

## 청동유물 보존처리에 사용되는 강화처리제의 특성 비교

조현경 · 조남철★

공주대학교 문화재보존과학과  
(2009. 5. 13. 접수, 2009. 6. 8. 승인)

### A comparative study on consolidants for bronze objects conservation

Hyun-kyung Cho and Nam-chul Cho★

Department of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea  
(Received May 13, 2009; Accepted June 8, 2009)

**요 약:** 문화재 보존처리의 목적은 훼손된 원형을 되찾아주고, 부식을 억제함으로써 문화재를 오래도록 보존하는 것이다. 현재 많이 사용하는 청동유물 보존처리용 강화처리제 4종을 선별하여 코팅 특성을 조사하였으며 코팅 표면 관찰, 박막 두께, 접착력, 접착각 및 표면에너지 등을 측정하였다. 또한 코팅의 변색과 노화 정도를 알아보기 위해 황변실험과 박막의 임피던스를 측정하였다. 그 결과, 수지 B와 수지 V가 우수한 코팅 특성을 보였다. 그러나 강화처리의 목적에 맞는 평가 요소는 수지와 시편간의 접착력과 황변에 대한 안정성 및 방식 성능이므로 수지 B가 현재 사용하는 4종의 강화처리제 중에서 강화처리의 목적에 가장 적합한 효과를 보여주었다.

**Abstract:** The purpose of metal artifacts conservation is recovering the original state of objects and preventing it from further corrosion. Four different consolidants are selected that are widely used for bronze objects conservation. This study found out the characteristics of thin film by various experiments and analysis for the bronze plates coated using each solutions. After a series of analysis, resin B and V showed good coating properties. However, the evaluation point suited to this purpose are adhesive strength, stability against yellowing and corrosion resistance. Therefore, resin B of four different consolidants could expect to get the most suitable consolidation effect for consolidation purpose.

**Key words :** consolidant, bronze objects conservation, resin, coating property

### 1. 서 론

금속유물은 출토되는 순간부터 부식이 진행되며, 부

식된 금속유물은 금속 특유의 성질인 강성, 인성, 연성, 전성 등을 상실하게 되어 취급이 어려워진다. 따라서 적절한 시기에 알맞은 보존처리가 이루어지지

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)41-850-8541 Fax : +82-(0)41-850-8540

E-mail : nam1611@kongju.ac.kr

않으면 출토된 금속유물은 점차 파손되어 그 원형을 잃어버리게 된다. 금속유물의 보존처리는 처리기관과 보존과학자에 따라 약간의 차이가 있으나 대부분 처리 전 예비조사, 이물질 제거, 안정화 처리, 강화처리, 접합 및 복원의 과정으로 이루어진다. 이 중 강화처리는 부식인자를 제거한 금속유물에 수지를 주입하고 표면을 피복하여 약화된 유물을 강화하고, 공기 중의 수분 및 오염가스의 부식인자를 차단시켜 앞으로의 부식을 예방하도록 하는 것이다.<sup>1</sup>

우수한 강화 효과를 나타내는 강화처리제는 금속유물 표면과 친화력이 좋으며, 열에 의해 수축·팽창 등의 영향을 받지 않아야 한다. 또한 강화처리 후에도 금속유물의 미학적 가치를 훼손시키지 않는 동시에 강화처리의 목적인 약화된 유물 강화와 외부의 오염물과 마모를 방지해야 한다.<sup>2,3</sup> 이러한 기준에 가장 적합한 청동유물 보존처리용 강화처리제를 알아보기 위해 많이 쓰이고 있는 강화처리제 4종을 선별하여 각각의 용제에 따라 5%, 10%, 15%, 20% 용액을 제조하였다. 이들 용액을 청동시편에 코팅한 후 다양한 실험과 분석을 통해 강화처리제들의 코팅 특성을 알아보았으며 가장 코팅 효과가 우수한 강화처리제를 선별하여 차후 보존처리 시 활용될 수 있는 기초 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험재료 및 시료준비

선택한 강화처리제 4종 중 수지 B, I, N은 Rohm & Hass Co.에서 개발한 아크릴 수지이다. 수지 B는 poly methyl acrylate와 poly ethyl methacrylate (MA/EMA)의 copolymer이며 용제로는 xylene을 사용하였다. 수지 I는 Acryloid B44, methyl methacrylate copolymer에 benzotriazole (BTA)과 실리콘 오일, 자외선 흡수제가 첨가된 혼합물로 용제는 ethyl alcohol이다. 수지 N도 아크릴계 수지이나 acrylic resin의 입자들이 VM & P Naphtha에 용해되어 있는 비수용성 emulsion이라는 점에서 수지 B, I와 다르다.<sup>4</sup> 수지 V는 fluor olefin과 alkyl vinyl ether의 공중합체 탄화불소 코팅제로써 불소 함유율이 25~32%에 이른다. 용제로는 YK-D80을 사용하였다. 이들 수지를 각각의 용제에 혼합하여 5%, 10%, 15%, 20% 용액을 제조하였다. 용액을 코팅할 청동 방자판(Cu 78%, Sn 22%)을 약 2×2 cm로 자른 후 SiC 연마지 #200부터 #2000까지 순차적으로 연마하고 ethyl alcohol로 초음파세척을 실시하였다. 표면

처리가 완료된 청동 시편에 dip-coating 방식으로 코팅한 후 24시간 동안 자연 건조하여 코팅을 완료하였다 (Table 1).

