

광주 충효동 분청과 백자의 과학기술적 연구 (I). 성분분석을 중심으로

李英恩 · 高慶信*

중앙대학교 자연과학대학 화학과
(1998. 1. 3 접수)

Scientific Study of Punch'ong and Whiteware from Ch'unghyodong, Kwangju (I). Analysis of Chemical Composition

Young Eun Lee and Kyongshin Koh*

Department of Chemistry, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea
(Received January 3, 1998)

요 약. 15세기 초부터 약 70~80년간 활동한 광주 충효동 가마터에서 출토된 분청과 백자 60여점을 위치와 층위에 따라 8그룹으로 나누어 성분을 분석하였다. 태토의 경우 XRF로 주성분을, 그리고 ICP-MS로 미량 성분을 분석하였으며, 유약은 EPMA를 사용하여 주성분을 분석하였다. SPSS 프로그램을 이용한 주성분분석법으로 성분분석 결과를 통계분석한 결과, 위치와 층위별로 뚜렷한 차이를 보였는데, 초기에 만들어진 CHE₂의 최상급의 분청태토는 Al₂O₃함량이 높고, Fe₂O₃, TiO₂가 낮았으며, 시기가 늦어질수록 질이 떨어져 Al₂O₃는 낮고, Fe₂O₃, TiO₂, CaO등이 높았다. 백자의 태토는 연질백자나 경질백자 모두 시기에 관계없이 30% 이상의 높은 Al₂O₃함량을 나타내었다. 분청유약은 라임계열이고, 백자유약은 알칼리라임계열이었다. 분청 20편에 대한 미량성분 조사에서는 1호가마에서 생산된 CHE₂와 2호가마에서 생산된 CHW3-L이 같은 흙을 가지고 만들었을 것으로 추정되어 이 두 가마가 거의 동시에 운영되었음을 추정할 수 있었다.

ABSTRACT. Punch'ong and whiteware sherds excavated from four kilns located in Ch'unghyodong, Kwangju, Ch'ollanamdo were analyzed for their body and glaze composition. They are classified into eight different groups by the site and layer from which they were collected. In principal component analysis of major composition, the punch'ong body separates out into several different groups. CHE₂, made in early fifteenth century, has a higher aluminum and lower iron content compared to the later groups of lower grade. Whiteware body has a very high aluminum content of around 30 wt.% in both soft type and hard type. Punch'ong glaze was determined to be lime type and whiteware alkali-lime type.

서 론

최근들어 국내에서도 전통도자기에 대한 관심이 늘어나면서 이에 대한 미술사적인 접근방법과 함께 과학적인 분석을 시도하는 연구가 활발해지고 있다.¹⁻³ 도자기에 대한 과학적 이해를 위한 분석연구는 유럽으로 수입된 중국경질자기를 개발하려는 노력에서 이미 15세기 베네치아의 기록에서부터 찾아볼 수 있다. 200여년 후 1708년 독일 마이슨에서 중국과 한국전통의 경질자기를 성공적으로 개발하는데는 철저한 성분분석에 기초한 재료개발이 일차적으로 요구되었었다.⁴ 과학자들과 사업가들의 공동 노력으로 유

럽, 특히 영국은 중국도자기의 기술을 마침내 훨씬 능가할 수 있었고, 그 이후로도 과학기술적 분석연구는 학문적 관심으로까지 계속되었다. 1930년대와 1940년대에는 청화백자와 진사유약등에 대한 성분분석 연구가 주로 영국에서 이루어졌으며,⁵⁻⁷ 1950년대에는 마침내 중국내에서도 주인(周仁)과 이가치(李家治)에 의하여 시작되었고,⁸ 1980년대에는 미국의 재료공학자 킹거리(Kingery)와 밴디버(Vandiver)에 의하여 태토와 유약에 대한 성분과 미세구조 연구가 활발하게 이루어졌다.^{9,10}

현재까지 한국도자기에 대하여 국내외에서 이루

어진 과학기술적 연구는 주로 고려청자에 집중되었다.^{11,12} 이 논문에서는 고려청자와 조선백자 사이에 200여년간 전국에서 생산되어 애용되었던 분청사기를 중점적으로 분석하고, 분청과 같은 가마터에서 생산되었던 백자도편들을 분석하였다. 광주 충효동의 체계적인 발굴에서 수집된 위치와 층위가 분명하여 시기적 선후가 비교적 확실한 도편들에 대하여 태토의 주성분과 미량성분을 분석하고 유약의 주성분을 분석하여, 성분과 가지적인 특징의 관계를 검토하고 충효동 가마터의 지역적인 특징과 시대에 따른 기술적인 변화양상을 이해하고자 하였다. 또한 주성분분석법을 이용하여 성분결과를 통계처리하여 시기와 종류에 따른 성분분석의 변화를 관찰하므로써 분청과 백자의 생성기술관계를 살피고자 하였다.

실 험

시 료. 본 연구에서 분석한 60여점의 분청과 백자 도편들은 광주 충효동 무등산일대에 위치한 가마터 중 주로 금곡마을에서 출토된 것이다. 이곳은 『세

종실록』 「지리지」¹³와 『신증동국여지승람』¹⁴에 자기 소로 기록되어 있으며 전라도지역 분청의 특징을 보여주는 대표적인 곳으로 사적 제 141호로 지정되었다. 1961년에 처음 위치가 알려진 이후 1963년에 국립중앙박물관에서 조사한 바 있으나,¹⁵ 체계적인 발굴조사는 국립광주박물관에 의하여 1991년 두차례에 걸쳐 이루어졌다.¹⁶ 충효동의 금곡마을을 중심으로 한 발굴조사에서 생산활동 시기는 1430년을 전후한 시기부터 약 70년~80년간으로 추정되었으며, 모두 4기의 가마가 발견되었고, 특히 상대적인 시기의 선후가 명확한 높이 3미터에 이르는 퇴적층이 발견되어 분청사기의 변화, 쇠퇴과정과 백자의 시작과 변화과정을 관찰할 수 있었다.

다음 Table 1은 도편들의 출토위치와 제작시기, 그리고 특징을 간략하게 정리한 것이다. 1991년 국립광주박물관에 의한 발굴은 5미터간격으로 구획을 정하여 위치에 따라 동서로는 E2, E1, W1, W2, W3로, 남북으로는 S2, S1, N1, N2, N3로 나누었다. 따라서 분석도편은 발굴위치에 따라 그룹을 정하였다. 특히 W2의 퇴적층은 모두 9층으로 구분되는데, 제일 아

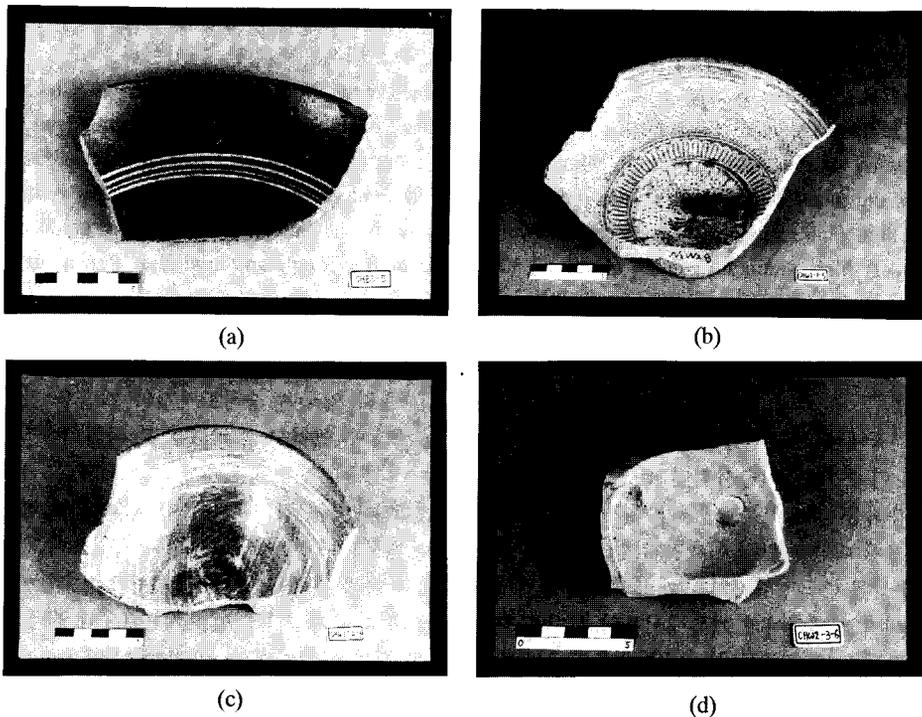


Fig. 1. Pictures of the sherds analyzed in this study. (a) 453, inlaid (b) 468, stamped design (c) 488, BWS (d) 483, whiteware

Table 1. Number of analyzed sherds, date, kiln number and features for each group of the analyzed sherds

Group	Number of sherds	Date	Kiln number	Features
	Punch-ong Whiteware			
<i>Sherds excavated by the National Kwangju Museum</i>				
CHBS	6	before 1420		excavated from Bōsongol. dark gray body. dark green glaze. inlay and stamped design which is similar to characteristics of later Koryōceladon.
CHE2	6	1424-1431	1	from E2. the first products made in Kūmgok. the best quality punch-ong. very fine, dense and light gray body. light gray-blue glaze. closely stamped design in inside. all samples fired in sagger.
CHW3-L	6	around 1457	2	lower layer of W3. darker and less fine body and glaze than that of CHE2. sparsely stamped design. fired piled up.
CHW2-8	7 3	around 1457	4	the second layer from the bottom in W2. mostly stamped design punch-ong of gray body and gray-green glaze. the first appearance of softpaste whiteware, all fired in sagger. whiteware sherds calculated to be 4.2% of the total.
CHW2-6	7 1	1451-1477	4	the 6th layer from the top in W2. coarse body with sand grains. green-brown cloudy glaze. stamped design. more casual production for use by wider group. some wares with Chinese characters. whiteware sherds estimated to be 15% of the total.
CHW2-3	6 3	1477-1483	4	the 3rd layer from the top in W2. both body and glaze rougher and coarser. seemed to be the last stage in production of punch-ong of stamped design. whiteware estimated to be 15% of the total production. appearance of high quality hardpaste whiteware.
CHW2-2	5 4	1490-1510	3	the 2nd layer from the top in W2. punch-ong with brushed whiteslip and transparent glaze. thin wall and softer body. high quality hardpaste whiteware estimated to be 37% of the total production.
CHW3-H	3			upper layer in W3. sherds mostly whitewares.
CH-S	(3)			sagger sherds. one each from CHE2, CHW2-8, and CHW2-6.
<i>Sherds excavated by the National Museum of Korea</i>				
CHH	2 4			the date of the sherds not well known. from the decoration design the punch-ong pieces estimated to be from the early stage. whiteware consisted of 2 softpaste type and 2 hardpaste type.

