

# 영광 군동·마전 원삼국시대 토기와 가마의 제작특성 및 태토의 산지해석

장성윤 | 이기길\* | 문희수\*\* | 이찬희\*\*\*<sup>1</sup>

국립문화재연구소 복원기술연구소, \*조선대학교 사학과  
\*\*연세대학교 지구시스템학과, \*\*\*공주대학교 문화재보존학과

## Interpretation of Material Provenance and Production Techniques of Pottery and Kilns from Gundong and Majeon Sites in the 3rd Century at Yeonggwang, Korea

Sung-Yoon Jang | Gi-Gil Lee\* | Hee-Soo Moon\*\* | Chan Hee Lee\*\*\*<sup>1</sup>

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

\*Department of History, Chosun University, Gwangju, 501-759, Korea

\*\*Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

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

<sup>1</sup>Corresponding Author : chanlee@kongju.ac.kr, +82-41-850-8543

**초 록** 전라남도 영광군 대마면 원흥리 군동과 마전에서 발굴된 원삼국시대 가마 2기와 토기 20점을 대상으로, 광물학적 및 지구화학적 연구방법을 사용하여 태토의 산지, 토기의 제작특성, 그리고 원삼국시대 가마의 재료학적 특성을 분석하였다. 이 결과, 토기와 가마는 인근 토양과 유사한 광물조성을 갖고 있으며 주성분 원소와 희토류 원소에서 동일한 진화 경향성을 가져, 주변 토양으로 제작되었음을 유추할 수 있다. 일부 토기에서는  $P_2O_5$ , CaO, Na<sub>2</sub>O의 부화현상이 관찰되어 토기가 오랜 매장기간동안 토양환경의 영향을 받은 것으로 판단된다. 또한 군동유적에서 동쪽으로 약 600m 떨어진 마전유적 집자리에서 발견된 토기도 군동의 토기와 같은 태토와 제작기법으로 생산되어 인근 마전 마을에서 사용되었던 것으로 보인다. 이 토기들은 물리적 특성, 소성온도, 제작기법에 따라 세 그룹으로 분류되었다. 그룹 1은 적갈색 연질의 타날문 토기가 주를 이루는데, 붉고 공극이 많은 기질에 산화철을 많이 함유하고 비집은 0.5mm 이하로서 소성온도는 700~800°C로 추정된다. 그룹 2는 회백색 및 회청색의 타날문 토기를 포함하는데, 유리질화된 기질에 공극이 적고 비집은 0.5mm 이하로서 소성온도는 900~1,000°C로 추정된다. 그러나 일부 토기는 태토, 조직, 비집의 특성상 그룹 2에 속하지만 소성온도가 1,100°C 이상의 고온으로 해석되었다. 그룹 3은 적갈색 및 회청색의 타날문 토기를 포함하는데, 유리질화된 그릇에 공극이 적은 편이고 비집은 2mm 이상의 다결정질 석영과 장석으로 구성되며 소성온도는 1,000°C 부근으로 추정된다. 토기들이 같은 가마에서 동일한 태토로 제작되어도 3개의 그룹으로 나누어지는 것은 기형과 용도에 따라 다소 다른 제작방법(태토의 수비, 비집, 가마의 소성조건)이 존재하기 때문인 것으로 보인다. 1호 가마는 가마벽이 600~700°C의 열을, 바닥면은 900~1,000°C의 열을 받은 것으로 나타나 고온소성이 가능한 가마였고, 2호 가마는 바닥이 500°C 이하의 열을 받은 것으로 나타나 가마로서의 역할을 수행하기는 어려웠을 것으로 해석된다.

중심어 : 토기, 가마, 제작기법, 소성온도, 산지추정

**ABSTRACT** Potsherds and kilns of the AD 3th century excavated from Gundong and Majeon sites, Korea were studied to investigate the production techniques and provenance of potsherds and kilns on the pastes. For potsherds, kilns blocks and *in-situ* paleo-soils, provenance of raw materials were estimated through mineralogy and geochemistry, while production technique and thermal feature of kilns were investigated through observation of textures and compositions as well as firing experiment on paleo-soils. As a result of study, potsherds and kilns were found to have similar mineralogical compositions as the neighboring paleo-soils and to have same evolution path with that of geochemistry. The potsherds were divided into 3 groups according to firing temperature and production technique. Group 1 consists of reddish stamped pattern pottery with loose textures, which has many pores and contains many iron oxides. Its temper is less than about 0.5mm, and was probably fired between 700 to 800°C. Group 2 contains ash to grayish blue stamped pattern pottery, which has vitrified texture and few pores. Its temper is less than about 0.5mm, and was probably fired from 900 to 1,000°C. However, some potsherd belongs to the group 2 in terms of features for temper and pastes, but it was probably fired over 1,100°C. Group 3 contains reddish and grayish stamped pattern pottery. It has vitrified matrix, few pores and temper consists of polycrystalline quartz and feldspar over 2mm, and it was probably fired around 1,000°C. The kiln had experienced temperature from 600 to 700°C on the wall, from 900 to 1,000°C on the bottom, suggesting the function of high temperature firing.

Key Word : Potsherd, Kiln, Production technique, Firing temperature, Provenance interpretation

## 1. 서론

토기는 토양을 재료로 하여 수비, 성형, 건조 그리고 소성과정을 거쳐 제작되며 제작된 후에는 본래 토양과 다른 물성을 가지게 된다. 따라서 토기의 색, 경도, 물성, 형태는 각각의 제작과정을 반영한다고 볼 수 있으며 그 과정은 토기 및 토양의 자연과학적인 연구방법에 의해 추적될 수 있다.

고고학적 연구방법론이 주를 이루던 토기 연구에 자연과학적인 방법이 도입된 목적은 크게 제작기술 연구와 태토의 산지추정 등을 들 수 있다<sup>1</sup>. 1970년대 김양옥<sup>2</sup>은 국내 최초로 철기시대 토기의 제작기술연구에 흡수율과 경도 등의 물리적 특성을 분석하였다. 이후 다양한 시기의 토기를 대상으로 한 연구가 진행되었으며, 주로 화학성분, 광물조성 등을 토대로 소성온도와 태토의 입자구성을 규명하는 연구가 이루어졌다<sup>3,4,5,6</sup>. 그 중에서도 토기의 암석학적 및 광물학적 특성연구를 통해 토기의 제작기술을 밝히려는 연구가 진행되어 특정 지역에서 제작된 토기는 그 지역의 지질특성을 반영하고 있음을 밝히기도 했다<sup>7-13</sup>. 또한 토기의 미세조직 관찰을 통해 시기에 따른 토기의 제작특성을 밝힌 연구가 발표된 바 있다<sup>4,15</sup>.

토기의 산지해석은 주로 화학분석과 통계분석을 통해 연구되어 왔다. 즉 토기를 구성하는 미량성분을 분석하여 다변량해석법의 일종인 주성분분석과 판별분석으로 태토 산지를 해석하는 방법이다. 이 방법은 많은 시료를 효율적으로 통계처리하여 명확한 결과를 도출할 수 있어 연구

자들에 의해 폭넓게 이용되고 있다<sup>16-18</sup>. 그러나 토기의 화학조성이 태토의 화학조성을 반영하며, 토기를 구성하는 미량성분은 지구화학적으로 낮은 이동성을 갖는다고 가정하고 있어, 비집을 첨가하거나 태토에서 거정질 입자를 제거하거나 여러 종류의 토양을 섞어 사용한 경우에는 오류를 발생할 수 있다.

또한 인접하는 지역의 토기들을 서로 비교하거나 산지 추정할 경우에는 태토의 지구화학적 유사성으로 인해 토기들은 지역적으로 분류되기 어렵다. 이뿐 아니라 토기는 제작된 후 오랜 기간 토양에 매장되어 있었으므로 토양환경의 영향으로 미세구조에 화학적 및 광물학적 변화를 가져올 수 있어 산지추정에 산중한 해석이 요구된다<sup>9,20</sup>.

