

전자파 차폐용 고분자 복합재료

오 택 수

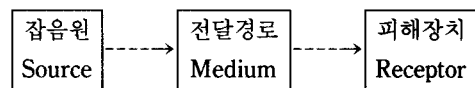
서 론

전자산업의 급속한 발전과 정보사회의 구축에 따른 각종 전자장비의 수요가 급증하는 사회 변화에 따라 사용하는 주파수 스펙트럼이 확장되고 전파잡음 (electromagnetic noise)이 급증함에 따라 각종 전자장치 상호간에 장해현상이 발생할 확률이 높아지고 있다. 또한 각종 전자장비들에 들어가는 전자소자 및 회로들이 저전력화, 고집적화되어 소형화되어가는 추세이므로 전자잡음에 더욱더 민감해지는 것이 주요 원인이다.¹

이러한 전자잡음은 자연적인 것과 인위적인 것으로 나눌 수 있다. 자연적인 source는 전자폭풍, 우주잡음, 태양방사 등이고 인위적인 source는 고의적인 것과 비고의적인 것으로 나뉘어지며, 고의적인 (intentional) source는 기능수행상 의도적으로 무선주파수를 발생시켜 송신하는 것으로 AM, FM, TV 방송수신기 및 radar, mobile radio등이 해당되며, 비고의적인 (unintentional) source는 computer, TV, monitor 등과 같이 통신목적이 아닌 장치로 부터 발생하는 무선주파 energy 원을 말한다.²

임의의 전기전자 시스템에서 EMI(electromagnetic interference) 현상이 발생하는 과정에 대한 기본 원리는 다음의 그림과 같이 잡음원과 이 잡음의 전달경로 피해장치가 동시에 존재할 때만이 가능한 것으로 이중의 한요소라도 제거되거나 존재하지 않으면

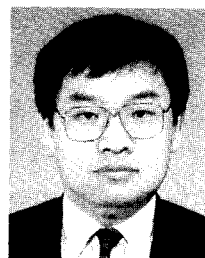
면 EMI 문제는 발생하지 않게된다.^{3~5}



그리고 전자파 장해방지를 위한 대책은 잡음원의 전자파 발생을 억제하는 방법과 일정잡음 상황에서도 정상상태를 유지할 수 있도록 기기의 잡음에 대한 내성을 증진시키는 방법이 있다.

국내외에서의 전자기파에 대한 규제⁶

전자파 환경의 규제에는 능동방해 (active interference) 규제와 수동방해 (passive interference) 규제가 있다. 전자는 불필요한 전자파의 복사를 발생시키는 측의 규제이며, 후자는 방해받는 기기가 방해를



오택수

1978 고려대 재료공학과 (공학사)

1980 고려대 재료공학과 (공학석사)

1987 고려대 재료공학과 (공학박사)

1987~ 산업과학기술연구소

현재 유기재료연구분야 (주임연구원)

Polymeric Composite Material for Shielding of Electromagnetic Interference

산업과학기술연구소 유기재료연구분야(Taeg-Su, Oh, Organic Materials Division, RIST, P.O. Box 135 Pohang, Kyung Buk 790-600, Korea)

배제하는 능력(immunity)을 요구하는 것으로 이것들을 EMI/EMC 규제라고 한다.

대표적인 규제기구로는 CISPR (comite international special des perturbations radioelectriques, 국제무선장해특별위원회), PCC (federal communications commission, 연방통신위원회, 미국), VDE (verband deutscher electrotechniker, 서독 전기기술협회, 독일) 및 일본의 VCCI (voluntary control council for interence by data processing equipment and electronic office machines, 정보처리 장치등 자주 규제협의회) 등이 있다.

우리나라에서는 1989. 12. 30 전파관리법에 전자파 장해검정시행의 법적근거를 마련한 후 '90. 9. 3 전자파 장해 검정규칙을 제정, 공포하고 그후 '90. 9. 28 세부 품목을 고시하므로써 EMI 규제에 관한 기본적인 틀을 갖추기 시작했다.

현재의 전자파 장해 검정규칙에는 잡음원의 전자파 발생 억제에 초점이 맞추어져 있다. 전자파는 주파수에 따라 인체에 해로울 수가 있으며, 어느정도의 전자파 복사가 인체에 해로우나하는 문제는 아직 논란의 여지가 많다. 또한 인체에 해롭지 않은 주파수 대역의 전자파 복사도 오랜시간 동안에 노출되었을 때 인체에 어떤 영향을 주는지에 대해 잘 알려져 있지 않으나, 일부 연구보고에 따르면 비록 약한 전자파라도 장시간 지속적으로 노출되면 인간의 중추신경에 영향을 준다고 한다.

전자기파의 측정^{7~9}

전자기파 장해에 대한 측정결과를 얻기위해서 고려되어야 하는 측정조건은 다음과 같다. 시험장소(test sites), 측정기기(measurement instrumentation), 측정주파수대역, 시험대상기기(EUT)의 배열, 시험환경(test environments), 시험대(test platform), 접지면(ground plane) 등이 있다. 측정시설에는 지표반사면을 갖춘 야외시험장(open area test site), 전자파반무향실(semi-anechoic chamber), TEM cell, 평행판선로(parallel plate line),

그리고 reverberating chamber등이 있으며, 방출잡음 측정장비는 기본적으로 감지기(detector)와 수신기(receiver)로 구성되며 잡음내성을 측정하기 위해서는 신호발생기와 고출력증폭기, 그리고 고이득송신안테나 등이 필요하다. 또한 전자파장해 측정의 주요문제는 측정결과로서 매우 많은 결과가 얻어지기 때문에 측정의 자동화가 필수적이다.

