

EMI 대책용 시트의 전자파 차폐 측정기술 동향

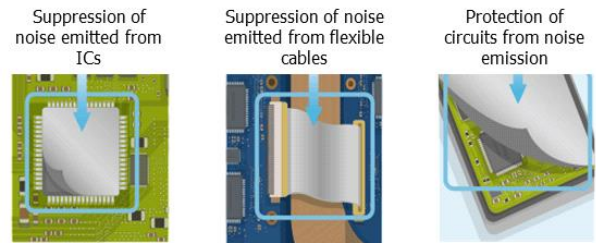
박 현 호

수원대학교

I. 서 론

정보통신기기의 동작 속도가 지속적으로 빨라지고 부품들의 집적도도 올라감에 따라, 기기 내에서 발생하는 전자기적인 간섭(Electromagnetic Interference: EMI) 문제는 계속 증가하고 있다. 이러한 EMI 문제는 상용 기기뿐만 아니라, 산업용 그리고 군용기기까지 확대되어 가고 있다. 또한, 다양한 주파수 대역에서 발생하는 광대역 노이즈 소스원으로부터 EMI 문제는 더욱 해결하기 어려워지고 있는 실정이다. 기기의 오동작을 방지하기 위해서는 전자파 노이즈를 차단하거나 감쇠시킬 필요가 있다. 따라서 전자파 간섭 문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 전자파 차폐(shielding) 기술이 필수적이라 할 수 있다.

차폐는 특정한 소재를 이용하여 한쪽 영역에서 존재하는 전자파를 다른 쪽으로 넘어가지 못하게 하는 기술을 말한다. 효과적인 전자파 차폐를 위해서는 높은 전도도를 가지거나 높은 투자율을 갖는 소재를 사용하여 전자파 감쇠(attenuation)를 크게 만드는 것이 중요하다. 높은 전도도를 가지는 소재를 전도성 소재(conductive materials)라고 하고, 높은 투자율을 가지는 소재를 자성 소재(magnetic materials)라고 한다. [그림 1]에서는 EMI 대책용 시트나 필름의 다양한 적용 사례를 보여준다.



[그림 1] EMI 대책용 시트의 적용 사례(<https://product.tdk.com>)

iveness: SE)를 정의하는데, 이는 입사(incident) 전자파와 차폐 소재를 통과하는 투과(transmitted) 전자파의 비를 의미한다. 차폐효과 측정은 측정 시료인 소재의 차폐 메카니즘(흡수, 반사, 내부 다중 반사)에 의해 전자파가 얼마나 감쇠하느냐 하는 정도를 정량화 하는 것이다. [그림 2]는 차폐효과 측정 방법을 간단히 보여준다. 우선 측정 시료가 없는 상태에서 소스로부터 발생한 전자파를 수신기를 통해 측정하고(기준값 측정), 차폐 소재가 있을 때 차폐 소재를 투과하는 전자파를 수신기를 통해 측정하여(차폐값 측정), 이 두 값의 비를 로그값으로 표현하면 차폐효과를 얻을 수 있다.

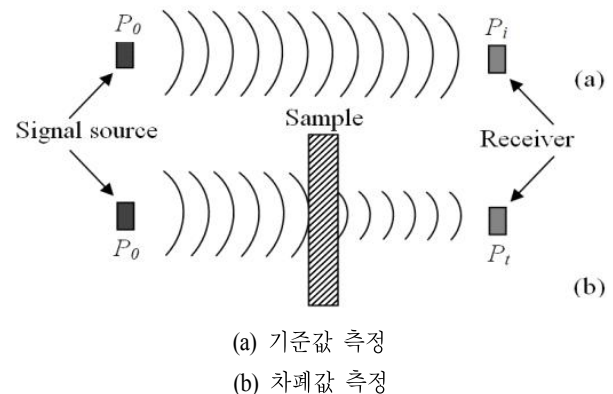
일반적으로 차폐효과는 입사된 전력(전기장과 자기장의 곱) 대비 차폐 소재를 투과하는 전력의 비로 정의하지만, 전

$$SE_p = 10 \log_{10} \left(\frac{P_i}{P_t} \right) \text{ [dB]} \tag{1}$$

$$SE_e = 20 \log_{10} \left(\frac{E_i}{E_t} \right) \text{ [dB]} \tag{2}$$

$$SE_h = 20 \log_{10} \left(\frac{H_i}{H_t} \right) \text{ [dB]} \tag{3}$$

차폐성능을 나타내는 척도로 차폐효과(Shielding Effectiveness: SE)를 정의하는데, 이는 입사(incident) 전자파와 차폐 소재를 통과하는 투과(transmitted) 전자파의 비를 의미한다.



[그림 2] 차폐효과의 기본적인 측정 방법^[1]

기장이나 자기장의 비로도 차폐효과를 정의할 수 있다. 원역장(far-field)의 경우, 일반적으로 전자파는 평면파를 형성하기 때문에 전기장과 자기장의 비를 나타내는 파동 임피던스는 매질의 유전율과 투자율에 의해 일정한 값을 가진다. 따라서 전기장 차폐효과와 자기장 차폐효과는 동일하며, 이는 전기장과 자기장의 곱인 전력의 비로 계산한 차폐효과와도 동일한 값을 가지게 된다. 하지만 전자파 소스가 차폐소체에 근접해 있는 근역장(near-field)인 경우에는 소스의 특성(전기 다이폴 또는 자기 다이폴)에 따라 전기장과 자기장의 비인 파동 임피던스가 달라지기 때문에 전기장 차폐효과와 자기장 차폐효과는 다른 값을 가지게 된다. 따라서 근역장 차폐효과는 일반적으로 전기장 차폐효과와 자기장 차폐효과를 구분해서 측정하는 것이 소재의 차폐 특성을 온전하게 나타낸다고 볼 수 있다. 결론적으로 차폐효과 측정방법은 원역장 측정과 근역장 측정으로 나누어서 살펴볼 수 있을 것이다.

