소성온도와 혼입물 함량이 옹관의 물성에 주는 영향에 관한 연구

김규빈¹ | 정광용

한국전통문화대학교 보존과학연구소

A Study on Influence of Firing Temperature and Temper Content on the Physical Properties of Earthenware Coffin

Kyu Been Kim¹ | Kwang Yong Chung

Conservation Science Laboratory, The Korea National University of Cultural Heritage

¹Corresponding Author: volv7volv@naver.com, +82-10-4441-7254

초록 점토에 혼입물이 포함되면 수축의 정도를 완화시켜 건조과정에서의 비틀어짐이나 갈라짐을 막아주는 역할을 한다. 이에 삼국시대에 제작된 나주 옹관을 바탕으로 옹관 제조 시 태토에 첨가하는 혼입물의 역할과 환원 소성 시 발생하는 태토의 상태 변화로 인한 옹관의 물성변화를 규명하였다. 나주 오량동 유적의 태토를 이용하여 혼입물 비율(0%, 20%, 40%)을 달리 배합한 재현시료를 제작하고, 여기에 소성온도(1000℃, 1100℃, 1200℃)를 달리하여 소성하였다. 소성 완료된 시료는 육안 관찰, 광학현미경(50배) 관찰, 비중·기공률 측정을 통해 물리적 특성을 확인하고, X-선 형광 분석(XRF), X-선 회절 분석(XRD)을 통해 성분의 함량과 특정 광물의 존재 여부를 확인하였다. 그 결과 소성온도 증가에 따른 체적 팽창과 원형의 기공 발생, 혼입물 함량 증가에 따른 비중 증가가 발생하였으며, XRF 분석에서는 SiO₂의 증가와 Al₂O₃의 감소 현상이 일어났다. SiO₂의 증가는 혼입물을 이루는 석영 입자의 영향 때문으로 추정되며, 따라서 혼입물의 첨가는 소성온도 증가로 인해 발생하는 태토의 체적 팽창을 억제하기 위한 것으로 판단된다.

중심어: 옹관, 태토, 혼입물, 환원소성, 비중, 흡수율, XRF, XRD, 체적, 팽창, 억제

ABSTRACT Adding temper into clay prevents to shrink and crack, or twist the clay during the dry process. The purpose of this study is to identify the role of temper and the physical property of earthenware coffin according to the clay state modification in the reduction firing based on earthenware coffins found in Naju which had been made in Three Kingdom Period. Clay from the Oryang-dong site in Naju was used as circle shaped samples. The samples were tempered with various proportions (0%, 20%, 40%) and fired in various temperature (1000℃, 1100℃, 1200℃). Physical properties were identified by macroscopy, an optical microscope (x50), specific gravity and porosity. Chemical components and existence of specific minerals were identified by analysing XRF and XRD. As a result, the more firing temperature increase, clay volume expansion. To prevent the volume expansion, temper was added.

Key Words: Earthenware coffin, Source soil, Temper, Reduction firing, Specific gravity, Absorption factor, XRF, XRD, Volume, Expansion, Suppress

1. 서론

옹관은 시신 또는 화장한 뼈를 담아 매장하는 토기류의 총칭으로 화북지방에서 유래하여 신석기시대 이래 요동을 거쳐 한반도로 들어온 것으로 보는 것이 일반적이다(Kim, 1980). 옹관은 옛날부터 생활용으로 사용되다가 어린 아이가 죽으면 관으로 사용되어 왔다. 그런데 영산강유역에서는 성인의 관으로 사용하기 위해서 옹관을 별도로 제작하였다. 특히 옹관의 크기가 2m 이상, 무게도 300kg 이상으로 대형화하였다. 그리고 대형의 전문화된 옹관은 거대 분구를 쌓은 고총고분의 매장시설로 사용하였다. 이처럼 대형옹관을 사용한 매장 풍습은 영산강 유역의 고대사회를 특징짓는 핵심적인 요소이다.

