

연자성 합금 분말의 입자크기에 따른 전자파 흡수 특성 비교

홍순호^{a, b} · 손근용^a · 박원욱^{a*} · 남정미^b · 문병기^b · 송용설^c

^a인제대학교 나노시스템공학과, ^b한국기계연구원 부설 재료연구소, ^c아모센스

Study of Electromagnetic Wave Absorption Properties with Particle Size in Soft Magnetic Alloy Powder

S. H. Hong^{a, b}, K. Y. Sohn^a, W. W. Park^{a*}, J. M. Nam^b, B. G. Moon^b and Y. S. Song^c

^aDepartment of Nano-systems Engineering, Inje University, 607 Obang-dong, Gimhae, 621-749, South Korea

^bKorea Institute of Materials Science, 531 Changwondaero, Changwon, 641-831, South Korea

^cAMONSENSE, 185-1 Sucham-ri, Tongjin-eup, Gimpo, 415-868, South Korea

(Received July 30, 2007; Accepted August 14, 2007)

Abstract The electromagnetic wave (EM) absorption properties of various particle size have been investigated in a sheet-type absorber using the $Fe_{73}Si_{16}B_7Nb_3Cu_1$ alloy powder. With decreasing the average particle size, the complex permeability (μ_c) and permittivity (ϵ_c) increased and the matching frequency is shifted toward lower frequency. The fabricated EM wave absorbers showed permeability 2~6, permittivity 17~23 for a -325 ~ +400 mesh sample, and the calculated power absorption was as high as 80% in the frequency range over 2 GHz.

Keywords : Electromagnetic wave absorption, Particle size, Complex permeability, Complex Permittivity

1. 서 론

최근 정보통신 산업이 급속도로 발전함에 따라 휴대폰, 전자사전, 디지털 카메라와 네비게이션 등 다양한 형태의 전자기기가 광범위하게 사용되고 있다. 디지털 회로기술과 IC 기술의 접목에 의해 휴대가 용이하도록 소형화되고 있으며 그들의 주된 기능이 외에 영상 정보 저장 및 송수신, 게임, 라디오 등 멀티기능을 가지며 광대한 양의 데이터를 빠르게 처리하는 정보처리의 고속화가 이루어졌고, 이를 위해 그 사용 주파수 범위가 수 GHz의 고주파 대역으로 증가하였다. 그러나 기기내의 배선들과 부품들 사이에서 불필요한 전자파 발생으로 인해 기기의 오작동을 초래할 뿐만 아니라, 인체에도 유해하기 때문에 전자파 제어가 사회적인 주요 과제로 대두되고 있다. 이러한 전자파 간섭(EMI)을 억제하기 위한 대책의 일환으로서 전자파 흡수체 개발이 진행되고 있다.

전자파 흡수체는 입사된 전자파를 손실매질 내에서 도전, 유전 및 자성 손실을 이용하여 열로 변환함으로써 감쇄 또는 소멸시킨다. 전자파 흡수율은 흡수체의 화학적 조성, 흡수체의 기하학적 형상에 크게 의존하며, 입자의 크기와 흡수체의 두께에 큰 영향을 받는다¹⁻³⁾. 따라서 본 연구에서는 동일한 특성을 지니고 서로 다른 크기분포를 갖는 분말을 sheet 형태로 제조하여, 입자크기가 전자파 흡수체의 흡수율에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 Fe계 비정질 재료에 나노상을 성장시켜 고주파 영역에서도 높은 투자율을 유지하는 것으로 알려진 $Fe_{73}Si_{16}B_7Nb_3Cu_1$ 연자성 합금을 고려하여 급속응고법(rapid solidification process)으로 제조된 두께 20 μm 의 비정질 리본 합금(Hitachi Metal)

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

을 사용하였으며, 분쇄가 용이하도록 420°C에서 1시간 동안 열처리하였다. 또한 고주파 영역에서 높은 투자율을 얻기 위해서는 자기이방성을 높이고 재료의 전기저항을 높여 와전류 손실을 줄여야 한다^{4,5)}. 자기이방성을 높이기 위해 제트 밀링하여 얻어진 판상 분말을 -100~+400 mesh까지 5단계로 입자크기를 분류하였다. 각기 입자크기가 다른 연자성 금속 분말을 폴리우레탄계열의 결합제와 경화제가 혼합된 절연 매트릭스에 분산시켜 테이프 캐스팅 방법을 응용하여 본 연구실에서 자체 제작한 설비를 이용하여 두께 0.5 mm의 sheet형 전자파 흡수체를 제작하였다.

