사비백제시기 사찰지 출토 치미 특성에 대한 과학적 연구

A Scientific Study on the Characteristics of Ridge-end Tiles from the Temple Sites in the Period of the Sabi Baekje

이민희, 황현성*, 신연홍
국립부여박물관 학예연구실

Minhee Lee, Hyunsung Hwang*, Yeonhong Shin
Curatorial Affairs Division, Buyeo National Museum, Buyeo 33156, Korea

Received August 12, 2019
Revised September 26, 2019
Accepted October 01, 2019

*Corresponding author
E-mail: hshwang7@korea.kr
Phone: +82-41-830-8441

Journal of Conservation Science
2019;35(5):430-439
<https://doi.org/10.12654/JCS.2019.35.5.05>

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 사비백제시기 사찰지에서 출토된 치미를 대상으로 화학적, 광물학적 특성에 대하여 분석하였다. 화학적 특성에서 군수리사지 출토 치미 1점을 제외한 대부분의 치미는 유사한 희토류 원소 분포패턴을 보이기 때문에 동일한 기반암에서 생성된 점토를 사용하였음이 확인된다. 하지만 주성분 및 미량원소 조성양상이 달라 동일 기반암이라 할지라도 차별화된 풍화 과정을 겪었거나 제작과정에서 차이가 있었을 것으로 추정된다. 광물학적 특성은 3개의 유형으로 구분되며 Fe_2O_3 - TiO_2 의 도식에서 Fe_2O_3 이 5 wt% 이상 검출되는 시료가 상대적으로 높은 소성 온도로 제작되었을 것으로 추정되는 그룹과 동일한 양상이 확인된다. 따라서 출토지에 따른 동질성은 낮으나 시료 간의 군집 경향이 확인되어 사용처에 따른 제작이 이루어졌다고 보다는 사용시점에 따른 제작이 진행되었을 가능성이 높다.

중심어 사비백제, 치미, 사찰, 조성성분

ABSTRACT This study investigates the characteristics of ridge-end tiles excavated from temple sites in Sabi Baekje. Analyses were carried out to evaluate the chemical and mineralogical compositions of the excavated samples. All the samples except one from the Gunsu-ri temple exhibit a similar element distribution pattern in rare earth element contents. However, major and trace element contents differ because the mixing method used in each sample depends on the type of ridge-end tile. The mineral components of the tiles were grouped into three types, irrespective of the excavated areas. Group 2 and 3 were probably developed in high-temperature fires in comparison with Group 1; this is verified by the Fe_2O_3 content of more than 5 wt% in these samples. In conclusion, the raw materials utilized in each ridge-end tile are prone to have changed according to the time of use of the tile, regardless of the excavated site.

Key Words: Sabi Baekje, Ridge-end tiles, Temple sites, Compositions

1. 서론

치미는 지붕의 장식부재로 기와 건물의 용마루 양 끝에 올려 벽사의 기능과 함께 건물의 장식효과를 배가하여 건물의 위엄을 높인 마루기와의 한 종류로서, 상상의 새인 치(鴟)의 꼬리를 형상하여 삼국시대 이후부터 사찰을 중심으로 제작되었다(Cho, 2012; Hong, 2018). 사찰은 삼국이 국가로 성장하면서 필수적으로 수용되었던 종교인 불교의 교리를 설파하는 장소로서 많은 곳에 형성되었으며 사찰 건축자재로 사용된 치미 또한 다수 확인된다. 백제 또한 사비로 천도한 후 활발한 문화교류를 통해 문화적 부흥을 맞게 되었기 때문에 부여에서 확인되는 사비기 사찰이 다수 존재한다. 치미는 사비기 사찰지 모두에서 출토되어 사비백제의 특징을 보여주는 자료로서 그 가치가 높다고 사료되나 완형으로 출토된 사례가 적고 대부분 편으로 출토되어 양식학적으로 치미를 규명하기 어려운 것이 현실이다. 현재까지 치미의 재료학적 연구는 경주지역의 사천왕사지 치미와 분황사지 치미에 한해서 진행된바 있으나 백제 시대 치미를 연구대상으로 선정한 사례는 전무하다. 따라서 본 연구는 사비백제 사찰지 출토 치미에 대한 과학적 분석을 진행하고, 특히 시료의 원료 및 조성 특성을 통해 당시 사용된 치미의 상관관계를 해석하는 등의 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 연구대상

부여지역에서 사비백제 사찰지로 확인되는 곳은 25지점이 존재한다. 사비천도 이후 부여지역에는 많은 사원이

건립되어 불교국가의 수도로서의 면모를 갖추고 있었으나 백제가 멸망한 이후 급속도로 쇠퇴하였던 것으로 보인다(Buyeo National Research Institute of Cultural Heritage, 2008). 분석대상은 그 중 5지점을 선정하여 각각 4점의 치미편을 연구대상으로 하였다(Figure 1). 해당 시료는 편이기 때문에 치미임을 명확히 하기 위해 치미의 고유형태인 종대 또는 날개가 확인되는 시편으로 한정하였다(Table 1).

