

전도성 고분자를 이용한 신소재 차폐재료의 전자파 차폐 측정장치 개발

\*박영인, \*\*김종은, \*강원준, \*장용우, \*\*서광석, \*구자은  
\*한양대학교 전기공학과, \*\*고려대학교 재료공학과

A Development of Measuring System for Electromagnetic Shielding Effect applicable to a new shielding material by Use of conductive polymer

Y.I.Park, J.E.Kim, W.J.Kang, Y.M.Jang, K.S.Suh, J.Y.Koo

Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ. , Dept. of Material Science, Korea Univ.

**Abstract** - For the development of electro magnetic shielding materials by use of the conductive polymer, measuring technique related to their shielding effect should be well established. For this propose, several commercialized techniques based on different conception have been well compared in order to adopt appropriate method to our materials under development and then, flanged coaxial holder type fixture device has been fabricated and tested satisfied performance has been obtained showing over 90dB in dynamic range with accuracy of +/-2dB.

1. 서 론

전자기가 급속히 보급되어 이들 전자기기에서 발생되거나 외부에서 발생된 전자파가 정밀 측정기기나 의료장비의 기능에 영향을 미칠 수 있는 문제점이 많이 제기되고 있어 전자파의 발생이나 내성에 대한 규제가 더욱더 강화되고 있는 것이 오늘날의 추세이다. 특히 가전제품, 컴퓨터와 핸드폰 등에 적용 가능한 공정이 간편하고 제품의 경량화에 영향을 미치지 않는 전자파 차폐재료로서 전도성 고분자를 이용한 신소재 차폐재료 개발과 신소재의 전자파 차폐메커니즘을 분석할 수 있는 차폐성능 측정기술이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 Polyaniline(PANI)계 전도성 고분자를 사용한 전자파 차폐재료를 개발하고 차폐성능 측정을 위하여 여러 가지 방법의 장단점을 비교 분석하여 측정오차가 비교적 작고 사용이 용이한 flanged coaxial holder 방식을 선정하여, ASTM D 4935에 부합되는 측정장치를 국내 최초로 설계 제작하여 전자파 차폐성능을 측정하고 공인기관이 보유하고 있는 선진 외국의 장치와 비교하여 개발된 장치의 신뢰성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 전자파 차폐의 기본 이론

전자파가 한 매질에서 다른 매질로 입사할 때 경계면에서 일부는 반사되고 효과와 매질내부를 통과하면서 매질의 흡수효과로 인하여 전자파가 감쇄된다. Sheet 형태의 차폐재료를 이용하면, 전자파가 sheet에 입사할때 뿐만 아니라 차폐 sheet를 통과하여 나올 때에도 반사가 일어나기 때문에 차폐 sheet내부에서 반사가 반복되는 multiple reflection 효과가 나타나게 된다. 전체적인 차폐 효과(SE)를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$SE = [A(\text{absorption loss}) + R(\text{reflection loss}) + B(\text{correction factor})] \text{ dB} \quad (1)$$

여기서 모든 항목은 dB 단위로 나타내며, correction factor는 multiple reflection의 영향을 의미한다.[1]

2.1.1 Absorption Loss

전자파가 매질을 통과할 때, 그 크기는 지수적으로 감소한다. 이러한 감쇄는 전류가 매질의 ohmic loss 에 의해 가열되어 에너지를 잃기 때문이며, 이 전자파의 전

계 및 자계는 식 (2)로 각각 표현된다.

$$E_1 = E_0 e^{-\gamma/\delta} \\ H_1 = H_0 e^{-\gamma/\delta} \quad (2)$$

이 식에서 보면 전자파가 skin depth(표피두께)만큼 통과할 때 1/e(or 37%)만큼 감쇄하게 된다.

2.1.2 Reflection Loss

Reflection loss는 특성 임피던스가 다른 두 물질의 경계면에서 나타난다. 여기서 특성 임피던스는

$$Z = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \quad (\Omega)$$

이다.

