

電磁遮蔽를 위한 플라스틱 複合材料用 強化材의 性能評價

金 東 鎮* · 村上 理一**
(1998년 12월 17일 접수)

Performance Evaluation on the Reinforcing Material of Plastic Composites for the Electromagnetic Shielding

Dong-jin Kim and Ri-ichi Murakami

Key Words : Composite Materials(복합재료), Reinforcing Material(강화재료), Lamination(적층), Degree of Orientation(배향각), Spectrum Analyzer(분광분석기), Shielding Effectiveness of Electromagnetic(EM) Waves(SE, 전자파 차폐효과).

Abstract

It is important to study the shielding effectiveness(SE) of reinforcing material of plastic composite materials against the electromagnetic(EM) waves. In this paper, SE of the shielding material of EM waves was investigated with actual experiments. The materials used in this study were made up of film, fiber and powder of conductive materials - Cu, Al, CF etc. Also, The resin film was used as matrix. 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 copper, aluminum and carbon fiber 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 interval of wires on the SE were studied when the orientation and the space of Cu wires were changed. The SE strongly depended on the orientation and the space of the Cu wire. SE decreased as the space of the Cu wires was increasing.

1. 서 론

最近, 高度 情報社會의 到來에 따라, 電氣 및 電子機器의 사용이 증가하여 수많은 電磁波陸害를 일으키고 있다. 또한, 디지털회로기술을 응용한 제품이 범람하고, 이에 수반하여 불필요한 電磁妨害波가 증대하여 電磁環境이 악화되고 있다.

한 예로 1982년 3월 일본의 山梨縣내의 한 벨

브 공장에서 NC선반이 돌연히 작동하여 작업자가 선반주축에 말려 들어가 사망하는 사고가 있었다. 勞働省 산업안전연구소에서 조사한 결과, 주원인은 공장내의 크레인의 전기 스파크로부터 발생한 전자파의 침입에 있다고 보고하였다.⁽¹⁾

따라서 현재 제4의 공해로 일컬어지고 있는 전자파장해를 방지하기 위해서는 전자환경에 대한 내력(Immunity)을 향상시켜 감수성을 저하시키고, 또한, 발생된 전자파가 방사되는 것을 차단할 수 있는 재료의 개발이 절실한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 電子機器에서 발생하는 不要電磁波(Noise)를 차폐하기 위한 케이스용 재료의

* 회원, 柳韓大學 機械設計科

** 德島大學 工學部 機械工學科

개발에 주안점을 두어 遮蔽效果가 있다고 예상되는 재료들에 대하여 여러 가지의 형태의 試片을 만들어 分光分析器(Spectrum analyzer)를 이용하여 전자파의 차폐특성을 실험적으로 조사한 후, 차폐효과가 우수한 재료를 전자기기의 케이스용 재료로 적용하기 위하여 대상재료를 도료의 분말 혹은 열가소성수지 복합재료의 강화재로 응용할 수 있도록 차폐효과에 미치는 強化材의 재질, 형태 및 積層 등에 의한 영향을 조사하였다.

그러나 전자파 차폐용 플라스틱 복합재료의 개발에 대한 연구는 아직 미개척분야로서 연구자료를 빈약하므로 직접 실험한 기초자료들을 토대로 조금씩 기술적 이론을 정립해 나가려고 한다.

2. 傳達임피던스와 遮蔽效果

電子機器의 內部空間과 外部空間을 電磁적으로 遮斷하는 것을 電磁遮蔽라고 하며, 遮蔽材는 入射해온 電磁에너지를 反射해서 透過되지 않도록 하는 것을 말한다. 이들 차폐재의 성능평가는 傳達 임피던스(Impedance)나 遮蔽效果를 측정한다.

차폐재의 表面에 전자파가 到來하면 誘導電流가 흐른다. 이 때문에 반사면에 전압이 誘起된다. 이것이 放射源으로 되므로 차폐성능은 저하한다.

