P-48

계룡산 철화분청사기의 광물학적, 지구화학적 및 고고과학적 특성

문은정[1] · 이찬희[1]* · 이재황[2]

1. 서 언

철화분청사기는 15세기 후반에서 16세기 전반에 걸쳐서 충남 공주군 반포면 학봉리 일대에서 제작된 도자기로서, 계룡산 주변지역의 재료를 최대로 활용하여 독특한 양식으로 제작된 것이다. 태토가 거칠게 성형된 도자기물 위에 귀얄로 백토분장을 한 후 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 않으며 고고과학적으로 많은 연구를 필요로 한다.

이 연구에서는 충남 공주시 반포면 학봉리 일대의 분청사기 가마터(사적 333호)에서 수습한 철화분청사기 파편을 대상으로 고고과학적 정량분석을 실시하였다. 이를 위하여 재료과학적 측면에서 파편의 산출상태와 물리적 특성, 토양광물학적 및 지구화학적 특성을 해석하였다. 이 분석결과를 근거로 제작조건과 환경을 검토하였다. 이 연구는 고고과학적 측면에서 철화분청사기의 특성과 원료산지를 해석할 수 있는 근거를 제공할 것이다.

2. 산출상태 및 분석시료

학봉리 가마터에서 수습된 분청사기 중에서 본 연구의 대상이 된 시료는 총 20점이다. 이들을 제작기법과 소성과정의 차이를 기준하여 4그룹으로 나누어 분석을 수행하였다. 제작기법에 따라 각각을 철화분청사기편 13점, 인화분청사기편 3점, 소성과정에 따라 인화분청사기이나 시유하지 않은 재벌편 1점, 초벌편 3점으로 세분하였다(그림 1). 대부분의 철화분청사기편은 태토가 거칠고 기공이 많은 것에 비해, 상대적으로 견고하고 치밀하다. 이는 고온소성을 경험하였기 때문으로 추정된다.

이 분청사기 편을 대상으로 평균 5회씩 전암 대자율을 측정하였다. 4개의 그룹으로 분류된 분청사기편의 대자율 측정값을 보면 대부분 0.6 이하의 낮은 수치를 보이고 있다. 이와 같이 학봉리 가마터에서 산출된 분청사기가 오차범위 내에서 동일한 자화강도를 갖는다는 것은 동일한 장소에서 생산된 원료로 만들어진 태토라는 것을 의미하는 중요한 자료 중의 하나이다.

학봉리 분청사기의 재질을 분석하기 위하여 수습된 분청사기편에서 태토, 분장토, 철화안료에 대하여 수술용 소도구 등을 사용해서 분리하고, 각각을 분석용 시료로 제작하였다. 유약의 경우는 겉면에서 유리화되어 소지에 고착된 물질이기 때문에 따로 분리해내기에는 어려운 점이 있어 채취된 분장토 또는 철화안료와 함께 분석되었다. 이 시료들을 대상으로 광학현미경

주요어 : 학봉리, 철화분청사기, 태토, 원산지, 상전이, 소성온도

1) 공주대학교 문화재보존과학과 (07shinwha@hanmail.net, [2]chanlee@kongju.ac.kr)
2) 계룡산 도예촌 황토방(05022557777@hanmail.net)

및 전자현미경 관찰, 물성분석, X-선 회절분석, DTA 및 TG 분석, X-선 형광분석, ICP-MS 및 중성자활성분석을 실시하였다.

