

# 동대문운동장유적 출토 조선시대 기와의 특성 연구

정광용

한국전통문화대학교

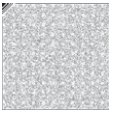
투고일자 : 2012. 06. 10 · 심사일자 : 2012. 08. 22 · 게재확정일자 : 2012. 08. 27

## 국문초록

본 연구는 동대문운동장에서 출토된 조선시대 기와의 선후관계, 유물제작기법 및 기술적 속성을 파악하기 위하여 기와의 물리적·화학적 특성 연구를 실시하였다. 기와의 물리적 특성 연구를 위해 흡수율, 비중, 전암대자율, 시차열분석을 실시하였으며, 화학적 특성 연구를 위해 중성자 방사화분석(NAA), 미세조직관찰, X-선 회절분석(XRD) 등을 실시하였다.

기와편 22점의 중성자방사화분석 및 통계분석결과 각각 기와시료는 다른 시대에 서로 다른 제작지에서 생산된 것으로 뚜렷하게 구분되었다. 또한 희토류원소의 출토지별 평균값을 비교해 보아도 각각 서로 다른 조성의 차이를 보이는데 이는 산지가 다른 점토광물을 이용하여 제작하였다는 것을 의미한다. XRD 및 편광현미경 관찰결과 기와의 주요 성분은 석영과 장석이었으며 부분적으로 운모와 일라이트(illite)가 나타났다. XRD 분석결과 1000°C의 부근에서 소성되었을 때 나타나는 몰라이트(mullite)광물 조성이 나타났으며, 시차열분석에서는 900°C 부근에서 완만한 발열피크가 나타났다. 이를 토대로 기와의 소성온도를 추정한 결과, 기와는 900~1000°C에서 소성이 이루어진 것으로 보인다. 전암대자율 평균값으로 비교분석하였을 때 출토지별 분류는 나타나지 않았지만 문양이 파상문, 태상문, 어골문, 격자문, 황선문인 경우 0.2~0.78( $\times 10^3$  SI unit)의 낮은 전암대자율이 나타나는 특징이 있다. 전체 흡수율은 대체적으로 14%~21% 범위를 보였으며 이는 조선시대 전통기와에서 나타나는 흡수율 14~18%와 유사한 범위를 보이고 있다. 기와시료의 비중은 대체적으로 1.4~2.5g/cm<sup>3</sup>의 범위를 보여 출토지에 따른 비중 차이가 나타나지 않았다.

※ 주제어 : 동대문운동장유적, 기와, 전돌, 통계분석, 물리적 특성, 화학적 특성



## 머리말

기와는 고조선시대부터 오랜 세월 우리 건축과 함께 해 왔다. 따라서 한국에서 기와를 사용한 것은 약 2300여 년 이상의 역사를 가지며, 시대·지역에 따라 기와의 종류 및 제조법, 막새 문양 등이 변천해 왔다.

현재까지 국내에서 진행된 기와관련 연구는 고고학, 미술사, 건축사적 측면에서의 와요지 발굴보고서와 기와 문양에 대한 연구가 대다수를 이루고 있다. 기와의 제작기법과 가마터에 관한 연구 또한 꾸준히 진행되고 있으나 기와와 관련하여 과학적으로 규명된 실험적 연구는 거의 이루어지지 않았다. 국내에서 선행된 연구로는 기와의 과학적 분석에 관하여 2009년 보존과학회지에 실린 김지영, 이찬희, 조선영, 김란희, 이호형의 「아산당 정지구 외골유적 출토 고려 기와의 재료과학적 특성과 제작기법」이 있다.

본 연구에서는 동대문운동장에서 출토된 조선시대 기와의 선후관계, 유물제작기법 및 기술적 속성을 파악하기 위하여 기와의 물리적·화학적 특성 연구를 실시하

였다. 기와의 물리적 특성 연구를 위해 흡수율, 비중, 전암대자율, 시차열분석을 실시하였으며, 화학적 특성 연구를 위해 중성자 방사화분석(NAA), 미세조직관찰, X선 회절분석(XRD) 등을 실시하였다. 이를 통하여 형태적으로는 같은 조선시대의 기와지만, 서로 다른 원료와 다른 시기에 제작된 사실을 밝힐 수 있었다.

이번 연구에서는 제한된 시료를 이용하여 분석을 진행하였기에 많은 정확도가 떨어지는 등의 어려움이 있었지만, 객관적이고 과학적인 분석을 진행하기 위해 최대한의 노력을 기울였다.

## 연구방법

### 1. 연구대상 기와 및 전돌 시료

동대문디자인플라자파크 건립부지내 발굴조사 결과 조선전기부터 중기, 후기, 대한제국기, 일제강점기 등 여러 시기에 걸쳐 성곽시설, 건물지, 생산유적 등 다양한 문화층과 유적, 유물이 확인되었다. 특히 기와는 완형기

표 1 2011 동대문운동장유적 출토 기와

No	유구 및 시료명	사진	비고	No	유구 및 시료명	사진	비고
1	축구장 건물지 기와편 1		177mm x 141mm, 609g 외면 태선문, 내면 격자문	12	야구장 중층 건물지 기와편 2		68mm x 73mm, 211g 외면 무문, 내면 포흔
2	축구장 건물지 기와편 2		172mm x 138mm, 579g 외면 태선문, 어골문, 내면 포흔	13	야구장 중층 건물지 기와편 3		92mm x 48mm, 53g 외면 어골문, 내면 포흔
3	축구장 건물지 기와편 3		125mm x 187mm, 896g 외면 태선문, 내선 포흔	14	야구장 중층 건물지 기와편 4		66mm x 64mm, 176g 외면 태선문, 내면 포흔
4	축구장 건물지 기와편 4		157mm x 229mm, 1193g 외면 격자문, 내면 포흔	15	야구장 중층 건물지 기와편 5		70mm x 21mm, 40g 외면 태선문, 내면 포흔
5	축구장 건물지 기와편 4		174mm x 188mm, 901g 외면 태선문, 내면 포흔	16	야구장 하층 건물지 기와편 1		85mm x 66mm, 123g 외면 태선문, 내면 포흔
6	야구장 상층 건물지 기와편 1		122mm x 109mm, 271g 외면 파상문, 내면 포흔	17	야구장 하층 건물지 기와편 2		81mm x 64mm, 113g 외면 무문, 내면 포흔
7	야구장 상층 건물지 기와편 2		141mm x 97mm, 244g 외면 무문, 내면 포흔, 황선문	18	야구장 하층 건물지 기와편 3		94mm x 64mm, 134g 외면 격자문, 내면 포흔
8	야구장 상층 건물지 기와편 3		105mm x 93mm, 276g 외면 무문, 내면 포흔	19	야구장 하층 건물지 기와편 4		56mm x 36mm, 56g 외면 황선문, 내면 포흔
9	야구장 상층 건물지 기와편 4		127mm x 75mm, 245g 외면 무문, 내면 포흔	20	야구장 하층 건물지 기와편 5		87mm x 46mm, 75g 외면 무문, 내면 포흔
10	야구장 상층 건물지 기와편 5		87mm x 79mm, 148g 외면 무문, 내면 포흔	21	축구장 전돌 1		196mm x 142mm 2890g
11	야구장 중층 건물지 기와편 1		52mm x 32mm, 74g 외면 태선문, 내면 포흔	22	축구장 전돌 2		169mm x 153mm 2286g

와 약 10,000여점, 기와편 50,000여 편이 확인되었다. 분석대상 시료는 층위별 유구양상 별로 각각의 위치에서 수습하였으며 [표 1]에 표시하였다.