전류, I 가 흐르고, 전압, V 가 구간의 길이, ℓ 로서 誘起됐다고 하면, 이 구간의 전달임피던스, ZT 는 식(1)과 같으며, 전달임피던스가 낮을수록

차폐성능이 높게 된다.⁽²⁾

$$Z_T = (V/I) / \ell \quad [\Omega/m] \quad (1)$$

Fig. 1은 CF/PC 單層板을 일례로 한 것으로서 電波(Radio wave : 3kHz~3MHz)가 차폐재에 입사할 때의 감쇠기구를 송, 수신안테나의 거리를 500mm, 주파수가 650MHz일 때를 표시한 것이다. 그림에서 전자파의 입사량, I 는 식(2)와 같이 된다.

$$I = R_1 + D + R_2 + T \quad [dB] \quad (2)$$

여기서 R_1 은 차폐재료표면(Air/Material)에서의 1차 반사량이고, D 는 재료내부에서의 감쇠량, R_2 는 차폐재료반대면(M/A)에서의 2차 반사량이며, T 는 차폐재료를 투과한 전자파의 투과량이다. 그리고 차폐효과(SE)는 입사량(I)과 투과량(T)의 차이므로 다음의 식(3)과 같다.^(3, 4)

$$\begin{aligned} SE &= 20 \log(E_0 / E) \\ &= R_1 + D + R_2 \\ &= I - T = V_0 - V \quad [dB] \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 E_0 및 V_0 는 송, 수신안테나 사이에 차폐재가 없는 경우의 電界強度 및 노이즈 레벨이고, E 및 V 는 차폐재료가 있을 때의 전계강도 및 노이즈 레벨이다.

한편, 전자파의 차폐재료로 사용할 수 있는 재료 및 가공법으로 導電性고무, 導電性塗料, 亞鉛浴射, 無電解鍍金, 알루미늄蒸着, 導電性플라스틱, 金屬箔 및 磁性材料등이 있다.⁽²⁾

3. 실험재료 및 실험방법

3.1 실험재료

複合材料의 強化材로는 導電性的의 구리, 알루미늄, 철, 납, 탄소섬유 등을 필름, 시트, 선 혹은 분말의 상태로 만들어 다음과 같이 시편을 제작하였다. 板材의 경우에는 그대로 시편의 크기인 50×150mm로 절단하여 사용했으며, 필름이나 線材는 양면테이프를 이용하여 약 0.10mm의 폴리 에스터(PES)필름에 필요한 형상으로 붙여 만들었

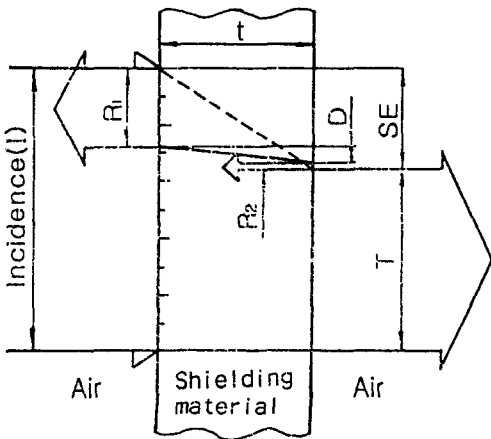


Fig. 1 Damping mechanism of EM waves in the shielding material.

Table 1 Main specimens used for this experiments.

No	Reinforcing material	Matrix (base)	Layer	Thick (mm)	Remark
1	Cu film	PEs	1, 2, 3	0.045	Polyester
2	Cu wire	PEs	1L	0.07	c=2, 3, 4, 5, d=0.07mm
3	Cu wire	PEs	1L	0.40	c=2, 3, 4, 5, d=0.40mm
4	Cu powder	PEs	1L	0.35	
5	Al film	PEs	1, 2, 3	0.035	
6	Al net	PEs	1L	0.50	c=1.42, d=0.25mm
7	Al powder	PEs	1L	0.35	
8	CF paper	Non	1L	0.18	CF-S-256, CF-S-259P
9	Carbon Fiber	Non	1L	0.30	Textile, d=0.007mm
10	"	PC	1L	0.43	" Polycarbonate
11	"	PP	1L	0.42	" Polypropylene
12	"	PEI	1L	0.41	" Polyetherimide
13	"	PMMA	1L	0.34	" P.m. methacrylate
14	Shield. paint	ABS	1, 2, 3	0.16	2D=0.20, 3D=0.21mm
15	Cr SPVD	PEs	1, 2, 3	0.11	Sputtering(≈1μm)
16	Cu VDT	PEs	1L	0.06	Vapor deposition

