

매장환경이 출토 토기에 미치는 영향

장성윤¹ | 남병직 | 박대우 | 유재은
국립문화재연구소 복원기술연구실

Influence of Burial Environments on Excavated Ceramics

Sungyoon Jang¹ | Byeongjik Nam | Daewoo Park | Jae Eun Yu

Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

¹Corresponding Author: fkite@korea.kr, +82-42-860-9344

초록 이 연구는 토기 재질과 토양 특성에 따라 매장환경이 출토 토기에 미치는 물리화학적 영향을 연구하였다. 이를 위해 대전 학하, 아산 음봉, 화성 소근산 그리고 공주 행정중심복합도시 출토 토기와 토양을 연구 대상으로 하였다. 먼저 토기의 탈염을 통해 용출되는 이온의 화학종과 용출속도를 조사한 결과, 토기의 기공크기와 흡수율에 따라 토기 내 이온 유입이 달라졌다. 즉 1,000℃ 이상의 고온 소성된 토기는 기공이 작고 흡수율이 낮아 매장환경의 염 유입 현상이 거의 일어나지 않았다. 그러나 800℃ 이하의 저온 소성된 토기는 기공이 크고 흡수율이 높아 다량의 염이 유입되어 증류수 탈염을 통해 염을 제거하였다. 탈염 2일 만에 40~60%의 염이 제거되었고 탈염 1주일 만에 60~80%의 염이 제거되었다. 또한 토양에 포화되어 있는 이온은 대부분 토기에도 동일한 비율로 존재하고 K₂SO₄와 같이 토양에 잔존하는 비료의 성분도 검출되었다. 그러나 모래 함량이 상당히 높은 사질 토양시료에서는 함유 이온량이 적어 토기에 유입되는 이온의 영향이 비교적 적었고 미사 및 점토 함량이 높은 토양에 매장되었던 토기는 유입되는 이온함량이 높았다. 그러나 저온소성된 토기에서는 다량 유입된 염에 의한 손상이 우려되므로 세척 이외의 탈염을 통한 염 제거가 필요하며 그 기간은 토기의 상태에 따라 달라질 수 있을 것으로 생각된다.

중심어: 매장환경, 토기, 탈염

ABSTRACT This study investigated potential damages and conservation methods for the ceramics (without glaze) by examination of physical and chemical effects from the burial environments. For this study, pottery samples excavated from Daejeon Hakha, Asan Eumbong, Hwasung Sogeunsan and Kongju Haengbokdosi were examined with released ions and extraction through desalination. The result showed that the ion inflow into the ceramics was dependent upon the porosity and the absorption of ceramics. The high temperature fired ceramics (over 1,000℃) have low porosity and absorption, therefore almost no salt infiltration during the burial period. However, low temperature fired ceramics (under 800℃) have high porosity and absorption, and most of salts were removed during the desalination. The 40 to 60% of salts were removed in two days and 60 to 80% of slats were released in a week. Furthermore, fertilizer residues such as K₂SO₄ in soils were detected in the ceramics. Also the characteristics of buried soil affected ion infiltration into ceramics. Ceramics buried in sandy soil had relatively less ion contents from buried environments than those in clayey soil. Therefore, low temperature fired ceramics could do not only cleaning but also desalination if it is necessary, and the period could be decided to the condition of ceramics.

Key Words: Burial environments, Ceramics, Desalination

1. 서 론

발굴을 통해 출토되는 토기는 오랫동안 매장환경에 노출되어 있다. 토양환경은 표면과 공극을 통해 토기에 영향을 줄 수 있으며 토기의 종류와 물성에 따라 다른 손상과 변질을 가져올 수 있다.

출토 토기의 손상은 크게 물리적, 화학적 원인으로 나누어 볼 수 있다^{1,2}. 물리적 손상원인으로는 먼저 토기 제작상의 결함과 토압·식물뿌리 등에 의한 손상이 있다. 토기의 제작결함에 의한 불균일한 두께와 구조는 작은 충격에도 대상 토기를 손상시킬 수 있으며 토압과 식물뿌리의 증식으로 인한 하중은 토기 형태상의 파손을 가져올 수 있다. 화학적 손상원인으로는 출토 후 수분 건조에 따른 염의 결정화 현상과 토양 속에서의 산화환원 반응 등을 들 수 있다. 매장상태에서 토기는 공극을 통해 들어온 수분 및 이온과 평형상태를 유지하지만 출토 후 건조되기 시작하면서 내부에 들어간 염이 결정화되어 토기 표면에 압력을 가하게 되고 재질적으로 약한 토기의 경우에는 손상을 가져올 수 있다. 또한 빗물 및 지하수의 이동으로 인해 토기 구성물질이 용탈되거나 외부 화합물이 흡착될 수 있으며, 토양 미생물에 의해 표면 오염물이 발생되기도 한다.

물리적으로 손상된 토기는 일반적으로 세척, 건조, 강화

처리 등의 과정을 거쳐 보존처리 된다^{3,4}. 그러나 화학적으로 손상된 토기는 손상상태와 원인에 따라 보존처리의 방법도 달라지게 된다. 발굴을 통해 출토되는 대부분의 토기는 공극 내부에 토양환경에서 유입된 염을 포함하고 있으며 출토 후 염은 결정화될 수 있다. 염의 종류에 따라 부피팽창과 결정압이 달라지고 토기의 재질 특성에 따라 그 손상 정도도 달라질 것이다⁵. 또한 매장환경인 토양의 구성 광물과 물리·화학적 특성에 따라 토기에 미치는 영향도 달라질 것이다.

이 연구에서는 매장환경이 토기에 미치는 물리·화학적 영향을 조사하였다. 특히 토기 재질과 토양 특성에 따라 매장환경에서 유입되는 염의 차이와 토기 내 염 제거를 위한 보존처리의 필요성을 검토하였다.

