

재료의 전자파 특성 측정방법(I)

정연춘 · 윤호규 · 김환건

1. 서론

정보통신의 발전과 더불어 관련 소자 및 부품의 개발, 전자파 장애(electromagnetic interference)의 대책을 위해서 재료의 전자파 특성에 대한 관심이 높아지고 있다. 정보통신 재료 및 부품 개발에서 관심 주파수가 매우 다양하고 넓으며, 소재의 특성 또한 매우 다양하다. 이러한 다양성을 모두 포함하는 측정을 수행하기란 매우 어렵기 때문에 개발하고자 하는 재료 및 부품의 스펙트럼 특성에 맞는 측정법을 찾아야 한다. 그러나 정보통신 주파수가 매우 넓고, 또한 각 주파수대역에 따라 측정 장치의 구성이 상이하고, 해석방법도 다른 어려움이 있으며, 따라서 우리나라에서는

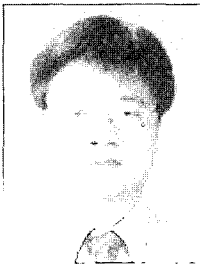
이 분야 기술이 아직 보편화되어 있지 않다.

본고에서는 재료의 전자파 특성 중에서 물성(electromagnetic properties), 전자파 차폐효과(shielding



윤호규

1980~ 1984 고려대학교 재료공학과(B.S.)
1987~ 1989 고려대학교 재료공학과(M.S.)
1989~ 1993 일본 나고야 공업대학(Ph.D.)
1993~ 제일모직(주) 화성연구소 선임연구원
1996~ 고려대학교 신소재공학부 교수
현재



정연춘

1980~ 1984 경북대학교 물리학과(B.S.)
1984~ 1986 경북대학교 물리학과(M.S.)
1995~ 1999 충남대학교 전자공학과(Ph.D.)
1985~ 한국표준과학연구원 전자기환경
2001 그룹(책임연구원, 그룹장)
2000~ Univ. of York, Visiting
2001 Academics
2001~ 익스펜전자(주) 중앙연구소장
2002 (부사장)
2002~ 서경대학교 정보통신공학과
현재 교수



김환건

1979~ 1983 서울대학교 화학교육과(B.S.)
1983~ 1985 한국과학기술원(M.S.)
1985~ 1987 한국과학기술원(Ph.D.)
1987~ 삼성종합기술원 신소재응용연구소
1993 수석연구원
1993~ 제일모직 화성연구소 수석연구원
1995
1995~ 서경대학교 응용화학학과 교수
현재

Measuring Electromagnetic Wave Properties of Materials (I)

서경대학교 이공대학 정보통신공학과(Yeon-Choon Chung, Department of Information and Communication Engineering, Seokyeong University, 16-1 Jungneung-dong, Sungbuk-ku, Seoul 136-704, Korea)
고려대학교 공과대학 신소재공학부(Ho Gyu Yoon, Department of Materials Science and Engineering, Korea University, 5-1 Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul 136-713, Korea) e-mail : hgyoon@korea.ac.kr
서경대학교 이공대학 응용화학학과(Whan Gun Kim, Department of Applied Chemistry, Seokyeong University, 16-1 Jungneung-dong, Sungbuk-ku, Seoul 136-704, Korea)

effectiveness)와 전자파 흡수능(absorption performance)에 대한 기본적인 측정법에 대해 간단히 살펴보고자 하고, 이러한 간단한 소개가 전자파 특성 측정법과 관련하여 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

2. 전자파 물성 측정법

2.1 전자파 물성 측정 방법

전자파 물성은 복소 유전율(complex permittivity)과 복소 투자율(complex permeability)로 표현된다. 이러한 전자파 물성 측정방법에는 전송선로법, 공진기법, 자유공간법 등이 있으며, 측정 주파수대역과 재료의 손실 특성에 따라 각기 다른 측정방법이 사용되고, 일반적으로 권고되는 구분은 **그림 1**과 같다. 손실이 비교적 크고, 광대역 주파수 특성을 요구하는 경우에는 전송선로법(transmission-line method)이 널리 사용되는 반면에, 특정 주파수에서 작은 손실 특성을 갖는 경우에는 공진기법(resonant-cavity method)이 적합한 방법이다.

