

강원 영서지역 춘천 고성리 가마터 출토 백자 및 태토 원료의 상관관계 연구

A Study on the Relationships between White Wares and Raw Materials Excavated at Goseong-ri Kiln Site in Chuncheon, Yeongseo Province, Gangwon-do

이병훈*

(재)강원문화재연구소

Byeong Hoon Lee*

Kangwon Research Institute of Cultural Heritage, Chuncheon 24227, Korea

Received April 10, 2020

Revised April 28, 2020

Accepted May 5, 2020

*Corresponding author

E-mail: lbh982@hanmail.net

Phone: +82-33-249-5649

Journal of Conservation Science
2020;36(3):152-161

<https://doi.org/10.12654/JCS.2020.36.3.01>

pISSN: 1225-5459, eISSN: 2287-9781

© The Korean Society of
Conservation Science for Cultural
Heritage

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

초록 본 연구에서는 춘천 고성리 백자가마터에서 출토된 백자 편, 백토 적치장 수습 백토 원료, 수비공 1호 내 태토 침전물 등 총 3그룹을 대상으로 재료학적 분석을 진행하였다. 연구목적은 도자기 제조과정에서 최초로 적치된 백토, 수비를 거친 태토, 최종 제작된 도자기 태토원료의 화학적 특성을 비교하고자 하였으며, 제작 완료된 춘천 고성리 가마터 백자의 특성을 살펴보고자 하였다. 분석방법으로는 주성분 분석, 미량성분 분석, 광물상 분석을 실시하였다. 주성분 분석결과 분석대상 백자의 태토는 RO_2 4.04~4.28, $RO + R_2O$ 0.30~0.31 몰의 영역에서 군집하며, 수비공 1호 내 태토 침전물과 비교적 유사한 함량을 나타내었다. 하지만, 백토 적치장 수습 백토 원료와는 큰 차이가 확인되었으며, 이는 보다 양질의 도자기를 제작하기 위해 태토의 수비과정을 거치면서 발생한 결과로 확인되었다. 태토의 광물상에서는 백토 적치장 수습 백토 원료 및 수비공 1호 내 태토 침전물의 광물상은 거의 일치하지만, 출토 백자 완성품의 태토에서는 소성과정을 거치면서 소성온도에 의해 상전이 된 결과로 Quartz와 Mullite이 검출되었다. 도자기의 제작과정 및 태토 원료의 풍화과정에 영향을 받지 않는 희토류 원소는 3그룹 모두 일정한 경향성을 나타내어 동일기원임을 알 수 있었다.

중심어 고성리 백자가마터, 백자, 주성분 분석, 미량성분 분석, 광물상

ABSTRACT The purpose of this study was to compare the chemical properties of white soil and refined clay sediment, which are produced early in the refining process. The characteristics of the white wares made at the kiln site in Goseong-ri, Chuncheon were also examined. Three groups of materials were examined: white wares excavated from the white wares kiln, raw material from white soil collected from the surface, and a refined clay sediment group. There were also three analysis methods, which were a main components analysis, a trace components analysis, and a mineral analysis. The main components analysis found that the white wares clay was in the RO_2 4.04~4.28 and the $RO + R_2O$ 0.30~0.31 mole areas, which were similar to the results for the refined clay sediment. However, the refining process used to produce better quality white wares meant that the large differences in the early white soil raw material appeared in the refined sediment. The mineral phase analysis showed that the crystals detected in the early white soil raw materials and refined clay sediment were almost identical. However, quartz and mullite mineral phases, which can occur above a certain temperature, were detected in the excavated white wares clay. Rare earth elements that were not affected by the pottery making process and the weathering of clay materials were found to have the same origin in all three groups.

Key Words White wares kiln in Goseong-ri, White wares, Principal components analysis, Trace elements analysis, Mineral phase

1. 서론

백자 및 태토에 대한 과학적 연구는 경기도 광주 분원을 중심으로 전국에서 발굴된 지역 가마터 출토 도자기를 대상으로 활발히 진행되고 있다. 상대적으로 강원지역에서는 경기도 광주 분원 및 각 지역의 가마터 출토 도자기와 비교 분석할 수 있는 연구결과가 많지 않은 실정이다. 우리나라 도자기 및 태토원료의 지역적 상관성을 연구하는 데 있어서, 강원지역에서 발굴된 가마터의 전수조사와 더불어 출토되었던 도자기 및 향후 발굴될 가마터 출토 도자기에 대한 과학적 분석이 필수적이다. 조선 후기 학자 이규경(1788~1866)의 『五州衍文長箋散稿』에 기록된 ‘진주·곤양·춘천·양구의 백토가 분원 진상자기의 주원료이며’(Lee, 2010)라는 문헌내용을 통해 강원 춘천 및 양구지역의 백토가 분원 진상자기의 원료가 될 정도로 양질이라는 사실을 알 수 있다. 따라서 기존에 발표되었던 연구결과 및 추후 발굴을 통해 연구될 타 지역과의 과학적 비교를 위해 분석 결과를 제시하는 데 큰 의의가 있다.

지금까지 강원지역에서는 원주 귀래2리(Lee and So, 2014)와 양구 방산(Ewha Womans University and Yanggu-gun, 2001), 양구 칠전동(Chuncheon National Museum, 2013) 등을 중심으로 연구되었다. 강원 영서지역은 원주 귀래2리와 귀래1리 가마터, 손곡3리 가마터 백자에 대해 연구되었으며, 영동지역은 강릉 남양리 가마터, 동해 비천동 가마터, 동해 발한동2(사문동) 가마터 백자 등에 대한 과학적 분석(Lee, 2015)이 진행되었다. 하지만, 강원 영서 지역 중 춘천에서 발굴조사가 진행된 조선 후기 백자가마터는 현재까지 고성리 가마터가 유일하며, 발굴 조사를 통한 고고학적 연구결과 18세기 전·중반 백자를 생산했던 지방 가마로 확인되었다(Gangwon Research Institute of Archeological and Cultural Properties, 2018). 따라서 이미 과학적 분석을 실시했던 원주 및 양구 지역의 백자와 더불어 강원 영서 지역 백자의 특징을 알 수 있는 중요한 자료라고 판단되었다.