2.2. 연구방법

본 연구에서는 치미를 대상으로 화학적, 광물학적 특성을 구분하여 분석하였다. 화학적 특성은 주성분과 미량 및 희토류원소를 분석하였으며 주성분은 X-선 형광분석기(wavelength-dispersive X-ray fluorescence Sequential Spectrometer, WD-XRF)(XRF-1700, Shimadzu, JPN)를 이용하여 Rh target으로 40 keV, 70 mA 조건에서 분석하였다. 미량원소와 희토류원소는 유도결합플라즈마 원자방출분광기(inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometer, ICP-AES)(Optima 4300DV, Perkin Elmer, USA)와 유도결합플라즈마 질량분석기(inductively coupled plasma mass spectrometer, ICP-MS)(X5, Thermo Elemental, USA)를 이용하여 35여 종의 원소를 분석하였다.

광물학적 특성은 분말화된 시료를 슬라이드 글라스에 고착한 후 X-선 회절분석기(X-ray diffractometer, XRD)(MiniFlex300/600, Rigaku, JPN)로 실험하였으며, 분석 시 target은 Copper(Cu), Detector는 D/teX Ultra를 사용하였다. 분석조건은 40 kV, 15 mA 계측 후, 분석데이터는 X'Pert HighScore(Malvern Panalytical, NLD) 피크매칭(peak matching) 프로그램을 이용하여 각 피크를 동정하였다.

Figure 1. Location of Sabi Baekje period temple sites in this study.

Table 1. Characteristics of selected sherds from temple sites of Sabi Baekje period

Sample number	Site	Century	Color*			Selected sherds	
			(Outer surface/Inner surface/Inner section)			Outer surface	Inner surface
gs-1	Gunsu-ri temple	Early 6C	L-G	L-G	L-G
gs-2			D-G	D-G	D-G
gs-3			L-YB	L-YB	L-YB
gs-4			RB	RB	RB
ns-1	Neungsan-ri temple	567	G L-RB	L-RB	L-RB
ns-2			D-G	D-G	D-G
ns-3			L-RB	L-RB	L-RB
ns-4			G	G	G
ga-1	Gua-ri temple	Late 6C Early 7C	L-G	L-G	L-G
ga-2			RB	RB	RB
ga-3			GB	GB	GB
ga-4			G	G	RB
jn-1	Jeongnim temple	Early 7C	D-G	RB	RB
jn-2			L-G	D-G	D-G
jn-3			L-YB	L-YB	L-YB
jn-4			D-G	RB	RB
bs-1	Busosan temple	Early 7C	RB GB	RB	RB
bs-2			YB	YB	RB
bs-3			L-G	L-G	RB
bs-4			D-G	L-G	L-G

*D-Dark, L-Light, G-Gray, B-Brown, YB-Yellowish Brown, RB-Reddish Brown, GB-Grayish Brown.

3. 연구결과

3.1. 화학적 특성

3.1.1. 주성분

치미의 출토 위치에 따른 재료학적 동질성 여부를 판별하기 위해 주성분을 3회 분석하고 그 평균을 table 2에 표시하였으며 수분이나 유기물 함유량 정도를 지시하는 Loss on ignition (L.O.I)이 모든 시료에서 높게 나타나 L.O.I.를 제거하고 총합으로 환산한 조성 값을 괄호안에 안에 제시하였다.

시료에 가장 많이 함유되어 있는 SiO_2 와 Al_2O_3 을 Figure 2A와 같이 도식화하였다. 군수리사지 출토 치미는 가장 넓게 분산된 것으로 확인되며 SiO_2 함량은 다른 시료에 비해 높고 Al_2O_3 함량은 낮은 양상을 보인다. 특히 gs-3과 gs-4에서 SiO_2 가 75.60~78.09 wt%로 높은 경향이 확인된다. 능산리사지 출토 치미는 비교적 서로 유사한 상관관계를 갖는 것으로 보이나 ns-2가 다른 시료에 비해 SiO_2 함량은 높고 Al_2O_3 함량은 낮은 특징이 관찰된다. 구아리사지 출토 치미는 서로 유사한 Al_2O_3 함량으로 검출되나 SiO_2 함량에

따라 ga-1, 2와 ga-3, 4로 이분되는 특징이 관찰된다. 정림사지 출토 치미는 jn-3 시료가 SiO_2 함량은 높고 Al_2O_3 가 낮아 다른 시료와 구별되는 특징을 보이고 부소산사지 출토 치미는 Al_2O_3 함량은 서로 유사하나 bs-3의 SiO_2 함량이 다른 시료에 비해 낮게 검출된다. 전체적으로 살펴보면 SiO_2 - Al_2O_3 도식에서 시료는 반비례 관계에 놓여있는데, 이러한 관계는 광물학적인 면에서 점토화 정도를 나타내는 것으로 SiO_2 함량이 낮고 Al_2O_3 함량이 높을수록 점토화가 많이 이루어진 것을 의미한다(Kyung and Choi, 2000). 이 분포도에서 치미는 출토지별로 확연한 그룹을 이루고 있지만 출토지의 시기가 늦어질수록 Al_2O_3 함량이 높아지는 경향성을 보인다. 출토지에 관계없이 SiO_2 함량이 63.05~69.69 wt%, Al_2O_3 함량이 17.55~23.05 wt% 범위에 밀집되어 있는 양상이 확인된다. 상대적으로 군수리사지 출토 치미가 해당 범위를 크게 벗어나고 능산리사지와 구아리사지 출토 치미가 비교적 일관적인 특성으로 관찰된다.

