

성분분석 및 자기적 특성에 의한 한반도 흑요석의 분류 연구

조남철 | 박용희* | 도성재* | 강형태 | 남인택**

국립중앙박물관 보존과학실

*고려대학교 지구환경과학과

**강원대학교 신소재공학과

Classification of Obsidian Artifacts found in the Korean Peninsula by Chemical Compositions and Magnetic Properties

Nam-Chul Cho | Yong-Hee Park* | Seong-Jae Doh* | Hyung-Tae Kang | In-Tak Nam**

Conservation Science Laboratory, National Museum of Korea, Seoul, 140-026, KOREA

*Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul, 136-713, KOREA

**Department of Advanced Materials Science and Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Kangwon-do, 200-701, KOREA

초록 우리나라 구석기 및 신석기 유적에서 출토된 흑요석 그리고 백두산과 일본 Kyushu 지방에서 입수된 흑요석 원석 등 총 64점에 대하여 주요성분, 미량성분 및 자기적 특성을 이용하여 산지별로 분류하였다. 주요성분 중 Al_2O_3 , CaO, Na_2O+K_2O 의 농도값을 사용하여 흑요석을 분류한 결과 대부분의 흑요석이 Subalkaline 계열이었다. 또한 흑요석을 주요성분 및 미량성분 함량을 사용한 통계적 분류 결과 세 개의 그룹을 형성하였다. 이러한 결과는 각 그룹간의 상관관계가 없으며 산지가 다를 것을 의미한다. 자기적 특성을 이용한 산지분류에서는 각 지역별로 정확하게 그룹을 이루지 않았으나, 대지율과 포화등온잔류자화의 이변량분석에서는 주요성분 및 미량성분을 이용한 산지분류와 유사한 결과를 얻었다.

Abstract Provenance discrimination of sixty four obsidian artifacts found in the Korean Peninsular has been carried out using major elements, minor elements and magnetic properties. Most of obsidians in this study were classified into the subalkaline series based on the contents of Al_2O_3 , CaO and Na_2O+K_2O in samples. Provenance & obsidians were classified into three major groups using major elements and minor elements analyse. This result suggests that there are no correlations among the three groups whose provenances are different. Although the magnetic properties of obsidians do not yield clear groupings according to the archaeological site, the bivariate plot for the magnetic susceptibility and the saturation isothermal remanent magnetization shows a rough correlation with the results of major and minor elements analyses.

I. 서론

흑요석은 화산활동에 의해서 생성된 유리질 암석을 말한다. 선사시대에는 흑요석을 원석으로 뿐만 아니라 화살촉, 칼, 거울 등과 같은 다양한 종류의 용품을 제조하는데도 이용하였다. 그러므로 선사시대의 흑요석은 육지나 바다를 통해서 먼 거리까지 교류한 초기 물품이었으며, 또한 현재 선사시대 발굴지에서 많이 발굴되어

고 있으므로 흑요석 연구는 선사시대에 지역간 교류관계 등을 알아볼 수 있는 귀중한 자료이다.

현재까지 알려진 흑요석의 개략적인 주요성분의 조성은 SiO_2 70-75wt%, Al_2O_3 10-15wt%, Na_2O 3-5wt%, K_2O 2-5wt% 그리고 철산화물은 1-5wt% 정도를 보이고 있다⁽¹⁾. 이러한 주요성분은 흑요석을 화학적으로 분류하여 지역별 차이를 알아보고자 할 때 많이 이용된다⁽²⁾. 그러나 이러한 주요성분을 이용하여 산지분류

를 실시할 경우 지역간에 차이가 적어 중첩되어지는 것들이 많아 각 출토지별로 분류하는데 어려움이 많다. 그러나 1wt%이하로 들어있는 미량성분의 경우는 각 산지별 지질학적인 특성에 따라 크게 영향을 받으므로 산지 사이를 구분할 수 있는 미량성분이 존재하게 된다⁽¹⁾.

지금까지 흑요석에 대한 산지분류 연구는 주로 중성자방사화분석(neutron activation analysis, NAA), X선형광분석(x-ray fluorescence analysis, XRF) 등을 이용한 미량성분 분석을 통하여 이루어져 왔다. 그러나 대부분 화학분석이나 X-선을 이용한 분석방법들은 직·간접적으로 유물에서 시료를 채취해야 하는 어려움이 있다. 특히 분석하는 시료가 귀중한 유물일 경우에는 파손되어지지 말아야 하므로 비파괴적인 분석이 필수적으로 요구된다. McDougall et al.⁽³⁾, Vasquez et al.⁽⁴⁾ 등은 비파괴적인 분석방법으로 자기적 특성(예, 대자율(magnetic susceptibility), 자연잔류자화(natural remanent magnetization, NRM), 포화등온잔류자화(saturation isothermal remanent magnetization, SIRM))를 측정하여 산지분류에 응용한 바 있다.

본 연구에서는 각 출토지별 흑요석의 주요성분을 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)-에너지분산형분석기(energy dispersive spectroscopy, EDS)로 분석하여 흑요석의 화학적 차이를 알아보았으며, 미량성분을 NAA로 분석하여 산지별 분류를 실시하였다. 그리고 흑요석의 자기적 특성을 바탕으로 한 산지 분류결과와 상호 비교하였다.

II. 분석대상 시료 및 분석방법

1. 분석대상 시료

본 연구에서 분석된 흑요석 시료는 9개 지역으로부터 출토되었으며, 총 64점에 대하여 산지분류를 실시하였다. 시료목록은 Table 1과 같다.

2. 분석 방법

1) 주요성분 분석(major elements analysis)

각 흑요석의 주요성분은 작은 편(片)들로 이루어진

흑요석들을 EPOXY수지로 마운팅(mounting)한 후 연마지 #200, 500, 1000, 2000, 4000을 사용하여 흑요석 표면에 흠집이 없을 때까지 연마한 후 SEM(Jeol사, JSM-5910LV)-EDS(Oxford, INCAEnergy)를 이용하여 주요성분의 농도를 측정하였으며, 분석조건은 가속전압 20KV, 측정시간 120초, spot size 50 μ m이다. 시료를 측정하기 전에 항상 보정용 구리(99.9wt%)를 먼저 측정하여 각각의 분석 시료가 동일한 조건이 적용 되도록 하였다.

2) 미량성분 분석(minor elements analysis)

분석 시료의 표면을 아세톤과 묽은 질산으로 세척한 후, 증류수에 담가 씻어 주었다. 표면에 남아있는 수분을 없애기 위해 110 $^{\circ}$ C의 온도에서 2시간 동안 완전 건조하였으며, 완전 건조된 시료들을 텅스텐 카바이드제 날로 약 100-200mg정도로 자른 후 수습하여 분말화하였다. 분말시료 중 40mg을 정확하게 칭량한 다음 폴리에틸렌 바이알에 넣어 밀봉하였다.

방사화 작업은 대전 한국원자력연구소 하나로(maximum thermal neutron flux of HANARO, 5×10^{14} n/cm 2 ·sec)의 기송관 및 회전식 시료대를 이용하였고, 시료는 Power 20MW(1.7×10^{13} n/cm 2 ·sec)의 중성자속에서 표준시료와 함께 10시간 조사되었다.

분석은 HPGe Semiconductor Detector가 연결된 8,000채널의 감마선계측기(EG&G ORTEC사, Dual amp 855)를 이용하였고, 중성자 간섭으로 인해 중첩된 peak들을 제외하고, 검출 효율이 좋으며, peak 면적이 높게 나타나는 10개의 원소를 분석하였다.

3) 자기적 특성 분석(magnetic properties analysis)

자기적 특성 분석에 사용한 흑요석의 경우 시편의 크기가 작고, 불규칙하므로, 각 시료를 표준 규격통(25 \times 25 \times 19mm)에 넣은 후 측정시 시료의 진동을 방지하기 위하여 파라핀으로 각 시료를 고정시켰다. 측정된 각 시료의 대자율 및 잔류자화 값은 각 시료의 무게로 나누어 표준화하였다. 본 연구에서 사용된 자기적 특성은 자연잔류자화(NRM), 포화등온잔류자화(SIRM), 대자율 등이다. 자연잔류자화와 포화등온잔류자화의 측정은 회반자력계(Molspin사, Minispin)를 이용하였으며, 대자율은 대자율 측정기(Bartington사, MS2)로 측정하였다.

