

안테나 교정 방법 및 절차 비교연구

연구책임자

류재만

연구원

박정규

정동찬

윤훈

제 출 문

본 보고서를 「안테나 교정방법 및 절차 비교 연구」 과제의
최종보고서로 제출합니다.

2007. 12. 31.

연구책임자 : 류 재 만 (전파연구소)

연 구 원 : 박 정 규 (전파연구소)

정 동 찬 (전파연구소)

윤 훈 (전파연구소)

요 약 문

1. 과 제 명 : 안테나 교정 방법 및 절차 비교연구

2. 연구 기 간 : 2007.01 - 2007.12

3. 연구책임자 : 통신사무관 류 재 만

4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부내용	연구자	월별 추진계획												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
○연구 총괄	류재만													
○자료수집	박정규													
○이론 및 교정방법 연구	박정규													
○안테나 측정 - 감쇠량측정 HSA - 표준시험장법 - 표준안테나법 - 높은위치 측정법 - 흡수체 이용법	박정규 정동찬 윤훈													
○안테나 국제비교	박정규 정동찬 윤훈													
○ 연구결과 논문발표	박정규													
○보고서 작성	박정규													
분기별 수행진도(%)														

나. 세부 과제별 추진사항

- ☐ CISPR의 안테나 교정 최신 문서 분석
 - o 안테나 교정 시험장의 요건
 - o 자유공간 교정방법

- ☐ 3-안테나법 비교 측정 연구
 - o Height Scanning Averaging 법
 - o ANSI 63.5의 표준시험장법
 - o 높은 위치 측정법
 - o 흡수체를 이용한 측정법

- ☐ 측정불확도 연구
 - o CISPR 권고 기준의 다이폴안테나 측정 불확도 산출

- ☐ 한·일간 안테나 비교 측정 연구
 - o RRL 및 NICT 측정법에 따른 결과 비교 분석

5. 연구 결과

- ☐ 3-안테나 Height Scanning Averaging의 교정절차 확립
 - o 다이폴안테나 교정 절차
 - o 다이폴안테나 교정 측정불확도 산출

- ☐ 한일 안테나 비교 측정
 - o 표준안테나법 및 HSA 법 비교 측정

- ☐ 연구 결과 대외 학술 발표
 - o 전자파 학회 주최 종합학술발표회 발표(2006.11.3)
 - o 전자파학회 논문지 특집호 게재(2007년 2월 예정)

6. 기대효과

- 정보통신지정시험기관에 대한 EMI용 안테나의 신뢰성 있는 교정서비스 제공
- EMI용 안테나 국가교정기관으로서의 위상 확립
- 안테나 교정의 국제적 유효성 검증

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규 격	수 량	용도	보유 현황	확보방 안	비 고
N/A 안테나 마스트	HP 8753C HD	1 1	네트워크분석기 안테나 마스트	보유 보유		

8. 기타사항

없음

SUMMARY

Measurement uncertainty assessment is very important in measurement and calibration. RRL provides antenna calibration services for EMI test. Reliability of EMI test depends on accurate antenna calibration. Antenna calibration results have to be accompanied with measurement uncertainty for its better reliability. In the late of 2005, CISPR issued the CISPR/A/644/C which describes the antenna calibration and measurement uncertainty.

In this report, on the basis of CISPR/A/644/C, we provide the measurement uncertainty values for dipole antenna calibration at the Calibration Test Site (CALTS) of Icheon. The antenna calibration method is 3-antenna Height-Scanning-Averaging Method, which measures the free-space antenna factor. We also considered all uncertainty sources that can affect measurement results during calibration.

목 차

표 목 차	602
그림목차	603
제 1 장 서 론	605
제 2 장 안테나 교정방법의 분류	606
제 1 절 감쇠량 소급을 요하는 안테나 교정법	606
제 2 절 전압 소급을 요하는 안테나 교정법	612
제 3 절 안테나 인자를 소급하는 안테나 교정법	620
제 3 장 자유공간 안테나인자	622
제 1 절 왜 자유공간 안테나 인자인가?	622
제 2 절 자유공간 안테나 인자 산출 교정법	624
제 4 장 자유 공간 안테나 인자의 국제 비교	637
제 5 장 맺음말	640
참 고 문 헌	641

