

토기 복원용 Epoxy Putty 개발 및 물성에 관한 연구

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

A study on the development and the physical properties of Epoxy Putty for earthenware restoration

Jin Soo Bae | Da Som Cheong* | Woo Hyun Kim | Seok In Kang* | 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 본 연구는 토·도기 보존 처리과정에 있어서 결손부위를 복원하는 재료의 문제점과 단점 등을 보완한 재료를 개발하고자 하였다. 우선 기존 재료의 문제점으로는 높은 수축률과 낮은 접착력으로 인한 2차 파손의 문제, 심한 황변 현상으로 인한 이질감의 문제, 재료의 비가역성으로 인한 재용해의 문제 및 높은 강도로 인한 가공성의 문제, 작업 과정 중 긴 경화 시간으로 인한 처짐 현상 및 도구나 장갑에 묻어 유물의 표면을 오염시키는 문제 등이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 현재 사용되고 있는 토·도기 복원 재료들 중 Epoxy 수지를 중심으로 종류 및 물성을 파악한 후 개발 목표를 설정하였다. 개발된 Epoxy는 5분 내외에 경화가 이루어지는 토기 복원용 Epoxy Putty이다. 토기 복원 방법에 있어서 Epoxy Putty의 경우 페이스트(Paste) 형태로 빠르게 경화되어 작업의 편리성을 높였으며, 표면 오염 등의 단점을 보완하였다. 또한 Epoxy 원액에 백색의 Micro-balloon을 사용함으로써 Coloring에 용이하고 경량화하도록 하였으며, 저수축 및 가공성이 우수한 복원 재료를 개발하였다.

중심어: 토·도기, 복원 재료, 에폭시 퍼티, 수축률, 가공성

ABSTRACT This study aimed to develop materials to compensate for problems of restoration for lost parts and material problems in the conservation treatment. First, there are several problems with existing materials as follows: secondary damage due to the high shrinkage rate and low adhesive strength, sense of difference due to the severe yellowing, remelting due to irreversibility of materials, processability due to the high strength, sag due to the prolonged setting time in the work process and surface contamination of artifacts due to tools or gloves. In order to solve these problems, this study set developmental goals after understanding the types and physical properties based on epoxy resin among the currently used restoration materials of pottery and earthenware. The developed epoxy resin is epoxy putty, which is cured within 5 minutes, for earthenware restoration. In the earthenware restoration method, the epoxy putty enhanced the workability by quickly curing in paste form and compensated disadvantages such as surface contamination. In addition, the use of white micro-balloon for the epoxy stock solution made coloring easier and weight lighter, and a restoration material with low shrinkage and superior processability was developed.

Key Words: pottery and earthenware, restoration material, epoxy putty, shrinkage strength, processability

Table 1. Composition of Epoxy Putty (Fast Hardening 7).

Epoxy	
. Diglycidyl ether of bisphenol-A	45.5%
. 1,1,1-Trimethylolpropane polyglycidyl ether	27%
. Acrylonitrile/butadienecopolymer (CTBN)	25%
. Epichlorohydrin	< 0.1%
. 3-Glycidoxy propyl trimethoxy silane	2.5%
Resin	
. Mercaptan terminated polymer (Capture 3-800)	88%
. 2,4,6-tri(dimethylamino)methyl phenol	10%
. Triethylene tetramine	2%

1. 서 론

토·도기는 인류가 생활하는데 있어 가장 활용도가 높으며, 실생활에서 가까이 접할 수 있는 도구이다. 과거로부터 지금까지 여러 방법과 재료들을 사용하여 수리, 복원되어 지고 있으며, 현재 출토 된 토·도기를 보존 처리 하는 과정에서 기본적인 순서에 맞게 처리가 되고 있지만, 접합 및 복원 과정에 있어서는 토기의 형태, 구성 요소, 파손 상태에 따라서 다양한 방법들과 각종 재료들로 처리되고 있다. 과거에는 완벽한 처리보다 형태를 유지하고 보수하는 수준에 머물렀으며, 근래에는 토·도기 처리에 있어서 구조적 안정성과 미적가치를 높이는 복원을 통해 전시 효과를 극대화하고 있으므로 접착 및 복원제로 사용되는 재료의 선택과 올바른 사용이 중요한 문제로 부각되었다 (Nam, *et al.*, 2012).

