

경기도 포천시 길명리 가마터 출토 흑유자기와 백자에 대한 특성분석

고민정 | 김규호¹

공주대학교 문화재보존과학과

Characteristics Analysis of on Blackware and Whiteware at Excavated Kiln in Gilmyeong-ri Pocheon-si Gyeonggi-do, Korea

Koh Min-jeong · Kim Gyu-ho¹

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

¹Corresponding Author : kimgh@kongju.ac.kr

초 록 본 연구는 19세기로 알려진 경기도 포천 길명리 가마터에서 선정한 흑유자기와 백자편을 중심으로 과학적 분석을 활용한 특성 자료를 제시해 보고자 한다. 과학적 분석은 미세구조 관찰과 색도와 비중 및 흡수율, 기공률 등을 포함한 물리적 특성, 태토와 유약의 조성에 대한 화학적 특성으로 구분하여 조사하였다. 분석 결과, 태토의 미세구조는 자화 정도에 따라 태토 표면의 입자 및 기공 등에서 차이를 보이며 유약은 백자보다 흑유자기가 유리질화가 잘된 양상으로 관찰된다. 색도와 비중 및 흡수율은 자기의 종류보다 각 도편의 자화 정도에 따른 미세구조에 따라 차이를 보인다. 화학적 조성 분석에서 태토는 백자보다 흑유자기가 Fe_2O_3 와 TiO_2 가 높은 편이고 유약은 백자보다 흑유자기가 SiO_2 , Al_2O_3 가 낮고 Fe_2O_3 , TiO_2 가 높게 함유하고 있는 특징이 있다. 특히, 흑유자기는 CaO 와 재의 사용 여부를 말해주는 P_2O_5 성분이 높다.

중심어 : 길명리 가마터, 흑유자기, 색도, 비중, 미세구조, 화학조성

ABSTRACT This study is investigated the characteristics and the comparison on blackware and whiteware at Gilmyeong-ri kilns, located Poncheon-si, Geonggi province at AD 19c using scientific analysis. It is measured by scientific analysis classified as microstructure observation, physical methods which involved chromaticity, specific gravity, absorption ratio and porosity, and chemical analysis of components of body and glaze. As a result, a particle and a pore of body surface appeared differently by the degree of vitrification. In glaze, Blackware have better on good vitrification than whiteware in the microstructure observation. The physical characteristics of chromaticity, specific gravity, absorption ratio and porosity differed according to degree of vitrification rather than porcelain types. In composition, body of blackware have higher ratio of Fe_2O_3 and TiO_2 than of whiteware. Also glaze of blackware have higher ratio of Fe_2O_3 and TiO_2 , and lower ratio of SiO_2 and Al_2O_3 than whiteware. Especially, blackware have higher ratio in the composition of CaO and P_2O_5 by which ash is used or not.

key word : Gilmyeong-ri kiln, blackware, chromaticity, specific gravity, microstructure, chemical compositions

1. 서론

흑유자기는 유약에 다량의 철분이 포함되어 있어 번조 후 표면의 색이 흑색이나 암갈색을 띠는 도자기로 그 수

량은 적으나 고려시대부터 조선에 이르기까지 오랜 세월 제작되어 왔다.¹

흑유자기가 출토된 대표적인 가마터는 조선 전기의 공주 학봉리, 진해 두동리, 고창 용산리, 장성 추암리 등이

며, 조선 후기에는 울산 상삼정리, 충주 구룡리 등으로 대부분 분청이나 백자와 함께 제작되었다고 알려져 있다.² 그러나 경기도 포천시 길명리 가마터는 다량의 흑유자기와 소량의 백자를 생산하였던 점으로 보아 지금까지 알려진 조선시대 가마터 중에서 흑유자기를 전문적으로 생산한 가마터로 처음으로 발굴, 조사되었다고 할 수 있다.

본 연구에서는 길명리 가마터 흑유자기와 백자편을 중심으로 과학적인 분석을 통하여 길명리 자기의 전반적인 특성을 고찰하고자 한다. 또한, 청자나 백자에 비해 상대적으로 연구가 미비한 흑유자기에 대한 과학적 분석 자료를 체계적으로 제시하고자 한다.

II. 연구대상

1. 경기도 포천시 길명리 가마터²

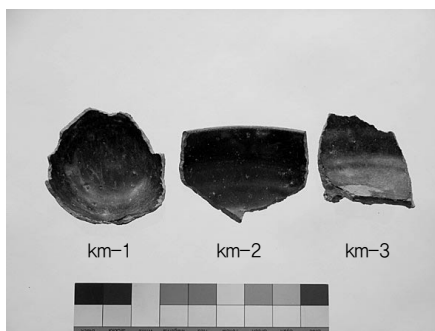
기전문화재연구원에서 2002년 8월에 시작하여 2003년 6월까지 발굴한 19세기의 흑유자기 전용 가마터이다. 관련 유구는 가마와 가마 남·북쪽의 폐기장이 확인되었으며 출토 자기는 흑유자기, 백자, 도기, 기와 등이다. 폐기장에서 대부분의 도자가 출토되었으며 남측 및 북측폐기장에서 출토된 유물의 양상은 큰 차이를 보이지 않고, 다만 북측폐기장의 백자 수량이 좀 더 많은 것으로 확인되었다. 출토된 전체유물의 94.1%가 흑유자기이고 4.1%만이 백자이다. 이 중 다른 흑유자기의 태토와 달리 백자 태토로 제작된 것으로 보이는 흑유자기가 총 6점 출토 되어 주목된다. 흑유자기의 경우 대부분 시유상태가 좋지 못해 유약이 흘러내려 저부에 묻혀져 있다. 길명리 출토 흑유자기와 백자의 제작은 용도를 구분

하여 이루어졌던 것으로 보인다. 흑유자기는 병이나 항아리 등의 일상 생활용기 중에서 음료 등을 저장 및 운반하는 용도로, 백자는 반상기를 위주로 제작되었다. 번조방식에 있어서 흑유자기와 백자를 함께 번조하였는지는 확인할 수 없으며 흑유자기의 경우 포개구이를 하지 않은 것으로 확인되었다.³

2. 분석도편의 선정과 가시적 특징

분석도편은 북측 폐기장 II층·I층(NII·NI)과 남측 폐기장 II층·I층(SII·SI)에서 선정하였다. 흑유자기는 층위별로 NII·NI, SII·SI에서 각 3편씩, 백자는 NII에서 조질 및 양질로 구분하여 각 4편씩, 초벌편은 남측 폐기장에서 층위 구분 없이 태토의 상태에 따라 조질, 중간, 양질 등으로 분류하여 각 3점씩 일차 선정하였다. 그리고 이차로 흑유자기 중 태토가 백토로 추정되는 3편을 추가하여 총 32점을 분석하였다(Figure 1).

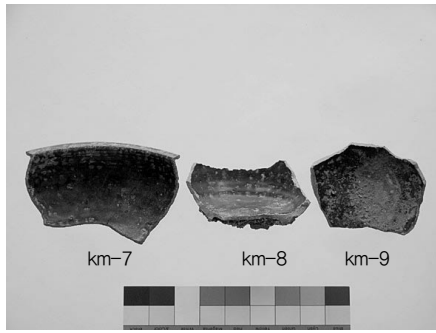
선정 시편의 가시적 특징은 다음과 같이 정리된다(table 1). 흑유자기의 태토는 비교적 치밀하며 크게 회색과 갈색으로 구분되고 번조 분위기와 상태에 따라 한 도편에서도 색상 차이가 나타난다. 유약은 전체적으로 불투명한 암갈색 또는 흑색이고 망상형의 병렬이 있으며 시유상태는 대부분 흘러내려 굽에 묻혀 있다. 백토를 사용한 것으로 보이는 흑유자기는 태토에서 백자와 유사한 백색도를 보인다. 백자 태토는 전반적으로 밝은 회색 계통으로 비교적 치밀도가 높다. 조질백자 유약은 회색, 양질백자는 청색과 녹색을 띠고 있고 망상형의 병렬이 모든 도편에서 관찰된다. 조질 초벌편은 갈색이고 양질 초벌편은 베이지색에 가깝다.



