

법천사지 청자와 손곡2리 4호 가마터 청자의 도자사적 성격과 과학적 분석을 통한 생산가마터 추정 연구

이병훈^a · 윤석인^b

^a(재)강원문화재연구소 · ^b(재)강원고고문화연구원



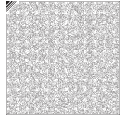
Corresponding Author : Lee Byeong Hoon, E-mail: lbh982@hanmail.net

국/문/초/록

손곡2리 4호 가마터 출토 청자는 원주 법천사지와 근거리에 위치하고 있어 법천사지 출토 청자와의 유사성이 제기되고 있으며, 따라서 자연과학적 방법을 통해 상관성을 알아보고자 하였다. 총 19개 대상 청자에 대한 도자사적 성격을 알아보고, 과학적 분석을 진행하였다. 먼저, 과학적 분석결과 분석대상 청자 태토의 화학조성은 RO_2 3.79–7.77mole, $RO+R_2O$ 0.33–0.49mole 영역에서 분산된 분포를 나타낸다. 미세구조 확인결과 실생활에 사용되었을 것으로 추정되는 원주 법천사지 출토 청자는 대부분 자화 상태가 양호하며, 손곡2리 4호 가마터 수습 청자 중에는 시유와 소성이 제대로 이루어지지 않은 청자가 일부 확인되었다. 태토의 결정상 분석 결과 quartz와 mullite가 검출되었으며, 손곡2리 4호 가마터 수습 청자 중 일부에서는 corundum이 검출되었다. 분석대상 청자 대부분은 1150~1200°C에서 소성되었으며, 일부 1100°C 이하 온도에서 소성된 청자와 1200°C 이상 고온에서 소성된 청자도 확인된다. 분석 결과 법천사지와 손곡2리 4호가마터 청자 태토에서 다양한 화학조성 및 제작기법이 확인되었으며, 손곡2리 4호 가마터 청자가 법천사지에서 사용된 청자의 생산 가마터라고 단언하기 어렵다. 다만, 희토류 원소 분석에서는 법천사지와 손곡2리 4호 가마터 수습 일부 청자에서 일정한 규칙성을 갖는 분포 패턴을 나타내어 도자기 제작에 사용된 원료가 동일기원일 가능성을 제시한다. 도자사적으로 살펴보면, 법천사지 출토 청자와 손곡2리 4호 가마터 수습청자는 성형방법과 번조방법에서 동일한 제작기법으로 확인된다. 또한 전반적인 청자의 기형과 문양의 양상으로 봤을 때, 12~13세기에 제작된 것으로 보인다.

주제어 청자, XRD, SEM, mullite, 법천사지

투고일자 : 2014. 01. 14 | 심사일자 : 2014. 04. 14 | 게재확정일자 : 2014. 07. 31



서론

원주 법천사지는 강원 원주시 부론면 법천리 629번지 일대에 위치한 강원 영서지역의 대표적인 사지(寺址)로서 이곳에서는 당시 사용되었던 청자 및 분청사기, 기와를 비롯하여 다양한 유물이 발굴조사에 의하여 출토되었으며, 분청사기에 대한 재료과학적 연구가 진행된 바 있다(이병훈 2008).

원주 지역에는 원주 귀래면 귀래리와 부론면 손곡리·법천리·단강리·문막읍 비두리·반계리·지정면 관대리 등 여러 곳에서 가마터가 확인되었다. 주로 조선시대 백자 가마터가 많이 분포되어 있고, 발굴 조사가 이루어진 가마터로는 귀래리 가마터가 있으며, 다른 곳은 발굴되지 않았다. 원주 지역 가마터 중 원주 법천사지에서 가까운 거리에 위치한 손곡2리 4호 가마터에서 청자가 확인되었으며, 따라서 원주 법천사지에서 사용되었던 청자와의 관계 해석이 필요하다.

본 연구에서는 법천사지에서 출토된 청자와 손곡2리 4호 가마터에서 수습된 청자를 비교 분석하고자 한다. 원주 법천사지에서 출토된 청자와 손곡2리 4호 가마터 지표에서 수습된 청자는 생활용기가 주를 이루고 있다. 분석 대상 청자는 완 또는 대접의 저부 굽 부분을 기준으로 제작기법에서 유사성이 확인되는 청자를 선별하였다. 분석 방법은 법천사지에서 출토된 청자 12개와 손곡2리 4호 가마터에서 수습된 청자 7개 편을 선정하여 화학조성, 미량원소 및 희토류원소 분석, 광물의 결정상, 미세구조, 소성온도 등을 조사하였다. 또한 청자 태토의 제결식을 이용하여 제작 기법 등을 규명하고자 하였으며, 화학조성 및 미량원소, 희토류원소 분석을 통하여 원주 법천사지 청자태토와 손곡2리 4호 가마터에서 수습된 청자 태토 원료와의 연관성을 알아보려고 하였다.

법천사지 청자와 손곡2리 4호 가마터 청자의 도자사적 성격

청자의 과학적인 성분분석을 통하여 서로의 연관성을 찾아보기에 앞서 도자사적인 측면에서 청자의 성형방법과 번조방법을 비교 검토하여 제작시기와 성격을 살펴보고자 한다. 손곡2리 4호 가마에서 제작된 청자와 법천사지 출토 청자가 생산지와 소비지로서 서로 연관성이 있는가에 중점을 두고 살펴보고자 하였으며, 손곡2리 4호 가마터는 원주 법천사지 유적과 매우 가까운 거리에 위치하고 있어, 고려시대 법천사로 청자를 공급했던 가마터일 가능성이 충분히 있다고 볼 수 있다. 청자는 모두 조질청자로 대량생산을 목적으로 제작된 반상기 청자라고 할 수 있으며, 비교대상의 청자는 청자완과 청자대접이다. 아울러 손곡2리 4호 가마터에서 수습된 청자는 소량이기 때문에 기종에 따른 전반적인 분류 및 검토에 한계가 있음을 밝힌다.

1. 성형방법 및 번조방법 검토

법천사지 출토 청자와 손곡2리 4호 가마터 수습청자는 성형방법과 번조방법에서 동일한 제작기법으로 제작되었다. 성형방법에서 청자완은 청자대접보다 소형이며, 측사면이 굽에서 구연까지 거의 사선으로 벌어지고 내저면에 굽지름보다 작은 동전 크기의 내저원각이 있다. 청자대접은 내저면이 오목하거나 굽지름보다 약간 작은 내저원각이 있다. 일부 내저 중앙에 큰 화문이 압출양각된 것도 확인되며, 내면에 압출양각의 모란문이 시문된 것도 있다. 굽형태는 죽절굽, 직립굽, 오목굽 등 다양하게 사용되었고, 굽 접지면은 안들림에 반듯하다. 번조방법에서 청자완은 대체로 독립번조되거나, 대접 위에 포개번조된 것으로 보인다. 청자완 내면에는 포개번조한 흔적이 확인되지 않는다. 반면 청자대접은 대부분 포개번조가 이뤄져 내저면과 굽 접지면에 받침흔이 남아 있다. 번조받침은 거친 내화토받침이 대부분을 차지하고, 모래받침도 일부 보인다. 내화토받침은 모두 4곳에 받친 흔적이 확인된다. 시유방법은 모두 굽과 굽 주변을 제외하고 시유되었고, 유색은 소성상태에 따라 다양한 색조를 보이거나 소성상태가 양호한 것은 녹색색을 띠며, 대부분 빙렬이 있다.

2. 청자의 제작시기와 성격

원주 법천사지는 신라 말에 창건하여 조선시대 임진왜란 때까지 경영되었던 사찰이다. 고려 후기 13세기 전반에는 거란군의 침략에 의해 법천사가 병화로 피해를 당했던 것으로 추정되며,⁰¹ 조선시대에는 사세가 축소된 상태에서 임진왜란까지 존속했고, 그 이후로는 폐사되어 현재에 이르고 있다.

법천사에서 출토된 청자의 양상을 살펴보면, 대체로 13세기 중반 이후로 청자가 확인되지 않고 있다. 즉 13세기 중·후반~14세기의 대표적인 청자인 고려 후기 상감청자가 전혀 출토되지 않는 점이 주목된다. 법천사지의 사세가 가장 컸던 시기는 지광국사 해린이 국사로 법천사에 주지로 부임한 11세기로 볼 수 있으며, 12세기 의종(毅宗)의 법천사 행차, 법천사 주지 각예(覺倪)가 의종을 영접하는 기사로 보아

11~12세기에 고려의 대사찰로 자리하고 있음을 짐작할 수 있다. 법천사에서 출토된 고려중기의 청자는 강진 또는 부안지역 가마⁰²에서 제작된 청자를 비롯하여 법천사에서 가까운 지방가마⁰³ (사진 1)에서 제작된 조질청자로 볼 수 있다. 기종별로는 접시, 완, 대접, 잔, 병, 호, 연적 등이 확인되고, 각 기종에 시문된 문양은 음각, 양각, 압출양각, 상감으로 다양하게 나타난다.⁰⁴

손곡2리 4호 가마와 법천사에서 출토된 조질청자는 무문청자가 다수를 차지하고, 소량 음각문과 압출양각이 확인된다. 전반적인 청자의 기형과 문양의 양상으로 볼 때, 12~13세기의 중심편년을 보여주는 강진·부안 가마의 양질청자와도 비슷한 양상을 보여주고 있어, 법천사지와 손곡2리 4호 가마의 조질청자도 이 시기에 제작된 것으로 추정된다.



