

# 한국고고학에 있어서 토기의 과학적 분석 (韓國考古學에 있어서 土器의科學的 分析)

崔 夢 龍

<서울大 人文大 考古美術學科 教授>

## I.

고고학은 과거의 인류가 남겨놓은 물질자료를 통해 선조들이 걸어온 과거사와 그 문화상을 추적하는 학문이라 할 수 있다.

따라서 고고학자들의 연구대상은 과거 인류와 직접 또는 간접적으로 연관된 물질자료, 즉 유물이다.

물론 고고학자들의 궁극적인 관심사는 개개 유물이나 유적자체라기보다는 인류문화사 및 과거생활양식의 복원, 더 나아가 문화과정 속에 나타나는 법칙의 연구이지만, 이를 위한 밑거름이 되는 것은 개개 유물이라 하겠다.

그런데 최근 이러한 고고학 자료인 유물의 연구에 자연과학적인 방법론이 전에 비해 보다 적극적으로 수용되는 경향이 두드러지고 있다.

이는 유물의 해석에 있어 유물의 외형적인 요소에 의존하는 기존의 형식분류나 편년 연구에서 벗어나 유물이 내포하고 있는 보다 많은 정보를 정확하게 파악하고자 하는 시도인 것이다.

고고학 자료를 자연과학적인 방법을 통해 분석함으로써 파악되는 내용으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

먼저 유적·유물의 제작연대 및 사용연대의 측정과 원자재와 완제품의 원산지 추정을 통한 고고학 자료의 시간·공간상의 배치를 생각해 볼 수 있다. 그리고 제작기술을 복원하고 그 사용흔적을 추적함으로써 당대의 기술수준을 확인하고 아울러 그 기능을 추론해 볼 수 있다. 또 고 환경의 연구와 유물의 수량을 통계학적인 방법을 통해 연구하는 것도 자연과학적인 방법론을 고고학에 도입한 것으로 볼 수 있겠다.

여기서는 그 출토량에 있어 타 유물의 추종을 불허하고, 각 시기에 따른 지역적인 문화양상을 파악하는데 있어 그 근간이 되는 고고학 자료인 토기를 분석하는데 이용되는 자연과학적인 방법과 지금까지 우리나라에서 이루어진 성과를 간략히 살펴보겠다.

얼마전까지만 해도 토기의 연구는 그 기형·문양·시문방법·시문위치 등과 같은 외형적인 요소를 통한 형식분류와 편년이 주가 되어왔다. 이따금 토기의 바탕흙이나 강도, 제작방법 등도 관심의 대상이 되어오긴 했지만 보다 본질적인 문제의 해결을 위한 자연과학적인 방법론의 이용은 극히 미미한 실정이었다.

즉 토기라는 고고학 자료에 내포된 개인·집단 또는 문화의 전파·교류관계 등을 추론의 수준을 뛰어넘어 보다 과학적인 근거에 입각해서 설명하지 못한 것이다.

그런데 최근들어 우리나라에서도 고고학 연구에 자연과학적인 방법들이 이용되는 사례가 증가하면서 토기의 연구도 이전과는 다른 새로운 국면에 접어들게 되었다. 즉 자

연과학적인 분석 방법을 통해 토기를 형성하는 점토의 성분, 소성온도 및 조건, 또 화학적인 성분 파악을 통하여 원산지 뿐만 아니라 더 나아가 고대의 교역관계도 추정하게 된 것이다.

## II.

토기를 구성하는 점토에는 규소(Si), 철(Fe), 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 나트륨(Na) 등과 같은 원소(元霄)가 함유되어 있는데 이러한 점토의 광물질의 종류와 그 구성비율은 점토의 성질을 결정짓는다.