2.2 전송선로법(Transmission-Line Method)

전송선로법에서는 **그림 2**에서 볼수 있는 것처럼 측정치구(test fixture)로 사용되는 동축 에어라인(air-

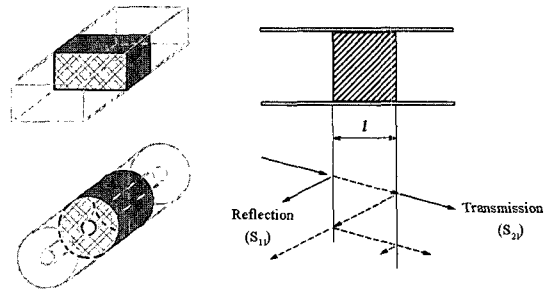


그림 2. 전송선로 방법에 의한 전자파 물성 측정.

line)이나 도파관(waveguide) 내부에 시편을 넣고, 회로망분석기(network analyzer)를 사용하여 산란 파라미터(scattering parameters)를 측정하고, 계산을 통해 복소 유전율과 복소 투자율을 구한다. 동축 에어라인은 대개 균질한(homogeneous) 시편에 대해 동축 에어라인의 상한 주파수대역까지 사용하며(예, APC-7 air-line: DC~18 GHz), 도파관은 균질한 시편뿐만 아니라 방향성을 가진 시편에 대해서도 측정 가능하고, 사용하는 도파관의 주파수 상한과 하한 범위 내에서 측정 가능하다(예, X-band waveguide : 8.2~12.4 GHz). 이때, 방향성을 가진 시편은 시편의 주축(principal axis) 방향과 도파관 내의 제 1 모드(dominant mode)의 전기장 방향이 이루는 각도에 따라 특성이 달라지므로 시편의 고정에 주의를 기울여야 한다.

이러한 방법은 매우 넓은 주파수대역에 걸쳐 비교적 간단한 측정치구로 쉽게 복소 유전율과 복소 투자율을 동시에 구할 수 있는 장점이 있다. 그러나 도파관의 경우는 사용 주파수대역에 제한이 있고, 시편을 측정치구 내에 삽입시킬 수 있도록 가공하여야 하며, 저 손실 측정에 한계를 가지는 단점이 있다. 또한 기체나 액체의 물성을 측정할 때는 별도의 용기(container)가 필요하다.

이러한 방법을 이용할 때의 측정오차는 회로망분석기 자체의 오차, 시편 길이에 의한 오차, 시편과 측정치구 사이의 공극(air gap)에 의한 오차 등이 있다. 회로망분석기 오차는 측정치구 전단에서 정확히 교정(calibration)함으로써 줄일 수 있으며, 시편의 길이는 $\lambda_g/18 < L < \lambda_g/2$ 의 범위에 포함되는 것이 바람직하다. 여기서 λ_g 는 재료 내부에서의 파장을 의미한다. 특히, 시편과 측정치구 간의 공극은 큰 측정오차를 유발한다. 예를 들어, 비유전율이 10인 재료를 와서 모양으로 가공하여 APC-7 에어라인으로 측정할 때 0.25 mm의 공극을 가진다면 14% 정도의 측정오차를 유

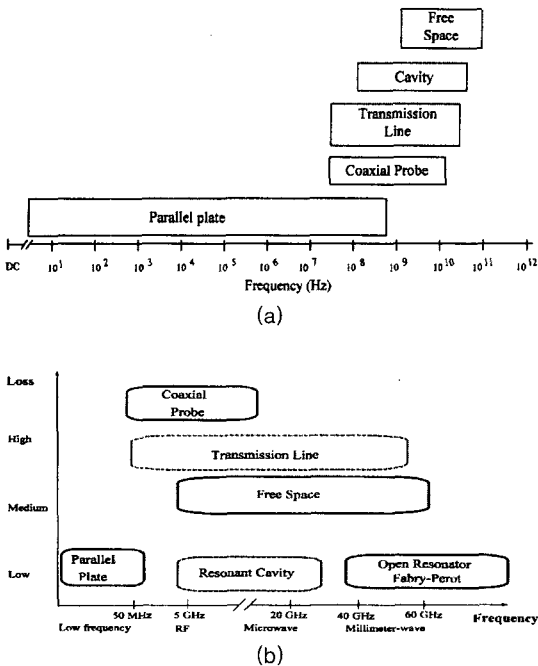


그림 1. 전자파 물성 측정방법의 선택; (a) 주파수, (b) 손실.

발하며, 유전율이 커질수록 측정오차도 커진다. 따라서 시편을 가공할 때 측정 치수에서 공극이 생기지 않도록 치수를 정확히 맞출 필요가 있다. 또한 시편은 균일하고 편평해야 하며, 에어라인의 축과 수직하게 놓여야 한다.

