

도 · 토기의 과학적 분석 연구

—충청 남 · 북도, 강원도 토기 도요지 중심으로—

The scientific analysis of potteries

—Focus on the potteries excavated from kiln sites at
Chungcheong Nam · Buk-do and Gangwon-do—

洪鐘郁 · 韓旼洙 · 黃振周 · 姜大一*

Jong Ouk Hong, Min Su Han, Jin Ju Hwang and Dai Ill Kang*

ABSTRACT

This research carried out composition analysis the subject of potteries from kiln site at Gangwon-do, Chungcheong Nam Buk-do and the followings are the results.

Firstly, XRD analysis results showed that soft potteries were consisted of α -quartz, feldspar and soil minerals while hard potteries were consisted of high temperature crystals like mullite, tridymite and cristobalite.

Secondly, the firing temperatures of the soft potteries were determined using XRD analysis. It ranged from 550°C to 870°C. While the firing temperatures of the hard potteries were divided into 3 groups; Group I : Potteries with Mullite and Feldspar - ranged from 1000°C to 1200°C. Group II : Potteries with Mullite and Tridymite - ranged from 875°C to 1200°C. Group III : Potteries with Cristobalite - ranged above 1200°C.

Thirdly, the result of correlation analysis using trace element such as Sc, Rb of the potteries form Gangwon do and Chungcheong Nam Buk-do kilns allowed us to divide the area with their own characteristics in to 4-groups. Using the same result, kilns sited at Chungcheong Nam Buk-do were classified into 3-groups.

* 한국전통문화대학교(The Korean National University of Cultural Heritage)

I. 서론

토기란 점토를 구어서 만든 용기이며, 점토의 질 및 제작방법, 장식에 따라 그 질과 형태는 크게 달라진다. 또한 토기는 생활문화를 반영하고 어떤 퇴적환경에서도 부식되지 않으며, 가장 잘 보존되는 고고유물로서 고고학 연구의 기본적인 자료가 되어 왔다¹⁾. 특히 도·토기에 대한 자연과학적 연구는 도·토기를 구성하고 있는 재질과 그 재질의 특성을 분석하고, 분석결과를 고찰하여 제작기술 및 산지, 연대 등을 규명하는 것이다²⁾.

토기 및 도자기의 제작기술은 광물조성, 화학조성, 소성온도 등의 분석과 구조적인 측면의 조직분석을 통하여 이루어지고 있으며, 산지추정은 토기 및 도자기 등에 사용된 원료의 채취지역에 대한 지질학적인 특성에 근거를 두고 있는 미량원소의 분석을 통해 이루어진다. 이러한 산지 추정을 통하여 고대의 교역 및 교류관계에 대한 해명으로서, 생산지와 소비자 사이의 정치·경제·문화관계를 밝히고 이를 가능하게 한 당시 사회의 생산양식, 계층화의 문제 등에도 접근하게 해준다³⁾.

지금까지 국내 도·토기 연구는 1970년대 후반 철기시대 토기를 분류한 『김양옥』의 연구가 자연과학적 토기분석의 효시를 이루며, 1980년대에 들어와 영산강지역의 민무늬토기(무문토기)를 분석함으로써 본격화되었다^{4, 5)}. 또한 중성자방사화분석 또는 미량성분분석으로 신석기시대부터 고대에 이르는 토기들을 성분 분석하고, 이들을 통계처리하여 산지추정하려는 연구가 1977년 『이철』 등에 의해서 시도되었으며, 이후 1997년 『강경인』의 전남지역의 고대 토기 및 도자기에 관한 자연과학적 연구 등에 이르기까지 토기의 산지연구에 대한 시도가 진행되었다. 최근에는 미량원소의 성분분석과 다변량해석법을 연계한 군 분류로 보다 과학적이고 신뢰성 있는 산지추정의 연구들을 수행하고 있다⁶⁻⁸⁾. 최근 국내 토기의 화학분석연구는 전남 송주·여천지역의 민무늬토기 분석, 조선시대 토기분석, 오창 송대리·상평리 유적의 토기분석 등의 연구가 있다⁹⁻¹¹⁾. 그러나 지금까지 국내에서의 이러한 산지추정 연구는 매우 국소적으로 진행되고 있으며, 또한 일본에 비해 체계적이지 못하다. 대체로

일본에서의 토기를 이용한 산지추정연구는 1980년도에 『三辻利一』에 의해서 방사화분석법을 이용한 미량원소의 산지추정 및 형광 X-선법을 이용 태토 분석을 통한 산지추정에서 시작하여 1991년 朝鮮三國時代 陶質土器의 研究, 1993년 大庭寺 遺跡出土 硬質土器의 研究, 1995년 大庭寺遺跡 窯出土 初期須惠器의 분석까지 꾸준히 산지추정연구가 진행중이다. 그밖에 1980년도 특성원소를 구별해서 산지 추정 연구를 시도한 『長友恒人』에 尙遺跡出土土器의 材質研究, 토기의 소성온도를 추정 한 『三宮修治』의 연구 등 다양하다¹²⁻²⁰.

본 연구는 국소적으로 진행하고 있는 우리나라 토기의 산지추정 연구들에 대해 보다 체계적으로 정리하고, 자료들을 축적하여 데이터베이스화하는 일환으로 진행하고 있는 연구중에서 강원도 일원과 충청 남·북도 지역에 있는 토기 도요지에서 발굴한 도·토기들을 수집하여 성분분석 및 통계분석을 통한 산지 추정연구를 수행하였다.

Ⅱ. 대상유물 및 분석방법

1. 대상시료

강원도와 충청남·북도 지역에 있는 국·공립 박물관 및 대학박물관에 시료 채취 협조를 구하였으며, 총 5개 기관에서 시료를 수집한 후 발굴지를 중심으로 선별하여 179점의 시료를 분석하였다. 이번 분석에 사용된 도·토기의 도요지 및 협조기관은 Table 1과 같으며, 선별된 각 도요지별 시료목록은 Table 2에 나타내었다.

Table 1. 도·토기 도요지 및 협조기관

번호	시료협조기관	출 토 지	수 량
1	강원대학교	강원도 철원군 문혜리	19
		강원도 평창군 미탄리	16
		강원도 원주시 미두리	16
2	관동대학교	강원도 삼척시 내미로리	40 (토기-20) (자기-20)
		강원도 강릉시 보광리	17
4	충북대학교	충북 청주시 가경동	20
5	국립부여박물관	충남 부여읍 정암리	21
6	충청매장문화재연구원	충남 서산시 무장리	30
합계	5개 기관	8개 요지	179점

2. 분석방법

분석대상 시료는 증류수에 담가 씻어 주었으며, $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 완전 건조하였다. 완전 건조한 시료들은 텅스텐 카바이드 송곳으로 표면의 오염물을 제거한 후 내부의 조각을 수습하여 모르타르로 분말화하였다.

각 시료의 결정구조분석은 X-선 회절분석기(XRD)를 이용하였고, 미량성분원소는 중성자방사화분석기(INAA)를 이용하여 계측하였으며, 비교체법을 통하여 각 성분의 함량을 계산하였다. 또한 각 도요지별 상관관계를 알아보기 위하여 통계적 기법으로 쓰이는 주성분분석 및 판별분석을 수행하였다.

1) 흡수율 측정

먼저 각 토기편들을 $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ 에서 2일간 완전 건조시킨 후 무게를 달아서 건조한 무게 W_1 을 구하고, 이것을 물 속에서 2일간 침적시킨 후 각 토기편의 무게 W_2 를 재어서 다음 식으로 흡수율을 구하였다.

Table 2-1. 도요지별 시료 목록

시료번호	출 토 지	시 대	종 류	비 고
1	강원도 철원군 문혜리	조선중기	청자	강원대박물관
2		"	"	
3		"	"	
4		"	"	
5		"	"	
6		"	"	
7		"	"	
8		"	"	
9		"	"	
10		"	"	
11		"	회청자	
12		"	청자	
13		"	회청자	
14		"	"	
15		"	청자	
16		"	"	
17		"	"	
18		"	"	
19		"	회청자	
20	강원도 평창군 미탄리	조선초기	연청자	강원대박물관
21		"	"	
22		"	"	
23		"	"	
24		"	"	
25		"	"	
26		"	"	
27		"	"	
28		"	회청자	
29		"	"	
30		"	자색자기	
31		"	"	
32		"	"	
33		"	자색토기	
34		"	"	

Table 2-2. 도요지별 시료 목록

시료번호	출 토 지	시 대	종 류	비 고
35	강원도 평창군 미탄리	조선초기	자색토기	강원대박물관
36	강원도 원주시 미두리	조선후기	연청자	강원대박물관
37		"	"	
38		"	"	
39		"	흑청자	
40	강원도 원주시 미두리	조선후기	흑청자	강원대박물관
41		"	"	
42		"	"	
43		"	"	
44		"	"	
45		"	"	
46		"	녹청자	
47		"	"	
48		"	"	
49		"	"	
50		"	연청자	
51	"	적갈색토기		
52	강원도 삼척시 내미로리	고려시대	청자	관동대박물관
53		"	"	
54		"	"	
55		"	"	
56		"	"	
57		"	"	
58		"	"	
59		"	"	
60		"	"	
61		"	"	
62		"	"	
63		"	"	
64		"	"	
65		"	"	
66		"	"	
67		"	"	
68		"	"	

