

월성동 구석기 유적 출토 흑요석제 석기의 암석 및 광물학적 연구를 통한 원산지 추정

장윤득^{1,*} · 박태윤¹ · 이상목² · 김정진³

¹경북대학교 지질학과, 702-701 대구광역시 북구 산격동 1370

²경상북도 문화재연구원, 712-900 경상북도 경산시 하양읍 금락리 240-4

³안동대학교 지구환경과학과, 760-749 경상북도 안동시 송천동 388

Petrologic and Mineralogic Studies on the Origin of Paleolithic Obsidian Implements from Wolseongdong, Korea

Yun Deuk Jang^{1,*}, Tae Yoon Park¹, Sang Mok Lee², and Jeong Jin Kim³

¹Department of Geology, Kyungpook National University, Taegu 702-701 Korea

²Department of excavation, Kyeongsangbukdo Institute of Cultural Properties, Gyeongsan 712-900, Korea

³Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea

Abstract: Petrological, mineralogical, and geochemical analyses were carried on the paleolithic obsidian implements excavated at Wolseongdong, Daegu, Korea. The obsidians has a homogeneous glassy texture that can be observed in a typical obsidian formed from a rapid cooling of silicic magma. Major element composition of the obsidians represent calc-alkaline series. Comparing those with other obsidians from domestic local excavation sites, Mt. Baekdu, and Kyusu of Japan, the Wolseongdong obsidians show similar element distribution pattern with others in spite of small difference in trace and rare Earth element contents. Sr isotopes of the obsidians considerably differ from those of the obsidians from southern part of the Korean Peninsula or from Mt. Baekdu. K-Ar age is approximately 30 Ma, which is much older than Mt. Baekdu (10 Ma). Therefore, considering the characteristics of obsidians found in the Korean Peninsula including mineralogy, petrology, trace element, and isotopes chronology, the obsidians can be divided into four groups: Mt. Baekdu, southern part of Korea (Kyusu of Japan), middle part of Korea, and Wolseongdong region. These groups suggest a possibility of more than four different origins of the obsidians found in the Korean Peninsular.

Keywords: mineral, obsidian, stone implement, paleolithic, origin

요 약: 대구 월성동 출토 구석기 흑요석 석기는 광물, 암석 및 지구화학적 분석결과 마그마에서 급랭하여 생성된 균질한 유리질을 가지는 전형적인 흑요석에 속한다. 연구대상 흑요석의 주 구성성분은 규장질 유문암으로서 Calc-alkaline 계열에 속한다. 기존의 국내 출토지, 백두산, 일본 큐슈지방에서 출토된 흑요석과 연구 대상 지역의 흑요석에 대한 분석 결과를 비교했을 때 미량원소와 희토류 원소의 함량의 차이는 있으나 대부분 서로 유사한 원소분포 패턴을 보였다. Sr 동위원소 분석 결과 조사 대상지역의 흑요석이 우리나라 남부지방이나 백두산 기원의 흑요석과는 상당히 많은 차이를 나타낸다. K-Ar 연대 측정 결과 약 30 Ma로서 백두산 화산활동 시기인 10 Ma 보다 오래된 것으로 나타났다. 따라서 조사지역의 흑요석을 포함하여 한반도에서 발견되는 흑요석을 광물, 암석, 미량원소, 동위원소 및 연대 측정 등을 종합적해 볼 때 백두산지역, 일본큐슈와 한반도 남부지역, 한반도 중부지역 및 조사지역인 월성동 흑요석으로 4대분 할 수 있으며 이는 한반도에서 출토되는 흑요석의 기원지의 다양성을 시사하고 있다.

주요어: 광물, 흑요석, 석기, 구석기, 원산지

*Corresponding author: jangyd@knu.ac.kr

Tel: 82-53-950-5358

Fax: 82-53-950-5362

서 언

연구지역은 구석기 시대의 유적 및 유물이 출토된 대구광역시 달서구 월성동 월배지구 월드메르디아양 아파트 신축 단지이며, 출토된 구석기 유물은 흑요석, 혼펠스, 규암 등의 암석으로 구성되어 있다. 유물을 구성하고 있는 암석들 중에서 흑요석은 그 산출지역이 한정되어 있을 뿐 아니라 당시의 구석기인들의 생활에 사용된 중요한 도구로서 구석기인들이 주거지를 벗어나 이동할 때에도 반드시 소지하고 다닌 것으로 생각되는 중요 물품 중의 하나이다. 구석기 및 신석기 시대 유적에서 발굴되고 있는 흑요석에 관한 연구는 석기시대에 지역 간 교류관계 및 이동경로 등을 추정할 수 있는 귀중한 자료로 간주되어 왔다 (Shackley, 1998).

흑요석은 암석학적으로 SiO_2 함량이 많고 점성이 높은 마그마가 분출하는 동안 급격한 냉각에 의해서 생성된 유리질 암석이다. 흑요석의 색상은 대부분 검은색을 띠고 있으나, 회색, 붉은색, 녹색을 띠는 것도 발견되고 있다. 석기유물의 재료로 사용되는 전형적인 흑요석의 화학조성은 SiO_2 72~76wt%, Al_2O_3 10~15wt%, Na_2O 3~5wt%, K_2O 1~7wt%, FeO 1~1.8wt%, Fe_2O_3 0.5~2.6wt%, CaO 0~1.2wt% 등으로 구성되어 있다 (Faul and Wanger, 1971).

