

전도성 고분자를 이용한 전자파 차폐효과의 연구

A Study on the Electromagnetic Shielding Effectiveness Using Conductive Polymers

하남규, 이보현, 김태영, 김종은, 서광석

(Nam-Kyu Ha, Bo-Hyun Lee, Tae-Young Kim, Jong-Eun Kim, Kwang S. Suh)

Abstract

The conductive polymers, polyaniline (PANI) emeraldine base and 3, 4-polyethylene dioxythiophene (PEDOT) were synthesized and coated on the PET film dealt with acryl type primer to study the electromagnetic shielding effectiveness. When both PANI and PEDOT were coated on the PET film dealt with acryl type primer, their surface properties such as the adhesive increased. For PANI, when blended with the binder such as PMMA, its adhesive and surface hardness increased, too. The visible light transmittance decreased, while the electromagnetic shielding effectiveness increased, when coated thickness of PANI and PEDOT increased. For PANI, the electromagnetic shielding effectiveness increased as its surface resistance decreased. For PANI, when the surface resistance was $140 \Omega/\square$, the shielding effectiveness was found to be 11 dB in the far field, and 13 dB in the near field at 1 GHz. For PEDOT, when the surface resistance was $200 \Omega/\square$, the shielding effectiveness was found to be 3 dB in the far field, and 7 dB in the near field.

Key Words : PANI, PEODT, electromagnetic shielding effectiveness, conductivity, surface resistance

1. 서 론

우리가 사용하는 모든 전기·전자 기기에는 전류가 흐르고 있으며 이 전류 주위에는 전계와 자계가 유도되는데 전위차에 의해 공간이 생긴 전계가 시간적으로 변화하면 그 주위에 전자계가 발생한다 [1]. 이때 기기가 의도하는 바와 상관없이 전류가 흘러 불필요한 에너지인 전자파 노이즈가 발생하게 되며 이 노이즈가 전달경로를 통해 다른 기기에 전달되면 성능의 저하나 오동작의 원인이 되는데, 이를 "전자파 장애"라고 하며 크게 두 가지로 분류한다. 먼저

전자기기에서 발생하는 전자파가 매질을 통해 다른 기기에 전달되는 것을 능동적 장애, EMI (Electro Magnetic Interference)라 하며 외부에서 침입되는 전자파에 의한 장애를 수동적 장애, EMS (Electro Magnetic Susceptibility)라고 하며 이 둘을 포괄하는 용어로 EMC (Electro Magnetic Compatibility)가 사용된다 [2].

최근 TV, 컴퓨터 등 각종 전자제품을 많이 사용하는데, 이들 전자제품에서 발생하는 전자파 차폐에 관한 관심이 높아지고 있는데, 이는 능동적 장애인 EMI에 해당된다 [3, 4]. 이들 전자제품을 안전하게 사용하기 위해서는 이들 제품으로부터 발생하는 전자파를 차폐해야하므로 전자파 차폐재료 및 차폐기술의 개발은 매우 절실한 실정이다. 국내를 비롯한 세계적인 추세는 모든 전자제품에 대한 전자파 차폐를 규정화하려고 하나 제조 공정이 까다로운 Indium Tin Oxide (이하 ITO)를 대체할 수 있는 차

고려대학교 재료공학과

(서울특별시 성북구 안암동 5-1 고려대학교,

Fax: 02-927-4546

E-mail : kakushow@popmail.com)

2000년 10월 14일 접수, 2000년 12월 15일 1차심사완료

2001년 2월 12일 2차심사완료

폐재료의 개발이 미진한 상황이라 일부 품목에만 전자파 차폐기술이 적용되고 있는 실정이다. 외국의 전자파 차폐에 관한 규정도 마찬가지로 해가 갈수록 엄격해질 전망이다.

현재까지 채택하고 있는 전자파 차폐기술은 전도성 고분자를 이용한 방법, 고분자 복합재료를 이용하는 방법, 무전해 도금법 그리고 구리 및 은분을 코팅하는 방법 등이 있다. 현재는 무전해 도금법 및 금속 분말 코팅법 등을 주로 이용하고 있으나 이는 물성의 저하 또는 고가 등의 이유로 인하여 현재 마땅한 방법이 없는 실정이다. 전도성 고분자를 이용하는 방법은 매우 이상적인 방법이지만 현재까지 제조된 전도성 고분자는 모두 성형성이 매우 나쁘기 때문에 대량 생산을 위한 공정에는 사용할 수 없다는 단점이 있어 사용되지 못하고 있다. 특히 이들 전도성 고분자는 진한 색깔을 띠고 있기 때문에 투명성이 요구되는 부품에는 사용할 수 없다.