으며, 粉体の 경우에는 도료의 형태로 만들어 PEs필름 위에 도포하고, 필요한 경우에는 특별히 제작한 금형속에 넣어 압착하여 제작하였다.

그리고 폴리에스터 필름에 크롬을 Sputtering한 試片도 만들었으며, 탄소섬유는 PC, PP, PEI 및 PMMA의 필름을 양면에 붙이고 Hot press로 제작하였다.⁽⁵⁾ 본 실험에 주로 사용한 시편재료의 명세는 Table 1과 같다.

3.2 실험장치

3.2.1 차폐상자

본 실험에 사용한 遮蔽箱子(Shielding box)는 ADVANTEST製의 TR17302型的 遮蔽材 評價器이다. 이 차폐상자는 導電性 플라스틱 遮蔽材料의 차폐효과를 TEM(Transverse electromagnetic wave : 電磁的 橫波) Mode로 불려지는 電界 및 磁界가 直交分布하는 상태를 만들어 平面波와 동일조건을 만들어 측정 또는 평가할 수 있는 治具이다. 이것은 送信 및 受信用의 2개의 TEM Cell로 형성돼 있으며, TEM Cell내의 임피던스가 377Ω(= E/H = 120π)로 되는 것을 이용하여 遠方界에 있어서의 遮蔽效果를 측정한다. 또, 2개의 TEM Cell을 사용하고 있기 때문에 외부로부터의 電波의 영향을 받지 않고 측정할 수가 있으므로 별도로 차폐시킬 필요가 없다. 또한 전과압실의

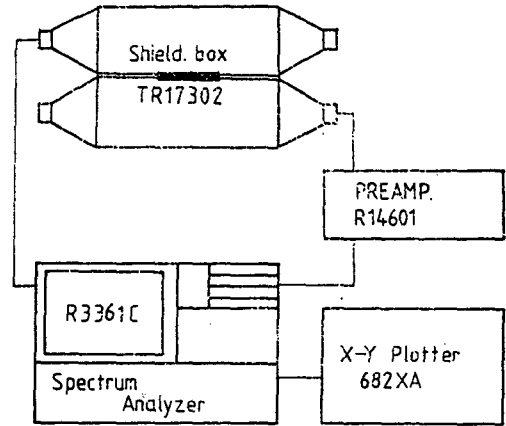


Fig. 2 Measuring system of the electromagnetic noise.

차폐상자는 두께 1mm의 銅板을 사용하여 가로, 세로 및 높이가 30cm인 정육면체의 한 면에 100×200mm의 窓口를 만들어 120×215mm의 試片을 삽입하도록 설계, 제작하였다.⁽⁵⁾

3.2.2 분광분석기(Spectrum analyzer)

본 실험에 사용한 分光分析器는 放射Noise의 對策 및 評價에 最新, 最適裝備인 ADVANTEST社製의 R3361C型이다. 이것은 Synthesized local oscillator의 채용으로 高度로 安定된 스펙트럼解析을 가능하게 하는 Spectrum analyzer로서, 測定 周波數의 범위가 9kHz~2. 6GHz이다.

Fig. 2는 본 실험장치의 시스템을 나타내며, 노이즈의 기록에는 Model 682-XA의 X-Y Plotter를 사용하였으며, 투과 노이즈가 미약한 경우에는 R14601의 증폭기(9kHz~1GHz)를 사용하여 증폭하여 출력하였다.

