

아산 명암리 박지므레 유적 출토 유리구슬의 화학적 특성

김나영 | 김규호¹
공주대학교 문화재보존과학과

Chemical Characteristic of Glass Beads Excavated from Bakjimeure Site in Asan, Korea

Na Young Kim | Gyu Ho Kim¹

Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Gongju, 314-701, Korea

¹Corresponding Author: kimgh@kongju.ac.kr, +82-41-850-8544

초록 아산 박지므레 유적 마한 분묘에서 출토된 유리 65점은 포타쉬유리군이 13점, 소다유리군이 52점으로 소다유리군이 우세하게 나타났다. 색상별로 세분하면, 감청색 유리는 포타쉬유리군과 소다유리군이 공반되는 반면 자색 유리는 포타쉬유리군이고 적색, 벽색, 녹색, 금박유리는 소다유리군으로 나타났다. 감청색 유리는 안정제의 함량이 낮은 LCA계이고 이중에 소다유리는 MgO와 K₂O 함량이 낮은 LMK형으로 천연탄산소다가 원료로 사용된 것으로 판단된다. 적색 유리는 균질한 유리가 LCA-B계/HMK형이고 불균질한 유리가 HCLA계/LMK형으로 각각 해양 식물 재와 천연탄산소다가 사용되었을 가능성이 있다. 벽색과 녹색 유리는 환옥이 LCA-A계/LMHK형이고 연주옥이 LCA-B계/HMK형으로 형태에 따라 차이를 보인다. 금박구슬은 19.9~22.6K의 순도를 갖는 금박과 HCLA계/LMK형의 소다유리로 제작되었다. 즉, 아산 박지므레 유적 유리구슬 대부분은 백제시대 타 유적에서 확인되는 유리 조성과 유사성이 높은 편이나 벽색 및 녹색 연주옥과 일부 적색 환옥은 다른 화학 조성을 보이므로 원료에 차이가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 특성은 고대유리의 교역 체계 이해를 위한 중요한 단서를 제공할 것으로 기대된다.

중심어: 아산 명암리 박지므레 유적, 포타쉬유리, 소다유리, 금박구슬, 연주옥

ABSTRACT 65 samples of glass bead excavated from Mahan tombs of Asan Bakjimeure site consists of 13 of potash glass group and 52 of soda glass group and soda glass is superior in numbers. When classified according to color, purple blue glass bead is accompanied potash and soda glass group whereas purple glass bead is potash glass group and red, greenish blue, green and gold foil glass bead is soda glass group. Purple blue glass bead is classified as LCA type in which the content of the stabilizer is low. Of this, the soda glass categorized as LMK type with low content of MgO and K₂O is determined that natron is used as the raw material. As to red glass, the homogeneous glass is LCA-B/HMK type and the heterogeneous glass is HCLA/LMK type. Thus, each of these two types are likely to be used plant ash and natron respectively. Greenish blue and green glass depends of the type that round glass is LCA-A/LMHK type and the segmented glass is LCA-B/HMK type. The gold foil glass bead is manufactured by the purity of 19.9~22.6K gold foil and the soda glass of HCLA/LMK type. In other words, the most of the glass bead of Asan Bakjimeure site is similar to the composition of the glass confirmed in other sites of the Baekche period. On the other hand, the greenish blue and

green segmented bead and some red round bead is a different chemical composition is considered that the difference in raw materials. These characteristics is expected to be an important evidence for the understanding of the trade system of the ancient glass.

Key Words: Asan Myeongam-ri Bakjimeure site, Potash glass, Soda glass, Gold foil glass bead, Segmented glass bead

1. 서 론

유리는 인류가 만든 가장 오래된 물질 중에 하나로 현대 과학적인 관점에서 원료를 혼합하여 충분한 열로 용융하고 결정화될 수 없을 정도로 급속한 냉각 과정을 통하여 얻어진 균일한 무기물로 정의할 수 있다¹. 망목형성산화물, 망목수산화물, 중간산화물로 구성된 불규칙한 망목구조로 구성 성분을 주제, 용제, 안정제 그리고 착색제로 분류할 수 있다^{1,2}.

고대유리는 기원전 3,000년경에 고대 이집트 유적에서 최초 발견되었는데 “천연유리”와 구별되어 1956년 Turner에 의해 처음으로 “고대유리”라는 용어가 사용되었다³. 한국의 고대유리는 유리를 구성하는 성분 중에 용융점을 낮춰주는 용제에 따라 납바륨유리, 포타쉬유리, 소다유리, 납유리 등으로 분류되며, 이와 같은 화학 조성의 분류는 지역과 시대에 따라 특징과 변화를 가지고 있는 것으로 확인되고 있다^{4,5}.

한국의 고대유리는 기원전 2세기경으로 추정되는 부여 합송리 유적의 관옥과 완주 갈동 유적의 고리형 환옥이 가장 이른 시기의 것으로 모두 납바륨유리제로 알려져 있다^{6,7}. 이후 포타쉬유리군이 나타나는 기원전 1세기를 기준으로 출토 수량이 기하급수적으로 증가하였으며 기원후 2세기에는 소다유리군으로 새로운 유리 문화가 유입되었다⁵. 구슬의 형태는 환옥(丸玉), 관옥(管玉), 곡옥(曲玉), 다면옥(多面玉), 연주옥(連珠玉), 조옥(棗玉), 금박구슬(金箔玉) 등으로 다양하나 대부분은 환옥이다. 색상은 초기에 청색 계통이 주류를 이루다가 소다유리군의 유입과 함께 적색, 자색, 녹색, 황색, 주황색, 무색, 흑색 등으로 다색화가 일어난다^{4,6,8}.

고대유리는 고대 사회의 장식 문화에서 차지하는 비중이 막대하였음에도 불구하고 이에 대한 고고학적 연구는 빈약한 수준에 머무르고 있다. 일부 발표된 논문에서는 경주지역에서 집중적으로 출토된 유리 용기에 한반도 유입 경로를 연구하였다^{9,11}. 이 연구는 고대 사회의 교역 체계를 제시한다는 점에서 의의가 있으나 용기류가 대부분 수입품

의 고급 기종이며 한정적인 시기와 지역에서만 출토되는 사실을 감안할 때 한반도의 일반적인 유리 문화의 실상을 파악하기에 한계를 가지고 있다. 이에 비해 고대유리에 대한 자연과학적 연구는 상대적으로 활발히 진행된 편이나 고고학 분야의 관심 대상인 형태학적 특성을 고려하지 못하고 유리구슬의 깨진 편에 대한 분석 자료를 제시하는 단계에 머무르고 있다.

본 연구에서는 2세기 말부터 3세기 말에 조영된 것으로 추정되는 아산 명암리 박지르레 유적의 마한 분묘에서 출토된 유리구슬에 대하여 과학적 분석 방법을 적용하여 고대 유리 문화의 특성을 확인하고자 하였다. 비풍화층에 대한 정확한 화학 조성을 제시하기 위해 유리 편을 시료로 선정 하되 구슬 제품의 출토 현황을 조사하고 이를 기반으로 시료의 대표성을 확보하였다. 또한 분석 시료는 본래 유리구슬의 형태를 짐작할 수 있는 유리 편에서 우선적으로 선정하여 고고학 분야와의 복합 연구가 가능하도록 노력하였다.

2. 연구 대상

2.1. 유적 개요

아산 명암리 박지르레 유적¹²은 아산 탕정면 갈산리, 명암리, 동두리 일원에 조성되는 삼성 LCD 단지 조성 부지 내에 확인된 유적으로 2-1, 2-2, 3 지점으로 구분하여 조사가 진행되었다. 그 결과 구석기시대 고토양층부터 조선시대 주거지 및 분묘까지 다양한 유구가 조성된 복합 유적으로 총 379기의 유구가 확인되었으며 이중에서 청동기시대 생활 유적, 마한 분묘, 조선시대 토광묘가 주요 유구로 확인되었다.

마한 분묘는 토광묘와 주구토광묘가 151기로 대다수를 차지하고 이외에 옹관묘가 소수 확인된다. 출토 유물은 원저단경호와 심발형토기로 대표되는 토기류, 무기류, 장신구류, 농공구류, 마구류로 구분되는 철기류 그리고 구슬 장신구류가 대표적이다. 특히, 2-2지점의 17-24호 주구토광묘와 3지점의 16호 주구토광묘 및 20호 토광묘에서는 천안

청당동, 김해 양동리, 구지로 고분군, 상주 성동리, 청주 봉명동 유적 등 소수 유적에서 출토된 청동제 마형대구와 오리형토기 등이 출토되어 아산 탕정 집단의 우월성과 성격을 이해하는데 중요한 단서로 평가받고 있다. 유적의 조성 시기는 무기류와 농공구류의 형식 분석을 통해 2세기 말부터 3세기 말로 추정하고 있다.