래층에서 두번째층(CHW2-8)을 포함한 대표적인 특징을 보여주는 4개층을 선택하였으며, 금곡마을보다 시기가 약간 앞선 것으로 추정되는 금곡마을에서 서쪽으로 약 2 km 떨어진 곳에 위치한 버성굴에서 수습한 도편(CHBS)을 함께 분석하였다. 분석도편들은 1991년 국립광주박물관에서 발굴한 분청 43점(초벌 13, 유약을 바른 재벌구이 22, 유약을 바르지 않은 재벌구이 8), 백자 14점(초벌 1, 연질백자 3, 경질백자 10)외에 갑발(고급자기를 넣고 굽는 용기) 3점과 1963년 국립중앙박물관에서 수습한 도편 6점(백자

4, 유약을 바른 재벌분청 1, 유약을 바르지 않은 재벌분청 1)이다. 국립중앙박물관의 도편들은 위치와 시기가 정확히 알려지지 않은 것들이다. 대표적 종류들의 도편사진을 Fig. 1에 나타내었다.

분석방법. 태토의 주성분 10원소 산화물의 성분은 X-선 형광분석기(XRF, PW1480 X-ray Fluorescence Sequential Spectrometer, Philips Inc.)를 이용하여 40 kV, 30 mA 조건으로 분석하였다. 전처리과정은 태토에서 유약을 제거하여 태토만을 200 mesh 이하의 가루로 만들고, 100°C에서 충분히 말려 습기

Table 2(a). Body characteristics and compositions of Ch'unghyodong Punch'ong

Sample Number	Texture ^a	Decorat-ion ^a	Color ^a	Oxide concentration (wt.%) ^b											L.O.I. ^d	Total
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^c	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅			
CHBS																
449b ^e	MF	stamped	BN-BE	66.23 (68.85)	19.35 (20.12)	4.20 (4.37)	1.07 (1.11)	0.98 (1.02)	0.84 (0.87)	2.40 (2.49)	0.92 (0.96)	0.04 (0.04)	0.08 (0.08)	3.80	99.91	
450b	F	inlaid	BE-BN	66.92 (68.03)	21.11 (21.46)	3.93 (4.00)	1.10 (1.12)	0.83 (0.84)	0.88 (0.89)	2.57 (2.61)	0.93 (0.95)	0.03 (0.03)	0.06 (0.06)	1.63	99.99	
451	F	stamped	GY	69.43	19.58	3.86	1.10	0.81	0.71	2.65	1.00	0.03	0.07	0.46	99.70	
452	MF	stamped	BN-GY	68.49	20.32	4.04	1.12	0.97	0.92	2.69	0.97	0.03	0.06	0.21	99.82	
453	F	inlaid	GY	69.20	20.10	4.21	1.19	0.82	0.84	2.55	0.95	0.03	0.06	0.01	99.96	
454	F	ND	BE-GY	67.72	20.42	3.62	0.98	0.65	1.31	2.60	0.82	0.03	0.05	1.31	99.51	
<i>Average</i>				68.62	20.33	4.02	1.10	0.85	0.92	2.60	0.94	0.03	0.06		99.82	
<i>Standard deviation</i>				0.67	0.62	0.26	0.07	0.13	0.20	0.07	0.06	0.00	0.01		0.18	
CHE2																
455b	F	stamped	WH-BE	66.11 (69.26)	21.76 (22.80)	2.58 (2.70)	0.43 (0.45)	0.39 (0.41)	0.32 (0.34)	3.11 (3.26)	0.68 (0.71)	0.02 (0.02)	0.03 (0.03)	4.55	99.98	
456	F	stamped	WH-GY	69.01	23.00	2.53	0.51	0.28	0.36	3.54	0.57	0.03	0.02	0.21	100.06	
457	F	stamped	WH-GY	67.78	22.59	2.33	0.42	0.27	0.27	3.56	0.55	0.03	0.02	2.06	99.88	
458	MF	stamped	GY	69.02	22.30	2.56	0.50	0.31	0.21	3.37	0.58	0.03	0.03	1.04	99.95	
459	F	stamped	WH-GY	69.42	21.93	2.29	0.42	0.25	0.28	3.70	0.55	0.03	0.03	0.98	99.88	
502u ^f	F	stamped	WH-GY	67.25	23.11	2.59	0.47	0.28	0.31	3.39	0.64	0.03	0.03	1.97	100.07	
<i>Average</i>				68.62	22.62	2.50	0.46	0.30	0.29	3.47	0.60	0.03	0.03		99.97	
<i>Standard deviation</i>				0.89	0.45	0.16	0.04	0.06	0.05	0.16	0.06	0.00	0.01		0.08	
CHW3-L																
460b	MF	stamped	BE-BN	68.48 (69.36)	20.71 (20.97)	3.45 (3.49)	0.74 (0.75)	0.52 (0.53)	0.45 (0.46)	3.40 (3.44)	0.70 (0.71)	0.03 (0.03)	0.03 (0.03)	1.26	99.77	
461b	MF	stamped	BE-BN	66.96 (70.57)	19.86 (20.93)	2.72 (2.87)	0.51 (0.54)	0.52 (0.55)	0.22 (0.23)	3.49 (3.68)	0.60 (0.63)	0.02 (0.02)	0.04 (0.04)	5.12	100.06	
462	F	stamped	BK-GY	69.15	21.39	3.47	0.54	0.27	0.15	3.53	0.71	0.02	0.03	0.43	99.69	
463	F	stamped	WH-GY	69.77	21.53	3.00	0.54	0.33	0.17	3.59	0.65	0.02	0.04	0.39	100.03	
503u	F	stamped	BN-GY	67.42	21.52	3.28	0.73	0.42	0.43	3.43	0.79	0.03	0.04	1.44	99.53	
504u	MF	stamped	GY	68.82	21.18	3.25	0.66	0.43	0.41	3.38	0.69	0.03	0.04	1.10	99.99	
<i>Average</i>				69.18	21.25	3.23	0.63	0.42	0.31	3.51	0.70	0.03	0.04		99.85	
<i>Standard deviation</i>				1.05	0.27	0.25	0.10	0.11	0.14	0.11	0.06	0.01	0.01		0.21	
CHW2-8																
464b	MF	stamped	BE-BN	68.13 (69.29)	20.74 (21.09)	3.90 (3.97)	0.77 (0.78)	0.31 (0.32)	0.37 (0.38)	3.04 (3.09)	0.81 (0.82)	0.03 (0.03)	0.05 (0.05)	1.67	99.82	
465b	MF	stamped	RE-BN	65.14 (67.79)	19.27 (20.05)	5.39 (5.61)	0.89 (0.93)	0.81 (0.84)	0.61 (0.63)	2.95 (3.07)	0.63 (0.66)	0.03 (0.03)	0.06 (0.06)	3.90	99.68	
466	F	stamped	GY	68.75	21.80	3.46	0.80	0.41	0.52	3.31	0.79	0.03	0.05	0.13	100.05	
467	MF	stamped	BN-GY	68.32	20.70	4.17	0.98	0.53	0.67	3.10	0.95	0.04	0.05	0.35	99.86	
468	F	stamped	GY	70.35	19.98	3.53	0.80	0.37	0.43	3.09	0.80	0.02	0.05	0.69	100.11	
505u	F	stamped	BK-GY	69.22	20.07	3.71	0.83	0.35	0.57	3.21	0.83	0.04	0.04	1.15	100.02	
506u	MC	stamped	GY	69.25	20.19	3.57	0.94	0.43	0.70	3.29	0.78	0.04	0.05	0.60	99.84	
<i>Average</i>				69.00	20.56	4.00	0.87	0.46	0.56	3.17	0.80	0.03	0.05		99.91	
<i>Standard deviation</i>				0.82	0.68	0.75	0.08	0.18	0.12	0.10	0.09	0.01	0.01		0.15	

