

## 전자파와 섬유제품

### 안 태 환

(주)코오롱 기술연구소 산자연구팀

#### 1. 서 론

Electronics 기술이 빠른 속도로 발전하고 반도체 집적회로 등의 전자부품이 싼 가격으로 대량생산되면서 공장 자동화에 서부터 사무실의 전산화는 물론 가정에까지 각종 편리한 기능의 전자기기가 대량으로 공급되어 우리 주변의 많은 공간을 차지해가고 있다.

이들 전자기기에 사용되는 전자부품에서는 고주파의 전자파가 발생하는데, 이 전자파가 주변기기에 오작동을 일으키게 하거나 노이즈를 발생시키는 등의 피해사태가 늘어나고 있고, 전자기기를 소형, 경량화시키기 위해 하우징에 전기적 절연체인 플라스틱을 주로 사용하고 있으며, 전자회로가 작아지고 고집적화되면서 동작전류를 극소화시키기 때문에 미약한 전자 pulse가 주변에 영향을 주기 쉽게 되었다. 이러한 Electro Magnetic Interference(전자파장해, 이하 EMI)를 규제하기 위해 미국의 FCC(연방통신위원회)가 1983년 10월부터 상공업용 컴퓨터는 A class, 전자 게임이나 가정용 컴퓨터, 전자계산기 등의 전자기기는 B class로 하여 B class를 더 엄격하게 규제하기 시작하였으며, 독일에서는 VDE(독일 전기기술자 협회)가 자체 규제안을 만들고, CISPR(국제 무선장해 특별위원회)도 구체적인 규격권고안을 만드는 등 범세계적으로 EMI의 대책마련에 부심하고 있다.

한편 캐나다에서는 전산업무에 종사하는 여성들의 유산이나 생리적 장애가 발표된 바가 있으며 이때부터 전자파들이 주변기기 뿐만 아니라 인체에도 상당한 영향을 미치는 것에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 최근에는 정보통신기술의 발달로 이동 휴대전화의 생활화되면서 전자기기가 인체에 가까운 위치에서 사용되기 때문에 전자파에 대한 관심이 더욱 높아지게 되었고, 우리 나라에서도 1997년 7월 1일 인체보호를 위한 전자파 장해 검정수치 설정 및 7개 분야 차폐 의무화를 실시하고 있다.

EMI 방지대책으로는 전자회로의 설계단계에서 전자파의 발생을 방지해주는 방법과 전자기기에서 발생하는 전자파가 전자기기 밖으로 발생하는 것을 차폐하는 방법이 있는데 전자회로의 설계는 공간적인 한계 때문에 많이 사용되지 못하여 주로 후자를 사용하고 있다. 전자기기의 하우징에 사용되는 전자파 차폐재의 종류에 대해서는 많은 사례가 보고되어 있으며 각 전자기기 메이커마다 도전성 도료, 도전성 플라스틱,

아연용사 등의 방법을 이용하여 컴퓨터 본체, 전원 필터나 케이블 등으로부터 전자파가 발생하는 것을 방지하고 있다. 하지만 전자파 차폐재를 사용할 수 없는 VDT(Visual Display Terminal)앞에서 장시간 작업하는 사람에게는 테크노스트레스 증후군이라 불리는 눈의 피로, 시력저하, 두통이나 이 상출산 등의 증상이 지적되고 있어서 인체에 대한 EMI 대책이 중요하게 대두되고 있다.

VDT에 대한 EMI 대책으로서 전자파를 차폐하는 스크린 필터 직물이나 투명 도전성 플라스틱이 VDT의 보안필터로 상업화된 이후부터 전자파로부터 인체를 보호할 수 있는 전자파 차폐 에이프런이나 작업복 등에 이르기까지 다양한 상품이 연구되고 있다.

본문에서는 전자파 차폐의 원리 및 전자파 차폐 섬유의 개발내용과 의복 및 섬유제품에 어떻게 적용되고 있는지를 정리 하였다.

