특 집

전자파 차폐용 코팅제

송 미 경·홍 승 민·박 종 명

1. 서 론

전자파(Electromagnetic wave)란 우리 주변의 여러 곳에서 사용하는 전기제품이나 전자제품에 의해 발생하는 전기장과 자기장, 그리고 수맥파를 포함한 전기/자기적 파장을 의미한다. 과학기술의 발전에 따라 전자파를 발생시키는 전자, 전기 및 통신관련 기기의 사용이 급증하는 추세에 있으며 이러한 문명의 이기들은 양단의 칼날과 같아서 인류에게 편의를 제공하는 동시에 여러 폐해를 발생시키기도 한다.[1]

첫째로 전자파는 전자전기기기의 오작동을 초래한다. 최근의 전자전기기기는 복합화, 다양화 및 경량, 소형, 박형화로 개발되는 경향이 있으며 또한 회로적으로는 고기능, 고밀도, 고집적, 복합화가 진행되고 있다. 이런 추세는 전자기파에 의해 기기의 잡음 및 장애가 보다 더 쉽게 일어날 수 있는 환경을 제공한다. 전자파는 발신 및 수신 장비들 사이의 전파 상호 교란으로 인한 잡음 및 내부 전자제품의 효율저하 및 수명단축, 전자장비들 사이의 교란을 발생시킬 수 있다. 실제로 통신장비의 장애 현상 발생 및 컴퓨터의 오작동 증가, 안전에 관련된 장애 발생률이 증가하고 있다.[2]

둘째로 인체는 전자파에 의해 영향을 받으며 여러 증상 및 질병을 일으킬 수 있음이 보고되고 있다. 즉 전자파는 인체에 도달시 전신 또는 부분적으로 체온을 상승시키는 열적 작용 및 체내에 유도된 전류가 신경계를 자극하는 자극 작용을 한다. 특히 아주 강한 전자파는 스트레스를 일으키거나 심장질환, 혈액의 화학적 변화를 유발하여 인체에 영향을 미칠 수 있다. 전자파로 야기될 수 있는 증

홍승민
1995 서강대학교 화학공학과(학사)
1997 서강대학교 화학공학과(석사)
1997 금강고려화학 중앙연구소
현재 수계수지팀 주임연구원

송미경
1995 경남대학교 화학과(학사)
1995 금강고려화학 중앙연구소
현재 수계도료팀 연구원

박종명
1979 서울대학교 공업화학과(학사)
1981 KAIST 화학과(MS)
1989 Lehigh University (Ph. D)
1991 Lehigh Univ. Emulsion Polymers Institute (Post Doc.)
1981 금강고려화학 중앙연구소
현재 수계디비젼 연구위원

EMI Shield Coating

금강고려화학 중앙연구소(Mi Kyung Song, Seung Min Hong, and Jong Myung Park,Waterborne Resin & Paint Division, CRI of KCC Group, #85, Mabook - Ri, Koosung - Myun, Yongin - Si, Kyunggi - Do 449 - 910, Korea)

상에는 나른함, 불면증, 신경예민, 두통 등이 있으며 질병에는 백혈병, 임파암, 뇌암, 유방암, 유산 및 기형아 출산 등이 보고되고 있다.[3]

이러한 전자파의 피해를 막기 위한 방법 중의 하나가 전자파 차폐 도료인데 이는 보통 니켈, 동 및 은의 금속 filler를 아크릴, 우레탄 등의 레진에 분산시켜 도료화한 제품으로 많은 장점이 있다. 즉 기존 생산 line을 그대로 이용할 수 있으므로 신규 투자를 필요로 하지 않으며 spray만 있으면 쉽게 제품도장이 가능하다. 또한 하도를 도장하면 모든 플라스틱에 가공이 가능하며. 다른 전자파 차폐 방법에 비하여 가격이 매우 저렴하다. 한편 단점으로는 도금 및 증착방법에 비하여 낮은 저항으로 마무리되지 않고 도막의 두께가 45 μm 정도로 비교적 두껍고 Robot 도장기를 도입하지 않으면 도막의 떨어짐과 균일성에 문제가 있으며 동과 같은 filler의 산화에 의한 장기 차폐효과가 떨어지는 문제점이 있다.[4]

최근 전자파의 폐해가 알려지면서 각국의 전자파 허용 규제치가 엄격해지고 있으며, 휴대폰, 노트북 컴퓨터 등의 개인용 전자통신기기가 급속도로 보급됨에 따라 시장이 급팽창하고 있는 추세이다. 따라서 전자파 차폐 코팅제의 고성능화가 요구되고 있으며, 도료업계의 친환경화 경향에 따라 유기용제 함유량을 줄이면서 점차 수계화 되고 있다.[5] 이러한 배경으로 근래에는 금속 filler의 산화를 방지하기 위해 filler 표면을 코팅처리하고 통전성을 향상시켜 낮은 도막두께에서도 저항값이 양호하여 얇은 두께에서도 충분한 차폐효율의 발현이 가능해졌으며, 또한 소지에 대한 부착력을 높인 레진 등이 개발되어 장기 차폐물성과 부착력을 비롯한 전자파 차폐 코팅제의 성능이 많이 개량되었다. 본 고에서는 전자파 차폐 도료에 대하여 전자파 규제 현황 및 일반 이론, 측정법 및 도료제조에 대한 기술내용 등에 대하여 살펴본다.

