

電磁遮蔽를 위한 크롬 및 알루미늄 스퍼터링의 효과

金 東 鎮*

Effects of Cr and Al Sputtered sheet for the Electromagnetic Shielding

Dong-jin Kim

Key Words: Shielding effectiveness of electromagnetic waves(전자파 차폐효과), Electromagnetic shielding(전자차폐), Noise(노이즈, 불요전자파), Sputtering(스퍼터링), Spectrum analyzer(분광분석기), Shielding box(차폐상자), Lamination(적층).

Abstract

In this paper, shielding effectiveness(SE) of the shielding material of electromagnetic(EM) waves was investigated with actual experiments. The materials used in this study were made up of sputtering, film and powder of conductive materials - Cr, Al, Ag and Cu etc. Also, the polyester film was used as a base material. The experiment was carried out by using a shielding evaluator(Shielding box) TR17302 with an ADVANTEST spectrum analyzer, model R3361C. It was found from the experimental results that silver, copper, aluminum and chromium were good candidates as a shielding material against the EM waves with increasing the SE as the composite was laminated. The characteristics of the SE against the EM waves depended on a mode of preparation of specimen. The effects of density of particles on the SE were studied when the sputtering. The SE strongly depended on the electric resistance by density of sputtering and painting particles. SE increased as the density of particles was increasing.

1. 서 론

IT(information technology)혁명이라 할 정도로 급부상한 정보기술산업은 우리 생활의 모든 분야에 보급되고 있다. 따라서 IT기기 등으로부터 발생하는 전자파(電磁波)가 전선(電線)이나 공간(空間)을 전파(傳播)해서 다른 전자기기나 인체에 영향을 미치는 전자파장해(EMI, electromagnetic

interference)에 대한 대책을 강구할 사회적 필요성이 증가하고 있다.

본 연구에서는 전자기기의 케이스(case)의 재료로 플라스틱 소재를 모재(matrix)나 기재(base sheet)로 하는 복합재료를 만들어 이들 불요전자파(不要電磁波, noise)가 외부로 방출되지도 않고, 또한 외부로부터 내부로 들어오지도 못하게 함으로서 소기의 목적을 달성할 수 있는 플라스틱재료의 가공방법을 위한 기초자료를 구하기 위하여 연속 스퍼터링(sputtering)법을 이용하여 플라스틱 판재의 표면에 금속입자를 입사시켜 성막(成膜)하여 도전성(導電性)을 부여하여 노이즈를 차폐하기 위한 케이스용 재료로 응용함에 주안점을 두고, 여러 종류의 시편을 만들어 분광분석기를

* 회원, 유한대학 기계설계과

이용하여 전자파의 차폐특성을 실험적으로 조사한 후, 비교·검토해 봄으로써 차폐효과에 미치는 스퍼터링 입자의 밀도, 형태 및 적층(積層) 등에 의한 영향을 조사하였다.

2. 전자파 차폐 효과

전자차폐는 입사(入射)해 온 전자(電磁)에너지를 반사(反射)해서 투과(透過)되지 않도록 하는 것으로서, 차폐재료의 성능평가는 전달 임피던스(impedance)나 차폐효과(shielding effectiveness)를 측정한다.

전류, I 가 흐르고, 전압, V 가 구간의 길이, ℓ 로써 유기되었다고 하면, 이 구간의 전달임피던스, Z_T 는 구간의 길이에 정규화(normalization)한 값으로서 식(2-1)로 정의되며, 전달임피던스가 낮을수록 차폐성능이 높게 된다.

$$Z_T = (V/I) / \ell \text{ [}\Omega/\text{m]} \dots\dots\dots (2-1)$$

차폐효과, SE는 차폐체가 없을때의 전자계와 있을때의 전자계의 비(比)로서 식(2-2)와 같이 정의된다.

$$SE = 20 \log(E_0/E) = V_0 - V \text{ [dB]} \dots\dots (2-2)$$

여기서 E_0 및 V_0 는 차폐하지 않을때의 전자계로서 전계강도 및 노이즈 레벨(dB, decibel)이고, E 및 V 는 차폐하였을 때의 전계강도 및 노이즈 레벨이다.

