

## Study of the Relationship between the Characteristics of Regional Onggis and Fermentation Behavior: (1) Scientific Analysis of Regional Onggis in Korea

Soomin Kim, Hyunggoo No, Ungsoo Kim<sup>†</sup>, and Woo Seok Cho

Icheon Branch, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Icheon 467-843, Korea

(Received November 10, 2014; Revised December 18, 2014; Accepted December 23, 2014)

### 지역별 옹기의 특성분석 및 발효와의 상관관계 분석 : (1) 지역별 옹기의 물성 및 특성

김수민 · 노형구 · 김응수<sup>†</sup> · 조우석

한국세라믹기술원 이천분원

(2014년 11월 10일 접수 ; 2014년 12월 18일 수정 ; 2014년 12월 23일 채택)

#### ABSTRACT

Onggi, described as a 'breathing' type of pottery' has significantly influenced the traditional food culture of Korea. It is known that Onggi is an optimal type of storage for fermented foods such as soy sauce, salted seafood, and Kimchi, as air or liquid can penetrate through the body of this material. These foods gain flavor due to the breeding of aerobic bacteria at the beginning of the fermentation process. In this study, Onggi materials from five regions, Gangjin, Yeosu, Ulsan, Yesan, and Jeju, were collected and analyzed to determine their chemical and physical properties before and after sintering. The differences in the raw materials of other mining regions are examined in terms of their chemical and mineralogical compositions, specific surface area, particle size, and particle distribution. Among them, the Gangjin raw material has the greatest mean particle size of 92.29  $\mu\text{m}$ , as well as the widest particle size distribution. Differences in the levels of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  are shown among Onggi raw materials. However, the crystalline phases formed after sintering are identical, except for the Jeju samples. At all sintering temperatures tested here, Gangjin Onggi showed the greatest porosity, leading to complete air permeation through the body within 90 minutes. These results taken together indicate that air permeation is strongly related to the pore structures in the Onggi body. This is assumed to affect the fermentation behavior.

**Key words :** Onggi, Raw material, Pore, Particle size distribution, Gas permeation

#### 1. 서 론

옹기는 한국의 도자기중에서 우리의 생활문화를 가장 잘 반영하는 도기로서 '숨 쉬는 그릇'이라는 수식어를 가지고 있다. 이러한 수식어는 1994년 국립중앙과학관에서 발간한 전통과학기술 조사연구(II) - 대장간, 옹기, 기와편에 언급된 말로서 우리민족이 오랜 세월동안 옹기를 만들고 사용해 온 이유를 함축적으로 표현하고 있다.<sup>1)</sup>

옹기는 자기류인 청자나 백자와는 달리 소결 후 개기공을 가지고 있으며 이를 통하여 기체 및 액체가 투과하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 발효과정 초기에 호기성 세균의 증식을 활용하는 대표적 한국 음식인 장, 김치, 젓갈의 저장용기로서 최적의 조건을 가지고 있다.<sup>2)</sup> 이로

인해 발효 음식이 등장한 삼국시대부터 현재에 이르기까지 다른 도자기들과는 달리 사용자 계층의 구별이 없는 생활식기로서 우리의 전통 음식 문화와 생활에 밀접한 관계를 가지는 가장 한국적인 도자기이다.<sup>3,4)</sup>

옹기는 사질을 함유한 퇴적점토를 깨끼질(깨끼라는 도구로 흙의 표면을 얇게 벗겨주어 그 속에 있는 돌이나 불순물을 제거하는 작업)하여 질그릇 기법인 태림질(긴 흙가래를 어깨에 얹고 물레 위로 조금씩 잡아당겨 몸체를 올리는 작업)과 수레질(목 물레를 이용하여 두께를 조절하여 균일하게 만드는 작업) 기법으로 성형한 후, 건조하여 재와 약토(소나무가 많은 산에 나뭇잎이나 풀뿌리 등이 오랜 세월동안 쌓여서 썩은 흙으로 산화철을 비롯한 여러 가지 화합 물질들이 섞여 있는 흙)를 혼합하여 만든 유약을 발라 약 1200°C 부근에서 단 한번의 소결로 완성된다.<sup>5)</sup> 옹기는 자기에 비해 장식의 함량이 높아 소결 온도가 상대적으로 낮고(1180~1200°C) 큰 입자들이 많은 입도분포가 넓은 원료를 사용하기 때문에 새로운 결정상

<sup>†</sup>Corresponding author : Ungsoo Kim

E-mail : ukim@kicet.re.kr

Tel : +82-31-645-1422 Fax : +82-31-645-1424

과 유리상이 형성되는 치밀화 과정 중 기체나 액체가 투과할 수 있는 기공이 형성되는 것으로 알려져 있다.<sup>6-8)</sup>

옹기는 제작 지역에 따라 제조기법이나 형태, 크기 등에서 차이가 나는데, 이 것은 지역별로 채취되는 점토의 가소성, 지방별 식생활 문화와 기후 조건이 다르기 때문이다. 경기 지역의 옹기는 입과 밑지름이 거의 같고 배가 많이 나와있지 않으며, 충청 지역은 목부분이 높고 약간 벌어져 있는 형태로 여러 지역들 중 중간형태에 가깝다. 경상도 지역의 옹기는 가장 배가 부르고 입과 밑지름이 좁은 형태이며, 전라도 지역은 배가 불룩하고 큰 형태를 가지고 있다.<sup>4)</sup>