Polyaniline (이하 PANI)은 가격이 저렴하고 합성이 용이하며 크고 긴 알킬기를 갖는 dodecylbenzene sulfonic acid 또는 camphor sulfonic acid 등의 유기산으로 도핑 할 경우 m-cresol, CHCl₃ 등의 비극성 또는 약한 극성의 유기 용매에 대한 용해도가 증가하며 전기 전도도가 크게 향상된다 [5, 6, 7]. 또한 PANI은 사용 용매에 따라 용해도에 차이가 날 뿐만 아니라 전도도에도 큰 차이가 있다 [8, 9]. 또한 PANI은 다른 전도성 고분자에 비하여 가공성이 우수하여 현재 floppy disk 대전방지 코팅 재료로 쓰여 용량을 늘리는 기능을 하는 등 여러 분야에 적용되고 있다.

Polythiophene 또한 활발히 연구가 진행중이며 여러 분야에 적용되고 있다. thiophene 단량체의 3번과 4번 위치에 ethylenedioxy기를 가지고 있는 3,4-ethylenedioxythiophene을 가지고 합성된 고분자인 3,4-Polyethylenedioxythiophene (이하 PEDOT)은 ethylenedioxy기에 의한 전자공여효과에 의하여 낮은 optical band gap (760~780 nm, 1.6~1.7 eV)을 가지고 있다. 따라서 다른 전도성 고분자에 비해 산화상태의 고분자 흡수밴드가 적외선 영역에 존재하여 투명한 성질을 가지는 장점이 있기 때문에 투명성을 요구하는 CRT용 브라운관등의 대전방지 및 차폐재료로 응용 가능성이 크다.

본 연구에서는 PANI과 PEDOT을 이용하여 전자파 차폐효과, 전기 전도도, 표면 저항을 측정하였고, 접착력, 연필심 경도, 투명도와 같은 표면 물성을 측정하였다.

2. 실험

2.1 PANI과 PEDOT의 합성

PANI은 aniline 단량체를 ammonium persulfate를 개시제로 하여 HCl로 도핑된 PANI emeraldine salt를 합성하였고 1M HCl과 0.1N NH₄OH로 산화상태를 조절하여 PANI emeraldine base (이하 EB)를 만들었다. 그리고 PANI 분말과 dopant의 몰비가 1:2가 되게 하여 교반하여 도핑된 PANI를 얻었다 [10]. 그림 1에 PANI의 합성경로가 나와 있다.

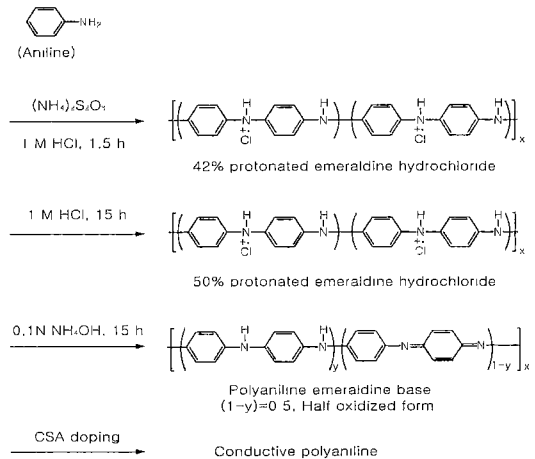


그림 1. PANI의 합성 경로.

Fig. 1. Syntheses of PANI.

PEDOT은 도핑 과정을 피하기 위해 중화를 위한 산화제로 ferric toluenesulfate (이하 FTS)를 사용하였다. 그리고 코팅액으로 사용하기 전에 하는 장시간의 sonification을 피하기 위해 대상 기관 위에 직접 코팅을 하여 합성하였다. 이 경우 미 반응물이 기관 위에 남게 되지만 이는 용매에 의해 비교적 쉽게 제거가 되기 때문에 비교적 간단하게 전도성 코팅막을 얻을 수 있었다. 그림 2에 PEDOT의 합성경로가 나와 있다.

