도자기 유약 내 철산화물 함량에 따른 흑유 발현 특성

Characteristics of Expression according to Iron Oxide Content in Ceramic Glaze

최재원¹, 한민수^{2,*}

¹(주)라드피온, ²한국전통문화대학교 문화유산전문대학원

Jae Won Choi¹, Min Su Han^{2,*}

¹Radpion, Daejeon 34013, Korea

²Department of Cultural Heritage Conservation Science, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo 33115, Korea

Received September 15, 2020

Revised September 28, 2020

Accepted October 06, 2020

*Corresponding author

E-mail: dormer@korea.kr

Phone: +82-10-3613-9699

Journal of Conservation Science
2020;36(5):393-404

<https://doi.org/10.12654/JCS.2020.36.5.09>

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.

초 록 본 연구는 도자기 유약 내 철산화물의 함량에 따라 유약층에서 나타나는 미세조직적 특성 변화의 비교분석을 통해 과거 흑유자기들의 제작 과정에서 사용된 재료의 성분 함량과 제작 방법을 유추해보고자 하였다. 먼저 산화철과 장석, 석회석, 참나무재의 성분비를 달리한 유약을 사용하여 온도와 소성조건을 달리한 재현시편을 제작하였고, 색차와 단면관찰, 성분분석, 결정구조 분석을 통해 발현 특성을 알아내고자 하였다. 분석 결과 산화조건에서는 유약의 특성이 5개 그룹으로 분류된 것을 관찰할 수 있었으며, 1200℃ 이상의 환원환경에서는 각각 다른 양상의 유약 특성을 확인하였다. 실험을 통해 확인한 결정형태는 출토 흑유자기에서 나타나는 유약특성과 유사한 것을 확인하였다. 철 산화물의 농도 변화에 따라서도 산화조건에서는 결정상이 띠모양, 원형, 수지상, 침상 등 4개의 그룹으로 나타났으나, 고온에서는 결정의 차이가 크게 나타나지 않았다. 또한 성분비에 따라서 유약의 결정상이 2개의 그룹으로 나뉘었다. 이는 장석의 유무가 결정성과 무정형의 철산화물을 만드는데 영향을 주는 것으로 판단되며, 이들의 양에 따라서도 단면에서 나타나는 변화 양상이 극명하게 달라졌다. 특히 산화조건과 환원환경에서 나타나는 철산화물의 조직 양상이 다르게 나타나는 것으로 보아 소성조건으로 인한 결정상 또한 광학적으로 나타나는 발색특성에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

중심어 흑유자기, 유약, 철산화물, 소성조건, 소성온도

ABSTRACT We observed changes in the properties of the glaze layer according to the content of iron oxide and inferred the composition, content, and environment of the materials used in the past during the production process of black ware. First, experiments were conducted using different ratios of iron oxide, feldspar, calcite, and ash at different temperatures and firing environments; the characteristics of glaze were classified into five groups in the oxidation environment. Different properties were identified in the reducing environment above 1200°C. The crystal identified in the experiment was similar to the glaze characteristics in the excavated black ware. The crystal phase appeared in four groups: band shape, circular, arborescent phase, and needle crystal, depending on the change in the content of iron oxide. However, the difference in crystals did not appear significantly at high temperatures. In addition, crystals of glaze were divided into two groups depending on the component ratio. The presence or absence of feldspar is thought to affect crystallinity and amorphous iron oxide and the changes in the glaze layer changed substantially depending on the amount of iron oxide. In particular, it was confirmed that the aspects of iron oxide in the oxidation and reduction environments were different and, therefore, crystallization due to the firing environment also affected the optical characteristics.

Key Words Black ware, Glaze, Iron oxide, Firing environment, Firing temperature

1. 서론

도자기에서 유약은 유리와 같이 비결정 물질이 과냉각 되는 과정에서 만들어진다. 철, 구리, 망간, 코발트 및 크롬의 산화물과 같은 다양한 금속 산화물이 착색제로 첨가되기도 하며, 소성조건에 따라 다양한 특성을 발현한다(Rice, 1987).

