

도자기 복원용 저황변 Epoxy 수지의 개발 및 물성에 대한 연구

김우현 | 정다솜* | 배진수 | 지주연* | 위광철*¹
(재)중앙문화재연구원, *한서대학교 문화재보존과학연구소

A Study on the Development and Physical Properties of Low Yellowing Epoxy for Ceramic Preservation

Woo Hyun Kim | Da Som Cheong* | Jin Soo Bae | Joo Yeon Jee* | Koang Chul Wi*¹

JungAng Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-500, Korea

*The Research of Conservation Science for Cultural Heritage, Hanseo University, Seosan, 356-706, Korea

¹Corresponding Author: Kcwi@hanseo.ac.kr, +82-41-660-1043

초록 도자기 복원용으로 가장 많이 사용되고 있는 에폭시 복원제는 높은 접착력, 저수축, 고강도 등의 조건을 충족시키지만 에폭시 수지(Epoxy resin) 자체의 황변 현상으로 인하여 복원 후 시간이 경과함에 따라 복원부의 색이 변하는 단점을 지니고 있다. 본 연구에서는 도자기 복원용으로 사용되고 있는 에폭시 수지(Epoxy resin)의 문제점인 황변 현상을 대폭 줄인 저황변 및 접착력과 고강도를 가진 복원제를 개발하고자 하였다. 기존 에폭시 재료 중에 도자기 복원 재료로 많이 사용되고 있는 EPO-TEK301[®], L30[®], XTR-311[®] 등과 비교하여 접착력과 강도 등의 물성을 가지면서 황변성이 거의 없는 복원제를 개발하고자 하였다. 접착력은 개발된 수지가 2.51 MPa를 나타내도록 하여, 최고의 접착력을 나타내는 XTR-311[®] 2.30 MPa를 능가하도록 하였으며 1.21 MPa를 나타내는 EPO-TEK301[®]이나 1.81 MPa를 나타내는 L30[®]보다 약 2 배의 접착력을 나타내도록 하였다. 특히 에폭시 수지(Epoxy resin)가 지니고 있는 황변 현상 실험 결과 ΔE^*_{ab} 색상 변화량의 변화 값이 10 ~ 25 정도의 변화량을 나타내고 있지만 개발된 저황변 에폭시 수지(Epoxy resin)의 경우 원액 기준 ΔE^*_{ab} 색상 변화 값이 8.3으로 기존의 재료들 보다 1 ~ 3 배 정도 황변 현상을 줄여 황변 현상으로 인한 색상의 변화에 따른 이질감에 대한 문제점을 해결하였다.

중심어: 저황변, 색상 변화, 황변 현상, 접착력, 고강도

ABSTRACT The studies on ceramic preservation have been conducted widely in various institutions such as national/public museums and research labs as well as the excavation institutions and university museums. Although there are some differences in preservation methodologies and materials used across the institutions, the variation is minimal. Specifically, epoxy resin is mostly used for ceramic restoration for its high cohesiveness, low contraction and high strength although there are some variations in for Ceramic Preservation. The synthetic resin type used according to the type of damage in the ceramic. However, the yellowing or the change of color across the time after the restoration is the weakness of epoxy resin. In this study, we aim to develop a material which minimizes this yellowing of epoxy resin while enhancing its cohesiveness and strength as well as other physical properties. We made the new material to have similar properties with those used widely for the ceramic restoration, such as EPO-TEK301[®], L30[®], XTR-311[®] through comparative

experiments. The cohesiveness of the newly developed resin was improved to 2.51(MPa), which is similar level of XTR-311[®] of the 2.30(MPa) but about 2x higher than the other resins EPO-TEK301[®], L30[®] (1.21 and 1.81 (MPa), respectively). Especially, the experiment on yellowing shows that the existing resins show the range of color change at 10~25(ΔE^*ab), but the new low yellowing epoxy resin has the color change value at 8.3 (ΔE^*ab), the value lowering the yellowing effect to 1 to 3 times of the existing epoxy resin, thereby solving the issue of generating sense of differences due to change of color or yellowing.

