

# 서울 송파 지역 고분 출토 토기의 재료학적 동질성 및 소성온도 해석

Interpretation of Firing  
Temperature and Material  
Similarity for Potteries from  
Ancient Tombs in *Songpa* Area,  
Seoul

이규혜<sup>1</sup>, 윤정현<sup>2</sup>, 이찬희<sup>3\*</sup>

국립경주박물관 학예연구과<sup>1</sup>,  
한성백제박물관<sup>2</sup>,  
국립공주대학교 문화재보존과학과<sup>3</sup>

Gyu Hye Lee<sup>1</sup>, Jung Hyun Yun<sup>2</sup>,  
Chan Hee Lee<sup>3\*</sup>

Curatorial Department of Gyeongju  
National Museum<sup>1</sup>,  
Seoul Baekje Museum<sup>2</sup>,  
Department of Cultural Heritage  
Conservation Sciences, Kongju National  
University<sup>3</sup>

\* Corresponding Author :  
Chan Hee Lee  
Tel : 82-41-850-8543  
E-mail : chanlee@kongju.ac.kr

## 요약

이 연구에서는 송파 지역의 석촌동고분군 연접적석총과 방이동고분군 3호분에서 출토된 토기를 대상으로 재질특성을 파악하고 출토지에 따른 재료의 동질성과 소성 온도를 해석하였다. 유적들은 비교적 근래에 연구가 이루어진 곳으로, 이를 포함하고 있는 고분군은 고대 한반도 묘제의 변천과정을 보여주며 동시에 당시 중앙세력에 대한 중요한 고고자료를 제공하고 있다. 두 유적에서 출토된 연구대상 토기는 각기 다른 시기에 매장되었으나, 호정 및 불호정성을 띠는 원소들의 거동양상과 주구 성분분을 통해 살펴본 풍화경향으로 보아 유사한 편마암류의 풍화토를 수급하여 제작한 것으로 여겨진다. 또한 광물조성과 태토의 미세조직을 살펴본 결과, 상대적으로 이른 시기인 석촌동 토기들은 950℃ 이하에서 소성된 것으로 판단된다. 반면 방이동 3호분 토기는 850℃ 이하와 1,000℃ 이상의 온도를 경험한 것으로 확인되어 차이를 보인다. 그러나 시기에 따른 소성온도의 고온화로 해석하기에는 어려움이 있으며, 향후 보다 다양한 토기 및 고토양과의 비교를 통해 토기의 제작기술 변화를 해석할 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어** : 송파 지역, 토기, 재료학적 동질성, 소성온도, 제작기술

## Abstract

This study seeks to identify the material characteristics of earthenware excavated from the Bangi-dong Ancient Tomb No. 3 and the articulated stone-mound tomb of the Seokchon-dong ancient tombs in the Songpa region, and analyze the homogeneity and the firing temperature of the materials used at each excavated site. The remains have been studied relatively recently, and the groups of tombs in which they were found demonstrate the transition of ancient Korean burial systems, and at the same time, provide important archaeological data about those in power at the time. The earthenware pottery excavated from the two sites examined in the study were buried at different times, and it is assumed that they were made by procuring weathered soil of similar gneiss, judging from the behavior of the compatible and incompatible elements and the weathering tendency found by examining the main components. In addition, the examination of the mineral composition and microstructure of clay indicates that the earthenware from Seokchon-dong was fired at 950 degrees Celsius or lower at a relatively early stage. On the other hand, the earthenware from Bangi-dong Tomb No. 3 was confirmed to have experienced temperatures below 850 degrees Celsius and above 1,000 degrees Celsius. However, it is difficult to interpret the difference as the result of the changes in firing temperature throughout the eras. It is expected that it will be possible to interpret the changes in earthenware manufacturing techniques by comparing more diverse earthenware potteries and ancient soils.

**Keywords** : Songpa region, Earthenware, Material homogeneity, Firing temperature, Manufacturing techniques

투고일: 2022.09.27. 심사(수정)일: 2022.10.19. 게재확정일: 2022.10.21.

## 1. 서론

서울은 도시를 관통하는 한강과 광주산맥에 해당하는 산지로 둘러싸여 백제와 조선의 왕도 역할을 하였으며, 이와 관련된 유적이 많이 남아있다. 특히 한강 이남의 오늘날 송파 지역에는 풍납토성과 몽촌토성 같은 방어시설과 석촌동, 방이동 및 감일동 고분군 등 다수의 고대 유적이 분포하고 있으며, 이는 백제 역사에서 큰 비중을 차지하는 한성백제 시기와 밀접한 관계가 있다. 이 고분군은 왕실과 귀족을 비롯한 중앙세력의 고분으로 비정되어 당대 한강유역의 정치, 문화 및 기술체계를 가늠할 수 있는 중요한 고고자료를 제공한다.

석촌동고분군 적석총은 백제의 건국집단이 고구려에서 남하하였다는 문헌기록과 부합하며<sup>[1]</sup>, 연접적석총은 백제가 고대국가로서 토대를 갖추던 4세기에 축조된 것으로 여겨진다<sup>[2]</sup>. 4세기 중반에서 5세기 초반에 축조한 것으로 알려진 감일동고분군<sup>[3]</sup>에서는 이전의 폐쇄된 묘제와는 전혀 다른 매장관념을 갖는 횡혈식석실묘<sup>[4]</sup>가 대거 출현하면서 백제가 고대국가로서의 입지를 확립하였음을 보여준다.

또한 방이동 3호분이 신라의 영토 확장시기인 6세기 중후반에 축조된 것으로 알려지면서 송파일대의 고분군들은 고대 한반도의 묘제 변천과정을 보여주는 중요한 역사적 의미를 갖는다. 따라서 각 고분 출토 유물에 대한 과학적 연구도 이루어졌으나<sup>[5],[6],[7]</sup> 사례는 많지 않은 상황이다.

이 연구에서는 석촌동고분군 연접적석총과 방이동고분군 3호분에서 출토된 토기를 대상으로 자연과학적 분석을 통해 재료학적 특성을 분석하였다. 이 두 묘제는 한강과 남한산 사이에 분포하고 명확한 시대적 차이를 띠고 있어, 이 연구 결과는 동일 공간에서 다른 시기의 축조집단이 활용한 고대 토기 제작기술의 비교에 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구대상 및 방법

### 2.1. 지질 및 토양분포

연구대상 토기가 출토된 석촌동 및 방이동 고분군은 한강과 남한산 사이에 분포한다. 이 지역의 지질분포를 살펴보면 선캄브리아기 경기편마암복합체가 기반을 구성하고 있으며, 한강을 중심으로 제4기 홍적층 및 충적층이 넓게 피복한다. 광범위하게 분포하고 있는 고기하성층인 충적층 대지에 석촌동고분군이, 충적층과 편마암층의 경계에 방이동고분군이 위치한다<sup>[도1(a)]</sup>.

