

## Mercaptan계와 Diamine계를 이용한 저수축·절삭력이 우수한 Epoxy Putty의 개발 및 물성에 관한 연구

오승준<sup>1</sup>·위광철<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>(재)한국고고환경연구소 보존과학실, <sup>2</sup>한서대학교 문화재보존학과  
(2015년 10월 29일 접수, 2015년 12월 6일 수정, 2015년 12월 7일 채택)

## Study on the Development and Property of Epoxy Putty with Excellent Low Shrinkage and Cutting Force Using Mercaptan Type and Diamine Type

Seung-Jun Oh<sup>1</sup> and Koang-Chul Wi<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Conservation Science Division, Korean Institute for Archaeology & Environment, Sejong, 30019, Korea

<sup>2</sup>Department of Cultural Heritage Conservation, Hanseo Univ. Seosan, 31962, Korea

(Received October 29, 2015; Revised December 6, 2015; Accepted December 7, 2015)

**요약:** 본 연구에서는 현재 문화재 보존 처리에 사용되고 있는 합성수지를 대체하여 금속, 목재, 도자기, 토기, 석재 유물 등 재질별 문화재 복원 작업에 활용할 수 있는 다목적용 접합, 복원재료인 에폭시 퍼티(epoxy putty)를 개발하고자 하였다. 기존에 사용되고 있는 합성수지는 높은 강도로 인한 절삭력의 문제, 긴 경화 시간으로 인한 처짐 현상, 도구나 장갑에 묻어 유물의 표면을 오염시키는 현상, 재료의 황변 현상으로 인한 재처리 등의 문제점을 보이고 있다. 이를 해결하기 위해, 1차적으로 문화재 보존 처리 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 페이스트(paste)형태의 복원 재료를 선정하여 물성을 파악한 후 이를 비교 대상으로 선택하고, 주제 및 경화제와 충전제의 종류에 따른 에폭시 퍼티를 개발하였다. 개발된 에폭시 퍼티는 기존 재료의 문제점 해결 및 유사한 물성을 지니기 위해 성상(性狀)이 다른 주제와 경화제를 각각 선정하여 물성 실험을 실시하였다. 연구 결과 2종 모두 페이스트 형태로 경화 시간은 5~10 min 내외로 기존 재료에 비해 약 3~10배 정도 짧은 작업의 편리성과 처짐 현상을 개선하였으며, 절삭력을 높이기 위한 마모율은 약 3배 정도 향상시켜 쉽게 성형할 수 있도록 하였다. 또한 작업 중 발생하는 표면 오염 등의 단점을 보완하기 위해 충전제로 탈크(talc)와 백색의 micro-balloon을 첨가하여 사용 중 손에 묻어 나와 끈적거리는 현상을 줄여주었을 뿐만 아니라 컬러링(coloring), 경량성, 절삭력 등이 높은 저수축, 저황변, 절삭력이 우수한 다목적 복원 재료를 개발하였다.

**Abstract:** This study aimed to develop epoxy putty as a multi-purpose connection and restoration material that can be used for material-specific restoration work such as metal, wood, ceramics, earthenware and stone artifacts by replacing synthetic resins currently being used for preservation treatment of cultural assets. Existing synthetic resins have the issue of cutting force resulting from high strength, deflection resulting from long hardening time, contaminating the surface of artifacts through staining on tools or gloves and need for re-treatment resulting from material discoloration. Accordingly, paste type restoration material most widely being used in the field of cultural assets preservation treatment was selected and examined the property to select it as an object of comparison. Based on such process, epoxy putty was developed according to the kind of agent, hardener and filler. For the purpose of solving the issues of existing material and allowing the epoxy putty developed to have similar property, property experiments were conducted by selecting agents and hardeners with different characteristics and conditions. The study findings showed that both kinds are paste type that improved work convenience and deflection issue as a result of their work time of within 5~10 minutes that are about 3~10 times shorter than that of existing material. In regards to wear rate for increasing cutting force, it improved by about 3 times, thereby allowing easy molding. For the purpose of improving the issue of surface contamination that occurs during work process, talc and micro-ballon were added as filler to reduce the issue of stickiness and staining on hand. Furthermore, a multi-purpose restoration material with low shrinkage, low discoloration and high cutting force was developed with excellent coloring, lightweight and cutting force features.

**Keywords:** Mercaptan terminated polymer, Trimethylhexamethylene diamine, Epoxy putty, Cutting force, Restoration material

<sup>†</sup>Corresponding author: Koang-Chul Wi (Kcwi@hanseo.ac.kr)