포화등온잔류자화의 획득은 Impulse Magnetizer(ASC Scientific사, IM-10)를 이용하여 시료에 1000mT의 직류자기장을 가하여 이루어졌다.

III. 분석 결과

1. 주요성분에 의한 흑요석 분류

1) 화학적 분류

Table 1에는 각각의 시료들에 대한 주요성분의 농도를, Table 2에는 각 주요성분의 농도에 대한 산지별 평균, 표준편차, 변동계수를 나타내고 있다. 흑요석을 화학적으로 분류할 경우 Al_2O_3 , CaO, Na_2O+K_2O 의 농도에 따라서 Peralkaline, Subalkaline, Peraluminous, Metaluminous로 분류되어진다⁽²⁾. Peralkaline은 Al_2O_3 의 농도보다 Na_2O+K_2O 의 농도가 더 클 경우를 말하며, Subalkaline은 Al_2O_3 보다 Na_2O+K_2O 의 농도가 더 적을 경우를 말한다. 또한 Peraluminous는 $CaO+Na_2O+K_2O$ 의 농도보다 Al_2O_3 의 농도가 훨씬 많을 경우를 말한다. 그리고 Metaluminous는 Al_2O_3 의 농도가 $CaO+Na_2O+K_2O$ 의 농도보다 적을 경우를 말한다⁽²⁾.

연구대상 흑요석들을 Al_2O_3 , CaO, Na_2O+K_2O 로 분류하여 나타낸 것이 Fig. 1이다. 이번에 분석된 흑요석 시료들의 경우 대부분이 Subalkaline 계열에 해당되며

크게 네 개의 그룹으로 나뉘어진다(Fig. 1). 우선 A그룹은 강원도 양구읍 상무릉리에서 출토된 시료들(No. 48, 50)로서, Na_2O+K_2O+CaO 의 농도가 Al_2O_3 의 농도에 비하여 훨씬 적으므로 Subalkaline이 아닌 Peraluminous 계열의 흑요석인 것으로 보인다. 또한 B 그룹은 일본 Kyushu 지방에서 출토된 시료들(No. 24, 25, 26)이다. Subalkaline 계열의 흑요석이지만 CaO의 농도가 다른 흑요석들에 비하여 높으며, K_2O 의 농도는 다른 흑요석에 비하여 적은 것이 특징이다. C그룹은 이번에 분석된 흑요석들 중 대부분이 해당되 Subalkaline 계열의 흑요석들이다. 한편 D그룹은 충북 단양군 수양개 유적에서 출토된 시료들(No. 5, 7, 10)로 별개의 그룹을 이루고 있다. 이는 다른 그룹에 비하여 Al_2O_3 , CaO의 농도가 작기 때문에 나타나는 것으로 보인다. 즉 A, B, C, D 그룹의 경우 화학적 주요성분의 차이가 크므로 서로 다른 부류의 흑요석들로 분류되며 있으며, 이는 근본적으로 각 그룹의 흑요석들의 산지가 서로 다름을 의미한다.

2) 주성분분석(principal component analysis, PCA)

주성분 분석법은 다변량 통계분석법의 하나로 분석된 시료들간에 유사한 성질을 갖는 그룹들을 분류하고 상호간의 관계성을 확인하기 위하여 실시된다. 또한 토기, 자기, 흑요석과 같은 무기질 원료로 만들어져 있으나 각 시료간의 출토지가 확실하지 않을 경우 분석한 데이터로부

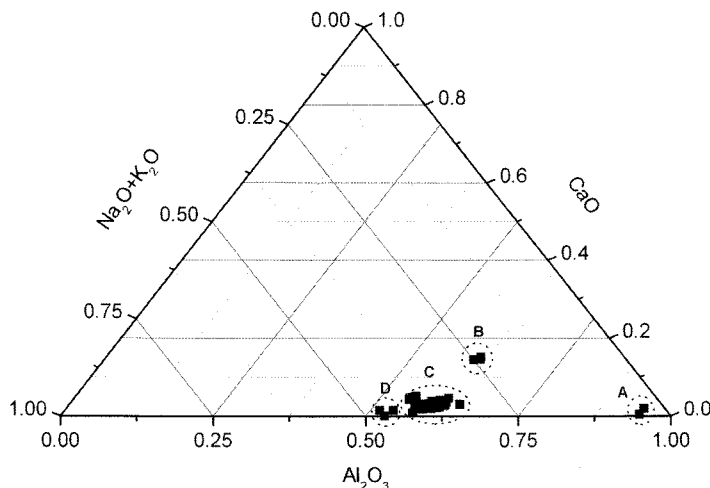


Fig. 1. Chemical classification according to major elements.

