세종 합강리 유적 출토 고대 유리구슬의 특성 연구

A Characteristics on the Ancient Glass Beads Excavated from the Site of Hapgang-ri in Sejong, Korea

김은아¹, 김규호^{1,*}, 강지원², 윤천수²

¹공주대학교 문화재보존과학과, ²삼한문화재연구원

Eun a kim¹, Gyu Ho Kim^{1,*}, Ji Won Kang², Cheon Su Yun²

¹Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Gongju 32588, Korea

²The Samhan Institute of Cultural Properties, Daegu 42612, Korea

Received September 15, 2020

Revised September 28, 2020

Accepted October 08, 2020

*Corresponding author

E-mail: kimgh@kongju.ac.kr

Phone: +82-41-850-8544

Journal of Conservation Science
2020;36(5):405-420

<https://doi.org/10.12654/JCS.2020.36.5.10>

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 세종 합강리 유적을 중심으로 발굴 유적과 유물을 조사한 고고학적 접근과 주구토 광묘 15호에서 유일하게 출토된 유리구슬의 표면, 단면, 조성 특성을 분석한 보존과학적 접근으로 구분하여 융합적 연구를 시도하였다. 묘의 형태와 출토유물을 통한 고고학적 연구에서 합강리 유적은 주구토광묘의 등장 시기가 2세기 후엽부터이고 유리구슬이 출토된 주구토광묘 15호 편년은 2세기 후엽~3세기 초엽으로 추정할 수 있다. 유리구슬 완형은 형태, 색상 및 제작기법을 파악하고 유리구슬 편 16점은 단면관찰과 화학 조성을 분석한 결과에서 청색 계통은 감청색과 자색으로, 적색 계통은 적갈색으로 구분되며 세부 색상에서 청색 계통은 광택과 명도에 따라 다양하게 분포하나 적색 계통은 균일도가 높게 나타난다. 제작기법은 표면의 줄무늬와 기포배열에서 늘리기법으로 확인되며 구슬 양 끝부분에서 열처리나 연마 흔적도 관찰된다. 유리구슬 편 16점의 화학 조성은 포타쉬유리군 3점과 소다유리군 13점으로 분류된다. 소다유리군 13점에 대한 안정제 특성은 청색과 적색 계통에 따라 구분된다. 이 중에서 적색 계통의 안정제 특성은 지금까지 다른 지역에서 확인된 적갈색 유리구슬과 다른 조성으로 구분되는 점이 특이하다. 착색제는 청색 계통이 MnO 성분을 함유한 코발트(Co), 그리고 적색 계통은 구리(Cu)와 철(Fe)이다.

중심어 합강리 유적, 유리구슬, 이미지 프로세싱, 늘린 기법, 화학 조성, 착색제

ABSTRACT A convergence research was conducted on glass beads excavated at the ruins of Hapgang-ri, Sejong, using the archeology and conservation approach. The period of appearance of Jugu Towangmyo in the ruins of Hapgang-ri can be estimated to begin in the late 2nd century; for Jugu Towangmyo No. 15, the period spans from the late 2nd to early 3rd century. Form, color, and manufacturing techniques of complete glass beads were examined, and the cross-sections and chemical composition of 16 samples were observed. Based on these analyses, the glass beads were divided into blue, purple, and red colors. The blue-colored beads could be further sub-divided based on their gloss and brightness; in contrast, the red-colored beads were highly uniform with regard to these parameters. Based on the stripe and bubble arrangement on the surface of the glass beads, their drawing technique was identified. Traces of heat treatment or polishing were observed at the ends of the beads. According to their chemical composition, the 16 samples were classified into 3 potash glass and 13 soda glass groups; in the latter, the properties of the stabilizers were divided according to the blue and red bead colors. The stabilizers of the red beads are unique in that they allow the distinction among beads excavated in other areas in South Korea owing to their compositional differences. Colorants in blue- and red-colored beads are cobalt (containing MnO), and copper and iron, respectively.

Key Words Hapgang-ri ruins, Glass beads, Image Processing, Drawing technique, Chemical composition, Colorant

1. 서 론

무덤에서 출토되는 고대 유리구슬은 피장자의 신체 일부나 가까운 위치에 부장되며 이를 발굴하여 유리구슬의 매장 성격을 확인할 수 있다. 장식적 성격은 피장자가 착용한 경식이나 팔찌에서, 주술적 성격은 매장 당시 의도적으로 피장자의 주변에 흩뿌린 흔적에서 추정해 볼 수 있다. 고대 유리구슬은 당시 지배계층이 사용하였던 귀중품 중에 하나로 지역과 시대에 따른 문화의 전파 및 제작 기술을 제시할 수 있는 문화재로 평가할 수 있다(Kim, 2004; Henderson, 2013; Kim, 2019; Kim and Kim, 2019).

고고학에서 처음으로 관심을 가지고 시작된 고대 유리구슬 연구는 구슬을 과학적으로 분석하여 출토 유적에 따른 화학조성의 시대별 흐름을 제시하였다(Lee, 1990). 이후에 보존과학에서 주도적인 연구가 진행되기 시작하여 한반도 전역에서 출토된 유리구슬 중에서 복원이 불가능한 깨진 유리구슬 편을 분석 대상으로 선정하고 주사전자현미분석법을 활용하여 자연과학적 분석 방법을 고안하고 조성에 따른 화학적 분류 체계를 제시하여 한국의 고대 유리구슬에 대한 전반적인 흐름을 제시하였다(Kim *et al.*, 1998; Kim, 2002). 이후에 이와 같은 연구 성과를 기초로 유적에서 출토된 완형 유리구슬에 대하여 비파괴 분석법을 적용하여 유리구슬의 색상, 형태 및 제작기법과 함께 조성 특성을 종합적으로 조사하여 다양한 분석 결과를 기초로 고대 유리구슬의 문화와 유통 경로 등의 연구가 지금까지 진행되고 있다(Kim, 2013; Kwon *et al.*, 2007; Kim and Kim, 2012; Yun and Kim, 2016; Lee *et al.*, 2017; Yun and Han, 2018; Kim, 2019). 그리고 고고학 및 미술사 등 관련 분야에서는 보존과학에서 분석, 조사된 자료를 기초로 발굴 유적의 출토 현황과 연계하여 전반적인 특성을 연구하고 있다. 그러나 고대 유리구슬 연구는 토기와 같이 세부 문양이나 형태를 중심으로 구분하기 어려운 소형 유물로 이에 대한 특징 구분은 주관적인 판단의 오류를 범할 수 있다(Kwon, 2017). 따라서 고대 유리구슬 연구는 객관적 분석 자료를 생산하는 보존과학적 분석법과 형태와 출토 현황 등을 연계하는 고고학 및 미술사 등 관련 분야와 연계된 융합적 접근이 필요하다. 즉, 출토 유적과 유리구슬에 대한 다양한 분석 방법을 도출하고 이를 통하여 시대, 지역적 특성을 연계하는 종합적 연구, 조사가 필요하다.