Key Words: low yellowing, change of color, yellowing effect, cohesiveness, high strength

1. 서 론

우리나라에서 도자기와 토기의 수리가 언제부터 시작되었는지 시기를 정확히 알 수는 없으며 기록 자체도 많은 양이 아니어서 수리 행위가 언제부터 일반적으로 행하여졌던 것인지에 대해서는 알기가 어렵다. 그러나 1969년 문화재관리국 내에 문화재 연구실이 설치되고, 국립박물관에서 1975년 도자기와 토기의 보존 처리를 위해 대만 국립 고궁 박물관으로 담당자를 파견하여 이에 대한 기술을 습득하면서 시작하여, 현재에는 국립중앙박물관, 국립문화재연구소, 서울역사박물관 등의 국공립 박물관과 연구소뿐만 아니라 발굴 기관, 대학 박물관 등에서도 토기의 복원 수리가 활발히 이루어지고 있다(Lee, 2009).

이들 기관에서 이루어지는 보존 처리 방법과 사용되는 재료들은 약간의 차이는 있지만 대부분이 유사한 방법과 복원 재료를 사용하고 있다. 일반적인 보존 처리 방법으로는 예비조사, 표면 이물질 제거, 접합, 복원, 색 맞춤의 과정으로 이루어지고 있으며, 일부 유물의 상태에 따라 강화 처리를 실시하는 경우도 있다.

도자기 보존처리에 사용되고 있는 재료로는 크게 접착제, 복원제, 유약층 복원제 등 3 부분으로 나누어 사용되고 있다. 접착제로는 저점도의 접착력이 우수한 Cyanoacrylate 계통의 순간 접착제인 Loctite 401[®]을 가장 많이 사용하고 있으며 일부 Cellulose 계통 Cemedine-C[®]를 사용하기도 한다. Cemedine-C[®]는 가역성이 우수하며 일액형으로 사용이 간편한 장점으로 인해 토기 접착제로 많이 사용되고 있으나 약 48시간의 긴 경화 시간 뿐만 아니라 약 75% 이상의 수축과 약한 접착력으로 인해 보존 처리 후의 재박락이 발생하는 문제가 있다. 또한 접착면이 작고 많은 하중을 받아 강력한 접착력의 필요한 경우 Epoxy 계통의 Araldite Rapid Type[®]을 사용하기도 한다.

일반적인 복원 재료로는 강도가 높은 Epoxy 계통의

EPO-TEK 301[®], L-30[®], L-40[®], Araldite AW106[®], Araldite AY103[®] 등이 많이 사용되고 있으며 이 외에도 Original sculpey, Quick Wood 등을 사용한다(Lee and Wi, 2010). 이들 수지의 장점은 경화 시 반응 수축이 매우 작고 휘발물이 발생하지 않으며 경화 후 수지의 전기적, 기계적 성질이 우수할 뿐만 아니라 치수 안정성이 매우 뛰어나고 접착성, 수축률, 가공성이 우수하며 내수성, 내약품성이 우수하고 가소성과 내마모성이 우수한 성질을 지니고 있다(Han, et al., 2010). 특히 각종의 충전제 (무기, 유기, 금속 분말, 모래, Talc, 안료)들을 다량 첨가할 수 있으며, 금속, 목재, 시멘트, 유리, 플라스틱 등 거의 모든 것에 접착시킬 수가 있어 이종 물질 간의 접착에 사용할 수 있다. 저장 안정성이 높고 경화제를 혼합하지 않으면 기후, 온도에 관계없이 장기간의 보관이 가능하며 다양한 물성의 변화를 요구할 경우, 그 물성에 알맞은 적용성까지 지니고 있어 용도에 맞게 제조하여 사용할 수 있는 장점을 지니고 있다(Kim, 2000). 에폭시 수지의 단점은 수지 특성상 황변 현상(Yellowing)이 일어나고, 결정성 폴리머나 극성이 없는 PE, PP, Silicon, Acryl 등의 비극성 폴리머에는 접착성이 나타나지 않는다는 단점을 갖고 있으며 사용 환경의 온도에 따라서 경화 시간이 변화한다는 점과 비가역성, 일반적으로 이액형을 사용한다는 단점을 지니고 있다(Kim, 2008). 특히 높은 강도로 인한 성형의 어려움과 작업 시에 도구나 장갑에 묻어 유물의 표면을 오염시키는 등의 문제도 나타내고 있다. 이런 문제점 중 비가역성 및 황변 현상으로 인한 문제는 최근에 발생한 것이 아니라 장기간 지속되어 온 문제점으로 이를 개선하기 위한 재료의 개발이 필요한 실정이다(Nam, 2012).

