

導電性 粉體의 電磁遮蔽에 관한 研究

金 東 鎭*

A Study on the Electromagnetic Shielding of Conductive Powder

Dong-jin Kim

Key Words: Conductive powder(도전성 분체), Electromagnetic shielding(전자차폐), Lamination(적층), Noise(노이즈, 불요전자파), Shielding box(차폐상자), Shielding effectiveness of electromagnetic waves(전자파 차폐효과), Spectrum analyzer(분광분석기)

Abstract

In this paper, shielding effectiveness(SE) of the shielding paint of electromagnetic(EM) waves was investigated with actual experiments. The shielding paint used in this study were made of powder of conductive materials - Ag, Cu, Al, Sn, Ni, Cr, Graphite and Charcoal etc. with a solubility in oil and water. Also, the paper was used as a base sheet. 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, nickel 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 about the EM shielding paint. The SE strongly depended on the electric resistance by density of 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. 또, 최근 많이 건축되고 있는 지능형 건물(intelligent building)에서는 무선 LAN(local area network)이 사용되기 시작하였고, 정보통신기기의 비약적인 증가에 따라 건물 내의 전자파는 매우 복잡하게 되고, 이것이 여러 가지 정보기기에 악영향을 미칠 가능성이 크게 되었으므로 이를 방지하기 위해서 전자기기의 케이스(casing or housing)는 물론, 건물의 벽이나 창호의 재료에도 전자파를 차폐(shielding) 혹은 흡수(absorption)하는 성능을 부여할 필요가 있게

† 유한대학 기계설계과

E-mail : kimdj@yuhan.ac.kr

TEL : (02)2610-0721 FAX : (02)2610-0777

되었다.

전자기기를 위한 전자파 차폐재료에는 광대역(廣帶域)의 주파수에 대해서 적어도 20dB 이상의 차폐효과(shielding effectiveness)를 가진 재료의 개발이 요구된다.

또한, 광대역의 주파수에 대해서 전자파 차폐 성능을 가지고, 건축재 및 전자기기의 오동작에 대응하기 위해서는 유연한 구조의 소재(素材)의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 전자기기의 케이스용 재료로 많이 사용되고 있는 플라스틱 소재의 표면에 전자파 차폐도료를 도포하여 전자파의 차폐기능을 부여하여 이들 불요전자파 즉 노이즈(noise)가 외부로 방출되지도 않고, 또한 외부로부터 내부로 들어오지도 못하게 함으로서 소기의 목적을 달성할 수가 있도록 하기 위한 기초자료를 구하고자 한다. 플라스틱 재료의 표면에 도전성을 가진 금속의 분체를 유용성(油溶性) 혹은 수용성(水溶性) 고분자용액에 혼합하여 만든 차폐도료를 도포하여 도전성을 부여하였다. 따라서 여러 종류의 시편을 만들어 도전성을 측정하고, 분광분석기를 이용하여 전자파의 차폐특성을 실험적으로 조사한 후, 비교·검토해 봄으로서 전자파의 차폐효과에 미치는 도전성 분체의 입자의 밀도, 형태 및 적층(積層) 등에 의한 영향을 조사하였다.

2. 전자파 차폐 효과

전자차폐(電磁遮蔽)는 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 차폐효과를 측정한다.

차폐효과, SE는 차폐체가 없을때의 전자계와 있을때의 전자계의 비(比)로서 식(2-1)과 같이 정의된다.

$$SE = 20 \log(E_0/E) = V_0 - V \text{ [dB] } \dots(2-1)$$

여기서 E_0 및 V_0 는 차폐하지 않을때의 전자계로서 전계강도 및 노이즈 레벨(dB, decibel)이고, E 및 V 는 차폐했을 때의 전계강도 및 노이즈 레벨이다^(1, 2, 3).

Fig. 1은 전자파가 차폐재료에 입사할 때의 감쇠기구를 표시한 것이다^(1, 2, 3). 그림에서 전자파의 입사량, I는 식(2-2)와 같이 된다.

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

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 전파의 투과량이다. 그리고 차폐효과(SE)는 입사량(I : incident waves)과 투과량(T : transmitted waves)의 차(差)이므로 다음의 식(2-3)과 같다^(1, 2, 3).

$$SE = R_1+D+R_2 = I-T = V_0-V \text{ [dB]}\dots(2-3)$$

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험재료

본 실험에 사용한 도전성재료의 분체로는 은, 구리, 알루미늄, 주석, 니켈, 크롬, 흑연 및 숯의 분말과 산화주석의 분말 및 결정을 사용하였다. 분체의 크기는 200 mesh를 기준으로 하였다.

