

1~18 GHz 대역 EMI 시험장 평가 방법

이 일 용

방송통신위원회 전파연구소

I. 개 요

정보통신 기술의 발달로 1 GHz 이상의 무선 주파수 사용이 증가함에 따라 무선 통신 서비스를 보호하기 위하여, 측정 기구 및 시험장 평가 방법에 대한 EMI 공통 시험 방법이 1 GHz에서 최대 18 GHz까지 확대 적용할 수 있도록 국제 표준이 2007년에 개정되었다. 특히, 정보기기류 EMI 국제 표준(CISPR 22^[1])의 측정 상한 주파수가 이미 2005년에 1 GHz에서 6 GHz로 상향 조정되었다. 유럽의 경우, 동일한 규격(EN 55022^[2])은 2010년 10월부터 강제 적용할 예정이며, 일본은 동 규격을 2010년 4월부터 적용할 계획이며, 1~18 GHz EMI 시험장 평가 방법도 함께 적용할 것으로 보인다^[3].

방송통신위원회 전파연구소는 이러한 국제 추세에 맞추고자 기가 헤르츠 대역의 EMI 시험 방법을 연구하여 기가 헤르츠 대역에서 적용할 수 있는 공통 시험 방법 초안을 작성하였고 『전자파장해방지 시험 방법』 별표1-1(KN16-1-1^[4])과 별표1-4(KN16-1-4)의 개정안을 마련하였다. EMC 기준전문위원회 심의 및 전자공청회 의견 수렴을 거쳐 개정안을 해당 시험 방법에 포함시키고 최종적으로 2008년 12월 16일에 공고하였으며, 이들 개정안은 2011년 1월 1일부터 시행하기로 하였다.

본문에서는 기가 헤르츠 대역 시험장 평가 방법에 대해 설명하였고, 시험장 평가 방법에 대한 검증 측정을 실시한 측정 결과를 토대로 시험장 평가 절차 도입에 앞서 검토가 필요한 사항들을 파악하고자 하였다.

II. 1~18 GHz 대역 EMI 시험장 규격 및 측정 조건

EMI 시험장에 대한 규정은 전파연구소 공고 『전자파장해방지 시험방법』 제3조제1항의 별표1-4(KN 16-1-4: 전자파 장해 및 내성 측정 기구와 방법에 대한 규정 1-4: 전자파 장해 및 내성 측정 기구-방사성 장해 측정용 보조 장비)에서 정의하였다. 기존 KN 16-1-4는 CISPR 16-1-4의 2003년 11월판을 참조하였고, 1 GHz 이하에서 운용되는 EMI 시험장 규격 및 평가 방법에 대해서만 기술하였다. 1 GHz 이하 EMI 시험장은 NSA(Normalized Site Attenuation)법에 의해 평가되며, 주로 야외 시험장(open area test site)을 적격한 시험장으로 간주한다. 다만, 주어진 NSA값을 만족한다면 접지면을 가진 반무반사실(semi-anechoic chamber or room)도 대응 시험장으로 쓰일 수 있다.

정보 기기류를 비롯한 일부 EMC 제품 규격에서는 1 GHz 이상에서의 EMI 방사 기준을 정하였고, CISPR 16-2-3^[5] 국제 규격(KN 16-2-3과 동일)에서도 1 GHz 이상 대역의 표준 시험 절차를 정하여 놓았다. 다만, 이를 시험할 수 있는 시험장 규격이나 시험장으로써 적격함을 판단하는 유효성 확인 절차는 규정되지 않았었다. 이에 CISPR는 각국의 EMC 전문가의 실험 검증 및 논의를 통해 1 GHz 이상 시험장 평가 방법을 정하였고, CISPR 16-1-4^[6]의 2007년 2월판의 제8장에서 이를 설명하고 있다. 다음은 개정 공고된 KN 16-1-4에서 기가 헤르츠 대역 EMI 시험장 평가 방법에 대한 내용을 간략히 발췌 정리하였다.

2-1 1~18 GHz EMI 시험장 규격에 대한 허용 기준

1~18 GHz 대역 기준 시험장은 자유 공간 야외 시험장(free space OATS)이어야 한다. 이때 반사파가 측정에 영향을 미치지 않도록 무반사에 가까운 조건을 갖추어야 한다. 자유 공간 조건을 만들기 위해 전파 흡수체를 사용하거나 피시험기 높이를 올릴 수 있다. 완전무반사실이나 반무반사실이 시험장을 쓰일 수 있으며, 완전무반사실과 같은 시험장에서는 반사가 수신 신호에 미치는 영향을 최소화하도록 설계하여야 한다. 반무반사실과 같이 시험장이 완전무반사 조건을 갖도록 설계하지 않는다면, 금속성 접지면의 일부를 덮는 전파 흡수 재료를 사용해야 한다.

1~18 GHz 대역 전자파 장애를 측정할 수 있는 EMI 시험장 평가 방법으로써 시험장내에서 반사된 신호의 영향을 평가하기 위해 시험장 정재파비(Site VSWR, Site Voltage Standing Wave Ratio) 개념을 도입하였고 허용기준은 아래 식 (1)을 만족하여야 한다.

$$S_{VSWR} \leq \frac{1}{2} (\leq 6 \text{ dB}) \quad (1)$$

시험장이 식 (1)에 명시한 기준을 충족한다면 이 시험장은 1~18 GHz에서 방사성(복사성) 전자기장 측정에 적합한 것으로 본다. EMI 시험을 하기 위하여 1 GHz에서부터 시험하고자 하는 목적의 최대 주파수까지의 범위에서 시험장 유효성 측정을 실시하여야 한다.

시험장 유효성 확인은 시험장, 수신 안테나, 시험거리, 접지면에 놓인 흡수 재료의 특정한 조합에 대하여 주어진 시험 체적을 평가하는 것이다. KN 16-2-3은 주파수 1~18 GHz 범위에서 시험할 때 적용하는 피시험기(제품 규격) 측정 방법을 설명하는데, S_{VSWR} 절차의 목적은 이 절차에 따라 평가할 때 시험체적 내에 놓이는 임의의 크기와 모양을 가진 피시험기에서 일어날 수 있는 반사의 영향을 확인하는 것이다.

S_{VSWR} 은 직접(의도된) 신호와 반사 신호 간의 장애로 인해 발생된 최대 수신 신호 대 최소 수신 신호의 비로서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S_{VSWR} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (2)$$

여기에서 E_{\max} 와 E_{\min} 은 최대 수신 신호와 최소 수신 신호이며, V_{\max} 와 V_{\min} 은 수신을 위해 수신기나 스펙트럼 분석기를 사용할 때 측정된 해당 전압이다. dB를 사용할 때, $S_{VSWR,dB}$ 는 최대 수신 신호와 최소 수신 신호의 차로 간주할 수 있으며, 단위는 dBm, dB μ V, dB μ V/m이다. 이 경우에 S_{VSWR} 은 다음과 같이 주어진다.

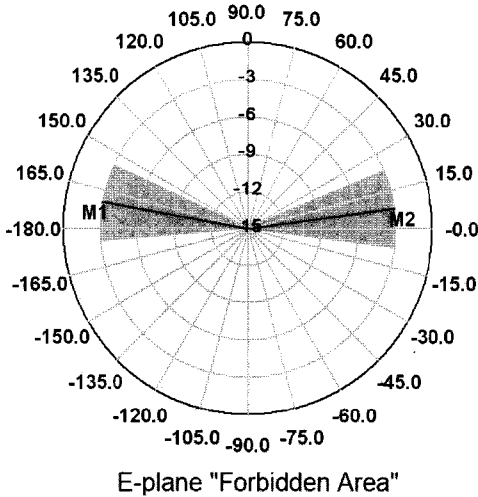
$$S_{VSWR,dB} = 20 \log \left(\frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right) = 20 \log \left(\frac{E_{\max}}{E_{\min}} \right) \\ = V_{\max,dB} - V_{\min,dB} = E_{\max,dB} - E_{\min,dB} \quad (3)$$

2-2 1~18 GHz 대역 EMI 시험장 평가 절차에 필요한 안테나 요구 조건

수신 안테나는 선형 편파된 것이어야 하며, 피시험기 전자파 장애 측정에 사용한 것과 유형이 동일해야 한다. 송신 안테나는 선형 편파된 것이어야 하며, 아래의 상세 특성을 지니며 다이폴과 유사한 복사 패턴을 가져야 한다. 주파수 스텝(step) 크기가 1 GHz 이하인 방사 패턴 데이터를 이용할 수 있어야 한다.