2.2.1 1-단자(1-Port) 측정법

1-단자 측정법은 회로망분석기의 출력 단자(port 1)만을 이용하여 시편에서의 반사계수 S_{11} 과 투과계수 S_{21} 를 측정하여 전자파물성을 계산하는 방법이다. 이 방법에서 교정 면(calibration plane), 즉 에어라인의 입력 면과 시편이 놓이는 면이 정확히 일치해야 하는데, 기준 면이 틀어지면 측정 데이터에서 위상 천이에 따른 오차를 보정해야 한다. 산란계수 S_{11} 과 S_{21} 로부터 복소 유전율과 복소 투자율을 계산하는 알고리즘은 다음과 같다.

$$\mu_r = \frac{1+\Gamma}{\Lambda(1+\Gamma)\sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}}$$

$$\epsilon_r = \frac{\left(\frac{1}{\lambda_0^2} + \frac{1}{\lambda_c^2}\right)\lambda_0^2}{\mu_r}$$

$$\text{여기에서, } \frac{1}{\Lambda^2} = -\left(\frac{1}{2\pi d} \ln\left(\frac{1}{T}\right)\right)^2$$

$\Gamma = K \pm \sqrt{K^2 - 1}$ 이며 또한,

$$K = \frac{(S_{11}^2 - S_{21}^2) + 1}{2S_{11}} \text{ and } T = \frac{(S_{11} - S_{21}) - \Gamma}{1 - (S_{11} - S_{21})\Gamma}$$

여기에서, λ_c 는 도파관의 차단 주파수이며, 동축선의 경우 $\lambda_c = \infty$ 로 계산한다. 또한 계산과정에서 시편 내부에서의 파장에 따른 다중 근(multiple roots)에 의한 발산(drop-outs)을 고려하여야 한다.

2.2.2 2-단자(2-Port) 측정법

1-단자 측정법은 회로망분석기의 출력단자만을 사용하기 때문에 간편하고, 교정이 쉬운 장점이 있다. 그러나 측정 시 시편이 교정 면과 정확히 일치되어 놓이지 않고 에어라인 안쪽으로 밀려들어가는게 일반적이고, 따라서 위상 천이에 따른 오차 보정이 필요하다. 이러한 오차 보정에서는 시편이 기준 면으로부터 안쪽으로 밀려들어난 길이를 알아야 하는데 1-단자 측정법으로 그러한 정보를 파악하기가 매우 어렵다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 회로망분석기의 출력 단자(port 1)에서 측정되는 S_{11} 과 S_{21} 뿐만 아니라, 입력 단자(port 2)에서의 산란계수 S_{22} 과

S_{12} 를 측정하는 2-단자 측정법이 요구된다. 이러한 방법은 측정이 1-단자 방법보다 복잡하고, 교정이 어려운 단점이 있지만 시편이 에어라인 안쪽으로 밀려 들어가더라도 쉽게 위상 천이에 따른 오차 보정을 통해 정확히 복소 유전율과 복소 투자율을 구할 수 있는 장점이 있다. 계산 알고리즘은 다음과 같다.

$$\mu_r = -\frac{\cosh^{-1} A_m}{\omega d} \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \sqrt{\frac{B_m}{C_m}}$$

$$\epsilon_r = -\frac{\cosh^{-1} A_m}{\omega d} \left\{ \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \sqrt{\frac{B_m}{C_m}} \right\}^{-1}$$

여기에서,

$$\begin{pmatrix} A_m & B_m \\ C_m & D_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta l & jZ_0 \sin \beta l \\ j\frac{1}{Z_0} \sin \beta l & \cos \beta l \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{pmatrix} \times$$

$$\begin{pmatrix} \cos \beta(T-l-d) & jZ_0 \sin \beta(T-l-d) \\ j\frac{1}{Z_0} \sin \beta(T-l-d) & \cos \beta(T-l-d) \end{pmatrix}^{-1}$$

$$l = \tan^{-1} \frac{\text{Re}(S_{11} - S_{22})}{\text{Im}(S_{11} + S_{22})}$$

이다. 여기에서, T 는 동축선 에어라인의 길이이고, d 는 시편의 길이, l 은 시편이 기준 면으로부터 안쪽으로 밀려들어난 길이이다. 또한 측정된 산란계수로부터 위의 알고리즘에서 사용된 ABCD 파라미터를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$A_i = \frac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$$

$$B_i = Z_0 \frac{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$$

$$C_i = \frac{1}{Z_0} \frac{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$$

$$D_i = Z_0 \frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$$

2.3 공진기법(Resonant-Cavity Method)

공진기법은 그림 3에서 볼 수 있는 것처럼 통상 TE_{01n} 모드의 공진기를 사용하여 정확히 이론 계산을 하는 방법과 전송선 공진기를 사용하여 시편을 넣지 않았을 때와 넣었을 때의 공진 스펙트럼에서의 공

진주파수와 Q -값의 변화를 측정하여 물성을 구하는 방법이 있다. TE_{01n} 모드의 공진기를 사용하는 방법에서는 시편의 직경이 공진기의 직경과 같아야 하고, 시편의 길이는 측정주파수에서의 반 파장의 정수 배이어야 한다.

