 가장 강하다(표5, 도12). SECURE CP-7321®의 혼합 양이 많을수록 접착력이 강해지는 경향이 있으며 70% 이상이 혼합될 때 17 MPa이상의 접착력을 나타내었다. 그러나 전체의 측정값이 오차 범위 (± 2 MPa)에

있어 대조군인 순간접착제의 접착력과 큰 차이를 보이지 않는다.

표5. 접착력 측정결과

복원재료	접착력	측정회차			접착력(MPa)
		1st	2nd	3rd	
A100		16.72	16.76	17.94	17.14
AU9010		16.86	16.90	16.85	16.87
AU8020		16.94	16.95	17.00	16.96
AU7030		17.15	17.19	17.34	17.23
AU6040		17.40	17.42	17.60	17.47
AU5050		17.14	17.06	17.17	17.12
AU4060		17.44	17.73	17.87	17.68
AU3070		18.10	18.24	18.37	18.27
AU2080		18.44	18.47	18.40	18.44
AU1090		18.65	18.77	19.02	18.81
U100		19.19	19.28	19.34	19.27



도12. 접착력 측정 그래프

6. 황변도

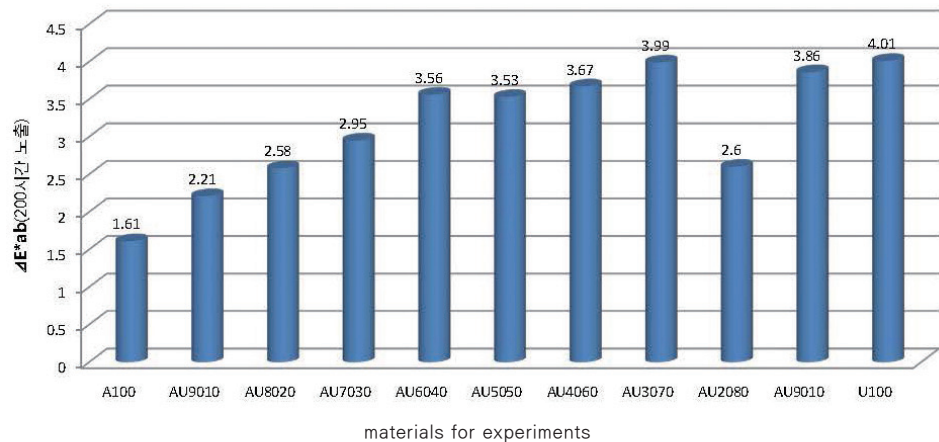
황변도 측정값은 자외선에 180시간 경과 시까지도 ΔE^*ab 값의 변화는 1 ~ 2 정도로 미약하게 변화하고 200시간 노출 후 부터 ΔE^*ab 값이 상대적으로 급격하게 변화하지만 유리 복원 재료로 무리 없는 수준이라고 판단한다. 200시간 노출 후 두 가지 수지의 혼합 비율에 따라서 불규칙한 변화를 보이며 아크릴계 수지가 단독으로 쓰일 때 변화 수치가 1.61로서 가장 황변에 강하고, 우레탄 수지가 단독으로 쓰일 때 4.01로서 가장 변화가 크다(표6, 도13). 에폭시 수지 등의 다른 일반적인 문화재 복원재료의

ΔE^*ab 값이 자외선 노출 96 시간 경과 이후 7.8 ~ 27.09 정도임을 감안하면 혼합 재료들은 황변이 잘되지 않아 유리 복원 재료로 적합하다⁴⁾.

