

하나로 공동이용 활성화 사업

HANARO Utilization Program

중성자방사화분석에 의한 고대토기의 산지분석

Characterization of Archaeological Ceramics

by Neutron Activation Analysis

연구기관

연세대학교 지구시스템학과

과 학 기 술 부

최 종 연 구 보 고 서

2001년도 원자력연구개발사업으로 수행한

「중성자방사화분석에 의한 고대토기의산지분석」에 관한 연구결과를 첨부와
같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종 보고서(책자 및 전자문서) 3부

2. 최종보고서 초록(전산파일 포함) 3부.

2002. 4. 30

연구 기관 : 연세대학교 지구시스템과학과

연구책임자 : 문 희 수 (인)

연구기관장 : 김 우 식

직인

과학기술부장관 귀하

제 출 문

과 학 기 술 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “원자력 연구개발사업” 과제 (세부과제 “ 중성자방사화분석을 이용한 고대토기의 산지분석”)의 최종보고서로 제출합니다.

2002. 4. 30.

연 구 기 관 명 : 연세대학교 지구시스템과학과

연 구 책 임 자 : 문 희 수

연 구 원 : 이 기 길

장 성 윤

요 약 문

I. 제 목

중성자방사화분석에 의한 고대토기의 산지분석

II. 연구개발의 목적 및 필요성

토기는 고고학적 발굴에서 나오는 가장 대표적인 유물 중 하나로서 그 제작 산지를 연구하는 것은 고대의 생활상 및 교역연구에 중요한 자료를 제공한다. 중성자방사화분석으로 토기의 미량원소를 분석하고 그 지역 지질과의 관계를 통해 산지에 대한 정보를 얻으며 지역에 따른 소성온도를 비교한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

영광, 광주, 순천, 제주 토기와 토양을 분석의 대상으로 하였고 토기와 주변토양이 가진 미량성분을 중성자방사화분석법으로 구하고, 다변량통계분석법 중 판별분석으로 토기와 토양시료를 분류하였다. 또한 X선 형광분석에 의한 주성분의 분석과 X선 회절분석과 박편분석에 의한 광물상 비교를 통해서도 산지를 확인할 수 있었다. 소성온도는 열중량-시차열분석기로 분석하였다.

IV. 연구개발결과

미량원소의 판별분석결과, 연구지역 토기는 화학성분의 유사성으로 인해 주변 토양으로 제작하였음을 알 수 있었다. 순천과 제주의 토기와 토양이 각각 하나의 군으로 분리되고 지질이 유사한 영광, 광주 토기는 분리되지 않아 지역에 따른 지질의 차이를 반영해 주었다. 주성분 및 광물분석으로도 미량성분분석과 유사한 분류결과를 얻었다. 토기의 광물상 관찰과 열분석 결과를 통해 소성온도에 대한 정

보를 얻을 수 있었는데 영광토기가 다른 지역 토기보다 대체로 더 높은 온도에서 구웠음을 추정할 수 있었다.

V. 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서는 전남 일부지역 및 제주지역 토기에 대해 산지와 소성온도를 추정하고 고찰하였으나 더 넓은 지역에서 출토되는 토기에 대해서도 중성자방사화 분석에 의한 미량원소분석과 광물분석으로 토기와 토양사이의 관계를 고찰하여 산지를 분석하고 소성온도와의 관계를 연구하고자 한다.

S U M M A R Y

Characterization of Archaeological Ceramics by Neutron Activation Analysis(NAA)

This study aimed to investigate the provenance and the firing temperature of ancient pottery excavated from Yeonggwang, Gwangju, Suncheon and Jeju. The provenance of pottery was studied through a mineralogical approach based on the mineral constituents and textures, and through a chemical and statistical approach based on the major and trace element compositions. The transformation of mineral phases in in-situ soil with increased temperatures was examined, and the result was applied to the mineral composition of pottery to presume the firing temperature.

As a result of mineralogical examinations on pottery and in-situ soils, each pottery had its own mineral constituents and texture, and it is estimated that the pottery was made of in-situ soil of each site. The chemical and statistical analyses also supported this estimation. Pottery samples from Suncheon and Jeju were successively separated into each group from the discriminant analysis, but those from Yeonggwang and Gwangju showed the poor discrimination due to their geological similarities. The effective variables for the discrimination were in order of Co, Cr, Sc, Lu, La and Yb. Formation of mullite and hercynite of high temperature phases observed in some pottery samples might be dependant on the chemical composition, indicating the possibility to presume the provenance of pottery with a high firing temperature.

The phase transition of minerals during firing processes may estimate the firing temperature, and the formation of mullite and hercynite, and

disappearance of feldspar and mica in the pottery could indicate firing temperature. The firing temperature of some pottery was estimated as 1,100-1,200 from Yeonggwang, and 1,000-1,100 from Gwangju. and Suncheon, but it requires a detailed study considering non-equilibrium thermal conditions. Chemical composition of pottery may also be influenced by the weathering and alteration during the long-term burial. Pottery from Gwangju showed the abnormal enrichment of phosphorous in the pores, indicating the effects of alteration. Although it may not have a significant influence on this provenance study based on chemical analysis, a comprehensive study considering the mineral and chemical compositions and the effects of burial environment should be carried out to investigate the provenance of the pottery.

Conclusively, as mineral characteristics of pottery may reflect provenance and phase transition during the firing processes, the mineralogical study of ancient pottery can contribute to the investigation of provenance and firing temperature.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Research Background	4
Chapter 3 Research Contents and Results	7
Section 1 Geological Characteristics	7
1. Yeonggwang Gundong	7
2. Gwangju Chipyeongdong	8
3. Suncheon Wolpyeong	8
4. Jeju Gosanri and Gimnyeongri	9
Section 2 Samples and Experimental Methods	13
1. Samples	13
2. Experimental Methods	21
(1) X-ray Fluorescence Analysis	21
(2) Neutron Activation Analysis	22
(3) Statistical Analysis	22
(4) Soil Texture	24
(5) Soil pH	24
(6) X-ray diffractometry	25
(7) Thin section analysis	25
(8) Scanning Electron Microscopic Analysis	26
(9) Thermal analysis	26
(10) Firing Test of Soil	26
Section 3 Results	28
1. Chemical Analysis	28
2. Mineralogical Characteristics of Soil	37
3. Mineralogical Characteristics of Ancient Ceramics	41

Section 4 Discussion	52
1. Provenance	52
2. Firing Temperature	60
3. Alteration of Ceramic	63
Section 5 Conclusion	65
Chapter 4 Research Achievements and Contributions	67
Chapter 5 Further Study and Application	68
Chapter 6 Informations	69
Chapter 7 Reference	70

목 차

제 1 장 서 론	1
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	4
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	7
제 1 절 유적지의 지질	7
1. 영광 군동	7
2. 광주 치평동유적	8
3. 순천 월평유적	8
4. 제주 고산리와 김녕리	9
제 2 절 시료 및 연구방법	13
1. 시료	13
(1) 영광 군동	13
(2) 광주 치평동	14
(3) 순천 월평	14
(4) 제주 고산리와 김녕리	15
2. 연구방법	21
(1) X-선 형광 분석	21
(2) 중성자방사화분석	22
(3) 통계분석	22
(4) 토양의 입도	24
(5) 토양 pH	24
(6) X-선 회절분석	25
(7) 편광현미경 분석	25
(8) 주사전자현미경 분석	26
(9) 열중량 및 시차열분석	26
(10) 토양의 소성 실험	26

제 3 절 연구결과	28
1. 토기의 화학적 특성	28
(1) 주원소분석결과	28
(2) 중성자방사화분석결과	33
2. 유적지 토양의 광물학적 특성	37
3. 토기의 광물학적 특성	41
(1) 토기의 X-선회절분석결과	41
(2) 토기의 편광현미경관찰결과	43
(3) 주사전자현미경 분석	48
(4) 열분석결과	49
제 4 절 토의	52
1. 산지추정	52
(1) 광물조성에 근거한 산지추정	52
(2) 화학적 특성에 근거한 산지추정	54
2. 소성온도의 추정	60
3. 출토지역 토양환경의 영향	63
제 5 절 결 론	65
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도	67
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	68
제 6 장 해외과학기술정보	69
제 7 장 참고문헌	70

그림 차례

그림 1. 연구지역의 지질도와 시료채취지역. (a) 영광(a: 군동, b: 마전), (b) 광주 치평동, (c) 순천 월평 (d) 제주 고산리 (e) 제주 김녕리.	10
그림 2. 각 연구지역의 대표적인 토기. (a)와 (b)는 영광 군동 유적의 토기이고 (c)는 광주 치평동 유적의 토기, (d)와 (e)는 순천 월평 유적의 질그릇, (f)는 제주도 고산리와 김녕리 유적의 토기임.	18
그림 3. 연구방법 흐름도.	21
그림 4. 연구지역 토양으로 표준화한 토기의 주성분 함량비. (a) 영광 군동 질그릇(GDP2-1)과 토양(0-1), (b) 광주 치평동 토기(CH-1)과 토양(CH-S), (c)순천 월평 토기(WB-2)과 토양(WP-S), (d) 제주 고산리 토기(GS-2)과 토양(GS-S), (e) 제주 김녕리 토기(KN-2)과 토양(KN-S). 대부분 표준화한 값은 0-4의 범위지만 (b)에서는 토기의 P ₂ O ₅ 가 토양보다 35.4배 농집되어 있음.	31
그림 5. 토기와 토양시료의 MgO와 Fe ₂ O ₃ 의 분포도. 영광과 광주는 유사한 분포 경향을 보였고, 순천과 제주는 주로 Fe ₂ O ₃ 함량에 의해 분리됨.	32
그림 6. 연구지역 토기와 토양의 Chondrite-normalized REE pattern.	36
그림 7. 유적지 토양시료의 입도분포. 0-1은 영광 군동 토양, CH-S는 광주 치평동 토양, WP-S는 순천 월평 토양, GS-S는 제주 고산리 토양, KN-S은 제주 김녕리 토양임.	38
그림 8. 유적지 토양의 X-선 회절도. 점토광물은 정방위시료로 제작하여 상온건조, 에틸렌글리콜처리, 300℃과 550℃ 열처리한 후의 X-선 회절도. (a) 영광 군동 토양 (b) 광주 치평동 토양 (c) 순천 월평 토양 (d) 제주 김녕리 토양 (e) 제주 고산리 토양. Abbreviation ; Ka : kaolinite, Ver : vermiculite, Mc : mica, Ch : chlorite.	40
그림 9. 연구지역의 대표적인 토기의 X-선 회절도. GDP2-1, GDP-2, GDP2-1,	

	GDPU-1, MJ-3은 영광 토기; WP-1, WS-1, WM-1은 순천 토기; CH-1, CH-8, CH-16은 광주 토기; GS-2, KN-2는 제주 토기임. Abbreviation : Qz : Quartz, Fd : Feldspar, Hm : Hematite, Mc : Mica, Mu : Mullite, Her : Hercynite, Ol : Olivin.	42
그림 10.	편광현미경으로 관찰한 연구지역 토기 및 토양의 조직. (a) GDPU-1 (영광 군동)에서 작은 암편이 관찰됨($\times 40$). (b) 영광 군동의 토양(모래크기)에서는 작은 석영과 약간의 흑운모가 보임. (c) GDPU2-1(영광 군동)은 일부 광물이 녹아 유리질화된 기질을 관찰됨($\times 100$). (d) CH-1(광주 치평동)에는 석영과 장석의 다결정질이 비집으로 존재. (e) 광주치평동 토양(모래)에서는 사장석과 흑운모가 관찰됨. (f) WS-1(순천 월평)은 작은 흑운모가 조직에 넓게 분포하고 파동소광을 보이는 석영이 관찰됨($\times 40$). scale bar는 1mm임.	46
그림 11.	광주 토기 CH-1의 X-ray mapping사진. (a)는 토기 단면에서 기질한 가운데 존재하는 공극을 보여주고 (b)에서 각 점은 인의 분포를 나타내는데 mapping 결과, 공극을 중심으로 인이 농집되어 있음을 보여줌.	48
그림 12.	영광 군동 토기 GDP-2와 GDP2-1의 열중량 및 시차열분석그래프. GDP-2는 927°C에서 점토광물 상전이의 발열피크를 가지고 있고 GDP2-1보다 큰 열중량감소도를 보임.	49
그림 13.	연구지역의 주요 토기의 시차열분석그래프. GDPU2-1에서 MJ-3까지는 영광군동 토기이고 WP-1에서 WM-1은 순천월평 토기, CH-1에서 CH-8은 광주치평동 토기, GS-1과 KN-2는 제주 고산리와 김녕리 토기. 제주 고산리, 김녕리 토기는 모두 900°C부근의 발열피크를 가짐.	51
그림 15.	영광, 광주, 순천 토기와 토양의 판별함수 다이어그램. soil은 각 지역의 토양을, FW-1, FW-3, FB-1은 영광의 가마시료를 나타냄.	57
그림 16.	연구지역 토기와 토양의 Sc-Fe 분포도. 영광, 광주, 순천시료에서는 주원소인 Fe와 미량원소인 Sc의 사이에 좋은 상관관계를 보였고 지역별로 분류됨.	59

- 그림 17. 영광 토양(0-1)을 재료로 하여 실온건조한 시료(RT)와 500-1200℃에서 각각 구운 시편의 X-선회절분석결과. 온도에 따른 광물의 상전이를 관찰할 수 있음 62
- 그림 18. 광주 치평동 토기와 토양내에 존재하는 CaO와 P₂O₅관계. 두 원소간에 좋은 상관관계를 보임. 64

표 차 례

표 1. 연구지역 및 시료 개관.	7
표 2. 연구지역 토기의 특징.	16
표 3. 유적지 토양시료의 특징.	17
표 4. 연구지역 토기의 주원소함량.	30
표 5. 중성자방사화분석에 의한 미량원소함량.	34
표 6. 유적지 토양의 입도분포, pH 그리고 광물 조성.	39
표 7. 연구지역 토양의 주 구성광물의 반정량결과(전체 100%).	39
표 8. 연구지역 토기의 주요광물구성. 광물조성은 X-선회절분석결과이고, 조직 및 비짐은 편광현미경분석결과임.	45
표 9. 연구지역 주요 토기의 열중량 및 시차열분석 결과.	50
표 10. 전체 연구지역의 토기와 토양의 미량원소함량을 이용한 판별분석결과. Wilk's lamda, 구조행렬과 영광은 1.00, 순천은 2.00, 광주는 3.00, 제주 는 4.00일 때 분류함수계수를 나타냄. 판별력은 Co, Cr, Sc, Lu, La의 순 서임.	56
표 11. 영광(1.0), 순천(2.0), 광주(3.0)의 토양과 토기의 판별함수식. Wilk's lamda, 구조행렬 그리고 분류함수를 나타내었고 판별력은 Sc, Cr, Co, Yb 의 순서임.	57

제 1 장 서 론

토기는 고고 유적의 발굴에서 가장 많은 양을 차지하는 자료로서 다양한 퇴적 환경에서도 잘 보존되고, 시대별 특징을 잘 반영하고 있어 한 문화를 대표하는 유물이라 할 수 있다. 그동안 한국고고학계에서 토기의 연구는 기형, 문양에 관한 형식학 연구가 대부분을 이루고 있었지만 점차 자연과학적 분석에 의한 제작 기술과 산지추정을 시도하는 경향이 늘고 있다(문희수 등, 1999; 이기길, 1993; 최몽룡과 신숙정, 1988).

우리나라에서는 1980년대부터 토기의 과학적인 연구가 시작되었고 화학분석과 광물조성을 통해 토기의 물리적, 화학적 성격을 규명하기 시작하였다. 산지연구는 토기의 재료를 통해 산지를 규명하고 유적에서 발굴되는 토기의 특성에 따라 토기의 이동을 유추할 수 있어 여러 지역 토기를 대상으로 토기의 구성성분을 분석하였다. 통계학적 분석법을 적용하여 토기의 산지에 따른 지역적인 구분을 할 수 있었다. 여기에 주로 사용하는 화학분석법이 중성자방사화분석이고 우리나라에서는 1980년대 중반부터 사용되어 왔다. 중성자방사화분석은 적은 양의 시료로 전처리 없이 비교적 정확하게 원소의 함량을 측정할 수 있다는 장점 때문에 많이 사용되어 왔고 토기 뿐 아니라 흑요석, 도자기, 동전 등 다양한 재질의 시료에도 적용되어 왔다(강형태, 1989 ; 이철 등, 1991). 토기를 비롯한 고고학적 시료는 그 특성상 시료의 양이 적거나 파괴할 수 없는 경우가 많으므로 대체로 시료양이 적은 편이어서 매우 유용한 분석법이다. 토기의 화학성분에 통계분석법의 일종인 주성분분석(principal component analysis), 판별분석(Discriminant analysis) 그리고 군집분석(Cluster analysis)을 적용하여 산지를 분류하여 지역에 따른 좋은 성과를 거두기도 하였다(1991; Cesana et al., 1983; Meloni et al., 2000).

그동안 다양한 화학분석과 통계학적인 해석에 비해 그 재료가 되는 토양과 토기의 연관성은 주 관심대상이 아니었다. 그러나 토기연구에서 재료인 토양에 대한 연구는 필수적이며 토기의 산지, 소성온도 및 용도를 알려주는 근거가 될 수 있다. 토기의 제작원료인 토양은 그 지역고유의 지질학적 기원을 가지고 있으며

로 토기와 같은 기원의 화학성분 분포와 광물상을 보인다. 또한 토양과 토기의 광물상 차이는 토기를 소성하는 단계에서 생기는데 고온에서 기존 광물이 소멸되고 새로 생성되어 토기의 소성온도를 추정하는 지시자가 될 수 있다. 그러나 토기가 바탕흙으로부터 성형·제작되어 사용되고, 성분을 분석할 때까지 영향을 미치는 요인이 많이 존재한다. 먼저 원료인 바탕흙을 선정하는 과정과 비짐의 첨가, 토기를 성형하여 고온에서 소성하는 동안의 원소의 상태 변화, 땅속에 매장된 채 오랜 시간을 지내면서 토기가 받는 토양환경의 영향 등이 토기의 산지분석에 있어 중요한 요인이다. 결국 산지를 연구하기 위한 토기의 화학분석에서 얻은 결과는 토기의 원료인 바탕흙의 성분이라기보다는 바탕흙의 성분에 영향을 미치는 요인들 간의 함수라고 할 수 있다(Freestone et al., 1985). 더구나 고대 토기의 경우에는 자기와는 달리 산지가 다양하며 원료도 조잡하여 화학분석만으로는 산지추정에 어려움이 있다. 따라서 토기의 재료를 연구하고 바탕흙과 모암과의 관계를 통해 산지를 연구하고자 하는 광물학적 연구의 중요성이 대두되었다

소성온도 역시 토기연구에 있어서 가장 중요한 부분 중 하나이다. 소성온도로 토기의 물리적인 성질과 쓰임새를 짐작할 수 있고, 당시 그릇 제작기술의 발달상황을 알 수 있어 중요하다. 그동안 다양한 열이력, 열팽창수축에 의한 분석, 그릇의 재소성 등 많은 방법이 사용되었지만 정확한 소성온도의 추정에는 여전히 어려움이 있다(최몽룡과 신숙정, 1988; 강경인, 1997; Philpotts and Wilson, 1994). 그것은 고대 토기가 대체로 한데가마(open kiln)에서 소성된 경우가 많고 가마에서 소성되어도 평형상태에서 구워진 것이 아니기 때문이다(최몽룡 등, 1994). 따라서 소성온도의 추정 역시 바탕흙과 토기의 광물상을 고려한 신중한 접근이 필요한 부분이다.

본 연구에서는 전남 영광 군동, 광주 치평동, 순천 월평유적 원삼국시대 토기와 제주도 고산리, 김녕리 유적의 신석기시대 토기 총 63점과 각 지역 토양을 선정하였다. 중성자방사화분석(Neutron Activation Analysis : NAA)결과로부터 통계적 분류와 지화학적 연관관계를 고려하여 산지를 분류하고, 토양과 발굴 토기와의 관계를 조사하고자 한다. 또한 영광 군동 유적의 경우에는 토기와 함께 토기

가마가 발굴되어 가마가 발견되지 않은 다른 지역 토기들간에 소성온도와 토기특성을 비교하는 것은 좋은 자료가 될 것으로 기대한다. 소성온도는 X선 회절분석과 열중량-시차열분석(TG-DTA)으로 온도에 따른 광물상의 변화를 관찰하고 소성온도를 추정하고자 한다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

토기에 대한 과학적 분석은 1930년대부터 시작되었는데 주로 물리학자들과 화학자들이 토기를 질감, 색, 제작기술에 따라 연구하는 작업이었다. 이러한 선구적인 작업은 지질학자인 Shepard에 의해 더욱 과학적으로 발전되어, 토기 연구에 화학분석과 암석분석을 도입하게 되었다. 그 후 토기 바탕흙¹⁾의 산지가 토기 분석의 중요한 목적 중 하나가 되면서 중성자방사화분석과 통계분석 등이 도입되었다(강형태, 1989; 최몽룡 등, 1998; 최성락 등, 1991; Cesana et al., 1983; Meloni et al., 2000). 산지연구에서는 주성분분석, 판별분석 그리고 군집분석과 같은 다양한 통계학적인 방법을 도입하여 토기를 분류하고 그 의미를 찾으려는 노력이 계속되어 왔다(Bishop and Neff, 1989). 여기에 X선 형광분석, 원자흡광분석과 중성자방사화분석과 같은 분석방법에 대한 비교측면이 강조되기도 했고(Day et al., 1999; Topping et al., 1988), 토기가 매장되어 보존되는 환경에 대한 고려와 같은 복합적인 제작과정과 매장환경연구가 논의되기도 했다(Freestone, 1994). 일본에서는 1980년대부터 산지분석에 대한 연구가 집중적으로 수행되어 일본 각 도요지에서 출토된 약 30,000점의 須惠器를 분석하고 지질조사를 병행하여 객관적이고 체계적인 연구가 진행되었다(강경인, 1997). 대부분의 산지연구에서는 토기가 바탕흙의 성분을 그대로 유지한다고 가정하고 토기를 구성하는 원소 함량으로 산지를 추정하였다. 즉, 토기를 화학분석하고 통계분석하여 산지를 구분하고 토기의 이동경로를 밝히는 등 유용한 결과를 얻기도 하였다(강형태, 1989; Rice, 1987; Bishop and Neff, 1989; Descantes et al., 2001; Mommsen, 2001). 그러나 토기가 바탕흙으로부터 성형·제작되어 사용되고, 성분을 분석할 때까지 영향을 미치는 요인이 많이 존재한다. 먼저 원료인 바탕흙을 선정하는 과정과 비짐의 첨가, 토기를 성형하여 고온에서 소성하는 동안의 원소의 상태 변화, 땅속에 매장된 채 오랜 시간을 지내면서 토기가 받는 토양환경의 영향 등이

1) 바탕흙은 토기의 주재료인 토양을 의미한다. 본 연구에서는 비짐을 섞거나 수비하지 않은 상태의 토양으로서 토기의 원료를 가리킨다.

토기의 산지분석에 있어 중요한 요인이다. 결국 산지를 연구하기 위한 토기의 화학분석에서 얻은 결과는 토기의 원료인 바탕흙의 성분이라기보다는 바탕흙의 성분에 영향을 미치는 요인들 간의 함수라고 할 수 있다(Freestone et al., 1985). 더구나 고대 토기의 경우에는 자기와는 달리 산지가 다양하며 원료도 조잡하여 화학분석만으로는 산지추정에 어려움이 있다. 따라서 토기의 재료를 연구하고 바탕흙과 모암과의 관계를 통해 산지를 연구하고자 하는 광물학적 연구의 중요성이 대두되었다(Pollard and Heron, 1996; Masucci and Macfarlane, 1997; Wieder and Adan-Bayewitz, 2002). 토기가 토양을 재료로 제작되었고 일부 토양광물을 토기가 함유하고 있는 만큼 토양과의 광물학적인 비교연구가 산지 연구에 중요하다. 특히 비짐²⁾의 종류, 크기, 원마도 등이 산지연구에 중요한 역할을 할 수 있음을 지적한 경우도 있었다(이기길 등, 1990a; 이기길과 이문원, 1990b; Maggetti, 1982). 화학분석에 의한 산지연구가 제작, 소성, 매장 후 변화 등의 많은 고려할 점을 가지고 있는 반면, 토기와 토양 자체의 광물학적 연구는 토기 연구에 새로운 방향을 제시해 줄 수 있다.