Table 1. Obsidian artifacts and raw material found in the Korean Peninsula

Specimen No.	Site	Age	Concentration(wt%)										Concentration(ppm)									
			Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	MnO	FeO	Sm	La	Ce	Sc	Cs	Hf	Lu	Rb	Tb	Sb	
1(2)*	Suyanggae, Danyang, Chungbuk	Paleolithic	3.4	0.3	12.3	76.7	5.0	0.5	0.2	0.02	1.5	7.0	61.9	96.3	1.0	3.4	7.6	0.5	252	1.5	0.0	
2(3)	Suyanggae, Danyang, Chungbuk	Paleolithic	3.4	0.3	12.2	76.8	5.1	0.5	0.1	0.1	1.5	8.1	52.3	89.1	1.0	2.3	7.3	0.5	218	1.4	0.0	
3(4)	Suyanggae, Danyang, Chungbuk	Paleolithic	3.3	0.2	12.3	76.8	4.8	0.6	0.3	0.3	1.4	6.7	55.1	92.7	0.9	2.9	7.6	0.4	263	1.2	0.0	
4(5)	Suyanggae, Danyang, Chungbuk	Paleolithic	4.8	0.1	10.2	75.5	4.2	0.0	0.2	0.1	4.9	26	213	400	0.4	6.2	5.1	1.7	541	5.2	0.2	
5(6)	Suyanggae, Danyang, Chungbuk	Paleolithic	3.0	0.2	12.4	76.8	5.0	0.6	0.1	0.2	1.7	6.5	60.3	16.0	1.1	3.2	8.4	0.6	235	1.5	0.5	
6(7)	Suyanggae, Danyang, Chungbuk	Paleolithic	4.5	0.2	10.3	75.3	4.1	0.3	0.3	0.1	4.9	23	222	408	0.4	6.9	51.4	1.7	540	4.7	0.4	
7(8)	Suyanggae, Danyang, Chungbuk	Paleolithic	3.1	0.1	12.1	77.0	5.2	0.6	0.2	0.0	1.8	7.2	62.7	89.6	1.0	2.7	7.8	0.5	228	1.3	0.0	
8(10)	Suyanggae, Danyang, Chungbuk	Paleolithic	3.8	0.01	9.4	76.6	4.7	0.3	0.2	0.2	4.8	12	144	235	1.3	3.1	27	0.9	288	2.7	0.0	
9(12)	Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	2.9	0.4	12.0	78.7	4.3	0.7	0.0	0.2	1.0	2.4	23.8	28.5	1.3	8.9	1.6	0.3	181	0.6	0.0	
10(13)	Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	2.9	0.3	12.0	78.4	4.3	0.8	0.1	0.2	1.1	2.5	20.2	21.4	1.5	9.4	3.3	0.3	214	0.4	0.0	
11(14)	Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	2.8	0.1	12.3	78.4	4.6	0.5	0.2	0.0	1.3	2.4	22.5	40.4	1.3	10	2.2	0.2	186	0.6	0.5	
12(15)	Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	2.9	0.01	12.6	78.0	4.6	0.6	0.1	0.2	1.1	2.5	16.2	31.7	1.4	10	1.8	0.3	203	1.0	0.8	
13(16)	Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.3	0.4	12.7	77.3	4.6	0.6	0.01	0.1	1.0	2.1	18.2	26.1	1.2	8.2	1.5	0.2	156	0.5	0.4	
14(17)	Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	2.6	0.01	12.4	79.0	4.4	0.7	0.1	0.0	1.0	2.6	16.7	32.3	1.4	10	1.9	0.3	256	0.8	0.5	
15(18)	Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.0	0.2	12.6	78.1	4.3	0.6	0.2	0.0	1.0	2.4	24.3	29.0	1.3	9.9	2.1	0.2	177	0.0	0.0	
16(61)	Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.0	0.3	12.5	78.1	4.7	0.5	0.1	0.04	1.0	2.3	21.1	20.7	1.3	7.8	1.9	0.2	191	0.6	0.6	
17(62)	Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.2	0.2	12.4	77.9	4.7	0.7	0.0	0.0	1.0	2.7	18.9	28.0	1.3	8.6	2.2	0.3	203	0.5	0.5	
18(63)	Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.1	0.3	12.6	77.9	4.4	0.6	0.0	0.0	1.3	2.5	21.5	34.2	1.2	6.8	1.7	0.2	169	0.5	0.7	
19(64)	Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.3	0.4	12.2	78.1	4.4	0.6	0.1	0.2	0.7	2.8	23.8	28.8	1.5	12	2.5	0.3	230	0.7	0.9	
20(66)	Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.0	0.3	12.3	78.0	4.6	0.6	0.0	0.04	1.2	2.3	20.4	38.6	1.2	10	1.9	0.2	203	0.5	0.5	
21(67)	Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	4.0	0.03	13.3	74.5	5.3	0.6	0.2	0.0	2.2	10	88.9	127	2.4	6.4	8.0	0.7	250	1.3	0.3	
22(68)	Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.0	0.2	12.5	77.9	4.5	0.7	0.1	0.1	1.1	2.5	20.7	30.7	1.5	12	2.2	0.3	218	0.7	0.3	
23(69)	Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	2.9	0.1	12.5	78.3	4.7	0.6	0.0	0.0	1.1	2.3	19.5	30.1	1.5	9.3	1.9	0.2	185	0.6	0.5	
24(70)	Sangnodaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.1	0.2	12.5	77.8	4.4	0.7	0.04	0.1	1.3	2.6	22.5	25.5	1.2	1.9	2.0	0.3	209	0.5	0.4	
25(22)	Sangnodaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Neolithic	3.3	0.3	12.3	77.5	4.5	0.8	0.04	0.03	1.2	2.3	20.6	27.7	1.2	11	2.1	0.2	224	0.0	0.4	
26(20)	Dongsamdong, Busan	Neolithic	1.1	0.0	11.2	81.5	4.7	0.5	0.0	0.0	1.5	2.6	18.3	31.2	1.5	10	1.7	0.5	222	0.5	1.3	
27(27)	Dongsamdong, Busan	Neolithic	2.7	0.0	12.0	79.2	4.5	0.6	0.0	0.0	1.2	2.8	21.2	31.7	1.5	12	1.5	0.3	222	0.5	0.0	
28(28)	Dongsamdong, Busan	Neolithic	2.9	0.3	12.3	78.3	4.5	0.6	0.0	0.0	1.2	2.4	20.8	27.9	1.2	8.4	1.8	0.2	183	0.0	0.5	
29(91)	Dongsamdong, Busan	Neolithic	3.1	0.2	12.2	77.9	4.7	0.7	0.1	0.1	1.0	3.2	23.2	42.5	1.8	11	2.5	0.6	150	0.5	0.6	
30(92)	Dongsamdong, Busan	Neolithic	2.9	0.1	12.4	78.0	4.9	0.7	0.0	0.0	1.1	2.8	22.7	41.8	1.8	10	2.4	0.6	148	0.5	0.6	
31(93)	Dongsamdong, Busan	Neolithic	3.1	0.2	12.7	77.5	4.6	0.6	0.04	0.1	1.1	3.3	24.3	43.6	1.9	11	2.5	0.6	156	0.5	0.8	
32(37)	Sangmuyongri, Yanggu, Gangwondo	Paleolithic	3.2	0.1	12.6	76.7	5.0	0.6	0.3	0.0	1.7	9.5	75.3	141	1.0	3.4	6.1	0.5	314	0.0	0.0	
33(39)	Sangmuyongri, Yanggu, Gangwondo	Paleolithic	3.2	0.2	12.0	76.3	5.6	0.9	0.0	0.1	1.8	10	74.2	158	0.9	3.9	7.8	0.6	319	1.8	0.0	

* Number of the parenthesis is the original sample number in collection.

Table 2. Mean Values, standard deviation and variation coefficient of major and minor elements

Element	Site	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Sm	La	Ce	Sc	Cs	Hf	Lu	Rb	Tb	Sb
Suyunggae, Danyang Chungbuk	Mean Value	3.7	0.17	11	77	4.8	0.41	0.21	0.1	2.8	12	110	190	0.88	3.8	21	0.83	319	2.4	0.14
	Standard Deviation	0.66	0.10	1.2	0.65	0.42	0.21	0.08	0.1	1.7	7.9	73	140	0.33	1.7	20	0.55	138	1.6	0.22
	Variation coefficient	18	56	11	0.85	8.7	52	36	76	60	65	67	74	38	450	94	67	43.2	67	150
Yonjaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Mean Value	2.9	0.20	12	78	4.4	0.64	0.09	0.1	1.1	2.4	21	30	1.3	9.6	2.1	0.24	198	0.47	0.34
	Standard Deviation	0.22	0.16	0.28	0.54	0.16	0.09	0.07	0.1	0.10	0.20	3.4	5.5	0.11	0.70	0.57	0.02	30.3	0.34	0.30
	Variation coefficient	7.4	81	2.3	0.69	3.5	15	74	95	9.7	6.7	17	18	8.5	7.3	28	10	15.3	73	88
Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Mean Value	3.2	0.22	13	78	4.7	0.62	0.06	0.04	1.2	3.4	29	42	1.5	9.0	2.8	0.29	206	0.67	0.54
	Standard Deviation	0.37	0.13	0.34	1.3	0.28	0.07	0.08	0.06	0.44	2.7	24	35	0.39	2.1	2.1	0.16	25.9	0.28	0.18
	Variation coefficient	12	58	2.7	1.6	6.1	12	129	140	37	78	82	82	26	23	77	56	12.6	42	34
Sangnodaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Mean Value	3.2	0.25	12	78	4.4	0.74	0.04	0.1	1.3	2.4	22	27	1.2	11	2.1	0.25	217	0.24	0.40
	Standard Deviation	0.13	0.09	0.11	0.19	0.08	0.09	0.00	0.05	0.04	0.21	1.3	1.6	0.02	0.28	0.10	0.02	10.6	0.34	0.02
	Variation coefficient	4.0	38	0.91	0.25	1.9	13	0.00	76	3.4	8.7	6.2	5.8	1.5	2.6	2.5	8.4	4.90	140	4.0
Dongsamdong, Busan	Mean Value	2.6	0.14	12	79	4.7	0.62	0.02	0.04	1.2	2.8	22	36	1.6	10	2.1	0.46	180	0.42	0.65
	Standard Deviation	0.78	0.12	0.51	1.5	0.16	0.07	0.03	0.06	0.16	0.35	2.1	6.9	0.30	1.1	0.43	0.16	34.8	0.21	0.41
	Variation coefficient	30	82	4.2	1.8	3.5	11	160	160	13	13	9.7	19	16	11	21	36	19.3	50	63
Sangmuyongri, Yanggu, Gangwondo	Mean Value	2.9	0.44	13	77	4.6	0.52	0.13	0.1	1.7	9.0	66	127	1.7	2.9	7.5	0.49	272	1.5	0.24
	Standard Deviation	0.81	0.81	0.85	0.8	1.5	0.18	0.13	0.1	0.24	2.3	21	43.9	1.9	1.1	1.7	0.11	99.4	0.60	0.38
	Variation coefficient	27	180	6.8	1.0	33	34	96	82	14	26	32	34.5	110	37	23	23	36.5	41	160
Songdo island, Yeosu, Jeonnam	Mean Value	2.8	0.12	12	78	4.6	0.76	0.16	0.1	1.2	3.2	29	56.8	1.8	8.8	2.7	0.52	152	0.41	0.30
	Standard Deviation	0.06	0.06	0.21	0.04	0.68	0.24	0.16	0.1	0.10	0.15	8.4	13.3	0.06	2.6	0.38	0.10	1.41	0.07	0.43
	Variation coefficient	2.0	55	1.7	0.05	15	32	97	59	4.3	4.7	29	23.4	3.3	29	14	18	0.93	17	140
Paektusan Mountain	Mean Value	4.9	0.26	15	68	5.9	1.1	0.51	0.1	4.8	14	101	193	3.9	1.6	19	1.2	144	1.7	1.15
	Standard Deviation	0.30	0.21	0.36	1.7	0.11	0.57	0.25	0.1	1.2	4.0	35	65.9	1.7	0.74	11	0.53	50.4	0.68	2.0
	Variation coefficient	6.1	81	2.4	2.6	2.0	54	49	120	26	29	34	34.1	44	46	60	43	35.1	40	170
Kyushu prefecture, Japan	Mean Value	3.1	0.63	13	74	3.5	2.1	0.51	0.2	2.9	3.5	22	36.7	6.3	7.1	3.3	0.39	121	0.45	0.28
	Standard Deviation	0.08	0.54	0.99	4.5	1.1	1.5	0.53	0.1	2.0	0.88	2.3	5.84	5.1	3.9	1.2	0.17	35.2	0.48	0.31
	Variation coefficient	2.6	86	7.5	6.1	31	74	100	85	71	25	11	15.9	81	56	36	45	29.0	110	110

