

## 금관가야 유리구슬의 특성 분석 (I)

### A Characteristic Analysis of Glass Beads in Geumgwan Gaya, Korea (I)

김은아<sup>1</sup>, 이제현<sup>2</sup>, 김규호<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 문화재보존과학과, <sup>2</sup>국립김해박물관

Eun A Kim<sup>1</sup>, Je Hyun Lee<sup>2</sup>, Gyu Ho Kim<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University, Gongju 32588, Korea

<sup>2</sup>Gimhae National Museum, Gimhae 50911, Korea

Received April 8, 2021  
Revised April 27, 2021  
Accepted April 27, 2021

\*Corresponding author  
E-mail: kimgh@kongju.ac.kr  
Phone: +82-41-850-8544

Journal of Conservation Science  
2021;37(3):232-244

<https://doi.org/10.12654/JCS.2021.37.3.04>

pISSN: 1225-5459, eISSN: 2287-9781

© The Korean Society of  
Conservation Science for Cultural  
Heritage

This is an Open-Access article distributed  
under the terms of the Creative  
Commons Attribution Non-Commercial  
License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits  
unrestricted non-commercial use,  
distribution, and reproduction in any  
medium, provided the original work is  
properly cited.

**초 록** 본 연구는 금관가야가 위치한 김해지역에서 출토된 유리구슬을 중심으로 색상, 크기 및 형태, 열처리 등 외형적 특징과 비파괴 분석을 통하여 화학 조성을 용제, 안정제, 착색제 특성으로 분류해 보았다. 금관가야 유리구슬 129점은 8가지 색상 계통으로 분류되며 이 중에서 67% 점유하는 감청색이 대표적인 색상이다. 크기는 외경을 기준으로 3가지로 구분한 결과, 시기가 지남에 따라 대형화하는 양상을 보인다. 형태는 내경과 직경을 기준으로 대통형, 둥근형, 도넛형으로 구분되며 둥근형이 대표적이다. 늘린기법으로 제작된 유리구슬 단면은 열처리 정도에 3가지 유형이 확인된다. 구슬 양끝이 모두 열처리된 HT-III형이 주류이고 다른 유형에 비하여 열처리 기술이 높은 단계로 추정된다. 비파괴분석에서 확인되는 화학 조성은 포타쉬유리군 63점과 소다유리군 9점이다. 고찰 결과, 금관가야 유리구슬은 색상, 크기, 형태, 제작기법을 포함한 외형적 특징은 화학 조성과의 상관성을 보이며 시기별, 지역별에 따른 특징이 나타난다.

**중심어** 금관가야, 유리구슬, 이미지 프로세싱, 열처리, 화학 조성, 착색제

**ABSTRACT** This study examined the physical attributes and heat treatment characteristics of glass beads excavated from the Gimhae area, which is the location of Geumgwan Gaya. This enabled classification of surface characteristics of the beads based on the investigation of the color, size, and shape. The glass beads were classified into eight color systems, with purplish-blue beads as the representative color. Bead size was categorized into three types depending on the outer diameter and how it increased over time. Bead shapes were categorized as round, tubular, or doughnut-shaped based on the inner diameter and length, with round being the typical shape. According to the degree of heat treatment, there are three types of cross-section for glass beads that are manufactured by the drawing technique, most of which are the HT-III type. In addition, it is estimated that the heat treatment technology has more considerable effects than other methods. Through non-destructive analysis, the chemical composition was obtained and categorized as flux, stabilizer, and colorant. Analysis confirmed the presence of 63 and 9 pieces in the potash and soda glass groups, respectively. Overall findings from the study highlighted a correlation between the chemical composition and the external factors such as color, size, shape, and manufacturing technology of glass beads recovered from Geumgwan Gaya, revealing characteristics related to that time and region.

**Key Words** Geumgwan Gaya, Glass beads, Image Processing, Heat treatment, Chemical composition, Colorant

## 1. 서 론

그동안 가야 지역은 활발한 발굴조사를 바탕으로 다양한 고고학적 성과가 축적되었다. 역사적으로 가야는 전기에는 김해의 금관가야가 중심적인 역할을 하였으나, 후기

에는 고령의 대가야, 함안의 아라가야, 고성과 진주의 소가야가 중심지로 부각하면서 각 지역에 따른 소문화권이 형성되어 있었다. 이러한 지역별 문화권을 이해하기 위해서는 세밀한 유물 분석을 통한 연구가 수반되어야 한다. 이전의 연구 결과에서 토기나 철기와 같은 대표적인 유물

에 대한 세밀한 편년과 분석 안이 제시되었으나, 유물에 대한 직접적인 과학적 분석 자료는 광범위하게 축적되지 못하였다. 우리는 가야 지역 거의 모든 곳에서 출토되고 있는 점에서 가야 각 지역의 차이와 교류 양상을 파악할 수 있는 중요한 자료임에도 그동안 형태, 제작기법, 지역적 특징 등이 자세히 다루어지지 못했다.

지금까지 김해 지역에서 양동리를 포함하여 13개 중요 유적에서 다량의 고대 유리가 확인되었으며 금관가야 유리구슬에 대한 과학적 분석은 동의대학교 박물관에서 발굴조사한 김해 양동리 유적에서 처음으로 시작되었다. 주사전자현미경과 부착된 에너지분산분광분석기를 이용하여 총 62점을 유리구슬 편을 분석하고 시기별 화학조성이 구분되는 특징을 제시한 바 있다(Kim *et al.*, 1998; Kim, 2002). 이후에 국립김해박물관에서 발굴조사한 양동리 유적에서 출토된 완형 유리구슬을 대상으로 비파괴 분석을 적용하여 유리구슬의 형태 구분과 함께 화학조성을 제시하였다. 또한 앞서 분석한 유리구슬 편이 분석 결과와 비교하여 전반적인 특징과 완형 유리구슬에 대한 비파괴 분석법에 대한 활용 가능성을 언급하였다(Gimhae National Museum, 2012; Kim, 2013). 이와는 별도로 대성동고분군에서 출토된 감청색 파수부 유리용기 편과 구슬 편을 포함한 18점을 시료 분석하여 자료로 제시하기도 하였다(Daesong-dong Tombs Museum, 2013). 그러나 금관가야 유리구슬에 대한 과학적 분석은 김해지역에서 출토된 유리구슬의 수량에 비하여 극히 일부가 분석되었고 지금까지 소개된 분석 자료로 금관가야 유리구슬의 형태, 색상, 제작기법, 화학 조성 등을 포함한 종합적 해석은 아직 어려운 실정이다.