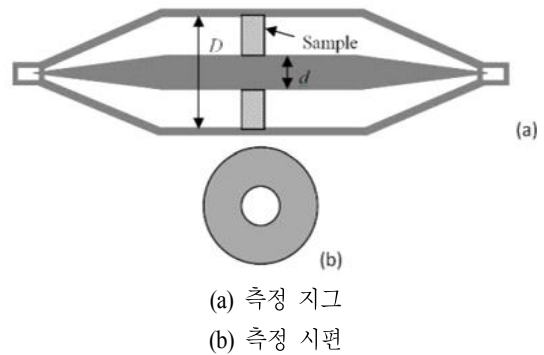
차폐 시험 방법들은 다양한 두께와 모양, 그리고 다른 전기적, 물리적 특성을 갖는 시료들을 측정할 수 있어야 하지만, 측정 방법에 따라 소재의 표면이 거칠거나, 깨지기 쉽거나, 경직성이 떨어지는 소재를 측정하기에는 현실적인 어려움이 있을 수 있다. 또한, 실제 차폐 측정 결과에는 소재가 가지고 있는 고유의 차폐 특성뿐만 아니라, 측정 기구의 영향이 반영될 수 있음을 주지할 필요가 있다.

본 논문에서는 EMI 대책용 시트의 차폐 성능을 평가하는 일반적인 측정 방법에 대해 살펴보고, 그 기술 동향을 고찰하고자 한다.

II. 원역장 차폐 측정 방법

2-1 Coaxial TEM Cell 방법^{[1]~[6]}

동축 TEM(transverse electromagnetic) 셀은 [그림 3]에 나와 있는 것처럼 기본적으로 동축 전송 선로로 구성되어 있으며, 동축 선로는 양쪽 끝으로 갈수록 점점 직경이 작아져서(tapered) 일반적인 크기의 RF 케이블이 연결될 수 있는 커넥터가 연결되어 있다. 일반적으로 동축 선로는 TEM 모드를 전송할 수 있는 전송 선로이며, TEM 모드는 원역장의 평면파와 동일한 편파 형태를 가지기 때문에 동축 선로 형

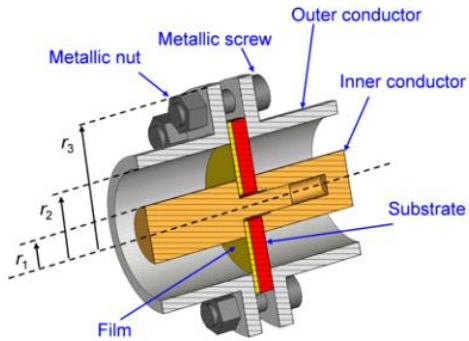


[그림 3] ASTM ES7-83 방법^[1]

태의 측정 지그를 이용하면 손쉽게 원역장 차폐 특성을 측정할 수 있다. 미국재료시험협회(American Society for Testing and Materials: ASTM)에서는 평판형 소재의 차폐 특성을 시험하기 위해서 동축 선로 구조를 갖는 측정 지그를 이용한 측정 방법을 제안하였는데, 동축 선로의 구조와 측정 시편을 장착하는 방법에 따라 두 가지 표준 방법이 있다.

2-1-1 ASTM ES7-83 방법^{[1]~[3],[5],[7]}

ASTM ES7-83 방법에서 사용하는 동축 TEM 셀의 가장 중요한 특징은 [그림 3]에 나타나 있듯이 동축 선로의 내심 도체가 연속적으로 연결되어 있다는 것이다. 이로 인해 이론적으로 측정 가능한 최저 주파수의 한계는 존재하지 않으며, DC부터 측정이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 계측기의 측정 가능한 하한 주파수에 의해 이 방법의 측정 가능한 최저 주파수가 결정된다. 측정 가능한 최대 주파수는 TE₁₁ 모드의 차단 주파수에 의해 결정되며, 이는 동축 선로의 크기에 의해 결정된다. 또한, 이 방법은 기준 시편이 없어도 되며, 도우넛 모양을 갖는 측정 시편만 가지고 차폐를 측정할 수 있다. 하지만 시험 시편이 동축 선로와 전기적으로 잘 접촉이 되어 있어야 한다. 따라서 이 방법은 표면이 거칠거나 경직성이 없는 시편의 경우에는 전기적인 접촉이 잘 안될 수 있는 문제가 있기 때문에 다양한 소재를 측정하는데 한계가 있어 왔다. 이러한 이유로 이 방법은 1988년에 표준 승인이 취소(withdrawn)된 상태이다. 하지만 이러한 단점을 개선할 수 있는 변형된 구조에 대한 연구가 지속적으로 진행되어 왔으며, 최근의 연구 사례에서는 [그림 4]에서 보듯이 DC에서 5 GHz까지 측정이 가능한 동축 TEM 셀 구조가 제

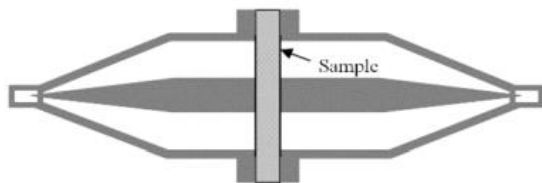


[그림 4] DC~5 GHz까지 측정 가능한 ASTM ES7-83 방법의 변형된 동축 TEM 셀 구조^[5]

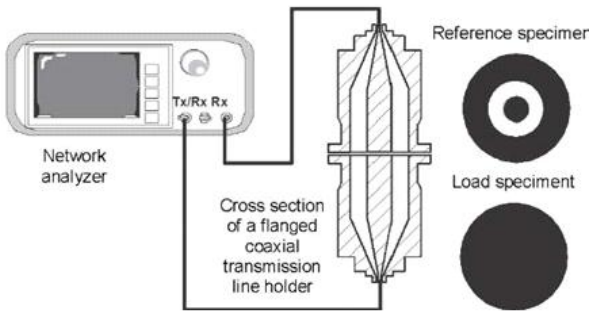
안되었다^[5],7].

