

## BaTiO<sub>3</sub> 분말과 분산제 첨가에 따른 Fe계 나노결정 P/M시트의 전자파흡수 특성변화

김미래 · 조현정 · 박원욱\*  
인제대학교 나노시스템 공학과

### The Characteristic Changes of Electromagnetic Wave Absorption in Fe-based Nanocrystalline P/M Sheet by the Additions of BaTiO<sub>3</sub> Powder and Dispersant

Mi-Rae Kim, Hyeon Jeong Cho and Won-Wook Park\*

Department of Nano System Engineering, Inje University, 607 Obang-dong Gimhae,  
Gyungnam, 621-749 Republic of Korea

(Received January 14, 2008; Accepted February 18, 2008)

**Abstract** The amorphous Fe<sub>73</sub>Si<sub>16</sub>B<sub>7</sub>Nb<sub>3</sub>Cu<sub>1</sub>(at%) alloy strip was pulverized using a jet mill and an attrition mill to get flake-shaped powder. The flake powder was mixed with dielectric BaTiO<sub>3</sub> powder and its dispersant to increase the permittivity. The powders covered with dielectric powders and its dispersant were mixed with a binder and a solvent and then tape-cast to form sheets. The absorbing properties of the sheets were measured to investigate the roles of the dielectric powder and its dispersant. The results showed that the addition of BaTiO<sub>3</sub> powders and its dispersant improved the absorbing properties of the sheets noticeably. The powder sheet mixed with 5 wt% of BaTiO<sub>3</sub> powder and 1 wt% of dispersant showed the best electromagnetic wave absorption rate because of the increase of the permittivity and the electrical resistance.

**Keywords** : Nanocrystalline, Permittivity, Permeability, Electromagnetic wave absorber, Dispersant

## 1. 서 론

전자통신산업의 발달로 디지털전자기기의 사용이 증대되고, 전자기기와 통신 장비가 소형화, 경량화, 고주파수화됨에 따라 심각한 전자파 장애문제가 새로운 관심의 대상으로 등장하게 되었다. 불필요한 전자파 간섭(EMI, Electromagnetic Interference)으로 인한 악영향이 늘어남에 따라<sup>1,2)</sup> 산업 현장에서 공장 자동화 시설을 증설할 경우에도 전자파로 인한 피해 여부를 우선적으로 검토해야하는 시점에 이르렀다. 또한, 의학계에서 전자파가 인체에 노출되었을 때 나타나는 인체 유해성에 대한 연구 결과가 발표됨에 따라 선진국에서는 전자파에 대한 악영향을 규제하기

위해 연구 중에 있다. 따라서, EMI에 의한 사고 예방과 불필요 전자파의 유해성에 대한 논의와 대책이 시급하며<sup>3)</sup>, 이러한 전자파의 악영향으로 인한 피해를 줄이기 위한 방안으로써 전자파를 흡수하는 얇은 고성능시트의 개발이 시급한 상황이다.

본 연구에서는 우수한 연자성의 특성을 보이는 Fe계(Fe<sub>73</sub>Si<sub>16</sub>B<sub>7</sub>Nb<sub>3</sub>Cu<sub>1</sub>: at%) 나노결정립 연자성 분말을 이용하여 전자파 흡수시트의 특성을 높이고자 하였다<sup>4,5)</sup>. 전자파 흡수시트는 재료의 도전손실, 유전 손실, 자성 손실을 이용하여 입사된 전자파를 흡수하여 열로 변화시켜 전자파의 세기를 감소시키는 효과를 지닌다. 본 연구에서 사용한 Fe계 나노결정립 분말은 고주파 손실이 적으며, 기존 재료에 비해 포화 지속

\*Corresponding Author : [Tel : +82-55-320-3872; E-mail : wwpark@inje.ac.kr]

