

은평 뉴타운 유적 출토 유리구슬의 성분조성과 납동위원소비

강형태 | 조남철*¹ | 한민수** | 김우현*** | 홍지윤****

국립중앙박물관 보존과학팀, *공주대학교 문화재보존과학과, **국립문화재연구소 보존과학연구실,
중앙문화재연구원 보존과학실, *중앙문화재연구원 조사연구실

Chemical Composition and Lead Isotope Ratio of Glass Beads Excavated from Eunpyeong Newtown Site

Hyung-tae Kang | Nam-chul Cho*¹ | Min-su Han** | Woo-hyun Kim*** | Ji-youn Hong****

Conservation Science Lab., National Museum of Korea, Seoul, 140-026, Korea

*Department of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University, Kongju, 314-701, Korea

**Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

***Conservation Science Lab., Jungang Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon 305-500, Korea

****Research Division, Jungang Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon 305-500, Korea

¹Corresponding Author: nam1611@kongju.ac.kr, +82-41-850-8541

초 록 은평 뉴타운 유적 토광묘에서 출토된 유리구슬 60점에 대하여 성분조성, 납동위원소비를 주사전자현미경-에너지분산형분광기와 열이온화질량분석기로 분석하여 성분조성별 차이점과 납유리를 제작할 때 사용한 납의 산지를 추정코자 하였다. 성분조성을 분석한 결과 출토유리는 크게 포타쉬 유리($K_2O-CaO-SiO_2$)와 포타쉬납유리($K_2O-PbO-SiO_2$)계통으로 분류됨을 확인할 수 있었으며, III-3지구 1005호 토광묘에서 출토된 시료는 유리가 아니라 석영으로 판단된다. II-3지구 101호 토광묘와 III-3지구 908호 토광묘에서 출토된 무색투명한 9점의 납유리는 성분조성이 매우 일정하며 오차가 작아 동일한 원료로 동일 장소에서 함께 제작한 것으로 보인다. 주성분분석(PCA)결과에서도 출토된 유리구슬은 크게 두 개의 그룹인 포타쉬 유리($K_2O-CaO-SiO_2$)와 포타쉬납유리($K_2O-PbO-SiO_2$)로 나뉘어진다. 즉, 은평 뉴타운 유적은 주요 성분조성이 상이한 두 계통의 유리구슬로 이루어져 있음을 확인할 수 있었다. 또한 납동위원소비를 분석하여 납유리를 제작할 때 사용한 납의 산지를 추정한 결과 대부분의 납유리는 중국 북부 지역의 방연석을 사용한 것으로 나타났다.

중심어: 유리구슬, 포타쉬 유리, 포타쉬납유리, 납동위원소비

ABSTRACT This paper presents investigations on 60 glass beads excavated from floorless tombs of Eunpyeong Newtown site to figure out composition and lead isotope ratio by SEM-EDS and TIMS, which show the difference between their compositions and Pb provenance of lead glass. The results of the composition analysis are that excavated glass are mainly divided into Potash glass($K_2O-CaO-SiO_2$) and Potash-lead glass($K_2O-PbO-SiO_2$) and the samples excavated from III-3 floorless tombs No.1005 are presumed not glass but Quartz. The transparent 9 lead glasses excavated from II-3 floorless tomb No.101 and III-3 floorless tomb No.908 seem to be manufactured by the same raw material at same site because the concentration of their compositions are well accorded with each other and deviations of them are very limited. As a result of principal component analysis(PCA), glass beads excavated are largely assort to two groups, Potash glass and

Potash lead glass as well. That is, glass beads excavated from Eunpyeong Newtown sites are quite different two types of main composition. In addition, the results of Pb provenance analysis used in lead glass confirm that most lead glass are significantly correlated with galena of northern China.

Key Words: Glass beads, Potash glass, Potash-lead glass, lead isotope ratio

1. 머리말

중앙문화재연구원에서는 은평구 진관외동 일원의 은평뉴타운 제2지구 C공구 내 유적에 대한 발굴조사를 2006년 9월 6일부터 2007년 10월 27일까지 실시하였다. 조사대상 면적은 약 89,000m² 정도이며 I-V지구로 구획하여 발굴 조사를 실시한 결과 석실묘 1기와 조선시대 분묘 3,459기가 조사되었다(Figure 1, 2)¹. 출토유물은 부장품으로서 백자사발, 분청사기, 매병 등과 백자명기, 청동거울, 청동순가락, 조선통보, 경식 등으로 토·도류 298점, 금속류 835점, 옥석류 297점, 기타 3점으로 총 1,443점이며 모두 조선시대에 속하는 유물들이다¹.

이들 유물 중 유리구슬을 살펴보면 크기가 다양하고 색깔은 무색투명, 갈색, 회백색, 담청색 등을 띠고 있다. 일반적으로 유리구슬은 둥근 형태로 중심부에 구멍을 뚫어 사용하는데 구조가 단순하고 시대적 흐름에 따라 형태에 큰 변화가 없어 양식학적 연구가 어려운 유물 중 하나이다. 따라서 유리구슬을 이해하기 위해서는 과학적 조사와 분석을 토대로 그 당시 시대적, 지역적 유리구슬의 특성을 밝히는 연구가 수행되어야 한다.

고대 유리의 과학적 연구^{2,3}는 유리를 제조하기 위해 사용한 용융제와 안정제 등 성분조성을 분석하여 유리의 특성을 분류하고, 색깔을 내는 착색제의 분류 연구에 집중이

된다. 즉, 성분조성에 따라 소다유리, 포타쉬유리, 납유리 및 납-바륨유리 중 어느 계열^{4,5}에 속하면서 어떠한 배합비를 갖는지, 또 유리의 색깔을 나타내는데 어떠한 성분이 착색제로서 주요한 역할을 하는지를 밝혀내는 것이다^{6,7}. 그리고 유리에 납이 함유된 경우에는 납동위원소비(lead isotope ratio)를 분석하여 원료의 산지를 추정할 수 있는 방법이 개발되어 있다^{8~12}. 이러한 일련의 과학적 분석 결과를 통해 당시 지역 문화권의 유리 제조 기술과 사용 원료의 특성 뿐 아니라 유리제품의 유통(유휘 또는 전달 등) 관계를 밝힐 수 있는 과학적 근거가 마련된다^{13~14}.