옹기 태토는 요장이 위치한 지역 인근에서 채굴한 원료들을 사용하기 때문에 지역별로 태토의 성분과 입도 등이 다르며 이로 인해 기공구조와 같은 옹기의 물성 및 특성에 차이가 발생한다. 이는 결과적으로 옹기 기능성 (투과특성과 발효)의 차별화로 나타날 것으로 예측된다. 본 연구에서는 지역적으로 옹기를 대표할 수 있는 강진, 여주, 울산, 예산, 제주 5개 지역옹기 태토와 제품을 분석하고 간장을 이용한 발효 실험을 진행하여 태토, 옹기, 기능성의 상관관계를 분석하고자 하였다. 5개 지역은 우리나라 지방을 대표하며 현재도 활발하게 옹기를 제조하며 판매가 이루어지는 옹기 요장이 존재하는 곳이다. 본 논문에서는 1차적으로 옹기 원료와 동일 조건으로 성형 후 소결이 이루어지는 온도 범위에서 제작한 시편을 분석하여 태토와 옹기와의 상관관계를 분석하고자 하였다. 본 논문의 결과를 바탕으로 다음 논문에서 간장과의 발효 실험과의 연구를 진행할 예정이다.

## 2. 실험 방법

선정된 지역의 옹기태토를 수비하여 부유물을 제거한 후 완전 건조하여 물성 및 특성을 분석하였다. ICP (Inductively Coupled Plasma Spectroscopy, ACE, NTM Co., USA)를 이용하여 옹기 태토의 화학성분분석을 실시하였다. He-pycnometer (AccuPyc 1340, Micromeritics, USA)와 비표면적측정기(Tristar, Micromeritics, USA)를 이용하여 각각 밀도와 비표면적을 측정하였다. 입도를 비교하기 위하여 250  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 75  $\mu\text{m}$ , 45  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ 의 다섯 가지 체를 이용하여 체거름을 실시하였다. 태토 100 g을 체로 분리하여 중량비를 계산하였다.

태토에 포함되어 있는 점토 광물의 결정상을 분석하기 위하여 분산 후 침강시켜 퇴적층 별로 분석을 실시하였다. 물 950 ml에 태토 50 g과 분산제(세라스퍼스, cf44) 0.78 g을 첨가하여 150 rpm으로 24시간 동안 혼합하였다. 혼합이 끝난 후 imhoff cone으로 옮겨 3주간 침전이 일어나도록 하였다. 침전 후에는 하층부로 갈수록 입도와 비중이 큰 입자가 위치하며 상층부에는 점토질이 주를 이

루게 된다. Fig 1은 imhoff cone으로 분리중인 태토를 보여주는 것으로 3주 후 각각 4~7개의 층으로 분리되었다. 3주 후에도 부유 상태인 원료는 membrane filter를 이용하여 filter paper에 걸러낸 후 슬라이드 글라스에 접착하여 100°C에서 30초간 건조하여 시편을 제작하였다. 그 외는 분리 후 100°C에서 완전 건조와 분쇄 과정을 거쳐 XRD (X-ray diffraction, D-max-2500, Rigaku, Japan)로 측정하였다. 측정조건은 40 kV, 100 mA로 5~80°까지 10°/min의 속도로 측정하였다.

함수량  $23 \pm 1\%$ 의 지역별 옹기 태토를 금속원형몰드 ( $\pi=36$  mm)에 10 g씩 채입한 후 1 ton의 압력을 가하여 성형하고 100°C에서 24시간 동안 건조하였다. 완전 건조된 시편들을 일반적인 옹기의 소성 온도인 1180°C보다 낮은 1100°C부터 시작하여 1150, 1200, 1230°C에서 각각 소결하였다.

소성 시편의 부피비중 및 기공율을 측정하기 위하여 아르키메데스 법을 이용하였다. (KSL4008) 소결된 시편들은 XRD를 이용하여 결정상을 측정하였고 미세구조를 관찰하기 위해 불산(Hydrofluoric acid) 1% 용액에 4분간 etching 후 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-6701F, JEOL, Japan)을 이용하였다. 옹기 시편들의 투과 특성을 분석하기 위하여 이전에 투고하였던 논문과 같은 방식으로 한국세라믹기술원에서 자체 제작한 기체 투과율 측정기를 사용하여 투과 시간과 측정 완료 후 압력차를 측정하였다.<sup>8)</sup> 투과율 측정은 총 90분 동안 진행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 지역별 옹기 태토 분석

각 지역별 옹기 태토의 성분 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 강진 지역의 옹기 태토는  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 72.02%로 다른 지역의 옹기들에 비해 약 4~8% 가량 높은 걸로 나타났다. 여주는 68.32%, 예산은 66.34%가 나타났으며, 제주와 울산은 약 64%로  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 유사한 것을 볼 수 있다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 는 14.9~16.4%에서 존재하며 18.06%인 울산 옹기 태토를 제외하고는 큰 차이가 나타나지 않았다.

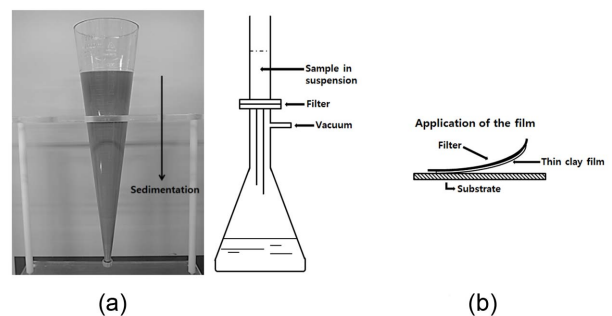


Fig. 1. (a) Raw material classification using a Imhoff cone and (b) XRD sample preparation using supernatant.

