

전자파/ 자기장 차폐 및 전달 임피던스 측정방법

정연춘·강태원

한국표준과학연구원
전자기환경그룹

I. 서론

근래에 들어 전자장 차폐효과에 대한 관심이 크게 고조되고 있다. 이러한 이유는 일반 대중의 전자파 인체장해에 대한 막연한 공포감에 기인하는 것으로 판단되나, 근래에 규제가 시작된 전자기내성 규제의 주요 대책수단으로 전자장차폐가 부각되고 있기 때문이기도 하다. 현재 전기, 전자장치의 합체 재료는 물론, 컴퓨터 보안기, 섬유, 복합재료 등, 매우 많은 종류의 재료에 대해 시험 요구가 있으며, 앞으로 크게 증가할 전망이다.

본 고에서는 주로 수 kHz 이상에서 다루어지는 전기장/전자파 차폐효과와 수 kHz 이하에서 다루어지는 자기장 차폐효과, 그리고 전자파 가스켓의 성능지수인 전달 임피던스에 대한 측정방법을 소개하고자 한다.

II. 전자파 차폐효과

2-1 기본 개념

금속재료의 전자파 차폐효과는 Schelkunoff^[1]의 이론에 의해 쉽게 예측할 수 있다. 그러나 근래에 들어 급속히 금속재료를 대체하고 있는 복합재료의 경우, 금속재료와 달리 전기적 특성을 명확히 알 수 없기 때문에 재료의 전자파 차폐효과를 이론적으로 예측할 수 없고, 측정에 의해서만 그 성능이 파악되는 어려움이 있다. 이에 산업체에서는 전자파 차폐효과 측정법에 관심을 기울이기 시작하였고, 근래에 들어 미 국립 표준기술연구원(NIST)과 재료시험협회(ASTM)에서 표준화된 시험 방법을 제안하

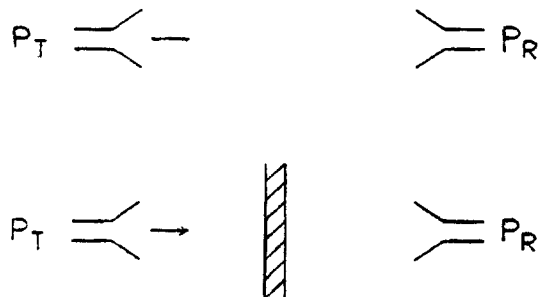
고 있다. 이러한 시험 방법은 각종 외장재의 전자파 차폐효과와 상대적 우위를 판단하는데 사용될 수 있다.

전형적인 전자파 차폐효과 측정법은 [그림 1]에 의한 절차에 의해 이루어지는데, 재료의 전자파 차폐효과는 일정한 송신전력에 대해 차폐재료가 놓여 있을 때(P_r)와 없을 때(P_t)에 수신되는 수신전력의 차를 측정함으로써 쉽게 결정할 수 있게 된다. 이때의 수신전력값의 비는 삽입손실(IL)로서

$$IL=10 \log (P_t/P_r) \quad (1)$$

과 같이 표현된다. 따라서 전자파 차폐 메카니즘(흡수, 반사, 내부 다중 반사)에 관계없이 단지 입사하는 전자파에 대해 투과되어 전달되는 전자파의 비로 표현됨을 알 수 있다. 측정시스템 역시 측정치구 내에 시편이 있을 때와 없을 때에 수신되는 전력을 각각 측정하여 두 값의 차를 결정하는 과정을 포함한다.

