

# 아산 시전리 유적 출토 옥기(천하석)의 재료과학적 특성과 산지해석

이찬희\*/김재철\*\*  
/나건주\*\*\*/김명진\*\*\*  
(공주대학교 문화재보존과학과 교수\*)  
(공주대학교 문화재보존과학과 석사과정\*\*)  
(충청문화재연구원 연구원\*\*\*)  
(충청문화재연구원 연구원\*\*\*)

## I. 머리말

## II. 산출상태 및 연구방법

1. 산출상태
2. 연구방법

## III. 재료과학적 특성

1. 주변환경
2. 전암대자율
3. X-선회절과 전자현미경 분석
4. 미세조직과 지구화학적 분석

## IV. 고고과학적 고찰

1. 원산지 추정
2. 고고과학적 의미

## V. 맺음말

## 국문 요약

충남 아산시 시전리 유적에서 출토된 옥기를 대상으로 고고과학적 측면에서 재질분석 및 원료산지를 해석하였다. 시전리 유적은 북쪽에 평야와 하천이 발달된 남쪽의 구릉에 위치한다. 이 지역의 지질은 선캠브리아기의 변성퇴적암류인 편암 복합체가 주류를 이루며 층적층이 넓게 분포한다. 이 유적의 청동기시대 4호 원형 주거지에서 한 점의 천하석제 옥기가 출토되었다. 이 옥기는 곡옥의 형태를 가지고 있으며 담녹색에 쪼개짐이 발달된 특징을 보인다. 또한 유리광택에 백색 조흔을 보이며 미세벽개 및 쌍정을 갖는 주상 형태의 규산염광물이다.

다각적인 정량분석 결과, 이 옥기는 광물학적으로 조장석과 정장석이 공생하는 미사장석이며, 보석학적으로는 천하석 또는 아마조나이트(amazonite)로 불리는 장석군 광물로 동정되었다. 이 천하석제 옥기의 내부조직은 Na-단종인 조장석과 K-단종인 정장석이 벽개와 쌍정을 따라 수  $\mu\text{m}$ 의 폭으로 교대조직을 이루고 있다. 또한 정장석 내부는  $\text{K}_2\text{O}$ 의 함량에 따라 교호성장 조직을 형성하였다. 따라서 이 천하석은 Na와 K가 상호치환과 교대작용에 의하여 미사장석이라는 하나의 광물상을 이룬 것이다.

남한에서 천하석의 원산지는 충북 단양이 유일하며, 시전리 유적과 가장 근접한 미사장석 산지로는 공주시 장기면이 알려져 있다. 한편 청동기시대 천하석제 옥기가 다량 출토된 지역은 경남 서부 및 전남 동부의 남해안 연변으로서, 이 지역에서도 천하석의 원료가 될 만한 원광석의 산지는 알려져 있지 않다. 일반적으로 청동기시대 천하석제 식옥은 부장품으로 출토되지만, 시전리 유적에서는 옥기의 생산 및 가공흔적을 찾아볼 수 없고 유일하게 한 점이 주거지에서 수습된 것으로 볼 때, 시전리에 옥기 원료의 산지가 있거나 공방이 있었을 가능성은 없어 보인다. 따라서 이 옥기의 원산지와 유입경로 및 제작과정을 설명하기 위한 고고학적 연구가 필요하다.

주제어 : 시전리 유적, 천하석, 미사장석, 산지해석

## I. 머리말

남한에서 상업적으로 생산된 실적이 있는 옥 또는 보석 광물의 산지는 춘천의 연옥 광산, 부여의 귀사문석 광산, 경남 언양의 자수정 광산이 거의 전부이다. 경기도 가평과 전북 장수에서는 거정질 화강암의 일종인 소규모 페그마타이트(pegmatite) 광산에 수반되는 녹주석(emerald)이 보고된 예는 있으나, 옥광물은 다른 금속 및 비금속 광물자원에 비하여 상대적으로 아주 빈약한 상태이다. 특히 천하석 또는 아마조나이트(amazonite)로 불리는 장식 계열의 녹옥은 상업적으로 생산한 실적이 전혀 알려져 있지 않다(김수진 외, 1986; 노진환 외, 1993; 노진환과 조현구, 1993; 박맹언과 강정미, 1995; 김원사 외, 1996; 노진환과 최진범, 2000; Kim et al., 1995).

한편 선사시대 유적에서 출토된 옥기 중에서 천하석계 식옥류에 대한 기록과 보고된 예는 있으나(최은주, 1986; 최종규, 2000; 이상길, 2002; 庄田愼矢, 2005; 이형원, 2006), 광물학적 및 지구화학적 분석을 통한 광물종이 명확히 밝혀진 것은 없다. 다만 산출상태와 색도 및 육안감식과 정성분석에 대한 특징이 기재되어 있을 뿐이다. 이와 같은 옥기의 재료과학적 특성과 원산지에 대한 지질학적 및 고고과학적 해석도 불분명하다.

충남 아산 시전리 유적은 행정구역상 아산시 도고면 시전리에 포함되지만, 예산군과 인접한 구릉에 분포한다(그림 1). 시전리 유적에서는 청동기시대 주거지 4기, 수혈유구 1기, 시대미상의 석곽묘 2기, 근·현대 토광묘 7기, 원형 수혈유구 22기, 시대미상 굴림주 건물지 3기 등 모두 39기의 유구가 확인되었다. 청동기시대의 유구들은 능선 정상부와 동쪽 사면의 능선 가까이에서 발굴되었고, 나머지 역사시대 및 근·현대의 유구들은 대부분 동쪽 사면에서 확인되었다. 일부 근·현대 토광묘와 건물지는 서쪽 사면에 분포하고 있다.

시전리 유적의 청동기시대 주거지 4호에서는 담녹색 옥기가 1점 출토되었는데, 출토된 옥기는 원형의 1/4 정도만 남아 있었다. 이 옥기를 대상으로 산출상태와 기재적 및 광물학적 분석을 통한 구성광물의 형태적 특징과 결정구조를 파악하였고, 정량 화학분석을 실시하여 옥기의 재료과학적 특성을 규명하였다. 또한 옥의 산지와 출토 유구의 주변 환경 및 분석결과를 검토하여 고고지질학적 연관성을 추정하고, 이동거리 및 제작환경과 출토지에 따른 고고과학적 인과관계를 고찰하였다.



그림 1. 아산 시전리 유적의 위치 및 지형도

## II. 산출상태 및 연구방법

### 1. 산출상태

아산 시전리 유적은 해발 44m 이하의 구릉으로서 발굴 당시에는 밭작물을 재배하는 경작지와 잡목지대를 형성하고 있었다. 청동기시대 주거지는 4기가 확인되었으며(그림 2), 이 중 4호 주거지에서 옥기가 한 점 출토되었다(사진 1). 이 주거지는 능선 정상부에서 표토하부로 20cm 정도 깊이에서 풍화암반토 면과 함께 노출되었다. 이들은 전체적으로 원형을 이루며 타원형의 구덩이 형태와 4개의 기둥 구멍이 방형으로 조성되어 있다(충청문화재연구원, 2005). 규모는 522cm×550cm×57cm로서 무문토기 및 소형 발이 함께 출토되었다(그림 3).

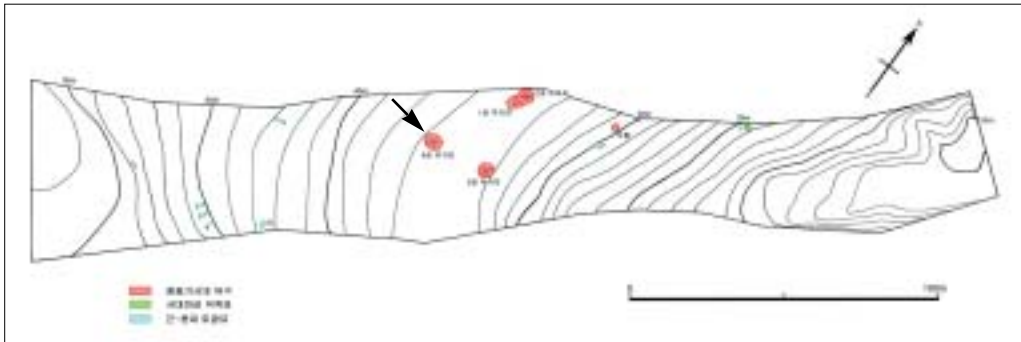


그림 2 아산 시전리 유적의 유구배치도

출토당시 옥기의 산출상태는 알 수 없으나, 약간의 호가 남아있는 것으로 보아 전체적으로 곡옥의 형태를 이루고 있었을 것으로 판단된다. 이 옥기의 최대 길이는 1.50cm이고 너비는 0.99cm이며 두께는 0.67cm로서 무게는 1.20g이다. 육안관찰에 의하면 전체적으로 탁한 비취색을 보이며 실체현미경 하에서는 연녹색 및 담녹색과 회백색을 띠는 부분이 혼재되어 나타난다(사진 2). 이 옥기는 유리광택에 백색 조흔색을 보이며 불평탄 패각상 단구와 미세 벽개면이 특징적이다. 또한 빙열과 같은 미세 열극이 발달되어 있으며 이 면을 따라 쪼개짐이 발생한다. 그러나 다색성은 없는 것으로 보이며 반투명에 주상결정을 갖는다.