표 목 차

표 1 표준시험방법에서 요구되는 최대전계 EMAX와 보정인자 C0	610
표 2 스캐닝 범위(50, 70MHz)	630
표 3 스캐닝 범위 및 수 (1000MHz)	630
표 4 전파연구소와 NICT의 교정설비 비교	637
표 5 비교대상 안테나 및 주파수	637
표 6 양 기관의 측정불확도 ($k=2$)	637
표 7 다이폴의 비교 결과	638

그 립 목 차

그림 1 3-안테나법의 측정 구성	607
그림 2 표준시험장법의 측정구성	608
그림 3 Height Scanning Averaging 측정 구성	611
그림 4 계산가능 다이폴의 구조	612
그림 5 하이브리드 커플러 등가 2포트	613
그림 6 NPL형 안테나를 이용한 표준안테나법(송수신 높이 모두 고정)	616
그림 7 NIST 표준다이폴 안테나 구조	617
그림 8 다이폴헤드의 교정(RF-DC 변환)	618
그림 9 다이폴헤드의 교정결과(RF-DC 관계)	619
그림 10 NIST형 안테나 이용 교정 구성	619
그림 11 안테나인자를 아는 기준안테나로 교정하는 교정법	621
그림 12 안테나의 등가회로	622
그림 13 안테나임피던스의 높이의존 패턴(100MHz)	623
그림 14 안테나인자의 높이패턴과 자유공간 안테나인자	624
그림 15 Height Scanning Averaging 측정 구성	625
그림 16 반사파의 합성과 자유공간 개념	626
그림 17 HSA측정의 효과 (100MHz 경우)	627
그림 18 NIST의 표준안테나법(송신:1-4m스캔, 수신:고정)	628
그림 19 Averaging 및 스캐닝 범위와 높이에 따른 안테나인자의 변화추이(70, 100MHz)	631
그림 20 Averaging 및 스캐닝 범위와 높이에 따른 안테나인자의 변화추이 (200, 300, 400MHz)	632
그림 21 Averaging 및 스캐닝 범위와 높이에 따른 안테나인자의 변화추이 (500, 600, 700MHz)	633

그림 22 Averaging 및 스캐닝 범위와 높이에 따른 안테나인자의 변화추이 (800, 900, 1000MHz)	634
그림 23 1과장 스캐닝 범위에서 각 높이에 따른 안테나인자의 변화추이 (30, 40, 50MHz)	635
그림 24 양 기관에서 교정한 다이폴안테나 비교 결과	638
그림 25 양 기관에서 교정한 광대역안테나 비교 결과	639

제 1 장 서 론

오늘날 정보통신의 발달로 『안테나』라는 용어는 전문가가 아니더라도 일반 대중에게도 친숙하게 쓰여 진다. 이는 방송뿐만 아니라 휴대폰 통신 등을 이용함으로써 안테나가 정보를 주고받는 핵심적인 매개체라는 사실을 경험하였기 때문이다. 그러한 이유로 『안테나』라고 하면 일반적으로 통신수단이라는 등식에 연관시켜 생각하게 되는데, 그러나, 『안테나』는 방송/통신의 수단 이외에 어떤 양을 측정하는 도구로도 중요하게 이용된다. 그러한 관점에서 안테나를 분류하면 『통신용 안테나』와 『측정용 안테나』로 나눌 수 있다. 이러한 구분의 목적은 안테나의 용도에 따라서 주목해야할 안테나 특성이 다르기 때문이다. 통신용 안테나의 경우, 안테나 이득(gain), 방사패턴(radiated pattern) 및 안테나의 지향성(directivity) 등의 특성에 중점을 두는 반면에 측정용 안테나, 특히, 전자과장해(Electromagnetic Interference)를 측정하는 EMI용 안테나는 안테나 인자(antenna factor)에 관심을 둔다. 그러므로 EMI 측정용 안테나의 교정이란 안테나인자를 측정하는 것을 뜻한다고 말할 수 있으며, 적절한 단위로 표현한 측정 출력 전압과 전기장의 세기의 비율로 나타내는 비례 상수

$$\begin{aligned} AF &= E/V \quad (linear) \\ AF &= E - V \quad (dB) \end{aligned} \tag{1}$$

