

### 30 MHz 이하 전자파장해 시험장 평가방법 연구

이승우\* · 김 남\* ·  
양준규\*\* · 금홍식\*\*\*

\*충북대학교 · \*\*국립전파연구원 ·  
\*\*\*한국전파진흥협회

## I. 서 론

가전기기 및 무선기기 등은 기기들 간에 전자파 장해가 발생할 수 있으며, 이를 방지하기 위하여 국제기구인 IEC (국제전기기술위원회) 산하 CISPR(국제무선장해특별위원회)에서는 전자기기/무선기기 등에 대한 전자파장해 및 내성시험 방법 등을 개발하여 국가들에게 제공하고 있다. 특히 전자기기/무선기기의 종류별로 분류하여 소위원회를 구성하여 연구 및 새로운 기준을 개발하고 있으며, 우리나라도 국가적인 대응을 위하여 위원회를 구성하여 운영하고 있다.

최근 들어 무선전력전송(WPT), PDP TV 등 30 MHz 이하 대역에서 사용 가능한 다수의 무선기기들이 개발되고 있지만, 이러한 제품에 대해 전자파장해 등을 시험하기 위한 구축 시설 및 시험방법에 대한 표준이 개발 중이다. 현재까지의 전자파장해 및 내성을 시험하기 위해 보유하고 있는 시험시설(야외시험장, 챔버 등)은 30 MHz 이상의 대역에 대해 시험장 조건을 만족하며, 30 MHz 이상 대역의 시험장 평가를 위한 시험방법만이 있는 실정이다. 최근 CISPR의 주요 쟁점 중 하나는 이러한 30 MHz 이하 대역을 사용하는 전자기기/무선기기를 시험하기 위한 시험장을 평가하는 방법을 개발하는 것이다. 일본, 독일, 오스트리아를 중심으로 30 MHz 이하 EMI 시험장 평가 방법을 개발하고 있으며, 우리나라에서는 충북대학교, 국립전파연구원, 한국전파진흥협회의 기관이 합동으로 시험장 평가 방법에 대한 검증, 문제점 등을 지속적으로 연구·발표하고 있다.

본 고에서는 30 MHz 이하 전자파장해 시험장 평가방법에 대한 국제 동향 및 국내 연구 동향에 대해 고찰하고, 국

제 표준화 문서(초안)에 따라 30 MHz 이하의 주파수 대역에 대해 기존의 NSA 방법과 NSA 방법에 대한 대체 방법인 기준시험장평가방법(RSM)에 대한 설명을 하고, 평가결과를 분석할 것이다.

## II. 국제 표준화 동향

CISPR 총회는 매년 1회 대륙별로 개최하고 있으며, CISPR 산하의 모든 소위원회에 소속된 국가별 위원들(members)이 참석하여 새로운 측정 기술을 비롯하여 CISPR의 추진 중인 프로젝트에 대한 결과 보고 및 논의를 한다. 2011년도에는 아시아지역 중 우리나라에서 총회가 개최되었다. 전자파적 합성에 대한 기본규격으로 전자파적합성 측정기기, 측정시설 및 측정방법에 대한 규격을 담당하고 있으며, 제품규격 개발위원회에서 개발하는 제품규격(Product Family Standards)과 관련하여 각 제품군 규격에서 기준이 되는 기본 측정 방법과 측정 장치에 대한 규격을 심의하고, 제·개정하는 규격 위원회인 A 소위원회의 WG1(Working Group 1)에서의 주요 논의 사항으로 PDP TV에 대한 30 MHz 이하의 복사성 자체 방출 평가 방법 및 제한치가 주요 이슈였다. 이에 대하여 2007년 호주 총회부터 지금까지 5년 동안 TF를 구성하여 진행했지만, 평가방법을 비롯하여 제한치에 대해 합의가 전혀 이루어지지 않았고, 회의에서도 많은 논란과 주장으로 아무런 결정이 나지 않자, 의장은 SC A와 SC H가 공동으로 진행하고, SC I의 TF는 더 이상 운영하지 않는 것으로 결정하였다. 이전 회의까지 발표 및 논의된 기술적인 사항을 살펴보면, 2011년 9월 독일에서 개최된 회의에서 일본의 Hirose가

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(R0166-15-1010, 전자파적합성 및 전자파인체보호 기술기준 개발).

PDP TV에 대한 측정 결과를 발표하였는데, 전자파 발생원은 자체 발생으로 보이기 때문에 자기장이 측정되었어야 한다고 지적하였고, 덧붙여 3 m 이상의 거리에서 로드 안테나를 사용하여 전기장을 측정하였는데, 대부분의 로드 안테나는 일반적으로 1 m에서 교정되고 있으므로 로드 안테나를 사용하는 것은 정확한 측정이 아니라고 지적하였다. 게다가 로드 안테나는 교정 방법이 적절하지 않고, 재현성이 좋지 않으므로 안테나 사용이 적절하지 못했다고 언급하였다.

30 MHz 이하의 복사성 방출은 3 m 거리에서 측정하는 것이 최선임을 언급하였는데, 3 m 측정을 할 경우 챔버의 벽면에 대한 반사효과를 최소화할 수 있고, 다이내믹 영역(dynamic range) 관점에서 최상의 선택이기 때문이라고 하는 의견을 제시하였다. 시험을 할 때 고려사항으로는 10 m 측정거리는 표면에서의 반사파 때문에 현재 사용 중인 전자파 무반사실(chamber)에서 측정은 많은 제약이 있으며, 차폐실(shield room)을 사용하는 경우 공진 측정환경은 30 MHz 이상의 주파수에서 첫 번째 공진과 같은 충분히 작은 차폐실을 사용해야 한다는 의견도 있었다. 또한, 벽면 근처에 EUT나 수신 안테나가 있는 경우에도 최소 3 m의 이격 거리가 필요한데, 3 m 측정에서 시험을 위한 최적의 설치는 30 MHz 이상의 정규화된 시험장 감쇠(NSA) 요구사항에 적합한 10 m 전자파 반무반사실(SAR)의 중심에서 진행되어야 한다는 의견도 제시되었다.

시험장 평가는 루프 안테나를 사용해야 안정적인 자기장 발생원을 공급하는 상태가 되며, 수신 안테나는 자기장을 측정하고 특히 접지면의 성능이 평가되어야 한다는 의견이 제시되기도 하였다. 루프 안테나를 사용할 경우, 측정에서 높이에 따른 필드 크기의 변화가 발생할 수 있으므로, 반드시 이를 주의해서 측정을 실시해야 하며, 실제 측정 환경에서는 접지면 위의 설치된 안테나에 대해 높이 스캔 없이 시행되고, 실제 최대 필드를 구하기 때문에 만약 실효치를 X, Y, Z 방향에 대한 자기장 성분에서 계산되었다면, 상대적으로 접지면에서 가깝게 측정되어야 한다는 의견도 제시되었다.