제작된 흡수체의 투자율과 유전율을 측정하기 위하여 Agilent사의 E4991A impedance analyzer를 사용하였으며, 투자율 측정시편은 외경 7 mm, 내경 3 mm의 토로이드 형태로 준비하였으며, 유전율 측정시편은 크기 13×13 mm²의 정사각형 모양으로 절단하여 측정하였다. 그리고 Agilent사의 N5230A network analyzer에 본 연구실에서 자체 제작한 마이크로스트립 전송선로를 연결하여 크기 50×50 mm²의 시편을 장착하여 반사/투과법(S-parameter)으로 흡수율을 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1과 2는 두께 0.5 mm인 Fe₇₃Si₁₆B₇Nb₃Cu₁ 연자성 합금 분말 sheet의 입도에 따른 복소투자율 ($\mu_r = \mu' - j\mu''$) 및 복소유전율 ($\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon''$)의 주파수 분산

특성이다. 그림 1에 나타난 바와 같이, 투자율의 경우 1 GHz 이상의 주파수 대역에서 매우 폭넓은 주파수 분산 특성을 보인다. 실수부와 허수부 모두에서 100 MHz 이하의 저주파 대역에서는 입도가 클수록 투자율이 증가하는 것으로 나타났으나, 주파수가 증가함에 따라 경향이 역전되어 실수부의 경우 약 300 MHz, 허수부의 경우 약 900 MHz 이상의 주파수에서는 입도가 증가할수록 투자율이 감소하였다. 이러한 결과는 동일한 두께의 분말에서 입도가 증가함에 따라 형상이방성이 증가하고, 이에 따라 자화회피가 증가하기 때문에 저주파에서는 투자율이 입도에 비례하는 반면, 주파수가 증가할수록 입도가 큰 분말에서 와전류손실의 영향이 더 크게 작용함으로써 투자율이 감소하는 것으로 판단된다⁶⁾.

그림 2에서 ϵ_r 은 입자 크기가 가장 작은 -325~+400 mesh의 흡수체에서 $\epsilon_r' = 17 \sim 23$, $\epsilon_r'' = 1 \sim 4$ 정도로 가장 높은 유전상수와 유전손실을 보이고 있다. 이와 같이 분말의 크기가 작아질수록 유전율이 증가하는 것은 sheet 제조 공정에서 폴리머 내에 단위체적당 분산된 입자의 수가 증가하게 되며, 이로 인해 정전용량이 증가하기 때문인 것으로 사료된다⁷⁾.

제조된 sheet형 전자파 흡수체의 전자파 흡수능 평가에 앞서서 자체 제작한 마이크로스트립 선로의 반사/투과 특성을 N5230A 회로망 분석기를 이용하여 측정된 결과를 그림 3에 나타내었다. 반사(S_{11})는 -65 dB로 거의 없으며, 투과(S_{21})는 0 dB로 100% 투과되고 있음을 알 수 있다. 50 Ω 특성 임피던스를 가