특히, 철산화물은 전 세계적으로 다양한 도자기 유약의 발색제로 사용되어 검은색, 적색, 흑갈색 등을 띠고 있는 흑색 유약 자기에 각기 다른 소성 조건에서 고유한 발현 특성을 보인다. 이런 흑유자기는 초기 전라도 일대의 가마에서 청자와 함께 생산되었으며, 고려시대에는 광택이 없고 얼룩진 적흑, 황갈색 등 다양한 변화의 흑유자기에서 조선시대에 이르러 석간주를 이용한 흑유자기가 만들어져 사용되어 왔다. 현재 출토 흑유자기에 대한 세부적인 분류나 연구가 진행되어 있지는 않았고, 출토품의 양상을 명확히 알 수 있는 11곳의 흑유자기에 대한 도사작 연구(Seo, 2011)가 진행되었다.

이러한 국내 출토 흑유자기에 대한 과학적 분석결과(Koh and Park, 2008; Park, 2015; Kim *et al.*, 2017; Park, 2018; Choi, 2020), 출토지별로 유약에 분포하는 산화물 결정 형상 등이 많은 특성의 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 분청사기나 청자 등 다른 도자기 유약에 관한 발색 및 특성연구(Han *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2019)에 비해 흑유자기의 성분 및 소성조건에 대한 재현 실험에 대한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구는 도자기 유약 내 발색에 영향을 미치는 것으로 알려진 철산화물(Fe_2O_3)과 참나무재, 석회석, 장석(부여장석)의 성분비를 조절하여 유약층에서 나타나는 발색의 양상과 물질의 미

세조직적 특성을 분석하고, 이를 유적출토 흑유자기들과 비교함으로써 원료의 배합비율과 소성온도, 소성조건이 실제 색상 발현에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상

재현실험에서 사용한 태토는 시중에서 판매하는 일반 백자토를 사용하였으며, 상온에서 48시간 이상 건조 후 800°C 까지 초벌하여 1회 담금법으로 유약을 시유하였다. 산화철과 석회석, 부여장석의 성분비를 달리하여 제작하였으며, 제작된 유약은 각 $1,000^\circ\text{C}$ 부터 $1,300^\circ\text{C}$ 까지 50°C 단위로 온도를 조정해가며 소성하였다(Table 1). 시편의 번호는 세 자리 수로 첫 번째 자리는 소성조건, 두 번째 자리는 유약의 성분비, 세 번째 자리는 소성온도이며, Table 1에 각 번호에 대한 정보를 나타내었다. 낮은 온도에서 유약의 변화도 관찰하기 위해 900°C , 950°C 에서 사전 실험하였으나 유약이 태토에 결합하지 못하고 떨어져 나가 해당 온도의 데이터는 배제하였다.

시유 시 1회 담금법으로 태토에 유약을 입혔으며 소성 시 온도 상승 속도는 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 상승시켰고, 최고온도에서 1시간 유지 후 전기로 내에서 자연 냉각시켰다.

2.2. 연구방법

시편은 다음과 같은 방법을 통해 분석을 실시하였다. 먼저, 색차분석의 경우에는 3번 이상 다른 부분을 측정하

Table 1. The component ratio and firing temperature condition of reproduction experiment

	Concentration(wt.%)						
	1	2	3	4	5	6	
Iron oxide	40	50	60	30	25	20	
Ash of oak	10	10	10	10	10	10	
Calcite	50	40	30	20	25	30	
Feldspar	.	.	.	40	40	40	
	Firing temperature(℃)						
	3	4	5	6	7	8	9
Temperature	1,000	1,050	1,100	1,150	1,200	1,250	1,300
Classification	Environment						
	1			2			
	Oxidation			Reduction

Figure 1. Surface images of fired Black glaze.

여 그래프상에 편차로 나타내었다. 측정은 색채색차계(CR-400, Minolta, JPN)를 이용하였고, $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 24시간 건조 후 측정하였다. 표준광원 D65, 측정면적 $\varnothing 20\text{ mm}$ 로 하여 측정하였다.