옹관을 제작할 때는 보통 이차 퇴적 점토에 모래를 비짐(혼입물)으로 섞은 진흙을 사용하였다. 여기서 비짐이라는 혼입물이 점토에 포함되면 수축의 정도를 완화시켜 건조과정에서의 비틀어짐이나 갈라짐을 막아주는 역할을 한다. 대표적으로 장란형 토기와 같이 형태가 큰 토기를 제작할 때 토기의 형태유지를 위해서 다량의 혼입물이 포함된 점토를 사용하였을 것이라고 추측된 바 있다(Han, 2011).

나주 오량동 가마 유적에서 출토된 옹관에 관한 연구는

2000년대 후반 이후로 계속 진행되었으며, 옹관 제조에 사용된 혼입물의 입자 크기와 광물 특성을 규명한 바 있다(Jang, 2010; Kim, 2012). 더불어 나주 오량동 유적에서 채취한 점토와 혼입물을 배합하여 옹관을 재현하는 야외소성실험도 진행되었다(No, 2010; Jo, 2011).

본 연구는 삼국시대에 제작된 나주 오량동 유적 옹관을 바탕으로 옹관 제조 시 태토에 첨가하는 혼입물의 역할과 환원 소성 시 발생하는 태토의 상태 변화로 인한 옹관의 물성변화를 규명하였다. 이에 나주 옹관이 발견된 주변 지역에서 채취한 태토로 다양한 조건에서 소성시킨 재현시료를 제작하고, 이를 바탕으로 물리적·화학적 특성을 규명함으로써 당대 옹관과 가장 유사한 제작기법을 추정하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 실험재료

나주 오량동 유적에서 채취한 태토로 재현시료를 제작하였다. 재현시료에 사용된 태토는 전라남도 나주시 오량동에 위치한 도로유적(Figure 1)의 태토 저장공(Figure 2,

Figure 1. Source of Clay - Historic Site at Oryangdong, Naju.

Table 1. Analysis of Elements in Clay and Temper.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
Clay A	65.60	15.39	5.73	0.59	2.51	1.57	1.09	0.14	0.91	0.05	5.49
Clay B	67.47	17.21	4.51	0.12	2.46	0.32	0.66	0.05	0.84	0.06	6.34
Temper	68.85	9.35	0.40	0.96	2.93	1.97	0.13	0.01	0.08	0.03	15.28

*Measure: %

Figure 2. Source of Clay - Collected at “Site B - Su 4 (Round Area)”, which is Located at Historic Site at Oryangdong, Naju. **Figure 3.** Cross Section of Earthenware Coffin Excavated at Naju Oryangdong Site Containing many tempers.

Site B - Su 4)에 보관되어 있던 토양으로 (Mahan Culture Research Center, 2011), 색은 회색 바탕에 황색 토양이 일부 섞여 있다. 점질은 매우 부드럽고 알갱이가 거의 포함되지 않은 상태로, 상당한 풍화가 이루어진 토양이다. 혼입물은 석영이 많이 함유되어 있고 입도가 고운 모래로 준비하였다.

재현시료와의 비교를 위해 나주 오랑동 유적에서 발견된 옹관을 준비하였다(Figure 3). 실체현미경으로 조직을 확대해서 관찰해본 결과, 옹관의 색은 회색이고 다양한 입도의 혼입물이 분포되어 있으며, 원형의 기공이 골고루 분포되어 있다.

재현시료와 선행 연구(Kim and Lee, 2011)된 옹관과의 광물적 동질성을 확인하기 위해 파장분산형 X선 형광 분석기(WD-XRF)와 X선 회절 분석기(XRD)를 이용하였다. 재현시료에 사용되는 태토와 혼입물은 24시간 건조 후 분말화 하였으며, WD-XRF에 분석될 시료는 별도로 고온에서 용융시킨 Bead를 제작하였다.

