Journal of Conservation Science
Vol.26, No.2, pp183-190(2010)
Printed in the Republic of Korea

가역성을 갖는 도자기 복원용 무황변 우레탄 수지의 개발과 이를 이용한 도자기의 복원

한원식* | 박기정** | 임성진*** | 이영훈**** | 홍태기**** | 위광철*,[1]
*한서대학교 문화재보존과학연구센터, **서울역사박물관 보존처리과,
***국립현대미술관 수집보존팀, ****한서대학교 화학과

The Development of the Unfading Urethane Polymer Based on Reversible Properties for Ceramics and Restoration with This Urethane Product

Won-Sik Han* | Gi-Jung Park** | Sung-Jin Lim*** | Young-Hoon Lee**** | Tae-Kee Hong**** | Koang-Chul Wi*,[1]
*The Research Center of Conservation Science for Cultural Heritage, Hanseo University, Seosan, 356-706, Korea
**Department of Conservation Science, Seoul Museum of History, Seoul, 110-062, Korea
***Office of Collection and Conservation, National Museum of Contemporary Art, Gwacheon, 427-701, Korea
****Department of Chemistry, Hanseo University, Seosan, 356-706, Korea

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

초 록 무황변 가역성 도자기 복원 재료를 위하여 우레탄을 제조하여 이용하였다. 이 저점도형 우레탄은 사용자가 강도 조절이 가능하도록 제조하였다. 이 우레탄 복원재는 매우 강한 접착 강도와 전단 강도를 나타내고 있으며, 그간 일반적으로 사용되어온 에폭시 복원재와 같은 충진성, 수축성, 도색성을 갖도록 제조되었다. 특히, 현재 일반적으로 사용되는 에폭시계 복원재의 문제점인 황변 현상과 비가역성 문제를 해결함으로서, 도자기의 복원의 항구성과 지속적인 안정성을 부여할 수 있을 것으로 보인다. 또 본 우래탄 복원재를 이용하여 도자기를 직접 적용 복원하였으며 복원 후, 이를 재 용해하여 복원제를 완벽히 제거하는 과정을 통하여 복원의 가역성도 보이고자 하였다.

중심어: 무황변, 도자기, 가역성, 우레탄, 복원 재료

ABSTRACT We fabricated urethane material based on properties of reversible and unfading for antic-ceramics restoration. This material with low viscosity was made hardness control possible that user want. And it have very strong adhesion and shear strength properties and is shown the best properties for pigment filling, anti-contractibility, coloring as like epoxy system materials. Particularly, the yellowing and ir-reversibility problem in epoxy restoration material were finally solved. So, there is guarantee in the eternity and stabilization of restoration for antic-celamics. And in order to show the reversible state of the restoration, we successfully dissolve this urethane materials in solvent after perfect restoring subsequently.

Key Words: Unfading property, Ceramics, Reversible property, Urethane, Restoration material

