

## RF대역 노이즈 저감용 연자성 필름의 전자기파 차폐효과

김상우<sup>a,\*</sup> · 윤용운<sup>a</sup> · 김광윤<sup>b</sup> · 윤여춘<sup>c</sup> · 이경섭<sup>c</sup>

<sup>a</sup>서울시 성북구 상월곡동 39-1 한국과학기술연구원 나노재료연구센터

<sup>b</sup>서울시 성북구 상월곡동 39-1 한국과학기술연구원 신금속재료연구센터

<sup>c</sup>인천시 남동구 남동공단 11B 9LT (주)창성 창성중앙연구소

### Electromagnetic Shielding Effectiveness of a Soft Magnetic Film for Application of Noise Reduction In RF Range

Sang-Woo Kim<sup>a,\*</sup>, Yong-Woon Yun<sup>a</sup>, Gwang-Yoon Kim<sup>b</sup>, Yo-Chun Lee<sup>c</sup> and Kyung-Sup Lee<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Nano-Materials Research Center, KIST, 39-1 Haweolgok-Dong, Sunbuk-Ku  
Seoul 136-791, Korea

<sup>b</sup>Advanced Metals Research Center, KIST, 39-1 Haweolgok-Dong, Sunbuk-Ku  
Seoul 136-791, Korea

<sup>c</sup>R&D Center, Chang Sung Corporation, 11-9 Namdong Industrial area,  
Namdong-Ku, Incheon, Korea

**초 록:** 연자성 차폐필름에 대하여 ASTM 방법 및 2-port flanged coaxial line 방법으로 RF (radio-frequency) 영역에서 전자기파 차폐특성을 측정하여 원격장에서의 차폐요인을 정량적으로 분석하였다. 4-13.5 GHz의 고주파 영역에서 연자성 차폐필름의 차폐효과는 반사손실에 의한 효과가 아니라 주로 흡수손실에 의한 차폐효과를 가졌다.

**Abstract:** We characterized electromagnetic shielding properties of a soft magnetic film using by a ASTM method and 2-port flanged coaxial line method in a RF range and quantitatively analyzed factors for the shielding effectiveness of the soft magnetic film in far field. The shielding effectiveness of the soft magnetic film was dominantly affected by absorption loss not reflection loss in high frequency range of 4-13.5 GHz.

**Keywords:** Electromagnetic shielding, Radio frequency, Soft magnetic film, noise reduction

### 1. 서 론

최근 정보통신 기기, 노트북 PC 및 디지털 카메라 등 고성능화, 소형화되어감에 따라 고주파화됨과 더불어 전송회로가 더욱 집적화, 다층화 되어가고 있고 추세에 있다. 이에 따라 회로간 혹은 주변회로간의 간섭에 의한 노이즈 발생으로 인한 잡음, 오작동 등 많은 문제가 일어나고 있다. 이러한 노이즈 발생을 억제하기 위한 방법으로 회로보정이나 노이즈 필터, 캐패시터 및 인덕터 등 수동부품의 설치에 의한 방법이 시도되어 왔다<sup>1,2)</sup>. 그러나 수백 MHz에서 수 GHz 대역의 고주파에서는 이들 방법으로만은 노이즈를 제거하기 어려운 것이 현실이다<sup>3,4)</sup>. 따라서 고주파 노이즈제거를 위한

음, 오작동 등 많은 문제가 일어나고 있다. 이러한 노이즈 발생을 억제하기 위한 방법으로 회로보정이나 노이즈 필터, 캐패시터 및 인덕터 등 수동부품의 설치에 의한 방법이 시도되어 왔다<sup>1,2)</sup>. 그러나 수백 MHz에서 수 GHz 대역의 고주파에서는 이들 방법으로만은 노이즈를 제거하기 어려운 것이 현실이다<sup>3,4)</sup>. 따라서 고주파 노이즈제거를 위한

\*Corresponding author  
E-mail: swkim@kist.re.kr

전자기파 흡수 필름의 개발이 시급하다.

