

논문 2014-51-1-26

연자성 합금분말을 함침시킨 필름의 자계 차폐 특성 연구

(A Study of Shielding Property of Magnetic Field for the Film Impregnated with Soft Magnetic Powder)

박 종 현*, 나 극 환*, 강 은 균**, 김 진 우***

(Jong-Hyun Park[Ⓢ], Keuk-Hwan Ra, Eun-Kyun Kang, and Jin-Woo Kim)

요 약

본 논문에서는 NFC 나 핸드폰, 컴퓨터 등의 정보통신기기에 사용하기 위한 높은 주파수 대역의 전자파 차폐 필름을 개발하기 위하여, 주로 자계를 차폐할 수 있는 니켈 및 실리콘과 철의 합금의 연자성 특성을 연구함에 있어 최적의 합금조성으로 Fe-Si-Cr 합금과 Fe-Ni-Cr 합금의 자성특성에 대하여 연구하였고, 그 결과에 의하여 결정된 합금의 조성비에 따라 각 합금을 용융상태에서 수분산시켜 원형 편상의 연자성 합금분말을 만들었으며, 그들을 수지에 함침시키고 가열 회전 롤러를 이용한 캘린더 가공법으로 두께 0.1 mm 및 1 mm 의 필름을 만든 다음, 저주파에서부터 10GHz 마이크로파대역까지의 전자파에 대한 투자율과 차폐율에 대하여 연구하였다. 또한 본 논문에서는 합금 분말입자의 제조에 앞서, 합금의 투자율을 예측할 수 있는 식을 제안하였으며, 그 식의 합리성을 증명하기 위해 MATLAB을 이용하여 기 발표된 합금들의 투자율과 주파수 특성을 비교적 정확하게 기술하고 있음을 보였고, 그로부터 가장 이상적인 합금의 조성비를 결정하고, 분말입자가 수지에 함침된 필름의 투자율 역시 계산하였다. 전자파 차폐 수치 필름의 차폐율(Shielding Effectiveness)에 대한 시뮬레이션은 HFSS를 이용하였다.

Abstract

In this paper the magnetic field properties of the soft magnetic alloys (Fe-Si-Cr and Fe-Ni-Cr) are studied in advance for the development of electro-magnetic shielding films, which could be used in the IT Devices (NFC, mobile phone, computer, etc.).As a result each of the selected soft magnetic alloy melts of the corresponding compositions is water-dispersed into the disk-shaped grains, which are soaked in polymer resin, and of which two types of thin film of thickness 0.1mm and 1mm are made by passing through the heating calendar roller. And the magnetic permeability and the shielding effectiveness of the polymer films containing the soft magnetic alloy grains are measured over the whole frequency bands from the low frequency to 10GHz. Before the experiments of the soft magnetic alloy, a special equation is proposed to estimate the permeability of the alloy, and the equation is verified with the pre-published data by MATLAB, and from which the most optimal compositions can be decided. And the SE(Shielding Effectiveness) of the polymer films containing the soft magnetic alloy grains is simulated by the HFSS.

Keywords : shielding films, magnetic field, water-dispersed, soft magnetic, permeability, shielding effectiveness

I. 서 론

* 정회원, 광운대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University)

** 정회원, 주식회사 코랩
(KoR Lab. Co., Ltd.)

*** 정회원, 동양미래대학
(DONGYANG MIRAE University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: world78u@hanmail.net)

접수일자: 2013년10월23일, 수정완료일: 2013년12월26일

무선 통신 기술의 발달 및 디지털 기기의 급속한 보급에 따라서 컴퓨터 등의 사무용기기, 휴대전화 등의 신기기를 포함한 전기/전자 및 정보 통신 제품들의 급속한 발전에 따른 고성능화 및 소형화, 경량화가 이루어지고 있으며, 그러한 요청에 부응하기 위하여 전자부품들이 고집적화 되어야 하므로, 부품들 사이의 간섭이

나 인체 위해를 감소시키기 위하여 전자파 차폐의 필요성이 더욱 강조되고 있다.

특히 다층 기판(Multi-Layer PCB)이나 플렉서블 프린트 기판(FPCB), 휴대폰 안테나와 본체 사이, 액정기판 사이, 휴대폰 및 디지털 카메라의 CCD (Charge Coupled Device), RF 회로, 노트북 PC 의 액정본체 접속 케이블과 CPU, 기판들 사이, 보조기억장치 접속케이블, 그리고 LCD TV 및 내비게이션, 위성방송 수신기 등의 유사한 부분들에 차폐 필름(Shield film)이 부착되어 사용되고 있으며, FPCB 상의 반복 굴곡 되는 전기 회로에는, 우수한 차폐 효과 외에 굴곡에 잘 견딜 수 있는 높은 굴곡성이 요구된다.^[1]

따라서 본 논문에서는 전반적인 전자파 차폐 재료들에 대한 특성을 검토하고, 사용되는 금속 입자들의 종류나 조성, 입자의 형태(입형), 밀도(입도), 그리고 수지의 종류를 최적으로 선정하여 마이크로와 주파수 대역까지 간편하게 사용할 수 있는 전자파 차폐 수지필름(electro-magnetic Shielding film)에 대한 연구한다.