접수 10. 05. 11 / 심사 10. 05. 28 / 승인 10. 05. 31

1. 서 론

도자기의 재질은 형태가 만들어진 점토에 인위적으로 열을 가하여 그 구조 안전성을 증진시킨 결과물로 매우 복잡한 산화물의 조합 물질이다. 이는 소성 과정에서 입자 계면 간의 융착으로 인하여 그 형체 안정도와 강도가 비교적 증가된 편임에도, 발굴 전의 환경과 발굴 후의 환경 변화, 보관 상황 등에 의해 원형을 잃는 경우가 종종 발생하곤 한다[1]. 이처럼 발생되는 도자기의 손상 요인으로는 여러 가지가 있지만, 대부분을 차지하는 것은 물리적인 충격으로, 발굴 전에는 매장 환경에서의 토압이 주된 원인이고 발굴 후에는 취급 부주의와 복원 과정의 문제들이 주된 파손 요인이라 할 수 있다[2]. 이러한 여러 가지 요인으로부터 보호 조치를 하는 것과 이미 파손된 유물을 원형대로 복원하는 것이 보존 전문가의 직무라 할 수 있는데, 복원 작업이 필요한 구체적인 이유는 첫째 장식된 도자기의 형태나 미학적인 측면을 복원하기 위해서이며 둘째는 역사적 관심을 일으킬 수 있는 유물로 되돌리기 위해서이다. 셋째는 유물 조각들의 유실을 막기 위해서이며 넷째는 깨진 부분, 특히 파단면 모서리 부분에 발굴 전, 토양의 여러 가지 이온들에 의한 착색이나 변색, 변형들을 막거나 손상이 생기는 것을 방지하기 위해서이다[3]. 물론 파손된 유물의 조각들이 역사적인 가치로만 판단되어 왔다면, 더 이상의 복원은 필요하지 않겠지만, 이러한 유물들은 예술 작품으로써 평가되는 것도 중요하기 때문에 원래 있었던 모양으로 조각을 맞추어 복원하는 것도 매우 중요한 작업이라 할 수 있다. 이런 도자기 복원 작업에 있어 중요하게 요구되는 점들 중에 하나는 적합한 복원 재료의 선택이라 할 수 있다. 유물의 특성에 정확히 맞는 재료의 정확한 적용은 도자기 유물의 보존에 있어 필수적인 요건으로, 이 재료들은 첫째, 유물에 영향을 주지 않으면서 언제라도 최초의 상태로 돌릴 수 있도록 가역성이 있어야 하며 둘째, 복원할 도자기의 접합면에 좋은 접착 능력을 가져야 한다. 셋째, 작업하기 편하도록 연마가 가능하여 성형할 수 있어야 하며 넷째, 색상이 변하거나 수축하지 말아야 한다. 다섯째, 처리 대상인 도자기보다 강도가 약하고 부드러워야 하며 여섯째, 채색이 가능해야 한다는 요구점들을 가지고 있다[4]. 즉, 가역성, 접착성, 성형성, 무황변성, 반수축성, 강도 조절 가능성, 채색 가능성이 요구 사항이라고 할 수 있으며, 이중에서 특히 가역성과 무황변성 부분은 도자기의 복원 문제뿐만이 아니라, 보존 처리 기본 원칙에도 반드시 요구되는 사항이라 할 수 있다.

현재까지 우리나라에서 일반적으로 사용되고 있는 도자기 복원 재료들은[5] 거의 모두가 에폭시로 구성된 복원재들로서 무취, 무독성의 장점을 갖고 있고, 다양한 비율의 충전제 혼합 가능성과 내충격성, 내진동성, 내마모성, 내약품성, 색상 및 치수 안정성, 접착 강도들이 우수하다는 평가를 받고 있다[6~9]. 하지만 이 에폭시의 몇 안되는 단점 중에 하나인 비가역성과 황변성은 유물에 적용하여 복원 재료로 사용하기에는 매우 큰 문제로 대두되지만 이에 대한 연구와 개발이 부족하여 현재까지도 계속적으로 비가역성 황변 에폭시를 사용하고 있는 상황이다. 이를 위하여 가역성과 무황변성의 소재인 polyvinyl Butyral[10] 메움제가 개발되어, 실 적용된 바도 있으나, 이 재료의 경우, 고점도인 메움제로는 매우 우수한 결과를 나타내지만, 저점도를 위하여 용매의 사용을 증가시킨 거푸집형으로의 사용 시에는 수축율의 문제를 일으키게 된다. 즉, 용매를 사용한 이와 같은 polyvinyl Butyral 종류의 수지의 경우, 가역성과 황변성의 문제에서는 매우 우수한 결과를 나타내지만 수축률의 해결이라는 어려운 문제에 도달하게 되므로 용매를 사용하지 않아 수축을 없애면서, 무황변성을 갖고, 추후 재복원시 쉽게 용해되어 가역성이 있는 재료의 적용이 도자기 복원에 대단히 절실한 필요 사항이라 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 무황변과 가역성을 가지며 저점도에서 거푸집형으로도 사용이 가능하도록 수축률이 없는 재료에 대하여 보고하고자 하였으며, 이를 유물 복원에 직접 이용함으로 그 적용의 정확성까지를 알아보고자 하였다.

