

중성자 방사화분석에 의한 5세기 옹관의 산지 연구

정광용 · 강대일* · 이정호**

대전보건대학, *한국전통문화학교, **동신대학교

A provenance study on 5th century jar coffin using neutron activation analysis

Kwang-Yong Chung, Dai-Il Kang*, Jung-Ho Lee**

*Daejeon health sciences college, *The Korean National University of Cultural Heritage,*

***Dongshin University*

Abstract

We have used the Naju Oryang-dong Kiln, the Jar coffin producing center from the 5th to early 6th century A.D. found for the first time in Korea in 2002 and conducted trace element analysis of Jar coffin objects excavated in Jar coffin the old tomb area formed mainly around Yeongsan valley, the consuming area of the same period as our main research objects. For this analysis, we have used both the NAA method, the non-parametric micro-minerals analysis. In order to compare and verify these remains, we have used the results from the analysis on the Jar coffin remains in the Mandong remains, Jeonbuk district.

We have quantitatively analyzed 17 types of elements from the Jar coffin remains sample to allow for various and correct analysis. With their results, we could find out that the jar coffins made in Oryang-dong kiln are statistically identical to those in Daean-ri Old tomb/Shinchon-ri 9th old tomb, Okya-ri old tomb, and Banam-Old tomb. Also, we can conclude that there is a high possibility that ongwans produced from Oryang-dong kiln being used in Daean-ri Old tomb/Shinchon-ri 9th old tomb, Okya-ri

old tomb, and Banam-Old tomb was distributed through some form of trade. On the other hand, we could obtain other analysis results that jar coffins excavated and investigated in the Mandong remains and Ithe npyong Old tomb were likely from other Jar coffin kilns through trade and distribution.

1. 서론

전국의 유적에서 발굴되는 고고학적 자료(토기·옹관·자기·기와)는 다양한 퇴적환경에서도 비교적 잘 보존되어 당시의 문화적 배경과 특징을 대표하는 유물이라 할 수 있다. 그동안 토기연구는 기형, 문양에 관한 형식학적인 연구가 대부분을 차지하고 있었으나 최근에는 자연과학적 분석에 의한 산지연구¹⁻⁶와 제작기술⁷, 절대연대측정⁸ 등이 시도되고 있다.

5세기에서 6세기초 옹관을 생산하는 가마유적이 나주시 오량동유적에서 2000년 국내 최초로 발견되었다. 이 유적은 영산강 중류에 위치하고 있어서 고대사회 장제문화(葬制文化) 연구에 매우 귀중한 자료이다. 이러한 유물의 특이성으로 인하여 당시 제작집단과 산지, 그리고 교역에 대한 고고학적 추정이 활발하게 논의되고 있으며 이러한 논의의 자연과학적 연구방법으로는 미량성분분석에 의한 산지추정이 현재 가장 타당하다.

