

복사성 전력 측정용 안테나 교정방법 연구

2009. 12.

제 출 문

본 보고서를 「복사성 전력 측정용 안테나 교정 방법 연구」
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2009. 12. 31.

연구책임자 : 이경희(이천분소 시험과)

연 구 원 : 박정규(이천분소 시험과)

서명원(이천분소 시험과)

문구선(이천분소 시험과)

유대훈(이천분소 시험과)

요 약 문

전파 간섭 등의 전자파 환경을 제어하는 제도로서 정보통신기기의 전자파장해와 무선기기의 전력 측정이 있다. 그 동안 무선기기의 전력은 전도성으로서 공중선전력으로 측정하였지만 전파환경의 효율적 제어라는 측면에서 불합리한 면을 해소하기 위하여 소출력 무선기기를 중심으로 실효복사전력(ERP) 또는 등가등방성복사전력(EIRP)으로 전환하는 추세이다. 이에 따라 복사성전력 출력제도를 뒷받침하기 위하여 복사성전력을 측정하는 안테나의 교정을 고려해야 한다. 전파연구소공고 제 2008-2호 「형식검정 및 형식등록 처리방법」에서 무선기기의 실효복사전력/등가등방성전력의 측정방법을 제시하고 있는데 이 방법은 측정대상 무선기기를 대신하여 치환용 안테나를 이용하는 방법이다. 그러므로 본 보고서의 목적은 1GHz 이상 대역 무선기기 측정용 송신 혼안테나에 대하여 야외시험장에서 교정방법을 고찰한다. 30MHz - 1GHz 대역의 측정용 안테나는 기존의 우리소의 안테나 교정방법인 3-안테나 높이 스캔평균법을 이용하거나 미국국립표준 규격인 ANSI 63.5의 표준시험장법을 준용하면 된다. 본 보고서에서는 ANSI 63.5에서 제시한 방법으로 안테나 교정 야외시험장에서 혼안테나의 교정방법을 분석하여 측정에 적용하였으며 불확도 내에서 충분한 측정결과를 산출하였다.

SUMMARY

The power radiated from some radio equipments is regulated by both conduction and radiation in Korea Radio Law. The EIRP or ERP are necessary that the measurement antennas are calibrated. In this report, as the calibration method of the antenna for radiated power measurement, ANSI 63.5 Standard Site Method and SAE ARP 958 method are considered, which the calibration methods originally are applied on EMI measurement. However, the two document can use to calibrate the antenna for radiated power measurement. The calibration methods are suggested according to the object and using the ANSI 63.5, the gain measurement for horn is performed in this document.

목 차

제 1 장 서 론	11
제 2 장 복사성전력 측정방법	12
제 1 절 무선기기 출력 측정의 종류와 안테나 교정	12
제 2 절 형식검정 및 형식등록 처리방법에서 규정한 복사성전력 측정	13
제 3 장 복사성 전력 측정용 안테나 교정방법	15
제 1 절 서 론	15
제 2 절 3-안테나법(Three Antenna Method)	16
제 3 절 ANSI 63.5 표준시험장법(30MHz-40GHz)	19
제 4 절 SAE의 표준교정방법	19
제 4 장 측정 및 실험	48
제 1 절 야외시험장 안테나 측정용 보조장치 제작	48
제 2 절 야외시험장에서 혼안테나 교정	56
제 5 장 결론 및 향후 과제	65
* 참고문헌	67

표 목 차

표 1 30MHz-1GHz 대역에서 ED^{\max} =(전송안테나 2m, 수신안테나 1-4m 스캔).....	21
표 2 혼안테나에 대한 ED^{\max}	21
표 3 RE01/RE101의 안테나 인자	43
표 4 4cm 교정 루프의 안테나 인자	43

그림 목차

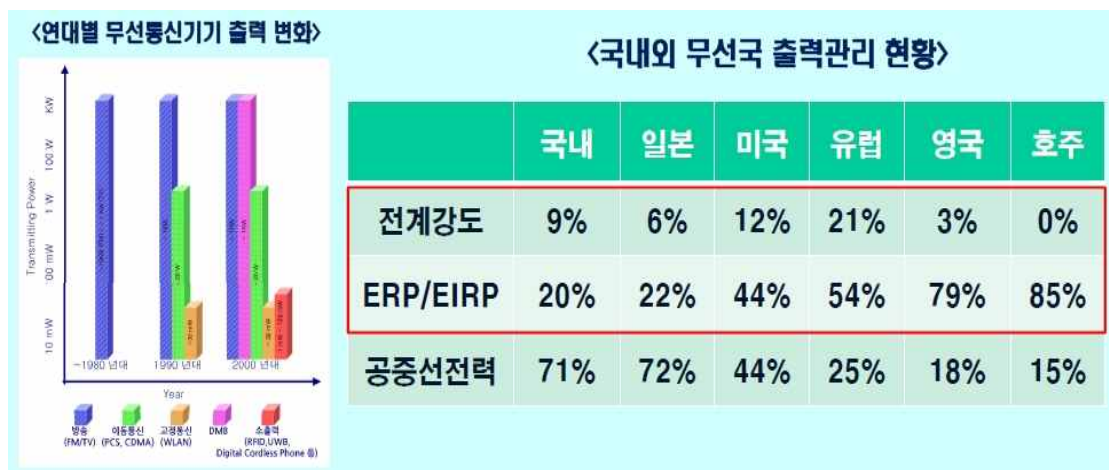
[그림 1] 무선국 출력관리 국내외 동향	11
[그림 2] 무선기기 출력측정의 종류	12
[그림 3] 전파연구소 공고 「형식등록 및 형식등록 처리방법」 복사성전력 측정 개념도	13
[그림 4] 3-안테나법 구성 및 안테나 쌍	17
[그림 5] 3-안테나법의 삼입손실 측정	17
[그림 6] 표준시험장법의 측정구성($hT = 2m$)	21
[그림 7] 30MHz에서 E_D 의 높이패턴과 E_D^{\max}	27
[그림 8] 100MHz에서 E_D 의 높이패턴과 E_D^{\max}	28
[그림 9] 500MHz에서 E_D 의 높이패턴과 E_D^{\max}	28
[그림 10] 1000MHz에서 E_D 의 높이패턴과 E_D^{\max}	29
[그림 11] 안테나 측정 기준면	34
[그림 12] 주파수 함수로서 $20\log_{10}9.73/\lambda$ 의 관계	36
[그림 13] 작은 루프안테나 교정의 설치	45
[그림 14] 안테나 장착 지지대	48
[그림 15] 레일 조립 규격	49
[그림 16] 레일 장착 및 지지대 설치	49
[그림 17] 각 봉간 연결도	50
[그림 18] 범용 Loop 및 Horn 안테나 고정용 지그	50
[그림 19] 대형 Loop 안테나 고정용 지그	51
[그림 20] 3단봉으로 구성된 안테나 장착 지지대	51
[그림 21] 높이를 측정하도록 구성된 눈금 봉	52
[그림 22] 안테나 지지대를 고정 및 움직이는 역할의 레일 조립	52
[그림 23] 레일 조립후 지지대 장착 및 수평조절 거리측정용 눈금자	53

[그림 24]	혼안테나의 개구면 일치 및 높이 조절과 거리 측정 ..	54
[그림 25]	혼 및 루프 안테나 고정용 지그 및 지지대 장착	55
[그림 26]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.5GHz)	56
[그림 27]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.6GHz)	57
[그림 28]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.7GHz)	57
[그림 29]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.8GHz)	58
[그림 30]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.9GHz)	58
[그림 31]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.0GHz)	59
[그림 32]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.1GHz)	59
[그림 33]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.2GHz)	60
[그림 34]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.3GHz)	60
[그림 35]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.4GHz)	61
[그림 36]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.5GHz)	61
[그림 37]	ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.6GHz)	62

[그림 38] ANSI 63.5의 표준시험방법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.7GHz)	62
[그림 39] ANSI 63.5의 표준시험방법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.8GHz)	63
[그림 40] ANSI 63.5의 표준시험방법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.9GHz)	63
[그림 41] ANSI 63.5의 표준시험방법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(3.0GHz)	64
[그림 42] 1.5GHz-3GHz 대역에서 1.8m 및 2m에서 측정한 안테나 이득의 차이{가로축 : 주파수(GHz), 세로축 : 이득차(dB)}	64

제 1 장 서 론

오늘날 정보화 사회에서 무선국 설비는 디지털화뿐만 아니라 방송기술 및 컴퓨터, 통신과 융합 또는 조합으로 무선국 기기의 종류 및 숫자가 폭발적으로 증대하고 있다. 이에 따라 전파자원의 효율적인 이용과 전파환경의 현실적인 규제의 필요성이 제기되어 왔다. 그동안 우리나라에서는 무선기기의 출력을 공중선전력[1]으로 규제하여 왔으나 소출력 중심의 근거리 통신이 확대됨에 따라 전파환경의 효율적 관리라는 면에서 복사성전력[2]을 병행하는 제도로 전환하는 추세이다. 그러나 표 1에서 보는 바와 같이 현재 우리나라에서는 복사성전력 : 공중선전력 비율이 1 : 3인 반면에 일본을 제외하고 미국 1 : 0.8, 유럽 1 : 0.3, 영국 1 : 0.2, 호주 1 : 0.18 등에서는 훨씬 작은 것으로 나타나 있다. 전파 출력의 공간 관리[3]라는 개념에서 향후 우리나라에서 공중선전력 측정기반의 무선기기 출력제도를 복사성전력 측정기반의 무선기기 출력제도로 점차로 이행되고 있으며 2008년에는 ISM 기기, 소출력 무선기기, 비신고 무선기기 등 기타 업무용 무선기기에 대하여 복사성전력 측정을 규제하며 2009년에는 셀룰라, PCS 단말기 등의 이동통신단말기, 2010년 이후에는 전기통신사업용 및 방송업무용 무선기기로 그 대상이 확대될 것으로 추정하며 이에 따라 위의 복사성전력 : 공중선전력 비율이 선진국 수준으로 근접해 갈 것이다. 이에 따라 복사성전력 출력제도를 뒷받침하기 위하여 복사성전력을 측정하는 안테나의 교정을 고려해야 하며 본 보고서의 목적은 복사성전력 측정용 안테나의 교정방법을 고찰하는 것이다.



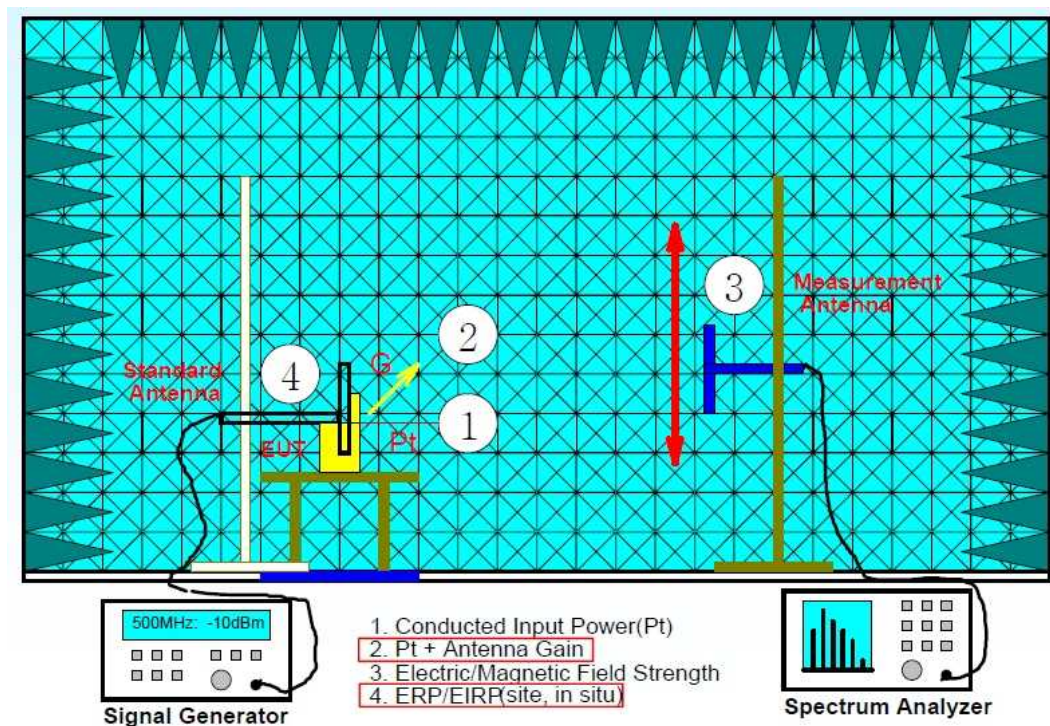
(ETRI 윤제훈 박사 : 2009.12.24 전파연구소 이천분소 전파누리관 준공 기념 세미나)

[그림 1] 무선국 출력관리 국내외 동향

제 2 장 복사성 전력 측정 방법

제 1절 무선기기 출력 측정의 종류와 안테나 교정

지금까지 무선기기의 출력은 전도성 측정으로서 공중선전력 P_t 측정이 주요 측정방법이며 공중에 전파되는 에너지로서 복사성전력의 측정은 무선기기의 종류에 따라 측정의 방법이 나뉘어 지고 있는데, 등가등방성복사전력(EIRP)/실효복사전력(ERP) 측정, 전계강도 측정, 무선기기의 안테나 이득 G 를 측정하고 공중선전력 P_t 를 더하여 그 결과 P_t+G 로서 측정하는 방법이 있다. 그림 2는 그와 같은 경우로서 무선기기 출력 측정의 종류를 보여준다. 그림에서 ①은 전도성으로서 공중선전력 P_t 이며 ②는 공중선전력 P_t 측정과 더불어 무선기기에서 분리된 안테나 이득 G 를 측정해야 한다. ③은 무선기기기가 방사하는 전계강도 또는 자계강도를 측정해야 함으로 이때는 측정용 안테나의 안테나 인자를 측정해야 하며 ④의 경우는 치환법으로서 무선기기에서 방사되는 전력을 송신용 치환 안테나로 대치하여 측정함으로 이때는 송신안테나의 이득을 측정해야 한다.



(ETRI 윤제훈 박사 : 2009.12.24 전파연구소 이천분소 전파누리관 준공 기념 세미나 자료 인용)

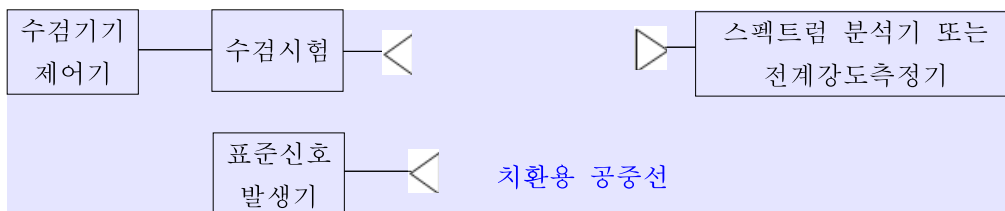
[그림 2] 무선기기 출력측정의 종류

그러므로 복사성전력을 측정하는데 있어서 안테나 교정은 측정용 안테나의 안테나 인자, 송신용 치환 안테나의 안테나 이득 측정으로 압축할 수가 있다.

제 2절 형식검정 및 형식등록 처리방법에서 규정한 복사성전력 측정

전파연구소공고 제 2008-2호 「형식검정 및 형식등록 처리방법」에서 무선기기의 실효복사전력/등가등방성전력의 측정방법을 별표에서 규정하고 있다. 이 방식은 기본적으로 치환법에 의한 방법을 근간으로 하고 있다. 측정 시험장의 요건에 대하여 언급하지는 않았지만 수신용 안테나의 높이에 따른 스캔 범위를 1 - 4 m로 하는 것으로 규정하고 있어 이는 복사전력 측정 시험장이 야외시험장이거나 전자파 반무반사실(Semi Anechoic Chamber)임을 암시하고 있다. 치환용 안테나는 일반적으로 30MHz - 1GHz에서는 다이폴 안테나, 1GHz 이상 대역에서는 혼안테나를 이용하지만 이에 대한 특별한 언급이 없기 때문에 EMI 측정용 안테나 및 기타 측정용 안테나를 사용할 수 있다고 해석된다. 이 공고의 복사성 전력 측정에 관한 주요한 내용 및 절차는 다음에서 인용한다.

2.1 시험 구성도



[그림 3] 전파연구소 공고 「형식등록 및 형식등록 처리방법」 복사성전력 측정 개념도

2.2. 측정기 조건

- o 별표4의 측정기 조건과 동일하게 설정한다.
- o 자동차의 타이어 공기압 경고장치와 무선 도어 개폐장치의 경우, 무변조 반송파를 송신한 조건에서 3 m 거리에서 측정한 전계강도(dB μ V/m)가 시험 신청출력(dBm)에 95.2를 더한 값 보다 작아야 한다.

예) 공중선이득을 포함해 5 mW(7 dBm)로 신청하는 경우, 3 m 거리에서 측정한 전계강도가 102.2 dB μ V/m 이하 일 것.

2.3 시험 절차

- ① 시험 구성도에 따라 측정공중선을 수직편파로 설치하여 수검기기와 측정용 공중선을 같은 높이로 마주 보도록 설치한다.
- ② 스펙트럼 분석기를 위와 같이 설정하고 송신신호를 수신한다.
- ③ 수검기기는 무변조로 송신시키고, 수검기기의 방향을 바꾸면서 수신 전력이 최대가 되도록 방향을 설정한다.
- ④ 측정 공중선의 높이를 지상으로부터 1 m에서 4 m사이의 범위에서 변화시켜 수신 전력이 최대가 되는 지점을 찾아 측정 공중선의 방향을 조정한다. 이 때의 스펙트럼 분석기 값을 기록한다.
- ⑤ 테이블에서 수검기기를 제거한다. 수검기기를 설치했던 위치에 SG와 연결된 대치 공중선을 설치한다. 측정 공중선과 동일한 편파 면이 되도록 대치 공중선의 편파면을 조정한다. SG로부터 동일 주파수로 송신된 전파를 수신한다.
- ⑥ 대치 공중선을 회전하여 가장 큰 전력방향으로 조정한다.
- ⑦ 측정 공중선의 높이를 지상으로부터 1 m에서 4 m사이의 범위에서 변화시켜 수신전력이 최대가 되는 지점을 찾아서 측정 공중선의 방향을 조정한다.
- ⑧ SG의 출력을 조절하여 앞에서 스펙트럼분석기에서의 값과 같은 값을 갖는 전력 P_S 를 기록한다.
- ⑨ 공중선 전력(e.i.r.p.)을 다음 식으로부터 구한다.

$$P_O = P_S + G_S - L_F \quad (2-1)$$

P_S : 표준신호 발생기의 출력(dBm)

G_S : 치환용 공중선의 절대이득(dBi)

L_F : SG와 치환용 공중선 사이의 급전선 손실(dB)

- ⑩ 측정공중선을 수평편파로 설정하고, 단계 ②에서 ⑨를 반복하여 최대값을 측정한다.
- ⑪ 위 절차에 따라 수직, 수평편파에서 구한 최대값을 전력값으로 한다.