본 연구에서는 처음으로 세종 합강리 유적을 발굴, 조사한 고고학자와 함께 유적과 출토유물의 특성 조사를 통한 편년 제시와 과학적 분석법을 이용하여 출토 유리구슬의 특성을 제시해 보고자 한다. 과학적 분석법은 비파괴

분석과 시료 분석으로 구분하여 완형 유리구슬을 중심으로 색상, 형태, 제작기법을, 복원이 불가능한 유리구슬 편을 중심으로 조성 특성을 분석하였다. 특히, 이번 연구에서는 처음으로 적색과 청색 계통을 중심으로 이미지 분석법을 도입하여 각 색상 차이를 수치 자료로 구분할 수 연구 방법을 검토해 보았다.

2. 연구 대상

2.1. 유적 소개

합강리유적은 행정중심복합도시 5생활권 건설과 관련하여 조사된 유적으로 세종특별자치시 연동면 용호리·합강리 일원(구. 충남 연기군 동면)에 해당되며, 북서쪽으로 인접하여 지방도 96호선 세종-청주간 도로구간에서 용호리유적이 발굴조사된 바 있다(The Samhan Institute of Cultural Properties, 2019). 행정중심복합도시 5생활권 부지에 9개 유적이 위치한다. 용호리 북쪽 독립구릉 일원(90·91·92 유적), 미호천 북안에 솟은 노적산(해발 153.6 m)의 북쪽 말단부 일원(94 유적), 출동산(해발 148.9 m)의 남서쪽 말단부 일원(95 유적)과 남동쪽 말단부 일원(96·97·98 유적)그리고 금강과 미호천 합류 지점과 인접한 북동쪽 구릉 일원(99 유적)이다.

본 유적은 현 행정구역명에 따라 크게는 세종 합강리 유적으로 하고, 이중에서 96 유적은 합강리 22-47번지 유적, 97 유적은 합강리 산68-1번지 유적으로 하고자 한다. 본문에서는 간략하게 96 유적·97 유적으로 표기하겠다.

96 유적(합강리 22-47번지)은 조사된 용호리유적(공주대)에서 남쪽으로 접한 부분이며, 97 유적(합강리 산68-1번지)은 96유적의 동쪽으로 인접해 있는 동일 구릉의 가지능선에 해당된다. 각 유적별로 유구가 조성된 입지를 살펴보면, 96 유적은 해발 66~76 m로 완만한 경사면을 이루고 있으며, 원삼국시대 (주구)토광묘는 구릉 정부에서 동쪽으로 뺀내린 해발 69~72 m에서 사면을 따라 등고선 방향과 나란하게 3기가 조성되어 있다. 옹관묘는 96 유적에서 1기만이 토광묘 1호와 3호 사이에서 확인되었다. 97 유적은 해발 62~76 m의 완만한 구릉 사면에 위치하며, 곡간 경작지를 사이에 두고 동쪽과 서쪽 구릉으로 나누어져 있다. 주구토광묘는 서쪽 구릉 해발 65~76 m에서 12기, 동쪽 구릉 해발 65~70 m에서 9기가 완만한 경사면을 따라 등고선 방향으로 조성되어 있다.

합강리유적에서 조사된 원삼국시대 유구는 (주구)토광묘 24기, 옹관묘 1기, 수혈 2기 등이고 조선시대 분묘(토광묘·회광묘)·생활유구(수혈·아궁이·구)가 함께 조

사되었다. 출토 유물은 타날문원저단경호·원저발·평저발·유개대부토기·컬수문장식철검·일체형장창(길이 199 cm)·철모·철검·철촉·철부·철도자·양단환봉상철기·구슬(약 6,250점) 등이 출토되었다. 유일하게 구슬이 출토된 주구토광묘 15호는 동쪽구역의 말단부에서 14호와 중복되어 조사되었으며, 구슬은 중앙부와 서쪽으로 약간 치우친 부분의 95 × 60 cm 범위에서 15 cm 가량 높이차를 두고 약 6,250여 점이 출토되었다. 구슬은 수정제, 홍옥제, 적갈색 유리제, 청색 유리제 등이며, 유리제가 99%로 대부분을 차지한다. 구슬 외에는 철부와 타날문단경호, 타날문원저발이 공반된다.

2.2. 유적의 편년

주구토광묘란 묘제로만 보아도 원삼국시대의 무덤이라는 대략의 조성 시기는 알 수 있다. 그러나 묘제만을 가지고 세부적인 편년을 구분하기에는 어려움이 있어 부장 유물을 통한 편년이 이루어졌다. 원삼국시대 무덤에는 특징적 대표 유물이라 할 수 있는 유개대부토기(호·발·배)와 타날문원저단경호, 원(평)저발 등이 주로 공반되며, 본 유적에서도 유개대부토기 + 원저단경호 + 원저발, 원저단경호 + 평저발, 원저단경호 단독 등으로 출토되는 양상이다. 그리고, 철기유물은 검·모·부·도자·촉·검·재갈(양단환봉상철기) 등 다양한 기종이 공반되고 있으나, 7호를 제외하면 그 수는 많지 않다.

마한의 2~4세기대 무덤은 부장품의 양상에 따라 크게 3단계로 구분하고 있다. 1단계는 유개대부호 + 원저발 + 원저단경호가 출토되는 단계이며, 철촉·철검·철부 등의 철기가 함께 부장된다. 2단계는 원저단경호 + 평저발이 출토되는 단계이며, 일부에서는 대부광구호가 출토되기도 한다. 3단계는 백제계 유물을 부장하는 단계로 원저단경호와 함께 새로운 기종인 유공호, 파배 등과 함께 환두대도·도자 등 철기가 부장된다. 이 중에서 유개대부토기는 형태 등으로 볼 때 실제 사용된 실용토기보다는 제의적 성격이 강하며, 대부분 무덤에서 출토된다. 유개대부토기는 외형의 특징이 강하고, 공반된 유물과 함께 여러 연구자에 의해 편년이 제시된 바 있다.

이춘선은 동남부 지역의 팔달동 117호를 유개대부토기의 1단계로 보고 1세기 중후엽에 해당하는 것으로 보았다. 중서부 지역의 아산 용두리유적 33호 출토품을 마지막 단계로 보고 3세기 전엽으로 추정하고 이후 소멸하는 것으로 보았다(Lee, 2011). 박형열은 상한을 평택 마두리유적 2호 출토품을 공반된 2단관식 철모와 원저심발형토기 등으로 보아 2세기 전반으로 보았고, 하한은 아산 용두

리진터유적과 명암리 박지드레유적, 오산 궤동유적 등의 공반 출토되는 유물상으로 보아 3세기 중반으로 보았다(Park, 2015). 박장호는 1세기 후엽 호서지역에서 나타나기 시작하고 2세기 후엽까지 이어지다 3세기대가 되면서 무덤의 부장에 탈락되는 것으로 판단하였다(Park, 2018). 그리고 박진일은 공반되어 출토된 관부돌출형 철모를 통하여 이른 것은 2세기 전반으로 보고 3세기 중반까지 이어지는 것으로 보았다. 따라서 유개대부토기가 출토된 무덤은 1세기 후반에서 3세기 전반대에 해당되는 것을 알 수 있으며, 각자의 견해에 따라 약간의 시기적 차이가 있다. 이를 토대로 본 유적의 유개대부토기는 청주 오송유적과 봉명동유적의 출토품과 유사한 것으로 2세기 후반에 해당하는 것으로 판단된다(Figure 1, 2).