2. 시료 및 연구방법

2.1. 시 료

이 연구에서는 대전 학하, 아산 음봉, 화성 소근산, 공주 행정중심복합도시(이하 행복도시)에서 출토된 토기 잔편과 토양을 대상 시료로 선정하였다(Figure 1, Table 1). D1~3은 대전 학하 4지구에서 출토된 토기(D1, D2)와 도자기(D3)이고 DS는 함께 출토된 토양시료이다. A1 및 AS는 아산

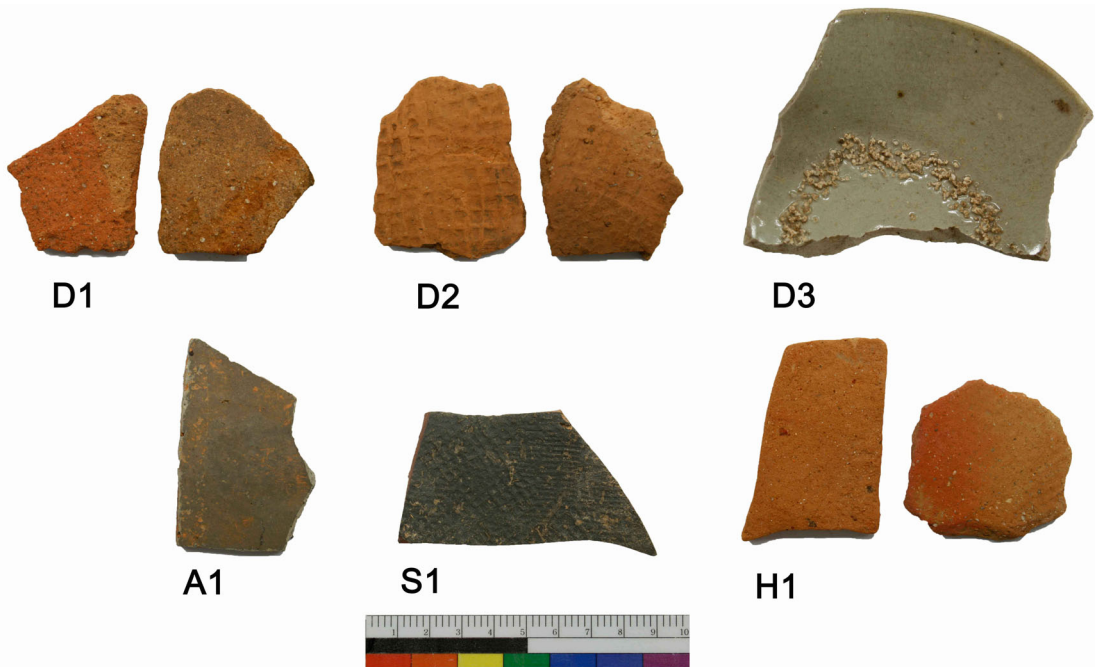
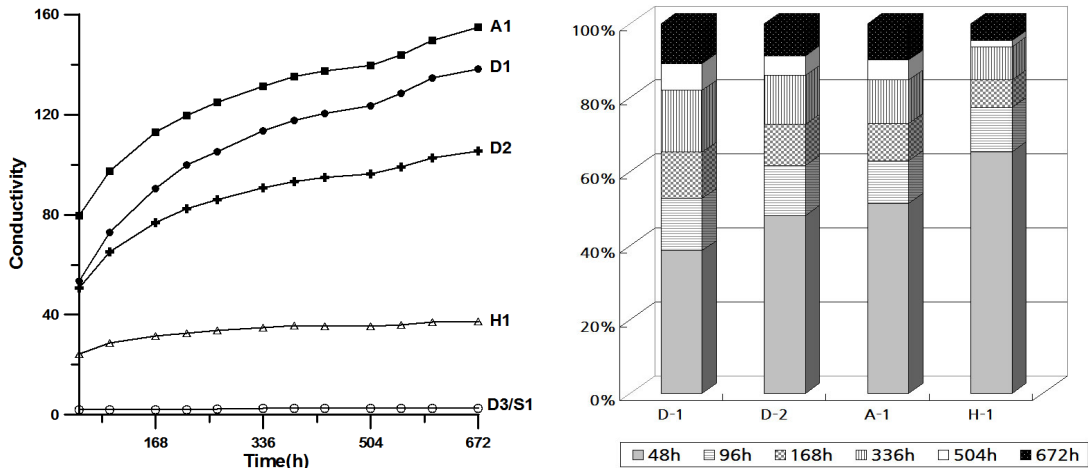


Figure 1. Appearance of ceramic samples.

Table 1. Physical characteristics of samples in this study.

Sample	Site	Type	Porosity(%)	Bulk density(g/mL)	Absorption(%)
D1	Daejeon Hakha	soft textured pottery	36.72	2.71	21.42
D2			36.68	2.68	21.61
D3		whiteware	0.88	2.24	0.39
DS		soil			
A1	Asan Eumbong	soft textured pottery	36.52	2.69	21.40
AS		soil			
S1	Hwasung Sogeunsan	hard textured pottery	1.55	2.31	0.68
SS		soil			
H1	Gongju Haengbokdosi	hard textured pottery	36.92	2.73	21.42
HS		soil			

**Figure 2.** Desalination pattern of excavated ceramics showing the salt extraction according to the time.

음봉에서 출토된 토기와 토양이고 S1 및 SS는 화성 소근산 유적에서 수집한 토기와 토양이다. H1 및 HS는 공주 행복도시 출토 토기 및 토양이다. 각 출토지별 토기와 토양을 대상 시료로 선정했으며 각 재질별 차이를 비교하기 위해 연질·경질 토기 및 도자기를 시료에 포함하였다.