밀도가 커서 얇은 두께로 우수한 특성을 나타낼 뿐 아니라, 기존의 재료에 비해 재료 자체의 투자율이 높은 장점이 있다<sup>6,7)</sup>. 또한 지속적인 개발에 의해 나노 결정립 연자성체의 사용대역이 점차 수십 MHz대역으로 확대되면서 그 응용 범위 또한 넓어지고 있다. 전자파 흡수시트의 효율은 투자율뿐만 아니라 유전 특성에도 영향을 받기 때문에 전자파 흡수능을 더욱 향상시키기 위해 고유전체인  $BaTiO_3$ 을 첨가하였으며, 유전체( $BaTiO_3$ )의 첨가로 인해 나타나는 응집 현상을 줄이기 위해 분산제를 첨가한 Fe계 나노결정립 분말을 시트로 제작하여, 유전체의 첨가와 분산제의 첨가로 인한 유전율, 투자율 등의 변화가 전자파 흡수 특성에 미치는 영향에 대해 상세히 연구하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 melt spinner를 이용한 급속냉각용 고법으로 제조된 두께 20-22  $\mu m$ 의  $Fe_{73}Si_{16}B_7Nb_3Cu_1$  (at%) 비정질 리본을 425°C에서 1시간 동안 예비 열처리를 한 후, jet mill을 이용하여 분말을 파쇄시켰다. 이 분말을 편상화 시키기 위해, attrition mill을 이용하여 분말을 제조한 후 270 mesh 이하 크기의 분말만을 사용하여 실험하였으며, 고순도 질소 분위기하의 540°C에서 1시간 동안 열처리하여 비정질 Fe계 분말을 결정화시켰다. 이 실험은 첨가제의 유무에 따른 시트의 전자파흡수특성을 알아보기 위한 것으로, (1) 결정화 열처리한 Fe계 분말, (2) 유전율을 향상시키기 위하여 고유전체 물질인  $BaTiO_3$ 를 5 wt% 첨가한 Fe계 분말, (3) 고유전체 물질인  $BaTiO_3$  5 wt%와 분산제(SYNTRO PON DAP 10) 1 wt%를 첨가시킨 Fe계 분말들을 각각 Ball Milling 기법으로 1시간 동안 혼합시켰다. 이 분말들을 각각 바인더 및 경화제와 혼합하기 위해 교반기를 이용하여 120 rpm으로 2분간 교반한 후, 슬러리 형태가 되면 casting기를 통해 두께 약 1 mm의 분말시트로 제작하였으며, 제조된 시트를 다시 건조기에서 100°C, 1시간 건조 열처리한 후 실온에서 24시간 건조시켰다. 전자파흡수체로 제조된 분말시트의 특성분석을 위해  $BaTiO_3$ 의 분산 상태를 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 관찰하였으며, 압연(Rolling) 과정을 거쳐 흡수 시트의 두께를 평균 0.5 mm로 만든 후, Network Analyzer(Agilent사 제품 N5230A)의

2-port coaxial 방법을 이용하여, 10 MHz에서부터 5 GHz 까지에서 S11과 S21을 측정하였다. 또한, 유전체분말과 분산제 첨가의 영향을 분석하기 위하여 각 시트의 투자율과 유전율을 측정하였으며, 측정된 S11, S21으로부터 전자파 흡수능을 분석하여 재료별 특성을 비교하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

SEM을 통하여  $BaTiO_3$ 의 분말 입자들을 관찰한 결과, 그림 1과 같이 크기가 약 50 nm의 구형 모양인  $BaTiO_3$ 의 분말 입자들이 조밀하게 밀집되어 있음을 알 수 있었다.

그림 2(a)는 전자파흡수 시트의 실수부 유전율을 측정한 그래프로서, (1) 결정화 열처리한 Fe계 분말 시트, (2) 결정화 열처리한 Fe계 분말에 유전체( $BaTiO_3$ ) 분말을 혼합하여 제조한 시트, (3) 유전체( $BaTiO_3$ ) 분말과 분산제를 동시에 첨가한 Fe계 분말 시트를 각각 비교하였다. 그래프를 살펴보면 분산제와 유전체를 첨가한 시트, 유전체를 첨가한 시트, 열처리만 한 시트의 순으로 유전율이 높은 값을 나타내었다.  $BaTiO_3$ 분말은 유전상수가 300인 우수한 유전특성을 가지는 물질로서 이 유전체 분말첨가에 의해 전자파 흡수시트의 실수부 유전율 값이 증가되었다. 유전율의 허수부는 유전 손실을 의미하는데 허수부의 유전율의 값은 전자파 흡수를 증가시키는 요인이다<sup>8)</sup>. 그림 2(b)는 전자파 흡수 시트의 허수부 유전율 값을 나타낸 것으로 실수부 유전율의 결과와 동일하게 유전체와 분산제를 동시에 첨가한 시트가 가장 높은 허수부 유전율 값을 나타내었다.