원저단경호는 구연부 및 경부의 형태와 동체의 형태 및 최대경의 위치, 타날문양 등으로 시기를 구분하고 있으나, 단경호만으로 편년 구분이 힘들고 공반 유물을 통해 분류하고 있으며, 최근 중서부 지역 분포 출토 원저단경호의 연구자료에서 전체 5단계로 구분하고 있다(Cha, 2017). I-1단계(2세기 전~중엽), I-2단계(2세기 후엽), II-1단계(2세기 말~3세기 전엽), II-2단계(3세기 중~후엽), III단계(4세기 전~중엽)으로 설정하였다(Figure 3, 4). I-1단계는 A형 원저단경호와 유개대부호, 원저심발형토기가 공반된다. I-2단계(2세기 후엽)는 B1형, B2a형 원저단경호가 출토되며, 이와 함께 유개대부호가 공반된다. II단계 문화 양상은 단순토광묘 조영 지역에서 주로 확인된다. II-1단계는 B2a형, B2b형, C형, D2a형, D2b형의 원저단경호가 출토된다. 공반유물로 원통형토기, 환두대도 등이 새롭게 나타난다. 중서부 지역 출토 원통형토기는 편년이 3세기에서 4세기 중엽에 걸친 시기로 판단된다(Shin, 2015). 그리고 중서부에서 출토되는 환두대도는 기원후 2세기 후반에서 3세기 중후반에 등장하는 것으로 보인다. 이 단계 묘제는 주구토광묘가 주류를 이루기 시작하는데, 주구토광묘는 2세기 후반에 등장하여 3세기에 본격적으로 사용되기 시작한다(Lee, 2004). II-2단계는 원저단경호 II-1단계에 사용된 형태들이 이어지나, C형은 소멸하기 시작한다. 그리고 늦은 시기에는 E2a형, E2b형이 새롭게 나타난다. 공반유물은 원통형토기가 계속 이어진다. III단계는 원저단경호 E2a형, E2b형이 주로 사용되며 늦은 시기에는 F형이 확인된다. 공반유물로 마형대구는 계속 공반되지만 이전 단계에 비해 전체적인 출토 수량은 감소되고 한 유구에서 다량의 마형대구가 출토된다. 토기는 평저심발형토기나 웅 외의 다른 기종은 부장되지 않으며 부장량이 감소한다. 철기에서도 부장량이 감소하는 양상이 확인된다. 묘제는 다시 단순토광묘가 주요 묘

Figure 2. The Lidded Leg Jars excavated at the ruins of Hapgang-ri, Sejong.

Figure 3. The form classification of Globular short-necked Jar (Cha, 2017).

제가 된다. 이 단계의 늦은 시기에 등장하는 F형과 유사한 난형에 가까운 원저단경호는 한성백제 문화의 영향으로 등장하는 것으로 추정하므로, IV단계의 하한을 4세기 중엽으로 추정하며 주로 이 단계의 문화가 확인되는 시기는 4세기 전엽~4세기 중엽으로 추정된다. 본 유적에서는

원저단경호 B1형, D1형, D2a형 등이 주로 확인되므로 II-1단계로 대부분 편년된다(Kim, 2001; Seong, 2006).

발은 원저심발형토기는 구연부 형태와 동체부 형태로 구분할 수 있으며, 원저심발형토기에서 평저심발형토기로 변화되는 양상을 볼 수 있다(Figure 5, 6). 원저발은 단

Figure 4. The Globular short-necked Jar excavated at the ruins of Hapgang-ri, Sejong.

Figure 5. The form classification of the Deep-bowl pottery (Park, 2015).

Figure 6. Deep-bowl pottery excavated in at the ruins of Hapgang-ri, Sejong.

순토광묘 단계에서 주로 확인되며, 주구토광묘 단계에서는 점차 평저발로 바뀌는 양상이다. 그리고 97-6호에서 출토된 꺾수문장식철검은 출토 예가 많지 않으며, 주로 영남지역인 포항 옥성리, 경주 황성동, 김해 양동리, 울산 하대 등에서 출토되었다. 본 유적 주변으로는 인접한 용

호리유적(공주대)에서 7호 출토품과 유사한 철검이 출토되었으며, 이밖에 꺾수문장식은 호서지역 청주 오송, 진천 구산리, 천안 대화리·신흥리, 인천 운서동 등에서 확인된 바 있다. 꺾수문 장식은 2~3세기의 것으로 알려져 있다.

Table 1. The ruins excavated on ancient beads in Sejong area

No.	Site (Centrury)	Burial Number	Burial Types ^a	Excavation Status		Remark
				Color ^b	Quantity	
1	Hapgang-ri (2C late~ 3C Ealy)	15	B	Crystal	37	Bead
				Carnelian	4	
				PB, P	4,813	
				RB	1,398	
				Total	6,252	
2	Eungam-ri (3C late~ 4C Early)	2	A	PB	4	
		7	A	RB	487	
		8-1	A	Crystal	86	Bead
				Carnelian	210	Bead
		8-2	B	PB	384	
				Carnelian	82	Bead
		12	A	RB	1,971	
				GB	13	
3	Daepyeong-ri (3C late~ 4C late)	KM-024	A	RB	41	
				RB	9	
		KM-096	C	PB	23	
				Stone	14	Bead
		KM-097	C	Earthen	31	Bead
				Crystal	3	Bead
		KM-108	C	RB	81	
				PB	5	
		KM-117	C	Crystal	5	Bead
				Carnelian	7	Bead
		KM-135	C	PB	3	
				RB	19	
		KM-137	C	Carnelian	50	Bead
				Earthen	17	Bead
		KM-137	C	RB	150	
				RB	86	
4	Galsan-ri (5C)	4	D	PB	24	
				GB	1	
		5	D	GB	1	
				GB	3	
		1	F	PB	17	
				Gold	1	
		4	F	Y	5	
				PB	221	
		4	F	RB	357	
				C	1	
		6	F	PB	1	
				Total	632	

a : A; pit tomb, B; Jugu-togwang, C; Mound-tomb (Bungu), D; stone coffin tomb, F; Stone Chamber Tomb

b : PB; Purple Blue, P; Purple, RB; Reddish Brown, GB; Green Blue, Y; Yellow, C; Colorless

이상과 같이 세종 합강리유적은 묘의 형태와 출토유물 등으로 볼 때, 주구토광묘가 등장하는 2세기 후엽부터 조성된 유적이며, 유리구슬이 출토된 원삼국시대 주구토광묘 15호는 공반된 단경호와 원저발(평저의 변화) 등을 기초로 추정하면 2세기 말~3세기 초엽에 해당된다. 그리고 합강리유적은 출토 유물 등이 인접한 청주 오송유적 I ~ II단계와 유사한 점으로 보아, 용호리유적(공주대)과 함께 합강리유적의 분묘유구 조성시기는 2세기 후엽에서 3세기 중엽 정도라 볼 수 있다.

