

천안 두정동 출토 유리구슬의 고고화학적 분석 고찰

송유나 | 김규호¹

공주대학교 문화재보존과학과

Analysis and Investigation of Archaeological Chemistry on the Glass Beads of Dujeong-dong site of Cheonan, Korea.

Song Yu-na | Kim Gyu-ho¹

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

¹Corresponding Author : kimgh@kongju.ac.kr

초록 충남 천안 두정동 유적은 4세기 전반에 해당하는 백제시대 유적으로 이곳에서 출토된 고대유리 18점에 대한 가시적 특성 및 화학조성을 분석하여 한국 고대유리의 과학적 특성 및 시대적 상관성을 고찰해 보았다. 가시적 특성 및 미세구조는 광학현미경 및 전자현미경으로, 화학 조성은 파장분광분석기가 부착된 주사전자현미경(SEM-EDS)을 이용하여 정량 및 정성 분석하였다. 분석 결과, 금박구슬, 관옥, 환옥 등 다양한 형태의 유리가 출토된 두정동에서는 납바륨유리, 소다유리, 포타쉬유리 등 삼국시대를 중심으로 시대적 흐름에 따라 나타나는 한국 고대유리의 조성이 모두 확인된다. 이와 함께 두정동 유리의 조성은 표면 색상과 밀접한 관계를 가지고 있으며 색상별로 안정제가 차이를 보인다.

중심어 : 두정동 유적, 백제시대, 고대유리, 납바륨유리, 소다유리, 포타쉬유리

ABSTRACT Dujeong-dong site of Cheonan is known as the site of Baekje period in the first half of the fourth century. This study investigated the visible properties and the chemical composition of the 18 pieces of the glass found in the site, and considered scientific properties and periodic interrelationship of the glass on the basis of the analysis result. The observation of the visible properties and microstructure of ancient glass was performed with both an electron microscope and an optical microscope, and the chemical composition was conducted by way of both quantitative and qualitative analysis using Scanning Electron Microscope(SEM) with Energy Dispersive Spectrometer(EDS). In the analysis result, various chemical composition systems are identified in the glass beads of Dujeong-dong site, such as lead-barium, soda and potash glass, and also different shapes were found such as gold foil glass beads, tubular beads, and round beads. It is estimated that the classification of glass by means of its chemical composition was also closely related to the color of glass.

Key word : dujeong-dong, baekje period, ancient glass, lead barium, potash, soda glass

I. 서론

유리는 석기시대 천연재료인 흑요석의 사용부터 청동기시대, 철기시대의 인공유리의 제작을 거쳐 오늘날까지 제작 기술이나 재료의 큰 변화 없이 지속적으로 사용되어 온 제품이다. 따라서 '유리'라는 소재는 고대부터 현재까지의 역사를 담고 있으며 인류의 삶과 밀접한 관련을 맺고 있다고 볼 수 있다.¹ 한국의 고대유리는 색상과 형태 등이 다양하며 자연과학적 분석으로도 여러 가지 화학조성 및 제작기법 등이 확인되고 있다. 이와 같은 고대유리의 특성은 사용 원료와 제작 기술의 차이 그리고 문화 변천과 밀접한 관계가 있다.

일반적으로 유리는 망목형성산화물, 망목수식산화물, 중간산화물로 구성된 불규칙한 열린 망목구조로 원료에 따라 주제(formers), 용제(fluxes), 안정제(stabilizer)로 분류된다.^{2,3} 소다유리는 주제, 용제, 안정제가 규소, 탄산나트륨, 석회를 원료로 하는 삼성분계로 구분되며 그 배합 비율에 의해 유리의 특성이 좌우된다.

고대유리에 대한 고고화학학적 연구는 유리의 주성분에 의해 분류하는 방법으로 이루어져 왔다. 용제의 성분에 의해 납유리, 포타쉬유리, 소다유리 군으로, 안정제의 성분인 CaO와 Al₂O₃의 조성이 많고 적음에 따라 각각의 군을 세분하여 계로 구분하고 있다. 이와 같은 구분을 기준으로 하여 한국의 고대유리는 납바륨유리, 포타쉬유리, 소다유리, 납유리, 혼합알칼리유리가 시대순으로 나

타나고 있다.^{1,4} 그러나 호서지역의 유리에 대한 자료가 절대적으로 부족한 관계로 지역적 특성 및 한반도 고대유리에 대한 종합적인 고찰은 아직 어려운 실정이다.

본 연구는 충남 천안시에 위치한 두정동 유적에서 출토된 고대 유리구슬에 대하여 과학적 분석 방법을 적용하여 백제시대 한국의 고대유리 특성을 확인하고자 하였다. 이를 통한 과학적 분석 자료는 향후 충청도에 위치한 백제문화권에서 유리의 유입과 흐름에 대한 기초 자료를 제공하게 될 것이다.

II. 연구대상

1. 유적 개요

두정동 유적⁵은 유적의 서쪽에 솟아있는 표고 141 m의 노산에서 동쪽으로 뻗어 내린 능선에서 다시 남쪽으로 흘러내린 두 개의 가지능선에 자리하고 있다. 이들을 따라 Figure 1 (a)과 같이 2개의 지역(1, 2지구)으로 나누어지며 지형에 따라 유구의 차이를 보이고 있다. 1지구에서는 주거지 4기를 비롯해 토광묘 5기, 옹관묘 2기, 석실분 2기, 원형 저장철 5기, 그리고 조선시대 수혈유구가, 2지구에서는 분구묘 1기와 토광묘 17기, 옹관묘 9기, 석실분 1기 그리고 조선시대 민묘 9기 등이 조사되었다. 백제 유구는 주거지와 분구묘와 관련된 시설이 가

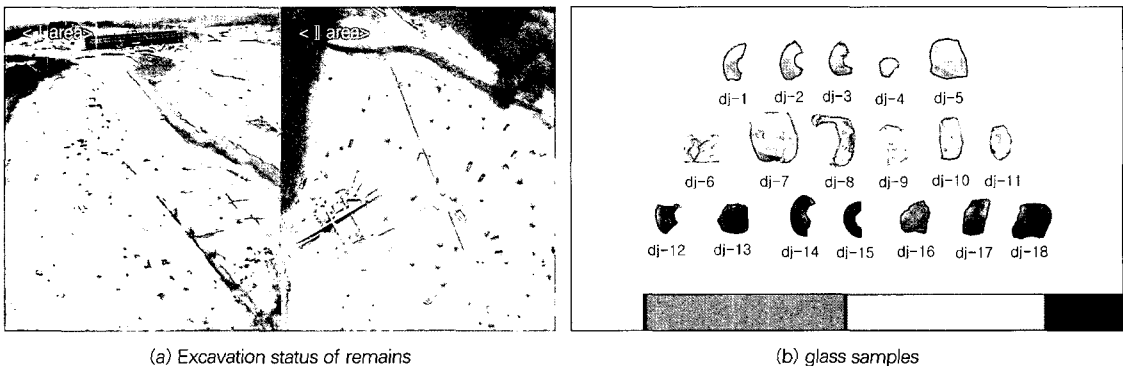


Figure 1. The excavation status of Dujeong-dong remains and samples of this study.

장 먼저 만들어지고 이에 토광묘가 순차적으로 조성된 것으로 확인되었다. 출토 유물은 토기와 도자, 철검, 철부 등이고 유리는 옹관묘 1기와 토광묘 3기에서 117점의 완형과 일부 파편으로 된 유리가 비교적 양호한 상태로 출토되었다. 유적의 조성 시기는 기원후 4세기 전반에서 중반까지로 추정하고 있다.

2. 시료 선정

분석시료는 Figure 1 (b)과 같이 I 지구와 II 지구로 구분되는 두정동 유적에서 총 18점의 유리시료를 선정하였다. 두정동 유적에서 출토된 유리는 대부분 청색계통으로 녹색색에서 감청색까지 색상이 폭넓게 나타난다. 유리구슬은 4기의 유구에서 출토되었으나 분석시료는 I-5호와 II-12호에서 선정하였다.