K_2O 와 CaO 분포도에서는 구아리사지 출토 3점(ga-1, 2, 3)과 군수리사지 출토 3점(gs-2, 3, 4)이 가장 분산되어 확인되고 사찰지에 따른 군집양상이 관찰되지 않는다(Figure 2B).

Figure 2. Major elements composition graphs of analyzed samples. (A) SiO_2 - Al_2O_3 , (B) K_2O - CaO , (C) Fe_2O_3 - TiO_2 , (D) Seger formula.

Table 2. Major elements composition of analyzed samples

Sample number	Oxide concentration (wt%)											Sege formula		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Total	R ₂ O+RO	RO ₂
gs-1	64.29	19.14	6.85	1.81	0.46	1.17	3.06	1.08	0.04	0.06	1.89	99.84	0.46	4.70
(	65.63	19.54	6.99	1.85	0.47	1.19	3.12	1.10	0.05	0.06	)			
	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
gs-2	67.04	17.90	5.72	1.54	0.63	1.43	3.47	0.95	0.04	0.17	1.01	99.90	0.52	5.33
(	67.79	18.10	5.78	1.56	0.63	1.45	3.51	0.96	0.04	0.17	)			
	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00				
gs-3	72.40	13.54	2.43	0.64	0.21	0.28	1.98	0.92	0.02	0.29	7.14	99.86	0.31	8.21
(	78.09	14.61	2.62	0.69	0.23	0.30	2.14	0.99	0.02	0.31	)			
	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
gs-4	68.98	15.81	1.76	0.60	0.17	0.31	2.68	0.75	0.02	0.16	8.65	99.88	0.31	6.97
(	75.60	17.32	1.93	0.66	0.18	0.34	2.94	0.82	0.02	0.18	)			
	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
ns-1	65.19	20.02	6.17	1.31	0.49	0.83	2.39	0.93	0.06	0.38	2.10	99.88	0.34	4.66
(	66.67	20.47	6.31	1.34	0.51	0.85	2.45	0.95	0.06	0.39	)			
	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
ns-2	69.21	17.43	6.25	1.50	0.50	0.82	2.61	0.83	0.07	0.10	0.53	99.83	0.42	5.53
(	69.69	17.55	6.29	1.51	0.50	0.83	2.63	0.84	0.07	0.10	)			
	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
ns-3	65.02	20.67	5.47	1.32	0.45	0.77	2.35	0.97	0.04	0.12	2.69	99.85	0.33	4.61
(	66.92	21.27	5.63	1.36	0.46	0.80	2.42	0.99	0.04	0.12	)			
	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
ns-4	65.75	18.95	7.71	1.63	0.51	1.08	2.67	0.93	0.06	0.12	0.48	99.90	0.41	4.72
(	66.13	19.06	7.75	1.64	0.52	1.09	2.69	0.94	0.06	0.13	)			
	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
ga-1	62.54	19.28	2.61	0.74	0.27	0.85	2.90	0.80	0.02	0.30	9.54	99.84	0.33	5.11
(	69.25	21.35	2.89	0.82	0.30	0.94	3.21	0.88	0.02	0.33	)			
	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
ga-2	59.95	19.43	3.94	0.70	0.23	0.67	3.28	0.72	0.02	0.04	10.91	99.88	0.31	4.67
(	67.39	21.84	4.43	0.78	0.25	0.75	3.69	0.81	0.02	0.04	)			
	0.04	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
ga-3	61.20	21.47	7.04	1.68	0.86	1.10	2.56	0.88	0.04	0.24	2.80	99.88	0.40	4.04
(	63.05	22.12	7.26	1.73	0.89	1.13	2.64	0.90	0.04	0.25	)			
	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
ga-4	62.56	21.94	6.52	1.38	0.42	0.96	3.05	0.98	0.07	0.14	1.82	99.84	0.35	4.11
(	63.82	22.38	6.65	1.41	0.43	0.98	3.11	1.00	0.07	0.14	)			
	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
jn-1	62.78	22.17	6.41	1.38	0.42	1.00	3.01	1.00	0.05	0.10	1.59	99.93	0.35	4.10
(	63.84	22.55	6.52	1.41	0.42	1.02	3.06	1.02	0.05	0.11	)			
	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00				
jn-2	66.58	21.50	3.16	1.12	0.51	0.72	2.91	0.84	0.04	0.30	2.22	99.90	0.35	4.85
(	68.16	22.01	3.23	1.15	0.52	0.74	2.98	0.86	0.05	0.31	)			
	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
jn-3	71.43	17.97	2.86	0.86	0.31	0.43	2.68	0.93	0.02	0.50	1.90	99.89	0.32	6.18
(	72.89	18.34	2.92	0.87	0.32	0.44	2.74	0.95	0.03	0.51	)			
	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00				
jn-4	63.15	21.91	6.23	1.37	0.42	0.98	3.06	0.98	0.05	0.07	1.62	99.83	0.36	4.18
(	64.30	22.31	6.35	1.39	0.43	1.00	3.11	1.00	0.05	0.07	)			
	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
bs-1	63.85	21.27	2.07	0.72	0.31	0.58	2.44	0.91	0.02	0.11	7.59	99.86	0.26	4.84
(	69.20	23.05	2.25	0.78	0.34	0.62	2.64	0.99	0.02	0.12	)			
	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
bs-2	61.86	17.08	5.67	1.29	0.52	1.38	2.67	0.89	0.06	0.13	8.29	99.85	0.46	5.12
(	67.56	18.66	6.19	1.41	0.57	1.51	2.92	0.97	0.06	0.15	)			
	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
bs-3	57.58	22.65	8.46	1.22	0.52	0.69	2.90	1.02	0.19	1.10	3.61	99.94	0.31	3.53
(	59.78	23.51	8.78	1.26	0.54	0.71	3.02	1.06	0.20	1.14	)			
	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
bs-4	61.61	20.98	3.07	0.95	0.44	0.65	2.69	0.86	0.02	0.06	8.54	99.85	0.31	4.60
(	67.46	22.98	3.36	1.04	0.48	0.71	2.94	0.94	0.03	0.06	)			
	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				

