

전도성 금속 피복재의 전기전도도에 의한 전자파 차폐효과 분석

김영식 · 최익권* · 김성수

충북대학교 재료공학과

*충북대학교 전파공학과

Analysis of Electromagnetic Wave Shielding Effectiveness from Electrical Conductivity of Metallized Conductive Sheets

Young-Sik Kim, Ik-Gueon Choi* and Sung-Soo Kim

Department of Materials Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763

*Department of Radio Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763

(1999년 3월 17일 받음, 1999년 8월 4일 최종수정본 받음)

초 록 전자파 차폐특성 측정 방법의 일환으로 매질의 전기전도도로부터 차폐효과를 정성적 수준에서 예측하는 연구를 수행하였다. 사용된 시편은 전도성 금속 (Cu, Ni) 이 피복된 망사형 차폐재로 두께는 0.1 mm 정도이고, 전기전도도는 $6.4 \times 10 \sim 2.4 \times 10^5$ mhos/m 범위 값을 가졌다. 물질상수와 시편의 두께로 표시되는 반사손실 및 흡수손실의 이론식을 도출하고 상기 시편에 대해 차폐효과를 계산하였다. 전도성 피복재의 경우 주된 차폐기구는 반사손실을 밝힐 수 있었으며, 전기전도도가 증가함에 따라 차폐효과는 현저히 증가함을 알 수 있었다. 이들 이론치를 임피던스 실측치로부터 계산된 반사손실과 비교한 결과 10 dB 이내의 오차를 보임으로써 제안한 분석방법의 타당성을 입증하였다.

Abstract As an alternative evaluation method of electromagnetic shielding properties, the material parameters are considered in determining the qualitative value of shielding effectiveness. The specimens are metallized nylon fabrics with the thickness of about 0.1 mm and the electrical conductivities in the range from $6.4 \times 10 \sim 2.4 \times 10^5$ mhos/m. On the basis of shielding theory, the shielding effectiveness (which is a sum of reflection loss and absorption loss) has been determined from the material parameters of the barrier sheets. For the conductive fabrics, the dominant shield mechanism is predicted to be reflection loss, which shows an increasing function of electrical conductivity. Comparing these theoretical value with the directly measured surface impedances, the error range is found to be within 10 dB, which demonstrates that the proposed material - parameters method can be a convenient way to determine the electromagnetic shielding properties.

1. 서 론

정보화 사회로의 진입을 위해서는 전자, 통신산업의 발전이 필연적이고 이는 전자장비의 다양화 및 소형화 그리고 이들이 사용하는 전자파 주파수 대역의 확장으로 추고되고 있다. 그 결과 기술적인 측면에서 전자소자 및 회로에서의 전자파 상호간의 전자파 간섭이 커다란 문제점으로 대두되고 있으며 환경적인 측면으로는 전자파의 인체에 대한 유해 여부 논란이 점차 확산되고 있다. 따라서 우리나라를 비롯한 세계 각국에서는 이에 대한 문제의 심각성을 고려하여 법적인 제재수단을 포함하여 그 규제를 더욱 강화하고 있다. 이에 따라, 최근 국내외적으로 전자파 장애에 관한 효과적인 대책수단으로서 각종 차폐재료 개발에 대한 중요성 및 필요성이 인식되고 있다.^{1,2)}

전자파 차폐재에 대한 연구가 체계적으로 이루어지기 위해서는 우선적으로 각 주파수 대역에 이용할 수 있는 차폐재료의 개발이 이루어져야 하고 각 주파수 대역별로, 그리고 시편의 종류별로 이들 재료의 차폐능을 측정하기 위한

측정기술의 개발이 필요하다. 특히 최근 전자파 차폐재의 개발 동향이 보다 고성능화, 광대역화, 다기능화를 지향하기 때문에 이에 따른 측정기술의 보완이 이루어지지 않으면 종합적인 차폐 및 흡수재의 개발이 어렵다.

