CONSERVATION STUDIES 29

경복궁 출토 기와의 자연과학적 조사 연구

The Scientific Analysis of the roofing tiles excavated at Gyeong Bok Gung

홍종욱 · 박지희 · 이한형

경복궁 출토 기와의 자연과학적 조사 연구

– 소주방지, 흥복전지, 함화당지, 집경당지 출토 –

The Scientific Analysis of the roofing tiles excavated at Gyeong Bok Gung

홍종욱 · 박지희 · 이한형
Hong Jong-Ouk · Park Ji-Jee · Lee Han-Hyeong

<Abstract>

Roofing tiles are very important archaeological artifacts which show science, architecture of that time, as well as information about the culture. It has been studied by many researchers steadily, but only focusing on archaeological, art historical and architectural study, so it is very difficult to find natural science research.

Gyeongbokgung' s roofing tiles were excavated from the ruins of same site, however glaze, body colour and shape of tiles are very diverse with the naked eye.

Through natural science research which analyze the chemical composition and physical characteristics of roofing tiles' s body and glaze examine the physical and chemical characteristics of each roofing tiles.

the result of analazed roofing tiles is following. when roofing tiles were classified by 전암대자율 and chromaticity, each group has part of some matches.

When you compare with green gazed traditional brick' s glaze of Silla period, Gyeongbokgung roofing tiles have more Al_2O_3 and less PbO than Silla period' s. We can see the technology of increasing firing temperature is better. and glaze colour depends on content of Fe_2O_3 and CuO. A lot of CuO tend to be more blue.

Ⅰ. 서 언

기와는 외부의 변화를 막아주는 것이 가장 중요하지만 건물자체의 존엄성과 장엄성 등을 보여줌과 동시에 지배층의 계층적 위계질서를 상징적으로 표현한다.[1] 그러므로 고대의 기와는 대부분 국가적인 조영사업의 일환으로 생각되어 비교적 정형화된 양식을 보이고 있으며, 각 시대와 지역에 따라 다양하게 변화하고 있어서 당시의 문화연구에 매우 중요하다.[2] 또한 고대 유적에서 출토되고 있는 고고학적 자료의 상당히 많은 부분을 차지하고 있어 기와의 제작시기와 산지에 대한 정보는 고고학적으로 매우 중요한 자료가 된다. 특히 궁궐에서 사용된 기와는 그 당시에 행해질 수 있는 최고의 과학기술, 건축기술, 제와기술 등이 집약되어 있다고 봐도 좋을 것이다. 그러므로 궁궐 기와를 연구함으로써 그 시대의 과학, 건축은 물론 그 당시의 문화에 대한 정보까지도 알 수 있다.

많은 연구자들이 삼국, 통일신라시대 기와를 중심으로 꾸준히 연구해 왔으나, 고려시대와 조선시대의 기와에 대한 연구는 전대에 비해 상대적으로 관심이 낮았었다. 특히 조선시대의 기와는 예술성이 떨어질 뿐만 아니라, 시기적으로도 근세와 가까워 이에 대한 관심이 부족했고, 관련 자료 또한 부족하여 심도있게 논의되지 못했다. 조선시대의 경우, 일반 기와는 물론 궁궐 기와 또한 그 중요성이 크게 대두되지 않다가 최근에 실시된 궁궐지의 발굴 조사로 관련 사료와 자료들이 공개됨에 따라 궁궐 기와 연구에 대한 관심이 점차 높아지고 있다.[3] 그러나 기와에 대한 연구들이 형태학적 분류를 통한 고고학적, 미술사학적, 건축학적 연구에만 치중되어 있을 뿐, 자연과학적인 연구는 조사된 사례를 찾아보기가 매우 드물다.

기존에 실시된 연구에는 양동윤, 고구려 기와의 현미경 관찰과 XRD 분석(1999), 고구려 기와의 화학분석과 강도측정을 통한 제작기법 고찰(2000), 정광용, 중성자 방사화분석에 의한 고려 후기 기와의 산지연구(2001), 부여 가탑리 유적 토기, 기와의 산지연구(2002), 김경범, 고려시대 기와의 과학적 분석과 사찰건축의 복원을 위한 연구(2003), 홍종욱, 고대의 기와의 자연과학적 분석 연구(2004), 백종오, 고구려 기와의 자연과학적 분석(2004), 이현주, 미립자법을 이용한 고대 기와의 열루미네선스 연대측정 연구(2005), 유미연, 아산 풍기동 유적지 출토 기와의 정량분석과 연대측정 및 고고과학적 해석(2008) 등이 있으나 주로 삼국시대의 기와를 중

1) 문명대, 불교미술9, 우리나라 기와, p.183
2) 백종오, 고구려 기와 연구, p.1
3) 백종오, 고구려 기와 연구, P.1

심으로 연구가 이루어져 왔다. 또한 청기와에 대한 연구는 자연과학적 연구뿐만 아니라 고고학적 연구조차도 거의 되어 있지 않다.

청기와는 고려청자의 맥을 이은 기와로 중국을 비롯한 인근 국가에서 명성을 떨쳤다. 그러나 청기와는 자기를 굽는 것과 유사하므로 지붕을 덮을 정도의 청기와를 생산하려면 엄청난 비용과 인력이 소요되므로 세종 때는 청기와 대신 다른 기와를 사용하도록 하기도 하였다. 청기와는 17세기부터 점차 줄어들어 임진왜란 이후에는 사용되지 않았으며 현재 청기와가 남아있는 궁궐건축으로는 창덕궁의 선정전이 유일하다.

경복궁의 건물 소주방, 흥복전, 함화당 및 집경당 행각지로부터 수습된 기와들은 같은 건물에서 출토되었으나, 육안으로 보기에도 유약과 태토의 색, 기와의 형태 등이 매우 다양한 것을 볼 수 있었다. 이것은 기와들이 각각 다른 시기에 제작되었는지, 같은 시기에 만들어졌으나 다른 곳에서 제작되었는지 또는 같은 곳에서 제작되었으나 기와의 제작 기술이 좋지 않았었는지 등에 대해 생각해 볼 수 있다. 본 연구에서는 자연과학적인 연구를 통해서 기와에 사용된 태토 및 유약에 대한 물리적 특성과 화학 조성을 분석함으로써 가시적으로 서로 다른 특징을 나타내는 기와들이 각각 어떤 물리적, 화학적 특성을 가지는지 살펴보고자 한다.