또한 심토를 기준으로 석촌동고분군은 사양토에, 방이동고분군은 식양토 영역에 해당한다<sup>[도1(b)]</sup>. 두 지점의 토양통은 각각 화동통과 아산통으로, 전자는 내륙의 하안

단구에서, 후자는 편마암류 모재로부터 형성된 잔적층에서 기인하므로, 토양은 지질 특성을 반영하고 있는 것을 알 수 있다.



도1. 서울 송파일대의 지질 및 토양분포

## 2.2. 연구대상

연구의 대상은 석촌동고분군 연접적석총과 방이동 3호분에서 출토된 토기 12점으로, 모두 편으로 산출되어 기형은 알 수 없다(표1), (도2). 석촌동에서 출토된 4점(SP)은 회색, 회갈색 및 암회색 등 다양한 색상을 띠며 일부 격자문과 선문 등의 문양이 관찰된다. 방이동 출토 8점(BP)은 구연단 잔존부로 여겨지는 편(BP-8)을 제외하면 모두 동체의 일부분으로 판단된다.

토기의 색상은 회색에서 암갈색을 띠며 집선문, 타날격자문 및 선문 등의 문양이 확인된다. 기물의 두께는 석촌동에 비해 방이동 토기가 두터우며, 두께가 균일한 BP-1을 제외하면 동일 토기편 내에서 두께차는 3에서 4mm 정도로 확인된다.

## 2.3. 연구방법

이 연구에서는 정밀관찰과 다양한 분석을 통해 토기 시료의 재료과학적 특성을 확인하였다. 분석은 비파괴법을 수행하되 최소한의 미량시편을 획득하여 현미경 관찰 및 정량분석을 병행하였다. 우선 객관적인 색상정보 획득을 위해 색도계(Minolta CR-30)로 3회 측정의 평균값을 산출하였다.

또한 한국산업규격 KS L4008에서 제시한 방법을 바탕으로 흡수율 및 공극률을 획득하였다. 이어 자기적 특성 검토를 위해 15회씩 대자율을 측정한 뒤 중앙값 10개로 전반적인 분포를 확인하였다. 측정은  $10^{-7}$  SI unit의 측정한계를 갖는 ZH instrument사의 SM30 모델을 사용하였으며, 단위는  $10^{-3}$  SI unit으로 하였다.

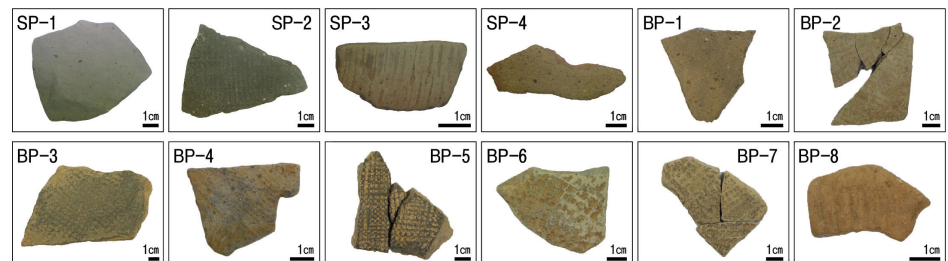
토기의 조직 관찰을 위해 콜드마운팅하여 연마하고, 이를 박편으로 제작하여 실체(Nikon, SNZ1000) 및 편광현미경(Nikon, Eclipse E 600W)을 사용하였다. 미세

시편은 표면을 백금코팅하여 주사전자현미경(JEOL, JSM-635F) 관찰을 병행하였다. 또한 부정방위법으로 X-선 회절분석(Rigaku, DMAX2000; 40kV, 40mA, CuK $\alpha$  타겟, 1°/min)하였다. 소성과정에서 발생한 광물의 상전이 등 열이력 검토를 위해 시차열 및 열중량분석(TA instruments, SDTQ600)을 수행하였다. 표준시료는  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하였으며 10°C/min의 승온속도로 질소환경에서 1,000°C까지 측정하였다.

한편 모든 토기의 구성성분 및 정량적 동질성 해석을 위해 Actlabs에서 중성자방사화분석과 유도결합 플라즈마 질량 및 분광분석을 수행하여 주성분과 미량 및 희토류 원소의 함량을 획득하였다. 이 분석결과는 표준시료와 공시료 및 중복시료를 통해 정량성을 검증하였다.

표1. 연구대상 토기편의 기재적 특징

연번	시료명	출토지	두께(mm)	면색상			표면 문양
				외면	내면	단면	
1	SP-1	석촌동고분군 연접적석총	0.37-0.81	5Y 7/1	5Y 7/1	5Y 7/1	-
2	SP-2		0.57-0.71	2.5Y 5/1	5Y 5/1	5YR 5/3	격자문
3	SP-3		0.25-0.36	2.5Y 7/2	2.5Y 6/1	2.5Y 7/2 2.5Y 6/1	선문
4	SP-4		0.40 내외	2.5Y 7/2	7.5YR 6/4	2.5Y 7/2 7.5YR 6/4	-
5	BP-1	방이동고분군 3호분	15.25-15.25	10YR 6/2	10YR 6/1	7.5YR 6/8 10YR 5/1	-
6	BP-2		7.71-10.35	2.5Y 6/1	2.5Y 6/1	2.5Y 4/1	집선문
7	BP-3		16.10-20.39	5Y 3/1	5Y 3/1	5Y 5/1	격자문
8	BP-4		4.16-6.18	2.5Y 6/1	10YR 7/4	10YR 7/4	선 문
9	BP-5		11.68-13.07	10YR 3/1	10YR 2/1	10YR 3/1	격자문
10	BP-6		6.20-8.45	10YR 5/1	10YR 6/4	10YR 6/1	격자문
11	BP-7		5.22-7.12	2.5Y 4/1	2.5Y 6/2	2.5Y 5/1	격자문
12	BP-8		4.03-7.40	10YR 6/4	2.5Y 4/1	10YR 7/4	선 문



도2. 연구대상 토기편 외면의 산출상태

### 3. 결과 및 해석

#### 3.1. 물리적 특성

연구대상 토기의 객관적 색상을 파악하기 위해 정량적으로 색도를 측정하고 이를 Lab 색공간 값으로 획득하였다. 동일한 토기에서도 소성환경에 따라 다양한 색상을 띌 수 있으므로 외면과 내면을 구분하여 측정하였다. 이 결과, 석촌동 토기는 SP-4를 제외하면 외내면의 색도차는 황색도에서 두드러진다<sup>[도3(a)]</sup>. 먼셀에서 외내면에 차이를 보인 SP-4<sup>(표1)</sup>는 명도(L\*) 및 황색도(b\*)에서 큰 차이가 없으나 적색도(a\*)가 외면 (-0.08)서 내면 (5.43)으로 가며 확연히 증가한 양상을 보인다.

