천안 운전리 청동기 유적지에서 출토된 무문토기의 정량분석, 산지및 소성조건

Firing Condition, Source Area and Quantitative Analysis of Plain Coarse Pottery from the Unjeonri Bronze Age Relic Site, Cheonan, Korea

최 석 원 공주대학교지질환경과학과
이 찬 희 공주대학교문화재보존과학과
오 규 진 충청문화재연구원
이 효 민 공주대학교지질환경과학과
이 명 성 공주대학교문화재보존과학과

Ⅰ. 서 언

충남 천안시 목천면 운전리 일대는 천안 - 병천 간 4차선 확장 및 포장공사 시공에 앞서 문화재의 지표조사가 실시된 지역으로서, 운전리 일대의 저산성 구릉 3개소와 곡부 2개소에서 청동기 시대의 무문토기 파편과 원삼국시대의 토기파편 등이 수습됨에 따라 유적의 존재가능성이 제기된 장소이다. 따라서 충청매장문화재연구원에서는 2001년 7월에서 8월 사이에 정밀 시굴조사를 실시하여 청동기 시대의 주거지 및 원삼국시대의 주구토광묘를 비롯한 다양한 유구들을 확인하게 되었다(충청매장문화재연구원 2001).

발굴조사에서는 곡부를 사이에 두고 형성된 세 개의 구릉을 서쪽에서 동쪽으로 A, B 및 C 지구로 명명하였고, A와 B지구 사이의 곡부를 I지구, B와 C지구 사이의 곡부를 II지구로 명명하여 정밀조사를 실시하였다(충청매장문화재연구원 2001, 2002). 시굴조사 결과, I지구에서 2매의 토탄층과 상부의 흑갈색 점토질층, 조선시대로 추정되는 우물 1기, 자연수로 1기씩이 조사되었으나, II지구에서는 아무런 유구나 유물의 흔적이 나타나지 않았다. A지구에서는 청동기 시대 주거지 4기, 마한시대 주구토광묘 19기, 석관묘 1기, 석곽묘 2기, 탄요 1기, 조선시대 주거지 5기, 기타 수혈유구 2기가 확인되었다. B지구에서는 청동기 시대의 주거지 6기, 수혈유구 5기, 토광묘 3기가 조사되었으며, C지구에서는 청동기 시대 주거지 3기, 수혈유구 5기 및 민묘 2기가 조사되었다.

국내에 분포하는 다양한 종류의 유적지에 대하여 이미 사학적, 고고학적 및 미술사적 연구는 많으나, 여기에 사용된 암석 및 토양의 특징과 종류, 지질학적 특성과 훼손 및 보존방안에 관한 연구는 극히 미진하다(이찬희 외 2001, 이찬희와 서만철 2002, Lee et al. 2003). 고고학적 관점에서 토기의 과학적 분석과 소성조건을 검토하여 토기제작 기술의 발달과정 및 원산지 추정에 관한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으며, 이 분야의 연구를 종합한 문헌도 발간되었다(최몽룡 외 1996). 또한 이용일과 이선복(2003)은 구석기 유적발굴지의 토양특성과 고고지질학적 적용을, 이현구 외(1996)는 백제 사찰지의 석기에 관한 산지추정을 보고하기도 하였으나, 아직도 토기의 고고지질학적 해석에는 많은 연구가 필요하다.

이 연구에서는 운전리 유적지에서 출토되는 청동기 시대의 무문토기 6점을 대상으로 지질학적, 토양광물학적 및 지구화학적 특성을 분석하였다. 또한 각각의 토기 산출지역에서 태토의 분포지역을 확인하기 위한 정밀 지표지질조사를 실시하여 시료를 채취하였다. 각각의 시료들에 대하여는 산출지역의 토기와 동일한 방법으로 정량분석하여 지질 및 토양학적 유사성을 규명하였다. 이 결과를 근거로 고고지질학적 측면에서 토기의 특성 및

산지를 해석할 수 있으며, 근원지와 제작환경이 밝혀짐으로서 당시의 생활상을 유추할 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것이다.

Ⅱ. 지형 및 지질

토기는 다른 유물과 비교되지 않을 만큼 많이 출토되며, 각 시기에 따른 문화양상을 파악하는데 아주 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히 도기 및 자기와는 달리 태토의 광물학적 및 지구화학적 조성을 잘 보존하고 있어 원료물질의 공급과 제작환경을 검토하는데도 많은 도움을 준다. 이 원료물질은 원산지의 기후, 지형, 지질 및 구성암석의 성질을 반영하고 있기 때문에 이를 명확히 규명할 필요가 있다. 이 연구지역의 지형과 지질 및 암석분포에 대하여는 개요만을 간단히 기술하고자 한다.

1. 지 형

광역적으로 볼 때, 연구지역의 산계는 북서 - 남동 방향과 남북의 방향성을 갖는 2조의 산릉이 있다. 1개조의 산릉은 북부 중앙부에 위치한 덕유산, 환희산 및 국사봉을 이어 북서 - 남동 방향으로 발달되어 있으며, 다른 1개조는 운전리의 북서부에서 봉암산, 작성산, 은석산으로 연결된 남북방향의 산릉이다. 이밖에 덕유산 - 국사봉을 잇는 산릉으로부터는 다시 몽상산, 황덕산, 동성산을 잇는 북서서 방향의 산릉이 병천리 동부에 발달한다. 북서부에는 망덕산, 동림산 및 망경산을 중심으로 발달된 소규모의 불규칙한 산릉들이 있다.

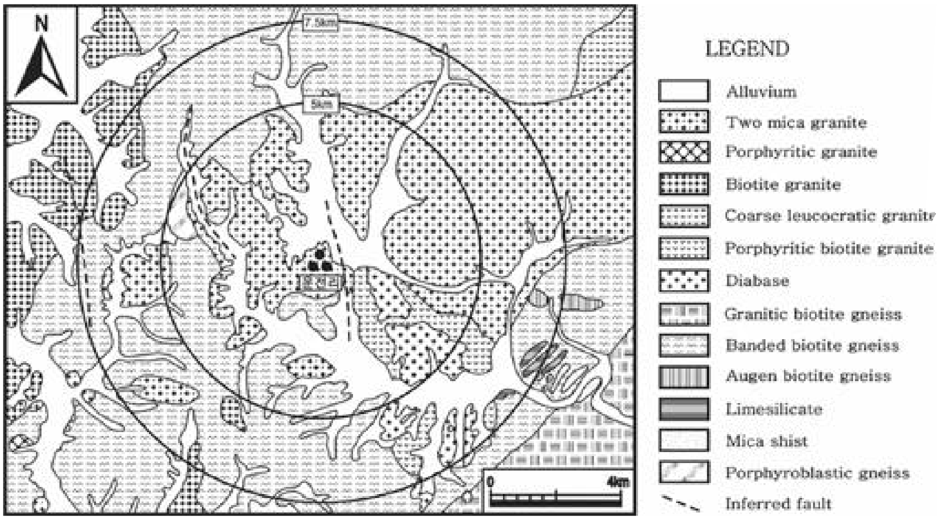
이 지역의 수계는 남동부에서 남남서로 흐르는 미호천과 중남부에서 남서쪽으로 흐르는 용두천이 대표적이다. 또한 북서부에서 연춘리 부근을 거쳐 중남부 장남리 지역에서 용두천과 합류하는 병천천이 주류를 이루고 있으며, 이들 하천으로 유입되는 지류들이 수지상으로 발달되어 있다. 전체적으로 보아 이 지역의 수계는 기반암의 영향을 많이 받고 있다. 이 지역 남동부의 반상화강암 분포지역은 지형적으로 저평한 분지를 이루고 있고 변성암류의 편마암지역과 북동부 중생대 퇴적암 지역은 기복이 심한 험준한 지형을 이루고 있다.

운전리 유적지는 동서로 연장된 백운산의 북사면 하단부에 형성된 평탄한 구릉이다. 구릉의 일부는 밭으로 경작되고 있으며 근래에 매장된 몇 기의 민묘를 제외하고는 대부분 산지를 이루고 있다. 운전리의 북동쪽 전방에는 북서쪽에서 동남쪽으로 산방천이 발달하

며 북동쪽에서 병천천이 합류하여 비교적 넓은 전작지대를 형성하였다. 이와 같은 지리적 조건으로 볼 때, 운전리 일대는 선사시대 인류의 생활근거지로서 적합한 자연환경이었을 것으로 보인다. 그러나 운전리 북쪽에는 넓은 남사면이 분포함에도 불구하고, 연구지역의 유적지가 남쪽에 높은 산을 두고 북사면에 근거지를 마련한 이유에 대하여는 앞으로 밝혀져야 할 것이다.

2. 지질개요

운전리 일대의 지질은 선캠브리아기의 흑운모 편마암류를 기반암으로 이를 관입한 중생대 쥬라기의 심성 내지 반심성 화성암류와 이를 부정합으로 덮는 백악기 경상누층군 상부의 초평층으로 구성되어 있다. 또한 위의 모든 암석을 관입한 중성 및 염기성 암맥류가 산재하며 제4기의 충적층이 하천 연변과 넓은 평야지역에 발달되어 있다(신병우 외 1979, 이하영 외 1989). 선캠브리아기의 흑운모 편마암은 그의 암상에 의하여 호상 흑운모 편마암, 화강암질 흑운모 편마암, 안구상 흑운모 편마암, 석회규산염암 및 운모편암으로 구분되며 중생대 쥬라기의 화성암류는 휘록암, 반상 화강암, 조립 우백질 화강암, 복운모 화강암 및 석영섬록암으로 구분된다 (그림 1).



<그림 1> 운전리 유적지 일대의 지질도

운전리 일대는 복운모 화강암, 흑운모 화강암 및 반상 화강암으로구성되어 있으나, 유적지 부근에는 소규모의 페그마타이트, 석영맥, 산성암맥, 세립질 섬록암, 섬장암질암 및 휘록암 등의 관입맥암이 산재한다.

운모편암은 운전리 북동부 유량리 일대에 소규모로 나타나는 것으로 구성광물은 흑운모, 석영, 견운모 등이고 북서방향의 편리에 남쪽으로 경사하고 있다. 부분적으로 석영의 집중현상이 심하여 규암의 암상을 갖는 곳도 있으며, 운모가 집중되어 있는 곳에서는 운모편암의 양상도 나타낸다. 편마암은 운전리의 북부와 남부에 분포하며 규모가 가장 크다. 흑성산과 독립기념관 일대 및 삼룡리와 응원리 등지의 것이 전형적이며 결정이 뚜렷하고 크게 보인다. 용연저수지 일대에서는 편마암류와 화강암류의 접촉부가 뚜렷이 보이는데, 이들 암석은 대체로 편리방향이 뚜렷하지 못하나 일반적으로 북서방향을 보인다. 운전리 부근에 분포하는 편마암의 풍화면은 적갈색을 띠고 신선한 면은 장석이 조립으로 나타나며, 유색광물 및 무색광물의 배열이 뚜렷하여 호상구조가 선명하다.

화강암류는 각섬석 편마상 화강암, 흑운모 화강암, 복운모 화강암, 반상화강암 등으로 분류된다. 각섬석 편마암상 화강암은 부분적으로 편마구조를 이루고 있다. 흑운모 화강암은 운전리 일대의 거의 중앙부 및 북서부를 점하는 암석으로 조립에서 중립질 이다. 운전리 부근에 분포하는 화강암은 신선한 것은 보기 힘들며 풍화토양에서 조암광물들을 볼 수 있다. 복운모 화강암은 흑성산과 백운산을 형성하였으며, 신선한 표면에서 백운모와 흑운모가 공생한다. 충적층은 지역적으로 제한을 받은 것으로서 유수에 운반된 퇴적물이 소규모의 평야를 이루면서 분포되어 있다. 충적층의 대부분은 점토질이며 사력층은 소규모로 하상 및 하천의 양안에서만 보인다.

III. 시료 및 분석

이 연구를 위해 운전리 A지구의 청동기 주거지에서 6종의 무문토기편을 선택하였다. 이 토기편의 수습위치와 토양광물학적 특성은 후술하는 표 1과 같다. 이 토기들은 정밀한 육안감식과 전암 대자율이 측정되어 있으며 정량분석을 위해 일부를 취하였다. 한편 각각의 토기와 동일 종류의 토양분포를 확인하기 위하여 운전리 일대의 지표지질조사를 실시하였다. 조사에서는 암석의 분포와 산출상태, 암상 및 전암 대자율도 측정하였으며 지질학적, 토양광물학적 및 지구화학적 정량분석을 위한 시료를 채취하였다.