로 정의한다. 이러한 안테나 인자의 측정은 측정할 물리량에 따라서 결정하는 방법이 달라지고 그에 따라 안테나 교정방법이 분류된다. 이러한 이유를 포함하여 안테나 인자를 측정하는 방법은 국제적으로 표준방법이 존재하지 않기 때문에 각 국가의 안테나 교정기관은 나름대로 방식으로 안테나 인자를 교정하고 있다. 즉, 국가 표준이나 국제표준에 대한 소급성이라는 측면에서 안테나 인자를 결정하는 물리량에 따라 안테나 교정방법을 달리하는 것이다. 안테나 인자를 결정하기 위하여 전압표준을 전달받는 방법, 감쇠량 표준을 전달받는 방법, 전압 및 길이 표준을 전달받는 방법, 임피던스 및 길이 표준을 전달받는 방법, 안테나 인자를 직접 전달받는 방법 등이 있으며 이에 따라 안테나 교정방법 및 설비 등이 다양하게 존재하게 된다.

본 보고서에서 이러한 관점으로 안테나 교정 방법을 분류하였고 상호간의 비교 연구를 수행하였으며 우리소의 안테나 교정방법의 유효성을 고찰하였다.

제 2 장 안테나 교정방법의 분류

제 1 절 감쇠량 소급을 요하는 안테나 교정법

감쇠량을 측정하여 안테나 인자를 산출하는 방법은 기본적으로 3-안테나법을 이용하며, 다음과 같은 Friss 방정식을 근간으로 한다.

$$G_t + G_r = 20\log(4\pi d/\lambda) + 10\log P_r/P_t \quad (\text{단위 dB}) \quad (2)$$

여기서 G_t 와 G_r 은 송신 및 수신안테나의 이득, d 는 안테나 사이의 거리, λ 는 파장이며, P_r 와 P_t 은 송신 및 수신 전력이며 방정식 (2) 우변의 두 번째 항인 $10\log P_r/P_t$ 이 안테나 사이의 삽입손실 즉, 감쇠량이며 전압 감쇠량, $20\log V_r/V_t$ 과 같다. 국가 표준기관으로부터 감쇠량 값을 소급받아 이를 측정함으로써 안테나 인자를 산출할 수가 있다. 이러한 교정방법이 가장 광범위하고 다양하게 이용된다.

1. 3-안테나 법

안테나 교정에 필요한 안테나 수는 아주 특별한 경우[]를 제외하고는 항상 3개이다. 안테나 3개가 필요해서 3-안테나 법이 아니라 방정식 (2)에 따라 필요한 최종의 독립된 방정식의 수가 3개이고 그에 따라 교정대상 안테나를 포함하여 독립적으로 안테나가 3개가 필요하기 때문에 붙여진 이름이다. 반면에 2-안테나법이라는 용어는 교정대상을 제외한 2개의 안테나가 전기적으로 동등한 안테나라는 의미에서 이름 붙여진 것이다. 2-안테나 법도 3개의 안테나가 필요하다. 3-안테나 측정의 기본구성은 그림 1에서 보여준다. 이와 같은 구성에서 안테나 인자를 산출하기 위한 방정식은 다음과 같다.

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

여기서

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

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

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

밀침자 1 및 m은 세 개의 안테나 1, 2, 3을 의미하고, L_{lm} 은 안테나 l과 m 사이의 삽입손실 또는 감쇠량이다. R_{lm} 은 안테나 l과 m 사이 직접파의 경로 거리이고, r_{lm} 은 안테나 l과 m 사이 반사파의 경로거리이다. 안테나 사이의 거리 D 및 높이 h_l , h_m 를 측정하고 삽입손실 L_{lm} 을 측정함으로써 각 안테나의 안테나 인자를 계산할 수 있다. 이렇게 측정되고 계산된 안테나 인자는 지표면으로부터 측정한 높이에 의존하는 안테나 인자이다.