전통적으로 사용되었던 전형적인 전자파 차폐효과 측정법은 MIL-STD-285에 의한 송·수신 안테나 이용법이다.³⁾ 송·수신 안테나 사이에 시료의 유무에 따른 삽입손실을 측정하여 차폐효과를 구하는 방법으로 차폐상자, 신호발생기 및 수신기, 그리고 안테나 등의 장비와 시설을 요한다. 실험실 규모에서 가장 많이 사용되는 방법은 ASTM ES7-83으로 규정되는 전송선로에 의한 방법이다.⁴⁾ 연속동축선 측정치구 (circular coaxial holder) 에 시료를 삽입하여 차폐효과를 측정하는 방법이다. 이 경우 차폐효과 측정이 원역장 평면파에 국한되고, 시료와 치구 사이의 접촉 임피던스에 의한 오차가 크게 게재될 수 있다는 문제점이 있다. 플렌지형 동축 전송선 치구^{5,6)}를 개발하여 이 문제를 해결하고 있으나 정밀한 치수의 동축 시료 제작을 요한다. 근역장 차폐효과 측정 방법으로 dual TEM (Transverse

Electromagnetic) Cell 방법¹⁾이 있으나, 이 방법 역시 고가의 장비와 설비를 요하기 때문에 범용으로 사용하기에는 한계가 있다.

이와 같이 전자파 차폐효과를 측정하기 위해서는 고가의 장비와 시설을 요하거나 복잡한 형상 및 정밀한 치수의 시편 제작이 요구되기 때문에 실제 생산라인에서 다양한 종류의 전자파 차폐재의 성능을 측정하는 데는 상당한 불편함이 따른다. 측정값의 정확도에 약간의 오차를 감안하더라도 정성적으로 제품의 품질을 쉽게 평가할 수 있는 방안이 제시된다면 전자파 차폐재의 품질 평가에 상당한 도움이 될 수 있다.

Schelkunoff²⁾의 전자파 차폐이론에 의하면 차폐효과는 흡수손실, 반사손실, 다중반사 보정항으로 구성되어 있고 각 차폐기구는 매질의 물질상수 (전기전도도, 투자율, 유전율) 및 시료두께의 함수로 표시된다. 이들 물질상수는 비교적 측정이 간단하고 시편의 종류에 크게 제약받지 않기 때문에 정확한 물질상수 값을 알고 있으면 차폐효과 예측이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 전자파 차폐이론에 근거하여 재료의 물질상수로부터 전자파 차폐효과를 예측하는 방법을 제시하고, 동축선 선로에서 임피던스 측정에 의한 일부 시편의 실측치와 비교를 통해 제안한 방법의 타당성을 검증하고자 하였다. 전도성 차폐재의 경우 차폐효과에 직결되는 물질상수는 전기전도도이기 때문에 전기전도도가 상이한 망사형 차폐재 (Cu, Ni이 피복된 나일론 섬유 직포)를 측정시료로 선택하고 전기전도도에 따른 반사손실, 흡수손실, 그리고 차폐효과에 대해 분석하였다.

2. 전자파 차폐 이론

전기장이 시간에 따라 변하게 되면 그 주위에 자기장이 유도되며 역으로 자기장의 강도가 변할 때 그 주위에는 전기장이 유도되게 된다. 이러한 원리로 전자기파가 외부로 방사되며 이때 전자파는 진행하는 방향에 수직이고 동상인 자기장과 전기장의 조합으로 진행하게 된다. 이러한 전자기파가 어떤 물체에 입사되면 물체와 자유공간의 임피던스 차에 의해 경계면에서 일부의 전자파가 반사되고 투과된 파도 감쇠되어질 수 있다.

전자파 차폐는 외부로부터 입사하는 전자파를 차폐재에 의해 반사나 흡수를 통해 파가 안쪽으로 투과하는 것을 막는 것을 의미하며 차폐효과 (Shielding Effectiveness : SE)란 외부로부터 입사된 전자파가 매질에서 반사, 감쇠되어지는 정도를 나타낸다. 따라서 차폐효과는 입사한 전자파에 대한 투과한 전자파의 비로써 dB 단위로 다음 식 (1)과 같이 표현되어진다.

$$SE (dB) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \tag{1}$$

여기서 P₁, P₂는 각각 입사전력, 투과전력을 의미한다.

결국 차폐효과를 크게 하기 위하여 매질 표면에서 반사를 크게 하거나 재료 내부에서 감쇠를 크게 해야 하는데 실제적으로 감쇠를 크게 하기보다는 전기전도도가 큰 재료를 사

용하여 반사를 크게 하는 것이 용이하므로 감쇠보다는 반사에 중점을 두어 차폐재를 설계한다. Schelkunoff²⁾의 이론에 의하면 전자파 차폐효과는 흡수손실, 반사손실, 다중반사손실의 3 종류의 손실을 합한 것으로 나타낼 수 있다.