2-2-1 송신 안테나의 E평면 방사 패턴

간단한 선형 편파를 갖는 E 평면 방사 패턴은 가능한 많은 절단면(방위각 일정) 중 하나에서 측정할 수 있으나 패턴 측정에 필요한 절단면은 안테나 제조자가 선정하여 안테나 특성 보고서에 기재해야 한다. 대체적으로 커넥터와 케이블 부설을 포함한 평면을 선정한다. 방사 패턴 특성은 [그림 1]의 요구 조건 및 다음과 같은 사항을 만족하여야 한다.



[그림 1] 시험장 평가용 송신 안테나 표준 방사 패턴(E면) 조건

- (a) 각 패턴의 오른쪽과 왼쪽에 대하여 주엽 방향을 선정한다. 이를 M이라 한다. M은 각각 $0^\circ \pm 15^\circ \sim 180^\circ \pm 15^\circ$ 사이에 있어야 한다.
- (b) 진폭이 $\pm 15^\circ$ 에 대하여 -3 dB 이하인 패턴의 양쪽에서 주엽 방향과 대칭인 “금지 영역”을 그린다.
- (c) E 평면 패턴이 금지 영역(회색 부분)에 들어가는 안된다.

2-2-2 송신 안테나의 H 평면 복사 패턴

다이폴 안테나의 H면은 다이폴 중심을 가로지르는 다이폴 축과 직각을 이루는 평면이다. 이 평면에는 금속이나 광섬유 사용 여부에 따라 발룬, 입력 커넥터, 입력 케이블을 포함할 수 있다. 안테나 제조사는 안테나 시험 보고서에 급전 케이블과 커넥터 위치 등 방사 패턴을 측정하는데 사용한 시험 장치를 기재해야 한다.

- (a) $\pm 135^\circ$ 범위에서 방사 패턴 데이터(dB)의 평균을 구한다(0° 는 기준 방향각이다). 이 패턴 데이터의 최대 step 크기는 주파수 1~6 GHz 범위

에서는 5° 이고, 6~18 GHz 범위에서는 1° 이다.
 (b) 이 패턴은 $\pm 135^\circ$ 의 평균치에서 <표 1>의 편차를 초과하지 않아야 한다.($\pm 135^\circ$ 사이의 평균 값이 0 dB 기준으로 <표 1>과 같은 값을 가져야 한다.)

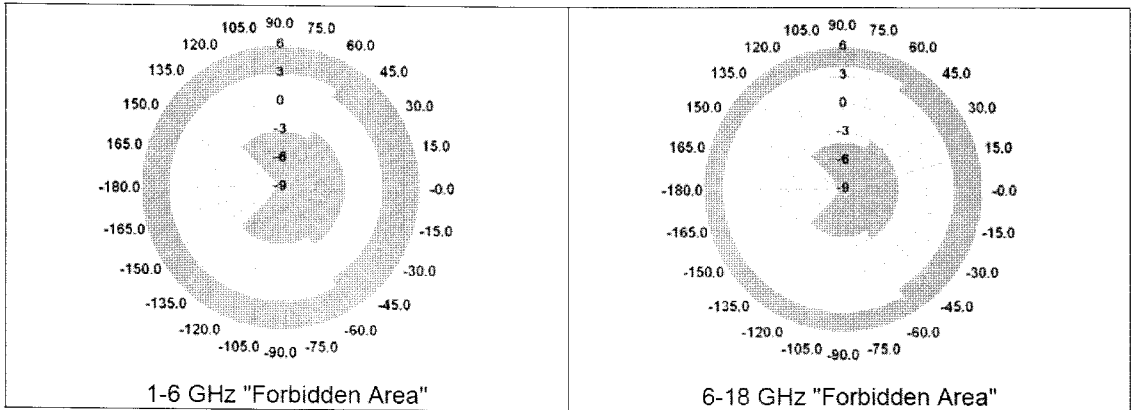
H 평면 패턴에 대한 하위 한계가 $\pm 135^\circ$ 밖에서 규정되지 않았지만, H 평면 패턴은 $\pm 180^\circ$ 에서 0을 보이지 않고 전방향성을 보이는 것을 권고한다. $\pm 135^\circ$ 밖에서 H 평면 패턴에 미치는 영향을 최소화하려면 급전 케이블과 안테나 기둥의 포설에 대하여 안테나 제조사가 제공한 지침을 따르는 것을 권고한다. [그림 2]는 H 평면의 1~6 GHz 대역과 6~18 GHz 대역의 금지 영역으로 방사 패턴이 해당 금지 영역(회색 부분)에서 들어가는 안된다.

2-3 시험장 평가 절차에 필요한 측정 위치

시험장 유효성 확인 시험은 실린더(cylinder) 모양의 체적에서 실시하여야 한다. 실린더의 밑면은 피시험기기를 지지하는데 사용한 표면으로 정한다. 실린더의 윗면은 피시험기와 그것의 수직으로 뻗은 가공 케이블이 점유할 최대 높이로 정한다. 실린더 지름은 케이블을 포함하여 피시험기기를 수용하는데 필요한 최대 지름이다. S_{VSWR} 은 [그림 3]에서처럼 시험장 평가 절차에 따라 수신 안테나의 기준점 선을 따라 6개 연속 측정(점으로 표시)에 의해 필요한 각각의 위치(앞쪽(F), 왼쪽(L), 오른쪽(R) 등)와 편파에 대해 평가한다.

<표 1> 시험장 평가용 송신 안테나 표준 방사 패턴(H면) 상세 조건

각도 범위(H면)	1~6 GHz	6~18 GHz
$-60^\circ \dots +60^\circ$	± 2 dB	± 3 dB
$-60^\circ \dots -135^\circ, +60^\circ \dots +135^\circ$	± 3 dB	± 4 dB
$-135^\circ \dots -180^\circ, +135^\circ \dots +180^\circ$	$< +3$ dB	$< +4$ dB



[그림 2] 시험장 평가용 송신 안테나 표준 방사 패턴(H면) 조건

F5(R5 또는 L5 또는 C5)~F1(R1 또는 L1 또는 C1)은 다음과 같이 F6(R6 또는 L6 또는 C6)를 중심으로 수신 안테나로부터 떨어진다.

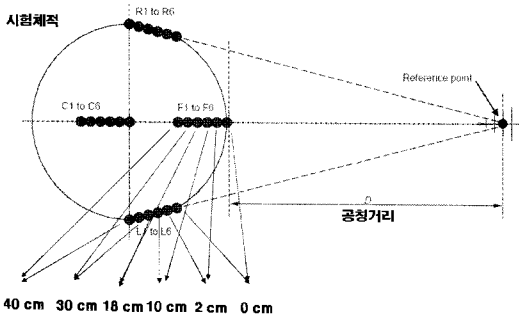
- (a) F5(R5 또는 L5 또는 C5) = F6(R6 또는 L6 또는 C6) + 수신 안테나로부터 2 cm 떨어진 곳.
- (b) F4(R4 또는 L4 또는 C4) = F6(R6 또는 L6 또는 C6) + 수신 안테나로부터 10 cm 떨어진 곳.
- (c) F3(R3 또는 L3 또는 C3) = F6(R6 또는 L6 또는 C6) + 수신 안테나로부터 18 cm 떨어진 곳.
- (d) F2(R2 또는 L2 또는 C2) = F6(R6 또는 L6 또는 C6) + 수신 안테나로부터 30 cm 떨어진 곳.
- (e) F1(R1 또는 L1 또는 C1) = F6(R6 또는 L6 또는 C6) + 수신 안테나로부터 40 cm 떨어진 곳.