【 사진 1 】 법천사지 출토 청자와 원주지역 청자가마터 수습 청자 비교

01 (財)江原考古文化研究院, 2014, 『原州 法泉寺 II』, p.36.
고려 후기 무신인 김취려(金就礪)장군이 1217년 거란군과 전쟁을 치르면서 황려현의 법천사에 이르렀다는 기사로 볼 때, 당시 법천사에 피해가 있었던 것으로 추정된다. 법천사지 발굴조사에서 유구와 유물을 검토했을 때 13세기 중반부터 14세기까지에 해당되는 적극적인 자료가 확인되지 않고 있다.

02 圓光大學校 馬韓·百濟文化研究所, 2000, 『扶安 鎭西里 20호 靑瓷窯址』, 『各地 試發掘調查 報告書』.
圓光大學校 馬韓·百濟文化研究所, 2001, 『扶安 鎭西里 靑瓷窯址-第18號窯址發掘』.
부안군·원광대학교박물관, 2011, 『흙으로 빛은 보물 扶安의 高麗靑瓷』.
圓光大學校博物館, 2001, 『扶安 柳川里 7區域 靑瓷窯址群 發掘調查報告書』.
海剛陶磁美術館, 1992, 『康津의 靑磁窯址』.

03 법천사지와 가까운 지방가마는 손곡2리 4호 가마터를 비롯하여 원주 반계리 1~2호 청자가마터가 알려져 있다. 청자의 기형과 성형방법, 번조방법은 비슷한 양상을 보여준다.

04 법천사지 출토 청자의 문양에서 음각과 압출양각의 문양은 앵무문, 연판문, 연화문, 연당초문, 모란문, 여의두문 등이 확인되고, 상감은 12~13세기 전반 상감청자인 동화문, 퇴화문, 운문 등이 보인다.



분석방법

1. 분석 대상 도편

분석 대상 도편 분별 및 선정 작업은 법천사지와 손곡2리 4호 가마터에서 출토된 청자 중에서 외관이 보편적이고 유

사한 형태인 청자로 선택하였으며, 분석 대상 도편 개수는 원주 법천사지에서 출토된 청자 12개 편과 손곡2리 4호 가마터에서 수습된 청자 7개 편이고, 분석 대상 도편 사진은 <사진 2>에 정리하였다. 또한 대상 도편의 자세한 특징을 <표 1>에 표기하였다.



【 사진 2 】 원주 법천사지 및 손곡2리 4호 가마터 분석 대상 청자 사진
(bc: 법천사지 출토 청자, sg: 손곡2리 4호 가마터 수습 청자)

【 표 1 】 원주 법천사지와 손곡2리 4호 가마터 청자의 특징

sample number	type	color ^a		design		
		body	glaze	inscription	crackled state	bottom of a vessel
Group1. Beopcheon-temple site						
bc1	low-grade	GY	GN-BE	×	○	죽절굽
bc2	low-grade	L-GY	GN-BE	×	○	죽절굽
bc3	low-grade	GY	GN-BE	×	○	직립굽
bc4	low-grade	GY	GY-BL	×	○	죽절굽
bc5	low-grade	L-GY	GY-BL	×	○	죽절굽
bc6	low-grade	GY	GY-BL	×	○	오목굽
bc7	low-grade	GY	GN-BN	×	○	죽절굽
bc8	low-grade	GY	GY-BL	×	○	직립굽
bc9	low-grade	GY	GY-BL	×	○	죽절굽
bc10	low-grade	L-GY	GY-GN	×	○	죽절굽
bc11	low-grade	BN-GY	GN-BE	○	○	죽절굽
bc12	low-grade	L-GY	GN-BE	×	○	직립굽
Group2. Songok-2ri 4th kiln						
sg1	low-grade	GY	GY-BL	×	○	직립굽
sg2	low-grade	GY	GY-BL	×	○	죽절굽
sg3	low-grade	GY	GY-BL	×	○	죽절굽
sg4	low-grade	GY	GN-BL	×	○	죽절굽
sg5	low-grade	D-GY	GY-GN	×	○	죽절굽
sg6	low-grade	GY	GY-BL	×	○	죽절굽
sg7	low-grade	L-GY	GN-BE	○	○	죽절굽

Abbreviation

Color^a: GY-gray, GN-green, BL-blue, BN-brown, BE-beige, L-light, D-dark

2. 분석 방법

1) 태토 주성분 분석

법천사지 출토 청자와 손곡2리 4호 가마터 수습 청자의 태토 주성분 분석을 위하여 엑스선형광분석기(XRF; ZSX100e, Rigaku, Japan)를 이용하였으며, X선 선원은 Rh target을 사용하였다. 태토는 유약 부분을 제거한 후 agate mortar에서 약 30 μ m로 분쇄하였고, 분쇄된 시료를 \varnothing 30mm 펠렛 형태로 성형하여 분석용 시편으로 사용하였으며, 성형 압력은 20ton으로 하였다.

2) 미량성분 분석

청자 태토의 미량원소 및 희토류 원소 분석은 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS; Ultramass-700, Varian, Australia) 및 유도결합플라즈마 원자방출분광기(ICP-AES; Vista Pro, Varian, Australia)를 이용하여 진행하였다.

3) 제겔식(Sege Fomula)

일반적으로 도자기 원료는 산화물 또는 몇 개의 산화물이 결합된 화합물로 구성되어 있으며, 이들 산화물은 염기성에 속하는 금속산화물과 산성에 속하는 비금속산화물, 산성과 염기성의 중간인 중성산화물로 나눌 수 있다(오영우 1998). 이 중에서 중성산화물은 산성과 염기성 산화물이 공존할 경



우 쉽게 반응하여 생성되므로 원료의 분류를 이용한 비교분석에서는 크게 산성과 염기성으로 나눈다. 이렇게 분류된 주요 산화물을 가지고 산소 이외의 원소를 R로 치환하면, 염기성에 대한 일반식은 RO 또는 R₂O가 되고, 중성은 R₂O₃로, 산성은 RO₂로 표현하는데 이를 이용한 것이 제겔식이다(오영우 1998).

4) 미세구조 분석

분석 대상 청자의 미세구조를 관찰하기 위하여 주사전자현미경(FE-SEM; JEOL JSM-6701F, Japan)을 이용하였으며, 유약과 태토부분을 이차전자 이미지(secondary electron image) ×50, ×500, ×1000, ×5000으로 관찰하였다. 이차전자 이미지는 시편을 20% 플루오르화수소산(HF) 용액에 약 5초간 etching하여 분석하였다.

5) 결정상 분석

결정상 조사를 위하여 고분해능엑스선회절분석기(HR-XRD; D/MAX 2500V/PC, Rigaku, Japan)를 이용하여 분석하였다. 이때 분석조건은 scan range; 5°-80°, scan speed; 0.6°/min, scan step; 0.01°, acceleration voltage; 40kV, 200mA, target; Cu로 하였다. 시료는 유약 부분을 제거한 청자 파편으로부터 미세절단기를 이용하여 적당량을 절단한 후 agate mortar를 이용하여 약 30μm 이하로 분쇄하여 사용하였다.

6) 열팽창·수축 측정

분석 대상 도편의 소성온도를 알아보기 위하여 열팽창계 수축정기(Dilatometer; DIL402C, NETZSCH, Germany)를 사용하여 열팽창·수축을 조사하였다. 유약을 제거한 후 태토부분을 3×3×10mm의 크기로 절단하였으며, 표준시료로 Al₂O₃을 사용하여 N₂ 가스 분위기 하에서 10°C/min의 승온 속도로 1300°C까지 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 태토 주성분 분석

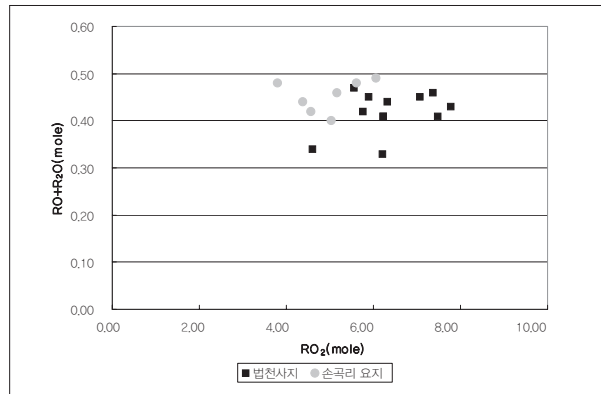
원주 법천사지와 손곡2리 4호 가마터 청자 태토 주성분 분석에 대한 결과는 <표 2>에 나타내었다.

