

## 조선시대 관요인 광주 번천리 출토 백자의 기술적인 연구

강경인

여주대학 도자기공예과, 경기도 여주읍 교리

### Whiteware from the Official Kiln of Choseon Dynasty Period in Beoncheon-ri, Gwangju

Gyung In Gang

Department of Ceramic craft, Yeojoo Institute Technology, Gyo-ri, Yeojoo-up, Yeojoo-gun, Gyunggi-do, KOREA

**초록** 조선시대 관요가 위치한 경기도 광주의 백자에 대한 화학적인 특성을 살펴보기 위하여 백자요지에서 출토된 백자를 대상으로 X-선 회절 분석, 유도결합 플라즈마 원자방출 분광분석, 에너지분산 X-선 분광분석의 자연과학적인 방법을 이용하여 연구하였다. 백자요지에서 출토된 백자는 출토된 유구에 관계없이 유사한 태토로 제조되었으며, 태토의 제조에는 광물학적으로 같은 계통의 원료로 장식광물이 사용되지 않은 점이 특징적이다. 폐기물의 퇴적 1에서 출토된 백자는 백자요지의 다른 유구에서 출토된 백자와는  $Fe_2O_3$ 를 포함한 태토의 조성 및 광물학적인 특성에 차이가 있었다. 폐기물의 퇴적 1에서는 백자요지의 다른 유구와 성격을 달리하는 유물이 출토되었다는 발굴조사의 결과와 백자의 과학적인 분석결과와 일치하였다. 백자에는 유약성분의 특성상 라임계열과 알칼리-라임계열의 유약이 사용되었으며, 전반적으로 유약조성의 범위는 넓었다.

**ABSTRACT** Chemical characteristics of whitewares excavated from the official kiln of the Choseon Dynasty period in Gwangju, Gyeonggi-do have been studied using x-ray diffraction, inductively coupled plasma atomic absorption spectrometry and energy dispersive spectrometry. This study shows that most of whitewares excavated from the kiln site are similar in chemistry to each other regardless of their excavated positions and that their bodies were not made of feldspar minerals. However, the whiteware from sedimentation 1 of waste articles shows mineralogical characters different from those of other sites. This result is in accordance with the report that the whitewares from sedimentation 1 of waste articles have characters different from other sites. The whiteware glaze was produced from raw minerals of both lime and alkali-lime system resulting in wide variation in chemical composition.

#### 1. 서론

경기도 광주시 일대에 분포하는 백자요지는

288여개소에 이르는 것으로 확인되고 있으며, 조선시대 중앙관요로서 백자를 생산하였던 곳이다. 그중 16세기 후반 감번을 주로 하는 어용제

작요인 번천리 9호 요지<sup>2</sup>에서는 비교적 양질의 백자를 생산하였던 곳이며, 발굴조사에 의해 가마를 비롯하여 폐기물 퇴적과 공방터가 확인되었다. 가마를 비롯한 관련된 유구에서는 다양한 유물이 출토되었으며, 폐기물 퇴적 1곳의 유구에서는 동일한 요지내에 위치하는 다른 유구와 성격을 달리하는 유물이 출토되었다.<sup>3</sup>

조선시대에 관요가 설치되고, 양질의 백자를 생산하였던 요지에서 발굴조사에 의해 출토된 백자의 화학적인 특성을 확인하고, 백자가 출토된 유구들의 상호관계를 살펴보고자 하였다. 이러한 내용을 토대로 번천리 백자요지에서 출토된 백자의 시편을 선정하고, 선정된 시편의 태도와 유약을 자연과학적인 방법으로 분석하였다. 세부적으로 백자의 태도에 대한 광물 및 화학조성, 미량원소와 유약의 화학조성을 분석하여 태도와 유약의 특성을 규명하고, 백자가 출토된 유구별로 백자의 태도 및 유약조성의 변화를 살펴 보았다.

## 2. 분석대상 및 방법

번천리 9호 백자요지의 각 유구에서 출토된 백자를 분석대상으로 하였으며, 분석대상의 백자는 가마(K : kiln), 백자편 및 가마 부품의 폐기물퇴적(WA : waste articles), 작업장(WS : worked site) 등에서 출토된 유구를 기준으로 구분하여 Table 1에 기재하였다. 그리고 이들 백자와 속성에서 구분되는 백자가 있는데, 여기에서는 발굴조사의 결과에 따라 명문의 백자(MW : marked ware)와 백태청자(C : Celadon, white body, blue glaze)로 구분하였다.

태도의 광물조성은 X-선회절분석기(XRD, X-Ray Diffractometer, Rigaku D-MAX1200)를 이용하여 분석하였으며, 전압 40 KV, 전류 20 mA, Scanning speed 100° 2 $\theta$ /min, full scale range 2000 cps, 특성파장 CuK $\alpha$ ( $\lambda$  = 1.5405 Å), Ni-filter 의 조건으로 분석하였다. XRD 시료는 백자의 유약층을 제거한 후 태도만을 분쇄하고, 분쇄된 태도의 분말을 건조하였다. 백자 태도의 주성분 및 미량원소를 포함한 화학조성은 유도 결합 플라즈마 원자방출 분광기(Inductively Cou-

pled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES, Perkin Elmer Optima 3300RL)로 분석되었다. 유약의 성분은 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM, Hitachi S-4700)에 부착된 에너지 분산 X-선 분광분석기(Energy Dispersive X-ray Spectrometer, EDX, KEVEX Inc. SIGMA MS2)에 의해 분석하였다. SEM-EDX 시편은 백자편의 파단면에 위치하는 유약층을 대상으로 하였으며, 유약층의 단면은 sand paper와 diamond paste로 경면 연마하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 태도의 조성

분석대상의 백자 중에서 대표적인 X-선회절 분석 결과는 Fig. 1과 같으며, Table 1에 해당되는 백자의 시편번호를 기재하였다. 백자의 태도에 대한 X-선회절분석 결과에 의하면 분석된 모든 백자의 태도는 석영과 높은 소성온도에서 생성되는 mullite로만 구성되어 있으며, 대부분 백자가 유사한 양상을 가지고 있다. X-선회절분석 자료에서 석영과 mullite의 상태를 세부적으로 살펴보면, 일부 백자에 있어서 태도의 광물학적인 상태가 미소하게 다른 것을 확인할 수 있다. 분석대상의 백자 중에서 퇴적 1의 백자는 mullite가 비교적 많이 생성되어 있는 것이 특징이며, 다른 유구에서 출토된 백자와는 차이가 있다. 일반적으로 도자기의 태도에 있어서 고온 생성광물인 mullite는 태도의 제조에 사용된 원료의 화학적인 특성과 소성온도에 영향<sup>4</sup>을 받는다. 백자의 태도에 대한 화학조성은 모든 백자가 유사하고, 퇴적 1에서 출토된 백자도 다른 유구에서 출토된 백자와 유사한 화학조성을 지니고 있음을 Table 2에서 보여주고 있다. 결국 퇴적1에서 출토된 백자는 태도의 광물 및 화학조성에 의하면 다른 유구에서 출토된 백자보다 높은 온도에서 소성된 태도의 상태인 것이다. 번천리 백자요지에서 출토된 백자는 출토된 유구에 관계없이 광물학적으로 유사한 태도이며, 퇴적 1에서 출토된 백자만이 소성조건에 영향을 받아 태도의 광물학적 특성<sup>5</sup>에는 차이가 있다.