(A) 시전리 유적 4호 주거지 (B) 4호 주거지 내부에서 발견된 옥기의 모습 (C) 옥기의 형태와 분석용 시료 채취 부위

사진 1. 아산 시전리 유적 옥기의 출토상태

## 2. 연구방법

아산 시전리 유적에서 출토된 옥기에 대하여 육안 및 전자현미경 관찰을 근거로 광물 조성의 종류를 파악하였고 전자현미분석과 X-선 회절분석을 통해 광물학적 특성을 규명하였다. 또한 이 결과를 바탕으로 옥기의 원산지를 추정하였다. 분석 시료는 옥기의 형태를 왜곡시키지 않는 범위 내에서 극미량을 채취하여 사용하였다(사진 1C).

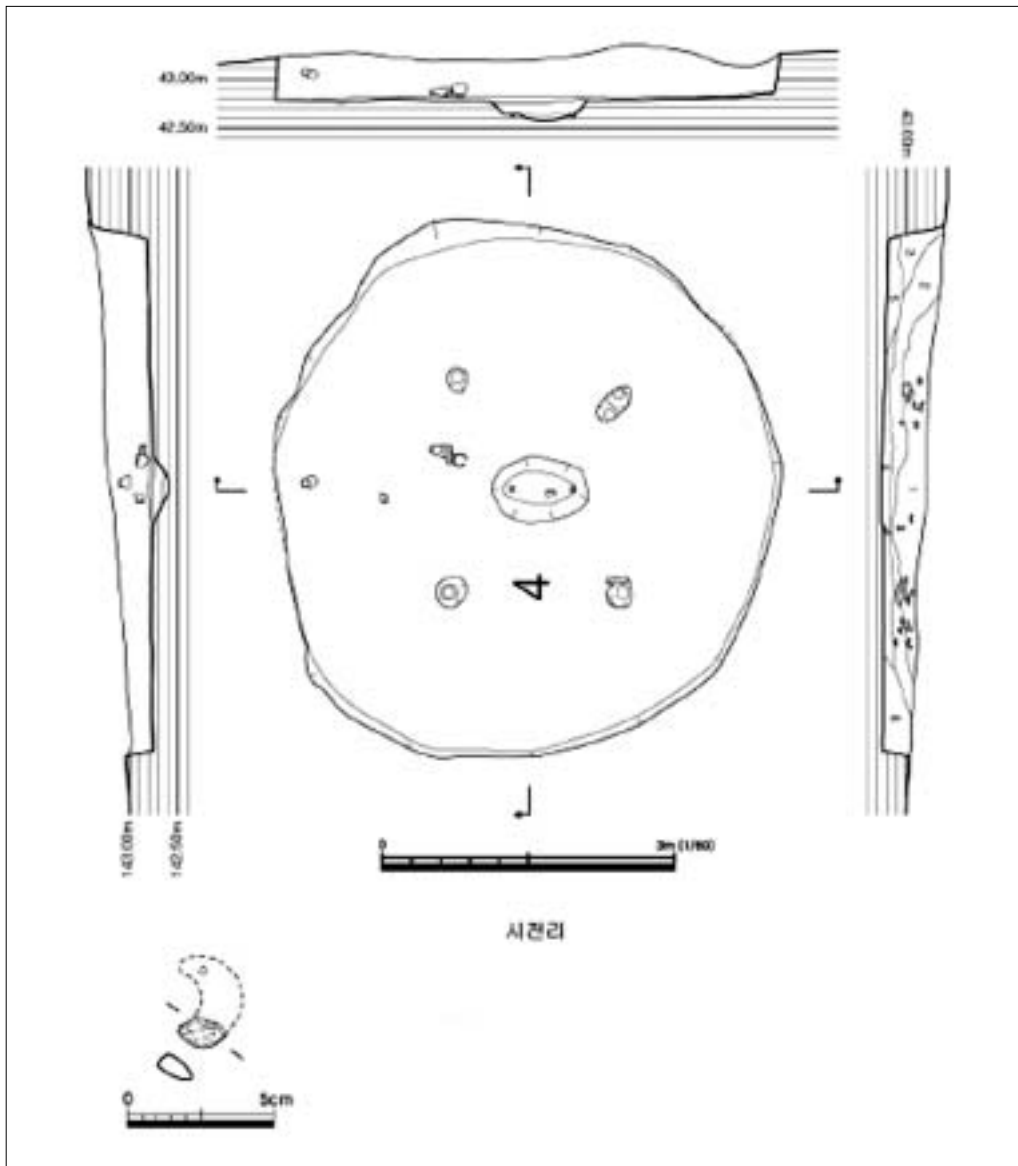


그림 3. 아산 시전리 유적 4호 주거지의 평단면도와 곡옥의 실측도

옥기의 정량적 광물조성, 상대적 함량 및 광물학적 공생관계 등을 관찰하기 위해 공주대학교 공동실험실습관의 주사전자현미경(SEM)을 사용하였다. 전자현미경의 모델은 OXFORD사의 에너지 분산형 X-선 분석기(EDX, Inca M/X)가 장착된 JEOL사의 JSM-6335F이며, 분석시료는 Au로 피복하여 사용하였다. 광물의 상대적 빈도분포, 결정구조, 변질 및 이차생성광물 동정을 위해 X-선 회절분석을 실시하였다. 분석기기는 조선대학교 자원공학과에 설치된 PAN analytical제 모델 X'Pert PRO MPD이고, X-선은 CuK $\alpha$ 에

조건은 40kV와 30mA이다.

또한 옥기의 산출상태와 전암 대자율을 측정하여 재료과학적 특성을 분석하였다. 전암 대자율의 측정기기는  $10^{-5}$  SI 단위의 측정 한계를 가진 KT-6(Pocket Susceptibility Meter) 모델을 사용하여 측정하였고, 대자율의 크기는  $10^{-3}$  SI 단위계를 사용하였다. 그러나 충분한 양의 시료채취가 불가능함에 따라 이 광물이 갖는 편광현미경 하에서의 광학적 특징은 기재할 수 없었다.



사진 2. 아산 시전리 유적에서 출토된 옥기의 산출상태(A, B, C)와 보석의 원석으로 쓰이는 천하석(D)의 원광석

한편 한국기초과학지원연구원에서 전자현미분석기(EPMA; Electron Probe Micro Analyzer)를 사용하여 후방산란전자영상(BEI; Back-scattered Electron Image)방법으로 미세조직을 분석하였고, 특정원소(Ca, K, Na)에 관한 정량 X-선 면분석도 실시하였다. 분석에 이용된 기기는 JEOL사의 JXA 8800R이며, 분석시료는 탄소로 피복하였다. 분석 조건은 가속전압 15kV, 시료전류 20mA이고 분석점의 크기는  $1\sim 2\mu\text{m}$ 이다. 정량분석에 이용된 표준시료는 알바이트(albite; Si, Na), 강옥(Al), 적철석(Fe), 정장석(K), 규회석(Ca), 중정석(Ba), 합성  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ (Mg), 합성  $\text{MnTiO}_3$ (Ti, Mn), 합성  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ (Cr)를 사용하였다.