이러한 점토광물질(Clay mineral, Hydrous Aluminium Sillicate with Magnesium or Iron, 종류로는 Kaolinite, Illite, Montmorillonite 등이 있다)의 종류 및 구조, 그리고 그 상호관계의 파악에는 여러 가지 자연과학적인 방법들이 이용된다. 이들 방법들은 고고학 자료에 대한 새로운 시각과 해석을 제공해 주는데 그 방법에는 비교적 간단한 현미경 검사(microscopy)와 방사선 사진술(radiography)을 비롯하여 다음과 같은 것들이 있다.

● 암석학적조사(petrological examination) ; 토기에서 떼어낸 시료를 슬라이드 박편(thinsection)으로 만들어 편광현미경을 통하여 조사하는 기본적인 방법으로 바탕흙과 보강제와 같은 비교적 굵은 입자의 성분파악에 이용된다.

● X선회절분석법(X-ray diffraction analysis ; XRD) ; 유물에 X선을 조사하여 반사되는 각의 굴절유형을 통하여 유물속에 존재하는 광물질의 존재를 확인하는 방법으로 기본적인 원리는 형광 X선분석(XRF)과 유사하다. 그런데 유물로부터 5~10mg 정도의 직접적인 시료를 채취해야 하며, 시료내에 10%이상의 함유량이 존재하는 경우에만 분석이 가능해 미량성분의 분석이 어렵고 유물의 손상도 감수해야 하는 단점이 있다.

● 시차열분석법(differential thermal analysis) ; 고온에서 점토광물질이 상(相)을 변화시키면서 발열 혹은 흡열의 정점(peak)을 보여주는 원리를 이용하여 토기의 소성온도를 파악하는 방법이다. 이를 XRD와 함께 사용하면 저온소성 토기의 소성온도 측정에 효과적이며, 열기계분석(thermal mechanical analysis : TMA)과 병행하여 사용하면 보다 효과가 크다.

● 전자현미경분석(electron probe micro analysis ; EPMA) ; 형광 X선 분석장치와 주사현미경을 응용한 방법으로 아직까지 널리 사용되지는 않는다. 수 마이크론( $\mu$ )정도 두께의 물질의 얇은 표면층 분석에 이점이 있다.

한편 고고학에 있어 유물의 산지추정은 간단히 말해서 고대의 물자이동을 추적하는 연구로 교역의 존재 및 성격, 규모, 범위 등에 대한 보다 확정적인 증거를 제시해 준다.

토기를 구성하는 점토의 산지추정은 점토산지들에서 채취된 시료의 미량원소를 포함한 모든 성분들을 분석한 자료와 분석대상시료와의 비교를 통해 이루어지는데, 그 분석 방법으로는 다음과 같은 것들이 이용된다.

● 발광분광분석(optical emission spectrometric analysis ; OE) ; 미량원소의 분석과 다성분분석에 널리 사용되는 방법으로 5~100 mg 정도의 시료만 있으면 분석이 가능하다. 분석시 농도의 최저한계는 10~100 PPM 이며, 10%이상 원소는 정확한 회석법의 사용이 요구된다.

● 중성자방사분석(neutron activation analysis) ; 납을 제외한 미량원소 등 모든 성분

의 분석이 가능하며 다성분 동시분석도 가능한 방법이다. 장성·정량분석에 모두 적합하나 고도의 전문기술 및 원자로 등의 특수장비가 필요해 일반적으로 사용되는 방법은 아니다.

● 형광 X 선분석(X-ray fluorescence analysis ; XRF) ; 분석대상물질에 X-ray를 조사했을 때 그 물질 특유의 2차 X-ray가 방출되는 현상을 이용한 방법으로 2차 X-ray를 분광기에 유도하여 시료에 포함된 각 성분의 정점(peak)을 해석하다. 이는 시료의 직접적인 채취없이 비파괴적으로 유물의 점성 및 반정량분석이 가능한 이점이 있다. 또 화학적으로 분리 및 검출이 곤란한 원소의 검출이 가능하며 분석의 정확도도 비교적 높고, 분석시간도 짧다. 단점으로는 정량분석시 표준시료가 필요하며, 시료의 표면층(0.5mm미만)의 분석만이 가능하다. 마지막으로 토기의 소성조건(firing condition)에 영향을 주는 요소로는 소성온도와 가마의 공기분위기가 있다.

