비파괴 분석을 활용한 공주 대통사 추정지 출토 주칠흔 기와의 제작기술 검토

Consideration of Making Techniques for Red Painted Roof Tiles from Presumed Site of Daetongsa in Gongju Using Nondestructive Analysis

이찬희^{1,*}, 이규혜¹, 정제원²

¹공주대학교 문화재보존과학과, ²충청남도역사문화연구원

Chan Hee Lee^{1,*}, Gyu Hye Lee¹, Je Won Jung²

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

²Chungcheongnam-do Institute of History and Culture, Gongju 32589, Korea

Received June 30, 2020

Revised September 28, 2020

Accepted September 29, 2020

*Corresponding author

E-mail: chanlee@kongju.ac.kr

Phone: +82-41-850-8543

Journal of Conservation Science
2020;36(5):315-325

<https://doi.org/10.12654/JCS.2020.36.5.02>

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 대통사는 삼국시대 사찰 중에서 가장 이른 시기에 창건된 것으로 알려져 있다. 창건주체와 목적 및 사찰명 등은 고문헌과 공주지역에서 출토된 ‘대통’ 명의 유물에서 확인할 수 있으나, 사찰의 위치와 사역에 대해서는 다양한 논의가 진행 중이다. 이 연구에서는 공주 반죽동 일대의 대통사 추정지에서 출토된 주칠흔(적색안료) 기와에 대해 비파괴 분석으로 제작기법을 검토하였다. 연구대상 기와의 등면에는 주칠흔이 선명하며, 원료는 정선과정을 거친 것으로 나타났다. 또한 태토를 점토판으로 제작하여 와통에 포목을 둘러 붙이는 방식으로 성형하였으며, 일부 기와는 모골와통을 활용한 것으로 판단된다. 한편 등면에서 나타나는 주칠흔의 산출상태와 조성으로 볼 때 산화철을 주성분으로 하는 석간주 또는 주토를 활용한 단청 안료로 해석된다. 고문헌에 알려진 석간주의 산출지는 공주에서 원거리에 있으나, 산화철은 다수의 암석에서 비교적 쉽게 나타나는 물질로서, 근거리의 원료수급과 관련하여 대통사 추정지를 중심으로 추가적인 검토가 필요하다.

중심어 대통사, 기와, 주칠흔, 안료, 산화철

ABSTRACT The Daetongsa temple is the earliest temple to be constructed during the era of the Three Kingdoms in ancient Korea. The main architect, purpose, and name of the temple have been confirmed through ancient literature and archeological materials carved in the Chinese letter, *Daetong*, excavated around Gongju. However, the location and range of the temple have remained elusive and were discussed in various studies. In this study, we examine the roof tiles obtained from the presumed site of the Daetongsa temple. The tiles were found to contain traces of red paint (red pigments) on their surface and analyzed using nondestructive techniques. The results imply that roof tiles were made using clay tablets and wooden cylinders, with latticed cloth in between. Additionally, some wooden cylinders appeared to comprise numerous wooden plates tied together by strings. The clay tablets used to make the roof tiles were produced from the source clay via the sorting process. The traces of red paint on the surface of the roof tiles were verified to be traditional pigments used for painting wooden buildings. These pigments were extracted from red ochre or red clay (Seokganju), mainly consisting of iron oxide. In the literature, the location of provenance sites for Seokganju is estimated to be far from Gongju. However, the materials for extracting the red pigments were relatively easy to source because most rocks comprised iron oxides. Therefore, it is necessary to discuss the provenance of the red pigments around the presumed site of Daetongsa.

Key Words Daetongsa, Roof tile, Traces of red paints, Pigments, Iron oxides

1. 서 언

대통사는 삼국시대 사찰 중에서 가장 이른 시기에 창건된 것으로 알려져 있어, 당대 건축양식과 재료 및 기술 등 고고학적 연구에 매우 중요하다. 사찰명과 창건 주체 및 목적 등은 고문헌을 통해 확인할 수 있으며, 공주지역에서 출토된 ‘대통’ 명의 유물들이 사찰의 위상을 뒷받침하고 있다. 그러나 정확한 위치와 사역의 범위는 다양한 논의가 이루어지고 있으며, Seo(2019)는 공주 반죽동의 감영길 북쪽에서 공주문화원까지의 범위에 대통사가 있었을 것으로 제시하였다.

오늘날 공주 공산성 성안마을 건물지와 반죽동 일대에서 ‘大通寺’ 또는 ‘大通’ 명이 시문된 벼루와 기와 등이 출토되어, 문헌에 등장하는 대통사의 존재를 입증하고 있다. 특히 반죽동 일대에서 출토된 기와 표면에서는 인위적인 주칠흔 관찰되어 아주 주목받고 있다. 이 기와 중에서 반죽동 197-4번지에서 출토된 지두문암막새의 주칠흔에 대하여 Cho(2019)는 연합의 단청 채색과정에서 묻어난 것으로 설명한 바 있다.

