

전자파 차폐실의 차폐효과 측정방법 개선에 관한 연구

A Study on Improvement of Method for Measuring the Shield Performance of Shielding Enclosures

연재성, 김희식
Jaesung Yeon, Hiesik Kim

Abstract - The shielding enclosure is very essential device to test the electromagnetic wave power generated by various RF equipments. Some standards for the shielding enclosures were established to test them in right method. Generally, There are IEEE-STD-299 and MIL-STD-285 and NSA-65-6 of the method for measuring the effectiveness of shielding enclosures, the IEEE-STD-299 combined MIL-STD-285 and NSA-65-6 about the method for measuring shielding effectiveness(SE) about 1969 years, but, the measurement point of 299 proposal is many points(including shielding wall, seam, coner beat, shielding door, etc) and demand long time of measurement.

To improve SE test method for shielding enclosures was studied and suggested to develop a proper test procedure.

First, we measure reference level as frequency range and H/V polarization, secondly, measure leakage point, and finally, measure shield effect and calculate SE. Our method has a merit of the less measurement point than IEEE-STD-299, and shorten time than 299, and define representation SE of shielding enclosure effectively.

Key Words : Shielding Enclosure, Shield Effectiveness, Shield Room, Measurement System.

1. 전자파 차폐실의 개요

1.1 전자파차폐실의 개념

전자파 차폐실은 전자파 응용장비의 시험에 반드시 적용된다. 차폐실은 일정한 공간상에서 외부의 전자기장에 영향으로부터 내부로 인입되는 에너지를 차단하고, 또한 그 반대로 내부의 전자기장 에너지가 외부로 방출되지 않도록 설계 제작된 실험실 공간을 말한다.

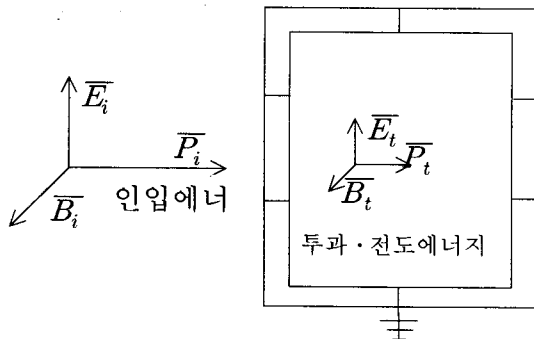


그림1. 차폐개념도

이러한 전자파 차폐 성능을 차폐효과(SE, shielding effectiveness) 또는 차폐능이라고 하며, 차폐효과는 차폐대

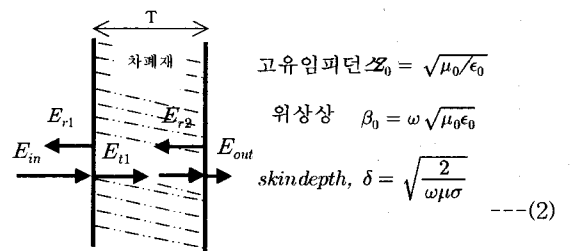
역별로 몇 10 dB에서 100 dB정도이고, 차폐효과에 따라 전자기장 에너지에 대한 차단능력이 달라진다. 120 dB 이상의 차폐효과는 이 분야에서 최첨단에 속하는 차폐효과 값으로, 이중차폐(double shielding)와 같은 방법으로 차폐효과를 높일 수 있다.

1.2 전자파 차폐실의 차폐효과 계산

차폐효과의 계산은 입사되는 에너지(E_i)와 투과 또는 전도되는 에너지(E_t)와의 데시벨(dB) 값으로 아래와 같이 표기한다.

$$SE = 20 \log_{10} \left(\frac{E_i}{E_t} \right) \text{dB} \text{-----}(1)$$

에너지 보존법칙에 따라 입사되는 전자기장 총에너지(E_{in})는 차폐물질표면에서 반사, 굴절, 또는 침투깊이에 따라 내부로 흡수되는 에너지(E_r , E_t)와 차폐물질 안에서 전도되거나 투과된 에너지(E_{out})에 합이 되며, E_r 에 해당하는 에너지 또한 투과되거나 전도되지 않은 에너지가 되므로 차폐체의 물성적 특징으로 차폐효과에 해당된다.