이처럼 복원 재료로 많이 사용되고 있는 Epoxy 수지의 황변현상으로 인한 문제점은 보존처리를 직접 담당하는 실무자들뿐만 아니라 연구자들에게도 개선이 필요한 과제로 남아 있는 실정이어서 본 논문에서는 현재 무황변 에폭시 수지로 알려져서 사용하고 있는 XTR-311[®]을 대상으로

고접착성, 작업의 편리성을 가진 저항변 에폭시를 개발하고 그 특성에 대하여 연구하고자 하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

제조된 저항변형 Epoxy 수지의 주제인 Diglycidyl ether of Bisphenol A 형 등 6 종은 국도화학과 Aldrich사의 약품을 사용하였고, 경화제는 Fatty acids C18-unsat dimers 등의 11 종은 Aldrich사와 금호석유화학(주) 약품을 사용하였으며, 이외 사용된 시약들은 분석급 시약을 사용하였다. 1 차적으로 개발된 Epoxy 수지를 기준으로 충전제 함량별로 물성 특성을 알아보기 위해 페놀 계의 백색 Micro-balloon을 사용하였다. 본 연구에서 제조한 저항변 에폭시와 비교하기 위한 Epoxy 복원제는 HUNTSMAN사의 Araldite AW106+HV953U[®] (U.S.A), EPOXY TECHNOLOGY, INC사의 EPO-TEK 301[®] (U.S.A), 풀림산업의 L30[®] (Korea), Hisglassworks사의 XTR-311[®] (U.S.A)이었다.

2.2. Epoxy 합성

저항변 Epoxy는 주제와 경화제로 구성된 이액형 수지로 배합 비율은 주제 : 경화제가 4 : 1 (wt%)로 하여 작업이 용이하도록 하였다. 제조 방법은 저항변 Epoxy 수지와 첨가제들을 반응기에서 Impeller를 이용하여 300~400 rpm의 속도로 60℃에서 1 시간 동안 혼합하였으며 일부 반응성 희석제는 제조된 sample의 온도 의존성과 작업성을 고려하면서 첨가하여 제조하였다. 경화제 역시 같은 반응기에서 impeller를 이용하여 500 ~ 700 rpm의 속도로 50℃ 이하의 온도에서 3 시간 이상 혼합하여 제조하였다. 제조된 저항변 Epoxy 수지는 첨가제 없이 Epoxy 자체만을 사용하였으며, 차후 환경에 따라 칩소재, 충전제의 첨가가 가능하도록 제조하였다.

2.3. 물성측정 방법

2.3.1. 접착력 측정

접착력 측정은 DeFelsko사의 코팅 접착력 테스트기 PosiTest AT-A Automatic을 사용하여 측정하였으며, 실험 방법으로는 KS M ISO 4624 (도료와 바니시-부착 박리 실험)

의 규정에 의거하였다. 실험 재료인 합성수지가 완전히 경화될 수 있도록 72 시간 동안 경화하였으며 Dolly가 정착된 상태에서 인장기를 사용하여 표면과 직각이 되도록 위치한 후 압력을 이용해 Dolly에 인장하는 방법으로, 시험편과 Dolly가 분리될 때의 단위 면적당 MPa를 측정하였다. 각 실험 재료별로 총 5 회에 걸쳐 측정하였으며, 측정 최소값과 최대값을 제외한 평균값을 산출하였다.