붉은색을 발현하는 전통안료로는 주사, 석간주, 산화철, 연단, 옹황 및 연지 등이 있는 것으로 알려져 있고, 비파괴 또는 극미량의 시료를 활용한 다수의 자연과학적 분석이 수행되어 왔다(Han *et al.*, 2011; 2014; Kim and Lee, 2019; Lee *et al.*, 2012; 2017; 2019; Song *et al.*, 2016; Yun and Chang, 2016). 이들은 대부분 사찰의 단청, 벽화 및 회화 등이 대상이며, 출토 토제유물에서는 Choi and Lee(2012)가 보고한 익산 미륵사지 출토 수막새 주칠에서 석간주가 보고된 바 있다.

이 연구에서는 다양한 비파괴 분석법을 적용하여 대통사 추정 발굴지에서 출토된 주칠 기와의 특성을 파악하고, 동시에 표면의 주칠흔을 분석하였다. 최근 반죽동 일대에서는 기와를 비롯하여 다수의 토제유물이 출토되었으나, 대통사와 관련한 고고물질 자료에 대한 자연과학적 연구는 없었다. 따라서 이 연구결과는 대통사 축조에 사용된 것으로 보이는 삼국시대 기와 및 대통사의 단청유무와 함께 당대의 안료특성에 대한 기초자료가 될 것이다.

Figure 1. Location and plan view of each site excavated roof tiles from Banjuk-dong in Gongju.

2. 대상 및 방법

이 연구의 대상은 공주시 반죽동 대통사 추정 발굴지 두 곳에서 출토된 기와 3점이다. 각 발굴지는 반죽동 176 및 197-4번지로 모두 반죽동 당간지주 북측의 제민천 서측에 위치하며, 197-4번지가 보다 서쪽에 해당한다. 기와 3점 중에서 2점은 176번지에서, 1점은 197-4번지에서 출토되었으며 197-4번지 기와는 Cho(2019)에 의해 보고된 바 있다(Figure 1).

연구대상 기와는 암기와 및 암막새로 각각 발굴기관으로부터 제공받았으며, 모두 부분적으로 결실되어 있다(Table 1, Figure 2). 기와 2점(DT-2, DT-3)은 상부에 점토를 덧붙인 장식부가 확인되는 반면, 다른 1점(DT-1)에서

는 나타나지 않는다. 모든 기와는 공통적으로 등면에서 횡방향의 주철혼이 나타나며, 배면에서는 포목흔이, 측면에서는 와도흔이 관찰된다.

이 중에서 2점(DT-1, DT-3)의 기와는 모든 면이 담황색을 띠는 반면 나머지 1점(DT-2)은 등면에서는 담황색이 두드러지나, 배면 및 측단면에서는 암회색과 적황색으로 나타난다. 한편 197-4번지 출토 기와의 평균 두께는 21.46 mm로, 각각 16.14 mm 및 14.36 mm의 평균 두께를 보이는 176번지 출토 기와에 비해 상당히 두껍다.

이 연구에서는 비파괴 기법으로 연구대상 기와와 등면에서 관찰되는 주철혼을 분석하였다. 이를 위해 디지털 캘리퍼스 및 면선토색칩 등을 활용하여 육안관찰을 수행하였다. 육안으로 확인되지 않는 특징은 투과 X-선으로

Table 1. Descriptions on roof tiles from the presumed site of Daetongsa

Address of site	Sample name	Thickness (mm)	Munsell Color			MS*
			Back	Ventral	Core	
176	DT-1	13.86~18.42	2.5Y 8/3	2.5 8/2	2.5Y 8/2	1.709
				2.5YR 6/6	2.5YR 6/6	
	DT-2	10.07~18.55	10YR 7/3	5YR 6/6	5YR 6/6	1.219
			10YR 5/1	2.5Y 4/1	2.5Y 4/1	
197-4	DT-3	18.62~23.89	7.5YR 7/4	10YR 7/3	10YR 7/3	3.474
			10YR 8/3			

* MS(magnetic susceptibility): mean data of 30 times measurements

Figure 2. Samples showing the studied roof tiles from the presumed site of Daetongsa. Each dotted lines means the trace of red paintings observed on the surface in backside. Sample numbers are the same as those of Table 1.

촬영(Softex, M-150, JPN)하였으며, 태토의 미세자기적 특성 분석을 위해 전암대자율을 측정하였다. 대자율은 ZH Instrument사의 SM-30(CZE)을 이용하여 각각 30회씩 측정하였으며, 단위는 10^{-3} SI unit으로 표기하였다. 또한 기와의 태토를 대상으로 분광측색계(Konica Minolta, CM-2600d, JPN)를 활용하여 CIE Lab 좌표의 정량적인 색도 값을 획득하였다.

기와에 대한 태토의 구성과 주철흔의 표면상태를 파악하기 위해 휴대용 실체현미경 관찰을 수행하였으며, 휴대용 X-선 형광분석기(Oxford Instruments, X-MET 7500, USA)를 활용하여 각 지점의 화학조성을 분석하였다. 등면에서 관찰되는 주철흔은 접착력을 약화시킨 테이프로 극미량의 시료를 획득하여 에너지분산형 성분분석기(EDS, Oxford INCA M/X, USA)가 부착된 전계 주사전자현미경(FE-SEM, JEOL JSM-6335F, JPN)을 통해 원소조성을 분석하였다.