Z<sub>1</sub>인 매질에서 Z<sub>2</sub>인 매질로 전자파가 전달될 때 경계면을 통과한 전자파의 성분은

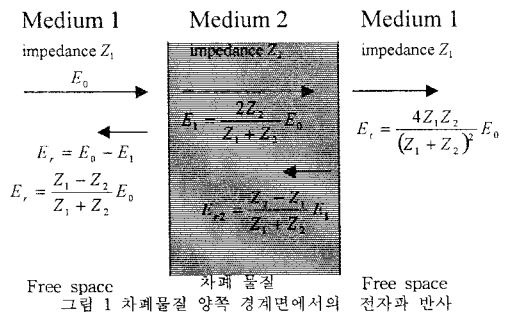
$$E_1 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} E_0, \quad H_1 = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} H_0$$

이다. 여기서 E<sub>0</sub>(H<sub>0</sub>)는 진입한 전자파의 크기이고 E<sub>1</sub>(H<sub>1</sub>)는 경계면을 통과해서 매질2에 있는 전자파의 크기이다.

그림 1과 같이, 매질2를 통과하면 통과되는 전자파의 양은

$$E_t = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} E_0, \quad H_t = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} H_0 \quad (3)$$

을 각각 얻게 된다.



2.1.3 Multiple reflection in thin sheet

Shield 가 얇은 경우, sheet의 양쪽경계에서 반사가 반복되는 경우가 발생된다. 만약 차폐 sheet의 absorption loss나 최초 반사가 클 경우 multiple reflection 이 일어나기 힘들어 무시할 수 있다.

Multiple reflection의 correction factor(B)는 두께가 t, skin depth가 δ라 할 때,

$$B = 20 \log(1 - e^{-2t/\delta}) \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

식 (4)로 나타낸다.

전도성 고분자를 이용한 전자파 차폐물질을 개발할 때, Absorption loss, reflection loss와 multiple

reflection loss를 고려하면, 전도율이 좋은 물질을 되도록 두껍게 만들어야 한다.

## 2.2 고분자 전자파 차폐 재료 개발

전자파 차폐용으로 사용 가능한 여러 가지 고분자 재료가 있으나, 대부분 자체 특성으로 인하여 투명도가 떨어져지고 용해도나 용융도가 낮아 가공공정에 어려움이 제기되어 이를 해결하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. Polyaniline (PANI)은 가격이 저렴하고 합성이 용이한 전도성 고분자로서 dodecylbenzenesulfonic acid(DBSA)나 camphorsulfonic acid (CSA)등과 같은 크고 긴 알킬기를 갖는 유기산으로 도핑하면 전기전도도가 향상되고 유기 용매에 대한 용해도가 증가되어 코팅 재료로 적합하여 본 연구의 코팅재료로 사용하였다. [2]

### 2.2.1 전도성 고분자 합성 방법

아닐린 단량체를 1M HCl 수용액에서 ammonium persulfate를 개시제로 사용하여 HCl로 도핑된 emeraldine salt (ES)의 PANI를 합성하였다. 이를 다시 0.1N NH<sub>4</sub>OH로 중화시켜 emeraldine base (EB)를 얻었으며 camphorsulfonic acid를 dopant로 사용하여 PANI 분말과 CSA의 몰비가 1:2가 되게 하여 막자 사발에서 30분 정도 교반하여 doped-PANI (d-PANI)를 얻었다.

d-PANI를 무게비율로 3wt%가 되게 m-cresol에 녹인 후 유리솜으로 필터링 하였다. 수평이 조절된 사알레에 PET필름을 깔고 그 위에 상기 용액을 부은후 60°C로 유지된 oven내에서 52시간 건조시킨 후 3시간 진공처리 하였다.

PET에 d-PANI가 코팅되는 과정시 d-PANI의 PET에 대한 부착성을 높이기 위하여 binder의 일정한 함량에 대해 d-PANI의 무게비율이 3-15 wt%가 되게하여 혼합하였다.

### 2.2.2 전기전도도 및 차폐 특성

d-PANI 및 d-PANI/binder 블렌드의 두께를 달리 하여 전기 전도도 및 전자파 차폐효율을 측정하여 표 1에 나타내었다 측정결과 전기 전도도가 크고 코팅두께가 두꺼울수록 전자파 차폐효율이 증가함을 볼 수 있다.