표6. 황변도 측정결과

복원 재료 노출 시간	ΔE^*ab										
	A 100	AU 9010	AU 8020	AU 7030	AU 6040	AU 5050	AU 4060	AU 3070	AU 2080	AU 9010	U 100
0	10.51	10.86	10.99	10.89	10.99	11.73	11.54	11.76	12.40	12.79	13.59
2	10.05	10.23	10.03	10.16	9.5	9.85	10.71	10.45	12.03	12.23	13.05
4	10.04	9.95	9.97	9.41	9.15	9.45	10.55	9.94	11.75	12.27	12.61
6	9.98	10.43	10.06	10.04	9.61	10.18	11.12	10.82	12.52	12.87	13.56
8	9.97	10.14	9.92	9.89	9.56	9.47	11.03	10.46	12.54	13.08	13.41
10	10.90	10.63	9.80	9.82	9.29	9.87	10.88	10.57	12.29	12.20	12.86
12	9.74	10.14	9.70	9.74	8.60	9.06	10.39	10.14	11.88	12.26	12.72
24	9.52	9.29	9.53	9.16	8.88	9.21	10.32	10.64	12.67	12.69	14.34
48	9.54	9.59	9.47	9.49	9.17	9.59	11.41	11.06	13.27	13.28	14.01
96	9.32	9.75	9.98	9.84	10.02	10.08	11.10	10.92	13.05	13.05	13.60
120	10.78	10.89	9.81	10.28	10.23	10.48	10.06	9.50	11.39	10.92	12.52
140	9.83	9.86	9.85	9.47	9.51	9.56	9.22	9.41	11.54	12.35	12.81
160	9.87	9.21	9.05	8.01	7.23	8.42	8.53	7.95	10.06	10.74	10.95
180	9.51	9.45	9.08	8.53	8.92	9.20	9.33	8.50	10.51	10.46	11.55
ΔE^*ab	1	1.4	1.91	2.36	2.7	2.53	2.21	3.26	1.89	2.33	2.04
200	8.9	8.65	8.41	7.94	7.43	8.2	7.87	7.77	9.80	8.93	9.58
ΔE^*ab	1.61	2.21	2.58	2.95	3.56	3.53	3.67	3.99	2.6	3.86	4.01

황변도



도13. 황변도 측정결과

이상의 유리제 문화재의 복원 재료로 사용하기 위한 혼합재료의 물성실험 결과를 종합하여 비교하면, 굴절률이나 비중은 혼합 재료 11종 모두가 실제 유리의 굴절률과 유사하여 투명한 유리를 복원하기에 적합하고 실제 유리의 무게보다 가벼워 복원 재료로 적합하다. 접착력도 대조군인 순간접착제 (Loctite 401®)의 접착력 (18.33)과 큰 차이가 없을 만큼 접착력이 좋다. 황변도에 있어서도 11종 모두 사용 가능한 범위이지만 A100과 AU9010 시편이 가장 황변에 강하였다. 강도 면에서는 표면 경도와 압축 강도를 모두 고려했을 때 A100은 너무 강하고 유연성이 없어 제외했다. 결국, 이번실험에서는 AU9010, AU8020시편의 강도가 복원된 문화재의 지속적인 형태 유지에 유리하다.

IV. 문화재 복원 사례

이번 물성 실험을 통하여 유리 복원 재료로써 안정성이 입증된 아크릴계 광경화성 수지 FLGPCL04 Clear®와 우레탄계 광경화성 수지인 SECURE CP-7321®를 9 : 1로 혼합한 재료를 선택하여 유리잔(황북519) 보존 처리에 사용하였다.

이 유리잔은 경주 황남대총 98호분 북분에서 출토된 것으로 출토 이후 결실부를 복원하지 않고 접합처리만 한 채 전시되어 왔다(도14)[5]. 이후 최근에 접착제가 약화되어 자연적으로 일부 편들의 접착부가 느슨해지면서 해체되어 이번에 재 보존 처리하였다(도15, 16).

최초 접합 때 사용되었던 접합제는 셀룰로우스계 (CEMEDINE-C®)로 추정되며 유리잔의 1/3 가량이 깨지고 없어진 상태였다. 구연부의 두께는 3 ~ 4 mm로 두꺼우며 동체 부분의 두께는 2 ~ 3 mm로 불규칙하다. 구연부는 타원형이며 끝이 안쪽으로 들어가는 형태로 말단을 끊어서 처리하였다. 유리잔 표면을 얇게 잘라내어 3단으로 2줄씩의 거북 등껍질 무늬를 장식하였는데 마찰로 인한 표면 손상이 여러 곳에 있었다.

구갑형의 커트 모양은 이 유리잔이 4C경에 지중해 동안 지역에서 제작된 초기 사시안 유리임을 말해주며 실크로드를 통하여 전해진 것으로 추정할 수 있다[5].

보존 처리 순서는 우선, 유기용제에 침적해 자연 해체된 편들 사이에 남아있는 접착제와 이물질을 제거하였다. 해체된 편을 자연 건조시킨 후 Paraloid B-72® (in Ethanol) 2 ~ 5%를 접착제로 사용하였는데 잘 고정되지 않는 부분은 AU9010로 접합하였다. 결실부를 복원하기 위해 유리잔의 내부에 주석박지로 만든 간단한 내 틀을 대고 복원 재료 (AU9010)를 조금씩 굳혀 형태를 만들었다(도17). 이 혼합재료는 순

간 경화하고 물리적으로 형태를 다듬는 것이 가능한 정도의 강도이므로 완전한 밀폐형 틀이 아니더라도 작업상의 어려움은 없었다.