두 번째로, 단면관찰을 위해서 도편을 직육면체 모양으로 절단한 후 에폭시 수지에 고착시켜 연마기(Rotopol-11, Struers, DNK)와 연마지를 사용하여 단면을 연마하고, 연마액을 사용하여 경면과 같이 가공하였다. 단면 촬영은 금속현미경(LV1000, Nikon, JPN)과 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, EM-30AX, COXEM, KOR)을 사용하였다.

세 번째로, 성분분석은 마운팅 시편의 단면을 미리 촬영한 이미지와 비교하며 주사전자현미경에 부착된 에너지분산형분광분석기(X-Stream-2/micsF+, Oxford, GBR)를 이용해 실시하였다.

네 번째로, 산화물의 결정구조는 마운팅 시편의 단면을 가지고 532 nm 레이저 발생장치(Ventus, Laser Quantum Ltd, GBR)와 라만분광분석기(Raman Spectroscopy, ARAMIS, HORIBA, JPN)를 이용해 관찰하였다.

Figure 2. Variation of color difference by temperature change(Group I).

3. 연구결과

3.1. 색차

색채색차계를 이용해 재현실험을 통한 시편의 발색 정도를 객관적으로 확인하였다(Figure 2~7). 모든 성분비에서 공통적으로 나타나는 양상은 $1,000^\circ\text{C}$ 에서 $1,150^\circ\text{C}$ 까지 소성온도가 상승함에 따라 a^* 값이 하락하고 명도(몇몇 재현 시편들은 높은 온도에서 유약이 흘러내려 태도가 비치면서 유약 본연의 색이라고 보기 어려웠으며, 이는 Figure 8에서 빨간색 점으로 표시했다는 낮아진다는 점이다. 특히 그룹 2와 3은 a^* 와 b^* 가 정비례로 감소하다가 $1,200^\circ\text{C}$ 에서부터 다시 정비례로 a 와 b 값이 증가하는 양상을 보이면서 비슷한 변화양상을 확인할 수 있다. 그룹 5와 6은 b^* 의 값을 유지하면서 a^* 만 감소하다가 $1,150^\circ\text{C}$ 까지 변화양상을 유지하고 $1,200^\circ\text{C}$ 에서 급격한 변화를 보인다. 이는 명도와 육안 관찰 결과를 비교해 볼 때, $1,150 \sim 1,200^\circ\text{C}$ 사이에서 유약이 유동성이 급격하게 증가하는 것과 연관 지을 수 있다.

Figure 3. Variation of color difference by temperature change(Group II).

Figure 4. Variation of color difference by temperature change(Group III).

Figure 5. Variation of color difference by temperature change(Group IV).

Figure 6. Variation of color difference by temperature change(Group V).

Figure 7. Variation of color difference by temperature change(Group VI).

Figure 8. Variation of brightness by temperature change.

3.2. 단면관찰 및 성분분석

기존 출토 흑유자기에서 보이는 유약의 특성(Figure 9)이 유적지에 따라 상이하게 나타나는 것을 확인할 수 있었고(Park and Chung, 2016; Park *et al.*, 2019; Choi, 2020), 이번 재현실험을 통해 출토 흑유자기에서 나타나는 특성에 매치하여 소성 조건을 알아내고자 Table 2에 제시한 분류기준으로 단면관찰 결과에 따라 A, B, C, D, E 다섯 그룹으로 분류하여 Figure 9에 표시하였다. Table 3은 소성온도와 유약의 성분함량에 따라 분류하였으며 시편의 번호는 Table 1의 분류기준에 의해 정해졌다. 환원 환경의

경우 소성온도 1,200°C와 1,250°C에서만 시편을 제작하였으며 나타나는 양상이 Table 4와 같이 다양하게 나타나 따로 분류하지 않았다.

재현시료 단면결과 총 5개의 그룹은 다음과 같은 특성을 확인할 수 있었다. A그룹의 경우, 유약이 제대로 녹지 않아 유약 층이 온전히 형성되지 않았으며, 특히 116번의 경우 유약 층이 태토에 제대로 결합하지 않아 대부분 떨어져 나간 것을 확인할 수 있다. B의 경우에는 A와 같이 1,150°C에서 소성했으나 장석이 함유되어 있는 성분 4, 5, 6 번호의 시편이 포함되었고, 유약층이 상대적으로 잘 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다.