Ⅱ. 연구대상 시료 및 방법

1. 대상 시료

기와가 출토된 경복궁 소주방지, 흥복전지, 함화당 및 집경당 행각지는 문화재청의 경복궁 광화문 및 기타권역 복원정비 사업의 일환으로 발굴조사가 실시되었다.[4)]

소주방은 궁궐 내 음식물을 관장하던 식생활 공간으로 임진왜란 때 소실된 이후, 고종연간(1865년~1868년) 경복궁을 재건하면서 다시 건립된 것으로 추정된다. 이후 1915년경 일제의 조선물산공진회 개최로 경복궁의 모든 건물을 훼손 변형할 당시 함께 훼철된 것으로 보인다.[5)]

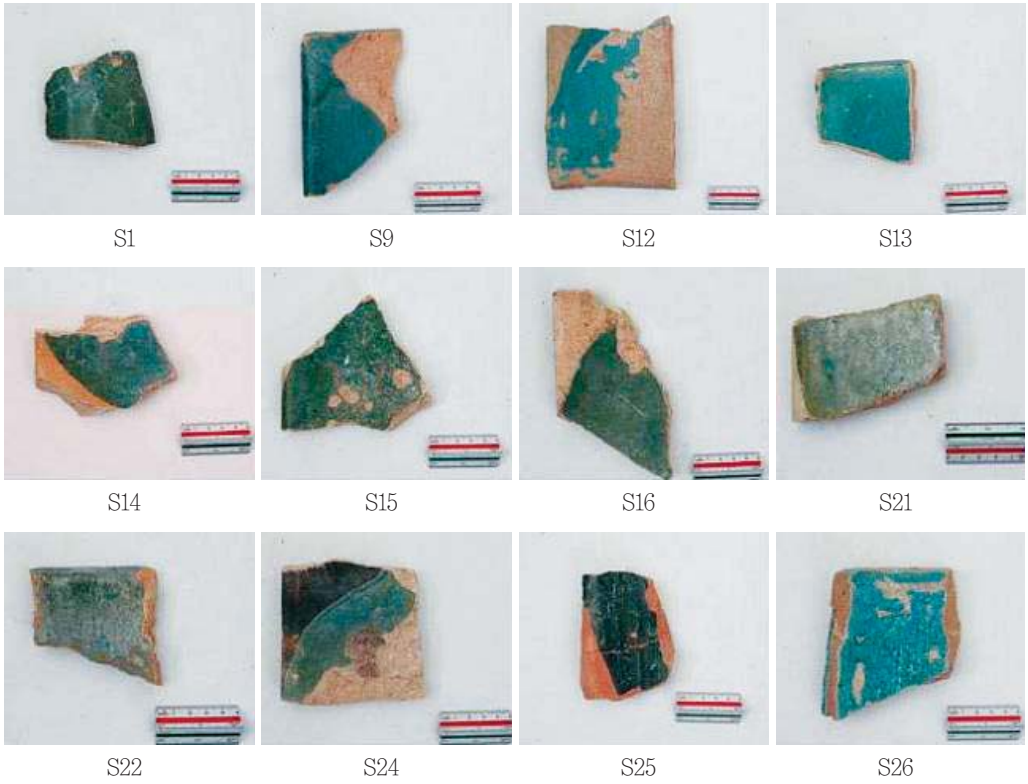
흥복전지는 조선전기의 기록이나 경복궁 전도에는 보이지 않으나, 조선후기 고종 대 기록은 남아 있는 것으로 보아 고종연간에 중건된 것으로 추정된다. 이후 화재로 소실된 창덕궁을 복구한다는 이유로 일제에 의해 헐어진 것으로 추정되며, 그 자리에 곡수지를 파고 왜식정원을

4) 국립문화재연구소, 경복궁 발굴보고서1 p.22
5) 국립문화재연구소, 경복궁 발굴보고서1 p.23

조성하였다.[6]

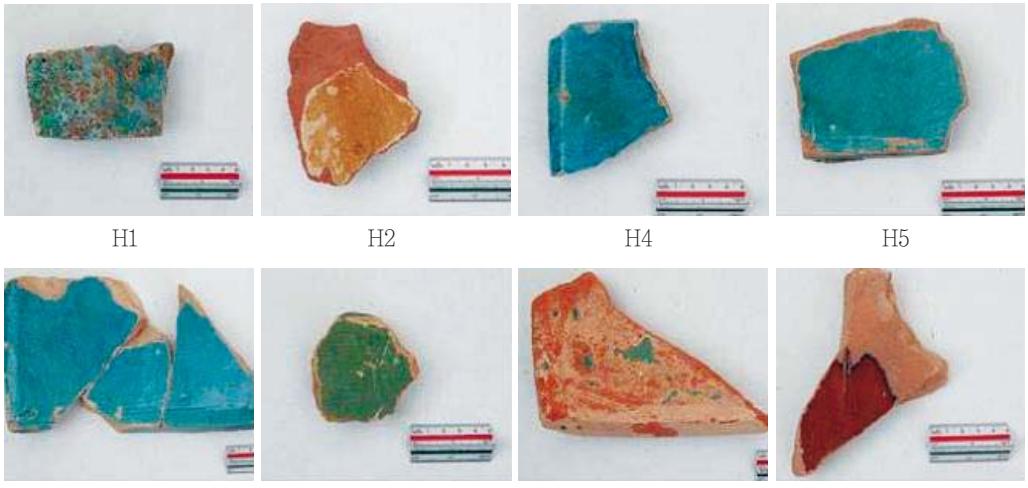
함화당 및 집경당 행각지는 고종연간에 중건된 건물이다. 함화당 보수공사 도중 함화당의 상량문이 확인되었는데, 함화당의 중건연대는 1890년으로 밝혀졌으나 경복궁은 고종연간 있었던 크고 작은 화재로 인하여 수차례 재건된 역사가 있기 때문에 함화당과 집경당 또한 그 이전에 건물이 존치했을 가능성은 배제할 수 없다.[7]

본 연구에서 조사한 시료는 경복궁 소주방지, 흥복전지, 함화당 및 집경당 행각지에서 출토된 기와이다. 총 23점으로 소주방지 출토 기와 12점, 흥복전지 출토 기와 8점, 함화당 및 집경당 행각지 출토 기와 3점이다. 흥복전지에서 출토된 기와 2점은 황색 유약이 시유되어 있으며, 그 외에는 모두 청색유약이 시유된 청기와이다.