차폐효과(Shield Effect, SE)^{10,11}

일반적으로 전자기파는 Fig. 1과 같이 어떤 매질에 입사하여 일부는 반사되고, 일부는 투과하는 것이다. Shield 효과는 전장과 자장으로 구별되어 shield 전자계 강도와 비 shield시의 전자계 강도를 비교하여 그 비를 나타낸 것이고, 측정도 이같은 방법에 의해서 한다.

수식적으로 SE는

전장의 경우

$$SE = 20 \log \{ (|E| \text{ 非 shield 시}) / (|E| \text{ shield 시}) \}$$

자장의 경우

$$SE = 20 \log \{ (|H| \text{ 非 shield 시}) / (|H| \text{ shield 시}) \}$$

Shield 효과는 재료, 발신원과 수신점에서의 거리, shield재의 접합부, potential의 불연속성, field의 종류등 수많은 요인들이 복잡하게 형성되어 있기 때문에 많은 어려운 점을 내포하고 있다.

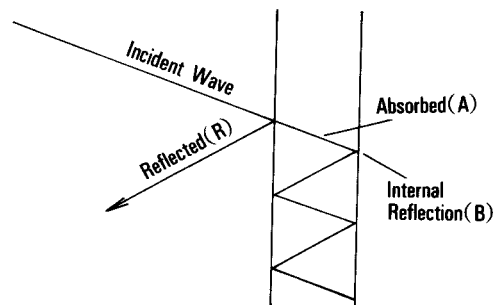


Fig. 1. The total shielding effectiveness(SE) is the sum of the energy reflected(R), plus the energy absorption(A) or $SE = R + A$.

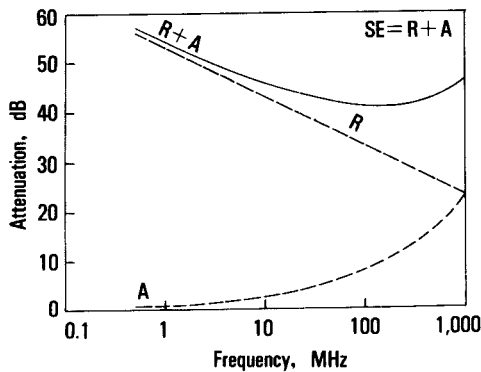


Fig. 2. High conductive material, such as metal, shields almost entirely by reflection(R), composite products shield almost 80% by reflection and about 20% by absorption.

실제적으로는 이것을 단순화시켜서 고려해야 한다.

균일한 도체에서의 shield효과는 Fig. 2에서와 같이 나타난다.^{12,13}

$$SE(dB) = A + R + B$$

(A : 흡수손실, R : 반사손실, B : 복합반사 factor)

흡수손실과 반사손실은 field가 강해지면 감소하는 인자이며, B는 자장에 대한 보정항이다.

복합재료의 복소유전율¹¹

플라스틱이나 ceramic에 carbon등의 저항체, Al과 같은 전도성 충전제를 첨가한 복합재료에서 금속 flake는 전파를 산란시키고, 저항체는 전파를 흡수하는 능력이 크며 재료의 두께가 증가할 수록 이러한 효과는 증가한다. Fig. 3은 이러한 것을 잘 나타내고 있다.

Matrix(I)중에 충전제(II)가 혼합되어 있는 복합재료의 경우 입자가 크고 파장이 충분히 짧을때 Potential ϕ_1 , 전계 E_1 에 대해서 준정적 해석에 의한 복소 유전율은(Fig. 4)

$$\epsilon_i^* = \epsilon_i - j(\sigma_i/w)$$

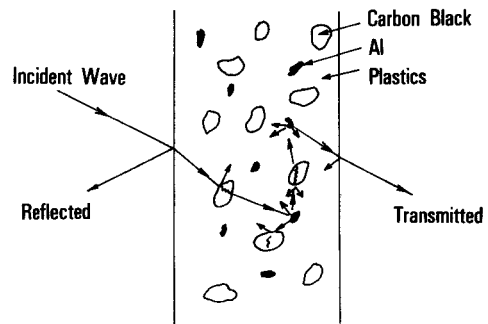


Fig. 3. Composite material mixed with conductor and resistor.

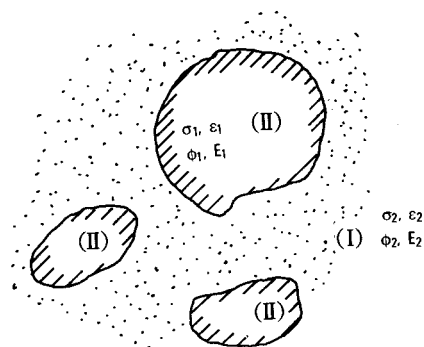


Fig. 4. Composite material.

v를 영역 (II)의 전체에 대한 부피분율이라 하면

$$\epsilon - \epsilon_1^* \ll \epsilon_1$$

등가복소유전율은 영역 (II)가 반경 a, b인 타원체라고 가정하면 기하형상계수 n을 사용하여

$$\epsilon^* = \epsilon_1^* \left\{ 1 - v \frac{n(\epsilon_2^* - \epsilon_1^*)}{(n-1)\epsilon_1^* + \epsilon_2^*} \right\}$$

n=1일때 타원체, n=3일때 구이다.

전도성 고분자 복합재료는 금속과 같은 전도도는 나타내지 못하나 상업적으로 1~3mm 정도의 두께를 가지며, 차폐 효과는 30~40 dB 정도이다.