3. 결과 및 해석

3.1. 실체현미경 관찰

연구대상 기와의 산출상태와 표면특성을 검토하기 위해 모든 면에 대하여 휴대용 실체현미경 관찰을 수행하였다(Figure 3). 이 결과, DT-1 기와는 전반적으로 치밀한 태

토를 보이거나 일부 박락부에서 1 mm 미만의 세립질 석립이 확인되며, 투과 X-선을 통해서도 아원형의 석립이 관찰된다. 따라서 이 기와는 파손된 측면이 모두 마모되어 내부조직 관찰은 어려우나, 세립질 석립이 다소 포함되어 있음을 알 수 있다(Figure 3A-C).

다른 2점의 기와는 파단면의 마모도가 낮아 단면에서 석립 분포양상이 잘 드러나며, 1~3 mm의 유사한 분급을 보인다. DT-2 기와에서는 아각형 내지 각형으로 원마도가 비교적 다양하게 나타나는 반면(Figure 3D-H), DT-3 기와는 각형을 중심으로 관찰되어 차이를 보인다(Figure 3I-L). 석립의 상대적인 함량 또한 DT-3이 적은 것으로 확인된다.

모든 기와의 배면에서 나타나는 포목흔은 전반적으로 포목 한 칸의 길이가 약 1 mm 내외를 보인다. DT-1은 직사각형, DT-3은 정사각형이며 DT-2에서는 두 가지의 형태가 모두 관찰된다(Figure 3F, 3G). 따라서 각 기와의 제작에 사용한 포목은 약간의 차이가 있으며, DT-2 기와에는 최소 2종류의 포목이 활용되었을 가능성이 높다.

한편 모든 기와의 등면에서 황으로 나타나는 적색의 주철흔은 시료에 관계없이 매우 유사하며, 시간적으로 색상이 옅은 부분은 해당 물질의 박락에 의한 것이다. 또한 높은 밀도를 보이는 부분에서는 광택이 있다(Figure 3C, 3H, 3L). 실체현미경으로 관찰되는 조직으로 보아 기와의 제작이 완료된 이후 표면에 형성된 것이며, 전체적으로

Figure 3. Photographs showing the representative portable microscope of the studied roof tiles. Among these, photographs of (C), (H) and (L) show states for traces of red paintings. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Figure 4. Radiographic photographs of the studied roof tiles. Sample numbers are the same as those of Table 1.

직선형으로 나타나는 것으로 볼 때 Cho(2019)가 제시한 바와 같이 단청의 채색과정에서 발생하였을 가능성이 높은 것으로 판단된다.

3.2. 투과 X-선 조사

X-선은 피사체를 투과할 때 밀도에 비례하여 흡수하는 특성이 있어, 고대 세라믹류 등 다양한 유물의 문양, 내부 결합 및 구조와 조직의 해석에 활용되어 왔다(Kim *et al.*, 2012). 이 연구에서도 대통사 추정지 두 지점에서 출토된 기와의 제작기법과 내부결합 등을 확인하기 위해 투과 X-선 촬영을 수행하였다. 특히 DT-2 및 DT-3 기와의 이미지는 분석에 활용한 장비의 촬영 범위와 한계로 인하여 수회 촬영한 후에 획득한 사진을 병합한 것이다(Figure 4).

이 결과, 연구대상 기와에서 특별한 문양은 나타나지 않았으나, DT-2 및 DT-3 기와에서는 상대적으로 상부에 잔존하는 장식부의 밀도가 높은 것으로 확인되었다. 또한 모든 기와에서 뚜렷한 와통흔을 볼 수 있으며, DT-2 기와의 중앙부에서 선명한 모골흔이 관찰되는 것으로 보아 기와는 모골와통을 활용하여 제작한 것으로 판단된다(Figure 4). 한편 DT-3 기와의 중앙부에는 횡으로 이어지는 한 줄의 점선이 있다. 이 배면에서는 포목흔이 나타난 것으로 보아 기와의 제작에 활용한 포목의 조직과 관련이 있는 것으로 해석된다.

3.3. 색도 및 전암대자율

연구대상 기와는 동일 시료에서도 등면과 배면 및 단면 등 위치에 따른 색상 차이가 나타나며, 이는 구성 재료와 소성과정의 차이가 반영된 것으로 판단된다. DT-2 기와는 육안으로도 색상차이가 두드러지는 반면 DT-1 및 DT-3은 불분명하다. 따라서 각 기와의 모든 면에서 10회씩 색도 값을 획득하여 전체 평균을 기준으로 각 면의 색차를 산출하고, 이를 히스토그램에 도시하여 기와별로 태

Figure 5. Diagrams showing the distribution for chrominances on body clay of the studied roof tiles. Sample numbers are the same as those of Table 1.

토 색상의 대표성을 검토하였다(Figure 5).