도료의 제조에는 폴리우레탄 및 아크릴의 유용성(油溶性) 용액과 전분(澱粉)의 수용성(水溶性)의 용액-물풀을 사용하여 여기에 일정한 질량비로 분체를 혼합하여 만들고, 이것을 기지(基紙)에 도포하여 시험편을 제작하였다. 기지(基地)로는 켄트지를 사용하였다.

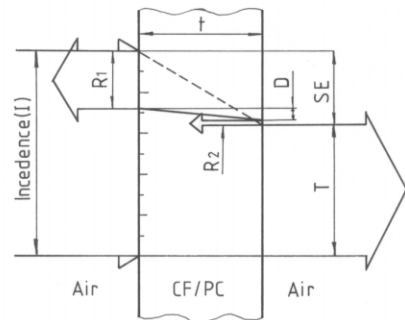


Fig. 1 Damping mechanism of EM shielding materials.

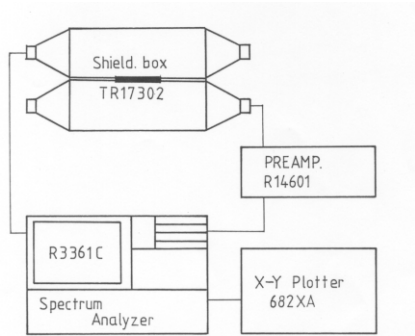


Fig. 2 Measuring system of the EM noise.

본 실험에 사용한 시험편의 크기는 50×150 mm로 하고, 각각 4 매씩 만들어 그중 3매씩을 선택하여 실험하였다.

3.2 실험장치

(1) 차폐상자(shielding box) : 본 실험에 사용한 차폐상자는 Fig. 2에 도시한 것과 같은 형태로 ADVANTEST製의 TR17302 차폐재료 평가기이다. 이것은 송신 및 수신용의 2개의 TEM Cell로 형성돼 있으며, TEM Cell내의 임피던스(impedance)가 $377\Omega (=E/H=120\pi)$ 으로 되는 것을 이용하여 원방(遠方)계에 있어서의 차폐효과를 측정한다.

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

3.2 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. 20×100 mm의 장방형 구멍을 가진 어댑터에 50×150 mm의 시험편을 6개의 볼트로 고정시키고, 차폐상자와 분광분석기의 연결은 상부의 TEM Cell을 발진용으로, 하부의 TEM

Cell을 수신용으로 하였다.

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

Table 1 Initial setting parameters.

NO	Measurement parameter	Value
1	Average a times	50
2	Center frequency step	500 Hz
3	Resolution bandwidth	100 kHz
4	Video bandwidth	1 MHz
5	Sweeping velocity	200 ms

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 금속성 분체의 도전성

금속의 대부분은 그의 차이는 있으나 도전성을 가지고 있는 양도체이다. 그러나 그 금속을 분체로 만들면 Table 2와 같이 그의 성질에 많은 변화를 가져온다.

Table 2 Characteristics of metallic powder.

N O	Matter	Color		Conductivity			SE
		Lump	Powder	Lump	Powder	Paint	
1	Ag	sil. white	l. yellow	○	○	○	○
2	Cu	cop. red	unchange	○	○	△	△
3	Al	white	unchange	○	×	×	×
4	Sn	white	black gray	○	△	×	×
5	Ni	white	black	○	○	△	△
6	Cr	white	gray black	○	×	×	×
7	Graphite	black	black	○	○	△	△
8	Charcoal	black	black	○	○	△	△
9	SnO ₂	translucent	white	○	×	×	×

은(銀)은 보통 백색의 광택을 내지만 이의 분체는 황색을 띄고 있으며, 도전성이 유지된다. 산화가 잘 되지 않아 가장 좋은 차폐재료이지만 값이 고가이다. 도료에서도 유용성이나 수용성 용액에 관계없이 우량한 차폐효과를 나타내었다.

동(銅)은 분체로 되어도 거의 색깔의 변화가 없으며, 도전성도 유지되지만, 표면에서의 산화가 빨라 쉽게 도전성을 상실하였다. 따라서 이것은 도전재료로서 첨가하기보다는 다른 금속의 산화

를 방지하기 위해 첨가하는 것이 좋다고 생각된다. 특히 수용성 용액에서는 녹청색의 산화물을 형성하므로 도료로 사용하기는 어렵다.