### Ⅲ. 재료과학적 특성

#### 1. 주변환경

시전리 유적이 위치한 아산시 도고면 일대는 대체적으로 선캠브리아기의 변성암류와 이를 관입한 후기의 화성암류 및 백암류로 구분되며, 이들을 제4기의 충적층이 피복하였다. 선캠브리아기의 변성암은 비교적 높은 변성도를 갖는 퇴적기원의 광역변성암이다. 이 지역의 암석들은 복잡한 조구조운동으로 지질구조가 복잡하고 화성활동의 영향을 받았던 관계로 좁은 지역내에서도 변성 정도와 산출상태가 아주 다양하다.

시전리 유적 일대에서도 이와 같은 변성퇴적암류인 녹니석 편암이 복합체를 이루고 있으며 이를 관입한 흑운모 화강암이 분포한다. 또한 제4기의 충적층이 넓게 분포한다(그림 4). 충적층은 주로 역, 모래 및 점토 등으로 구성되어 있다. 특히 풍화에 대한 저항력이 약한 조립질 화강암 지역에서는 수지상으로 발달되어 아산만으로 유입하는 사행천이 분포하여 충적층의 넓이를 더해가고 있다(김서운과 김명환, 1969).

## 2. 전암대자율

전암 대자율은 암석과 광물의 전체 미세자화강도를 구분하기 위해 응용된 암석학 연구의 한 수단이다. 전암 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)로 물질의 자기적 특성을 결정하는 상수이다. 이 값은 진공에서  $k = 0$ 이며, 일반적인 화강암의 평균 대자율은  $2.512(\times 10^{-3} \text{ SI unit})$ 이다.

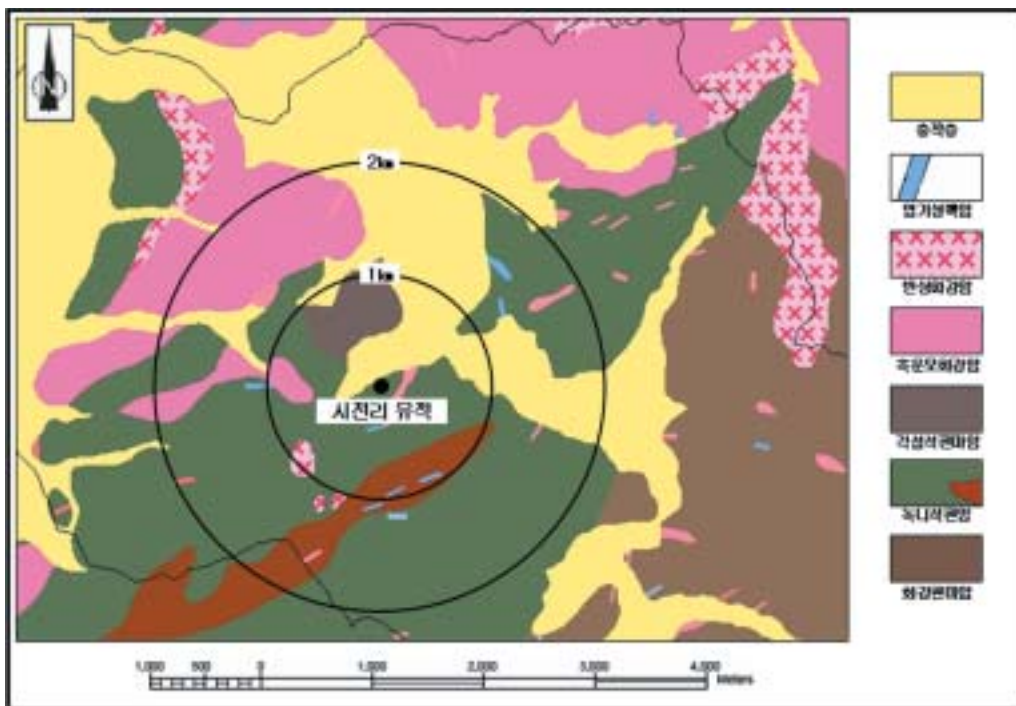


그림 4. 아산 시전리 유적 일대의 지질 및 암석분포도(김서운과 김명환, 1969)

이 대자율은 암석에 함유된 불투명 광물로 나타나는 강자성 광물인 자철석의 함량과 정



의 상관관계를 가진다. 따라서 대자율을 통해 자철석을 함유한 암석의 광역적 분포를 파악할 수 있기 때문에  $1.256(\times 10^{-3}$  SI unit)을 기준으로 이보다 높은 경우는 자철석 계열로, 낮은 경우는 티탄철석 계열로 구분한다(Ishihara, 1998). 시전리 유적 옥기의 대자율 측정값은  $0.01\sim 0.04(\times 10^{-3}$  SI unit)의 범위 내에서 분포하며 평균 0.02의 낮은 수치를 갖는 것으로 나타났다(그림 5). 이 대자율 값은 앞으로 보다 많은 유적에서 다양한 특징을 갖는 천하석에 관한 자료가 수집될 때 중요한 의미를 가질 수 있을 것이다.

### 3. X-선회절과 전자현미경 분석

시전리 유적에서 출토된 옥기에 대하여 광물학적 분석을 실시하였다. 현미경을 이용한 관찰과 분석은 가장 기본적인 연구방법으로서 광물조성, 입자의 크기, 색, 모양 및 조직 등의 관찰이 가능하다. 그러나 시료의 휘손이 어려워 편광현미경 하에서의 광학적 특성은 기재할 수 없었다. 아주 작은 광물입자나 풍화가 심한 광물들은 현미경으로도 식별이 불가능하기 때문에 X-선 회절분석과 전자현미경 분석이 필수적이다. 전자현미경 관찰과 X-선 회절분석을 절충하여 좀 더 정확하고 종합적인 재료과학적 해석이 가능하였다.

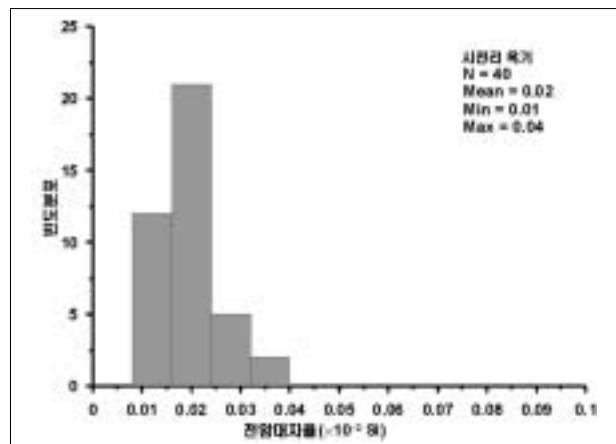
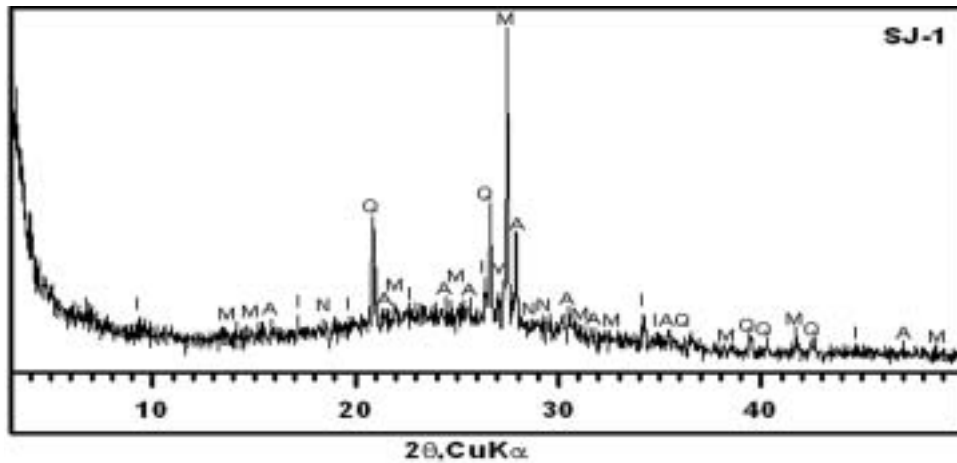


그림 5. 아산 시전리 유적에서 출토된 옥기의 전암대자율 분포도

이 옥기에서 극미량의 분말시료를 제작하여 X-선 회절분석을 실시한 결과, 시전리 옥기의 구성광물로는 미사장석, 석영, 조장석, 일부 회장석 및 일라이트(illite)가 검출되었다. 이 중 석영, 회장석 및 일라이트는 벽개면에 게재된 불순물들로서 석영과 회장석은 생성 당시부터 공존하던 것이며, 일라이트는 후기에 생성된 변질광물로 판단된다. 검출 빈도에 따라 옥기를 구성하는 주요 광물이 미사장석과 극미량의 조장석임을 알 수 있었다(그림 6).