2. 본 론

2.1 전자파 규제 현황

방해전파에 관한 국제적인 심의기관으로서 CISPR(국제무선장애특별위원회)이 1931년에 설립되어 3년째에 각국의 대표회의를 통하여 당시 방송업무 등에 있어서 인공잡음이 증가되고 있었기 때문에 일반 무선업무에 대해서도 전자파 규제 기준을 정하고, 또한 측정 방법에 있어서도 최적 평가법을 정하여 각국에 권고안을 제안하기 시작한 것이 전자파 규제의 효시였다.[6]

표 1. TCO'99의 전자파 규격

구 분	주파수 범위	전계(V/m)	자계(mG)
극저주파(ELF)	5 Hz – 2 KHz	10 이하	2.0 이하
초저주파(VLF)	5 Hz – 2 KHz	1.0 이하	0.25 이하

표 2. 국내 전자기장 노출에 대한 인체보호 기준안[a]

주파수 영역	전계(V/m) 상한치	자계(A/m) 상한치
25 – 820 Hz	$250/f$	$4/f$
3 – 150 KHz	87	5
400 – 2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$
2 GHz – 300 GHz	61	0.16

[a] f = frequency (Hz).

미국 FCC(연방통신위원회)에서는 1981년 10월 이후 규제를 진행하였고, 1983년 10월 이후에는 법제화하여 실시되고 있다. 주된 내용은 10 kHz 이상의 주파수에 있어서 산업용과 가정용으로 구분되어 최대 방사 허용 양을 제시하고 있으며 결과적으로 FCC 인증을 획득하지 못하는 디지털기기는 보급되지 못한다.

최근에는 스웨덴에서 제정한 포괄적 전자파 규격인 TCO '99가 세계적으로 가장 기준이 되는 규격으로 인정받고 있으며 그 내용을 표 1에 표기하였다. 국내에서는 전자기장 노출에 관한 인체보호 기준안이 1999년 5월에 표 2와 같이 한국전자파학회에서 설정되었으며 2002년 1월 정통부 고시 제 2000 - 79호에 의하여 시행예정에 있다.

2.2 전자파 차폐의 기본 이론

전자파 차폐란 정확히 외부에서 입사되는 전자파 간섭(EMI; electromagnetic interference)의 차폐(shield)를 의미하는 것으로 전자파의 power를 표면에서 흡수/반사시켜 내부로 power가 전이되는 것을 방지하는 것이다. 전자기파의 차폐에 있어서 차폐에 의한 전자제품의 보호능력을 판달할 수 있는 과학적 상수는 차폐효율(SE; shielding efficiency)로서 식(1)과 같이 표현되어진다. 이것은 전자파의 power를 감쇄시킨 정도를 의미하는 것으로 단위는 상대적인 크기인 decibel(dB)이다. 차폐재에 전자파가 입사되면 그림 1과 같이 전자파는 흡수, 반사, 회절, 투과를 한다. 이때 차폐효과의 총계를 차폐효율 SE라 하며 다음 식으로 표시

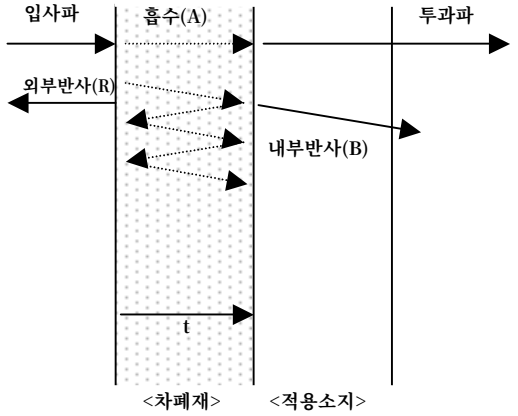


그림 1. 전자파의 반사와 흡수.

된다.

$$SE = SE_R + SE_A + SE_B \quad (1)$$

여기서 SE_R : 반사에 의한 감쇄(dB)
SE_A : 흡수에 의한 감쇄(dB)
SE_B : 차폐재의 내부반사(dB)

(1)식에서 SE_A가 10 dB 이상인 경우 SE_B는 무시된다. 또한 반사에 의한 감쇄 SE_R과 흡수에 의한 감쇄 SE_A는 다음식으로 표시된다.

$$SE_R = 50 + 10 \log (\rho f)^{-1} \quad (2)$$
$$SE_A = 1.7\, t\, (f/\rho)^{1/2} \quad (3)$$

여기서 ρ: 체적고유저항(Ω·cm)
f: 주파수(MHz)
t: 시료의 두께(cm) 즉, 차폐재가 두꺼운 정도

(2), (3)식에서 차폐효율은 차폐재의 두께는 두껍고 체적고유저항이 적을수록 큼을 알 수 있다. 일반적으로 차폐효과의 level로서는 다음의 기준이 적용되고 있다.

0 ~10 dB : 거의 차폐 효과 없음
10~30 dB : 최소한도의 차폐 효과
30~60 dB : 평균
60~90 dB : 평균이상
90 dB 이상 : 최고의 기술에 의한 차폐

일반적으로 metal을 이용한 전자파 차폐도료는 60 dB 이상의 shield 효과가 있는 도막의 구현이 가능하다. 상기의 (2) 식과 (3)식을 더하면 다음의 식으로 정리된다.

$$SE = 50 + 10 \log(1/\rho f) + 1.7 t (f/\rho)^{1/2} \quad (4)$$

표 3. 체적고유저항과 주파수에 따른 차폐효율

체적고유저항 (Ω·cm)	SE(dB)			
	10 MHz	100 MHz	500 MHz	1 GHz
1	42	35	34	36
10	31	22	17	15
100	21	10	4	2