Fig. 1은 전자파가 차폐재료에 입사할 때의 감쇠기구를 표시한 것이다. 그림에서 전자파의 입사량, I 는 식(2-3)과 같이 된다⁽¹⁾.

$$I = R_1 + D + R_2 + T \text{ [dB]} \dots\dots\dots(2-3)$$

여기서 R_1 은 차폐재료표면(A/M : air/material)에서의 1차 반사량이고, D 는 재료내부에서의 감소량, R_2 는 차폐재료의 반대면(M/A)에서의 2차 반사량이며, T 는 차폐재료를 투과한 투과량이다. 그리고 차폐효과(SE)는 입사량(I :incident waves)과 투과량(T :transmitted waves)의 차(差)이므로

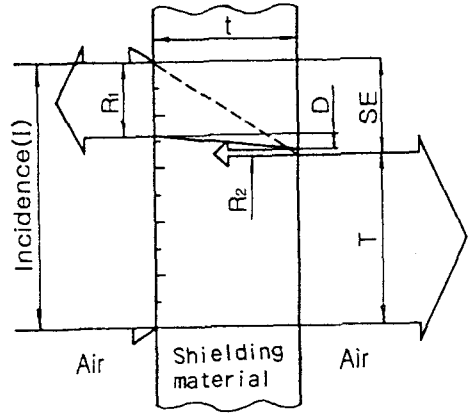


Fig. 1 Damping mechanism of electromagnetic wave in the shielding materials.

다음의 식(2-4)와 같다⁽²⁾.

$$SE = R_1 + D + R_2 = I - T = V_0 - V \text{ [dB]} \dots\dots\dots(2-4)$$

한편, 일반적으로 전자파(radio wave:9 kHz~3 THz)의 차폐효과에 대한 판정은 CISPR(international special committee on radio interference)의 권고안에 따라 10kHz로부터 1MHz의 주파수대역에 있어서 차폐효과가 0~10dB의 경우 차폐효과 무시, 10~30dB의 경우 최소효과, 30~60dB의 경우 표준, 60~90dB의 경우 양호, 90dB이상은 최량(拔群)으로 하고 있다⁽¹⁾.

3. 실험장치 및 실험방법

Table 1 Main specimens for experiments.

No	Making method	Shield mater.	Base sheet [t,mm]	Thick. L [mm]	R [Ω/□]
1	Sputter	Cr	PEs (0.10)	1 0.001	1.7kΩ
2	"	"	"	2 -	3.7kΩ
3	"	"	"	3 -	6.2kΩ
4	Sputter	Al	PE (0.07)	1 0.001	20Ω
5	"	"	"	2 -	7.5Ω
6	"	"	"	3 -	5.0Ω
7	Paint	Ag-Cu	PEs (0.11)	1 0.16	2.1Ω
8	"	"	"	2 0.20	1.9Ω
9	"	"	"	3 0.21	1.8Ω
10	Cu foil	Cu	Paper (0.28)	1 0.06	0.17Ω
11	Al foil	Al	Paper (0.28)	1 0.05	0.18Ω
12	Alpaper	Al	paper (0.07)	1 0.01	0.22Ω

3.1 실험재료

본 실험에 사용한 소재는 0.10mm의 폴리에스터(PEs)필름을 기재로 하고, 크롬 및 알루미늄 그리고 은, 구리 및 알루미늄의 분말을 사용하여 시험편을 제작하였다. 시험편은 A4 크기로 만든 후 50×150mm로 절단하여 사용하였다. 본 실험에 주로 사용한 시험재료의 명세는 Table 1과 같다.