백자의 태도에 대한 화학조성은 Table 1과 같

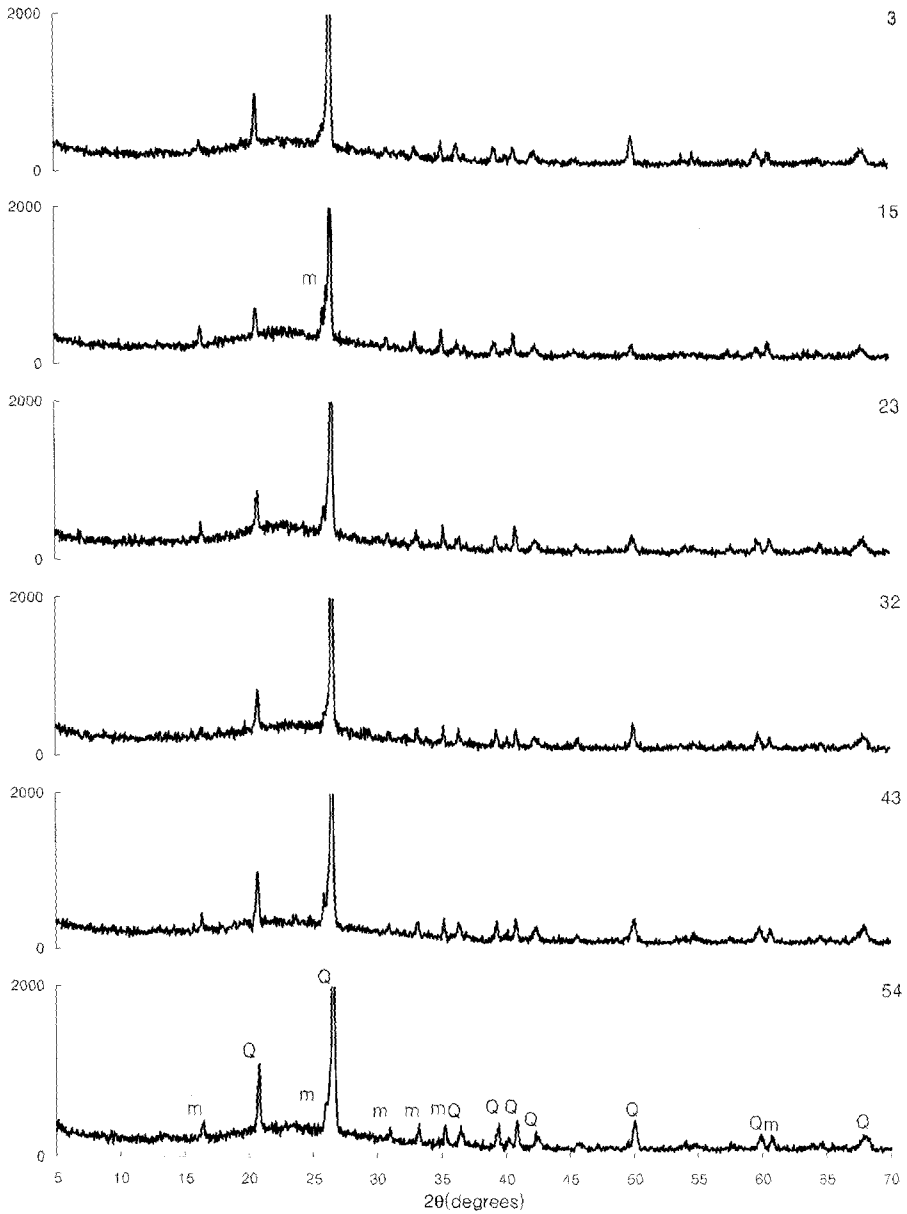


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of whiteware body (Q : a-quartz, m : mullite).

으며, 백자요지에서 출토된 백자는 1000°C 이상의 온도에서 소성된 기물이므로 화학조성에서 검출된 Ignition loss를 제외한 성분의 총 함량을 100%로 환산하여 기재하였다. 모든 백자들은 SiO<sub>2</sub> 69~76%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 16~22%, K<sub>2</sub>O 4.2~5.2% 범위의 화학조성으로 이루어져 있으며, 이들 3 종류의 성분이 태토성분의 함량을 대부분 차지

하고 있다. 이들 주요 3성분만으로 백자를 살펴 보면, 비교적 유사한 조성을 지닌 태토로 백자가 제조되었다고 고려된다. 그리고 백자의 태토 색상에 직접적으로 영향을 주는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 1% 내외가 함유되어 있으나, 일부 백자의 태토에는 1.5%를 상회하는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 함유되어 있다.

변천리 백자요지에서 출토된 백자에 대한 태

**Table 1.** Chemical analysis of bodies of whiteware sherds from kiln site at Beoncheo-nri, Gwangju, Gyunggi-do

Designation	Excavated site	Sample NO.	Body compositions (%)									
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
K	Kiln	1	76.73	16.22	1.17	0.04	0.38	4.19	1.10	0.12	0.02	0.03
		2	72.44	20.13	1.61	0.29	0.42	4.29	0.59	0.14	0.05	0.04
		3	72.58	18.80	1.68	0.28	0.49	4.31	1.67	0.12	0.04	0.03
		4	72.99	18.94	1.37	0.22	0.49	4.45	1.33	0.13	0.03	0.05
		5	70.12	21.28	1.44	0.16	0.55	4.81	1.46	0.14	0.02	0.02
WA-1	Waste articles 1	6	72.18	19.97	1.01	0.30	0.39	4.64	1.38	0.09	0.02	0.02
		7	72.78	19.96	0.94	0.19	0.37	4.47	1.17	0.09	0.01	0.02
		8	73.37	19.11	0.88	0.18	0.28	4.75	1.31	0.09	0.01	0.02
		9	71.95	20.51	0.91	0.23	0.32	4.75	1.21	0.09	0.01	0.02
		10	71.49	21.02	0.99	0.22	0.42	4.66	1.07	0.09	0.02	0.02
		11	71.47	21.05	0.99	0.25	0.42	4.62	1.07	0.09	0.02	0.02
		12	72.28	20.09	0.94	0.22	0.33	4.82	1.20	0.09	0.01	0.02
		13	72.76	19.58	0.91	0.15	0.33	4.82	1.34	0.08	0.01	0.02
		14	69.44	22.39	1.41	0.29	0.43	4.88	0.96	0.12	0.04	0.04
		15	70.80	20.90	1.34	0.20	0.35	5.01	1.23	0.11	0.03	0.03
		16	70.88	21.30	1.03	0.24	0.36	4.85	1.22	0.09	0.01	0.02
		17	72.46	20.16	0.82	0.26	0.40	4.60	1.18	0.09	0.01	0.02
		18	74.34	18.16	1.39	0.12	0.46	4.24	1.05	0.15	0.04	0.05
		19	72.50	20.18	1.00	0.19	0.32	4.61	1.08	0.09	0.01	0.02
		20	75.04	18.09	0.99	0.17	0.26	4.21	1.15	0.05	0.01	0.03
		21	72.09	20.08	1.03	0.18	0.31	4.88	1.30	0.09	0.01	0.03
		22	72.04	20.40	0.86	0.25	0.38	4.77	1.19	0.09	0.01	0.01
		23	73.05	19.79	0.89	0.19	0.37	4.57	1.02	0.09	0.01	0.02
		24	72.28	19.91	1.03	0.24	0.31	4.75	1.36	0.08	0.01	0.03
		25	73.54	18.46	1.01	0.12	0.30	4.98	1.49	0.06	0.01	0.03
WA-2	Waste articles 2	26	73.22	19.13	1.27	0.13	0.34	4.70	1.04	0.11	0.03	0.03
		27	74.52	18.04	1.26	0.17	0.39	4.66	0.77	0.13	0.03	0.03
		28	73.22	18.73	1.28	0.17	0.35	4.37	1.72	0.10	0.04	0.02
		29	73.52	19.01	1.16	0.21	0.46	4.55	0.90	0.13	0.03	0.03
		30	72.82	19.63	1.34	0.14	0.47	4.36	1.04	0.15	0.02	0.03
WA-3	Waste articles 3	31	72.07	19.25	1.45	0.22	0.49	4.97	1.39	0.12	0.03	0.01
		32	70.11	20.24	1.46	0.37	0.42	5.62	1.60	0.12	0.03	0.03
		33	72.00	19.75	1.32	0.14	0.37	4.78	1.47	0.10	0.03	0.04
		34	75.06	17.42	1.04	0.14	0.28	4.57	1.34	0.09	0.03	0.03
		35	72.96	18.60	1.44	0.28	0.49	4.14	1.93	0.10	0.03	0.03
WA-4	Waste articles 4	36	72.66	18.91	1.74	0.27	0.46	4.71	1.05	0.12	0.04	0.04
		37	73.81	18.29	1.17	0.21	0.36	4.55	1.44	0.10	0.04	0.03
		38	72.78	19.91	1.03	0.16	0.38	4.67	0.92	0.11	0.02	0.02
		39	72.23	19.49	1.40	0.25	0.48	4.91	1.00	0.18	0.04	0.02
		40	72.01	18.89	1.51	0.56	0.58	4.77	1.38	0.21	0.05	0.04
WS	Worked site	41	73.92	18.59	1.27	0.17	0.47	4.54	0.84	0.14	0.03	0.03
		42	74.90	17.59	1.31	0.17	0.35	4.64	0.87	0.11	0.03	0.03
		43	72.28	19.73	1.52	0.21	0.49	4.83	0.69	0.19	0.04	0.02
		44	71.46	20.51	1.59	0.15	0.56	5.02	0.47	0.16	0.04	0.04
		45	73.34	18.14	1.38	0.24	0.52	4.55	1.64	0.12	0.04	0.03
		46	71.20	20.60	1.38	0.18	0.40	5.20	0.86	0.13	0.03	0.02