### 2.2. 분석

#### 2.2.1. 시료표면관찰

각 강화처리제로 코팅한 청동시편의 표면을 실체현미경(MZ75, LEICA Co.)으로 20배 확대하여 관찰하였으며, 디지털 카메라(D200, Nikon Co.)로 촬영하여 서로 비교하였다. 원자력간현미경(AFM: Atomic Force Microscope, XE-150, PSA Co.)은 실체현미경에서 관찰할 수 없었던 나노 단위의 표면관찰이 가능하므로 코팅한 시편의 미세한 표면을 관찰하고자 이용하였다.

#### 2.2.2. 코팅 박막의 물리적 특성

박막의 분광 특성을 통한 반사량에 근거하여 비접촉식 박막두께 측정 장비인 광학박막두께측정기(ST5000, K-MAC Co.)를 이용하여 박막 두께를 측정하였으며, 시편과 박막 사이의 접착력은 Nano Scratch Tester (CSM Instrument Co.)를 이용하였다. 3단계의 임계하중(critical load(L<sub>C</sub>)) 중 코팅 박막이 벗겨지기 시작한 L<sub>C2</sub>(delamination)를 기준으로 하여 접착력을 평가하였다.<sup>5,6</sup> ISO (International Organization for Standardization)에 명시된 기준에 따라 광택계(VG-200 Gloss meter, NIPPONDENSHOKU Co.)로 코팅 후의 광택도를 측정하였다. 본래 시료로써 사용하던 청동시편의 경우 일정한 거칠기로 표면처리를 하였으므로 그 자체의 광택이 매우 높은 편이다. 그러므로 기본 광택이 낮은 플라스틱 샘플에 청동시편과 같은 방법으로 코팅한 후 측정을 실시하였다.

#### 2.2.3. 접착각과 표면에너지

청동시편에 코팅된 박막의 표면 성질을 알아보기 위해 접착각 측정기(DSA100, KRUSS GmbH Co.)로 접착각을 측정하여 코팅의 소수성 정도를 파악하였다. 이 때 사용한 측정용액은 초순수(H<sub>2</sub>O)와 디오도메탄(CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>)이며, 두 용액에서 측정된 접착각을 Owens-Wendt-geometric mean에 적용하여 표면에너지를 계산하였다.<sup>7</sup> 계산된 표면에너지는 분산성분과 극성성분의 합으로 표현되며 이들 성분의 기여도는 표면의 성질을 예측할 수 있게 한다.<sup>8</sup>

#### 2.2.4. 코팅 박막의 노화도 실험

코팅된 강화처리제의 황변화를 촉진시키기 위해

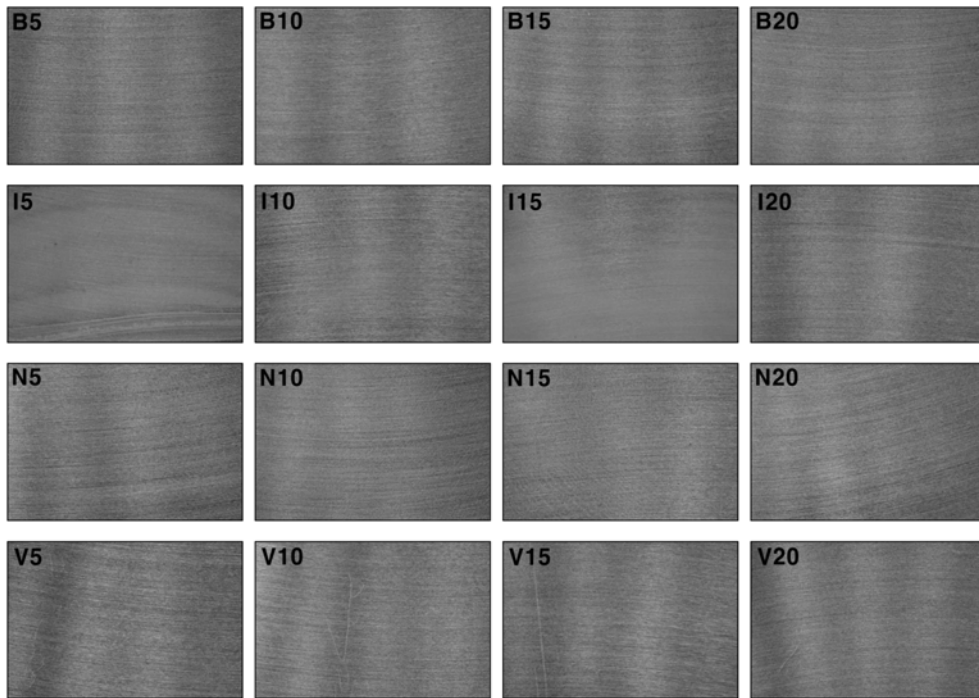


Fig. 1. Optical microscope images of coated samples (×20).

