

## 자성도자기의 특성 향상 연구

조태식, 정지욱, 김효석  
국립상주대학교 신소재공학과

### Enhancement of magnetic characteristics of porcelain materials

Tae-Sik Cho, Ji-Wook Jeong, and Hyo-Seok Kim  
Sangju National Univ.

#### Abstract

This study was investigated to fabricate the porcelain materials with high magnetic characteristics. The high characteristics of the magnetic porcelain materials were achieved at the following conditions: powder sizes of isotropic Sr-ferrites with 1~2 mm and magnetic powder fraction of 30 wt%. The magnetic tea cups with 3-mm-thick at the optimum conditions indicated the high magnetic characteristics such as the surface flux density of 178 G, the remanent flux density of 240 G, and the intrinsic coercivity of 3910 Oe.

**Key Words** : magnetic porcelain, isotropic Sr-ferrites, particle size, weight fraction

#### 1. 서론

과학기술의 지속적인 발달에 따라 자장처리된 자화수 (magnetic water)는 일반물과 비교하여 현대인에게 유익한 다음의 특징들을 갖는다고 알려져 있다.[1,2] 첫째, 자화수는 용존산소가 풍부하다. 둘째, 자화수는 물속에 용해된 유익한 미네랄 이온들을 더욱 활성화시킨다. 셋째, 자화수는 인체에 유익한 알칼리성을 띄고 있다. 넷째, 자화수는 중금속을 제거하고 세균을 멸균할 수 있다. 다섯째, 자화수는 물분자가 치밀하고 균일한 육각수를 형성한다.

우리나라 전통 도자기 제조업체는 전통적인 제조기술을 전수 받아 같은 재료와 기법에 의한 옛것의 재현을 오랫동안 반복하고 있어 기술적으로는 완벽에 가까운 수준이다.[3] 그러나 새로운 기능성과 디자인에 의한 제품개발은 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 전통적인 도자기 제조기술과 도자기 자체가 자성을 나타낼 수 있게 하는 신소재 기술을 결합하는 새로운 개념의 독창적인 자성 도자기의 제조가 가능한 도자기용 자성소지를 개발하여, 고부가가치 산업인 우리나라 전통도자기의 우수성을 계승발전 시키면서, 또한 생활도자기

에 담겨서 사용되는 물에 정자기 (magnetostatic) 에너지를 방사하는 것이 가능한 현대인의 건강증진에도 기여할 수 있는 자성도자기를 처음으로 개발하고자 하였다.

본 논문에서는 전통적인 도자기용 소지에 산화물 자성재료인 등방성 Sr-페라이트 자성분말을 첨가하여, 성형 및 소성공정 후의 도자기의 자기특성 향상에 관한 연구를 수행하였다. 자성도자기의 자기특성은 등방성 Sr-페라이트 응집분말의 크기, 등방성 Sr-페라이트 분말의 첨가량, 그리고 소성온도 등의 영향을 고려하여 연구되었으며, 고품성의 발현이 가능한 적정조건을 제시하고자 하였다.

#### 2. 실험

본 연구에서는 제조된 분청토 도자기 소지에 적절하게 제조된 등방성 Sr-페라이트 자성분말을 10, 20, 30 wt% 균일하게 혼합하여 사용하였다. 회전식 킬른에서 제조된 등방성 Sr-페라이트 자성분말은 표준 망체(sieve)를 사용하여 0.5 mm이하, 0.5~1 mm, 1~2 mm, 그리고 2~3.36 mm 4가지로 분급되었다. 직경 25 mm, 두께 5 mm의 원판모양으로 성형된 도자기 시편은 그늘진 곳에서 충분히

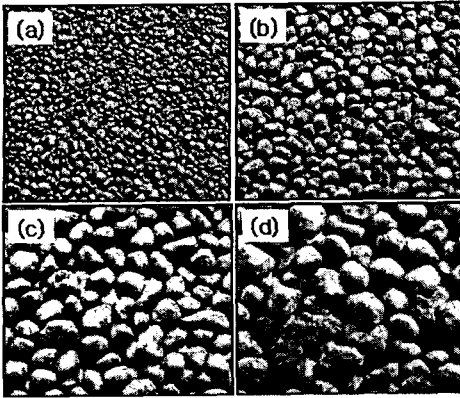


그림 1. 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 크기에 따른 자성분말의 사진; (a) 0.5 mm이하, (b) 0.5~1 mm, (c) 1~2 mm, (d) 2~3.36 mm.