[그림 3]에서 볼 수 있듯이 왼쪽 영역과 오른쪽 영역에서 기준점인 여섯 번째 지점은 시험 체적의 중심선에 있지 않음을 유념해야 한다. 이들 영역에서 측정시 6번째~2번째 지점의 위치를 잘 잡도록 자동화된 이동 설비 이용을 권한다.

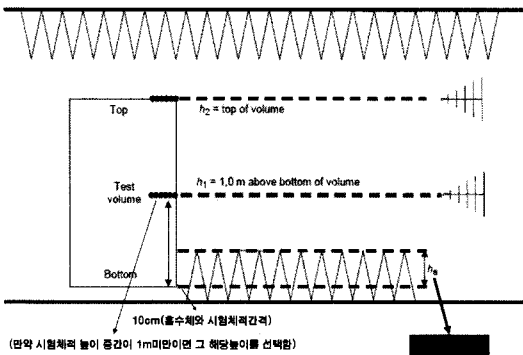
2-4 S_{VSWR} 추가 측정 위치

[그림 3]에 표시한 위치 외에, 시험 체적 윗면에 별도의 S_{VSWR} 시험 평면이 시험 체적 높이에 따라 필요할 수 있다. [그림 4]는 S_{VSWR} 측정에 대한 추가 측정 높이와 기타 요구 조건을 나타낸 것이다. 추가 시험 위치가 필요한 경우에는 시험장 평가 절차에 따라, 수직 편파와 수평 편파에 대해 각 5개 측정 그룹(앞쪽(h_1), 오른쪽, 왼쪽, 중심, 앞쪽(h_2))으로부터 각 시험 주파수에서 S_{VSWR} 을 측정하여야 한다. 두 번째 높이(h_2)에서의 시험은 앞면(Front) 위치에서만 실시하여야 한다.

[그림 4]에서 바닥에 놓인 흡수체가 시험 체적을 가리는 최대 높이(h_a)는 최대 30 cm이어야 한다. h_1 은 시험 체적의 중앙에서의 높이 또는 시험체적 밑면에서 1 m 높이 중 더 낮은 것을 선택한다. h_2 는 시험 체적의 높이이지만 h_2 가 h_1 에서부터 적어도 0.5 m 떨어져 있을 때 시험해야 한다.



[그림 3] S_{VSWR} 을 구하기 위한 시험 신호(M') 측정 위치

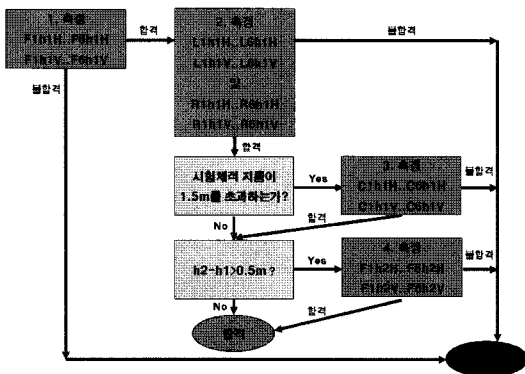


[그림 4] S_{VSWR} 측정 위치(추가 측정 위치 및 높이 요구 규격)

[그림 5]는 [그림 3] 및 [그림 4]에서 나타낸 바와 같이 시험 체적의 크기에 따라서 추가 시험 절차를 수행해야 할 경우 이러한 추가 측정이 필요한 경우를 지정한 흐름도이다. 단, 이 측정은 필요한 모든 데이터(S_{VSWR})를 얻을 수 있다면 임의의 순서대로 진행할 수 있다.

III. 1~18 GHz 대역 EMI 시험장 평가 절차

EMI 시험장 평가 절차에 따라 S_{VSWR} 은 시험 체적의 유효성을 확인해야 할 위치에 수신 안테나를 놓거나, 정의된 위치 양단에 송신원 위치를 변화시켜



[그림 5] 측정 절차에 따른 흐름도

평가한다. 다른 방법으로, 3-2절에서 설명한 역방향 S_{VSWR} 절차를 이용하여, 다음의 3-1절에서 설명한 시험 체적 위치에서 등방성 전계 수신 프로브를 배치하여 측정 절차를 수행한다.

3-1 표준 시험(Standard Test) 절차

표준시험 절차에서는 위치를 P_{mnpq} 로 지정한다. 여기에서 아래첨자는 위치명에 해당한다. 측정된 신호 M 은 각 위치에서 수신된 전기장 또는 전압 측정값이며, 위치와 비슷하게 아래첨자 M_{mnpq} 로 나타낸다. 가령, P_{F1H1} 는 수평 위치에서의 위치 F1, 높이 1, 수평편파 H 에 대한 것이며, 그 측정 신호(dB)는 M_{F1H1} 로 나타낸다.

- 기준점이 수평 편파에서 앞면 위치 6, 높이 1 (P_{F6H1})에 있을 때 송신원의 위치를 정한다. 수평 편파에서 송신원에서부터 수신 안테나의 기준점까지 측정한 시험 거리 D 에서 수신 안테나의 위치를 정한다. 수신 안테나 높이는 모든 측정에서 송신원과 동일한 높이에 놓여야 한다는 것에 주의한다.
- 표시된 수신 신호가 주변보다 적어도 20 dB 높으며, 측정하고자 하는 전체 주파수 범위에서 측정 수신기 또는 스펙트럼 분석기에 표시된 잡음보다 위에 있다는 것을 검증한다. 그렇지 않은 경우에는 각기 다른 장비(안테나, 케이블, 신호 발생기, 전치증폭기)를 사용하거나 표시된 잡음 바닥보다 20 dB 높은 레벨을 유지하기에 적합한 부분 주파수 범위를 사용해야 한다.
- 각 주파수에서 측정 신호 레벨 M_{F6H1} 를 기록한다. 소인 측정 또는 계단식 주파수 증감을 사용할 수 있다. 계단식 증감을 사용한다면 주파수 증감은 50 MHz 이하이어야 한다.
- 송신원이 앞면, 높이 1, 수평 편파에 대하여 나머지 다른 다섯 위치에 있을 때 단계 a)와 b)를 반복한다. 거리 증감에 따른 수신 안테나로부

터의 이격거리를 변화시키면 앞면, 높이 1, 수평 편파(M_{F1h1H} 에서 M_{F6h1h} 까지)에 대하여 통틀어 여섯 개의 측정값이 생긴다.

- e) 송신원과 수신 안테나의 편파를 수직으로 바꾸고, 위치 P_{F1h1V} 에서 P_{F6h1V} 까지 위의 절차를 반복하여 M_{F1h1V} 에서 M_{F6h1V} 까지 얻는다.
- f) 모든 측정에 대하여 측정된 전기장이나 전압 데이터를 식 (4)를 이용하여 [그림 3]에 표시된 기준점 거리에 대해 정규화한다.

$$M'_{mnopq} = M_{mnopq} + 20 \log \left(\frac{D_{mnopq}}{D_{ref}} \right) \text{(dB)} \quad (4)$$

여기에서 D_{mnopq} 는 측정 위치에 대한 실제 이격거리이며, D_{ref} 는 기준점에 대하여 측정된 이격거리이고, M_{mnopq} 는 측정된 신호(전기장 또는 수신기 전압)(dB)이다. 각 측정 위치는 P_{mnopq} 에 대하여 위치 6에 해당하는 각기 다른 기준 위치를 갖는다.