720시간(30일) 동안 자외선(UV)을 조사하였다. 사용한 자외선의 파장은 254 nm와 365 nm이며, 기기는 Ultraviolet Fluorescence Analysis Cabinet (Model CL-150, Spectroline Co.)이다. 황변실험 중에 일어나는 색도의 변화는 이를 간격으로 색도계(Chroma Meter CT-200, Minolta Co.)로 3회 연속 측정하여 평균값을 계산하였으며,  $L^*a^*b^*$ 값으로 나타내었다. 또한 전기화학적 임피던스분광학(EIS, Electrochemical Impedance Spectroscopy)에 의해 박막의 부식속도를 측정하였다. 측정기기는 Potentiostatic EIS(DC105, Gamry Co.)이며, 수용액으로는 0.1 M 염화나트륨(NaCl) 용액을 사용하였다. 측정된 임피던스 스펙트럼은 보데도표(bode plot)로 도시하였다.<sup>9,10</sup>

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 표면관찰

##### 3.1.1. 실체현미경

각 강화처리제로 코팅한 시편의 표면을 실체현미경으로 관찰하였다(Fig. 1). 수지 B는 전체적으로 모든 농도의 코팅 박막이 투명하게 형성된다. 수지 I는 백화현상으로 인해 불투명한 코팅 박막을 형성한다. 수

지 I로 코팅한 시편 표면에 코팅흔적이 남은 것은 수지 I가 다른 용액에 비해 상대적으로 낮은 점도를 가지고 있는데다가 용매인 ethyl alcohol의 증발속도가 (evaporation rate) 낮아 수지가 표면에 고르게 퍼지기 전에 용제가 증발하였기 때문으로 추정된다(Table 1 참고). 수지 N의 표면도 투명한 편이나 수지 B 코팅 표면보다는 약간 붉은 빛이 관찰된다. 수지 V 역시 투명한 박막을 형성하나 코팅 용액이 고르게 퍼지지 못한 것을 확인할 수 있다. 수지 I와 수지 V에 비해 상대적으로 수지 B와 수지 N이 수지와 용제간의 증발속도 차이가 적어 비교적 투명하고 균일한 박막을 형성한 것으로 보인다.

#### 3.1.2. AFM에 의한 표면분석

실체현미경으로는 관찰이 불가능한 나노미터(nm)단위의 표면을 AFM을 이용하여 관찰하였고 코팅 시편의 3D topography를 Fig. 2에 나타내었다. 색의 분포가 고르게 나타날수록 시편의 표면이 고르다는 것을 의미한다. 수지 I와 수지 V의 표면은 박막 두께가 매우 얇아 수지 B와 수지 N의 표면에 비해 세밀한 형상을 찾기가 어려웠다.

수지 B로 코팅한 시편은 시편 B5에서만 흑색부분

Table 1. The property of solution and the name of samples

Resins	Solvents	Evaporation rate of solvents	wt%	Viscosity (m·Pa·s=cps)	Sp.Gr(60 °F)	Samples
B	Xylene	75	5	2.06	0.880	B5
			10	5.61	0.895	B10
			15	15.11	0.909	B15
			20	39.00	0.924	B20
I	Ethyl alcohol	<1	5	1.01	0.800	I5
			10	1.11	0.805	I10
			15	1.29	0.812	I15
			20	1.47	0.814	I20
N	VM&P Naphtha	100<	5	1.64	0.867	N5
			10	3.51	0.866	N10
			15	5.61	0.865	N15
			20	14.53	0.863	N20
V	YK-D80	<1	5	2.08	0.825	V5
			10	3.58	0.829	V10
			15	4.11	0.835	V15
			20	4.96	0.843	V20

Evaporation rate : n-BuAC=100 (25 °C)

Sp.Gr(60) : Specific Gravity, 60 °F

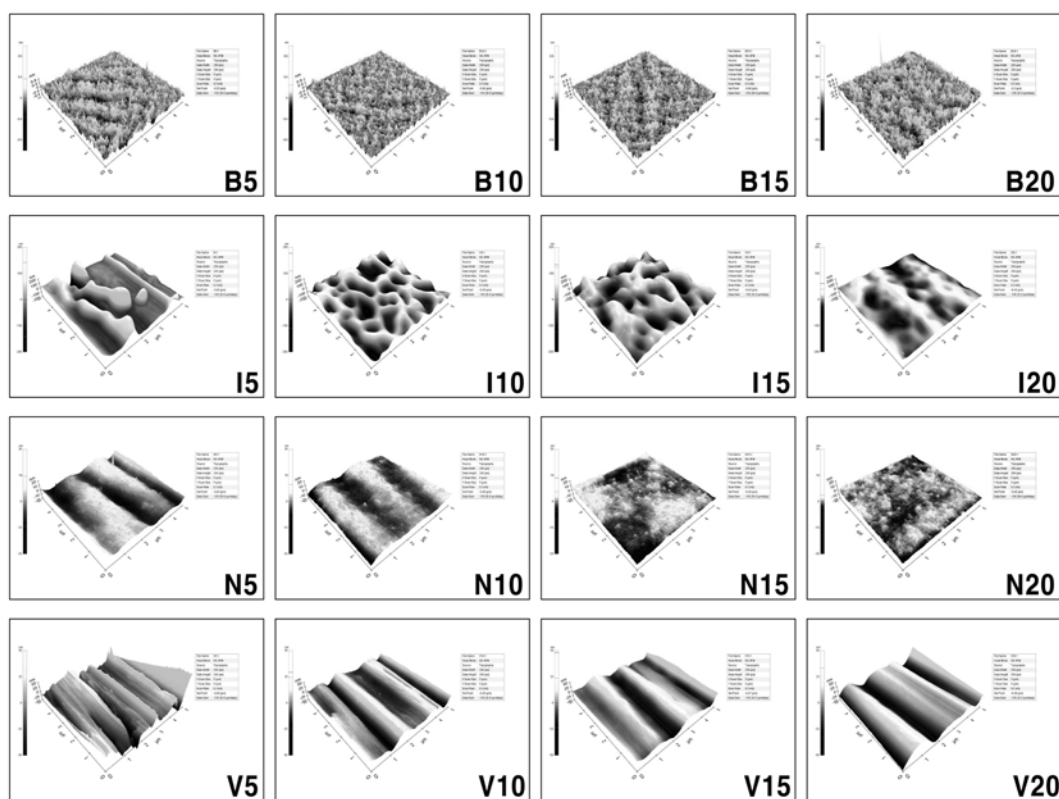


Fig. 2. AFM images of samples coated by each consolidant.