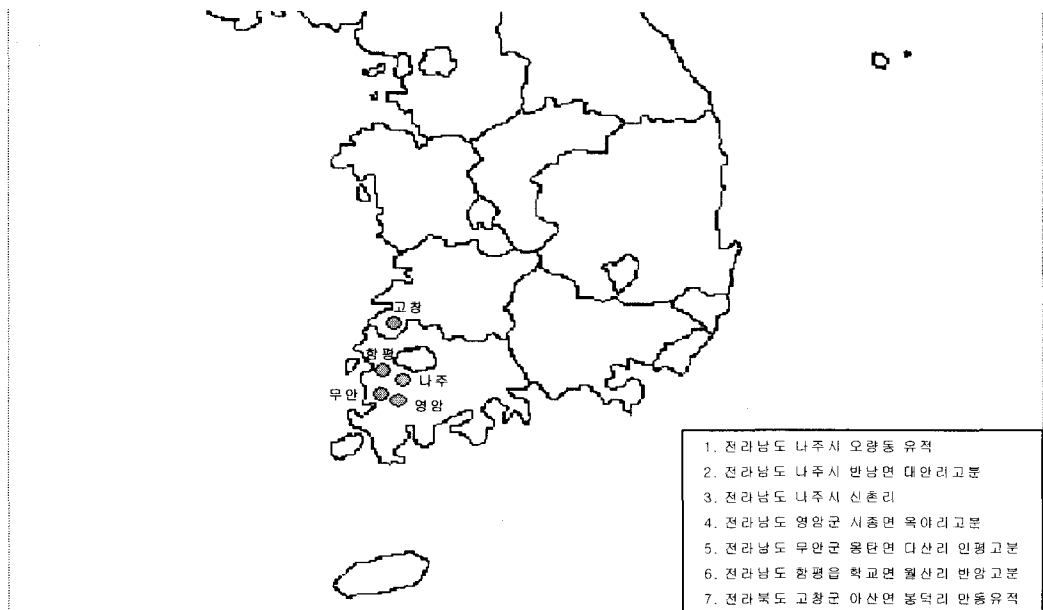
본 연구는 옹관의 제작소(生産地)인 오량동유적 옹관가마⁹와 소비지역인 영산강유역을 중심으로 형성된 5세기대 대표적인 나주시 대안리고분¹⁰, 나주시 신촌리 9호분¹¹, 영암군 옥야리고분¹², 무안군 인평고분¹³, 함평읍 반암고분군¹⁴에서 출토된 옹관시료의 원료 산지 추정을 주 연구대상으로 하였다. 이의 분석을 위해 미량성분원소 분석법인 중성자 방사화분석법(neutron activation analysis: NAA)¹⁵을 사용하였다. 그리고 이들 유물과 비교·검증의 목적으로 4세기대 전라북도 고창군 만동유적¹⁶에서 출토된 옹관유물의 분석 결과를 활용하였다.

중성자 방사화분석법으로 결정된 미량성분 원소들에 대한 수학적 통계처리를 위해 SPSS(statistical package for the social science) for windows(Ver. 10.0)를 이용하였다.

2. 실험방법

2.1 분석대상 시료

5세기대 영산강유역을 중심으로 형성된 전라남도 나주시 오량동유적 옹관가마에서 15종의 시료, 전라남도 나주시 반남면 대안리고분에서 6종의 시료, 전라남도 나주시 신촌리 9호분에서 5종의 시료, 전라남도 영암군 시종면 옥야리고분에서 6종의 시료, 전라남도 무안군 몽탄면 다산리 인평고분에서 3종의 시료, 전라남도 함평읍 학교면 월산리 반암고분에서 9종의 시료, 그리고 4세기대 전라북도 고창군 아산면 봉덕리 만동유적에서 10종의 시료를 입수하여 총 54종의 시료를 분석하였다. 각 유적의 위치를 [Fig. 1]에 나타내었다.



[Fig. 1] Location of the remains where the sample for analysis is obtained

2.2 시료의 전처리 및 준비

시료의 표면을 탈이온수(deionized water)로 깨끗이 세척한 다음 건조기 내에서 100℃로 24시간 건조한 후 텅스텐카바이드 드릴 등을 이용하여 오염된 외부면을 제거하였다. 시료의 대표성과 균질도를 높이기 위하여 막자사발을 사용하여 분쇄하고, 100mesh 이하의 분말을 취하였다. 약 100mg의 시료분말을 잘 세척된 폴리에틸렌 용기에 넣고 밀봉하였다. 단일비교체로써 함량을 알고 있는 Co 약 100mg을 같은 종류의 용기에 넣고 밀봉하였다.

2.3 중성자조사 및 계측

준비된 시료분말을 한국원자력연구소의 연구용 원자로인 HANARO 내의 기송관(PTS #1)에서 표준시료(SRM)와 함께 1시간동안 조사시켰다. 시료의 중성자조사시의 열중성자선속(thermal neutron flux density)은 $1.7 \times 10^{13} n/cm^2 \cdot sec$ 이었다. 중성자조사된 각 핵종의 반감기를 고려하여 적정한 시간동안 냉각시킨 후에 계측하였다.

각 시료에 대한 특성 감마선 계측은 EG&G ORTEC사의 GMX 25190 검출기(상대효율 : 25%, 분해능 : ^{60}Co 핵종의 1332 keV에서 반치폭이 1.9keV)를 사용하였으며 개인용 컴퓨터 및 EG&G ORTEC사의 919 MCB와 연결하여 사용하였다. 에너지 및 효율의 검정·교정을 통한 정성 및 정량분석을 위하여 860~1840 keV의 에너지를 갖는 NEN 사의 디스크형 다핵종 표준선원을 사용하였다.