Table 2(a). Continued

Sample Number	Texture ^a	Decora-tion ^a	Color ^a	Oxide concentration (wt.%) ^b											
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^c	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	L.O.I. ^d	Total
CHW2-6															
472b	MF	stamped	BN-RE	65.49 (66.27)	21.38 21.63	4.70 4.76	1.01 1.02	0.72 0.73	1.55 1.57	2.92 2.92	0.92 0.92	0.04 0.04	0.07 0.07	1.17	99.97
473b	MF	stamped	BE-BN	64.82 (65.91)	21.82 22.19	4.45 4.53	0.89 0.91	0.56 0.57	1.81 1.84	2.43 2.47	0.95 0.97	0.04 0.04	0.06 0.06	1.65	99.48
474	F	stamped	BN-GY	68.45	19.25	3.57	0.73	0.53	1.38	2.85	0.79	0.03	0.03	2.35	99.96
475	MF	stamped	BK-GY	67.49	21.05	4.14	1.00	0.78	1.13	3.01	0.84	0.04	0.07	0.49	100.04
476	F	stamped	BK-GY	69.30	20.56	3.63	0.65	0.53	1.43	2.86	0.76	0.03	0.04	0.29	100.08
507u	MC	stamped	BK-GY	70.02	19.26	3.24	0.98	0.48	0.62	3.10	0.82	0.02	0.06	0.17	98.77
508u	F	stamped	BK-BN	65.08	21.76	4.58	0.96	0.63	2.61	2.30	0.90	0.04	0.07	1.02	99.95
<i>Average</i>				67.50	20.81	4.06	0.89	0.61	1.51	2.79	0.86	0.03	0.06		99.75
<i>Standard deviation</i>				1.84	1.19	0.59	0.14	0.11	0.62	0.29	0.08	0.01	0.02		0.48
CHW2-3															
478b	MF	stamped	BE	68.71 (70.46)	19.00 19.48	2.71 2.78	0.72 0.74	0.65 0.67	1.25 1.28	3.39 3.48	0.71 0.73	0.03 0.03	0.04 0.04	2.47	99.68
479b	MF	stamped	BE-BN	67.46 (68.88)	19.21 19.61	4.35 4.44	0.70 0.71	0.65 0.66	1.28 1.31	3.01 3.07	0.80 0.82	0.03 0.03	0.04 0.04	2.05	99.58
480	MC	stamped	WH-GY	72.79	17.25	2.96	0.96	0.46	0.66	3.03	0.75	0.02	0.06	0.78	99.72
481	MF	stamped	GY	70.17	19.47	2.71	0.73	0.65	1.31	3.53	0.69	0.02	0.03	0.48	99.79
482	F	stamped	WH-GY	74.51	16.23	2.56	0.82	0.45	0.47	3.38	0.70	0.02	0.05	0.33	99.52
509u	C	stamped	GY-BE	74.00	16.54	2.76	0.82	0.36	0.45	3.16	0.72	0.02	0.05	1.08	99.96
<i>Average</i>				71.80	18.10	3.04	0.80	0.54	0.91	3.27	0.73	0.02	0.05		99.71
<i>Standard deviation</i>				2.29	1.60	0.70	0.09	0.13	0.43	0.21	0.05	0.01	0.01		0.16
CHW2-2															
486b	MF	ND	YL-BE	63.58 (64.89)	23.90 24.39	3.39 3.46	0.94 0.96	0.74 0.76	2.05 2.09	2.14 2.18	0.89 0.91	0.02 0.02	0.03 0.03	2.02	99.70
487b	MF	ND	BR-RE	65.11 (65.97)	23.13 23.43	3.20 3.24	0.79 0.80	0.74 0.75	2.01 2.40	2.40 2.43	0.77 0.78	0.04 0.04	0.04 0.04	1.29	99.52
488	MF	BWS	GY-BN	67.34	20.81	2.56	0.67	0.78	2.73	2.59	0.63	0.03	0.05	1.39	99.58
489	MF	BWS	GY	66.51	21.70	3.07	0.75	0.88	2.49	2.68	0.73	0.03	0.04	0.51	99.39
490	MF	BWS	GY	65.63	21.82	3.84	0.87	1.40	2.57	2.48	0.75	0.03	0.03	0.50	99.92
<i>Average</i>				66.07	22.43	3.23	0.81	0.91	2.38	2.47	0.76	0.03	0.04		99.62
<i>Standard deviation</i>				0.92	1.45	0.47	0.11	0.28	0.30	0.19	0.10	0.01	0.01		0.20
CH'H															
312u	MF	stamped	GY, BE	68.99	21.31	2.90	0.69	0.37	0.51	3.72	0.63	0.03	0.03	0.31	99.49
313	F	stamped	GY	68.87	22.60	2.28	0.54	0.27	0.44	3.32	0.68	0.02	0.03	0.37	99.42

^aAbbreviations

Texture: F-fine, MF-medium fine, MC-medium coarse, C-coarse texture.

Decoration: ND-no design, BWS-brushed whiteslip

Color: BE-beige, BK-black, BN-brown, GY-gray, RD-red, WH-white

^bThe powder of only body, whose glaze had been polished off, was mixed with flux, lithium tetraborate. This mixture was melted in a platinum crucible and made into a bead for XRF measurement.

^cFe₂O₃ represents the total amount of Fe which might be in the form FeO as well as Fe₂O₃.

^dL.O.I.: Loss of Ignition

^eb: Bisquit sherd that is unglazed and fired only once.

^fu: Unglazed sherd like bisquit sherd but fired more than once. Such sherd could be from a container or plate which held or supported glazed wares in their second firing step.

Table 2(b). Body characteristics and compositions of Ch'unghyodong Whiteware and sagger

Sample Number	Texture ^a	Decora-tion ^a	Color ^a	Oxide concentration (wt.%) ^b											L.O.I. ^d	Total
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^c	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅			
<i>CHW2-8</i>																
469b	F	ND	YL-WH	56.64	34.70	1.52	0.65	0.19	0.12	4.30	0.39	0.02	0.05	1.38	99.96	
				(57.43	35.19	1.54	0.66	0.19	0.12	4.36	0.40	0.02	0.05)			
470	F	ND	WH-YL	57.68	31.86	1.02	0.44	0.08	0.24	6.07	0.23	0.04	0.05	1.82	99.53	
471	F	ND	BE-WH	63.51	27.27	0.94	0.35	0.06	0.13	5.91	0.08	0.02	0.03	1.69	99.98	
<i>Average</i>				59.54	31.44	1.17	0.48	0.11	0.16	5.45	0.24	0.03	0.04		99.83	
<i>Standard deviation</i>				3.44	3.97	0.33	0.16	0.07	0.07	0.94	0.16	0.01	0.01		0.26	
<i>CHW2-6</i>																
477	F	ND	BE-WH	57.03	35.05	1.03	0.28	0.06	0.05	4.56	0.10	0.02	0.04	1.76	99.98	
<i>CHW2-3</i>																
483	F	ND	GY-WH	62.18	27.59	0.93	0.41	0.35	2.49	5.00	0.06	0.05	0.04	0.56	99.66	
484	MF	ND	GN-WH	59.17	30.20	1.72	0.38	0.49	3.51	3.02	0.06	0.06	0.05	0.91	99.57	
485	F	ND	GY-WH	60.24	29.42	0.96	0.68	0.22	0.51	6.92	0.21	0.05	0.04	0.39	99.64	
<i>Average</i>				60.53	29.07	1.20	0.49	0.35	2.17	4.98	0.11	0.05	0.04		99.62	
<i>Standard deviation</i>				1.53	1.34	0.45	0.17	0.14	1.53	1.95	0.09	0.01	0.01		0.05	
<i>CHW2-2</i>																
491	F	ND	WH	58.60	31.30	0.95	0.43	0.38	2.62	3.98	0.07	0.03	0.03	1.31	99.70	
492	F	ND	WH	60.21	29.61	0.83	0.36	0.20	2.02	5.13	0.04	0.05	0.04	1.21	99.70	
493	F	ND	WH	60.85	28.35	0.93	0.34	0.34	2.96	4.66	0.03	0.03	0.04	1.23	99.76	
494	F	ND	WH	61.15	28.09	0.86	0.33	0.34	2.98	4.73	0.03	0.03	0.04	1.13	99.72	
<i>Average</i>				60.20	29.34	0.89	0.37	0.32	2.65	4.63	0.04	0.04	0.04		99.72	
<i>Standard deviation</i>				1.14	1.47	0.06	0.05	0.08	0.45	0.48	0.02	0.01	0.00		0.03	
<i>CHW3-H</i>																
495	F	ND	BE-WH	58.21	32.21	0.83	0.46	0.28	1.72	4.87	0.04	0.05	0.03	0.99	99.69	
496	F	ND	GY-WH	60.21	28.64	1.19	0.39	0.28	2.60	5.00	0.04	0.06	0.05	1.10	99.56	
497	F	ND	GY-WH	60.36	29.91	0.91	0.32	0.15	1.97	4.80	0.05	0.03	0.05	1.00	99.55	
<i>Average</i>				55.59	30.25	0.98	0.39	0.24	2.10	4.89	0.04	0.05	0.04		99.60	
<i>Standard deviation</i>				1.20	1.81	0.19	0.07	0.08	0.45	0.10	0.01	0.02	0.01		0.08	
<i>CH-S</i>																
499	C		GY-BN	67.02	22.19	3.28	0.85	0.58	0.72	3.04	0.95	0.02	0.04	0.33	99.02	
500	MF		GY-BK	67.21	20.34	4.84	1.15	0.69	0.92	3.07	0.69	0.04	0.07	0.00	99.02	
501	MC		BK-GY	68.78	20.00	3.50	0.68	0.52	1.09	3.80	0.74	0.03	0.04	0.00	99.18	
<i>Average</i>				67.67	20.84	3.87	0.89	0.60	0.91	3.30	0.79	0.03	0.05		99.07	
<i>Standard deviation</i>				0.97	1.18	0.84	0.24	0.09	0.19	0.43	0.14	0.01	0.02		0.09	
<i>CH'H</i>																
309	F	ND	WH	59.90	29.62	1.07	0.34	0.26	2.43	4.96	0.06	0.06	0.04	0.49	99.23	
310	F	ND	WH-BE	56.51	33.85	0.73	0.29	0.08	0.99	4.69	0.03	0.03	0.04	1.61	98.85	
311	F	ND	WH	58.63	31.95	0.91	0.33	0.23	1.95	4.76	0.04	0.05	0.05	0.30	99.20	
314	F	ND	WH-BE	58.01	32.47	0.82	0.32	0.23	2.33	4.03	0.04	0.03	0.04	0.62	98.94	

Same notes as Table 1(a)

를 제거한 후, 다시 950°C에서 40분이상 연소시키고 시료와 용융제(di-lithium tetraborate, spectromelt A 1000, Merck)를 1:5로 혼합한 것을 백금도가니에 넣

고 완전히 녹여 지름 3.5 cm, 두께 0.4 cm정도의 원 판형태의 시료(bead)를 만들어 측정하였다. 미량원 소분석은 ICP-MS(VG Elemental, PQ2 Plus)를 이용

하여 35개의 원소를 분석하였다.