Fig. 1에 나타난 것처럼 단위전력의 전자파가 자유공간을 통하여 어떤 매질에 입사되면 표면에서 식 (2)에서처럼 ρ_{am} 만큼 반사가 일어나는데 이것은 매질의 특성임피던스 (Z_m)와 자유공간의 파동임피던스 (Z_w) 차이에 비례한다. K = Z_w/Z_m으로 놓으면 ρ_{am}은 식 (2)로 표현된다.

$$\rho_{am} = \frac{Z_m - Z_w}{Z_m + Z_w} = \frac{1 - \frac{Z_w}{Z_m}}{1 + \frac{Z_w}{Z_m}} = \frac{1 - K}{1 + K} \tag{2}$$

매질의 배면에서도 특성임피던스 차에 의해 반사가 일어나는데, 이 반사량을 ρ_{ma}라 하면 ρ_{ma}도 식 (3)과 같이 K의 함수로 표현된다.

$$\rho_{ma} = \frac{Z_w - Z_m}{Z_w + Z_m} = \frac{\frac{Z_w}{Z_m} - 1}{\frac{Z_w}{Z_m} + 1} = \frac{K - 1}{K + 1} \tag{3}$$

두 매질간에 임피던스 차가 없다면 파는 전혀 반사되지 않고 매질 내부로 투과되어 들어갈 것이다. 그러나 임피던스의 차이가 매우 크다면 파는 100% 반사되어 되돌아가게 된다. 반사되고 남은 일부의 전파만이 (1 - ρ_{am})의 크기로 매질 속으로 투과되어 들어가게 되는데 매질 속으로 들어온 전자파는 매질의 손실특성에 의해 에너지 흡수가 일어나며 그 크기는 거리에 따라 e^{-γz} 만큼 지수함수적으로 급격히 감쇠된다. 여기서 γ는 전파상수로서 식 (4)와 같이 감쇠상수 (α)와 위상상수 (β)의 벡터합으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma = \alpha + j\beta \tag{4}$$

그러나, 일반적으로 차폐재는 표면에서 반사량이 매우 크기 때문에 내부에서 에너지손실이 적다. 매질 속을 진행한 전자파가 매질의 배면에 도달하면 또 특성임피던스가 다른 매질을 만나게 되어 식 (3)에서 ρ_{ma} 크기만큼 재 반사가 일어나게 되고 결국 내부에서 다중적으로 반사가 일어나게 된다. 차폐재를 빠져나온 투과 전자파의 총합은 식 (5)와 같이 Γ_T가 된다.

$$\Gamma_T = (1 - \rho_{ma}) (1 - \rho_{am}) e^{-\gamma l} [1 + \rho'_{ma} e^{-2\gamma l} + \rho''_{ma} e^{-4\gamma l} + \dots] = e^{-\alpha l} \frac{4K}{(1+K)^2} \left[1 - \left(\frac{K-1}{K+1} \right)^2 e^{-2\gamma l} \right]^{-1} \tag{5}$$

결국 매질 배면을 투과한 전자파를 가지고 삽입손실 값을 취하게 되면 차폐효과는 다음 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

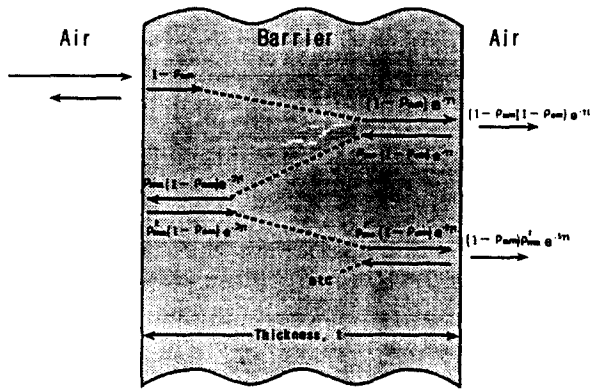


Fig. 1. The reflection and transmission behavior of electromagnetic wave in a barrier sheet.

$$\begin{aligned}
 SE(dB) &= 20 \log \left(\frac{1}{T_r} \right) \\
 &= 20 \log e^{\alpha t} + 20 \log \frac{(1+K)^2}{4K} \\
 &\quad + 20 \log \left\{ 1 - \left(\frac{K-1}{K+1} \right)^2 e^{-2\gamma t} \right\} \quad (6)
 \end{aligned}$$

이 식을 살펴보면 오직 자유공간의 임피던스와 금속매질의 임피던스의 비 (K)로 표현되는 반사손실항 (R), 재료의 두께 (t)와 감쇠상수 (α)에 의해 지수함수적으로 감쇠하는 흡수손실항 (A), 그리고 다중반사 보정항 (B)으로 되어 있는 것을 알 수 있다.