이 연구에서는 토기와 토양을 반으로 나누어 반정량적인 광물조성, 상대적 함량, 광물학적 공생관계, 조직 및 풍화에 의한 변질광물의 생성을 관찰하기 위하여 편광현미경과 전자현미경(SEM)을 사용하였다. 전자현미경의 모델은 LINK 사의 에너지 분산형 X-선 분석기(EDXA, PV 9100/60)가 장착된 Shimatzu 사의 ISI-SX-40 이다. 분석시료는

〈표 1〉 운전리 유적지에서출토된토기편과 주변에서채취한 토양의분석시료

시료번호	시 료 명	색상	특징	전암대자율측정치* (평균)
A2 - P1 - 1	A지구2호주거지무문토기파편	황갈색	극조립사질점토	0.56, 0.45, 0.50, 1.18, 1.02 (0.74)
B2 - P2 - 2	B지구2호주거지무문토기파편	담갈색	중미립사질점토	0.28, 0.21, 0.24, 0.32, 0.26 (0.26)
B4 - P3 - 3	B지구4호주거지무문토기파편	담갈색	조립사질점토	0.81, 0.61, 0.62, 0.83, 0.87 (0.75)
B6 - P4 - 4	B지구6호주거지무문토기파편	담갈색	조립사질점토	0.80, 0.64, 0.58, 0.55, 0.56 (0.63)
C2 - P5 - 5	C지구 2호주거지무문토기파편	회갈색	조립사질점토	0.82, 0.73, 0.60, 0.62, 0.59 (0.67)
B4 - P6 - 6	B지구4호주거지무문토기파편	적갈색	중미립사질점토	0.49, 0.44, 0.60, 0.57, 0.58 (0.54)
AS - 1 - 1	A지구1호수혈유구주변토양	황갈색	미사질식양토/양토	0.26, 0.23, 0.28, 0.23, 0.24 (0.25)
AS - 6 - 2	A지구석영맥주변토양	적갈색	미사질식양토	0.51, 0.52, 0.46, 0.40, 0.49 (0.48)
BS - 7 - 3	B지구4호주거지토양	담갈색	미사질식양토	0.99, 0.91, 0.83, 0.89, 0.80 (0.88)
BS - 8 - 4	B지구5호주거지토양	담갈색	미사질식양토	0.62, 0.64, 0.64, 0.54, 0.64 (0.62)
CS - 10 - 5	C지구1호주거지토양	회갈색	미사질식양토/양토	1.02, 1.03, 1.09, 1.05, 0.86 (1.01)
CS - 11 - 6	C지구3호주거지토양	회갈색	미사질식양토	1.14, 1.04, 0.93, 1.30, 0.76 (1.03)

*(10^{-3} SI unit)

탄소와 금으로 이중 피복하여 이용하였다. 또한 X - 선 회절분석기를 이용하여 조암광물과 변질 및 점토광물의 정확한 동정을 실시하였다. 분석기기는 Rigaku제 모델 D/Max - IIB였고, X - 선은 CuKα에 조건은 30 kV와 15 mA 였다. 회절선은 2θ를 3°에서 60°까지 2°/분으로 회절시켜 구하였다.

광물조성의 상대적 함량비는 각각의 토기에 관한 박편을 대상으로 모드(mode) 분석을 실시하여 계산하였다. 모드조성은 자동계수기가 장착된 Leitz사 모델의 Orthoplan (071948) 편광/반사 겸용 현미경을 이용하였다. 토기와 토양 시료들은 건조 후 분말로 만든 뒤 비드를 제작하여 X - 선 형광분석기(XRF)로 주성분 원소의 함량을 분석하였다. 또한 유도결합 아르곤 플라즈마 질량분석기(ICP - AES, ICP - MS)와 중성자 활성분석기(INNA)를 이용하여 미량원소와 희토류 원소를 정량분석 하였다. 분석결과는 분석과정에서 필수적인 신뢰도 측정을 이용하여 평가되었다(Ramsey et al. 1987). 전암 대자율 측정은 10^{-5} SI 단위의 측정한계를 가진 KT - 6(Pocket Susceptibility Meter) 모델을 사용하여 측정하였고 대자율의 세기는 10^{-3} SI 단위계로 표기하였다.

IV. 결과 및 해석

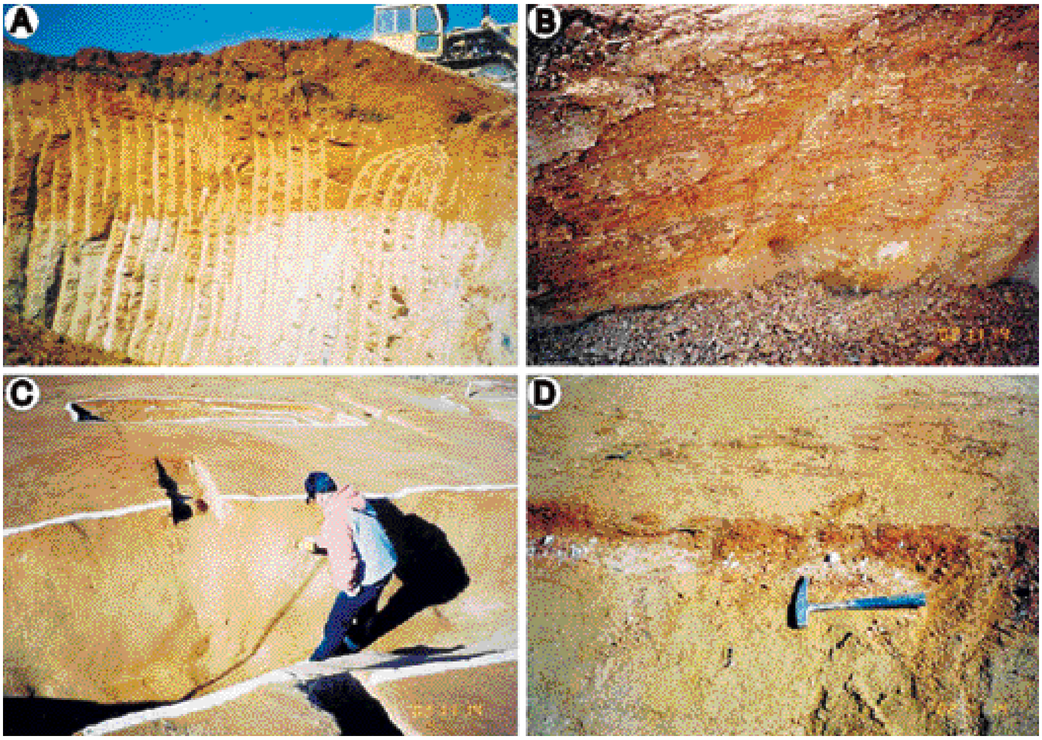
기존의 토기연구는 기형, 문양, 시문방법 및 위치 등과 같이 외형적 요소를 통한 형식분류와 편년이 주류를 이루어 왔다. 그러나 최근에 자연과학적 및 고고지질학적 방법론

이 도입되면서 토기의 제작기술, 발달과정, 원산지의 추정, 태토의 성분분석, 물리화학적 성질, 소성온도의 추정 및 기능분석이 이루어지고 있다(최몽룡 등 1996). 이 연구에서도 운전리 일대의 청동기 유적지에서 수습된 무문토기를 중심으로 과학적 분석과 고고지질학적 특성을 해석하였다.

1. 산출상태와 대자율

(1) 산출상태

운전리 유적지는 동서방향으로 2개의 곡부와 세 개의 구릉으로 구성되어 있다. 곡부 사이로 형성된 세 개의 구릉은 서쪽에서 동쪽으로 A, B, C 지구이다. 곡부의 경우 A와 B지구 사이에 형성된 곳이 Ⅰ지구이며, B와 C지구 사이에 형성된 지역이 Ⅱ지구이다. Ⅰ지구의 전체적인 퇴적양상은 크게 3가지로 확인되었다. 먼저 밭으로 경작되고 있는 지역은 아



〈그림 2〉 운전리 유적지일대 토양의산출상태

(A) B지구 유적지 토양단면으로서 유기물을 함유한 양토, 미사질 식양토, 조립사질 풍화토가 수직적으로 잘 발달되어 있다(B) A지구 수혈유구에 나타난 토양단면으로서 줄무늬의 발달로 보아 원지성 풍화토양의 특징을 갖는다 (C) B지구 청동기시대 주거지 나타난 담갈색 토양의 단면 (D) A지구 정단부에 나타난 황갈색 표토로서 석영맥의 주변부에서 특히 적갈색을띠며맥상으로발달되어있다.

래로부터 생토층 - 흑갈색 부식토층 순으로 퇴적되었으며, 논으로 경작되고 있는 지역은 아래로부터 회청색 니질층 및 니탄층 - 경작층 순으로 퇴적되었다. 또한 황갈색 사질토 및 생토층 - 흑색 점질토(하층 니탄층) - 흑갈색 계열의 사질토 - 흑색 점질토(상층 니탄층) - 경작층의 순으로 퇴적된 것이 있다 (그림 2).

Ⅱ지구는 Ⅰ지구와 비슷한 지형적 구조를 보이고 있으며 토층 퇴적양상은 생토층 위로 현재의 경작층이 퇴적되어 있다. 층위 조사 결과 이 지역은 최근 경작지로 전환하기 위해 복토를 한 것으로 추정된다. 그리고 구릉의 하단부에 위치하는 동쪽의 C지구를 제외하고는 구릉의 정상부를 중심으로 청동기 시대 주거지 및 원삼국시대 주구토광묘를 비롯한 유구들이 분포하고 있다(충청매장문화재연구원 2002).

운전리 유적지에서 출토된 토기편들은 A, B 및 C지구의 주거지에서 골고루 채취한 것으로서 대부분은 담갈색을 띠나 부분적으로 황갈색을 보인다. 또한 B지구에서는 적갈색의 편을 C지구에서는 회갈색 편을 선택하였다. 그러나 한 장소에서 수습된 하나의 파편에서도 색도를 달리하는 토기편이 많고, 내부와 토심 및 표면의 색이 다른 경우도 많다. 이들의 태토는 대부분 사질 점토이나, 모든 토기에 조립내지 극조립의 석영과 장석이 불규칙하게 혼재한다.

토기를 구성하는 태토의 지질 및 토양학적 특성과 원산지를 추정하기 위하여 운전리 유적지 일대의 토양을 채취하여 비교분석하였다. 운전리 B지구 유적지의 토양단면에서는 상부의 유기물을 함유한 양토, 중부의 미사질 식양토 및 하부의 조립사질 풍화토가 수직적으로 잘 발달되어 있다(그림 2A). A지구 수혈유구와 주거지에 나타난 토양단면은 줄무늬와 성층의 발달상태로 보아 원지성 풍화토양의 특징을 갖는다(그림 2B, 2C). 분석에 이용된 토양시료는 표 1과 같이, A, B 및 C 지구에서 각각 2시료씩 선택하였으며 회갈색, 담갈색, 황갈색 및 적갈색을 띠는 것으로서 토기의 색도에 근접하도록 고려하였다.

이 토양들은 입도와 조직 및 분급도를 분석하지는 않았으나 대부분 미사질 식양토 내지 양토의 토성을 가질 것으로 판단된다. 또한 홍도 편과의 비슷한 색도를 보이는 토양은 A지구 정단부에서 석영맥에 수반되는 적갈색 토양을 채취하였다(그림 2D). 그러나 운전리 유적 발굴당시 토양단면을 관찰하고 정량적으로 분석할 수 있는 기회가 없어, 토양의 구조와 수직분포, 구성입자의 입도 분포, 색지수 등과 같은 토양의 물리화학적 성질을 규명할 수 있는 자료를 얻을 수 없었다.

(2) 대자율

전암 대자율은 암석의 전체 자화강도를 구분하기 위해 응용된 암석학 연구의 한 수단으

로서, 대자율은 외부자기장에 대한 자화강도를 의미하며 $I = k \times H$로 정의된다. 여기서 I는 자화강도(magnetization intensity), H는 자기장(magnetic field)이며, k는 대자율(magnetic susceptibility)로서 물질의 자기적 특징을 결정하는 상수이다. 이 값은 진공에서 $k = 0$이며, 일반적인 화강암의 평균 대자율은 2.512(10^3 SI unit) 이다. 이 대자율은 암석에 함유된 불투명 광물로 나타나는 강자성 광물인 자철석의 함량과 정의 상관관계를 가진다. 따라서 대자율을 통해 자철석을 함유한 암석의 광역적 분포를 파악할 수 있기 때문에 1.256을 기준으로 이보다 높은 경우는 자철석 계열로, 낮은 경우는 티탄철석 계열의 암석으로 구분 한다 (Ishihara 1998).