유약의 주성분은 에폭시 수지에 정착시킨 도편의 단면을 연마하여 전자현미분석장치(Electron Probe Microanalyzer, SEM: JEOL SUPERPROBE JXA-8600SX, EDS: OXFORD PENTAFET_{ATW} detector)를 이용하였으며, 분석시 조건은 15 kV, 2.5 nA이었다.

주성분분석법(Principal Component Analysis).

성분분석 결과는 SPSS(Statistical Package for Social Science) 프로그램을 이용한 주성분분석법(principal component analysis)으로 통계분석을 하여 도편들의 특징과 상호관계를 파악하고자 하였다. 주성분분석법은 다변량통계분석법의 하나로써 많은 변수값들의 상호관련성을 고려하여 각 변수들을 선형결합한 소수의 주성분으로 집약하는 방법으로, 가장 많은 변수들이 묶이는 것을 주성분 1, 그 다음으로 큰 것을 주성분 2의 순으로 나타낸다.

시료 $i(i=1, 2, \dots, n)$ 에 대하여 변수(측정된 산화물 성분) $j(j=1, 2, \dots, m)$ 의 값 x_{ij} 은 데이터 행렬 $X_{(n \times m)}$ 을 형성한다. 각 산화물의 값에 대해 같은 가중치를 갖도록 하기 위해 표준화(autoscaling)과정을 거쳐 각 데이터를 평균 0, 단위표준편차를 갖는 새로운 변수 z_{ij} 로 변환시킨다.

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (1)$$

\bar{x}_j =각 시료에 대한 산화물 성분값의 평균

s_j =각 시료에 대한 산화물 성분값의 표준편차

시료 i 에 대한 k 번째 주성분 P_{ik} 는 z_{ij} 와 각 변수에 대한 요인점수계수행렬(factor score coefficient matrix)에서 k 번째 고유벡터의 j 번째 값 v_{jk} 로 다음과 같이 표현된다.

$$P_{ik} = \sum_{j=1}^m z_{ij} \cdot v_{jk} \quad (2)$$

결과 및 고찰

태토의 가시적 성질. 태토의 주성분 10개 원소산 화물에 대한 분석 결과와 도편의 특징을 분청과 백자로 나누어 각각 Table 2(a)와 2(b)에 나타내었다. 도자기 제품들은 그것을 성형하여 건조한 후에 약 800-900°C정도에서 번조하고, 유약을 입혀서 처음 온도보다 높은 온도에서(약 1000-1200°C로 추정) 다

시 번조하여 완성품이 만들어진다. 분석된 시편들 중에는 이렇게 만들어지는 완별도편들 외에 b로 표시된 초별구이(bisquit)와 u로 표시된 유약이 없는 재별구이(unglazed)가 포함되어 있는데, 이 도편들은 한번 번조한 후에 어떠한 결함때문에 유약을 바르지 않은 채 내버려진 것들이다. 초별구이는 그대로 내버린 것이며, 재별구이는 유약을 입힌 도자기 제품들을 두 번째 구울 때 제품들을 받치거나 담는 용기로 사용되었던 것들로 완별구이와 같은 온도로 한번이나 여러번 되풀이되어 번조된 것들이다. 초별구이 b 시편들의 성분은 시료전처리과정에서 연소되어 없어지는 양(Loss of Ignition, L.O.I.)이 많기 때문에 이 값을 뺀 나머지 값들을 같은 합(total)이 되도록 정량하여 괄호안에 나타내므로서 다른 종류의 시편들과 비교할 수 있도록 하였다.

도편들의 가지특성으로는 상감기법(inlaid), 인화문(stamped design), 무늬가 없는 것(ND, no design), 백토귀얄문(BWS, brushed whiteslip)등의 장식문양 기법을 나타내었고, 태토가 자화(vitrification)되어 단단해지고 치밀하게 된 정도와 불순물 입자의 양과 크기를 질감(texture)으로 표현하여 조밀(F, fine), 반조밀(MF, medium fine), 반거침(MC, medium coarse), 거침(C, coarse)의 4단계로 구분하였다. 태토의 색은 두가지 색의 조합으로 나타내었다. 충효동에서 생산된 분청 중 최고급품인 CHE2은 거의 F에 속하고 색조도 대부분 WH-GY로 표현된다. 그리고 시기가 늦어질수록 조직이 점점 거칠어져서 MF와 MC로 표현되는 것이 많아지며 색조도 어두워지는 경향을 볼 수 있다. CHW2-8부터 생산되기 시작한 백자의 경우 처음에는 태토가 무르고 덜 자화된 연질이어서 YL-WH와 BE-WH로 표현되나 경질백자를 생산하기 시작한 CHW2-3부터는 거의 WH으로 표현되는 고급의 백자가 많아지며 조직은 거의 모두가 F에 속한다.

분청태토와 백자태토의 성분비교. 분청과 백자의 태토성분은 많은 차이를 보였다. 태토의 색과 관계있는 Fe_2O_3 와 TiO_2 의 함량에서 Fe_2O_3 는 분청의 경우 대부분이 3.4%였으나 백자는 1%내외였고, TiO_2 는 분청이 0.7-0.9%이고 백자가 0.1%내외로 백자가 훨씬 낮았다. Al_2O_3/SiO_2 의 비는 백자가 높았는데 연질과 경질백자 모두 Al_2O_3 의 함량이 30%내외로 매우 높은 편이다. 이와 같이 Al_2O_3 함량이 높은 백자는 중국 북방의 정요(定窯)와 비슷하고 남방 경덕진(景

德鎭)의 청백자와는 양상이 다르다.¹⁷ 또한 현재까지 국내에서 분석된 다른 조선백자보다도 훨씬 높은 양을 나타낸다.¹⁸ Al_2O_3 함량이 높은 경우에 자화가 잘 되기 위해서는 보다 고온에서 변조되어야 하므로 CHW2-8과 CHW2-6의 연질백자는 자화되는 온도까지 변조온도가 미치지 못했으나, 자화가 잘 된 CHW2-3, 2, CHW3-H의 경질백자는 상당히 높은 온도에서 충분히 변조되었을 것이다. 태토에서 용융제의 역할을 하는 원소산화물의 함량을 보면 분청에서는 CaO, Fe_2O_3 , MgO가 상대적으로 높은 값을 나타내었고, 백자에서는 K_2O 가 높으며, 경질백자의 경우 Na_2O 함량이 조금 높은 편이었다. 갑발의 경우 보통은 내화도가 더 높아야하므로 Al_2O_3 가 더 첨가되어 높은 수치를 나타낼 것이라는 예상과는 달리 분청도편들과 비슷한 값을 나타내었다.

분청태토의 주성분에 대한 주성분분석. 분청과 백자의 태토는 성분차이가 뚜렷하게 다르게 나타나므로, 본 논문에서는 분청태토만에 대한 주성분 8원소 산화물(SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, K_2O , MgO, TiO_2 , Na_2O)을 대상으로 분석하여 그룹에 따른 상대적인 차이를 파악하고자 하였다. 다음은 주성분분석법에 의한 통계분석 결과로 얻어진 주성분 1(PC1)과 주성분 2(PC2)이다.

$$P_{i1} = -0.134z_i(SiO_2) + 0.002z_i(Al_2O_3) + 0.181z_i(Fe_2O_3) + 0.191z_i(MgO) + 0.196z_i(CaO) + 0.165z_i(Na_2O) - 0.212z_i(K_2O) + 0.192z_i(TiO_2) \quad (3)$$

$$P_{i2} = +0.406z_i(SiO_2) - 0.479z_i(Al_2O_3) + 0.087z_i(Fe_2O_3) + 0.251z_i(MgO) - 0.010z_i(CaO) - 0.171z_i(Na_2O) + 0.044z_i(K_2O) + 0.163z_i(TiO_2) \quad (4)$$

각 시료의 성분값 x_{ij} 를 z_{ij} 로 표준화한 후 윗 식에 대입하여 얻은 주성분값(principal component score) 1과 2를 Fig. 2(a)에 도시하였다. 분석결과 주성분 1과 2는 변수전체로 설명되는 것의 53.3%, 23.9%를 각각 나타내어 주성분 1과 2에 의한 전체설명도는 77.2%였다. Table 5와 Fig. 2(b)에 나타낸 요인적재값(factor loading)은 변수인 산화물과 요인인 주성분(principal component)들 사이의 상관계수이다. 즉, 주성분 1에는 계수의 절댓값이 가장 큰 K_2O 와 CaO가 가장 큰 영향을 미치며 이와 같이 부호가 반대인 성