Table 2-3. 도요지별 시료 목록

시료번호	출 토 지	시 대	종 류	비 고
69	강원도 삼척시 내미로리	고려시대	청자	관동대박물관
70		"	"	
71		"	"	
72	강원도 삼척시 내미로리	고려시대	토기	관동대박물관
73		"	"	
74		"	"	
75		"	"	
76		"	"	
77		"	"	
78		"	"	
79		"	"	
80		"	"	
81		"	"	
82		"	"	
83		"	"	
84		"	"	
85		"	"	
86		"	"	
87		"	"	
88		"	"	
89		"	"	
90		"	"	
91		"	"	
92	강원도 강릉시 보광리	조선초기	녹청자	관동대박물관
93		"	"	
94		"	"	
95		"	"	
96		"	"	
97		"	"	
98		"	"	
99		"	"	
100		"	"	
101		"	"	
102		"	"	

Table 2-4. 도요지별 시료 목록

시료번호	출 토 지	시 대	종 류	비 고
103	강원도 강릉시 보광리	조선초기	녹청자	관동대박물관
104		"	"	
105		"	"	
106		"	"	
107		"	"	
108		"	"	
109	충북 청주시 가경동	삼국시대	토기	충북대박물관
110		"	"	
111		"	"	
112		"	"	
113		"	"	
114		"	"	
115		"	"	
116		"	"	
117		"	"	
118		"	"	
119		"	"	
120		"	"	
121		"	"	
122		삼국시대	토기	
123	"	"		
124	"	"		
125	"	"		
126	"	"		
127	"	"		
128	"	"		
129	충남 부여읍 정암리	백제후기	토기	국립부여 박물관
130		"	"	
131		"	"	
132		"	"	
133		"	"	
134		"	"	
135		"	"	
136		"	"	

Table 2-5. 도요지별 시료 목록

시료번호	출 토 지	시 대	종 류	비 고
137	충남 부여읍 정암리	백제후기	토기	국립부여 박물관
138		"	"	
139		"	"	
140		"	"	
141		"	"	
142		"	"	
143		"	"	
144		"	"	
145		"	"	
146		"	"	
147		"	"	
148		"	"	
149		"	"	
150	충남 서산시 무장리	고려시대	토기	충청매장 문화재연구원
151		"	"	
152		"	"	
153		"	"	
154		"	"	
155		"	"	
156		"	"	
157		"	"	
158		"	"	
159		"	"	
160		"	"	
161		"	"	
162		"	"	
163		"	"	
164		"	"	
165		"	"	
166		"	"	
167	"	"		
168	"	"		
169	"	"		
170	"	"		

Table 2-6. 도요지별 시료 목록

시료번호	출 토 지	시 대	종 류	비 고
171	충남 서산시 무장리	고려시대	토기	충청매장 문화재연구원
172		"	"	
173		"	"	
174		"	"	
175		"	"	
176		"	"	
177		"	"	
178		"	"	
179		"	"	

$$\text{흡수율(\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

흡수율은 측정오차를 줄이기 위해 3회 반복 실험하여 평균값을 구하였다.

2) X-선 회절분석

분말화 한 시료를 유리판에 고착한 후 미소부 X-선 회절분석기(Micro-area X-ray diffraction system, MAC Science, MXP18VA, Japan)를 이용하여 토기의 광물성분들을 알아보았다. 미소부 X-선 회절분석시 Target은 Cu를 사용하였다. 토기의 경우 분말 시료양이 많으므로 Wide-angle XRD를 이용하여 분석하였으며, 분석시 Power는 30kV, 50mA이었으며, scanning speed는 8deg/min이었다. 계측 후 분석데이터는 피크 매칭(peak matching) 프로그램을 이용하여 각 피크를 동정하였다.

3) 중성자방사화분석

분말 시료 약 90~110mg을 칭량한 다음 폴리에틸렌 바이알에 넣어 밀봉하였다. 방사화작업은 대전에 있는 한국원자력연구소 하나로(Maximum thermal neutron

flux of HANARO. $5 \times 10^{14} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$)의 기송관 및 회전식 시료대를 이용하였고, 시료는 Power 20MW($1.7 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$)의 중성자속에서 표준시료(SRM)와 함께 1시간 조사되었다.

감마선계측은 HPGe Semiconductor Detector가 연결된 8,000채널 파고분석기(EG&G ORTEC USA)로 1000, 2000, 3000초로 반감기 시간을 조절하여 계측하였다. 단, Na(15시간), K(12시간)와 같이 반감기가 짧은 원소들은 계측하지 못하였으며, 중성자 간섭으로 인해 함께 나타나는 피크들을 제외하고, 그 중에서 검출 효율이 좋으며 Peak 면적이 높게 나타나는 15개의 방사성 핵종(Co, Rb, Sc, La, Hf, Yb, Cr, Lu, Ce, Sm, Nd, Ta, Ba, Cs, Eu)을 선정하였다. 각 시료의 함량은 표준시료를 이용한 단일비교체법으로 계산하였다.

Ⅲ. 분석결과 및 고찰

1. 흡수율 측정

도 · 토기의 흡수율을 측정한 후 각 요지별로 나누어 시료들에 대한 평균을 구하고 그 결과 값을 Table 3에 나타내었다.

Table 3에서 볼 수 있듯이 가경동이 평균 17.12%로 무장리나 정암리, 내미로리와 비교했을 때 높은 흡수율을 나타냈으며, 이는 토기요의 평균 흡수율이 12%보다 상당히 높은 것을 알 수 있다. 하지만 나머지 대부분 토기요의 경우 10~13%로 일반적인 토기 흡수율과 거의 같게 나타났다.

Table 3-1. 강원, 충청남·북 도·토기 흡수율 측정 결과

번호	출토지	1차측정			2차측정			3차측정			합계
		건조(g)	흡수(g)	흡수율(%)	건조(g)	흡수(g)	흡수율(%)	건조(g)	흡수(g)	흡수율(%)	평균 흡수율(%)
1	충남 서산시 무장리	24.38	28.49	16.86	24.40	28.48	16.72	24.42	28.38	16.22	16.60
2		16.40	19.20	17.07	16.40	19.19	17.01	16.43	19.16	16.62	16.90
3		15.27	17.68	15.78	15.31	17.66	15.35	15.33	17.62	14.94	15.36
4		17.50	20.20	15.43	17.49	20.25	15.78	17.51	20.40	16.50	15.90
5		10.62	12.27	15.54	10.64	12.27	15.32	10.67	12.23	14.62	15.16
6		25.94	30.00	15.65	26.06	30.05	15.31	25.96	29.97	15.45	15.47
7		16.01	18.75	17.11	16.03	18.74	16.91	16.06	18.69	16.38	16.80
8		16.71	19.54	16.94	16.73	19.53	16.74	16.75	19.50	16.42	16.70
9		47.67	54.23	13.76	47.67	54.33	13.97	47.68	54.33	13.95	13.89
10		18.32	21.41	16.87	18.41	21.31	15.75	18.43	21.29	15.52	16.05
11		19.81	23.00	16.10	19.81	23.05	16.36	19.82	23.01	16.09	16.18
12		27.89	31.74	13.80	27.90	31.68	13.55	27.92	31.81	13.93	13.76
13		39.39	45.30	15.00	39.60	45.20	14.14	39.50	45.15	14.30	14.48
14		43.33	49.43	14.08	43.42	49.33	13.61	43.39	49.69	14.52	14.07
15		16.95	19.77	16.64	16.98	19.78	16.49	17.00	19.75	16.18	16.43
16		40.81	49.24	20.66	40.83	49.39	20.96	40.92	49.35	20.60	20.74
17		38.84	45.96	18.33	38.89	46.00	18.28	38.96	46.01	18.10	18.24
18		25.30	27.96	10.51	25.30	28.02	10.75	25.31	28.12	11.10	10.79
19		33.61	34.70	3.24	33.61	34.77	3.45	33.62	34.80	3.51	3.40
20		18.45	20.56	11.44	18.45	20.64	11.87	18.46	20.65	11.86	11.72
21		25.66	26.45	3.08	25.66	26.49	3.23	25.66	26.44	3.04	3.12
22		24.86	26.08	4.91	24.86	26.10	4.99	24.86	26.08	4.91	4.93
23		53.53	55.46	3.61	53.53	55.37	3.44	53.54	55.31	3.31	3.45
24		57.66	58.04	0.66	57.66	58.12	0.80	57.66	58.05	0.68	0.71
25		34.75	36.10	3.88	34.75	36.15	4.03	34.76	36.06	3.74	3.88
26		17.48	18.42	5.38	17.48	18.45	5.55	17.48	18.45	5.55	5.49
27		53.15	54.76	3.03	53.16	54.84	3.16	53.16	54.78	3.05	3.08
28		30.10	34.26	13.82	30.11	34.32	13.98	30.12	34.34	14.01	13.94
29		49.35	52.40	6.18	49.36	52.50	6.36	49.36	52.38	6.12	6.22
30		31.06	35.72	15.00	31.22	35.65	14.19	31.21	35.64	14.19	14.46
31		32.65	37.52	14.92	32.66	37.70	15.43	32.66	37.62	15.19	15.18
32	충남부여읍정암리	19.92	20.37	2.26	19.92	20.39	2.36	19.92	20.35	2.16	2.26

