

강릉 보광리 분청도편의 성분과 미세구조 연구

김경남 · 한상목* · 신대용**

삼척대학교 재료공학과, 강원도 삼척시 교동

*강원대학교 신소재공학과, 강원도 춘천시 효자동

**강원대학교, 석재복합신소재연구센터, 강원도 춘천시 효자동

Composition and Microstructure of Punch'ong Sherds from Bokwang-ri, Kangnung

Kyung-nam Kim, Sang-mok Han*, Dae-yong Shin**

Department of Materials Engineering, Samchok National University, Samchok, Kangwon-do, KOREA

*Department of Advanced Materials Engineering, Kangwon National University, Chunchon,
Kangwon-do, KOREA

**CACP, Kangwon National University, Chunchon, Kangwon-do, KOREA

초록 강릉 보광리 도요지에서 출토된 분청 도편의 성분과 미세구조의 특징을 EDS부착의 주사전자현미경과 X선 회절분석기, 열팽창측정기를 이용하여 조사하였다. 도편의 태토 성분은 SiO_2 (73-78%), Al_2O_3 (13-16%), $\text{RO} \cdot \text{R}_2\text{O}$ (4-5%, $\text{R}=\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}, \text{K}$), R_xO_y (3-6%, $\text{R}=\text{Fe}, \text{Ti}$)로 구성되어 있으며, SiO_2 의 양은 많은 편이나 Al_2O_3 의 양은 적은 편이었다. 유약은 CaO 함량이 21-30%로 높은 것으로 보아 석회계열의 유약으로 생각된다. 또한 도편의 소성온도는 1150°C 부근의 온도로 추정된다.

ABSTRACT The chemical compositions and microstructure of the punch'ong excavated from Bokwangri, Kangnung were investigated by the scanning electron microscope (SEM) with an energy dispersive X-ray spectrometer (EDS), X-ray diffractometer (XRD), and dilatometer. The compositions of body were SiO_2 (73-78%), Al_2O_3 (13-16%), $\text{RO} \cdot \text{R}_2\text{O}$ (4-5%, $\text{R}=\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}, \text{K}$), R_xO_y (3-6%, $\text{R}=\text{Fe}, \text{Ti}$) in weight ratio, which were higher silica and flux ($\text{RO} \cdot \text{R}_2\text{O}$) but lower alumina. Owing to the high content(21-30%) of calcium oxide the glaze is considered lime type. Firing temperature range for the ceramic was presumed to about 1150 °C.

1. 서론

조선조의 도자사 연구는 주로 분청사기와 백자를 대상으로 하였으며 주 생산지로는 경기도 광주 분원을 중심으로 한 경기도 일원이다.¹ 그러나

「세종실록」에 의하면 당시에도 전국 각도에 많은 도자소가 있어 각지에서 필요한 도자기를 현지에서 직접 생산하여 사용하였던 것으로 보인다.

경기도 광주의 분원이 도자기 생산지의 중심이 되었던 것은 한강수계를 이용한 원료 및 도자기의

공급과 유통에 많은 편리한 점이 있었기 때문이다. 당시의 교통 상황으로 보아 남북으로 놓인 백두대간의 산세는 영동과 영서지역을 완전히 분리하여 놓았으므로 도자기의 깨지기 쉬운 성질 때문에 동서간 유통은 거의 없었을 것으로 생각된다. 따라서

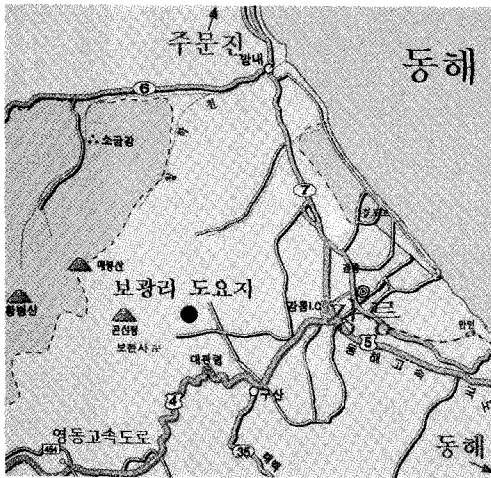


Fig. 1. Location of Bokwang-ri.

당시 강원도 영동지역의 문물교류나 도자기의 유통은 거의 해안선을 따른 남북의 수직적인 교류만이 가능하였을 것이며 도자기의 성분이나 형태도 경기도 지방과 영동지방과는 분명한 차이가 있었을 것으로 보인다.