전자파 차폐필름에 의한 방사 노이즈 제거는 크게 두 가지의 전자기파 차폐 개념으로 설명할 수 있다. 먼저는 기존의 전자기파 차폐 개념으로 전자파 차폐필름이 외부의 잡음원으로부터 방출된 전자기파를 반사함으로써 차폐하는 것을 말한다. 이 방법은 주로 금속이나 도전성 필름을 케이스 외면에 부착하여 외부로부터 들어오는 잡음을 제거할 때는 효과적인 방법이나 기기내부에서 방출된 노이즈는 제거하지 못하고 기기내부로 다시 방사노이즈를 방출하기 때문에 비효과적이다. 기기 내부에서 발생하는 불필요 전자파를 제거하기 위해서는 차폐필름이 전자파를 흡수함으로써 제거하는 것이 가장 효과적이다. 현재 대부분의 연구는 차폐물질의 투과 및 반사특성에 의한 차폐효과를 평가하는 데 머물러 있다<sup>5,6)</sup>. 따라서 소형의 이동 정보 통신기기에 사용되는 수백 MHz에서 수 GHz 대역 고주파에서 흡수효과를 가진 필름소재에 대한 차폐특성의 연구가 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 연자성 복합필름에 대한 RF 대역에서의 전자기파 차폐효과에 대한 차폐요인을 정량적으로 분석하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 측정시료 및 분석장치

#### 2.1.1. 측정시료

연자성 금속 flake가 페라이트 스틸과 CPE 고분자의 복합체로 구성된 필름에 대하여 전자파 차폐

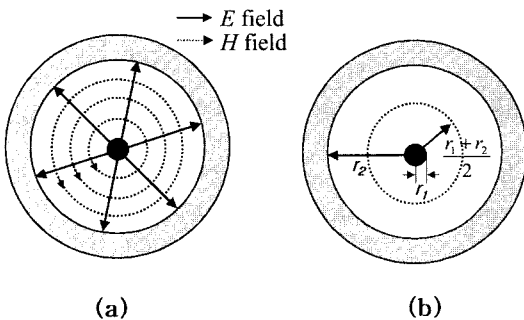


Fig. 1. (a) Electric (E) and magnetic (H) field distribution inside a coaxial line and (b) effective radius of a coaxial line.

효과를 측정하였다. 박형필름의 미세구조를 확인하기 위하여 FE-SEM (s-4200, Hithachi, Japan)을 이용하여 단면 미세구조를 관찰하였다.

#### 2.1.2. S-parameter의 측정

전자기파 발생원과 검출기는 HP 8719ES network analyzer (주파수 영역 50 MHz에서 13.5 GHz)를 사용하였으며 전자기파 차폐효율의 측정은 국제표준인 ASTM (the American Society for Testing and Materials) D4935-99 방법과 주파수 대역을 확장한 2-port flanged coaxial line sample holder를 이용하여 측정하였다. 두 방법 모두 동축선 내에서의 전기장 (E)과 자기장 (H)은 Fig. 1(a)와 같이 분포하고 있으며 동축관의 구조는 Fig. 1(b)와 같이 외부도체의 외부반경이  $r_2$ 이고 내부도체의 반경이  $r_1$ 으로 구성되어 있다. 2-port flanged coaxial line sample holder를 이용한 방법은 동축관의 내부 및 외부도체의 반경을 작게 하여 cutoff 주파수 대역을 확장한 측정법이다. 2 port network system에 대한 S-parameter의 측정 개념도는 Fig. 2와 같으며 port 1 및 port 2에서  $S_{11}$ 과  $S_{21}$ 을 측정하였다. S-parameter는 반사와 투과를 2 port에 대해 측정할 수 있는 parameter이며, VNA(HP 8719 ES)는 이러한 S-parameter 측정세트를 포함한다. 실험에서  $S_{21}$ 은 투과계수를 나타내며 EMI SE를 나타내는 데 사용하였고  $S_{11}$ 은 반사계수를 나타내는 데 사용하였다.