3.2 실험장치

3.2.1 연속 스퍼터링 장치

본 장치는 스퍼터링에 의해 자동차용 거울의 크롬코팅을 연속적으로 처리할 수 있도록 설계, 제작된 나라테크(주)의 In-line sputtering 장치로서 주요 제원은 연속 스퍼터링 장치(DC Planar Magnetron Sputtering)이며, 지그의 크기가 1,115×1,050mm, 동작 주기시간은 약 2분으로서 생산능력은 시간당 1,500개이다. 또한, 배기장치의 최대 진공도는 5×10^{-5} Torr이고, 음극(cathode)부의 타겟(target)의 크기가 125×1,050mm, 플라즈마 가스는 Ar(4N이상)이다.

3.2.2 차폐상자(shielding box)

본 실험에 사용한 차폐상자는 Fig. 2에 도시한 것과 같은 형태로 ADVANTEST製の TR17302 차폐재료 평가기이다. 이 차폐상자는 도전성 플

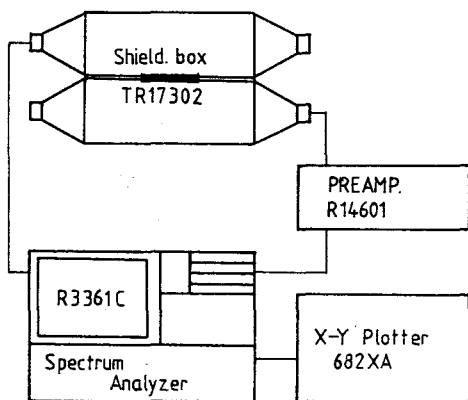


Fig. 2 Measuring system of the EM noise.

라스틱 차폐재료의 차폐효과를 TEM (transverse electromagnetic wave, 電磁的橫波) Mode로 불러지는 전계 및 자계가 직교분포하는 상태를 만들어 평면파와 동일조건을 만들어서 측정 또는 평가할 수 있는 장치이다. 이것은 송신 및 수신용의 2개의 TEM Cell로 형성돼 있으며, TEM Cell 내의 임피던스가 $377\Omega (=E/H=120\pi)$ 으로 되는 것을 이용하여 원방(遠方)계에 있어서의 차폐효과를 측정한다.

3.2.3 분광분석기(spectrum analyzer)

본 실험에 사용한 분광분석기(分光分析器)는 방사(放射) 노이즈의 대책 및 평가에 최적인 ADVANTEST製の R3361C형이다. 이것은 Synthesized local oscillator의 채용으로 고도로 안정된 스펙트럼 해석을 가능하게 하는 분광분석기로서, 측정 주파수 범위가 9kHz~2.6GHz이다.

Fig. 2는 본 실험장치의 시스템을 나타내며, 노이즈의 기록에는 Model 682-XA의 X-Y Plotter를 사용하였으며, 투과 노이즈가 미약한 경우에는 9kHz~1GHz의 R14601의 증폭기를 사용하여 증폭하였다⁽²⁾.

3.3 실험방법

본 실험에서는 Fig. 2와 같은 차폐상자를 이용하였다. 이 차폐상자는 실험재료의 전자파 차폐효과를 측정하기 위해서 상부의 TEM Cell의 내부, 하부의 TEM Cell의 중앙에 시료를 고정시키는 어댑터가 있다. 20×100mm의 장방형 측정용 구멍을 가진 어댑터에 50×150mm의 시료를 고정시키고, 차폐상자와 분광분석기의 연결은 상부의 TEM Cell을 발진용으로, 하부의 TEM Cell을 수신용으로 하였다.

본 실험에서는 측정 주파수대역을 통신기기에 사용되는 1MHz~1GHz의 대역으로 하고, 실험조건은 다음과 같이 설정하여 측정하였다.