이 뚜렷한 편이며 다른 시편에서는 거의 나타나지 않는다. 그러므로 수지 B로 코팅한 시편들은 농도에 따른 시편 형상의 차이가 없다고 볼 수 있다. 수지 I로 코팅한 시편들은 상당히 굴곡진 표면을 형성하며 농도가 높아질수록 고른 표면을 형성한다. 수지 N으로 코팅한 시편인 시편 N5와 N10에서 실제현미경으로는 관찰하지 못했던 코팅 방향의 굴곡이 관찰된다. 수지 V가 다른 강화처리제와 다른 점은 모든 농도에서 코팅 방향의 굴곡이 두드러지게 나타난다는 점이다.

코팅 흔적이 남은 시편 N5, N10, V5, V10, V15, V20의 경우 코팅 용액이 고르게 퍼지기 전에 용제가 증발하여 나타난 현상으로 보인다. 그러나 수지 I의 경우 박막이 얇아 표면 형상에 상당히 모호하므로 코팅 흔적에 따라 비교하기는 어렵다. 따라서 4종의 강화처리제 중 가장 고른 코팅 표면을 가지는 것은 수지 B이며, 농도와 관계없이 고른 코팅 표면을 형성한다.

3.2. 코팅박막의 물리적 특성

3.2.1. 박막두께

고분자 수지의 코팅 두께는 용액의 농도, 점도, pulling-up speed 등에 의해서 결정된다. 본 연구에서 pulling-up speed는 일정하게 유지하였으므로, 각 코팅 박막의 두께는 용액의 농도 및 점도 그리고 용매의 증발속도(evaporation rate)에 의해 결정된다. 각 강화처리제로 코팅한 박막의 두께측정 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 수지 I의 경우 용액 자체의 점도가 낮아 용매인 ethyl alcohol의 증발속도가 빨라 용액이 빠르게 퍼지는 동시에 용매가 증발하여 코팅 박막의

두께가 1 μm 미만으로 매우 얇다. 그러므로 보호막으로써의 기능을 할 만한 두께를 형성하지 못한 것으로 생각된다. 수지 B와 수지 N의 박막은 농도에 따라 증가하는 경향성을 보인다. 수지 B는 4종의 강화처리제 중 두꺼운 박막을 형성하는 편이며 특히 시편 B20의 박막은 5 μm 이상으로 가장 두껍다. 수지 V의 코팅 박막 역시 수지 I와 마찬가지로 용매인 YK-D80의 증발속도가 빨라 모두 1 μm 미만의 얇은 박막을 가지므로 보호막으로써의 기능을 할 만한 두께를 형성하지 못하는 것으로 생각된다. 대체로 낮은 농도인 5% 용액의 코팅 박막은 두께 차이가 크지 않으나 농도가 높아질수록 박막의 두께 차이가 크게 나타난다. 따라서 박막의 두께는 높은 농도의 용액을 기준으로 비교한 결과 수지 B의 박막이 가장 두껍다.

3.2.2. 시편과 코팅박막 사이의 접착력

시편과 코팅 박막 사이의 접착력은 scratch test를 통해 확인된 3단계의 임계하중(critical load(L<sub>C</sub>)) 중 코팅 박막의 조각이 시편에서 떨어져 나오는 시점(delamination)인 L<sub>C2</sub>를 기준으로 알아보았다(Fig. 4).<sup>5,6</sup> 수지 B와 N의 경우 농도가 높아질수록 접착력의 증가폭도 증가하며 15%까지는 수지 B의 접착력이 크지만 20%에서는 수지 N의 접착력이 크다. 그러나 각각 11.19 mN과 12.81 mN으로 큰 차이는 없다. 낮은 농도에서는 4종의 강화처리제 간의 접착력 차이가 크지 않은 편이나 농도가 증가할수록 강화처리제 간의 접착력 차이가 크게 나타난다. 따라서 높은 농도에서의 접착력을 비교하여 본 결과 수지 I, 수지 V보다는 수지 B와 수지 N의 접착력이 우수한 편으로 나타난다.

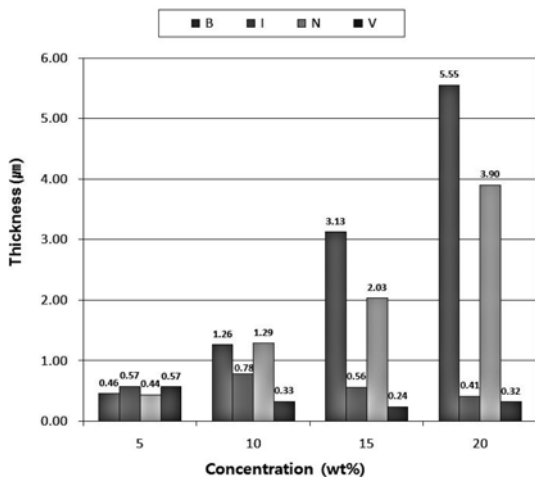


Fig. 3. Film thickness.