#### 2. 전자파 차폐원리 및 성능측정

전자파의 방사성 장해는 그림 1에서와 같이 원거리의 전자장해와 근거리의 전자장해로 구분되며, 원거리의 방사전자파는 원거리의 신호로부터 발생한 평면파가 주변기기에 장해를 일으키는 것이고, 근거리의 전자장해는 TV 고압장치나 CMOSIC처럼 적은 전류가 흐르지만 비교적 큰 전압이 걸리는 부품에서 발생하는 고임피던스 전계파와 ECL IC처럼 전압이 적게 걸리는 대신 비교적 큰 전류가 흐르는 부품에서 발생하는 유도전자파인 저임피던스 자계파가 장해를 일으키는 것을 말한다.

이들 전계파와 자계파 및 평면파는 서로 다른 특성을 가지고 있지만 자계전자파에 차폐효과가 있는 재료는 전계전자파에 대해서도 충분한 효과를 가지며 전자계 모든 전자파에 차폐효과가 있는 재료는 평면파에 대해서도 효율적으로 차폐성능을 갖는 것으로 알려져 있다.

전자파 차폐원리를 보면 그림 2와 같이 전자파가 전자파 차폐체로 입사하면 반사, 흡수 및 회절을 거쳐 나머지만 투과하게 되며 반사되거나 흡수된 전자파가 차폐된 것이다. 전자파 차폐효과는 처음에 입사된 전자파가 전자파 차폐체를 거치면서 반사나 흡수 및 회절을 통해 어느 정도 감소되었는지를 나타내며 이것은 (1) 및 (2)식과 같이 계산된다.

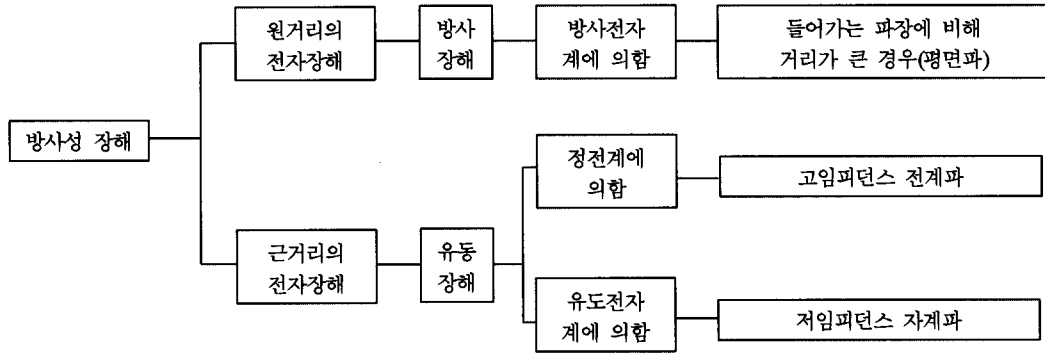


그림 1. 방사성 장애 전자파의 분류.

$$SE = 20 \log \left( \frac{E_1}{E_2} \right) \quad (1)$$

단 SE; 차폐효과(dB)

$E_1$ ; 입사전계강도(V/m)

$E_2$ ; 전도전계강도(V/m)

$$SE = R + A + B \quad (2)$$

단 R; 전자파 차폐재 표면에서의 손실(dB)

A; 차폐재 내부에서 전류유기에 의한 흡수손실(dB)

B; 차폐재 내부에서 반박반사에 의한 손실(dB)

(2)식에 전자파 차폐재의 체적고유저항과 주파수 시료의 두께를 대입하여 (3)식과 같이 나타낸 것도 있다.

$$SE = 50 + 10 \log \left( \frac{1}{\rho B f} \right) + 1.7t \sqrt{\frac{f}{\rho B}} \quad (3)$$

단  $\rho B$ ; 체적고유저항( $\Omega cm$ )

f; 주파수(MHz)

t; 시료의 두께(cm)

(3)식에서 보면 전자파 차폐재의 두께가 크고 체적고유저항이 적으면 고주파수대에서 뛰어난 전자파 차폐효과가 있음을 알 수 있다.

그림 3에 전자파의 차폐효과와 감쇠량의 관계를 나타냈는데 전자파가 감쇠될수록 전자파 차폐효과가 큰 것을 알 수 있다.

우리 주변의 전자기기들이 내는 전자파의 주파수대는 주로 30 MHz에서 1000 MHz 사이의 범위에 속해 있으며 전자파 장애도 이 주파수 범위를 규제하고 있고 일반적으로 차폐효과와 수준은 다음과 같이 알려져 있다.

