

철기 유물 복원에 사용되는 에폭시 수지의 내후성 연구

이상진 | 권정순* | 남병직* | 안병찬*

경주대학교 부설 문화재연구소
* 경주대학교 대학원 문화재학과

Study on the Resistance for Atmospheric Corrosion of Conventional Epoxy Resins applied to the Restoration of Iron Relics

Sangjin Lee | Jeongssoon Kwon* | Byeongjik Nam* | Byungchan Ahn*

Institute of the Cultural Assets, Gyeongju University, Gyeongju 780-210. Korea

* Department of cultural Assets, Graduate School, Gyeongju University, Gyeongju 780-210. Korea

Corresponding Author : sjlee@kyongju.ac.kr

초 록 본 연구에서는 현재 철기 유물의 복원에 일반적으로 사용되고 있는 5종의 상용 에폭시 수지(Araldite rapid, Araldite AW 106, Araldite SV 427, Devcon, CDK)를 선택하여 온도, 자외선, 그리고 철기 유물의 부식인자 중 하나인 수분에 대한 내후성을 조사하였다. 각각의 에폭시 수지는 온도 상승에 따라 일정하게 부피가 변화되는 것을 알 수 있었으며, 특히 40℃와 70℃ 사이에서 급격한 변형이 일어나는 것을 확인하였다. UV에 노출시켰던 에폭시 수지는 모두 표면의 색상이 큰 폭으로 변화되었다. 실내조건의 경우는 모든 시험편의 색차(ΔE)가 2미만으로 색상의 변화가 약하였다. 에폭시 수지 시료 표면의 수분에 대한 평형 접촉각은 Araldite rapid>AW 106>Devcon>SV 427>CDK의 순서로 나타났다. 에폭시 수지를 UV에 노출시킨 경우 평형접촉각은 전반적으로 모두 감소하였으나, SV 427이 가장 안정적인 것으로 나타났다.

중심어 : 철기 유물, 복원, 에폭시 수지, 온도, 자외선, 수분, 내후성

ABSTRACT The resistance for atmospheric corrosion of the conventional 5 epoxy resins (Araldite rapid, Araldite AW 106, Araldite SV 427, Devcon, and CDK), those were used to restoration of the iron relics, were investigated in this study. Temperature, UV light, and water were chosen for the factors of the atmospheric corrosion. The drastic voluminous changes of the epoxy resins were found at the temperature range between 40°C and 70°C. After UV exposure, the colors of the epoxy resins were severely changed. In case of the indoor exposure the chroma value(ΔE) of the resins were less than 2, which showed a little changes of the colors. The result of the water contact angle test was Araldite rapid>AW 106>Devcon>SV 427>CDK. Although the contact angles of the resins were reduced by UV exposure, SV 427 was stable comparatively.

Keywords : iron relic, restoration, epoxy resin, temperature, UV, moisture, atmospheric corrosion

1. 서론

금속 유물(metal relics)은 고대의 무기, 마구류(馬具類)와 장신구, 실용품, 문방구 등 실로 그 종류와 형태가 매우 다양하며 크기 또한 작은 것은 수 cm에서부터 큰 것은 10 m에 가까운 것까지 여러 가지가 있다.¹ 이와 같이 방대한 양의 금속 유물들은 발굴현장에서 출토되는 순간부터 부식(corrosion)이 진행되므로 적절한 보존(consevation) 처리가 이루어지지 않으면 파손되어 원형을 잃어버리게 된다.²

금속 유물 중에서 특히 부식에 대한 손상을 쉽게 입는 철기 유물(iron relics)은 1970년대 이후로 실시된 대규모 유적발굴조사와 함께 수많은 철기 유물이 출토되면서 문화재의 보존이 큰 문제로 대두되었다.² 철기 유물은 금, 은, 그리고 청동 등 다른 금속재료의 유물보다 부식 등의 손상이 빠르며, 손상의 원인도 다양해서 온도와 습도의 변화, 철기 표면과 접촉하는 산, 알칼리, 각종 반응성 이온, 그리고 미생물 등에 의해서도 전기화학적으로 부식이 진행 된다.¹ 또한 매장되어 있던 환경 하에서 각종 토양의 염성분에 의한 부식과 토압에 의해서 원형을 유지하지 못하는 경우가 일반적이다. 이와 같이 손상된 철기 유물은 보존처리를 통하여 복원하는 과정을 거치게 된다.