최근 도자기의 생산지 추정에 있어서 주된 연구는 각 가마터에서 출토된 도자기 완성품의 특징 및 화학적 성분을 통한 유사성이었다. 도자기 제작 과정 중 백토 적치장 수습 백토 원료, 수비공 내 태토 침전물과 도자기 완성품과의 성분분석을 통한 비교 연구는 거의 진행된 바가 없다. 이는 도자기의 태토 적치시설 및 수비공 등의 발굴 사례가 많지 않으며, 그에 따른 과학적인 분석이 진행되지 않았기 때문으로 생각된다. 한편, 도자기 제작 과정에서 태토 원료의 성분과 도자기 완성품과의 성분분석을

통한 비교분석에는 여러 변수가 작용한다. 태토 원료를 적치하고, 수비를 통해 정제된 태토를 만드는 제작 과정에 따라 특정성분에 차이가 발생하거나 오랜 시간 방치되면서 풍화 등 자연환경적인 요인에 의해 성분에 변화가 발생할 수 있다. 반면, 제작과정 및 자연 환경적 요인에도 불구하고 태토의 초기 원료로부터 도자기 완성품까지 일정한 경향성을 갖는 화학적 성분을 통해 기원을 추정할 수 있다.

본 연구에서는 최근에 발굴된 지방도 403호선 지내-고성간 도로확포장공사구간 유적 내 백자가마터 출토백자 및 백토 적치장 내 백토 원료, 수비공 내 태토 침전물을 재료학적으로 분석하여 도자기 제작 과정에서 태토 원료의 특성을 비교하고자 하였다.

2. 분석대상 및 분석방법

2.1. 출토유적 및 분석대상

본 연구에서 사용된 분석시료는 지방도 403호선 지내-고성간 도로확포장공사구간 내 유적 중 고성리 가마터 2지점에서 수집하였다. 춘천 고성리 가마터 유적은 강원도 춘천시 사북면 고성리 353-1번지 일원이다. 고성리 가마터에서는 백자 가마 1기와 폐기층 2개 층, 공방시설(구들시설, 수비공, 백토 적치장)을 확인하였고, 폐기층 내에서 접시, 발, 대접, 잔 등의 반상용기와 소량의 병, 호로 구성된 백자, 철화백자 편, 도침, 가마 벽체 편 등이 출토되었다(Figure 1). 이 지역은 북한강의 지류천인 사평천에 가깝고, 춘천 및 화천 등지로 연결되는 고탄 옛길에 인접해 있어, 도자기 소성을 위한 연료조달과 수운을 이용해 도자기 운반이 수월한 지형적 조건을 갖추고 있다(Gangwon Research Institute of Archeological and Cultural Properties, 2018).

본 연구에서는 춘천 고성리 백자가마터 수습 백자 4점, 수비공 3호 앞 백토 적치장 수습 백토 원료 3부분, 수비공 1호 내 태토 침전물 3부분을 대상으로 분석을 진행하였다. 완성품인 백자 시편은 발굴조사에서 출토된 다량의 백자 편 중 포개구운 상태이면서, 서로 유사한 색상 및 기형을 가진 백자 도자기 중 폐기2층에서 발 유물 4점을 선정하였다. 고성리 백자가마터 출토 백자 중 형태적으로 유사하고 모래 받침을 사용하여 소성된 대표성을 갖는 백자 편을 분석대상으로 하였다. 또한, 고고학적 판단에 있어서 폐기층 내에 혼입된 백자기종이나 기타 혼입물의 1·2층간 차이는 크지 않은 것으로 파악되었다(Gangwon Research Institute of Archeological and Cultural



Figure 1. Picture of Goseong-ri kiln in Chuncheon(left) and discarded white wares(right).

Properties, 2018). 분석을 위해 수습한 백토 원료는 주변 토양과의 혼합이 최소이고 백색도가 높은 부분을 별도로 선정하였으며, 동일 백토 적치장에서 수습한 시편이라도 부분적으로 혼합물에 차이가 있을 수 있으므로 3부분을 분석하였다. 오랜 시간 매장되었던 가마터이고, 적치된 원료의 표면에 가까울수록 오염물이 많이 있을 수 있으므로, 단단하게 고착된 태토 원료의 내부 중 최대한 오염되지 않은 순수백토를 채취하였다. 또한 수비공은 총 4개가 확인되었으며, 그 중 수비공 1호 내 침전물을 대상으로 시편을 제작하였다. 수비공 2, 3, 4호 내의 침전물 역시 분석을 위해 수습하려 했으나, 침전물 층의 두께가 매우 얇고, 갈색 계통의 사질점토 또는 회황색 내지 담황색 계열의 실트가 혼입되어 시편제작에 어려움이 있었다. 따라서 수비공 1호 내 침전물 중 이물질이 섞이지 않은 부분을 선정하여, 백토적치장 수습 태토 원료와 같은 방법으로 시편을 제작하였다. 수습된 백토 원료는 이온수에 침적시킨 후 부유한 유기물을 제거하였고, 열풍건조기에 1주일 이상 건조한 후 분말화 하여 시편을 제작하였다. 분석대상 사진 및 가시적 특성을 표기하였고(Table 1, Figure 2), 분석에 사용된 백자 시편 등 분석 시료는 편의상 cg로 표기하였으며, 분석 대상 백자 번호는 cg뒤에 ‘-’와 해당 번호 및 명칭을 나타내었다. 또한 백토 적치장 수습 백토 원료는 cg-white로, 수비공 내 태토 침전물은 cg-rm으로 표기하였다.