산에 필요한 것은 미리 측정된 양으로서 치환용 안테나의 안테나 이득 G_s 이이
의 절차에 따라 측정한 복사성전력은 수식 (2-1)에 의하여 산출하는데 이 계다.
수신용 안테나는 측정값만을 읽어들이어 치환안테나 설치 전후의 값의 동일성만을
확인하기 때문에 그것의 안테나 이득이나 안테나 인자는 알 필요는 없다.

제 3 장 복사성 전력 측정용 안테나 교정방법

제 1 절 서론

복사성전력을 측정하는 방법은 무선기기의 종류에 따라 다음의 3가지로 구성된다.

- 전계강도 측정법
- 치환법
- 무선기기 공중선전력 + 무선기기 안테나 이득

우리나라 법체계에서 현재까지 가능한 복사성전력의 측정방법은 전계강도 측정법이나 치환법이라고 할 수 있다. 이러한 사실을 근간으로 복사성전력 안테나 교정을 고려해야 할 것이다. 전계강도 측정법에서 측정의 필요한 안테나는 무선기기가 방사하는 전계강도를 직접 측정하는 것으로서 수신 측정용 안테나이며 교정해야 할 물리량은 안테나인자(Antenna Factor)이다. 이것은 30MHz - 1GHz 대역의 기존의 EMI 측정용 안테나 -다이폴안테나(30MHz - 1GHz), 바이코니칼 안테나(30MHz - 300MHz), 대수주기 안테나(300MHz - 1GHz) 및 바이로그안테나(30MHz - 1GHz)-의 교정결과를 이용하면 될 것이고 또한 그에 따른 교정이 필요하다. 치환법에서는 송신용 치환안테나의 안테나 이득(Antenna Gain)의 교정을 수행해야 한다. 안테나 이득과 안테나 인자와의 상호관계는 다음 식으로 주어진다.

$$AF(\text{dB/m}) = 20\log_{10}9.73/\lambda - 10\log_{10}G \quad (3-1)$$

그러므로 안테나인자의 교정절차나 안테나 이득의교정절차는 같은 절차로 측정할 수 있으며 무엇을 먼저 측정하는지는 상관없이 위의 (3-1)식에 의하여 상호변환이 가능하다.

EMI 측정용 안테나의 교정방법은 대표적으로 3가지가 논의되고 있는데 3-안테나법(Three Antenna Method), 표준안테나법(Standard Antenna Method) 및 표준시험장법(Standard Site Method)이 그것이다. 30MHz - 1GHz 대역에서는 3-안테나법이나 표준안테나법은 높이 의존 안테나 인자 $F_A(h_R)$ 를 제공하기 때문에 자유공간안테나 인자 $F_{\text{Free-space}}$ 를 산출하기 위하여 추가적인

특별한 기술이 필요하다. 반면 표준시험장법은 원래 스윙 주파수로 지면으로부터 높이에 따라 안테나를 스캔하면서 시험장 삽입손실을 측정하는 동안 발생하는 상쇠간섭을 피하기 위해 개발되었다. 30MHz - 1GHz 대역의 복사성 전력 측정용 안테나는 기존의 전파연구소의 3-Antenna Height scanning Averaging을 사용하여 교정하거나 ANSI 63.5의 표준시험장법으로 교정하면 될 것이다.

일반적으로 EMI 측정용 안테나의 교정에 관한 규격은 존재하나 특별히 복사성전력 측정용 안테나의 교정에 관한 규격은 존재하지 않다. 그러나 복사성전력 측정용 안테나의 교정도 EMI 측정용 안테나의 교정을 준용하여도 원리상 하자가 될 것이 크게 없을 것이다. 다음 절부터 1GHz 이상의 주파수 영역에서도 교정이 가능한 방법을 논의한다. 물론 3절 ANSI 63.5 방법 및 4절 SAE ARP958의 규격에서는 명시적으로 EMI 측정용 안테나의 교정 절차라고 규정하였지만 이들을 복사성전력 측정용 안테나 교정에 이용하도록 하겠다.

제 2 절 3-안테나법(Three Antenna Method)

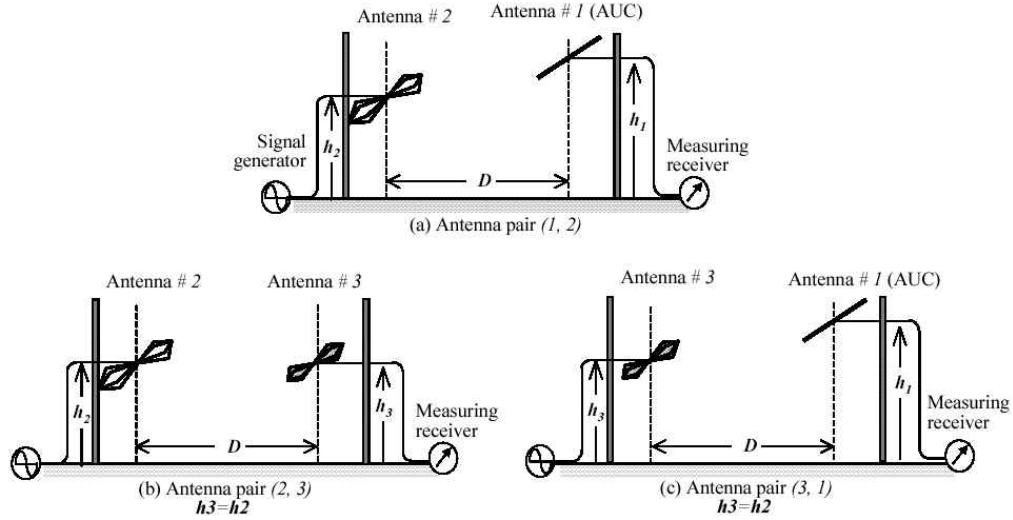
가장 일반적인 안테나 측정 및 교정방법으로서 통상적인 3-안테나법은 반사파가 존재하지 않는 자유공간 조건에서 측정한다. 30MHz - 1GHz 범위의 야외 시험장 측정조건에서는 자유공간 값을 측정하기 위하여 특별한 기술이 필요하지만 높은 주파수 대역에서는 고정된 높이에서 측정할 때 적용될 수가 있다.

3-안테나법은 안테나 교정 야외시험장 접지 평면으로부터 어떤 높이에 놓여진 세 개의 안테나 쌍에 대한 삽입손실을 측정함으로써 행해진다. 교정대상안테나 AUC(Antenna Under Calibration)외에 독립적으로 2개의 안테나가 더 필요하다.

- (a) 안테나들은 상호결합이 줄어들도록 충분히 멀리 떨어져야 하고 AUC는 안테나 및 접지평면의 이미지 안테나 사이의 결합을 줄이도록 충분히 높게 설치되어야 한다.
- (b) 추가로 D 와 h_2 는 수신안테나가 null의 위치에 놓이지 않도록 해야 하는데, null은 바로 인근의 최대 전계보다 10dB이상 낮은 지점으로 정의된다. null의 조건은 다음과 같은 방정식에 의하여 계산할 수 있다.

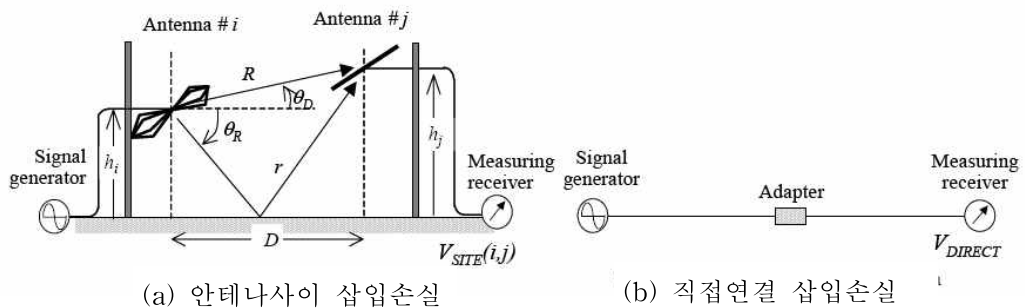
$$E(D, h_1, h_2) \propto \left| \sqrt{G_i(\theta_D)} \frac{e^{-jkR}}{R} - \sqrt{G_i(\theta_R)} \frac{e^{-jkr}}{r} \right| \quad (3-2)$$

여기서 R과 r은 직접파 및 반사파의 진행 거리이다.



[그림 4] 3-안테나법 구성 및 안테나 쌍

파수 벡터 k 는 파장 λ 에 대해 $k=2\pi/\lambda$ 로 정의된다. $G_i(\theta)$ 는 θ 방향에서 안테나 i 의 지향성 이득이다. θ 는 수평면에 대한 각이다. θ_D 와 θ_R 은 각각 직접파와 반사파의 각이다. 안테나 쌍 (i, j) 의 시험장 삽입손실은 [그림 5]와 같은 구성에 따라 측정되어야 한다.



[그림 5] 3-안테나법의 삽입손실 측정

- (a) 안테나 i 에 연결된 신호발생기를 안테나 j 의 위치에서 충분한 세기의 전기장이 발생하도록 조정한다. RF신호를 측정하는 수신기는 신호발생기의 주파수에 동조되어 안테나 j 에 연결되어야 한다. 신호발생기는 수신기의 등가 잡음 입력(Equivalent noise input) 보다 적어도 15dB이상의 신호가 수신기 입력단에 발생할 수 있도록 충분히 높아야 한다. 신호발생기의 출력 및 수신기 그리고 안테나 포트에서 입력 임피던스의 부정합(mismatching)은 반사파를 유발하여 안테나 교정의 에러를 발생시킬 수 있다. 그러므로 신호발생기와 수신기는 리턴로스가 가능한 한 큰 것을 이용해야 한다. 안테나와 케이블 연결부에 감쇠기를 연결하여 측정함으로써 에러를 최소화 할 수 있다. 부정합 에러는 안테나 교정의 측정불확도 분석에 반드시 포함되어야 한다. 안테나 j 로부터 유도된 출력전압 $V_{site}(i, j)$ dB μ V 단위로 측정한다. 신호발생기나 측정용 수신기 대신에 네트워크분석기를 사용할 수도 있다.
- (b) 케이블을 연결된 안테나와 분리시키고 서로서로 직접 연결하여 dB μ V 단위로 출력전압 V_{direct} 를 측정한다. $V_{site}(i, j)$ 와 V_{direct} 를 측정하는 동안 신호발생기의 주파수 및 출력 레벨을 일정하게 유지시켜야 한다.
- (c) 두 안테나 사이의 삽입손실은 dB 단위로 다음과 같은 방정식에 의해서 계산한다.

$$L_{ij} = V_{direct} - V_{site}(i, j) \quad (3-3)$$

수신기나 네트워크 분석기가 전력을 dBm으로 측정한다면 위의 방정식은 다음과 같은 방정식과 등가가 된다.

$$L_{ij} = P_{direct} - P_{site}(i, j) \quad (3-4)$$

- (d) 위의 측정으로부터 세 개의 안테나에 대한 안테나인자를 산출하기 위한 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
F_1(h_1) &= \frac{1}{2} [L_{12} - L_{23} + L_{31} + 20\log f_{MHz} + C_{12} - C_{23} + C_{31} - 32] \\
F_2(h_2) &= \frac{1}{2} [L_{23} - L_{31} + L_{12} + 20\log f_{MHz} + C_{23} - C_{31} + C_{12} - 32] \quad (3-5) \\
F_3(h_3) &= \frac{1}{2} [L_{31} - L_{12} + L_{23} + 20\log f_{MHz} + C_{31} - C_{12} + C_{23} - 32]
\end{aligned}$$

여기서

$$C_{lm} = 20\log \left| \frac{e^{-jkR_{lm}}}{R_{lm}} - \frac{e^{-jkr_{lm}}}{r_{lm}} \right| \quad (3-6)$$

$$R_{lm} = \sqrt{D^2 + (h_l - h_m)^2} \quad (3-7)$$

$$r_{lm} = \sqrt{D^2 + (h_l + h_m)^2} \quad (3-8)$$

밑첨자 1 및 m은 세 개의 안테나 1, 2, 3을 의미하고, L_{lm} 은 안테나 l과 m 사이의 시험장 삽입손실이다.

각 안테나 이득은 (3-5)의 안테나인자 방정식과 (3-1)의 이득과의 관계로부터 산출할 수 있다.

제 3 절 ANSI 63.5 표준시험장법(30MHz-40GHz)

미국표준규격(ANSI 63.5)에서는 30MHz에서 40GHz 대역의 EMI 측정용 안테나의 안테나 인자를 측정하는 방법과 절차를 규정하였다. 다이폴안테나, 바이코니칼 안테나, 대수주기(LPDA) 안테나 및 혼안테나를 교정하는 것으로 규정하고 있다. 복사성전력 측정용 안테나에 적용해도 될 것이며 그 절차와 방법은 다음과 같으며 30MHz-1GHz 대역 교정시 수신안테나의 스캔범위가 1-4m인 반면에 1GHz 대역 혼안테나의 수신안테나는 스캔하지 않는 고정된 송신안테나와 같은 높이가 된다. 그에 따라 최대 수신 전계강도 E_d^{\max} 의 계산도 다르며 각각 다음과 같이 주어지며 구체적인 계산값은 표 3-1 및 표 3-2에서 예시되어 있다. 혼안테나에 관하여 여기서의 예시값은 안테나 사이의 거리가 3m인 경우이다.

- 30MHz-1GHz 대역 다이폴, 바이코니칼, 대수주기 등

$$E_{DH}^{\max} = 49.2^{1/2} \times \{d_2^2 + d_1^2 + 2 \times d_1 \times d_2 \times \cos[\phi_h - \beta(d_2 - d_1)]\}^{1/2} / (d_1 \times d_2) \quad (3-9)$$

- 1GHz 이상 대역 혼안테나

$$E_D^{\max} = 10 \times \log 49.2 - 20 \times \log R \quad (3-10)$$

ANSI 63.5의 주요내용은 다음과 같다.

3.3.1 일반사항

표준시험장법은 30 MHz에서 1000 MHz 주파수 대역의 안테나인자를 미국 국내 및 국외에서 사용하기 위한 용도로 측정하는 것으로 전적으로 수평편파에 관한 것이며 국내 및 국외 양쪽 경우 공히 측정방법은 같다. 측정거리는 10 m 이고 전송안테나 높이는 2 m 이며, 수신안테나는 1 m에서 4 m 높이를 가변 하며 추적한다. 표 2에 주석을 달아 E_D^{\max} 와 이상적인 시험장 감쇠량 값을 제시하였으며 [그림 6]은 측정의 기하구조를 보여주고 있다.

안테나 인자를 결정하는 표준시험장법(Smith [B11])은 안테나 교정용 표준 시험장이 필요하며 본 절차는 바이코니칼 안테나, 동조 다이폴안테나, 대수 주기 안테나 및 선형편파 혼성 배열 안테나에 대한 준 자유공간안테나 인자를 제공한다. 바이코니칼 안테나에 대해 자유공간 보정값은 측정결과에 적용 해야 하며 부록 G에서 제시하고 있다. 동조 다이폴안테나의 상호 결합 보정 인자도 적용해야 하며 ANSI C63.5-2003에서 제시하였다. 나머지 안테나의 준 자유공간 안테나 인자는 ANSI C63.4에서 지정한 것처럼 더 이상의 보정 없이도 사용할 수 있다.

시험장의 불완전성에 의해 야기되는 안테나 인자 교정 오차는 부록 I의 절차를 이용하여 평가할 수 있다.

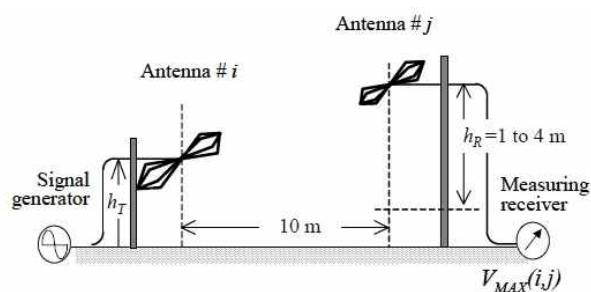
[그림 6] 표준시험장법의 측정구성($h_T = 2\text{m}$)

표 3-1 30MHz-1GHz 대역에서 E_D^{\max} =(전송안테나 2m, 수신안테나 1-4m 스캔)

주파수[MHz]	E_D^{\max} [dB μ V/m]
30	-4.76
35	-3.56
40	-2.55
45	-1.69
50	-0.95
60	0.24
70	1.09
80	1.69
90	2.05
100	2.21
120	2.39
140	2.49
160	2.56
180	2.60
200	2.63
250	2.68
300	2.71
400	2.71
500	2.57
600	2.63
700	2.67
800	2.69
900	2.71
1000	2.72

표 3-2 혼안테나에 대한 E_D^{\max}

	내용
h_1 [m]	≥ 2
h_2 [m]	≥ 2
f_M [GHz]	1 - 40
E_D^{\max} [dB μ V/m]	7.38

안테나 인자는 표준시험장법을 사용하는 기준시험장으로서 표준안테나 교정 시험장에서 수평편파에 대해서만 결정해야 한다. 수평편파 측정은 시험장의 변동에 비교적 덜 민감하며 비록 교정하는 동안에 반사 평면이 자유공간 환경을 조성하지 못하더라도 수긍할 만한 안테나 인자를 산출한다. 다음과 같은 이유로 수평편파를 안테나 교정에 대해 더 선호한다.

- a) 안테나와 그에 직교하는 케이블 사이의 상호결합은 무시되고
- b) 케이블로부터 일어나는 난반사가 무시되며
- c) 수평편파의 접지면 반사는 수직편파 접지면 반사보다 접지면의 전도도 및 유전율 차이에 덜 민감하며
- d) 수평편파가 접지면 모서리 반사가 적다.

표준시험장법을 사용하여 얻어진 바이코니칼 안테나인자는 준 자유공간안테나 인자이며 이 인자들은 표 G.1.에서 제시한 보정인자를 사용하여 자유공간 안테나 인자로 보정해야 한다. 바이코니칼 안테나에 대하여 NSA 측정에 사용된 것과 다른 기하구조를 고려하여 자유공간안테나인자(FSAF)를 보정하기 위하여 표 G.2와 G.3을 이용한다. 추가적인 상세한 내용은 부록 G를 참조하시오.

3.3.2 측정방법 설명

그림 2에서 보는 바와 같이 표준시험장법은 세 개의 안테나에 대한 세 개의 안테나 쌍을 사용하여 동일한 기하구조 (h_1, h_2, R)에서 세 개의 시험장 감쇠량 값이 필요하다. 세 개의 시험장 감쇠량 측정값과 관련한 세 개의 방정식은 다음과 같다.

$$AF_1 + AF_2 = A_{12} + 20\log f_M - 48.92 + E_D^{\max} \quad (3-11)$$

$$AF_2 + AF_3 = A_{23} + 20\log f_M - 48.92 + E_D^{\max} \quad (3-12)$$

$$AF_3 + AF_1 = A_{31} + 20\log f_M - 48.92 + E_D^{\max} \quad (3-13)$$

(모든 방정식은 dB 단위이다)

여기서

E_D^{\max} 는 전송안테나로부터 이격거리 R 에서 수신 최대 전계강도이며 그 값은 표 2와 표 3에서 $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 로 제시하고 있다(Smith [11] 및 부록 A 참조)

AF_1, AF_2, AF_3 는 각각 안테나 1, 2 및 3의 dB/m 단위의 안테나 인자이며

A_{12}, A_{23}, A_{31} 은 dB로 표시한 시험장 감쇠량 측정값이고

f_M 은 MHz로 표시한 주파수이다.