2.3. 세종 지역의 유리구슬

세종 지역의 유리구슬은 합강리 유적과 함께 연기 읍암리, 대평리, 갈산리 유적 등에서 확인된다(Table 1). 이들 지역에서 출토되는 구슬은 일부 광물 계통이 존재하나 대부분은 유리구슬이고 적색과 청색 계통이 압도적으로 높은 비율을 점유하고 있다. 청색 계통에서 일부 자색이 포함하기도 한다. 본 연구에서 선정한 합강리 유적도 출토 유리구슬은 청색 4,813점, 적색 1,398점으로 청색 계통이 우세한 편이다.

이와 같은 출토 현황에서 원삼국시대 세종 지역은 주로 청색과 적색 계통 유리구슬이 출토되고 적색과 비교해 볼 때 청색 계통이 다소 우세한 양상을 보이는 특징을 보인다. 이는 당시의 유리 문화의 유입과 변천을 제시할 수 있는 중요한 단서를 제공할 수 있으므로 이에 대한 체계적이고 종합적인 비교 연구가 필요하다.

3. 연구 방법

3.1. 표면 특성

합강리 유적 유리구슬의 표면 특성 분석은 두 단계로

구분하여 진행하였다(Figure 7). 첫 번째 단계는 현미경 촬영이 가능한 디지털카메라(Digital Camera, TG-6, Olympus, JPN)를 이용하여 구슬 표면을 형태, 투명도와 제작기법, 색상 등 구슬 표면에서 확인되는 특성을 육안관찰과 함께 정리하였다. 두 번째 단계는 이미지 프로세싱 프로그램(PicMan, WaferMasters, Inc., USA)을 이용하여 유리구슬의 색상 차이에 대한 분류 방안을 처음으로 시도하였다. 지금까지 국내 고대 유리구슬은 유리 조성을 중심으로 연구되고 있으며 유리구슬이 가지고 있는 다양한 색상 연구는 미비한 실정이다. 그러나 유리구슬의 색상은 착색제와 연제하여 산지, 제작기법 등 다양한 정보를 얻을 수 있다(Capobianco *et al.*, 2019; Gimhae National Museum, 2019; Yu and Ro, 2018).

유리구슬의 색상 추출은 출토된 유리구슬을 촬영한 사진에서 컬러차트(Gray 20%)를 기준으로 백색 보정(White balance) 후 동일 색상을 구현한 다음, 이미지 분석을 통해 유리구슬의 색상을 객관적으로 평가해 보고자 하였다(Kim, 2019; Kim *et al.*, 2019a; Kim *et al.*, 2019b).

3.2. 단면 특성

단면 특성은 복원이 불가능한 깨진 유리 편을 시편으로 제작하고 실체 및 주사전자현미경을 이용하여 분석하였다. 단면 특성은 연마된 표면에서 세부 색상과 제작 당시 생성된 크고 작은 기포, 기법을 추정할 수 있는 내부 흔적 그리고 매장 상태를 추정할 수 있는 균열 사이에 존재하는 수화 층과 미세 균열 등을 조사할 수 있다.

유리 시편의 단면 특성을 조사하기 위한 전처리 과정은 다음과 같다. 선정 시료를 에폭시수지로 고정하여 시편을 제작하고 사포(No. 400, 600, 800, 1200, 2000, 4000)와 연마제(6 μ m, 1 μ m) 순서로 작업하였다. 각 연마 단계

Figure 7. The flow charts of the morphological analysis in ancient glass beads.

Table 2. The composition analysis of glass standard reference (SRM 621)

Sample Number	Chemical Composition(wt. %)															Remarks
	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	PbO	BaO	Cl	SO ₃	
Certified Value	71.13	12.74	2.01	10.71	2.76	0.27	0.014	-	0.04	-	-	-	0.12	-	0.13	
Std-621-01	68.33	12.62	2.01	11.99	3.64	0.56	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	0.13	<0.1	<0.1	<0.1	
Std-621-02	67.95	13.15	1.98	11.62	3.72	0.56	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	0.54	<0.1	<0.1	0.26	
Std-621-03	68.47	12.69	1.90	11.73	3.70	0.56	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	0.54	<0.1	<0.1	0.12	
Average	68.25	12.82	1.96	11.78	3.68	0.56	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	0.40	<0.1	<0.1	0.19	
<i>Std</i>	<i>0.22</i>	<i>0.24</i>	<i>0.04</i>	<i>0.16</i>	<i>0.04</i>	<i>0.00</i>		-				<i>0.19</i>			<i>0.07</i>	

마다 초음파 세척기로 5분간 3회씩 세척 하여 시편 제작에서 발생 되는 시료 표면의 오염물질을 제거하고자 하였다. 전처리와 완료된 시료에 대해서는 실체현미경(Optical Microscope, Leica MZ7s, DEU)과 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope, Tescan MIRA LMH, CZE)을 활용하여 기포, 균열, 불순물 등의 결합 구조와 풍화층 상태를 관찰하였다(Figure 1-c).

3.3. 유리 조성

분석 시료는 제작된 시편을 토대로 탄소 코팅을 통해 유리 시편의 화학 성분에 미치는 영향을 최소화하면서 분석하였다. 유리구슬의 내부 단면에 대한 화학분석은 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope, Tescan MIRA LMH, CZE)에 부착된 에너지분산분광기(EDS, Energy Dispersive-X ray Spectroscopy, Bruker QUANTAX 200, DEU)를 이용하여 가속전압 20kV, 측정시간 120초로 측정하였다. 측정 전 시편과 함께 제작한 구리(Cu)막대를

이용하여 동일 전자빔 강도 값을 재현하고자 가속전압 20 kV에서 2000배 면적을 120초로 측정하였다. 화학 성분 분석에 대한 신뢰성 평가는 시료 측정 전에 동일 측정 조건에서 유리 표준시료(SRM 621)를 3회 측정한 결과로 검토하였다(Table 2).

4. 연구 결과

4.1. 표면 특성

합강리 유적 완형 구슬을 중심으로 육안 및 현미경 관찰을 통하여 형태, 제작기법 그리고 색상 등을 조사하였다(Figure 8).

합강리 유적 유리구슬은 다양한 제작 흔적이 확인된다. 관옥 형태의 구슬, 열처리를 통한 둥근 구형의 구슬, 표면에서 연마 흔적이 관찰되는 구슬 등 다양하다(Figure 8A). 구슬 표면 및 내부에서 관찰되는 기포가 일정한 방향성을 나타내는 것으로 보아 늘린 기법으로 판단된다

Figure 8. The microscope images of glass beads excavated at Hapgang-ri site; (A), (B), (C): the shape of blue glass beads, (D): the samples of blue glass beads, (E): the shape of red glass beads, (F): the samples of red glass beads.