2.2. 분석 방법

2.2.1 주성분 분석

주성분 분석을 위하여 엑스선형광분석기(XRF ; ZSX100e, Rigaku, JPN)를 이용하였으며, X선 선원은 Rh target을 사용하였다. 태토는 유약 부분을 제거한 후 agate mortar에서 약 30 μm 로 분쇄하였고, 분쇄된 시료를 \varnothing 30 mm 펠렛 형태로 성형하여 분석용 시편으로 사용하였으며 성형 압력은 20 ton/cm^2 으로 하였다.

2.2.2 미량성분 분석

미량성분 분석은 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS ; X5, Thermo Elemental, GBR)와 유도결합플라즈마 원자방출 분광기(ICP-AES ; Optima 4300DV, Perkin Elmer, USA)로 분석하였으며, 시료는 고온 건조 후 미세하게 분말화 하여 왕수와 HF48% 용액에 용해한 후 분석하였다.

2.2.3 광물상 분석

광물상 조사를 위하여 고분해능엑스선회절분석기(HR-XRD ; D/MAX 2500V/PC, Rigaku, JPN)를 이용하여 분석하였다. 이때 분석조건은 scan range; $5 \sim 80^\circ$, scan speed; $0.6^\circ/\text{min}$, scan step; 0.01° , acceleration voltage; 40 kV, 200 mA, target; Cu로 하였다. 시료는 유약을 제거한 백자 태토로부터 미세절단기를 이용하여 적당량을 절단한 후, 약 30 μm 이하로 분쇄하여 사용하였다.

Table 1. Characteristics of white wares and materials selected in this study

| Sample number | Type | Color ^a | | Design | |
|---------------|------------|--------------------|-------|-------------|----------------|
| | | Body | Glaze | Inscription | Crackled state |
| cg-1 | White ware | WT-BE | WT-GY | × | × |
| cg-2 | | WT-BE | WT-GY | × | × |
| cg-3 | | WT-BE | WT-GY | × | × |
| cg-4 | | WT-BE | WT-GY | × | × |
| cg-white | Soil | WT-BE(B) | | | · |
| cg-rm | Clay | WT-BE(D) | | | · |

Abbreviation

color^a: WT-white, GY-gray, BE-beige, B-bright, D-dark

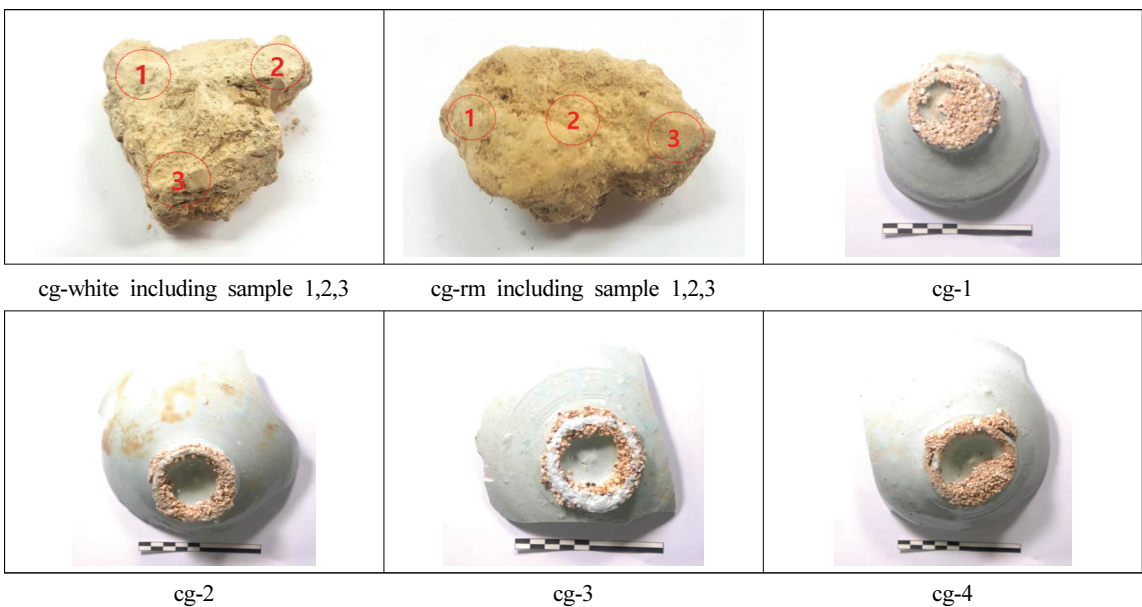


Figure 2. Pictures of white wares and materials selected in this study.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분석대상 백자 및 태토 원료의 주성분 분석결과

분석대상 백자 및 태토 원료를 대상으로 주성분 분석을 실시하였으며 결과를 표로 나타내었다(Table 2).