## 1. 서 론

문화재는 선조들이 사용하다 남긴 물적 재산일 뿐만 아니라 그 민족의 정기와 얼이 스며있는 정신적 재산으로 민족의 정체성과 과거에 대한 역사적, 사회적, 종교적, 예술적 배경을 담고 있는 정신, 문화, 과학 기술이 집결된 고부가가치를 가지는 자산이다[1]. 이러한 문화재가 우리에게 전해져 내려오는 경로를 살펴보면, 예로부터 전해져 내려오는 전세품과 고고학적 발굴조사를 통해 출토되는 경우가 대부분이다. 이들 문화재는 각각 놓여있는 주변의 환경과 오랜 세월 속에서 물리, 화학, 생물학적 피해 및 대기 환경에 의해 피해를 받고 있으며 뿐만 아니라 잘못된 보존 처리에 의한 손상도 발생하게 된다. 이렇게 손상되어진 문화재의 보존 처리는 전통 기법을 활용한 다양한 재료와 방법들이 적용되어 현재까지 발전되어 왔으며, 1980년대 이후부터는 국외의 최신 자료 도입과 전문 인력 양성으로 체계적이고 전문적인 보존 처리가 이루어져 왔다. 특히 산업화로 인한 합성수지의 개발과 발전으로 인해 합성수지의 사용이 빠르게 성장하면서 문화재 보존 처리에도 합성수지를 적용하게 되었다[2]. 합성수지는 가볍고, 강도, 경도, 접착력, 절연성, 비약품성 등이 우수하며, 수축 변형이 없고 사용의 편리성으로 인해 문화재 보존 처리에 많이 활용되어지고 있다. 현재 문화재 보존 처리에 사용되어지고 있는 재료는 보존 처리 과정 중 접합 및 복원을 위한 단계에서 사용되고 있으며, 재료로는 cellulose계, cyanoacrylate계, epoxy계 등의 재료가 사용되고 있다. 특히 에폭시계의 합성수지들은 다양한 장점을 가지고 있지만 수지의 노화로 인한 황변 현상이 발생되고 복원 부분의 색상 변화가 나타나며 이로 인한 이질감의 문제로 지속적인 재처리가 이루어져 유물의 피로도 높아지고 있다[3]. 또한 높은 강도로 인한 가공성의 문제, 작업 과정 중 긴 경화 시간으로 인한 재료의 처짐 현상 및 도구나 장갑에 묻어 유물 표면을 오염시키는 등 많은 문제점을 노출시키고 있다[4].

이에 본 연구에서는 위와 같은 재료들의 문제점을 해결하기 위해 접착력 및 절삭력이 우수하고, 10 min 내외에 경화가 이루어지며, 손에 묻어나지 않아 표면 오염이 되지 않고 가공성이 우수한 페이스트 형태의 에폭시 퍼티를 개발하고자 하였다. 개발된 문화재 복원용 에폭시 퍼티는 고점도 형태의 에폭시계 수지로 주제는 diglycidyl ether of bisphenol-A (new japan chemical, Japan 社)와 hydrogenated bisphenol A (mitsubishi chemical corp, Japan 社)를 사용하였으며 경화제는 mercaptan terminated polymer (sc organic chemical, Japan 社)와 trimethylhexamethylene diamine (evonik in-

dustries AG, Germany 社) 두 종류를 사용하고 첨가제를 혼합하여 물성 실험을 실시하였다. mercaptan terminated polymer 경화제는 내부 황(S)의 존재에 따라서 비교적 냄새가 강한 단점은 있지만 빠른 경화 시간과 연질성 등 다양한 특성 부여가 가능한 경화제로 알려져 있으며, trimethylhexamethylene diamine 경화제는 연질성을 부여하도록 제조되었고 역시 비교적 빠른 경화 시간을 갖도록 변형되어 적용되었다[5].

개발된 에폭시 퍼티와 기존에 사용되어온 재료들과의 비교 실험을 통해 장·단점을 알아보고자 하였으며, 이를 위해 현재 문화재 보존 처리에 가장 많이 사용되고 있는 에폭시 레진 중 페이스트 형태인 CDK 520 K (세풍폴리머 社), Quick wood (PSI 社), SV427 + HV427 (HUNTSMAN 社) 제품 3종을 비교 대상으로 선별하였다[6]. 선별된 기존 재료들은 KS 규격에 맞게 시편을 제작하여 9가지의 물성 실험을 통해 물성을 확인하였으며, 실험으로는 접착력, 마모율, 경화 반응 시간, 인장 강도, 자외선 열화 실험, 경도 측정, 비중 측정, 압축 강도, 수축률을 측정하였다[7]. 개발된 에폭시 퍼티 또한 9가지의 물성 실험을 통하여 산출된 데이터를 바탕으로 기존 재료들과의 비교 분석을 통하여 개발된 에폭시 퍼티의 안정성, 우수성, 적용성에 대해 분석하고 문화재 보존 처리에 활용할 수 있는 대체 재료로서의 가능성을 확인해 보고자 하였다.

## 2. 실 험

### 2.1. 시료

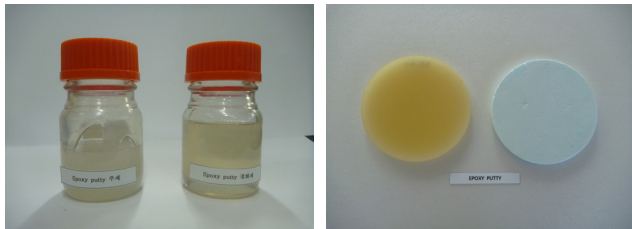
#### 2.1.1. DM-1 (Mercaptan계 에폭시 퍼티)

mercaptan계 에폭시 퍼티는 주제와 경화제로 이루어진 고점도 형태의 2액형으로 주제는 diglycidyl ether of bisphenol-A와 경화제는 mercaptan terminated polymer의 혼합 용액을 기본으로 DM-1을 제조하였으며, 이 외에 다른 첨가물을 혼합하여 합성하였으며 구성 요소들은 Table 1과 같다.