알루미늄은 양도체이지만, 이의 분체는 색은 그대로 유지되지만 도전성을 상실한다. 이 분체를 금형에 넣고, 1,000 kg의 하중을 가해 압축성형하여도 도전성을 나타내지 않았다. 이는 알루미늄 분체의 표면에 산화된 보호막의 형성으로 도전성이 상실되는 것으로 추정된다. 도료에서도 외형은 좋으나 차폐효과가 나타나지 않았다. 더구나 적층시에는 공진(共振) 등의 전파의 간섭을 일으켜 부(負)의 차폐효과를 초래하였다.

주석(朱錫)은 회백색이지만, 분체는 흑회색으로 변화되며, 도전성이 좋지 않으나, 압축성형하면 회복되었다. 그러나 도료에서는 차폐효과를 나타내지 않았다.

니켈은 보통 흰색의 광택을 내지만, 분체는 흑색을 나타내고, 도전성을 유지하였다. 도료에서도 차폐효과를 나타내었다.

크롬은 흰색이지만, 분체는 흑회색을 나타내고, 도전성을 상실하였다.

흑연과 숯은 흑색으로서 양도체이다. 분체로 하여도 색상의 변화는 없으며, 도전성도 어느 정도 유지한다. 그러나 숯은 동일 질량일 때 체적이 커져서 첨가량이 크게 증가하여 비교가 잘 되지 않았다.

산화주석은 두가지로 분류된다. 순수한 산화주석의 분말은 백색으로서 도전성이 없다. 옛날부터 백색안료로 사용되어 왔다. 그러나 동일한 산화주석이라 해도 주석의 광석(鑛石)인 석석(錫石)의 산화주석 결정은 좋은 도전성을 나타내며 투명하다.

Fig. 3은 분체의 질량함량을 일정하게 한 은분(銀粉)의 도료와 니켈-동분(銅粉)의 도료에 대한 노이즈선도이다. 대체적으로 은분의 경우에는 전대역에 걸쳐서 약 22 dB의 차폐효과를 보이고 있으나 니켈-동분의 경우에는 150 MHz까지는 미소한 차폐효과를 나타내지만 서서히 증가하여 700 MHz에서 20 dB, 1 GHz에서는 최대 24 dB의 차폐효과를 나타내었다. 특이한 점은 750 MHz 이상에서는 은분 보다도 낮은 노이즈를 나

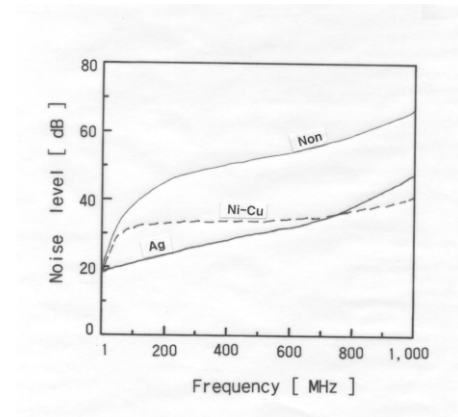


Fig. 3 Noise diagram against the paint of silver and nickel - copper powder.

타내어 더 좋은 차폐효과를 나타내었다.

한편, 보통 금속이 산화되면 본래의 전기도전성을 상실하게 된다. 그러나 주석의 경우에는 다르다. 순수한 산화주석의 분체는 도전성이 없으나 주석의 광석인 산화주석(錫石)의 결정은 도전성이 있을 뿐만 아니라 투명하다. 이것을 차폐재료로 응용하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 산화주석의 결정을 성막하여 전기저항을 측정하고 실험하였다.

산화주석의 성막을 위해서는 다음과 같은 과정을 수행하였다. 먼저 주석을 염산에 녹여 염화제1주석이 만들고, 이것을 가열, 건조시키면 무색, 방사형의 결정이 석출한다. 이 결정에 다시 염산을 가하면 염화제2주석의 액체가 만들어진다. 이 용액을 400~800°C로 가열한 유리판 또는 석판 등에 무화 분사하면 산화주석의 투명한 막이 형성된다. 이 막은 산화주석의 결정으로서 양호한 도전성을 나타내었으므로 좋은 차폐재료의 가능성을 보였다. 그러나 본 실험에서는 설비 문제로 시편크기(150x50 mm)로 균일하게 성막하기가 어려웠다. 또한, 산화주석의 결정은 흡습성이 있으므로 방습을 위한 처리가 필요하다.

