나주 오량동 유적 및 정촌 고분 출토 옹관의 재료적 특성 및 소성온도 연구

김수경 | 진흥주 | 장성윤¹
국립문화재연구소 보존과학연구실

Study on Material Characteristics and Firing Temperature of Jar Coffins from Oryang-dong Kiln Site and Jeongchon Tomb, Naju, Korea

Su Kyoung Kim | Hong Ju Jin | Sungyoon Jang¹

Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 34122, Korea

¹Corresponding Author: fkite@korea.kr, +82-42-860-9416

초록 이 연구는 나주 오량동 가마유적에서 출토된 옹관과 정촌 고분 출토 옹관의 재료적 특성을 비교하여 이들의 재료 산지와 소성온도를 규명하고자 하였다. 두 유적의 옹관시료는 동일한 범위의 전암대자율 값을 가지고 있으며 대부분 회색계열인 반면 정촌 고분의 옹관편인 404와 405는 적황색 계열의 색조를 띠고 있었다. 고온소성된 옹관의 구연부(53R)와 동체부(53B)에서 흡수율이 다르게 나타나는데, 이는 옹관가마에서 열전달과 평형이 이루어지지 않아 구연부와 동체부에 전달되는 열에너지가 달랐음을 의미한다. 편광현미경 관찰 결과, 오량동 유적 출토 옹관에서는 흑운모, 풍화된 석영과 장석이, 정촌 유적 출토 옹관에서는 흑운모, 다결정질의 석영과 장석이 거정질 첨가물로 관찰되었다. 오량동 유적의 경우 첨가물은 구연부보다 동체부에서 더 많이 발견되었다. 주사전자현미경에서 기질이 유리질화된 오량동 옹관편과 정촌 고분 옹관편 일부는 1,000~1,100℃ 이상의 고온에서 소성되었을 것으로 추정되며, 나머지 정촌 고분 옹관 시료는 900℃ 이하에서 소성되었을 것으로 추정된다. 주성분과 미량성분원소의 함량분포에서 오량동 옹관과 정촌 고분의 옹관은 성인적 동일성을 나타내어 정촌 고분 옹관은 오량동에서 생산되어 공급되었을 가능성이 높다. 다만 두 지역 옹관에서 나타나는 일부 미량원소의 차이는 채토 위치에 따른 태토의 선택에서 기인한 것으로 판단된다.

중심어: 나주 오량동 유적, 나주 정촌 고분, 옹관, 소성온도, 산지

ABSTRACT This study is aimed to investigate the provenance of raw materials and firing temperature of jar coffins excavated from the Oryang-dong kiln site and Jeonchon tomb site, Naju, Korea. Most of jar coffin samples shows same range of magnetic susceptibility and have gray color, while 404 and 405 of Jeongchon site are reddish yellow. In some samples fired at high temperature, the water absorption at the mouth rim and body part of same jar coffin were 3.50% and 7.56% respectively. It means that heat transfer and equilibrium in the kiln was not properly continued and the heat energy transferred to the mouth rim and the body part was different. In the petrographic analysis, As a tempering materials, biotite, weathered quartz and feldspar were added in the jar coffins of Oryang-dong site, and biotite, polycrystalline quartz and feldspar in it of Jeongchon site. Tempering materials were found more in the body than in the mouth rim of same jar coffin of Oryang-dong site. It seemed that some samples were fired at over 1,000 to 1,100℃, which showed vitrified texture in the scanning electron images and the rest of samples were fired at below 900℃. Due to similarity of chemical compositions,

it is estimated that jar coffins of Jeongchon tomb were produced and supplied from Oryang-dong kiln site. However, the slight difference of some trace elements distribution of samples is attributed to the selection of clay depending on the location.

Key Words: Naju Oryang-dong kiln site, Naju Jeonchon tomb, Jar coffins, Firing temperature, Provenance

1. 서 론

영산강유역 대형옹관은 묘제의 중요성으로 인해 고고학적 및 자연과학적으로 상당한 연구의 진전이 있어 왔다. 옹관은 흙으로 제작하고 소성된다는 점에서 토기와 유사하고 분류상 토기에 해당하지만, 제작기법과 용도에서 토기와는 구분되는 특성을 지니고 있다. 옹관에 대한 재료학적 분석은 1986년 영암 내동리 초분골 고분 출토 옹관분석을 시작으로 화학성분, 물성연구 및 소성온도 추정과 제작기법 조사까지 다양한 연구가 이루어졌다(Yang and Jo, 1986; Jo and Kim, 1986; An and Kang, 1986). 이후 중성자방사화분석의 도입으로 오랑동유적과 소비유적 간의 상관성을 파악한 산지추정과 육안관찰을 통한 제작기법 연구가 진행되었다(Chung *et al.*, 2004; Yang and Park, 2005). 2009년부터는 국립나주문화재연구소에 의해 종합적이고 본격적인 발굴조사와 연구가 진행되어 대형옹관의 태토와 제작기법, 소비유적의 범위 확대로 유통관계 탐색 등의 연구가 진행되었고(Lee *et al.*, 2009; 2010; 2011; 2012) 이 분석결과에 근거한 재현실험으로 옹관연구의 폭이 넓어졌다(Nho and Park, 2010; Jo, 2011; Jeon, 2013; Lee *et al.*, 2013; 2014; 2015).

이러한 관점에서 나주 오랑동 유적은 주요 생산유적으로서 인근 소비유적과의 관계를 검토하는 중요한 출발점이 되고 있다. 오랑동에서는 현재까지 약 77기의 가마가 확인되었고 그 중 25기의 가마가 발굴조사되었는데 5~6세기 유물이 다수 출토되어 당시 영산강유역에 분포한 옹관고분사회의 관요적 성격을 지닌 곳으로 평가되고 있다(Naju National Research Institute of Cultural Heritage, 2017a). 나주 정촌 고분은 오랑동에서 1.9 km 떨어진 북암리에 위치하며 총 6기의 옹관이 출토되었는데 5호와 6호 옹관을 제외하고는 모두 반파된 상태이다. 5호 옹관의 연대는 주변 옹관들과 비교할 때 약 5세기 후반으로 추정되고 있다(Naju National Research Institute of Cultural Heritage, 2017b). 따라서 정촌 고분에 매납된 옹관들은 동일시기 인접한 생산유적인 오랑동에서 생산되었을 가능성을 상정할

수 있으므로 이 연구에서는 과학적 분석데이터를 통해 제작 산지를 규명하고자 하였다. 또한 옹관의 규모가 큰 점을 감안하여 하나의 옹관을 구연부와 동체부로 구분하여 각각 부위별 소성 특성을 조사하였다.