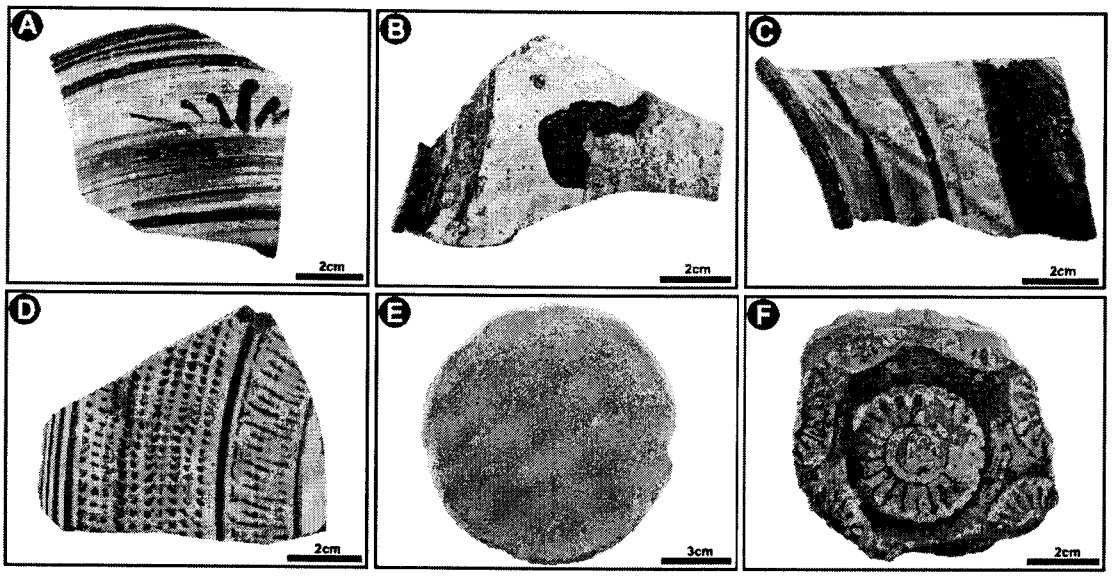

그림 1. 계룡산 학봉리 가마터에서 수습한 일부 분청사기편의 산출상태. (A, B, C) 철화 분청사기편. (D) 인화분청사기편. (E, F) 초벌편.

3. 결과 및 토의

학봉리 출토 분청사기로 부터 채취한 시료를 바탕으로 구성 성분의 재료과학적 및 지구화학적 특성을 확인하였다. 분청사기의 초벌편 기질은 느슨한 편이며, 유리질화된 재벌편의 조직 내에는 석영의 교질흔적이 남아있는데 대부분 타형, 반자형 내지는 자형으로 일정치 않고 불균질한 크기를 보인다. 이들은 비짐으로 첨가한 물질이라기보다는 원료의 구성광물로서 수비하지 않은 원료를 사용하였기 때문으로 추정된다.

분청사기의 표면관찰, 구성원소 분석, 내부 조직의 결정 및 결합상태를 분석하였다(그림 2). 전반적으로 각 구성 부분에 따라 특정 원소가 부분적으로 높게 검출되는 경향을 보인다. 소지층은 Fe가 5.5% 이내로 함유되어 있으며 Ca, Mg가 소량 검출된다. 또한 침상의 뮬라이트 결정 형태를 따라 Al과 Si가 높게 분포한다. 분장토층에서는 Al이 높게 검출되었으나 조직이 많이 소실되어 느슨한 기질이 나타난다. 유약 및 안료층은 유리질화되어 매끄러운 기질로서 Fe가 검출되며, Ca가 높게 검출되고 있는데 이는 원료로 사용한 물질로 추정되는 장석의 영향을 받은 것으로 해석된다. 이곳을 확대하였을 때 관찰되는 자형의 결정상은 유약에서 상전이 광물로 성장한 것으로 사장석의 Ca-단종인 회장석으로 판단된다.

X-선 회절 및 열분석을 통하여 태토, 분장토 및 안료에서 나타나는 광물을 동정하였다. 초벌편의 태토 내에서 석영, 정장석, 사장석이 나타났다. 800℃까지 수분의 중량이 계속적으로 감소하며 열분석에서는 뮬라이트 상전이 피크가 관찰되므로 초벌 소성온도는 800℃를 넘지 않은 것으로 판단된다. 재벌편 태토는 뮬라이트와 트리디마이트가 검출되었다. 고온에서 생성되는 크리스토발라이트가 나타나지 않았으며 1,100℃까지 별다른 변화가 없는 것으로 보아 그 이상의 온도에서 열변화를 경험한 것으로 해석된다. 분장토는 뮬라이트, 트리디마이트, 회장석이 검출되었고, 안료에서는 트리디마이트, 뮬라이트, 회장석을 검출하였으며, 일부 시료에

서 스피넬의 존재를 확인하였다.

