

# 토기의 강화처리 연구

허영지\* · 정재훈\*\* · 이상진\*\*

동아세아문화재연구원\* · 경주대학교 문화재학과\*\*

## A Study on the Consolidation of Earthenware

Youngji Hur\* · Jaehun Jung\*\* · Sangjin Lee\*\*

\* Foundation of East Asia Cultural Institute, 412-7 Bongyung BD401, Dogae-dong,  
Changwon 641-811, Korea

\*\* School of Cultural Assets, Gyeonju University, Hyohyun-dong Gyeonju  
780-210, Korea

### I. 서론

매장환경에서 출토되는 토기 중 연질토기는 태토의 구성 재질이 조악하며, 소성온도가 낮기 때문에 구성입자들이 약하게 결합하고 있는 상태로 존재한다. 또한, 토기는 다공성이어서 수분과의 접촉 시 수분을 흡착하고, 그로 인해 입자간의 결합이 더욱 약해질 수 있다.

더욱이, 습기가 많은 매장환경에서 출토된 토기일 경우 토기 표면과 공극 내의 수분의 건조로 인하여 태토 성분 입자간의 건조와 수축의 반복으로 인해 입자간의 결합력이 약해진다. 따라서 미세한 균열이 생기게 되며, 외부의 약한 충격에 파손되기 쉬워진다.

이와 같이 토기 태토 성분 입자간의 결합력이 약해지는 것과 균열이 생성되는 것을 방지하고, 접착복원 단계에서 접착제가 태토 속으로 너무 배어들지 않고 밀접하게 접합 유지시키기 위해서 토기의 태토 자체를 강화처리 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 종래에 사용된 유기화합물 계열의 토기 강화제를 대체하기 위하여, 토기의 구성 성분과 유사한 무기산화물 계열의 강화제를 선정하여 연구 실험했다.

## II. 연구방법

(재)동아세아문화재연구원에서 발굴조사가 이루어졌던 진주생물산업전문농공단지 내에서 출토된 연질토기의 편을 시료로 선정하여, 토기의 성분을 분석하고, 열분석을 통하여 토기의 소성 온도를 조사한다. 또한, 토기의 물리적 특성인 기공율, 흡수율, 비표면적에 대하여 분석을 하고, 이에 따른 강화제를 선택하여 강화제 종류에 따른 물리적 특성 변화를 비교하였다.

실험 대상의 특징과 상태를 파악하기 위하여 X선 회절 분석과 형광 X선 분석을 통하여 토기의 태토 조성을 확인하였으며, 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 미세구조를 분석하고, 시차열중량분석(DTA/TGA)을 통하여 토기의 소성온도를 추정하였다.

토기의 강화 효과 비교를 위하여 현재 토기의 강화와 보존처리 과정에서 일반적으로 사용하는 초산비닐 수지 Caparol binder(5% in H<sub>2</sub>O)와 무기산화물계로서 에틸실리케이트 수지 강화제인 (Wacker Silres BS OH 100, Unilsndsteinfestiger OH 100)으로 강화처리를 하였다. 강화처리는 3시간 동안 진공함침 후 2주간 상온건조를 하여 전, 후의 상태를 밀도, 기공율, 흡수율, 색차 측정을 통하여 실험하였다.

## III. 결과

토기의 소성 온도 추정을 위하여 TGA/DTA 열 분석을 행한 결과, Fig. 1에서와 같이 상온에서 500℃까지 지속적으로 중량감소 변화가 나타나고 있는데 이것은 토기에 흡착되어 있던 수분의 분해에 의한 것이며, 410℃ ~ 450℃에서 나타나는 흡열피크는 결정수의 분해(점토광물)에 의한 것으로 판단할 수 있다. 그리고 940℃ ~ 970℃에서 나타나는 발열피크는 점토광물에 함유되어 있는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiO<sub>2</sub>의 고용체 형성 반응으로 인한 mullite(3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub>) 결정상의 생성으로 알 수 있다. 일반적으로 토기의 소성 과정에서 900℃~1,000℃범위에서 소성할 경우 이미 mullite 결정상이 생성되므로 본 연구의 결과에서와 같은 mullite 생성 발열피크는 나타나지 않는다. 따라서 본 연구에서 강화처리를 위해 선택한 토기에 대한 소성온도는 900℃ 이하로 추정할 수 있다. 이와 같이 900℃ 이하에서 소성할 경우 토기의 구성 점토광물 입자들의 소성이 충분히 완료되지 않아 태토 조성의 입자와 입자간에 단지 접촉점만 형성하게 되므로 오랜 시간 매장되어 있는 경우 토압과 수분의 영향에 의해 입자간 결합력이 약해지게 된다. 이러한 경우 보존처리를 위해서는 강화처리가 선행되어야 한다.

