

30 MHz 이하 정규화 시험장 감쇠량 평가법 표준화 연구

금 홍 식* · 양 준 규**

*한국전파진흥협회 전자파기술원 ·
**미래창조과학부 국립전파연구원

I. 서 론

공간을 통한 전자기 에너지 전달을 목적으로 하는 무선 전력전송 기술개발의 적용범위가 휴대폰 충전기로부터 가전기기, 전기자동차, 전기철도로 확대되고 있고, 공간적 제약을 뛰어 무선전력전송의 자유도를 달성하고자 활발한 기술개발이 진행되고 있다. 이와 더불어 이들 기기가 사용하는 30 MHz 이하 대역의 주파수와 그 고조파에 대한 방사성 방출(Radiated Emission) 기준 및 시스템과 관련된 전자파적 합성 평가 방법에 관한 표준의 개발이 IEC(국제전기기술위원회) 산하 CISPR(국제무선장해특별위원회)에서 활발히 진행되고 있다.

30 MHz 이하 대역의 방사성 방출에 대한 표준화는 2007년 PDP TV에 대한 방사성 방출 기준 및 측정방법 표준화로 시작되었으며, 60 cm 루프안테나로 3 m 측정거리에서 자기장을 측정하며, 시험장은 30 MHz 이상의 표준 시험장 평가법인 정규화 시험장 감쇠량(Normalized Site Attenuation) 평가를 충족하는 야외시험장이나 전자파 반무반사실에서 시험하도록 2012년 규정되었다. 2012년부터 IEC CISPR A분과 위원회에서는 이와 같은 30 MHz 이하 대역의 방사성 방출 측정 및 시험장 검증에 대한 기본 시험방법을 규정하기 위한 표준화가 시작되었다. 2012년에는 독일이 30 MHz 이하 대역의 시험장 평가에 대한 이론적인 시험장 감쇠량 값을 제안하였다. 2013년에는 독일과 일본이 30 MHz 이하 NSA 시험장 평가방법을 처음 제안하여 이에 대한 논의가 시작되었고, 2014년에 NSA 평가법 초안이 제시되었다^[1]. 우리나라는 제안된 NSA 평가법에 대한 대응 연구를 지속적으로 진행하고, EMC 기준전문위원회 A소위에서 검토하여 2014년에는

NSA 평가방법 및 시험장 평가결과의 불일치 등 문제점을 제안하였으며, 각국의 검증 참여를 촉발하였다. 2015년에는 일본과 공동으로 검증평가를 실시하고, NSA 이론값을 재계산해야 함과 평가결과의 불일치가 루프안테나 팩터에 영향을 받는다는 결과를 보고하였다. 중국은 NSA 이론값 시뮬레이션 프로그램의 오류에 대하여 보고하였고, 일본은 루프안테나 교정방법을 제안하였다^[2]. 2016년에는 NSA 이론값 검증 및 루프안테나 팩터에 의한 영향을 분석, 시험장별 NSA 평가결과를 소개하고, 루프안테나 교정 등 평가방법 개선과 평가방법의 적절성에 대하여 기고 반영하였다^[3].

이 논문에서는 30 MHz 이하 NSA 시험장 평가방법 표준화 과정에서 주요 문제점으로 도출된 NSA 이론값을 시뮬레이션과 이론값에 대한 오차 분석을 통해 검증하고, 30 MHz 이하 시험장 평가에 중요 요소인 루프안테나에 대한 교정 및 NSA 평가에 미치는 영향을 분석하고, 표준 전자파 장해방지 시험장에 대한 평가 결과를 고찰하였다.

II. 30 MHz 이하 NSA 이론값 검증

2-1 NSA 이론값 시뮬레이션

30 MHz 이하 정규화 시험장 감쇠량(NSA) 평가방법은 야외시험장에서 루프안테나를 통한 전파 모델을 시뮬레이션하여 NSA 이론값을 구하도록 하고 있으며, 시뮬레이션은 무료 수치해석 툴(NEC)을 사용하도록 하고 있다. CISPR/A/1101/DC의 부록 I에 규정된 절차는 우선 자기장 안테나 팩터를 계산한다. 1 V/m의 평면파가 입사될 때 루프안테나에 유기되는 전류와 전압을 시뮬레이션하며, 자기장 안테나 팩터(F_{dH}) 계산식은 식 (1)과 같다^[4].