Table 3. Eigenvalue and proportion by principal component analysis using major elements

Component	Eigenvalues	Proportion (%)	Commulative (%)
1	3.021	43.153	43.153
2	2.525	36.068	79.221
3	0.659	9.421	88.643
4	0.586	8.375	97.018
5	0.140	2.005	99.023
6	0.067	0.953	99.975
7	0.002	0.025	100.000

Table 4. Communalities by principal component analysis using major elements

Elements	Communalities	
	Initial	Extraction
Na ₂ O	1.000	0.890
MgO	1.000	0.893
Al ₂ O ₃	1.000	0.596
SiO ₂	1.000	0.988
K ₂ O	1.000	0.882
CaO	1.000	0.565
FeO	1.000	0.733

터 시료들간의 상관관계를 알아보기 위하여 많이 이용되고 있다⁶⁾. 그러므로 각 출토지별 흑요석들의 주요성분에 대한 상관관계를 알아보고자 SPSS(statistical package for social science) 프로그램을 이용한 주성분 분석법으로 통계처리하였다. 통계처리시 많은 시료들에서 검출이 안된 MnO, TiO₂를 제외한 Na₂O, MgO,

Al₂O₃, SiO₂, K₂O, CaO, FeO 등 7개의 성분을 변수로 이용하였다.

Table 3은 이번 주성분 분석에 의해서 도출된 고유값, 기여율 및 누적기여율을 나타낸 것이다. 이 중 고유값은 각 주성분을 설명하는 분산의 양을 나타내며, 이 값이 큰 주성분이 중요한 주성분이며 가장 높은 순서대로 주성분 1과 주성분 2로서 나타낸다. 이 주성분 1, 2를 X, Y축으로 하여 평면에 데이터를 도식화 한다. 또한 주성분 1, 2를 이용하여 평면의 데이터를 도식화 시킬 경우 전체 데이터 중 어느 정도 반영하는 가는 기여율로서 나타낸다. 즉, 기여율이란 각 주성분이 데이터를 각각 어느 정도 반영하는가를 나타낸 값을 말하며, 제 1주성분의 경우 기여율이 43.153%이므로 제 1주성분으로 전체 데이터의 43.153%를 표현할 수 있음을 보여주는 것이다. 한편 주성분 1, 2의 누적기여율은 79.221%로서 전체 데이터의 79.221%를 설명할 수 있다. Table 4는 각 성분의 공통성을 나타낸 것이다. 공통성은 추출된 주성분 1, 2에 의해 설명되어지는 변수들의 분산 총합으로서 각 변수에 담겨진 정보를 얼마나 표현할 수 있는가를 의미하며, 이 값이 클수록 기여하는 정도가 높다. Table 4를 보게 되면 SiO₂, MgO, Na₂O, K₂O와 같은 성분들이 Al₂O₃, CaO, FeO 등의 성분들에 비하여 상대적으로 각 주성분에 크게 기여하는 것으로 나타나고 있다⁶⁾.

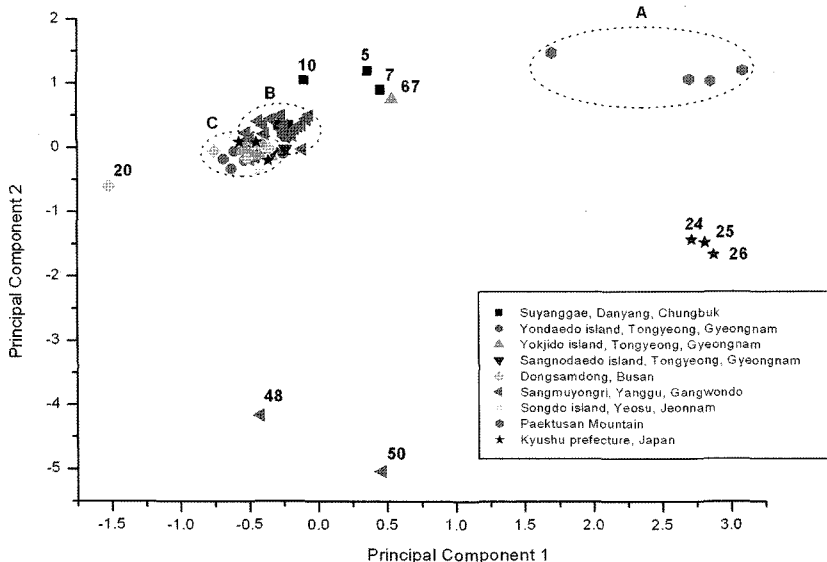


Fig. 2. Bivariate plot of first two principal components to major elements.

Fig. 2는 주성분1, 2를 이용하여 계산한 각 시료의 주 성분값을 평면에 나타낸 것이다. 그림을 보면 크게 세 개의 그룹으로 이루어져 있음을 볼 수 있다. 우선 A그룹은 백두산에서 출토된 흑요석들로 이루어져 있으며, B그룹의 경우는 구석기 시대의 흑요석인 강원도 양구읍 상무룡리와 충북 단양군 수양개 출토 흑요석들로서 서로 겹쳐져 있다. 또한 C그룹의 경우는 경남 통영군 연대도, 옥지도, 상노대도와 부산 동삼동, 전남 여수시 송도 폐총 그리고 일부 일본 Kyushu 지방의 흑요석이 또 하나의 그룹을 이루고 있다. 그러나 B와 C 그룹의 경우는 중간 부분에서 일부 겹쳐져 있으나 대체로 두 그룹으로 각각 분리되어지므로 각 그룹간의 상관관계가 높지 않은 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구의 주요성분을 이용한 산지분류에서 성분의 차이가 두드러지게 나타나지 않았기 때문에 미량성분을 이용한 산지분류를 실시하여 서로 비교하는 것이 바람직하다. 또한 일부 큰 그룹에 포함되지 않고 별개로 떨어져 있는 흑요석들도 있다. 즉 강원도 양구읍 상무룡리에서 출토된 No. 48, 50 시료들과 일본 Kyushu 지방에서 출토된 No. 24, 25, 26 시료들, 그리고 충북 단양군 수양개 유적 출토 No. 5, 7, 10 시료들은 세 그룹(A, B, C)과 별개로 구분되어져 있다. 그 외 경남 통영군 옥지도와 부산시 동삼동 폐총에서 출토된 흑요석 1점씩 떨어져 있다. 즉 이와 같이 하나의 그룹을 이루지 못하고 떨어져 있는 흑요석들도 서로간의 상관관계가 없음을 보여주는 것이다. 또한 이 결과는 화학적 분류 결과와도 일치하는 것으로서 같은 발굴지에서 함께 출토되었어도 서로 다른 산지에서 유래되었을 가능성을 시사한다.

2. 미량성분에 의한 흑요석 분류

미량성분에 의한 산지분류는 지역에 따라 원료의 지질학적인 상태가 분명히 다를 경우에 가능하며, 어떠한 원소가 산지분류를 위해 유효한지 판단할 수 있는 기준은 아직 없는 실정이다. 그러므로 다수의 미량성분을 정량분석하여 산지분류 하는 것이 가장 유용하다. 그러나 분석된 다수의 미량성분 중에서 몇 개의 특성성분들만이 출토지 및 지역간 특성인자로 작용할 수 있다. 특성인자로서 적합한 원소는 일반적으로 평균, 표준편차, 변동계수를 구했을 때, 각 시료간에 평균의 차이가 크고 변동계

Table 5. Eigenvalue and proportion by principal component analysis using minor elements

Component	Eigenvalue	Proportion (%)	Commulative (%)
1	6.341	70.458	70.458
2	1.493	16.589	87.047
3	0.658	7.309	94.356
4	0.291	3.231	97.587
5	0.104	1.153	98.740
6	6.366E-02	0.707	99.448
7	2.630E-02	0.292	99.740
8	1.337E-02	0.149	99.888
9	1.004E-02	0.112	100.000

Table 6. Communalities by principal component analysis using minor elements

Elements	Communalities	
	Initial	Extraction
Sm	1.000	0.980
La	1.000	0.983
Ce	1.000	0.982
Sc	1.000	0.834
Cs	1.000	0.649
Hf	1.000	0.887
Lu	1.000	0.783
Rb	1.000	0.824
Tb	1.000	0.912

수는 작은 원소들이다.