흑요석에 대한 연구는 그 산지의 규명과 생성 연대 측정이 주를 이루고 있으며, 흑요석의 산지특성을 시사 해 줄 수 있는 다양한 분석 방법들이 사용되고 있다. 연구 초기에는 산지 특성 연구방법으로 반사율, 색상, 밀도, 형태 등과 같은 물리적 성질을 이용하였으나 생성환경, 구성광물, 조직 등이 다양하게 나타나기 때문에 각 산지별로 신뢰성 있게 분류할 수 있는 결과를 얻지 못하여 주원소와 미량원소와 같은 화학적 특성을 이용하는 분류방법을 적용하고 있다 (Gale, 1981; Thorpe, 1995; Glascock et al., 1999; Poupeau et al., 2001; Constantinescu et al., 2002; Hall and Kimura, 2002; Kuzmin et al., 2002). 흑요석의 주 원소 함량을 이용한 산지특성분류를 할 경우 지역에 따른 성분변화 범위가 좁고 중첩되는 경향이 많기 때문에 각 출토지 별로 분류하는데 어려움이 많다. 이에 비하여 미량원소는 흑요석 원산지의 지질학적 특성에 따른 변화가 빈번하게 관찰되므로 그 활용잠재성이 크다고 할 수 있다. Shackley(1998)는 미국 남서부에서 출토된 흑요석들에 대한 미량원

소의 분석을 수행한 후 Ba, Sr, Zr, 및 Rb 등의 원소를 이용하여 상당히 의미 있는 원산지 추적에 성공한 바 있다. 미량원소는 마그마가 생성될 당시의 환경에 따른 원소 특성을 유지하므로 흑요석 중의 특정 미량원소는 특정 원산지를 가장 정확하게 지시해주는 인자가 될 수 있다. 그러나 원산지를 효율적으로 지시해 주는 인자는 지역에 따라 다를 수 있기 때문에 소수의 미량원소분석에 의존하기 보다는 다수의 미량원소를 정량 분석한 데이터를 통계 처리하여 원산지를 분류하는 것이 보다 효과적인 접근법으로 주장되고 있다.

한반도는 화산활동의 시기와 지리적인 분포가 제한적일 뿐 아니라 지질학적으로 비교적 안정된 지질구조로 인하여 백두산 외에 뚜렷하게 알려진 흑요석 산지는 현재까지 없으나 지질학적으로 불안정하고 활동적인 일본 화산열도에는 잘 알려진 흑요석 산지가 다수 분포하고 있다. 일본에서는 흑요석에 대한 지질학적 광물학적인 연구가 수행되어 축적된 방대한 자료를 바탕으로 흑요석에 대한 원산지 추정을 포함한 고고학적인 연구를 수행하여 일본 내의 각 지방간의 교류관계 및 한반도와의 관계 등 고대사에 대한 과학적이고 폭넓은 연구 결과를 발표하고 있다 (Higashimura and Warashina, 1990). 흑요석에 대한 다양한 학문분야의 연구를 통하여 각 흑요석별 원산지에 대한 데이터베이스를 구축하고 있는 일본에 비하여 우리나라의 흑요석에 대한 학제간 연구는 미진한 수준에 머물러 있는 실정이다 (조남철, 2005).

Fig. 1은 현재까지 한반도 중부지방에서 흑요석이 발굴된 유적지를 타나낸 것으로 구석기 시대의 유적지로는 강원도 양구읍 상무릉리, 강원도 홍천군 하화계리, 경기도 연천 전곡리, 충북 단양군 수양개, 충남 공주 석장리 등이 있으며, 신석기 시대의 유적지로는 강원도 양양 오산리 유적 등이 있다 (손보기, 1989). 이들 유적지에서 발견된 흑요석에 대한 구성광물, 화학조성, 연대측정 등 자연과학적 분석을 실시한 곳은 많지 않다. 자연과학적 분석을 통하여 산지의 분류를 시도한 대표적인 연구는 강원도 양구읍 상무릉리 유적 등에서 출토된 흑요석에 대한 중성자 방사화학 분석으로 여러 미량원소 중 Ba, Sr, Zr을 조사하여 상무릉리 유적을 포함하는 그룹에서 출토된 흑요석은 백두산 계열로 추론하였다 (손보기, 1989). 홍천 하화계리에서 발굴된 흑요석과 백두산에서 채집한 흑요석에 대하여 XRF 분석, 현미경 관찰, 미량원소 분석

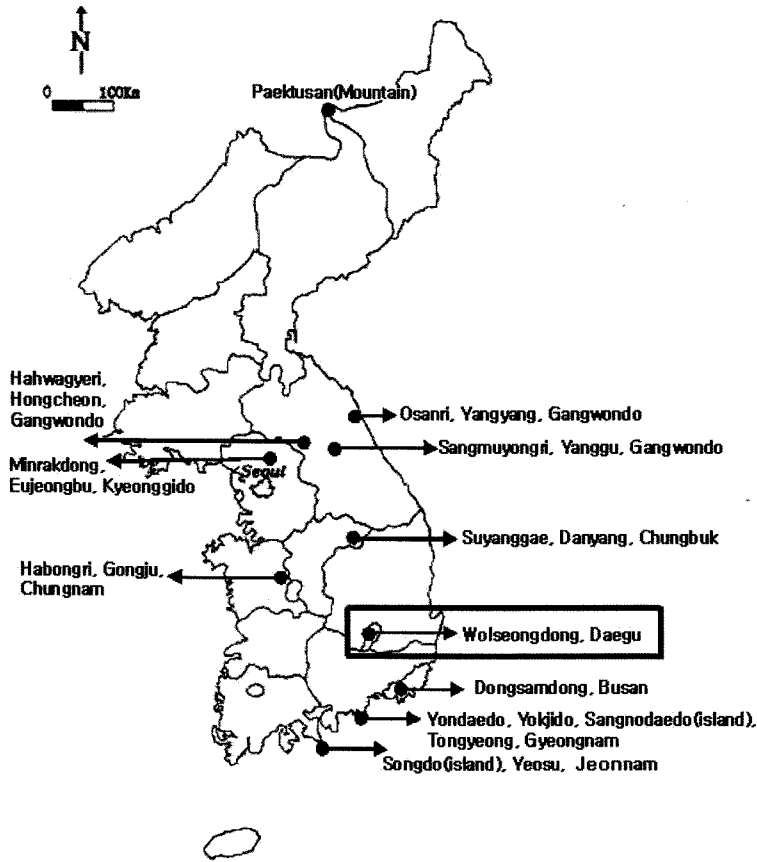


Fig. 1. Study area of Wolseongdong obsidian stone implements.