방정식 (3-11), (3-12), (3-13)을 연립하여 풀면 최대 총 전계강도 E_D^{\max} 와 측정된 시험장 감쇠량 A_n 의 항으로 표현할 수 있으며 다음과 같다.

$$AF_1 = 10\log f_M - 24.46 + 1/2(E_D^{\max} + A_{12} - A_{23} + A_{31}) \quad (3-14)$$

$$AF_2 = 10\log f_M - 24.46 + 1/2(E_D^{\max} + A_{23} - A_{31} + A_{12}) \quad (3-15)$$

$$AF_3 = 10\log f_M - 24.46 + 1/2(E_D^{\max} + A_{31} - A_{12} + A_{23}) \quad (3-16)$$

만일 두개의 동등한 안테나를 교정한다면 안테나인자 $AF[\text{dB/m}]$ 한 번의 시험장 감쇠량 $A(\text{dB})$ 을 측정하여 얻을 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$AF = 10\log f_M - 24.46 + 1/2(E_D^{\max} + A) \quad (3-17)$$

실제로 두 개의 안테나는 결코 동일할 수가 없고 방정식 (3-17)에서 계산한 안테나인자는 두 안테나 각각에 대한 개개의 안테나인자들의 기하평균(선형 단위로)이 된다. 어떤 안테나는 거의 동등하게 제작되어 그들의 안테나인자는 불확도 보다는 훨씬 차이가 적다.

안테나인자가 알려진 안테나를 이용하여 두개의 안테나를 교정하는 경우 미지의 두 안테나의 안테나인자 방정식은 다음과 같다.

$$AF_1 = A_1 + 20\log f_M - 48.92 + E_D^{\max} - AF_2 \quad (3-18)$$

여기서 AF_2 는 알려진 안테나인자 이다.

주) 방정식 (3-11에서 3-18)의 정확성은 시험장 감쇠량을 계산하는데 사용하는 모델의 완벽성에 의존한다. 그 모델의 보정은 바이코니칼 안테나를 사용하는데 유도되었다(상세한 사항은 부록 F와 G 참조) 기타 다른 안테나에 대한 준자유공간 안테나인자는 측정의 기하구조가 $R=10\text{m}$, $h_1=2\text{m}$, $h_2=1-4\text{m}$ 스캔, 그리고 수평편파인 경우에 얻어진다.

방정식 (3-14)에서 (3-17)까지 통하여 시험장 감쇠량 측정 오차는 측정방법의 적절한 선택으로 최소화 할 수 있다. 왜냐하면 시험장 감쇠량은 V_{direct} 와 V_{site} 의 비율을 측정함으로서 결정되기 때문이다. 여기서 V_{direct} 는 측정장비들, 신호발생기와 수신기 등이 케이블과 감쇠기로 직접 연결되어 있을 때 수신기의 입력 전압이며 V_{site} 는 같은 케이블과 감쇠기에 전송 및 수신안테나가 연결되어 있을 때 수신기의 입력전압이다. 주파수 뛰엄뛰엄 방식(Discrete frequency method) 및 주파수 휩쓸 방식(swept frequency method)으로 시험장 감쇠량을 측정하는 방법은 측정된 NSA를 결정하기 위하여 안테나 인자들을 뺀다는 것을 제외하고는 ANSI C63.4-2003에서 제시한 정규화 시험장 감쇠량 측정방법과 동등하다. 대신 안테나 인자를 결정하기 위하여 이론적인 NSA를 사용한다.

수신안테나의 높이 h_2 를 높이에 따라 가변하여 전계강도의 세기를 추적하는 것은 높이의 작은 변화에도 전계강도의 세기가 극심하게 변동하는 민감 위치(null)를 피하기 위한 현실적인 이유에서 요구하는 것이다.(민감 위치가 있는 영역에서 전계의 커다란 위치 변화율은 안테나 위치 변화의 작은 오차에 대해 커다란 측정 오차를 유발할 수 있다) 안테나 교정에 있어서 안테나 사이의 분리거리는 10m를 권고한다. 금속 접지면 위에서 이러한 기하구조에 대한 E_D^{max} 는 표 2에서 제시하며 광대역 혼 안테나도 같은 방법을 사용하여 교정할 수 있으나 접지면 반사위치가 안테나의 빔 내에 놓이지 않는 기하구조에서 높이에 따른 전계강도 추적이 필요치 않은 경우는 예외가 된다. 확연히 다른 두 높이(높이차가 0.5m, 또는 시험높이의 10% 중 더 큰 높이차)에서 교정을 수행하고 그 안테나 교정 두 결과값 사이의 차이가 기대한 측정 불확도내에 있다는 것을 보임으로써 이러한 것을 증명할 수 있다. 이러한 기하구조에 대하여 위의 방정식의 E_D^{max} 대신에 사용하는 이론적이 E_D 값은 부록 A에서 주어졌다. 혼 안테나는 $R=2D^2/\lambda$ 과 같거나 더 먼 거리에서 교정해야 하며 $R=2D^2/\lambda$ 보다 더 작은 거리에서 교정하지는 말아야 한다. D 는 안테나 개구면의 가장 큰 선형크기(폭 또는 높이)이며 λ 는 고려하고 있는 주파수의 파장이며 공히 단위는 m 이다.

주) $R=2D^2/\lambda$ 보다 짧은 거리에서 교정한 안테나는 단지 그 교정된 거리에서만 사용하여야 한다.

3.3.3 측정 절차

시험장 감쇠량을 결정하는 데는 두개의 측정절차, 주파수 뛰어뛰엄 측정방식 및 주파수 휩쓸 측정방식을 이용한다. 주파수 뛰어뛰엄 방식은 신호발생기 및 수신기 또는 스펙트럼분석기를 요구하고 광대역 안테나 또는 동조형 안테나가 사용될 수 있다. 주파수 휩쓸 방식은 트래킹 제네레이터와 자동 스펙트럼분석기 또는 기타 자동으로 측정하는 장비들을 요구하며 광대역 안테나만을 이용하여야 한다. 광대역 안테나에 대하여 측정 할 주파수의 최소수는 좀더 연구하고 있는 중이다. 그러나 측정할 주파수의 최소수는 주파수에 따른 안테나 인자의 모양을 충분하게 나타내어야 하며 그에 따라 주파수와 주파수 사이의 내삽 오차가 안테나의 교정 불확도 보다 1/3 이상 작아야 한다.

주) 수신안테나 높이의 함수로서 E_D^{\max} 의 변화는 측정기기의 주파수 휩쓸 속도의 함수로서 불충분한 안테나 마스트 속도 때문에 오차가 야기될 수 있다. 매 5cm 마다 한번의 주파수 휩쓸을 제안하지만 그런 조건은 현재 연구 중에 있다. 이 5cm 라는 값은 1000MHz, 3m 거리에서 E_D^{\max} 가 최악의 변화를 겪는 경우를 기초로 하고 있다.

3.3.1 주파수 뛰어뛰엄 측정방식

주파수 뛰어뛰엄 측정방식은 특정한 주파수에 대하여 측정을 행한다. 30MHz에서 1000MHz까지 그 측정 주파수는 표 2에서 볼 수 있다. 각 주파수에서 수신 신호가 최대가 되도록 표 2 또는 표 3에서 제시하고 있는 적절한 높이 영역에서 수신 안테나가 추적측정(Scanning)을 행한다. 안테나인자를 얻기 위하여 이렇게 측정한 파라미터 값을 방정식 (4), (5), (6)에 대입한다. 그림 2에서 보여주는 측정의 기하구조를 참조하시오. 혼안테나에 대해서는 전송 및 수신 안테나가 2m 이상의 똑같이 고정된 높이에서 측정을 수행한다.

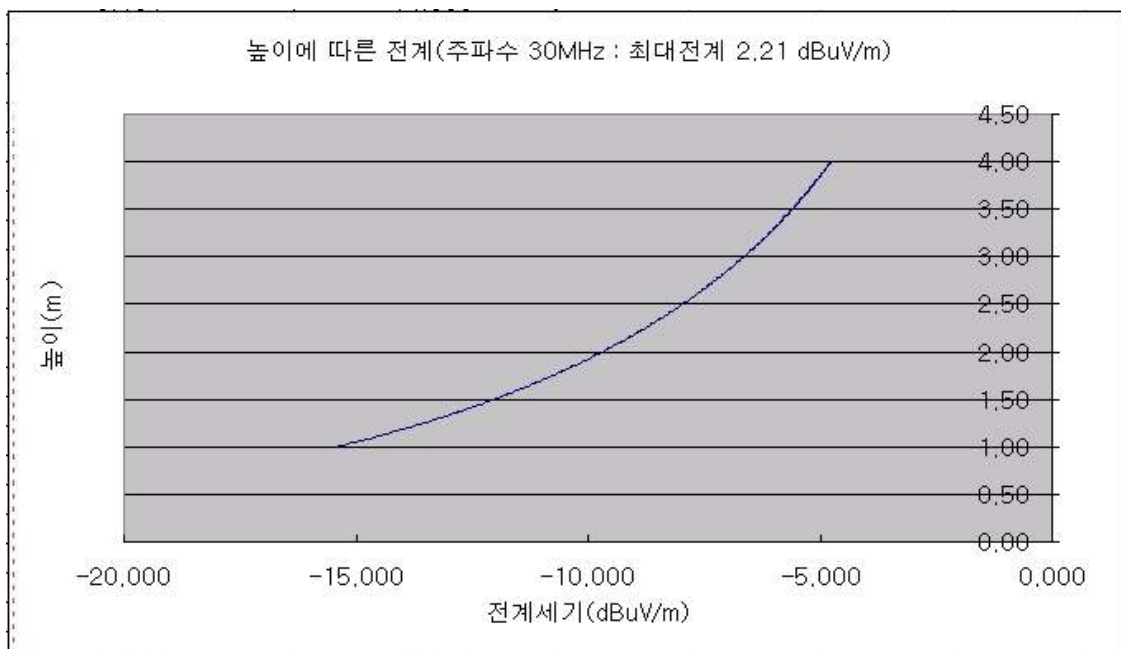
부록 B에 계산을 수행하는데 필요하고 편리한 워크시트가 있다. 그림 B.1에 데이터 기록과 시험장 감쇠량 계산 시트가 있으며 그림 B.2에는 그림 B.1의 사용 예가 그림 B.3에는 안테나인자 계산 시트 및 그림 B.4에는 그림 B.3의 이용 사례가 있다.

3.3.3.1.1 절차

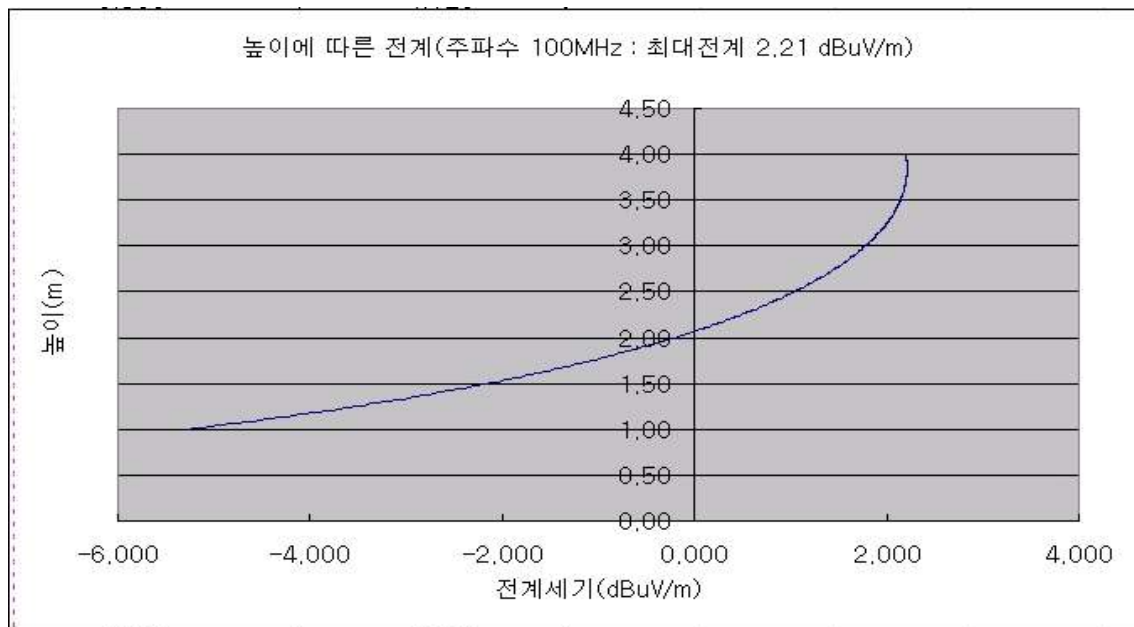
- 1) 신호발생기, 증폭기 또는 예비증폭기 및 측정용 기기 등은 장비의 제조자가 지정한 시간 만큼 예열한다. 다중 대역 증폭기를 이용하는 경우에 주의를 요해야 한다. 이 증폭기들은 대역을 전환할 때 예열하기 위한 추가 시간이 필요하다. 이는 다른 주파수 성분들이 각각의 대역에서 사용될 수도 있으며 대역이 전환되는 경우에 그 주파수 성분들이 안정되지 않을 수도 있기 때문이다. 신호발생기 출력 V_1 을 측정하는 동안 내내 일정하게 유지해야 한다. 측정기기는 케이블을 직접 연결하여 측정한 값[절차 3)]과 안테나를 연결하여 간접적으로 측정한 값[절차 4)] 사이의 차이를 기록할 수 있도록 충분한 다이내믹 레인지를 가져야 한다. 케이블을 직접 연결하여 측정하는 과정 동안에는 고품질이며 안테나 감쇠 손실과 거의 같은 감쇠를 갖는 교정된 감쇠기를 사용하도록 한다. 이러한 감쇠기를 사용함으로써 기기의 비선형성에 의하여 야기되는 불확도를 줄여 상대 진폭 측정시 정확도를 보장한다.(감쇠기를 삽입하는 것과 연관된 불확도에 관하여 부록 I를 참조) 만일 감쇠기를 사용한다면 감쇠기의 주파수 응답을 직접 연결 측정으로부터 정규화 하여야한다. 만일 감쇠기를 사용하지 않는다면 직접연결 측정 및 간접연결 측정간의 차이가 60dB 또는 그 이상이 될 수도 있다.
- 2) 측정 거리, 전송안테나의 높이 및 주파수를 선택하고 첫 번째 안테나 쌍으로서 안테나 1과 2를 케이블과 연결하는데, 신호가 출력되는 전송안테나와 신호를 측정하는 기기인 스펙트럼분석기나 수신기에 감쇠기를 부착한다. 측정기기가 최대 수신 신호를 수신하도록 동조시키고 수신안테나의 높이를 최대수신신호가 되도록 조정한다. 기록되는 최대 수신 신호는 주위 잡음과 바닥 잡음보다 적어도 16dB 이상이 되는지 확인한다. 수신기기가 지시하는 기준값에 대하여 치환용 감쇠기를 조정한다. 그림 B.1에서 V_{site} 로서 이러한 데이터를 기록한다.
- 3) 안테나로부터 케이블과 감쇠기를 떼어내고 송수신 양쪽 케이블과 감쇠기를 어댑터로 직접 연결한다. [그림 5]에서처럼 V_{direct} 를 측정 기록한다. 이러한 케이블-케이블 직접 연결 측정은 시험장의 온도차가 5°C 이상이면 언제라도 반복해서 측정해야 한다.

- 4) 과정 3)의 케이블-케이블 직접연결 측정의 감쇠량에서 과정 2)의 안테나-안테나에 대한 감쇠량 값을 빼서 시험장 감쇠량 A_{12} 를 기록한다.
- 5) 주파수를 바꾸어 과정 2)에서 과정 4)를 반복한다.
- 6) 모든 주파수에 대하여 측정이 완료되면 나머지 안테나 쌍 (안테나 2, 3 그리고 안테나 3, 1)에 대해서 과정 2)에서 과정 4)를 반복하여 시험장 감쇠량 A_{23} 과 A_{31} 을 얻는다. 방정식 (3-14)에서 (3-16)과 E_D^{\max} 에 대한 표 2와 표 3을 이용하여 안테나 인자를 계산한다.

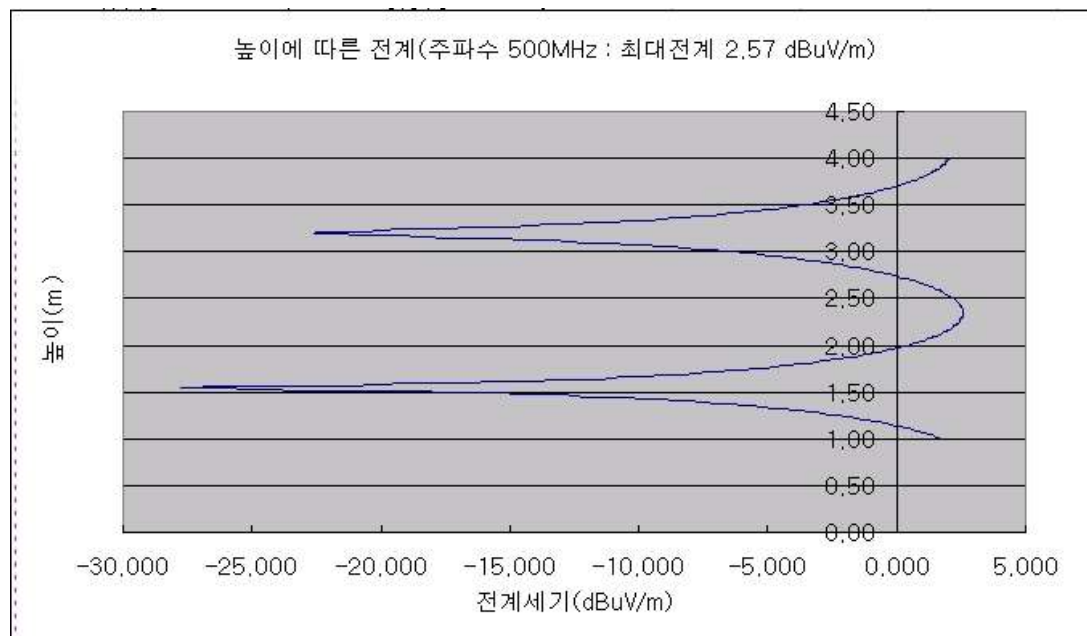
몇가지 주파수에 대하여 방정식 (3-9)의 E_D 의 높이 패턴과 E_D^{\max} 값의 계산 결과는 [그림 7]부터 [그림 10]에서 보여준다.



