광주 치평동 유적 출토 철기시대 토기의 제작특성과 매장환경 연구

장성윤^{1*} · 문은정² · 이찬희² · 이기길³

¹국립문화재연구소 복원기술연구실, ²공주대학교 문화재보존과학과, ³조선대학교 사학과

Production Characteristics and Post-depositional Influence of Iron Age Pottery from Chipyeongdong Site in Gwangju, Korea

Sungyoon Jang^{1*}, Eun Jung Moon², Chan Hee Lee² and Gi-Gil Lee³

¹Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

²Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Gongju, 314-701, Korea

³Department of History, Chosun University, Gwangju, 501-759, Korea

This study aimed to interpret the provenance and firing temperature of pottery from Chipyeongdong site in Gwangju, Korea through mineralogical and geochemical methods and also investigated the post-depositional alteration of pottery in burial environments. It is also presumed that they were made of soils near the site because they have similar mineralogical composition and same geochemical evolution path. Based on the results of mineralogical analysis, the pottery samples are largely divided into 2 groups; 700°C to 1,000°C and 1,000 to 1,100°C. At some pottery fired at over 1,000°C, it is thought that the refinement of raw materials were processed to remove macrocrystalline fragments. However, it was found that phosphate in soil environments formed amorphous aggregates with Al and Fe within the pores and voids on pottery fired at the low temperature. It indicates the contamination of pottery after burial.

Key words : pottery, provenance, firing temperature, phosphate aggregate, post-depositional alteration

이 연구에서는 광주 치평동 유적에서 출토된 토기의 태토산지와 소성온도를 광물학적 및 지구화학적 연구방법으로 해석하고 매장환경 하에서 토기의 변질을 조사하였다. 토기와 토양시료는 유사한 광물조성과 지구화학적 진화경향을 갖는 것으로 보아 재료로서의 유사성이 인정되며 토기는 유적의 인근 지역 토양을 이용하여 제작된 것으로 해석된다. 광물학적 분석결과를 근거로, 토기는 크게 1,000~1,100°C에서 고온 소성된 그룹과 700~1,000°C에서 저온 소성된 그룹으로 나눌 수 있다. 또한 고온 소성된 시료에서는 거정질 입자를 제거하는 수비과정을 거쳤을 것으로 보이는데 저온 소성된 시료들과는 다른 시기 또는 용도의 차이를 보이는 것으로 판단된다. 저온 소성된 토기에서 매장환경 동안 P이 토기 내 Al, Fe 등과 반응하여 비결정질의 침전물을 형성하는 것이 관찰되었으며, 이는 환경에 의한 토기의 변질 현상으로 해석된다.

주요어 : 토기, 산지 추정, 소성온도, P, 매장 환경

1. 서 론

토기는 토양을 주 재료로 하는 문화재로서 발굴을 통해 가장 많이 출토되고 있으며 고고학적 시대 구분 및 사회시스템의 변천을 설명할 수 있는 중요한 자료이다(Choi and Shin, 1998). 토기의 연구는 형태적 특

성을 중심으로 한 형식학적 연구 위주로 진행되어 왔으며 1970년대 후반부터 자연과학적 기법을 도입하여 연구의 범위를 확대하였다. 토기를 통해 밝히고자 하는 것은 주로 토기 재료의 선택, 지역적 차이, 소성온도, 토기의 이동을 통한 사회적 교류, 제작 연대 등이며 역사적 기록이 상대적으로 적은 고려시대 이전의

*Corresponding author: fkite@korea.kr

토기가 주요 대상이 되어 왔다.

토기의 연구방법은 초기에는 흡수율과 경도 등의 물리적 특성(Kim, 1976)을 위주로 진행되었고, 점차 토기의 주성분 및 미량원소를 분석하여 다변량해석법의 일종인 주성분 분석과 판별분석으로 태토산지를 해석하였다(Kang, 1990; Choi *et al.*, 1994). 이 방법은 많은 시료를 효율적으로 통계처리하여 명확한 결과를 얻을 수 있어 많은 연구자들에 의해 폭넓게 활용되었다.

토기의 화학조성이 태토의 조성을 반영하고 미량성분은 지구화학적 낮은 이동성을 가진다고 알려져 있으나, 토기 제작과정에서 첨가된 암편이나 거칠질 입자를 제거한다고 하여도 여러 종류의 토양을 혼합하는 경우에는 산지추정에 오류가 있을 수 있다. 또한 선사 시대 토기는 오랜기간 동안 토층에 매장되었다가 발견되므로 매장환경에 따른 영향도 토기의 화학 조성에 영향을 줄 수 있다(Freeston *et al.*, 1985; Mommsen, 2001; Maritan 2004).

이러한 지구화학적 연구방법의 한계로 인해 광물학적 및 암석학적 방법이 도입되었고 토기 연구의 폭이 넓어졌다. 즉, 토기 태토와 모암의 비교를 통한 산지추정, 토기 제작에 첨가된 광물의 특성이나 조직관찰에 따른 제작기법의 추정과 소성온도의 해석 등으로 토기의 구체적이고 실체적인 특성규명에 기여할 수 있었다(Maggetti, 1982; Lee and Lee, 1990; Moon and Lee, 1996; Masucci and Macfarlane, 1997; Moon *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2010).