I-5호 토광묘에서는 완형 유리구슬 60점이 출토되었다. 색상은 청색계통으로 다양하며 크기는 크게 2가지로 분류된다. I-5호 토광묘는 유구가 많이 파괴되어 목관이나 목곽의 흔적은 확인할 수 없었다. 그러나 I 지구에서 다른 유구에 비하여 토기, 판비, 등자, 철촉 등 비교적 출토 유물의 개체수가 많은 편이고 유리구슬이 출토된 유일한 유구이다. 분석시료는 크기별로 외경 1.7 mm, 길이 1.7 mm인 것을 4점, 외경 2.2 mm, 길이 4.7 mm 1점 등 총 5점을 채취하였다. 색상은 모두 밝은 녹색색을 띤다.

II-12호에서는 완형 유리구슬 59점과 함께 다수의 유리구슬편이 출토되었다. 금박구슬, 곡옥, 관옥, 환옥 등 다양한 종류의 유리가 유구의 목관 안에서 피장자의 가슴부분으로 추정되는 위치에 놓여있었다. 이들은 목걸이로 한점의 곡옥을 중심으로 유리구슬들이 자리하고 있었을 것으로 추정된다. 유리구슬의 색상은 청색계통으로 녹색색에서 감청색까지 다양하게 분포하며 크기도 매우 다양하다. 분석시료는 관옥 편, 밝은 녹색색, 감청색의 유리구슬 편, 금박구슬 편 등 13편을 선정하였다. 관옥 편은 외경 4.1 mm, 두께 0.5 mm, 길이 3.0 mm이다. 금박구슬 편은 모두 3편으로, 2편은 외형과 내형이 모두 존재하고 나머지 1편은 금박이 붙어있는 외형만 있다. 이 유구는 목관을 가지고 있는 목곽토광묘로 크기는 II 지구 다른 유구보다 약간 크지만 출토 유물은 토기 2점과 유리구슬류 정도로 그다지 특이한 점은 없다. 그러나 II 지구에서 유리구슬이 출토된 유구는 13호 토광묘

4점, 4호 옹관묘 5점으로 12호 토광묘는 상대적으로 많은 개체수가 출토된 점이 특이하다.

III. 연구방법

1. 조성분석

고대유리의 정량 분석은 전자현미분석기(EPMA : Energy Probe Micro Analyzer, Model : JEOL SUPERPROBE JXA-8600SX)의 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer Model : OXFORD 6025EDS)를 사용하였으며 분석조건은 가속전압(Beam Energy) 15KeV, 측정시간(Live time)은 100 초로 하였다. 또한, 표준시료 58 Mineral Materials (SPI Ltd., USA)를 이용하여 각 성분에 대하여 정량조건을 작성하였다. 측정에 앞서 보정용 Li(99.9%)을 이용하여 얻어지는 전자빔의 방출에 의한 분석조건을 조절하여 각각의 분석 시료가 동일한 조건이 적용되도록 하였다.⁴⁶

선정된 시편은 실체현미경(Stereoscopic Microscope, Model: Leica MZ7s)으로 거시적 관찰과 분석 위치를 선정한 다음 전처리 과정을 수행하였다. 시료는 이온수에 세척·건조시킨 다음, 시료의 단면을 에폭시수지로 정착시켜 시편을 제작하고 Sic 사포 No. 400, 600, 800, 1200과 Diamond Suspension 6 μ m, 1 μ m 순서로 연마하였다. 각 연마 단계마다 시료가 오염되지 않도록 초음파세척기로 5분간 3회씩 세척하였다.

2. 미세구조

선정된 유리 시료는 시료의 제작 전과 후의 상태에 대하여 실체현미경(Stereoscopic Microscope, Model: Leica MZ7s)을 이용하여 시편의 제작 전과 후의 상태를 비교하면서 색상, 표면상태, 내부 기포, 균열정도, 내부의 불순물 등 거시적 특성을 확인하였다. 유리구슬 내부의 미세구조는 SEM(JEOL JSM-5910LV)의 반사전자상으로 관찰하고 특정 불순물은 SEM에 부착된 EDS를 이용하여 정성 분석하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 가시적 특징

두정동 유적에서 선정한 유리 시편에 대한 가시적 특징은 Table 1, 광학현미경으로 조사한 각 유리 편 의 단면 사진의 대표적인 형태는 Figure 2에 나타내었다.

밝은 녹색색(It-gB)의 유리구슬은 투명한 상태로 표면에 풍화층이 매우 얇게 형성되어 있거나 거의 없다. 크기는 길이 2 mm(dj-1, 2, 3, 4)와 5 mm(dj-5, 10, 11) 이하인것으로 구분된다. 전자는 내부에 기포 수가 비교적 적은 편으로 방향성이 없이 무작위로 형성되어있다. 대부분이 원형에 가까운 형태이나 일부는 마감부분이 세로의 긴 형태이다. 그리고 불순물과 균열 및 풍화가 거의 없으므로 질이 좋은 유리라고 판단된다. 반면에 후자는

전자에 비해 기포가 많고 크기가 다양하다. 이 중에서 I-5호 dj-5와 II-12호 dj-10은 각각 다른 지역에서 출토 되었으나 유리구슬의 크기와 형태들의 특징이 매우 유사한 점이 특이하다. 내부 용융체는 길이 방향으로 곡선을 이루고 있으며 대부분의 기포는 이 방향에 따라 길게 분포하고 있다. 또한 기포의 모양도 무정형이거나 긴 타원형의 모양으로 관찰된다. 내부의 불순물은 검은색의 결정들이 비교적 많은 수가 산재해 있다. dj-6은 원형 상태는 알 수 없으나 남은 편은 외경 4 mm, 두께 0.5 mm, 길이 2 mm의 소형 관옥으로 추정된다. 색상은 반투명한 밝은 청록색이다. 표면은 무지개 빛깔의 풍화층이 형성되어 비늘 형태로 벗겨지는 현상이 관찰되나 표면 균열은 없고 내부는 비교적 깨끗하여 큰 기포들만이 일부 존재한다.

감청색(It-PB) 유리구슬은 편으로 되어있으나 대부분

Table 1. Characteristics of glass samples in Dujeong-dong remains

Sample Number	Phase of remains		Characteristic						
	Site	Century	Type	Closing	Color	Transparency	Surface	Bubble	Crack
Dujeong-dong, Cheonan, Chungnam									
dj-1	I-5	A.D. 4C	A	EE-P	lt-gB	△	S-W	L-S L-B	●
dj-2			A		lt-gB	△	S-W	M-S,L-B	▲
dj-3			A	EE-P	lt-gB	△		M-S,L-B	▲
dj-4			A	EE-P	lt-gB	△	S-W	L-S	▲
dj-5			A		lt-gB	△	S-W	M-S,L-B	▲
dj-6	II-12	A.D. 4C	C	cut	lt-gB	△	M-W	M-S,L-B	X
dj-7			GF	EE-P	colorless	△(○)	S-W(S-W)	L-S(ND)	●(▲)
dj-8			GF	EE-P	colorless	△(○)	M-W(S-W)	L-S(L-S)	●(▲)
dj-9			GF	—	colorless	○	G-D	L-B	X
dj-10			A	RR-P	lt-gB	○	S-W	M-S,L-B	▲
dj-11			A	—	lt-gB	○	G-D	M-S	▲
dj-12			A	RR-P	lt-PB	△	S-W	M-S,L-B	▲
dj-13			A	RR-P	lt-PB	△	S-W	M-S,M-B	●
dj-14			A	RR-P	lt-PB	△	S-W	M-S,M-B	●
dj-15			A	RR-P	lt-PB	△	M-W	M-S,M-B	▲
dj-16			A	RR-P	lt-PB	○	S-W	M-S,L-B	▲
dj-17			A	RR-P	lt-PB	○	S-W	M-S,M-B	▲
dj-18			A	RR-P	lt-PB	△	M-W	M-S,M-B	●