2.2. 연구방법

출토 토기에 유입된 염의 종류를 조사하기 위해 대상 시료를 4주간 증류수에 침적하여 용출되는 이온을 조사하였다. 대상 시료는 증량의 10배에 해당하는 증류수에 침적하였고 물 교체 없이 4주간 탈염하였다. 일주일에 3회씩 탈염 용액을 채취하여 전기전도도(Conductivity meter; Thermo

Scientific Orion 4star, USA)와 이온 농도(Ion chromatography; Dionex ICS-3000, USA)를 분석하였다.

출토 토기의 광물 및 화학 조성은 X-선 회절분석(X-ray diffractometer; PANalytical Empyrean, Netherlands; Cu-K α , 45kV, 40mA)과 X-선 형광분석(X-ray Fluorescence Spectrometer; Philips Magic X, Netherland)을 통해 측정하였고 물리적 특성은 수은주입식 기공도 측정기(Mercury Intrusion Porosimeter; Micrometrics Autopore IV, U.S.A.)와 KS L 4008에 따른 흡수율 및 비중 측정법을 이용하였다.

각 출토지 토양 시료의 토양 pH 및 탈염용액의 전기전도도와 이온 농도를 측정하였다. 또한 2mm 이하의 시료는 레이저 입도 분석기(Malvern, Mastersizer 2000S, UK)로 모래(sand), 미사(silt), 점토(clay) 함량을 분석하였다^{7,8}. 또

Table 2. Chemical contents extracted from each soil and ceramic (ppm).

Sample	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻
D-1	1.75	9.43	0.41	6.60	0.65	24.59	0.79	0.00
D-2	1.06	10.29	0.35	2.39	1.22	18.70	1.39	0.00
D-3	0.10	0.03	0.01	0.19	0.21	0.04	0.00	0.00
D-S	1.03	13.04	1.68	6.59	2.63	28.18	8.46	0.00
A-1	0.71	8.57	1.01	3.54	2.30	22.95	3.94	0.00
A-S	0.77	5.05	0.56	7.18	3.00	21.41	0.48	0.00
S-1	0.09	0.03	0.01	0.11	0.20	0.10	0.01	0.00
S-S	0.91	5.21	0.76	2.74	3.84	7.00	7.14	0.00
H-1	1.49	0.38	0.55	2.62	2.04	4.92	0.63	0.00
H-S	5.06	2.82	1.52	7.83	19.28	5.28	1.25	0.00

한 토양을 구성하는 점토광물 동정을 위해 정방위 및 부정방위 분석법으로 X-선 회절분석(X-ray diffractometer; Mac Science M18XAHF22, Japan)을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토기에 유입된 염의 종류와 용출특성

각 연구지역에서 출토된 토기시료의 이온용출 결과를 Figure 2에 제시하였다. 대전 학하 출토 연질토기인 D1과 D2의 총 용출량(전기전도도)은 100 μ S/cm으로 비교적 높았다. 이들은 증류수 침적 2일 만에 전체 용출 염의 40%가 제거되었고, 2주 만에 전체 용출 염의 80%가 제거되었다. 이와 대조적으로 대전 학하 출토 도자기(D3)와 소근산 출토 경질토기(S1)의 총 용출량은 0~2 μ S/cm으로 염이 거의 용출되지 않았다. 또한 아산 음봉에서 출토된 토기 A1의 총 용출량은 160 μ S/cm으로 대전 학하지구 토기와 유사한 속도로 염 용출이 진행되었다. 한편 행복도시 출토 토기(H1)는 50 μ S/cm의 비교적 낮은 이온을 함유하고 있었고 탈염 2일 만에 전체 용출 염의 60%가 용출되었다.

토기와 토양에서 용출된 이온량과 화학종은 Table 2와 Figure 3에 기재하였다. 토양은 24시간 교반 후 원심분리를 통해 용출된 이온 농도를 측정하였고 토기는 각 시료 무게의 10배의 증류수에 침적하여 1주일 후에 용출된 이온 농도를 측정하였다. 그 결과 출토 지역별 토기와 토양에서 용출된 이온량과 화학종은 유사한 경향을 보였다. 즉 대전 학하지구와 아산 음봉 출토 토기와 토양 시료들은 대체로 K⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻의 농도가 높게 나타났고 용출된 화학종은 그 함

량과 분포에서 거의 유사한 거동특성을 보였다. 반면 화성 소근산과 공주 행복도시 출토 토양은 매우 낮은 이온 용출량을 보이는데 토양 입도와 광물 조성 차이에 기인한 것으로 생각된다. 행복도시 토양시료에서는 이온 용출량은 매우 적었으나 화학종과 그 함량은 토기와 매우 유사하였다. 대부분의 토기와 토양시료들은 비교적 높은 이온함량을 나타냈다. 그러나 고온에서 소성된 대전 학하 출토 백자(D3)와 화성 소근산 출토 경질토기(S1)는 토양에 함유된 화학종이 거의 유입되지 않았던 것으로 나타났는데 낮은 흡수율과 기공률로 인해 이온의 침투가 어려웠을 것으로 생각된다.

토기에 함유된 이온의 용출량과 용출속도는 각 토기의 흡수율 및 기공률과 깊은 관계를 보였다. 즉 토기 D1, D2, A1, H1은 약 21%의 흡수율과 약 36%의 기공률을 가지고 있는데 H1을 제외한 시료의 염 용출량은 총 100 μ S/cm 이상으로 4주에 걸쳐 서서히 용출되었다. Figure 4는 염 용출량이 높은 토기시료의 기공크기 분포도로 4점의 토기는 주로 100~2,000nm의 기공분포를 보였다. 특히 아산 음봉 출토 토기(A1)와 행복도시 출토 토기(H1)는 주로 1,000~2,000nm의 기공이 집중적으로 분포되어 있고 기공률도 높은 편이었다.