이 결과, DT-1의 색차는 등면 10.98, 배면 12.28, 단면 9.93으로 단면에서 가장 낮은 평균을 보이며 분포양상 역시 가장 낮게 나타나 단면이 기와의 색을 대표하기에 적합한 것으로 해석되었다. 육안으로도 색상 차이가 분명한 DT-2는 등면이 4.84, 배면이 4.72로 유사한 평균 색차가 확인되나 전체적인 양상으로 보아 배면이 가장 대표성을 갖는다. 한편 DT-3은 모든 면에서 색차분포가 가장 유사하게 나타나 위치에 상관없이 매우 균질한 색도를 띠며 4.05로 가장 낮은 평균 색차를 보이는 배면이 색상을 대표할 수 있는 것으로 판단된다.

색차를 통해 각 기와의 색상을 대표할 수 있는 면은 DT-1은 단면, DT-2 및 DT-3은 배면으로 확인되었다. 해당

Figure 6. Diagram showing the magnetic susceptibility for body clay of the studied roof tiles. Sample numbers are the same as those of Table 1.

면에서 기와별 색도 값을 비교한 결과, 명도(L^*)는 각각 48.95, 60.04 및 58.83의 평균값을 보여 DT-2가 가장 밝은 색도를 띠는 것으로 나타났다. 적색도(a^*)는 각각 4.24, 6.93과 8.04, 황색도(b^*)는 13.05, 20.56 및 22.53의 평균값이 산출되어 DT-3의 기와가 상대적으로 적색 및 황색을 보였다.

한편 기와 태토의 미세자기적 특성을 파악하기 위해 각각 30회씩 전압대자율을 측정하였다. 이 결과, DT-1은 0.306에서 $2.570(\text{평균 } 1.709) \times 10^{-3}$ SI unit, DT-2는 0.730에서 $1.880(\text{평균 } 1.219) \times 10^{-3}$ SI unit, DT-3은 2.100에서 $5.070(\text{평균 } 3.474) \times 10^{-3}$ SI unit의 분포를 보여 DT-1과 DT-2는 유사한 값을 갖는 반면, DT-3은 상대적으로 높은 대자율 분포를 보였다(Figure 6).

태토의 산출상태와 색상 및 전압대자율 분포로 보아 동일 유적에서 출토된 DT-1과 DT-2 기와는 유사한 원료로 제작하였으나, 소성과정에서 약간의 색상차가 발생한 것으로 해석할 수 있을 것이다. 반면 DT-3 기와는 다른 두 기와와는 미세자기적 특성에 다소 차이가 있어 원료에도 차이가 있었을 가능성이 높다. 그러나 이는 비파괴 기법으로 정성적 특성을 분석한 것이므로 재료의 동질성에 대한 정량분석이 필요하다.

3.4. 태토의 정성분석

연구대상 기와를 구성하는 태토와 표면의 주철흔에 대한 화학조성 분석을 위해 휴대용 X-선 형광분석기(P-XRF)를 활용하였다. 총 38지점에 대한 정성분석 결과, 모든 기와의 태토에서 Si, Al, Fe, K, Ti 및 Ca 등 유사한 조성이 검출되었다. 특히 주요 구성원소인 Si와 Al의 함량은 기와에 상관없이 유사하게 나타나나, Fe는 DT-1에서 34,646 ppm, DT-2에서 49,128 ppm, DT-3에서 53,733 ppm의 평균값을 보여 상대적으로 DT-1에서 낮게 검출되

Figure 7. Diagrams showing the element contents for body clay of the studied roof tiles. Sample numbers are the same as those of Table 1.

었다(Figure 7).

K와 Ti는 DT-1과 DT-3의 태토에서는 유사한 함량을 보이나, DT-2에서는 각각 20,672 ppm과 5,878 ppm의 평균값을 보여 상대적으로 DT-2 기와의 K 함량은 높고, Ti 함량은 낮아 상이하게 나타난다. Mn 역시 DT-1과 DT-2에서는 각각 614 ppm과 885 ppm으로 비교적 낮은 평균 함량을 보이나, DT-3은 평균 1,237 ppm으로 상대적으로 높게 나타난다. P의 함량도 각각 2,717 ppm, 1,986 ppm 및 4,546 ppm의 평균값을 보여 다소 차이가 있다(Figure 7).

또한 S는 DT-3, Pb는 DT-2에서 검출되지 않아 기와별 태토의 화학조성에 차이를 보인다. 그러나 Pb는 두 기와(DT-1 및 DT-3)에서 각각 35 ppm과 4 ppm으로 미량 검출되며 차이는 미미하다. 따라서 연구대상 기와의 태토는 S와 Pb를 제외한 원소조성이 거의 동일하며, 주요 원소인 Si와 Al은 거의 동일한 함량을 보인다.

한편 부구성 및 미량원소의 함량에는 다소 차이가 확인되나, 전반적인 조성과 각 원소간의 함량 분포는 유사하게 나타난다. 이 연구에 적용한 비파괴 분석법의 한계를 고려할 때, 개별적인 함량 차이는 매장환경에 영향을 받았을 가능성도 있는 것으로 여겨지며 재료학적 동질성 검토를 위해서는 시료확보를 통한 정량분석이 필요하다.