2. 연구 방법

이 연구에서는 나주 오랑동과 정촌 고분 출토 옹관편의 물리적 특성과 광물학적 특성을 조사하였다. 분석 대상시료는 총 15점이다(Table 1, Figure 1, 2). 오랑동 출토 옹관편은 국립나주문화재연구소에서 2015년과 2016년에 발굴한 오랑동 2~4호 가마 출토품으로 옹관편 4종을 각각 구연부(R)와 동체부 또는 저부(B)로 구분하여 총 8점의 시료를 선택하였다. 정촌 고분 출토 시료는 2, 3, 5, 6호 옹관의 잔편 7점을 선택하였다.

먼저 먼셀 토색칩(Munsell soil color chart)을 이용하여 옹관편의 표면부와 중심부 내면의 색을 기재하였다. 보다 정량적인 색도측정을 위해 색차계(SP 60 series sphere spectrophotometer, X-rite, USA)를 이용하였으며, 색차는 모두 앞면을 기준으로 3회 측정하여 평균값으로 산정하였다. 옹관편의 자화강도 측정을 위해 전암대자율(SM 30, ZH Instrument, Czech)을 10회 측정하여 평균값을 산출하였다. 부피 비중과 흡수율은 KS L4008에 의거해 3회 측정하고 평균값을 산출하였다.

대상 시료의 단면관찰과 광물학적 특성조사를 위해 시료를 알루미늄 파우더 #500, #1000, #2400, #4000 순으로 단면을 경면(鏡面)이 되게 연마하여 실체현미경(Axiotech, Stemi 2000-C, Carl Zeiss, Germany)하에서 100배로 내부에 존재하는 광물과 조직을 관찰하였다. 또한 슬라이드 글라스에 토기단면을 붙이고 절단하여 얇게 슬라이드 글라스에 점착된 토기면을 연마하고 편광현미경(Axio Plan 2 Imaging, Carl Zeiss, Germany) 25배에서 관찰하였다.

미세조직 관찰은 대상시료의 속심을 채취하여 주사전자현미경(JSM-5910L, Jeol, Japan) 200~1,000배에서 관찰하였다. 광물조성은 X-선회절분석(Empryan, Panalytical,

Table 1. Descriptions of jar coffin samples selected from study areas

Sites	Sample name	Excavated position	Thickness (mm)	Part	Color			Ms*
					Outer	Core	Inner	
Oryang-dong site	52R	Kiln No.2015-2	32.00~37.85	Rim	2.5Y7/2, N5	5Y7/1, N6	N5	0.29
	52B	Kiln No.2015-2	16.05~35.80	Body	N3	N5	N4	3.99 (Out) 0.55 (Inner)
	53R	Kiln No.2015-3	43.25~47.00	Rim	N5, 7.5YR6/8	N4	N5, 7.5YR6/8	3.24 (Out) 0.62 (Inner)
	53B	Kiln No.2015-3	31.15~41.90	Body	N4	N5	7.5Y7/1	0.91
	63R	Kiln No.2016-3	10.50~79.95	Rim	2.5Y7/3	2.5Y5/1	2.5Y7/3	0.28
	63B	Kiln No.2016-3	29.80~37.25	Body	5Y7/2	N7	2.5Y7/1, N4	0.47
	64R	Kiln No.2016-4	6.35~32.10	Rim	5Y7/2	5Y7/1	5Y7/2	0.35
	64B	Kiln No.2016-4	29.00~35.55	Bottom	5Y7/2	2.5Y6/1	5Y7/2	0.33
Jeongchon site	403	No.2 Tomb (big jar coffin)	31.60~35.30	Body	2.5Y7/1	N5	10YR7/4	0.31
	404	No.2 Tomb (small Jar coffin)	24.00~28.45	Body	10YR6/3	10YR6/3	10YR6/3	4.96
	405	No.3 Tomb (big jar coffin)	31.10~31.55	Body	2.5Y7/6	5Y 6/1	2.5Y7/1	0.22
	406	No.3 Tomb (small Jar coffin)	22.70~26.35	Body	5Y6/2	5Y6/2	5Y4/1	2.16
	434	No.5 Tomb (big jar coffin)	15.55~28.80	Body	5Y7/3	N7	5Y7/2	0.37
	435	No.5 Tomb (small Jar coffin)	5.50~18.60	Body	7.5Y7/1, 10YR7/4	2.5Y7/1	7.5Y7/2	0.68
	444	No.6 Tomb (small Jar coffin)	9.25~51.20	Body	N4	5RP 4/1	N4	0.34

* Ms(magnetic susceptibility), mean data of ten times measurements

Figure 1. Samples of the jar coffins of Oryang-dong site.

Netherlands)을 통해 조사하였으며, 측정조건은 45 kV, 40 mA, 4°~60°, 0.039°/200 sec로 분말화한 시료를 spinner stage를 이용하여 광물 결정구조를 분석하였다.

토기의 지구화학적 특성을 알아보기 위하여 주성분원소, 미량원소, 희토류원소를 분석하였고 분석방법은 X-선 형광분석, 유도결합 플라즈마 발광분석기(ICP-OES)와 중성자 방사화 분석기기(INAA)가 사용되었다.

3. 연구 결과

3.1. 색차 및 흡수율

대상 시료의 색차 측정 결과, 오랑동 출토 옹관편의 명도 값은 넓은 분포범위(37.94~61.79)를 보이는 반면, 정촌 고분의 옹관은 좁은 분포범위(45.97~59.33)를 나타내고 있다. 대부분의 오랑동과 정촌 고분 옹관들은 적·황색도가

Figure 2. Samples of the jar coffins of Jeongchon site.