2-1-2 ASTM D4935 방법^[1],2],4~6],9]

ASTM D4935 방법에서 사용하는 동축 TEM 셀의 가장 중요한 특징은 [그림 5]에 나타나 있듯이 동축 선로의 내심 도체가 불연속적이며, 외부 도체가 플란지(flange)를 가지고 있다는 것이다. 이러한 특징으로 인해 ASTM ES7-83 방법보다 다양한 소재(메탈, 도전성 플라스틱, 절연 소재 등)의 시편을 좀더 쉬운 방법으로 장착할 수 있어, 높은 측정 재현성과 정확성을 가진다. 이로 인해 ASTM D4935 방법은 현재



(a) 측정 지그



(b) 측정 셋업 및 측정 시편

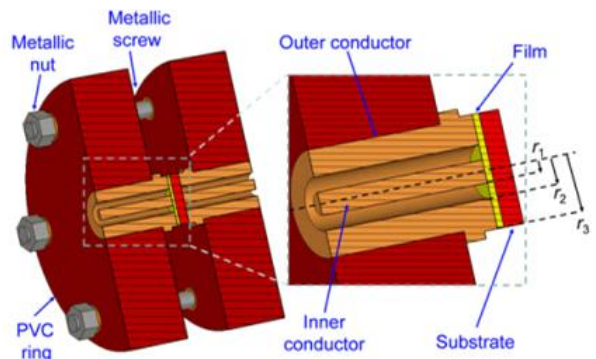
[그림 5] ASTM D4935 방법^[1],6]

국제적으로 가장 많이 사용되는 차폐 소재에 대한 표준 측정 방법이다.

ASTM D4935 표준에는 동축 TEM 셀의 크기를 제시하고 있으며, 이 경우, 통상 측정 가능한 주파수 영역은 30 MHz에서 1.5 GHz 범위를 가진다. 여기서 측정 가능한 최저 주파수는 두 플란지 간의 커패시턴스에 의해 발생하는 기생 임피던스 성분을 무시할 수 있을 정도의 주파수에 의해 결정되며, 측정 가능한 최대 주파수의 한계는 동축 선로의 크기에 따른 TE_{11} 모드의 차단주파수에 의해서 결정된다^[2]. 최근에는 [그림 6]에서처럼 동축 선로의 크기를 줄여 18 GHz까지 측정할 수 있는 동축 TEM 셀 구조에 대한 연구가 진행되었다^[5],6],8],9].

ASTM D4935 방법의 경우, ASTM ES7-83 방법과 달리 차폐효과 측정을 위해서는 [그림 5]에서 나와 있는 것처럼 두 가지 형태의 측정 시편이 준비되어야 한다. 하나는 기준 시편이고, 다른 하나는 차폐 측정을 위한 시편이다. ASTM D4935 표준에 권고되어 있는 시편의 두께는 최대 측정 주파수의 파장의 100분의 1보다 작아야 하며, 1.5 GHz의 경우, 시편의 두께는 2 mm보다 두껍지 않아야 한다. 그리고 시편 고정을 위해서 두 플란지를 플라스틱 스크류를 사용하여 체결하여야 한다.

ASTM D4935 방법을 이용하여 차폐효과를 측정할 때는 일반적으로 2-포트 네트워크 분석기의 각 포트를 동축 선로 양단의 커넥터와 연결하여 S_{21} 값을 측정한다. 기준 시편을 넣고 S_{21} [dB]을 측정하고, 측정 시편을 넣고 S_{21} [dB]을 측정 한 다음 두 값을 빼주면 측정 시편(소재)의 차폐효과를 얻을



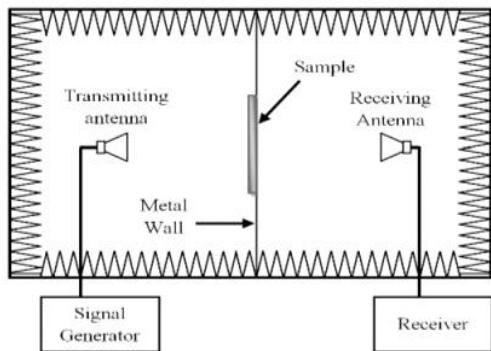
[그림 6] 18 GHz 까지 측정 가능한 ASTM D4935 방법의 동축 TEM 셀 구조^[5]

수 있다. 측정 가능한 차폐 레벨은 90~100 dB로 매우 높다고 할 수 있다.