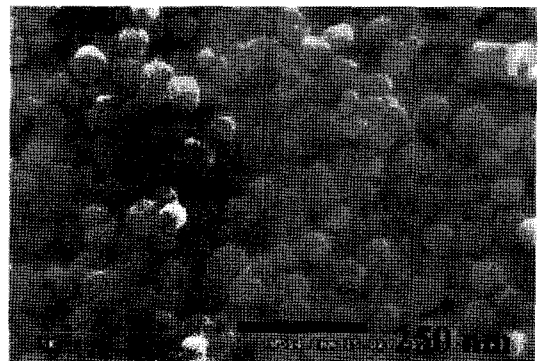
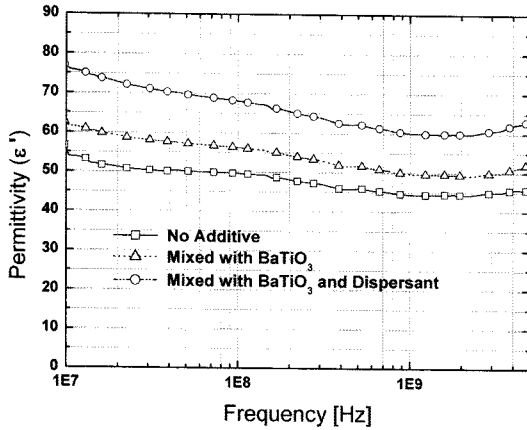
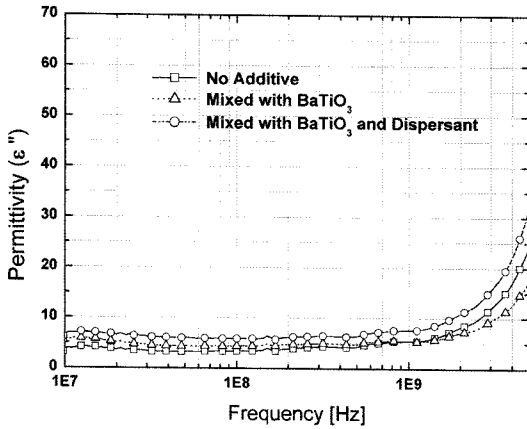


Fig. 1. SEM image of  $BaTiO_3$  powder. (x120,000).



(a)



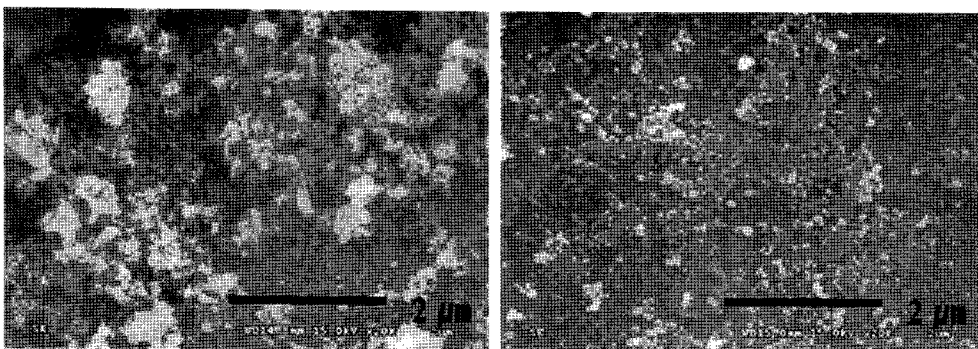
(b)

Fig. 2. Variations of (a) real permittivity and (b) imaginary permittivity with the addition of dielectric powder and its dispersant in electromagnetic wave absorption sheets.

SEM 분석 결과, 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)만 첨가(그림 3(a))한 경우보다 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)와 분산제 모두 첨

가시킨 Fe 계 분말 표면에 유전체인 BaTiO<sub>3</sub> 분말 입자들이 고르게 도포되는 것으로 관찰되었다. 분산제가 첨가(그림 3(b))됨으로써, Fe계 분말 표면에 유전체인 BaTiO<sub>3</sub> 이 안정적으로 균일하게 분포되어, 분산제 첨가의 효과가 매우 큰 것으로 나타났다. 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)만 첨가한 Fe계 분말은 유전체(BaTiO<sub>3</sub>) 분말 입자들 사이에 응집되는 현상을 나타내지만, 분산제를 첨가함으로써 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)분말이 Fe계 분말 표면에서 응집 현상을 감소시키고 전자파 흡수시트의 실수부, 허수부 유전율을 향상시켰을 것으로 사료된다.