오늘날 선진외국에서 전자파 차폐재료의 성능을



[그림 1] 전자파 차폐효과 측정 원리

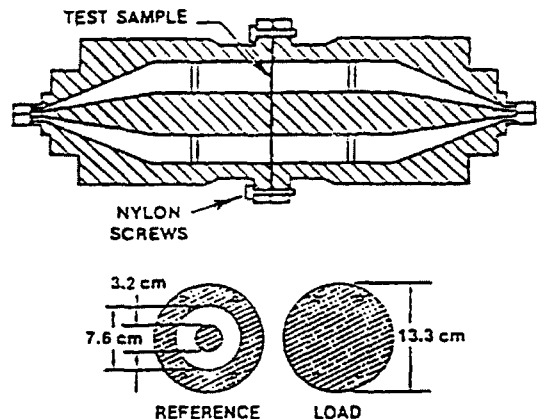
평가하기 위해 사용하는 주요 측정법에는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 사용되는 측정치구에 맞게 재료를 편평하고, 얇게 시편으로 제작하여 측정하는 방법이며, 다른 하나는 재료를 실제로 사용되는 구조물의 형태로 제작하여 특성을 측정하는 방법이다. 여기에서 제작된 구조물을 사용하는 방법은 구조물 내부에 안테나를 설치하고 전자파를 복사시킴에 따라 구조물의 벽면을 통해 누설되는 전자파를 안테나 또는 프로브를 이용하여 감지하는 측정 방법이다. 이러한 방법은 평가하고자 하는 재료를 사용하여 최종적으로 만들어지는 구조물을 근사적으로 묘사하기 때문에 실제 상황에 가장 근접하는 측정결과를 얻을 수 있는 장점이 있지만, 구조물을 만들 때 들어가는 각종의 인입구, 구조물의 구조적 특성 등에 의해 전자파 차폐특성이 크게 영향을 받기 때문에 재료 자체의 특성을 보기에는 어려움이 있다. 또한 이러한 방법은 제품의 외장 구조물을 설계하는 단계에서 사용할 예정의 모든 재료에 대해 구조물을 만들어야 하는 어려움이 있다.

2-2 측정치구

전자파 차폐효과 측정에 매우 다양한 측정치구가 사용되고 있다. 그러나 각종 측정치구에는 측정치구가 가지는 구조적인 특성 때문에 반복적인 측정결과를 얻는 데 어려움이 있다. 따라서 산업체에서 특정 측정치구를 정해 놓고 다양한 시편의 상대적인 우위만을 평가하는데 이용하고 있다. 여기에서는 이러한 다양한 측정치구 중에서 플랜지형 동축 전송선 측정치구(flanged circular coaxial transmission line sample holder)를 소개한다. 이 측정치구는 [그림 2]에 보인 것으로서 미 국립 표준과학기술연구원(NIST)에서 개발되었으며, 원역장의 전자파 차폐효과를 측정하는데 사용되고, ASTM: D4935-89^[2]의 규격에 측정치구로 채택되어 있다. 이 측정치구는 측정 신뢰도가 높고, 비교적 반복적인 실험결과를 얻을 수 있으므로 재료의 원역장 차

폐특성을 측정하는 기준 측정치구로 사용되고 있다.

두 개의 큰 동축 플랜지 사이에 디스크형의 시편을 넣고 전자파를 입사시키면 시편을 통한 용량성 결합으로 TEM모우드의 신호를 전파시키게 된다. 이러한 측정치구는 ASTM에서 '83년에 제안한 ASTM ES 7-83 규격의 연속 동축선 측정치구(circular coaxial transmission-line holder with continuous conductor)의 단점을 보완한 것으로서 내부도체의 외경이 3.2 cm, 외부 플랜지의 외경이 13.3 cm, 내경이 7.6 cm이며, 시편의 모양이 와셔형이 아니고 디스크형으로 되어 있다. 또한 기준 시편은 양쪽의 동축 전송선이 시편을 통해 용량성 결합을 할 수 있도록 두 조각으로 되어 있으며, 내·외부 동축선 사이는 비어 있다. 따라서 두 조각으로 이루어진 기준시편을 측정치구 사이에 끼운 다음 기준 레벨을 측정하고, 다시 디스크형의 시편을 측정치구 사이에 끼운 다음 수신되는 전력을 측정하고 나면 두 값의 차로부터 재료의 전자파 차폐효과가 결정된다. 이때 양쪽 부분의 치구는 시편을 통해 용량성 결합을 해야하므로 나이론 스크류를 사용하여 양쪽 부분의 플랜지를 결합하게 된다. 이러한 나이론 스크류는 금속 스크류와는 다르게 접촉 임피던

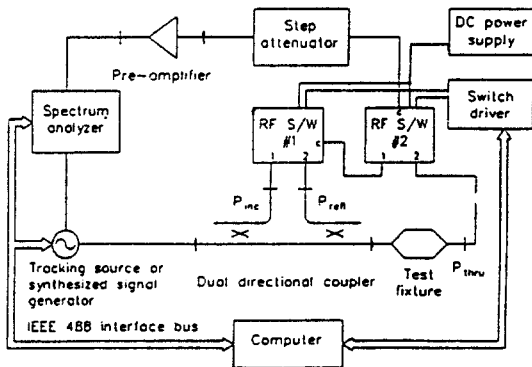


[그림 2] 플랜지형 동축선 측정치구

스의 섭동을 시편과 병렬이 되게 유지시켜 준다. 이러한 측정치구를 사용할 때의 측정 주파수대역은 1 MHz~1.8 GHz 정도인데, 주파수 하한은 측정기기의 주파수한계에 의해 제한되며, 주파수 상한은 치구의 물리적 크기에 의한 공진 주파수에 의해 제한된다.