1993년 강릉시립 박물관에서 발굴한 강원도 강릉시 성산면 보광리(江陵市 城山面 普光里)의 도요지에서 많은 분청사기 도편이 채집되었다.² 본 연구에서는 그중 대표적인 도편을 중심으로 소지와 유약 및 상감에 대한 성분과 미세구조를 분석하였으며 소성온도도 추정하였다.

한편 보광리는 강릉시로 편입되기 전에는 명주군 성산면 소재로 보현촌, 보광동, 보경이로도 불리었는데 신라시대 남원대사가 세운 보현사(普賢寺)의 '보'자와 마을이 빛을 내는 곳이란 뜻의 '광'자를 붙여 보광리(普光里)로 작명되었다고 한다.³

「세종실록」의 강릉대도호부편에 「자기소가 한 군데 있으며 위치는 부의 서쪽 보현촌이다...」⁴라고 기록되어 있는 것으로 보아 지금의 보광리 도요지가 당시의 자기소임이 분명하다.²

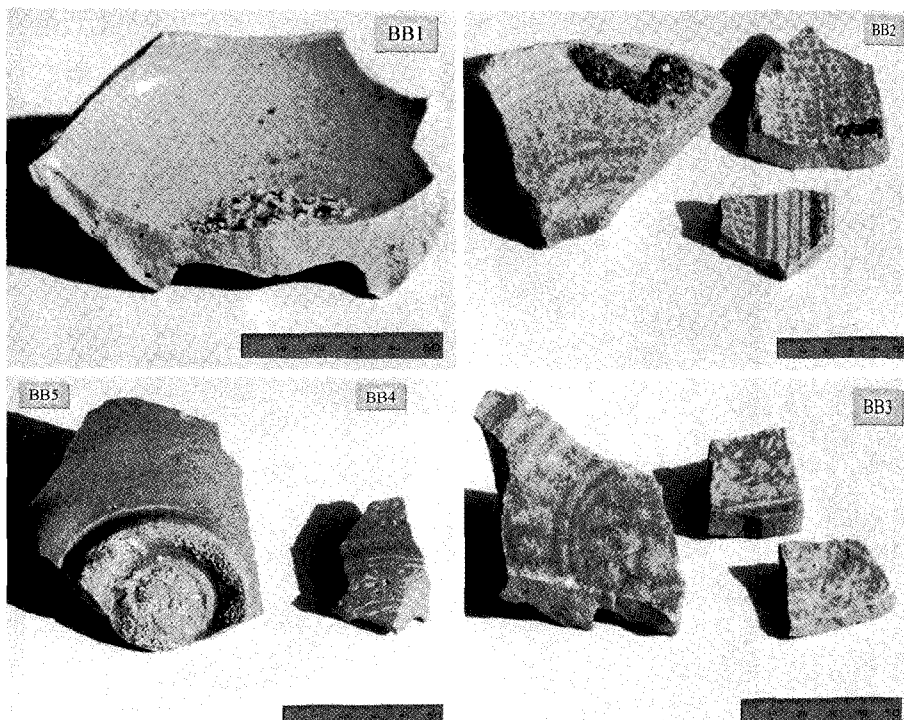


Fig. 2. Picture of the punch'ong sherds from Bokwang-ri.

보광리의 위치는 Fig.1에 표시한바와 같이 강릉의 도심에서 서쪽으로 4 km 떨어진 곳에 위치한다.

2. 연구방법

2.1. 도자 시편의 특징

강릉 보광리에서 발견된 도요지는 마을의 산기슭에서 아래쪽 계곡에 닿는 경작지의 중간지점의 낮은 구릉에 위치하고 있다. 도요지로 들어가는 입구 우측에는 계곡에서 내려오는 작은 개울이 흐르고 있으며, 현재 가마가 매장되어 있을 것으로 추정되는 장소는 다른 부분에 비해 적색 토층과 바닥에 흑갈색의 점토질 토층이 많다. 이 도요지에서 수습한 도편의 사진을 Fig. 1에 나타내었다.

2.2. 실험방법

본 연구에 사용된 도편은 태토와 유약을 다이아몬드 절단기로 분리한 후 일정한 크기의 시편으로 하였다.