Table 3. Classification type for coloring agent of analyzed samples

Type of group*	Number of sample
high group	gs-1, 2, ns-1~4, ga-3, 4, jn-1, 4, bs-2, 3
low group	gs-3, 4, ga-1, 2, jn-2, 3, bs-1, 4

*Criteria for classification: Fe₂O₃ 5 wt%.

단, 능산리사지 출토 치미는 확연하게 서로 그룹을 이루고 있어 매우 유사한 상관관계를 보인다.

$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 의 도식은 TiO_2 0.81~1.10 wt%로 서로 유사하나 Fe_2O_3 5 wt%를 기준으로 구분되는 특징이 확인된다 (Table 3, Figure 2C). 이는 유적별로 연관성을 보이지는 않으나 능산리사지 출토 치미의 경우 모두 같은 그룹에 속하며, 앞서 언급한 도식의 결과와 같이 시료간의 유사성이 확인된다. 다른 유적 출토 치미는 서로 혼재되어 있어 출토지별로 유사한 태토가 사용되지 않았을 가능성이 높으며 분석 시료 4점 중 각각 2점씩 구분되는 경향이 확인된다. 한정된 시료이기 때문에 해당 결과를 보편화할 수는 없으나 출토지별로 치미가 같이 제작되었을 가능성은 낮으며 원료를 수집할 때 여러 곳에서 채취했을 가능성이 제기된다.

제계르식 분포에서 $\text{R}_2\text{O} + \text{RO}$ 는 0.26~0.52 mole로 비교적 유사하나 RO_2 에서 3.53~8.21 mole의 범위를 보여 분산되는 양상이 확인된다(Figure 2D). RO_2 의 값은 주로 절대함량이 많은 SiO_2 에 의해서, $\text{R}_2\text{O} + \text{RO}$ 는 용융제로 작용하는

산화물의 전체 함량비로 생각할 수 있다(Lee, 1998). 특히 군수리사지 출토 치미가 가장 많이 분산되어 있고 능산리사지와 구아리사지 출토 치미가 상대적으로 조밀한 양상을 보인다. 따라서 군수리사지 치미 제작에 사용된 점토의 주제와 용융제 함량이 가장 상이하고 능산리사지와 구아리사지 출토 치미가 점토 간 유사성이 높다.