1. 소주방지 출토 기와

6) 국립문화재연구소, 경복궁 발굴보고서2 p.23~29
7) 국립문화재연구소, 경복궁발굴보고서3 p.23~29



2. 흥복전지 출토 기와

3. 함화당 및 집경당 행각지 출토 기와

Figure 1. 경복궁에서 출토된 기와 시료(소주방지, 흥복전지, 함화당 및 집경당 행각지)

2. 연구 방법

(1)전암대자율 측정

전암대자율은 암석의 전체 자화강도를 구분하기 위해 응용된 암석학 연구의 한 수단으로서, 대자율은 외부자기장에 대한 자화강도를 의미하며 I = k × H로 정의된다. 여기서 I는 자화강도(magnetization intensity), H는 자기장(magnetic field)이며, k는 대자율(magnetic sesceptibility)로서 물질의 자기적 특징을 결정하는 상수이다.[8] 기와의 원료인 점토는 암석이 풍화하여 생산되는 것으로, 모암이 지니고 있는 고유의 자화강도에 따라서 점토의 자화강도도

8) 정연삼, 서천 지산리 유적지에서 출토된 토기의 고고지질학적 연구, p.22~23

달라질 수 있다. 자화강도가 다르다는 것은 암석의 생산지 또는 암석 종류가 다름을 의미하므로 기와의 자화강도를 측정함으로써 기와의 원료인 점토가 동일한 토양에서 수비되었는지의 여부를 파악할 수 있는 지표가 될 수 있다.

경복궁 출토 기와의 전암대자율 측정은 하나의 시료를 대상으로 5회씩 측정하여 평균값을 얻었다.

(2) 색도측정

색도는 유약면과 태토면에 대해 각각 5회씩 색차를 측정하여 평균하였으며, 태토면은 연마기로 유약층을 완전 제거한 후 표면을 최대한 평평하게 가공하여 측정하였다.

색상차는 KS A 0089의 규정에 의거하여 L*, a*, b* 표색계의 색차(⊿E)로 표시하였다. L*, a*, b* 표색계는 국제조명위원회(Commission Internationale de l' Eclairage, 약칭 CIE)가 1976년에 권장한 규격으로 지각적으로 거의 균등한 보도를 가진 색공간의 하나로서, 국제조명위원회에서는 CIE 1976(L* a* b*) 색공간이라 부르며, CIE LAB로 표시한다.

L*, a*, b* 표색계에 의한 색차(⊿E*ab) 계산방법은 다음과 같다.

$$\Delta E^*ab = [(\Delta L^*)2 + (\Delta a^*)2 + (\Delta b^*)2]1/2$$

⊿L*, ⊿a*, ⊿b*는 각각 KS A 0067에 규정되어 있는 L*, a*, b* 표색계에서 2개의 물체색의 명도지수 L*, Chromachekness 지수 a*, b*의 차이다.

(3) 흡수율 및 비중 측정

태토에 대해서만 측정하였으며, 측정장치는 분석용저울(202A, Precisa, Switzerland)과 비중측정장치(Density Kit)를 이용하였다. 측정된 값은 유약층을 제거한 기와편 태토에 대한 것이며, 측정방법은 KS L 4008에서 규정하는 방법을 이용하였다. 측정시편이 유물이라는 제약 때문에 규정에서 요구하는 50g 이상의 시편은 이용하지 못했으며, 1g 이상의 시료에 대해 측정하여 평균값을 제시하였다.

포수 시료의 준비는 시편을 3회 초음파 세척한 후 증류수에 담가 24시간 동안 침적시켰다. 이후 물의 비점을 유지할 수 있는 가열장치에서 계속 시료가 물 속에 잠긴 것을 살피며 5시간 동안 끓인 다음 가열을 중지하고, 24시간 동안 그대로 담가 서서히 냉각시켰다. 측정은 침적된 시료를 꺼내어 물 속에서의 포수시료무게(W2)와 표면의 물기를 닦아내고 공기 중에서의 포수

시료 무게(W3)를 측정한 후 건조기에서 110±5℃로 48시간동안 항량이 될 때까지 건조하였다. 건조된 시료는 흡습을 방지하기 위해 데시케이터 속에서 냉각시킨 후 시료의 건조무게(W1)를 측정하였다. 각 측정값을 이용하여 비중 등의 계산은 다음 식을 이용하였다.

$$\text{비중} = W1/(W3-W2)$$

$$\text{흡수율}(\%) = (W3-W1)/W1\times 100$$

(4) 유약의 화학조성

기와편을 다이아몬드 절단기로 자른 후 초음파세척기로 표면에 부착된 이물질을 제거하고, 에폭시수지에 마운팅하였다. 고착된 시료를 연마지 #120, #500, #800, #1000, #1200, #2400, #4000 순서대로 사용하여 연마하고, 3㎛와 1㎛ 광택천을 이용하여 표면을 가공하였다.

유약의 주요성분 분석은 가공된 표면에 카본 코팅(Carbon Coating)하여 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-2910LV, Jeol, Japan)에 부착된 에너지분산형분광계(Energy Dispersive Spectrometer, Oxford 7324, Oxford Inc., England)를 이용하여 시료당 3곳씩 분석하여 평균값을 얻었다. 이때 분석 조건은 16kV, 69㎂, spotsize 45에서 120sec간 분석하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 전암대자율 측정

소주방지에서 출토된 기와의 대자율 값을 보면 0.3에서 2.4까지 다양한 범위의 대자율 값을 보이고 있다. 세분해서 살펴보면 S1, S12의 대자율 값은 평균 0.34로 낮은 값을 보이고, S13, S14, S15, S16, S21, S24는 0.992의 평균값을 보인다. S9, S26은 평균 1.568, S22, S25는 평균 2.41의 대자율 값을 보인다.

흥복전지에서 출토된 기와의 대자율 값은 소주방지보다 더 큰 차이를 보이고 있다. H8, H12는 0.55, H2, H11은 1.46, H5와 H9는 2.38, H4는 3.280, H1은 5.520의 대자율 값을 보인다. 특히 H1과 H4는 다른 기와의 대자율 값과 현저하게 차이가 있음을 알 수 있다.

함화당 및 집경당 행각지에서 출토된 기와의 대자율 값은 J1이 0.350, J2가 0.836, J4가

1.530으로 각 기와 간에 비교적 차이가 있음을 볼 수 있다.