2.2 코팅

PANI과 PEDOT를 일정 용매에 녹인 후 Polyethylene terephthalate (이하 PET) 필름 위에 코팅을 실시하였다. 코팅 방법으로는 일정한 크기의 흡을 가지고 있어 코팅 면의 두께 조절이 용이하고 용액의 손실이 적은 bar 코팅을 실시하였다. 이 방법은 spin 코팅은 넓은 면에 균일한 두께로 코팅하기 어렵고, spray 코팅 또한 두께 조절이 어렵고 용액의

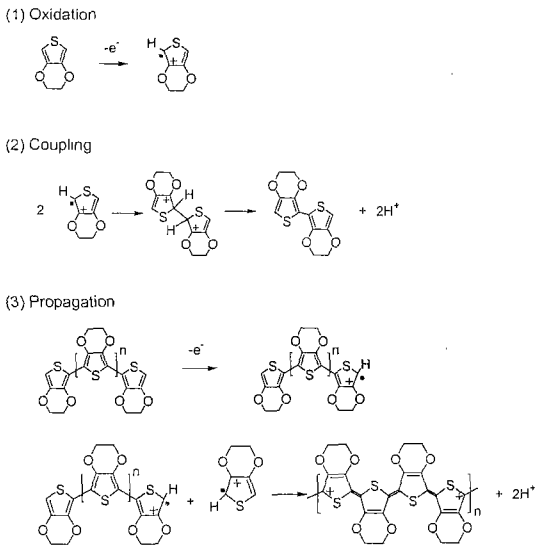


그림 2. PEDOT의 합성 경로.
Fig. 2. Polymerization mechanism of PEDOT.

손실이 많으며 먼지 등의 불순물의 유입이 쉽다는 단점을 보완 할 수 있는 코팅 방법이다 [11]. 표 1에 bar coater number에 따른 코팅 두께가 나와 있다.

대상 기판이 코팅성에 큰 영향을 미치나 물성 측정이 용이하며 쉽게 구할 수 있기 때문에 PET 필름을 선택하였고 PET 필름은 코팅 시 접착력을 증가시키기 위하여 acryl 계통의 primer 처리가 되어 있는 것을 사용하였다. 또한 전자파 차폐효과를 높이기 위하여 ITO가 증착된 PET 필름도 사용하였다.

2.3 물성 측정

투명도는 UV/VIS (UV/Visible Spectrophotometer - MPDS 1024)로 투과도를 측정한 후 가시광선 영역인 380~800 nm 영역에서 적분하여 계산하였다. 연필심의 정도에 따라 굵히는 정도를 관찰하여 표면 경도를 측정하였고, 3M 사에서 나오는 매직 tape를 이용하여 접착력을 측정하였다 [12, 13].

2.4 전기 전도도 및 표면저항 측정

전기 전도도는 4단자법 (Keithley 236 source - measure unit)을 이용하여 상온에서 대상 시료에 전류를 가한 후 전압을 측정하고 아래와 같은 계산식 (식 1)에 대입하여 표면 전기 전도도를 구하였으며 표면 비저항측정기 (surface resistivity meter - PINION

표 1. Bar coater number에 따른 코팅 두께.
Table 1. The coated thickness according to the number of bar coater.

Bar coater	Thickness (μm)	Bar coater	Thickness (μm)
Bar 3	0.343	Bar 10	1.145
Bar 5	0.5715	Bar 12	1.37
Bar 7	0.8	Bar 14	1.6
Bar 9	1.03	Bar 16	1.63

SRM-110)를 이용하여 표면저항을 측정하였다 [14].

$$\sigma \text{ (S/cm)} = \frac{d}{t \times l} \frac{A}{V} \quad (1)$$

d : probe 사이의 간격

l : 시료와 접촉되는 probe 의 길이

t : 시료의 두께

A : ampere

V : voltage

2.5 전자파 차폐효과

근역장에서의 차폐특성 측정에는 Duel TEM cell 방법을 이용하였고 측정장치가 그림 3에 나와 있다. 두 개의 cell로 되어 있는 부분을 분리하여 시료를 장착한 후 전기장은 시료면에 수직인 방향으로 자기장은 시료면에 평행한 방향으로 측정하여 전자파 차폐성을 측정하였다.

원역장에서의 차폐특성 측정에는 flanged circular transmission line 방법을 이용하였고 시편의 형태가 그림 4에, 측정장치가 그림 5에 나와 있다 [15]. 전자파 발생기와 수신기 기능을 갖춘 network analyzer (HP8720C)를 사용하여 차폐효과를 측정하였다. 그림의 원형부분에 시료를 장착하고 이 부분을 통하여 전자파가 입사되고 차폐효과를 측정하였다.