따라서 이 연구에서는 기존의 지구화학적 연구방법과 함께 광물학적 및 암석학적 연구방법을 정리하여 광주 치평동 유적에서 출토된 토기의 태토산지를 추정하고 소성온도 등의 제작 특성을 고찰하였다. 또한 유적이 파괴된 후 재퇴적되었다는 점을 고려하여 매장환경에 의한 토기의 변질과 풍화양상을 검토하였다.

2. 연구지역 및 시료

2.1. 연구지역

광주 치평동 유적은 행정구역상 광주광역시 서구 치평동 92-1번지 일대에 위치한다. 이 지역은 상무택지개발지구로서 구 상무대(육군제병협동교육본부)가 장성으로 이전함에 따라 개발에 앞서 발굴이 진행된 곳이다. 이 유적은 초기 철기시대에 해당되는 점토대토기, 시루 등의 유물이 다량 수습되어 대단위 생활유적의 존재를 확인하게 하였고 이 지역 고대 문화의 발전 과정을 연구하는 좋은 자료가 되었다(Yim and Seo,

1997).

광주시 일대의 지질은 선캄브리아기 화강암질편마암, 시대미상의 변성퇴적암류, 주라기의 화강암류, 그리고 백악기의 퇴적암류, 화산암류 및 심성관입암류 등으로 구분되지만, 주로 중생대 주라기에 관입한 흑운모화강암으로 구성되어 있다. 영산강과 그 지류인 황룡강, 지석강, 광주천 유역에는 신생대 제4기에 형성된 비옥한 충적층이 화강암질 편마암과 흑운모화강암을 부정합으로 피복하고 있다.

이 지역의 흑운모화강암과 화강암질 편마암은 풍화에 약하여 저지대를 형성하며 분지상의 지형을 이룬다. 치평동은 이러한 분지상 지형의 중심부에 자리하며, 영산강이 치평동 일대를 흐르고 있다. 하천의 흐름으로 볼 때 충적층에 영향을 미치는 것은 흑운모화강암과 안산암이다(Kim *et al.*, 1990; Hong and Yoon, 1986).

2.2. 시 료

광주 치평동 유적에서는 적갈색, 흑갈색, 회백색 토기가 혼재되어 출토되었다. 토기 시료로는 유적을 대표하는 시루의 바닥조각이나 우각형파수의 손잡이부분, 굽(두형토기)조각 부분이 포함되어 있다. 기면의 두께는 6~11 mm이고 대부분 무늬가 없거나 문살무늬(CH-14, 15, 16)를 두드려 넣었다(Fig. 1, Table 1).

입자는 육안으로 볼 때 세립질이고 3 mm 이상의 모래도 확인된다. 발굴 당시 유적은 대부분 파괴되었고, 나온 유물들은 재퇴적된 유물 포함층으로 기원 1세기 전후로 추정되는 철기시대 토기들이 대부분이다. 발굴은 이미 1994~1995년에 완료되었으며 발굴터는 객토한 상태여서 발굴터 자리의 객토 이전 고토양(CH-S)을 채취하였다. 토기의 형태로 볼 때 점토대 토기를 비롯한 대부분의 토기는 기원전 1세기의 철기시대 유적으로 보고 있다(Yim and Seo, 1997).

3. 연구방법

토양시료는 오븐 건조시킨 후, 체로 2 mm 이상의 자갈을 제거하고 분리한 시료를 증류수와 1:5의 비율로 혼합한 뒤 24시간 교반하여 pH를 측정하였다. 토양시료는 24시간 교반한 후 과산화수소와 DCB(dithionite-citrate-bicarbonate)로 유기물과 철산화물을 제거한 후(Jackson, 1969; White and Dixon, 2003), 습식 체거름과 레이저 입도 분석기(Malvern, Mastersizer 2000S, UK)로 모래(sand), 미사(silt), 점토(clay)의 함량을 분석하여 무게 백분율로 계산하고 토성삼각도에 도시하

Fig. 1. Pottery samples in this study.

Table 1. Characteristics of pottery and *in situ* soil samples

No.	Pattern/Part	Color	Thickness(mm)
CH-1	ring-rimmed vessel/mouth	5YR6/6	7.8
CH-2	steamer/bottom	5YR7/6	9.2-16
CH-3	steamer/mouth	N4/0	7.3
CH-4	mounted jar/bottom	7.5YR6/6	46.5
CH-5	mounted jar/bottom	2.5YR3/1	13.7
CH-6	jar with horn-shaped handles/handle	7.5YR5/8	28
CH-7	jar with horn-shaped handles/handle	10YR5/4	50
CH-8	plain pottery/bottom	5YR4/4	46
CH-9	plain pottery/bottom	10YR6/4	39
CH-10	vessel/mouth	5YR6/4	8
CH-11	plain pottery/body	10YR7/3	11
CH-12	plain pottery/body	10YR6/3	10
CH-13	plain pottery/body	2.5Y5/2	11
CH-14	padding pottery/body	7.5YR5/4	6
CH-15	padding pottery/body	2.5Y4/1	6
CH-16	padding pottery/body	10YR5/2	8
CH-S	<i>in-situ</i> soil	7.5YR4/3	-

여 입도를 분석하였다.