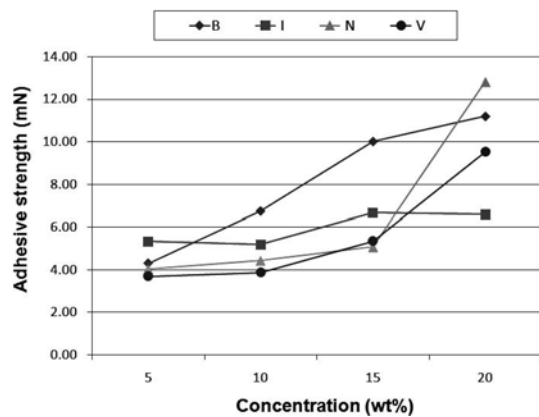


Fig. 4. Adhesive strength of each consolidant film.

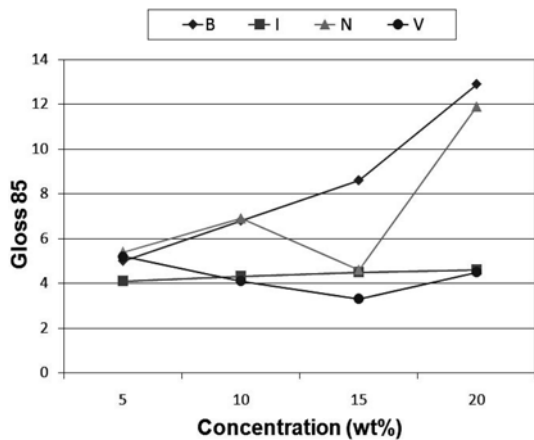


Fig. 5. Gloss 85 of each consolidant film.

3.2.3. 코팅 박막의 광택도

강화처리 후 발생하는 광택은 유물을 관람 혹은 전시하는데 있어 이질감을 느끼게 한다. 그러므로 가능하다면 강화처리를 하더라도 유물 본래의 느낌을 해치지 않도록 하는 것이 바람직하다. ISO (International Organization for Standardization)에서 명시한 광택도 측정 기준을 청동시편에 적용시켜 측정된 값은 지나치게 고풍택으로 측정되었으므로 광택이 낮은 플라스틱 샘플을 기본 베이스로 하여 측정을 실시하였다 (Fig. 5). 시편 B15, B20, N20을 제외하고는 모두 Gloss 60의 측정값이 10 이하의 값을 가진다. Gloss 60의 측정값이 10 이하일 경우 Gloss 85의 측정값을 취하는 ISO 규격에 명시된 광택도 관리기준에 따라 본 연구에서의 광택도는 Gloss 85의 측정값을 이용하였다.

강화처리제 중 수지 I가 가장 낮은 광택도를 가지나 불투명한 백색 박막이 형성되었으므로 투명한 박막의 광택을 측정하고자 하는 본 연구의 의도와 맞지 않는다. 따라서 수지 I를 제외한 다른 강화처리제 중 낮은 광택도 값을 보이는 것은 수지 V로 3~5.5의 값을 가진다. 수지 B의 경우 농도가 높아질수록 광택도가 증가하며 시편 B20은 12.9의 높은 광택도 값을 보인다. 수지 N 역시 농도가 높은 시편 N20의 광택이 높은 편이다. 그러므로 4종의 강화처리제 중 투명하면서도 낮은 광택을 가지는 박막을 형성하는 것은 수지 V이다.

3.3. 접촉각과 표면에너지

접촉각 측정을 통하여 고분자 수지 박막의 소수성 (hydrophobic)과 친수성(hydrophilic) 정도를 판단할 수

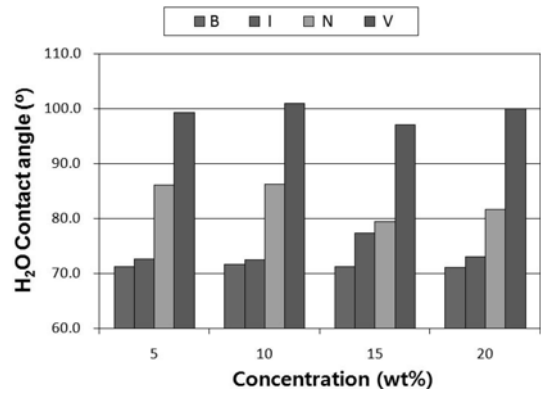


Fig. 6. H<sub>2</sub>O contact angle of each consolidant film.

있으며, 두 종류의 측정 용액을 통해 박막의 극성과 분산성 기여도를 예상할 수 있다. 두 가지 측정용액 중 초순수(H<sub>2</sub>O)는 극성용액, 디오도메탄(CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>)은 분산용액에 해당된다. 모든 시편에서 초순수(H<sub>2</sub>O)의 접촉각이 크게 나타났으며 이로 보아 고분자 수지의 코팅 박막은 극성을 띠는 박막임을 알 수 있다.<sup>7</sup>

H<sub>2</sub>O의 접촉각이 클수록 (Fig. 6) 박막은 소수성 경향을 띠며 소수성이 클수록 코팅 박막의 결합이 적고 코팅 박막이 시편 표면의 기공 등을 완전히 덮었다는 것을 의미한다.<sup>1</sup> 전체적으로 H<sub>2</sub>O 접촉각은 농도와 관계없이 일정한 값을 가지는 것으로 보아 소수성 정도는 농도와 관계없이 일정한 것으로 보이며 수지 V의 소수성이 가장 크다.