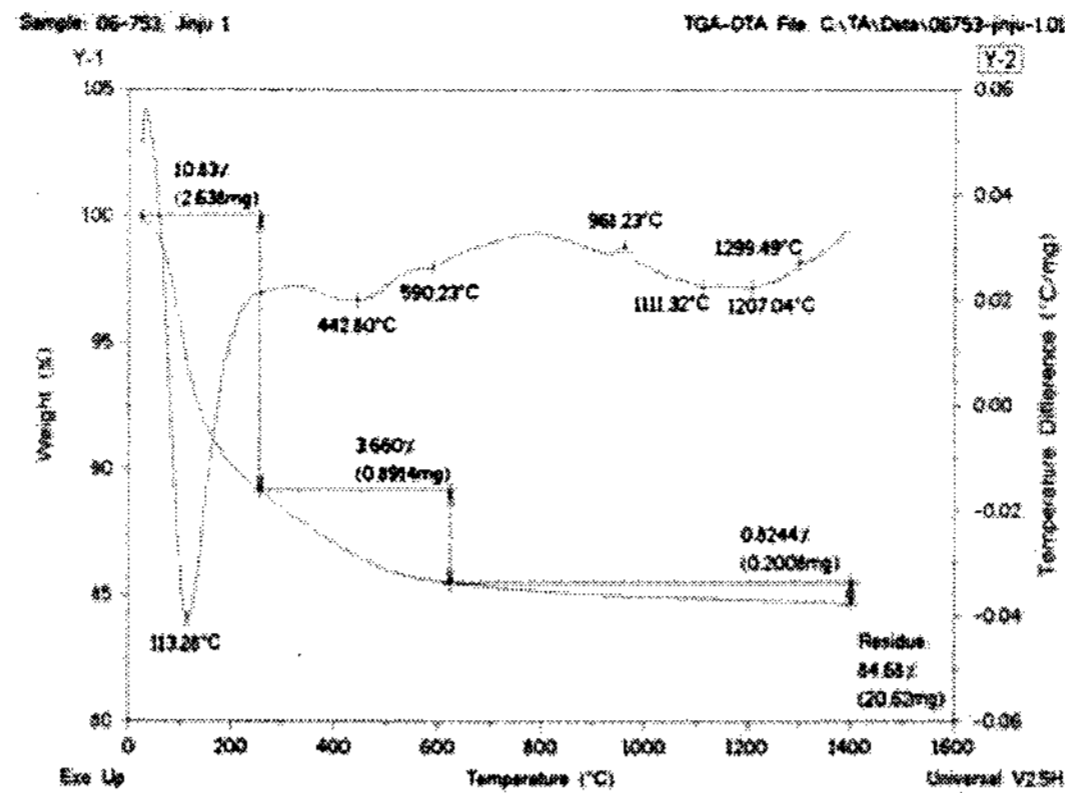


Fig. 1. TGA/DTA result of the earthen ware.

Fig. 2의 XRD와 XRF를 이용한 시료에 대한 성분의 분석결과 태토 조성은  $\text{SiO}_2$  결정과 (K,Ca) 장석, 그리고 백운모의 혼합물인 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 열분석 결과와 일치하는 것으로서 점토광물의  $900^\circ\text{C} \sim 1,000^\circ\text{C}$  이상의 온도에서 결정상의 전이가 완료되지 않고 그 이하의 온도에서 소성되었기 때문으로 해석할 수 있다.