II. 전계 차폐

전계를 차폐하는 방법은 매질 내에서의 전력손실에 의한 방법과 양도체에 의해 전계를 가두거나 반사시키는 방법이 있는데, 그들이 완전히 분리되어 사용되기 어려운 일이고 통상적으로 그 두 메커니즘이 혼재하는 방법이 사용되는데, 먼저 전자파 차폐막 내에서의 전자파 손실에 대하여 기술하기 위하여 도전율이 유효 유전율에 미치는 영향을 기술하면 다음과 같다.^[2]

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} + j\omega \mathbf{D} = j\omega \epsilon_{eff} \mathbf{E} \\ \epsilon_{eff} &= \epsilon \left(1 - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right) = \epsilon' - j\epsilon'' \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서,

\mathbf{E} ; 전계의 세기(Volt/m)

\mathbf{H} ; 자계의 세기(Ampere/m)

\mathbf{D} ; 전속밀도(Coulomb/m²)

\mathbf{J} ; 전류밀도(amper/m²)

ϵ_{eff} ; 복소 유효 유전율(Farad/m)

식(1)에서 매질의 전도도에 따른 전류는 저항성 손실(Ohmic loss)을 동반하는데, 변위전류(Displacement

current)와는 90°의 위상 차이가 나기 때문에 유효 유전율에 허수 부분을 만들게 되고, 따라서 유전율의 허수 부분은 손실을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

또한 변위전류도 전기분극의 종류(전자분극, 이온분극, 방향성분극)에 따라 각각 특정 주파수 대역에서 인가전계에 비하여 분극의 위상이 이완(Relaxation) 현상에 의해 다소간 지연되므로, 유전체의 유전율을 동위상(In-Phase) 성분과 직교위상(Quadrature Phase) 성분으로 나누어 다음과 같이 쓸 수 있다.^[3]

$$\epsilon = \epsilon_i - j\epsilon_q \quad (2)$$

이를 (1) 식에 대입하면 매질의 전도율과 분극 현상을 고려한 최종적인 유효유전율은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_i \left(1 - j \frac{\sigma + \omega \epsilon_q}{\omega \epsilon_i} \right) = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (3)$$

따라서 그와 같은 유전율을 갖는 매질 체적 τ 내에 축적되어 있는 전계 에너지의 밀도는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\frac{dW_E}{d\tau} = \frac{1}{2} \mathbf{D} \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{2} \epsilon' \mathbf{E}^2 - j \frac{1}{2} \epsilon'' \mathbf{E}^2 \quad (4)$$

식(4)에서 실수부인 첫 번째 항은 매질 내에 축적되는 전기에너지를 나타내고, 허수부인 두 번째 항은 열로 변환되어 소모되는 에너지를 나타내므로, 전기분극의 위상지연도 전도도와 마찬가지로 복소 유전율의 허수부분에 기여를 하고, 그들은 모두 매질 내에서의 전자파 손실을 유발함을 알 수 있다.

1. 표피효과

전계를 도체에 의하여 반사시키는 방법은 전도도가 매우 높은 양도체를 사용하는 경우에 해당된다. 일반적으로 금속 재료에 입사되는 전자파는 표피효과에 의하여 표피(Skin Depth) 내에만 존재할 수 있고, 만일 금속의 전도도가 충분히 높은 양도체라 하면 표피가 충분히 얇게 되면서 표면의 접선방향으로 전계가 "0"이 되기 때문에 완전반사가 일어난다.

그림 1에서 입사파와 전달파의 전계 및 자계 또는 전력에 의하여 다음과 같이 SE(Shielding Effectiveness)가 정의된다.^[4]

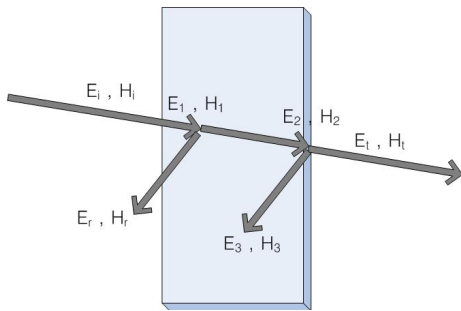


그림 1. 전계 차폐 재료에 의한 전자파의 감쇠
Fig. 1. Electromagnetic attenuation by a conductive material.

$$SE = 20 \log_{10} \left[\frac{E_i}{E_t} \right] \quad P_t = \eta |H_t|^2 = \frac{|E_t|^2}{\eta}$$

$$SE = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_i} \quad P_t = \eta |H_t|^2 = \frac{|E_t|^2}{\eta}$$

$$SE = 20 \log_{10} \left[\frac{H_i}{H_t} \right] \quad (5)$$

여기에서 E_i , P_i 는 각각 입사파 전계와 자계, 전력을 나타내고, E_t , H_t , P_t 는 차폐재료 반대쪽으로 전달된 전계와 자계, 전력을 나타내며, η 는 매질의 고유임피던스이다.