경화제로 mercaptan계를 이용하여 경화 속도를 빠르게 증가시켰으며, 충전제로 백색의 phenol 수지인 micro-balloon (dupont 社)을 중심으로 혼합하여 복원 후 색 맞춤에 용이하도록 하였고 충전제의 조성에 따라 절삭력 증진을 목표로 제조하였다. 경화 속도는 문화재 보존처리에 사용되고 있는 기존의 재료 중에서 속경화형인 Araldite rapid type (HUNTSMAN 社), DEVCON (ITW DEVCON 社), Quick wood 제품을 대상으로 빠르게 경화될 수 있도록 제조하였으며, 접착력은 기존 재료들의 접착력 범위 내에서 범주하도록 제조하였다. 제조된 DM-1은 충전제를 혼합하지 않은 액상 형태의 원액과 DM-1 원액에 페놀계 충전제인 micro-balloon을

**Table 1.** Composition of DM-1 Epoxy Putty

Resin	wt%
- 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
Hardener	wt%
- Mercaptan terminated polymer (Capture 3-800)	88
- 2,4,6-tri(dimethylamino)methyl phenol	10
- Triethylene tetramine	2

**Figure 1.** Picture of epoxy putty (DM-1) resin and hardener.

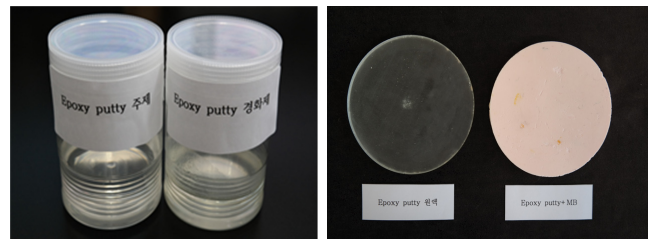
중량비(wt%)로 혼합한 페이스트 형태의 시편을 KS 규격에 따른 물성 실험에 맞게 제작하였다(Figure 1)[8]. 비교 대상 시료는 현재 문화재 보존 처리에 사용되고 있는 에폭시 레진 중에서 성상은 liquid 형태가 아닌 페이스트 형태 에폭시 그룹 중 CDK 520 K, Quick Wood, SV427 + HV427 제품 3종을 선정하였다. 에폭시 레진의 배합은 각 제조사의 권장 비율에 따라 주제와 경화제를 일정량 혼합하여 72 h 경화 후에 실험을 진행하였으며, 물성 시편 제작용 경화 틀은 몰드와의 반응을 최소화하고, 규격화된 시편 형상, 경화 후 대상 시편의 분리가 용이하도록 silicone 소재 틀을 이용하여 제작하였다. 또한 보다 균일한 상태의 물성 시편을 얻기 위해 진공 탈포 장치 및 소도구 등을 이용해 미세 기포를 최대한 제거하여 시편을 제작하였다[9].

### 2.1.2. HD-1 (Diamine계 에폭시 퍼티)

diamine계 에폭시 퍼티는 주제와 경화제로 이루어진 고점도 형태의 2액형으로 hydrogenated bisphenol-A와 trimethylhexamethylene diamine의 혼합 용액인 주제 : 경화제 비율을 100 : 50 (wt%)을 기본으로 HD-1을 제조하여 문화재 보존처리에 사용되는 접합·복원용 재료로 편리하게 사용할 수 있는 페이스트 형태로 합성하였다. 경화제는 diamine계를 이용하여 DM-1보다 전체적으로 물성을 증진시켰으며, 충전제로 micro-balloon, 탈크, 자외선 방지제를 중심으로 혼합하여 조성

**Table 2.** Composition of HD-1 Epoxy Putty

Resin	wt%
- Hydrogenated bisphenol A - Epoxy resin	60~75
- (3-ethyloxetan-3-yl)methanol	10~20
- Propylene Carbonate	1~3
- 3,4-Epoxy cyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate	5~102
- sulfonium salt mixture	2~4
- 자외선 방지제	2~3
Hardener	wt%
- Trimethylhexamethylene diamine	45.0~55.0
- Trimethylolpropane tris(3-mercaptopropionate)	35.0~40.0
- Hydrogenated bisphenol A - Epoxy resin	3.0~6.0
- Phosphoric acid	0.5~1.0

**Figure 2.** Picture of epoxy putty (HD-1) resin and hardener.

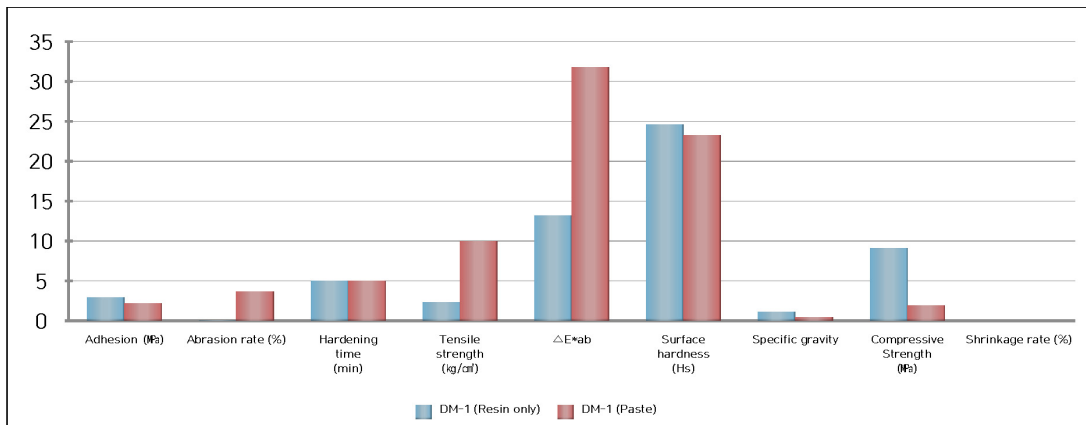
에 따른 절삭력 증진 및 황변현상의 개선을 목표로 제조하였다(Table 2, Figure 2). 비교 대상 시료는 현재 문화재 보존처리에 많이 사용되고 있는 에폭시 레진 중에서 페이스트 형태 에폭시인 CDK 520 K, Quick Wood, SV427 + HV427 제품 3종을 선정하였으며, 에폭시 레진의 배합은 각 제조사의 권장 비율에 따라 주제와 경화제를 혼합하였다.