3.1.2. 미량 및 희토류 원소

태토의 10가지 주원소를 제외한 다른 미량성분원소는 크게 미량원소와 희토류원소로 구분할 수 있다. 미량원소는 지구화학적인 특성으로 인해 기원 마그마에 밀접한 영향을 받기 때문에 주성분 원소에 비하여 암석의 기원지에 대한 유용한 정보를 제공한다(Jang *et al.*, 2007). 다변량통계분석을 통해 살펴보면, 주성분 1과 2의 누적기여율은 43.1 %로 낮은 편이고 출토지별로 분류되는 양상이 확인되지 않는다. 출토지별 혼재도는 주성분에 비해 높은 것으로 판단되며 크게 4점(gs-2, 4, ns-2, bs-3)이 가장 넓게 분산된

Table 4. Trace and rare earth elements composition of analyzed samples

Sample number	gs-1	gs-2	gs-3	gs-4	ns-1	ns-2	ns-3	ns-4	ga-1	ga-2	ga-3	ga-4	jn-1	jn-2	jn-3	jn-4	bs-1	bs-2	bs-3	bs-4
Ba	440.7	659.5	630.7	292.8	553.5	574.7	549.1	612.4	539.5	534.5	634.0	681.9	626.7	531.9	504.3	672.4	525.7	449.4	833.4	584.6
Sr	78.3	120.3	58.9	17.7	68.1	86.1	81.6	92.3	54.9	56.0	115.8	85.7	74.2	66.7	56.4	77.8	78.5	51.0	96.0	72.6
Sc	9.19	12.11	10.86	19.08	7.42	11.48	15.00	14.97	14.03	16.01	15.66	13.53	13.46	13.54	10.42	11.84	8.20	12.99	9.48	13.80
V	127.9	100.1	83.5	80.8	118.4	109.4	111.6	123.5	100.1	108.3	142.6	112.0	110.1	96.8	89.3	102.3	124.5	102.8	132.4	113.1
Cr	92.2	73.9	148.5	66.9	85.6	85.4	93.5	100.5	100.0	138.9	84.7	75.2	78.8	87.3	78.3	75.8	84.4	77.3	83.8	103.5
Co	32.20	61.58	17.40	9.67	25.60	31.48	22.05	31.63	7.69	10.51	15.92	37.63	32.71	15.56	19.98	32.89	15.77	13.40	30.16	14.43
Ni	30.9	28.6	29.9	21.8	33.8	34.4	38.6	42.0	28.8	39.6	35.3	30.8	31.2	31.4	31.2	31.9	26.2	21.4	33.2	30.6
Cu	12.7	16.6	13.4	14.2	28.0	14.4	17.3	20.1	18.6	16.4	19.7	21.5	23.7	22.6	10.4	23.5	18.9	15.6	84.5	19.1
Zn	78.0	81.8	34.0	39.9	73.6	63.0	69.5	59.0	53.8	48.1	75.8	89.8	100.0	78.3	75.1	81.8	49.6	48.4	117.8	64.8
Ga	23.8	22.2	16.3	16.4	23.8	21.3	25.8	21.9	24.2	23.8	25.1	26.9	27.7	27.0	21.9	26.8	20.8	27.0	28.0	24.7
Rb	113.2	161.6	90.4	119.5	105.1	132.6	118.9	144.8	130.7	137.4	147.4	151.4	142.1	143.5	135.4	150.1	118.0	128.0	123.4	145.5
Y	5.82	16.06	26.46	1.69	8.46	20.64	27.41	31.73	21.00	18.46	30.36	21.80	12.76	17.43	20.49	17.48	7.87	23.14	9.34	18.42
Zr	82.4	66.3	89.2	73.7	81.5	61.0	94.0	78.7	79.0	73.8	106.0	68.1	62.1	89.7	89.1	62.0	738.6	88.5	68.4	76.4
Nb	43.4	78.7	36.3	41.8	34.1	31.8	857.6	35.9	35.1	36.6	35.4	42.1	42.7	45.0	53.8	43.5	38.2	52.5	42.9	36.4
Mo	0.29	1.78	-0.02	0.19	0.10	1.18	0.28	0.49	0.29	0.46	1.02	0.10	0.13	0.26	0.28	0.13	0.45	0.56	0.31	0.16
Sn	3.44	22.07	1.59	3.67	3.06	7.41	3.45	2.39	3.55	1.06	2.62	4.71	3.43	2.82	2.69	3.41	4.74	1.70	2.51	5.02
Sb	0.53	1.70	0.74	0.56	1.13	0.56	1.05	1.02	0.60	3.90	0.84	0.76	0.54	0.87	0.75	0.67	0.77	0.95	0.69	0.92
Cs	6.58	7.13	5.24	5.95	7.49	7.36	7.32	8.13	6.21	5.92	7.88	7.84	7.84	7.77	6.62	7.79	6.71	6.95	6.18	7.84
La	7.45	20.67	44.56	1.23	12.49	35.20	35.05	53.44	34.67	43.38	46.09	38.55	20.45	21.70	27.20	30.01	8.74	37.71	16.26	26.98
Ce	20.81	50.67	83.10	2.74	29.93	71.06	70.11	102.76	65.81	84.89	83.40	84.79	48.05	50.94	56.72	66.96	24.18	72.05	41.87	63.77
Pr	2.89	5.47	10.46	0.38	4.29	8.90	9.71	11.74	8.89	8.74	10.51	10.18	6.14	6.16	6.66	8.51	3.11	8.36	4.86	7.33
Nd	11.38	20.86	38.07	1.51	17.37	33.73	37.02	43.90	31.99	32.06	37.84	37.33	24.48	24.77	23.73	30.52	12.15	31.83	19.52	27.34
Sm	2.59	4.44	6.51	0.36	3.82	6.51	7.35	7.42	6.15	5.48	7.46	6.96	4.68	5.36	4.47	5.83	2.95	5.95	3.86	5.61
Eu	0.60	0.84	1.44	0.07	0.74	1.25	1.43	1.53	1.09	0.92	1.67	1.44	0.97	0.92	0.68	1.30	0.53	0.92	0.85	1.00
Gd	2.29	3.64	6.43	0.35	3.40	5.98	7.14	7.71	5.29	4.91	7.05	6.61	4.32	5.15	4.56	5.76	2.44	5.71	3.49	4.80
Tb	0.36	0.56	0.94	0.04	0.52	0.87	0.98	1.07	0.84	0.58	1.04	0.88	0.63	0.80	0.68	0.72	0.40	0.82	0.52	0.68
Dy	2.19	3.32	5.12	0.40	3.18	4.58	5.95	5.99	4.16	3.51	5.53	4.97	3.50	4.36	4.05	3.97	2.55	4.36	3.28	3.91
Ho	0.43	0.67	0.95	0.06	0.63	0.92	1.16	1.14	0.82	0.66	1.14	0.91	0.70	0.87	0.83	0.75	0.55	0.88	0.65	0.73
Er	1.40	1.94	2.82	0.34	1.67	2.54	3.16	3.20	2.42	1.84	2.77	2.75	1.99	2.71	2.45	2.39	1.60	2.52	1.86	2.13
Tm	0.22	0.27	0.36	0.06	0.26	0.34	0.43	0.43	0.30	0.25	0.40	0.36	0.30	0.36	0.28	0.31	0.20	0.29	0.27	0.32
Yb	1.31	1.86	2.41	0.39	1.70	2.13	2.88	2.74	1.96	1.62	2.47	2.50	1.97	2.32	2.10	2.29	1.50	2.21	1.65	2.02
Lu	0.18	0.26	0.36	0.05	0.21	0.28	0.41	0.34	0.28	0.23	0.35	0.32	0.26	0.33	0.31	0.27	0.22	0.33	0.21	0.29
Pb	30.02	24.51	22.25	31.10	31.99	28.12	34.65	29.63	29.42	32.06	35.50	35.02	33.40	35.36	33.78	32.39	38.77	40.11	46.67	28.32
Th	8.30	15.80	14.11	4.46	6.74	15.75	17.69	19.04	18.37	20.45	17.90	19.11	13.00	16.36	16.21	14.84	9.16	25.35	10.19	16.18
U	3.32	3.61	3.11	3.57	4.14	3.63	4.45	3.81	4.29	4.12	5.67	5.51	5.53	5.41	4.06	5.51	4.11	6.81	7.23	3.84