수신 안테나의 높이와 SAR(Semi-Anechoic Room)의 벽에서 반사 효과에 대한 사항도 언급했다. 3 m 측정에서 10 MHz 이하는 X 방향 성분이 Y 및 Z 방향보다 더 큰 값을 보였으며, 15 MHz 이상은 Y 방향 성분이 X 및 Z 방향보다 더 큰

값을 보였다. Z 방향에 대해서는 10 kHz, 150 kHz, 20 MHz, 25 MHz, 30 MHz의 측정결과에서 뒤쪽 벽의 반사효과가 발생하는 것을 알 수 있었는데, 즉, 3 m 측정 시 벽면으로부터 최소 3 m 이격되어야 한다고 발표하였다. 또한, Y 방향에 대해서는 25 MHz 이상의 측정결과에서 뒤쪽 벽의 반사효과가 발생하는 것으로 나타났다. 대부분의 주파수에 대해 수신 안테나의 높이는 지면으로부터 1~2 m 위에서 최대값을 보였으나, 10 MHz 이하에 대해서는 안테나 높이에 따른 효과는 보이지 않았다. 결론적으로 SAR에서 측정할 경우, 측정거리 3 m는 측면 벽으로부터 반사가 발생할 수 있으며, 뒷면 벽으로부터 반사를 피하기 위해서 최소 3 m가 이격되어야 하고, 수신 안테나의 높이도 변화해야 한다는 의견을 제시하였다.

2012년도에는 30 MHz 이하 시험장 검증에 대한 시험결과를 독일에서 발표하였다. 독일에서 15개의 시험기관과 공동으로 진행한 측정결과를 발표하였으며, 측정은 10 m 야외 시험장, 전자파반무반사실, 전자파전무반사실, 주차장 등에서 측정하였다. 측정에 사용된 장비는 50 cm 크기의 루프 안테나를 비롯하여 외장전류초크, 페라이트가 장착된 케이블을 사용하였으며, 이론적인 NSA 계산값을 발표하였다. 루프안테나의 동일한 축과 동일한 면, 그리고 Z 방향을 포함한 3방향에 대하여 NSA 측정 방법을 이용하여 3 m 거리에서 측정하였다. 향후 안테나의 크기나 배열, 케이블의 처리 방법 등을 고려하여 추가적으로 시험을 진행할 예정이라고 언급하였다.

또한, 30 MHz 이하 대역의 측정 방법에 대한 논의도 있었다. 독일에서는 접지면의 유무에 따라 전자기장 분포가 달라지기 때문에 이에 대한 검토가 필요하다는 의견을 제시하고, 해당 내용을 발표하였다. 또한, 우리나라에서도 측정 거리에 따른 루프안테나의 측정값의 변화에 대한 결과를 발표하고, 루프안테나의 크기에 따른 방사값과 측정값 간의 상관관계에 대한 검토 결과를 발표하였다. 측정 장소나 거리, 안테나의 종류 및 배치 등 측정과 관련된 파라미터를 정의하고, 이에 대한 구체적인 내용을 지속적으로 논의하기로 결정하였다.

2013년도에는 독일과 일본에서 시험장 평가 방법으로 표준시험장방법(NSA)을 제안하였으나, 이론적인 시험장 감쇠

량이 서로 상이하여 이론적인 논의를 계속 진행하기로 하였다. 우리나라는 기준시험장방법(RSM)을 적용하여 시험장 평가를 실시하고, 측정결과를 발표하였으며, 다른 국가들과 측정결과를 공유하기로 하였다. 회의결과, 표준 시험장에 대한 이론적 감쇠량을 정하는 연구를 우선 추진하고, 기준 시험장방법의 논의를 시작하기로 하였다.

30 MHz 이하 대역에서 야외시험장 또는 전자파 반무반 사실에서 기기로부터 발생하는 방사성 방해에 대한 전자파 측정방법을 마련하고자 프로젝트를 추진하였다. 80 cm 테이بل에 기기를 위치시키고, 360도 회전하면서 루프안테나를 이용하여 방사성 방해 전자파를 측정하였으며, 측정거리는 3 m 및 10 m를 고려하고 있으나, 10 m 측정은 전자파반 무반사실 특성상 흡수체가 너무 가까이 위치해 있어 측정값이 변할 수 있다는 우려가 제기되었다. 루프안테나의 방향에 대해 수평, 수직, 직각 방향에 대해 논의하였으며, 직각 방향의 필요성 여부에 대한 논란이 있었다. 또한, 수신안테나를 1~4 m 스캔하여 측정해야 하는지, 1 m 높이로 고정시켜서 측정하여야 하는지에 대해서도 논의하였으나, 논란이 있어 결과를 확정하지는 못하였다. 또한, 측정방법에 대한 불확도 산출방법에 대한 논의도 시작하였다. 향후 측정거리, 안테나 방향, 측정기기의 셋업 방법 등 세부 측정방법을 차년도에 마련하여 TF팀을 통해 회람하고, 차기 회의에서 다시 논의하기로 결정하였다.

이와 더불어 안테나 교정에 관한 최종 표준안 마련하는 논의도 있었는데, EMC 시험에 이용할 안테나 교정방법의 최종 표준안을 마련하고 회람하기로 하였다. 안테나 교정 표준은 일본에서 주관하여 20년 동안 논의하였고, 2013년에 최종 표준안이 마련되었는데, 30 MHz 이상의 대역에서는 안테나 교정방법으로 표준안테나방법(SAM), 3개 안테나 방법(TAM), 표준 사이트 방법(SSM) 등 3가지 방법이 규정되었으며, 30 MHz 이하 대역의 안테나 교정방법은 모노폴 안테나에 대해 ECSM 방법과 평면파 방법을 규정하고, 루프안테나에 대해서는 TEM 셀 방법, 헬름홀쯔 코일 방법을 규정하였다. 또한, 30 MHz 이하 루프 안테나 교정방법에 추가적으로 표준안테나 방법과 3개 안테나 방법을 추가하는 방안을 추진하였다.

2014년도에는 우리나라에서 일본과 독일에서 제안한 30

MHz 이하 대역에 대하여 NSA 방법을 적용하여 국내 시험장에 적용한 결과, 제안된 이론값과 상당한 차이가 발생함을 발표하였다. 이에 따라 현재 제안된 시험방법으로는 재현성 있는 시험장 평가에 어려움이 있으므로 표준에 명확한 시험방법이 규정되어야 함을 제안하였고, 시험장 평가 표준에는 분해능 대역폭, 측정 케이블의 유도전류 방지기법, 환경잡음 대비 송신출력의 비, NSA 값 산출 프로그램 제공 등이 포함되어야 함을 제안하였다. 이에 대해 일본 이외에 실제 제안된 방법으로 시험장을 평가한 사례가 없어 문제점을 파악하지 못했는데, 우리나라 제안은 매우 의미가 있으므로 현재 방법의 문제점을 개선하기로 하였다. 또한, 우리나라가 제안한 분해능 대역폭, 신호 대 잡음비 등 세부 방법 등은 표준안에 포함하기로 하였으며, 현재 시험방법을 적용할 경우, 이론값과 상당한 차이가 발생하는 원인에 대해서는 차기 회의까지 검토하여 논의하기로 하였다. 향후 30 MHz 이론적인 NSA 값을 산출하여 현재 제안된 이론값과 비교 분석을 실시하고, 시험장에 적용·평가하여 30 MHz 이하 시험장 평가방법 표준 개선안을 마련 예정이다.