### 2.2. 실험방법

문화재 보존처리 시 사용되는 접합·복원제로서의 물성 평가를 위해 새롭게 개발된 DM-1과 HD-1, 현재 복원용 재료로 사용되고 있는 에폭시 레진의 물성에 대하여 연구 조사하였다. 물성은 접착강도, 마모율, 경화 반응에 의한 온도 변화, 인장 강도, 표면 경도, 비중, 압축 강도, 수축률로 측정하였으며 황변성은 자외선에 의한 색상 변화율로 측정하였다[10]. 접착력 측정은 접착력 테스트기(PosiTert AT-A Automatic, Defelsko社)를 사용하여 측정하였으며, 실험 방법으로는 KS M ISO 4624(도료와 바니시-부착 박리 실험)의 규정에 의거하여 수치화하였다. 마모율 측정은(COAD.101, 오션과학社)를 이용하여 KS 규격(KS M ISO 5470-1)에 근거하여 지름 10 cm, 높이 5 mm 크기의 원형 시편으

**Table 3.** Physical Properties of DM-1 Restoration Material

Sample	DM-1 (Resin only)	DM-1 (Paste)
Adhesion (MPa)	2.97	2.23
Abrasion rate (%)	0.05	3.69
Hardening time (min)	5	5
Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	2.33	10
$\Delta E^*_{ab}$	13.22	31.79
Surface hardness (Hs)	24.6	23.3
Specific gravity	1.140	0.468
Compressive Strength (MPa)	9.1	1.9
Shrinkage rate (%)	0	0

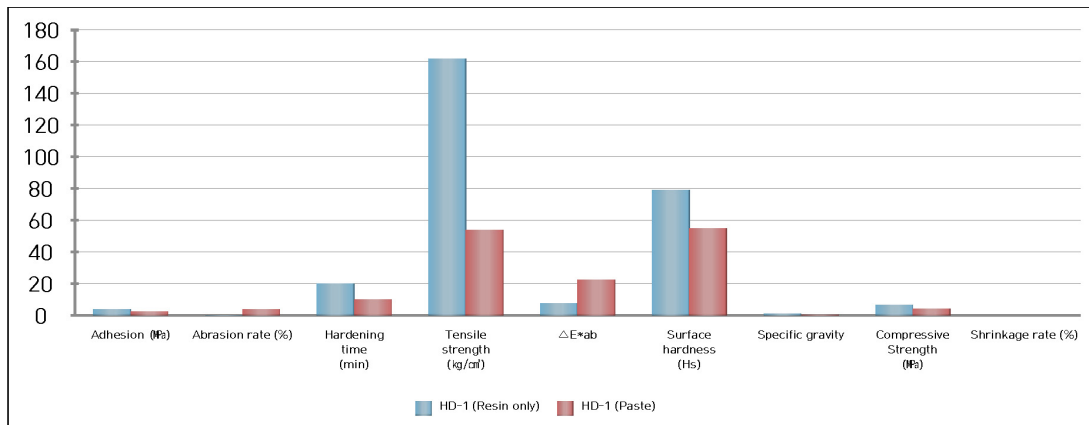
**Figure 3.** Physical properties of DM-1 restoration material.

로 제작하여 속도 70 rpm, 압력 1000 g, 회전수 500회, 마모자 Grinding wheel × 2를 기준으로 실험을 하였다. 경화 반응 온도 측정은 스마트 센서(SMART SENSOR AR852B+, Intell Instruments™ 社)를 사용하였으며 충진제를 첨가하여 충진제의 양에 따라 발생하는 열과 반응 시간에 따른 반응 온도를 측정하였다. 인장 강도 측정은 KS M 3006 (플라스틱의 인장성 측정 방법)에서 규정하는 아령형 1호 시험편으로 제작하였으며 측정 방법은 시험기 크로스헤드의 이동 속도 5 mm/min으로 하중을 가하고, 시험편이 파괴되었을 때까지의 최대 하중을 측정하였다. 이때 시험편의 최대 하중이 시험기 용량의 15~85%의 범위에 포함될 수 있는 재료 만능 시험기(DAE YEONG PRECISION DYUL-2)를 사용하였다. 자외선 조사 측정은 KS M 5982 (도료의 촉진 내후성 시험 방법 - 형광 UV 응축방식)를 참고하여 제작된 자외선 시험기를 사용하였으며 자외선 노출 시간은 상온에서 각각 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, 76 h 노출시킨 후, 인공 열화 전·후 시료의 색도 측정을 통한 변색 정도는 분광 측색계(Minolta, CM-2600d, Japan)를

사용하여 CIE L\*, a\*, b\* 표색법으로 나타내었다. 표면 경도는 경도기(Showa 경도기 D Type, TECLOCK 社)를 사용해 JIS K 7215에 의거하여 측정하였으며 측정 범위는 0~100 Hs이었다. 비중 측정은 비중컵법(KS M3821)을 이용하여 실험하였다. 비중컵을 이용하여 25°C에서의 시료(50 × 50 × 10 mm) 무게와 그것과 같은 부피의 25°C에서의 증류수의 무게를 측정하여 그 무게의 비로부터 시료의 비중 25 / 25°C를 구하였다. 압축 강도 측정은 KS M ISO 604 측정법에 의거하여, 시험편은 길이(25.4 ± 0.3 mm), 너비(12.7 ± 0.3 mm), 두께(12.7 ± 0.3 mm)의 크기로 성형하였고 길이, 너비, 두께를 각각 외측 마이크로미터로 0.01 mm까지 측정하며 가압면의 평행도를 확인하였다. 시험기 크로스헤드의 이동 속도 1 mm/min으로 하중을 가하고, 시험편이 파괴되었을 때 하중을 측정하였다. 수축률 측정은 75 × 50 × 0.5 mm 크기의 시험편을 제작하여 중량을 측정 후 완전 경화가 이루어질 때까지 7일 동안 자연 경화 후 중량을 측정하고 중량 변화율을 계산하였다.