**Table 1.** Chemical Composition of Raw Materials

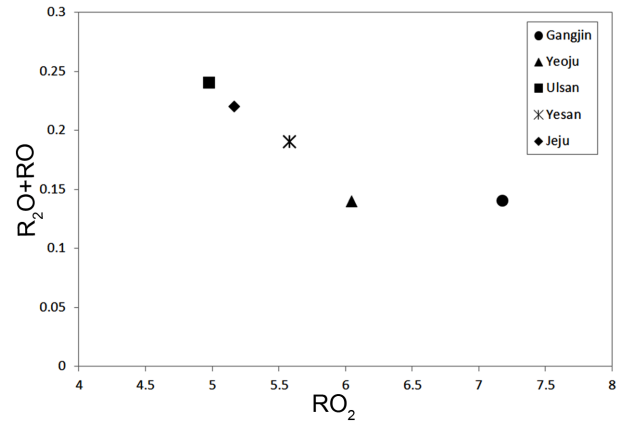
Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Igloss
Gangjin	72.02	15.01	2.22	0.85	0.01	0.21	0.53	0.25	1.80	0.02	0.01	0.04	7.05
Yeoju	68.32	15.39	4.04	0.81	0.01	0.30	0.68	0.12	1.90	0.06	0.12	0.03	8.33
Ulsan	64.02	18.06	4.05	0.71	0.05	0.90	0.71	1.03	2.35	0.05	0.01	0.02	8.17
Yesan	66.34	16.43	4.04	0.82	0.03	0.45	0.73	0.48	2.54	0.05	0.01	0.00	8.12
Jeju	63.90	14.90	6.50	1.15	0.08	0.47	1.04	1.07	1.91	0.08	0.02	0.02	8.85

반면 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(산화철)의 함량은 지역에 따라 크게 차이가 나타났다. 제주 용기 태토에서는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 6.50%로 가장 높았으며, 여주, 울산, 예산은 4.04~4.05%로 거의 근사한 수치가 나타났다. 일반 용기 태토의 경우, 약 4% 정도의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 가지나, 강진 용기 태토는 2.22%로 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 현저하게 낮았다. 제주 지역은 화산활동으로 형성된 지역으로 이것이 태토의 화학성분에도 나타나는 것으로 보인다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 용기 태토 뿐만 아니라 소성 후 기물의 색도에 영향을 미치게 된다. 제주 지역 태토는 TiO<sub>2</sub> 성분도 타 지역에 비해 높은 것을 알 수 있다.<sup>8)</sup>

도자기 소지에서 용제 역할을 하는 알카리, 알카리토 성분의 경우 울산과 제주 지역의 태토들이 다른 지역과 비교하여 약간 높게 나타났다. 울산 태토의 경우 Na<sub>2</sub>O는 1.03, K<sub>2</sub>O는 2.35%로 가장 높은 수치를 가진다. 또한, 회장석이나 석회석의 형태로 존재하는 CaO와 MgO의 경우 울산 태토가 0.90%, 0.71%로 가장 높은 함량을 가지는 것을 알 수 있다. 제주 태토의 경우 타지역과 비교하여 MnO와 MgO 성분의 함량이 높은 것을 알 수 있다. 이러한 성분들은 도자기의 소결 시, 내화도에 영향을 주며, 특히 용기의 경우 소결 온도에 큰 영향을 받는 주요 원인으로 추측된다.<sup>9)</sup>

용기 태토의 화학성분 분석결과를 Unity Molecular Formula (UMF)를 이용하여 전환하였다.<sup>10)</sup> 태토의 경우 R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 1로 놓았을 때 RO<sub>2</sub>와 R<sub>2</sub>O+RO의 몰비를 Fig. 2에 나타내었다. RO<sub>2</sub> 대비 용제 (RO+R<sub>2</sub>O)의 양을 나타냈을 때 강진과 여주의 태토는 상대적으로 높은 RO<sub>2</sub> 성분과 낮은 R<sub>2</sub>O+RO 성분을 가지는 것을 알 수 있다. 특히 강진 태토는 여주와는 유사한 용제 함량을 가지나 산성 산화물인 RO<sub>2</sub> 함량이 매우 높은 것을 알 수 있다. 그 외의 태토들에서는 용제 함량의 차이가 있는 것을 알 수 있다.

장석, 규석, 점토의 이론 분자량을 바탕으로 용기 태토의 화학성분을 광물 조성비로 전환하여 Table 2에 나타내었다. 용기 태토의 광물학적 분석 결과 UMF 분석에서 나타난 울산, 예산, 제주 태토들의 높은 R<sub>2</sub>O+RO 함량은 장석 성분에 기인한 것임을 알 수 있다. 그러나 강진과 여주의 높은 RO<sub>2</sub> 함량은 강진의 경우 점토 성분에서 오는 것을 알 수 있으며 여주의 경우 규석에서 오는 것임을 알 수 있다.

**Fig. 2.** Chemical composition of raw materials shown in UMF (Unity Molecular Formula).**Table 2.** Mineral Composition of Raw Materials

%	Gangjin	Yeoju	Ulsan	Yesan	Jeju
Feldspar	18.31	20.90	34.93	28.99	34.69
Clay	49.47	33.42	32.30	32.04	37.65
Silica	32.20	45.68	32.77	38.97	27.66
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

용기 태토의 입자 크기 및 분포를 분석하기 위하여 입도별로 체 거름 후 퍼센트로 계산한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 입도 분포는 10~90% 범위로 나타내었으며 50% 지점을 기준으로 평균 입도를 계산하였다.