현재까지 국내에서 진행된 토기의 연구에는 각 유적지에서 출토된 일군의 토기에 대해 구성원소의 화학분석, 현미경을 이용한 광물동정이 주된 경향이었고 화학분석의 결과해석에 있어 미흡한 점이 많았다. 비교적 원료가 정제되어 있고 균일하며 원료의 산지가 일부지역으로 정해져 있는 자기의 경우에는 주변지질분석보다는 화학분석으로 산지를 추정하는 것이 교역과 자기제작에 있어 의미를 가진다고 할 수 있으나 고대토기의 경우에는 산지가 다양하며 원료도 조잡하여 화학분석만으로는 산지추정에 어려움이 있다. 더구나 선사시대 토기들은 대개 1500년 이상을 토양 속에 매장되어있었으므로 환경에 의한 영향도 고려해야 한다(Mommsen, 2001). 따라서 토기의 연구는 토기자체 뿐 아니라 주변토양에 대한 광물학적인 연관관계를 고려하여야 하고 여러 가지 당면한 문제점들에 대한 조심스러운 접근이 필요하다. 중성자방사화분석에 의한 토기와 토양의 성분분석으로 산

2) 비짐은 다른말로 temper 또는 tempering material이라고 부른다. 점토만으로 토기를 제작할 때 찰기를 줄여 성형을 용이하게 하고, 잘 마르게 하고 굽는 동안 수축률을 낮춰 구울 때 깨지거나 갈라지는 변화를 막아주는 역할을 한다. 비짐으로는 조가비, 부순 토기 조각, 모래, 풀, 짚 등을 사용한다(이기길, 1993; Rice, 1987).

지추정에 지구화학적인 방법으로 접근하고 토양과 토기와의 광물상변화를 통해 소성온도에 관한 정보를 얻는 것은 현재 토기연구단계에서 기본적인면서도 중요하다. 이와 같은 분석데이터가 축적된다면 더 넓은 지역에서 토기의 이동, 즉 고대의 교역을 연구에 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 유적지의 지질

각 연구지역의 지질과 유적을 표 1에 개관하였다. 지역별 지질도는 그림 1에 도시하였고 시료채취지역을 표시하였다.

표 1. 연구지역 및 시료 개관.

유적지명	위치	시료	지질
영광 군동	전남 영광군 대마면 원흥리	토기17점, 토양	흑운모화강암
광주 치평동	광주광역시 서구 치평동 92-1	토기16점, 토양	층적층
순천 월평	전남 순천시 외서면 월암리 월평유적 204-2	토기24점, 토양	층적층(화강암질편마암)
제주 고산리	제주도 북제주군 한경읍 고산리 2874	토기3점, 토양	수일봉용회암
제주 김녕리	제주도 북제주군 구좌읍 동김녕리 1087-1	토기3점, 토양	층적층(현무암)

1. 영광 군동

영광은 선캠브리아기 화강암질편마암, 시대미상의 육천계 변성퇴적암류와 반상 화강편마암, 쥬라기 화강암류, 백악기 화산암류 및 불국사관입암류 등으로 구성되는데 본 연구지역인 군동과 마전은 쥬라기 흑운모화강암과 반상 흑운모화강암 지역의 경계에 속한다(그림 1(a)). 쥬라기 화강암류는 영광지역에서 대규모로 분포되어 있고 이전 변성암류를 관입하고 압쇄엽리를 발달시키고 있으며 화산암류에 의해 피복되어 있다. 군동은 흑운모화강암지역에 속해 있지만 반상흑운모화강암과 이동적인 경계를 형성하여 흔히 풍화저항에 약해 낮은 구릉에 적색 잔류토로 남아있다(최위찬 등, 1986). 특히 연구지역은 하천에 둘러싸여 있고 주변이 고지대이므로 하천흐름으로 볼 때 주변 지질환경인 흑운모화강암지역의 영향을 주로 받아 토양형성이 된 것으로 보인다.

2. 광주 치평동유적

광주시일대의 지질구조는 선캄브리아기 화강암질편마암, 시대미상의 변성퇴적암류, 쥐라기의 화강암류, 그리고 백악기의 퇴적암류, 화산암류 및 심성관입암류 등으로 구분되지만 주로 중생대 쥐라기에 관입한 흑운모화강암으로 구성되어 있다. 북동-남서 방향의 대규모 대상의 저반으로 옥천대와 평행하게 분포한다. 북서쪽에는 흑운모화강암에 의해 관입당한 선캄브리아기의 화강암질편마암이 비교적 넓게 분포하며 장성군과 담양군 쪽으로 이어진다. 영산강과 그 지류인 황룡강, 지석천, 광주천 유역에는 신생대 제4기에 형성된 비옥한 충적층이 화강암질편마암과 흑운모화강암을 부정합으로 피복하고 있다. 이 지역의 흑운모화강암과 화강암질 편마암은 풍화에 약하여 저지대를 형성하여 분지상의 지형을 이룬다. 치평동은 이러한 분지상 지형의 중심부에 자리하며(그림 1(b)), 신생대 제4기에 퇴적된 충적층과 중생대 흑운모화강암을 포함하며 충적층의 두께는 2-4m이다. 충적층의 하부는 하상력층(河床礫層)과 세립질 퇴적물로 구성되어 있고 흑운모화강암은 지하 10m이상 심층풍화를 받은 상태이고 화산암류에 의해 관입되고 있다(김규봉 등, 1990; 홍승호와 윤육, 1986). 유적의 위치는 광주시내의 북서부외곽에 위치하고 있으며 영산강이 충적층인 치평동일대를 흐르고 있다. 하천의 흐름으로 볼 때 충적층에 영향을 미치는 것은 흑운모화강암과 안산암이다.

3. 순천 월평유적

순천은 영남육괴의 남단에 위치하고 있으므로 주요한 지질 구성원은 선캄브리아시대의 지층으로 기본암류는 변성퇴적암류와 이를 관입한 것으로 생각되는 반상변정 화강암질 편마암 및 화강암질 편마암으로 구분되며 일부지역을 제외한 전역에 광범위하게 분포하며 제4기에 이르러 수계를 따라 협장한 충적층이 쌓여 있다. 이 지역의 가장 오래된 암층은 호상 흑운모편마암, 편암, 석회규산염암이지만 반상변정화강암질 편마암이 관입하여 가장 넓은 분포를 보인다. 유적이 위치

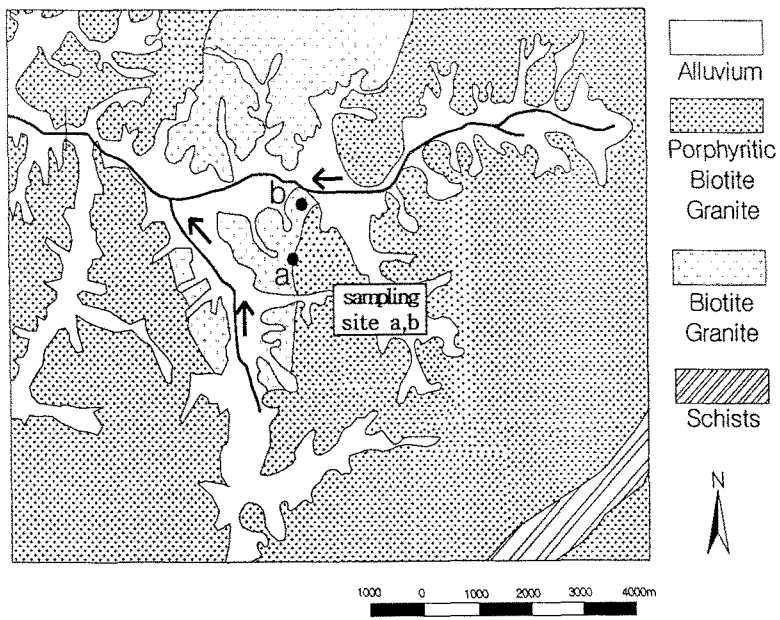
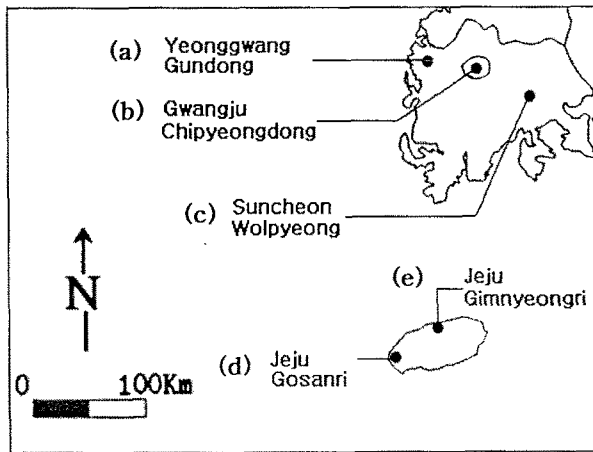
하는 순천시 외서면 월암리 월평마을 뒤편 언덕은, 고동산의 서남쪽에 해발 200-220m의 언덕으로 반상변정화강암질 편마암 지역이지만 송광천이 동, 남, 서쪽을 휘돌아 흐르고 있어 그 주위로 층적층이 쌓여 있다(이민성 등, 1989; 이상만과 김형식, 1966; 조선대학교 박물관, 1998; 그림1(c)).

4. 제주 고산리와 김녕리

제주도는 신생대 제3기말에 지반의 형성이 끝나고 그 지반 위에 제4기에 2회에 걸친 용암의 분출로 용암대지가 형성되고 그 후에 다시 2회에 걸친 용암의 분출로 오늘날 제주도의 지형이 완성되었다. 따라서 제주도 토양은 화산쇄설물을 모재로 하여 발달하였는데 화산쇄설물은 풍화의 진행이 빠르며 많은 비정질을 형성하고 있어 전체 토양의 80%는 안디졸(Andisols)로 구성된다.

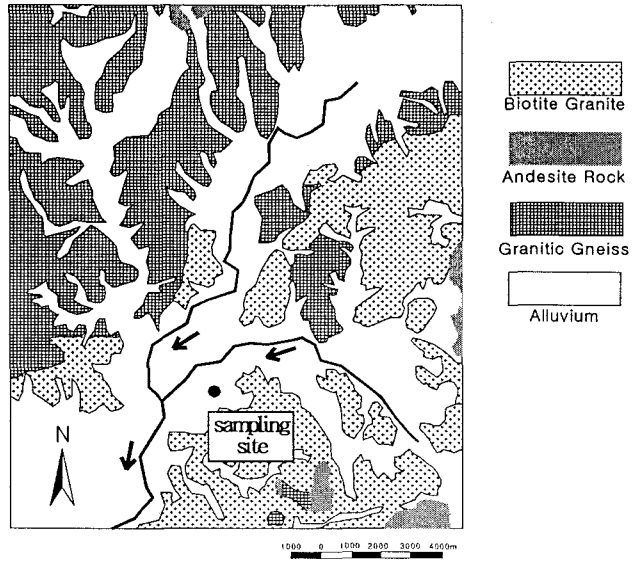
고산리 유적은 제주도 서부지역 한경면 고산리 자구내 마을 서쪽 어귀에서 수월봉 바로 앞에 이르는 해안단구에 있으며(그림 1(d)), 유물 분포지역은 발굴당 시에는 대부분 경작지였기 때문에 트랙터, 경운기 등 농기계의 사용으로 유물 포함층이 불안정한 상태였다. 동북아시아의 신석기 초기 유물과 같은, B.C. 12000~10000년경의 눌러떼기 수법으로 만든 석기와 식물성 비짐을 사용한 토기가 이 유적에서 다량 출토되어 신석기초기문화의 형성과정을 밝히는 중요한 유적이다(이청규, 1986).

김녕리는 제주도 동북편에 위치하며 입산봉의 북편에 인접해 있다(그림 1(e)). 기반암은 현무암지대로 주변에 동굴이 많아 이 일대가 동굴지대이고 비교적 기존 퇴적층이 적은 편이다. 고산리유적과 마찬가지로 문화층의 위층이 흑색화산재층으로 화산재가 쌓이기 전에 유적이 형성되었을 것으로 본다(이영배 등, 1999).

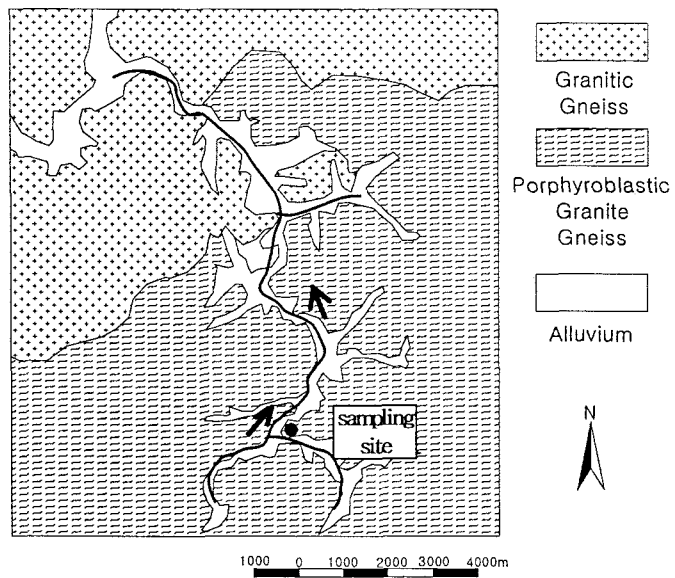


(a)

그림. 1. 연구지역의 지질도와 시료채취지역. (a) 영광(a: 군동, b: 마전), (b) 광주 치평동, (c) 순천 월평 (d) 제주 고산리 (e) 제주 김녕리.

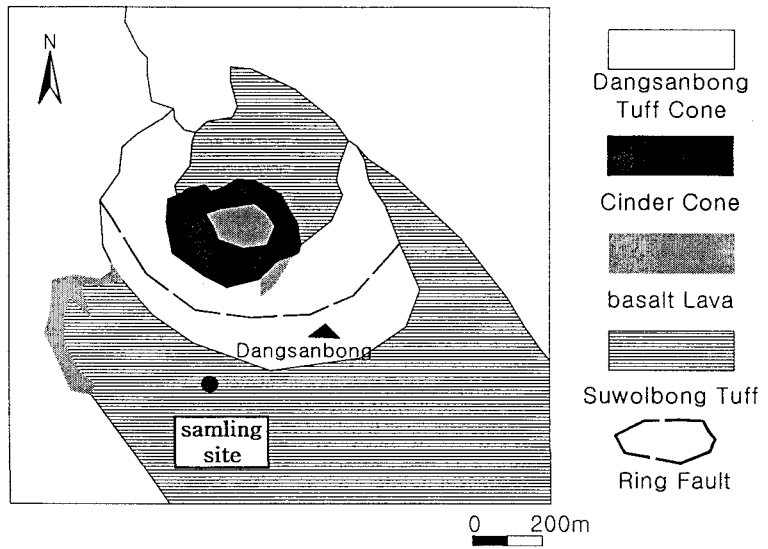


(b)

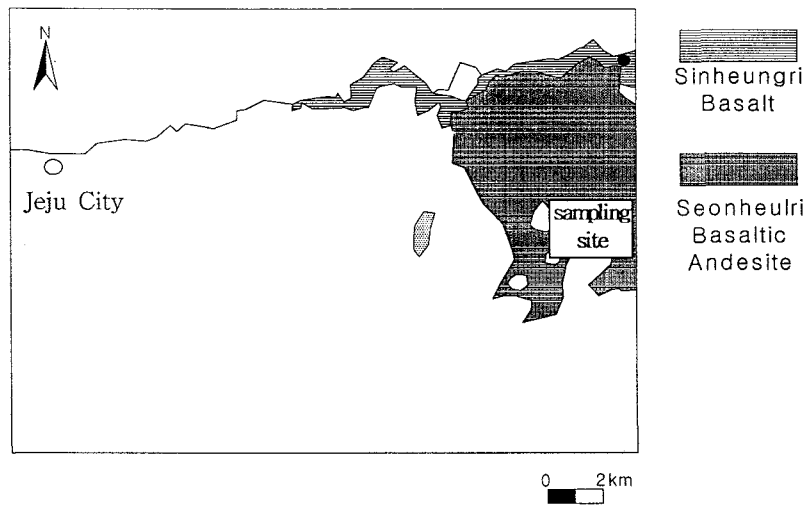


(c)

그림 1. 계속.



(d)



(e)

그림 1. 계속.

제 2 절 시료 및 연구방법

1. 시료

전남 영광 군동유적에서 출토된 토기 17점, 광주 치평동 유적에서 출토된 토기 16점, 순천 월평유적에서 출토된 토기 24점, 제주도 고산리와 김녕리에서 출토된 토기 6점과 각 지역별 토양을 연구 대상으로 하였다. 토기의 특징은 표 2에, 토양시료의 특징은 표 3에 기재하였고 지역의 대표적인 토기의 사진은 그림 2에 있다.

(1) 영광 군동

유적으로부터 삼국시대 토기가마 3기, 주거지 1기, 도량유구 2기가 확인되었고 가마내부에서 토기가 수습되었다(그림 2(a),(b)). 1호 토기 가마는 반지하식의 등요로 내부구조는 아궁이, 연소실, 번조실, 연등부로 구분되며 전체길이 520cm의 타원형이다. 가마내부의 번조실에서 GDP-1~4, GDPU-1이 출토되었고 아궁이에서는 GDPU2-1, GDPU2-2, GDPW-1~3와 같은 주로 경토기가 출토되었다. 1호 가마의 인근에 있는 작은 타원형의 2호가마로부터는 GDP2-1~2, GDP3-1~2가 나왔는데 회백색의 경토기, 적갈색 연토기가 혼재되어 존재한다. 토기는 대부분 5m~10mm 두께를 가지며 무늬가 없거나 돛자리 무늬를 가진 것이 대부분이다. 입자는 육안으로 볼 때 대개 세립질이지만 마전 토기(MJ-1, MJ-2)의 경우에는 조립질이다. 토양시료의 채취는 발굴이 진행되어 4기 퇴적층이 제거되고 유적이 드러나 있는 상태에서 군동 「가」 유적 2호 토기가마터에서 가마와 같은 층위의 점토가 많은 토양(0-1)을 채취하였다. 군동과 마전유적에서는 두드린무늬그릇 또는 경질의 민무늬그릇이 출토되었고 집자리에서 나온 숲의 방사성탄소연대측정결과로 유적의 연대는 4세기경으로 보고 있다(이기길, 2001). 그릇 문양과 가마 그리고 연대로 볼 때 연구대상 지역 중 가장 발달된 그릇의 형식을 가지고 있다.

(2) 광주 치평동

광주 치평동유적에서는 적갈색, 흑갈색, 회백색 토기가 혼재되어 존재한다. 토기의 시료로 유적을 대표하는 시루의 바닥조각이나 쇠뿔잡이그릇의 손잡이부분, 굽(두형토기)조각부분이 포함되어 있다. 색은 적갈색, 흑갈색, 회백색 토기가 혼재되어 존재한다. 토기면의 두께는 6~11mm이고 대부분 무늬가 없거나 문살무늬(CH-14, 15, 16)를 두드려 넣었다. CH-3과 CH-5는 흑갈색을 표면에 칠한 물손질이 되어 있다(그림 2(c)). 입자는 육안으로 볼 때 세립질이고 3mm이상의 모래도 확인된다. 발굴 당시 유적은 대부분 파괴되었고, 나온 유물들은 재퇴적된 유물 포함층으로 기원 1세기전후로 추정되는 철기시대 토기들이 대부분이다. 이미 발굴이 1994-1995년에 완료되어 발굴터는 객토한 상태여서 발굴터 자리의 객토이전의 토양(CH-S)을 채취하였다. 그릇의 형태로 볼 때 철기시대와 삼국시대의 두 시기 그릇이 수습되었다. 점토대그릇을 비롯한 대부분의 그릇은 기원전 1세기의 유적으로 보는 반면, 시루(CH-2)는 형태상 삼국시대 유물로 보고 있다(임영진과 서현주, 1997).

(3) 순천 월평

순천 월평유적은 후기구석기를 대표하는 석기의 발견으로 시굴되었고, 언덕의 정상부에서 원삼국시대 집자리 3기와 민그릇과 두드린무늬그릇 등이 발견되었다. 월평유적 토기의 특징은 경질민그릇(경질무문토기, WP-1~6)과 두드린무늬그릇(타날문토기, WB-1~4, WR-1~4, WI-1, WM-1) 그리고 회청색의 얇은 민그릇(WD-1)이 함께 발견되고 있다는 점이다(그림 2(d), (e)). 두께는 5~15mm정도이고 민그릇(WP1~6)의 경우에는 조립질의 석영 및 흑운모 입자가 발견되었다. WS-1, 2의 적갈색 연질 토기뿐 아니라 WM-1, WI-1, WD-1와 같은 세립질 입자를 가진 두드린무늬그릇이 존재하는데, WM-1과 WD-1은 환원염 가마에서 제작된 것으로 추정하고 있다. 그릇의 재료인 토양은 언덕의 중간이하에서 채취하였다

(WP-S). 한편 월평유적 그릇특징에 가장 비슷한 것이 군곡리유적의 V기층으로, 이 층의 연대는 기원후 2세기 후반부터 3세기 후반으로 추정되고 있다. 군곡리 유적과 같이 인근의 월평유적과 비슷한 금평유적을 참고로 할 때 월평 유적의 연대는 대략 3세기로 추정되고 있다(이기길, 2001).

(4) 제주 고산리와 김녕리

고산리와 김녕리에서 발견되는 토기는 신석기시대의 초창기 그릇인 짚섞인 그릇과 점열문 토기이고 본 연구의 시료는 모두 짚섞인 그릇이다. 고산리 토기의 경우에는 비짐 상태가 대부분 영성하고 가는 풀잎이나 식물줄기를 넣어 성형한 것으로 식물들이 불에 타 없어지면서 빠져나간 흔적이 뚜렷하다. 사질점토와 식물성 비짐을 혼합한 그릇이라고 볼 수 있다(이청규 등, 1998). 그 흔적은 토기 내외면과 속심에 남아있다(그림 2(e), (f)). 두께는 8~15mm정도이고 붉은 색 또는 진한갈색을 보인다. 고산리 토기인 GS-1, GS-2에는 외떡잎식물의 잎 또는 줄기가 관찰되며 김녕리 토기인 KN-1에는 뚜렷한 식물의 자국과 붉은 scoria가 관찰된다. 고산리의 토양시료는 수월봉 앞의 고산리 유적터에서 채취하였는데 지표에서 50-60cm의 scoria가 섞인 화산재 퇴적층 밑으로 검은 갈색의 토양층에서 채취하였다. 김녕리의 유적터는 이미 논으로 개토한 상태였고 지표 밑으로 1m 가량의 아래에 화산재층 밑 적갈색 토양층(KN-S)을 채취하였다.

표 2. 연구지역 토기의 특징.