반사손실항을 R_{dB}라 하면 식 (7)과 같다.

$$R_{dB} = 20 \log \frac{(1+K)^2}{4K} \quad (7)$$

식 (7)에서 파동임피던스는 평면파의 경우 Z_w = E/H = 120π = 377Ω 이지만, 방사원 근방 근역장에서는 파원이 전기적인 파원 (전계파)인 경우 평면파의 377Ω보다 크게 되고, 자계파의 경우 작게 된다. 따라서 파동의 임피던스와 매질의 임피던스의 차 (K)를 고려할 때 파원에 따라 파동임피던스를 다르게 고려해야만 한다. 전도성 매질의 경우 특성 임피던스는 Z_m = √(2πfμ/σ) (여기서 f=각주파수, μ=투자율, σ=전도도)으로 주어진다. 평면파 (Z_w = 377Ω)가 전도성 매질 (Z_m = √(2πfμ/σ))에 입사되었을 때 반사손실은 식 (8)과 같이 주어진다.

$$R_{dB} = 108.1 - 10 \log \left(\frac{\mu_r f_{MHz}}{\sigma_r} \right) \quad (8)$$

여기서 σ_r, μ_r은 구리를 기준 (σ_{Cu} = 5.82 × 10⁷ mhos/m, μ_r = 4π × 10⁻⁷ H/m)으로 한 비전도도, 비투자율이다. f_{MHz}는 MHz 단위의 주파수이다.

반사손실 (R)은 재료의 두께에 무관하고 전기전도도, 투자율 그리고 주파수의 함수로 표현되며, 전기전도도의 크기에 비례하여 증가하고, 투자율이 적을수록 증가하게 된다. 그리고 주파수가 증가할수록 차폐효과는 감소하게 된다. 실

제 금속재료에서는 높은 전기전도도를 갖고 투자율이 1에 가까우므로 흡수손실 보다는 반사손실에 의해 차폐효과가 결정된다. 따라서 전기전도도가 높은 재료가 차폐효과가 크다.

흡수손실항 (A_{dB})은 식 (9)와 같이 표시된다.

$$A_{dB} = 20 \log e^{\alpha t} \quad (9)$$

감쇠상수 α는 전기전도도 (σ)가 매우 큰 금속 매질에 있어서 α = √(πfμσ)로 표현된다. 이를 (9)식에 대입하면 흡수손실은 식 (10)으로 표시된다.

$$A_{dB} = 131.4 t_{mm} \sqrt{f_{MHz} \mu_r \sigma_r} \quad (10)$$

여기에서 t_{mm}은 mm 단위의 시편 두께이다. 재료의 두께, 전기전도도, 투자율, 그리고 주파수가 증가할수록 흡수손실은 증가한다. 일반적으로 금속 자성체의 경우 전기전도도보다는 투자율의 증가 효과가 크기 때문에 흡수손실을 키우기 위해서는 투자율이 높은 재료를 사용하는 것이 유리하다.

다중반사 보정항 (B_{dB})은 식 (11)과 같이 표시될 수 있으며 파동의 임피던스와 재료의 임피던스의 비가 커질수록 증가한다. 그러나 흡수손실이 10 dB 이상이고, 매질이 두께가 skin depth에 비해 충분히 큰 전도성 판재의 경우 무시되어진다.

$$B_{dB} = 20 \log \left\{ 1 - \left(\frac{K-1}{K+1} \right)^2 e^{-2\gamma t} \right\} \quad (11)$$

이러한 모든 손실항들을 재료의 두께, 전기전도도, 그리고 투자율의 함수로 표시되므로 이들 재료정수와 시편의 두께를 알면 원거리장 평면파의 전체 차폐효과 (SE)를 계산할 수 있다.