용기 원료들의 입도 분석 결과, 강진 태토의 평균 입도는 92.29 μm로 가장 컸으며, 전체 입도의 10-90% 지점이 각각 6.39 - 280.9 μm로 가장 넓은 분포를 가지는 것을 관찰할 수 있었다. 여주는 56.88 μm, 울산 41.06 μm, 예산 33.37 μm, 제주 32.69 μm로 강진에 비해 상대적으로 작은 평균 입도를 가지는 것을 볼 수 있다. 용기 태토의 넓은 입도 분포와 굵은 입자 크기는 낮은 충전도로 인해 성형 시 입자 간 빈 공간을 형성하게 되고, 소결이 이루어진 후에 용기의 기공이 형성 되는 주요 요인으로 추측할 수 있다.<sup>11)</sup>

지역별 용기 태토의 광물학적 결정상을 분석하기 위하여 imhoff cone을 이용하여 층별 분리 후 상층부에서 하층부까지 XRD (X-ray Diffraction)를 이용하여 측정된 결

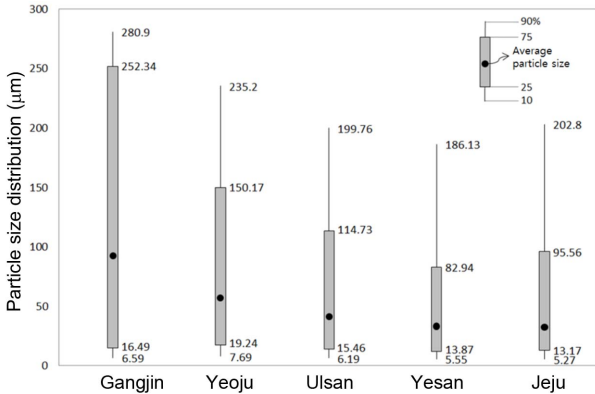


Fig. 3. Particle size distribution of raw materials.

과를 Fig. 4에 순서대로 나타내었다. 옹기 원료들의 결정상 분석 결과 membrane filter로 걸러낸 상층부에서는 5개 지역 모두 quartz와 muscovite가 주를 이루는 것을 볼 수 있었고, 상층부에서 팽윤성 점토인 vermiculite가 관찰되었다. 이러한 vermiculite는 팽윤성 점토로 옹기의 기공형성에 결정적 요인은 아니지만 영향을 미칠 것으로 추측할 수 있다. 점토가 주를 이루는 중층부와 사질이 주를 이루는 하층부에서의 주 피크는 quartz가 나타났으나, 그 외의 결정상에서 차이가 관찰되었다. 강진 태토는 상층부에서 kaolinite와 muscovite가 주를 이루고 있었으며, 다른

피크는 관찰되지 않았다. 중층부에서 quartz가 나타났고, 마지막 층에는 quartz만이 존재하였다. 여주 태토는 4번째 층부터 anorthite의 피크가 관찰되는 것을 볼 수 있었고, 울산 태토에서는 하층부에서 albite와 muscovite가 확인되었다. 예산 태토의 하층부에서는 anorthite가 존재하였고, 제주 태토는 anorthite와 muscovite가 관찰되는 것을 볼 수 있었다.

3.2. 지역별 옹기 태토의 소결 시편 분석

소결 온도가 옹기의 물성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 지역별(강진, 여주, 울산, 예산, 제주) 옹기 태토를 각각 1100, 1150, 1200, 1230°C에서 소결 후 물성을 분석하였다. Fig. 5는 온도별 소결 후의 밀도와 기공율을 측정하기 위하여 아르키메데스 법을 이용한 결과이다. 강진 옹기는 소결 온도가 높아질수록 밀도 값이 점차 증가한 반면, 제주 옹기는 1150°C 이후로는 부피 비중이 점차 낮아졌다. 여주, 울산, 예산 옹기는 1200°C까지 밀도 값이 증가하다 1230°C에서 약간의 감소가 일어났다. 옹기의 최적의 소결 온도인 1180°C와 가장 유사한 1200°C에서 2.2~2.3 g/cm<sup>3</sup>의 밀도 값을 나타냈다.

전반적으로 옹기의 기공율은 소결 온도가 증가함에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다. 강진 옹기는 상대적으로 다른 옹기들에 비해 모든 온도 범위에서 높은 기공율을 나타냈다. 옹기의 실제 소결 온도가 약 1180°C인 것을 고