- AVG(average a times) = 50,
- CF STEP(center frequency step) = 500Hz
- RBW(resolution bandwidth) = 100kHz,
- VBW (video bandwidth) = 1MHz,
- SWP(sweeping velocity) = 200ms.^(2,3)

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 차폐재료 및 가공방법의 영향

부도체인 플라스틱재료에 도전성을 부여하기 위한 여러 가지 방법 가운데 재료의 표면에 용융점은 높으나 내산화성이 크고 전기저항이 높은 편인 크롬과 용융점이 낮으며 값이 저렴하고 도전성이 매우 좋은 알루미늄을 스퍼터링하였다. 또한 상호비교를 위하여 금속재료의 박막 및 분체를 혼합한 도료를 도포하여 전자파 차폐효과를 측정하였다.

Fig. 3은 차폐용으로 가능한 재료 및 가공방법 등을 고려하여 크롬(SCR) 및 알루미늄(SAI)을 스퍼터링한 것, 동(CuF) 및 알루미늄(AIF)의 박막(foil), 알루미늄의 은박지(AIP) 그리고 차폐용 도료(ShP)의 노이즈선도를 나타내고 있다. 여기에서 폴리에스터 필름에 알루미늄을 스퍼터링한 것(SAI)은 매우 좋은 차폐효과를 나타내었다.

그러나 폴리에스터 필름에 크롬을 Sputtering한 것(SCR)은 거의 차폐효과를 나타내지 않았다. 즉, 500MHz이상에서 차폐효과를 나타내기 시작하여 1GHz에서 최대 약 13dB로 그 효과가 너무 미소하였다. 이것은 육안으로 보면 높은 밀도를 가지고 있는 거울처럼 보이지만, 현미경으로 관찰해 보면 지름(粒徑) 1-4 μ m의 크롬 입자가 3~5 μ m의

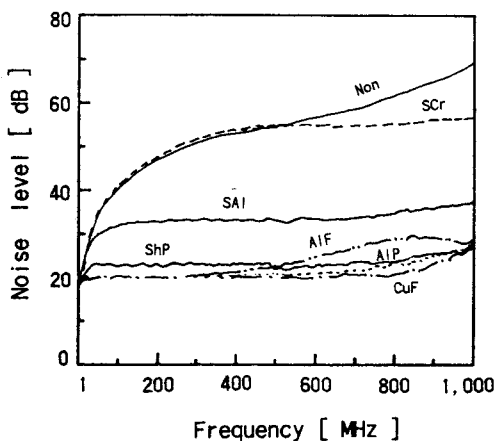


Fig. 3 Noise diagram against the processing method of shielding material.

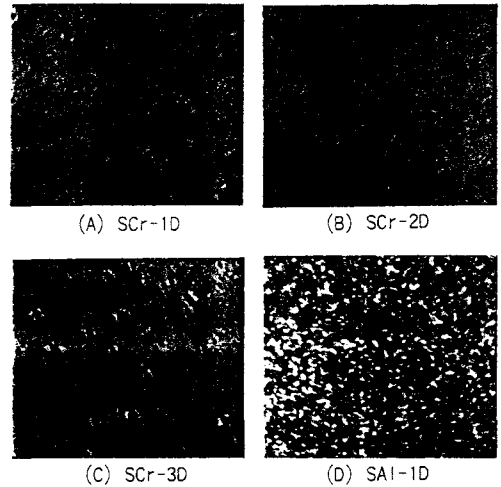


Fig. 4 Optical microscope photos of surface by sputtering.

거리로 배치돼 있으므로 크롬 입자간의 연결이 제대로 되지 않을 뿐만 아니라 기재로부터 증발한 가스가 입자의 경계에 용착되어 도전성이 부여되지 못한 결과 전기저항이 너무 크게되어 차폐효과를 나타내지 못한 것으로 사료된다.

Fig. 4의 A, B, C는 폴리에스터 필름위에 크롬을 1~3회 스퍼터링한 표면을 금속현미경으로 100배 확대해서 관찰한 것이다. 여기에서 특이한 사항은 크롬은 용융온도와 진공도가 높고, 또한 부착성이 좋지 않으며, 더구나 고온으로 인해 플라스틱기재에 용착할 때 기재를 녹여 합물시키고 다량의 가스를 발생시키는 현상이 일어난다. 이러한 결과로 입자와 입자사이에는 상당한 거리가 있어 도전성을 부여하지 못하고 있다. 더구나 스퍼터링 횟수를 증가시켜도 입자의 크기와 박막의 두께는 증가하지만, 입자간의 연결이 불량하여 도전성을 향상시키지 못하고 있다.