Table 3-2. 강원, 충청남·북 도·토기 흡수율 측정 결과

번호	출토지	1차측정			2차측정			3차측정			합계	
		건조(g)	흡수(g)	흡수율(%)	건조(g)	흡수(g)	흡수율(%)	건조(g)	흡수(g)	흡수율(%)	평균 흡수율(%)	
33	충남 부여읍 정암리	27.60	30.25	9.60	27.66	30.33	9.65	27.61	30.25	9.56	9.61	
34		41.52	47.88	15.32	41.54	47.98	15.50	41.54	47.82	15.12	15.31	
35		16.75	20.07	19.82	16.78	20.15	20.08	16.79	20.10	19.71	19.87	
36		10.62	11.11	4.61	10.62	11.16	5.08	10.61	11.12	4.81	4.84	
37		13.29	15.65	17.76	13.29	15.67	17.91	13.30	15.62	17.44	17.70	
38		5.35	6.11	14.21	5.21	5.96	14.40	5.15	5.88	14.17	14.26	
39		27.45	31.95	16.39	27.45	32.07	16.83	27.46	31.96	16.39	16.54	
40		54.25	63.23	16.55	54.25	63.40	16.87	54.25	63.25	16.59	16.67	
41		94.48	109.3	15.73	94.50	109.7	16.12	94.52	109.4	15.76	15.87	
42		91.62	102.8	12.20	91.63	102.9	12.33	91.64	102.8	12.18	12.24	
43		18.87	21.42	13.51	18.51	21.47	15.99	18.51	21.42	15.72	15.08	
44		24.26	27.18	12.04	24.26	27.23	12.24	24.26	27.15	11.91	12.06	
45		10.23	12.10	18.28	10.23	12.16	18.87	10.23	12.11	18.38	18.51	
46		10.47	12.27	17.19	10.48	12.31	17.46	10.48	12.31	17.46	17.37	
47		59.66	67.65	13.39	59.68	68.02	13.97	59.72	67.88	13.66	13.68	
48		20.47	23.79	16.22	20.47	23.88	16.66	20.47	23.82	16.37	16.41	
49		22.45	26.31	17.19	22.46	26.40	17.54	22.46	26.30	17.10	17.28	
50		12.40	13.61	9.76	12.41	13.62	9.75	12.40	13.61	9.76	9.76	
51		강원도 삼척시 내미로리	70.76	79.08	11.76	70.77	79.21	11.93	70.77	79.16	11.86	11.85
52			9.42	10.44	10.83	9.42	10.50	11.46	9.42	10.44	10.83	11.04
53	13.97		15.06	7.80	13.97	15.07	7.87	13.98	15.00	7.30	7.66	
54	16.38		17.93	9.46	16.40	17.93	9.33	16.40	17.79	8.48	9.09	
55	23.54		26.26	11.55	23.55	15.37	34.73	23.54	26.20	11.30	19.19	
56	11.60		13.47	16.12	11.60	13.49	16.29	11.60	13.41	15.60	16.01	
57	15.24		16.96	11.29	15.23	17.07	12.08	15.23	16.95	11.29	11.55	
58	14.73		17.12	16.23	14.77	17.22	16.59	14.77	17.09	15.71	16.17	
59	46.32		46.93	1.32	46.36	47.08	1.55	46.36	46.95	1.27	1.38	
60	11.19		12.30	9.92	11.23	12.35	9.97	11.23	12.26	9.17	9.69	
61	10.02		10.19	1.70	10.06	10.21	1.49	10.06	10.18	1.19	1.46	
62	11.97		13.26	10.78	12.01	13.24	10.24	12.01	13.16	9.58	10.20	
63	20.47		23.16	13.14	20.50	23.25	13.41	20.51	23.11	12.68	13.08	
64	5.65		6.38	12.92	5.68	6.41	12.85	5.69	6.37	11.95	12.57	

Table 3-3. 강원, 충청남·북 도·토기 흡수율 측정 결과

번호	출토지	1차측정			2차측정			3차측정			합계
		건조 (g)	흡수 (g)	흡수율 (%)	건조 (g)	흡수 (g)	흡수율 (%)	건조 (g)	흡수 (g)	흡수율 (%)	평균 흡수율 (%)
65	강원도 삼척시 내미로리	28.02	28.24	0.79	28.06	28.26	0.71	28.06	28.23	0.61	0.70
66		12.27	14.12	15.08	15.31	14.18	7.38	12.30	14.12	14.80	12.42
67		10.02	10.93	9.08	10.06	10.95	8.85	10.06	10.91	8.45	8.79
68		22.46	25.31	12.69	22.50	25.39	12.84	22.51	25.23	12.07	12.53
69		14.69	15.95	8.58	14.73	16.01	8.69	13.73	15.94	16.10	11.12
70		6.05	7.11	17.52	6.09	7.13	17.08	6.09	7.09	16.42	17.01
71		54.98	57.48	4.55	50.02	57.49	14.93	55.02	57.39	4.31	7.93
72	충북 청주시 가경동	6.69	8.02	19.88	6.73	7.97	18.42	6.74	7.95	17.95	18.75
73		39.53	46.49	17.61	39.63	46.30	16.83	39.63	46.25	16.70	17.05
74		13.41	16.02	19.46	13.41	15.99	19.24	13.41	15.92	18.72	19.14
75		32.86	38.57	17.38	32.87	38.38	16.76	32.86	38.38	16.80	16.98
76		13.96	16.40	17.48	14.00	16.31	16.50	14.01	16.27	16.15	16.71
77		6.42	8.01	24.77	6.43	7.98	24.11	6.44	7.95	23.45	24.11
78		25.66	30.34	18.24	25.73	30.15	17.18	25.74	30.09	16.90	17.44
79		13.75	16.28	18.40	13.79	16.17	17.26	13.76	16.11	17.08	17.58
80		8.98	10.99	22.38	9.09	10.98	20.79	9.08	10.93	20.37	21.18
81		6.69	7.94	18.68	6.69	7.97	19.13	6.62	7.89	19.18	19.00
82		5.51	6.57	19.24	5.52	6.67	20.83	5.51	6.60	19.78	19.95
83		4.74	5.66	19.41	4.77	5.69	19.29	4.73	5.69	20.30	19.66
84		24.95	29.31	17.47	24.96	29.22	17.07	24.96	29.21	17.03	17.19
85		14.10	16.10	14.18	14.10	16.12	14.33	14.10	16.08	14.04	14.18
86		37.81	41.28	9.18	37.82	41.19	8.91	37.82	41.24	9.04	9.04
87		23.15	27.22	17.58	23.15	27.16	17.32	23.15	27.15	17.28	17.39
88		39.85	45.69	14.65	39.86	45.54	14.25	39.86	45.70	14.65	14.52
89		13.41	15.55	15.96	13.44	15.41	14.66	13.46	15.37	14.19	14.94
90		17.28	20.23	17.07	17.30	20.13	16.36	17.30	20.13	16.36	16.60

2. X-선 회절 분석

각 도요지별 도·토기에 대한 광물을 동정한 결과 도·토기의 광물조성은 주광물

인 α -Quartz와 부광물인 Feldspar 그리고 점토광물들로 나타났다. 각 시편에 나타난 피크 강도로 보아 광물의 양적인 차이는 근사하게 나타났고, Feldspar는 지역에 따라 Microcline, Albite가 가장 많이 나타났으며, 그 외에 Orthoclase, Plagioclase, Anorthite 등이 혼재하여 나타남을 볼 수 있었다.

광물구조의 차이는 사용원료의 광물조성 및 함량차이와 가열과정에 따른 원료광물의 소실 및 새로운 광물의 생성 등 광물의 열적 변화에 기인한 것이다. Feldspar는 사용원료에 함유되어 있는 광물로 소성온도 1000℃ 정도에서 서서히 분해하여 고온으로 갈수록 소실되면서 Mullite, Tridymite, Cristobalite 등의 광물생성에 영향을 미치고, 고온에서는 유리화되어 도자기 태토를 치밀화시킨다. 또한 가열과정 중 SiO₂ 성분인 α -Quartz는 870℃이상에서는 고온변태상인 Tridymite로 변하며, 약 1200℃이상이면 Cristobalite로 전이하여 남게된다. 또한 α -Quartz는 사용원료 중 석영의 함량과도 밀접한 관련이 있다. 1200℃ 내외의 소성온도에서 나타나는 Mullite와 Tridymite, Cristobalite는 원료의 알칼리류, 철분 등과 더불어 소성시간에 커다란 영향을 받는다²⁾.

대부분의 시료에서는 주광물인 α -Quartz가 모두 확인되었으며, 시료에 따라 피크 강도 차이가 보였고, 부광물로는 Feldspar, Mullite, Tridymite, Cristobalite 등이 보였다. Feldspar는 Albite, Microcline이 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 그 외에 Orthoclase, Anorthite, Plagioclase 등이 부분적으로 혼재되어 있는 상태이다. 대체로 분석 결과, 연질토기편에서는 α -Quartz, Feldspar와 점토광물이, 경질토기편에서는 α -Quartz, Feldspar 및 고온 결정상인 Mullite, Tridymite, Cristobalite 등이 나타나는 특징을 보였다.

3. 통계 분석

토기라는 것은 점토로 제작되며, 점토는 지질학적인 공간 내의 한 장소 즉, 점토층으로부터 채취된다. 또한 이 점토는 지질학적 또는 지구화학적 과정의 산물이며,

그 생성은 암석으로부터의 풍화에 기인한다²²⁾.

암석이 풍화되어 점토가 되어도 점토에는 암석의 화학특성이 남아 있기 때문에 점토는 그 지역의 지반을 구성하는 암석의 화학특성을 반영한다. 즉, 토기의 바탕 흙에 있어서 화학특성상의 차이는 지역 차를 반영하는 것이다²²⁾.

그러므로 화학특성상 어떤 특별한 유형을 보여주면서 각 지역의 지질학적 특성을 반영하는 식별인자는 산지분류에 크게 기여할 수 있는 성분원소로 선정되어야 한다. 그러나 대부분 점토의 주성분을 이루고 있는 원소는 Si, Al, Fe, Ca, K, Na, Mg 등과 같은 것들이다.