본 연구에서는 국립김해박물관에서 소장하고 있는 김해지역 출토 유리 중 금관가야의 대표적인 유적 6곳을 선정하여 완형 유리구슬에 대한 과학적 분석을 진행하고자 한다(Gimhae National Museum, 2019). 이번 연구를 통하여 금관가야 유리의 형태, 색상, 제작기법 등 외형적 특성을 살펴보고, 비파괴 분석법인 에너지분산형 X선형광분석기를 이용한 화학조성을 분석하여 고대 가야유리의 문화양상을 살펴보고자 한다. 특히, 유리구슬의 외형과 화학조성을 체계적으로 정리하고 이를 기초로 금관가야 유리구슬의 전반적인 특징을 정리하여, 지금까지 연구된 금관가야의 고고학적 연구 자료와 비교할 수 있는 자료로 활용하고자 한다. 또한 주변 가야 지역과 금관가야 유리문화를 비교할 수 있는 기초 자료로 제시하고자 한다.

## 2. 연구 대상

분석대상은 국립김해박물관에서 소장 중인 유물로 김해지역에서 출토된 유리구슬이다. 선정 유적은 김해 구지로, 양동리, 칠산동, 망덕리, 여래리, 죽곡리 등 6곳이고 총 12유구에서 129점을 선정하였다. 유적 편년은 대부분이 금관가야의 중심 시기로 볼 수 있는 3세기 중반부터 5세기 말까지의 시간적 범위를 가지고 있다. 그러나 금관가야 형성의 이전과 이후를 비교하기 위하여 2세기에 조성된 김해 양동리 유적 55호 토광묘와 7세기에 조성된 여래리 유적 II-6호 석실묘에서 출토된 유리구슬을 추가하여 분석하였다(Table 1).

## 3. 연구 방법

### 3.1. 표면 특성

유리구슬의 외형적 특징은 색상, 크기, 형태 그리고 제작기법으로 구분하여 조사하였다.

유리구슬의 색상은 육안조사를 통해 1차 분류 후 유적에서 확인되는 고대 유리구슬의 176가지 색상을 보유한 색상집(Munsell Bead Color Book, Pantone, USA)을 사용하여 최종 판별하였다. 색상 표기는 기존 연구자들이 제시한 기준에 따라 정하였다. 유리구슬의 크기는 이미지 프로세싱 프로그램(PicMan, Wafer Masters, Inc., USA)을 이용하여 유리구슬의 제원을 측정하였다. 측정방법은 실제 현미경 Scale Bar를 Reference로 설정하고 내경, 외경 그리고 직경을 측정하였다(Kim, 2019). 유리구슬의 형태와 제작기법은 실제현미경(Optical Microscope, Leica MZ75, Germany)을 이용하여 관찰하였다. 구슬의 정면과 측면을 촬영하였으며 동일 환경의 조건을 유지하기 위해 컬러 차트(Gray 20%)를 기준으로 백색 보정(White balance) 후 진행하였다.

### 3.2. 화학 조성

유리구슬의 화학 조성은 비파괴 분석법인 에너지분산형 X-선형광분석기(ED-XRF, Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer, Seiko SEA 2220A, Japan)를 이용하였다.

측정조건은 진공 분위기에서 자동전류, 여기전압 15, 50 KeV의 두 전압에서 측정면적 3 mm, 측정시간 300초에서 측정하였다. 고대유리의 조성 분석에 대한 신뢰성은 유리 표준시료(SRM 610, 612, 620, 1831, Coming B, C, D)

**Table 1.** The analytical list of the glass beads excavated in Gimhae area

No.	Site (Symbol)	Burial number	Burial typesa	Centrury	Analysis status		Analysis number	Remark
					Colorb	Quantity		
1	Yangdong-ri (YD)	55 <sup>c</sup>	B	Mid 2C	PB	6	YD-01~10	
					gB	2		
					C	2		
		7	C	4C late	P	3	YD-11~20	
					PB	7		
<b>Total</b>						<b>20</b>		
2	GuJi-ro (GJ)	C	A	Mid 3C	PB	10	GJ-01~12	
					gB	2		
					<b>Total</b>			
3	Chilsan-dong (CS)	II -3	F	Mid 4C ~5CEarly	PB	11	CS-01~11	
					P	1		
					PB	8		
		1	B	Mid 4C ~5CEarly	BG	3	CS-12~28	
					gB	3		
					Y	1		
		<b>Total</b>						<b>28</b>
4	Mongdeock-ri (MD)	I -19	C	Mid 4C ~5CEarly	gB	5	MD-01~05	
					PB	14		
		I -67	C	Mid 4C ~5CEarly	PB	14	MD-12~25	
					PB	10		
<b>Total</b>						<b>29</b>		
5	Bonsan•Yeorae-ri (BY)	II -20	C	4C late ~Mid5C	P	3	BY-01~10	
					PB	6		
					gB	1		
		II -10	F	4C late ~Mid5C	PB	12	BY-11~22	
					B	3		
		II -6	Dd	7C	PB	2	BY-23~29	
gB	1							
<b>Total</b>						<b>29</b>		
6	Jukgok-ri (JK)	5	A	5C	gB	1	JK-01~11	
					BG	8		
					G	1		
					Y	1		
<b>Total</b>						<b>11</b>		
<b>Total</b>						<b>129</b>		

a: A; Jar coffins, B; Wooden coffin, C; Wooden chamber, D; Stone-lined, F; Stone Chamber.

b: lt:Light, dk:Dark PB;PurpleBlue, P;Purple, RB;ReddishBrown, BG;BlueishGreen, Y;Yellow, C;Colorless, B;Black.

c: YD-E(Yandong-riEarly).

d: BY-L(Bonsan•Yeorae-riLate).

**Table 2.** The comparison with analytical results and certified value at glass standard SRM 620

Sample number	Chemical composition (wt. %)													Remarks
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	PbO	BaO	SnO <sub>2</sub>	
<b>Certified value</b>	<b>72.1</b>	<b>14.4</b>	<b>0.4</b>	<b>7.1</b>	<b>1.8</b>	<b>3.7</b>	<b>&lt;0.1</b>		<b>&lt;0.1</b>					
SRM620-01	72.22	13.61	0.44	7.17	2.47	4.04	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SRM620-02	71.29	13.99	0.46	7.41	2.84	3.94	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SRM620-03	72.03	13.21	0.48	7.55	2.81	3.86	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SRM620-04	72.01	13.42	0.46	7.51	2.79	3.75	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SRM620-05	71.58	13.90	0.48	7.52	2.69	3.77	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Average</b>	<b>71.83</b>	<b>13.62</b>	<b>0.47</b>	<b>7.43</b>	<b>2.72</b>	<b>3.87</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>
Std	0.34	0.29	0.01	0.14	0.14	0.11								

로 검량선을 작성하였다. 측정 결과에 대한 재현성 평가는 유리 표준시료 SRM 620에 대하여 동일 조건에서 5회 측정된 측정 결과를 비교하여 측정 결과의 정확성과 재현성을 확보하였다(Table 2).