Uchida et al. (1998, 1999)은 캄보디아 앙코르 와트에 이 방법을 적용하여 다각적인 해석을 실시한 바 있다. 운전리 유적지에서 산출된 토기와 토양을 대상으로 평균 5회씩 전암 대자율을 측정하였다. 토기와 토양의 대자율 값을 보면 대부분 1이하의 낮은 값을 보이고 있다. 토기의 대자율 범위는 0.20   1.20 정도이며, 토양의 대자율 범위도 0.20   1.30 정도로 그 범위가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다(표 1). 이와 같이 운전리 일대의 토양과 토기가 오차범위 내에서 동일한 자화강도를 갖는다는 것은 근본적으로 동일한 과정에 의해서 생성된 토양과 태토라는 것을 의미하는 중요한 자료중의 하나이다.

2. 토양 및 광물학적 특성

운전리 일대에서 수습된 토기와 유적지 부근에 분포하는 토양의 유사성과 차이점을 검토하기 위하여 토양광물학적 분석을 실시하였다. 모든 토기시료는 박편을 제작하여 현미경관찰을 하였으며, 분말시료를 만들어 X-선 회절분석을 하였다. 현미경을 이용한 광물학적 분석은 토기분석의 가장 기본적인 방법으로서 광물조성, 입자의 크기, 모양, 배열상태 및 조직 등의 관찰이 가능하다. 현미경 관찰에서 식별이 불가능한 경우에는 X-선 회절분석이 필수적이며, 현미경으로는 감정이 불가능한 점토광물이나 입자가 아주 작은 광물들에 대한 해석이 가능하다. 그러나 X-선 회절분석만으로도 광물입자의 조직이나 풍화정도 및 입자의 크기 등에 대한 해석은 불가능하므로 주사전자현미경(SEM)을 이용한 분석과 관찰이 병행되었다.

토기편들은 표면과 이면 및 내부를 한 단면에서 관찰할 수 있도록 면의 수직방향으로 박편을 제작하였다. 분석된 거의 모든 토기와 토양에서 4.260Å 및 3.343Å의 회절선을 갖는 석영이 주성분을 이루고 있다. 또한 정장석(3.769Å, 3.311Å)과 조장석(3.197Å)의 조성에 가까운 사장석, 운모류(흑운모>백운모>견운모; 9.962Å, 3.319Å)가 검출되

었으며, 시료에 따라서는 미량으로 녹니석(7.070Å, 3.357Å), 스멕타이트(smectite; 15.000Å, 5.010Å, 4.500Å, 3.019Å)와 고령석(kaolinite; 7.180Å, 4.479Å, 3.580Å)이 확인되었다. 각각의 토양광물학적 특징은 아래와 같다.

(1) 시료 A2 - P1 - 1(황갈색 무문토기편)

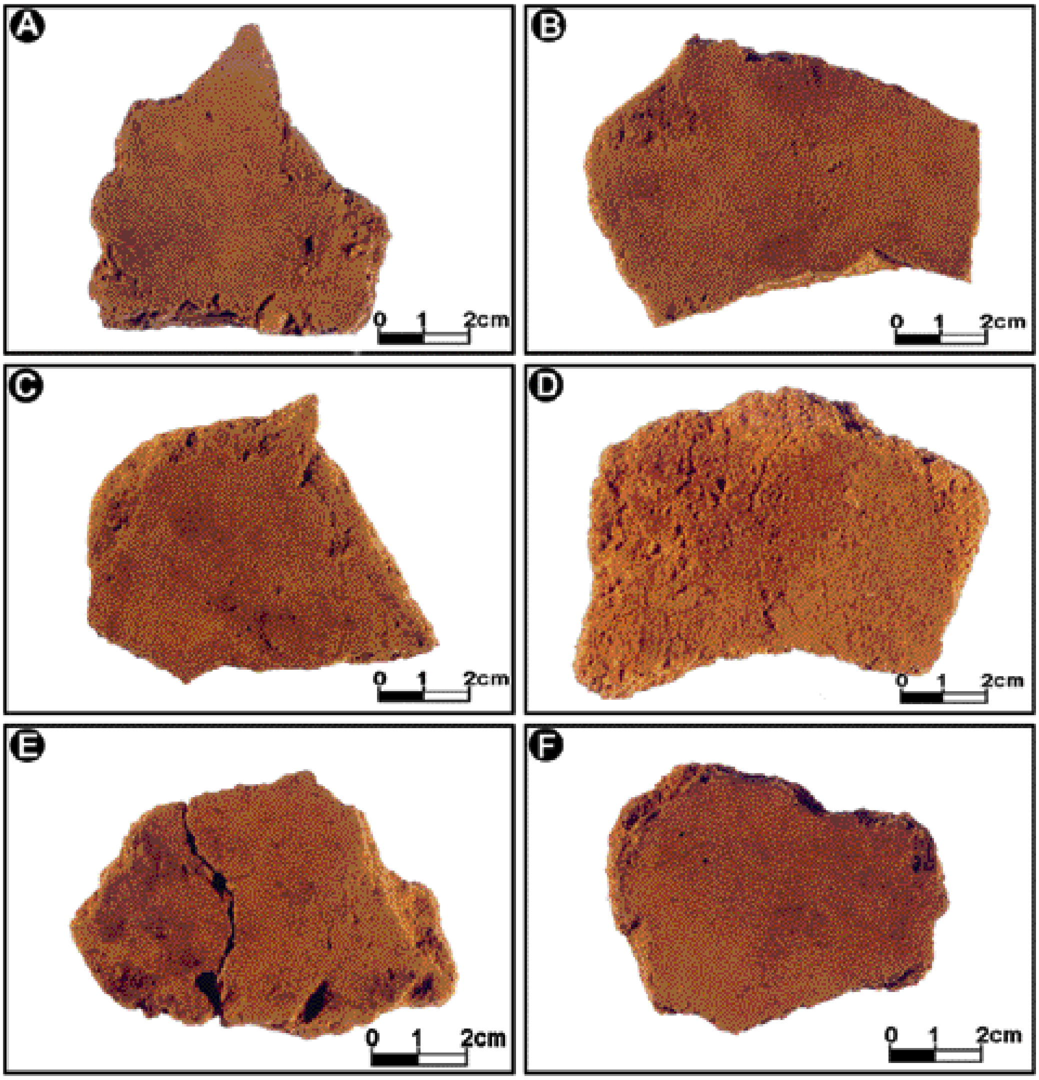
이 시료는 A지구 2호 주거지에서 출토된 황갈색 무문토기 파편으로 굵은 입자는 분급과 원마도가 불량한 극조립의 석영과 장석이며 바탕흙은 미사질 점토이다. 그림 3A에서와 같이 방향성이 없는 기질과 입도가 불균질한 석영입자가 혼재되어 있고, 현미경하에서는 입도와 분급이 불량한 점토와 극조립의 석영입자를 태토로 이용한 것을 알 수 있다(그림 4A). 이 토기편은 석영 입자의 양이 다른 시료보다 적으나, 각이진 것과 약간 둥근 것들로 이루어져 있다. 이외에 사장석, 운모, 각섬석도 관찰된다.

전반적으로 볼 때, 바탕흙은 갈색을 띠며, 표면에 가까운 부분은 색깔이 약간 진하다. 이 바탕흙은 은미정질 점토광물, 녹니석, 석영 및 정장석과 사장석으로 이루어져 있다. X - 선 회절분석 결과, 이 토기에서는 석영, 운모, 녹니석, 스멕타이트, 사장석, 정장석이 검출되었으며(그림 5; A2 - P1 - 1), 원재료로 추정되는 토양은 석영, 운모, 고령석, 녹니석, 사장석, 정장석, 스멕타이트가 검출되었다(그림 6; AS - 1 - 1).

(2) 시료 B2 - P2 - 2(담갈색 무문토기편)

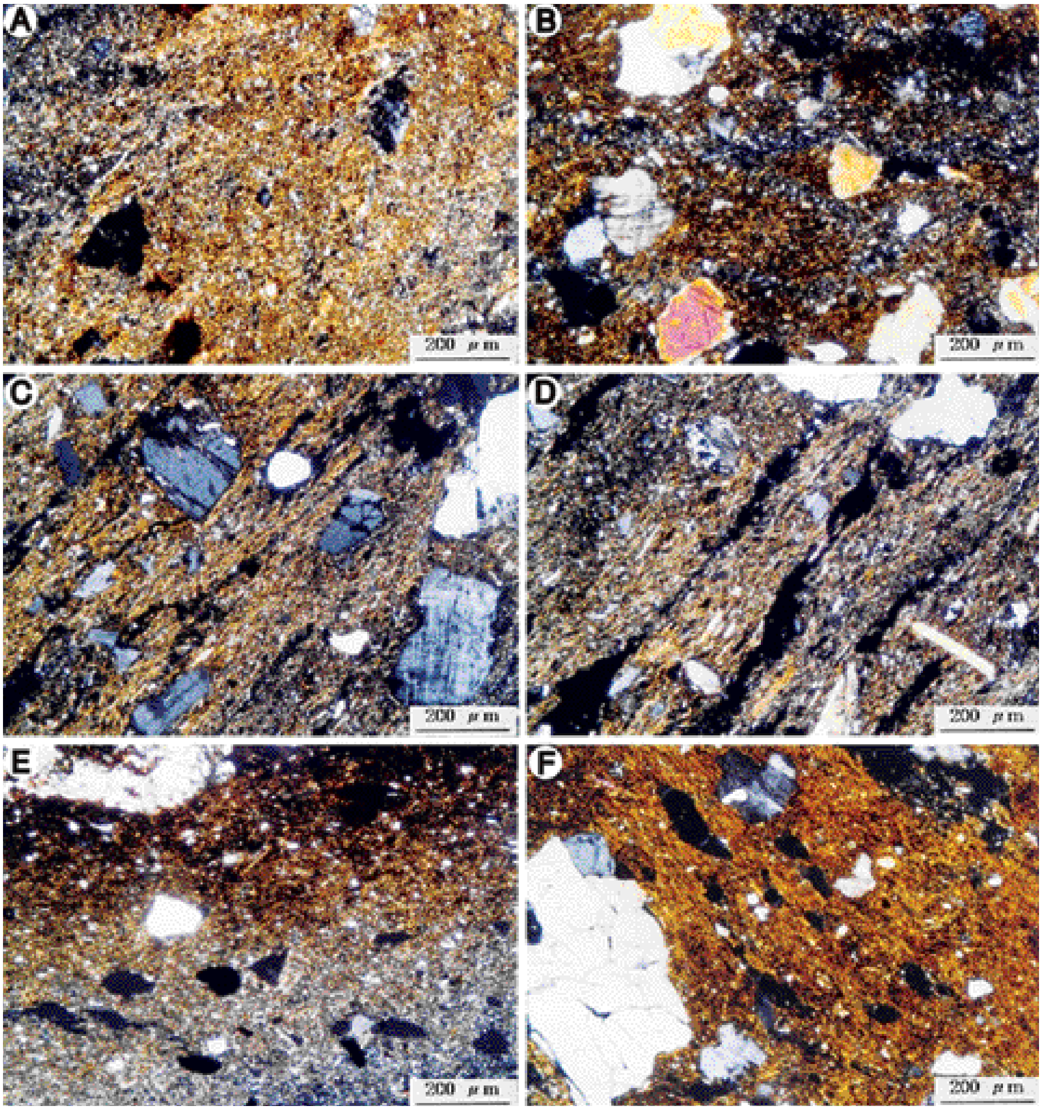
이 시료는 B지구 2호 주거지에서 출토된 담갈색 무문토기 파편으로 조립의 석영입자와 중립내지 미립의 사질점토로 이루어져 있다(그림 3B). 이 시료를 현미경 하에서 관찰한 결과, 굵은 입자는 석영, 사장석, 미사장석 등으로 이루어져 있다. 모양은 불규칙하거나 약간 각진 형태를 갖는 것으로 보아, 원재료는 원마도와 분급이 아주 불량한 태토였을 것으로 보인다. 바탕흙은 방향성을 보이지 않으며 은미정질 기질, 석영, 장석, 철산화물 등으로 이루어져 있다(그림 4B).

이 담갈색 무문토기 파편은 불명확한 줄무늬의 기질과 조립질 석영이 무질서하게 관찰되며, 퇴적과 운반작용을 경험한 거정질 석영이 비짐 물질로 사용되었으나, 소성작용 동안에는 양자의 반응이 없었음을 보여주는 평활한 입자경계를 나타낸다 (그림 4B). X - 선회절분석 결과, 토기에서는 비정질 산화물과 석영, 운모, 스멕타이트, 사장석, 정장석이 검출되었다(그림 5; B2 - P2 - 2). 비교토양에서는 석영, 운모, 사장석, 정장석이 동정되었으며, 특히 15.000Å과 3.019Å의 스멕타이트, 7.180Å과 4.479Å 및 3.580Å을 갖는 고령석 및 7.070Å의 녹니석이 검출되어 토기의 광물조성과 대조를 이룬다(그림 6; BS - 7 - 3).