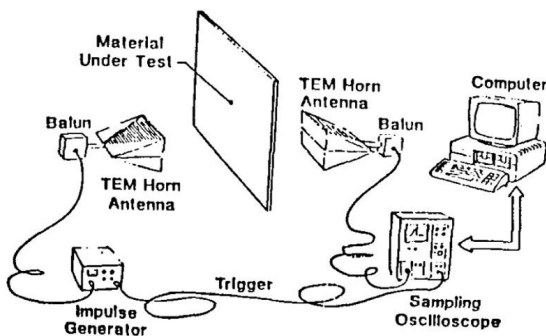
2-2 Free-space(Anechoic Chamber) 방법^{[1],[2]}

이 방법은 자유공간에서 두 안테나를 이용하여 평판형 소재의 차폐 특성을 측정하는 방법이다. [그림 7]에서 나와 있듯이 자유공간의 조건을 만들어 주기 위해서 반사가 없는 전자파 챔버에서 측정하게 된다. 이를 경우, 측정 시편은 충분히 큰 크기를 가져야 하며, 이를 고정하기 위해서 구멍이 뚫려 있는 금속 벽이 필요할 수 있다. 송신 및 수신 안테나는 차폐 소재로부터 일정 거리 떨어져 원역장 영역에 위치하게 된다.

자유공간 방법은 측정 계측기에 따라 주파수 영역에서 측정할 수도 있고, 시간 영역에서 측정할 수도 있다. [그림 8]에서는 시간 영역에서 측정하는 방법을 나타내고 있다. 안테나는 일반적으로 혼 안테나를 많이 사용한다. 임펄스 발생기에서 생성된 펄스 신호가 송신 안테나를 통해 방사하게



[그림 7] Free-space(anechoic chamber)방법^[1]



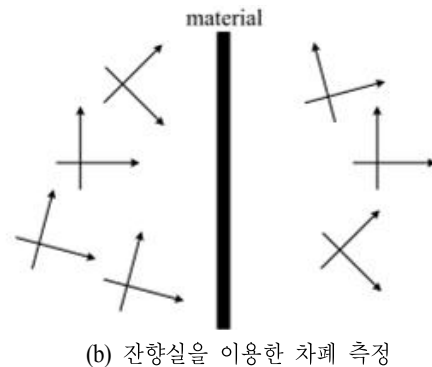
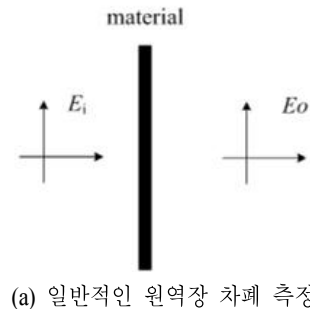
[그림 8] 안테나를 이용한 time domain 측정 방법^[2]

되고, 수신 안테나에는 오실로스코프가 연결되어 시간 영역의 신호를 수신하게 된다. 이 측정 방법은 측정 가능한 하한 주파수가 수백 MHz로 비교적 높지만, 안테나 주파수 특성에 따라 측정 가능한 최대 주파수가 수십 GHz로 비교적 높은 주파수까지 차폐효과를 측정할 수 있는 것이 장점이다. 하지만 열려있는 환경에서 측정하기 때문에 측정 차폐 레벨은 50~60 dB로 동축 TEM 방법보다 낮다고 할 수 있다.

2-3 Nested Reverberation Chamber 방법^{[2],[10]~[12]}

원역장 차폐효과를 측정하는 또 다른 방법으로 잔향실(reverberation chamber)을 이용하는 방법이 있다. 일반적으로 잔향실은 모드 스테러(mode stirrer)라고 하는 회전하는 패들(paddle)을 가진 차폐실(shield room)을 말한다. 잔향실 내의 전자파는 공진기와 같이 잔향실 벽면과 모드 스테러를 통해 랜덤한 방향으로 산란이 일어나 잔향실 내 모든 공간에서 전자파는 통계적으로 거의 균일한 분포를 가지게 된다.

[그림 9]에서 보듯이, 앞의 두 원역장 차폐 측정 방법의 경우에는 평면파가 소재 면에 수직으로 입사하는 조건(전

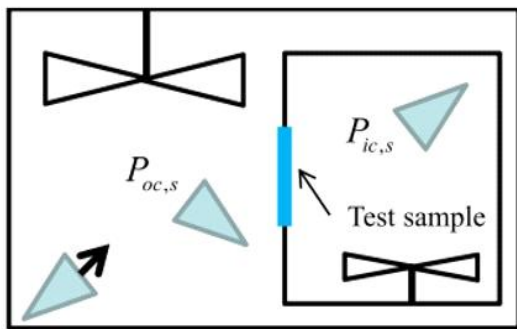


[그림 9] 일반적인 원역장 차폐 측정(a)과 잔향실을 이용한 차폐 측정(b)의 차이^[11]

기장과 자기장이 모두 소재 면에 접하는 성분만 존재)에서 차폐효과를 측정하지만, 잔향실을 이용할 경우, 다양한 편파와 방향을 가지는 평면파가 존재할 수 있어 실제 환경과 유사한 복잡한 전자파 환경 조건에서 소재의 차폐 특성을 평가할 수 있는 장점이 있다.

[그림 10]에 나타내었듯이 차폐효과 측정에 잔향실을 이용할 경우, 큰 잔향실 내에 작은 잔향실이 들어 있는 중첩된(nested) 잔향실이 사용된다. 내부에 있는 잔향실에 구멍을 뚫고 측정하고자 하는 시편을 부착하여 측정하는 방법이다. 한 방향의 평면파가 아닌 랜덤하게 분포하는 평면파가 차폐 소재에 의해 얼마나 감소되는지를 측정하게 되는 것이다. 차폐 소재가 부착되는 내부 잔향실의 크기는 안테나와 모드 스테러가 들어갈 수 있을 정도로 커야 하지만, 너무 크면 외부 잔향실 내 전자파 균일도를 저하시키기 때문에 통상 2 m보다 작은 크기를 가진다. 송신 안테나는 외부 잔향실에 놓여 있고, 수신 안테나는 외부 잔향실과 내부 잔향실에 각각 한 개씩 놓인다. 측정 시료가 내부 잔향실에 부착되어 있는 상태에서 외부 잔향실에 수신된 전력($P_{oc,s}$)과 내부 잔향실에 수신된 전력($P_{ic,s}$)의 비를 측정하면 차폐효과를 얻을 수 있다.