- 10~30dB; 최소한의 차폐효과가 있음
- 30~60dB; 차폐효과가 있음
- 60~90dB; 차폐효과가 큼
- 90dB 이상; 최고수준의 차폐효과가 있음

전자파의 측정방법은 시료의 종류와 시편상태 및 전자파 특

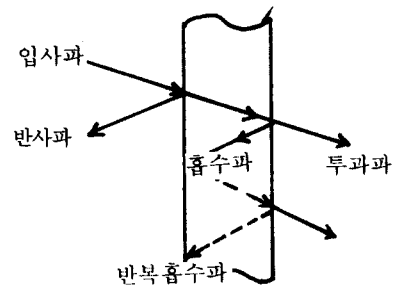


그림 2. 전자파의 반사와 흡수 그림.

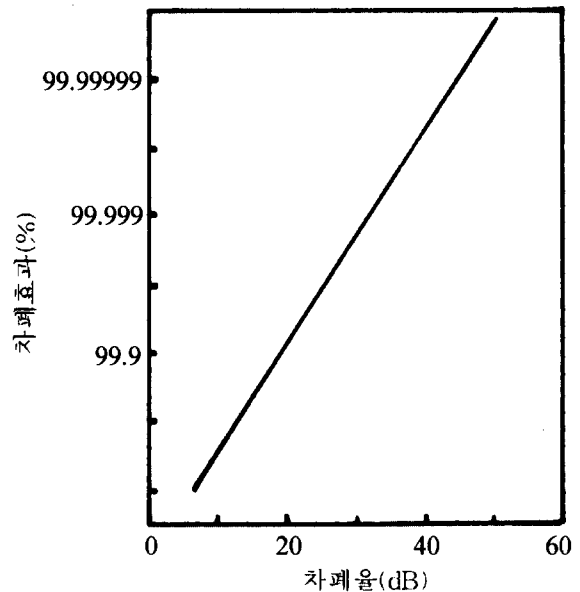


그림 3. 차폐효과와 감쇠량의 관계.

성에 따라 여러 가지가 있는데, 예를 들면 도우넛 형태의 도전성 플라스틱 시편은 ASTM D-4935를 기초로 제작된 coaxial fixture에서 휴렛 팩커드사의 OPT H98 spectrum analyzer로 0.01~1500 MHz까지의 주파수 범위를 측정하며, 소형 시편이나 섬유상 시편의 평면전자파는 Nalson 등이 제안한 직육면체의 차폐장치(Electrometrics사 NFC-1000 또는 Takeda Riken TR-4172 등)로 측정한다. 측정규격은 방법이나 국가에 따라 다르며 예로

써 저임피던스 자계의 전자파 차폐특성은 미국 육군규격인 MIL-STD-285의 규격이 많이 사용되고 있다. 이 밖에도 발신 안테나의 형태나 주파수대의 조합, 수신 안테나의 종류 및 차폐상자(shield box)의 조합을 통해 다양한 범위의 전자파 차폐 특성을 측정할 수 있다.

### 3. 전자파 차폐 섬유소재

전자파로부터 인체를 보호하기 위한 수단으로써 인체를 감싸는 의복이나 보호구에 전자파 차폐효과를 가진 섬유를 사용하는 예가 늘고 있으며 섬유의 체적고유저항 수치를 낮추어 전자파 차폐효과를 높이는 방법들을 정리하면 다음과 같다.

#### 3.1. 금속섬유의 사용

스테인리스 스틸이나 구리와 같은 금속을 직경 5~20  $\mu\text{m}$  정도 굵기의 섬유로 만든 금속섬유는 금속자체가 갖는 뛰어난 도전성과 낮은 체적고유저항치 때문에 우수한 전자파 차폐효과를 나타낸다. 하지만 금속자체의 강성과 드레이프성이 나쁜 결점 때문에 금속섬유 단독으로는 사용하는데 한계가 있으므로 면이나 합성섬유 등과 혼방이나 합사하여 원단을 만들어 사용한다.

이 원단들은 주로 정전기로 인한 사고를 방지해 주기 위해 주유소나 위험한 화학공장 작업자들이 입는 작업복 등에 사용되고 있지만, 최근에는 금속섬유의 혼합비율을 높여 전자파를 차폐하는 작업복이나 에이프런 등에도 많이 사용되고 있다. 금속섬유 자체로만 만든 원단은 70~90 dB 정도의 뛰어난 전자파 차폐효과를 나타내며 혼합비율에 따라 40~60 dB의 차폐성능을 갖는 원단을 만들 수 있다.