3.5. 주철흔의 화학조성

주철흔이 나타나는 부분에서도 모두 Si 함량이 가장 높고 Al, Fe, K, Ca 및 Ti 등이 부구성원소로 검출되어 태토와 거의 동일한 조성을 보인다. 전체 기와의 태토에 대한 주철흔의 원소함량 비를 검토한 결과, 상대적으로 주철흔에서 Al과 K 및 Ti 함량이 낮은 반면, 그 외의 원소는 높은 함량이 검출되었다(Figure 8). 이 중에서 Pb의 함량 비가 3.29로 가장 높으나, 태토에서는 평균 13 ppm이, 주철흔에서는 평균 44 ppm으로 전반적으로 미량 검출되어

Figure 8. Diagrams showing the element contents for body clay and the traces of red paintings in the studied roof tiles. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Figure 9. Photographs showing the representative SEM-EDS for the traces of red paintings in the studied roof tiles. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Table 2. Analysis of SEM-EDS (wt.%) for body clay and the traces of red paintings in the studied roof tiles. Each numbers of analyzing point are presented on Figure 9

Point No.	1	2	3	4	5	Average
O	63.29	62.11	58.42	59.28	62.71	61.16
Si	22.43	21.42	12.28	1.30	22.56	16.00
Al	8.40	7.22	9.41	3.56	6.89	7.10
Fe	2.96	6.27	15.80	22.98	4.86	10.57
Ca	0.46	0.48	0.45	2.05	0.70	0.83
Mg	0.61	0.88	2.48	0.00	1.11	1.02
Na	0.00	0.64	0.00	0.00	0.40	0.21
K	1.26	0.97	0.86	0.31	0.77	0.83
Ti	0.59	0.00	0.29	0.00	0.00	0.17
Mn	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.06
S	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.04
P	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	2.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

의미를 해석하기에는 한계가 있다.

DT-2 기와의 태토에서는 Pb이 확인되지 않아 Pb이 주 칠흔의 발색원소로 작용하였을 가능성을 배제하기는 어렵다. 태토와 비교하였을 때 상대적으로 주칠흔에서 높은 함량을 보이는 원소는 Pb 외에도 S, Mn, Ca 및 Fe 등으로 함량비는 각각 2.40, 1.48, 1.34 및 1.24이다. 한편 모든 기와의 태토에서는 확인되지 않던 Cu가 주칠흔에서 평균 41 ppm으로 검출되어 특징적이다.

따라서 발색원소를 명확히 검토하기 위해 각 기와의 등면에서 주칠흔을 극미량 채취하여 주사전자현미경 관찰 및 에너지분광분석을 수행하였다(Figure 9, Table 2). 이 결과, Si의 평균 함량이 16.00 wt.%로 주성분을 이루는 것이 확인되었다. 또한 Fe의 함량이 평균 10.57 wt.%로 높게 검출되었으며, Al은 평균 7.10 wt.%의 함량을 보였다 (Table 2).

P-XRF 분석에서 태토에 비해 높은 함량차이를 보였던 Pb과 태토에서 확인되지 않던 Cu는 EDS 분석에서는 검출되지 않았으며, S과 Mn은 각각 평균 0.04 wt.%와 0.06 wt.%로 극미량 검출되었다. 이는 P-XRF 분석의 X-선 조사면적이 상대적으로 넓어 주칠흔에 극미량으로 함유되어 있던 Pb과 Cu가 함께 검출되었을 가능성이 있으므로 정량분석을 통해 규명되어야 할 것이다. 두 분석법을 통해 살펴본 결과, 연구대상 기와의 표면에서 나타나는 주칠흔의 발색은 철(Fe) 산화물에 의한 것으로 해석할 수 있다.

4. 고 찰

4.1. 제작기법 검토

공주 반죽동 대통사 추정지 두 곳에서 출토된 주칠흔 기와 3점은 부분적으로 결실되었으며 표면 박락부가 확인된다. 태토의 정밀관찰 결과, 반죽동 176번지 출토 기와(DT-1)에서는 1 mm 내외의 세립질 아원형 석립이 미량 관찰된다. 그러나 DT-2에서는 1~3 mm의 입도를 보이는 아각형 내지 각형의 석립이 다수 관찰되어 동일 유적에서 출토되었음에도 다소 차이가 있다.

반죽동 197-4번지 출토 기와(DT-3)는 대체로 1 mm 내외의 세립질 석립이 확인되나 일부 3 mm 반경을 보이며 모든 입도에서 각형을 띠어 다른 기와와 형태에서 다소 차이가 있다. 이와 같이 석립의 형태와 함량의 차이는 흙 고름 및 소지 준비 공정에서 약간의 차이가 있음을 지시하는 것으로, 전반적인 치밀도와 정선도는 DT-3 기와가 가장 우수한 것으로 나타났다.

기와의 전암대자율은 동일 유적에서 출토된 DT-1과 DT-2가 같은 범위를 갖는 것에 반해 DT-3은 다소 높아 상이하며, 적색도 및 황색도 역시 상대적으로 DT-3 기와가 높고, 화학조성도 약간의 차이를 보인다. 따라서 거시적으로 보아 기와의 태토는 유사하나 출토 유적에 따라 약간의 차이가 있었을 가능성이 높다. 또한 모든 기와에서 석립의 입도 및 형태에 차이가 있어 동일 유적에서도 기와제작에 활용한 원료에 다소 차이가 있다. 이는 기와

의 표면에 드러나는 특징을 기술한 것이므로 명확한 해석을 위해서는 태토에 대한 정량분석이 필요하다.