반면 흡수율이 0.39인 도자기(D3)와 0.68인 경질토기(S1)는 4주 동안 용출된 이온이 1~2 μ S/cm으로 상당히 적었다. 흡수율과 기공률이 낮은 토기일수록 조직이 치밀하여 토양환경에 존재하는 이온들이 조직 내부로 침투하기 어렵고 이온 용출량도 적다. 흡수율과 기공률이 높은 토기는 기공을 따라 많은 이온이 유입되므로 용출 이온도 상당히 높을 것으로 판단된다. 다만 행복도시 출토 토기는 높은 흡수율과 기공률에도 이온용출량은 높지 않았는데 토양에

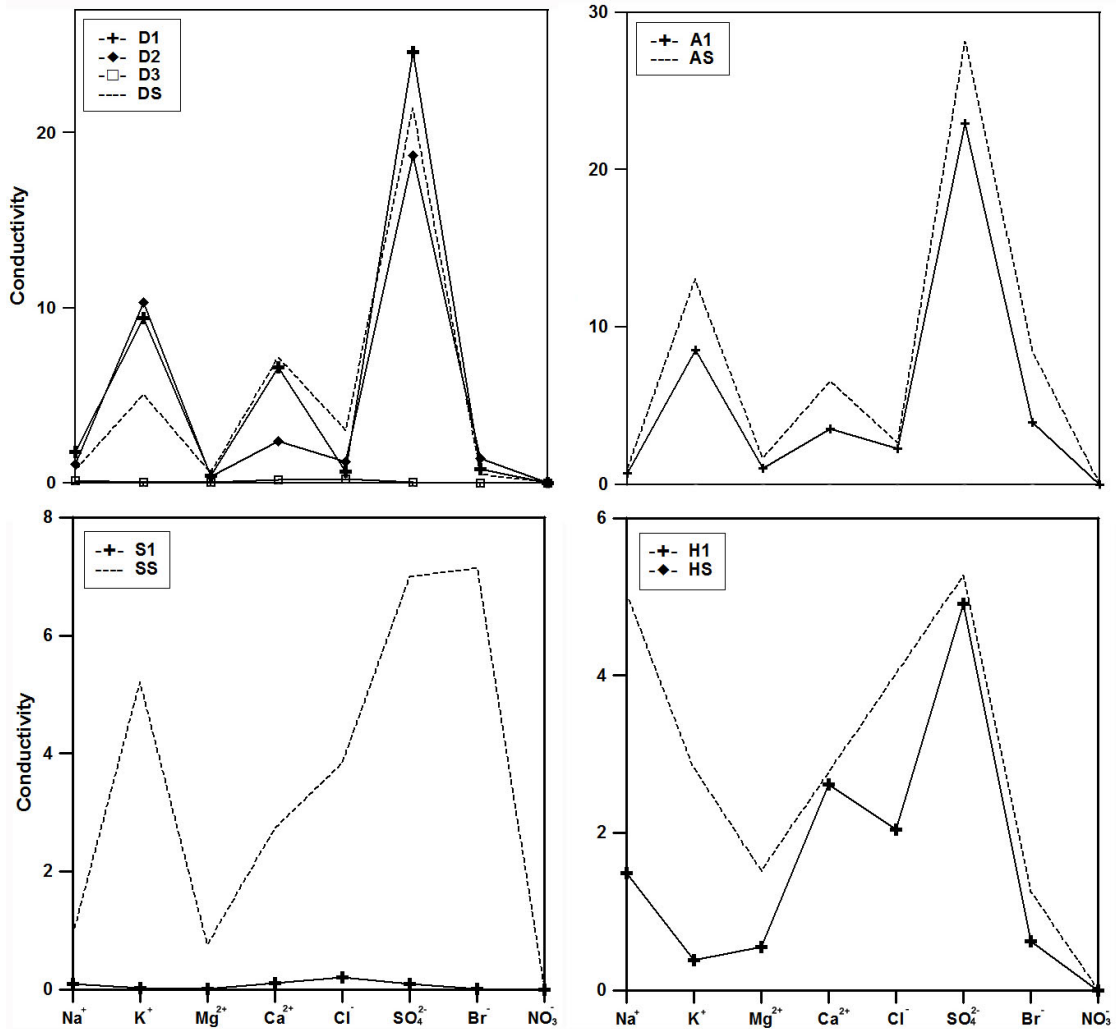


Figure 3. Comparison diagram of ions extracted from soil and ceramics. Dash line shows the ion extraction from soil.

Table 3. Size fraction and mineral contents of each soil. V; vermiculite, K; kaolinite, C; chlorite, M; mica, Q; quartz, O; orthoclase, A; albite.

Sample	Size fraction(%)			pH	Conductivity (μS/cm)	Clay mineral	Non-clay mineral
	sand	silt	clay				
DS	38.28	44.74	16.97	4.78	77.4	V, K, C, M	Q, O, A
AS	64.63	25.81	9.56	4.76	122	V, K, M	Q, O, A
SS	75.31	19.69	5.00	4.69	55.9	V, K, M	Q, O, A
HS	86.54	10.79	2.67	6.49	31.6	V, K, M	Q, O, A

포화된 이온량이 비교적 적었기 때문이다. 토양의 광물 조성 및 특성과 관계있는 부분이다.