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(R0166-16-1010, 전자파적합성 및 전자파 인체보호 기술기준 개발).

$$F_{aH} = \frac{H}{U} = \frac{1/377}{IZ} \quad (1)$$

여기서, H 는 자기장[A/m], U 는 전압[V], I 는 전류[A], Z 는 임피던스[Ω]이다.

안테나지름 56 cm, 루프 외경 19.3 cm인 루프안테나의 자기장 안테나 팩터를 계산하기 위해 사용한 NEC 코드는 <표 1>과 같다.

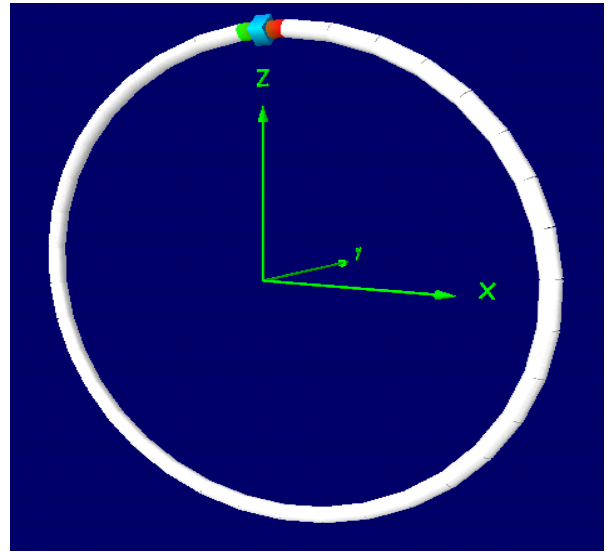
NSA 이론값 계산에서 많은 오류를 유발했던 부분이 안테나 급전 점에 관한 설정이었다. <표 1>에서 GM 줄의 -95가 루프안테나의 급전 점에 대한 기하학적 위치를 지정하는 인자로서 top feeding으로 설정한 것이다. 이에 대한 배치도는 [그림 1]과 같으며, 일반적으로 자기장 측정에서 사용하는 루프안테나의 케이블 연결부와 대칭점에 위치하는 것에 주의하여야 한다.

다음으로 송신 및 수신 루프안테나를 이용한 시험장 감쇠량을 계산하며, 시험장 감쇠량(A_S) 계산식은 식 (2)와 같으며, H_x 편파에 대한 시험장 감쇠량을 계산하기 위한 NEC 코드는 <표 2>와 같고, 이에 대한 시험장 평가 모델 배치도는 [그림 2]와 같다.

$$A_S = -20 \lg \left(\frac{IZ}{U} \right) \quad (2)$$

<표 1> 자기장 안테나 팩터 계산 NEC 코드

CE	
GA	1 36 0.28 360 0 0.00965
GM	0 0 0 -95 0 0 0 0 1
GE	0
GN	-1
EK	
LD	0 1 1 1 50 0 0
EX	1 1 1 0 90 0 0 0 0
FR	0 11 0 0 0.009 0.001
PT	1 1 1 0
XQ	