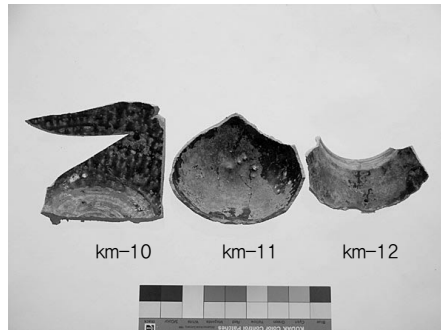
(a)



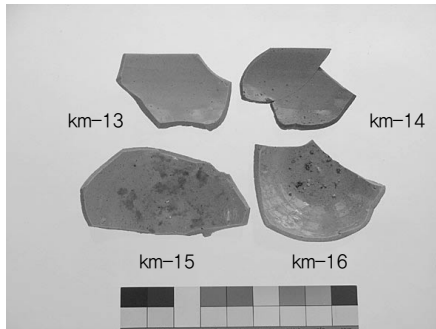
(b)



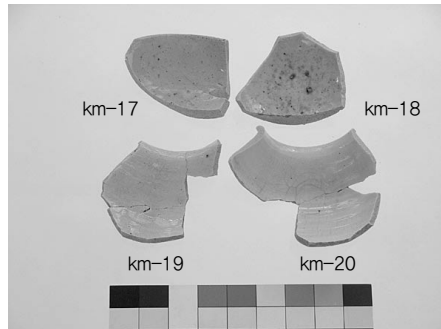
(c)



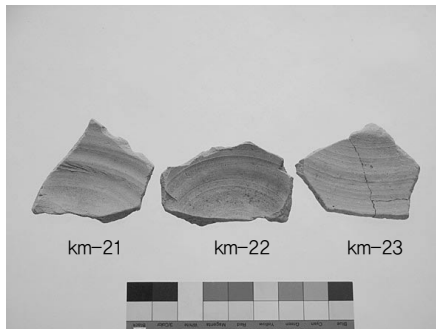
(d)



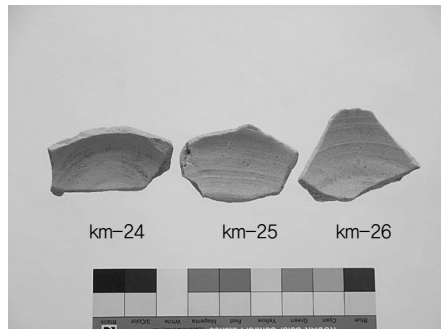
(e)



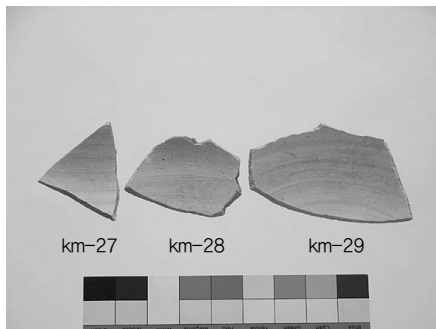
(f)



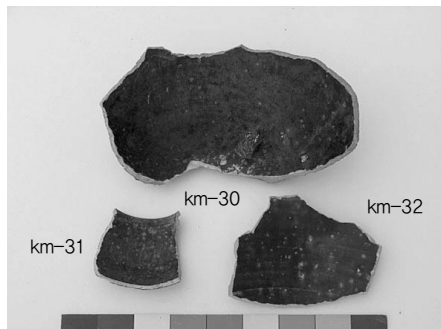
(g)



(h)



(i)



(j)

Figure 1. Selected samples analyzed from the site of Gilmyeong-ri ;
(a)~(d): Blackware(km-1~12), (e)~(f): Whiteware(km-13~20) (g)~(i): Bisque(km-21~29), (j): Blackware(White clay)(km-30~32)

Table 1. Characteristics of sherds analyzed in this study

Group ^{a)}	Sample Number	Color	Body ^{b)}			Glaze ^{c)}		
			Texture	W-Particle	B-Particle	Color	Crack	Transparence
blackware								
N I	km-1	BK-BN	MF	O	X	BK-BN	O	OP
	km-2	D,GY-BN	MF	O	X	BK-BN	O	OP
	km-3	(out)BK-GY, (in)BN	MF	O	X	BN-BK	O	OP
N II	km-4	D,BN-GY	MF	O	X	BN-BK	X	OP
	km-5	BN	MF	O	O	BK-BN	O	OP
	km-6	WH-GY	MF	O	O	BK-BN	O	OP
S I	km-7	BN-GY	MF	O	O	BK-BN	O	OP
	km-8	WH-GY	MC	O	X	BN-BK	O	OP
	km-9	GY	MF	O	O	BN-BK	O	OP
S II	km-10	GY-BN	MF	O	O	BK-BN	O	OP
	km-11	BN	MF	O	O	BK-BN	O	OP
	km-12	GY	MF	O	O	BN-BK	O	OP
whiteware								
N II-P	km-13	GY	F	O	O	GY	O	TL
	km-14	GY	MF	O	O	GY	X	TL
	km-15	GY	MF	O	O	GY	O	TL
	km-16	D,GY	F	O	O	GY	O	TL
N II-F	km-17	L,GY-WH	MF	X	O	L,WH-BL	O	TL
	km-18	L,GY-WH	F	O	O	L,WH-BL	O	TL
	km-19	GY-WH	MF	O	O	L,WH-GN	O	TL
	km-20	L,GY-WH	MF	O	O	L,WH-GN	O	TL
Bisque								
N-P	km-21	BN	MC	O	O			
	km-22	BN	MF	O	O			
	km-23	BN	MC	O	O			
N-M	km-24	BN	MF	O	O			
	km-25	BE	MF	O	O			
	km-26	L,GY-BN	C	O	O			
N-F	km-27	BE	C	O	O			
	km-28	L,BN	MF	O	O			
	km-29	L,YL-BN	MF	O	O			
blackware: white clay								
	km-30	GY-WH	MF	O	O	BK-BN	O	OP
	km-31	GY-WH	MF	X	O	BK-BN	X	OP
	km-32	GY-WH	MF	O	O	BN	O	OP

a) N: north, S: south, F: fine quality, M: medium quality, P: poor quality

b) Color: GY-gray, WH-white, BN-brown, BE-beige, BK-black, YL-yellow, L-light, D-dark

Texture: F-Fine, MF-Medium Fine

MC-Medium Coarse, C-Coarse

Particle: O-detection, X-No detection

W-white, B-black

c) Color: BL-blue, GN-green

Transparence: TR-Transparent, TL-Translucent, OP-Opaque

Cracked state: O-detection, X-No detection

III. 연구 방법

1. 물리적 특성

1-1. 색도 및 반사도

색도 및 반사도는 분광측색계(Minolta, CM-2500d)를 이용하여 표준 광원 D65, 시야각 10°의 조건으로 측정하였다. 유약은 선정 시편을 표면에서 가장 오염되지 않고 평편한 부분을, 태토는 비중, 흡수율 및 기공률과 조성 분석을 위한 시료의 전처리 과정에서 유약 면을 제거한 상태에서 측정하였다.

색도는 도자기의 태토와 유약의 색상을 L*, a*, b*로 표시하여 객관적으로 색상을 비교할 수 있다. 명도 L*은 그 측정 범위가 0 ~ 100으로 표시되며 50을 기준으로 측정값이 높고 낮을수록 흰색(white)과 검정색(black)에 가까운 것을 의미한다. 채도 a*, b*는 -60 ~ +60의 수치로 표시되며 a*가 (+)일수록 적색(red), (-)일수록 녹색(green), b*가 (+)일수록 황색(yellow), (-)일수록 청색(blue)에 가까운 색상이다.

반사도는 파장에 의한 반사율의 경향성으로 변조 분위기를 추정할 수 있다. 4.5 즉, 파장에 따른 반사율이 높아지는 상승곡선은 산화변조, 반대로 반사율이 낮아지는 하강곡선은 환원분위기에서 변조된 것으로 추정할 수 있다.

1-2. 비중, 흡수율 및 기공률

비중은 비중측정기(GX-13)가 부착된 디지털저울(GX-200)을 이용하였다. 시료는 태토 분석을 위해 유약을 제거한 편 중에서 3개편을 선택하여 각각의 무게를 측정하여 다음 수식에서 계산하였다.

$$\text{겉보기비중} = W1/(W1-W2) \quad (1)$$

$$\text{부피비중} = W1/(W3-W2) \quad (2)$$

$$\text{흡수율 (\%)} = (W3-W1)/W1 \times 100 \quad (3)$$

$$\text{겉보기기공률 (\%)} = (W3-W1)/(W3-W2) \times 100 \quad (4)$$

(W1:공기 중에서 건조시료의 무게, W2:물속에서의 포수시료 무게, W3:공기 중에서의 포수시료 무게)

2. 미시적 관찰

미시적 관찰은 광학현미경(Optical Microscope,

Model: ECLIPSE E600WPOL, Nikon)을 이용하여 시편 표면을 반사광(reflected light)으로 조사하였다. 시편은 유약 조성을 분석하기 위하여 제작한 동일한 시편을 이용하여 관찰하였다. 미시적 관찰을 하기 위하여 시편은 HF(1:1)용액에서 에칭하였다.

3. 화학 조성

1-1. 태토

태토 조성은 X-선 형광분석기(XRF: X-ray Fluorescence Sequential Spectrometer, Model: Philips Inc. PW2404, WD-XRF)를 이용하여 Rh target으로 30 keV, 100 mA(단, Mn 및 Fe : 60 keV, 50 mA) 조건에서 측정하였다.

도편의 전처리에는 도편에서 유약을 제거하고 태토만 마노 사발을 이용하여 200mesh 이하로 분말화한 후, 원판 유리시료(glass bead)로 만들어 분석하였다.

1-2. 유약

유약 조성은 에너지분산형분광분석기(EDS: Energy Dispersive Spectroscopy, Model: OXFORD 6025 EDS)가 부착된 주사전자현미경(SEM: Scanning Electron Microscope, Model: JEOL SUPERPROBE JXA-8600SX)으로 분석하였다. 분석을 하기위해 도편을 이온수로 세척·건조 시킨 다음 에폭시수지(Epoxy resin)로 정착시키고 연마하여 시편을 제작하였다.

IV. 연구 결과

1. 물리적 특성

1-1. 색도

도자기는 착색제의 함량, 변조 분위기, 자화 정도 등 여러 요인으로 인하여 색상 차이를 보이거나 육안 관찰로 객관적으로 표현하기에는 어려움이 있다. 이를 객관적으로 비교하기 위하여 선정 도편에 대한 태토와 유약면의 색도를 분광광도계로 각각 3회씩 측정한 평균값을 정리하였다(Table 2).