#### 2.1.3. Sample holder

원역장에서의 측정을 위해서는 TEM (transverse electromagnetic) mode를 구현하는 동축선(coaxial line)과 전송선 (transmission line)의 두방법 중 본 연구에서는 동축선을 사용하여 TEM mode를 구현

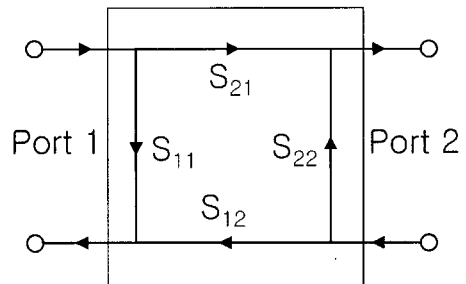


Fig. 2. Measurement structure of S-parameters.

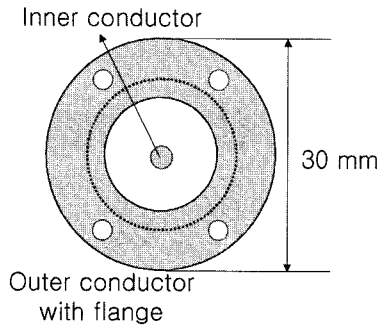


Fig. 3. Structure and dimensions of the flanged coaxial line holder.

하였다. ASTM holder는 Electro-metrics 사의 EN-2170A Test fixture를 사용하였으며 ASTM holder의 cutoff 주파수는 TE mode에서 1.75 GHz이고 파동임피던스는  $50\Omega$ 으로 고정하였다. 50 MHz - 1.5 GHz 영역에서는 ASTM D4935-99 방법을 이용하였고 2 GHz - 13.5 GHz까지의 확장된 주파수 영역에서의 측정은 축소규격화한 2-port flanged coaxial line sample holder를 이용하였다.

#### 2.1.4. 2-port flanged coaxial line과 beadless air-line

2-port coaxial line은 modified ASTM D4935-99 방법으로 Fig. 3의 ASTM holder와 모양이 유사하나  $r_1 = 1.52$  mm,  $r_2 = 3.5$  mm인 동축선으로 구성된 holder이다. Beadless airline인 경우 ASTM holder와 달리 holder가 둘로 나누어지는 것이라 동축선의 내부 도체와 외부도체 사이에 와서 모양의 시료를 장착하여 측정하는 장치이다. 따라서 시료와 holder 사이에 전기적 contact 문제가 발생하지 않도록 시료와 holder 사이에 절연층을 이용하여 전기적 절연을 하였다. 시료는 Fig. 3과 같은 형태로 load 시료를 만들었으며 holder를 중간에 끼워서 S-parameter를 측정하였다. 측정된 S-parameter로부터 시료의 EMI 차폐효율을 측정하였다. 이 경우 sample holder의 cutoff 주파수는 TE mode에 대하여 약 19 GHz였고 TM mode에서는 약 75 GHz이었으며, 파동 임피던스는  $50\Omega$ 이었다.

#### 2.1.5. Vector Network Analyzer

VNA(Vector Network Analyzer)는 Hewlett-Packard의 HP 8719 ES를 사용하였고 option으로 1D5

(high stability frequency reference)를 추가하였다. 측정의 신뢰도를 높이기 위한 방법으로 HP 85052 D 3.5 mm calibration kit를 사용하여 full 2-port calibration을 하였다. HP 8719 ES의 power는 5 dBm에서 -70 dBm이었으며, dBm의 단위는 전자기파의 절대 세기 (1 mW)에 대한 상대적인 로그값으로부터 환산하였다.