원주 법천사지 청자 태토 주성분의 대부분을 차지하는 SiO₂가 약 66.2-76.5wt.%이며, Al₂O₃는 15.6-21.6wt.%를 나타내고 있다. bc9번 유물은 SiO₂ 66.2wt.%이고, Al₂O₃는 21.6wt.%로 다른 법천사지 청자보다 SiO₂가 낮고, Al₂O₃는 높은 분포를 나타내고 있다. 착색산화물인 Fe₂O₃는 대부분 1.67-2.79wt.% 함량을 나타내고 있으나, bc9번의 경우 4.85wt.%로 높은 함량으로 확인된다. MgO는 0.42-0.73wt.% 분포이며, CaO는 bc11이 0.17wt.%로 낮고, bc9는 0.95wt.%로 원주 법천사지 청자 중 비교적 높은 수치를 나타낸다. Na₂O는 0.03-0.12wt.%로 미량 포함되어 있으며, K₂O는 bc9번 유물이 4.31wt.%로 다른 법천사지 청자보다 낮은 함량이다. TiO₂ 역시 bc9번 유물은 0.97wt.%로 다른 유물이 0.20-0.37wt.%인데 비하여 높은 함량을 나타내고 있다. MnO는 bc9번 유물이 bc2번과 같이 비교적 높은 함량을 보이고 있으며, P₂O₅는 0.04-0.09wt.%로 미량 함유되었다.

손곡2리 4호 가마터 청자 태토 주성분 중 SiO₂는 sg1이 71.0wt.%로 높고, sg4는 60.6wt.%로 낮은 함량이며, Al₂O₃는 이와 반비례하여 sg1이 18.5wt.%로 낮고, sg4는 25.4wt.%로 높은 함량이다. 그 밖에 sg2, sg3, sg5-sg7은 SiO₂가 64.2-69.7wt.%이며, Al₂O₃는 19.8-22.4wt.%이다. Fe₂O₃는 sg5가 4.38wt.%이고, MgO와 CaO가 법천사지 청자보다 대체로 높은 함량을 나타낸다. Na₂O는 0.04-0.08wt.%이며, K₂O와 TiO₂는 미량 포함되어 있다. MnO는 0.03-0.12wt.%이고, P₂O₅는 0.07-0.13wt.%로 확인된다. 원주 법천사지와 손곡2리 4호 가마터 청자 모두 K₂O의 함량이 4.31-8.15 wt.%로서 비교적 높은 함량을 나타내고 있는데, 이는 용제가 칼리장석임을 알 수 있다(이종근 1978: 99).

도자기에서 화학적으로 구성되어 있는 주성분 함량의

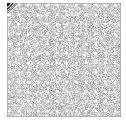
비율적 분포를 위하여 제겔식을 사용하였다. 제겔식의 태토 분석 결과는 R_2O_3 를 1 mole로 하였을 때 RO_2 와 $RO+R_2O$ 의 몰(mole)비를 구하는데 RO_2 는 SiO_2 와 TiO_2 와 P_2O_5 의 합을 나타내며, R_2O_3 는 Al_2O_3 와 Fe_2O_3 의 합을 나타내고, RO 는 $MgO \cdot CaO \cdot MnO$ 의 합이며, R_2O 는 Na_2O 와 K_2O 의 합이다 (오영우 1998). 이와 같이 산성 및 염기성으로 표기되는 제겔식을 통해서 원주 법천사지에서 출토된 청자와 손곡2리 4호 가마터 청자의 제작기법 등 화학성분적인 특성 뿐 아니라 물리적인 특성도 알아볼 수 있다.



【 그림 1 】 원주 법천사지와 손곡 2리 4호 가마터 청자 태토의 제겔식 그래프

【 표 2 】 원주 법천사지와 손곡2리 4호 가마터 청자 태토의 주성분 분석 결과

sample number	Oxide Concentration (wt.%)										
	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	Total
Group1. Beopcheon-temple site											
bc1	73.3	18.6	2.33	0.55	0.21	0.05	4.48	0.29	0.01	0.04	99.86
bc2	70.8	19.2	2.07	0.59	0.42	0.04	6.23	0.28	0.11	0.06	99.8
bc3	70.9	19.5	2.39	0.73	0.68	0.04	5.21	0.37	0.03	0.07	99.92
bc4	72.6	18.4	2.25	0.56	0.42	0.12	5.23	0.27	0.02	0.05	99.92
bc5	74.4	16.6	2.04	0.51	0.38	0.04	5.46	0.27	0.02	0.04	99.76
bc6	72.5	18.4	2.20	0.56	0.44	0.12	5.22	0.27	0.02	0.04	99.77
bc7	72.1	17.7	2.79	0.59	0.46	0.09	5.66	0.34	0.02	0.07	99.82
bc8	69.2	19.6	2.49	0.47	0.58	0.06	6.94	0.26	0.07	0.06	99.73
bc9	66.2	21.6	4.85	0.71	0.95	0.08	4.31	0.97	0.12	0.04	99.83
bc10	76.5	15.6	1.82	0.48	0.52	0.03	4.55	0.24	0.02	0.05	99.81
bc11	75.8	16.2	1.67	0.42	0.17	0.05	5.25	0.20	0.02	0.09	99.87
bc12	75.3	16.2	1.89	0.47	0.77	0.06	4.84	0.25	0.03	0.08	99.89
average	72.47	18.13	2.40	0.55	0.50	0.07	5.28	0.33	0.04	0.06	99.88
standard deviation	2.94	1.76	0.83	0.09	0.22	0.03	0.75	0.21	0.04	0.02	
Group2. Songok-2ri 4th kiln											
sg1	71.0	18.5	2.31	0.67	0.83	0.05	5.88	0.35	0.10	0.13	99.82
sg2	67.7	20.8	2.47	0.52	0.44	0.06	7.33	0.25	0.12	0.07	99.76
sg3	65.6	22.4	3.39	0.87	0.75	0.06	6.14	0.54	0.05	0.09	99.89
sg4	60.6	25.4	3.08	0.98	0.85	0.05	8.15	0.56	0.06	0.10	99.83
sg5	64.2	22.3	4.38	0.91	0.90	0.08	6.23	0.67	0.09	0.08	99.84
sg6	68.3	21.6	2.47	0.85	0.46	0.04	5.67	0.39	0.03	0.08	99.89
sg7	69.7	19.8	2.15	0.75	1.02	0.04	5.84	0.36	0.05	0.11	99.82
average	66.73	21.54	2.89	0.79	0.75	0.05	6.46	0.45	0.07	0.09	99.83
standard deviation	3.55	2.20	0.79	0.16	0.22	0.01	0.92	0.15	0.03	0.02	



분석 대상 청자 태토의 제결식 그래프는 <그림 1>에 나타내었다. 손곡2리 4호 가마터 청자의 RO₂ 값은 3.79-6.06mole이며, 원주 법천사지 출토 청자는 5.56-7.77mole로 넓은 분포를 나타낸다. RO+R₂O는 손곡2리 4호 가마터 청자가 0.40-0.49mole이고, 원주 법천사지 청자는 0.33-0.47mole로 확인된다. 이와 같이 RO₂와 RO+R₂O의 몰(mole)비 그래프는 RO₂ 3.79-7.77mole, RO+R₂O 0.33-0.49mole 영역에서 분산된 분포를 나타낸다.