등의 연구를 수행하였으나 백두산 흑요석과의 유사성을 증명할 수 없었다(이동영 외, 1992; 이동영, 1998). Lee et al.(1990)은 한반도에서 출토된 여러 지방의 흑요석을 중성자방사화분석법으로 미량원소의 농도를 측정 후 이를 다변량 통계 분석법을 이용하여 몇 개의 흑요석 군으로 분류한 바 있다.

한반도에서 발견되는 흑요석은 백두산에서 기원하였을 것으로 추정되어 왔으나 흑요석 유물의 산출량이 많은 북한의 자료와 백두산에 대한 접근의 어려움과 남한에서 흑요석 석기에 대한 분석적인 연구의 미진에 따라 흑요석의 중요성은 인지되어 왔으나 그에 상응한 자연과학적인 연구의 축적이 부족하여 원산지를 비교할 수 있는 표준 분석기준이 설립되어 있지 못하다(하인수, 2001). 한반도 남부지역의 흑요석 연구는 일본 연구자들이 자국의 원산지 표준 분석기준에 근거하여 수행되어져 남부지역의 흑요석에 대하여 일본기원으로 주장되고 있다.

본 연구의 목적은 대구광역시 달서구 월성동에서 출토된 구석기 유물에 대하여 광물조성, 주원소와 희토류를 포함한 미량원소분석, 동위원소 및 연대측정을 통하여 흑요석의 산지를 추정하는 데 있다.

연구방법

본 연구에서는 대구광역시 달서구 월성동의 흑요석 암편(Fig. 2)에 대하여 광물 및 암석학적 분석을 바탕으로 한반도 중부지역, 한반도 남부지역, 백두산지역 및 일본 큐슈지역의 흑요석과의 상호관계를 파악하고자 대표적인 시료를 선택하여 다양한 자연과학적 연구 방법을 적용하였다.

선택된 5개의 흑요석 시료는 육안으로 거의 동일하고 출토된 흑요석을 대표할 수 있는 것으로 생각되는 시료가 선택되었는데, 시료는 그 크기가 동위원소와 미량원소 분석이 가능한 크기의 1번 시료를 포

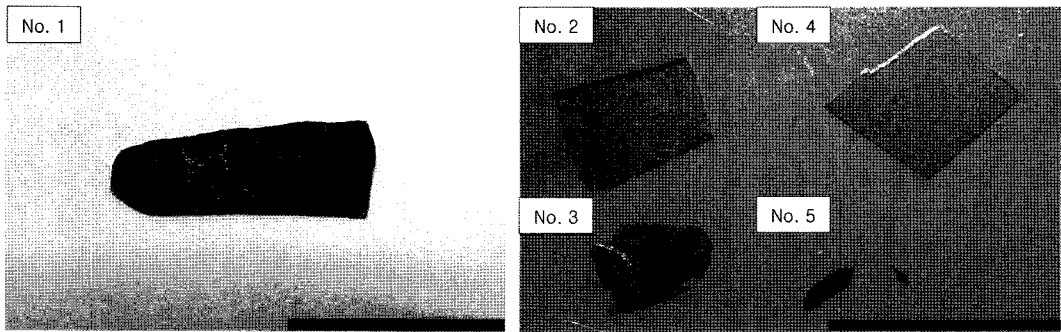


Fig. 2. Wolseongdong obsidian stone implement No. 1 (left) and carbon coated thin-section of the obsidian stone implements No. 2~5 (right). Length of scale-bar is 1 cm.

함하여 총 5개 시료를 선택하였다. 주원소 동위원소 및 미량원소 분석이 가능한 암석기재학적인 연구를 위해서 시편 및 연마박편을 제작하여 편광 및 실체 현미경 관찰을 실시하였으며, 흑요석의 미세구조 및 조직을 파악하기 위하여 모델 JSM-6300 주사전자현미경(SEM; Scanning Electron Microscope)분석을 수행하였다. 구성광물의 화학분석은 모델 EPMA1600 전자미세현미분석기(EPMA; Electron Micro Probe Analyzer)을 이용하여 분석하였다. 분석조건은 가속전압 15 kV, 전자빔의 크기 5 μ m, 빔 전류 20 nA를 사용하였으며, 분석치 보정은 ZAF를 이용하였다. 주사전자현미분석과 전자미세현미분석은 경북대학교 공동 실험실습관에서 수행되었다.

희토류를 포함한 미량원소를 분석은 Optima 4300DU 모델의 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS; Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)를 이용하였으며, Sr의 동위원소분석은 다검출기 고분해능 유도결합 플라즈마 질량분석기(Multi-collector High Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)를 이용하였다. 연대측정은 K-Ar 방법을 적용하였으며 불활성기체 질량 분석기는 전자 총

돌식 이온 발생 장치, 54 cm의 반경을 갖는 사반구형 전자석과 두 종류의 이온 검출기로 구성되어 있는 VG5400 모델을 이용하였다. 미량원소와 동위원소분석은 기초과학지원연구소에서 수행되었다.

