

연질토기의 강화처리에 관한 연구

위광철 · 정수연 · 윤보경
한서대학교 문화재보존학과

Investigation about consolidation process for fragile pottery

Koang-Chul Wi, Soo youn-Jung, Bo kyoung-Yun
Dept. of Conservation for Culture, Hanseo University

1. 서론

토기는 다공질의 그릇으로 조직구성의 특징이 물리적인 충격과 환경요인(온·습도, 염 등)에 약하여 파손 또는 손상되기 쉽다. 매장환경에서 출토되는 토기는 형태가 파손되거나 재질이 약화된 상태로 특히, 연질 토기는 경질토기보다 손상 정도가 심각하다. 이러한 손상은 토압에 의한 손상, 나무뿌리 등에 의한 손상인 생물적 요인과 염 풍화 등의 요인에 의해 나타나며, 보존 또는 전시의 목적에 의해 보존처리를 실시한다. 보존처리 과정 중 약화된 재질을 강화시키기 위해 강화처리를 실시하는데 이 때 강화제(약품)의 잘못된 사용으로 인해 탁색 및 광택이 발생하여 이질감을 느끼게 하는 등의 인위적인 손상을 초래 할 수 있다. 이에 연질토기 시편 제작 후 현재 토기 재질 강화에 많이 사용되는 약품을 3%, 5%, 7%, 10%, 15%의 농도로 함침처리 후 색상변화 및 강화제 흡수율을 통하여 강화처리시 발생하는 문제점을 최소화시킬 수 있는 효과적인 강화제와 농도를 알아보려고 한다.

2. 토기의 손상원인과 보존처리

2.1. 토기의 손상원인

1) 물리적인 손상원인

토기는 기공성이 큰 유물이기 때문에 구조적으로 물리적인 충격에 약할 수밖에 없

다. 더욱이 노천요에서 저화도로 소성된 토기의 경우는 이러한 문제점이 더욱 심각하다.

토기의 물리적 손상원인은 크게 자연적인 손상과 인위적인 손상으로 나누어 볼 수 있다. 자연적인 손상에는 토기 제작과정에서 발생하는 구조적 결함, 유적 위로 지층이 형성되면서 발생하는 토압, 나무와 풀 등의 식물의 뿌리에 의한 손상, 홍수와 같은 자연재해 등이며 인위적인 손상으로는 발굴과정에서 발굴자의 부주의에 의한 손상, 관리자의 취급부주의, 경제행위 관련한 유적의 파괴, 무분별한 처리행위 등 대부분 인간의 행위와 관련한 손상이 많다.

2) 화학적인 손상원인

토기의 화학적 손상은 다음과 같은 환경에서 일어난다. 산이나 염기가 있는 습한 환경에 매장되었을 경우 구성물질 일부가 수화되어 형태가 일그러지거나 변화하게 되며, 강산 또는 강염기에 노출되면 토기의 구성물질 중 비가소성 물질이 손상된다. 또한 열에 노출되면 태토의 조성 성분 일부가 변하는 손상을 입게 된다. 이 밖에도 황산염 박테리아나 동물의 뼈 등에서 나오는 인산에 의해 연유 등의 손상도 일어난다.

이러한 화학적 손상은 자연적인 원인보다 최근 급격히 진행되는 산업화, 공업화에 따라 유적주변의 토양이 산성화와 알칼리화 되면서 초래한다.

3) 물리화학적 손상원인

물리화학적 손상원인은 물리적인 손상요인과 화학적인 손상원인이 복합적으로 작용하는 것을 의미한다. 즉, 온·습도 등의 화학적인 원인에 의하여 토기가 물리적인 충격을 받아 손상되는 것을 의미한다.