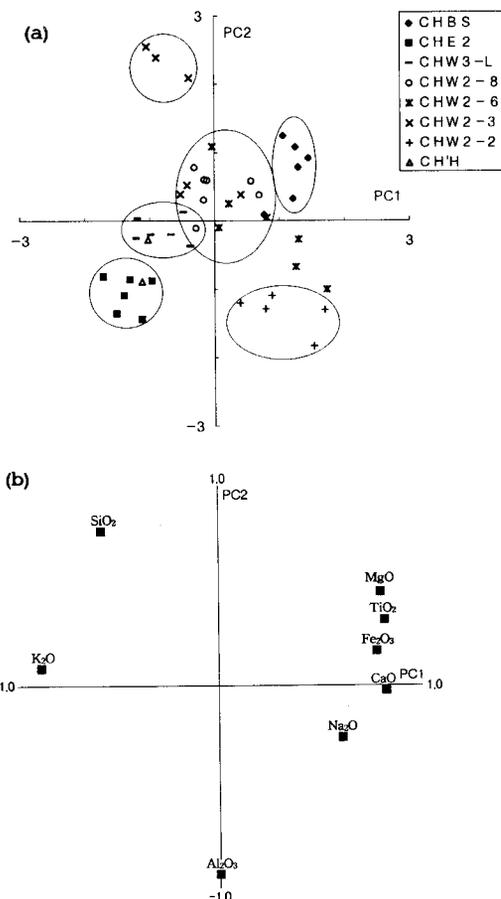


Fig. 2. (a) Principal component analysis of major composition of Ch'ungnyodong Punch'ong body. (b) Distribution of factor loading in the principal component analysis of major composition of Ch'ungnyodong Punch'ong body.

분들은 서로 음의 상관관계를 갖는다. 그러므로 Fig. 2(a)의 데이터를 해석하는데 Fig. 2(b)와 연결시켜보면 어느 성분이 많은지 어떤 성분에 의해 그룹이 지어지는지를 보다 쉽게 알 수 있다. Table 5의 공통성(communality)은 주성분 1과 2에 의해 설명되어지는 한 변수의 분산양으로 각 변수에 담겨진 정보를 얼마나 표현할 수 있는가를 의미한다.

위치와 층위에 따른 그룹은 분리가 비교적 잘 되고 있다. 유약을 바르지 않은 재벌구이와 초벌편도 같은 그룹의 완벌도편들과 대체로 같은 성분 성향을 나타내고 있어서, 같은 원료가 사용되었음을 시사하고 있다. 그러나 CHW2-6인 경우 472b, 473b와

Table 3. Trace element concentration (ppm) of 20 punch òng sherds

	449	453	455	456	457	461	462	463	464	466
Sc	18.0	17.1	13.3	12.6	12.2	12.1	11.9	11.3	17.3	17.6
Cr	82.5	79.5	54.7	48.9	45.9	50.1	47.4	45.4	57.8	60.6
Co	11.5	12.3	4.5	4.8	4.7	6.4	5.7	6.8	9.9	8.9
Ni	33.4	33.6	18.1	16.7	15.3	15.4	16.6	15.6	22.5	23.0
Cu	25.4	24.1	16.5	19.0	12.7	13.6	14.9	12.6	18.7	18.6
Zn	128.1	101.1	97.4	104.7	103.6	90.7	86.3	86.1	105.1	115.2
Ga	53.8	47.3	55.1	55.9	54.1	51.8	50.6	49.3	48.9	49.6
Rb	165.2	170.6	200.3	217.6	226.5	203.9	203.2	205.8	177.9	186.8
Sr	191.5	140.8	104.7	77.9	72.2	103.6	77.3	81.6	89.5	106.8
Y	27.6	34.9	22.1	25.9	23.8	19.0	19.0	20.8	26.8	35.0
Zr	103.0	121.6	86.6	99.3	74.0	95.9	74.6	67.0	65.0	89.3
Nb	7.0	14.3	22.9	22.0	23.9	18.1	17.4	15.2	14.0	15.5
Mo	1.6	1.2	1.9	1.3	1.3	1.1	0.7	0.6	0.9	2.3
Cd	2.7	0.2	0.3	0.2	0.6	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4
Cs	7.5	8.7	7.0	7.0	6.8	6.5	7.4	6.8	7.3	7.8
Ba	798.6	660.3	627.4	470.3	402.1	578.2	505.0	541.5	569.1	571.3
La	45.6	53.2	37.9	38.9	34.0	32.7	27.9	36.5	38.7	44.1
Ce	86.1	99.3	69.2	73.0	63.9	62.5	59.2	69.0	68.3	73.9
Pr	9.9	11.4	8.5	8.5	7.4	7.5	6.0	8.0	8.8	10.3
Nd	33.9	40.3	29.1	30.7	25.6	26.2	20.5	27.2	31.7	36.2
Eu	2.6	1.6	1.5	1.1	1.0	1.3	0.9	1.1	1.7	3.5
Sm	6.3	7.2	5.0	5.4	4.9	4.6	4.2	5.3	6.2	7.4
Gd	5.6	7.1	4.4	4.9	4.4	4.0	3.6	4.7	5.3	6.9
Tb	0.8	0.9	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.8	1.0
Dy	4.6	5.6	3.3	3.9	3.7	3.1	3.1	3.4	4.5	5.6
Ho	0.8	1.0	0.5	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	1.1
Er	2.2	2.7	1.6	1.9	1.8	1.5	1.4	1.7	2.2	2.8
Tm	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4
Yb	2.2	2.3	1.6	1.8	1.5	1.5	1.4	1.5	1.8	2.3
Lu	0.3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4
Hf	2.4	2.9	2.4	2.6	2.4	2.6	1.7	1.6	2.0	2.4
Ta	0.2	0.5	1.5	1.2	1.7	1.0	0.8	0.9	0.8	0.3
Pb	28.1	25.7	36.3	41.2	43.9	29.5	30.8	32.6	25.9	29.1
Th	14.7	16.1	16.2	17.1	16.0	15.3	14.6	15.8	14.8	14.4
U	2.9	3.6	2.9	3.6	2.9	3.1	3.4	3.3	2.7	2.2

508u가 다른 도편들과 떨어져 있어서, 이들은 성분이 다른 원료로 만들어지고, 따라서 불량품으로 판단되어 버려진 것으로 생각할 수 있다. CHW2-3의 경우도 모두 6편의 도편들이 두 그룹으로 나뉘어져서, 같은 위치와 같은 층위에서 출토된 도편들 사이에도 상당한 차이가 있을 수 있음을 단적으로 보여준다. 미술사적인 측면에서 추정된 제작시기가 1477년-1483년으로 되어있어서 6년동안에 한 종류 이상의 원료가 사용되었음은 당연한 일일 수 있다.

시기적으로 제일 빠르고 말기 청자의 양상을 나타

내고 있는 CHBS그룹은 Fe₂O₃와 TiO₂가 높고 MgO와 CaO의 함량이 비교적 높아서 뚜렷하게 분리된다. 금곡마을의 분청 중에서 시기가 가장 빠르고, 밝은 회색조의 최고급분청인 CHE2그룹은 K₂O와 Al₂O₃가 다른 그룹보다 상대적으로 높고, Fe₂O₃와 TiO₂가 제일 낮아서 또한 현저하게 분리된다. CHE2보다 약 이삼십년 뒤에 다른 가마에서 구웠다고 추정되는 CHW3-L도편들은 Fe₂O₃와 TiO₂가 높아지고 Al₂O₃가 낮아지는 것으로 나타났다. 4호가마에서 제작된 CHW2-8, 6, 3의 도편들은 더욱 Fe₂O₃, TiO₂가 높아지

Table 3. Continued

	468	472	475	476	478	481	482	487	488	489
Sc	17.8	18.5	18.4	14.5	12.9	12.6	11.2	14.9	11.4	13.3
Cr	61.9	63.8	62.9	62.4	53.2	52.7	67.9	50.4	38.6	45.2
Co	9.6	14.6	12.1	9.1	7.7	7.6	7.3	8.8	6.9	6.7
Ni	22.8	22.9	25.6	20.9	20.2	21.2	26.5	22.1	15.7	18.7
Cu	20.6	42.0	28.8	33.3	20.3	21.0	18.6	23.7	18.3	19.3
Zn	106.7	112.8	114.6	102.2	78.6	89.5	80.4	80.9	63.8	65.0
Ga	52.1	53.5	48.7	49.8	47.0	46.1	44.0	54.8	45.0	50.0
Rb	185.6	159.0	170.6	163.3	164.3	180.6	171.3	134.3	134.3	121.3
Sr	101.2	137.5	112.9	129.5	131.6	137.5	108.7	126.3	123.1	139.8
Y	33.9	36.6	38.0	31.5	28.6	32.0	31.2	29.3	25.9	30.6
Zr	76.8	88.6	96.9	133.1	109.1	107.3	103.2	134.3	123.1	141.0
Nb	29.6	18.0	17.7	0.7	15.1	16.0	17.4	17.7	11.7	15.7
Mo	0.7	0.7	1.1	2.0	0.6	0.8	0.7	1.4	0.6	0.7
Cd	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.08	0.2	0.3	0.1
Cs	6.5	6.1	7.3	6.6	6.1	6.4	6.1	5.5	5.4	5.1
Ba	590.4	681.7	675.1	691.7	840.4	773.6	804.7	849.4	661.2	839.9
La	43.6	53.0	52.2	54.1	53.0	50.6	50.3	53.4	43.1	51.1
Ce	77.2	92.1	92.8	96.4	95.1	91.6	89.4	97.7	86.3	96.0
Pr	9.9	11.7	11.7	11.5	11.4	10.9	10.4	10.7	9.1	10.5
Nd	36.2	41.1	41.6	41.2	39.3	37.9	36.2	37.6	31.8	34.8
Eu	1.5	2.0	1.7	1.4	1.5	1.4	1.3	1.8	1.3	1.6
Sm	6.5	7.9	8.1	7.4	6.9	7.0	7.0	6.7	5.5	6.4
Gd	3.2	6.9	7.6	6.2	6.1	6.2	6.1	5.6	5.0	5.7
Tb	0.8	1.0	1.0	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8
Dy	4.7	5.9	5.7	4.9	4.8	4.8	4.9	4.5	3.8	4.8
Ho	0.9	1.0	1.1	1.0	0.8	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7
Er	2.5	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.7	2.4	2.3	2.5
Tm	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
Yb	2.0	2.3	2.7	2.1	2.1	2.4	2.2	2.4	2.2	2.5
Lu	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4
Hf	2.0	2.2	2.0	2.9	2.4	2.6	2.4	3.0	2.6	3.1
Ta	0.4	0.7	1.0	0.06	1.1	1.0	0.9	1.2	0.6	0.7
Pb	25.7	27.4	28.7	29.5	29.7	33.5	29.6	29.3	26.9	23.8
Th	13.0	15.8	17.8	16.3	17.5	17.3	16.8	20.5	17.9	19.3
U	2.1	3.4	3.2	3.9	3.8	3.4	2.8	5.2	4.8	4.9