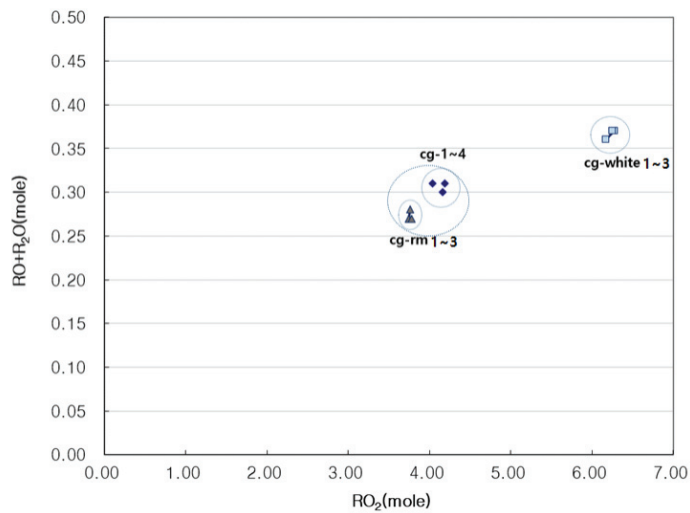
춘천 고성리 가마터에서 출토된 백자 완성품 태토의 화학조성은 모두 유사한 함량을 보인다. 백자 태토 부분은 SiO₂ 65.0~66.1 wt%, Al₂O₃ 24.9~26.1 wt%이며, 착색 산화물인 Fe₂O₃은 1.92~2.06 wt%, TiO₂는 0.05~0.07 wt%, MnO는 0.07~0.08 wt% 함유되었다. 알칼리 원소 K₂O는 5.41~5.69 wt%로 가장 많이 함유되었으며, Na₂O 0.17~0.21 wt%이며, 알칼리 원소의 합은 6.52~6.66 wt% 함량이다.

수비공 내에서 수습한 태토 칩전물의 주성분 분석결과 SiO₂는 백토 적치장 수습 백토 원료보다 확연히 낮은 함량이고, 출토된 백자 태토와는 유사한 함량으로 확인된다. Al₂O₃는 백토 적치장 수습 백토 원료보다 높은 함량이고, 출토된 백자의 태토보다는 미소하게 높은 함량이다. Fe₂O₃은 백자의 태토와 거의 유사한 함량이고, 용제의 함은 6.47 wt%로 백토 적치장의 백토 원료보다 높은 함량이다.

주성분 분석 결과를 제겔식으로 확인하여 그래프로 나타내었다(Figure 3). 일반적으로 도자기 원료는 산화물 또는 몇 개의 산화물이 결합된 화합물로 구성되어 있는데, 이들 산화물은 염기성에 속하는 금속산화물과 산성에 속하는 비금속산화물, 산성과 염기성의 중간인 중성산화물로 나눌 수 있다(Oh, 1998). 출토 백자의 태토부분과 수비

Table 2. Chemical composition of white wares and materials analyzed by XRF

| Sample number | Oxide concentration (wt%) | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|------------------|------|-------------------------------|-------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | MnO | P ₂ O ₅ | Total |
| Group 1. Goseong-ri kiln white wares | | | | | | | | | | | |
| cg-1 | 66.1 | 24.9 | 2.06 | 0.29 | 0.58 | 0.18 | 5.58 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 99.86 |
| cg-2 | 65.6 | 25.3 | 2.00 | 0.30 | 0.60 | 0.21 | 5.41 | 0.05 | 0.07 | 0.03 | 99.57 |
| cg-3 | 65.5 | 25.5 | 1.99 | 0.29 | 0.45 | 0.17 | 5.69 | 0.07 | 0.08 | 0.03 | 99.77 |
| cg-4 | 65.0 | 26.1 | 1.92 | 0.32 | 0.63 | 0.20 | 5.51 | 0.07 | 0.08 | 0.03 | 99.86 |
| Average | 65.55 | 25.45 | 1.99 | 0.30 | 0.57 | 0.19 | 5.55 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 99.77 |
| Standard deviation | 0.45 | 0.50 | 0.06 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | 0.12 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | |
| Group 2. White soil in Goseong-ri kiln site | | | | | | | | | | | |
| cg-white 1 | 73.0 | 19.4 | 1.1 | 0.24 | 0.12 | 0.06 | 5.79 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | 99.80 |
| cg-white 2 | 73.1 | 19.2 | 1.0 | 0.29 | 0.13 | 0.05 | 5.71 | 0.39 | 0.06 | 0.01 | 99.94 |
| cg-white 3 | 73.0 | 19.2 | 1.0 | 0.27 | 0.12 | 0.06 | 5.78 | 0.04 | 0.05 | 0.01 | 99.53 |
| Average | 73.03 | 19.27 | 1.03 | 0.27 | 0.12 | 0.06 | 5.76 | 0.16 | 0.05 | 0.01 | |
| Standard deviation | 0.06 | 0.12 | 0.06 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.20 | 0.01 | 0.00 | |
| Group 3. Clay in Goseong-ri kiln site | | | | | | | | | | | |
| cg-rm 1 | 63.7 | 27.5 | 2.03 | 0.44 | 0.28 | 0.06 | 5.69 | 0.11 | 0.06 | 0.04 | 99.91 |
| cg-rm 2 | 63.6 | 27.6 | 2.01 | 0.46 | 0.27 | 0.08 | 5.67 | 0.12 | 0.07 | 0.04 | 99.92 |
| cg-rm 3 | 63.5 | 27.4 | 2.03 | 0.45 | 0.26 | 0.07 | 5.68 | 0.10 | 0.06 | 0.04 | 99.59 |
| Average | 63.60 | 27.50 | 2.02 | 0.45 | 0.27 | 0.07 | 5.68 | 0.11 | 0.06 | 0.04 | |
| Standard deviation | 0.10 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | |

**Figure 3.** Distribution diagram of composition according to seger formula of white ware and materials from Goseong-ri kiln.