Table 1. Continued

Designation	Excavated site	Sample NO.	Body compositions (%)									
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
MW	“天地玄黃” marked ware	47	70.29	21.74	1.05	0.21	0.39	5.01	1.18	0.09	0.02	0.02
		48	72.55	20.09	0.95	0.20	0.37	4.63	1.08	0.09	0.02	0.02
C	Celadon (white body, blue glaze)	49	73.30	19.50	0.88	0.18	0.34	4.63	1.06	0.08	0.01	0.02
		50	71.07	20.98	1.84	0.15	0.48	4.50	0.74	0.18	0.02	0.04
		51	73.13	19.20	1.60	0.12	0.44	4.58	0.71	0.16	0.03	0.03
		52	72.50	19.86	1.74	0.13	0.46	4.37	0.71	0.16	0.03	0.04
		53	72.92	19.06	1.68	0.16	0.50	4.60	0.84	0.17	0.03	0.04

토의 전반적인 화학적 특성을 살펴보기 위하여 Table 1의 화학조성을 Seger 식<sup>6</sup>에 의해 각 산화물 성분의 분자수 비를 산출하였다. 태토의 Seger 식에 의한 분자수 비는 중성성분의 분자수를 1로 설정하고, 산성성분과 염기성성분에 대해 분자수 비를 산출하는 것이다. Seger 식으로 산출한 분자수 비를 백자가 출토된 유구에 따라 분류하여 나타낸 태토조성의 분포도는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2(a)의 분포도에서 백자들은 산성성분 5~7 mole, 염기성성분 0.35~0.5 mole 범위에 분포되어 있으며, 백자는 출토된 유구와 관계없이 넓은 범위에 분산되는 태토조성의 특성을 지니고 있다. 출토된 유구에 따라 태토조성을 세부적으로 살펴보면, 백자가 출토된 유구중에서 제조공정의 시설물인 가마에서 출토된 백자는 태토조성이 넓은 범위에 분산되어 일정한 태토로 제조되지 않았음을 알 수 있다. 퇴적 1에서 출토된 백자는 퇴적 1의 층위에 따라 4단계로 구분한 상황과 관계없이 염기성성분의 함량이 적은 범위에 군집되는 특성을 지니고 있다. 이 범위에는 퇴적 1에서 출토된 명문의 백자 및 퇴적 2와 공방터에서 출토된 백자, 그리고 백태청자의 태토가 속해 있다. 그러나 퇴적 3에서 출토된 백자만이 다른 백자와는 약간 다르게 염기성성분 함량이 많은 범위에 분포되어 태토조성에 있어서 염기성성분의 함량이 다름을 알 수 있다. 광주 변천리 백자요지에서 출토된 백자는 태토조성에 있어서 출토된 유구별로 분류되지 않아서 넓은 범위에 걸치는 조성의 태토로 제조된 것임을 알 수 있다.

백자의 색상과 관련되어 태토의 백색도에 가장 많은 영향을 주는 성분은 착색금속 산화물인 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO의 성분이다. Table 2의 화학 조성에서 MnO는 함량이 0.01~0.04%로 매우 미미하여 태토의 백색도<sup>7</sup>에 영향을 줄 정도는 아니다. 따라서 백자의 발색과 관련하여 태토에 함유된 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 TiO<sub>2</sub>의 분포도를 나타낸 것은 Fig. 2(b)와 같다.

이 분포도에서 보는바와 같이 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 TiO<sub>2</sub>의 함량에 따라 일부 유구에서 출토된 백자가 구분되었다. 태토에 함유된 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 TiO<sub>2</sub>에서 가장 두드러진 특징은 퇴적 1에서 출토된 대부분의 백자만이 두 성분의 함량을 매우 적게 함유하고 있다는 것이며, 명문의 백자와 함께 매우 좁은 범위에 군집을 이루고 있어서 다른 유구에서 출토된 백자와는 명확히 구분된다는 것이다. 백태청자는 두 성분의 양이 많은 범위에 군집되어 다른 백자와 판별되고, 퇴적 2, 3, 및 공방에서 출토된 백자는 퇴적 1의 백자와 백태청자 범위의 중간범위에 군집되어 있다. 9호 가마와 퇴적 4에서 출토된 백자의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 TiO<sub>2</sub>는 넓은 범위에 분산되어 이들의 함량변화 폭이 매우 넓은 것을 알 수 있다. 퇴적 1에서 출토된 백자의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 TiO<sub>2</sub> 함량범위에는 명문이 있는 백자와 백태청자 1점이 속하고, 이들 백자는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1% 정도와 TiO<sub>2</sub> 0.1% 미만의 태토로 이루어져 있어서 양호한 백색도를 지닌 도자기이다. 퇴적 1에서 출토된 백자를 제외하면 모든 유구에서 출토된 백자는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.2~1.8%, TiO<sub>2</sub> 0.1~0.2% 정도의 함량을 가지고 있어서 퇴적 1의 백자보다 백색도가 낮은 도자기라고 할 수 있다. 백태청자와 일