태토와 혼입물의 주성분에 대한 분석 결과는 아래 표와 같다(Table 1). 재현시료에 쓰인 태토를 ‘Clay A’로 지정하고, 혼입물은 ‘Temper’로 지정하였다. 선행연구(Kim and Lee, 2011)에서 분석된 태토는 ‘Clay B’로 지정하였다.

Clay A와 Clay B의 주성분은 분석된 결과만을 비교해

볼 때 특별히 유의미한 차이는 발견되지 않았다. Clay A와 Temper와의 성분 비교에서는 Temper가 Clay A보다 SiO₂ 함량이 많고, K₂O, Na₂O를 제외한 그 외 성분들은 Clay A에 비해 적은 함량을 보이고 있다.

X선 회절 분석기를 이용한 광물 조성(Figure 4)은 Clay A와 Clay B는 알칼리장석이 일부 검출 된다는 점에서 공통점이 있다. 그러나 Clay A에서는 사장석과 Illite가 검출되고 Zeolite라는 알칼리·알칼리토금속의 규산알루미늄 수화물이 발견된다는 점에서 Clay B와 확연한 차이를 보인다. Temper 분석 결과와 비교했을 때, Temper은 Clay A에 비해 장석류가 검출되고 Zeolite는 검출되지 않았다.

2.2. 시편제작

혼입물 함량에 따른 소성 후 물성변화를 알아보기 위해, 재현시료는 태토 시료에 혼입물 함량을 달리 하여 첨가시켰다. 혼합된 태토와 혼입물은 원형의 알루미늄 틀에 눌러 담아 직경 35mm, 높이 9mm의 규격으로 제작하였다. 소성 온도는 각각 1000℃, 1100℃, 1200℃ 3종류로 설정하고 (Kim and Lee, 2011; Jo, 2011; Jang, 2011) 각각 온도별로 혼입물을 태토와의 무게비에 따라 0%, 20%, 40% 9점을 제작하였다(Table 2, Figure 5).

Table 2. The Number of Samples.

Temperature Ratio of Tempers	1000℃	1100℃	1200℃
0%	N1	N4	N7
20%	N2	N5	N8
40%	N3	N6	N9

Figure 4. XRD Results of Clay and Temper - (A) Clay A (B) Clay B (C) Temper. Q: Quartz, P: Plagioclase, I: Illite, A-f: Alkali Feldspar, K: Kaolinite, Z: Zeolite, M: Mica O: Orthoclase.

Figure 5. Circumstance of Sample before Firing, which is Made of Circle Shape, Diameter 35mm, Height 9mm.

Table 3. Result of Element Analysis.

Temp	Temper	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
1000	0%	70.39	16.53	5.45	0.64	2.70	1.58	1.14	0.25	0.94	0.06	0.34
	20%	73.20	14.86	4.12	0.78	2.99	1.80	0.82	0.19	0.65	0.05	0.55
	40%	73.60	14.38	4.08	0.82	2.97	1.82	0.78	0.20	0.62	0.05	0.69
1100	0%	69.78	16.23	5.36	0.63	2.65	1.55	1.12	0.23	0.94	0.06	1.44
	20%	72.58	14.76	4.59	0.75	2.82	1.69	0.85	0.24	0.69	0.06	0.98
	40%	73.32	14.64	4.13	0.87	2.97	1.88	0.79	0.19	0.64	0.05	0.52
1200	0%	70.53	16.63	5.44	0.63	2.71	1.57	1.14	0.23	0.95	0.06	0.12
	20%	72.51	15.11	4.52	0.81	3.09	1.81	0.83	0.22	0.67	0.05	0.40
	40%	74.14	14.51	4.02	0.85	2.94	1.87	0.78	0.19	0.63	0.05	0.02

시료의 소성 장비는 전기 오븐을 이용하였으며, 당시의 용관 제조 방식에 따라 인위적인 환원 환경을 조성하였다. 소성되는 과정은 상온에서 분당 2℃로 승온시켜 최고 온도에서 30분간 유지시킨 뒤, 상온까지 분당 2℃로 하온시키는 방식이다.