Type: A:Annular Beads, C:Cylindrical Beads, GF:Gold Foil Beads

Closing: E:Edge, R:Round,P:Polished

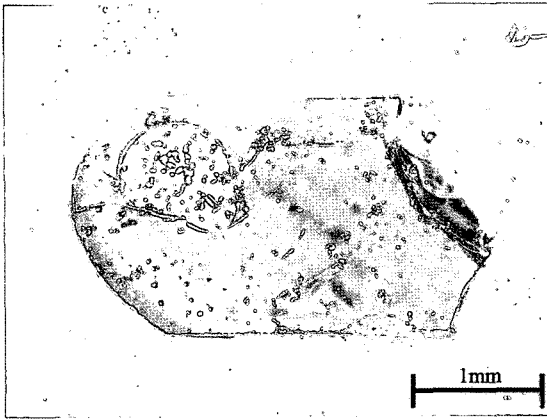
Color : lt-gB:light greenish Blue, dk-gB:dark greenish Blue, BG:Bluish Green, lt-PB:light Purplish Blue

Transparency: ○:Transparent, △:Translucent, X:Opaque ():inner of gold foil glass

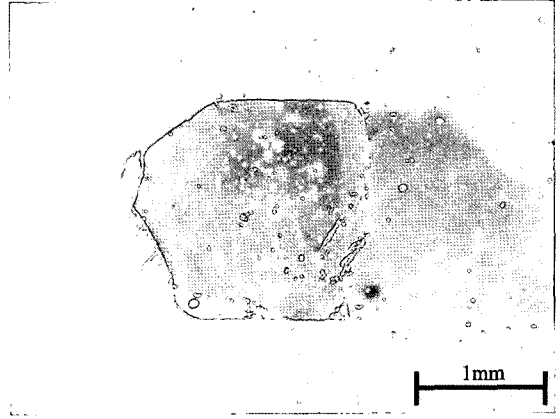
Surface: GD:Good surface, S-W:Small Weathering layer, M-W:Much Weathering

Bubble: L-S: Little Seed, M-S:Much Seed, L-B:Little Blister, M-B:Much Blister

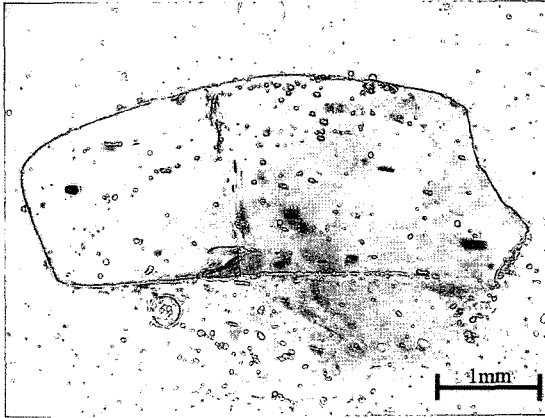
Crack: ●:Serious crack. ▲:Some crack. X:No crack



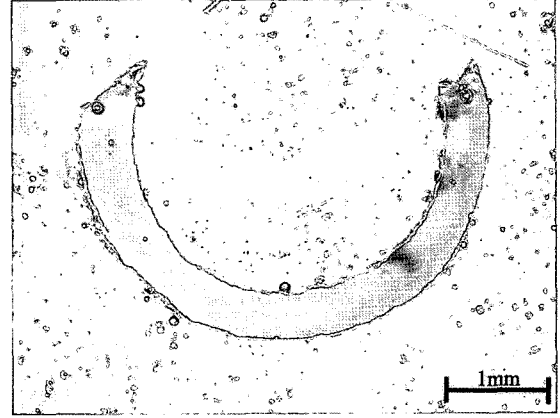
(a) dj-1



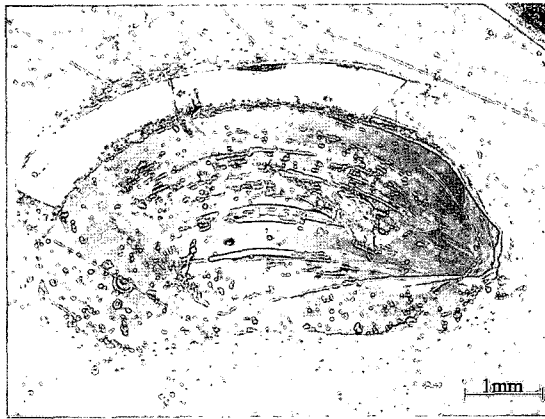
(b) dj-3



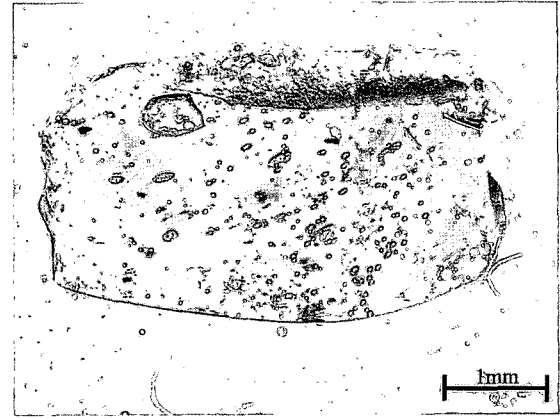
(c) dj-5



(d) dj-6



(e) dj-7



(f) dj-10

Figure 2-1. Pictures of cross section by optical microscope in Dujeong-dong glass samples.