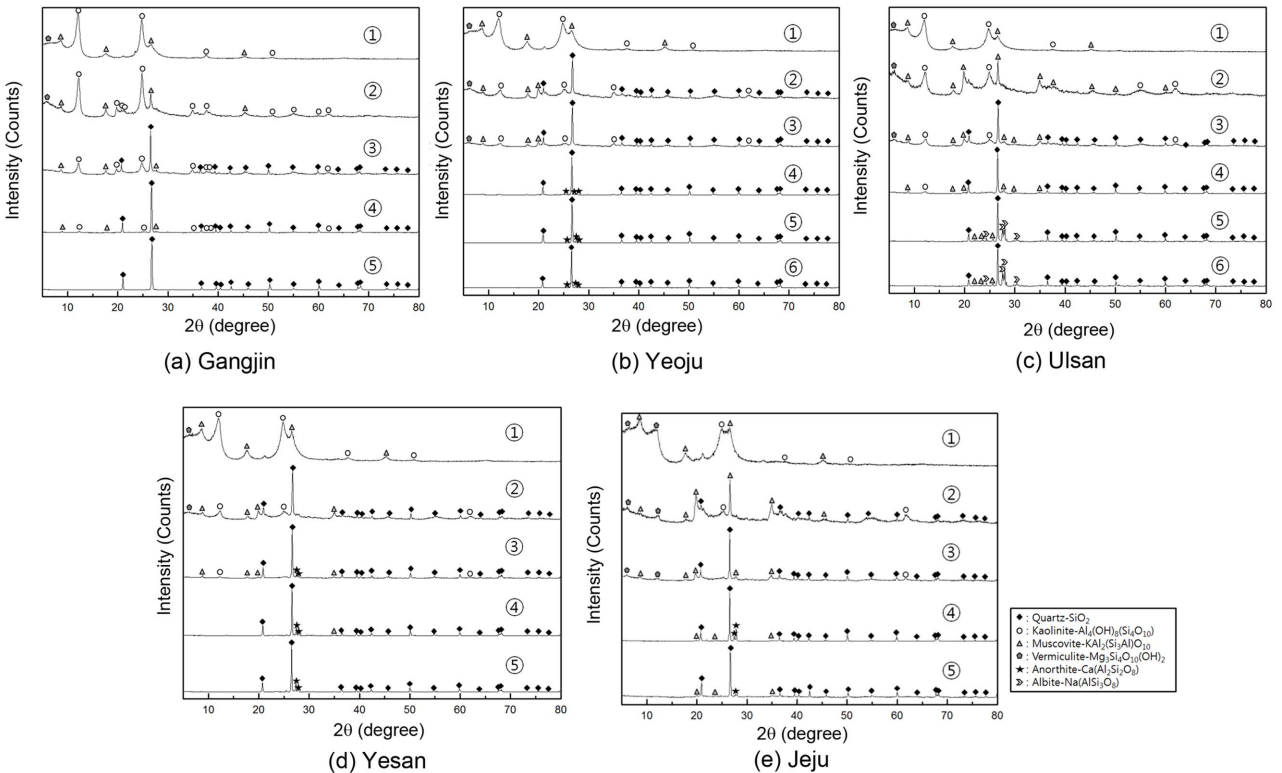


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of raw materials after classification by Imhoff cone.

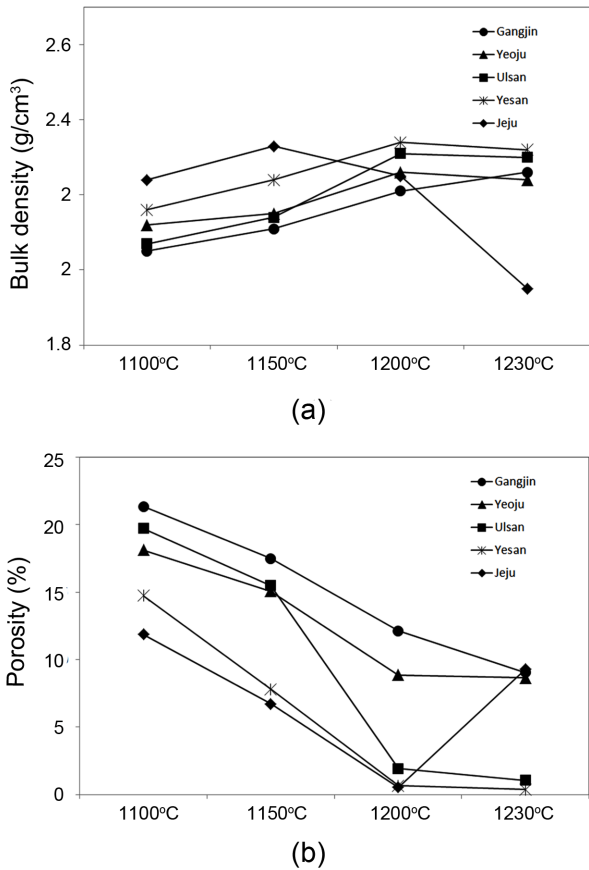


Fig. 5. Physical properties of Onggi samples with sintering temperatures: (a) bulk density and (b) porosity.

려할 때 강진 옹기는 1150~1200°C에서 평균 약 15%의 높은 기공율을 가지는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 결과는 옹기의 투과성에 영향을 미치는 요인으로 연관 지어 볼 수 있다. 여주 옹기도 강진과 비교하여 1200°C까지는 ~3% 정도 낮은 기공율 차이를 보이며 소결 온도가 높아짐에 따라 기공율이 낮아지는 것을 관찰할 수 있다. 그러나 1230°C에서는 강진 옹기의 자화가 이루어지면서 기공율에 변화가 거의 없는 여주 옹기와 근사한 기공율과 밀도를 가지게 된다. 울산 옹기는 1200°C 이상에서는 자화가 급격히 이루어지면서 기공율이 1.92% 이하로 감소하는 것으로 나타났다. 제주 옹기는 1200°C까지 1% 이하의 기공율을 가지며 1230°C에서 bloating이 일어나 기공율이 9.28%로 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 1200°C에서 소결된 지역별 옹기들의 결정상을 비교하기 위하여 XRD로 측정된 결과이다. 소결 후 전체적으로 quartz와 mullite 상이 주 피크를 이루는 것을 볼 수 있다. 특히 강진 옹기에서는 quartz, mullite 상 외에는 다른 상이 관찰되지 않았다. 여주 옹기는 cristobalite 상이 관찰되었는데 이것은 열처리 과정에서 형성되는 quartz의 동질이상이다. 울산과 예산 옹기는 강진 옹기와 마찬가지로

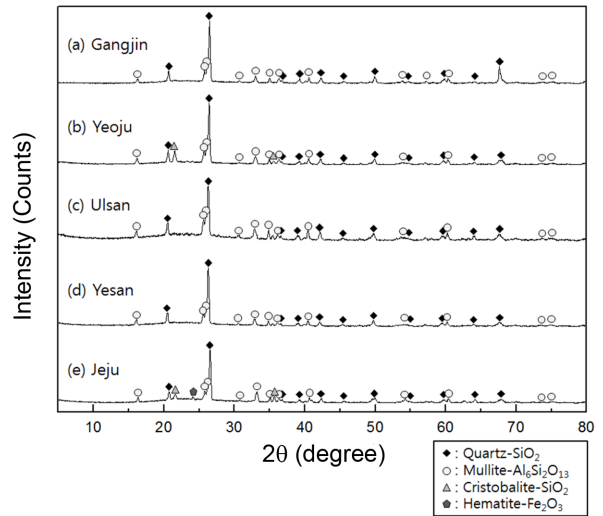


Fig. 6. X-ray diffraction patterns of regional Onggi samples fired at 1200°C.