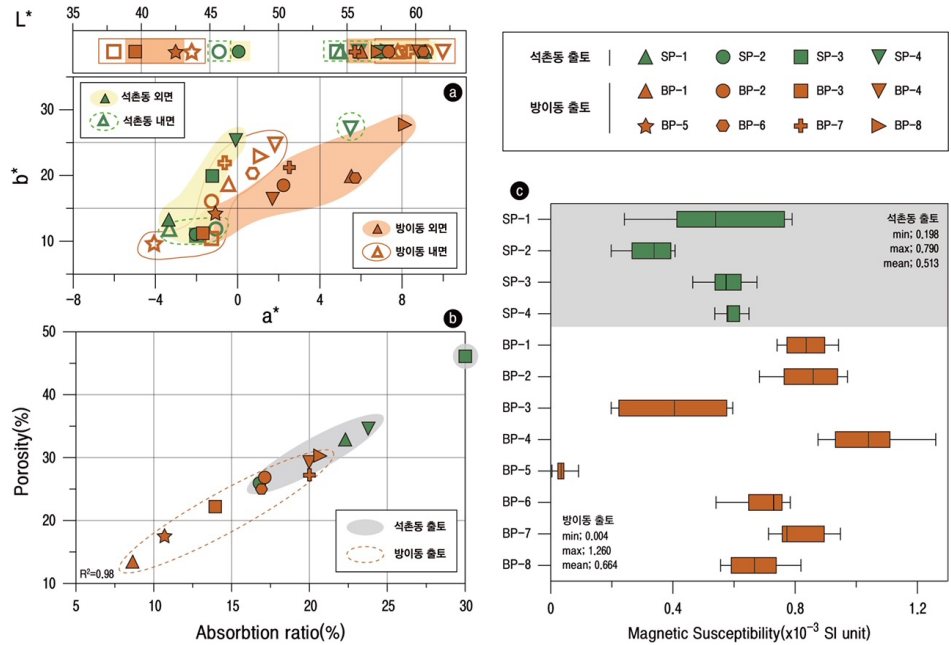
방이동 토기는 외면 적색도는 석촌동에 비해 넓은 분포를 보이나 내면의 적색도는 석촌동 토기의 외면과 유사하며, 황색도 범위는 외내면 모두 큰 차이를 보이지 않는다. 이 중 외내면의 적색도가 상대적으로 낮은 BP-3과 BP-5는 명도 역시 45 이하로 낮아 다른 토기들과 구분된다<sup>[도3(a)]</sup>.

모든 토기편의 흡수율 및 공극률 측정 결과, 석촌동 토기 흡수율 16.8~30.0(평균 23.2)%이며, 공극률이 26.0~46.2(평균 34.8)%, 방이동은 흡수율 8.6~20.6(평균 16.0)%, 공극률 13.2~30.4(평균 24.0)%로 상대적으로 석촌동 토기의 흡수율 및 공극률이 높은 것으로 확인되었다<sup>[도3(b)]</sup>.

한편 전암대자율 측정 결과, 석촌동 SP-2와 방이동 BP-3,4,5를 제외한 8점의 토기는 유사범위 내의 중간값을 띠는 것으로 나타났다. 그러나 전술한 4점의 분포범위는 다소 차이가 있으며, 특히 BP-5는  $0.004 \sim 0.091$  (평균  $0.040$ )  $\times 10^{-3}$  SI unit의 매우 낮은 값을 보여 확연히 구분된다<sup>[도3(c)]</sup>. 이들의 차이는 다른 분석결과를 종합하여 고찰할 필요가 있다.



(a) 내외면의 색도분포도  
(b) 흡수율과 공극률의 관계도  
(c) 대자율 분포도



도3. 연구대상 토기편의 물리적 특성

### 3.2. 미세조직적 특징

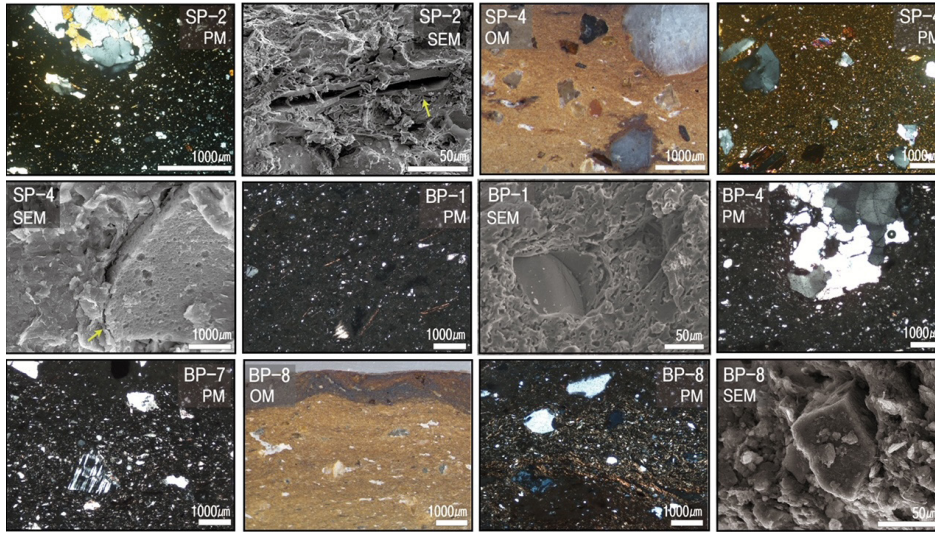
실체 및 편광현미경으로 시료의 단면조직을 관찰한 결과, 출토지에 상관없이 기질은 미립내지 세립질로 동일하나 토기편에 따라 구성 광물의 종류와 형태 등 조직 양상에서 차이를 보인다<sup>(도4)</sup>. 석촌동 출토 SP-2(PM)와 방이동 출토 BP-4(PM)에서는 서로 입상의 변정조직을 이루는 거정의 석영집합체가 동일하게 관찰되며, 그 주변으로 태토에서 약한 유동구조가 확인된다<sup>(도4)</sup>.

또한 석촌동 SP-4(PM) 및 방이동 BP-7(PM)에서는 1mm 내외에서 각형을 띠는 석영이 관찰되고 있으나, 전자는 거정의 석영 및 중립질의 각섬석(SP-4 OM, PM)이다. 후자에서는 미사장석(BP-7 PM)도 함께 관찰된다는 점에서 차이가 있다. 방이동 출토 BP-1(PM)은 무색광물이 세립으로만 나타나며, BP-8(OM, PM)은 미정질 기질의 전반에서 유동구조가 나타나 석촌동 출토 토기들과는 차이를 보인다<sup>(도4)</sup>.

태토의 단면에 대한 주사전자현미경 관찰 결과, SP-2(SEM)에서는 운모가, SP-4(SEM)에서는 석영이 고온에 의해 변질된 조직이 발견되었다<sup>(도4)</sup>. 두 토기편에서는 광물의 열변질이 발생하되 기질의 소결도는 낮은 것으로 여겨지며, BP-1(SEM)에서는 석영 주변으로 용융된 기질이 관찰되어 상대적으로 소성도가 높은 것으로 추정된다<sup>(도4)</sup>.