전통기와는 채토, 흙고름, 소지구성, 성형, 건조 및 소성 등의 단계를 거쳐 제작해 왔다. 채토는 원료수급을, 흙고름은 정선을 의미하며, 소지구성은 정선한 흙을 반죽하고 틀에 쌓아 올려 실이나 철사 등을 사용하여 성형하고자 하는 크기에 맞춰 적정량의 점토를 분리시키는 공정이다. 분리한 점토는 띠로 만들어 와통 주변에 쌓아올리거나 또는 점토판 형태로 와통에 붙여 모양을 성형하며, 이를 분할 및 건조한 후에 소성하는 것이 일반적이다(National Research Institute of Cultural Heritage, 1996; So, 2013).

연구대상 모든 기와의 배면에는 포목흔이 나타나는 것으로 보아, 와통에 포목을 두른 다음 점토판을 붙여 성형한 것으로 보인다. 포목흔은 약 1 mm의 격자를 이루고 정사각형 및 직사각형에 가까운 형태가 관찰되어, 기와의 성형에는 두 종류 이상의 포목이 활용된 것으로 여겨진다. 이 기와에는 약 2cm 간격으로 모골흔이 있어 최소 3cm 너비의 와통을 엮은 모골와통을 사용한 것으로 해석된다. 또한 모든 기와의 측면에 있는 와도흔으로 볼 때 와통에서 분리된 점토판은 와도를 사용해 적정 크기로 제단한 것으로 판단된다.

이 연구에서는 비파괴 분석만을 수행하여 기와의 소성온도 해석에는 어려움이 있다. 그러나 가장 균질한 색도 분포와 높은 태토 치밀도가 관찰되는 DT-3 기와는 비교적 고온의 안정적인 환경에서 소성된 것으로 추정된다. 반면 다른 두 기와는 색도의 차이가 나타나며, 특히 DT-2 기와는 육안으로도 두드러지게 상반되는 색상이 관찰되는 것으로 보아 소성단계에서 환경변화가 있었던 것으로 볼 수 있다.

또한 DT-2 기와의 단면에서는 석립과 함께 발달한 미세한 유동구조와 일정 방향으로 신장된 미세공극이 확인된다. 이는 고대 세라믹류에 대한 소성온도 해석을 위한 고고과학적 연구(Gim *et al.*, 2009; Jang and Lee, 2014; Kim *et al.*, 2010; 2012; Kim and Lee, 2012; Lee *et al.*, 2016)를 근거로 할 때, 구성광물의 변질 및 태토의 재결정화가 진행될 정도의 소성온도를 경험했음을 지시하는 특징이다.

Kim *et al.*(2010)은 소성실험을 통해 1,100°C부터 점토의 유리질화가 진행됨을 확인하였으며, Kim and Lee(2012)는 900°C에서 일부 광물의 변질이 발생하고 유리질화가 시작되어 1,050°C에서는 광물과 기질의 구분이 어려워짐을 보고하였다. 또한 Jang and Lee(2014)는 1,100°C부터 미세조직이 용융되기 시작하여 1,200°C에서 재결정화가 이루어진 것을 확인하였다. 이상의 선행연구로

Figure 10. Correlation between average Fe contents and red chromaticity for traces of red paintings in the studied roof tiles. Sample numbers are the same as those of Table 1.

보아 DT-2 기와는 1,000°C 내외의 소성온도를 경험하였을 가능성이 있다. 이는 Jang *et al.*(2008)이 보고한 공주지역 출토 백제시대 경질기와의 소성온도 범위와도 유사하다.

그러나 고대 세라믹류의 제작에는 원료 점토의 화학조성과 소성환경 등 다양한 요소가 복합적으로 영향을 미치므로 선행연구 및 비파괴 관찰을 통한 소성온도 추정에는 한계가 있다. 따라서 연구대상 기와에 대한 명확한 제작기법 해석을 위해서는 적절한 시편 획득을 통한 정량분석과 함께 고고과학적 실험이 병행되어야 할 것이다.

4.2. 주철혼 검토

연구대상 기와의 등면에서 나타나는 주철혼은 표면상 태로 보아 기와의 사용과정에서 표면에 흡착된 것으로 판단된다. 이에 대하여 Cho(2019)는 건축물 연함의 단청과 관련이 있는 것으로 보고하였다. 이 물질에 대한 P-XRF 분석결과, 태토에 비해 Pb, S, Mn, Ca 및 Fe의 함량이 높게 검출되었다. 또한 EDS 분석에서도 Si 및 Al와 함께 Fe이 주요 구성원소로 나타났으며, 적색도와 상관관계를 갖는 것으로 확인되었다(Figure 10).

따라서 연구대상 기와의 표면에서 확인되는 주철혼은 모두 산화철을 주성분으로 하는 것으로 해석할 수 있다. 전통 적색안료 중에 일종인 산화철은 철광물의 산화 또는 수산화 작용에 따라 생성되며 석간주로도 불리고 있다. 석간주를 비롯한 산화철은 다수의 암석에서 비교적 흔히 산출되므로 적색안료의 원료인 산화철의 획득에 큰 어려움은 없었을 것으로 판단된다.