2.2. 구슬류의 출토 현황 및 선정 시료

아산 명암리 박지므레 유적의 마한 분묘에서는 28기의 토광묘, 주구토광묘, 옹관묘에서 총 8,154점의 구슬 제품이 출토되었다. 특히, 2-1지점 16호 주구토광묘, 2-2지점 1-27호 주구토광묘에서는 1,000점 이상이 출토되기도 하였다. 대부분은 목관 내부에서 출토되었으며 위치상 경식과 발식 그리고 흉식으로 추정된다. 다만, 2-2지점 1호 주구토광묘에서는 출토된 3,470점 중에서 약 2,500점이 토기 내부에

서 출토되기도 하였다. 재질은 광물제와 유리제로 구분되며, 광물제는 홍옥수나 수정제로 추정되는 주황색이나 무색의 다면옥, 조옥, 환옥이 확인된다. 유리제는 대부분 감청색, 벽색, 적색, 자색, 녹색의 환옥이나 감청색, 벽색, 녹색의 연주옥과 금박구슬과 같은 특이형 구슬이 함께 출토되었다¹².

연구 대상은 복원되지 않는 유리 편 중에서 시료의 대표성을 고려하여 2-1지점의 7-16호 주구토광묘, 2-2지점의 23호 토광묘, 1-9-13-17-23-27호 주구토광묘, 3지점의 13-30호 토광묘 등 11개 유구에서 총 65점을 선정하였다(Table 1). 이 11개 유구에서는 박지므레 유적의 마한 분묘 28기에서 출토된 8,154점의 92.5%에 해당하는 7,540점이 출토되었다. 형태는 환옥과 연주옥 그리고 금박구슬이며, 색상은 감청색, 적색, 벽색, 녹색, 자색, 무색 등으로 아산 명암리 박지므레 유적에서 확인된 유리구슬의 모든 형태와 색상을 포함한다.

Table 1. Analytical sample list of the Bakjimeure site, Asan.

Area	Site	No. of beads	Beads	No. of samples	Sample
2-1	pit tomb with an encircling ditch No.7	328	Purple blue round bead(241), Greenish blue round bead(1), Red round bead(2), Material bead(84)	3	Purple blue round bead(3)
	pit tomb with an encircling ditch No.16	1,502	Gold foil bead(50), Red round bead(350), Purple blue round bead(986), Material bead(116)	11	Purple blue round bead(3), Red round bead(3), Gold foil bead(5)
	pit tomb No.23	353	Gold foil bead(7), Red round bead(112), Purple blue round bead(1), Greenish blue round bead(83), Greenish blue segmented bead(6), Green round	12	Red round bead(3), Greenish blue round bead(3), Greenish blue segmented bead(3), Green round bead(2), Green segmented bead(1)
	pit tomb with an encircling ditch No.1	3,470	Purple blue round bead(1616), Purple round bead(663), Red round bead(1189), Material bead(1)	10	Purple blue round bead(6), Purple round bead(1), Red round bead(3)
2-2	pit tomb with an encircling ditch No.9	37	Purple blue round bead(22), Red round bead(13), Material bead(2)	6	Purple blue round bead(3), Red round bead(3)
	pit tomb with an encircling ditch No.13	88	Gold foil bead(6), Purple blue round bead(4), Purple round bead(50), Material bead(28)	3	Purple blue round bead(3)
	pit tomb with an encircling ditch No.17	141	Purple blue round bead(140), Material bead(1)	5	Purple blue round bead(5)
	pit tomb with an encircling ditch No.23	149	Purple blue round bead(14), Purple blue segmented bead(1), Red round bead(134)	3	Purple blue round bead(3)
	pit tomb with an encircling ditch No.27	1,246	Gold foil bead(1), Purple blue round bead(339), Red round bead(788), Material bead(114)	6	Purple blue round bead(3), Red round bead(3)
3	pit tomb No.13	43	Purple blue or Greenish blue round bead(35), Red round bead(8)	3	Purple blue round bead(3)
	pit tomb No.30	183	Purple blue or Greenish blue round bead(26), Red round bead(157)	3	Red round bead(3)
	No. of total	7,540		65	

3. 연구 방법

3.1. 조성 분석

조성 분석은 주사전자현미경(JEOL JSM-5400, Japan)에 부착된 EDS(Energy Dispersive X-Ray Spectrometer, OXFORD INCA x-sight, England)를 이용하였다. 분석 전에 99.9%의 보정용 코발트로 전자빔의 방출에 의한 재현성을 검증하고 가속전압(Beam Energy) 20kV, 측정거리(Working Distance) 15mm의 조건에서 2,000배로 확대하여 면분석으로 150초(Live Time) 동안 측정하였다. 금박구슬의 금박은 동일 조건하에서 금박의 두께에 적합하게 일정 부분을 확대하여 점분석하였다.

시료는 탈염수에 세척하여 분석 시료의 단면을 예폭시 수지로 고정시켜 시편을 제작하고 사포(No. 400, 600, 800, 1,200)와 연마제(6 μ m, 1 μ m) 순서로 연마하였다. 각 연마 단계마다 시료가 오염되지 않도록 초음파 세척기로 5분간 3회씩 세척하였으며 탄소 코팅을 통해 조성비에 미치는 영향을 최소화시키면서 시료의 전도도를 높여 분석하였다.

3.2. 미세구조

가시적 특징은 실체현미경(Optical Microscope, Leica MZ7s, Germany)을 이용하여 형태 및 양끝 부분, 색상 및

투명도, 표면 풍화 상태 그리고 균열 등의 구슬 표면 특성을 1차적으로 조사하고, 주사전자현미경(SEM, TESCAN MIRA LMH, Czech)을 활용하여 유리 단면에 기포, 균열, 불순물 등의 결합 구조와 풍화층 상태를 관찰하였다. 이상의 특징을 바탕으로 유리구슬의 제작 기법을 평가하였다.

4. 연구 결과

유리구슬 65점에 대한 조성 분석은 13종의 주성분과 소량성분에 대하여 총 5회 측정하였으며 그 결과를 평균값과 표준편차로 정리하였다(Table 2). 그 결과 65점은 용융점을 낮추기 위해 사용된 용제의 종류에 따라 포타쉬유리군과 소다유리군으로 구분된다(Figure 1).

포타쉬유리군은 총 65점 중에서 20%에 해당하는 13점으로 Na₂O 1.4~2.6%, K₂O 13.7~18.1%의 조성 범위를 갖는다. 이들은 2-2지점에 1-9-17-23-27호 주구토광묘와 3지점의 13호 토광묘에서 출토된 감청색과 자색 환옥을 포함한다.

소다유리군은 80%에 해당하는 52점으로 Na₂O 17.6~23.6%, K₂O 0.42~4.6%의 함량 범위를 갖는다. 이들은 다수의 유구에서 출토된 감청색, 적색, 벽색, 녹색의 환옥 및 연주옥 그리고 금박구슬의 무색 내유리가 포함된다. 특히, 감청색을 제외한 적색, 벽색, 녹색 유리구슬과 금박구슬의 무색 유리는 모두 소다유리군으로 확인된다.

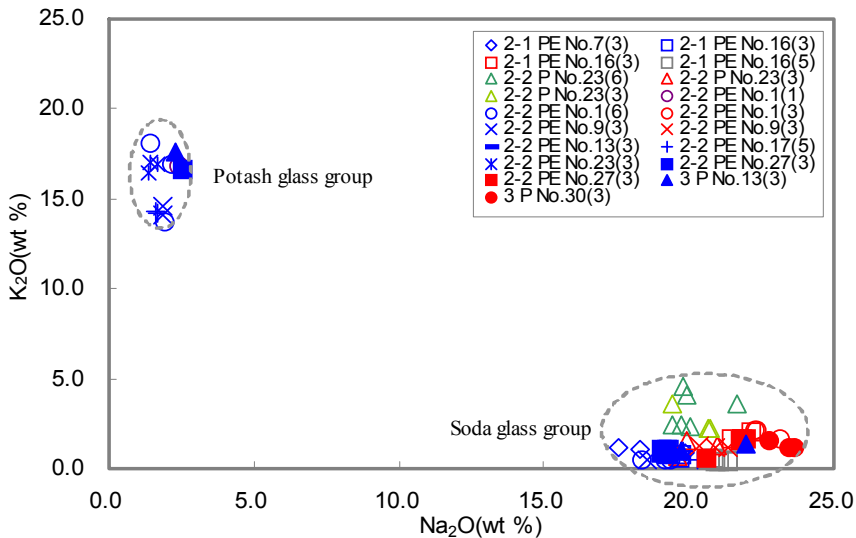


Figure 1. The relationship between Na₂O and K₂O composition for glass beads excavated from Bakjimeure site. P: Pit tomb, PE: Pit tomb with an encircling ditch.