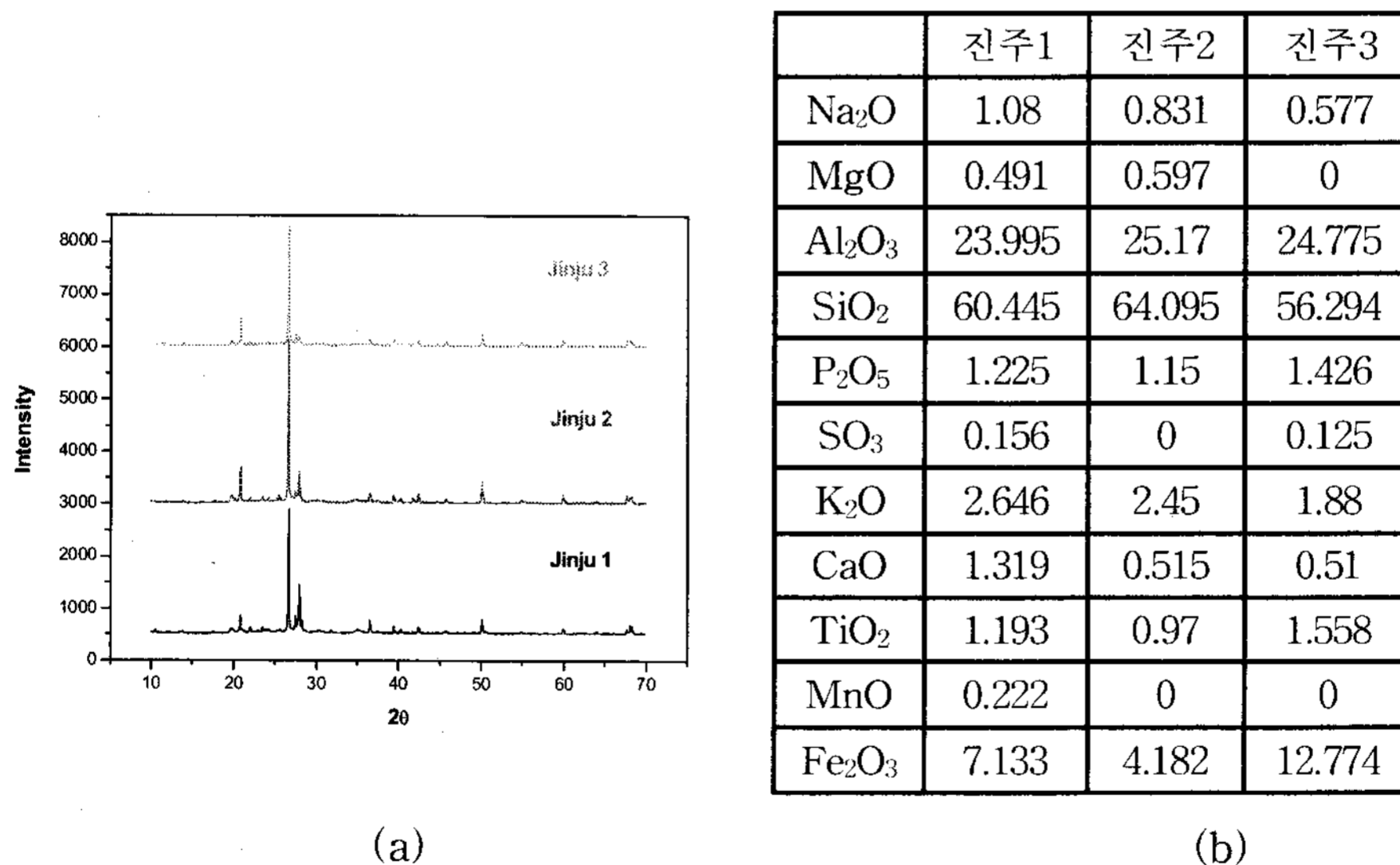


Fig. 2. XRD(a) and XRF(b) results of the earthen ware.

이와 같이 약해져 있는 상태의 토기를 보존처리하는데 있어서 일반적으로 강화제로 사용하는 것은 초산비닐계 수지인 Caparol-binder (5% in H<sub>2</sub>O)를 사용한다. 그러나 고분자 수지는 토기의 태토 성분인 점토광물인 무기산화물과 재질이 다르기 때문에 강화처리 후 이종재료의 코팅에 의한 색차 등의 문제를 야기할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 점토광물의 조성과 동일한 무기산화물계의 에틸 실리케이트 수지를 이용하여 강화처리를 함으로써 이종재료에 의한 문제점을 개선하고자 하였다. 이를 위하여 토기 시료를 초산비닐 수지와 에틸 실리케이트 수지에 각각 함침 처리 후, 물리적 특성 변화와 미세구조 변화를 비교하였다. 토기에 함유된 강화제의 함량은 그림 3에 서와 같이 Caparol-binder 5%(in H<sub>2</sub>O) <Unil sandsteinfestiger OH 100 <Warker Silres BS OH 100 순으로 나타났으며, 이와 같은 결과는 에틸실리케이트 수지가 초산비닐 수지에 비하여 토기의 공극 내에 더 많이 침투되었다는 것을 의미한다.