본 연구는 은평뉴타운 제2지구 C공구 내 I-V지구에서 발굴된 유리구슬 편 60점을 선별하여 몇 가지 과학 분석을 수행하고 그 결과를 정리한 것이다. 각 유리 편 시료의 분석을 위해 전자현미경에 부착된 에너지분산형분광기(EDS)를 사용하여 주성분 및 미량성분의 함량을 결정하였다. 고대유리의 분석을 위해서는 주로 전자현미경에 부착된 에너지분산형분광기를 사용하는데 이 방법은 유리의 주요·미량성분 및 미세 결정을 분석할 수 있다는 장점이 있다⁵. 이들 분석 데이터의 해석 방법으로는 다변수분석법¹⁵ 중 주성분분석(principal component analysis : PCA)을 채용하여 시료를 특성별로 분류하고자 시도하였다. 이 방법을 사용하면 유리 시료의 특성에 따라 시료의 군(group)이 어떻게 형성되는지를 알 수 있다.



Figure 1. The complete view of excavation region within Eunpyeong Newtown.



Figure 2. III-2 district of Eunpyeong Newtown.

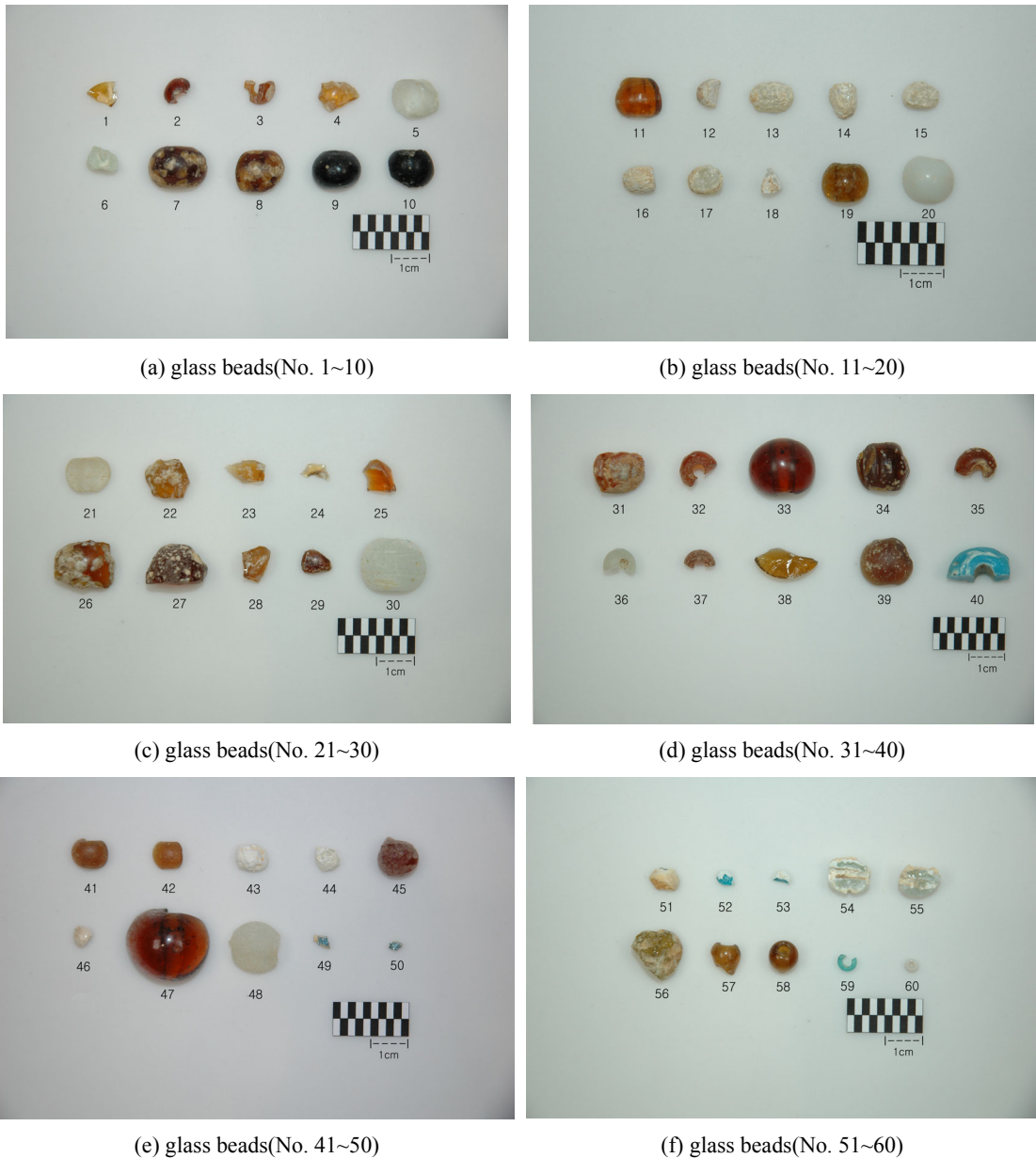


Figure 3. Types and colors of glass beads for analysis excavated from Eunpyeong Newtown site(I~V district).

2. 분석내용

2.1. 시료 준비

은평뉴타운 제2지구 C공구(Figure 1, 2)내 유적 I~V 지구에서 유리구슬 편 60점(I지구 4점, II지구 22점, III지

구 20점, IV지구 10점, V지구 4점)을 입수하였고 유리구슬의 형태, 크기 및 색깔은 Figure 3(a)~(f)에서 볼 수 있다.