3.3 실험방법

본 연구에서는 Fig. 2와 같은 시스템으로 실험을 하였으며, 電波暗室에서는 銅板으로 만든 차폐상자⁽³⁾를 이용하여 실험하고, 그 외의 측정장치의 설정조건은 동일하게 하였다.

실험재료의 전자파 차폐효과를 측정하기 위해서 上方의 TEM Cell의 내부, 下方의 TEM Cell의 중앙에 試料를 고정시키는 20×100mm의 長方形 구멍을 가진 어댑터에 50x150mm의 시료를 고정시킨다. 上下의 板의 사이에 試料를 끼워 넣는 구

조이므로, 箔狀의 얇은 試料라도 그대로 사용할 수 있다. 그리고 上方의 TEM Cell이 發振用이고, 下方의 TEM Cell을 受信用으로 하였다.

본 실험에서는 측정주파수대역을 통신기기에 사용되는 HF, VHF 및 UHF를 참고로 해서 1MHz~1GHz의 帶域으로 하였다.⁽⁵⁾

4. 실험결과 및 고찰

4.1 강화재의 재질에 따른 영향

Fig. 3에서 銅箔(CuF1S), Al箔(AlF1S) 및 차폐용 도료(WJP1D)는 周波數에 따라 조금의 차이는 있으나 1GHz의 경우를 보면 68dB의 발생노이즈에 대한 투과량은 30dB이하로서 노이즈의 차폐효과가 최대 약 40dB로서 총 발생노이즈의 약 59%를 차폐하였다. 그러나 측정시스템으로부터 유입되는 노이즈로 간주되는 20dB를 무시하고, 이를 기준으로 보면 발생노이즈(68-20=48)에 대한 차폐효과를 고려하면 약 83%를 차폐하였다. 따라서 노이즈의 투과량은 10dB이하로서 매우 좋은 차폐재임을 알 수 있다. 그리고 탄소섬유복합재료(CF/PCIL)는 30dB정도의 차폐효과를 나타내어 63%를 차폐하였으므로 양호한 차폐재이다.

폴리에스터섬유에 銅을 진공증착시킨 직물(CuVDTPEs)은 48%를 차폐하였으며, 탄소섬유

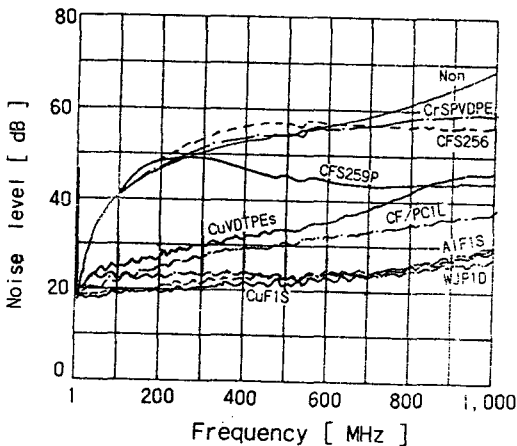


Fig. 3 Noise diagram against the processing methods of shielding material in the plastic composites.

紙인 CFS259P는 어느 정도의 차폐효과를 나타내었으나, CFS256은 차폐효과가 거의 없었다.

그리고 폴리에스터필름에 크롬을 Sputtering한 것(Cr-SPVDPEs)은 거의 차폐효과를 나타내지 않았다. 즉, 600MHz이상에서 차폐효과를 나타내기 시작하여 1GHz에서 약 8dB로 그 효과가 적었다.

이상에서 도전성이 있는 모든 재료는 전파의 차폐성을 가지며, 도전성이 좋을수록 즉, 전기저항이 작을수록 차폐효과가 크다. 따라서 전파의 차폐를 목적으로 하는 복합재료를 만들기 위해서는 적당한 도전성과 소형, 경량 및 成形性등 기타의 필요한 기능을 가진 재료를 선정하여 강화재로 사용하여야 한다.