각각의 점토산지로부터 이러한 주성분원소를 분석하여 비교해 보면 함량분포의 범위가 서로 겹치는 것들이 많아 점토를 산지별로 특성화하는데 적합하지 않다²²⁾. 그러므로 토기의 산지추정에는 주성분원소보다는 미량성분원소의 분석이 필요하다.

지금까지 수많은 토기와 점토의 산지추정에서 미량성분원소를 분석하여 그 함량 분포로부터 산지를 추정하는 것이 유용함이 입증되어 왔다⁷⁾.

그러나 미량성분원소의 함량으로부터 산지에 따른 분류를 하는데 어떠한 원소가 유효한지 판단할 수 있는 선형적인 기준은 없다. 그러므로 될 수 있으면 다수의 미량성분원소를 정량분석하여 산지별로 분류해야 하고, 어떠한 원소가 분류에 기여하는지는 전적으로 통계적 절차를 통하여 알 수 있으며, 어떠한 선형적 기준은 마련되어 있지 않다.

특히 토기와 같은 유물은 매우 불균질한 물질이고, 첨가제 등의 영향으로 미량성분원소의 농도가 변하므로, 이러한 자료의 편향성을 극복하는 방법은 다수의 원소를 분석하는 일이다²²⁾. 이러한 다수의 원소중 산지판별의 중심이 될 수 있는 성분원소는 평균, 표준편차, 변동계수를 구했을 때, 각 시료간에 평균의 차이가 크고 변동계수는 작은 원소들이다²³⁾.

그러므로 이번 통계분석은 중성자 방사화 분석을 통하여 Co, Rb, Sc, La, Hf, Yb, Cr, Lu, Ce, Sm, Nd, Ta, Ba, Cs, Eu 등 총 15개의 미량성분원소의 농도를 결정하여 이용하였다. 각 시료의 함량은 Table 4에 나타내었으며, 미량성분원소의

평균과 표준편차, 변동계수를 계산하여 Table 5에 나타내었다. 이 결과를 이용하여 각 도요지들간 미량성분원소들의 상관관계를 알아보았으며, 도요지별로 어떠한 관계가 있는지 알아보기 위하여 주성분분석 및 판별분석을 실시하였다.

1) 미량원소 분석

도 · 토기 편들 중 강원도에 속한 도요지는 5지역(철원군 문혜리, 평창군 미탄리, 원주시 미두리, 원주시 내미로리, 강릉시 성산면) 108점이었으며, 충청 남 · 북도에 속한 도요지는 3지역(청주시 가경동, 부여읍 정암리, 서산시 무장리) 71점이었다. 그러므로 강원도 및 충청 남 · 북도로 구분하여 각 도요지별로 어떠한 관계가 있는지 미량원소들을 중심으로 조사하였다.

태토의 미량원소에 의한 제작지의 구분은 지역에 따라 원료의 지질학적인 상태가 분명히 다를 경우에 가능하며, 분석된 미량원소 중에서 몇 개의 특성원소가 출토지 또는 지역간 특성인자로 작용하게 된다¹¹⁾.

또한 각 도요지별로 출토된 도 · 토기 편들은 출토구역별로 차이가 있으므로, 지질학적으로 차이가 있을 것이다. 그러므로 Table 5의 값 중에서 평균값의 차이가 있고, 표준편차 및 변동계수의 변화가 적은 미량원소가 각 도요지별로 구분할 수 있는 특성원소로 선정될 수 있을 것이다.

Figure 1과 2은 강원도와 충청남 · 북도 도요지에 대한 미량원소 평균함량을 비교한 그래프이다. 여기에서 강원도와 충청남 · 북도 모두 Nd, Ce, Cr, Ba, Rb 등의 원소함량이 지역적으로 많은 차이를 보이는 것을 알 수 있으며, 대부분의 원소에서 평균 농도가 유사하여 각 도요지별로 구분이 잘 되지 않았다. 그러므로 각 도요지별 평균치가 유사하고 변동계수가 작은 원소들을 분류하여 이 원소들을 특성원소로 채택하였다.

그 결과, 각 도요지별 토기편들의 사용원료에 대한 지질학적인 특성을 반영하는 원소로는 Sm, Cs, Sc, Eu, Hf 등이었다. 이는 다른 지역의 도요지에서 출토된 토기편들을 분석하여 위의 원소들의 농도와 비교하여 서로 다르게 나온다면 그 원소는 각 도요지별로 분류할 수 있는 특성원소가 될 수 있을 것이다.

Table 4-1. 미량원소 함량 데이터

번호	출토지	Ta	Nd	Sm	Eu	Ce	Lu	Cr	Yb	Hf	La	Ba	Cs	Sc	Rb	Co
1	강원도 철원군 문혜리	3.2	22	4.5	0.8	58	0.3	42	2.1	3.8	33	286	20.7	5.7	320	3.6
2		3.2	34	7.7	1.1	91	0.3	13	2.0	4.2	54	428	15.0	4.6	291	4.0
3		4.3	29	7.0	0.8	82	0.4	10	2.6	4.2	44	381	20.1	4.6	209	2.7
4		2.5	30	5.7	0.8	80	0.3	8	2.0	4.2	37	344	16.8	4.1	250	2.3
5		5.5	26	5.8	0.5	56	0.8	13	5.0	5.9	24	204	27.1	3.8	196	1.1
6		5.2	36	7.2	0.9	92	0.5	11	2.6	5.0	44	215	19.5	4.7	379	2.3
7		3.0	33	5.1	0.8	56	0.3	13	1.7	2.3	39	209	20.9	5.1	241	3.5
8		2.6	48	8.2	1.2	115	0.3	18	2.0	4.4	55	290	40.8	5.7	312	3.9
9		4.0	17	2.8	0.6	40	0.3	5	1.5	2.4	18	353	17.8	2.8	273	1.2
10		2.9	21	3.1	0.6	54	0.3	11	0.8	2.8	21	291	21.1	5.3	285	1.7
11		2.3	43	6.3	1.1	100	0.2	16	1.2	5.5	42	358	41.1	4.6	304	2.5
12		2.9	25	4.2	0.7	80	0.3	13	1.5	4.0	27	262	18.0	5.2	331	3.0
13		3.6	23	3.5	0.8	67	0.3	14	1.7	3.2	23	215	24.8	4.8	302	0.4
14		3.7	26	3.5	0.6	59	0.3	9	1.7	3.2	24	202	26.1	4.1	381	2.1
15		6.1	24	4.0	0.7	59	0.4	14	2.4	3.4	24	287	24.4	4.0	271	2.4
16		3.3	35	6.0	1.1	72	0.5	14	3.5	3.7	35	121	33.3	5.2	256	3.2
17		3.4	31	5.0	0.9	91	0.3	11	1.9	4.2	31	327	20.3	3.8	283	2.4
18		3.5	32	4.8	0.9	88	0.3	16	3.3	2.3	31	281	23.3	4.7	338	3.0
19		3.6	61	10.6	1.7	164	0.4	13	1.7	5.2	62	428	34.4	4.2	321	3.2
20	강원도 평창군 미탄리	2.7	31	9.4	1.2	63	0.7	9	3.7	4.2	25	202	8.5	4.6	262	1.0
21		2.2	50	9.5	1.5	88	0.7	10	3.7	4.5	45	403	11.3	5.2	264	0.6
22		2.2	31	9.5	1.2	59	0.7	9	4.1	3.9	25	256	9.6	4.3	241	0.7
23		1.6	37	5.0	1.0	110	0.4	15	2.0	4.7	40	323	10.5	6.4	259	2.3
24		1.6	30	4.8	0.8	86	0.4	10	2.5	4.3	32	349	8.0	4.7	229	1.1
25		2.0	25	4.9	0.6	58	0.5	8	3.0	4.3	20	237	8.9	4.1	212	2.2
26		1.7	30	5.0	1.0	96	0.3	4	2.4	3.9	31	317	8.3	4.8	256	0.7
27		1.8	38	5.3	1.2	118	0.3	6	2.1	4.2	40	406	7.8	5.3	271	0.9
28		2.1	40	5.9	1.3	118	0.5	11	2.5	4.8	41	366	10.0	6.6	306	1.3
29		2.0	25	4.9	0.8	64	0.5	8	2.5	3.7	23	226	7.5	4.4	219	0.5
30		2.3	62	7.7	1.6	183	0.5	9	2.3	5.8	63	298	11.6	7.7	258	1.7
31		1.8	78	13.4	1.6	184	0.6	13.1	3.5	5.8	131	770	14.7	8.2	330	1.8
32		2.3	83	12.8	1.5	177	0.6	9.1	3.4	5.4	126	572	15.1	7.8	300	2.2
33		2.3	64	14.1	1.5	147	0.8	13.0	5.1	5.7	94	778	13.1	7.3	334	1.3