암석 및 광물학적 특성

편광현미경, EPMA 및 SEM을 이용하여 구성광물의 동정 및 조직분석을 수행한 결과 월성동 흑요석은 마그마의 분출에 의한 급속한 냉각의 특성을 보여주는 전형적인 유리질 암석의 특성을 보여 주었다(Fig. 3A). 특징적인 조직이나 반정광물은 관찰되지 않았으며 대체로 아주 균질한 유리질로 구성되어 있다. 이와 같은 내부의 균질한 조직적인 특성에 비하여 SEM을 통하여 관찰된 외부는 독특한 풍화조직을 보여주었다(Fig. 3B). 인위적으로 절단한 신선한 면에서는 파쇄된 유리와 같은 전형적인 유리질 암석의 파쇄면을 보여주는데 반하여, 풍화가 진행된 면은 별레가 둥글게 갠 먹은듯한 특징적인 풍화조직이 나타난다(Fig. 3C).

암석기재학적인 연구결과 월성동 흑요석은 아주 균

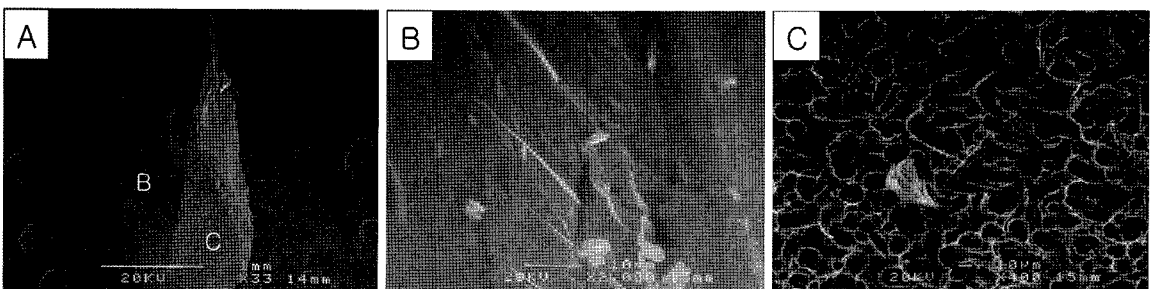


Fig. 3. SEM image of obsidian stone implement (A) with characteristic fresh (B) and weathered (C) parts.

Table 1. Major element analyses of Wolseongdong obsidian stone implements. Units are in wt%. FeO*; total FeO

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO*	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
Ob-2-1	74.63	12.72	0.1	1.36	0.08	0.04	0.52	2.60	5.12	97.16
Ob-2-2	74.24	12.72	0.18	1.46	0.07	0.01	0.52	2.54	5.15	96.88
Ob-2-3	74.05	12.72	0.12	1.32	0.07	0.03	0.51	2.66	5.12	96.59
Ob-3-1	74.16	12.7	0.11	1.43	0.07	0.05	0.50	2.06	5.10	96.18
Ob-3-2	75.65	12.85	0.15	1.24	0.06	0.00	0.60	2.96	5.18	98.69
Ob-3-3	75.53	12.67	0.10	1.13	0.06	0.03	0.59	2.57	5.1	97.79
Ob-3-4	75.33	12.76	0.12	1.33	0.05	0.05	0.49	2.57	5.08	97.77
Ob-3-5	74.49	12.77	0.1	1.15	0.06	0.04	0.46	2.72	5.12	96.91
Ob-4-1	75.06	12.73	0.15	1.29	0.06	0.04	0.52	2.63	5.12	97.59
Ob-4-2	74.89	12.73	0.05	1.49	0.07	0.01	0.53	3.04	5.10	97.91
Ob-4-3	75.70	12.67	0.14	1.45	0.07	0.08	0.53	2.58	5.08	98.30
Ob-5-1	76.27	12.72	0.14	0.93	0.05	0.00	0.46	2.52	5.15	98.24
Ob-5-2	76.87	12.80	0.12	1.20	0.05	0.04	0.50	2.74	5.18	99.49
Ob-5-3	75.60	12.76	0.17	1.29	0.06	0.05	0.48	2.61	5.05	98.08
Ob-5-4	76.41	12.85	0.06	1.09	0.04	0.06	0.44	2.96	5.06	98.97

질하고 반정이 거의 관찰되지 않았으나 편광현미경 하에서 관찰된 미세한 불투명 광물에 대하여 EPMA 분석을 수행한 결과 Ulvospinel과 Pyrrhotite로 밝혀졌다. 이들 불투명광물들은 결정의 크기나 발달 상태로 보아 마그마 내에서 결정이 형성되어 성장되었기 보다는 분출 도중 혹은 그 이후에 강한 결정화 성향으로 인하여 crystallite, microlite 등의 광물의 형태 또는 비정질과 결정질 사이의 단계의 embryonic 결정으로 추정된다.

연구 결과

주 원소

월성동 흑요석 석기의 주원소 함량을 분석한 결과 (Table 1), 월성동 흑요석 석기는 전형적인 흑요석의 주원소 함량을 가지며 분석된 4개의 흑요석 석기의 주원소 함량도 동일한 것으로 미루어 동일기원의 원산지에서 유래된 파편들인 것을 시사하고 있다. 주원소 중에서 가장 많은 부분을 구성하고 있는 SiO₂의