이것은 크롬 스퍼터링은 전자파의 차폐를 목적으로 하는 가공방법으로는 적당하지 않음을 알 수가 있다. 그리고 Fig. 4의 D는 알루미늄을 1회 스퍼터링한 것이다. 알루미늄의 경우에는 현미경 관찰에서 입자가 고르게 넓게 퍼져있으며 입자간의 연결이 잘 되어 도전성이 양호하게 되므로 차폐효과가 크게 나올 수가 있다. 또한, 용융온도 및 진공도가 낮아 크롬에 비해 가스의 발생이 적

고 가공비가 적게 들고 부착성도 좋으며 내산화성도 양호한 편이므로 여러면에서 전자파의 차폐를 목적으로 하는 플라스틱재료에의 스퍼터링은 크롬보다는 알루미늄을 증착하는 것이 유리하다고 생각된다.

또한, 동박(銅箔, CuF) 및 알루미늄箔(AiF)과 차폐용도료(ShP)는 주파수에 따라 조금의 차이는 있으나 큰 변화 없이 노이즈의 거의 전량을 차폐하였다. 이들의 차폐효과가 최대 약 40dB로서 발생 노이즈의 약 83%에 해당하는 거의 전량을 차폐하였다. 측정장치 및 자연계의 기본 노이즈가 약 20dB인 점을 감안하면, 노이즈의 투과량은 절대치로 10dB 이하로서 매우 좋은 전파차폐재임을 알 수 있다.

이상에서 전자파의 차폐를 목적으로 하는 복합재료를 만들기 위해서는 적당한 도전성과 소형, 경량 및 성형성 등 기타의 필요한 기능을 가진 재료를 선정하여 강화재 혹은 표면처리용 재료로 사용하여야 한다. 스퍼터링의 경우에는 높은 온도와 진공도에 따른 가스발생이 수반되므로 용융온도가 낮으면서 도전성이 좋은 알루미늄과 같은 재료를 선택해야 한다.

4-2. 성막(成膜)의 영향

플라스틱재료의 표면에 도전체를 스퍼터링한 막의 두께의 영향을 조사하기 위하여 스퍼터링의 횟수를 증가시켜 박막(薄膜)의 두께를 두껍게 하

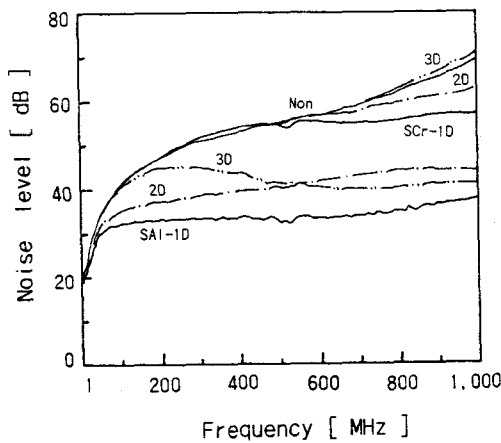


Fig. 5 Effect of sputtering times of Cr.

여 전자파 차폐효과를 측정하였다.

Fig 5는 스퍼터링의 횟수를 변화시켜 성막의 영향을 조사하기 위하여 폴리에스터(PEs) 필름의 표면에 크롬과 알루미늄의 스퍼터링 횟수를 변화시킨 시료의 노이즈선도이다. 스퍼터링 횟수는 2~3회를 기본으로 하고, 최대 7회까지 하였다. 그러나 스퍼터링 횟수의 증가로 성막의 두께는 두껍게 되어 강도는 증가하지만, 차폐효과는 도리어 나빠지는 영향을 나타내었다.