〈그림3〉 운전리유적지에서수습된 토기편의분석시료 사진

(A) A지구 2호(A2 - P1 - 1) 주거지에서 출토된 담갈색 내지 황갈색의 무문토기 파편 (B) B지구 2호(B2 - P2 - 2) 주거지에서수습된담갈색의무문토기파편 (C) B지구4호(B4 - P3 - 3) 주거지에서수습된담갈색의무문토기 파편 (D) B지구6호(B6 - P4 - 4) 주거지에서수습된담갈색의 무문토기파편(E) C지구2호(C2 - P5 - 5) 주거지에서수습된회갈색의무문토기파편(F) B지구4호(B4 - P - 6) 주거지에서출토된적갈색내지 황갈색의무문토기파편



〈그림4〉 운전리유적지에서 출토된 토기편의편광현미경사진

(A) A지구 2호(A2 - P1 - 1) 주거지에서 수습된 황갈색 무문토기 파편으로서, 방향성이 없는 기질과 입도가 불균질한 석영입자가 혼재되어 있다 (B) B지구 2호(B2 - P2 - 2) 주거지의 담갈색 무문토기 파편으로서 불명확한 줄무늬의 기질과 조립질 석영이 무질서하게 관찰된다 (C) B지구 4호(B4 - P3 - 3) 주거지의 담갈색 무문토기 파편으로서, 미세 층리가 발달된 기질이 선상배열을 하며 분급이 불량한 석영과 사장석이 규칙적으로 배열되어 있다 (D) B지구 6호(B6 - P4 - 4) 주거지의 담갈색 무문토기 파편으로서, 미세층리가 반복적으로 발달된 비짐의 흔적이 남아 있으며 분급이 불량한 석영이 산재한다 (E) C지구 2호(C2 - P5 - 5) 주거지의 회갈색 무문토기 파편으로서, 색깔과 조성이 다른 태토와 혼재되어 있으며 입도가 불균질한 석영이 산재한다 (F) B지구 4호(B4 - P6 - 6) 주거지의 적갈색 무문토기 파편으로서 극조립의 석영과미약한줄무늬가있는석기로구성되어있다

(3) 시료 B4 - P3 - 3(담갈색 무문토기편)

이 시료는 B지구 4호 주거지에서 출토된 담갈색 무문토기 파편으로 조립의 석영과 사질점토의 바탕흙을 이용한 것으로 보인다(그림 3C). 현미경 관찰에 의하면 굵은 입자의 양이 많은 편이며, 대부분 석영으로 미세균열이 발달되어 있다. 그 외에 소량의 사장석, 정장석, 미사장석 등의 장석류가 관찰되며, 소량의 운모도 있다. 이 토기는 표면에서 내부로 가면서 몇 개의 층이 중첩되어 있는 특징을 갖는다(그림 4C).

바탕흙에는 석영과 장석의 미세입자가 많으며, 엽리와도 같은 미세 층리가 발달된 기질이 선상배열을 한다. 그러나 분급이 불량한 석영과 사장석이 규칙적으로 배열되어 있다. 이 무문토기 파편에서 석영입자가 떨어져 나간 자리를 보면 소성에 의한 재결정 작용이 없었음을 보여준다(그림 11C). 이 시료에 대한 X - 선 회절분석 결과 석영, 운모, 스멕타이트, 사장석, 정장석이 검출되었다(그림 5; B4 - P3 - 3). 비교토양에서는 석영, 운모, 사장석, 정장석이 동정되었으며(그림 6; BS - 7 - 3), 특히 스멕타이트, 고령석 및 녹니석이 검출되어 토기와는 다소 다른 조성을 갖는다.

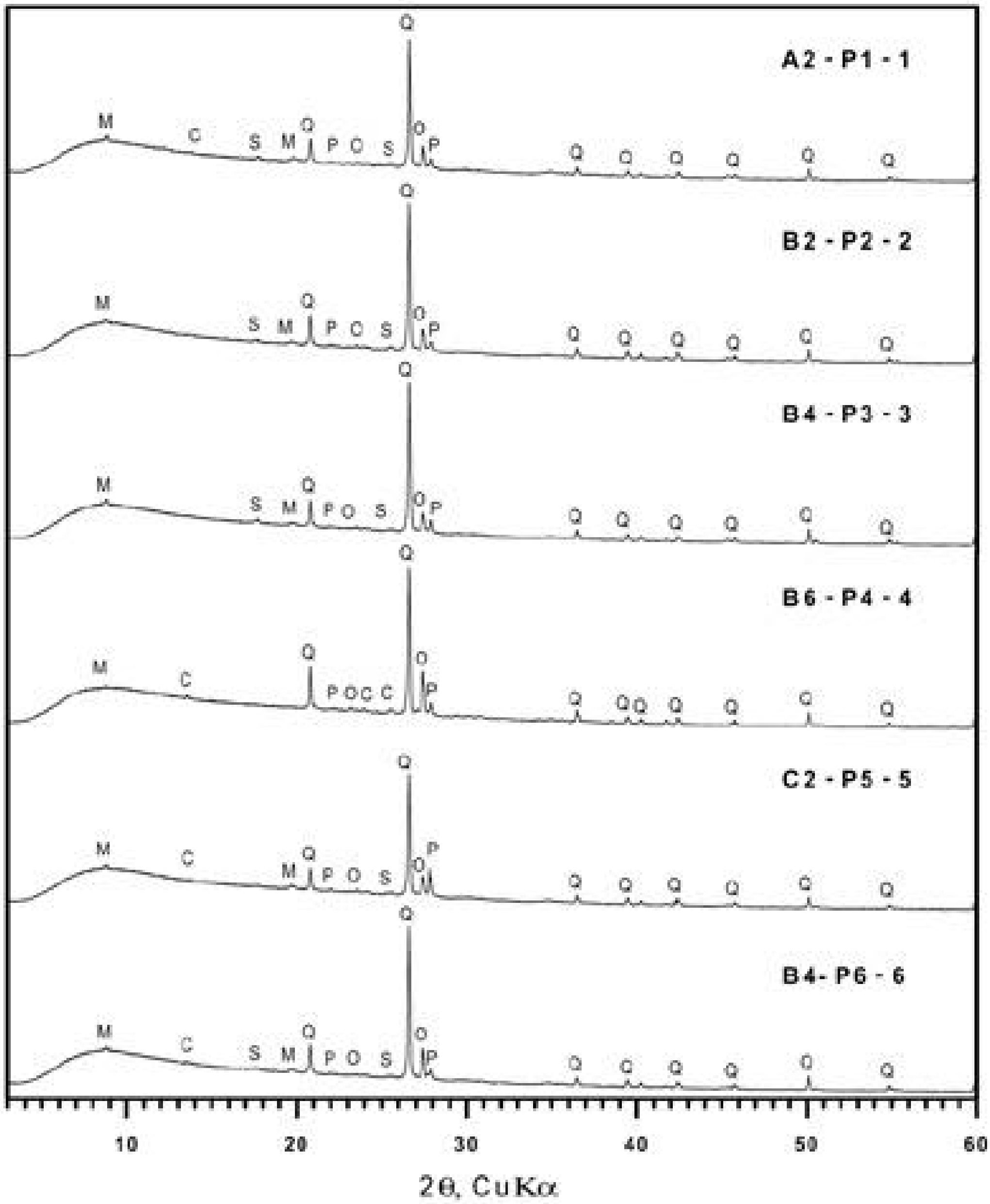
(4) 시료 B6 - P4 - 4(담갈색 무문토기편)

이 시료는 B지구 6호 주거지에서 출토된 담갈색 무문토기 파편으로 분급과 원마도가 불량한 석영과 장석의 굵은 입자와 사질 점토의 바탕흙을 보여준다(그림 3D). 특히 미세층리가 성층을 이루어 반복적으로 발달된 비짐의 흔적이 남아 있으며 분급이 불량한 석영이 산재한다. 또한 토기의 건조 시에 생성된 것으로 보이는 균열이 나타나나, 이 틈에는 소성과정에서 생성될 수 있는 교질물질은 발견되지 않는다(그림 11D).

이 토기편을 현미경 하에서 관찰한 결과, 굵은 입자는 주로 석영, 정장석, 사장석으로 구성되어 있으며, 불규칙하게 각진 모양을 하고 있거나 약간 둥근 형태를 하고 있다. 석영은 파동소광을 보이며 균열이 많은 편이다. 바탕흙은 전반적으로 연갈색을 띄고 있으며 녹니석, 미정질 석영과 석기로 구성되어 있다(그림 4D). X - 선 회절분석 결과, 토기에서는 석영, 사장석, 정장석, 스멕타이트, 녹니석이 검출되었다(그림 5; B6 - P4 - 4). 비교대상 토양에서는 운모, 석영, 사장석, 정장석이 주류를 이루며, 특히 15.000Å과 3.020Å의 스멕타이트, 7.179Å과 4.480Å 및 3.578Å을 갖는 고령석 및 7.069Å의 녹니석이 검출되어 토기의 광물조성과 대조를 이룬다(그림 6; BS - 8 - 4).

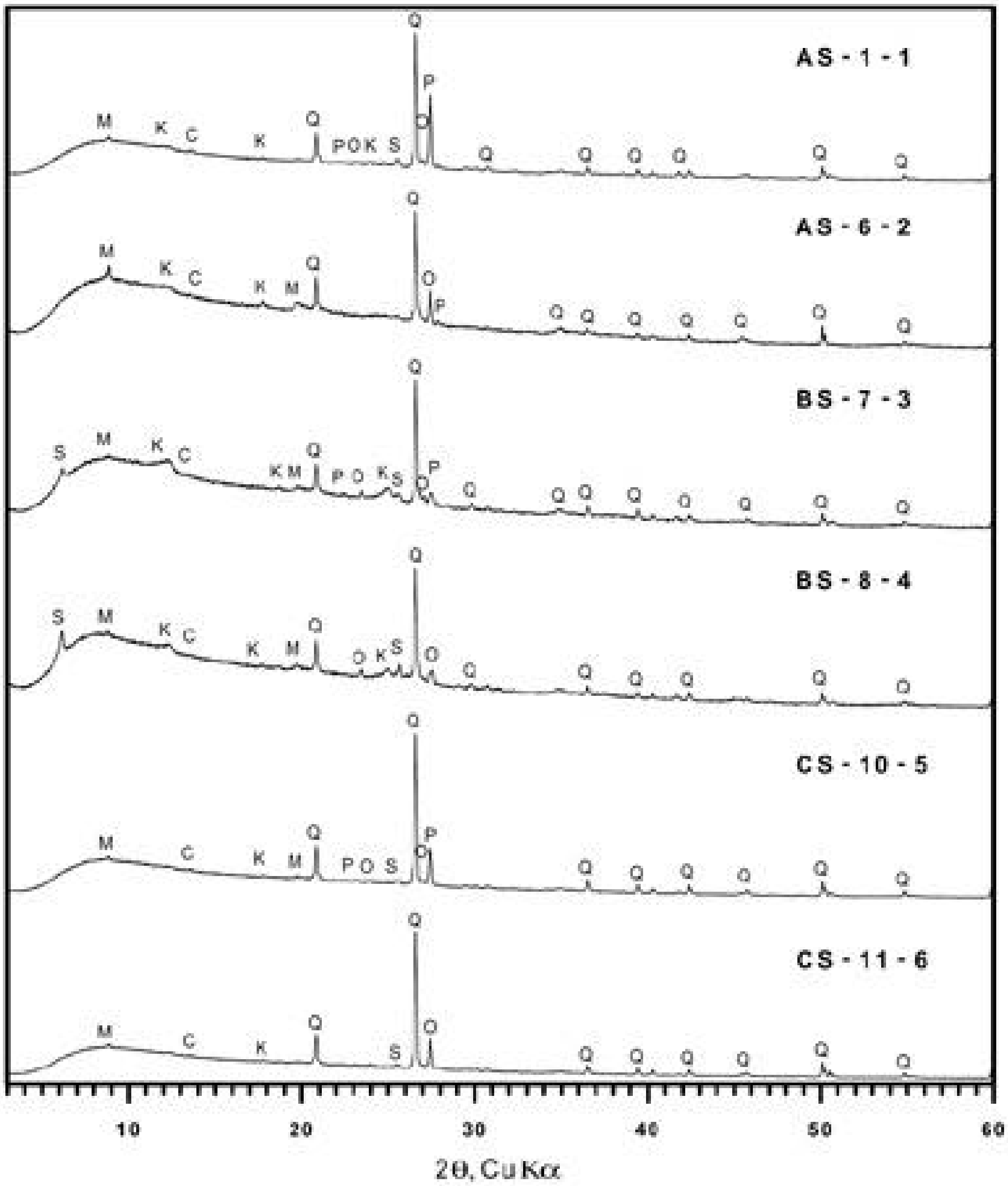
(5) 시료 C2 - P5 - 5(회갈색 무문토기편)