2014년 CISPR 회의에서 일본 NICT의 Katsumi Fujii 박사가 30 MHz 이하 대역에 대한 시험장 검증에 대한 자국내 RRT 결과를 발표하였으며, 우리나라도 30 MHz 이하 시험장 검증 프로그램에 참여하고자 2013년에는 RSM을 이용한 검증 결과, 2014년에는 NSA 방법을 이용한 검증 결과를 발표하였다. 2015년도에는 30 MHz 이하 대역의 시험장 평가 시험을 위하여 RRA 전파시험인증센터의 10 m 챔버에서 CIS/A/1101/DC 문서에 따라 NSA 방법으로 측정 및 분석을 진행하였다. 시험 결과, 표준화 문서에서 언급되지 않은 시험 중 발생할 수 있거나, 명확하지 않은 몇 가지 문제에 대해 제안하고, 문제 해결을 위한 방안을 일부 제안하였다.

우리나라에서 발표한 기고서의 주요 내용은 30 MHz 이하에서 NSA 방법을 적용하여 국내 시험장(SAC)에 적용한 결과, 제안된 이론값과 상당한 차이가 발생하였으며, 2015년도에는 NSA 값이 명확하지 않다는 가장 중요한 문제점을 발견하였다. 따라서 CIS/A/1101/DC 문서에서 제공하는 NSA 값을 사용하였으나, 안테나의 급전점의 위치(상단 및 하단)에 따라 NSA 값의 재계산이 필요하다고 발표하였다.

결국 2015년도 CISPR 총회의 A소위원회의 주요 논제는

30 MHz 이하에서 시험장 측정시 문제로 제기한 루프 안테나의 급전점 및 안테나 팩터에 대한 내용이었다. 전차 회의에서 루프 안테나의 open point(gap)가 급전점이라는 것에 대하여 정의한 것을 검증하기 위하여 Alexander Kriz는 3가지 방법(SAR로 측정, NEC 프로그램으로 시뮬레이션, SEMCAD 프로그램을 이용하여 시뮬레이션)으로 분석하여 비교한 결과, 실제 전압을 인가하는 위치보다는 gap이 있는 부분에서 강한 전기장이 형성되었으며, 측정, NEC 시뮬레이션, FDTD 분석에서도 동일한 결과가 나왔다. 또한, 자기장 패턴에서도 균일장이 형성된 것을 확인하였으며, 자기장 측정은 SAR(near-field scanner)를 이용하여 측정하였다. 일본의 Katsumi Fujii는 Hz 축에서 급전점의 위치를 중심으로 3 m 거리를 해야지, 그렇지 않은 경우 10 MHz 이상에서 SIL이 10 dB 이상 차이가 난다고 발표하고, 송수신 안테나가 마주 보는 형태가 아닌 측면으로 돌려 3 m 거리를 유지하여 측정해야 한다고 발표하였다. 중국에서는 NSA 값을 계산하는 시뮬레이션 툴에 따라서 NSA 편차가 다르며, 이를 증명하기 위하여 4NEC2, NEC2++, NEC2/MP 별로 영향에 대한 연구 결과 발표하였는데, NEC 프로그램에 의해 생성된 편차는 확실한 임계치(예: 0.1 dB)가 있어야 한다고 결론내리고, 명확한 NEC 프로그램과 버전을 문서에서 명시해야 한다고 발표하였다.

독일에서는 EUT 사이즈에 대한 정의가 필요한데, 직경 1.5 m로 문서에서 정의되어 있으므로 해당 값을 사용하여 측정 사이트의 크기 및 특성에 따른 비교가 필요하다고 언급하였다. 독일에서는 OATS에서 수신호와 주변신호의 분리, 쉘터(shelter) 영향 문제도 논의하였다. 또한, 현행의 DC 문서는 사용자가 절차대로 시험을 수행할 수 있도록 만들어야 하는데, 현재 문서로는 어렵기 때문에 문서에 대한 업데이트가 필요하다고 언급하였다. 일본에서는 3가지 루프안테나의 교정 방법을 3가지 소개하였으며, 3개 안테나법(Three-Antenna Method; TAM), 전류 프로브를 사용한 표준필드방법(Standard Field Method; SFM), 송신 루프안테나의 MAF를 사용한 SFM의 장단점에 대해 설명하였다.

향후 대응방안으로는 30 MHz 이하 대역에 대한 유럽 중심의 RRT를 시행하기로 합의하였으나, 정확한 일정 및 방법, 참여 국가 등은 결정되지 않고, 향후 논의하기로 결정하였고, CISPR A WG1 ad-hoc 1의 의장인 Alexander Kriz를 주

축으로 시행하기로 결정하였다. 30 MHz 이하의 주파수에 대해 시험장을 검증하기 위한 방법이나 필요성은 크게 언급하지 않았지만, 시험장검증(site validation) 방법은 30 MHz 이상의 주파수에 대해 표준화되어 있을 뿐 30 MHz 이하에 대해서는 방법이 표준화되어 있지 않았기 때문에 다양한 방법이 구상되고 있다. RSM을 이용하여 30 MHz 이하에 적용 가능한지 검토하고 있다.

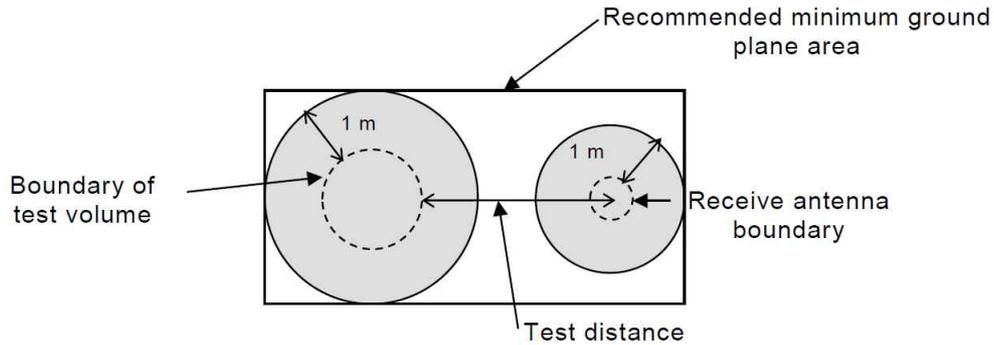
### III. 정규화 시험장 감쇠량 방법 (Normalized Site Attenuation Method)

NSA 방법은 CISPR/A/1101/CD 문서에서 잘 언급되어 있다. 기본적으로 9 kHz부터 30 MHz 대역은 EUT로부터 복사성 방사(RE)의 반복적인 측정 결과를 평가하는 것이 필요하다. 오직 사용 장소에서만 측정할 수 있는 EUT의 경우 다른 방법이 제공된다. 1 GHz 이하의 주파수 대역에서 반자유공간(semi-free space) 환경은 잘 정의되어야 하며, 가장 보편적인 시험공간은 야외시험장(OATS)이나 내후성 설비가 설치된 야외시험장, 전자파반무반사실(SAC)이 있다.