전송선 공진기를 사용할 때는 시편은 공진기 내부의 전자기와 평행하게 장착해야 하며, TE_{10n} 구형 도파관 공진기를 사용하여 **그림 3**에 보인 형태의 시편의 전자파 물성을 측정할때 사용되는 알고리즘은 다음과 같다.

$$\epsilon_r' = \frac{V_c(f_c - f_s)}{2V_s f_s}, \quad \epsilon_r'' = \frac{V_c}{4V_s} \left(\frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_c} \right)$$

여기에서, V_c 와 V_s 는 각각 공진기 자체의 체적과 시편의 체적이며, Q_c 와 f_c 와 Q_s 와 f_s 각각 속이 비어 있을 때와 시편이 놓여 있을 때의 공진 스펙트럼에서의 Q -값과 공진주파수이다.

이러한 방법에서의 측정 오차는 대개 회로망분석기 오차, 시편의 치수 오차, 그리고 해석에서의 근사에 따

른 오차 등이 있으며, TE_{01n} 모드의 공진기 방법을 사용하여, $\epsilon_r' = \pm 0.2 \sim 0.4\%$, $\tan \delta = \pm 0.00002$ 정도의 정확도로 측정이 가능하다. 따라서 이러한 방법의 장점은 매우 정확한 값을 얻을 수 있고, 저 손실 재료의 측정이 가능하다는 점이며, 단점으로서 광대역 특성을 얻을 수 없고, 시편의 모양을 정밀 가공해야 하고, 해석이 매우 복잡하다는 점이다.

2.4 자유공간법(Free-Space Method)

자유공간법은 크기가 커고, 편평한 시편에 대해 비접촉식 및 비파괴적인 방법으로 전자파 물성을 측정할 수 있다. 이러한 방법에는 레이더 단면적(RCS: Radar Cross Section) 측정과 NRL-arch 측정과 같은 반사 측정법과 투과 특성을 평가하는 터널(tunnel) 방법 등이 있다. **그림 4**에 보인 자유공간 측정법에서 시편은 송신안테나로부터 $2d/\lambda$ 이상 떨어뜨려 평면파가 입사하도록 해야 한다. 이러한 방법에서의 측정 오차는 시편의 크기와 형태, 설치 상태, 외부 전자파잡음에 기인하며, $\epsilon_r' = \pm 1 \sim 5\%$, $\tan \delta = \pm 0.005$ 정도의 정확도로 측정이 가능하다. 그러나 시편의 두께가 한 파장보다 적은 매우 얇은 시편과 손실 탄젠트가 0.01보다

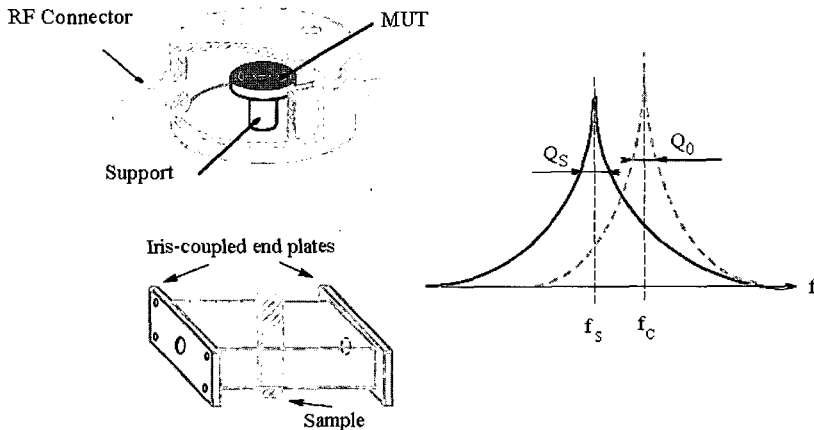


그림 3. 공진기법에 의한 전자파 물성 측정.