이 시료는 C지구 2호 주거지에서 출토된 회갈색 무문토기 파편으로, 분급과 원마도가



〈그림5〉 운전리유적지에서 출토된 토기편의 X - 선회절분석결과

A2 - P1 - 1 (A지구2호주거지황갈색 무문토기편), B2 - P2 - 2 (B지구2호주거지담갈색 무문토기편), B4 - P3 - 3 (B지구 4호 주거지 담갈색 무문토기편), B6 - P4 - 2 (B지구 6호 주거지 담갈색 무문토기편), C2 - P5 - 5 (C지구 2호 주거지 회갈색무문토기편), B2 - P6 - 2 (B지구4호주거지 황갈색무문토기편). Q; 석영, O; 정장석, P; 사장석, M; 운모류, S; 스멕타이트, C; 녹니석



〈그림 6〉 운전리 유적지에서채취한 토양의 X - 선 회절분석결과

AS - 1 - 1 (A지구 1호 수혈유구 주변의황갈색식양토), AS - 6 - 1 (A지구 석영맥주변적갈색 식양토), BS - 7 - 1 (B지구 4호 주거지 주변 담갈색 식양토), BS - 8 - 1 (B지구 5호 주거지 담갈색 식양토), CS - 10 - 5 (C지구 1호 주거지 회갈색 양토), CS - 11 - 6 (C지구3호주거지회갈색식양토). Q; 석영, O; 정장석, P; 사장석, M; 운모류, K; 고령석, S; 스멕타이트, C; 녹니석

불량한 석영과 장석의 입자가 사질 점토와 바탕흙을 이루고 있다. 이 토기편에는 색깔과 조성이 다른 태토와 혼재되어 있으며 입도가 불균질한 석영이 산재한다(그림 3E). 특히 후술하는 바와 같이, 이 토기의 표면과 내부에서는 습지에 살던 식물의 모근과 균사체가 그대로 남아있어(그림 11F), 고온의 소성조건을 경험하지 않은 것으로 판단된다. 이와 같은 현상은 하나의 파편에서도 아주 다양하게 나타났다.

이 토기시료를 현미경 관찰한 결과, 굵은 입자는 다른 시료들에 비해 입자가 작으며, 그 양도 적은 편이다. 구성광물은 대부분 석영이며 사장석, 정장석, 운모가 소량 관찰된다. 바탕흙은 표면에 가까울수록 색이 진해져서 표면이 적갈색이고 그 외 나머지 부분은 갈색이다(그림 4E). 이 바탕흙은 석영, 견운모, 장석류로 구성되어 있다. X-선 회절분석 결과, 토기에서는 석영, 운모, 사장석, 정장석, 녹니석 및 스멕타이트가 동정되었고(그림 5; C2-P5-5), 비교토양에서는 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 녹니석, 고령석, 운모, 스멕타이트가 관찰되었다(그림 6; CS-10-5, CS-11-6).

(6) 시료 B4-P6-6(적갈색 무문토기편)

이 시료는 B지구 2호 주거지에서 출토된 적갈색 파편으로 굵은 입자는 중미립의 석영과 장석이고, 바탕흙은 사질점토이다. 부분적으로 극조립의 석영과 미약한 줄무늬가 있는 석기로 구성되어 있다(그림 3F). 그러나 이 파편의 내부를 전자현미경으로 관찰하면 그림 11E와 같이 점토의 소성과정에서 발생하는 부피의 축소와 가스방출의 가능성이 높은 기공이 불규칙하게 관찰된다. 그러나 이 기공의 내부는 이차생성물이나 교질물이 없이 비어있는 상태로서 고온의 소성조건은 없었을 것으로 판단된다.

현미경 관찰결과, 굵은 입자는 주는 석영으로 이루어져 있으며, 그 외에 사장석, 정장석 등으로 구성되어 있다. 석영은 균열이 많으며 파동소광을 하고, 장석류는 풍화되어 견운모화 되었다. 바탕흙은 미세석영, 장석, 철산화물 등으로 이루어져 있으며, 다른 것에 비해 입자가 매우 곱다. 또한 일정한 방향성을 보이며 적갈색을 띤다(그림 4F). 이 토기의 X-선 회절분석 결과(그림 5; B4-P6-6), 석영, 사장석, 정장석, 운모, 스멕타이트 및 녹니석이 동정되었다. 원재료로 추정되는 토양에서는 운모, 석영, 스멕타이트, 정장석과 녹니석 및 고령석이 검출되었다(그림 6; AS-6-2).

3. 지구화학적 특성과 변화

운전리 일대의 토기편과 산출지 및 색도와 특징을 고려하여 채취한 토양을 대상으로 화

학조성 및 풍화에 의한 지구화학적인 조성변화를 규명하기 위해 주성분원소, 미량원소 및 희토류 원소를 분석하였다. 이 시료들이 갖는 모든 구성원소의 절대적인 거동특성을 여기서 논할 필요는 없으므로 각 시료별 상대적인 증감과 진화경향에 따른 유사성과 차이점을 평가하였다. 각각의 결과는 표 2, 3, 4에 정리되어 있다.

모든 시료들의 전체적인 주성분 원소 조성은 상대적으로 SiO_2의 함량과 알칼리 함량이 높은 경향이 있다(표 2). 이 전암 화학조성을 보면 토기와 토양의 SiO_2의 함량은 각각 63.41~69.57 wt.%와 51.24~73.36 wt.%로 다소 넓은 범위를 보여주지만 유사 그룹별로는 유사한 거동을 하고 있다. 이들의 조성을 일반적인 화성암의 진화경향을 나타내는 Harker 도표에 SiO_2의 함량에 따른 주성분 산화물의 변화도를 도시해본 결과, 전체적으로 SiO_2의 함량이 증가함에 따라 Al_2O_3, MnO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2 및 LOI의 함량은 부의 관계를 보이며, K_2O의 함량은 정의 관계를 갖는다. 그러나 Na_2O와 CaO의 함량은 특별한 경향을 보이지 않는다. 한편 전체적인 경향과 다르게 토기에서만 MnO, MgO, TiO_2의 함량이 일정한 경향을 보이지 않으며 토양의 P_2O_5의 함량은 부의 관계를 보인다. 이는 토기의 소성과정에서 온도에 따른 원소의 소실과 증감이 있었던 증거이다.

〈표2〉 운전리유적지에서출토된 토기편과주변에서 채취한토양의주성분 원소함량 (g/kg)

시료번호	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	LOI**	Total
A2 - P1 - 1	65.55	18.58	3.00	0.01	0.83	0.25	0.96	3.43	0.72	0.13	6.43	99.89
B2 - P2 - 2	67.58	16.54	2.41	0.01	0.32	0.35	1.14	3.58	0.70	0.61	6.77	100.01
B4 - P3 - 3	64.33	17.82	3.35	0.01	0.43	0.24	0.88	3.37	0.71	0.57	8.40	100.11
B6 - P4 - 4	69.57	17.96	2.07	0.01	0.51	0.25	1.00	4.30	0.57	0.23	3.14	99.61
C2 - P5 - 5	63.41	18.77	3.10	0.01	0.52	0.32	1.15	3.28	0.69	0.16	8.12	99.53
B4 - P6 - 6	64.26	17.81	3.30	0.01	0.41	0.25	0.95	3.28	0.69	0.47	8.29	99.72
AS - 1 - 1	68.73	16.56	2.24	0.01	0.30	0.03	0.42	6.06	0.26	0.06	4.48	99.15
AS - 6 - 2	51.24	22.48	8.76	0.02	0.84	0.02	0.21	3.27	0.66	0.10	12.08	99.68
BS - 7 - 3	55.87	20.14	7.37	0.06	1.93	0.40	0.20	3.28	0.90	0.08	9.83	100.06
BS - 8 - 4	56.55	17.18	7.77	0.09	2.75	0.22	0.17	3.71	0.89	0.07	10.23	99.63
CS - 10 - 5	69.41	14.78	3.73	0.04	0.57	0.05	0.23	4.11	0.59	0.06	5.60	99.17
CS - 11 - 6	73.36	13.03	3.17	0.05	0.74	0.11	0.35	4.06	0.64	0.05	4.38	99.94

*Fe_2O_3; total Fe, **LOI; loss - on - ignition (작열감량)

이 시료들의 미량원소 분석결과는 표 3과 같이 Ba, Cr, Rb, Sr, V 및 Zn의 함량은 비교적 높으며, 조성의 변화 폭도 크다. 그러나 대부분의 미량원소는 낮은 함량을 보이며 조성변화도 작음을 알 수 있다. 이 미량원소의 함량 변화를 SiO_2의 조성변화로 나타내보면, 전

체적으로 Co, Cr, Ni, Sc, V, 및 Zn는 SiO_2의 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이며, Hf는 증가하는 경향을 보인다. 그러나 특별한 경향을 보이지 않는 원소도 있다. 하지만 전체적인 경향과는 다르게 토기에서는 Co, Cr 및 Ni이 토양에서는 Rb와 Sr의 함량변화가 특별한 경향을 보이지 않는다.

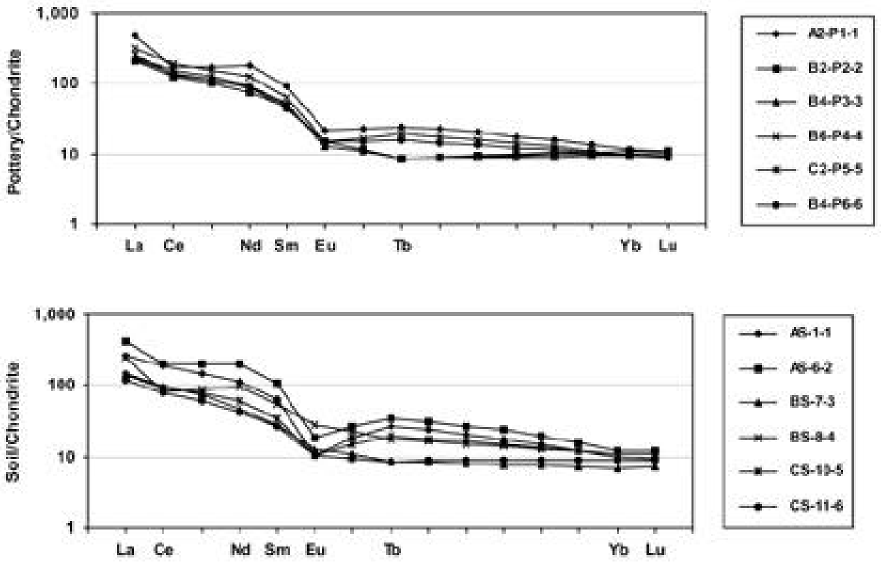
〈표 3〉 운전리 유적지에서출토된토기편과 주변에서채취한 토양의미량원소함량 (mg/kg)

시료번호	Ba	Co	Cr	Cs	Cu	Hf	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
A2 - P1 - 1	567	8	76	6.3	26	5.9	26	52	197	12.8	85	41.7	7.1	76	38	56	192
B2 - P2 - 2	679	6	129	2.9	15	6.4	21	35	165	11.8	95	30.3	4.9	65	21	35	220
B4 - P3 - 3	668	6	125	5.2	19	5.5	25	35	166	12.3	77	31.1	5.4	83	26	42	202
B6 - P4 - 4	524	8	77	3.3	20	4.6	29	50	183	10.0	84	37.9	5.5	58	28	82	163
C2 - P5 - 5	681	7	91	6.3	24	4.9	27	52	178	11.8	100	37.3	5.3	87	26	57	183
B4 - P6 - 6	675	5	127	4.2	22	5.2	23	46	163	11.6	80	29.9	4.7	93	24	43	209
AS - 1 - 1	352	4	18	2.7	7	5.1	6	54	340	4.80	52	56.3	5.7	17	25	44	150
AS - 6 - 2	224	11	133	6.1	37	3.9	48	69	300	15.4	26	93.3	12.9	98	46	90	130
BS - 7 - 3	972	24	350	3.3	54	5.4	154	28	168	17.8	67	21.0	3.0	98	16	91	196
BS - 8 - 4	1,120	30	367	3.7	21	5.5	143	28	275	19.9	84	16.3	4.5	96	34	113	188
CS - 10 - 5	394	10	51	5.3	20	5.9	20	47	236	8.1	48	25.6	4.2	58	27	62	229
CS - 11 - 6	436	9	45	4.6	15	7.0	17	31	192	8.1	56	18.5	3.4	56	19	51	246