차폐재의 체적고유저항이1, 10, 100, Ω·cm일때 각기 다른 주파수에 있어서의 차폐 효과를 (4)식에 대입하여 계산한 결과를 표 3에 나타내었다. 차폐효율은 주파수에 크게 의존하므로 충분한 차폐효과를 기대하기 위해서는 최저 1 Ω·cm이하의 체적고유저항이 요구된다. 즉 전자파 차폐용 도막이 이와 같은 체적고유저항을 지니면 대략의 차폐 효과를 예측할 수 있게 한다.[7] 그러나, 실제로는 전자파 무반사실내에서 실제의 전자파 감쇄율을 측정할 필요는 있다. 이 방법은 큰 shield room 및 고가의 측정기기가 요구되므로 일반적으로 차폐효율의 간접적인 측정 및 전자제품의 품질검사 과정에서는 제품의 체적고유저항 및 두께를 측정하는 방법을 이용한다.

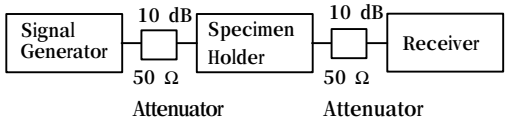
2.3 전자파 차폐재의 차폐효율의 측정 방법

2.3.1 실제적인 차폐효율의 측정

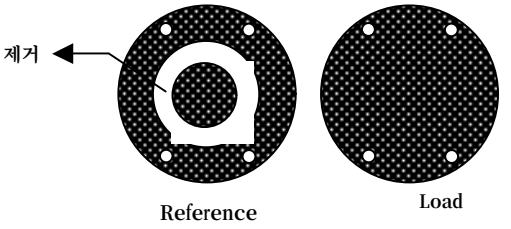
상기에서 기술된 것처럼 실제적인 차폐효율은 전자파 무반사실 내에서 측정하며 가장 국제적으로 사용되는 방법은 ASTM D-4935-89로 속이 빈 동축케이블 내에 전자파 신호 발생기, 시편 고정대 및 전자파 신호 수신기가 장착된 장치에 전자파 차폐용 도료로 코팅된 시편을 규격대로 제조하고 이를 시편 고정대에 위치시킨 후 감쇄율을 측정하는 방법이다. 이 방법은 주파수에 대한 연속적 측정이 가능한 장점이 있다. 실험장치와 시편의 형태는 그림 2에 보였다. 이때 reference 시편과 load 시편은 동일한 물질이어야 하고 동일한 두께를 지니도록 제조하여야 한다.

차폐효율 SE(dB)은 시편이 존재할 경우와 없을 때의 전자파 신호의 크기차를 이용하여 구하며 다음의 식으로 표시된다.

$$SE = 10 \log P_1 - 10 \log P_2 \text{ (dB)} \quad (5)$$



(a) 일반적인 차폐효율 측정장치



(b) Reference와 Load 시편의 제조방법

그림 2. ASTM D 4935-89에 의한 차폐효율 측정장치의 구성 및 시편제조 방법.

여기서 P_1 = 시편이 존재할 때의 수신된 전력
P_2 = 시편이 없을 때의 수신된 전력

송출되는 신호와 수신되는 신호가 전압의 형태이면 다음 식이 적용된다.

$$SE = 20 \log V_1 - 20 \log V_2 \text{ (dB)} \quad (6)$$

여기서 V_1 = 시편이 존재할 때의 수신된 전압
V_2 = 시편이 없을 때의 수신된 전압

보통 차폐효율을 반복 측정하였을 때 최대 편차가 1.0 dB 이내라면 매우 재현성이 좋은 시험으로 간주된다. 기기 오차로 인한 측정의 불확실성은 ±1.2 dB 정도이고, 단시간내 임피던스 불일치나 측정시 동작특성의 변화로 인한 오차는 ±1.2 dB 정도이다. 실험자의 오차를 포함한 총 측정 오차는 대략 ±3.2 dB 정도이다.

2.3.2 전자파 차폐도막의 저항(전도도) 측정

앞에서 기술한 바와 같이 물질의 체적저항 및 전자파 차폐효율과는 밀접한 관계가 있으므로 물질의 체적저항 값을 구하면 상기에서 기술된 식 (4)를 이용하여 전자파 차폐효율을 간접적으로 계산할 수 있다. 저항(혹은 전도도)의 측정은 시편에 일정 전류를 흘려주어 전압을 측정하고 그에 해당하는 저항을 계산함으로써 구할 수 있다. 이 때 아주 극미량의 전류를 흘려주기 때문에, 저항이 큰 물질의 경우 저항에 의한 전자기파 및 열저항의 발생으로 전압 측정시 어려움이 발생하게 되는데 이러한 것

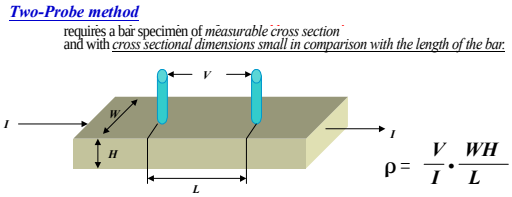


그림 3. 2단자법에 의한 체적저항의 측정.

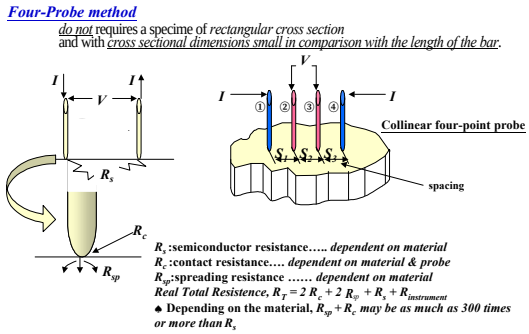


그림 4. 4단자법에 의한 체적저항의 측정.