공 내 침전물의 주성분은 유사하였으며, 백토 적치장 수습 백토 원료는 뚜렷한 차이를 보인다. 춘천 고성리 가마터 백자의 태토는 RO₂ 4.04~4.28 몰, RO + R₂O 0.30~0.31 몰에 균집한다. 주성분 분석결과에는 백자 완성품 태토의 모양, 도자기 제작과정 및 매장시기, 풍화 등 환경적 요인에 차이에 따라, 변수가 작용할 수 있다. 따라서 백자 완성품 태토의 주성분 분석 결과를 통해 cg-(1~4)는 태토 원료의 제작, 소성 등이 동일한 과정으로 이루어 졌음을 알 수 있다. 수비공 내 태토 침전물은 가마터 출토 백자의 태토와 유사한 함량을 보인다. 하지만, 염기성 성분의 미소한 차이는 수비 및 정선 후 도자기 소성 전 용제의 첨가 또는 소성과정에서의 주성분 변화 등을 통해 고려해야 한

다. 백토 적치장 수습 백토 원료는 RO₂ 6.16몰, RO + R₂O 0.36 몰로 백자 완성품 태토 및 수비공 내 태토 침전물과는 확연한 차이를 보인다. 이러한 차이는 백토를 적치한 시점으로부터 수비공에서 침전하여 태토를 제작하는 기간 동안 자연에 노출되면서 풍화 등 여러 요인에 따른 결과일 수 있으며, 태토 원료를 수비 정선하는 과정에서 발생한 주성분의 차이로 확인된다.

3.2. 미량원소 분석결과

백토 적치장에서 수습한 백토 원료 cg-white 1, 2, 3 시료와 cg-rm 1, 2, 3 시료의 경우 개별로 분석을 실시하지

Table 3. Trace elements compositions of white wares and materials from Goseong-ri kiln

| Elements (ppm) | cg-1 | cg-2 | cg-3 | cg-4 | cg-white | cg-rm |
|----------------|-------|--------|-------|-------|----------|--------|
| Rb | 172.0 | 180.4 | 203.5 | 230.3 | 182.4 | 162.2 |
| Y | 4.48 | 9.32 | 9.97 | 19.02 | 2.15 | 3.46 |
| Cs | 7.13 | 7.82 | 8.78 | 9.01 | 3.93 | 10.02 |
| La | 3.66 | 7.46 | 10.75 | 18.41 | 2.03 | 7.27 |
| Ce | 8.36 | 14.68 | 19.78 | 34.36 | 4.72 | 13.22 |
| Pr | 1.03 | 1.95 | 2.47 | 4.38 | 0.45 | 1.43 |
| Nd | 4.47 | 8.27 | 9.49 | 15.92 | 1.49 | 5.05 |
| Sm | 1.02 | 2.25 | 2.17 | 3.54 | 0.18 | 0.51 |
| Eu | 0.12 | 0.23 | 0.22 | 0.42 | 0.02 | 0.04 |
| Gd | 1.03 | 2.16 | 1.98 | 4.01 | 0.31 | 0.69 |
| Tb | 0.17 | 0.33 | 0.27 | 0.54 | 0.04 | 0.06 |
| Dy | 1.05 | 2.42 | 2.06 | 3.61 | 0.17 | 0.54 |
| Ho | 0.22 | 0.45 | 0.35 | 0.67 | 0.04 | 0.11 |
| Er | 0.62 | 1.23 | 1.13 | 1.78 | 0.08 | 0.39 |
| Tm | 0.10 | 0.20 | 0.14 | 0.26 | 0.04 | 0.04 |
| Yb | 0.65 | 1.34 | 0.86 | 1.67 | 0.18 | 0.34 |
| Lu | 0.08 | 0.18 | 0.11 | 0.21 | 0.03 | 0.03 |
| Pb | 40.61 | 34.21 | 40.50 | 43.38 | 44.34 | 33.13 |
| Th | 6.68 | 10.12 | 10.81 | 20.33 | 2.46 | 3.62 |
| U | 4.20 | 3.36 | 4.35 | 4.16 | 2.43 | 2.99 |
| Ba | 226.2 | 153.8 | 132.2 | 211.2 | 243.9 | 105.3 |
| Mn | 535.2 | 432.0 | 401.0 | 516.1 | 334.1 | 276.7 |
| Sr | 12.8 | 19.2 | 12.3 | 29.6 | 7.5 | 10.1 |
| Co | 42.89 | 108.44 | 58.84 | 47.9 | 0.25 | 1.01 |
| Cr | 4.71 | 7.85 | 6.55 | 6.26 | 3.45 | 6.55 |
| Cu | 3.53 | 3.97 | 3.10 | 1.18 | 1.59 | 1.76 |
| Ga | 26.41 | 25.81 | 27.32 | 27.1 | 18.26 | 27.02 |
| Li | 16.17 | 15.25 | 13.88 | 18.21 | 15.51 | 14.76 |
| Ni | 3.61 | 5.64 | 4.43 | 1.65 | 1.58 | 2.41 |
| P | 110.7 | 114.6 | 113.7 | 110.0 | 41.7 | 130.9 |
| Sc | 2.06 | 3.72 | 4.36 | 5.07 | 2.38 | 3.46 |
| V | 6.72 | 9.07 | 7.51 | 7.30 | 4.06 | 7.2 |
| Zn | 65.23 | 60.37 | 65.61 | 62.82 | 45.65 | 78.79 |
| Zr | 33.42 | 42.18 | 46.2 | 42.1 | 46.68 | 127.83 |

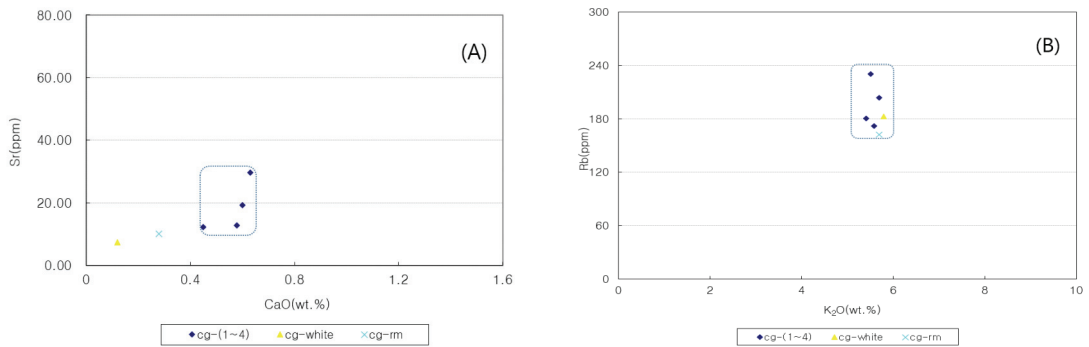


Figure 4. Distribution diagram of CaO-Sr(A), K₂O-Rb(B) of white wares and materials from Goseong-ri kiln.