중첩된 잔향실 방법의 장점은 낮은 입력 전력으로 높은 차폐 레벨까지 측정이 가능하다는 것이다. 또한, 비균질한 소재에 대해서도 비교적 정확한 차폐효과 측정이 가능하다. 측정 가능한 하한 주파수는 잔향실의 전자파 모드 수가 충분히 많아지는(통상 60개 이상 되는) 주파수에 의해서 결정되고, 이론적으로 상한 주파수는 제한이 없어 수십 GHz 이상의 높은 주파수까지 측정이 가능하며, 측정 계측기의 상한 주파수에 의해 제한된다. 단점으로는 통계적인 관점에서



[그림 10] Nested reverberation chamber 방법^[12]

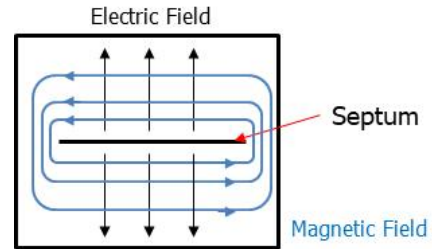
측정 데이터를 앙상블 평균하기 때문에 데이터 처리시간이 다른 방법에 비해 오래 걸릴 수 있다.

III. 근역장 차폐 측정 방법

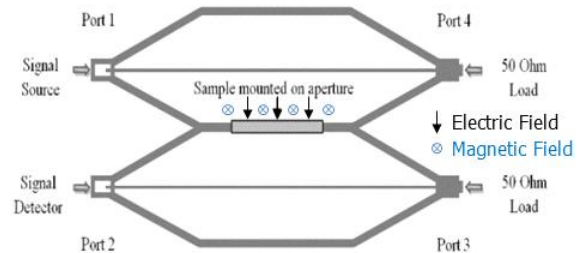
지금까지 평판형 차폐 소재가 전자파 소스로 부터 일정 거리(통상 $\lambda/2\pi$) 이상 떨어져 있는 경우인 원역장에 대한 차폐 측정 방법을 살펴보았다. 하지만 [그림 1]에서 보듯이 모바일 기기 등에서 주로 사용되는 EMI 대책용 시트나 필름들은 노이즈 소스에 부착되어 사용되는 경우가 일반적이다. 따라서 차폐 소재의 원역장 차폐 특성만 가지고는 실제 사용 환경에서의 차폐 성능을 예측하기 어렵다. 또한 근역장인 경우에는 전자파 소스의 종류(전기 다이폴 또는 자기 다이폴)에 따라 차폐 특성이 다르기 때문에 전기장과 자기장 차폐효과를 모두 측정하고 평가할 필요가 있다. 지금부터는 근역장 전자파의 차폐효과 측정 방법에 대해서 살펴보고자 한다.

3-1 Dual-TEM Cell 방법^{[1],[13]}

이중 TEM 셀은 [그림 11]과 같이 단면이 직사각형(rectangular) 두 개의 TEM 셀이 연결된 구조이며, 연결된 부분에 개



(a) TEM cell의 단면 구조



(b) Dual-TEM cell의 측면 구조

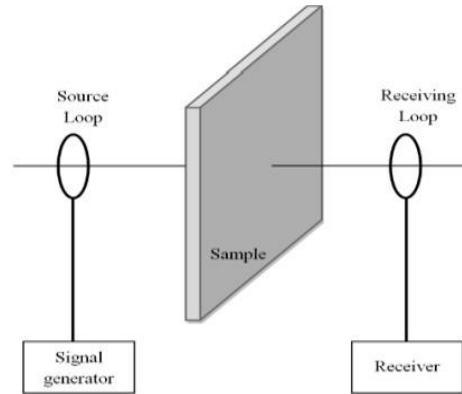
[그림 11] Dual-TEM cell 방법^[1]

구부가 있어 측정하고자 하는 소재의 시편을 부착할 수 있다. 두 개의 TEM 셀 중 하나는 소스 역할을 하는 구동(driving) 셀이 되고, 다른 하나는 개구부를 통해 전달된 전자파를 수신하는 수신(receiving) 셀이 된다. 동축 TEM 셀과 달리 이중 TEM 셀은 근역장을 발생시킬 수 있다. 전기장과 자기장의 방향은 [그림 11]과 같이 개구부(소재 표면)에 수직(normal) 방향으로, 자기장은 접하는(tangential) 방향으로 분포하게 된다.