2.3. 분석방법

2.3.1. 육안 및 현미경 관찰

육안 관찰은 소성된 9개의 시료들의 소성온도별 · 혼입물 함량별로 두께와 직경의 변화를 관찰하였다. 현미경 관찰은 광학현미경으로 50배 태토의 유리질화 정도와 혼입물의 용융 정도를 관찰하였다.

2.3.2. 비중 · 흡수율 측정

비중 · 흡수율 측정은 KS 규정에 제시된 <도자기의 흡수율, 부피 비중, 겉보기 비중 및 겉기공률의 측정 방법>으로 하였다.(KSL4008, 2011) 측정 방법은 건조질량, 수중질량, 포화질량을 측정한 다음, 일정 식에 따라 시료의 비중과 흡수율을 구하였다. 건조질량은 건조기에서 100℃에서 항량이 될 때까지 건조시킨 뒤 측정하였다. 수중질량은 증류수에 침적시켜 5시간 동안 끓인 다음 24시간 동안 그대로 담가둔 뒤, 증류수 속의 시료 질량을 측정하였다. 포화질량은 수중질량 측정 후 증류수로 포화된 시료를 꺼내 젖은 천으로 표면을 가볍게 닦은 뒤 측정하였다. (단, 비중이 너무 가벼워서 증류수에 침적시킬 수 없는 “N7(Table 2)”은 증류수보다 가벼운 알코올에 침적시켜서 알코올 비중을 이용하여 계산하였다.)

2.3.3. X-선 형광 분석(XRF)

주성분 분석은 파장분산형 X-선형광분석기(PHILIPS Tetras, Netherlands)를 이용하였다. 시료의 전처리에는 300mesh로 곱게 분쇄한 시료 0.5g과 용제(Flux) 5.5g과 극미량의 박리제 0.02g을 혼합 후 1000℃ 이상의 고온에 용융시키는 방법으로 실시하였다. 소성 시료와 태토 · 혼입물과의 비교 분석을 위해 소성 시료 뿐 아니라 태토·혼입물도 위와 같이 전처리하였다. 측정 시 Collimator mask는 27mm로 하였으며, 원소측정결과를 산화물 형태로 환산하여 정량하였다.

2.3.4. X-선 회절 분석(XRD)

재현시료의 광물학적 성질 및 소성온도를 추정하고자 X-선 회절분석(XRD, X-ray diffractometer, PANalytical Inc., High-Resolution)하였고, 분석조건은 Anode Material Cu, Generator Settings 40kV, 30mA로 정하였다.

3. 연구결과

3.1. 육안 및 현미경 관찰

소성온도가 높은 시료일수록 두께와 직경이 증가하였으며, 반대로 혼입물 함량이 많아질수록 두께와 직경은 감소하는 경향을 보인다. 이는 1200℃ 시료들에서 확실하게 나타난다. 혼입물이 0% 첨가된 상태로 1200℃에서 소성된 시료(Figure 6, N7)는 20.9mm로 높은 팽창율(9.0→20.9mm)을 보인 반면, 40%를 첨가한 시료(Figure 6, N9)는 동일한 온도에 소성시킨 후에 비교적 낮은 팽창율(9.0→15.2mm)을 보이고 있다.

광학현미경 관찰 결과, 태토 기질의 색상이 소성온도의 증가에 따라 변화되는 양상이 관찰되었다. 1000℃에서는 회색을 띠는 기질이 1100℃에서는 회청색을 띠게 되며,

1200℃에서는 짙은 회색을 나타내게 되었다. 공극의 형태를 살펴보면, 1000℃ 시편에서는 가로 방향의 길쭉한 공극이 관찰되는 데 반해, 1100℃와 1200℃에서는 원형의 공

Figure 6. Diameter and Thickness of Samples. (Measure: mm)

Figure 7. Result of microscopy observation. (N1) 1000℃ (Firing Temperature), 0%(Ratio of Temper), (N2) 1000℃, 20%, (N3) 1000℃, 40%, (N4) 1100℃, 0%, (N5) 1100℃, 20%, (N6) 1100℃, 40%, (N7) 1200℃, 0%, (N8) 1200℃, 20%, (N9) 1200℃, 40%.