토양의 광물동정을 위해 정방위 및 부정방위 분석법으로 X-선 회절 분석(Mac Science, M18XAHF22, Microarea X-ray diffraction system, Japan; CuK α , 전압 20 kV, 전류 90 mA, 주사속도 1° 20/min, 정방 위시료 3~30° 2 θ 구간, 부정방위시료 3~45° 2 θ 구간)을 수행하였다. 정방위 분석은 시료의 점토만 분리하여 건조상태, ethylene glycol 포화상태, 300°C,

550°C 열처리 후 X-선 회절분석을 수행하여 점토광물의 종류를 동정하였다(Moon, 1995). 토기의 광물동정을 위해 표면부는 제거하고 내부기질을 부정방위법으로 X-선 회절분석하였다.

토기가 소성과정에서 겪는 열이력과 광물 상전이를 조사하기 위해 열중량 및 시차열분석(thermogravimetric-differential thermal analysis, TG-DTA, 2000S, MacScience, Co., Japan)을 수행하였다. 백금용기에서

승온속도 20°C/min로, 1,100°C까지 공기 중에서 가열하여 최고 온도에서 1분간 유지하였고, 표준물질로는 α -Al₂O₃를 사용하였다.

토기와 토양의 조직관찰을 위해 수지(resin)로 고정하여 박편제작하고 편광현미경(Nikon Microphot-FXA, Japan)으로 관찰하였다. 토양은 모래 크기를 분리하여 조직을 관찰하고 토기의 조직과 비교하였다. 일부 토기시료는 에너지분산형분광기(energy dispersive X-ray spectrometer, EDS)를 장착한 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM, Jeol, JSM-5910LV, Japan)과 전자현미분석기(electron probe X-ray micro analyzer, EPMA, JXA-8230, Jeol, Japan/Oxford Instruments Analytical, UK)를 사용하여 미세 조직을 관찰하였다.

시료의 주원소(Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P)는 한국기초과학지원연구원의 X선 형광분석기(X-ray fluorescence, XRF)로 분석하였고, 희토류 원소(La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Tm, Yb, Lu)는 한국

원자력연구소의 하나로를 이용하여 중성자방사화분석기(Neutron activation analysis, NAA)로 분석하였다.

4. 결 과

4.1. 광물학적 특성

토양 시료의 pH 및 입도분석 결과, 토양 시료는 pH 5.42의 산성토양으로 자갈 1.80%, 모래 18.78%, 미사 69.25%, 점토 10.17%의 미사질 양토의 특성을 가지고 있었다(Table 2). 광물조성은 비점토광물로서 석영, 장석을 포함하고 점토광물로는 질석, 고령석, 녹니석, 운모를 포함하고 있었다(Fig. 2).

토기의 광물조성은 시료에 따라 약간씩 차이를 보인다. 대부분 석영, 장석, 운모로 구성되지만 일부(CH-3,8,9)는 녹니석의 회절선을 가지고 있었고 다른 시료들(CH-2, 4, 7, 10)은 운모의 회절선이 사라졌지만 고온상 광물의 회절선은 발견되지 않았다. 또한 CH-12

Table 2. Size fraction and mineral contents of soil sample. Q; quartz, F; feldspar, V; vermiculite, K; kaolinite, C; chlorite, M; mica

Sample	Soil pH	Size fraction (wt%)		Soil texture	Mineral contents	
					non-clay	clay
CH-S	5.42	gravel	1.80	Silt loam	Q, F	.
		sand	18.78		Q, F	.
		silt	69.25		Q, F	V, K, C, M
		clay	10.17		Q	V, K, C, M

Fig. 2. X-ray diffraction pattern of soil (A) and pottery (B) samples. C; chlorite, V; vermiculite, M; mica, K; kaolinite, Q; quartz, Mu; mullite, F; feldspar.

Fig. 3. TG-DTA diagram of pottery samples showing the different thermal experience.

Table 3. TG-DTA results of pottery samples

No.	ΔWeight Loss(%)	Exothermic peak at 900°C
CH-1	6.15	910
CH-2	5.64	-
CH-3	8.91	907
CH-4	4.15	-
CH-5	8.06	952
CH-6	9.08	906
CH-7	3.74	-
CH-8	7.55	901
CH-9	4.34	880
CH-10	2.00	-
CH-11	6.21	908
CH-12	1.54	-
CH-13	4.65	875
CH-14	6.16	897
CH-15	2.25	-
CH-16	1.10	-

와 CH-16에서는 운모의 회절선이 사라지고 비교적 높은 배경강도와 함께 약한 물라이트의 회절선이 발견되었다. 이들은 소성과정에서 경험한 온도에 따라 광물상의 차이를 갖는 것으로 해석된다.