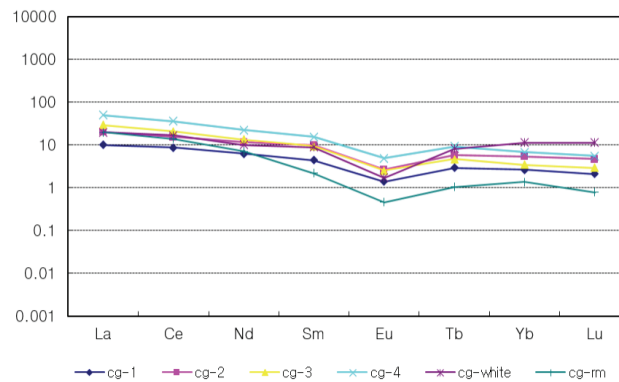


Figure 5. Normalized variation diagram showing rare earth elements pattern of white wares and materials from Goseong-ri kiln.

않고, cg-white 1, 2, 3를 하나의 시료로 혼합하여 cg-white, cg-rm 1, 2, 3를 혼합하여 cg-rm으로 분석을 실시하였다. 미량원소 및 희토류원소의 분석 특성상 성인이 다른 모양 일 경우 다른 패턴 결과로 확인될 수 있으므로 모양의 동질성을 확인하기 위해 혼합하여 시료를 제작하였다. 미량원소 분석에서는 총 34개 원소에 대한 결과를 표로 나타내었다(Table 3). 또한 백토 적치장 수습 백토 원료와 수비공 내 태토 침전물, 백자 태토의 미량성분 원소 함량 경향성을 알아보기 위해 CaO와 Sr 및 Rb, K₂O와 Rb의 함량 분포를 그래프로 나타냈다(Figure 4).

춘천 고성리 백자 태토는 백토 적치장 수습 백토 원료와 수비공 내 침전물 보다 CaO와 Sr 함량이 많이 함유되었으며, 넓은 영역에서 분산된 분포를 나타낸다. 춘천 고성리 백자 태토는 CaO 성분이 소량 함유되었고, 시편마다 다양한 함량으로 확인되어 주된 용제로 사용되지 않았음을 알 수 있다(Figure 4A).

K₂O와 Rb의 그래프에서 볼 수 있듯이 춘천 고성리 백자 태토, 백토 적치장 수습 백토 원료와 수비공 내 침전물은 모두 유사한 영역에서 군집하고 있음을 알 수 있다.

CaO 함량과 비교하였을 때 춘천 고성리 백자 제작에 있어서 K₂O가 많이 함유되었음을 알 수 있으며, K₂O와 Rb의 함량 분포 그래프를 통하여 춘천 고성리 백자 태토 원료의 주된 용제로서 K₂O성분이 사용되었음을 알 수 있다 (Figure 4B).

희토류원소는 광물 내에서 쉽게 치환되지 않기 때문에 암석의 유전자와 같은 역할을 하여 산지 추정에 적합한 원소로 이용되고 있다(Mason and Moore, 1982). 희토류원소의 존재도 변화가 고고학의 영역까지 널리 사용될 수 있는 것은 다른 원소들의 지구화학적 특성과 비교해 볼 때, 희토류원소가 풍화 혹은 변질 작용과 같은 지질학적 현상의 변화에 대해서도 일정한 특성을 가지고 분화되기 때문이다(Aubert *et al.*, 2001). 따라서 도자기 태토 모양의 기원이 동일할 경우 희토류원소의 표준화 그래프는 유사한 경향성을 나타낸다. 분석대상 백자와 백자원료의 희토류원소 함량 분포는 La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu 등 8개 원소를 운석의 초생치로 표준화(Taylor and McLennan, 1985)하여 나타냈다(Figure 5).

춘천 고성리 백자태토, 백토 적치장 수습 백토 원료와

Table 4. The results of minerals composition analytical samples using XRD

| Sample number | Quartz | Mullite | Microcline | Muscovite | Sanidine | Anorthite | Antigorite |
|---------------|--------|---------|------------|-----------|----------|-----------|------------|
| cg-1 | * | * | | | | | |
| cg-2 | * | * | | | | | |
| cg-3 | * | * | | | | | |
| cg-4 | * | * | | | | | |
| cg-white | * | | * | * | * | * | * |
| cg-rm | * | | * | * | | * | * |