Table 3. The analytical color data of glass beads excavated at Hapgang-ri sites

Color Type	Sample Number	chromaticity measurement			Munsell		Calculated Colour (CIE1931)		Remark
		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Hue (eg. 5.6R)	Value (1-9)	Chroma (0-28+)	x	y
Purple Blue	01	43.56	5.78	-35.69	5.49PB	4.23	8.62	0.21	0.20
	02	42.56	6.38	-42.06	5.24PB	4.13	10.20	0.20	0.18
	03	34.81	27.94	-59.89	6.88PB	3.39	14.78	0.17	0.12
	04	21.61	16.61	-40.15	6.48PB	2.11	9.36	0.18	0.14
	05	22.34	11.37	-35.76	5.97PB	2.18	8.17	0.18	0.18
	06	16.94	19.02	-36.64	7.08PB	1.64	8.62	0.19	0.13
	07	17.62	22.25	-41.47	6.97PB	1.70	9.94	0.18	0.12
	08	15.44	18.69	-35.76	7.04PB	1.48	8.41	0.18	0.13
	09	11.78	12.12	-23.83	7.46PB	1.11	5.41	0.21	0.16
	10	8.70	13.82	-24.56	6.97PB	1.70	9.94	0.20	0.14
	ave	23.54	15.40	-37.58	6.73PB	2.3	8.72	0.19	0.15
	<i>sdt</i>	<i>11.82</i>	<i>6.58</i>	<i>9.53</i>					
Purple	01	59.77	14.20	-29.05	9.50PB	5.81	7.84	0.26	0.23
	02	45.11	19.56	-32.45	10.00PB	4.37	8.53	0.25	0.21
	03	51.78	18.01	-27.78	1.05P	5.02	7.60	0.27	0.23
	04	40.02	17.46	-23.05	1.98P	3.88	6.24	0.27	0.22
	05	40.81	12.80	-24.31	9.34PB	3.96	6.03	0.26	0.23
	06	25.85	21.89	-29.95	0.40P	2.53	7.63	0.24	0.17
	07	33.93	24.31	-32.71	0.95P	3.30	8.57	0.25	0.18
	08	11.16	18.22	-19.77	1.95P	1.05	5.20	0.26	0.17
	09	14.13	21.33	-28.31	9.74PB	1.35	7.10	0.22	0.14
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	ave	35.84	18.64	-27.49	0.64P	3.49	6.98	0.25	0.20
	<i>sdt</i>	<i>15.42</i>	<i>3.44</i>	<i>4.09</i>					
Reddish Brown	01	35.86	38.55	19.66	5.46R	3.49	8.73	0.50	0.32
	02	39.65	42.41	21.38	21.38	3.85	9.80	0.51	0.32
	03	41.40	42.77	23.22	5.54R	4.02	10.03	0.50	0.32
	04	33.79	40.62	21.96	6.04R	3.29	9.19	0.53	0.32
	05	32.14	34.80	19.42	6.44R	3.13	7.77	0.51	0.32
	06	27.39	39.22	21.52	7.16R	2.67	8.85	0.55	0.32
	07	34.09	41.72	26.79	7.30R	3.32	9.70	0.55	0.33
	08	35.54	36.71	24.77	7.70R	3.46	8.61	0.52	0.33
	09	35.96	43.20	25.66	6.57R	3.50	10.05	0.54	0.32
	10	31.91	37.64	21.14	6.45R	3.11	8.42	0.52	0.32
	ave	34.77	39.76	22.55	6.31R	3.38	9.09	0.52	0.32
	<i>sdt</i>	<i>3.77</i>	<i>2.70</i>	<i>2.37</i>					

((Figure 8B, 8C, 8E). 늘린 기법은 대량 생산과 소형 구슬의 제작이 적합한 방법이다(Kim, 2013). 투명도에서 청색 계통의 유리구슬은 구슬 내부의 불순물과 기포를 관찰할 수 있을 정도로 투명한 편이나, 적색 계통의 유리구슬 내부는 불투명한 상태로 색상에 따라 투명도의 차이를 보인다(Figure 8D, 8F).

합강리 유적 유리구슬의 색상은 육안관찰에서 적색과 청색 계통으로 구분된다. 이를 세부 색상으로 구분하면 적색 계통은 적갈색(RB)으로, 청색 계통은 세부 색상을 감청색(PB)과 자색(P)으로 구분하였다. 육안관찰에서 확인된 유리구슬의 세부 색상을 수치 데이터로 제시하고 색상 특성에 평가하기 위하여 감청색, 자색, 적갈색 각 10점

에 대하여 이미지 프로세싱 프로그램을 활용한 표면 색상의 추출 결과는 다음과 같다(Table 3).

육안 조사에서 밝은 감청, 감청, 진한 감청으로 구분되는 청색 계통 감청색 유리구슬의 색상은 명도(L^*) 23.5 ± 11.8 , 채도(a^* , b^*) 15.4 ± 6.6 , -37.6 ± 9.5 이며 색상이 다양하게 분포하고 있다. 자색 유리구슬은 (L^*) 35.8 ± 15.4 , 채도(a^* , b^*) 18.6 ± 3.4 , -27.5 ± 4.1 로 감청색과 비교해 볼 때 평균 명도가 높은 편이고 평균 채도에서 황색도가 높고 청색도가 낮은 편이다. 전반적으로 청색 계통의 유리구슬은 명도가 다양하게 분포하는 편으로 이는 유리구슬의 투명도와 광택 유무에 따라 밀접한 관계가 있다. 채도 그래프에서 적색 계통은 청색 계통과 확연하게 구분되나, 청

Figure 9. The color L, a^* , b^* graph of glass beads excavated at Hapgang-ri sites.

색 계통에서 감청색(PB)과 자색(P)은 색상 범위의 일부가 중첩되는 것으로 나타난다(Figure 9). 먼셀 값에서도 측정 결과의 편차가 큰 편으로 감청색(PB)과 자색(P)이 구분되지 않는다. 그러나 명도 값을 제외한 채도 값을 국제조명위원회(CIE, Commission Internationale de l'Eclairage)에서 지정한 말굽형 그래프(CIE 1931 standard colorimetric system, x, y 색도 그래프)로 도식한 결과 감청색(PB)과 자색(P)은 구분된다(Figure 10). 이와 같은 색상 차이를 보다 확연하게 구분하기 위해서는 투과조명장치를 이용한 측정 방법의 개발이 요구된다. 적갈색 유리구슬은 명도(L^*) 34.8 ± 3.8 , 채도(a^* , b^*) 39.8 ± 2.7 , 22.6 ± 2.4 로 적색 영역에 도

식되며 청색 계통의 유리구슬과 비하여 명도와 채도가 균일하게 나타난다.

4.2. 단면 특성

합강리 유적 유리구슬의 단면 특성은 복원이 불가능한 깨진 유리 편 16점을 선정하여 조사하였다. 선정된 유리 시편의 단면 특성은 형태, 색상, 기포의 분포 정도와 크기, 표면 상태, 균열 정도 그리고 제작기법 등을 정리하고 이를 기준으로 평가하였다(Table 4).

밝은 감청색(It-PB) 3점은 단면 상태가 비교적 양호하며 작은 크기의 기포가 존재하는 반면에, 감청색(PB) 6점은 단면에서 미세 균열이 확인되며 크고 작은 기포들이 존재한다. 자색(P) 2점은 단면 상태가 양호한 편이고 기포들이 방향성을 가지고 배열하고 있다. 적갈색(RB) 5점은 청색 계통의 유리 편과 비교해 단면이 균질한 편이다.

주사전자현미경 반사전자상 관찰에서 색상별 차이가 없는 편이나, 유리 시편의 개체별 조사에서 나타나는 단면 특성은 다음과 같다(Figure 11). 밝은 감청색 1점(HJ-02)은 일정한 배열을 가진 불순물의 형태를 보아 늘인 기법으로 제작되었고 밝은 감청색 다른 1점(HJ-03)은 단면 균열에 풍화가 진행된 점으로 보아 단면 균열은 장기간 매장된 상태라는 것을 알 수 있다. 소량의 기포가 존재하는 감청색 1점(HJ-11)은 단면에 심한 균열과 수화층이 확인된다.