## 2. 실험방법

### 1) 기와의 화학적 특성 실험

#### (1) 중성자 조사 및 감마선 계측

준비된 분말시료를 한국원자력연구원의 연구용 원자로인 HANARO 내의 기송관(PTS #1)에서 표준시료(SRM)와 함께 1시간동안 조사시켰다. 시료의 중성자 조사에 사용한 열중성자 선속(thermal neutron flux density)은  $1.7 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  이었다. 조사하는 동안 중성자 선속의 변동을 감시하기 위하여 중성자속 모니터 (Al, Co, Fe wire, Rx, Experiment Co.)를 함께 조사하였다. 중성자 조사된 각 핵종의 반감기를 고려하여 5~20일 동안 냉각시킨 후에 방사능을 계측하였다.

각 시료에 대한 특성 감마선 계측은 EG&G ORTEC사의 GMX 25190 검출기(상대효율 : 25%, 분해능 : 60Co 핵종의 1332 keV에서 반치폭이 1.9keV)를 사용하였으며 개인용 컴퓨터 및 EG&G ORTEC사의 919 MCB와 연결하여 사용하였다. 에너지 및 효율의 검정·교정을 통한 정성 및 정량분석을 위하여 860~1840 keV 범위의 감마 에너지를 갖는 NEN 사의 디스크형 다핵종 표준선원을 사용하였다.

특성감마선 계측에서 핵적 분광학적 간섭으로 인하여 정량에 영향을 주는 피크는 제외하였으며, 계측오차를 고려하여 비교적 분광학적 간섭을 받지 않게 하기 위해 5% 이하의 적당한 계수율을 갖는 17개의 중·장수명 핵종의 특성 감마선 에너지를 분석에 이용하여 정량하였다. 중성자 조사, 냉각 및 감마선 계측조건 그리고 해당

조건에서 분석되어진 원소들의 최적 분석조건을 [표 2]에 나타내었다.

#### (2) 편광현미경(polarization microscope)

편광현미경은 기와 및 전돌의 광학적 성질을 조사하기 위한 특수 현미경으로 얇게 연마한 시료 편에 편광을 통과시켜 광학적 성질을 조사한다. 이 현미경으로 시료의 미소부분을 확대하여 광물의 결정, 결정형의 판별 등을 조사할 수 있다.

편광현미경 관찰은 먼저 시료의 일부를 에폭시수지에 마운팅한 후 연마지 #200, #500, #800, #1200, #1500, #2000, #2400, #4000을 사용하여 순서대로 연마하고, diamond cutter를 이용하여 연마면으로부터 약 3mm 두께로 절단한 다음 연마면을 에폭시수지를 이용하여 슬라이드글라스에 접착시켰다. 24시간 경과 후 접착된 시료를 다시 연마지 #200, #500, #800, #1200, #1500, #2000, #2400, #4000을 사용하여 0.03mm의 두께가 될 때까지 천천히 연마한 후 편광현미경상에서 시료를 관찰하였다.

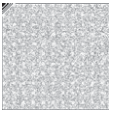
#### (3) X선 회절분석(X-Ray Diffractometry)

X-선회절분석기(X-Ray Diffractometer, PANtical, X'pert PRO MPD)를 이용하여 태토의 구성광물과 조성 시 변화된 지시광물을 동정하였다. 분석 시 Target Cu를 사용하였으며, 분석조건은 40kV, 30mA, scanning speed 0.003°/s로 계측하였고, 계측 후 분석데이터는 X'Pert HighScore 피크매칭(peak matching)프로그램을 이용하여 각 피크를 동정하였다.

시료의 전처리는 기와 편에서 일정한 크기로 시료를 절단하고, 태토 편을 15분씩 1차 증류수로 2회, 초순수로 1회 초음파 세척하였다. 세척 시료는 105°C에서 24시간 건조하고, 막자사발을 이용하여 200mesh 이하로 분말화

표 2 기와시료의 분석 조건

Irradiation facility	Neutron flux (n/cm <sup>2</sup> · sec)	Sample weight(mg)	Irradiation time(hr)	Cooling time(days)	Counting time(s)	Elements detected
PTS	1.7×10 <sup>13</sup>	100	1	5~10	2000	Ca, K, Na, La, Sm
PTS	1.7×10 <sup>13</sup>	100	1	15~20	4000	Ba, Ce, Co, Cs, Cr, Eu, Fe, Hf., Rb, Sc, Lu, Yb



하였다. 분말화 된 시료는 유리 Vial에 담아  $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 24시간이상 건조하였다.

$$Q = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

## 2) 기와의 물리적 특성 실험

### (1) 시차열분석(TG-DTA)

기와의 소성온도를 추정하기 위해 시차열분석(TG-DTA)을 실시하였으며, 분석기기는 TG 1820을 사용하였다.

각 기와들 중 특징적인 기와편을 선정하여 분석에 이용하였다. 각각의 시료는 최대한 오염이 되지 않도록 분말로 준비하였고, 샘플팬(sample pan)은 알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )를 사용하였다. 분석 조건은  $20^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$  사이에서  $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 승온 속도를 적용하였고, 이를 토대로 분석을 수행하였다.

### (2) 전암대자율(magnetic susceptibility values)

기와 태토 내에 존재하는 자성물질의 전암대자율(magnetic susceptibility values) 측정을 통해 기와가 동일한 태토로 제작되었는지에 대한 동질성 유무를 판단할 수 있다. 기와의 경우, 태토인 토양광물이 함유하는 자철석의 함량에 따라 대자율의 차이를 보이며 재질의 동질성 유무를 판단할 수 있는 산지추정의 기초자료가 된다. 단, 암석과 달리 기와는 토양을 소성하여 제작하므로 소성 중에 광물상의 변화가 일어난다. 특히 철을 함유한 광물이 고온소성과 냉각과정을 거치면서 대자율은 약간씩 증가한다고 알려져 있으며, 태토에 함유되어있는 철 함량과 소성온도에 따라 차이가 나타날 수 있다.

전암대자율 측정을 위해 전암대자율 측정기(ZH Instrument, SM 30)를 사용하였고, 시편의 크기를 감안하여 각각 5~10회 측정 후 평균값을 산정하였다.

### (3) 흡수율

기와는 표면과 내부에 작은 공극들이 존재한다. 이들 공극은 기와원료의 특성 및 소성특성을 부분적으로 나타내며, 이러한 특성은 기와의 제작환경과 제작특성을 간접적으로 반영한다. 흡수율은 기와의 절건 질량과 표건 질량을 구하여 다음 식에 따라 산출하였다.

· Q: 흡수율(%)

·  $m_1$ : 시험체의 표건 질량(g);  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 맑은 물속에서 24시간 흡수시킨 다음 물에서 꺼낸 기와를 흡수성이 좋은 천으로 눈에 보이는 물방울을 닦아 낸 후 바로 측정했을 때의 질량

·  $m_2$ : 시험체의 절건 질량(g);  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 건조기 내에서 24시간 건조한 후 꺼내어 상온까지 냉각했을 때의 질량

### (4) 비중

제작 및 소성과정에서 생성된 물리적 성질의 차이를 파악하기 위해 비중을 측정하였다. 측정은 한국 산업규격 도자기의 흡수율, 부피비중, 겉보기 및 겉보기 공극률 측정방법(KS L4008)을 근거로 실시해야 하지만, 시료가 유물이므로 KS규격에 따르지 않았다.

본 실험에서는 시료를 규격화( $7 \times 7 \times 2\text{cm}$ )한 후 비중 = 질량/부피(식)에 따라 비중을 구하였다.

## 연구 결과

### 1. 기와시료의 화학적 특성

#### 1) NAA 데이터 처리

시료에 함유되어 있는 원소들의 정량분석은 핵 데이터가 내장되어 있고, <표 2>에 정해진 분석조건에 따라 계수율, 성분함량, 계측오차 및 검출한계 등의 자료가 자동으로 계산되는 Labview 5.0으로 작성한 POWER-NAA 통합 전산프로그램을 사용하였다. 방사능 계측의 검출한계 값은 10%의 계측불확도를 허용하는 조건인 Curie의 정의를 사용하여 계산하였다. 선형판별분석(LDA)은 통계분석 R(Ver. 2. 10. 1)의 "MASS" 패키지에 있는 Ida함수를 이용하였다. 분석시료의 중성자 방사화분석법으로 구한 각 원소의 성분함량을 [표 3]에 요약하였다.