측정한 대자율 값을 비교하여 유사한 값을 갖는 시료들을 한 그룹으로 하여 7개의 그룹으로 분류해보았다. A 그룹은 0.425, B 그룹은 0.888, C 그룹은 1.173, D 그룹은 1.515, E 그룹은 2.393의 평균값을 가지며, H4와 H1은 3.280과 5.520으로 유사한 값을 가지는 시료가 없어 F, G로 각각 분류하였다.

대자율 측정값은 암석의 자화강도를 의미하며, 어떤 지역의 토양을 이용해서 만들어진 소성물의 대자율 값은 그 지역 토양의 대자율 값과 유사한 값을 가진다. 그러나 경복궁에서 출토된 기와의 대자율 값은 매우 다양한 값을 보이고 있으므로 동일한 장소에서 생산되는 원료로 만들어진 것이 아닐 가능성을 의미한다고 할 수 있다.

Table 1. 전암대자율에 의한 기와의 분류

A	B	C	D	E	F	G
S1 0.303	S13 0.999	S15 1.100	S26 1.410	S22 2.400	H4 3.280	H1 5.520
S12 0.382	S14 0.939	S21 1.245	H2 1.480	S25 2.410		
H8 0.543	S16 0.755		H11 1.430	H5 2.230		
H12 0.547	S24 0.915		J4 1.530	H9 2.530		
J1 0.350	J2 0.836		S9 1.725			

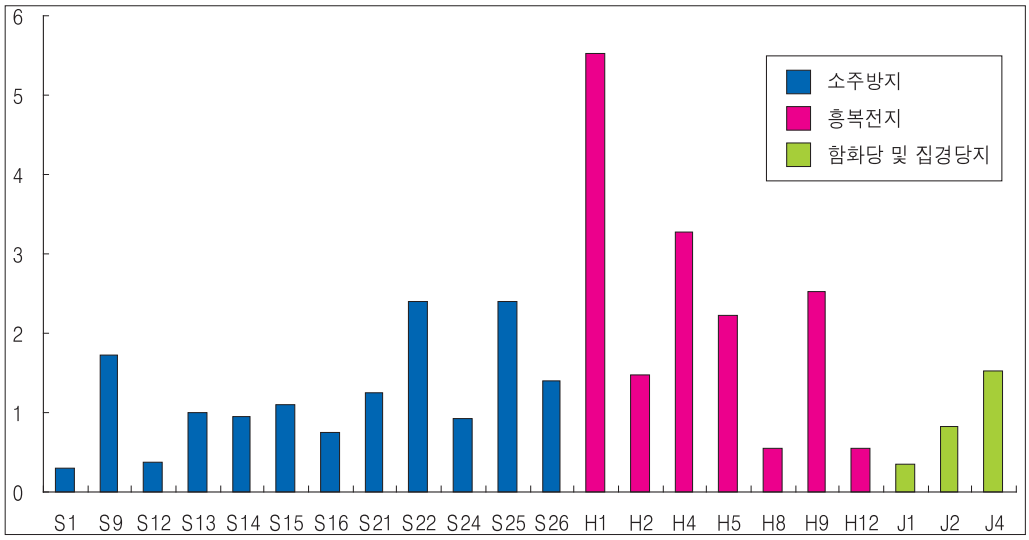


Figure 2. 기와의 전암대자율 그래프

2. 색도측정

색도값은 일반적으로 L*, a*, b* 값으로 나타낸다. 여기서 명도(L*)는 색의 밝고 여두운 정도를 나타내며 측정 범위는 0~100으로 표시되고, 50을 기준으로 측정값이 높을수록 흰색(white), 낮을수록 검정색(black)에 가깝다는 것을 의미한다. a*와 b*값은 채도이다. 수치 표시는 a*가 (+)일수록 적색(red), (−)일수록 녹색(green)에 가깝고, b*가 (+)일수록 황색(yellow), (−)일수록 청색(blue)에 가깝다는 것을 의미한다. 색도의 평가는 측정결과 값을 기준으로 ΔE^*ab값(색차)으로 판단할 수 있다. 경복궁 출토 기와에 대한 색도 측정값의 분석은 명도(L*)값에 대한 차이를 알아보고, a*와 b*값을 X−Y좌표의 2차원 평면상에 도시하여 분류를 시도하였다.

Table 2. 경복궁 출토 기와의 유약, 태토의 색도

No.	유 약				태 토			
	L*	a*	b*	ΔE^*ab	L*	a*	b*	ΔE^*ab
S1	44.02	−8.78	8.66	45.71	77.69	6.02	17.89	79.95
S9	42.36	−11.52	−0.76	43.91	72.53	4.51	19.79	75.32
S12	44.22	−15.96	−4.47	47.22	69.51	8.67	21.85	73.37
S13	47.43	−22.39	−2.10	52.50	75.05	3.72	17.73	77.21
S14	44.29	−11.10	2.56	45.74	79.94	2.82	16.06	81.59
S15	51.02	−11.35	9.99	53.21	82.40	2.37	14.17	83.64
S16	46.84	−7.00	9.12	48.23	76.42	4.24	17.82	78.58
S21	56.51	−6.76	7.81	57.45	78.38	3.64	16.40	80.16
S22	62.91	−1.97	6.75	63.31	66.40	9.95	24.71	71.55
S24	46.33	−7.93	4.46	47.22	78.66	3.61	16.55	80.47
S25	34.23	−4.60	3.17	34.69	63.04	14.85	26.96	70.15
S26	52.61	−21.17	−3.00	56.79	58.97	6.67	15.00	61.21
H1	59.51	−13.71	7.52	61.53	53.58	13.46	27.60	61.75
H2	53.51	8.49	35.66	64.86	51.71	15.71	24.72	59.43
H4	43.87	−22.52	−4.01	49.47	68.15	6.59	22.41	72.04
H5	47.53	−20.58	−0.63	51.79	63.13	6.38	26.02	68.58
H8	51.33	−24.12	−6.73	57.11	77.27	1.98	16.69	79.08
H9	50.25	−11.61	14.12	53.47	72.36	5.40	24.07	76.45
H1	149.74	−12.69	8.47	52.02	54.22	21.47	32.97	67.00
H12	41.52	14.76	18.27	47.70	68.78	8.31	18.56	71.72
J1	53.53	−6.51	10.78	55.00	81.89	2.19	13.13	82.97
J2	38.78	−5.74	11.30	40.80	77.80	2.53	16.11	79.49
J4	58.83	−7.80	4.29	59.50	69.04	10.30	26.67	74.72