한편, 차폐재를 어떤 방법으로 제조하는가에 따라 차폐효과에 매우 큰 영향을 미치므로 잘 고려하여야 한다. 한 예로, 크롬은 좋은 차폐용 재료이지만, 그림의 Cr-SPVDPEs와 같이 폴리에스터 필름에 크롬을 Sputtering한 시편은 전기저항이 너무 크게 되어 차폐효과가 작아지게 된다. 이것은 육안으로 관찰할 때에는 거울같이 보이지만, 250배의 현미경으로 관찰한 결과, Fig. 4에 나타난바와 같이 크롬입자의 크기와 배치가 매우 불규칙하게 되어 있을 뿐 만 아니라 입자들의 사이가 불규칙하게 떨어져 있으므로 도전성을 갖기 어려운 상태이다. 즉, 粒徑 1~6 μ m의 크롬 입자가 3~5 μ m의 거리로 배치되어 있으므로 크롬입자간의 연결이 제대로 되지 않아 도전성이 부여

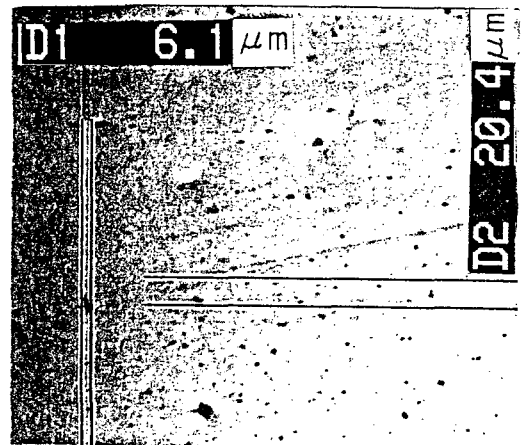


Fig. 4 Optical microscope image of surface by chromium sputtering with 3 times.

되지 못한 결과로 보여진다. 또한, 導電性 粉体の 경우에도 粉体の 밀도가 작아지면 전기저항이 증가하게 되어 차폐효과가 작아지므로 적당한 밀도를 갖도록 하여 도전성을 높여야 한다. 그리고 銅이나 알루미늄의 분체는 공기와 접촉하면 산화막을 형성하여 도전성이 저하되므로 표면처리가 필요하다. 그리고 炭素纖維紙(CFS256)는 200~600MHz의 帶域에서 負(-)의 차폐효과를 나타내고 있다. 즉, 차폐재료가 없을 때보다도 더 큰 노이즈를 나타내고 있는데, 이것은 導體에 입사한 전파는 일차로 표면에서 반사를 일으키고, 내부로 들어온 전파는 전류로 변환되어 도체내를 흐르다가 熱에너지 등으로 전환되어 소실되지만, 어떤 특수한 경우에는 그대로 전량 전파로 복귀되어 투과하고, 여기에 회절 및 반사되어온 波의 位相이 진행파의 위상과 일치되면 干涉(Interference)을 일으켜 입사한 전파의 振幅보다 더 커진 전파가 통과하게 된 것으로 사료된다. 이런 현상은 다른 차폐재료에서도 어떤 주파수대역에서는 負의 차폐효과가 나타날 수 있음을 가리킨다. 이것을 방지하기 위해서는 차폐체에 반사뿐만 아니라 전파를 흡수할 수 있는 기능을 부여해야 한다고 사료된다.

4.2 강화재의 配向角에 따른 영향

線材의 강화재를 복합재료내에 배치할 때 선재의 배향각이 차폐효과에 미치는 영향을 조사하기 위하여 0.4mm의 銅線을 3mm 간격의 一方向으로 角度를 0, 30, 45, 60, 90도로 변화시켜 배치한 試

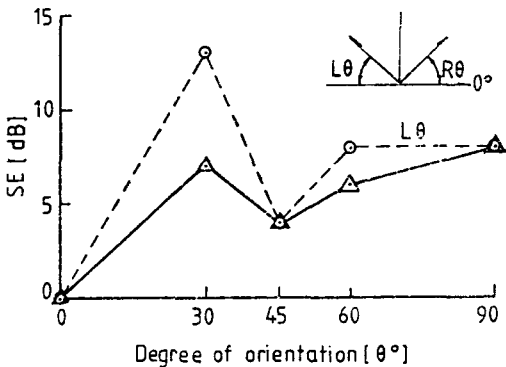


Fig. 5 Graph of SE - degree of orientation of Cu wire at 600MHz(c=3mm).