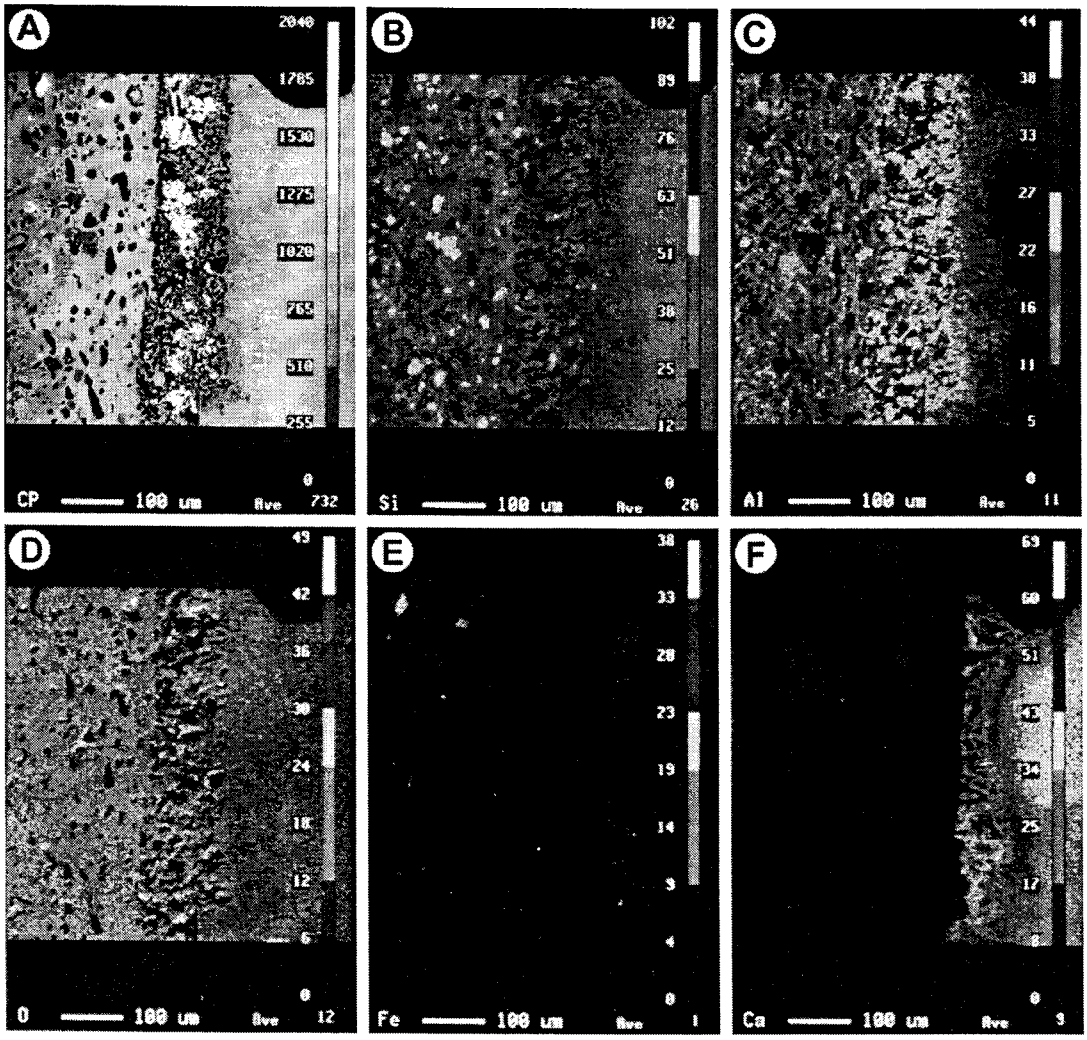

그림 2. 학봉리 철화분청사기편의 태토, 분장토, 유약 및 안료 부분의 특정 원소에 대한 X-선 면분석 결과. (A) 후방산란전자영상, (B) SiKα, (C) AlKα, (D) OKα, (E) FeKα, (F) CaKα.

모든 시료들의 전체적인 주성분원소 조성을 살펴보면 상대적으로 SiO_2의 함량과 Al_2O_3의 함량이 높고 분장토는 Al_2O_3가 다소 높은 것으로 나타났다. 태토에서 원소함량의 차이가 크게 나타나는 것은 채취한 원료를 전처리하지 않고 그대로 사용하였기 때문으로 해석된다. 분장토는 CaO, MnO, P_2O_5, 안료는 Fe_2O_3, MnO, Na_2O가 높은 경향을 보이므로 유약 내에 발달된 회장석 결정은 분장토에 많이 함유된 CaO에서 정출된 것으로 해석된다.