$$\text{dBm} = 10 \log P_0 / 1 \text{ mW} \quad (1)$$

#### 2.2. 차폐특성 분석

EMI (Electromagnetic interference) 차폐는 전도성 물질이나 자성물질을 이용하여 전기장과 자기장이 한쪽에서 다른 쪽으로 전파되는 것을 막는 것을 나타내며 차폐효율은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{EMI SE} = -10 \log \left[ \frac{P_T}{P_I} \right] = -20 \log \left[ \frac{E_T}{E_I} \right]^2 \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

여기서  $P_I(E_I)$  및  $P_T(E_T)$ 는 각각 입사 및 투과 전자파의 전력 (전기장)을 나타낸다.

입사 전자기장이 단층의 차폐물질을 통과할 때 Fig. 4에서 보는 바와 같이 반사, 투과그리고 다중 반사 현상이 일어난다. 입사된 전기장은 차폐재와의 표면에서의 반사와 더불어 차폐재 내부의 흡수 특성으로 인하여 감쇄가 일어나며 이 때 입사 전자파에 대한 차폐효과는 반사손실(SE<sub>R</sub>), 흡수손

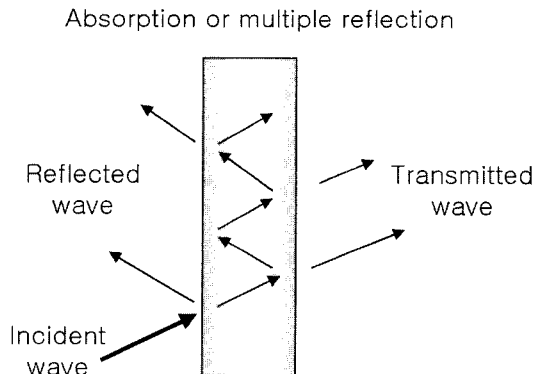


Fig. 4. Illustration of several phenomena that contribute to the reduction of the incident field as it passes through the barrier film.

실( $SE_A$ ), 그리고 다중반사( $SE_M$ )에 의한 기여의 합으로 주어진다.

$$EMI\ SE = SE_R + SE_A + SE_M\ (dB) \quad (3)$$

반사손실은 입사파가 Fig. 4의 차폐재의 왼쪽표면에 의해 1차 반사됨에 따른 손실이며 다중반사향은 반사되지 않고 차폐재 내부로 투과한 초기입사파가 차폐재 내부에서 재반사가 반복되는 과정중에서 나오는 다중반사 및 투과에 의한 것이다. 차폐재가 좋은 도전체이고 두께 ( $t$ )가 skin depth ( $\lambda$ ) 보다 크면 skin depth에 의한 흡수손실이 일어나며, 흡수효과에 의해 다중반사는 거의 일어나지 않고 다중반사 향은 무시할 수 있다. 반사 및 흡수손실은 양의 값을 가지나 다중반사 향은 음의 값을 가져서 차폐효과를 감소시킨다.

Fig. 2의 2-port network system에서 반사와 투과계수를 나타내는  $S_{11}(=S_{22})$ 과  $S_{12}(=S_{21})$  parameter를 측정하였으며, S-parameter 분석법으로부터 얻은  $S_{11}$  및  $S_{12}$ 로부터 아래식을 이용하여 각각 투과율 (T) 및 반사율 (R)을 구하였다.

$$T = \frac{|P_T|}{|P_I|} = \frac{|E_T|^2}{|E_I|^2} = |S_{12}|^2 (= |S_{21}|^2) \quad (4)$$

$$R = \frac{|P_R|}{|P_I|} = \frac{|E_R|^2}{|E_I|^2} = |S_{11}|^2 (= |S_{22}|^2) \quad (5)$$