따라서 토기의 산지추정은 화학조성을 기반으로 한 연구 외에도 토기를 구성하는 광물학적 연구, 미세조직의 관찰 등의 종합적인 연구가 바탕이 되어야 한다. 또한 토기의 소성온도 및 제작기법의 연구에서도 토양광물학적 접근은 토기의 구체적이고 실제적인 특성규명에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

이 연구에서는 토기의 산지추정과 제작기술 연구에 지구화학적 및 토양광물학적 연구방법을 도입하여 종합적인 해석을 통한 문화사 복원에 접근하고자 한다. 연구대상은 전라남도 영광 군동에서 출토된 원삼국시대 가마와 가마 내외부에서 나온 다양한 색과 형태의 토기와 토양이다. 특히 가마에서는 적갈색 연질토기를 비롯하여 회청색 경질토기와 회색토기 등이 함께 출토되었으므로 한 가마에서 다양한 토기들이 어떻게 생산될 수 있는지, 각 토기들

은 동일한 제작방법을 거쳐 제작되었는지, 가마는 어떤 특성을 가지는지 고찰하고자 한다.

## 2. 현황 및 연구방법

### 2.1. 연구지역

전라남도 영광군 대마면 원흥리 군동과 마전유적에서 원삼국시대의 가마와 마을이 조선대학교 발굴단에 의해 발굴되었다<sup>21, 22</sup>. 군동 “가”유적에서는 3기의 가마를 중심으로 폐기장, 원형주거지, 구상유구 2기가 조사되었다. 그 가운데 1호 가마는 번조실, 연소실, 아궁이가 일직선 상에 설치된 반지하식 등요이다. 번조실의 평면형태는 장타원형으로 자연경사면을 그대로 이용하여 축조하였는데 전체길이 약 368cm, 너비 112~142cm의 크기로 번조실의 경사도는 15°이다. 또한 번조실의 바닥은 연소실과의 연결부위에 약 40° 정도의 기울기를 가지는 불턱과 번조실 중앙바닥에 얇은 수직턱이 별도로 설치되어 있다 (Figure 1).

2호 가마는 번조실의 상부만 남아있는데, 이는 가마 하부가 이후에 들어선 폐기구덩이에 의해 파괴되었기 때문이다. 남아있는 번조실의 크기는 길이 약 120cm, 너비 68~76cm, 번조실의 기울기 12°이다. 매우 작은 규

모이나 내부에는 비교적 큰 호를 비롯해 그릇받침이 출토되었다. 3호 가마는 번조실의 중간벽체 일부와 아궁이가 남아있다. 규모는 소형이지만 번조실의 경사도가 가파르며 아궁이에는 목탄과 재들이 쌓여 있었다.

군동유적에서 약 600m 떨어진 마전유적의 원삼국시대 문화층에서는 방형의 움집자리 9기가 발굴되었다. 이 집자리들이 분포하는 범위는 남서-북동방향으로 약 67m, 북서-남동방향 약 52m이다. 여기서의 시루, 화분형 토기, 장란형 토기 등이 발견되었다. 군동유적의 1, 2호 가마와 원형집자리 그리고 마전마을의 집자리의 연대는 유적에서 발견된 숯의 방사성탄소연대측정과 공반유물을 토대로 기원후 3세기로 보고있다<sup>23</sup>.

이 연구에서는 모습과 형태가 잘 남아 있는 1호 가마와 2호 가마를 연구대상으로 하여, 가마 내부에서 출토된 토기들을 육안관찰을 통해 색과 질감에 따라 대표적인 토기편을 시료로 선정하였고 가마의 벽과 바닥편도 선택하였다. 가마에서 제작된 토기와 가마 편을 통해 가마의 성능을 추정하기 위해서이다. 이에 1호 가마에서 13점의 토기편을, 가마 번조실의 벽에서 2점의 시료를 거뒀고, 2호 가마에서는 4점의 토기편과 번조실의 바닥에서 1점의 시료를 거두었다. 또한 토기 원료의 산지를 추정하기 위해 점토가 우세한 토양을 군동유적 2호 가마와 같은 층위에서 채취하였다(Figure 1, 2). 분석에 이용된 모든 시료의 특징을 정리하면 Table 1과 같다.

### 2.2. 주변지질

영광 군동 유적의 행정구역은 전라남도 영광군 대마면 원흥리이고 북위 35° 18' 00" 동경 126° 33' 20"에 위치한다. 영광은 선캄브리아기 화강암질 편마암, 시대미상의 옥천계 변성퇴적암류와 반상화강편마암, 쥐라기 화강암류, 백악기 화산암류 및 불국사 관입암류 등으로 구성되어 있다. 연구지역인 군동과 마전은 쥐라기 흑운모 화강암과 반상 흑운모 화강암지역의 경계에 속한다. 쥐라기 화강암류는 영광지역에서 대규모로 분포되어 있고 이전 시기의 변성암류를 관입하였고 암쇄엽리가 발달되어 있으며 화산암류에 의해 부정합으로 덮여 있다.

군동은 흑운모 화강암 지역에 속해 있지만 반상 흑운모 화강암과 접이적인 경계를 형성하며 풍화저항에 약해 낮은 구릉에 적색 잔류토로 남아있다<sup>24</sup>. 특히 연구지역은 하

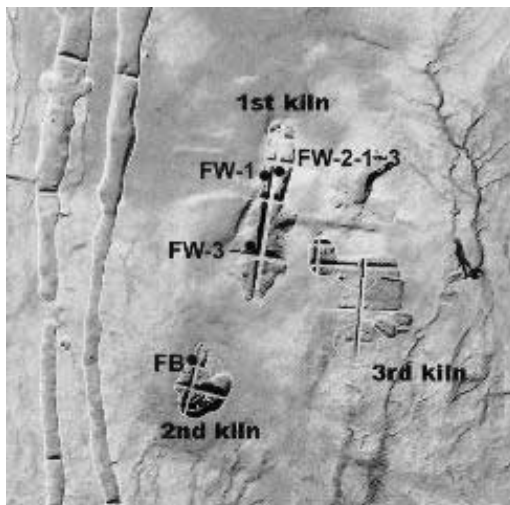


Figure 1. Field occurrences of Gundong 'Ga' site at Younggwang.

Table 1. Characteristics of potsherds, *in situ* soil and kiln samples.

Site	Sample	Location	Part/Pattern	Color	Thickness(mm)	
Gundbrg	GDP-1	1st kiln	stamped pattern pottery	10YR4/2	5.3-4.8	
	GDP-2			7.5YR5/4	5.5-8.0	
	GDP-3			5YR4/4	5	
	GDP-4			7.5YR4/4	6.7-8.0	
	GDPU-1			7.5YR4/4	6.0-8.7	
	GDPU2-1			plain pottery	5Y3/1	7
	GDPU2-2	stamped pattern pottery	2.5YR4/1	10.5-13.7		
	GDP2-1	2nd kiln	stamped pattern pottery	7.5YR4/4	5.8-7.4	
	GDP2-2			10YR5/4	6.4-7.1	
	GDP3-1			plain pottery	2.5Y4/1	3.8
	GDP3-2			2.5Y3/1	10	
	GDPW-1	1st kiln	stamped pattern pottery	5YR5/6	7.0-8.0	
	GDPW-2			plain pottery	2.5Y4/1	8.6-9.9
	GDPW-3			stamped pattern pottery	5Y3/1	5.0-6.4
	FW-1	1st kiln	kiln wall	7.5YR5/4	-	
	FW-2-1			-	-	
	FW-2-2			stamped pattern pottery	-	-
	FW-2-3			bottom of kiln	-	-
	FW-3			earthen fragment	2.5Y4/2	-
	FB			2nd kiln	bottom of kiln	7.5YR3/4
O-1	around 2nd kiln	<i>in situ</i> soil	7.5YR3/3	-		
Majeon	MJ-1	pit around cooking stove	stamped pattern pottery	5YR4/6	4.3-6.5	
	MJ-2			5YR4/4	6.4-7.2	
	MJ-3	around 5rd house	plain pottery	2.5Y4/1	5.6	

천에 둘러싸여 있고 주변이 고지대이므로 하천 흐름으로 볼 때, 이 지역의 기반암인 흑운모 화강암의 영향을 받은 토양이 형성된 것으로 보인다.

