

철화분청사기의 재현실험과 광물 및 지구화학적 거동특성

이찬희*·문은정*·이재황**

*공주대학교 문화재보존과학과, **계룡산 도예촌 황토방

Reappearance Experiments, Mineralogical and Geochemical Behaviors of the Cheolhwa Buncheong Stoneware

Chan Hee Lee*, Eun Jeong Moon*, and Jae Hwang Lee**

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

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

1. 서 언

계룡산 일대는 15~16세기 전반에 걸쳐 철화분청사기가 대량 생산된 대표적인 제작지이다. 아직도 계룡산 주변에는 원료의 채취현장 및 흔적이나 도자기에 관련된 지명이 구전되어 사용되고 있다. 이 지역은 청자, 흑유, 분청사기, 백자가 한 곳에서 제작되었던 곳으로 존속시기가 길고 여러 종류의 도자기가 생산된 것으로 보아 주변에서 구할 수 있는 도자 재료가 풍부하였을 것으로 판단된다. 또한 철화분청사기가 대량으로 생산되었던 것으로 보아, 이 지역에서 쉽게 재료를 구할 수 있으며 첨가물을 섞지 않거나 단순한 첨가물만을 넣어 제작이 가능한 재료를 사용했으리라 추정된다.

공주 학봉리 가마터에서 제작된 철화분청사기에 사용된 재료와 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 수행하면서 각 단계에 따라 물리적 변화를 추적하였다. 또한 제작된 분청사기 시작품을 정량분석하여 소성에 따른 재료의 광물학적 및 지구화학적 거동특성을 검토하였다. 이 결과는 계룡산 철화분청사기 제작에 사용된 원료와 제작기법 등을 유추할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 원료산지 선정

이 연구의 재현실험에서는 용이한 제작을 위해 다른 첨가물을 넣지 않고 자연에서 채취한 원료를 그대로 사용하기로 하였다. 주변에 존재하는 도자 원료산지는 기존의 문헌에서 제시한 산지 중에서 단일 재료의 특징에 가장 근접한 곳을 선택하였다. 재료상의 특징을 살펴보면, 태토는 철분 및 불순물이 많이 포함되어 검붉은 색을 띠며 토양의 입자가 굵고 거칠다. 분장토는 검붉은 소지를 감출 수 있을 정도의 피복력을 가진 탁주와 유사한 점토로서, 건조 및 소성 시 수축률을 소지와 비슷하게 조정하기 위한 비가소성 성분으로 이루어져 있다. 분장토 위에서 흑색 내지 흑갈색으로 발색되는 안료는 농담의 효과를 나타낼 수 있는 산화철 성분의 재료이다.

문헌과 구전에 따라 가장 가능성이 높은 원료 산지를 대상으로 지형 및 지질학적 특징을 조사한 뒤 분석 및 재현 실험을 위한 원료를 선택하였다(그림 1). 계룡산은 서북부에 편마암과 화강암, 남부 및 동북부에 복운모화강암, 학봉리를 중심으로 홍장석 화강암이 분포하며 주로 화강암질암을 기반암으로 한다. 유약 및 안료 원료는 공주시 반포면 학봉리 윗사기골 개울 주변에 위치한 구무동굴에서 채취하였으며 구성 암석은 홍장석화강암으로 자철석 함량이 높다. 화강암을 미립 분쇄한 후 밝고 투명한 유약을 얻기 위하여 탈철 작업을 거치고 이 작업 공정에서 모아진 철분은 안료로 사용하였다. 분장토의 원료는 학봉리 분토골(학봉교회 뒷산)에서 백색 산성맥암의 풍화토를 채취하였으며, 태토는 반포면 학봉리에서 7.5 km 떨어진 연기군 금남면의 경작토양 하부의 C층 충적토를 선택하였다.

3. 재현실험

재현실험은 주변 도자재료 산지로부터 직접 채취한 원료를 이용하여 15~16세기 당시의 사용하던 방식을 고려한 재래식 방법으로 이루어졌다. 원료는 대부분 덩어리 상태로 산출되었으므로 미립으로 분쇄한 후 100 mesh의 체로 걸러내는 작업을 실시하였다. 홍장석화강암에서는 자석을 이용하여 철 성분을 걸러내는 탈철 작업을 한 후 여기에서 모아진 철분은 안료로 사용하고 탈철된 화강암 분말은 유약으로 사용하였다. 전처리한 태토를 물과 함께 반죽하여 석고틀에 채워 넣는 형식으로 일정한 크기(지름 7cm, 높이 1cm)의 시작품을 제작하였다.