M= 미사장석(microcline), Q= 석영(quartz), A= 조장석(albite), N= 회장석(anorthite), I= 일라이트(illite)  
 그림 6. 아산 시전리 유적 옥기의 X-선 회절분석 결과

따라서 시전리 옥기는 조장석과 정장석이 혼합된 미사장석으로서, 보석학적으로 천하석 또는 아마조나이트(amazonite)로 불리는 규산염 장석군 광물의 일종으로 동정되었다. 일반적으로 천하석은 주상결정을 이루며 불리직 경도는 6.0~6.5로 수정의 7보다 약간 낮아 수정으로 손상시킬 수 있다. 또한 조흔은 백색이고 벽개면은 광택을 띠며 색조는 회색, 흰색, 녹색 등이 있다. 이 천하석의 광물학적 특징은 <표 1>과 같고, 이 중에서 보석의 원료로 쓰이는 것이 녹색을 띠는 미사장석(천하석)이다.

**표 1. 천하석의 광물학적 특징(김수진, 1983; 김원사, 1993)**

천 하 석 (Amazonite, 미사장석)			
색	회색, 흰색, 녹색, 청록색	투명도	반투명, 불투명
조흔색	백색	굴절률	1.522~1.530
경도	6.0~6.5	복굴절률	0.008
비중	2.56~2.58	분산력	0.012
벽개	완전, 광택	다색성	없음
단구	불평탄상	흡수스펙트럼	명확하지 않음
결정계	삼사정계의 주상결정	형광	약함(녹색)
화학성분	$KAlSi_3O_8$	자성	없음

이 옥기 시료의 극미량 분말에 대하여 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 이 광물의 내부조직은 비교적 단순하여 절단면이 불평탄한 왜곡상 단구를 보여주며, 벽개와 쌍정면이

발달된 조장석과 정장석의 공생조직을 보여준다. 또한 벽개면을 따라 쪼개짐이 발달되어 있고 보통은 치밀한 괴상조직을 갖는다. 이 조직들의 대부분은 보통의 장석계열 광물이 갖는 미세조직적 특징과 거의 동일한 것이다.

한편 옥기를 구성하고 있는 광물의 정성적 원소 함량을 알아보기 위해 SEM-EDX 분석을 실시하였다. 분석결과 Si, Al, O, K, Na 등의 원소 함량이 높게 나타나는 것으로 보아 정장석과 조장석이 혼재되어 있다는 것을 지시한다(사진 3). 특히 조장석(albite)을 대표하는 Na와 정장석(orthoclase)을 구성하는 K가 서로 함량비를 달리하며 미세한 동상 연정의 교호 성장 조직(intergrowth texture)을 형성하고 있다.

#### 4. 미세조직과 지구화학적 분석

이 옥기의 아주 세밀한 미세조직과 화학조성 변화를 규명하기 위해 극미립 시료의 단면을 대상으로 전자현미분석기(EPMA)에 의한 정량분석과 후방산란전자영상(BEI) 방법을 이용하여 미세조직을 영상분석 하였다. EPMA의 BEI에 의한 영상분석은 광물입자가 갖는 구성원소의 민감도를 함량변화에 따라 명도의 차이로 검출하는 기법으로서 명암과 색상의 차이는 구성원소의 조성비를 반영한다.

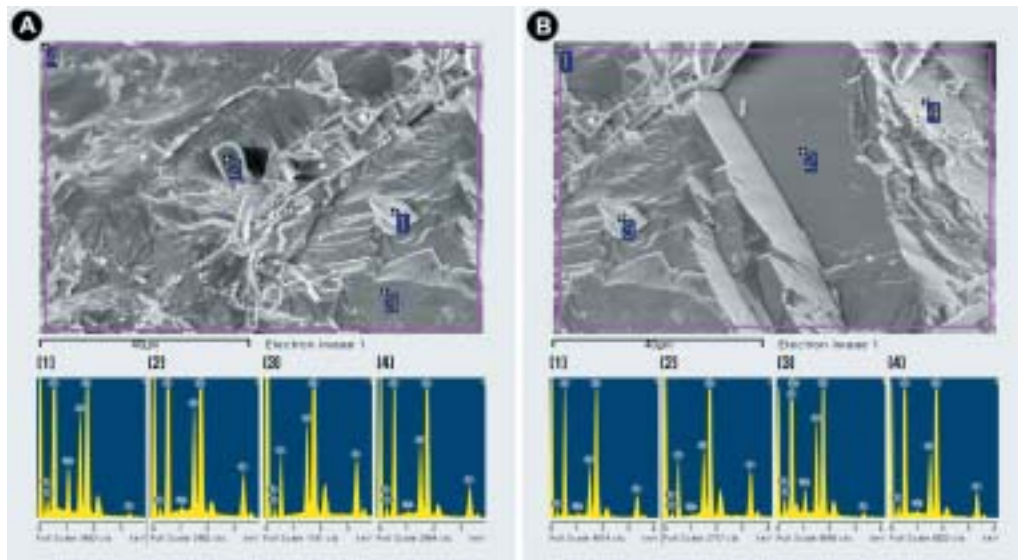


사진 3. 아산 시전리 유적 옥기의 SEM-EDX 분석결과

Na가 풍부한 조장석과 K가 풍부한 정장석이 상호 교대조직을 가지고 조성상의 함량변화와 조직적 특성을 달리하며 나타나는 천하석의 쌍정과 벽개면

이 분석결과, 시전리 옥기는 조장석과 정장석이 공존하며 수십  $\mu\text{m}$  정도의 결정이 서로 교대하여 하나의 광물상인 미사장석을 이루고 있는 것으로 밝혀졌다(사진 4A, 4B). 조장석은 알바이트 쌍정이 잘 발달된 주상결정을 이루고 있으며 정장석은 칼스바드 쌍정이 발달된 탁상의 단사정계에 속하는 결정형태를 보여준다. 또한 정장석 바탕에는 수  $\mu\text{m}$ 의 엽층을 갖는 조장석이 쌍정과 벽개면을 따라 교호성장하고 있는 것으로 나타났으며, 정장석 자체도  $\text{K}_2\text{O}$ 의 함량변화에 따라 미세한 조직적 차이가 나타나고 있음을 보여준다(사진 4B, 4C).



사진 4. 아산 시전리 유적의 옥기를 대상으로 전자현미분석기(EPMA)의 후방산란전자영상(BEI)으로 촬영한 미세조직 (A) 회백색 정장석과 암회색 조장석이 서로 교대된 미세조직. (B) 미사장석의 세부 미세조직으로서 극미세 쌍정면을 따라 정장석과 조장석이 교호성장 조직의 층을 이루고 있음. (C) 미사장석 내부에 발달한 정장석의 확대부분으로 K-함량에 따라 색도가 다른 혼합층을 이루고 있음.

이 단면을 대상으로 특정 원소( $\text{CaK}\alpha$ ,  $\text{KK}\alpha$ ,  $\text{NaK}\alpha$ )에 관한 전자현미분석기의 정량 X-선 면분석을 실시한 결과, Ca는 거의 검출되지 않았으며 K가 높게 검출되는 곳에서는 Na가 낮게 검출되며 상호 보상적인 성분변화를 하는 것이 나타났다. 이는 이 광물이 조장석과 정장석의 공존관계에 의해서 생성된 미사장석임을 지지하는 결정적인 증거로서, 시전리 천하석제 옥기의 광물학적 특성을 설명할 수 있는 조직과 성분변화의 대표적인 특징이다(사진 5).