시험을 위한 접지면은 전기적인 전도성 평면이 되어야 하며, 크기는 [그림 1]에서 보여주는 것과 같이 시험체적의 경계면으로부터 최소 1 m 이상 이격되거나, 측정 안테나의 경계면 뒤쪽의 원 영역으로 1 m 이상 이격된 사각형 영역을 포함해야 한다. 측정 거리는 시험체적의 주변으로부터 수신 안테나의 기준점까지 측정된다.

시험장은 CISPR 16-2-3 문서에 따라 방사 측정을 위해 사용되는 측정 거리에서 평가되어야 하며, 측정 거리는 3 m, 5 m, 10 m가 되어야 한다. 측정 거리와 측정체적의 크기는 <표 1>과 같이 정의된다.

앞서 언급한 시험장에서 단일 시험장 감쇠 측정은 설비의 벽면이나 천장을 포함하는 설치된 물질과 RF 흡수 물질로부터 가능한 반사를 결정하기에는 불가능하다. 이러한 시험장에서 시험체적은 최대 크기의 EUT의 최외곽 크기로 결정되거나, 시험할 시스템을 중심으로부터 360도 회전시켜 시험될 때로 정의된다.  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$  축을 평가하기 위한 안테나 설정은 [그림 2]에서 보여주듯이 설치되며, 최대 15회(각 축에서 5곳의 위치)의 분할된 시험장 감쇠 측정이 필요하다.



[그림 1] NSA 시험에서 권장하는 접지면 최소 크기

<표 1> 시험거리와 시험체적의 제한

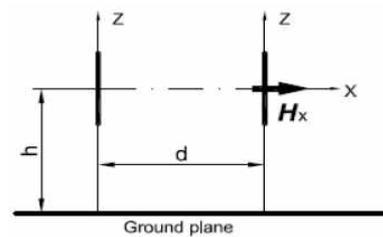
시험 거리(m)	최대 시험체적 지름(m)	최대 시험체적 높이(m)
3	1.5	1.5
5	2.5	2.5
10	5.0	5.0

측정은 루프안테나를 사용하며, 송수신 모두 1.3 m 높이 (안테나 중심 기준)에서 측정된다. 또한, 스펙트럼 분석기나 네트워크 분석기로 측정하며, 기존의 NSA 방법과 같이 케이블을 직접 연결하여 전압을 측정( $V_{direct}$ )하고, 각각의 안테나에 연결하여 전압을 측정( $V_{site}$ )한다. 전력증폭기(power amplifier)나 저잡음증폭기(low noise amplifier)를 사용할 경우, 수신 케이블과 송신 케이블 간의 커플링을 피하기 위하여 특별히 주의해서 설치되어야 하며, 케이블에 페라이트 코어를 설치해야 한다. 25 MHz에서 50 Ω의 최소 임피던스를 갖는 페라이트를 평가될 시험장 내의 전체 송수신 케이블에 매 20 cm 간격으로 설치하는 것이 중요하게 권고된다. 최대 주파수 간격도 <표 2>에서 제공된다.

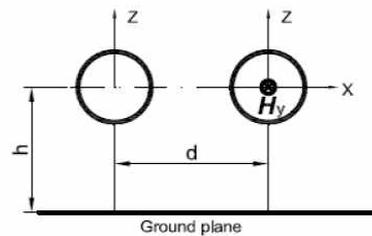
[그림 3]에서는 3축에 대한 측정 위치 및 시험체적을 보여주며, 체적에서 5개의 위치에서 측정된다. 측정 거리는 일정하게 유지되어야 한다. 좌측 및 우측의 경우 측정 거리( $d$ )를 유지시키기 위하여 약간의 회전(tilt) 및 거리를 조절해야 한다.

NSA 방법을 이용하여 시험장 감쇠 편차 값은 다음의 식으로 계산할 수 있다.

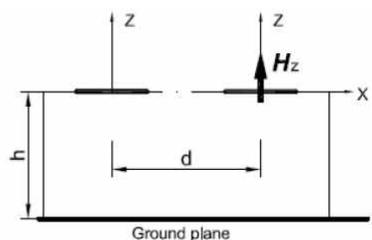
$$\Delta A_S = V_{direct} - V_{site} - F_{a, TX} - F_{a, RX} - A_N$$



(a)  $H_x$  coaxial



(b)  $H_y$  coplanar (V-pol.)



(c)  $H_z$  coplanar (H-pol.)

[그림 2] 측정 축에서의 일반적인 배치( $d$ 는 측정 거리,  $h$ 는 측정 높이)

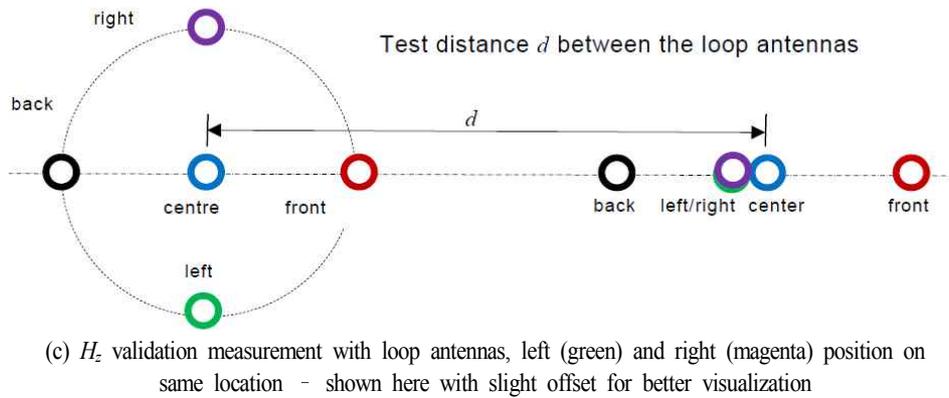
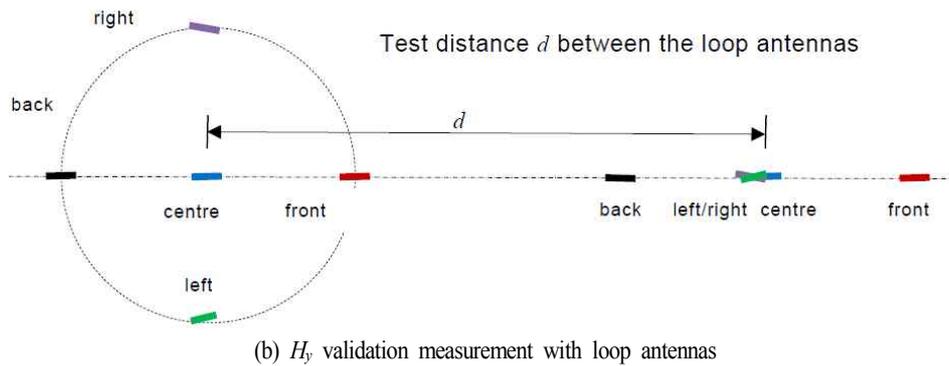
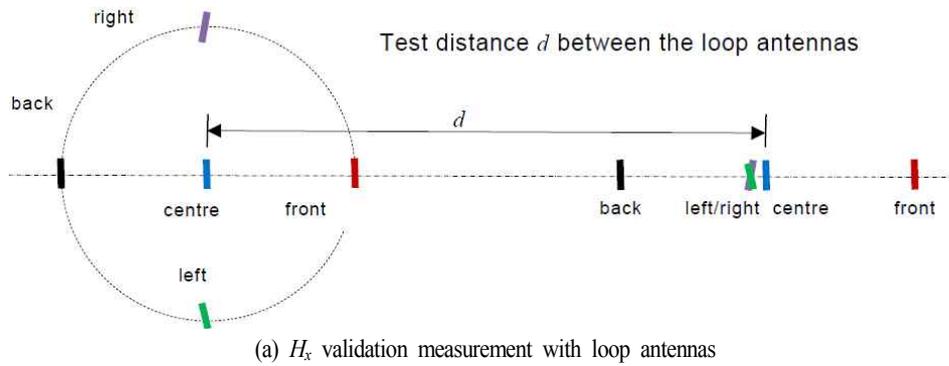
여기에서,  $V_{direct}$ 는 송신과 수신 케이블을 직접 연결하여 수신측에서 얻어진 값(단위: dBm 또는 dBμV)이고,  $V_{site}$ 는 송신과 수신 안테나를 케이블에 연결하여 수신 안테나에서 얻