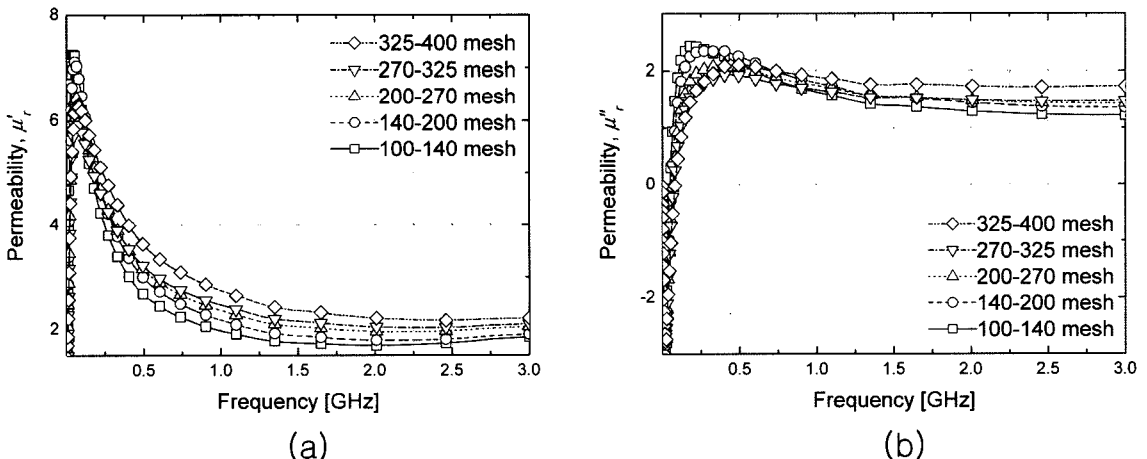


Fig. 1. Permeability of the powder with various particle size as a function of frequency : (a) real and (b) imaginary parts.

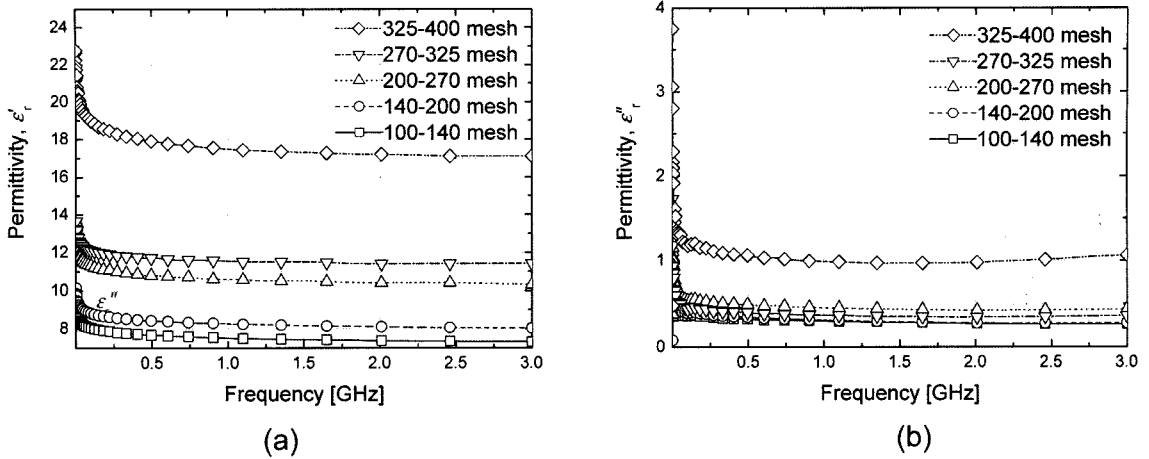


Fig. 2. Permittivity of the powder with various particle size as a function of frequency: (a) real and (b) imaginary parts.

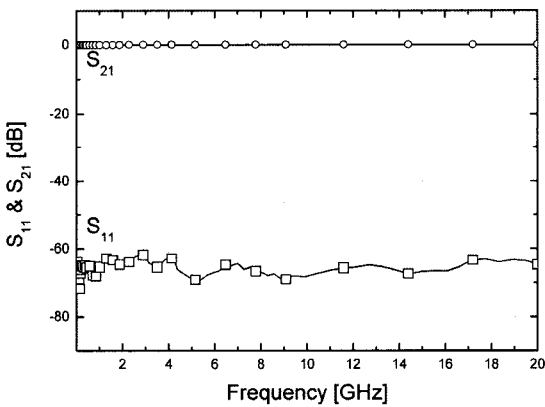


Fig. 3. S-parameters measured in a microstrip line.