3. 시편 및 분석방법

본 연구에서 조사된 시편은 망사형 피복재로 나일론계 망사에 Cu, Ni, Ag을 혼합 또는 개별적으로 무전해 도금방법으로 피복시킨 것과 printing 방법으로 제조한 것으로 국내업체에서 5 종류를 제공받았다. 시편의 종류를 표시하면 Table 1과 같다. 이때 시편의 전기전도도는 4단자법으로 측정하였으며, 반사손실은 HP 4291A Impedance Analyzer를 사용하여 1MHz ~ 1.8GHz까지 반사산란계수 (S₁₁

Table 1. Specimens and their material parameters.

Specimen	Thickness (mm)	Relative Conductivity (σ _r)	Relative Permeability (μ _r)
No. 1 (Cu+Ni)	0.1	1.2 × 10 ⁻⁴	1
No. 2 (Ni)	0.09	1.0 × 10 ⁻⁴	1
No. 3 (Ni)	0.08	1.1 × 10 ⁻⁶	1
No. 4 (Cu+Ag)	0.1	2.4 × 10 ⁻⁴	1
No. 5 (Cu)	0.07	4.1 × 10 ⁻³	1

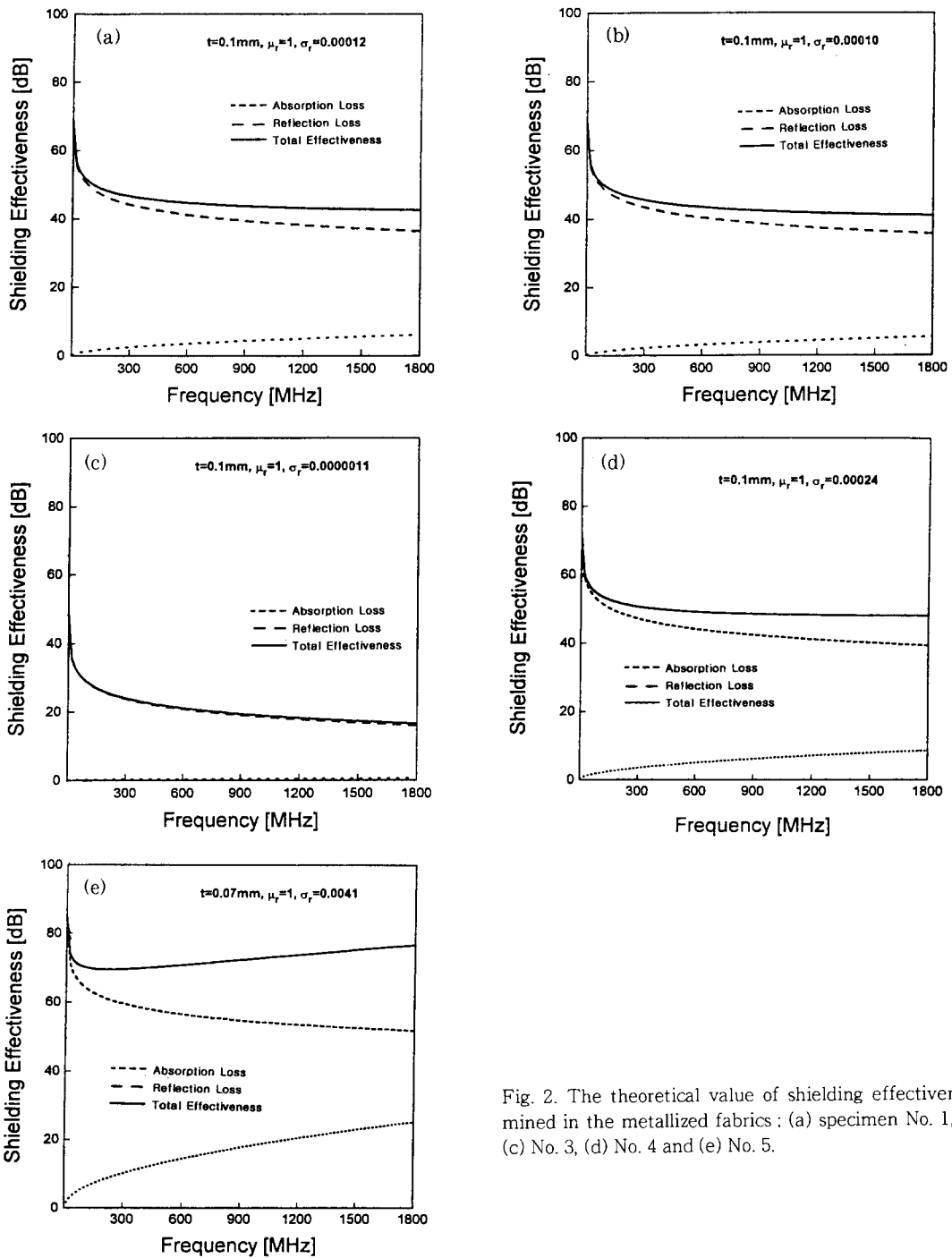


Fig. 2. The theoretical value of shielding effectiveness determined in the metallized fabrics : (a) specimen No. 1, (b) No. 2, (c) No. 3, (d) No. 4 and (e) No. 5.

(S_{11} Parameter)를 측정하여 구하였다. 차폐효과의 이론 값은 측정된 재료정수 (비전도도, 비투자율)와 두께로부터 반사손실 및 흡수손실을 계산하여 구하였다.

4. 결과 및 고찰

차폐효과는 흡수손실과 반사손실의 합으로 나타내어지므로 이를 계산하기 위하여 전기전도도와 투자율을 측정하였다. Cu를 기준으로 한 각 시편의 비전도도, 비투자율을 Table 1에 표시하였다.

실제 bulk 금속의 경우, Cu의 비전도도 (σ_r)는 1이다. 또한 자유공간에서의 투자율 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m)을 기