위 방법에 의해 측정되는 전자파 차폐효과는 식 (식 2)에 의해 계산하였다 [16, 17].

$$SE \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \quad (2)$$

SE : Shielding Effectiveness

P_i : 시료가 있을 때의 power

P_o : 시료가 없을 때의 power

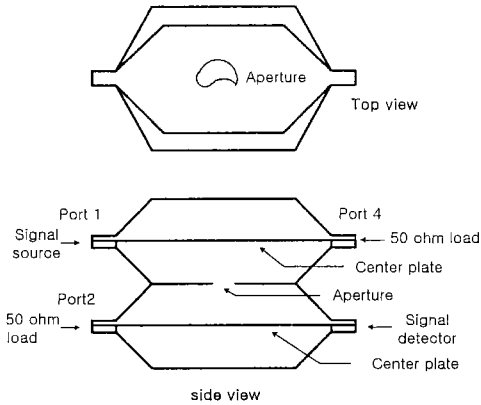


그림 3. 이중템셀 측정기구.
 Fig. 3. Dual TEM cell test fixture.

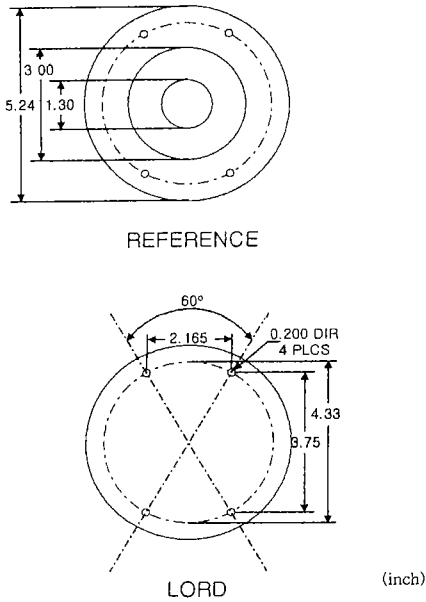


그림 4. 전자기파 차폐효과 측정을 위한 reference와 load 시편 규격.
 Fig. 4. Dimensions of reference and load specimens for EMI shielding effectiveness test.

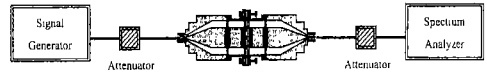


그림 5. 전자기파 차폐효과 측정기기의 개략도.
 Fig. 5. General EMI shielding effectiveness test setup.

3. 결과 및 고찰

3.1 합성 확인

합성된 PANI의 산화상태 및 반응 진행여부를 알아보기 위하여 FTIR을 측정하였으며 그림 6에 결과가 나와 있다. 이 스펙트럼은 중간 산화 상태인 PANI EB의 구조를 확인할 수 있는데 $1596, 1502 \text{ cm}^{-1}$ 의 강한 두 개의 피크의 비율이 1.1 정도로 중간 산화 형태임을 확인할 수 있었다. 또한 $3100 \sim 3400 \text{ cm}^{-1}$ 의 약간 굴곡이 있는 피크는 N-H의 신축 진동에 의한 것으로 기존의 결과와 잘 일치하였다 [8].

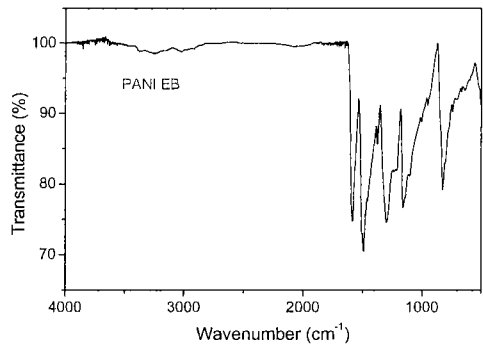


그림 6. PANI EB의 FTIR 스펙트럼.
 Fig. 6. FTIR spectrum of PANI EB.

3.2 물성 측정

표 2에 보면 PANI과 PANI/binder 블렌드의 코팅 물성이 나와 있다. 보는 바와 같이 PANI만으로 코팅을 했을 경우 표면저항은 $1000 \Omega/\square$ 으로 낮게 나왔지만 표면경도나 접착력, 투명도가 낮게 나왔다.

표 2. PANI 및 PANI/binder 블렌드의 코팅 물성.

Table 2. Properties of PANI and PANI/binder blend coating.

물성	PANI	PANI/binder (9 wt%)
표면저항	$<10^4 \Omega/\square$	$10^4 \sim 10^5 \Omega/\square$
경도	4B	3H
접착력	0B	4B
투명도	60 %	80 %