- g) 식 (2) 또는 식 (3)을 이용하여 수평 편파에 대한 S_{VSWR} 을 산출한다. 식 (4)를 이용하여, 여섯 위치에 대하여 거리 보정을 적용한 후[단계 f)], 최대 수신 신호 $M_{max,dB}$ 에서 최소 수신 신호 $M_{min,dB}$ 를 빼서 $S_{VSWR,dB}$ 를 얻는다. 수직 편파를 이용하여 얻은 판독값에 이 산출을 반복한다.
- h) 각 편파에 대한 S_{VSWR} 은 식 (1)의 허용 기준을 충족해야 한다.
- i) 시험 체적의 왼쪽 위치와 오른쪽 위치에 대하여 단계 a)~h)를 반복한다. 송신원 안테나를 왼쪽이나 오른쪽으로 옮길 경우에는 그 기준 방향이 수신 안테나 쪽을 향해야 한다는 것에 주의한다. 그러나 수신 안테나는 중심을 향하여야 한다(측면 위치를 향하는 것이 아님). 이 방향은 나중에 피시험기에 대하여 실시한 측정 중에 향하게 될 방향과 동일하다.

- j) [그림 4] 및 [그림 5]와 같이 추가 측정이 요구된 경우, 중심(Center) 위치에서의 측정 절차, 그리고 두 번째 높이에서 요구한 측정 절차를 반복한다. 두 번째 높이에서 측정을 실시할 때 수신 안테나 높이는 송신 안테나 높이와 동일하여야 한다.

3-2 등방 성장 프로브를 이용한 역방향 시험 절차

차폐된 설비(즉, 완전 무반사실 또는 반무반사실)의 경우에는 시험 체적의 각 위치에 놓인 등방 성장 프로브를 사용하고 방사성 장애 시험에서 쓰이는 수신 안테나와 동일한 안테나로 시험 체적을 조명하여 S_{VSWR} 를 평가할 수 있다. 이 방법을 S_{VSWR} 측정의 “역방향” 방법이라 지칭한다. 이 S_{VSWR} 역방향 절차에서, 피시험기 방사성 장애 시험에서 나중에 수신 안테나로 사용할 안테나를 “송신” 안테나라 하는데, 이는 시험 체적에 놓인 프로브에 송신하는데 사용되기 때문이다. 등방 성장 프로브는 앞선 2-2절의 송신안테나 방사 패턴 사양을 충족하여야 한다. 이 프로브는 송신 안테나의 편파와 중심을 맞출 수 있어야 한다. 즉, 프로브 내에서 감지(sensing) 소자의 위치와 방향이 알려져 있어야 한다.

등방 성장 프로브를 사용하는 역방향 S_{VSWR} 시험장 유효성 확인 절차는 다음과 같다.

- a) 등방 성장 프로브를 수평 편파에서 앞면 위치 6, 높이 1(P_{F6h1H})에 놓는다. 시험 체적의 원주에서부터 안테나의 기준점까지 측정하였을 때 시험 거리 D 에 송신 안테나를 놓는다. 송신 안테나 높이는 모든 위치에서 프로브와 동일한 높이에 있어야 한다.
- b) 프로브가 올바르게 기능할 수 있을 정도로 전기장 세기 크기가 충분한지 확인한다. 적절한 전기장 세기를 정하는데 필요한 장비와 절차에 대한 지침(적절한 감도와 측정 불확도)은 프로브 제조자의 조작 설명서를 참조한다. 아

- 올러 송신 계통과 프로브 계통에 대한 선형성을 검사하는 것을 권장하며, 고조파는 원래 신호보다 적어도 15 dB 아래 레벨까지 억제해야 한다. 시험 중에 순방향 전력을 감시하려면 방향성 결합기를 사용하는 것이 권장된다. 출력 전력 레벨의 변화율이 시험 결과를 변동시킬 수 있기 때문이다. 안정적인 출력 신호를 공급하는 것도 중요한데, 신호원의 불안전성(예: 케이블 연결 불량, 전치증폭기의 예열 시간 변동 등)으로 인해 신호가 변하면 시험 결과(즉, 인위적으로 높은 S_{VSWR} 결과)도 변하기 때문이다.
- c) 각 주파수에서 측정 신호 레벨 M_{F6H} 를 기록한다. 소인 측정 또는 계단식 주파수 증감을 사용할 수 있다. 계단식 증감을 사용한다면 주파수 증감은 50 MHz 이하여야 한다.
 - d) 프로브가 앞면(front), 높이 1, 수평 편파에 대하여 [그림 3]에 나타낸 다른 다섯 위치에 있을 때 단계 c)를 반복한다. [그림 3]에 나타낸 증감에 의해 수신 안테나로부터의 이격거리를 변화시키면 앞면, 높이 1, 수평 편파(M_{F1H} 에서 M_{F6H} 까지)에 대하여 모두 여섯 개의 측정값을 구한다.
 - e) 프로브와 수신 안테나의 편파를 수직으로 바꾸고, 위치 P_{F1H} 에서 P_{F6H} 까지 위의 절차를 반복하여 M_{F1V} 에서 M_{F6H} 까지 얻는다.
 - f) 모든 측정에 대하여 식 (4)를 이용하여 얻은 데이터를 정규화한다.
 - g) 식 (2) 또는 식 (3)을 이용하여 수평 편파에 대한 S_{VSWR} 을 산출한다. 식 (4)를 이용하여, 여섯 위치에 대하여 거리 보정을 적용[단계 f)]한 후 최대 수신 신호 $M_{max,db}$ 에서 최소 수신 신호 $M_{min,db}$ 를 빼서 $S_{VSWR,db}$ 를 얻는다. 수직 편파를 이용하여 구한 값에 이 산출을 반복한다.
 - h) 각 편파에 대한 S_{VSWR} 은 식 (1)의 허용 기준을 충족해야 한다.

- i) 시험 체적의 왼쪽 위치와 오른쪽 위치에 대하여 위의 절차를 반복한다. 이 역방향 S_{VSWR} 절차에서 프로브는 송신 안테나의 기준점을 향하면서 일정한 방향을 유지하도록 주의한다. 그러나 송신 안테나는 시험 체적의 중심을 향하여야 한다(측면 위치를 향하는 것이 아님). 이 방향은 나중에 피시험기기 측정 중에 향하게 될 방향과 동일하다.
- j) [그림 4] 및 [그림 5]와 같이 요구된 경우, 중심(Center) 위치에서의 측정 절차와 두번째 높이(h_2)에서 요구한 측정 절차를 반복한다. 두번째 높이에서 측정을 실시할 때 프로브 높이는 송신 안테나 높이와 동일하여야 한다.

3-3 S_{VSWR} 시험장 유효성 확인 시험 결과 보고서

<표 2>는 필요한 위치에서 얻은 결과 및 [그림 3] 또는 [그림 4]의 조건부 위치를 포함하여, 필요한 모든 S_{VSWR} 측정 및 산출을 요약한 목록이다.

3-4 측정시 고려사항

선택된 측정점들은 주파수 1~18 GHz 범위에서 시험장의 S_{VSWR} 종합적인 성능을 제공한다. 그러나 침두치 S_{VSWR} 은 어떤 특정 주파수 f 에서 측정 절차를 이용하여 항상 포착될 수는 없으므로 어떤 단일 주파수에서의 측정을 토대로 S_{VSWR} 적합성을 표현하는 것은 적합하지 않다. 단, $0.5 \sim 2 f$ 내에서 위의 평가 절차로 찾은 침두치는 대개 이 대역에 포함된 모든 주파수에 대하여 최악의 S_{VSWR} 를 나타낸다.