반 건조의 상태의 시작품 표면에 분장토를 바르고 약 800℃의 환경에서 초벌을 실시하였다. 초벌이 끝난 시편에 안료와 유약을 바른 후 1230℃의 중성 환경 하에서 재

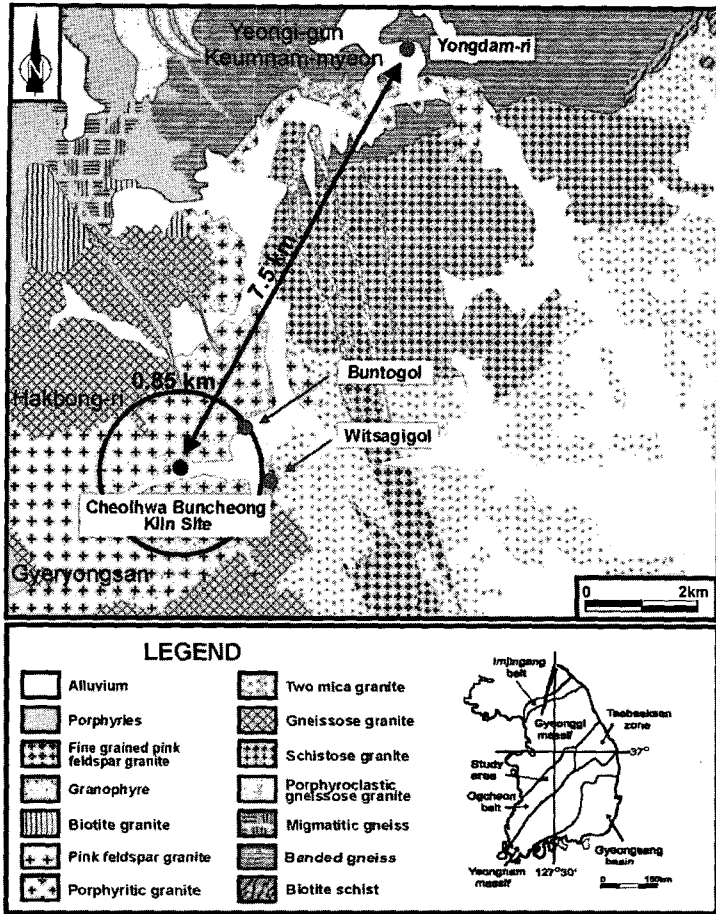


그림 1. 계룡산 주변의 공주시 반포면 학봉리와 연기군 금남면 용담리 일대의 지질도 및 재현 실험을 위한 원료산지의 위치.

별을 실시하였다. 건조 시 탈수로 인해 약 15~20%의 무게 감소되었고 초벌을 통하여 수분이 완전히 건조되면서 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 않아서 퍼석거리고 충격에 의해 잘 떨어졌다. 완성한 철화분청사기는 고온에서의 유리질화를 겪으면서 초벌편에 비해 매우 단단해지고, 소지는 암흑색 내지 암갈색을 띠었다. 유약은 완전히 녹아서 광택이 나지만 표면이 약간 거칠며 어

딥게 발색된 것은 탈철 과정 시 철분이 완전하게 제거되지 않았기 때문으로 판단된다.

4. 결과 및 토의

재현된 분청사기 시작품으로부터 시료를 채취하여 구성 성분들의 광물학적 및 지구화학적 거동특성을 살펴보았다. 조직의 변화를 보면 초벌편에서는 황갈색의 점토질 기질물질들이 주류를 이루고 느슨한 입자조직이 확인되었다. 이들이 재벌과정을 거치면서 태토 내의 유기물이 탄화되어 전체적으로 흑회색의 색상을 띠고 200 μm 이하의 불규칙하고 원마도와 분급도가 불량한 석영과 장석, 흑운모의 광물입자가 관찰되었다. 기질물질은 재결정되어 미정질 조직으로 상전이한 특징을 보인다. 고온의 소성과정을 겪으면서 기질이 치밀하고 견고해졌으며 점토광물의 분해로 인해 발생한 기포가 다량 관찰되었다.

재현 분청사기를 대상으로 평균 5회씩 대자율을 측정된 결과, 건조편과 초벌 및 재벌편이 같은 원료로 제작이 되었으나 대자율 값에서 차이를 보이고 있다. 이는 온도가 증가함에 따라 원료가 자화되면서 화학적 및 물리적 성질이 변화하는데 내부의 성분이 재배치되어 대자율의 변화가 일어나기 때문이다. 이러한 재배치된 원소의 정지현상은 초벌소성 중에 일어난 것으로 보이므로 800 $^{\circ}\text{C}$ 이전에 자화현상이 완료된 것으로 판단된다.

X-선 회절분석을 통하여 각 원료의 구성재료가 온도에 따라 상전이하는 광물상을 확인하였다. 태토 및 분장토의 원료는 초벌을 거치면서 석영, 정장석, 사장석이 그대로 검출되었으며, 재벌과정에서 플라이트와 트리디마이트로 상전이 하였다. 유약 및 안료의 원료에서는 화장암의 주구성 광물이 검출되었으며 안료에서는 적철석, 자철석 등 철광물을 확인하였다. 산화철 광물들은 1230 $^{\circ}\text{C}$ 를 거치면서 그대로 남아있었으며, 공통적으로 발견된 플라이트 및 트리디마이트의 상전이는 플라이트의 생성시점인 975 $^{\circ}\text{C}$ 부터 발생하기 시작한 것으로 해석된다.