명도에서 태토는 측정 평균값이 흑유자기 53.8(±

8.8), 백자 70.8(± 10.6)로 흑유자기가 백자에 비하여 명도가 낮다. 그러나 백토를 사용했을 것으로 추정되는 흑유자기는 태토 명도가 백자와 유사하므로 사용 태토원료는 백자와 상관성이 높음을 알 수 있다. 백자와 초벌편은 조질에 비하여 양질의 명도가 높고 도편 간의 편차도 적어, 양질 태토는 정제하였을 가능성이 높으며 이로 인하여 백색도가 높아진 것으로 추정할 수 있다. 흑유자기와 백자 유약은 측정 평균값이 각각 28.8(± 1.2),

67.7(± 7.5)로 태토보다 명도 차이가 크다. 남측 흑유자기는 북측에 비해 명도가 높게 나타났으나 층위에 따른 차이는 확인되지 않는다.

채도(a^* , b^*)는 환원번조거나 자화가 잘되면 수치가 작아지는 반면에 산화번조거나 자화가 덜되면 수치가 높아져서 적색과 황색에 가까운 경향을 나타낸다. 따라서 채도를 검토하여 번조 분위기와 자화 정도를 상대적으로 비교해 볼 수 있다.

Table 2. chromaticity testing of sherds analyzed in this study

Group	Sample Number	Body			Glaze			ΔE
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	
Blackware								
NI	km-1	49.21	3.08	9.54	29.94	1.16	2.03	20.77
	km-2	40.82	3.20	6.16	30.03	3.44	4.98	10.86
	km-3	-	-	-	31.97	0.77	3.50	-
NII	km-4	40.95	-0.65	1.62	29.38	2.76	3.79	12.26
	km-5	48.42	4.96	9.06	28.96	3.93	4.57	20.00
	km-6	58.66	0.60	1.28	27.92	0.45	1.27	30.74
SI	km-7	54.04	-1.05	0.98	26.50	1.35	1.69	27.65
	km-8	67.69	-0.36	5.72	29.18	1.91	5.02	38.58
	km-9	59.89	0.60	2.67	27.19	1.11	3.05	32.70
SII	km-10	58.74	3.02	10.00	29.41	3.74	5.78	29.65
	km-11	49.31	9.46	13.55	29.00	2.70	3.64	23.58
	km-12	63.49	-0.51	3.10	-	-	-	-
whiteware								
NII-P	km-13	64.55	0.75	2.83	59.90	-0.30	4.38	5.01
	km-14	64.96	1.12	3.55	57.48	0.66	6.60	8.09
	km-15	66.88	-0.91	1.71	67.28	-1.61	3.54	2.00
	km-16	51.75	-0.36	1.31	63.79	-0.77	3.39	12.23
NII-F	km-17	77.26	4.23	8.16	77.72	-3.88	8.62	8.13
	km-18	83.79	-0.77	1.74	76.09	-5.00	3.87	9.04
	km-19	78.69	-1.21	2.03	73.73	-1.24	7.20	7.17
	km-20	78.47	-1.03	2.03	65.81	0.74	9.81	14.97
Bisque								
N-P	km-21	65.21	15.70	26.83				
	km-22	62.91	13.41	23.87				
	km-23	63.50	13.51	25.28				
N-M	km-24	66.23	10.54	21.81				
	km-25	67.09	10.27	20.63				
	km-26	66.61	9.45	19.68				
N-F	km-27	77.96	7.93	18.58				
	km-28	73.16	9.55	22.36				
	km-29	73.32	8.90	24.08				
Blackware: white clay								
	km-30	66.05	-0.04	1.08	32.26	2.57	3.45	33.97
	km-31	78.63	-1.49	4.03	38.75	1.93	4.85	40.04
	km-32	78.20	-0.52	3.42	32.42	3.59	5.24	46.00

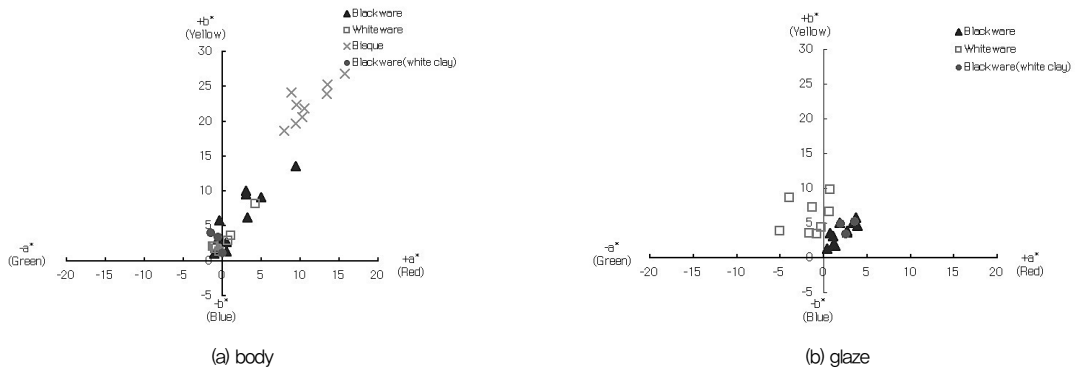


Figure 2. chromaticity testing of sherds analyzed in this study.

흑유자기와 백자편의 채도는 흑유자기 a^* $2.0(\pm 3.2)$, b^* $5.8(\pm 4.3)$ 과 백자 a^* $0.2(\pm 1.8)$, b^* $2.9(\pm 2.2)$ 로 전체적으로 무채색 영역에 분포하고 있다. 태토의 채도는 흑유자기와 백자가 유사한 편이나, 유약에서는 흑유자가 적색이 약간 높아 백자 유약과 구분된다(Figure 2). 흑유자기 중에서 km-1, 2, 5, 10, 11과 백자의 km-17은 각 그룹에서 채도가 상대적으로 높은 편으로 변조분위기와 자화 정도에서 차이가 있었을 것으로 추정된다. 이외에 자화가 덜된 초벌편 채도(a^* , b^*)는 $11.0(\pm 2.6)$, $22.6(\pm 2.7)$ 값을 갖는다. 흑유자기에서 태토와 유약의 채도는 폐기장 및 층위에 따른 차이가 나타나지 않으며 백자는 조질과 양질에 따른 차이가 뚜렷하게 구분되지 않는다.

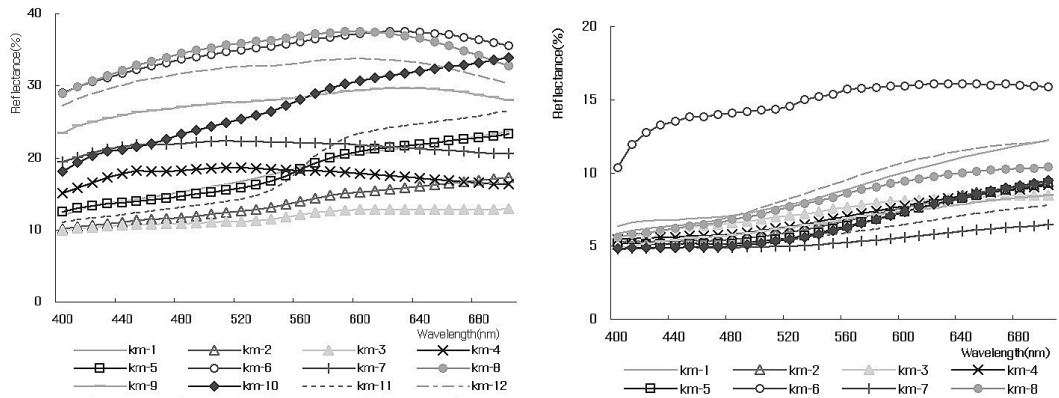
1-2. 반사도

반사도는 도편의 채도, 및 명도에 따라 다른 양상을 보이며, 또한 변조분위기에 따라서도 다르게 나타난다는 결과가 있다.^{4,5} 변조분위기를 확인할 수 있는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 앞의 자료와 실험결과를 토대로 반사도를 이용해 길명리 흑유자기와 백자의 변조분위기를 추정해 보았다(Figure 3). 변조분위기의 추정은 파장에 따라 반사율이 높아지는 상승곡선은 산화변조, 반대로 반사율이 낮아지는 하강곡선은 환원분위기에서 변조된 것으로 해석된다.^{4,5}

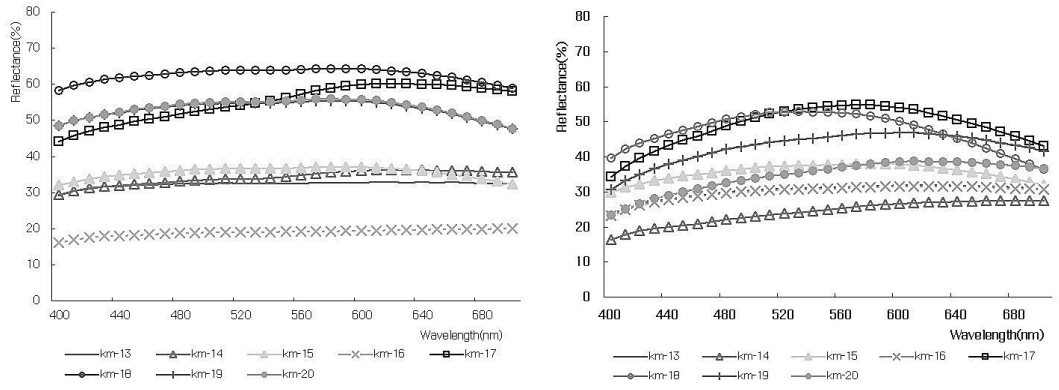
태토에 대한 반사도 측정에서 흑유자기는 상승곡선이 5점(km-1, 2, 5, 10, 11), 하강곡선이 4점(km-6, 8,

9, 12) 그리고 불분명한 것이 3점(km-3, 4, 7)이다. 백토 흑유자기 2점(km-31, 32)은 모두 하강곡선을 그린다. 백자는 하강곡선이 3점(km-15, 18, 20)이고 나머지 도편 5점(km-13, 14, 16, 17, 19)은 불분명하다. 흑유자기에서 상승곡선을 나타내는 5점은 채도가 높게 측정되었던 도편들이다. 유약에 대한 반사도 측정에서 흑유자기는 하강곡선 1점(km-3)과 불분명한 것 2점(km-6, 7)을 제외하고 모두 상승곡선이며, 백토 흑유자기 2점도 상승곡선에 가깝다. 흑유자기에서 태토와 유약의 반사도가 각각 다른 경향성을 보이는 이유는 변조 후의 냉각과정에서 재산화가 일어나기 때문으로 추정된다. 일반적으로 재산화 현상은 유약보다 태토에서 일어날 확률이 높으며 흑유자기처럼 유약내에 철(Fe)성분이 많은 도자기의 경우 유약에서도 일어나는 것으로 확인된 바 있다.^{5,6} 백자 유약은 모두 하강곡선에 가깝게 나타난다.