표 1 전도성 고분자의 전기전도도 및 차폐특성

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

## 2.3 전자파 차폐 효과 측정 방식의 종류 및 비교

표 2에 대표적인 전자파 차폐측정 방식을 비교하였다. [3] Continuous conductor coaxial holder 방식과 Flanged coaxial holder 방식은 측정 장치가 coaxial cable 모양의 흡사한 형태이고 측정원리가 거의 같은 방식이어서 dynamic range나 측정할 수 있는 주파수 범위는 거의 같다. 그러나, 측정시료를 고정시키는 방법이 continuous conductor coaxial holder의 경우, 시료를 center conductor와 outer conductor 사이에 링과 같은 모양으로 삽입하게 되어 있어서, Flanged coaxial holder 방식의 단면에 디스크형식으로 끼우는 구조보다 접촉성이 떨어져 반복 실험을 할 경우 재현성이 부족하다. Time-domain measurement system의 경우, 한쪽에서 방사 안테나로 전자파를 방사하고 차폐물질을 통과시킨 후 다시 그 전자파를 수신하여 측정하는 것인데, 상당히 큰 차폐시료를 준비해야 하기 때문에 실질적이지 못하다. Dual TEM cell은 다른 측정 방식에 비해 dynamic range가 다소 작은 편이다. [3]

이러한 장단점을 비교한 결과, Flanged coaxial holder 방식의 측정장치가 본 연구 목적에 가장 적합한 것으로 사료되며, ASTM에서도 sheet 형태의 차폐재료에 대한 전자파 차폐정도를 측정할 때 사용하고 있기 때문에 본 연구에서는 Flanged coaxial holder를 설계 제작하였다.

## 2.4 측정장치 제작 및 실험방법

### 2.4.1 측정장치 제작

그림 2는 flanged coaxial holder의 개략적인 구조이다. 전체적으로 coaxial cable의 중앙 부분을 확대시킨 모양으로 가운데 부분을 중심으로 양쪽으로 분리될 수 있어 그 부분에 시료를 삽입하게 되어 있으며, 각 부분은 center conductor, outer conductor와 spacer로 구성되어 있고, center conductor와 outer conductor는 brass로, spacer는 아크릴로 제작하였다.

전체적으로 50 $\Omega$ 의 특성임피던스로 맞추어 제작되었고 center conductor의 외경은 33mm, outer conductor의 내경은 76.2mm이고 flange부분의 외경은 133mm이다. 양쪽부분은 nylon screw로 고정하게 되어 있으며, 양 끝단은 N-type connector를 설치하여 측정장비와 연결할 수 있게 하였다. [7] 그림 3은 ASTM D4935 규정에 의거하여 제작된 측정장치의 사진이다.

### 2.4.2 실험방법

본 실험에서는 전자파 발생기와 수신기 기능을 갖춘 network analyzer(HP8720)를 사용하여 차폐효과를 측정하였다. 측정시편은 그림 4와 같은 Reference와 Load 형태의 시편을 이용하였다. 전자는 측정장치 중앙부 conductor 단면의 모양과 일치되어, center conductor와 outer conductor 사이에서 전자파가 차폐되지 않은 상태로 통과된다. 후자는 outer conductor의 외경과 같은 크기의 disk형태로 되어 시료에 의해 전자파가 차폐된다. 각각의 시료에는 nylon screw로 고정할 수 있도록 구멍이 뚫려 있고, 측정 시에는 Reference 시료를 장착하고 전자파의 크기를 측정한 후 Load 시편으로 바꾸어 다시 측정한 후 그 차이를 이용하여 전자파 차폐효율을 측정하며, 다음과 같은 식으로 산출된다. [4][7]

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

SE : Shielding Effect  
P1 : Load 시편을 통과한 전자파  
P2 : Reference 시편을 통과한 전자파

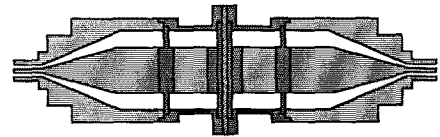


그림 2 Flanged coaxial holder 형태의 전자파 측정장치

표 2 전자파 차폐 효과 측정 방식의 비교 [5][6]

SE Test Method	Frequency Limit		Requirement on Samples Under Test	Dynamic Range (dB)	Repeat ability
	Low	High			
CC Coaxial Holder	1MHz	1.4GHz	Annular Disk	90-100	Poor
Flanged Coaxial Holder	1MHz	1.8GHz	Circular + Reference (Ring+Disk)	90-100	Good
Time-Domain Measurement system	200MHz	3.5GHz	Large Sheet	50-60	Good
Dual TEM Cell	1MHz	1GHz	Cover an Aperture	50-60	Good