**Table 2.** Trace element analysis contents of whiteware boies from kiln site at Beoncheon-ri, Gwangju, Gyunggi-do

NO.	Trace elemental contents (ppm)																				
	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Ni	Sc	Sr	V	Y	Zn	Zr	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Dy	Yb	Pb	Rb
1	303	3	1	5	50	4	3	31	10	12	72	35	28	49	28	5.2	0.4	2.2	0.3	30	362
2	592	4	1	1	27	6	3	52	6	16	59	32	26	39	27	3.9	0.7	2.6	0.8	38	257
3	342	3	2	3	25	5	2	38	7	11	72	34	28	47	28	4.4	0.6	1.8	0.7	38	267
4	477	3	2	2	45	11	3	64	5	23	80	32	57	57	57	7.5	1.1	4.1	1.1	34	412
5	679	4	1	1	29	5	3	68	7	14	52	26	32	37	32	4.2	0.8	2.3	0.7	33	324
6	761	5	0	1	71	4	3	61	1	11	41	38	17	26	18	3.8	0.4	1.9	0.5	31	223
7	540	5	2	2	83	4	2	53	1	8	35	34	15	24	15	2.2	0.4	1.3	0.3	27	218
8	936	5	2	0	88	3	3	64	1	9	34	40	14	22	15	2.7	0.4	1.6	0.4	31	215
9	728	5	2	0	88	4	3	68	1	7	34	31	15	24	15	1.9	0.4	1.1	0.3	22	214
10	623	5	0	5	72	5	3	55	1	8	37	36	17	23	17	2.3	0.3	1.5	0.3	26	227
11	817	4	1	2	71	5	3	56	1	8	38	32	17	27	17	2.4	0.4	1.4	0.3	27	225
12	963	5	1	2	92	4	3	56	0	9	43	39	15	22	16	3.3	0.4	1.5	0.3	35	243
13	704	5	2	2	66	3	2	45	1	8	42	31	15	23	15	2.6	0.3	1.3	0.3	30	236
14	408	5	0	7	41	5	4	41	5	13	72	25	23	40	24	4.1	0.6	2.5	0.5	42	326
15	392	4	1	4	40	4	3	32	3	12	60	40	21	36	22	3.4	0.5	2.1	0.6	38	301
16	760	5	2	0	101	3	3	64	1	10	35	38	17	25	18	2.6	0.3	1.9	0.5	30	221
17	616	5	2	0	101	4	3	54	0	9	32	40	17	27	17	2.2	0.3	1.5	0.4	30	214
18	1759	2	5	6	39	12	3	54	12	11	69	46	24	39	25	3.8	0.5	2.1	0.5	26	317
19	784	4	2	0	81	3	3	53	0	11	35	37	15	27	16	3.0	0.4	1.6	0.4	29	214
20	328	5	2	2	84	4	3	39	0	10	56	30	16	24	17	3.3	0.3	1.6	0.4	35	278
21	771	5	2	0	126	3	3	53	1	10	41	41	15	21	16	2.5	0.3	1.6	0.4	28	249
22	620	6	3	2	74	3	3	55	0	9	35	43	15	23	15	2.3	0.4	1.3	0.4	23	223
23	404	5	2	4	84	3	3	54	0	11	31	39	17	27	17	2.1	0.3	1.4	0.5	24	226
24	731	5	2	4	88	4	3	53	0	9	40	27	16	27	17	3.1	0.4	1.8	0.4	29	235
25	323	4	2	3	64	4	3	30	2	8	67	19	17	27	17	3.5	0.3	1.4	0.2	37	344
26	833	4	1	1	22	5	3	59	4	9	45	26	18	24	18	2.8	0.4	1.4	0.4	30	227
27	804	4	1	3	28	4	2	54	4	13	48	27	21	31	22	3.4	0.6	1.9	0.6	29	239
28	728	3	0	6	25	4	3	33	5	13	70	24	21	28	22	3.6	0.6	2.3	0.7	44	281
29	1046	4	2	3	38	6	2	54	8	9	49	36	21	34	21	2.8	0.5	1.4	0.4	23	238
30	795	3	4	7	26	7	3	36	13	7	41	41	18	35	18	2.7	0.5	1.3	0.3	39	243
31	328	4	1	2	29	5	3	37	6	10	65	34	25	47	25	3.8	0.5	1.5	0.5	26	295
32	465	4	2	2	37	4	3	30	8	14	94	36	29	45	30	5.4	0.4	2.6	0.3	38	433
33	345	4	1	7	35	5	3	38	6	10	88	23	24	40	24	4.7	0.5	1.8	0.3	47	337
34	246	4	2	3	41	4	3	31	3	14	74	20	23	35	24	5.1	0.4	2.3	0.4	23	354
35	240	3	0	5	32	5	3	38	6	13	66	23	24	34	25	4.2	0.4	2.1	0.6	31	311
36	279	4	1	2	43	5	4	55	6	15	106	31	23	40	24	4.9	0.5	2.5	0.5	52	344
37	354	5	9	3	49	4	3	39	4	12	77	27	22	35	23	4.3	0.3	2.1	0.4	47	308
38	1281	3	2	2	63	6	3	62	3	10	33	43	19	33	19	2.7	0.3	1.6	0.5	27	205
39	1088	3	1	1	27	4	3	47	10	9	59	38	21	37	21	3.1	0.5	1.4	0.3	28	266
40	703	3	8	2	29	8	4	46	12	11	65	34	24	41	25	4.4	0.4	2.1	0.3	36	278
41	857	3	1	3	36	8	3	44	10	11	67	40	22	37	22	3.4	0.5	1.7	0.5	30	297
42	434	3	0	2	29	6	2	39	5	9	57	31	20	26	20	2.7	0.5	1.4	0.4	31	272
43	960	3	1	1	25	6	3	36	10	9	53	32	22	36	22	2.7	0.5	1.5	0.4	30	260
44	1140	2	6	4	27	7	3	41	13	10	49	29	28	43	28	3.4	0.5	1.9	0.5	24	272
45	386	3	19	4	45	8	4	39	13	13	121	36	24	38	25	4.9	0.4	2.4	0.5	63	353
46	1141	4	1	0	27	5	3	64	5	10	36	34	20	33	20	2.8	0.5	1.4	0.4	24	242
47	703	6	2	0	84	4	3	54	1	11	50	29	17	24	18	3.4	0.3	1.7	0.4	30	264
48	907	4	0	0	73	5	3	61	1	9	38	46	15	23	15	2.4	0.3	1.4	0.3	29	222
49	770	5	3	2	72	3	2	58	0	8	24	30	16	20	16	2.4	0.3	1.4	0.4	13	219
50	678	2	8	4	26	8	4	36	12	13	56	32	25	41	26	4.1	0.6	2.2	0.6	28	286
51	974	3	4	3	29	7	3	40	9	9	36	29	23	39	23	3.3	0.5	1.6	0.4	22	232
52	629	2	7	4	30	8	4	34	11	13	62	34	25	39	26	4.1	0.6	2.2	0.5	40	284
53	857	2	3	4	29	7	3	53	9	14	56	29	29	38	29	3.6	0.7	2.2	0.7	38	244

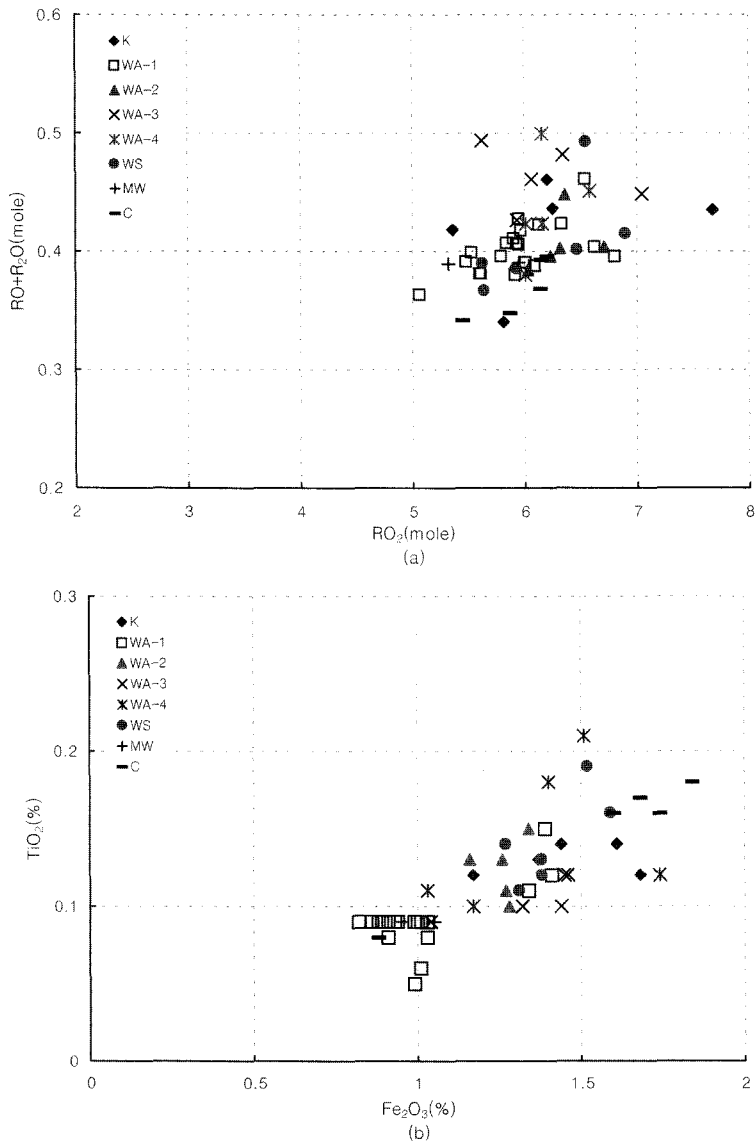


Fig. 2. Distribution of body composition of whiteware from kiln site at Beoncheon-ri, Gwangju, Gyeonggi-do.