보존처리 과정에서 철기 유물의 파편 접합과 결손부분의 복원을 위해 주로 사용하는 접착복원재료는 합성수지인 아크릴(Acrylic)계 수지, 셀룰로오스(cellulose)계 수지, 그리고 에폭시(Epoxy)계 수지를 사용하고 있는데, 이들 고분자 합성수지는 반영구적으로 안정하지만 비가역적이라는 단점을 가지고 있다.¹ 이 중에서 특히 에폭시계 수지는 현재까지 별다른 용해제가 없기 때문에 그동안 에폭시 수지가 적용되었던 수많은 유물의 재처리가 매우 곤란한 실정이다. 또한 금속재료인 철기 유물과 고분자계의 합성수지 사이의 재질 차이로 인해 수지의 경화과정에서 또는 경화 후에 철기유물과 접착복원재료의 접합면을 따라서 수축/팽창, 색상의 변화, 그리고 광택 형성 등과 같은 손상이 야기되기도 한다.² 이와 같이 접착복원재료로 사용되는 고분자 수지의 단점은 현장에서 보존처리를 담당하는 보존처리 실무자들이 공통적인 문제점으로는 인식하고 있지만, 현재까지 마땅한 대안을 찾지 못하고 있는 실정이다.

접착복원재료 중에서 특히, 복원재료로 사용되는 에폭

시계 수지의 경우 노화에 의한 2차적 훼손을 방지하기 위하여 노화의 진행시 관찰되는 징후에 대한 파악이 중요하다. 에폭시 수지의 노화는 크게 형태의 변화, 화학구조의 변화, 그리고 물성의 변화 등 여러 가지가 나타난다고 알려져 있다.³⁻⁵ 그로 인해 황변현상이 나타나기도 하고, 심각한 이물질들의 부착으로 인한 오염, 분자량의 저하, 산화물의 생성 등과 같은 화학적 구조변화를 야기하여 균열(crack), 미세 공극, 그리고 수축/팽창 등의 현상이 발생된다.⁵ 복원재료의 수축과 팽창 거동은 금속 재료인 철기 유물의 수축과 팽창 거동과는 전혀 다르기 때문에, 서로 다른 수축율/팽창율 차이로 인해 유물과의 접착면에서 균열이 발생될 수 있다. 일반적으로 이와 같은 변화의 주요인은 화학적 변화에 기인하는 것으로서 빛, 열, 그리고 산/염기 등이 작용하여 나타나게 된다.^{4,5}

따라서 본 연구에서는 현재 철기 유물의 복원에 일반적으로 사용되고 있는 에폭시 수지 5종을 선택하여 온도 변화에 따른 팽창/수축 거동, 광원(UV, 실외, 실내)에 따른 색상 변화, 그리고 철기 유물의 부식인자 중 하나인 수분에 대한 평형접촉각을 조사함으로써 각각에 대한 내후성을 살펴보았다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 국내의 보존처리 현장에서 철기 유물의 접착복원단계에서 일반적으로 사용하는 5종의 에폭시 수지를 선정하여 각각에 대한 내후성을 조사하였다. 이를 위해 접착복원재료에 대한 설문 문항을 작성하여 국립기관, 학교 박물관, 그리고 각급 발굴기관 등 문화재 보존처리 현장에서 종사하고 있는 각급 기관의 보존처리 전문가들의 의견을 종합하여 연구 범위를 설정함으로써 현재 철기 유물의 보존처리에 적용하고 있는 접착복원재료와 적용방법에 대한 신뢰도를 확보하였다.⁶ 설문조사를 통해서 철기 유물의 복원에 가장 일반적으로 사용하고 있는 에폭시계 수지는 Araldite rapid, Araldite AW 106, Araldite SV 427, Devcon, 그리고 CDK를 사용하는 것으로 확인되었으며 이 재료들을 실험 대상으로 선정하였다(Fig. 1.). 각각의 에폭시 수지의 특성을 Table 1에 나타내었다.