전자기파의 차폐영역은 전자기파 차폐재의 두께와 skin depth에 따라 electrically thin 영역 ( $t \ll \lambda$ )과 electrically thick 영역 ( $t \gg \lambda$ )으로 나눈다. 또한 전자기파 발생원의 파장과 전자기파 차폐물 질과의 거리 ( $d$ )에 따라 far field 영역 ( $d \gg \lambda/2\pi$ )과 near field 영역 ( $d \ll \lambda/2\pi$ )으로 나눌 수 있다. 차폐

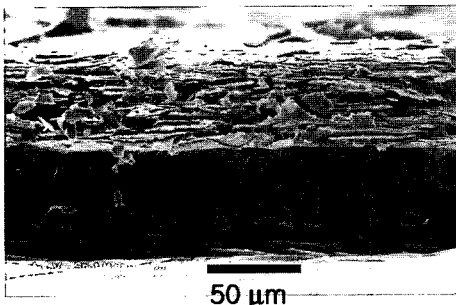


Fig. 5. FE-SEM image of a soft magnetic film.

재의 차폐효과를 보다 정밀하게 분석하기 위해서는 far field 뿐만아니라 near field에서의 차폐특성에 대한 분석이 필요하지만 본 연구에서는 주로 far field 영역에서 차폐필름의 전자기파 차폐효과를 다루기로 한다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 전자기파 차폐효과를 알아보기 위하여 사용한 차폐필름 단면의 미세구조를 관찰한 SEM 사진이다. 차폐필름의 두께는 약 50 μm이고 필름내부는 고분자의 기지상에 flake상의 분말이 두께 방향으로 층층이 잘 분산 배향된 것을 볼 수 있다. 차

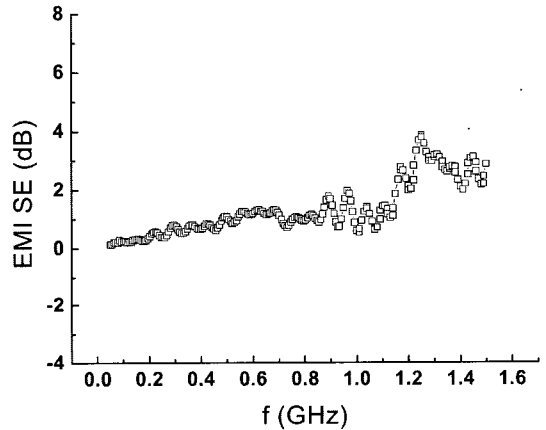


Fig. 6. EMI shielding effectiveness of a soft magnetic film measured by the ASTM method.

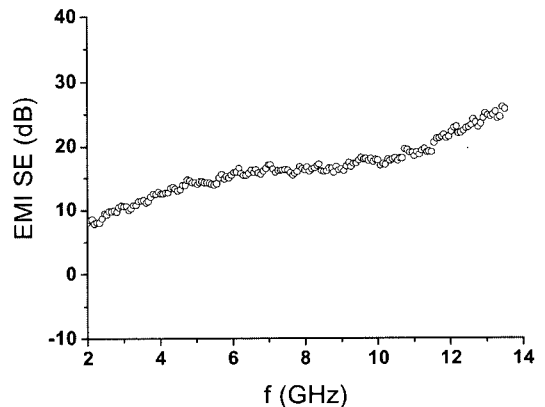


Fig. 7. EMI shielding effectiveness of a soft magnetic film measured by the 2-port flanged coaxial line method.

폐필름의 두께는 skin depth (약 5 μm) 보다 충분히 두껍기 때문에 electrically thick한 조건에 해당한다.

Fig. 6은 상기한 차폐필름에 대하여 ASTM 방법에 의해 1.5 GHz 이하에서 총 차폐효과를 측정하여 나타낸 그림이며 Fig. 7은 2 GHz-13.5 GHz에 대하여 총 차폐효과를 보인 그림이다. 1.5 GHz까지 주파수의 증가에 따라 차폐효과는 증가하고 있는 추세를 보이거나 차폐효과는 그다지 크지 않음을 볼 수 있다. 2 GHz부터 6 GHz까지 약 16 dB까지 증가하며 10.2 GHz까지 거의 변화하지 않다가 더욱 주파수가 증가하면 다시 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있다.