片을 만들어 노이즈를 측정하였다.

配向角이 水平(0도)인 경우에는 차폐효과가 전혀 나타나지 않았다.⁽⁶⁾ 배향각이 30도일 때에는 차폐효과가 주파수에 따라 심한 변화를 나타내었고, 45도일 때에는 차폐효과는 조금 낮으나 일정하게 나타났으며, 90도까지 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 5는 주파수가 600MHz일 때의 遮蔽效果線圖로서, 동일한 각도를 갖더라도 右向(Rθ)과 左向(Lθ)의 경우 그 효과가 차이를 보였으며, 45도 이외의 각도에서는 좌향각의 차폐효과가 조금 크게 나타났다. 또한, 주파수에 따라서도 큰 차이를 나타내었다. 현재까지는 전파의 차폐에 방향성이 있다는 정도만 알고 있을 뿐 정확하게 규명된 바는 없지만, 전파가 遠方界에서 平面波가 되어 공간상의 X-Y평면을 sine波로 入射한다고 가정하면, 波의 진행방향과 線材의 左右 배치방향에 따라 전파의 입사각이 다르게 되어 반사 및 굴절각(Snell's law)⁽⁷⁾이 다르게 되어 일어나는 현상으로 사료된다. 이상으로 미루어 볼 때 강화재의 배향각이 차폐효과에 영향을 미치므로 실제의 成形제품에서는 배향각을 일정하게 유지한다는 것은 어려우므로 어느 하나의 일정한 角度보다는 直交의 형태가 좋다고 사료된다.

4.3 강화재의 배치간격에 따른 영향

강화재의 配置間隔이 전파의 차폐에 미치는 영향을 조사하기 위하여 0.4mm의 銅線을 水平 및 垂直의 一方向과 直交의 형태로 배치한 試片을

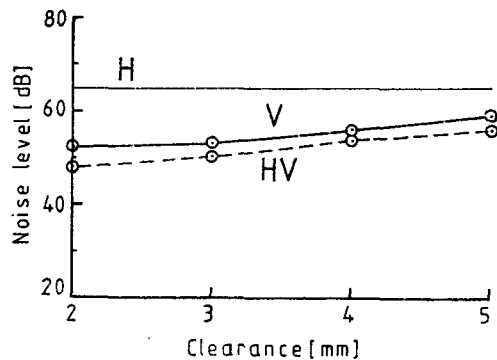


Fig. 6 Graph of noise level-clearance on Cu wire of d=0.4mm at 900MHz.

만들어 실험하였다.

Fig. 6은 900MHz에서의 노이즈 선도로서, 수평 배치(H)의 경우 차폐효과가 없으며,⁽⁹⁾ 수직배치(V)로서 銅線의 간격이 증가하면 노이즈의 투과량도 증가하고, 수직(V)으로 一方向만의 배치보다 수평과 수직의 직교(HV)로 한 것이 노이즈가 적게 나타나서 차폐효과가 더 크음을 알 수 있다. 이것은 일방향 만의 배치보다는 直交의 형태가 차폐효과의 증대에 유리하며, 또한 간격이 좁아질수록 차폐효과가 증가함을 알 수 있다.

4.4 母材(Matrix)의 영향

Fig. 7은 PAN계 탄소섬유(CF)를 織物형으로 하여 母材 필름을 兩面에 대고 250℃에서 Hot press로 성형한 板材(Sheet)에 대한 노이즈선도이다. 모재에 따른 차폐효과는 PC > PP > PEI > PMMA의 順으로 나타났다. 그러나 PC, PP, PEI는 큰 차이를 나타내지 않으나 PMMA의 경우에는 대체로 투과노이즈가 약간 크게 나타났으며, 특히 700~1,000MHz의 帶域에서는 약 5~10dB의 차이를 나타내었다. 母材로 사용된 플라스틱은 모두가 非導電性으로서, 입사한 모든 전파를 투과시킨다.⁽⁶⁾ 그러나 도전성이 있는 強化材와의 복합재료에서는 동일한 強化材라 할지라도 母材에 따라 전파의 차폐효과에는 차이를 나타내고 있다. 이것은 母材와 強化材의 複合成形에 미치는 母材의 성형 특성에 기인하여 강화재의 배향각