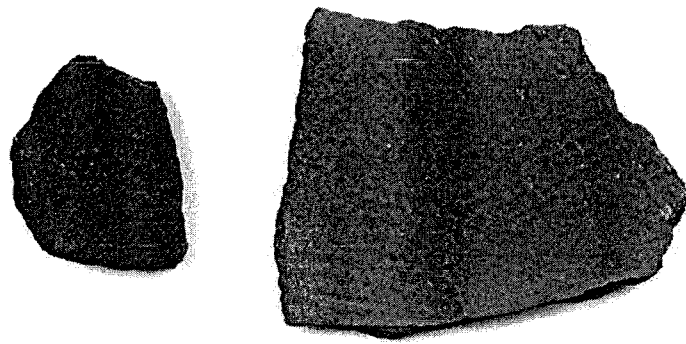
유적	시료명	출토	특징	부분	색	두께(mm)
영광 군동	GDP-1	1호가마소성실	두드린무늬	몸	10YR4/2	5.3-4.8
	GDP-2	1호가마소성실	두드린무늬	몸	7.5YR5/4	5.5-8.0
	GDP-3	1호가마소성실	두드린무늬	몸	5YR4/4	5
	GDP-4	1호가마소성실	두드린무늬	몸	7.5YR4/4	6.7-8.0
	GDPU-1	1호가마소성실	두드린무늬	몸	7.5YR4/4	6.0-8.7
	GDPU2-1	1호가마 폐기장	민무늬	몸	5Y3/1	7
	GDPU2-2	1호가마 폐기장	두드린무늬	몸	2.5YR4/1	10.5-13.7
	GDP2-1	2호가마소성실	두드린무늬	아가리	7.5YR4/4	5.8-7.4
	GDP2-2	2호가마폐기장	민무늬	아가리	10YR5/4	6.4-7.1
	GDP3-1	2호가마폐기장	민무늬	아가리	2.5Y4/1	3.8
	GDP3-2	2호가마폐기장	민무늬	아가리	2.5Y3/1	10
	GDPW-1	1호가마폐기장	두드린무늬	몸	5YR5/6	7.0-8.0
	GDPW-2	1호가마폐기장	민무늬	몸	2.5Y4/1	8.6-9.9
	GDPW-3	1호가마폐기장	두드린무늬	몸	5Y3/1	5.0-6.4
	FW-1	1호가마벽	가마벽		7.5YR5/4	
	FW-3	1호가마벽	가마벽		2.5Y4/2	
FB-1	1호가마바닥	가마바닥		7.5YR3/4		
영광 마전	MJ-1	구덩이자리	두드린무늬	아가리	5YR4/6	4.3-6.5
	MJ-2	화덕자리	두드린무늬	몸	5YR4/4	6.4-7.2
	MJ-3	5호집터	민무늬	아가리	2.5Y4/1	5.6
광주 치평동	CH-1	지표수습	삼각형점토대그릇	아가리	5YR6/6	7.8
	CH-2	지표수습	시루	바닥	5YR7/6	9.2-16
	CH-3	지표수습	시루	아가리	N4/0	7.3
	CH-4	지표수습	굽다리그릇	굽	7.5YR6/6	46.5
	CH-5	지표수습	굽다리그릇	굽	2.5yr3/1	13.7
	CH-6	지표수습	쇠뿔잡이그릇	쇠뿔잡이	7.5YR5/8	28
	CH-7	지표수습	쇠뿔잡이그릇	쇠뿔잡이	10YR5/4	50
	CH-8	지표수습	경질 민무늬	납작바닥	5YR4/4	46
	CH-9	지표수습	경질 민무늬	납작바닥	10YR6/4	39
	CH-10	지표수습	바라진아가리그릇	아가리	5YR6/4	8
	CH-11	지표수습	경질 민무늬	몸	10YR7/3	11
	CH-12	지표수습	경질 민무늬	몸	10YR6/3	10
	CH-13	지표수습	경질 민무늬	몸	2.5Y5/2	11
	CH-14	지표수습	두드린무늬	몸	7.5YR5/4	6
	CH-15	지표수습	두드린무늬	몸	2.5Y4/1	6
	CH-16	지표수습	두드린무늬	몸	10YR5/2	8

표 2. 계속.

유적	시료명	출토	특징	부분	색	두께(mm)
순천	WP-1	98-3호 집자리	민무늬	몸	10YR4/3	10.8
월평	WP-2	98-3호 집자리	민무늬	몸	7.5YR5/4	10.6
	WP-3	98-3호 집자리	민무늬	몸	10YR3/3	6
	WP-4	98-3호 집자리	민무늬	몸	7.5YR6/4	9.2
	WP-5	98-3호 집자리	민무늬	몸	5YR5/4	13.7
	WP-6	98-3호 집자리	민무늬	몸	7.5YR4/3	9.9
	WK-1	퇴적층	귀얄무늬	몸	7.5YR4/3	8.9
	WK-2	퇴적층	귀얄무늬	몸	7.5YR4/4	10
	WK-3	퇴적층	귀얄무늬	몸	7.5YR4/4	7.6
	WR-1	98-3호 집자리	두드린무늬	아가리	10YR5/3	5.7
	WR-2	98-3호 집자리	두드린무늬	아가리	10YR4/3	8.1
	WR-3	98-3호 집자리	두드린무늬	아가리	7.5YR5/4	5.9
	WR-4	98-3호 집자리	두드린무늬	아가리	10YR5/3	6.2
	WB-1	퇴적층	두드린무늬	몸	2.5YR4/1	7
	WB-2	퇴적층	두드린무늬	몸	10YR4/1	5.9
	WB-3	퇴적층	두드린무늬	몸	10YR3/1	6.6
	WB-4	퇴적층	두드린무늬	몸	2.5YR3/1	6.2
	WS-1	98-3호 집자리	가로선무늬(회전문)	몸	5YR4/6	5.8
	WS-2	98-3호 집자리	가로선무늬(회전문)	몸	5YR4/4	5.1
	WI-1	98-3호 집자리	툽니무늬	몸	7.5YR5/3	5
	WM-1	교란·퇴적층	두드린무늬	몸	10YR5/2	6.4
	WD-1	교란층	민무늬	몸	2.5YR4/2	5.1
	WD-2	교란층	민무늬	몸	2.5YR5/3	3.7
제주	GS-1		민무늬	몸	7.5YR3/4	8.1
고산리	GS-2		민무늬	몸	10YR3/3	13.9
	GS-3		민무늬	몸	10YR3/2	13.1
제주	KN-1		민무늬	몸	5YR3/4	8.4
김녕리	KN-2		민무늬	몸	5YR3/4	8.9
	KN-3		민무늬	몸	7.5YR3/3	8.3

표 3. 유적지 토양시료의 특징.

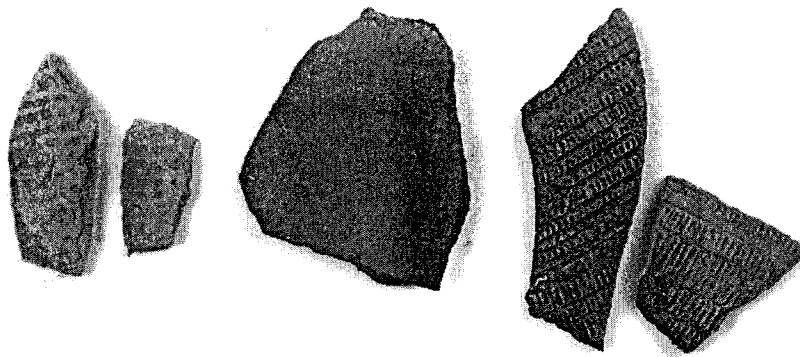
유적지명	토양시료	토양 texture	색
영광 군동	0-1	silt loam	7.5YR3/3
광주 치평동	CH-S	silt loam	7.5YR4/3
순천 월평	WP-S	silty clay loam	7.5YR3/2
제주 고산리	GS-S	silty clay loam	N1.5/0
제주 김녕리	KN-S	silty clay loam	2.5 YR1.7/1



GDPU2-1

GDPU2-2

(a)



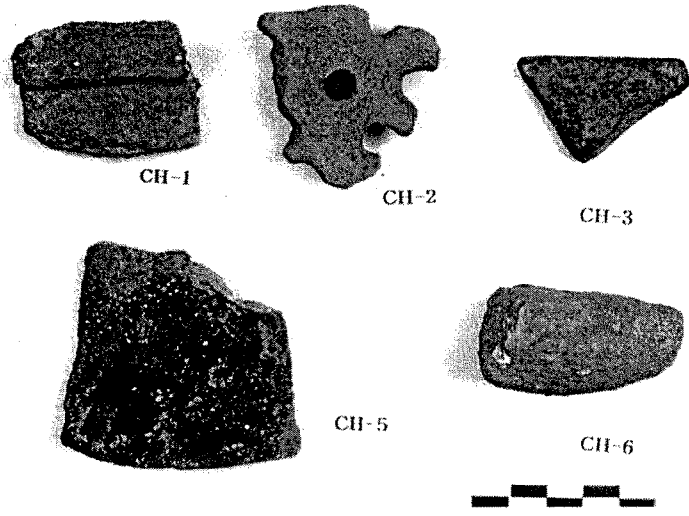
GDPW-1

GDPW-2

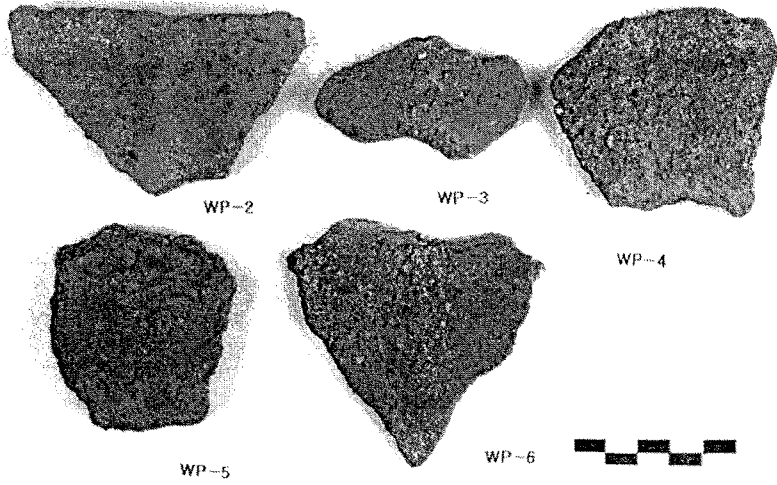
GDPW-3

(b)

그림 2. 각 연구지역의 대표적인 토기. (a)와 (b)는 영광 군동 유적의 토기이고 (c)는 광주 치평동 유적의 토기, (d)와 (e)는 순천 월평 유적의 토기, (f)는 제주도 고산리와 김녕리 유적의 토기임.

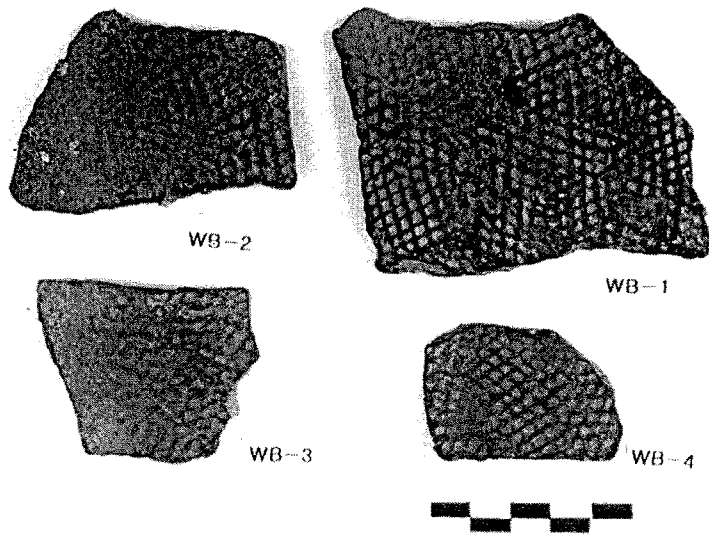


(c)

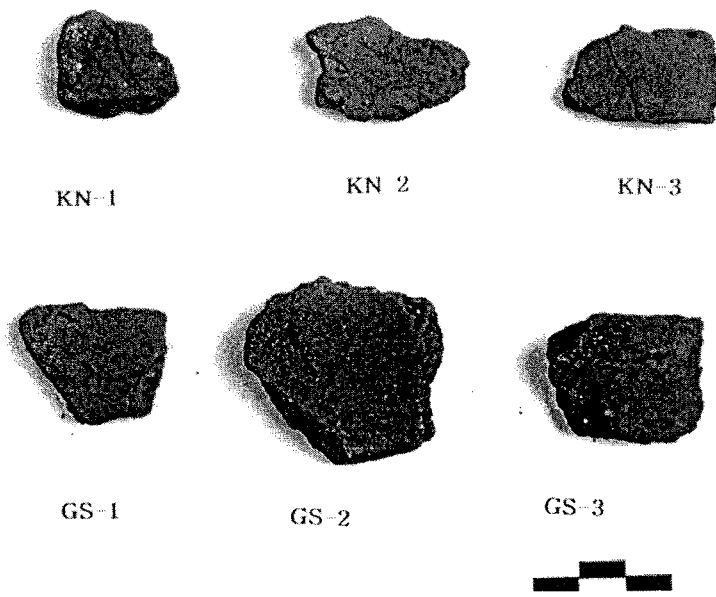


(d)

그림 2. 계속.



(e)



(f)

그림 2. 계속.

2. 연구방법

본 연구에서는 토기의 산지와 소성온도를 분석하기 위해 광물학적 및 지화학적 연구방법을 사용하였다. 산지연구를 위해 토기와 토양의 광물조성 및 조직분석과 화학분석을 실시하였고, 토기의 소성온도 추정을 위해 광물조성, 열분석 그리고 토양의 소성실험을 실시하였다. 실험방법에 대한 흐름도가 그림 3에 있다.

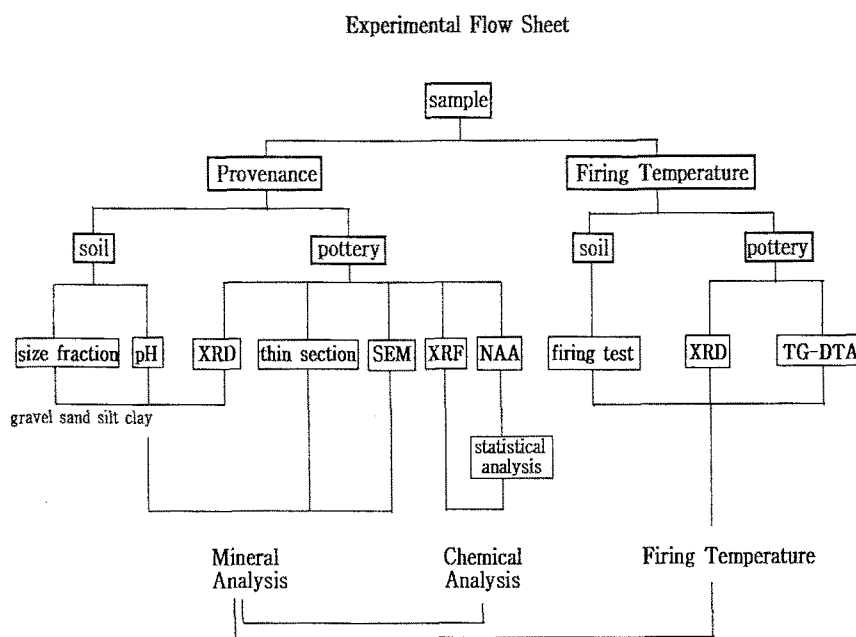


그림 3. 연구방법 흐름도.

(1) X-선 형광 분석

토기와 토양의 주원소 함량을 분석하기 위해 X-선 형광분석을 하였다. 토기는 증류수로 세척한 뒤 105℃에서 24시간 건조하였고 토기 내부의 오염되지 않은 부분을 분말로 준비하였다. X선 형광분석기(X-ray fluorescence, XRF, PW 2404, Philips)로 10종의 주원소를 분석하였다.

(2) 중성자방사화분석

산지추정에 있어서 주성분과 미량성분에 의한 산지분류를 비교하기 위해 토기의 화학조성을 주성분과 미량성분으로 나누어 분석하였다. 토기는 제작되어 사용되다가 매장된 채로 약 1000-1500년 이상(본 연구시료의 경우)을 매장환경에 존재하고 고고학자들에 의해 발굴을 통해서 지표로 나오는 경우가 대부분이므로 매장환경에서 변질 및 풍화를 겪을 가능성이 있다. 따라서 원소의 이동성이 적다고 알려진 희토류원소 La, Dy, Tb, Sm, Yb, Eu, Lu, 와 Sc, Co, Cr을 분석대상으로 하였다. 물론 이들 원소들도 각기 풍화와 물과 열, 압력에 의한 변질작용의 영향을 받지만 토양 내에서 물에 의한 변질이 크다는 점을 고려할 때 비교적 물에 안정적이고 이동성이 적다고 한다(Rollinson, 1993 ; Lipin 등, 1989).

토기는 증류수로 세척한 뒤 건조기에서 80°C에서 24시간 건조하였고 토기 내부의 일부분을 갈아서 분말로 준비하였다. 분말시료는 장주기 원소분석에 약 100mg, 단주기 원소분석에 약 3mg을 폴리에틸렌 용기에 담아 밀봉하였다. 실험용 원자로 하나로(24MW, 중성자속 2.81×10^{13} n/cm²·sec)를 중성자선원으로, 감마선 계측은 HPGe가 부착된 8000채널 파고 분석기(EG&G ORTEC MCA SYSTEM, USA)를 사용하였다.

(3) 통계분석

화학분석에서 얻은 많은 원소의 함량으로부터 다변수처리과정을 거쳐 유효한 정보를 얻을 수 있다. 즉 한 세트의 시료에서 얻은 다변수 데이터에 함유된 규칙성을 검출하고 수식화함으로서 시료의 성질을 발견하고 예측하는데 본 연구에서는 화학분석으로 얻어지는 원소함량을 다변량 통계분석 중 판별분석으로 산지를 분류하고 그 타당성을 검증한다.

각 M개의 변수로 된 N개의 시료에서 얻은 한 세트의 데이터(N×M data matrix)는 M차원의 공간에서 N개점으로 된 한 세트로 간주한다. 시료 i(i=1, 2, ..., n)에 대하여 변수의 값 j(j=1, 2, ..., n)의 값 x_{ij} 은 데이터 행렬을 형성한다. 각 산화물 값에 대해 같은 가중치를 갖도록 하기 위해 표준화과정을 거쳐 각 데이터를 평균

0, 단위표준편차를 갖는 새로운 변수 z_{ij} 로 변환시킨다.

$$z = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

\bar{x}_j = 각시료의 산화물 성분의 평균

s_j = 각시료의 산화물 성분의 표준편차

이와같은 표준화과정을 거친 데이터에 대해 특징을 추출하고 선택하는 방법은 두가지가 있는데, 하나는 주성분분석(Principal Component Analysis ; PCA)과 같은 요인분석(factor analysis)으로 변수의 차수를 줄이는 데 그 목적이 있다. 다른 방법은 피셔의 판별분석(Fisher's discriminant analysis ; FDA)으로 급의 분리(class separation)에 목적이 있다.

주성분분석은 원변수 세트에서 모든 변수가 동등한 중요성을 갖도록 표준화한 변수의 세트를 사용하여 그 데이터 세트의 변이성과 상관성을 기술하는데 그 목적이 있으며 상관행렬이나 공분산행렬을 이용해서 M차원의 N개점을 어떤 직교축에 투영하여 최대의 가변도를 구한다. 둘째 주성분은 첫째식과 직교하며 남은 가변도중 최고 분율을 가지게 되어 선형결합방식으로 주성분1,2...등을 산출한다. 주성분분석에서는 차수를 줄이는데 가변도의 극대화를 사용한다.

판별분석은 전체시료가 두 개 혹은 그 이상의 군을 형성하고 있을 때, 최소의 오차로 각 시료들이 어떤 군으로 분류되는가를 나타낼 수 있는 한 세트의 규칙을 찾는 것이다. 이 규칙을 판별함수라고 하는데, 독립변수의 선형조합을 이용하여 모든 케이스를 집단변수인 종속변수로 분류하고 예측할 목적으로 사용되는 통계 기법이다. 판별분석에서 가장 기본적인 작업은 집단 내 분산에 비하여 집단간분산차이를 최대화하는 독립변수들의 계수를 찾아내는 것이고, 독립변수들의 선형결합을 판별함수(classification function or Fisher's Discriminant function)라고 하며 일반식은 다음과 같다.

$$Z = W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n$$

Z는 판별점수, W_n 는 변수 n에 대한 판별계수, X_n 는 독립변수 n

일단 판별함수가 계산되면 판별력의 통계적 유의성을 검증하는데 산출된 함수가 통계적으로 얼마나 유의미한가를 검증하며, 가장 많이 사용하는 것이 Wilks' lamda이며 χ^2 검증을 실시한다. Wilk's lamda는 집단내 분산/(집단내 분산+집단간 분산)의 비로서 이 값이 작을수록 변수의 판별력이 높음을 의미한다. 분산 분석의 F값과는 반대를 나타낸다.

본 연구에서는 분석원소들 사이의 상관관계를 주성분분석을 통해 조사하고 원소들의 상관관계가 시료를 통계분석으로 분류하는데 미치는 영향을 고찰하고자 한다. 그리고 영광, 광주, 순천, 제주로 분류한 변수의 판별력, 즉 분류하고자 하는 집단이 얼마나 의미 있는지를 검증하고, 분류에 사용한 원소들이 얼마나 판별력이 높은가를 조사하였다.

(4) 토양의 입도

유적지 토양을 자갈(gravel, >2mm), 모래(sand, 50 μ m-2mm), 실트(silt, 2 μ m-50 μ m), 점토(clay, <2 μ m)의 각 입도별로 분리하여 포집하였다. 토양박편제작과 X-선회절분석을 위해 입도분리시 유기물, 탄산염, 철제거 방법은 사용하지 않았다. 먼저 오븐 건조된 토양시료에서 자갈을 2mm 체로 걸러내었고 증류수와 혼합하여 24시간 교반한 뒤 wet sieving으로 모래를 분리하였다. 점토와 실트는 원심분리를 통해 분리하였고 각각 오븐건조한 뒤 회수하여 무게를 측정하였다(입도는 회수된 시료의 wt%로 계산).

(5) 토양 pH

토양의 pH가 매장환경에서 토기에 어떤 영향을 끼치는가를 조사하기 위해 pH를

측정하였다. 토양시료는 오븐 건조시킨 후, 체를 이용하여 2mm 이상의 자갈을 제거하고 분리한 시료를 증류수와 1:5의 비율로 혼합한 뒤 24시간 교반하여 pH를 측정하였다.

(6) X-선 회절분석

토양과 토기를 구성하는 광물을 동정하고 특징을 조사하기 위해 토기와 토양의 시료를 X-선회절분석하였다. 토양의 경우, 전암시료(bulk sample)와 입도별로 분리한 자갈, 모래, 실트 시료에 대해 부정방위법으로 분석하여 구성광물을 동정하였다. 점토광물은 스포이드를 이용한 퇴적법으로 정방위시료를 제작하여 상온 건조한 상태와 에틸렌글리콜 처리한 상태 그리고 300℃, 550℃에서 2시간씩 열처리한 상태에 대해 X-선회절분석을 하였다. 토기는 증류수로 세척하고 약 105℃ 오븐에서 24시간 건조하여 분말상태로 준비하였고 부정방위법으로 분석하였다. 영광 군동 토양 0-1의 성형 시편('3.10 토양의 소성실험' 참고)은 각 온도별로 구운 뒤 분쇄하여 부정방위 X-선 회절분석을 하였다.

분석은 흑연단색화장치가 부착된 X-선회절분석기(X-ray Diffractometer, XRD, MXP-3 Sys., Mac Science, Co., Japan)를 사용하여 Cu-K α 선, 전압 40kV, 전류 30mA, 발산슬릿 1mm, 산란슬릿 1mm, 수광슬릿 0.15mm, 주사속도 2 °2 θ /min로 3-45° 2 θ 구간에서 측정하였다.