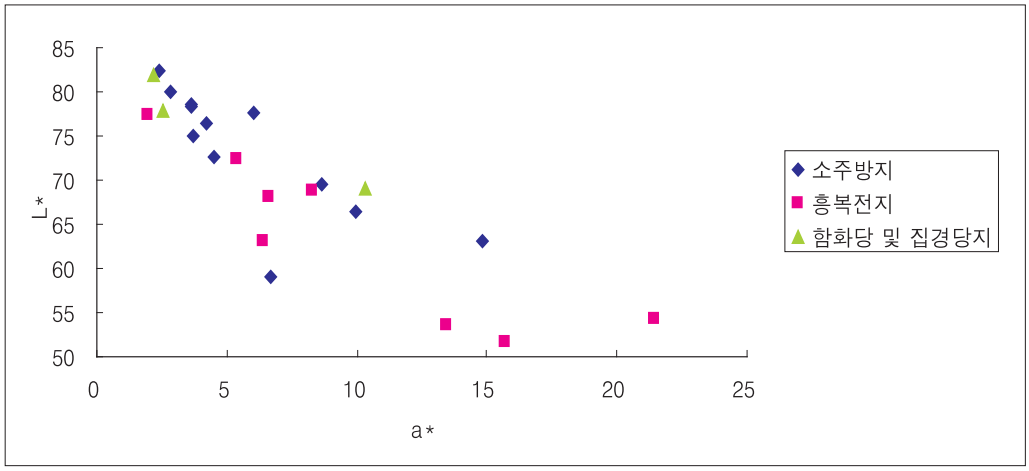


Figure 3. 태토의 명도 그래프

Table 2는 경복궁 출토 기와에 대한 색도 측정 결과이다. 우선 태토의 색도 측정값을 보면 각 기와의 명도 값을 비교했을 때 51.71부터 82.40까지 다양한 값을 보이고 있으며 각 출토지 내에서도 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 또한 H1(53.58), H2(51.71), H11(54.22), S26(58.97)을 제외한 대부분은 60 이상에서 85 사이의 값을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. L 값이 클수록 흰색에 가까운 밝은 색을 띠므로, 경복궁에서 출토된 기와의 대부분은 백색 계통의 점토를 사용하였을 것으로 생각되며, 육안 관찰로도 알 수 있다.

태토에 색도 변화는 Fig. 4에 도시하였다. 같은 출토지에서 출토된 기와라 하더라도 분산되

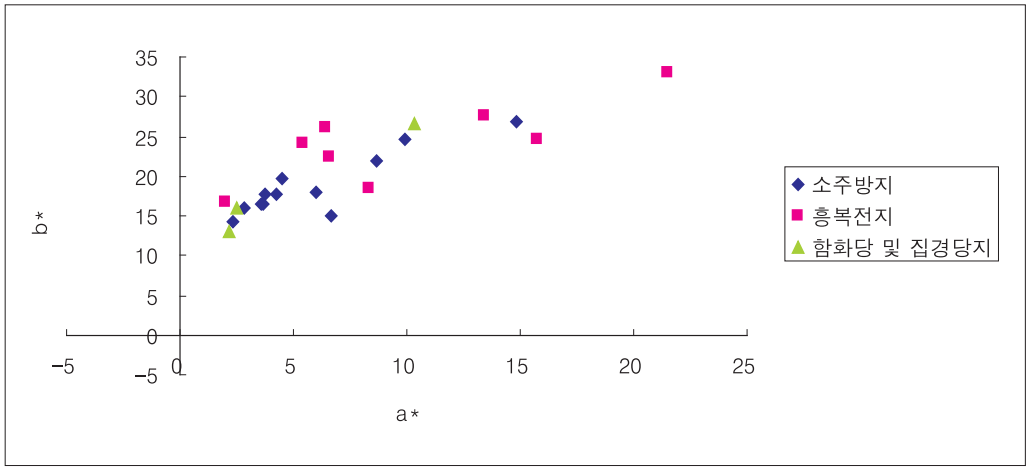


Figure 4. 기와 태토의 색도 관계도

어 분포하고 있다. 전암대자율이 태토에 대하여 실시한 것이므로 태토의 색도와 함께 비교해보았다. 전암대자율에 의해 분류된 A, B, C, D, E, F, G 7개의 그룹을 기준으로 하여 같은 그룹 내에 있는 시료가 색도 그래프에서도 같은 그룹에 포함되는지 알아보았다. A 그룹은 A-a, A-b로 분류되었다. B 그룹과 C 그룹은 색도 그래프에서도 모두 같은 그룹에 속하고 있다. D 그룹은 D-a, D-b, D-c, D-d로, E 그룹은 E-b, E-c로 분류되었고, F, G 그룹은 각각 하나의 시료로 되어있다.

기와 태토의 색상은 원료인 점토의 성분, 소성온도 및 분위기, 입자크기 등에 의하여 정해진다. 대자율 값으로 분류한 그룹 내의 기와가 같은 원료로 제작되었다고 가정했을 때, 태토의 색도에 의해 다시 여러 그룹으로 나누어진다는 것은 궁궐에 사용된 기와임에도 불구하고 생산시기, 생산자 등 에 따라 기와의 품질이 일정하지 못했을 것이라는 가능성을 시사하며, 경복궁이 중건된 조선 말기에 관료층의 극도한 부패와 농민 반란 등으로 정치적, 사회적으로 혼란했던 상황이 기와 제작에도 반영된 것으로 생각된다.