한편 광학현미경에서 유동구조가 보이는 BP-8(SEM)은 광물과 기질 모두 괴상으로, 열에 의한 변질 여부는 관찰되지 않는다. 이와 같은 조직의 차이는 유적 간의 특징으로 구별되지는 않으며, 각 토기의 제작기법에 따른 차이로 여겨진다.



도4. 연구대상 토기편의 현미경 관찰결과

(PM: 편광현미경의 직교니콜, OM: 실체현미경, SEM: 주사전자현미경)

### 3.3. 광물조성 및 열적 특성

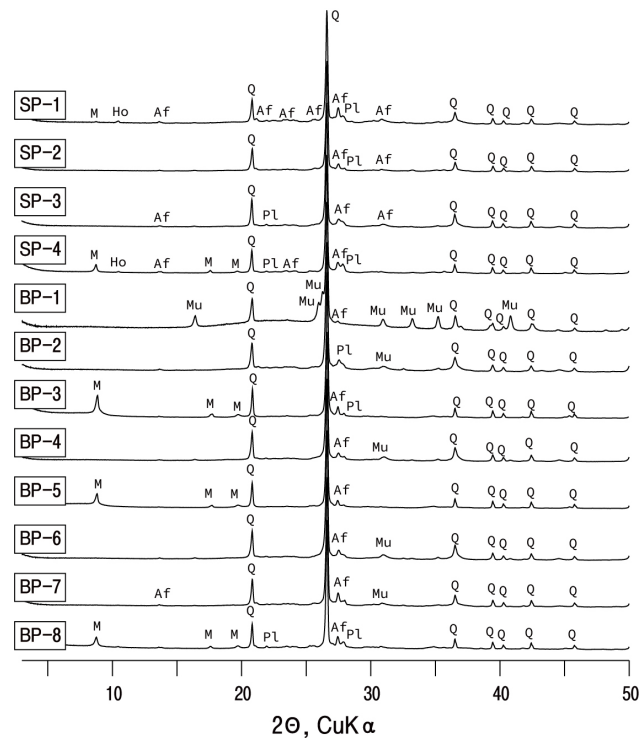
미세조직적 특징으로 보아 연구대상 토기들은 대개 석영을 주성분 광물로 구성하며, 미사장석과 같은 알칼리장석이나 각섬석 및 운모류 등의 유색광물도 함유하는 것으로 나타난다<sup>(도5)</sup>. 그러나 미립의 기질을 이루는 광물은 현미경 동정이 어려우며 소성온도에 따른 열적 특성을 파악하기 위해 X-선 회절과 열분석으로 광물학적 특성을 검토하였다.

이 결과, 모든 토기는 석영을 주요 구성광물로 하며 부성분 광물로는 알칼리장석류가 검출된다<sup>(도5)</sup>. 방이동 출토 토기 BP-1,4,5,6,7를 제외한 7점의 토기에서는 사장석류, 석촌동 SP-1,4와 방이동 BP-3,5,8에서는 운모류가 공통적으로 검출된다. 이 광물들은 토기의 원료가 되는 토양에서 비교적 쉽게 발견되는 광물상이나 석촌동 SP-1과 SP-4에서만 검출된 각섬석은 특징적이다. 또한 방이동 토기에서 확인되는 플라이트는 알루미늄계 고온상 광물<sup>[10]</sup>로 특정 수준 이상의 고온을 경험한 것으로 판단된다.

열중량 분석에 의하면 모든 토기는 200℃ 이하에서 대부분의 중량감소가 발생하

였다. 이는 흡착수와 충전수의 탈수로 기인한 것으로 여겨지며 BP-1이 1.51wt.%로 최소인 반면, BP-8은 11.46wt.%로 최대값을 보인다(표2). 두 토기는 주사전자현미경 하에서 상이한 소결도를 보였으며(도4) 흡수율과 공극률도 BP-1이 낮고 BP-8은 높은 양상을 띤다[도3(b)]. 광물조성도 상이(도5)하여 중량감소율 차이는 소성도 및 환경차이에 따른 것으로 여겨지나, 대자율 분포차[도3(c)]가 크지 않는 것으로 보아 동일 원료의 사용 여부에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

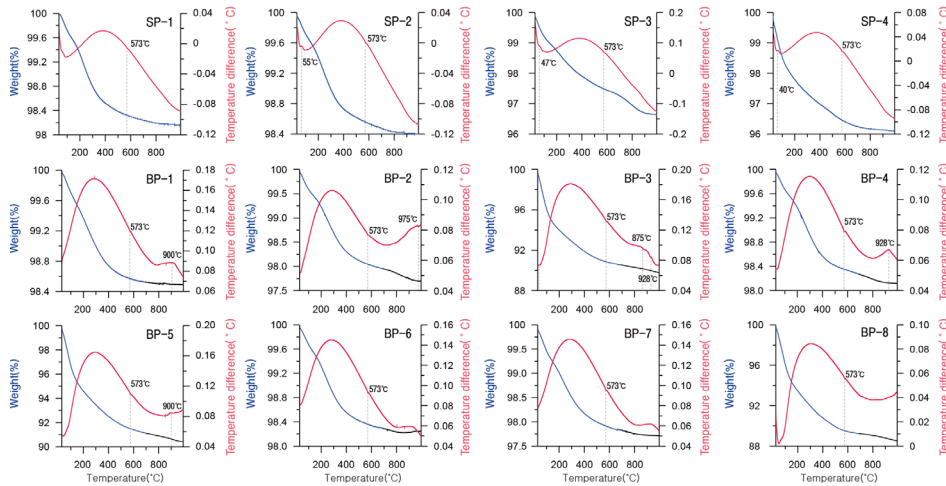
시차열분석 결과, 모든 토기에서 공통적으로 573℃의 흡열피크가 확인된다(도6),(표2). 이는 저온석영과 고온석영간의 상전이를 지시하므로, 이 온도 이상에서 소성된 토기의 석영이 열분석 과정에서 재반응하며 발생한 것이다. 석촌동 토기를 중심으로 저온영역에서 나타나는 발열피크는 산화반응에 의한 것으로 추정된다. 또한 방이동 토기 3점(BP-1,2,4)은 플라이트의 결정성장 과정[10]에, 2점(BP-3,5)은 운모에 의해 고온에서 발열피크[11]를 띠는 것으로 해석된다(도6),(표2).