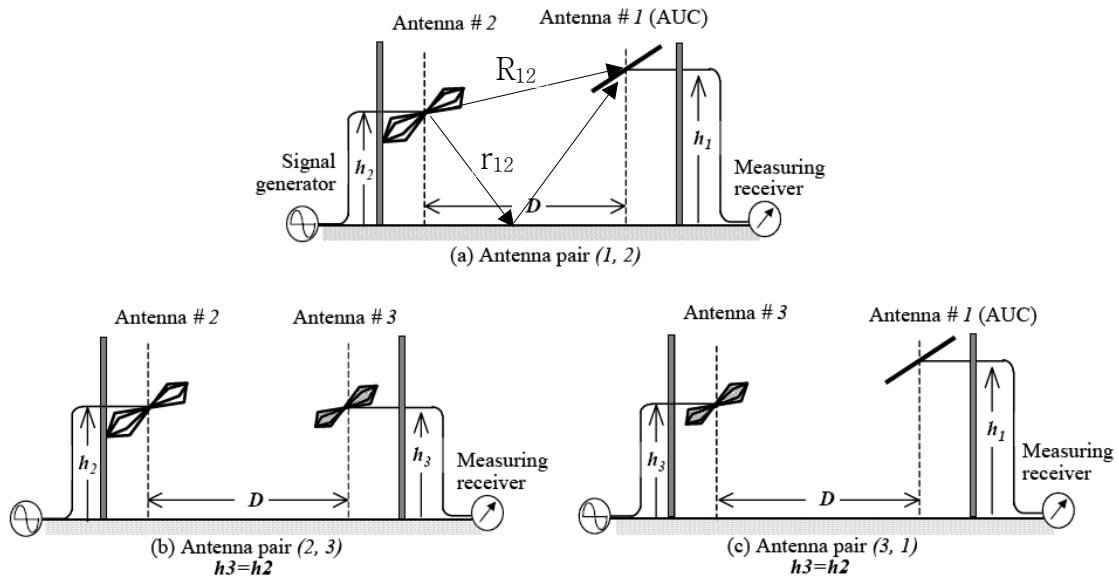


그림 1 3-안테나법의 측정 구성

2. 표준시험장법

표준시험장법은 교정야외시험장의 접지면 위에 설치될 세 개의 안테나에 대한 안테나 쌍의 시험장 감쇠량을 측정함으로써 자유공간 안테나 인자를 측정한다. 3-안테나법과 달리 수신안테나는 각각의 주파수에서 최대의 전압 위치를 찾아내기 위하여 1m에서 4m까지 스캔을 한다. 이 방법은 정규화시험장 감쇠량[]을 측정하는 방법과 유사하다. 표준시험장법의 측정구성은 그림 2에서 보여주며 안테나 3쌍, 안테나쌍 (1, 2), 안테나쌍 (2, 3) 및 안테나

쌍 (3, 1) 사이의 시험장 감쇠량 L_{lm} 을 측정함으로써 안테나 인자값은 다음과 같은 방정식에 의해서 산출한다.

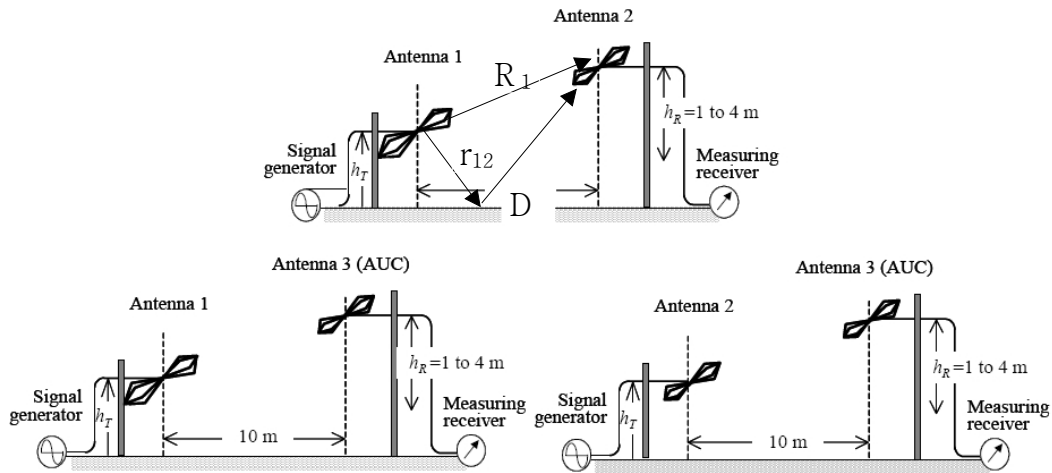


그림 2 표준시험장법의 측정구성

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \frac{1}{2} [L_{12} - L_{23} + L_{31} - 20\log(279.1/f_{MHz}) + E_{MAX}] \\
 F_2 &= \frac{1}{2} [L_{23} - L_{31} + L_{12} - 20\log(279.1/f_{MHz}) + E_{MAX}] \\
 F_3 &= \frac{1}{2} [L_{31} - L_{12} + L_{23} - 20\log(279.1/f_{MHz}) + E_{MAX}]
 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 E_{MAX} 는 송신 안테나가 스캔하는 동안 수신안테나에 감지되는 최대 전계강도로서 다음과 같은 방정식에 의해서 주어진다.