<표 2> 최대 주파수 간격

주파수 대역	최대 주파수 간격(kHz)
9~19 kHz	1
20~145 kHz	5
150~950 kHz	50
1~30 MHz	100

어진 값(단위: dBm 또는 dBμV)이다.  $F_{a,TX}$ 는 송신 안테나 팩터(단위: dB S/m)이며,  $F_{a,RX}$ 는 수신 안테나 팩터(단위: dB S/m)이다.  $A_N$ 은 이론적으로 계산된 NSA 값(단위: dB m<sup>2</sup>/S<sup>2</sup>)이다. 현재 발행된 문서에서는 계산된 시험장 감쇠 편차의 범위가 3 m 측정 거리에서 ±4 dB 이내인 경우에만 만족하는 것으로 정했다.

실제 필드에서의 적용 가능성을 검토하기 위하여 국립전



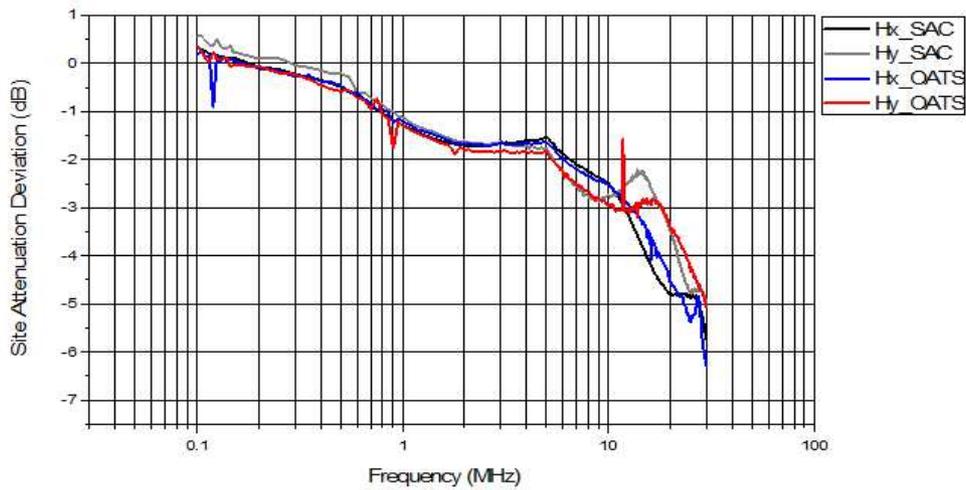
[그림 3] 시험장에서의 안테나 측정 위치(CISPR/A/1101/CD 문서)

파연구원의 10 m 챔버와 야외시험장에서 시험을 진행하였다. 안테나 급전점(feed point)의 위치를 기존 하단에서 상단으로 변경하여 새롭게 NSA 값을 계산하였으며, 이를 실제 측정값과 비교한 결과, 상당한 차이를 보였다. 측정 시험장(chamber)의 특성 유무를 판단하기 위하여 동일한 시험을 야외시험장(OATS)에서 시행하였으며, 두 측정 결과 간의 차이는 크지 않은 결과가 도출되었다.

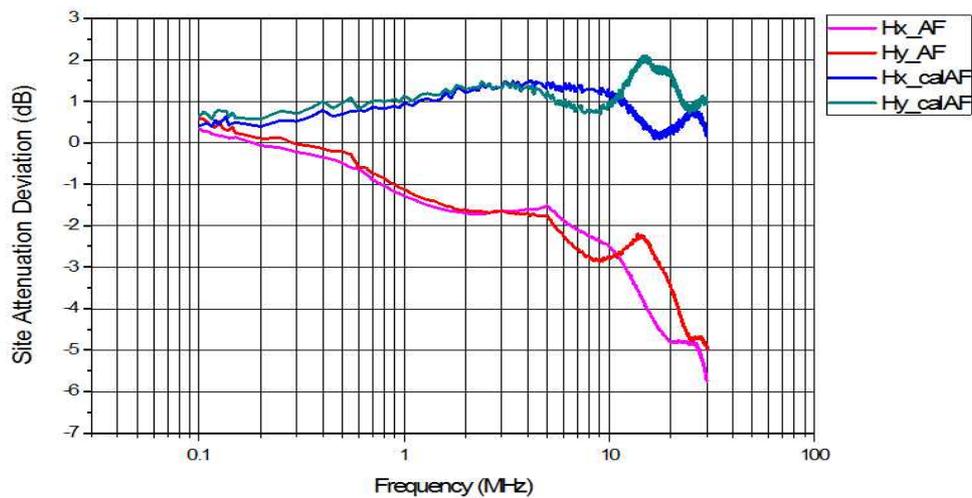
기존의 일본에서 발표한 측정 결과와 비교하였을 때 최대 약 6 dB 정도 차이가 발생하였으며, 일본과의 차이점은 안테나 팩터(antenna factor)값의 사용을 우리나라에서는 제

조사에서 제공하는 값을 보간법을 적용하여 사용하고, 일본에서는 자체적으로 주파수 별로 교정한 값을 사용하였다. 종합적인 분석 결과, 안테나 팩터를 적용하는 것에 문제가 발생함을 발견하였으며, 이론적으로 계산된 NSA 값과 방법에 대한 검토가 필요하다. 따라서 교정된 안테나 팩터를 사용할 경우, 보간법을 적용한 안테나 팩터보다 편차의 오차가 감소하는 것을 [그림 5]에서와 같이 확인할 수 있었다.