대표적인 예로 지하에 매장된 후 다량의 습기를 흡수한 토기가 발굴시 태양광·태양열 등에 노출되어 급격하게 건조되면서 토기를 손상시키는 예, 토기에 침투한 수분이 겨울철 동결·융해를 반복에 따라 부피팽창 일으켜 토기를 손상시키는 예, 염분이 많은 지역에서 출토되는 토기의 경우 용해성 염류가 토기 내부에 흡수된 후 결정화면서 토기를 손상시키는 것 등이 대표적이다.

3. 출토 토기의 재질강화

3.1. 태토선정

토기의 원료가 되는 찰흙(점토광물)에는 Si, Fe, Al, Mg, Ca, Na 등과 같은 원소가

함유되어 있는데, 이들을 포함하는 광물의 종류와 구성비율은 점토의 성질을 결정하는데 기여한다. 실제 이러한 광물의 종류와 구성비율은 한 지역에서 채취하는 점토에서도 일정한 비율을 유지하지 않는다. 때문에 유적에서 발견되는 토기, 심지어 하나의 토기에서도 분석부위에 따라 구성물질의 함량비는 오차를 나타낸다.

따라서 시편제작에 사용된 태토의 선정 및 소성온도는 연질토기의 성분분석자료를 기준으로 제작하였다. 찰흙(바탕흙)에 비집(석영, 장식)을 첨가 하였다. 바탕흙과 비집의 비율은 70 : 30, 석영과 장식은 19.5 : 10.5 비율로 첨가 시켰다. 8×8×1 cm로 제작하였으며, 수분이 완전히 건조된 후 630℃로 전기가마를 이용하여 소성하였다.

3.2. 강화제 선정

강화제는 유물을 강화시키기 위해 흡수성 있고 묽은 물질을 함께 첨가한 고분자재를 사용한다. 일단 적용하게 되면 유물의 손상 없이 완벽하게 제거하기는 매우 어려우므로 꼭 필요하지 않다면 강화제 사용을 자제하고 필요하다면 보존처리자에게 자문을 구한 후 사용하도록 한다. 특히 태토성분분석이나 소성온도 등 분석자료를 요구할 경우 강화제의 성분에 의한 분석오류를 초래할 수 있으므로 사전에 정확한 계획을 수립한 후 사용하는 것이 타당하다.

강화제는 액체로서 작은 입자 (dispersion) 또는 개개 분자(solution)로 이용되고 후에 단단한 합성 고분자로 남도록 기화된다. 현지 발굴지에서 사용하기 위한 적합한 강화제에는 수용성 emulsion, 합성수지 두 종류가 있다.

수용성 emulsion은 물과 용화성 있게 만든 강화제로 입자로서 구성되어 있다. 물과 용화성이 있으므로 습한 유물들을 강화하는 것이 가능하며 습한 조건에서 건조하는데 수일이 걸릴 수 있으므로 송풍장치의 사용이 필요하다.

건조된 수지는 물에 대한 저항성을 만들게 되므로, 일단 처음에 적용하여 건조되었다면 유물에 다른 강화제를 첨가하는 것은 가능하지 않으며 고농도로 사용할 경우 탁색의 위험이 있으므로 사용전 예비실험을 통해 색상의 변화를 최소화 시켜야 한다. 종류로는 Binder Medium계통의 Caparol, Golden을 사용한다.

합성수지는 아세톤과 같은 유기용제 안에 용해된 개개분자의 수지로서 구성된다. 이 수지들은 물에 대한 용화성이 없어 단지 건조한 유물들에게만 이용될 수 있다. 습한 유물에 이용되었을 때에는 유물 표면 위에 흰색의 끈적거리는 막이 형성되므로 건조하고 다공성 있는 유물에 잘 침투하여 아주 좋은 강화효과를 나타낼 수 있다.

강화제가 응고되면 수지 용액 안에 유기용제가 유물 안에 수지를 재용해하기 때문에 강도를 증가시키기 위해서 강화제의 농도를 점차적으로 높여서 적용하는 것이 가능하다. 그러나 강화제의 농도는 유물에 침투할 고분자의 양에 영향을 미치게 된다.