본 연구에서는 출토지별 9개 지역 총 64점의 흑요석 시료에 대하여 중성자방사화분석법으로 Sm, La, Ce, Sc, Cs, Hf, Lu, Rb, Tb, Sb 등 10개의 미량성분 농도를 결정하였다(Table 1). Table 2는 분석한 각 미량성분의 평균, 표준편차, 변동계수이다. 분석한 미량성분의 농도를 통하여 다변량 통계 분석법 중의 하나인 주성분분석(principal component analysis)과 선형판별함수분석(linear discriminant function analysis)으로 각 지역별 흑요석의 상관관계 및 산지별 분류를 실시하였다.

1) 주성분 분석

중성자 방사화 분석법으로 분석한 10개의 미량성분 중 많은 시료에서 검출이 안 된 Sb를 제외한 9개 성분에 대하여 SPSS 프로그램을 이용한 주성분 분석법으로 통계처리하여 각 흑요석간의 관계성을 알아보았다.

Table 5는 주성분 분석에 의해서 도출된 고유값, 기여율 및 누적기여율을 나타낸 것이다. 이 중 고유값이 가장 큰 주성분 1, 2의 누적기여율은 87.047%로서 높게 나타나고 있다. Table 6은 각 성분의 공통성으로서 Sm,

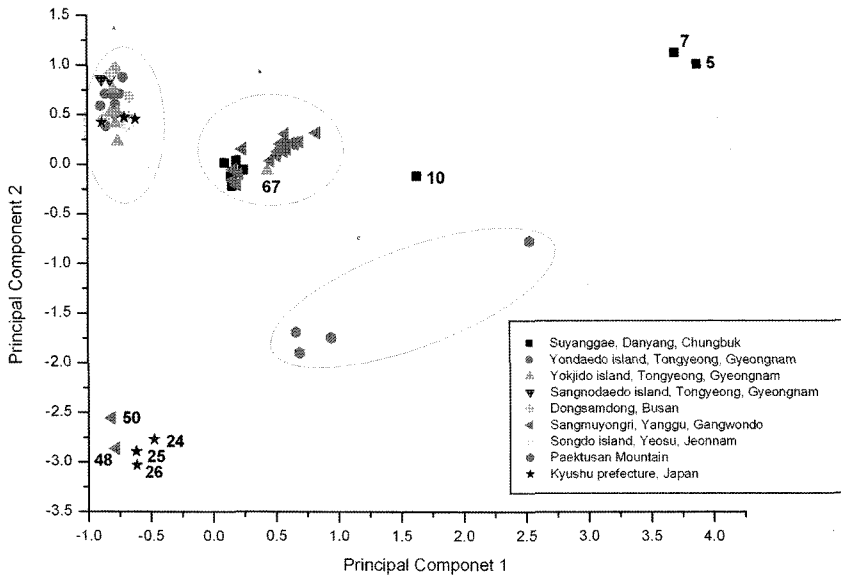


Fig. 3. Bivariate plot of first two principal components to minor elements.

La, Ce, Sc, Hf, Rb, Tb와 같은 원소들이 Cs, Lu 등의 원소들에 비하여 상대적으로 각 주성분에 크게 기여하는 것으로 나타나고 있다.

Fig. 3은 주성분 1과 2를 이용해서 계산한 각 시료의 주성분값을 평면에 도식화 시킨 것이다. 그림을 보면 크게 세 개의 그룹으로 이루어져 있다. 우선 남부지방을 중심으로 하는 경남 통영 연대도, 육지도, 상도대도와 부산 동삼동 패총, 전남 여수시 송도 패총, 일본 Kyushu 지방에서 출토된 흑요석 중 원석으로 이루어진 시료들이 하나의 그룹(A)을 이루고 있으며, 또한 충북 단양군 수양개와 강원도 양구읍 상무릉리 유적에서 출토된 흑요석이 그룹 B를, 그리고 백두산 출토 흑요석들이 그룹 C를 이루고 있다. 그러나 일부 강원도 양구읍 상무릉리 출토 흑요석(No. 48, 50)과 일본 Kyushu 지방 흑요석(No. 24, 25, 26)이 이와는 별개로 하나의 그룹을 이루고 있으며, 충북 단양군 수양개 출토 일부 흑요석(No. 5, 7, 10)들의 경우 하나의 그룹으로 형성하고 있지 않고 분산되어 있다. 그 외 경남 통영군 육지도 출토 흑요석 한 점도 다른 시료들과는 별개로 떨어져 있음을 볼 수 있다. 이러한 결과는 주요성분을 이용한 산지분류결과와도 일치한다.

이 결과를 종합하여 보면 본 연구에서 분석된 한반도

출토 흑요석의 경우 백두산 계열과는 크게 상관관계가 없으며, 남부 지방을 중심으로 일본 Kyushu 지방과 상관관계가 깊은 것으로 나타났다. 즉 한반도 남부 지방을 중심으로 하는 경남 통영지역과 부산 동삼동 패총 그리고 전남 여수시 송도 패총 흑요석의 경우는 일본 Kyushu 지방에서 출토된 흑요석과 일치하는 것으로 보아서 지역간의 상관성이 있어 보인다. 이는 藁科哲男(1999)⁷⁾과 河仁秀(2001)⁸⁾에 의해서 발표된 논문결과와도 일치한다. 즉 한반도 남부 지방 흑요석의 경우는 일본과 바다를 중심으로 활발히 교류한 것으로 보인다. 또한 강원도 양구읍 상무릉리와 충북 단양군 수양개 유적 흑요석이 다른 지역과 별개로 구분되어진다. 이는 출토 지별 시대적 차이에 기인한 것으로 보인다. 즉, 한반도 남부 지방의 흑요석은 신석기 시대의 유물인 데 반하여 강원도와 충북 지역 출토 흑요석은 후기 구석기 유물로서 신석기 시대와는 상당한 시대적 차이가 있음을 볼 수 있다. 또한 그림을 보면(Fig.3) 백두산이나 일본 지방의 흑요석과도 상관관계가 없는 것으로 보아 일본이나 백두산이 아닌 다른 타 지방으로부터 흑요석이 유입되었을 것으로 추정된다¹²⁾. 특히 충북 단양군 수양개와 강원도 양구읍 상무릉리 출토 흑요석 중 원그룹과 별개의 그룹을 이루고 있는 일부 시료들은 같은 발굴지에서 함께 출

토되었어도 서로 다른 산지에서 유래되었을 가능성을 보여주는 것이다.

2) 선형 판별 분석

판별분석은 Fisher에 의해 처음 도입된 통계적 기법으로, 종속변수를 D라 하고 독립변수를 X1, X2, X3, ...이라 하면 이들 독립변수들의 선형결합은 다음 수식과 같이 표현될 수 있으며 이를 판별함수라 한다. 판별변수의 값들을 대입하면 이에 대한 판별점수(D의 값)를 구할 수 있고, 이 판별점수에 의하여 집단을 구분하게 되는 방법이다⁹⁾.

$$D = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \dots + \beta_pX_p$$

(D: 판별점수, β_0 : 판별상수, β_1, \dots, β_p : 판별함수계수)

판별분석은 출토지가 확실할 경우 각 출토지별로 시료를 그룹화시킬 때 상당히 유용하게 이용될 수 있다. 그러므로 주성분분석으로부터 출토지별로 그룹을 이루지 않고 흩어져 있어 서로간의 상관관계가 없을 것으로 추정되는 9점을 제외한 55점의 시료들에 대하여 판별분석을 실시하였다. 각 출토지별 핵심시료들의 판별 분석 결과를 Table 7-10에 나타내었다.