단일 주파수에서 더 정확한 S_{VSWR} 결과를 원하는 경우 [그림 3] 및 [그림 4]에 나타낸 선을 따라서 6개 이상의 위치를 측정하면 위의 측정 방법을 개선할 수 있다. 추가 데이터 수집점은 불균일하게 분포하는 것이 좋으며, 해당 주파수에서 1/4 파장 단계를 이용하여 신호원 송신 안테나의 거리 변화(또는 역방향 S_{VSWR} 방법에서의 등방 성장 프로브)를 토대로

〈표 2〉 S_{VSWR} 유효성 확인 시험 결과 보고서

위치	높이	편파	조건	$S_{VSWR}(dB)$
앞쪽(F)	h_1	수평	필수	$=\text{Max}(M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H}) - \text{Min}(M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H})$
앞쪽(F)	h_1	수직	필수	$=\text{Max}(M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V}) - \text{Min}(M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V})$
오른쪽(R)	h_1	수평	필수	$=\text{Max}(M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H}) - \text{Min}(M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H})$
오른쪽(R)	h_1	수직	필수	$=\text{Max}(M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V}) - \text{Min}(M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V})$
왼쪽(L)	h_1	수평	필수	$=\text{Max}(M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H}) - \text{Min}(M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H})$
왼쪽(L)	h_1	수직	필수	$=\text{Max}(M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V}) - \text{Min}(M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V})$
중간(C)	h_1	수평	조건부	$=\text{Max}(M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H}) - \text{Min}(M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H})$
중간(C)	h_1	수직	조건부	$=\text{Max}(M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V}) - \text{Min}(M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V})$
앞쪽(F)	h_2	수평	조건부	$=\text{Max}(M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H}) - \text{Min}(M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H})$
앞쪽(F)	h_2	수직	조건부	$=\text{Max}(M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V}) - \text{Min}(M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V})$

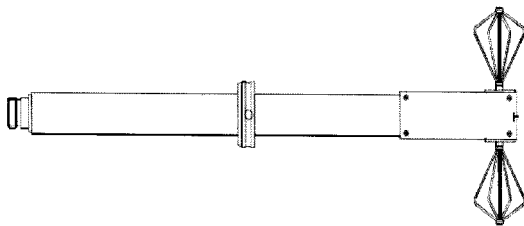
선택하는 것이 바람직하다.

IV. Site VSWR 측정

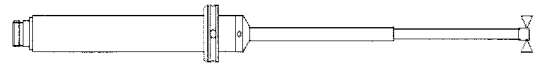
4-1 주요 측정 장비

앞선 3절의 표준 시험 절차에 따라 S_{VSWR} 을 측정하기 위해 전파연구소내 전자파측정센터의 EMC 챔버를 이용하였다. 이 챔버는 접지면이 있는 반부반사 실로서 크기는 8.8 m(L) × 6.2 m(W) × 5.3 m(H)이고, EMI와 EMS 시험 측정이 가능하다.

시험장 평가용 표준 송신 안테나로 Schwarzbeck 사 모델^[7]을 이용하였다. 1~3 GHz 대역에서는 SBA 9113 모델([그림 6] 참조)을 적용하였고, 3~18 GHz 대역에서는 SBA 9112 모델([그림 7] 참조)을 적용하



[그림 6] SBA9113(1~3 GHz 대역)

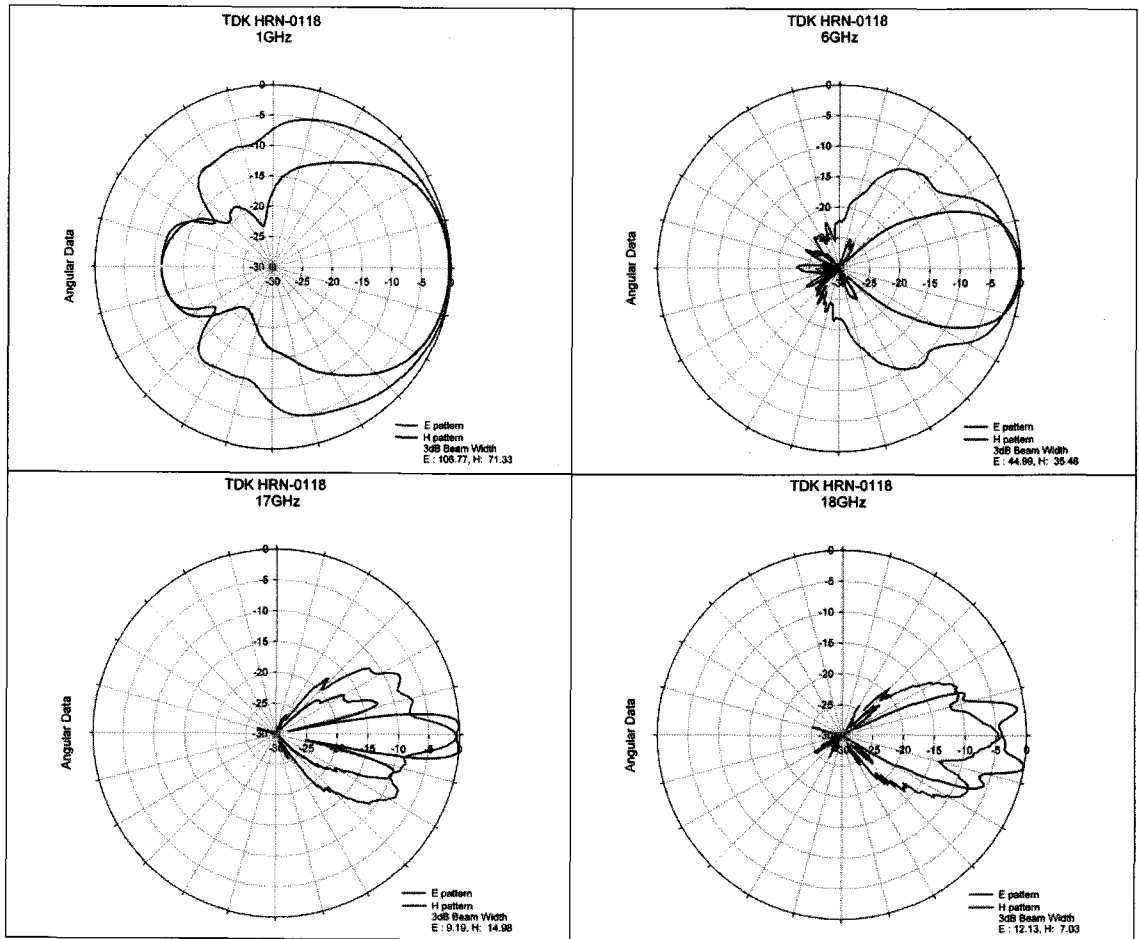


[그림 7] SBA9112(3~18 GHz 대역)

였다. Schwarzbeck사에서 제공한 안테나 방사 패턴은 2절의 표준 송신 안테나 요구 조건을 만족한다.

수신 안테나로 TDK사의 HRN-0118 모델^[8]을 이용하였다. HRN-0118 모델은 Double Ridged Horn형 안테나로 1~18 GHz 대역에서 사용할 수 있다. [그림 8]은 HRN-0118의 1 GHz, 6 GHz, 17~18 GHz 대역 E와 H면 각각의 방사 패턴을 전자파측정센터의 중대형 안테나 측정 시스템에서 측정된 결과들이다. 17~18 GHz 이상 대역에서 안테나 방사 패턴이 점점 찌그러짐을 볼 수 있는데, 이는 시험장 평가시 해당 대역의 Site VSWR 측정에 영향을 줄 수 있다.

시험장의 접지 바닥면에 설치하는 전파 흡수체는 TDK사의 2개 제품^[9]을 설치 적용하였다. <표 3>에서 전파흡수체의 감쇠 특성을 정리하였다. IP-045E는 최대 높이가 45 cm이며 1 GHz에서 30 dB 흡수 성능을 가진다. IS-030FL는 최대 높이가 30 cm이며 1 GHz에서 35 dB 흡수 성능을 가진다. 챔버의 천장, 벽면은 IP-045E를 사용하였고 Site VSWR을 만족하기 위해 바닥에



[그림 8] EMI 측정용 수신 안테나(HRN-0118) 방사 패턴-측정 결과

<표 3> 전파 흡수체 감쇠 특성(수직 입사)

(단위 dB)

주파수 흡수체	30 MHz	50 MHz	100 MHz	500 MHz	1 GHz	5 GHz	18 GHz	40 GHz
IP-045E	14	14	14	20	30	40	40	40
주파수 흡수체	800 MHz	1 GHz	3 GHz	5 GHz	10 GHz	30 GHz	50 GHz	110 GHz
IS-030FL	30	35	45	50	55	55	55	50

는 IP-045E와 IS-030FL을 함께 설치하였다. [그림 9] 는 IP-045E의 형태를 보여주며 주로 EMC 챔버에서 쓰인다. [그림 10]은 IS-030FL의 형태이며, 주로 마이

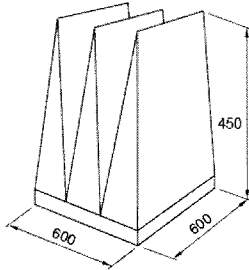
크로파 및 밀리미터파 챔버에서 쓰일 수 있다.