## 4. 연구 결과 및 고찰

### 4.1. 색상

연구대상으로 선정된 금관가야 유리구슬 129점의 색상은 8가지 계통으로 구분되며 대표적인 색상은 청색 계통이다. 청색 계통은 총 119점으로 자색(P) 7점, 감청색(PB) 86점, 벽색(gB) 15점, 청록색(BG) 11점으로 구분된다. 이외에 녹색(G) 1점, 황색(Y) 2점, 무색(C) 4점, 흑색(B) 3점이 확인된다. 이를 기초로 금관가야 유리구슬은 청색 계통이 92%를 점유하고 이 중에서 감청색이 67% 점유하는 대표적인 색상이다(Figure 1).

유리구슬의 색상 분포를 유적별로 살펴보면 금관가야 이전 시기인 양동리(YD-E)유적에서 감청색과 벽색이 확인되며 금관가야 시기인 유적에서는 감청색을 중심으로 벽색과 자색이 확인되는 공통적 양상이 나타난다. 이후에 조성된 죽곡리(JK)와 본산리·여래리(BY-L) 유적은 감청색이 축소되고 청록색과 흑색, 황색 그리고 녹색이 출현하는 특징을 보인다(Figure 2).

금관가야에서 가장 높은 점유율을 보이는 감청색은 명도에 따라 진한 감청색(dk-PB), 감청색(PB), 밝은 감청색(lt-PB)으로 구분한 결과(Figure 3), 진한 감청색은 29점, 감청색 47점 그리고 밝은 감청색 10점으로 감청색이 가장 높은 점유율인 65%를 차지한다(Figure 4A). 그리고 명도의 차이로 구분한 감청색은 시기 구분에 따라 다음과 같은 차이를 보인다. 금관가야 이전인 양동리(YD-E)와 중심 시기인 양동리(YD), 구지리(GJ), 칠산동(CS), 망덕리(MD), 본산리·여래리(BY)는 진한 감청색과 감청색이 주류이고 일부 밝은 감청색이 분포하는 양상을 보인다. 그



**Figure 1.** The main colors found at glass beads in Geumgwang Gaya.

러나 이후에 조성된 본산리·여래리(BY)유적 후기 유구는 감청색의 점유율이 낮아지면서 다른 색상의 점유율이 높아지는 경향을 보인다(Figure 4B).

따라서 금관가야 감청색 유리구슬은 사용 원료 및 제작 조건에 따라 색상과 명도가 차이를 보이는 것으로 볼 수 있다.

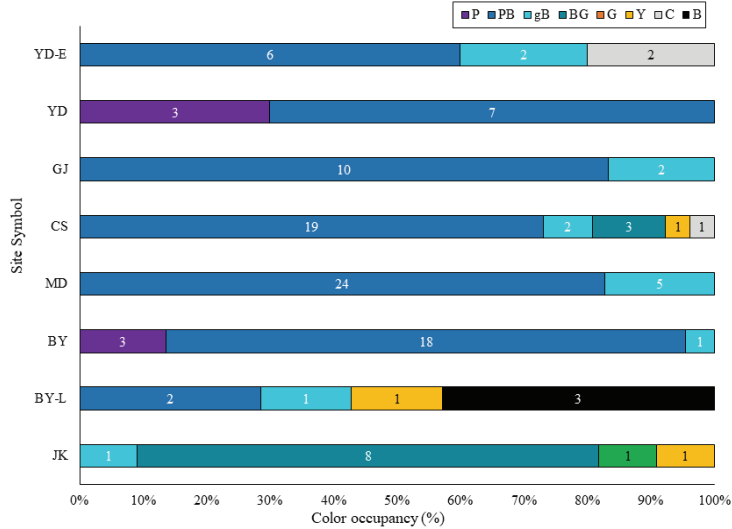


Figure 2. Histogram color of glass beads by each ruins in Geumgwan Gaya.

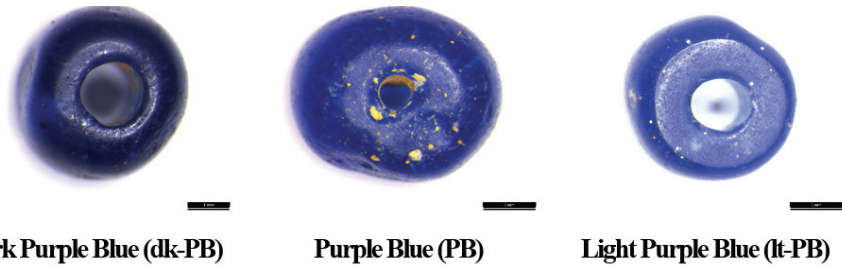


Figure 3. The color classification of co-blue glass beads in Geumgwan Gaya.