로 quartz와 mullite 외의 상은 관찰되지 않았다. 반면, 제주 옹기는 여주 옹기와 같이 cristobalite가 관찰 되었으며, 앞의 화학성분 분석 결과에서 나타난 바와 같이 6% 이상의 높은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 인해 hematite 상이 관찰되었으며, magnetite 상은 존재하지 않았다. 제주 옹기 이외의 다른 지역 옹기들의 성분 분석 결과에서는 Fe가 함유되어 있음을 확인할 수 있었으나 대부분 4% 이하의 Fe 함량이 확인되었기 때문에 결정상 분석에서 hematite의 피크가 관찰되지 않았다.

소성 후 옹기들의 기공 형태 및 분포를 비교하기 위해 주사전자현미경을 이용하여 관찰한 결과를 Fig. 7에 나타 내었다.

옹기들의 단면 미세구조의 관찰 결과, 온도에 따른 기공의 형성 및 분포를 확인할 수 있었다. 전체적으로 기공이 형성된 것을 관찰할 수 있으나 그 크기와 분포에서 차이가 나타났다. 강진 옹기의 경우 1100°C과 1150°C에서는 유사한 기공 크기와 분포를 보이나 1200°C에서 10 μm 이하의 기공 수가 많아진 것을 볼 수 있고 1230°C에서는 큰 기공들은 존재하지만 미세 기공들이 사라지고 소지의 밀도가 높아진 것을 볼 수 있다.

여주 옹기는 1100°C에서 100 μm 이상의 거대 기공들이 관찰되었고, 1150°C에서는 오히려 기공의 크기들이 약 50 μm 정도로 줄어들었다. 1200°C에서는 10 μm 이하의 미세 기공들이 증가하였고, 100 μm 이상의 거대 기공도 존재하는 것을 볼 수 있다. 그러나 1230°C에서 소결 하였을 때, 오히려 미세 기공들이 관찰되지 않았다.

울산 옹기는 1100~1200°C까지는 유사한 기공 형상과 분포가 관찰되었다. 그러나 1230°C에서는 기공의 분포가 줄어들고 소지의 밀도가 높아진 것을 관찰할 수 있다. 예

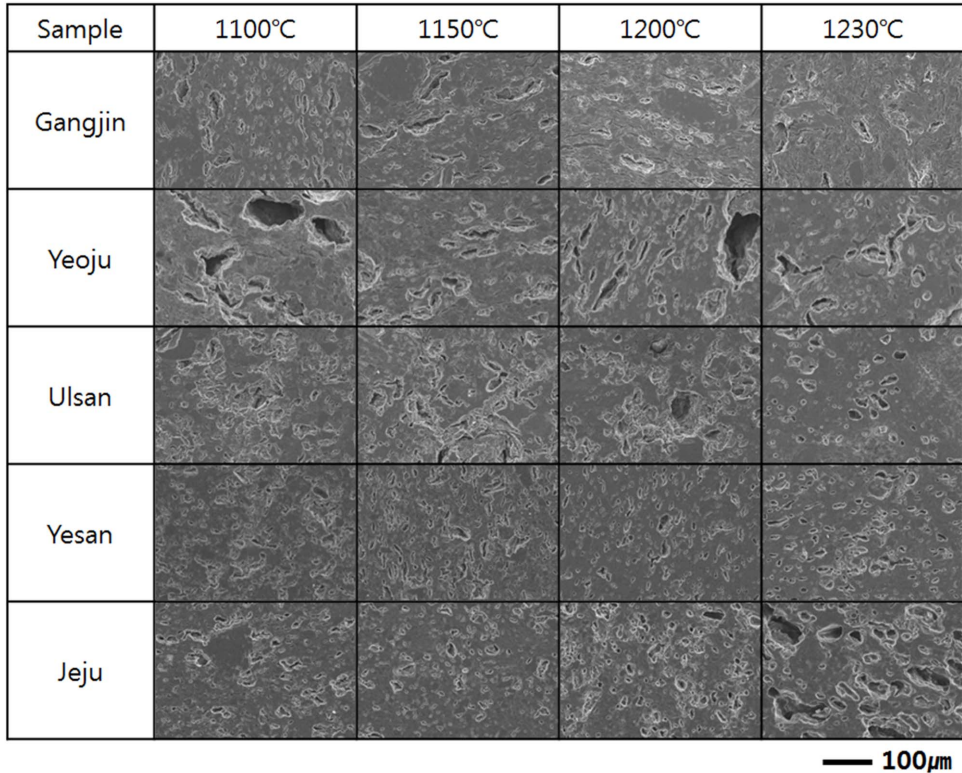


Fig. 7. SEM micrograph of Onggi samples fired in the range of 1100 - 1230°C (x500).