2.3.2. 마모율 시험

본 실험은 KS 규격 (KS M ISO 5470-1)에 근거하여 실험을 진행하였으며, 시편 제작은 실리콘 틀을 이용하여 지름 10 cm 높이 5 mm 크기의 원형 시편으로 제작하였다. 제작된 원형 틀에 각각의 시험 재료를 72 시간 이상 상온에서 경화시켰으며 시편이 마모시험기에 고정될 수 있도록 중앙에 지름 6 mm 정도의 구멍을 투공하였다. 실험 기기는 테이머 마모시험기로 오선과학사의 COAD.101를 사용하였으며, 테스트 조건은 속도 70 rpm, 압력 1000 g, 회전수 500 회, 마모자 Grinding wheel×2를 이용하였다. 실험은 총 5 회에 걸쳐 측정하였으며, 마모 실험 전과 후의 중량을 측정하여 %비율로 산출하여 평균화하였다(Bae *et al.*, 2014).

2.3.3. 경화 반응 시간 및 온도 측정

Epoxy 수지의 발열 반응 특성상 기준 재료들과 개발된 저항변 Epoxy 수지에 Micro-balloon을 충전제로 첨가하여 충전제의 양에 따라 발생하는 열과 반응 시간에 따른 반응 온도를 측정하였다. 또한 최고 온도점까지 도달하는 시간을 측정하여 그 시간과 온도를 표기하였다. 반응 온도 측정은 Intell Instruments[™] 社の SMART SENSOR AR852B+를 사용하였으며, 역시 5 회에 걸쳐 온도를 측정하고 최저와 최고치를 제외한 측정치의 평균값을 산출하였다(Kim. 2005).

2.3.4. 인장 강도 시험

인장 강도 시험은 KS M 3006 (플라스틱의 인장성 측정 방법)에서 규정하는 아령형 1 호 시험편으로 제작하여 시행하였다. 측정 방법은 시험기 크로스헤드의 이동 속도 5 mm/min으로 하중을 가하고, 시험편이 파괴되었을 때까지의 최대 하중을 측정하였다. 이때 시편의 최대 하중이 시험기 용량의 15 ~ 85%의 범위에 포함될 수 있는 DAEYEONG PRECISION DYUL-2 재료 만능 시험 기기를 사용하였다. 측정 방법은 아령형 1 호 시험편의 양끝을 클립에 물린 후 시험편의 중간부가 파단되는 시편의 측정치를 항복 강도

로 측정하였다.

2.3.5. 색도 측정

색도 측정은 자외선 조사 전과 후의 측정값을 이용하였다. 자외선 조사 실험은 KS M 5982 (도료의 촉진 내후성 시험 방법 - 형광 UV 응축 방식)를 참고하여 제작된 자외선 시험기를 사용하였다. 시간기록계를 통하여 총 시험 시간과 총 U.V. 노출 시간을 기록하였으며 온도 측정은 75 × 100 mm의 두께 2.5 mm인 검은색 알루미늄 판에 붙어 있는 온도계를 사용하여 측정하였다. 자외선 노출 시간은 상온에서 각각 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, 72, 96 시간이었으며, 자외선 노출 전과 후 시료의 색도 측정을 통한 변색 정도를 분광측색계 (Minolta, CM-2600d, Japan)를 사용하여 조사 전후의 시편 내의 동일한 5 곳에서 측정하였다. 색상 변화값은 CIE L*, a*, b* 표색법으로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 저항변 Epoxy 수지의 최종 생성물

저항변 Epoxy 수지의 최종 생성물은 기존의 상품들과 물성 면에서 큰 차이가 없거나 물성이 상회하도록 제조하였으며 제조된 저항변 Epoxy 수지의 조성은 (Table 1)과 (Figure 1)에 나타내었다.