$$E_{MAX} = 20\log \left\{ \sqrt{49.2} \left| \frac{e^{-jkR_{lm}}}{R_{lm}} - \frac{e^{-jkr_{lm}}}{r_{lm}} \right|_{MAX} \right\}$$

여기서 3-안테나법과 마찬가지로

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

$$r_{lm} = \sqrt{D^2 + (h_l + h_m)^2} \text{ 이며,}$$

R_{lm} 은 안테나 l과 m 사이 직접과의 경로 거리이고, r_{lm} 은 안테나 l과 m 사이 반사파의 경로거리이다.

표준시험장법은 전송 및 수신안테가 무한소의 다이폴 안테나라는 가정에 근거한다. 그러므로 이러한 가정에 의하여 다음과 같은 사항이 무시된다.

첫째, 안테나간의 상호 커플링,

둘째, 안테나 인자의 높이 의존성,

셋째, 측정 안테나의 H면 지향성과 무한소 다이폴 사이의 차이 등이다.

이러한 이유 때문에 다이폴 안테나나 바이코니칼 안테나를 교정할 때, 측정된 시험장 감쇠량에 보정인자가 필요하다.

이 보정인자는 안테나 방사 엘리먼트의 구조와 발룬의 입력임피던스, 기타 방사 엘리먼트에 연결된 회로등에 의하여 영향을 받는다. 그러므로 방정식 (4)의 안테나 인자는 다음과 같은 보정인자의 삽입이 필요하며

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{1}{2} [L_{12} - L_{23} + L_{31} - 20\log(279.1/f_{MHz}) + E_{MAX}] - C_0 \\ F_2 &= \frac{1}{2} [L_{23} - L_{31} + L_{12} - 20\log(279.1/f_{MHz}) + E_{MAX}] - C_0 \\ F_3 &= \frac{1}{2} [L_{31} - L_{12} + L_{23} - 20\log(279.1/f_{MHz}) + E_{MAX}] - C_0 \end{aligned} \quad (5)$$

표준시험장법의 실제 측정은 특정 주파수에서 송신안테나를 1 - 4m 사이를 스캔하면서 신호의 세기가 최대가 되었을 때 시험장 감쇠량 L_{lm} 을 측정하고

여러 가지 주파수에서 여러 가지 주파수에서 이론적으로 계산하여 주어진 E_{MAX} 값과 보정인자 C_0 값을 방정식 (5)에 대입함으로써 자유공간 안테나 인자를 산출할 수가 있다. 여기서 이론으로 계산한 E_{MAX} 값과 보정인자 C_0 값은 다음과 같은 표 1에서 주어진다.

표 1 표준시험방법에서 요구되는 최대전계 E_{MAX} 와 보정인자 C_0

f [MHz]	E_{MAX} [dB(μ V/m)]	C_0 [dB] for half-wave tuned dipole antenna for balun impedances of 50 to 73 Ω	C_0 [dB] for biconical antenna with balun impedance of 50 Ω ¹
30.0	-4.76	0.9	0.13
35.0	-3.56	0.7	0.09
40.0	-2.55	0.4	0.06
45.0	-1.69	0.3	0.02
50.0	-0.95	0.5	0.03
60.0	0.24	0.7	0.37
70.0	1.09	0.4	0.25
80.0	1.69	-0.5	-0.45
90.0	2.05	-0.7	-0.34
100.0	2.21	-0.5	-0.06
120.0	2.39	0.1	0.20
140.0	2.49	0	-0.01
160.0	2.56	-0.4	-0.12
180.0	2.60	-0.3	0.05
200.0	2.63	0.0	0.15
250.0	2.68	-0.3	0
300.0	2.71	-0.2	0
400.0	2.71	0	0
500.0	2.57	0	0
600.0	2.63	0	0
700.0	2.67	0	0
800.0	2.69	0	0
900.0	2.71	0	0
1000.0	2.72	0	0
¹ The correction factor values are taken from ANSI C63.5-2004.			