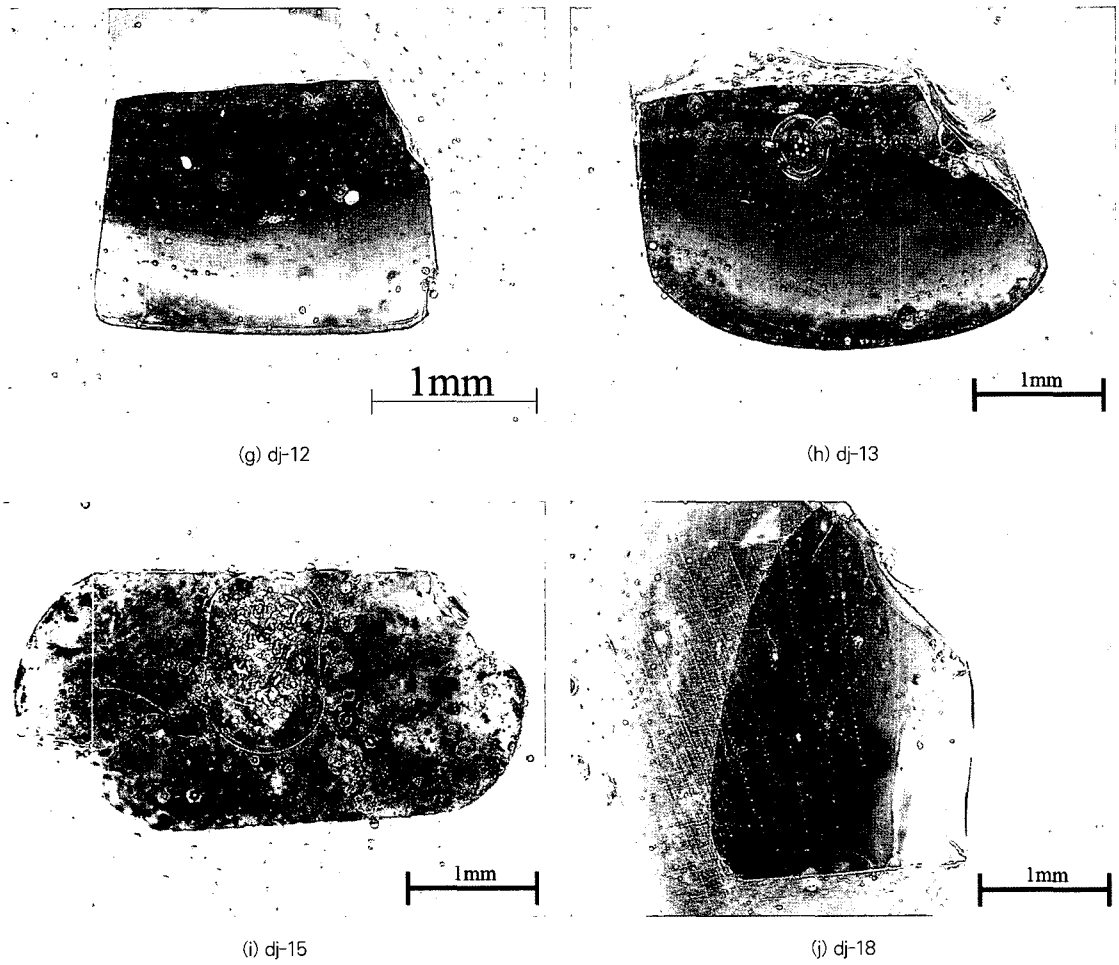


Figure 2-2. Pictures of cross section by optical microscope in Dujeong-dong glass samples.

양 끝부분이 남아있어 크기를 추정할 수 있었다. 외경은 일정하지 않으나 길이는 약 3mm 정도이다. 양 끝의 마감 부분은 유리 구멍 쪽으로 각이 졌으나 바깥쪽에서는 안으로 둥글게 들어간 형태이다. 밝은 녹청색유리에 비하여 표면에 풍화가 심하고 내부에는 기포가 많으며 길이 방향으로 분포하고 있다. 내부 불순물은 적색과 검정색의 결정 형태로 존재한다.

이외 무색으로 분류한 3점(dj-7~9)은 금박구슬 편으로 이에 대한 분석 결과는 4. 금박구슬에서 별도 기술하고자 한다.

2. 화학 조성

천안 두정동 유적에서 채취한 유리구슬 18점의 색상 및 화학조성 결과는 Table 2와 같이 정리되며 용제에 따른 구분은 3개의 유형으로 나타난다(Figure 3). 납바륨유리와 포타쉬 유리는 각 1점인 반면 소다 유리는 16점으로 두정동 유리구슬의 다수를 차지한다. 이를 유구별로 정리하면 I-5호 토광묘에서 선정한 5점은 모두 소다유리이고 II-12호 토광묘에서 선정한 13점은 납바륨유리와 포타쉬유리가 각각 1점, 나머지 11점은 소다유리이다. 이와 같이 용제에 따라 유형별로 구분한 두정동 유리구슬의 특성은 안정제, 소다원료 그리고 착색제로 구

Table 2. Chemical composition of glass samples in Dujeong-dong remains

Sample Number	site	color	*Oxide Concentration(%)														Total
			SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	PbO	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SO	Cl	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	BaO	
dj-1	I-5	lt-gB	68.1	16.4	3.3		2.7	4.5	1.1	0.50	0.20	0.75	0.04	1.6	1.36	99.7	
			0.3	1.8	0.0		0.1	0.2	0.1	0.04	0.03	0.17	0.03	0.1	0.12	2.8	
dj-2		lt-gB	67.8	15.4	3.2		2.8	4.5	1.1	0.46	0.20	0.83	0.08	1.4	1.17	99.0	
			0.3	0.1	0.1		0.1	0.1	0.1	0.02	0.03	0.06	0.04	0.1	0.15	1.0	
dj-3		lt-gB	68.6	16.0	2.9		2.2	4.1	1.2	0.44	0.28	0.81	0.07	1.7	1.13	99.4	
			0.4	0.2	0.1		0.1	0.1	0.1	0.05	0.04	0.13	0.03	0.2	0.16	1.4	
dj-4		lt-gB	66.4	16.9	2.3		3.7	4.7	1.3	0.45	0.15	0.89	0.12	1.5	0.94	99.5	
			0.2	0.2	0.1		0.1	0.1	0.05	0.05	0.03	0.12	0.04	0.1	0.10	1.0	
dj-5		lt-gB	70.7	15.3	2.6		2.1	4.9	0.66	0.37	0.16	0.64	0.12	0.94	0.58	99.1	
			0.2	0.1	0.1		0.1	0.1	0.09	0.04	0.01	0.17	0.05	0.05	0.09	1.0	
dj-6	II-12	lt-gB	44.3	5.2	—	31.5	2.5	0.2	1.2	—	0.82	0.29	0.07	0.11	0.59	12.1	98.9
			0.2	0.1		0.3	0.0	0.1	0.1		0.08	0.14	0.06	0.05	0.17	0.3	1.3
dj-7out		colorless	68.0	16.7	0.58		8.4	2.5	0.54	0.43	0.92	0.30	0.09	0.81	0.30	99.3	
			0.3	0.1	0.01		0.1	0.1	0.04	0.05	0.02	0.07	0.07	0.13	0.01	0.9	
dj-7in		colorless	69.8	15.9	0.74		7.4	2.2	0.40	0.41	0.81	0.23	0.09	0.85	0.08	99.0	
			0.3	0.2	0.05		0.1	0.0	0.05	0.03	0.03	0.09	0.06	0.10	0.08	1.0	
dj-8out		colorless	67.8	16.6	0.58		8.5	2.5	0.54	0.41	0.89	0.44	0.07	0.76	0.09	99.1	
			0.4	0.1	0.03		0.1	0.1	0.06	0.02	0.02	0.17	0.05	0.11	0.05	1.2	
dj-8in		colorless	69.9	15.9	0.80		7.3	2.2	0.44	0.38	0.85	0.24	0.11	0.84	0.10	99.1	
			0.2	0.3	0.04		0.1	0.1	0.08	0.03	0.04	0.07	0.03	0.13	0.12	1.2	
dj-9out		colorless	67.1	16.2	0.58		9.0	2.6	0.59	0.40	0.91	0.37	0.13	0.79	0.20	98.6	
			0.3	0.2	0.05		0.2	0.0	0.08	0.05	0.02	0.10	0.07	0.08	0.01	1.1	
dj-10		lt-gB	71.0	15.6	2.7		2.1	4.8	0.64	0.39	0.15	0.46	0.11	0.99	0.51	99.5	
			0.3	0.1	0.1		0.1	0.1	0.05	0.04	0.01	0.11	0.07	0.09	0.12	1.2	
dj-11		lt-gB	71.0	15.8	2.6		2.1	5.0	0.66	0.35	0.18	0.58	0.08	1.0	0.42	99.7	
			0.6	0.2	0.0		0.1	0.2	0.07	0.02	0.02	0.16	0.04	0.1	0.23	1.7	
dj-12		lt-PB	70.5	15.9	1.0		4.1	2.4	0.18	0.39	0.73	1.6	2.6	1.6	0.06	101.0	
			0.2	0.1	0.1		0.1	0.2	0.06	0.02	0.05	0.1	0.2	0.1	0.01	1.3	
dj-13		lt-PB	70.4	16.0	0.90		4.0	2.3	0.17	0.42	0.77	1.5	2.7	1.5	0.10	100.6	
			0.3	0.1	0.06		0.1	0.1	0.04	0.04	0.02	0.2	0.1	0.1	0.04	1.1	
dj-14		lt-PB	69.6	16.4	0.90		3.9	2.1	0.21	0.40	0.79	1.3	2.6	1.6	0.19	99.9	
			0.2	0.1	0.03		0.1	0.1	0.04	0.03	0.03	0.1	0.1	0.1	0.09	1.0	
dj-15		lt-gB	65.4	16.9	2.2		2.4	7.7	0.74	0.31	0.92	1.4	0.12	1.1	1.13	100.3	
			1.3	0.8	0.2		0.5	0.9	0.43	0.04	0.02	0.6	0.02	0.2	0.31	5.1	
dj-16		lt-PB	73.7	15.7	0.71		4.1	2.3	0.21	0.27	1.0	0.40	1.5	0.9	0.10	100.8	
			0.4	0.2	0.04		0.1	0.1	0.09	0.04	0.0	0.16	0.1	0.1	0.04	1.3	
dj-17		lt-PB	72.0	15.9	0.50		4.3	2.1	0.27	0.21	0.89	0.78	2.0	1.0	0.21	100.2	
			0.4	0.2	0.03		0.1	0.1	0.07	0.05	0.03	0.09	0.1	0.1	0.04	1.2	
dj-18		lt-PB	73.4	1.1	18.4		1.5	1.5	0.38	0.17	0.15	0.52	1.6	1.4	0.09	100.1	
			0.4	0.1	0.1		0.1	0.1	0.04	0.04	0.01	0.11	0.0	0.1	0.01	1.0	