2-3 측정시스템

전자파 차폐효과 측정시스템은 [그림 3]과 같으며, 플랜지형 동축선의 최대 입력전압, 수신기 전단 신호증폭기의 최대 입력전압, 수신기의 최대 입력전압, 그리고 측정치구의 특성 등에 의해 제한된다. 표준연에서 구현한 측정시스템은 신호 증폭기의 이득 감소 레벨과 스위치의 최대 입력전압 등을 고려하여 트랙킹신호원 및 신호발생기의 출력을 +13 ~15 dBm으로 고정하였으며, 수신기로 사용되는 스펙트럼 분석기의 전단부에 스텝 감쇠기와 신호증폭기를 설치하여 시스템의 동작영역을 넓혔다. 측정시스템에 포함되어 있는 장치는 HP85645A 트랙킹신호원, HP 8657A 신호발생기, HP 8566A 스펙트럼분석기, R/S RSP 스텝 감쇠기, HP 8441D 신호증폭기, HP 33311B 동축스위치, 제작된 스위치 구동제어기, Electrometrics DC 3001 쌍방향성



[그림 3] 표준연의 전자파 차폐효과 측정시스템의 블록선도

결합기 등이다.

전자파 차폐효과 측정시스템의 동작영역(dynamic range)은 사용된 측정치구에 따라 다르며, 트랙킹신호원을 이용하여 주파수 주사방법(swept frequency method)으로 측정할 때와 신호발생기를 이용하여 이산 주파수 방법(discrete frequency method)으로 측정할 때에 따라 각기 다르다. 플랜지형 동축선 측정치구와 트랙킹신호원을 이용한 측정시스템의 동작영역은 스펙트럼 분석기의 분해 대역폭에 따라서 달라진다. 이때 분해대역폭이 10 kHz 일때는 110 dB 이상의 동작영역을 가지며, 분해대역폭을 100 Hz로 하여 시스템의 배계잡음을 크게 줄였을 때는 140 dB 이상의 동작영역을 갖는다. 플랜지형 동축선 측정치구와 신호발생기를 사용하여 이산 주파수 방법을 사용할 경우에는 110 dB 이상의 동작영역을 갖는다. 또한 트랙킹신호원과 신호발생기를 사용하는 이중챔버의 동작영역은 약 80 dB 정도이며, 챔버의 물리적인 크기에 따라 공진현상이 일어나는 단점이 있다.

2-4 간단한 성능 우선순위 예측방법

앞에서 설명한 전자파 차폐효과 측정시스템은 광대역 신호발생기와 스펙트럼분석기 등이 필요하고 따라서 비용이 많이 들어간다. 따라서 산업체에서는 DC 표면저항을 간단히 측정하여 차폐재료의 성능 비교순위(rankng)를 결정하는 방법을 널리 사용하고 있다. 이러한 방법을 합체 제조업체에서 잘 활용할 수 있다면 시스템이 복잡하고, 고가인 전자파 차폐효과 측정시스템을 보유하지 않고서도 간단하게 시편의 전자파 차폐효과를 예측할 수 있어 우수한 코팅 방법의 선택은 물론, 우수한 품질 유지에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

4개의 금속 프로브 탐침을 시편의 표면에 위치시킨 다음, 바깥 쪽 2개의 탐침을 통해 DC 전류 I 를 흘리고, 안쪽 2개의 탐침 사이에 걸리는 전위차 V 를 측정하면 시편의 비저항(resistivity) ρ 는

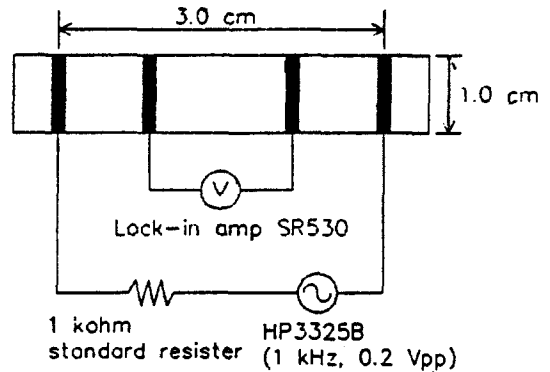
$$\rho(\Omega\text{-cm}) = 2\pi \frac{V}{I} / \left\{ \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} - \frac{1}{(S_2+S_3)} - \frac{1}{(S_1+S_2)} \right\} \quad (2)$$

여기에서, S_1, S_2, S_3 는 두 개의 프로브 탐침 사이의 간격.