부 유구에서 출토된 백자는  $Fe_2O_3$  1.6~1.84%,  $TiO_2$  0.16~0.18%를 함유하고 있어서 다른 백자보다 화학적으로 가장 낮은 백색도의 속성을 지니고 있다.

### 3.2. 태토의 미량원소

광주 번천리의 조선시대 백자요지에서는 가마를 비롯하여 백자의 생산과 관련된 공방터, 폐기물 퇴적 등의 유구가 확인되었으며, 이들 유

구에서 출토된 백자는 동일한 요지에서 제조된 것이라 할 수 있다. 이러한 조건하에 백자가 동일한 생산지에서 광물학적으로 유사한 특성의 원료를 사용하여 제조되었다면, 동일한 요지에서 출토된 백자는 태토에 함유된 미량원소 특성에 있어서 유사할 것이다. 그러나 동일한 요지에서 출토된 백자의 태토에 함유된 미량원소의 특성이 각각 다르다면, 백자의 제조에 있어서 태토조성의 변화가 있었거나 태토의 제조에 광물

**Table 3.** Chemical analysis of glazes of whiteware sherds from kiln site at Beoncheon-ri, Gwangju, Gyunggi-do

NO.	Glaze compositions (%)									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
1	62.59	13.57	1.21	11.56	1.08	5.69	1.33	0.22	2.75	0.00
3	60.22	14.07	1.64	12.93	1.72	4.78	1.89	0.32	1.92	0.53
5	58.09	13.41	1.44	12.04	1.07	9.43	2.11	0.00	2.05	0.37
6	56.75	15.50	1.05	14.83	2.18	5.23	1.78	0.00	2.68	0.00
7	57.21	14.41	1.71	16.24	2.08	4.94	1.67	0.00	1.72	0.00
10	59.05	15.36	0.98	10.40	2.01	7.22	1.92	0.38	2.68	0.00
11	56.50	14.39	0.83	16.65	1.67	5.63	1.73	0.39	2.99	0.21
12	60.02	15.11	1.34	12.57	1.76	4.44	1.53	0.00	2.91	0.32
13	58.98	15.59	0.96	9.18	1.64	8.04	2.14	0.14	3.12	0.22
14	56.04	17.00	0.88	14.77	1.56	4.90	1.34	0.29	2.97	0.27
16	60.84	14.54	1.41	9.25	1.84	6.56	1.93	0.46	3.17	0.00
17	59.41	15.58	1.20	12.55	1.95	4.86	1.69	0.00	2.76	0.00
21	59.92	16.71	1.41	10.04	1.98	5.10	1.61	0.38	2.60	0.26
24	52.97	13.70	1.70	18.79	2.18	6.21	1.65	0.19	2.32	0.28
25	53.59	13.87	1.18	18.43	1.40	6.99	1.45	0.20	2.53	0.35
26	50.66	13.61	2.36	22.18	1.36	5.50	1.16	0.41	2.53	0.22
27	49.65	12.49	2.50	22.49	1.66	7.10	1.03	0.18	2.36	0.52
28	54.73	14.58	2.96	14.69	1.90	6.62	1.72	0.42	2.39	0.00
29	55.35	13.99	1.91	13.06	4.42	6.88	1.57	0.11	2.50	0.22
31	53.63	13.63	1.54	19.65	0.91	6.82	1.42	0.39	2.02	0.00
33	54.84	13.00	2.15	17.07	1.18	7.88	1.39	0.38	1.79	0.33
36	52.59	13.84	2.41	21.10	1.59	5.26	1.42	0.00	1.50	0.29
37	57.85	12.91	2.89	13.38	1.62	6.78	1.54	0.34	2.34	0.35
39	54.19	14.00	2.13	18.21	1.43	6.83	1.09	0.21	1.91	0.00
41	54.83	14.64	2.72	15.36	1.54	7.12	1.38	0.13	2.13	0.15
42	55.46	13.34	2.57	14.64	1.44	8.19	1.14	0.33	2.25	0.64
43	55.91	13.25	1.91	13.67	2.26	8.32	1.18	0.35	2.26	0.90
45	54.49	14.38	1.66	17.25	1.84	4.79	2.04	0.17	3.25	0.13
47	58.73	13.95	1.00	13.53	2.05	6.38	1.64	0.10	2.55	0.08
48	56.09	15.23	1.27	14.64	1.71	5.69	1.70	0.22	3.44	0.00
49	54.82	13.24	2.25	16.38	2.43	6.48	1.63	0.13	3.25	0.38
50	55.34	12.94	2.26	15.27	2.00	6.59	1.79	0.21	4.07	0.53
52	54.73	12.83	2.08	16.40	2.06	6.36	1.75	0.15	4.10	0.55
53	57.44	13.59	2.25	12.61	2.44	7.33	1.35	0.00	3.46	0.52

학적 특성이 서로 다른 원료가 사용되었을 것이다. 태토에 함유된 미량원소는 백자의 제조에 사용된 원료의 광물학적 상황<sup>8</sup>을 반영하므로 동일한 번천리 백자요지의 다양한 유구에서 출토된 백자의 상호관계를 살펴볼 수 있을 것이다. 이러한 백자의 특성과 출토유구에 따른 태토의 광물학적 특성을 살펴보기 위하여 태토에 함유된 미량원소를 검출하였다.

분석대상인 백자의 태토에 함유된 미량원소를

검출한 결과는 Table 3과 같다. 광물학적으로 미량원소인 Sr은 사장석, Rb은 정장석에 농집<sup>9</sup>어 있으므로 백자의 태토에 함유된 K<sub>2</sub>O와 Rb, CaO와 Sr 성분의 함량관계를 출토된 유구에 따라 살펴해보았다. 그리고 미량원소는 어떤 주성분원소와 비례관계를 갖는가에 대해서 조사해보면, 미량원소가 존재한 광물을 추정해볼 수 있을 것이다. 원소의 주기율표상의 위치와 그 이온반경의 유사성으로 미량원소 Rb, Sr은 각각 주성분원소