측정 장비 중 주요 계측 장비는 다음과 같다.

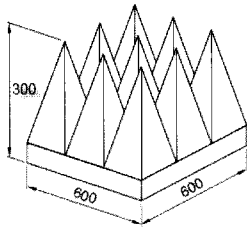
- 신호발생기(Signal generator): SMR-20(Rohde-sch-

warz사, 10 MHz~20 GHz)

- EMI receiver: ESIB26(Rohde-schwarz사, 9 kHz~



[그림 9] IP-045E(단위: mm)



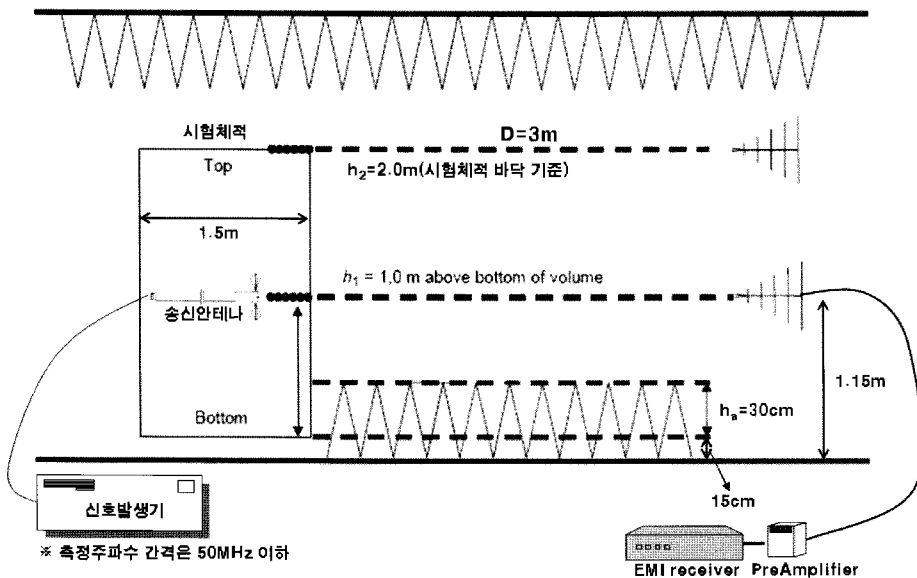
[그림 10] IS-030FL(단위: mm)

26.5 GHz)

- 프리앰프(PreAmplifier): PA-02(TDK사, 1~18 GHz)
- 기타 저손실 RF Cable

4-2 적용 시험 조건 및 측정 환경

1~18 GHz 이상 대역 Site VSWR을 측정하기 위해 [그림 11]과 같이 전자파 측정센터 EMC 챔버에서 측정 장비를 구성하였다. 수신 신호가 EMC 챔버 시험장내 잡음보다 적어도 20 dB 이상 유지되도록 모니터링이 필요하며, 이를 위해 주요 계측 장비들은 적절히 셋업되어야 한다. 유효한 시험 체적은 지름 1.5 m와 높이 2 m로 가정하였다. 공칭 측정 거리는 3 m로 정하였다. 기가 헤르츠 대역에서는 측정 거리를 주로 3 m로 두고 있으며, 정보기기류 1~6 GHz EMI 기준도 3 m에서 측정하도록 하고 있다. 바닥면에 흡수체 설치는 [그림 11] 및 [그림 12]와 같이 송신 안테나 끝점과 수신 혼 안테나 개구면 끝점 사이에 놓았고, 흡수체 도포 면적 3×3 m이 되도록 하였다. 흡수체는 TDK 사의 IP-045E 모델만을 이용하였고, 흡



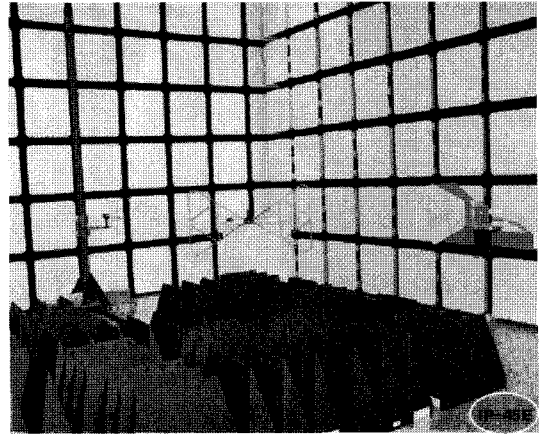
[그림 11] 적용 시험 체적 조건 및 측정 환경

수체 높이(0.45 m)를 고려하여 시험 체적이 흡수체에 30 cm 초과하여 가려지면 안되므로 측정 높이는 1.15 m로 맞춰 고정하였다.

4-3 측정 결과

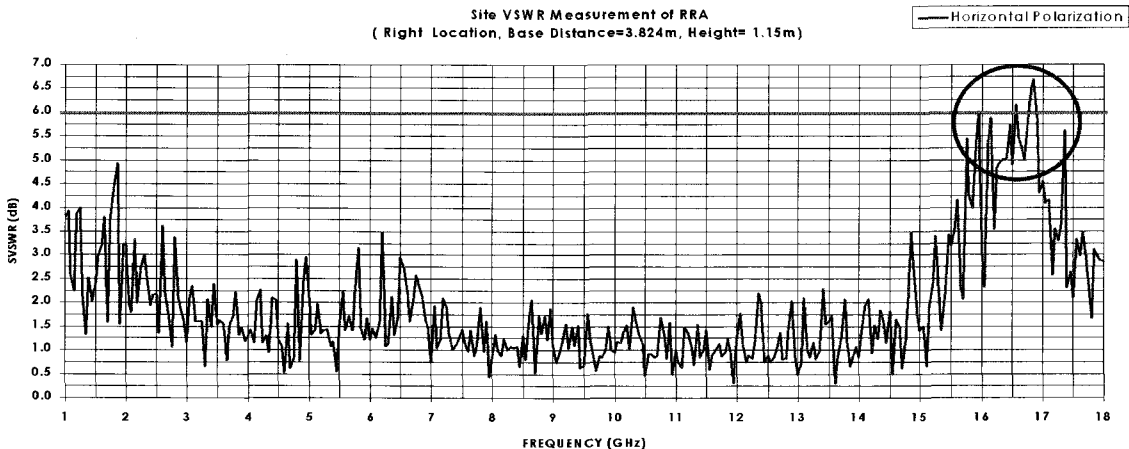
보통의 시험장내에서는 수직 편파보다 수평 편파 신호가 바닥면에서의 반사파 영향이 크므로 수평 편파에 대해 Site VSWR를 측정해 보았다. 앞쪽 영역과 왼쪽 영역에서 각각의 최대 S_{VSWR} 는 4.61 dB와 5.24 dB를 가지며 허용 기준 6 dB 이하를 만족하였으나, [그림 13]에서 보듯이 유호 시험 체적의 오른쪽(Right) 영역에서 측정된 수평 편파에 대한 1~18 GHz 대역 S_{VSWR} 는 6.67 dB로 허용 기준을 초과하고 있다. 따라서 [그림 12]의 시험장 구성에서는 1~18 GHz 대역 EMI 시험장으로써 부적합할 수 있다.