Table 2. Chemical compositions of glass beads excavated from Bakjimeure site.

Sample Number	Site	Type ^a	Color ^b (Transparency) ^c	Oxide Concentration (Wt.%) ^d														
				SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	PbO	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Cl	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	SnO ₂	Total	
tj-2	2-1 area pit-tomb with an encircling ditch No.7	R	PB(△)	70.8 0.7	17.6 0.2	1.1 0.0	<0.1	4.6 0.0	2.5 0.1	0.39 0.02	0.61 0.02	0.30 0.02	1.4 0.1	0.81 0.03	<0.1	<0.1	100.1 1.1	
tj-3		R	PB(△)	69.6 1.7	18.3 1.6	1.1 0.1	<0.1	4.5 0.2	2.5 0.2	0.38 0.06	0.61 0.08	0.31 0.05	1.5 0.1	0.81 0.19	<0.1	<0.1	99.6 4.3	
tj-4		R	PB(△)	68.7 0.3	19.9 0.2	0.85 0.04	<0.1	4.0 0.1	2.1 0.0	0.40 0.04	0.66 0.03	0.77 0.07	1.2 0.1	0.99 0.05	<0.1	<0.1	99.6 0.9	
tj-5		R	PB(△)	68.7 0.4	19.3 0.2	1.0 0.0	<0.1	4.0 0.1	2.5 0.1	0.42 0.03	0.62 0.03	0.65 0.06	1.5 0.0	1.1 0.1	<0.1	<0.1	99.7 1.0	
tj-6	2-1 area pit-tomb with an encircling ditch No.16	R	PB(○)	68.4 0.2	19.8 0.2	0.81 0.05	<0.1	4.1 0.0	2.2 0.1	0.39 0.03	0.66 0.03	0.73 0.05	1.4 0.0	1.1 0.0	<0.1	<0.1	99.5 0.8	
tj-7		R	PB(△)	69.8 0.6	19.7 0.1	0.58 0.14	<0.1	3.7 0.2	2.3 0.0	0.35 0.03	0.69 0.02	0.35 0.21	1.3 0.0	1.1 0.1	<0.1	<0.1	99.7 1.6	
tj-8		R	R(×)	60.5 0.6	22.1 0.3	2.1 0.0	0.22 0.10	4.8 0.1	5.3 0.0	1.5 0.0	0.63 0.03	0.17 0.04	0.12 0.05	1.0 0.1	0.80 0.19	<0.1	<0.1	99.2 1.6
tj-9		R	R(×)	62.3 0.7	21.8 0.6	1.6 0.0	0.19 0.06	5.0 0.3	4.4 0.2	1.7 0.1	0.65 0.02	0.27 0.05	0.11 0.05	1.2 0.1	0.98 0.10	<0.1	<0.1	100.2 2.3
tj-10	R	R(×)	62.4 0.4	21.5 0.1	1.6 0.1	0.17 0.09	4.7 0.1	4.1 0.1	1.6 0.1	0.65 0.02	0.29 0.03	<0.1	1.2 0.1	1.1 0.1	<0.1	<0.1	99.2 1.2	
tj-11	GF	Colorless(○)	67.4 0.5	21.4 0.2	0.44 0.03	0.19 0.05	7.1 0.2	1.9 0.0	0.65 0.03	0.63 0.02	<0.1	<0.1	0.49 0.07	<0.1	<0.1	100.2 1.1		
tj-12	GF	Colorless(○)	66.1 1.1	20.9 1.0	0.56 0.06	<0.1	7.9 0.1	2.0 0.2	0.69 0.06	0.70 0.06	<0.1	<0.1	0.56 0.08	<0.1	<0.1	99.3 2.6		
tj-13	GF	Colorless(○)	67.4 0.6	21.3 0.2	0.42 0.02	0.20 0.05	7.1 0.1	1.9 0.1	0.64 0.06	0.65 0.02	<0.1	<0.1	0.50 0.11	<0.1	<0.1	100.2 1.5		
tj-14	GF	Colorless(○)	67.6 0.5	20.9 0.5	0.43 0.05	0.30 0.09	7.0 0.2	1.9 0.0	0.66 0.06	0.63 0.05	<0.1	<0.1	0.52 0.03	<0.1	<0.1	100.0 1.5		
tj-15	GF	Colorless(○)	67.4 0.7	21.1 0.2	0.43 0.01	0.23 0.10	7.0 0.3	1.8 0.1	0.62 0.04	0.66 0.03	0.12 0.03	<0.1	0.50 0.09	<0.1	<0.1	99.8 1.6		
tj-16	2-2 area pit-tomb No.23	R	gB(△)	66.3 1.1	19.8 1.0	2.5 0.1	0.31 0.05	2.6 0.1	4.1 0.0	1.0 0.0	0.15 0.02	0.25 0.02	<0.1	1.1 0.1	1.1 0.1	<0.1	99.1 2.6	
tj-17		R	gB(△)	68.3 0.7	20.1 0.2	2.4 0.0	0.26 0.11	2.1 0.1	4.0 0.1	0.99 0.06	0.16 0.02	0.23 0.05	<0.1	1.0 0.1	1.0 0.1	<0.1	100.6 1.5	
tj-18		R	gB(△)	67.0 0.4	19.4 0.4	2.5 0.1	0.22 0.07	2.6 0.1	4.0 0.0	1.2 0.1	0.14 0.02	0.22 0.03	<0.1	1.1 0.0	0.78 0.06	<0.1	<0.1	99.1 1.4
tj-19		S	gB(△)	63.7 0.4	19.9 0.1	4.1 0.1	<0.1	4.3 0.1	2.0 0.1	3.0 0.1	0.69 0.02	0.11 0.03	<0.1	0.70 0.09	1.7 0.1	<0.1	100.2 1.0	
tj-20	S	gB(△)	61.5 0.5	21.6 0.4	3.6 0.1	<0.1	4.3 0.0	2.6 0.0	3.2 0.1	0.74 0.02	0.15 0.07	<0.1	0.86 0.05	1.8 0.0	<0.1	100.4 1.4		
tj-21	S	gB(△)	63.5 0.9	19.8 0.1	4.6 0.11	<0.1	4.3 0.0	2.2 0.0	3.0 0.0	0.63 0.01	0.15 0.03	<0.1	0.72 0.08	1.3 0.1	<0.1	100.2 1.4		
tj-22	R	R(△)	68.0 1.4	19.6 1.6	0.72 0.15	0.20 0.04	7.1 0.7	1.9 0.1	0.64 0.05	0.67 0.05	<0.1	<0.1	0.59 0.22	<0.1	<0.1	99.5 4.2		
tj-23	R	R(△)	64.7 1.5	19.9 0.6	1.6 0.1	0.16 0.06	7.1 0.6	2.2 0.2	1.1 0.2	0.62 0.04	0.10 0.03	<0.1	2.4 0.8	<0.1	<0.1	99.9 4.2		
tj-24	R	R(△)	65.8 2.5	21.0 1.0	1.2 0.4	0.12 0.08	6.6 0.9	2.2 0.4	1.4 1.0	0.64 0.03	<0.1	<0.1	0.99 0.08	<0.1	<0.1	99.9 6.3		
tj-25	S	G(△)	57.5 1.2	19.4 0.6	3.6 0.1	5.6 0.7	3.7 0.1	2.3 0.1	2.7 0.1	0.68 0.03	0.16 0.05	<0.1	2.2 0.2	0.87 0.08	0.81 0.21	<0.1	99.6 3.4	
tj-26	R	G(△)	67.7 0.2	20.7 0.1	2.2 0.0	0.97 0.21	2.0 0.0	3.9 0.1	0.97 0.04	0.16 0.01	0.22 0.02	<0.1	0.88 0.08	0.57 0.04	<0.1	100.3 0.9		
tj-27	R	G(△)	67.9 0.2	20.7 0.1	2.2 0.0	1.0 0.5	2.0 0.0	3.8 0.1	0.98 0.03	0.15 0.02	0.22 0.03	<0.1	0.92 0.04	0.58 0.04	0.10 0.13	100.7 1.2		
tj-28	2-2 area pit-tomb with an encircling ditch No.1	R	PB(△)	78.8 0.4	1.9 0.0	13.7 0.2	<0.1	0.75 0.05	1.9 0.0	0.16 0.01	<0.1	0.16 0.07	0.92 0.07	0.86 0.08	<0.1	<0.1	99.1 0.9	
tj-29		R	P(△)	74.2 0.5	2.4 0.0	16.8 0.3	<0.1	1.3 0.1	2.0 0.0	0.31 0.01	0.10 0.02	0.26 0.04	1.7 0.1	0.86 0.06	<0.1	<0.1	99.9 1.1	
tj-30		R	PB(△)	74.9 0.2	1.4 0.1	18.1 0.3	<0.1	1.5 0.2	1.3 0.1	0.30 0.06	0.14 0.01	0.17 0.02	1.1 0.1	0.98 0.04	0.43 0.04	<0.1	<0.1	100.3 1.1
tj-31		R	PB(△)	74.8 0.6	2.2 0.0	16.9 0.3	<0.1	0.95 0.03	1.9 0.1	0.20 0.04	<0.1	0.16 0.04	1.4 0.1	1.2 0.1	<0.1	<0.1	99.8 1.3	
tj-32	R	PB(△)	72.3 1.7	18.4 0.4	0.48 0.06	<0.1	3.7 0.1	1.8 0.1	0.38 0.06	0.64 0.06	0.21 0.07	0.98 0.31	0.79 0.23	<0.1	<0.1	99.6 3.1		
tj-33	R	PB(△)	71.1 0.4	19.4 0.6	0.48 0.05	<0.1	3.2 0.1	2.1 0.0	0.41 0.04	0.69 0.01	0.26 0.05	1.4 0.1	0.75 0.05	<0.1	<0.1	99.7 1.5		
tj-34	R	PB(△)	71.4 0.6	19.2 0.3	0.49 0.02	<0.1	3.3 0.0	2.2 0.1	0.45 0.05	0.69 0.02	0.17 0.05	1.0 0.1	0.86 0.06	<0.1	<0.1	99.8 1.3		