재벌편 내부조직에서 구형의 트리디마이트와 비정질 유리질 물질이 검출되었으며, 공통적으로 Si, Al이 다량 검출되었다. 태토에서 Al과 Si는 균질하게 분포하고 있으며 Fe가 높게 검출되었다. 분장토는 다른 부분에 비해 Al의 함량이 높으며, 유약 및 안료층은 Fe가 높은 함량으로 검출되었다. 또한 학봉리 출토 철화분청사기와 달리 재현 시작품의 유약층에서는 Ca가 거의 함유되어 있지 않음을 확인하였다.

모든 시료들의 전체적인 주성분원소의 조성을 살펴보면 SiO_2 와 Al_2O_3 의 함량이 높

은 경향이 있다. 안료에서는 다른 원료들에 비해 Fe_2O_3 와 MgO 의 함량이 높게 나타났다. 태토와 안료, 유약의 각 단계별 주성분 원소의 거동은 유사하게 나타난 반면 분장토는 고철질 원소 및 CaO 가 증가하였고 알칼리 원소가 감소하는 거동특성을 보였다. 이는 분장토가 다른 원료들에 비해 열변성에 민감한 재료이기 때문으로 판단된다. 미량 및 희토류원소의 거동특성을 보면 재벌과정에서 원소의 재배치가 발생하는데, 그 중 열에 민감하게 반응하는 원소들이 상대적으로 거동 정도를 달리하여 차이가 발생하는 것으로 해석된다.

5. 결 언

1. 문헌을 근거로 계룡산 주변에 분포하는 지역에서 학봉리 분청사기와 가장 근접한 도자재료를 채취하여 $1,230^{\circ}C$ 의 중성염 환경에서 분청사기의 재현 시작품을 제작하였다. 재현실험은 성형→건조→분장→재건조→초벌→시문 및 시유→재벌로 진행하였다. 이 결과 흑회색의 태토 위에 백색의 분장토와 철안료로 그린 문양이 검게 발색되고 있으나 유약은 완전히 유리질화 되지 않아서 표면이 거칠게 나타났다.

2. 건조편과 초벌 및 재벌편이 같은 원료로 제작이 되었으나 대자율 값에서 차이를 보이고 있다. 이와 같은 대자율 값의 정치는 초벌과정에서 형성되는 것으로 나타났다. 재현 분청사기는 정제하지 않은 토양을 사용하여 분급이 불량한 석영 및 장석이 관찰되며, 전체적으로 크고 작은 기공이 존재하며 불순물 및 높은 산화철의 함량으로 인해 붉은색으로 소성된다.

3. 재현 시작품의 태토는 주로 분급과 원마도가 불량한 석영과 장석의 과립상 입자와 은미정질의 석기로 구성되어 있으며 재벌을 거치면서 고온성 물라이트, 트리디마이트 및 휘석으로 상전이하였다. 분장토의 주요 구성광물은 석영과 사장석으로 초벌편에서는 변화가 없으나 재벌되면서 물라이트 및 트리디마이트로 전이하였다. 이는 물라이트의 상전이 온도인 $975^{\circ}C$ 에서 시작하여 $1,230^{\circ}C$ 정도에서 자화가 완성된 것으로 해석된다. 철화로 사용한 자철석은 재벌과정에서 상전이 과정을 거치지 않고 그대로 남아 있었다.

4. 재현 시작품의 태토와 안료, 유약의 각 단계별 주성분 원소의 거동특성은 유사하게 나타났으며 큰 조성변화가 없었다. 이는 태토나 유약 모두 온도변화에 따른 상

전이 광물이 생성되어 원소의 재배치는 발생하나 특별한 증감효과는 발생하지 않았기 때문에 해석된다. 분장토는 고철질 원소 및 CaO가 증가하였고 알칼리 원소가 감소하는 거동특성을 보였다. 이는 분장토가 다른 원료들에 비해 열변성에 민감한 재료이기 때문에 판단된다.

5. 학봉리 출토 철화분청사기와 달리 재현 시작품의 유약층은 Ca가 거의 함유되어 있지 않으며, 회장석 결정도 관찰되지 않는다. 회장석의 생성온도는 1,475~1,553℃로서 시작품의 소성온도인 1,230℃ 이상을 경험했을 때 생성될 가능성이 존재한다. 또한 상전이가 일어나지 않았던 자철석 안료는 이 보다 고온의 환경 또는 알카리 광물과의 혼합을 통해 학봉리 분청사기의 안료와 동일한 광물의 검출 여부를 확인해야 할 것이다.