Table 7은 각 출토지별 판별함수에 포함된 변수들을 정리한 것이다. Wilks의 람다가 1이면 이것은 관측된 집단의 평균이 동일하다는 것을 의미하고 이 값이 0에 가까우면 집단내의 분산이 총분산에 비해 적기 때문에 집단평균간에는 차이가 있다는 것을 나타낸다. 이를 보다 확실히 알 수 있게 한 것이 자유도를 고려하여 구한 F값이다. F값이 크면 집단간의 분산이 크다는 것을 의미한다¹⁰⁾. 그러므로 판별분석을 이용해서 분류할 때 Sm, Cs, La, Ce와 같은 원소들이 Sc, Hf, Lu, Rb, Tb 등의 원소

Table 7. Equality of group means by linear discriminant function analysis

Variance	Wilks' Lambda	F
Sm	0.076	69.76
La	0.104	49.40
Ce	0.117	43.50
Sc	0.275	15.15
Cs	0.064	83.90
Hf	0.262	16.21
Lu	0.275	15.15
Rb	0.237	18.56
Tb	0.267	15.80

Table 8. Canonical discriminant functions by linear discriminant function analysis

Function	Eigenvalue	Canonical correlation	Wilks' Lambda	Chi-square	F
1	72.263	0.993	0.000	433.9	72
2	31.474	0.984	0.005	240.7	56
3	1.665	0.790	0.154	84.0	42
4	1.037	0.714	0.412	39.9	30
5	0.073	0.261	0.839	7.9	20
6	0.070	0.255	0.900	4.8	12
7	0.037	0.188	0.963	1.7	6
8	0.002	0.046	0.998	0.1	2

들보다 크게 기여하는 성분들임을 볼 수 있다(Table 7). Table 8에서는 판별함수의 정준상관관계를 보여주고 있다. 함수 1의 경우는 0.993, 함수 2는 0.984이므로 함수 1, 2가 0.9 이상으로 정준상관관계가 상당히 큼을 알 수 있다. 특히 정준상관관계가 가장 큰 함수 1, 2의 판별함수의 경우는 고유값이 크고, Wilks의 람다는 작으며, 정준상관관계 또한 가장 크므로 집단간 판별력이 상당히 좋음을 알 수 있으며, 함수 1, 2는 아래와 같은 식으로 나타내어진다. 또한 아래 두 판별함수를 이용해 구한 각 집단의 판별점수의 평균, 즉 각 함수의 집단 중심점은 Table 9와 같다.

$$\begin{aligned} \text{함수 1} &= 7.568\text{Sm} + 0.876\text{La} + 0.095\text{Ce} + 19.117\text{Sc} + 0.484\text{Cs} - 0.66\text{Hf} - 48.875\text{Lu} + 0.012\text{Rb} + 1.178\text{Tb} - 58.059 \\ \text{함수 2} &= -1.064\text{Sm} + 0.317\text{La} - 0.014\text{Ce} + 13.847\text{Sc} + 10.02\text{Cs} + 3.27\text{Hf} - 51.519\text{Lu} + 0.059\text{Rb} - 6.623\text{Tb} - 61.994 \end{aligned}$$

Table 9. Group centroids by linear discriminant function analysis

	Suyanggae, Danyang, Chungbuk	Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	Sangnodaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	Dongsamdong Busan	Sangmuyongri, Yanggu, Gangwondo	Songdo island, Yeosu, Jeonnam	Paektusan Mountain	Kyushu prefecture, Japan
Function 1	2.150	-6.985	-6.852	-8.362	-6.834	4.820	-4.259	20.047	-6.470
Function 2	-2.408	2.199	2.046	2.176	2.937	-5.647	3.452	12.519	3.552

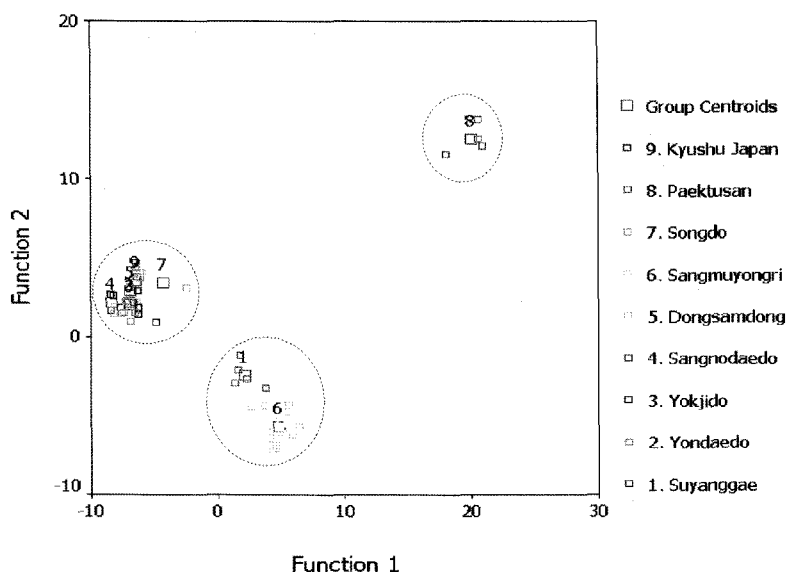


Fig. 4. Plot of first two linear discriminant function to minor elements.

Table 10. Classification results by linear discriminant function analysis

Original Group	Total	Predicted group (%)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Suyanggae, Danyang, Chungbuk	5	5(100%)								
Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	7		2(28.6%)	4(57.1%)	1(14.3%)					
Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam	7		3(42.9%)	2(28.6%)	2(28.6%)					
Sangnodaedo island, Tongyeong, Gyeongnam	2				2(100%)					
Dongsamdong, Busan	6		1(16.7%)		1(16.7%)	1(16.7%)				3(50.0%)
Sangmuyongri, Yanggu, Gangwondo	19	1(5.3%)							18(94.7%)	
Songdo island, Yeosu, Jeonnam	2							1(50.0%)		1(50.0%)
Paektusan Mountain Kyushu	4								4(100%)	
prefecture, Japan	3		1(33.3%)							2(66.7%)

※ 67.3% of original grouped cases correctly classified

Table 10에는 이 판별합수를 통하여 각 출토지별 흑요석을 얼마나 잘 분류해 주는지를 나타내는 분류표로서, 그 분류의 지표가 되는 Hit ratio가 67.3%로 나타났다.

Fig. 4에는 위의 두 판별합수를 이용하여 구한 각 출토지별 판별점수를 도식화하여 나타낸 것이다. 그림을 보면 크게 세 개의 그룹으로 나뉘어져 있다. 우선 경남 통영군 연대도, 육지도, 상노대도와 부산시 동삼동, 전남 여수시 송도 패총 그리고 일본 Kyushu 지방에서 출토된 흑요석이 하나의 그룹을 이루고 있으며, 충북 단양군 수양개와 강원도 양구읍 상무릉리 출토 흑요석이 하나의 그룹, 마지막으로 백두산 출토 흑요석들이 하나의 그룹을 이루고 있다.

이 결과는 주성분 분석법으로 분석한 결과와 상당히 일치한다. 즉 한반도 남부 지방에서 출토된 흑요석은 일본 Kyushu 지방에서 출토된 흑요석과 상관관계가 있으며, 강원도 양구읍 상무릉리와 충북 단양군 수양개 유적 출토 흑요석은 한반도 남부 지방이나 백두산과는 상관관계가 없음을 보여준다. 또한 판별분석 결과를 보면 주성분 분석 결과와 같이 백두산 계열의 흑요석이 한반도에서 출토되는 흑요석과 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 지금까지 한반도 남부 지방에서 출토된 흑요석의 경우 일본 Kyushu 지방과 상관관계가 있는 것으로 발표되고 있으며⁽⁷⁻⁸⁾, 강원도 양구읍 상무릉리 유적 출토 흑요석의 경우는 백두산 계열 흑요석이라고 발표된 바 있으나⁽¹⁰⁻¹¹⁾ 본 연구의 분석결과로는 백두산과는 상관관계가 없는 것으로 보인다. 그러므로 지금까지의 결과로는 한반도 후기 구석기 시대의 흑요석은 백두산이 아닌 다른 타 지방으로부터 유입되었을 것으로 추정되나 이를 뒷받침하기 위해서는 보다 많은 구석기 유적에서 출토된 흑요석들에 대한 비교·분석이 요구된다.