Table 2. Physical characteristics of the jar coffins of Oryang-dong site and Jeongchon site

Sites	Sample name	Color			Water absorption (%)	Bulk density
		L*	a*	b*		
Oryang-dong site	52R	53.40	1.77	7.55	14.35	1.82
	52B	37.94	2.45	7.49	12.79	1.77
	53R	40.01	-0.10	2.12	3.50	1.94
	53B	44.93	0.69	3.69	7.63	2.06
	63R	61.59	2.24	17.23	18.79	1.69
	63B	61.50	2.25	17.50	18.13	1.73
	64R	60.80	1.59	15.12	19.88	1.65
	64B	61.79	2.33	17.48	18.25	1.71
Jeongchon site	403	52.34	2.73	12.41	12.13	1.85
	404	56.53	12.15	31.15	17.93	1.72
	405	57.48	7.80	28.14	20.59	1.62
	406	45.97	4.09	17.37	21.14	1.62
	434	57.10	3.35	16.02	19.34	1.67
	435	57.85	2.92	18.41	18.81	1.67
	444	59.33	-0.43	1.23	-	-

높은 쪽으로 분류되는데 지역적으로는 정촌 고분의 옹관이 오랑동에 비해 적·황색도가 높고 회색 빈도가 낮음을 확인할 수 있다(Table 2, Figure 3).

정촌 고분 시료 404와 405의 경우 적·황색도가 다른 토기에 비해 월등히 높아 산화환경 및 비교적 낮은 소성온도를 추정할 수 있고 정촌 고분 시료 444와 오랑동 시료 53R의 경우 청색도가 다른 토기에 비해 높게 나타나 환원환경과 고온소성을 추정할 수 있다.

흡수율은 옹관 고유의 물리적 특성으로서 태토조성과 소성온도의 영향을 많이 받는다. 오랑동 출토 옹관편은 흡수율 3.50~19.88%, 부피비중 1.65~2.06의 분포범위를 보였고 정촌 고분 옹관편은 흡수율 12.13~21.14%, 부피비중 1.62~1.85로 나타났다(Table 2). 오랑동 옹관편의 대체적인 흡수율이 낮아 소성온도가 정촌 고분 시료에 비해 다소 높을 것으로 추정된다.

특히 오랑동 옹관편 중 같은 옹관의 구연부(R)와 동체 또는 저부(B) 시료의 흡수율은 대부분 비슷하게 나타났지만, 53R(구연부) 3.5%, 53B(동체부) 7.63%로 흡수율 차이가 상대적으로 크게 나타난 경우도 확인되었다.

3.2. 전암대자율

전암대자율은 토양 내 자철석에 의한 자화강도를 측정하여 재료의 동질성을 파악하는 연구방법으로 석탑이나 토기의 산지추정에 사용되기도 한다. 나주 오랑동 옹관편의 전암대자율은 대부분 $0 \sim 1(\times 10^{-3} \text{ SI})$ 의 값을 나타냈다(Table 1, Figure 4). 그러나 시료 52B(동체부)의 외면 3.99과 내면 0.55의 전암대자율 값이 다르게 나타났고 53R(구연부)의 외면 3.24와 내면 0.68도 같은 현상이 나타났다. 이들은 동일 시료임에도 외면이 내면보다 높은 대자율 값

Figure 3. Chromaticity graph of the jar coffins of Oryang-dong site and Jeongchon site.

Figure 4. Magnetic susceptibility graph of jar coffins excavated from Oryang-dong site and Jeongchon site($\times 10^{-3} \text{ SI}$).

을 보였는데 고온소성 과정에서 소성환경 및 철산화물의 산화상태 변화와 관계가 있을 것으로 생각된다. 실제로 소성온도에 따라 전암대자율이 변화를 보인다고 알려져 있으며(Jordanova, 2001; Kim, 2012) 산화환경보다 환원환경에서 전암대자율이 더 증가하는 것으로 보고된 바 있다(Jang and Lee, 2014). 나주 정촌 고분 출토 옹관편의 대자율은 대부분 $1.2(\times 10^{-3})$ SI 이하로 나타났으나 시료 406 (2.16×10^{-3} SI)과 404 (4.96×10^{-3} SI)에서 다소 높은 값을 나타냈다.

3.3. 실체현미경 관찰

출토 옹관은 두께가 최대 80 mm에 이르며 소성환경에 따라 표면색과 단면의 색이 서로 다른 경우도 관찰되었다.

따라서 옹관의 표면색과 함께 비교하기 위하여 단면의 색, 광물의 분포 상태를 확인하였다.

나주 오량동 유적 출토품의 단면은 회색도가 높고 기질 사이로 2 mm 전후 석영과 장석의 원마도와 분급도가 다양하게 관찰되었다. 시료 52R, 52B, 53R, 53B는 63R, 63B, 64R, 64B에 비해 어두운 회색을 띄며 시료 52R, 52B, 53R, 53B는 길쭉한 형태의 기공 사이로 0.1 mm 정도의 작은 기공들이 다수 관찰되었다. 특히 53R의 경우 길쭉한 형태의 기공보다는 둥그란 형태의 기공이 형성되어 있으며, 기공의 분급이 일정하고 다량으로 분포하고 있는 것이 특징이다. 시료 63R, 63B, 64R, 64B는 연한 회색으로 1 mm 내외의 광물이 관찰되며 원마도와 분급도가 일정하지 않다. 63R, 63B, 64R, 64B에서도 길쭉한 형태의 기공 사이로 작은 기공(0.1~0.2 mm)이 관찰되기도 한다(Figure 5).

Figure 5. Cross section images of jar coffins excavated from Oryang-dong site using the stereoscopic microscope (A; 52R, B; 52B, C; 53R, D; 53B, E; 63R, F; 63B, G; 64R, H; 64B).

Figure 6. Cross section images of jar coffins excavated from Jeongchon site using the stereoscopic microscope (A; 403, B; 404, C; 405, D; 406, E; 434, F; 435, G, H; 444).