4.2. 열분석 및 조직관찰

토기의 열중량 및 시차열분석 결과, 대부분의 시료들은 100~200°C 부근의 흡착수 및 중간수 증발에 의한 흡열피크와 570°C 부근의 석영의 상전이로 인한 흡열피크를 가지고 있다. 900°C 부근의 발열피크는 점토광물 상전이에 기인하는데 미약한 발열피크를 보인

시료들은 CH-1, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 13, 14이다. 이들은 900°C 이상의 온도를 경험한 적이 없는 것으로 판단되고 중량감소율은 4~9%로 비교적 높다. 반면 900°C 부근의 발열피크가 없는 시료들은 CH-2, 4, 7, 10, 12, 15, 16으로 중량감소율은 1~5%였다(Fig. 3, Table 3).

토기의 단면을 편광현미경으로 관찰하여 조직, 공극, 그리고 태토 외에 혼입된 첨가물인 비짐(temper)의 존재 여부를 확인하였고 토양시료는 모래(0.05~2 mm)를 박편으로 제작하여 토기의 비짐과 비교하였다. 그 결과(Fig. 4), 토기는 CH-12과 16을 제외하고는 대체로 공극이 많고 유리질화 되지 않은 기질을 가지고 있었다. 흑운모와 백운모가 기질 내에 분포하며 대부분 1~3 mm의 비짐이 존재하는데 석영과 장석의 다결정 질과 풍화된 장석을 관찰할 수 있다. CH-12와 16은 공극이 거의 없는 치밀한 조직을 가지고 있고 철산화물에 의한 붉은 기질도 관찰되었지만, 다른 토기와 달리 1 mm 이상의 비짐 입자는 관찰되지 않았다.

4.3. 지구화학적 특성

토기와 토양시료를 구성하는 주성분 원소들은 비교적 균질한 조성을 나타냈다(Table 4). SiO₂는 66~72%, Al₂O₃는 11~18%로 광주지역 화강암류와 유사한 조성을 가지고 있었지만, Fe₂O₃는 3~8%로 비교적 높은 함량을, CaO, Na₂O, MgO 등은 1% 이하의 적은 함량을 가지고 있었다(Park *et al.* 1995). 토기와 토양의 주성분 원소를 Nockolds(1954)의 표준 화강암 조성으로 표준화하였을 때 대부분 유사한 증감분포를 가지고

Fig. 4. Microphotographs of soil and pottery samples. (A) Sand size particles of soil CH-S, (B) CH-1, (C) CH-8, (D) CH-16.

Table 4. The concentration of major elements in pottery and soil samples (wt.%)

Sample	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	L.O.I.	total
CH-1	72.76	0.89	11.46	4.72	0.03	0.55	0.53	0.63	2.12	1.99	3.57	99.23
CH-3	67.66	0.86	15.95	4.41	0.11	0.60	0.39	0.92	2.47	0.20	6.37	99.96
CH-5	65.18	0.62	16.42	3.83	0.04	0.65	0.64	0.76	3.10	2.65	5.34	99.23
CH-8	66.84	0.82	15.29	5.18	0.05	0.74	0.48	0.76	2.69	1.29	5.12	99.26
CH-9	69.18	0.66	16.52	3.47	0.02	0.64	0.38	0.75	2.97	1.28	3.60	99.46
CH-10	66.31	0.90	18.82	8.41	0.01	0.77	0.25	0.68	2.43	0.19	1.29	100.05
CH-13	66.61	0.77	18.01	4.91	0.07	1.03	0.42	0.79	2.80	1.01	3.24	99.67
CH-16	71.59	0.89	16.66	5.84	0.02	0.89	0.34	0.58	2.20	0.06	0.99	100.05
CH-S	66.38	0.80	16.82	5.29	0.09	0.78	0.09	0.27	2.72	0.06	6.51	99.80

Table 5. The concentration of rare earth elements in pottery and soil samples (ppm)

Name	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Dy	Yb	Lu
CH-1	35.65	63.30	19.94	5.42	1.06	0.85	4.35	3.95	0.74
CH-2	37.63	96.02	19.31	5.74	1.36	0.60	4.61	3.77	0.59
CH-3	33.07	69.01	19.88	5.60	1.24	0.63	4.54	1.91	0.71
CH-4	42.81	88.91	24.00	6.01	1.38	0.58	5.58	2.21	0.67
CH-5	38.02	51.09	38.09	5.94	1.36	0.45	5.23	3.96	0.68
CH-6	31.71	82.72	21.99	5.44	1.28	0.73	5.45	2.04	0.63
CH-7	37.90	81.76	24.14	5.78	1.49	0.71	5.50	1.81	0.75
CH-8	38.04	83.20	31.76	5.34	1.32	0.61	4.11	1.82	0.69
CH-9	41.41	77.03	33.12	6.28	1.32	0.72	4.97	1.92	0.66
CH-10	48.21	90.47	58.87	7.28	1.65	0.84	6.84	3.92	0.71
CH-11	42.81	70.90	46.70	6.99	1.44	0.82	6.12	4.66	0.90
CH-12	41.01	100.60	35.33	6.01	1.25	0.54	5.31	2.02	0.61
CH-13	50.34	117.98	33.45	7.27	1.63	0.87	5.89	3.87	0.70
CH-14	42.08	102.89	26.63	5.09	1.33	0.37	5.30	1.94	0.65
CH-15	54.23	132.76	33.61	7.91	1.78	0.86	6.98	2.30	0.87
CH-16	45.82	134.41	32.13	5.29	1.25	0.86	5.56	4.09	0.76
CH-S	51.80	84.16	36.01	6.32	1.28	0.81	5.35	3.78	0.89

있다(Fig. 5A). 다만 토기는 토양에 비해 MnO의 결핍, CaO와 Na₂O의 부화가 관찰되었고 P₂O₅의 경우 토양에 비해 최대 33배의 부화가 관찰되었다(Fig. 5B).