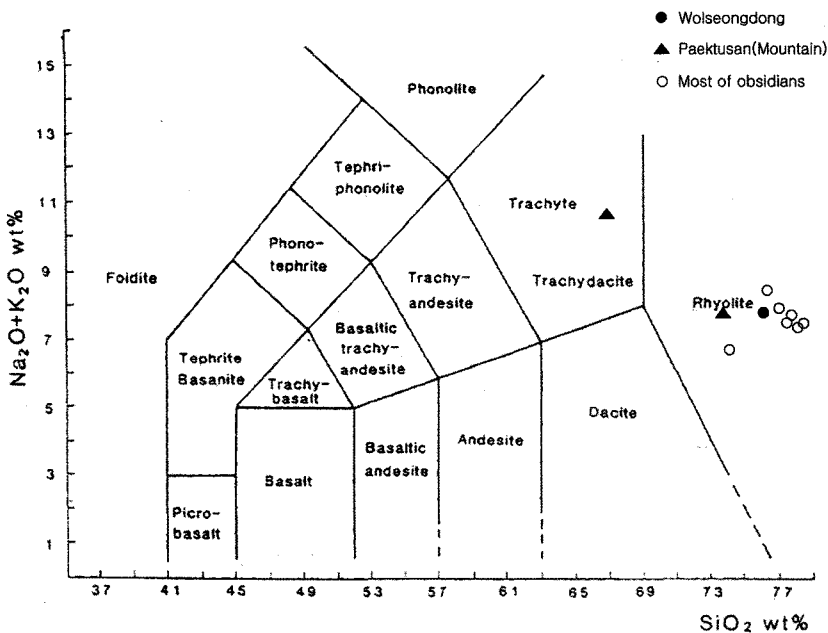


Fig. 4. Chemical classification of volcanic obsidians based on the TAS diagram (LeBas et al., 1986).

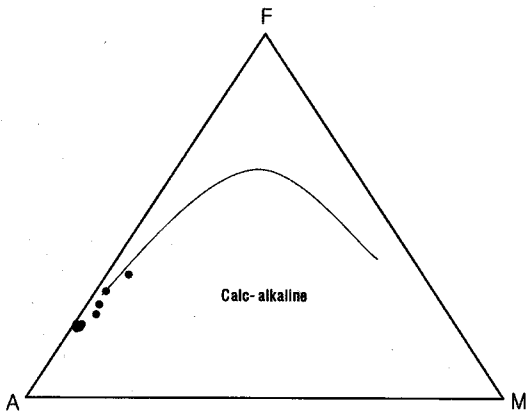


Fig. 5. AFM diagram of obsidian stone implements.

함량이 74 wt% 이상으로 규장질(felsic) 암석 계열에 속하며, 일반적으로 관찰되는 흑요석의 SiO₂ 함량인 72~76 wt%인 것에 잘 부합한다. SiO₂와 알칼리(Na₂O + K₂O)의 함량에 근거한 Le Bas et al.(1986)의 화산암 분류안에 따라 암석명을 분류하면 월성동 흑요석 석기는 전형적인 유문암 영역에 속함을 알 수 있다 (Fig. 4). 이 분류안에 따르면 유문암 뿐 만아니라 조면석영안산암질의 암석도 함께 보고되는 백두산 흑요석에 비하여 제한된 성분 영역에 속한다. 월성동 흑요석 석기를 형성한 마그마의 계열을 알칼리 원소, 철 및 마그네슘 성분의 상대적인 농집을 이용한 AFM 다이어그램을 이용하여 분류하면 다른 유문암들을 형성한 마그마와 동일하게 분화 말기의 Calc-alkaline계열에 도시된다(Fig. 5).

미량원소

암석 내에 1000 ppm 이하로 존재하는 원소인 미량 원소는 독특한 지구화학적 특성으로 인하여 기원마그마에 밀접한 영향을 받으므로 주원소에 비하여 암석의 기원지에 대하여 유용한 정보를 제공한다. 특히 희토류는 마그마의 진화에 큰 영향을 받지 않으므로

그 분포 특성은 흑요석의 지질학적인 기원지 추정에 대한 중요한 정보를 제공한다(이선복과 이용일, 1996). 월성동 흑요석 석기의 미량원소와 희토류 원소의 함량과 분포특성을 연구한 결과(Table 2, Fig. 6), 기존의 흑요석 분석치와 원소분포특성에 있어 다음과 같은 특성이 관찰된다. 희토류 분석치를 운석의 희토류 값을 이용하여 표준화 시켜보면, 운석 값에 비하여 국내 흑요석의 희토류의 상대적인 함량의 차이는 있으나 원소구성패턴은 유사한 것으로 유사한 마그마 진화과정을 겪었음을 시사하고 있다. 또한 희토류 원소들 중에서 Eu가 상대적으로 결핍된 양상을 보이고 있는데 기원마그마의 진화과정에서 사장석의 결정분화에 의한 영향임을 시사하고 있다. 조사지역의 흑요석을 비롯하여 양양, 홍천, 의정부 및 공주 지역의 흑요석이 유사한 Eu 결핍 경향을 보이고 있다.

동위원소

마그마의 진화 과정의 특성에 따라 미량원소는 그 함량과 상대적인 분포양상이 변화될 수 있다. 이에 반하여 화학적인 성질이 동일한 동위원소는 마그마의 결정분화 등 마그마 진화에 의한 변이가 발생하지 않으므로 마그마의 기원지에 대해 명확한 정보를 제공하므로 월성동 흑요석 석기에 대하여 Sr 동위원소비(⁸⁷Sr)를 분석하였다. 분석한 Sr 동위원소비와 기존의 연구결과를 ⁸⁷Sr비와 Sm 값을 기준으로 분류한 결과 흑요석의 마그마 기원지가 4가지 그룹으로 대부분 되는 경향을 보이고 있다(Table 3, Fig. 7). 첫째, Sr 동위원소비는 낮으나 Sm 값이 높은 백두산 흑요석, 둘째, Sr 동위원소비와 Sm 값이 낮은 경남 통영 연대도, 옥지도, 상노대도와 부산광역시 동삼동, 전남 여수시 송도 등으로 한반도 남부지방이 여기에 속하며 일본 규수 지역의 흑요석이 동일한 양상을 보이고 있다. 셋째, Sr 동위원소비와 Sm 값이 모두 높은 충북 단양군 수양개와 강원도 양구읍 상무릉리로서 한반도 중부지역에 해당한다. 넷째, Sr 동위원소비는