유리구슬 편을 SEM-EDS 분석시 보정원소로 사용할 Cu 표준물질(99.99%)과 함께 예폭시 수지로 정착시킨 후 1200, 2400, 4000번의 사포와 1 μm 의 알루미늄 페이

스트(paste)로 연마하였다. 연마과정에서 오염된 이물질을 제거하기 위하여 초음파세척기에서 탈 이온수로 10분간 3회 세척한 후 24시간 건조시켰다. 이들 유리 시료를 광학현미경으로 관찰하여 시료의 상태, 색상 등을 기록하였다.

2.2. 비중측정

유리구슬의 물성에 따른 분류 방법으로서 비중 측정을 위해 비중측정용 저울(Mettler Toledo PR503)을 사용하였다. 유리구슬의 물 속에서의 무게(W_2)와 105℃의 건조기에서 2시간 건조시킨 후 공기 중에서의 유리구슬의 무게

(a) glass bead(No. 8, x16)

(b) glass bead(No. 12, x16)

(c) glass bead(No. 27, x20)

(d) glass bead(No. 40, x16)

(e) glass bead(No. 49, x16)

(f) glass bead(No. 53, x25)

Figure 4. Cross sections of some glass beads.

(W_i)를 측정하여 다음 식으로 유리구슬의 비중을 측정하였다.

2.3. 전자현미분석

유리를 정량분석하기 위하여 표준시료를 사용하였으며, 표준시료는 순수물질 또는 조성을 알고 있는 고순도의 물질을 사용하였다. 1차 표준물질을 사용하여 얻은 스펙트럼으로 검량파일(calibration file)을 작성하였다. 2차 표준물질(EPMA용 유리시료)의 각기 다른 부위를 분석한 다음 측정값의 평균과 표준편차를 구하여 이를 실제 조성과의 비교함으로써 EDS의 정량 값에 대한 재현성을 확인하였다. 본 분석을 위하여 에너지분산형분광기(EDS, Oxford 7324, Oxford Inc., England)가 부착된 주사전자현미경(SEM, JSM-5910LV, JEOL, Japan)을 활용하였다.

2.4. 열이온화질량분석(TIMS)

유리구슬의 분석결과 포타쉬납유리 17점은 납이 45% 이상 포함되어 있어 이 중 10점을 선별하여 납동위원소비를 측정하였다. 약 0.05mg 정도의 작은 시료를 채취하여 테프론 바이알에 넣었다. 정제된 왕수를 2~3ml 첨가하고 150℃의 가열판에서 밤새도록 가열하였다. 그 다음 바이알 뚜껑을 열고 가열하여 건조시켰고, 6N 염산 2ml 정도를 사용하여 다시 건조시킨 후 1N HBr 1ml 정도에 녹였다. 시료를 원심 분리한 다음 음이온교환수지(AG1-X8, chloride form, 100-200#)와 1N HBr을 사용하여 납을 분리하였다. 분리한 납은 Re single filament에 얹어 대전 소재 한국기초과학지원연구원의 열이온화질량분석기(Thermal ionization mass spectrometer: TIMS, Model: VG Sector 54-30)를 사용하여 동위원소비를 측정하였다. 분석결과는 표준물질(NBS SRM 981)의 측정치를 사용하여 보정하였다. 분석과정의 총 바닥 값(total blank)은 1ng 내외이었다.

3. 결과 및 고찰

은평뉴타운 2-C공구에서 입수한 60점의 유리구슬 편을 색깔별로 구분하여 일부 시료의 단면을 Figure 4에 나타내었다. 사진에서 보듯이 대부분의 구슬은 투명한 것과 반투명한 것으로 구분할 수 있으며 내부에는 크고 작은 기포가 형성되어 있음을 알 수 있다. 이는 유리의 용융과정에서 급격한 온도 변화로 기포가 충분히 빠져나갈 수 있는 시간을

갖지 못하여 생긴 것이다. 또한 단면 가장자리에 하얀 띠를 형성하고 있는 시료(No. 12, 17, 18, 43, 44, 49~55)들을 볼 수 있는데 이는 주로 납유리에서 볼 수 있는 납산화물(Cerussite ; $PbCO_3$)이다.

3.1. 유리구슬의 성분조성

은평뉴타운 2-C공구에서 입수한 유리구슬 편 60점 각각에 대하여 비중 측정 및 12종의 성분함량을 분석하였고 유리의 색깔 등 그 결과를 Table 1에 나타내었다. Table에서 보듯이 유리구슬 60점에서 함량이 많은 네 가지 주요 성분(K_2O , CaO , PbO , SiO_2)을 살펴보면 크게 포타쉬유리(K_2O - CaO - SiO_2)계통과 포타쉬납유리(K_2O - PbO - SiO_2)계통으로 나뉘어진다. 따라서 은평뉴타운유적 유리는 모두 포타쉬계 유리이면서 두 종류로 분류된다는 것을 알 수 있다.

포타쉬유리(K_2O - CaO - SiO_2)계통은 60점 중에서 42점이며 성분조성을 살펴보면 K_2O 12~25%, CaO 6~15%이고 주성분인 SiO_2 는 58~68% 범위를 나타내었다. 같은 계열이지만 반대로 CaO 함량이 K_2O 보다 많은 것으로는 시료번호 36, 59번(K_2O 6~9%, CaO 15~20%)이 있다. 그리고 포타쉬유리는 Na_2O 가 0.2~6.0%로 농도의 범위가 다양하다. MgO 는 농도가 0.6~4.0% 범위이고, Al_2O_3 는 0.4~6.0% 범위이었다.

발색제로 작용하는 MnO , Fe_2O_3 및 CuO 의 농도를 살펴보면 Fe_2O_3 의 양이 0.2~0.5%이며, TiO_2 0.1~0.3% 범위를 나타내었다. 다만 각각 청색, 회백색, 벽색을 띠는 3점의 시료(no. 40, 46, 59)는 CuO 0.7~1.0%를 나타내고 있다. 포타쉬유리의 비중은 2.37~2.63 범위에 걸쳐있음을 Table 1에서 볼 수 있다.