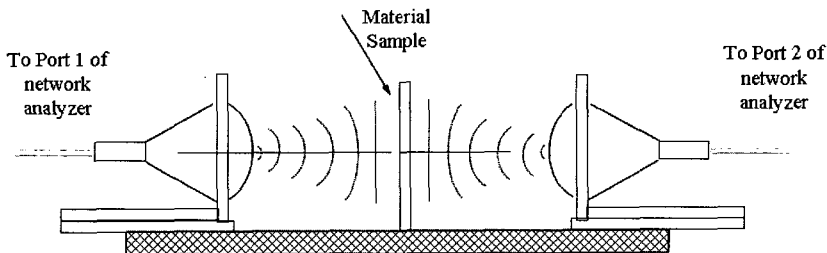


그림 4. 자유공간법에 의한 전자파 물성 측정.

적은 저 손실 재료의 측정에는 한계가 있다. 이러한 방법이 비접촉식이고, 비파괴적이며, 회로망분석기의 시간영역 게이트(gate)를 사용하여 부정합 오차(mismatch error)를 제거할 수 있는 장점이 있지만 특별한 교정 방법이 요구되고, 크고, 편평하며, 얇은 시편을 두 안테나 사이에 평행하게 장착시켜야 하는 단점이 있다.

3. 전자파 차폐효과 측정 방법

3.1 NIST 측정 방법

미국의 국립 표준기술연구원(NIST : National Institute of Standards and Technology)에서는 기존의 표준 시험 방법, ASTM ES 7-83이 가지는 문제점을 보완한 새로운 방법을 제안하여 ASTM D4935-89로 채택되었다. 이 방법은 기존의 ASTM ES 7-83 방법에서 와서 모양의 시편과 측정 치구와의 접촉 저항에 따라 측정 결과가 크게 달라지는 현상과 달리 두 개의 큰 동축 플랜지(coaxial flange) 사이에 **그림 5**와 같은 디스크 형의 시편을 넣고 용량성 결합으로 측정하는 매우 측정 반복도가 높은 시험 방법이다. 현재 NIST에서는 이 시험 방법을 개발하여 규격 화함으로써 연구 개발을 마무리하였으며, 각국의 시험 기관에서 ASTM D4935-89 방법으로 시험 지원을 하고 있다.

3.2 기타 측정방법

국제적으로 ASTM D4935-89 방법이 개발되기

전까지 전자파 차폐효과는 표준 측정방법이 없었다. 각기 고유의 측정방법은 고안하여 제품 개발 단계에서 사용해 왔으며, 단지 제품의 상대적인 우위만을 평가해왔다. 그 동안 ASTM D4935-89 방법외에도 MIL-Std-285의 변형으로서 전자파 차폐실의 셋업 패널을 이용하는 방법, 동축 전송선을 이용하는 ASTM ES 7-83 방법, 시간영역 측정법, 이중 템셀(dual TEM cell)을 이용하는 방법, 템셀 내의 개구부를 이용하는 방법 등이 제안되었으며, 각각의 측정방법의 장단점의 비교 결과는 **표 1**과 같다.

3.3 전자파 차폐효과 측정시스템

전자파 차폐효과는 인가되는 전자파의 형태에 따라

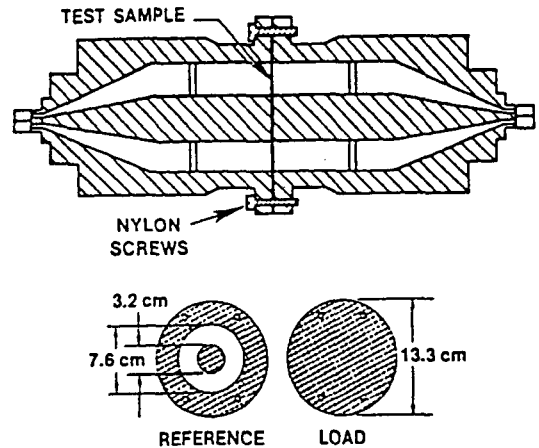


그림 5. ASTM D 4935-89: (a) 측정 치구, (b) 시편의 모양.