Table 2. Continue

Sample Number	Site	Type ^a	Color ^b (Transparency) ^c	Oxide Concentration (Wt. %) ^d													
				SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	PbO	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Cl	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	SnO ₂	Total
tj-35	2-2 area pit-tomb with an encircling ditch No.1	R	R(×)	60.6 0.6	22.3 0.2	2.1 0.0	0.23 0.05	4.8 0.1	5.3 0.1	1.5 0.1	0.65 0.02	0.19 0.06	<0.1 0.04	0.96 0.08	0.82 0.08	<0.1 1.3	99.5
tj-36		R	R(×)	60.2 0.5	23.1 0.1	1.6 0.1	0.26 0.06	5.1 0.1	5.1 0.1	1.5 0.0	0.52 0.01	0.24 0.03	<0.1 0.1	1.5 0.1	1.0 0.1	<0.1 1.0	100.3
tj-37		R	R(×)	60.7 0.7	22.3 0.3	2.1 0.0	0.18 0.08	4.8 0.1	5.3 0.2	1.5 0.1	0.64 0.04	0.18 0.06	0.11 0.05	1.0 0.0	0.86 0.10	<0.1 1.0	99.8
tj-38	2-2 area pit-tomb with an encircling ditch No.9	R	PB(△)	72.8 0.9	18.6 0.4	0.51 0.04	<0.1 0.0	2.4 0.0	2.2 0.1	0.36 0.05	0.63 0.04	0.27 0.04	1.6 0.2	0.97 0.06	<0.1 0.1	<0.1 1.8	100.4
tj-39		R	PB(△)	76.9 1.3	1.9 0.1	14.1 0.9	<0.1 0.1	1.1 0.1	2.4 0.1	0.17 0.03	<0.1 0.03	0.25 0.05	1.6 0.1	1.1 0.1	<0.1 0.1	<0.1 2.8	99.4
tj-40		R	PB(△)	77.1 0.8	1.9 0.1	14.6 0.8	<0.1 0.1	1.1 0.1	2.3 0.3	0.18 0.03	<0.1 0.03	0.24 0.04	1.6 0.3	1.0 0.2	<0.1 0.1	<0.1 2.5	100.0
tj-41	2-2 area pit-tomb with an encircling ditch No.9	R	R(△)	64.5 2.0	20.9 1.0	1.1 0.1	0.16 0.05	6.8 0.7	6.3 0.4	2.3 0.8	1.2 0.06	0.63 0.06	<0.1 1.0	<0.1 2.2	<0.1 0.1	<0.1 6.2	99.8
tj-42		R	R(△)	65.7 3.5	21.4 1.6	1.1 0.2	0.11 0.11	6.3 0.8	2.3 0.4	1.4 1.2	0.67 0.03	0.10 0.07	<0.1 1.0	2.0 1.0	<0.1 0.1	<0.1 8.9	101.0
tj-43		R	R(△)	66.3 3.7	20.3 2.1	1.2 0.2	0.12 0.09	6.2 1.0	2.1 0.3	1.1 0.7	0.55 0.31	<0.1 0.1	<0.1 1.0	1.8 1.0	<0.1 0.1	<0.1 9.5	99.7
tj-44	2-2 area pit-tomb with an encircling ditch No.13	R	PB(△)	72.2 1.5	19.0 0.4	0.51 0.03	<0.1 0.1	3.1 0.2	1.7 0.2	0.35 0.07	0.63 0.05	0.25 0.04	1.4 0.2	0.97 0.16	<0.1 0.1	<0.1 2.8	100.1
tj-45		R	PB(△)	71.9 0.8	19.1 0.5	0.44 0.02	<0.1 0.1	3.1 0.1	1.5 0.0	0.35 0.01	0.63 0.02	0.23 0.05	1.2 0.0	0.79 0.08	<0.1 0.1	<0.1 1.6	99.2
tj-46		R	PB(△)	72.2 0.6	19.3 0.4	0.43 0.05	<0.1 0.1	3.1 0.1	1.6 0.1	0.38 0.03	0.64 0.03	0.19 0.08	1.3 0.1	0.87 0.07	<0.1 0.1	<0.1 1.4	100.0
tj-47	2-2 area pit-tomb with an encircling ditch No.17	R	PB(△)	78.6 0.6	1.6 0.0	14.2 0.4	<0.1 0.1	0.9 0.1	1.7 0.1	0.16 0.03	<0.1 0.1	0.17 0.03	1.1 0.0	0.85 0.12	<0.1 0.1	<0.1 1.3	99.3
tj-48		R	PB(△)	79.5 0.9	1.6 0.0	14.3 0.1	<0.1 0.0	0.9 0.1	1.7 0.1	0.12 0.04	<0.1 0.1	0.15 0.02	1.2 0.0	0.87 0.06	<0.1 0.1	<0.1 1.3	100.3
tj-49		R	PB(△)	69.7 0.5	19.7 0.2	0.93 0.04	<0.1 0.1	4.7 0.0	2.0 0.0	0.39 0.03	0.65 0.02	0.26 0.02	1.0 0.1	0.62 0.08	<0.1 0.1	<0.1 1.2	100.0
tj-50	2-2 area pit-tomb with an encircling ditch No.23	R	PB(△)	69.9 0.8	19.8 0.2	0.95 0.04	<0.1 0.1	4.6 0.1	2.0 0.1	0.37 0.03	0.64 0.03	0.23 0.03	1.1 0.1	0.62 0.05	<0.1 0.1	<0.1 1.4	100.3
tj-51		R	PB(△)	70.6 0.9	20.3 0.3	0.47 0.05	<0.1 0.1	3.0 0.1	1.9 0.0	0.37 0.07	0.69 0.02	0.21 0.05	1.2 0.0	1.1 0.1	<0.1 0.1	<0.1 1.7	99.8
tj-52		R	PB(△)	76.3 0.9	1.4 0.1	17.1 0.5	<0.1 0.0	0.73 0.14	1.4 0.1	0.21 0.04	0.10 0.02	0.18 0.03	1.5 0.1	1.2 0.1	<0.1 0.1	<0.1 2.0	100.1
tj-53	2-2 area pit-tomb with an encircling ditch No.27	R	PB(△)	74.6 1.2	1.6 0.0	16.9 0.7	<0.1 0.1	1.4 0.1	1.4 0.1	0.25 0.04	0.14 0.01	0.20 0.06	1.4 0.2	1.2 0.1	<0.1 0.1	<0.1 2.5	99.1
tj-54		R	PB(△)	76.8 1.5	1.4 0.0	16.4 1.6	<0.1 0.13	0.72 0.1	1.4 0.1	0.20 0.03	0.11 0.02	0.20 0.02	1.6 0.2	1.2 0.0	<0.1 0.0	<0.1 3.7	100.0
tj-55		R	PB(△)	74.6 0.5	2.6 0.0	16.6 0.1	<0.1 0.0	1.1 0.1	1.6 0.1	0.35 0.01	0.10 0.01	0.17 0.05	1.4 0.1	1.1 0.1	<0.1 0.1	<0.1 0.9	99.7
tj-56	2-2 area pit-tomb with an encircling ditch No.30	R	PB(△)	70.0 0.5	19.3 0.2	1.1 0.0	<0.1 0.1	3.5 0.0	2.4 0.0	0.26 0.05	0.57 0.02	0.20 0.04	1.4 0.1	0.65 0.08	<0.1 0.1	<0.1 1.1	99.4
tj-57		R	PB(△)	69.9 0.3	19.0 0.2	1.1 0.1	<0.1 0.1	3.5 0.0	2.5 0.0	0.26 0.06	0.58 0.01	0.20 0.04	1.4 0.1	0.70 0.09	<0.1 0.1	<0.1 0.9	99.1
tj-58		R	R(×)	62.8 0.5	21.8 0.9	1.6 0.0	0.18 0.14	4.5 0.1	4.2 0.1	1.6 0.0	0.66 0.03	0.27 0.04	0.12 0.05	1.2 0.1	1.2 0.1	<0.1 0.1	100.1
tj-59	3 area pit-tomb No.13	R	R(×)	62.4 0.8	22.0 0.6	1.6 0.0	0.10 0.04	4.7 0.2	4.3 0.1	1.8 0.1	0.64 0.02	0.26 0.03	0.10 0.04	1.2 0.1	0.96 0.20	<0.1 2.3	100.1
tj-60		R	R(△)	65.2 1.5	20.6 0.7	0.62 0.06	<0.1 0.1	7.3 1.1	2.2 0.3	0.83 0.10	0.64 0.06	<0.1 0.1	<0.1 0.6	1.7 0.6	<0.1 0.1	<0.1 4.4	99.2
tj-61		R	PB(△)	71.3 0.6	2.3 0.0	17.6 0.1	<0.1 0.0	1.0 0.0	3.8 0.0	0.20 0.05	0.10 0.01	0.25 0.03	1.6 0.0	1.6 0.1	<0.1 0.1	<0.1 1.0	99.8
tj-62	3 area pit-tomb No.13	R	PB(△)	70.8 0.7	19.7 0.2	0.95 0.03	<0.1 0.2	2.8 0.2	2.0 0.0	0.39 0.04	0.60 0.01	0.18 0.03	1.3 0.1	0.77 0.07	<0.1 0.1	<0.1 1.3	99.6
tj-63		R	PB(△)	65.0 0.3	22.0 0.2	1.4 0.1	<0.1 0.0	2.2 0.0	4.9 0.1	0.43 0.04	0.69 0.02	0.30 0.01	1.4 0.0	1.4 0.1	<0.1 0.1	<0.1 0.9	99.6
tj-64		R	R(×)	60.3 0.4	23.5 0.2	1.2 0.1	0.20 0.07	4.9 0.1	4.3 0.1	1.7 0.1	0.75 0.02	0.22 0.03	0.10 0.04	1.5 0.1	0.96 0.18	<0.1 1.3	99.5
tj-65	3 area pit-tomb No.30	R	R(×)	61.6 0.9	22.8 0.1	1.5 0.0	0.20 0.07	4.3 0.2	4.4 0.1	1.3 0.0	0.64 0.01	0.21 0.02	0.23 0.03	1.0 0.1	1.0 0.1	<0.1 1.7	99.2
tj-66		R	R(×)	60.6 0.4	23.6 0.3	1.2 0.1	0.17 0.06	4.9 0.1	4.2 0.1	1.7 0.1	0.76 0.02	0.22 0.03	0.12 0.03	1.5 0.1	0.95 0.13	<0.1 1.4	100.0