〈표 4〉 운전리 유적지에서출토된토기편과 주변에서채취한 토양의희토류원소함량 (mg/kg)

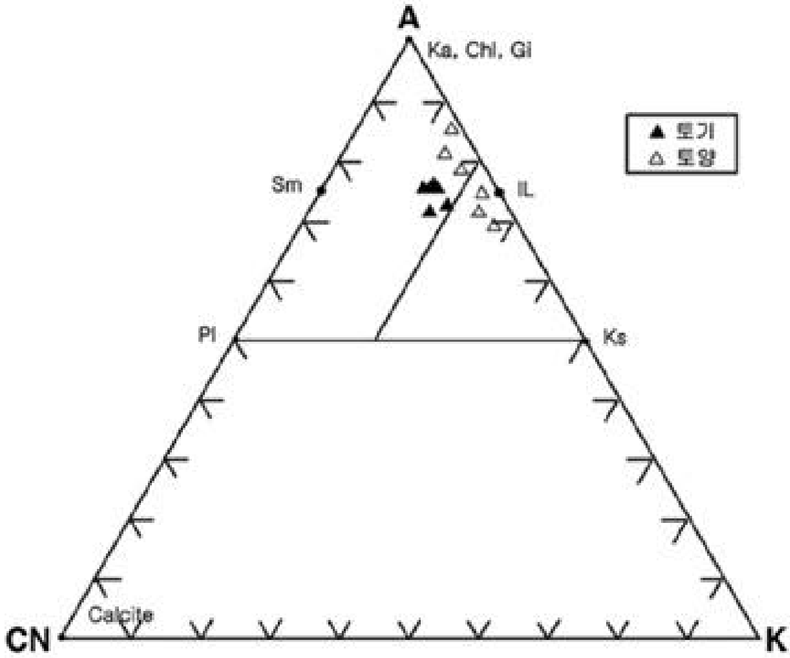
시료번호	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
A2 - P1 - 1	180.0	167	125	21.0	1.9	1.4	2.8	0.42
B2 - P2 - 2	77.8	121	54	10.7	1.3	<0.5	2.7	0.41
B4 - P3 - 3	87.3	147	66	11.7	1.1	<0.5	2.5	0.39
B6 - P4 - 4	120.0	180	87	14.4	1.3	1.1	2.3	0.35
C2 - P5 - 5	93.1	127	65	11.5	1.1	<0.5	2.3	0.36
B4 - P6 - 6	79.8	130	61	10.4	1.3	0.9	2.3	0.34
AS - 1 - 1	93.1	177	80	14.8	0.9	1.5	2.4	0.36
AS - 6 - 2	149.0	188	139	25.2	1.6	2.0	3.0	0.46
BS - 7 - 3	53.9	94	34	6.4	1.1	<0.5	1.7	0.27
BS - 8 - 4	91.4	79	68	12.6	2.4	1.0	2.7	0.41
CS - 10 - 5	52.3	90	44	7.7	0.9	1.1	2.7	0.41
CS - 11 - 6	43.6	76	30	6.2	0.9	<0.5	2.2	0.33

이 시료들의 희토류 원소에 대한 분석결과는 표 4와 같으며, Taylar and McLennan (1985)이 제시한 운석의 초생치로 표준화한 결과를 도시하면 그림 7과 같다. 이들 각 그룹별 시료들은 대체로 평행한 양상을 보이며, 대부분 경희토류 원소가 중희토류 원소 보다 크게 부화되어 있다. 또한 경희토류 원소는 급격히 감소하는 반면 중희토류 원소는 거의 일정한 값을 보인다. 그리고 Eu의 음이상대가 나타나는데, 이는 Eu가 Ca를 쉽게 치환하므로 다른 희토류 원소보다 쉽게 흡수되기 때문이다. 이와 같이 동일한 형태의 경향성을 보인다는 것은 비교대상 토양과 각각의 토기가 동일한 진화경로를 통하여 생성된 물질임을 지시하는 것이다.



〈그림 7〉 운전리 유적지에서 출토된 토기편과 주변에서 채취한 토양의 희토류원소를 운석 초생치 조성으로 표준화한변화도

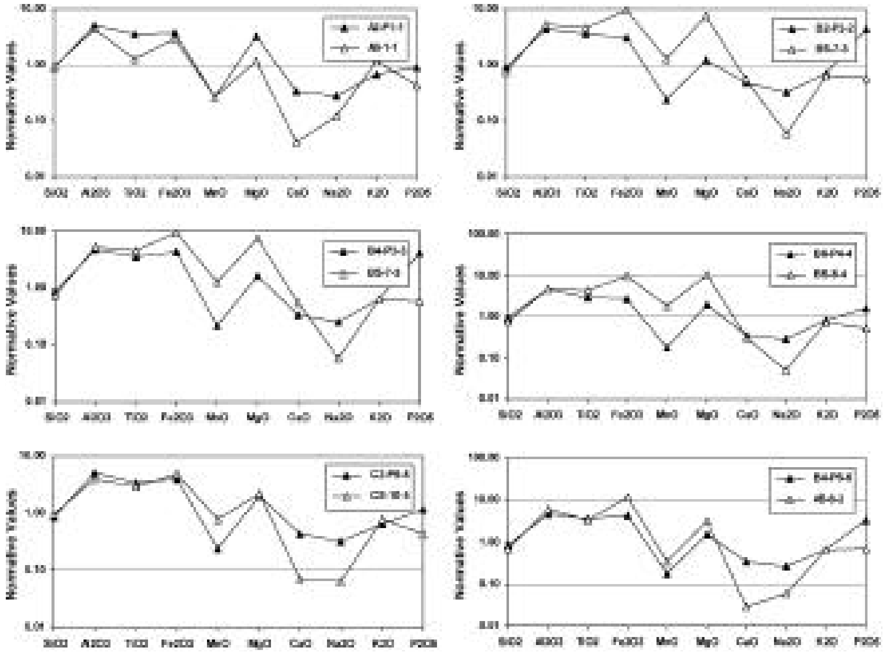
분석된 토기와 토양 시료들의 상대적 풍화정도를 알아보기 위해 A(Al_2O_3) - CN(CaO^*+ Na_2O) - K(K_2O) 계에서의 화학조성의 차이를 비교하여 보았다(그림 8). 이 결과, 각각의 토기와 비교토양의 조성이 스멕타이트와 일라이트(illite)의 조성으로 집중되는 등, 토기의 태토와 현재의 토양조성이 동일한 화학적 풍화경로를 거친 것으로 보인다. 이 토기와 토양은 삼각도의 A - K 연결선에 거의 밀집되어 있는 것으로 보아 기반암의 토양화 작용이 아주 높았던 것으로 추정된다(Nesbit and Young 1982, 1984).



〈그림8〉 운전리 유적지에서 출토된 토기편과 주변에서 채취한 토양의 화학조성을 점시한 A(Al_2O_3) - CN(CaO + Na_2O) - K(K_2O) 삼각도

한편 각각의 토기와 토양의 주성분 원소에 대하여 동일 종류끼리의 부화와 결핍정도를 비교하고자 일반적인 화강암의 평균함량(Nockolds and Allen 1954)을 기준치로 표준화 하였다. 이들의 부화계수를 도시한 결과가 그림 9이다. 이 시료들은 대체로 평행한 양상을 보이며 전체적으로CaO, Na_2O, K_2O를 제외한 모든 원소가 부화되어 있다. 그러나 일부 시료에서는 MnO, P_2O_5가 결핍되어 있기도 하다. 이 결과로는 토기편과 비교토양의 화학적 진화경향은 동일하나, 토기의 소성과정에서 온도에 따른 이동성 원소들의 증감이 발생한 것으로 해석할 수 있다.

주성분 원소와 동일한 방법으로 일부 미량 및 희토류 원소의 부화 계수도 산출하였다. 이는 Govindaraju(1989)와 Taylar and McLennan(1985)의 자료를 참고로 표준화 하였다. 그림 10을 보면 거의 모든 불호정 원소(incompatible elements)의 양상이 서로 거의 일치하고 있다. 그리고 모든 토기와 토양 시료에서 Sr, Ti, Y, Yb, Sc, Cr을 제외한 다른 원소들은 부화되어 있다. 이와 같이 구성원소들의 상대적 호정성과 불호정성의 경향은 각각의 토기와 비교대상 토양이 동일 종류의 기반암에서 생성된 것임을 입증하는 결과이다.



〈그림9〉 운전리유적지에서 출토된토기편과 주변에서채취한토양의 주성분원소의비교도

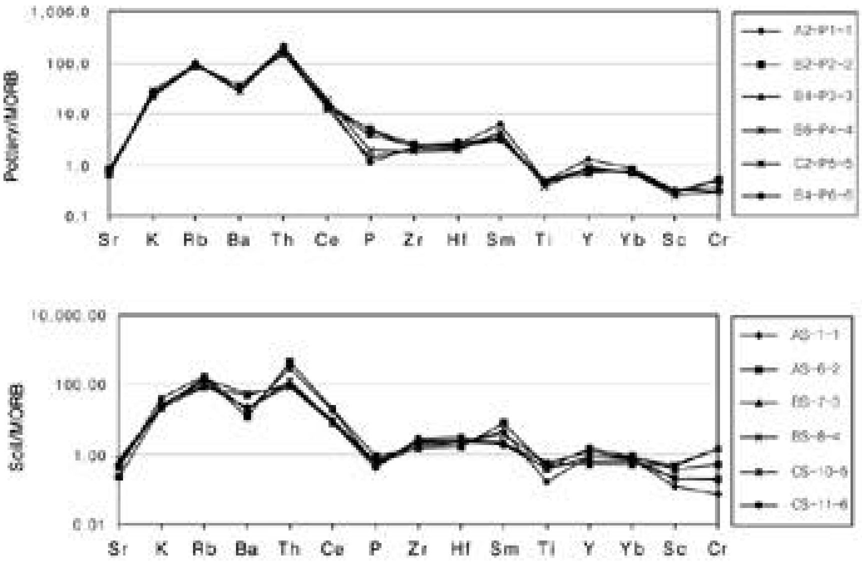
Ⅴ. 고고지질학적 고찰

1. 원산지 추정

운전리 유적지에서 출토된 토기 파편을 대상으로 제작환경을 검토하기 위해 토기 파편 6 점과 주변 토양 및 주거지 토양 6 점을 정밀 육안관찰, 편광현미경 및 전자현미경 관찰, X-선 회절분석, 화학분석을 종합하고 기존의 석영 및 점토광물들에 대한 자료를 참고하여 토기의 제작환경을 추정하였다. 운전리 일대의 유적지에서 수습된 토기는 단지 출토지가 아니라 최종적으로 사용 또는 폐기된 장소임과 동시에 유적지 주변에서 원료물질을 구하고 현장에서 자급자족한 유물일 가능성이 높다. 이와 같은 연구를 위하여 출토된 토기의 토양광물학적 분류, 구성광물의 종류와 함량비, 조직과 조성의 정량분석, 지구화학적 진화경향을 상세히 규명하였다.

표 1과 같이, 운전리 일대의 유적지에서 산출되는 토기는 조립의 사질 점토를 이용한

담갈색의 무문토기가 주류를 이루며, 적갈색 및 회갈색을 띠는 것도 있다. 그러나 하나의 파편에서도 암회색, 회갈색 및 담갈색을 띠는 것이 있으며 석영과 장석의 굵은 입자가 불규칙하게 혼재되어 있기도 하다. 또한 토기의 표면과 이면, 속심 및 내부의 색이 다른 경우도 있고 몇 겹의 비짐이 있던 흔적도 많다. 홍도의 경우는 다른 토기에 비하여 상대적으로 붉은색을 띠며 입자가 가늘고 균질한 태토를 이용하였으나, 유약이 사용되지는 않은 것으로 보인다. 따라서 운전리의 무문토기는 여러 종류의 태토를 혼합하여 사용한 것으로 보이며 일부는 정제된 태토를 이용하였을 가능성도 있다. 모든 토기에 혼재되어 있는 원마도와 분급이 불량한 석영과 장석입자의 용도는 보다 명확히 밝혀져야 할 것이다.