높은 농도는 더욱 점성이 커 유물에 잘 침투하지 못하는 성질을 지니고 있으므로 보통은 5, 10, 15 % 농도를 사용하는 것이 타당하다. 고농도로 사용할 경우 광택이 발생할 위험이 있으므로 예비실험 후 사용하는 것이 타당하다. 종류로는 아크릴계통의 Paraloid B-72 (in Acetone), PSNY-6 (in Acetone)를 사용한다.

3.3. 강화제의 종류 및 특징

강화제는 합성수지 Paraloid B72 (in Acetone), PSNY-6 (in Acetone), 수용성수지 Caparol · Golden (in 증류수)에 용해시켜 필요한 농도로 사용하였다.

Paraloid B-72는 아크릴계 수지로써 무색, 투명하며 골각기 · 섬유 등 유구의 경화처리뿐 아니라 벽화의 보존처리, 인골의 경화처리 등 문화재 보존처리에 많이 사용되고 있다. Paraloid B-72는 고체 상태로 Xylene이나 Acetone에 용해시켜 사용하며 완전 용해되는데 24시간정도 소요되므로 용해제가 증발되지 않도록 밀봉하여 용해시킨다. 수분이 함유되어 있을 경우 물이 Acetone보다 비중이 크므로 용해제가 유물내부로 침투되기 전에 Acetone이 증발되어 약품만 원표면에 남아 백화현상을 초래할 수 있다. 장점으로는 용해제가 있어 농도조절이 가능하며, 경화시간이 빨라 처리 시간이 짧다는 점이 있는 반면 경화시간이 빨라 침투도가 약한 단점이 있으며 아크릴수지의 특징인 광택으로 인해 유물 처리 후 이질감을 초래하기도 한다.

PSNY-6는 아크릴 계통의 에틸 실리케이트로 토양경화제로 많이 사용하며 도 · 토기 외에도 목질의 경화처리에 사용되고 있다. 주제 · 경화제를 중량비 1:1 비율로 혼합하여 사용하며, 용해제로 Acetone을 사용하여 농도 조절이 가능하며 반복하여 사용할 경우 광택이 나므로 1~2회로 사용하는 것이 적당하고 색상이 진해져 탁색의 위험이 있다.

Caparol은 수용성으로 증류수에 희석하여 물 : Caparol = 1 : 5까지 사용가능하다. 우유빛으로 유물을 함침하여 처리 할 경우 육안으로 유물의 상태를 관찰하기 어렵다. 연질토기 표면의 색상 변화가 작으나 가역성이 없고 다른 경화제에 비하여 강도가 약한 단점이 있다.

Golden은 수용성수지이며, 아크릴물감의 보조제로써 점도가 묽은 액체형에서 점도가 짙은 액체형, 그리고 사용목적에 따라 종류가 다양하다. Golden은 접착력이 뛰어나고 건조 후 투명성이 강하다. 물과 희석하여 사용이 가능하며 농도조절이 용이하다. Caparol과 같이 우유빛을 띠어 유물을 함침으로 처리시 유물 상태를 육안으로 관찰하기 어렵고 가역성이 없다.

3.4. 방법

실험방법은 자연함침법으로 1회 실시하였다. 처리과정은 열풍식 건조기를 이용한

수분 건조 → 처리전 시편 상태 측정 → 4가지 강화제 각 농도로 희석 → 각 시편 30분 함침 → 상온 자연건조 → 결과측정으로 실시하였다.

자연함침법으로 1회 실시하였으며, 약품은 용해제에 3%, 5%, 7%, 10%, 15% 로 희석하여 각각 30분 침적시켰다. 약품 함침시간은 시편 함침 후 기포가 발생하지 않는 포화상태까지로 각 약품마다 흡수되는 양과 속도가 다르기 때문에 예비 실험을 통해 침적시간을 평균 30분으로 일정하게 하였다. 함침시간 완료 후 상온에서 자연 건조시켰다. 아크릴계 수지의 강화제는 강제 건조시 약품이 밖으로 흘러나와 피막이 형성될 수도 있으므로 건조대 위에 일정한 간격으로 편평한 곳에 올려 자연건조 시켰다.