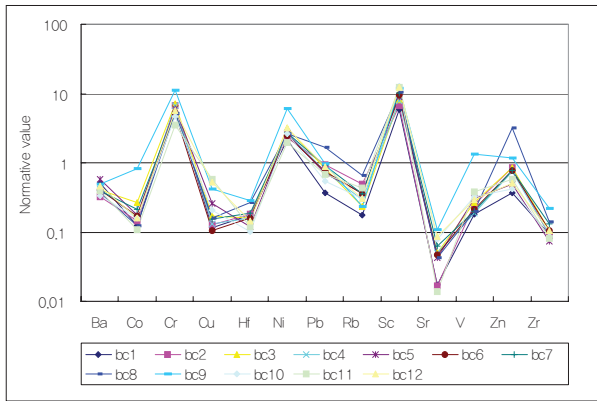
2. 미량성분 원소 분석

분석 대상 청자 편지의 미량성분원소는 <표 3>에 나타내었다. 미량성분원소는 미량원소(trace elements)와 희토류 원소(rare earth elements)로 나눌 수 있다(경기도박물관 2008: 35). 원주 법천사지 출토 청자 태토의 원료 특성은 미량원소 그래프를

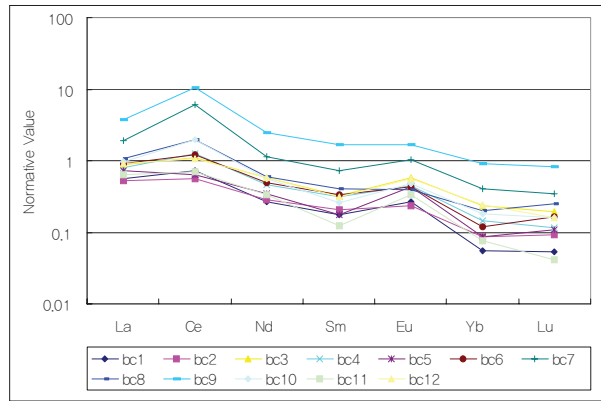
통하여 보다 구체적으로 이해할 수 있다(그림 2). bc9는 확연히 다른 패턴을 보이고 있으며, Co · Cr · Ni · V · Zn · Zr에서 조금씩 높은 성분을 보이고 있다. 미량원소 중에서 전이금속원소로 분류되는 Cr · Ni · V은 철 함량과 비례관계를 보이는 원소이다(경기도박물관 2008: 44). bc9의 주성분 분석 확인 결과 <표 2>에서 볼 수 있듯이 Fe₂O₃는 4.85wt.%로 높은 철 함량이며, 정선 되지 않은 조질 청자임을 알 수 있다. 원주 법천사지 대부분 청자와 달리 bc5와 bc10, bc11은 Cu는 높고, Hf가 낮아지는 패턴이며, bc8은 Pb와 Zn값이 높은 특성을 보인다. 또한 bc2와 bc11은 Sr값이 확연히 낮게 나타난다. 손곡2리 4호 가마터 청자 태토의 미량성분은 sg2가 확연히 다른 패턴을 보이고 있으며, Co와 V 값은 낮고, Hf · Pb · Rb · Zn 값은 높은 특성을 보인다(그림 3). 또한 sg4는 Cu에서 높은 값을 보이지만 다른 미량성분은 유사한 패턴이다.

【 표 3 】 원주 법천사지와 손곡2리 4호 가마터 청자 태토의 미량성분 원소 분석 결과

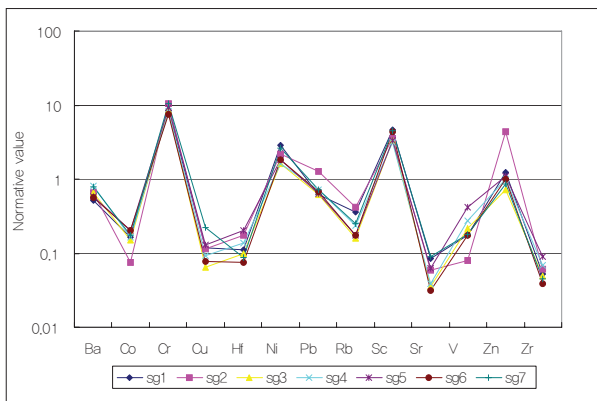
단위 (ppm)	bc1	bc2	bc3	bc4	bc5	bc6	bc7	bc8	bc9	bc10	bc11	bc12	sg1	sg2	sg3	sg4	sg5	sg6	sg7
Ba	349	229	280	290	406	284	277	254	345	230	272	318	364	458	464	558	405	398	555
Co	0.9	1.2	2.1	1.3	1.4	1.3	1.6	0.9	6.6	1.3	0.8	1.3	1.3	0.6	1.2	1.3	1.6	1.6	1.4
Cr	161	159	172	159	148	124	127	125	267	111	84	138	205	252	201	198	221	179	250
Cu	3.5	3.8	5.3	4	8	3.2	4.7	4.9	13	6.4	17	16	3.7	3.5	2	2.9	4	2.4	6.8
Hf	1.4	1.4	1.2	1.2	0.9	1.3	1.5	2.1	2.3	0.8	1	1.2	0.9	1.4	0.8	1.1	1.6	0.6	0.7
Ni	24	26	35	30	29	27	30	29	66	30	21	35	32	24	18	18	20	20	29
Pb	14	36	32	29	28	29	35	65	38	21	27	34	24	49	24	28	25	26	28
Rb	37	104	50	64	79	77	76	142	50	64	92	64	77	90	34	50	38	38	54
Sc	36	40	48	47	54	57	61	64	72	76	75	75	28	21	20	19	20	26	27
Sr	4.4	4.3	13	13	11	12	16	11	28	20	3.5	22	22	15	9	10	16	8	23
V	6.2	8.4	9	6.4	10.4	7.2	6.9	6.9	45	11	13	10	6	2.7	7.4	9.3	14	6	6.2
Zn	26	60	61	53	35	55	54	224	83	30	41	36	88	308	51	71	77	70	61
Zr	23	22	26	23	18	26	32	35	55	21	20	26	13	15	12	17	22	9.5	11
La	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.4	1.3	0.3	0.2	0.3	1	1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.8
Ce	0.7	0.5	1	1.2	0.6	2.1	5.8	1.8	9.9	1.8	0.6	1	8.4	8.7	3.2	2.9	2.4	3.1	6.4
Nd	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.8	0.4	1.7	0.4	0.2	0.4	1.8	1.8	0.5	0.5	0.5	0.4	1.3
Sm	0.04	0.05	0.07	0.07	0.04	0.07	0.1	0.09	0.3	0.06	0.03	0.07	0.4	0.4	0.07	0.1	0.1	0.09	0.3
Eu	0.02	0.02	0.05	0.04	0.04	0.04	0.09	0.03	0.1	0.04	0.03	0.05	0.1	0.09	0.04	0.05	0.05	0.04	0.1
Yb	0.01	0.02	0.06	0.04	0.02	0.03	0.1	0.05	0.2	0.04	0.02	0.06	0.3	0.2	0.04	0.07	0.09	0.03	0.1
Lu	0.002	0.003	0.007	0.004	0.004	0.006	0.01	0.009	0.03	0.006	0.001	0.006	0.04	0.03	0.005	0.006	0.01	0.003	0.01



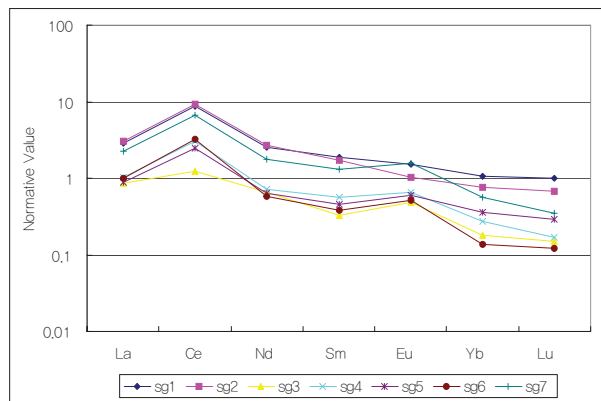
【 그림 2 】 법천사지 청자 태토 미량성분 분포패턴



【 그림 4 】 법천사지 청자 태토 희토류 원소 분포패턴



【 그림 3 】 손곡2리 4호 가마터 청자 태토 미량성분 분포패턴

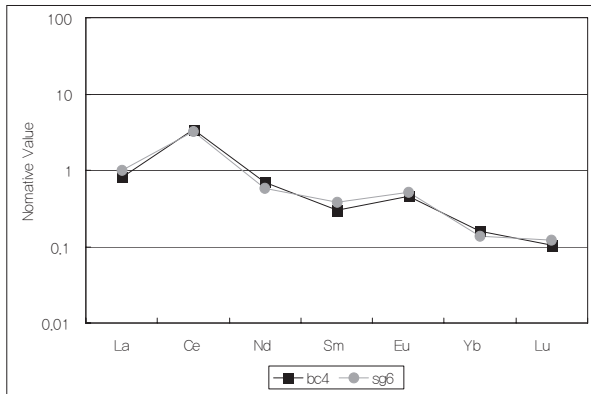


【 그림 5 】 손곡2리 4호 가마터 청자 태토 희토류 원소 분포패턴

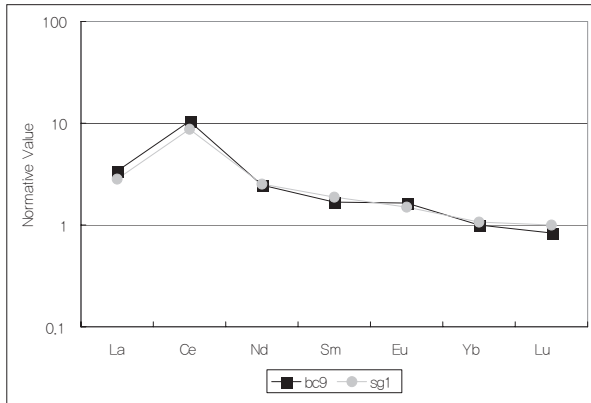
희토류 원소의 분포도 특성은 지표지질물질의 지구화학적 풍화과정에 따른 퇴적물의 근원암 규명 혹은 도자기의 원료, 즉 토양 생성지를 밝혀내는 지구화학 및 고고학의 연구 영역에서도 매우 유용하게 활용되어질 수 있음을 지시한 바가 있다(이승구 외 2008: 142). 이와 같이 희토류 원소의 존재도 변화가 고고학의 영역까지 널리 사용될 수 있는 것은 다른 원소들의 지구화학적 특성과 비교해 볼 때, 희토류 원소가 풍화 혹은 변질 작용과 같은 지질학적 현상의 변화에 대해서도 일정한 특성을 가지고 분화되기 때문이다(Aubert 외 2001: 387-406; Ding 외 2006: 82-90; Liang 외 2008:7-15). 본 연구에서는 테일러와 맥리난이 제시한 운석의 초생치로 표준화하여 분포패턴을 나타냈다(Taylor, S.R. · McLennan, S.M. 1985). 원주 법천사지 청자 태토의 희토류 원소 분석 그