포타쉬납유리(K_2O - PbO - SiO_2)계통은 모두 17점으로서 성분조성을 살펴보면 K_2O 가 10~14%, PbO 는 46~50%, SiO_2 는 38~40%의 농도 범위에 있음을 알 수 있다. 그런데 시료 No. 60은 CaO 5%, K_2O 15% 및 PbO 는 30%를 함유하고 있어 위의 포타쉬납유리와는 조금 다른 차이를 나타내고 있다. 모든 포타쉬납유리에서 Na_2O , MgO 의 함량은 0.2% 이하로 매우 낮다. 이는 포타쉬의 원료로서 식물 재를 사용한 것이 아니며 천연초석(natural saltpeter ; KNO_3)을 사용한 것으로 판단된다. 자갈과 같은 고순도의 실리카에 초석을 넣고 납을 섞어 녹여 납유리를 제작한 것으로 생각된다¹⁶.

또한 Table 1에서 납유리를 살펴보면 II-3지구 101호 토

Table 1. Color, specific gravity(S.G) and composition(wt%) of glass beads from Eumpyeong Newtown site

No.	district No	Tomb No	Color	S.G	Composition(wt%)													Total
					Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	PbO		
1	I	17	brown	2.63	1.88	2.08	1.00	64.4	0.73	15.9	13.5	0.14	0.04	0.31	-	-	99.9	
2	I	17	brown	2.39	1.43	0.58	0.91	66.7	0.85	20.4	8.5	0.16	-	0.34	-	-	99.9	
3	I	17	brown	2.46	1.43	0.61	0.85	67.1	0.83	20.2	8.3	0.04	-	0.28	0.09	-	99.7	
4	I	36	brown	2.37	1.11	1.33	0.98	64.1	0.77	22.2	9.2	0.04	-	0.15	-	0.1	100.0	
5	II-2	24	colorlessness	2.41	0.36	1.44	0.82	65.3	0.40	23.4	7.8	0.07	-	0.26	-	-	99.9	
6	II-2	24	colorlessness	2.39	0.38	1.35	0.63	65.6	0.38	23.2	7.9	0.09	-	0.27	0.04	-	99.9	
7	II-3	42	brown	2.42	1.66	1.16	1.48	65.7	0.75	20.4	8.2	0.11	-	0.46	-	-	99.9	
8	II-3	42	brown	2.42	1.51	1.08	1.45	65.3	0.79	20.7	8.5	0.17	-	0.37	-	-	99.9	
9	II-3	65	dark gray	2.48	1.68	2.26	1.34	60.2	0.72	20.5	12.4	0.16	-	0.48	-	-	99.7	
10	II-3	65	dark gray	2.48	1.48	2.25	1.37	60.5	0.68	20.7	12.2	0.20	-	0.36	-	-	99.8	
11	II-3	82	brown	2.46	2.08	1.20	2.39	63.8	0.71	20.0	9.4	0.12	-	0.23	-	-	99.9	
12	II-3	101	colorlessness	3.62	0.14	0.07	0.12	40.2	0.08	11.3	-	0.03	-	0.11	-	47.9	99.9	
13	II-3	101	colorlessness	3.74	-	0.02	0.10	39.7	0.08	11.7	-	0.02	-	-	0.08	48.1	99.8	
14	II-3	101	colorlessness	3.65	0.06	0.15	-	39.1	0.16	11.7	-	0.12	-	0.11	-	48.4	99.8	
15	II-3	101	colorlessness	3.69	0.03	0.02	0.10	39.4	0.32	11.2	-	-	-	0.15	0.13	48.4	99.8	
16	II-3	101	colorlessness	3.55	0.13	0.02	0.12	39.4	0.30	11.5	-	0.12	0.09	0.23	0.12	48.0	100.0	
17	II-3	101	colorlessness	3.79	0.06	-	0.08	39.5	0.19	11.7	0.1	0.03	-	-	-	48.3	100.0	
18	II-3	101	colorlessness	3.56	0.04	-	0.10	40.0	0.08	11.7	-	0.03	-	0.01	0.10	47.9	99.9	
19	II-3	115	brown	2.49	2.82	2.03	2.43	61.1	0.77	18.3	11.7	0.25	-	0.48	-	-	99.9	
20	II-3	150	grayish blue	2.52	3.99	0.53	6.01	58.0	0.86	17.6	12.3	0.18	0.07	0.29	0.05	-	99.9	
21	II-3	150	colorlessness	2.52	4.37	1.46	3.98	59.3	0.86	15.9	13.4	0.07	-	0.26	0.11	-	99.8	
22	II-3	238-3	brown	2.43	1.82	1.09	1.55	66.9	0.71	21.0	6.6	0.13	0.03	0.22	-	-	100.0	
23	II-3	238-4	brown	2.42	1.76	0.98	1.52	67.1	0.77	20.5	6.8	-	-	0.25	-	-	99.6	
24	II-4	242	brown	2.33	0.32	1.00	0.53	67.4	0.64	22.1	7.2	-	-	0.32	0.23	-	99.7	
25	II-4	242	brown	2.44	0.41	1.21	0.64	67.0	0.78	22.1	7.3	0.07	-	0.26	-	-	99.8	
26	II-4	257	brown	2.41	0.69	1.17	0.42	68.2	0.80	21.4	6.8	0.12	0.01	0.33	-	0.1	100.0	
27	III-1	78	brown	2.44	0.64	1.18	0.59	66.3	0.53	22.6	7.7	0.07	-	0.32	-	-	99.9	
28	III-1	78	brown	2.40	0.52	1.22	0.63	67.3	0.61	21.7	7.4	-	-	0.32	0.08	-	99.8	
29	III-1	121	brown	2.35	0.18	1.24	0.43	67.5	0.29	21.4	8.6	0.09	-	0.22	-	-	100.0	
30	III-1	144	colorlessness	2.49	0.41	1.64	0.47	62.4	0.38	23.9	10.4	-	0.01	0.14	0.15	-	99.9	

Table 1. Continued.