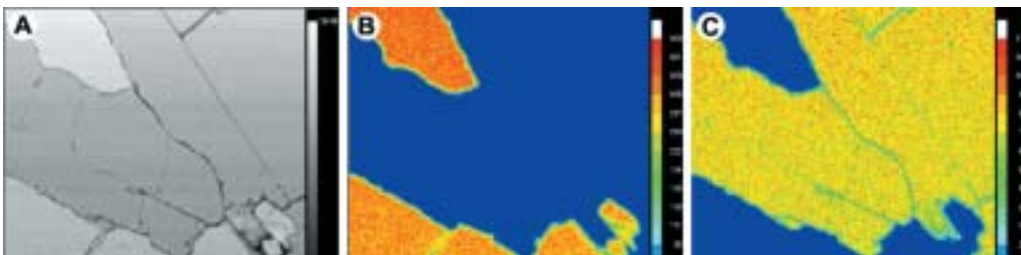


사진 5. 아산 시전리 유적 옥기의 전자현미분석기(EPMA)에 의한 X-선 면분석 결과 (A) 후방산란전자영상, (B) K의 함량과 (C) Na의 함량으로서 조장석(Na-rich)과 정장석(K-rich)의 교호성장 조직을 갖는 미사장석임을 명확히 보여준다.

각각의 광물상에 대하여 EPMA에 의한 정량분석을 실시하였고 조장석의 조성(표 2), 암회색 정장석(표 3) 및 회백색 정장석의 조성(표 4)으로 세분하여 정리하였다. 조장석은  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 66.45 wt.%에 20.79 wt.%의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  함량을 가지며  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 함량이 11.21

wt.%인 Na-단종의 사장석이다. 그러나 사장석의 Ca-단종인 회장석은 거의 함유되어 있지 않으며 K<sub>2</sub>O의 함량도 0.19 wt.% 정도이다. 이 외에 FeO, MgO, TiO<sub>2</sub>, CrO 및 BaO가 극미량 함유되어 있다.

**표 2. 아산 시전리 유적 천하석제 옥기(조장석)의 주성분원소 함량 (wt.%)**

No.	AB-01	AB-02	AB-03	AB-04	AB-05	Mean	SD
SiO <sub>2</sub>	66.72	66.56	66.22	66.36	66.40	66.45	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.15	20.62	21.12	21.03	21.05	20.79	0.41
FeO	0.02	0.06	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	10.92	11.38	11.05	11.46	11.27	11.21	0.23
K <sub>2</sub> O	0.27	0.13	0.17	0.20	0.17	0.19	0.05
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
CrO	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01
BaO	0.00	0.03	0.01	0.00	0.04	0.02	0.02
Total	98.09	98.78	98.62	99.09	98.97	98.71	0.09

**표 3. 아산 시전리 유적 천하석제 옥기(정상석; 암회색 부분)의 주성분원소 함량 (wt.%)**

No.	KF-B01	KF-B02	KF-B03	KF-B04	KF-B05	KF-B06	Mean	SD
SiO <sub>2</sub>	63.37	62.39	62.38	62.75	61.26	61.98	62.35	0.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.34	19.38	19.41	19.35	19.28	19.65	19.40	0.13
FeO	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.41	0.42	0.35	0.34	0.22	0.35	0.07
K <sub>2</sub> O	16.23	16.00	15.87	16.04	17.17	17.47	16.46	0.68
MgO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
CrO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
BaO	0.05	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
Total	99.40	98.24	98.14	98.51	98.08	99.36	98.62	0.16

**표 4. 아산 시전리 유적 천하석제 옥기(정상석; 회백색 부분)의 주성분 원소 함량 (wt.%)**

No.	KF-W01	KF-W02	KF-W03	KF-W04	KF-W05	KF-W06	KF-W07	Mean	SD
SiO <sub>2</sub>	62.57	62.53	61.88	62.08	61.69	62.29	62.16	62.17	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.24	19.39	19.44	19.37	19.10	19.45	19.32	19.33	0.12
FeO	0.01	0.00	0.05	0.02	0.00	0.10	0.04	0.03	0.03
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.41	0.42	0.33	0.40	0.38	0.41	0.39	0.03
K <sub>2</sub> O	16.19	16.29	16.93	17.15	17.24	17.38	16.73	16.84	0.46
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
CrO	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02
BaO	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01
Total	98.47	98.62	98.75	99.00	98.45	99.62	98.67	98.80	0.10

암회색 정상석은 62.35 wt.%의 SiO<sub>2</sub> 함량에 19.40 wt.%의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 갖는다. 또한 Na와 Ca-단종은 거의 포함하지 않으며 16.46 wt.%의 K<sub>2</sub>O 함량을 갖는 전형적인 K-장석이다. 한편 회백색 정상석은 암회색 정상석에 비하여 K<sub>2</sub>O의 함량이 다소 낮은 것으로 나타났다. 이 정상석에서도 FeO, CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>, CrO 및 BaO는 극미량만 검출되었다.

그러나 이외의 다른 원소들이 극미량으로 함유되어 있을 가능성도 완전히 배제할 수는 없다. 일반적으로 규산염 광물 내에서 녹색을 띌 수 있는 발색원소는 아주 다양하나 Cu, Cr, Ni, V, Ba, F 등이 있는 것으로 알려져 있다(Oftedal, 1957; Bradt, 1973; Crippen, 1976; Lee and Lee, 2003). 그러나 현시점에서 이 천하석이 녹색을 띠게 되는 발색원소의 종류가 어떤 원소인지를 설명하기는 어렵다.

이 천하석을 이루는 각 광물의 조성변화를 살펴본 결과, 그림 7과 같이 SiO<sub>2</sub>의 함량에 따라 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Na<sub>2</sub>O의 함량도 증가하며 K<sub>2</sub>O의 함량은 감소하는 경향을 보였다. 또한 K<sub>2</sub>O와 Na<sub>2</sub>O는 명확한 부의 상관관계를 가지며 서로 치환에 의한 함량대비를 갖는 것으로 나타났다(그림 7). 이들의 조성을 Na-단종인 Ab(albite)와 Ca-단종인 An(anorthite) 및 K-단종인 Or(orthoclase)의 삼각도에 표기하면 Na<sub>2</sub>O와 K<sub>2</sub>O의 극단적인 단종 영역에 도시됨을 보여준다(그림 8).

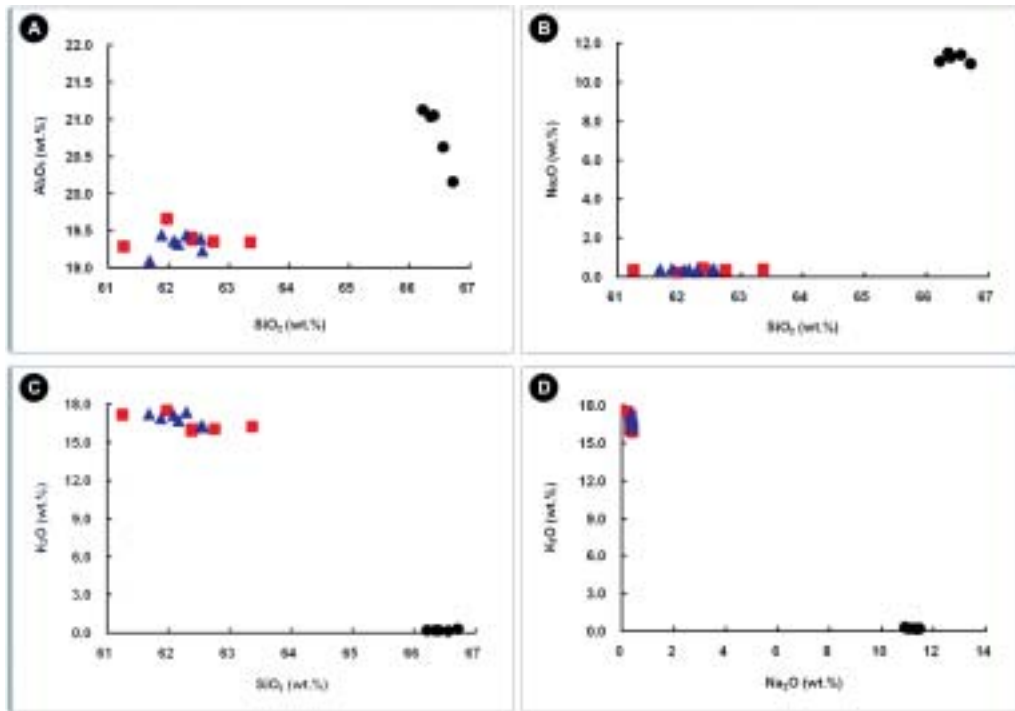


그림 7. 아산 시전리 유적 천하석제 옥기의 주성분원소 함량 변화도(wt.%)

● = 조장석, ■ = 암회색 정장석, ▲ = 회백색 정장석

#### IV. 고고과학적 고찰

##### 1. 원산지 추정

남한에서 천하석제 식옥류가 출토된 지역은 진주 대평리 유적군, 산청 묵곡리 유적, 고성 두호리 유적, 사천 이금동 유적, 진북 신촌리 유적, 여천 적량동 유적, 승주 우산리 유적군 등으로 남해안 지역에 집중되어 나타나고 있다(庄田愼矢, 2005). 또한 최종규(2000)와 이상길(2002)에 의해서도 보고된 바 있으며, 내륙지방에서도 간헐적인 출토가 있는 것으로 알려져 있다(이형원, 2006). 그러나 이들의 정확한 광물학적 동정은 이루어지지 않았다.