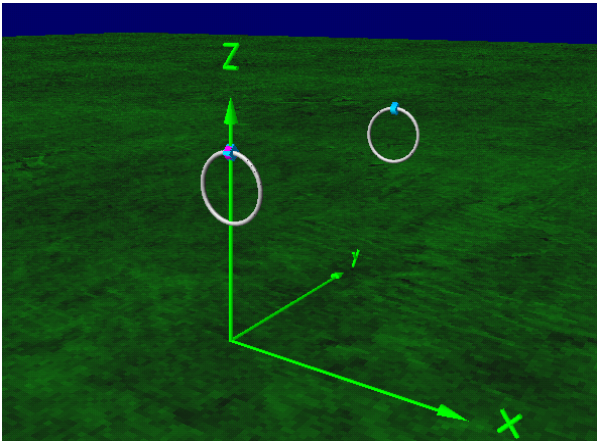


[그림 1] 루프안테나 top feeding 모델 배치도

<표 2> 시험장 감쇠량 계산 NEC 코드

CE	
GA	1 36 0.28 0 360 0.00965
GA	2 36 0.29 0 360 0.00965
GM	0 0 0 -85 0 0 0 1.3 1
GM	0 0 0 0 0 0 3 0 2
GW	0 0 0 0 0 0 0 0 0
GE	1
LD	0 1 1 1 50 0 0
LD	0 2 1 1 50 0 0
GN	1
EK	
EX	0 1 1 0 2 0 0 0
FR	0 11 0 0 0.009 0.001
EN	

시험장 감쇠량 계산 부분에도 루프안테나 배치에 대한 오류가 있어 주의가 필요하며, H_x , H_y 및 H_z 편파 설정을 위한 시험장 감쇠량 계산 NEC 코드는 <표 3>에 보정된 값을 제시한다.



[그림 2] H_x 편파에 대한 시험장 감쇠량 평가모델 배치도

<표 3> 루프안테나 편파별 SA 계산 NEC 코드

편파	NEC 설정코드
H _x	GM 0 0 0 -85 0 0 0 1.3 1
	GM 0 0 0 0 0 0 3 0 2
H _y	GM 0 0 0 -85 90 0 0 1.3 1
	GM 0 0 0 0 0 0 3 0 2
H _z	GM 0 0 -90 0 85 0 0 1.3 1
	GM 0 0 0 0 180 0 3 0 2

마지막으로 정규화 시험장 감쇠량을 계산한다. NSA 이론값(A_N)을 유도하기 위한 계산식은 식 (3)과 같다.

$$A_N = A_S - 2F_{aH} \quad (3)$$

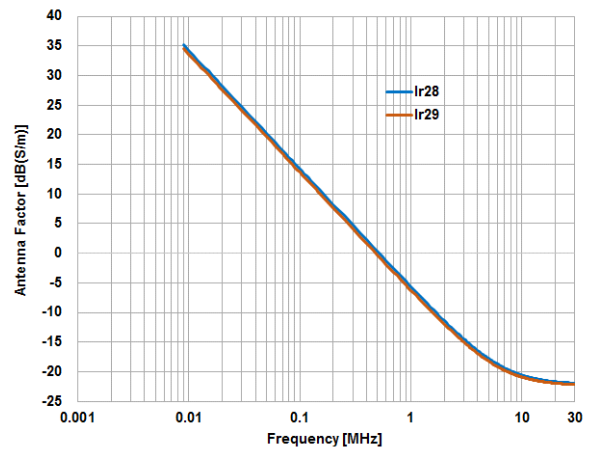
2-2 NSA 이론값 오차 분석

본 시험장평가 연구에 사용한 루프안테나는 ETS Lindgren사의 제품이며, 세부 기하학적 사양은 <표 4>와 같다.

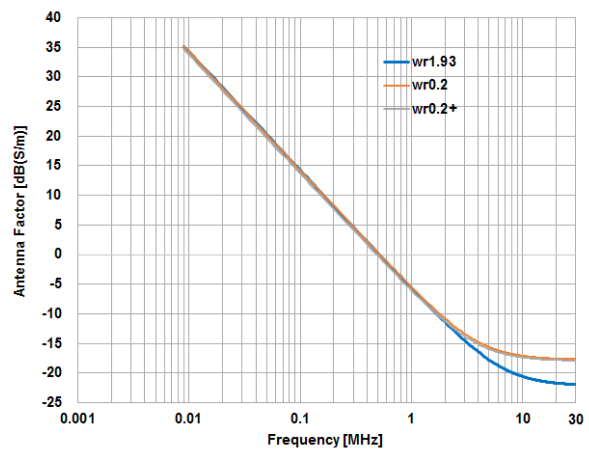
<표 4>의 사양에 따른 루프안테나 팩터를 표 1의 NEC 코드로 이론값을 계산하였다. 루프안테나 팩터 이론값 비교 결과는 [그림 3]과 같다. 루프 지름이 큰 경우, 안테나 팩터는 주파수에 따라 0.6~0.23 dB 작아지는 경향이 있다. 루프선 지름과 표준안의 2 mm와 비교한 결과, 루프선 지름이 큰 경우 1 MHz 이상 대역에서 최대 4 dB까지 작아지는 경향이 있다.