Table 4-2. 미량원소 함량 데이터

번호	출토지	Ta	Nd	Sm	Eu	Ce	Lu	Cr	Yb	Hf	La	Ba	Cs	Sc	Rb	Co	
34	강원도 평창군 미탄리	2.9	45	12.4	1.0	62	0.8	7.9	4.0	5.2	39	304	12.4	4.7	293	1.2	
35		2.4	76	15.0	1.8	161	0.9	6.7	3.9	6.2	101	511	9.1	7.6	328	0.3	
36	강원도 원주시 미두리	1.6	48	7.1	1.3	107	0.4	14.1	1.7	4.9	59	1104	17.7	5.1	234	3.0	
37		1.6	46	7.1	1.3	112	0.3	15.9	1.8	5.6	59	1280	27.0	5.7	239	3.4	
38		1.6	43	7.0	1.3	106	0.4	12.1	1.8	5.3	59	1185	17.4	5.1	225	3.4	
39		1.5	46	7.3	1.3	107	0.4	12.6	1.7	4.8	60	1197	18.1	5.1	241	2.8	
40		1.3	42	5.4	1.2	101	0.5	10.0	2.0	4.5	45	1092	17.7	5.1	243	2.8	
41		1.2	39	5.1	0.6	97	0.3	12.5	1.5	4.5	42	1276	16.6	4.7	222	3.4	
42		1.6	38	5.0	1.3	119	0.3	21.3	1.8	7.0	43	1062	18.4	7.5	243	6.7	
43		1.7	38	4.8	1.1	98	0.4	82.9	1.7	5.6	36	828	26.6	8.1	195	7.1	
44		1.6	48	5.7	1.2	127	0.3	25.0	1.9	6.4	46	982	16.4	7.5	265	5.1	
45		1.8	45	5.9	1.5	120	0.4	29.7	1.9	6.6	44	1067	15.4	8.0	265	6.0	
46		1.3	51	5.2	1.2	113	0.3	10.0	1.4	5.3	42	1164	23.3	4.9	270	3.6	
47		1.5	45	5.0	1.3	127	0.3	30.5	1.5	7.5	42	1194	22.8	7.8	261	7.0	
48		2.0	45	5.4	1.3	122	0.4	30.3	2.5	7.1	39	1008	15.6	9.3	262	7.4	
49		2.7	40	5.5	1.1	111	0.5	20.6	3.0	6.6	31	1028	22.4	9.0	340	5.1	
50		1.7	42	4.8	1.4	118	0.4	29.7	2.0	7.0	39	978	14.7	9.1	243	7.4	
51		강원도 삼척시 내미로리	1.5	45	5.0	1.3	113	0.3	16.0	1.4	5.7	161	1109	28.7	5.0	216	2.7
52			2.1	208	23.9	1.3	409	1.3	30.5	6.4	11.7	131	196	5.9	8.1	171	6.7
53			1.8	166	19.6	1.2	343	1.1	39.1	5.7	11.2	115	247	6.1	8.0	153	7.7
54	2.1		197	17.8	1.1	37	1.2	27.4	5.5	11.2	83	278	4.7	7.5	118	5.3	
55	1.7		133	13.6	1.0	306	1.0	26.5	5.5	11.2	86	467	6.0	7.8	138	6.9	
56	2.3		58	4.9	1.4	136	0.7	88.5	3.3	8.9	31	378	12.1	16.3	139	7.3	
57	1.6		183	17.7	1.3	379	1.1	31.8	5.8	11.3	113	389	4.3	7.8	162	5.1	
58	2.0		183	17.0	1.2	360	1.1	21.9	6.0	11.4	106	362	6.0	7.8	174	6.3	
59	2.1		48	4.1	1.3	117	0.6	85.2	2.9	8.4	27	373	11.3	15.8	134	5.5	
60	1.9		179	16.5	1.1	376	1.1	30.6	4.1	10.7	106	217	5.9	8.0	167	9.5	
61	1.7		144	34.1	1.3	410	1.1	31	9.8	10.8	249	414	7.1	8.5	131	5.6	
62	1.7		139	31.3	1.2	408	1.1	32	7.8	10.6	232	180	4.9	7.7	128	4.2	
63	1.8		142	31.2	1.2	392	1.0	24	9.1	11.2	212	314	5.6	7.5	131	6.8	
64	1.9		64	13.5	0.6	213	1.0	28	7.9	11.4	105	195	5.4	7.5	114	3.4	
65	1.8		158	32.5	1.3	407	1.1	30	8.4	11.7	257	114	6.2	7.6	113	6.0	
66	1.5		134	28.5	1.1	352	1.0	33	8.3	10.8	213	233	4.6	7.8	113	4.7	

Table 4-3. 미량원소 함량 데이터

번호	출토지	Ta	Nd	Sm	Eu	Ce	Lu	Cr	Yb	Hf	La	Ba	Cs	Sc	Rb	Co
67	강원도 삼척시 내미로리	1.7	151	33.1	1.2	418	1.1	35	8.4	11.2	264	55	4.1	6.9	128	5.0
68		2.0	144	31.3	1.3	415	1.0	27	9.4	10.8	217	343	5.0	7.4	132	5.3
69		2.1	155	35.1	1.4	468	1.1	33	7.5	10.9	259	292	5.9	7.5	118	4.1
70		1.7	165	32.6	1.4	442	1.2	27	9.3	11.7	250	189	5.1	7.3	110	5.1
71		1.8	141	28.4	1.1	367	1.2	34	8.0	11.8	211	74	6.5	8.2	132	3.9
72		1.7	115	25.2	1.1	355	1.0	32	8.7	9.7	205	339	6.2	7.1	122	5.8
73		1.8	95	20.4	0.9	323	0.9	23	7.1	10.3	157	138	4.3	6.7	133	3.6
74		2.0	134	24.2	1.2	400	1.0	32	6.1	11.2	192	306	5.2	7.2	115	5.5
75		1.9	149	25.2	1.2	383	0.9	31	7.4	11.0	173	314	3.9	7.3	123	5.1
76		2.1	146	25.3	1.4	427	1.1	25	7.9	12.4	180	359	4.6	7.2	109	4.3
77		2.1	118	21.0	1.0	363	1.0	28	7.1	11.0	161	917	6.4	7.4	107	7.8
78		1.7	136	25.1	0.9	419	0.9	28	6.9	10.6	190	233	4.0	6.5	116	2.9
79		2.1	72	13.6	1.3	235	0.7	33	5.6	10.0	117	492	9.3	10.0	157	8.4
80		1.9	152	29.8	1.4	415	1.1	29	6.2	10.6	216	323	4.4	7.4	120	6.2
81		1.3	21	5.0	0.7	56	0.2	14	1.3	2.8	35	368	10.0	4.1	181	3.4
82		2.0	149	28.2	1.3	392	1.2	31	8.2	11.6	232	247	5.2	8.1	133	5.7
83		1.7	156	30.1	1.4	417	1.2	34	7.8	11.7	227	341	4.0	7.2	145	5.5
84		2.1	143	29.4	1.4	424	1.1	34	7.3	11.3	239	280	5.1	7.7	120	5.7
85		2.1	83	18.1	1.5	292	0.8	64	5.2	9.1	147	835	10.1	14.3	154	6.9
86		2.1	152	28.3	1.3	404	1.1	31	7.6	11.0	202	174	3.9	7.3	113	5.3
87	1.8	123	22.7	1.0	442	0.9	24	6.3	11.4	158	359	4.8	7.2	136	3.7	
88	1.7	155	28.3	1.3	432	1.1	32	8.9	11.0	230	211	5.4	6.9	126	4.4	
89	1.8	136	27.3	1.3	435	1.1	33	8.0	11.6	205	381	4.8	8.0	110	4.5	
90	1.8	153	30.0	1.3	410	1.1	35	7.5	11.3	204	354	3.3	7.4	118	4.5	
91	1.4	30	4.4	0.8	83	0.1	9	0.9	4.7	43	574	21.1	3	308	2.0	
92	강원도 강릉시 보광리	1.5	45	6.5	1.8	112	0.5	109	2.9	10.2	44	644	11.3	14	114	4.6
93		1.7	41	6.1	1.6	107	0.5	100	3.0	9.6	43	1030	10.6	14	96	6.6
94		1.7	45	7.7	2.1	128	0.6	111	3.9	9.2	50	916	9.7	14	102	6.1
95		1.7	41	6.2	1.7	109	0.5	105	4.0	9.9	45	896	13.4	15	116	6.5
96		1.4	46	7.0	1.8	112	0.5	106	3.6	9.5	48	951	11.7	13	76	5.1
97		1.6	52	7.7	2.2	133	0.6	122	3.7	10.0	53	636	10.9	15	106	4.8
98		1.7	43	6.7	1.9	110	0.5	103	2.7	8.0	44	535	11.7	15	158	6.2
99		1.6	47	6.7	1.9	110	0.5	112	3.2	8.7	44	749	14.1	16	123	5.9

