

## 전자파 차폐용 전도성 고분자 코팅재료의 차폐 효율

### A SHIELDING EFFECTIVENESS of COATED CONDUCTIVE POLYMER for ELECTROMAGNETIC SHIELDING

최재욱\*, 임윤석\*, 장용무\*, 서광석\*\*, 구자윤\*

\*한양대학교 전기공학과(EM&C)

\*\*고려대학교 재료공학과

J. O. Choi\*, Y. S. Lim\*, Y. M. Chang\*, K. S. Suh\*\*, J. Y. Koo\*

\*Dept. of Electrical Eng., Hanyang Univ.(EM&C), \*\*Dept. of Material Sci., Korea Univ.

#### Abstract

The shielding effectiveness of materials is determined by measuring the ratio of the incident electromagnetic power which passes through the material under test. To measure the shielding effectiveness materials made by conductive polymer, the flanged coaxial transmission-line holder based in ASTM D4935-89, was fabricated. This apparatus has dynamic range between 95dB and 120dB in frequency range of 50Mhz-2Ghz. Furthermore, this system can be utilized to measure the shielding effectiveness of materials produced by conductive polymer and can be adapted for shielding materials design.

**Key Words(중요용어)** : Shielding Effectiveness, Conductive Polymer,

Flanged coaxial transmission-line holder, Electromagnetic Shielding material

#### 1. 서 론

첨단 전기·전자·통신기기들의 발달과 수요급증으로 전자파장해에 관련된 문제가 크게 대두되고 있다. 전자파 장해 문제는 전기·전자제품이 불요전자파를 발생시키는 EMI문제와 이들 불요전자파로 인한 열악한 환경에서의 정상적인 기기 동작에 관련된 EMS문제로 대별 할 수 있다. 앞으로 전자파 장해 문제는 규제차원을 넘어 제품의 질적 차원으로 인식될 뿐만 아니라 전파환경 및 국민보건 측면에서도 다루어 질 것이다. 따라서 기존 차폐재료의 단점을 보완할 수 있는 전도성 고분자 차폐재료의 개발과 신뢰성 있는 전자파 차폐효율 측정시스템의 구현이 더욱더 요구되었다.

본 연구에서는 ASTM D4935-89에 부합되는 flanged coaxial transmission-line holder를 직접 제작했으며, 이를 이용하여 폴리아닐린(PANI)계의 투

명성 전도성 고분자 차폐재료의 전자기파 차폐효율을 측정하였다.

#### 2. 전도성 고분자 차폐재료의 합성 및 특성

아닐린 단량체를 1M HCl 수용액에서 ammonium persulfate(APS)를 개시제로 사용하여 0°C에서 1.5시간 반응시켜 HCl로 도핑된 emeraldine salt(ES)의 PANI를 합성하였다. 이것을 과량의 1M HCl로 산화상태를 조절하면서 다시 0.1N NH<sub>4</sub>OH로 중화시켜 PANI EB를 얻었다. Camphorsulfonic acid를 도펀트로 사용하여 PANI 분말과 CSA의 몰비가 1:2가 되도록 하여 막자사발에서 30분 정도 교반시켜 도핑된 PANI를 얻었다. 수평 조절된 샤알레에 PET 필름이 깔고 도핑된 PANI용액 부은 후 60°C로 유지된 오븐 내에서 52시간 건조시킨 다음 3시간동안 진공처리 하여 필름을 제조하였다. 또, CSA 도핑된

PANI용액에 일정한 함량으로 바인더를 혼합시켜 PANI/binder 블렌드필름을 제작했으며 두가지 필름 모두 코팅 두께로 투명도를 조절하였다. 그리고 PET에 코팅되는 PANI 자체는 접착력이 없기 때문에 깨끗한 코팅면을 얻기 위한 PANI 합성조건의 정립이 중요하며, 여러 가지 바인더를 사용하여 코팅해 보았다.

전도성 고분자 차폐재료의 차폐효율 결정 요소인 전기전도도와 두께의 상관관계를 알아보기 위하여 제작된 PANI 및 PANI/binder 시료필름에 대한 전기전도 및 전자파 차폐효율의 측정결과를 표 1에 정리하였다. 표 1에서와 같이 PANI필름에서는 코팅 두께가 두꺼울수록 전기전도도는 일정하지만 차폐효율이 증가됨을 알 수 있었고, PANI/binder 필름은 코팅두께에 따라 전기전도도 및 전자파 차폐효율이 반비례되는 것을 관찰할 수 있었다.