토기의 소성온도는 당대의 토기제작기술정도를 보여주는 것으로 토기의 과학적 분석에 있어 매우 중요한 비중을 차지한다.

토기의 소성온도를 측정하는데는 여러 가지 방법들이 이용되는데<sup>1)</sup> 그 중 XRD는 토기가 제작당시 받은 열처리에 대한 정보를 시료중에 존재하는 철(Fe)이 어떤 상태인가를 통하여 보여준다. 그리고 열분석(thermal analysis)도 토기의 소성온도 측정에 빈번하게 이용되는 방법인데, 이는 다시 주로 저화도 소성토기에 이용되는 열중량측정법과 700℃ 이상의 고화도 소성토기에 이용되는 열팽창측정법으로 나뉜다.

그리고 저온소성토기는 시차열분석(DTA)과 XRDF를 사용해 분석하는 것도 좋은데 이 두 방법을 결합시키면 소성온도의 상한과 하한을 알 수 있는데, 이는 주(註)1)에서 보이는 mullite 와  $\alpha$ -christobalite의 열변성위치로 파악된다.

이외에 토기의 소성분위기를 파악하는 방법으로는 피스바우어 분광법(Mössbauer Spectroscopy)이 있는데, 이는 원자핵의  $\gamma$ -ray 공명흡수와 산란현상을 이용한 방법이다. 이는 피스바우어 효과를 유발하기 쉬운 점도광물질인 철(Fe)이나 주석(Sn)의 여러가지 화합이나 결합상태를 통해 제작당시 철이 처해있던 화학적인 환경을 추정하는 것이다.

또 토기의 색깔을 통해서도 토기의 소성온도와 가마상태를 파악할 수도 있다. 즉 토기의 색조는 바탕흙내의 철산화물함량과 유기물의 양 및 그 조직과 상관관계가 있으며, 한편으론 소성온도, 소성시간, 가마분위기에도 영향을 받는다. 따라서 시료를 서로 다른 가마분위기에서 온도를 높여가면서 구워, 색깔의 변화가 처음 일어난 온도를 측정하고, 점도를 500~1,000℃의 여러 가마분위기하에서 구워, 그 결과로 나타난 색깔의 변화를 시료와 비교하면 제작시의 소성온도와 가마분위기를 파악할 수 있다. 그런데 토기의 색깔분석에 있어서 토기가 회색을 띠는 경우는 환원염소성의 결과인 경우도 있지만, 토기의 바탕흙내의 탄소성분이 불충분하게 산화된 결과일 수도 있음으로 주의를 요한다.

이상의 내용을 요약하면 토기분석에 있어 기본적인 방법은 암석학적 조사방법이다. 그러나 이 방법만으로 토기의 제작방법이나 소성조건 등을 파악하기는 부족하다.

즉 토기의 소성온도 및 소성분위기를 자세하게 파악하기 위해서는 열분석법, X 선회절분석법, 피스바우어 분광분석법 등이 필요하며 화학성분이나 광물질의 확인에는 불광분광분석, X선형광분광분석, 중성자방사분석법 등이 요구된다.

### III.

앞에서 언급한 바와 같이 우리나라에서 자연과학적인 방법론들이 고고학(考古學)연구에 도입된 것은 1970년대 후반에 접어들면서부터이며, 이러한 현상은 토기(土器)의 연구성과에도 적용된다.

따라서 아직까지 토기분석(土器分析)에 있어서의 자연과학적인 방법론의 적용은 말족할만한 수준에까지 이르지 못하는 못했지만 고고학자(考古學者)와 자연과학자(自然科學者)들 사이의 공동연구가 점진적으로 증가하는 추세에 있어 보다 진정된 연구성과가 기대된다.