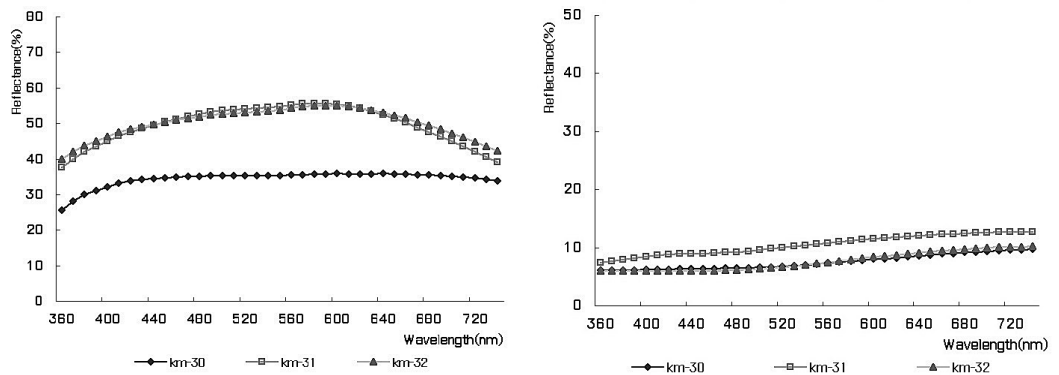
또한, 길명리 초벌편은 모두 상승곡선으로 산화변조일 가능성이 높다(Figure 4). 반사도 측정 결과를 토대로 변조분위기를 추정하면 흑유자기는 산화변조일 가능성이 높다. 그러나 태토에서 하강곡선을 나타내는 4점(km-6, 8, 9, 12)은 환원변조일 가능성도 배제할 수 없다. 그 이유는 유약에 대한 재산화가능성과 백자가 대부분 환원변조로 흑유자기도 환원변조일 가능성이 있기 때문이다. 뚜렷하게 상승 및 하강곡선을 나타내지 않는 도편은 중성의 가능성 또는 산화와 환원정도의 차이 등 여러 요인이 있을 것으로 판단되며 이에 대한 추가적 실험이 필요할 것으로 생각된다.



(a) blackware (left; body, right; glaze)



(b) whiteware (left; body, right; glaze)



(c) blackware: white clay (left; body, right; glaze)

Figure 3. The percentage reflectance of sherds analyzed in this study.

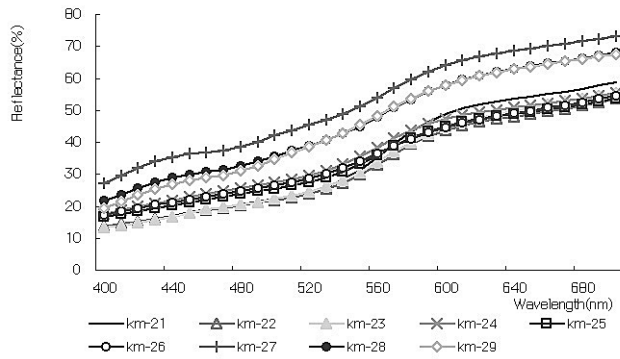


Figure 4. The percentage reflectance of bisque.

1-3. 비중, 흡수율 및 기공률

도자기의 물리적 특성으로 비중, 흡수율 및 기공률을 측정하여 길명리 흑유자기와 백자의 태토에 대한 자화 정도와 치밀도를 확인하고자 하였다(Table 3, Figure 5).

부피 비중, 흡수율, 기공률에서 흑유자기는 2.15(±0.09), 1.4(±0.9)%, 3.1(±1.9)%이고 백자는 2.19(±0.06), 0.7(±0.8)%, 1.6(±1.6)%로 부피 비중은 큰 차이는 없으나 흡수율과 기공률이 백자보다 흑유자기가 높게 나타나는 특징을 보인다. 백자에서 조질과 양질의 기공률 차이는 없으나 초벌편은 조질과 양질의 기

공률이 각각 33.8(±1.1)%, 31.5(±1.7)%로 조질이 양질에 비하여 기공의 분포정도가 큰 것을 알 수 있다. 흑유자기중 채도와 반사도에서 다른 도편과 차이가 있는 도편 4점(km-1, 2, 10, 11, 17)은 기공률 또한 높아 물리적 특성간의 상호 연관이 있는 것으로 생각된다.

2. 미시적 특징

도편 단면에 대한 미세구조 관찰은 자화정도, 번조 온도 및 시간 등 번조 조건에 따라 차이를 확인할 수 있

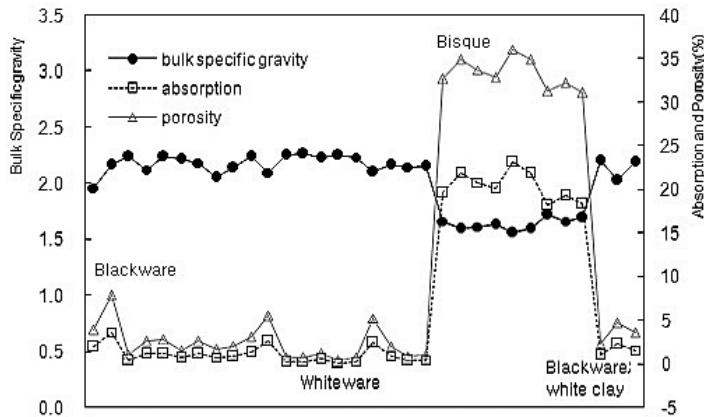
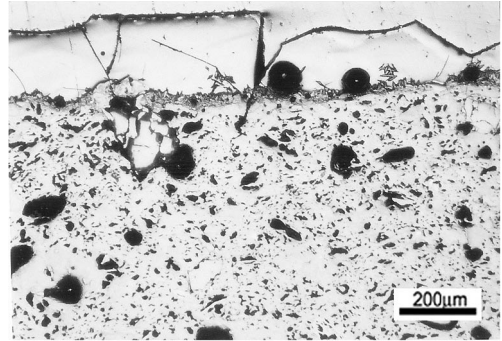
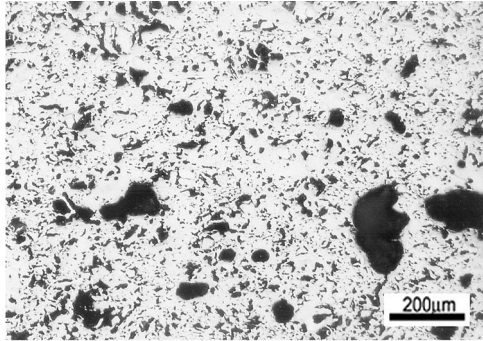


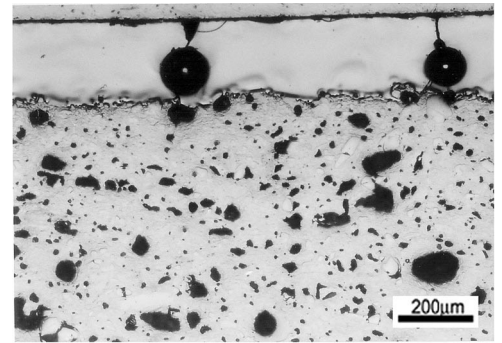
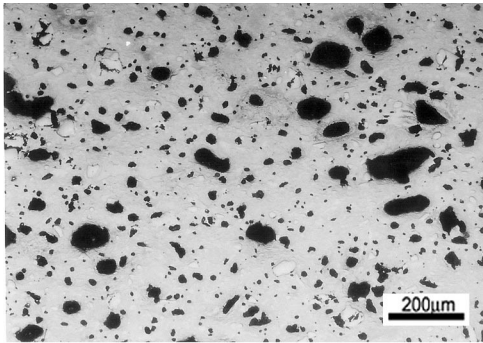
Figure 5. Graph of bulk specific gravity, absorption and porosity.