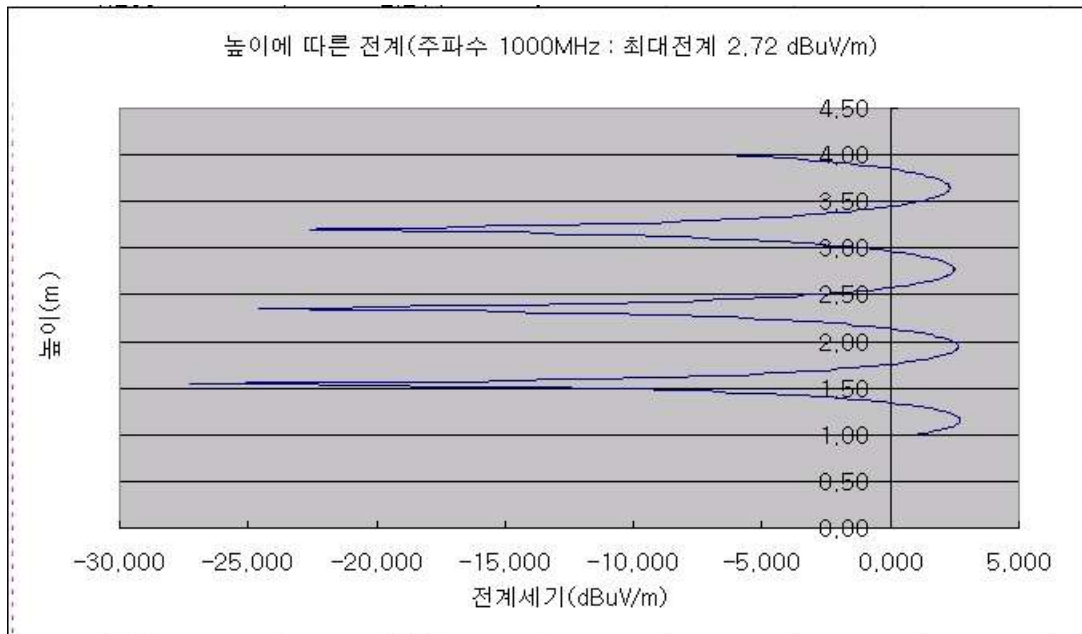
[그림 7] 30MHz에서 E_D 의 높이패턴과 E_D^{\max}



[그림 8] 100MHz에서 E_D 의 높이패턴과 E_D^{\max}



[그림 9] 500MHz에서 E_D 의 높이패턴과 E_D^{\max}

[그림 10] 1000MHz에서 E_D 의 높이패턴과 E_D^{\max}

제 4 절 SAE의 표준교정방법

우주항공권고실무(SAE : Aerospace Recommended Practice)의 ARP958의 안테나 교정 절차는 “전자파장해 측정용 안테나의 표준교정방법”이라는 제목으로 바이코니칼안테나, 동조 다이폴, 대수주기 다이폴, 로그 스파이어럴(200MHz - 10GHz), 측정용 안테나의 교정, 더블 리지드 혼, 표준 혼안테나, 루프 안테나 및 수직 모노폴 안테나의 교정방법을 권고하고 있다. 주요 내용은 다음과 같다.

3.4.1 범위

3.4.1.1 목적

이 SAE 문서는 전자파장해 측정용 안테나의 점검과 교정을 위한 항공실무서이다. 본 문서는 차폐실내에서 안테나로부터 1m 거리에 떨어져 있거나 또는 더 먼 거리에 있는 원거리장 전자파소스를 측정하는 경우를 가장 우선적으로 적용한다. 군사규격(military)에서 EMC 시험을 수행하기 위한 대표적인 거리는 1m이다. 본 문서는 교정방법에 대한 것으로서 차폐실의 특성은 고려하지 않으며, 알려지지 않은 전자파 소스에 대해서도 논의하지는 않지만

전자파 소스를 발생하는 다른 안테나에 기반을 두기 때문에 실제적이라 할 수 있다. 이 문서는 2.1과 2.2에 따른 측정을 수행하여 안테나인자를 결정하는 기술을 나타낸다. 개정판 B의 목적은 작은 루프안테나와 같은 안테나를 포함하는데 그것은 여기서와 같은 기준으로 사용하도록 되어있다. 개정판 D는 시험기기로부터 1m 이격거리에 있는 루프안테나에 대한 특별한 절차를 포함한다.

3.4.1.2 적용 안테나

개정판 A와 B는 신호원이 1m 거리에 떨어져 있을 때 측정을 수행하는 수동 및 능동 안테나에 대한 것이다. 대표적인 안테나들은 다음과 같다.

- a. 바이코니칼
- b. 동조 다이폴
- c. 대수주기 다이폴
- d. 대수 스파이어럴(200MHz ~ 1GHz)
- e. 대수 스파이어럴(1GHz ~ 10GHz)
- f. 이중 리지드 혼
- g. 대수주기 안테나
- h. 표준혼 안테나
- i. 루프 안테나
- j. 수직 모노폴안테나

현재 “104cm(41in)” 막대형 안테나는 능동 안테나 이다. 그것은 이전에 제출된 ARP958에서는 교정할수 없었다. 막대형 안테나의 이론 특성이 잘 이해되어, 전자공학에서 이득이라는 것을 안테나를 기반으로 이해하기 위하여, 실제적으로 교정분야가 관계하게 된다. 개정판 B에서 정의한 것처럼 신호를 대체한 소스를 사용하여 위의 안테나들을 교정한다.

루프안테나 “RE01/RE101”과 “RS01/RS101”은 시험대상기기로부터 거리가 1m 보다도 훨씬 가까운 곳에서 사용하지만 별도의 절에서 교정절차를 논의한다.

3.4.1.3 일반적 배경과 한계

본 문서는 원래 원추형대수나선안테나(conical logarithmic spiral antenna)의 안테나인자를 측정하도록 기획되었지만, 3.4.1.2에서 나열한 안테나들에게도 적용된다. 접지면의 반사가 없는 원거리장(far field) 조건에서 안테나인자를 측정하고 계산한다. 원거리장에서 1m 거리까지 변화하면서 측정하는 본 문서의 교정방법은 안테나인자에서 dB 단위로 약간의 변화만을 줄 뿐이다. 안테나 사이의 분리거리, 접지면으로부터 높이, 접지면에 대한 안테나의 편파 및 접지면의 전도도가 안테나인자에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다.

3.4.3. 이론적 접근

3.4.3.1 안테나인자

전자파장해(EMI)를 측정하기 위하여 안테나는 수신기의 입력전압(V)을 전계(E)로 변환시키는 안테나인자가 지정되어야 하는데, 참조문헌 2.1에서 규정한 방사한계 값($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)과 비교하기에 적절한 단위로 표시해야 하며 다음과 같이 정의한다.

$$E = AF \times V \quad (3-19)$$

여기서

$E = \text{V}/\text{m}$

$V = \text{volts}$

이다.

AF는 전력밀도(W/m^2)의 제곱근으로부터 유도되는 안테나 전력이득을 근간으로 하는 안테나의 인자이다. dB로의 변환은

$$E = 20 \log_{10} (AF \times V) \quad (3-20)$$

이며 $E = \text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 및 $V = \mu\text{V}$ 이다.

AF는 이득측정과 유사한 안테나 교정에 기초한 안테나인자이며 이후부터는 1m 이득으로 언급하며 EMC의 구성성분과 레벨을 규정한 전자파적합 시험에

대해 안테나의 실제적인 사용조건(소스로부터 1m 거리)하에서 수행된다. RF의 50Ω 체계에서 안테나인자를 안테나 이득(G)과 파장(λ)으로 표시하면 다음과 같다.

$$AF = 9.73/(\lambda\sqrt{G}) \quad (3-21)$$

안테나 이득은 어떤 방향에서 방사전력밀도와 평균방사전력밀도와의 비율이다.

평균방사전력밀도는 반지름이 1인 구의 표면을 통과하는 등방성 방사를 말한다.

3.4.3.2 일반 안테나 이득

안테나 패턴을 측정함으로써 적분으로 표시된 안테나 이득에 대한 다음과 같은 표현식으로부터 안테나 이득을 얻을 수 있다.

$$G = \frac{\Phi(\theta, \phi)}{(1/4\pi) \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \Phi(\theta, \phi) d\phi \sin\theta d\theta} \quad (3-22)$$

여기서

θ, φ = 라디안으로 표시된 구면좌표

Φ = 주어진 방향에서 단위 입체각을 방사하는 전력

3.4.3.3 두개의 동등 안테나 이용

“1m”라는 것은 “본래 의미의”가 적용되는 조건을 정의하기 때문에 “1m 이득”이라는 용어는 “본래 의미의 이득” 대신에 선택된 용어이다. 1m 이득은 안테나 이득 방정식으로부터 계산할 수 있다. 이 방법은 편파를 일치시킨 두개의 동등한 안테나를 이용한다(안테나 이득에 현저한 차이가 있는 경우 부록 C를 참조하시오). 수신 전력과 다음과 같은 관계가 있다.

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi r^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_R \quad (3-23)$$

여기서

G_T 및 G_R = 전송 및 수신 안테나의 이득

P_R = W 단위의 수신 전력

P_T = W 단위의 송신 전력

r = m 단위의 안테나 사이 거리

λ = m 단위의 파장

만약 $G_T = G_R$ 이라면 방정식 (3-23)은

$$G^2 = \left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{P_R}{P_T} \quad (3-24)$$

가 된다.

만일 송신 및 수신 시스템이 둘다 50Ω 으로 정합되어 있고 측정이 전력대신 전압이라고 한다면 방정식 (3-24)은

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \cdot \frac{V_R}{V_T} \quad (3-25)$$

이며 여기서

V_R = 수신 안테나 측의 전압

V_T = 송신 안테나 측의 전압

(G 를 차원이 없는 비율의 형식으로 두개의 전압을 측정함으로써 결정하더라도 ‘전력 이득’이라고 일컫는다는 것에 주의하시오.)

3.4.3.4 이득과 1m 이득

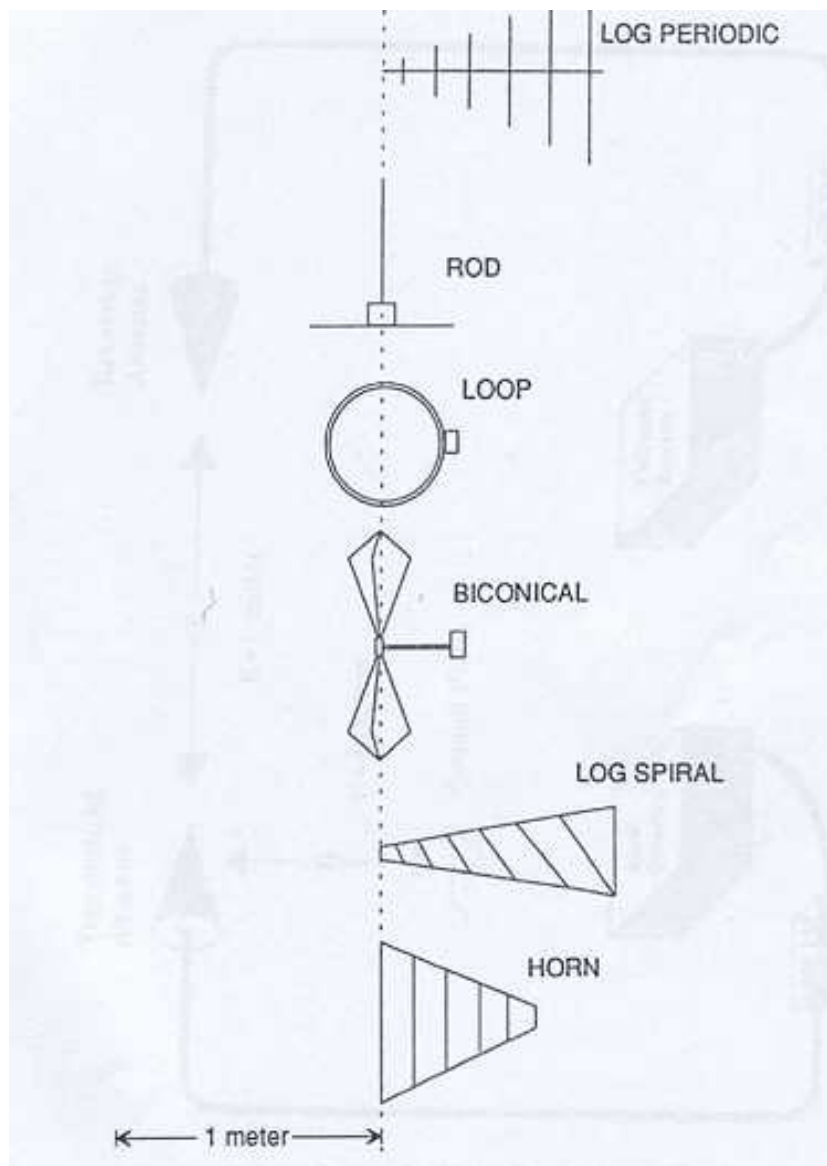
3.4.3.4.1 이득 및 1m 이득의 필요성

안테나는 전계강도 세기 및 규격에 따른 적합성 측정에 사용될 수 있기 때문에 1m 이득뿐만 아니라 이득도 종종 필요하다. 따라서 본 문서에서는

이득 측정을 논의하고 부록에서는 권고된 측정 방법을 논의한다. 하지만 본 문서에서 논의하는 절차는 1m 이득을 결정하는 것으로 국한한다.

3.4.3.4.2 이득 측정을 위한 거리

3-안테나법이라는 측정 기술을 이용하여 이득을 측정한다(부록 C 참조). 안테나 사이의 거리는 3m 이다(본 문서 그림 11 참조).



[그림 11] 안테나 측정 기준면

3.4.3.4.3 1m 이득 측정을 위한 거리

두개의 등가 안테나 사이의 거리를 1m로 놓고 1m 이득을 측정한다. 이 거리는 EMC 적합성 시험에서 대상기기를 측정할 때 안테나의 거리이다. 안테나의 이론 계산 및 측정에 있어서 안테나의 위치로서 사용되는 “전기적 중심점”이 있는 안테나들이 있다. 전기적 중심점이 정의되지 않거나 주파수에 대한 함수로 주어지는 대수 나선형 안테나(log spiral)와 같은 안테나들은 전기적 중심점에 “가장 가까운” 근사점을 사용한다(본 문서의 그림 11 참조).

3.4.3.4.4 측정에 필요한 주파수의 개수

교정 대상 안테나의 대역폭 내에서 1m 이득을 표시하기에 충분한 수의 주파수를 측정해야 한다. 1m 이득은 4.3(g)에서 규정한 주파수에서 측정해야 한다. 1m 이득 특성에 있어서 어떤 예외를 정확하게 식별하고 정의하도록 추가 주파수를 선택해야 한다.

3.4.3.5 안테나 이득의 결정

3.4.3.5.1 이득에 대한 안테나인자(AF₁)

원거리장 이득에 대한 AF(이득으로 언급되며 AF₁로 정의됨)는 G가 3.4.3.4.2에 따라 결정되는 방정식 (3-21)으로부터 계산한다.

3.4.3.5.2 1m 이득에 대한 안테나인자(AF₂)

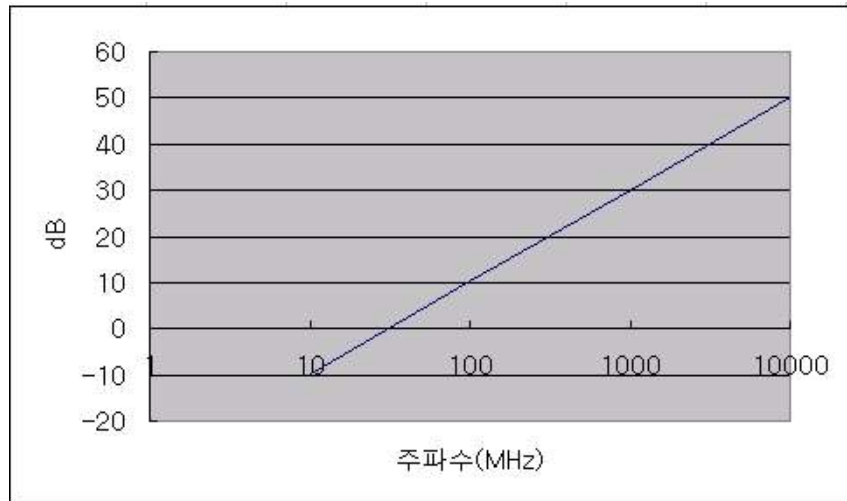
1m 측정에 대한 안테나인자(AF₂로 정의됨)는 G가 3.4.3.4.3에 따라 결정되는 방정식 (3-21)에 의하여 계산한다.

3.4.3.5.3 계산

안테나인자 AF₁과 c는 방정식 3에서 G₁ 및 G₂를 이용하여 같은 방법에 따라 계산한다. 계산을 간편하게 하기 위하여 로그 형태로 표현할 수 있다. 이러한 이유로 [그림 12]는 주파수의 함수로서 $20\log_{10}9.73/\lambda$ 를 그래프로 나타냈다. G₁가 이득일 때, 데시벨 단위의 AF₁는 다음과 같다.

$$AF(\text{dB}) = 20\log_{10}9.73/\lambda - 10\log_{10}G \quad (3-26)$$

여기서 λ = meters 이다.



[그림 12] 주파수 함수로서 $20\log_{10}9.73/\lambda$ 의 관계

G_2 가 1m 이득일 때, 데시벨 단위의 AF_2 는 다음과 같다.

$$AF(dB) = 20\log_{10}9.73/\lambda - 10\log_{10}G$$

예를 들어 200MHz에서 1m 이득이 10dB일 때 안테나인자 AF_2 는 얼마인가?

그림 1로부터 $20\log_{10}9.73/\lambda = 16$

그러므로 $AF_2 = 16 - 10 = 6dB$ 이다.

3.4.3.6 안테나인자의 사용

3.4.3.6.1 전계강도 세기의 보정

$1\mu V/m$ 이상의 데시벨로 표현된 전계강도의 세기를 얻기 위하여 $1\mu V$ 이상의 값을 표시하는 수신기의 입력전압에 케이블 손실인자 값과 함께 적절한 안테나인자 값을 더한다.

$$E(dB\mu V/m) = V(dB\mu V) + AF(dB) + Cable Loss(dB) \quad (3-27)$$

3.4.3.6.2 편파의 고려

4절은 두개의 등가 안테나를 이용하는 측정 기술로 안테나 이득을 얻는 절차를 논의한다. 원추 대수 나선 안테나(conical logarithmic spiral antenna)의 경우 원편파에 대해서 안테나 이득을 측정한다(3.4.3.3 참조). 이 안테나로

선형편파의 전계강도를 측정하게 되면 안테나 보정인자 AF_1 을 계산하는데 이용되는 안테나 이득은 3dB 만큼 감소 시켜야만 한다(이는 안테나인자가 3dB 만큼 증가했다는 것을 의미한다. 부록 B 참조). 선형 편파 신호에 대한 이득을 근간으로 1m 안테나인자 AF_2 를 산출한다

3.4.4. 1m 이득을 두개의 등가 안테나를 이용하여 측정하는 절차

3.4.4.1 측정용 기구

- a. 안테나 형식에 따라 지정된 주파수 영역 이상의 주파수 범위를 갖고 있으며 50Ω 입력 임피던스를 지닌 신호발생기
- b. 6dB, 50Ω 감쇠기 2개
- c. 안테나 형식에 따라 지정된 주파수 범위 이상을 동조시키는 교정된 수신기(또는 스펙트럼 분석기). 수신기의 입력 임피던스는 50Ω이어야만 하고 전압정재파비 $VSWR \leq 1.25$ 이어야 한다.
- d. 50Ω 특성임피던스를 가진 동축 케이블 및 안테나에 맞는 적절한 커넥터, 6dB 감쇠기, 신호발생기와 수신기
- e. 두개의 동축 케이블을 연결할 수 있는 어댑터

3.4.4.2 측정 설치

측정을 위한 기본적인 설치 상태는 그림 3에 있다. 측정을 위하여 설치된 지역은 자유공간 환경을 구현하도록 장애물이 없는 곳이어야 한다. 안테나 사이의 거리를 1m 떨어뜨릴 수 있는 챔버가 바닥을 제외하고 측정의 모든 주파수 영역에서 무반사라면 허용된다. 또한 접지면이 야외시험장을 흉내 내도록 하는 것이 필요하다. 접지면 위의 안테나 높이는 측정결과에 영향을 미치며 표준을 유지하도록 하여야 한다. 그것은 안테나 중심으로 부터 3m 높이로 정의된다.