a Type : GF; Gold foil bead, R; Round bead, S; Segmented bead.
 b Color : G; Green, gB; greenish Blue, P; Purple, PB; Purple Blue, R; Red.
 c Transparency : ○; Transparent, △; Translucent, X; Opaque.
 d Oxide Concentration : nd ; no detection.

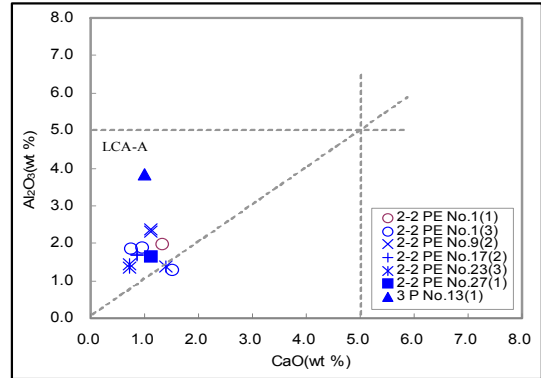
4.1. 감청색 및 자색 유리구슬

8개 유구에서 33점을 선정한 감청색과 자색 유리구슬은 포타쉬유리군이 13점이고 소다유리군이 20점으로 확인되었다. 포타쉬유리군은 유리의 내구성을 높여주는 안정제 성분 CaO와 Al₂O₃ 5%를 기준으로 LCA계(Low CaO, Al₂O₃)로 구분된다(Figure 2(a)). 이중에 2-2지점에서 출토된 12점은 CaO 0.72~1.5%, Al₂O₃ 1.3~2.4%로 김규호가 분류한 한국의 고대 포타쉬유리의 분류에서 I 형에 포함되고, 3지점 13호 토광묘에서 출토된 1점은 CaO 1.0%, Al₂O₃ 3.8%로 상대적으로 Al₂O₃의 함량이 높은 II 형으로 구분된다⁵.

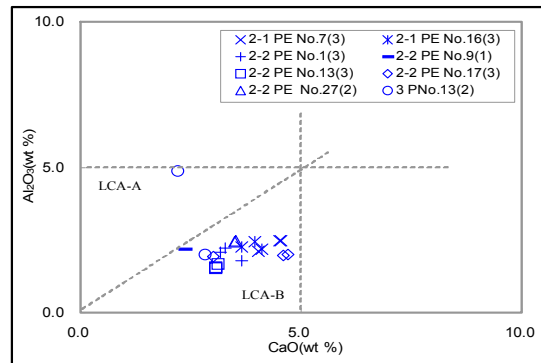
소다유리군은 상대적으로 Al₂O₃의 함량이 높은 LCA-A계(Low CaO < Al₂O₃)와 CaO의 함량이 높은 LCA-B계(Low CaO > Al₂O₃)로 세분된다(Figure 2(b)). LCA-A계는 3지점 13호 토광묘에서 출토된 1점으로 CaO 2.2%, Al₂O₃ 4.9%이며, 이를 제외한 대부분은 2지점 주구토광묘에서 출토된 구슬로 CaO 2.4~4.7%, Al₂O₃ 1.6~2.5% 범위의 LCA-B계로 분류된다. LCA-B계는 MgO과 K₂O 함량 1.5% 기준으로 LMK형(Low MgO, K₂O)으로 분류되므로 천연탄산소다(natron, Na₂CO₃)를 통해 소다를 첨가한 것으로 추정된다(Figure 2(c))²⁰⁻²³.

포타쉬유리와 소다유리는 미세구조에 차이가 확인된다. 소다유리는 비교적 풍화 상태가 양호한 반면 포타쉬유리는 표면에서 갈색 변색이 관찰되었다(Figure 3(a),(b)). 또한 이 변색층은 전자현미경 반사전자상에서 명암이 어두운 수화층으로 확인되었다. 수화층은 알칼리유리에서 확인되는 풍화 현상으로 용제 성분인 Na이나 K이 수분의 H⁺와 치환하여 생성되는 풍화층으로 Na이나 K보다 H의 화학식량이 작으므로 어두운 색으로 나타난다¹³. 이와 같은 풍화 현상이 확인되는 유리구슬은 대구 팔달동, 사천 늑도, 천안 두정동, 경주 덕천리 유적 등에 대한 국내 연구에서도 흔히 확인된 바 있다^{5,14-16}. 이와 같은 풍화도 차이는 매장 환경이나 화학 조성에 의한 영향으로 추정되고 있다. 그러나 2-2지점 1, 9, 17, 27호 주구토광묘와 3지점 13호 토광묘에서는 포타쉬유리군과 소다유리군이 동반되므로 매장 환경에 의한 영향으로 보기에 어려움이 있다. 또한 유리의 내구성과 관련된 안정제 함량도 LCA계로 유사하므로 H⁺와 치환 후 생긴 공간이 Na보다 K가 더 크기 때문에 풍화저항력이 소다유리에 비해 포타쉬유리가 낮다는 연구 결과와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다¹³.