특히 C그룹의 경우에는 진안 봉곡 도요지 출토 흑유자기(Park, 2015)와 매우 유사한 특징을 보인다. 즉, 침상조직과 응집된 철산화물을 확인할 수 있는데 이는 진안 봉곡 도요지 유약의 철 산화물의 함량이 매우 높게 나타나는 것과 연관 지어 볼 때 진안 봉곡도요지 출토 흑유자기는 재현시료의 성분함량처럼 용제의 함량이 적고, 철산화물의 양이 많아 나타나는 현상으로 보인다. 또한 E그룹과 비교해 볼 때, 높은 온도에서 소성한 시편 역시 응집된 철 산화물이 관찰되는 것으로 보아 높은 열량에도 철 산화물이 고르게 녹지 않는 것으로 확인되었다.

D그룹은 응집된 철산화물, 침상조직 모두 미량 관찰되

Figure 9. Cross-section pictures of Bonggok kiln site(Left) (Park and Chung, 2016), Shinanshipwreck(Middle)(Park *et al.*, 2019) and Jeollanam-do(Right).

었다. 특히 석회석 함량이 높은 시편의 경우(157) 태토 면과 가까운 부분에만 침상조직이 관찰되었으며 유약 층이 묻치지 않은 얇은 면과 비교해 볼 때 얇은 면에는 침상조직이 고르게 분포해 열에너지가 충분히 전달된 부분은 침상조직이 관찰되지 않는다. 재현 시편의 경우 전기가마를 이용해 소성을 진행하였고 전통적인 가마를 이용하여 소

성할 경우보다 긴 시간 동안 소성조건에 노출되어 E그룹과 같은 양상이 나타날 것으로 추정된다. 추가로 같은 1,250℃에서 소성되었으나 장석의 함량이 많은 168번 재현 시료의 경우는 침상조직이 관찰되지 않아 E그룹으로 분류하였다.

높은 열량과 장석 함량이 많은 E그룹은 응집된 철

Figure 10. The SEM images of samples made by different glaze materials and firing temperature in oxidation environment(X300).

Table 2. Reproduction experiment results by group classification criteria

Division	Condition of glaze	Condensed iron oxide	Tissue in glaze	Classification
A	× (Not formed)	-	-	116, 126, 136
B	△ (Partial formed)	○ (Observed)	○ (Observed)	146, 156, 166
C	○ (Formed)	○ (Observed)	○ (Observed)	117, 118, 119, 127, 128, 129, 137, 138, 139
D	○ (Formed)	△ (Partial observed)	△ (Partial observed)	147, 148, 149, 157, 158
E	○ (Formed)	× (Not observed)	× (Not observed)	159, 167, 168, 169

Table 3. SEM images of experimental samples

	1,150℃	1,200℃	1,250℃	1,300℃
1	No. 116 (x300)	No. 117 (x300)	No. 118 (x300)	No. 119 (x300)
2	No. 126 (x300)	No. 127 (x300)	No. 128 (x300)	No. 129 (x300)
3	No. 136 (x300)	No. 137 (x300)	No. 138 (x500)	No. 139 (x300)
4	No. 146 (x300)	No. 147 (x300)	No. 148 (x500)	No. 149 (x300)
5	No. 156 (x300)	No. 157 (x300)	No. 158 (x300)	No. 159 (x300)
6	No. 166 (x300)	No. 167 (x300)	No. 168 (x300)	No. 169 (x300)

산화물이나 침상조직이 관찰되지 않고 담양 용연리 백자 요지와 전남 지표 수습 출토 흑유자기(Choi, 2020)와 같은 유약 층을 확인할 수 있었다.

B, D, E그룹은 A, C그룹에 비해 응집된 철 산화물이 거의 관찰되지 않고 있는데 이 차이는 장석의 유무로 보인다. B, D, E그룹은 A, C그룹과 비교해 볼 때 장석이 추가되었으며 철산화물의 농도 변화에도 각 그룹별 보이는 결정의 차가 크게 존재하지 않는 것으로 보아 장석이 철산화물을 유약 내에서 고르게 녹게 하는 작용을 하는 것으로 판단된다.