으로 표현된다. 위의 식은 시편이 수평 및 수직 모든 방향으로 무한하다고 가정한 것이다. 따라서 프로브 탐침이 시편의 모서리 근처에 놓이거나, 시편이 박막인 경우 측정값이 보정되어야 한다.

DC 시트저항을 측정하지 않고 RF 표면저항을 측정하여 전자파 차폐효과의 상대적인 우선순위를 결정할 수도 있다. RF 표면저항 측정원리는 단지 측정 프로브로서 탐침을 사용하지 않고 전선을 사용하는 것을 제외하고는 앞의 비저항 측정원리와 같다. 앞의 경우와 마찬가지로 4개의 전선을 이용하여 바깥쪽 전선으로 전류를 흘리고, 안쪽 두 가닥의 전선에 걸리는 전위차를 측정하게 된다.

이러한 4단자법^[3]에서는 전류를 흘려주는 바깥쪽 두 단자와 전압을 측정하는 안쪽 두 단자들이 서로 독립적이기 때문에 전류를 흘려주는 바깥쪽 단자들의 도선 저항은 전압을 측정하는 안쪽 두 단자에 영향을 주지 않는다. 더욱이 전압을 측정하는 안쪽 두 단자의 도선 저항도 시편의 저항과 직렬로 연결되어 있으므로 전압 증폭기의 입력 임피던스가 큰 경우에는 무시될 수 있다. 실제 측정은 [그림 4]에서 볼 수 있는 것처럼 일정한 크기의 시편 위에 4가닥의 전선을 은 페이스트로 부착한 다음, 바깥쪽 2가닥에 고주파 신호원을 연결하고 1 kΩ 정도의 표준저항을 통해 고주파 RF 전류를 흘리고, 안쪽 2가닥의 전선에 걸리는 전압을 Lock-in Amplifier를 통해 측정한다. 이 때, RF 전류는 신호원의 출력과 1 kΩ의 표준저항에 의해 결정된다. 이러한 일정한 크기의 전류는 시편의 저항이 작을 때 유효하며, 시편의 저항이 커지면 일정하게 유지되지 않는다. 결국 4단자법을 사용할 경우 도선의 저항이나 연결부



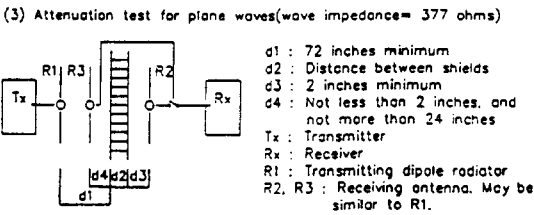
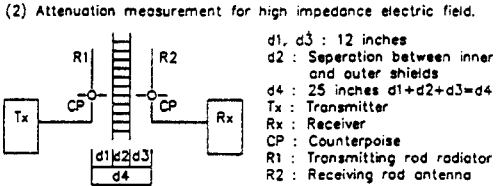
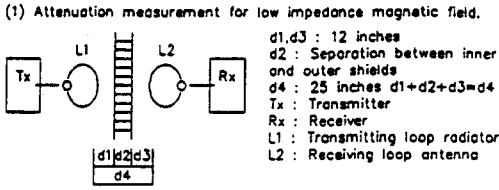
[그림 4] RF 표면저항 측정방법

위의 저항에 의한 영향을 제거하여 주므로 정확한 저항을 측정할 수 있는 방법이다.

2-5 합체의 전자파 차폐효과 측정방법

제작된 전자파차폐 합체는 최종적으로 그 성능을 평가함으로써 사용된 재료 및 각종의 개구부의 성공적인 설치여부 등을 판단할 수 있게 되며, 나아가서 용도에 맞게 사용할 수 있는 가를 결정짓게 된다. 전자파 차폐효과의 측정은 전자파 누설의 가능성이 큰 부분(door, filter, vents, all penetrations, accessible joints, seams)을 중심으로 이루어지는데, 삽입손실 측정법을 이용하여 송, 수신안테나 사이에 차폐재료가 놓여 있는 경우와 그렇지 않은 경우에 측정수신기에 수신되는 전자기장의 세기의 차이를 측정함으로써 이루어진다. 측정에 적용되는 전형적인 규격은 [그림 5]에 보인 MIL-STD-285^[4]이다.