저자 소개

* 연재성 : 방송통신위원회 주무관

** 김희식 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수

$$E_{in} = (E_{r1} + E_{l1} + E_{r2}) + E_{out} \text{ -----(3)}$$

여기서 양도체인 차폐재료의 전도도(σ)와 전파정수(γ)를 고려하면, E_{in} 가 차폐벽면 왼쪽에 닿자마자 불연속면에 접하게 되며, 약간에 에너지가 반사되고(E_{r1}), 일부 에너지가 차폐물질내로 침투하게 된다(E_{l1}). 침투에너지는 더 나아가 오른쪽 경계면에서 일부는 반사(E_{r2})되고, 일부는 흡수되어 열에너지로 전환되고, 나머지 에너지는 투과(E_{out})되는데, E_{r2} 는 다시 왼쪽 경계면에서 반사(다중 반사)되어 총 투과 에너지에 합하게 된다. 그러므로 차폐효과는 반사손실(reflection loss)과 흡수손실(absorption loss), 다중반사손실(multiple reflection loss) 등을 고려하여 계산된다.

$$\frac{\bar{E}_t}{E_i} = \frac{(Z_0 + Z)^2}{4Z_0Z} [1 - (\frac{Z_0 - Z}{Z_0 + Z})^2 e^{-2T/\delta} e^{-j2\beta T}] e^{T/\delta} e^{j\beta T} e^{-j\beta_0 T} \text{ -----(4)}$$

$$SE = 20 \log |\frac{Z_0}{4Z}| + 20 \log e^{T/\delta} |1 - e^{-2T/\delta(1+j)}| \text{ -----(5)}$$

$$\bar{E}_t = \bar{E}_i \frac{2Z}{Z_0 + Z} \text{ -----(6)}$$

$$|\frac{\bar{E}_t}{E_i}| = |\frac{Z_0 + Z}{2Z} \frac{Z_0 + Z}{2Z_0}| = |\frac{(Z_0 + Z)^2}{4Z_0Z}| \text{ -----(7)}$$

$$|\frac{\bar{E}_t}{E_i}|_{\text{reflection}} = |\frac{Z_0}{4Z}| \text{ -----(8)}$$

차폐벽면이 양도체인 경우와 $\delta \ll T$ 인 경우에는, $Z \ll Z_0$ 이므로, (5)식으로 단순화 되며,

투과 에너지 (6)식과 반사손실 성분 (7)식이고, 양도체인 경우에는 $Z \ll Z_0$ 이므로, (8)식이 된다.

따라서, 전기장 차폐는 왼쪽벽면에서 가장 크며, 자기장에 차폐는 $E = B \times Z$ 를 대입하면, 차폐벽의 오른쪽에서 발생하므로 차폐벽면의 두께에 따라 자기장 차폐성능이 달라짐을 알 수 있다.

$$E_t = (1 + S_{22}) S_{12} \tau - S_{11} S_{12} S_{22} \tau^3 (1 + S_{22}) \text{ -----(9)}$$

$$\{1 - \tau^2 S_{11} S_{22} + \tau^4 S_{22}^2 - \dots\}, \tau = e^{-\gamma \delta} \text{ -----(10)}$$

$$S_{11} = (Z - Z_0)/(Z + Z_0),$$

$$S_{12} = 2Z/(Z + Z_0),$$

$$S_{22} = (Z_0 - Z)/(Z_0 + Z)$$

$$SE = 20 \log |\frac{E_t}{E_i}| = 20 \log |\frac{1 - \tau^2 S_{22}^2}{\tau(1 - S_{22}^2)}| \text{ -----(11)}$$

투과신호(E_t)는 반사계수들의 합으로 정리할 수 있으며, 여기서, 차폐효과는 (11)식이 된다. 이 공식은 반사, 감쇠 및 다중반사 값 등을 포함한 차폐효과 값이 된다.

2. 차폐효과 측정방법의 개선

2.1 차폐효과 표준 측정방법

전자파 차폐실에 대한 차폐효과 측정방법은 MIL-STD-285, NSA-65-6, IEEE-STD-299 등이 있으며, 표준 측정방법에 대하여 1969년경에 IEEE-STD-299로 통합되어 널리 이용되고 있다.

본 연구에서는 IEEE-STD-299 측정방법에 대하여 아래와 같이 개선되어야 할 점을 고려하여 측정방법을 개선 제시하

고자 한다.