3.4.4.3 측정

전달 장치로서 수신기를 사용하는 측정의 각 주파수에서 다음과 같은 것을 수행하여야 한다.

- a. 수신기가 감지하도록 신호발생기의 출력을 조정한다. 수신기가 신호에 대해 최대 응답이 되도록 동조되었는지 확인한다.
- b. 최대값이 감지되도록 안테나의 배열을 미세하게 조정하고 신호발생기의 출력전압 V_T 를 기록한다.
- c. 수신기 및 신호발생기의 케이블에 부착되어 있는 안테나를 떼어내고 50Ω 의 교정된 어댑터를 이용하여 수신기 및 신호발생기에 연결되어 있는 케이블에 상호 연결한다.
- d. 과정 (b)에서 측정한 수신기의 출력전압 값과 같은 값을 얻기 위하여 신호발생기 출력을 줄인다. 그 때의 신호발생기 출력전압 V_R 을 기록한다.
- e. 과정 (b)와 (d)에서 얻은 신호발생기의 전압 V_T 와 V_R 을 방정식 (7)에 대입하여 안테나 사이의 이격 거리가 1m 인 경우에 이득을 계산한다.
- f. 3.5.3의 방정식 (8) 또는 부록 A의 방정식 (A7)을 이용하여 안테나 인자를 계산한다.
- g. 주파수 범위에 따라 최소한 다음과 같은 주파수 간격으로 측정을 수행한다.

- (1) 20kHz ~ 200kHz : 10kHz
- (2) 200kHz ~ 2MHz : 100kHz
- (3) 20MHz ~ 200MHz : 1MHz
- (4) 200MHz ~ 1GHz : 100MHz
- (5) 1GHz ~ 40GHz : 1GHz

3.4.3. 막대 안테나(Rod Antenna)

3.4.3.1 막대 안테나 이론

실효높이(h_e)는 막대 안테나의 가장 중요한 특성이다. 단위는 m로 나타낸다. 막대 안테나는 접지면에 대해 수직으로 놓여지며 $h_e = L/2$ (L 은 안테나의 물리적 길이) 이다. 실효높이 h_e 는 안테나에 입사하는 수직 성분과 안테나에 유도되는 전압 사이의 관계를 표현한다. 실효높이가 $L/2$ 이라는 것은 측정의 오차 한계 내에서 가장 현실적인 상황에 정확히 적용된다. 그래서 막대 안테나는 접지면을 대신하는 매설지선(counterpoise)위에 설치되기도 한다.

$h_e = L/2$ 에서 2는 안테나가 완전 접지에 근접해 있음으로 해서 나타나는 거울상의 이미지로서 설명할 수 있다. 수직 막대와 접지면은 실제 막대의 거울 이미지가 접지면 아래에 놓여서 마치 접지면이 제거된 것처럼 전기적으로 행동한다. 안테나에 입력되는 같은 전압에 대해 접지면 위에 놓인 막대 안테나는 고립된 막대 안테나 보다 피크 값으로서 두 배의 전계를 발생한다. 역으로 수신기로서 접지면 위에 놓인 막대 안테나에 입사하는 전계는 고립된 막대 안테나 유도되는 전압의 반만을 유도한다. 실효 높이 h_e 의 정의로부터 접지면위에 있는 막대 안테나의 값은 $L/2$ 이다. 예를 들어, 1m 길이의 막대 안테나는 접지면 위에서 실효 높이는 0.5m 이다.

실효높이 $h_e = L/2$ 은 파장 λ 에 대해 $L < \lambda/8$ 이면 명백하게 성립한다. 그래서 막대 안테나의 물리적 길이가 1m 이면 최대 주파수는 37.5MHz 이다. 그러므로 1m 막대안테나는 보통 30MHz 까지 교정한다. 막대 안테나는 내부 임피던스 Z_a 가

$$Z_a = [R_a + 1/j\omega C_a] \quad (3-29)$$

여기서

R_a = 방사저항

C_a = 막대안테나와 접지면의 정전 용량

1m 막대 안테나의 정전용량은 전형적으로 10pF 이다. 예를 들어 1m 막대 안테나나 최대 주파수 37.5MHz에서 용량성 리액턴스는 425Ω 이며 주파수가 감소함에 따라 증가한다. 막대 안테나의 임피던스는 아주 높기 때문에 대부분의

막대 안테나는 고 임피던스를 입력 임피던스가 50Ω인 EMI 측정기에 정합시키기 위하여 결합 회로망 또는 증폭기를 갖는다. 이러한 결합 회로망 또는 증폭기는 교정이 필요하다.

3.4.3.2 막대 안테나의 교정

정합 장치의 신호전달 특성을 측정하고 그 안테나가 짧은 모노폴 안테나라고 가정함으로써 막대 안테나의 안테나 인자가 결정된다. 막대 안테나 엘리먼트는, 전계강도에 안테나 유효높이 1m를 곱한 이상적인 전압 소스와 막대 안테나 임피던스를 나타내는 10pF의 정전용량이 직렬로 연결된 테브낭 등가 회로로 간주한다. 그림 4는 일반적인 시험 설치 및 안테나 인자를 결정하는 절차를 보여준다. 몇몇 안테나의 부속품들은 10pF 정전용량기 또는 대역전환 장치들을 가지고 있기 때문에 특정한 안테나에 대하여 이런 기술을 실행하기 위한 상세한 내용은 제조자에게 얻어야 한다. 상세한 추가 사항은 참고문헌 2.9에서 볼 수 있다.

3.4.6. 루프안테나

3.4.6.1 동작 이론

본 절의 시험방법은 실험으로 자계를 결정하려고 하는 것은 아니다. 본 절에서와 같이 조건이 잘 제어되는 경우 대부분은 안테나인자들을 계산하는 것이 측정하는 것보다 더 정확하다. 본 절의 방법은 안테나가 기능적으로 정확하게 작동한다는 것을 확인하도록 표준을 수립하는 것이다. 그래서 납땜이 잘못 되었거나, 와이어가 부러지는 등의 불량 부분을 검출할 수 있다.

3.4.6.1.1 RE01/RE101 루프의 계산

3.4.6.1.1.1

1A 전류가 흐르는 RS01 루프안테나는 중심으로부터 12cm 거리에 다음과 같은 자계를 발생시킨다.

$$\beta = \mu H = \mu I N R^2 / [2(R^2 + Z^2)^{3/2}]$$

$$\begin{aligned}
&= 4\pi \times 10^{-7} \times [1 \times 10 \times 0.06^2] / [2(0.06^2 + 0.12^2)^{3/2}] \\
&= 9.366 \times 10^{-6} \text{ Tesla} = 139.4 \text{ dBpT}
\end{aligned}$$

주석1) 여기서 I 는 전송루프안테나 RS01에 흐르는 전류, N 은 그 루프안테나의 전류환의 개수, R 은 반지름이며 Z 는 중심으로부터 m 단위의 거리이다. dBpT는 pico Tesla, 즉 10^{-12} Tesla를 기준으로 상대크기의 자계강도를 나타낸 값이다.

수신 루프안테나 RE01/RE101이 위의 자계를 300Hz에서 측정한 전압 V 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
V &= 2\pi f N A \beta \\
&= 2\pi \times 300 \times 36 \times \pi (6.65 \times 10^{-2})^2 \times 9.366 \times 10^{-6} \\
&= 8.83 \times 10^{-3} \text{ V} = 78.9 \text{ dB}\mu\text{V}
\end{aligned}$$

주석2) 여기서 N 은 수신 루프안테나 RE01/RE101의 전류환의 개수, A 는 그 단면적이다.

송신 루프안테나 RS01의 중심으로부터 12cm 위치에 139.4dBpT 세기의 자계를 생성한다. 수신 루프 RE01은 같은 위치에서 78.9dB μ V의 전압이 유기된다. 그 차이가 안테나 인자이며 그것은 RE01이 읽은 dB μ V 단위의 전압 값에 dBpT 단위의 자계값으로 보정하기 위하여 더해지는 값이다.

즉, 부하가 걸리지 않은 수신 루프 안테나 RE01의 안테나인자로서
 $139.4 - 78.9 = 60.5 \text{ dB}$ 이다.

3.4.6.1.1.2 전류환이 20개인 송신 루프안테나 RS101은 중심으로부터 12cm 위치에 다음과 같은 자계를 생성한다.

$$\begin{aligned}
\beta &= \mu H = \mu I N R^2 / [2(R^2 + Z^2)^{3/2}] \\
&= 4\pi \times 10^{-7} \times [1 \times 20 \times 0.06^2] / [2(0.06^2 + 0.12^2)^{3/2}] \\
&= 18.332 \times 10^{-6} \text{ Tesla} = 145.4 \text{ dBpT}
\end{aligned}$$

RS101이 생성한 자계는 RS01보다 세다. 수신 루프 RE01/101이 읽는 전압도 증가하여 84.9dB μ V가 된다. 그러므로 부하가 걸리지 않은 RE01 루프의 안테나 인자는 $145.4 - 84.9 = 60.5 \text{ dB}$ 가 된다.

6.12 4cm 루프의 계산 : RS101이 생성한 자계 세기를 측정하는데 4cm 루프 안테나를 사용한다.

RS101 루프는 5cm 거리에 다음과 같은 자계를 발생시킨다.

$$\begin{aligned}\beta &= \mu H = \mu I N R^2 / [2(R^2 + Z^2)^{3/2}] \\ &= 4\pi \times 10^{-7} \times [1 \times 20 \times 0.06^2] / [2(0.06^2 + 0.5^2)^{3/2}] \\ &= 9.4955 \times 10^{-5} \text{ Tesla} = 159.6 \text{ dBpT}\end{aligned}$$

위의 자계에 대하여 300Hz에서 4cm 루프가 읽는 전압의 세기는

$$\begin{aligned}V &= 2\pi f N A \beta \\ &= 2\pi \times 300 \times 51 \times \pi (2 \times 10^{-2})^2 \times 9.4955 \times 10^{-5} \\ &= 1.1471 \times 10^{-2} \text{ V} = 81.2 \text{ dB}\mu\text{V}\end{aligned}$$

5cm 거리에서 RS01은 159.6dBpT의 자계를 생성하고 이를 4cm 루프는 81.2dB μ V의 전압으로 읽기 때문에 그 차이는 안테나 인자이고 dBpT 단위의 자계값으로 보정하기 위하여 더해지는 값이다.

즉, 부하가 걸리지 않은 4cm 루프의 안테나인자로서 $159.6 - 81.2 = 78.4 \text{ dB}$ 이다.

3.4.6.13 루프의 부하 효과 : 간단한 계산을 위하여 6.11과 6.12는 루프안테나가 개방회로이거나 100k Ω 과 같은 고임피던스 조건에 대하여 성립하는 것이다. 50 Ω 의 수신기가 사용되는 경우 루프안테나의 부하를 고려해야 한다. 그래서 표 1과 2는 50 Ω 부하를 사용할 때 주파수에 따른 안테나 인자값이다. 일반적인 방정식은 다음과 같다.

$$V = 2\pi f N A \beta / [(1 + R_w/R_L)^2 + (2\pi f L_w/R_L)^2]^{1/2} \quad (3-30)$$

RE01/RE101 루프에 대하여

$$V = 2\pi \times 36\pi \times (6.65 \times 10^{-2})^2 \times 9.366 \times 10^{-5} f / [(1 + 10/50)^2 + (2\pi f \times 10^{-6}/50)^2]^{1/2} \quad @300 \text{ Hz}$$

$$: V = 77.3 \text{ dB}$$

안테나인자는 $139.4 - 77.3 = 62.1 \text{ dB}$ 이다.

표 3 RE01/RE101의 안테나 인자

주파수(Hz)	읽은값(허용오차 ± 2 dB)
30	82.1
60	76.0
100	71.6
300	62.1
600	56.0
1 000	51.6
3 000	42.1
6 000	36.2
10 000	32.1
20 000	27.4
30 000	25.4
50 000	23.8
100 000	23.0

dBpT 단위로 자기장세기를 산출하기 위하여 dB μ V로 읽은 루프값을 더한다. 안테나인자는 부하가 50 Ω 시스템에 대한 것이다.

표 4 4cm 교정 루프의 안테나 인자

주파수(Hz)	읽은값(허용오차 ± 2 dB)
30	99.1
60	93.1
100	88.6
300	79.1
600	73.1
1 000	68.6
3 000	59.1
6 000	53.1
10 000	48.6
20 000	42.6
30 000	39.1
50 000	34.6
100 000	28.6

dBpT 단위로 자기장세기를 산출하기 위하여 dB μ V로 읽은 루프값을 더한다. 안테나인자는 부하가 50 Ω 시스템에 대한 것이다.

4cm 교정 루프에 대하여

$$V = 2\pi \times 51\pi \times (2 \times 10^{-2})^2 \times 9.496 \times 10^{-5} f / [(1 + 10/50)^2 + (2\pi f \times 2 \times 10^{-6} / 50)^2]^{1/2}$$

@300 Hz : $V = 80.5 \text{ dB}$

안테나인자는 $159.6 - 80.5 = 79.1 \text{ dB}$ 이다.

3.4.6.2 교정 :

3.4.6.2.1 시험장비 규격

장비 및 주요규격

캘리브레이터/오실레이터(1)

파라미터 : AC 평편도

범위 : 30 Hz에서 50 kHz

분해능 : 0.01 %

허용 불확도 : $\pm 0.4 \%$

미터(2)

파라미터 : rms 전압/dBm

범위 : dBm, 30 Hz에서 50 kHz

분해능 : NA

표준의 불확도 : 전체 눈금 범위의 $\pm 5 \%$

허용 불확도 : $\pm 0.5 \text{ dB}$

미터(3)

파라미터 : rms 전압

범위 : 1 V, 30 Hz에서 50 kHz

분해능 : NA

표준의 불확도 : 전체 눈금 범위의 $\pm 5 \%$

허용 불확도 : $\pm 0.5 \text{ dB}$

가칭 증폭기(4)

부하 : 50 Ω (5)

정밀 저항 : 1 $\Omega \pm 1 \%$ (6)

RS01/RS101 및 RE01/RE101 루프안테나는 12 cm 거리에서 쌍으로 교정되어야

한다. 송신 및 수신 두개의 안테나는 안테나를 부착하거나 얹힐 수 있는 구조물을 갖추어야 한다. 그 구조물은 안테나가 서로서로 마주볼 수 있도록 하며 루프사이의 12 cm 이격 거리 요구조건을 충족하도록 되어있다.

수신 루프안테나로부터 얻어진 $\text{dB}\mu\text{V}$ 계산값은 안테나 인자를 얻기 위하여 12cm 거리에서 계산한 상수 139.4dBpT에서 빼야한다.

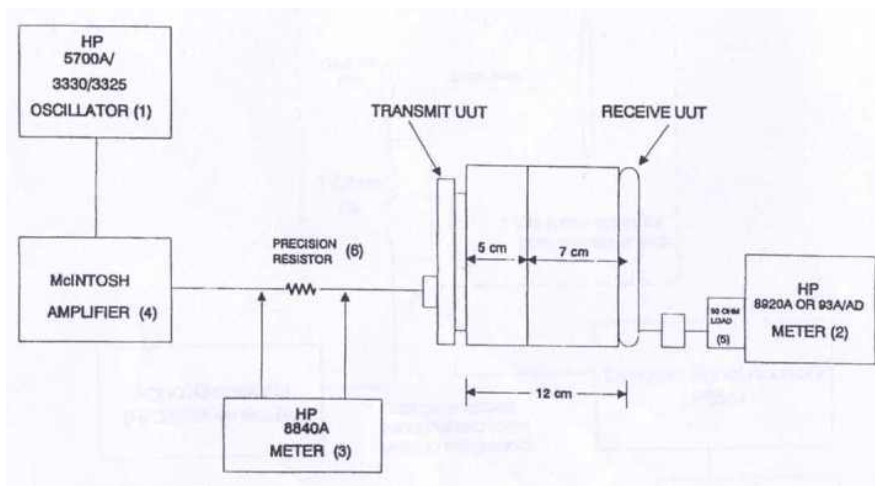
그 루프안테나는 레벨을 표 3의 값과 비교하여 $\pm 2\text{dB}$ 이내일 때 교정된 것으로 간주해야 한다.

전송 루프가 입력에 약 10Ω 의 직력저항을 갖는 경우에 그 값을 측정하고 데이터 쉬트에 그 정보를 입력하라. 이러한 교정에 대하여 저항은 바이패스 하라.

3.4.6.2.2 RS101(4cm) 교정용 루프 : 그 4cm 루프 안테나를 RS101로부터 5cm 거리에 설치한다. 수신용 루프안테나로부터 얻은 $\text{dB}\mu\text{V}$ 계산값은 안테나 인자를 얻기 위하여 5cm 거리에서 계산한 상수 159.6dBpT에서 빼야한다.

그 루프안테나는 레벨을 표 4의 값과 비교하여 $\pm 2\text{dB}$ 이내일 때 교정된 것으로 간주해야 한다.

3.4.6.2.3 절차 : 시험구성은 [그림 13]을 참조하시오.



[그림 13] 작은 루프안테나 교정의 설치

- a. 측정기 (3)을 사용하여 (6)의 정밀저항 1Ω 을 확인한다.
- b. 장비를 [그림 13]과 같이 설치한다.
- c. 측정기 (3)을 사용하여 1Ω 에 걸리는 $1V_{rms}$ 30Hz 신호를 확립한다.
- d. (2)의 측정기로 측정한 레벨을 기록한다.
- e. 안테나 인자를 계산한다.

예) dBm으로 읽은 경우 측정기 (2)가 -30 dBm이라면

$$107 + (-30) = 77dB\mu V$$

$$139.4 - 77dB\mu V = 62.4 \text{ antenna factor}$$

- f. 그 결과값은 표 3의 한계값 이내이어야 한다.
- g. 표 3의 나머지 주파수에 대하여 과정 c에서 f를 반복한다.
- h. 만일 교정 결과값이 실패라면, 수신안테나를 다른 것으로 대치하고 위의 절차를 반복한다.
- i 재차 그 결과가 실패라면, 송신 루프안테나는 결점이 있는 것이며 그 결점이 있는 루프안테나를 다른 루프로 교체하고 교정절차를 반복한다.