내후성 조사를 위한 실험 방법으로는 열·기계적 특성

분석기(Thermo Mechanical Analyzer, TMA 2940, TA Instrument, U.S.)를 이용하여 온도 변화에 따른 에폭시 수지의 팽창과 수축 거동을 조사하였으며, 자외선에 의한

영향을 조사하기 위하여 KS M ISO 4892⁶에 준한 방법으로 노화촉진실험을 행하였다. 에폭시 수지의 자외선 노화 실험을 위해 UV 시험기(miki-01, 고려자외선)를 사용하였고, 이 때 기기의 순간발광강도는 44mW/cm²(파장범위 : 320nm ~ 380nm)이며, 장착된 lamp type은 UV-A 365이다. UV 시험기의 내부온도는 33℃로 유지하였으며, 적산조도는 239mJ/cm²(10초), 자외선(UV)의 전체 조사시간은 288시간으로 설정하였다. 또한, 실험실 광원과 실제 옥외 광원 사이의 노화 가능성에 대한 비교를 위해 동일한 실험시편을 옥외와 실내에 노출시켰으며⁷, 한쪽을 검은색 테잎으로 막아서 광원에 노출되는 면과 노출이 차단된 면으로 구분을 지었다. 각각의 광원에 노출하기 전과 후에 색차계(CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 색도변화율⁵을 측정하였다. 그리고 철기 유물의 부식에 가장 큰 영향을 미치는 부식인자의 하나인 수분에 대한 안정성을 살펴보기 위하여 수분에 대한 평형접촉각(접촉각과 표면장력 측정장치, Phoenix 300, (주)에스이오, Korea)을 측정하였다.^{8,9}

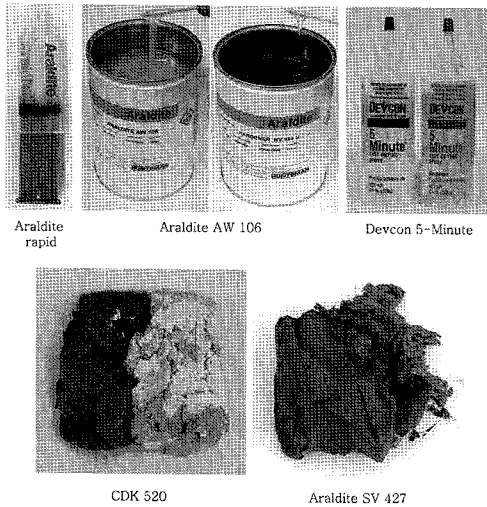


Figure. 1. Photograph of the epoxy resins

Table 1 Properties of the epoxy resins

Resins	Chemical composition		mixing (weight)	before mixing				fter mixing	
				viscosity (cPs)	density (g/cm ³)	pH	color	viscosity (cPs)	density (g/cm ³)
Araldite rapid	Resin (part A)	Bisphenol A epoxy resin	100	20,000~60,000	1.17	6	none	25,000~65,000	1.16
	Hardener (part B)	Polyamine	100	25,000~65,000	1.16	11	pale yellow		
Araldite AW 106	Resins (AW 106)	Bisphenol A Polyaminoid,	100	50,000	1.17	6	milky	45,000	1.05
	Hardener (HV 953U)	Aliphatic epoxy resin Polyamine	80	35,000	0.92	12	pale yellow		
Devcon 5-Minute	Resins (part A)	Bisphenol A epoxy resin	100	-	1.19	7	none	8,000~10,000	1.16
	Hardener (part B)	TAP (2,4,6 trisphenol)	100	-	1.13	9.5	pale yellow		
CDK 520	Resins (P 362 R)	Bisphenol A epoxy resin	100	-	-	-	brown	-	-
	Hardener (P 362 H)	polyamine	100	-	-	-	ivory		
Araldite SV 427	Resin (SV 427-2)	Bisphenol A epoxy resin	100	-	0.60	10	gray	-	0.60
	Hardener (HV 427-1)	Formulated aliphatic amine	100	-	0.60	11	dark brown		

3. 결과 및 고찰

가. 에폭시 수지의 온도에 따른 팽창/수축

보존처리를 완료한 유물의 경우 항온·항습이 유지되는 수장고에 보관하는 경우를 제외하고는 항상 온도와 습도 변화에 노출되어 있으므로 접착복원에 사용한 고분자 수지의 온도변화의 누적에 따른 부피 변형이 야기될 수 있다. Fig. 2는 온도 상승에 따른 에폭시 수지의 변형 거동을 측정된 결과를 나타낸 것이다.