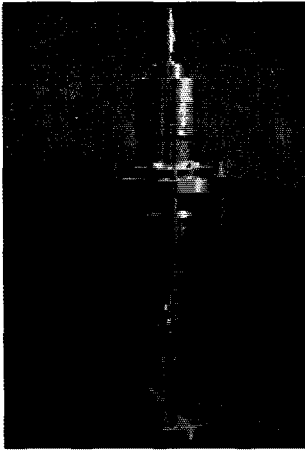


그림 3 제작된 측정장치

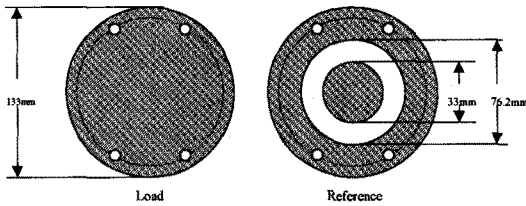


그림 4 측정시편의 모양

### 2.5 측정 결과

그림 5는 제작된 측정장치의 dynamic range 측정을 위하여, 1mm의 동판의 차폐효과를 측정한 결과로서, 50MHz-2GHz의 주파수 범위에서 차폐효과가 약 95-120dB이므로 90dB까지 측정할 경우 신뢰성이 높은 것으로 판단되었다.

제작된 측정장치의 신뢰성을 알아보기 위하여 공동연구진에서 PET에 d-PANI(doped-polyaniline)을 코팅한 시료의 코팅두께를 두가지로 하여 공인기관(국립기술 품질원)의 측정장치와 제작된 장치로 차폐효과를 측정하여 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 측정결과는 공인기관의 측정장치와 최대 약 2dB 정도의 차이가 있으나 측정값은 안정되어 있고, 반복시험을 통한 측정값의 오차는 0.5dB미만으로 만족할 만한 신뢰도를 보이고 있다.

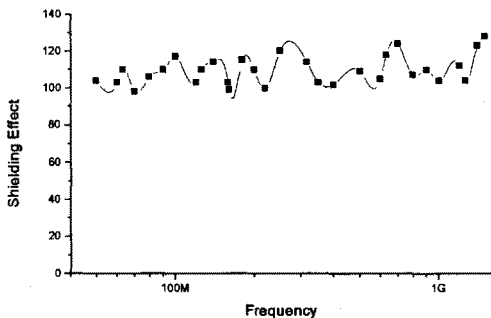


그림 5 Dynamic range 측정

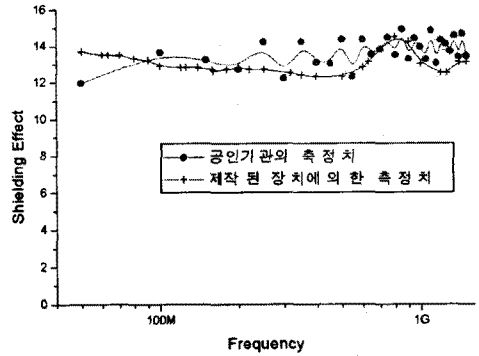


그림 6 d-PANI 두께 18µm 측정결과

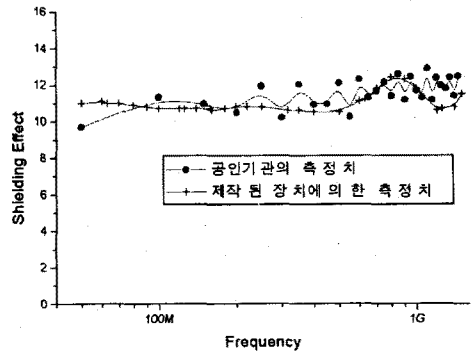


그림 7 d-PANI/binder 38µm 측정결과

### 3. 결 론

전자파 차폐측정을 위한 여러 가지 측정장치를 비교하여 가장 신뢰성이 있고 사용이 용이한 측정구조를 선정하여 측정장치를 직접 제작하였다. 측정된 결과가 외국에서 수입한 측정장치의 결과와 비교하여 2dB이내의 오차를 보여, 전자파 차폐효과 측정장치의 국산화에 성공하였으며, 신소재 차폐재료개발을 시도하여 가능성을 입증하였다.

#### [참고 문헌]

- [1] Ott, Henry W., Noise Reduction Techniques in Electronic System-2nd ed., John Wiley & Sons pub., 1988, pp.159-202
- [2] Y. Cao et al., Synth. Met., Vol. 48, p 91, 1992
- [3] Perry F. Wilson, "Shielding-Effectiveness Measurements With a Dual TEM Cell", IEEE Trans. On Electromagnetic Compat., vol. EMC-27 No. 3, pp. 137-142, August 1985
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] ASTM D 4935-89 Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planer Materials 1991