나주 정촌 고분 출토 옹관편은 분석된 시료 모두 기질의 색과 기공형태, 광물의 분포양상이 다양하게 관찰된다. 나주 정촌 고분 출토 옹관의 기질은 404(적갈색 기질)를 제외하고는 대부분 회갈색 계열의 색조를 보인다. 406은 회색이지만 적색의 색이 다소 포함되어 전체적으로 연한 갈색의 색조를 보인다. 또한 444의 속심은 보라색에 가까운 진한 회색을 보이고 있으며 표면부는 진한 갈색이며 기공이 매우 크고 균일하게 분포하고 있다. 434는 표면부에 붉은 빛을 띠면서 얇은 적색 피가 관찰되기도 한다. 나주 정촌 유적 출토 옹관은 대부분 석영과 장석 등 유색 광물들이 관찰되나 시료 404, 434와 435의 사이로 검은 색의 판상 운모류가 관찰된다. 한편 시료 434와 435는 길쭉한 형태의 기공들 사이로 동그란 형태의 0.1~0.2 mm의 기공이 관찰

되며, 444에는 동그란 형태를 가진 0.2 mm 내외의 기공들이 다량 관찰되는 것이 특징적이다(Figure 6).

3.4. 편광현미경 관찰

나주 오량동 유적과 정촌 고분 출토 옹관편의 편광현미경 관찰 결과(Figure 7, 8), 석영과 장석, 흑운모가 주구성 광물로 관찰되며 대부분의 시료에서 가로방향의 긴 공극을 포함하고 있었다.

오량동 유적 출토 옹관편은 유리질화된 기질을 가지고 있고 다소 둥근 모서리를 갖는 1~3 mm의 석영과 장석이 비집으로 첨가되어 있다. 대부분의 시료에서는 1 mm 이하의 흑운모 입자가 관찰된다. 시료 52R와 52B는 동일시료

Figure 7. Thin section images of jar coffins excavated from Oryang-dong site using the polarizing light microscope(scale 1 mm, A; 52R, B; 52B, C; 53R, D; 53B, E; 63R, F; 63B, G; 64R, H; 64B).

Figure 8. Thin section images of jar coffins excavated from Jeongchon site using the polarizing light microscope (A; 403, B, C; 404, D; 405, E; 406, F; 434, G; 435, H; 444).

의 구연과 동체부 시료로 두 시료 간 비집의 크기와 원마도, 분급은 거의 유사한 것으로 보인다. 시료 53R과 53B는 동일 시료지만 비집 종류와 분포가 다소 다르게 나타났는데(Figure 7C, 7D), 구연부에 비해 동체부에서 3~4 mm의 다결정질 석영이 관찰되었다. 시료 63R과 63B에서도 구연에 비해 동체부 시료의 석영입자 크기가 다소 크게 나타났다(Figure 7E, 7F).

정촌 고분에서는 2 mm 이상의 다결정질 석영이 많이 관찰되며 0.5 mm 이하의 작은 석영 입자들이 많이 분포하는데 대부분 다소 각진 모서리가 나타났다. 시료 404와 406 등 기질이 유리질화되지 않은 시료가 존재하고 길고 두꺼운 공극도 관찰된다. 오랑동 출토 시료에 비해 분급이 다소 떨어지고 일부 비집이 다르게 나타났다. 그러나 석영, 장석, 흑운모 등의 주구성광물과 비집 입자의 크기가 매우 유사하여 바탕흙은 유사하였을 것으로 추정된다.

3.5. 주사전자현미경 관찰

옹관편의 미세구조를 주사전자현미경으로 관찰하면 소성온도에 따른 기질 변화, 재결정화 여부 등을 관찰할 수 있고 이를 토대로 소성온도를 추정하기도 한다.

나주 오랑동 고분 옹관편의 미세구조 관찰 결과(Figure 9), 52R에서는 기질의 용융현상이 관찰되었고 52B에서는 기질 용융과 일부 재결정화가 관찰되었다. 53R은 고온소성에 의해 기질이 용융되고 재결정화되어 미세기공이 새로 형성되었다. 63R과 64R, 64B에서 기질 용융과 재결정화는 이루어지지 않았고 점토 탈수에 의해 기질이 뭉쳐지고 판곡상을 이루는 단계로 관찰되었다. 52R, 52B와 53R

과 비교하였을 때 상대적으로 비교적 낮은 온도에서 소성이 완료되었을 것으로 판단된다.

나주 정촌 고분의 405와 434는 기질의 용융과 재결정화는 진행되지 않았다. 405는 변질되지 않은 층상의 운모류가 관찰되었으며 기질부분은 변질되지 않았고 유리질화가 거의 진행되지 못했다. 434 역시 운모류가 기질부분과 뚜렷한 경계를 보이며 기질 부분의 유리질화가 진행되지 못하였다. 반면 444는 고온소성에 의한 기질 용융과 재결정화가 진행되어 균일하고 큰 기공이 형성된 상태이다.

3.6. 광물 조성

오랑동 유적과 정촌 고분 옹관편에 포함된 광물 성분을 확인하고 이를 통해 소성온도를 추정하고자 X-선 회절 분석을 하였다. 오랑동 출토 옹관편의 X-선 회절분석 결과(Figure 10, 11), 광물조성에 따라 크게 두 그룹으로 분류된다. 시료 52R, 52B, 53R, 53B에서는 석영, 물라이트, 정장석, 헤르시나이트가 동정되어 고온소성그룹으로 분류된다. 특히 주사전자현미경 관찰결과에서 기질의 용융과 재결정화가 이루어진 시료 52R, 52B, 53R, 53B는 1,100°C 부근의 소성온도를 가지는 것으로 판단된다. 시료 63R, 63B, 64R, 64B는 석영과 정장석이 동정되며 운모의 회절선이 소멸되고 고온 생성광물인 물라이트가 관찰되지 않아 1,000°C 전후의 소성온도를 가지는 것으로 판단된다.

정촌 고분 출토 옹관도 광물조성에 따라 두 그룹으로 나뉜다. 시료 403과 444는 석영과 물라이트, 정장석, 헤르시나이트가 동정되어 1,000~1,100°C의 고온소성 그룹으로 볼 수 있으나 시료 404, 405, 406, 434, 435는 석영, 운모,

Figure 9. Scanning electron microscope images of jar coffins excavated from Oryang-dong site (A; 52R, B; 52B, C; 53R, D; 63R, E; 64B, F; 405, G; 434, H; 444).

정상석이 동정되어 900℃ 이하의 소성온도로 판단된다.