2. 실 험

2.1. 실험재료

복원 재료의 우레탄 주제 (isocyanate terminated prepolymer)는 isocyanate와 폴리에테르와 가교제를 사용하였다. isocyanate로는 무황변 타입인 IPDI (isophorone diisocyanate)는 바스프 제품을 그대로 사용하였다. 경화제 (polyol mixture)의 주 원료인 폴리에테르를 다양한 분자량의 제품을 자체적으로 합성하여 사용하였고 가교제는 1,6-hexamediol, glycerine, triethylamine 등은 알드리치사의 제품을 그대로 사용하였다. 반응 촉매로는 금속 촉매의 경우, TH-503는 TOYO사의 제품을 사용하였고, T-9, T-12, stannous octate는 에어프로덕트사의 제품을 사용하였다. 표면 경도

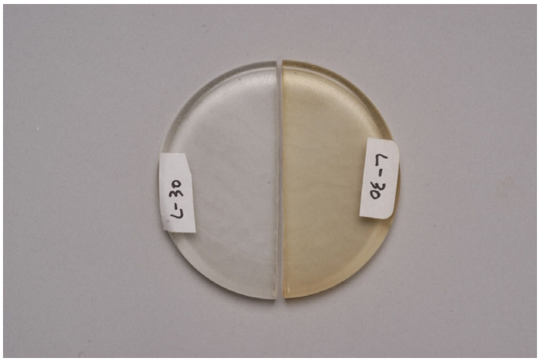

Figure 1. Color change of L-30, before and after UV exposure.

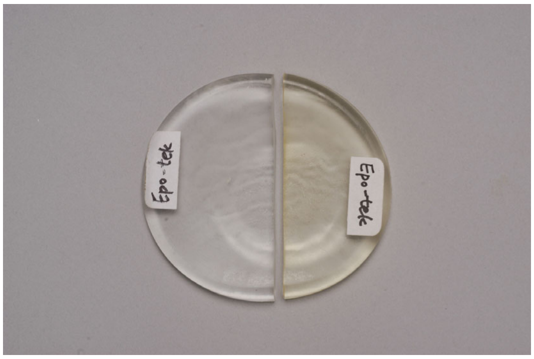

Figure 2. Color change of Epo-tek, before and after UV exposure.

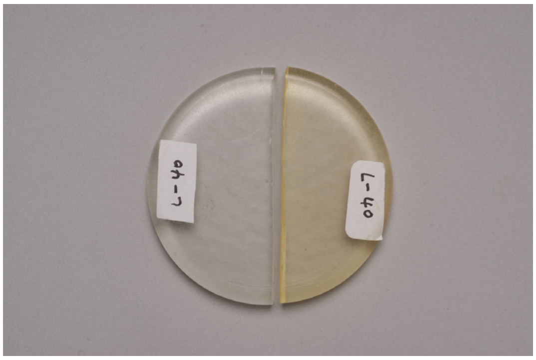

Figure 3. Color change of L-40, before and after UV exposure.

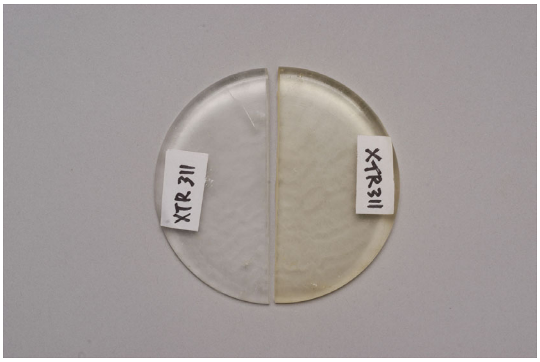

Figure 4. Color change of XTR-311, before and after UV exposure.