근대에 들어서 토·도기를 복원하는 재료들은 종류가 다양할 뿐만 아니라 활용도 또한 높은 재료들이 개발되어 적용되고 있다. 재료들의 여러 가지 장·단점을 파악하여 상황에 맞게 토·도기에 적용되고 있으며, 현재 가장 많이 사용되고 있는 재료로는 합성수지이다. 합성수지의 장점으로는 내수성, 내약품성, 내마모성 등의 기계적, 물리적, 화학적 우수성을 나타내고 있으며, 수축률이 적고 접착력이 뛰어나 가장 많이 사용되고 있는 재료이다 (Kim, 2007). 또한 토·도기 복원 재료 이외에 여러 분야에 적용되어 다양한 방법으로 사용되고 있다. 하지만 이런 장점들 외에 토기를 복원하는 재료로써 단점들 또한 내포하고 있다. 토기를 처리하는 과정에 있어서 여러 가지 문제점들이 발생되고 있는데 우선 손에 묻어 나오는 불편한 작업성과 부주위로 인하여 토기 표면이 오염될 수 있다. 또한 복원 시에 높은 강도와 경도로 인하여 경화된 Epoxy를 성형하거나 절삭하는데 어려움이 있으며, 복원 재료의 표면을 정리하는 과정에서 토기 표면에 영향을 미치게 한다. Epoxy의 경우 경화

되는 속도가 환경적인 영향에 의해 다르게 나타나며, 긴 경화 시간 등의 문제로 Epoxy 수지가 흘러내리는 현상 등 다양한 문제점을 나타내고 있어 이러한 단점들이 보완 된 Epoxy 수지의 연구가 필요한 실정이다. 위와 같은 문제점들의 해결을 위해 접착력 및 절삭력이 우수하고, 5 분 내외에 경화가 이루어지며, 손에 묻어나지 않아 표면 오염이 되지 않고 가공성이 우수한 Paste 형태로 제작하여 작업의 편리성을 높이는 토기 복원용 Epoxy Putty를 개발하기로 하였다. 개발 된 Epoxy Putty의 장·단점 등을 알아보기 위해 물성 실험을 실시하며, 기존 재료들과의 비교를 위해 현재 가장 많이 사용되고 있는 Epoxy 수지 중 액상형의 Araldite rapid type[®], AW106+HV956U[®], AY103+HY956[®], DEVCON[®], L30[®] 5 종 등을 선별하였으며, Paste 형태인 SV427+HV427[®], CDK-520K[®], Quick Wood[®] 3 종 등을 선별하여 총 8 종과 같이 비교대상을 선별하였다(Lee and Wi, 2010). 선별된 기존 재료들을 대상으로 9 가지의 물성 실험으로 KS 규격에 맞게 시편을 제작하여 실험하였다. 물성 실험으로는 접착력, 마모율, 경화 반응 시간, 인장 강도, 자외선 열화 실험, 경도 측정, 비중, 압축 강도, 수축률을 측정하고, 개발된 Epoxy Putty 또한 9 가지의 물성 실험을 통하여 산출된 자료를 바탕으로 기존 재료들과의 비교 분석을 실시하여 개발된 Epoxy Putty의 우수성을 알아보려고 하였다.