이 결과에서는 측정에 사용한 모든 에폭시 수지들이 온도가 상온에서 150℃까지 증가함에 따라 일정하게 부피가 팽창이 되는 것을 알 수 있었다. 그러나 AW 106과 CDK를 제외한 에폭시 수지는 40℃와 70℃의 온도 범위 사이에서 급격하게 수축 현상이 일어나다가 그 이후 다시

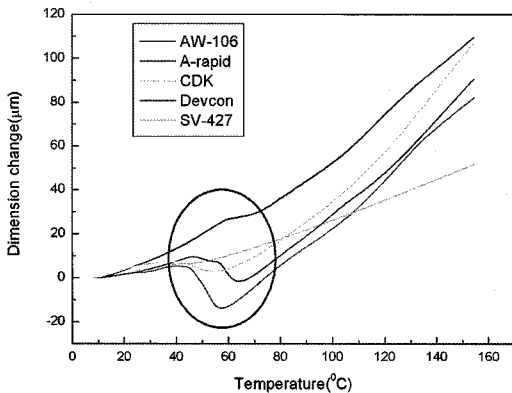


Figure. 2. The shrinkage/expansion results of the adhesives and restoration materials.

Table 2. Size deformation of the adhesives and restoration materials depending on temperature

epoxy resin	deformation (20-150°C: μm/mC)
Araldite rapid	108
Araldite AW 106	148
Devcon	132
CDK	68.4
Araldite SV 427	126

팽창하는 것으로 나타났다. 이와 같은 팽창/수축의 반복은 부식에 의해 약해져 있는 철기 유물인 피착재와 에폭시 수지의 탈락을 야기시킬 수 있을 것으로 생각된다. 철기 유물의 복원재료인 에폭시 수지 중에서 CDK의 경우에는 온도 변화에 따른 부피 변형이 68.4μm/mC로서 가장 적은 것으로 나타났으며, Table 2에서 알 수 있듯이 Araldite AW 106(148μm/mC)과 Devcon(132μm/mC)의 치수 변형이 큰 것으로 확인되었다.

나. 색도 변화율

자외선(UV)에 의한 고분자 수지의 손상은 표면에서부터 시작되기 때문에 표면의 화학구조가 변화되어 원래의 표면에 비하여 빛에 대한 굴절율이 달라진다. 따라서 색상의 변화가 야기되는 것이다. 본 연구에서는 색차계를 이용하여 자외선과 산염기에 노출하기 전과 노출 후, 접착복원재료 표면의 색도변화율을 측정하였으며, L, a, b값을 이용하는 아래의 계산식으로 색차 값을 산출하였다.³⁻⁵

$$\Delta E^*ab = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

L*a*b*표색법은 L(명도)을 종축으로 하고, 직교좌표 a와 b에 의하여 색상을 나타내는 방법으로서 +a는 red, -a는 green, +b는 yellow, -b는 blue로 변화되는 경향을 의미한다. 특히, 색좌표 상의 b값은 yellow와 관계된 값으로 에폭시계 접착제의 황변현상과 관련된 지수이다. ΔE*ab는 전체적인 색상변화의 양상을 나타내는 것으로, 미국국가표준국(NBS : National Bureau of Standard Unit)의 규정^{5,9}에 의해 판정할 수 있다(Table 3).

Table 3. National Bureau of Standard(NBS) Unit of U. S.