을 방지하기 위해서는 극미량의 전류를 일정하게 흘려줄 수 있고 기타 측정기에 의한 오차를 제거할 수 있는 특수 장치가 필요하다.

일반적으로 전도도를 측정하는 방법은 ASTM F-43-93의 방법이 가장 많이 이용되고 있으며 저항을 측정하기 위한 단자(probe) 수에 따라 2단자 및 4단자법이 사용되는데 특히 4단자법이 주로 사용된다. 일단 각 용어와 단위의 정의 및 의미를 알아보면 저항이란 전류밀도에 대해서 평행한 전압(포텐셜)에 의한 전장의 비율을 의미하며 전도도는 이 저항의 역수이다. 시편의 저항을 측정할 경우 그 표면에서의 저항을 고려하면 저항 값을 ohm(Ω)으로 표시할 수 있지만, 이것은 엄밀히 말하면 ohms로 표시하는데 달리 ohm per square로 읽는다. 시편의 두께에 따라 저항이 차이가 나는 부도체나 반도체의 경우 체적저항이 중요한데 이 경우 ohm·cm로 표시할 수 있다. 반면에 전도도의 경우 그 역수이므로 ohm^{-1}, $ohm^{-1} \cdot cm^{-1}$로 나타내며 특히 ohm^{-1}를 S(Simen)으로 나타낸다.

2단자법에 의한 체적저항의 측정을 위해서는 시편의 길이에 대해서 단면적이 아주 작은 경우에 적용하며 4단자법의 경우에는 시편의 길이와 단면적의 차원(dimension)이 유사한 경우에 적용한다. 2단자법과 4단자법에 의한 체적저항의 측정 방법을 그림 3과 4에 각각 나타내었다.

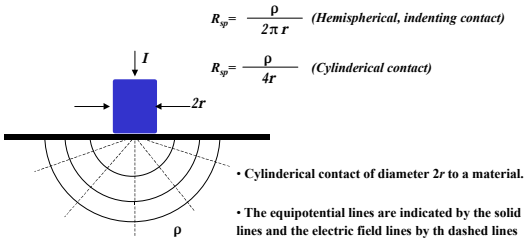


그림 5. Spreading resistance.

표 4. 평행하게 배열된 전류측 단자, 전압측 단자와 상응하는 보정인자 값

Current probes	Voltage probes	Correction factor
1, 4	2, 3	4.532
2, 3	1, 4	4.532
1, 2	3, 4	21.84
3, 4	1, 2	21.84
1, 3	2, 4	15.50
2,4	1, 3	15.50

4단자법으로 체적저항을 측정하려면 계산식에 보정인자를 적용하여야 한다. 먼저 각 단자의 끝 탐침을 확대해 보면 그림 5와 같은 실린더형이나 반구모양으로 나타낼 수 있으며 접촉하는 형태에 따라 spreading resistance가 달리 존재하게 된다. 그림 5의 탐침 끝이 반구형일 경우 R_{sp}를 이용하여 전압을 표시하고, 그림 4와 같은 방식으로 탐침에 전류를 흘려주고 전압을 측정하는 경우에 대하여 각 단자별 거리(spacing;s)가 같으며 도막의 두께 t가 $t \square s/2$의 관계에 있다고 가정하면 보정인자(correction factor; F)는 (7)식과 같이 유도되고 최종적으로 (8)식이 사용될 수 있다. 또한 종이처럼 충분히 얇은 도막에 대해서 표면저항 r_s는 (9)식과 같다.

$$F = \frac{p}{\ln 2} \tag{7}$$

$$\rho\,[\mathrm{ohm \cdot cm}] = F \cdot t \cdot \frac{V}{I} = 4.532 \cdot t \cdot \frac{V}{I} \tag{8}$$

$$\rho_s[\mathrm{ohm}] = \frac{\rho}{t} = 4.532 \cdot \frac{V}{I} \tag{9}$$

즉 그림 4에서 입력 전류값과 출력되는 측정 전압값을 구하면 도막의 표면저항이 (9)식에 의하여 구해지고 여기에 도막두께를 곱하면 체적저항을 얻을 수 있다. 표 4에는 그림 3에서 4개 탐침에 전류 및 전압계를 연결하는 방식에 대해 보정인자를 각각 구하여 예시하였다. 실제 저항의 측정은 의외로 까다로운데 (8)식을 적용하기 위해서는 탐침이 반구 형태이어야 하며 따라서 탐침이 눌려서 도막과의 접촉면적이 커져 접촉저항이 발생하는 일이 없어야 하기 때문이다.

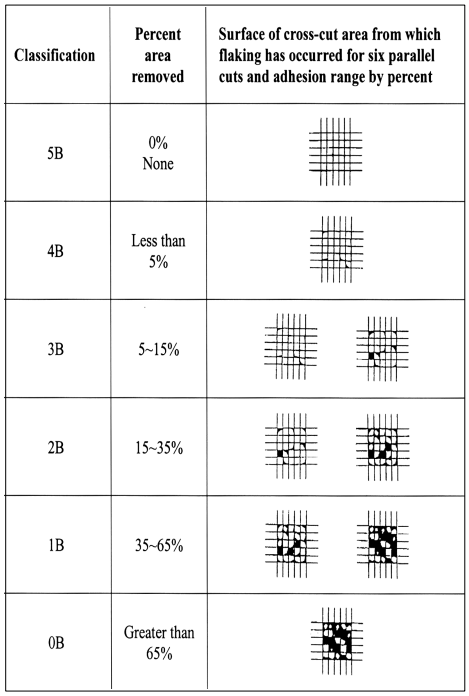


그림 6. ASTM-D3359 classification of adhesion test results.