<표 4> NSA 검증 평가에 사용한 루프안테나 사양

용도	루프안테나 사양	
송신	모델명	ETS-6512 수동안테나
	루프 지름	56 cm
	루프선 지름	1.93 cm
수신	모델명	ETS-6502 능동안테나
	루프 지름	58 cm
	루프선 지름	1.93 cm



(a) 루프 지름별 비교



(b) 루프선 지름별 비교

[그림 3] 루프안테나 사양에 따른 안테나 팩터 이론값 비교

<표 2>와 <표 3>의 NEC 코드를 이용하여 시험장 감쇠량

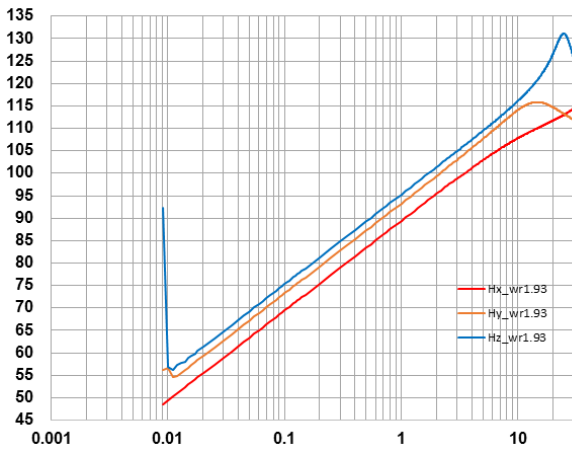
을 구하고, 앞서 구한 루프안테나 팩터를 사용하여 식 (3)에 따라 NSA 이론값을 편파별로 계산하였다. 본 연구에 사용한 루프안테나에 따른 NSA 이론값 결과는 [그림 4]와 같으며, 루프선 지름에 따른 NSA 이론값 비교 결과는 [그림 5]와 같다.

NSA 이론값 결과에서 H_x 편파의 경우, 루프안테나의 사양에 상관없이 동일한 결과를 보이지만, H_y 와 H_z 편파의 경우 150 kHz 이하 대역의 이론값에 편차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 특히 H_z 편파의 경우, 9 kHz에서 약 39 dB의 오차를 유발하고 있다.

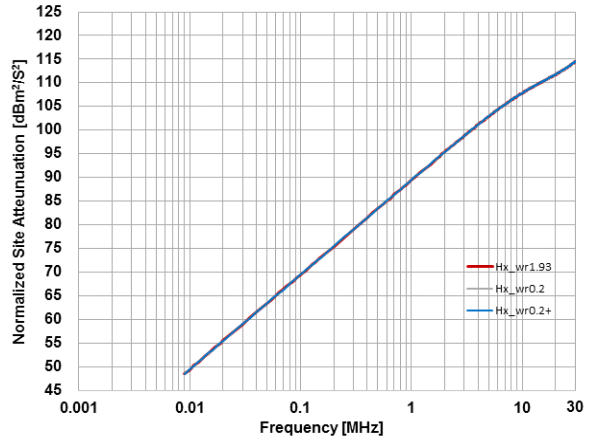
이와 같은 오류는 NEC 계산 틀의 오류로 국제표준화 회의에 보고되었으며, 이 150 kHz 이하 대역의 NSA 이론값은 150 kHz 이상 대역의 기술키에 따라 보간하여 사용하는 방안이 제안되었고, 추가적인 검토를 진행하기로 하였다. 국내 EMC 기준전문위원회 산하 A소위원회에서는 이 오류가 이론값 계산 설정에서 루프안테나를 분할하는 세그먼트의 개수와 연관이 있으므로 세그먼트를 작게 조정하면 오류가 없어지는 것을 확인하였다.