표 3 동대문운동장 유적 출토 기와 및 전돌의 NAA 분석 결과

구분	Concentration(ppm)																
	Al	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K	La	Lu	Mn	Na	Rb	Sc	Sm
기와편 야상1	4.0×10 <sup>4</sup>	7.3×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>2</sup>	18.5	1.0×10 <sup>2</sup>	7.5	1.6	4.7×10 <sup>4</sup>	6.8	2.0×10 <sup>4</sup>	62.1	0.7	7.4×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>4</sup>	1.5×10 <sup>2</sup>	15.0	9.1
기와편 축2	9.1×10 <sup>4</sup>	6.6×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>2</sup>	17.4	1.1×10 <sup>2</sup>	6.7	1.4	4.7×10 <sup>4</sup>	6.90	2.0×10 <sup>4</sup>	55.6	0.6	5.5×10 <sup>2</sup>	4.9×10 <sup>3</sup>	1.8×10 <sup>2</sup>	14.7	8.9
기와편 축3	1.0×10 <sup>4</sup>	6.4×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>2</sup>	18.2	0.9×10 <sup>2</sup>	7.5	1.6	4.4×10 <sup>4</sup>	7.8	2.0×10 <sup>4</sup>	62.6	0.7	8.8×10 <sup>2</sup>	8.1×10 <sup>3</sup>	1.8×10 <sup>2</sup>	14.8	8.9
기와편 축4	1.1×10 <sup>5</sup>	7.5×10 <sup>2</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	17.9	0.9×10 <sup>2</sup>	8.4	1.6	4.8×10 <sup>4</sup>	5.8	2.5×10 <sup>4</sup>	63.8	0.6	8.0×10 <sup>2</sup>	7.6×10 <sup>3</sup>	2.0×10 <sup>2</sup>	15.9	9.1
기와편 축5	8.5×10 <sup>4</sup>	6.5×10 <sup>2</sup>	1.0×10 <sup>2</sup>	15.8	0.8×10 <sup>2</sup>	7.1	1.3	4.2×10 <sup>4</sup>	8.6	2.2×10 <sup>4</sup>	51.6	0.5	4.6×10 <sup>2</sup>	4.5×10 <sup>3</sup>	1.5×10 <sup>2</sup>	13.4	7.7
기와편 야상 1	9.8×10 <sup>4</sup>	6.8×10 <sup>2</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	13.5	1.0×10 <sup>2</sup>	8.0	1.6	4.8×10 <sup>4</sup>	7.2	2.2×10 <sup>4</sup>	64.4	0.6	2.8×10 <sup>2</sup>	6.2×10 <sup>3</sup>	1.6×10 <sup>2</sup>	15.9	8.9
기와편 야상 2	1.1×10 <sup>5</sup>	7.4×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>2</sup>	20.4	0.9×10 <sup>2</sup>	9.3	1.5	4.8×10 <sup>4</sup>	9.3	2.2×10 <sup>4</sup>	60.3	0.8	8.7×10 <sup>2</sup>	2.7×10 <sup>3</sup>	1.7×10 <sup>2</sup>	16.3	9.0
기와편 야상 3	1.0×10 <sup>5</sup>	6.6×10 <sup>2</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	18.5	1.0×10 <sup>2</sup>	8.3	1.7	4.4×10 <sup>4</sup>	9.0	2.2×10 <sup>4</sup>	61.6	0.6	4.7×10 <sup>2</sup>	3.9×10 <sup>3</sup>	1.6×10 <sup>2</sup>	16.3	9.6
기와편 야상 4	8.7×10 <sup>4</sup>	6.6×10 <sup>2</sup>	1.3×10 <sup>2</sup>	18.1	0.9×10 <sup>2</sup>	6.0	1.8	3.8×10 <sup>4</sup>	7.7	2.1×10 <sup>4</sup>	65.2	0.8	5.1×10 <sup>2</sup>	7.7×10 <sup>3</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	14.1	9.5
기와편 야상 5	3.5×10 <sup>4</sup>	5.8×10 <sup>2</sup>	1.3×10 <sup>2</sup>	14.9	0.9×10 <sup>2</sup>	4.9	1.7	4.0×10 <sup>4</sup>	8.6	7.4×10 <sup>3</sup>	68.2	0.5	2.7×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>4</sup>	1.3×10 <sup>2</sup>	13.1	9.6
기와편 야중 1	1.4×10 <sup>4</sup>	8.7×10 <sup>2</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	16.1	0.8×10 <sup>2</sup>	5.4	1.7	4.0×10 <sup>4</sup>	7.2	3.9×10 <sup>4</sup>	67.0	0.5	3.7×10 <sup>2</sup>	9.9×10 <sup>3</sup>	1.3×10 <sup>2</sup>	13.2	9.4
기와편 야중 2	8.4×10 <sup>4</sup>	5.9×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>2</sup>	21.4	1.0×10 <sup>2</sup>	6.6	1.5	4.2×10 <sup>4</sup>	7.6	1.8×10 <sup>4</sup>	54.1	0.6	9.1×10 <sup>2</sup>	3.7×10 <sup>3</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	13.6	8.3
기와편 야중 3	9.6×10 <sup>4</sup>	7.5×10 <sup>2</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	20.6	1.1×10 <sup>2</sup>	7.1	2.0	5.6×10 <sup>4</sup>	6.9	2.0×10 <sup>4</sup>	65.0	0.7	7.6×10 <sup>2</sup>	4.6×10 <sup>3</sup>	1.6×10 <sup>2</sup>	16.9	9.6
기와편 야중 4	9.7×10 <sup>4</sup>	7.2×10 <sup>2</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	23.7	1.2×10 <sup>2</sup>	8.2	2.0	5.4×10 <sup>4</sup>	8.3	1.9×10 <sup>4</sup>	67.8	0.7	7.7×10 <sup>2</sup>	5.5×10 <sup>3</sup>	1.6×10 <sup>2</sup>	18.1	10.3
기와편 야중 5	1.0×10 <sup>5</sup>	7.1×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>2</sup>	17.1	0.9×10 <sup>2</sup>	7.0	1.6	4.5×10 <sup>4</sup>	7.4	2.5×10 <sup>4</sup>	57.7	0.5	8.1×10 <sup>2</sup>	9.9×10 <sup>3</sup>	1.4×10 <sup>2</sup>	14.6	8.3
기와편 아하 1	3.1×10 <sup>4</sup>	3.5×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>2</sup>	25.5	1.0×10 <sup>2</sup>	8.4	1.6	4.8×10 <sup>4</sup>	7.5	4.4×10 <sup>3</sup>	53.2	0.6	3.1×10 <sup>2</sup>	2.9×10 <sup>3</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>	16.5	8.3
기와편 아하 2	8.4×10 <sup>4</sup>	9.4×10 <sup>2</sup>	1.0×10 <sup>2</sup>	18.9	0.9×10 <sup>2</sup>	8.0	1.4	4.4×10 <sup>4</sup>	7.3	1.8×10 <sup>4</sup>	52.9	0.7	7.6×10 <sup>2</sup>	3.1×10 <sup>3</sup>	1.3×10 <sup>2</sup>	15.3	8.0
기와편 아하 3	8.7×10 <sup>4</sup>	7.1×10 <sup>2</sup>	1.0×10 <sup>2</sup>	22.1	1.0×10 <sup>2</sup>	9.1	1.5	4.2×10 <sup>4</sup>	6.8	1.9×10 <sup>4</sup>	56.8	0.6	9.8×10 <sup>2</sup>	3.0×10 <sup>3</sup>	1.3×10 <sup>2</sup>	14.9	8.4
기와편 아하 4	1.1×10 <sup>5</sup>	1.1×10 <sup>3</sup>	1.1×10 <sup>2</sup>	18.5	0.9×10 <sup>2</sup>	6.8	1.8	4.4×10 <sup>4</sup>	6.1	2.2×10 <sup>4</sup>	69.1	0.5	9.5×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>4</sup>	1.5×10 <sup>2</sup>	15.2	9.7
기와편 아하 5	1.1×10 <sup>5</sup>	9.2×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>2</sup>	17.4	0.8×10 <sup>2</sup>	7.4	1.6	4.3×10 <sup>4</sup>	5.5	1.9×10 <sup>4</sup>	60.7	0.7	7.1×10 <sup>2</sup>	1.0×10 <sup>4</sup>	1.5×10 <sup>2</sup>	14.9	8.5
전돌 2	8.7×10 <sup>4</sup>	7.4×10 <sup>2</sup>	1.0×10 <sup>2</sup>	21.1	0.9×10 <sup>2</sup>	9.8	1.5	4.8×10 <sup>4</sup>	7.0	1.9×10 <sup>4</sup>	49.8	0.6	1.0×10 <sup>3</sup>	4.1×10 <sup>3</sup>	1.5×10 <sup>2</sup>	17.2	7.9
전돌 10	9.3×10 <sup>4</sup>	6.6×10 <sup>2</sup>	0.9×10 <sup>2</sup>	15.1	0.9×10 <sup>2</sup>	10.2	1.5	4.1×10 <sup>4</sup>	6.2	1.7×10 <sup>4</sup>	52.1	0.7	7.3×10 <sup>2</sup>	3.4×10 <sup>3</sup>	1.5×10 <sup>2</sup>	16.0	8.3