3.2. 저항변 Epoxy 수지 물성 실험 결과

저항변 Epoxy 수지의 물성 실험은 원액 및 Micro-balloon의 함량 (wt%)을 MB 10wt%, MB 20wt%, MB 30wt%,

MB 40wt%로 5 종류의 시편을 제작하여 실험하였다. 실험 결과 원액 대비 Micro-balloon의 함량 (wt%)이 높아짐에 따라 물성 값의 변화가 발생하는 것을 확인할 수 있었다 (Table 2). 접착력은 원액 상태에서 충전제의 비율이 40wt%로 높아짐에 따라 2.43 ~ 0.62 MPa로 약 2 배 정도 접착력이 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며, MB 30, 40wt%에서는 근소한 접착력을 유지하고 있어 충전제 함량에 대한 사용 범위를 MB 10 ~ 20wt% 내에서 사용하는 것이 유용

Table 1. Composition of low yellowing epoxy restoration material.

Resin
- Diglycidyl ether of bisphenol A 55%
- Glycerol polyglycidyl ether 15%
- Trimethylol propane polyglycidylether 7%
- Butadiene acrylonitrile copolymer (CTBN) 3%
- Polypropyleneglycoldiglycidyl ether 20%
- Epichlorohydrin < 1pp
Hardener
- 3,3-[oxybis(2,1-ethanedioxy)]bis-1 propanamine 7.5%
- Fatty acids C18-unsat dimers 25%
- 1,3 benzene dimethamine 8%
- Poly(oxy(methyl-1,2-ethanediyl) 8%
- Aliphatic amine compounds 17.5%
- 2,4,6-tri(dimethylamino)methyl phenol 2%
- Benzyl alcohol 6.6%
- Isophorone diamine 18.4%
- Polypropylene glycol diglycidylether 5%

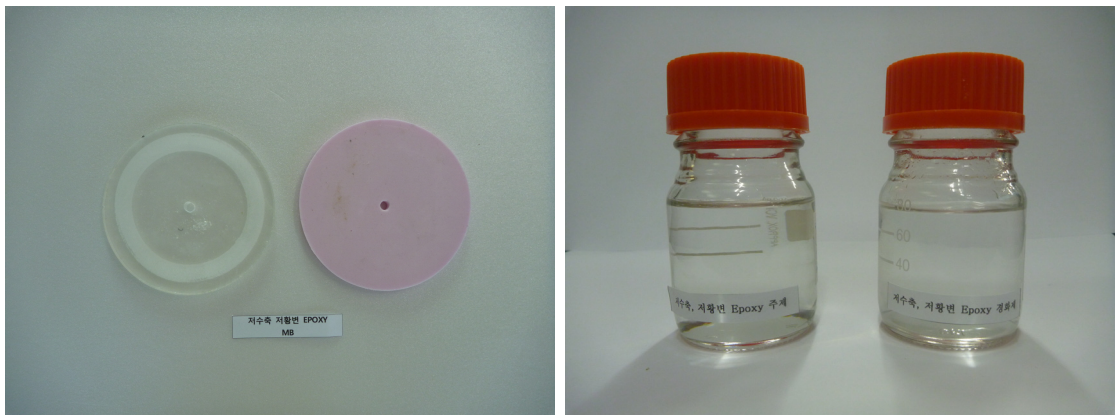


Figure 1. Newly developed low yellowing epoxy resin and hardener.

Table 2. Results of property test of low yellowing epoxy restoration material.

Sample	Resin only	MB10 (wt%)	MB20 (wt%)	MB30 (wt%)	MB40 (wt%)
Adhesion (MPa)	2.43	2.32	1.06	0.84	0.62
Abrasion rate (%)	0.16	0.22	0.22	0.51	0.51
Hardening time(min)	103	70	70	40	40
Tensile strength (kg/cm ²)	152	85.6	27.3	25.6	19.6
ΔE^*_{ab}	8.3	21.64	25.17	25.19	28.26
Surface hardness	79	69	62	57	50

Table 3. Variation of surface color (b*, ΔE^*_{ab}) of low yellowing epoxy according to UV exposure time.