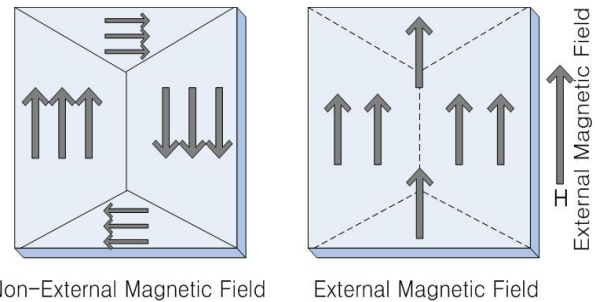
식(5)와 같이 SE는 전계나 자계, 또는 전력만으로 입사파에 대한 전달파의 비로서 정의될 수 있다.

III. 자기 차폐

1. 강자성 재료

강자성체로는 Fe, Ni, Co, Gd MnAs 등을 들 수 있고, 그들 대부분은 다결정(Polycrystal) 구조를 갖고 있으면서 기본 결정입자(Grain) 내에는 그림 2와 같은 여러 개의 자구(Magnetic domain)들이 존재하며, 초기에 각 자구들은 에너지의 최소화가 이루어지는 조건을 만족하면서 임의의 방향으로 배열되어 있다가, 그림 2에서 외부에서 자계를 인가하면 외부자계 방향으로 정렬하게 되는데, 만일 외부 자계를 제거하면 자구들 중 상당수는 크리스탈 결함(Crystal defect)에 잡히어 원위치 되지 못하고 외부자계의 방향을 유지하게 되므로, 결과적으로 강자성체는 잔류자기가 남아 있는 상태가 되고 이를 자화(Magnetization)라 한다.^[5]

만일 외부 자계의 세기를 점점 증가시키면 더 많은



Non-External Magnetic Field External Magnetic Field

그림 2. 강자성체 내부 자구들의 자화
Fig. 2. The Magnetization of magnetic domain in a ferromagnetic material.

자구들이 정렬되다가 어느 한계점에서는 모든 자구들이 정렬되어 더 이상 외부자계를 세게 하여도 전혀 자화가 증가하지 않는 포화(Saturation) 현상이 나타나게 된다.

2. 자기 포화(Magnetic Saturation)

만일 강자성체에 교류를 인가하면 자속밀도의 포화 현상 및 잔류자기 현상에 의해 그림 4와 같은 곡선을 그리게 되고, 이를 히스테리시스 곡선(Hysteresis Curve)이라 한다.

그림 3에서 BS는 자성체의 포화자속밀도(Saturation Induction)이고, BR은 잔류자속밀도(Remnant Induction), HC는 보자력(Coercive Force)을 나타내는데, 연자성체란 보자력이 매우 작은 자성체를 의미하고, 자성체 내에서의 전력손실은 히스테리시스 곡선이 만드는 면적에 비례하므로, 통상적으로 연자성체는 전력손실이 매우 적다.^[6]

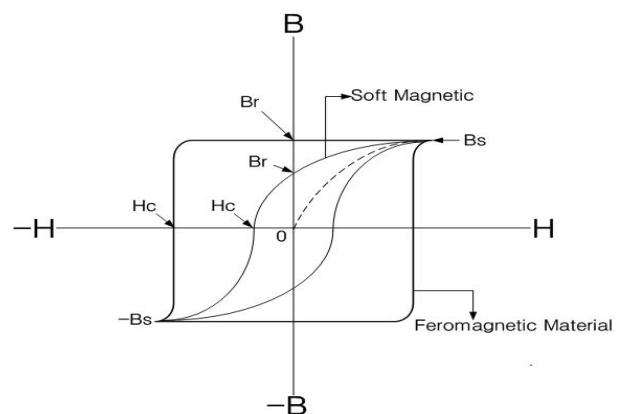


그림 3. 히스테리시스 곡선
Fig. 3. Hysteresis Curve.

IV. 연자성체 종류

1. 연자성 재료

연자성 재료는 크게 두 가지로 아래와 같이 나눌 수 있다.

-철과 니켈에 기초를 둔 강자성 재료

-금속 합금의 산화물에 기초를 둔 페리자성 재료 분말

첫 번째인 강자성 재료의 경우에는 주로 자주파 용으로 사용되며, 얇은 층(0.1~100 nm)을 냉동 중합하여 사용하기도 하고, 철과 니켈의 합금을 분말 형태로 만들어 산에 담구어서 표면을 산화시킨 것을 압착시켜서 사용하기도 하는데, 후자의 경우에는 금속 산화물의 태생적인 전기 절연특성으로 인하여 와전류 손실을 피할 수 있다.

두 번째의 합금 산화물 분말을 고도로 압착하여 얻어진 재료는 그 자체의 절연특성과 함께 합금 조성에 따라 다양한 페리자성 특성을 얻을 수 있고, 특히 합금에 사용되는 상자성체와 반자성체의 종류와 함량에 따라 자구들 사이의 마찰력이 다르게 감소하기 때문에, 일반적으로 최소 10 MHz 이상의 높은 주파수에 사용이 가능하며, 훨씬 더 높은 주파수대역까지 사용될 수 있는 페리자성체 개발의 가능성이 언급되고 있다.^[7]

본 논문에서는 먼저 비투자율 100,000 이상의 연자성 합금 분말의 성분과 조성을 결정하고, 그 합금분말을 수지에 함침시켜서 얇은 Film 모양으로 제작함으로써, 사용자의 편의성이 고려된 굴곡성(Flexible)있는 필름 형태의 전자파 차폐 수지 필름을 개발하였으며, 사용되는 여러 가지 연자성 재료의 성분조성과 금속분말의 입도(Size), 입형(Shape), 밀도(Density) 등에 따른 전자파 차폐효과를 연구하였다.