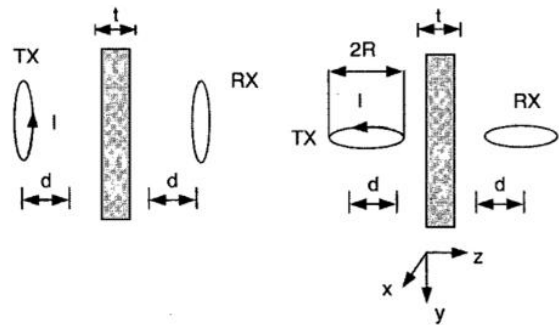
구동 셀의 한쪽 포트는 소스와 연결되고, 다른 쪽 포트는 50 Ω으로 종단된다. 수신 셀에도 두 개의 출력 포트가 있으며, 이 두 개의 출력을 이용하여 전기장과 자기장 성분을 분리할 수 있다. 두 출력 포트의 전압을 합해서 반으로 나누면 전기장 성분을 얻을 수 있고, 두 출력 포트의 전압을 빼서 반으로 나누면 자기장 성분을 얻을 수 있다. 따라서 이중 TEM 셀 방법의 장점은 차폐 소재의 전기장과 자기장의 근역장 차폐효과를 동시에 측정 가능하다는 것이다. 4 포트 네트워크 분석기와 하이브리드(hybrid)를 동시에 이용하면 전기장과 자기장 차폐효과를 한 번에 추출할 수 있으며, 2포트 네트워크 분석기를 이용할 경우에도 두 번의 S-parameters 측정을 통해 전기장과 자기장 차폐효과를 뽑아낼 수 있다. 측정 주파수 영역은 최저 주파수는 측정 계측기의 측정 가능한 하한 주파수에 의해서 결정되며, 최대 주파수는 직사각형 TEM 셀의 크기에 의해서 결정되는 TE₁₀ 모드 차단 주파수에 의해서 정해진다.

3-2 Loop Antenna 방법^{[11][14]}

평판형 소재 시편에 대해 근역장에서의 자기장 차폐효과를 측정하는 방법으로 두 개의 작은 루프 안테나를 이용하여 [그림 12]와 같이 측정하는 방법이 있다. 이 경우에는 루프 안테나의 배치 방법에 따라 두 가지 방법이 있다. NSA 65-6에서는 두 루프의 축이 동일한 동축(coaxial) 루프 배치 구조를 제안하였고, MIL-STD 285(IEEE Standard 299도 동일)에서는 두 루프 안테나가 소재 평면에 수직인 한 평면에 같이 놓여 있는 동일평면(coplanar) 루프 배치 구조를 제안하였다. 전자의 경우에는 자기장이 소재 면에 수직(normal)으로 입사하게 되고, 후자의 경우에는 자기장이 소재 면에 평행(tangential)하게 입사하게 된다. 따라서 소재의 종류(특



(a) 측정 방법



(b) 동축(coaxial) loop 배치 구조

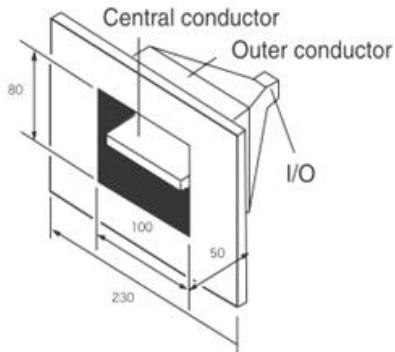
(c) 동일평면(coplanar) loop 배치 구조

[그림 12] Loop antenna 방법^{[11][14]}

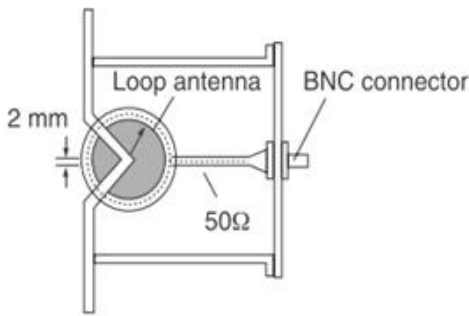
히 자성 재료)에 따라 두 가지 방법에 의해 측정된 차폐 특성은 상이할 수 있음을 알아야 한다. 또한, 소재로부터 루프 안테나가 놓여 있는 거리에 따라 소재의 차폐 특성이 다르게 측정될 수 있다. 이는 근역장 영역에서 파동 임피던스가 소스로부터의 거리에 따라 변하기 때문이다.

3-3 KEC 방법^{[15][16]}

KEC 방법은 일본 간 사이 전자산업개발센터(Kansei Electronic Industry Development Center)에서 제안하였으며, 주파수가 100 kHz에서 1 GHz까지의 근역장에서 전기장과 자기장의 차폐 특성을 평가하기 위해서 고안한 방법이다. [그림 13]에서 보듯이 전기장 측정 지그는 직사각형 TEM 셀을 반으로 절단하고, 외부 도체에 플란지를 추가한 형태이며, 소재 시편을 두 절단된 TEM 셀 사이에 삽입하여 차폐를 측정하는 방식이다. 자기장 차폐 측정 지그는 [그림 13](b)에서



(a) 전기장 측정 지그



(b) 자기장 측정 지그

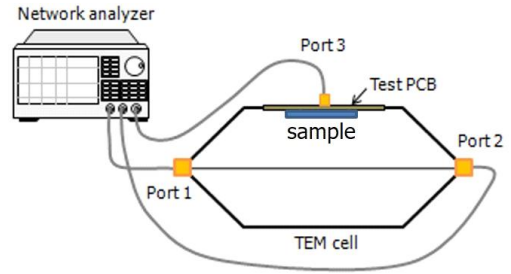
[그림 13] KEC 방법^[16]

보듯이, 두 개의 루프 안테나를 소재 시편 가까이 붙여서 측정하는 방식이라고 볼 수 있다. KEC 방법은 다즈다를 포함한 일본의 EMI 대책용 시트나 소재 부품 업체에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 방법이다.