	Time (h)	L*	a*	b*	ΔE^*_{ab}
Resin only	0	80.29	-0.21	-0.66	2.07
	24	78.41	-0.98	5.26	9.08
	48	80.20	-1.37	6.64	9.32
	72	77.65	-1.30	7.15	9.69
	96	77.42	-1.36	7.74	10.37
	Variation	-2.87	-1.15	8.4	8.3
MB 10wt%	0	94.50	-0.09	1.90	1.24
	24	89.81	-0.91	19.20	17.12
	48	89.45	-0.97	22.20	21.25
	72	89.56	-0.97	22.82	21.84
	96	89.51	-0.96	23.89	22.88
	Variation	-4.99	-0.87	21.99	21.64
MB 20wt%	0	95.91	-0.07	1.69	0.47
	24	92.97	-1.16	20.91	19.30
	48	92.56	-1.21	24.15	22.06
	72	92.10	-1.11	25.32	23.50
	96	92.06	-1.13	26.60	25.64
	Variation	-3.85	-1.06	24.91	25.17
MB 30wt%	0	95.17	-0.11	1.71	1.17
	24	93.58	-1.22	21.79	19.97
	48	93.31	-1.20	24.15	22.80
	72	92.87	-1.15	26.38	25.08
	96	92.85	-1.21	27.71	26.36
	Variation	-2.32	-1.1	26	25.19
MB 40wt%	0	95.78	0.01	1.37	0.72
	24	92.37	-1.24	23.40	22.37
	48	92.75	-1.21	25.17	23.64
	72	90.84	-1.11	28.93	27.06
	96	91.29	-1.06	30.51	28.98
	Variation	-4.49	-1.05	29.14	25.26

한 것으로 보인다. 경화 반응 시간은 원액의 상태에서 MB의 함량이 높아짐에 따라 경화 반응 시간이 짧아지는 것을 확인할 수 있었다. 전체적으로 경화 반응 시간은 약 10 ~ 40 min으로 현장 적용 중 성형 작업 시에 긴 작업 시간으로

인한 불편함은 해소할 수 있으리라 판단된다.

황변 현상의 측정을 위하여 실험 시편의 열화 전 ΔE^*_{ab} 값과 96 시간 열화 후 ΔE^*_{ab} 값에 색차값을 비교하였다 (Table 3). L*값을 볼 때, 전체적으로 명도가 어두워짐을 확

Table 4. Compare low yellowing Epoxy resin.

Sample	Adhesion (MPa)	Abrasion rate (%)	Hardening time (min.)	Tensile strength (kg/cm ²)	△E*ab (96h)	Surface hardness (Hs)
AW106+HV953U [®]	5.87	0.26	130	159	10.53	75.66
EPO-TEK 301 [®]	1.21	0.41	150	107	17.26	80.31
L30 [®]	1.81	0.39	90	112	26.48	81.33
XTR-311 [®]	2.30	0.40	120	107	22.21	73.33
Developed Epoxy	2.43	0.16	103	152	8.3	79.3

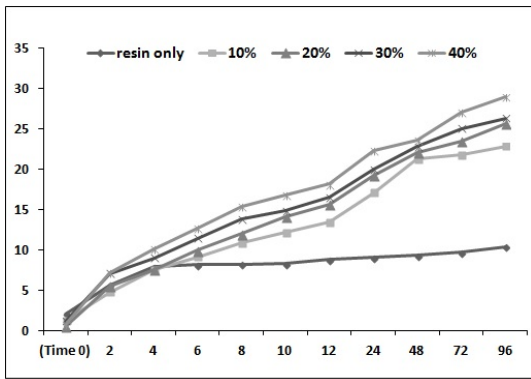


Figure 2. Variation of surface color (△E*ab) of low yellowing epoxy according to UV exposure time.