특성감마선 계측시 중성자 간섭으로 인하여 함께 나타나는 피크를 제외한 후 검출효율이 좋으며 피크 면적이 높게 나타나는 17개의 핵종 만을 분석에 이용하였다. 중성자조사 및 방사능 계측조건 그리고 해당조건에서 분석되어진 원소들을 [Table 1]에 나타내었다.

[Table 1] Analytical condition used for the analysis of archaeological samples

Irradiation facility	Neutron flux ($n/cm^2 \cdot sec$)	Sample weight (mg)	Irradiation time(hr)	Cooling time (days)	Counting time(s)	Elements detected
PTS	1.7×10^{13}	100	1	5 ~ 10	2000	Ca, K, Na, La, Sm
PTS	1.7×10^{13}	100	1	15 ~ 20	4000	Ba, Ce, Co, Cs, Cr, Eu, Fe, Hf, Rb, Sc, Lu, Yb

2.4 데이터의 처리

시료에 함유되어 있는 대한 원소들의 정량분석은 핵 데이터¹⁷가 내장되어 있고 Table 1. 에 정해진 분석조건에 따라 계수율, 성분함량, 계측오차 및 검출한계 등의 자료가 자동으로 계산되는 Labview 5.0으로 작성한 POWER-NAA 통합전산프로그램¹⁸을 사용하였다. 방사능 계측의 검출한계 값은 10%의 계측불확도를 허용하는 조건인 Currie의 정의를 사용하여 계산하였다. 방사능 계측의 검출한계 값은 10%의 계측불확도를 허용하는 조건인 Currie의 정의¹⁹를 사용하여 계산하였다.

분석시료의 중성자방사화분석으로 구한 각 원소의 성분함량을 [Table 2]에 요약하였다.

[Table 2] Analytical results of archaeological samples by neutron activation analysis

NO	유적	Ba	Ce	Co	Cs	Cr	Eu	Hf	La	Rb	Sc	Sm	Lu	Yb
1	만동유적	638	93	12.5	8.7	80	1.22	6.8	52.6	120	15.68	7.41	0.85	1.9
2	만동유적	600	105	15.7	10.2	81	1.35	7.1	57.2	150	15.49	7.95	0.91	2.0
3	만동유적	602	93	12.7	8.8	78	1.20	6.6	52.6	132	15.12	7.10	0.80	1.8
4	만동유적	613	98	13.4	9.2	74	1.27	6.7	53.0	140	14.76	7.19	0.92	1.9
5	만동유적	551	104	15.8	8.9	78	1.28	6.8	58.4	133	15.80	7.83	0.88	2.1
6	만동유적	705	106	11.9	7.3	59	1.80	5.5	60.9	139	11.50	8.48	0.81	2.1
7	만동유적	710	103	11.1	7.0	57	1.76	5.5	61.3	137	10.91	8.34	1.15	2.8
8	만동유적	737	99	11.2	6.9	58	1.64	5.3	60.0	136	10.77	7.96	0.78	2.1
9	만동유적	781	98	10.5	6.5	53	1.61	4.9	58.4	147	10.20	7.75	0.80	1.8
10	만동유적	681	89	9.8	6.5	53	1.60	4.9	51.2	140	10.19	7.25	0.75	1.8
11	대안리고분	803	64	8.8	2.1	91	1.06	8.9	38.6	87	9.30	5.22	0.67	1.8
12	대안리고분	968	104	8.7	5.9	57	1.92	5.7	68.1	213	8.64	8.88	0.61	1.6
13	대안리고분	736	60	8.1	8.6	77	1.14	5.6	33.4	178	13.14	4.74	0.66	1.4
14	대안리고분	951	67	8.4	9.6	74	1.26	5.7	36.0	205	13.72	5.24	0.63	1.5
15	대안리고분	956	109	10.1	6.9	57	2.06	5.9	72.9	235	10.33	9.58	0.70	1.8
16	대안리고분	840	94	7.1	5.7	43	1.78	5.5	64.7	192	7.98	8.22	0.52	1.4
17	오량동가마	796	65	7.3	9.7	69	1.03	5.0	32.7	211	11.46	5.04	0.58	1.4
18	오량동가마	739	96	15.8	11.4	96	1.56	5.4	51.9	186	14.66	7.47	0.80	2.2
19	오량동가마	671	75	6.3	9.7	85	1.08	5.1	34.2	156	14.08	5.24	0.70	1.7
20	오량동가마	628	88	14.8	10.0	102	1.62	5.7	50.8	171	13.67	6.91	0.75	2.0
21	오량동가마	628	68	6.7	8.5	72	1.02	5.3	32.7	146	12.82	5.14	0.67	1.8
22	오량동가마	663	96	13.3	10.6	83	1.48	5.1	44.5	166	14.31	6.47	0.72	1.9
23	오량동가마	761	74	10.2	6.8	81	1.14	5.8	40.2	158	10.94	5.66	0.63	1.4
24	오량동가마	670	80	10.7	5.5	79	1.32	6.8	47.2	126	10.98	6.58	0.74	2.0
25	오량동가마	695	59	9.9	6.8	66	1.09	5.3	40.1	155	10.88	5.54	0.56	1.5
26	오량동가마	639	94	17.5	10.9	68	1.67	5.1	50.3	195	12.65	7.42	0.69	2.1
27	오량동가마	579	74	10.0	9.1	60	1.42	4.0	40.8	173	10.94	6.20	0.58	1.9