4-2 용액(溶液)의 영향

본 실험에서는 전기부도체인 고분자재료에 도전성을 부여하기 위한 여러 가지 방법중의 하나로 가장 간단한 방법인 기지재료의 표면에 도

전성의 도료를 도포하는 것이다. 고분자물질의 용액은 모두가 좋은 절연체이지만 여기에 도전성을 가진 물질의 분체를 혼입하면 도전성을 갖게 된다.

특히 지금까지는 거의 모든 도료가 환경유해물질인 유용성(油溶性)의 용액을 사용하지만, 본 연구에서는 공해가 없는 수용성(水溶性)용액의 사용가능성에 주안점을 두었다.

Fig. 4는 은분 10 g에 폴리우레탄용액 10 g 혹은 수용성인 물풀 10 g을 혼입한 도료를 도포한 시편에 대한 노이즈선도이다. 전체적으로 물풀을 이용한 쪽이 낮은 노이즈를 나타내고 있다. 이것은 물풀을 사용하는 편이 차폐효과가 더 좋다는 의미이다. 더구나 물풀의 편이 주파수에 따른 기복이 없이 안정된 차폐효과를 나타내고 있다.

Fig. 4에서 500 MHz에서 POU(우레탄)는 투과노이즈가 42 dB이고 차폐효과는 12 dB, GLU(물풀)는 투과노이즈가 약 32 dB이고, 차폐효과는 22 dB를 나타내었다. 즉, GLU편이 POU보다 약 10 dB의 높은 차폐효과를 나타내었다.

이상에서 도료에 수용액을 사용해도 무관하며, 오히려 차폐효과를 더 높여주므로 더욱 좋은 용액이 될 수 있음을 알 수가 있다. 따라서 현재 도료에 사용되고 있는 유용성 용액을 수용성용액으로 전환해도 차폐효과에 지장이 없음을 알 수 있다. 그러나 수용성의 도료는 환경유해물질을 발산하지 않고 값이 싸다는 이점이 있지만, 수용액에서는 금속성 분체의 산화가 잘 일어난다는 문제가 있으므로 분체의 선택에 주의를 요한다.

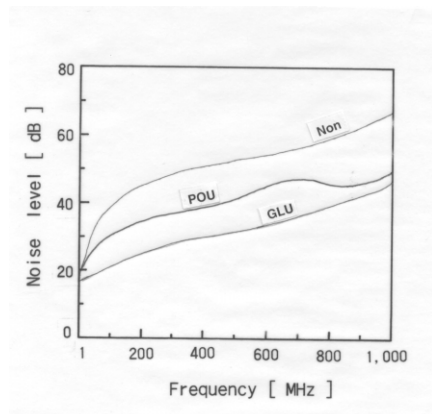


Fig. 4 Effect of a solubility in oil and water on noise diagram.

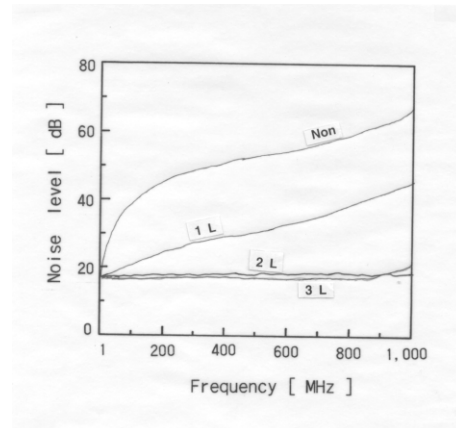


Fig. 5 Noise diagram on the lamination of silver-glue paint.

또한 건조하는데 시간이 많이 소요되며, 흡습성이 있으므로 방습처리가 필요하다는 단점이 있다. 이에 대한 대책으로는 용제로 물대신 조금 고가이기는 하지만 알콜을 사용하면 어느 정도 개선이 가능하다고 사료된다.

4-3. 적층(積層)의 영향

Fig. 5는 적층의 효과를 조사하기 위하여 수용성의 풀(糊) 10 g에 은분 10 g을 첨가하여 만든 도료를 도포한 시편을 1매, 2매 및 3매로 적층하여 측정된 노이즈선도이다.

1매의 경우에는 500 MHz에서 최대 22 dB의 차폐효과를 보이며, 전체적으로 약 20 dB의 균일한 차폐효과를 나타내었다. 2매의 경우에는 3매일때보다 1~2 dB 정도의 미소한 높은 값을 보일 정도로 전대역에 걸쳐서 거의 모든 노이즈를 차폐하였다. 3매의 경우에는 800 MHz에서 약 59 dB의 노이즈 중 17 dB의 노이즈를 투과시켜 42 dB의 차폐효과를 나타내고 있다. 그러나 17 dB는 제거할 수 없는 기본노이즈로 보면 전량을 차폐시킨 것이다. 그러나 860 MHz대역에서부터 미약하지만 노이즈의 상승을 가져와 1 GHz에서는 차폐효과는 46 dB로 증가하였지만 차폐율은 90%로 감소하였으며 2매의 경우보다도 차폐효과가 감소하였다. 이것은 전자파의 공진 및 회절 등에 의한 간섭에 의해 투과노이즈가 커진 것으로 사료된다.