* Color: lt-gB: light greenish Blue, gB: greenish Blue, dk-gB: darkgreenish Blue, PB: Purplish Blue.

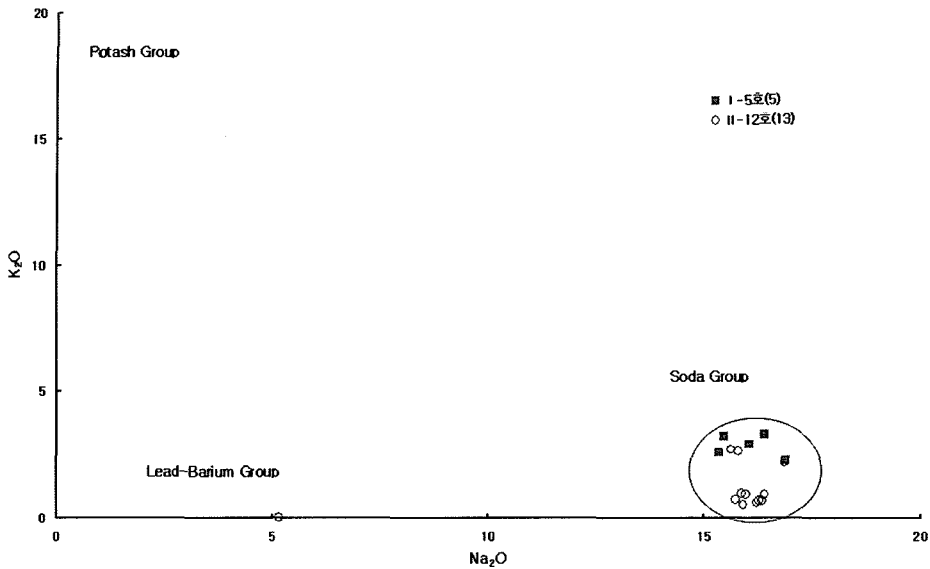


Figure 3. The compositional classifications of glass samples in Dujeong-dong.

분하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 납바륨유리¹⁾

납바륨유리 1점은 유리관옥의 형태로 주성분이 PbO 31.5 %, SiO₂ 44.3 %, BaO 12.1 %, Na₂O 5.2 %, K₂O 0.1 % 이하이고 안정제가 CaO 2.5 %, Al₂O₃ 0.2 %를 함유하고 있는 점으로 보아 한국의 납바륨유리 분류에서 기원후 3세기 이후에 나타나는 II형에 포함된다.^{4,12} 이와 같은 특징은 경상북도 포항 옥성리, 경주 황남대총 남분, 전라남도 나주 복암리에서 출토된 납바륨유리와 유사하다. 유리 색상은 밝은 녹색색(It-gB)으로 착색제는 Cu, Pb이다.

(2) 포타쉬유리²⁾

포타쉬유리 1점은 CaO와 Al₂O₃ 각각 1.5 % 미만으

로 포타쉬유리 I형으로 한국 고대유리에서 가장 많이 나타나는 대표적인 조성이다. 이와 같은 유형은 한반도에서 기원전 1세기에서 기원후 5세기까지 나타나며 지역적으로도 폭넓게 출토되고 있다.⁴ 유리 색상은 감청색(It-PB)으로 Mn, Fe 성분이 높은 점으로 보아 Co가 착색제로 작용된 것으로 판단된다.

(3) 소다유리

두정동 소다유리 16점은 안정제인 CaO와 Al₂O₃를 각각 5 %를 기준으로 도식하면 크게 4개의 유형으로 분류된다(Figure 4). I-5호 토광묘 소다유리 5점은 LCA-A형(CaO, Al₂O₃ ≤ 5%, CaO < Al₂O₃)으로 CaO와 Al₂O₃가 각각 2.1~3.8 %, 4.1~5.0 %의 조성 범위를 가지고 있으며 색상은 밝은 녹색색(It-gB)이다. II-12호 토광묘 소다유리 11점은 3개 유형으로 분류할 수 있

1) I형- SiO₂ : 33~36%, PbO : 38~46%, BaO : 11~16%

II형- SiO₂ : 35~44%, PbO : 30~40%, BaO : 10~14%

2) I형- SiO₂ : 73.7~77.6%, K₂O : 14.2~19.6%, Al₂O₃ : 0.72~2.0%, Na₂O, CaO, MgO 등은 1.8%이하

II형- SiO₂ : 73.4~75.1%, K₂O : 17.3~18.1%, Al₂O₃ : 4.2%, Na₂O, CaO, MgO 등은 1.2%이하

III형- SiO₂ : 59.0~62.3%, K₂O : 23.2~23.6%, Al₂O₃ : 0.5~2.2%, Na₂O와 MgO는 1.7% 이하이나 CaO가 9.3~11.7%이다.

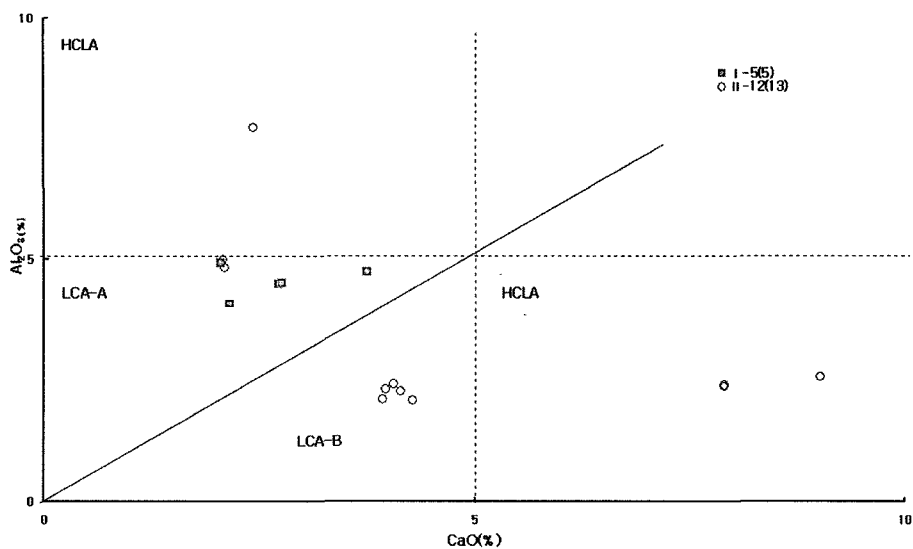


Figure 4. The relationship between CaO and Al₂O₃ composition for glass samples excavated from Dujeong-dong.