준으로 하였을 때 비투자율 (μ_r)은 1이다. Ag의 비전도도는 구리보다 약간 우수하여 1.05의 값을 갖고 비투자율은 1의 값을 갖는다. Ni의 경우에는 비전도도 (σ_r)는 0.24로써 Cu의 1/4인 값을 갖는 반면 비투자율 (μ_r)은 100으로써 Cu의 100배 값을 갖는다.

Table 1에서 No.1~No.3까지의 시편은 무전해도금 방법으로 제조된 시편이고, No. 4~No. 5는 printing 방법에 의해 제조된 시편들이다. 무전해도금 방법으로 제조된 시편 중 Ni만으로 제조한 시편보다는 No.1과 같이 전기전도도가 큰 Cu를 함께 혼합하여 제조한 시편이 제일 우수한 비전도도를 나타내었고, 똑같이 Ni만으로 제조된 시편이라도

제조조건에 따라 No.2가 No.3보다 훨씬 우수한 비전도도를 나타내었다. 그러나 그중 전기전도도가 제일 큰 No.1 시편의 경우에도 비전도도는 1.2×10^{-4} 로 bulk Cu에 비하여 10^{-4} 배 정도 낮은 값을 보였으며 bulk Ni에 비하여는 10^{-3} 배 정도의 값을 보였다. 이는 실제 bulk Cu나 Ni보다는 단위면적당 금속이 차지하는 면적 비율이 감소해 비전도도가 크게 떨어지게 된 것으로 생각되어진다. 시편의 두께가 너무 작아 비투자율에 대한 정확한 측정이 어려웠으나 임피던스 측정치에 의하면 Ni이 피복된 시편의 경우에도 대체적으로 모두 1의 값을 나타내었다.

나머지 printing 방법에 의해 제조된 시편 (No. 4, No. 5)은 전기전도도를 크게 하기 위하여 Cu에 Ag를 혼합하여 제조하였으나 예상했던 것과는 다르게 Cu만으로 제조된 시편이 비전도도가 4.1×10^{-3} 으로 측정된 시편중에서 가장 큰 비전도도를 나타내었다. 투자율은 모두 1의 값을 보였다.

전도성 매질의 경우 차폐효과는 주로 반사손실과 흡수손실이 차지함으로 식 (8), (10)에 의해 차폐능 계산이 가능하다. Table 1에 제시한 시편에 대해 계산된 반사손실, 흡수손실, 차폐효과를 Fig. 2에 나타내었다. No. 1 시편의 경우 비전도도는 1.2×10^{-4} , 비투자율은 1 정도의 값을 나타내었는데, 이를 이용하여 계산한 결과 Fig. 2(a)와 같이 반사손실은 40 dB 가량을 나타내고 흡수손실은 10 dB 이하의 값으로 나타났다. 따라서 전체 차폐능은 50 dB 정도의 값을 보였다.