Table 4-4. 미량원소 함량 데이터

번호	출토지	Ta	Nd	Sm	Eu	Ce	Lu	Cr	Yb	Hf	La	Ba	Cs	Sc	Rb	Co
100	강원도 강릉시 보광리	1.7	50	6.9	2.0	126	0.6	109	3.3	10.5	50	659	9.8	14	142	5.2
101		1.6	42	5.7	1.6	105	0.5	91	3.5	10.3	41	678	9.5	14	123	5.6
102		1.6	44	6.3	1.9	110	0.5	109	3.5	8.8	42	726	13.1	15	108	5.9
103		1.6	46	6.7	2.0	122	0.5	115	3.0	10.3	44	806	11.9	13	106	5.6
104		1.5	44	6.1	1.6	105	0.4	93	3.5	9.6	38	557	9.1	14	102	5.8
105		1.7	40	5.5	1.7	100	0.4	111	2.6	9.2	39	936	10.8	14	112	5.9
106		1.8	38	6.2	1.8	120	0.5	102	3.6	10.8	41	929	10.7	13	98	5.7
107		1.5	44	4.5	1.3	105	0.6	110	2.3	10.2	30	777	12.2	15	120	7.0
108		1.5	31	5.6	1.1	87	0.3	62	2.5	8.8	41	1129	8.0	10	168	15.2
109		2.0	49	10.0	2.0	130	0.5	109	3.0	7.6	73	1100	11.5	18	144	6.1
110	충북 청주시 가경동	1.5	64	11.4	2.0	149	0.6	101	3.8	7.4	89	1017	11.2	17	161	6.8
111		1.4	58	11.7	2.2	153	0.6	122	3.8	8.8	79	1042	13.3	18	166	12.6
112		1.7	61	11.6	2.1	155	0.5	91	3.4	8.6	84	942	13.9	17	166	9.2
113		2.0	59	11.4	2.3	160	0.6	83	4.2	8.0	80	1057	10.4	17	159	9.8
114		2.0	55	10.4	2.1	137	0.5	103	3.0	7.6	71	771	13.7	18	154	13.4
115		1.4	57	9.9	2.0	144	0.6	112	3.2	8.6	76	1362	9.6	18	116	5.8
116		1.6	44	8.1	1.8	109	0.5	105	3.5	7.4	52	811	12.5	17	144	9.3
117		1.7	53	9.3	1.9	129	0.5	108	2.6	8.6	67	717	10.6	18	191	11.3
118		1.5	47	7.3	1.4	70	0.5	88	2.8	6.0	58	857	14.9	17	121	6.8
119		1.1	46	8.0	1.7	74	0.4	95	2.7	6.1	67	1268	14.4	17	146	7.9
120		1.3	57	7.7	1.5	81	0.4	95	3.4	4.9	58	1009	14.3	17	149	7.4
121		1.6	60	50.9	1.9	118	0.9	109	8.2	10.6	122	872	9.0	18	197	12.2
122		1.7	75	59.1	2.2	129	0.9	118	8.5	9.7	492	692	9.2	19	178	18.3
123		2.0	58	44.6	1.7	121	0.8	113	6.5	8.0	366	1060	10.9	18	150	9.8
124		2.5	49	38.4	1.7	121	0.8	201	6.2	7.9	359	753	7.3	20	176	18.0
125		2.3	72	58.5	2.5	163	1.1	106	7.9	11.5	553	847	9.1	17	207	15.2
126		1.9	74	57.0	2.5	167	0.8	131	5.6	9.9	510	831	9.1	18	150	8.1
127		1.6	56	40.9	1.9	117	0.9	106	5.7	9.0	333	830	9.5	18	139	14.1
128		1.6	51	35.5	1.7	141	0.7	132	5.4	6.4	392	729	8.0	18	150	12.5
129		1.9	60	43.7	1.7	122	0.7	107	7.5	8.7	338	773	7.0	16	188	13.4
130	1.7	65	47.3	2.0	136	1.1	105	9.8	11.9	395	723	11.1	19	158	16.1	
131	충남부여읍 정암리	1.3	59	44.0	1.8	138	1.0	105	6.7	8.9	366	784	10.3	16	191	13.4
132	정암리	2.0	57	17.3	1.8	129	0.7	96	3.9	7.8	115	733	8.3	16	169	13.3

Table 4-5. 미량원소 함량 데이터

번호	출토지	Ta	Nd	Sm	Eu	Ce	Lu	Cr	Yb	Hf	La	Ba	Cs	Sc	Rb	Co
133	충남 부여읍 정암리	1.6	48	12.1	1.6	108	0.6	134	3.6	8.8	97	468	6.0	16	114	10.2
134		1.2	43	15.7	1.9	127	0.7	172	3.7	9.0	126	622	8.8	20	129	12.8
135		1.4	37	12.0	1.3	103	0.5	87	3.1	7.9	88	440	6.4	15	154	12.1
136		1.4	32	8.8	0.8	70	0.4	75	2.6	7.2	63	542	8.5	13	181	8.3
137		1.7	56	14.4	1.7	130	0.6	99	3.8	8.8	108	558	8.7	16	166	13.2
138		1.3	37	10.9	1.2	93	0.6	86	3.4	8.5	80	524	6.8	15	154	8.5
139		1.5	51	16.8	1.4	134	0.6	91	3.3	8.3	111	523	6.7	15	134	9.6
140		1.8	49	14.9	1.7	126	0.5	95	3.0	8.6	99	438	8.5	16	172	12.5
141		1.7	32	10.8	1.2	87	0.6	90	2.7	7.6	74	445	5.7	13	151	7.8
142		1.8	48	13.2	1.6	111	0.5	88	3.5	8.1	89	615	9.0	16	175	14.3
143		1.9	44	11.1	1.6	116	0.6	98	3.1	9.8	76	609	6.6	16	159	13.1
144		1.8	42	9.8	1.3	108	0.5	123	2.8	8.1	64	569	4.9	13	161	10.0
145		1.7	47	12.2	2.0	134	0.5	73	3.1	8.8	97	666	8.1	13	150	6.7
146		1.5	48	10.3	1.4	118	0.5	86	2.8	9.3	69	486	8.2	14	153	11.4
147		1.4	53	11.4	2.0	136	0.5	75	1.8	11.4	90	929	6.4	12	125	7.4
148		1.5	48	11.9	2.0	107	0.7	96	4.1	7.3	77	731	11.4	19	161	8.5
149		1.3	47	11.2	1.5	126	0.5	95	3.2	9.0	69	582	8.8	16	159	10.3
150		2.0	33	9.0	1.5	97	0.6	141	3.0	5.6	52	602	11.0	20	190	14.6
151		2.1	46	9.4	1.9	113	0.6	189	4.2	5.4	83	689	12.0	19	173	14.0
152		1.5	34	6.9	1.4	86	0.5	154	2.7	7.3	35	811	7.5	15	108	11.0
153	충남 서산시 무장리	2.2	34	7.8	1.8	113	0.5	144	2.4	5.9	55	628	11.8	20	172	14.4
154		2.3	34	6.6	1.5	96	0.5	120	1.7	6.7	51	740	12.1	16	179	16.8
155		2.3	49	6.2	1.3	82	0.5	130	3.4	5.7	42	725	11.1	18	138	12.3
156		1.7	41	6.9	1.7	102	0.5	163	3.3	6.3	40	1027	12.6	19	167	13.9
157		1.7	63	8.0	2.0	119	0.5	139	3.9	5.3	54	482	12.1	20	156	12.8
158		1.4	53	8.7	1.9	116	0.6	136	4.1	8.3	85	893	13.6	18	153	11.9
159		1.9	49	6.2	1.7	105	0.5	186	3.8	6.2	48	490	15.2	19	176	11.9
160		1.5	46	7.5	1.8	112	0.5	128	2.0	5.0	55	585	11.9	17	138	15.0
161		2.4	58	8.1	1.8	111	0.6	130	3.9	7.7	69	915	12.2	16	110	10.7
162		1.6	39	5.2	1.5	93	0.5	149	3.1	4.8	37	296	9.7	18	144	12.4
163		1.4	47	6.2	1.5	99	0.5	129	2.6	5.3	46	703	9.4	17	148	13.9
164		1.5	44	7.0	1.9	119	0.5	131	3.5	5.5	47	560	12.4	19	158	15.0
165		1.4	41	5.2	1.3	79	0.4	149	2.6	9.0	52	594	6.8	14	115	14.5

Table 4-6. 미량원소 함량 데이터

번호	출토지	Ta	Nd	Sm	Eu	Ce	Lu	Cr	Yb	Hf	La	Ba	Cs	Sc	Rb	Co
166	충남 서산시 무장리	1.8	42	5.7	1.6	91	0.5	131	4.0	6.4	37	598	8.7	15	140	11.2
167		1.3	47	6.7	1.7	110	0.5	168	2.5	6.6	35	918	12.4	18	215	14.6
168		2.7	56	7.6	2.0	113	0.7	117	3.5	9.1	68	489	12.6	22	160	10.0
169		1.6	57	10.0	1.9	122	0.6	128	3.7	5.5	65	708	12.4	19	147	14.2
170		2.1	65	8.8	2.5	129	0.7	122	6.1	8.1	64	678	11.9	17	135	8.7
171		1.3	54	7.6	2.0	103	0.5	143	2.5	8.5	60	84	6.6	16	117	9.9
172		3.1	46	8.7	1.9	110	0.7	103	3.6	8.2	65	547	10.9	21	139	9.5
173		2.1	53	7.9	2.0	120	0.6	103	4.0	7.3	64	600	14.7	17	174	7.9
174		1.2	38	5.9	2.0	105	0.5	138	3.4	9.0	66	682	10.2	16	126	9.9
175		1.8	44	7.1	1.9	107	0.5	119	3.1	7.5	57	684	12.7	17	165	18.3
176		1.4	46	7.8	2.1	94	0.5	141	3.4	8.0	53	624	9.2	16	131	9.3
177		1.6	51	5.6	1.9	105	0.6	121	3.3	7.1	44	576	11.4	17	138	14.6
178		1.6	53	7.7	2.1	112	0.5	119	3.8	6.6	56	1150	11.5	17	177	20.1
179		1.5	52	6.8	2.0	114	0.5	102	3.4	6.9	56	1166	11.4	17	168	18.7