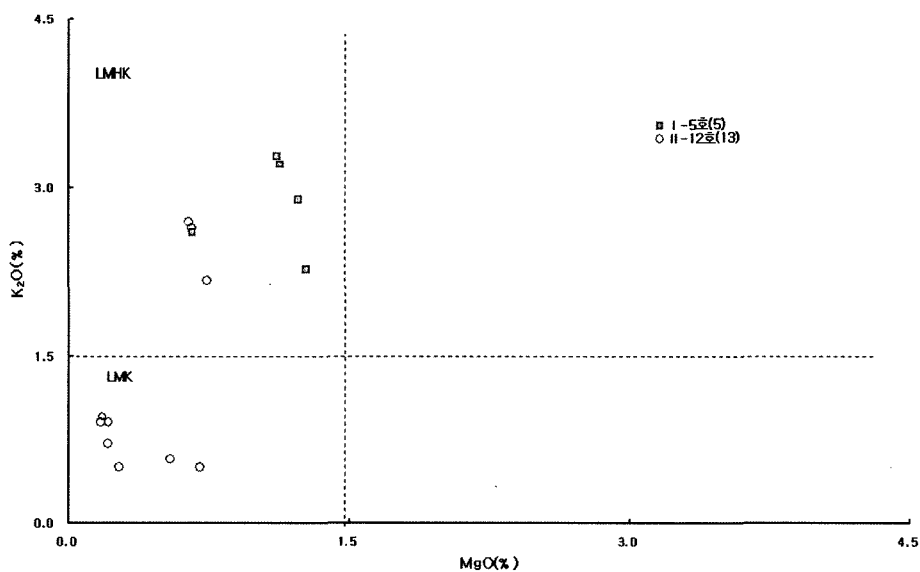


Figure 5. The relationship between MgO and K₂O for glass samples excavated from Dujeong-dong.

다. HCLA(CaO > 5%, Al₂O₃ ≤ 5%)형은 CaO와 Al₂O₃가 각각 7.3~9.2%, 2.2~2.6%의 조성 범위로 무색인 금박구슬 3점에서 나타난다. LCA-A형은 CaO

2.1~3.7%, Al₂O₃ 4.1~5.0%로 밝은 녹색색(It-gB) 2점에서 나타난다. LCA-B형(CaO, Al₂O₃ ≤ 5%, CaO > Al₂O₃)은 CaO와 3.9~4.3%, Al₂O₃ 2.1~2.4%로

감청색(It-PB) 5점에서 나타난다. 이외에 나머지 1점 (dj-15)은 LCHA(CaO ≤ 5%, Al₂O₃ > 5%)형으로 CaO 2.4 %, Al₂O₃ 7.7 %로 나타나지만 내부에 불순물이 많고 용융이 덜 된 것으로 보아 정확한 조성분석에는 한계가 있다고 판단된다.

소다원료의 특성은 MgO와 K₂O의 조성 1.5%를 기준으로 분류하여 도식하면 안정제와 유사하게 구분된다⁹⁾. (Figure 5). I-5호 토광묘 소다유리는 MgO와 K₂O가 각각 0.64~1.3 %, 2.3~3.6 %으로 K₂O가 1.5%보다 높은 LMHK형으로 분류된다. 반면에 II-12호 소다유리는 두 그룹으로 MgO와 K₂O가 0.64~0.74 %, 2.2~2.7 %인 LMHK형과 0.17~0.59 %, 0.50~0.58 %인 LMK형이 분류된다. LMHK형은 I-5호와 II-12호의 밝은 녹색색 계통으로 조성은 유사하게 나타나지만 소다유리의 원료가 분명하게 나타나지는 않는다. 그러나 LMK형으로 구분한 II-12호의 무색 금박구슬과 감청색 계통은 소다 원료가 광물로 사용하였을 가능성이 매우 높다.^{7,8}

이와 같은 분석 결과에서 소다유리의 색상은 조성과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 나타나며(Figure 6), 도식된 결과에서 두정동 소다유리는 색상에 따라 안정제 CaO와 Al₂O₃의 비가 다른 것을 알 수 있다. 밝은 녹색색은 감청색에 비하여 CaO는 낮고 Al₂O₃는 높게 나타난다. 그러나 무색의 금박구슬은 밝은 녹색색과 감청색에 비하여 CaO 성분이 상대적으로 높게 나타난다. 따라서 CaO와 Al₂O₃의 안정제의 상대적인 비(C:A)는 무색의 금박구슬, 감청색, 밝은 녹색색 순으로 낮아지는 특징을 보인다.

이와 같은 특성에서 dj-15는 밝은 녹색색으로 분류되지만 안정제의 조성비가 다른 것은 유리 내부의 조성이 완전 용융되지 않고 불순물들이 많이 남아있기 때문이다. 밝은 녹색색 계통인 I-5호의 5점과 II-12호의 3점은 색상 및 형태적 특성뿐 만 아니라 주성분 특성에서도 유사하므로 동일하게 조성되어진 유리구슬일 가능성이 높다.

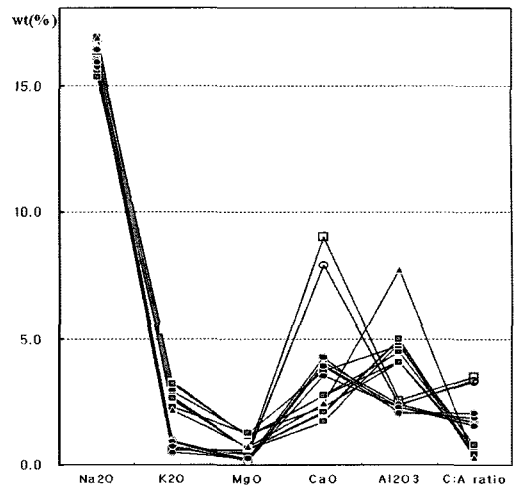


Figure 6. The relationships of major composition for soda glass of Dujeong-dong.

3. 미세구조

일반적으로 매장 환경에서의 고대유리의 풍화는 토양의 수분에 함유된 가용성염이 유리와 반응하여 유리의 염기 성분인 나트륨(Na, Sodium), 칼륨(K, Potassium) 등이 토양 속으로 방출되며 그 빈 공간을 토양 속의 규소(Si)성분이 채우지는 것으로 알려져 있다. 지금까지 고대 유리의 풍화 정도에 대한 연구는 유리 조성에 따라 차이가 있음을 확인하였으나^{11,12} 동일한 매장 환경에서 조성별 풍화 정도는 아직 연구된 바가 없다.

본 연구에서는 동일한 매장 환경으로 추정되는 두정동 II-12 토광묘에서 출토된 소다유리(dj-17)와 포타쉬 유리(dj-18)에 대한 풍화 정도를 관찰한 결과(Figure 7), 포타쉬유리는 표면에 생성된 풍화층은 300 μm로 소다유리 150 μm로 포타쉬유리가 소다유리에 비해 2배 정도 풍화층이 높다. 풍화층의 화학 조성은 Figure 7 (c), (f)와 같이 용제인 나트륨과 칼륨 성분이 내부의 안정한 층에 비하여 적게 나타난다. 이와 같은 분석 결과에서 포타쉬유리는 소다유리에 비하여 쉽게 풍화되는 것으로 확

3) MgO 와 K₂O의 함량을 1.5%를 기준으로 하여 LMK(Low MgO, Low K₂O), LMHK(Low MgO, High K₂O), HMK(High MgO, High K₂O), HMLK(High MgO, Low K₂O)로 구분되며 한국에서 출토된 소다유리는 MgO 성분이 1.5%보다 낮은 LMH와 LMHK가 주된 유형으로 고아물(natron, Na₂CO₃)를 사용하였을 가능성이 높다고 판단된다. (김규호, 한국에서 출토된 고대유리의 고고학적 연구, 중앙대학교 박사학위논문, 2001)