2. 재료 및 실험 방법

2.1. 실험재료

Epoxy Putty는 주재와 경화제로 이루어진 고점도 형태의 2 액형으로 Bisphenol-A와 Mercaptan terminated polymer의 혼합 용액을 기본으로 하였으며, 이 외에 다른 첨가물을 혼합하여 제조하였다. Epoxy Putty의 구성 요소들은 (Table 1)

과 같으며, 제품명은 FH-7 (Fast Hardening 7)이라 칭한다. FH-7의 경우 경화제로 Mercaptan계를 이용하여 경화 속도를 빠르게 증가시켰으며, 충전제로 백색의 페놀 수지인 Micro-balloon을 중심으로 혼합하여 복원 후 색 맞춤에 용이하도록 하였으며, 충전제의 조성에 따라 절삭력 증진을 목표로 제조하였다. 경화 속도는 기존의 속경화형인 Araldite rapid type[®], DEVCON[®], Quick Wood[®]를 대상으로 빠르게 경화될 수 있도록 제조하였으며, 접착력은 기존 재료들의 접착력 범위 내에서 범주하도록 제조하였다. 제조된 FH-7은 총 5 개의 시편으로 충전제를 혼합하지 않은 액상 형태의 원액과 FH-7 원액에 Micro-balloon을 중량비 30%, 40%, 50%, 60%로 혼합한 Paste 형태의 시편을 KS 규격에 따른 물성 실험에 맞게 제작하였다 (Figure 1). 물성 실험 비교를 위해 기존 재료인 Araldite rapid type[®], AW106+HV956U[®], AY103+HY956[®], SV427+HV427[®], CDK-520K[®], DEVCON[®], L30[®], Quick Wood[®] 총 8 종 또한 각 제조사에서 권장하는 비율에 따라 주재와 경화제를 혼합하여 물성 실험에 맞게 시편으로 제작하여 72 시간 경화 후 실험하였다 (Han, *et al.*, 2010).

2.2. 실험 방법

기존에 사용되고 있는 Araldite rapid type[®], AW106+HV956U[®], AY103+HY956[®], SV427+HV427[®], CDK-520K[®], DEVCON[®], L30[®], Quick Wood[®] 총 8 종과 Micro-balloon 함량에 따른 FH-7에 대한 5 종의 시편을 대상으로 물성 비교 실험을 하였다. 물성 실험으로는 접착력, 마모율, 경화 반응 시간, 인장 강도, 자외선 열화 실험, 경도 측정, 비중, 압축 강도, 수축률 9 가지의 실험을 실시하였다.

접착력 측정은 DeFelsko 社의 코팅 접착력 테스트기

PosiTesrt AT-A Automatic을 사용하여 측정하였으며, 실험 방법으로는 KS M ISO 4624 (도료와 바니시-부착 박리 실험)의 규정에 의거하여 수치화하였다. 금속 시험판 위에 구획을 하고 각 실험 재료들을 균일하게 도포하였다. 도포한 표면에 금속으로 된 Dolly를 바닥면에 접착시켜 고정하였다. 실험 재료인 합성수지가 완전히 경화될 수 있도록 72 시간 동안 경화하였다. Dolly가 접착된 상태에서 인장기를 사용하여 표면과 직각이 되도록 위치한 후 압력을 이용해 Dolly에 인장을 가하는 방법으로, 시험편과 Dolly가 분리될 때의 단위 면적 당 압력 (MPa)으로 측정하였다.

마모율 실험은 KS 규격 (KS M ISO 5470-1)에 근거하여 실험을 진행하였으며, 오션 과학 社의 테이머 마모 시험기로 COAD.101를 사용하였다. 시편 제작은 실리콘 틀을 이용하여 지름 10 cm 높이 5 mm 크기의 원형 시편으로 제작하였다. 제작된 원형 틀에 각각의 시험 재료를 부어 완전히 경화되도록 72 시간 이상 상온에서 경화시켰다. 시편이 마모시험기에 고정될 수 있도록 중앙에 지름 6 mm 정도의 구멍을 투공하였다. 테스트 조건은 속도 70 rpm, 압력 1000 g, 회전수 500 회, 마모자 Grinding wheel × 2를 기준으로 실험을 하여 시편의 마모 전 중량과 마모 후의 중량을 비교하였다.

경화 반응 시간 측정은 Epoxy resin의 특성상 경화제와 혼합되면 열을 발생하며 경화 반응을 시작한다. 발생하는 열과 반응 시간은 주재와 경화제의 종류에 따라 다르게 측정이 되며, 같은 재료라도 충전제의 양에 따라 발생하는 열과 반응 시간이 다르게 나타나기 때문에 각각의 시편들에 최고 온도까지 도달하는 시간을 측정하여 표기하였다. 경화 반응 온도 측정은 Intell Instruments TM 社의 SMART SENSOR AR852B+를 사용하였다.