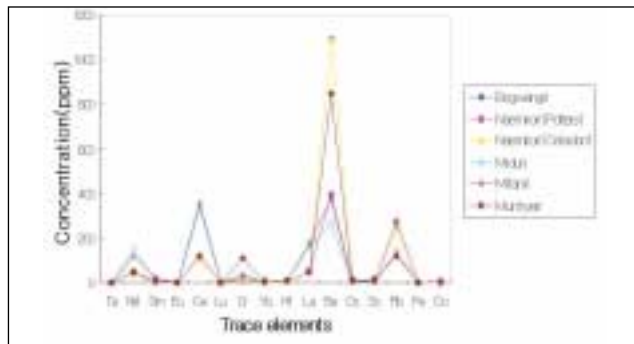


Fig. 1.
강원도 도요지별
평균 미량원소 분포도

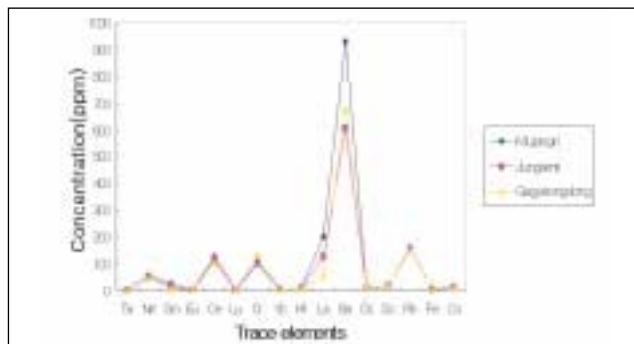


Fig. 2.
충청남·북도 도요지별
평균 미량원소 분포도

Table 5. 미량성분원소의 평균, 표준편차, 변동계수

(강원도)

출토지		Sm	Yb	Cr	La	Ba	Cs	Sc	Rb	Ta	Eu	Nd	Ce	Lu	Hf	Co
철원군 문혜리	평균	5.5	2.2	14	35	289	25	4.6	292	3.6	0.9	31	79	0.4	3.9	2.6
	표준편차	2.0	1.0	7.3	12	82	7.7	0.7	50	1.1	0.3	10	28	0.1	1.0	1.0
	변동계수	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4
평창군 미탄리	평균	8.7	3.2	9.3	55	395	10	5.9	273	2.1	1.2	47	111	0.6	4.8	1.2
	표준편차	3.8	0.9	2.7	37	178	2.4	1.5	39	0.4	0.3	20	47	0.2	0.8	0.6
	변동계수	0.4	0.3	0.3	0.7	0.5	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.5
원주시 미두리	평균	5.7	1.8	23	53	1097	20	6.7	248	1.6	1.2	44	112	0.4	5.9	4.8
	표준편차	0.9	0.4	18	30	119	4.5	1.7	32	0.3	0.2	3.7	9.5	0.1	1.0	1.9
	변동계수	0.2	0.2	0.8	0.6	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4
삼척시 내미로리 (토기)	평균	23	7.0	36	163	265	6.1	8.5	135	1.9	1.2	145	338	1.1	11	5.7
	표준편차	9.8	2.0	18	80	115	2.0	2.6	20	0.2	0.2	43	118	0.2	0.9	1.5
	변동계수	0.4	0.3	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3
삼척시 내미로리 (자기)	평균	23	6.6	30	176	3771	6.3	7.4	137	1.8	1.2	121	355	1.0	10	5.1
	표준편차	7.6	2.1	10	57	198	4.0	2.1	44	0.2	0.2	41	111	0.3	2.4	1.6
	변동계수	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.3	0.3	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
강릉시 보광리	평균	6.4	3.2	104	43	797	11	14	116	1.6	1.8	43	112	0.5	9.6	6.3
	표준편차	0.8	0.5	13	5.3	171	1.6	1.3	23	0.1	0.3	4.7	11	0.1	0.8	2.4
	변동계수	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4

(충청남·북도)

출토지		Sm	Yb	Cr	La	Ba	Cs	Sc	Rb	Ta	Eu	Nd	Ce	Lu	Hf	Co
청주시 가경동	평균	25	4.7	111	199	928	11	18	158	1.7	2.0	57	129	0.7	8.1	11
	표준편차	20	2.0	25	181	183	2.3	1.0	23	0.3	0.3	9.0	28	0.2	1.6	3.7
	변동계수	0.8	0.4	0.2	1.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4
부여읍 정암리	평균	17	3.9	99	128	608	7.9	16	157	1.6	1.6	48	117	0.6	8.8	11
	표준편차	12	1.9	22	101	132	1.7	2.0	20	0.2	0.3	8.8	18	0.2	1.2	2.6
	변동계수	0.7	0.5	0.2	0.8	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2
서산시 무장리	평균	7.3	3.4	136	55	675	11	18	152	1.8	1.8	47	106	0.5	6.8	13
	표준편차	1.2	0.8	21	13	224	2.0	1.8	25	0.5	0.3	8.4	12	0.1	1.3	3.0
	변동계수	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2

2) 판별분석

판별분석은 Ronald Fisher에 의해 처음 도입된 통계적 기법으로, 종속변수를 D라 하고 독립변수를 X_1, X_2, X_3, \dots 이라 하면 이들 독립변수들의 선형결합은 다음 수식과 같이 표현될 수 있으며, 이를 판별함수라 한다. 판별변수의 값들을 대입하면 이에 대한 판별점수(D의 값)를 구할 수 있고, 이 판별점수에 의하여 집단을 구분하게 되는 방법이다²⁴⁾.

$$D = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \dots + \beta_pX_p$$

(D: 판별점수, β_0 : 판별상수, β_1, \dots, β_p : 판별함수계수)

강원 및 충청 남·북도 지역에 분포하고 있는 각 도요지별 도 · 토기 시료들을 판별분석한 결과는 Table 6과 7에 나타내었다.

Table 6은 강원도 도요지들의 판별함수에 포함된 변수들을 보여주고 있다. Wilks 람다가 1이면 이것은 관측된 집단의 평균이 동일하다는 것을 의미하고, 이 값이 0에 가까우면 집단내의 분산이 총분산에 비해 적기 때문에 집단평균간에는 차이가 있다는 것을 나타낸다. 그러므로 Tabel 6에서 보여지듯이 Wilks 람다 값이 모두 0에 가깝기 때문에 총분산이 적고, 집단평균간에 차이가 있다는 것을 알 수 있으며, 유의성이 0.05보다 크면 집단간에는 차이가 없는 것으로 간주한다²⁴⁾. 그러므로 강원도와 충청남 · 북도의 경우 모든 도요지가 집단간의 차이가 커 잘 분류된다는 것을 의미한다.

또한 판별함수의 정준상관관계에서 보여주듯이 강원도의 경우 함수 5를 제외한 나머지 함수가 모두 0.8이상으로 상당히 큰 값을 보이고 있으며, 충청남 · 북도의 정준상관관계 역시 0.8이상의 값을 보이는데 이는 판별점수와 집단들간의 관련의 정도를 나타내는 것으로서, 이 값이 클수록 판별력이 뛰어나다.

Table 6. 도출된 정준판별함수

(강원도)

함수	고유치	정준상관	Wilks 람다	카이제곱	자유도	유의도
1	17.379	0.972	0.000	783.164	80	0.000
2	8.142	0.944	0.005	503.686	60	0.000
3	4.027	0.895	0.048	291.247	42	0.000
4	2.169	0.827	0.242	136.220	26	0.000
5	0.304	0.483	0.767	25.492	12	0.013

(충청남·북도)

함수	고유치	정준상관	Wilks 람다	카이제곱	자유도	유의도
1	4.083	0.896	0.073	158.312	32	0.000
2	1.693	0.793	0.371	59.946	15	0.000

Table 7. 도요지별 함수 중심점

(강원도)

도요지 함수	철원군 문혜리	평창군 미탄리	원주시 미두리	삼척시 내미로리 (토기)	삼척시 내미로리 (자기)	성산면 보광리
함수 1	-6.086	-3.365	-0.265	1.613	1.224	6.880
함수 2	1.046	0.571	3.324	-3.923	-2.810	3.087
함수 3	2.948	-2.982	-2.003	0.227	-0.285	1.466
함수 4	0.012	-2.343	2.511	0.175	0.668	-1.164
함수 5	-0.016	-0.000001	0.226	0.797	-0.935	-0.032

(충청남·북도)

도요지 함수	청주시 가경동	부여읍 정암리	서산시 무장리
함수 1	-0.674	-2.460	2.172
함수 2	1.987	-1.163	-0.511

Table 8은 판별식이 실제의 집단을 얼마나 잘 분류해 주었는가를 나타내는 분류 표로서, 각 집단간 분류의 지표가 되는 Hit Ratio가 강원도의 경우 92.6%, 충청

남 · 북도의 경우 95.8%로서 상당히 높으므로 각 집단간 분류가 잘 이루어짐을 볼 수 있다.

Figure 3과 4는 위의 판별함수를 이용하여 구한 각 도요지별 판별집수에 대한 그래프이다. 강원도의 경우 각 도요지별로 크게 5개의 집단인 철원군 문혜리, 평창군 미탄리, 원주시 미두리, 원주시 내미로리(토기, 자기), 강릉시 보광리의 그룹으로 나누어짐을 알 수 있다.

이러한 결과에서 중요한 것은 원주시 내미로리의 경우 토기와 자기가 같은 그룹으로 형성되는 것으로 보아 서로 지질학적 연관성을 가지고 있다는 것이며, 철원군 문혜리와 평창군 미탄리는 광역 지질학적인 연관성이 있을 수 있다는 것을 알 수 있다.

또한 충청남 · 북도의 경우 청주시 가경동과 부여읍 보광리, 서산시 무장리가 서로 독립된 별개의 지질학적 특성을 지녔음을 알 수 있다.

