

# 자성을 나타내는 도자기 소지의 연구

조태식, 김지식

국립상주대학교 신소재공학과

## Study on the magnetic porcelain materials

Tae-Sik Cho and Ji-Sik Kim

### Abstract

The magnetic porcelain materials were studied by using the porcelain materials added Sr-ferrite powders before forming and firing process. For the high magnetic property, the Sr-ferrite magnetic powders with the grain size of  $1 \mu\text{m}$  were agglomerated the powder size of about 1 mm. The magnetic porcelain with 30 wt% of Sr-ferrite powders indicated the magnetic characteristics such as the remanent flux density of 240 G and the intrinsic coercivity of 3910 Oe, at the firing conditions of 1250°C/1hr in air.

**Key Words** : porcelain, magnetic property, Sr-ferrite, powder agglomeration

### 1. 서 론

현대인에게 있어서 21세기는 “물과의 전쟁”시대라고 말할 수 있다. 물은 생명의 근원이며, 인간을 포함한 모든 생명체는 물이 있어야 존재할 수 있다. 또한, 현대인들은 생활수준이 향상되면서 좋은 물이 건강에 필수요소라는 것을 인식하게 되었고, 공해문제가 심각해지면서 좋은 물의 중요성은 더욱 더 부각되고 있다.

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 옛 것의 재현을 오랫동안 반복하고 있어 기술적으로는 완벽에 가까운 수준이다.[3] 그러나 새로운 기능성과 디자인에 의한 제품개발은 미흡한 실정이

다. 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 생활도자기에 담겨서 사용되는 물에 정자기 (magnetostatic) 에너지를 방사하는 것이 가능한 현대인의 건강증진에도 기여할 수 있는 자성도자기를 처음으로 개발하고자 하였다. 본 논문에서는 연구개발의 첫번째 단계로서 공기중 1200°C 이상의 고온에서 전통장작가마를 사용하여 재벌구이 (glaze firing) 후에도 자기특성의 발현이 가능한 자성을 나타내는 도자기 소지를 연구하였다.

### 2. 실험

전통적인 도자기의 일반적인 제조공정은 제토 (clay making), 성형 (forming), 건조 (drying), 장식 (decoration), 초벌구이 (biscuit firing), 시유 (glazing), 그리고 재벌구이로 구성된다.

본 연구에서는 제토된 분청토 도자기 소지에 적절하게 제조된 하드 페라이트계 자성재료인 Sr-페라이트 자성분말을 균일하게 혼합하여 사용하였다.

직경 25 mm, 두께 5 mm의 원판모양으로 성형된 도자기 시편은 그늘진 곳에서 충분히 건조된 후, 전통 장작가마의 재벌구이 조건과 유사한 공기중 1200℃ 이상의 고온으로 전기로에서 소성되었다.

소성된 자성도자기 시편은 D.C. fluxmeter를 사용하여 잔류자속밀도 ( $B_r$ ), 고유보자력( $H_c$ )와 같은 자기특성을 측정하였다. 소성 전후 자성도자기 시편의 결정구조는 x-선 회절실험을 통하여 분석되었다. 또한 Sr-페라이트 자성분말과 자성도자기 시편의 미세구조는 전자현미경과 광학현미경을 사용하여 분석되었다.

### 3. 결과 및 고찰

영구자석 재료는 재질에 따라 하드 페라이트계 자석, 희토류계 자석, 그리고 알니코계 자석으로 분류할 수 있다.[4,5] 그러나 전통 도자기소지에 혼합되어 사용될 가능성이 있는 영구자석 재료는 동일한 산화물이고 소성온도가 1200℃ 이상 고온으로서 전통 도자기의 재벌구이 온도와 거의 유사한 하드 페라이트계 영구자석으로 국한된다고 사료된다. 또한 하드 페라이트계 영구자석은 비교적 자기특성이 높으면서도 가격이 매우 저렴한 장점을 갖는 범용 자성재료이다.[6,7]

하드 페라이트계 영구자석중 Sr-페라이트는 모터용, 스피커용 등으로 많이 사용되는 자성재료로서, 약 1  $\mu\text{m}$  평균입도 수준으로 미분쇄된 이방성 자성분말로써 자장중 성형되어 사용되어진다.[8] 먼저 1  $\mu\text{m}$  평균입도의 Sr-페라이트 자성분말을 도자기 소지에 20 wt% 첨가하여 혼합할 경우, 소성 후 자기특성의 발현이 가능한 지를 확인하였다. 자기특성을 측정한 결과, 1  $\mu\text{m}$  입도의 Sr-페라이트 자성분말은 1200℃/2시간 조건의 재벌구이 공정에서 도자기 소지와 반응하여 자성을 잃어버리는 나쁜 결과를 나타내었다. 이는 소성 전에 존재하는 Sr-페라이트 자성상의 회절피크가 소성 후에 사라지는 것을 x-선 회절실험을 통하여 확인하였다. 그러므로 기존의 1  $\mu\text{m}$  입도의 Sr-페라이트 자성분말은 자성도자기의 제조에 적합하지 않았다.