#### 3.2. 도전성 물질에 의한 후가공

섬유표면에 후가공으로 도전성 물질의 피막을 형성시켜 주는 방법으로 도전성 물질 및 후가공 방법에 따라 다음과 같이 분류된다.

**도전성 수지 코팅법:** 은(Ag), 구리(Cu)나 니켈(Ni)같은 금속, 산화아연(ZnO) 같은 금속산화물 또는 카본 블랙 미립자 등을 접착성 수지에 섞어 원단 표면에 코팅하는 방법인데 섬유와의 접착력이나 피막강도가 우수하며 다양한 원단에 적용할 수 있는 방법이기 때문에 많이 사용되고 있지만 30% 이상 도전성 물질을 넣어도 전자파 차폐성능이 20 dB 정도의 수준밖에 되지 않으므로 정전기를 제거해주는 기능의 의복이나 인체의 열을 반사하여 보온효과를 높인 원단으로는 사용이 되지 않지만 전자파 차폐 원단으로는 거의 사용되지 않는다.

**금속박막 라미네이팅법:** 5~20  $\mu\text{m}$  정도 두께의 알루미늄이나 구리 같은 금속의 박막을 원단에 접착제로 라미네이팅(합포)시키는 방법으로써 전자파 차폐성은 90 dB 수준이상의 뛰어난 성능을 나타내지만 금속박막의 강연도 때문에 원단의 드레이프성이 거의 없고 주름회복성도 나빠서 의복으로는 거의 사용되지 못하고 특수 작업장의 벽지나 작업대판 등의 용도로 일부 사용되고 있다.

**구리화합물 고착법:** 요오드화 제1구리나 황화구리 같은 구리 화합물에 아크릴섬유를 함침시키고 아크릴 섬유의 -CN(시아노기)와 구리이온을 착체로 만들어 고착시켜주는 방법으로써 최근에는 폴리에스터나 나일론 같은 합성섬유에도 가공이 되고 있다. 예로써 폴리에스터 섬유에 가공한 것을 보면 섬유표면에 4  $\mu$  정도 두께의 요오드화구리가 형성되며 이때의 전자파 차폐효과는 20 dB 수준으로써 낮은 편이지만 정전기 방지용 장갑이나 제전 매트 등에 많이 사용되고 있다. 일본의 니혼잠모염색(주)에서는 전기비저항치를  $5.85 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ 까지 낮춘 제품을 개발하여 전자파 차폐효과를 45~56 dB까지 낸 제품을 생산하고 있다. 하지만 이 제품은 구리화합물의 색상이 담황색이나 차녹색을 띄기 때문에 색상 면에서 다양한 상품전개가 힘든 점도 있다.

**유기 공중합체 피막 형성법:** 섬유표면에 아세틸렌, 피롤, 아닐린 또는 티오펜 등의 모노머로부터 중합된  $\pi$ -전자공역계 유기폴리머 피막을 형성시키는 방법이다. 이중 공기 중에서 화학적으로 가장 안정한 폴리피롤 화합물이 많이 응용되지만 이중 결합의 분자쇄가 강직하여 촉감이 나쁘고 색상이 검기 때문에 의복으로는 사용되지 못하고 콘텐서나 2차전지 등의 전자재료 용도로 쓰인다.

**금속피막 형성법:** 섬유표면에 알루미늄, 구리, 니켈이나 은 등의 금속피막을 형성시켜 전자파 차폐성을 부여하는 방법으로써 전자파 차폐효과도 좋고 대량의 가공도 가능하여 가장 많이 상업화된 방법이다. 처리기술에 따라 다음과 같이 구분된다.

##### • 금속 진공증착법

알루미늄을 1400°C 정도의 온도에서 용융시킨 다음 가공장치내에  $10^{-4}$  torr 정도의 진공을 걸어주면 용융된 알루미늄 증기가 비산되어 섬유표면에 균일하게 부착되면서 냉각드럼과의 접촉으로 고착되는 가공법이다. 최근에는 부직포상에 알루미늄 진공증착을 하여 전자파 차폐용도로 사용한 예가 보고되어 있으며 일반적으로는 섬유 표면의 요철과 일정 두께이상으로는 가공하기 어려운 점 때문에 충분한 전자파 차폐성을 내기 힘든 것으로 알려져 있다. 주로 필름 같은 평면에 가공을 많이 하며 알루미늄 증착막과 섬유의 접착력도 약한 편이다.