미세구조는 도편을 수지에 장착시킨 후 단면을 연마하여 에칭한 후 표면에 카본코팅을 하여 주사전자현미경(SEM, JEOL, JSM-6300)을 이용하여 관찰하였으며, 성분분석(태토, 유약)은 SEM에 부착된 EDS(Oxford Co. ISIS 300)를 사용하여 조사하였다. 이때 성분 분석은 태토, 유약, 상감에 대한 각각의 미세구조에서 면적에 의한 방법으로 각 원소의 standard를 이용하여 결과를 얻었다. 각 도편의 결정상 조사를 위해 분말 X-선 회절장치(XRD, Rigaku, Dmax-2200)를 이용하였는데 측정조건은 CuK α 를 사용하여 가속전압 30 kV, 20 mA에서 행하였다. 도편(태토)의 소성온도는 dilatometer(Anter Co., 1161a)를 사용하여 승온속도 10 °C/min로 상온에서 1250 °C까지 측정하

였다. 시편의 크기는 직사각형(20 mm×4 mm×5 mm)으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

분석에 사용된 보광리에서 출토된 분청 도편의 특징을 Table 1에 나타내었다. 관찰에 의한 도편의 특징은 태토의 두께 6-9 mm, 유약은 130-340 μ m 정도이고 육안으로 보아 회색과 갈색계통의 색깔을 띠고 있었다. 그리고 시편의 분류는 유약층의 색(Table 1)과 상감의 형태(Fig. 1)로 B1, B5는 상감 장식이 없으며 B2, B3, B4는 서로 다른 무늬의 상감장식으로 되어있다. 표2-4의 BB2--은 태토, BG2--은 유약, BI2--상감부분의 성분을 B2시편에 대해 각각 나타낸 것이다.

3.1. 화학조성

분청의 태토와 유약의 화학성분은 주사전자현미경에 부착된 EDS를 사용하였으며 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다. 태토의 조성은 SiO₂ (RO₂)함량이 73-78%로 높고 Al₂O₃ (R₂O₃)는 13-16% 정도로 낮은 것을 볼 수가 있다. 태토의 용융제 역할을 하는 CaO, K₂O, Na₂O(RO·R₂O)가 높은 값을 보이므로 소성이 낮은 온도에서 진행되었을 것으로 생각된다. 태토의 색과 관련된 Fe₂O₃와 TiO₂- (R_xO_y)는 각각 2.5-4.2%와 1-2%로 비교적 높은 것을 볼 수가 있다.

유약을 분석한 시편(Table 3 참조)에서 분청의 SiO₂함량이 50-62%로 높으나, Al₂O₃의 함량은 12-19%정도이다. 용융제의 함량은 도편 모두 높은 값을 보이고 있으며, 그중 CaO함량이 21-30%인 것으로 보아 이같은 조성은 라임계열의 유약에 가깝다는 것을 알 수 있으며, 다른 지역에서 출토되

Table 1. Description of the Punch'ong Pottery Fragments from Bokwang-ri.

Sample	Body		Glaze			
	Color	Thickness (mm)	Color	Thickness (μ m)	Crackle state	
Punch'ong	B1	light-gray	8.4	light gray	310	×
	B2	light-gray	7.5	light gray	136~226	○
	B3	dark-gray	7~9	greenish gray	260	○
	B4	light-brown	6	dark gray	250	×
	B5	light-gray	7~8	greenish gray	257~343	×

Table 2. Chemical Compositions of the Punch'ong Body from Bokwang-ri.

Sample	wt(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO ₂	SO ₃	Empirical Formula			
												RO ₂	ROR ₂ O	R ₂ O ₃	R _x O _y
Body	BB1	65.00	26.43	3.65	2.87	0.45	0.54	1.06	-	-	-	1.083	0.083	0.259	0.018
	BB2	77.99	13.66	2.75	2.49	0.84	0.49	0.69	1.09	-	-	1.300	0.069	0.134	0.030
	BB3	73.39	15.53	2.73	4.20	0.72	0.58	0.89	1.94	-	-	1.223	0.073	0.152	0.050
	BB4	73.63	16.47	2.18	3.86	0.68	0.56	0.92	1.71	-	-	1.227	0.067	0.161	0.045
	BB5	75.87	15.12	2.38	3.11	0.58	0.55	0.85	1.42	-	0.12	1.265	0.072	0.148	0.037

Table 3. Chemical Composition of the Punch'ong Glaze from Bokwang-ri.

Sample	wt(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO ₂	SO ₃	Empirical Formula			
												RO ₂	ROR ₂ O	R ₂ O ₃	R _x O _y
Glaze	BG1	62.65	18.90	3.42	1.65	11.12	0.71	1.09	0.19	0.27	-	1.044	0.273	0.185	0.015
	BG2	50.09	14.30	1.84	1.97	29.47	0.32	1.71	0.18	-	-	0.835	0.604	0.140	0.014
	BG3	50.79	14.43	2.26	1.87	27.58	0.34	1.90	0.25	0.39	0.19	0.847	0.570	0.141	0.019
	BG4	52.68	17.76	3.30	2.90	21.11	0.35	1.40	0.17	0.32	-	0.878	0.453	0.174	0.024
	BG5	58.16	11.90	2.59	1.50	22.59	0.62	1.61	0.21	0.48	0.34	0.969	0.481	0.117	0.018

Table 4. Chemical Compositions of the Inlay in Punch'ong.