측정시스템을 구성할 때 측정수신기 내부로부터의 누설전자파, 신호증폭기의 포화상태, 측정수신기의 이득감소 등을 확인하여 요구되는 측정을 하기에 충분한 동작영역을 갖도록 해야 하며, 측정동안 이러한 측정시스템의 동작영역과 기준값에서의 변화를 주기적으로 확인해 가면서 측정을 수행해야



[그림 5] 전형적인 MIL-STD-285 측정방법

한다. 실제 측정에서는 한 쪽 안테나를 함체 내부에 설치하며 다른 한 안테나를 이용하여 누설되는 전자파를 탐지하게 된다. 특히 측정에서 주요한 것은 전기장과 자기장 특성은 근역장 특성을 측정하는 것이므로 근역장 조건이 유지되는 일정 거리를 유지해야 한다는 것과 평면파의 경우는 원역장 특성을 측정하는 것이므로 송신안테나의 거리를 원역장 조건이 유지되도록 충분히 띄워 유지해야 한다는 것이다.

III. 자기장 차폐효과

극저주파 자기장에 대한 인체장해 가능성과 전력 주파수 자기장 등에 대한 내성 규제가 시작됨에 따라 자기장 차폐에 대한 관심이 급증하고 있다. 자기장 차폐는 투자율을 가진 재료로 이루어진 차폐함체가 외부로부터 입사하는 자기장 선속을 집속하여

우회시킴으로써 차폐함체 내부에서의 자기장의 세기를 낮추는 방법으로 실현된다. 자기장 차폐인자 (shielding factor; 흔히 자성재료 분야에서는 차폐효과라는 용어보다 차폐인자라는 용어를 보다 많이 사용한다)는 외부 자기장에 대한 차폐함체 내부에서의 자기장의 세기의 비로 표현된다:

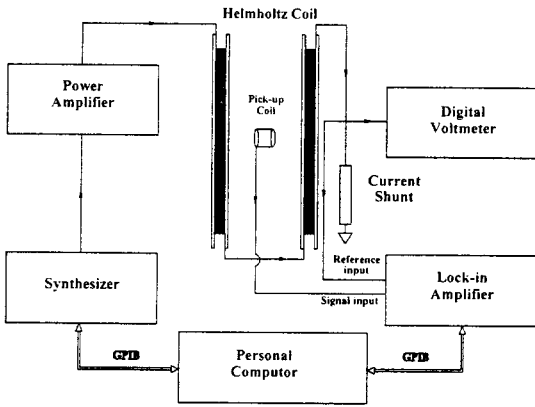
$$S(dB) = 20 \log\left(\frac{H_o}{H_i}\right) \quad (3)$$

여기에서, H_o = 차폐함체가 없을 때의 자기장의 세기
 H_i = 차폐함체를 놓았을 때의 자기장의 세기

따라서 자기장 차폐인자를 측정하기 위해서는 표준 자기장을 발생시킬 수 있어야 하고, 또한 감지할 수 있어야 한다. 이러한 자기장 차폐인자 측정에 사용되는 일반적인 규격은 ASTM-A698M-92^[5]이며, 표준연에서는 이러한 규격에 의거하여 측정시스템이 구현되었다. 측정시스템은 헬름홀츠 코일, 픽업 코일, 전력증폭기, lock-in 증폭기 등으로 이루어졌으며, 장치의 규격과 블록선도는 <표 1>과 <그림 6>에 보였다. 이러한 측정시스템을 이용하여 10 kHz

<표 1> 측정장비의 제작규격 및 성능

Helmholtz Coil	turns: $n = 4 \times 10$ (turns) effective radius: $a = 61.0$ cm coil constant: 589 mOe / A
Pick-up Coil	turns: $N = 10,000$ effective radius: 1.27 cm effective area-turns: 5.07×10^4 cm ²
Power Amplifier	max. output: 1,018 W _{rms} (into 4 Ω) frequency response: DC~30 kHz
Lock-in Amplifier	sensitivity: 100 nV~1 V CMRR: 100 dB @60 Hz



[그림 6] 표준연의 자기장 차폐인자 측정시스템의 블록선도

의 주파수까지 약 50 dB 정도까지의 자기장 차폐인자를 측정할 수 있다.