4. 결 과

강화제의 종류별, 농도별 흡수량과 색상변화에 대한 결과값은 같은 시편이라도 많은 차이를 나타내고 있다.

4.1 색상변화(탁색)

토색계[SPAD-503]와 색도계[MINOLTA CR 410]로 처리 전·후의 색상 변화(탁색 정도)를 측정하였다.

4.1.1 토색계 측정

토색계 측정값은 MUNSELL 색표계로 나타난다. MUNSELL 색표계는 사람의 시각에 가장 가까운 표색체계로서, 색채의 세가지 속성인 색상(Hue), 명도(Value), 채도(Chroma)로 색채를 분류표시한다. 색상 명도/채도의 기호를 쓰도록 되어있고, 영문으로 된 약호는 H V/C로 표기한다.(Table 1 참고)

Table 1. MUNSELL 토양 색표계 용어 및 의미

Hue		Value		Chroma	
2.5R	Red	0	Black	0	Neutral grey
5R	▲	1	▲	1	▲
7.5R		2		2	
2.5YR		3		3	
5YR		4		4	
10YR		5		5	
.5R		6		6	
5Y	▼	7		7	
Y.5R	Yellow	8		8	
		9	▼	12	▼
		10	White	20	Absolute colour

4.1.2 토색계 측정결과

토색계로 측정한 결과를 Table 2에 나타내었으며, 색상변화 유무는 Table 3과 같다. 수용성수지가 합성수지보다 변화률이 적다. 수용성 수지 중에서도 Caparol이 Golden보다 색상변화가 적으며 4가지 약품 중 변화률이 가장 적게 나타났다. 색상변화는 강화제 함침전 Table 2의 측정값에 5YR 6/6(reddish yellow)로 대부분 붉은갈색을 나타내고 있다. 수용성 emulsion계통의 Caparol의 경우 10%, 15%의 농도에서 원 시료의 색상과 큰 차이 없이 5YR 5/6(yellow red)로 명도가 약간 높아 진한 빛으로 변화하였다. Golden의 경우 7%이상부터 색상의 변화를 가져왔으나 Caparol과 같이 미비한 색상변화를 초래하였다. 그러나 합성수지인 Paraloid B-72, PSNY-6는 농도에 무관하게 Table 2에 나타나듯이 2.5 YR 5/8(red)로 채도가 높아져 시편의 색상이 진하게 탁색이 된 것을 확인할 수 있었다. 이는 강화제의 특징인 광택의 영향이라 할 수 있겠다.

Table 2. 토색계측정 결과 색상변화

농도 (%)	Caparol (%)		Golden (%)	
	처리전	처리후	처리전	처리후
3	5 YR 6/6	5 YR 6/6	5 YR 6/6	5 YR 6/6
5	5 YR 6/6	5 YR 6/6	5 YR 6/6	5 YR 6/6
7	5 YR 6/6	5 YR 6/6	5 YR 6/6	5 YR 6/8
10	5 YR 6/6	5 YR 5/6	5 YR 6/6	5 YR 6/8
15	5 YR 6/6	5 YR 5/6	5 YR 6/6	5 YR 6/8
농도 (%)	Paraloid-B72 (%)		PSNY-6 (%)	
	처리전	처리후	처리전	처리후
3	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8
5	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8
7	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8
10	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8
15	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8	5 YR 6/6	2.5 YR 5/8

Table 3. 토색계 측정결과 색상변화 有無.

