

계룡산 철화분청사기의 재현실험을 통한 재료의 상변화과정 해석

유미연*·문은정*·이찬희*·이재황**

*공주대학교 문화재보존과학과, **계룡산 도예촌 향토방

Phase Change interpretation of the materials through the Reappearance Experiments of the Cheolhwa Buncheong Stoneware in the Gyeryong-san, Korea

Mi Youn You*·Eun Jeong Moon*·Chan Hee Lee* and Jae Hwang Lee**

**Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National
University, Kongju 314-701, Korea*

***Hwangtobang of Pottery Village Gyeryong-san, Kongju 314-923, Korea*

1. 서 언

철화분청사기는 15세기 후반에서 16세기 전반에 걸쳐서 충남 공주군 반포면 학봉리 일대에서 제작된 독특한 도자기로서, 계룡산 주변지역의 재료를 최대한 활용해서 제작한 것으로 알려져 있다. 태토가 거칠게 성형된 도자기물 위에 귀얄로 백토분장을 한 후에 철분으로 이루어진 안료를 이용하여 그림을 그려서 백토와 어두운 태토와의 대조를 선명하게 이루는 것이 특징이다.

학봉리 가마터는 두 차례에 걸쳐 발굴이 되었으며 일부지역만 국가사적 333호로 지정되었다. 현재 가마터는 상업용 건물지로 용도가 바뀐 곳도 있으며 방치되어 관리를 전혀 받지 못하고 있는 실정이다. 한때 철화분청사기가 대량 생산되었던 곳이었으나 제작기법이나 원료가 문헌상에 완전하게 남아있지 않다.

이 연구에서는 학봉리 가마터(사적 333호)에서 제작된 철화분청사기에 사용된 재료의 특성과 제작환경을 검토하기 위해 재현실험을 실시하였다. 기존의 문헌과 자료를 근거로 계룡산 철화분청사기와 가장 근접한 도자원료를 선정하여 정밀조사 및 시료를 채취하였다. 직접 채취한 원료를 이용하여 재래식 방법으로 재현실험을 수행한

후 제작된 분청사기 시작품을 정량분석하여 재료과학적 및 광물학적 특성과 소성에 따른 재료의 상변화 과정을 검토하였다. 이 결과는 계룡산 철화분청사기 제작에 사용된 원료와 제작기법 등을 유추할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 원료산지 선정

계룡산에는 철화분청사기 외에도 청자, 흑유, 분청사기, 백자 등이 한 곳에서 제작된 여러 종류의 도자가 출토된다. 오랜 기간동안 한 장소에서 도자가 생산된 것으로 보아, 이 지역에는 다양하고 풍부한 도자재료가 존재하리라고 추측할 수 있다. 또한 철화분청사기가 유독 계룡산 학봉리에서 출토되는 것으로 볼 때, 이 지역 자원을 최대한 이용하였으리라는 전제 하에 역사적 고증과 환경에 대한 자료가 수집된 기존의 연구를 근거로 원료산지를 선정하여 시료를 채취하였다.

유약 및 안료 원료는 공주시 반포면 학봉리 윗사기골의 구무동굴에서 채굴하였는데 구성암석은 홍장석 화강암으로 자철석 함량이 높다. 이를 분쇄한 후 밝고 투명한 유약을 얻기 위해 탈철 작업을 거치고 이 작업에서 모아진 철분은 안료로 사용하였다. 분장토의 원료로는 학봉리 분토골에서 백색의 산성맥암에서 채취하였으며, 학봉리에서 7.5 km 떨어진 연기군 금남면 용담리에서 태토를 채취하였다.

3. 재현실험

재현실험은 주변 도자재료 산지로부터 직접 채취한 원료를 이용하여 재래식 방법으로 이루어졌다. 원료는 대부분 덩어리 상태로 산출되었으므로 미립으로 분쇄한 후 100메쉬의 체로 걸러내는 작업을 실시하였다. 홍장석 화강암에서는 자석을 이용하여 철 성분을 걸러내는 탈철 작업을 한 후 여기에서 모아진 철분은 안료로 사용하고 탈철된 화강암 분말은 유약으로 사용하였다. 전처리한 태토를 반죽하여 석고틀에 채워 넣는 형식으로 일정한 크기의 시편 8점을 제작하였다(그림 1).