4. 제작환경 해석

학봉리 철화분청사기에서 나타나는 상전이 광물을 통하여 소성온도를 추정하였다. 초벌편 태토는 석영, 사장석, 정장석 등이, 재벌편의 태토에서는 뮬라이트와 트리디마이트가 검출되었다. 산출상태와 광물조합으로 보아 초벌 소성온도는 800℃ 미만에서 이루어졌을 가능성이 높다. 재벌편에서 나타나는 트리디마이트의 상전이 온도는 870℃이며, 크리스토발라이트는 검출

되지 않았다. 또한 소지내의 뮬라이트 결정은 940℃에서 발생하기 시작하여 1,100℃까지 큰 변화가 없다가 1,200℃부터 결정의 성장이 두드러지게 나타나므로 재벌 소성범위는 1,200~1,470℃에 해당할 것으로 해석된다.

유약 내에 존재하는 자형의 결정은 Ca-사장석의 단종인 회장석으로 동정하였다. 사장석은 조장석(albite; Ab)과 회장석(anorthite; An)의 연속고용체이다. 이러한 형태는 사장석이 정출되는 조장석-회장석의 반응계열로 설명될 수 있다. 보통 회장석이 정출되는 온도 범위는 1,475℃ 이상에서 1,553℃ 까지 이다. 이는 학봉리 분청사기의 태토에서 나타나는 광물로 추정한 소성온도 범위 보다는 고온이다. 따라서 소성과정에서 분청사기의 표면에 닿는 불길이 일시적으로 1,550℃ 정도까지 올라갔던 것으로 해석할 수도 있을 것이다. 그러나 태토에서 고온형 트리디마이트가 생성되지 않는 것으로 보아 태토는 1,470℃ 이상까지는 경험하지 않은 것으로 추정된다.

5. 결 언

1. 계룡산 학봉리 가마터에서 출토된 분청사기 20점에서 태토, 분장토 및 안료를 채취하여 재료과학적 분석을 수행하여 제작환경을 검토하였다. 대부분의 철화분청사기편은 태토가 거칠고 기공이 많은 것에 비해, 고온소성을 경험하여서 상대적으로 견고하고 치밀하다.

2. 학봉리 가마터에서 산출된 분청사기는 대체로 0.6 이하의 비슷한 대자율범위를 갖는다. 이는 근본적으로 동일한 과정에 의해 생성된 원료를 사용한 것을 의미한다. 분청사기는 정제하지 않은 토양을 사용하여 분급이 불량한 석영 및 장석이 관찰되며, 전체적으로 크고 작은 기공이 존재한다. 소지의 흑회색 내지 흑갈색은 불순물 및 높은 산화철의 함량으로 인한 것이다.

3. 분청사기는 각 구성 부분에 따라 특정 원소가 높게 검출되는 경향을 보인다. 소지층은 Fe와 뮬라이트 결정 형태를 따라 Al과 Si가 높게 분포하는 특징을 보이며, 분장토층에서는 Al의 함량이 높다. 유약 및 안료층은 Fe와 Ca가 높게 검출된다. 안료의 Fe 함량은 태토의 함량과 거의 비슷하게 검출되었다. 따라서 철화재료에는 철성분의 광물과 규장질 및 알카리 광물의 혼합이 있었던 것으로 해석된다.

4. 초벌편의 태토 내에서 석영, 정장석, 사장석 등 전반적인 토기의 구성광물이 나타났으므로 초벌 소성온도는 800℃를 넘지 않은 것으로 판단된다. 재벌편 태토는 뮬라이트와 트리디마이트가 검출되었다. 분장토에서는 뮬라이트, 트리디마이트 및 회장석이 나타났다. 안료에서는 트리디마이트, 뮬라이트, 회장석을 검출하였으며, 일부 시료에서 스피넬의 존재를 확인하였다.

5. 철화분청사기에서 뮬라이트와 트리디마이트가 관찰되며, 태토 내에는 뮬라이트 결정이 정출하였다. 따라서 학봉리 분청사기의 재벌 소성온도는 뮬라이트 결정의 발달 시점으로부터 크리스토발라이트 출현시점 전인 1,200~1,470℃에 해당할 것으로 보인다. 한편 유약층에서는 자형의 회장석 결정이 관찰된다. 이 회장석의 생성온도는 1,475~1,553℃ 범위로서 분청사기의 표면 소성온도는 최대 1,500℃ 정도를 경험한 것으로 판단되나, 이 온도에 의한 태토의 상전이가 있었는지는 불분명하다.