농도(%)	Caparol (%)	Golden (%)	Paraloid-B72 (%)	PSNY-6 (%)
3	X	X	O	O
5	X	X	O	O
7	X	O	O	O
10	O	O	O	O
15	O	O	O	O

4.1.3 색도계 측정

색상의 변화정도를 $L^*a^*b^*$ 의 표색계의 색차로 나타내었으며, 색채의 오차를 알기 쉬우며 색채의 변환방향을 쉽게 짐작할 수 있다는 특징이 있다. $L^*a^*b^*$ 는 소수점을 포함하여 5자리이며, 소수점 3째자리에서 반올림한 값으로 나타낸다.

L^* 는 명도를 나타내며, a^* 는 Red, b^* 는 Yellow를 나타내며 a^* 의 측정 절대값이 음수(-)값일 경우 Green으로의 색영역을 나타내고 b^* 의 측정 절대값이 음수(-)값일 경우 Blue로의 색영역을 표시한다. 특히 a^* , b^* 값은 각각 Red, Yellow의 영역을 나타내므로 강화처리 후 토기의 탁색정도를 가장 확실히 파악할 수 있다.

4.1.4 색도계 측정결과

색도계 측정 절대값의 강화처리 전·후 차로 변화량을 구하여 Table 4와 같이 나타내었으며 수용성수지가 합성수지보다 변화량이 적다는 것을 알 수 있다. 절대값의 전·후 차의 (+)값은 채도가 높아짐을 나타내며 (-)값은 채도가 낮아짐을 나타낸다.

총 변화량이 Paraloid-B72 > PSNY-6 > Golden > Caparol 순이며, a*값은 Paraloid-B72 > PSNY-6 > Caparol > Golden이며 4가지 약품 중 Caparol, Paraloid-B72, PSNY-6 는 채도가 높아지는 경향을 보이며 이는 색상이 선명(진해짐)해짐으로 생각되며, Golden은 채도가 낮아지는 경향으로 색상이 탁해짐으로 판단된다. b*값은 Caparol > Paraloid-B72 > PSNY-6 > Golden 순으로 나타나며, Caparol, Golden은 채도가 높아지고 Paraloid-B72, PSNY-6는 채도가 낮아지는 경향을 보인다. Caparol, Golden는 명도와 Red, Yellow 색차계에서 모두 미세하게 변화한 반면 Paraloid-B72, PSNY-6는 명도와 Red, Yellow 색차계에서 모두 변화함을 볼 수 있다.

Table 4. 색도계 측정 색상변화량

약품명	값	3% 변화량	5% 변화량	7% 변화량	10% 변화량	15% 변화량
Caparol	*L	-0.86	-0.79	-0.89	-0.94	-1.26
	*a	0.49	0.73	0.9	0.99	1.36
	*b	0.27	0.39	0.73	0.97	1.55
	ΔE	-0.48	-0.28	-0.18	-0.07	0.02
Golden	*L	0.61	0.89	0.33	-0.24	-0.29
	*a	-0.4	-0.69	-0.08	0.39	0.32
	*b	0.2	-0.08	1.08	2.84	3.1
	ΔE	0.5	0.53	0.75	-1.17	-1.24
Paraloid B72	*L	-6.87	-9.59	-9.13	-9.25	-9
	*a	2.89	3.41	3.40	3.91	2.91
	*b	-2.08	-4.14	-3.63	-3.38	-4.17
	ΔE	-5.10	-7.88	-7.19	-7.02	-7.70
PSNY-6	*L	-6.95	-7.86	-6.45	-5.48	-6.09
	*a	2.89	2.86	2.58	1.96	2.41
	*b	-2.37	-3.29	-2.34	-2.37	-2.55
	ΔE	-5.31	-6.48	-5.03	-4.69	-5.03

4.2. 흡수율 측정

흡수율 측정은 약품처리 후 시편에 침투된 각각의 약품 침투정도, 침투량과 색상변화량의 상관관계(相關關係)를 비교하기 위해 강화처리 전 상온에서 흡수하고 있는 수분을 증발시켜 시편의 중량을 정확히 측정하기 위해 중량을 측정하기 전 건조기를 이용하여 65℃에서 5시간, 다시 105℃에서 12시간 건조시켜 수분을 증발시킨 후 중량을