연구 결과, 대체로 토기는 매장기간 동안 토양환경의 영향을 많이 받고 있으며 토양으로부터 다양한 이온들이 유

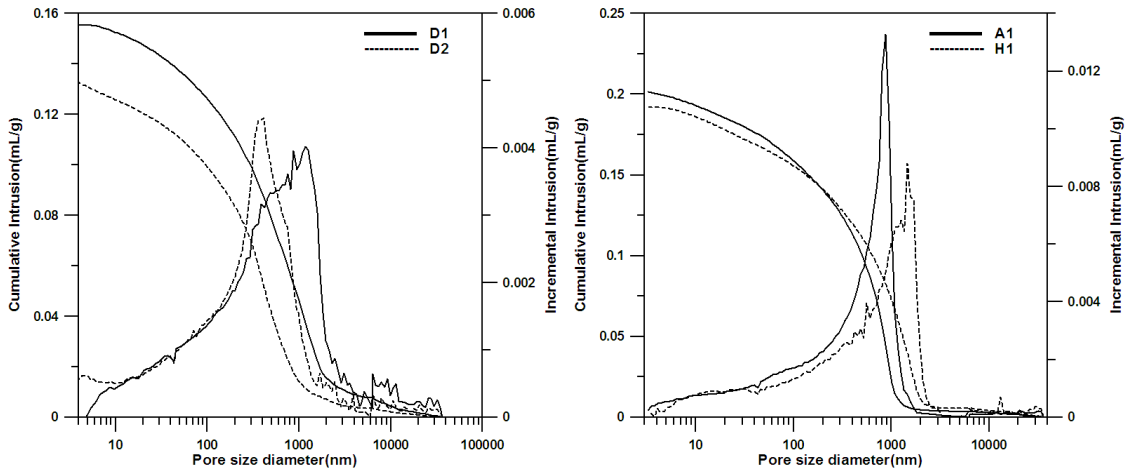


Figure 4. Pore size distribution of ceramic samples.

입되었던 것으로 생각된다. 특히 대부분의 토양에서 높은 용출량을 보인 K^+ , SO_4^{2-} 은 일반적으로 토양에 많이 사용되는 비료의 성분으로 널리 알려져 있다. 이 화학종들은 과거에 사용했던 비료의 잔류성분이 토양에 남아 토기의 기공을 통해 유입되었을 가능성이 있다. 실제로 우리나라에서 과다 사용된 비료성분들은 생화학적 및 물리화학적 전환 과정을 거치면서 작물에 흡수되거나 토양에 흡착되기도 하고 강우에 의해 용탈되어 하천이나 지하수로 유입되기도 한다.^{8,9} 우리나라에서는 인산, 질소 그리고 칼륨계열 비료들이 많이 사용되어 왔으며 토양 내에 잔류하는 이들 원소들은 토기의 기공을 통해 이동할 가능성이 높다.

3.2. 토양의 광물학적 특성

각 지역 토양의 광물학적 특징은 Table 3과 Figure 5~6에 기재하였다. 대전 학하 유적 토양은 비교적 점토(clay)와 미사(silt)의 함량이 높은 편으로 토성(soil texture)¹⁰은 양토(loam)이다. pH는 4.78로 산성이며 점토함량이 높아 함유된 양이온이 많다. 아산 탕정과 화성 소근산 유적 토양은 미사와 모래의 함량이 높은 사양토(sandy loam)로 pH는 4.69~4.76으로 산성이다. 행복도시 출토 토양은 모래 함량이 매우 높은 양질 사토(loamy sand)로 pH는 6.49이며 이온 함량은 매우 낮다. 토양수의 이온 함량은 아산 탕정 출토 토양에서 가장 높았다. 일반적으로 토양의 pH는 포화되어 있는 화학종에 따라 달라지는데, Ca^{2+} , SO_4^{2-} 의 농도가 높은 토양일수록 낮은 pH를, Na^+ 등의 농도가 높은 토양일수록

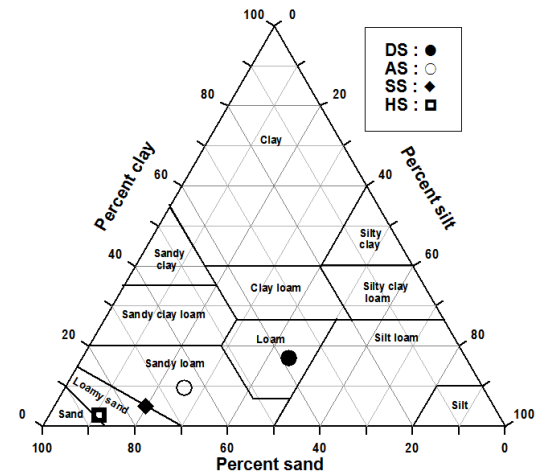


Figure 5. Soil texture of each soil sample.

높은 pH를 갖게 된다¹⁰. 이 연구의 토양 시료는 대부분 약 pH 4의 산성으로 토양에 포화된 이온은 주로 K^+ , SO_4^{2-} 이다. 반면 행복도시 출토 토양은 Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- 등으로 구성되어 있어 pH가 비교적 높아진 것으로 생각되지만 점토 함량이 매우 낮아 토양에 함유된 이온량도 적다. 많은 점토광물은 구조적으로 다양한 양이온과 결합되어 있고 층간에 물분자나 양이온을 쉽게 흡착하여 팽윤하는 특성을 가진다. 만일 토기가 점토광물이 거의 없는 사질 토양에 매장되어 있다면 토기 내 함유 이온량도 적을 것이다. 따라서 행복도시 출토 토기(HI)는 다른 토기와 유사한 흡수율과 기공률을 가지고 있지만 매장환경이 사질 토양이므로 유입된