##### • 스퍼터링(sputtering)

보통  $10^{-1} \sim 10^{-3}$  torr 정도의 진공장치안에 아르곤 가스를 주입하고 섬유에는 +극, 금속에는 -극을 연결하여 수천 볼트 정도의 고압을 걸어 방전시키면 아르곤 가스가 +이온이 되어 -금속이온을 충돌시켜 금속원자를 발생시키고 이 금속원자가 +극인 섬유 상에 부착되는 원리의 가공방법이다. 진공증착법보다 섬유와의 밀착강도가 우수하여 세탁도 가능하고 30~40 dB 정도의 전자파 차폐효과도 나타낸다. 일본의 스토라세이젠 염색공장에서 생산되는 "오로라 가공" 제품이 있다. 사용되는 금속은 스테인리스 스틸, 구리, 은, 니켈 또는 크롬 등이 있다.

##### • 무전해 도금법

섬유표면에 팔라듐(Pd)이나 은(Ag)같은 귀금속 촉매를 침착시키고 황산니켈이나 구리화합물 용액에 침지시키면 구리나 니켈 이온이 화학적 에너지 차로 인해 섬유상의 촉매에 반응하면서 섬유 상에 부착되는 원리의 화학적 도금방법으로써 처리시

표 1. "다이아멕스" 직물의 성능

품번	T-510		T-520		T-530	
섬유 소재	폴리에스터 스펀직물		폴리에스터 스펀직물		폴리에스터 필라멘트 직물	
도금 금속	니켈		구리		니켈	
원단 두께(mm)	0.15		0.15		0.13	
중량(g/m <sup>2</sup> )	100		90		50	
표면 코팅	아크릴수지		아크릴수지		아크릴수지	
표면 전기저항(O/cm <sup>2</sup> )						
코팅전	2×10 <sup>-1</sup>		9×10 <sup>-2</sup>		2×10 <sup>-1</sup>	
코팅후	5×10 <sup>-1</sup>		3×10 <sup>-1</sup>		5×10 <sup>-1</sup>	
전자파차폐성(dB)	전계	자계	전계	자계	전계	자계
30MHz	59	12	58	3	56	8
100MHz	68	23	68	8	59	17
500MHz	52	61	46	30	44	42
1000MHz	40	37	37	27	32	39
인장강력(kg/25 mm)						
경사	66.7		72.2		21.9	
위사	49.3		50.2		17.5	
인장신도(%)						
경사	20.3		19.2		31.0	
위사	19.2		23.9		35.7	