지금까지 자연과학적인 방법론을 이용한 연구성과는 다음과 같은 글들이 발표된 바 있다.

● 김양옥(金陽玉) 〈한반도(韓半島) 철기시대토기(鐵器時代土器)의 연구(研究)〉 《백산학보(白山學報)》 20, 1976, pp. 191-213 ; 철기시대의 각종토기편들을 분류한 후, 태토성분·경도·흡수율·두께 측정 및 성형수법·표면처리·문양·기형·색상조사 등을 통해 이 시기 토기를 5종으로 분류했다. 엄밀한 의미에서는 자연과학적인 분석연구라고 하기 어려운 감이 있으나 이전과 다른 새로운 연구시도였다는 점에서 그 의의가 있다.

● Chio, Mong-Lyong 〈Analyses of Plain Coarse Pottery' from Cholla Province, and the Implication for Ceramic Technology and So-called 'Yöngsan River Valley Culture Area'〉 《한국고고학보(韓國考古學報)》 10·11, 1981, pp. 261-279 ; 광주 송암동, 충효동, 우치동과 전남 장흥읍 거산리에서 출토된 무문토기편을 XRD, XRF, SEM 등의 분석방법을 이용하여, 그 바탕흙에 점토광물질의 일종인 몽모릴로나이트(Montmorillonite,  $MgAl_5Si_2O_{30}(OH)_6 \cdot nH_2O$  ; 점토광물질의 일종으로 층상구조를 갖고 있으며 염기치환 능력이 있다)가 존재하며, 그 외에 점토광물이 아닌 석영과 장석이 섞여있음을 밝혔다. 그리고 그 소성온도는  $573^{\circ}C$  이하이며 토기들은 전문장인에 의해 어떤 특정지역에서 제작되어 인근지역과 교역되었음을 아울러 밝혔다.

● Chio, Mong-Lyong 〈The Analyses of Plain and Red-Painted Polished Korean Pottery Sherds Excavated at Yangp'yöbg Chewön-gun County, Ch'ungch'öng Pukto Province〉 《동아문화(東亞文化)》 21, 1983, pp. 1-21 ; 충북 제원군 양평리 집자리에서 출토된 무문토기편과 홍도편을 분석하여 무문토기에는 보강제로 장식과 석영이 거의 같은 비율로 사용되었으나 홍도의 경우에는 석영이 압도적으로 많이 사용되었음을 밝혔다. 그리고 무문토기와 홍도의 소성온도는 모두  $573^{\circ}C$  이하임이 역시 나타났다.

● 신숙정(申叔靜) 〈토기(土器)의 성분분석(成分分析)〉 《한국사론(韓國史論)》 12-한국(韓國)의 고고학(考古學) I, 국사편찬위원회(國史編纂委員會), 1983, pp. 592-612 ; 주로 신석기시대를 중심으로 하여 토기의 성분분석에 이용되는 방법들을 개괄적으로 검토.

● 최몽룡(崔夢龍)·박양진(朴洋震) 〈여주(驪州) 혼암리토기(欣岩里土器)의 과학적(科學的)분석(分析)〉 《고문화(古文化)》 25, 1984, pp. 3-8 ; 혼암리 선사취락유적에서 출토된 홍도, 무문토기, 공열토기편들을 암석학적 분석방법으로 분석하여 토기편들의 성격을 상호비교연구.

● 최몽룡(崔夢龍)·윤동석(尹東錫)·이영남(李泳南) 〈제원군(堤原郡) 양평리(揚坪里), 도화리(桃花里) 출토 홍도(紅陶)·철기(鐵器)의 과학적(科學的) 분석(分析)〉 《윤무병박사회갑기념논총(尹武炳博士回甲紀念論叢)》, 1980, pp. 187-207 ; 양평리 고인돌하부에서 출토된 홍도편을 주사전자현미경분석(SEM)과 X선회절분석(XTD)를 통해 분석하여 홍도의 기표면에 나타나는 마연된 덧칠(장피(粧被))의 주칠(朱漆)이 결정체가 형성되지 않은 회장석(灰長石)(Anorthite)임을 밝힘.