온도에 따른 상전이 변화를 관찰하기 위한 시편은 반 건조의 상태에서 분장토를 표면에 바르고 약 800℃의 환경에서 초벌을 실시하였다. 초벌이 끝난 시편에 안료와 유약을 바른 후 1230℃의 산화와 중성환경 하에서 각각 재벌을 실시하였다. 건조 시 탈수로 인해 약 15~20%의 무게가 감소되었고 초벌을 통해 수분이 완전히 건조되면 약 22~24%의 무게 감소율을 보였다.

건조편의 경우, 굳기와 강도가 매우 약하고 무른 편이었으며 소지의 색은 어두운 암갈색을 띠었다. 초벌한 시편의 경우 굳기와 강도가 단단하였으며 소지의 색은 건조편에 비해 비교적 밝은 황갈색을 띠었으며, 두껍게 피복한 분장토는 그대로 소지에 부착되어 있으나 완전히 용화되지 않아 충격에 의해 잘 떨어졌다. 완성한 철화분청사기는 고온에서의 유리질화를 겪으면서 초벌편에 비해 단단해지고, 암흑색 내지 암갈색을 띠었다. 유약은 완전히 녹아서 광택이 나지만 표면이 거칠며, 탈철시 철분이 완전하게 제거되지 않아 어둡게 발색된 것으로 판단된다(그림 1).

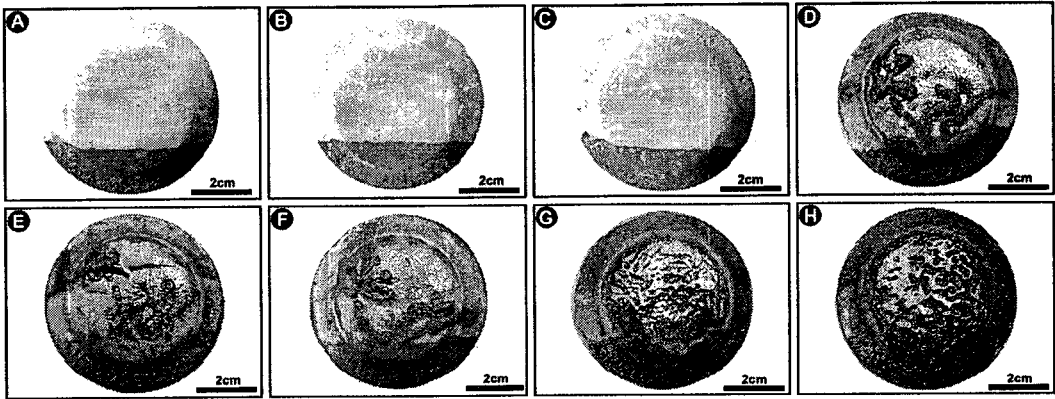


그림 1. 완성된 시작품.

(A) 건조편. (B, C) 초벌편. (D, E, F) 증성소성 재벌편. (G, H) 산화소성 재벌편.

4. 상변화 과정 및 해석

완성된 분청사기로부터 채취한 시료를 바탕으로 철화분청사기를 구성하고 있는 성분들이 온도에 따라 상변화하는 과정을 관찰하였다. 초벌편에서는 황갈색의 점토질 기질물질들이 주류를 이루고 느슨한 입자조직이 확인되었다. 이들이 재벌과정을 거치면서 태토 내의 유기물이 탄화되어 전체적으로 흑회색을 띠고 200 μ m 이하의 원마도와 분급이 불량한 석영과 장석, 흑운모가 관찰되었으며, 재결정된 미정질 조직으로 상전이한 특징을 보인다. 고온의 소성과정을 겪으면서 기질이 치밀하고 견고해졌으며 점토광물의 분해로 인해 발생한 기포(0.1mm 이하)가 다량 관찰되었다.