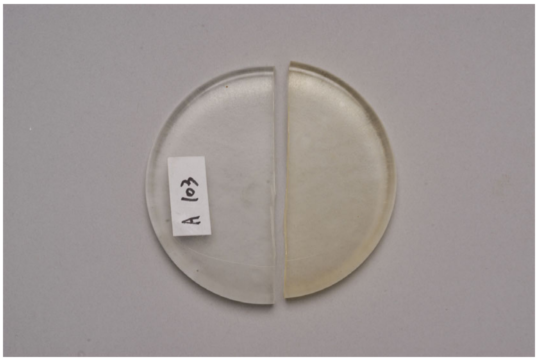

Figure 5. Color change of AW103, before and after UV exposure.

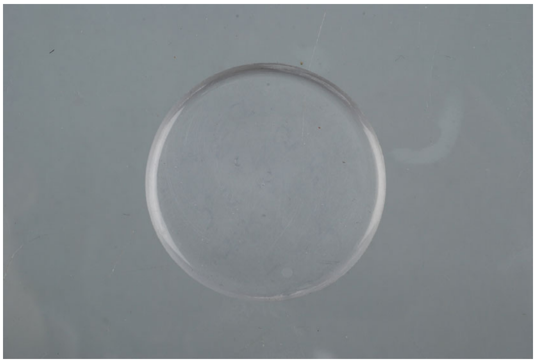

Figure 6. Unfading surface of urethane resin, before and after UV exposure.

는 showa A형과 D형을 (showa Co. Japan) 이용하여 측정하였으며, 모든 시험들은 KS 시험법을 이용하거나 일부 변형하여 사용하였다. 기기의 적용이 불가능하거나 KS 시험법을 찾지 못한 경우에는 임의로 실험실에서 제조하여 사용하되 실험 결과의 신뢰성을 높이도록 실험 결과값들을 늘여서 이를 평균하는 방법을 이용하였다. 접착강도와 인

Figure 7. Pre-restoration of deficiency part with mud.

Figure 8. Process of cast form with silicon polymer.

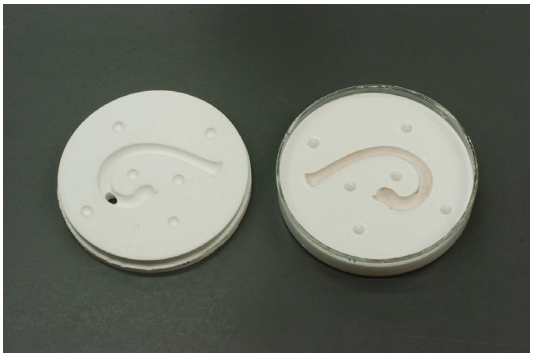

Figure 9. Final form of silicon cast.

Figure 10. Process of filling with urethane polymer.

Figure 11. Separation of silicon moler.

Figure 12. Adhesion final product with same polymer.

장강도 측정은 universal test machine을 (홍인, Korea) 사용하였으며, 황변도는 KS 시험법의 내후성 시험법에 의거하여 UV-chamber를 (SK HACCP, Korea) 임의 제조하여 사용하였다.

2.2. 복원 재료의 제조 및 분석

주제는 3 L의 4 구 플라스크에 교반기, dropping funnel, 질소 주입관, 온도계를 장치한 후, 질소 분위기 하에서 액상의 isocyanate를 넣고, 급착 반응을 막기 위하여 35℃ 이

Figure 13. Process of matching color with brush.

Figure 14. Final restoration state.

Table 1. The physical properties of urethane material.