Unit: ppm.

Figure 3. Principal component analysis (PCA) of trace elements composition on selected sherds in this study.

Figure 5. Geochemical variations of rare earth elements composition on selected sherds in this study.

Figure 4. Major and trace elements composition of analyzed samples. (A) K_2O -Rb and (B) CaO-Sr.

것으로 확인된다(Table 4, Figure 3). bs-3는 $SiO_2-Al_2O_3$ 도식에서 확연히 도드라졌던 시료이며 gs-2, 4는 K_2O -CaO에서 다른 양상을 보였다. 단, ns-2의 경우 주성분에서 주된 치미 성분과 유사하게 확인되던 시료로서, 주성분에서 확인할 수 없었던 특이성이 관찰된다. 또한 Fe_2O_3 의 함량으로 구분된 low group 8점 중 7점이 군집을 이루는 양상을 보인다. 제외된 1점은 gs-4로 본 도식에서 가장 음의 상관관계를 갖는 특징을 갖는다.

미량원소 중 Sr은 회장석에서 Rb은 정장석에서 농집되는 것으로 알려져 있어(Kang and Choi, 2000) 연구대상인 치미의 태토에서도 광물학적 사실 관계를 살펴보기 위해 추가적으로 K_2O -Rb, CaO-Sr 함량 관계를 검토하였다(Figure 4). K_2O -Rb은 전반적으로 일직선으로 비례관계를 나타내기 때문에 주성분원소와 미량원소의 관계가 잘 나타난 것으로 판단되나 CaO-Sr 함량은 상대적으로 분산된 것으로 확인된다. 또한 군수리사지 출토 치미는 K_2O -CaO 도

식에서 큰 차이를 보였는데 이는 미량원소와의 관계에서도 명확히 확인된다. 대부분의 시료는 K_2O -Rb의 그래프에서 확인되듯이 정장석의 영향을 많이 받았을 가능성이 높으며 용융제로는 알칼리장석을 사용했을 것으로 판단된다.