#### IV. 기준 시험장 방법(Reference Site Method)



[그림 4] 야외시험장과 SAC에서의 측정 결과 비교



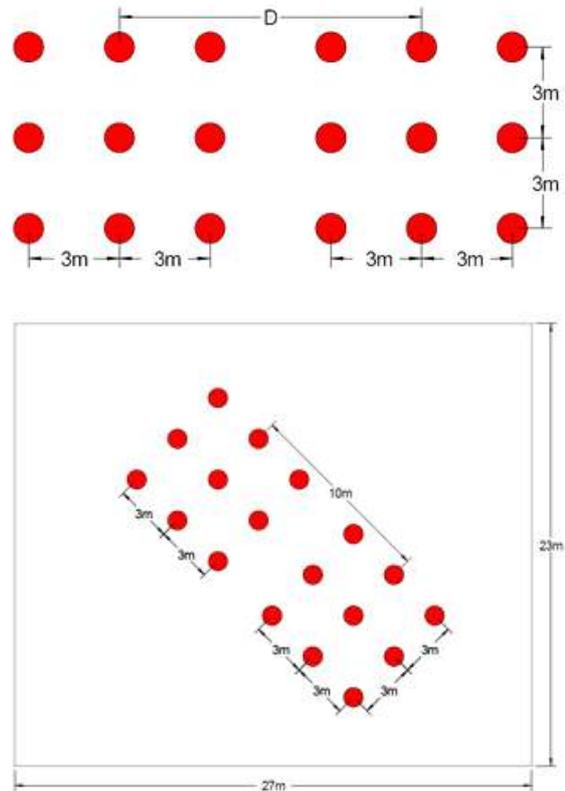
[그림 5] 안테나 팩터(보간법 및 교정)에 따른 시험장 감쇠 편차 결과 비교

기준시험장방법(RSM)은 30 MHz 이상의 대역에 대해서는 CISPR/A/859/CD에서 잘 언급되어 있다. 문서에 의하면 RSM은 시험장의 적합성을 검증하기 위한 NSA 방법의 대안으로 사용할 수 있으며, NSA와 같이  $V_{direct}$ 와  $V_{site}$ 의 측정이 필요하다. 두 방법의 차이는 시험장 감쇠 표준편차의 계산 여부이며, 두 개의 안테나 인자와 NSA 값을 사용하는 대신, 안테나 쌍 기준시험장 감쇠량( $SA_{APR}$ )을 이용하여 계산하게 된다. RSM에 대해서는 아직까지 정확하게 정립되어 있지 않으며, 우리나라에서 발표한 사례가 처음이다.

30 MHz 이하의 대역에서도 문서에서는 감쇠량 편차가  $\pm 4$  dB 이내일 때 시험장을 안정하다고 평가하고 있으며, 초과하는 경우 측정 과정, 시스템 보정상태 (신호발생기, 측정장치, 안테나 인자 등), 주변 환경, 시설의 성능저하 등 조사해야 한다고 언급하고 있다. 기준 시험장(reference site)에서는 평균값을 이용하여 편차 값을 결정할 수 있는데, 각 지점에서 측정된 편차의 평균값으로 계산하고 표준편차를 계산하여, 값이 0.6 dB 이하이면 시험장 평가 기준을 만족한다고 본다.

30 MHz 이상의 대역에서는 평균 기법을 사용하여 안테나 쌍 기준시험장 감쇠량을 결정하기 위하여 가능한 큰 야외 시험장이 측정에 적합하다. 가장 이상적인 동작을 위한 시험장 감쇠 편차는 제한된 시험장 크기와 접지면의 편평도, 건물과 나무 등 가까운 주변 물체로부터 반사가 주원인이기 때문에 야외시험장 접지면의 최소 크기는 20 m × 15 m, 편평도는  $\pm 10$  mm 이내를 만족하도록 권장하고 있다. 측정 시험장 감쇠에서 정현 파형 때문에 수평 편파보다 수직 편파의 경우에 접지면의 모서리로부터 반사가 발생하며, 안테나의 위치를 변경함으로써 인하여 파형의 크기와 위치가 변경될 것이다. 이러한 영향을 최소화하기 위하여 시험장 감쇠는 몇 개의 위치에서 측정되며, 평균값을 계산할 경우 이 평균값이 이상적인 시험장의 시험장 감쇠에 수렴할 것이다. 측정 절차는 야외시험장에서 측정점의 개수를 확인하고, 모든 9개의 점은 반드시 접지면 위에 위치하도록 선택하여 측정을 실시한다. 각각의 대응하는 점에서 송수신 안테나 간의 전압을 측정한다.

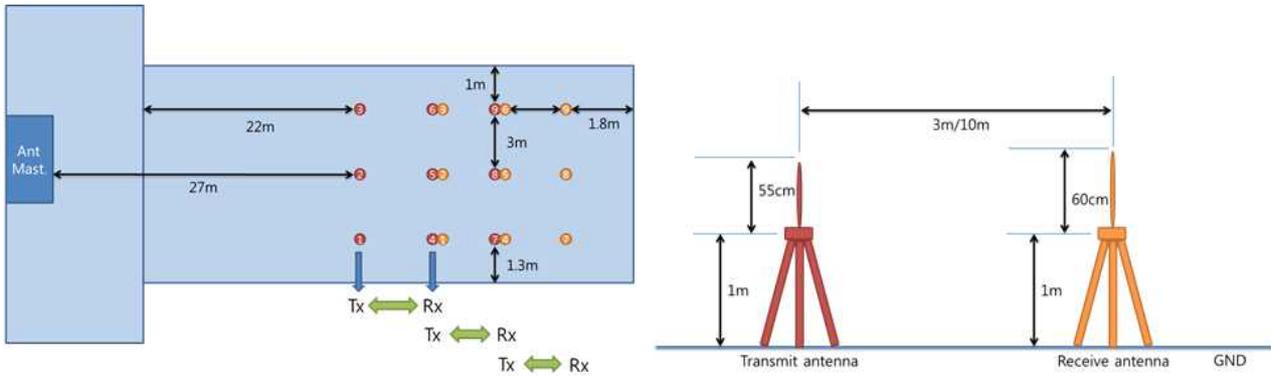
30 MHz 이하에서는 기존 문서의 RSM을 따라 진행되었으나, 측정 장소는 10 m 대형 챔버에서 실시하였으며, 송신



[그림 6] 야외시험장에서 RSM을 측정하기 위한 측정점

안테나와 수신안테나의 간격은 바닥 반사파 및 측면/후면벽의 반사파(챔버의 경우)를 고려하여 3 m에서 진행되었다. 총 9개의 측정점을 선정하여 시험이 진행되었으며, 측정점 간의 이동거리는 1.5 m로 하였다. 안테나 배치도는 [그림 7]과 같다.