1  $\mu\text{m}$  입도의 Sr-페라이트 자성분말이 소성중 도자기 소지와 반응하여 자기특성이 사라지는 문제를 해결하기 위하여 자성분말을 응집화 (agglomeration)시키는 연구를 수행하였다. 그림 1에는 제조된 Sr-페

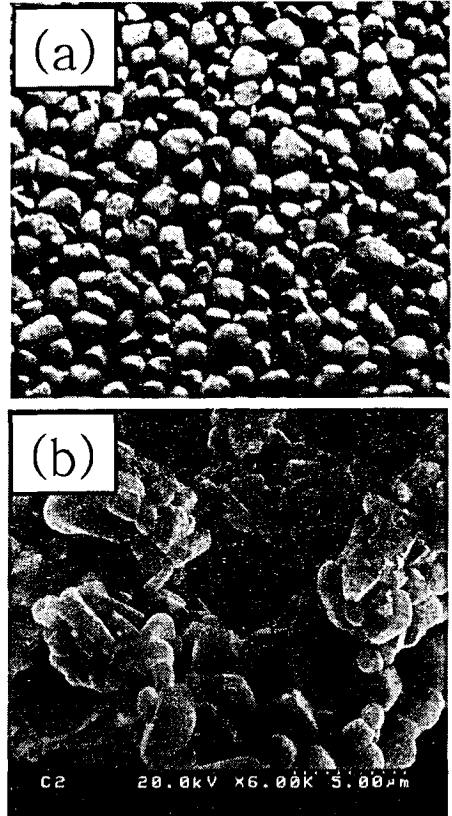


그림 1. Sr-페라이트 응집분말의 사진. (a) 디지털 카메라 사진(분말크기: 0.5~1 mm). (b) 분말 파단면의 SEM사진(결정립: 1  $\mu\text{m}$ ).

라이트 응집분말을 나타내었다. 그림 1(a)에는 평균입도가 0.5~1 mm 수준인 Sr-페라이트 응집분말의 사진을 나타내었으며, 응집분말은 하소공정에서 회전식 킬른을 사용하여 직접적으로 제조되었다. 그림 1(b)에는 평균입도가 0.5~1 mm 수준인 Sr-페라이트 응집분말의 파단면을 전자현미경으로 고배율로 촬영한 사진을 나타내었으며, 약 1  $\mu\text{m}$  수준의 많은 Sr-페라이트 결정립이 서로 응집되어 있는 상태를 잘 보여주고 있다. 이러한 Sr-페라이트 응집분말은 1  $\mu\text{m}$  수준의 결정립으로 구성되어 있어서 자기특성 향상이 가능하며, 0.5~1 mm로 응집되어 있어서 자성도자기에 적용하는 것이 가능하다고 본다.

그림 2에는 0.5~1 mm 입도의 Sr-페라이트 응집분말 30 wt%를 도자기 소지와 혼합하여 소성한 시편의 자기특성을 측정된 결과이다. 소성조건은 공기중

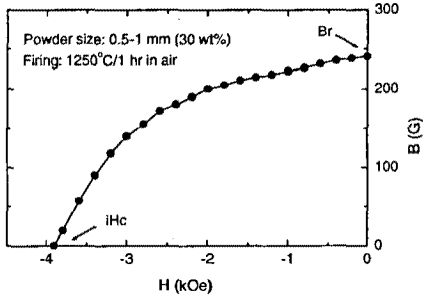


그림 2. 소성된 자성 도자기 시편의 감자곡선.

에서 1250°C의 고온으로 1시간 동안 전기로에서 수행되었다. Sr-페라이트 응집분말을 함유한 도자기 시편은 고온 소성 후에도 240 G의 잔류자속밀도와 3910 Oe의 고유보자력을 나타내었다.

그림 3에는 0.5~1 mm 입도의 Sr-페라이트 응집분말을 도자기 소지와 혼합하여 소성한 시편의 미세조직을 전자현미경으로 관찰한 실험결과이다. 그림 3(a)에는 Sr-페라이트 응집분말이 포함된 소성시편의 폴리싱한 단면의 저배율 사진으로써, 0.5~1 mm 입도의 Sr-페라이트 응집분말을 확인할 수 있었다.