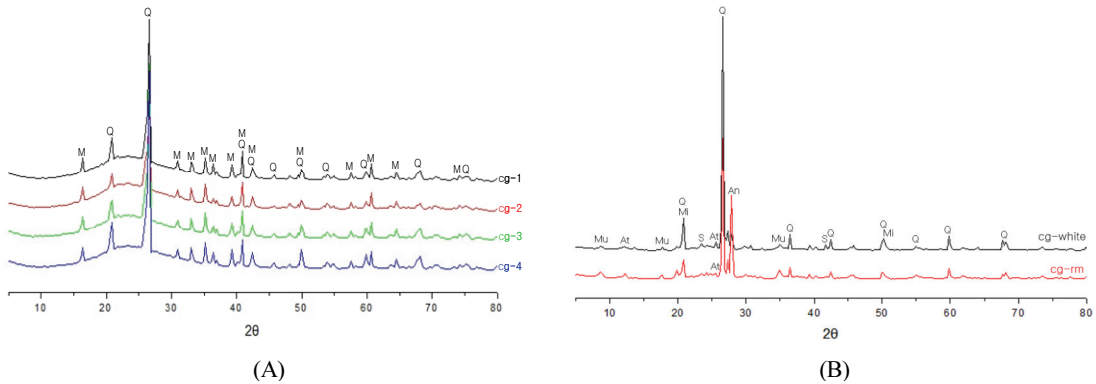


Figure 6. X-ray diffraction pattern of analytical samples for analytical samples using XRD(Q: Quartz, M: Mullite, Mi: Microcline, Mu: Muscovite, S: Sanidine, An: Anorthite, At: Antigorite).

수비공 내 침전물은 모두 유사한 희토류 원소 함량 패턴을 나타낸다. 경희토류에서 중희토류원소로 갈수록 Normative value가 완만히 감소하다가 Eu(-)이상이 있는 특성이 있다. 희토류 원소의 전체적인 그래프 패턴 영역에서 태토 원료의 유사성을 확인하였다.

3.3. 광물상 분석

XRD 분석을 통해서 춘천 고성리 백자태토, 백토 적치장 수습 백토 원료와 수비공 내 침전물의 광물상을 알아보고자 하였다. 도자기 태토 원료는 다양한 종류로 구성되어 있으며, 광물상에 따라서 물리화학적 특성을 확인할 수 있다. XRD 분석을 통해 확인된 광물상을 그래프로 나타내었고, 검출된 광물상을 표로 정리하였다(Table 4, Figure 6).

춘천 고성리 백자 태토에서는 Quartz(SiO₂)와 Mullite(3Al₂O₃·2SiO₂) 광물상이 검출되었다(Figure 6A). 도자기의 소성 과정에서 Kaolinite(Al₂Si₂O₅(OH)₄)는 980°C 부근에서 메타카올린으로부터 Mullite와 γ-Al₂O₃가 생기며, 이때 생기는 γ-Al₂O₃는 순수한 알루미늄이 아니라 SiO₂가 들어간 스피넬이라고 알려져 있다. 그러나 좀 더 높은 온

도에서는 이 스피넬은 없어지고, Mullite와 Cristobalite로 변한다(Lee *et al.*, 1997). 또한 Quartz는 천연 상태에서는 α-quartz이고 이것을 가열하면 573°C에서 β-quartz로 전이한다. 573°C에서 다시 가열을 계속하게 되면 870°C에서 β-quartz는 β2-tridymite로 전이한다. 그러나 전이속도가 매우 느리기 때문에 870°C가 넘어도 모두 β2-tridymite로 전이하는 것이 아니라 일부만 전이하고 β-quartz로 남는다. 이런 상태에서 870°C 이하로 냉각을 하게 되면 β2-tridymite가 된 것은 163°C 이하에서 β1-tridymite로 된다. 그러나 β-quartz로 남아 있던 것은 573°C 이하에서 α-quartz로 된다. 그러므로 규석을 약 1000°C로 가열하였다가 실온으로 냉각하면 원래 α-quartz와 α-tridymite의 두 광물상으로 된다(Lee *et al.*, 1997).

백토 적치장 수습 백토 원료에서는 Quartz와 Microcline(KAlSi₃O₈), Muscovite(K(OH,F)₂Al₃Si₃O₁₀), Sanidine, Anorthite, Antigorite(Mg₆Si₄O₁₀(OH)₈) 광물상이 확인되었다(Figure 6B). 장석류는 일반 무기재료에서는 용제의 역할을 하는 광물이다. 장석류는 알칼리나 알칼리토류 장석으로 분류되기도 하지만, 알칼리나 알칼리토류 금속의 상호치환에 의하여 고용체를 형성하므로, 각 장석은 순수하게 산출하는 경우는 매우 드물고, 대개 서로 고용되든가

섞여서 산출된다(Lee *et al.*, 1997). Microcline은 칼리장석이며, 조성은 장석류의 대표적인 광물이라고 할 수 있는 정장석과 같다. 또한 Muscovite는 정장석과 화학적 구성 성분에 있어서는 큰 차이가 없지만 결정학적으로는 각각 별개의 구조를 형성하고 있으며, 각각 다른 성분에 의한 치환이나 고용체의 생성으로 장석족과 운모족을 형성하고 있다(Lee *et al.*, 1997).

수비공 내 침전물에서는 Quartz와 Microcline, Muscovite, Anorthite, Antigorite이 검출되었다(Figure 6B). 백토 적치장 수습 백토 원료와 유사한 분석 결과이며, 도자기 소성 전 태토의 준비과정에서 발생할 수 있는 환경적 요인에 따른 광물상 변화는 확인되지 않았다.

백토 적치장 수습 백토 원료와 수비공 내 침전물에서 검출되었던, 장석류 용체가 검출되지 않은 것은 도자기 소성온도에 따라 용융되어 비정질화 된 결과이며, 백자 완성품 태토에서 확인된 고온광물상은 상전이에 따른 검출 결과이다.

4. 결론

본 연구에서는 춘천 고성리 백자가마터에서 출토된 백자 완성품의 태토와 백토 적치장 수습 백토 원료와 수비공 내 침전물의 특성을 분석하여 유사성 및 관련성을 확인해 보고자 하였다. 도자기 제작 과정에서 가소성을 부여하기 위해 원료를 첨가하고, 보다 양질의 도자기를 생산하기 위해 수비 및 정제과정을 거친다. 이러한 과정 속에서 태토 원료의 화학적 특성 및 자연환경적인 요인에 의한 성분 변화 등을 확인할 수 있다. 이렇듯, 일부 성분에서는 제작과정에 따라 태토 성분에 차이가 발생하는 반면, 일부 원소는 동일 모양의 태토를 사용했을 경우 풍화 등 환경적 요인에도 변하지 않는다. 따라서 분석적 특성을 통해, 도자기 제작과정의 각 공정 별 특성과 태토 모양의 동일성을 추정할 수 있다.