크롬 스퍼터링의 경우 1, 2회에서 미소한 차폐효과를 보이고, 3회 이상에서는 부(負)의 차폐효과가 발생하는 역효과를 나타내었다. 알루미늄의 경우에는 크롬보다는 차폐효과가 훨씬 크고 부의 효과는 없지만 그의 영향의 차가 적었다. 그리고 둘다 스퍼터링의 횟수가 증가할수록 차폐효과가 증가하는 것이 아니고, 도리어 높은 노이즈 레벨을 보여주어 역효과를 내고 있다. 이것은 스퍼터링 횟수를 증가시키면 한 입자의 크기는 증가하지만, 기재의 용융으로 인하여 입자사이의 연결을 차단하여 절연의 효과를 발생하여 차폐효과가 증가하지 못하는 것이라고 생각된다. 따라서 스퍼터링의 횟수를 증가시키기 보다는 1회로 균질한 면을 얻어 입사된 전파를 도체의 표면에서 반사시키는 것이 좋다고 생각된다.

더구나 크롬의 경우에는 용융온도 및 진공도가 높아서 기재의 표면에 크롬입자가 닿으면 그 열

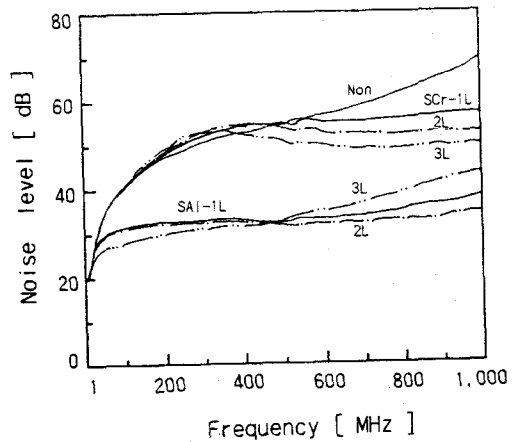


Fig. 6 Effect of lamination on noise diagram of the shielding materials.

로 인해 용융하여 합몰된 흔적을 보이고 있으며, 이는 더욱 도전성을 나쁘게 하는 결과를 초래하고 있는 것으로 사료된다. 그리고 고온과 진공으로 인한 기재의 증발로 가스가 발생하고 절량결손과 함께 스퍼터링의 조건을 악화시키고 있다.

알루미늄의 경우에는 크롬과는 달리 용융온도와 진공도가 낮아 스퍼터링이 쉬울 뿐만 아니라 기재에 대한 부착성이 좋아 입자와 입자간의 연결이 양호하여 좋은 도전성을 보이고 있으나 이것도 스퍼터링의 횟수를 증가시키면 크롬과 비슷한 현상을 나타내고 있다. 크롬의 입자는 Fig. 4의 (C)의 현미경사진에서 보여주듯이 입자의 크기는 증가하였지만, 입자와 입자가 연결되지 않고 점점이 부착되어 있으므로 도전성을 갖지 못하므로 차폐효과를 나타내지 못한다.

4-3. 적층(積層)의 영향

Fig. 6은 적층의 효과를 조사하기 위하여 폴리에스터 필름에 크롬과 알루미늄을 1회 스퍼터링한 시트를 적층시켜 측정한 노이즈선도이다. 차폐효과가 적은 크롬에서는 400MHz이상에서 미소하지만 적층수에 따라 차폐효과가 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 알루미늄의 경우에는 매우 우수한 차폐성능을 가지고 있지만 적층의 영향은 그다지 크게 나타나지 않았다. 특히 500MHz이상에서는 3층의 재료가 반대로 투과노이즈

가 커지는 경향을 보이고 있다. 이것은 전자파의 공진 및 회절등에 의한 간섭에 의해 투과노이즈가 커진 것으로 사료된다.