### 2.3. 분석방법

토기와 가마는 토양의 점토광물을 주재료로 하여 점토의 가소성과 소성에 의해 제작된다. 광물학적으로 점토광물은  $2\mu\text{m}$  이하의 토양광물 중 층상 규산염광물(phyllosilicate)을 의미한다<sup>4)</sup>. 점토광물은  $\text{SiO}_4$  사면체가 연속적으로 연결되어 얇은 층을 이루고 있어 물이 가해지면 층간이 팽창하고 건조와 소성과정을 거치는 동안 층간의 물이 증발되면서 단단해진다. 또한 특정 온도에 이르면 각 점토광물의 상전이(transition)가 일어나 본래의 태토와는 다른 광

물상을 가진다. 이러한 특성을 이용하여 토기의 점토광물을 동정하고 광물상을 통해 소성온도를 추정하며 그 조직을 관찰함으로써 제작과정을 유추한다.

광물상 동정을 위해 토기의 X-선 회절분석(XRD, X-ray diffraction analysis)을 수행하였다. 토기는 부정방위 분석법을, 토양은 정방위 및 부정방위 분석법<sup>4)</sup>을 이용하였고 토양을 반죽하고 성형하여 만든 시편은 각 온도별로 구운 뒤 분쇄하여 부정방위 X-선 회절분석을 하였다. 분석에 사용된 X선은  $\text{Cu-K}\alpha$ 선이며, 전압 40kV, 전류 30mA, 발산슬릿 1mm, 산란슬릿 1mm, 수광슬릿 0.15mm, 주사속도  $2^\circ/2\theta/\text{min}$ 로 조정하였고,  $3\sim 45^\circ/2\theta$  구간에서 측정하였다. 토기가 소성과정에서 겪는 열역학과 광물 상전이를 조사하기 위해 열중량 및 시차열분석(Thermogravimetric-differential thermal analysis,

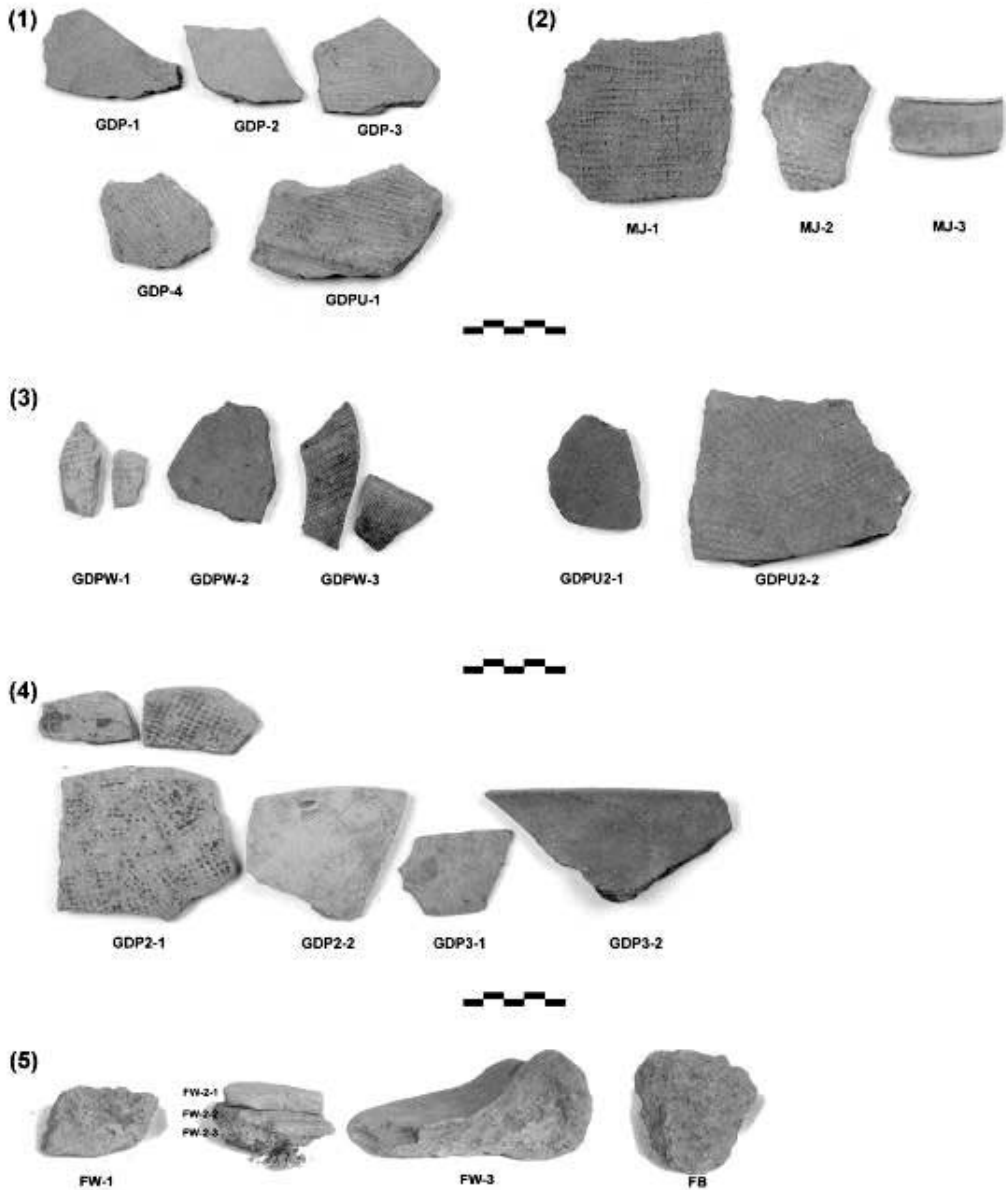


Figure 2. Potsherds and kiln blocks of Gurdong and Majeon site. (1) and (3) from the 1st kiln, (2) from Majeon site, (4) from the 2nd kiln, and (5) from the wall and bottom of the 1st kiln.

TG-DTA)을 수행하였다. 승온속도 20 °C/min로 1,100 °C까지 공기 중에서 가열하였다.

시료의 미세조직관찰을 위해 토기 및 토양을 박편으로 제작하여 편광현미경으로 관찰하였고 유적지 토양은 자갈 (gravel, >2mm), 모래(sand, 50µm~2mm), 실트(silt, 2µm ~50µm), 점토(clay, <2µm)의 각 입도별로 분리하여 포집

하고 그 중량을 측정하였다. 시료의 주원소(Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P)는 X선 형광분석기(X-ray fluorescence, XRF)로, 희토류 원소(La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Tm, Yb, Lu)는 한국원자력연구소의 하나 로를 이용하여 중성자방사화분석(Neutron activation analysis, NAA)으로 정량하였다.

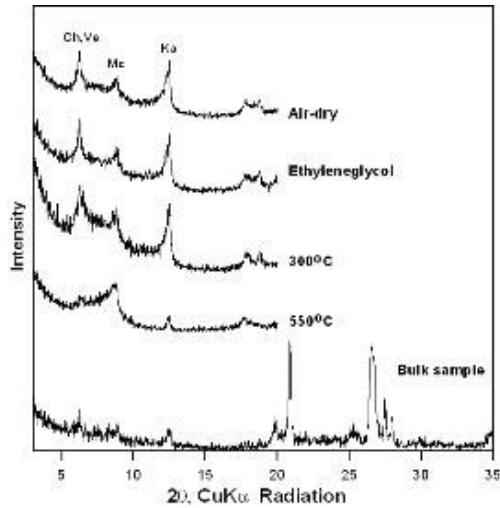


Figure 3. X-ray diffraction pattern of *in situ* soil in bulk and oriented sample with air dry, ethyleneglycol treatment, 300°C and 550°C heating. Abbreviation: Ka: kaolinite, Ve: vermiculite, Me: mica, Ch: chlorite.

### 3. 결과 및 해석

#### 3.1. 광물조성

토양시료(O-1)의 입도분포는 화수된 시료 전체무게에 대해 화수된 입도의 중량별 분포(wt%)를 계산하여 모래 3.83%, 실트 76.27%, 점토 19.51%의 분포를 얻었는데, 이는 미사질 양토(silt loam)의 토성을 가진다<sup>4</sup>. 이 토양의 pH는 5.44였다. 토양시료를 구성하는 비점토성분은 석영, 사장석, 알칼리 장석 등으로 X-선 회절분석에 의한 반정량 결과<sup>4</sup>, 그 함량은 석영 49.5%, 장석은 21.7%, 운모 10.6%, 기타 점토광물 및 비정질 광물이 18.2%였다.

토양시료의 점토광물을 동정하기 위해 장방위시료를 제작하여 상온건조, 에틸렌글리콜 처리 그리고 300°C와 550°C에서 열처리하였다. 이 결과, 토양시료를 구성하는

Table 2. Mineral assemblage of potsherds and kiln blocks of study area.