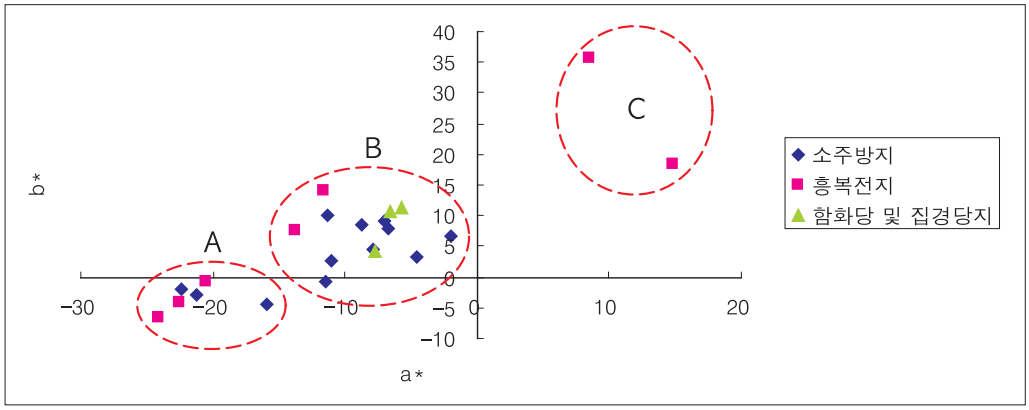


Figure 5. 기와 유약의 색도 관계도

다음으로 유약의 색도 변화는 Fig. 5에 도시하였다. 유약 층의 색도 변화는 높은 온도에서 소성된 시편일수록 green-blue 쪽으로 치우치게 된다. 또한 유약 자체의 성분조성과 태토의 색상에 의해 색상이 달라지며, 온도에 따라 유리질화가 진행되면서 명도가 더 높아져 보다 밝은 색을 띄게 된다.[9] a*와 b*값의 상관관계도를 도시한 결과, Fig. 5에서와 같이 대략 3개의 그룹으로 나뉘어지는 것을 알 수 있다. 황색 유약이 시유된 H2, H12를 제외하면 2개의 그룹으로 분류가 되는 것을 볼 수 있다. A그룹의 유약의 색은 주로 green으로 치우쳐 있고, B그룹은

9) 한민수, 해저인양 청자의 산지추정, 중앙대학교 대학원, 2006, p.53

green-yellow를 띠고 있으며, 황색 유약이 시유된 C그룹은 red-yellow 쪽으로 나타났다. 황기와를 제외한 청기와를 비교했을 때 B그룹보다는 A그룹의 기와가 더 높은 온도에서 소성된 것으로 생각된다.

3. 흡수율 및 비중 측정

토기는 표면과 내부에 작은 공극들이 존재하며, 이들 공극은 토기 원료의 특성 및 소성의 특성을 부분적으로 나타낸다. 이러한 특성은 토기의 제작환경과 제작특성을 간접적으로 반영하는

Table 3. 경복궁 출토 기와의 흡수율, 비중 및 기공률

No.	겉보기 비중	비중	흡수율(%)	겉보기기공률(%)
S1	2.66	1.71	20.77	35.56
S9	2.59	1.77	17.93	31.73
S12	2.55	1.94	12.23	23.78
S13	2.56	1.92	12.95	24.91
S14	2.65	1.72	20.37	35.08
S15	2.66	1.66	22.55	37.53
S16	2.66	1.73	20.31	35.07
S21	2.65	1.73	20.03	34.71
S22	2.64	1.84	16.50	30.33
S24	2.67	1.76	19.23	33.90
S25	2.67	1.72	20.53	35.39
S26	2.57	1.93	12.93	24.94
H1	2.69	1.78	19.01	33.81
H2	2.69	1.78	18.93	33.76
H4	2.56	1.97	11.65	22.99
H5	2.57	1.91	13.53	25.78
H8	2.58	1.93	13.03	25.12
H9	2.60	1.89	14.28	27.04
H11	2.65	1.67	22.19	37.02
H12	2.61	1.81	16.87	30.53
J1	2.66	1.65	23.11	38.05
J2	2.80	1.62	26.06	42.18
J4	2.59	1.89	14.27	26.99

것이라 할 수 있다. 그러므로 이러한 공극의 정도를 간접적으로 측정하는 방법이 흡수율이다.

경복궁에서 출토된 기와의 흡수율, 겉보기기공률, 겉보기비중 및 부피비중은 Table 3에 나타내었다.

소주방지에서 출토된 기와 S12, S13, S26의 평균흡수율은 12.70%, S9, S22는 17.22%, S1, S14, S15, S16, S21, S24, S25는 20.54%이다.

흥복전지에서 출토된 기와 H4, H5, H8, H9의 평균흡수율은 13.12%, H1, H2, H12는 18.27%, H11은 22.19%이다.

함화당 및 집경당 행각지에서 출토된 기와는 J1이 23.11%, J2가 26.06%, J4가 14.27%이다.

연질기와는 보통 10% 이상의 흡수율을 가지는데, 경복궁에서 출토된 기와는 23개의 기와 모두 흡수율이 20% 이상이다. 일반적으로 흡수율과 소성온도는 반비례 관계를 띠며, 흡수율이 낮을수록 소성온도가 높다는 것을 의미하므로,[10] 경복궁에서 출토된 기와는 대부분 연질기와이며 낮은 온도에서 소성되었을 것으로 추정된다.

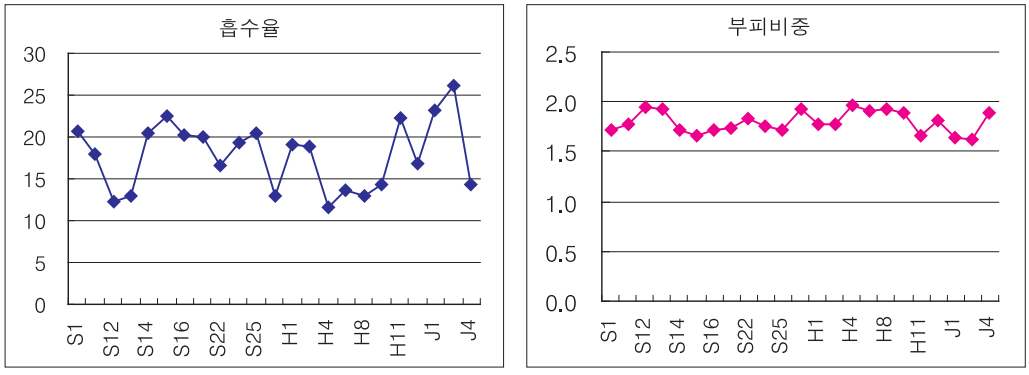


Figure 6. 기와의 흡수율과 부피비중

4. 유약의 화학조성

주사전자현미경을 이용하여 유약의 단면을 관찰하였다. 모든 기와들을 비교했을 때 유약층의 두께는 얇은 것은 100㎛에서 최대 450㎛까지 다양하였으며, 기공은 거의 존재하지 않았다.