인할 수 있었으며 -a*값을 지니고 있어 Green의 경향에 가까게 변색하는 것을 알 수 있었다. 열화 전과 열화 후 원액의 b* 변화 값은 8.4로 변화 값이 미비하였으나 백색의 Micro-balloon의 함량이 높을수록 색 변화 값이 크게 나타났다. 이는 페놀 수지인 Micro-balloon 영향일 가능성으로 보이며, 충전제와 색상에 따른 황변 현상의 실험이 추가적으로 필요한 것으로 판단된다. 특히 색상 변화 값이 가장 많이 변한 시간은 Figure 2에 나타나듯이 열화 후 2 시간 후 반응을 시작하여 24 시간 내에 가장 많은 색 변화가 이루어졌으며, 이후 시간이 경과함에 따라 색 변화량이 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

3.3. 기존 재료와의 물성 실험 결과

개발된 저황변 Epoxy 수지의 원액과 기존에 사용되고 있는 도자기 복원 재료로 주로 사용되고 있는 4종의 LIQUID 상태의 대표적인 상품인 Araldite AW106 + HV953U[®], EPO-TEK 301[®], L30[®], XTR-311[®]을 비교 분석하였다.

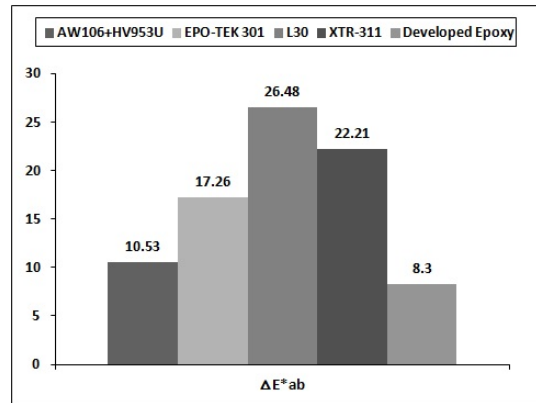


Figure 3. Compare low yellowing Epoxy resin.

접착력은 개발된 수지가 2.51 MPa로 XTR-311[®] 2.30 MPa와 유사하나 EPO-TEK301[®], L30[®]이 1.21, 1.81 MPa로 약 2 배의 접착력을 증가시켰다. 특히 에폭시 수지가 지니고 있는 황변 현상 실험 결과 △E*ab 색상 변화량의 변화 값이 10 ~ 25 정도의 변화량을 나타내고 있지만 개발된 저황변 Epoxy 수지의 경우 원액 기준 △E*ab 색상 변화 값이 8.3으로 기존의 복원 재료로 사용되고 있는 Epoxy 수지보다 1 ~ 3배 정도 황변 현상을 줄여 색상 변화로 인한 이질감 발생에 대한 문제점을 일부 해결할 수 있었다(Figure 3). 전체적으로 실험 결과 Table 4에 나타나듯이 기존 재료와의 비교 값에서도 큰 차이를 확인할 수 없는 결과를 얻을 수 있었으며, 기존에 사용되고 있는 liquid 상태의 수지에 비해 △E*ab 변화량과 접착력이 우수하며, 경화 시간 또한 단축되어 작업의 편리성을 증진시켰다. 경도, 인장 강도, 마모율은 기존 재료에 비해 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 다양한 충전제 및 안료의 사용이 가능하도록 제조하여 다양한 분야에 적용이 가능할 것으로 보인다.

4. 결 론

현재 사용되고 있는 도자기 복원 재료들을 수급, 이를 분석하여 저황변 Epoxy polymer를 합성 제조하고, 이에 대한 적용 가능성을 연구하였다. 합성된 저황변 Epoxy polymer는 기존 도자기 복원 재료로 사용 중인 다양한 polymer들의 물성과 비교되었으며 이 결과들을 통하여 기존에 사용되고 있는 polymer들의 최고 물성에 준하도록 제조하였다. 제조된 저황변 Epoxy polymer들은 KS 시험법을 토대로 하여 접착 강도, 마모도, 경화 시간, 인장 강도, 자외선 노출 하에서 나타나는 ΔE^*ab , 경도 등의 물성 측정을 통하여 비교하였다.