2. 수지의 선택

연자성 금속분말 수지필름의 차폐효율 및 내열성, 부착력, 굴곡성 등을 극대화하고, 생산 공정을 단순화하여 대량 생산과 원가절감의 경쟁력을 확보하기 위하여 내열성과 금속층과의 부착력이 우수한 폴리스티렌(PS)과 폴리에틸렌(PE), 그리고 폴리테트라플로루오에틸렌(PTFE)을 집중적으로 연구 조사하였으며, 생산성이 가장 뛰어난 PE를 대상으로 연구하였다.^[8]

수지층의 두께는 부착력, 굴곡성, 내열성 등의 문제점

이 발생하지 않도록 너무 얇거나 두껍지 않은 0.1 mm 및 1 mm 로 하였다.

V. 연자성 금속분말 수지박막의 차폐특성 시뮬레이션

본 논문에서는 지금까지의 연구결과 및 문헌조사를 토대로 자성체에 관한 모든 데이터를 분석하였고, 그들을 종합하여 강자성 재료와 상자성 재료, 그리고 반자성 재료를 각각 한 가지씩 사용하여 구현된 연자성 합금재료의 비 투자율에 관한 주파수 의존성을 일관성 있게 나타낼 수 있는 한 개의 식을 도출해내었으며, MATLAB 을 사용하여 식(6)에 기존의 합금들 특성을 합리적으로 나타낼 수 있음을 증명하였다.

식 (6)을 사용하여 먼저 다양한 조성비에 따른 합금의 투자율을 계산하였고, 그 합금분말들을 수지에 함침시켜 만들어진 연자성 차폐 박막 재료의 투자율을 계산한 다음, 최종적으로 HFSS를 사용하여 차폐율을 계산하였다.

1. 연자성 합금 투자율 특성의 시뮬레이션

강자성체와 상자성체, 그리고 반자성체 재료 각각의 투자율과 조성비에 따른 합금의 투자율은 주파수의 변화에 따라 다음과 같은 식으로 나타내어질 수 있다.^[8]

$$\mu(f) = \frac{(\alpha_1\mu_1 + \alpha_2\mu_2 + \alpha_3\mu_3)^2 e^{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} e^{-(\alpha_1\mu_1 + \alpha_2\mu_2)\alpha_3^2}}{\left[\frac{\alpha_1\mu_1 e^{k\alpha_1} - \alpha_2\mu_2 e^{k\alpha_2} + \alpha_3\mu_3 e^{k\alpha_3}}{\alpha_1\mu_1 - \alpha_2\mu_2} \right]^2 Q(f)}$$

$$Q(f) = 1 + \left(\frac{(\alpha_1^2\mu_1^{0.5} + \alpha_2^2\mu_2^{0.5} + \alpha_3\mu_3) f e^{-(\alpha_2 + \alpha_3)}}{2\alpha_1\mu_1^2 + 2\alpha_2\mu_2^2 + \alpha_3\mu_3^3} \right)^{\frac{(\alpha_1\mu_1 + \alpha_2\mu_2 - \alpha_3\mu_3)e^{-\alpha_3\mu_3}}{\alpha_1\mu_1 + \alpha_2\mu_2 + \alpha_3\mu_3}}$$
(6)

여기에서, α_1 과 μ_1 는 강자성체의 조성비와 투자율, α_2 와 μ_2 는 상자성체의 조성비와 투자율, α_3 와 μ_3 는 반자성체의 조성비와 투자율을 나타내며, $Q(f)$ 는 합금의 주파수특성을 결정하는 매개함수이다.

식(6)을 이용하여 계산된 100% 순철(Fe) 과 100% 니켈(Ni)의 비 투자율 주파수특성은 그림 4와 같다. 이 결과들은 기존의 발표된 문헌 자료들의 데이터와 거의 일치함을 알 수 있다.^[8~10]

식(6)을 사용하여 계산된 Ni 80%의 퍼멀로이

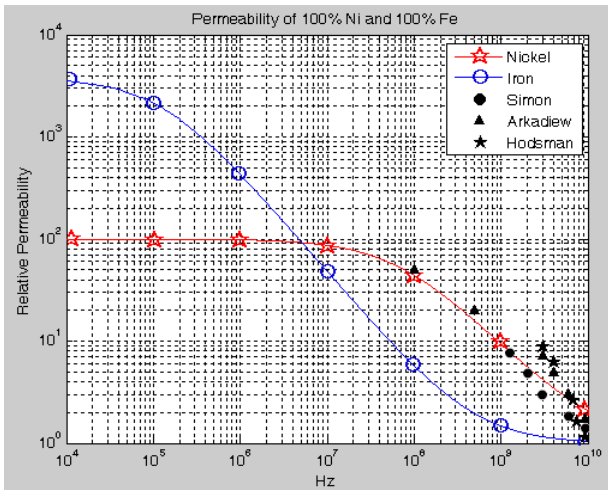


그림 4. 100% 순철(Fe) 과 100% 니켈(Ni)의 비 투자율 주파수특성
Fig. 4. 100% iron(Fe) and 100% nickel(Ni) the of The Relative Permeability Frequency.