ΔE	evaluation
0~0.5	trace
0.5~1.5	slight
1.5~3.0	noticeable
3.0~6.0	appreciable
6.0~12.0	much
above 12.0	very much

Fig. 3에서 UV 환경에 노출 전과 후의 실험에 사용한 5종의 에폭시 수지의 표면에서 모두 색상이 변화하였다는 것을 알 수 있다. Fig. 4는 UV, 실외, 그리고 실내의 광원을 조사한 후 색상 변화를 측정된 결과이다. 색도분

석 결과 UV 조건에 노출시킨 시편의 색상 변화가 가장 큰 것을 알 수 있었으며, 실내 광원의 조건에서도 소량의 색상 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

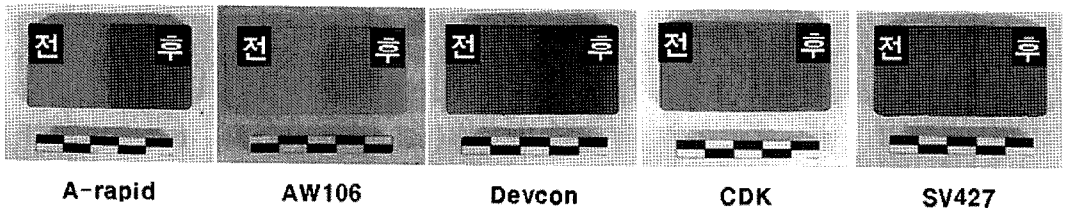
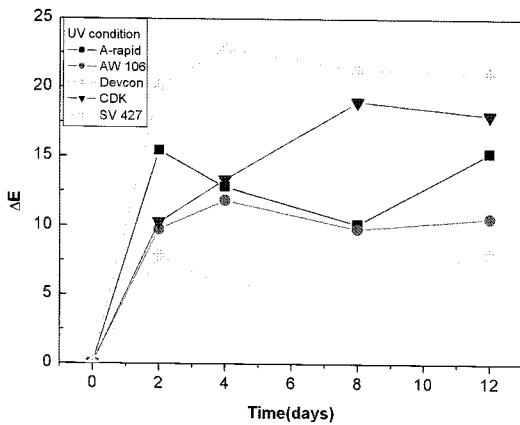
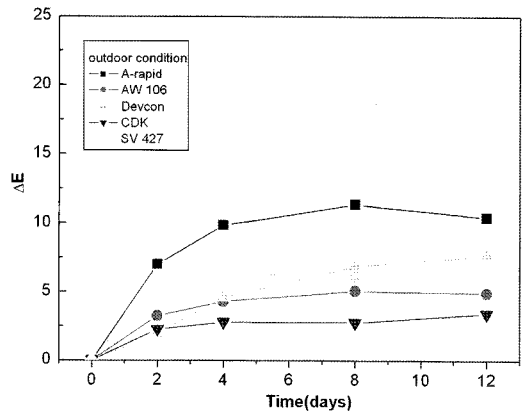


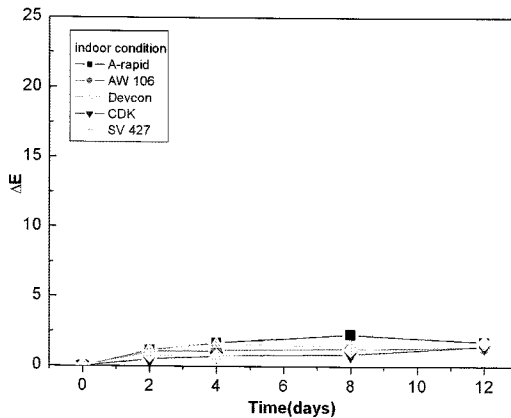
Fig. 3. The color change before and after UV exposure.



(a)



(b)



(c)

Figure 4. Variation of chroma values depending on light sources. (a)UV, (b)Outdoor, (c)Indoor

Table 4. Variation of chroma values(before and after UV exposure)

Epoxy resins	Before UV exposure			After UV exposure			ΔE
	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	
Araldite rapid	43.09	-0.87	2.91	-13.82	4.64	4.56	15.27
Araldite AW 106	43.71	-2.85	6.80	-2.51	2.27	10.01	10.56
Devcon	43.78	-5.36	18.59	-12.46	10.81	-13.07	21.04
CDK-520	58.15	15.54	32.98	-7.52	-3.99	-15.87	18.00
Araldite SV 427	51.20	8.71	11.16	-3.28	-3.20	6.47	7.92