Table 3. Specific gravity, absorption and porosity of sherds analyzed in this study

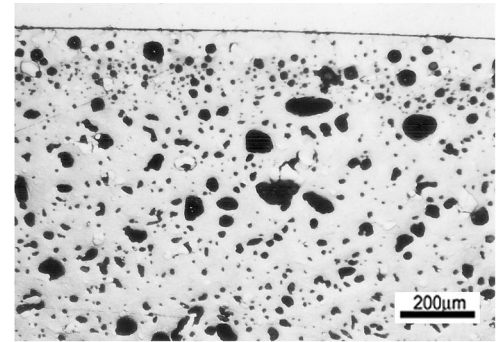
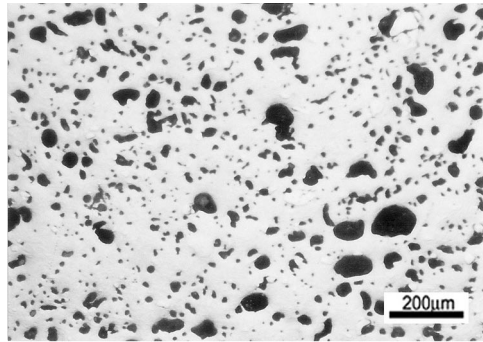
Group	Sample Number	Apparent Specific Gravity	Bulk Specific Gravity	Absorption(%)	Porosity (%)	
Blackware	N I	km-1	2.04	1.96	2.0	3.9
			0.02	0.03	0.4	0.8
		km-2	2.35	2.16	3.6	7.9
		0.01	0.01	0.4	0.7	
		km-3	2.26	2.24	0.5	1.0
		0.01	0.01	0.1	0.2	
	N II	km-4	2.18	2.12	1.2	2.6
			0.04	0.05	0.3	0.6
		km-5	2.30	2.24	1.2	2.8
		0.01	0.00	0.1	0.3	
		km-6	2.25	2.21	0.7	1.5
		0.11	0.12	0.6	1.3	
S I	km-7	2.24	2.18	1.2	2.7	
		0.01	0.01	0.4	0.8	
	km-8	2.09	2.05	0.8	1.7	
	0.01	0.01	0.1	0.2		
	km-9	2.18	2.14	0.9	2.0	
	0.04	0.05	0.2	0.5		
S II	km-10	2.31	2.24	1.4	3.2	
		0.01	0.02	0.5	1.1	
	km-11	2.22	2.10	2.6	5.5	
	0.01	0.02	0.3	0.7		
	km-12	2.27	2.25	0.3	0.7	
	0.00	0.00	0.1	0.2		
whiteware	N II-P	km-13	2.28	2.27	0.3	0.7
			0.02	0.02	0.1	0.2
		km-14	2.26	2.23	0.5	1.2
		0.01	0.02	0.4	0.8	
		km-15	2.26	2.25	0.2	0.4
		0.01	0.02	0.0	0.1	
		km-16	2.25	2.23	0.3	0.8
		0.02	0.02	0.1	0.2	
	N II-F	km-17	2.22	2.10	2.5	5.3
			0.01	0.03	0.7	1.5
		km-18	2.21	2.16	0.9	2.0
			0.01	0.01	0.2	0.3
	km-19	2.17	2.15	0.5	1.0	
	0.02	0.02	0.2	0.3		
	km-20	2.17	2.15	0.5	1.1	
	0.02	0.03	0.2	0.4		
Bisque	N-P	km-21	2.47	1.66	19.7	32.7
			0.02	0.00	0.1	0.3
		km-22	2.45	1.60	21.9	34.9
		0.01	0.00	0.3	0.4	
		km-23	2.44	1.62	20.9	33.7
		0.02	0.01	0.2	0.3	
	N-M	km-24	2.43	1.63	20.2	32.9
			0.02	0.01	0.4	0.5
		km-25	2.44	1.56	23.2	36.1
		0.01	0.01	0.2	0.1	
		km-26	2.45	1.59	21.9	34.9
		0.02	0.00	0.4	0.6	
N-F	km-27	2.50	1.72	18.2	31.2	
		0.01	0.00	0.2	0.3	
	km-28	2.46	1.67	19.4	32.3	
	0.03	0.02	1.1	1.5		
	km-29	2.46	1.69	18.4	31.1	
	0.02	0.01	0.5	0.7		
Blackware; white clay	km-30	2.26	2.20	1.1	2.3	
		0.01	0.01	0.2	0.4	
	km-31	2.13	2.03	2.3	4.7	
		0.02	0.01	0.3	0.6	
	km-32	2.27	2.19	1.6	3.6	
	0.01	0.01	0.4	0.8		



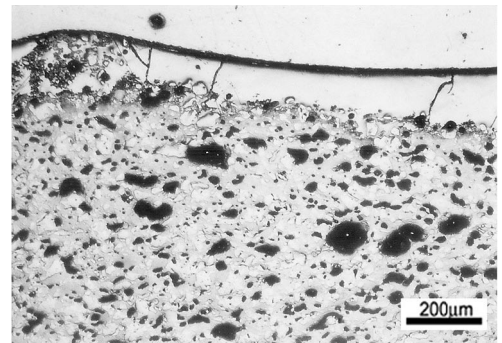
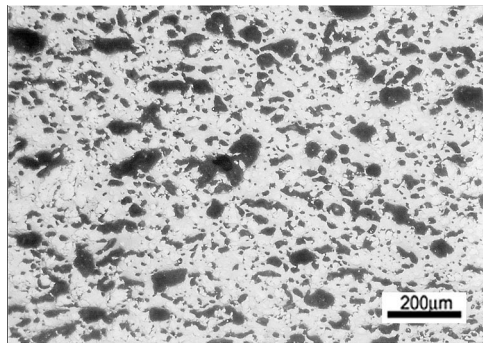
(a) blackware: km-2(left: body, right: glaze)



(b) blackware: km-12(left: body, right: glaze)



(c) whiteware: km-15(left: body, right: glaze)



(d) whiteware: km-17(left: body, right: glaze)

Figure 6. Microstructure of sherds analyzed in this study.

므로 선정 도판간의 상대적 비교가 가능하다. 길명리 흑유자기와 백자에 대한 선정 도판에서 나타나는 미시적 특징은 다음과 같이 나타난다.

흑유자기에서 흡수율과 기공률이 높아 자화 정도가 낮은 km-2는 태토 내부의 기공 형태가 부정형이고 미세 기공도 많은 것을 알 수 있다(Figure 6 (a)). 그러나 이에 비하여 상대적으로 흡수율과 기공률이 낮아 자화 정도가 높은 km-12는 km-2에 비하여 기공 형태가 둥글며 미세 기공들이 적게 분포하고 있다(Figure 6 (b)). 전반적으로 유약은 태토의 자화 정도와 상관없이 모두 잘 유리화되어 깨끗하며 기포 크기가 비교적 큰 편이다. 일부 도판(km-1, 2, 5)에서는 회색상이 관찰된다.

백자는 선정 도판에 따라 차이가 있으나 상대적으로 흑유보다 자화가 잘된 것으로 관찰된다. km-15는 자화가 비교적 잘 된 편으로 km-12와 같이 기공의 형태가 둥글며 미세기공이 적고(Figure 6 (c)), km-17은 기공의 형태가 부정형이고 미세기공이 많다(Figure (d)). 유약은 유리화가 잘 된 흑유와 달리 녹지 못하고 잔존하는 석영 입자들이 관찰되며 비교적 작은 기포들이 태토와 유약의 경계면에 존재하고 있다. 또한, 백자 유약의 동체부 평균 두께는 100 μ m로 흑유자기 200 μ m에 비하여 상대적으로 얇은 편이다. 흑유자기의 유약은 흑색을 잘 나타내게 하기 위하여 상대적으로 두껍게 시유한 것으로 볼 수 있다.

이상의 미세구조 특징에서 길명리 흑유자기와 백자는 폐기장과 층위와 관계없이 자화 정도에서 차이가 있는 도판이 모두 관찰된다.

3. 화학적 특성

1-1. 태토

태토의 조성은 X선형광분석기를 이용하여 주성분 분석을 기초로 흑유자기와 백자, 폐기장의 위치 및 층위에 따른 차이 그리고 상대적으로 분류한 조질과 양질에 의한 원료 차이와 특성을 확인해 보고자 한다(Table 4).

흑유자기와 백자는 SiO₂와 Al₂O₃의 평균 조성이 63.1(\pm 1.6)%, 24.9(\pm 1.6)% 및 61.6(\pm 0.5)%, 28.1(\pm 1.4)%로 흑유자기는 백자에 비하여 실리카는 높고 알루미늄은 낮은 편이다¹⁾. 착색제에서도 Fe₂O₃와 TiO₂가 4.3(\pm 0.44)%, 0.50(\pm 0.12)% 및 2.9(\pm

0.7)%, 0.21(\pm 0.03)%로 흑유자기는 백자에 비하여 상대적으로 착색제의 함유량이 높은 편으로 사용 원료가 다를 가능성이 높다고 할 수 있다. 그러나 폐기장과 층위에 따른 흑유자기와 조질과 양질로 구분한 백자는 분류 기준에 따라 조성 차이가 확인되지 않는다. 다만, 백자 양질 4점은 2점씩 주성분에서 차이를 보인다. km-17, 18은 SiO₂와 Al₂O₃이 71.7(\pm 0.55)%와 20.2(\pm 0.57)%로 다른 2점(km-19, 20)보다 실리카가 10% 이상 높고 알루미늄이 낮다. 착색제인 Fe₂O₃ 및 TiO₂에서도 성분차이가 있다. 이 두 도판들의 조성 차이는 실리카와 용제성분의 상대적인 몰퍼센트를 도식화한 그래프에서도 구분됨을 알 수 있다(Figure 7). 이에 따라 백자의 원료 조성은 크게 양질과 조질의 2가지로 구분됨을 알 수 있다. 그리고 백토 흑유자기의 태토는 이중에서 실리카의 조성이 낮고 알루미늄이 높은 조질 백자의 성분과 유사한 것으로 나타난다.