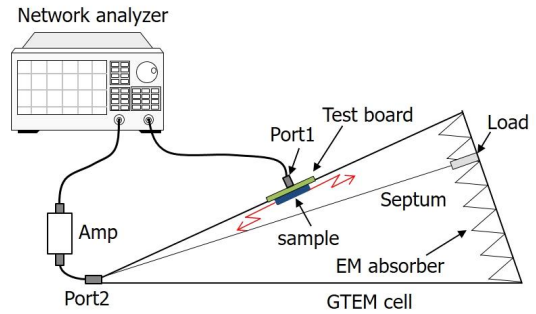
3-4 Single TEM/GTEM Cell 방법^{[17],[19]}

단일 TEM/GTEM 셀 방법은 IEC 61967-2의 IC레벨 EMI 측정 표준을 차폐 측정에 응용한 방법이다^[18]. 이중 TEM 셀 방법과 달리 단일 TEM/GTEM 셀 방법은 하나의 TEM 셀을 사용하여 전기장과 자기장 차폐효과를 측정하는 방법이다. [그림 14]에서 보듯이, 이중 TEM 셀 방법에서 사용했던 전기장과 자기장을 발생시키는 구동 TEM 셀 대신에 인쇄회로기판(PCB)위에 전기장과 자기장 소스 패턴을 형성하여 사용하는 것이 특징이다. EMI 대책용 시트나 필름은 소스 패턴 위에 부착한 다음, 시트나 필름이 TEM 셀 내부를 향하도록 TEM 셀 개구면에 PCB를 장착하게 된다.

이 방법의 장점은 EMI 대책용 시트나 필름의 실제 사용



(a) TEM cell (a)



(b) GTEM cell

[그림 14] TEM cell 방법(a)과 GTEM cell 방법(b)^[17], 19]

환경과 거의 유사한 조건에서 차폐 특성을 평가할 수 있다는 것이다. [그림 1]에서 보듯이 EMI 대책용 시트나 필름들은 대부분 전자파 노이즈 소스원 위에 부착되어 소스로부터 나오는 전기장과 자기장을 감쇠시켜 주는 역할을 한다. 단일 TEM 셀 방법은 실제 IC나 trace 상에서 방사되는 전자파 노이즈와 유사한 소스 패턴을 PCB 상에 구현하여 사용할 수 있다.

이중 TEM 셀 방법과 마찬가지로 단일 TEM 셀 방법은 전기장과 자기장 차폐효과를 분리해서 평가할 수 있는 장점도 있다. 또한, 수 GHz 이상 대역에서 EMI 대책용 시트의 차폐 특성을 평가하기 위해서는 TEM 셀 대신에 GTEM 셀(~18 GHz까지 측정 가능)을 사용하여 측정할 수 있다. GTEM 셀은 TEM 셀과 달리 포트가 하나이기 때문에 전기장과 자기장 차폐효과를 뽑아내기 위해서는 PCB 방향을 0도와 180도에서 각각 측정해야 한다^[19].

결론적으로 단일 TEM/GTEM 셀과 PCB 소스 패턴을 이용하면 노이즈 소스 표면에 부착되어 사용되는 EMI 대책용 시트나 필름 형태의 차폐/흡수 소재 평가를 실제 환경과 매우 유사한 조건에서 시험할 수 있다.

3-5 Loop Probing 방법^[20]

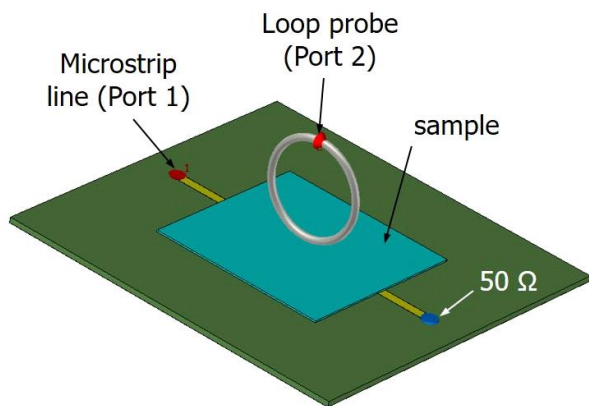
루프 프로빙 방법은 IC레벨 EMI 측정 표준인 IEC 61967-6 방법^[21]을 차폐 측정에 응용한 방법으로, 단일 TEM 셀 대신에 소형 루프 프로브를 이용하여 근역장에서 자기장 차폐 효과를 측정하는 방법이다. [그림 15]에서 보듯이 PCB 위에 50 Ω 마이크로스트립 라인 패턴을 형성하고, 이를 자기장 소스원으로 사용한다. 그 위에 측정 시료를 부착하고, 근거리에서 소형 루프 프로브를 이용하여 투과된 자기장을 측정하게 된다.

루프 프로브가 인덕턴스로 동작하는 주파수 범위까지 자기장 차폐 특성을 효과적으로 측정할 수 있다. 일반적으로 측정 가능 최대 주파수는 1~2 GHz까지이며, 이는 루프 프로브의 종류와 특성에 따라 차이가 있을 수 있다.

IV. 맺음말

지금까지 EMI 대책을 위해 많이 사용되는 평판형 시트나 필름에 대한 차폐 특성을 시험하는 측정 방법에 대해서 살펴보았다.

원역장의 경우, 평면파에 대한 소재의 차폐 특성을 평가하는 것으로 ASTM D4935 방법이 가장 널리 사용된다. 현재 18 GHz까지 측정 가능한 지그에 대한 연구 사례가 있지만 아직 표준 방법으로 제안되어 있지는 않은 상황이다. 향후 표준화를 위해 필요한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 향후 5G나 밀리미터파 대역에서 사용할 수 있는



[그림 15] Loop probing 방법^[20]

EMI 소재가 개발된다면 이를 평가하기 위해서는 수십 GHz 대역까지 차폐 특성을 측정하고 평가할 수 있는 기술이 필요할 것이다. 이런 측면에서 볼 때, 중첩된(nested) 잔향실 방법은 향후에도 지속적으로 주목을 받을 수 있는 기술이라 생각된다.