주사전자현미경에 부착된 에너지분산형분광계로 분석한 경복궁 청기와의 유약부분 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 유약의 주성분은 SiO_2와 PbO이며, 같은 출토지 내에서도 그 배합 비가 매우 다양함을 알 수 있다.

10) 홍종욱, 경기 하남시 천왕사지 출토 고려초 기와의 자연과학적 분석 연구, 명지대학교, p.31

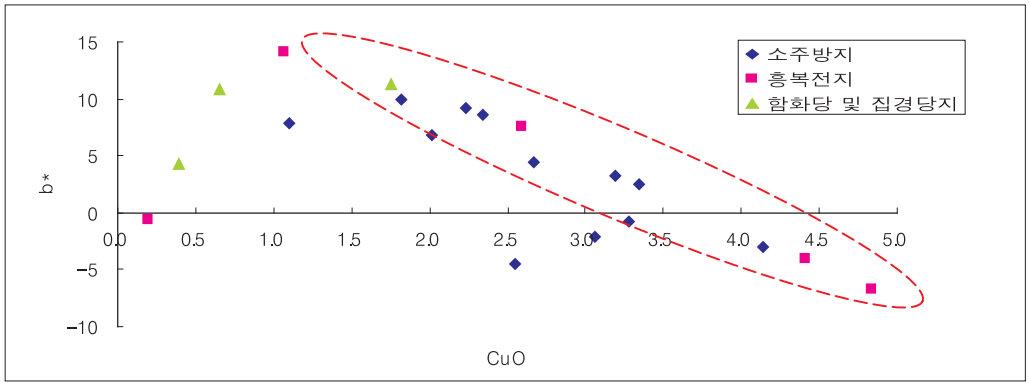


Figure 7. CuO와 b*(청색도) 관계도

흥복전지에서 출토된 황기와 2점은 Fe_2O_3가 4~8%로 청기와가 0.04~1.15%인 것에 비해 더 많이 함유되어 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 상대적으로 CuO의 함량은 황기와에서 0.14~0.05%인 반면에 청기와는 0.19~4.84%이다. 따라서 기와의 황색 및 청색의 발색에는 Fe_2O_3와 CuO가 복합적으로 작용하였을 것으로 판단된다.[11] 여기에서 Fe와 Cu가 색상에 미치는 영향에 어떠한 경향이 있는지 알아보기 위해 Fe_2O_3-a*, Fe_2O_3-b*, CuO-a*, CuO-b* 의 그래프를 그려보았다. 그 결과 Fe_2O_3 보다는 CuO의 함량에 따라서 색상이 변화하는 경향성이 뚜렷하게 나타나는데, CuO의 함량이 커질수록 a*, b* 값은 작아지며 청색에 가까워지는 경향이 있다.(Figure 7)

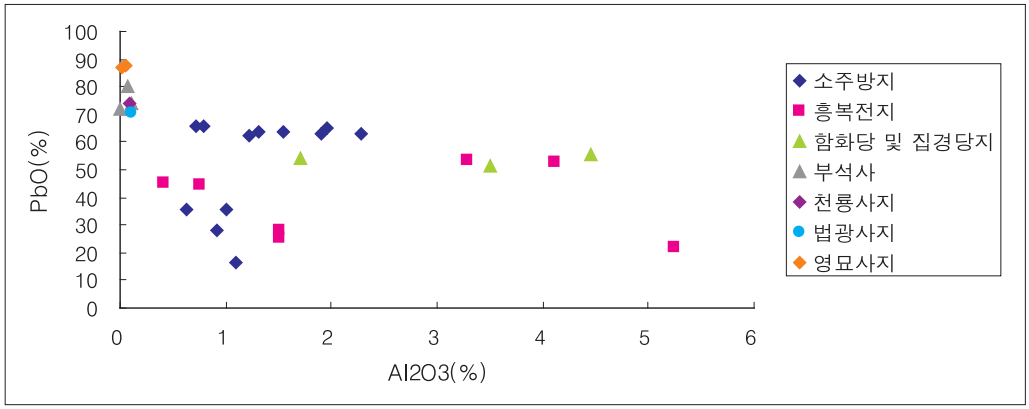


Figure 8. 부석사, 천룡사지, 법광사지, 영묘사지 출토 전돌과 경복궁 기와의 Al2O3-PbO 배합비 비교

11) 강형태, 정영동, 조재영, 김호상, 선사와 고대(22), 통일신라시대 녹유전돌의 녹유 특성-부석사, 천룡사지 및 법광사지 녹유전돌-, 2005, p.216

유약의 화학조성 분석 결과를 앞서 연구되었던 부석사, 천룡사지, 법광사지, 영묘사지에서 출토된 녹유전돌의 분석결과와 비교했을 때(Figure 8) Al_2O_3가 상대적으로 높고, 반대로 PbO는 낮은 값을 보이는 것을 알 수 있다. Al_2O_3가 많을수록 용융시키기가 어렵고 PbO의 함량이 많을수록 유약이 낮은 온도에서도 녹을 수 있도록 하는 역할을 하므로 종합적으로 봤을 때 Al_2O_3의 양이 증가하고 PbO의 양의 감소한 것은 이전 시대에 비하여 소성 시 가마의 온도를 높일 수 있는 기술이 더 향상되었음을 의미한다고 생각된다.