NO	유물	Ba	Ce	La	Cs	Cl	Eu	Hf	La	Rb	Sr	Sm	Lu	Yb
28	오량동가마	706	95	16.6	10.6	89	1.71	5.2	50.3	190	14.63	7.65	0.79	2.2
29	오량동가마	630	98	16.1	10.4	75	1.58	5.3	51.4	194	14.27	7.56	0.81	2.4
39	오량동가마	309	102	1.0	3.6	13	1.50	5.4	75.2	122	5.45	7.31	0.84	2.4
31	오량동가마	584	102	17.6	11.9	95	1.75	5.0	54.8	188	16.07	8.30	0.96	2.7
32	신촌리9호분	606	98	10.0	12.1	67	1.63	5.0	52.4	159	12.45	7.60	0.70	2.3
33	신촌리9호분	647	85	13.0	9.5	57	1.61	5.6	50.9	202	11.38	7.25	0.75	1.6
34	신촌리9호분	658	94	18.1	9.8	59	1.69	5.0	50.6	191	12.31	7.20	0.66	1.7
35	신촌리9호분	750	87	10.7	11.3	68	1.60	5.5	51.5	201	13.25	7.23	0.72	1.8
36	신촌리9호분	611	105	36.7	10.6	78	1.45	5.6	47.3	171	14.42	6.68	0.71	1.9
37	옥야리고분	618	88	18.3	9.5	74	1.55	5.1	47.4	165	14.00	6.99	0.79	2.1
38	옥야리고분	710	99	17.5	9.6	60	1.70	5.3	56.0	187	12.41	7.78	0.82	1.9
39	옥야리고분	964	114	19.3	13.2	74	2.23	6.3	48.7	275	15.39	6.69	0.95	2.4
40	옥야리고분	577	80	12.8	9.3	57	1.57	4.3	43.6	168	12.15	6.45	0.72	1.9
41	옥야리고분	465	74	10.2	9.1	45	1.30	4.1	35.2	165	10.14	5.52	0.69	1.4
42	옥야리고분	606	74	9.4	6.3	60	1.25	5.7	38.1	139	11.43	5.52	0.62	1.6
43	인평고분	564	72	9.5	6.7	57	1.16	5.5	37.1	138	11.15	5.38	0.61	1.7
44	인평고분	661	63	7.3	6.6	41	1.06	5.1	33.2	158	8.54	4.74	0.52	1.2
45	인평고분	562	51	7.6	5.7	41	0.86	5.4	25.5	144	9.01	3.86	0.75	1.2
46	반암고분	451	53	7.3	5.7	45	0.93	5.4	26.9	142	9.02	3.92	0.54	1.1
47	반암고분	590	74	9.4	6.6	47	1.14	6.2	35.9	143	9.83	5.40	0.64	1.5
48	반암고분	797	103	12.9	7.9	60	1.83	5.0	56.8	177	12.35	7.92	0.75	1.5
49	반암고분	689	104	13.5	8.0	69	1.98	4.9	48.2	177	13.11	6.92	0.81	1.7
50	반암고분	734	90	15.5	8.7	75	1.54	5.0	53.5	172	14.03	7.76	0.74	1.9
51	반암고분	790	99	17.7	10.3	82	1.75	4.8	49.5	191	15.15	6.84	0.85	2.6
52	반암고분	613	92	15.2	8.2	65	1.50	4.4	47.9	169	12.93	3.55	0.66	1.8
53	반암고분	648	80	14.9	7.6	74	1.43	4.8	41.5	154	13.41	5.88	0.71	1.6
54	반암고분	758	88	16.2	9.4	70	1.44	4.9	47.6	169	13.99	6.64	0.72	1.6