No.	district No	Tomb No	Color	S.G	Composition(wt%)													Total
					Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	PbO		
31	III-2	145	colorlessness	1.06	0.37	1.76	0.44	62.6	0.39	23.6	10.3	0.09	0.04	0.18	0.03	-	99.9	
32	III-2	213	brown	2.48	1.27	1.65	1.77	61.4	0.71	22.5	10.0	0.11	0.04	0.31	0.01	-	99.8	
33	III-2	386	brown	2.50	1.40	1.62	1.60	65.2	0.66	19.6	9.3	0.14	0.07	0.25	-	0.2	100.0	
34	III-2	426	brown	2.45	1.05	1.54	1.87	62.9	0.67	23.3	7.9	0.11	-	0.46	-	-	99.8	
35	III-2	437	brown	2.44	3.19	0.76	2.58	65.1	0.69	18.8	8.2	0.23	0.04	0.19	-	-	99.8	
36	III-2	559	colorlessness	2.60	3.61	5.91	3.96	58.5	1.25	6.2	19.7	0.30	-	0.39	0.01	0.1	99.9	
37	III-2	664	brown	2.45	2.02	1.53	2.74	59.6	0.75	22.9	9.7	0.17	-	0.24	0.14	-	99.8	
38	III-2	711	brown	2.51	2.49	3.22	0.97	65.9	0.67	12.0	14.4	0.05	-	0.32	-	-	99.9	
39	III-3	906	brown	2.47	3.32	1.23	1.96	64.9	0.80	18.2	8.9	0.16	0.04	0.34	-	-	99.9	
40	III-3	908	blue	2.45	2.57	0.28	5.87	60.3	0.80	19.4	8.9	0.13	0.04	0.22	0.99	0.3	99.8	
41	III-3	908	brown	2.45	3.36	1.14	5.67	58.2	0.79	21.5	8.6	0.30	-	0.25	0.03	-	100.0	
42	III-3	908	brown	2.43	3.35	1.00	5.71	58.4	0.83	21.6	8.4	0.22	0.04	0.24	-	-	99.8	
43	III-3	908	colorlessness	3.47	0.20	-	0.08	39.2	0.67	11.9	-	-	0.03	-	-	47.8	100.0	
44	III-3	908	colorlessness	3.60	0.21	-	0.08	39.1	0.64	12.0	0.1	-	-	0.07	-	47.7	99.9	
45	III-3	921	brown	2.41	1.61	1.50	1.74	62.0	0.69	22.1	9.8	-	-	0.25	-	-	99.8	
46	III-3	1005	light gray	1.83	0.09	0.42	1.24	93.9	0.48	0.2	1.9	-	-	0.34	0.73	0.2	99.5	
47	IV-1	166	brown	2.50	0.66	2.41	0.53	64.6	0.72	19.5	11.2	0.07	0.06	0.20	0.03	-	99.9	
48	IV-1B	382	colorlessness	2.46	1.74	0.22	4.53	60.5	0.69	20.8	10.7	0.18	0.06	0.24	0.08	-	99.7	
49	IV-2	33	light blue	3.79	0.11	0.02	0.30	38.5	0.16	10.6	-	-	0.01	0.95	0.01	49.3	99.9	
50	IV-2	33	light blue	3.50	-	-	0.24	38.5	0.38	10.1	0.1	-	-	0.91	0.16	49.5	99.8	
51	IV-2	33	light blue	3.26	0.13	0.02	0.26	38.2	0.00	10.0	0.1	-	-	0.80	-	50.1	99.6	
52	IV-2	33	light blue	3.30	0.10	0.02	0.02	38.7	0.23	13.4	0.4	0.07	0.01	-	0.77	46.3	99.9	
53	IV-2	33	light blue	3.35	0.21	0.05	0.12	38.4	0.23	12.9	0.5	0.07	0.01	0.14	0.87	46.4	99.9	
54	IV-2	33	grayish blue	3.52	-	-	0.10	38.5	0.30	12.5	0.2	-	0.01	0.17	-	48.3	100.0	
55	IV-2	33	grayish blue	3.46	-	0.03	0.14	38.5	0.69	13.1	-	-	-	-	-	47.4	99.9	
56	IV-2	25	brown	2.40	1.41	0.78	3.25	64.5	0.49	22.4	6.4	0.07	-	0.44	0.05	-	99.8	
57	V	74	brown	2.41	4.36	1.74	3.37	63.3	0.66	15.1	10.9	0.23	0.03	0.32	-	-	99.9	
58	V	74	brown	2.41	5.66	1.65	5.61	60.4	0.71	12.8	12.2	0.30	-	0.39	0.04	0.2	100.0	
59	V	80	light blue	2.45	3.78	3.54	4.52	61.5	1.04	8.8	15.0	0.35	-	0.24	0.88	0.2	99.8	
60	V	80	light blue	3.25	0.24	0.23	0.34	48.0	0.48	14.6	5.1	-	0.13	0.19	0.09	30.5	99.9	

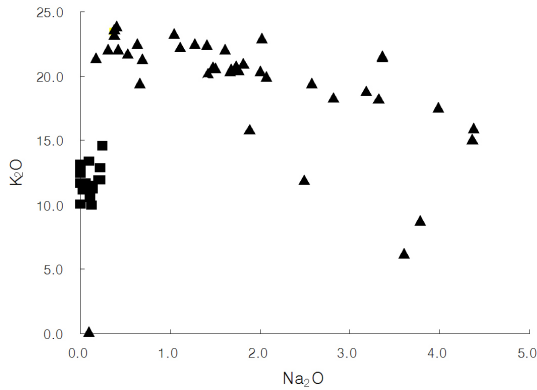


Figure 5. Distribution of flux components(Na_2O vs K_2O) (■: Potash-lead glass, ▲: Potash glass).