도5. 연구대상 토기편의 X-선 회절분석 결과

(M: 운모, Ho: 각섬석, Af: 알칼리장석, Mu: 플라이트, Q: 석영, Pl: 사장석)





도6. 연구대상 토기편의 온도별 시차열 및 중량변화

표2. 연구대상 토기편의 시차열 및 열중량 분석결과

시료명	중량감소율 (wt.%)	흡열피크 (°C)	발열피크 (°C)	시료명	중량감소율 (wt.%)	흡열피크 (°C)	발열피크 (°C)
SP-1	1.85	573	-	BP-3	9.95	573, 875	928
SP-2	1.60	573	55	BP-4	1.88	573	928
SP-3	3.36	573	47	BP-5	9.58	573	900
SP-4	3.91	573	40	BP-6	1.78	573	-
BP-1	1.51	573	900	BP-7	2.28	573	-
BP-2	2.30	573	975	BP-8	11.46	573	-

### 3.4. 화학조성 및 분포

연구대상 토기의 구성원소 분석 결과<sup>(표3)</sup>, SiO<sub>2</sub>가 화학조성의 대부분을 차지하며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 SiO<sub>2</sub>와 함께 토기의 주성분이 되며 K<sub>2</sub>O, MgO, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> 등이 부성분 원소로 검출된다. SiO<sub>2</sub>의 전체 평균 함량은 66.53wt.%이며 석촌동 토기는 67.66wt.%, 방이동 토기는 65.97wt.%의 평균값을 보여 출토 유적에 따른 특징은 크게 두드러지지 않는다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 평균 함량은 각각 18.86wt.%과 4.98wt.%이다. 석촌동 토기는 18.14wt.%와 5.27wt.%, 방이동 토기는 19.23wt.%와 4.74wt.%로 큰 차이를 보이지 않는다<sup>(표3)</sup>. 따라서 토기의 주원소조성과 함량은 출토지에 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

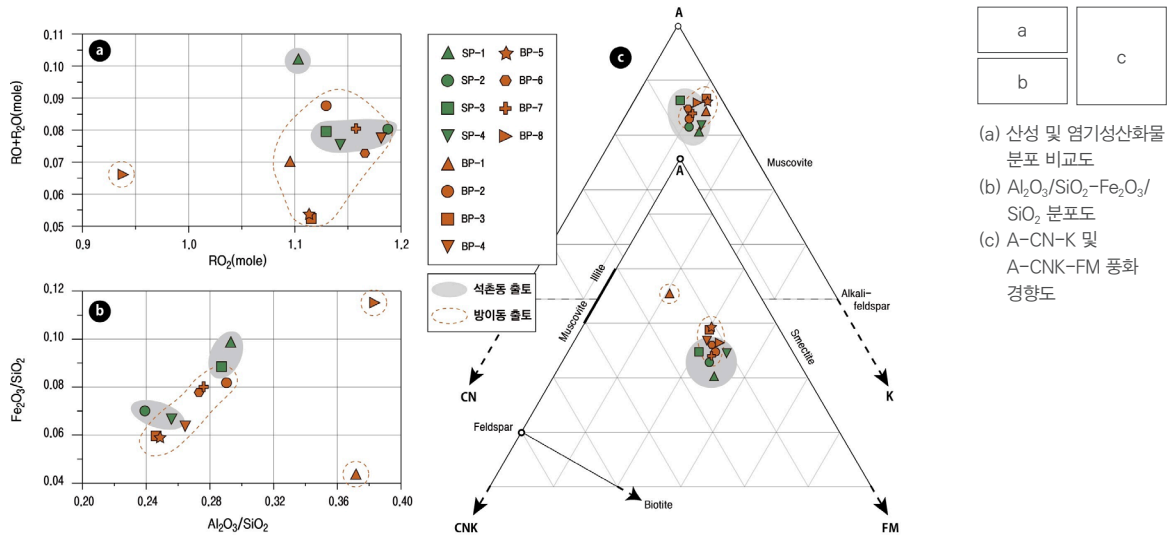
표 3. 연구대상 토기편의 주성분 원소 분석결과

(wt.%)	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5	BP-6	BP-7	BP-8
SiO <sub>2</sub>	65.43	70.54	66.78	67.89	65.23	66.87	66.13	70.15	66.12	69.25	68.63	55.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.17	16.87	19.15	17.36	24.24	19.42	16.26	18.53	16.39	18.87	18.95	21.14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.43	4.95	5.91	4.57	2.81	5.47	3.95	4.49	3.92	5.38	5.49	6.38
MnO	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
MgO	1.67	1.31	1.51	0.96	0.62	1.45	0.85	1.29	0.94	1.09	1.30	0.89
CaO	0.56	0.41	0.50	0.42	0.30	0.31	0.21	0.39	0.20	0.43	0.48	0.33
Na <sub>2</sub> O	1.00	0.72	0.97	1.17	0.67	1.26	0.24	0.99	0.24	0.96	0.84	0.72
K <sub>2</sub> O	3.13	2.64	1.62	2.38	3.54	2.36	2.17	2.09	2.13	2.09	2.38	2.48
TiO <sub>2</sub>	1.01	0.96	1.20	0.91	0.65	1.04	0.90	0.99	0.87	0.96	1.09	1.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.30	0.11	0.16	0.16	0.06	0.27	0.36	0.15	0.27	0.13	0.27	1.03
LOI	1.71	1.34	2.34	3.26	0.65	1.38	9.59	1.13	9.14	0.73	1.36	10.69
Total	100.50	99.89	100.20	99.10	98.81	99.86	100.70	100.20	100.20	99.92	100.80	100.10

또한 토기의 성분을 산성산화물(RO<sub>2</sub>)과 염기성산화물(RO+R<sub>2</sub>O)로 구분하여 정리하고 상관도로 작성한 결과<sup>[도7(a)]</sup> 역시 출토 유적에 따른 구분은 확인되지 않는다. 그러나 상대적으로 석촌동 토기 1점(SP-1)은 높은 염기성산화물 함량을, 방이동 토기 1점(BP-8)은 낮은 산성산화물 함량을 보여 차이가 있다. SP-1은 특정 산화물의 함량이 두드러지지 않으나, BP-8은 55.35wt.%로 이는 평균치에 크게 못 미치는 SiO<sub>2</sub> 함량 때문으로 여겨진다.

일반적으로 무기물질은 풍화가 진행되면서 규산염류가 분해되어 상대적으로 난용성 성분인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 함량이 증가하는 경향이 있으므로, 토기의 풍화 정도를 파악하기 위해 주요 3성분의 상관도를 작성하였다<sup>[도7(b)]</sup>. 이 결과, 일부 방이동 토기(BP-1,8)를 제외하면 풍화도 역시 출토지에 의해 구별되지 않는 것으로 해석된다.

한편 A(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-CN(CaO+Na<sub>2</sub>O)-K(K<sub>2</sub>O) 및 A(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-CNK(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)-FM(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO) 백분율 삼각도를 작성하여 각 토기 원료의 풍화 경향성을 검토하였다<sup>[도7(c)]</sup>. 이 결과, 모두 유사하나 상이한 점토화도를 보인 BP-1만이 FM 함량에서 낮아 다소 미진한 풍화도를 보여 구분된다. 이 토기는 가장 낮은 흡수율과 공극률 및 중량감소율을 띠고 물라이트의 검출이 두드러지는 등 전반적인 특성이 상이하다. 그러나 원료의 산지가 동일하더라도 제작기법에 따라 발현되는 특징 차이가 발생할 수 있으므로, 원료에 대한 지구화학적 자료를 바탕으로 상세한 검토가 필요하다.