희토류원소는 일반적으로 자연계에서 모두 3개로 존재하는 등 상호간에 물리적, 화학적 성질이 아주 유사하며 규칙성을 가지고 거동하는 특성을 가진다. 또한 동일기원 물질일 경우에는 본래의 희토류원소 분포도(rare earth elements pattern, REE pattern)는 거의 변하지 않는 지구화학적 특성을 갖기 때문에 이 분포도는 태토 원료의 산지 추정에도 유용하게 이용할 수 있다(Lee *et al.*, 2008). 희토류원소의 분포패턴은 군수리사지 출토 치미 1점(gs-4)이 가장 도드라지는 특징을 보이며 질량이 무거운 Pb, Th, U를 제외한 다른 희토류원소에서 함량이 낮은 양상이 확인된다(Table 4, Figure 5). 이를 제외한 시료는 출토지와 가시적 특징에 상관없이 유사한 경향을 보인다.

Figure 6. X-ray powder diffraction patterns of analyzed samples.
Q; Quartz, M; Mica, Mi; Microcline, A; Albite, H; Hercynite, Mu; Mullite.

Table 5. Classification type for mineral of analyzed samples

Group of name	Mineral of detect	Sample number
Group 1	Quartz, Mica, Microcline, Albite	bs-1~4, gs-3, 4, ns-1, 3, jn-2, 3, ga-1~3
Group 2	Quartz, Microcline, Albite, Hercynite	gs-1, ns-2, 4
Group 3	Quartz, Microcline, Albite, Hercynite, Mullite	gs-2, jn-1, 4, ga-4

3.2. 광물학적 특성

연구대상의 광물조성을 조사하기 위해 X-선 회절 분석을 실시하였고 그 결과는 Figure 6에 도시하였다. 분석 결과, 출토지에 따른 구분 없이 대부분의 시료에서 석영(Q), 운모(M), 정장석(Mi), 조장석(Ai)이 확인된다. 일부 시료는 헤르시나이트(H)와 몰라이트(Mu)가 검출되며 해당 광물이 확

인되는 시료는 운모와 장석류가 확인되지 않거나 비교적 약한 회절 강도를 보인다. 치미 원료에 많이 함유되는 점토 광물은 550℃ 이상의 온도에서 결정을 잃고 비정질로 존재하다가 1000℃ 이상에서 몰라이트 결정이 새롭게 생성되기 시작하고 1200℃ 이상에서 성장이 점차 두드러지며 헤르시나이트 결정은 950℃부터 나타나 1150℃까지 그 함량을 유지하다 1200℃가 되면 분해된다(Lee *et al.*, 1998). 운모와 장

석류의 경우, 900~1100°C 이하의 온도에서 안정하며 그 이상의 온도에서는 결정을 잃는다(Jang and Lee, 2010; Kim and Lee, 2012). 헤르시나이트(H)는 비교적 기질이 치밀했던 시료 중 속심이 회색 및 흑회색을 띠던 3점(gs-1, ns-2, 4)에서 확인되며 운모의 회절선은 검출되지 않는 특징을 보인다. 물라이트(Mu)가 검출되는 시료는 총 4점(gs-2, ga-4, jn-1, 4)으로 육안 관찰에서 속심이 붉은색 및 흑회색을 띠고 기질이 상대적으로 치밀한 것으로 확인되었다.

본고의 연구대상 시료는 검출된 광물에 따라 총 3개의 유형으로 구분된다(Table 5). Group 1은 석영, 장석류, 운모류가 검출되었고 group 2는 석영, 장석류, 헤르시나이트, group 3은 석영, 장석류, 헤르시나이트, 물라이트가 확인된다. Group 1은 점토광물은 확인되지 않으나 운모가 확인되는 시료로써 550~900°C 이하의 온도에서 소성되었을 가능성이 높으며 group 2는 운모가 확인되지 않으면서 헤르시나이트가 검출되어 950~1150°C, group 3은 물라이트가 검출되어 1000~1150°C로 비교적 높은 소성온도 범위를 갖는 것으로 추정된다. 본 분석결과만을 가지고 정확한 소성온도를 확인하기에는 어려움이 있으나 group 3, group 2, group 1 순으로 낮아질 것으로 가능성이 높다. 다른 유적 출토 치미는 group 1~3 분산되는 양상을 보이나 부소산사지 출토 치미의 경우 group 1로 모두 동일한 양상이 확인된다. 또한 앞서 확인한 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 의 도식에서 Fe_2O_3 이 5 wt% 이상 검출되는 치미가 group 2, 3에 속하는 시료와 동일한 경향이 확인된다. 치미의 구성 광물에 따른 소성온도의 차이는 치미를 제작한 기술적인 요건에 기인하다고 볼 수 있으며 제조 기술 요건에 따라 품질에 영향을 주게 된다. 본 유적에서 출토된 치미는 각각 제조 기술에 차이가 있으며, 그 결과에 따라 유적별로 치미 태토의 구성 광물과 재질적인 특성이 다양성을 갖는 것으로 추정된다.