Item of the experiment.	Result
viscosity (resin / hardener)	(3800 / 3200) cPs at 20℃
Contraction rate	0%
Surface hardness of original form without filler	showa A 90, showa D 68
Surface hardness of urethane with 10% Talc	showa A 74, showa D 42
Surface hardness of urethane with 10% Al_2O_3	showa A 93, showa D 70
Surface color change in UV room during 24 hrs	none
Shear strength	265 (± 8) kg/cm^2
Adhesion strength	140 (± 4) kg/cm^2
Melting point	above 200℃
Transition temperature	about 135℃
Coloring rate	adhesion
Max. mixing rate (Al_2O_3)	1.3 times of resin
possible working time	1 hrs
Hardening time	4 hrs (at 50℃), 8 hrs (at 25℃)
solubility after hardening	Sol. in MEK. acetone, toluene, THF

하의 폴리에테르를 분당 50 ml로 첨가하였다. 첨가 후, 온도를 10 분당 10℃로 승온하였으며, 이를 80 ± 2℃에서 6 시간 동안 반응시켜, NCO 10 ~ 30%의 isocyanate terminated prepolymer를 합성하였다. polyol mixture 경화제는 폴리에테르 폴리올에 가교제, 촉매를 혼합한 후에 50℃에서 교반하여 제조하였다. isocyanate terminated prepolymer의 isocyanate 함량은 250 ml 삼각 플라스크에 3.0 g의 isocyanate terminated prepolymer를 소수점 넷째자리까지 칭량하여 20 ml의 무수 톨루엔으로 완전히 용해시킨 후에 di-N-butylamine 용액 20 ml를 가하여 5 분간 교반시켰다. 100 ml의 iso-propyl alcohol을 사용하여 플라스크의 기벽을 세척한 다음 BPB (bromophenolblue) 용액을 적가하여 용액이 청색에서 황색으로 변할 때까지 표준화한 1 M의 HCl 용액을 적가하여 황색이 30 초 이상 유지될 때를 종말점으로 계산하였다. 이때 각 시료에 대하여 blank test는 3 회, 본 시험을 5 회 시행하였으며, 본 시험의 결과는 최소치와 최대치를 제외한 후 세 결과치의 평균으로 isocyanate terminated prepolymer내에 존재하는 NCO%를 결정하였다.

$$NCO\% = \frac{(B-T)(4.202)(f)}{S}$$

B: blank test에 소비된 1 M HCl의 ml 수

T: 본 시험에 소비된 1 M HCl의 ml 수

f: 1 M HCl의 factor

S: 시료의 무게 (g)

isocyanate terminated prepolymer는 반응 종결 후에 FT-IR로서 약 2270cm^{-1}의 NCO group과 3300cm^{-1}의 NH 기가 나타나는 것으로서 isocyanate terminated prepolymer의 합성을 확인하였다.

2.3. 측정

우레탄 합성 여부는 nicolet 사의 spectrometer 550 FT-IR 을 사용하여 확인하였으며, 점도의 측정은 visco star plus (Fungilab Co. Italy)를 이용하여 측정하였다. 접착강도 및 전단 인장강도는 KS-M3722 시험법과 변형 KS 시험법으로 측정하였다. 황변도는 KS-M5982 시험법을 이용하여 형광 U.V. 응축 방식을 이용한 촉진 내후성 시험법으로 측정하였다. 313 nm에서 최대 파장을 나타내는 U.V. 램프를 이용하여 120 Watt 분위기에서 24 시간 동안 노출하여 1 시간 간격으로 표면 색도 변화를 관찰하였다. 충진성은 제조된 우레탄 100 g에 산화알루미늄을 혼합조에서 혼합하여 접착강도와 인장강도가 85%까지를 나타내는 점을 포화 충진도로 계산하였다. 수축성은 충진된 메움제를 눈금이 있는 폴리머 코팅지가 붙어있는 종이 틀에서 경화시킨 후, 이의 메스실린더 상에서 체적을 측정하여 변화를 계산하였다. 도색성은 KS 시험법의 부재로 인하여, 직접 아크릴물감을 도색하여 건조한 후, 테이프를 이용하여 이들의 박리로 검토하였다. 가역성 역시 KS 시험법의 부재로 인하여 메움제의 완전 경화 후, MEK, acetone, toluene, THF 등의 용제에 용해시켜 재 용해 가능 정도를 확인하였다. 녹는점와 전이 온도의 측정은 300℃까지 가열이 가능한 기름 중탕기 내에 1.0 g의 경화된 수지 샘플 5 개를 넣은 유리관에 온도계를 접촉시킨 녹는점 측정 장치를 이용하여 바로 수지의 액체화 온도와 수지의 표면 유동성이 생기는 온도를 측정하여 이를 기록하였다.