래프를 통하여 분포패턴이 다양한 사실을 알 수 있다(그림 4). bc9는 경희토류와 중희토류 모두 Normative value가 높은 분포를 나타내며, bc7 역시 La · Ce · Nd · Eu · Yb 등이 높은 수치이다. 또한 손곡2리 4호 가마터 청자 역시 다양한 Normative value 패턴을 보이고 있다(그림 5). 희토류 함량 그래프에서 유사한 패턴을 나타내는 분석 대상 청자 중 bc4와 sg6 태토의 희토류 원소(La-Lu)는 일정한 규칙성으로 거의 동일한 분포 양상을 갖는다(그림 6). 또한 bc9 청자와 sg1 청자 역시 동일한 패턴으로 규칙성 있는 분포인데, 이는 지구화학적 특성을 통해 원료산지, 즉 도자기의 근원물질을 알 수 있는 유용한 정보이다(그림 7).

미량 및 희토류 원소 분석 결과 원주 법천사지 청자와 손곡2리 4호 가마터 청자는 다양한 원소 함량으로 제작되었으



【 그림 6 】 법천사지 청자(bc4)와 손곡2리 4호 가마터 청자(sg6)의 희토류 원소 분포패턴



【 그림 7 】 법천사지 청자(bc9)와 손곡2리 4호 가마터 청자(sg1)의 희토류 원소 분포패턴

며, 그 중 일부가 일정한 규칙성을 갖는 희토류 원소 함량분포를 나타내어 도자기 제작에 사용된 원료 모임이 동일기원일 가능성이 크다. 하지만 분석 대상 가마터와 청자의 수량이 한정적이었기 때문에 앞으로 추가적인 연구가 진행된다면 원주 법천사지 청자수급지에 대하여 더욱 객관적으로 유추해 낼 수 있을 것으로 생각된다.

3. 미세구조 분석

주사전자현미경을 이용하여 태토 및 유약, 태토와 유약 경계면의 미세구조를 관찰하였다(사진 3). 법천사지 출토 청자의 경우 대체로 태토와 유약이 자화가 잘 된 편이다. <사진 3>의 (a)는 bc1 태토의 가운데 부분을 ×500으로 확대한 image

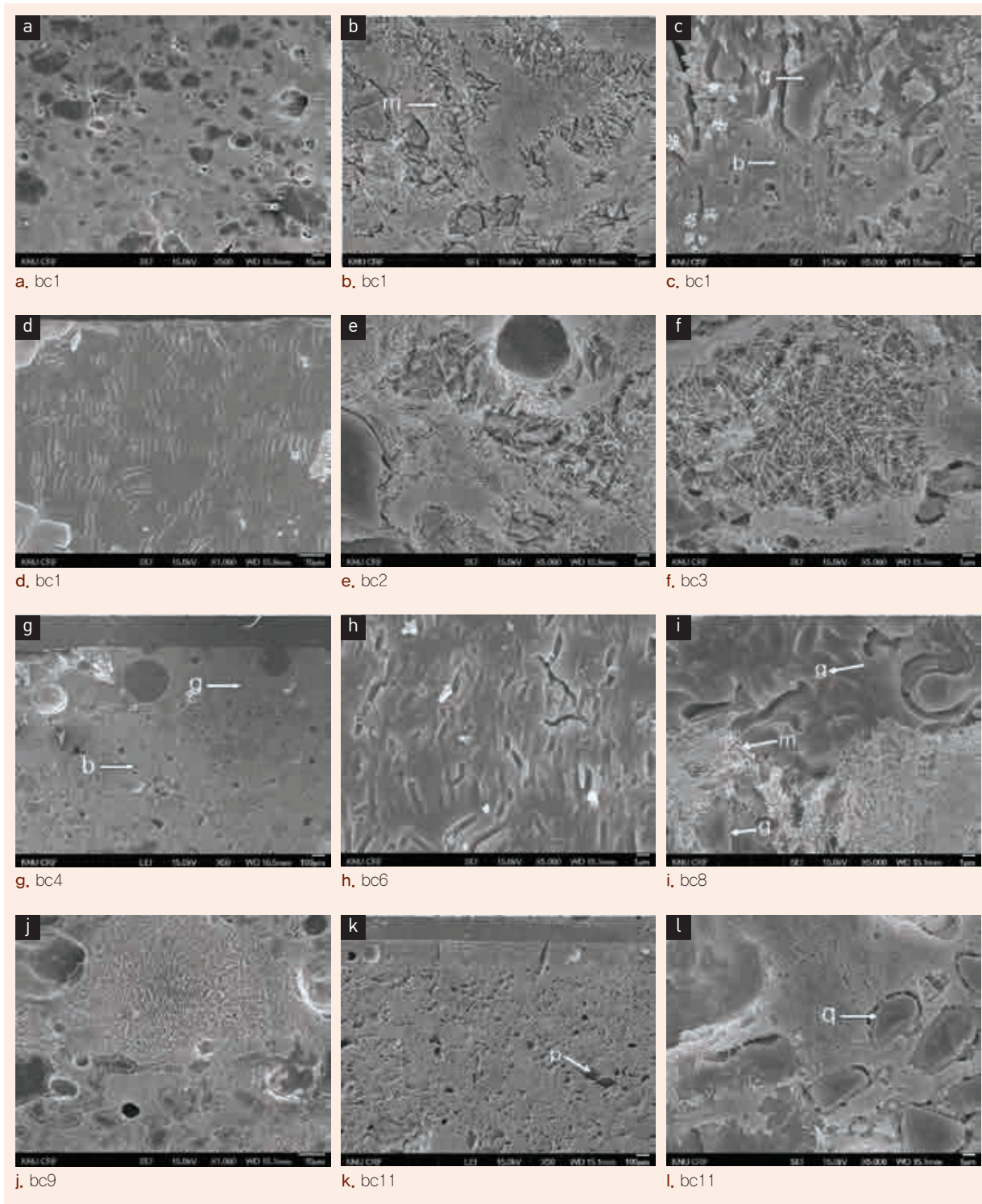
로 pore와 quartz가 확인되고, (b)는 태토를 ×5000로 관찰하였으며, mullite가 침상으로 길게 얽혀있다. bc2와 bc3의 태토 부분을 ×5000로 확대한 (e)와 (f)에서도 길이가 긴 침상 mullite를 확인할 수 있다. 태토와 유약의 경계부분을 ×5000로 관찰한 결과 태토에서는 침상 mullite가 많이 확인되었지만, 유약부분에서는 mullite가 확인되지 않고 비결정상태임을 (c)와 (d)에서 알 수 있다.

bc4의 유약과 태토 부분을 ×50로 확대한 (g)의 유약 부분에서 약 200 μ m 이상의 pore가 확인되며, 태토는 비교적 번조 상태가 양호하다. bc6의 유약 부분은 치밀하고 자화가 잘 되었다(h). bc8은 유약과 태토 경계부분에서 비결정질 유약이 태토의 mullite 틈으로 혼입되어, 유약과 태토가 결합이 잘 된 것으로 보인다(i). bc9는 Al₂O₃ 성분이 다른 법천사지 출토 청자보다 많으며, 고온에서 소성되어 mullite의 길이가 길고 밀도가 치밀하게 얽혀있는 상태이다(j). 이러한 결과는 <표 4>의 quartz와 mullite 함량비 관계에서 증명된다. bc11은 (k)에서 볼 수 있듯이 태토의 번조 상태가 매우 불량하다. 이는 1050 $^{\circ}$ C 이하의 저온 소성과 적은 Al₂O₃ 함량이 원인으로 보이며, quartz가 많고, mullite 결정상 비율은 적다. 또한 mullite의 길이가 짧고, 영성한 형태로 확인된다(l). bc12 역시 낮은 소성온도와 Al₂O₃ 함량의 영향으로 quartz가 많고, mullite는 많이 성장하지 못하였다(m).