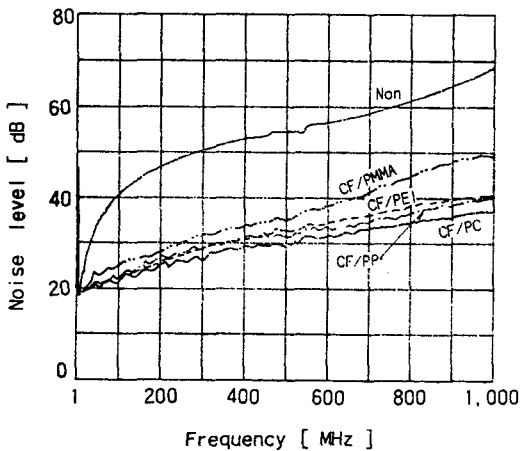


Fig. 7 Effect of resin on the noise diagram of CFRTP.

등을 변화시켰기 때문이라고 보여지므로 모재의 영향은 무시해도 좋다고 사료된다.

4.5 積層의 영향

Fig. 8은 보통의 전기, 전자제품의 차폐용 재료로 가장 많이 활용되는 銅箔, 알루미늄箔 그리고 遮蔽用 塗料에 대한 적층의 효과를 조사하기 위하여 積層數를 변화시켜 측정된 노이즈선도이다. 그림의 (A)는 銅箔을 1, 2, 3층으로 積層한 것의 노이즈선도로서 1층의 경우에는 500~1,000MHz의 帶域에서 35~40dB를 차폐하고, 2~10dB의 노이즈가 투과되었다. 예로 1GHz의 경우를 보면, 1층일 때 약 83%, 2층에서는 약 97%를, 3층일 때에는 全帶域에 걸쳐서 전량의 노이즈를 차폐하였다. (B)는 알루미늄箔의 노이즈 선도로서, 銅箔의 경우보다 투과 노이즈가 조금 크게 나타났지만, 거의 비슷한 결과를 나타내었다. (C)는 차폐용 도

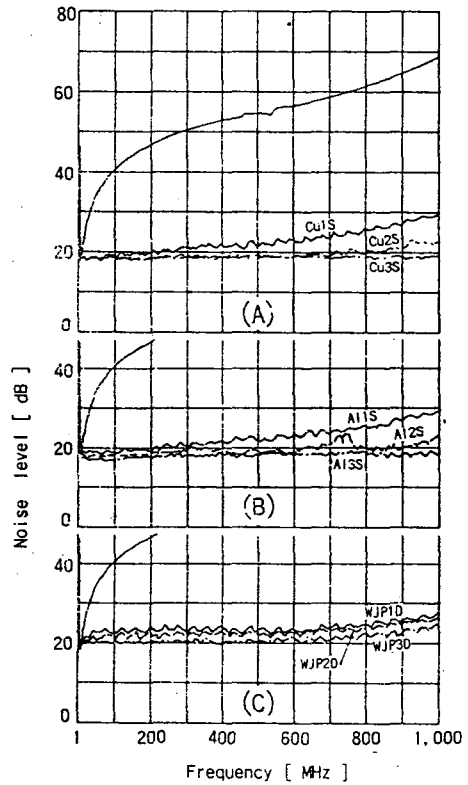


Fig. 8 Effect of lamination on noise diagram of the shielding materials.

료를 분사한 경우로서, 폴리에스터 필름에 도료를 1, 2, 3회 분사한 것의 노이즈선도이다.

전파 차폐용 도료는 銅箔이나 알루미늄箔 보다는 투과노이즈가 조금 크게 나타났으나 큰 차이는 없으며, 여기에서도 噴射횟수가 증가하면 역시 차폐효과가 증가하였다.