Ⅲ. 루프안테나 교정

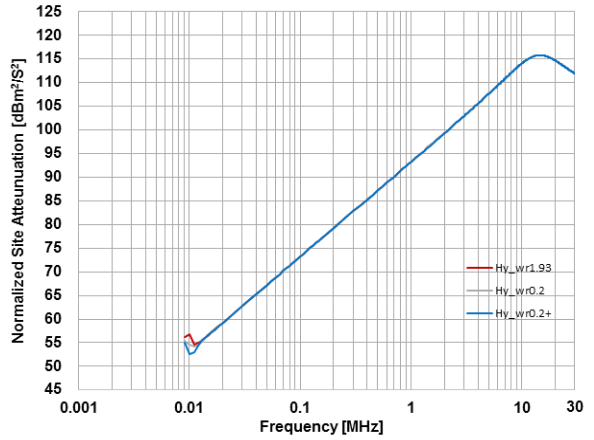
시험장평가 검증 연구과정에서 평가용 루프안테나 팩터가 시험장 평가 오류에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 루프안테나 교정방법은 2015년 일본이 제안하여 2016년



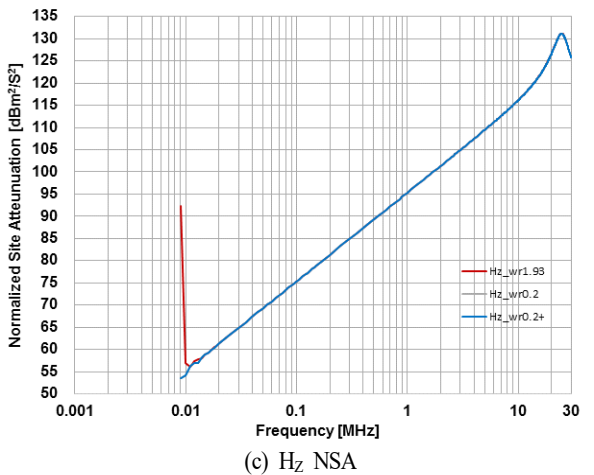
[그림 4] 평가적용 루프안테나에 따른 NSA 이론값



(a) H_x NSA



(b) H_y NSA



(c) H_z NSA

[그림 5] 루프선 지름에 따른 NSA 이론값 비교

A/1157/CD 문서가 발행되어 검토되었다. 제안된 루프안테나 교정방법은 <표 5>와 같다⁴⁾. 우리나라 전파시험인증센터는 GTEM 셀을 이용하는 교정방법을 제안하고 논의하였다.

본 연구에서는 여러 교정기관에서 루프안테나에 대한 교정을 실시하였고, 각 기관별 교정 팩터 값을 안테나 제조사가 제공하는 안테나 팩터와 비교 분석하였다.

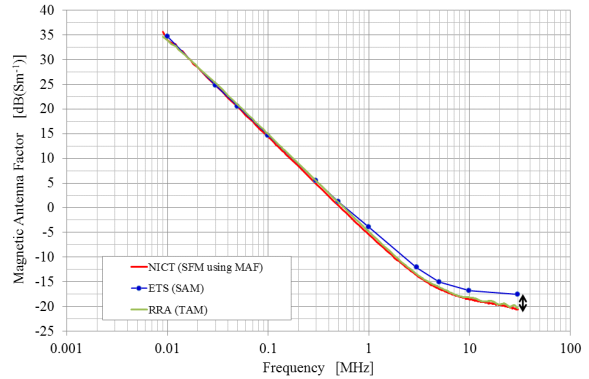
평가용 루프안테나의 교정 결과는 [그림 6]과 같다. 송신용 수동 루프안테나의 경우 이론값과 유사한 경향을 보이나, 수신용 능동 루프안테나의 경우 내부증폭기의 특성으로 인해 다른 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 송신 및 수신 루프안테나의 교정 값은 제조사의 제공 팩터에 비해 교정방법 및 교정기관에 따라 최대 3 dB의 편차를 보이고 있다. 따라서 정교한 팩터 값을 얻기 위한 교정방법의 표준화가 필요하다.