Site	Sample	Quartz	Plagioclase	Alkali-feldspar	Mica	Hercynite	Mullite	Kaolinite
Potsherd	GDP-1	***	*					
	GDP-2	***	**	**	*			
	GDP-3	***	**	**				
	GDP-4	***	**	**	*			
	GDPU-1	***	**	**	*			
	GDP2-1	***	*					*
	GDP2-2	***	*					
	GDPW-1	***	*	*				
	GDPW-2	***	*			*		*
	GDPW-3	***	*			**		*
	GDPU2-1	***						**
	GDPU2-2	***	*			*		*
	GDP3-1	***	*			*		*
	GDP3-2	***	*			*		*
	MJ-1	***	**	**	*			*
	MJ-2	***	**	**	**	*		*
MJ-3	***	**	**		*		*	
kiln	FW-1	***	*		*			
	FW-2-1	***	*					
	FW-2-2	***	*			*		
	FW-2-3	***	*			*		
	FW-3	***	**			*		
	FB	***	*	*	*	*		*

점토광물은 질석, 고평석, 녹니석, 운모 등으로 동정되었다(Figure 3).

X-선 회절분석 결과, 토기의 광물조성(Table 2, Figure 4)은 석영, 장석이며 토기에 따라서는 운모도 관찰되었다(GDP-2, GDP-4, GDPU-1, MJ-2). 일부 토기에서는 고온상 광물인 물라이트와 헤르시나이트의 회절선이 발견되었으나 녹니석의 회절선은 관찰되지 않았다(GDP-1, GDP3-1, GDP3-2, MJ-3, GDPW-2, GDPW-3, GDPU2-2). GDPU2-1은 장석의 회절선이 모두 소멸되고 강한 강도의 물라이트와 석영으로만 구성되어 있어서 1,100 °C 이상의 고온에서 소성되었음을 유추할 수 있다.

### 3.2. 열분석 결과

대부분의 시료들은 100~200°C 부근에서 흡착수 및 층간수 증발에 의한 흡열피크와 약 570°C에서 α-석영이 β-석영으로 바뀌는 상전이로 작고 날카로운 흡열피크를 가지고 있었다. 900°C 부근의 발열피크는 점토광물의 상전이에 기인하는데 900°C 이상의 온도를 경험한 적이 있는 토기 또는 가마시료는 900°C 부근의 발열피크를 보이지 않았다. 따라서 발열피크를 보이는 시료는 900°C 이상의 온도에서 소성되었을 가능성을 지시한다.

토기 GDP-2, GDP-3, GDP-4, GDPU-1, MJ-1,

MJ-2, 가마시료 FW-1, FW-3, FB는 900°C 부근의 발열피크를 가지고 있지만 GDP-1, GDPW-1, GDPW-2, GDPW-3, GDPU2-1, GDPU2-2, GDP2-1, GDP2-2, GDP3-1, GDP3-2, MJ-3은 발열피크를 보이지 않는다. 각 시료의 열중량 감소율과 시차열분석 결과는 Table 3에 있다. 900 °C 부근의 발열피크가 관찰된 시료들은 대개 8~11%의 질량 감소폭을 보였고 900 °C 부근의 발열피크가 관찰되지 않은 시료들은 1~3% 이하의 상대적으로 작은 질량 감소폭을 보였다.

### 3.3. 미세조직 관찰결과

토기의 단면을 편광현미경으로 관찰한 결과, 구성광물과 조직, 공극을 관찰할 수 있었고 태토 외에 혼입된 비짐의 존재를 확인할 수 있었다. 토기의 단면과 함께 연구 지역 토양(O-1)의 모래(sand, 0.05~2mm)시료를 박편으로 제작하고 현미경으로 관찰하여 토기 내의 비짐과 태토를 비교하였다(Figure 5). 모래시료는 대부분 0.5mm 이하의 작은 크기로 구성되어 있어 토기에 분포하는 0.5~2mm의 입자들은 별도로 첨가한 비짐으로 생각된다. 기질 및 비짐의 크기, 유무로 나누어 보았을 때, 군동 및

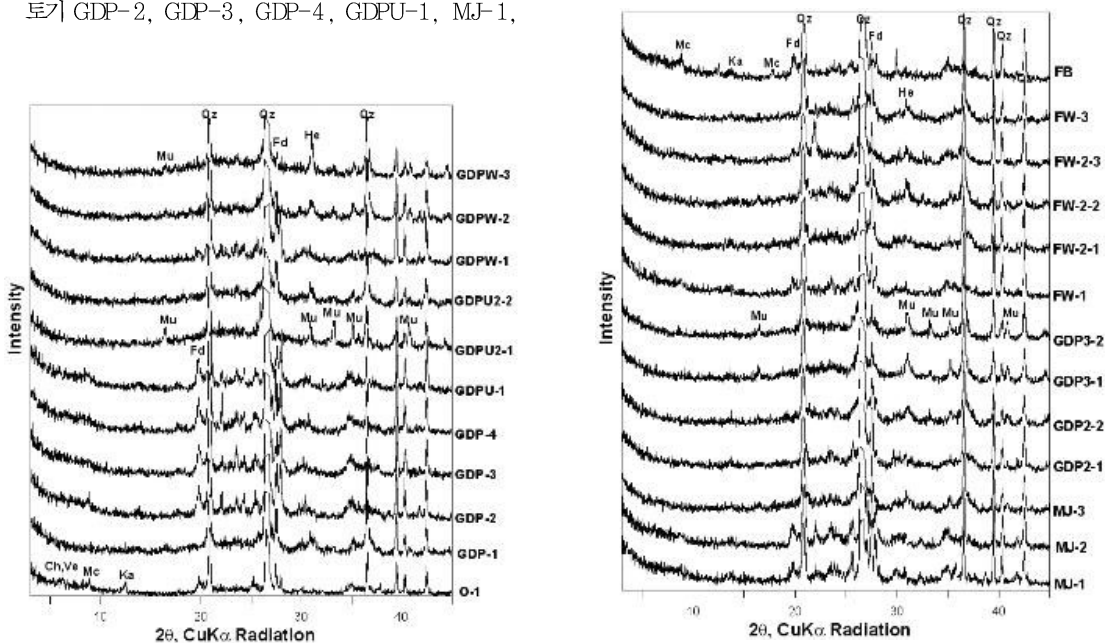


Figure 4. X-ray powder diffraction pattern of potsherds, kiln blocks and *in situ* soil. Abbreviation: Ka: kaolinite, Ve: vermiculite, Mc: mica, Ch: chlorite, Qz: Quartz, Fd: Feldspar, He: Hercynite.

Table 3. TG-DTA results of potsherds and kiln blocks.

Site	Sample	Weight loss%	Around 900°C exothermic peak
Gundong	GDP-1	1.8	-
	GDP-2	8.0	927°C
	GDP-3	8.7	924°C
	GDP-4	8.0	926°C
	GDPU-1	8.3	926°C
	GDP2-1	2.4	-
	GDP2-2	2.6	-
	GDPW-1	2.9	-
	GDPW-2	1.5	-
	GDPW-3	1.5	-
	GDPU2-1	3.1	-
	GDPU2-2	1.7	-
	GDP3-1	1.9	-
	GDP3-2	1.9	-
	FW-1	5.5	914°C
	FW-3	1.6	-
FB	6.8	915°C	
Majeon	MJ-1	11.1	917°C
	MJ-2	10.1	932°C
	MJ-3	3.2	-

마전의 토기들은 3개의 그룹으로 나누어진다.

그룹 1은 Figure 5(1)과 같이 가로줄 방향으로 붉은색의 느슨한 기질에 산화철에 영향을 받은 은미정질의 광물상이 많이 관찰되고 약 0.5mm 이하의 석영과 장석입자가 혼재되어 있었으며 여러 방향으로 갈라진 균열이 많이 발견되었다. 기질은 저온소성되어 유리질화되지 못한 것으로 보이며 GDP-2, GDP-3, GDP-4, GDPU-2, GDPW-1, MJ-1, MJ-2이 이에 속한다. 다만 GDPU-1에서는 암편의 혼입이 관찰되었다. 그룹 2는 일부 유리질화된 기질에 0.5mm 이하의 약간 각진 석영과 장석을 포함하고 있었으며 공극은 그룹 1에 비해 적으며 가로줄 형태의 산화철을 포함하고 있었다. GDP-1, GDPW-2, GDPW-3, GDPU2-1, GDPU2-2, GDP2-2, MJ-3이 이에 속한다. 특히 GDPU2-1은 공극과 비집이 거의 없고 치밀하게 유리화된 조직을 갖고 있었다.