오랑동과 정촌 유적 출토 옹관편의 광물조성은 기본적으로 유사한 것으로 판단되나 소성온도가 달라 광물조성도 다소 다르게 나타났다. 오랑동 유적 옹관이 대체로 소성온도가 높게 나타났고, 정촌 유적 출토 옹관편은 403과 444를 제외하면 대부분 900℃ 이하에서 저온소성된 것으로 보인다. 특히 444는 과소성에 의해 기공이 크고 균일하게 생성된 것으로 판단된다.

3.7. 화학분석

주성분 원소 및 미량원소 함량은 Table 3에 제시하였다. SiO₂의 함량은 오랑동 유적 출토 옹관에서 65.21~68.00 wt.%, 정촌 유적 출토 옹관에서 63.3~67.04 wt.%의 분포범위를 보이고 있어 거의 비슷하다. 또한 Al₂O₃는 오랑동

유적 출토 옹관은 19.46~20.92 wt.%의 분포범위를 보이고 정촌 유적 출토 옹관은 17.49~21.22 wt.%를 보이고 있어 두 지역이 비슷하나 정촌 유적 출토 옹관의 분포범위가 더 넓은 편이다. Fe₂O₃는 정촌 유적 옹관에서 4.97~6.66 wt.%, 오랑동 유적의 옹관에서 5.31~6.19 wt.%의 분포범위를 나타내며, 444는 Fe₂O₃과 Al₂O₃ 함량이 높은 편이다.

L.O.I.는 오랑동 유적은 0.05~2.13 wt.%, 정촌 유적의 옹관은 1.13~6.46 wt.%의 분포 범위로 정촌유적 시료가 다소 높은 편이다. L.O.I.의 값은 옹관의 소성온도와 관련이 있으며(Kim *et al.*, 2009), L.O.I.의 함량이 높은 경우 소성도가 낮을 가능성이 있다. 또한 연질 토기의 경우 매장 후 기공사이로 많은 토양이 집적된 경우에도 L.O.I 값이 높아질 수 있으므로 해석에 유의해야 한다.

각 옹관시료의 산지추정을 위해 주성분 원소는 화강암의 평균함량(Nockolds, 1954), 희토류 원소는 운석의 초생

Figure 10. X-ray diffraction pattern of jar coffins samples from Oryang-dong site (Q; quartz, O; orthoclase, Mu; mullite, Her; hercynite).

Figure 11. X-ray diffraction pattern of jar coffins samples from Jeongchon site (Q; quartz, O; orthoclase, M; mica groups, Mu; mullite, Her; hercynite).

Table 3. Contents of major elements(wt.%) and trace elements(ppm) of jar coffins from Oryang-dong site and Jeongchon site

	403	404	405	406	434	435	444	B-52	B-53	B-63	B-64	R-52	R-53	R-63	R-64
SiO ₂	67.04	64.83	64.45	64.52	64.38	63.4	63.84	65.62	65.92	65.9	65.23	66.07	68.00	66.23	65.21
Al ₂ O ₃	18.91	17.89	19.62	17.49	20.13	20.41	21.22	19.94	20.92	20.44	20.71	19.83	19.46	19.81	20.57
Fe ₂ O ₃	5.08	5.57	5.03	4.97	6.56	5.92	6.66	5.75	5.84	5.55	5.56	5.53	5.31	5.43	6.19
MnO	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.07	0.05	0.08	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.07
MgO	1.22	1.06	0.84	0.86	1.28	1.10	1.62	1.17	1.18	1.28	1.13	1.15	1.17	1.14	1.14
CaO	0.30	0.26	0.26	0.30	0.29	0.23	0.33	0.26	0.34	0.23	0.27	0.29	0.33	0.22	0.21
Na ₂ O	0.67	0.63	0.64	1.00	0.60	0.51	0.62	0.52	0.65	0.44	0.53	0.60	0.69	0.39	0.38
K ₂ O	3.63	3.51	3.63	3.89	3.97	3.93	3.48	3.60	3.17	3.65	3.16	3.37	3.49	3.62	3.41
TiO ₂	0.75	0.73	0.76	0.63	0.93	0.86	0.89	0.77	0.77	0.80	0.88	0.83	0.78	0.75	0.82
P ₂ O ₅	0.06	0.07	0.12	0.09	0.08	0.07	0.09	0.06	0.07	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.07
LOI	1.15	5.55	4.88	6.46	1.96	3.19	1.13	1.04	0.89	1.20	2.01	0.89	0.05	1.96	2.13
Total	98.87	100.20	100.30	100.20	100.20	99.66	99.95	98.77	99.83	99.63	99.59	98.68	99.39	99.66	100.20
Be	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Co	14	11	14	10	15	15	15	14	13	16	16	17	17	18	20
Cr	94	84	111	69	78	91	147	68	83	73	72	93	74	71	70
Cu	11	21	14	11	22	18	21	38	19	44	11	21	12	24	20
Hf	4.0	3.8	4.5	4.1	4.7	4.6	4.0	4.7	4.6	3.5	5.1	4.6	4.7	5.0	5.3
Ni	37	35	45	30	30	35	49	30	31	25	25	32	25	31	32
Pb	33	32	35	34	34	31	26	28	29	34	30	32	32	38	41
Rb	210	220	190	140	210	190	290	220	200	180	160	210	180	200	150
Sc	11.1	11.0	10.8	9.7	12.8	11.8	14.4	11.0	11.5	11.3	12.7	11.2	11.5	11.1	11.4
Sr	98	90	92	118	126	119	109	97	99	96	95	98	103	91	88
V	81	78	80	69	100	89	109	81	83	80	90	83	83	85	83
Zn	99	97	103	127	98	96	109	91	92	104	89	98	86	94	99
Zr	266	266	186	158	192	187	186	202	179	178	191	194	171	175	201
La	48.6	40.8	40.8	34.8	44.5	41.9	48.7	48.3	51.8	45.7	44.7	44.4	47.7	39.4	40.0
Ce	87	78	77	60	84	76	94	86	80	78	85	82	75	77	83
Nd	35	44	36	42	29	22	27	48	44	40	30	28	27	33	17
Sm	5.5	5.0	5.0	4.4	5.3	4.9	6.0	5.8	6.3	5.3	5.6	5.4	5.9	4.6	4.9
Eu	1.4	1.3	1.4	1.1	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.2	1.3
Yb	2.3	2.5	2.2	1.9	2.3	2.3	2.7	2.4	2.0	1.9	2.6	2.1	2.1	2.0	2.0
Lu	0.30	0.25	0.36	0.32	0.33	0.26	0.28	0.33	0.36	0.27	0.29	0.33	0.32	0.26	0.24

치(Taylor and McLennan, 1985)를 기준으로 표준화하였고 이동성 및 불이동성 원소를 선별하여 맨틀조성(Pearce, 1983)으로 표준화하여 Figure 12에 도시하였다. 각 토기의 희토류 원소 및 호징·불호징 원소는 거동 특성이 비슷하여 원료물질과 유사할 것으로 추정된다.