한반도에서 가장 많은 옥기가 출토된 진주 대평리 유적에서도 천하석제 옥은 희소품이었을 것으로 추정된 바 있다(庄田愼矢, 2005). 또한 시전리 유적 주변에서도 아주 희귀한 유물이다. 그 이유는 시전리 유적에서 조사된 유구 가운데 이 옥기가 부장된 곳은 4호 주거지

1기에 불과하며, 중부 내륙지방에서도 낮은 출토율을 보이고 있기 때문이다. 따라서 옥기를 만들고 반출하는 행위가 당시 사회에서 대단한 중요성을 가지는 것이라 할 수 있다.

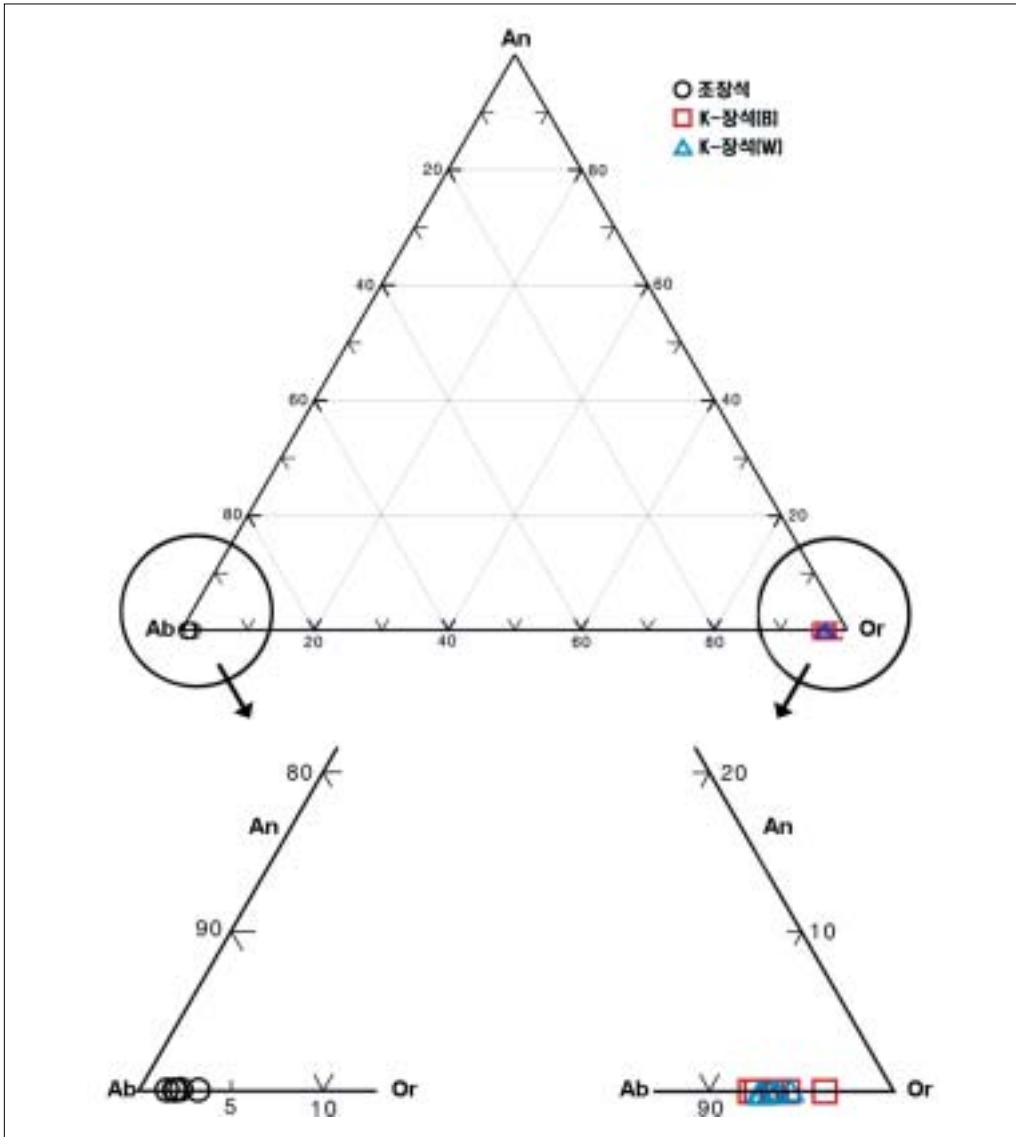


그림 8. 아산 시전리 유적 천하석제 옥기의 화학조성을 점시한 삼각도

자원개발연구소(1977)에서 발간한 한국의 광물에 의하면 한반도에서 보고된 일반적인 미사장석 및 천하석의 산지는 <표 5>와 같다. 그러나 이 지역들을 지도상에 나타내 보면 <그림 9>에서 보는 바와 같이, 천하석 및 미사장석의 산지와 천하석제 식옥류 출토지의 연관성은 뚜렷하지 않다. 그러나 남해 중부지방에서 천하석제 식옥류가 집중 출토된 것으로



보아, 이 지역 어딘가에 또 다른 천하석의 원산지가 있었을 것으로 추정할 수 있다.

최종규(2000)는 경남 고성 두호리 유적에서 출토된 천하석제 곡옥이 주로 남해 중부지방의 반경 40~60km 내에서 유통되었을 가능성을 설명한 바 있다. 그러나 아산 시전리 유적의 경우, 천하석 및 미사장석 산지로 제일 가까운 지역이 충남 공주시 장기면이라는 것을 생각해 보면, 남해 중부지방에서처럼 유기적으로 운반되어졌기보다는 원인을 설명하기 어려운 방법에 의해 유입된 것일 가능성이 있다. 또한 공주 장기에서 생산되었던 미사장석이 옥으로서의 가치가 있는 비취색 천하석이었는지도 불분명하다.

**표 5. 국내 천하석 및 미사장석 산지(자원개발연구소, 1977)**

원 산 지	
천 하 석	미 사 장 석
충청북도 단양군 단양면 외중방리(구미리)	경기도 포천군 영중면 금주리
	충청북도 괴산군 청천면
	충청남도 공주시 장기면 장암리
	강원도 고성군 외금강면 삼일포, 온정리
함경북도 성진군 학서면 업억동	평안북도 운산군 위연면 풍상동
	평안북도 초산군 송면 차령동
	함경남도 함주군 하지천면 중평리
	함경북도 경성군 어량면 오상동

한편 남한에서 천하석을 생산한 곳으로 알려진 장소는 충북 단양의 외중방리이다. 그러나 상업적 생산이 있었는지는 알려져 있지 않다. 일반적으로 천하석과 같은 미사장석의 자원 지질학적 생성은 거정질 화강암의 일종인 일명 페그마타이트 광상에서 거정질 광물로 산출된다. 이 페그마타이트는 화강암질 마그마의 말기 분화산물로서 화강암질암이 분포하는 장소이면 지질시대와 지리적 위치에 관계없이 어느 장소에서든지 생성될 수 있다.

시전리 유적의 주변은 변성퇴적암 계열의 녹니석 편암이 복합체를 이루어 분포하지만, 소규모 페그마타이트가 분포하고 있었을 가능성 또한 완전히 배제할 수 없다. 이 유적의 반경 2km 이내에는 화강암이 분포하고 있어 충분한 개연성을 갖춘 것으로도 볼 수 있다. 그러나 이 옥기가 한 유적의 한 유구에서 한 점만 수습된 것으로 볼 때, 과정을 설명하기는 어려우나 외부에서 유입된 옥기로 해석하는 것이 더욱 타당할 것으로 판단된다. 이에 관해서는 여러 유적의 천하석제 옥기에 대한 정량분석 결과를 근거로 다양한 가능성을 고려한 고고학적 해석과 토의가 필요할 것이다.