며 Al_2O_3 는 낮아져서 모두 서로 같은 그룹을 형성하였다. CHW2-2는 같은 W2 구역에서 출토되었으나 다른 가마에서 더 늦게 제작되었고, 이러한 차이가 성분에서도 나타나서 현저하게 분리되었다. 장식기법도 인화문에서 완전히 다른 귀얄문으로 바뀌었고 백자와 같이 Al_2O_3 가 높아졌으나, 충분히 높은 온도에서 번조되지 못하여 자화가 잘 이루어지지 않은 조질 분청이다. 분청이 백자로 변하고 있는 과정에서 가장 마지막 단계를 나타내고 있다. 제작시기와 위치를 알 수 없는 중앙박물관 분청 두 편은 CHE2와 CHW3-L에 각각 한편씩 분리되므로, 이들의 제작과정이

CHE2와 CHW3와 같은 것으로 추정해 볼 수 있다.

분청태토의 미량성분에 대한 주성분분석. Table 3에는 ICP-MS를 이용한 미량원소성분값을 실었다. ICP-MS에 의한 미량성분의 값은 원료의 산지를 추정하는데 좋은 자료가 되므로 본 연구에서는 분청 20편에 대한 미량성분값을 주성분값과 비교하여 원료의 특성을 좀 더 자세히 알아보려고 하였다. 주성분 1과 2에 의한 각각의 설명도는 50.5%와 18.5%로 전체적으로 69.0%였으며, 이들을 Fig. 3에 나타냈다. 그룹들의 분류가 잘 이루어져 있는데, CHE2와 CHW3-L의 두 그룹이 거의 같이 분리되고 있다. 이

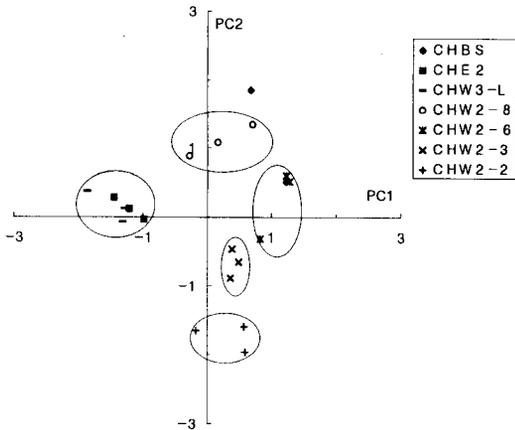


Fig. 3. Principal component analysis of trace elements composition of Ch'unghyodong Punch'ong body.

두 그룹은 Table 1에서 보면 제작가마도 다르고 시기도 이삼십년의 차이가 있는 것으로 나타나고 있어서, 같은 그룹으로 분리된다는 것은 예측하지 않은 결과로서, 미술사 측면에서 추측하는 것과는 달리 이 두 그룹은 다른 가마에서 제작되었으나 같은 시기에 제작되었을 가능성을 보여준다. 주성분의 분석에서는 이 두 그룹이 분리되어 있으나 다른 그룹들에 비하여 서로 가까이 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 이 두 그룹은 같은 산지의 흙으로 제조되었으나 원료의 처리과정과 번조조건들을 달리하였을 것으로 추측된다. 즉, CHE2의 생산품은 더욱 엄격한 탈철과정과 수비과정을 거치고 더 높은 온도로 1호가마에서 번조하여 주로 관청에 납품하는 고급품들

Table 4(a). Glaze characteristics and compositions of Ch'unghyodong Punch'ong

Sample number	Crackled state ^a	Color ^a	Thickness ^a (μ m)	Oxide concentration (wt.%) ^b										
				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
CHBS														
451	○	GY-GN	150-425 ▲	52.37	14.96	1.97	1.72	23.94	0.70	2.93	0.25	0.00	1.12	99.96
452	△	BN-GN	100-200 ●	58.52	14.21	2.20	1.92	18.09	0.81	2.52	0.23	0.08	0.73	99.30
453	○	BK-GN	275-500 ▲	53.87	16.98	1.73	1.86	19.23	0.62	4.60	0.00	0.00	0.51	99.40
454	△	GY-GN	150-500 ▲	56.96	12.79	1.42	1.78	21.73	0.66	3.12	0.10	0.00	0.76	99.32
Average				55.43	14.74	1.83	1.82	20.75	0.70	3.29	0.15	0.02	0.78	99.49
Standard deviation				2.81	1.75	0.33	0.09	2.61	0.08	0.91	0.12	0.04	0.25	0.31
CHE2														
456	○	WH-BE	125-350 ▲	65.33	14.85	1.43	1.46	10.61	1.31	3.84	0.00	0.15	0.55	99.5
457	×	WH-GY	100-175 ●	67.18	13.70	1.07	1.04	7.44	1.30	6.49	0.00	0.09	0.37	98.68
458	○	GY	75-200 ●	66.37	14.50	1.52	1.66	10.17	1.07	4.22	0.05	0.25	0.55	100.35
459	×	WH-GY	50-250 ●	65.54	13.67	0.98	1.68	11.83	1.23	4.43	0.00	0.09	0.48	99.93
Average				66.10	14.18	1.25	1.46	10.01	1.23	4.74	0.01	0.14	0.49	99.62
Standard deviation				0.85	0.59	0.29	0.30	1.85	0.11	1.19	0.03	0.07	0.08	0.71
CHW3-L														
462	×	WH-GY	125-225 ●	63.00	14.01	1.55	1.88	13.41	0.72	4.73	0.00	0.20	0.51	100.02
463	○	GN-GY	50-250 ●	62.27	13.76	1.10	2.17	15.16	0.96	4.18	0.14	0.09	0.72	100.56
Average				62.63	13.89	1.33	2.03	14.28	0.84	4.46	0.07	0.15	0.61	100.29
Standard deviation				0.51	0.18	0.32	0.20	1.24	0.16	0.39	0.10	0.08	0.15	0.38
CHW2-8														
466	○	GY-GN	175-300 ▲	62.39	13.23	1.69	1.98	13.88	1.03	3.83	0.07	0.26	0.84	99.20
467	○	GN	225-300 ▲	61.78	14.34	1.43	1.96	13.34	1.31	4.14	0.16	0.00	0.76	99.22
468	○	GN-GY	325-500 ▲	60.39	13.03	1.21	1.90	17.60	1.16	3.75	0.06	0.31	0.89	100.32
Average				61.52	13.53	1.44	1.95	14.94	1.17	3.91	0.10	0.19	0.83	99.58
Standard deviation				1.02	0.70	0.24	0.04	2.32	0.14	0.21	0.06	0.17	0.07	0.64
CHW2-6														
474	○	GY-GN	50-225 ●	58.12	14.17	1.04	2.01	18.12	1.77	3.19	0.16	0.28	1.12	99.99
475	○	GN-BN	25-200 ●	56.49	12.74	1.33	2.39	18.70	1.73	3.12	0.00	0.23	1.42	98.15
476	○	GY-GN	25-125 ●	60.73	13.57	1.59	2.19	15.03	1.75	2.87	0.00	0.31	0.90	98.93
Average				58.44	13.46	1.32	2.23	17.57	1.75	3.03	0.05	0.30	1.16	99.31
Standard deviation				2.16	0.77	0.27	0.24	2.31	0.01	0.16	0.09	0.02	0.28	0.59

Table 4(a). Continued

Sample number	Cracked state ^a	Color ^a	Thickness ^a (μm)	Oxide concentration (wt.%) ^b										
				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
CHW2-3														
480	×	BE-GN	100-150 ●	59.31	17.62	1.25	1.37	13.25	1.10	4.54	0.00	0.10	0.58	99.10
481	○	WH-GY	100-250 ●	60.29	14.96	1.25	1.86	14.46	1.93	3.41	0.00	0.31	0.98	99.45
482	○	BE-GN	100-150 ●	61.08	13.50	1.06	2.11	14.47	1.07	5.12	0.00	0.25	1.04	99.70
<i>Average</i>				60.22	15.36	1.19	1.78	14.06	1.37	4.35	0.00	0.22	0.86	99.41
<i>Standard deviation</i>				0.89	2.09	0.11	0.38	0.71	0.49	0.87	0.00	0.11	0.25	0.31
CHW2-2														
488	○, ×	GN-WH	150-325 ▲	64.05	12.76	0.89	2.30	14.38	2.33	2.31	0.00	0.29	0.66	99.99
489	○, ×	WH-GY	75-200 ●	62.38	13.08	1.48	1.88	14.93	2.35	2.48	0.10	0.12	1.00	99.79
490	○, ×	WH-GY	90-175 ●	62.59	13.04	1.34	2.17	13.79	2.20	2.49	0.00	0.19	1.14	98.96
<i>Average</i>				63.01	12.96	1.37	2.12	14.37	2.29	2.43	0.03	0.20	0.93	99.71
<i>Standard deviation</i>				0.91	0.17	0.31	0.21	0.57	0.08	0.10	0.05	0.09	0.25	0.53

^aAbbreviations

Cracked state: ○-finely cracked, △-roughly cracked, ×-not cracked.