Table 8. 도요지별 집단 분류표

(강원도)

실제집단	표본수	예측집단(%)					
		1	2	3	4	5	6
철원군 문혜리	19	19 (100%)	0	0	0	0	0
평창군 미탄리	16	0	16	0 (100%)	0	0	0
원주시 미두리	16	0	0	16 (100%)	0	0	0
내미로리(토기)	20	0	0	0	17 (85%)	3 (15%)	0
내미로리(자기)	20	0	1 (5%)	1 (5%)	3 (15%)	15 (75%)	0
성산면 보광리	17	0	0	0	0	0	17 (100%)

*정확하게 분류된 표본비율(Hit Ratio) = 92.6%

(충청남 · 북도)

도요지	표본수	예측집단(%)		
		1	2	3
청주시 가경동	20	18 (90%)	0 (10%)	2
부여읍 정암리	21	1 (4.8%)	20	0 (95.2%)
서산시 무장리	30	0	0	30 (100%)

*정확하게 분류된 표본비율(Hit Ratio) = 95.8%

Fig. 3.
강원도 도요지별 도·토기의
선형판별분석 결과

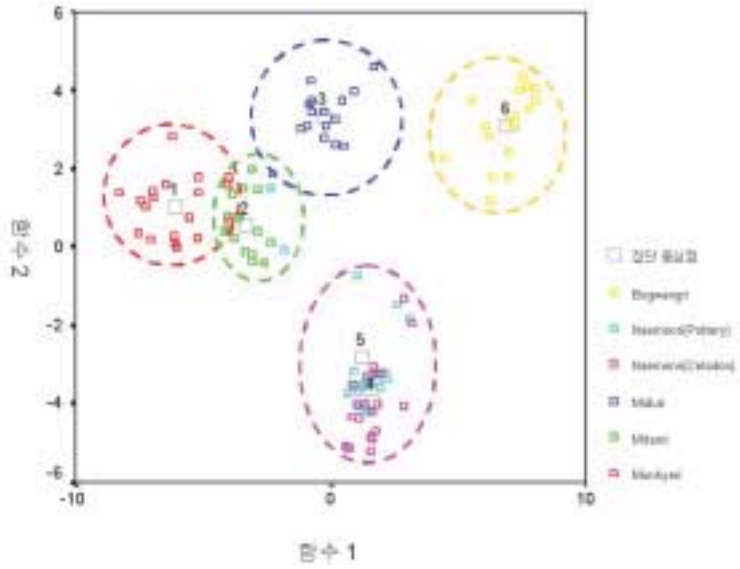
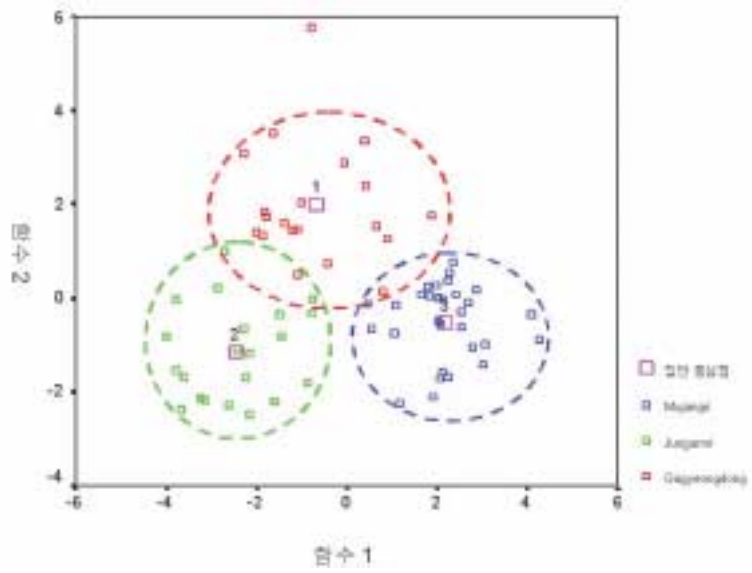


Fig. 4.
충청남·북도 도요지별
도·토기의 선형판별분석 결과



IV. 결론

강원도와 충청 남 · 북도 도요지 출토 도 · 토기 시료 179점에 대한 결정구조, 소성온도 및 각 도요지별 원료성분의 동질성을 밝혀 보았다. 출토지별 미량원소의 함량 특성화작업에 의한 판별은 한정된 시료수로 전체적인 대표성을 논하는 것은 다소 무리가 따르는 것으로 판단되나 이번 분석은 시료 179점에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. X-선 회절 분석결과, 연질토기편들은 대체로 α -Quartz와 Feldspar, 그리고 점토질 광물들로 구성되어 있었다. 그러나 일부 토기 편들은 Mullite와 고온 결정상인 Tridymite와 Cristobalite가 공존하는 토기편들이 존재하였다.

2. X-선 회절 분석 결과를 통하여 각 토기편들의 소성온도를 추정해보면, 토기편들의 경우 대부분에서 Mullite, Tridymite, Cristobalite와 같은 고온결정상이 보이지 않는 것으로 보아 소성온도는 약 870℃ 이하임을 추측할 수 있다. 또한 일부 토기편과 내미로리 자기편들의 경우 고온결정상인 Mullite와 Tridymite, Cristobalite가 공존하는 것으로 보아 870℃이상 1200℃이하에서 소성되었을 것으로 추정할 수 있다.

3. 미량원소의 평균 및 표준편차, 변동계수를 산출하여 각 도요지별로 특성화시킬 수 있는 원소를 조사하여 본 결과 강원도, 충청남 · 북도에서 동일하게 Ce, Lu, Eu, Cs, Sc 등 5원소가 지질학적으로 특성화시킬 수 있는 원소로 판명되었다.

4. 강원도 지역의 도요지 판별분석 결과 각 도요지는 크게 5개의 집단인 철원군 문혜리, 평창군 미탄리, 원주시 미두리, 원주시 내미로리(토기, 자기), 강릉시 보광리로 나누어졌으며, 원주시 내미로리의 경우 토기와 자기가 같은 지질학적 연관성

을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 충청남·북도의 경우 크게 3개의 집단인 청주시 가경동과 부여읍 보광리, 서산시 무장리로 나누어졌고, 이는 서로 독립된 별개의 지질학적 특성을 지녔음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 이성주, 1988, 삼국시대 전기 토기의 연구, *한국상고사학보*, 1: 93-187.
2. 강경인, 정창주, 1997, 전남지역에서 출토된 고대 도자기의 태토 조성파 소성 온도, *보존과학회지*, 6: 15-30.
3. 최몽룡, 1996, 고고학과 토기분석, *고고학과 자연과학*, 서울대학교출판부: 63-70.
4. 김양옥, 1976, 한반도 철기시대 토기의 연구, *백산학보*, 20: 123-213.
5. Choi Mong-Lyong, 1981, Analyses of 'Plain Coarse Pottery' from Cholla Province, and the Implication for Ceramic Technology and so-called 'Yongsan River Valley Culture Area', *한국고고학보*, 10 · 11: 261-276, .
6. 이철, 김낙배, 김성배, 박혜일, 1977, 방사화분석에 의한 한국산 고대토기의 분류, *미술자료*, 21: 41-46.
7. 유혜선, 이수영, 강형태, 1994, 고대토기의 물리 및 화학적 특성에 의한 분류, *한국상고사학보*, 17: 521-550.
8. 최몽룡, 강형태, 신숙정, 1996, 미사리 출토 토기의 과학적 분석(Ⅱ), *고고학과 자연과학*, 서울대학교출판부: 245-285.
9. 최몽룡, 이영문, 정창주, 강경인, 1993, 전남 승주 · 여천지역 무문토기 의 과학적 분석, *한국상고사학보*, 14: 169-187.
10. 이희수, 박충래, 신숙정, 1996, 조선시대 토기의 성분분석, *고고학과 자연과학*, 서울대학교출판부: 407-441.
11. 강경인, 2000, 오창상대리 · 상평리 유적에서 출토된 토기의 자연과학적 분석, *청원오창유적(Ⅳ)*: 465-502.
12. 三辻利一, 1980, 土器の微量成分と産地推定: 放射化分析法, *考古學と美術史の自然科學的研究*: 418-427.

13. 三辻利一, 1980, 胎土分析による土器の産地推定: 螢光X線法, 考古學・美術史の自然科學的研究: 408-417.
14. 三辻利一, 1983, 古代土器の産地推定法, ニュー・サイエンス社.
15. 三辻利一, 1991, 朝鮮三國時代陶質土器の研究, 由良大和古代文化研究協會: 99-144.
16. 三辻利一, 1993, 大庭寺遺跡出土硬質土器の螢光X線分析, 陶邑・大庭寺遺跡Ⅲ: 146-149.
17. 三辻利一, 1995, 大庭寺遺跡TG231・232 窯出土初期須惠器の螢光X線分析, 陶邑・大庭寺遺跡Ⅲ: 343-358.
18. 長友恒人, 1980, 向遺跡出土土器の材質, 考古學・美術史の自然科學的研究: 403-406.
19. 二宮修治, 榊原雄太郎, 1984, 土器・陶磁器類の焼成溫度に關する基礎的研究, 考文化財の自然科學的研究: 222-232.
20. 東村武信, 1990, 考古學と物理化學, 學生社: 84-186.
21. 최몽룡, 이동영, 신숙정, 1996, 미사리 유적의 지질과 출토 토기의 분석(Ⅲ), 고고학과 자연과학, 서울대학교출판부: 287-338.
22. 최몽룡, 이철, 강형태, 이성주, 1996, 고대 유물 산지의 연구, 고고학과 자연과학, 서울대학교출판부: 97-162.
23. 河島達郎, 上西時司, 伊藤誠, 1985, 中性子放射化分析による惠那および多治見地區古窯出土品の分別, 考古學と自然科學, 日本文化財科學會, 18: 39-49.
24. 정충영, 최이규, 1998, SPSSWIN을 이용한 통계분석, 무역경영사: 360-388.