3.4.7 1m 이격거리에서 루프안테나

3.4.7.1 이론

3.4.4에서 논의한 두 안테나를 사용하는 일반적인 접근은 자기장을 측정하는 루프안테나에는 적용되지 않는다. 시험방법은 IEEE Std 291 「Standard Methods For Measuring Electromagnetic Field Strength of Sinusoidal Continuous Waves, 30Hz to 30GHz」를 근간으로 개발된 방법에 의한다. 또한 NBS Circular 517 「Calibration of Commercial Radio Field-Strength Meters」를 사용한다. 추가해서 전송루프안테나에 좀더 일정한 전류, 자기장 H 를 얻기 위하여 $\pi d_{xmt} < \lambda/8$ 의 관계는 $\pi d_{xmt} < \lambda/64$ 로 바꾸도록 제안한다.

3.4.7.2 시험방법

루프안테나를 교정하는데 다음의 절차에 따라 수행한다. 먼저 xmt 및 rcv로 명명된 두개의 루프안테나로 수신안테나의 안테나 인자를 결정하는 것이 목적이다. 안테나인자를 얻기 위하여 수신안테나의 면적에 대하여 평균을 취한 자체 세기가 계산되어야 한다. 이 방정식은 다음과 같다.

$$H = 1/(2\pi) \times \pi \times d_{xmt}^2/4 \times I \times n_{xmt} \times [1 + (2\pi f/c)^2 \times \{L^2 + (d_{xmt}/2)^2 + (d_{rcv}/2)^2\}]^{1/2} / \{L^2 + (d_{xmt})^2 + (d_{rcv}/2)^2\}^{3/2} \quad (3-30)$$

여기서

H = 자기장도 (A/m)

d_{xmt} = 전송루프안테나의 직경 (m)

d_{rcv} = 수신루프안테나의 직경 (m)

L = 루프안테나의 중심간 거리 (m)

I = 전송루프안테나의 유입 전류 (A)

n_{xmt} = 전송루프안테나의 코일 감긴 회수

n_{rcv} = 수신루프안테나의 코일 감긴 회수

f = 주파수(Hz)

c = 빛의 속도(m/s)

π = 3.14159

자기장 H 가 결정되면 dBs/m 단위로 안테나인자는 다음의 방정식 (3-31)로 계산한다.

$$AF = 20 \times \log(H/V) \quad (3-31)$$

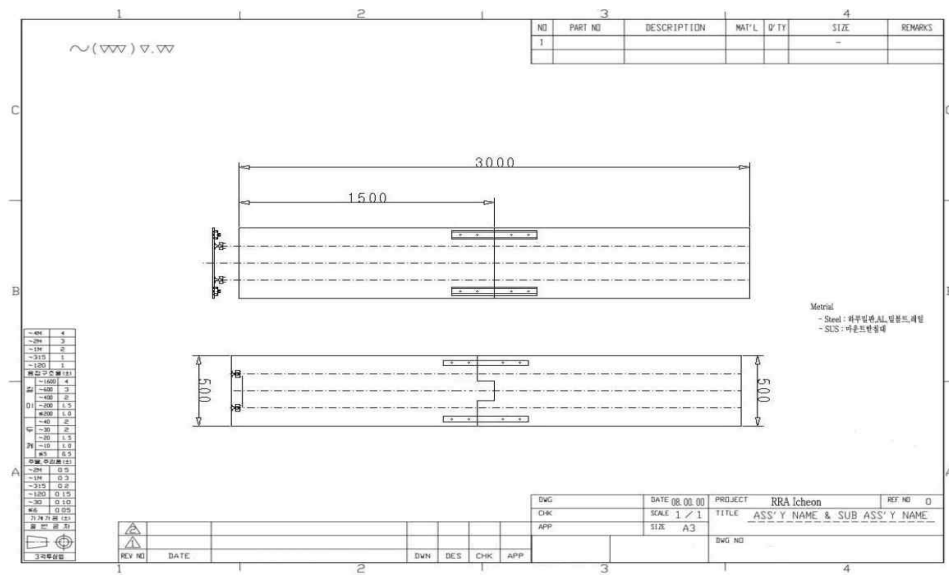
여기서

H = 자기장 세기 (A/m)

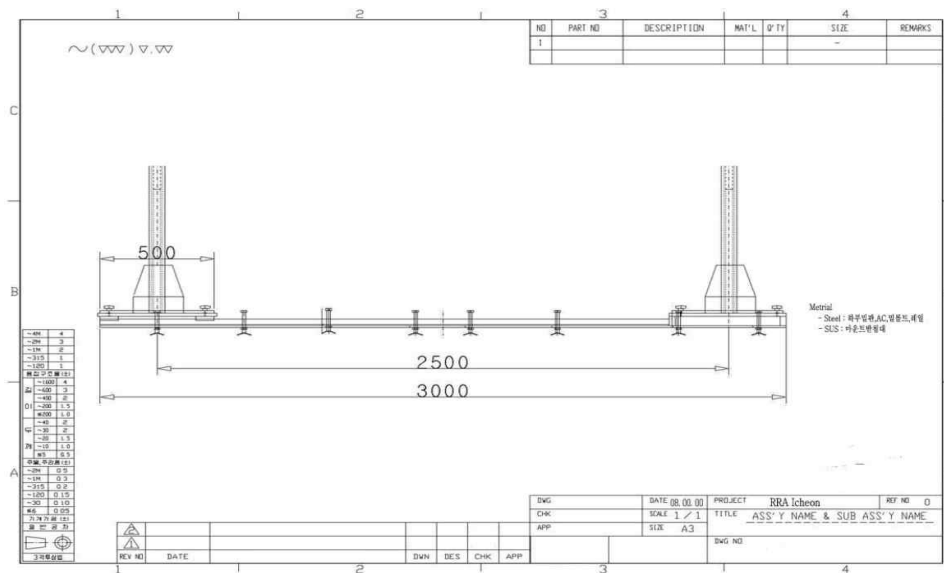
V = 수신 루프안테나 유도 전압(V)

다음의 두 개의 물리량이 측정되어야 한다.

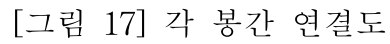
- 송신 안테나의 동축 포트에 유입되는 A 단위의 전류
- 수신 루프의 50Ω 동축포트에 유도되는 V 단위의 수신 전압

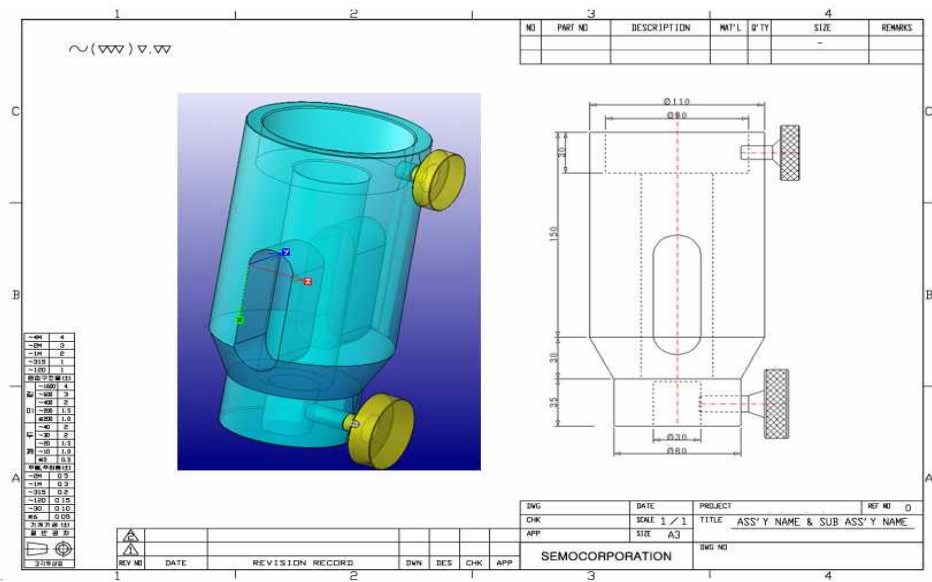


[그림 15] 레일 조립 규격



[그림 16] 레일 장착 및 지지대 설치





[그림 19] 대형 Loop 안테나 고정용 지그

안테나 장착 지지대는 3단봉으로 구성된 비금속성으로서 전파를 투과할 수 있는 베니클라이트 재질이며 레일위에 장착하도록 되어 있다. 제작된 완성품은 [그림 20]과 같다. 3단봉은 원기둥형으로 작은 것이 큰것에 삽입되어 고정할 수 있으며 [그림 21]과 같이 높이를 측정하는 눈금이 있기 때문에 안쪽 봉을 빼면서 눈금을 읽으면 안테나의 높이를 편리하게 측정하도록 구성되어 있다.



안테나 장착 지지대(주-보조)

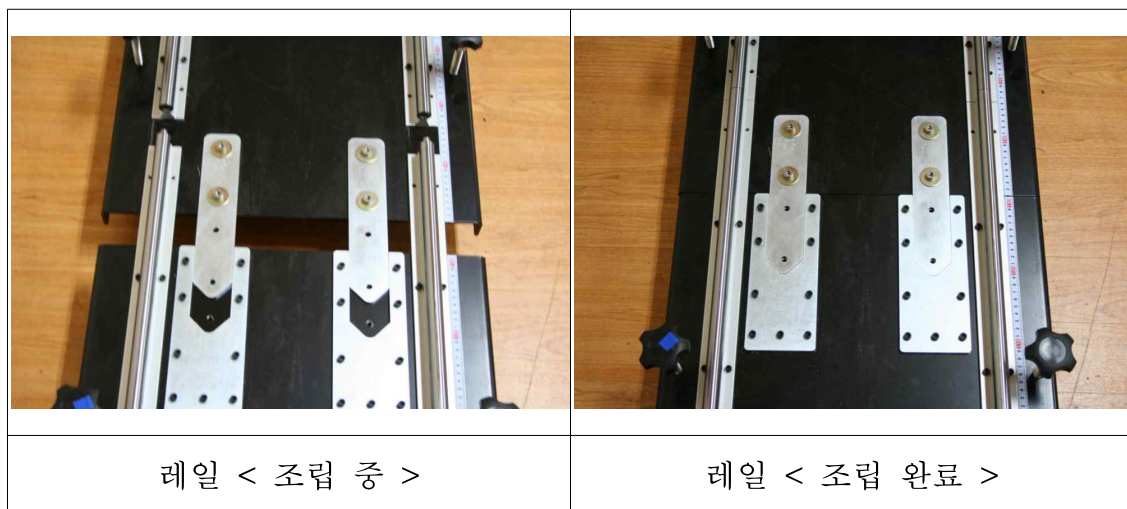
안테나 장착 지지대(주-보조)

[그림 20] 3단봉으로 구성된 안테나 장착 지지대



[그림 21] 높이를 측정하도록 구성된 눈금 봉

안테나지지대가 레일 위를 움직이도록 설계되었으며 레일은 1.5m 길이로 서로 조립하도록 되어 있으며 레일의 수평을 조정함으로써 안테나 사이의 높이 및 거리를 효과적으로 편리하게 측정하게 된다. 레일의 조립 및 전후의 모습은 [그림 22]에서 볼 수 있다.



[그림 22] 안테나 지지대를 고정 및 움직이는 역할의 레일 조립



[그림 23] 레일 조립후 지지대 장착 및 수평조절 거리측정용 눈금자

[그림 23]은 레일 조립후 수평을 맞추고 안테나 지지대를 장착한후 안테나와 안테나 사이의 거리를 안테나지지대를 레일위에서 움직임으로 측정하도록 되어 있는 모습을 보여준다. [그림 24]는 혼안테나를 측정용 장치에 장착하여 처음에 혼안테나 개구면이 지면으로부터 일정높이에서 서로 완전히 일치하도록 한 후, 레일위에서 1m 거리를 떨어뜨린 모습을 보여준다. 일차적으로 레일의 수평을 맞추었고 그리고 혼안테나 개구면을 완전히 일치 시킨 다음에 원하는 특정높이 까지 봉의 눈금을 이용하여 올린다. 그런 다음 안테나 사이의 원하는 거리(여기에서는 1m)만큼 안테나장착 지지대를 레일위에서

움직여 조정한 모습을 볼 수 있다. 그림에서 혼안테나와 혼안테나의 개구면을 완전히 일치 시켰을 때 레일위의 눈금자는 61cm를 가리키고 있다. 만일 혼안테나 개구면 사이의 거리를 1m 떨어뜨리고 싶다면 레일위를 움직이도록 되어 있는 한쪽 안테나 장착 지지대의 중심선을 161cm로 맞추으로써 안테나 사이의 거리를 1m로 할 수 있다.

[그림 25]는 혼안테나 및 루프안테나를 안테나 장착지지대에 고정할 수 있는 지그의 모습과 장착된 모습을 보여준다.



[그림 24] 혼안테나의 개구면 일치 및 높이 조절과 거리 측정

	
루프안테나용(5, 9, 15mm)	지지대 장착
	
루프안테나용(HFH2-Z2)	지지대 장착
	
Open Ended waveGuide 안테나용	지지대 장착

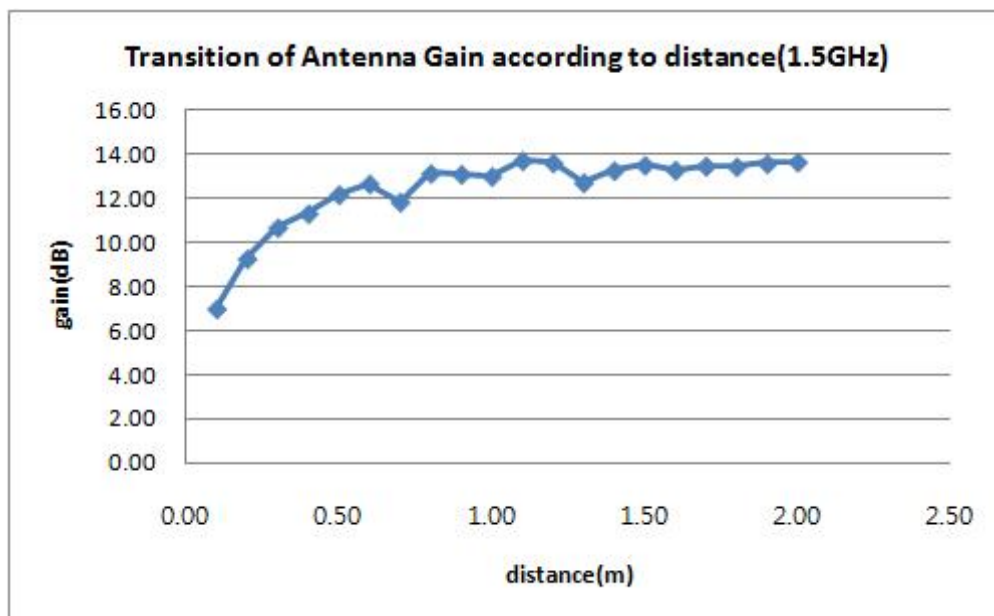
[그림25] 혼 및 루프 안테나 고정용 지그 및 지지대 장착

제 2 절 야외시험장에서 혼안테나 교정

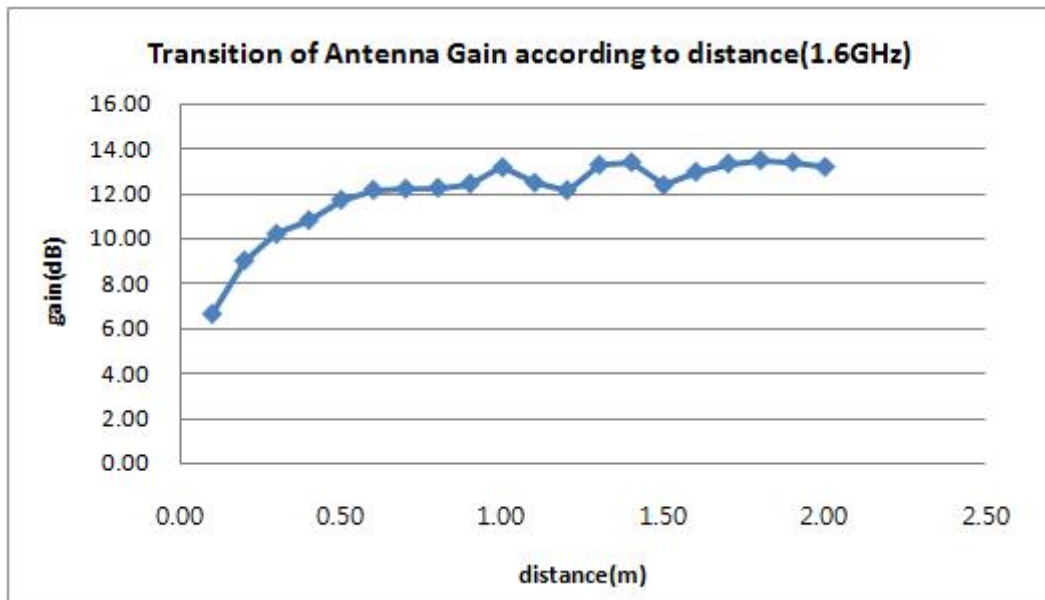
일반적으로 안테나의 원거리장 영역 d 는 안테나의 크기 D 및 전파의 파장 λ 에 대하여 $(2 \times D^2)/\lambda < d$ 가 된다.

측정안테나는 1GHz - 3GHz 대역 표준 혼안테나 2개와 1.5GHz - 3GHz 1개의 OEG 안테나를 이용하여 ANSI 63.5의 방법으로 측정하였다. 표준혼안테나의 개구면의 크기는 30cm이고 OEG 안테나의 개구면의 크기는 10cm 이므로 원거리 영역은 최소값은 1.8m가 된다. 거리에 따른 안테나 이득의 변화를 추적하기 위하여 안테나 사이의 거리를 0.1m에서 2m로 변화시키면서 10cm 간격으로 측정하였다. 주파수 간격은 1.5GHz부터 3GHz까지 0.1GHz 단위로 하였다. 측정의 결과는 표준혼안테나의 안테나 이득으로서 [그림 26]부터 [그림 41]에서 보여준다.

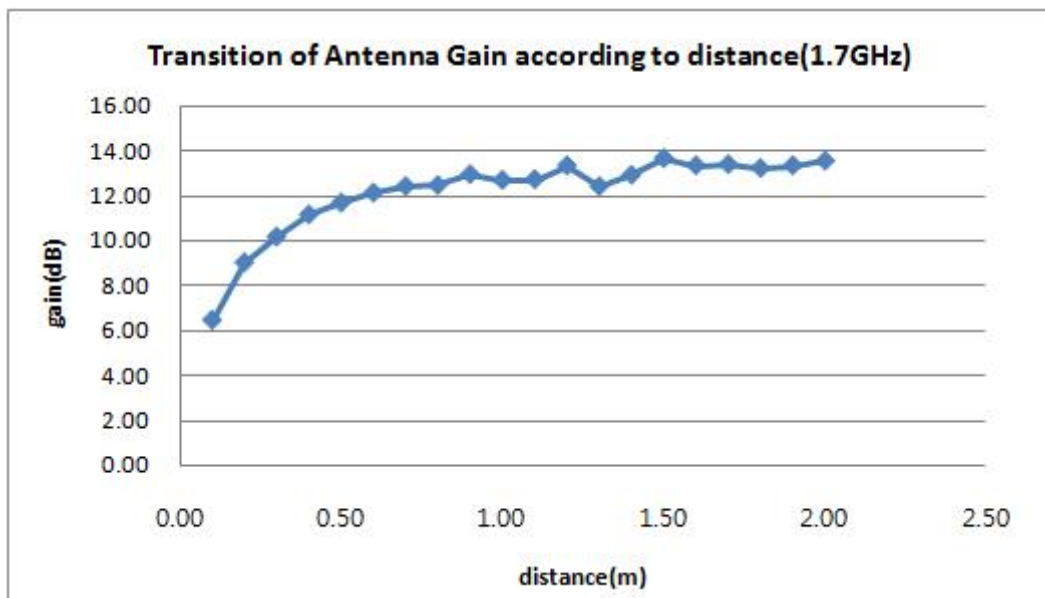
1.8m와 2m 사이의 측정값이 차이는 모든 주파수에서 최대 편차가 0.4dB를 넘지 않았다([그림 42] 참조). 이는 불확도내에서 잘 일치하는 값으로 추정되며 원거리 영역에서 안테나 이득이 된다.



