

전도성 고분자를 이용한 전자파 차폐 효과

The Electromagnetic Shielding Effectiveness Using Conducting Polymers

하남규*, 김종은**, 서광석*
(Nam Kyu Ha*, 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 primer-dealt with acryl type to find out the electromagnetic shielding effectiveness. When conductive polymer such as PANI and PEDOT is used, if the thickness of coating increases then the electromagnetic shielding effectiveness increases, too, but the visible light transmittance decreases. For PANI, when its conductivity increased, its electromagnetic shielding effectiveness increased, too. For PANI, if the surface resistance is about $140 \Omega/\square$, the shielding effectiveness is about 11 dB in the far field, and about 13 dB in the near field at 1 GHz. For PEDOT, when the surface resistance is about $200 \Omega/\square$, the shielding effectiveness is about 3 dB.

Key Words(중요용어) : PANI, PEDOT, EMI shielding effectiveness, conductivity, surface resistance

1. 서론

최근 TV, 컴퓨터 등 각종 전자제품을 많이 사용하면서, 이들에서 발생하는 전자파 차폐에 관한 관심이 높아지고 있다 [1, 2]. 이들 전자제품을 안전하게 사용하기 위해서는 이들로부터 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 차폐재료의

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

본 연구에서는 전도성 고분자인 polyaniline과 polythiophene을 이용하여 전자파 차폐 효과와 함께 전기 전도도, 표면저항을 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 물비가 1:2가 되게 하여 교반하여 도핑된 PANI를 얻었다 [3].

PEDOT은 도핑 과정을 피하기 위해 중화를 위한

* 고려대학교 재료공학과

** 고려대학교 공학기술 연구소

(서울특별시 성북구 안암동 5-1,

Fax: 02-927-4546,

E-mail : kakushow@popmail.com)

산화제로 ferric toluene sulfate (이하 FTS)를 사용하였고 코팅액으로 사용하기 위해 하는 장시간의 sonification을 피하기 위해 대상 기판 위에 직접 코팅을 하여 합성하였다. 이 경우 미 반응물이 기판 위에 남게 되지만 이는 용매에 의해 비교적 쉽게 제거가 되기 때문에 비교적 간단하게 전도성 코팅막을 얻을 수 있었다.

2.2. 코팅

PANI과 PEDOT를 일정 용매에 녹인 후 polyethylene terephthalate (이하 PET) 필름 위에 코팅을 실시하였다. 코팅 방법으로는 일정한 크기의 홈을 가지고 있어 코팅 면의 두께 조절이 용이하고 용액의 손실이 적은 bar 코팅을 실시하였다. Spin 코팅은 넓은 면에 균일한 두께로 코팅하기 어렵고, spray 코팅 또한 두께 조절이 어렵고 용액의 손실이 많으며 먼지 등의 불순물의 유입이 쉬워서 이를 보완하기 위해 bar 코팅을 이용하였다 [4].

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 투명도 측정

투명도는 UV/VIS (UV/Visible Spectrophotometer - MPDS 1024)로 투과도를 측정한 후 가시광선 영역인 380~800 nm 영역에서 적분하여 계산하였다.

2.4 전기 전도도 및 표면저항 측정

전기 전도도는 4단자법 (Keithley 236 source - measure unit)을 이용하여 상온에서 대상 시료에 전류를 가한 후 전압을 측정하여 표면 전기 전도도를 구하였으며 표면 비저항측정기 (surface resistivity-meter - PINION SRM-110)를 이용하여 표면저항을 측정하였다.

2.5 전자파 차폐효과

근역장에서의 차폐효과 측정에는 Dual TEM cell 방법을 이용하였다. 두 개의 cell로 되어 있는 부분을 분리하여 시료를 장착한 후 전기장은 시료면에 수직인 방향으로 자기장은 시료면에 평행한 방향으로 측정하여 전자파 차폐효과를 측정하였다.