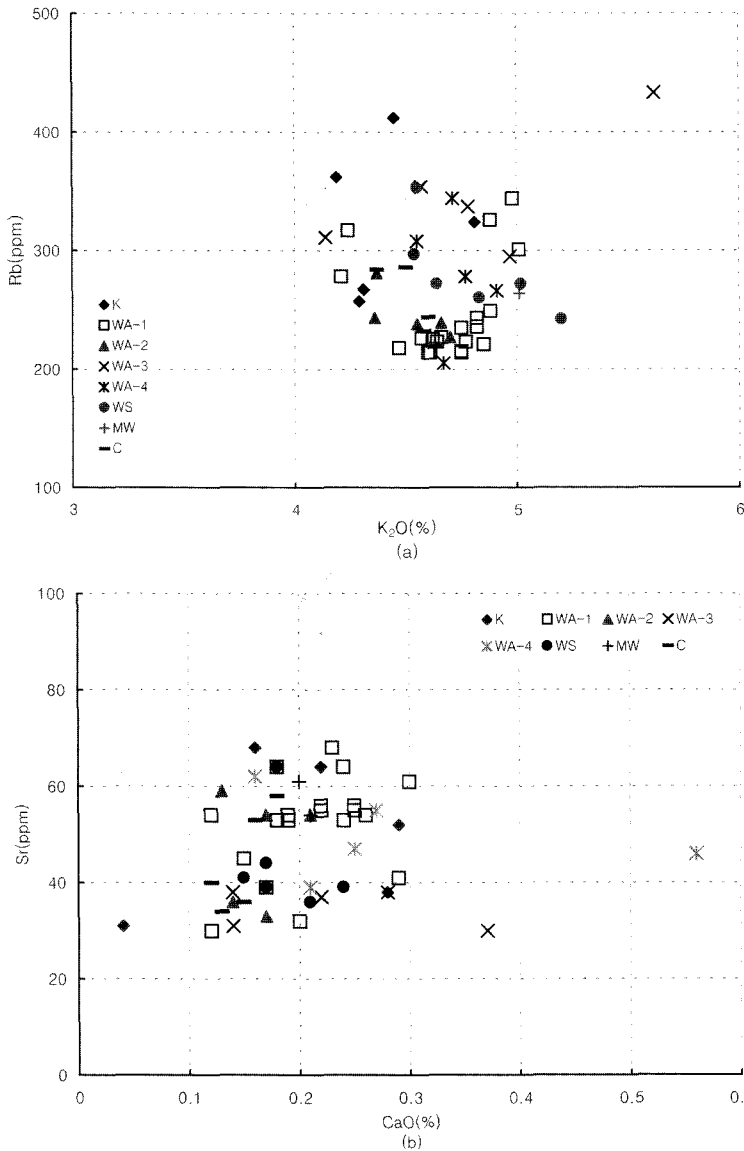


Fig. 3. Distribution of body composition of whiteware from kiln site at Beoncheon-ri, Gwangju, Gyunggi-do.

K, Ca와 비례관계를 갖는 것으로 예상된다.<sup>10</sup> K<sub>2</sub>O와 Rb의 함량분포를 나타낸 Fig. 3(a)에서 번천리 백자요지의 백자들은 두 성분함량에 있어서 비례관계를 나타내지 않고, K<sub>2</sub>O 4.2~5.2%와 Rb 200~400 ppm의 범위에 군집을 이루고 있다. 여기에서도 퇴적 1에서 출토된 백자는 K<sub>2</sub>O의 성분이 다른 백자와 유사하지만, Rb 원소가 적은 200~250 ppm 범위에 군집을 이루어 구분되는

특성을 보이고 있다. 가마 내에서 출토된 백자를 비롯하여 다른 유구에서 출토된 백자들은 출토된 유구에 관계없이 분산된 상태를 나타내고 있다.

CaO와 Sr 성분의 함량분포를 나타낸 Fig. 3(b)에서 백자들은 CaO와 Sr 성분함량에 있어서 K<sub>2</sub>O와 Rb의 분포도와 같이 비례관계를 나타내지 않고 있다. 이는 광물학적으로 확인된 사실

과 일치하지 않은 것이며, 위에서 기술한 주성분 원소와 미량원소와의 관련된 근거에 의해 변천리 백자요지 출토 백자의 태토에 함유된 CaO와 K<sub>2</sub>O성분에 대한 Sr과 Rb 원소의 거동은 장식광물이 아닌 다른 광물에서 나타나는 현상으로 보인다. 이러한 내용은 강원도 양구 방산지역에서 출토된 백자의 태토에 견운모질 도석이 사용되어 광물학적으로 확인된 사실과 일치하지

않은 내용<sup>11</sup>이 확인된 바 있다. 따라서 광주 변천리 백자요지에서 출토된 백자는 태토에 함유된 K<sub>2</sub>O와 CaO 성분과 관련하여 장식광물이 아닌 다른 원료를 사용하여 제조되었을 것이다. 이 분포도에서도 모든 백자들은 출토된 유구에 관계없이 CaO 0.1~0.3%, Sr 30~70 ppm의 매우 일정한 범위에 분산되어 있으며, 이러한 점은 태토에 사용된 원료의 특성에 기인한 것이다.

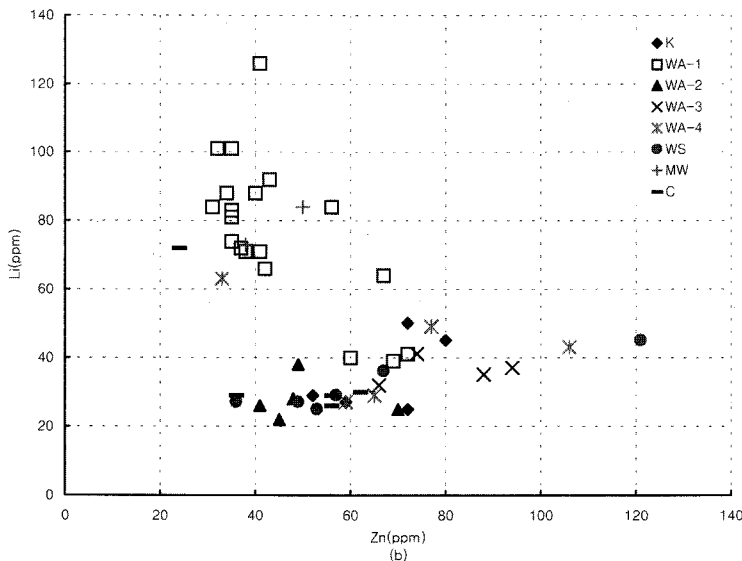
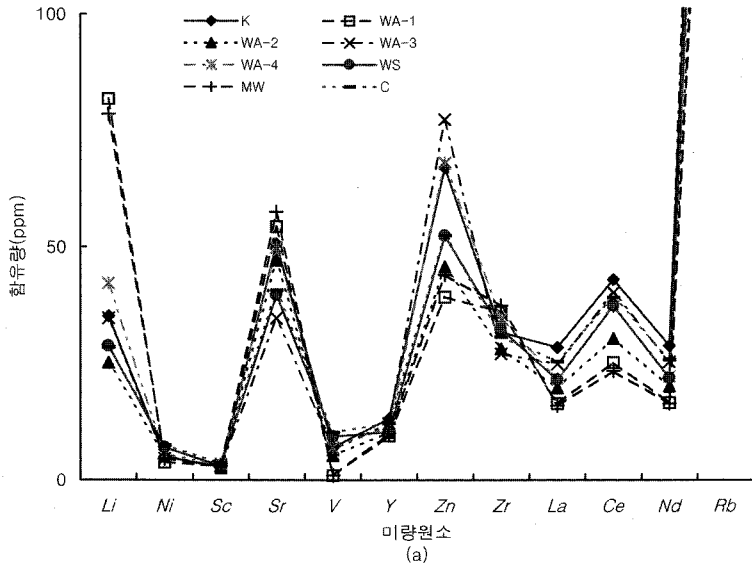


Fig. 4. Distribution of trace elemental concentration of whiteware from kiln site at Beoncheon-ri, Gwangju, Gyunggi-do.