초벌편은 착색제를 기준으로 분류하면 백자보다 흑유자기의 조성과 유사한 것으로 볼 수 있으나 초벌과 재벌편의 원료는 번조과정에서 조성 차이가 나타날 수 있으므로 이에 대한 보완 실험이 필요하다.

1-2. 유약

유약의 조성⁸⁾은 흑유자기와 백자 유약에 대한 특성 비교, 폐기장과 층위에 따른 흑유자기 유약과 조질과 양질에 따른 백자 유약의 상관성을 확인하고자 하였다. 또한 흑유자기 유약이 흘러내리는 원인을 검토해 보았다(Table 5).

분석 결과에서 흑유자기 유약은 주성분 SiO₂와 Al₂O₃가 49.3(\pm 2.3)%, 13.7(\pm 1.5)%이고 착색제 Fe₂O₃와 TiO₂가 6.9(\pm 1.2)%, 0.47(\pm 0.07)%이며 백자 유약은 주성분 SiO₂와 Al₂O₃가 65.8(\pm 3.1)%, 16.7(\pm 1.4)%이고 착색제 Fe₂O₃와 TiO₂가 1.2(\pm 0.26)%, 0.04(\pm 0.03)%로 뚜렷한 차이를 보인다. 이 결과에서 흑유자기는 백자 유약에 비하여 실리카와 알루미늄의 조성 함량은 낮고 착색제의 함량은 높은 편이다. 이외에도 흑유자기와 백자의 유약 조성에서 차이를 보이는 성분은 CaO와 재의 사용 여부를 제시해 주는 P₂O₅이다. 유약에서 CaO 성분은 흑유자기와 백자가 각각 18.6(\pm 2.1)%, 8.6(\pm 5.7)%로 흑유자기 유약이 10%이상 높게 함유하고 있다.

1) 백자의 평균값은 다른 백자와 확연하게 조성 차이를 보이는 km-17, 18을 제외한 값이다.

Table 4. Body compositions of sherds analyzed in this study

Sample Number	Oxide concentration (wt.%)												Relative molecular	
	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	L.O.I	Total	Flux	SiO ₂
Blackware : N I														
km-1	62.5	25.1	4.5	1.1	0.50	1.9	3.3	0.57	0.08	0.06	0.08	99.6	0.41	4.22
km-2	63.6	24.3	4.7	1.0	0.38	1.5	3.3	0.52	0.08	0.06	0.28	99.9	0.39	4.44
km-3	63.5	23.3	5.0	1.0	0.51	1.9	3.3	0.59	0.08	0.05	0.02	99.4	0.44	4.62
average	63.2	24.2	4.8	1.1	0.46	1.8	3.3	0.56	0.08	0.06	0.13	99.6	0.42	4.43
std deviation	0.63	0.89	0.27	0.10	0.08	0.21	0.10	0.04	0.00	0.01	0.14	0.24	0.03	0.20
Blackware : N II														
km-4	63.1	24.4	4.7	1.1	0.49	1.9	3.2	0.60	0.09	0.07	-0.10	99.5	0.43	4.39
km-5	62.4	25.7	4.2	1.0	0.45	1.9	3.1	0.53	0.07	0.05	0.14	99.6	0.39	4.12
km-6	66.8	22.0	4.2	1.1	0.34	1.2	3.4	0.69	0.05	0.04	-0.23	99.6	0.42	5.14
average	64.1	24.0	4.4	1.1	0.43	1.7	3.2	0.61	0.07	0.05	-0.06	99.6	0.41	4.55
std deviation	2.3	1.9	0.27	0.07	0.07	0.41	0.14	0.08	0.02	0.01	0.19	0.10	0.02	0.53
Blackware : S I														
km-7	63.2	25.1	3.7	0.88	0.42	2.0	3.5	0.32	0.11	0.05	-0.02	99.3	0.41	4.27
km-8	64.1	24.3	4.2	0.96	0.36	1.9	3.4	0.48	0.12	0.06	-0.25	99.6	0.42	4.48
km-9	62.8	25.0	4.5	1.1	0.47	2.1	3.2	0.59	0.08	0.06	-0.30	99.5	0.42	4.25
average	63.4	24.8	4.1	1.0	0.42	2.0	3.4	0.46	0.10	0.06	-0.19	99.5	0.41	4.33
std deviation	0.66	0.46	0.43	0.09	0.05	0.08	0.20	0.14	0.02	0.00	0.15	0.18	0.01	0.13
Blackware : S II														
km-10	62.1	27.5	3.5	0.73	0.31	1.4	3.3	0.36	0.06	0.05	0.19	99.5	0.31	3.83
km-11	59.8	27.8	4.1	0.85	0.48	2.2	3.6	0.34	0.18	0.07	0.11	99.4	0.39	3.65
km-12	63.8	24.7	4.3	0.98	0.51	1.7	3.5	0.38	0.07	0.06	-0.30	99.6	0.41	4.38
average	61.9	26.7	3.9	0.85	0.43	1.8	3.5	0.36	0.11	0.06	0.00	99.5	0.37	3.95
std deviation	2.0	1.7	0.40	0.12	0.11	0.42	0.12	0.02	0.07	0.01	0.26	0.12	0.05	0.38
average	63.1	24.9	4.3	1.0	0.44	1.8	3.3	0.50	0.09	0.06	-0.03	99.5	0.40	4.32
std deviation	1.6	1.6	0.44	0.12	0.07	0.30	0.14	0.12	0.03	0.01	0.20	0.15	0.03	0.38
whiteware : NII-P														
km-13	61.5	29.0	2.6	0.57	0.45	2.1	3.1	0.22	0.07	0.05	-0.04	99.7	0.32	3.59
km-14	61.2	28.2	2.2	0.44	0.60	2.8	3.5	0.17	0.08	0.04	0.01	99.3	0.38	3.69
km-15	62.4	26.2	3.5	0.71	0.54	2.4	3.4	0.25	0.09	0.05	-0.18	99.3	0.40	4.05
km-16	61.9	26.7	3.9	0.69	0.33	1.8	4.0	0.22	0.10	0.04	-0.02	99.6	0.37	3.93
average	61.8	27.5	3.1	0.60	0.48	2.3	3.5	0.21	0.09	0.05	-0.06	99.5	0.37	3.82
std deviation	0.51	1.3	0.77	0.12	0.12	0.45	0.37	0.03	0.02	0.01	0.09	0.23	0.04	0.21
whiteware : NII-F														
km-17	72.1	19.8	1.4	0.36	0.20	0.00	4.8	0.07	0.02	0.04	0.47	99.3	0.33	6.17
km-18	71.3	20.6	1.4	0.36	0.27	0.00	4.8	0.06	0.03	0.05	0.34	99.3	0.32	5.87
average	71.7	20.2	1.4	0.4	0.2	0.0	4.8	0.07	0.03	0.04	0.41	99.3	0.3	6.0
std deviation	0.6	0.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.01	0.01	0.00	0.09	0.0	0.0	0.2
km-19	61.4	29.4	2.4	0.54	0.46	2.1	3.1	0.19	0.07	0.05	-0.09	99.7	0.31	3.53
km-20	61.2	29.3	2.5	0.54	0.44	2.1	3.1	0.19	0.07	0.05	-0.07	99.4	0.31	3.54
average	61.3	29.4	2.5	0.5	0.5	2.1	3.1	0.19	0.07	0.05	-0.08	99.5	0.31	3.54
std deviation	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.2	0.01	0.01
average	61.6	28.1	2.9	0.58	0.47	2.2	3.4	0.21	0.08	0.05	-0.07	99.5	0.35	3.72
std deviation	0.5	1.4	0.7	0.10	0.09	0.4	0.3	0.03	0.02	0.01	0.07	0.2	0.04	0.22