고안된 방법을 검증하기 위하여 실제 야외시험장에서 시험을 실시하였다. 시험은 국립전파연구원의 시험인증센터에 설치된 야외시험장에서 진행되었다. 시험장 내 총 9개 측정점(송신 및 수신)을 선택하였으며, 측정점 간의 이동거리는 3 m, 송신과 수신 안테나 간의 거리도 3 m이다. 안테나 간의 거리를 3 m로 지정한 것은 30 MHz 이상에 대한 표준 문서에서의 측정거리가 3 m이기 때문에 설정하였으며, 증폭기(amplifier)를 사용하지 않아, 10 m 거리에서는 신호감쇄가 컸으며, 그에 따른 외부 전파 유입도 크게 작용하였다. 안테나 높이는 송수신 안테나 모두 1 m(안테나 중심까지는 약 1.3 m)로 하였으며, 안테나에 설치된 동축케이블(coaxial



[그림 7] 챔버 내의 송신 및 수신 안테나 배치도

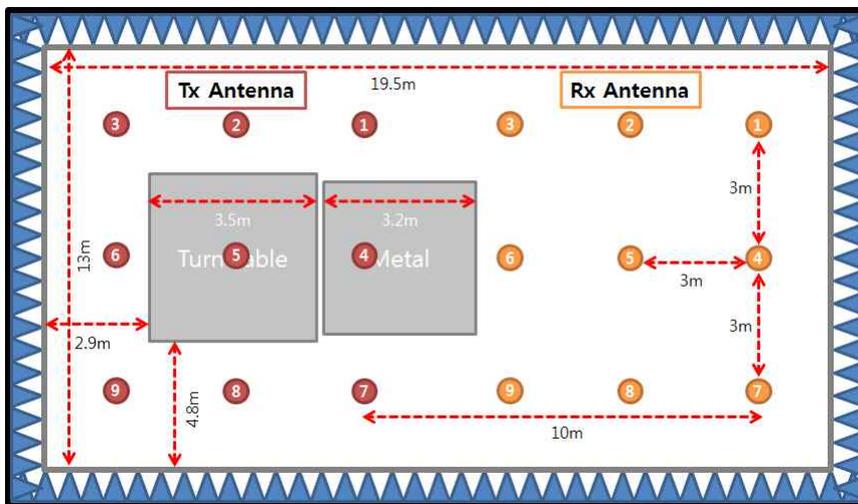


[그림 8] 야외시험장 전경 및 안테나 설치

cable)의 표피를 타고 유입되는 전류를 차폐하기 위하여 안테나 단과 케이블 사이에 초크(sheath current choke)를 설치하

였다. 사용된 안테나는 송신의 경우 10 kHz~30 MHz 대역을 갖는 passive loop antenna이며, 수신인 경우 10 kHz~30 MHz 대역을 갖는 active loop antenna이다. 측정은 두 안테나가 수평(parallel)인 경우와 수직(in line)인 경우에 진행하였다. 2차 시험은 국립전파연구원 전파시험인증센터 내 전파누리관 (10 m 챔버)에서 실시하였다. 배치도는 [그림 9]와 같다.

챔버에서의 시험은 총 2회에 걸쳐 진행되었으며, 1차 시험은 9 kHz~30 GHz 대역에서 사용이 가능한 스펙트럼 분석기를 사용하였고, 2차 시험은 신호발생기(SG)와 스펙트럼 분석기(SA)를 이용하여 진행하였다. 또한, 1차 시험에서는 신호 증폭기를 사용하지 않았지만, 2차 시험에서는 증폭기를 사용하여 시험을 실시하였다. 1차 시험에서는 측정 주파수 간격을 9 kHz부터 150 kHz까지는 최소 1 kHz 단위로, 150



[그림 9] 10 m 챔버 평면도 및 시험 측정점

kHz부터 30 MHz까지는 최소 100 kHz 단위로 시험을 실시하였다. 2차 시험에서는 증폭기를 사용하였는데, 증폭기가 9~500 kHz와 500 kHz~30 MHz로 분리하여 동작하여 측정 주파수 범위를 증폭기와 동일한 스펙트럼으로 분리하여 시험하였다. 측정 주파수 간격은 1차와 마찬가지로 500 kHz 이하 대역은 최소 1 kHz, 500 kHz 이상 대역은 최소 100 kHz 간격으로 실시하였다.

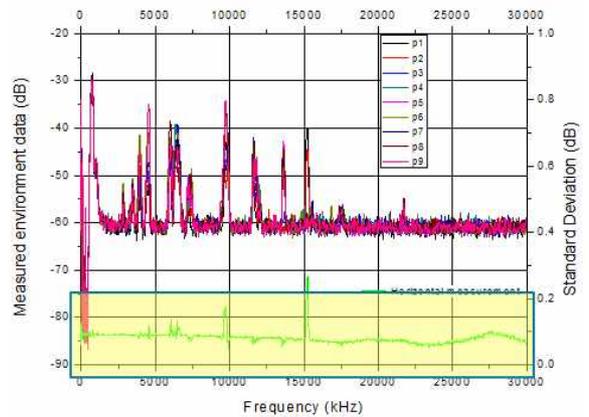
시험은 각 송신 안테나와 수신 안테나를 선정된 측정점에 위치하고, 송수신 안테나의 높이를 1 m로 고정한 후 수평(parallel)과 수직(in line) 방향에서 측정을 한다. 9개 측정점에서 모든 측정이 완료되면, 9개 측정점에 대하여 주파수별로 표준편차를 구하고, 계산된 표준편차가 0.6 dB를 만족하는지 평가한다.

2차례의 시험결과, RSM의 기준시험장 조건인 표준편차가 0.6 dB 이내가 되어야 한다는 조건을 만족하였다. 다음의 [그림 10]은 RSM으로 3 m 거리에서 Hx와 Hy축에 대한 측정 결과와 표준편차를 보여주며, [그림 11]은 표준편차를 이용하여 챔버에서 측정된 결과가 시험장조건을 만족하는지를 보여준다.

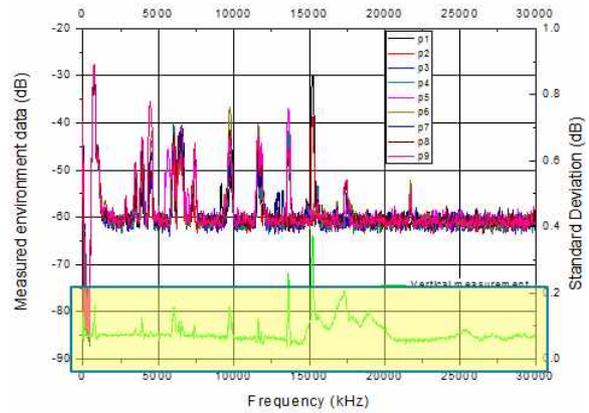
야외시험장은 환경적인 영향을 많이 받기 때문에 외부에서 유입되는 잡음이 상대적으로 매우 높았다. 일부 특정 신호가 6 MHz, 10 MHz, 15 MHz 대역에서 발생하였으나, 시험환경에서 기본적으로 유입되는 노이즈 신호이기 때문에 임의적으로 제거하였다. 그 결과, 계산된 표준편차 값은 약 0.1 dB 수준이었다. 이 값을 이용하여 10 m 챔버의 특성을 시험하기 위하여 챔버 내 5개의 점(중앙, 좌측, 우측, 전방, 후방)에서 측정하였으며, 측정 결과를 이용하여 시험장 감쇠량을 계산한 결과  $\pm 4$  dB 기준을 만족하였다. 다만, 벽면에 접근할수록 벽에서 발생하는 반사파의 영향으로 시험 결과에 영향을 줄