3. 자기적 특성을 이용한 산지 분류

흑요석의 산지분류를 실시할 때 가장 많이 이용되는 자기적 특성으로는 자연잔류자화(NRM), 포화등온잔류자화(SIRM), 대자율 등이 있다. 이러한 자기적 특성들의 세기는 흑요석 안에 들어있는 자성광물들의 함량 및 크기, 종류 등의 복합적인 요소에 의해 결정된다. 대체로 흑요석 내부에는 각 성분의 냉각 차이에 의해서 생성된

Table 11. Magnetic properties of obsidian

Specimen No.	Site	χ ($10^3 \text{m}^3/\text{kg}$)	NRM ($\text{A} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$)	SIRM ($\text{A} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$)
1(2)*		13	23	680
2(3)		1.4	29	1170
3(4)		62	46	5760
4(5)	Suyanggae,	8.9	0.50	2.50
5(6)	Danyang,	32	50	1570
6(7)	Chungbuk	15	0.60	1.00
7(8)		36	57	1430
8(10)		8.9	0.50	2.70
9(12)		23	40	810
10(13)		17	98	1040
11(14)	Yondaedo island,	18	103	727
12(15)	Tongyeong,	6.3	47	1530
13(16)	Gyeongnam	9.2	8.7	890
14(17)		48	96	1480
15(18)		28	78	1370
16(61)		18	80	844
17(62)		18	94	787
18(63)		16	19	485
19(64)	Yokjido island,	13	27	545
20(66)	Tongyeong,	27	65	1500
21(67)	Gyeongnam	15	10	640
22(68)		18	17	940
23(69)		9.3	35	670
24(70)	Sangnodaedo island,	13	790	1040
25(22)	Tongyeong, Gyeongnam	25	38	847
26(20)		78	46	2470
27(27)		62	89	2440
28(28)	Dongsamdong,	47	79	1770
29(91)	Busan	20	56	942
30(92)		25	520	1010
31(93)		19	78	676
32(37)		48	22	1038
33(39)		36	50	2708
34(40)		26	24	749
35(41)		37	24	685
36(42)		34	44	653
37(43)		29	25	1026
38(44)		28	40	692
39(45)		22	39	998
40(48)		2.6	0.20	0.800
41(49)	Sangmuyongri,	40	290	2380
42(50)	Yanggu,	1.0	1.5	2.80
43(51)	Gangwondo	36	1700	1940
44(52)		84	32	2260
45(53)		36	34	1290
46(54)		38	29	1760
47(55)		30	36	1230
48(56)		104	34	827
49(57)		130	130	4840
50(58)		130	5800	7180
51(59)		160	140	7090
52(60)		96	101	4740
53(78)	Songdo island, Yeosu,	37	23	1420
54(79)	Jeonnam	16	350	950
55(84)		150	1500	9107
56(98)	Paektusan	120	190	4980
57(99)	Mountain	96	30	1930
58(100)		84	25	869
59(23)		99	78	2830
60(24)		1800	330	9420
61(25)	Kyushu	1100	490	14800
62(26)	prefecture,	970	770	9830
63(94)	Japan	49	1500	1950
64(96)		45	27	1400

* Number of the parenthesis is the original sample number in collection.

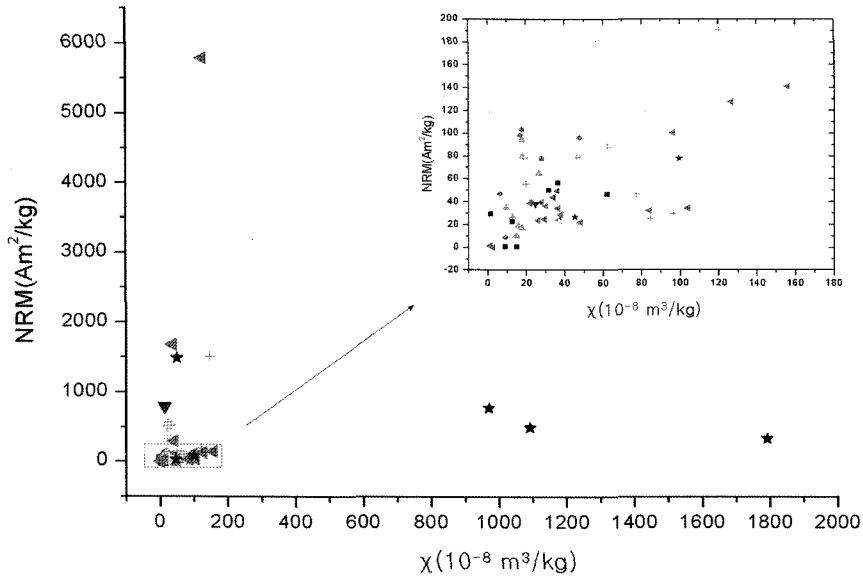


Fig. 5. Bivariate plot of χ versus NRM of obsidians.

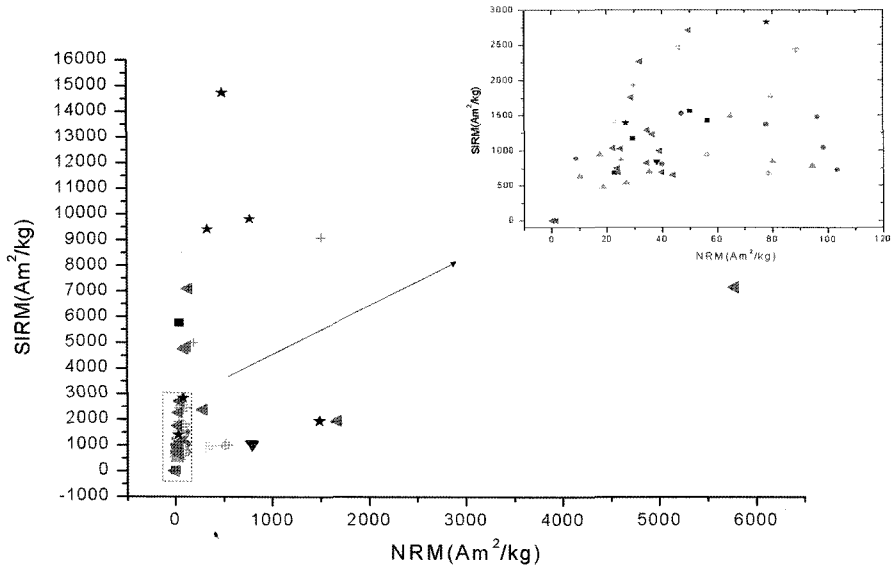


Fig. 6. Bivariate plot of NRM versus SIRM of obsidians.

많은 결정질 불순물들이 존재하고 있다. 이러한 결정질들의 주요성분은 Fe로서 철 산화물들이 대부분을 이루고 있다. 이 철산화물들이 흑요석의 자기적 특성을 나타내는 주요한 인자로서 작용하게 된다⁽³⁻⁴⁾.

본 연구에서 분석된 시료들의 자기적 특성은 Table 11에 정리하였으며, Fig. 5, 6은 각각 질량대자율(χ)과

NRM, NRM과 SIRM과의 관계를 보이고 있다. 두 그림 모두 일본 Kyushu 지방의 흑요석은 두 개의 그룹으로 크게 나뉘어졌으며, 일부 일본 Kyushu 지방의 흑요석이 한국 지방의 흑요석과 겹쳐져 있으나 한반도에서 출토된 흑요석 대부분은 큰 차이를 보이지 않았다.