그룹 3은 유리질화된 기질에 모서리가 약간 둥근 2mm의 석영과 장석의 다결정질 입자가 비집으로 발견되었고 공극은 거의 없었다. 산화철도 위 그룹들에 비해 적었고 GDP2-1, GDP3-1, GDP3-2가 이에 속한다. Figure 5(4)는 토양 O-1의 모래(0.05~2mm) 이상의 입자를 현

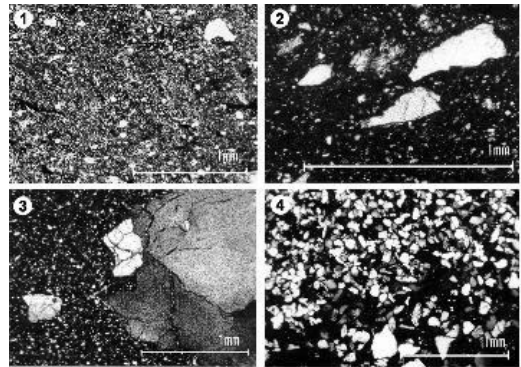


Figure 5. Microphotographs of the pastes. (1) GDPU-1 (group 1) with small rock fragments on the oxidized matrix, (2) GDPU2-1 (group 2) with vitrified matrix, (3) GDP3-2 (group 3) with 1~2mm angular quartz on the vitrified matrix, (4) O-1 (sand size particles of soil O-1) with small sub angular quartz.

미경으로 관찰한 결과이다. 관찰 결과, 0.5mm 이상의 입자가 관찰되지 않아 그룹 3에서 관찰되는 2mm 이상의 입자들은 모두 외부에서 첨가된 비집으로 판단된다.

### 3.4. 지구화학적 거동특성

토기는 토양광물을 주성분으로 하여 제작되므로, 토기의 산지추정은 같은 기원에 의해 생성된 암석 또는 그 풍화산물인 토양이 동일한 화학조성과 진화경향을 가지고 있다는 것을 전제로 한다. 따라서 토기의 태토인 토양의 성인을 밝히기 위해서는 암석학적 연구와 화학분석에 근거한 지구화학적 연구가 함께 고려되어야 한다.

영광 토양과 일부 토기의 10개 주성분 원소의 화학분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 영광 군동 시료는 SiO<sub>2</sub> 함량이 약 66~72 wt.%로서, 산성암(66%)의 함량을 가졌고, 영광지역 화강암류의 조성구 유사한 패턴을 보인다<sup>25</sup>. 또한 토기와 토양의 주성분원소 함량을 Nockolds and Allen<sup>26</sup>의 표준 화강암 조성을 기준으로 표준화하여 도시하였다(Figure 6). 토기와 토양의 주성분은 유사한 증감경향을 보이지만 토양시료 O-1에서는 MnO의 농집, MJ-1에서는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 농집현상을 관찰할 수 있었다. MnO과 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 토양 내에서 이동성이 큰 원소이므로, 이를 고려하면 주성분 원소들은 대체로 유사한 경향성을 보이고 있었다. 이는 생성당시부터 동일한 분화과정을 겪은 물질임을 지시하는 것이다.



Table 4. Major elements composition of potsherd paste and soil samples(wt %).

Site	Samples	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
Gundbrg	GDP2-1	70.90	0.97	17.24	4.78	0.01	0.83	0.21	0.61	2.54	0.04	1.60	99.73
	GDP2-2	69.77	0.88	17.60	5.28	0.01	1.04	0.32	0.99	2.66	0.06	1.04	99.68
	GDPW-1	72.08	1.05	15.91	4.12	0.01	0.81	0.33	1.09	2.38	0.04	1.84	99.65
	GDPW-3	99.65	0.94	18.07	5.63	0.01	1.09	0.40	0.96	2.63	0.05	0.01	99.35
	FB-1	48.95	0.43	40.18	4.38	0.10	0.27	0.25	0.26	0.46	0.02	4.85	100.14
	FW-3	69.81	1.02	17.55	5.72	0.02	0.97	0.24	0.68	2.37	0.05	1.33	99.75
	O-1	67.98	0.99	14.98	5.78	0.12	1.19	0.15	0.45	2.17	0.05	5.85	99.70
Majeon	MJ-1	65.39	0.89	17.43	4.73	0.00	0.58	0.19	0.67	2.81	0.19	6.69	99.58
	MJ-3	66.05	1.15	20.69	5.02	0.01	0.87	0.21	0.75	2.02	0.04	2.77	99.58

희토류원소는 대부분 광물 내에서 쉽게 치환하지 않기 때문에 산지해석에 적합한 원소로 이용되고 있다. 토기와 토양의 희토류 원소에 대한 중성자방사화분석 결과는 Table 5에 있다. 희토류 원소의 분포경향을 알아보기 위해 토기와 토양의 희토류 원소 함량을 운석의 초생치로 표준화<sup>7</sup>하여 Figure 7에 도시하였다. 콘드라이트 운석에 함유된 희토류 원소의 양은 지구가 생성될 당시의 초생값으로 여겨지며 따라서 원소의 표준함량으로서 역할을 한다. LREE인 La이 보다 크게 부화되어 있었고, HREE인 Lu이 약간 부화되어 있었으며, 화강암류와 편마암류가 갖는 Eu(-) 이상을 나타내고 있다.

이러한 특징은 영광지역 화강암류와 편마암류에 대한 연구<sup>8</sup>의 희토류 원소 분석 결과와 유사패턴을 보였다. 따라서 영광 군동 및 마전의 토기와 가마시료, 그리고 토양의 희토류 원소 분포 경향은 동일한 것으로 규명되었다. 이는 토기와 토양이 동일한 모암으로부터 생성되어 유사한 진화 경로를 거쳐 생성된 물질임을 반영하는 것으로 해석된다.

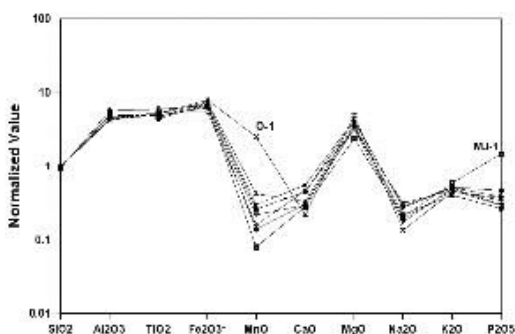


Figure 6. Normalized variation diagram showing major element composition of potsherds, kiln and soil samples.

## 4. 고고과학적 고찰

### 4.1. 가마 및 토기의 산지추정

영광 군동과 마전일대의 지질을 살펴 보면, 이 일대의 유적은 쥐라기에 형성된 흑운모 화강암지대를 흐르는 하상활동으로 생긴 충적층에 분포한다. 하천은 비교적 높은 지역에 위치한 유적 주변부에서 시작되고 있으며 유적을 둘러싼 충적층은 원거리에서 옮겨진 퇴적물로 보기는 어렵다. 따라서 유적지의 충적층은 주변의 기반암인 흑운모 화강암의 영향을 받아 생성되었을 것으로 보이며 연구지역의 토양도 주변지질의 영향을 받았을 것으로 해석된다.

토양의 경우, 비점토광물로서 석영, 장석을 포함하고, 점토광물로서 운모, 곁령석, 녹니석을 포함하고 있다. 토기의 광물조성은 시료에 따라 다소의 차이는 있지만 주로 석영, 장석, 운모, 물라이트, 헤르시나이트 등을 포함하고 있어 토양의 광물조성과 다소 차이를 보인다. 이는 토

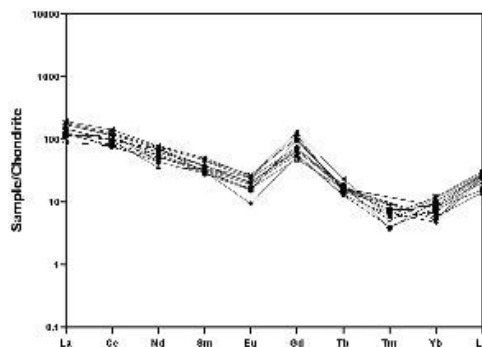


Figure 7. Normalized variation diagram showing rare earth elements composition of potsherd, kiln and soil samples.