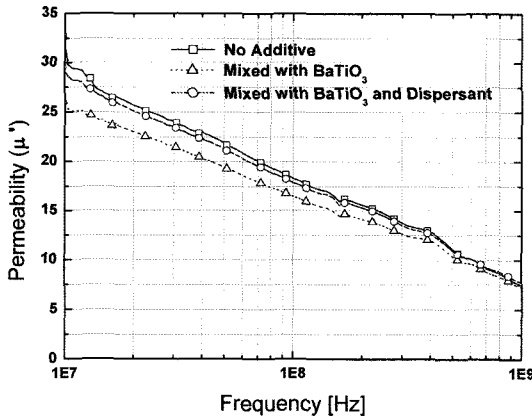
그림 4는 Fe계 나노결정립 분말 시트의 실수부와 허수부 투자율을 측정한 그래프이다. 자성 손실은 와전류 손실, 이력 손실, 잔류 손실의 3가지 손실 기구에 의해 발생된다. 와전류 손실은 주로 자성체 내에서 전기장에 의해 유도된 전류 주위에 소용돌이 형태의 자기장이 발생하고, 발생된 자기장만큼 전류가 손실된다<sup>8)</sup>. 투자율의 실수 값은 실제적으로 전자파 에너지에 반응하는 함수를 나타내며 투자율의 허수 값은 자성 손실에 관여하는 손실 함수를 의미한다. 그림 4(a)에서의 100 MHz 대역에서 보면 Fe계 분말을 결정화 열처리한 한 시트의 투자율 실수는 약 18.3, Fe계 분말을 결정화 열처리 한 분말에 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)를 첨가한 시트는 약 16.4, Fe계 분말을 결정화 열처리 한 분말에 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)와 분산제를 첨가한 시트는 약 17.9이었다. 이러한 특성을 보이는 까닭은 유전체를 첨가함에 따른 분말시트의 밀도저하 때문이며, 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)와 분산제 모두 첨가한 시트는 Fe계 분말과 안정적으로 결합되어 있는 반면 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)만 첨가한 시트는 응집되어 있는 것



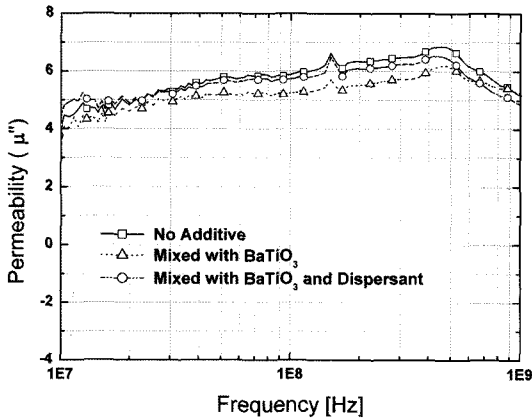
(a)

(b)

Fig. 3. SEM micrographs of P/M sheets mixed with (a) BaTiO<sub>3</sub> powder (b) BaTiO<sub>3</sub> powder and dispersant.



(a)



(b)

Fig. 4. Variations of (a) real permeability and (b) imaginary permeability with the addition of dielectric powder and its dispersant in electromagnetic wave absorption sheets.

을 SEM(그림 2) 사진을 통해 알 수 있었다. 또한 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)만 첨가한 시트는 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)와 분산제 모두 첨가한 시트보다 상대적으로 분말시트의 밀도와 투자율이 더욱 떨어지는 것으로 해석되며, 고주파 대역으로 갈수록 투자율 값의 감소는 고주파에서의 전자파에 의해 유도된 와전류에 인한 것으로 보여진다.

그림 4(b)는 투자율의 허수부에 관한 그래프이다. 이 그래프에서 1 GHz 대역에서 살펴보면, Fe계 분말을 결정화 열처리한 시트의 약 5.1, Fe계 분말을 결정화 열처리 한 분말에 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)를 첨가한 시트는 약 5.2, Fe계 분말을 결정화 열처리 한 분말에 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)와 분산제를 첨가한 시트는 약

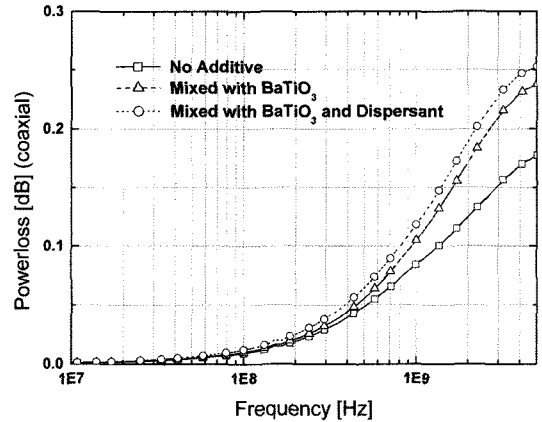


Fig. 5. Variations of power loss of electromagnetic wave absorption sheets.