표1. 차폐재료의 전기전도도 및 차폐효율

시료	코팅 두께	전기 전도도	전자파 차폐효율
PANI	5 $\mu$ m	20S/m	7-9dB
PANI	18 $\mu$ m	20S/m	12-14dB
PANI/binder	38 $\mu$ m	1 S/m	9-11dB
PANI/binder	65 $\mu$ m	0.5S/m	3-4dB

### 3. 전자파 차폐 측정시스템

전자파 차폐효과는 일정한 입사전력에 대하여 차폐재료가 있을 경우와 없을 때에 수신되는 수신전력의 차이로 결정되어 다음 식(1)로 정의된다.

$$SE = 10\log(P_1/P_2) = 20\log(E_1/E_2) \quad (1)$$

SE : 차폐효율

$P_1(E_1)$ : 입사되는 전자기파의 Power(전기장의 세기)

$P_2(E_2)$ : 투과되는 전자기파의 Power(전기장의 세기)

차폐물질에 입사되는 전자기파가 차폐재료에서 반사 및 흡수되거나 또는 내부에서 다중반사되는 점을 고려하여 식 (2)와 같이 차폐효과를 표현할 수 있다.

$$SE = [A(Absorption Loss) + R(Reflection Loss) + B(Multireflection Correction)] \quad (2)$$

여기서, A는 차폐물질내부에서의 흡수에 의한 항

이며, R은 경계면에서의 반사에 의한 표현되는 항이며, B항은 물질내부에서 전자기파의 다중반사에 의한 항이다.[1]

표 2에 나타낸 근역장의 차폐효과 측정장치에서, 이중 TEM 셀은 전기장과 자기장을 분리할 수 있는 유일한 장치로서 비교적 측정이 빠르고 시료의 크기가 작다는 장점이 있으나 시료의 설치상황에 따라 값이 다르고 TEM 모드가 전파되는 주파수까지만 사용할 수 있는 단점이 있다. 이중챔버는 챔버의 물리적 크기에 따른 공진에 기인하여 측정결과가 주파수에 의존하는 단점을 가지고 있다.[4][9]

표2. 근역장 측정장치의 비교

SE Test method	Frequency		Sample Material Requirement	Dynamic Range (dB)	Repeat ability
	Low	High			
Dual TEM Cell	1 MHz	1GHz	Cover An Aperture	50-60	Good
Dual Chamber	200 MHz	1GHz	Cover An Aperture	90-100	Good

표3. 원역장 측정장치의 비교

SE Test method	Frequency		Sample Material Requirement	Dynamic Range (dB)	Repeat ability
	Low	High			
CC Coaxial Holder	1 MHz	1GHz	Annular Disk	90-100	Poor
Flanged Coaxial Holder	1 MHz	1.8 GHz	Circular+ Reference	90-100	Good
Time Domain Tech	200M Hz	3.5 GHz	Large Sheet	50-60	Good
			Mounted Aperture	40-50	Good

원역장에 대한 측정장치는 표 3에 정리하였으며, ASTMES 7-83인 CC coaxial hold 방식의 단점을 수정보완한 flanged coaxial transmission-line holder (ASTMD 4935-89)는 측정의 재현성 및 실험방법이 용이하다는 장점이 있어 본 연구에서는 이를 기준으로 하여 직접 설계 제작하였다.[2][9]

### 전자파 측정장치 제작

차폐재료의 성능을 평가하는 주요방법으로는 측정장치에 맞게 제작한 시편재료를 이용하는 방법과 제작된 실제 구조물의 차폐특성을 분석하는 방법이 있으나 본 연구에서는 편리성 및 여러 제약을 감안하여 필름시트형태의 시편을 제작하여 특성분석을

하도록 하였다.[5][6] 이를 위하여 제작한 flanged coaxial transmission-line holder의 외관사진은 그림 1에 나타냈으며, 내부도체 외경은 33mm, 외부 플랜지의 외경은 133mm, 내경은 76.2mm이며 holder의 특성 임피던스는 50Ω로 유지되도록 하였으며, 나이론 스크류를 사용하여 용량성 결합을 유지하도록 하였다.[3][10] 이 장치의 측정 주파수 대역은 1 MHz~1.8 GHz이며 측정장치의 용량성 결합으로 인한 변위전류의 감소에 따라 주파수 하한이 제한되며, 주파수의 상한은 장치의 물리적 크기에 의하여 정해지는 공진 주파수로 제한된다.[7] 본 연구에서 제작된 측정장치의 신뢰성을 알아보기 위하여 동일 시료를 대상으로 50 MHz~1.5 GHz 대역에서 국가공인 기관인 국립 기술 품질원의 측정 결과와 직접 제작한 측정장치를 통하여 측정된 결과를 그림 2에 나타내었다.