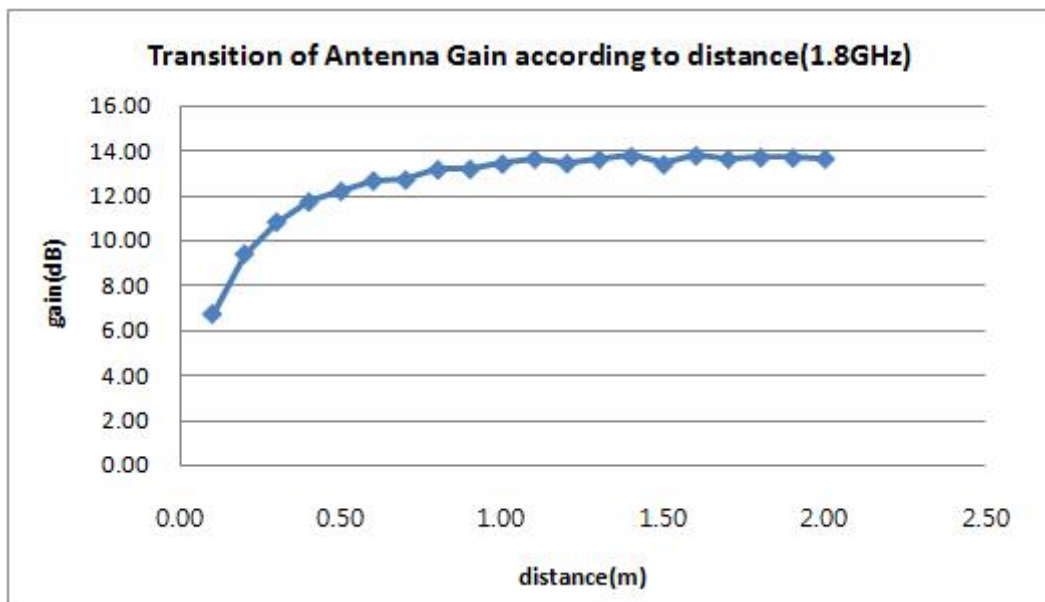
[그림 26] ANSI 63.5의 표준시험방법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.5GHz)



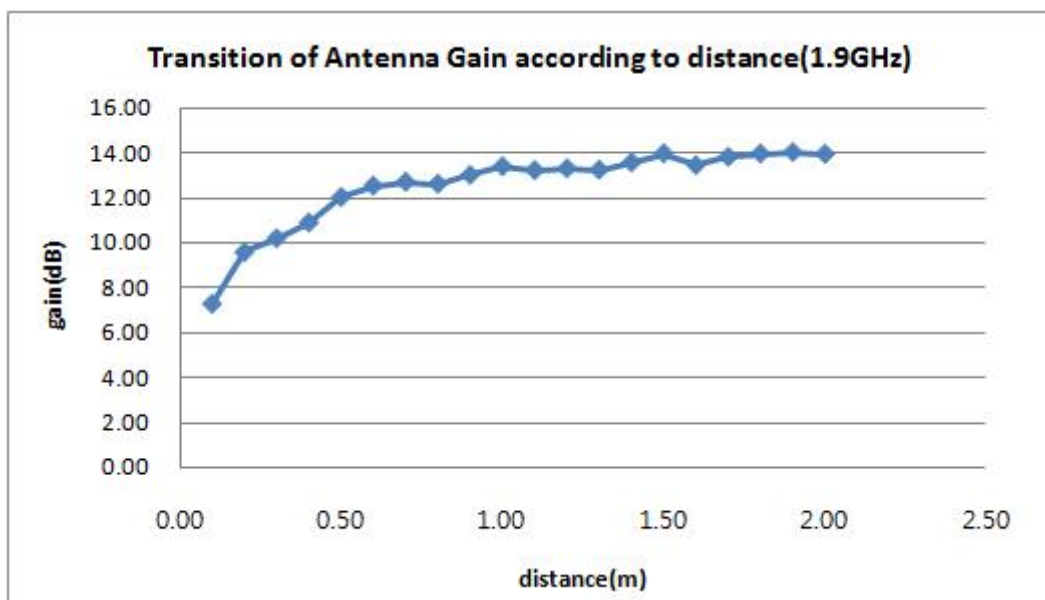
[그림 27] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.6GHz)



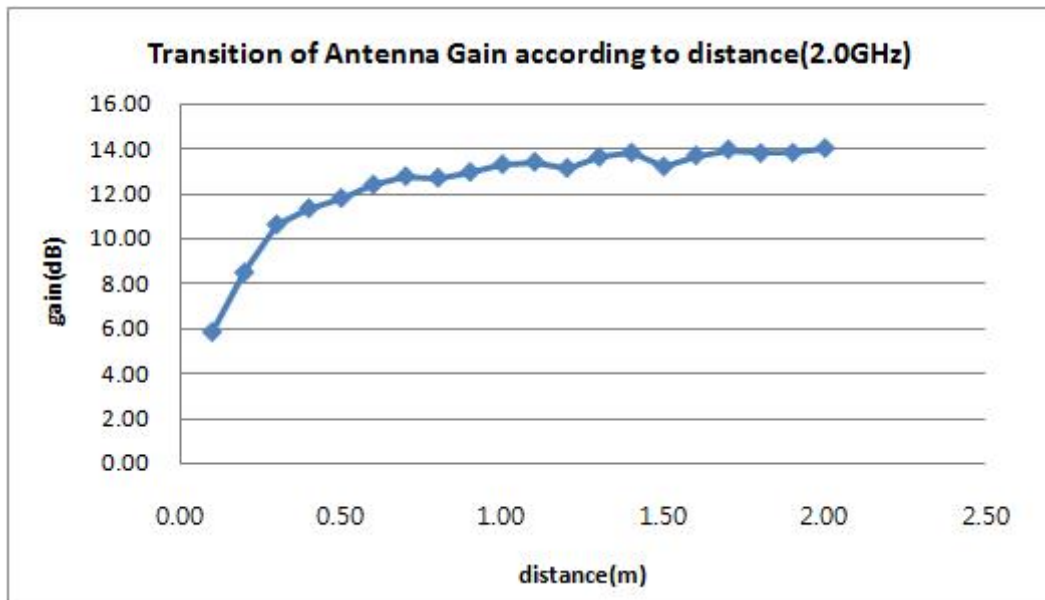
[그림 28] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.7GHz)



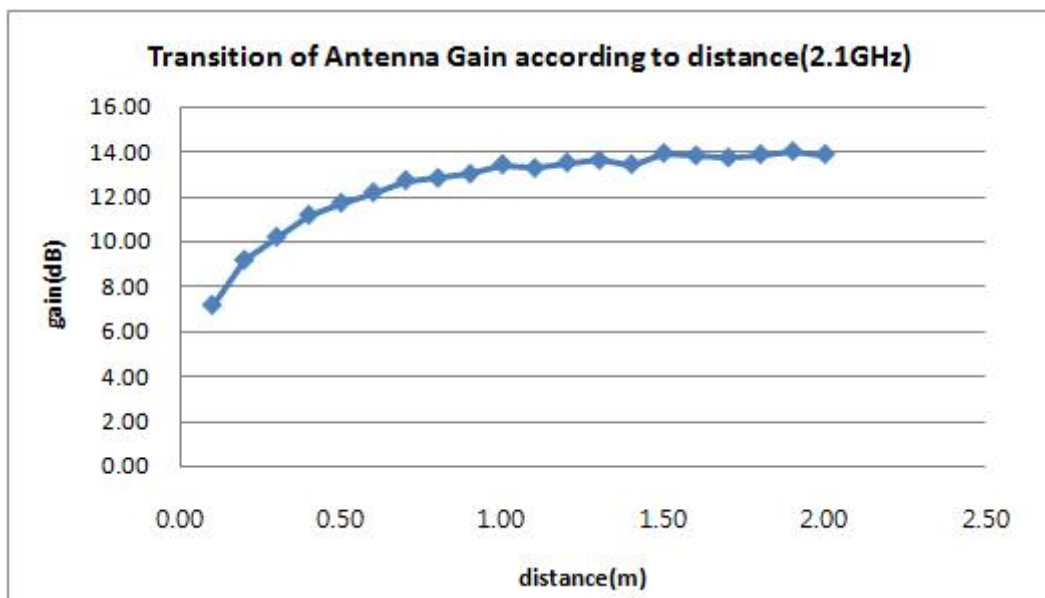
[그림 29] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.8GHz)



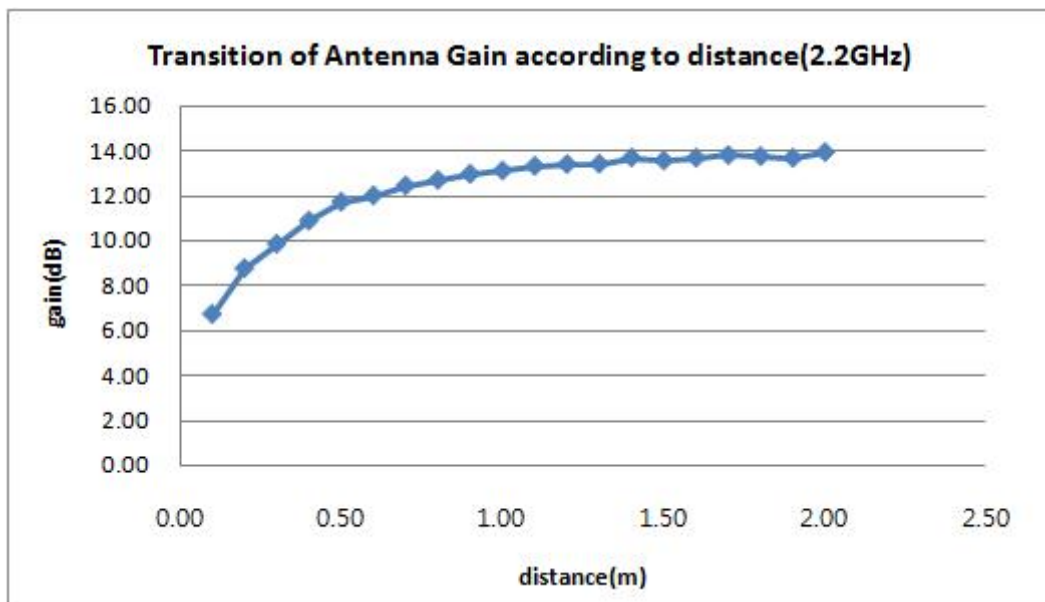
[그림 30] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(1.9GHz)



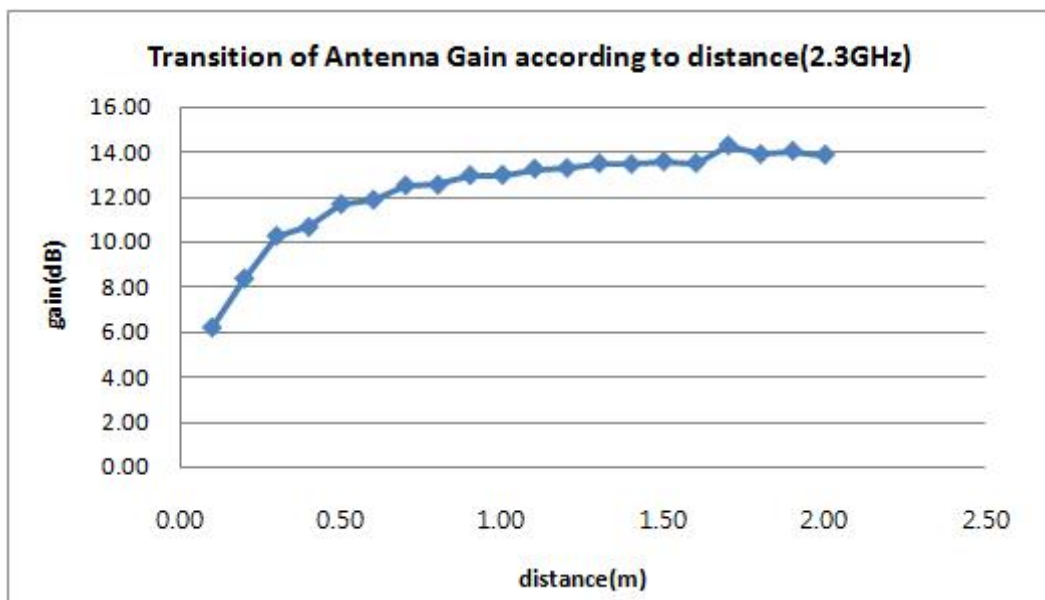
[그림 31] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.0GHz)



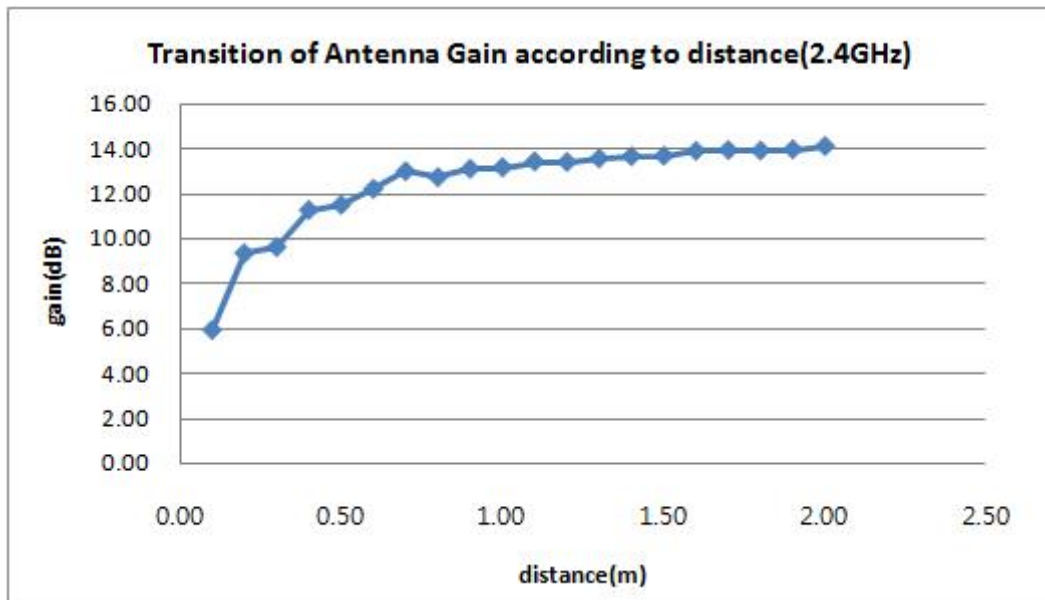
[그림 32] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.1GHz)



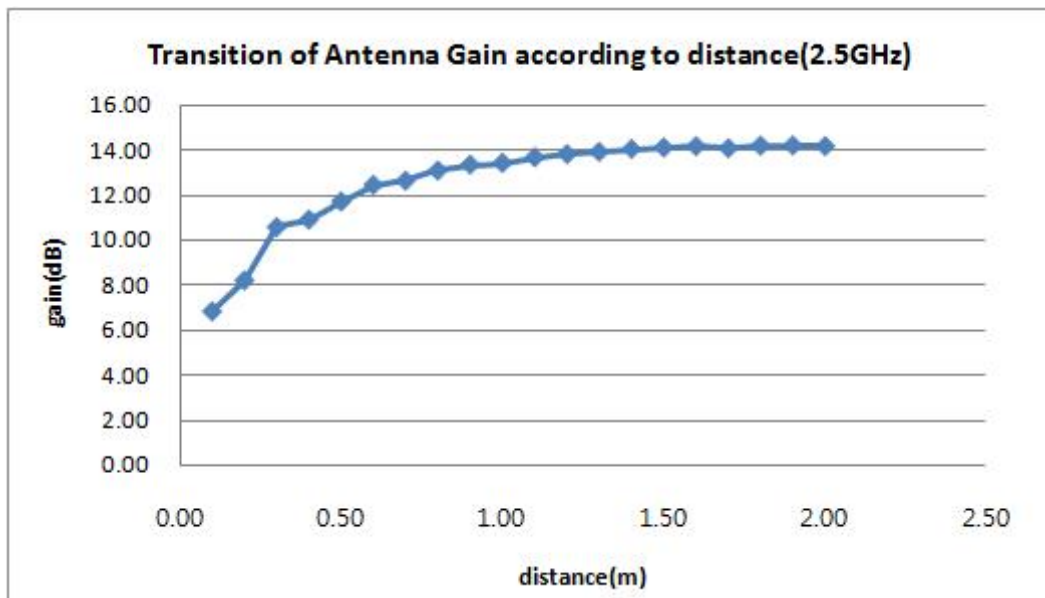
[그림 33] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.2GHz)



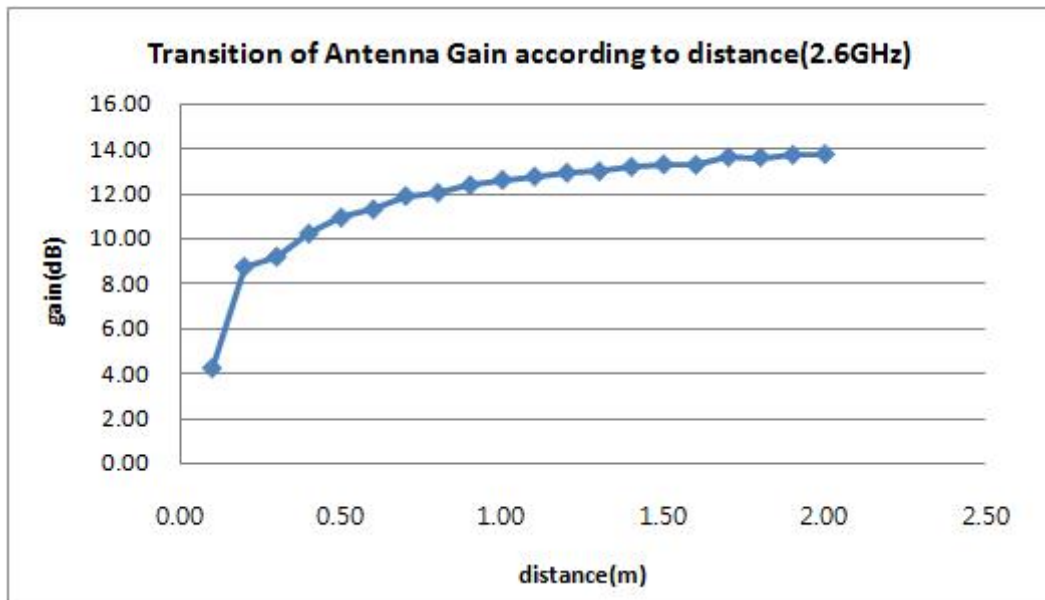
[그림 34] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.3GHz)