인장 강도 실험은 KS M 3006 (플라스틱의 인장성 측정

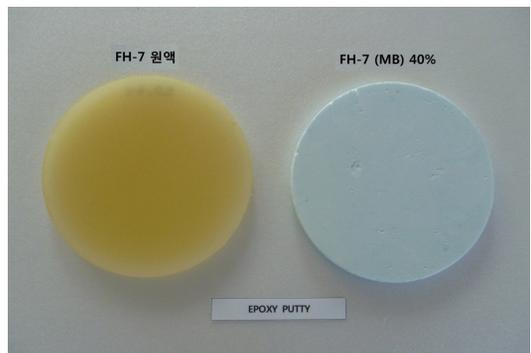


Figure 1. Epoxy putty (FH-7) experiment specimen.

방법)에서 규정하는 아령형 1 호 시험편으로 제작하였다. 이 시험편은 원칙적으로 열경화성 수지를 주성분으로 한 적층판(laminates), 경질 열가소성 수지의 성형 재료 등이 절단될 때 작은 신장률을 갖는 재료에 대한 시험편 제작 방법으로 본 인장 강도 측정 시험편으로 제작하였다. 측정 방법은 시험기 크로스헤드의 이동 속도 5 mm/min으로 하중을 가하고, 시험편이 파괴되었을 때까지의 최대 하중을 측정하였다. 측정 기기로는 DAE YEONG PRECISION DYUL-2 재료 만능 시험기기를 사용하였다.

자외선 열화 실험은 KS M 5982 (도료의 촉진 내후성 시험 방법- 형광 UV 응축방식)를 참고하여 제작된 ASTM D4329-99 자외선기로, 본 시험기는 광원으로 8 개의 형광 UV 램프를 사용하며, 시험편 길이가 있고 작동 시간과 온도를 조절하고 기록할 수 있도록 제작하였다. 램프는 FS-40 형광 UV 램프를 사용하였으며, FS-40 램프의 분광 에너지 분포는 313 nm에서 최대 파장을 나타내는 것을 이용하여 측정하였다. 실험시험편을 자외선에 각각 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, 72, 96 시간 동안 자외선에 노출시킨 후에 분광측색계 KONICAMINOLTA, CM-2600d, japan을 사용하여 각 시간별로 측정을 하였으며, 열화전과 96 시간 열화 후의 ΔE^*_{ab} 색차값을 산출하였다 (Kim, 2005).

경도 측정은 규격화되어진 KS method가 없는 관계로 TECLOCK 社 Showa 경도기, JISK K 7215 D Type 형의 표면 경도계를 사용하여 측정하였다. Showa 경도기 (Shore Hardness tester)는 압정 롤에 의해 측정하는 대표적인 반발 경도 시험으로 브리넬 경도 시험이 불가능한 매우 단단한 강철계의 경도 측정에 쓰이며, 압흔이 작아 완제품의 경도 시험으로 이용되고 있다. 조작이 간단하기 때문에 신속한 측정이 가능하고, 흠의 깊이가 미세하기 때문에 제품 검사에도 사용할 수 있는 장점이 있다.

비중은 비중컵법 [KS M3821]을 이용하여 실험하였다 (Park, 2010). 비중컵을 이용하여 25 °C에서의 시료 (50 X 50 X 10 mm)의 무게와 그것과 같은 부피의 25 °C에서의 증류수의 무게를 측정하여 그 무게의 비로부터 시료의 비중 25/25 °C를 구하였다. 비중컵의 무게는 200 g 이하로 이 컵에 넣을 물의 무게가 100 ± 0.1 g이 되게 만든 것을 이용하였으며, 중탕기는 온도를 25.0 ± 0.5 °C로 조절할 수 있는 것을 사용하였다. 이를 이용하여 얻어진 시료의 비중은 비중식으로 계산하고 소수점 이하 세 자리에서 끝맺음하였다.