위의 분포도들을 살펴보면 출토된 유구별로 분류하여 표기한 백자들은 Sr과 Rb 원소함량에 있어서 크게 2그룹으로 나뉘어진다. 퇴적 1의 백자 14점과 명문의 백자는 Sr 53~68 ppm, Rb 210~260 ppm 범위에 군집되어 있으며, 퇴적 3 및 공방터에서 출토된 백자는 Sr 30~47 ppm, Rb 240~370 ppm 범위에 분산되어 구분되는 특성을 지니고 있다. 가마를 비롯하여 일부 유구에서 출토된 백자들은 두 원소의 함량범위가 매우 넓어서 분산된 상태이다. 백자의 태토에 함유된 Sr과 Rb의 미량원소 함량은 일부 백자가 출토된 유구에 따라 차이가 있으며, 변천리 백자요지에서 출토된 백자는 부분적으로 태토에 함유된 미량원소의 특성에 차이가 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 변천리 백자요지에서 출토된 백자는 출토된 유구에 따라 부분적으로 태토의 특성에 차이가 있음을 확인할 수 있다. 이러한 내용을 토대로 변천리 백자요지에서 출토된 백자의 태토에 함유된 21종류의 미량원소 특성을 살펴볼 필요가 있었다. 분석대상인 백자를 출토된 유구에 따라 구분하고, 출토된 유구를 기준으로 태토에 함유된 미량원소 함량의 평균치, 표준편차, 변동계수를 산출하였다. 변천리 백자요지의 가마를 비롯하여 관련된 유구를 기준으로 태토의 표준편차와 변동계수가 적은 미량원소는 12개 원소였으며, 이들 미량원소 평균치에 대한 분포도는 Fig. 4(a)와 같다. 이 분포도에서 백자가 출토된 유구에 따라 각 미량원소의 평균치는 서로 다르거나 유사한 특성을 보이고 있다. 태토의 미량원소 평균치에 대한 분포도에서 가장 두드러진 특징은 퇴적 1과 명문의 백자는 다른 유구에서 출토된 백자와는 다르게 Li 원소의 함량에 명확히 차이가 있다는 것이다. 그리고 퇴적 1을 제외한 다른 유구에서 출토된 백자들은 Li 원소의 함량이 유사하며, 이 범위에 퇴적 1에서 출토된 백태청차가 속해 있다.

백자의 태토에 대한 미량원소 평균치에 있어서 Li, Sr, Zn, La, Ce의 원소는 백자가 출토된 유구에 따라 그 함량이 다르기 때문에 이들 미량원소의 함량분포를 명확히 살펴볼 필요가 있었다. 미량원소 중에서 백자가 출토된 유구에 따라 함량변화의 폭이 비교적 커다란 Li과 Zn의

미량원소 분포도는 Fig. 4(b)와 같다. 이 미량원소의 분포도에서 원소의 함량에 따라 백자는 2 그룹으로 나뉘어져 구분되는 현상을 보이고 있다. 미량원소 Li의 함량이 많은 범위에는 퇴적 1에서 출토된 대부분의 백자들이 군집을 이루고 있으며, 이 군집의 범위에는 명문의 백자도 포함되어 있다. 미량원소 Li의 함량이 적고, Zn의 함량 폭이 넓은 범위에는 퇴적 1에서 출토된 백자를 제외한 다른 모든 유구에서 출토된 백자들이 분산된 상태이다. 백자가 출토된 유구에 따른 La와 Ce의 미량원소 함량특성도 Fig. 4(b)의 분포도와 같이 거의 동일한 양상을 보이고 있다. 퇴적 1에서 출토된 백자와 명문의 백자는 La과 Ce의 함량이 모두 적은 범위에 군집을 이루고 있으며, 이들 백자보다 La과 Ce의 함량이 많은 범위에는 나머지 유구에서 출토된 백자들이 모두 분산되어 있다. 이들 미량원소의 특성에 있어서 퇴적 1에서 출토된 백태청차는 1점을 제외하고 나머지 4점이 퇴적 1의 백자와 관련이 없음을 확인할 수 있었다.

백자의 태토에 함유된 화학조성과 미량원소의 특성으로 광주 변천리 백자요지의 발굴조사로 확인된 출토유구 및 각 유구에서 출토된 백자의 특성 및 상호관계를 살펴보았다. 가마에서 출토된 백자와 퇴적 2, 3, 4, 공방터에서 출토된 백자는 유사한 조성을 갖는 태토에 의해 제작되었으며, 광물학적 특성도 유사한 원료를 사용하였음을 확인할 수 있었다. 백자의 태토조성 및 미량원소의 모든 특성에 있어서 퇴적 1에서 출토된 백자는 변천리 백자요지의 다른 유구에서 출토된 백자와는 전혀 다르다. 이 퇴적 1에서 출토된 백자는 태토의 광물학적 특성이 명확히 다르며, 태토의 제조에 사용된 원료도 차이가 있다. 광주 변천리 백자요지에 있어서 가마와 관련된 유구는 퇴적 2, 3, 4와 공방터 1, 2, 4이며, 이들 유구에서 출토된 백자는 동일한 생산지에서 제조된 것이다. 퇴적 1은 가마 및 백자가 출토된 유구와 완전히 다른 백자가 퇴적된 유구임을 확인하였으며, 변천리 백자요지의 범위에 위치하고 있지만 다른 생산지에서 제조된 백자의 폐기물 퇴적이다. 발굴조사에 의해 퇴적 1의 유구에서는 전체적으로 발굴지의 다른 유구와는 성격을

달리하는 유물이 출토되었다는 사실이 백자의 과학적인 분석에 의해서도 확인되었다. 동일한 퇴적 1에서 출토된 「天地玄黃」의 명문이 있는 백자는 퇴적 1과 관련이 있지만, 백태청자는 퇴적 1이 아닌 다른 유구의 백자와 같은 계통의 원료로 제조되었음을 알 수 있다.

### 3.3. 유약의 조성

백자의 유약에 대한 화학조성을 9종류의 산화

염으로 표시하면, Table 4와 같다. 백자의 유약에 대해서는 유약의 화학적인 성분의 특성을 검토하고, 유약조성의 산출과 더불어 매용제 성분의 특성에 따라 유약을 분류하고자 하였다. 백자의 유약은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  이외에 주요 매용제 성분인  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ 로 이루어져 있으며, 백자에 따라 유약성분의 함량은 부분적으로 차이가 있다. 백자의 유약은 용제성분 중에서  $\text{CaO}$ 의 함량이 가장 많으며, 유약의 색상과 관련된  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 는 백

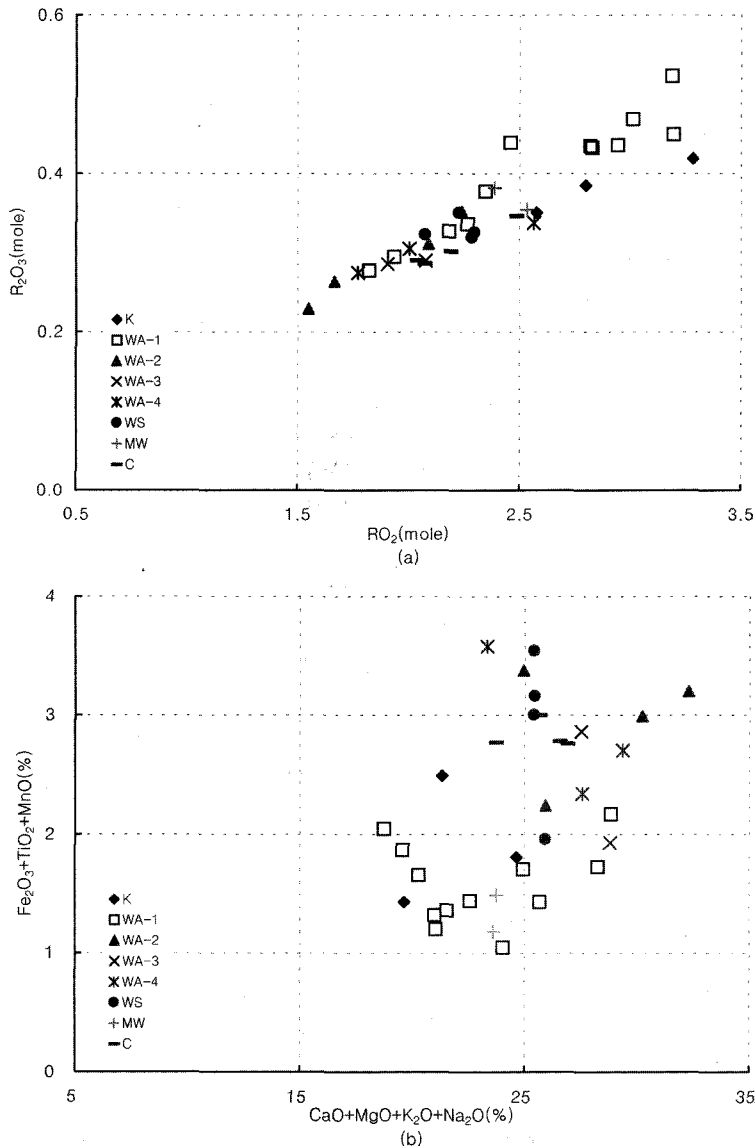


Fig. 5. Distribution of glaze composition of whiteware from kiln site at Beoncheon-ri, Gwangju Gyunggi-do.