과도한 Site VSWR값은 챔버내에 반사파의 영향이 존재함을 나타내는 것이므로 이러한 허용된 Site VSWR값에 맞게 측정값을 낮추기 위해 모든 전기물리적 방안을 강구해야 한다고 사료된다. 문제점이 발생한 특정 대역에서 시험장내 주변 잡음과 수신 신호간 차이를 상세 확인하여 인입 전력을 높이거나, 케이블 손실을 줄이기 위해 성능이 좋은 케이블을



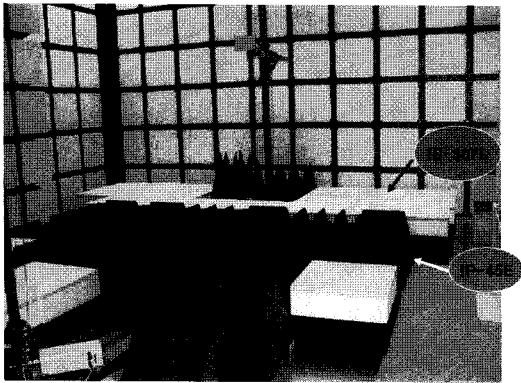
[그림 12] Site VSWR 측정 시험장 구성

사용하는 것을 권고한다. 또한, 시스템의 주변 환경 또는 측정 시간에 출력 이득이 변할 수 있는 프리앰프의 성능도 확인해 볼 필요가 있다. [그림 8]을 보면, 기가 헤르츠 대역에서 주파수가 높아질수록 수신 혼안테나의 주엽 방향의 방사 패턴이 찌그러짐이 볼 수 있는데, 가령 송신 안테나가 수신 안테나를 정확하게 바라보지 않을 경우 Site VSWR값에 영향을 미칠 수 있을 것으로 보인다. 특히, 반무반사실(Semi-Anechoic chamber)은 금속 도체 접지면을 가지고 있



[그림 13] 오른쪽(Right) 영역에서 수평 편파에 대한 S_{VSWR} (1~18 GHz)

어 이로 인한 반사파 영향을 더 있을 수 있으므로 접지면 바닥에 흡수체를 보다 넓게 설치하거나, 전파 흡수 성능이 좋은 흡수체를 사용하는 것도 좋은 방법이다. [그림 13]과 같이 시험 체적 오른쪽 영역에서 허용 기준을 초과함에 따라 시험장 구성을 [그림 14]와 같이 변경하였다. 기존 IP-045E 전파 흡수체를 설치한 면적 이외에도 IS-030FL를 수신 안테나 주변에 설치하였다. 전자파측정센터의 EMC 챔버는 수신 안테나에 가까운 벽면에서 일어나는 반사파 영향을



[그림 14] Site VSWR을 만족하기 위해 시험장 구성 변경

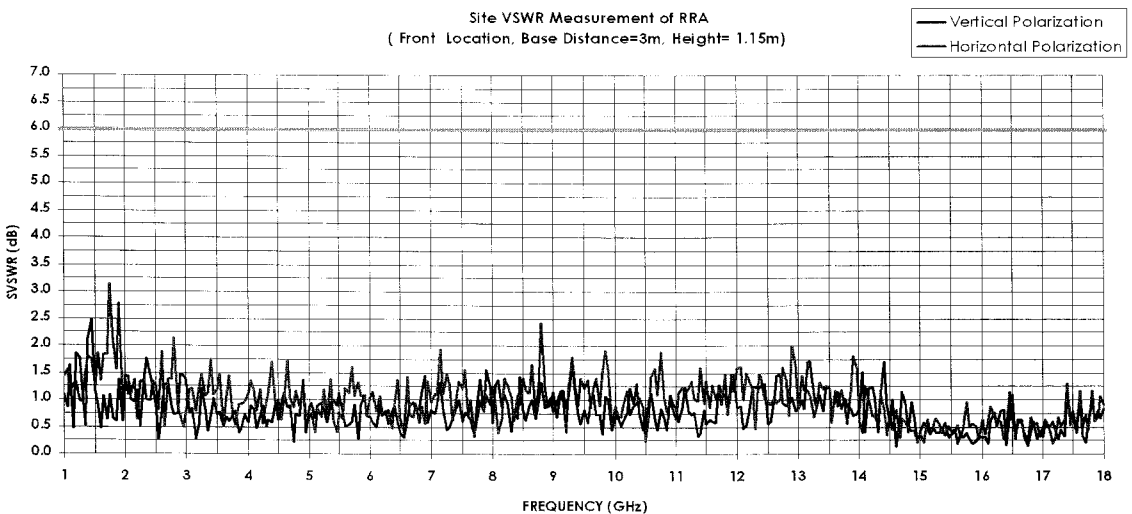
수신 안테나 쪽에서 받을 수 있을 것으로 판단되어 수신 안테나 주변에 마이크로파 전용 전파 흡수체를 설치한 것이다. 측정시 안테나 정렬에 보다 더 신중을 기하였으며, 전파 흡수체 설치 변경 이외에는 시험장 구성은 [그림 11]과 [그림 12]에서 구성한 것과 같다.

[그림 14]와 같이 구성 변경된 시험장에서 5개 영역(Front, Left, Right, Center, Front_2.15 m)의 Site VSWR을 수평·수직 편파로 나누어 측정하였다. [그림 15] 내지 [그림 19]는 1~18 GHz 대역에서 시험장 구성 변경에 따른 5개 영역의 S_{VSWR} 측정 결과이다.

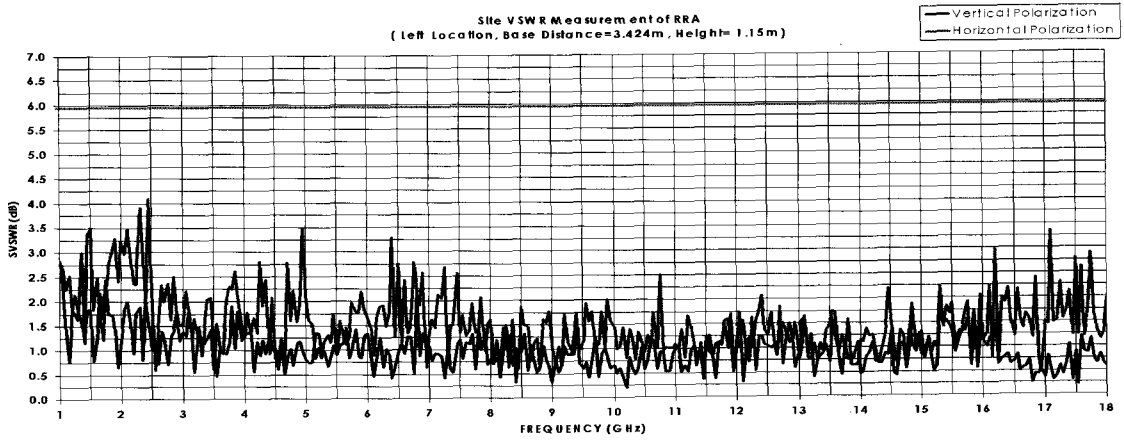
1~18 GHz 대역에서 시험장 구성 변경에 따른 오른쪽(Right) 영역의 S_{VSWR} 을 수평·수평 편파에 대해 측정한 결과([그림 17])를 보면, 2.3 GHz 대역 수평 편파에서 최대 4.78 dB의 측정값을 가지고 있다. 시험장 구성 변경을 통해 1~18 GHz 대역 시험장 평가 기준(Site VSWR) 6 dB 이하를 최종적으로 만족하였다.