토양의 주 구성광물의 함량을 알기 위해 정의 방법(Chung's method, Chung, 1974a; Chung, 1974b)을 사용하여 반정량을 하였다. 표준물질은 Al₂O₃로하고 토양 시료와 각각 0.1g씩 잘 섞어 Cu-K α 선, 전압 40kV, 전류 30mA, 발산슬릿 0.5mm, 산란슬릿 0.5mm, 수광슬릿 0.15mm, FT mode, sampling time 1sec, 3-45° 2 θ 구간에서 측정하였다.

(7) 편광현미경 분석

토기와 토양을 구성하는 광물과 조직을 관찰하기 위해 편광현미경 분석을 하였다. 토기는 박편제작과정에서 부서지거나 파손될 수 있기 때문에 수지(resin)로

고정하여 정확한 단면을 제작하고자 하였다. 토기편의 단면을 잘라 수지로 고정하고 유리슬라이드에 박편(thin section)을 제작하였다. 또한 토기와 토양의 구성광물을 비교 관찰하기 위해 현미경상에서 형태를 구분할 수 있는 모래를 관찰하였다. 즉, 토양시료에서 분리한 모래를 수지로 고정하여 유리슬라이드에 박편을 제작하였다. 편광현미경은 일본 Nikon Microphot-FXA을 사용하였고 40 또는 100배의 배율로 관찰하였다.

(8) 주사전자현미경 분석

주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM, JEOL, JSM 5610LV, Japan)으로 토기의 단면을 관찰하였다. 토기는 단면을 잘라 수지로 고정하고 연마하였다. Low vacuum control하에서 back scattering image로 인(phosphorous)의 분포를 mapping하였다.

(9) 열중량 및 시차열분석

토기가 고온소성을 거치면서 바탕흙을 구성하는 광물은 고온상전이를 겪게 된다. 열분석으로 토기의 재가열과정동안 구성광물의 열이력을 알아내고 상전이 여부를 확인할 수 있다. 본 연구에서는 토기를 분말로 제작하여 열중량-시차열분석기(Thermogravimetric-differential thermal analysis, TG-DTA, 2000S, MacScience, Co., Japan)를 이용하여, 백금용기에서 승온속도 20°C/min로, 1100°C까지 공기 중에서 가열하여 최고 온도에서 1분간 유지하였고, 표준물질로는 α -Al₂O₃를 사용하였다.

(10) 토양의 소성 실험

토기는 소성을 통해 토양광물들은 비가역적인 상전이를 겪는다. 따라서 일정한 조건에서 토양을 가열함으로써 구성광물의 상전이를 관찰하고 토기의 광물과 비교하였다.

토양을 물로 반죽하고 같은 크기의 시편으로 성형하였고 105°C에서 24시간 건

조시켰다. 전기로(A-Jeon UP-350, Korea)에서 승온속도 5°C/min로 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200°C까지 가열하고 최고온도에서 1시간 유지한 후에 자연 냉각하였다. 소성 실험한 시편은 토기와 같은 조건으로 X-선회절분석을 하였다.

제 3 절 연구결과

1. 토기의 화학적 특성

(1) 주원소분석결과

연구지역 토양과 일부 토기에 대해 10개 주원소의 화학분석결과를 표 4에 나타내었다. 각 연구지역은 주원소 함량에 차이를 보였고 영광군동과 광주치평동시료는 SiO_2 함량이 약 66~72%로 산성암(>66%)의 함량을 가졌으며 순천월평 시료는 약 59~65%로 중성암(52~66%)의 함량을, 제주고산리, 김녕리 시료는 약 41~50%로 염기성암(<45%)의 함량을 가졌다. Fe_2O_3 함량은 영광, 광주 시료에서 약 4~6%, 순천 시료에서 6~11%, 제주 시료에서 11~15%이었다. 제주 시료의 경우 상대적으로 높은 Fe_2O_3 , CaO , TiO_2 함량과 낮은 K_2O , MnO , SiO_2 함량을 가져 토기와 토양 모두에서 현무암기원의 특징을 보였고 화강암 및 편마암기원의 영광, 광주, 순천 시료와는 구별되었다(박기화 등, 1998)

또한 주성분 원소가 토양에 비해 토기에서 얼마나 농집 또는 용출되었는가를 관찰하기 위해 토기의 함량을 토양으로 표준화시켜서 그림 4에 도시하였다. 대부분의 지역에서 SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O 는 1-10%의 적은 변화를 보였으나 MnO , MgO , CaO , Na_2O , P_2O_5 의 경우에는 지역에 따라 큰 변화폭을 보였다. 모든 지역에서 토기의 MnO 와 MgO 가 용출되었고 알칼리 원소인 CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 는 부화되는 경향을 보였다. 제주도 고산리(GS-2)와 김녕리 토기(KN-2)의 경우에는 원소별 농집, 용출 경향성이 거의 비슷한 경향을 띠는 반면, 광주 치평동 토기(CH-1)의 경우에는 CaO 와 P_2O_5 이 상당히 농집되어 다른 지역시료와는 다른 경향성을 보였다. 영광 군동 토기는 다른 지역시료에 비해 원소의 변화폭이 적었다. 특히 P_2O_5 의 경우, 영광 군동 토기는 변화가 적지만 광주 치평동 토기(CH-1)는 약 35.4배 부화되었고 순천 월평과 제주 토기의 경우에도 P_2O_5 의 부화를 관찰할 수 있었다. 특히 광주 치평동 토기의 경우에는 CH-1, 3, 5, 8, 9에서 토양보다

3-47배 높은 농도를 가지고 있었다.

또한 각 토기와 토양의 MgO와 Fe₂O₃함량을 비교해도 지역에 따른 원소함량의 차이를 알 수 있었다. 영광 군동과 광주 치평동시료의 MgO와 Fe₂O₃함량은 그림 5에서와 같이 비례관계를 가지고 있었지만 두 지역 시료는 서로 분리되지 않았다. 반면 순천월평 시료는 타지역과 구별되는 MgO와 Fe₂O₃ 원소함량으로 하나의 군으로 분리되었다. 제주 고산리, 김녕리 토기들은 상당히 높은 Fe₂O₃함량을 가지고 있어 MgO 함량과 관계없이 타 지역 토기들과는 다른 군을 형성하였다.

표 4. 연구지역 토기의 주원소함량(wt%).

지역	시료	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
영광 군동	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
	GDPU2-2	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	69.55	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
	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
	토양O-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
광주 치평동	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-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-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
	토양CH-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
순천 월평	WB-2	59.39	0.98	19.22	6.26	0.02	1.14	0.27	0.75	2.72	0.23	8.72	99.70
	WI-1	62.23	1.18	16.67	8.11	0.02	0.96	0.24	0.52	2.01	0.06	8.21	100.2
	WM-1	60.71	1.32	22.51	10.97	0.03	1.29	0.30	0.37	1.69	0.04	0.73	99.99
	WR-3	60.80	1.04	18.46	6.84	0.03	1.49	0.28	0.70	2.62	0.18	7.06	99.50
	WP-1	65.50	1.03	16.66	5.59	0.02	1.40	0.45	1.05	2.26	0.11	5.84	99.91
	WP-4	65.63	0.98	15.72	6.18	0.03	1.04	0.47	0.86	2.29	0.09	6.44	99.72
	WS-1	63.46	1.23	17.97	8.58	0.02	0.93	0.32	0.58	2.10	0.05	4.71	99.96
	토양WP-S	59.28	0.95	18.32	7.41	0.13	1.76	0.17	0.32	2.33	0.11	8.86	99.65
제주	KN-2	50.89	2.60	17.75	14.31	0.14	1.07	1.01	1.48	1.62	0.22	8.13	99.23
	KN-3	54.80	1.68	18.03	11.51	0.12	1.40	0.82	1.25	1.88	0.12	7.99	99.59
	GS-2	42.98	2.34	20.72	14.13	0.18	2.72	3.09	2.26	1.46	0.58	8.83	99.29
	GS-3	46.14	2.15	21.21	13.21	0.10	1.61	2.50	2.33	1.66	0.39	7.95	99.24
	토양GS-S	41.06	2.76	17.63	14.58	0.27	5.84	1.14	0.67	0.95	0.33	14.17	99.40
	토양KN-S	49.03	2.56	19.68	13.78	0.26	1.25	0.41	0.50	1.25	0.14	11.16	100.0

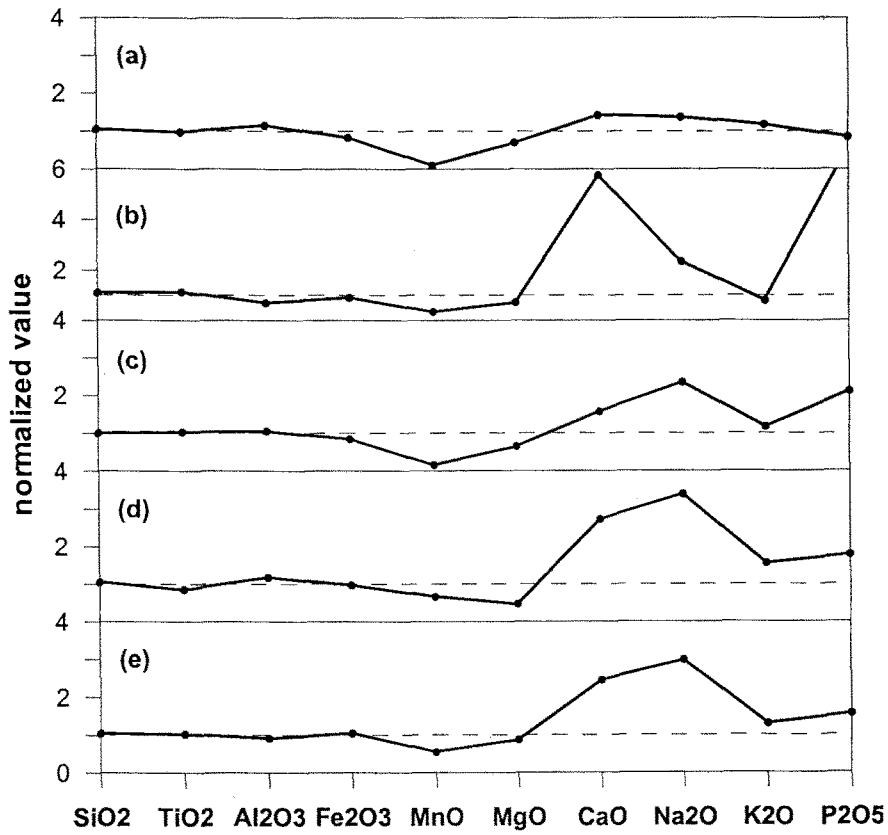


그림 4. 연구지역 토양으로 표준화한 토기의 주성분 함량비. (a) 영광 군동 토기 (GDP2-1)과 토양(0-1), (b) 광주 치평동 토기(CH-1)과 토양(CH-S), (c)순천 월평 토기(WB-2)과 토양(WP-S), (d) 제주 고산리 토기(GS-2)과 토양(GS-S), (e) 제주 김녕리 토기(KN-2)과 토양(KN-S). 대부분 표준화한 값은 0-4의 범위지만 (b)에서는 토기의 P₂O₅가 토양보다 35.4배 농집되어 있음.

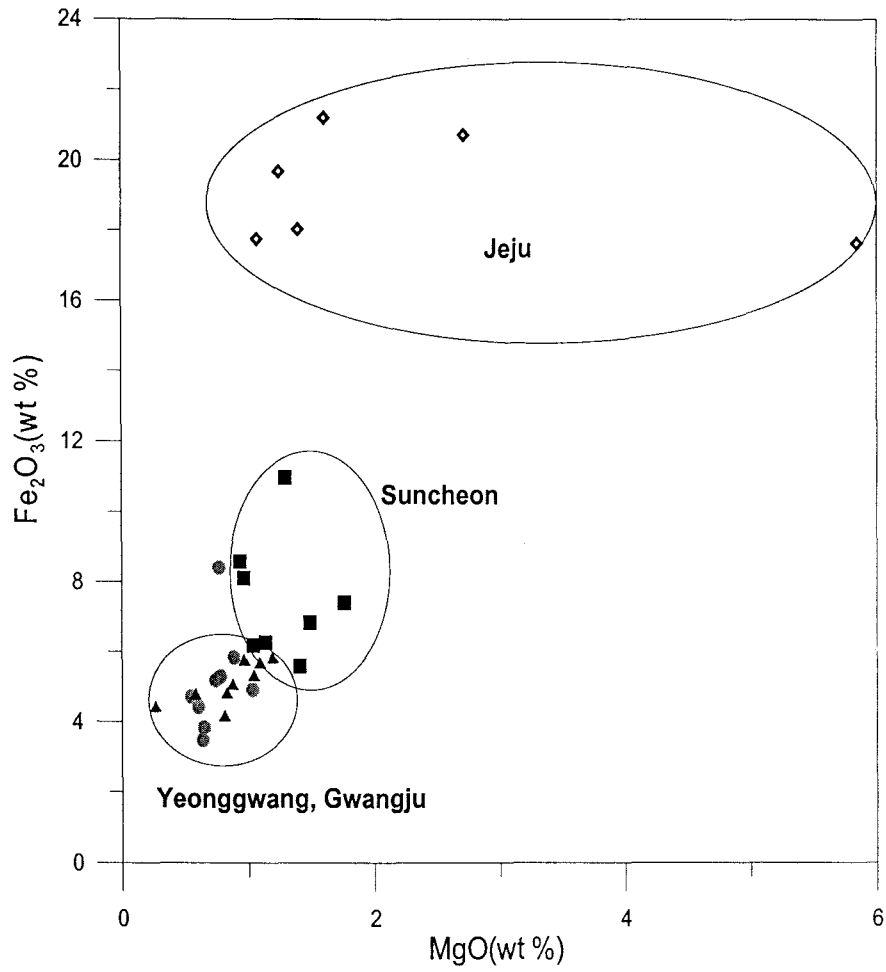


그림 5. 토기와 토양시료의 MgO와 Fe₂O₃의 분포도. 영광과 광주는 유사한 분포경향을 보였고, 순천과 제주는 주로 Fe₂O₃ 함량에 의해 분리됨.

(2) 중성자방사화분석결과

토기와 토양의 미량성분에 대한 중성자방사화분석 결과는 표 5에 있다. 분석원소는 La, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb, Lu의 일부 희토류원소와 Co, Cr, Sc의 전이금속으로서 고장력(high field strength)를 가지는 비거동 원소(immobile element)들이다. 이들은 풍화를 받아도 쉽게 이동하지 않는 특성을 가지므로 토기의 분석을 통해 얻어진 함량은 토기 제작시의 바탕흙이 가지고 있던 원소함량을 반영한다.

제주 고산리, 김녕리의 토기와 토양의 미량원소함량은 전남지역 시료의 함량과는 다른 패턴을 보였는데 Co, Cr의 함량이 높은 편이고 Dy, La의 함량은 낮은 편이었다. 전남지역의 경우 희토류원소의 특성상 원소별로 유사한 값을 보였다. 희토류원소 분포경향을 알아보기 위해 토기와 토양의 희토류원소의 함량을 운석값으로 표준화(Chondrite normalization, Rollinson, 1993)하여 그림 6에 도시하였다. 모든 시료에서 LREE인 La이 MREE나 HREE보다 크게 부화되어 있었고, HREE인 Lu이 약간 부화되어 있었다. 영광 군동, 광주 치평동, 순천 월평의 토기와 토양은 거의 유사한 경향을 보였으나 Tb와 Dy함량에서 순천시료가 차이를 보였다. Eu에서는 제주와 다른 지역 시료사이에 큰 차이가 관찰되었는데 영광, 광주, 순천의 시료들은 Eu (-) 이상을 보인 반면, 제주 시료에서는 Eu (+) 이상을 보였다. 영광, 광주, 순천지역 화강암류와 편마암류에 대한 연구에 따르면(박영석 등, 2001; 박영석 등, 1995; 안건상 등, 2001) 화강암류와 편마암류에서 Eu(-) 이상을 보였다.

표 5. 중성자방사화분석에 의한 미량원소함량(ppm).

연구지역	시료	Co	Cr	Dy	Sc	La	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	
영광 군동	GDP-1	13.79	95.81	5.19	15.25	48.32	7.14	1.55	0.80	1.20	0.86	
	GDP-2	7.84	88.99	3.94	14.30	35.35	5.24	0.93	0.47	0.84	0.73	
	GDP-3	7.86	95.73	5.51	15.73	44.65	6.57	1.39	0.61	2.66	1.06	
	GDP-4	6.78	96.38	4.44	14.70	36.52	5.64	1.19	0.76	2.26	0.79	
	GDPU-1	7.01	93.84	5.79	14.74	40.41	6.28	1.36	0.65	3.48	1.05	
	GDPU2-1	13.03	90.97	5.70	15.46	50.21	7.02	1.59	0.85	2.25	0.88	
	GDPU2-2	11.88	90.39	6.00	14.33	50.52	7.12	1.43	0.71	2.50	0.78	
	GDP2-1	10.33	83.85	4.15	12.93	41.10	6.26	1.17	0.77	1.70	0.54	
	GDP2-2	18.52	108.12	6.25	18.00	58.14	8.73	1.82	0.68	1.83	0.69	
	GDP3-1	16.39	124.24	6.73	18.18	62.53	9.16	1.99	0.78	2.56	0.97	
	GDP3-2	10.53	89.49	5.34	14.07	48.76	6.54	1.45	0.80	2.69	0.72	
	GDPW-1	9.32	103.86	5.56	14.13	50.94	7.40	1.52	0.88	2.25	0.92	
	GDPW-2	9.86	91.69	6.03	14.00	49.89	7.54	1.48	0.88	1.06	0.80	
	GDPW-3	13.56	98.32	6.91	15.41	58.36	7.21	1.77	0.76	1.17	0.91	
	FW-1	14.58	93.50	3.89	11.42	40.40	5.79	1.21	0.76	1.90	0.97	
	FW-3	10.77	100.63	5.41	14.14	50.90	6.81	1.53	0.78	1.91	0.93	
	FB-1	15.17	85.61	2.89	12.27	39.54	5.03	0.67	0.72	3.15	0.73	
	토양0-1	13.83	85.70	4.20	13.11	41.33	6.07	0.69	0.60	1.74	0.89	
	순천 월평	MJ-1	8.73	57.05	4.10	11.87	25.96	4.06	0.81	0.26	0.70	0.45
		MJ-2	8.60	82.68	4.71	13.16	30.85	5.59	1.14	0.78	1.29	0.48
MJ-3		8.68	93.43	7.25	14.94	66.35	9.84	1.91	1.08	1.51	0.81	
WP-1		16.24	120.32	8.54	17.18	44.56	5.43	1.30	0.49	2.82	0.97	
WP-2		10.85	123.12	7.13	18.26	47.49	7.76	1.58	0.80	3.42	1.17	
WP-3		19.80	132.78	8.96	20.77	49.08	7.91	1.73	0.78	3.52	0.42	
WP-4		10.08	115.43	5.50	16.12	42.96	6.55	1.25	0.52	2.35	0.79	
WP-5		14.59	130.60	4.71	19.01	42.39	6.35	1.23	0.77	3.01	1.06	
WP-6		19.29	124.52	3.85	18.09	39.13	5.70	1.16	0.94	3.01	0.98	
WK-1		14.16	114.79	3.07	16.78	33.29	5.08	0.93	0.48	2.27	0.65	
WK-2		14.22	114.69	3.79	16.65	38.64	6.74	1.22	0.62	2.62	0.76	
WK-3		13.94	109.50	3.94	16.73	63.15	10.68	1.29	0.67	4.48	0.49	
WR-1		10.28	100.28	4.38	16.82	40.39	6.49	1.09	0.85	3.29	0.57	
WR-2	12.40	100.48	3.06	16.98	38.82	4.97	1.09	0.62	2.07	0.58		
WR-3	12.60	92.86	3.99	17.00	47.22	7.25	1.23	1.01	2.15	0.75		

표 5. 계속.

연구지역	시료	Co	Cr	Dy	Sc	La	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
순천 월평	WR-4	10.76	102.40	5.03	17.66	48.83	7.97	1.29	0.81	2.30	0.93
	WB-1	11.32	97.16	5.29	17.93	49.66	8.29	1.69	1.10	2.46	0.94
	WB-2	12.28	97.26	4.73	18.28	51.21	9.30	1.68	0.85	2.83	0.66
	WB-3	12.87	98.91	4.38	18.43	56.10	10.72	1.71	0.94	2.96	0.96
	WB-4	13.62	105.09	4.30	19.64	52.68	10.38	1.74	1.02	2.73	0.66
	WS-1	12.29	116.69	6.22	15.02	45.06	6.65	0.98	0.80	2.66	0.98
	WS-2	13.76	122.88	5.10	15.15	40.55	5.64	0.92	0.55	3.71	0.88
	WI-1	13.68	122.08	3.99	17.11	40.00	6.47	1.18	0.98	2.82	0.87
	WM-1	22.22	147.35	5.73	22.08	56.48	8.38	1.70	0.90	3.11	1.14
	WD-1	22.60	174.36	5.83	23.65	62.71	9.33	1.56	0.73	2.07	1.12
	WD-2	18.85	173.83	5.42	32.36	60.18	9.54	1.72	0.86	1.97	0.97
		토양WP-S	18.13	97.39	5.94	17.44	47.38	8.09	1.74	0.86	4.29
광주 치평동	CH-1	7.01	63.79	4.35	10.71	35.65	5.42	1.06	0.85	3.95	0.74
	CH-2	12.00	68.10	4.61	14.17	37.63	5.74	1.36	0.60	3.78	0.60
	CH-3	8.98	104.12	4.54	11.03	33.07	5.60	1.24	0.63	1.91	0.71
	CH-4	9.82	67.44	5.58	11.73	42.81	6.01	1.38	0.58	2.21	0.67
	CH-5	8.27	53.87	5.23	10.29	38.02	5.94	1.36	0.45	3.96	0.68
	CH-6	5.13	65.19	5.45	12.63	31.71	5.44	1.28	0.73	2.04	0.63
	CH-7	7.76	78.24	5.50	13.24	37.90	5.78	1.49	0.71	1.81	0.75
	CH-8	8.96	59.93	4.11	11.96	38.04	5.34	1.32	0.61	1.82	0.69
	CH-9	7.40	75.92	4.97	11.21	41.41	6.28	1.32	0.72	1.92	0.66
	CH-10	8.54	81.13	6.84	15.62	48.21	7.29	1.65	0.84	3.92	0.71
	CH-11	6.56	55.41	6.12	10.95	42.81	6.99	1.45	0.82	4.66	0.90
	CH-12	10.68	66.11	5.31	11.17	41.01	6.01	1.25	0.54	2.02	0.62
	CH-13	10.24	80.41	5.89	12.88	50.34	7.27	1.63	0.87	3.87	0.70
	CH-14	4.71	80.81	5.30	12.89	42.08	5.09	1.33	0.37	1.94	0.65
	CH-15	11.53	118.77	6.98	18.28	54.23	7.92	1.78	0.86	2.30	0.87
	CH-16	17.48	79.83	5.56	12.94	45.82	5.29	1.25	0.86	4.09	0.76
		토양CH-S	8.62	14.04	4.68	9.65	42.57	6.16	1.40	0.56	1.77
제주 고산리	GS-1	27.40	142.58	3.17	14.22	27.31	4.62	1.86	0.49	1.38	0.45
	GS-2	31.71	129.90	4.31	15.30	25.68	4.86	2.07	58.23	1.28	0.40
	GS-3	17.92	128.23	3.09	12.77	21.86	2.95	1.90	0.39	1.12	0.28
		토양GS-S	49.77	207.62	3.76	20.76	32.46	6.53	1.44	0.88	1.93
제주 김녕리	KN-1	23.08	160.14	2.57	14.23	23.78	3.56	1.31	0.00	1.64	0.46
	KN-2	37.45	155.56	4.82	15.83	23.04	3.77	1.52	0.41	2.63	0.57
	KN-3	38.09	144.18	2.66	17.26	25.15	3.43	1.10	0.46	1.46	0.56
		토양KN-S	57.77	318.14	6.20	29.45	50.89	9.26	2.75	0.92	2.13