우선 주성분 분석을 통한 화학적 조성을 살펴본 결과 완성품인 출토 백자 cg-(1~4)는 태토조성이 거의 유사하다. 이는 태토 원료의 생산, 제작, 소성 등이 동일한 과정에서 이루어졌다는 증거이다. 만약, 태토의 모양이 다르거나, 제작과정 및 매장시기, 풍화정도에 큰 차이가 있다면, 화학적 특성은 다르게 나타난다. 다음으로, 수비공 내 침전물의 주성분은 출토 백자의 태토부분과 유사하였으며, 이를 통해 백자 제작을 위해 수비 및 정선 과정을 거친 소성 전 단계의 태토 원료임을 확인하였다. 하지만 춘천 고성리 백자가마터 출토 백토 적치장 수습 백토 원료는 주성분에 뚜렷한 차이를 보였다. 이러한 차이는 태토

원료를 정제하는 과정에서 원료를 물에 풀어 흙물로 만들고, 체로 불순물을 제거하는 흙 거르기 작업이 진행되면서 비중 및 입자크기 등의 차이에 의해 발생한 것이다. 또한 태토 원료를 오랜 시간 자연에 노출된 상태로 저장하면서, 환경적 요인에 의해 주성분 결과에 변수가 생길 수 있다.

미량원소 중 Rb과 K₂O의 그래프에서 볼 수 있듯이 춘천 고성리 백자의 태토부분, 백토 적치장 수습 백토 원료와 수비공 내 침전물에서 검출된 결과로 보아 주된 용제로 K₂O를 사용되었음을 알 수 있었다. 미량원소 중 희토류원소는 주성분 분석 결과와 달리 태토 원료의 제작 및 소성과정, 풍화 등 여러 요인에도 일정한 경향성을 나타내기 때문에 도자기 제작원료 및 완성품 백자의 동질성을 추정하기에 적합한 분석방법이다. 춘천 고성리 백자 태토 원료, 백토 적치장 수습 백토 원료와 수비공 내 침전물은 모두 유사한 희토류 원소 그래프 패턴을 나타내었으며, 이를 통해 백자 제작과정 중 태토 원료의 유사한 특성을 확인하였다.

광물상분석은 기본적으로 도자기 제작 및 소성과정에서 태토 원료의 화학적 특성에 영향을 받는다. 하지만, 일정 온도 이상 소성된 도자기는 Quartz, Mullite, Cristobalite 등 고온광물상이 검출되므로, 소성 전 태토 원료와 분리하여 해석해야 한다. 분석 결과 소성 전 백토를 적치하고 수비하는 과정의 태토 광물상은 유사한 결과였다. 따라서 도자기 소성 전 태토의 준비과정에서는 환경적 요인에 의한 광물상 변화는 발생하지 않았던 것으로 보인다. 소성이 완료된 백자 완성품 태토의 광물상에서는 소성온도를 추정할 수 있을 뿐 소성 전 태토와의 동질성은 확인할 수 없다. 다만, 백토 적치장 수습 백토 원료와 수비공 내 침전물에서 검출되었던, Microcline, Muscovite, Sanidine, Anorthite, Antigorite이 백자 완성품 태토 분석 결과에서 확인되지 않은 것은 도자기 제작과정에 용제(flux)로 사용되었던 장석류의 용점 이상에서 소성되었다는 증거이다.

본 연구에서는 도자기의 제작 과정 중 수비 및 정제를 거치면서 변화하는 태토원료의 과학적 분석을 진행하였다. 연구 결과가 추후에 발굴되는 도자기 가마터 태토의 산지규명 및 원료수급관계를 밝혀내는 자료로 사용되길 기대한다.

REFERENCES

- Aubert, D., Stilile, P. and Probst, A., 2001, REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended loads: Sr and Nd isotopic evidence,

- Geochimica et Cosmochimica Acta, 65(3), 387-406.
- Chuncheon National Museum, 2013, The excavation report of Kiln site of Chiljeon-ri, Yanggu, 1-278. (in Korean)
- Ewha Womans University and Yanggu-gun, 2001, Kiln site of Bangsan, Yanggu, Ewha Womans University and Yanggu-gun, 234-236. (in Korean)
- Gangwon Research Institute of Archeological and Cultural Properties, 2018, The excavation report on Goseong-ri white porcelain kiln site in Chuncheon, 1-226. (in Korean)
- Lee, B.H. and So, M.G., 2014, A Study on chemical composition and firing temperature of white wares from the Guyre-2ri Kiln Sites, Wonju, Journal of Conservation Science, 30(3), 249-261. (in Korean with English abstract)
- Lee, B.H., 2015, (A) Study on Materials Scientific Characteristics of Potteries in Kangwon Province Ph. D. Dissertation, Kangwon University, 1-159. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.S., 2010, The study to white clay supplying site of Sa'ongwon Branch, The Journal of the Korean Society of Ceramic Art, 6(2), 107-118. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.G., Kim, J.O., Baik, Y.H., Lee, J.S., Lee, B.H. and Shin, D.W., 1997, Ceramics Raw Materials, Bando, Seoul, 10-11, 43, 153-154.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, Principles of geochemistry (4th ed.). John Wiley & Sons, New York, 344.
- Oh, Y.W., 1998, Analyses and calculations in ceramics, Kyungnam University, 33-174. (in Korean)
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 312.