유약 내에 형성된 철산화물의 형태는 Table 4과 같이 크게 4가지로 나뉜다. Table 4(A)와 같이 유약층 중간에 띠를 이루며 분포하는 모양, Table 4(B)와 같이 유약층 중간에 원형으로 위치하는 모양, Table 4(C)와 같은 수지상 모양, 마지막으로 Table 4(D)와 같은 침상 모양이 관찰된다.

128, 146, 247의 경우 Hematite의 reference 데이터와 비

슷한 라만 스펙트럼을 보였으며 227의 경우 Magnetite의 reference 데이터와 비슷한 라만 스펙트럼이 관찰되었다. Hematite와 Magnetite의 reference 데이터는 RRUFF (RRUFF, 2020)를 참고하였다.

산화조건과 환원환경에서 형성된 유약의 비교는 Table 5에 제시하였다. 먼저 1,200℃ 산화조건에서 관찰되는 철산화물의 경우, 결정이 유약 중간에 형성된 것을 확인할 수 있지만 환원환경에서 관찰되는 유약의 경우에는 철산화물 결정이 유약의 표면에 모여있는 경우가 대다수 관찰되었다. 1,250℃에서 관찰되는 유약의 경우, 환원환경에서 소성된 유약의 특징은 응집된 철산화물 결정이 거의 확인되지 않았지만 산화조건의 1, 2, 3그룹은 낮은 온도에서 관찰된 철산화물 결정과 비슷한 양상으로 관찰이 되는 것을 확인할 수 있었다.

유약에서 관찰되는 결정은 Table 6과 7에서와 같이 두 가지 경우를 확인할 수 있었다. 먼저 Table 6에서 유약 내

Table 4. Kinds of representative iron oxide images and each of Raman spectrums

침상의 결정이 골고루 퍼져있는 형태로 1, 2, 3그룹에서 쉽게 관찰할 수 있다. 주사전자현미경으로 촬영한 사진에서 어두운 부분이 Si, Ca, Fe의 함량이 더 낮은 대신 Al의 함량이 더 높은 것을 확인할 수 있다. Table 7의 경우에는 4, 5, 6그룹에서 확인할 수 있었으며, 유약 외면과 내면의 성분 차이가 거의 없으며, 일부 침상의 결정이 소량 태토와 유약의 경계면에 형성되어 있는 것으로 확인되었다. 이를 통해 Table 6의 경우 태토와 무관하게 유약의 성분함량과 소성조건에 의해 형성되는 결정으로 보인다.

4. 고찰 및 결론

재현실험편을 통해 유약면 차이를 관찰한 결과, 색차 a^* 와 b^* 값이 2번과 3번 성분비에서 비슷한 변화가 관찰되었고, 명도의 변화는 유약이 흘러 태토가 비친 시편을 제외하면 1,200℃, 1,250℃까지 어두워지다가 1,300℃에서 다시 밝아지는 양상을 보인다. 다만 이를 일반적인 변화라고 보기에는 다른 성분비에서 온도에 따른 색차의 변화양상이나 유약의 흘러내림 정도에 따라 차이가 있어 각

Table 5. Comparison of specimen's microtextures fired in oxidation and reduction environment

Group	Firing temperature: 1,200℃		Firing temperature: 1,250℃	
	Oxidation	Reduction	Oxidation	Reduction
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Table 6. Cross-section images and chemical content of 118's glaze layer

118

SEM image of glaze layer cross-section of sample 118. The image shows a dark, smooth upper layer and a lighter, crystalline lower layer. A scale bar indicates 100µm.

Optical micrograph of glaze layer cross-section of sample 118. The image shows elongated, needle-like crystals. A scale bar indicates 100µm.

EDS mapping image of glaze layer cross-section of sample 118. The image shows the distribution of elements: Na (yellow), Ma (green), Al (blue), Si (red), K (purple), Ca (orange), Fe (brown), and Total (white). A scale bar indicates 500µm.