또한 단청에 활용한 것은 아니나 Lee(2000) 및 Lee *et al.*(2003)은 공주 학봉리 가마터 출토 철화분청사기편의 적색 철화원료로 공주 반포면 학봉리 구무동굴 및 공암리 서고청굴에 분포하는 홍색장석화강암에서 획득한 자철

석과 황철석을 제시하기도 하였다. 따라서 보다 정량적인 성분 검토와 함께 기와의 출토지를 중심으로 명확한 원산지 검토가 이루어져야 할 것이다.

한편 대통사의 창건시기와 위치에 대해 지속적인 논의가 이루어져 왔으나, 가장 최근의 연구에 따르면 대통 원년인 527년(성왕 5년)에 축조되었으며, 공주 반죽동 당간지주 및 감영길 북쪽에 위치하는 것으로 제시되었다(Noh, 2019; Seo, 2019). 따라서 연구대상 기와에서 관찰되는 단청 추정물질은 웅진기 및 사비기 백제 도읍지인 공주와 부여 지역에서 보고된 안료의 선행연구 자료와 비교 및 검토하였다.

Park *et al.*(2017)은 공주 무령왕릉 출토 석수의 표면에 나타나는 붉은색 안료에 대한 비파괴 분석 결과, 납의 함량이 높음을 보고하였다. Nam(2019)은 부여 능산리 동하층 벽화의 적색안료는 진사로, 갈색안료는 석간주인 것으로 판단하였다. 또한 Seo and Lee(2019)는 능산리 서2호분에서 출토된 금제오각형 장식에서 관찰되는 적색안료는 진사로 설명하였다.

따라서 연구대상 기와에 흡착된 단청 추정물질은 무령왕릉 석수 안료와는 특성이 상이하나, 부여 지역 동하층 안료와는 유사한 특성을 갖는 것으로 여겨진다. 부여 지역에서는 진사를 활용해 칠한 사례도 나타나므로, 당대에는 지역에 관계없이 적색안료의 원료로 다양한 성분을 활용한 것으로 해석된다. 그러나 해당 지역의 동시기 안료에 대한 연구사례가 거의 없어 공주지역 관련 고대 안료의 특성 규명을 위해서는 지속적인 연구가 필요할 것이다.

5. 결 언

1. 이 연구에서는 대통사 추정지로 여겨지는 공주시 반죽동 176번지 출토 기와 2점과 197-4번지 출토 기와 1점을 대상으로 비파괴 분석을 통해 기와의 태토 및 표면에서 관찰되는 적색의 단청 추정물질에 대한 과학적 특성을 검토하였다.
2. 이 결과, 기와제작에 활용한 원료 점토는 출토 유적에 따라 다소 상이한 것으로 판단된다. 또한 모든 기와는 수급한 원료를 정선하여 사용하였으며, 197-4번지 출토 기와의 정선도가 더 높은 것으로 나타났다. 176번지 출토 기와는 석립의 형태와 입도에 차이를 보여 향후 정량분석을 통한 원료의 동질성 검토가 필요하다.
3. 모든 기와는 정선된 원료를 점토판으로 제작하여 와통에 포목을 두른 다음 붙이는 방식으로 성형되었으

며, 특히 176번지 출토 기와는 모골와통에 두 종류 이상의 포목을 활용하여 제작한 것으로 판단된다. 이 기와는 산출상태와 조직 및 색상 등으로 보아 비교적 고온의 소성온도를 경험한 것으로 해석할 수 있다.

4. 기와의 표면에서 관찰되는 단청 추정물질은 모두 산화철을 주성분으로 하는 일종의 석간주를 활용한 칠의 흔적으로 판단된다. 고문헌에 알려져 있는 석간주의 산지는 공주에서 원거리에 있으나 산화철은 대부분의 암석에서 산출되는 것으로, 근거리의 원료수급과 관련하여 대통사 추정지를 중심으로 심도 있는 검토가 필요하다.

사 사

이 연구를 위해 조언과 시료를 제공해 주신 한얼문화유산연구원 조원창 원장께 감사드립니다.

REFERENCES

- Cho, W.C., 2019, The results of excavation survey of a place which is presumed to be Daetongsa temple site in Banjuk-dong, Gongju. Baekje Culture, 60, 5-30. (in Korean with English abstract)
- Choi, Y.S. and Lee, D.S., 2012, A study on Baekje red coloring relics excavated from Iksan Mireuksaji temple site. The Korea Society of Art & Design, 15(4), 10-26. (in Korean with English abstract)
- Gim, R.H., Lee, S.M., Jang, S.Y. and Lee, C.H., 2009, Interpretation of firing temperature and material characteristics of the potteries excavated from the Nongseori site in Giheoung, Korea. Journal of Conservation Science, 25(3), 255-271. (in Korean with English abstract)
- Han, M.S., Kim, J.H. and Lee, J.J., 2014, A scientific analysis of Dancheong pigments at Yaksajeon hall in Gwallyoungsa temple. Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 47, 18-31. (in Korean with English abstract)
- Han, M.S., Lee, H.H. and Kim, J.H., 2011, A scientific analysis of ancient pigments on wall paintings at Yeongsanjeon in Tongdo temple using a field-XRF. Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 44(3), 132-149. (in Korean with English abstract)
- Jang, S.Y. and Lee, C.H., 2014, Mineralogical study on interpretation for firing temperature of ancient bricks: Focused on the bricks from the Songsanri tomb complex.