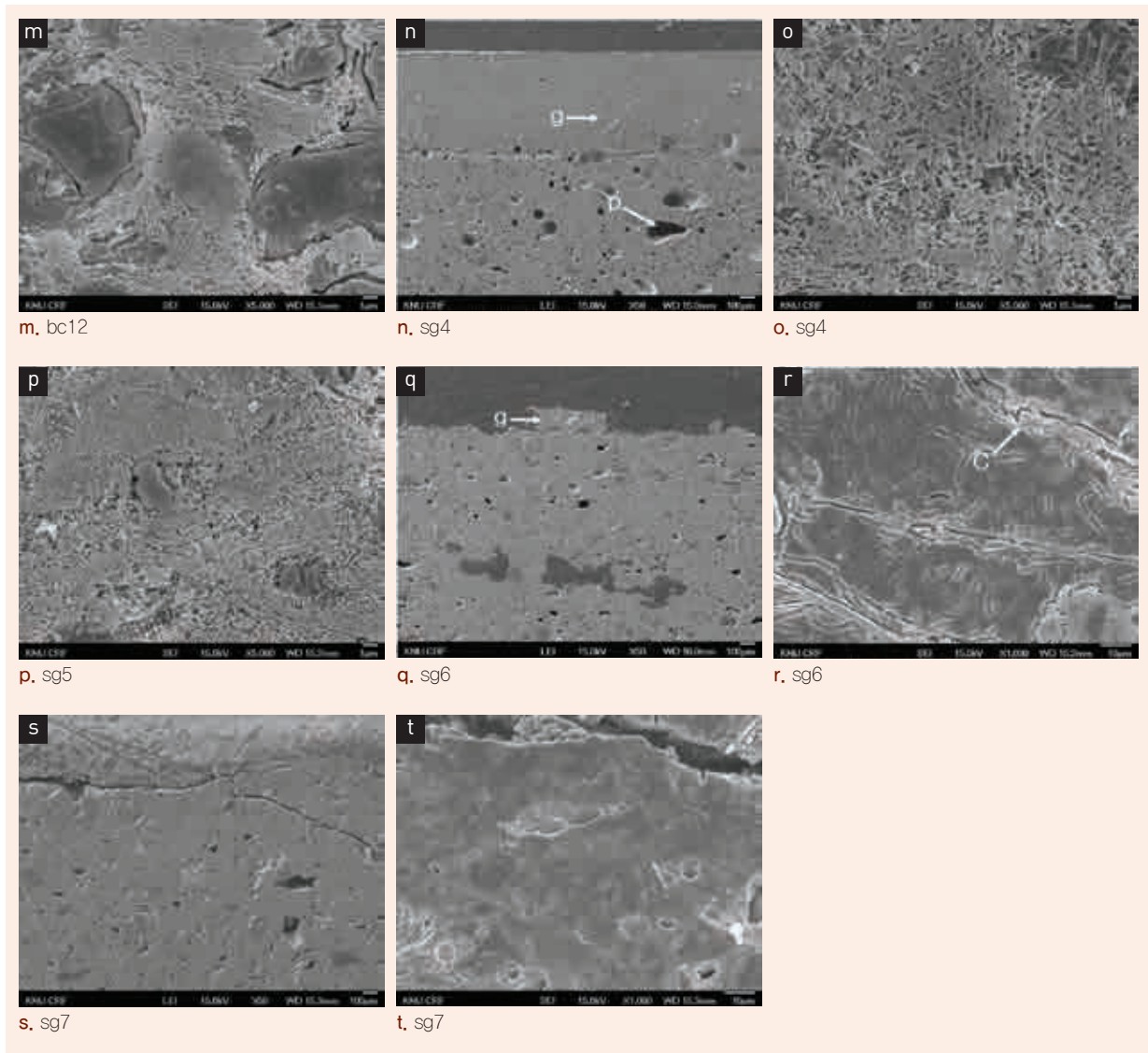
손곡2리 4호 가마터 수습 청자는 sg7을 제외하고는 태토가 치밀하고, 자화가 잘 이루어진 것으로 보인다. sg4는 태토에 미세한 pore가 확인되지만, 유약은 매우 치밀하고 자화가 잘 이루어졌다(n). 이는 1200 $^{\circ}$ C 이상의 소성온도와 높은 mullite 비율을 통해서 증명되며, mullite는 길이가 길고 매우 치밀하게 얽혀 있음 (o)에서 확인하였다. sg5 역시 mullite가 길고 촘촘하게 성장하였고(p), <표 4>를 통해서 알 수 있듯이 mullite 검출량도 높은 비율로 나타난다. sg6의 태토 부분은 자화가 잘 이루어진 것으로 보이나, 유약에 탈유현상(脫糲現象)이 발생했으며, 시유 두께 역시 약 50 μ m 이하로 제대로 시유되지 않았음을 알 수 있다. (q)또한, 유약을 ×1000으로 확대하여 관찰한 결과 crack이 많이 발생하였고, 자화상태

가 불량하였다(r). sg6은 초벌은 잘 진행된 것으로 보이지만, 시유와 재벌 과정이 원만하게 이뤄지지 않은 것으로 보인다.

sg7은 pore와 crack이 많이 발생하였으며(s, t), 이는 낮은 소성온도 결과와 부합하고, 자화가 덜 이루어진 것으로 보인다.



【 사진 3 】 분석대상 청자 SEM image(white arrow - m:mullite, g:glaze, b:body, p:pore, q:quartz)

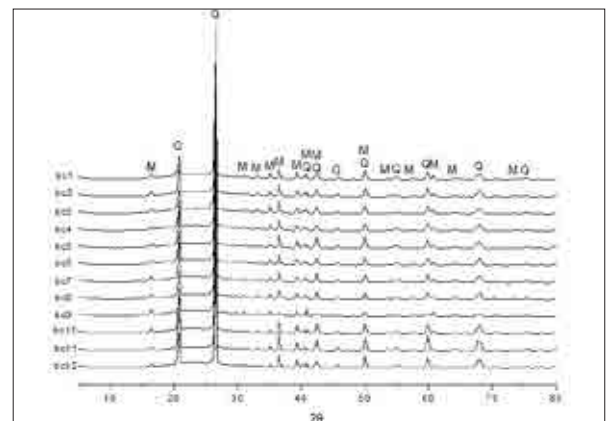


【 사진 3 】 Continued(white arrow - g:glaze, p:pore, c:crack)

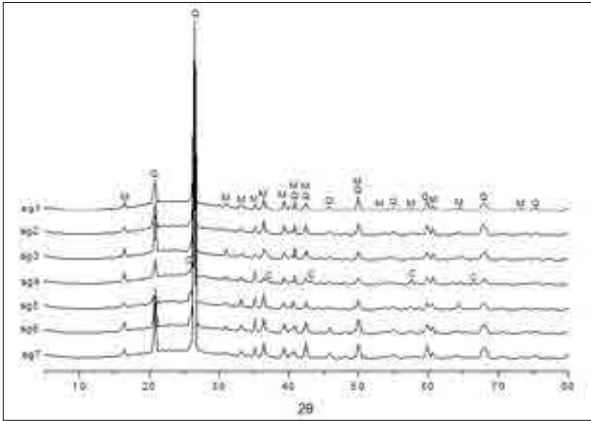
4. 결정상 분석

청자 태토의 XRD 분석 결과 결정상으로는 석영(quartz), 물라이트(mullite)가 주로 검출되었고, 손곡2리 4호 가마터 청자에서는 강옥(corundum)이 sg4에서 검출되었다(그림 8, 그림 9). 원주 법천사지와 손곡2리 4호 가마터 청자 태토에서 검출된 결정상과 정량적 비율을 정리하여 <표 4>에 나타내었다.