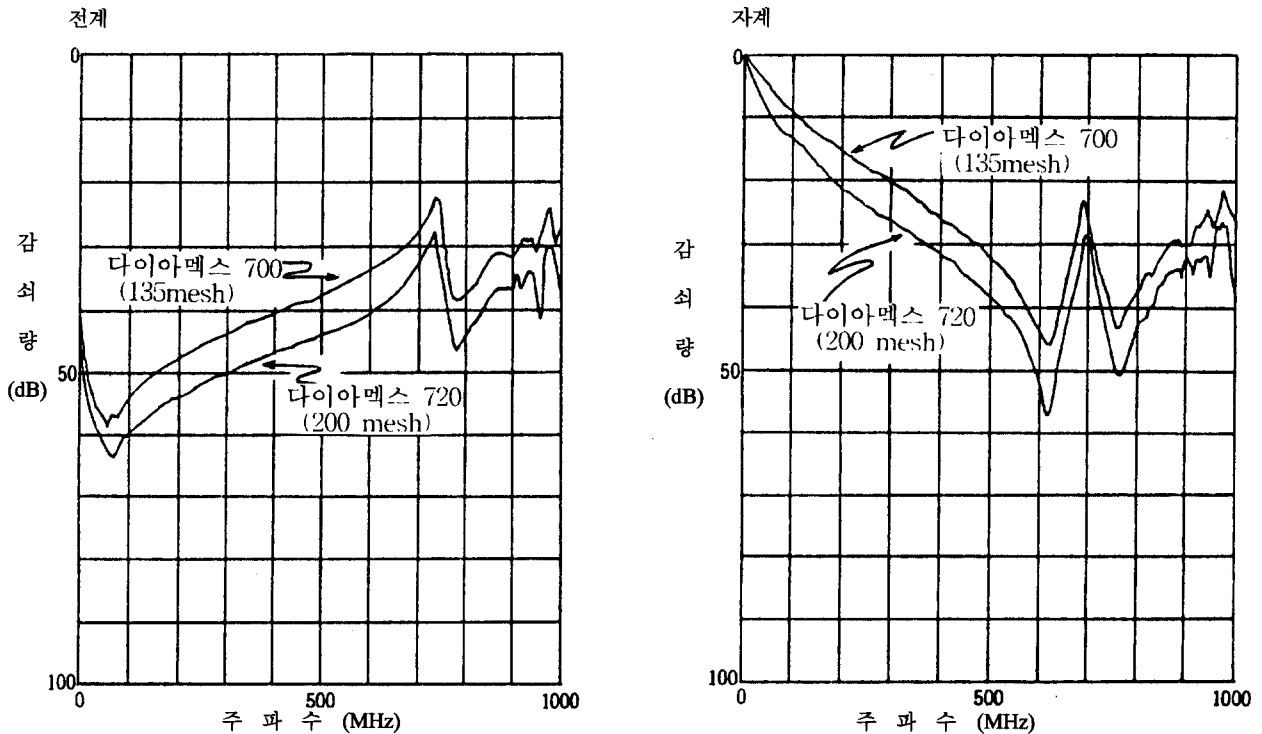


그림 4. 다이아멕스 700과 720의 전자파 차폐성능.

간에 따라 도금두께를 늘릴 수도 있고 섬유 상에 균일한 금속 피막을 형성시키기 때문에 60~85 dB까지의 높은 전자파 차폐성을 나타낼 수 있다. 섬유표면이 금속 막으로 피복되기 때문에 금속색상이 나며 도금두께에 따라 강연도를 조정할 수 있고 드레이프성도 양호한 편이다. 가공공정에서 도금액의 공해문제가

대두되기도 하지만 플라스틱처럼 전처리 공정에서 중크롬산이나 강산을 사용하지 않기 때문에 심각한 문제는 아니다.

이 방법은 모든 종류의 섬유에 가공할 수 있고, 일본에서 많이 생산되고 있으며 미쓰비시레이온의 "다이아멕스", 세이렌의 "프랏트", 타카세센의 "메탁스"와 사카이섬유공업의 "에믹

크" 등이 상품화되어 있다.

참고로 "다이아텍스" 제품의 물성과 전자파 차폐성능을 표 1과 그림 4에 나타냈다.

#### • 기타

도전성을 가진 카본섬유는 전기에너지를 이용한 도금을 할 수 있다. 전기도금은 무전해 도금에 비해 섬유와의 밀착강도와 피막강도가 우수하지만 도전성이 우수한 섬유에만 가공이 가능한 제약을 가지고 있다. 이외에도 이온플레이팅법 등의 가공법도 있다.

### 4. 전자파 차폐섬유의 응용

전자파 차폐섬유중에서 가장 먼저 상품화된 것은 VDT에서 나오는 전자파를 차단하는 보안필터이며, 135~200 mesh의 반투명성 직물에 니켈이나 구리도금을 한 후 검은 색 도료를 도장한 제품이다. 이러한 VDT 보안필터가 상품화된 이래로 뛰어난 도전성과 전자파 차폐성을 이용한 다양한 제품이 계속 개발되고 있으며 다음과 같은 용도로 응용되고 있다.

#### 4.1. 전자파 방호재

전자파로부터 인체를 보호하는 용도이며 전산업무 작업자의 에이프린, 작업복 및 VDT 보안필터 등에 사용되고 있고, 최근에는 휴대전화의 케이스나 양복의 전자파 차폐 안감지 등에 적용되고 있다.