이 값은 들어오는 전자기파의 99.9~99.99%의 차폐효과를 나타내는 것이다.

플라스틱내의 금속이나 카본입자들은 전자기파를

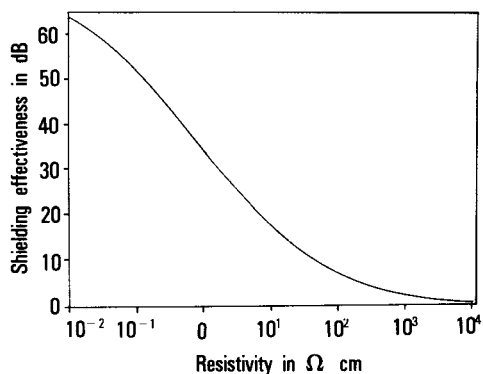


Fig. 5. Log volume resistivity vs average shielding.

Table 1. EMI Shielding Effect

SE(dB)	EMI-leakage(%)	Value Judgement Technical
0- 10	10^2-10^1	Insignificant
10- 30	10^1-10^{-1}	Minimal
30- 60	$10^{-1}-10^{-4}$	Average
60- 90	$10^{-4}-10^{-7}$	Above Average
90-120	$10^{-7}-10^{-10}$	Max. Surpassing Pres. Technology

흡수 또는 반사시킨다.

전도물질이 균일할 때 전자기파는 다음식에 의해서 흡수된다.¹⁴

$$A = 3.34 \cdot t \sqrt{F \cdot \sigma \cdot \mu}$$

A : Absorption expressed in dB

t : Material thickness in on thousandths of an inch(mils)

F : Frequency in MHz

σ : Conductivity relative to copper

μ : The relative magnetic permeability

전기저항과 차폐효과에 대한 일반적인 관계식은 없으나, 대개 Fig. 5와 같은 관계가 성립되며, 차폐효과는 Table 1과 같다.

전자파 차폐재료

전자파 차폐재료에는 전도성 고무, 전도성페인트, 아연용사, 전도성 플라스틱 등이 있으며 주로 전도성 충전제를 혼합하여 사용한다.^{15,16}

Table 2. Summary of Conductive Filler

계	통	분	류	종	류	특	징
			카본블랙	Acetylene Black			고순도, 분산성 양호
				Oil Furnace Black			고전도성
				Thermal Black			저전도성, 저 cost
				Channel Black			저전도성, 착색용, 입자크기가 작다
카	본	계	카본화이하	PAN 계			공통문제 : 흑색
				Pitch계			전도성양호, cost가 높다
				천연 Graphite			가공성이 문제
				인공 Graphite			PAN계에 비해 저전도성, 저 cost
금	속	계	금속미분말	Ag, Cu, 합금			산화변질의 문제
				ZnO, SnO ₂ , In ₂ O ₃ , CuI			색깔이 다양, 저전도성
				Al			
				Al, Ni, Stainless			
기	타		Glass bead	금속표면 coating			가공시 변질의 문제
			Glass fiber				
			Coating				

전도성 충전제의 요구되는 특성¹⁷

- 1) 충전제의 첨가량과 전도성이 자유롭게 변화하며, 혼련시 저항변화가 적어야 한다.
- 2) 복합화에 따른 경시변화가 적어야 한다.
- 3) 복합화에 따른 강도, 유동성, 성형성 등이 적당히 조화를 이루어야 한다.

Table 3. Resistivity and Filler Content

충진제	첨가량 W%	체적저항 $\Omega \text{ cm}$	비고
Metal Fiber	20-50	10^0-10^2	Size, aspect ratio에 따라 첨가량이 다르다.
Carbon Fiber	15-35	10^3-10^4	PAN계와 Pitch계가 다르며 단독사용시 Cost가 비싸다.
Flake상 Filler Al	40-60	10^2-10^3	입경에 따라 전도도의 차이가 난다.
Metal Coating Mica Graphite			강도의 저하가 크다.
입자상 Silver Coated Glass Bead Ni Powder	50-70	10^2-10^3	첨가량이 많을 때 전도성이 나타난다. 유동성, 강도의 저하가 크다.
카본블랙	6-45	10^4-10^5	넓은 범위의 응용이 가능하다. 유동성이 저하된다.

4) 복합화 시켰을 때 안전성이 높아야 한다.

5) 가격이 저렴해야 한다.

그리고 이러한 전도성 충전제의 종류와 첨가량 및 용도를 Table 2, Table 3, Table 4에 나타냈다.^{18,19}

여기에서 대표적인 전도성 충전제인 각종 금속의 주파수 대역별 특성은 Table 5와 같다.^{20,21}

Al은 낮은 비중, 철은 높은 자기투자를 때문에 금속 충전제 중에서 유망한 전자기와 차폐 재료에 사용될 수 있다.²²

전도성 고무²³

고무에 일반적으로 사용되는 충전제는 다음과 같다.