Color: BE-beige, BK-black, BL-blue, BN-brown, GN-green, GY-gray, WH-white.

Thickness: ●-thin (average value below 200 μm), ▲-medium (200-400 μm), ■-thick (above 400 μm).^bA cross-section of the sherd, mounted in epoxy resin, was polished for EPMA measurement. The average of 4-6 different measurements is reported for each sample. The size of each measured area was $48 \times 36 (\mu\text{m})^2$ or $34 \times 25 (\mu\text{m})^2$.

Table 4(b). Glaze characteristics and compositions of Ch'unghyodong Whiteware

Sample number	Cracked state ^a	Color ^a	Thickness ^a (μm)	Oxide concentration (wt.%) ^b										
				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
CHW2-8														
470	○	YL-WH	50-75 ●	58.49	15.82	1.00	1.86	15.26	0.56	5.45	0.00	0.38	0.77	99.59
471	○	GN-WH	100-200 ●	61.55	15.02	1.15	1.64	11.24	0.59	6.47	0.07	0.26	0.89	98.88
<i>Average</i>				60.02	15.42	1.08	1.75	13.25	0.58	5.96	0.03	0.32	0.83	99.24
<i>Standard deviation</i>				2.17	0.57	0.11	0.15	2.84	0.02	0.72	0.05	0.09	0.09	0.50
CHW2-6														
477	○	BE-WH	25-50 ●	62.87	16.78	1.28	1.27	8.13	0.22	6.95	0.00	0.00	0.51	98.02
CHW2-3														
483	×	GN-WH	125-200 ●	65.61	12.59	1.00	1.83	11.17	2.24	4.43	0.00	0.00	0.00	98.88
484	○	GN-WH	75-100 ●	60.73	13.57	1.59	2.19	15.03	1.75	2.87	0.00	0.31	0.89	98.93
485	○	GN-WH	50-200 ●	67.64	17.19	0.92	0.46	3.33	4.38	4.11	0.00	0.07	0.20	98.30
<i>Average</i>				64.66	14.45	1.17	1.49	9.85	2.79	3.81	0.00	0.13	0.36	98.70
<i>Standard deviation</i>				3.55	2.42	0.36	0.91	5.96	1.40	0.83	0.00	0.16	0.47	0.35
CHW2-2														
491	×	GN-WH	150-175 ●	65.86	17.33	1.47	1.80	5.56	2.94	4.57	0.13	0.11	0.18	99.93
492	○	GN-WH	75-260 ●	67.44	16.86	1.25	1.36	4.56	2.29	6.11	0.00	0.00	0.00	99.87
493	○	BL-WH	125-175 ●	65.89	12.82	1.06	1.97	10.39	2.74	4.99	0.00	0.13	0.30	100.29
494	○	BL-WH	150-250 ▲	66.89	14.25	0.78	1.12	7.47	3.21	6.90	0.00	0.00	0.00	100.61
<i>Average</i>				66.52	15.31	1.14	1.56	6.99	2.79	5.64	0.03	0.06	0.12	100.17
<i>Standard deviation</i>				0.78	2.14	0.29	0.39	2.57	0.38	1.06	0.06	0.07	0.15	0.34
CHW3-H														
495	○	BL-WH	175-225 ▲	66.87	14.15	0.96	0.76	11.31	1.50	4.43	0.00	0.00	0.00	99.98
496	×	GY-WH	75-150 ●	59.92	15.20	1.35	1.95	17.07	1.55	2.46	0.12	0.11	0.92	100.65
498	○	GY-WH	75-150 ●	62.71	20.20	1.69	1.33	5.87	2.13	4.03	0.00	0.09	0.18	98.22
<i>Average</i>				63.17	16.52	1.33	1.35	11.42	1.73	3.64	0.04	0.07	0.37	99.62
<i>Standard deviation</i>				3.50	3.23	0.36	0.60	5.60	0.35	1.04	0.07	0.06	0.49	1.25

Same notes as Table 4(a)

이고, CHW3-L은 좀 더 손쉽게 서민용으로 제작하였을 것으로 추정할 수 있다. 같은 시기에 사용되는 용도에 따라서 제조과정을 선택적으로 사용하였을 것으로 생각할 수 있다.

유약의 가시적 성질. 유약의 잔금상태, 색과 두께 등의 가시적인 특징과 주성분분석결과를 분청과 백자로 나누어 각각 Table 4(a)와 (b)에 나타내었다. 유약의 두께는 주로 200-400 μm의 중간두께에 속하는 청자에 비해 대체로 100-200 μm로 얇은 편에 속했다. 이는 재료를 야끼려는 것과 태토에 새긴 인화무늬를 보다 잘 보이게 하려는 이유에서가 아니었나 추측된다. 잔금상태(crackled state)는 유약의 깨진 금이 균일하게 잘게 난 빙렬을 ○표로 표시하고, 불균일하게 마치 나뭇가지처럼 커다랗게 나있는 식음태를 △로 표시하였다. 도자기를 번조하는 과정에서 1000°C이상의 높은 온도까지 올렸다가 식히는 과정에서 태토와 유약의 열팽창계수가 다른 정도가 큰 경우에 빙렬이 나고 충분히 식히지 않았을 때 가마문을 갑자기 열어 식는 속도가 빨랐을 경우에는 커다란 식음태 금이 난다. 충효동의 분청과 백자의 대부분에는 균일한 잔금이 있어서 유약과 태토의 열팽창계수가 많이 달랐을 것으로 추측된다. 유약의 색은 철과 티타늄의 양과 번조시 가마의 분위기에 따라 많이 좌우된다. CHBS와 CHW2-6은 BN-GN과 GN-BN으로 어둡고, 갈색이 도는 이 도편들과 비교할 때 CHE2와 CHW2-2의 WH-GY와 같은 밝은 색조의 도편들은 철성분이 적고 보다 환원분위기에서 번조되었음을 추측할 수 있다.

분청유약과 백자유약의 성분비교. 분청과 백자 유약의 성분분석 결과 가장 큰 차이점은 용융제 역

할을 하는 원소산화물이었다. 용융제는 유약의 점성 및 반사도와 관계있는 것으로 번조가 지나치면 유약이 흘러내리고 반짝거리며 투명하게 되는 반면 덜되면 불투명하고 탁한 느낌을 주는 중요한 성분이다. 대부분의 분청은 용융제로 쓰이는 CaO, K₂O, Na₂O, Fe₂O₃ 등의 절대함량이 백자에 비해 높았으며 CaO/K₂O의 값이 높아 라임계열유약(lime glaze)에 속하나, 상대적으로 K₂O값이 높은 백자는 알칼리라임계열유약(alkali-lime glaze)이라 할 수 있다. 백자는 연질과 경질사이에 큰 차이는 없었으나, 태토에서와 같이 Na₂O값이 경질백자에서 조금 높았다.

다음은 분청과 백자의 유약을 함께 주성분 10원소 산화물에 대하여 주성분분석법에 의해 통계처리한 결과 얻어진 주성분 1과 2이다.

$$P_{11} = -0.180z_i(\text{SiO}_2) - 0.092z_i(\text{Al}_2\text{O}_3) + 0.129z_i(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 0.170z_i(\text{MgO}) + 0.201z_i(\text{CaO}) - 0.110z_i(\text{Na}_2\text{O}) - 0.149z_i(\text{K}_2\text{O}) + 0.111z_i(\text{TiO}_2) + 0.092z_i(\text{MnO}) + 0.191z_i(\text{P}_2\text{O}_5) \quad (5)$$

$$P_{12} = 0.180z_i(\text{SiO}_2) - 0.330z_i(\text{Al}_2\text{O}_3) - 0.299z_i(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 0.210z_i(\text{MgO}) - 0.041z_i(\text{CaO}) + 0.186z_i(\text{Na}_2\text{O}) - 0.057z_i(\text{K}_2\text{O}) - 0.293z_i(\text{TiO}_2) + 0.384z_i(\text{MnO}) + 0.119z_i(\text{P}_2\text{O}_5) \quad (6)$$

주성분 1이 45.9%, 그리고 주성분 2가 17.8%로서 두 성분에 의한 전체설명도는 63.7%였다. Fig. 4(a)에 나타낸 주성분분석 결과는 크게 세 그룹, 즉 Fe₂O₃과 CaO이 낮고 Al₂O₃, SiO₂, K₂O가 비교적 높은 백자그룹, 태토에서도 다른 그룹과 현저하게 분리된 말기 청자에 가까운 버성골 CHBS 도편들, 그리고 W2지역의 분청유약으로 분리할 수 있다. CHBS는 Fe₂O₃

Table 5. Factor matrix and communality of punch'ong and whiteware

Variable	Body (Pungch'ong)			Glaze (Punch'ong and Whiteware)		
	Principal Component 1	Principal Component 2	Communality	Principal Component 1	Principal Component 2	Communality
SiO ₂	-0.571	0.777	0.929	-0.825	0.320	0.782
Al ₂ O ₃	0.009	-0.916	0.840	-0.420	-0.587	0.521
Fe ₂ O ₃	0.772	0.165	0.624	0.592	-0.533	0.635
MgO	0.815	0.479	0.894	0.781	0.374	0.749
CaO	0.834	-0.019	0.695	0.921	-0.073	0.853
Na ₂ O	0.704	-0.327	0.602	-0.505	0.332	0.365
K ₂ O	-0.904	0.083	0.824	-0.682	-0.102	0.475
TiO ₂	0.818	0.311	0.765	0.511	-0.523	0.534
MnO				0.421	0.683	0.644
P ₂ O ₅				0.876	0.211	0.812