이같은 주파수에 따른 차폐특성의 변화는 Fig. 8 및 Fig. 9의 차폐필름의 반사율, 투과율, 그리고 흡수율의 변화에 기인한다. 에너지 보존법칙을 고려하면 투과율, 반사율 그리고 흡수율 (A) 간에는 다음과 같은 관계식이 성립한다. 물질계면에서의 다중반사손실을 무시한다면 반사 후에 물질내부에서 작용하는 유효입사 전자기파의 상대적인 강도는 1-R 에 해당된다. 따라서 유효 흡수율 ( $A_{eff}$ )은 물질내부의 유효입사 전자기파의 강도에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$A = 1 - T - R \tag{6}$$

$$A_{eff} = \frac{1 - R - T}{1 - R} \tag{7}$$

Fig. 8의 1.5 GHz 이하에서는 전자기파에 대한

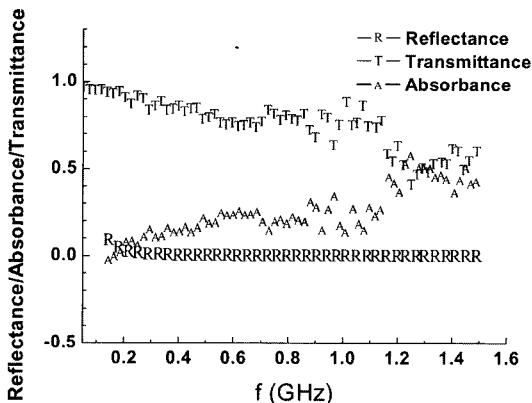


Fig. 8. Parameters that contribute to the shielding effectiveness of a soft magnetic film measured by the ASTM method.

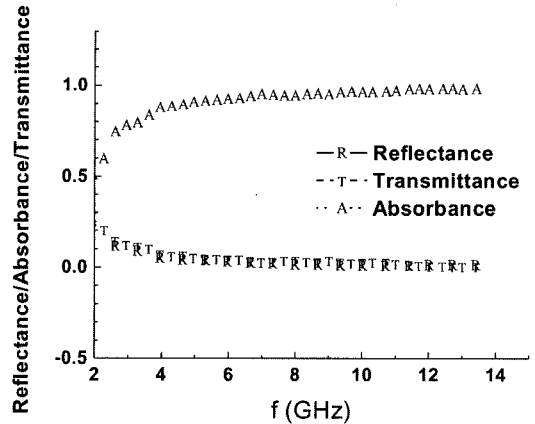


Fig. 9. Parameters that contribute to the shielding effectiveness of a soft magnetic film measured by the 2-port flanged coaxial line method.

투과율이 주파수에 따라 감소하는 반면 흡수율은 증가하는 특성을 보이고 있다. 반사율은 주파수에 따라 변화가 없고 거의 0의 값을 나타내고 있다. 따라서 저주파에서 매우 차폐효과가 낮고 고주파로 갈수록 차폐효과가 증가하는 것은 주파수 증가에 따라 투과율이 감소하고 흡수율이 증가하기 때문임을 알 수 있다. Fig. 9에서는 반사율과 투과율 모두 거의 0에 가깝고 흡수율이 크게 증가하므로 2 GHz 이상에서의 차폐효과의 증가는 차폐필름의 흡수율의 증가에 기인한 것임을 알 수 있다.