IV. 30 MHz 이하 시험장 평가 및 검증

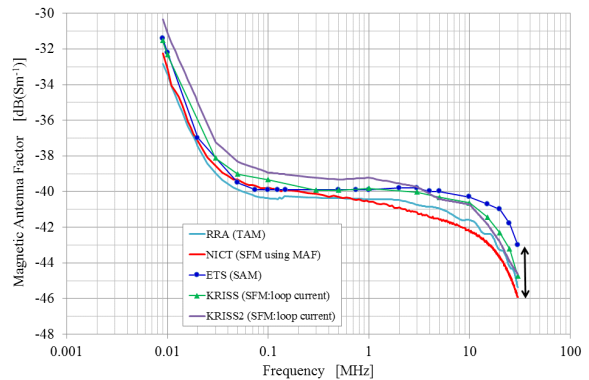
시험장평가는 시험거리로 이격된 2개의 루프안테나로 시험 체적내의 5개 지점에서 H_x , H_y , H_z 3개의 편파에 대하여 송신 대비 수신레벨을 측정한다. 측정 후 각 편파별로 시험

<표 5> 루프안테나 교정방법

교정법	특징
Three-Antenna Method (TAM)	- 3개 안테나 비교법 - 3번의 삽입손실 측정이 필요하나, 안테나 팩터를 알 필요는 없음. - 회로망분석기로 측정할 수 있음.
Standard Field Method (SFM) using CP	- 전류프로브(CP)는 송신 루프안테나 소자의 전류측정에 사용됨. - 회로망분석기로 CP 출력전압과 수신 루프안테나 출력전압의 비를 측정하고, CP의 전달임피던스를 이용해 자기장 안테나 팩터(MAF)를 결정함.
Standard Field Method (SFM) using MAF	- 정교하게 교정된 MAF를 가진 송신 루프안테나가 필요하나, 서모커플이나 CP가 필요 없음. - MAF는 회로망분석기를 사용해 수신 루프안테나로 들어오는 전력을 측정하여 결정함.



(a) 송신 루프안테나(ETS-6512)



(b) 수신 루프안테나(ETS-6502)

[그림 6] 평가용 루프안테나 교정 팩터 비교

장 감쇠량 편차(ΔA_S)를 구하고, 이 편차가 적합허용기준 내에 있는지를 평가한다. 시험장 감쇠량 편차는 다음 식 (4)로 계산한다¹⁾.

$$\Delta A_S = V_{direct} - V_{site} - F_{a, TX} - F_{a, RX} - A_N \quad (4)$$

여기서, V_{direct} 는 송수신 케이블을 직접 연결하여 측정 한 수신전압, V_{site} 는 각각의 안테나를 연결하여 측정한 수신전압, F_a 는 각 안테나 팩터, A_N 은 NSA 이론값이다.

시험장 평가는 우리나라 표준 전자파 방해방지 시험장인 국립전파연구원 전파시험인증센터의 10 m 반무반사실에서 실시하였다.

시험장 감쇠량 편차 계산에는 송신 루프안테나 팩터로 국립전파연구원 교정 값을 사용하였고, 수신 루프안테나 팩

터로 표준과학연구원의 교정 값을 사용하였다.