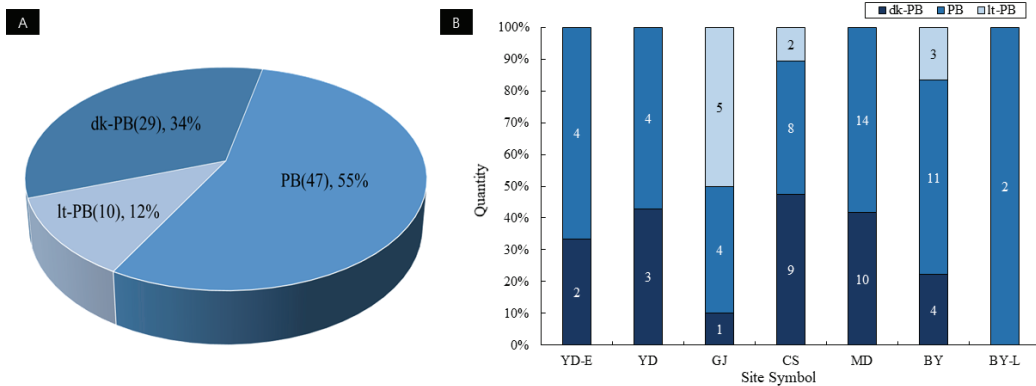
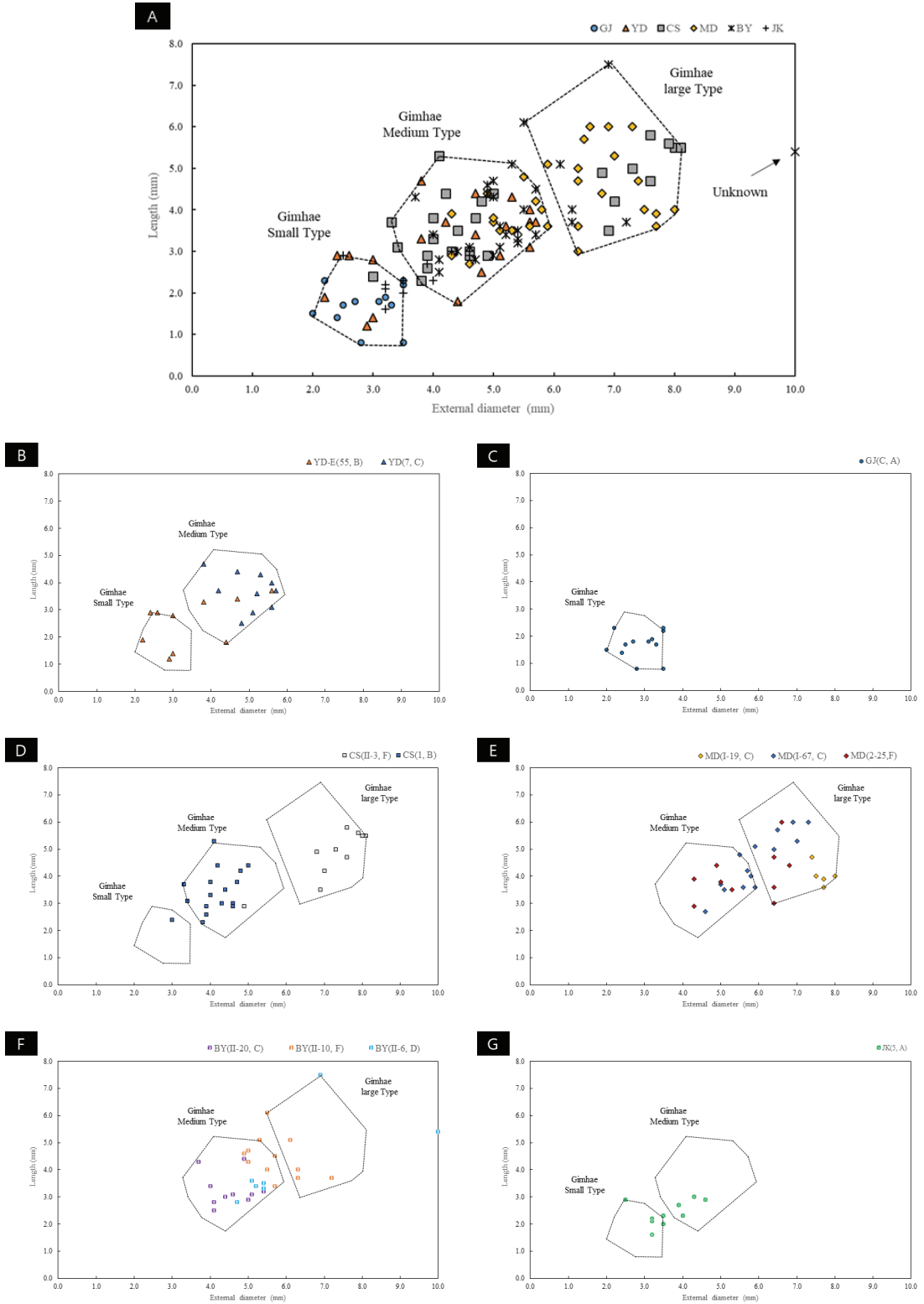


Figure 4. The color distribution of co-blue glass beads in Geumgwan Gaya. (A) Total occupation rate. (B) Ruins occupation rate.



**Figure 5.** The size classification of glass beads in Geumgwang Gaya by image analysis. (A) Total ruins. (B) Yangdong-ri. (C) GuJi-ro. (D) Chilsan-dong. (E) Mongdeock-ri. (F) Bonsan \ Yeorae-ri. (G) Jukgok-ri.

## 4.2. 크기 및 형태

유리구슬의 외경, 내경, 직경은 구슬의 외형을 추정할 수 있는 중요자료이다. 금관가야 유리구슬의 크기와 형태는 129점의 외경, 내경, 직경을 측정하고 외경과 직경을 기준으로 도식화하고 그 특징을 평가하였다(Figure 5).

### 4.2.1. 크기

금관가야 유리구슬의 크기는 외경을 기준으로 분류하였으며 분포별 외경의 평균값과 표준편차에 따라서 김해 소형(2.9±0.4 mm), 김해 중형(4.8±0.6 mm), 김해 대형(7.0±0.7 mm) 등 총 3가지 계통으로 분류할 수 있다(Figure 5A).

김해 소형은 구지리(GJ) 12점, 양동리(YD-E) 6점, 칠산동(CS) 1점 그리고 죽곡리(JK) 7점 등 26점이 포함된다.

가장 많은 개체가 분포한 김해 중형은 양동리(YD) 14점, 칠산동(CS) 18점, 망덕리(MD) 14점, 본산리·여래리(BY) 23점, 죽곡리(JK) 4점 등 71점이 금관가야 중심 시기에서 나타난다. 김해 대형은 칠산동(CS) 9점, 망덕리(MD) 15점, 본산리·여래리(BY) 5점을 포함하여 29점으로 김해 중형이 함께 존재하나, 김해 소형은 확인되지 않는다. 특히, 본산리·여래리(BY) 유적에서 출토된 감청색 구슬 1점(BY-23)은 외경이 10 mm 이상으로 본 연구에서 분류한 김해 유형으로 구분되지 않는다.