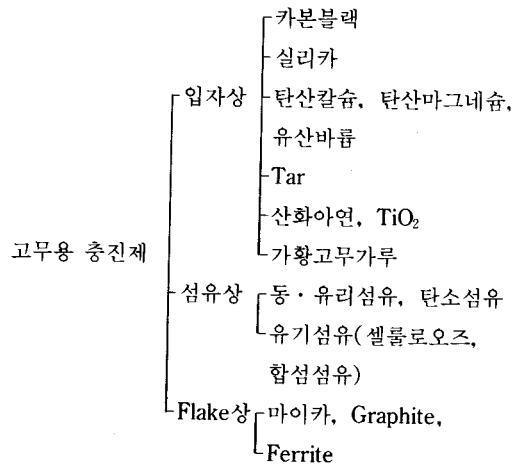


Table 4. Usage of Conductive Polymeric Composite

재료	전기저항	실용화예	matrix	충진제
반전도성 재료	$10^2 \sim 10^{10} \Omega \text{ cm}$	정전배선지, 감광지	합성도료	금속산화물
대전방지재료	$10^4 \sim 10^7$	정전기방지 성형품 대전방지 Belt 대전방지 롤러	PE, PS, ABS Elastomer	카본블랙
전도성 재료	$10^0 \sim 10^4$	면상발열체 전파차폐재 전도 Film	플라스틱 PE, EVA Silicone Rubber	금속가루 카본블랙 탄소섬유
고전도성 재료	$10^{-3} \sim 10^0$	인쇄회로 전파차폐기 전도성 도료 전도성 접착제	플라스틱 Silicone Rubber	은가루 금속가루 탄소섬유 금속 Flake

Table 5. The Conductivity Characteristics of the Major Metals

Metal	Relative ^a conductivity	Relative ^a Permeability (100KHz)	Absorption Loss dB per mil(0.001")		
			100Hz	10KHz	1MHz
Silver	1.05	1	0.03	0.34	3.40
Copper-Annealed	1.00	1	0.03	0.33	3.33
Copper-Hand Drawn	0.97	1	0.03	0.32	3.25
Gold	0.7	1	0.03	0.28	2.78
Magnesium	0.38	1	0.02	0.20	2.04
Aluminum	0.61	1	0.03	0.26	2.78
Zinc	0.29	1	0.02	0.17	1.70
Brass	0.26	1	0.02	0.17	1.70
Cadmium	0.23	1	0.02	0.16	1.60
Nickel	0.2	1	0.01	0.15	1.49
Bronze	0.18	1	0.01	0.14	1.42
Iron	0.17	1,000	0.44	4.36	43.60
Tin	0.15	1	0.01	0.13	1.29
Steel(SAE 1045)	0.1	1,000	0.33	3.32	33.20
Beryllium	0.1	1	0.01	0.11	1.06
Lead	0.08	1	0.01	0.09	0.93
Hypernick	0.06	80,000	2.28	22.80	228.00
Monel	0.04	1	0.01	0.07	0.67
Mu-Metal	0.03	80,000	1.63	16.30	163.00
Permalloy	0.03	80,000	1.63	16.30	163.00
Stainless Steel	0.02	1,000	0.15	1.47	14.70

^a relative to copper

전도성 고무가 전기를 통하는 현상을 설명한 여러 가지의 이론이 있으나 그중 가장 오래된 것은 연결된 사슬에 의한 전기전도이론이다. Kemp(1938), Parkinson(1940), Habgod(1941), Gohan(1943), Bulggin(1945), Wack(1947) 등에 의해 주장된 이 이론은 고무중의 카본블랙입자가 양쪽 전극사이에서 긴 사슬을 형성하여 가교를 만들어서 π 전자가 이동한다는 이론이며, 접촉저항을 고려하여 1개의 긴 사슬 보다는 복합적으로 연결된 복합사슬을 형성하는 것이다. 연결된 사슬에 의한 전기저항은 대부분 카본블랙 입자간의 접촉 저항이며 이러한 접촉저항은 집중저항과 경계저항으로 나누어 준다. 집중저항은 접촉계면 주위에 전류가 국부적으로 집중하면서 나타나며, 경계 저항은 경계면에 전자가 빠져 나올정도의

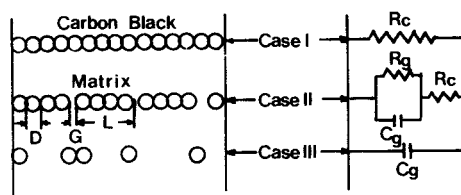


Fig. 6. Dispersion model of carbon black.

얇은층이 존재하기 때문에 생긴다.

카본블랙이 고무에 분산되어 있을때 Fig. 6과 같은 등가회로의 모델로서 생각해 볼 수 있다. III의 경우 카본블랙의 양이 작으므로 카본블랙 입자사이에 간격이 크며 그 간격이 Capacitor(C_g)의 역할을 한다.^{24, 25}

전도도가 나타나는 II의 경우 카본블랙 입자간격이

약간 떨어져 있어서 등가회로상에서 저항 Rc와 직렬로 연결된 RC 병렬회로 (Rg, Cg)로서 표현 할 수 있다. I의 경우 카본블랙 입자들이 완전히 연결된 Rc의 회를 형성한다. 이 경우 전자가 쉽게 이동하여 전도현상을 나타내며, 이러한 현상을 나타내는 최소한의 입자간 거리는 10Å 정도라고 Frenkel이 주장하였고, Polly와 Boonstra등은²⁶ 전자현미경으로 이와같은 현상을 확인하였다. 또한 Bahder 등은 폴리에틸렌에 카본블랙이 충전되어있는 계에서의 카본블랙입자간의 tunnel 효과와 병행해서 전도가 일어난다고 설명하였다. 이러한 것들은 정리해 보면 카본블랙이 전기를 전달하는 전도기구는

- 1) 연결된 사슬에 의한 전기전도
- 2) 완전한 접촉과 미소한 간격에 의한 전기전도
- 3) Tunnel 효과
- 4) 전계방사설
- 5) 구조와 Tunnel 효과의 병용성

일반적인 카본블랙의 구조는 탄소원자가 육각망목형상의 층을 이루며 이층들이 3~5층 정도 형성하며 층 간격은 약 3.5Å이다(흑연 : 3.35Å). 이것들이 모자이크 형태로 되어 최종 구성 단위는 입자의 응집체로서의 형태를 나타낸다.