토기와 토양의 희토류 원소 분석결과(Table 5), 대부분의 시료들은 LREE인 La이 부화되어 있었고 HREE인 Lu도 약간 부화되어 있었지만 Eu에서는 매우 미약한 부의 이상이 관찰되었다. 분석의 초생치로 표준화한 결과(Fig. 5C), 원소에 따라 다소 차이는 있지만 대부분의 시료들은 유사한 희토류 분포 패턴을 보였다. 이는 토기와 토양이 동일한 모암에서 생성되고 유사한 지구화학적 진화경로를 거쳐 생성된 물질임을 반영하는 것으로 해석된다.

5. 고 찰

5.1. 태토산지 및 소성온도 해석

토기의 주요 재료인 점토광물에 물이 가해지면 층간이 팽창하여 용이하게 토기의 형태를 만들 수 있고, 건조되면 층간의 물이 증발하여 단단해진다. 또한 고온 소성과정을 거치는 동안 특정온도에서 각 점토광물의 상전이가 일어나 본래의 점토와는 다른 광물상을 만든다. 특히 토기·도자기의 주요 원료인 고령석은 550°C에서 메타카올린상으로 변화되면서 X-선 회절 패턴이 사라진다(Lee *et al.*, 1998). 환경적 조건에 따라 다소 차이는 있지만 녹니석은 700~800°C에서, 운모는 900~1,000°C에서 상전이가 일어나면서 X-선 회절 패턴이 사라진다(Maritan, 2005; 2006; Jang *et al.*, 2009). 한편 1,000°C 전후에는 헤르시나이트, 물라이트와 같은 고온상 광물이 서서히 생성되어 관찰되기도 한다. 이러한 광물상의 변화는 토기의 소성온도를 추정하는 근거자료가 된다.

열중량분석과 시차열분석은 상온에서 1,200°C까지 열을 서서히 가하여 토기의 소성온도 이상에서 나타나는 광물 상전이에 의한 급격한 중량변화나 발열피크를 관찰할 수 있다. 특히 900°C 부근에서는 점토광물의 상전이가 관찰되는데 토기에서 이 발열피크가 관찰되지 않으면 그 이상의 온도에서 소성된 것으로 유추할 수 있다.

치평동 토기의 소성온도는 광물조성과 열분석 결과를 고려하여 추정하였다(Table. 6). 토기시료 CH-12, 16는 물라이트의 미약한 생성과 운모의 소멸, 미미한 열중량 감소율과 유리질화된 기질을 고려하였을 때 1,000~1,100°C에서 소성된 것으로 판단된다. 토기시료 CH-2, 4, 7, 10에서 운모의 회절선은 소멸되었지만 물

Fig. 5. Variation diagram showing major and rare earth elements composition of pottery and soil samples. (A, B) Major element diagram normalized by standard granite composition (Nockhold, 1954) and soil sample, (C) REE pattern normalized by chondrite (Wakita, 1971).

라이트의 회절선은 관찰되지 않았고 시차열분석에서도 900°C의 상전이 발열피크가 관찰되지 않는 것으로 보아 900~1,000°C에서 소성된 것으로 해석하였다. 나머지 토기시료들은 운모 또는 녹니석이 관찰되며 열분석 결과를 고려할 때 700~900°C에서 소성된 것으로 판단된다. 그러나 소성온도의 추정은 토기가 열적 비평형 상태에서 소성된 점과 오랜 기간 토양환경에서 풍화되고 변질된 점을 종합적으로 고려해야 한다.

한편 토기가 어떤 토양으로 제작되었고 그 과정에서 다른 광물의 첨가 또는 제거 과정(수비 과정)이 있었는지에 관한 검토는 토기연구에서 매우 중요하다. 토기의 출토지와 태토 산지가 다르다는 것은 토기의 이동,

더 나아가 사회적 교류 등을 유추할 수 있는 근거가 되기 때문이다. 일반적으로 태토산지를 추정하는 과학적 방법은 광물학적 및 지구화학적 방법으로 크게 나눌 수 있으나 양측면의 고려가 함께 이루어져야 더 종합적인 결과를 얻을 수 있다.