측정 · 처리 후의 시편 중량을 0.01g까지 측정하여 다음 식으로 구하였다.

$$\text{흡수율(\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

W_1 : 처리전 중량(g)
 W_2 : 처리후 중량(g)

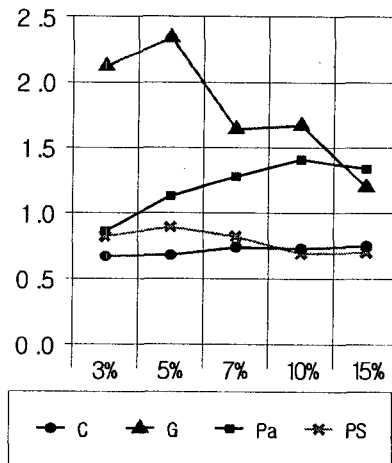
4.2.1 흡수율 측정결과.

합성수지의 흡수율은 Fig 1에서 볼 수 있다. 흡수율의 경우 Golden > Paraloid B-72 > PSNY-6 > Caparol로 수용성수지인 Golden이 가장 높은 흡수율을 나타내었다. 흡수율이 높다는 것은 침투성이 좋아 유물내부까지 강화시킬 수 있으므로 재질이 매우 취약한 유물에 사용하면 좋은 효과를 기대할 수 있다고 판단된다.

Table 5. 흡수율 측정 결과

농도	3%	5%	7%	10%	15%
약품명	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Caparol	0.67	0.68	0.74	0.73	0.75
Golden	2.12	2.34	1.64	1.67	1.2
Paraloid B72	0.86	1.13	1.28	1.41	1.34
PSNY- 6	0.82	0.89	0.82	0.69	0.7

Fig 1. 흡수율(%)



5. 결 론

재질강화방법으로는 실험결과 수용성 emulsion계통의 강화제는 침투성 및 색상변화

가 적어 토기유물의 강화제로 타당하다고 생각된다. 그러나 고농도에서 명도 및 채도가 높아지는 현상이 나타나므로 7%이상의 농도로 사용할 경우 세심한 주의가 필요하다. 특히 합성수지인 Paraloid B-72, PSNY-6는 흡수율은 좋으나 저농도에서도 색상 변화가 나타나므로 가급적 사용을 자제하는 것이 좋다고 생각된다. 합성수지의 경우 습기를 포함하고 있는 유물에 사용할 경우 표면 백화현상이 발생하므로 건조된 유물에 사용하여야 한다. 토기 강화제는 일단 적용하게 되면 유물의 손상없이 완벽한 제거가 매우 어려우므로 꼭 필요하지 않다면 강화제 사용을 자제하고 필요하다면 보존처리자에게 자문을 구한 후 사용하도록 한다.

이와 같이 출토 토기의 보다 나은 보존방법을 통하여 손상을 최소화 시킬 수 있는 방안을 모색하여 제시하였다.

참 고 문 헌

1. 강경숙. 한국 도자사. 일지사, 1989
2. 김박윤. 아크릴 수지. 대광서림, 1981
3. 김원룡외. 韓國의 美 5 土器 . 중앙일보사, 1981
4. 심상철. 미술 재료와 표현. 미진사, 2000
5. 이진성. 도자공예개론. 피어슨 에듀케이션 코리아, 1999.
6. 최몽룡 외 2. 고고학과 자연과학 -토기편. 서울대학교 출판부 1996.
7. 양필승. 토기 보존처리. 호암미술관 연구 논문집 5號. 삼성문화재단, 2000.
8. 양필승. 토기의 보존처리실태와 처리방향. 한양대학교 박물관지 제3권. 한양대학교, 2002.
9. 이상수. 토기의 보존처리. 보존과학회지통권 제 2호. 문화재청, 1993.