**Table 4.** Physical Properties of HD-1 Restoration Material

Sample	HD-1 (Resin only)	HD-1 (Paste)
Adhesion (MPa)	3.85	2.67
Abrasion rate (%)	0.33	3.91
Hardening time (min)	20	10
Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	162	54
$\Delta E^*_{ab}$	7.85	22.48
Surface hardness (Hs)	79	55
Specific gravity	1.139	0.461
Compressive Strength (MPa)	6.54	4.28
Shrinkage rate (%)	0	0

**Figure 4.** Physical properties of HD-1 restoration material.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 실험 결과

##### 3.1.1. DM-1 물성 실험 결과

DM-1은 원액에 충전제인 백색의 micro-balloon을 첨가하여 주재 : 경화제 비율을 1 : 1로 사용이 용이하도록 편리한 페이스트 형태로 제조하였다. 기존 재료와의 차이점으로 마모율을 높여 경화 후 성형하기 쉽도록 제조하였으며, 5 min 경화용 rapid 타입으로 작업의 편리성을 향상시켰다. 또한 작업 시에 발생하는 표면 오염 및 손에 묻어나지 않는 작업의 안전성과 기존 복원 재료와에 비슷한 물성을 유지하도록 제조하였다.

DM-1 원액과 충전제인 백색의 micro-balloon (40 wt%)을 첨가하여 페이스트 형태로 제작한 시편의 접착력은 2.97, 2.23 MPa의 결과 값을 나타냈으며, 충전제의 함량이 많아질수록 접착력이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 마모율은 0.05, 3.69%로 확인할 수 있었으며 충전제의 함량이 많아질수록 마모율이 증가하

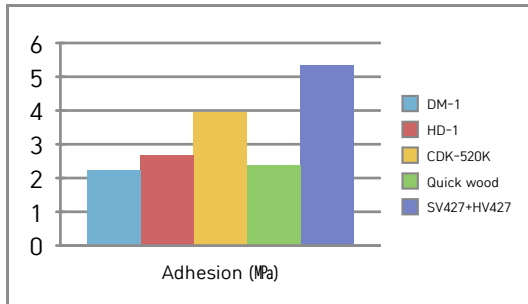
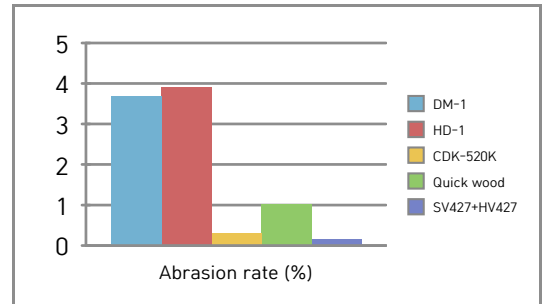
는 것을 확인할 수 있었다. 경화 속도는 두 가지 시편 모두 5 min으로 확인되었으며, 인장 강도는 2.33, 10 kg/cm<sup>2</sup>의 결과 값을 나타내 충전제의 함량이 많아질수록 인장 강도 값이 증가하는 결과를 확인할 수 있었다. 경도는 24.6, 23.3 Hs의 결과 값을 나타냈으며, 충전제의 함량이 높아질수록 경도 값이 다시 낮아지는 결과를 확인할 수 있었다. 비중은 1.140, 0.468의 결과 값을 확인할 수 있었고 압축 강도는 9.1, 1.9 MPa로 확인되었으며, 충전제의 함량에 따라 강도 값이 감소하는 결과를 확인할 수 있었다. 수축률 실험 결과는 두 가지 시편 모두 0%로 변화가 나타나지 않았다. 자외선 조사 실험을 통한 색상 변화량은  $\Delta E^*_{ab}$  13.22,  $\Delta E^*_{ab}$  31.79의 결과 값을 나타내어 충전제가 배합된 시편은 백색의 micro-balloon의 영향으로  $\Delta E^*_{ab}$  색차 값이 원액에 비해 높은 것으로 판단된다(Table 3, Figure 3).

##### 3.1.2. HD-1 물성 실험 결과

HD-1은 기존 재료보다 마모율을 높여 경화 후 성형하기 쉽도록 제조하였으며 원액에 충전제인 백색의

**Table 5.** Comparisons with the Physical Properties of Original Material

Sample	DM-1 (Paste)	HD-1 (Paste)	CDK 520 K	Quick wood	SV427 + HV427
Adhesion (MPa)	2.23	2.67	3.96	2.37	5.33
Abrasion rate (%)	3.69	3.91	0.31	1.02	0.15
Hardening time (min)	5	10	90	14	70
Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	10	54	28	72	46
$\Delta E^*_{ab}$	31.79	22.48	21.13	27.09	15.33
Surface hardness (Hs)	23.3	55	55	70	55
Specific gravity	0.468	0.461	0.770	0.908	0.673
Compressive Strength (MPa)	1.9	4.28	17.0	48.5	32.3
Shrinkage rate (%)	0	0	0	0	0

**Figure 5.** The adhesion of result of restoration material.**Figure 6.** The abrasion rate result of restoration material.

micro-balloon을 첨가하여 주재 : 경화제 비율을 1 : 1로 사용이 용이한 페이스트 형태로 제조하였다. 5 min 경화용 rapid 타입으로 작업의 편리성을 향상시켰으며 작업 시에 발생하는 표면 오염 및 손에 묻어나지 않는 작업의 안전성과 기존 복원 재료와에 비슷한 접착력을 유지하도록 제조하였다.