Table 2. Trace element analyses of Wolseongdong obsidian stone implements. Units are in ppm

Ba	Sr	Cr	Li	Sc	V	Zn	Zr	Co	Ni	Cu	Rb	Y	Nb
84.4	15.7	9.3	27.2	2.9	2.3	60	150	557	23	2.6	126	16.3	9.7
Mo	Sn	Sb	Cs	Hf	Ta	Pb	Th	U					
2.3	5.3	0.2	0.8	6.3	2.7	10.3	6.5	1.5					
La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
18.71	30.62	4.48	16.60	3.50	0.13	3.03	0.52	3.16	0.62	1.78	0.26	1.65	0.23

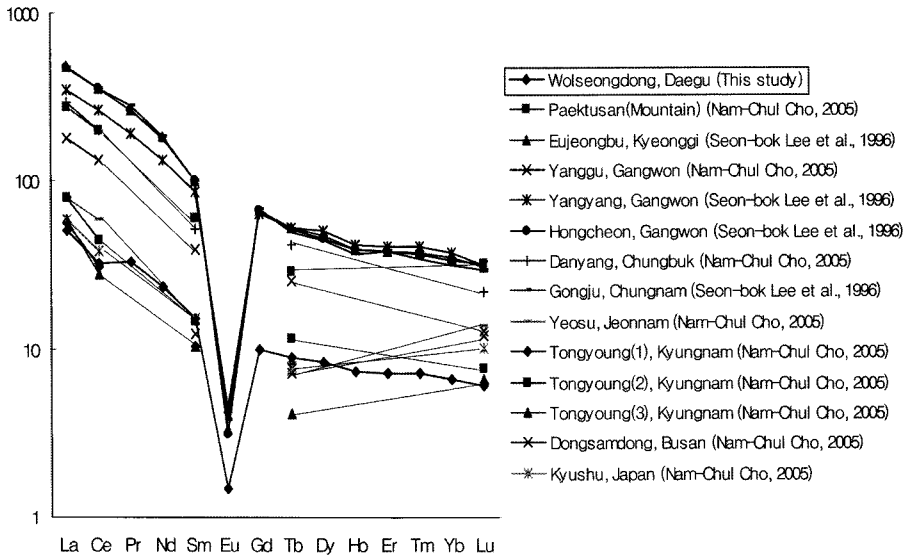


Fig. 6. Chondrite normalized REE diagram of Wolseongdong obsidian stone implement.

Table 3. Sr isotopic analyses of Wolseongdong obsidian stone implement

Sample number	^{87/86} Sr	2s Standard Error
Ob-5-b	0.706092	0.000011

높으나 Sm 값이 낮은 연구지역인 월성동의 흑요석 석기가 이에 해당한다. 동위원소 분석결과 연구지역 흑요석은 지리적으로 남부지방에 근접하나 Sr 동위원소비는 중부지방과 유사한 반면 Sm 값은 남부지역에 근접하는 독특한 특성을 보여주고 있다. 위와 같은 동위원소의 특징은 한반도에 4가지 기원의 흑요석이 존재하고 있음 것을 시사하고 있다.

K-Ar 연대

흑요석은 마그마가 급격하게 냉각되어 형성되므로 암석의 구성원소 중 방사성 원소인 ³⁹K가 불활성 기체인 ³⁹Ar로 변화되는 특성을 이용한 K-Ar 연대측정이 용이하다. 연구지역의 흑요석의 K-Ar 연대 분석을 수행한 결과 27.93±0.75 Ma로 연구되었다(Table 4). 백두산의 분출 시기는 10~2 Ma 전으로 추정되므로 월성동의 흑요석은 백두산 기원의 흑요석을 생성한 화산활동보다 고기의 화산활동의 산물임을 시사하고 있다.

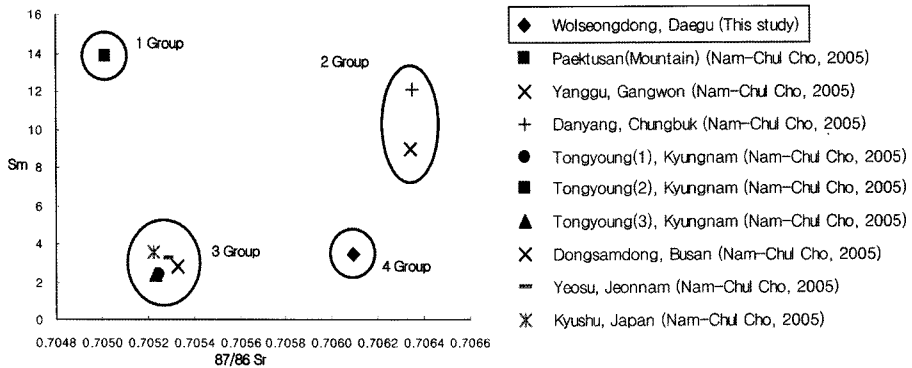


Fig. 7. Bivariate plot of ^{87/86}Sr versus Sm of Wolseongdong obsidian stone implement.