건조된 후, 전통 장작가마의 재벌구이 조건과 유사한 공기중 1100, 1150, 1200, 1250, 1300℃에서 1시간동안 전기로에서 소성되었다.

소성된 자성도자기의 자기특성인 잔류자속밀도와 고유보자력은 D.C. fluxmeter를 사용하여 측정되었다. 또한, 소성된 자성다기 내부에서의 표면자속밀도는 Gaussmeter를 사용하여 측정되었다. 소성 전후 자성도자기 시편의 결정구조는 x-선 회절 실험을 통하여 분석되었다. 또한 Sr-페라이트 자성분말과 자성도자기 시편의 미세구조는 전자현미경(FE-SEM, 기초과학지원연구소-대구)과 디지털 카메라를 사용하여 분석되었다.

### 3. 결과 및 고찰

도자기소지에 혼합되어 소성 후에도 자기특성의 발현이 가능한 영구자석 재료는 산화물이고 소성 온도가 도자기의 재벌구이 온도와 유사하게 고온인 하드 페라이트계 영구자석으로 국한된다고 보고하였다.[4-6] 주로 1 μm 수준으로 미분쇄되어 모터용이나 스피커용 영구자석으로 사용되는 Sr-페라이트 자성분말을 적용한 결과, 자성분말은 고온 소성 중 도자기 소지와 반응하여 자기특성이 사라지는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Sr-페라이트 자성분말은 1 mm 수준의 등방성 자성분말로 응집화 (agglomeration)시키는 연구를 수행하였다.[6]

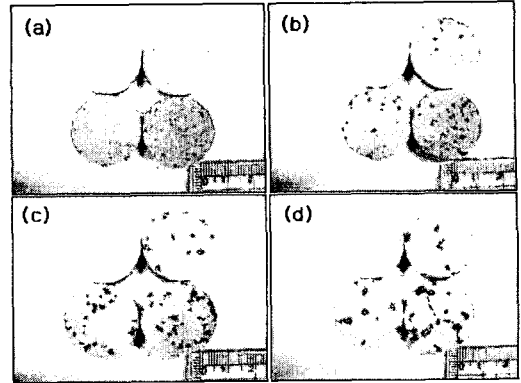


그림 2. 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 크기에 따른 성형체의 사진; (a) 0.5 mm이하, (b) 0.5~1 mm, (c) 1~2 mm, (d) 2~3.36 mm.

그림 1에는 응집분말의 크기에 따른 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 디지털 카메라 사진을 나타내었다. 사용된 등방성 Sr-페라이트 응집분말은 하소 (calcination) 공정에서 회전식 킬른을 사용하여 제조되었다. 각각의 평균입도를 갖는 Sr-페라이트 자성분말은 표준 망체를 사용하여 0.5 mm 이하, 0.5~1 mm, 1~2 mm, 2~3.36 mm로 분급되었으며, 그림 1(a)에서 1(d)에 나타내었다. 그림 1의 등방성 Sr-페라이트 자성분말은 약 1 μm 수준의 많은 결정립들이 우선 방향없이 등방성으로 서로 응집되어 있는 상태이며, 자성분말의 파단면을 전자현미경으로 고배율로 촬영한 결과 이를 확인할 수 있었다.[6] 이러한 등방성 Sr-페라이트 응집분말은 1 μm의 결정립들로 구성되어 있어서 자기특성 향상이 가능하며,[7] 결정립들이 1 mm 수준의 자성분말로 응집되어 있어서 자성도자기에 적용시 자기특성의 발현이 가능하였다.