유적별 구분에서 양동리 유적은 시기에 따라 차이를 보이는데, 초기에 조성된 유구(YD-E)는 대체로 김해 소형이, 금관가야 중심시기 유구(YD)는 김해 중형이 분포한다(Figure 5B). 그리고 김해 구지리(GJ)와 죽곡리(JK) 유적에서 용관을 모체로 한 유구는 대부분 김해 소형이 분포

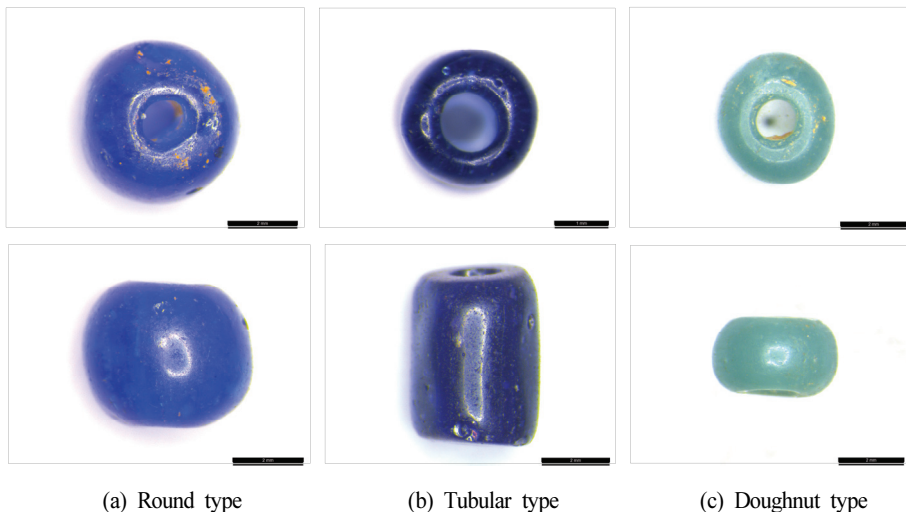
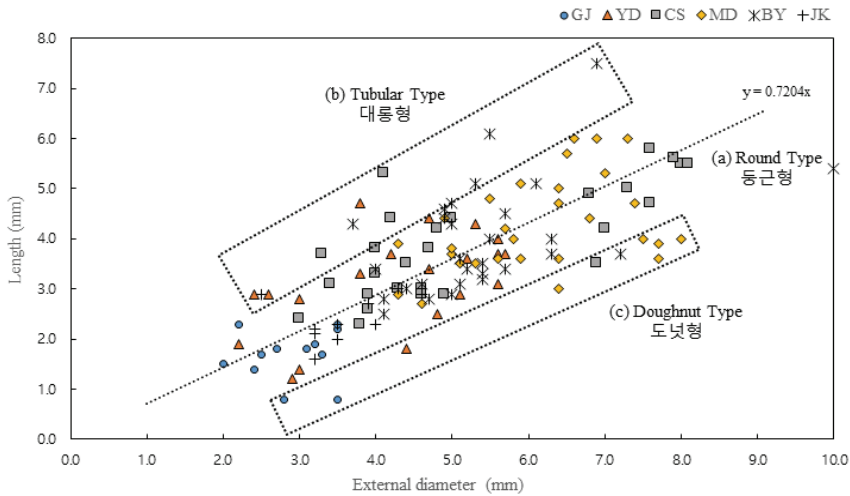


Figure 6. The type classification of glass beads in Geumgwan Gaya.

하며 칠산동(CS) 목관묘는 김해 중형, 석실묘는 김해 대형이 분포한다(Figure 5C, D, G). 그러나 망덕리(MD)와 본산리·여래리(BY, BY-L) 유적은 묘제와 시기적 흐름과 관계없이 김해 중형과 대형이 불규칙적으로 분포하는 경향을 보인다(Figure 5E, F).

#### 4.2.2. 형태

외경과 직경으로 도식한 분포에서 금관가야 유리구슬 형태는 측면이 곡선인 동근형, 길게 늘려진 대롱형 그리고 고리나 반지와 유사한 도넛형으로 구분된다(Figure 6).

추세선을 기준으로 가장 많이 확인되는 (a) 동근형 구슬은 추세선과 가까워질수록 1:1 비율로 구형에 가까운 구슬이고 추세선의 위쪽에 형성된 (b) 대롱형 구슬은 외경보다 직경이 긴 형태이며 늘린기법으로 제작 후 길게 자른 것으로 크기는 소형부터 대형까지 다양하게 분포한다. 마지막으로 추세선 아래쪽에 분포하는 (c) 도넛형은 외경 크기가 다양하며 직경이 짧고 내경이 넓은 편이다.

도식된 분포를 기준하여 금관가야 유리구슬의 형태는 동근형 108점, 대롱형 11점 그리고 도넛형 10점으로 구분되며 동근형이 대부분이다.

#### 4.3. 제작기법

금관가야 유리구슬의 제작기법은 늘린기법으로 기포 상태와 표면의 선형 줄무늬 등을 관찰하여 확인할 수 있다.

늘린기법은 원삼국과 삼국시대 유리구슬에서 주로 확인되는 제작기법으로 대량 생산이 가능한 기법이다. 제작 방식은 금속봉에 유리용액을 바르고 불기를 통해 용액을 부풀린 후 다른 금속 봉으로 부풀려진 용액을 미세관처럼 늘리고 늘려진 긴 유리관을 단면으로 잘라서 구슬이 제작된다. 일반적으로 금관가야 유리구슬의 외형은 열처리 정도에 따라 3가지 유형으로 구분할 수 있다(Figure 7). 부연하여 HT-I 형은 구슬 단면에서 열처리가 되지 않은 초기 상태, HT-II 형은 일부 열처리가 진행된 상태 그리고 HT-III 형은 열처리가 고르게 된 상태이다.

이와 같은 유형 구분에서 금관가야 유리구슬의 열처리 유형은 대부분 HT-III 형으로 열처리 기술이 다른 유형에 비하여 높은 단계이다. 또한, 금관가야 유적에서 출토 수량이 가장 많은 감청색 구슬은 3가지 유형이 모두 확인되며 HT-II 형이 HT-III 형보다 점유율이 높은 편이다. 시기별 구분에서 금관가야 초기 양동리(YD-E)는 HT-II 형과 HT-III 형이, 금관가야 중심 시기인 양동리(YD), 구지로(GJ), 칠산동(CS), 망덕리(MD), 본산리·여래리(BY) 유적에서는 HT-II 형 및 HT-III 형과 함께 HT-I 형이 새롭게 나타난다(Figure 8).