Table 4. K-Ar age dating of Wolseongdong obsidian stone implement

Sample number	Ob-5-b
K (wt%)	3.744
wt (g)	0.0075
⁴⁰ Ar radiogenic (10 ⁻⁸ ccSTP/g)	409.02
uncertainty	7.37
³⁶ Ar (10 ⁻¹⁰ ccSTP/g)	6736.67
uncertainty	5.08
Age (Ma)	27.93
uncertainty	0.75
Air (%)	97.99

고찰 및 제언

대구광역시 달서구 월성동에서 출토된 흑요석 석기에 대하여 암석 기재학적인 연구와 암석 및 광물화학적 연구를 수행하여 흑요석의 원산지를 규명하고자 시도하였다. 조사된 시료의 수가 적어 우리나라의 흑요석의 일반적인 특징을 대변하기에는 무리가 있으나 현재까지 연구된 흑요석 자료와 비교하여 볼 때 상당히 의미 있는 사실들이 도출되었다. 구성광물 혹은 조직에 있어 원산지를 규명하는 요소가 될 수 있는 특성은 관찰되지 않았다. 흑요석 석기의 암석 화학적인 특성 분석 결과는 연구지역의 흑요석의 주원소 함량이 한반도 중부지역, 한반도 남부지역, 백두산과 일본 큐슈지방의 흑요석 성분과 유사하였다. 주원소의 함량은 동일한 마그마 기원이 아니더라도 결정분화 등의 마그마의 진화 과정의 특성에 따라 유사한 조성분의 암석이 생성될 수 있으므로 주원소의 동일한 양상이 반드시 동일한 원산지를 지시하지는 않는다. 이에 비하여 희토류 원소를 포함한 미량원소는 주원소에 비하면 보다 신뢰성 있는 마그마의 기원에 대한 특성을 지시해 줄 수 있는데 연구지역의 흑요석의 희토류는 한반도에서 발견되는 다른 흑요석과 유사한 원소분포양상을 보이고 있어 유사한 결정분화 과정을 겪었음을 간접적으로 시사하고 있다. 마그마의 결정분화 등 마그마의 진화에 의한 추가적인 변이가 발생하지 않아 마그마의 기원에 대한 보다 명확한 정보를 제공하는 Sr 동위원소 분석 값은 대구광역시 달서구 월성동의 흑요석 석기가 한반도 중부지역, 한반도 남부지역, 백두산과 일본 큐슈지방의 흑요석과는 다른 결과를 나타낸다. 또한 연구지역의 흑요석의 생성 연대가 백두산 화성활동 시기보다 훨씬 고기의 값을 가지고 있다. 주원소와 미량원소의

분석결과는 연구지역 흑요석의 원산지를 분류하는 것에 있어서 명확한 결과를 보여주고 있지 못하는데 반하여, 동위원소와 연대측정 분석은 연구지역 흑요석의 원산지를 규명하는데 있어서 중요한 자료로 제공하고 있다. 따라서 주원소, 미량원소, 동위원소 및 연대측정값을 종합하여 연구지역을 포함한 흑요석을 한반도 중부지역, 한반도 남부지역, 백두산 지역 및 연구지역으로 4가지 그룹으로 분류하여도 무방하다고 생각된다.

현재까지 우리나라의 흑요석 산지로 백두산 지역일 것으로 추정되어 왔는데 한반도 중부지방의 구석기 유적에서 발굴된 흑요석의 경우 백두산의 흑요석과 구성 성분이 유사하므로 동일 산지로 추정되어 왔다. 흑요석은 그 성분적인 특성에 기인하여 산지가 다르더라도 유사한 성분을 가질 수 있으므로 주원소와 미량원소의 함량은 서로 유사하다라도 동위원소 분석 결과에 따라 원산지가 다를 수 있다. 연구지역의 흑요석을 비롯하여 강원도 양구읍 상무릉리와 충북 단양군 수양개에서 출토된 흑요석 석기들은 주원소와 미량원소는 백두산 흑요석과 유사하나 동위원소 혹은 형성연대가 일치하지 않으므로 그 기원이 동일하다고 주장하기에는 무리가 따른다. 구성 암석이 현무암에서 조면암에 이르는 다양성을 지니는 백두산의 흑요석에 대한 연구의 부족과 분석된 백두산 시료의 대표성에 대한 의문이 있으므로 백두산의 흑요석에 대한 보가 많은 연구가 진행되어야 정확한 원산지 관계를 규명할 수 있을 것으로 생각된다.

한반도 남부지역에는 부산시 동삼동 패총을 비롯하여 경남 통영 연대도, 옥지도, 상노대도와 전남 여수시 송도 등 많은 유적지에서 출토된 일부 흑요석의 원산지에 대한 연구 결과, 일부 신석기 유적에서 출토된 흑요석의 원산지는 일본 큐슈지역으로 주장되고 있다. 본 연구 결과에 따르면 대구광역시 달서구 월성동의 흑요석 석기는 생성 연대에 있어 백두산 화성활동시기와 불일치하며 동위원소의 특성이 일본 큐슈지역과 일치하지 않으므로 백두산이나 일본 큐슈지역으로부터 온 것이 아닐 뿐만 아니라 한반도 중부지역의 흑요석의 원산지와도 그 특성이 다르다.

지금까지 발표되고 있는 흑요석의 원산지 관련 내용들은 유물의 회귀성과 유물훼손의 난점에 기인하여 소수의 시료를 대상으로 제한된 분석법을 적용한 것이 대부분이다. 따라서 흑요석의 원산지에 대한 보다 신뢰성 있는 연구가 도출되기 위해서는 다수의 시료

를 대상으로 다양한 분석방법을 적용해야 될 것으로 생각된다. 본 연구의 특징은 대구광역시 달서구 월성동 흑요석을 다양한 자연과학적인 연구방법을 사용하여 체계적으로 분석한 것으로 앞으로 구축될 흑요석 원산지에 대한 종합적인 데이터베이스화의 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

결 론

대구광역시 달서구 월성동 흑요석 석기의 암석기재학적인 연구와 광물 및 암석화학적 연구를 바탕으로 연구지역 흑요석 석기와 기존의 충북 단양군 수양개, 경남 통영군 연대도, 옥지도, 상노대도와 부산 동삼동, 강원도 양구읍 상무릉리, 전남 여주시 송도 그리고 백두산과 일본 큐슈지방에서 출토된 흑요석의 분석결과를 암석 화학적인 방법으로 연구하고 비교하여 원산지를 분류한 결과는 다음과 같다.