〈그림 10〉 운전리유적지에서출토된 토기편과주변에서채취한 토양의불호정원소 비교도

전술한 바와 같이, 이 지역에서 산출되는 토기와 토양은 모든 토양광물학적 특성이 동일하다. 이들을 각각의 토기와 원료물질로 짝을 이루어 분석하였을 때 모든 광물학적 특징이 동일함을 알 수 있었다. 또한 그림 9 및 10과 같이 원소의 거동과 부화 및 호정성(compatibility)과 불호정성(incompatibility)을 이용하여 표준화 하였을 때도 토기와 토양의 지구화학적 진화경향이 동일한 것으로 보아, 토기의 대부분은 유적지 주변에 분포하는 토양을 원료로 제작하였을 가능성이 상당히 높다. X-선 회절분석 결과에서도 고령석을 제외한 거의 모든 광물이 토기와 토양에서 동일하게 동정되었다 (표 5).

〈표5〉 운전리유적지에서 출토된토기편과 주변에서채취한토양의 광물조성비교표

시료번호	스멕타이트 (smectite)	석 영 (quartz)	사장석 (plagioclase)	정장석 (orthoclase)	운모류 (mica group)	녹니석 (chlorite)	고령석 (kaolinite)
A2 - P1 - 1	*	*****	**	***	**	*	-
B2 - P2 - 2	*	*****	**	***	*	-	-
B4 - P3 - 3	*	*****	**	***	*	-	-
B6 - P4 - 4	*	*****	**	***	*	*	-
C2 - P5 - 5	*	*****	***	**	*	*	-
B4 - P6 - 6	*	*****	*	**	*	*	-
AS - 1 - 1	*	*****	****	*	*	*	*
AS - 6 - 2	*	*****	*	***	**	*	*
BS - 7 - 3	*	*****	**	*	*	*	*
BS - 8 - 4	**	*****	-	*	*	*	*
CS - 10 - 5	*	*****	**	*	*	*	*
CS - 11 - 6	*	*****	**	-	*	*	*

-; 불검출

최근의 보고에 의하면 전 세계적으로 토기의 원료를 구할 수 있는 최단거리는 반지름 1 km 이내이며 반지름 7 km를 결코 넘지 않았다고 한다(최몽룡 외 1996). 운전리 일대는 산지와 구릉, 평지와 습지가 골고루 발달되어 있으며 저평한 지역은 모두 지질학적 풍화에 약한 복운모 화강암으로 구성되어 있다. 또한 큰 하천이 발달하며 곳곳에 습지를 만들어 놓았으며 암석의 풍화심도가 깊어 토기에 필요한 태토의 공급지로서는 최적의 조건을 갖춘 곳이라 할 수 있다. 따라서 모든 과학적 및 고고지질학적 분석자료를 종합하여 검토할 때, 운전리 토기의 원료는 현지에서 조달하여 현장에서 직접 제작하였던 것으로 해석할 수 있다.

2. 소성조건

청동기시대 토기의 재료가 되는 태토의 주성분 광물은 석영, 사장석, 정장석, 흑운모 및 소량의 점토광물로서 고도로 정제된 현대의 도자기 원료와는 구성광물과 입도 분포가 상당히 다르다. 일반적으로 태토를 구성하고 있는 광물종류들은 암석의 구성광물로서 풍화작용에 의하여 점착력이 약해지고 물과의 반응에 의하여 점성을 가지게 된 것이다. 따라서 태토의 구성광물은 근본적으로 주변에 분포하는 암석과 토양의 광물조성에 영향을 받는다. 또한 모든 광물들은 일정한 온도와 압력의 범위에서 고체상태를 유지하는 상의 안

정범위가 정해져 있으며 이 범위를 초과하게 되면 상전이가 발생하여 화학조성과 결정구조의 변형이 발생한다.

일반적인 태토를 구성하는 물질에는 상당량의 물이 함유되어 있으며 보통 105℃ 미만에서 자연수를 비롯한 H_2O(-)의 탈수가 발생한다. 그 결과 부피가 감소하게 되며, 입자의 크기와 공극율에 따라 모양의 왜곡이 발생할 수 있다. 또한 300℃ 정도에서 점토광물의 층간에 부착된 층간수가 소실되기 시작한다. 그리고 600 700℃에서 일부 점토광물의 결정구조가 파괴되기 시작하여, 800℃까지 결정수와 구조수의 분해가 발생된다. 이때 소실된 물은 기포를 형성하며 토기의 내부와 표면에 기포를 형성한다.

우리나라 고령토의 주성분 광물 중에 고령석(kaolinite)은 550℃에서 결정구조의 파괴가 발생한다. 또한 토양과 암석에서 가장 많은 광물종을 점유하고 있는 석영은 573℃에서 α-석영(low quartz)으로부터 β-석영(high quartz)으로 상전이가 발생한다. 이 석영의 주성분인 SiO_2는 870℃에서 트리디마이트(tridymite)로 1,470℃에서 크리스토발라이트(crystobalite)로 결정구조가 달라진다(Grim 1968). 그러나 1,725℃ 이상으로 가열되면 모든 종류의 지각구성 SiO_2는 완전 용융체를 형성하여 유리질 물질로 변한다.

한편 녹니석은 400 700℃ 온도범위에서 상대적으로 안정하다가 고사녹니석은 800℃에서 단사녹니석은 850℃에서 감람석으로 전이된다. 견운모는 700 800℃에서 탈수반응을 시작하며 1,000 1,100℃에서 광물상의 분해가 시작된다. 방해석은 650 898℃에서 상분해가 발생하여 CO_2 가스를 방출한다. 그리고 멀라이트(mullite)는 975℃에서 새로운 광물상을 만들어낸다(Tite 1975, MacKenzie et al. 1996). 이와 같이 광물상의 안정범위를 가지고 생성조건을 추정할 수 있는 것을 지질온도계(geological thermometer)라고 한다.

따라서 토기와 도자기의 광물조성에 관한 정량적인 분석결과를 구하면 광물상의 변화와 물 및 기포의 소실온도로 실제의 소성온도를 추정할 수 있다. 그러나 각 광물상의 상변화 및 전이온도는 압력에 큰 영향을 받기 때문에 소성당시에 가마의 노출상태와 밀폐정도에 따라 실제 소성온도가 큰 차이를 가질 수 있다. 또한 태토의 광물조성과 유약의 종류 및 피복두께에 따라서도 영향을 받을 수 있다. 왜냐하면 이들 중에는 소성의 융제로 작용하여 실제소성온도보다 낮아도 쉽게 상이 변할 수 있는 물질이 많이 있기 때문이다.

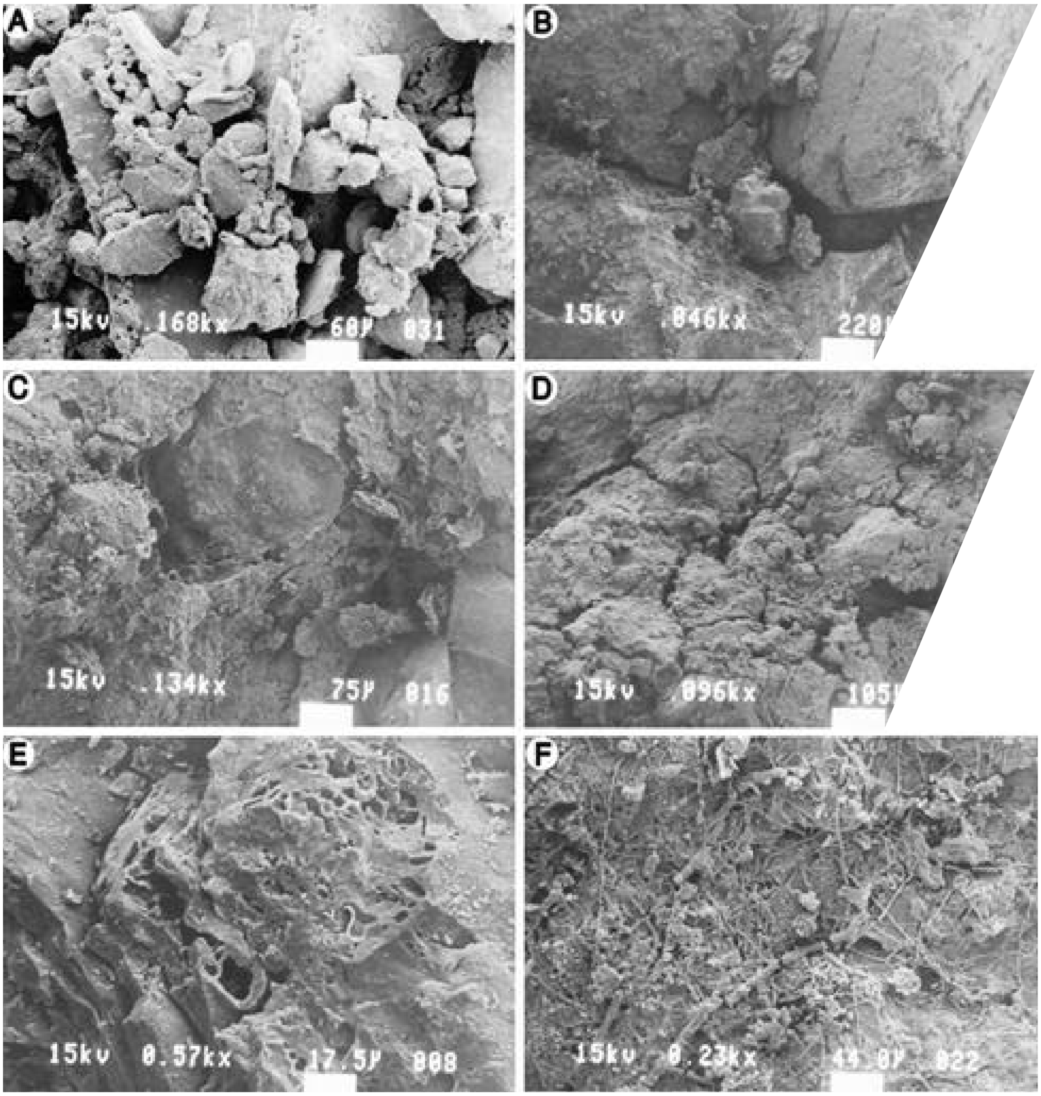
위와 같은 사실을 근거로 남한에서 발견되는 빗살무늬 토기에 대하여 700℃ 이상에서 소성되었다는 견해와 573℃ 미만에서 소성되었다는 의견이 있으며 민무늬 토기는 870℃ 이하에서, 붉은 간토기는 700 750℃ 정도의 소성온도를 갖는 것으로 보고 되었다. 또한 철기시대의 토기는 1,000℃ 이상의 소성온도를 가지며, 삼국시대 이후의 기물은

1,100℃ 이상의 소성온도를 보일 것으로 추정하였다(최몽룡 등 1996). 그러나 일본의 토기는 550℃정도, 미국의 인디언 토기는 550 750℃ 혹은 550℃ 미만의 소성온도를 지시한다. 중국의 신석기 토기는 800 900°C의 온도를 갖는다는 견해가 유력하다(Steponaitis 1983, 최몽룡 등 1996).

운전리 토기의 태토로 이용되었을 것으로 보이는 유적지 일대의 토양에 관한 X-선 회절분석 및 전자현미경 관찰결과, 거의 모든 토양에서 고령석이 검출되었다. 이 광물은 장석의 풍화산물로서 화강암지역의 토양에서는 대표적인 점토광물이다. 또한 대부분의 토양에서는 녹니석도 검출되었다. 이 녹니석은 운전리 일대의 석영 섬록암에서 조암광물로 나타나며 일반적인 염기성 화성암의 풍화토양에서 흔히 나타날 수 있는 광물이다. 다른 점토광물로는 스멕타이트가 검출되었으나 이 광물도 장석의 풍화산물로 쉽게 생성될 수 있는 것이다. 이외의 광물들의 모암의 광물조성을 대표하는 석영, 사장석, 정장석 및 운모류로 이루어져 있다(표 5).

그러나 운전리의 모든 무문토기 편에서 고령석이 검출되지 않는 것으로 보아, 일단 태토의 고령석이 550℃ 이상의 소성조건을 거치면서 결정구조의 파괴가 수반되었던 것으로 유추할 수 있다. 또한 태토에 있었던 녹니석이 토기에서도 검출되는 것으로 볼 때, 최대 800℃ 이상의 소성온도를 경험하지는 않았을 것으로 해석할 수 있다. 그러나 573℃에서 발생하는 석영의 상전이 증거는 없다. 운전리의 토양과 토기에서는 이 광물상을 제외하고는 소성온도의 지시자가 될 수 있는 증거는 남아있지 않다. 이외의 운모, 정장석, 사장석 및 석영은 토양의 구성광물과 동일한 것이며 스멕타이트는 토기가 다시 표토에 매몰되면서 이차적으로 생성된 것으로 보인다.