2) 통계분석방법<sup>01</sup>

동대문운동장유적에서 출토된 기와시료의 층위별, 유구양상별로 기와 및 전돌의 성분이 층위 및 유구간의 차이가 나타나는지 비교 분석하였다. 기와 및 전돌 성분의 지역 간 차이가 나타난다면, 2차로 출토된 기와의 성분만을 가지고도 기와의 제작지를 알 수 있다. 또한 다른 유사한 데이터와 비교하여 원료 산지를 추정할 수 있다.

(1) Boxplot

Boxplot은 어떠한 데이터가 있을 때, 그 데이터가 어떻게 분포하고 있는지 알기 위해 그리는 플롯이다. 이 데이터는 크게 가운데 두 개의 박스와 그 박스와 양 끝으로

연결된 직선, 그리고 직선 밖으로의 점으로 나타낸다. 그리는 방법은 먼저, Boxplot은 샘플을 정렬한다. ¼(Q1)와 ¾(Q3)에 해당하는 값을 박스로 그리고 미디언(중간값)을 가운데 선으로 표시하여 가운데 두 개의 박스를 완성한다. 따라서 박스 안에 포함된 값은 전체의 50%가 된다. 그리고 선 밖으로의 점은 1.5 X IQR(Inter-quartile region)보다 멀리 떨어진 값들은 아웃라이어로 정의하고 작은 원으로 표시된다. 즉 박스 안에는 전체 데이터의 개수의 절반이 들어가게 되고, 박스 옆의 직선과 점들의 개수의 합이 나머지 반을 이룬다. 이러한 boxplot은 전반적인 데이터의 분포를 파악하는데 도움이 된다.

모든 통계 분석은 통계 패키지 “R”을 통하여 이루어졌다. 먼저 이 데이터의 원소가 지역에 따라 어떻게 분포되

01 참고문헌 - 한국전통문화학회, 2006, 「중성자 방사화분석을 이용한 고대유물의 진위판별」, 과학기술부

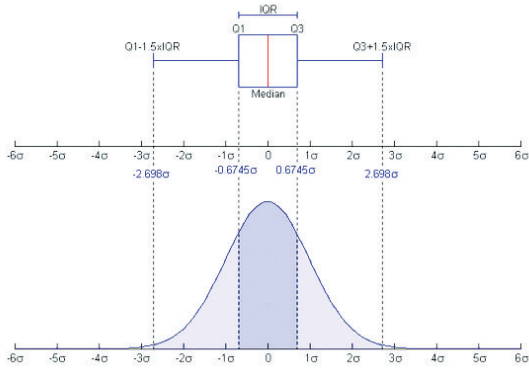
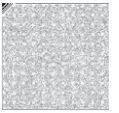


그림 1 boxplot의 원리

어 있는지를 알아보기 위하여 boxplot을 그려보았다.

어떠한 원소가 분류에 영향을 끼치고 있는지 확인하기 위한 ANOVA 분석결과 p-val 0.05 이하인 원소는 Ce, Cs, La, Sm 이다. Ce, Cs, La, Sm의 Boxplot은 출토지별 수치 차이가 나타나는 것을 쉽게 알 수 있다. Boxplot을 보면 각 원소가 각 출토지에 따라 분포에서 차이가 나는 것을 확인할 수 있으며 비교적 시료의 수가 적은 편이지만 각 출토지간에는 조선시대의 기와이기는 하나, 다른 시기의 기와를 사용했다고 추정할 수 있다.

(2) 선형판별분석(Linear discriminant analysis LDA)

선형판별분석(LDA)은 1936년 R.A. Fisher에 의해 최초로 고안된 판별법으로 3 가지 붓꽃을 꽃받침 및 꽃잎의 너비와 길이로 판별하는데 처음 적용되었다. 이 방법은 그룹간의 변이는 최대이며 그룹 내의 변이는 최소가 되게 변수를 선형조합한 후 가장 가까운 그룹 중심에 할당하는 방법이다. 다시 말하면, 각각의 집단의 평균값을 구하여 새로운 데이터가 들어 왔을 때 어느 집단의 평균값과 가까운지를 판별하여 그 집단에 분류하는 방식으로 이 분석에서 정확도는 LOOCV(Leave-one-out cross validation)을 사용하였다.

이 방법은 한 샘플을 제외하고 나머지로 부터 판별식을 구한 후 제외했던 샘플을 제대로 맞추는지 돌아가며 테스트하여 에러율을 구하는 방법이다. 즉, 샘플수가 22개 라 하면, 1번 샘플부터 제거하여 나머지 21개를 가지고 판별식을 구한다. 그리고 나머지 1개를 넣어 그 샘플이 제대로 맞추는지를 테스트한다. 1번 샘플이 끝나면 2번 샘플로, 다음엔 3번 샘플로 테스트를 하고 마지막 22번 까지 돌아가면서 계속 테스트를 한다.

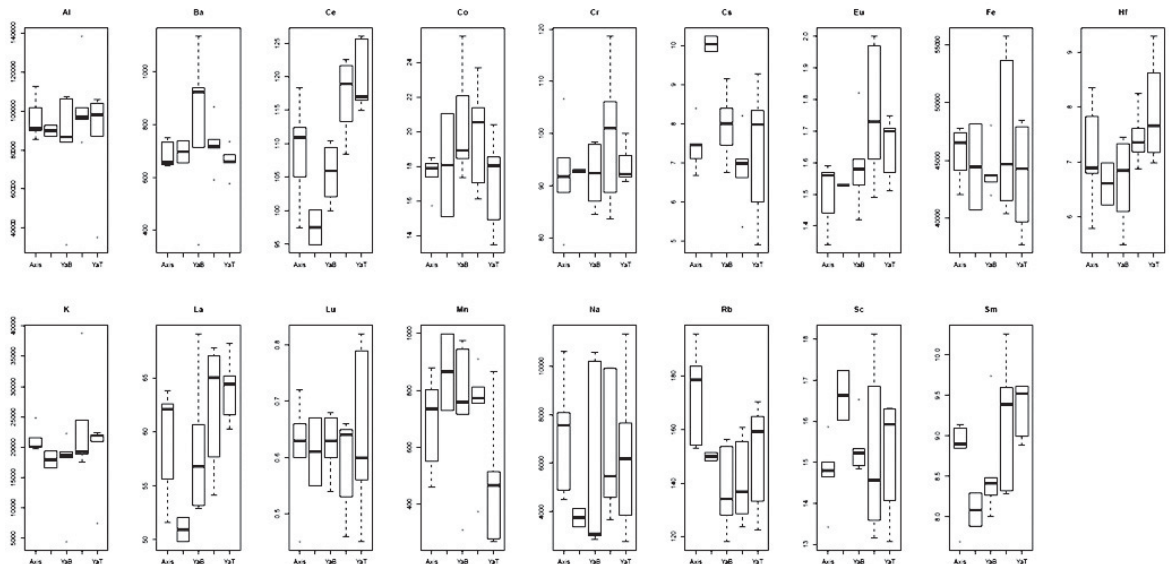


그림 2 Boxplot 결과

표 4 P-val결과

Al	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K	La	Lu	Mn	Na	Rb	Sc	Sm
0.6243	0.7616	0.0077	0.4754	0.8176	0.0005	NaN	0.8452	0.2828	0.4024	0.0027	0.9600	0.4485	0.0878	0.1399	0.3770	0.0430