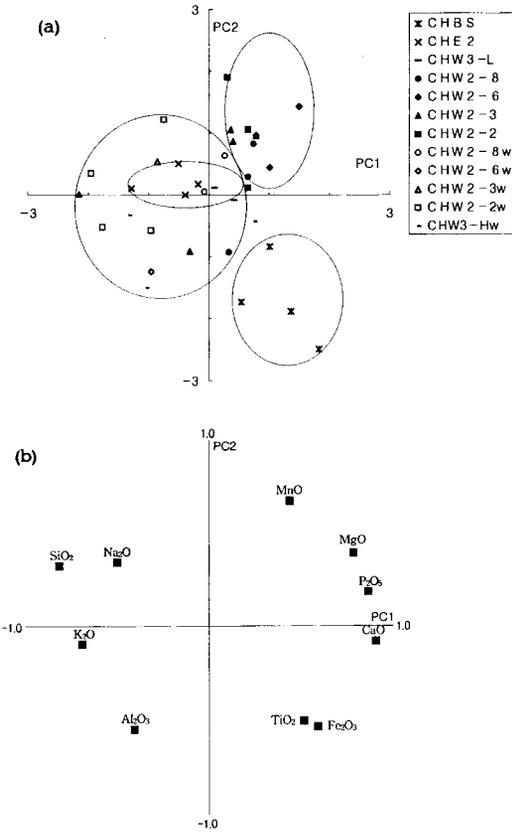


Fig. 4. (a) Principal component analysis of major composition of Ch'unghyodong Punch'ong and Whiteware glaze. (b) Distribution of factor loading in the principal component analysis of major composition of Ch'unghyodong Punch'ong and Whiteware glaze.

와 TiO_2 가 높았으며 W2의 유약들은 CaO가 많아서 라임유약으로 분류된다. 여기서 흥미있는 것은 초기 최고급품으로 제작된 CHE2제품들과 미량성분의 주 성분분석법에서 CHE2와 같은 시기에 다른 가마에서 서민용으로 제작되었을 것으로 추정되는 CHW3-L이 같이 분리되며, 이들이 백자유약과 분청유약 사이에 발견되는 것이다. 분청유약보다 오히려 백자유약에 더 가깝게 분리된다. 그러나 분청과 백자유약에는 태토에서보다 훨씬 적은 성분차이를 나타내고 있어서 유약제조기술에는 분청과 백자사이에 약간의 변화만 있었다고 생각할 수 있다.

결론

광주 충효동에서 발굴한 분청과 백자는 체계적으

로 발굴되어 시기의 선후가 분명하여 시기적인 변화의 양상을 뚜렷하게 관찰할 수 있었다. 분청은 가장 초기에 고급품이 생산되다가 시기가 지날수록 문양은 백자에 흡사하고 손쉽게 처리할 수 있는 귀얄문으로 변하고 원료의 제조상태도 조질로 변하여 점차 쇠퇴하는 경향을 보였다. 이와 반대로 백자는 처음에는 충분한 온도에서 번조되지 못한 연질로 시작되었으나 경질자기가 점차 제작되기 시작하고 마지막 단계에서는 고급백자가 생산되었다.

충효동 금곡마을의 분청시기 중 가장 이른 시기가면서 최고급품인 CHE2는 태토의 Fe_2O_3 와 TiO_2 가 가장 낮고 Al_2O_3 는 높았으며 유약은 CaO/ K_2O 의 비가 낮고 전체용융제의 함량도 적어, 태토와 유약의 성분이 모두 고온에서 번조되도록 제조되었음을 알 수 있었다. 미량성분의 주 성분분석법에서 CHE2와 같이 분리되어 같은 흙을 원료로 사용하였을 것이라고 추정되는 CHW3-L은 CHE2보다 태토에 Fe_2O_3 도 높고 유약에도 CaO가 높아 낮은 온도에서 비교적 손쉽게 만들었을 것으로 생각된다. 그러므로 두 그룹의 도편을 생산한 1호가마와 2호가마는 같은 시기에 생산 활동을 하였으며, 그 당시 쓰이는 용도에 따라 다른 제조기술을 선택적으로 사용하였을 것으로 추정할 수 있다. 또한 이들의 유약성분은 다음 단계의 가장 초기에 제작된 백자의 성분과 같으므로, CHE2의 높은 제작기술이 초기 백자 제작에 바탕이 되었음을 짐작할 수 있다. 그 후의 4호가마에서 만들어진 CHW2-8, CHW2-6, CHW2-3은 시기는 달라도 태토와 유약 두 경우 모두 거의 같은 그룹으로 분리된다. 그러나 미량성분 분석에서 서로 다른 그룹으로 나누어지는 것은 시기가 다름에 따라 원료를 채취한 장소가 달랐음을 시사한다. 따라서 흙을 선택하는 기술은 전수되어서 여러 곳에서 다른 시기에 채취하였지만 비슷한 주 성분 특성의 원료를 수집하였던 것으로 추측할 수 있다. 인화문에서 귀얄문으로 문양이 달라지고 본격적으로 질 좋은 백자가 만들어지기 시작한 CHW2-2는 3호가마에서 만들어진 것으로 태토와 유약이 그 전의 분청과는 상당히 다른 성분으로 완전히 다른 원료를 사용한 것으로 생각된다. 시기가 가장 이른 말기청자의 성격을 보이는 CHBS는 태토와 유약 모두 철함량이 높았으며 유약의 칼슘이 20%로 상당히 높았다.

백자태토에는 현재까지 분석된 다른 조선백자나

같은 지역의 분청에 비해 Al_2O_3 함량이 상당히 높았으며, 유약은 다른 백자에 비해 상대적으로 CaO가 낮고 SiO_2 와 K_2O 가 높았다. 따라서 태토와 유약의 Al_2O_3/SiO_2 값의 차이가 많이 나게 되어 유약표면에 잔금이 생길 확률이 높으며, 태토에 Al_2O_3 가 많음에도 자화가 완전하게 되어 단단하고 치밀하다는 것은 높은 온도에서 번조되었음을 시사한다.

이 논문에서는 체계적인 성분분석과 주성분분석 방법으로 충효동에서 제작된 분청과 백자를 시기별로서 가시적인 성질과 연결하여 제작공정에 대한 여러 가지 상황을 추정할 수 있었다. 앞으로 이들에 대한 미세구조 분석을 병행하므로서 원료의 광물 종류와 조합 비율, 번조 온도의 범위 등을 좀 더 정확하게 이해할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 1996년도 한국과학재단 핵심연구과제 (961-0306-064-2) 연구비에 의하여 수행되었다. 태토의 주성분과 미량성분은 기초과학지원연구소 서울 분소에서 분석하였으며, 분석도판을 제공한 국립광주박물관과 국립중앙박물관 여러분께 감사드린다.

인 용 문 헌

1. Kang, H. T. *Doctorate thesis*; Hanyang University, Seoul, 1989.
2. Koh Choo, C. K. *Archaeometry* **1995**, 37, 53.
3. Kang, K. I. *Doctorate thesis*; Chonnam National University, Kwangju, 1997.
4. Kingery, W. D. *Ceramics and Civilization*; Notis, M. D., Ed.; American Ceramic Society: Columbus, Ohio, U.S.A., 1986; Vol. 3, p 153.
5. Heatherington, A. L. *Chinese Ceramic Glazes*; Cambridge, U.K., 1937.
6. Mellor, J. W. *Trans. British Ceramic Society* **1936**, 35, 364.
7. Mellor, J. W. *Trans. British Ceramic Society* **1937**, 36, 264.
8. Zhou, R.; Li, J. *Kaogu Xueban* **1960**, 1, 89.
9. Vandiver, P. B.; Kingery, W. D. *Scientific and Technological Insights on Ancient Chinese Pottery and Porcelain*; Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica, Ed.; Science Press: Beijing, China, 1986; p 187.
10. Kingery, W. D.; Vandiver, P. B. *Scientific and Technological Insights on Ancient Chinese Pottery and Porcelain*; Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica, Ed.; Science Press: Beijing, China, 1986; p 182.
11. Vandiver, P. B.; Cort L. A.; Handweker C. A. *Ceramics and Civilization*; Notis, M. D., Ed.; American Ceramic Society: Columbus, Ohio, U.S.A., 1989; Vol. 4, p 347.
12. Koh Choo, C. K. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 267*; Materials Research Society: **1992**, 633.
13. *Annals of King Sejong Vol. 151*; *Geographical Descriptions on Mujin County*: 1454.
14. *Enlarged Version of Korean Geographical Treatise Vol. 35*; *A Local Produce of Kwangsan District*: 1530.
15. *Punch'ong and White Porcelain Kiln Sites in Chunghyo-dong, Kwangju*; National Museum of Korea: Seoul, Korea, 1992.
16. *Kiln Sites of Chunghyo-dong at Mt. Mudung*; Kwangju National Museum: Kwangju, Korea, 1993.
17. Li, G.; Zhang, X. *Ceramics and Civilization*; Kingery W. D., Ed.; Am. Ceram. Soc.: Columbus, Ohio, U.S.A., 1986; Vol. 2, p 217.
18. Kim, J. S. *Master thesis*; Chung Ang University, Seoul: 1995.