표 1. 전자파 차폐효과 측정방법의 비교

| 시험방법 | 사용주파수대역 | | 전기장 형태 | MUT 요구사항 | 데이터 이론적 해석 | 동작영역 (dB) | 측정 반복도 | 측정시간 (hrs) |
|----------------------|---------|---------|----------------------------------|----------------------------------|------------|-----------|----------|------------|
| | 하한 | 상한 | | | | | | |
| Modified MIL-std-285 | 30 MHz | 1 GHz | Unknown | Cover an aperture | Poor | 80~90 | Poor | 30~40 |
| ASTM ES 7-83 | 1 MHz | 1 GHz | Normal Plane wave | Annular Disk | Good | 90~100 | Moderate | 0.25 |
| ASTM D4935 | 1 MHz | 1 GHz | Normal Plane wave | Circular + Reference Ring & disk | Good | 90~100 | Good | 0.25 |
| Time Domain | 200 MHz | 3.5 GHz | Normal Plane wave | Large sheet | Good | 50~60 | Good | 0.25 |
| | | | | Cover an aperture | Moderate | 40~50 | Good | 0.25 |
| Dual TEM Cell | 1 MHz | 1 GHz | Near-field or Grazing Plane wave | Cover an aperture | Good | 50~60 | Good | 0.5 |
| Apertured TEM Cell | 200 MHz | 1 GHz | Near-field | Cover an aperture | Good | 90~100 | Good | 3~4 |

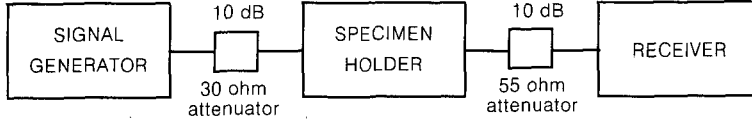


그림 6. 일반적인 전자파 차폐효과 시험 셋업.

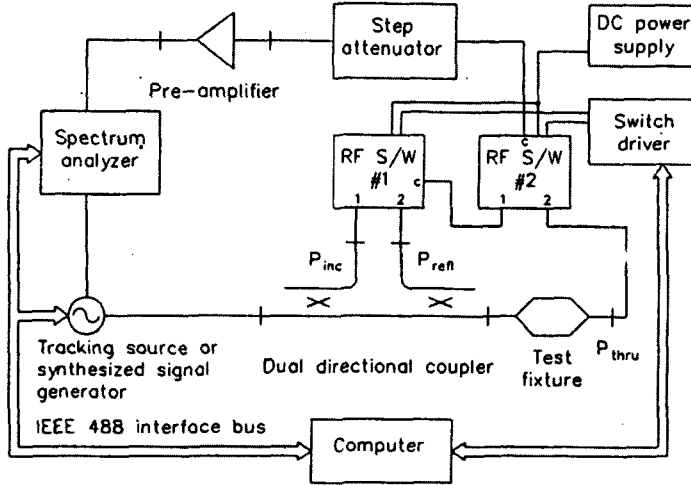


그림 7. 한국표준과학연구원원의 전자파 차폐효과 측정시스템.

전기장 차폐효과, 자기장 차폐효과, 평면파 차폐효과로 구분되는데 대개 이러한 구분은 측정치구(test fixture)에 따라 결정된다. 또한 측정치구의 형태에 따라 시편의 모양이 결정되며, 따라서 시편의 가공 형태가 요구된다. 전자파 차폐효과와 관련하여 요구되는 측정 파라미터는 다음과 같다.

- 인가 전자파의 종류 : 전기장, 자기장, 평면파
- 측정량 : 전력, 전압, 전자기장
- 시편의 형태와 치수

전자파 차폐효과는 그림 6과 같이 일정한 크기의 송신 전력에 대해 측정치구 내에 시편이 놓여 있을 때와 없을 때 수신되는 전력의 비를 구함으로써 결정된다. $SE(dB) = 10 \log P_1 / P_2$.

따라서 송신 전력을 최대 어느 정도로 발생시킬 수 있는 정도와 최소한 어느 정도의 수신 전력을 검출할 수 있는 정도에 의해 측정시스템의 성능이 결정된다. 따라서 앞 절에서의 그림 2와 같이 전단 증폭기, 스텝 감쇠기 등을 사용하면 측정시스템의 동작영역(dynamic range)을 확장시킬 수 있으며, 대개 100 dB 정도의 동작영역이 요구되고 있다. 측정장비의 구성과 관련되어 요구되는 일반적인 고려 사항은 다음과 같다.

측정 주파수대역 : 상한 주파수와 하한 주파수

- 측정시스템의 동작 영역
- 측정 오차 및 반복도

우리나라에서도 필자가 한국표준과학연구원에 근무할 때 NIST에서 개발된 ASTM D4935-89 방법으로 복합 재료의 전자파 차폐효과를 측정할 수 있는 측정시스템을 그림 7과 같이 구현하였으며, 이 측정시스템을 사용하여 전형적인 복합재료의 전자파 차폐효과를 10 MHz~1 GHz 주파수 대역에서 110 dB 까지 측정할 수 있다. 이 측정시스템에서는 고가의 회로망 분석기를 사용하지 않고 1 대의 스펙트럼분석기를 사용하여 반사와 투과 특성을 측정할 수 있게 구현하였지만, 범용의 회로망분석기를 사용하여 산란계수 S_{21} 을 측정하면 보다 쉽게 전자파 차폐효과를 측정할 수 있다. 현재 국내에는 기술표준원, 전파연구소, 산업기술시험원, 고려대 물리학과 등에서도 본 측정시스템과 유사하게 측정시스템을 셋업하여 산업체의 시험 요구를 지원하고 있다.