치평동 토기의 광물조성은 출토지 인근 토양의 조성과는 다소 다르게 나타나는데 이는 토양의 소성과정 동안 점토광물의 상전이에 인한 것으로, 토양과 토기의 기본 광물조성은 상호 유사성을 가지고 있다. 또한 주성분 분석결과를 A-CN-K-FM 삼각도에 도시해 보면 (Fig. 6), 토양과 토기시료의 조성이 최종 풍화산물인 고령석, 녹니석, 깃사이트 방향으로 집중되어 있어 동일한 화학적 풍화경로를 거친 것으로 판단된다. 각 시료의 회토류 원소 분포는 거의 유사한 지구화학적 진화경향을 가지고 있어 태토의 유사성이 유추된다. 위의 결과를 종합하면 치평동 토기는 인근 토양을 태토로 하여 제작되었을 것으로 해석할 수 있다.

토기를 점토로만 제작하면 건조되면서 수축이 심하게 일어나기 쉽고 소성되면서 깨지기도 쉽다. 따라서 조가비 가루, 다른 토기 알갱이, 모래, 암편 등을 비집

(temper)으로 첨가하면 찰기를 줄여 성형을 용이하게 하고 수축률을 줄일 수 있다(Rice, 1987). 이 연구에서는 토기의 편광현미경 관찰결과를 토양의 모래입자와 비교하여 태토에 광물 첨가 또는 제거 경향을 유추할 수 있다. CH-12, 16을 제외한 모든 토기는 1~3 mm의 첨가물을 가지고 있으나 원마도가 높고 토양의 모래입자와 유사한 크기이므로 토양에 비집을 첨가하지 않았을 것으로 판단된다. 다만 CH-12, 16에서는 1 mm 이하의 고른 입자 분포를 가지고 있어 일부 모래입자를 제거했을 가능성이 높다.

토기시료의 소성온도와 비집 특성을 Table 6에 정리하였다. 소성온도 1,000°C 이하인 시료들은 1~3 mm 이상의 비집 입자를 가지고 있었고(Group 1), 1,000~1,100°C의 소성온도를 갖는 CH-12와 16(Group 2)는 1 mm 이하의 비집과 치밀한 조직을 가지고 있었다. Group 1의 시료들은 수비하지 않은 토양으로 제작되었고 다소 소성온도의 차이는 있지만 가마 안의 열적 불균형을 고려하면 대체적으로 유사한 특징을 가지는 것으로 판단된다. Group 2의 시료들은 높은 소성온도와 정제된 재료를 사용하여 제작된 것으로 추정되며 비교적 늦은 시기에 제작되었거나 용도상 치밀하고 단단한 구조가 요구되는 토기일 가능성이 있다. 그러나 각 시편의 전체 기형을 유추하고 본래의 층위를 추정하기는 어려우므로 시기와 용도를 추정하는 데 한계가 있다.

5.2. 매장환경의 영향

주성분 원소 분석결과로부터 토기는 토양에 비해 MnO의 결핍, CaO, Na₂O, P₂O₅의 부화가 확인되었다. 특히 일부 토기에서는 토양에 비해 최대 33배의 P₂O₅가 검출되어 매장 환경에 의한 풍화와 변질의 가능성을 배제하기 어렵다. 토기가 매장되어 있는 동안 가능한 반응들은 토기에 존재하는 광물의 용해와 용출, 토기 내 공극을 통해 다른 광물의 침전이나 흡착, 또는

Fig. 6. Distribution diagram of pottery and soil samples.

Table 6. Characterization of pottery samples based on the production techniques

Group	Sample	Mineral phase			Thermal transition (900°C)	Firing temperature	Temper size
		chlorite	mica	mullite			
1	CH-8,9	○	○	-	○	around 700°C	1~3 mm
	CH-1,3,5,6,11,13,14,15*	-	○	-	○	800~900°C	
	CH-2,4,7,10	-	-	-	-	900~1,000°C	
2	CH-12, 16	-	-	○	-	1,000~1,100°C	>1 mm

* CH-15 had the diffraction pattern of mica, although it showed no thermal transition at 900°C and low weight loss during TG-DTA analysis.

기존 광물이 분해되어 2차 광물이 형성되는 경우 등이다. 특히 토기에서 P의 부화 현상은 국내에서는 보고된 바가 거의 없지만 국외에서는 사례가 있다.

저온 소성된 토기는 토양환경에서 공극을 통한 P의 흡착현상이 발견되었지만 고온 소성된 토기에서는 거의 흡착되지 않았으며(Freestone *et al.*, 1985), 토기를 제작할 때 포함된 뼈조각들이 매장환경에서 분해되어 2차 광물을 형성하는 경우나 토양에서 흡착되는 경우 등(Maritan and Mazzoli, 2004; Maritan *et al.*, 2009; Secco *et al.*, 2011)도 있다.

특히 풍화되고 저온 소성된 토기는 점토광물보다 더 쉽게 인산을 포획하여 흡착되는 경우가 많은데(Freestone *et al.*, 1994), 소성으로 결정수와 유기물이 제거되어 기공을 통한 반응이 용이한 것으로 생각된다. 그러나 1,000°C 이상의 고온에서 소성된 토기는 광물의 재결정화와 조직의 유리질화가 진행되어 기공이 작아지고 흡수율이 낮아져 이러한 환경적 영향을 적게 받는 것으로 판단된다.