● 신숙정 〈상노대도 조갯더미 유적의 토기연구〉 《백산학보(白山學報)》 28, 1984, pp. 211-271 ; 상노대도 유적에서 출토된 토기들을 제작방법(바탕흙·기술·물리적 성질)과 형태(구연·저부·두께·전체기형)의 측면에서 다각적으로 분석고찰.

● 이송래(李松來) 〈고창(高敞)·아산지구유적(雅山地區遺蹟)의 과학적(科學的) 분석(分析)〉 《고창(高敞)·아산지구지석묘발굴보고서(雅山地區支石墓發掘報告書)》 전주시립박물관(全州市立博物館), 1984, pp. 55-64 ; 고창·아산등지에서 출토된 무문토기편과 김해토기편들을 주사전자현미경분석(SEM), X선회절분석(XRD), X선형광분석(XRF), 재가열법, 암석현미경 등의 여러 자연과학적인 방법으로 분석한 연구 그결과 무문토기의 경우는 석영과 장석의 비율이 5 : 1 정도인데 반해 김해토기는 3 : 1 정도이며, 그 소성온도는 각각 573℃이하와 838℃정도임을 밝힘.

● 최몽룡(崔夢龍)·강경인(姜景仁)〈영암(靈岩) 장천리주거지(長川里住居址) 출토(出土) 무문토기(無文土器)의 과학적(科學的) 분석(分析)〉 《영암장천리 주거지(靈岩長川里住居址 II)》 목포대학교박물관(木浦大學校博物館), 1986, pp. 79-80 ; 영암 장천리 집자리에서 출토된 무문토기편들을 X선회절분석법(XRD)과 열기계분석(TMA)을 통해 광물조성과 소성온도를 측정하고 이 곳의 토기들은 일반적인 무문토기보다 그 소성온도가 높아 750~850℃에 이르며 950℃±20℃에 이르는 고화도소성토기도 존재함을 밝힘.

이외에도 과학적인 방법론을 이용한 토기분석의 예는 좀더 찾아볼 수 있으며 앞으로 이러한 연구는 계속 증가될 것으로 여겨지는데 기존의 예를 몇 가지 더 들어보면 다음과 같다.

● 〈옹관의 과학적 분석 및 검토〉 《영암내동리초분골 고분》 국립광주박물관, 1986, pp. 123-146.

● 이철(李澈)외(外) 〈방사화분석에 의한 한국산 고대토기의 분류〉 《미술자료》 21, 1977, pp. 41-46.

● 최몽룡(崔夢龍)·유한(柳漢)- 〈삼천포시(三千浦市) 인도토기편(靑島土器片)의 과학적(科學的)분석(分析)〉 《삼불김원룡교수정년퇴임기념논총(三佛金元龍教授停年退任紀念論叢)》 I, 일지사(一志社), 1987, pp. 241-2.

● 이성주(李盛周) 〈원삼국시대토기(原三國時代土器)의 연구(研究)〉 서울대학교(大學

校) 대학원(大學院) 문학석사학위 청구논문(文學碩士學位請求論文), 1987.

- 강형태(姜炯台)·이성주(李盛周) 〈고대유물(古代遺物)의 산지연구(產地研究)〉  
《제2회 한국상고사학회 발표요지》, 1988. pp. 133-155.

#### IV

지금까지 고고학 자료의 연구, 특히 토기연구에 국한하여 사용가능한 자연과학적인 방법론과 우리나라에서의 적용예를 살펴보았다.

현재의 모든 학문에 있어서 인접분야의 도움이 상호요구되는 것은 주지의 사실이고 고대(古代)의 물질자료를 근간으로 하는 고고학(考古學)에 있어 자연과학적인 방법론의 이용은 보다 절실하다.