그러나 PANI를 PMMA와 같은 acryl 계통의 binder와 블렌드하였을 경우 표면저항은 $10^4 \sim 10^5 \Omega/\square$ 정도로 높게 나왔지만 표면경도, 접착력 등의 표면 물성이 증가하는데 표면경도의 경우 PANI가 4B이하였던 것이 3H로 증가하였고 PANI는 접착력이 거의 없는 0B에 가까운 상태이나 4B로 크게 증가하였다 [12, 18]. 이것은 PANI 자체는 acryl 계통의 primer로 처리된 PET와 상용성이 없어 접착력이 낮게 나왔지만 PMMA를 binder로 사용함에 따라 film과 상용성이 생겨 접착력이 증가한 것으로 보인다. 또 binder를 사용함에 따라 표면 경도 역시 증가한 것으로 보인다. 또 고분자 binder에 대한 PANI의 함량이 증가하면 투명도가 떨어지는데 PANI 자체의 투명도는 대략 60%정도였고 PMMA에 대하여 PANI를 9 wt% 혼합한 용액을 코팅하였을 경우는 80%정도였다. 이것은 PANI 자체는 색깔 때문에 투명도가 낮지만 투명한 PMMA와 혼합함에 따라 투명도가 증가한 것으로 사료된다. 그림 7에서 보듯이 PANI의 함량이 증가할수록 블렌드의 전기전도도가 증가하였으며 9 wt%이상에서는 크게 증가하지 않음을 알 수 있었다.

PEDOT의 경우 primer 처리가 되어 있지 않은 PET 필름에 코팅할 경우 접착력이 거의 0B였던 것이 acryl 계통의 primer가 처리된 PET 필름을 사용하였을 경우 4B이상으로 증가하는 것이 관찰되었다. 이는 PEDOT 용액 제조 시 넣어준 adhesive agent가 PET 자체와는 상용성이 없지만 acryl 계통의 primer와는 상용성을 가져 접착력이 증가한 것으로 보인다. 또 표 3를 보듯이 산화제의 함량이 증가할수록 표면저항과 함께 표면경도 역시 떨어지는 것으로 관찰되었다.

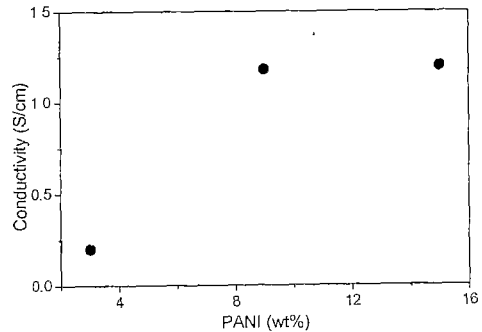


그림 7. PANI/binder 블렌드의 PANI 함량에 따른 전기전도도 변화.

Fig. 7. Conductivity of PANI/binder blends as a function of PANI content.

표 3. 산화제 함량에 따른 코팅막의 물성.

Table 3. Surface properties as a function of oxidant content.

FTS 함량 (mole)	표면저항 (Ω/\square)	경도
2.3	1×10^4	2H
3	5×10^4	2H
4	2×10^2	H

3.3 전자파 차폐효과

그림 8에 camphor sulfonic acid가 도핑된 PANI와 acryl 계통의 binder와 혼합된 PANI를 PET 표면에 용액 캐스팅 방법으로 코팅한 재료의 주파수에 따른 원역장에서의 전자파 차폐효과가 나와 있다. 측정 결과 전기 전도도가 20 S/cm이고 두께가 5 μ m인 PANI 필름 시료의 전자파 차폐효과는 측정 주파수 영역에서 7~10 dB 정도를 보이고 두께가 18 μ m인 필름 시료는 12~15 dB 정도의 전자파 차폐효과를 보였다. 이 결과는 차폐재료의 두께가 두꺼워질수록 차폐효과가 증가한다는 기존 결과와 일치한다 [19]. 또한 전기전도도가 1 S/cm이고 38 μ m의 두께를 갖는 PANI/binder (50/50 wt%)를 PET 필름 위에 코팅한 경우 전자파 차폐효과가 9~13 dB 정도, 전기전도도가 0.5 S/cm이고 65 μ m 두께의

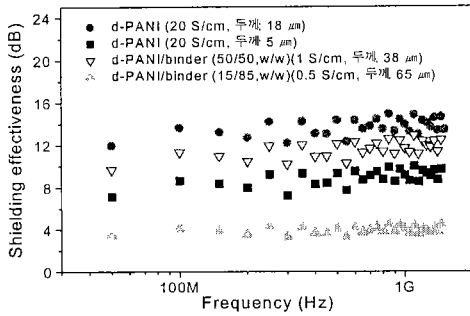


그림 8. PANI와 PANI 블렌드의 전자기파 차폐효과 (원역장).

Fig. 8. EMI shielding effectiveness of PANI and PANI blends (far field).