그림 3(b)에는 Sr-페라이트 응집분말과 도자기 소지의 경계를 고배율로 확대하여 촬영한 사진으로써, 응집분말의 표면에서 약 25  $\mu\text{m}$ 의 두께로 도자기 소지와 반응한 영역이 존재하였다. 이 결과는 소성 전에 약 350 G인 시편의 잔류자속밀도가 고온 소성 후에 240 G로 감소하는 결과와도 잘 일치하였다. 그림 3(c)에는 Sr-페라이트 응집분말의 내부를 5000배로 확대하여 촬영한 사진으로써, 약 2  $\mu\text{m}$  이하의 Sr-페라이트 결정립이 도자기 소지와 반응하지 않고 관찰되었다. 이러한 작은 Sr-페라이트 결정립은 소성 후 시편이 3910 Oe의 높은 보자력을 나타내는 결과를 잘 설명하여 준다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 도자기용 소지에 적절하게 제조된 Sr-페라이트 자성분말을 균일하게 혼합하여, 고온 소성 후에도 자기특성을 나타내는 자성도자기를 연구하였다. 약 1  $\mu\text{m}$  크기의 Sr-페라이트 자성분말은 도자기 소지와 반응하여 자성을 잃어버리기 때문에, Sr-페라이트 결정립을 1 mm 수준으

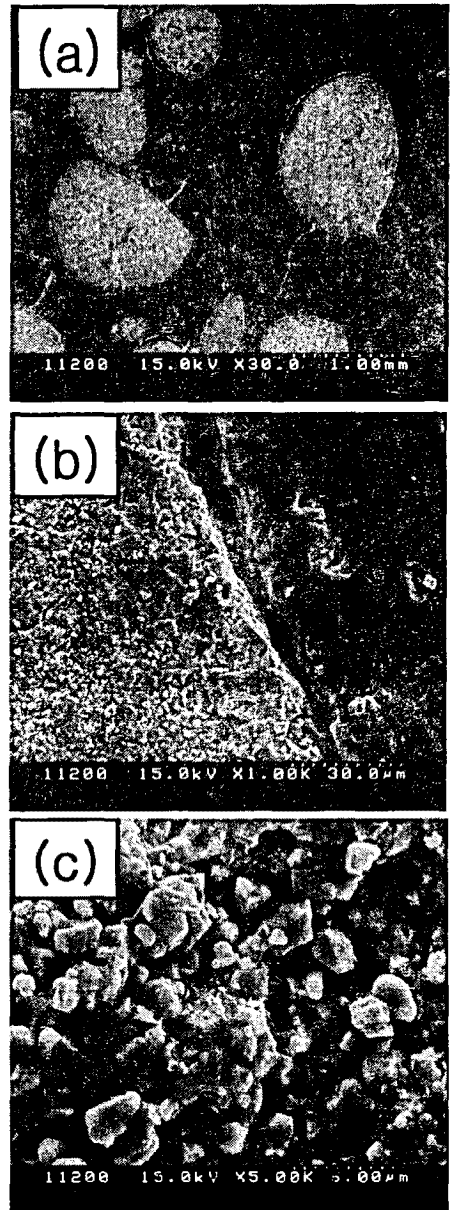


그림 3. 소성된 자성도자기 단면의 SEM 사진. (a) 전체 [30배율]. (b) 경계 [1000배율]. (c) 자성분말 내부 [5000배율].

로 응집화시키는 것이 필요하였다. 1250°C/1시간 동안 공기중에서 소성된, 자성분말을 30 wt% 함유한, 도자기 소지는 240 G의 잔류자속밀도와 3910 Oe의 고유보자력을 나타내었다.

## 감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-003-D00145).

## 참고 문헌

- [1] 전 무식, “6각수의 수수께끼”, 김영사, 1995.
- [2] 강 형희, “물건강법”, 태웅출판사, 2001.
- [3] 윤 용이, “우리 옛 도자기”, 대원사, 1999.
- [4] B.D. Cullity, “Introduction to Magnetic Materials”, Addison-Wesley Publishing Co., 1972.
- [5] D. Jiles, “Introduction to Magnetism and Magnetic Materials”, Chapman & Hall, 1991.
- [6] 平賀貞太郎 외 공저, 윤상옥 외 공역, “자성재료세라믹스”, 반도체출판사, 1996.
- [7] TDK 주식회사, 김 병호·김 경용 공역, “페라이트”, 청문각, 1995.
- [8] 정원용, 조태식, 문탁진, “이방성 Sr-페라이트/레진본드 영구자석에서 Sr-페라이트 자성분말의 방향성”, 한국자기학회지, 4권, 3호, p. 219, 1994.