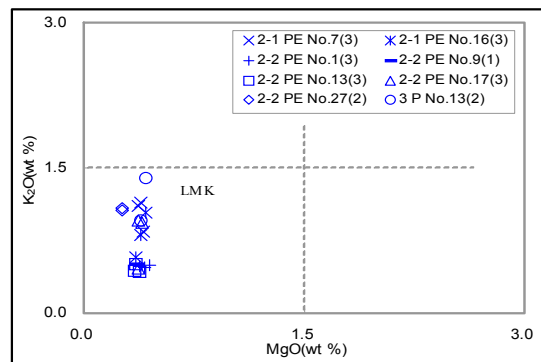
이상의 결과에서 토광묘나 주구토광묘의 묘제에 따른 용제 차이는 확인되지 않았으나 안정제 조성은 2지점 주구토광묘에 비해 3지점의 토광묘에서 출토된 감청색 유리구슬의 Al₂O₃ 함량이 높은 특징이 나타났다.



(a) CaO vs Al₂O₃ for potash glass beads



(b) CaO vs Al₂O₃ for soda glass beads



(c) MgO vs K₂O for soda glass beads

Figure 2. The graph of stabilizer and soda raw material for purple blue and purple glass beads.

4.2. 적색 유리구슬

적색 유리구슬은 안정제인 CaO와 Al₂O₃ 5% 기준으로 LCA-B계와 HCLA계(High CaO, low Al₂O₃)로 구분된다(Figure 4(a)). 유구별로 검토하면 2-1지점 16호 주구토광묘, 2-2지점 1호 주구토광묘, 3지점 30호 토광묘에서 출토된 적색 유리는 LCA-B계에, 2-2지점 23호 토광묘와 9호 주구토광묘에서 출토된 적색 유리는 HCLA계에 속한다. 그리고 2-2지점 27호 주구토광묘에서 출토된 적색 유리는 2가지 계통이 모두 확인된다. 따라서 묘제에 따른 조성 차이로 보기에는 어려움이 있다.

소다 원료 특성을 보여주는 MgO와 K₂O는 유사한 조성 범위를 보이나, LCA-B계는 MgO 1.3~1.8%, K₂O 1.2~2.1% 범위로 HMK형(High MgO, K₂O)에, HCLA계는 MgO 0.64~1.4%, K₂O 0.62~1.6% 범위로 LMK형에 가깝

다. 따라서 각각 해양 식물 재와 천연탄산소다가 사용되었을 가능성이 있다²⁰⁻²³. 이 결과는 지금까지 연구를 통해 일반적으로 확인된 적색 유리의 안정제 및 소다 원료 특성과 큰 차이를 보이는 것이다^{5,15}.

2가지 계통은 서로 다른 미세구조 특징을 보인다. LCA-B계는 기포로 추정되는 흑색 줄이 종방향으로 배열되고 균질한 특징을 보인다(Figure 3(c)). 반면 HCLA계는 매우 불균질한 특징을 보인다(Figure 3(d)). 이와 같은 미세구조 특징은 처음으로 확인된 것이며 2-2지점의 27호 주구토광묘에서는 2가지 유형의 적색 유리가 공반되므로 매장 환경에 따른 풍화 현상으로 보기에는 어려움이 있다.

4.3. 벽색과 녹색 유리구슬

동일 유구에서 출토된 벽색과 녹색 유리구슬 9점은 색상

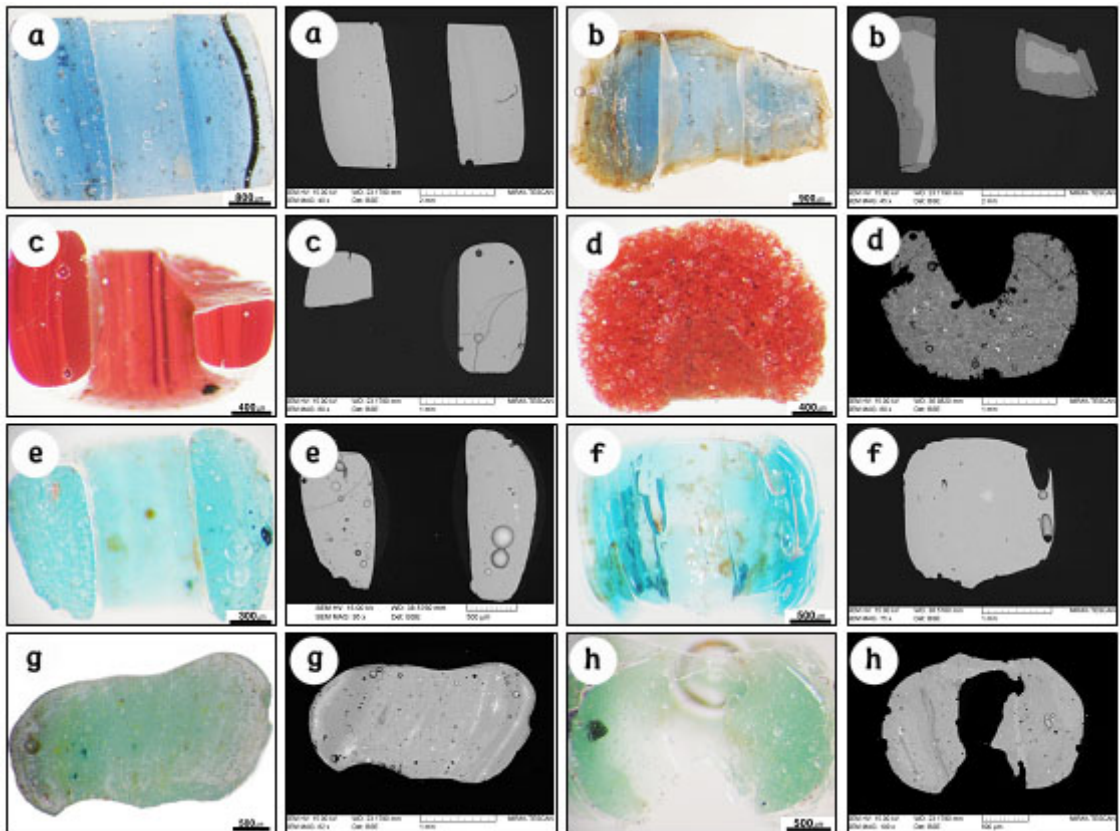


Figure 3. Images of cross sections of glass beads excavated from Bakjimeure site. (a) Purple Blue glass bead(tj-32), (b) Purple Blue glass bead(tj-30), (c) Red glass bead(tj-36), (d) Red glass bead(tj-41), (e) greenish Blue glass bead(tj-17), (f) greenish Blue glass bead(tj-21), (g) Green glass bead(tj-27), (h) Green glass bead(tj-25).

관계없이 5점이 CaO 2.0~2.6%, Al₂O₃ 3.8~4.1%로 LCA-A 계이고, 4점이 CaO 3.7~4.3%, Al₂O₃ 2.0~2.7%로 LCA-B 계로 구분된다(Figure 5(a)). 그리고 소다 원료 특성을 보여주는 MgO와 K₂O 함량이 LCA-A계는 MgO 0.97~1.2%, K₂O 2.2~2.5%로 LMHK형(Low MgO, high K₂O)이고, LCA-B 계는 MgO 2.7~3.2%, K₂O 2.2~2.5%로 HMK형으로 각각 차이를 보인다(Figure 5(b)). 특히, 후자는 해양 식물 재가 소다 원료로서 첨가된 것으로 추정된다²⁰⁻²³.