도자기의 소성 과정에서 카올리나이트(Kaolinite)는 500~550℃에서 결정수가 제거되고, 800~900℃에서는 비정질의 유리질 상태가 된다. 1000℃에서 1차 물라이트(primary



【 그림 8 】 법천사지 출토 청자 태토 X선 회절분석 결과 (Q:quartz, M:mullite)



【 그림 9 】 손곡2리 4호 가마터 청자 태토 X선 회절분석 결과 (Q:quartz, M:mullite, C:corundum)

【 표 4 】 분석 대상 청자의 결정상과 정량적 비율

site	sample number	detected minerals	rates of detected minerals(wt.%)
Beopcheon-temple site	bc1	quartz, mullite	72.6 : 27.4
	bc2	quartz, mullite	76.6 : 23.4
	bc3	quartz, mullite	68.9 : 31.1
	bc4	quartz, mullite	77.3 : 22.7
	bc5	quartz, mullite	81.5 : 18.5
	bc6	quartz, mullite	77.1 : 22.9
	bc7	quartz, mullite	77.1 : 22.9
	bc8	quartz, mullite	73.2 : 26.8
	bc9	quartz, mullite	54.3 : 45.7
	bc10	quartz, mullite	82.4 : 17.6
	bc11	quartz, mullite	86.9 : 13.1
	bc12	quartz, mullite	84.4 : 15.6
Songkok-2ri 4th kiln	sg1	quartz, mullite	74.2 : 25.8
	sg2	quartz, mullite	71.6 : 28.4
	sg3	quartz, mullite	64.7 : 35.3
	sg4	quartz, mullite, corundum	51.5 : 41.5 : 7.0
	sg5	quartz, mullite	56.3 : 43.7
	sg6	quartz, mullite	66.7 : 33.3
	sg7	quartz, mullite	74.0 : 26.0

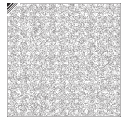
mullite)가 생성되며, 어느 온도에서나 화학작용에 대한 저항성이 강하고, 기계적 강도가 강한 태토가 된다. 1250℃에서는 침상 형태의 2차 몰라이트가 생성된다(고경신 1992: 34). 또한 실리카(silica)의 결정에는 석영과 트리디마이트(tridymite), 크리스토팔라이트(cristobalite)가 있는데 석영은 상온에서 가장 안정된 형태이며, 실리카를 573℃에서 870℃

이상으로 가열시키면 β-quartz는 β 2-tridymite로 전이되고, 다시 1470℃가 되면 β 2-tridymite가 β 2-cristobalite가 된다(이종근 1977: 55~58).

원주 법천사에서 출토된 청자는 트리디마이트, 크리스토팔라이트는 검출되지 않았고, 석영, 몰라이트 결정상만이 검출되었다. 장석, 견운모 등은 검출되지 않았으며, 이를 통하여 태토 내에 대부분 점토류와 장석류 물질이 소성 과정에서 용융되었음을 알 수 있다. 손곡2리 4호 가마터 청자 역시 석영과 몰라이트 결정상이 검출되고 있으며, sg4번에서는 강옥(a-Al₂O₃)이 2θ=25°, 37°, 43°, 57°에서 검출되었다. 또한 검출된 결정상의 정량적 비율에서 sg4는 강옥(corundum)이 7wt.% 확인되었다. 몰라이트는 고상반응에 의하여 kaolinite가 중간상인 metakaolinite 및 Al-Si 스피넬상을 거쳐 생산되면서(C. S. Hsi 외 1989: 2208-2210; B. SONUPARLAK 외 1987: 837~842) 일정 온도 범위 내에서 소결체에 강옥(corundum) 상을 포함한 몰라이트 상이 나타난다(류호진 1997: 199~200). 강옥의 알루미늄 결정상이 나타난 것은 일부 알루미늄 성분이 몰라이트로 전환되지 못했기 때문인 것으로 판단된다(양구균 · 한국세라믹기술원 2011: 53). 또한 원주 법천사지 출토 청자와 동일하게 손곡2리 4호 가마터 청자에서도 장석류 광물상은 검출되지 않았다.

5. 열팽창 · 수축 측정

일반적으로 도자기와 같은 세라믹스는 가열하면 팽창하고, 이 팽창은 원래의 소성온도 범위를 지나면 수축으로 전환한다. 이와 같은 수축은 시편의 재 가열에 의해 원래 소성온도보다 고온에 도달하면 소결이 진행되어 보다 치밀한 상태로 변화함으로써 나타나는 현상이다(강경인 · 정창주 1997: 15~30; M. S. Tite 1969: 131~144). 하지만 소결이 완벽하게 이루어진 도자기는 소성 온도보다 고온에 이르렀을 때 더 치밀한 상태로 변화되지 않을 것이다. 또한, 도자편의 흡수율이 0%가 되는 온도와 용융 또는 변화하는 온도가 근접할 경우에는 소결온도에서 온도를 조금만 상승시켜도 발포



현상(日本セラミックス協會 1989: 1485)이 나타나기도 하는데, 이는 그래프 상에 완만한 팽창현상 이후 수축으로 전환하지 않고 팽창 패턴을 보인다(강경인 · 정창주 1997: 28). 팽창률의 현저한 변동은 팽창 · 수축곡선에 하나의 변곡점으로 나타나고, 이에 상응하는 온도가 청자 태토의 추정 소성온도이며, 오차범위는 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 이다(강경인 · 정창주 1997: 15~30).

본 연구에 사용된 청자는 완전한 자화가 이루어지지 않았기 때문에 소성온도 이상의 온도에서 수축이 이루어질 것으로 예상된다. 청자 태토의 소성온도를 추정하기 위해 열팽창 계수 측정기를 사용하여 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 승온 속도로 1300°C 까지 시편의 열팽창 · 수축을 측정된 결과를 나타내었다(그림 10, 그림 11).

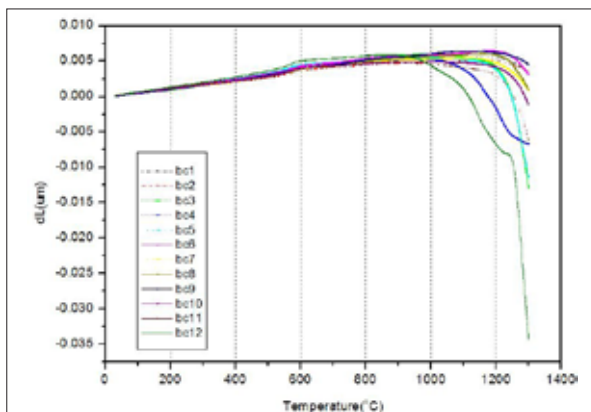
원주 법천사지 출토 청자는 bc4과 bc11, bc12를 제외하고는 변곡점이 거의 $1150\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 구간에서 형성됨을 알 수

있다. bc4번의 경우는 1100°C 이하에서 변곡점이 확인되고, bc11은 $1000\sim 1050^{\circ}\text{C}$ 구간에서 일차적으로 변곡점이 형성된 후 수축이 서서히 진행되었으며, bc12의 경우에는 1000°C 에 변곡점이 보인다. 손곡2리 4호 가마터 청자 역시 대부분 1200°C 부근에서 변곡점이 확인되는데, sg3은 조금 낮은 온도인 $1050\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 구간에서 변곡점이 형성되었으며, sg7은 1000°C 에서 1차 변곡점이 형성된 후 수축이 서서히 진행되었다. 특히 sg4, sg5, sg6은 변곡점이 1200°C 이상인 것으로 보아 고온 소성되었음을 알 수 있다.

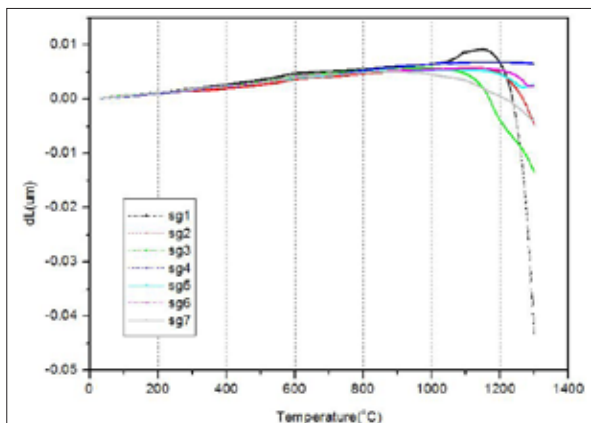
결론

법천사지 출토 청자와 법천사지로부터 근거리 분포하고 있는 손곡2리 4호 가마터 수습 청자의 도자사적 성격과 과학적 분석을 통하여 비교 분석하였다. 원주 법천사에서 사용된 수많은 청자 중 고급 청자가 아닌 일반 청자들은 현지에서 수습하여 사용했을 것이라는 생각에서 분석을 진행하였으며, 생산지와 사용처의 연관성을 밝히고자 하였다. 분석에 사용된 대상 청자는 보편적이고 유사한 형태인 청자로 선택하였지만, 손곡2리 4호 가마터 청자는 지표에서 수습되었다는 한계가 있다.

본 연구에서는 분석 대상 청자에 대한 도자사적 성격과 과학적 분석을 통한 결과를 아래와 같이 정리하였다. 과학적 분석 결과에서 원주 법천사지 출토 청자와 손곡2리 4호 가마터 수습 청자는 태토의 다양한 화학조성 및 제작방법이 확인되었고, 법천사지에서 사용된 청자의 생산 가마터가 손곡2리 4호 가마터라고 확언하기는 어렵다. 하지만, 희토류원소 분석 결과에서는 원주 법천사지 청자와 손곡2리 4호 가마터 일부 청자 태토 원료 모양의 희토류 패턴에서 유사성이 확인되었다. 또한 이번 연구와 더불어 앞으로 원주지역 가마터에서 출토 또는 수습되는 청자에 대한 분석이 점차적으로 진행된다면 수습지에 대한 보다 객관적인 추측이 가능할 것이라 생각된다.