(A)

(B)

Figure 10. The Color distribution graph of glass beads excavated at the Sejong Hapgang-ri site; (A): the CIE diagram of blue and red glass beads, (B): distribution of blue glass bead in the magnification graph of (A).

Table 4. The characteristics of glass samples excavated at Hapgang-ri site

Sample Number	Type ^a	Color ^b (Transparency ^c)	Air bubble ^d	Surface state ^e	Crack state ^f	Working technique	Remarks
HJ-02	R	lt-PB(△)	L-S	GD	X	Drawn	
HJ-03	R	lt-PB(△)	L-S	S-W	△	Drawn	
HJ-04	R	lt-PB(○)	L-S	GD	X	-	
HJ-05	R	P(○)	L-B	GD	X	Drawn	
HJ-06	R	P(△)	L-B,S	GD	X	Drawn	
HJ-08	R	PB(X)	L-B	S-W	○	Drawn	
HJ-09	R	PB(X)	L-B	S-W	△	Drawn	
HJ-10	R	PB(X)	L-S	GD	△	Drawn	
HJ-11	R	PB(X)	M-S	M-W	○	Drawn	
HJ-12	R	PB(X)	M-S	S-W	X	Drawn	
HJ-13	R	PB(X)	L-S	M-W	○	Drawn	
HJ-14	R	RB(X)	L-S	GD	X	Drawn	
HJ-15	R	RB(X)	L-S	GD	△	Drawn	
HJ-16	R	RB(X)	L-S	GD	△	Drawn	
HJ-17	R	RB(X)	L-S	GD	X	Drawn	
HJ-18	R	RB(X)	L-S	GD	△	Drawn	

a. Type : R; Round bead, I; Irregular

b. Color : lt; light. dk; dark gB; greenish Blue, PB; Purple Blue, RB; Reddish Brown, P; Purple

c. Transparency : ○; Transparent, △; Translucent, X; Opaque

d. Air bubble : L-S; Little Seed, M-S; Much Seed, L-B; Little Blister, M-B; Much Blister

e. Surface state : GD; Good Surface, S-W; Small Weathering, M-W; Much Weathering

f. Crack state : ○; Serious crack, △; Some crack, X; Homogeneity

Figure 11. The Scanning Electron Microscope Compo images of glass bead excavated at Hapgang-ri site; (A): HJ-02 sample, (B): HJ-03 sample, (C): HJ-11 sample.

4.3. 유리 조성

선정된 유리구슬 편 16점의 조성은 5회 측정된 평균과 표준편차로 정리하고 유리 특성을 구분하는 용제, 안정제, 소다원료, 착색제 특성을 검토하였다(Table 5, Figure 12).

Na₂O와 K₂O를 기준으로 구분한 용제 특성에서 합강리 유적 유리구슬 편 16점은 포타쉬유리군 3점, 소다유리군

13점으로 분류된다. 밝은 감청색 1점, 자색 2점이 포함되는 포타쉬유리군은 Na₂O 0.80%~0.91%, K₂O 14.95~16.44%이고 밝은 감청색 2점, 감청색 6점, 적갈색 5점이 포함되는 소다유리군은 Na₂O 13.79%~20.37%, K₂O 0.42~2.71% 범위로 청색 계통은 사용 원료가 2가지 계통으로 분류할 수 있다.

포타쉬유리군은 3점으로 안정제 특성을 구분하기에

Table 5. The chemical compositions of glass samples excavated at Hapgang-ri site

Sample Number	Type ^a	Color ^b	Chemical Composition(wt. %)															Remarks
			SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	CuO	PbO	BaO	Cl	SO ₃	
HJ-02	R	lt-PB	74.13	0.80	15.84	1.68	2.76	0.30	0.12	1.98	1.98	0.15	0.07	0.19	0.22	0.09	0.23	
			1.68	0.08	1.19	0.16	0.20	0.02	0.10	0.16	0.27	0.05	0.07	0.11	0.05	0.03	0.17	
HJ-03	R	lt-PB	72.48	13.79	1.47	2.93	4.22	0.32	0.18	2.10	1.90	0.12	0.03	0.16	0.40	1.24	0.19	
			1.05	0.90	0.13	0.31	0.18	0.10	0.10	0.36	0.25	0.07	0.03	0.21	0.10	0.20	0.17	
HJ-04	R	lt-PB	73.29	14.30	0.92	3.58	3.85	0.26	0.06	1.84	1.17	0.06	0.12	0.11	0.21	1.54	0.31	
			0.89	0.99	0.21	0.40	0.10	0.05	0.07	0.22	0.11	0.05	0.08	0.09	0.06	0.17	0.05	
HJ-05	R	P	73.74	0.91	14.95	0.96	2.85	0.31	0.17	2.99	3.01	0.13	0.05	0.15	0.29	0.08	0.09	
			1.14	0.07	0.92	0.12	0.14	0.12	0.05	0.21	0.24	0.09	0.03	0.13	0.15	0.05	0.06	
HJ-06	R	P	71.31	0.81	16.44	0.94	3.52	0.30	0.12	3.19	2.65	0.15	0.01	0.16	0.50	0.09	0.16	
			1.33	0.09	0.52	0.08	0.49	0.07	0.07	0.27	0.20	0.09	0.03	0.18	0.15	0.04	0.10	
HJ-08	R	PB	71.17	18.35	0.50	4.50	2.39	0.34	0.05	1.76	0.82	0.00	0.08	0.09	0.23	1.52	0.19	
			1.28	1.12	0.12	0.51	0.18	0.10	0.06	0.20	0.06	0.00	0.09	0.12	0.12	0.14	0.11	
HJ-09	R	PB	69.64	20.37	0.51	4.19	2.46	0.41	0.08	1.49	0.91	0.04	0.03	0.04	0.33	1.44	0.12	
			0.72	0.23	0.05	0.43	0.13	0.11	0.05	0.65	0.22	0.04	0.05	0.06	0.13	0.14	0.06	
HJ-10	R	PB	72.88	16.29	0.47	3.99	2.38	0.33	0.17	2.20	0.99	0.12	0.05	0.07	0.23	1.62	0.26	
			0.46	0.42	0.06	0.34	0.12	0.07	0.10	0.38	0.10	0.04	0.07	0.09	0.06	0.11	0.08	
HJ-11	R	PB	71.46	17.59	0.48	4.30	2.51	0.38	0.09	1.94	0.89	0.01	0.03	0.18	0.31	1.55	0.21	
			0.70	0.70	0.08	0.22	0.13	0.07	0.07	0.16	0.18	0.01	0.03	0.12	0.04	0.12	0.05	
HJ-12	R	PB	71.73	18.11	0.42	3.60	2.47	0.36	0.07	1.99	0.99	0.09	0.03	0.24	0.37	1.54	0.11	
			0.76	0.33	0.06	0.40	0.10	0.05	0.04	0.19	0.08	0.08	0.05	0.13	0.09	0.22	0.08	
HJ-13	R	PB	71.22	17.19	0.49	4.45	2.53	0.42	0.11	2.15	1.07	0.04	0.08	0.02	0.34	1.55	0.20	
			0.71	0.45	0.12	0.33	0.10	0.07	0.04	0.29	0.19	0.04	0.09	0.03	0.07	0.23	0.17	
HJ-14	R	RB	65.93	16.09	1.76	6.73	3.79	1.02	0.23	0.27	1.81	0.07	1.03	0.00	0.24	1.34	0.18	
			0.74	0.33	0.17	0.57	0.24	0.12	0.10	0.09	0.37	0.07	0.34	0.00	0.15	0.14	0.04	
HJ-15	R	RB	62.50	19.48	1.09	5.65	4.92	1.27	0.24	0.31	2.19	0.10	0.79	0.05	0.10	1.59	0.10	
			0.97	0.43	0.36	1.14	0.16	0.14	0.08	0.06	0.18	0.08	0.12	0.09	0.09	0.18	0.10	
HJ-16	R	RB	61.70	18.80	2.65	6.27	5.14	1.13	0.20	0.13	1.24	0.04	1.07	0.07	0.16	1.28	0.22	
			1.21	0.55	0.45	1.01	0.14	0.10	0.04	0.06	0.30	0.07	0.26	0.11	0.10	0.10	0.07	
HJ-17	R	RB	62.82	17.69	2.71	6.37	5.13	1.07	0.14	0.15	1.41	0.00	0.91	0.10	0.14	1.23	0.23	
			0.87	0.81	0.36	0.82	0.20	0.11	0.07	0.06	0.53	0.00	0.39	0.14	0.05	0.12	0.16	
HJ-18	R	RB	60.94	18.92	2.51	6.21	5.49	1.17	0.17	0.07	1.83	0.06	0.83	0.00	0.14	1.43	0.22	
			1.17	0.52	0.25	0.75	0.23	0.10	0.08	0.06	0.35	0.07	0.41	0.00	0.12	0.02	0.06	