Table 4. 유약의 화학조성

No.	검출성분										
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO
S1	0.16	0.35	1.90	31.48	0.15	0.12	0.26	0.07	0.07	2.34	63.11
S9	2.42	0.25	0.92	54.90	9.37	0.28	0.09	0.06	0.18	3.28	28.25
S12	2.77	0.26	0.63	48.72	8.25	0.34	0.06	0.08	0.82	2.55	35.52
S13	1.91	0.07	1.00	51.53	5.46	0.48	0.09	0.00	0.58	3.06	35.81
S14	0.10	0.25	1.22	31.88	0.25	0.00	0.15	0.12	0.18	3.34	62.50
S15	0.07	0.25	2.27	31.19	0.34	0.25	0.02	0.13	0.38	1.82	63.28
S16	0.24	0.11	1.54	30.36	0.38	0.38	0.30	0.17	0.40	2.23	63.89
S21	0.10	0.21	0.79	29.58	0.37	0.08	0.05	0.86	1.15	1.10	65.71
S22	0.19	0.35	1.96	29.81	0.29	0.17	0.04	0.07	0.04	2.01	65.07
S24	0.22	0.22	0.72	29.56	0.28	0.18	0.06	0.07	0.17	2.67	65.84
S25	0.25	0.31	1.31	29.85	0.14	0.08	0.17	0.11	0.60	3.19	63.99
S26	3.35	0.09	1.09	63.35	9.86	0.76	0.04	0.14	0.58	4.14	16.58
H1	1.03	0.12	0.41	45.89	4.18	0.41	0.07	0.21	0.17	2.60	44.90
H2	0.98	0.15	0.76	39.74	5.15	0.62	0.04	0.10	7.92	0.14	44.41
H4	2.05	0.21	1.51	57.56	7.64	0.69	0.04	0.02	0.52	4.41	25.35
H5	4.60	0.28	5.24	62.23	4.98	0.12	0.03	0.07	0.06	0.19	22.20
H8	2.06	0.18	1.52	55.40	6.98	0.23	0.01	0.01	0.43	4.84	28.34
H9	0.32	0.23	4.12	39.22	1.15	0.42	0.02	0.03	0.36	1.06	53.06
H12	0.15	0.29	3.29	37.71	0.63	0.14	0.10	0.05	4.42	0.05	53.17
J1	0.22	0.34	4.46	38.04	0.35	0.06	0.04	0.00	0.21	0.65	55.63
J2	0.22	0.26	3.50	41.47	0.49	0.27	0.04	0.05	0.38	1.76	51.55
J4	1.04	0.52	1.72	41.17	0.16	0.15	0.17	0.18	0.07	0.39	54.43

Ⅳ. 결 론

경복궁 소주방지, 흥복전지, 함화당 및 집경당 행각지에서 출토된 기와에 대해 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 경복궁에서 출토된 기와의 대자율 값은 0.30에서 5.52까지 매우 다양하므로 동일한 장소에서 생산되는 원료로 만들어진 것이 아닐 가능성이 있다.

2. 태토의 명도 L*값은 51.71부터 82.40까지 다양하며 각 출토지 내에서도 많은 차이가 있다. 또한 태토의 대자율 값으로 분류한 그룹 내의 기와가 같은 원료로 제작되었다고 가정했을 때, 태토의 색도에 의해 다시 여러 그룹으로 나누어진다.

3. 유약층의 두께는 100㎛에서 450㎛까지 다양하지만 기공은 거의 존재하지 않는다. 색도를 기준으로 3그룹으로 나눌 수 있는데 A그룹의 유약의 색은 주로 green으로 치우쳐있고, B그룹은 green-yellow를 띠고 있으며, 황색 유약이 시유된 C그룹은 red-yellow 쪽으로 나타났다.

4. 기와의 흡수율은 모두 10% 이상의 흡수율을 보이고 있으므로 대부분 연질기와이며 낮은 온도에서 소성되었을 것으로 추정된다.

5. 유약의 주성분은 SiO_2와 PbO이며, 같은 출토지 내에서도 그 배합 비가 매우 다양함을 알 수 있다. Fe_2O_3와 CuO의 함량을 비교해 본 결과 기와의 황색 및 청색의 발색에는 Fe_2O_3와 CuO가 복합적으로 작용하였을 것으로 판단되며, CuO의 함량이 많아질수록 a*, b* 값이 (-) 값을 가지며 청색에 가까워지는 경향성을 보인다.

6. 부석사, 천룡사지, 법광사지, 영묘사지에서 출토된 녹유전돌의 분석결과와 비교했을 때 Al_2O_3가 상대적으로 높고, 반대로 PbO는 낮은 값을 보이므로 이전 시대에 비하여 소성 시 가마의 온도를 높일 수 있는 기술이 더 향상되었음을 의미한다고 생각된다.

경복궁에서 출토된 기와는 같은 출토지에서 출토됐음에도 불구하고 물리적 화학적 특성이 매우 다양한 결과를 나타내었다. 또한 삼국시대 녹유전돌과 유약의 화학조성을 비교했을 때 Al_2O_3와 PbO의 함량에서 차이가 있었으며 기와의 소성 시 가마의 온도를 높일 수 있는 기술이 더 발전하였음을 보여준다고 할 수 있다. 그러나 흡수율이나 유약의 기공도, 색도 등을 조사한 결과 경복궁 기와의 소성온도가 높지 않았을 것으로 생각되며 이것은 궁궐에서 사용된 기와임에도 불구하고 조선 말기의 혼란스러운 시기에 제작되어 기와의 품질이 오히려 낮아졌으며, 생산시기나 생산자 등에 따라서도 기와의 품질이 일정하지 못했을 것이라고 추정된다.

〈참고문헌〉

1. 백종오, 고구려 기와 연구, 단국대학교, 2005.

2. 문명대, 우리나라 기와, 불교미술 vol.9.

3. 장충식, 조선 후기 궁궐기와 연구 – 용문과 봉황문 막새를 중심으로–, 동국대학교, 2002.

4. 국립문화재연구소, 경복궁 발굴보고서2, 국립문화재연구소, 2008.

5. 국립문화재연구소, 경복궁 발굴보고서2, 국립문화재연구소, 2008.

6. 국립문화재연구소, 경복궁 발굴보고서3, 국립문화재연구소, 2008.

7. 강형태, 정영동, 조재영, 김호상, 통일신라시대 녹유전돌의 녹유 특성–부석사, 천룡사지 및 법광사지 녹유전돌–, 선사와 고대(22), 2005.

8. 한민수, 해저인양 청자의 산지추정, 중앙대학교, 2006.

9. 정연삼, 서천 지산리 유적지에서 출토된 토기의 고고지질학적 연구, 공주대학교, 2005.

10. 이효민, 천안 운전리 청동기 유적지에서 출토된 석기와 무문토기의 고고지질학적 연구, 공주대학교, 2004.

11. 조남철, 허우영, 김호상, 강형태, 경주 영묘사지 녹유전의 녹유 특성, 호남고고학보, 27, 2007.

12. 김경범, 고려시대 기와의 과학적 분석과 사찰건축의 복원을 위한 연구, 공주대학교, 2003.

13. 홍종욱, 경기 하남시 천왕사지 출토 고려초 기와의 자연과학적 분석 연구, 명지대학교, 2004.

14. 정광용, 중성자 방사화분석에 의한 고려 후기 기와의 산지 연구, 분석과학, vol.14, no.6, 한국분석과학회, 2001.