4. 결 론

본 연구는 사비백제시기 사찰지에서 출토된 치미 시료 20점을 대상으로 화학 및 광물학적 분석을 실시하여 시료의 특성 및 상관관계를 살펴보고자 하였다.

1. 사비백제시기 사찰은 부여 관내에 총 25지점이 확인되며 이는 위치에 따라 궁성지구, 중부지구, 서남지구, 나성 밖으로 구분된다. 분석 대상으로 선정한 치미가 출토된 사찰은 궁성지구 2곳, 중부, 서남, 나성 밖에서 각각 1곳이다. 창건 시기별로 살펴보면 6세기 초 군수리 사지, 567년 능산리 사지, 6세기 후반 구아리 사지, 7세기 전반 정림사지, 7세기 전·중반 부소

산사지로 추정된다.

2. 사비백제 사찰지에서 사용된 치미는 1점(gs-4)을 제외하고 유사한 희토류원소 분포도 패턴을 보이기 때문에 성인적으로 동일한 기반암으로부터 생성된 점토를 원료로 사용하였을 가능성이 높다. 그러나 치미에 따라 주성분 및 미량원소 조성이 다르기 때문에 동일 기반암이라 할지라도 차별화된 풍화과정을 겪었거나 제작방법에서 차이가 있었을 것으로 추정된다.
3. 능산리사지 출토 치미를 제외한 시료들은 화학 및 광물학적 특성에서 서로 군집되지 않는 경향을 보여 출토지별 원료물질의 동질성은 낮은 것으로 판단된다. 따라서 치미는 사찰 창건 시 한 번에 제작되었을 가능성은 낮다고 추정된다. 특히 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 도식과 구성광물에서 시료가 확연히 구별되는 특징이 관찰되어 2회 이상 치미가 제작되었을 가능성이 높다. 또한 검출되는 광물로 보아 Fe_2O_3 의 함량이 높은 시료가 상대적으로 높은 소성온도를 경험했을 것으로 추정된다.
4. 능산리사지 출토 치미 4점은 다른 치미와 달리 주성분에서 서로 군집되는 양상이 확인된다. 특히 광물학적 특성을 고려하면 ns-1, 3과 ns-2, 4 시료가 그 중에서도 서로 매우 유사한 경향을 보인다. 하지만 미량원소의 PCA 결과, ns-2와 ns-4가 각각 분산되는 양상이 확인되어 능산리사지 출토 치미는 제작 방법은 유사하지만, 원료는 다양한 지역에서 수급하였을 가능성이 있다. 따라서 능산리사지는 다른 사찰들과 다르게 같은 시기에 동일한 제작방법으로 치미를 제작했을 가능성은 높으나, 서로 다른 원료를 사용했을 것으로 사료된다.
5. 사비백제시기 사찰지 출토 치미의 특성을 이해할 수 있는 기초자료로서 본 연구 자료가 활용될 수 있을 것으로 사료되며, 향후 해당 지역의 지질환경 및 시료의 미세조직적 특성분석을 통해 사비기 치미의 특성 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Buyeo National Research Institute of Cultural Heritage, 2008, Research report of Baekje's temples. (in Korean)
- Cho, W.C., 2012, Chronology and use place of large-sized chimi at Hwangryongsa site. Prehistory and Ancient History, 33, 39-62. (in Korean with English abstract)
- Hong, B.E., 2018, A study on the ridge-end tile, unearthed from the Buddhist temple of the Baekje period. Journal of Baekje Culture, 59, 169-198. (in Korean with English abstract)
- Jang, S.Y. and Lee, C.H., 2010, Mineralogical and geochemical

- characteristics of ancient field soil in Jeongdongri as ceramic raw materials of the Baekje kingdom. *Economic and Environmental Geology*, 43(6), 543-553. (in Korean with English abstract)
- Jang, Y.D., Park, T.Y., Lee, S.M. and Kim, J.J., 2007, Petrologic and mineralogic studies on the origin of paleolithic obsidian implements from Wolseongdong, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28(6), 731-740. (in Korean with English abstract)
- Kang, K.I. and Choi, Y.K., 2000, Body composition of ancient roofing tiles excavated from Chonnam province. *Journal of Conservation Science*, 9(1), 11-20. (in Korean with English abstract)
- Kim, R.H. and Lee, C.H., 2012, Interpretation of remaking environments for pottery and material characteristic changes depending on firing experiments for ancient clay: Yongam site in Ssangyongdong of Cheonan, Korea. *Journal of Conservation Science*, 28(3), 193-204. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.G., Kim, K.H. and Kim, J.K., 2008, Variation of rare earth element patterns during rock weathering and ceramic processes: A preliminary study for application in soil chemistry and archaeology. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 17(3), 133-143. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.J., Kim, Y.J. and Moon, H.S., 1998, An investigation of the transformation sequence from kaolinite to mullite. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 11, 32-44. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.E., 1998, Compositional and microstructural study of Choson punchong. Ph.D. dissertation, Chung-ang University, Seoul, 21-21. (in Korean with English abstract)