2.4 전자파 차폐 코팅제의 요구 물성 및 필요 인증

전자파 차폐 도료의 주요 규격 및 물성은 거래선의 요구를 만족시켜야 하며 이외에도 해외로 수출하려면 각국의 지정규격을 충족시키고 또한 지정된 기관에서 인증을 받아야 한다. 대표적으로 미국에 수출되는 전자기기를 도전가공한 경우에는 미국의 화재보험회사인 Underwriters Labotatories Inc. (UL)의 인증(94 : 난연성, 746 : 전기적, 기계적)을 필요로 한다.[8] UL은 화재의 위험방지 때문에 전기 및 전자기기 중 비금속(주로 플라스틱)으로 만들어진 물체의 금속 코팅(도전도장, 도금, 증착, 금속용사)막의 박리를 관리한다. 만약 차폐도료의 도막이 박리가 되어 전기가 흐르는 부품에 떨어진다면 화재의 원인이 되고, 회로기판상에 떨어지면 신호의 단락(short)을 일으켜 오작동을 일으킨다. 이외에도 전자파 차폐 도료 및 도막의 주요 요구

표 5. 전자파 차폐도료 및 도막의 관리규격(KCC Elecoat™)

순서	항 목	시험방법	관리규격	비 고
1	부착성	4B이상	플라스틱 부착 양호	ASTM D3359
2	건조조건	고화건조 양호	50 ℃, 20분	
3	저장성	편차10%이내	50 ℃×10일, 상온 6개월 후	
4	표면저항	4단자법	은계 0.02 Ω이하 (12.5μ) 동계 0.02 Ω이하 (25μ)	ADTM F - 43 - 93
5	내습성	4B이상	23 ℃×50%×40 hr	UL 인증용 시험방법
6	장기고온시험	4B이상	85 ℃×14 days	
7	장기내습시험	4B이상	35 ℃×90% RH×14 days	
8	내,냉열Cycle시험	4B이상	85 ℃×1hr → 23 ℃×50%×1 hr → - 29℃×1 hr → 23℃×50%×hr	

물성에는 물론 전자파 차폐효율(전기전도도 또는 체적저항) 이외에 분산성, 장기 저장성, 작업성 등의 기본 물성과 장기 온도 및 습도에 관한 안정성 등이 있으며 참고로 당사 제품인 수계 ELE-COAT™에 적용하는 관리규격을 표 5에 나타내었다. 그림 6은 ASTM D3359에 표시된 부착성 평가 척도를 나타낸 것이다.

2.5 전자파 차폐도료 제조

2.5.1 전자파 차폐도료의 조성

대표적인 전자파 차폐 도료의 조성은 표 6과 같다. 도전성 입자, 바인더와 같은 도료용 수지 vehicle(레진), 첨가제 그리고 용제가 주성분이 된다. 수지 vehicle의 역할은 filler와 소지간의 부착을 부여하는 역할을 하며, 도막의 물성을 좌우한다. filler는 주로 전기 전도 및 전자파 차폐기능을 수행하게 된다. 도료 도막의 색상은 도료중의 함유되는 안료의 색을 띈다.

2.5.2 도전성 Filler

전자파 차폐 도막의 전도기구는 주로 도전성 입자들의 물리적 접촉에 의하여 이루어진다. 따라서 도막의 전기 전도도에 영향을 주는 인자로는 filler의 종류, 형태 및 크기분포, 함량 등이 있다. 표 7에는 도전성 filler의 종류 및 특징을 보였다. Filler의 접촉면이 넓어야 낮은 저항값을 보이는데 flake상의 도전성 안료와 bell형의 입도분포를 보이는 안료가 입자간의 접촉이 크므로 전도성 도료에 가장 많이 사용한다. 그림 7에 일반적인 Filler 형태와 입도분포 곡선을 보였다.

은은 주로 flake 상의 것이 사용되고 있고 환경시험에 대하여 안정하며 10^{-4}~10^{-5} Ω·cm 정도의 낮은 저항 및 60 dB정도의 높은 감쇄율을 나타내어 전자파 차폐에 매우 효과적이나 고가이기 때문에 신뢰성을 요구하는 전기기기에 사용한다. 최근에는 휴대폰 등에 적용되어 사용량이 급증되는 추세이다.