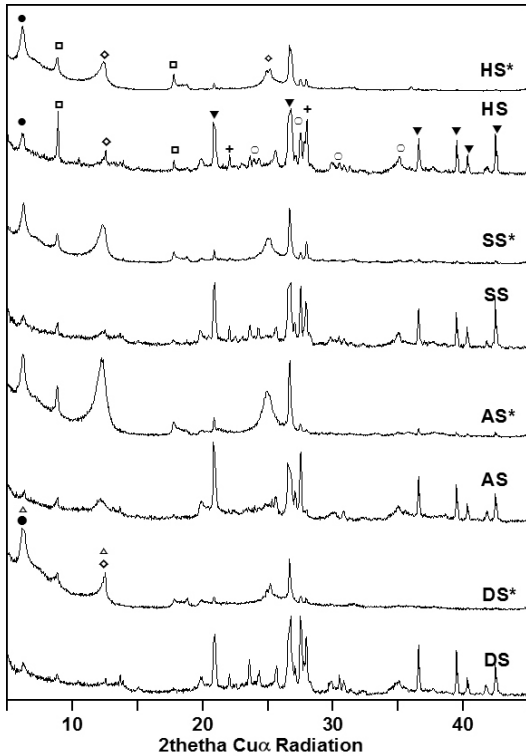


Figure 6. X-ray diffraction patterns showing the soil samples. ◇; kaolinite, ●; vermiculite, △; chlorite, □; mica, ▼; quartz, O; orthoclase, +; albite. (*means the oriented clay sample in the air dry condition).

이온과 용출된 이온도 적은 것으로 생각된다.

토양 시료의 주 구성 점토광물은 질석(vermiculite), 운모(mica), 고령석(kaolinite)이며 대전 학하 유적에서는 추가적으로 녹니석(chlorite)이 발견된다. 비점토광물은 석영, 정장석, 알칼리 장석 등으로 각 시료마다 유사한 광물조성을 가지고 있다(Table 3, Figure 6).

3.3. 토기의 구성광물과 소성온도의 추정

토기의 구성광물은 시료에 따라 다소 다른데, 재료적 차이 뿐 아니라 소성온도에 따른 구성광물의 차이가 존재한다. 토기를 구성하는 토양 광물은 특정온도에서 상전이가 일어나 본래의 태토와는 다른 광물상(mineral phase)을 가지게 된다. 따라서 토기를 구성하는 광물을 동정하여 토기의 소성온도를 추정할 수 있다¹¹⁻¹⁴. 토기 시료들의 광물조성은 X-선 회절 분석으로 조사하였고 그 결과는 Figure 7에 있다.

대전 학하 출토 D1과 D2는 주로 석영, 장석, 운모로 구

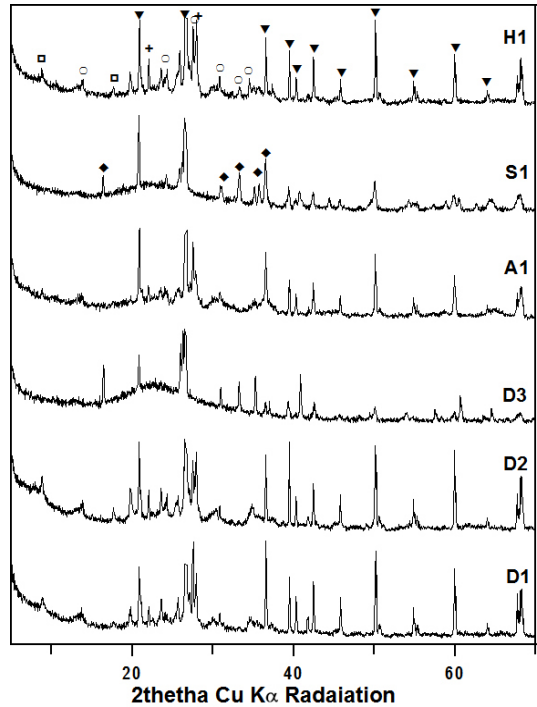


Figure 7. X-ray diffraction patterns showing the ceramic samples. □; mica, ▼; quartz, O; orthoclase, +; albite, ◆; mullite.

성되어 있고 800~900℃의 소성온도를 가지는 것으로 판단된다. 도자기 D3은 몰라이트의 성장 등을 고려할 때 소성온도는 1,100℃ 이상일 것으로 보인다. 아산 탕정 출토 A1은 800~900℃ 전후의 소성온도를 가질 것으로 보이며 화성 소근산 출토 경질토기(S1)는 고온상 광물인 몰라이트의 성장과 장석 회절선의 소멸 등으로 볼 때 1,000~1,100℃의 소성온도를 가지는 것으로 판단된다. 행복도시 출토 H1은 석영, 장석, 운모의 구성광물로 볼 때 800~900℃의 소성온도를 가지는 것으로 추정된다.

3.4. 토기의 물리적 특성과 매장환경의 영향

토기의 흡수율, 기공률 등의 물리적 특성은 소성온도, 태토의 조성 등과 깊은 관계가 있다. 소성과정을 거치면서 토기의 물리적 특성은 변화하는데, 토기가 매장환경에 노출되었을 때 기공을 통해 유입되는 이온의 함량과 종류는 달라질 수 있다. 즉 비교적 낮은 소성온도를 보이는 D1, D2, A1, H1은 약 21%의 흡수율을 가지고 있다. 이 중 D1, D2, A1의 이온 용출량은 4주에 걸쳐 100~160μs/cm으로 비

Table 4. Chemical contents of each soil and pottery (wt.%).