즉, 대체로 적층수가 증가하면 차폐효과가 증가한다고 표현할 수는 있으나 2층 이상에서는 그 효과가 의문스러우며, 전자파의 간섭(干涉) 등을 고려하여 특성에 맞도록 적층할 필요가 있다고 생각된다.

이상에서 적층수가 증가하면 모두 차폐효과가 증가하는 경향을 보이고 있으나, 그의 효과가 적층수에 비례하지는 않았다. 이것은 전파를 전부 흡수할 수 있는 파장(λ)의 1/4의 충분한 두께가 아닌 한 차폐효과의 증가폭이 크지 않다. 즉, 입사한 전파는 재료의 표면에서의 표피효과(skin effect)⁽¹⁾에 의해 차폐효과를 내고, 금속 내부로 들어온 전파는 흡수되지 못하고 그대로 투과하기 때문이다^(1~7). 실제로는 재료의 두께를 $\lambda/4$ 만큼 두껍게 할 수는 없으므로 두께보다는 도전성 분체의 표면의 밀도를 증가시켜 전기저항을 줄여서 도전성을 증가시켜 반사에 의한 차폐효과의 증대를 도모해야 된다고 사료된다.

결 론

본 연구에서는 전자파 차폐도료의 개발을 위하여 도전성 분체와 고분자 용액을 사용하여 유용성 및 수용성 용액을 사용한 도료를 만들어 그들의 제질과 형태 등에 대하여 전파의 차폐효과에 미치는 영향을 실험적으로 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 도전성을 가진 재료라고 해도 그것을 분체로 만들면 도전성이 변화한다.
- (2) 전자파 차폐도료의 차폐효과를 높이기 위해서는 도전성을 증가시켜야 하므로 분체입자의 밀도를 증가시켜야 한다.
- (3) 금속분체 표면의 산화막은 절연체가 되므로 입자의 표면에 산화막의 형성을 방지해야 한다.
- (4) 도료의 용제로 수용액(水溶液)을 사용해도 좋은 차폐효과를 나타내므로 응용을 위한 보다 깊은 연구가 필요하다.
- (5) 적층에 의해 차폐효과가 증가하지만, 적층수에 비례하지 않는다.

참고문헌

- (1) Dong-jin Kim, 1997, "A Study on the Characteristics of Radio Waves of Carbon Fiber Reinforced Thermal Plastics, Univ. of Tokushima in Japan, A Doctoral dissertation, pp. 1 ~ 78.
- (2) Dong-jin Kim and Ri-ichi Murakami, 1996, "Evaluation of the Characteristics of Electromagnetic Waves of CFRTP for Multimedia Instruments Applications(1st Report)", Transactions of the JSME, Vol. 62, No. 694(A), pp. 173~ 178.
- (3) Dong-jin Kim and Ri-ichi Murakami, 1998, "Evaluation of the Characteristics of Electromagnetic Waves of CFRTP for Multimedia Instruments Applications(2nd Report)", Transactions of the JSME, Vol. 64, No. 617(A), pp. 118~ 124.
- (4) Dong-jin Kim and Ri-ichi Murakami, 1999, "Performance Evaluation on the Reinforcing Material of Plastic Composites for the electromagnetic Shielding", Transaction of the KSME, Vol. 23, No. 6, pp. 1048~ 1054.
- (5) Dong-jin Kim and Ri-ichi Murakami, 1997, "The evaluation of the characteristics of electromagnetic waves on CFRTP for multimedia instruments applications", Transactions of the KEES, Vol. 8, No. 3, pp. 254~ 263.
- (6) Dong-jin Kim and Ri-ichi Murakami, 1999, "A Study on the Reinforcing Materials of Plastic Composites for the Electromagnetic Shielding", Int. Conf. of AMDP '99, Vol. 1, pp. 322~328.
- (7) Dong-jin Kim, 2002, "Effect of Cr and Al Sputtered Sheet for the Electromagnetic Shielding", Proceedings of the 3rd Japan-Korea Joint Symposium on Composite Materials, pp. 121~122.