그림 2에는 등방성 Sr-페라이트 응집분말의 크기에 따른 각각의 성형체의 디지털 카메라 사진을 나타내었다. 체토된 분청토 도자기 소지에 각각의 등방성 Sr-페라이트 자성분말은 10, 20, 30 wt% 첨가량으로 균일하게 혼합하여 사용하였다. 자기특성 측정용 성형체 시편은 직경 25 mm와 두께 5 mm의 원판모양으로 균일하게 성형되었다. 자성도자기의 자기특성을 향상시키기 위해서는 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 첨가량을 증가시키는 것이 필요하다. 그러나 자성분말의 첨가량이 40 wt% 이상으로 증가하면 자성도자기의 성형성이 급격히

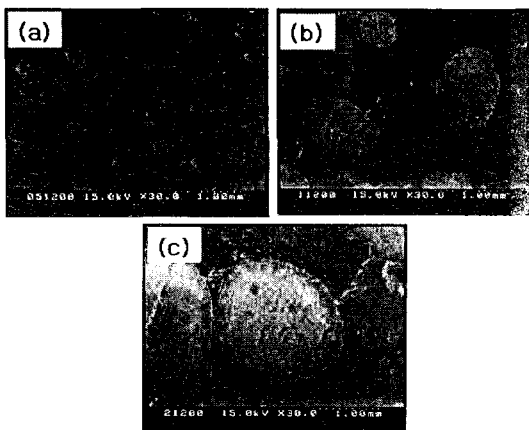


그림 3. 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 크기에 따른 1200°C에서 소성된 자성도자기 단면의 SEM 사진. (a) 0.5 mm이하 (b) 0.5~1 mm (c) 1~2 mm.

나빠져서 균일한 혼합이나 효과적인 성형이 어려운 결과를 나타내었다. 이러한 경향은 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 크기가 커질수록 나타났으며, 특히, 그림 2(d)의 크랙에서도 보듯이 2 mm 이상의 자성분말 크기에서 보다 심각하였다.

여러 가지 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 입도와 충전율을 변화시키면서 제조된 성형체는 공기중 전기로에서 1100, 1150, 1200, 1250, 1300°C의 온도로 고온 소성되었다. 그림 3에는 등방성 Sr-페라이트 자성분말 크기에 따라 1200°C에서 소성된 자성도자기의 폴리싱된 단면을 SEM 사진으로 나타내었다. 자성도자기는 고온에서 소성되기 때문에 Sr-페라이트 자성분말과 도자기소지의 계면에서는 반응이 일어나서 자기특성이 사라지는 현상이 나타난다고 보고하였다.[6] 이러한 현상은 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 크기가 작을수록 그리고 소성온도가 높을수록 보다 심각하게 나타났다. 그림 3(b)에서 볼 수 있듯이, Sr-페라이트 자성분말과 도자기 소지의 경계를 SEM을 사용하여 고배율로 확대하여 촬영한 결과, 자성분말의 표면에서 약 25  $\mu\text{m}$ 의 두께로 도자기 소지와 반응한 영역이 따로 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 그림 2(c)의 소성 전에 약 350 G인 성형체 시편의 잔류자속밀도가 1250°C에서 고온 소성 후에 240 G로 감소하는 자기특성 측정 결과와도 잘 일치하였다. 고온 소성 후 자기특성의 감소는 등방성



그림 4. 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 크기에 따른 전통 장작가마에서 소성된 자성도자기의 사진 (자성분말 크기; 1~2 mm).

Sr-페라이트 자성분말의 크기가 작아질수록 보다 심각하였으며, 특히 자성분말의 크기가 0.5 mm 이하인 경우에는 거의 자기특성을 나타내지 못하였다. 또한 소성온도가 1300°C 수준으로 증가할수록 자기특성의 감소가 심각하였는데, 고온 소성 후에도 자기특성의 발현을 위해서는 자성분말 크기가 1 mm 이상은 필요하였다.