극이 관찰된다(Figure 7).

3.2. 비중 · 기공률

비중은 소성온도가 높을수록 감소하였지만, 반대로 혼입물 함량이 많아질수록 증가하는 경향을 보인다. 또한 소

성온도가 올라갈수록 혼입물 함량 증가에 따른 비중의 상승률이 급격히 변하는 경향을 보이고 있다(Figure 8).

기공률은 1000℃ 소성시료에서만 혼입물 함량 증가에 따른 기공률이 감소 현상이 나타날 뿐, 그 외 시료들은 소성온도와 혼입물 함량에 따른 뚜렷한 변화를 관찰하지 못하였다(Figure 8).

Figure 8. Results of Porosity(Left) and Specific Gravity(Right).

Figure 9. Results of Element Analysis. (N1) 1000℃ (Firing Temperature), 0%(Ratio of Temper), (N2) 1000℃, 20%, (N3) 1000℃, 40%, (N4) 1100℃, 0%, (N5) 1100℃, 20%, (N6) 1100℃, 40%, (N7) 1200℃, 0%, (N8) 1200℃, 20%, (N9) 1200℃, 40%.

Figure 10. Results of Mineral Analysis. (N1) 1000°C (Firing Temperature), 0% (Ratio of Temper), (N2) 1000°C, 20%, (N3) 1000°C, 40%, (N4) 1100°C, 0%, (N5) 1100°C, 20%, (N6) 1100°C, 40%, (N7) 1200°C, 0%, (N8) 1200°C, 20%, (N9) 1200°C, 40% Q: Quartz, P: Plagioclase, A-f: Alkali Feldspar, Hry: Hercynite, Mu: Mullite Cor: Cordierite.

3.3. 주성분 분석(XRF)

XRF 분석 결과는 소성온도가 주성분 원소의 함량 변화에는 영향을 주지 않았으나 화합물 조성의 변화에는 영향을 준 것으로 판단되었다. 또한 혼입물 함량이 증가할수록 SiO_2 와 용제 성분(CaO , Na_2O , K_2O)은 증가한 반면 Al_2O_3 은 감소하였다(Table 3, Figure 9).

3.4. 광물조성 분석(XRD)

분석 결과, 소성온도를 높일수록 기존에 있던 Zeolite, Illite가 소멸되었고, 1100°C에서는 Hercynite가 동정되고 1200°C에서는 Hercynite가 소멸되었으며 Mullite가 동정되었다. 또한 시료 내 혼입물이 많아질수록 장석류(Plagioclase, Alkali Feldspar)가 높게 검출되었다(Figure 10).

4. 고찰 및 결론

태토의 소성온도와 혼입물 함량의 조절에 따라 용관의 물성이 어떻게 변화되는지를 알 수 있었다. 소성온도가 높

을수록 비중은 줄어들고 태토의 조직이 균일하게 녹아 유리화 되는 장점이 있다. 하지만 기공의 증가와 순식간에 급변하는 태토의 체적 팽창은 소성된 시료의 경도와 강도를 저하시킬 수 있으며, 동시에 용관 형태의 급격한 변화를 초래할 수 있다. 특히 소성 중간에 태토가 지나치게 녹아 일부 형태가 무너지므로 용관을 소성하기 어려울 수 있다.