No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Total
D1	71.51	18.17	4.70	0.01	0.39	0.53	0.71	2.97	0.87	0.15	100.00
D2	69.67	19.69	4.41	0.03	0.41	0.51	1.19	2.96	1.05	0.10	100.00
D3	69.88	22.59	2.09	0.03	0.36	0.50	0.59	3.44	0.50	0.02	100.00
DS	70.23	19.10	5.40	0.05	0.58	0.11	0.23	3.46	0.72	0.12	100.00
A1	68.01	18.93	6.37	0.02	0.97	0.56	1.14	2.62	1.06	0.32	100.00
AS	74.09	15.89	3.42	0.11	0.60	0.44	1.23	3.56	0.51	0.16	100.00
S1	67.95	18.54	6.02	0.02	1.53	0.59	1.26	3.01	1.02	0.05	100.00
SS	72.23	15.86	4.61	0.14	1.11	0.78	1.16	3.26	0.69	0.16	100.00
H1	66.32	19.42	6.63	0.05	1.04	1.23	1.27	2.61	1.03	0.40	100.00
HS	74.27	15.89	3.89	0.05	0.68	0.29	1.19	3.16	0.48	0.11	100.00

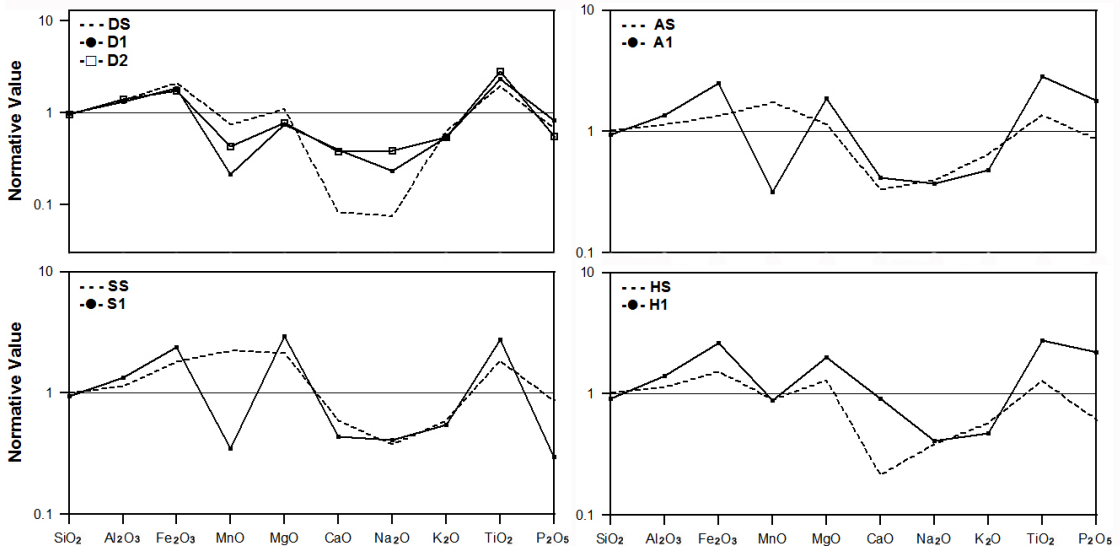


Figure 8. Normative variation diagram showing major elements of soil(dash line) and ceramic samples.

교적 높은 편이다. 그러나 고온 소성된 것으로 추정되는 S1과 D3의 흡수율은 0.3~0.7%로 낮은 편이며, 이온 용출량도 4주 동안 1~2 μ s/cm로 매우 적다. 고온 소성된 토기 시료일 수록 매장환경에 의한 영향을 적게 받지만 저온 소성된 토기는 매장토양 내에 포함되어 있는 이온이 내부로 유입되거나 토기의 구성원소가 녹아 나올 수 있다. Table 4와 Figure 8은 토양과 토기의 주성분 분석결과로서 Nockolds (1954)¹⁵의 화강암 조성을 기준으로 표준화하여 도시하였다. 각 지역의 토기와 토양은 유사한 지구화학적 진화경향을 보여 재질적 동질성을 보였다. 다만 학하 지구 출토 토기는 토양에 비해 Mn의 용탈, Ca과 Na의 부화 현상을 보이고 있다. 아

산 탕정 출토 토기는 토양에 비해 P₂O₅의 농집 현상을, 화성 소근산 출토 토기는 Mn과 P₂O₅의 용탈 현상을 보였다. 특히 행복도시 출토 토기는 토양에 비해 P₂O₅의 농집이 관찰되는데 매장 후 토양환경에서 인이 유입된 것으로 볼 수 있다¹⁶.

또한 매장환경에서 토기 내에 유입된 염류는 토기가 발굴 후 건조한 환경에 노출되면서 결정화될 수 있다. 토기 내에 유입된 염류는 건조하고 습한 환경이 반복되면 토기 표면으로 용출되어 나온다. 표면이 약한 연질토기의 경우에는 토기 내의 수용성 염 결정이 성장하면서 생기는 결정압에 의해 표면이 손상될 수도 있기 때문이다¹⁷. 일부 수용

성 염들은 수화(hydration)에 의해 결정이 팽창하여 기공에 큰 압력을 가하는 경우도 있으며, 조직 내에서 NaCl이 결정화됨에 따라 기공에 미치는 결정압이 유물을 손상시키는 경우도 있다^{18,19}. 따라서 출토 토기에 유입된 수용성 염의 제거는 토기의 보존을 위해 필요하다고 생각된다. 연구결과로부터 흡수율이 매우 낮은 경질토기보다는 연질토기에서 염의 유입이 쉬웠다. 특히 점토질 토양에 매장되어 있던 토기일수록 유입되는 염류가 많으므로 보존관리에 주의가 필요하다. 실험에서는 2일 간의 탈염으로 40~60%의 염이 제거되고 1주일간의 탈염으로 60~80%의 염이 제거되었다. 경질토기를 제외한 출토 토기에서는 그 상태를 고려하여 적정기간의 탈염이 필요할 것으로 생각된다.