Sample	wt(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO ₂	SO ₃	Empirical Formula			
												RO ₂	ROR ₂ O	R ₂ O ₃	R _x O _y
Inlay	BI2	59.74	30.25	4.33	1.43	1.79	0.50	1.11	0.65	-	0.20	0.996	0.114	0.297	0.017
	BI3	56.51	35.57	4.74	1.53	0.37	0.50	0.79	-	-	-	0.942	0.085	0.349	0.010
	BI4	58.63	32.81	5.25	1.80	0.32	0.45	0.75	-	-	-	0.977	0.088	0.322	0.011

는 도편보다 CaO함유량이 높은 것을 볼 수 있다.⁵⁻⁷ 유약의 색과 관계하는 성분은 Fe₂O₃와 TiO₂(R_xO_y)이며 분청의 Fe₂O₃는 1.5-3%, TiO₂는 0.1-0.25%이다.

분청에 인화문 등으로 상감 장식을 한 백색부분을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 즉 유약이 용융할때도 상감부분은 백색의 성분을 유지하면서 변화하지 않았으며 그 이유는 Al₂O₃ 성분이 30-35% 정도로 높았기 때문인 것으로 보인다.

3.2. 도편의 결정상과 미세구조

분청소지의 결정상을 조사하기 위하여 XRD 분석을 행하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 결정상은 quartz, mullite 및 장식상이 소지에 존재함을 알 수 있었다. 초벌한 소지(biscuit)에서는 주로 석영(quartz, tridymite), mullite와 장식의 결정상이 확인되고 있으나, 소성온도가 높은 태토에서는 quartz, tridymite, mullite(3Al₂O₃ · 2SiO₂)상

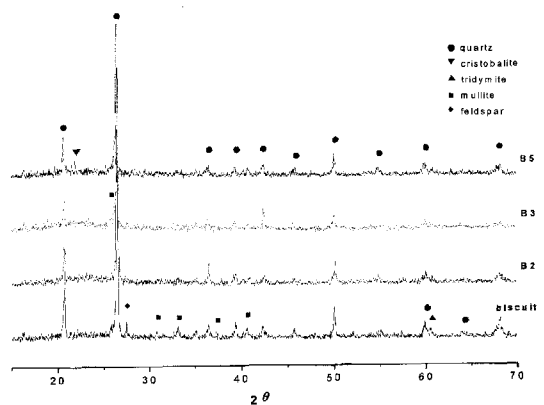


Fig. 3. XRD of the punch'ong body.

이 존재하고 있으며 유약층이 두꺼운 B5의 도편에서는 2θ = 22° 부근에서 고온 안정상인 cristobalite 상도 나타나고 있다.

도편의 단면을 절단 연마하여 SEM으로 관찰한 결과를 Fig.4에 나타내었다. 소지에는 많은 기공이

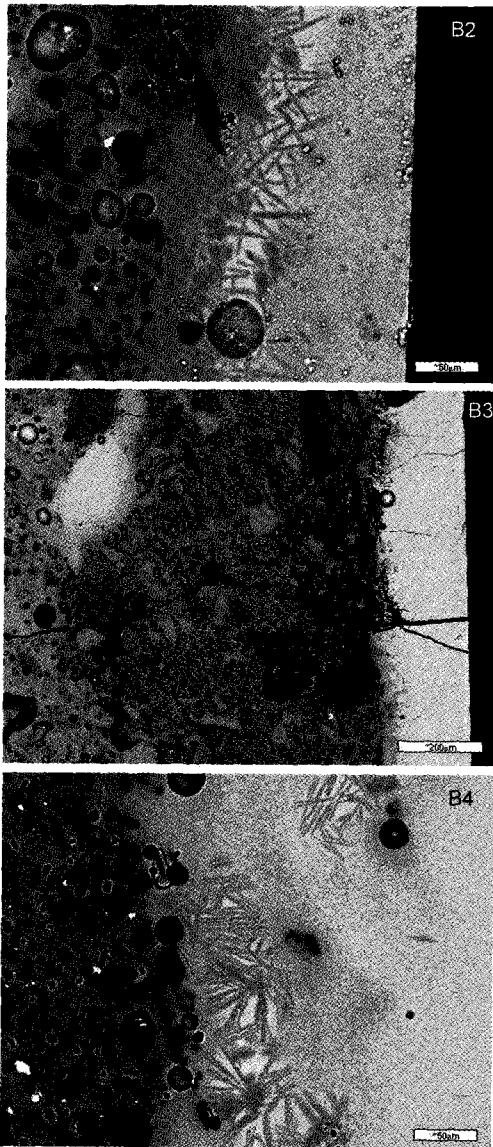


Fig. 4. Micrographs(BEI) of the punch'ong cross section.