HD-1 원액과 충전제인 백색의 micro-balloon (40 wt%)을 첨가하여 페이스트 형태로 제작한 시편의 접착력은 3.85, 2.67 MPa의 결과 값을 나타냈으며, 충전제의 함량이 많아질수록 접착력이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 마모율은 0.33, 3.91%로 확인할 수 있었으며 원액의 마모율이 가장 낮았으며 충전제의 함량이 많아질수록 마모율이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 경화 속도는 각각 20, 10 min으로 확인되었으며, 인장 강도는 162, 54 kg/cm<sup>2</sup>의 결과 값을 나타내 충전제의 함량이 많아질수록 인장 강도 값이 높아지는 결과를 확인할 수 있었다. 경도는 79, 55 Hs의 결과 값을 나타냈으며, 충전제의 함량이 높아질수록 경도 값이 다시 낮아지는 결과를 확인할 수 있었다. 비중은 1.139, 0.461의 결과 값을 확인할 수 있었으며, 압축 강도는 6.54, 4.28 MPa로 확인되어 충전제의 함량에 따라 강도 값이 감소되는 결과를 확인할 수 있

었다. 수축률 실험 결과는 두 가지 시편 모두 0%로 변화가 나타나지 않았다. 자외선 조사 실험을 통한 색상 변화량은  $\Delta E^*_{ab}$  7.85,  $\Delta E^*_{ab}$  22.48의 결과 값을 보여주었으며 충전제가 배합된 시편은 백색의 micro-balloon의 영향으로  $\Delta E^*_{ab}$  색차 값이 원액에 비해 높은 것으로 판단된다(Table 4, Figure 4).

### 3.2. 기존 복원용 재료의 물성 실험 결과

개발된 DM-1과 HD-1의 비교를 위해 현재 국내에서 문화재 복원용으로 가장 많이 사용되고 있는 에폭시 레진을 선정하여 비교 분석을 실시하였다. 비교 대상 시료로는 개발된 재료와 유사한 에폭시 퍼티 형태의 CDK 520 K, Quick wood, SV427 + HV427 제품 3종을 선정하였으며 실험 결과(Table 5)는 다음과 같다.

#### 3.2.1. 물성 실험 결과

접착력 측정 결과 기존 재료인 CDK 520 K는 3.96 MPa, Quick wood는 2.37 MPa, SV427 + HV427은 5.33 MPa로 개발된 DM-1 (paste)은 2.23 MPa, HD-1 (paste)은 2.67 MPa로 Quick wood 제품과 유사하였다(Figure 5).

마모율 측정 결과 CDK 520 K는 0.31%, Quick wood는 1.02%, SV427 + HV427은 0.15%의 결과 값을 나타



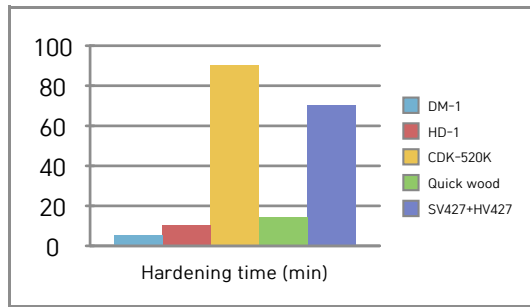


Figure 7. The hardening time result of restoration material.

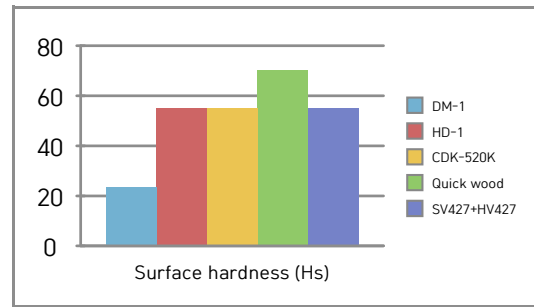


Figure 10. The surface hardness result of restoration material.

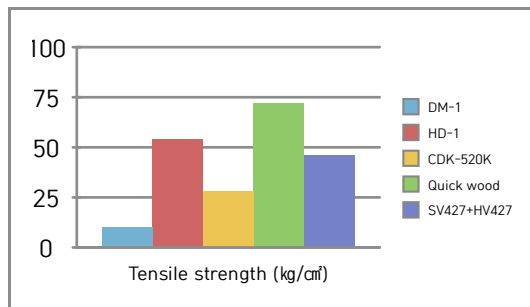


Figure 8. The tensile strength result of restoration material.

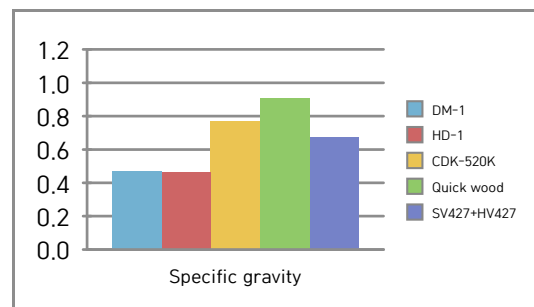


Figure 11. The specific gravity result of restoration material.