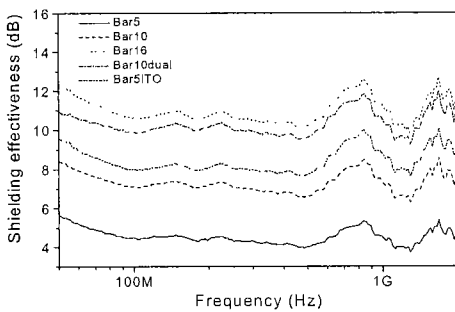


그림 9. PANI의 전자기파 차폐효과 (원역장).

Fig. 9. EMI shielding effectiveness of PANI (far field).

표 4. PANI의 전자기파 차폐효과 (원역장).

Table 4. EMI shielding effectiveness of PANI (far field).

Bar coater	저항(Ω/\square)	차폐효과(dB)
Bar 5	5×10^2	4~6
Bar10	3×10^2	7~9
Bar16	1.4×10^2	11~13
Bar10dual	3×10^2	10~12
Bar5ITO	5×10^2	8~10

PANI/ binder (15/85 wt%) 시료는 3~5 dB 정도의 전자기파 차폐효과를 보였다. 코팅 두께가 더 두꺼웠

음에도 불구하고 전기전도도가 높은 쪽이 차폐효과가 더 좋은 것으로 봐서 전기전도도가 차폐효과에 주도적인 역할을 한 것으로 보인다.

그림 9 및 표 4에는 두께별로 bar 코팅한 PANI의 원역장에서의 전자파 차폐효과가 나와 있다. 여기서 보듯이 두께가 증가할수록 차폐효과가 증가함을 알 수 있었다. 하지만 #10 bar coater를 이용한 단면코팅과 양면코팅을 비교하면 양면코팅의 경우 전체 코팅두께는 #16 bar coater보다 두꺼움에도 불구하고 실제 측정된 차폐효과는 #16 bar coater의 경우보다 낮은 것으로 측정되었다. #10 bar coater 단면 코팅물의 전자파 차폐효과가 7~9 dB 정도인데 비해 양면 코팅물의 차폐효과는 10~12 dB 정도로 양면코팅의 경우 단면코팅에 비해 산술적인 2배가 되지 않음을 알 수 있었고 특히 11~13 dB 정도로 측정된 #16 bar coater보다도 낮은 차폐효과를 보임을 알 수 있었다. 이것은 차폐층 내에서 발생하는 다중반사에 의한 결과로 보인다. 즉 두께 인자가 들어가 있는 다중반사에 의한 손실이 주도적 역할을 하여 비록 전체 두께는 두껍지만 얇은 두 층으로 이루어진 양면코팅의 경우가 두꺼운 한 층으로 이루어진 단면코팅보다 낮은 차폐효과를 보이는 것으로 사료된다 [2].

그림 10에는 PEDOT를 PET 표면에 bar 코팅한 재료의 주파수에 따른 원역장에서의 전자파 차폐효과가 나와 있다. 이 결과를 보면 PEDOT의 경우 표면저항이 $1000 \Omega/\square$ 정도이면 전자파 차폐효과가 1 dB 정도로 차폐성이 거의 없고 표면저항이 $200 \Omega/\square$ 정도이면 약 3dB 정도가 측정되었다. 그래서 전자파 차폐성을 더 주기 위하여 ITO가 증착된 PET 필름 위에 PEDOT를 코팅하였다. ITO 증착 PET 필름은 표면저항이 $100 \Omega/\square$ 정도로서 가시광선 투과율이 약 70%인 것을 사용하였다. 투명도가 약 76%인 PEDOT를 코팅했을 경우 투명도는 62% 정도로 떨어졌지만 전자파 차폐효과는 3 dB 에서 7 dB 정도로 증가하였다. 또 그림 9에서 보듯이 PANI 역시 같은 #5 bar coater로 코팅했을 때 ITO가 증착된 PET 필름의 경우 4~6 dB 에서 8~10 dB 로 차폐효과가 증가함을 보였다. 표면저항이 $100 \Omega/\square$ 정도인 ITO 증착 필름의 전자파 차폐효과가 약 5 dB 임을 감안하면 혼성 코팅한 경우의 전자파 차폐효과는 단순한 부가법칙을 따르는 것으로 관찰되었다. 따라서 전도성 재료인 ITO를 적당한 두께로 코팅한 후 그 위에 전도성 고분자를 코팅하면 가시광선 투과성을 유지하면서 전자파 차폐효과를 높일 수 있음을 알았다.