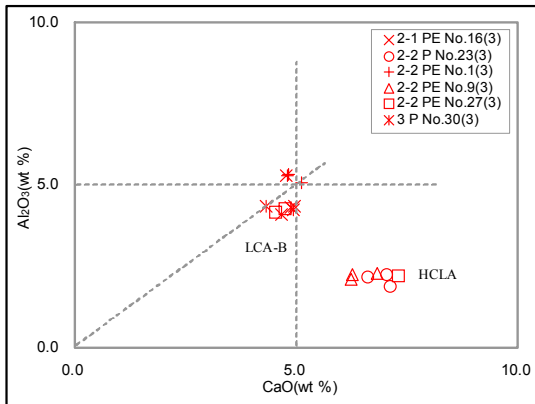
이들은 각각 환옥과 연주옥의 형태적 차이를 보인다. 환옥은 외경 3 mm 이하로 작은 편이며 다량의 기포가 종방향으로 배열되므로 늘려 성형한 것으로 추정된다(Figure 3(e), (g)). 반면 연주옥은 현재 잔존하는 형태가 연주옥이거나 환옥으로 환옥의 경우 양끝 부분에 깨진 흔적이 관찰되므로 연주옥이 완제품이었을 가능성이 높다(Figure 3(f),(h)). 또한 유리의 두께가 얇으며 기포(Blister)의 모양이 길쭉한 형

태로 관찰된다. 연주옥은 금박구슬에서 금박연주옥의 형태로 주로 확인되며, 단색의 연주옥은 연천 학곡리, 오산 수청동, 경주 덕천리, 김해 양촌 유적 등 더욱 소수의 유적에서 확인된다¹⁶⁻¹⁸.

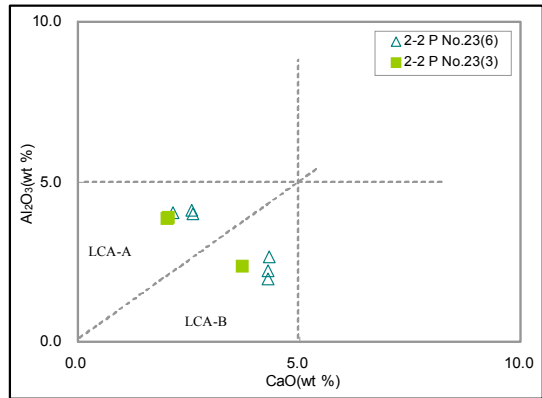
지금까지 연구에 의하면 벽색 및 녹색 소다유리의 일반적인 안정제 및 소다 원료 특성은 Al₂O₃ 함량이 높은 LCA-A/LCHA계이고 MgO 함량이 낮은 LMK/LMHK형으로 알려져 있다^{5,15}. 이는 아산 명암리 박지르레 유적의 벽색 및 녹색 환옥의 조성과 일치하는 것이다. 따라서 연주옥은 환옥과 다른 유리 문화의 유입 가능성을 보여주는 결과로 해석할 수 있다.

4.4. 금박구슬

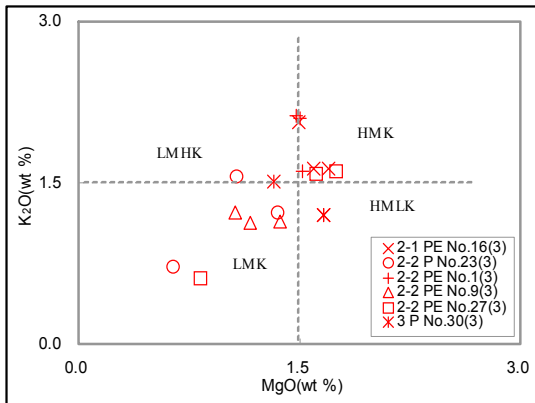
금박구슬의 무색 내유리는 CaO 7.0~7.9%, Al₂O₃ 1.8~2.0%



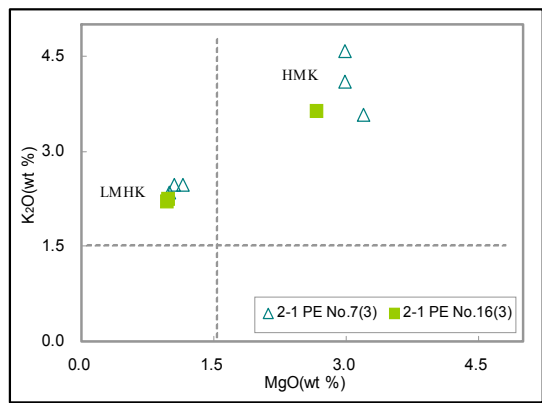
(a) CaO vs Al₂O₃ for soda glass beads



(a) CaO vs Al₂O₃ for soda glass beads



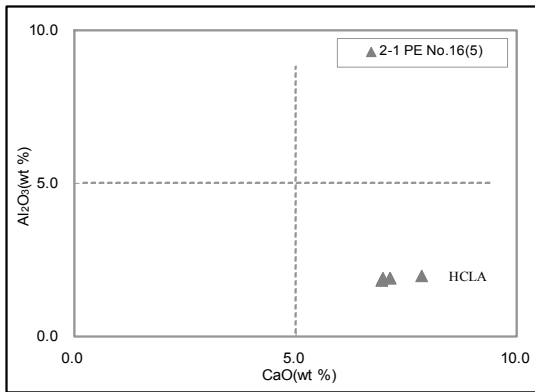
(b) MgO vs K₂O for soda glass beads



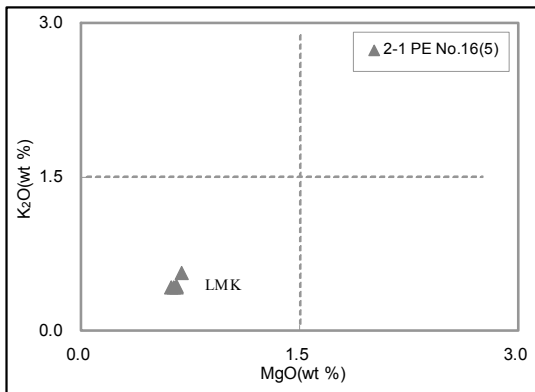
(b) MgO vs K₂O for soda glass beads

Figure 4. The graph of stabilizer and soda raw material for red glass beads.

Figure 5. The graph of stabilizer and soda raw material for greenish blue and green glass beads.



(a) CaO vs Al₂O₃ for soda glass beads



(b) MgO vs K₂O for soda glass beads

Figure 6. The graph of stabilizer and soda raw material for gold foil glass beads.

로 HCLA계로 분류되며, 소다 원료는 MgO 0.62~0.66%, K₂O 0.42~0.56%로 LMK형으로 구분된다(Figure 6). 따라서 소다 원료로서 천연탄산소다가 사용된 것으로 판단된다²⁰⁻²³.

금박구슬의 내유리 표면에서 관찰되는 금색의 박은 Au 82.8~94.1%, Ag 5.1~16.1%, Cu 0.13~1.1%로 19.9~22.6K

Table 3. Chemical compositions of gold foil on gold foil glass beads.

Sample No.	Site	Concentration(wt %)				K
		Au	Ag	Cu	Fe	
tj-11		83.1	14.3	0.1>	2.8	19.9
		3.3	2.7		1.2	
tj-12		81.4	13.4	0.18	5.1	19.5
		6.1	1.4	0.62	4.4	
tj-13	2-1 area No.16	85.7	12.2	0.1>	2.2	20.6
		1.2	1.9		0.7	
tj-14		79.9	14.1	0.1>	6.0	19.2
		1.7	1.9		2.6	
tj-15		86.7	5.9	0.1>	7.7	20.8
		2.9	0.8		3.5	

의 순도를 갖는 금박으로 확인된다(Figure 7, Table 3). 이와 같은 화학 조성은 지금까지 기 연구된 나주 복암리, 김해 양동리, 고창 남산리, 천안 두정동 유적의 금박구슬에서 확인된 바 있다^{5,15,19}.

5. 결 론

2세기 말부터 3세기 말까지 조영된 것으로 추정되는 아산 명암리 박지례 유적의 마한 분묘는 28기의 토광묘, 주구토광묘, 옹관묘에서 총 8,154점의 구슬 제품이 출토되었다. 특히, 유리구슬은 감청색, 벽색, 적색, 자색, 녹색을 띠는 환옥이 가장 많고 감청색, 벽색, 녹색의 연주옥과 금박구슬이 소량 출토되었다. 이들의 형태와 색상을 고려하여 11기의 유구에서 선정한 65점의 유리구슬은 20%에 해당하는 13점이 포타쉬유리군, 80%에 해당하는 52점이 소다유리군으로 소다유리가 우세한 유적으로 확인되었다. 특히, 감청색 유리구슬은 포타쉬유리군과 소다유리군이 공반되는 반면 자색 유리구슬은 포타쉬유리군, 적색, 벽색, 녹색 유리구슬과 금박구슬은 소다유리군만 확인된다.