도7. 연구대상 토기편의 지구화학적 특성

## 4. 고찰

### 4.1. 원료의 동질성 검토

석촌동 및 방이동 고분군에서 출토된 토기는 대자율 분포에 약간의 차이를 보이나, 모든 값이  $1.2(\times 10^{-3} \text{ SI unit})$  이하로 매우 낮아 원료의 성인차로 판단하기에는 어려움이 있다. 광물조성은 플라이트가 검출된 방이동 토기, 각섬석이 나타나는 석촌동 토기를 제외하면 거의 유사하다.

또한 화학조성은 방이동 토기 1점(BP-8)이 SiO<sub>2</sub> 함량이 낮아 차이를 보이나 이는 LOI가 10.69wt.%(표3)이며, 중량감소율도 11.46wt.%(표2)로 가장 높아 유기물 함량에 따른 결과로 해석된다. 연구대상 토기의 전반적인 화학조성 역시 유사한 것으로 확인되는 반면 방이동 토기 1점(BP-1)은 낮은 풍화경향(도7(c))을 보인다.

따라서 원료의 성인적 동질성을 살펴보기 위해 희토류원소를 콘드라이트 운석의 초생치<sup>[12]</sup>로, 호정 및 불호정성 원소를 원시맨틀조성<sup>[13]</sup>을 기준으로 표준화하여 해당 원소들의 거동을 확인하였다(도8, 표4). 희토류원소는 상호간 성질이 매우 유사하여 지구의 다양한 환경에서도 동일한 규칙성을 가지고 거동하므로, 기원물질의 분화과정을 반영한다. 또한 토양이 소성되어 토기가 되는 과정에서도 희토류원소의 거동양상은 변하지 않으므로<sup>[14]</sup>, 이는 토기 원료의 동질성 검토에 유의미한 지시자가 될 수 있다.

한편 마그마 분화과정에서 정출되는 광물에 포함되려는 경향인 호정성(compatible)과 잔류마그마로 향하는 불호정성(incompatible) 원소들의 거동은 기

원암에 대한 지화학적 특성을 지시한다<sup>[15]</sup>. 해당 표준화도<sup>(도8)</sup>의 원소배열은 양측에서 Th를 향할수록 불호정성이 강한 경향이 있으며, 전반적인 부화 및 결핍도 변화 양상에 따라 기원암이 형성된 지구환경의 유사도를 추정할 수 있다.

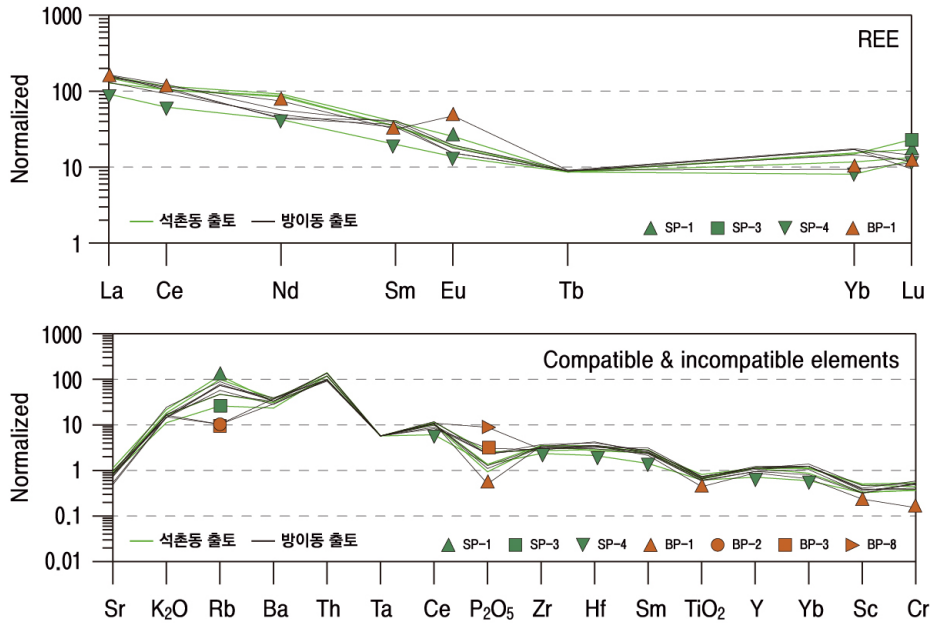
연구대상 토기의 희토류원소는 대체로 경희토류로 갈수록 부화도가 점차 낮아지는 경향을 보이나, 방이동 출토 BP-1만이 Eu에서 부화도가 상승하는 상이한 거동을 보인다. 그러나 호정 및 불호정성 원소의 거동에서는 Rb과  $P_2O_5$ 를 제외하면 전반적으로 큰 차이가 나타나지 않는다. Rb은 결핍하지 않으며 다양한 부화도를 보이는 것으로 보아 광물의 함량 여부에 영향을 받는 것으로 해석되며,  $P_2O_5$ 는 고분의 매장환경 등에 의해 오염된 것으로 판단된다.

석촌동 및 방이동 고분군 출토 토기는 유적에 상관없이 제작에 활용된 토양의 성인은 유사한 것으로 판단된다. 그러나 원료점토의 준비 과정에서 불순물의 제거 정도 또는 추가적인 광물비짐의 첨가 유무 등에 따라 원소 함량에 차이를 띠게 된 것으로 해석된다.

송파일대에는 경기편마암복합체가 넓게 분포하고 있고<sup>(도1)</sup>, 일부 토기 조직에서 입상변정질의 석영집합체가 관찰되는 것으로 보아<sup>(도4)</sup>, 원료 토양은 편마암류의 풍화토에 해당하는 것으로 판단된다. 토양의 심토분포도로 보아<sup>(도1)</sup> 석촌동보다는 방이동 고분군 주변 토양이 이에 해당하며 심토의 사질 함량도 상대적으로 낮아 토기 제작이 용이하였을 것으로 추정된다. 그러나 원료의 수급지에 관해서는 추정산지 토양과의 직접적인 비교와 고고자료 등 종합적인 검토가 필요하다.