3. 결과 및 고찰

제조된 우레탄 복원 재료의 측정된 물성을 Table 1.에 나타내었다. 복원재는 거푸집형 복원 제작에 용이하도록 저점도로 제조하였으며 주제와 경화제의 점도는 각각 3800과 3200 cPs였다. 접착도의 경우, 140 kg/cm^{2}로 (최고 180 kg/cm^2) 기존에 사용되는 에폭시계의 접착 강도에 비해서는 낮게 나타났지만 평균적인 에폭시의 접착 강도의 (XTR-311의 경우, 170 kg/cm^2) 약 2/3 이상을 나타내었고, 전단 강도는 265 kg/cm^{2}로 (최고 340 kg/cm^2) 에폭시계의 전단 강도와 비슷한 결과들을 나타내고 있었다. (XTR-311의 경우, 245 kg/cm^2) 이들의 전단 강도와 접착강도로 볼 때, 본 우레탄 복원 재료는 재료상의 문제에 의하여, 도자기 자체에 문제를 만들거나 접착력의 문제로 임의 박리되지는 않을 정도의 강도를 가진 것으로 보인다. 또, 충전제의 사용 정도에 따라 차이는 있겠지만, 충격으로 인한 유물의 파괴 현상은 기존의 필요 이상의 강한 접착도를 가지고 있는 에폭시계 수지를 사용했을 때 보다, 계면 접착성을 낮게 조정하여 제조함으로 도자기와 복원재 계면 간의 박리가 수월해져서 훨씬 안정해진 것으로 보인다. 이는 충진제의 종류와 충진 정도의 차이가 있겠지만, 큰 전단 강도에 비하여 접착도가 낮게 제조됨으로 충격이 가해질 경우, 도자기 계면과 복원재의 계면의 박리 형태로 나타날 수 있을 것으로도 충분히 예상 가능하였다. 수축도는 본 복원에 사용된 우레탄의 경우, IPDI 90%, polyol (chain extender) 10% 및 triethylamine 촉매가 함께 제조된 주제와 polyol 95%, 1,6-hexamediol 4%, glycerine 1%가 triethylamine과 stannous octoate 촉매와 같이 제조된 경화제를 이용할 경우, 수축이 발생하지 않았으며, 여기에 주제와 경화제를 포함한 질량의 33%까지의 Al_2O_3를 첨가한 경우에도 수축 내지는 팽창이 발생치 않았다. 경화 시간은 상온에서 8 시간, 55℃에서는 4 시간 이내였으며 가사 시간은 1 시간 이내였다. 표면 경도는 수지만으로는 showa A형이 90, D형이 68을 나타냈고, 10%의 탈크가 포함된 경우에는 showa A형이 74, D형이 42를 나타내어 경도가 떨어졌으나 Al_2O_3 33% 까지 첨가한 경우에는 showa A형이 93, D형이 70으로 오히려 증진되어 이를 이용하면 표면 경도의 조절도 가능하여 보인다. 이 결과는 우레탄 복원재의 자체 강도에 상대적으로 무른 재질인 탈크가 강한 재질의 Al_2O_3보다 표면의 경도를 낮게 하는 이유로 보이며, 이런 이유로 충진재로 micro-balloon을 사용할 경우, 더 낮은 표면 경도를 갖는 우레탄 복원재의 이용 또한 가능한 것으로 보인다. 이 시편들을 24 시간 동안 UV에 노출시킨 결과들을 Figure 1 ~ 6까지에 나타내었다. 충분히 예상되었던 결과이지만, XTR-311의 경우, 약 4 시간 후에 변색하였으며 (N 6/0 → 7.5G 5/1) L-40의 경우, 약 5 시간 후에 (10 Y 4/1 → 7.5 Y 4/1) 변색이 나타났다. L-30과 Epo-tech, AW-103 역시 6 시간 이후부터 심한 변색이 나타났으나, 합성된 본 우레탄 복원 재료의 경우 24 시간까지 충진제의 유무에 관계없이 UV로 인한 황변 현상은 나타나지 않았다 (원 수지의 경우 N 7/0,