카본블랙이 균일하게 분산되어 있는 경우

$$L = \frac{(1/6)\pi d_A^3 \cdot \rho_c \cdot 100}{\{(d_A + S)^3 - (1/6)\pi \cdot d_A^3\} \cdot \rho_r}$$

S : 카본블랙의 입자간 거리(cm)

L : 고무중의 카본의 배합량(%)

d_A : 카본블랙입자의 직경(cm)

ρ_c : 카본블랙의 밀도

ρ_r : 고무의 밀도

대개 ρ_c=2, ρ_r=1이므로

$$S = d_A \left\{ \left(\frac{200 + L}{1.91L} \right)^{1/3} - 1 \right\}$$

카본블랙이 충전제로 들어가 있는 전도성 고분자 재료의 경우 만들어진 제품의 저항치는 가공조건에 크게 영향을 받는다. 전도성을 지배하는 최대의 인

자는 카본블랙의 종류와 배합량이다. 카본블랙의 저항치에 영향을 주는 배합량과 표면상태의 상관관계 등을 여러사람들이 주장했으며 대개 다음과 같다.

(a) Bulgin의 식²⁷

$$R = \exp \left(\frac{a}{F} \right)^p$$

R : 저항치(Ω · cm)

F : 카본의 첨가조성량(중량비)

a와 P는 카본블랙의 종류에 따라 다르다. 그리고 Table 6에 그 값들을 나타냈다.

(b) Studebaker의 식²⁸

$$\log_{10} R = -a \log S + b \log H + c$$

$$\log a = n - m \log W, \log b = p - q \log W$$

$$\log c = r - t \log W$$

S : 카본블랙의 표면적 (m²/g)

H : 카본블랙의 수소함유량(%)

W : 카본블랙의 농도(중량%)

R : 복합재료의 저항(Ω · cm)

n, m, p, q, r, z : 상수

Table 6. P, a Values of Carbon Black

Carbon Black Type	Class	P	a
Micronex W6	EPC	0.6	35.5
Micronex Std.	MPC	1.0	4.4
Micronex II	HPC	0.8	8.1
Kosmimk Conductive	CC	1.1	2.15
Philblack E	SAF	1.4	1.00
Philblack O	HAF	1.7	0.96
Kosmos. 60	HAF	1.2	1.74
Vulcon 3	HAF	1.7	0.96
Philblack A	FEF	1.7	1.26
Kosmos 50	FEF	2.7	0.72
Ukarb 327	GPF	1.9	1.38
Ukarb 340	FF	1.9	1.05
Kosmos 40	HMF	2.4	0.89
Kosmos 20	SRF	1.8	1.51
Shawinigan	Acetylene	1.8	0.68
P 33	FT	0.8	15.5
Seval	MT	2.4	1.55
Thermasx	MT	5.0	0.91
Superior	Lamp	3.1	0.79
Magecol	Lamp	3.1	0.53
Finevegetable	Lamp	3.1	0.79
Ship	Lamp	2.5	0.76

전도성 페인트^{29~31}

도료용 합성수지에 금속분말이나 카본분말등의 전도성 분말을 분산시켜서 만든다.

그리고 용도에 따라서 전도성이 다르므로 용도에 적합하게 수지 및 전도성 충전제를 선택하는 것이 중요하다.

전도성 충전제

① 금속충진제 : 도장이 용이하고, 적당한 유동특성을 가지며, 균일한 표면상태와 표면두께를 유지할 수 있어야 하며, 금속 충전제의 경우 10 μ m 이하의 입자경을 가져야 한다. 특히 이보다 큰 경우 도료액중에서 침전이 일어나 균일한 도막을 얻기가 어렵다.

② 금속 도금 충전제 : 금속충진제의 경우 Al의 경우를 제외하고는 비중이 7이상이므로 도료액중에 침전분리가 일어나 도장이 곤란한 경우가 있다. 그러나 최근에 이러한 결점을 해소하기 위해 미세한 운모가루에 Ni이나 Cu를 무전해법으로 도금하는 연구가 성행하며, 中空의 표면에 도금하면 1 이하의 비중을 가진 충전제도 가능하나 2~4가 일반적이다. 그러나 무전해 도금액에 사용되는 인산화합물이 피막표면에 금속인산화합물을 형성하여 전도성을 저하시키는 경우에 주의하여야 한다.

결합제(binder) : 전도성 페인트의 binder가 필요로 하는 기본적인 성질

① 전도성 충전제의 분산성

Table 7. Conductive Level and Usage of Conductive Paint

비저항 (Ω cm)	용도에
10 ⁸	크린룸 대전방지도료 Tank
10 ⁴	발열도료 정전기 도장도료
10 ²	대전방지 포장재 플라스틱 표면도장
10 ⁰	용접재, 흡음재
10 ⁻¹	아크용접용도료
10 ⁻⁴	전자파 차폐도료 전자기기 Housing

② 전도성 충전제의 연쇄구조를 유지하면서 절연을 일으키므로 관능기가 없어야 한다.

③ 소재와의 밀착성

④ 충분한 피막강도를 유지해야 한다.

용제 : 대개의 전도성 페인트는 용제가 함유되어 있어서 도장직후 용제가 증발하여 건조과정에서 전도도가 변화한다. 그러므로 적절한 용제의 선택이 중요하다.