4. 고 찰

4.1. 옹관의 재료적 특성과 산지 추정

오랑동과 정촌 출토 옹관편의 전암대자율은 대체로

0~1($\times 10^{-3}$ SI)이고 주구성 광물은 석영, 정장석, 운모 등으로 바탕흙은 거의 유사한 것으로 나타났다. 다만 정촌 고분 출토 404와 406은 전암대자율 2~4($\times 10^{-3}$ SI)로 다소 높게 나타났다.

두 유적 출토 옹관의 구성광물은 유사하지만, 첨가한 비집의 크기와 종류가 지역에 따라, 옹관의 부위에 따라 약간 다르게 나타났다. 오랑동 출토 시료는 2~3 mm의 풍화된 석영, 장석이 첨가물로 관찰되었고 미정질 입자가 적은 반면, 정촌 출토 시료는 3 mm 이상의 다결정질 석영이 주요 비집으로 관찰되었고 0.1~0.5 mm의 미세립질 석영입자가 많이 분포하였다. 오랑동 유적과 정촌 유적 옹관의 장식류

는 편광현미경 관찰과 XRD분석 결과를 종합하면 정장석으로 확인되고 있다. 이는 나주 오랑동 유적지 내 태토 저장공에서 확인된 토양 분석결과와도 일치하는데, 태토 저장공 토양에서는 장석 중 사장석이 발견되지 않고 정장석만 발견된 것으로 보고 된 바 있다(Naju National Research Institute of Cultural Heritage, 2012).

또한 오랑동 옹관시료는 구연부보다는 동체부에서 큰 비짐과 세립질 입자들이 더 나타난 것으로 보이며 제작과정에서 구연부보다는 동체부에 비짐과 입자들을 더 추가한 것으로 생각된다. 구연부와 동체부 모두 두께는 16~79 mm로 상당히 두껍지만 전체 하중과 안정성을 고려하여 동체부에 비짐을 더 추가한 것으로 생각된다.

주성분과 미량 성분을 표준화하여 화강암과 운석 조성치와 함께 성분을 비교해 본 결과에서 옹관편 중 일부는 특

정 원소에서 부화와 결핍 양상의 차이가 있지만 비교적 비슷한 함량분포를 나타내어 성인적 동질성이 인정된다. 따라서 나주 오랑동 유적의 옹관들과 정촌 고분 출토 옹관들은 모두 재료적 동질성이 있는 것으로 판단된다. 이 결과를 선행연구에서 도출된 오랑동 옹관분석 결과와 비교하였다. 주성분 원소를 산화물별로 구분하여 도시한 제겔식 분포도(Figure 13A)와 주성분 원소 및 미량원소 분포도(Figure 13B, 13C)에서도 기존 오랑동 유적 출토 옹관분석 결과와 이 연구에서 분석된 오랑동과 정촌옹관들이 같은 영역에 도시되었다. 그러나 미량성분 중 일부 원소(La/Yb-Sc/Ni 분포도, Figure 13D)에서는 정촌 고분의 시료들이 오랑동 유적의 옹관들과 서로 다른 영역에 도시 되기도 한다. 이는 한 지역의 동일한 성인의 기반암 기원 토양이라도 풍화도가 다른 사면에서 태토를 채취하는 과정에 따라 또는 비짐

Figure 12. Normalized element distribution of jar coffins from Oryang-dong site and Jeongchon site showing major elements(up), rare earth elements(middle), compatible and incompatible elements(down).

Figure 13. Distribution Diagram of the major and trace element of jar coffins from Oryangdong site and Jeongchon Site(Oryangdong site(88)-Lee *et al.*, 2013).

첨가특성에 따라 일부 미량원소의 함량이 달라질 수 있다고 생각된다.

결국 나주 정촌 고분과 오량동 유적은 광물학적 및 지구 화학적 분석 결과를 종합적으로 판단할 때 재료적 동질성이 인정된다. 또한 영산강을 사이에 두고 직선거리로 1.9 km 떨어져 있으며 오량동 유적이 옹관의 생산유적이라는 점을 고려한다면 나주 정촌 고분 출토 옹관들은 오량동 유적지에서 생산되어 공급되었을 것으로 판단된다(Figure 14).

4.2. 옹관의 소성온도 추정과 소성환경

보통 토기의 소성온도는 광물조성, 흡수율, 색, 미세구조 등을 고려하여 판단하는데 오량동 옹관의 소성온도는 900~1,000℃로 소성된 저온 그룹과 1,000~1,100℃ 이상에서 소성된 고온 그룹으로 구분되었다(Table 4). 특히 오량동 시료 53R과 53B는 흡수율이 매우 낮았고 토기 기질의 용융 및 재결정화가 진행되어 1,100℃ 전후의 열을 받았을 것으로 보인다.

정촌 고분 옹관편은 403과 444를 제외하면 모두 900℃ 이하에서 소성된 것으로 추정된다. 403은 1,000~1,100℃로 추정되며 444는 기질이 모두 재결정화되고 기포가 내부

Figure 14. Geological Characteristics of Jeongchon site and Oryangdong site(Source; Naver Map).

에 남아있는 상태로서 소성온도는 1,100℃ 전후로 추정하였다.