No. 2 시편의 경우에도 비전도도가 비슷함으로 Fig. 2(b)에서와 같이 차폐효과는 No. 1 시편과 유사한 값을 나타내었다. 이러한 경우는 Ni의 비투자율이 $\mu = 100$ 인 특성을 고려하여 반사손실보다는 작지만 흡수손실을 크게 하기 위해 제조되었으나 본 실험에서는 투자율에 대한 정밀 측정이 이루어지지 못하여 그 효과가 확인되지 못하였다. No. 3 시편은 비전도도가 1.1×10^{-6} 정도로 낮은 값을 보였는데 Fig. 2(c)에서처럼 흡수손실은 무시할 만큼 작고 반사손실 또한 20 dB 정도의 낮은 값을 보였다. 이러한 결과는 낮은 비전도도에 기인한다.

Printing 방법에 의해 제조된 시편들은 전체적으로 무전해도금 방법으로 제조된 시편보다 큰 전도도를 보이며 No. 4 시편의 경우 반사손실은 40 dB 이상, 흡수손실은 10 dB 정도로 전체 차폐능은 Fig. 2(d)에서와 같이 50 dB 이상으로 나타났다. 특히 No. 5 시편의 경우에는 비전도도가 4.1×10^{-3} 으로 흡수손실이 20 dB 정도의 큰 증가를 보였고, 반사손실도 50 dB 이상으로 나타나 Fig. 2(e)에서와 같이 전체 차폐능은 70 dB 이상의 값을 보였다. 반사손실의 주파수 증가에 의한 감소보다 흡수손실의 증가가 더 커서 전체 차폐능이 주파수의 증가에 의해 증가하는 경향을 볼 수 있다.

차폐재의 재료정수 (전기전도도)로부터 계산한 차폐효과 이론치를 검증하기 위해 Impedance Analyzer를 사용해 측정된 각 시편의 임피던스로부터 반사손실을 구하였다. No. 1 시편의 경우 1GHz 이하에서 0.5Ω 정도의 임피

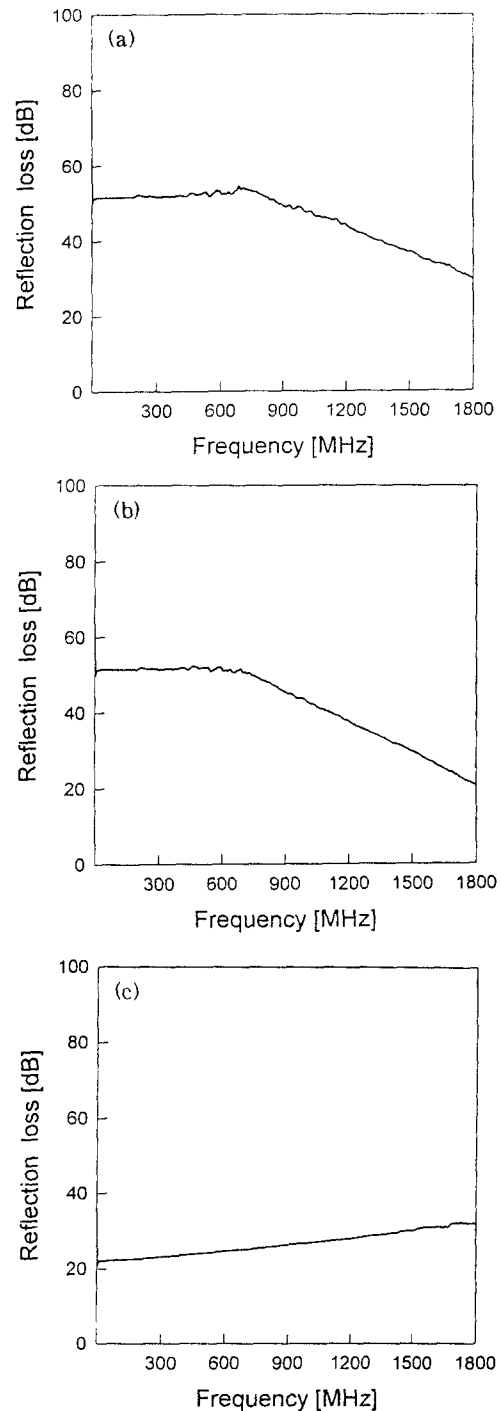


Fig. 3. The reflection loss determined from the RF impedance of the specimens : (a) No. 1, (b) No. 2 and (c) No. 3.