## 2. 고고과학적 의미

최근까지 우리나라에서 출토된 천하석제 식육류 대상으로 광물학적 및 지구화학학적 정량 분석을 통한 상세한 연구는 없었다. 이와 같은 옥기들의 자연과학적 분석들은 옥기 구성광물의 성인 및 원산지 추정에 중요한 근거가 되지만, 시료의 제한과 분석법의 미비 및 학문적 이질성으로 인하여 활성화 되지 못한 것이 현실이다. 이 연구에서는 아산 시전리 유적에서 출토된 옥기를 대상으로 정량적 재질분석과 원산지 추정을 수행하였다.

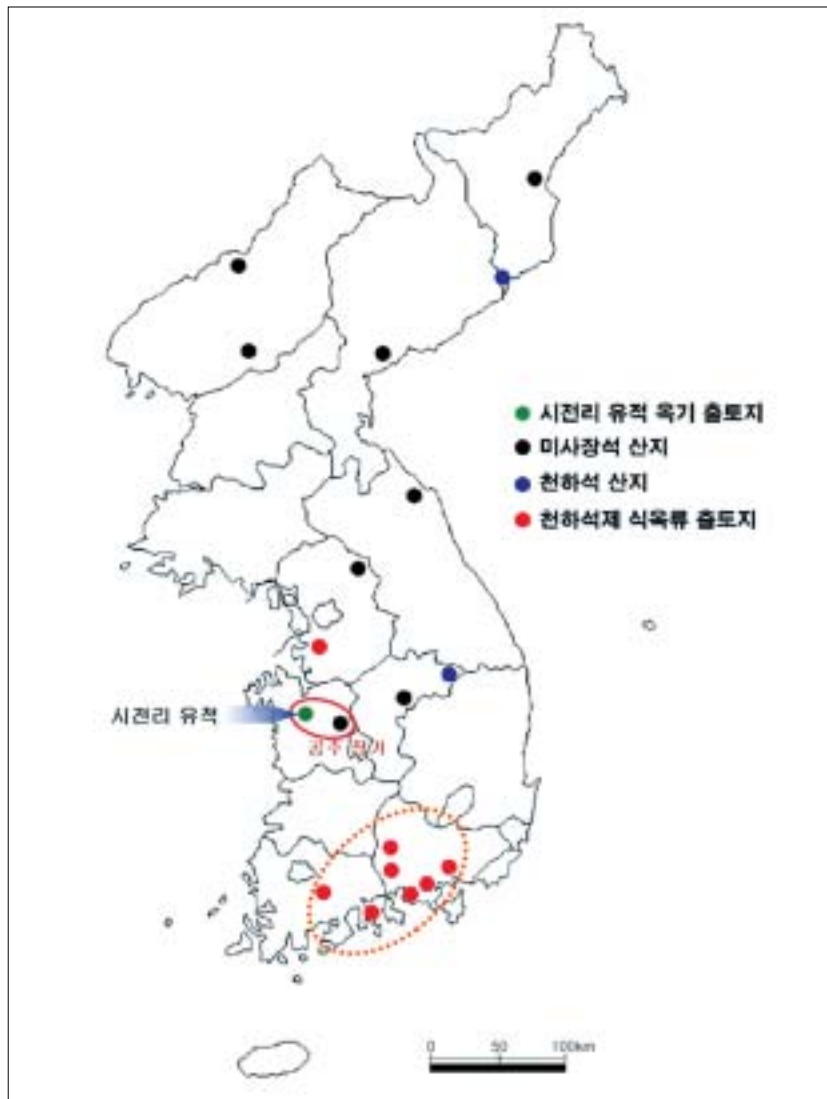


그림 9. 국내 미사장석 및 천하석의 분포 현황과 천하석제 옥기의 출토지

정밀기재, 육안관찰, X-선 회절분석, 주사전자현미경 관찰 및 전자현미분석기를 이용한 후방산란전자영상 방법을 이용하여 시전리 유적 옥기의 구성광물을 동정하였다. 이를 근거로 이 옥기의 광물종이 조장석과 정장석의 상호교대 광물인 미사장석으로서 보석학적으로는 천하석임을 규명하였다. 그러나 원산지 해석에 있어서는 다른 지역의 천하석제 옥기와 비교할 수 있는 여건이 되지 않아 전국에 분포하는 천하석 및 미사장석 산지를 근거로 대략적인 추정만 검토되었다.

또한 천하석의 녹색 발현원소에 관한 연구도 필요하다. 미국 버지니아(Virginia)의 아메리아(Amelia)에서는 페그마타이트에서 거정질의 자형 결정을 갖는 아마조나이트가 보고된 바 있으며, 녹색을 띠는 발색원소로는  $Rb_2O(3.30 \text{ wt.}\%)$ 와  $Cs_2O(0.60 \text{ wt.}\%)$ 가 검출되었다(Deer et al., 1963). 한편 Oftedal(1957)은 가열실험을 통하여, 녹색의 아마조나이트가  $270^\circ\text{C}$ 에서 무색으로 변색되기 시작하여  $300^\circ\text{C}$ 에서 16시간 가열하면 녹색의 80%가 소실되고  $500^\circ\text{C}$ 에서 완전히 무색이 되는 것을 증명한 바 있다. 이는 미량원소로 포함된 불소가 산소와의 치환반응에 따라 소실되면서 변색되는 것으로 해석하였다.

국내에서 녹색 규산염 광물을 대상으로 색에 영향을 미치는 원소의 함량과 분배 및 치환 관계를 규명한 연구가 있으나(이찬희와 박희인, 1994; 이찬희 외, 1997; 이현구와 이찬희, 1997; Lee et al, 2002; Lee and Lee, 2003), 장석류의 원색과 변색에 관한 연구는 수행된 바 없다. 최근까지 알려진 규산염 광물내 녹색의 발색원소로는 Cr, Cu, Ni, V, Ba, F 등이 있으나, 시전리 천하석에서는 제한된 시료의 양으로 인하여 정량적인 분석을 수행하지 못하였다.

대부분의 곡옥은 비취제품이 많지만 흙, 돌, 뿔, 뼈, 수정, 마노, 백옥, 청옥 등으로도 만들었다. 이들은 목걸이와 귀걸이로 썼거나 금관, 팔찌, 허리띠 등에 매달아 높은 신분을 표시하는 화려한 꾸미개로도 쓰였다(최은주, 1986). 곡옥은 중국 일부와 아시아 지역에서도 출토되고 있으나, 우리나라와 일본에서 크게 발달하였다. 청동기시대에는 천하석제 곡옥이 전 지역에 걸쳐 나타나고 있어 삼국시대 곡옥의 원형임을 시사한다. 삼국시대에는 신라, 가야, 백제의 고분에서 많이 출토되고 있는데, 재료로는 마노, 호박, 귀금속과 함께 경옥이 널리 쓰였다. 경옥에 대해서는 일본이 원산지라는 의견이 있었으나, 최근 연구를 통해 우리나라 경옥이 성분상 일본 것과 다름이 판명되었다(이상길, 2002). 그러나 이와 같은 옥기의 정량적 분석과 광물학적 연구는 수행된 바 없다.

보통 청동기가 부장된 무덤에서는 목걸이의 가운데 장식으로 쓰였던 천하석제 옥장식이 있으며, 어형과 결형의 형태로 출토되었다. 어형은 함경도 지방에서 발견되는 짐승의 송곳니 모양의 옥장식 전통과 연결된다고 생각되나, 결형의 기원은 분명치 않다(김원룡, 1986). 아산 시전리 유적에서 출토된 옥기가 무덤이 아닌 주거지에서 나왔다는 점에서 차이가 있긴

하지만 수량이 한정적이고 원석도 찾아볼 수 없었다. 따라서 이 주거지는 옥의 제작지가 아닌 것으로 추정되며 시전리 유적의 천하석제 옥기는 목걸이나 귀걸이 등에 장식했던 곡옥으로 판단된다. 이 옥기들의 제작과 이동 및 전파경로에 관한 고고과학적 검토가 필요할 것이다.