IEEE-STD-299에서 첫 번째 문제점은 측정 가능한 모든 심(seam)과 차폐면, 코너비트, 관통구 등을 측정하도록 권고하고 있으나, 측정지점이 너무 많다는 점과 측정에 소요되는 시간이 많다는 것이다. 또한, 차폐함체에 대한 차폐효과의 대표 값을 각 측정지점 마다 측정주파수별 각각 기술하는데, 최저 효과 값부터 최고 효과 값까지 각각의 차폐효과 값으로 각 지점을 나타내야 하는 문제점이 있다.

2.2 차폐효과 측정방법의 개선

표준 측정방법에서는 측정시스템의 참조레벨을 측정하고, 차폐재의 성능을 측정한 후 차폐효과를 계산한다. 본 연구에서는 참조레벨을 측정하고, 취약지점(leakage point)을 탐색 측정 후, 취약지점에 대하여 차폐효과를 측정하여, 측정지점과 측정시간을 줄이는 효과가 있었으며, 특히 취약지점을 찾는 과정에서 차폐효과를 높일 수 있는 보강작업(debugging)을 할 수 있는 장점이 있어 전자파 차폐실을 구축하는데 있어서 가장 효과적인 방법이다.

2.3 참조레벨 측정

참조레벨 측정값과 시스템의 동작영역(dynamic range) 및 측정 스펙트럼은 아래결과 와 같다.

표1. 차폐효과 기대 값과 측정시스템 동작 영역

주파수	수평편파			수직편파		
	최대값	최소값	동작영역	최대값	최소값	동작영역
14 kHz	-16.91	-87.09	70.18	-19.34	-80.58	61.24
160 kHz	3.40	-77.07	80.47	-8.00	-77.70	69.70
16 MHz	17.45	-78.64	96.09	1.98	-91.90	93.88
130 MHz	9.69	-97.51	107.20	10.59	-95.75	106.34
415 MHz	29.11	-98.63	127.74	28.55	-98.12	126.67
915 MHz	20.57	-105.50	126.07	23.20	-104.50	127.70
1 GHz	23.66	-103.24	126.90	19.83	-107.02	126.85
18 GHz	17.73	-90.30	108.03	17.51	-96.93	114.44

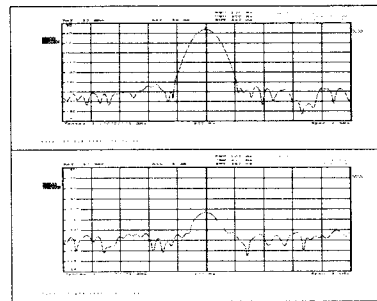


그림2. 측정 스펙트럼

2.4 취약지점 탐색 측정

취약지점을 찾기 위한 시스템의 배치는 NSA-65기준에서 처럼 송신시스템(또는 송신안테나)을 차폐실 내부에 배치하고, 수신시스템은 차폐실 외부에 배치하여, 신호분석기의 최

대 수신레벨 값을 나타내는 지점을 수신안테나로 가장 취약하다고 판단되고 차폐효과가 가장 낮은 지점으로 판단되는 지점, 예를들어, 심, 판통구, 코너비트, 차폐문 손잡이·모서리 부분 등을 수신안테나로 스캔(scan) 하듯이 실험적으로 측정하였다.

표2. 취약지점 측정 시 사용한 안테나





주파수	송신안테나	수신안테나
14 kHz		
18 GHz		

표3. 차폐효과 측정 시 송·수신안테나의 이격거리

주파수 범위	이격거리		사용 안테나
	Tx	Rx	
9kHz - 200 kHz	0.3 m (주1)	0.3 m (주2)	루프
200kHz - 30 MHz	0.3 m	0.3 m	루프
30 MHz - 300 MHz	2.0 m	0.3 m	바이코니컬 또는 다이폴
300 MHz - 1 GHz	1.7 m	0.3 m	대수주기 또는 다이폴
1 GHz - 18 GHz	1.7 m	0.3 m	혼