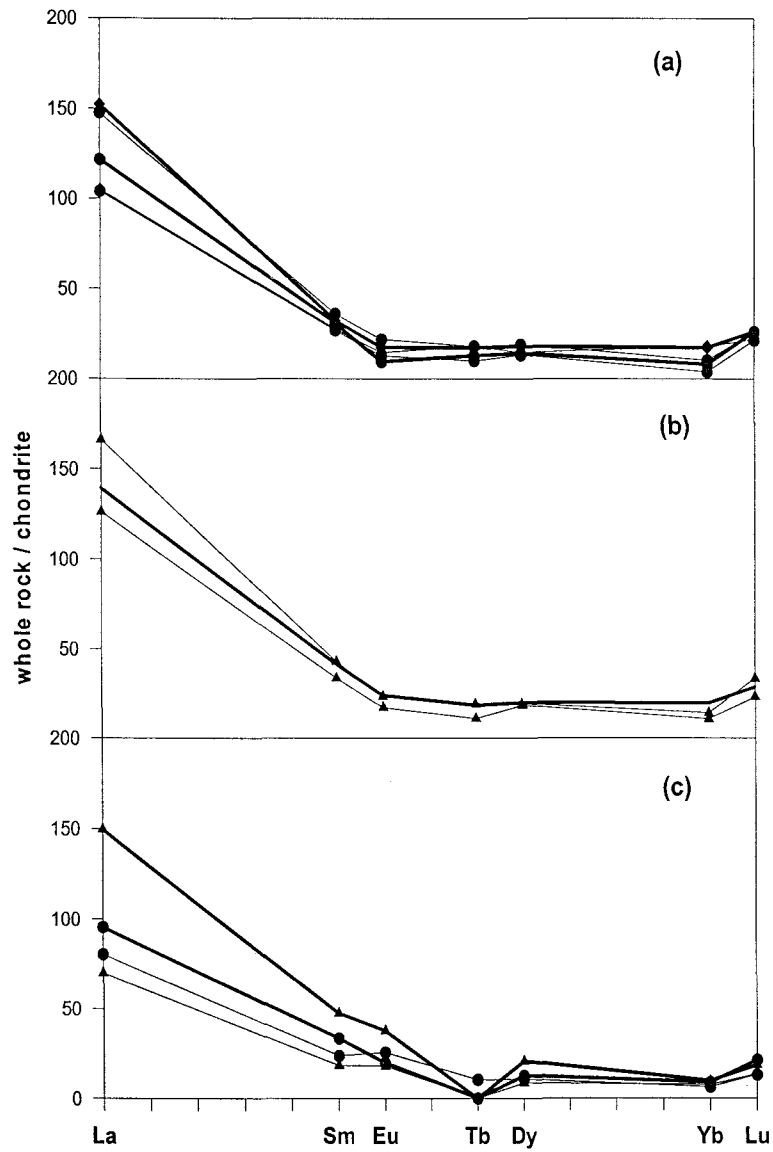


그림 6. 연구지역 토기와 토양의 Chondrite-normalized REE pattern.
 (a) 영광 군동(●) 및 광주 치평동(◆) 토기와 토양, (b) 순천 월평(▲) 토기와 토양, (c) 제주 고산리(●) 및 김녕리(▲)의 토기와 토양. 제주 고산리와 김녕리시료는 MREE에서 전남시료와는 다른 경향성을 보임.

2. 유적지 토양의 광물학적 특성

각 유적지 토양의 pH, 입도분포, 광물조성을 표 6와 그림 7에 나타내었다. 입도분포는 회수된 시료 전체무게에 대해 회수된 입도의 중량별 분포(wt%)를 계산하였다. 영광 토양(0-1)은 모래 3.83%, 실트 76.27%, 점토 19.51%를 가지고 있으며 광주 토양(CH-S)은 1.80%의 자갈함량과 18.78%의 높은 모래함량, 그리고 상대적으로 적은 10.17%의 점토비율을 가지고 있었다. 순천토양(WP-S)은 모래함량이 2.88%로 가장 낮았고 점토함량은 27.17%로 높은 편이었다. 제주 고산리 토양(GS-S)은 높은 점토함량을, 김녕리 토양(KN-S)은 높은 실트 함량을 가지고 있었다.

비점토광물의 조성 및 함량은 표 7에 정리하였다. 영광 토양(0-1)과 순천 토양(WP-S)은 석영 및 장석, 운모의 함량이 유사하나 순천 토양이 석영과 알칼리장석이 더 적고 점토함량이 더 많았으며, 광주 토양(CH-S)은 알칼리장석을 비교적 많이 함유하고 있었다. 전남의 세 지역 토양에서는 화강암과 편마암의 구성광물을 함유하며 운모가 10%내외의 많은 함량을 차지하고 있었다. 제주도 토양은 전남 토양과는 다른 성격을 가지는데 우선 석영함량이 적고 장석이 많은 편이며 비정질의 함량이 상당히 높다. 제주 고산리 토양(GS-S)은 장석함량이 높으며 운모, 석영 등이 존재한다. 김녕리 토양(KN-S)에서는 고산리 토양보다는 석영함량이 높아지며 운모가 없는 것이 특징이다.

토양시료 내 점토광물을 동정하기 위해 정방위시료를 제작하여 상온건조, 에틸렌글리콜 처리 그리고 300°C와 550°C에서 열처리하였다(그림 8). 영광 토양(0-1)에서 상온건조시 나타나는 14.2Å의 피크는 질석으로서 에틸렌글리콜처리에도 이동하지 않다가 열처리시 약화되어 10Å으로 이동하였고, 550°C 열처리 결과 녹니석과 카올린이 공존하였으며, 상온 건조시부터 10Å에 존재하는 운모피크는 550°C 열처리 후 다른 점토광물이 탈수되면서 반치폭이 증가하였다. 그 외에도 5-10° 2θ에서 질석, 운모의 혼합층 광물이 관찰되었다. 광주 토양(CH-S)에는 질석과 녹니석, 운모와 혼합층 광물, 그리고 강한 카올린 광물의 피크가 관찰되

있고, 순천 토양(WP-S)은 질석과 함께 녹니석의 강한 피크가 있었고 운모, 카올린 그리고 혼합층 광물이 있었다. 제주 고산리 토양(GS-S)은 점토크기의 입자가 28.2%를 차지하였으나 점토광물은 존재하지 않았고 비정질의 피크만 나타났다. 제주 김녕리 토양(KN-S)은 14.2Å의 질석이 관찰되었고 녹니석은 존재하지 않았다. 카올린의 낮은 피크와 함께 5-10Å의 혼합층이 존재하였다.

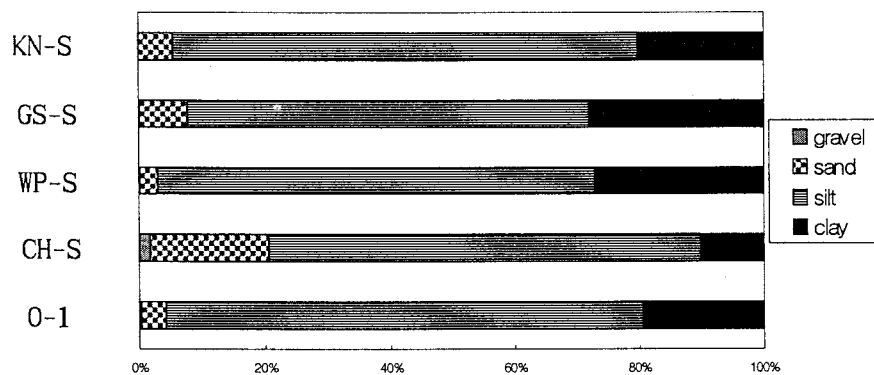


그림 7. 유적지 토양시료의 입도분포. 0-1은 영광 군동 토양, CH-S는 광주 치평동 토양, WP-S는 순천 월평 토양, GS-S는 제주 고산리 토양, KN-S는 제주 김녕리 토양임.

표 6. 유적지 토양의 입도분포, pH 그리고 광물 조성.

시료	pH	입도	함량(wt%)	광물조성	
				비점토광물	점토광물
영광군동 0-1	5.44	자갈	0.39	.	.
		모래	3.83	Qz, Fd	.
		실트	76.27	Qz	Ver, Ka, Ch, Mc
		점토	19.51	Qz	Ver, Ka, Ch, Mc
광주 치평동 CH-S	5.42	자갈	1.80	Qz, Fd	.
		모래	18.78	Qz, Fd	.
		실트	69.25	Qz, Fd	Ver, Ka, Ch, Mc
		점토	10.17	Qz	Ver, Ka, Ch, Mc
순천 월평 WP-S	4.42	자갈	0.17	Qz, Fd	.
		모래	2.88	Qz, Fd	.
		실트	69.78	Qz	Ver, Ka, Ch, Mc
		점토	27.17	Qz	Ver, Ka, Ch, Mc
제주 고산리 GS-S	6.21	자갈	0.16	.	.
		모래	7.61	Qz, Fd	.
		실트	64.06	Qz, Fd	Mc
		점토	28.16	.	.
제주 김녕리 KN-S	5.45	자갈	0	.	.
		모래	5.44	Qz, Fd	.
		실트	74.34	Qz, Fd	Ver, Ka, Mc
		점토	20.21	Qz	Ver, Ka, Mc

Abbreviation : Qz : quartz, Fd : feldspar, Ka : kaolinite
Ver : vermiculite, Mc : mica, Ch : chlorite

표 7. 연구지역 토양의 주 구성광물의 반정량결과(전체 100%).

연구지역	석영	사장석	알칼리장석	운모	점토+비정질
영광 군동	49.5	8.70	13.0	10.6	18.2
광주 치평동	32.1	0	21.5	8.65	37.8
순천 월평	44.0	6.77	7.08	10.2	32.0
제주 고산리	15.5	8.21	7.01	8.66	60.6
제주 김녕리	27.0	7.73	0	0	65.3

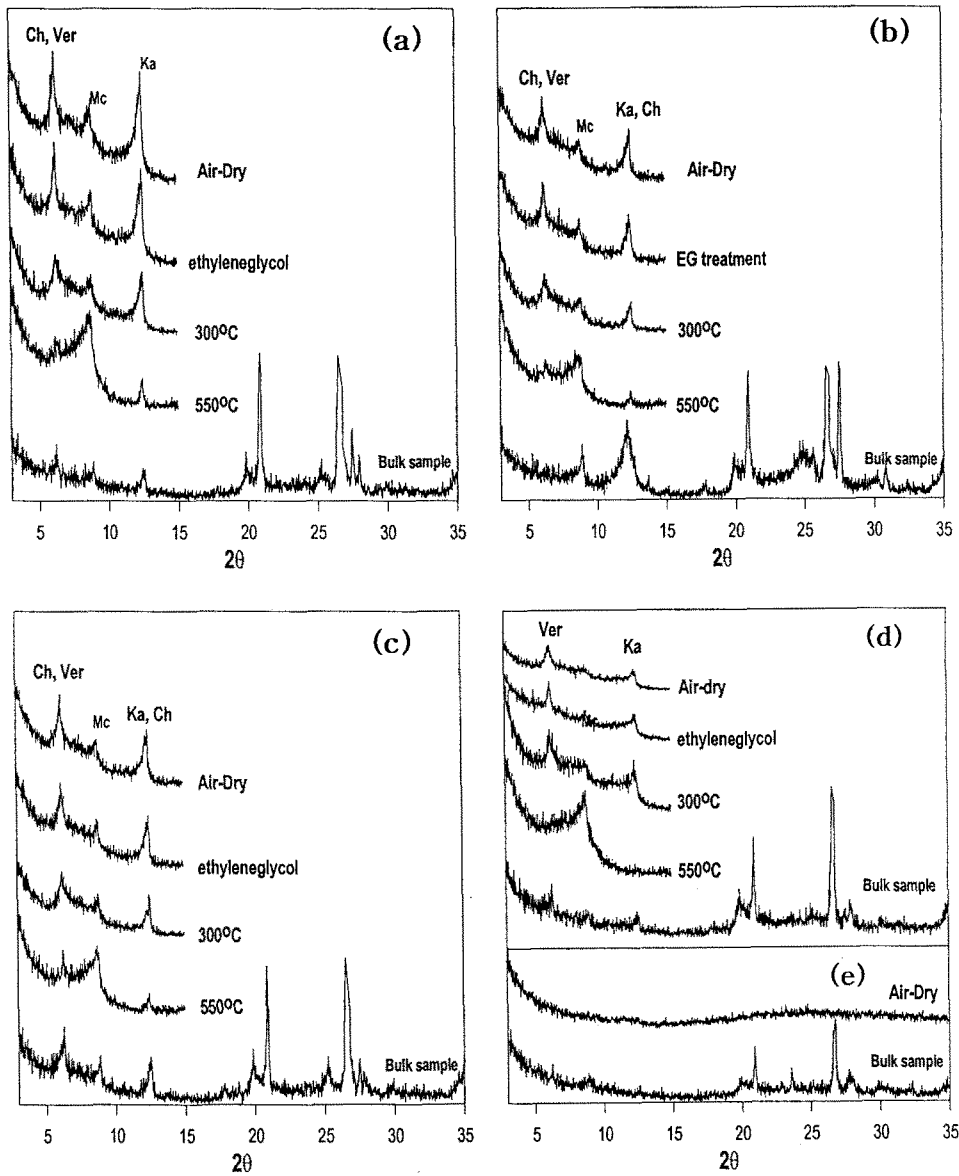


그림 8. 유적지 토양의 X-선회절도. 점토광물은 정방위시료로 제작하여 상온건조, 에틸렌글리콜처리, 300°C과 550°C 열처리한 후의 X-선회절도. (a) 영광 군동 토양 (b) 광주 치평동 토양 (c) 순천 월평 토양 (d) 제주 김녕리 토양 (e) 제주 고산리 토양. Abbreviation ; Ka : kaolinite, Ver : vermiculite, Mc : mica, Ch : chlorite.

3. 토기의 광물학적 특성

(1) 토기의 X-선회절분석결과

토기의 광물조성을 알기 위해 전암시료의 부정방위 분말 X-선 회절분석을 하여 지역마다 대표적인 토기의 분석결과를 표 8와 그림 9에 기재하였다. 지역에 따른 광물조성의 차이와 소성온도에 의한 점토광물의 상전이를 관찰할 수 있었다.

먼저 영광 군동 토기의 주 구성광물은 석영, 장석이며 토기에 따라서는 운모가 관찰되었다(GDP-2, GDP-4, GDPU-1, MJ-2). 일부 토기에서는 고온상 광물인 물라이트와 헤르시나이트가 발견되었고 녹니석은 관찰되지 않았다(GDP2-2, GDP3-1, GDP3-2, MJ-3, GDPW-2, GDPW-3). GDPU2-1은 유일하게 장석이 모두 소멸되었고 강한 강도의 물라이트와 석영으로 구성되어 있었다.

광주 치평동 토기는 주 구성광물이 석영, 장석, 운모이며, 특히 CH-16에서는 물라이트가 높은 비정질 배경강도와 함께 관찰되었다. 대부분의 토기는 작고 날카로운 돌로마이트를 가지고 있었다.

순천 월평 토기는 주 구성광물이 석영, 장석, 운모이다. WM-1과 WD-1을 제외한 모든 토기에서 강한 강도의 운모를 볼 수 있었고, WP-1, WK-3 등에서는 운모피크와 함께 14.2Å 부근의 약한 녹니석 피크를 관찰할 수 있었다. WM-1, WD-1에서는 강한 헤르시나이트 피크가 발견되었다.

제주 토기의 특징은 강한 강도의 장석과 적철석 그리고 약한 강도의 석영이다. 고산리 토기는 대체로 장석, 석영, 적철석, 감람석을 가지고 있었다. 김녕리 토기는 장석, 석영, 적철석, 약한 강도의 감람석을 가지고 있었고, KN-2와 KN-3는 비교적 강한 석영 피크를 보였다.

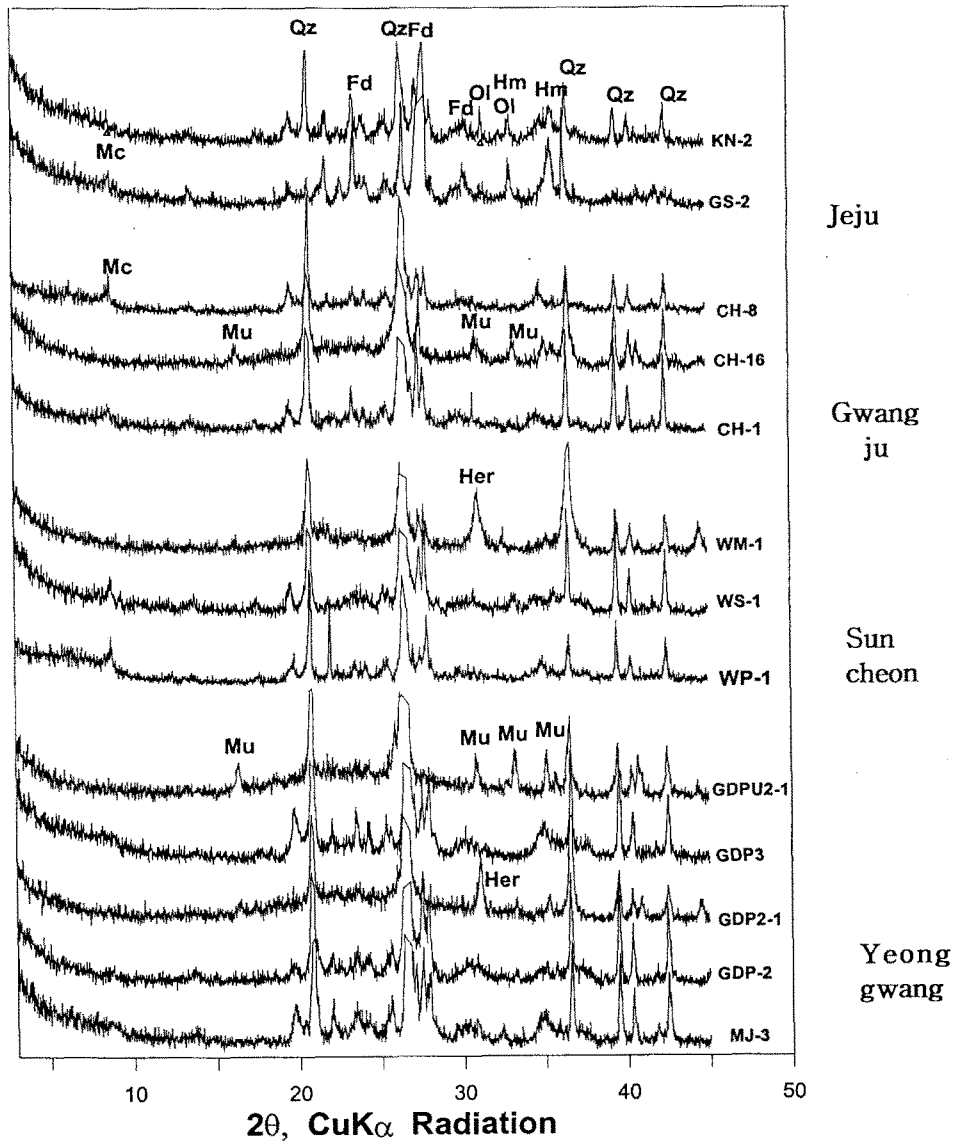


그림 9. 연구지역의 대표적인 토기의 X-선 회절도. GDP2-1, GDP-2, GDP2-1, GDPU-1, MJ-3은 영광 토기; WP-1, WS-1, WM-1은 순천 토기; CH-1, CH-8, CH-16은 광주 토기; GS-2, KN-2는 제주 토기임. Abbreviation ; Qz : Quartz, Fd : Feldspar, Hm : Hematite, Mc : Mica, Mu : Mullite, Her : Hercynite, Ol : Olivin.

(2) 토기의 편광현미경관찰결과

토기의 단면을 편광현미경으로 관찰하여 구성광물의 형태와 조직을 관찰할 수 있었고 바탕흙 외에 혼입된 비짐의 존재를 확인할 수 있었다. 토기의 단면을 편광현미경으로 관찰한 결과가 표 8과 그림 10에 있다.

영광 군동, 마전의 토기는 대체로 기질이 치밀하고 공극이 적은 편이며 구성 입자가 작다. 기질이 유리화되고 운모가 사라진 고온소성된 그릇과 기질이 유리화되지 못하고 운모를 가지고 있으며 산화된 기질상태를 가진 그릇으로 나눌 수 있다. GDPU-1(그림 10 (a)), GDP-2, GDP-3, GDP-4, MJ-1, MJ-2는 기질이 산화되어 붉은 색을 띠며 조직이 유리질화되지 않았고 GDPU-1에는 암편조각이 포함되어 있다. 그 외 그릇들은 고온소성되어 유리질화된 기질을 가지고 있다. 특히 GDPU2-1(그림 10(c))에서는 일부 광물이 녹아 유리질화된 기질을 관찰할 수 있었고 입자크기가 상당히 작았다. 비짐의 존재에 따라 들로 나눌 수 있는데 먼저 1-2mm의 비짐을 가진 그릇과 비짐이 없는 그릇이다. 대부분의 고온소성된 그릇들은 각진 석영이나 장석의 비짐을 가지고 있고 그 외 그릇들은 대체로 큰 입자가 거의 없는 균일한 상태를 가지고 있었다. 영광 군동 토양 중 모래로 박편을 제작하여 관찰하였을 때 거의 모든 입자는 $80\mu\text{m}$ 이하의 석영과 불투명광물이었다.

광주 치평동 토기는 흑운모와 백운모가 기질내에 분포하고 있고 CH-12와 CH-16을 제외하고는 유리질화 되지 않았다. 반면 석영과 장석의 다결정질과 풍화가 심하게 된 장석을 관찰할 수 있었다(그림 10(d)). CH-16은 대체로 기질부가 붉은색을 띠면서 유리질화되어 있고 조직도 치밀한 편이다. CH-3과 CH-16을 제외한 거의 모든 그릇에서 1-3mm의 석영과 장석이 발견되며 테두리가 둥글거나 각진 모양이 혼재되어 있었다. CH-3과 CH-16은 1mm이상의 큰 입자가 관찰되지 않았다. 광주 치평동 토양의 박편에서는 1mm이상의 석영, 장석과 흑운모가 관찰되었다(그림 10(e)).

순천 월평 토기의 기질에는 섬유상의 흑운모가 포함되어 있고 일부 그릇에서는

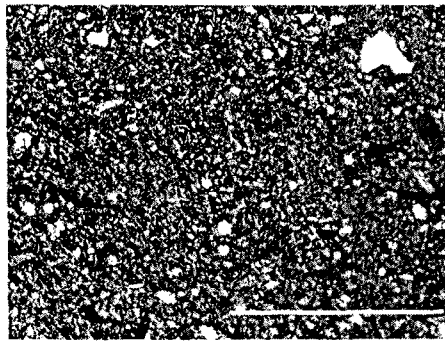
1-2mm이상의 흑운모입자가 관찰되기도 했다. WM-1(그림 10(i))과 WD-1은 유리질화된 기질을 가지고 있었고 운모는 존재하지 않았으며 크기가 작은 석영과 장석으로 구성되어 있었다. 대부분의 그릇에서 0.5-3mm의 테두리가 등근 석영, 장석의 다결정질이 파동소광을 보였다(그림 10(g)). 순천 월평 토양의 박편을 통해 대부분의 입자크기가 작으며 흑운모를 관찰할 수 있었다.