진 network analyzer의 동축 케이블과 임피던스 정합이 잘 이루어지고 있으며, 삽입손실이 0에 가까움을 확인할 수 있다⁸⁾.

그림 4는 입도가 다른 흡수체를 크기 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ 로 절단하여 측정된 S_{11} 과 S_{21} 이다. 주파수가 높아짐에 따라 S_{11} (반사)은 줄어들지만 입도에 대해서는 큰 차이를 보이지 않는다. 반면 S_{21} 은 주파수가 증가함에 따라 급격히 감소하고 또 입자 크기에 따라 현저히 달라짐을 알 수 있다. Hashimoto 등⁹⁾이 발표하였듯이 마이크로스트립 선로에서 노이즈 흡수율은 주로 장착 손실재의 자기손실에 의해 결정된다. 입도가 작을수록 큰 입도보다 낮은 주파수 대역에서

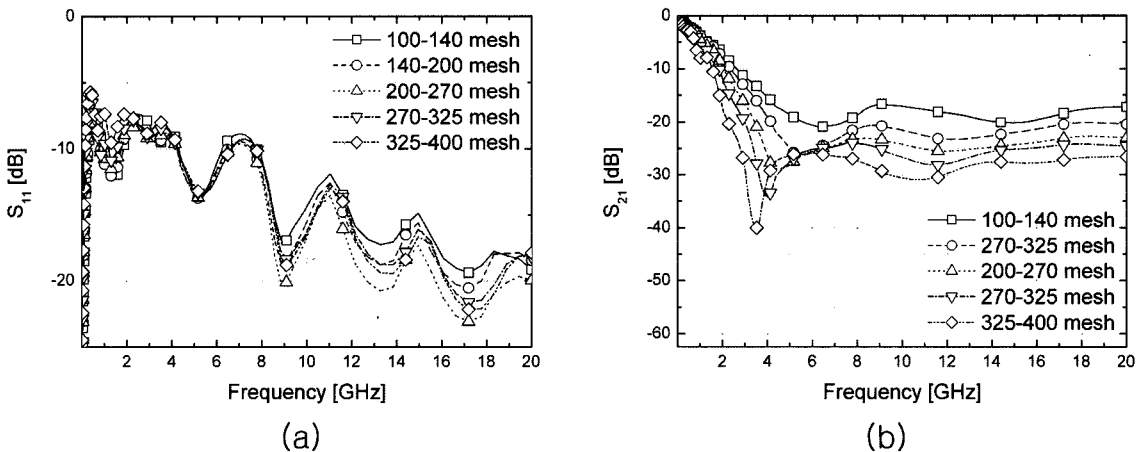


Fig. 4. S-parameters measured in a microstrip line covered with powder-compacted sheets with various particle size : (a) S_{11} and (b) S_{21} .

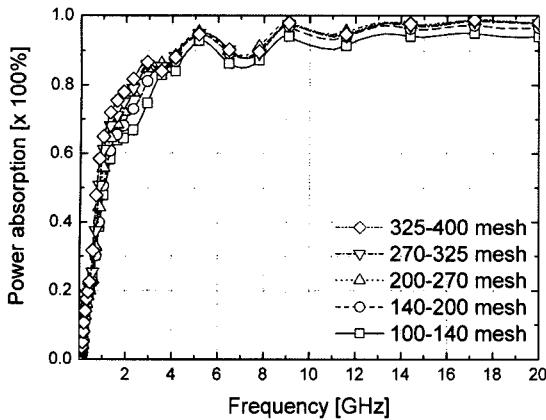


Fig. 5. Power absorption calculated from S_{11} and S_{21} in the Fig. 4 of powder-compacted sheets with various particle size.

S_{21} (투과)이 급격히 감소하였다. 이것은 입자 크기에 따라 자기이방성이 다르며 흡수체의 자기손실 특성에 영향을 미친 것으로 판단된다.