Fig. 7은 알루미늄박(AIF)을 1, 2, 3층으로 적층한 것의 노이즈선도이다. 1층의 경우에는 1GHz에서 40dB를 차폐하고, 10dB 이하의 노이즈가 투과되어 총 노이즈의 약 80%를 차폐하였다. 2, 3층의 경우 그 차이는 미소하지만 전대역에 걸쳐서 좋은 차폐효과를 보이고 있으며, 700MHz이상의 대역에서는 1층의 경우보다 10dB정도 더 차폐효과를 내어 거의 전량을 차폐하였다. 그러나 3층의 경우 480MHz이상에서 2층보다도 낮은 차폐효과를 나타내고 있어 2층으로 충분하다는 결론이 가능하다. 즉, 대체로 적층수가 증가하면 차폐효과가 증가한다고 표현할 수는 있으나 2층 이상에서는 그 효과가 의문스러우며, 전자파의 간섭 등을 고려하여 특성에 맞도록 적층할 필요가 있다고 생각된다.

Fig. 8은 적층하는 방법에 따른 차폐효과를 조사하기 위하여 알루미늄박을 3층으로 다음과 같이 적층재를 만들었다. 그림의 A는 "--"로 표시한 기재위에 "-"로 표시한 박막을 번갈아 3층으로 부착시켜 두께의 증가와 같이하고, B는 기재(--)와 박막(-)을 번갈아 가며 박막의 사이에 기재를 삽입하여 박막의 간격을 크게 하였다. 그 결과 후자의 쪽이 낮은 노이즈레벨을 나타내므로

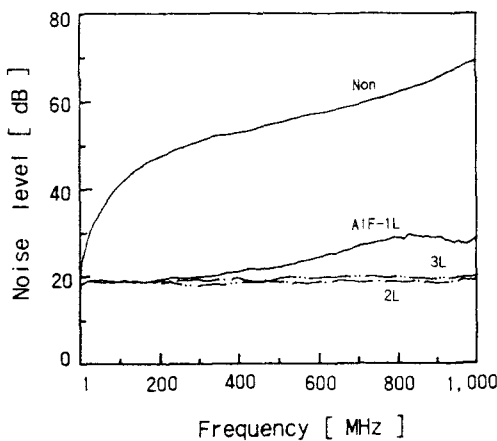


Fig. 7 Noise diagram on the lamination of aluminum foil.

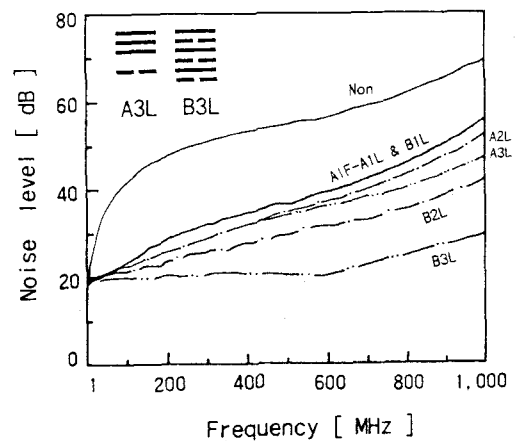


Fig. 8 Noise diagram on the lamination method of shielding material.

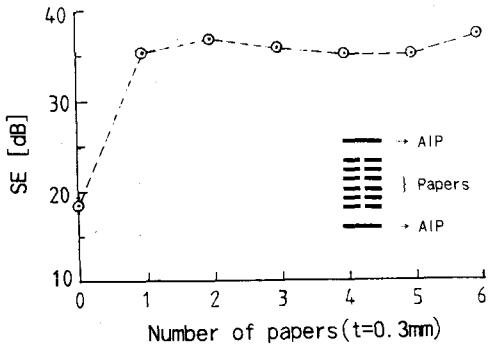


Fig. 9 Effect of distance in the layer.