표 5 LDA에 대한 LOOCV

		Predicted					
		기와편 축	전돌	기와편아하	기와편아중	기와편아상	-SUM-
True	기와편 축	5	0	0	0	0	0
	전돌	0	2	0	0	0	0
	기와편아하	0	0	5	0	0	0
	기와편아중	0	0	0	5	0	0
	기와편아상	0	0	0	0	5	0
	-SUM-	0	0	0	0	0	0

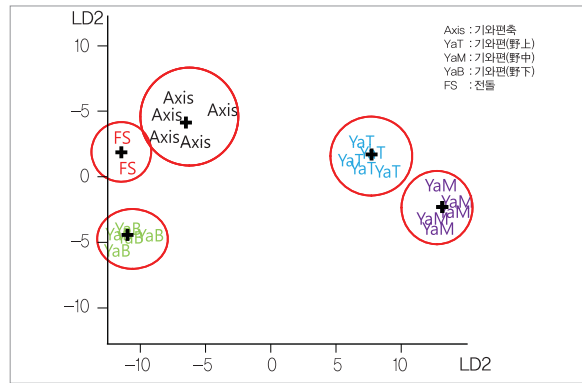


그림 3 LDA에 의한 5개 그룹 기와 및 전돌의 산지분류

“R” 통계패키지의 'MASS' 모듈을 이용하여 22개 시료의 LDA 분석을 하였다. 분석결과 5그룹의 22개 시료가 100% 정확도를 보이고 있다. 비교적 시료의 수가 적은 편이지만 각 유구마다 다른 지역의 태토를 사용하여 기와를 제작하였다는 것을 의미한다.

(3) 회토류원소 비교

회토류원소는 주기율표상 란탄계열에 속하는 원소들로써, 암석과 토양 내에 매우 적은 양이 포함되어 있으며 물리적 및 화학적 성질이 매우 유사한 원소들이다. 이 원소들은 마그마의 분화과정에 따라 서로 다른

거동특성을 보여 화성작용의 진화과정을 추적하는 중요한 지시자가 된다. 또한 대부분의 회토류 원소는 광물 내에서 쉽게 친화되지 않기 때문에 암석의 유전자와 같은 역할을 하여 산지추정에 적합한 원소로 이용되고 있다.

회토류원소의 분포를 보면 각각의 유적에서 출토된 기와 및 전돌이 비교적 고르게 분포되어 있다. 다른 출토 유물의 시대와 형태적으로 조선시대가 맞으나, 출토지별 평균값에 의한 분포를 보면 각각 차이가 나타나는 것으로 보아 같은 시기에 제작된 기와는 아닌 것으로 추정된다.

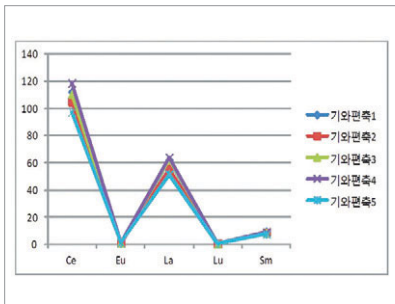


그림 4 축구장 건물지 기와편

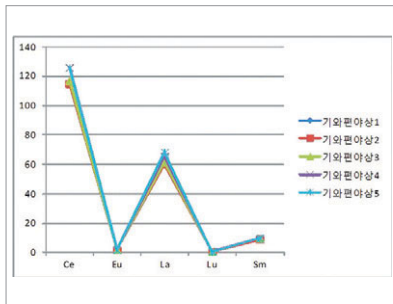


그림 5 야구장 상층 건물지 기와편

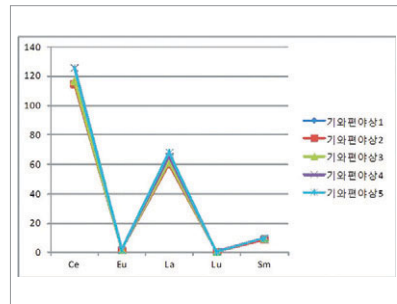


그림 6 야구장 중층 건물지 기와편

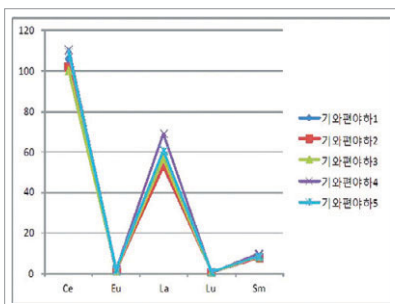


그림 7 야구장 하층 건물지 기와편

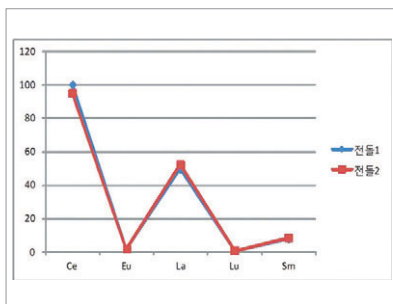


그림 8 축구장 전돌

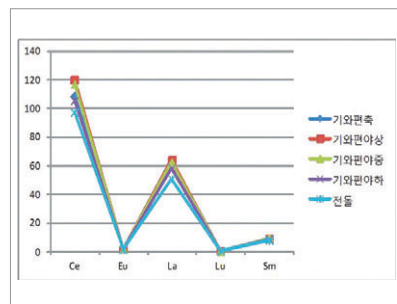
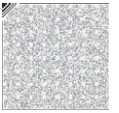


그림 9 출토지별 기와 및 전돌



2) 편광현미경

편광현미경으로 기와 및 전돌을 관찰한 결과 공통적으로 석영이 보이며 대부분 장석과 운모가 포함되어 있다. 이를 통해 출토지별 상관관계를 유추해 낼 수 없는 것으로 판단된다. 다음 <표 6>은 시료의 편광현미경 사진 분석을 통한 관찰 결과이다.

3) X-선회절분석(XRD)

XRD 분석 결과 시료의 주성분은 석영이며, 검출된 성분으로는 조장석, 정장석, 미사장석, 백운모, Illite, Mullite 등이 나타났다. 기와를 고온 소성하였을 때 나타나는 Tridymite, Cristobalite, Mullite 등은 기와가 높은 온도에서 소성되었음을 뜻하고 경질기와임을 알 수 있다.

결과적으로 모든 시료에서 주종을 이루는 광물은 석영과 장석 그리고 점토광물이 대부분이었으며, 일부 고온

에서 소성하였을 때 나타나는 Mullite가 검출되었다. 867℃에서 고온형석영이 Tridymite로 변하고 Mullite는 1000℃부근에서 생성되며 1200℃에 부근 이르면 Cristobalite가 생성된다. Mullite가 검출되는 것으로 보아 1000℃부근에서 소성된 것으로 판단된다.