#### 4.2. 전자파 차폐재

전기기기 부품, 쉴드 케이블과 같은 피복재에서 실내 인테리어용의 전자파 차폐 커튼, 차폐 벽지, 차폐 패널 등 건축자재까지 폭 넓게 사용되고 있다. 과학적으로 검증된 것은 없지만 최근에 사회적으로 이슈화된 수맥문제를 해소하는 상품으로써 침대, 장판지나 돛자리 등에 수맥과 차폐용으로도 사용되고 있다.

#### 4.3. 정전기 제거재

정전기 제거 테이프, 정전기 제거 열쇠지갑 및 장갑, 양말이나 작업복에서 염색 가공공장의 정전기 방지를 위한 제전 브러쉬 및 복사기 내부의 정전기 제거장치 등에 널리 사용되고 있다.

#### 4.4. 면상발열체

일정 수준의 체적고유저항을 갖는 전자파 차폐섬유에 약한 전압을 걸어주면 40°C 정도의 열을 발생시키는 발열기능을 나타내므로 휴대용 건전지로 일정부분을 따뜻하게 할 수 있는 보온의복이나 전기장판 또는 도로의 융설장치 등에 널리 사용되고 있다.

#### 4.5. 기타

구리 등의 금속은 항균성이 우수하므로 위생용 재료로도 사용되고 열을 반사시키는 성능을 이용한 보온의복, 뛰어난 내열

성을 이용한 내열보호 작업복 등에도 사용되고 있다.

### 5. 맺음말

새로운 밀레니엄인 2000년에는 상상 못할 정도로 정보, 통신 과학기술이 진보하여 우리 주변에 더욱 많은 전자기기들이 우리 인체와 밀접하게 사용되며 이들 전자파로부터 인체를 보호하는 EMI 대책도 보다 심각하게 대두될 것이다.

며칠 전에는 국내에서도 전자파에 노출시킨 실험용 쥐들에게서 암의 발병건수가 많았다는 사실이 보도된 바가 있고 해외에서도 인체에 미치는 전자파의 유해성이 계속 입증되고 있으므로 인체를 감싸고 있는 의복에 있어서 전자파 차폐 기능은 더욱 중요한 필수항목이 될 것으로 생각된다.

작년에는 국내 스포츠 의류 메이커가 아이디어 상품으로써 양복의 휴대전화 전용 안주머니에 전자파 차폐 원단을 사용하여 소비자들에게서 크게 인기를 얻었으며, 유명 내의 메이커에서는 유방암 발생억제 용도로 브래지어에 전자파 차폐 원단을 사용한 신제품을 개발하였다. 이외에도 수맥차단용 방석이나 이부자리에서부터 공부방의 벽지나 커튼용 등에 전자파 차폐 원단을 적용시키고자 하는 아이디어 상품이 많이 연구되고 있어서 전자파와 관련된 섬유제품은 앞으로도 크게 늘어날 전망이다. 이에 따른 전자파 차폐 섬유제품의 규격화와 공인기관의 성능검정 등이 요구된다.

### 참고문헌

- 한은경·김은애·오경화 (1998) 전자파 차단 의류소재 및 방한복 개발(1)-전도성 코팅법과 무전해 도금법의 비교. 한국섬유공학회지, 35(8), 515-524.
- 西林義文 (1988) ズバツタリノウにまる「オーロラ」加工. 加工技術, 23, 711.
- 馬場義郷 (1988) 電磁波シールド加工「プラット」. 加工技術, 23, 703.
- 小林修三 (1986) 「ダイヤメツワス」と電磁波障害対策について. 纖維科學, 28, 26.
- 金原 榮 (1989) "스파ッタ링현상". 東京大學出版會, 東京.
- 吉村 進 (1987) "導電性ポリマー". 共立出版, 東京.
- 三菱化成, 日本 特開平, 3-8867.
- 三菱化成, 日本 特開平, 3-8869.
- 日立化成工業, 日本 特開昭, 61-199071.
- ユニチカ, 日本 特開昭, 58-60064.
- 帝人, 日本 特開昭, 55-107504.
- 旭化成工業, 日本 特開昭, 63-50569.
- CMC (1982) 電磁シールド 技術, 95.



안 태 환(Tae-Hwan Ahn)

성균관대학교 섬유공학과 졸업

성균관대학교 대학원(공학박사)

日本 大阪市立大學 연구생

日本女子大學 연구생

현재 한국의류산업학회 이사

현재 (주) 코오롱기술연구원 산자연구팀장