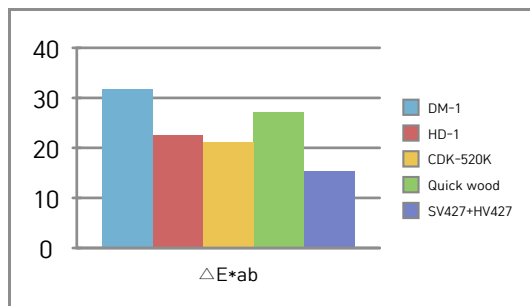


Figure 9. The  $\Delta E^*ab$  result of restoration material.

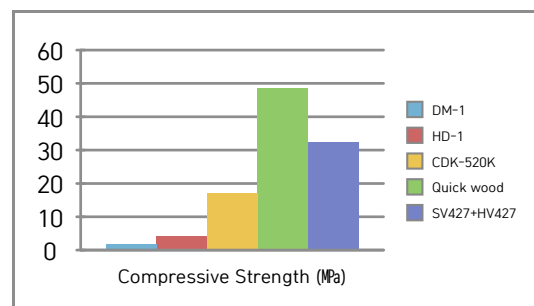


Figure 12. The compressive Strength result of restoration material.

내었다. 비교 대상인 DM-1 (paste)은 3.69%, HD-1 (paste)은 3.91%로 기존의 재료보다 높은 마모율을 보여 쉽게 성형 과정이 이루어질 수 있다는 장점을 확인할 수 있었다(Figure 6).

경화 반응 시간 측정 결과 값은 Quick wood의 14 min이 가장 빠른 경화 반응을 나타냈으며 CDK 520 K는 90 min, SV427 + HV427은 90 min이 나타났다. DM-1 (paste)은 5 min, HD-1 (paste)은 10 min으로 기존 재료보다 빠른 경화 반응 시간을 확인할 수 있었다(Figure 7).

인장 강도 측정 결과 값은 CDK 520 K는 28 kg/cm<sup>2</sup>, Quick wood는 72 kg/cm<sup>2</sup>, SV427 + HV427은 46 kg/cm<sup>2</sup>로 나타났으며 DM-1 (paste)은 10 kg/cm<sup>2</sup>로 CDK 520 K보다 낮았으며, HD-1(paste)은 54 kg/cm<sup>2</sup>로 Quick wood보다 조금 높은 결과 값을 확인할 수 있었다(Figure 8). 자외선 조사에 의한 색상 변화 실험 결과

CDK 520 K의  $\Delta E^*ab$  색상 변화량의 변화 값은 21.13, Quick wood는 27.09, SV427 + HV427은 15.33의 변화량을 나타내고 있지만 개발된 DM-1 (paste)은 31.79, HD-1 (paste)은 22.48로 기존의 에폭시 레진과 유사하거나 조금 높은 변화량을 보였다(Figure 9). 표면 경도 측정 결과 값은 CDK 520 K는 55 Hs, Quick wood는 70 Hs, SV427 + HV427은 55 Hs로 나타났다. DM-1 (paste)은 23.3 Hs, HD-1 (paste)은 55 Hs로 기존의 재료 보다는 낮거나 비슷한 표면 경도 값을 나타내었다(Figure 10). 비중 측정 결과 CDK 520 K는 0.77, Quick wood의 결과 값은 0.908, SV427 + HV427은 0.673으로 개발된 DM-1 (paste)의 결과 값인 0.468, HD-1 (paste)의 결과 값인 0.463보다 높은 결과 값을 나타내었다(Figure 11). 압축 강도 측정 결과 값은 CDK 520 K는 17.0 MPa, Quick wood는 48.5 MPa, SV427 + HV427은

32.3으로 나타났다(Figure 12). 수축률 측정 결과 값은 CDK 520 K, Quick wood, SV427 + HV427 3가지 재료 모두 0%로 변화가 없는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 현재 문화재 보존 처리에 사용되고 있는 재료 중에서 복원 과정에 사용되고 있는 재료들을 수급, 이를 분석하여 복원제로서의 특성(접착성, 가공성, 내구성, 가역성 등)을 조사한 후, 이를 통해 더욱 효과적인 복원 재료를 연구, 개발하고 유물에 직접 적용 가능 여부를 확인해보고자 하였다.

DM-1 (mercaptan계 에폭시 퍼티)은 2액형의 페이스트 형태로 개발하였으며 저수축으로 절삭력이 우수하게 개발되었다. 개발된 저수축·절삭력이 우수한 퍼티는 원액에 충전제인 필러를 첨가하여 가공성 및 작업성을 높이고자 하였으며, 충전제로는 백색의 micro-balloon을 사용하였다. 또한 사용하기에 편리한 점도 형태로 개발하였으며, 마모율을 높여 경화 후에 성형하기 쉽도록 제조하였다. 원액에 충전제의 비율에 따라 나타나는 물성을 비교하여 최종 충전제 비율을 40%로 결정하였으며 5분 경화용으로 빠른 경화 속도에 의한 작업의 편리성 및 작업 시에 발생하는 표면 오염과 손에 묻어나지 않는 작업의 안전성을 도모하였다.

경화제와 충전제 비율에 따라 접착력, 경도, 강도, 마모율의 조절이 가능하며, 경화 후 부피 변화가 없고, 작업자에 무해하고 안정성을 지닌 복원제로 개발한 장점을 지니도록 제조하였으며, 이들의 제조 타겟(target)은 현재 문화재 보존 처리에 복원 재료로 많이 사용되고 있는 페이스트 형태의 CDK 520 K, Quick wood, SV427 + HV427로 문화재 복원용 재료였으며 각각의 재료 물성들을 측정하여 이에 준하도록 제조하였다.