3. 판별분석 결과 및 고찰

고고학 발굴조사 현장에서 발굴된 유물들의 지역적 집단(group)과 통계분석을 통하여 구분된 통계적 집단들 사이의 관계를 조사하여 유물의 산지를 판별할 수 있다. 판별분석은 연속형 자료로 구성된 독립변수(independent variable: IV)의 선형조합을 이용하여 모든 케이스(case)들을 집단변수(group variable: GV)인 종속변수(dependent variable: DV)로 분류하고 예측할 목적으로 사용되는 통계기법이다.

판별분석의 유의성 검증은 산출된 판별함수가 통계적으로 얼마나 유의미한가를 검증하는 것으로 정준상관계수(canonical discriminant function coefficient), Wilks' lambda, 고유값(eigenvalue), χ^2 값을 이용한다.

일반적인 판별함수식은 다음과 같이 나타내지며,

$$Z_j = B_{0j} + \sum B_{ij} \cdot X_{ij}$$

Z는 판별점수, B_0 는 상수, B 는 판별계수 그리고 X 는 독립변수를 의미한다.

판별분석할 자료들은 다음과 같은 기본 가정을 만족해야 한다²⁰. 첫째 특별한 경우를 제외하고 집단간 동등한 표본 크기를 가정할 필요는 없으나 가장 작은 집단의 케이스 수는 최소한의 예측변수(predictor variable: PV)의 수를 초과해야 한다. 둘째 다변량(multivariate) 정상성을 따라야 한다. 셋째 분산-공분산(variance-covariance) 행렬의 동질성을 확보해야 한다. 넷째 예측변인의 모든 쌍이 선형적 관계에 있어야 한다. 마지막으로 지나친 다중공선성(multicollinearity)이 없어야 한다.

통계적으로 유의미한 판별함수의 수는 집단수-1 또는 사용된 예측변수의 수와 같이 나오는데 이 중 작은 값을 선택한다. 이들 판별함수 중에 첫 번째와 두 번째 판별함수가 집단을 가장 잘 구분하고 나머지 판별함수는 집단을 구분하는데 거의 부가적인 정보를 제공하지 못하는 것이 보통이다.

[Table 3] Variables to divide each archeological excavation investigation meaningfully, as results from each distinction analysis

미량 원소	Wilks Lambda
Lu	0.717
Rb	0.646

판별분석 수행 결과 각 고고학 발굴조사 유적을 유의미하게 구분하는 독립변수는 2개였다. 이들 두 독립변수로부터 각 유적의 산지를 판별한 결과를 [Table 3] 와 [Fig. 2]에 나타내었다.

[Table 4]에서 나타나는 각 고고학 발굴조사 유적의 중첩성은 지리적 근접성에 기인한다. 하지만 고창 만동유적의 경우 함평 반암고분과의 약간의 중복을 제외하면 여타의 유적과 유물의 산지가 잘 구별됨을 알 수 있다. 또한 무안 인평고분의 경우도 함평 반암고분과의 중복성을 제외하면 여타의 유적과 유물의 산지가 구별됨을 알 수 있다.