존재하며 유약은 치밀하게 융착된 것을 확인할 수 있었다. Fig. 4의 상감의 장식과 유약의 잔균(crack)이 있는 B3 시편에서 중간의 검은 부분이 상감으로 장식된 부분으로 소지층보다 치밀하지 못한 것을 볼수 있다. 상감으로 장식된 시편 B4의 미세구조에서는 유약의 하부에 일부 결정상이 관찰되었으며 이것은 결정형태나 성분상으로 보아 anorthite계 결정일 것으로 추측된다.⁵

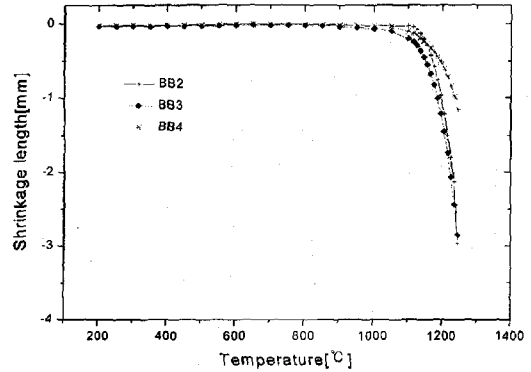


Fig. 5. Shrinkage curves of the punch'ong body.

3.3. 도편의 치밀화

분청소지의 소성온도를 조사하기 위해 dilatometer로 온도를 증가 시키면서 도편의 열팽창 수축한 결과 Fig.5와 같은 곡선을 얻었다. 도편의 열 팽창 수축 관계를 이용하여 도자기 소성온도의 추정이 가능하며, 이는 도편의 팽창특성 중 원 소성 온도를 지나면 팽창곡선을 지나 급격한 수축이 진행되는 구간의 온도가 도편의 추정 소성온도를 이용한것으로 오차범위는 ±20 °C 정도이다.⁸ 그림에서와 같이 BB3와 BB2 도편은 1100 °C 부근에서 수축이 시작되어 1150 °C이후에 급격히 진행되며, BB4 시편은 1150 °C 부근 온도에서는 급격한 수축을 하는 것을 볼수가 있다. 그러므로 도편의 소성온도는 1150 °C부근의 온도에서 행한 것으로 추정된다.

4. 결론

강릉 보광리에서 출토된 분청도편의 성분과 미세구조 및 소성온도를 추정한 결과는 다음과 같다.

도편은 회색과 갈색계통의 색깔을 띠고 있으며, 태토의 성분은 다른지역(학봉리, 충효동)보다 SiO₂ 함량이 높고 Al₂O₃는 낮은 편이었다. 유약은 성분 중 CaO함량이 21-30%로 높은 것으로 보아 라임 계열의 유약으로 보인다. 소지의 결정상은 quartz, tridymite, mullite상이 나타나고 있으며, 일부 소지에서는 cristobalite상이 보인다. B4 도편의 미세 구조에서는 유약의 일부에 anorthite(CaAl₂SiO₈)계의 결정이 관찰되고 있다. 그리고 도편이 1150 °C 이상의 온도에서 급격한 수축을 진행하는 것은

로 보아 소성온도는 1150 °C부근의 온도로 추정된다.

참고문헌

1. 강경숙, “분청사기연구”, 일지사, 1986.
2. 홍순욱, “강릉지방 분청사기의 일고찰”, 관동대학교 석사학위논문, 1995.
3. 김기설, “강릉지역 지명유래”, 인애사, 1992: pp 240-247.
4. 세종실록 153권(강릉대호부편)
5. 이영은, 고경신, “공주학봉리 분청에대한 성분과 미세구조 분석” *보존과학회지*, **6(1)**, 10-14 (1997).
6. 중국과학원 상해 규산염연구소, “89 고도자기과학기술 국제토론회 논문집”, 중국 상해, 1989.
7. 고경신, 도진영, “한국 전통 도자기문화의 과학기술적연구”, 중앙대학교 논문집, 제35집, 1992: pp 75-79.
8. 강경인, 정창주, “전남지역에서 출토된 고대 도자기의 태토조성과 소성온도” *보존과학회지*, **6(1)**, 15-30 (1997).