그런데 고고학자들은 이러한 자연과학적인 연구결과를 받아들이는데 있어 아직 익숙치 못하다.

따라서 물론 자연과학적인 연구분석을 행하는 것은 전문적인 지식을 지닌 자연과학자들에게 의존하지만 고고학자들도 분석과정을 이해하고, 이를 고고학 연구에 적용할 수 있도록 나름대로 그 방면의 지식을 습득하여야 할 것이다. 또 단순히 유물의 분석자체만 가지고 과거문화의 복원을 할 수는 없다.<sup>2)</sup>

그리고 고고학자들은 유물의 자연과학적인 분석에 있어 방법을 숙지하는 것도 중요하지만, 그보다는 분석결과가 내포하고 있는 의미를 명확히 이해하고, 그 결과를 해석함에 있어 한계를 충분히 인식하는 능력을 갖추는 것이 보다 중요하다. 이와 아울러 고고학도들에게 자연과학적인 실험방법을 익힐 수 있는 교육의 장을 마련하고, 다른 한편으로 이미 고고학적인 지식과 관심을 지닌 자연과학도가 적극적으로 고고학 분야에 참여하도록 문호를 개방하는 것이 고고학 발전을 위해 필요하다. 그래야만 고고학의 자연과학과의 상호보완적인 연구가 가능해 질 것이며, 그리되면 1960년대 이후 추세인 신고고학적(New Arohaeology)<sup>3)</sup>

인 연구와 아울러 물리·화학적인 방법론의 적용을 통해 새로이 시도되고 있는 고대무역의 연구<sup>4)</sup>도 보다 활발하게 이루어질 수 있을 것이다.

(주(註))

- 1) 토기의 소성온도를 측정하는 한 방법으로 점토광물에 포함된 석영이 구조가 열을 받음에 따라 변화해가는 것을 이용할 수 있다. 즉 Trydimite의 생성은 870℃, Mullite 975℃ 및  $\alpha$ -Christobalite 1250℃ 등에 의해 측정된다(Ralph Grim 《Clay Mineralogy》 MacGraw-Mill Co., 1968, p. 326). 또 등방성(等方性)이 나타나는 것은 700~850℃나, 그 이상의 온도에서이며, 점토와 광물질의 부분적인 용융은 1100~1600℃에서 타난다. 그리고 방해석(Calcite)이 이산화탄소를 내면서 이산화칼슘으로 분해되는 것이 750~850℃이므로 슬라이드 박편(thin section)의 관찰을 통해서도 소성온도의 일면을 짐작할 수 있다(M.S. Tite 《Methods of Physical Examination》, Seminar Press, 1972, p. 221). 한편 방해석의 분해 온도 범위를 650~898℃까지로 보고, 불 때는 시간이 짧고 급격할 때는 750~800℃로 추정하는 견해도 있다(Shepard, 《Ceramics for the Archaeologist》 Carnegie Institution of Washington, 1981, p. 30).
- 2) 이 점에 대해선 앞으로 좀더 자세한 비교·검토가 가해질 것이다(최몽룡(崔夢龍)·신숙정(申叔靜) 〈한국고고학(韓國考古學)에 있어서 토기(土器)의 과학분석(科學分析)에 대한 검토(檢討)〉 《한국상고사학보(韓國上古史學報)》 일집(一輯), 1988, 12).
- 3) 신고고학은 문화진화론(culture-evolutionary theory), 체계이론(systems theory), 연역법적 논법(deductive reasoning)과 컴퓨터 통계학 이외에 자연과학적인 방법을 적극 이용하고 있다(Gordon Willey · Jeremy Sabloff 《A History of American Archaeology》 W.H. Freeman & Co., 1980, p. 186).
- 4) Gordon Willey · Jeremy Sabloff, 전제서(前掲書), p. 260.