이상에서 積層數가 증가하면 모두 전파의 차폐효과가 증가하는 경향을 보이고 있으나, 그의 효과가 積層數에 비례하지는 않았다. 즉, 일례로 銅箔의 1GHz일 때를 보면, 1층의 경우에는 40dB의 크다란 차폐효과를 보이고 있으나 2층에서는 47dB, 3층에서는 50dB의 차폐효과를 나타내어 그의 증가폭이 매우 적다.

이것은 전파를 흡수할 수 있는 $\lambda/4$ 의 충분한 두께가 아니면 차폐효과의 증가폭이 크지 않다. 즉, 입사한 전파는 表皮效果(Skin effect)에 의한 표면에서의 반사로 차폐효과를 내고, 금속 내부로 들어온 전파는 그대로 투과하기 때문이다.^(9, 10) 따라서 실제로는 재료의 두께를 $\lambda/4$ 만큼 두껍게 할 수는 없으므로 두께보다는 強化材의 표면의 밀도를 증가시켜 전기저항을 줄여서 차폐효과의 증대를 도모해야 된다고 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 電子機器의 케이스用플라스틱複合材料에 사용할 強化材의 材質이나 形態 및 적층 등이 電波의 遮蔽效果에 미치는 영향을 실험적으로 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 導電성을 가진 재료는 모두 電波의 차폐효과를 나타내며, 도전성이 좋을수록, 밀도가 클수록 차폐효과가 증가한다.

(2) 導電性粉体는 도전성을 갖기 위한 粉体의 密度를 크게 해야 하고, 酸化를 방지하기 위한 表面處理가 필요하다.

(3) 一方向線材는 配向角에 따라 차폐효과가 다르다. 수평배치에서는 차폐효과가 없고, 左右方向에 따라서도 다르지만, 45도일 때에는 좌우의 변화가 없다. 따라서 一方向보다는 直交型으로, 배치간격은 조밀하게 하는 것이 좋다.

(4) 플라스틱母材는 전파의 遮蔽性이 없다.

그러나 강화재와의 복합성형시에는 약간의 차이를 나타낸다.

(5) 積層에 의해 차폐효과는 증가하지만, 積層數에 비례하지는 않는다.

참고문헌

- (1) 赤尾保男, 1991, "環境電磁工學の基礎," 電磁情報通信學會, pp. 3~11, p. 202.
- (2) 山下榮吉, 1992, "應用電磁波工學," 近代科學社, pp. 202~246.
- (3) 金東鎭, 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.
- (4) 清水康敬외3, 1989, "電磁波の吸收と遮蔽," 日經技術圖書, pp. 224~253.
- (5) 金東鎭, 村上理一, 1998, "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2報, CFRTPの電波特性に及ぼす 壓縮及び衝擊損傷の影響)," 日本機械學會論文集, 第64卷, 第617號(A編), pp. 118~124.
- (6) 金東鎭, 1997, "炭素纖維強化プラスチックの電波特性に関する研究," 博士學位論文, The University of Tokushima, pp. 74~78.
- (7) 李秉洪외1, 1995, "基礎안테나 및 電波工學," 東洋科學社, pp. 49~57.
- (8) Dong-jin Kim and Ri-ichi Murakami, 1997, "The Evaluation of the Characteristics of EM Waves on CFRTP for Multimedia Instrument Applications," *The Journal of Korea Electromagnetic Engineering Society*, Vol. 8, No. 3, pp. 254~263.
- (9) Dong-jin Kim and Ri-ichi Murakami, 1996, "Effect of Tensile Strain on Characteristics of the Electromagnetic Waves on CFRTP for Multimedia Instrument Applications," *APCFS '96*, pp. 761~766.
- (10) 金東鎭, 村上理一, 1998, "電磁遮蔽用 플라스틱複合材料의 開發을 위한 強化材의 性能 評價," KSME 추계 학술대회論文集 A, pp. 102~107.