던스를 보이다가 그 이상의 주파수에서는 서서히 증가하는 경향을 나타내었다. 매질의 특성임피던스 (Z_m)와 자유공간의 파동임피던스 (원거리장의 경우 $Z_w = 377\Omega$ 를 식 (7)에 대입하여 반사손실을 계산한 결과 Fig. 3(a)에서처럼 1 GHz이하에서는 50 dB 정도의 반사손실을 보였으며, 1GHz 이상에서는 비례적으로 서서히 감소하는 양상을 나타내었다. 이는 전기전도도를 측정하여 계산한 반사손실 (약 40 dB)에 비해 10 dB 정도 큰 값을 보이고 있다. 전기전도도가 비슷한 No. 2 시편의 경우에도 Fig. 3(b)에서처럼 비슷

한 결과를 나타내었다. 그러나, 40 dB 의 반사손실을 전력 단위로 환산하면 차폐율이 99.9% 이고, 50 dB 의 경우는 약 99.999% 에 해당하므로 차폐효과가 큰 경우 (99% 차폐율을 기준으로 했을 때 20 dB 이상)에 10 dB 의 오차는 매우 작은 값이다.

차폐특성이 좋지 않은 No. 3 시편의 경우, 측정된 임피던스는 1GHz에서 4.4Ω 정도로 높게 나타났으며 주파수 증가와 함께 약간씩 감소하는 경향을 보였다. 이로부터 반사손실 값을 취해 보면 Fig. 3(c)에서처럼 20 dB 정도로 낮은 값을 보이고, 이 경우 이론값과의 오차는 약 5 dB 내외로 매우 작음을 알 수 있다.

이러한 결과들은 앞서 전기전도도로부터 계산한 차폐효과 예측 방법이 상당히 타당성이 있음을 입증해 준다.

5. 결 론

전도성 금속이 피복된 망사형 차폐재에서 측정된 전기전도도에 의해 전자파 차폐능을 예측하는 분석기법을 제시하고 임피던스 실측치와 비교, 검토를 통해 제안한 방법의 타당성을 검증하였다. 전자파 차폐이론에 근거하여 매질의 전기전도도 및 투자율로부터 반사손실과 흡수손실을 계산하고 주된 차폐기구를 분석한 결과 도전성 차폐재의 차폐효과는 반사손실이 주로 차지하였다. 반사손실이 주 차폐기구인 망사형 차폐재에서 차폐효과는 전기전도도에 따라 큰 변화를 나타내었다. Cu의 전기전도도를 기준으로 한 비전도도가 1.2×10^{-4} 인 경우 약 50 dB 의 차폐효과가 예측되었지만, 비전도도가 1.1×10^{-6} 정도로 낮은 시편의 경우 차폐효과는 20 dB 정도로 감소되었다. 이상의 이론치를 임피던스 실측치로부터 계산한 반사손실과 비교한 결과 10 dB 정도의 오차를 보였으나, 이를 전력 단위의 차폐율로 환산하였을 때 1% 이내의 오차에 해당하므로 전기전도도 측정

에 의한 차폐효과 예측 방법은 상당히 타당성이 있다. 본 연구에서 제안한 물질상수에 의한 차폐효과 분석 방법은 각종 차폐재의 품질을 정성적으로 평가하는데 매우 유용하게 사용되어질 수 있다.

감사의 글

시편을 제공하여 준 자화전자(주) 이한만 과장님께 감사드리며 이 논문은 (1998)년 학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

1. D.R.J White and M.Mardiguian, *Electromagnetic Shielding*, A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility, Vol.3, Interference Control Tech. Inc., Gainesville, Virginia, 1988.
2. H.W.Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, John Wiley & Sons, New York, 1975.
3. MIL-STD-285, Attenuation measurements for enclosures, electromagnetic shielding, for electronic test purposes, method of U. S. DoD, Jun. 1956.
4. ASTM ES7-83, Emergency Standard Test Methods for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness for Planar Materials, Dec. 1983.
5. ASTM D4935-89, Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic shielding Effectiveness of Planar Materials, Sep. 1989.
6. 정연춘, 강태원, 정낙삼, 전자파기술, 4권 3호, 45 (1993)
7. S.A.Schelkunoff, "*Electromagnetic Waves*," Van Nostrand, New York, 1943.