Table 5. Variation of chroma values(before and after Outdoor exposure)

Epoxy resins	Before outdoor exposure			After outdoor exposure			ΔE
	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	
Araldite rapid	43.54	-0.88	3.25	-5.44	2.15	8.61	10.40
Araldite AW 106	50.57	-3.28	9.90	-3.45	1.74	3.03	4.91
Devcon	48.51	-4.63	20.45	-5.52	5.16	0.95	7.61
CDK-520	57.66	15.87	33.29	-1.78	-0.98	-2.75	3.41
Araldite SV 427	51.46	8.46	10.79	-3.10	0.57	5.98	6.75

Table 6. Variation of chroma values(before and after Indoor exposure)

Epoxy resins	Before indoor exposure			After indoor exposure			ΔE
	L	a	b	ΔL	Δa	Δb	
Araldite rapid	49.89	-0.82	2.10	-1.53	-0.12	0.78	1.72
Araldite AW 106	44.89	-3.33	6.75	-0.07	0.65	-1.22	1.38
Devcon	41.00	-3.96	16.74	0.37	0.05	-1.35	1.40
CDK-520	58.45	15.44	32.57	-0.57	-0.33	-1.27	1.43
Araldite SV 427	51.82	8.63	10.69	-1.59	0.61	0.10	1.70

UV 조건(Table 4)에서는 Araldite SV 427의 색차(ΔE) 값이 7.92로 5종의 에폭시 수지 중에서 색상의 변화가 가장 적었으며, 상대적으로 Devcon($\Delta E=21.04$), CDK($\Delta E=18$), 그리고 Araldite rapid($\Delta E=15.27$)의 색상이 현저하게 변화하는 것을 알 수 있었다. 실외조건(Table 5)에서는 CDK($\Delta E=3.41$)가 색상 변화에 가장 안정적이었고, 실내조건(Table 6)에서는 모든 시험편의 색차(ΔE) 값이 2미만으로 색변화 정도는 전체적으로 매우 낮았다.

다. 평형 접촉각

재료 표면의 젖음성은 물방울이 표면 위에 떨어졌을 때의 접촉각을 측정하여 나타낸다. 접촉각은 액체 및 고체

의 표면장력(surface tension) 및 액체와 고체간의 계면장력의 균형에 의해 나타난다.^{8,9} 접촉각을 표면장력의 관점에서 보면 고체의 표면장력과 밀접한 관계가 있다. 이러한 힘의 상호관계는 고체의 표면장력을 γ_s , 고체, 액체, 공기의 경계로부터 액체에 대해 잡아당긴 접선방향에 있어서 액체의 표면장력을 γ_L , 고체, 액체의 계면장력을 γ_{SL} 이라하면 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos \theta$$

여기서, γ_{SL} 과 γ_L 이 이루는 각 θ 가 접촉각이다. 액체의 젖음 정도는 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 일 때는 젖으며, $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 일 때는 젖지 않는다(Fig. 5). 이 식을 통해서, 액체의 표

면장력이 일정하면, 고체의 표면장력이 작을수록 접촉각은 크게 됨을 알 수 있다. 이와 같은 표면 접촉각은 재료의 표면상태에 따라 변화되는데, 표면에 손상이 많을 경

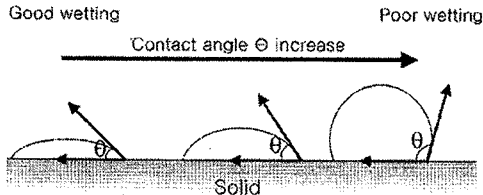


Fig. 5. Contact angle of water droplet on the solid surface

우에는 공극(pores)의 형성으로 인해 표면접촉각이 줄어들고 수분이 철기 유물에 흡수될 수 있다.¹⁰

철기 유물은 부식에 의해 유물 표면에 여러 가지 부식 생성물이 형성되어 있으며, 표면의 구조 또한 약해져 있는 상태이다.⁹⁻¹¹ 따라서 수분이나 기체상태의 부식인자에 노출되어 있다. Fig. 6에서와 같이 일반적으로 부식이 진행된 철기 유물은 부식이 진행되지 않은 철기 표면에 비하여 수분이 접촉하면 표면에 곧바로 퍼져서 표면에 흡수