산 용기는 1100°C과 1150°C에서 10~30 µm의 기공들이 관찰되었다. 1200°C에서는 기공의 성장은 없었으며 기공의 분포가 줄어들었다. 1230°C에서는 1200°C과 비슷한 형상이 관찰되었다. 제주 용기는 1100, 1150°C에서 약 10~20 µm의 비슷한 기공 분포가 나타났다. 1200°C에서는 미세 기공들이 전체적으로 성장한 모습을 볼 수 있으며, 1230°C에서는 높은 장석 비율을 가지며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량이 많기 때문에 다른 용기들에 비해 용제 역할을 하는 성분들의 함량이 높아 bloating으로 인해 50 µm 이상의 거대 기공들이 나타나는 것을 볼 수 있다.

3.3. 용기의 기체 투과 특성

소결중 형성된 용기의 기공으로 인하여 기체가 투과하는지를 알아보기 위하여 각 지역별 용기들의 기체투과율을 측정된 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

소결 온도별 지역 용기들의 기체 투과 측정 결과, 강진 용기의 경우 모든 소결 온도에서 완전히 투과하는 것에 성공하였으며, 특히 용기의 소성 조건과 가장 유사한 1200°C에서는 3분 만에 투과가 완료되었다. 여주 용기는 다른 온도에서는 투과가 일어났으나, 1200°C에서 측정시간인 90분 후에도 압력차가 346 torr로 완전한 투과가 일어나지 않았다. 반면, 1230°C에서는 2분 만에 급격하게 투과가 일어난 것으로 보아 이 온도에서 기공의 팽창으

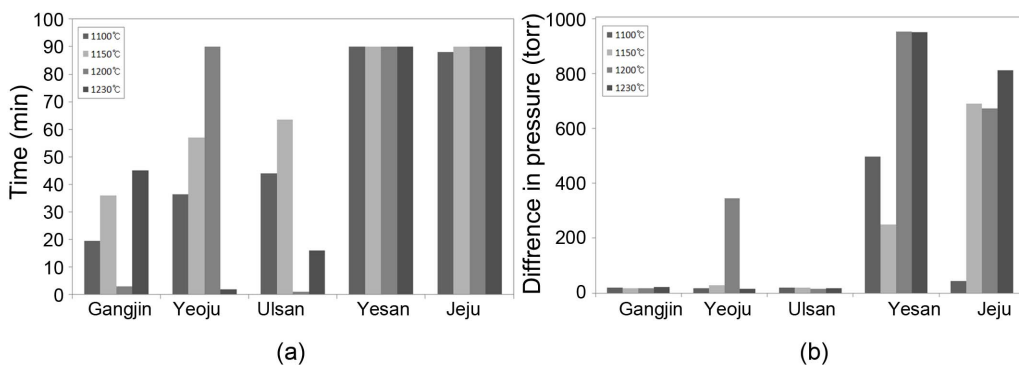


Fig. 8. Gas permeability measurement: (a) Permeation time and (b) Pressure difference on both load cells after 90 minutes.

로 인해 투과가 일어난 것으로 추측할 수 있다. 울산 옹기는 모든 온도에서 투과가 완료되었고, 1200°C에서는 1분 만에 투과가 완료되었다. 예산 옹기는 모든 온도에서 완전히 투과가 일어나지 않았다. 완전히 소결이 일어나기 전인 1100°C 이하에서 투과가 일어나긴 하였으나 완전한 투과는 일어나지 않았다. 또한, 1200°C 이상에서 900 torr 이상의 압력 차가 나타나는 것으로 보아 거의 투과가 일어나지 않은 것을 확인할 수 있었다. 제주 옹기는 1100°C에서는 88분이 경과하자 투과가 되었으나 그 외의 온도 조건에서는 완전한 투과가 일어나지 않았다. 특히, 90분이 경과한 후에도 650 torr 이상의 압력 차가 나타나는 것을 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

강진, 여주, 울산, 예산, 제주 지역의 옹기 태토들을 이용하여 화학성분과 비표면적, 입도, 결정상 등의 물성을 분석하였다. 또한, 온도별로 소결하여 부피비중, 기공율, 결정상, 미세구조, 투과특성 등을 비교-분석하였다. 이러한 분석을 통해 지역별 옹기 태토와 물성과의 상관관계를 분석하고자 하였다. 옹기 태토 및 소결 시편의 전체 분석 결과를 Table 3에 간략하게 정리하였다.

강진 지역의 태토는 SiO<sub>2</sub>의 함량이 72.02%로 다른 지역 옹기들에 비해 약 4~8% 가량 높은 것을 확인하였다. 반면, 용제 역할을 하는 장석 성분과 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량은 상대적으로 낮은 값을 가졌다. 강진 태토의 평균 입도는 92.29 μm로 가장 큰 입도를 가지며, 전체 입도의 10~90% 지점이 6.39~280.9 μm로 가장 넓은 분포를 가지는 것을 관찰하였다. 강진 옹기는 1150~1200°C에서 평균 약 15%의 높은 기공율을 가졌다. 강진 옹기의 기체 투과율 측정 결과, 1200°C에서는 3분만에 투과가 되었고, 그 외의 모든 소결 온도에서 완전히 투과되었으며, 전체적으로 가장 좋은 투과 특성이 나타났다.

여주 지역의 태토는 강진 태토에 비해 SiO<sub>2</sub>의 양은 적었으나 68.32%로 다른 지역에 비해 높은 수치를 가졌으며, 강진 태토와 마찬가지로 장석의 함량이 낮았다. 여주 태토의 평균 입도는 56.88 μm로 7.69~235.2 μm의 입도

분포가 관찰되었다. 온도별 소결 후 기공율 측정 시, 1150~1200°C에서 11.96%로 높은 기공율을 가졌다. 여주 옹기의 기체 투과율을 측정해보면 모든 온도에서 투과는 이루어졌으나, 옹기의 소결 온도와 가장 유사한 1200°C에서는 90분 경과 후에도 완전히 투과하지 않았다.