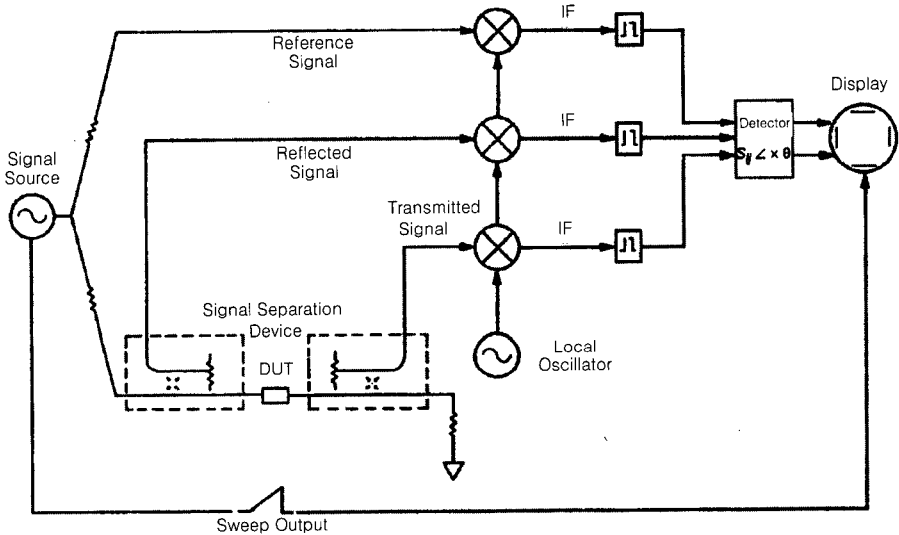
4. 전자파 흡수율 측정 방법

4.1 전자파 흡수능 측정 방법

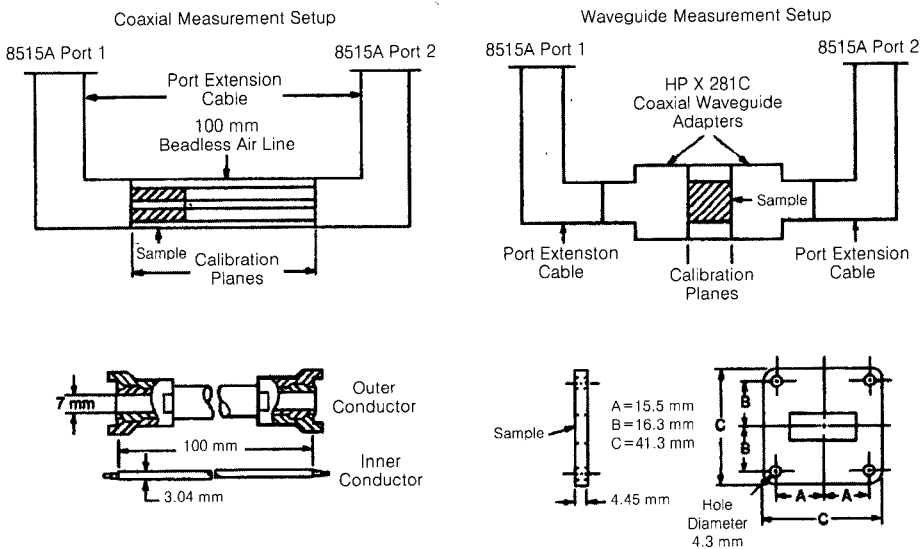
전파흡수체의 성능은 반사 손실(return loss)을 측정하여 결정한다. 즉, 반사 손실이 크면 우수한 전파 흡수능을 가지고, 작으면 낮은 전파 흡수능을 가짐을 의미한다. 이러한 반사 손실은 동축 에어라인(air-line)과 같은 측정 치구와 회로망분석기(network analyzer)를 이용하여 측정 치구 내의 시편에 의한 산란 계수(scattering parameters)를 측정함으로써 쉽게 계산할 수 있고, 또는 단락된 커넥터를 사용하여 쉽게 측정된다. 또한 이러한 전파 흡수율(전자파 흡수능)은 전자파 물질(복소 유전율과 복소 투자율)을 측

정하여 계산하기도 한다.