2. 기와시료의 물리적 특성

1) 시차열분석

동대문 기와 편들은 시차열분석 그래프를 보면 50~200℃ 영역에서 가장 많은 중량의 감소가 있는 것을 볼 수 있다. 이는 시차열분석에서 흡열피크와 발열피크가 확인되는데, 물리적 흡착수의 탈수에 의한 것으로 판단된다. 그 다음으로 200~400℃ 영역에서 많은 중량 감소를 보였으며 흡착수의 계속되는 탈수에 의한 것으로

표 6 2011 동대문운동장유적 출토 기와

구분	사진	사진
1.기와편 (축 1)		 장석, 운모, 석영이 관찰된다.
3.기와편 (축 3)		 장석, 석영이 관찰된다.
6.기와편 (야상 1)		 장석, 운모, 석영이 관찰된다.
8.기와편 (야상 3)		 장석, 석영이 관찰된다.
12.기와편 (야중 2)		 장석, 운모, 석영이 관찰된다.
13.기와편 (야중 3)		 장석, 운모, 석영이 관찰된다.
16.기와편 (야하 1)		 석영과 장석이 관찰된다.
20.기와편 (야하 5)		 석영이 관찰된다.
21.전돌 2		 석영이 관찰된다.

표 7 동대문운동장 유적 출토 기와 및 전돌의 NAA 분석 결과

No.	석영	백운모	정장석	미사장석	조장석	Mullite	일라이트
1	●	●	●		●		
2	●	●		●			
3	●				●	●	
4	●	●	●	●	●		
5	●		●	●			
6	●	●	●	●			
7	●	●		●			
8	●		●		●		
9	●		●		●		
10	●	●	●	●			
11	●	●	●	●	●		
12	●	●				●	
13	●	●	●				●
14	●	●				●	●
15	●	●	●	●	●		
16	●		●	●			
17	●	●	●	●	●		●
18	●	●		●			
19	●	●	●	●	●		●
20	●	●	●	●	●		
21	●						
22	●					●	



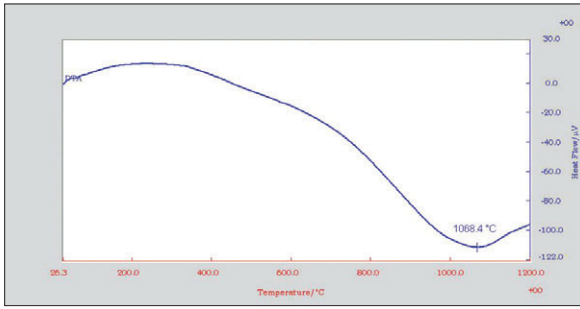


그림 10 기와편 축1 DTA

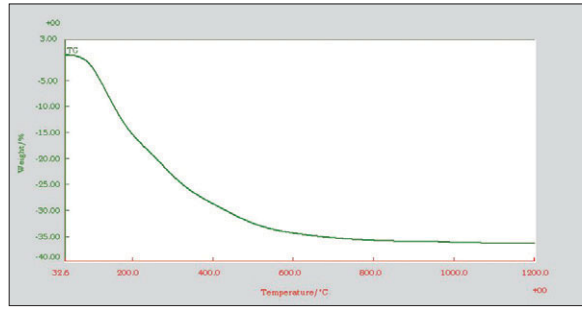


그림 11 기와편 축1 TG

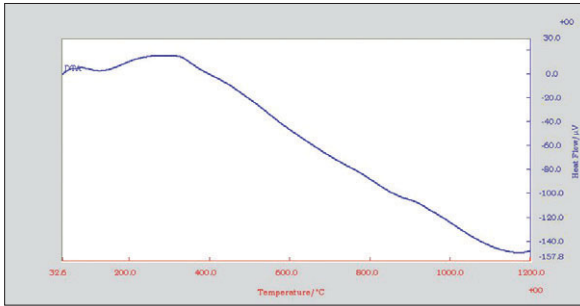


그림 12 기와편 야상 DTA

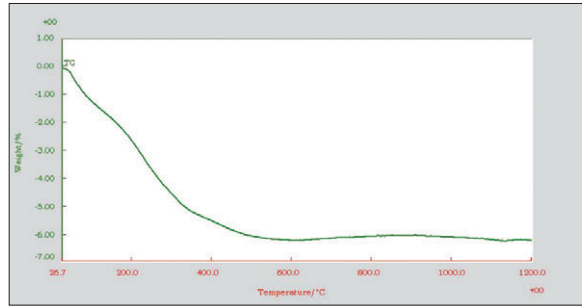


그림 13 기와편 야상 TG

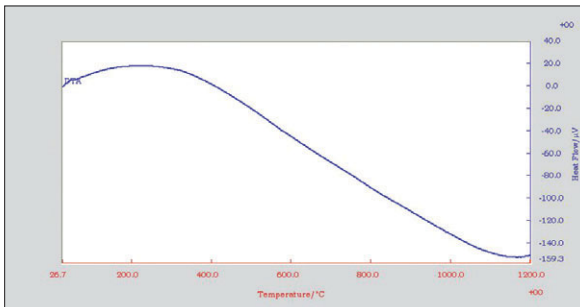


그림 14 기와편 야중 1 DTA

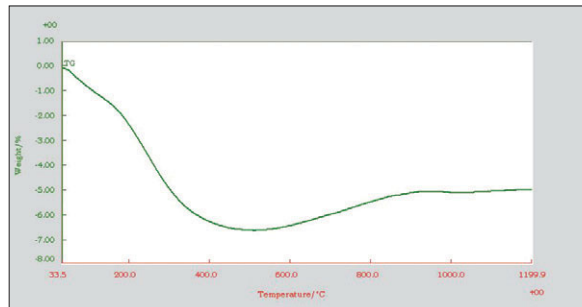


그림 15 기와편 야중 TG

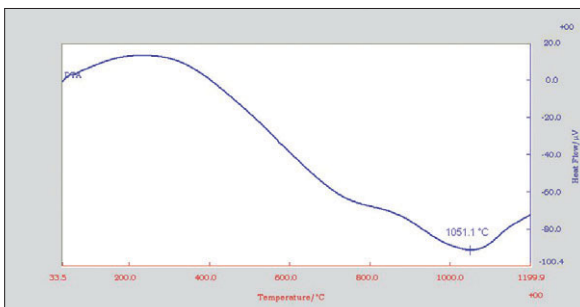


그림 16 기와편 야하 1 DTA

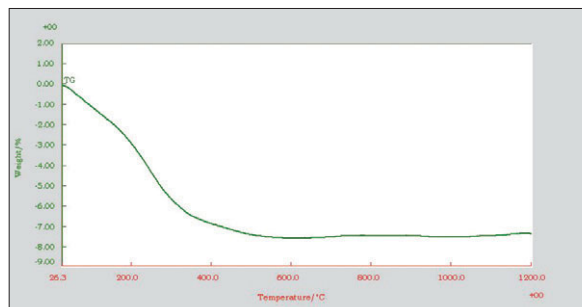


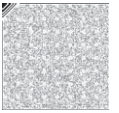
그림 17 기와편 야하 1 TG

보이며, 이후 시차열분석의 완만한 발열 피크는 유기물의 산화에 따른 것으로 판단된다. Fe나 Mn을 다량으로 함유하는 경우에는 이들의 산화에 의하여 일시적인 중량의 증가가 나타나기도 하지만 이번 기와시료들에서는 이와 같이 증가하는 피크는 나타나지 않았다.

출토된 모든 기와는 550°C~573°C 부근에서 흡열피크

가 확인되었다. 이 부근의 흡열피크는 석영이 α→β 상전이 함에 따라 나타난 것이다. 또한 900°C 부근에서 완만한 발열피크를 나타내는 기와 편들은 점토광물이 재결정됨에 따라 나타나는 결과로 보인다.

따라서 점토광물의 분해, 결정상의 전이 등 소결 현상을 보이는 900°C 부근의 완만한 발열피크가 나타난 것은



기와 편이 이 온도 이하에서 소성된 것으로 추정할 수 있다. 하지만 고온영역에서 발열피크가 나타나지 않은 기와 편은 경우 소성 당시 이 온도영역 이상의 온도를 경험하여 점토광물의 열분해 및 재결정이 이미 발생하였을 것을 시사한다.