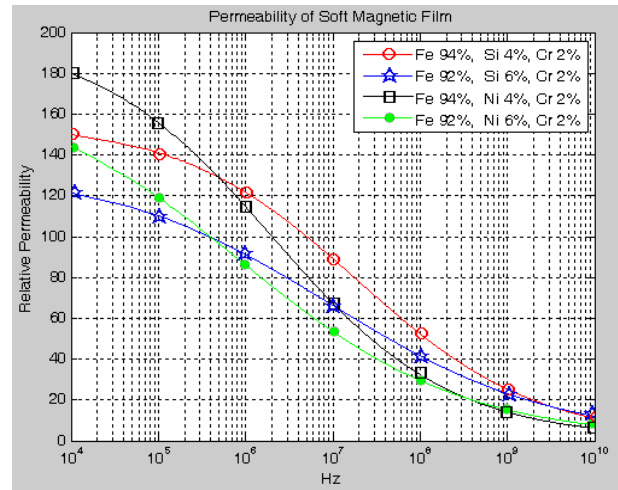


그림 6 4가지 합금 조성비의 수지필름의 비투자율
Fig. 6 Four kinds iron of alloy composition of the Synthetic films relative permeability.

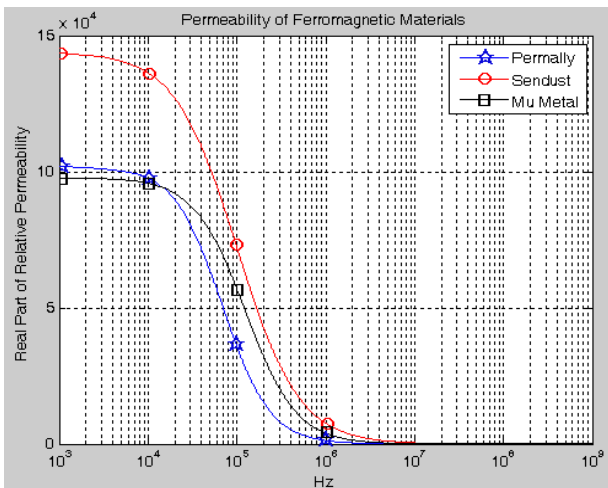


그림 5. 4가지의 합금 조성비의 비 투자율
Fig. 5. Four kinds iron of the Relative Permeability.

(Permally)와 센더스트(Sendust), 그리고 뮤메탈(Mu-Metal)의 비투자율 주파수특성은 그림 5와 같다.

2. 연자성 합금 수지박막의 비 투자율 시뮬레이션

본 논문에서는 반복적인 합금 분말 제조 실험을 통하여 양산체제 하에서 고속으로 생산하면서도 원반형으로 고르게 합금 분말 입자가 유지되도록 하면서 수지에 함침시켜 유연성 있는 수지박막이 가능하도록 하기 위한 입자의 두께를 0.1 μ m 및 1 μ m 로 선택하였고, 두께에 대한 반경의 비인 입도분포는 30~50 및 60~80 으로 최적화시켰다. 차폐특성의 시뮬레이션에는 투자율의 실수

부만을 고려하였으며, 역시 식(6)을 이용하여 계산한 결과를 그림 6에 나타내었다.

3. 합금 함침 수지 박막의 SE 시뮬레이션

필름의 두께가 0.1 mm 및 1 mm 인 경우 각각에 대해서 합금 분말 입자의 두께가 0.1 μ m 및 1 μ m 인 경우에 대한 전자파 차폐 연자성 합금 수지박막의 SE(Shielding Effectiveness)를 HFSS로 시뮬레이션 한 결과를 그림 7, 8, 9, 10에 나타내었다.

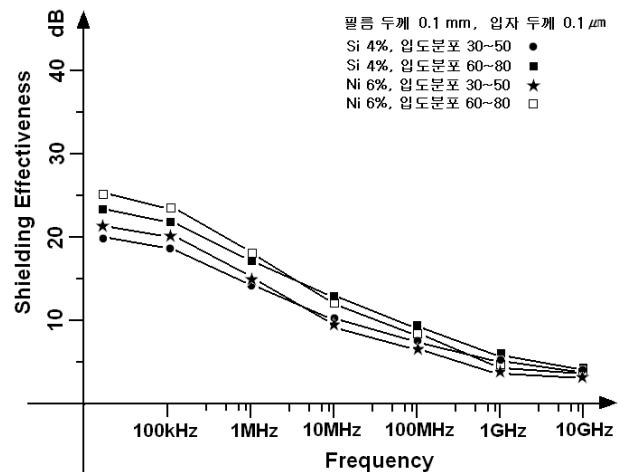


그림 7. 합금입자 두께 0.1 μ m, 필름 두께 0.1 mm 의 SE
Fig. 7. Alloy particle thickness 0.1 μ m, Sheet thickness 0.1 mm of SE.