압축 강도 측정은 KS F 4923 (한국산업표준 ; 콘크리트

구조물 보수용 에폭시수지)측정법에 의거하여, 시험편은 길이 (25.4 ± 0.3) mm, 너비 (12.7 ± 0.3) mm, 두께 (12.7 ± 0.3) mm의 크기로 성형하였고 길이, 너비, 두께를 각각 외측 마이크로미터로 0.01 mm까지 측정하며 가압면의 평행도를 확인하였다. 시험편을 압축 시험기의 가압 판에 놓고 시험편과 시험 장치의 중심선이 같은 수직선 위에 있게 하며, 시험편의 윗면이 시험기의 가압 면과 완전한 평행이 되도록 하였다. 시험기 크로스헤드의 이동 속도 1 ± 0.5 mm/min으로 하중을 가하고, 시험편이 파괴되었을 때 하중을 측정하였다.

수출률 실험은 75 X 50 X 0.5 mm 크기의 시험편을 제작하여 중량을 측정 후 완전 경화가 이루어질 때 까지 7 일 동안 자연 경화시켰다. 경화가 완료된 각각의 시험편에 경화 후 중량을 측정하고 중량 변화율을 계산하였다. 중량 변화율은 소수점 셋째 자리까지 측정하였으며 중량 변화량은 AND GX-200 저울을 사용하였다.

추가적으로 DSC 분석법으로 개발된 FH-7과 기존 재료 중 성질과 형태가 가장 흡사한 Quick Wood[®]와 DSC 분석 자료를 비교하였다. DSC 분석법은 고분자의 중요한 열적 성질들인 유리 전이 온도 (Tg), 결정화 온도 (Tc), 용융 온도 (Tm) 뿐만 아니라 산화 반응이나 가교 반응 및 열화 등의 다양한 정보에 대한 기본적인 분석이 가능하다. DSC 분석법은 시간과 온도의 함수로 재료 변화와 관련된 온도와 열 흐름을 결정한다.

모든 실험 결과는 정확한 자료를 산출하기 위해 총 5 회 측정하였으며, 측정하여 얻어지는 자료 중 최대값과 최소값을 제외하고 오차 범위가 크지 않은 3 회 측정값의 평균값으로 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

물성 실험에 맞게 제작되어진 시험편을 통해 산출된 FH-7과 기존 재료 8 종의 대한 자료를 비교 분석하였다 (Table 2).

접착력 실험 결과, 전체적인 실험 시험편의 접착력은 0.72 ~ 6.31 MPa 내에 분포되어 있는 것으로 확인되었다. Araldite rapid type[®]의 시험편은 0.72 MPa로 접착력이 가장 낮은 수치를 보이고 있으며, SV427+HV427[®]의 시험편은 6.31 MPa로 접착력이 높은 것으로 확인되었다. FH-7의 경우 Micro-balloon의 함량이 높아지면서 접착력이 떨어지는 현상을 보였으며, 1.41 ~ 2.97 MPa 내에 포함되어 Quick Wood[®]와 L30[®]과 비슷한 접착력을 보이고 있어 기존 재료들과 큰 차이를 보이지 않는다. 토기에 복원제 및 메움제

Table 2. Total physical property results of Epoxy.

	Bonding strength (MPa)	Abrasion rate (%)	Hardening time (s.)	Tensile strength (kg/cm ²)	ΔE^*_{ab}	Surface hardness (Hs)	Specific gravity	Compressive strength (MPa)	Contraction rate (%)
Araldite	0.72	0.21	4	219	20.65	76.00	1.207	78.7	0
AW 106	5.87	0.26	130	159	10.53	75.66	1.093	104.4	0
AY 103	1.23	0.27	130	132	10.34	79.66	1.153	112.8	0
SV 427	6.31	0.15	86	46	15.33	57.66	0.673	32.3	0
CDK 520K	3.84	0.31	85	28	21.13	55.00	0.770	17.0	0
Devcon	1.16	0.11	90	179	7.68	81.00	1.372	83.5	0
Quick Wood	2.62	1.02	14	72	27.10	69.66	0.908	48.5	0
L30	1.98	0.39	80	111	26.48	81.33	1.192	107.7	0
Undiluted FH-7	2.97	0.05	5	2.33	13.22	24.6	1.140	9.1	0
FH-7 30%	2.86	2.91	4	9	32.64	22	0.506	1.8	0
FH-7 40%	2.23	3.69	5	10	31.79	23.3	0.468	1.9	0
FH-7 50%	2.15	6.90	7	7	30.61	25	0.428	3.4	0
FH-7 60%	1.41	7.14	8	5	29.50	25.6	0.389	3.5	0