## V. 맺음말

1. 아산 시전리 유적 일대의 지질은 변성퇴적암류인 편암이 복합체를 이루며 이를 피복한 층적층이 넓게 분포한다. 이 유적의 청동기시대 4호 원형 주거지에서 천하석제 옥기가 출토되었다. 시전리 옥기는 원형을 상실하였으나 호의 형태가 남아있는 것으로 보아 곡옥의 형태를 가지고 있으며 담녹색에 벽개가 발달된 특징을 갖는다. 이 옥기의 산출상태는 유리 광택에 백색 조흔을 보이며 불평탄 단구와 쌍정을 갖는 주상 형태의 결정이다.

2. 이 시전리 옥기는 조장석과 정장석이 공생하는 미시장석으로서 보석학적으로는 천하석 또는 아마조나이트로 불리는 규산염 장석군 광물의 일종으로 판명되었다. 이 천하석의 내부 조직은 Na-단종인 조장석과 K-단종인 정장석이 벽개와 쌍정을 따라 수  $\mu\text{m}$ 의 폭으로 교대 조직을 이루고 있으며, 정장석 내부는  $\text{K}_2\text{O}$ 의 함량에 따라 교호성장 조직이 공존한다. 따라서 이 천하석은  $\text{Na}_2\text{O}$ 와  $\text{K}_2\text{O}$ 가 서로 치환한 정장석과 조장석의 미세결정이 하나의 광물상을 이룬 것이다.

3. 남한에서 천하석의 원료산지는 충북 단양이 유일하며, 시전리 유적과 가장 가까운 미시장석의 산지는 공주시 장기면이 알려져 있다. 그러나 청동기시대 천하석제 옥기가 다량 출토된 지역은 경남 서부지역과 전남 동부지역의 남해안 연변으로서, 이 지역에서도 천하석의 원료가 될 만한 원광석의 산지는 알려져 있지 않다.

4. 시전리 유적에서는 천하석제 옥기의 생산 및 가공흔적이 전혀 없고 유일하게 한 점이 주거지에서 수습된 것으로 보아, 시전리에 원료의 산지가 있거나 공방이 있었을 가능성은 없어 보인다. 이 옥기의 원광물은 자원이질학적 산출상태가 아주 광범위하며 페그마타이트가 수반되는 지질환경이면 어디에나 산출될 수 있는 개연성이 있다. 이 옥기의 원산지와 유입 경로 및 제작과정을 설명하기 위해서는 고고학적 해석이 필요하다.

## 참고문헌

- 김서운·김명환, 1969, 『예산 지질도폭 설명서(1:50,000)』, 국립지질조사소, pp.3~5.
- 김원룡, 1986, 『한국고고학개설』, 일지사
- 김원사, 1993, 『보석』, 우성문화사
- 김원사·우영균·이재열·김경수, 1996, 「부여산 귀사문석의 보석학적 특성 연구」, 『광물학회지』 9권
- 김수진, 1983, 『광물학원론』, 우성문화사
- 김수진·이동진·장세원, 1986, 「한국산 옥에 대한 광물학적 및 보석학적 연구」, 『지질학회지』 22권
- 노진환·유재영·최진범, 1993, 「춘천 연옥 광물의 성인」, 『지질학회지』 29권
- 노진환·조현구, 1993, 「춘천 연옥 광물의 광물학적 특성 : 광물상, 광물 화학 및 혼성 격자 구조」, 『광물학회지』 6권
- 노진환·최진범, 2000, 「춘천 연옥의 결정화학과 미시적 공생관계에 관한 연구」, 『광물학회지』 13권
- 박맹언·강정미, 1995, 「춘천산 연옥의 조직 및 인성에 관한 연구」, 『광물학회지』 8권
- 이상길, 2002, 「장신구를 통해 본 세형동검 문화기의 특징, 세형동검문화의 제문제」, 『구주고고학회·영남고고학회』
- 이찬희·박희인, 1994, 「남경상 동광상의 열수변질대에서 산출되는 분홍색 단사조이사이트」, 『지질학회지』 30권
- 이찬희·이현구·신미애, 1997, 「회남지역 옥천누층군의 탄질 변성니질암에서 산출되는 바륨-바나듐 백운모」, 『지질학회지』 33권
- 이현구·이찬희, 1997, 「나립 금광상의 열수변질대에서 산출되는 녹색의 크롬-견운모의 광물학적 및 지구화학적 특성」, 『자원환경지질』 30권
- 이형원, 2006, 「천천리 출토 옥에 대하여」, 『화성 천천리 청동기시대 취락, 한신대학교 박물관총서』 22책
- 자원개발연구소, 1977, 『한국의 광물』, 상신인쇄사
- 최은주, 1986, 『한국 곡옥의 연구』, 송실사학 4권
- 최종규, 2000, 『고성 두호리 유적』, (사)경남고고학연구소

- 충청문화재연구원, 2005, 「아산 시전리 유적 현장설명회 자료」
- 庄田慎矢, 2005, 「옥 관련 유물을 통해 본 진주 대평 취락의 분업체계」, 『영남고고학』 36권
- Bradt, R.C., 1973, 'The toughness of jade', *American Mineralogist* v.58
- Crippen, R.A., 1976, 'Nephrite jade and associated rocks of the Cape San Martin Region, Monterey County, California', *California jade, California Division of Mines and Geology, Special Publication*
- Deer, W.A., Howie R.A., and Zussman, J., 1963, *Rock-forming minerals, v.4, Framework Silicate*, Longman, London
- Ishihara, S., 1998, 'Granitoid series and mineralization in the Circum-Pacific Phanerozoic granitic belts', *Resource Geology* v.48
- Kim, W.S., Jeong, J.G., Rhee, B.Y. and, Lee J.Y., 1995, 'Structure and physical properties of the mid-west crust of Korea, Mineralogy of precious serpentine from the Booyo green jade mine', *Journal of Korean Earth Science Society, v.16*
- Lee, C.H., Choi S.-W., Suh, M., 2002, 'High-iron glaucony from the continental shelf of the Yellow Sea off the southwestern Korean Peninsula', *Journal of Asian Earth Sciences, v.20*
- Lee, C.H., and Lee H.K., 2003, 'Vanadium and barium-bearing green mica within coaly metapelite from the Ogcheon Supergroup, Republic of Korea', *Journal of Asian Earth Sciences, v.21*
- Oftedal, I., 1957, 'Heating experiments on amazonite', *Mineralogical Magazine, v.31*

## Abstract

### **Material Characteristics and Provenance Interpretation of Jade (Amazonite) from the Sijeonri Site at Asan, Korea**

Chan Hee Lee / Jae Cheol Kim / Geon Ju Na / Myung Jin Kim

Quantitative analysis and provenance interpretation of the raw materials for the jade (amazonite) excavated from the Asan Sijeonri site were studied. Geology of the Sijeonri site composed mainly of Precambrian metasedimentary rocks and the alluvium ranges extensively. In the site, amazonite jade was excavated in the Bronze Age No. 4 circular-shaped resident site. The jade has a comma-shaped and shows light green color with so much cracks. The jade is silicate mineral of columnar habits that is shown white streak, and has fine cleavages with vitreous luster. As the analytical results, this jade was identified as a feldspar-group mineral gemologically called amazonite that is mineralogically microcline formed to intergrowth of albite and orthoclase. Internal textures of the amazonite present Na-end member of albite coexisting with K-end member of orthoclase that are replaced each other along the cleavages and twin planes with several  $\mu\text{m}$  scales. Therefore, the amazonite is one mineral phase combined with albite and orthoclase by substitution of  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{K}_2\text{O}$ , respectively.

The Danyang area is a unique producing site of amazonite in South Korea, and Gongju Janggimyeon was known as microcline provenance to the utmost area from the Sijeonri site. In the marginal area of southern coast in Korean Peninsula, Bronze Age amazonite has been excavated in several sites, where original provenance of the raw amazonite is not identified. The Sijeonri site

does not show any facilities of producing and processing traces for amazonite jade. Also, only one jade was collected in the Sijeonri site. Therefore, there is not possibility that the provenance of raw jade is the Sijeonri area. To explain original provenance of the amazonite jade, migration path, manufacturing process and archaeological interpretation are required.

Keyword : Sijeonri Site, Amazonite, Microcline, Provenance Interpretation