제주 고산리, 김녕리의 토기는 내륙지방과 구별되는 화산암의 특징을 보였는데 제주 고산리와 김녕리 토기 사이에도 다른 광물특성을 보였다. 고산리 토기는 상당량의 장석과 흑운모, 붉은 철산화물, 감람석의 고온 변질상인 이딩사이트(iddingsite), 현무암편, 휘석을 함유하고 있었다. 또한 짚과 같은 식물성 비짐의 자국으로 보이는 길고 두꺼운 공극이 관찰되며 광물입자의 둘레에도 공극이 있다(그림 10(k)). 토기 내의 광물은 대개 작고 모나지 않은 형태를 가지고 있었다. 고산리 토양 중 모래성분을 수지로 굳혀 박편을 제작하여 그 조직을 관찰하였을 때의 사진이 그림 10(1)에 있다. 감람석, 석영, 장석이 대부분을 차지하고 있고 0.1-0.5mm의 크기에 등근 형태를 가지고 있었고 이딩사이트화된 감람석도 관찰할 수 있었다.

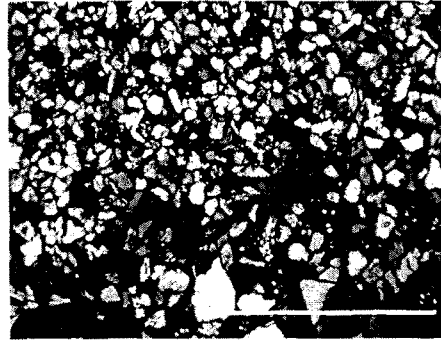
김녕리 토기에서도 사장석이 관찰되지만 이딩사이트가 소량이고 기질이 비교적 치밀한 점토로 구성되어 있었다. 석영과 불투명질의 응회암편이 발견되고 있으나 공극은 고산리토기에 비하면 적은 편이고 작고 테두리가 등근 석영과 장석이 관찰되었다(그림 10(j)). 토양의 모래로 박편을 제작하여 관찰했을 때에도 모래의 크기는 작고 모나지 않은 석영이었으며 이딩사이트도 발견되었다.

표 8. 연구지역 토기의 주요광물구성. 광물조성은 X-선회절분석결과이고, 조직 및 비짐은 편광현미경분석결과임.

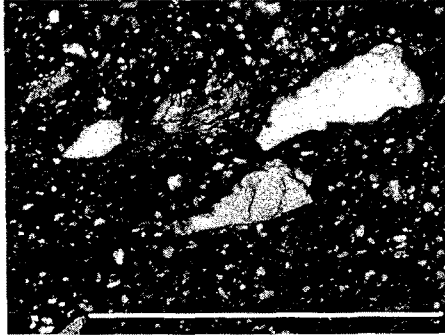
유적	시료	광물 조성	조직	비짐(크기)
영광 군동	GDPU-1	석영, 장석, 운모	기질이 전체적으로 붉게 산화됨	비짐 없음
	GDPU2-1	석영, 물라이트	유리질화된 기질	각진 석영(2mm)
	GDP2-1	석영, 물라이트, 장석, 헤르시나이트	유리질화된 기질	각진 석영, 장석(2mm)
	MJ-3	석영, 장석, 운모	유리질화된 기질	비짐 없음
토양(O-1)		대부분 입자는 80 μ m이내이고 각진 석영과 산화철만 관찰됨(그림 10b)		
광주 치평동	CH-1	석영, 장석, 운모	공극이 많음	석영과 장석의 테두리 등근 다결정질(2mm)
	CH-8	석영, 장석, 운모, 녹니석	공극이 많고 변질된 장석과 백운모	등근 석영, 장석(1mm)
	CH-10	석영, 장석, 운모	치밀한 조직, 비짐외에 균일한 입자	각진 사장석(1-2mm)과 석영(2mm)
	CH-16	석영, 장석, 물라이트, 헤르시나이트	유리질화된 기질	비짐 없음 대개 1mm이하의 석영
토양(CH-S)		1-2mm의 각지거나 등근 석영, 장석(사장석), 흑운모가 혼재(그림 10e)		
순천 월평	WK-2	석영, 장석, 운모, 녹니석	공극 많은 편, 기질에 흑운모 넓게 존재 산화된 기질,	등근 석영의 다결정질 (1-2mm)
	WP-6	석영, 장석, 운모	긴 공극(3mm)	등근 석영의 다결정질 (1.5-2mm)
	WS-1	석영, 장석, 운모	산화된기질	흑운모(1-2mm), 석영(1mm)
	WM-1	석영, 장석, 헤르시나이트	유리질화된 기질	비짐없음
토양(WP-S)		0.5mm이하의 석영과 흑운모 혼재(그림 10h)		
제주 고산리	GS-1	장석, 석영, 운모, 적철석, 감람석	산화철을 많이 포함한 기질, 감람석등 포함	등근 사장석과 변질된 감람석(0.5-1mm), 비짐없음
	GS-2	장석, 석영, 운모, 적철석, 감람석	입자사이와 기질에 넓은 공극이 많음	사장석(1.5mm), 흑운모, 감람석, 현무암편(1mm)
토양(GS-S)		0.5mm이하의 감람석과 석영(그림 10i)		
제주 김녕리	KN-1	장석, 석영, 운모, 적철	붉은 산화철이 공극을 따라 띠형성	등근 사장석과 흑운모 (50-150 μ m), 비짐 없음
	KN-2	장석, 석영, 운모, 적철석	붉은 산화철을 많이 포함하는 기질	등근 석영, 사장석 (100 μ m), 비짐 없음
토양(KN-S)		0.1mm이하의 작은 석영입자와 산화철 혼재		



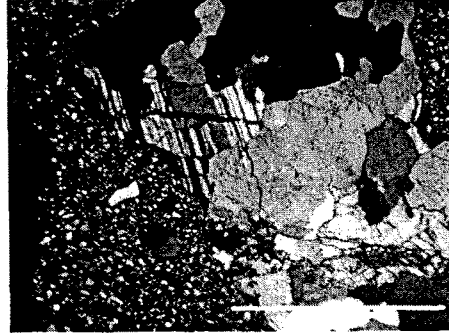
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

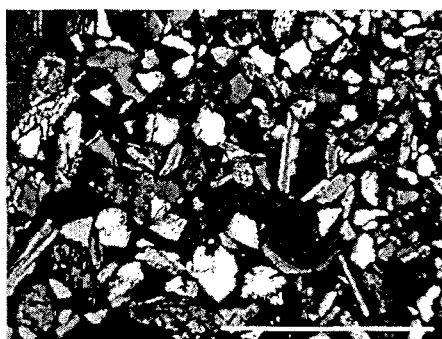


(f)

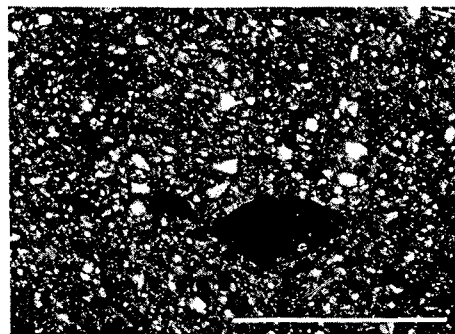
그림 10. 편광현미경으로 관찰한 연구지역 토기 및 토양의 조직. (a) GDPU-1(영광 군동)에서 작은 암편이 관찰됨($\times 40$). (b) 영광 군동의 토양(모래크기)에서는 작은 석영과 약간의 흑운모가 보임. (c) GDPU2-1(영광 군동)은 일부 광물이 녹아 유리질화된 기질을 관찰됨($\times 100$). (d) CH-1(광주 치평동)에는 석영과 장석의 다결정질이 비침으로 존재. (e) 광주치평동 토양(모래)에서는 사장석과 흑운모가 관찰됨. (f) WS-1(순천 월평)은 작은 흑운모가 조직에 넓게 분포하고 파동소광을 보이는 석영이 관찰됨($\times 40$). scale bar는 1mm임.



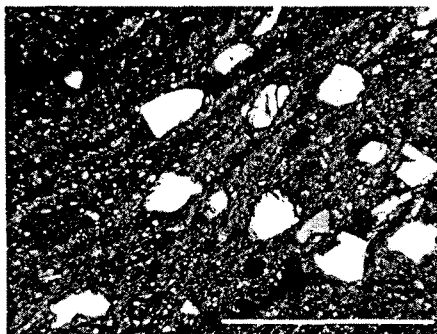
(g)



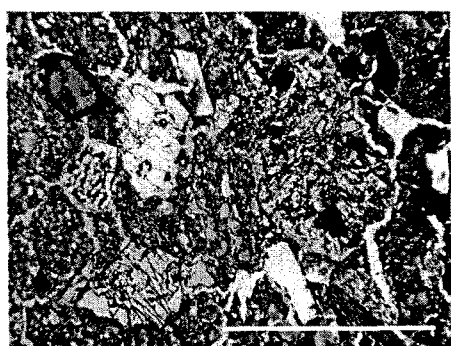
(h)



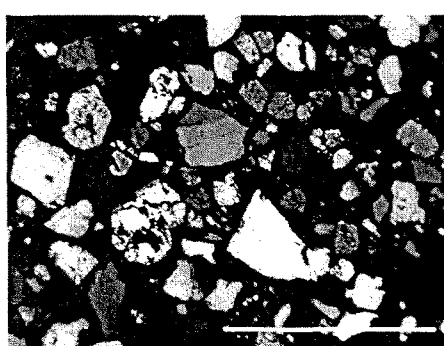
(i)



(j)



(k)



(l)

그림 10. 계속. (g) WI-1(순천 월평)은 태두리가 둥근 장석이 비집으로 들어가 있고 흑운모가 관찰됨($\times 40$). (h) 순천 월평 토양(모래)에는 흑운모와 철산화물이 관찰되며($\times 40$), (i) WM-1(순천 월평)은 유리질화된 조직이 보임($\times 40$). (j) KN-2(제주 김녕리)에는 붉은 철산화물이 기질에 포함되어 줄무늬를 이루고 있음. (k) GS-2(제주 고산리)에는 공극사이로 현무암편과 변질된 감람석이 관찰되며($\times 40$, open nicol), (l) 제주 고산리 토양에서는 석영, 장석사이로 감람석이 관찰됨($\times 40$). scale bar는 1mm임.

(3) 주사전자현미경 분석

토기는 오랜시간 매장된 상태에서 발굴되므로 토양환경의 영향을 받을 수 있다. 이동성이 높고 흡착이나 공침이 자주 일어날 수 있는 인(phosphorous)의 영향을 알아보기 위해 토기에 X-ray mapping을 하였다. 그림 11은 광주 토기 CH-1의 X-ray mapping image이다. 중심부에 큰 공극이 존재하며 공극의 윗부분에 혼입된 것으로 보이는 부분에서 인이 농집되어 있었다. 주로 공극을 따라 농집되어 있었고 나머지 부분에서는 비교적 균일하게 퍼져있었다.

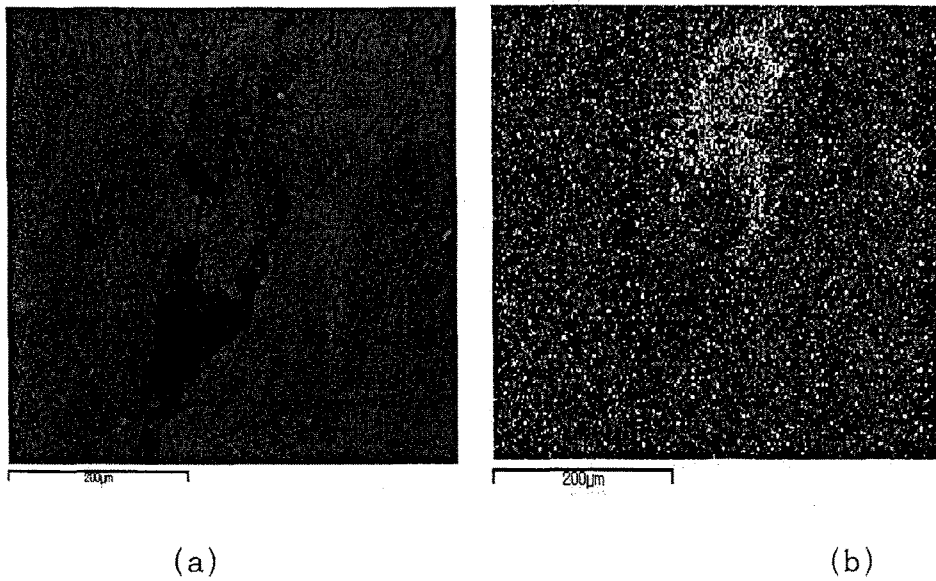


그림 11. 광주 토기 CH-1의 X-ray mapping사진. (a)는 토기 단면에서 기질한가운데 존재하는 공극을 보여주고 (b)에서 각 점은 인의 분포를 나타내는데 mapping 결과, 공극을 중심으로 인이 농집되어 있음을 보여줌.

(4) 열분석결과

토기시료에 대한 열중량 및 시차열분석은 소성온도를 추정하는데 X-선회절분석과 더불어 중요하다. 그림 12는 영광 군동시료 GDP2-1과 GDP-2의 열중량 및 시차열분석 결과로서 토기 열분석결과의 대표적인 패턴을 보여주고 있다. 대부분의 시료들은 100-200°C부근에서 흡착수 및 층간수 증발에 의한 흡열피크와 약 570°C에서 α -석영이 β -석영으로 바뀌는 상전으로 작고 날카로운 흡열피크를 가지고 있었다. 900°C부근의 발열피크는 점토광물의 상전이에 기인하는데 GDP-2는 927°C에서 발열피크를 보였다. GDP2-1은 점토광물 상전이에 의한 발열피크를 가지고 있지 않은데, 영광 토기들은 GDP-2, GDP-3, GDP-4, GDPU-1, MJ-1, MJ-2를 제외하고는 900°C 부근의 발열피크를 가지고 있지 않다.

광주 치평동 토기들은 CH-1, CH-12, CH-16을 제외하고는 대부분 점토광물의 상전이 발열피크를 가지고 있었고 순천 월평 토기의 경우에도 WM-1, WD-1등을 제외하고는 대부분 점토광물의 상전이 발열피크를 가지고 있었다.

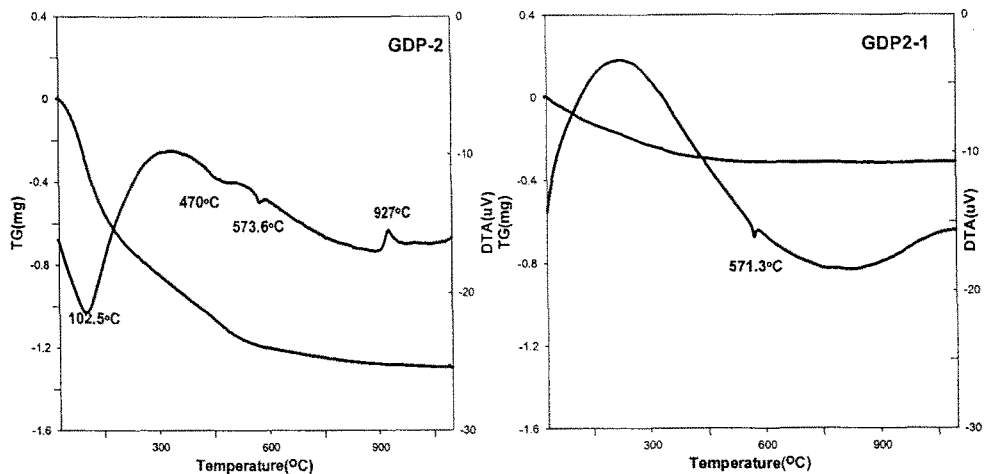


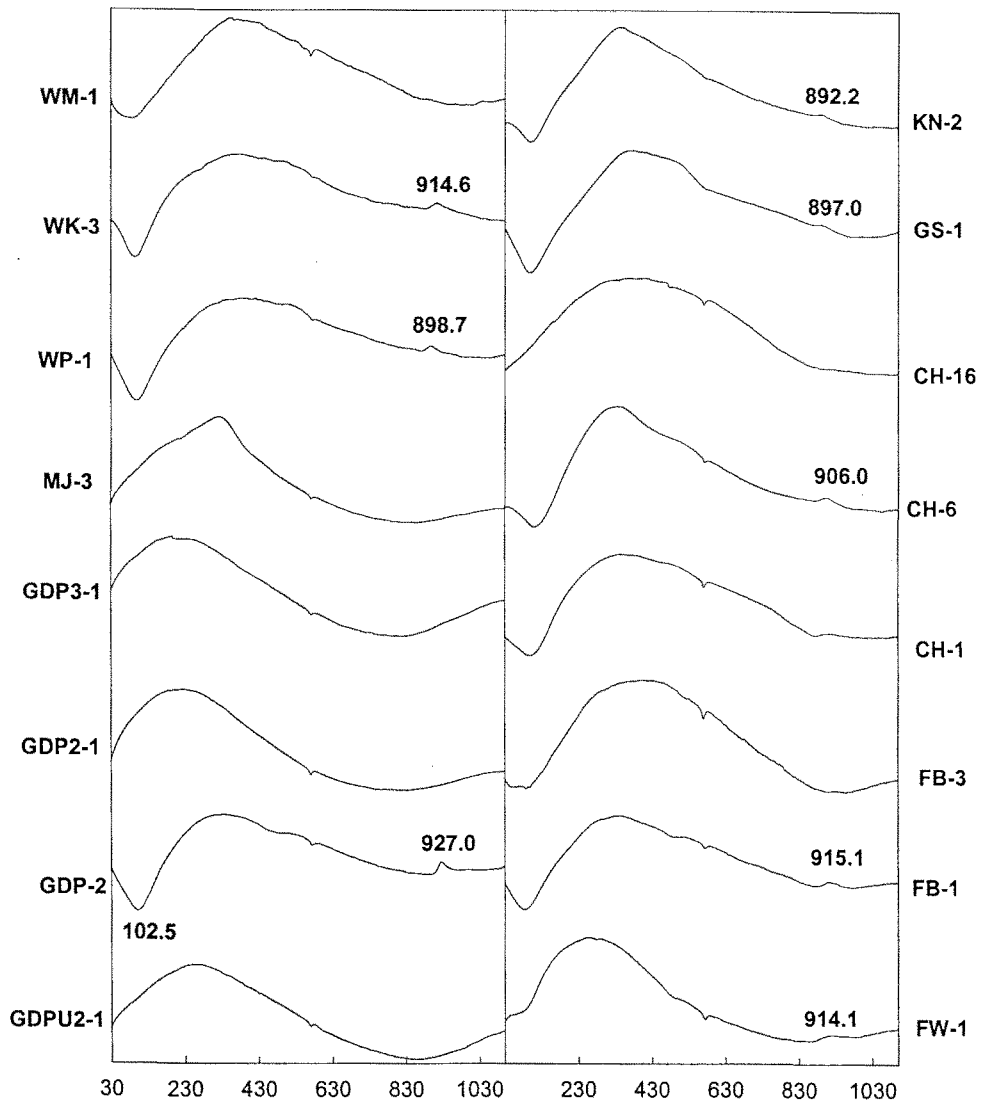
그림 12. 영광 군동 토기 GDP-2와 GDP2-1의 열중량 및 시차열분석그래프. GDP-2는 927°C에서 점토광물 상전이의 발열피크를 가지고 있고 GDP2-1보다 큰 열중량감소도를 보임.

제주 고산리, 김녕리 토기의 경우, 모두 발열피크를 가지고 있었다. FW-1, FB-1, FB-3는 모두 영광 군동유적에서 발굴된 가마의 벽과 바닥 시료이다. 바닥인 FB-3를 제외하고는 약한 발열피크가 900℃ 부근에서 나타난다(그림 13).

열중량분석결과에서는 그릇 대부분이 100-500℃에서 중량이 급격히 감소하고 500℃ 이상에서는 중량의 변화가 거의 없다. 영광 군동의 경우에는 900℃ 부근의 발열피크가 없는 토기들은 8-11%의 열중량감소율을 가졌지만 그 외 토기들은 1-3%의 열중량감소율을 가졌다. 광주 치평동 토기 CH-16과 순천 월평 토기 WM-1, WD-1은 1-2%의 열중량감소율을 보였으나 그 외 대부분의 토기들은 5-12% 정도의 감소율을 보였다(표 9).

표 9. 연구지역 주요 토기의 열중량 및 시차열분석 결과.

연구지역	시료명	중량감소(%)	점토광물상전이
영광군동	GDPU-1	8.25	927℃
	GDP-2	8.01	927℃
	GDP2-1	2.36	ND
	GDPU2-1	1.31	ND
	MJ-3	3.21	ND
광주 치평동	CH-1	6.15	ND
	CH-5	8.06	969℃
	CH-10	2.00	ND
	CH-16	1.09	ND
순천 월평	WI-1	13.1	898℃
	WP-6	11.8	922℃
	WS-1	5.95	ND
	WM-1	1.43	ND
제주 고산리	GS-1	9.67	897℃
	GS-2	12.0	906℃
제주 김녕리	KN-1	10.8	910℃
	KN-2	11.86	892℃



Temperature

그림 13. 연구지역의 주요 토기의 시차열분석그래프. GDPU2-1에서 MJ-3까지는 영광군동 토기이고 WP-1에서 WM-1은 순천월평 토기, CH-1에서 CH-8은 광주치평동 토기, GS-1과 KN-2는 제주 고산리와 김녕리 토기. 제주 고산리, 김녕리 토기는 모두 900°C부근의 발열피크를 가짐.

제 4 절 토의

1. 산지추정

(1) 광물조성에 근거한 산지추정

연구지역의 지질도를 통해 그림 1에서 토기가 발견된 유적지의 지형과 지질에 대해 살펴보았다. 영광 군동과 순천 월평 유적은 모두 하천을 따라 생성된 충적층 주변에 위치하고 있고, 광주 치평동은 충적층에 위치하고 있어 주변 지질의 영향을 받는다. 그러나 하천의 방향이 대체로 유적주변에서 시작되어 나가는 점과 유적 주변이 고지대이고 비교적 단순한 지질을 가진다는 점을 고려할 때 유적을 둘러싼 충적층이 먼 곳에서 옮겨진(遠位置) 퇴적물이라고 보기는 어렵다. 이 점에서 유적지 주변토양과 토기의 광물조성은 더욱 중요한 위치를 차지하고 있으며 광물학적으로 유사할수록 산지의 가능성을 높여주는 것이다.

토양과 토기의 광물과 조직을 X-선회절분석기와 편광현미경으로 분석한 결과는 각 지역의 토기가 토양의 광물학적 특징을 반영한다는 것이다. 광물조성은 토양과 토기가 유사한 특징을 보이지만 소성과정을 거치면서 대개의 점토광물이 상전이된 상태였다. 시료의 조직과 비짐의 상태를 현미경으로 관찰하여 지역에 따른 토기의 특징을 비교할 수 있었다. 영광 군동의 토양입자는 대체로 작고 각진 석영이지만, 토기에서 발견되는 조직은 작은 석영입자와 1-2mm인 거정질 석영 또는 장석이다. 거정질 입자들은 바탕흙에 일부러 첨가한 비짐으로 볼 수 있으며, 기질이 유리질화되고 플라이트나 헤르시나이트가 발견되는 토기에서 대개 비짐을 관찰할 수 있었다. 그러나 GDPU-1, GDPU2-2와 같은 일부 그릇에서는 비짐이 없는 정제된 토양이었다.