로써의 역할을 할 수 있는 접착력을 내포하고 있으며, 토기 편을 접착하는 재료로 활용이 가능하다.

마모율 실험 결과, FH-7 (MB) 60%의 마모율이 7.14%로 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. Micro-balloon의 함량이 높아지면서 마모율이 높아지는 것을 알 수 있으며, 마모율이 높아 절삭력 또한 높은 것으로 확인된다. FH-7 (MB) 외에 다른 시편의 경우 평균값 범위가 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 결과값이 소수점 이하로 나타나고 있어 마모율이 우수하지 못한 것으로 확인되었다. FH-7 (MB)의 경우 마모율이 높아 경화 후에 문양 및 표면을 정리하는 부분에 있어서 기존 재료에 비해 쉽게 성형이 가능하다.

인장 강도 실험 결과, Araldite rapid type[®]이 219 kg/cm²로 가장 높은 것으로 확인되었으며, FH-7 원액에 경우 2.33 kg/cm²로 가장 낮은 수치를 보이고 있으며, FH-7 (MB) 40%일 때 10 kg/cm² 높은 수치를 나타내고 있지만 전체적으로 낮은 수치의 분포를 이루고 있다. 연질 토기인 경우 인장 강도가 10 kg/cm² 이상을 넘지 않기 때문에 토기와 비슷한 인장 강도의 수치를 나타내고 있어 구조적으로 복원 부위가 약해지거나 파손되지 않는다 (Bae, 2010).

경도 측정 실험 결과, 기존의 재료들은 평균값이 비슷한 분포도를 이루고 있으며, Devcon[®]과 L30[®]이 81 Hs로 가장 높은 수치를 나타내고 있다. FH-7 (MB)의 경우 22 ~ 25 Hs로 경도가 낮은 분포도에 속하는 것으로 확인되었다. 경도가 높지 않고 표면이 soft한 형태를 띠고 있어 토기에

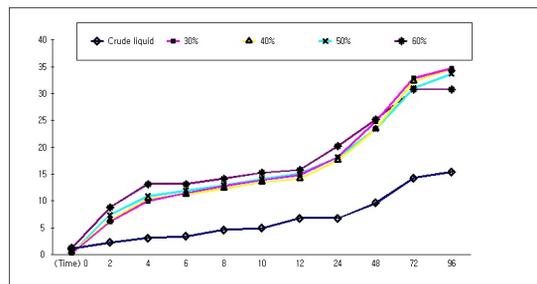


Figure 2. Variation of surface color (ΔE^*_{ab}) of FH-7 according to UV exposure time.

가까운 표면 질감을 가지고 있다.

자외선 열화 실험 결과, Devcon[®]의 ΔE^*_{ab} 색차값이 7.68로 가장 적었으며, 백색 계열의 색상을 띠고 있는 Quick Wood[®]와 FH-7 (MB)의 경우 27 ~ 32의 색차값으로 황변 현상이 높은 것으로 확인되었다. 이는 FH-7의 충전제인 백색의 Micro-balloon의 영향일 가능성으로 보이며, 충전제에 따른 황변 현상의 실험이 필요하다고 판단된다 (Figure 2).