옹관은 토기와 달리 규모가 크기 때문에 성형은 물론 가마제임과 가마소성에도 많은 시간과 노력이 소요된다. 특히 대옹은 높이 2 m, 소옹은 1 m에 육박하고 두께도 보통 10~80 mm로 상당히 두꺼워 일정한 소성온도와 균일한 소성은 어려울 것으로 보인다. 국립나주문화재연구소의 2016년 옹관복원 실험에서도 아궁이와 가까운 곳일수록 온도가 높게 유지되지만 멀어질수록 온도 차이가 상당히

Table 4. Estimation of firing temperature of jar coffin samples based on the mineralogical components and water absorption

Sample name	Quartz	Mica	Orthoclase	Mullite	Hercynite	Firing temperature	Absorption(%)
52R	***	-	**	**	**	1,000~1,100℃	14.35
52B	***	-	**	**	**	1,000~1,100℃	12.79
53R	***	-	**	**	**	about 1,100℃	3.50
53B	***	-	**	**	**	about 1,100℃	7.63
63R	***	-	**	-	-	900~1,000℃	18.79
63B	***	-	**	-	-	900~1,000℃	18.13
64R	***	-	**	-	-	900~1,000℃	19.88
64B	***	-	**	-	-	900~1,000℃	18.25
403	***	-	*	**	**	1,000~1,100℃	12.13
404	***	**	**	-	-	below 900℃	17.93
405	***	*	**	-	-	below 900℃	20.59
406	***	*	**	-	-	below 900℃	21.14
434	***	*	**	-	-	below 900℃	19.34
435	***	*	**	-	-	below 900℃	18.81
444	***	-	*	**	**	about 1,100℃	-

크게 관측되었다. 즉 800℃에서는 연소부와 연도부의 천장 온도편차가 약 250℃로 나타나며 1,199℃에서는 400℃ 정도 차이가 났다(Naju National Research Institute of Cultural Heritage, 2017c). 가마의 온도가 올라갈수록 온도편차가 커짐을 짐작할 수 있으며 이는 옹관 완성품의 소성도와 깊은 관계가 있을 것으로 생각된다.

실제 오량동 유적 출토품 중 구연과 동체 시료의 소성도와 비짐 특성을 비교한 결과, 저온 소성시에는 소성도가 유사했으나 고온소성품일수록 소성도에서 큰 차이를 보였다. 즉 900~1,000℃에서 소성된 63R/63B와 64R/64B는 흡수율이 18~19%로 구연(R)과 동체(B)는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 1,000~1,100℃에서 소성된 52R/52B와 53R/53B는 흡수율 차이가 나타났다. 특히 53R(구연)은 약 1,100℃의 온도를 경험하여 흡수율 3.50%, 53B(동체)는 흡수율 7.63%로 나타났는데 가마재임 위치에 따라 소성온도가 달라져 흡수율은 크게 달라진 것으로 생각된다.

또한 오량동 옹관편 52B와 53R에서는 동일시료의 표면과 내면에서 전암대자율이 다르게 나타났다. 본래 전암대자율은 자철석에 의한 자화강도를 표시하는데, 토기의 경우 소성되면서 철의 산화상태에 따라 다소 증가하는 경향이 있으며 환원환경에서 특히 증가율이 높다(Jang and Lee, 2014). 52B와 53R은 표면의 철산화물이 환원되면서 전암대자율이 증가하였을 것으로 보인다. 일반적으로 동

일 시료인 경우에는 전암대자율 편차는 크지 않지만 옹관은 상당한 두께를 가지고 있고 환원환경에서의 시간이 길어질수록 전암대자율은 증가할 것으로 생각된다.

5. 결 론

이 연구에서는 나주 오량동 유적과 정촌 고분 출토 옹관 시료 15점을 대상으로 재료적 분석을 실시하였고 제작기법과 소성특성을 해석하였다.

1. 오량동 유적 출토 옹관과 정촌 고분 옹관시료는 대부분 회색계열의 색을 가지고 있다. Munsell soil color chart의 표준 색상으로 옹관의 색도를 확인해 본 결과, 오량동 옹관의 시료는 내·외부와 속심 모두 회색계열인 반면 정촌 고분 출토 옹관의 경우 내·외부는 연한 황색계열을 보여 회색인 속심과 색상차가 있다. 옹관은 두께가 두꺼운 편이므로 열 전달에 따라 표면부와 내부의 속심 간 색상차가 발생하는 것으로 판단된다.

2. 흡수율과 비중 측정 결과 오량동 유적 시료의 흡수율 3.50~19.88%, 비중 1.65~2.06이며 정촌 고분의 옹관시료는 흡수율 12.13~21.14%, 비중 1.62~1.85으로 오량동 시료가 다소 낮은 흡수율을 보여 소성도가 높은 것으로 생각된다. 한편 나주 오량동 유적의 53R과 53B는 흡수율이 각각 3.50, 7.56%으로 다른 옹관에 비해 매우 낮았고 동일시

료에서 소성도가 서로 다른 결과를 보였다.

3. 실체현미경과 편광현미경을 통해 단면을 관찰한 결과 오랑동 유적 시료는 전체적으로 회색조를 띠고 유리질화된 기질을 갖는 시료가 많은 반면, 정촌 고분 시료는 적색도가 높고 기질이 유리질화되지 않은 시료가 많이 관찰된다. 주구성광물은 석영, 장석, 흑운모이며 오랑동 유적의 옹관에 첨가된 광물은 주로 풍화된 석영과 장석이며 나주 정촌 유적 출토 옹관에는 다결정질 석영과 장석이 관찰된다. 오랑동 옹관시료는 구연보다 동체부에 비집이 더 첨가된 것으로 보인다.

4. 주사전자현미경으로 미세조직을 관찰하고 X-선 회절분석으로 광물상을 조사한 결과, 오랑동 시료 52R과 52B는 1,000~1,100℃, 53R과 53B는 1,100℃ 전후의 소성온도를 가지는 것으로 판단된다. 정촌 고분 시료 444는 과소성된 것으로 보이며 403은 1,000~1,100℃에서, 나머지 정촌 옹관편은 900℃ 이하에서 소성된 것으로 추정된다.

5. 주성분 원소의 상관분포도에서 오랑동 옹관과 정촌 옹관은 같은 영역에 표시되었다. 또한 주성분과 미량성분을 표준화한 결과, 동일한 거동 특성을 보여 두 지역 옹관의 재료 물질의 성인적 동질성이 확인되었다. 따라서 나주 정촌 고분 출토 옹관은 오랑동 생산유적에서 제작되고 공급된 것으로 추정된다. 다만 미량원소의 분포도에서 다소 차이를 보이는 것은 원료의 준비 과정의 차이일 수 있으며 오랑동 유적의 구릉 사면의 토양 특성이 미세하게 다를 수 있을 것으로 판단된다.