(주1) Tx : 차폐함체 벽으로부터의 송신안테나 위치
(주2) Rx : 차폐함체 벽으로부터의 수신안테나 위치

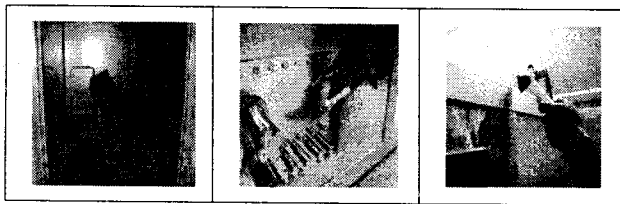


그림3. 차폐실 구조에서 취약지점 전자파 차폐성능 스캔검사

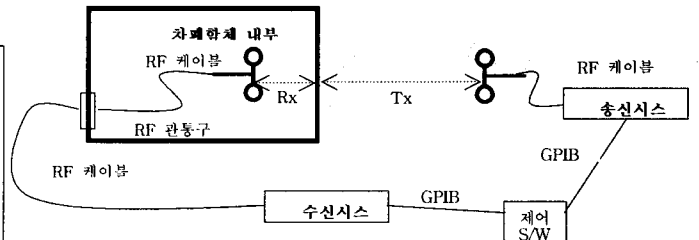


그림4. 차폐효과 측정배치도

이때의 측정주파수는 고주파수 대역에서 높은 주파수로 18 GHz로 선정하였다. 이는 파장이 가장 짧아 취약지점 또는 틈새에서 전달이 잘되기 때문이다. 저주파수 대역에서는 높은 세기에서의 루프 안테나 situation을 고려하여 9 kHz대신 14 kHz로 선정하였다.

측정에 사용한 송·수신안테나는 아래와 같으며, 저주파수 대역에서는 자기장 성분의 낮은 주파수 일수록 차폐기술이 어렵다는 점[5],[6]을 고려하여, 루프안테나로 송신하고, 수신안테나는 유도코일을 만들어 사용하였다. 고주파수의 짧은 파장과 안테나의 개구면 면적을 고려하여 송신안테나는 1 GHz에서 18 GHz까지의 혼안테나를, 수신안테나는 18 GHz에서 26.5 GHz까지의 혼안테나를 사용하였다. 이는 송신부에서는 넓은 면적에 전자기 에너지를 방사하고, 취약지점을 찾는 수신부에서는 좁고 뾰족한 지점(sharp point)을 효과적으로 찾기 위해서이다.

본 연구에 사용된 피 측정 전자파 차폐실의 취약지점은 정면좌측과 중앙, 그리고 우측면 하단부로 측정되었으며, 정면에서는 출입문 손잡이 부분과 정면 심(seam) 중심부가 취약지점이었고, 우측면에서는 등이 취약지점으로 확인되었다.

2.5 차폐효과 측정

차폐효과를 측정하기 위하여 측정시스템의 배치는 그림과 같이 하였으며, 취약지점 탐색측정과정에서 나타난 취약지점을 포함하여 자동 측정하였으며, 측정주파수 대역별 측정안테나와 차폐벽면으로부터의 안테나 이격거리는 아래그림과 표와 같다. RF 관통구를 통하여 수신안테나는 차폐실안에 배치하고, 수신시스템은 송신시스템과 적당한 거리만큼 이격하였다. 측정S/W와 GPIB 케이블을 이용하여 송·수신 시스템을 제어하였다.

3. 차폐효과 비교측정 및 결과고찰

3.1 차폐효과 비교측정 결과

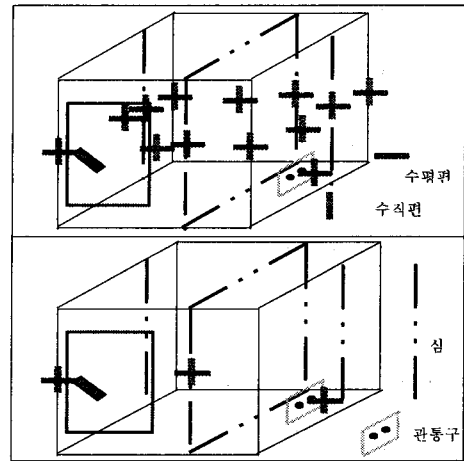


그림5. 표준 측정방법에서의 측정 차폐실 도면(상)과 측정지점(하)

그림과 같이 측정지점이 표준측정방법으로 12개 지점에 대하여 24개 포인트에서 3개 지점에 대하여 6개 측정 포인트로 75% 줄었으며, 측정에 소요되는 측정시간 감소되었음을 볼 수 있다.

3.2 절 차폐효과 측정 결과값

측정대역별 대표 주파수와 측정지점에 대하여 차폐효과 수평/수직편과 측정결과 값[dB]은 아래와 같으며, 파란색 부분

은 취약지점으로 나타난 측정지점이다.