유리잔 표면에 있는 거북등 껍질 무늬를 표현하기 위해 혼합재료가 아직 액상일 때 표면에 투명한 실험용 필름 (Parafilm, Menasha, WI, part no. PM-996)을 대고 곡면을 따라 눌러 주면서 경화시켰다. 복원 재료에 따로 안료를 혼합하지 않고 투명한 채로 사용하였다.



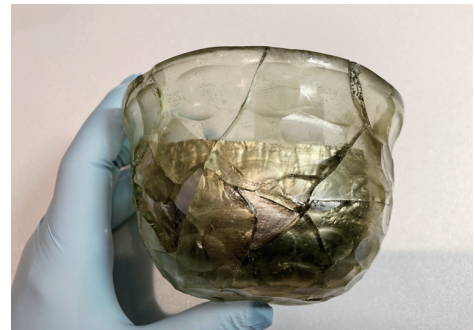
도14. 유리잔의 최초 접합 상태



도15. 유리잔의 자연 해체 상태



도16. 유리잔의 복원 후 상태



도17. 주석박지를 이용한 틀

V. 결론

본 논문은 아크릴계 광경화성 수지 (FLGPCL04 Clear®)와 우레탄계 광경화성 수지 (SECURE CP-732®)가 유리제 문화재 복원에 안전하게 사용될 수 있도록 물성실험을 실시하였고, 이를 바탕으로 선정된 혼합재료 (AU9010)를 황남대총 북분 출토 유리잔의 보존처리 복원재료로 선정하여 적용하였다.

유리제 유물의 보존처리에 가장 중요한 투명도 및 형태 유지력, 내황변성을 보장하기 위해 아크릴계 광경화성 수지를 기준으로 우레탄계 광경화성 수지를 혼합하여 실험하였다. 그 결과, 우레탄계 광경화성 수지의 혼합 비율이 20% 이하일 때 가장 적합한 물성값을 나타내었다.

이 실험 결과를 바탕으로 유리잔의 실제 보존처리 과정에서 밝혀진 혼합재료의 장점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 광경화성 수지의 특성 중 하나인 빠른 경화시간 덕분에 수지가 액상형임에도 불구하고 접착제 및 메움제로 사용할 수 있다. 또한 광경화성 수지의 접착력도 일반 순간접착제와 유사하여 문화재 복원 후의 형태 유지에 유리하다.

둘째, 혼합재료 자체가 액상형이므로 흐름을 방지하기 위한 간단한 보조 틀이 필요하지만 복원제로 사용상의 문제점은 발생하지 않는다. 결실된 형태가 복잡하더라도 정밀복원이 가능하며, 혼합비율을 조정하면 원하는 강도를 구현할 수 있고 덧붙임과 절삭이 가능하여 성형 및 정형에 용이하다.

셋째, 혼합재료의 굴절률이 유리의 굴절률과 거의 유사하므로 접착 시 유리 파단면의 시각적인 노출을 최소한으로 줄일 수 있어 복원부분의 이질감을 최소화시킨다.

넷째, 문화재 보존처리를 위한 재료로써 충족해야할 요건인 내황변성 및 가역성, 접합력이 동시에 충족되므로 기존에 사용되고 있는 아크릴계 접착제인 Paraloid B-72® 등과 같은 다른 종류의 복원재료와 함께 사용할 수 있다.

그러므로 광경화성 수지를 접합제, 메움제, 복원제 등으로 유리제 문화재 보존처리에 도입하는 것은 여러 가지 면에서 유용하다. 본 논문은 기존에 상업적으로 사용되고 있는 제품을 보존처리 재료로 도입하여 최적화 시키는 작업의 일환으로써 작업성의 한계성 및 기존 복원재료의 문제점을 최소화 시킬 수 있는 계기가 되었다. 차후, 유리 문화재 뿐만 아니라 도자기 문화재의 복원에도 일정부분 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Stephen P. Koob, The use of paraloid b-72 as an adhesive: Its application for archaeological ceramics and other materials, *Studies in Conservation* **31**, p.7-14, (1986).
2. 황현성 외, 국보 제193호 봉수형유리병의 재보존처리에 사용할 복원재료 선정실험, *박물관보존과학* **15**, p.30-34, (2014).
3. Sandra Davison, *Conservation and Restoration of Glass*, p.14, Butterworth-Heinemann, Oxford, (2003).
4. 위광철, 도자기·토기 복원용 저항변·저수축 가역수지 개발 II, *국립문화재연구소 문화유산융복합연구(R&D)*, p.120-122, (2014).
5. 이인숙, *한국의 고대 유리*, p.33-34, 도서출판 창문, 서울, p.34-35, (1993).