서 더 큰 차폐효과를 나타내고 있다. 이것은 적층시에 도전체의 사이에 임피던스가 다른 물질을 넣어 일정한 간격을 주는 것이 차폐효과를 높이는 것이 됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 적층재의 층간의 간격의 영향을 조사하기 위하여 기재의 양 표면에 은박지(AIP)를 부착하고 가운데에 0.3mm의 켈트지를 1매에서 6매까지 삽입하여 층간거리를 0.3~1.8mm로 변화시키는 방법으로 2층의 적층재를 만들어 전자파의 차폐효과에 미치는 영향을 조사하였다. 여기에서 층간거리 없이 단지 두께만 두겹게 한 경우의 차폐효과가 약 18dB인데 비하여 1매를 삽입했을 때의 차폐효과가 35dB, 2매에서 37dB, 3매일 때 35dB 등으로 약 2배의 차폐효과를 내고 있다. 따라서 이것은 차폐용재료를 양 표면에 놓고, 그의 사이에 층간거리를 두는 것이 층간거리를 두지 않은 것보다 차폐효과가 큰 것을 알 수 있다.

그러나 그래프에서 나타내듯이 층간거리를 두기만 하면 되고, 그 거리의 장단에는 크게 영향을 받지 않으므로 단순히 두께만 두겹게 하기보다는 어느 정도의 층간거리를 두는 것이 좋지만, 층간거리를 크게 한다고 차폐효과가 증가하는 것은 아님을 알 수가 있다.

이상에서 적층수가 증가하면 모두 차폐효과가 증가하는 경향을 보이고 있으나, 그의 효과가 적층수에 비례하지는 않았다. 즉, 1GHz일 때를 예로 들면, 1층의 경우에는 약 40dB의 높은 차폐효과를 보이나 2층에서는 41dB, 3층에서는 43dB의 차폐효과를 나타내었다. 이것은 전파를 전부 흡수할 수 있는 파장(λ)의 1/4의 충분한 두께가 아니

면 차폐효과의 증가폭이 크지 않다. 즉, 입사한 전파는 표면에서의 반사로 차폐효과를 내고, 금속 내부로 들어온 전파는 흡수되지 못하고 그대로 투과하기 때문이다⁽²⁾. 따라서 실제로는 재료의 두께를 $\lambda/4$ 만큼 두겹게 할 수는 없으므로 두께 보다는 강화재의 표면의 밀도를 증가시켜 도전성을 향상시키므로써 반사에 의한 차폐효과의 증대를 도모해야 된다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 전자기기의 케이스 재료로 이용하기 위해 플라스틱재료의 표면가공에 응용할 수 있는 크롬과 알루미늄의 스퍼터링에 대하여 전자파 차폐에 미치는 특성을 실험적으로 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 스퍼터링에서 도전성을 높이기 위해서는 입자의 밀도의 증가와 함께 기재에서 발생한 가스가 입자에 용착하여 전기저항을 증가시키지 않도록 해야한다.
- (2) 알루미늄은 박막(foil)은 물론 스퍼터링을 하여도 좋은 차폐성능을 가지고 있다.
- (3) 크롬의 스퍼터링은 용융온도가 높아 비경제적이며, 부착성이 좋지 않아 차폐재료로는 적합하지 못하다고 생각된다.
- (4) 적층에 의해 차폐효과는 증가하지만, 적층수에 비례하지 않으며, 임피던스가 다른 재료를 층간에 삽입하는 것이 차폐효과를 증가시킨다.

참고문헌

- (1) 清水康敬外3, 1989, "電磁波の吸収と遮蔽", 日經技術圖書, pp. 224~253.
- (2) 金東鎮, 村上理一, 1996, "マルチメディア機器への適用のためのCFRTPの電波特性と強度特性の評價(第1報, 基本的電波特性)", 日本機械學會論文集, 第62卷, 第604號(A編), pp. 173~178.
- (3) 金東鎮, 村上理一, 1999, "電磁遮蔽용 플라스틱複合材料의開發을 위한強化材의性能評價", 대한기계학회논문집 A권 제23권 제6호, pp. 1048~1054.