Al_2O_3 충진제 33% 사용 시 N 8/0). 아크릴 물감을 이용한 도색의 경우, 매우 안정된 착색이 가능하였으며 재 용해를 위한 시험에는 MEK, acetone, toluene, THF와 같은 유기 용매에 모두 용해될 수 있었으며 산화알루미늄과 같은 충진제가 포함된 경우에도 물리적 인자를 가하지 않더라도 완전한 용해가 가능하였다.

현대의 도자기 복원은 유물의 파손 형태에 따라 복원 방법을 다르게 적용하고 있는데, 대표적인 방법으로 직접 복원제를 채워 넣어 복원하는 메움식의 방법과, 형태의 다양성을 가지고 있거나 수작업으로 제작이 어려운 문양들을 위하여 그 형태를 거푸집으로 만들고 저점도의 흐름성을 가지는 복원 재료로 복원하는 거푸집형의 방법들을 주로 사용한다. 본 우레탄 복원재료는 저점도의 특성과 무 수축성의 장점을 갖고 있는바, 직접 이를 이용하여 유물의 복원에 거푸집 형 복원법을 적용하였다. 보존처리에 사용된 유물은 시중에서 구할 수 있는 현대 도자기로서 거푸집을 이용한 방법에 적합한 형태로서 일부분을 파손시킨 후 보존처리를 실시하였다. 거푸집을 이용하는 방법은 유물의 결손부위를 원래의 형태대로 제작한 다음, 그 부분을 복제하여 다시 복원제로 떠내는 방법으로, 주로 실리콘이나 알긴산염과 같은 유연성과 매끄러운 표면을 가지고 있는 재료를 사용하여 원하는 형태를 떠내고자 하였다. 복원에 사용된 도자기는 주전자형 자기로 백자이며 손잡이 부분이 깨져있는 상태로, 유토를 사용하여 원래 모양에 맞게 손잡이 부분을 만들어 주었다 (Figure 7). 이때 사용된 유토는 굳지 않는 장점이 있어 결손부 모양을 만들 때 많이 사용되는 재료이며, 이를 이용하여 제작된 손잡이 모양의 유토를 도자기에서 분리한 다음 Figure 8에서 9와 같이 실리콘을 이용하여 형틀을 제작하였다. 이 형틀에 윗부분에 나중에 복원될 물질을 주입하기 위한 주입구를 남겨 놓았으며 실리콘이 경화되면 유토를 제거하였다. 이 형틀에 합성된 우레탄 수지를 주입하여 (Figure 10) 상온에서 약 8 시간 경화시킨 후, 실리콘에서 경화된 손잡이 부분을 분리하였다 (Figure 11). Figure 12와 같이 거푸집을 이용하여 제작된 주전자형 백자의 손잡이를 동일한 재료인 합성된 우레탄 수지로 접착한 후, 이를 움직이지 않도록 고정하여 8시간 이상 유지하였다. 연결부의 틈새 또한 동일의 수지를 이용하여 메움작업을 진행하였으며 완전 건조가 진행된 후, Figure 13과 같이 색 맞춤을 실시하였다. 색맞춤 과정은 붓도색만으로 작업하였는데 착색과정 또한 아무런 문제를 보이지 않아 이를 최종적으로 완성할 수 있었다 (Figure 14). 복원이 완료된 주전자형 백자의 복원부위를 가역성 테스트를 위해 용기에 아세톤을 채우고 복원부위를 잠기게 하여 분리가 잘 되는지를 살펴보았으며, 완전한 용해가 가능하여 가역성이 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