DM-1 (paste)의 접착 강도는 2.23 MPa, 마모율은 3.69%, 경화 반응 시간은 약 5 min, 인장 강도는 10 kg/cm<sup>2</sup>, 자외선 노출 72 h 후의 E\*ab 변화량은 31.79, 경도는 23.3 Hs, 비중은 0.468, 압축 강도는 1.9 MPa, 수축율은 0%를 나타내고 있었다.

마모율에서는 CDK 520 K와 SV427 + HV427 보다 약 12~24배, 경화 시간에서는 약 14~18배를 증진시켰으며 나머지의 물성은 이에 준하도록 제조하였다. Quick wood에 비하여는 마모율에서 약 3.5배를 증진시켰으며 빠른 경화를 나타내는 이들의 특성과 비교하여도 약 2.8배를 증진시켜서 매우 빠른 경화와 매우 우수한 절삭력을 가지도록 하였으며 수축 및 변형도 일어나지 않았다.

HD-1 (diamine계 에폭시 퍼티)은 개발된 원액에 충

전제인 필러를 첨가하여 가공성 및 작업성을 높였으며, 짧은 경화 시간, 높은 절삭력으로 인한 다양한 문화재 보존용 메움제로의 사용이 가능하며, 사용하기에 편리한 페이스트 형태로 개발하였다.

HD-1 (paste)의 접착 강도는 2.67 MPa, 마모율은 3.91%, 경화 반응 시간은 약 10 min, 인장 강도는 54 kg/cm<sup>2</sup>, 자외선 노출 72 h 후의  $\Delta E^*_{ab}$  변화량은 22.48, 경도는 55 Hs, 비중은 0.461, 압축 강도는 4.28 MPa, 수축율은 0%를 나타내고 있었다.

마모율에서는 CDK 520 K와 SV427 + HV427에 비하여 약 12~26배 증가되었으며, 경화 반응 시간에서는 약 7~9배 증진시켰고 나머지의 물성은 이에 준하도록 제조하였다. Quick wood의 마모율 1.02%보다는 약 3.5배 이상 증가되었으며 경화 반응 시간 또한 약 0.5배 정도 증진시켜서 유사한 경화 반응 시간과 매우 우수한 절삭력을 가지도록 하였고 수축 및 변형이 일어나지 않도록 제조되었다.

또한 DM-1 (mercaptan계 에폭시 퍼티)과 HD-1 (diamine계 에폭시 퍼티)의 비교 결과 접착력, 절삭력, 강도, 경도 등 모든 물성 면에서 HD-1이 우수한 성질을 보여주었으며 특히 DM-1보다 높은 강도와 경도를 보이면서도 마모율은 더욱 높아져 복원 후의 성형 작업을 보다 손쉽고 안전하게 할 수 있다는 장점을 확인할 수 있었다. 또한 DM-1보다 HD-1이 경화 시간을 늦추고 황변 현상도 감소하여 복원 작업 및 유물에 대한 안정성도 높여주게 되었다.

개발된 2종류의 에폭시 퍼티는 기존에 사용되고 있는 문화재 복원 재료와 비교해 볼 때 물성적 측면이나 문제점들을 해소할 수 있는 매우 우수한 재료들로 생각되어지며 충전제 또는 안료 등의 첨가에 따라 다양한 재질의 문화재 복원 재료로도 폭넓게 활용이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 개발된 두 재료 모두 황변현상에서는 비교대상인 3종의 재료와 비슷하거나 높은 변화율을 보여 향후 추가적인 연구를 통해 개선되어야 할 부분으로 판단되어진다.

#### 감 사

본 연구는 2015년 한서대학교 학술연구비 지원사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사합니다.

#### 참 고 문 헌

1. O. H. Lee, "Conservation Science for Cultural Heritage", O. H. Lee, 1, 1, Juluesung, Seoul (2009).
2. E. K. Kim, D. W. Park, and S. Y. Jang, *Journal of*



- Adhesion and Interface*, **14**, 128 (2013).
3. B. J. Nam, D. W. Park, H. M. Kang, S. Y. Jang, and Y. H. Jung, *Journal of Conservation Science*, **26**, 135 (2010).
  4. J. S. Bae, D. S. Cheong, W. H. Kim, S. I. Kang, and K. C. Wi, *Journal of Conservation Science*, **30**, 104 (2014).
  5. S. J. Oh, D. S. Cheong, G. J. Park, and K. C. Wi, *Journal of Conservation Science*, **31**, 106 (2015).
  6. P. S. Yang and J. H. Seo, *Journal of Conservation Science*, **27**, 50 (2011).
  7. H. S. Lee and H. S. Hwang, "The Conservation and Restoration ceramics", H. S. Lee, H. S. Hwang, **1**, 1, National Museum of Korea, Seoul (2007).
  8. K. C. Wi, "Development of Low Yellowing and Low Compressive Reversible Polymers for Pottery and Earthenwares Restoration II", K. C. Wi, **1**, 1, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon (2013).
  9. K. C. Wi, "Development of Low Yellowing and Low Compressive Reversible Polymers for Pottery and Earthenwares Restoration I", K. C. Wi, **1**, 1, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon (2014).
  10. S. J. Oh, G. J. Park, and K. C. Wi, *Journal of Conservation Science*, 31 (2015).