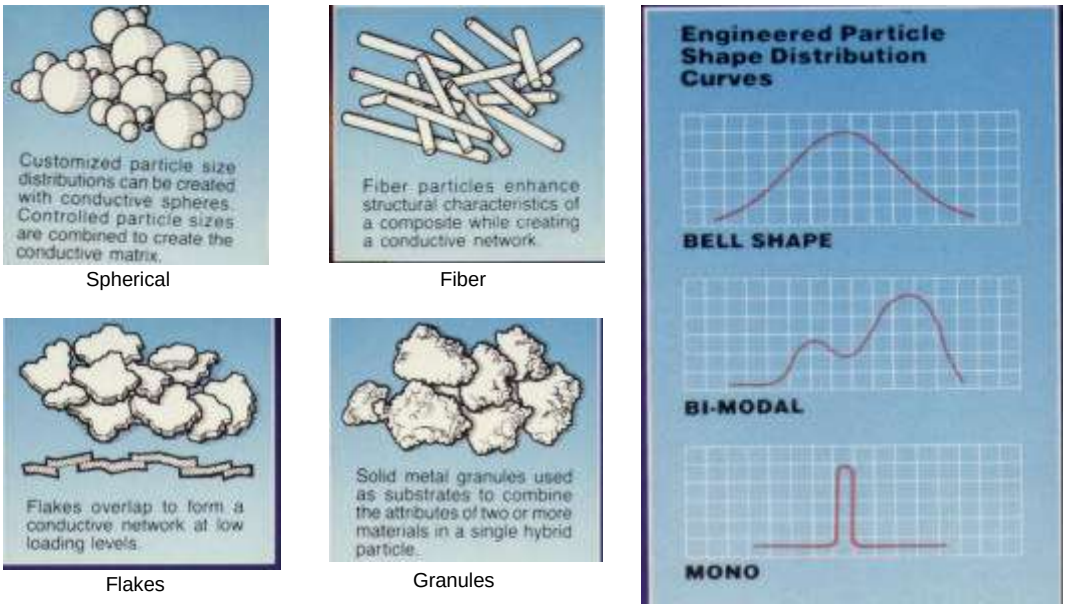
동은 산화문제가 있었으나 최근에는 표면에 산

표 6. EMI Shield 도료의 조성

성 분	함 량	사용목적	성분명 그 외
도전성 Filler	20 50%	도전성 부여 Shield 효과	은, 동, Nickel, carbon, 전도성 고분자
Vehicle (Resin)	10 20%	도막형성 밀착성, 내습, 내열, 내약품	아크릴, 우레탄, 에폭시, 알키드 수지
첨가제	미량	산화방지 침강방지 Levelling성 금속분의 분산	증점제 산화방지제 고분자 계면활성제
용 매	40 50%	도장 작업성	물, 알코올

표 7. 도전성 Filler의 종류 및 특징

구 성	도전성 Filler		특 징
금속계	금속분 금속플레이크 금속리본 금속섬유	Ag, Cu, Ni ZnO, SnO_2 Al, Stainless	Ag는 안정하나 고가 Cu는 저가이나 산화변질됨 색깔이 다양함
금속복합계	Glass Bead Glass Fiber Coating	금속표면 coating	가공시 변질의 문제
카본계	Carbon Black Carbon Fiber Graphite	Acetylene Black Channel Black PAN/Pitch 계 천연/인공 Graphite	고순도, 분산성 양호 저전도성,착색용, 미립자 전도성 양호, 가공성 문제 분말화가 곤란
전도성 고분자계	수계 에멀젼 용액형 수용성 수지형 분말형	Polyaniline Polypyrrole Polythiopene	매우 가볍고 저가임 저전도성이며 분말형은 분산이 어려움



(a) Filler의 형태 (b) Particle Size Distribution

그림 7. 일반적인 도전성 filler의 형태 및 입도분포 곡선.

화방지 처리(예:표면의 은 도금 혹은 산처리)가 된 제품이 출시되면서 역시 사용량이 늘고 있다. 저항치는 10^{-4} Ω·cm로 은보다 다소 높으며 비용은 은의 1/5 정도로 저렴하다. 주로 일반 가전제품의 housing 재료 및 산업용 기계와 관련한 차폐용으로 사용되고 있으며 성능을 높이기 위해 은-동 복합분의 형태로 은계와 혼용하여 사용하기도 한다. 또한 니켈은 은에 비하여 산화되기 쉬운 금속이지만 산화방지 처리와 바인더의 조합에 의하여 환경시험에는 비교적 안정하고 실용상에는 문제가 없다. 저항치는 10^{-3} Ω·cm 정도이다. 카본계 안료는 저항치가 전자파 차폐용으로 적용하기에는 충분치 않아 주로 대전방지용으로 사용되고 있다.[9]

최근에는 폴리아닐린, 폴리씨오펜 및 폴리피롤 등의 전도성 고분자를 이용한 전자파 차폐도료도 개발되고 있는데 세계적으로 아직 제품으로 출시된 것은 없다. 수용성 제품은 수용화시키기 위해 도핑된 bulky dopant의 영향으로 전도도가 너무 낮아 적용이 불가능하며 에멀젼 제품은 합성시 발생되는 산화제 불순물 분리/정제문제로 양산화가 어려우며 분말제품의 경우 분산이 매우 어렵다고 보고되고 있다. 비이온성 우레탄 수분산 레진을 폴리피롤로 코팅한 DSM의 CONQUEST™,[10] 수용성 폴리씨오펜 유도체인 Bayer사의 BAYTRON™,[11] 폴리아닐린 분말을 유성 아크릴 라커에 분산시킨 Ormecon사의 ORMECON™,[12] 등이 시장에 출시되었으나 주로 대전방지용으로 사용되고 있다.