표4. 측정대역별 대표 주파수와 측정지점에 한 차폐효과 수직편파 측정결과 값

주파수	정면중앙	우측중앙	좌측중앙	후면중앙	관통구
14 kHz	31.72	62.07	58.58	43.16	40.36
160 kHz	65.85	72.73	76.51	63.91	66.25
16 MHz	105.33	110.53	112.43	104.19	98.55
130 MHz	123.79	122.21	118.09	116.43	124.85
415 MHz	121.27	115.21	123.83	128.62	130.15
915 MHz	100.20	95.83	102.99	96.62	101.45
1 GHz	111.04	100.26	106.32	99.90	99.99
18 GHz	89.72	93.53	103.05	93.15	102.30

표5. 측정대역별 대표 주파수와 측정지점에 한 차폐효과 수직편파 측정결과 값

주파수	정면중앙	우측중앙	좌측중앙	후면중앙	관통구
14 kHz	51.37	60.43	61.63	60.11	41.00
160 kHz	64.03	65.64	62.03	64.33	56.46
16 MHz	95.83	94.06	92.70	92.09	87.21
130 MHz	119.46	122.17	118.90	124.13	116.02
415 MHz	123.22	117.98	118.20	125.43	127.75
915 MHz	119.94	113.31	113.91	112.58	93.58
1 GHz	110.05	107.63	99.00	107.40	97.81
18 GHz	92.21	88.08	99.36	99.96	73.09

4. 결과분석

전자파 차폐실 차폐효과 측정방법을 참조레벨을 측정하고, 취약지점을 탐색하여, 취약지점에 대하여 차폐효과를 측정하는 방법으로 개선함으로써, 측정지점을 앞 절에서와 같이 75%로 줄이는 효과가 있었으며, 자동측정 알고리즘 이용과 취약지점을 먼저 측정하여 최저 차폐효과 값에 대한 대표 측정지점을 제시함으로써 측정시간을 크게 줄이는 효과가 있었다.

또한, 최저 취약지점에서의 차폐효과 값이 피 측정함체의 차폐효과를 나타내는 대표 값을 확인할 수 있으며, 측정 주파수에 대한 차폐효과(SE)값의 특성패턴은 아래와 같이 측정되었다.

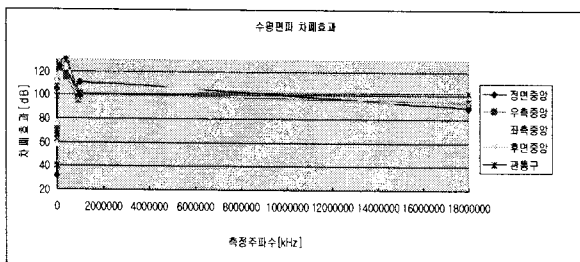


그림6. 측정주파수에 대한 수평 차폐효과

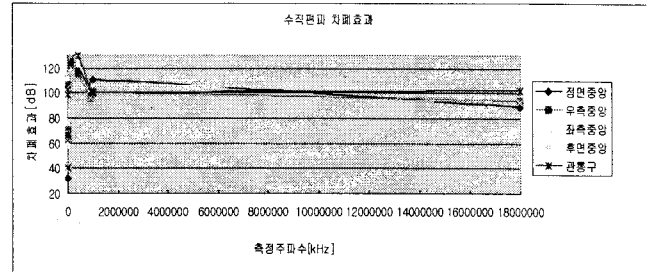


그림7. 측정주파수에 대한 수직 차폐효과

5. 결론

전자파 차폐실 차폐효과 측정방법을 실험적으로 연구하여 개선된 절차를 제안하였다. 차폐실의 참조레벨을 측정하고, 취약지점을 탐색하여, 취약지점에 대하여 차폐효과를 측정하는 방법으로 개선하였다. 측정지점을 75%로 줄이는 효과가 있었으며, 자동측정 알고리즘 이용과 취약지점을 먼저 측정하여 최저 차폐효과 값에 대한 대표 측정지점을 제시함으로써 차폐 성능 시험의 시간을 크게 감소시켜 더욱 정밀하고 효과적으로 시험하는 절차를 제안하였다.

참 고 문 헌

- [1] Christos Chritopoulos, 1995, "Principles & Techniques of electromagnetic compatibility"
- [2] David J. Griffiths, 1995, "Introduction to Electrodynamics"
- [3] David K, Cheng, "Engineering Electromagnetics"
- [4] IEEE, IEEE-STD-299, 2007, "IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures"
- [5] MIL-STD-285,
- [6] NSA-65-6,