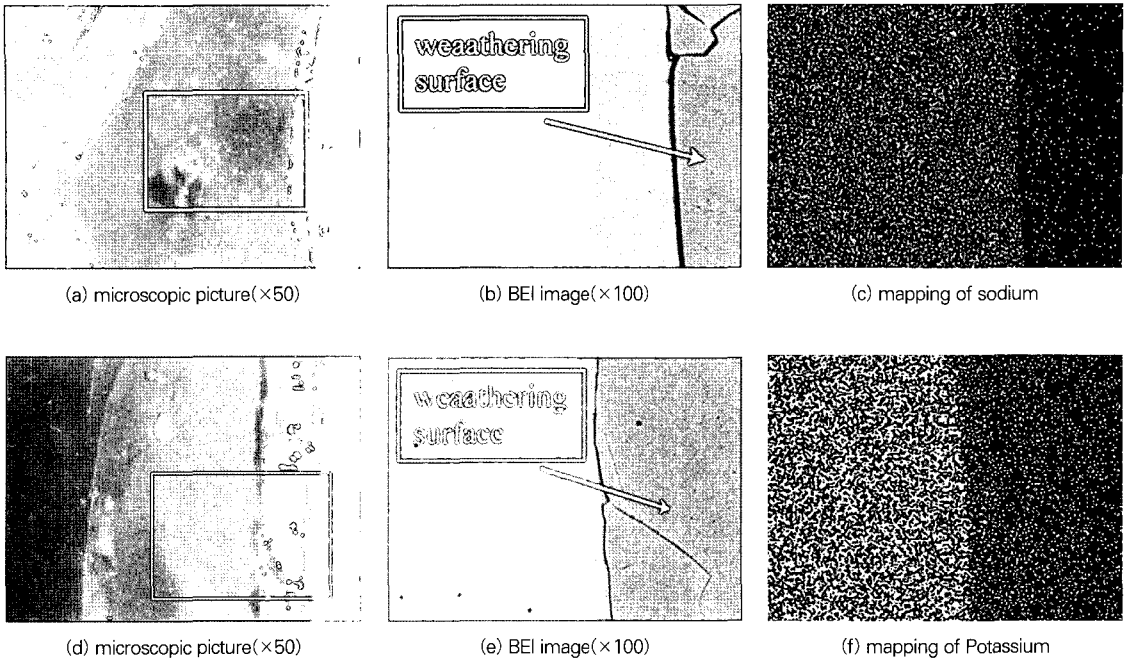


Figure 7. The comparison of soda(dj-17) and potash(dj-18) glass excavated from Dujeong-dong: (a), (b), (c): soda glass, (d), (e), (f): potash glass.

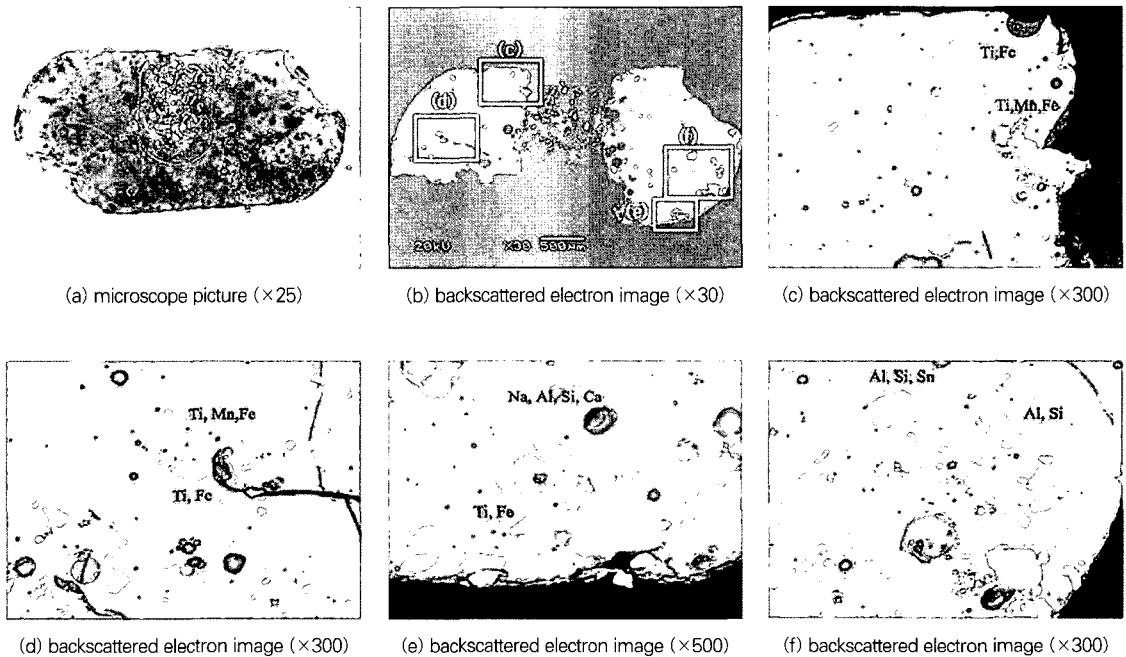


Figure 8. Microstructure of soda glass(dj-15) excavated from Dujeong-dong.

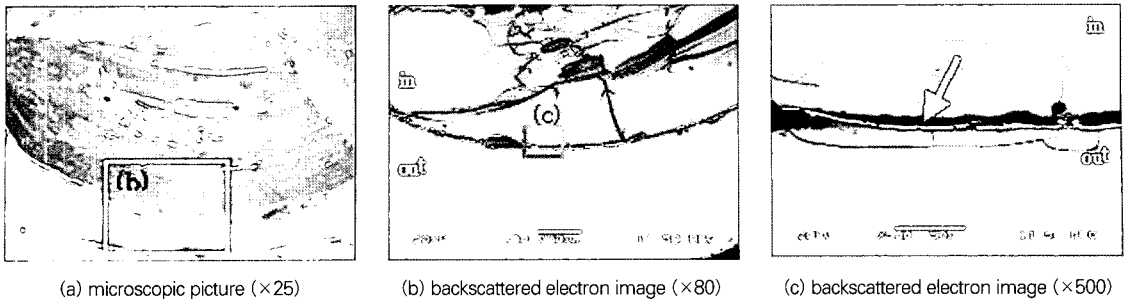


Figure 9. Microstructure of gold foil glass beads(dj-7) excavated from Dujeong-dong.

인되며 그 이유는 포타쉬유리의 안정제가 소다유리에 비하여 적게 함유하고 있기 때문이다.

밝은 녹색색인 소다유리에서 안정제 조성이 차이가 있는 dj-15는 주사전자현미경 반사전자상으로 유리 내부의 미세구조를 관찰하였다(Figure 8). 유리 내부는 광학현미경으로 확인된 것과 같이 용융이 덜된 상태로 적색, 흑색 등 돌 형태의 입자들이 혼재하고 있다. 입자 조성은 주로 착색제 성분인 Ti, Fe, Mn, Sn이며 일부는 Na, Al, Si, Ca 등이 확인되는 점으로 보아 유리가 완전하게 용융되지 못한 상태로 보인다. 이외에 반사전자상의 명암 차이는 줄(cord)의 형태로 조성이 불균질한 상태에서 나타나는 현상으로 유리의 제작 과정에서 원료의 혼합이나 확산이 충분하지 못해 발생한 것으로 추정된다. 전체적으로 내부에 존재하는 크고 작은 기포들은 냉각과정에서 짧은 냉각시간 때문에 외부로 완전히 빠져나가지 못하였을 가능성이 높다.^{4,9}

4. 금박구슬

금박구슬은 작은 유리 위에 금박을 장식한 후, 그 위

를 유리로 다시 입힌 특이한 형태로 우리나라에서는 일반적인 유리구슬에 비해 출토된 수량이 적으므로 이에 대한 연구도 아직까지는 미비한 실정이다. 두정동에서 선정된 18점의 유리 편에서 3점은 금박구슬로 이에 대한 가시적 특징과 화학 조성은 다음과 같다.