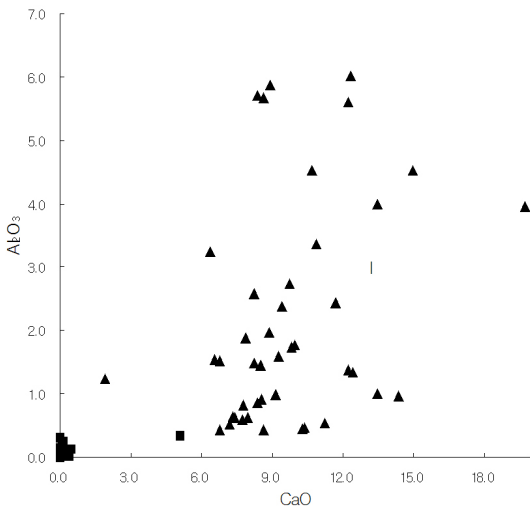


Figure 6. Distribution of stabilizer components(CaO vs Al_2O_3) (■: Potash-lead glass, ▲: Potash glass).

광묘 및 III-3지구 908호 토광묘에서 나온 유리구슬 9점 (No. 12~18 및 43, 44)은 모두 무색투명한 납유리임을 알 수 있는데 성분조성이 매우 균일하며 오차가 작아 동일 원료를 써서 동일 장소에서 함께 제작한 것으로 생각된다. IV-2지구 33호 토광묘에서 출토된 7점의 유리구슬은 담청색, 녹청색 및 회청색을 띠고 있다. 담청색유리(No. 49~51)는 Fe_2O_3 가 0.9% 정도이며, 녹청색유리(no. 52, 53)는 CuO 의 함량이 약 0.8%로서 이들 성분에 의해 발색된 것으로 본다.

포타쉬납유리 17점의 미량성분의 농도를 살펴보면 Na_2O 는 0.2% 이하이며, MgO 0.1% 이하, Al_2O_3 0.3% 이하로 위의 포타쉬유리에 비해 농도가 매우 낮다는 것을 알

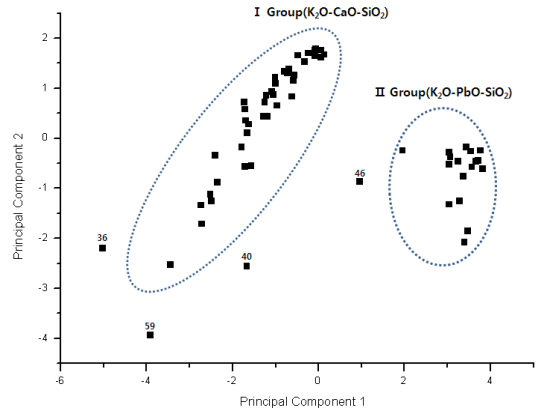


Figure 7. The distribution of glass beads excavated from Eunpyeong Newtown site by principal component analysis(PCA).

수 있다. 포타쉬납유리의 비중은 3.25~3.79 범위이었다.

또한 포타쉬유리와 포타쉬납유리에 대한 용제, 안정제 성분 함량을 비교하여 Figure 5 및 6에 나타내었다. Figure 5에서 포타쉬납유리(■)는 K_2O 및 Na_2O 의 함량이 일정하게 분포되어 있으며 포타쉬유리(▲)는 그 농도가 광범위하게 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 또한 Figure 6에서도 포타쉬납유리는 안정제 CaO 및 Al_2O_3 의 함량이 거의 없으나 포타쉬유리는 여러 농도 범위로 흩어져 있음을 볼 수 있다. 특이하게 시료 No. 46 한 점은 성분 조성으로 보아 유리라기보다는 석영으로 판단된다.

동양권에서 포타쉬납유리는 중국에서 처음 발명된 것이라는 의견이 지배적이다. 포타쉬납유리는 중국에서 10세기 말에 조금씩 제작되다가 12세기 이후 다량 생산하였다는 보고^{4,16}가 있다. 일본에서는 헤이안시대 말기 및 카마쿠라시대 초기에 중국에서 아주 소량 수입을 하였는데 큐우슈우 북부 지방의 포타쉬납유리를 분석한 결과 중국의 포타쉬납유리와 성분조성 및 납동위원소비가 일치한다는 연구 보고¹⁷가 있다.

3.2. 주성분분석(PCA)에 의한 유리구슬의 분류

은평뉴타운 유적출토 유리구슬 시료 60점의 농도 값을 Table 1에 나타내었는데 이 값들이 너무 많아 종류별로 어떻게 분류되는지를 일괄적으로 보기 어렵다. 유리 시료의 성분 농도에 따른 분포도를 작성하기 위하여 농도 값을 모두 동시에 사용하는 통계분석을 수행하였다. 그 한 방법으로서 주성분분석(PCA)은 시료의 성분 농도 분포에 따라

Table 2. Lead isotope ratio and discriminant score of potash-lead glass.

Sample No.	Lead isotope ratio					Discriminant score	
	206/204	207/204	208/204	207/206	208/206	DS ₁	DS ₂
12	17.818	15.649	37.978	0.8783	2.1291	0.83	0.08
14	17.778	15.579	37.697	0.8763	2.1184	0.57	-0.09
17	17.787	15.599	37.804	0.8769	2.1234	0.67	-0.06
43	17.963	15.655	38.115	0.8715	2.1199	0.55	0.10
44	17.988	15.679	38.192	0.8717	2.1211	0.60	0.17
49	17.868	15.698	38.091	0.8785	2.1298	0.89	0.24
52	17.860	15.628	37.868	0.8750	2.1186	0.59	0.05
54	17.849	15.679	38.058	0.8784	2.1305	0.88	0.17
55	17.825	15.649	37.971	0.8780	2.1281	0.81	0.09
60	18.872	15.923	39.952	0.8436	2.1150	0.08	0.79

유사한 시료는 한데 모여 군(群)을 형성하므로 시료 상호 간의 상관관계를 비교하고자 할 때 유용하게 이용되고 있다¹⁵.