1. 대구광역시 달서구 월성동 흑요석 석기를 편광현미경, EPMA 및 SEM을 이용하여 구성광물과 조직을 조사한 결과 연구지역 흑요석은 마그마의 분출에 의한 급속한 냉각의 특성을 보여주는 전형적인 유리질 암석의 특성을 가지며 주목할 만한 조직이나 반정광물은 관찰되지 않았다.

2. 월성동 흑요석은 아주 균질하고 반정이 거의 관찰되지 않았으나 결정의 크기나 발달 상태로 보아 마그마 내에서 결정이 형성되어 성장되었기 보다는 분출 도중 혹은 그 이후에 형성된 광물로 추정되는 *Ulvospinel*과 *Pyrrhotite* 미정이 관찰되었다.

3. 주성분을 이용하여 연구지역의 흑요석을 암석 화학적으로 분석한 결과 유문암에 속하며, *Calk-alkaline* 계열의 마그마에 분류되었다.

4. 희토류를 포함한 미량원소는 연구지역의 흑요석이 한반도 내의 다른 지역과 비교 할 때 절대적인 함량의 차이는 있으나 유사한 원소구성패턴을 띠고 있으므로 동일한 마그마 기원 여부를 판단 할 수 없었으므로 원산지를 단정할 수 없다.

5. Sr 동위원소 분석 값은 연구지역의 흑요석 석기가 한반도 남부지역, 백두산과 일본 큐슈지방의 흑요석과는 확연한 차이를 보이고 한반도 중부지역에 가깝게 나타낸다. 연구지역 흑요석의 K-Ar 연대는 백두산의 화성활동보다 고기에 형성된 것으로 판단된다.

6. 연구지역 흑요석의 암석, 광물, 주원소, 미량원소, Sr 동위원소 및 K-Ar 연대 분석 결과를 종합하

면 연구지역의 흑요석은 백두산이나 일본 큐슈지역과 일치하지 않으므로 한반도 내의 아직 밝혀지지 않은 흑요석 산지에서 유래하였거나 구석기인의 이동이나 교류 등으로 인해서 한반도 밖에서 들어온 것으로 사료된다.

사 사

본 논문의 질적 향상에 좋은 조언을 해주신 조규성 교수님과 익명의 심사위원께 진심으로 감사드립니다. 한국 기초과학지원연구원의 실험분석 지원에 감사사를 드립니다.

참고문헌

- 손보기, 1989, 상무릉리에서 발굴된 흑요석의 고향에 대하여. 상무릉리, 강원대학교 박물관, 781-796.
- 이동영, 김주용, 한창균, 1992, 홍천 하화계리유적의 지형 및 지질. 중앙고속도로 건설구간 내 문화유적발굴조사 보고서, 247-260.
- 이동영, 1998, 흑요석 석기유물에 대한 분석과 원산지 해석. 고고학연구방법론, 학연문화사, 240 p.
- 이선복, 이용일, 1996, 흑요석 석기의 지화학적 특성에 대한 예비고찰. 한국고고학보, 35, 173-187.
- 조남철, 2005, 성분분석, 미세조직 및 자기적 특성에 의한 한반도 흑요석의 분류 연구. 강원대학교 박사학위논문, 107 p.
- 하인수, 2001, 신석기시대 대외교류 연구. 부산박물관 박물관연구논집, 8, 1-40.
- Constantinescu, B., Bugoi, R. and Sziki, G., 2002, Obsidian provenance studies of Transylvania's Neolithic tools using PIXE, micro-PIXE and XRF. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B 189, 373-377.
- Faul, H. and Wagner, G.A.. 1971, Fission track dating. In Michael, H.N. and Ralph E.K. (eds.), Dating Techniques for the Archaeologist. MIT Press, USA, 152-156.
- Gale, N.H., 1981, Mediterranean Obsidian Source Characterization by Strontium isotope Analysis. Archaeometry, 23, 41-51.
- Glascok, M.D., Kunselman, R. and Wolfman, D., 1999, Intrasource Chemical Differentiation of Obsidians in the Jemez Mountains and Taos Plateau, New Mexico. Journal of Archaeological Science, 26, 861-868.
- Hall, M. and Kimura, H., 2002, Quantitative EDXRF Studies of Obsidians Sources in Northern Hokkaido. Journal of Archaeological Science, 29, 259-266.
- Higashimura, T. and Warashina, T., 1990, Sourcing of Archaeological Stone Implements by Means of X-ray

- Fluorescence Analysis. Reprint from Annual Reports of the Research Reactor Institute, Kyoto University, 23, 124-143.
- Kuzmin, Y.V., Glascock, M.D., and Sato, H., 2002, Sources of Archaeological Obsidian on Sakhalin Island (Russian Far East). *Journal of Archaeological Science*, 29, 741-749.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., and Zanettin, B., 1986, A Chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Lee, C., Czae, M.Z., Kim, S., Kang, H.T., and Lee, J.D., 1990, A Classification of Obsidian Artifacts by Applying Pattern Recognition to Trace Element Data. *Bulletin Korean Chemistry Society*, 11, 450-455.
- Poupeau, G., Scorzelli, R.B., Rossi, A.M., and Cernicchiario, G., 2001, Obsidian Provenance Studies from Structural Properties. *International Association for Obsidian Studies Bulletin*, 28, 2-6.
- Shackley, M.S., 1998, A Systematic Approach to Obsidian Source Characterization, *Archaeological Obsidian Studies-Method and Theory*. Plenum Press, New York, 18.
- Thorpe, O.W., 1995, Review Article-Obsidian in the Mediterranean and the Near East: A Provenancing Success Story. *Archaeometry*, 37, 217-248.

2007년 8월 13일 접수
2007년 9월 15일 수정원고 접수
2007년 9월 28일 채택