구현된 헬름홀츠 코일은 10회씩 감은 코일 4개로 이루어져 있는데, 저주파수대역에서는 각각의 코일을 직렬로 연결하여 40회로 사용하고, 고주파수대역에서는 코일 하나 또는 둘 정도로 낮은 감은 수를 사용한다. 이러한 분리를 통해 헬름홀츠 코일과 전력증폭기 사이의 주파수에 따른 임피던스 부정합에 의한 전력전달 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다. 픽업 코일의 외부는 동박으로 둘러싸 외부 전기장과의 결합을 억제시켰으며, 동축케이블을 꼬아 lock-in 증폭기의 입력과 연결하였다. 수신전압 V_{fm} 은 유효 면적-감은수 $(NA)_{eff}$, 헬름홀츠 코일의 중심에서의 축상 자기장 성분 H_p , 그리고 시험주파수 f 로 다음과 같이 표현된다:

결과적으로 자기장 차폐인자는 헬름홀츠 코일 중

$$V_{fm} = 4.443 f (NA)_{eff} H_p (mOe) \times 10^{-2} \quad (4)$$

$$\text{여기에서, } H_p (mOe) = 8.991 \frac{n I_p}{a} \left[\frac{A \cdot \text{turns}}{m} \right]$$

$(NA)_{eff}$ = effective area-turns of a pick-up coil.

양에 차폐합체가 있고, 없을 때에 픽업코일에 수신되는 전압의 차를 측정하여 결정하게 된다. 이렇게 구현된 측정시스템을 이용하여 얻을 수 있는 자기장의 균일도는 $\pm 5\%$ 이하이며, 따라서 체적이 $40^3 - \text{cm}^3$ 이하인 피시험차폐합체의 평가가 가능한 것으로 확인되었다.

자기장차폐 성능은 차폐재료의 투자율이 높을수록, 차폐합체의 두께가 두꺼울수록, 외부 합체의 직경이 작을수록 우수하다. 특히, 투자율은 주파수, 외부자기장의 자속밀도와 차폐재료의 포화자속밀도 관계, 가공시의 구부림이나 성형, 온도 등에 의존성을 가지므로 반드시 포화자속밀도 이하에서 제작된 합체의 형태를 유지하면서 측정되어야 한다. 투자율이 높은 permalloy 및 mu-metal, 그리고 silicone steel 등은 특히 기계적인 응력에 의해 투자율이 급격히 저하되므로 차폐합체의 구조 설계에 주의를 기울여야 하며, 작은 합체인 경우는 성형후 재열처리를 하는 것이 바람직하다. 또한 근래에 들어 많은 연구가 진행되고 있는 비정질 자성재료는 위의 재료에 비해서 비교적 높은 주파수에서 보다 효과적이며, 기계적인 응력에도 강한 장점이 있다.

IV. 가스켓의 전달 임피던스 측정방법

전자파를 차폐하기 위해 가장 널리 사용되는 재료는 전도성이 좋은 금속이다. 보통 전자파를 차폐하기 위해서는 일정한 모양으로 가공된 금속판을 이용하는데, 구조물을 만들기 위해 여러 개의 금속판을 사용하게 되며 이때 어떠한 모양이든지 이음새가 존재하게 된다. 금속판은 완전한 평면이 아니므로 기계적으로 아무리 강한 힘을 가하여 접촉시키더라도 그 이음새 부분은 줄어들 뿐이지 그대로 존재하게 되어 전자파가 침투해 들어가는 경로를 만들어 주는 결과를 초래한다. 대부분의 전자, 전기 기기는 금속 또는 차폐성질을 띤 플라스틱 성형체로 만들어진 차폐 합체에 의해 내부 회로를 보호하고 있다. 차폐 합체는 내부 회로를 외부 전자파로부터

터 보호하여 정상동작을 도모하는 기능이 있기도 하지만 내부 회로의 정상동작 중에 발생하는 전자파가 외부로 새어 나가지 않도록 하는 기능도 겸하고 있는 것이 보통이다. 이 두 가지 기능을 잘 발휘하도록 하려면 합체를 제작할 때 발생할 수 있는 이음새를 전기적으로 막아 주어야 하는데 이러한 기능을 가지는 부품을 통틀어서 전자파 가스켓이라 한다.