한편 대부분의 토기는 입도와 분급이 아주 불량한 태토를 원료물질로 이용하여 소성환경에 상대적으로 둔감하다(그림 11A). 따라서 열에 의한 석영과 태토의 교질흔적도 없고(그림 11B 및 11C), 토기의 건조에 따라 발생하는 균열의 내부에도 열에 의한 이차생성물이 없으며(그림 11D), 일부 토기의 표면과 토심에는 습지에 살던 유기물의 뿌리조직과 균사체가 그대로 보관되어 있다(그림 11F). 이런 증거들은 운전리 토기가 500℃ 이상의 소성조건을 경험했다는 주장에 정면으로 배치되는 것이다. 그림 11E의 경우는 토기의 열팽창에 따른 수분의 탈출로 인한 기공으로서, 이는 300℃ 이상에서만 가능한 탈수작용의 흔적이다. 이와 같은 모든 증거를 종합할 때, 운전리 토기의 소성조건은 550 800℃ 범위일 가능성이 높으나, 하나의 토기에서도 부분적으로 소성조건이 다를 수 있으며 심지어는 불에 직접적인 영향을 받지 않은 부분도 있었을 것으로 해석된다.



〈그림 11〉 운전리 유적지에서출토된토기편의 주사전자현미경사진

(A) A지구 2호(A2 - P1 - 1) 주거지에서 수습된 황갈색 무문토기 파편으로서, 입도와 분급이 불량한 점토와 극조립의 석영을 태토로 이용한 것을 알 수 있다 (B) B지구 2호(B2 - P2 - 2) 주거지의 담갈색 무문토기 파편으로서 풍화와 운반작용을경험한 거정질석영이 비짐물질로사용되었으나, 소성작용동안에는양자의반응이없었음을 보여주는평활한입자경계를 나타낸다 (C) B지구 4호(B4 - P3 - 3) 주거지의 담갈색 무문토기 파편으로서, 석영이 소실된 흔적에는 재결정작용이없었음을보여준다(D) B지구6호(B6 - P4 - 4) 주거지의담갈색무문토기파편으로서, 건조에 의한균열이 나타나나 소성에 의한 교질물질은 발견되지 않는다 (E) B지구 4호(B4 - P6 - 6) 주거지의 적갈색 무문토기 파편으로서 소성에 의한 가스방출의 가능성이 높은 기공이 불규칙하게 관찰된다 (F) C지구 2호(C2 - P5 - 5) 주거지의 회갈색 무문토기 파편으로서, 습지에살던식물의모근과균사체가그대로남아있다

Ⅵ. 결 언

1. 운전리 유적은 동서로 연장된 백운산의 북사면 하단부에 형성된 평탄한 구릉이다. 유적지의 북서부에서 동남부로 삼방천이 발달하며 북동쪽에서 병천천이 합류하여 비교적 넓은 전작지대를 형성하였다. 지리적 조건으로 볼 때, 운전리 일대는 선사시대 인류의 생활근거지로서 적합한 자연환경이었을 것으로 보인다.

2. 운전리 일대의 지질은 선캠브리아기의 흑운모 편마암류를 기반암으로 이를 관입한 중생대 쥬라기의 심성 내지 반심성 화성암류와 중성 및 염기성 암맥류로 구성되어 있다. 또한 제4기의 충적층이 하천 연변과 넓은 평야지역에 발달되어 있으며, 대부분의 충적층은 지역적으로 제한을 받아 유수에 의한 퇴적물이 소규모의 평야를 이루면서 분포한다.

3. 이 연구의 분석에 이용된 토기편은 총 6점으로서, 이 토기편들은 대부분은 담갈색을 띠나 부분적으로 황갈색 또는 적갈색을 보이기도 한다. 그러나 하나의 파편에서도 색도를 달리하는 것이 많고, 내부와 토심 및 표면의 색이 다른 경우도 있다. 이들의 태토는 대부분 사질 점토이나, 모든 토기에 조립내지 극조립의 석영과 장석이 불규칙하게 혼재한다.

4. 토기의 전암 대자율 값은 0.20 1.20 정도이며, 토양의 대자율 범위도 0.20 1.30 정도로 거의 일치한다. 이와 같이 운전리 일대의 토양과 토기가 오차범위 내에서 동일한 자화강도를 갖는다는 것은 근본적으로 동일한 과정에 의해서 생성된 토양과 태토라는 것을 의미한다.

5. 운전리의 토기와 토양은 모든 토양광물학적 특성이 동일하며, 원소의 거동과 부화 및 호정성과 불호정성을 이용한 표준화도에서도 양자의 지구화학적 진화경향이 동일하였다. 따라서 토기의 대부분은 유적지 주변에 분포하는 토양을 원료로 제작하였을 가능성이 상당히 높다.

6. 운전리의 모든 토기편에서는 고령석이 검출되지 않는 것으로 보아, 일단 태토의 고령석이 550℃ 이상의 소성조건을 거치면서 결정구조의 파괴가 있었던 것으로 추정된다. 그러나 573℃에서 발생하는 α-석영으로부터 β-석영으로의 상전이는 불분명하다. 또한 태토에 있었던 녹니석이 일부 토기에서 검출되는 것으로 볼 때, 최대 800℃ 이상의 소성온도를 경험하지는 않았을 것으로 해석할 수 있다.

7. 대부분의 토기에서 열에 의한 석영과 태토의 교질흔적이 없고, 토기의 건조에 따라 발생하는 균열의 내부에도 열에 의한 이차생성물이 없으며, 일부 토기의 표면과 토심에는 습지에 살던 유기물의 조직이 그대로 보관되어 있다. 따라서 운전리 토기의 전반적인

소성조건은 550 800℃ 범위로 보이나, 하나의 토기에서도 부분적으로 소성조건이 다를 수 있으며 불에 직접적인 영향을 받지 않은 부분도 있었을 것으로 판단된다.

〈참고문헌〉

〔1〕 신병우, 남기상, 이종덕, 1979, 『한국지질도 천안도폭 및 설명서 (1:50,000)』, 자원개발연구소, pp. 16

〔2〕 이용일, 이선복, 2003, 「용인시 평창리 구석기 유적발굴지 고토양 특성과 이의 고고지질학적 적용」, 『지질학회지』 38권, pp. 471 489

〔3〕 이찬희, 최석원, 한경순, 원경식, 2001, 「경주 서악동 삼존불 입상의 기계적 훼손과 보존과학적 접근」, 『지질학회지』 37권, pp. 611 627

〔4〕 이찬희, 서만철, 2002, 「대원사 다층석탑의 지질학적 및 암석학적 안전진단」 『자원환경지질』 35권, pp. 355 368

〔5〕 이하영, 윤혜수, 이준동, 1989, 『병천도폭 지질보고서 (1:50,000)』, 한국동력자원연구소, pp. 15

〔6〕 이현구, 송석환, 이찬희, 1996, 「부여 능산리 백제 사찰지에 사용된 석재의 특성과 산지의 추정」, 『한국고고학보』 34집, pp. 153 172

〔7〕 최몽룡, 신숙정, 이동영, 1996, 『고고학과 자연과학 - 토기편』, 서울대학교 출판부, pp. 54

〔8〕 충청매장문화재연구원, 2001, 『천안 - 병천간 도로공사 구간내 (천안 운전리) 문화유적 시굴조사 보고서』, pp. 1 61

〔9〕 충청매장문화재연구원, 2002, 『천안 운전리 유적, 현장설명회 자료』, pp. 28

〔10〕 Govindaraje, K., 1989, 「Compilation of working values and samples description for 272 geostandards」, 『Geostandards Newsletter』 v. 13, pp. 1 113

〔11〕 Grim, R.E., 1968, 「Clay mineralogy」, 『McGraw - Hill』, pp. 596

〔12〕 Ishihara, S., 1998, 「Granitoid series and mineralization in the Circum - Pacific Phanerozoic granitic belts」, 『Resource Geology』 v. 48, pp. 219 224

〔13〕 Lee, C.H., Choi, S.W. and Suh, M.C., 2003, 「Natural deterioration and conser - vation treatment for the granite standing Buddha of Daejosa temple, Republic of Korea」, 『Geotechnical and Geological Engineering』 v. 21, pp. 63 77

〔14〕 MacKenzie, K.J.D., Meinhold, R.H., Brown, I.W.M. and White, G.V., 1996,「The formation of mullite from kaolinite under various reaction atmospheres」『Journal of European Ceramic Society』v. 16, pp. 115 119

〔15〕 Nesbitt, H.W. and Young, G.M., 1982,「Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites」,『Nature』 v. 299, pp. 715 717

〔16〕 Nesbitt, H.W. and Young, G.M., 1984,「Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considera - tions」,『Geochemica et Cosmochemica Acta』v. 48, pp. 1523 1534

〔17〕 Nockolds, S.R. and Allen, R., 1954,「Average chemical compositions of some igneous rocks」,『Geological Society of American Bulletin』v. 65, pp. 1007 1032

〔18〕 Ramsey, M.H., Thompson, M. and Banerjee, E.K., 1987,「Realistic assessment of analytical data quality from inductively coupled plasma atomic emission spectrometry」,『Anal. Proc.』v. 24, pp. 260~265

〔19〕 Steponaitis, V.P., 1983,「Ceramic technology, Ceramics, Chronology and community patterns」,『Academic Press』

〔20〕 Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985,「The continental crust: Its composi - tion and evolution」,『Blackwell, Oxford』, pp. 312

〔21〕 Tite, M.S., 1972,「Methods of physical examination in archaeology」,『Seminar Press』

〔22〕 Uchida, E., Ogawa, Y., and Nakagawa, T., 1998,「The stone materials of the Angkor monuments, Cambodia : the magnetic susceptibility and the orientation of the bedding along of the sandstone」,『Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology』v. 93, pp. 411~426

〔23〕 Uchida, E., Ogawa, Y., Maeda, N. and Nakagawa, T., 1999,「Deterioration of stone materials in the Angkor monuments, Cambodia」,『Engineering Geology』v. 55, pp. 101~112

ABSTRACT

Firing Condition, Source Area and Quantitative Analysis of Plain Coarse Pottery from the Unjeonri Bronze Age Relic Site, Cheonan, Korea

Choi, Seok-Won
Department of Geoenvironmental Sciences, Kongju National University
Lee, Chan-Hee
Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University
Oh, Kuy-Jin
Chungcheong Cultural Properties Research Institute
Lee, Hyo-Min
Department of Geoenvironmental Sciences, Kongju National University
Lee, Myeong-Seong
Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University

The plain coarse pottery from the Unjeonri Bronze Age relic sites in the Cheonan, Korea were studied on the basis of clay mineralogy, geochemistry and archaegeological interpretations. For the research, the potteries are utilized at the analysis for 6 pieces of plain coarse potteries. Color of the these potteries are mainly light brown, partly shows the yellowish brown to reddish brown. The interior, surface and inside of the pottery appear as different colors in any cases. Original source materials making the Unjeonri potteries are used of mainly sandy clay soil with extreme coarse grained irregularly quartz and feldspar. The magnetic susceptibility of the Unjeonri pottery range from 0.20 to 1.20. And the Unjeonri soil 's magnetic susceptibility agree almost with 0.20 to 1.30. In the same magnetization of soil and pottery, the results revealed that the Unjeonri soil and low material of pottery are same produced by identical source materials.

The Unjeonri potteries and soil are very similar patterns with all characteristics of soil mineralogy, geochemical evolution trend. The result seems to be same relationships between the behavior and enrichment patterns on the basis of a compatible and a incompatible elements. Consequently, the Unjeonri potteries suggest that made the soil to be distributed in the circumstance of the relic sites as the raw material are high in a greater part. In the Unjeonri soil, the kaolinite is common occurred minerals. However, in the Unjeonri pottery, the kaolinite was not detected in all broken pieces. The kaolinite was presumed to destroy crystal structure during the firing processes of over 550℃. The quartz is phase transition from αquartz to βquartz at 573℃, but the Unjeonri pottery did not investigated any phase transition evidences of quartz. The chorite was detected within the mostly potteries and soils.

As the results, the Unjeonri potteries can be interpreted by not experiencing a firing temperature over 800℃. The colloidal and cementing materials between the quartz and low materials during the heating did not exist in the internal part of the potteries. An any secondary compounds by heating does not appear within the crack to happen during the dry of the pottery. The hyphae group are kept as it is with the root tissue of an organic matters to live in the swampy land. In the syntheses of all results, the general firing condition to bake and make the Unjeonri pottery is presumed from 550℃ to 800℃. However, the firing condition making the Unjeonri pottery can be different firing temperature partially in one pottery. Even, the some part of the pottery does not take a direct influence on the fire.

[Key words] Unjeonri, Bronze Age, Plain Coarse Pottery, Clay Mineral, Geochemical Evolution, Source Area, Firing Condition