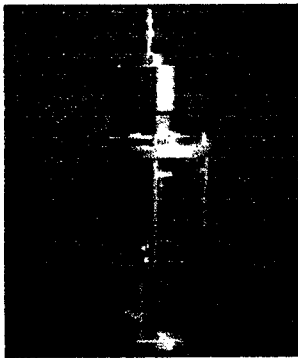


그림 1. Flanged coaxial holder

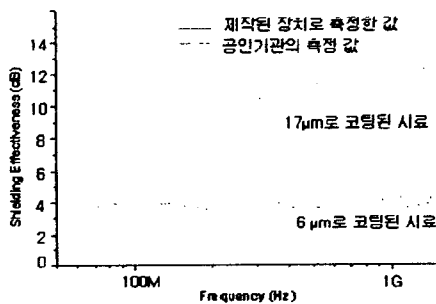


그림 2. 공인기관의 측정값과 비교

#### 4. 차폐효율 측정결과

전자파가 서로 다른 임피던스를 갖는 매질을 통과할 때의 전달특성을 교류에 대한 전송선 모델로

등가화 하여 얻은 차폐효과에 관한 식은 식 (3)으로 표현된다.

$$SE = 20 \log \left| \cosh \gamma d + \frac{Z_s^2 + Z_o^2}{2 Z_s Z_o} \times \sinh \gamma d \right| \quad (3)$$

여기서,  $\gamma$ 는 차폐재료의 전파상수,  $Z$ 는 특성임피던스,  $d$ 는 차폐재료의 두께를 나타낸다.[10][11]

그림 3은 PET필름 위에 도전율이 같은 PANI계 전도성 고분자의 두께가 각각 6 $\mu$ m, 11 $\mu$ m, 17 $\mu$ m 되도록 코팅하여 두께 변화에 따른 차폐효율을 측정한 결과를 나타내었다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 두께가 증가함에 따라 차폐효과가 선형적으로 증가됨을 알 수 있었다. 그리고 등가모델에 대한 식 (3)의 해석결과에 대한 계산값과도 잘 일치되었다.

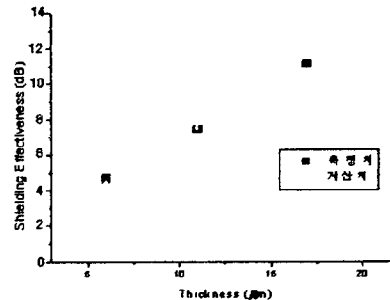


그림 3. 두께에 따른 차폐효과

PET 필름의 한쪽 단면만 코팅한 경우와 양쪽면 코팅과의 차폐효과를 비교하여 다층코팅의 메커니즘을 분석하고자 한 결과는 그림 4에 보였다. 양면의 전체두께가 22 $\mu$ m로 코팅된 시료의 차폐효율이 10dB인 점을 그림 2에서의 단면 17 $\mu$ m일 때 11dB이상인 경우와 비교하면 양면코팅의 경우가 차폐효율이 낮다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 다층코팅의 경우 각 층간의 경계면이 형성되어 입사 전자파의 강도가 낮아짐에 따라 효율이 감소하여 같은 두께의 시료보다 총 차폐효율이 낮아진다고 사료된다.

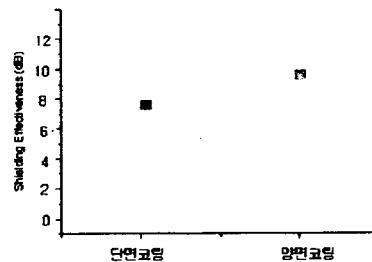


그림 4. 단면과 양면 코팅시 차폐효율

그림 5에서는 투명 도전 재료인 ITO를 코팅한 위에 PANI를 6 $\mu\text{m}$ 두께로 다시 코팅하여 ITO가 없이 PANI만을 6 $\mu\text{m}$ 로 코팅한 시료와의 효율을 살펴보았다. 그 결과 ITO첨가 시료의 차폐효율이 2배정도 증가되었다. 그러나 다층코팅에 의해 차폐효율이 증가했는지, 아니면 ITO가 큰 차폐효율이 지니고 있어 차폐효율이 증가했는지 비교 할 수 없는 아쉬움이 남아 추가적인 실험이 요구된다.