전자파 가스켓은 편조한 금속선, 스펀지 모양의 금속망, 전도성을 띤 신축성 있는 고무 등 여러 가지 형태가 있다. 가스켓의 성능은 실제로 가스켓을 설치하였을 때의 전자파가 줄어드는 정도, 즉, 전자파 차폐효과로 표시되기도 하고 전달임피던스 개념을 도입하여 표시되기도 한다.

전자파 가스켓의 차폐효과 시험법은 크게 전도 전자파 시험법과 복사 전자파 시험법으로 나누어진다. 복사 전자파 시험법의 대표적인 시험 방법은 SAE ARP(American Society of Automotive Engineers Aerospace Recommended Practice) 1173^[6]에 의한 방법이다. 이것은 차폐 상자를 만들고 상자의 한 면에 측정하고자 하는 시편을 떼었다 붙였다 할 수 있게 하고 송신 안테나와 수신 안테나를 차폐 상자의 내부와 외부에 각각 설치하여 시험하는 방법이다. 그러나 이 시험방법은 불확도가 매우 커서 실제 사용하는 데에 큰 어려움이 있었다.

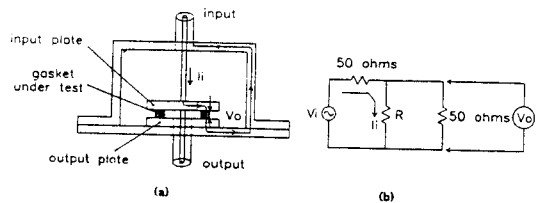
전도 전자파 시험법의 대표적인 예는 전달 임피던스 방법(transfer impedance technique)으로서 SAE ARP 1705 문서^[7]에 잘 나와 있다. 이 시험법은 전자파 가스켓, 케이블, 고주파용 커넥터 등의 차폐효과를 시험할 수 있는 대체 시험법으로서 측정 장치의 제작이 간편하고 좁은 시험 공간에서도 시험할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 또한 이 시험 방법은 복사 전자파 시험법에 비해 측정의 반복도가 우수하다.

가스켓의 전달 임피던스는 가스켓 양단에 유기되는 전압 V_o 와 가스켓에 흘러 들어 가는 입력전류 I_i 와의 비로 표시된다:

$$Z_T = \frac{V_o}{I_i} \quad (5)$$

여기서 입력전류와 출력 전압은 일반적으로 복소량이다. 그러므로 전달 임피던스의 단위는 $[\Omega]$ 이다. 만일 입력 전류밀도를 가스켓의 단위길이당 해당하는 양으로 표시되면 전달 임피던스는 $[\Omega \text{ m}]$ 또는 $[\Omega \text{ cm}]$ 으로 표시될 것이다. 이상적인 전달 임피던스 측정치구는 일정한 주파수 범위에서 일정한 크기의 전류를 입력단에 공급할 수 있게 하고 피측정 가스켓이 장착된 치구의 양단에서 출력 전압을 측정할 수 있게 해 준다. [그림 7]은 SAE ARP 1705에 제시된 전달 임피던스 측정 치구의 단면도와 그에 대한 DC 등가회로이다.

[그림 7(a)]에서 등가 전류는 입력판에 연결된 중심도체와 가스켓, 출력판과 외부 몸체를 연결하는 단힌 루프를 통하여 흐른다. [그림 1(a)]에서는 평면으로 그려져 있어 마치 전류가 한 개의 경로를 통해서만 흐르는 것으로 되어 있으나, 실제로는 원판형으로 만들어진 삼차원 구조이므로 중심도체로부터 방사상으로 퍼져 나가면서 흐른다는 것을 알 수 있다. 이 전류에 의해 측정하고자 하는 가스켓 양단에 전압이 유기된다. [그림 7(b)]는 측정치구의 동작을 이해하기 편리하도록 DC 등가회로로 그린 것이다. 여기서, 측정치구와 직렬로 연결된 50Ω 저항에 흐르는 입력전류는 정하여진 주파수 범위에서



[그림 7] 전달 임피던스 측정치구

- (a) 전달 임피던스 측정치구의 단면도.
- (b) 직류전압 등가회로.