Fig. 7은 χ 와 SIRM과의 관계를 나타내었다. 밀집되

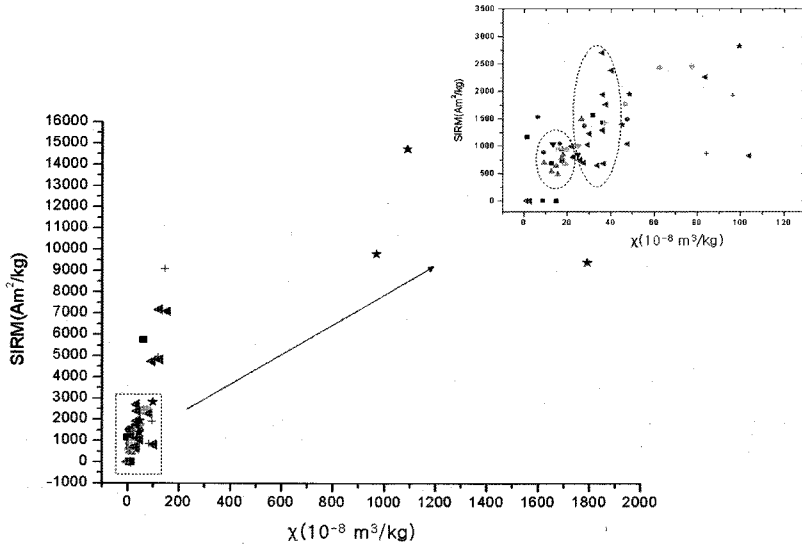


Fig. 7. Bivariate plot of x versus SIRM of obsidians.
 (■: Suyanggae, Danyang, Chungbuk ●: Yondaedo island, Tongyeong, Gyeongnam ▲: Yokjido island, Tongyeong, Gyeongnam ▼: Sangnodaedo island, Tongyeong, Gyeongnam ◆: Dongsamdong, Busan ◀: Sangmuyongri, Yanggu, Gangwondo ▶: Songdo island, Yeosu, Jeonnam +: Paektusan Mountain ★: Kyushu prefecture, Japan)

어져 있는 부분을 확대한 그림에서 시료들이 크게 두 개의 군으로 나뉘어져 있는 것을 볼 수 있다. 우선 정확하지는 않지만 강원도 양구읍 상무릉리와 일부 충북 단양군 수양개 유적 출토 흑요석이 하나의 군을 이루고 있으며, 그 아래에 경남 통영군 연대도, 옥지도, 상노대도와 부산 동삼동과 전남 여수시 송도 패총 출토 흑요석들이 하나의 그룹을 이루고 있다. 이 결과는 대체로 주성분 분석결과와 일치하나 일본 Kyushu 지방에서 출토된 흑요석이 이 군과 하나의 군을 이루고 있지 않다는 점에서 차이를 보인다.

이와 같이 흑요석의 자기적 특성을 이용한 산지분류의 경우는, 미량성분을 이용한 산지분류와 같이 명확하게 지역간 분류는 이루어지지 않았다. 특히 미량성분을 통한 산지분류에서는 일본 Kyushu 지방의 흑요석과 한반도 남부 지방 흑요석은 밀접한 상관관계를 보였으며, 또한 충북 단양군 수양개, 강원도 양구읍 상무릉리의 구석기 시대 흑요석이 백두산 출토 흑요석과 상관관계가 없음을 보였으나, 자기적 특성을 이용한 산지분류에서는 이러한 상관관계를 정확하게 찾을 수는 없었다. 그러나 x 와 SIRM과의 관계(Fig. 7)에서는 주성분분석에서와 유사하게 지역간 군을 이루어 서로 분리되어 나타나는

것을 볼 수 있었으며, 이러한 결과는 한반도에서 출토되는 흑요석의 자기적 특성을 이용한 산지분류를 실시할 때 x 와 SIRM 관계가 출토지를 구분하는데 특성인자로서 작용할 수 있음을 보여준다. 그러나 이번엔 분석된 흑요석의 경우는 시료의 무게가 너무 적어 신뢰할 만한 데이터를 얻지 못한 시료들이 많다. 또한 시료 무게가 0.7g 이하인 경우는 신뢰할 만한 자기적 특성 데이터를 얻을 수 없었다는 보고도 있다⁽³⁾. 그러므로 향후 한반도 출토 흑요석에 대한 각 지역별 상관관계를 자기적 특성을 이용하여 정확하게 규명하려면 일정 기준 이상(예, 0.7g 이상)의 무게를 가진 시료들만 선택하여 측정하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결론

충북 단양군 수양개, 경남 통영군 연대도, 옥지도, 상노대도와 부산 동삼동, 강원도 양구읍 상무릉리, 전남 여수시 송도패총 그리고 백두산과 일본 Kyushu 지방에서 출토된 흑요석 64점에 대하여 주성분, 미량성분 및 자기적 특성을 이용하여 산지 분류한 결과는 다음과 같다.

1. 주요성분을 이용하여 각 흑요석을 화학적 분류한 결과 대부분의 흑요석은 Subalkaline 계열에 해당하며 No. 48, 50만이 Peraluminous 계열의 흑요석이었다. 또한 주성분 분석법을 이용한 통계처리 결과에서 시료들이 크게 세 개의 그룹으로 나뉘었다. A그룹에는 백두산 출토 흑요석이 포함되었고, B그룹에는 구석기 시대인 강원도 양구읍 상무릉리와 충북 단양군 수양개에서 출토된 흑요석이, 그리고 C그룹에는 신석기 시대 유적인 경남 통영군 연대도, 옥지도, 상노대도와 부산 동삼동, 전남 여수시 송도 패총, 일부 일본 Kyushu 지방의 흑요석이 포함되었다. 이러한 결과는 각 그룹간의 상관관계가 없으며 산지가 서로 다름을 의미한다.

2. 미량성분을 이용한 산지분류에서는 주성분 분석과 선형 판별 분석결과가 대체로 일치하였다. 분석 결과 일부 시료들을 제외하고 크게 세 개의 그룹으로 구분되었다. 우선 남부지방을 중심으로 하는 경남 통영 연대도, 옥지도, 상노대도와 부산 동삼동 패총, 전남 여수시 송도 패총 그리고 일본 Kyushu 지방에서 출토된 일부 흑요석 시료들이 하나의 그룹을 이루었으며, 충북 단양군 수양개와 강원도 양구읍 상무릉리 유적에서 출토된 흑요석이 하나의 그룹, 그리고 백두산 출토 흑요석들이 하나의 그룹을 이루고 있다. 이 결과는 주요성분을 이용한 산지분류 결과와도 잘 일치하며 각 그룹간의 상관관계가 없음을 보여준다.

3. 흑요석의 자기적 특성을 이용한 산지분류에서는 주요성분이나 미량성분을 이용한 산지분류에 비하여 정확하게 지역간 그룹을 이루지는 않았다. 한편 χ 와 SIRM과의 관계에서는 주성분분석과 유사한 결과를 보였으나 일본 Kyushu 지방에서 출토된 흑요석의 경우는 주요성분과 미량성분을 이용한 산지분류 결과와 일치하지 않았다. 본 연구에서 실시한 자기적 특성을 이용한 산지분류는 χ 와 SIRM과의 관계만이 지역간의 차이를 알아보는 데 이용할 수 있었으며, 일본 Kyushu에서 출토된 흑요석과는 좀더 세밀한 연구가 필요하다고 본다. 또한 흑요석의 자기적 특성을 이용한 산지분류의 경우 더욱 믿을 만한 데이터를 얻기 위해서는 시료의 무게가 큰 시료들로부터 구한 데이터를 바탕으로 산지분류를 하는 것이 필요하다.

V. 참고 문헌

1. M.Steven Shackley, "Archaeological Obsidian Studies-Method and Theory", Plenum Press, New York, pp.18 (1998).
2. O.Williams-Thorpe, "Review Article-Obsidian in the Mediterranean and the Near East: A Provenancing Success Story", *Archaeometry*, 37(2), 217-248 (1995).
3. J.M.McDougall, D.H.Tarling, S.E.Warren, "The Magnetic Sourcing of Obsidian Samples from Mediterranean and Near Eastern Sources", *Journal of Archaeological Science*, 10, 441-452 (1983).
4. Carlos A.Vasquez, Hugo G.Nami, Augusto E.Rapalini, "Magnetic Sourcing of Obsidians in Southern South America:Some Success and Doubts", *Journal of Archaeological Science*, 28, 613-618 (2001).
5. 김규호, "한국에서 출토된 고대유리의 고고화학적 연구", 중앙대학교 박사학위청구논문, pp.59 (2001).
6. 신재경, 문승호, "다변량 통계해석 입문", 자유아카데미, (1996).
7. 藁科哲男, "石器・玉類がたどった道", *化學*, 54(9), 24-27 (1999).
8. 하인수, "신석기시대 대외교류 연구", 부산박물관 박물관연구논집, 8, 1-40 (2001).
9. 정충영, 최이규, "SPSSWIN을 이용한 통계분석", 무역경영사, (1998).
10. 손보기, "상무릉리에서 발굴된 흑요석의 고향에 대하여", 상무릉리, 강원도·강원대학교 박물관, 781-796 (1989).
11. 東村武信(京都大), "오산리유적출토 흑요석의 형광 분석", 오산리유적, 서울대학교박물관, 69-72 (1984).
12. Y.V.Kuzmin, V.K.Popov, M.D.Glascock, M.S.Shackley, "Sources of Archaeological Volcanic Glass in the Primorye(maritime) Province, Russian Far East", *Archaeometry*, 44(4), 505-515 (2002).