6. 오랑동 유적 출토 옹관의 구연과 동체부는 대부분 동일한 물성을 보였으나 동일 옹관(53R, 53B)에서도 구연과 동체부의 흡수율이 다르게 나타났다. 이는 가마 내에서 균일한 열전달과 유지가 어려웠음을 의미하며 가마재임 위치에 따라 옹관들의 소성온도도 달라졌을 것으로 판단된다. 또한 오랑동 52R/52B와 53R/53B는 환원소성에 의해 옹관 표면의 전암대자율이 상승하였지만 내면에서는 변화가 없었던 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 국립문화재연구소 문화유산조사연구(R&D)의 일환으로 수행되었으며 국립나주문화재연구소의 시료 협조에 감사드린다. 또한 국립나주문화재연구소의 『羅州 五良洞 窯址 III』에 수록된 연구결과를 수정·가필하였다.

REFERENCES

- An, H.K. and Kang, H.T., 1986, Scientific considerations of jar coffins from Yeongam Naedong-ri Chobungol tomb. Gwangju National Museum. (in Korean)
- Chung, K.Y., Kang, D.Y. and Lee, J.H., 2004, A study on the origin of the 5th century of jar coffins by neutron activation analysis. 20th Proceedings of the Conference on Conservation of Cultural Heritage, Seoul, October 4~5, 55-65. (in Korean)
- Jang, S.Y. and Lee, C.H., 2014, Mineralogical study on interpretation of firing temperature of ancient bricks: Focused on the bricks from the Songsanri tomb complex. Journal of Conservation Science, 30(4), 399 (in Korean with English abstract).
- Jeon, Y.H., 2013, A study on the production techniques of jar coffins around Yeongsan river through experimental archeology. Honam-History, 52, 87-131. (in Korean)
- Jo, K.J. and Kim, Y.J., 1986, Review of production method by scientific analysis of jar. Yeongam Naedong-ri Chobungol tomb. Gwangju National Museum. (in Korean)
- Jo, M.S., 2011, Research on the ceramic manufacturing technology of the large jar coffin in the Yeongsan river basin through experimental archaeology method. Sungsil-History, 27, 161-197. (in Korean)
- Jordanova, N., 2001, Factors determining magnetic enhancement of burnt clay from archaeological sites. Journal of Archaeological Science, 28, 1137-1148.
- Kim, R.H., 2012, Material characteristics and clay source interpretation of U-shaped jar coffins from the ancient tombs in the Yeongsan river basin, Korea. Doctor's thesis, Kongju National University, Gongju, 289-293. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.K., Han, M.S., Moon, E.J., Kim, Y.H., Hwang, J.J. and Lee, H.H., 2009, Mineralogical composition and physical variation of reproduced potteries based on chemical composition and firing temperature. Journal of Conservation Science 26(3), 311-324. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Kim, R.H., Jin, H.J., Lee, J.H., I, J.H. and Kim, K.H., 2013, Analysis of raw clay and provenance of jar coffins from Oryangdong site in Naju, Korea. Naju National Research Institute of Cultural Heritage. (in Korean with

- English abstract)
- Lee, C.H., Kim, R.H., Kim, A.R. and Sin, S.Y., 2011, Research report on composition of predecessor large-sized private jar coffins. Naju National Research Institute of Cultural Heritage. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Kim, R.H., Park, J.H., Kim, M.K., Lee, J.M., Lee, K.H., Lee, J.H., Lee, E.J., Lee, J.H., Park, J.H. and Jin, H.J., 2014, Restoration of distribution network by scientific analysis for the provenances and raw clay of the jar coffins. Naju National Research Institute of Cultural Heritage. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Kim, R.H., Park, J.H. and Lee, J.H., 2015, Restoration of distribution network by scientific analysis for the provenances and raw clay of the jar coffins. Naju National Research Institute of Cultural Heritage. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Seo, J.S., Kim, R.H., Kim, J.Y., Jeong, H.S. and Choi, E.Y., 2009, Interpretation of making environment and reproduction experiments of jar coffins from the Oryangdong kiln site and Ungokdong tomb site in Naju, Korea. Naju National Research Institute of Cultural Heritage. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Kim, R.H., Kim, J.Y., Jang, S.Y., Kim, A.R. and Kim, H.Y., 2010, Research report of interpretation of making environment of big jar coffins around Yeongsan river. Naju National Research Institute of Cultural Heritage. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Kim, R.H., Han, N.R., Kim, A.R. and Jin, H.J., 2012, Research report on analysis of ingredients of large-sized private jar and kiln restoration. Naju National Research Institute of Cultural Heritage. (in Korean with English abstract)
- Naju National Research Institute of Cultural Heritage, 2012, Research project for restoring the technology used in making ancient big jar-coffins. (in Korean)
- Naju National Research Institute of Cultural Heritage, 2017a, Report on the excavation of Naju Orangdong kiln site 3, 7~8th. 48. (in Korean)
- Naju National Research Institute of Cultural Heritage, 2017b, The tombs of Jeongchon in Naju Bogam-ri. 483. (in Korean with English Abstract)
- Naju National Research Institute of Cultural Heritage, 2017c, Research project for restoring the technology used in making ancient big jar-coffins, Comprehensive Report. 80-143. (in Korean)
- Nho, M.S. and Park, D.S., 2010, A study of pot firing method by observing firing trace of large pottery jar. Old Culture, 75, 5-25.
- Nockolds, S.R., 1954, Average chemical compositions of some igneous rocks. Geological Society of American Bulletin, 65, 1007-1032.
- Pearce, J.A., 1983, Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. Continental Basalts and Mantle Xenolith, Shiva, 230-349.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312.
- Yang, P.S. and Park, C.W., 2005, A study on manufacturing technologies of the large-sized jar-coffins exhumed mainly in the Young San river area. Conservation Studies, 26, 57-75. (in Korean with English abstract)
- Yang, S.Y. and Jo, Y.B., 1986, Investigation of firing temperature and properties jar coffins from Yeongam Naedong-ri Chobungol tomb. Gwangju National Museum. (in Korean)