그 동안 도자기 복원 재료로 주종을 이루었던 에폭시 수지의 단점인 황변성과 비가역성의 해결과 polyvinyl butyral 메움제의 단점인 수축성의 해결을 위하여 우레탄 수지를 이용하여 도자기 복원 재료를 제조하였으며 유물에 이를 직접 적용하여 복원한 후, 이를 다시 원래의 상태로 되돌리는 과정을 실행하였다. 거푸집형으로 제조된 우레탄 수지는 접착성 (최고 180 kg/cm^2)과 충진성 (1.3 times for Al_2O_3), 수축성 (0%), 도색성 (adhesion with acryl colors), 강도 (220 ~ 340 kg/cm^2)와 경도 (showa A 74 ~ 93, showa D 42 ~ 70) 조절 가능성 등에서 우수한 물성을 나타내었다. 특히 무황변성으로 볼 때, 변색 시 재 복원을 해야 하는 에폭시의 문제점을 해결한 좋은 결과를 보였으며, (none color change in U.V. room in 24 hrs) 우수한 가역성으로 인하여 복원의 문제점 발생시, 도자기의 안정성을 담보할 수 있는 좋은 여건이 생긴 것으로 보인다 (Sol. in MEK, acetone, toluene, THF). 경화 시간은 25℃에서 8 시간 이내였으며 가사 시간은 주제와 경화제 혼합 후, 1 시간 이내였다. 이의 적용성을 확인하기 위하여 백자의 손잡이의 복원에 직접 적용하였다. 거푸집을 이용한 형태 복원의 안정성, 작업성, 표면도, 채색성, 재용해성들에서 매우 우수한 결과를 나타내어 이를 이용할 경우, 매우 적절한 강도와 접착성을 갖고 있어 도자기의 안정적인 복원이 가능한 것으로 보인다.

사 사

이 논문은 2008년 교육과학기술부의 재원으로 한국학술진흥재단(KRF-2008-359-C00001)의 지원을 받아 수행된 연구이며, 이에 감사합니다.

참고문헌

1. 양필승, 문선영, "도자기 복원재료 연구". *문화재보존연구*, 2, p31, (2005).

2. 원용국, "성경과 고고학". 가을호, p3, (2003).

3. 박기정, "국립고궁박물관소장 청화백자운룡문준 보존처리". *문화재보존연구*, 2, p68, (2005).

4. Williams, N., "Porcelain repair and restoration a handbook". *The British Museum Press*, p67, (2002).

5. Horie, C. V., "Materials for Conservation". *Butter-worths, London*, (1987).

6. Ciba Specialty Chemicals, Data sheet, Ciba Korea Ltd

7. Poongrim, Data sheet, Poong-rim Ltd, Korea

8. HIS classwork, Data sheet, HIS classwork, INC, Korea

9. 김사덕, 김순관, 김창석, 홍정기, 강대일, 이명희, "석조문화재 에폭시수지 개발 시험연구" *보존과학연구*, **20**, p139-155, (1999).

10. 한원식, 위광철, 박기정, 홍태기, "가역성을 갖는 무황변 Polyvinyl Butyral 메움제 개발과 이를 이용한 삼천사지 분청사기접시의 복원". *보존과학회지*, 25, p293-298, (2009).