경화 속도 실험 결과, Araldite rapid type[®], Quick Wood[®], FH-7 (MB)만이 10 분 내외로 빠르게 경화되는 것을 확인할 수 있었으며, Araldite rapid type[®]과 FH-7 (MB) 30%의 경화 속도가 4 분 내외로 가장 빠른 것으로 확인된다. FH-7 (MB)의 경우 전체적으로 경화 속도가 빠르게 나타나고 있어 토기를 접합하는 과정에서 복원 부위

에 고정을 역할을 할 수 있는 재료로 활용이 가능하다.

개발된 FH-7의 정확한 경화도를 측정하기 위해 DSC 분석을 실시하였으며, FH-7과 형태 및 물성이 유사한 Quick Wood[®]와의 결과와 비교하였다 (Figure 3, Figure 4).

DSC 분석 결과, Quick Wood[®]의 총 반응 시간은 약 41 분으로 반응열이 가장 높게 측정되는 온도 시간은 약 18 분이였으며, 이때 발열량 (ΔH)은 -47.6738 J/g이었다. FH-7의 총 반응 시간은 약 35 분으로 반응열이 가장 높게 측정되는 온도 시간은 약 4 분이며, 발열량 (ΔH)은 -67.5788 J/g로 Quick Wood[®]에 비해 짧은 시간 내에 발열량이 높게 측정되며, 경화 시간 또한 빠르게 나타나는 것으로 확인되었다.

비중 측정 실험 결과, 기존 재료들 중 Devcon[®]이 1.372로 가장 높게 측정이 되며, FH-7의 경우 0.389 ~ 1.140 내에 분포되어 기존 재료들과 비슷한 양상을 보이고 있다.

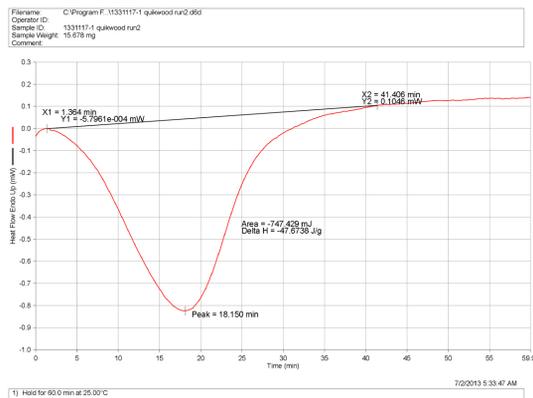


Figure 3. DSC result of Quick Wood.

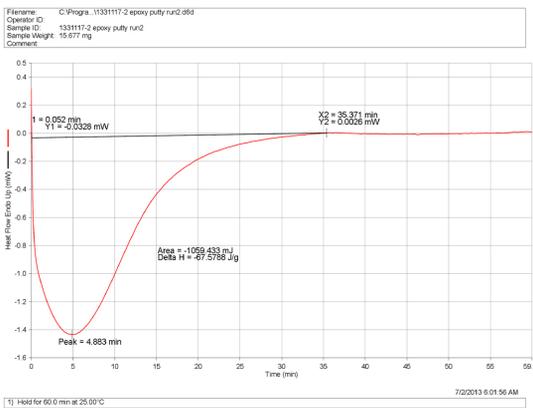


Figure 4. DSC result of FH-7.

압축 강도 측정 결과, AY103[®]이 112.8로 가장 높게 측정되었으며, FH-7의 경우 기존 재료들에 비해 Micro-balloon이 혼합된 시편은 1.8 ~ 3.5 MPa로 가장 낮은 수치를 보이고 있어 Quick Wood[®]에 비해 40 배 가량 떨어지는 것을 확인할 수 있으며, 강도가 약하여 물리적으로 쉽게 제거가 가능하다.