V. 고 찰

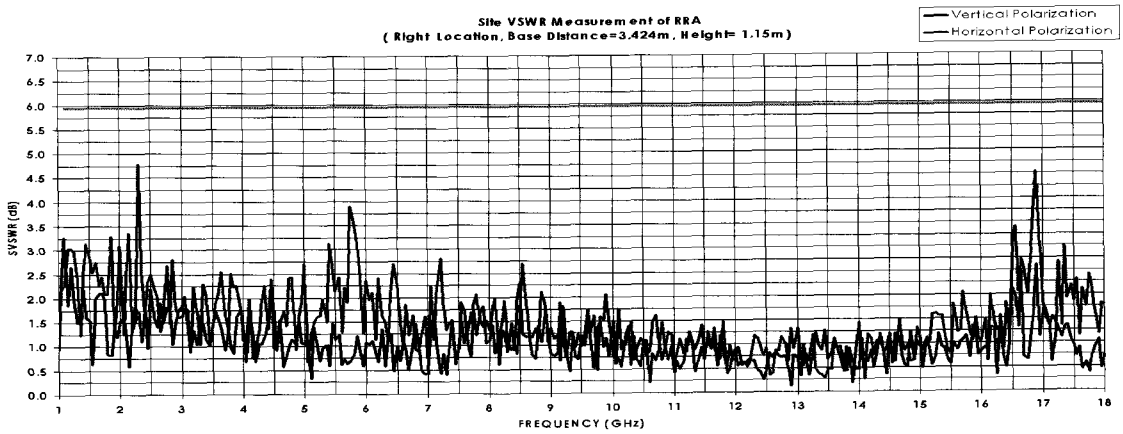
기가 헤르츠 대역 EMI 시험장 평가를 위한 측정인



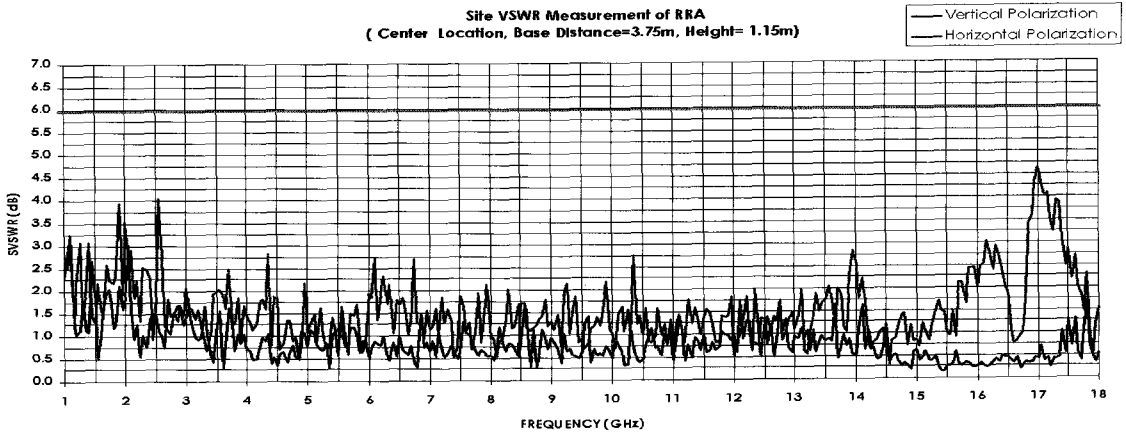
[그림 15] 시험장 구성 변경에 따른 앞쪽(Front) 영역의 S_{VSWR} (1~18 GHz)



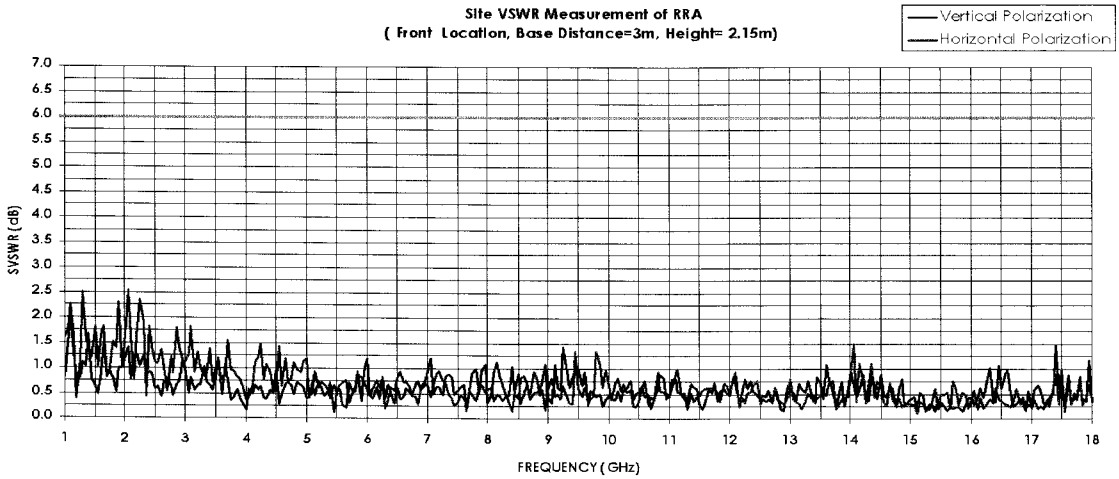
[그림 16] 시험장 구성 변경에 따른 왼쪽(Left) 영역의 $S_{VSWR}(1 \sim 18 \text{ GHz})$



[그림 17] 시험장 구성 변경에 따른 오른쪽(Right) 영역의 $S_{VSWR}(1 \sim 18 \text{ GHz})$



[그림 18] 시험장 구성 변경에 따른 중심(Center) 영역의 $S_{VSWR}(1 \sim 18 \text{ GHz})$



[그림 19] 시험장 구성 변경에 따른 앞쪽(Front) 영역(높이 2.15 m)의 $S_{VSWR}(1 \sim 18 \text{ GHz})$

자로서 Site VSWR을 정하였다. 검증 수행된 시험장 평가 절차에서 Site VSWR 기준을 만족하기 위해 시험장내 구성 변경을 통한 디버깅 셋팅 작업이 필요할 수도 있다. 적정한 Site VSWR을 얻기 위해 전파 흡수체의 도포(spread) 특성을 조절할 필요가 있으며, 이를 시험장 평가 보고서에 흡수체 도포 특성이 포함되어야 할 것이다. 수평 편파에서 측정할 경우 반사파 영향이 좀더 강하므로 측정 수행시 이를 고려해야 한다. 또한, 안테나 정렬(alignment)에도 주의해야 하므로 시험장 평가 방법에 사용되는 수신 안테나 방사 패턴에 대한 영향 고려가 필요할 것으로 보인다.

향후에는 측정 결과에서 Site VSWR의 급격한 변동(fluctuation)을 없애도록 시험장내 특성 조정할 필요가 있으며, 제품 EMC 규격 적용시 시험장 Site VSWR이 미치는 영향을 평가하는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] CISPR 22, "Information technology equipment-Radio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement", Jul. 2005.

[2] EN 55022, "Information technology equipment-Radio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement", Oct. 2007.

[3] "Proposed revision of VCCI Agreement to be implemented from April 2008", Technical Sub-Committee Revision WG, Feb. 2008.

[4] KN 16-1-1, "전자파장해 및 내성 측정기구와 방법에 대한 규정 1-1: 전자파장해 및 내성 측정기구-측정기구", 2008년 12월.

[5] CISPR 16-2-3, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity - Radiated disturbance measurements", Jul. 2006.

[6] CISPR 16-1-4, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods-Radio disturbance immunity measuring apparatus-Ancillary equipment-Radiated disturbance", Feb. 2007.

[7] <http://www.schwarzbeck.de>

[8] <http://www.tdkrfssolutions.com>

[9] <http://www.tdk.com>

[10] 전파연구소 연구보고서, "전자파 표준 측정기술 및 적합성 연구", 2005년.

[11] 전파연구소 연구보고서, "EMC 국제표준화 대응연구", 2006년.

[12] 이일용 외 3인, "1 GHz 이상 대역 EMI 시험장평가 방법 연구", 추계마이크로파 및 전파전파 학술대회, 2008년.

[13] <http://www.rra.go.kr>

≡ 필자소개 ≡

이 일 용



1996년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)

1998년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학석사)

2001년 9월~현재: 방송통신위원회 전파연구소

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 위성

통신, EMI/EMS