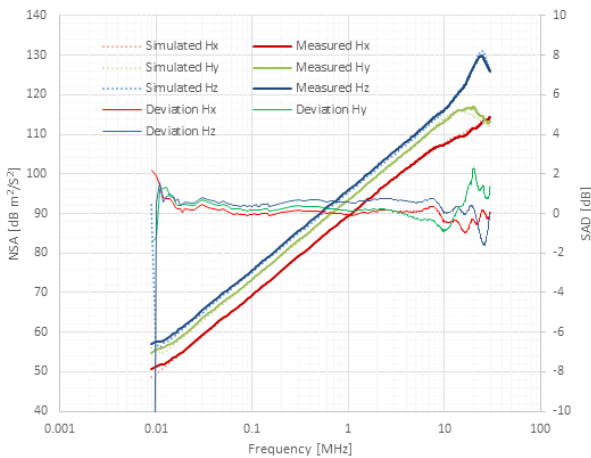
시험체적 중 중앙 위치에서의 30 MHz 이하 NSA 평가 결과와 식 (4)에 따른 시험장 감쇠량 편차 결과는 [그림 7]과 같다.

NSA 평가 결과, [그림 4]에서 도출된 NSA 이론값이 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 앞서 언급한 150 kHz 대역의 NSA 이론값 오류를 무시하고, 시험장 감쇠량 편차 값을 보면 약 ± 2 dB 범위 안으로 수렴되어 표준안에서 논의되고 있는 ± 4 dB 평가기준을 만족함을 확인하였다.

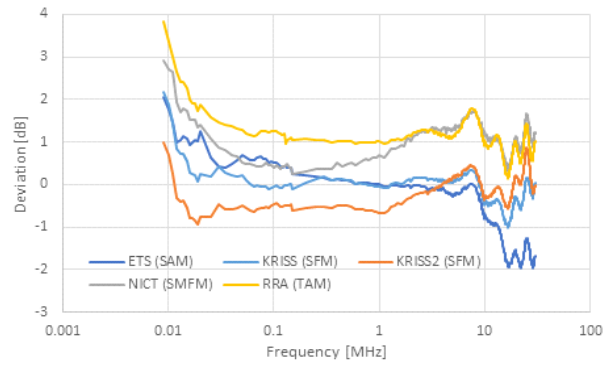
3절에서 루프안테나 교정에 따라 안테나 팩터 값에 편차가 발생함을 확인하였다. 이에 자기장 안테나 팩터 교정 값이 NSA 평가에 미치는 영향을 분석하였다. 수신 루프안테나 교정 값에 따른 시험장 감쇠량 편차 비교 결과는 [그림 8]과 같다.

[그림 8]의 비교 결과에서 [그림 6]에서 확인한 3 dB의 루프안테나 교정 값 편차가 NSA 평가 결과에도 유사한 편차를 유발하고 있음을 확인하였다. 송신 안테나 팩터의 편차까지 고려한다면 더 큰 오차를 유발할 수 있을 것이다. 이와 같이 2015년까지의 NSA 평가 결과가 수렴하지 못하고 발산하는 유형을 보였던 이유가 부정확한 루프안테나 팩터 적용과 평가용 루프안테나와 다른 부정확한 NSA 이론값을 사용하였기 때문임을 알 수 있다.