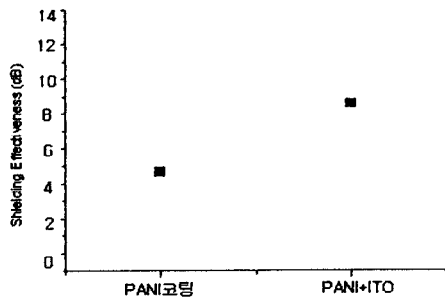


그림 5. ITO첨가시 차폐효과

개발된 5종류의 시료에 대한 전 주파수 대역에서의 차폐효율 측정결과를 그림 6에 종합하였다. 전체적으로 50MHz~500MHz정도의 구간에서는 차폐효과가 약간 저하되며, 800MHz대역에서 공진현상으로 인한 차폐효과의 상승이 있었다. 또 1.5GHz 이상에서는 측정값의 변동이 커서 불안정하게 생각되므로 신뢰성이 있는 측정구간은 50 MHz~1.5 GHz 대역으로 제한되어야 할 것이다.

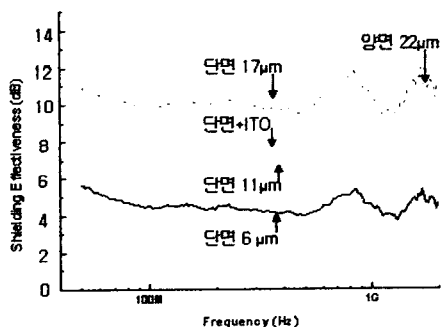


그림 6. 주파수에 따른 차폐효과

## 5. 결 론

본 연구에서 직접 제작한 flanged coaxial holder의 신뢰성은 공인기관이 외국에서 수입한 고가의

측정장비와 비교하여도 전혀 차이가 없으며, 이를 사용하여 PANI계 전도성 고분자를 여러 형태로 코팅한 시료들의 차폐효율을 측정하여 비교 분석할 수 있었다. 본문에서 알 수 있듯이 다층코팅의 차폐메커니즘에 대한 해석, 다른 종류의 차폐재료를 이용한 다층코팅 그리고 최적의 투명성을 지니는 차폐재료의 개발 및 가공 등이 계속 연구되어야 하지만 투명성을 가진 전도성 고분자 차폐재료 개발 가능성을 입증할 수는 있었다.

## 감사의 글

본 연구의 수행은 경기도 산·학·연 지역컨소시엄 (과제번호 제99-3호)과 한양대학교 공학기술연구소의 지원으로 이루어 졌으며, 참여업체인 (주)유레이에 감사 드립니다.

## 참고 문헌

- [1] Ott, Henry W., Noise Reduction Techniques in Electronic System-2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons pub., 1988, pp.2-27
- [2] Perry F. Wilson, Mark T. Ma and J.W. Adams, "Techniques for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of materials: Part I Far-field source simulation," IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. 30, No. 3, pp. 239-250, Aug. 1988.
- [3] ASTM D 4935-89 "Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planer Materials" 1991
- [4] Perry F. Wilson and Mark T. Ma, "Techniques for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of materials : Part II Near-field source simulation," IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. 30, No. 3, pp.251-259, Aug. 1988.
- [5] E.J.Oh, J.S.Joo, "EMI Shielding using conductive polymers", J.K.Chem. Soc., Vol. 36, No. 2, pp. 29-35, 1996
- [6] T.Taka, "Humidity Dependency of Electrical Conductivity of Doped Polyaniline", Synth. Met., 55-57, pp. 5014-5019, 1993
- [7] 정연춘, 강태원, 정낙삼, "전자기파 차폐효과 측정시스템의 구현", 전자과학기술학회지, Vol. 4, No. 3, pp. 45-53, 1993
- [8] Hayt, William Hart, Engineering Electromagnetics-4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill pub., 1989, pp.336-380
- [9] Wilson, P. F.; Ma, M. T., "A Study of Techniques for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Materials," Nat. Bur. Stand. U.S.) Tech Note 1095; May 1986.
- [10] 박영인, 서광석, 장용무, 구자윤 "전도성 고분자를 이용한 신소재 차폐재료의 전자기 차폐 측정장치 개발" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1998 pp 1538-1540
- [11] Richard B. Schulz et.al, "Shielding Theory and Practice", IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol.30, No.3, pp.187-201, 1988