자에 따라 부분적으로 그 함량이 다르다.

백자에 대한 유약의 조성을 세부적으로 살펴 보기 위하여 유약의 화학조성에 대해 Seger 식을 적용하고, 유약을 구성하고 있는 각 산화물의 분자수 비를 산출하였다. 유약에 있어서 염기성 성분의 분자수(mole)비 합을 1로 설정하고, 산성 성분과 중성 성분의 분자수 비에 대한 유약의 조성을 백자가 출토된 유구별로 구분하여 나타낸 분포도는 Fig. 5(a)와 같다. 백자의 유약은 산성 성분 1.5~3.3 mole, 중성 성분 0.22~0.52 mole 범위에 걸쳐 분포되어 있으며, 백자는 두 성분에 대하여 비례관계를 나타내고 있다. 이러한 관계는 유약의 용융성과 관련된 매용제 성분의 함량이 유약에 따라 다르며, 백자에 따라 유약조성이 일정하지 않음을 의미<sup>12</sup>한다. 전반적으로 백자의 유약은 산성과 중성 성분의 함량변화 폭이 넓어서 이들 성분의 양이 많고 적음에 따라 유약의 용융성에 차이가 있다.

백자에 있어서 유약의 용융성에 직접적으로 영향을 주는 염기성 성분의 특성과 유약의 색상에 영향을 주는 착색금속 산화물의 함량상태를 살펴보기 위한 성분의 분포도는 Fig. 5(b)와 같다. 백자의 유약에는 염기성 성분 19~32%와 착색금속 산화물 1~3.6% 정도가 함유되어 있으며, 이들 성분에 대한 백자들의 분포상태와 같이 유약의 조성범위가 넓다. 퇴적 1에서 출토된 백자는 착색금속 산화물의 함량이 2% 미만이고, 염기성 성분이 적은 범위에 분포하고 있다. 나머지 다른 모든 유구에서 출토된 백자는 유약에 2% 이상의 착색금속 산화물과 염기성 성분이 많은 범위에 분산되어 있으며, 이 범위에 백태청자도 군집되어 퇴적 1의 백자와 다소 구분이 가능하였다. 이들 성분에 의해 백자가 구분되는 것은 유약의 녹는 온도와 색상에 차이가 있는 유약이 각각 사용되었음을 의미한다. 퇴적 1에서 출토된 백자는 다른 유구에서 출토된 백자보다 유약의 용융온도가 높으며, 백색도가 양호한 유약이 사용되었음을 알 수 있다. 이와 같이 백자의 유약에 있어서 색상과 관련된 유약조성의 특성은 태토조성에서 확인된 내용과 일치하고 있으며, 명문의 백자도 퇴적 1에서 출토된 백자의 특성과 유사하다.

번천리 백자요지에서 출토된 백자의 유약에 가장 많이 함유된 염기성 성분은 CaO 9~22%, K<sub>2</sub>O 4.4~9.4% 정도이며, 이들 염기성 성분으로 유약의 매용제 특성을 살펴보았다. 유약에 함유된 매용제의 특성에 따라 백자의 유약은 라임계열의 유약과 알칼리-라임계열의 유약으로 분류되었다. 퇴적 1에서 출토된 백자는 유약의 CaO와 K<sub>2</sub>O 성분이 일정하지 않아 분산된 상태이며, 유약도 라임계열과 알칼리-라임계열이 함께 사용되었음<sup>13</sup>을 알 수 있다.

#### 4. 결론

광주 번천리 백자요지는 비교적 상품의 백자를 생산하였던 곳으로 학술조사를 통해 확인되었으며, 조선시대 관요에서 생산되었던 백자의 특성을 대표적으로 살펴볼 수 있는 곳이다. 조선시대 광주 번천리 백자의 기술적인 특성을 살펴보기 위하여 자연과학적인 방법으로 분석하였다.

백자는 출토된 유구에 관계없이 광물학적으로 유사한 태토를 가지고 있으며, 넓은 범위의 태토조성으로 태토제조에 있어서는 장식과 유사한 역할을 하는 다른 원료가 사용되었음을 확인하였다. 가마와 관련된 모든 유구에서 출토된 백자는 광물학적으로 같은 계통의 원료와 유사한 조성의 태토를 사용하여 제조되었다. 단, 백자요지에 있어서 퇴적 1은 가마와 관련된 다른 모든 유구와 관계가 없음이 확인되었다. 전체적으로 발굴지의 다른 유구와는 성격을 달리하는 유물이 폐기물 퇴적 1에서 출토되었다는 발굴조사의 결과는 백자의 과학적인 분석결과에 의해서 입증되었다.

백자에는 유약성분의 특성상 라임계열과 알칼리-라임계열의 유약이 사용되었다. 백자에 따라서는 유약의 녹는 온도와 색상에 차이가 있으며, 전반적으로 유약조성의 범위가 넓다. 백자가 출토된 유구별로 유약조성의 차이는 구분되지 않았지만, 특징적으로 퇴적 1에서 출토된 백자에는 높은 용융온도와 양호한 백색도의 화학적인 특성을 지닌 유약이 제조되어 사용되었다.

## 사의

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2000-043-E00001).

## 참고문헌

1. 국립중앙박물관·경기도박물관, “경기도광주중앙관요”, 2000.
2. 나선화, “발굴에 의한 요업기술의 확인과 그 의의”, 도자사 연구방법으로서의 발굴, 이화여자대학교 박물관, 34 (2001).
3. 이화여자대학교 박물관, 번천리 9호 조선백자 도요지 확장시굴조사, 현장설명회 회의자료, 1998.
4. 일본점토학회, 점토핸드북, 기보당, 531-534 (1980).
5. H. Yoshiki, 광물공학, 기보당, 421-431 (1958).
6. Shiraki Yoichi, 공업용도자기, 기보당, 195-204 (1969).
7. Prudence M. Rice, Pottery Analysis, The University of Chicago Press (1987).
8. S. Kawashima, T. Kaminishi, and M. Itoh, “중성자 방사화분석에 의한 헤나 및 다치전지구 고요출 품의 분별”, 고고학과 자연과학, No. 18, 39-49 (1989).
9. 신상훈, “전남 서남부지역의 백악기 화산활동에 수반된 납석, 고릉석, 명반석 광상에 대한 광물 및 지구과학적 연구”, 전남대학교 박사학위논문, 98, (1990).
10. M. Syouji, W. Tesuio 고고학과 연대측정학·지구과학, 동성사, 294-296 (1999).
11. 강경인, “양구 방산지역 백자 및 원료조성에 대한 고찰”, 양구 방산의 도요지, 이화여자대학교 박물관, 223-230 (2001).
12. Pamela Vandiver, Jennifer Hopper, “Scientific Analysis on the Korean Porcelain from Kwangju Official Kiln Sites”, 경기도광주중앙관요, 345-349 (2000).
13. 방병선, 조선후기 백자 연구, 일지사, 218-222 (2000).