Bisque : N-P														
km-21	63.4	22.6	4.3	0.80	0.44	1.8	3.2	0.44	0.07	0.07	2.1	99.3	0.41	4.75
km-22	61.1	23.5	4.5	0.85	0.45	1.9	2.9	0.57	0.07	0.05	3.3	99.2	0.40	4.41
km-23	58.6	25.6	3.3	0.70	0.43	2.1	2.9	0.40	0.05	0.05	4.9	99.2	0.36	3.88
average	61.0	23.9	4.1	0.78	0.44	2.0	3.0	0.47	0.06	0.06	3.4	99.2	0.39	4.35
std deviation	2.4	1.5	0.64	0.08	0.01	0.16	0.16	0.09	0.01	0.01	1.4	0.06	0.03	0.44
Bisque : N-M														
km-24	58.1	26.6	3.2	0.63	0.33	1.5	2.9	0.30	0.03	0.06	5.8	99.5	0.30	3.71
km-25	58.7	26.0	3.6	0.66	0.53	2.3	2.9	0.36	0.04	0.06	4.2	99.3	0.37	3.82
km-26	57.9	27.0	4.5	0.78	0.51	1.8	2.9	0.50	0.12	0.10	3.3	99.4	0.34	3.64
average	58.2	26.5	3.8	0.69	0.45	1.9	2.9	0.39	0.07	0.07	4.4	99.4	0.34	3.72
std deviation	0.40	0.48	0.67	0.08	0.11	0.39	0.01	0.10	0.05	0.03	1.3	0.09	0.04	0.09
Bisque : N-F														
km-27	63.4	25.1	3.2	0.80	0.46	1.9	3.2	0.37	0.06	0.05	0.84	99.6	0.38	4.28
km-28	62.6	25.1	3.8	0.85	0.41	1.9	3.3	0.33	0.10	0.05	0.95	99.3	0.39	4.23
km-29	62.6	25.1	3.7	0.86	0.41	1.9	3.3	0.32	0.10	0.05	0.88	99.2	0.39	4.23
average	62.9	25.1	3.6	0.84	0.42	1.9	3.3	0.34	0.08	0.05	0.89	99.4	0.39	4.25
std deviation	0.48	0.02	0.28	0.03	0.03	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.05	0.18	0.00	0.03
average	60.7	25.2	3.8	0.77	0.44	1.9	3.1	0.40	0.07	0.06	2.9	99.3	0.37	4.11
std deviation	2.4	1.4	0.53	0.09	0.06	0.21	0.17	0.09	0.03	0.02	1.8	0.13	0.04	0.37
Blackware: white clay														
km-30	61.5	29.3	2.7	0.52	0.41	2.2	3.2	0.18	0.05	0.04	0.02	100.1	0.32	3.56
km-31	61.0	28.1	3.0	0.55	0.57	2.5	3.6	0.21	0.07	0.05	0.00	99.7	0.38	3.69
km-32	61.6	29.0	2.7	0.51	0.41	2.3	3.2	0.19	0.05	0.04	0.00	100.0	0.32	3.60
average	61.4	28.8	2.8	0.53	0.46	2.3	3.3	0.19	0.06	0.04	0.01	99.9	0.34	3.62
std deviation	0.30	0.63	0.21	0.02	0.09	0.16	0.24	0.01	0.01	0.00	0.01	0.18	0.03	0.06

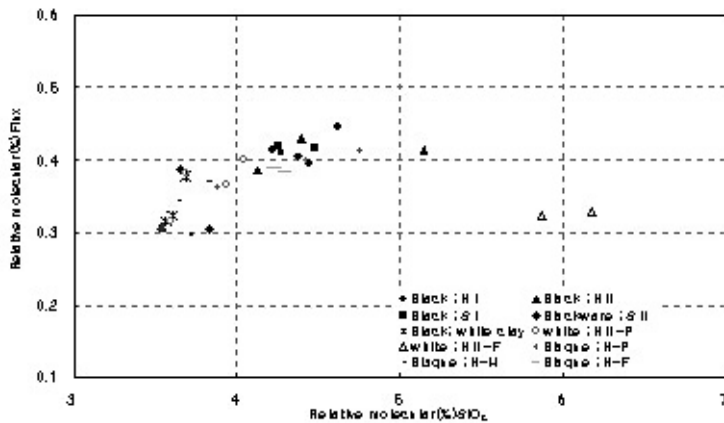


Figure 7. Relative molecular % of fluxes versus silica in blackware, whiteware and bisque body.

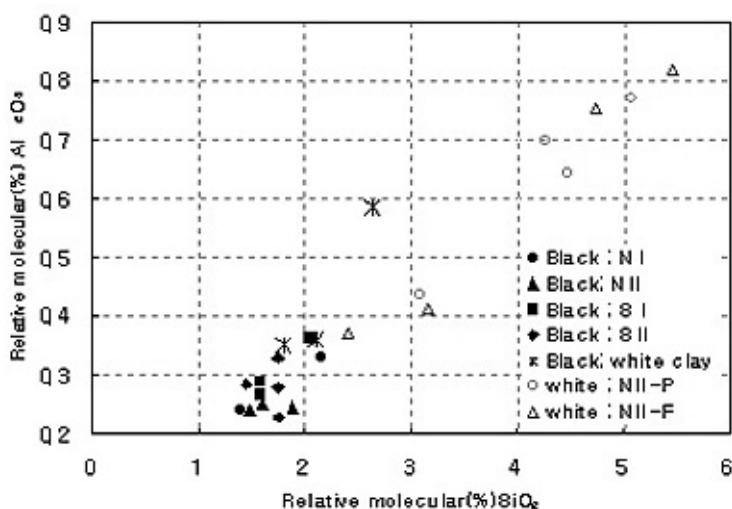


Figure 8. Relative molecular % of aluminium oxide versus silica in blackware and whiteware glaze.

Table 5. Glaze compositions of sherds analyzed in this study

Sample Number	Oxide concentration (wt.%)											Relative molecular	
	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	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Blackware : N I													
km-1	52.7	13.6	8.9	3.4	14.8	1.6	2.4	0.56	0.57	2.0	100.7	2.15	0.33
	1.5	0.74	1.0	0.18	0.53	0.13	0.17	0.09	0.15	0.27	4.7		
km-2	51.3	11.3	8.5	3.6	19.1	1.3	2.2	0.58	0.92	1.8	100.5	1.76	0.23
	0.64	0.68	0.99	0.26	0.63	0.15	0.29	0.08	0.10	0.19	4.0		
km-3	47.1	13.7	5.6	3.6	22.3	2.0	2.6	0.47	0.92	1.8	100.0	1.40	0.24
	1.1	0.37	0.41	0.22	0.92	0.16	0.32	0.08	0.12	0.17	3.9		
average	50.4	12.9	7.7	3.5	18.8	1.6	2.4	0.54	0.80	1.9	100.4	1.77	0.27
std deviation	2.9	1.4	1.8	0.10	3.8	0.38	0.19	0.06	0.20	0.13	0.33	0.38	0.05
Blackware : N II													
km-4	51.8	11.4	8.1	3.1	18.4	1.6	1.8	0.46	0.61	2.4	99.6	1.88	0.24
	0.87	0.50	0.69	0.12	0.86	0.12	0.10	0.10	0.11	0.19	3.7		
km-5	46.6	12.7	7.8	4.2	19.7	1.8	2.6	0.51	0.81	3.1	99.9	1.48	0.24
	0.40	0.41	0.21	0.14	0.43	0.09	0.35	0.08	0.11	0.17	2.4		
km-6	48.7	13.0	6.2	4.0	19.3	1.2	3.1	0.57	0.85	2.7	99.6	1.60	0.25
	2.4	0.90	0.51	0.34	2.2	0.23	0.40	0.09	0.19	0.35	7.7		
average	49.0	12.4	7.4	3.8	19.1	1.6	2.5	0.51	0.76	2.7	99.7	1.65	0.25
std deviation	2.6	0.88	1.0	0.56	0.68	0.32	0.66	0.06	0.13	0.33	0.15	0.20	0.01
Blackware : S I													
km-7	48.1	13.7	7.4	3.3	19.8	1.9	2.7	0.39	0.80	2.1	100.3	1.58	0.27
	1.1	1.3	1.4	0.33	1.7	0.15	0.32	0.09	0.13	0.23	6.8		
km-8	52.0	15.5	6.2	3.5	14.8	1.7	2.7	0.36	0.77	2.1	99.7	2.06	0.36
	1.4	0.70	0.75	0.29	1.2	0.15	0.24	0.10	0.07	0.29	5.2		
km-9	46.8	14.5	6.8	4.4	17.6	1.8	2.7	0.48	0.94	3.3	99.4	1.57	0.29
	1.7	0.58	0.98	0.31	1.9	0.23	0.39	0.13	0.15	0.43	6.8		
average	49.0	14.6	6.8	3.8	17.4	1.8	2.7	0.41	0.83	2.5	99.8	1.74	0.30
std deviation	2.7	0.89	0.63	0.60	2.5	0.10	0.04	0.06	0.09	0.70	0.45	0.28	0.05