## 2) 전암대자율

동대문야구장 건물지에서 출토된 기와에서는 무문인 경우 0.4~5.5( $\times 10^3$  SI unit)의 전암대자율이 나타나며 파상문, 태상문, 어골문, 격자문, 횡선문의 경우 0.2~0.78( $\times 10^3$  SI unit)의 낮은 전암대자율이 나타난다. 동대문 측구

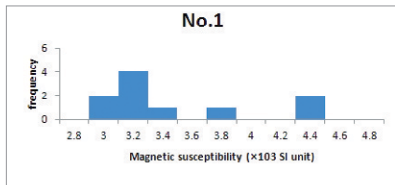


그림 18 기와편 측1(태선문)

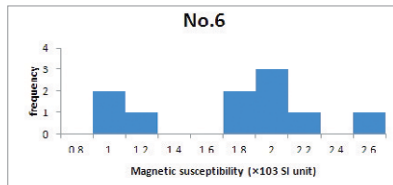


그림 19 기와편 야상1(파상문)

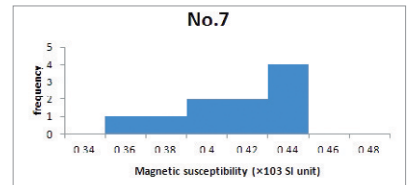


그림 20 기와편 야상2(무문)

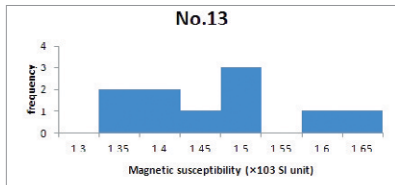


그림 21 기와편 야중3(어골문)

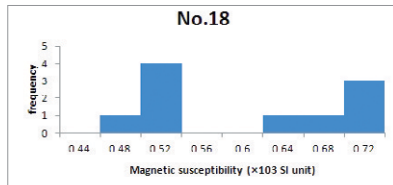


그림 22 기와편 야하3(격자문)

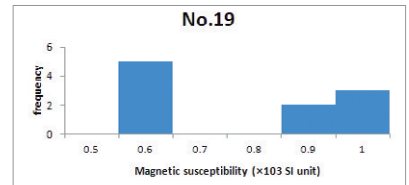


그림 23 기와편 야하4(횡선문)

표 8 전암대자율 측정 결과

시료번호 (No.)	전암대자율 측정값 (단위 : $\times 10^3$ SI unit)									
	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	10차
1	3.28	4.35	3.12	2.91	3.12	4.24	3.01	2.94	3.20	3.79
2	3.38	3.99	4.13	4.50	4.22	2.05	3.31	3.31	3.46	3.52
3	0.47	0.56	0.33	0.50	0.30	0.44	0.40	0.36	0.33	0.34
4	0.13	0.09	0.08	0.13	0.07	0.13	0.03	0.02	0.02	0.01
5	0.38	0.41	0.35	0.66	0.66	0.49	0.66	0.66	0.82	0.47
6	1.68	2.56	1.92	1.72	2.08	1.81	0.84	1.04	1.81	0.96
7	0.39	0.40	0.35	0.44	0.40	0.38	0.44	0.42	0.43	0.43
8	5.08	3.30	4.10	5.09	3.20	4.62	3.99	3.85	3.32	4.80
9	6.84	6.28	3.84	5.51	6.76	3.34	5.72	6.17	4.83	6.69
10	0.64	0.70	0.70	0.70	0.66	0.62	0.64	0.57	0.58	0.65
11	0.08	0.10	0.09	0.13	0.12	0.31	0.31	0.26	0.33	0.31
12	4.62	4.51	4.82	4.45	4.38	5.09	4.66	4.74	4.94	5.00
13	1.50	1.39	1.38	1.43	1.56	1.48	1.34	1.35	1.50	1.62
14	0.38	0.36	0.28	0.38	0.38	0.19	0.22	0.21	0.21	0.24
15	1.87	1.41	1.91	1.86	1.92	1.26	1.16	1.19	1.34	1.31
16	0.95	0.84	0.79	0.94	0.87	0.96	0.86	0.55	0.53	0.56
17	2.84	2.99	3.02	2.98	2.82	1.82	1.49	1.71	1.62	1.79
18	0.50	0.47	0.49	0.50	0.51	0.68	0.69	0.68	0.62	0.70
19	0.87	0.94	0.87	0.91	0.94	0.57	0.54	0.53	0.56	0.57
20	0.36	0.38	0.37	0.39	0.38	0.43	0.40	0.46	0.47	0.50
21	0.03	0.10	0.08	0.11	0.62	0.19	0.19	0.18	0.19	0.14
22	0.30	0.42	0.32	0.17	0.34	0.33	0.22	0.15	0.17	0.20

장 출토지 기와는 0.07~3.58(×103 SI unit)의 광범위한 범위가 나타났으며 전돌의 경우 0.18~0.26(×103 SI unit)의 범위가 나타났다.

## 맺음말

### · 화학적 특성 연구 결과

### 3) 흡수율, 비중

흡수율 측정 결과 야구장 건물지에서는 기와편 야중 2가 2.8%로 가장 낮은 값을 보이고 전체 흡수율은 대체적으로 14%~21% 범위를 보였다. 축구장 건물지에서는 기와편 축 3이 5.34%로 가장 낮았으며 전체적 흡수율은 야구장 건물지 기와편과 같은 흡수율 범위에 속한다.

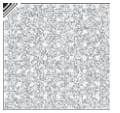
기와시료의 무게비를 알아보기 위하여 비중을 측정한 경과 대체적으로 1.4~2.5g/cm<sup>3</sup>의 범위를 보였다. 특히 기와편 야하4의 비중 4.5g/cm<sup>3</sup>로 가장 높은 값을 보인다. 다음 [표 9]은 시료의 흡수율 및 비중 측정 결과이다.

기와편 22점의 중성지방산화분석 및 통계분석결과 각각 기와시료는 다른 시대에 서로 다른 제작지에서 생산된 것으로 뚜렷하게 구분되었다. 또한 희토류원소의 출토지별 평균값을 비교해 보아도 각각 서로 다른 조성의 차이를 보이는데 이는 산지가 다른 점토광물을 이용하여 제작하였다는 것을 의미한다.

XRD 및 편광현미경 관찰결과 기와의 주요 성분은 석영과 장석이었으며 부분적으로 운모와 일라이트(illite)가 나타났다. 운모가 소멸되는 900℃ 온도이하에서 소성되었을 것으로 판단하나 몇몇 기와의 XRD분석은 1000℃의 부근에서 소성되었을 때 나타나는 물라이트(mullite)

표 9 흡수율 및 비중

구분	유구 및 시료명	출토지	흡수율 (%)	비 중 (g/cm <sup>3</sup> )
1	기와편 축1	축구장 건물지4	15.99	1.89
2	기와편 축2	축구장 건물지5	14.86	2.21
3	기와편 축3	축구장 건물지6 하	5.34	1.91
4	기와편 축4	축구장 건물지6 집수시설 내부	15.78	2.48
5	기와편 축5	축구장 건물지6 집수시설 내부	16.82	1.9
6	기와편 야상1	야구장 상층건물지	14.8	2
7	기와편 야상2	야구장 상층건물지	17.52	1.67
8	기와편 야상3	야구장 상층건물지	20.60	1.73
9	기와편 야상4	야구장 상층건물지	17.26	1.61
10	기와편 야상5	야구장 상층건물지	16.43	1.4
11	기와편 야중1	야구장 중층건물지	13.89	1.44
12	기와편 야중2	야구장 중층건물지	2.80	1.91
13	기와편 야중3	야구장 중층건물지	16.28	1.43
14	기와편 야중4	야구장 중층건물지	5.23	2.15
15	기와편 야중5	야구장 중층건물지	16.67	1.76
16	기와편 야하1	야구장 하층건물지	19.67	1.61
17	기와편 야하2	야구장 하층건물지	20.75	1.77
18	기와편 야하3	야구장 하층건물지	19.08	1.87
19	기와편 야하4	야구장 하층건물지	20.37	4.5
20	기와편 야하5	야구장 하층건물지	18.97	3.87
21	전돌 2	축구장	0.92	2.33
22	전돌 10	축구장	6.25	2.25



광물 조성이 있는 것으로 보아 소성온도는 대략 900~1000℃의 부근일 것으로 해석하였다.