【 그림 10 】 원주 법천사지 출토 청자 태토의 Dilatometer 그래프



【 그림 11 】 손곡2리 4호 가마터 청자 태토의 Dilatometer 그래프

1. 도자사적으로 살펴봤을 때, 법천사지 출토 청자와 손곡2리 4호 가마터 수습청자 중에서 성형방법과 번조방법이 동일한 청자를 분석대상으로 선정하였다. 청자는 전반적인 청자의 기형과 문양의 양상으로 볼 때, 12~13세기에 제작된 것으로 보인다.

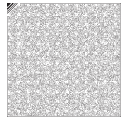
2. 화학성분 분석 결과로 제겔식을 도시화 한 결과 원주 법천사지 출토 청자와 손곡2리 4호 가마터 청자는 RO, 3.79-7.77mole, RO+R₂O 0.33-0.49mole 영역에서 분산된 분포를 나타낸다.

3. SEM image를 통해서 청자의 소성온도와 결정상의 비율에 따른 mullite의 성장과 밀도를 확인할 수 있으며, 이를 근거로 번조 상태를 알 수 있다. 법천사지 출토 청자와 손곡2리 4호 가마터 청자는 자화가 잘 된 편이고 태토에는 침상 mullite가 확인되며, bc11 태토는 약간 덜 번조되었다. sg6은 시유 및 재벌이 잘 이루어지지 않았으며, sg7은 태토 및 태토와 유약 경계부에 기공과 균열이 확인되어 자화가 덜 되었음을 알 수 있다.

4. XRD 분석 결과 원주 법천사지 청자와 손곡2리 4호 가마터 청자 태토에서는 고온 광물상인 석영(quartz), 물라이트(mullite)가 주로 검출되었고, sg4에서는 강옥(corundum)이 확인되었다.

5. 원주 법천사지 출토 청자와 손곡2리 4호 가마터 청자의 열팽창·수축 분석 결과 변곡점이 1200℃ 근방에서 형성됨을 알 수 있다. 따라서 소성 과정 중에 1200℃ 온도까지 경험했으며, 고온 소성되었음을 알 수 있다. bc4번과 bc11, bc12, sg3, sg7은 1200℃보다 낮은 온도에서 변곡점이 확인되며, sg4, sg5, sg6은 1200℃ 넘는 온도에서 고온 소성되었다.

6. 미량성분 원소 함량에서 원주 법천사지 청자와 손곡2리 4호 가마터 청자 태토는 다양한 패턴으로 확인되었다. 특히 법천사지와 손곡2리 4호 가마터 청자 중 일부가 일정한 규칙성을 갖는 희토류원소 함량 패턴을 나타내어 도자기 제작에 사용된 원료가 동일기원일 가능성을 제시하고자 한다.



참고문헌

- 강경인, 정창주, 1997, 「전남지역에서 출토된 고대 도자기의 태토조성과 소성온도」 『보존과학회지』, 6(1), pp.15~30.
- 경기도박물관, 2008, 『경기도 광주 관요-종합분석 보고서』, p.35, p.44.
- 고경신, 1992, 「한국 전통 도자기 문화의 과학기술적 연구」 『한국과학사학회지』, 14(1), p.34.
- 류호진, 1997, 「Kaolinite-Aluminum Trihydroxide의 혼합물의 혼합분쇄효과 및 Mullite의 생성에 미치는 영향」, Journal of the Korean Ceramic Society, 34(2), pp.195~201.
- 부안군 · 원광대학교박물관, 2011, 『흙으로 빛은 보물 扶安의 高麗靑瓷』
- 양구군, 한국세라믹기술원, 2011, 『양구백토소지화 원천기술개발사업 최종보고서』, p.53.
- 오영우, 1998, 『세라믹스의 분석과 계산』, 경남대학교 출판부, pp.33~174.
- 圓光大學校 馬韓 · 百濟文化研究所, 2001, 『扶安 鎭西里 靑瓷窯址-第18號窯址發掘』
- 圓光大學校 馬韓 · 百濟文化研究所, 2000, 『扶安 鎭西里 20호 靑瓷窯址』 『各地 試發掘調査 報告書』
- 圓光大學校博物館, 2001, 『扶安 柳川里 7區域 靑瓷窯址群 發掘調査報告書』
- 이병훈, 2008, 「원주 법천사지 출토 분청사기의 물성과 과학기술적 연구」, 강원대학교 석사학위논문
- 이승구, 김건한, 김진관, 2008, 「암석의 풍화과정 및 도자기 제조과정에 따른 희토류원소 분포도의 변화: 토양화학 및 고고학적 응용을 위한 기초연구」, 암석학회지 17(3), pp.141~142.
- 이종근, 1978, 『요업원료학』, 대학교재출판사, pp.55~58, p.99.
- (財)江原考古文化研究院, 2014, 『原州 法泉寺 II』, p.36.
- 海剛陶磁美術館, 1992, 『康津의 靑磁窯址』
- Aubert, D., Stille, P., Probst, A., 2001, REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended loads: Sr and Nd isotope evidence. Geochim. Cosmochim. Acta 65, pp.387~406.
- B. SONUPARLAK, M. SARIKAYA and I. A. AKSAY, 1987, 「Spinel Phase Formation During the 980°C Exothermic Reaction in the Kaolinite-to-Mullite Reaction Series」, Journal of the American Ceramic Society, 70(11), pp.837~842.
- C. S. Hsi, H. Y. Lu and F. S. Yen, 1989, 「Thermal Behavior of Alumina-Silica Xerogels During Calcination」, Journal of the American Ceramic Society, 72(11), pp.2008~2210.
- Ding, S-M., Liang, T., Zhang, C-S., Wang, L-J., Sun, Q., 2006, Accumulation and Fractionation of Rare Earth Elements on a Soil-Wheat System. Pedosphere 16, pp.82~90.
- Ling, T., Ding, S., Song, W., Chong, Z., Zhang, C., Li, H., 2008, A review of fractionation of rare earth elements in plants. J. Rare Earth 26, pp.7~15.
- M. S. Tite, 1969, 『Archaeometry』, No.7, pp.131~144.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, 『The continental crust; its composition and evolution』. Blackwell, Oxford, p.312.
- 日本セラミックス協會, 1989, 『セラミック工學ハンドブック』, 技報堂, p.1485.

A Study on Production Kiln Site Estimation, based on Historical Ceramic Characteristics and Scientific Analysis of the Celadons Excavated From the Beopcheon Temple Site and Son-gok 2-ri 4th Kiln Site

Lee Byeong-hoon^a · Yun Seok-in^b

^a Kangwon Research Institute of Cultural Heritage

^b Kangwon Research Institute of Archaeological and Cultural Heritage

Abstract

Since the celadons excavated from the Son-gok 2-ri 4th kiln site are located in the Beopcheon temple site and at close range, the similarity to the celadons excavated from the Beopcheon temple site is being raised. Thus, this study examined the correlation using a natural-scientific method. In this study, historical ceramic properties of total 19 celadons were examined and they were scientifically analyzed. First of all, according to the scientific analysis, chemical compositions of celadon clay showed a dispersed distribution at RO2 3.79-7.77mole and RO+R2O 0.33-0.49mole. When the microstructure was analyzed, most celadons excavated from the Beopcheon temple site, Wonju, which are estimated to be used in real life, had a favorable state, and some celadons from the Son-gok 2-ri 4th kiln site were found not to be glazed and sintered properly. When analyzing body crystalline phases of the celadons using the XRD method, quartz and mullite were extracted from all of the samples. And corundum was extracted from sg4 sample. Though firing temperature of each sample was different, they were mostly fired to temperatures between 1150 and 1200°C and some of them experienced a low temperature of 1100°C or a high temperature above 1200°C. Various chemical compositions and producing techniques were observed in the celadons from the Beopcheon temple site and Son-gok 2-ri 4th kiln site and it is hard to assure that the Son-gok 2-ri 4th kiln site was the production kiln site of the celadons used in the Beopcheon temple site. But according to the analysis of rare earth elements, some of the celadons from the Beopcheon temple site and Son-gok 2-ri 4th kiln site displayed a distribution pattern with certain regularity and this implies there is a possibility that the raw materials used in producing the ceramics might have come from the same origin. From the perspective of ceramic history, the celadons excavated from the Beopcheon temple site and Son-gok 2-ri 4th kiln site were produced using the same molding and sintering technique. Also, it is estimated that they were produced in the 12th or 13th century, judging from the overall shapes and patterns of the celadons.

Key Words Celadon, XRD, SEM, Mullite, Beopcheonsa Temple Site



MUNHWAJAE

Korean Journal of Cultural Heritage Studies Vol. 47. No. 3