광주 치평동 토기의 경우에는 화강암과 편마암지역을 통해 하천이 흐르고 있어 토양, 토기 내에 변질받은 장석이 있었다. 특히 토양에 거정질의 장석과 석영을 관찰할 수 있었는데 CH-3과 CH-16을 제외한 거의 모든 그릇에서 1-3mm의 석영이

나 장석이 관찰되어, 그릇 제작시에 토양의 광물을 정제없이 사용했을 것으로 보인다. 다만 CH-16은 바탕흙 선정에 있어 토양의 정제과정이 있었을 것으로 추정된다.

순천 월평유적은 토양과 토기에서 볼 수 있는 상당량의 흑운모가 특징적이다. 토양에서는 흑운모와 작은 석영입자가 관찰되며 토기에서는 흑운모가 조직내에 넓게 분포하고 있다. 비짐으로는 테두리가 등근 석영의 다결정질이 파동소광을 보이며 거의 모든 시료에서 관찰되었다. 주변의 변질받은 석영을 그릇제작에 사용한 것으로 추정된다. WI-1, WD-1, WM-1을 제외한 모든 그릇에서 1-3mm의 비짐이 존재하며 0.5-2mm의 흑운모가 관찰되어 다른 지역과 구별되었다. WM-1은 비짐이 없고 입자도 비교적 균일하여 정제된 토양을 사용한 것으로 추정된다.

제주 고산리 토기의 경우, 비점토인 장석과 적철석, 감람석이 우세한 광물조성을 가지므로 편마암과 화강암기반인 전남지역과는 구분되고, 이미 토양화가 많이 진행된 제주 김녕리 토기과도 광물조성에서 다르다. 점토는 고산리 토양의 28.2%를 차지하지만 X-선회절 분석결과 규산염 점토광물은 없었다. 고산리 토양은 현무암기반의 토양이지만 토양화가 충분히 진행되지 않았고, 토기에서도 이와같은 양상이 관찰되었다. 따라서 점토광물이 기질로서의 역할을 충분히 할 수 없었고, 비짐으로 사용한 식물이 소성과정에서 불에 타 소멸되어 토기조직에 공극이 많이 존재하는 것으로 사료된다. 토기에서 관찰되는 감람석과 그 고온 변형상인 이딩사이트의 존재는 토기가 현무암기반의 지질을 반영함을 유추할 수 있게 해준다. 고산리 유적 토양(GS-S)의 모래를 현미경으로 관찰했을 때에도 감람석과 소량의 이딩사이트를 관찰할 수 있어 고산리 토기는 토양보다는 변질되었지만 그 특징을 반영하고 있었다. 다만 짚과 같은 식물성 비짐이 소성시 없어지면서 많은 공극이 생겼다고 추정된다.

반면 김녕리 토양과 토기는 이와 다른 경향을 보인다. 토양의 점토광물로서 카올린광물, 운모, 질석이 발견되고 있고 토기에서는 석영, 장석외에 적철석이 상당한 강도로 발견된다. 감람석은 거의 보이지 않으나 이딩사이트로 생각되는 광물과 상당한 강도의 적철석이 발견되어 이미 토양화가 진행되었음을 유추할 수

있다. 김녕리 토양은 이미 상당한 점토함량을 가지고 있고 장석이 약화되면서 석영이 우세한 상태이며 토기 역시 토양의 특징을 반영하였다.

(2) 화학적 특성에 근거한 산지추정

화학분석으로 산지를 연구함에 있어서 구성원소의 함량에 대한 통계적인 방법이 많이 이용되어 왔다. 이와 같은 연구에서는 고온과 토양환경에서 원소의 거동이 중요하다. 즉 토기는 토양으로 성형하여 고온에서 구워내므로 고온에서 원소 함량이 변하지 않아야 한다. Kilikoglou et al.(1988), Cogswell et. al.(1996)의 연구에 의하면 점토를 온도별로 구워서 희토류와 전이금속 등 흔히 토기에서 관찰되는 원소의 함량을 중성자방사화분석으로 분석한 결과, 브륨, 염소, 황의 경우 800℃이상에서 기화로 인해 농도에 영향을 받지만 희토류와 전이금속의 경우에는 1100℃까지 가열해도 영향이 거의 없다고 밝힌 바 있다. 또한 매장 후에 일어날 수 있는 토기의 변질 및 풍화에 있어서는 학자에 따라 견해차이가 있고 토양환경에 따라 원소 및 광물의 변질과 풍화상태가 달라질 수 있으므로 화학분석을 바탕으로 한 산지연구에서는 신중한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 신석기와 원삼국시대 토기의 산지를 연구하기 위해 비교적 물과의 관계에서 안정성과 비거동성을 가지는 희토류와 Sc, Co, Cr을 사용하였다(LcLennan, 1989; Rollinson, 1993). 10종 원소를 화학분석하여 통계분석법의 일종인 판별분석하였고, 분석결과는 표 10, 그림 14에 있다. 미량원소 10종을 독립변수로, 영광, 순천, 광주, 제주의 4개 지역을 종속변수로 하여 각 지역별 분산이 최대가 되는 피셔의 판별함수계수(Fisher's classification function coefficient)를 계산하였다. 그림 14와 표 10은 4개의 모든 연구지역을 대상으로 한 판별분석결과이고 그림 15와 표 11는 특징적인 분포를 보이는 제주지역 시료를 제외한 나머지 3개 지역을 대상으로 판별분석한 결과이다.

그림 14에서 제주와 순천 시료들이 각각 하나의 군(group)을 형성하였고 영광과 광주시료들은 분리되지 않았다. 또한 각 지역마다 토양시료를 표시하였는데

제주와 순천의 토양시료가 그 군내에 포함되어 있었다. 각 지역별로 전체 시료에 대한 분류의 정확도에 있어서 영광시료는 전체 27점 중 20점이 분류되어 74.1%의 정확도를, 순천 시료는 25점 중 24점이 분류되어 96%의 정확도를, 광주 시료는 18점 중 14점이 분류되어 77.8%의 정확도를 가지며, 제주 시료는 모두 분류되어, 원래의 집단 케이스는 84.4%가 정확히 분류되었다. 표 3의 Wilks' lamda와 F값으로부터는 어떤 원소가 분류에 영향을 미치는지를 판단할 수 있다. Wilks' lamda값은 전체분산 중 집단 간 차이에 의해 설명되지 않는 비율의 값으로 이 값이 작을수록 판별력이 커진다. 본 연구에서는 Co, Cr, Sc, Lu, La, Yb의 순서로 영향력이 있었다. 표준화된 정준판별함수와 변수와의 상관관계를 나타내는 구조행렬을 보면 function 1에서는 Co의 영향력이 가장 크고, function 2에서는 Cr과 Sc, function 3에서는 Lu과 Yb의 영향력이 컸다.

제주지역 시료를 제외한 광주, 영광, 순천 시료들로만 판별함수를 구했을 때의 분석결과는 그림 15과 표 11에 있다. Wilks' lamda와 F값으로부터 Sc, Cr, Co, Yb의 순서로 판별력이 커져, 전체지역을 대상으로 판별분석 했을 때와는 유사한 결과를 보였다. 구조행렬로부터는 function 1에서는 Cr, Sc, Co의 영향력이 크고 function 2에서는 Yb의 영향력이 큼을 알 수 있었다. 영광시료는 27점 중 21점이 분류되어 77.8%의 정확도를 가지고 있고 순천시료는 25점 중 23점이 분류되어 92%의 정확도를, 광주시료는 18점 중 14점이 분류되어 77.8%의 정확도를 가진다. 원래의 집단 케이스는 82.9%의 정확도로 분류되었다.

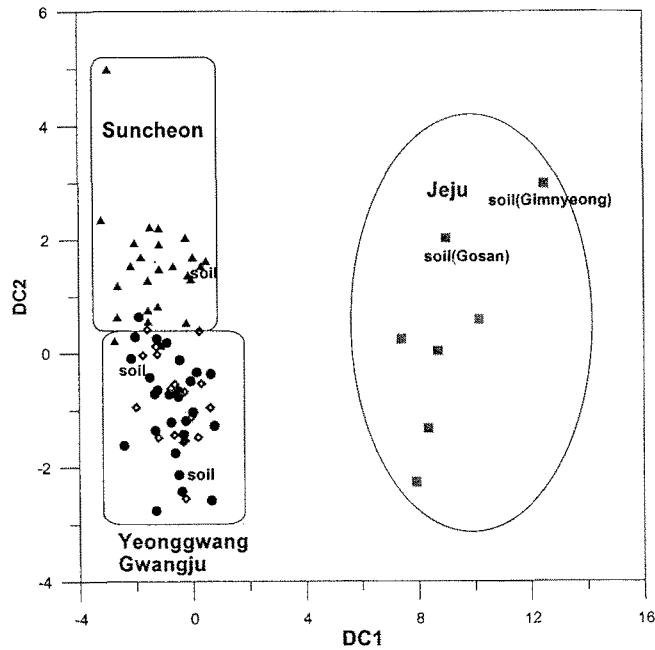


그림 14. 전체 연구지역의 토기와 토양의 판별함수의 다이어그램. 판별함수에 의해 제주와 순천시료가 각각 group으로 분류되고 영광과 광주시료는 섞여있음.

표 10. 전체 연구지역의 토기와 토양의 미량원소함량을 이용한 판별분석결과. Wilk's lamda, 구조행렬과 영광은 1.00, 순천은 2.00, 광주는 3.00, 제주는 4.00일 때 분류함수계수를 나타냄. 판별력은 Co, Cr, Sc, Lu, La의 순서임.

	Wilks' lamda	F	structure matrix			Fisher's classification function coefficients			
			1	2	3	1.00	2.00	3.00	4.00
Dy	0.924	2.015	-0.091	-0.083	0.008	1.085	1.132	1.274	-1.882
Co	0.295	58.194	0.484	0.441	0.382	-0.377	-0.557	-0.401	1.656
Cr	0.455	29.193	0.272	0.606	0.441	-0.032	-0.040	-0.067	0.056
Sc	0.578	17.761	0.067	0.729	0.269	1.687	2.662	2.018	0.184
La	0.785	6.663	-0.159	0.024	0.319	0.341	0.165	0.191	-0.568
Sm	0.837	4.754	-0.114	0.187	0.277	-0.262	0.871	-0.680	-3.196
Eu	0.911	2.368	0.103	-0.014	0.064	-8.609	-13.197	-4.853	32.410
Tb	0.873	3.544	0.127	0.037	0.018	0.140	0.196	0.092	0.262
Yb	0.792	6.389	-0.107	0.214	-0.471	1.632	3.663	3.301	1.713
Lu	0.754	7.926	-0.169	0.103	0.357	15.723	15.280	11.598	3.787
constant						-21.678	-32.440	-20.645	-51.351

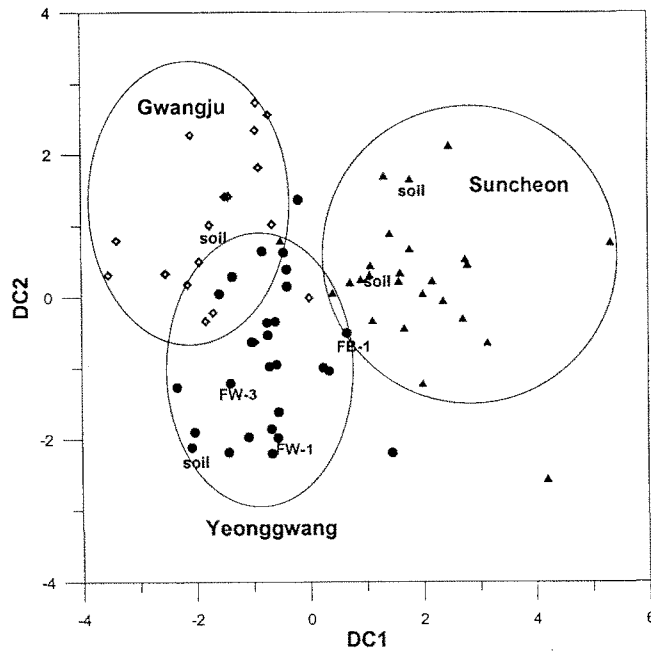


그림 15. 영광, 광주, 순천 토기와 토양의 판별 함수 다이어그램. soil은 각 지역의 토양을, FW-1, FW-3, FB-1은 영광의 가마시료를 나타냄.

표 11. 영광(1.0), 순천(2.0), 광주(3.0)의 토양과 토기의 판별함수식. Wilk's lambda, 구조행렬 그리고 분류함수를 나타내었고 판별력은 Sc, Cr, Co, Yb의 순서임.

	Wilk's lambda	F	structure matrix		Fisher's classification function coefficients		
			1	2	1.00	2.00	3.00
Dy	0.995	0.157	-0.041	-0.039	2.159	2.688	2.049
Co	0.694	14.8	0.419	-0.267	0.507	0.716	0.225
Cr	0.532	29.4	0.612	-0.217	0.017	0.026	-0.028
Sc	0.526	30.2	0.628	0.059	1.437	2.284	1.778
La	0.942	2.08	0.090	-0.276	-0.117	-0.471	-0.127
Sm	0.901	3.67	0.200	-0.178	2.583	4.990	1.192
Eu	0.996	0.133	-0.024	-0.068	-16.608	-24.475	-10.451
Tb	0.963	1.30	0.119	-0.107	10.101	12.540	8.481
Yb	0.850	5.91	0.117	0.503	0.981	2.662	2.701
Lu	0.912	3.25	0.153	-0.276	15.117	15.587	10.550
constant					-25.976	-42.170	-22.020

미량원소의 판별분석결과 제주와 순천 지역 토기와 토양이 같은 군에 포함되어 토기와 토양의 화학조성이 유사함을 알 수 있었다. 토기가 토양의 화학성분을 반영하여 각각의 토기는 그 주변 토양으로 제작하였음을 유추할 수 있다. 반면, 영광과 광주 시료는 분류되지 못하고 섞여 있었는데 이는 그 지역지질과의 관계에 기인한다. 순천 유적은 반상변정화강암질 편마암, 제주 유적의 모암은 현무암질 화산암으로서, 토양과 그 토양으로 제작한 토기는 모암을 반영하였다. 미량원소의 판별분석 결과 뿐아니라 주성분의 분석결과에서도 같은 결과를 가져왔다. 앞의 그림 12에서 Fe_2O_3 와 MgO 의 지화학적 관계로부터 제주 시료와 순천시료는 분류가 되지만 영광과 광주 시료는 유사한 화학성분을 가지고 있어 분리되지 않았다. 주성분인 Fe과 미량성분인 Sc의 관계를 통해서도 같은 결과를 얻을 수 있었다 (그림 16). Fe와 Sc은 같은 전이 금속으로서 유사한 이온반경과 이온포텐셜을 가져 치환이 잘 되므로(Vlasov, 1966), 영광, 광주, 순천 시료에서는 두 원소 사이에 좋은 상관관계를 보이고 있고 원소사이의 지화학적 관계에 의해 각각의 군으로 구별되는 결과를 가져왔다. 그러나 영광과 광주시료들은 유사한 지질로 인해 뚜렷히 구별되지 않았다.

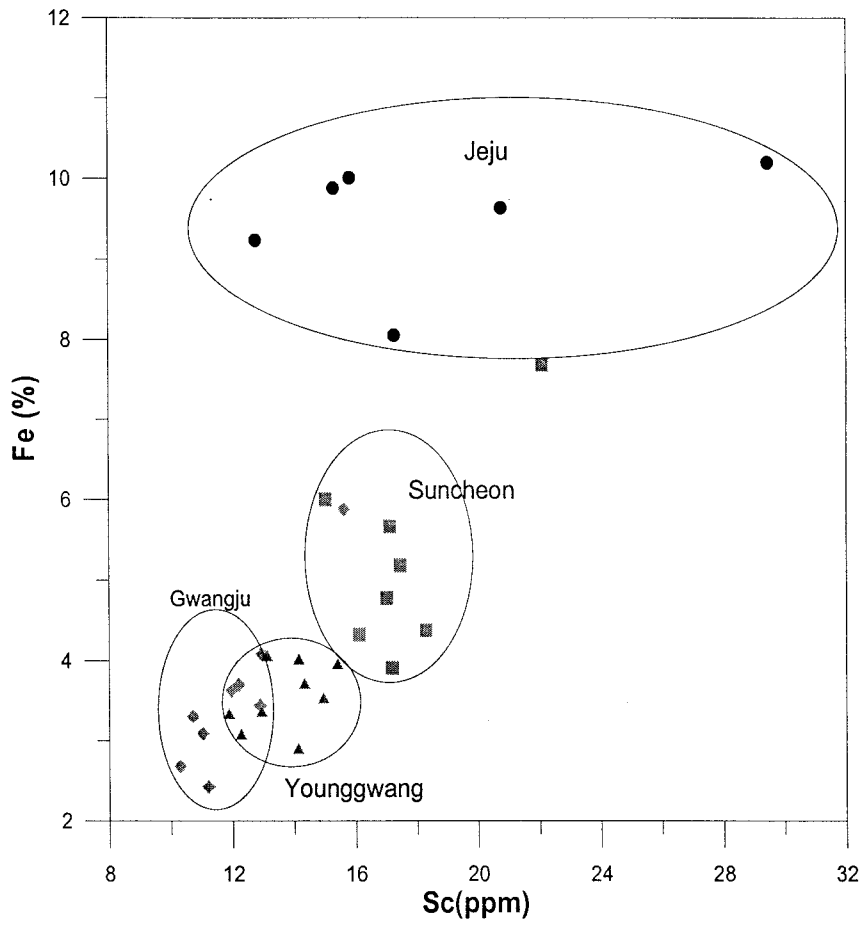


그림 16. 연구지역 토기와 토양의 Sc-Fe 분포도. 영광, 광주, 순천시료에서는 주원소인 Fe와 미량원소인 Sc의 사이에 좋은 상관관계를 보였고 지역별로 분류됨.

2. 소성온도의 추정

토기는 토양으로 성형하고 고온에서 한번 소성하는 과정을 거친다. 소성온도에 따라 토기의 경도와 색이 영향을 받고 사용하는 용도도 달라진다. 또한 몇 도의 온도에서 구울 수 있는가는 토기가 가마 내에서 구워졌는지 노천에서 구워졌는지를 판단하고 당시의 토기 제작기술을 추측할 수 있는 자료가 된다. 앞의 광물분석과 화학분석으로 토기는 주변토양으로 제작하였음을 유추하였다. 원료인 바탕흙과 토기를 직접 비교하고 토기에서 소멸되거나 생성된 광물상을 관찰하여 소성온도 연구에 도움이 될 수 있었다.

소성에 의한 광물의 상전이는 광물조성과 소성상태에 따라 다르므로 영광 군동 토양 0-1을 시편으로 성형, 건조하고 500-1200℃까지 구워 광물의 변화를 확인하였다. 그림 17는 영광 군동의 토양시료(0-1)를 성형하여 건조한 뒤 각각 500-1200℃까지 100℃간격으로 가열한 후의 X-선 회절도이다. 각 온도별로 소성한 결과 온도에 따른 광물의 변화 및 상전이를 확인할 수 있었다. 500℃이하에서 존재하던 카올린광물이 600℃부터 사라졌고 녹니석도 800℃에서 사라졌으며 운모 또한 1000℃에서는 회절선이 사라졌다. 장석은 그 종류에 따라 붕괴되는 정도가 다르지만 1100℃에 이르러 모든 장석의 회절선이 사라졌다. 반면 1100℃부터 물라이트의 회절선이 나타나기 시작하였고 1200℃에서는 물라이트의 강한 회절선을 관찰할 수 있었다. 또한 고온소성에 따른 비정질의 형성으로 배경강도가 증가하였다.

소성조건에 따라 차이는 있을 것으로 보이나 본 연구 토기의 X-선 회절패턴과 비교하여 소성온도를 유추할 수 있었다. 영광 군동, 마전의 경우 GDPU2-1는 토양에서 보이는 점토광물인 카올린, 질석, 운모, 녹니석과 함께 장석이 사라지고 물라이트가 강한 피크를 보여 1100-1200℃부근의 고온에서 소성되었다고 유추되며, X-선 회절결과에서 운모가 사라진 상태이지만 헤르시나이트나 물라이트가 나타나지 않는 GDP-3은 1000℃이하에서, 운모가 사라지고 헤르시나이트가 형성된 경우에는 1000℃이상의 온도에서 소성되었다고 생각된다. 따라서 헤르시나이트가 잘

성장한 GDPW-3, GDP3-1등은 1000-1100℃사이의 온도에서 소성되었을 것으로 추정되며 열분석결과에서도 이들은 900℃부근의 상전이 피크가 없다. 대체로 영광 군 등 토기는 몇몇 시료를 제외하고는 대부분 시차열분석상의 상전이 피크가 없어 다른지역에 비해 고온소성되었고 토기가마가 발견되어 고온소성의 가능성을 뒷받침해 주고 있다.

광주 치평동 토기는 대부분 운모와 약한 녹니석을 가지고 있고 열분석시 약한 발열피크가 있는 경우가 많아 대부분은 700-900℃에서 소성된 것으로 추정된다. 다만 CH-16은 물라이트가 관찰되었고 운모가 사라졌으며 높은 비정질 배경강도로 볼 때 1000℃이상의 고온에서 소성되었다고 사료된다.

순천 월평 토기는 WM-1과 WD-1을 제외한 대부분이 운모피크를 가지고 있고 녹니석이 존재하며 열분석에서 상전이 피크가 존재하므로 700-800℃의 소성온도가 유추되나, 녹니석의 존재는 800℃이하의 소성온도를 지시할 수도 있지만 비평형 상태에서 소성되었고 녹니석의 피크도 약한 편이어서 온도를 지정하는 데에는 신중함이 필요하다. 순천토기 중 WM-1, WD-1은 헤르시나이트 회절선이 강하고 유리질화된 조직과 열분석결과를 참고할 때 1000℃이상에서 소성된 것으로 보인다.

제주 고산리와 김녕리 토기는 신석기시대 원시토기로서 카올린의 피크는 사라졌지만 적철석, 운모의 피크가 존재하고 시차열분석에서 900℃부근의 상전이 피크가 모든 시료에 존재하여 가장 낮은 온도에서 구워졌음을 알 수 있다. 열분석에서 900℃부근의 발열피크의 관찰과 운모, 녹니석, 헤르시나이트 그리고 물라이트의 존재가 소성온도에 대한 정보를 주고 있지만 토기의 소성이 비평형상태에서 이루어진 점과 오랜시간 토양환경에서의 풍화 및 변질되었음을 고려할 때 소성온도에 있어서 더 심도 있는 연구가 필요하다.

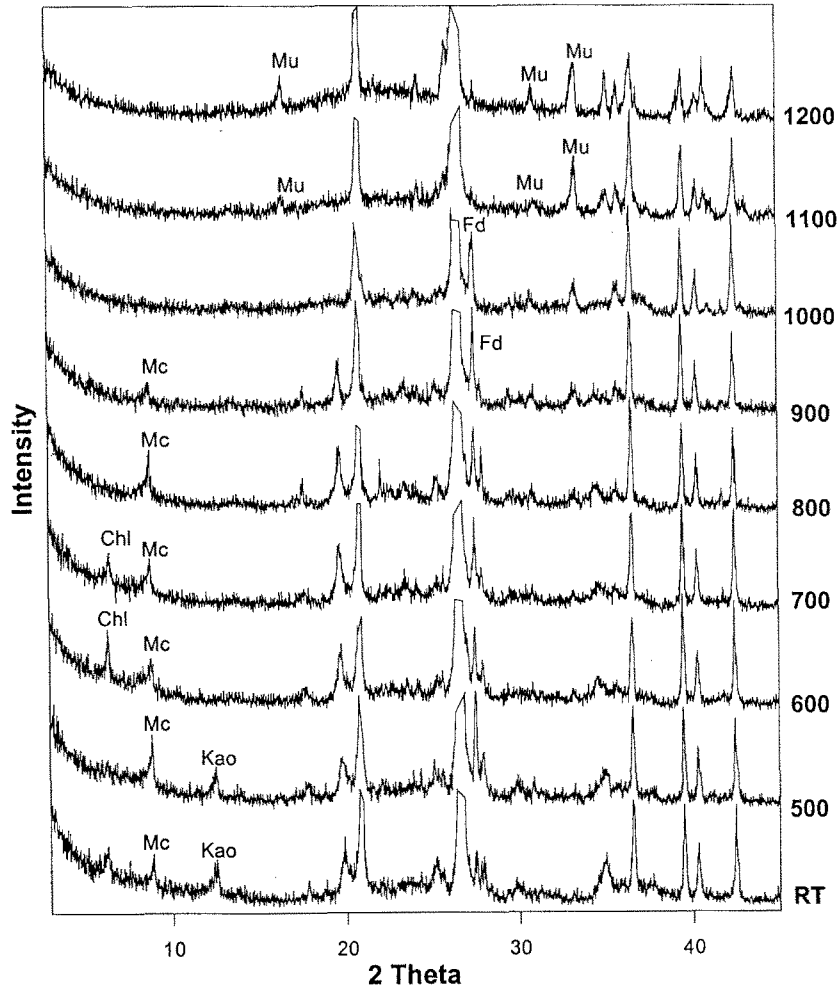


그림 17. 영광 토양(0-1)을 재료로 하여 실온조건한 시료 (RT)와 500-1200°C에서 각각 구운 시편의 X-선회절분석결과. 온도에 따른 광물의 상전이를 관찰할 수 있음 .