Table 5. Rare earth elements composition of potsherd paste and samples(ppm).

Site	Samples	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Tm	Yb	Lu
Gundrbg	GDP-1	48.32	94.90	38.79	7.14	1.55	26.95	0.80	0.22	1.20	0.86
	GDP-2	35.35	59.56	25.79	5.24	0.93	21.38	0.47	0.00	0.84	0.73
	GDP-3	44.65	67.25	33.44	6.57	1.39	15.35	0.61	0.20	2.66	1.06
	GDPJ2-1	50.21	71.71	26.91	7.02	1.59	11.11	0.85	0.85	2.25	0.88
	GDPJ2-2	50.52	78.17	29.37	7.12	1.43	21.85	0.77	0.00	2.50	0.78
	GDP2-1	41.10	74.90	36.60	6.26	1.17	24.98	0.68	0.24	1.70	0.54
	GDP2-2	58.14	105.89	29.01	8.73	1.81	30.93	0.80	0.29	1.83	0.69
	GDP3-1	48.76	71.02	35.46	6.54	1.45	19.97	0.88	0.00	2.69	0.72
	GDPW-1	50.94	88.86	40.20	7.39	1.52	16.82	0.88	0.12	2.25	0.92
	GDPW-2	49.89	89.29	44.49	7.54	1.48	18.76	0.76	0.21	1.06	0.80
	GDPW-3	58.35	109.61	45.36	7.21	1.77	12.72	0.76	0.00	1.17	0.91
	FW-1	40.40	103.53	34.37	5.79	1.21	17.63	0.78	0.00	1.90	0.97
	FW-3	50.90	87.67	22.79	6.81	1.53	11.87	0.72	0.33	3.15	0.73
	FB-1	39.54	97.08	47.53	5.03	0.67	14.30	0.60	0.13	1.74	0.89
	O-1	41.32	88.10	45.86	6.07	0.69	10.23	0.19	0.20	0.66	0.53
Majson	MJ-1	26.82	47.07	18.06	4.13	0.81	25.50	0.78	0.00	1.29	0.48
	MJ-2	30.85	71.67	28.11	5.59	1.14	34.35	1.08	0.18	1.51	0.81
	MJ-3	66.34	130.95	50.64	9.84	1.91					

기의 고온 소성과정 동안에 일부 점토광물들의 상전이로 인한 것으로, 토양과 토기 사이의 기본 광물조성은 상호간에 유사성을 가지고 있다.

화학분석 결과에서도 토양, 토기, 가마 시료의 성분상 유사성이 비교적 명확하게 나타났다. 각 시료의 상대적인 풍화도를 Figure 8의  $Al_2O_3-(CaO+Na_2O)-K_2O$  삼각도에 도시해 보면, 각 시료의 조성이 최종 풍화산물인 고령석, 녹니석, 김사이트 방향으로 집중되어 있어 동일한 화학적 풍화경로를 거친 것으로 나타났다<sup>28</sup>.

또한 희토류 원소의 함량은 모양의 특징을 반영하고 있어 토양의 희토류 원소는 산지추정의 근거를 제시해 준다. 토기, 토양, 가마시료의 희토류 원소를 운석 초생치로 표준화한 결과에서도 동일한 경향성을 보이고 있어 동일 모암으로부터 생성된 물질이라고 판단된다. 위의 결과를 종합해 보면 영광과 마전의 토기와 가마시료들은 인근 토양을 태토로 하여 제작되었을 것으로 해석할 수 있다.

한편 토기의 주원소가 토양에 비해 얼마나 농집 또는 용출되었는가를 관찰하기 위해 토기의 함량을 토양으로 표준화시켜서 Figure 9에 도시하였다. 대부분의 토기는 토양에 비해  $MnO$ 와  $MgO$ 가 용출되었고 칼크-알칼리계 원소인  $CaO$ ,  $Na_2O$ 와  $P_2O_5$ 는 부화되는 경향을 보였다. 특히 마전 토기인 MJ-1은 토양보다  $P_2O_5$  함량이 4배

이상 부화되어 있다. 이러한 현상은 토기들이 오랜 기간 토양에 매장되어 있어서, 토양의 조성변화에 영향을 미치는 것으로 추정된다<sup>19,20</sup>. 매장된 토기에서 종종 발견되는 인의 농집은 대부분 매장환경 하에서의 오염으로 인식되어 왔다. 따라서 산지추정을 위한 통계분석에서도 일부 원소는 산지분석의 오류를 가져올 수 있으므로 배제되고 있으며<sup>20,29</sup> 신중한 해석이 요구된다. 토기에 미치는 매장

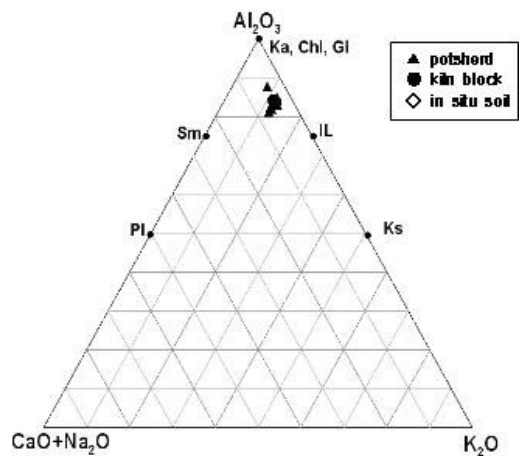


Figure 8. Distribution diagram showing A-CN-K of potsherd, kiln and soil samples.

환경의 영향은 앞으로도 지속적인 연구가 필요한 부분으로 판단된다.

#### 4.2. 토기의 제작특성과 사용

토기가 태토에서 그릇으로 구워지기까지는 여러 단계의 제작행위를 거친다. 먼저 태토와 비집의 마련, 성형과 건조, 그리고 소성의 과정을 거쳐 실생활에 사용한다. 특히 소성과정은 토기 제작에서 가장 중요한 과정 중 하나로 경도와 색 등을 결정한다. 객관적인 소성온도 추정을 위해, 태토로 생각되는 토양(O-1)으로 재현실험을 하였다. 토양으로 점토판을 제작하고 500℃~1,200℃까지 각각 온도별로 구워 X-선 회절분석하였다.

이 결과(Figure 10), 고령석의 회절선이 600℃에서 사라졌고, 녹니석의 회절선은 800℃에서, 운모의 회절선은 1,000℃에서 사라졌다. 장석은 그 종류에 따라 붕괴되는 정도가 다르지만 1,100℃에 이르러 모든 장석의 회절선이 사라졌다. 반면 1,000℃부터 몰라이트의 회절선이 나타나기 시작했고 1,200℃에서는 몰라이트의 강한 회절선이 관찰되었으며, 고온소성에 따른 비정질의 형성에 따라 배경강도가 증가하였다. 헤르시나이트는 950℃에서 생성되기 시작하여 1,000℃가 되면 일정량의 헤르시나이트가 형성되고 1,150℃에서는 그 함량을 유지하다가 1,200℃가 되면 분해된다<sup>30</sup>. 그러나 헤르시나이트와 몰라이트의 형성정도는 재료인 토양조성과 소성조건에 따라 조금씩 달라질 수 있다.

태토의 재현실험 결과를 토기의 X-선 회절도와 비교하고 시차열분석 결과를 참고하여 토기의 소성 온도를 유추

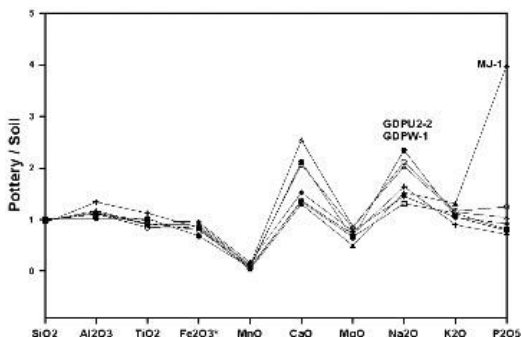


Figure 9. Variation diagram showing major element compositions of potsherds and kiln samples normalized by composition of *in situ* soil.