#### 4.4. 화학 조성

비파괴 분석을 활용한 금관가야 유적 출토 유리구슬 129점의 화학 조성은 일차적으로 용제와 안정제로 구분

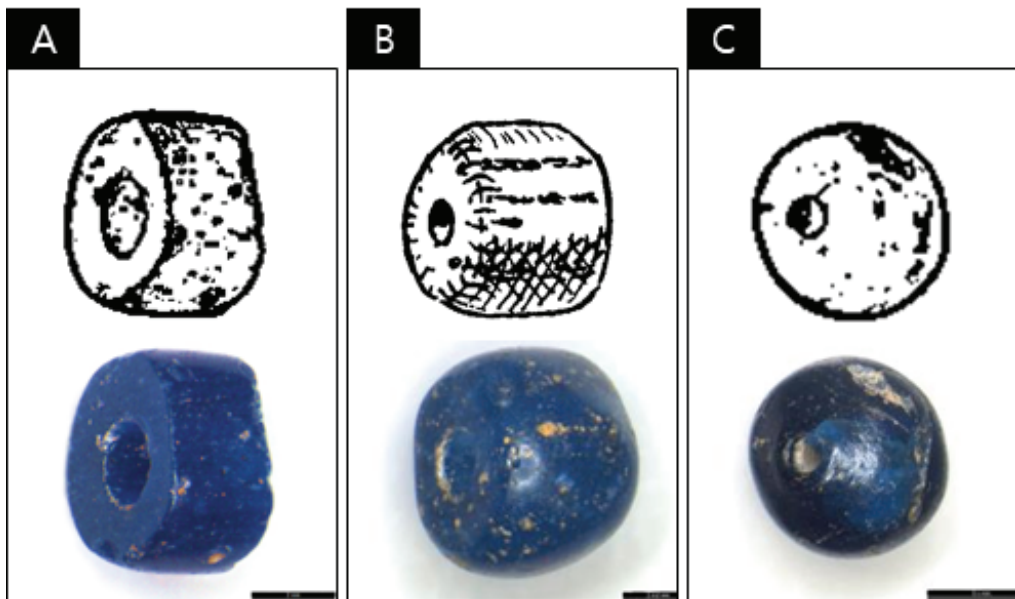
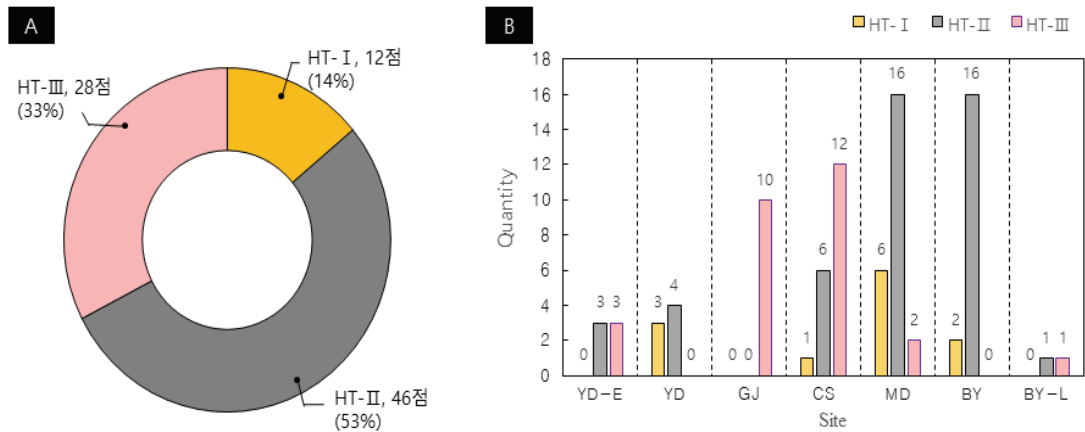


Figure 7. The cross section classification of co-blue glass beads in Geumgwan Gaya according to heat treatment. (A) HT- I type. (B) HT- II type. (C) HT- III Type.





**Figure 8.** The cross section distribution of co-blue glass beads in Geumgwan Gaya according to heat treatment. (A) By total. (B) By ruins.

하여 재질 특성을 고찰하였다. 비파괴 분석은 유리구슬의 표면을 직접 측정하기 때문에 표면 풍화와 오염 등으로 인하여 화학 조성을 정확하게 측정하기에 어려움이 있다. 이와 같은 이유로 인하여 연구대상으로 선정한 129점 중에서 용제 특성이 분류되는 유리구슬은 전체 수량의 53.5%인 69점으로 포타쉬유리군 63점, 소다유리군 6점이다. 이에 대한 측정 결과는 다음과 같다(Table 3).

K<sub>2</sub>O 5% 이상을 기준으로 구분한 포타쉬유리군은 구지료(GJ), 양동리(YD-E, YD), 칠산동(CS), 망덕리(MD), 본산리·여래리(BY) 유적에서 확인되며 색상 분류에서 자색(P), 감청색(PB), 벽색(gB), 무색(C) 등에서 확인된다(Figure 9A). 그리고 안정제 구분에서 CaO와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 성분이 5% 미만으로 LCA계에 해당된다(Figure 9B). 안정제 LCA계를 세분화하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 비교적 높은 LCA-A계와 CaO성분이 비교적 높은 LCA-B계로 분류한 결과에서 밝은 감청색(lt-PB)과 벽색(gB)은 LCA-A계이고 자색(P), 진한 감청색(dk-PB), 감청색(PB), 무색(C)은 LCA-B계로 색상과 안정제 성분이 밀접한 관계를 보이는 것으로 나타난다(Figure 9C).