Fe K 시리즈

Fe K series EDS map of glaze layer cross-section of sample 118. The image shows the distribution of Fe (yellow). A scale bar indicates 500µm.

Al K 시리즈

Al K series EDS map of glaze layer cross-section of sample 118. The image shows the distribution of Al (purple). A scale bar indicates 500µm.

Si K 시리즈

Si K series EDS map of glaze layer cross-section of sample 118. The image shows the distribution of Si (teal). A scale bar indicates 500µm.

(Unit: %)

		Na	Ma	Al	Si	K	Ca	Fe	Total
Dark position	avg	1.15	0.10	9.46	17.94	0.21	6.90	3.25	39.00
	std	0.09	0.04	0.84	0.31	0.05	0.21	0.36	
Bright position	avg	0.50	0.33	3.53	20.58	0.69	8.52	4.99	39.13
	std	0.02	0.02	0.49	0.37	0.05	0.03	0.21	

Table 7. Cross-section images and chemical content of 157's glaze layer

157

SEM image showing the cross-section of the glaze layer. The top layer is dark, and the bottom layer is lighter and more crystalline. A scale bar indicates 100µm.

Optical micrograph showing the cross-section of the glaze layer. The top layer is dark, and the bottom layer is lighter and more crystalline. A scale bar indicates 100µm.

EDS mapping image showing the cross-section of the glaze layer. The image displays the distribution of various elements across the cross-section.

Si K 시리즈

Si K series EDS map showing the cross-section of the glaze layer. The image displays the distribution of Silicon (Si) across the cross-section. A scale bar indicates 500µm.

Fe K 시리즈

Fe K series EDS map showing the cross-section of the glaze layer. The image displays the distribution of Iron (Fe) across the cross-section. A scale bar indicates 500µm.

Al K 시리즈

Al K series EDS map showing the cross-section of the glaze layer. The image displays the distribution of Aluminum (Al) across the cross-section. A scale bar indicates 500µm.

(Unit: %)

		Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Total
Outside	avg	1.60	0.29	4.85	19.58	0.70	8.03	4.53	39.58
	std	0.06	0.02	0.04	0.06	0.01	0.10	0.10	
Inside	avg	1.59	0.28	4.98	19.54	0.63	8.03	4.48	39.54
	std	0.06	0.01	0.10	0.03	0.01	0.09	0.07	

성분비의 변화에 따른 색차변화의 임계점을 밝히기 위해서는 보다 세분화된 성분비와 온도를 설정한 실험이 필요할 것으로 보인다.

철산화물의 결정구조는 크게 4가지로 관찰되지만 Table 4(A)와 Table 4(B)의 경우 분포의 차이가 달라 띠 모양으로 나타나거나 원 모양으로 유약 내에서 분포하는 것으로 보인다. 이는 라만 스펙트럼과 성분을 비교해 본 결과에서 같은 화학구조를 가지고 있음을 통해 확인하였다. 이는 철산화물과 장식의 성분비에 따라 결정이 형성되는 양의 차이와 결정성장의 모양 때문에 원에서 선으로 다르게 관찰되는 것으로 보인다.

유약에서 나타나는 두 결정형태는 성분비 1, 2, 3그룹과 4, 5, 6그룹으로 나뉘고 있다. 이 서로 다른 형태의 유약 결정은 도자기 유약에서 용제 성분으로 인한 유동성 증가와 이에 따른 고른 유면 형성과 연관이 있는 것으로 보인다. 두 성분비 그룹을 나누는 장식의 유무를 고려할 때, 장식이 결정성이 없는 무정형 고체 형성에 영향을 미치는 것으로 보인다.