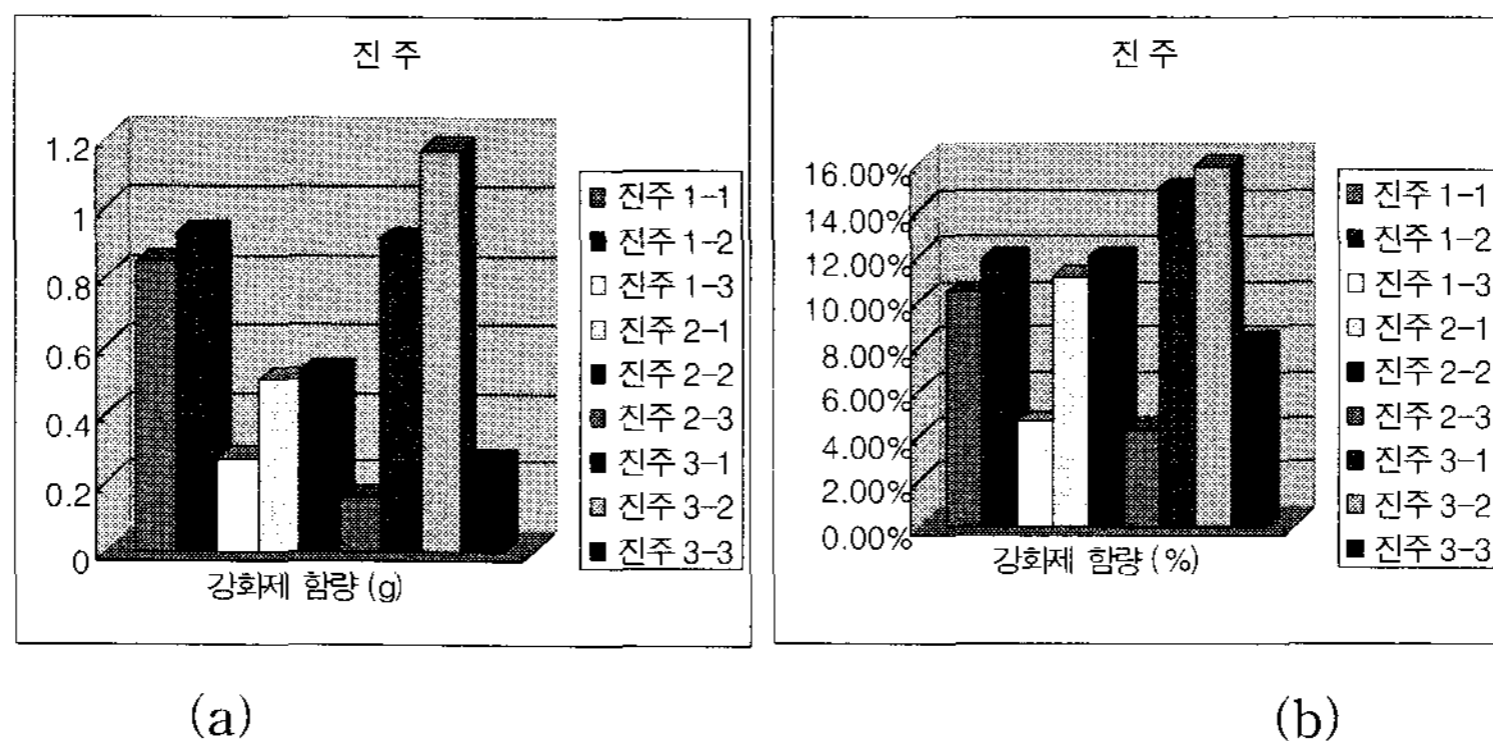


Fig. 3. Contents of the consolidants. (a) weight, (b) wt.%

부피밀도와 기공율, 그리고 수분흡수율 또한 에틸실리케이트 수지가 초산비닐 수지에 비하여 토기의 강화처리에 훨씬 안정적이고 강화 효과가 뛰어난 것으로 나타났다.

#### IV. 결론

토기의 강화처리 비교 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유기질 강화제(초산비닐수지)에 비해 무기질 강화제 (에틸실리케이트) 를 첨가한 경우 기공율과 흡수율이 현저하게 감소되었다.

2. 유기질 강화제와 무기질 강화제 모두 색차 변화는 거의 없었다.
3. 무기질 강화제는 sol-gel 반응에 의해 crosslink를 형성하여 입자간의 결합을 유도하였다.

따라서 문화재 보존처리 분야에서 일반적으로 토기의 강화를 위해 사용하는 유기질 강화제를 무기질 강화제로 대체할 수 있을 것으로 기대된다.