4. 결론

이 연구는 토기 재질과 토양 특성에 따라 매장환경이 출토 토기에 미치는 물리화학적 영향을 연구하였다. 이를 위해 대전 학하, 아산 음봉, 화성 소근산 그리고 공주 행복도시 출토 토기와 토양을 연구 대상으로 하여 토기탈염을 통해 용출되는 이온의 화학종과 용출량을 조사하였다. 대부분의 토기에서는 4주 동안 50~160 μ S/cm의 이온이 용출되었는데 경질토기와 도자기에서는 1~2 μ S/cm의 용출량을 보여 토양 내 이온 유입이 매우 미미하였다. 이는 토기의 소성온도에 따른 기공크기와 흡수율의 변화에 기인한 것으로 1,000 $^{\circ}$ C 이상의 고온 소성된 경질토기일수록 기공이 작고 흡수율이 낮아 매장환경에 의한 염 유입 현상이 거의 일어나지 않는 것으로 판단된다. 그러나 800 $^{\circ}$ C 이하의 저온 소성된 토기는 기공이 크고 흡수율이 높아 다량의 염이 유입되었다. 이들은 탈염 2일 만에 40~60%의 염이 제거되었고 탈염 1주일 만에 60~80%의 염이 제거되었다. 또한 토양에 포화된 이온은 대부분 토기에도 동일한 화학종과 함량으로 포화되었고 K₂SO₄와 같이 토양에 잔존하는 비료의 성분도 검출되었다. 화성 소근산 유적과 공주 행복도시 출토 토양은 모래함량이 높은 사질토양으로 점토 함량이 매우 적어 토양에서 유입된 이온량도 적었다. 이로 인해 동일한 물성을 가지는 다른 지역 토기에 비해 이 지역 출토 토기의 이온 용출량이 적었던 것으로 판단된다. 매장환경에서 토기에 유입되는 염류는 손상을 줄 수 있는 잠재적인 요인이 될 수 있으며 재질에 따라 유입량이 달랐다. 저온 소성된 토기의 경우 필요에 따라서는 세척 이외의 탈염을 통한 염 제거가 필요하며 그 기간은 토기의 상태에 따라 달라질 수 있을

것으로 생각된다.

참고문헌

1. 위광철, "출토 토기유물의 현장 수습방법에 관한 연구". *문화사학*, **27**, p1115-1127, (2007).
2. 위광철, "출토 연질토기의 손상원인 및 강화처리에 관한 연구". *문화사학*, **31**, p25-37, (2009).
3. 양필승, "토기 보존처리-연질토기를 중심으로-". 호암미술관 연구논문집, **5**, p53-62, (2000).
4. 양필승, "도 · 토기의 보존처리". 보존과학기초연수교육 교재, p123-129, (2005).
5. 장성윤, 남병직, 박대우, 강현미, 정용화, "태안 마도 출토 도자기의 염에 의한 손상상태". *보존과학연구*, **30**, p190-202, (2009).
6. Jackson, M., "Soil Chemical Analysis - Advanced course". Department of Soils, University of Wisconsin, (1969).
7. White, G., Dixon, J., "Soil Mineralogy Laboratory Manual". 9th Ed., Department of Crop and Soil Sciences, Texas A&M University, (2003).
8. 신재순, 김원호, 이승현, 김종근, 윤세형, 임영철, 임근발, "간척지 수수 수단그라스에 대한 유안 및 황산칼리비료 사용효과". 한국초지학회 학술발표회 심포지엄, p148-149, (2005).
9. 이창호, 임수길, "논 토양에 삼요소비료 사용시 이들 비료성분의 토양내 잔존 형태와 용탈에 의한 수질오염에 관한 연구". *한국수질보전학회지*, **11**, p279-285, (1995).
10. Brady, C., Weil, R., "The Nature and Properties of soils". 12th Ed., Prentice Hall, (1999).
11. 장성윤, 이기길, 문희수, 이찬희, "영광 군동 · 마전 원삼국 시대 토기와 가마의 제작특성 및 태토의 산지해석". *보존과학회지*, **25**, p101-114, (2009).
12. 김지영, 이찬희, 조선영, 김란희, 이호형, "아산 탕정지구 외골유적 출토 고려 기와의 재료과학적 특성과 제작기법". *보존과학회지*, **25**, p299-316, (2009).
13. 김란희, 이선명, 장소영, 이찬희, "기흥 농서리유적 출토 토기의 재료과학적 특성과 소성온도 해석". *보존과학회지*, **25**, p255-271, (2009).
14. 김란희, 정해선, 정상훈, 이찬희, "대전 원신동 유적 출토 고대 세라믹 유물의 재료학적 특성과 원료의 산지해석". *보존과학회지*, **27**, p163-179, (2011).
15. Nockolds, S.R., "Average chemical compositions of some

- igneous rocks". Geological Society of American Bulletin, **65**, p1007-1032, (1954).
16. Freestone, I.C., Meeks, N.D. and Middleton, A.P., "Retention of phosphate in buried ceramics: An electron microbeam approach". Archaeometry, **27**, p161-177, (1985).
17. Johnson, J.S., "Soluble salts and deterioration of archaeological materials". *Conserve O Gram number 6/5*, National Park Service, p1-4, (1998).
18. Rijniers, L.A., "Salt crystallization in porous materials: and NMR study". Ph.D. research at Eindhoven University of Technology, p1-5, (2004).
19. Ernesto, B., "ARC Laboratory Handbook- Salts, Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials". ICCROM · UNESCO · WHC, p3-5, (1999).

이 연구에 사용된 토기 잔편 및 토양시료는 (재)금강문화유산연구원 (아산 음봉, 대전 학하 지구 출토)과 (재)충청남도역사문화연구원(행복도시 출토)의 협조를 받았다.