1100°C 재현시료부터 기공이 많이 발생하는 이유는 오랜 시간동안 풍화 퇴적을 이루며 만들어진 2차 점토의 특성 때문인 것으로 여겨진다(Figure 7). 2차점토는 1차점토에 비하여 입자가 미세하고 철분과 유기물질의 함유량이 많아 가소성이 매우 높고 소색(燒色)은 짙은 색으로 발색되며, 환원소성 중에 소지 중의 유황이나 염이 고온에서 분해되면 기포를 발생하게 된다(Lee, 1999). 따라서 재현시료의 팽창 현상은 태토에 함유된 유황이나 염 등의 불순물에 의한 것으로 판단된다.

혼입물의 첨가는 이렇게 급격하게 녹아서 팽창하려는 태토 조직들을 혼입물이 잡아주어 체적 팽창을 억제하기 위한 목적으로 행해졌을 것이다. 혼입물 내에 다량 포함된 석영(SiO_2)은 흔히 도자기 제조 시 규석, 규사와 같은 비가소성 재료로 많이 쓰인다(Moon, 2003). 규석을 이루고 있

는 SiO_2 을 도자기의 소지에 첨가시키면, 소성 도중에 일어나는 소지의 수축을 억제해 주며, 기형을 유지하는데 중요한 역할을 해 준다. 주성분 분석결과(Figure 9, Table 3)에 따르면, 혼입물을 많이 첨가할수록 시편에서 SiO_2 의 함량이 높아지는 현상을 볼 수 있다. 이는 혼입물의 SiO_2 함량이 태토에 비하여 훨씬 높은 데서 영향을 받은 것으로 보인다. 이에 SiO_2 가 다량 포함된 혼입물을 태토에 첨가시키면 태토 내에 석영의 함량이 증가하게 되고, 시료의 점력을 떨어뜨려 소성 중에도 시료의 체적 팽창을 억제시키게 된다. 비록 옹관의 환원 소성은 체적이 팽창한다는 점에서, 소성 후 수축이 일어나는 도자기 소성과는 정반대의 현상이다. 그러나 형태의 변화를 억제시켜 준다는 점에서 SiO_2 가 옹관과 도자기에 기여하는 역할은 동일하다고 할 수 있다.

사 사

본 연구는 2012년 국립문화재연구소 R&D 문화유산융복합연구 사업의 일환으로 수행되었다. 연구에 많은 도움을 주신 국립문화재연구소 보존과학연구실과 옹관 시료를 제공해 주신 마한문화재연구원에 감사드린다.

REFERENCES

- Han, J. S., So, J. Y. and Sin, J. K., 2011, Research of the Way of Classification of Baekje Pottery Type at Hanseong Region. (in Korean)
- Jang, S. Y., 2011, Interpretation of Making Environment and Firing Temperature of Jar Coffins from the Oryangdong Kiln Site, Bogamri and Ungokdong Tomb Sites in Naju, Korea, Master's Thesis of Kongju University of Korea. (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 Historic Journal Vol.27. (in Korean)
- Kim, R. H. and Lee, C. H., 2011, Material Characteristics and Firing Temperature of Large Jar Coffins - Focused on Large Jar Coffins Excavated at Oryangdong and Ungokdong, Naju, The 3rd Ancient Jar Coffins Research Symposium. (in Korean)
- Kim, W. Y., 1980, Understanding of Artifacts in Korea (in Korean)
- KSL 4008, 2011, TESTING METHOD FOR WATER ABSORPTION, BULK DENSITY, APPARENT SPECIFIC GRAVITY AND APPARENT POROSITY OF FIRED WHITEWARE PRODUCTS.
- Lee, J. S., 1999, Introduction of Ceramic Art, Jinsam Media (in Korean)
- Mahan Culture Research Center, 2011, Report on the Cultural Heritage Detailed Excavation Survey in the Constructing District of the Detour by the Substitution of National Highway(Dasi-Wanggok) in Naju.
- Moon, J. S and Choi, T. H., 2003, Engineering of Ceramic -Basic Course-, Dooyangsa (in Korean)