흡수체의 전력흡수율(Power Absorption: PA)은 입사전력에 대한 흡수전력의 비로 바로 정의되며, 다음 식을 통하여 계산할 수 있다⁸⁾.

$$PA = 1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2)$$

그림 5는 입도에 따른 전력흡수율을 주파수의 함수로 나타낸 것이다. 입자 크기가 작을수록 낮은 주파수 대역에서부터 높은 전력 흡수율을 보이며, 9 GHz 이상의 대역에서는 95% 정도의 일정한 전력 흡수율을 갖는 것으로 나타났다. 전체적으로 1 GHz 이하의 저주파 대역에서 흡수율이 낮은 이유는 S_{21} 이 -10 dB 이상으로 노이즈 감쇠가 충분하지 않으며, 반사손실(S_{11})이 크기 때문인 것으로 해석되며, 이러한 저주파 대역에서는 자기손실(μ_r)에 의한 흡수손실이 크지 않으므로 분말입도에 따른 흡수율의 차이는 나타나지 않았다. 반면, 1 GHz 이상의 주파수 대역에서는 S_{21} 이 증가함에 따라 분말입도에 따른 차이가 발생하여, 분말입도가 감소할수록 흡수율이 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 현상은 그림 1(b)과 그림 2(b)에서 자기손실과 유전손실이 입도가 작을수록 증가하는 현상에 기인하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

$Fe_{73}Si_{16}B_7Nb_3Cu_1$ 연자성 합금 분말로 구성되는 전

자와 흡수체의 입도에 따른 특성을 비교하였다. 연자성 합금 분말 흡수체의 복소투자율 및 복소유전율을 측정된 결과 입도가 작을수록 우수한 자기손실 및 유전손실 특성을 보였다. 1 GHz 이상의 고주파 대역에서 입도가 작을수록 자기손실이 우수하였으며, 특히 -325~+400 mesh의 경우 $\mu_r=1.7$ 로 가장 높았다. 반면, 유전상수와 유전손실은 입도가 작을수록 단위 체적 내의 정전용량이 증가함에 따라 전 주파수 대역에서 증가하는 경향을 나타내었다.

서로 다른 입도의 분말로 제조된 흡수체의 전자파 감쇄효과를 평가한 결과, 이러한 자기손실 및 유전손실의 영향으로 인하여 1 GHz 이상의 고주파 대역에서 입도가 작을수록 흡수율이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 2 GHz 이상의 주파수 대역에서는 전력 흡수율이 80% 이상으로 우수한 흡수특성을 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 BK21 사업과 고기능성 나노분말소재 핵심기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. D. I. Kim: Engineering of Electromagnetic Wave Absorber, Daeyoung Publication Co. (2006) 40; 김동일 : 전파흡수체공학, 대영사 (2006) 40-50.
2. M. Amano and Y Kotsuka: J. of IEEE Trans on MTTs, **51** (2003) 238.
3. J. M. Song, D. I. Kim, S. J. Kim, S. M. Ok, B. Y. Kim, W. K. Park, Y. G. Lee, H. J. Yoon, K. M. Kim and B. D. Yea: J. KEES, **14** (2003)190.
4. Vacuumschmelze GmbH, Toroidal Cores of VITROP-ERM, Data Sheet PW-014, (1993).
5. S. Yoshida, M. Sato, E. Sugawara and Y. Shimada: J. Appl. Physics, **85** (1999) 4636.
6. M. Anhalt and Weidenfeller: J. Appl. Phys., **101** (2007) 023907.
7. K. S. Lee, Y. C. Yoon, G. B. Choi, S. S. Kim and J. Y. Lee: J. KEES, **16** (2005) 228.
8. S. T. Kim, B. K. Oh, S. S. Kim, H. S. Cho and J. H. Lee: J. Kor. Inst. Mag., **14** (2004) 174.
9. O. Hashimoto, Y. Takase and S. Haga: Trans. IECIE Japan, **J86-B(1)** (2003) 113.