Blackware : SII													
km-10	46.6	15.6	5.5	3.7	20.4	1.7	2.7	0.45	2.0	2.6	101.2	1.44	0.28
	1.3	0.63	0.47	0.21	1.3	0.19	0.28	0.13	3.2	0.31	8.0		
km-11	50.5	13.6	6.5	3.5	18.6	1.7	2.3	0.44	0.89	2.1	100.1	1.74	0.28
	1.3	1.11	0.53	0.36	1.4	0.16	0.21	0.09	0.10	0.25	5.5		
km-12	50.0	16.0	5.4	3.2	18.6	1.8	2.5	0.40	0.76	1.5	100.0	1.75	0.33
	2.4	1.22	0.39	0.31	2.9	0.17	0.29	0.11	0.10	0.20	8.2		
average	49.0	15.1	5.8	3.5	19.2	1.7	2.5	0.43	1.2	2.1	100.4	1.64	0.30
std deviation	2.1	1.3	0.60	0.26	1.0	0.02	0.22	0.03	0.66	0.52	0.67	0.18	0.03
average	49.3	13.7	6.9	3.6	18.6	1.7	2.5	0.47	0.90	2.3	100.1	1.70	0.28
std deviation	2.3	1.5	1.2	0.40	2.1	0.24	0.33	0.07	0.35	0.53	0.51	0.24	0.04
whiteware : NII-P													
km-13	67.9	16.6	0.88	2.7	7.2	1.5	3.0	0.00	0.01	n.d	99.9	4.47	0.64
	3.2	1.5	0.37	0.75	1.4	0.13	0.55	0.10	0.04	-	8.0		
km-14	64.9	15.6	0.83	6.1	7.7	2.1	2.3	0.06	0.09	n.d	99.8	3.09	0.44
	1.3	1.6	0.16	1.1	0.83	0.45	0.45	0.11	0.08	-	6.0		
km-15	67.9	17.5	1.3	3.8	3.3	1.8	3.9	0.03	0.12	0.06	99.6	5.07	0.77
	3.6	1.1	0.63	1.5	0.63	0.20	0.63	0.06	0.05	0.13	8.5		
km-16	66.2	18.4	1.3	4.2	4.8	2.1	3.1	0.01	0.08	n.d	100.1	4.27	0.70
	3.0	2.4	0.45	1.8	1.9	0.32	0.69	0.04	0.08	-	10.8		
average	66.7	17.0	1.1	4.2	5.7	1.9	3.1	0.02	0.07		99.9	4.22	0.64
std deviation	1.5	1.2	0.27	1.4	2.1	0.29	0.62	0.03	0.05		0.22	0.83	0.14
whiteware : NII-F													
km-17	59.2	15.5	1.0	0.91	19.2	0.07	4.1	0.10	0.09	0.35	100.4	2.40	0.37
	1.0	0.56	0.18	0.09	1.45	0.07	0.88	0.11	0.10	0.18	4.6		
km-18	64.3	14.3	1.1	0.82	15.6	0.07	3.8	0.05	0.06	0.39	100.4	3.15	0.41
	1.7	1.7	0.14	0.20	2.6	0.10	0.91	0.08	0.06	0.19	7.6		
average	61.7	14.9	1.1	0.9	17.4	0.1	3.9	0.08	0.08	0.37	100.4	2.78	0.39
std deviation	3.6	0.8	0.0	0.1	2.6	0.0	0.2	0.03	0.02	0.03	0.0	0.53	0.03
km-19	68.8	17.5	1.5	2.4	4.7	2.1	3.0	0.05	0.06	0.04	100.2	5.47	0.82
	1.6	1.1	0.39	0.34	0.41	0.18	0.15	0.10	0.08	0.10	4.5		
km-20	67.0	18.0	1.4	2.5	6.0	2.0	2.9	0.01	0.09	0.06	100.2	4.74	0.75
	2.6	1.9	0.36	0.57	1.5	0.24	0.43	0.07	0.10	0.15	7.9		
average	67.9	17.8	1.5	2.4	5.4	2.1	3.0	0.03	0.08	0.05	100.2	5.10	0.79
std deviation	1.3	0.4	0.1	0.1	1.0	0.1	0.1	0.03	0.02	0.01	0.0		
average	65.8	16.7	1.2	2.9	8.6	1.5	3.3	0.04	0.08	0.18	100.1	4.08	0.61
std deviation	3.1	1.4	0.26	1.8	5.7	0.90	0.58	0.03	0.03	0.18	0.29	1.08	0.18
Blackware: white clay													
km-30	51.1	14.8	6.9	3.2	14.2	2.1	2.6	0.45	0.73	2.7	98.8	2.10	0.36
	0.60	1.1	1.7	0.10	0.40	0.30	0.40	0.09	0.04	0.70	5.4		
km-31	51.4	19.4	7.8	2.5	10.5	2.3	2.9	0.45	0.56	1.5	99.3	2.63	0.59
	2.1	2.4	0.90	0.50	2.5	0.10	0.40	0.08	0.16	0.30	9.4		
km-32	48.5	16.0	6.8	3.5	15.9	2.3	2.8	0.36	0.86	2.8	99.8	1.80	0.35
	0.70	1.9	0.90	0.30	0.60	0.30	0.50	0.10	0.07	0.40	5.8		
average	50.3	16.7	7.2	3.1	13.5	2.2	2.8	0.42	0.72	2.3	99.3	2.18	0.43
std deviation	1.6	2.4	0.55	0.51	2.8	0.12	0.15	0.05	0.15	0.72	0.52	0.42	0.13

이에 따라 흑유에 함유된 전체적인 용제성분도 흑유자기의 유약이 높다. 또한, 유약에 함유된 철성분은 용제 역할을 하므로 실제 용제로 작용한 성분의 함량은 더 높다고 할 수 있다.^{5,11} 흑유자기와 백자에서 차이를 보이는 P_2O_5 성분은 유약 조성에서 흑유자기와 백자가 각각 $2.3(\pm 0.53)\%$, $0.18(\pm 0.18)\%$ 로 흑유자기가 백자에 비하여 10배 이상 높은 함량을 갖고 있는 것으로 확인된다. 일반적으로 유약에 P_2O_5 성분이 많으면 태토에 잘 용착되지 못하고 흘러내리는 현상이 나타난다고 알려져 있다.^{9,10} 백토 흑유자기의 유약 조성은 흑유자기의 유약 조성과 유사하나 CaO 성분이 약 5%정도가 낮은 편이다. 이는 CaO 성분이 낮은 유약을 시유함으로써 유약이 흐르는 것을 개선하려는 시도로 볼 수 있다. 이와 같은 추정 은 백토 흑유자기가 전체 흑유지기에 비하여 아주 소량이므로 단정하기는 어려우나 실제로 유약에서 산화칼슘의 양을 줄이고 실리카를 높임으로써 유약의 흐르는 단점을 개선한 예가 있다.⁶ 이러한 조성분석결과를 이용하여 실리카와 알루미늄의 상대적인 몰퍼센트를 계산하여 도식화 결과, 흑유자기 유약은 1.40~2.15와 0.23~0.36에, 백자 유약은 2.40~5.47와 0.37~0.86의 범위에 분포하고 있음을 확인하였다.

V. 결론

본 연구는 경기도 포천시 길명리 가마터 출토 흑유자기와 백자편을 중심으로 원료 및 특성을 파악하고 폐기장 및 층위 그리고 가시적으로 구분된 조질과 양질에 대한 특성을 물리적, 화학적 분석을 통하여 제시해 보고자 하였다.

색도, 반사도, 비중, 흡수율 및 기공률 등의 물리적 특성에서 길명리 가마터 출토 도편은 흑유자기와 백자의 품질에 따른 구분보다는 선정 도편의 번조 상태에 따라 차이를 보이는 것으로 확인된다. 즉, 번조가 덜된 도편은 채도가 높고 흡수율 및 기공률이 높은 편으로 이와 같은 특징은 미세구조 관찰에서도 확인된다. 반사도에 따른 번조 분위기추정에서 흑유자기는 산화번조된 가능성이 높다. 그러나 태토에서 하강곡선을 나타내는 4점(km-6, 8, 9, 12)은 환원번조의 가능성이 있다.

태토와 유약 조성에 대한 분석 결과에서 도편의 사용 원료는 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫째는 흑유자기의

원료로 백자보다 태토의 착색제 성분이 많고, 유약에서 SiO_2 와 Al_2O_3 의 함량이 낮고 Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO, P_2O_5 의 함량이 높은 원료이다. 둘째는 백자 중에서 조질 계통으로 태토의 착색제 성분이 적고, 유약은 흑유자기보다 SiO_2 함량이 높고 착색제 및 CaO 성분 함량이 낮은 특성을 나타내는 원료이다. 백토 흑유자기도 이 계통에 포함될 수 있다. 마지막으로 백자 중에서 양질 계통으로 태토에서 조질백자보다 SiO_2 함량이 10%이상 높고 착색제 성분이 낮으며, 유약의 CaO 성분함량이 흑유자기와 유사한 특징을 보이는 원료이다.

길명리 가마터 출토 흑유자기의 특징 중에 하나는 유약이 표면에 고르게 시유되지 못하고 흘러내려 저부에 묻히는 현상이 나타나는 것이다. 이는 백자에 비하여 흑유자기 유약 조성에서 P_2O_5 와 CaO가 높기 때문으로 이로 인하여 태토에 잘 용착되지 못한 것으로 판단된다. 백토 흑유자기는 백자 태토에 산화칼슘을 감소시킨 유약을 시유한 것으로 이는 유약이 흐르는 것을 개선하려 시도했을 가능성이 있다.

이상의 연구는 길명리 가마터 출토 흑유자기와 백자에 대한 특성을 물리·화학적 방법으로 조사하여 그 결과를 제시하였다. 아직까지 흑유자기에 대한 과학적이고 체계적인 연구가 충분하지 못한 실정에서 이번 연구결과가 흑유자기에 관한 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

사 사

본 연구는 경기문화재단 부설 기전문화재연구원과 공동으로 진행되었으며 국립문화재연구소 연구개발사업인 '민족문화정보 분석연구'의 일환으로 수행되었으므로 각 기관의 지원에 깊이 감사한다.

참고문헌

1. 강경숙, 『韓國陶磁史』, 一志社, 1999.
2. 抱川 吉明里 黑釉瓷窯址, 기전문화재연구원, 2006.
3. 강경숙, 『한국 도자기 가마터 연구』, (주) 시공사·시공아트, 2005.
4. 高鳴廣夫, 『陶磁器軸の科學』, 內田老鶴圃, pp.47~

- 61, 1994.
5. 고민정, 『경상남도 요지 출토 경질과 연질백자에 대한 물성 및 원료 분석』, 공주대학교 석사학위 논문, pp.92~107, 2006.
 6. Nigel Wood, 『Chinese Glazes』 A&C Black, 1999.
 7. Julian. H, 『THE SCIENCE AND ARCHAEOLOGY OF MATERIALS』 ROUTLEDGE, pp.177~180, 2000.
 8. 다니엘 로드 지음, 이부연, 김두식 외 5인 공역, 『도예가를 위한 점토와 유약』, 한양대학교 출판부, 2002.
 9. 이복규, 『도자원료』, 미진사, 1991.
 10. 엠마누엘 코퍼 외 지음, 김남수 편역, 『도예유약』, 미진사, 1991.
 11. Rice, Prudence M., 『Pottery analysis』, The University of Chicago Press/Chicago and London, p93~94, 1987.
-