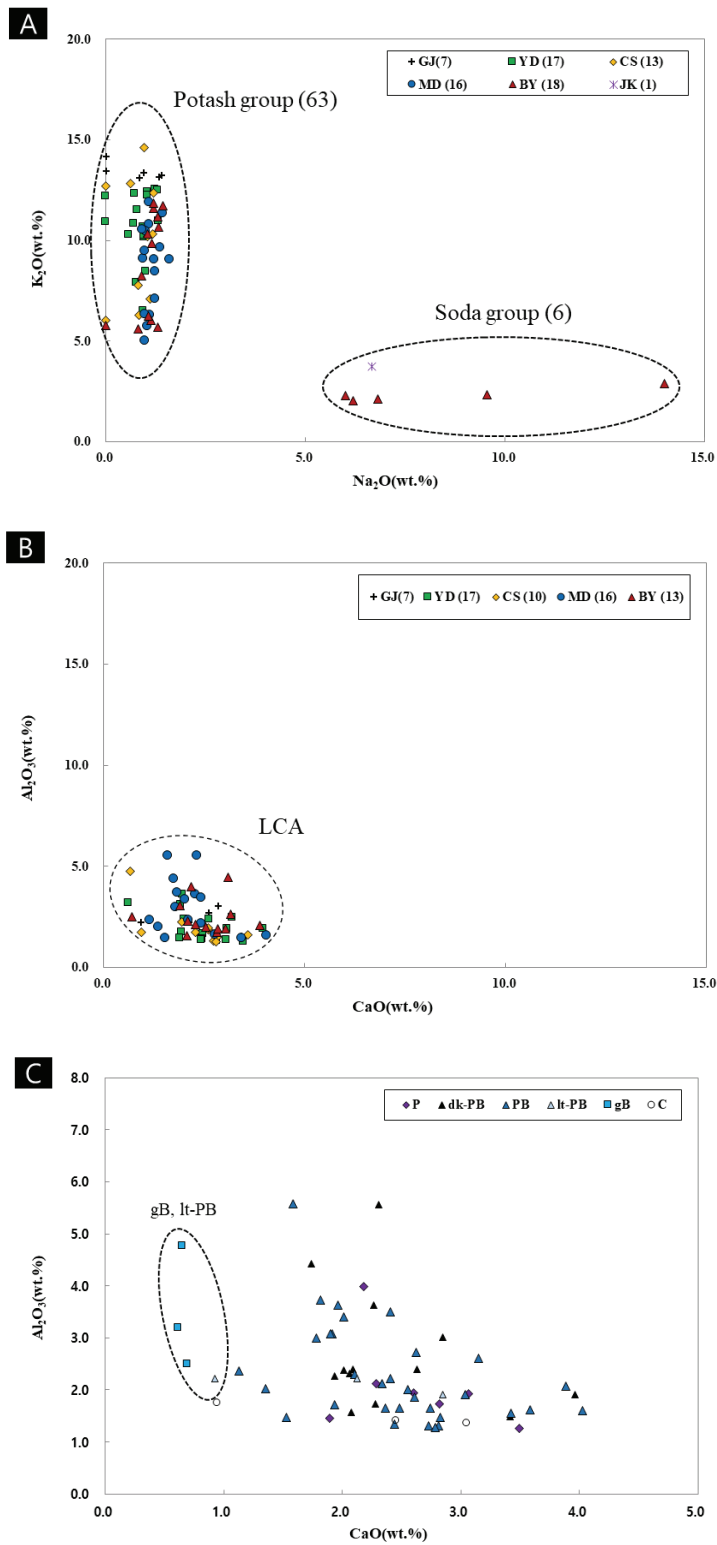
Na<sub>2</sub>O 5% 이상을 기준으로 구분한 소다유리군은 7세기에 조성된 본산리·여래리(BY-L) 유적과 청록색(bG)이 주요 색상으로 출토된 죽곡리(JK) 유적에서 확인된다. 색상은 벽색(gB), 청록색(bG), 황색(Y), 흑색(B)이다(Figure 9A). 안정제의 구분에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 5% 이상인 LCHA계가 6점, CaO 성분이 5% 이상인 HCLA계가 1점으로 나타난다.

금관가야 유리구슬의 착색제는 포타쉬유리군 63점을 대상으로 TiO<sub>2</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO를 기준으로 분류한 결과(Figure 10A), 자색(P)과 감청색(PB)은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 함께 MnO 함량이 높은 편으로 이와 같이 특징을 보이는 청색 계통은 착색제를 Co로 추정하고 있다(Henderson, 2013; Kim *et al.*, 2020). 벽색(gB)은 CuO가 함량이 높은 편이고 무색(C)은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 다른 색상에 비하여 낮은 편이고 다른 착색제는 확인되지 않는다.

감청색 계통에서 명도에 따라 세부 색상을 진한 감청색(dk-PB), 감청색(PB), 밝은 감청색(lt-PB)으로 분류되며 이와 같은 명도 변화는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 MnO의 함량이 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 특히 밝은 감청색(lt-PB)은 CuO 성분이 검출된다(Figure 10B).

금관가야 유리구슬의 화학 조성은 2세기부터 5세기 중반까지 중심 시기에는 포타쉬유리군의 점유가 높은 편이고 이후 시기인 죽곡리(JK)와 본산리·여래리(BY-L) 유적에서는 소다유리군이 출현한다. 특히, 죽곡리(JK) 유적은 옹관묘에서 청록색(gB)이, 석곽묘에서 감청색(PB)이 중심 색상으로 나타난다. 기 연구된 연구 결과에서 석곽묘 출토 감청색(PB) 5점은 소다유리군으로 확인된 바 있다(Gimhae National Museum, 2020). 이와 같은 죽곡리 유적 소다유리군은 금관가야 중심 시기에서 주류로 확인되는 포타쉬유리군과 다른 특징을 보이는 점이 특이하다.





**Figure 9.** The composition distribution of glass beads 69 pieces in Geumgwang Gaya. (A) Flux. (B) Stabilizer. (C) Scale up B.

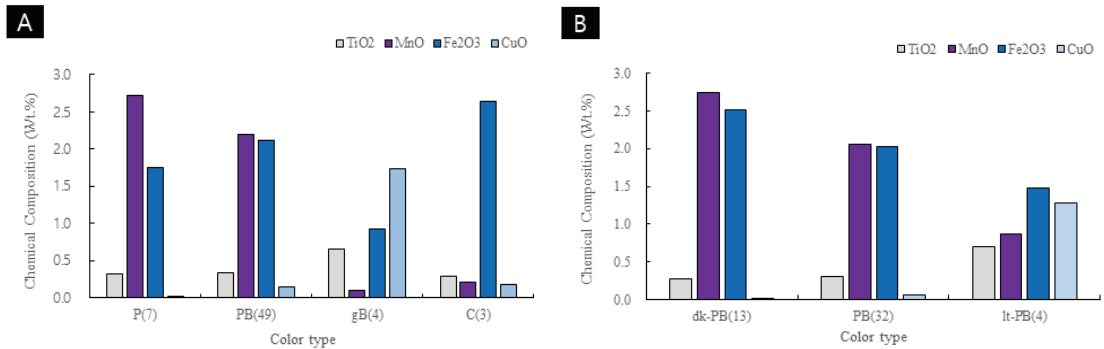


Figure 10. The colorants of potash glass group in Geumgwan Gaya. (A) Total. (B) Co-blue.

## 5. 결론

본 연구는 김해지역 유적에서 출토된 금관가야 유리구슬 129점을 중심으로 실체현미경과 이미지 프로그램을 이용하여 색상, 크기 및 형태, 제작기법 등 외형적 특징을 조사하고 에너지분산형 X-선형광분석기(ED-XRF)를 이용한 비파괴 분석법으로 유리구슬 표면의 화학 조성을 측정하였다. 이를 기초로 정리한 금관가야 유리구슬의 특성은 다음과 같다.