4.8의 투자율 허수 값을 나타냈으며, 고주파 대역에서는 감소하는 경향을 보였는데, 이 현상 또한 투자율의 실수부와 같이 절연효과로 인한 것으로 분된다.

그림 5는 전자파 흡수체의 S11과 S21을 측정하여 나온 결과로부터 흡수능을 계산하여 얻은 그래프이다. 이 그래프의 값은 측정 방법(Coaxial Line)에 의한 누설전류로 인하여 Power loss의 값이 전체 적으로 낮게 나타났지만, 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)와 분산제의 첨가에 따라 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)와 분산제 모두 넣어 만든 시트, 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)만 넣어 만든 시트, 열처리만 하여 만든 시트의 순으로 전자파 흡수능의 특성이 향상되었음을 나타내고 있다. 이러한 흡수능의 향상 결과는 분산제를 첨가시켜주어 유전체를 균일하게 분산시킴으로써 유전특성이 향상된 것에 기인하는 것으로 풀이된다.

#### 4. 결 론

Fe<sub>73</sub>Si<sub>16</sub>B<sub>7</sub>Nb<sub>3</sub>Cu<sub>1</sub>(at%) 분말을 (1) 결정화 열처리만 하여 제조한 시트, (2) 결정화 열처리한 분말에 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)만 넣은 시트, (3) 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)와 분산제를 모두 넣은 시트를 제조하여 유전율, 투자율, 전자파 흡수능을 측정한 결과는 다음과 같다.

1) 유전율 향상을 위해 첨가한 크기가 약 50 nm 인 BaTiO<sub>3</sub> 유전체 분말은 전자파흡수 분말시트의 유전상수를 증가시켰으며, 특히 분산제와 함께 첨가한 시트의 경우 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)만 첨가한 시트에 비해 유전율의 값이 크게 증가하였다.

2) SEM분석결과, 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)만 넣은 Fe계 분말의 표면은 유전체분말의 응집현상과 함께 Fe계 분말과 잘 결합되지 않았으며, 분산제와 유전체(BaTiO<sub>3</sub>)를 넣은 분말은 분산제의 역할로 인해 유전체가 균일하게 잘 분포되었다. 따라서, 분산제가 유전체의 응집현상을 막고 균일하게 분말 표면에 분산 시킴으로써 전자과 흡수능의 향상에 기여한 것으로 분석된다.

### 참고문헌

1. David M. Pozar: Microwave Engineering, Addison-Wesley, New York (1990) 4.
2. J. Y. Lee and J. G. Rhee: 1995 IEEE international Symposium on EMC, Atlanta, (1995) 543.
3. J. G. Lee: Study of test techniques for the Electromagnetic wave introspection, KIA; (1992).
4. S. K. Koo, S. J. Woo, B. G. Moon, Y. S. Song, W. W. Park and K. Y. Sohn: J. Korean Powder Metallurgy Institute, **14** (2007) 303-308 (Korean).
5. S. J. Woo, E. K. Cho, H. J. Cho, J. J. Lee, K. Y. Sohn and W. W. Park: J. Korean Powder Metallurgy Institute, **14** (2007) 265-271 (Korean).
6. Y. Yoshizawa, S. Oguma and K. Yamauchi: J. Appl. Phys., **64** (1988) 10.
7. G. Herzer: IEEE Trans. Mag., **26** (1990) 1379.
8. J. W. Jung: Understanding of the Electromagnetic wave absorption, DBpia, **9** (1998) 40-44.
9. D. I. Kim: Engineering of the Electromagnetic wave absorption, Dae Yong Sa, Seoul, (2006) 297.
10. J.-H. Yu, S.-C. Bae, G.-H. Ha, B.-K. Kim and G.-G. Lee: J. Korean Powder Metallurgy Institute, **12** (2005) 387-392 (Korean).