에 흐르는 입력전류는 정하여진 주파수 범위에서 크기가 일정하다고 가정한다. 일반적으로 사용되는 가스켓의 저항은 입력전류의 크기를 결정하는 50 Ω 저항에 비하여 저항값이 매우 작다. 그러므로 출력 전압과 입력전압의 비는 가스켓의 저항 R 과 50 Ω의 비와 같게 된다:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{50} \quad (6)$$

여기서 저항 R 은 가스켓의 전달 임피던스이며 가스켓의 차폐효과를 측정하기 위해서는 전달임피던스의 크기를 측정하는 것만으로 충분하다. 앞서 측정치구에 흘러 들어가는 입력전류의 크기가 일정하다고 했는데 측정치구의 상태나 피측정 가스켓의 종류, 측정주파수 등에 따라 입력 임피던스의 값이 변하므로 입력전류의 크기도 변한다. 이것은 측정반복도를 떨어뜨리는 중요한 요인이기는 하지만 입력단에 50 Ω 보조 저항을 직렬로 연결하면 입력전류의 변화 정도를 줄일 수 있다.

표준연에서 보유하고 있는 전달 임피던스 측정치구는 SAE ARP 1705에 의하여 설계하되 측정하고자하는 가스켓의 설치가 편리할 뿐만 아니라 측정반복도를 보장하기 위해 몇 가지를 개조하여 제작한 것이다. 이 측정 치구는 DC에서부터 1,200 MHz의 주파수 범위에서 80~120 dB 이내의 차폐효과를 측정할 수 있으며, 이는 5 mΩ~0.05 mΩ의 전달 임피던스에 해당된다. 측정할 수 있는 가스켓은 끈 모양으로 길게 만들어진 가스켓, 수축성을 지닌 가스켓, 링 모양의 가스켓 등으로 다양하다.

V. 결 론

전자파차폐재료의 차폐효과, 자기장 차폐재료의 차폐인자, 가스켓의 전달 임피던스, 차폐합체 또는 차폐물의 성능 평가 등에 관한 주요 규격의 내용과 표준연에서 실제 구현된 측정시스템의 특성과 그동

안 경험한 운용상 주의사항 등에 관해 소개하였다. 우리나라에서도 전자파장해 문제가 주요 관심사가 된 이래 전자장 차폐재료와 관련한 연구개발 및 특성 평가에 대한 요구가 급증하고 있다.

초기단계에서는 제품 개발에 치중할 수밖에 없었지만 어느 정도의 성숙단계에 이르면 제품의 품질 관리에 관심을 가지게 되고, 사용자로부터 제품 특성에 관한 확인 시험을 요구받게 될 것이다. 특히 전자장 차폐재료의 특성은 측정치구와 시험방법에 따라 측정값이 크게 상이한데, 그 원인은 측정결과 내에 측정치구의 특성과 시험방법에 의한 오차가 포함되어 있기 때문이다. 따라서 동일한 측정치구와 시험방법으로 제작된 시편의 상대적 우위를 판정하는 것이 바람직하다. 아무튼 본 고가 전자장 차폐재료의 선택과 품질관리에 도움을 주었으면 한다.

참고문헌

- [1] S. A. Schelkunoff, *Electromagnetic Wave*, pp. 303-315, Van Nostrand, New York, 1943.
- [2] ASTM: D4935-89, "Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials," Sep. 1989.
- [3] T. E. Phillips, J. R. Anderson, C. J. Schramm, and B. M. Hoffman, "Versatile Four-probe AC Conductivity Measurement System," *Rev. Sci. Instrum.* 50(2), pp. 263-265, Feb. 1979.
- [4] MIL-STD-285, "Method of Attenuation Measurements for Enclosures, Electromagnetic Shielding for Electronic Test Purposes,"
- [5] ASTM-A698 /A698M-92, "Standard Test Method for Magnetic Shielding Effici-

ency in Attenuating Alternating Magnetic Fields," 1992.

- [6] SAE ARP 1173, "Test procedure to measure the RF shielding characteristics of EMI gaskets, Society of Automotive Engineers, Aerospace Recommended Prac-

tice," July 1975.

- [7] SAE ARP 1705, "Coaxial test procedure to measure the RF shielding characteristics of EMI gasket materials," June 1981.

*** 필자소개 ***

정 연 춘

1984년 2월 : 경북대학교 물리학과 졸업(이학사)
1986년 2월 : 경북대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사)
1996년 3월~현재 : 충남대학교 전자공학과 박사과정
1985년~현재 : 한국표준과학연구원 전자기연구부 전자기 환경그룹 그룹장
1996년 6월~현재 : CISPR working group member
본 학회 편집위원, 평의원

강 태 원

1988년 : 경북대학교 전자공학과 졸업
1990년 : 포항공과대학교 대학원 전자공학과 졸업
1990년~현재 : 한국표준과학연구원 전자기환경그룹 선임연구원