표4. 연구대상 토기편의 미량 및 희토류 원소 분석결과

(ppm)	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5	BP-6	BP-7	BP-8
Ba	626	733	450	590	637	556	722	543	757	642	697	633
Cr	109	90	132	93	38	144	128	121	130	95	101	126
Hf	6.7	6.3	8.2	5.0	8.1	8.3	8.1	9.9	7.0	7.8	9.4	7.5
Rb	230	190	50	90	170	20	20	110	140	150	140	90
Sc	18.9	13.2	19.9	12.8	9.3	16.2	12.5	14.2	12.6	15.4	15.1	18.4
Sr	133	110	98	112	102	91	64	99	58	116	100	86
Zr	239	313	307	207	301	269	249	289	275	279	323	257
La	57.4	55.0	47.0	33.5	53.9	56.5	45.9	47.8	46.4	54.5	58.4	53.4
Ce	111	99	100	59	104	95	80	102	86	103	114	106
Nd	65	60	62	30	50	30	50	48	34	30	39	38
Sm	9.1	7.9	8.0	4.6	6.9	9.0	7.6	7.9	7.5	8.2	8.7	10.0
Eu	2.2	1.6	1.7	1.2	3.9	1.6	1.6	1.5	1.3	1.3	1.5	2.2
Tb	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
Yb	3.8	2.9	3.7	2.0	2.2	4.1	2.7	4.1	3.5	4.1	4.1	4.6
Lu	0.65	0.51	0.88	0.47	0.41	0.52	0.34	0.45	0.45	0.35	0.43	0.65



도8. 연구대상 토기편 구성 희토류와 호정 및 불호정성 원소의 거동 양상

#### 4.2. 소성온도 해석

석촌동 연접적석층 및 방이동 3호분에서 출토된 토기는 성인적 동질성을 보이는 편마암류의 풍화토를 정선하여 제작된 것으로 판단된다. 그러나 출토 유적에 상관 없이 각각의 토기가 정선도를 비롯한 여러 특성이 다소 상이한 것으로 보아 제작 및 소성과정에 다소 차이가 있었던 것으로 여겨진다.

연구대상 토기의 광물조성은 석영, 운모류, 각섬석, 알칼리장석 및 사장석, 플라이트 등으로, 일부 석촌동 토기는 각섬석이, 방이동 토기는 플라이트가 확인된다는 차이를 보인다. 주사전자현미경을 통해서서는 토기에 따라 변질된 운모와 석영, 용융된 태토 기질 등이 관찰된다. 또한 시차열분석 결과, 모든 토기에서 573℃에서 석영의 상전이가 발생했던 것으로 확인된다. 이를 바탕으로 소성단계에 가장 중요한 온도를 추정하였다.

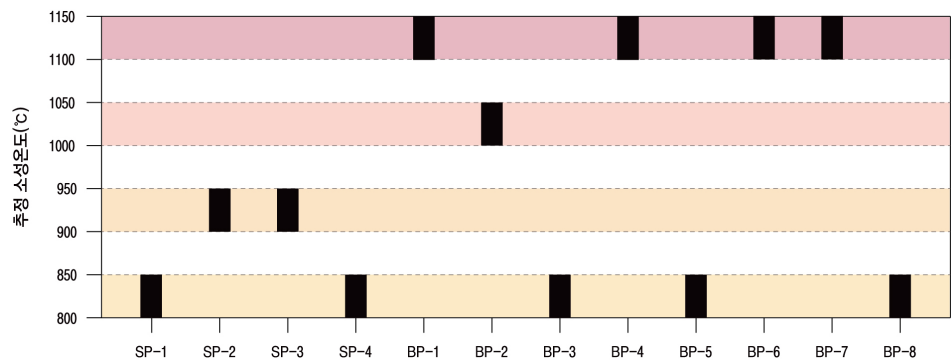
토기의 열적 특성을 살펴보면 운모류는 900℃, 각섬석은 950℃, 사장석은 1,100℃, 알칼리장석은 1,200℃에서 열변질에 의해 소멸이 시작되는 양상을 띠는 것으로 보고된 바가 있다<sup>[16],[17]</sup>. 플라이트는 알루미늄계 점토광물인 카올리나이트가 고온에서 상전이되어 형성되는 광물로, 대상 토기의 태토가 용융되어 소결되는 과정에서 정출된 것이다.

일반적인 점토를 구성하는 카올리나이트는 400~525℃에서 결정수가 탈수되기 시작해 550℃에 도달하면 완전 이탈이 이루어지고 메타카올린으로 전이한다<sup>[18]</sup>. 이후 950℃ 부근에서 물라이트로의 상전이가 시작되고 1,000℃부터 결정을 이루게 되어, 1,150℃에서 1,700℃ 사이의 영역에서 온전한 자형의 물라이트 결정이 형성 및 성장한다<sup>[10]</sup>.

이러한 광물의 상전이 특성으로 보아 석촌동 토기 중 운모류와 각섬석이 함께 검출되는 2점(SP-1,4)은 800~850℃, 운모류와 물라이트는 확인되지 않으나 장석류가 확인되는 2점(SP-2,3)은 900~950℃ 온도를 경험한 것으로 보인다. 방이동 토기 중 물라이트가 검출되는 5점(BP-1,2,4,6,7)은 최소 1,000℃ 이상의 온도에서 소성된 것으로, 이 중 유일하게 사장석이 검출된 BP-2는 1,000~1,050℃, 사장석이 확인되지 않는 나머지 4점(BP-1,4,6,7)은 1,100~1,150℃에서 제작된 것으로 해석된다.

주사전자현미경에서 자형의 물라이트 결정이 관찰되지 않으므로 성장 중으로 판단해 상한의 온도를 좁게 설정하였다. 또한 운모류와 장석류가 함께 확인된 3점(BP-3,5,8)의 소성온도는 800~850℃로 해석하였다<sup>(도9)</sup>.

전반적으로 소성온도 분포는 석촌동 토기에 비해 낮은 시기의 방이동 토기가 높은 소성된 경우가 많은 것으로 나타난다. 그러나 방이동 토기에서도 850℃ 부근에서 소성된 것이 있어, 고온소성을 방이동 3호분 토기의 고유한 특성으로 판단하기에는 어려움이 있다. 따라서 상대적으로 낮은 시기에 매장된 방이동 3호분 토기의 제작방식이 고온화된 것으로 해석하기는 어려우며, 고대 송파 일대의 토기 소성 기술의 변천과정 해석을 위해서는 보다 다양한 고고자료와의 비교 및 검토가 필요할 것으로 판단된다.



도9. 연구대상 토기편의 추정 소성온도 비교도



## 5. 결론

서울 송파일대는 한성백제 왕도의 중심지로 관련 유적이 다수 분포하고 있다. 이 중에서 한강과 남한산 사이에 위치하는 석촌동 및 방이동고분군은 고대 한반도 묘제의 변천을 보여주며 동시에 중앙세력과 집단에 대한 정보를 제공한다. 비교적 근래에 연구가 이루어진 석촌동 연접적석총과 방이동 3호분에서 출토된 토기의 재료학적 특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

첫째, 토기의 물리적 특성 중 색상은 황색도에 비해 적색도에서 차이를 띠며, 석촌동 토기는 외내면 색도값이 유사한 반면 방이동 토기는 내면보다 외면에서 다양한 적색도를 보인다. 흡수율과 공극률은 상대적으로 석촌동 토기에서 높은 값이 확인된다. 대자율은 토기에 따라 분포범위의 차가 약간 있으나, 모두  $1.2 \times 10^{-3}$  SI unit 이하로 낮아 원료의 차이는 크지 않은 것으로 판단된다.