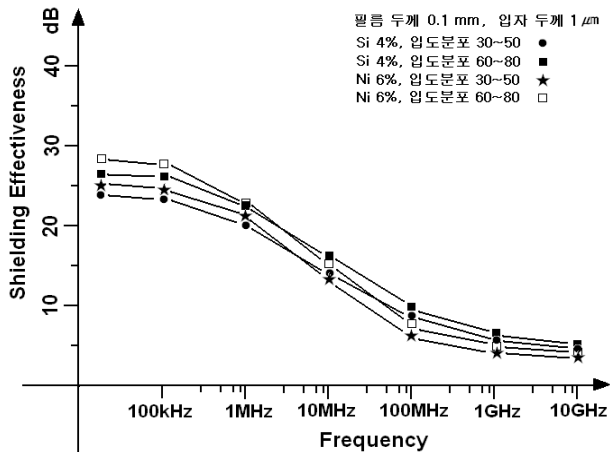


그림 8. 합금입자 두께 0.1μm, 필름 두께 1 mm 의 SE
 Fig. 8 Alloy particle thickness 0.1μm, Sheet thickness 1 mm of SE.

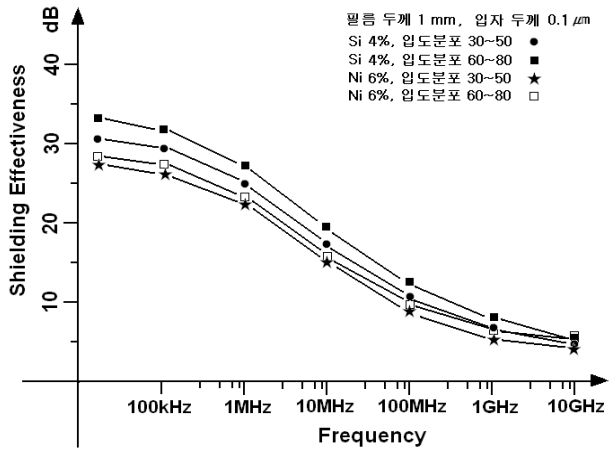


그림 9. 합금입자 두께 0.1μm, 필름 두께 1 mm 의 SE
 Fig. 9. Alloy particle thickness 0.1μm, Sheet thickness 1 mm of SE.

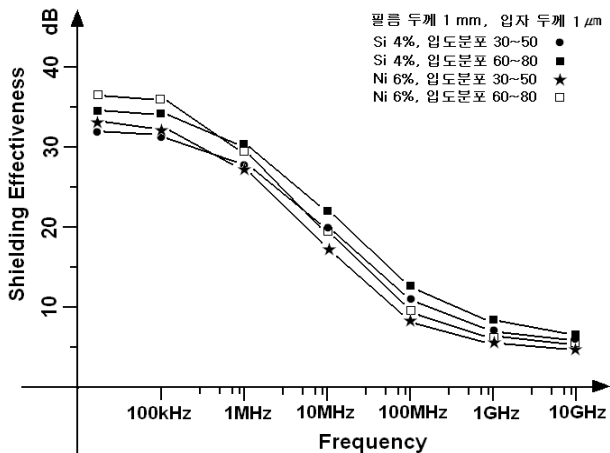


그림 10. 합금입자 두께 1μm, 필름 두께 1 mm 의 SE
 Fig. 10. Alloy particle thickness 1μm, Sheet thickness 1 mm of SE.

VI. 연자성 금속의 투자율 및 수지박막의 특성 측정

제작된 합금 입자들은 자기특성을 연자성으로 만들기 위해 250°C 이상에서 소둔(Annealing)이라는 열처리 과정을 거쳐야 하는데, 이는 강을 적당한 온도로 가열해서 그 온도로 유지한 다음 서냉하는 방법으로서, 금속조직을 미세화 및 균질화 시켜서 내부응력을 제거하고 경도의 저하, 절삭성 향상, 냉간 가공성의 개선효과와 함께 자성특성을 향상시키는 것으로 알려져 있고, 그 과정에서 강자성 특성이나 연자성 특성을 띄게 된다.

1. 연자성 합금분말 함침 수지필름의 투자율 측정
 필름 투자율의 측정방법은 코일Inductance측정법, 1-2차 코일 결합계수 측정법, LCR Meter 측정법, Antenna 반사계수, Impedance Analyzer, Network Analyzer 측정법이 있다.

상기의 투자율 측정법들 중 코일Inductance측정법, 1-2차 코일 결합계수 측정법, LCR Meter 측정법은 비교적 낮은 주파수 대역에서 이루어질 수 있는 측정법이고, 나머지 3가지는 높은 주파수 대역까지 측정할 수 있는 방법들이지만, 통상적으로 투자율의 측정은 매우 까다로워서 5~50%의 오차가 보편적인 것으로 알려져 있기 때문에, 본 논문에서는 보다 정확한 측정을 위하여 고가의 Impedance/Material Analyzer(E4991A)를 사용하였으며, 제작된 연자성 합금들의 비투자율 측정결과를 그림 11에 나타내었다.