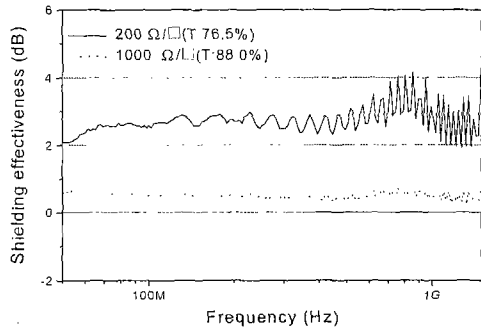


그림 10. PEDOT의 전자기파 차폐효과 (원역장).
Fig. 10. EMI Shielding effectiveness of PEDOT (far field).

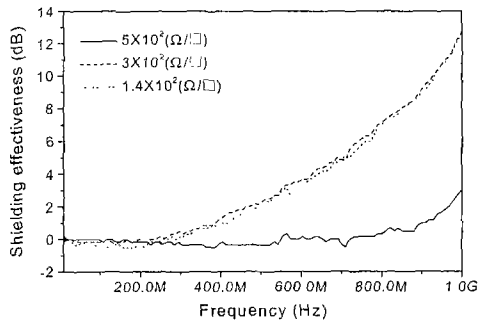


그림 11. PANI의 전자기파 차폐효과 (근역장).
Fig. 11. EMI shielding effectiveness of PANI (near field).

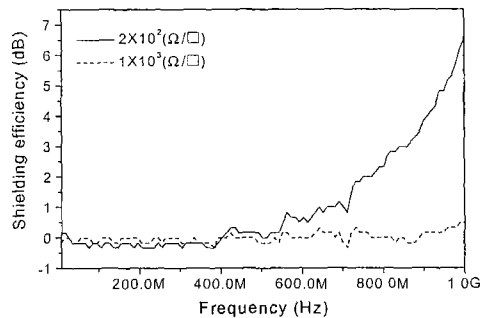


그림 12. PEDOT의 전자기파 차폐효과 (근역장).
Fig. 12. EMI shielding effectiveness of PEDOT (near field).

그림 11과 12에 PANI과 PEDOT를 PET 표면에 bar 코팅한 재료의 주파수에 따른 근역장에서의 전자파 차폐효과가 나와 있다. 두 경우 모두 주파수가 증가할수록 차폐효과가 증가한다는 기존의 이론과 일치한다 [2]. PANI의 경우 표면저항이 500 Ω/□ 일 때 1 GHz에서 약 3 dB 정도의 차폐효과를 보이는 반면 300 Ω/□ 과 140 Ω/□ 인 경우에는 1 GHz에서 약 13 dB 정도의 차폐효과를 보였다. PEDOT의 경우 표면저항이 1000 Ω/□ 정도인 경우 전자파 차폐성은 거의 없는 것으로 측정되었다. 반면 표면저항이 200 Ω/□ 정도인 경우 1GHz에서 약 7 dB 정도의 전자파 차폐효과를 보였다. 즉 표면저항이 낮아짐에 따라 차폐효과가 증가함을 알 수 있었다. 표 5에 동일 시료에 대한 원역장과 근역장에서의 전자파 차폐효과를 나타내었다. 비교되어 있는 바와 같이 원역장과 근역장의 차폐효과가 비슷한 수준을 보였다. 그러나 PANI의 경우 300 Ω/□ 의 표면저항을 가질 경우 원역장에서의 차폐효과는 7~9 dB 정도를 보이는 반면 근역장에서는 13 dB 정도를 보였

표 5. PANI와 PEDOT 시료에 대한 원역장과 근역장에서의 전자기파 차폐효과.

Table 5. Comparison of EMI shielding effectiveness test results of PANI and PEDOT in far field and near field.

코팅 용액	저항 (Ω/□)	차폐효과(dB)	
		far field	near field
PANI	5×10^2	4~6	3
	3×10^2	7~9	13
	1.4×10^2	11~13	13
PEDOT	2×10^2	3	7
	1×10^3	1	0.5

다. 또 PEDOT 역시 200 Ω/□ 의 표면저항을 가질 경우 원역장에서의 차폐효과는 3 dB 정도를 보이는 반면 근역장에서는 7 dB 정도를 보였다. 이것으로 보아 전도성 고분자를 차폐재료로 사용할 경우 원역장에서의 차폐성보다 근역장에서의 차폐성이 더 좋은 것으로 평가되었다.

4. 결 론

(1) PANI 자체는 접착력이 거의 없는 0B에 가까

운 상태이나 PMMA와 같은 acryl 계통의 binder와 블렌드하였을 때, 투명도를 높이면서 접착력은 4B로 크게 증가하였고 표면경도 역시 4B이하에서 3H로 증가하였다. PEDOT는 primer 처리가 되어 있지 않은 PET 필름에 코팅할 경우 접착력이 거의 0B였던 것이 acryl 계통의 primer가 처리된 PET 필름을 사용하였을 경우 4B이상으로 증가하는 것이 관찰되었다.