#### · 물리적 특성 연구

시차열분석 결과 모든 기와는 550~573℃ 부근에서 흡열 피크를 확인할 수 있었으며, 900℃ 부근에서 완전한 발열피크가 나타나는데 이는 기와 편들의 점토광물이 재결정됨에 따라 나타나는 결과로 보인다. 몇몇 기와는 고온영역에서 발열피크가 나타나지 않아 소성 당시 이 온도영역 이상의 온도를 경험하여 점토광물의 열분해 및 재결정이 이미 발생하였을 것을 시사한다. XRD 분석결과와 시차열분석의 DTA곡선을 비교하였을 때 기와의 소성온도는 대략 900~1000℃로 추정된다.

전암대자율은 시료당 10번의 반복 측정에도 불구하고 한 기와편에서 측정값의 범위가 넓게 나와 이에 대한 평균값으로 비교분석하기에는 다소 어려움이 있었다. 하지만 평균값으로 비교분석하였을 때 출토지별 분류는 나타나지 않았지만 문양이 파상문, 태상문, 어골문, 격자문, 횡선문인 경우 0.2~0.78( $\times 10^3$  SI unit)의 낮은 전암대자율이 나타나는 특성이 있었다.

전체 흡수율은 대체적으로 14%~21% 범위를 보였다. 그러나 출토지별로 구분하였을 때, 각 출토지마다 평균 2~3%의 차이가 나타나 유사성이 있는 것으로 추정된다.

그리고 축구장 건물지에서는 기와편 축 3이 5.34%로 가장 낮았으나 이는 다른 기와에 비하여 고온에서 소성되어 경질화 된 기와로 다른 기와에 비해 흡수율이 낮은 것으로 추정된다.

기와시료의 비중은 대체적으로 1.4~2.5g/cm<sup>3</sup>의 범위를 보여 출토지에 따른 비중 차이는 나타나지 않는다.

#### · 종합

동대문운동장유적에서 출토된 조선시대 기와 및 전돌 22편의 물리적·화학적 특성연구를 실시하고 기와 제작과 관련된 원료 산지, 제작지, 제작시기(선후관계), 제작기법 및 기술적 속성을 파악하였다.

제한된 환경에서 회토류 원소의 분석만으로는 산지추정, 제작지, 제작시기를 정확히 추정하기는 어려운 실정이다. 그러나 통계분석을 통하여 형태적으로 같은 조선시대 기와지만 출토된 장소별로 서로 다른 시기, 다른 장소에서 다른 원료로 제작되었다는 것을 추정할 수 있다. 또한 흡수율을 통하여 같은 지역에서 출토된 시료가 서로 유사성이 있는 것으로 추정된다.

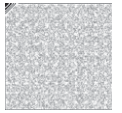
이를 보다 정확히 추정하기 위해서는 앞으로 데이터베이스의 축적이 필수적으로 보인다. 인문학적 조사와 함께 병행하여 이번 연구의 분석방법을 적용하면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

---

## 참고 문헌

---

- 윤내현, 1994, 「고조선연구」 일지사, pp.677~678.
- 강병철 외, 2010 「미량원소 분석데이터에 기초한 토기분류 체계적립」, 국립문화재연구소
- G.Erdtman, 1987, 'Handbook on Nuclear Activation Analysis Data', IAEA Tec. Rep. No. 273
- Michael D. Glascock, 1996, 'Tables for Neutron Activation Analysis, 4Th ed.' University of Missouri
- 정광용, 2011, 「승례문기와의 물리적 특성 연구」 『건축역사연구』 한국건축역사학회지, v.20 No.1, pp.23~40.
- 정광용, 2010, 「중성자 방사화 분석에 의한 5세기 웅관의 산지추정연구」 『보존과학회지』 Vol.26, No.4, pp.459~465.
- 정광용, 2001, 「중성자 방사화 분석에 의한 고려 후기 기와의 산지 연구」 『분석과학』 Vol.14 No.6, 한국분석과학회, pp.476~485.
- 양동윤 · 김주용 · 한창균, 2010 「고구려 기와의 화학분석과 강도측정을 통한 제작기법 고찰 -고구려연구회 소장유물을 중심으로-」 『고구려 연구』 9집, pp.7~18.
- 김지영 · 이찬희 · 조선영 · 김란희 · 이호형, 2009 「아산탕정지구 외골유적 출토 고려 기와의 재료과학적 특성과 제작기법」 『보존과학회지』 Vol.25, No.3, pp.299~316.
- 장성윤, 이찬희, 박대순, 2008, 「공주 단지리유적 출토 백제 기와의 고고과학적 특성」 『보존과학회지』 Vol.22, pp.15~30.
- 문희수, 이기길, 1996, 「조선시대 기와, 전돌과 질그릇의 재료와 구운온도」 『한국고고학보』 Vol.34, 한국고고학회, pp.161~194.



MUNHWAJAE Korean Journal of Cultural Heritage Studies Vol. 45, No.3, September 2012, pp.160~173  
Copyright ©2012, National Research Institute of Cultural Heritage

## A Scientific Study of Roof Tiles in Joseon Dynasty from Dongdaemoon Stadium

Chung, Kwang-Yong

The Korea national University of Cultural Heritage

Received : 2012. 06. 30 · Revised : 2012. 08. 17 · Accepted : 2012. 08. 30

### ABSTRACT

Roofing tile research conducted in Korea so far is mostly related to studies on roofing tile patterns excavation report on the roof tile klin site in the aspects of archeology architecture and history of art. There have been continuous studies on kiln ground and manufacture techniques of roofing tiles. However it is difficult to find roofing tiles research based on scientific experiments.

The research on this paper performs physical and chemical experimental study to understand order, manufacturing techniques and other characteristics of Chosun Dynasty roofing tiles excavated in Dongdaemun stadium. As for physical experimental study water absorption, specific gravity, whole-rock Magnetic susceptibility rate and Differential Thermal Analysis are conducted. As for chemical experimental study, neutron activation analysis(NAA), microstructure observation, X-ray diffractometry(XRD) analysis are conducted.

Result of neutron activation analysis and statistical analysis on piece of roof tile 22 samples clearly show that the roofing tile samples are from different time line and places. It also shows different composition when compare average value of rare earth resources per findspots. It means roofing tiles were manufactured from clay mineral from several places. Close inspection using XRD and polarization microscope reveals that main components of roofing tiles are quartz and felspar. Mica and Illite are found partially.

XRD analysis shows mullite mineral composition which occurs when roofing tile is calcined around 1000°C. Differential thermal analysis shows gradual exothermic peak near 900°C. Based on these results, it is assumed that roofing tile is made at 900~1000°C.

result of XRD analysis shows mullite were made near 1000°C. in Differential Thermal Analysis shows gradual exothermic peak near 900°C. this results shows that roof tiles were made near 900~1000 near 1000°C mean value of whole-rock Magnetic susceptibility rate.

When performed comparative analysis using whole-rock Magnetic susceptibility rate average value, findspots provided no certain classification to arrange. Nonetheless low whole-rock Magnetic susceptibility rate 0.2~0.78( $\times 10^3$  SI unit) is found when roofing tile patterns are Pasangmun, Taesangmun, Eosangmun, Kyukjamun, Heongsunmun. Overall absorptivity is 14~21%. It is similar to 14~18% of roofing tile from Chosun Dynasty. There is only 1.4~2.5g/cm<sup>3</sup> of roof tile sample specific gravity. The analysis finds no difference in specific gravity by findspots.

**Key Words** Dongdaemun Stadium Excavation Site, Roof Tile, Period Tile, Statistical Analysis, Physical Experimental Study, Chemical Experimental study