울산 태토는 용제 역할을 하는 장석 성분들과 CaO, MgO 등의 2가 이온들의 함량이 높게 나타났다. 평균 입도는 41.06 μm였으며, 6.10~199.76 μm의 중간 정도의 입도 분포를 가졌다. 온도별 소결 시, 1150~1200°C에서는 8.71%의 평균 기공율을 가졌고, 1200°C 이상에서 자화가 급격히 이루어지면서 기공율이 1.92%로 감소하였고, 이는 미세 구조 관찰 결과에서 1230°C에서 기공이 감소하고 소지의 밀도가 높아진 것과 일치한다. 울산 옹기의 기체투과율 측정 결과, 모든 온도에서 완전히 투과하였고, 1200°C에서 1분만에 투과되었다.

예산 태토는 성분 분석 결과, 주요 성분들이 타 지역들의 중간치에 해당하는 함량이 나타났다. 평균 입도는 33.37 μm로 제주 태토와 비슷하였고, 5.55~186.13 μm로 가장 작은 입도 분포를 가지는 것이 관찰되었다. 예산 옹기는 1150~1200°C에서 4.24%의 기공율이 나타났고, 1200°C 이상에서 자화가 이루어지면서 기공율이 2% 이하로 급격하게 감소하였다. 기체 투과 측정 시, 모든 온도에서 완전히 투과되지 않았고, 1200°C 이상에서는 거의 투과가 되지 않았다.

제주 태토는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 TiO<sub>2</sub> 성분이 상대적으로 높은 함량을 가지는 것으로 보아 화산활동의 영향으로 추측되며, 용제 성분이 높게 나타났다. 제주 태토의 평균 입도는 32.69 μm로 가장 낮았으며, 5.27~202.8 μm의 입도 분포를 가졌다. 제주 옹기를 온도별로 소결 했을 때, 1150~1200°C에서 3.63%의 낮은 기공율을 가지다가 1230°C 이상에서 bloating이 일어나 기공율이 9.23%로 급격하게 증가하였다. 미세 구조 관찰 결과, 1230°C에서 bloating으로 인해 50 μm 이상의 거대 기공들이 나타났다. 그러나 기체 투과율 측정 결과, 90분 후에도 완전히 투과되지 못하고 높은 압력 차를 가지는 것을 관찰할 수 있었다.

Table 3. The Result Arrangement and Comparison

Sample	Chemical composition	Particle size distribution	Porosity (1150~1200°C)	Gas permeability (1200°C)
Gangjin	SiO <sub>2</sub> ↑ 72.02%Feldspar ↓ 18.31%	6.59~290.9 μm (92.29 μm)	14.80%	3 min
Yeoju	Feldspar ↓ 20.90%	7.69~235.2 μm (56.88 μm)	11.96%	90 min
Ulsan	Feldspar ↑ 34.93%	6.19~199.76 μm (41.06 μm)	8.71%	1 min
Yesan	Feldspar ↑ 28.99%	5.55~186.13 μm (33.37 μm)	4.24%	90 min
Jeju	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ↑ 6.50%Feldspar ↑ 34.69%	5.27~202.8 μm (32.69 μm)	3.63%	90 min

## REFERENCES

1. S. S. Hong, Breathing Pottery, Onggi (*in Korean*); First Edition, p.168-69, Ed. By M. J. Kim, Booksea, Gyounggi, 2010.
2. K. I. Han, M. J. Kim, H. J. Kwon, Y. H. Kim, W. J. Kim, and M. D. Han, "The Effect of Container Types on the Growth of Bacteria during Kimchi Fermentation," *J. Kor. Food. Nutr.*, **26** [2] 249-57 (2013).
3. C. H. Kim, A Study on the Gilgurut(*in Korean*); Seoul National Univ. of Sci. & Technol., Seoul, 2010.
4. H. Y. Kim, A Study of Preservation of Manufacturing Techniqueon Korean Traditional Pottery 'Onggi'; Kongju National University, Kongju, 2008.
5. J. W. Kim, "The Influence upon of Ongki into the Korean Traditional Pottery," *History and Soc.*, **36** 121-66 (2006).
6. W. S. Cho, Scientific Analysis of Onggi and Its Porous Characteristics; pp.141-45, Onggi Expo Ulsan Kor. Int. Aca. Pap., 2009.
7. J. K. Jeong, Y. W. Kim, H. S. Choi, D. S. Lee, S. A. Kang, and K. Y. Park, "Increased Quality and Functionality of Kimchi When Fermented in Korean Earthenware (onggi)," *Int. J. Food Sci. Technol.*, **46** 2015-21 (2011).
8. S. M. Kim, H. G. No, U. Kim, and W. S. Cho, "A Study on Sources of Pore Formation in Onggi via the Comparison with Porcelains," *J. Korean Ceram. Soc.*, **51** [1] 11-18 (2014).
9. Y. Pontikes, G. Kerckhofs, U. Kim, C. Rathossi, G. Mertens, W. S. Cho, M. Wevers, and B. Blanpain, "Microstructure, Crystalline Phases and Pore Morphology of Onggi," Proceedings of the 12<sup>th</sup> Conf. Eur. Ceram. Soc., 2011.
10. H. G. No, U. Kim, and W. S. Cho, "Color Spectrum Comparison between Gangjin Celadons and Buan Celadons," *J. Kor. Soc. Color Studies.*, **28** [4] 17-25
11. J. G. Lee, Sintering of Ceramics (*in Korean*); pp. 117-25, Ed. By G. H. Han, Bando Publisher, Seoul, 1991.