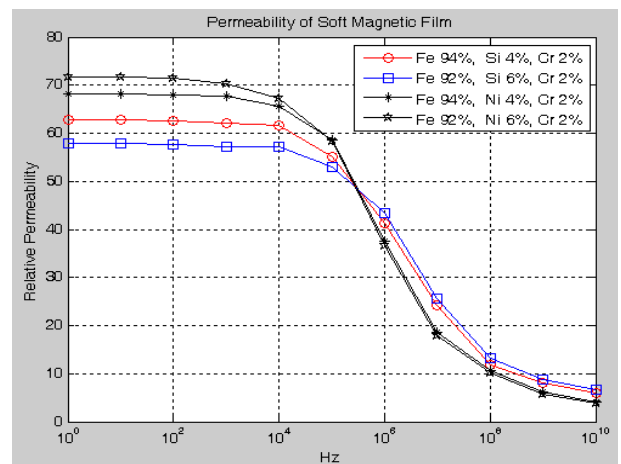


그림 11 사용된 연자성 합금들의 비투자율 측정결과
 Fig. 11 Soft Magnetic Alloys Relative Permeability.

1. 연자성 자계 차폐 수치 필름의 SE 측정

제작된 연자성 합금분말 자계 차폐 수치 필름들 중에 Fe-Si-Cr 및 Fe-Ni-Cr 합금 각각에 대하여 입도분포가 30~50 인 합금입자를 함침시킨 두께 0.1 mm 및 1 mm 필름의 SE(Shielding Effectiveness)를 그림 12에 나타내었고, 입도분포를 60~80 인 합금입자를 함침시킨 필름들의 SE를 필름 그림 13에 나타내었다.

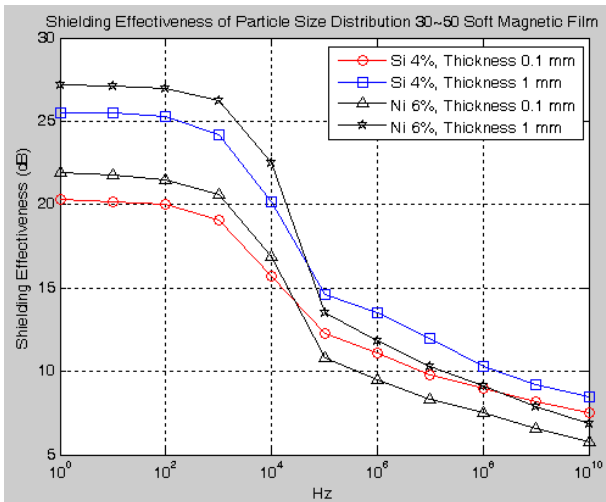


그림 12. 입도분포 30~50 필름에 대한 SE 측정값
Fig. 12. SE Measured for 30~50 Particle Film.

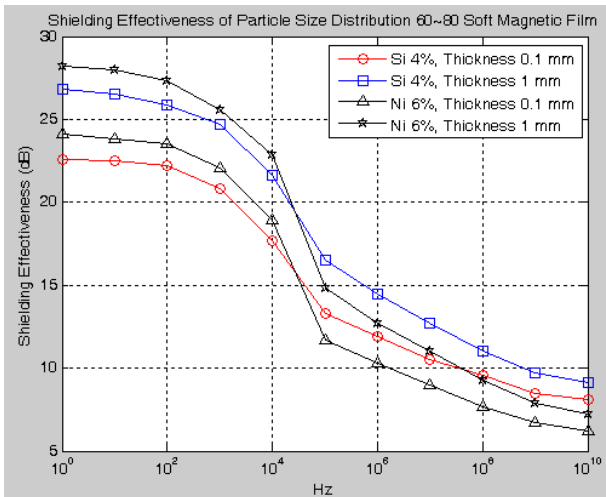


그림 13. 입도분포 60~80 필름에 대한 SE 측정값
Fig. 13. SE Measured for 60~80 Particle Film.

VII 결 론

합금 분말을 이용한 연자성 자계 차폐 필름의 경우에는 Fe-Si-Cr 합금과 Fe-Ni-Cr 합금의 자성특성에 대

하여 연구하였고, 그 결과 니켈합금은 연자성 특성을 가지면서도 저주파 투자율도 80,000 이상으로 높고 마이크로파 주파수 대역까지 낮은 값이나마 사용 가능한 투자율을 갖는 것으로 확인되었으나, 실리콘 합금은 저주파 비투자율은 약 20,000 정도로 낮은 편이지만, 주파수가 증가함에 따라 비투자율의 감쇠율이 작아서 마이크로파 대역에서는 비교적 니켈 합금에 비하여 자성특성이 더 우월한 것으로 나타났다.