치평동 토기 중 1,000°C 이상의 고온 소성된 CH-16에서는 P의 함량이 토양과 동일하여 환경적 영향을

거의 받지 않은 것으로 판단되지만, 800°C 이하에서 소성된 것으로 추정되는 CH-1, 5, 8, 9, 13에서는 P_2O_5 의 함량이 상당히 높은 편이다(Table 4, Fig. 5B). Fig. 7은 CH-13 시료의 미세조직을 전자현미분석기로 면분석한 결과이다. 석영입자 사이의 느슨한 조직에서 P와 Fe, Al이 동일한 범위에서 농집되어 있었고 Ca는 발견되지 않았다.

X선 회절패턴과 박편을 통한 토기 조직관찰에서 P의 결정질 광물이 발견되지 않았다. Ca도 검출되지 않는 것으로 보아 토기 내에서는 뼈 등은 포함되지 않았을 것으로 판단되며 주로 공극을 통해 유입된 P와 토기 내 구성물질 간의 화합물 형성 또는 흡착 현상으로 판단된다. 또한 미세조직 관찰 결과(Fig. 8), 이들은 석영입자 사이의 공극에서 형성된 비결정질 화합물로 판단된다.

일반적으로 P는 인간 또는 생물체의 활동에 의해 공급되고 미생물 또는 오랜 풍화과정을 거치면서 용해되거나 침전된다. P는 토양 내에서 유기화합물 형태와 Ca, Fe, Al과 결합된 무기화합물 형태로 존재하는데 산성토양에서는 Fe, Al과 결합된 형태가 우세하고 알

Fig. 7. Back-scattered electron image and elemental maps of phosphate aggregates of CH-13.

Fig. 8. Microstructure of phosphate aggregate of CH-13 showing amorphous aggregates among other minerals.

칼리 토양에서는 Ca과 결합된 형태가 우세하다(Brandy and Weil, 1999). 치평동 토양환경의 pH는 5.42로서 산성토양에 해당되어 Ca과 결합된 화합물은 용해도가 높아지고 Fe, Al과 결합된 화합물은 안정한 상태로 존재할 것으로 판단된다.

따라서 Fig. 7의 분석결과는 낮은 pH의 매장환경에서 안정한 P 화합물이 생성된 것으로 볼 수 있으며 토기의 변질현상으로 해석할 수 있다. 따라서 토기는 매장환경에서 풍화 또는 변질될 수 있으며 토기의 화학조성만으로 태토산지를 추정하거나 토기의 특성을 파악하는 것은 산지추정의 오류를 가져올 수 있으므로 토기의 제작과정, 사용흔적, 그리고 매장환경을 고려한 종합적인 검토가 필요하다.

6. 결 론

이 연구에서는 광주 치평동에서 출토된 토기의 태토 산지와 소성온도를 포함하는 제작기법을 광물학적 및 지구화학적 방법으로 탐색하고 매장환경에서 토기에 영향을 미치는 P의 부화현상과 존재형태를 검토하였다. 토기시료들은 대부분 기원전 1세기 전후의 철기시대 형식을 가지고 있으며 유적이 파괴된 후 재퇴적된 층에서 발견되었다.

광물조성과 열분석 결과로부터 토기는 석영과 장석, 물라이트를 포함하고 1,000°C 이상에서 소성된 것으로 추정되는 그룹과 석영과 장석을 포함하고 900~1,000°C에서 소성된 것으로 추정되는 그룹, 석영, 장석, 운모 등을 포함하고 900°C 이하의 소성 그룹 등으로 나누어진다. 또한 토기와 토양은 주성분 및 희토류 원소 분포가 거의 유사한 지구화학적 진화경향을 가지고 있어 재료적 유사성이 유추되며 광물조성과 지구화학적 분석을 종합하면 치평동 토기는 유적지 인근 토양을 태토로 하여 제작되었을 것으로 해석된다.

대부분의 토기는 토양에 존재하는 거정질의 풍화된 석영과 장석을 포함하고 있어 토양을 그대로 사용했을 것으로 추정된다. 그러나 일부 고온소성된 토기는 수비과정을 거쳤고 다른 토기들과 구분되는 시기적 또는 용도적 차이가 존재할 것으로 추정되지만 각 시료의 전체 기형과 층위를 확인하는데 한계가 있다.

또한 토기는 토양에 비해 Mn의 결핍, Ca, Na, P의 농집이 관찰되었고 특히 P은 저온 소성된 토기의 공극 사이에서 Fe과 Al과 함께 비결정질의 침전물을 이루고 있었다. 즉, 토기는 산성토양에서 장기간의 매장 환경을 거치면서 그 영향을 받은 것으로 판단되지만 변질

원인과 그 경로에 대해서는 향후 심도 있는 연구가 필요하다.