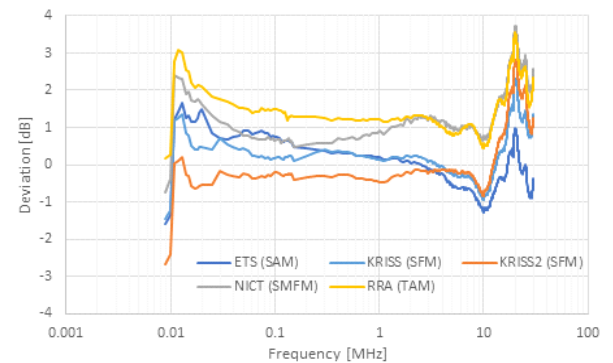
V. 결 론



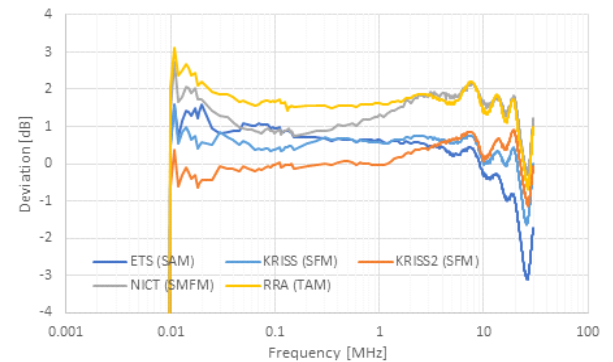
[그림 7] 표준 전자파 장애방지 시험장 평가 결과



(a) H_x



(b) H_y



(c) H_z

[그림 8] 수신 루프안테나 교정 값에 따른 NSA 편차 비교

30 MHz 이하 대역을 사용하는 제품의 개발과 이로 인한 해당 대역의 무선서비스를 보호하기 위한 요구가 증가하고 있다. IEC CISPR 국제표준 기구에서는 이러한 상황을 반영하여 30 MHz 이하 대역의 전자파 방사성 방출을 규제하기 위한 측정방법 및 시험장 평가방법에 대한 표준을 제정하고

있다. 우리나라도 국제표준화 활동에 대응하여 시험장 평가 방법의 검증 및 개선을 위한 연구를 지속적으로 추진하며 결과를 기고하고 있다.

본 연구에서는 2016년에 추진한 30 MHz 이하 정규화 시험장 평가법(NSA)에 대한 검증 연구와 결과에 대하여 고찰하였다. 먼저 30 MHz 이하 NSA 시험장 평가방법 표준화 과정에서 주요 문제점으로 도출된 NSA 이론값을 실제 사용한 루프안테나 기하학적 사양을 적용하여 재계산하였다. 루프안테나 팩터 시뮬레이션 결과, 루프선 지름에 따라 최대 4 dB의 편차가 발생함을 확인하였고, 150 kHz 이하 대역에서 이론값에 오차가 발생하므로 보정이 필요함을 확인하였다. 다음으로 평가용 루프안테나에 대한 자기장 안테나 팩터에 대한 교정을 실시하였다. 교정결과, 제조사에서 제공하는 안테나 팩터와 실제 교정 값에 3 dB의 편차가 발생함을 확인하였고, 특히 수신 루프안테나의 경우 팩터 경향이 이론값과 다르고, 편차가 큼을 확인하였다. 마지막으로 표준 전자파 장애방지 시험장에 대한 평가 결과, NSA 편차 ± 2 dB 이내로 표준안의 평가기준을 만족함을 확인하였다. 이로써 루

프안테나 팩터가 시험장 평가에 미치는 영향을 분석하였고, 표준 전자파 장애방지 시험장이 30 MHz 이하 전자파 측정에 사용할 수 있음을 검증하였다.

앞으로 루프안테나 교정방법과 NSA 평가방법 국제표준안의 검증에 대한 연구를 지속하고 표준화에 대응하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] IEC, *CISPR/A/1101/DC*, Dec. 2014.
 [2] 이승우, 김남, 양준규, 금홍식, "30 MHz 이하 전자파장애 시험장 평가방법 연구", 한국전자파학회지(전자파기술), 27(1), pp. 13-24, 2016년 1월.
 [3] J. G. Yang, S. W. Lee, N. Kim, J. H. Kim, H. S. Keum, and T. H. Jang, "Verification of NSA method and site validations below 30 MHz in Korea", *CISPR/A/AHGI*, Oct. 2016.
 [4] IEC, *CISPR/A/1157/CD*, Apr. 2016.

≡ 필자소개 ≡

금 홍 식



1992년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2015년 8월: 충북대학교 전자공학과 (공학박사)
 2009년 3월~현재: 한국전파진흥협회 전자파기술원
 [주 관심분야] EMC 기술기준 및 표준, 디지털 통신 시스템

양 준 규



2008년 8월: 군산대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 1997년 12월~현재: 미래창조과학부 국립전파연구원 연구사
 [주 관심분야] EMC 기술 기준 및 정책