X-선 회절분석을 통하여 각 원료의 구성재료가 온도에 따라 상전이하는 광물상을 확인하였다(그림 2). 태토 및 분장토의 원료가 초벌을 거치면서 석영, 정장석, 사장석

등 구성광물은 그대로 검출되었으며, 이들이 재벌을 거치면서 물라이트와 트리디마이트로 상전이 하였다. 유약 및 안료의 원료에서 화강암의 주구성 광물이 검출되었으며 안료에서는 적철석, 자철석 등 철광물을 확인하였다.

이들이 1230°C를 거치면서 산화철 광물은 그대로 남아있으며 화강암 구성광물이 상전이한 물라이트 및 트리디마이트와 공존하는 것이 확인되었다. 공통적으로 발견된 물라이트 및 트리디마이트의 상전이는 멀라이트의 생성시점인 975°C부터 발생하기 시작한 것으로 해석된다. 재벌편 내부조직에서 구형의 트리디마이트와 비정질 유리질 물질이 검출되었다.

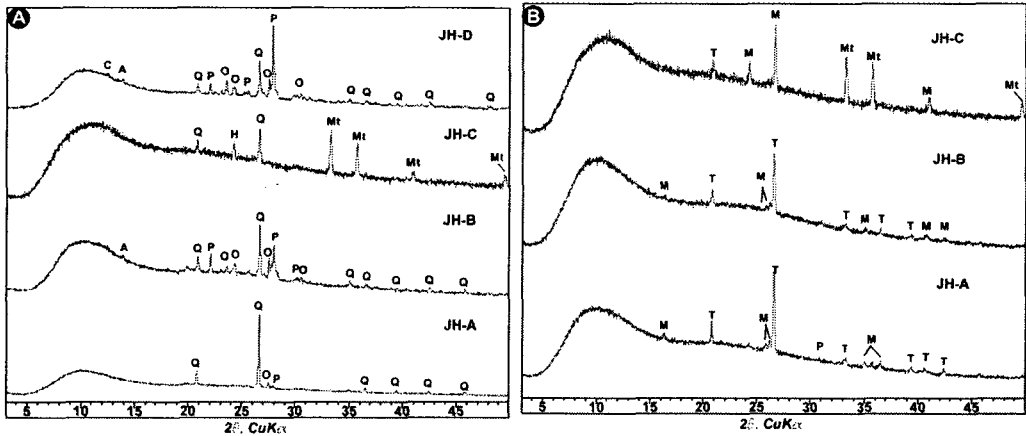


그림 2. 재현 분청사기의 X-선 회절분석 결과
 (JH-A: 태토, JH-B: 분장토, JH-C: 안료, JH-D: 유약)
 (A) 원료, Q: Quartz, O: orthoclase, P: plagioclase, A: amphibole, C: chlorite,
 H: hematite(Fe_2O_3). Mt: magnetite(Fe_3O_4).
 (B) 재벌, T: tridymite(SiO_2), M: mullite($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$), Mt: magnetite(Fe_3O_4).