a Type : R; Round bead

b Color : P; Purple, PB; Purple Blue, RB; Reddish Brown

(A) Na₂O and K₂O

(B) CaO and Al₂O₃ in Soda glass

(C) MgO and K₂O in Soda glass

(D) Colorant

Figure 12. The characteristics graph of glass samples excavated at Hapgang-ri site; (A): Flux, (B): Stabilizer, (C): Soda raw material, (D) Colorant.

어려움이 있으므로 본 연구에서는 소다유리군 13점을 중심으로 안정제, 소다원료 특성을 검토하고자 한다. 안정제의 특성은 청색과 적색 계통에 따라 다르게 나타난다. 밝은 감청색(It-PB)은 Al_2O_3 함량이 비교적 높은 LCA-A계, 감청색(PB)은 CaO 함량이 비교적 높은 LCA-B계, 적갈색(RB)은 CaO 와 Al_2O_3 가 모두 높은 HCA계이다. 지금까지 발표된 한반도 적갈색 유리구슬은 대부분 안정제가 Al_2O_3 함량이 높은 LCA-A, LCHA계이다(Kim and Kim, 2013). 그러나 본 연구에서 선정한 합강리 유적 적갈색 유리구슬은 안정제 조성범위가 다르게 나타나는 점이 특이하다. MgO 와 K_2O 1.5%를 기준으로 분류한 소다원료의 특성 분류에서 감청색(PB)은 MgO 와 K_2O 함량이 1.5% 미만인 LMK형이고 1점(HJ-15)을 제외한 적갈색 4점은 MgO 함량이 1.5% 미만, K_2O 함량이 1.5% 이상인 LMHK형이다. 마지막으로 선정 유리 시료 16점에 대한 착색제의 특성은 색상별로 고대 유리구슬에서 주로 확인되는 TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 , CuO 등 주요 착색성분을 기준으로 비교하였다. 청색 계통의 구슬에서는 Co 가 주요 착색제로 작용하지만 0.1% 미만의 소량으로도 발색력이 강하기 때문에 EDS 분석으로 미량 함유된 경우 검출에 어려움이 있다. 따라서 코발트 광석에서 함께 확인되는 MnO 의 유무에 따라 Co 의 성분을 유추할 수 있다(Kyriaki *et al.*, 2011; Kim, 2013). 밝은 감청색과 감청색은 MnO 성분이 높은 점으로 보아 착색제가 Co 이고 밝은 청색을 감청색에 비교해 볼 때 Fe_2O_3 의 함량이 다소 높은 편이다. 상대적으로 MnO 와 Fe_2O_3 의 함량이 가장 높은 자색도 착색제는 Co 로 볼 수 있다. 반면에 적갈색은 Fe_2O_3 와 CuO 의 함량이 높은 편으로 착색제는 Fe 와 Cu 이다.

5. 결론

본 연구에서는 세종 합강리 유적을 중심으로 발굴 유물과 유적에 대한 특성과 편년을 포함한 고고학적 접근과 출토 유리구슬을 중심으로 표면 특성, 단면 특성, 화학 조성을 분석한 보존과학적 접근 등 융합적 연구 고찰을 함께 시도하였다.

묘의 형태와 출토 유물을 통한 고고학적 접근에서 합강리 유적의 주구토광묘 등장시기는 2세기 후반 이후이고, 출토된 유물 양상이 청주 오송유적 I~II 단계와 유사하므로 분묘 유구의 조성 시기는 공주대 발굴 용호리 유적과 함께 2세기 후반에서 3세기 중엽으로 볼 수 있다. 그리고 유리구슬이 출토된 원삼국시대 주구토광묘 15호는 당경호와 원저발의 변화 양상에 따라 2세기 후반에서 3세기 초엽일 가능성이 높다.

청색과 적색 계통으로 구분되는 합강리 유적에서 완형 유리구슬은 형태와 표면 특성을 조사한 보존과학적 결과는 다음과 같다. 청색 계통은 세부 색상이 자색과 감청색으로, 적색 계통은 구슬 표면에 흑색 줄이 관찰되는 적갈색으로 구분된다. 유리구슬은 내부 기포와 흑색 줄의 배열 형태로 보아 늘인 기법으로 제작되고 구슬 표면에서 연마 또는 열처리된 흔적이 확인된다. 본 연구에서 처음으로 이미지 프로세싱 프로그램을 이용한 유리구슬 색상 분류에서 청색 계통 자색과 감청색이 구분되며 적갈색은 청색 계통과 비교해볼 때 측정 시료에 따른 색상 편차가 적은 편으로 색상의 일치도가 높은 편이다.

유리구슬 편 16점에 대한 단면 특성은 표면 주변으로 풍화가 진행된 수화층이 확인되며 기포 형상에서 늘린 기법으로 제작된 것을 알 수 있다. 적갈색은 청색 계통보다 유리 조성이 균질한 상태를 보인다. 화학 조성은 용제 특성에 따라 밝은 감청색 1점, 자색 2점은 포타쉬유리군이고 나머지는 소다유리군이다. 안정제 특성에서 포타쉬유리군은 Al_2O_3 가 높은 편이고 소다유리군은 색상에 따라 차이를 보인다. 적갈색은 HCLA계와 HCA계이다. 소다원료 특성에서 청색 계통은 MgO 와 K_2O 함량이 1.5% 미만인 LMK형이며 적갈색 유리는 MgO 함량이 1.5% 이하, K_2O 함량이 1.5% 이상인 LMHK형이다.