Figure 7은 은평 뉴타운 유적에서 출토된 유리구슬 60점의 성분 농도를 사용하여 PCA 분석을 수행한 결과이다. 그림에서 보듯 크게 두 개의 그룹으로 나뉘어 지는 것을 확인할 수 있는데 I 그룹은 포타쉬유리(K₂O-CaO-SiO₂) 계열의 유리가 대부분을 이루고 있으며, II 그룹은 포타쉬납유리(K₂O-PbO-SiO₂) 계열의 유리구슬들로 이루어져 있다. 분포도에서 벗어나는 일부 시료(No. 36, 59)는 포타쉬유리 계열으로 보이지만 Table 1에서 보듯 CaO의 농도가 K₂O 보다 높은 시료임을 알 수 있다. 또한 한 시료(No. 46)는 석영임을 Table 1의 농도로부터 알 수 있다. 청색 유리 시료(No. 40)도 멀리 벗어나 있으나 성분 조성을 살펴 본 결과 CuO 1%, Al₂O₃ 6%의 높은 농도 값을 나타내었다. 즉, 발색제로 작용한 CuO에 의해 본 그룹과 떨어져 나타난 것으로 보인다.

3.3. 납동위원소비

납(Pb)은 원자번호가 82이며 질량수가 204, 206, 207, 208인 4가지의 동위원소를 가지고 있다. 204는 가장 안정한 납동위원소로서 지구 생성 시부터 존재하였던 것이다. 납동위원소 206, 207, 208은 우라늄(U) 및 토륨(Th)의 방사성붕괴에 의해 생성된 것으로 처음부터 존재하던 204와 혼합하여 어느 시기에 방연석을 형성하는데 이때 방연석은 고유한 납동위원소비(206/204, 207/204, 208/204, 207/206, 208/206)를 갖게 된다. 따라서 고대에 납유리 제조를 위해 어느 지역의 방연석을 사용하였다면 방연석의 납동위원소

비는 납유리에 그대로 유지되므로 납유리의 납동위원소비를 분석하면 그 산지를 추정할 수 있게 된다^{13,14}. 이러한 원리를 이용하여 은평 뉴타운유적에서 출토된 포타쉬납유리는 PbO의 함량이 47~50%를 함유하고 있어 이의 납동위원소비를 측정하면 이 납을 어디에서 입수하였는지 그 출처를 추정해 볼 수 있다.

또한 유리시료에서 얻은 많은 데이터를 해석하기 위하여 시료들의 분포도를 나타내는 통계적 방법으로서 다변수분석법(multi-variate analysis)중 선형판별식분석법(SLDA : statistical linear discriminant analysis)¹⁵도 함께 사용하였다. 한국, 중국 및 일본 방연석의 납동위원소비는 산지별로 몇 개의 군으로 분류되는데 선형판별식분석법으로 판별식을 만들어 놓은 바 있다. 따라서 이 판별식을 사용하여 미지의 유리시료가 여러 방연석 군들 가운데 어느 군에 속하는지 간편하게 알아낼 수 있도록 하였다.

포타쉬납유리의 납동위원소비 분석결과를 Table 2에 나타내었다. 그리고 납의 산지추정을 위해 Figure 8은 (206/204) vs (207/204)를 축으로 그리고 Figure 9는 (207/206) vs (208/206)를 축으로 나타낸 그래프를 사용하였다. 여기에서 보는 바와 같이 한국, 중국 및 일본의 방연석 영역(한국북부▲, 한국남부△, 중국북부■, 중국남부□, 일본X)이 각각 잘 나타나 있어 납의 산지 분류에 유용하게 사용되고 있다. Table 2의 납동위원소비 데이터를 각 분포도에 나타낸 결과 Figure 8에서 보는 바와 같이 9점의 시료들이 중국북부 또는 한국북부에 속하기도 하고 범위 밖에 있으며 한점(No. 60)은 많이 벗어나 있음을 알 수 있다. Figure 9에서는 유리 편 9점이 포함되어 있으며 한점(No. 60)은 중국남부에 속한 다는 것을 알 수 있다.

선형판별식분석법(SLDA)으로 방연광의 분류를 위한

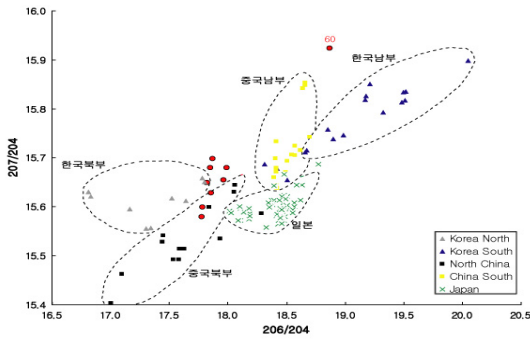


Figure 8. The lead isotope ratio distribution of potash-lead glasses(206/204 vs 207/204).

판별함수를 구한 바 있는데 한국, 일본 및 중국 방연석 시료 134종의 전체 납동위원소비 데이터¹³를 사용하여 선형 판별식분석을 수행한 결과이다. 포타쉬납유리 시료의 납동위원소비에 대한 판별점수를 계산하여 Table 2에 함께 나타내었다. Table 2의 판별점수(DS₁, DS₂)를 사용하여 Figure 10에 나타내었는데 그림에서 보는 바와 같이 이들 시료는 대부분 중국북부 지역 범위에 포함되었고 한점의 시료는 앞의 그림에서 보듯이 중국남부와 관련되었다. 따라서 유리구슬의 납동위원소비를 사용하여 나타낸 Figure 8, 9, 10의 결과를 종합해 보면 이들 산지추정 결과는 중국 남부와 관련이 있는 No. 60 시료를 제외하고 모두 중국북부에 속함을 알 수 있다.

4. 맺음말

은평뉴타운유적 토광묘에서 입수한 유리구슬 60점에 대하여 각각 12종의 성분을 분석하였다. 성분 조성별로 유리 계통을 살펴보면 포타쉬 유리는 42점, 포타쉬납유리는 17점이며 1점(No. 46)은 석영으로 나타났으며 유리 구슬의 색깔은 갈색(투명), 흑회색, 회백색, 녹색, 무색투명 등으로 나뉜다. 주성분분석(PCA) 결과에서도 은평뉴타운 유적에서 출토된 유리구슬은 크게 두 개의 그룹인 포타쉬 유리(K₂O-CaO-SiO₂)와 포타쉬납유리(K₂O-PbO-SiO₂)로 나뉜 것을 알 수 있었다. 특히 포타쉬납유리의 성분조성 및 납동위원소비를 검토한 결과 중국에서 입수한 유리구슬로 추정된다. 아래는 이번에 분석된 각 유리군별 특징을 간략하게 정리하여 나타내었다.