- Journal of Conservation Science, 30(4), 395-407. (in Korean with English abstract)
- Jang, S.Y., Lee, C.H. and Park, D.S., 2008, Archaeometric characteristics of roof tiles in Baekje Kingdom from the Danjiri site of Gongju, Korea. Journal of Conservation Science, 22, 15-30. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.S. and Lee, C.H., 2019, Interpretation of coloring technique and pigment analysis for King Sejo's Palanquin in Gongju Magoksa temple, Korea. Journal of Conservation Science, 35(5), 403-415. (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: Yongnam site in Ssangyongdong of Cheonan, Korea. Journal of Conservation Science, 28(3), 193-204. (in Korean with English abstract)
- Kim, R.H., Lee, C.H. and Yun, J.H., 2012, Material characteristics and clay source interpretation of Joseon (the 15th to 17th Century) potteries from Ssangyongdong Yongam site in Cheonan, Korea. Journal of Conservation Science, 28(1), 7-20. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.K., Han, M.S., Moon, E.J., Kim, Y.H., Hwang, J.J. and Lee, H.H., 2010, Mineralogical composition and physical variation of reproduced potteries based on chemical composition and firing temperature. Journal of Conservation Science, 26(3), 311-324. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Jin, H.J., Choi, J.S. and Na, G.J., 2016, Interpretation on making techniques of some ancient ceramic artifacts from midwestern Korean peninsula: Preliminary study. Journal of Conservation Science, 32(2), 273-291. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Yi, J.E. and Han, N.R., 2012, Characterization and analysis of painted pigments for the clay statues in Donggwnwangmyo Shrine, Seoul. Journal of Conservation Science, 28(2), 101-112. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H., 2000, A study on Seokganju the pigment on iron painting Buncheongware. The Chungnam Review, 5(3), 66-71.
- Lee, J.H., Choi, S.W., Chae, S.J. and Seo, M.C., 2003, A study on the iron oxide paints (Seokganju) used for Buncheong ceramics. Science and Engineering of Cultural Heritage, 2(1), 37-47. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.J., Ahn, J.Y., Yoo, Y.M., Lee, K.M. and Han, M.S., 2017, Diagnosis of coloration status and scientific analysis for pigments to used large Buddhist painting (Gwaebultaeng) in Tongdosa temple. Journal of Conservation Science, 33(6), 431-442. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.J., Han, M.S., Kwon, H.N., Lee, J.S., Yun, J.H. and Kwon, Y.M., 2019, A comparative study on characteristics of fabrics and coloring pigments of Buddhist paintings of Geumtapsa temple and Manyeonsa temple. Journal of Buddhist Art, 28, 523-546. (in Korean with English abstract)
- Nam, D.H., 2019, Distribution of pigment by particle analysis of remaining pigment from mural paintings in Donghachong, Royal tombs in Neungsan-ri. Master thesis, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, 1-67. (in Korean with English abstract)
- National Research Institute of Cultural Heritage, 1996, An important intangible cultural asset No. 91 the Jewajang(roof tile making), Shinyou munwhasa, Seoul, 88-89.
- National Research Institute of Cultural Heritage, 2017, Research on the provenance of mineral for nature pigments. 1-137.
- Noh, C.K., 2019, King Seong of the Baekje Kingdom and Daetongs temple. Baekje Culture, 60, 141-157. (in Korean with English abstract)
- Park, J.H., Lee, C.H. and Choi, G.E., 2017, Characteristics of surface deterioration and materials for stone guardian and stone memorial tablets from Muryeong Royal Tomb of Baekje Kingdom in ancient Korea. Journal of Conservation Science, 33(4), 241-254. (in Korean with English abstract)
- Seo, H.J. and Lee, S.E., 2019, A study on gold pentagonal ornaments excavated at the western tombs of Neungsan-ri, Buyeo. Prehistory and Ancient History, 61, 211-240. (in Korean with English abstract)
- Seo, J.S., 2019, An essay on the place of Daetongs temple in Baekje. Baekje Culture, 60, 31-53. (in Korean with English abstract)
- So, J.Y., 2013, The development and characteristics of the manufacturing process of the flat roof tiles of Pungnap-toseong. The Journal of Korean Field Archaeology, 18, 131-162. (in Korean with English abstract)
- Song, Y.N., Lee, H.H., Chung, Y.J. and Lee, H.Y., 2016, Comparison of painting characteristics on portraits by nondestructive analysis of Joseon Dynasty in 18th Century -Focusing on Yu Eon-ho's Portrait-. Journal of Conservation Science, 32(1), 89-100. (in Korean with English abstract)
- Yun, Y.E. and Chang, Y.H., 2016, Analysis of pigment on portraits of Sim Hui-su in Joseon Period. Journal of Conservation Science, 32(4), 571-578. (in Korean with English abstract)