표면에너지가 큰 물질은 인력이 크기 때문에 다른 물질이 접촉할 경우 강한 접착력을 나타내게 된다. 코팅 박막의 표면에너지가 크다면 외부 오염물질이 표면에 흡착할 경우 제거가 어려워 코팅 효과가 지속되기 어려울 것이다. Fig. 7에 나타난 표면에너지 중 가

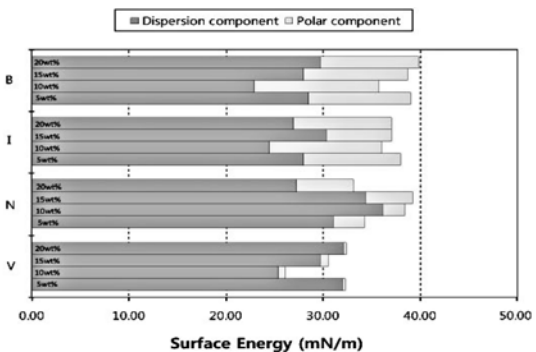


Fig. 7. Surface energy (consist of polar component and dispersion component).

장 작은 것은 20~33 mN/m의 수치 V이며 따라서 외부 오염물질의 흡착 정도가 가장 적을 것으로 보인다.

표면에너지 중 극성항이 차지하는 양을 나타내는 것이 극성값(Fig. 7)이며, 반대로 극성값이 작을수록 분산항의 비율이 높다는 것을 의미한다. 즉, 극성항의 비율인 극성값이 작을수록 코팅 수지가 시편 표면에 넓게 퍼졌음을 의미한다.<sup>8</sup> 코팅 박막들은 대체로 분산항에 의해 표면에너지가 결정되어 극성값은 모두 0.5 미만으로 나타났다. 표면에너지 중 분산항의 비율이 가장 큰 것, 즉 극성값이 가장 작은 것은 수치 V의 박막이다. 모두 0.05 미만의 극성값을 가진다. 수치 I와 수치 B의 극성값이 상대적으로 매우 크며, 수치 N의 경우 10~20% 코팅에서는 점차 증가하는 경향을 보인다. 따라서 4종의 강화처리제 중 청동시편 표면에 수지가 가장 넓게 퍼져있는 것은 수치 V이다. 수치 B의 소수성도 일반적인 코팅 박막이 가지는 소수성을 기준으로 한다면 적절한 정도이나 4종의 강화처리제 중에서는 우수하지 못한 편이다. 또한 표면에너지가 커서 오염물질에 의해 표면이 오염될 경우 오염물질의 제거가 쉽지 않을 것으로 생각된다. 수치 I의 경우 소수성, 표면에너지, 극성값의 모든 요소에서 낮게 평가되어 코팅 수치로는 적절하지 않은 것으로 보인다. 수치 N은 낮은 농도에서는 수치 V 다음으로 우수한 성질을 가지나 높은 농도인 시편 N15, 시편 N20의 박막은 소수성, 표면에너지의 요소에서는 수치 B와 크게 다르지 않다.

3.4. 코팅 박막의 노화도 실험

3.4.1 황변실험

강화처리 후 시간이 지나면 고분자 수지는 노화되고 손상되기 마련이다. 청동유물의 안정적인 보존에는 수지의 광학적·화학적 안정성이 반드시 확인되어야 한다. 본 연구에서는 수지의 광학적·화학적 안정성을 확인하기 위해 720시간(30일) 동안 인위적으로 자외선(UV)를 조사하는 황변실험을 실시하였다.<sup>11</sup>

10% 강화처리제로 코팅한 시편의 색도 변화를 살펴보면(Fig. 8, 9), L\*, a\*, b\*의 모든 좌표에서 수치 I의 색도 변화가 두드러진다. 이로 보아 수치 I로 코팅을 할 경우 다른 강화처리제들에 비해 코팅 전·후의 색상이 많이 변하며 동시에 자외선에 의한 색상변화가 매우 크다. 또한 수치 N의 경우 실험이 진행될수록 a\*값의 변동폭이 점차 증가하므로 수치 B와 수치 V보다는 자외선에 불안정하다. 20% 강화처리제로 코팅한 시편의 경우 수치 I는 7차 측정값을 기점으로 a\*

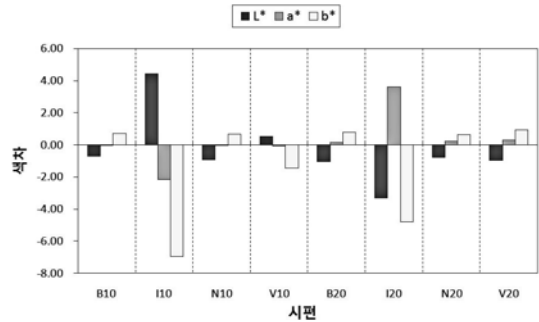


Fig. 8. Chrominance of each consolidant film.

값은 급격히 감소하는 변화를 보이며, b\*값의 경우 급격하게 증가하는 양상을 보인다. 또한 10~11차 측정에서는 또 다시 반대 방향으로 변화하는 양상을 나타낸다. 반면 다른 강화처리제들은 거의 변동이 없이 일정하게 증가 혹은 감소하는 경향을 보인다. 수치 B, 수치 N, 수치 V는 20% 코팅에서 안정한 색도 변화 양상을 보여준다.

황변실험 전·후의 색차를 Fig. 8에 나타내었다. 색도 변동이 심했던 수치 I를 제외한다면 실험이 진행되는 동안 전체적으로 밝기인 L\*값이 감소했으며 황변을 지시하는 +b 방향으로 변화한다. 그러나 V10의 경우 -b 방향으로의 변화가 나타났는데 이는 15차 측정에서 b\*값이 다시 증가하는 경향을 보이므로 황변 현상이 나타나지 않았다고 단정하기는 어렵다.