수축률 실험 결과, 경화 후 짧은 기간 내에 상태변화는 Epoxy의 특성상 모든 시편에서 수축 현상은 발생되지 않은 것으로 확인되었으며, 경화 후 장시간 노출로 인한 환경적 요인 및 온·습도에 따른 시편의 변화 및 수축 현상에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구는 토기 복원용으로 많이 사용되고 있는 합성수지 재료의 문제점을 해결하고자 하였다. 기존 재료들의 물성 실험을 토대로 토기 복원용 재료에 적합하도록 주제와 경화제 2 액형으로 제조하였으며, 충전제로 백색의 Micro-balloon을 중량 비율 30~60%로 혼합한 Paste 형태의 FH-7을 제조하였다. 제조된 FH-7의 물성 실험 자료와 기존 재료들의 9 가지 물성 실험 자료를 비교 분석하였다. FH-7의 장점으로는 5 분 내에 빠른 경화 속도로 작업의 편리성 및 작업 시에 발생하는 표면 오염 및 손에 묻어나지 않는 작업의 안전성을 도모하였다. 경화제와 충전제 비율에 따라 접착력, 경도, 강도, 마모율, 경화 시간의 조정이 가능하며, 경화 후 부피 변화가 없어 토기를 복원하는데 적합한 복원제로 개발하여 제조하였다.

FH-7의 제조는 현재 토기 복원용으로 많이 사용되고 있는 CDK-520K[®]와 Quick wood[®]를 대상으로 실험을 통해 전술된 물성들을 측정하여 이에 준하도록 제조하였으며, 기존 재료의 장점들은 유지하고 취약점을 보강하였다. 물성 자료를 통해 비교해 보았을 때 사용자 및 토기의 상태에 따라 다르지만 토기 복원제로 가장 사용하기 적합한 시편은 FH-7의 충전제 Micro-balloon을 중량비 40%로 혼합한 시편이며, 접착 강도는 2.23 MPa, 마모율은 3.69%, 경화 반응 시간은 약 5 분, 인장 강도는 38 kg/cm², 자외선 노출 96 시간 후의 E^{ab} 변화량은 31.31, 경도는 23, 비중은 0.468, 압축 강도는 1.9 MPa, 수축율은 0%를 나타내고 있다. 그간 사용되어온 CDK-520K[®]의 단점으로는 경화 반응 속도와 마모율이었으며, Quick wood[®]의 단점으로는 마모율로 파악되어 이를 보강하는 작업을 수행하였다. 그 결과로

마모율에서는 CDK-520K[®]에 비하여 약 12 배, 경화 시간에서는 18 배를 증진시켰으며 나머지의 물성은 이에 준하도록 제조하였다. Quick wood[®]에 비하여는 마모율에서 약 3.5 배를 증진시켰으며 빠른 경화를 나타내는 이들의 특성과 비교하여도 약 2.8 배를 증진시켜서 매우 빠른 경화와 매우 우수한 절삭력을 가지도록 하였다. 또한 물성의 조정이 가능하여 토기 복원용 외에 다른 분야에도 사용이 가능할 것으로 사료된다.

사 사

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

REFERENCES

- Bae, J.S., 2010, A Study on the Ablation of Epoxy Resin in Ceramics Restoration Materials. The Graduate School Hanseo University, Chungcheongnam-do, 32. (in Korean With English abstract)
- Byun, S.M., 2009, A scientific technique study on metal bound rims adhered on the brim of ceramics : ceramics collected in Shinan underwater excavation. The Graduate School Chung-Ang University. (in Korean With English abstract)
- Ham, C.H., 2007, A study on the removal of iron stain on the porcelain : focused on the cleaning agent. The Graduate School Hanseo University. (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, H.J., 2005, Effect of adhesive type on bond strength of earthenware. The Graduate School The University of Seoul. (in Korean With English abstract)
- Kim, H.J., 2007, A study on change of yellowness index about materials and methods used in restoration of ceramics and clay ware. The Graduate School Yong-in University. (in Korean With English abstract)
- Kim, S.H., 2005, Research on ultraviolet ray aging movement on Epoxy resin used for preserving, joining cultural assets. The Graduate School Hanseo University. (in Korean With English abstract)
- Lee, H.S., 2005, Study on the Mixed Materials and Epoxy Materials for Restoration of Ceramics. Conservation Science in Museum, Vol. 6, 55-66. (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)
- 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)
- Park, G.J., 2010, Conservation Treatment of Ceramic Wares and synthesis of Non-yellowing Butvar Resin. The Graduate School Hanseo University. (in Korean With English abstract)