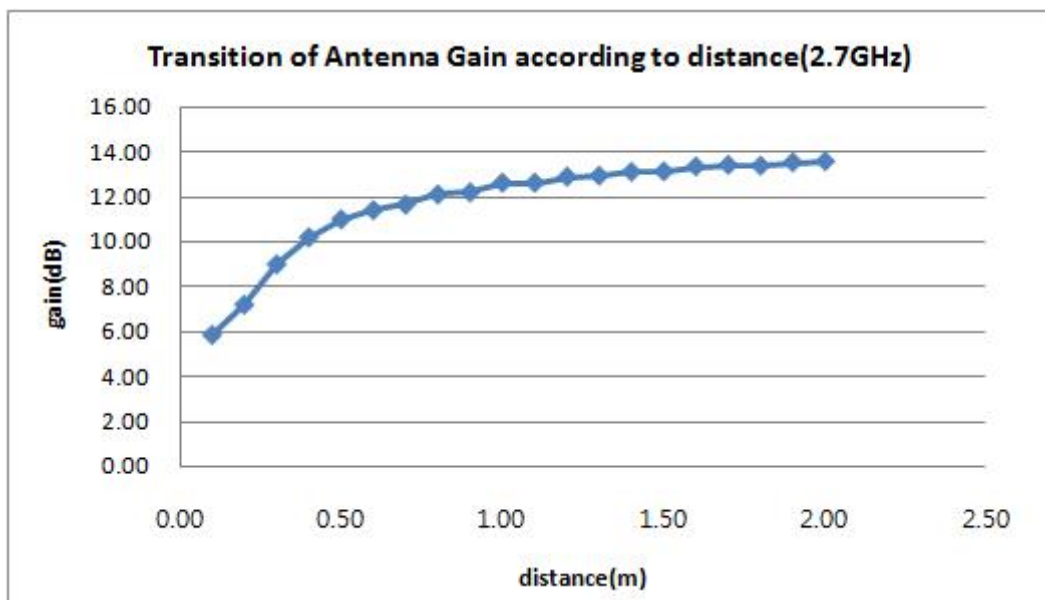
[그림 35] ANSI 63.5의 표준시험방법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.4GHz)



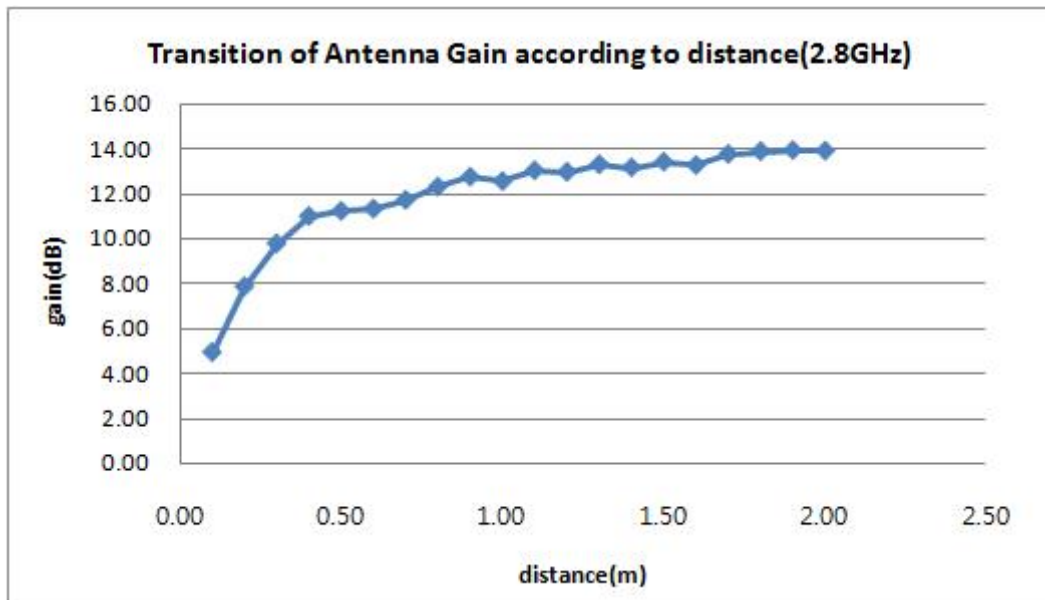
[그림 36] ANSI 63.5의 표준시험방법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.5GHz)



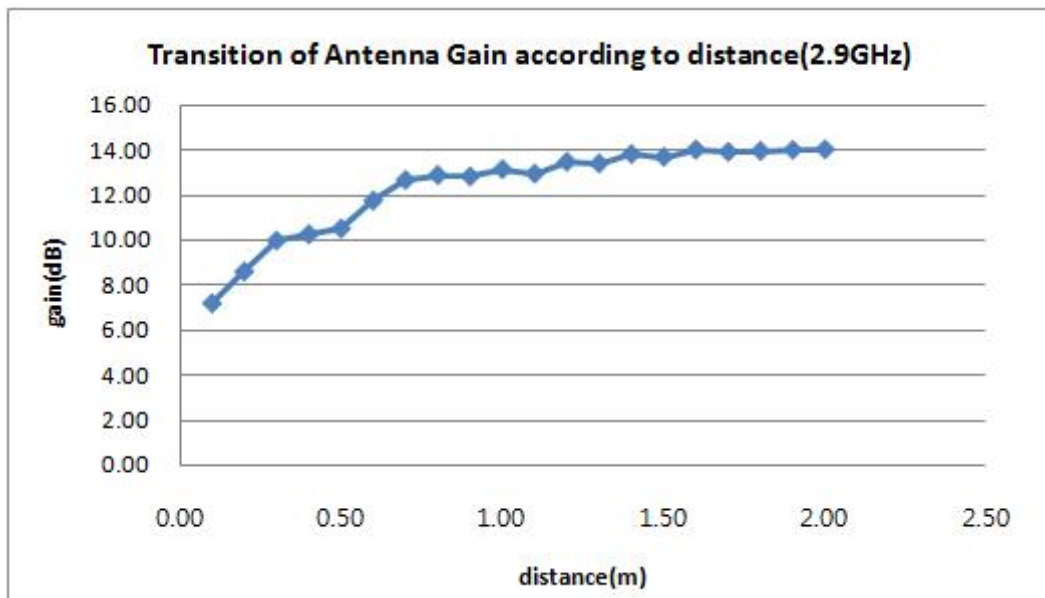
[그림 37] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.6GHz)



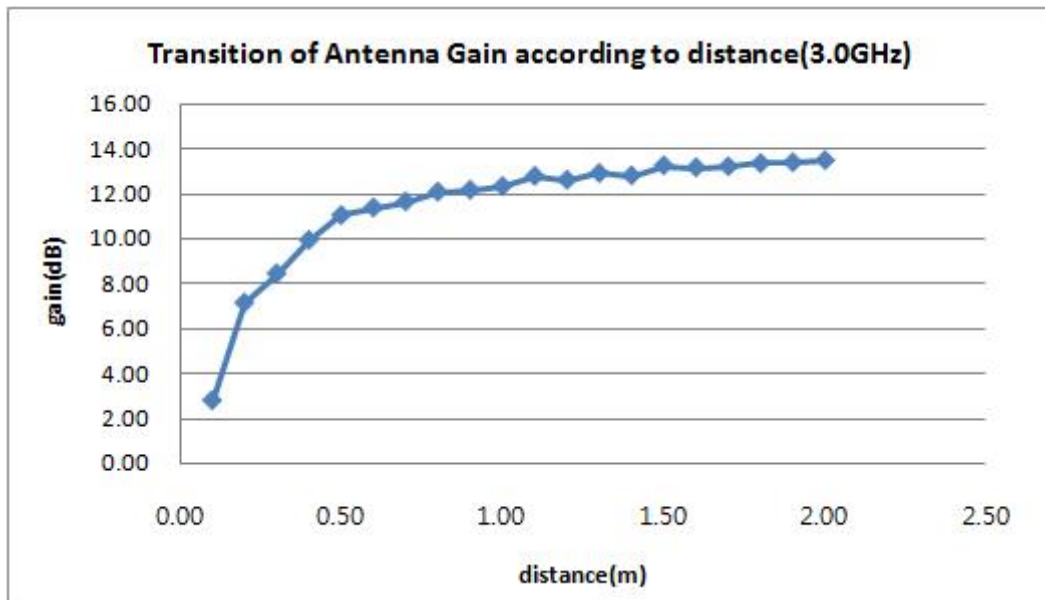
[그림 38] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.7GHz)



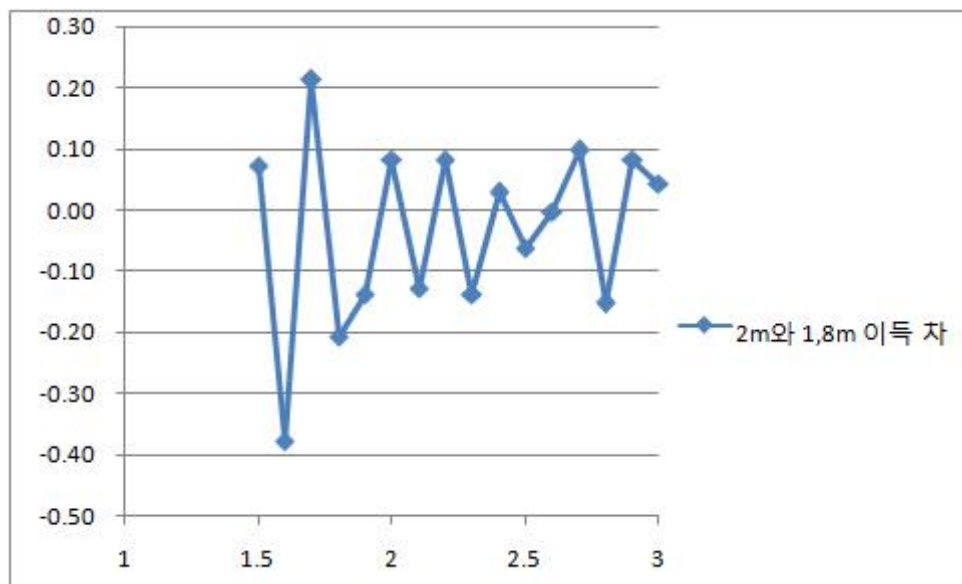
[그림 39] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.8GHz)



[그림 40] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(2.9GHz)



[그림 41] ANSI 63.5의 표준시험장법으로 측정한 표준혼안테나의 거리에 따른 안테나 이득의 추이(3.0GHz)



[그림 42] 1.5GHz-3GHz 대역에서 1.8m 및 2m에서 측정한 안테나 이득의 차이
{가로축 : 주파수(GHz), 세로축 : 이득차(dB)}

제 5 장 결론 및 향후 과제

복사성전력 측정용 안테나는 전계강도를 측정하는 수신용 안테나와 치환용 송신 안테나로 구분되며 복사성전력을 측정하는데 사용하는 안테나의 교정 방법은 국내외적으로 특별히 언급된 규격은 없지만, ANSI 63.5, SAE ARP958 또는 CISPR에서 언급하는 EMI 측정용 안테나의 교정방법과 절차를 준용하면 될 것이다. 치환법을 사용하는 복사성 전력 측정에는 다이폴 안테나와 혼안테나를 이용하는 것이 일반적인 사항이지만 실제적으로는 광대역 안테나와 다른 형태의 안테나를 사용할 수도 있기 때문에 다이폴 안테나나 혼안테나의 교정에 국한될 필요는 없다. ANSI 63.5에서 교정은 주파수 범위가 9kHz에서 40GHz 범위의 안테나에 적용되며 구체적으로 다이폴안테나, 바이코니칼 안테나, 대수주기 안테나, 바이로그 안테나, 혼안테나 및 모노폴 안테나를 언급하고 있다. SAE ARP958에서는 안테나 종류로서 바이코니칼, 동조 다이폴, 대수주기 다이폴, 대수 스파이어럴(200MHz ~ 1GHz), 대수 스파이어럴(1GHz ~ 10GHz), 이중 리지드 혼안테나, 대수주기 안테나, 표준혼 안테나, 루프 안테나, 수직 모노폴안테나를 언급하고 각각의 안테나 이득을 측정하는 방법과 절차를 규정하고 있다. 이로 미루어 복사성전력 측정용 안테나는 주파수 대역별 및 안테나 종류별로 다음과 같이 구분하여 교정을 수행하면 될 것이다. 30MHz이하 대역의 루프안테나는 SAE ARP958의 교정방법을 준용하고 모노폴 안테나는 ANSI 63.5 및 SAE ARP958를 준용한다. 30MHz이상 1000 MHz 이하 대역의 다이폴안테나, 바이코니칼 안테나, 대수주기 안테나, 바이로그 안테나 기타 이 대역에 속하는 안테나는 기존의 전파연구소의 자유공간 안테나 인자 산출 방식인 3-Antenna Height Scanning Averaging이나 ANSI 63.5의 표준시험장법을 적용하면 될 것이고 1GHz 이상 대역의 혼안테나는 ANSI 63.5의 표준시험장법을 사용해야 할 것이다.

본 보고서에서는 무선기기의 복사성전력을 측정하는 안테나 교정 방법을 고찰하였고 그것을 기반으로 야외시험장에서 1.5GHz - 3GHz 대역의 혼안테나를 ANSI 63.5의 표준시험장법을 이용하여 거리에 따른 안테나 이득의 추이를 측정 연구하였으며 원거리장 조건인 $(2 \times D^2)/\lambda$ 의 영역에서 안테나 이득이 불확도내에서 일치함을 보였다. 또한 야외시험장에서 안테나 측정의 효율성을 위하여 측정용 보조장치를 설계 제작하여 특허출원을 하는 개가를 올리기도 했다. 본 보고서에서 제안한 복사성 전력 측정용 안테나 교정은 ANSI 63.5에서도

규정하였듯이 40GHz 이하에 적용된다는 한계가 있으며 그것은 그 이상 대역의 안테나 교정 방법을 개발해야 한다는 과제를 남김을 의미한다. 또한 교정서비스를 제공하기 위하여 현재 전파연구소 안테나 교정 시험장에서는 40GHz를 망라하는 교정용 혼안테나를 보유하지 못하고 있어 이에대한 확보가 시급하다 할 것이다. 또한 주파수가 높아짐에 따라 불확도를 줄이기 위해 야외 시험장 이외에 GHz 대역을 측정할 수 있는 안테나교정용 챔버의 확보가 시급하다 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Park Jung-Kuy, Jeong Dong-Chan, Yoon Hoon, Ryoo Jaeman, Makoto Sakasai, Akira Suzuki, Katsumi Fujii and Yokio Yamanaka "Mutual Comparison on Calibration of Free-space Antenna Factor for EMI Antenna in 30MHz - 1GHz" 2008 Asia -Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility and 19th International Zurich Symposium, pp 890-893, 19-22 May 2008
- [2] Jung-Kuy Park, Dong-Chan Jeong, Ginam Cha, and Hong-Nam Go, "Height Scanning Averaging method for Free-Space Antenna Factors of EMI Antenna" ISAP2005, August 3-5, 2005
- [3] Akira Sugiura, et al, "EMI Antenna Calibration with Averaging Height -Dependent Antenna Factors" ICEMC Bangkok, pp.379-382.
- [4] Shinya Kaketa, Katsumi Fujii, Akira Sugira "A Novel Method for EMI Antenna Calibration on a Meta Ground Plane", 2003 IEEE Int'l Symposium on EMC, Istanbul May 2003.
- [5] IEC CISPR/A/644/CD Project number CISPR 16-1-5 Amd.1 Ed1., "Antenna Calibration"
- [6] 박정규, 윤훈, 유재만, 이종훈 "EMI 안테나의 높이에 따른 안테나인장의 특성분석", 2008년도 마이크로파 및 전파 학술대회, 제31권 제2호, pp.152, 2008년 9월 25일 - 26일
- [7] 박정규, 정동찬, 차기남, 고흥남, "30 MHz에서 1 GHz 대역 EMI용 안테나의 준자유 공간 안테나팩터 산출에 관한 연구" 2004년도 한국전자과학회 종합학술발표회 Vol. 14, No.1, 2004.11.5
- [8] 박정규, 정동찬, 조진영, 유석원, "EMI용 다이폴안테나 교정의 측정불확도 산출", 2006년도 한국전자과학회 종합학술발표회 Vol. 16, No.1, 2006.11.3
- [9] 박정규, 정동찬, 윤훈, 유재만, "안테나 교정방법 및 절차 비교연구", 2007년도 전파연구소 연구보고서(전파환경 보호기술) RRL2007-02, pp.595-640, 2008년 5월
- [10] ETSI TR 100 028-1 v1.4.1 (2001.12) "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum matter; uncertainty in the measurement of mobile radio equipment characteristics"

- [11] ETSI TR 100 028-2 v1.4.1 (2001.12) "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum matter; uncertainty in the measurement of mobile radio equipment characteristics"
- [12] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design" John Wiley & Sons, 1982
- [13] MIL-STD-461 Requirements for The Control of Electromagnetic Interference Emissions And Susceptibility
- [14] MIL-STD-462 Measurement Of Electromagnetic Interference Characteristics
- [15] Microwave Antenna Theory and Design by Silver, Vol. 12, Radiation Laboratory Series, McGraw-Hill, 1949, pp. 582-585
- [16] Antenna by Kraus, McGraw-Hill, 1950, pp. 455-457
- [17] Standard Site Method For Determining Antenna Factors, IEEE EMC Transaction, Vol. EMC-24, No. 3, August 1983, pp 316-322
- [18] ANSI C63.5 American National Standard for Electromagnetic Compatibility -- Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference(EMI) Control -- Calibration of Antennas
- [19] IEEE Std 291 Standard Methods For Measuring Electromagnetic Field Strength of Sinusoidal Continuous Waves, 30Hz to 30GHz
- [20] IEEE Std 149 IEEE Standard Test Procedures For Antennas
- [21] SAE J551/5 Performance Levels and Methods of Measurement Magnetic and Electric Field Strength from Electric Vehicles, Broadband, 9kHz to 30MHz
- [22] NBS Circular 517, Calibration of Commercial Radio Field-Strength Meters
- [21] SAE ARP958 Electromagnetic Interference Measurement : Standard Calibration Method

[주의 문구 삽입]

복사성 전력 측정용 안테나 교정방법 연구



140-848 서울시 용산구 원효로 군자감길 46

발 행 일 : 2010. 2.

발 행 인 : 임 차 식

발 행 처 : 방송통신위원회 전파연구소

전 화 : 02) 710-6454

인 쇄 : 한국장애인이워크협회

Tel. 02) 2272-0307, 0313

ISBN : 978-89-93720-46-4-92560 < 비 매 품 >

주 의

1. 이 연구보고서는 전파연구소에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 전파연구소 연구결과임을 밝혀야 합니다.

※ 뒷표지 안쪽면 중간에 인쇄