아연용사(亞鉛溶射)

플라스틱 전자기기 case에 전자파차폐처리에는 금속도금, 진공증착, 전도성 도료의 도장, 그리고 전도성 플라스틱의 사용이 있으나 비교적 저렴한 가격이며, 차폐 효과가 우수한 표면처리방법에 하나는 금속용사기술(아연용사)이다. Fig. 7은 아연용사의 단면개략도이다.

전도성 플라스틱

현재 전자기기의 case에는 design의 자유도, 경량, 저가격, 대량 생산에 적합한 성형가공성, 절연성, 방청, 진동 및 충격흡수성이 우수한 플라스틱 재료를 사용하고 또 EMI 규제에 대응하고자 플라스틱 재료에 전도성 충전제를 집어넣어서 절연체인 플라스틱 내부에 전계가 존재할 수 있게 하였다. 특히 플라스틱 재료에 금속섬유를 혼합하여 전도도를 급격하게 향상시킨다. Fig. 8은 여러가지 형태의 전도성 충전제를 혼합하여서 전도성 플라스틱을 제조한 경우이다. a)의 경우 분말입자의 분산이 전도도에 영향을 준다. 대전방지용의 경우는 비교적 낮은 전도도이어도 되나 전자파 차폐용의 경우 많은양의 전도성 분말의 충전이 필요하다. b)의 경우는 금속 단

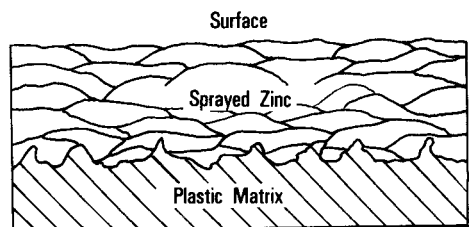


Fig. 7. Model of arc spray.

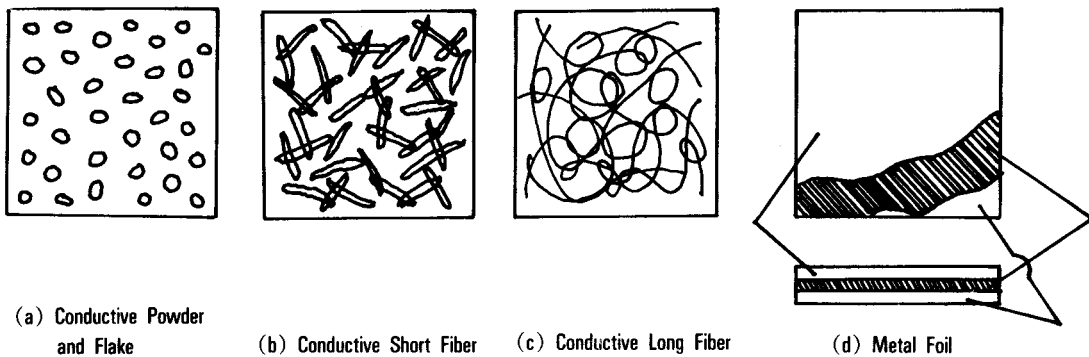


Fig. 8. Filler and matrix of conductive polymeric material.

Table 8. Spray System

용사방식	열 원	용사재료	대표적인 재료의 종류
가 스 식	혼합가스	Wire 상	아연, Al, 동 동합금
		Powder 상	자용성합금 세라믹스재료 플라스틱재료
	아세틸렌 프로판 + 산소		
	전기 Arc	Wire 상	아연 Al, 동 brass, 동합금, Ni, Stainless Steel
arc식			
플라즈마식	플라즈마 불활성가스	Powder 상	산화 Al, Al_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , ZrO_2 , WC

섬유나 flake상의 경우이며 c)는 금속장섬유이다.^{32~34} d)는 금속 tape를 플라스틱 층상에 적층시킨 것으로 tape 자체의 전도도가 바로 전도성 플라스틱의 전도도이다. 이 경우 tape의 두께가 재료의 기계적 성질에 영향을 준다. 순수한 철 tape(두께 20~30 μm)를 이용하여 자기차폐효과를 기대하는 경우도 있다. 사출성형용으로 현재 b)와 c)의 경우가 연구 개발되고 있으며 2층성형법에 의한 전도성 플라스틱 가공기술이 주목받고 있으나 새로운 성형기술 및 시설을 필요로 한다.

전도성 충전제가 고분자 복합재료층에 충전되었을 때 초기에는 일반적으로 약간의 전도도가 증가하다가, 다음 단계에서 급격히 전도도가 증가하는 한계치

Table 9. EMI Shielding Effect According to Filler

Frequency	3mm Nylon 6/6	
	Aluminum Flake Filled	Carbon black Filled
30MHz	95	63
60MHz	67	62
120MHz	69	50
250MHz	49	41
500MHz	49	39
1.0GHz	40	37
2.0GHz	42	39

(percolation threshold)를 가지고 있으며, 이 한계치 이상의 복합재료를 실용적인 전도성 고분자 복합재료라고 한다. 복합재료의 전도성은 충전제입자의 접촉수, 접촉저항, tunnel 전도성, 열전자 복사성 등에 대한 이해가 필요하다.^{35~37}

다음은 nylon 6/6에 무게분율 40%의 aluminum flake와 carbon black을 충전시켰을 때 3mm 두께의 차폐 효과를 나타낸 것이다.