합강리 유적 유리구슬이 본 연구에서 조사된 형태 및 조성 특성을 바탕으로 마한-백제기에서 백제 한성기의 영향권에 있었던 세력과 마한의 재지 세력의 상관성을 비교하기 위해서는 세종 지역에서 발굴된 다른 유적 출토 유리제품과 비교 연구가 필요하다. 그러나 합강리 유적을 제외하고 다른 유적에 대한 체계적인 분석 결과가 아직 정리되지 않은 관계로 이에 관한 연구의 한계가 있다. 앞으로 세종 지역을 중심으로 유리제품의 연구가 보완될 수 있다면 마한-백제기의 유리 문화에 대한 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- Capobianco, N., Hunault, M.O.J.Y., Balcon-Berry, S., Galois, L., Sandron, D. and Calas, G., 2019, The Grande Rose of the Reims Cathedral: an eight-century perspective on the colour management of medieval stained glass. *Scientific Reports*, 9(3287), 1-10. (in English)
- Cha, S. Y., 2017, Transitions and Regional Characteristics Round-based Short-neck Jar in Midwestern Korea During Proto Three Kingdoms Period. Master's thesis, Korean National University Cultural Heritage, Buyeo,

- 66-75. (in English abstract)
- Gimhae National Museum, 2019, Glass Artifacts from Gaya Sites I. Gimhae National Museum of Korea. (in Korean with English abstract)
- Henderson, J., 2013, Ancient glass an Interdisciplinary Exploration. Cambridge University Press, New York, 00-00. (in English)
- Kim S. N., 2001, A chronology of burial mound groups of central Korea in the 3th and 4th centuries. The Baekche Yonku, 33, 109-162. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.A., 2019, A characteristics on the glass beads Excavated from the tombs of Seokchon-dong in Seoul, Korea. Master's thesis, Kongju National University, Gongju, 61-63. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.A., Kim, D.S., Hyen, J.H. and Kim, G.H., 2019a, Study on material characteristic evaluation of Sangpyeongtongbo Coins in Joseon Dynasty Using Non-Destructive Analysis. Science and Engineering of Cultural Heritage, 14(1), 23-30. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.H., 2002, A study of archaeological chemistry on ancient glass found in Korea. Doctor's thesis, Chung-ang University, Seoul, 31-42. (in English abstract)
- Kim, G.H., 2004, Archaeological Chemistry of Glasses Excavated at Songdong-ri tombs, Sangju, Korea. Journal of Conservation Science, 16, 23-30. (in Korean with English abstract)
- Kim, G.H., 2018, External interaction in beads and glass accessory. Korean Traditional Costume Research Institute, 97-108. (in Korean)
- 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 Korean with English abstract)
- Kim, G.H. and Kim, E.A., 2019, An Analysis of a Crucible Survival and a Bead Fragments Excavated at Iksan Wanggung-ri Site in Korea. Journal of Conservation Science, 35(1), 81-89. (in English)
- Kim, G.H., Kim, J.G., Kang, K.T. and Yoo., W.S, 2019b, Image-Based Quantitative Analysis of Foxing Stains on Old Printed Paper Documents. Heritage, 2(3), 2665-2677. (in English)
- Kim, N.Y. and Kim, G.H., 2012, Chemical Characteristic of Glass Beads Excavated from Bakjimeure Site in Asan, Korea. Journal of Conservation Science, 28(3), 205-216. (in Korean with English abstract)
- Kim, N.Y., 2013, An investigation of chemical Characteristic on alkali glass beads at the Three Kingdoms period in Korea. Doctor's thesis, Kongju National University, Gongju, 209-212. (in Korean with English abstract)
- Kim, N.Y. and Kim, G.H., 2013, Characteristics and Classification of Red Brown Glass Beads Excavated in Korean Peninsula. Journal of Conservation Science, 29(3), 279-286. (in Korean with English abstract)
- Kwon, Y.M., Kim, G.H. and Shin, Y. M., 2007, Archeological Chemical analysis and Characteristic Investigation on Glass Beads Excavated in Sacheon Neukdo Island, Gyeongsangnam-do. Journal of Conservation Science, 20, 105-117. (in Korean with English abstract)
- Kwon, O.Y., 2017, The Study on Import and Distribution Structure by Analyzing the Chemical Composition of Glass Beads Found in Burial Sites of Baekje. The Jungbu Archaeological Society, 16(3), 39-70. (in Korean with English abstract)
- Kyriaki P., Joanne M.A., Vasilike K. and Andreas G. K., 2011, XRF analysis of glass beads from the Mycenaean palace of Nestor at Pylos, Peloponnesus, Greece: new insight into the LBA glass trade. Journal of Archaeological Science, 38(11), 2889-2896. (in English)
- Lee, I.S., 1990, Archaeological Study of Ancient Glass in Korea. Doctor's thesis, Han-yang University, Seoul, 1-5. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.H., Kim, N.Y. and Kim, G. H., 2017, Changing Process of the Glass Beads from Osan Sucheong Site in Gyeonggi-do, Korea. Journal of Conservation Science, 33(5), 331-344. (in korean with English abstract)
- Park, J.H., 2018, The Chronology and Changes of the Lidded Leg Jars of the Proto-Three Kingdoms Period. The Journal of Korean Field Archaeology, 31, 5-34. (in Korean with English abstract)
- Park, H.Y., 2015, The Chronology of the Lidded Leg Jars of the Proto-Three Kingdoms Period. Journal of The Honam Archaeological Society Honam KoKo- Hakbo, 50, 70-90. (in English abstract)
- Shin, M.C., 2015, Distribution and Characteristics of Cylindrical Ceramics at the Goggyo river basin during the Proto-Three kingdoms period. Master's thesis, Jeonbuk National University, Jeon-ju, 00-00. (in Korean with English abstract)
- Seong, J.Y., 2006, Archaeological Culture Reflected in the Pottery of the Proto-Three Kingdoms Period in Midwestern Korea. Journal of the Korean Archaeological Society, 60, 120-157. (in Korean with English abstract)
- The Samhan Institute of Cultural Properties, 2019, The Ancient Site at Jibhyeon-ri, Sejong. Research Report of Antiquities vol.77. (in Korean)
- Yu, H.S. and Ro, J.H., 2018, A Study on the Provenance of an Opacifying Agent(PbSnO₃) in Yellow and Green Glass Beads Excavated from the Korean Peninsula. Journal of Conservation Science, 34(4), 305-311. (in English)

Yun, J.H. and Kim, G. H., 2016, Compositions and Characteristics on the Glass Beads from Jeongjangri Site in Geochang, Korea. Journal of Conservation Science, 32(1), 63-73. (in Korean with English abstract)

Yun, J.H., Han, W. R. and Han, M.S, 2018, Compositions and Characteristics on the Glass Beads Excavated from Ancient Tombs of Jeongchon in Naju, Korea. Journal of Conservation Science, 34(2), 119-128. (in Korean with English abstract)