참고문헌

- Brandy, N.C. and Weil, R.R. (1999) The nature and properties of soil. Prentice Hall Inc., p.555-565.
- Choi, M.L., Kang, H.T. and Shin, S.J. (1994) Scientific analysis on the pottery unearthed at Misa-ri(II). Journal of Archaeological and Historical Studies, vol.8, The museum of Dong-A University.
- Choi, M.L. and Shin, S.J. (1998) Pottery analysis, In Choi, (ed.) Archaeological methods. Seoul National University Press.
- Freestone, I.C., Meeks, N.D. and Middleton, A.P. (1985) Retention of phosphate in buried ceramics: An electron microbeam approach. Archaeometry, v.27, p.161-177
- Hong, S.H. and Yoon, W. (1986) Geologic report of Songjeong, Korea Institute of Energy and Resources. p.4-8.
- Jackson, M. (1969) Soil chemical analysis -advanced course. Department of Soils, University of Wisconsin.
- Jang, S., Lee, G., Moon, H. and Lee, C.H. (2009) Interpretation of material provenance and production techniques of pottery and kilns from Gundong and Majeon sites in the 3rd Century at Yeonggwang, Korea. Journal of Conservation Science. v.25-1, p.101-114.
- Kang, H.T. (1990) Classification of archaeological samples by pattern recognition methods. Korean Ancient Historical Society, v.3.
- Kim, G.B., Lee, B.J. and Hwang, S.G. (1990) Geologic report of Gwangju, Korea Institute of Energy and Resources. p.8-15.
- Kim, R.H., Cho, M.S., Yeon, W., Seo, J.S. and Lee, C.H. (2010) Interpretation of material homogeneity and making techniques of the jar coffins from the Oryangdong kiln site and the Ungokdong tomb site in Naju, Korea. Journal of Conservation Science, v.26(3), p.229-245.
- Kim, Y.O. (1976) A study of iron age pottery in Korea. Baeksan Hakbo, v.20.
- Lee, G.G. and Lee, M.W. (1990) Provenance study of pottery of neolithic and bronze age. Journal of the Korean Archaeological Society, v.25, p.23-46.
- Lee, S., Kim Y. and Moon, H. (1998) An investigation of the transformation sequence from kaolinite to mullite. J. Miner. Soc. Korea, v.11, p.32-44.
- Maggetti, M. (1982) Phase analysis and its significance for technology and origin. In Archaeological ceramics. Edited by Olin, J. S. and Franklin, J. D., Smithsonian Institution Press, p.121-133.
- Maritan, L., Angelini, I. and Artioli, G. (2009) Secondary phosphates in the ceramic materials from Frattesina. Journal of Cultural Heritage. v.10, p.144-151.
- Maritan L. and Mazzoli, C. (2004) Phosphate in archaeological finds; Implications for environmental conditions of burial. Archaeometry, v.46, p.673-683.
- Maritan, L., Mazzoli, C., Nodari, L. and Russo, U. (2005) Second iron age grey pottery from Este (northeastern

- Italy): study of provenance and technology. *Applied Clay Science*, v.29, p.31-44.
- Maritan L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A. and Russo, U. (2006) Influence of firing conditions on ceramic products: Experimental study on clay rich in organic matter. *Applied Clay Science*, v.31, p.1-15.
- Masucci, M. and Macfarlane, A. (1997) An application of geological survey and ceramic petrology to provenance studies of Guangala phase ceramics of ancient Ecuador. *Geoarchaeology*, v.12, p.765-793.
- Mommsen, H. (2001) Provenance determination of pottery by trace element analysis; problems, solutions and applications. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v.247, p.657-662.
- Moon, H. (1995) Clay mineralogy. Minumsa.
- Moon, H. and Lee, G. (1996) Analysis of raw materials and firing temperature of roof tiles, bricks and pottery from Joseon Dynasty Era. *Journal of the Korean Archaeological Society*, v.34, p.161-194.
- Moon, H., Lee, D. and Lee, G. (1999) Analysis of raw materials and firing temperature from Ttukme site, Gwangju. *Journal of the Korean Ancient Historical Society*, v.30, p.7-26.
- Nockolds, S.R. (1954) Average chemical compositions of some igneous rocks. *Geological Society of American Bulletin*, v.65, p.1007-1032.
- Park, Y., Noh, Y. and Lee, C. (1995) Rb-Sr Isotopic study of granitoid rocks in the Gwangju-Naju area, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, v.16-3, p.247-261.
- Rice, P. M. (1987) Pottery analysis. The University of Chicago Press, p.80-109.
- Secco, M., Maritan, L., Mazzoli, C., Lampronti, G., Zorzi, F., Nodari, L., Russo, U. and Mattioli (2011) Alteration process of pottery in lagoon-like environments. *Archaeometry*, v.53-4, p.809-829.
- White, G. and Dixon, J. (2003) Soil mineralogy laboratory manual. 9th Ed., Department of Crop and Soil Sciences, Texas A&M University.
- Wakita, R., Rey, P. and Schmitt, R.A. (1971) Abundances of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples. *Proc. 2nd Lunar Sci. Conf.* Pergamon Press, Oxford, p.1319-1329.
- Yim, Y.J. and Seo, H.J. (1997) Chipyeong site, Gwangju. The Museum of Jeonnam University-Gwangju Metropolitan city.

2012년 3월 26일 원고접수, 2012년 4월 17일 게재승인