3. Height Scanning Averaging 법

이 방법은 일종의 3-안테나 법으로서 자유공간 안테나인자를 산출하기 위한 효율적인 방법이다. Height Scanning Averaging은 독일의 안테나 제조사 Schwarzbeck의 설립자 Dr. Schwarzbeck이 처음 고안한 방법으로 전파연구소에서 그 방법을 발전시켜 이용하고 있다. 이 방법에 의한 안테나 교정의 측정 구성은 그림 2에서 보여주고 있다. 또한 기본 방정식은 다음과 같으며 자세한 내용은 추후의 장에서 다루도록 하겠다.

$$\begin{aligned}
F_1(Free) &= \frac{1}{2} [L_{12} - L_{23} + L_{31} + 20\log f_{MHz} - 20\log D - 32] \\
F_2(Free) &= \frac{1}{2} [L_{23} - L_{31} + L_{12} + 20\log f_{MHz} - 20\log D - 32] \\
F_3(Free) &= \frac{1}{2} [L_{31} - L_{12} + L_{23} + 20\log f_{MHz} - 20\log D - 32]
\end{aligned} \tag{6}$$

여기서 L_{lm} 은 안테나 쌍 (l, m) 사이의 시험장감쇠량을 높이에 따라 평균한 평균 시험장 감쇠량이며, 그림 3에서 보듯이 D는 안테나 사이의 거리이자 직접파의 경로거리이다. 이렇게 계산한 안테나 인자는 자유공간 안테나 인자가 된다.