Abbreviation ; Qz : Quartz, Fd : Feldspar, Hm : Hematite,
 Mc : Mica, Mu : Mullite, Her : Hercynite.

3. 출토지역 토양환경의 영향

토기는 매장되어 오랜시간을 거치면서 주변 매장환경의 영향을 받게 된다. 즉 토기가 매장되어 있는 동안 가능한 반응들은 토기에 존재하는 광물의 용해 및 용출(dissolution phenomena), 토기 내에 공극(pore or void)으로 다른 광물의 침전 또는 흡착, 또 기존에 존재하던 광물이 분해되어 2차 광물의 형성 등이다. 그림 11에서 볼 수 있듯이 토기를 이루는 주성분 중 알칼리 원소, P_2O_5 , MnO 는 토양과 비교할 때 농집 또는 용출되는 현상을 보이고 있다. 특히 광주 치평동 토기에서의 P_2O_5 의 함량은 상당히 부화되어 있다. 특히 영광 군동 토기는 0.06% 이내 인데 반해 광주 치평동 토기는 0.1~2.7% 가량의 P_2O_5 를 포함하고 있어 토기는 토양에 비해 3-47배의 P_2O_5 함량을 가지고 있었다. 일반적으로 토양에서는 0.5 wt% 이상의 P_2O_5 을 갖는 경우가 거의 드물어(Lindsay et al., 1977) 환경에 의한 토기의 화학적 변질로 생각할 수 있다.

인(P)은 토양 내에서 소위 organic P, Ca-bound P, Fe or Al-bound P의 형태로 존재하는데 산성토양에서는 Fe or Al-bound P의 형태가 우세하고 알칼리토양에서는 Ca-bound P가 우세한 편이다. Ca-bound P중 가장 흔한 광물이 apatite이지만 산성토양에서 녹아서 사라지는 경향이 있다(Brady and Weil, 1999). 또한 인은 인산(phosphate)의 형태로 토기에 흡착되어 인산 농집된 경우가 보고된바 있고, 인의 흡착에 의해 토기 표면의 인 함량과 토기 속의 인 함량에 차이가 있는 경우도 있었다(Freestone et al., 1985). 그러나 본 연구결과에서 인의 형태가 apatite 결정으로 발견되지 않았고 주로 인이 기질에 분산되거나 공극(pore or void)에 농집된 성향을 보였다. 광주 치평동 토기의 대부분이 인 농집이 높은 편이었는데 인과 Ca의 관계를 도시해본 결과 그림 18로부터 직선의 관계를 가지는 것을 확인하였으나 XRD나 SEM에서는 apatite의 존재를 찾을 수 없었다. 다만 광주 토양의 pH가 5.44인 것으로 보아 apatite가 존재하였더라도 녹았을 것으로 생각된다. 그림 8에서 토기에서 인의 분포를 X-ray mapping으로 관찰하였는데 인은 기질에서 비교적 균질하게 분포하다가 공극을 중심으로 농집되어 있었다. 즉

외부의 인이 공극을 통해 흡착되었을 가능성을 보여주는 것이다. 다만 소성온도가 높아 공극이 작은 경우에는 인의 함량이 적다고 알려져 있는데(Freestone et al., 1985) 실제로 물라이트의 존재로 인해 소성온도가 광주의 다른 시료보다 높다고 판단되는 CH-16은 토양과 같은 0.06%를 가져 공극 크기 등이 인의 흡착과 관계 있다고 생각된다. 또한 대체로 소성온도가 다른 지역에 비해 높고 공극이 적은 편인 영광 군동 토기의 경우에도 대체로 인 함량이 토양과 유사한 편이다. 그러나 광주 치평동 토기 내에 인의 유입경로와 존재형태에 대해서는 더 심도있는 연구가 필요하다.

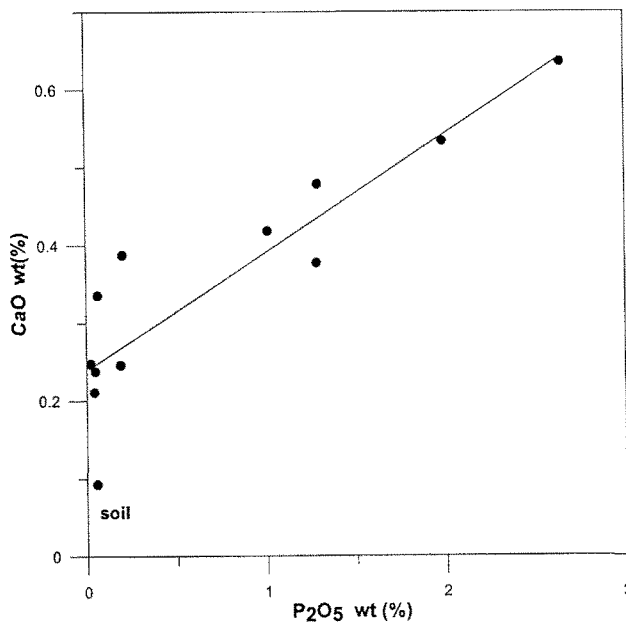


그림 18. 광주 치평동 토기와 토양내에 존재하는 CaO와 P₂O₅관계. 두 원소간에 좋은 상관관계를 보임.

제 5 절 결 론

영광, 광주, 순천, 제주지역의 토기를 대상으로 산지와 소성온도 추정에 관한 연구를 수행하였다. 중성자방사화분석으로 토기와 토양의 미량원소를 분석하여 다변량 통계분석인 판별분석으로 산지를 구분한 결과, 각 토기들은 주변토양으로 제작되었으며 이들은 지역의 지질특성을 반영하고 있었다. 즉, 제주와 순천 토기들은 각각 다른 군으로 분류되었고 영광과 광주 토기들은 모암의 유사성으로 서로 분리되지 못하였다. 판별함수에서는 Co, Cr, Sc, Lu, La, Yb의 순서로 분류에 영향력이 있었다. 또한 주성분으로 판별분석 및 원소사이의 관계를 비교분석한 결과에서도 미량성분분석과 같은 결과를 보여 각 지역의 토기는 지역 토양의 지질학적 특성을 반영함을 알 수 있었다. 또 토기와 주변토양의 광물을 동정하고 조직을 비교한 결과, 각 지역 토기는 주변 토양의 광물학적 특성을 반영하여 특유의 광물조성과 조직을 가지고 있었고, 주변토양을 사용하여 제작된 것으로 추정된다.

인(phosphorous)이 광주 치평동 토기의 공극을 중심으로 농집되어 있어서 일부 토기가 오랜 매장기간동안 토양환경의 영향을 받아 변질된 것으로 추정된다. 따라서 화학분석에 의한 산지연구에서는 토양환경에서 토기가 받는 풍화 및 변질의 영향을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 미량원소에 의한 화학분석과 함께 주성분분석, 광물분석 결과가 거의 유사한 패턴을 보여 매장환경에서 받은 영향이 산지 연구에 큰 지장을 초래하지는 않았지만 앞으로의 연구에서는 광물분석과 화학분석, 그리고 토양환경의 영향을 고려하여 복합적으로 산지를 해석해야 할 것이다.

유적지 토양의 소성실험으로 소성과정동안 광물의 상전이를 관찰하였고 그 결과를 토기에 적용하여 소성온도를 추정하였다. 영광 토기의 경우 물라이트의 생성과 장식, 운모의 소멸이 소성온도를 지시해주는 역할을 하여 다른 지역에 비해 고온소성되었음을 알 수 있었고 가마의 존재가 이를 뒷받침해 준다. 광주 치평동과 순천 월평의 토기는 그릇에 따라 차이는 있지만 저온소성된 그릇은 700-900℃

에서, 고온소성된 그릇은 1000-1100℃에서 소성된 것으로 보이며, 제주 고산리와 김녕리의 토기는 600-800℃에서 소성된 것으로 추정된다. 그러나 토기는 대개 열적 비평형상태에서 소성되었으므로 소성온도 추정에 있어서 심도 있는 연구가 요망된다.

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

본 연구는 고고학적 연구에 원자력 연구방법 중 하나인 중성자방사화분석을 이용하여 토기와 주변토양과의 관계를 지화학적 광물학적 관점으로 고찰하여 토기의 산지를 밝히고 이에 영향을 주는 요인들을 알아낼 수 있었다.

전남지역과 제주지역에서 발굴된 토기를 대상으로 하여 산지를 추정함에 있어 중성자방사화분석에 의한 토기의 미량원소분석과 함께 토기의 주성분분석과 광물 분석을 함께 수행하여 산지분류에 있어서 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 토기분석에 있어 많은 양의 시료를 필요로 하지 않으면서도 비교적 정확한 분석이 가능한 중성자방사화분석으로 미량원소를 분석하고 유적 발굴지의 지질학적 배경과 광물학적 특징을 참고로 하여 산지를 추정하는 것이 유용하다. 비교적 원료가 정제되어 있고 균일하며 원료의 산지가 일부지역으로 정해져 있는 자기의 경우에는 주변지질분석보다는 화학분석으로 산지를 추정하는 것이 교역과 자기제작에 있어 의미를 가진다고 할 수 있으나 고대토기의 경우에는 산지가 다양하며 원료도 조잡하여 화학분석만으로는 산지추정에 어려움이 있다. 따라서 토기가 제작되고 발굴된 지역의 지질을 고려하고 광물학적인 연구가 병행되어야 더욱 의미있는 해석할 수 있음을 본 연구를 통해 알 수 있었다.

앞으로 토기의 산지연구를 수행함에 있어서 미량성분분석 및 지질학적 조사를 병행하여 보다 과학적이고 의미있는 분석이 가능하리라고 생각한다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

토기는 발굴조사에서 가장 쉽게 조사되는 유물로서 고고학에서 가장 많이 다뤄지는 연구테마중 하나이다. 그만큼 시료채취나 연구방법에 있어서 접근하기 용이하고 시기나 지역적 특징을 잘 반영하기 때문이다. 외국의 경우 토기의 고고학적인 산지연구는 주로 넓은 지역에서 다양한 지질학적 배경을 가지는 토기간의 비교를 통해 이루어진다. 다양한 지질에 의한 미량성분 분포를 바탕으로 토기사이의 이동성과 교역을 유추할 수 있다. 본 연구에서는 전남 일부지역과 제주지역의 토기에 대해 미량성분분석과 함께 지질배경과 광물조성을 바탕으로 산지를 추정하였다. 그러나 좀더 넓은 지역에서의 발굴된 토기사이의 미량원소분석과 지질학적 연구가 수행되면 지역간 토기의 특성과 토기의 이동성을 유추할 수 있을 것으로 생각된다. 이는 고대토기의 데이터베이스로서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 생각된다. 특히 삼국의 토기 특징을 형태와 문양별로 구분하는 고고학적 관점에서 벗어나 각 지역에 따른 지화학적이고 광물학적인 연구방법을 도입한다면 토기의 교역이나 제작방법에 있어 보다 새로운 정보를 줄 수 있으리라고 생각한다.

토기의 연구뿐 아니라 흑요석의 경우에도 산지가 일정한 범위로 정해져 있으므로, 시료양이 적고 주로 화학분석에 의존해야 하는 경우 중성자방사화분석에 의한 미량분석과 동시에 지질학적 산지 조사를 병행해 산지를 추정하고 이를 통해 고대 교역 및 흑요석 제작연구에 응용할 수 있다고 생각한다.

제 6 장 해외과학기술정보

외국에서는 이미 1950년대부터 토기의 고고학적 연구에 과학적 방법을 도입하였다. 주로 지질학과 화학의 도움으로 토기연구가 진행되었고 토기의 산지에 대해서도 많은 연구가 있었다. 특히 중성자방사화분석이 토기연구에서 유리한 점을 이용하여 분석하였고 principal component analysis, non linear mapping, cluster analysis 그리고 Discriminant analysis와 같은 다양한 통계학적인 방법을 도입하여 토기를 분류하고 그 의미를 찾으려는 노력이 계속되어 왔다(Bishop and Neff, 1989; Cesana et al., 1983; Meloni et al., 2000; Descantes et al., 2001). 그러나 통계적인 연구방법으로는 한계가 있다는 것이 최근의 경향이다. 따라서 원산지의 토양 및 지질환경에 관한 연구를 진행하고 있으며 더불어 토기가 매장환경에서 받는 풍화와 변질작용에 중점을 두고 있다(Pollard and Heron, 1996; Freestone et al., 1985). 특히 토기의 재료를 연구하고 바탕흙과 모암과의 관계를 통해 산지를 연구하고자 하는 광물학적 연구의 중요성이 대두되었다 (Maggetti, 1982; Pollard and Heron, 1996; Masucci and Macfarlane, 1997; Day et al., 1999; Mommsen, 2001; Wieder and Adan-Bayewitz, 2002). 토기가 제작되어 사용하다가 대개 오랜시간 동안 매장되어 환경의 영향을 받기 때문에 토기의 다른 연구에 있어서도 그 바탕이 된다고 할 수 있지만 시료에 따라 지질특성에 따라 매장환경의 영향을 받는 정도가 달라 학자마다 견해가 다른 상태이다 (Freestone et al., 1985; Mommsen, 2001).

소성온도에 관해서도 많은 연구가 진행되어 왔는데 토기가 구워지면서 겪는 과정을 재현하기 위해 직접 시편을 제작하여 온도에 따라 토양의 변화과정을 연구하기도 하고 토양의 성분 및 소성환경에 따른 변화를 연구하는 등 지속적인 연구 결과가 보고되고 있다(Rice, 1987; Philpotts and Wilson, 1994).

제 7 장 참고문헌

- 강경인 (1997) 전남지역의 고대 토기 및 도자기에 관한 자연과학적 연구. 전남대학교 박사학위논문, p.1-39.
- 강형태 (1989) 패턴인지에 의한 고고학적 시료의 분류법. 한양대학교 박사학위 논문, p.3-17.
- 김규봉, 이병주, 황상구 (1990) 광주도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소. p.8-15.
- 문희수 (1995) 점토광물학. 민음사, p.292-316.
- 문희수, 이기길 (1996) 조선시대 기와, 전돌과 토기의 재료와 구운온도분석. 한국고고학보, 34, p.161-194.
- 문희수, 이동영, 이기길 (1999) 광주 돌피유적 토기의 재료와 구운온도 연구. 한국상고사학보, 30, p.7-26.
- 박기화, 이병주, 조동룡, 김정찬, 이승렬, 김유봉, 최현일, 황재하, 송교영, 최범영, 조병욱 (1998) 제주·애월 도폭 지질보고서. 제주도·한국자원연구소, p.57-58.
- 박영석, 노영배, 이창신 (1995) 광주-나주지역에 분포하는 화강암류에 대한 Rb-Sr 동위원소연구. 한국지구과학회지, 16, p.247-261.
- 박영석, 김종균, 김진 (2001) 영광-김제지역 화강암류의 암석화학적 연구. 자원환경지질, 34, p.55-70.
- 안건상, 오창환, 박배영 (2001) 승주-순천 지역에 분포하는 정편마암류의 지구화학적 특성. 한국지구과학회지, 22, p.163-178.
- 양삼열, 조영배 (1986) 용관의 소성온도 및 물성조사. 영암내동리 초분골 고분, p.125-148.
- 이기길, 이윤수, 윤종석 (1990a) 동삼동유적에서 나온 신석기시대 덧문지름무늬 토기의 연구(II) -바닥흙과 구운온도의 과학분석-. 古文化, 36, p.23-46.
- 이기길, 이문원 (1990b) 제주도 신석기·청동기시대 토기의 산지 연구 -고산

- 리, 북촌리, 월령리, 상모리 토기의 분석-. 한국고고학보, 25, p.7-38.
- 이기길 (1993) 우리나라 신석기시대의 토기와 살림 -암사동·동삼동·오산리 유적을 중심으로-. 연세대학교 박사학위 논문, p.29-52.
- 이기길 (2001) 새로 밝혀진 영광군의 선사와 고대문화 - 서해안 고속도로 건설구간의 발굴자료를 중심으로-. 선사와 고대, 16, p.73-94.
- 이민성, 박봉수, 백광호 (1989) 순천도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, p.4-9.
- 이상만, 김형식 (1966) 복내도폭 지질보고서. 국립지질조사소, p.6-12.
- 이수정 (1999) 카올린광물의 물라이트로의 상전이 연구. 연세대학교 박사학위논문, p.64-69.
- 이영배, 오진영, 고재원, 박근태, 오연숙, 김동섭 (1999) 제주 김녕리 유적. 제주도민속자연사박물관·건설교통부 제주개발건설사무소, p.79-83.
- 이청규 (1986) 제주도 유적 -선사유적지표조사보고-. 제주대학교박물관, p.94-97.
- 이청규, 강창화, 고재원, 오연숙 (1998) 제주고산리유적<도판>. 북제주군·제주대학교박물관, p.33-36, 103-104.
- 이학식, 김영 (2001) SPSS 10.0 매뉴얼. 법문사, p.323-361.
- 임영진, 서현주 (1997) 광주 치평동 유적. 전남대학교박물관·광주광역시도시개발공사, p.79-89.
- 조선대학교 박물관 (1998) 순천 외서면 월암리 월령유적 시굴조사 현장설명회자료. p.8-14.
- 최몽룡, 신숙정 (1988) 한국 고고학에 있어서 토기의 과학분석에 대한 검토. 한국상고사학보, 1, p.1-35.
- 최몽룡, 이동영, 신숙정 (1994) 미사리유적의 지질과 출토토기의 분석. 미사리 I, 미사리선사유적발굴조사단·경기도공영개발사업단. p.559-611.
- 최몽룡, 최성락, 신숙정 (1998) 고고학연구방법론. 서울대학교 출판부, pp.61-129.

- 최성락, 이철, 김승원, 전권수, 강형태 (1991) 다변수분석법에 의한 고대토기의 분류. 한국 분석과학회지, 4, p.153-161.
- 최위찬, 황상구, 김영범 (1986) 영광 도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, p.2-6.
- 홍승호, 윤욱 (1986) 송정도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, p.4-8.
- Bishop, R. L. and Neff, H. (1989) Compositional data analysis in archaeology. Chap. 4, In Archaeological Chemistry IV. Edited by Allen, American Chemical Society, p.57-85.
- Brandy, N. C. and Weil, R. R. (1999) The Nature and properties of soil. Prentice Hall Inc., p.549-559.
- Brindley, G. W. and Lemaitre, J. (1987) Thermal oxidation and reduction of clay minerals. Chap 7. In Chemistry of clay and clay minerals. Edited by Newman, A. C. D., Longman scientific and technical., p.319-363.
- Cesana, A., Ciasca, A., Cuomo Di Caprio, N., Terrani, M. and Tusa, V. (1983) Characterization of Phoenician pottery from Mothia by neutron activation analysis. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 78, p.347-357.
- Cogswell, J. W., Neff, H. and Glascock, M. D. (1996) The effect of firing temperature on the elemental characterization of pottery. Journal of Archaeological Science, 23, p.283-287.
- Chung, F. H. (1974a) Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix-flushing for quantitative multicomponent analysis. Journal of Applied Crystallography, 7, p.519-525.
- Chung, F. H. (1974b) Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. II. Adiabatic principle of X-ray diffraction analysis of mixtures. Journal of Applied Crystallography, 7, p.526-531.

- Day, P. M., Kiriati, E., Tsoiakidou, A. and Kilikoglou, V. (1999) Group Therapy in Crete : A comparison between analyses by NAA and thin section petrography of early Minoan pottery, *Journal of Archaeological Science*, p.1025-1036.
- Descantes, C., Neff, H., Glascock, M.D. and Dickinson, W.R. (2001) Chemical characterization of Micronesian ceramics through Instrumental neutron activation analysis: a preliminary provenance study. *Journal of Archaeological Science*, 28, p.1185-1190.
- Freestone, I. C., Meeks, N. D. and Middleton, A. P. (1985) Retention of phosphate in buried ceramics: an electron microbeam approach. *Archaeometry*, 27, p.161-177.
- Jordan, M. M., Boix, A., Sanfeliu, T. and de laFuente, C. (1999) *Applied Clay Science*, 14, p.225-234.
- Kilikoglou, V., Maniatis, Y. and Grimanis, A. P. (1988) The effect of purification and firing of clays on trace element provenance studies. *Archaeometry*, 30, p.37-46.
- Kowalski, B. R., Schatzki, T. F. and Stross, F. H. (1972) *Journal of Analytical Chemistry*, 44, p.2176.
- Lindsay, W. L., Vlek, P. G. and Chien, S. H. (1977) Phosphate minerals. In *Minerals in soil environments*. Edited by Dixon, J. B. and Weed, S. B., Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, p.1089-1108.
- LcLennan, S. M. (1989) Rare earth elements in sedimentary rocks in influence of provenance and sedimentary process, In *Geochemistry and Mineralogy of rare earth elements*. Edited by Lipin B. R. and McKay G. A., The Mineralogical society of America. p.169-181.
- 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.
- 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*, 12, p.765-793.
- Meloni, S., Oddone, M., Genova, N. and Cairo, A. (2000) The production of ceramic materials in Roman Pavia: An archaeometric NAA investigation of clay sources and archaeological artifacts. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 244, p.553-558.
- Mommsen, H. (1999) Elemental concentration distribution and most discrimination element for provenancing by neutron activation analyses of ceramics from bronze age sites in Greece. *Journal of Archaeological Science*, 26, p.1053-1058.
- Mommsen, H. (2001) Provenance determination of pottery by trace element analysis : problems, solutions and applications. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 247, p.657-662.
- Wieder, M. and Adan-Bayewitz, D. (2002) Soil parent materials and the pottery of Roman Galilee : a comparative study. *Geoarchaeology*, 17, p.393-415.
- Philpotts, A. R. and Wilson, N. (1994) Application of petrofabric and phase equilibria analysis to the study of a potsherd. *Journal of Archaeological Science*, 21, p.607-618.
- Pollard A. M. and Heron C. (1996) *Archeological chemistry*. the Royal society of chemistry, p.104-148.
- Rice, P. M. (1987) *Pottery Analysis*. The university of chicago press, p.80-109.
- Rollinson, H. R. (1993) *Using geochemical data*. Longman scientific and technical, p.102-150.

Vlasov, K. A. (1966) Geochemistry and mineralogy of rare elements and genetic types of their deposits, Academy of sciences of the USSR, p.156-187.

Wayne Nesbitt, H. and Markovics, G. (1997) Weathering of granodioritic crust, long-term storage of elements in weathering profiles, and petrogenesis of siliciclastic sediments, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, p.1653-1670.