[Table. 4] Results from the distinction analysis of jar coffin using the micro-minerals measured by NAA

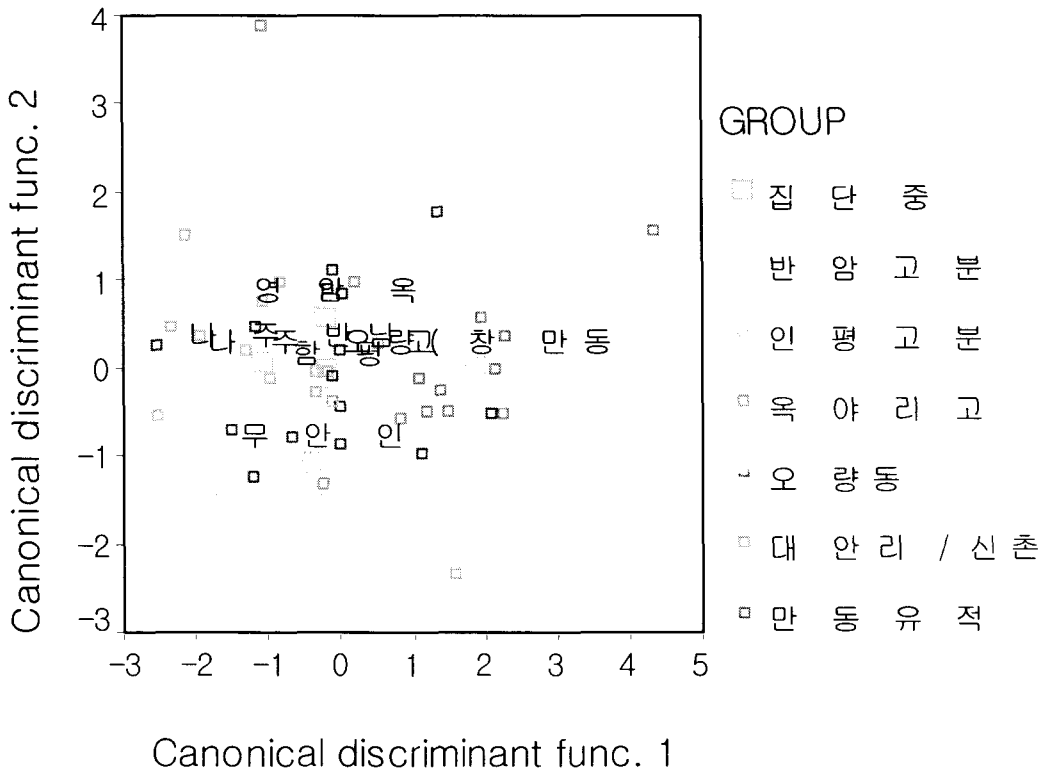
		판별 예측 집단						계
		만동유적	대안리· 신촌리 고분	오량동 가마	옥야리 고분	인평고분	반암고분	
고 고 학 유 적	만동유적	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	100
	대안리/신 촌리9호분	0.0	63.6	9.1	9.1	9.1	9.1	100
	오량동가마	20.0	20.0	6.7	20.0	13.3	13.3	100
	옥야리고분	0.0	0.0	33.3	33.3	16.7	16.7	100
	인평고분	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7	33.3	100
	반암고분	0.0	11.1	22.2	33.3	11.1	11.1	100

그러므로 나주 오량동유적에서 발굴된 옹관 가마는 판별분석을 이용한 통계 분석 결과 나주 대안리고분, 신촌리 9호분, 영암 옥야리고분, 그리고 함평 반암고분과 통계적으로 중첩되고 있음을 알 수 있다. 이는 나주 오량동 가마에서 생산된 옹관이 교역과 유통을 통하여 나주 대안리고분, 신촌리 9호분, 영암 옥야리고분, 그리고 함평 반암고분에서 사용되었을 가능성이 매우 높다는 점을 시사한다. 또한 고창 만동유적과 무안 인평고분에서 발굴조사된 옹관은 나주 오량동유적의 가마에서 생산된 것이 아닌 산지가 다른 옹관 가마로부터 교역과 유통을 통해 유입되었다고 사료된다. 미지 시료의 판별을 위한 Fisher의 선형 판별함수는 [Table 5]에 나타냈다.