그러나 아닐린은 값싼 원료로 폴리아닐린의 제조와 분리/정제 기술이 발전하면서 가격 및 전도도가 크게 증가하고 있어 향후 EMI shielding제에의 사용이 기대된다. 전기전도도와 유전상수는 시료의 전자파 차폐력에 기여하는 상수들로 클수록 유리하며 폴리아닐린의 경우 최근에는 각각 400 S/cm, 90,000의 매우 높은 값을 보이는 필름의 제조가 보고되었다.[13] 실제로 당사에서 합성된 *p*-toluenesulfonic acid (*p*-TSA)로 도핑된 폴리아닐린 분말을 은 분말에 대치시켰을 때 25%까지 대치된 시료의 전기전도도 및 부착성 등의 도막물성 등이 모두 양호하였다.[14] 이때 제조된 폴리아닐린의 가격이 금속분말에 비하여 매우 저렴하며 일부 대치시 상당한 cost down 효과가 있었다. 표 8 및 그림 8에는 상기 실험의 내용을 보였다. 그림 9에는 폴리아닐린(EB형)/은 혼합물에 염산용액으로 도핑시켰을 때의 전자기파 차폐효율을 보였는데 40 dB 이상으로 충분히 상용화가 가능함을 알 수 있다.[15]

표 8. 은계 EMI Shield 도료의 폴리아닐린 적용 배합 및 도막물성[a]

Aniline 함량	0%	12%	24%	40%
Ag 함량	100%	78%	76%	60%
EtOH	55.6	57.3	57.1	56.1
Ag powder	25	22	19	15
PANI-p-TSA	0	3	6	9
PUD	8.4	8.7	8.2	5.1
NMP	21.0	21.8	20.4	12.8
Total	115.8	118.7	116.3	102.9
부착성	양호	양호	양호	불량
외관	양호	양호	양호	불량

[a]PUD=KCC Waterborne urethane dispersion resin, solid 35%, 외관=밝은 은색에 가까울 것.

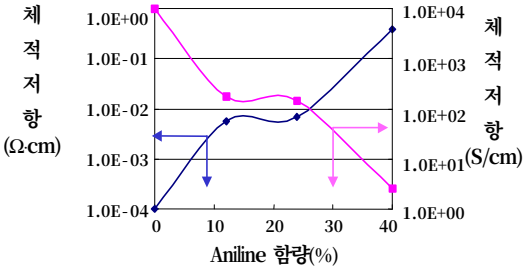


그림 8. 은/폴리아닐린-*p*TSA 혼합계 도막의 전기전도도와 체적저항.

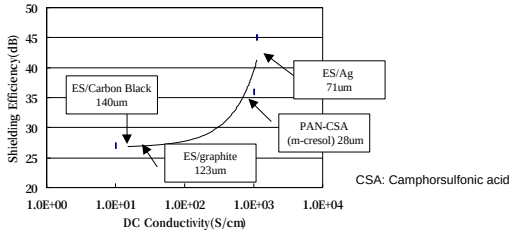


그림 9. 폴리아닐린(ES)/전도성 filler 혼용 도전도막의 전기전도도 및 전차파 차폐효율.

2.5.3 바인더

가장 도막 부착이 어려운 소지 중 하나인 plastic housing은 ABS, PS, PP, PPO, FRP와 더불어 SMC, BMC에 이르기까지 다양하며 가전용에서부터 산업용에 이르기까지 폭 넓은 특성을 지니고 있다. 전자파 차폐도료의 바인더는 그러한 소지의 특성에 맞게 설계되어야 하며 도막의 물리적, 화학적 안정성을 부여하여야 한다. 그렇지 않으면 열에 약하고 도료중의 용제로부터 표면이 침해당하여 cracking, crazing 현상이 발생하며 도막이 열화되어 박리를 일으킨다. 특히 도전성 도료의 경우 비중이 큰 금속 filler가 다량 들어있기 때문에 spray gun과 피도물 사이의 거리가 긴 경우, 안료가 침강되어 분말상태로 dry spray하는 경우 부착성 불량을 일으키기 쉽다. 따라서 도장전에는 충분히 교반되어져야 하며, 피도물에 따라 도장거리를 조절해야 한다.

소지의 종류 및 건조조건에 의하여 바인더는 건조성의 아크릴 수지, 비닐수지, 고무계의 것에서 2액형의 아크릴변성 폴리우레탄 수지, 에폭시 수지 등이 사용된다. PP 등 부착이 어려운 소지에는 부착성이 좋은 하도를 도포하고 소지표면을 화학적, 물리적으로 활성처리를 해 줄 필요가 있다. 저 발포형성의 Noryl 수지, SMC, RIM 등에는 2액형 아크릴변성 폴리우레탄 수지 및 에폭시 수지계 도전성 도료가 내구성, 부착성 등에 우수하다. 보통 건조가 빠른 수지가 생산성 측면에서 선호되고 있다.

최근에는 알코올계나 수계 전자파 차폐도료가 환경친화적인 이유로 각광을 받고 있으며 특히 수계의 경우 플라스틱 소지에 부착이 강화된 제품들이 출시되어 보다 경쟁력이 강화되고 있다. 또한 부도체인 바인더를 황산 및 인산염계 단량체를 공중합시켜 salt화 함으로써 전하 비국소화를 유도하여 도막의 전도도를 증가하는 방법이 사용되고 있는데 당사 실험에 의하면 도막의 전도도의 100배 이상 향상이 가능하였다. 이러한 단량체의 예로서는 acrylamido tertiary butyl sulfonic acid sodium salt, sodium *p*-styrene sulfonate, sodium isoprene sulfonate, sodium methallyl sulfonate 등이 있고 폴리에스테르계 우레탄 수지에 적용할 수 있는 5-(sodiumsulfo)isophthalic acid 등이 있다. 한편 금속 filler의 산화를 방지하기 위해서는 수지의 산가를 최소화 하는 것이 필요하다고 알려져 있다.

전도성 filler로서 전도성 고분자를 선택할 경우에는 바인더 선정에 매우 주의하여야 한다. 즉 전도성 고분자는 산 도판드와 이온결합된 일종의 양이온형 고분자로 음이온형 바인더에 응용될 때 응집이 일어날 수 있으므로 저장 안정성이 떨어진다. 따라서 비이온형 바인더가 추천되며 특히 수계에서는 분산형 바인더가 사용될 경우 비이온으로 안정화된 수지를 사용하여야 한다.