원역장에서의 차폐효과 측정에는 flanged circular transmission line 방법을 이용하였다 [5]. 그리고 전

자파 발생기와 수신기 기능을 갖춘 network analyzer (HP8720C)를 사용하여 차폐효과를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1에 camphorsulfonic acid가 도핑된 PANI과 acryl 계 바인더와 혼합된 PANI를 PET 표면에 코팅한 재료의 주파수에 따른 원역장에서의 전자파 차폐효과가 나와 있다. 측정 결과 전기 전도도가 20 S/cm이고 두께가 5 μm 인 PANI 필름 시료의 전자파 차폐효과는 측정 주파수 영역에서 7~10 dB 정도를 보였고 두께가 18 μm 인 필름 시료는 12~15 dB 정도의 전자파 차폐효과를 보였다. 이 결과를 보면 PANI 두께가 증가할수록 전자파 차폐효과가 증가함을 알 수 있었다 [6]. 또한 전기전도도가 1 S/cm이고 38 μm 의 두께를 갖는 PANI/Binder (50/50 wt%)를 PET 필름 위에 코팅한 경우 전자파 차폐효과가 9~13 dB 정도, 전기전도도가 0.5 S/cm였고 65 μm 두께의 PANI/Binder (15/85 wt%) 시료는 3~5 dB 정도의 전자파 차폐효과를 보였다. 따라서 전기전도도가 증가할수록 전자파 차폐효과가 증가함을 알 수 있었다.

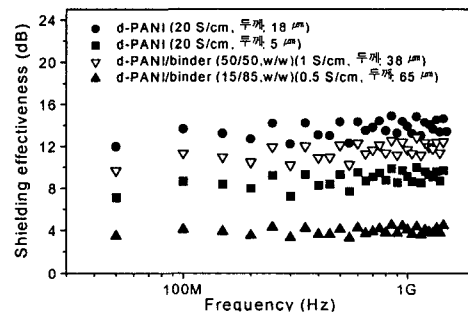


그림 1. PANI와 PANI 블렌드의 전자파 차폐효과 (원역장)

그림 2 및 표 1에는 두께별로 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 코팅

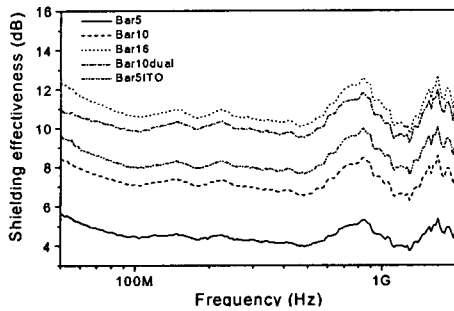


그림 2. PANI의 전자파 차폐효과 (원역장)

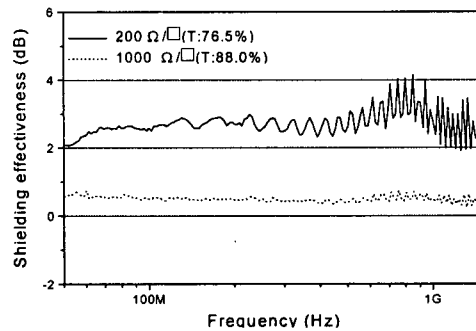


그림 3. PEDOT의 전자파 차폐효과 (원역장)

표 1. PANI의 전자파 차폐효과 (원역장)

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

물의 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. 이는 전자파가 차폐재료에 입사될 당시의 반사손실이 전자파 차폐효과에 주도적인 영향을 미치기 때문으로 사료된다.

그림 3에는 PEDOT를 PET 표면에 코팅한 재료의 주파수에 따른 원역장에서의 전자파 차폐효과가 나와 있다. 이 결과를 보면 PEDOT의 경우 표면저항이 $1000 \Omega/\square$ 정도이면 전자파 차폐효과가 1 dB 정도로 차폐효과가 거의 없고 표면저항이 $200 \Omega/\square$ 정도이면 약 3dB 정도가 측정되었다. 그래서 전자파 차폐효과를 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 2에서 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 4과 5에 PANI과 PEDOT를 PET 표면에 코팅한 재료의 주파수에 따른 근역장에서의 전자파 차폐효과가 나와 있다. 두 경우 모두 주파수가 증가할수록 차폐효과가 증가함을 알 수 있었다. PANI의 경우 표면저항이 $500 \Omega/\square$ 일 때 1 GHz에서 약 3 dB 정도의 차폐효과를 보이는 반면 $300 \Omega/\square$ 과 $140 \Omega/\square$ 인 경우에는 1 GHz에서 약 13 dB 정도의 차폐효과를 보였다. PEDOT의 경우 표면저항이 $1000 \Omega/\square$ 정도인 경우 전자파 차폐성은 거의 없는 것으로 측정되었다. 반면 표면저항이 $200 \Omega/\square$ 정도인 경우 1GHz에서 약 7 dB 정도의 전자파 차폐효과를 보였다.