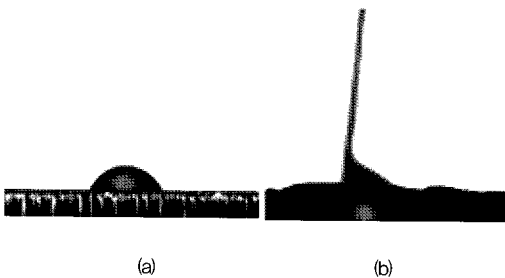


Figure. 6. Water droplet on the surface of the iron. (a) fresh iron, (b) decayed iron

된다. 이와 같이 표면에 흡수된 수분은 부식된 철기 유물의 다공성 표면 내부에 머물면서 부식을 촉진하게 되는 결과를 초래할 수 있다.

Fig. 7는 에폭시 수지를 UV 환경에 노출하기 전과 후의 수분접촉각의 변화를 나타낸 것이다. UV 환경에 노출하기 전의 에폭시 수지의 표면은 약 56° ~ 약 70°의 평형접촉각을 형성하였으나, UV에 노출 후에는 약 24° ~

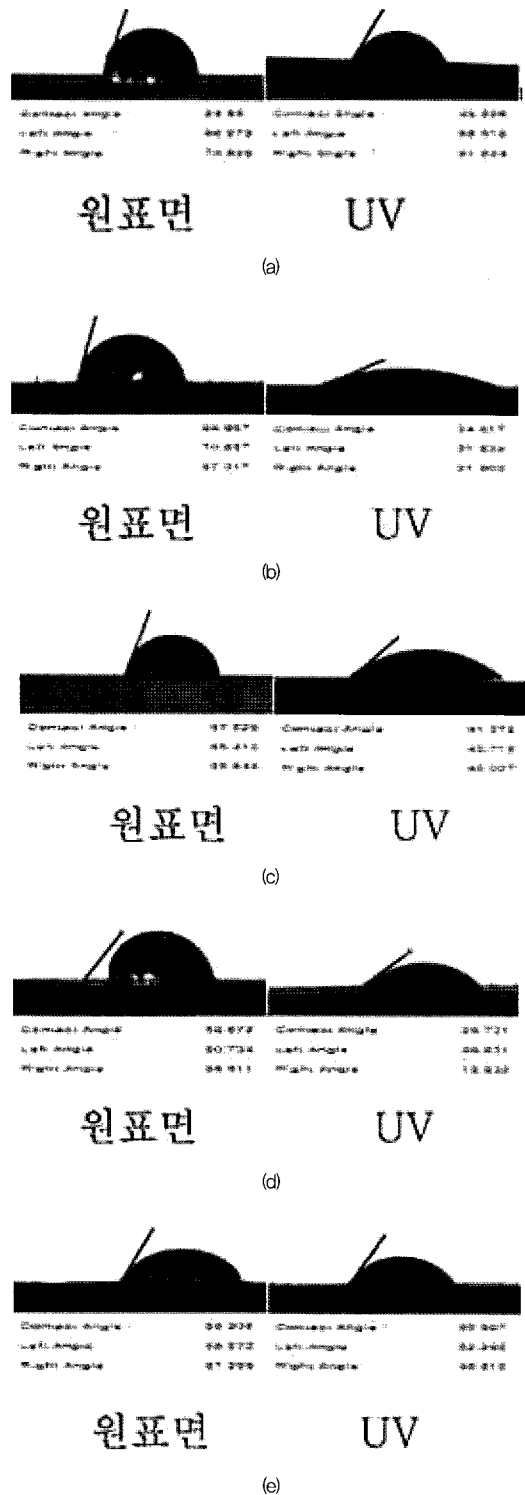


Fig. 7. Photographs of the surface contact angle depending on the exposing conditions. (a)Araldite rapid, (b)Araldite AW106, (c)Devcon, (d)CDK-520, (e)Araldite SV427