전체적인 색변화를 나타내는 색차값 ΔE\*ab를 계산한 결과, 수치 I를 제외하고 다른 시편들은 1.01~1.52 범위 안에서 색차값 ΔE\*ab가 측정되었다(Fig. 9). 자외선에 의한 색도 변동이 가장 심한 것은 수치 I이며 나머지 강화처리제들 중 a\*값의 변동이 나타난 수치 N을 제외하면 수치 B와 수치 V는 색도 변화가 거의

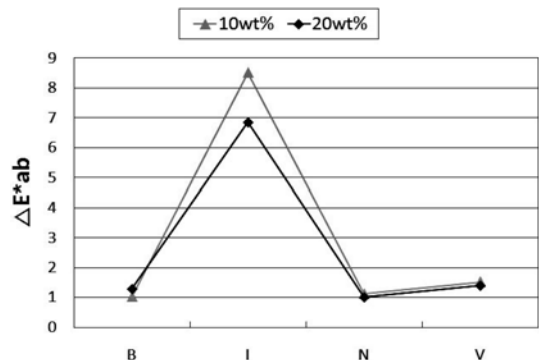


Fig. 9. ΔE\*ab of each consolidant film.

비슷한 양상을 띤다. 따라서 자외선으로 인한 색상변화와 황변에 가장 안정한 강화처리제는 수지 B와 수지 V이며 황변에는 수지 B가 더 안정하다.

### 3.4.2. EIS에 의한 부식저항성 측정

청동시편에 코팅된 각 강화처리제의 방식 성능을 실험하기 위해 전기화학적 임피던스 측정을 실시하였다. 박막 아래에서 발생하는 부식에 대한 분극저항이 클수록 방식 효과가 크며, 임피던스 결과는 박막 자체의 두께와 관련되는 박막의 분극저항 외에도 실험 용액의 저항, 박막의 피복기공저항과 박막의 아래에 생성되는 부식생성물에 의해 영향을 받는다.<sup>9</sup>

Fig. 10, 11의 스펙트럼은 주파수가 증가하여도 임피던스값이 감소하는 비율은 일정하다. 이로 보아 박막의 피복기공저항은 매우 작은 것을 알 수 있으며, 실험 중 박막-시편 경계면에 생성되는 부식생성물에 의한 박막의 결함은 일정한 속도로 생겨나는 것으로 생각된다. 10% 강화처리제로 코팅한 박막에 대한 임피던스 측정 결과(Fig. 9), 모든 주파수 영역에서 수지

B의 코팅 박막의 임피던스가 크며, 그 다음으로는 수지 N, 수지 I, 수지 V의 순이다. 20% 강화처리제로 코팅한 박막의 경우(Fig. 10) 수지 I와 수지 V의 순서가 바뀌어 수지 B, 수지 N, 수지 V, 수지 I 순으로 임피던스가 크다.

수지 I의 경우 10%와 20% 코팅 박막의 임피던스가 5~5.5  $\Omega$  정도로 거의 비슷하게 나타나는 것은 박막의 두께도 거의 차이가 없으며 고주파수 영역으로 갈수록 생성되는 부식생성물의 양과 박막의 기공이 농도와 관계없이 거의 비슷하기 때문일 것이라 생각된다. 그러나 수지 V의 경우 박막의 두께는 10%와 20%가 거의 비슷하지만 고주파수 영역으로 진행되는 동안 생성되는 부식생성물의 양과 기공이 수지 I보다 적기 때문에 오히려 20% 코팅 박막의 임피던스가 크게 나타난 것으로 보인다.

## 4. 결 론

청동유물 보존처리에 쓰이고 있는 4종의 강화처리제인 수지 B, 수지 I, 수지 N, 수지 V에 대해 다양한 표면분석방법 및 전기화학적 임피던스 측정 등을 이용하여 각 강화처리제별로 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 강화처리제를 코팅한 시편의 표면을 실체현미경과 AFM을 통해 관찰한 결과, 수지 I는 형성된 박막이 불투명할 뿐 아니라 표면에 굴곡이 많은 것을 알 수 있다. 수지 V는 투명한 박막을 형성하나 수지 I와 비슷한 양상을 보이며 수지 N의 경우 낮은 농도에서 코팅 방향의 흔적이 발견된다. 수지 B가 농도와 관계없이 고른 표면을 형성한다.

2. 코팅 박막의 물리적 특성인 박막의 두께, 접착력, 광택도를 측정하여 비교하였다. 수지 I와 V의 경우 접도가 낮고 용매가 빨리 증발하여 박막 두께가 얇으며 접착력 또한 낮은 편이다. 수지 N과 B는 광택도가 높게 나타나는 편이나 접착력은 우수한 편이며 박막 두께 역시 두꺼운 편이다. 수지 V의 경우 광택이 낮은 점에서는 다른 강화처리제에 비해 우수한 편이며 용액 자체의 점도도 다른 수지에 비해 작은 편이 아니므로 용매를 바꾸어 코팅을 하면 보다 두꺼운 코팅 박막을 얻을 수 있으며 이에 따른 접착력도 향상될 것으로 보인다.