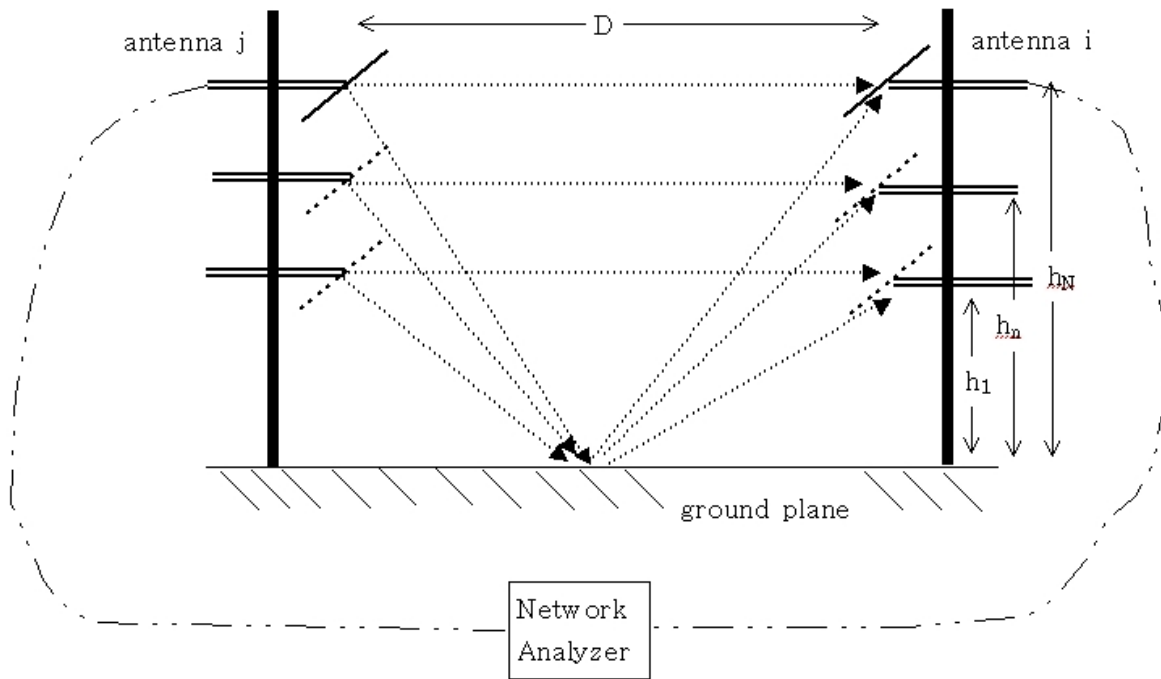


그림 3 Height Scanning Averaging 측정 구성

제 2 절 전압 소급을 요하는 안테나 교정법

이 방법들은 방정식 (2)와 같은 안테나 전송방정식의 변형식을 이용하는 것이 아니라 안테나 인자의 정의식인 방정식 (1)을 이용하는 방식이다. 여기에는 크게 영국의 국립물리연구소(NPL)에서 개발한 표준안테나를 이용하는 방법과 미국의 국립표준기술연구소(NIST)에서 개발한 diode-loaded receive antenna를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 전자는 하이브리드를 이용하여 이론적으로 안테나인자를 계산한 안테나로서 국가표준 또는 국제표준으로부터 전압을 소급함으로써 피교정안테나의 안테나인자를 측정하게 되며, 후자는 다이오드가 장착되어 수신전용으로 이용하며 측정량은 DC전압이며, RF-DC (RF전압과 DC전압의 차) 변환 계수와 길이를 국가표준으로부터 소급받아 피교정안테나의 안테나인자를 측정하게 된다. 이렇게 측정한 안테나 인자는 지표면으로부터 특정 높이에 의존하는 안테나 인자가 되며 자유공간안테나 인자를 측정하기 위해서는 별도의 부가기술 등이 필요하다.

1. NPL형 표준안테나를 이용하는 표준안테나법

1-1 계산가능 표준안테나(Calculable Standard Antenna)

하이브리드 커플러를 발룬으로 하여 제작한 안테나로 영국 NPL에서 개발하였다. 그 구조는 그림 4에서 보여준다.

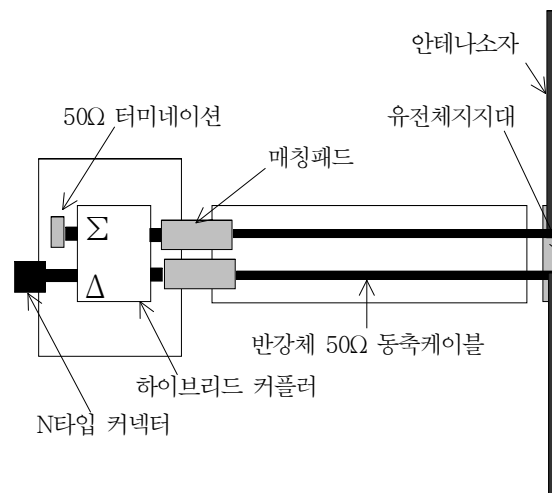


그림 4 계산가능 다이폴의 구조

그림 4와 같은 구조의 물리적으로 똑같은 안테나 2대를 이용하여 이상적인 시험장의 특정한 높이에서 또는 자유공간 조건을 부과하여 모멘트법의 수치해석으로 안테나 삽입손실을 계산하고 그것에 의하여 안테나 인자를 계산한다. 이러한 계산을 수행하기 위하여 우선적으로 발룬의 S-파라미터를 그림 5와 같이 등가 2포트 모델에 의하여 측정한다.



그림 5 하이브리드 커플러 등가 2포트

그림 6에서 9개의 S-파라미터 (S_{aa} , $S_{a\beta}$, $S_{a\gamma}$, $S_{\beta\beta}$, $S_{\beta\alpha}$, $S_{\beta\gamma}$, $S_{\gamma\gamma}$, $S_{\gamma\alpha}$, $S_{\gamma\beta}$)를 측정하면 전송안테나의 발룬에 대해서 등가 2포트 S-파라미터는 식 (7)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 l_{11} &= S_{\alpha\alpha} \\
 l_{12} &= (S_{\alpha\beta} - S_{\alpha\gamma})/2 \\
 l_{21} &= S_{\beta\alpha} - S_{\gamma\alpha} \\
 l_{22} &= (S_{\beta\beta} + S_{\gamma\gamma} - S_{\beta\gamma} - S_{\gamma\beta})/2
 \end{aligned} \tag{7}$$

수신안테나 발룬의 등가 2-포트 S-파라미터는 식 (8)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 n_{22} &= S_{\alpha\alpha} \\
 n_{21} &= (S_{\alpha\beta} - S_{\alpha\gamma})/2 \\
 n_{12} &= S_{\beta\alpha} - S_{\gamma\alpha} \\
 n_{11} &= (S_{\beta\beta} + S_{\gamma\gamma} - S_{\beta\gamma} - S_{\gamma\beta})/2
 \end{aligned} \tag{8}$$

송신안테나의 입력임피던스 Z_{Txin} 과 수신안테나 입력임피던스 Z_{Rxin} 및 수신안테나 중심부에 있는 100Ω 부하에 흐르는 부하전류 I_{LD} 를 모멘트법에 의하여 계산하면 다음과 같은 시험장 등가 2-포트 S-파라미터를 구한다.