마이크로파 주파수대역 전자파 차폐를 차폐하기 위한 필름의 투자율을 극대화 시키는 것이 기술적으로 매우 어려운 것으로 나타났으나, 본 논문에서 개발된 실리콘 합금은 2 GHz 근처에서도 약 10 이상의 비투자율을 갖는 것으로 확인되었고, 그를 이용한 필름의 SE가 약 5~10 dB 정도로서 이는 스마트폰의 전자파 차폐에 유용하게 사용될 수 있다는 것을 의미하는 것이다. 따라서 다소간의 차폐효율 감소를 감수하더라도 더 얇고 작은 입도분포의 입자를 사용함이 바람직하며, 실제 측정 결과에 의하면 수치 필름의 두께에 의한 영향은 대부분 열손실에 의한 것으로 나타났기 때문에, 두께가 5~10 μ m의 연자성 자계 차폐 필름의 개발도 가능할 것으로 판단된다. 또한 단순한 전자파 차폐의 목적으로는 허수부의 투자율과 와전류에 의한 열손실도 효과가 있다고 할 수 있으나, 안테나의 지향성을 향상시키기 위한 목적으로는 사용되기 어렵기 때문에, 향후 약 10~100 MHz 근처에서 큰 값을 나타내는 투자율의 허수부를 제거하고 합금의 저항률을 높이기 위한 연구가 계속되어야 할 것이고, 더 효율적인 합금의 조성비와 함께 필름 두께 10 μ m 이하의 차폐특성에 대하여도 더욱 연구가 필요하다고 할 것이다.

REFERENCES

- [1] 김남, 이승우, 전양배 “무선전력전송에 따른 EMI/EMC 및 인체 영향 연구 동향”, 대한전자공학회, 제38권, 제10호, 2011년 10월.
- [2] Ichikawa, M., Okazaki, M., “A magnetic shielding type superconducting fault current limiter using a Bi2212 thick film cylinder” IEEE Journals & Magazines., Vol.5, No.2, pp.1067-1070, June. 1995.
- [3] Te-Ko Wu, Tsai, Leonard L, “Low-Frequency Shielding Properties of Conducting Cylindrical Shells of Arbitrary Cross Section” IEEE Journals & Magazines., vol.EMC-20, No.2, pp.349-351,

Mar. 1978.

[4] Valenzuela, R., Betancourt, I., "Giant magnetoelectricity, skin depth, and domain wall dynamics" IEEE Journals&Magazines, vol. 38, No. 5, pp.3081-3083, Sep. 2012.

[5] Jian-Gang Zhu, Bertram, H.N., "Magnetization Structures in Thin-Film Recording Media" IEEE Journals&Magazines, vol.27, No.4, pp.3553-3562, Jul. 1991.

[6] Iowa State University "Theory and Practice-Making use of the Barkhausen Effect" May. 2011.

[7] Y.Shlepnev, "Nickel Characterization for Interconnect Analysis", Simberian, 2011.

[8] CSC Catalog "CSC's Advanced Technology Enables to Fulfill Diverse Needs of Clients Regarding Soft Magnetic Powder Cores.", 2011

[9] Abeysekera, S.s, Xue Yao, Zhuquan Zang, "A comparison of various low-pass filter architectures for simma-delta demodulators" IEEE Conference Publications, vol.2, pp.380-383, Jun. 1999.

[10] Tingdong ZHOU, Zhengyun WANG, Jiangkang TANG, Haipeng LU, "Structure and magnetic properties of Fe-based powders prepared by mechanical alloying", Acta Metall. Sin. Vol.23, No.5, pp.351-356, October. 2010

— 저 자 소 개 —



박 종 현(정회원)
 2006년 2월 상지대학교
 국제통상학과 졸업(학사)
 2010년 2월 광운대학교
 유비쿼터스, 컴퓨팅 석사
 졸업 (공학석사)
 2012년 2월 ~ 현재 광운대학교
 전자공학과 박사과정

2008년 7월 ~ 현재 (주)노하 대표
 <주관심분야 : UWB Antenna, UWB Radar, DSP, EMI/EMC>



나 극 환(정회원)
 1981년 7월 프랑스 ENSEEIHT
 국립종합과학대학
 (공학박사)
 1981년 9월 ~ 1986년 12월
 광운대학교 전자공학과
 부교수

1987년 1월 ~ 1988년 1월 미국 COMSAT 연구소
 객원연구원

1988년 2월 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : RF 및 마이크로파 통신시스템, 밀리미터파 통신 시스템, 수치 해석>



강 은 균(정회원)
 1998년 광운대학교 전자공학과
 (공학석사).
 2013년 광운대학교 전자공학과
 (공학박사)
 2011년 9월 ~ 2013년 8월
 유한대학교 전자정보과
 강의전담 교수

2013년 9월 ~ 현재 주식회사 코랩 이사
 <주관심분야 : 반도체, 초고주파 통신, 신호처리>



김 진 우(정회원)
 1993년 광운대학교 전자공학과
 (공학석사).
 2001년 광운대학교 전자공학과
 (박사수료)
 2011년 9월 ~ 현재 우성시스템(주)
 책임연구원

2013년 9월 ~ 현재 동양미래대학 전기전자통신
 공학부 겸임교수

<주관심분야 : 통신, 반도체, 마이크로파 통신시스템>