감청색 유리구슬 32점은 12점이 포타쉬유리군, 20점이

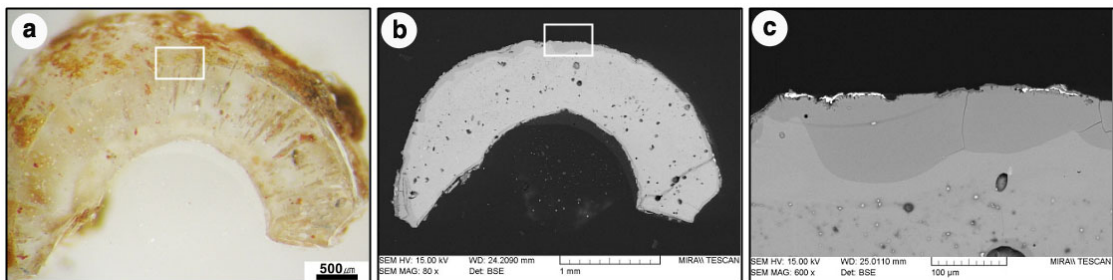


Figure 7. Microscope (a) and backscattering electron images (b) on cross sections of gold foil glass bead(tj-12).

소다유리군으로 나타났다. 안정제는 모두 LCA계로 소다 유리의 경우 3지점 13호 토광묘에서 출토된 감청색 유리구슬 1점만이 상대적으로 Al_2O_3 함량이 높고 나머지는 CaO 함량이 높게 나타났다. 소다 원료는 LMK형으로 분류되므로 천연탄산소다를 통해 첨가한 것으로 추정된다. 감청색 유리는 용제 조성에 따라 풍화 상태에 차이가 확인된다. 소다유리는 비교적 풍화 상태가 양호한 반면 포타쉬유리는 표면에서 갈색 변색이 관찰되고 이 변색층은 반사전자상에서 수화층으로 확인된다. 이는 소다유리보다 포타쉬유리의 풍화저항력이 낮다는 연구 결과와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

자색 유리구슬 1점은 안정제의 함량이 낮은 LCA계의 포타쉬유리로 감청색 포타쉬유리와 밀접한 관련이 있다.

적색 환옥은 균질한 유리가 LCA-B계와 HMK형이고 불균질한 유리가 HCLA계와 LMK형으로 미세구조에 따라 조성 차이가 확인된다. 이는 제조 원료가 서로 다르다는 것을 의미하며 소다 원료가 각각 해양 식물 재와 천연탄산소다가 사용되었을 가능성이 있다. 또한 2-2지점의 27호 주구 토광묘에서 2가지 유형의 적색 유리가 공반되므로 매장 환경에 따른 풍화 현상보다는 제작 기법과 원료에 의해 미세구조 차이가 나타난 것으로 판단된다.

벽색과 녹색 유리는 환옥이 LCA-A계와 LMHK형이고 연주옥이 LCA-B계와 HMK형으로 형태에 따라 사용 원료의 차이가 확인된다. 환옥의 조성은 지금까지 연구에서 확인된 벽색 및 녹색 소다유리의 일반적인 안정제 및 소다 원료 특성과 유사한 반면 연주옥은 해양 식물 재를 통해 소다를 첨가한 것으로 동일한 형태를 보이는 연천 학곡리와 경주 덕천리 연주옥에서 동일한 조성으로 확인된 바 있다. 따라서 연주옥은 환옥과 다른 유리 문화의 형성이나 유입 가능성을 보여주는 결과로 해석할 수 있다.

금박구슬은 19.9~22.6K의 순도를 갖는 금박과 HCLA계와 LMK형의 소다유리로 제작되었다. 이는 소다 원료로서 천연탄산소다가 사용되었음을 지시하는 결과이며 과학적 분석을 통해 나주 복암리, 김해 양동리, 고창 남산리, 천안 두정동 유적의 금박구슬과 유사하게 확인된 바 있다.

이상의 분석 결과를 종합하면, 아산 명암리 박지르레 유적의 마한 분묘에서 확인된 감청색, 자색, 벽색, 녹색 환옥과 금박구슬은 각 색상을 고려하여 비교하면 타 유적에서도 흔히 확인되는 일반적인 유리 조성과 일치한다. 반면 벽색 및 녹색 연주옥과 적색 환옥은 형태, 미세구조, 화학 조성이 타 유적에서 확인된 바가 거의 없는 특이한 구슬로 눈

여겨 볼만하다. 벽색 및 녹색 연주옥은 동일 색상의 환옥과 화학 조성이 다르므로 연주옥에 대한 연구는 금박구슬과 더불어 고대 사회의 교역 체계 이해에 중요한 단서가 될 것으로 기대된다. 적색 유리는 타 유적의 적색 유리에서 확인된 바 없는 새로운 조성일 뿐만 아니라 독특한 미세구조가 관찰되어 앞으로 제작 기술이나 화학 조성과의 관련성 등에 대한 연구가 필요할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 김병호, “유리공학”. 청문각, p10-21, (1997).
2. Rune Persson, “유리공업”. 청문각, (2000).
3. Turner, W.E.S. “The composition, weathering characteristics and historical significance of some Assyrian glasses of the eighth of sixth centuries BC from Nimrud”. *J. Soc. Glass Technol.*, p445-456, (1954).
4. 이인숙, “한국 고대유리의 고고화학적 연구”. *한양대학교 대학원 박사학위논문*, (1990).
5. 김규호, “한국에서 출토된 고대유리의 고고화학적 연구”. *중앙대학교대학원 박사학위논문*, (2001).
6. 이인숙, “한국의 고대유리”. 창문, (1993).
7. 송유나, 김나영, 한수영, 김규호, “전북 원주 갈동 유적 출토 유리환의 고고화학 고찰”. *한국문화재보존과학회 학술대회 발표논문집*, 22, p307-312, (2005).
8. 박솔기, “삼국시대 구슬장식에 관한 연구-남한출토 유리구슬을 중심으로-”. *성균관대학교 대학원 석사학위논문*, (2007).
9. 권영필, “한국고대미술의 중앙아시아와의 접촉”, 실크로드와 한국문화 연구. 유네스코한국위원회, (1991).
10. 이한상, “신라분묘 속 서역계문물의 현황과 해석”. *한국고대사연구*, 45, p133-159, (2007).
11. 김차규, “로마(비잔티움) 유리용기의 신라유입 과정에 대한 해석 : 5~6세기 초 비잔티움의 동방 교역정책과 관련하여”. *서양중세사연구*, 24, p1-27, (2009).
12. 충청남도역사문화연구원 문화재조사팀, “아산 탕정 박지르레유적 V”. *충남역사문화원*, (2011).
13. Roy Newton, Sandra Davison, “Conservation of Glass”. Butterworths, p135-158, (1989).
14. 권윤미, “사천 늑도와 경상도 출토 유리구슬의 고고화학적 분석 및 특성 비교”. *공주대학교 대학원 석사학위논문*, (2006).

15. 송유나, “충남지역 출토 백제시대 유리구슬의 고고화학적 분석 고찰”. *공주대학교 대학원 석사학위논문*, (2006).
 16. 김동윤, 김나영, 이석범, 김규호, “경주 덕천리 분묘군 원삼국시대 유리구슬의 특성 변화”. *상고사학보*, **74**, p115-131, (2011).
 17. 김규호, “연천 학곡리 적석총 출토 구슬의 과학적 연구 보고서”. 연천 학곡리 적석총, 경기문화재단 기전문화재연구원, p148-164, (2002).
 18. 김규호, 송유나, 김나영, “수청동 출토 유리구슬의 고고화학 분석 고찰”. 오산 수청동유적, 기전문화재연구원, p113-128, (2006).
 19. 김규호, 김나영, “고창 남산리 유적 출토 유리구슬의 고고화학적 분석”. 고창 남산리유적, 전북문화재연구원, p449-474, (2007).
 20. Lambert J.B., “Traces of the past”. Perseus Publishing, p104-127, (1998).
 21. Shortland A.J. and Tite M.S, “Raw materials of glass from Amarna and implications for the origins of Egyptian glass”. *Archaeometry*, **42(1)**, p141-151, (2000).
 22. Prero Mirti, Marco Pace, Mery Malandrino, Mariamaddalena Negro Ponzi, “Sasanian glass form Veh Aradasir: new evidences by ICP-MS analysis”. *Journal of Archaeological Science*, **36**, p1061-1069, (2009).
 23. Karl Hans Wedepohl, Klaus Simon, Andreas Kronz, “Data on 61 Chemical Elements for the Characterization of Three Major Glass Compositions in Late Antiquity and the Middle Late ages”. *Archaeometry*, **53**, p81-102, (2011).
-