하였다. GDP-2, GDP-3, GDP-4, GDPU-1, GDPW-1, MJ-1, MJ-2의 소성온도는 운모, 질석의 존재와 시차열분석상의 흡열피크로 보아 700~800℃로 추정된다. GDP-1, GDPW-2, GDPW-3, GDPU2-2, GDP2-2, MJ-3의 소성온도는 몰라이트 또는 헤르시나이트의 생성, 시차열분석상의 흡열피크의 부재로 인해 900~1,000℃로 추정할 수 있다. 또한 GDP2-1, GDP3-1, GDP3-2의 소성온도는 몰라이트 또는 헤르시나이트의 성장, 시차열분석상의 흡열피크의 부재로 보아 1,000℃ 부근으로 생각된다. 그러나 GDPU2-1은 몰라이트 결정의 상당한 성장, 장석의 소멸, 그리고 크리스토발라이트의 부재 등으로 인해 1,100℃ 이상의 소성 온도를 가질 것으로 판단된다.

위의 소성온도 추정 결과는 편광현미경을 통한 조직 관찰 결과(Figure 5)로 구분한 3개 그룹과 일치하며 Table 6을 통해 확인할 수 있다. 이러한 구분은 소성온도와 토기 단면에서 관찰되는 미세조직, 비집의 종류와 혼입여부에 의한 판단으로서 토기의 색, 경도 등의 표면관찰 결과와도 유사하다.

그러나 토기들이 같은 가마에서 제작되었고 그 지역 토양을 재료로 하여 제작한 것으로 볼 때, 3개의 그룹으로

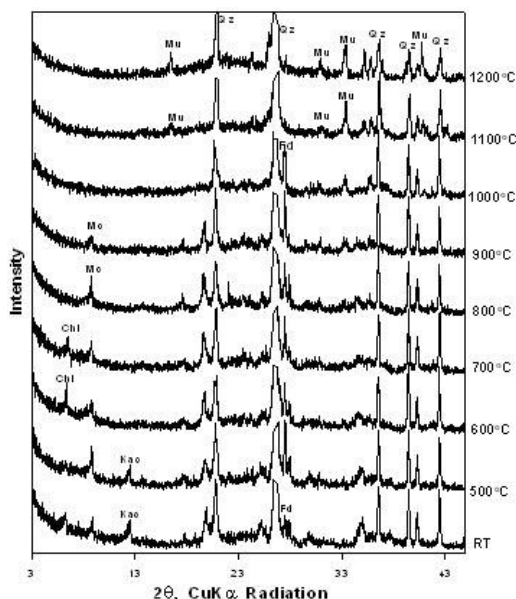


Figure 10. X-ray diffraction patterns showing clay plate of soil O-1 burned between 500 to 1,200°C. Abbreviation: Qz: Quartz, Fd: Feldspar, Mc: Mica, Mu: Mullite, Kao: Kaolinite, Chl: Chlorite.

Table 6. Classification of potsherds at Gungbong and Majeon according to the production techniques.

Remarks	Group 1	Group 2	Group 3
Color and pattern	Reddish stamped pattern pottery	Grey and grayish blue stamped pottery	Gray stamped pottery, grayish blue stamped pottery
Paste	Long void and iron oxides on the reddish matrix	Few pores on the partly vitrified matrix	Few pores on the vitrified matrix
Temper	Small size under 0.5mm quartz and rock fragment	Small size under 0.5mm quartz and feldspar	Rounded polycrystalline quartz and feldspar over 2mm
Weight loss(%)	8~11%	1~3%	1~3%
Firing temperature	700~800°C	900~1,000°C	around 1,000°C
Potsherds	GDP-2, GDP-3, GDP-4, GDPU-1, GDPW-1, MJ-1, MJ-2	GDP-1, GDPW-2, GDPW-3, GDPU-2, GDP2-2, MJ-3	GDP2-1, GDP3-1, GDP3-2
Estimated production technique	Pottery with low temperature firing and no temper	Pottery with high temperature firing and no temper	Pottery with high temperature firing and temper with polycrystalline quartz temper over 2mm

분류되는 것은 토기 사이에 용도, 기형, 또는 제작자에 따른 제작방법의 차이를 생각해 볼 수 있다. 즉 한 가마에서 생산된 적갈색 연질토기(그룹 1)는 회청색 경질토기(그룹 2, 3)와 같은 재료를 사용하지만 약간 다른 제작방법(비집, 수비, 가마의 조건)을 사용했을 것으로 보인다. 그룹 2와 3의 경질토기들도 비집, 소성특성 등에 따라 구분된다.

한편 군동유적으로부터 동쪽으로 600m 떨어져 있는 마전마을 유적의 집자리에서 출토된 토기들은 군동유적 출토 토기와 동일한 태토로 제작된 것으로 생각된다. 제작방법도 MJ-1, 2는 그룹 1에, MJ-3은 그룹 2에 속하므로, 마전에서 발견된 토기들은 군동의 가마에서 출토된 토기와 같은 태토와 제작과정을 거친 것으로 보인다. 군동 “가”유적은 3기의 가마와 도량유구 및 임시의 주거공간까지 갖춘, 소규모 생산시설로서, 마을과는 약간 떨어진 곳에 위치하고 있고, 여기서 생산된 토기들이 마전마을과 같은 주변 마을로 공급되었던 것으로 추정된다.

### 4.3. 가마의 소성특성

가마의 구조와 특성 그리고 가마의 운용기술은 가마에서 생산되는 토기의 색과 질을 결정하는 중요한 요소가 된다. 영광 군동의 가마 중 1호 가마는 소성실의 경사각이 15°이며 경사연소실을 가지고 있고 아궁이벽이 별도로 설치되어 있으며 번조실 바닥에 경사진 불턱과 함께 수직의

얇은 벽이 첨가된 반지하식의 가마이다. 또한 1호 가마에서는 회청색 경질토기와 적갈색 연질토기가 함께 출토되었고 번조실 바닥보수시 경질 그릇과 연질 그릇을 함께 사용한 예가 있다. 또한 가마 내에서 적갈색 연질토기와 회청색 또는 회색 경질토기가 함께 출토되고 있어 한 가마에서 다양한 토기들이 생산되었음을 추정할 수 있다.

가마의 구조적인 특징과 함께 가마가 받았던 열적 특성을 관찰하여 보면, 1호 가마벽인 FW-1에서 600~700°C의 열을 받은 것으로 나타나지만 실제 토기에 영향을 미치는 온도는 그보다 높았을 것으로 추정된다. 또한 가마에 고착된 토기인 FW-2-1과 FW-2-2는 900~1,000°C의 소성온도를 가지는 것으로 보이며, 그 바닥면인 FW-2-3은 900~1,000°C의 열을 받았을 것으로 판단된다. 또한 연소부에서 발견된 이형토기는 토기와 소성부 바닥 사이에 사용하는 이상재(離床材)로 보기도 하는데<sup>31</sup> 분석결과 900~1,000°C의 강한 열을 받았던 것으로 생각된다.

따라서 1호 가마는 고온소성이 가능한 구조와 기능을 갖추고 있었던 것으로 판단되며 가마 내에서 수습된 토기들 중 1,000~1,100°C 부근의 고온소성된 토기들이 이를 반증한다. 가마의 운용방법과 가마 내에서 토기의 위치에 따라 다양한 색과 정도의 토기가 생산되었을 것으로 생각된다. 또한 토기들이 한 가마에서 구워졌다 해도, 당시 가마 내에서 열적 평형이 유지되기 어려우므로, 토기가 있었던 가마 안의 위치와 가마 운용방법에 따라 소성도

및 표면 색의 차이가 다소 존재하였을 것으로 생각된다.

2호 가마의 경우, 번조실과 연소실이 완만하게 연결되어 있고 번조실, 연소실, 아궁이가 일직선상에 위치하고 규모가 작은 편이므로 반지하식 가마의 초기형태로 보인다는 견해가 있었다<sup>22</sup>. 그러나 2호 가마의 바닥인 FB는 500℃ 이하의 열을 받은 것으로 판단되어 가마로서의 역할을 수행하기 어려웠을 것으로 보이지만 그 기능과 상능에 대해서는 여러 사례와 시료들을 통한 검토가 있어야 할 것으로 보인다.