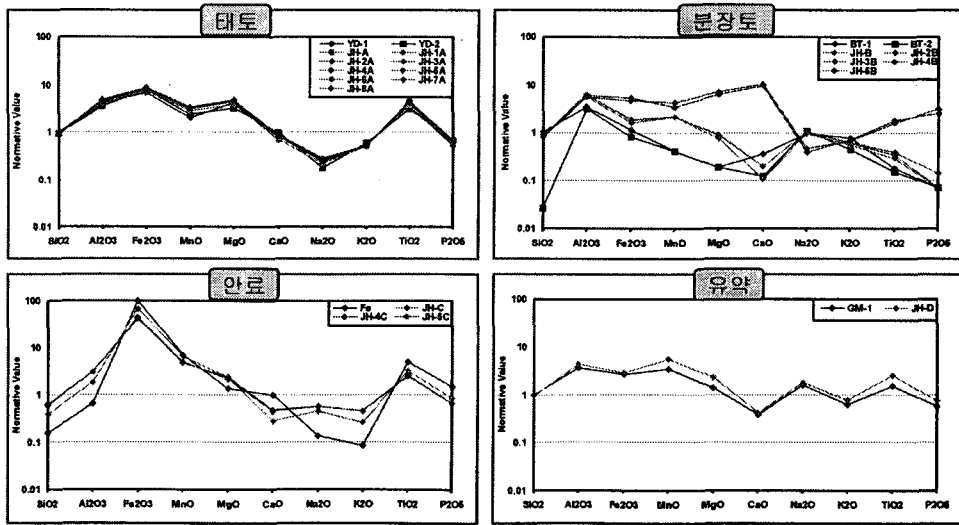


그림 3. 각 원료를 구성하는 주성분 원소의 거동특성 변화도.

모든 시료들의 전체적인 주성분 원소의 조성은 SiO_2 와 Al_2O_3 의 함량이 높은 경향을 보인다. 안료는 다른 원료들에 비해 Fe_2O_3 와 MgO 의 함량이 높게 나타났다. 태토와 안료, 유약의 각 단계별 주성분 원소의 거동특성은 유사하게 나타난 반면 분장토의 재벌편에서는 고철질 원소 및 CaO 가 증가하였고 알칼리 원소가 감소하는 거동특성을 보였다(그림 3). 이는 분장토가 다른 원료들에 비해 열변성에 민감한 재료이기 때문으로 판단된다. 미세조직의 변화와 미량 및 희토류원소의 거동특성은 차후에 발표할 예정이다.

5. 결 언

1. 계룡산 철화분청사기의 재현을 위해 문헌상의 기록을 근거로 가장 근접한 원료를 채취하여 성형 → 건조 → 분장 → 재건조 → 초벌 → 시문 및 시유 → 재벌단계로 시작품을 제작하고 각각의 단계에 따른 재료과학적 변화를 추적한 결과, 상전이 과정을 관찰할 수 있었다.

2. 재현 시작품 철화 분청사기의 태토는 주로 분급과 원마도가 불량한 석영과 장석의 파립상 입자와 은미정질의 석기로 구성되어 있으며 초벌에서는 큰 변화가 없으나 재벌을 거치면서 고온성 멀라이트, 트리디마이트 및 휘석으로 상전이 하였고 석기는 은미정질의 유리질 물질로 전이하였다.

3. 분장토의 주요 구성광물은 석영과 사장석으로 초벌편에서는 조암광물의 변화가 없으나 재벌시편에서는 멀라이트 및 트리디마이트만이 검출되었다. 철화에 이용된 자철석 안료는 재벌을 거치면서도 상전이 과정을 거치지 않고 그대로 남아 있었으며 트리디마이트 및 멀라이트와 공존하였다.

4. 재현실험에 이용된 태토의 주성분원소 조성은 초벌과 재벌을 거치면서 특별한 거동특성을 보이지 않고 동일한 조성범위를 유지하였다. 유약과 안료의 조성도 수비 과정을 거친 시료와 재벌을 경험한 시료에서 모두 큰 조성변화가 없었다. 이는 태토나 유약 모두 온도변화에 따른 상전이 광물이 생성되어 원소의 재배치는 발생하나 특별한 증감효과는 발생하지 않았기 때문으로 해석된다.

5. 분장토의 주성분 원소조성은 재벌을 경험한 시료에서 알카리 원소의 양이 감소와 고철질 원소 및 CaO의 증가가 발생하였으며 부성분 광물의 상전리로 수반되었다. 이는 분장토가 태토나 유약에 비해 열변성에 민감한 재료이기 때문으로 판단되며 상전이가 발생한 온도는 멀라이트의 생성시점인 975℃인 것으로 해석된다.