한편 현재 EMI 대책용 시트나 필름의 수요가 가장 많은 모바일 기기의 경우, 사용되는 소재에 대한 정확하고 객관적인 근역장 차폐효과 데이터가 요구되고 있지만, 근역장에서의 전기장과 자기장 차폐효과 측정 방법들 중 루프 안테나 방법을 제외하고 국제적인 표준방법으로 제시된 방법은 아직까지 없는 실정이다. 다만 일본 소재 업체들 중심으로 자국에서 제안한 KEC 방법을 근역장 차폐 측정 방법으로 널리 사용하고 있다. 하지만 국내 소재 업체의 경우 마땅히 사용할 만한 근역장 차폐 측정 방법이 없는 실정이며, 국내 EMI 소재 산업의 육성 측면에서 볼 때 우리나라 자체의 표준 측정 방법 개발이 필요하며, 향후 이런 부분에서 정부의 R&D 지원이 이루어져야 할 것이다.

마지막으로 지면관계상 본고에서 관련 기술들을 충분히 설명하지 못한 것에 대해서 독자들의 양해를 구하고, 좀 더 상세히 알고 싶은 부분은 참고문헌을 참조하기 바란다.

참고 문헌

- [1] C. Morari, I. Balan, "Methods for determining shielding effectiveness of materials", *Electrotechnica, Electronica, Automatica*, vol. 63 no. 2, 2015.
- [2] P. F. Wilson, M. T. Ma, and J. W. Adams, "Techniques for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of materials: Part I: -far-field source simulation", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 30, no. 3, pp. 239-250, Aug. 1988.
- [3] Test method for electromagnetic shielding effectiveness of planar materials, *ASTM Standard ES7*, 1983.
- [4] Standard test method for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of planar materials, *ASTM Standard D4935*, 2010.
- [5] A. Tamburrano, D. Desideri, A. Maschio, and M. S. Sarto, "Coaxial waveguide methods for shielding effectiveness

- measurement of planar materials up to 18 GHz", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 56, no. 6, pp. 1386-1395, Dec. 2014.
- [6] T. W. Wieckowski, J. M. Janukiewicz, "Methods for evaluating the shielding effectiveness of textiles", *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, vol. 14, no. 5, pp.18-22, Jan./Dec. 2006.
- [7] D. Desideri, A. Maschio, "A new version of coaxial holder with continuous conductor for tests on planar films", *Int. J. Appl. Electromagn. Mech.*, vol. 39, pp. 189-194, 2012.
- [8] H. Vasquez, L. Espinoza, K. Lozano, H. Foltz, and S. Yang, "Simple device for electromagnetic interference shielding effectiveness measurement", *IEEE EMC Society Newsletter*, no. 220, pp. 62-68, 2009.
- [9] 전파연구소, "1 GHz~18 GHz 대역의 전자파 차폐물질 측정방법 연구", 한국전자과학회, 2010년 11월.
- [10] C. L. Holloway, D. A. Hill, J. Ladbury, G. Koepke, and R. Garzia, "Shielding effectiveness measurements of materials using nested reverberation chambers", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 45, no. 2, pp. 350-356, May 2003.
- [11] E. W. Cheng, Q. G. Wang, and Y. F. Liu, "The overview of measuring the shielding effectiveness of the materials in complex electromagnetic environment", *Journal of Physics: Conference Series* vol. 418, p. 012085, 2013.
- [12] J. Carlsson, K. Karlsson, and A. Johansson, "Validation of shielding effectiveness measurement method using nested reverberation chambers by comparison with aperture theory", *11th International Symposium on EMC(EMC Europe 2012)*, Rome, Italy, pp. 17-21, Sep. 2012.
- [13] P. F. Wilson, M. 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.
- [15] Y. Kato, M. Horibe, M. Ishihara, and M. Hasegawa, "Electromagnetic shielding measurements of CVD graphene by using KEC and ASTM methods", *Thailand-Japan Micro-Wave 2016*.
- [16] <https://www.kec.jp/testing-division/kec-method/>
- [17] H. H. Park, J.-D. Lim, H.-B. Park, and J. Kim, "Near-field shielding measurement of small shield cans in metallic mobile devices for RF interference analysis", *Electronics Letters*, vol. 52, no. 11, pp. 980-982, May 2016.
- [18] IEC 61967-2:2005, Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz - Part 2: Measurement of radiated emissions - TEM cell and wideband TEM cell method.
- [19] C. Hwang, J.-D. Lim, G. Y. Cho, H.-B. Park, and H. H. Park, "A novel shielding effectiveness matrix of small shield cans based on equivalent dipole moments for radio-frequency interference analysis", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 58, no. 3, pp. 766-775, Jun. 2016.
- [20] H. H. Park, J. H. Kwon, and S. Ahn, "A simple equivalent circuit model for shielding analysis of magnetic sheets based on microstrip line measurement", *IEEE Trans. Magnetism*, vol. 53, no. 6, Art. ID 9401504, Jun. 2017.
- [21] IEC 61967-6:2002, Integrated circuits - Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz - Part 6: Measurement of conducted emissions - Magnetic probe method.

≡ 필자소개 ≡

박 현 호



1999년 8월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)

1999년 9월: 한국전자통신연구원 (ETRI) 선임 연구원

2006년 6월: 삼성전자 글로벌기술센터 수석연구원

2012년 9월~현재: 수원대학교 전기전자공학부

교수

[주 관심분야] EMI/EMC 대책 기술, SI/PI 설계 기술, 전자파 해석 기술