낮은 주파수의 경우 차이가 많으나 높은 주파수의 경우 비슷한 경향을 보여주고 있다. 철섬유를 기본으로 한 고분자 복합재료의 경우 낮은 함량(1%부피분율)으로 좋은 차폐 효과를 나타낸다. 그 때 전도도는 약 $1(\Omega\mu m)^{-1}$ 이다. Polycarbonate에 1% 부피분율의 steel 섬유(상표명 Electrapil R-5147)를 혼합한 전도성플라스틱을 Wilson Fiberfil에서 판매한다

이러한 낮은 함량은 가공공정 및 사용에서 유리한 점을 나타내고 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 충전제로 금속이 coating된 유리섬유를 사용하여 BMC(bulk molding compound)와 SMC(sheet molding compound)에서의 차폐효과를 나타낸 것이다. 그리고 SMC에서 cross link는 아주 얇은 판에 섬유의 길이가 아주 길게 사용하는 공정이다.^{39~41}

또한 SMC나 BMC의 표면에 conductive coating, spray plating, flame spray, vacuum metallizing등의 방법으로 전자기파 차폐재료를 제조하는 경우도 있으며, 각종 방법에 따른 물성치는 다음과 같다.

전도성 고분자 복합재료의 연구동향⁴²

2종이상의 소재를 섞어서 만드는 제품의 경우, 성

분비율에 따라 성능을 예측할 수 있는 제품을 복합재료(composite material), 성분비율로서 예측할 수 없는 특수성능을 발휘하는 지식집약형 제품을 혼성재료(hybrid material)로 구분한다.

최근의 연구동향은 PP에 탄소섬유를 혼합시킨 경우, polyolefine과 수지에 탄소섬유와 graphite를 충전시킨 접착제, 열수축 PE에 카본블랙을 충전시킨 예, 주쇄와 측쇄에 불포화 결합을 한 고무에 Co를 첨가시킨 경우, 가소제와 전도성 충전제를 고무에 첨가, EPDM에 카본블랙을 첨가, ethylene 초산 vinyl 공중합체에 카본블랙을 혼합한 접착제, polystyrene foam에 ketjenblack을 배합, styrene- α -methyl styrene 공중합체에 폴리브덴 분말을 혼합, 금속 flake 25~35% 혼합, 금속섬유에 카본블랙 중공입

Metalloplastics

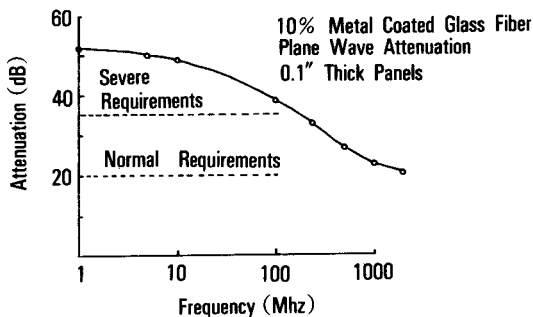


Fig. 9. EMI shielding levels for BMC.

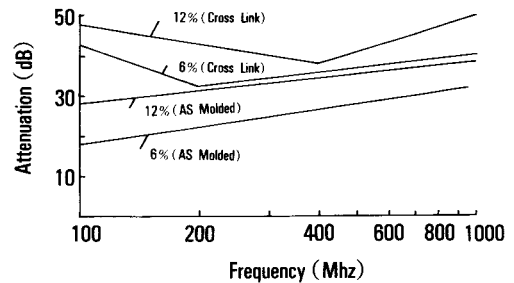


Fig. 10. 1/8 inch SMC molded with 6 and 12% metal coated glassfiber.

Table 10. RFI/EMI Shielded SMC Transmitter Housing

Deposition Process	Basecoat	Metal Deposited	Metal Film Thickness	Surface Conductivity	SE(dB) 150MHz	SE(dB) 450MHz
Acrylic Silver Coating		Silver	1.0 mils	0.5 obm	56	41
Acrylic Silver Coating		Silver	3.0 mils	0.2 obm	59	45
Polyurethane Silver coating		Silver	1.0 mils	0.3 obm	57	40
Polyurethane Silver coating		Silver	3.0 mils	0.2 obm	61	43
Flame Spray	Polyurethane	aluminum	1.0 mils	4.0 obm	61	55
Spray plating	acrylic	Silver	0.15mils	0.3 obm	59	48
Spray plating	Polyurethane	Silver	0.15mils	0.3 obm	60	47
Vacuum metallizing	epoxy	aluminum	0.02mils	7.0 obm	51	35

Table 11. Comparison of the EMI Shielding Method

공정	전도체	표면저항 (Ω/cm^2)	원료비 ¢/ft ²	제조경비 ¢/ft ²	설비비	인건비	기술정도	후처리
금속진공증착	Al	1.00	50	2.50	높다	중간	아주높다	3단계
	Ag	1.00	75	2.50				
	Cu	2.00	50	2.50				
Cathode Sputtering	Al	1.00	50	1.75	아주높다	중간	아주높다	1단계
	Ag	1.00	75	1.75				
	Cu	2.00	50	1.75				
Spray Plating	Ag	0.50	60	1.00	낮다	중간	중간	3단계
Flame Spray	Zn	1.00	45	1.75	높다	중간	아주높다	2단계
Arc Spray	Zn	1.00	60	1.75	높다	중간	아주높다	2단계
Foil Tape	Cu	0.001	30	1.00	0	높다	높다	1단계
	Al	0.005	10	1.00				
금속페인트	Ag	1.00	300	0.60	낮다	중간	중간	1단계
	Cu	2.00	50	0.60				
	Ni	5.00	75	0.60				
	카본	20.00	30	0.35				
전도성복합재료	카본 Al	20-5000	25-175	0	0	0	높다	0

자를 1~4% 혼합한 전자파 차폐용재료, 표면결합수 지중에 카본블랙을 2~30% 첨가한 전도성 foil, 자외선 경화형 전도성 조성물, polyimide 계수지에 전도성을 부여하거나, polycaprolactam에 카본블랙을 배향하는 반도체, PBT에 Al coating glass fiber를 첨가한 성형물, PC, polysulfone에 금속을 피막한 TCNQ착제의 혼합, 전도성 입자를 아크릴계 중합체에 분산시킨 복합섬유, Al, Cu, Zn등의 존재하에 아크릴계 monomer를 공중합하는 방법등이 최근에 연구되고 있다.