(2) PANI과 PEDOT 등의 전도성 고분자를 사용할 경우 코팅두께가 증가하면 전자파 차폐효과는 증가하나 가시광선 투과율은 감소하는 것으로 나타났다. PANI의 경우 표면저항이 $140 \Omega/\square$ 정도면 원역장에서는 11 dB 정도, 그리고 근역장의 경우 1 GHz에서 약 13 dB 정도의 차폐효과를 갖는다. PEDOT의 경우 표면저항이 $200 \Omega/\square$ 정도일 때 약 3 dB 정도의 전자파 차폐효과를 가졌다. 또 전도성 고분자를 차폐재료로 사용할 경우 원역장에서의 차폐성보다 근역장에서의 차폐성이 더 좋은 것으로 평가되었다.

(3) 투명 도전재료인 ITO와 혼성 코팅하면 가시광선 투과율을 높이면서 전자파 차폐효과를 높일 수 있는 것으로 나타났다. 결론적으로 PANI과 PEDOT는 투명성을 요구하는 곳에도 전자파 차폐재료로 사용 가능한 것으로 평가되었다.

참고 문헌

- [1] O. S. Kweon, J. C. Jung, Y. H. You, "Conductive Plastics for EMI Shielding", *Polymer(Korea)*, Vol. 7, No. 6, 1983
- [2] J. J. Goedbloed, "Electromagnetic Compatibility", *Prentice Hall*, 1992.
- [3] C. R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", *Wiley*, 1992.
- [4] H. W. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", *Wiley*, 1987.
- [5] Y. Cao, J. Qiu, P. Smith, "Effect of Solvents and Co-solvents on the Processibility of Polyaniline: I. Solubility and Conductivity Studies", *Synth. Met.*, Vol. 69, pp. 187-190, 1995.
- [6] Y. Cao, P. Smith, C. Yang, "Effect of Solvents and Co-solvents on the Processibility of Polyaniline: II. Spectroscopic and Diffraction Studies", *Synth. Met.*, Vol. 69, pp. 191-192, 1995.
- [7] J. W. Kim, "Electrical Conductivity and Electromagnetic Interference Shielding Characteristics of Polyaniline Films with Adding Materials", *KIEE*, Vol. 11, No. 1, pp. 1-6, 1998.
- [8] Y. Cao, P. Smith, A. J. Heeger, "Counter-ion Induced Processibility of Conducting Polyaniline and of Conducting Polyblends of Polyaniline in Bulk Polymers", *Synth. Met.*, Vol. 48, pp. 91-97, 1992.
- [9] J. W. Kim, "Electrical and Electromagnetic Shielding Properties of Polyaniline Films with Different Degrees of Crosslinking", *KIEE*, Vol. 10, No. 1, pp. 54-60, 1997.
- [10] A. Ray, A. F. Richter, A. G. Macdiarmid, "Polyaniline: Protonation/Deprotonation of Amine and Imine Sites", *Synth. Met.*, 29, pp. E151-E156, 1989.
- [11] J. E. Kim, J. H. Shim, K. S. Suh, H. G. Yoon, M. W. Kim, K. H. Hwang, "Preparation and Characteristics of Transparent Antistatic Films", *KIEE*, Vol. 13, No. 1, pp. 52-59, 2000.
- [12] ASTM D 3363-92a: "Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test"
- [13] ASTM D 3359-95: "Standard Test Method for Measuring Adhesion by Tape Test"
- [14] B. Y. Kim, J. H. Kim, H. W. Rhee, K. H. Char, "Studies on the Factors Affecting Electric Conductivity of Conducting Polyaniline/Polystyrene Blends", *Polymer(Korea)*, Vol. 20, No. 4, pp. 722-730, 1996.
- [15] ASTM D 4935-89: "Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials"
- [16] S. A. Schelkunoff, "Electromagnetic Waves", *Van Nostrand, New York*, pp. 303-315, 1943.
- [17] R. B. Schulz, V. C. Plantz, and D. R. Brush, "Shielding theory and practice", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Vol. 30, No. 3, pp. 187-201, 1988.
- [18] Y. Wei, J. M. Yeh, D. Jin, X. Jia, J. Wang, "Composites of Electronically Conductive Polyaniline with Polyacrylate-silica Hybrid Sol-Gel Materials", *Chem. Mater.* Vol. 7, pp. 969-974, 1995.
- [19] J. Joo, A. J. Epstein, "Electromagnetic radiation shielding by intrinsically conducting polymers", *Appl. Phys. Lett.* Vol. 65, No. 18, pp. 2278-2280, 1994.