저황변 Epoxy 수지는 이액형 (주제 + 경화제)의 liquid 형태로 합성하였다. 이들의 경우 기 발표된 논문들에서도 나타났듯이 DCM 혹은 DMF에서 팽윤과 연화에 의해 제거 가능성을 나타내거나, 150°C 정도에서 이들의 접착력을 약화시킬 수 있다는 이론 하에 가역성을 제외한 나머지 물질들을 향상시키는 조성으로 합성 제조하였다. 개발된 저황변 에폭시 수지는 현재 도자기 복원제로 사용되는 재료 중 무황변 에폭시 복원제로 알려져서 수입되어 사용하고 있는 XTR-311[®]의 물성을 대상으로 합성되었다. 개발된 저황변 에폭시 수지의 접착 강도는 2.43 MPa, 마모율은 0.16%, 경화 반응 시간은 약 103 분, 자외선 노출 96 시간 후의 E^*ab 변화량은 8.3, 경도는 79.3 Hs를 나타내고 있었다. 합성의 주 대상이었던 XTR-311[®]의 접착 강도 2.30 MPa, 마모율 0.40%, 경화 반응 시간 120 분, 자외선 노출 96 시간 후의 E^*ab 변화량 22.21, 경도 73.3 Hs로 물성 측정값을 비교할 때, 마모율과 압축 강도, 경도에서는 작은 차이를 나타내지만 E^*ab 변화량은 거의 3 배의 장점을 나타내도록 제조되었으며 인장 강도에서도 약 2 배를 나타내도록 제조되어 복원 후 재 복원까지의 안정성에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다. 또 이들은 에폭시의 특성 상 다양한 충전제 및 안료의 첨가가 가능하고 작업자의 복원 환경에 맞추어서 경화 속도들을 조절할 수 있도록 제조하여 폭 넓은 적용이 가능할 것으로도 예상된다.

사 사

본 연구는 2013년 국립문화재연구소 문화유산융복합연구(R&D) 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사합니다.

REFERENCES

- Bae, J.S., Cheong, D.S., Kim, W.H., Kang, S.I. and Wi, K.C., 2014, A Study on the Development and the Physical Properties of Epoxy Putty for Earthenware Restoration. *Journal of Conservation Science*. Vol.30, No.1, 103-109. (in Korean With English abstract)
- Han, W.S., Bae, J.S., Park, G.J., Hong, T.K and Wi, K.C., 2010, Study on the Chemically Method of Epoxy Restoration Material in Antic Ceramics and Stabilization of Their Materials. *Journal of Conservation Science*. Vol.26, No.1, 25-32. (in Korean With English abstract)
- Kim, B.Y., 2000, Epoxy resin. *Daekwang serim*, 5-8. (in Korean With English abstract)
- Kim, K.M., 2008, A Study on the Effect of Weathering on Epoxy Polymer for the Movement of Historic Remains. *The Graduate School Hanseo University*, 20-21. (in Korean With English abstract)
- Lee, J.H., and Wi, K.C., 2010, The Study on the Weathering Characteristics about Epoxy Adhesive for the Adhesion and Restoration of Metallic Cultural Assets. *Journal of Conservation Science*, Vol.26, No.1, 61-67. (in Korean With English abstract)
- Lee, S.H., 2009, A Study on the Changes of Conservation Treatment Material of Ceramic. *The Graduate School Traditional Arts Kyonggi University*, 2. (in Korean With English abstract)
- Nam, B.G., Jeong, S.R. and Jang, S.Y., 2012, Study on the Demand Characteristics of Epoxy Resins Applied to the Restoration of Ceramics. *Journal of Adhesion and Interface*, Vol.13, No.4, 171-181. (in Korean With English abstract)