Table 11은 여러가지 차폐방법에 대한 전기전도도, 원료비, 시설비, 기술정도에 대한 비교를 한 것으로, 현재로서는 금속페인트 및 금속용사 방법이 주류를 이루고 있다.

결론

현재 전세계적으로 전자기파에 대한 규제가 점차로 심해지고 있으며, 이에대한 대책으로는 전자파노이즈를 낮게해주는 회로 및 부품설계와 전자기파 차

폐재료의 개발이다. 지금의 전자공업의 추세로 보면 전자기기의 housing에 플라스틱의 사용이 필수적이며, 이에따라서 전도성 플라스틱의 적용은 급증할 것으로 추정된다. 그러나 여러가지 차폐방법의 비교에서도 알 수 있듯이 적용되는 제품의 종류, 규제의 정도, 경제성등의 효과가 복합적으로 고려되어야 하므로 어느 특정한 한가지 방법이 주류를 이루기는 어려울 것이나, 저렴한 가격의 전도성 충전제의 개발 및 생산공정의 개선에 따라 전도성 고분자 복합재료의 급속한 신장이 예상된다.

참고문헌

1. 清水康敬, “電磁波の吸収と遮蔽”, 日經技術圖書株式會社, (1989).
2. 宮崎保光, 工業材料, 36(4), 18 (1988).
3. 윤현보, 전기전자, 16(3), 9 (1991).
4. 정연춘, 전기전자, ibid., 21 (1991).
5. 박성득, 전기전자, ibid., 17 (1991).
6. 岡村万春夫, 工業材料, 36(4), 26 (1988).

7. 右馬野雅弘, *ibid.*, 61 (1988).
8. J. Bhatia, *Test & Measurement World*, January, 124 (1985).
9. F. Gisin, *ibid.*, April, 84 (1985).
10. 上村鉄十郎, *工業材料*, **36(4)**, 66 (1988).
11. 宮崎保光, 富永昭治, *ibid.*, 31 (1988).
12. R. M. Simon, *Industrial Research & Development*, June, 104 (1982).
13. R. B. Schulz, V. C. Plantz, and D. R. Brush, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, **30(3)**, 187 (1988).
14. A. Wirsén, "Electroactive Polymer Materials", TECHNOMIC Publishing Company, Inc., USA.
15. 권오승, 정진철, 유영학, *ibid.*, **7(6)**, 342 (1983).
16. 문탁진, 오택수, *Polymer(Korea)*, **9(6)**, 588 (1985).
17. R. D. Kusy and D. T. Tunner, *J. Appl. Polym. Sci.*, **17**, 1631 (1973).
18. 高木收一, *Plastic Age*, Oct., 113 (1988).
19. 清江輝雄, *ibid.*, 118 (1988).
20. A. Sternfield, *Modern Plastics Int.*, July, 48 (1982).
21. A. Smoluk, *ibid.*, Sep., 48 (1982).
22. K. T. Chung, A. Sabo, and A. P. Pica, *J. Appl. Phys.*, **53(10)**, 6867 (1982).
23. 山田久志, 成田道郎, *Plastic Age*, April, 164 (1988).
24. 浅田泰司, *日本JG協會誌*, **59(1)**, 18 (1986).
25. 円羽利夫, 一色節世, *ibid.*, **48(7)**, 409 (1975).
26. M. H. Polley and B. B. S. T. Boonstra, *Rubber Chem. Tech.*, **30**, 170 (1957).
27. D. Bulgin, *Trans. Inst. Rubber Ind.*, **21**, 188 (1945).
28. M. L. Studebaker, *India Rubber World*, **129**, 485 (1954).
29. 菅原泰男, *工業材料*, **36(4)**, 42 (1988).
30. 谷口正允, *塗装と塗料*, **369**, 62 (1983).
31. 谷村正義, *ibid.*, **369**, 43 (1983).
32. B. Bridge, *J. Mat. Sci. Lett.*, **7**, 633 (1988).
33. B. Bridge, M. J. Folkes, and H. Jahankhani, *J. Mat. Sci.*, **23**, 1948 (1988).
34. D. M. Bigg, *Composites*, April, 95 (1979).
35. S. Reich, *J. Mat. Sci.*, **22**, 3391 (1987).
36. W. Y. Hsu, W. G. Holtji, and J. B. Berkley, *J. Mat. Sci. Lett.*, **7**, 459 (1988).
37. M. T. Kortschot, and R. T. Woodhams, *Polymer Composites*, **9(1)**, 60 (1988).
38. A. Sternfield, *Modern Plastics Int.*, Aug., 38 (1983).
39. D. E. Davenport, *Polym. -Plastic Technology Eng.*, **17(2)**, 211 (1981).
40. D. E. Denverport, *Polymer News*, **8**, 134 (1982).
41. F. W. Bradish, Jr., Reinforced Plastics/Composites Institute, 31st Annual Technical Conference, Section 7-D, 1 (1976).
42. 倉田正世, *工業材料*, **33(7)**, 18 (1985).