Table 7. Surface contact angle of the resins depending on the exposing conditions

	Araldite rapid	AW 106	Devcon	CDK	SV 427
raw material	69.9	68.9	67.5	56.9	58.6
UV	38.9	24.8	41.3	28.7	50.9

약 50°로 접촉각이 줄어든 것을 알 수 있었다(Table 7). 이와 같은 평형접촉각의 감소 현상은 UV 광원에 노출된 에폭시 수지의 표면이 손상되었기 때문인 것으로 판단된다. 문환석², 이상용³, 그리고 허윤현⁴ 등은 에폭시 수지의 경우 200nm에서 400nm 범위의 UV 파장이 에폭시계 수지의 C-C 결합과 C-H 결합을 분해하여 에폭시 수지 표면에 크랙이 형성된다고 하였으며, 본 연구에서 UV 광원에 노출된 에폭시 수지의 표면에 크랙으로 인한 공극이 형성되어 수분의 흡수가 진행되었다고 생각된다.

이 결과에서 부식된 철기 유물에 적용하는 에폭시 수지는 접착복원이 완료된 단계에서는 부식인자인 수분에 대한 안정성을 나타내지만, UV와 같은 광원에 노출되면 에폭시 수지 표면의 손상에 의해 수분의 차단 효과가 감소하게 되는 것으로 판단된다.

4. 결론

1. 철기 유물의 접착복원에 사용되는 에폭시 수지의 경우 온도 상승에 따라 일정하게 부피가 변화되는 것을 알 수 있었다. 그러나 CDK를 제외한 에폭시 수지들은 특히 40℃와 70℃ 사이에서 급격한 변형이 일어나는 것을 확인하였다. 이와 같은 팽창/수축의 반복은 부식에 의해 약해져 있는 철기 유물인 피착재와의 탈락을 야기시킬 수 있다.
2. UV에 노출시켰던 에폭시 수지는 모두 표면의 색상이 큰 폭으로 변화되었다. 실외조건과 실내조건에서는 UV조건과 비교할 때 작은 변화 폭을 나타내었다. 실내 조건의 경우는 모든 시험편의 색차(ΔE)가 2미만으로 색변화는 아주 미약하였다. 따라서 실내에서의 빛에 의한 손상 효과는 UV에 비하여 매우 작은 것으로 판단되었다.
3. 접착복원재료의 수분에 대한 시료 표면의 평형 접촉각을 측정된 결과 Epoxy계수지 자체의 수분에 대한 안정

성은 Araldite rapid > AW 106 > Devcon > SV 427 > CDK의 순서로 나타났다. 에폭시 수지를 UV에 노출시킨 경우 평형접촉각은 전반적으로 모두 감소하였으나, SV 427이 가장 안정적인 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 최광남 편저, *문화재의 과학적 보존*, 대원사, p.41-125, (1991).
2. 문환석, "출토금속 문화재의 보존과 현황", *한국보존과학회지*, 6, p141-148, (1997).
3. 이상용, *자외선 처리로 인한 옥외용 폴리머 절연재료의 표면열화 매커니즘 분석*, 인하대학교 석사학위논문, (2004).
4. 김신희, *에폭시수지의 자외선 노화 거동에 관한 연구*, 한서대학교 석사학위논문, (2005).
5. 안병찬, 도춘호, 이재봉, 이상진, *복원기술 및 재료 안정성 평가 보고서*, 국립문화재연구소, (2006).
6. KS M ISO 4892.
7. 주효숙 외, "접착물성과 접촉각의 관계", *접착 및 계면*, 6, p.19-25, (2005).
8. 남병직, *철기문화재 접합목원재료(에폭시수지)의 내후성에 대한 연구*, 경주대학교 석사학위논문, (2007).
9. 허윤현, *금속유물 보존처리에 사용되는 아크릴 수지의 용제 연구*, 용인대학교 석사학위논문, (2003).
10. C. V. Horie, *Materials for Conservation*, Buttererworth & Co, Ltd., 1987.
11. 권정순, *철기문화재에 사용되는 접착재료의 접착특성 연구*, 경주대학교 석사학위 논문, (2007).