표 2에 동일 시료에 대한 원역장과 근역장에서의 전자파 차폐효과를 나타내었다. 비교되어 있는 바와 같이 원역장과 근역장의 차폐효과가 비슷한 수준을 보였다. 그러나 PANI의 경우 $300 \Omega/\square$ 의 표면저항을 가질 경우 원역장에서의 차폐효과는 7~9 dB 정도를 보이는 반면 근역장에서는 13 dB 정도를 보였다. 또 PEDOT 역시 $200 \Omega/\square$ 의 표면저항을 가질 경우 원역장에서의 차폐효과는 3 dB 정도를 보이는

반면 근역장에서는 7 dB 정도를 보였다. 이것으로 보아 전도성 고분자를 차폐재료로 사용할 경우 원역장에서의 차폐효과보다 근역장에서의 차폐효과가 더 좋은 것으로 평가되었다.

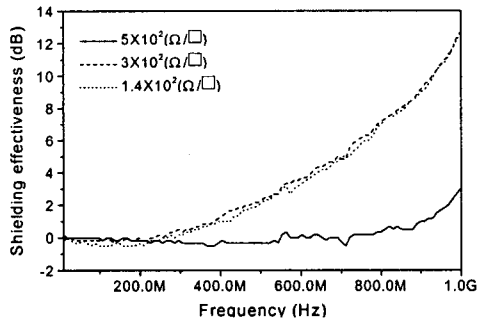


그림 4. PANI의 전자기파 차폐효과 (근역장)

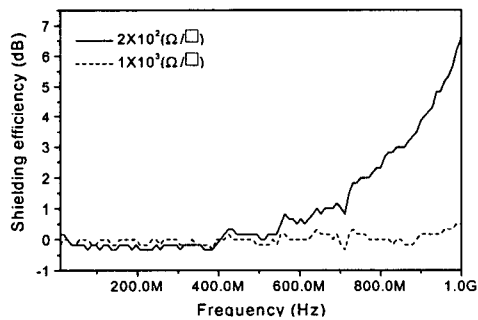


그림 5. PEDOT의 전자기파 차폐효과 (근역장)

표 2. PANI와 PEDOT 시료에 대한 전자기파 차폐효과

코팅용액	저항(Ω/\square)	차폐효과(dB)	
		far field	near field
PANI	5×10^2	4-6	3
	3×10^2	6-7	13
	1.4×10^2	11-13	13
PEDOT	2×10^2	3	7
	1×10^3	1	0.5

4. 결론

(1) 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.

(2) 투명 도전재료인 ITO와 혼성 코팅하면 가시광선 투과율을 높이면서 전자파 차폐효과를 높일 수 있는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] C. R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", Wiley, 1992.
- [2] H. W. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", Wiley, 1987.
- [3] A. Ray, A. F. Richter, A. G. Macdiarmid, Polyaniline: Protonation/Deprotonation of Amine and Imine Sites", Synth. Met., 29, E151, 1989.
- [4] J. E. Kim, J. H. Shim, K. S. Suh, H. G. Yoon, M. W. Kim, K. H. Hwang, "Preparation and Characteristics of Transparent Anti-static Films", KIEE, Vol. 13, No. 1, 52, 2000.
- [5] ASTM D 4935-89: "Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials"
- [6] J. Joo, A. J. Epstein, "Electromagnetic radiation shielding by intrinsically conducting polymers", Appl. Phys. Lett. Vol. 65, No. 18, 2278, 1994.