## 5. 결론

영광 군동 및 마전의 원삼국시대 토기와 1,2호 가마 및 토양에 대한 광물학적, 화학적 분석을 통해 토기와, 가마에 대한 산지, 제작특성, 소성온도에 관한 연구를 수행하였다. 영광 군동 토기와 가마는 주변 토양으로 제작되었으며 가마에서 제작된 토기는 마전 등의 인근마을에 공급되었을 것으로 추정된다. 다만 일부 토기에서  $P_2O_5$ , CaO,  $Na_2O$ 의 부화현상이 관찰되어 토기가 오랜 매장기간 동안 토양환경의 영향을 받은 것으로 생각된다.

제작 방법에 있어서 물리적인 특징, 미세조직, 비짐의 첨가, 소성온도에 의해 3개의 그룹으로 나누어진다. 그룹 1은 적갈색 연질의 타날문토기로서 느슨한 조직에 0.5mm 이하의 비짐을 가지고 있고, 소성온도는 700~800℃로 추정된다. 그룹 2는 화백색 및 흑갈색 경질토기, 회청색 경질토기 등을 포함하고 있는데, 유리질화된 기질에 공극이 적으며 0.5mm 이하의 비짐을 가지고 있고, 소성온도는 900~1,000℃로 추정된다. GDU2-1의 경우에는 태토 및 비짐의 조건은 그룹 2에 속하나, 소성온도가 1,100℃ 이상의 고온으로 추정된다.

그룹 3은 유리질화된 기질에 모서리가 둥근 2mm 이상의 다결정질 석영과 장석을 포함하고, 소성온도는 1,000℃ 부근으로 추정된다. 이들 토기들은 동일한 토양으로 제작되었지만 용도, 기형, 제작자에 따라 일부 제작방법이 달라졌던 것으로 생각된다. 특히 가마 내에서 함께 발견되는 적갈색 연질토기와 회청색 경질토기는 서로 다른 수비 방법과 비짐 첨가, 소성조건 등을 거쳐 제작된 것으로 추정된다. 분석결과를 통해, 군동과 마전의 토기들은 주변 토양을 원료로 하여 수비 또는 비짐첨가 등의 제작과정을

거쳐 군동의 가마에서 소성되었으며 소성된 생산품들은 마전 등의 주변 마을에서 사용되었을 것으로 생각된다.

한편 1호가마의 가마벽은 600~700℃의 열을, 바닥면은 900~1,000℃의 열을 받은 것으로 보이고, 가마 바닥에 고착되어 있던 아형도기는 900~1,000℃의 열을 받았던 것으로 추정되어 고온소성이 가능한 조건을 가지고 있었던 것으로 생각된다. 2호 가마의 바닥인 FB는 500℃ 이하의 열을 받은 것으로 판단되어 가마로서의 역할을 수행하기 어려웠을 것으로 보인다.

이 연구는 하나의 가마터와 출토 토기를 대상으로 하여 토기의 생산과 소비과정을 살펴보았으므로 시기적, 공간적으로 많은 한계를 안고 있다. 앞으로 가마와 출토된 토기의 재료학적 분석연구가 진행되어 연구결과가 축적된다면 개개의 가마와 토기의 연구에서 벗어나 이 지역 토기생산과정과 체계 전반을 이해할 수 있는 기본 자료가 될 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 최몽룡, 강형태, 이성주, 김승원, "신라·가야토기의 생산과 분배에 관한 연구", *한국상고사학보*, 18, p157-207, (1995).
2. 김양옥, "한반도 철기시대 토기의 연구", *백산학보*, 20, p121-213, (1976).
3. 이성주, "삼국시대 전기 토기의 연구", *한국상고사학보*, 1, p93-187, (1988).
4. 최몽룡, 강형태, 신숙정, "미사리출토 토기의 과학적 분석(II)", *고고역사학지*, 8, p85-111, (1992).
5. 이희수, 박충래, 신숙정, "조선시대 토기의 성분분석", *한국상고사학보*, 15, p215-248, (1995).
6. 최몽룡, 신숙정, 이동영, "남한강유역 홍도의 과학적 분석", *국사관 논총*, 82, p1-45, (1998).
7. 문희수, 이기길, "조선시대 기와, 전돌과 질그릇의 재료와 구운온도 분석", *한국고고학보*, 34, p161-194, (1996).
8. 문희수, 이동영, 이기길, "광주 목미유적 질그릇의 재료와 구운 온도 연구", *한국상고사학보*, 30, p7-26, (1999).

9. 이기길, 이문원, "제주도 신석기·청동기시대 질그릇의 산지연구". *한국고고학보*, 25, p23-46, (1990).
10. 이기길, 이운수, 윤종석, "동삼동유적에서 나온 신석기시대 덧문지름무늬토기의 연구(Ⅱ)-바닥흙과 구운온도의 과학분석". *고문화*, 36, p23-46, (1990).
11. 이기길, "한국 신석기시대 질그릇의 제작기술 -압사동·동삼동·북촌리 유적을 중심으로-". *한국상고사학보*, 16, p39-67, (1994).
12. 이기길, 문희수, "김천 송죽리 유적 질그릇의 재료와 구운온도분석". *김천 송죽리 유적 I*, p269~281, (2006).
13. 최석원, 이찬희, 오규진, 이효민, 이명성, "찬안 운전리 청동기 유적에서 출토된 무문토기의 장량분석, 산지 및 조성조건". *문화재*, 36, p267-296, (2003).
14. 홍중욱, 정광용, "토기의 소성온도에 따른 미세조직 비교연구". *보존과학연구*, 15, p3-24, (1994).
15. 조대연, "진천 삼룡리·산수리 유적 출토 토기의 생산기술에 관한 고찰 -토기 암석학과 주사전자현미경 분석을 중심으로-". *한국상고사학보*, 57, p55-84, (2008).
16. 최성락, 이철, 김승원, 김권수, 강형태, "다변수분석법에 의한 고대토기의 분류". *한국분석과학회지*, 4, p2, (1991).
17. 강형태, 홍중욱, 김승원, 정광용, "다변량해석에 의한 제주도 고대토기의 산지연구". *한국전통기술과학회지*, 1, p1, (1994).
18. 유혜선, 이수영, 강형태, "고대토기의 물리 및 화학적 특성에 의한 분류-조도 및 고성패층의 토기를 중심으로". *한국상고사학보*, 17, p521-550, (1994).
19. Freestone, I. C., Meeks, N. D. and Middleton, A. P., "Retention of phosphate in buried ceramics: An electron microbeam approach". *Archaeometry*, 27, p161-177, (1985).
20. Maritan L., Mazzoli, C., "Phosphate in archaeological finds: Implications for environmental conditions of burial". *Archaeometry*, 46, p673-683, (2004).
21. 박수현, "호남지방 토기요지에 대한 一試論". *호남문화재연구원연구논문집*, 1, p41-74, (2001).
22. 이기길, 김선주, 최미노, "영광 마전·군동·원당·수동유적". *조선대학교 박물관·한국도로공사*, p328-330, (2003).
23. 최위찬, 황상구, 김영범, "영광 도록 지질보고서". *한국동력자원연구소*, p2-6, (1986).
24. 문희수, "점토광물학". 민음사, p86-189, (1996).
25. 박영석, 김종균, 김진, "영광-김제지역 화강암류의 암석화학적 연구". *자원환경지질*, 34, p55-70, (2001).
26. Nockolds, S. R., and Allen, R., "Average chemical compositions of some igneous rocks". *Geological society of American Bulletin*, 65, p1007-1032, (1954).
27. Rollinson, H. R., "Using geochemical data". *Longman scientific and technical*, p102-150, (1993).
28. Nesbitt H. W., Markovics, G., "Weathering of granodioritic crust, long-term storage of elements in weathering profiles and petrogenesis of siliciclastic sediments". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, p1653-1670, (1997).
29. Maritan, L., Mazzoli, C., Nodari, L. and Russo, U., "Second iron age grey pottery from Este (northeastern Italy): study of provenance and technology". *Applied Clay Science*, 29, p31-44, (2005).
30. Jordan, M. M., Boix, A., Sanfeliu, T. and de la Fuente, C., "Firing transformations of cretaceous clays used in the manufacturing of ceramic tiles". *Applied Clay Science*, 14, p225-234, (1999).
31. 이지영, "호남지방 3~6세기 토기가마의 변화양상". *호남고고학보*, 30, p78-79, (2008).