Fig. 6 및 Fig. 7의 총 차폐효과에 미치는 흡수율

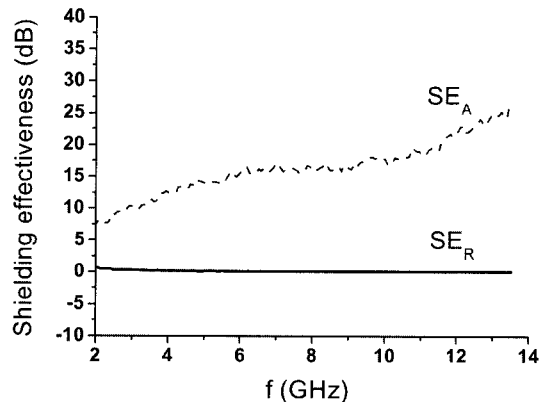


Fig. 10. The shielding effectiveness of a soft magnetic film analyzed in terms of parameters by reflection loss and absorption loss.

실 및 반사손실에 의한 차폐효과를 알아보기 위하여  $SE_R$  및  $SE_A$ 을 아래의 식에 의해 Fig. 10에 데시벨 (dB)로 각각 나타내었다.

$$SE_R \approx -10 \log (1-R) \text{ (dB)} \quad (8)$$

$$SE_A \approx -10 \log (1-A_{eff}) = -10 \log \frac{T}{1-R} \text{ (dB)} \quad (9)$$

반사손실은 거의 0으로 주파수에 따른 변화가 거의 없는 반면 흡수손실은 주파수에 따라 증가하는 현상을 보여 차폐필름의 차폐효과는 흡수손실에 의한 영향임을 알 수 있다. 고려하여야 할 것은 다중반사 효과를 무시될 수 없는 경우에는 상기의 식을 적용할 수 없다는 점이다. 하지만 차폐필름이 RF영역에서 높은 흡수특성을 가지고 있기 때문에 다중반사 효과가 일어나지 않고 무시할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 반사손실과 흡수손실을 나타내는 (8) 및 (9) 식은 필름의 총 EMI 차폐효율에 대한 흡수 및 반사의 기여도를 정량적으로 분석할 수 있기 때문에 전자기파 차폐재의 실제적인 응용에 매우 효과적인 분석방법이라 할 수 있다.

#### 4. 결 론

연자성 금속 flake로 구성된 차폐필름에 대하여 ASTM 방법 및 2-port flanged coaxial line 방법으로 RF 영역에서 전자기파 차폐특성을 분석하여 EMI 차폐효과의 주 요인인 반사 및 흡수효과에 대하여

정량적인 분석을 하였다. 연자성 차폐필름은 0.1 - 13.5 GHz의 전 측정 주파수 영역에서 반사손실을 보이지 않았다. 차폐필름의 전자기파 흡수효과는 흡수율의 분석으로부터 확인할 수 있었다. 흡수율은 0.1-1.5 GHz 영역에서 낮은 값을 보이나 주파수에 따라 증가하는 특성을 보였으며 2 GHz에서부터 4 GHz까지 흡수율이 크게 증가하였고 4 GHz 이상부터 13.5 GHz까지는 반사율 및 투과율이 거의 0이고 흡수율이 1로 가장 커서 고주파에서 흡수효과가 최대로 됨을 알 수 있었다. 따라서 연자성 차폐필름의 차폐효과는 주로 흡수손실에 의한 효과임을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 민경찬, 노이즈 종합대책, 전자파 환경공학 핸드북, 성인당 (1991).
2. Y. Hashimoto, "IT화에 따른 EMC 대책부품, 재료의 최근동향," *Materia Japan* 42(3), 182-87 (2003).
3. T. Sato, "Recent trends of RF integrated transmission-line devices using metallic magnetic thin films," *일본응용자기학회지* 27(1), pp. 5-13 (2003).
4. Y. Shimada, "고주파연자성박막재료", *IEEJ Journal* 123, 719-22 (2003).
5. F. Amemiya, K. T. T. Mori, "Investigation of emission reduction effect from interface cables using amorphous magnetic-alloy film," *IEEE*, 155-160 (2002).
6. T. Makela, S. Pienimaa, "Thin polyaniline films in EMI shielding," 85, 1335-1336 (1997).