<표 3> 측정 주파수 대역 및 간격

시험	주파수 대역	측정 간격(kHz) (포인트(개))
1차	9~150 kHz	0.282 ( 500)
	150 kHz~30 MHz	59.700 ( 500)
2차	9~500 kHz	0.392 (1,250)
	500 kHz~30 MHz	23.600 (1,250)



(a) H<sub>x</sub>-axis



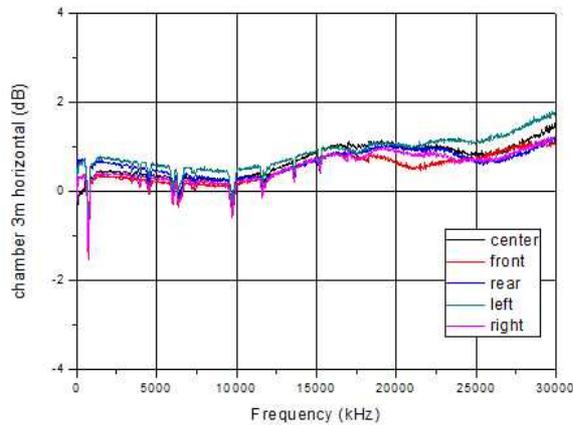
(b) H<sub>y</sub>-axis

[그림 10] 야외시험장에서의 측정 결과(3 m 거리)

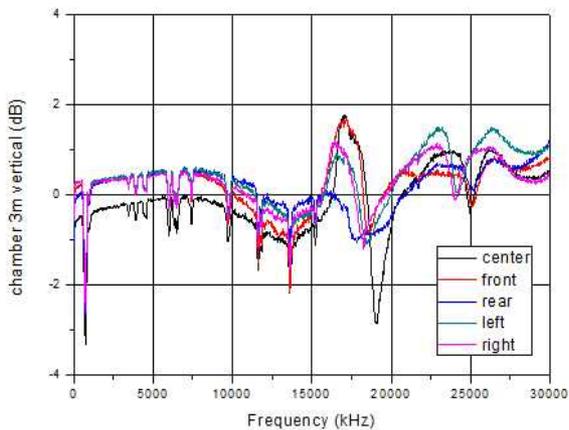
수 있었다.

## V. 결 론

최근 들어 무선전력전송 기술이 각광을 받으면서 다양한 제품들이 개발 및 출시되고 있다. 일반적으로 무선전력전송에 사용하는 주파수 대역은 수십 kHz에서 수 MHz 대역으로 저주파 대역을 사용하기 때문에, 우리나라를 비롯하여 국제적으로 이에 대한 전자파적합성 및 전자파장해에 대한 평가 기준이 필요한 실정이다. 이를 위해 CISPR에서 이와 관련된 평가 방법이나 시험장 조건 등에 대한 기준을 제정하고 있다. 30 MHz 이하 대역을 사용하는 전자기기/무선기기를 시험하기 위한 시험장 평가 방법 개발은 연구 초기 일본, 독



(a)  $H_x$ -axis



(b)  $H_y$ -axis

[그림 11] 챔버 측정 결과

일, 오스트리아를 중심으로 진행되었으며, 2013년부터 우리나라에서는 충북대학교, 국립전파연구원, 한국전파진흥협회의 기관이 합동으로 시험장 평가 방법에 대한 검증, 문제점 등을 지속적으로 연구·발표하고 있다. 2013년도에는 기

준시험장방법(RSM)을 이용하여 연구한 결과를 발표하였으며, 2014년도에는 정규화 시험장 감쇠량(NSA) 방법을 이용하여 시험장을 평가한 결과와 문제점에 대해 발표하였다. 2015년도에는 30 MHz 이하 대역에 대한 표준화 문서 초안(CD)에 대한 문제점 및 수정/보완 사항에 대해 발표하였다.

금년도의 CISPR 총회에서 논의된 내용은 향후 대응방안으로는 30 MHz 이하 대역에 대한 유럽 중심의 RRT를 시행하기로 합의하였고, 30 MHz 이하의 주파수에 대해 시험장을 검증하기 위한 방법이나 필요성은 크게 언급하지 않았지만, 시험장검증(site validation) 방법은 30 MHz 이상의 주파수에 대해 표준화되어 있을 뿐 30 MHz 이하에 대해서는 방법이 표준화되어 있지 않았기 때문에 다양한 방법이 구상되고 있으며, RSM을 이용하여 30 MHz 이하에 적용 가능한지 검토하고 있다. 연구 수행 결과에서도 30 MHz 이하 대역에 대해서는 NSA 방법으로 전자파장해 시험장을 평가하는 것 보다는 RSM이 더욱 효과적인 것으로 분석되었다. 향후 이에 대한 보다 집중적인 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEC CISPR/A/1101DC, Dec. 19, 2014.
- [2] S. Lee, N. Kim, J.-G. Yang, and H.-S. Keum, "Verification of test site validation method by using newly calculated NSA values according to the antenna feed point below 30 MHz", *CISPR/A/WG1*, Sep. 2015.
- [3] S. Lee, N. Kim, J.-G. Yang, and H.-S. Keum, "Verification of reference site validation by using the NSA method below 30 MHz in Korea", *CISPR/A/WG1*, Oct. 2014.

≡ 필자소개 ≡

이 승 우



2003년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)  
 2006년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)  
 2012년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)  
 2012년 7월~2015년 8월: 충북대학교 리서치펠로우

2015년 9월~현재: 충북대학교 전임연구원

[주 관심분야] 안테나 설계, EMI/ EMC 및 전자파 인체 영향, 무선전력전송

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2011년~현재: 한국무선전력전송포럼 운영위원회 위원장  
 2013년~현재: 미래창조과학부 통신정책자문위원회 위원

2014년~현재: BEMS 부회장, 회장

1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

[주 관심분야] 이동통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로해석, EMI/ EMC 및 전자파 인체 보호 규격

[주 관심분야] 이동 통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/ EMC 및 전자파 인체보호 규격

양 준 규



2008년 8월: 군산대학교 정보통신공학과 (공학박사)

1997년 12월~현재: 미래창조과학부 국립전파연구원 연구사

[주 관심분야] EMC 기술 기준 및 정책

금 흥 식



2015년 8월: 충북대학교 전자공학과 (공학박사)

2009년 3월~현재: 한국전파진흥협회 전자파기술원

[주 관심분야] EMC 기술기준 및 표준, 디지털 통신 시스템