2.5.4 용제 및 기타 도료첨가제

용제는 열가소성 플라스틱을 용해시켜 소지에 적절한 부착이 나오도록 선정하는 것이 핵심이다. 즉 용해력이 약한 알코올, 지방족 탄화수소계 용제 또는 용해력이 강한 ester, ketone, 방향족 탄화수소계 용제에 균형있게 조합하여 결정한다. 선택을 잘 못하면 용제 crack 및 부착 불량을 일으키기도 한다. 최근에는 환경친화적인 도료가 각광을 받음에 따라 용제가 거의 없는 수계나 알코올계가 많이 사용되는 추세이다.

기타 주요 첨가제 중 도료의 레올로지 특성을 조절하여 도장 작업성을 좋게 하는 것이 증점제이며 저장 안정성을 위해 고분자 계면활성제가 사용된다.[16] 전도성 filler로서 전도성 고분자를 사용할 경우에는 바인더 선정에서와 마찬가지로 첨가제 선정에서도 주의를 기울여야 한다. 즉 비이온 형태의 첨가제가 추천되며 증점제의 경우에는 알칼리 팽윤성이 아닌 회합성 증점제가 추천된다.[17]

2.5.5 분산장치

EMI shield 도료의 분산 상태는 건조 후 도막중의 filler간 물리적 접촉에 영향을 미치므로 매우 중요하다. 분산이 잘 되어 filler들이 최대로 미세하게 분포하도록 분산설비, 분산조건이 설정되어야 한다. 흔히 고속 교반기, 롤 밀, 진동 밀, 니더 등이 사용되며 filler 종류에 따라 알맞게 선정되어야 한다. 특히 전도성 고분자 filler 같은 경우는 표면이 매우 친수적이고 입자간의 상호인력이 크게 작용하므로 분산 후 재응집이 발생하기 쉽다. 이를 방지하기 위해서는 적절한 분산제를 첨가해 주거나 수지를 선택해 입자 표면에 흡착되어 입자간 응집을 방지해 주는 조치가 필요하다.

3. 결 론

최근 도료업계의 추세는 친환경화에 따른 수계화, 고기능화가 특징이며 전자파 차폐용 코팅제도 마찬가지의 방향으로 발전하고 있다. 이에 따라 수계 바인더의 자체 전도도 향상 및 소지와의 부착성 향상, 물에 쉽게 산화되지 않는 금속 filler의 개발 및 제품 경량화가 가능하고 가격을 절감할 수 있는 전도성 고분자 filler의 개발 등이 핵심 기술로 대두되고 있다. 개인용 통신기기의 저변 확대로 인해 전자파 차폐도료의 시장은 지속적으로 커지고 있으며 전자파 차폐의 규제가 심해지면서 이들 기술개발에 대한 각 회사들의 관심과 노력이 집중되고 있다. 그 동안 이러한 시장의 추세를 읽지 못하여 국내의 상당한 시장이 몇몇 외국 기업에 의하여 잠식당한 상태이다. 국내 기업들 중 소수가 제품을 출시하고 있으나 아직까지 수지 및 filler 개발이 아닌 선진 외국사 원료들의 배합기술만을 보유하고 있다고 해도 과언이 아니다. 그러나 외국제품의 가격이 매우 높은 것으로 볼 때 동일한 성능을 보이면서 가격을 낮춘 제품을 개발한다면 향후 시장 개척전망이 비교적 밝다고 생각된다. 물론 이것은 적용 수지나 filler 제품들을 자체기술에 의하여 만들었을 때 가능한 일이며 따라서 이에 대한 집중적인 기술개발 노력이 요구됨은 물론이다.

참 고 문 헌

1. J. T. Hoback and J. J. Reilly, *J. of Elastomers and Plastics*, 20, 54 (1988).
2. Y. Nagasawa, *Plastic Korea*, 10, 46 (1997).
3. 김호군, *도장기술*, 117호, 57.
4. 失谷眞一, *工業塗裝* , 105, 85 (1990).
5. Y. Nomura, *Plastics*, 47, 40 (1996).
6. T. Kanbe, *塗裝工學*, 24, 429 (1989).
7. Electronics用 特殊塗料, Technical Report no.27, 編集人 檜桓寅雄, p13 - 30, CMC, 日本 東京, 1982.
8. J. M. Molyneux - Chind, *Finishing*, 20, 20 (1996).
9. A. M. Litman, D. M. Staggs, and N. E. Fowler, "Technical Papers: Regional Tech. Conf.," Society of plastics Engineers, EMI Shielding Plastics (Electromagnetic interference/radio - Frequency interference), p. 127, 1982.
10. A. E. Wiersma, L. M. A. vd Steeg, and T. J. M. Jongeling, *Synth. Met.*, 71, 2269 (1995).
11. F. Jonas and W. Krafft, US Patent 5,300,575 (1994).
12. B. Wessling, H. Merkle, Jr., and S. Blattner, US Patent 5,720,903 (1998).
13. 오응주, 주진수, *화학세계*, 36, 29 (1996).
14. 김형수, 홍승민, 금강고려화학 연구보고서 과제Code C00008O0 (2000).
15. 이정엽, 송형근, 정창근, 주진수, 장관식, 서정선, 오응주, 김재욱, *응용물리*, 2, 169 (1998).
16. H. El - Amin, *Plastics technology*, 8, 67 (1981).
17. 허귀행, *제 8회 도료/도장 기술 심포지움*, 한국공업화학회, 117 (2001).