3. 접착각 측정과 계산된 표면에너지를 통해 강화처리제 코팅 박막의 성질을 알아보았다. 그 결과, 모든 시편의 H<sub>2</sub>O의 접착각은 60° 이상을 나타내며 코팅 박

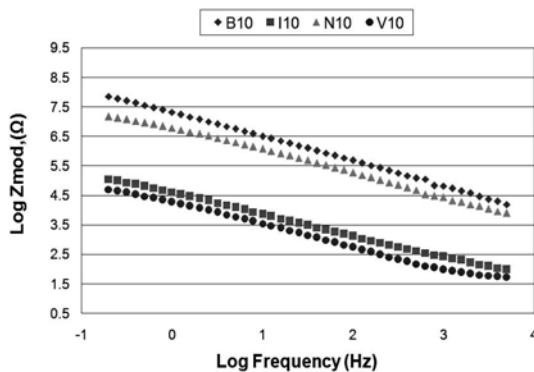


Fig. 10. EIS spectra for coated 10% consolidant.

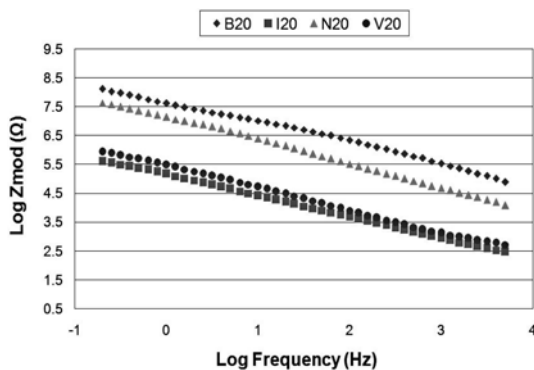


Fig. 11. EIS spectra for coated 20 wt% consolidant.



막들은 모두 극성을 띤다. 소수성과 농도는 관련이 없으나 수치 V의 소수성이 가장 크게 나타나며 수치 B가 가장 작다. 또한 수치 V의 표면에너지가 가장 작아 표면의 오염물질 흡착도가 적고 제거가 용이할 것이라 생각된다. 분산항의 비율, 즉 극성값은 수치 I와 수치 B가 큰 편이며 가장 작은 것은 수치 V이다.

4. 황변실험과 EIS를 통해 코팅 박막의 노화도를 비교하였다. 황변실험 결과, 수치 I의 색도 변화가 두드러지게 나타나므로 자외선에 가장 불안정하다는 것을 알 수 있다. 자외선으로 인한 색상변화와 황변에 가장 안정한 강화처리제는 수치 B와 수치 V이며 황변에는 수치 B가 더 안정하다. 또한 10% 용액보다 20% 코팅이 자외선에 더 안정하며 EIS 결과에서도 20% 코팅 박막의 방식성능이 우수한 것으로 나타났다. 농도와 관계없이 수치 B의 임피던스가 큰 것으로 보아 방식성능이 다른 강화처리제들에 비해 우수한 것으로 보인다.

연구 결과를 종합하여 청동유물 보존처리에 사용되는 4종의 강화처리제의 코팅 특성을 비교한 결과, 표면관찰, 접착력, 부식저항성, 자외선과 황변에 대한 안정성 등의 특성에서는 수치 B가 가장 우수하다. 그러나 소수성 및 분산 성질, 광택의 특성에서는 오히려 수치 V가 우수한 것으로 나타나고 있다. 수치 V는 용매와 관련되어 나타나는 특성인 코팅 박막의 표면, 두께, 부식저항성에서 수치 B보다 상대적으로 낮은 결과를 보여준다. 그러므로 수치 V의 경우 YK-D80이 아닌 증발속도가(evaporation rate) 높은 다른 용매에 용해하여 사용한다면 현재보다 우수한 성능을 보일 것으로 생각된다.

그러나 강화처리의 목적은 약화된 유물의 강화와 앞으로의 부식을 예방하는 것이며 이러한 목적에 맞는 평가 요소는 수지와 시편간의 접착력과 황변에 대한 안정성 및 방식 성능으로 볼 수 있다. 그러므로 수치 B가 현재 사용하는 4종의 강화처리제 중에서는 강화처리의 목적에 가장 적합한 강화 효과를 얻을 수 있을 것으로 본다.

### 감사의 글

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소의 지원을 받아 문화재 보존기술연구개발(R&D) 사업의 일환으로 이루어졌으며, (재)충남테크노파크디스플레이센터의 분석 지원에 감사드리는 바이다.

### 참고문헌

1. 허윤현, 석사학위논문, 용인대학교, 1-2(2003).
2. 박혜진, 석사학위논문, 한서대학교, 1-3(2006).
3. Vincent Otieno-Alego, David Hallam, Andrew Viduka, Graham Heath and Dudley Creagh, *Proceedings of the International Conference on Metals Conservation*, METAL **98**, 315-319(1995).
4. Rohm & Hass Company, "Acryloid<sup>®</sup> Thermoplastic solution Grade & solid grade Acrylic Resins for Solvent-borne Industrial Finishing", 1-6, Rohm&Hass, Philadelphia, 1992.
5. M. Barletta, A. Gisario, G. Rubino, L. Lusvardi, *Progress in Organic Coatings*, Available online **5**(POC-1246), (2008).
6. S. J. Bull, E. G. Berasetegui, *Tribology International*, **39**(2), 99-114(2006).
7. Zhong Zhi You and Jiang Ya Dong, *Applied Surface Science*, **253**, 2102-2107(2006).
8. 김영호, *공업화학전망* **8**(3), 82-93(2005).
9. Jones, Denny A., "부식과 방식의 원리", 607-610, 이의호 외 역, 동화기술, 2004.
10. C. Price, D. Hallam, G. Heath, D. Creagh, J. Ashton, *Proceedings of the International Conference on Metals Conservation*, METAL **95**, 233-241(1995).
11. 이상진, 권정순, 남병직, 안병찬, *보존과학회지* **21**, 41-48(2007).