둘째, 모든 토기는 미립 내지 세립의 기질을 보이거나 광물의 종류와 조직에 따라 다소 상이한 특징을 보인다. 광물은 주로 석영이며, 일부 토기에서 각섬석과 미사장석이 관찰되고 대부분 각형을 띠거나 집합체로 산출된다. 광물집합체는 입상의 변정조직을 이루는 석영으로, 출토지의 지질분포로 보아 편마암류의 풍화토로부터 기원하였을 가능성이 있다. 이 차이는 출토지에 구분없이 각 토기의 제작기법에 따른 특징으로 보인다.

셋째, 토기의 주성분 광물은 석영이며 이외 운모류, 알칼리장석 및 사장석 등이 다수의 토기에서 공통적으로 확인된다. 시차열분석 결과, 모든 토기에서 573℃의 흡열피크가 나타나므로 석영은 소성에 의해 상전이를 겪은 것으로 보인다. 일부 석촌동 토기에서 각섬석이, 방이동 토기에서는 플라이트가 검출되어 차이를 보이는데 특히 고온정출 광물인 플라이트가 다량 검출된 토기(BP-1)의 중량감소율과 공극률 값이 가장 낮은 것으로 보아 비교적 고온소성되어 소결도가 높은 것으로 해석된다.

넷째, 토기의 화학조성으로는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  등의 함량이 대부분을 차지하며,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  등이 부성분 원소로 확인된다. 출토지에 따른 구성원소의 함량차는 두드러지지 않으며, 원료점토의 풍화경향도 유사한 것으로 해석된다. 그러나 소결도가 비교적 높을 것으로 여겨지는 토기(BP-1)의  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  및  $\text{MgO}$  함량이 낮아 낮은 풍화도를 보인다는 점에서 차이가 있다.

다섯째, 따라서 연구대상 토기는 제작 및 매장시기와 상관없이 모두 유사한 편마암류의 풍화토를 수급하여 제작되었으며, 원료점토의 정선과 광물비집의 사용 여부에 따라 조직 차이를 보이는 것으로 판단된다. 또한 선행연구를 바탕으로 추정한 소성온도는 800~850℃, 900~950℃, 1,000~1,050℃, 1,100~1,150℃의 다양한 범위로 확인되어 소성과정에서 물리적 특성 차이가 발생한 것으로 판단된다.

여섯째, 석촌동 연접적석총 토기는 최대 950℃ 부근의 온도를 경험한 반면 방이동 3호분의 다수는 1,000℃ 이상의 온도에서 소성되어 상대적으로 늦은 시기의 토기가 고온소성된 경향을 보인다. 그러나 방이동 토기에서도 850℃ 부근의 소성 사례가 나타나므로 이를 시대 변화에 따른 소성온도의 고온화로 해석하기에는 검토가 필요하다.

따라서 두 유적에서 출토된 토기는 다른 시기에 매장되었으나 제작을 위해 수급된 토양은 유사하며, 4세기 석촌동에 매장된 토기들이 비교적 낮은 온도에서 소성된 것으로 판단된다. 송파 일대의 시기별 토기 제작기술을 복원하기 위해서는 보다 다양한 토기자료에 대한 재료학적 특성 검토와 함께 추정 토양 공급지를 설정하고, 실제 고토양과의 비교와 해석이 필요할 것이다.

#### 〈사사〉

이 연구는 2018년과 2019년도 한성백제박물관 학술발굴조사에 참여하여 수행한 내용을 바탕으로 정리한 것이며, 연구를 위해 조연과 시료를 제공해 주신 한성백제박물관 정치영 학예연구사께 깊이 감사드린다.

---

## 참고문헌

1. 국립중앙박물관, *세계유산 백제*, p1-15, 국립중앙박물관, 서울, (2016).
2. 정치영, 백제 왕실묘역의 형성 -석촌동 고분군을 중심으로-, *제44회 백제학회 정기학술회의 삼한 시대의 백제사*, 한성백제박물관, p71-93, (2022).
3. 강태홍, 하남 감일동 백제고분군 발굴조사 성과, *백제학보* **27**, p107-126, (2019).
4. 김규운, 한성기 백제 횡혈식석실의 전개 양상, *서울학연구* **66**, p1-41, (2017).
5. 진홍주, 장성윤, 이명성, 서울 석촌동고분군 출토 기와의 소성온도와 열변형 특성 해석, *자원환경 지질* **54**, p671-687, (2021).
6. 하대룡, 서울 방이동 3호분 출토 인골에 대한 검토, 제43회 한국고고학대회 발표논문집, 한국고고학회, p515-523, (2019).
7. 김수경, 한성백제기 흑색마연토기의 재료학적 특성 및 제작기술 연구, 공주대학교, 박사학위논문, p1-158, (2020).
8. 원종관, 구무옥, 백광호, 지정만, 안해룡, *한국지질도 독섬 도폭(1:50,000)* 및 설명서, 한국동력자원연구소, (1981).

9. 국립농업과학원, 흙토람 토양환경지도, <http://soil.rda.go.kr>, (2021).
10. Sainz M.A., Serrano F.J., Amigo J.M., Bastida J., Calballero A., XRD microstructural analysis of mullites obtained from kaolinite-alumina mixtures, *Journal of the European Ceramic Society* **20**, p403-412, (2000).
11. 문희수, *점토광물학*, p291-372, 민음사, 서울, (1996).
12. Taylor, S.R., McLenna, S.M., *The continental crust: Its composition and evolution*, Blackwell, Oxford, p312, (1985).
13. Pearce, J.A., Role of sub-dontinental lithosphere in magma genesis a active continental margines, *Continental basalts and mantle xenolith*, Shiva Geology Series, p230-349, (1983).
14. 이승구, 김건한, 김진관, 암석의 풍화과정 및 도자기 제조과정에 따른 희토류 원소 분포도의 변화: 토양화학 및 고고학적 응용을 위한 기초연구, *암석학회지* **53**, p133-143, (2008).
15. 이승구, 김동연, 한반도 지각암류의 지구화학적 특성, *암석학회지* **21**, p113-128, (2012).
16. 김란희, 이찬희, 고토양의 소성실험에 따른 재료과학적 특성 변화와 토기의 제작환경 해석: 천안 쌍용동 용암유적, *보존과학회지* **28**, p193-204, (2012).
17. 이찬희, 진홍주, 최지수, 나건주, 한반도 중서부 출토 일부 고대 세라믹 유물의 제작기술: 예비연구, *보존과학회지* **32**, p273-291, (2016).
18. 이수정, 카올리나이트의 상전이반응 과정 연구, *한국광물학회지* **11**, p32-44, (1998).