전자파무반사실에 사용하는 전파흡수체는 사각형 단면을 가진 도파관 방법이나 NRL arch 등을 이용하기도 하지만, 전자파장해 대책용 흡수체는 앞에서 언급한 방법을 사용하는 것이 일반적이다. 대개의 산업체에서는 회로망분석기와 동축 에어라인과 도파관을 사용하여 S_{11} , S_{21} 을 측정하여 반사 손실을 결정하는 방법을 사용하고 있으며, 전형적인 시험 셋업과 측정 치구는 **그림 8**과 같다. 재료가 균일한 경우는 동축 에어라인을 사용하고, 재료가 방향성을 가질 경우는 주



(a)



(b)

그림 8. 전파흡수체의 전파흡수율 측정방법. (a) 시험 셋업, (b) 측정치구.

축(principal axis)과 전기장 방향을 기준으로 도파관을 사용하는 것이 일반적이다.

4.2 전자파 흡수율 측정장치

전자파 흡수율 측정은 비교적 작은 측정치구를 사용하므로 매우 작은 시편의 정밀 가공을 필요로 한다. 시편과 측정치구 사이에 공극(gap)이 존재하면 큰 측정오차를 유발하므로 시편의 형태와 치수가 매우 중요하다. 전자파 흡수율과 관련하여 요구되는 측정 파라미터는 다음과 같다.

- 측정량 : 산란계수, 반사 손실
- 시편의 형태와 치수

전자파장해 대책용 전파흡수체의 성능은 동축 에어라인과 회로망분석기를 이용하여 산란계수 S11과 S21을 측정함으로써 쉽게 결정할 수 있다.

$$R.L.(dB) = 20 \log |\Gamma|,$$

여기에서 $\Gamma = K \pm \sqrt{K^2 - 1}$, $K = (S_{11}^2 = S_{21}^2 + 1) / 2S_{11}$.

따라서 측정시스템은 일반적으로 사용하는 측정치구와 회로망분석기의 주파수 제한과 동작영역에 의해 그 특성이 결정된다. 현재의 전파흡수체 성능이 대개 40 dB 이하이므로 50 dB 정도의 동작영역은 충분하며, 측정장비의 구성과 관련되어 요구되는 일반적인 고려 사항은 다음과 같다.

- 측정 주파수대역 : 상한 주파수와 하한 주파수
- 측정시스템의 동작 영역
- 측정 오차 및 반복도

5. 결론

전자파 차폐재료 및 전파 흡수체 특성 평가와 관련된 전자파 차폐효과와 전자파흡수율 측정법에 대한 일반적인 내용과 이러한 제품의 설계에 필요한 복소 유전율과 복소 투자율 측정법에 대해 간단히 소개하였

다. 이러한 측정 방법은 관심주파수, 손실 특성에 따라 다른 측정 불확도를 가지며, 따라서 개발자의 흥미에 적합한 측정방법을 찾고, 측정 오차 보정에 대한 정보를 이해할 필요가 있다. 아무튼 본 고가 정보통신 소재 및 부품, 전자파 차폐 및 흡수 재료의 개발과 소재의 전자파 물성 측정법에 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

참고문헌

1. HP seminar note, *Material Measurement*, Hewlett Packard, 1990.
2. ASTM D 4935-99, *Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials*, American Society for Testing and Materials, 1999.
3. IEEE Std 1302-1998, *IEEE Guide for the Electromagnetic Characterization of Conductive Gaskets in the Frequency Range of DC to 18 GHz*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1998.
4. IEEE Std 1128-1998, *IEEE Recommended Practice for Radio-Frequency(RF) Absorber Evaluation in the Frequency Range of 30 MHz to 5 GHz*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1998.
5. MIL-DTL-83528C, *Gasketing Material, Conductive Shielding Gasket, Electronic, Elastomer, EMI/RFI General Specification*, Dept. of Defense, USA, 2001.
6. Perry F. Wilson, Mark T. Ma, *A Study of Techniques for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Materials*, NBS Tech. Note 1095, NIST, 1986.
7. 정연춘외, *전자파차폐 및 흡수기능 복합재료의 성능 평가기술 개발*, KRIS-93-076-IR, 제1차년도 연구보고서, 한국표준과학연구원, 1993.
8. 정연춘외, *전자파차폐 및 흡수기능 복합재료의 성능 평가기술 개발*, KRIS-94-106-IR, 제2차년도 연구보고서, 한국표준과학연구원, 1994.