포타쉬유리 ; 분석시료 60점 중에서 42점이 여기에 속한다. 비중은 2.3~2.6 정도이며, 성분조성은 K₂O는 15~2

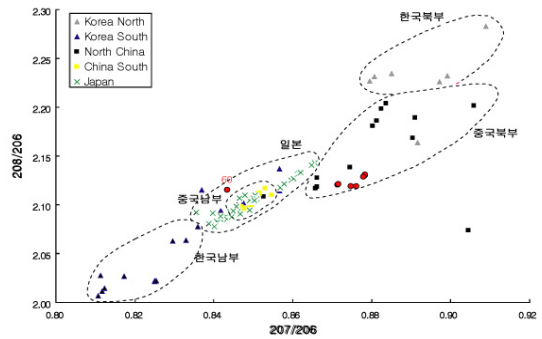


Figure 9. The lead isotope ratio distribution of potash-lead glasses(207/206 vs 208/206).

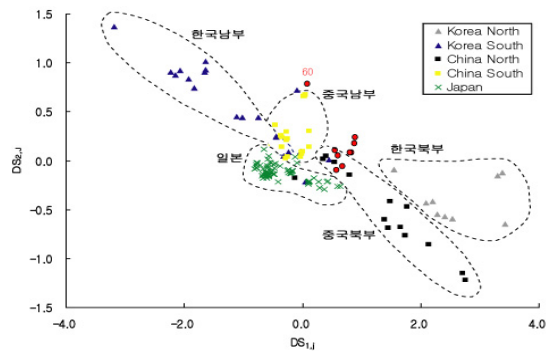


Figure 10. The distribution map of potash-lead glasses by linear discriminant analysis.

5% 범위로서 CaO는 다소 편차가 있으나 6~15% 이고 주 성분인 SiO₂는 58~70% 범위를 나타내었다. 발색제로 작용하는 MnO, Fe₂O₃ 및 CuO의 농도를 살펴보면 Fe₂O₃의 양이 다른 것 보다 많이 함유되었다는 것을 알 수 있다.

포타쉬납유리 ; 모두 17점으로서 비중은 3.2~3.8 정도로서, 성분조성을 살펴보면 K₂O가 10~15% 범위에 있으며 PbO는 46~50% 농도 범위에 있음을 알 수 있다. 특이한 것으로는 시료 No. 60의 CaO 농도가 5%정도 함유되어 있으며 PbO는 30%를 함유하고 있었다.

납 원료의 산지 ; 포타쉬납유리는 모두 17점인데 이중에서 10점을 선정하여 납동위원소비를 분석한 결과 9점은 중국북부산 납으로, 1점은 중국남부산 납으로 추정되었다. 따라서 은평유적의 포타쉬납유리는 중국의 수입품일 가능성이 크다.

참고문헌

1. 중앙문화재연구원, 은평뉴타운 사업부지내(제2지구C공

- 구) 발굴조사 약보고, p8-13, (2007).
2. Zvigoffer, *Archaeological Chemistry*. John Wiley & Sons, p136-166, (1980).
 3. Bowman, S., *Science and the Past*. British Museum Press, p37-56, (1991).
 4. Koezuka, T, Yamadsaki, K., "Chemical Compositions of Ancient Glasses Found in Japan -A Historical Survey-". *Glass Archaeometry, Proceedings of XVII International Congress on Glass, Chinese Ceramic Society: Beijing*, p469-474, (1995).
 5. 김규호, 한국에서 출토된 고대유리의 고고화학적 연구. 중앙대학교대학원 화학과, 박사학위논문, (2001).
 6. 강형태, 김규호, 이성주, "울산 중산리유적 유리구슬의 특성". *석헌정징원교수정년기념논총,釜山史學*, 30, p79-98, (2006).
 7. 강형태, 정광용, 김건수, 허우영, 조남철, "고창 만동유적 (8호 및 9호묘) 유리구슬의 특성". *호남고고학보*, 21, p73-87, (2005).
 8. 강형태, 김성배, 허우영, 김규호, "고고자료의 자연과학 응용(II), -익산 미륵사지 납유리의 제조 및 유통-". *문화재*, 36, p241-266, (2003).
 9. 강형태, 정영동, 조재영, 김호상, "통일신라시대 녹유전돌(綠釉埴)의 녹유 특성 -부석사, 천룡사지 및 법광사지 녹유전돌-". *先史와 古代*, 22집, p211-222, (2005).
 10. Brill, R. H and J. M. Wampler, *American Journal of Archaeology*. p71, (1967).
 11. Brill, R. H *et al.*, *Recent Advance in Science and Technology of Materials*. (1974).
 12. Barnes I. L. *et al.*, "The Technical Examination, Lead Isotope Determination and Elemental Analysis of Some Shang and Zhou Dynasty Bronze Vessels". *2nd International Conference of BUMA*, Ed. Maddin R, p21-26, (1986).
 13. 馬淵久夫, 平尾良光, "東アジア鉛鑛石の鉛同位體比". *考古學雜誌*, 73(2), p199-245, (1987).
 14. 馬淵久夫, 平尾良光, "鉛同位體比法による漢式鏡の研究(二)". *MUSEUM*, 382, p16-26, (1983).
 15. Coomans, D and Massart, D.L., *Multivariate Analysis. Anal. Chi. Am. Acta*, 112, p97, (1979).
 16. Shi Meiguang and Zhou Fuzheng, *Some Chinese Glasses of the Qing Dynasty. Journal of Glass Studies*, 35, p102-105, (1993).
 17. Koezuka Takayasu, "Chemical Composition and Lead Isotope Ratios of Ancient Glasses Found in Japan". *Bulletin of the National Museum of Japanese History*, 86, p233-249, (2001).