금관가야 유리구슬의 색상은 자색, 감청색, 벽색, 청록색, 녹색, 황색, 무색, 흑색 등 총 8가지 계통이고 자색, 감청색, 벽색, 청록색을 포함하는 청색 계통이 92% 이상이다. 이 중에서 가장 높은 67%의 점유율을 차지하는 감청색은 금관가야 유리구슬의 대표적인 주요 색상이라고 할 수 있다. 금관가야 이전 및 중심 시기에는 감청색을 중심으로 자색과 백색이 유리구슬의 주된 색상이나 7세기 이후 본산리·여래리 유적에서는 황색, 흑색 등 다른 색상의 점유율이 높아지는 경향이 나타난다.

금관가야 유리구슬의 크기는 외경을 기준으로 3가지로 구분하면 김해 소형  $2.9 \pm 0.4$  mm, 김해 중형  $4.8 \pm 0.6$  mm, 김해 대형  $7.0 \pm 0.7$  mm로 나타난다. 이 중에서 김해 소형은 대체적으로 초기에 형성된 양동리 유구에서, 김해 중형은 금관가야 중심 시기에서, 김해 대형은 금관가야 중심 및 후기에서 나타나는 점으로 보아 시기가 늦을수록 금관가야 유리구슬의 크기는 점차 대형화되는 양상을 보인다. 그리고 금관가야 유리구슬의 형태는 측면이 곡선인 둥근형, 길게 늘려진 대롱형 그리고 고리나 반지와 유사한 도넛형 등 3가지 형태로 분류되며 둥근형이 대부분을 차지한다.

금관가야 유리구슬은 일정 방향의 기포와 줄무늬 흔적에서 늘린기법으로 제작되었고 구슬 단면은 열처리 정도

에 따라 3가지 유형으로 분류된다. 이 중에서 금관가야 유리구슬의 단면은 다른 유형에 비하여 열처리 기술이 높은 단계인 HT-III형이 대부분을 차지한다. 초기에는 HT-II형과 HT-III형이 존재하나, 이후에는 HT-II형 및 HT-III형과 함께 HT-I형이 새롭게 나타나는 점이 특징이다.

금관가야 유리구슬의 화학 조성은 비파괴 표면 분석으로 인하여 연구 대상 129점에서 포타쉬유리군 63점과 소다유리군 6점 등 69점만이 확인된다.  $K_2O$  5% 이상을 기준으로 구분한 포타쉬유리군은 구지로(GJ), 양동리(YD-E, YD), 칠산동(CS), 망덕리(MD), 본산리·여래리(BY) 유적에서 자색(P), 감청색(PB), 벽색(gB), 무색(C) 등의 색상에서 확인된다. 그리고 안정제 구분에서  $CaO$ 와  $Al_2O_3$ 의 성분이 5% 미만으로 밝은 감청색(lt-PB)과 벽색(gB)은 LCA-A계이고 자색(P), 진한 감청색(dk-PB), 감청색(PB), 무색(C)은 LCA-B계로 색상과 안정제 성분이 밀접한 관계를 보인다. 반면에  $Na_2O$  5% 이상을 기준으로 구분한 소다유리군은 7세기에서 조성된 본산리·여래리(BY-L) 유적과 청록색(bG)이 주요 색상으로 출토된 죽곡리(JK) 유적에서 확인되며 벽색(gB), 청록색(bG), 황색(Y), 흑색(B) 등 다양한 색상이 나타난다. 시기별 금관가야 유리구슬의 화학 조성은 2세기부터 5세기 중반까지의 중심 시기에는 포타쉬유리군의 점유가 높은 편이고 이후 시기인 죽곡리(JK)와 본산리·여래리(BY-L) 유적에서 소다유리군이 출현하는 특징을 보인다.

이번 연구에서는 금관가야 유리구슬에 대하여 색상, 크기 및 형태, 제작기법 등 외형적 특징을 고찰한 점과 화학조성을 외형적 특징과 상관성을 검토해 보았다는 점에서 연구적 의의가 있다고 할 수 있다. 앞으로 유리구슬의 외형적 특징이 유적별로 구분되면 시대 및 지역별 특성을 이해하고 중요 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단한다.

## 사 사

이 논문은 2019년도 발표한 국립김해박물관 소장품 연구 자료집인 가야 지역 출토 유리 I 에 수록된 내용을 토대로 재정리한 결과이며, 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 이공분야 학문후속세대지원사업인 박사과정생 연구장려금 지원을 받아 수행된 연구이다 (No. NRF-2020R1A6A3A13072895).

## REFERENCES

- Daesong-dong Tombs Museum, 2013, Gimhae Daesong-dong Tombs No. 73-83, Museum Academic Collection Vol. 13. (in Korea abstract)
- Gimhae National Museum, 2012, A Glimpse of Gaya in Yangdong-ri, Gimhae National Museum of Korea. (in Korean with English abstract)
- Gimhae National Museum, 2019, Glass Artifacts from Gaya Sites I, Gimhae National Museum of Korea. (in Korean with English abstract)
- Gimhae National Museum, 2020, Glass Artifacts from Gaya Sites II, Gimhae National Museum of Korea. (in Korean with English abstract)
- Henderson, J., 2013, Ancient glass an interdisciplinary exploration. University of Nottingham, Cambridge University Press. (in English)
- Kim, E.A., 2019, A characteristics on the glass beads excavated from the tombs of Seokchon-dong in Seoul, Korea. Master's Dissertation, Kongju National University, Gongju, 61-63. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.A., Kim, G.H., Kang, J.W. and Yun C.S., 2020, A characteristics on the ancient glass beads excavated from the site of Hapgang-ri in Sejong, Korea. Journal of Conservation Science, 36(5), 405-420. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.H., 2002, A study of archaeological chemistry on ancient glass found in Korea. Ph.D. Dissertation, Chung-ang University, Seoul, 31-42. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.H., Huh, W.Y. and Kim, D.W., 1998, SEM-EDS microanalysis of glass beads excavated from Yangdong-ri Remains, Kimhae. Journal of Conservation Science, 7(1), 23-30. (in English)
- Kim, N.Y., 2013, An investigation of chemical Characteristic on alkali glass beads at the Three Kingdoms period in Korea. Ph.D. Dissertation, Kongju National University, Gongju, 209-212. (in Korean with English abstract)