등방성 Sr-페라이트 자성분말의 크기에 따라 전통 장작가마 (문경 황당도요)에서 자성도자기 시제품을 제작하였으며, 그림 4에는 자성분말의 크기가 1~2 mm인 경우의 자성도자기들을 나타내었다. 각각의 자성도자기에는 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 첨가량을 30 wt%로 고정하였으며, 도자기 소지와 균일하게 혼합 및 성형하여 건조한 후 전통 장작가마에서 소성하였다. 외관상 자성분말을 나타나게 하기 위하여 유약은 투명유를 시유하였으며, 자기 디자인은 최근 전통 자기에서 유행하는 디자인을 채택하였다.

그림 5에는 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 크기에 따라 전통 장작가마에서 소성된 자성도자기 (그림 4) 내부에서 Gaussmeter로 측정된 표면자속밀도를 나타내었다. 자성도자기에는 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 첨가량을 30 wt%로 고정하여 도자기 소지와 균일하게 혼합하였으며, 소성한 후 표면자속밀도를 측정한 자성도자기의 두께는 약 3 mm를 기준으로 하였다. 그림 5에서 보듯이, 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 입도가 증가할수록 자성도자기 내부표면에서의 표

면자속밀도가 증가하는 경향을 나타내었다. 표면자속 밀도는 자성분말의 크기가 0.5 mm 이하에서는 자성

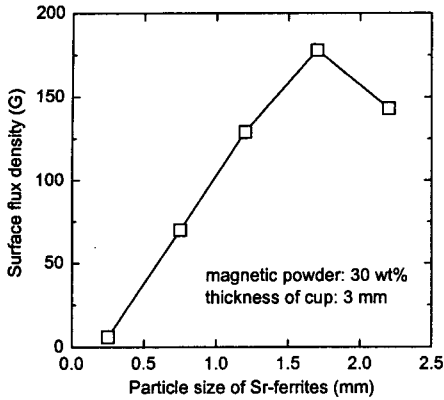


그림 5. 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 크기에 따라 전통 장작가마에서 소성된 자성다기 내부에서 측정된 표면자속밀도.

분말이 도자기소지와 반응하여 자기특성을 상실하기 때문에 매우 작은 값을 나타내었으며, 자성분말의 크기가 2 mm 이상에서는 자성분말이 도자기소지와 균일한 혼합이 어렵기 때문에 오히려 감소하였다. 그러므로 등방성 자성분말의 크기가 1.4~2 mm 수준에서 표면자속밀도는 가장 큰 178 G를 나타내었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 적절하게 제조된 등방성 Sr-페라이트 자성분말의 입도, 충전율, 소성온도에 따른 도자기의 자기특성 향상 연구를 수행하였다. 1200~1300°C 범위 장작가마의 소성온도에서 적절한 Sr-페라이트 자성도자기의 제조조건은 1~2 mm 크기의 등방성 자성분말과 30 wt%의 자분 충전율을 필요로 하였다. 이러한 조건에서 제조된 자성다기의 내부에서 측정된 표면자속밀도는 178 G를 나타내었다. 향후 자성도자기의 특성 향상을 위해서는 Sr-페라이트 자성분말의 이방화에 대한 연구가 추가적으로 필요하다고 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었다 (KRF-2002-003-D00145). 또한,

전통 장작가마에서 자성 다기를 제작해주신 문경 황담도요의 김억주 선생에게 감사드린다.

#### 참고 문헌

- [1] 전 무식, “6각수의 수수계끼”, 김영사, 1995.
- [2] 강 형희, “물건강법”, 태웅출판사, 2001.
- [3] 윤 용이, “우리 옛 도자기”, 대원사, 1999.
- [4] 平賀貞太郎 외 공저, 윤상옥 외 공역, “자성재료세라믹스”, 반도출판사, 1996.
- [5] TDK 주식회사, 김 병호·김 경용 공역, “페라이트”, 청문각, 1995.
- [6] 조태식, 김지식, “자성을 나타내는 도자기 소지의 연구”, 한국전기전자재료학회 (초전도·자성체연구회) 춘계학술대회논문집, p. 88, 2003.
- [7] 정원용, 조태식, 문탁진, “이방성 Sr-페라이트/레진본드 영구자석에서 Sr-페라이트 자성분말의 방향성”, 한국자기학회지, 4권, 3호, p. 219, 1994.