위 내용을 토대로 국내 출토 흑유자기와 비교해 보았을 때, 먼저 진안군 봉곡동 출토 흑유자기의 경우 다양한 형태의 철 산화물이 관찰되며 이는 산화조건, 환원환경에서 나타나는 여러 철 산화물의 형태를 모두 확인할 수 있다. 해당 유적지 출토 흑유자기에 포함된 철 산화물양은 다른 출토 흑유자기에 비해 배 이상 많은 것으로 나타났고, 재현실험에서 나타난 유약의 특성과 비교하였을 때, 장식과 같은 용제보다 발색을 위한 철산화물의 양을 많이 첨가하여 제작한 것으로 판단된다. 담양 용연리 출토 흑유자기(Choi, 2020)의 경우에는 장식을 포함한(성분비 4, 5, 6) 고온(1,250℃ 이상)에서 소성된 유약과 같이 철산화물 결정이 거의 확인되지 않는 것을 관찰 할 수 있다. 이를 통해 담양 용연리 가마에서는 흑유자기를 생산하기 위해 산화조건에서 고온으로 장식을 적당히 포함한 일정 성분비로 특정 품질의 도자기 생산에 노력을 가한 것으로 보인다.

다만 총 열량의 양과 열이 전달되는 시간에 따라 결정이 형성되는 양상이 변할 수 있다는 점과 출토 유적지에서 관찰되는 유약 내 결정에 대한 결정구조나 성분분석 등이 모두 실시된게 아니기 때문에 유약 내 결정 형성에 대한 일반화는 어렵다. 이후 출토 도자기 유약에 대한 보다 다양하고 정밀한 분석방법을 적용하여 위 연구결과와 비교한다면 다양한 도자기들의 소성 조건과 발색 메커니즘을 규명할 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 「2019년도 한국전통문화대학교 교원학술연구사업」의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Choi, J.W., 2020, Characteristics of Color Formation and Correlation for Black-glaze Wares Excavated from different Regions in Jeollanam-do, M.A. degree. dissertation, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, 36-40.
- Han, M.S., Hong, J.U. and Park, J.H., 2006, A Scientific Study for Physical Properties of Celadon in Firing Experiment, Conservation Science Studies, 27, 145-163.
- Kim, J.H., Han, M.S., Jeong, Y.Y. and Choi, S.J., 2019, Study on Color Formation of Cheolhwa Buncheon Stoneware Glaze by Pigment Raw Materials of Iron Oxides and Firing Conditions, Journal of Conservation Science, 35(6), 573-587. (in Korean with English abstract)
- Koh, M.J. and Kim, G.H., 2008, Characteristics Analysis of on Blackware and Whiteware at Excavated Kiln in Gilmyeong-ri Pocheon-si Gyeonggi-do, Korea. Journal of Conservation Science, 22, 43-60. (in Korean with English abstract)
- Park, M.S., 2015, Characteristics Analysis of Blackware and Whiteware at Excavated from the Bongkok Kiln Site of Jinan-gun Jeollabuk-do, Master degree. dissertation, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, 57-60.
- Park, M.S. and Jung G.Y., 2016, Analysis of Material Characteristics for Blackwares at Excavated from the Bongkok Kiln Site of Jinan-gun, Journal of Conservation Science, 32(4), 549-560. (in Korean with English abstract)
- Park, J.H., 2018, A Study on the changing properties of iron oxides in black glazes using raman microscope : Focused on black glazes excavated in Shinan Shipwreck, Master degree. dissertation, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, 53-56.
- Park, J.H., Yu, H.S. and Jung, Y.J., 2019, A Study on the Changing Properties of Iron Oxides in Black Glazes using Raman Microscope -Focused on Black Glazes Excavated in Shinan Shipwreck-, Journal of Conservation Science, 35(2), 117-129. (in Korean with English abstract)
- Prudence M. Rice, 1987, Pottery analysis: A sourcebook, University of Chicago Press, Chicago, 98-101.
- Seo, J.Y., 2011, Joseon Black-glazed Porcelains: Their

Production and Characteristics Based on Documentary Sources and Archaeological Evidence from Ancient Kilns, Korean Journal of art history, 270, 159-193. (in Korean with English abstract)

The Database The RRUFFTM, 2020, Magnetite, https://rruff.info/%20/o%20RRUFF%20database%20/t%20_blank/R060191 (September 1, 2020)

The Database The RRUFFTM, 2020, Hematite, https://rruff.info/%20/o%20RRUFF%20database%20/t%20_blank/R040024 (September 1, 2020)