[Table 5] Linear discriminator factor of fisher

	만동유적	대안리· 신촌리 고분	오량동가마	옥야리고분	인평고분	반암고분
Rb	0.103	0.184	0.158	0.173	0.137	0.155
Lu	77.580	52.392	59.608	62.862	51.810	59.064
상수	-42.392	-36.302	-36.677	-41.675	-28.084	-35.712

Coffin combined with two potteries



[Fig. 2] Trace element analysis of jar coffin using micro-minerals measured by NAA.

4. 결론

5세기대 영산강유역을 중심으로 형성된 옹관의 분포와 이동에 관한 공간적 범위를 설정하기 위한 산지연구를 시도하였다.

고고학적 자료인 옹관유물 시료에서 다양하고 정확한 분석이 가능하도록 17종의 성분원소에 대한 분석을 일관되게 시행하였다. 이러한 결과를 바탕으로 오량동 가마터에서 생산된 옹관은 판별분석을 이용한 통계분석 결과에서 대안리고분·신촌리 9호분, 옥야리고분, 그리고 반암고분과 통계적으로 중첩되고

있음을 알 수 있었다. 이는 오량동 가마에서 생산된 옹관이 교역과 유통을 통하여 대안리고분, 신촌리 9호분, 옥야리고분, 그리고 반암고분 등에서 사용되었을 가능성이 매우 높다.

만동유적과 인평고분에서 발굴조사된 옹관유물은 오량동 가마에서 생산된 옹관이 아니고, 산지가 다른 옹관 가마로부터 생산되어 교역과 유통을 통해 유입되었을 것으로 판단되는 연구결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. C. Lee, O. C. Kwon, D. I. Jung, I. C. Lee and N. B. Kim, *Bull. Kor. Chem. Soc.*, **7**, 438 (1986).
2. C. Lee, H.T. Kang and S. Kim, *Bull. Kor. Chem. Soc.*, **9**, 223 (1988).
3. K.Y. Chung, M.J. Kim, *Analytical Science and Technology*, **14**, 476-485, (2001).
4. 강형태, “중성자방사화분석에 의한 한국 고대 토기 및 자기 분류”, 한양대학교 석사학위논문, 1985.
5. 정광용, *HANARO Workshop 2003*, 한국원자력연구소, 25, (2003)
6. 정광용 · 김명진 · 정용삼, 한국분석과학회, 제 30회 한국분석과학회 춘계학술대회 초록집, 90, (2003)
7. M. S. Tite, *Archaeometry*, **7**, 131-144 (1969).
8. D. G. Hong, S. B. Yi, R. B. Galloway, T. Tsuboi, T. Hashimoto, *J. of Radioanal. and Nucl. Chem.*, **247**, 179-184 (2000).
9. 목포대박물관 · 동신대박물관, “나주시 오량동 가마유적 발굴조사 약보고”, 2002.
10. 國立文化財研究所, “大安里 古墳”, 韓國考古學事典(上), 2001.
11. 國立文化財研究所, “新村里 9號墳”, 韓國考古學事典(上), 2001.
12. 國立文化財研究所, “沃野里 古墳”, 韓國考古學事典(上), 2001.
13. 목포대학교박물관, “무안 인평고분군”, 목포대학박물관총서 제60책, 1999.
14. 國立木浦大學校博物館, “반암 고분군”, 第三十冊, 1993.
15. J. I. Kim, *J. Radioanal. Chem.*, **63**, 121 (1981).
16. (財)湖南文化財研究院, “만동유적 발굴조사 현장설명회 자료”, 2002.
17. L.A. Currie, *Anal. Chem.*, **40**, 586 (1968).

18. KAERI/NAA, Power-NAA Operation Manual (1999) ; The Unified Software Program for NAA, V.2, Reg.00-01-12-2395 (2000).
19. G. Erdtman, Neutron Activation Tables, vol. 6, New York(1976) ; IAEA, Handbook on Nuclear Activation Analysis Data, IAEA Tec. Rep. No. 273(1987) ; Michael D. Glascock, Tables for Neutron Activation Analysis, 4th ed., University of Missouri (1996).
20. 양병화, "다변량 자료분석의 이해와 활용", pp. 133-139, 학지사, 서울, 1998.