(1) 가시적 특징

금박구슬의 일반적인 형태는 무색의 내형과 외형유리가 있으며 두 유리층 사이에 금박이 존재한다. 두정동 출토 3점의 금박구슬 편은 존재하며 내·외형이 모두 존재하며 금박구슬 1점(dj-7)의 단면에 대한 가시적 특징은 다음과 같이 관찰된다(Figure 9).

내형유리는 길이 방향으로 길게 잡아 늘어뜨려 제작된 것으로 판단된다. 이 방향으로 균열현상이 심하며 다량의 기포가 길게 늘어서 있으며, 기포의 모양 역시 길이 방향으로 길게 늘어뜨려져 있다.⁴ 내형과 외형의 층 사이에 존재하는 금박은 약 20 μm 두께를 가지고 있으며 금(Au)과 은(Ag)이 94 : 6의 비율로 22.6 K의 순도를 가지고 있다. 외형유리는 내부가 매우 투명하고 깨끗한 편으로 기포가 거의 관찰되지 않고 소수의 기포(Blister)가

Table 4. Chemical composition of gold foil glass beads excavated from Dujeong-dong

Sample Number	Color (Transparency)	Oxide Concentration (wt. %)												Total
		SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Cl	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	
GF-out (3)	Colorless(O)	67.6	16.5	0.58	8.6	2.5	0.56	0.41	0.91	0.37	0.11	0.78	0.20	99.0
		0.5	0.3	0.01	0.3	0.1	0.02	0.01	0.01	0.07	0.03	0.02	0.10	1.5
GF-in (2)	Colorless(O)	69.9	15.9	0.77	7.4	2.2	0.42	0.39	0.83	0.24	0.10	0.85	0.09	99.0
		0.1	0.1	0.04	0.1	0.1	0.03	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.5

마감부분에서 밖에서 안으로 방향성을 가지고 있는 점으로 보아 연주옥과 같은 형태로 제작되었으며 이를 위하여 이 부분에 물리적 힘이 밖에서 안으로 작용한 것으로 볼 수 있다.

두정동 금박구슬은 금박을 기준으로 하여 반사전자상 명함이 차이를 보이는 점으로 보아 외형보다 내형의 풍화정도가 높은 것을 알 수 있으며 안정제 조성이 차이를 보이는 것과 관계가 있을 가능성이 있다(Figure 9 (b), (c))

(2) 화학 조성

두정동 유적에서 선정한 금박구슬 편 3점을 내형과 외형으로 구분하여 각 유형에 대한 조성을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 내형과 외형은 모두 소다유리 그룹으로 구분되나 내형과 외형에서 주제인 SiO_2 가 각각 $69.9 \pm 0.1\%$, $67.6 \pm 0.5\%$ 로 내형이 약 2%정도 높고 안정제인 CaO 가 $7.4 \pm 0.1\%$, $8.6 \pm 0.3\%$ 로 내형이 약 1%정도 낮다. 이외의 조성도 차이를 보이며 이와 같은 조성 차이는 다른 배합 비율로 만들어졌을 가능성이 있다. 그러나 두정동 금박유리의 전반적인 조성은 기 연구된 금박유리 조성과의 유사하다.⁴¹¹

V. 결론

천안 두정동 유적은 고고학적으로 4세기 전반에서 중반으로 편년되는 유적이다. 이 유적에서는 총 4개의 유구에서 117점의 유리구슬이 출토되었으며 대부분이 청색과 녹색 계통이다. II-12호 토광묘에서는 관옥형태의 납바름유리, 환옥 형태의 금박유리, 소다유리, 포타쉬유리 등 다양한 조성의 유리구슬이 출토되어 다른 유구에 비하여 가장 다양한 양상의 유리구슬들이 매장된 것으로 볼 수 있다.

납바름유리(dj-6)는 한국의 납유리의 구분에 의해 CaO 의 함량이 2% 이상인 II형으로 3세기 이후에 나타나는 조성이다. 포타쉬유리(dj-18)의 성분은 안정제인 CaO 와 Al_2O_3 의 합이 3% 이하로 한국의 고대 포타쉬유리의 분류에서 I형으로 분류된다. 이 유형은 전형적인 포타쉬유리로 삼국시대까지 꾸준히 나타나며 출토 예도

가장 많다. 소다유리는 두정동에서 출토된 유리 중 가장 많은 개체수를 갖는다. 소다유리 16점은 안정제 성분인 CaO 와 Al_2O_3 의 상관관계에서 4개의 유형으로 구분되며 소다원료인 MgO 와 K_2O 에 의해서도 LMK와 LMHK 두가지 형태로 분류된다.

소다유리 그룹에서 밝은 청록색(It-gB)의 안정제는 LCA-A형, 소다 원료는 LMHK으로 구분된다. 반면에 감청색(It-PB)의 안정제는 LCA-B형이고 소다 원료는 LMK이다. 금박 구슬은 안정제가 LCHA형으로 청색계통의 유리구슬과 차이를 보이며 소다 원료는 감청색(It-PB)과 같은 LMK이다. 따라서 두정동 소다유리는 다양한 조성을 가지고 있으며 유구별 차이보다는 색상 및 형태와 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다.

화학 조성이 차이를 보이는 소다유리 1점(dj-15)은 미세구조 관찰에서 불완전하게 용융된 상태로 내부에 Ti, Fe, Mn의 착색제와 Si, Al, Na, Ca 등 유리의 주성분으로 보이는 입자를 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과에서 유리의 조성은 미세구조에 따라 차이를 보일 수 있으므로 유리조성만으로 고대유리의 특징을 제시하기는 한계가 있음을 알 수 있다. 또한 이 불순물 입자의 화학 조성은 고대유리의 원료에 대한 특성을 제시하는 자료로 활용될 수 있다.

동일한 매장 환경의 풍화도는 포타쉬유리가 소다유리에 비하여 더 두껍게 형성되는 것으로 나타난다. 이는 안정제의 함량이 포타쉬유리가 소다유리에 비하여 적기 때문으로 생각되나 매장 환경에 따른 유리의 풍화 정도는 다양한 원인이 작용될 수 있으므로 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 따라서 발굴현장에 대한 분석 조사도 병행될 필요가 있다.

사사

이 연구는 공주대학교 자체 학술연구의 지원으로 수행하였으며 연구가 이루어 질 수 있도록 도움을 주신 공주대박물관 이남석 교수님과 이현숙 선생님께 감사사를 표한다.

참고문헌

1. 이인숙, 韓國古代 유리의 考古學의 研究, 한양대학교 박사학위논문, (1990).
2. 金炳胤, 유리工學, 淸文閣, (1994).
3. Rune Persson, 유리 工業, 정문각, (2000)
4. 김규호, 한국에서 출토된 고대유리의 고고화학적 연구, 중앙대학교 박사학위논문, (2001),
5. 一, 斗井洞 遺蹟, 公州大學校 博物館, (2000).
6. 김연옥, EPMA 분석법, 한국구조공학회지 제 23 권 제 1호, 한국구조공학회, (2003).
7. Elving, P.J., Wineforner J.D., Archaeological Chemistry, JOHN WILEY & SONS, (1980).
8. Julian, The Science and Archaeology of Materials, Routledge, (2000).
9. Catherine Sease, A Conservation Manual for the field Archaeologist, Archaeological Research Tools, Volume 4 (1987)
10. 김규호, 허우영, 신지영, 옛 유리에 나타나는 결함과 그 특성(Ⅳ), 한국전통과학기술학회 99 학술대회지, 한국전통과학기술학회 · KIST전통과학기술센터, (1999).
11. 『連天 鶴谷里 積石塚』, 畿甸文化財研究院, 서울地方國土管理廳, (2004).
12. 송유나, 충남지역 출토 백제시대 유리구슬의 고고화학적 분석 고찰, 공주대학교 석사학 위논문, (2006).