$$\begin{aligned} m_{11} &= (Z_{Txin} - 100)/(Z_{Txin} + 100) \\ m_{12} &= 100I_{LD}(1 + m_{11}) \\ m_{21} &= m_{12} \\ m_{22} &= (Z_{Rxin} - 100)/(Z_{Rxin} + 100) \end{aligned} \quad (9)$$

방정식 (7), (8) 및 (9)를 이용하면 다음과 같은 이론적 S-파라미터 및 시험장감쇠량 SIL을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{21} &= \frac{l_{21}m_{12}n_{12}}{(1 - l_{22}m_{11})(1 - m_{22}n_{11}) - l_{22}m_{12}m_{21}n_{11}} \\ SIL &= -20\log |S_{21}| \end{aligned} \quad (10)$$

방정식 (10)의 이론적 시험장감쇠량을 측정값과 비교함으로써 안테나 시험장의 특성을 분석할 수 있다.

한편, 이상적인 안테나 시험장에서 계산가능표준다이폴 안테나의 안테나 인자 $AF = E/V$ 는 안테나 소자의 안테나인자 $AF_{element}$ 와 안테나 발룬의 S-파라미터와 합성으로 계산할 수가 있다.

안테나 소자의 안테나인자 $AF_{element}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$AF_{element} = 10\log f_{MHz} + (I_L + S - N)/2 \quad (11)$$

여기서

f_{MHz} 는 MHz 단위의 주파수,

$$I_L = 20\log \left\{ \left| \frac{Z_{in} + Z_0}{Z_{in}} \right| \frac{1}{2Z_0|I_{LD}|} \right\}$$

$$N = 20\log (5Z_0/2\pi)$$

$$S = 20\log \frac{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 2d_1d_2\cos \{ \pi k(d_2 - d_1) \}}}{d_1d_2}$$

Γ_0 은 삽입손실, Z_{in} 은 전송안테나의 입력임피던스,

Z_0 은 수신안테나 입력임피던스, Γ_{LD} 는 수신안테나 부하전류이며

$$d_1 = R$$

$$d_2 = \sqrt{R^2 + 4h^2}$$

$$k = 2\pi\lambda$$

R 은 안테나사이의 거리이자 직접파의 경로,

d_2 는 영상안테나 사이의 거리이자 반사파의 경로,

h 는 안테나의 시험장으로부터의 높이,

λ 는 파장이다.

이론적인 안테나인자 AF 는 방정식 (11)의 안테나소자의 안테나인자와 안테나 발룬의 합성으로 다음과 같이 주어진다.

$$AF = AF_{element} + 2\log\left|\frac{(1 - \Gamma_E N_{11})(1 - \Gamma_R N_{22}) - \Gamma_E \Gamma_R N_{12} N_{21}}{N_{21}(1 + \Gamma_R)}\right| \quad (12)$$

여기서 $N_{ij}(i,j=1,2)$ 는 평형포트(포트1)의 임피던스 $Z_{01}=100\Omega$ 및 불평형포트(포트2)의 임피던스 $Z_{01}=50\Omega$ 에 정규화된 발룬의 S-파라미터이고,

Γ_E 와 Γ_R 은 각각 안테나 소자 및 수신기의 전압반사계수이며 다음과 같이 주어진다.

$$\Gamma_E = \frac{Z_E - Z_{01}}{Z_E + Z_{01}}$$

$$\Gamma_R = \frac{Z_R - Z_{02}}{Z_R + Z_{02}}$$

이와 같이, 계산가능 표준다이폴의 소급성은 측정값이 아니라 계산된 값에 주어진다. 계산 조건에 따라 특정높이 안테나 인자일 수도 있고 자유공간 안테나 인자일 수도 있다.

1-2 계산가능 표준다이폴 안테나를 이용한 교정법

NPL형 계산가능 표준다이폴을 이용한 교정방법은 그림 7에서 보여준다. 이 교정방법에서는 다른 표준안테나 교정법에서와 달리 수신안테나는 물론 송신안테나도 스캔을 하지

않고 고정된 높이에서 측정을 수행한다. 일반적으로 신호가 가장 높은 지점을 찾아 측정을 하지만 이 방법에 따르면 높이에 따른

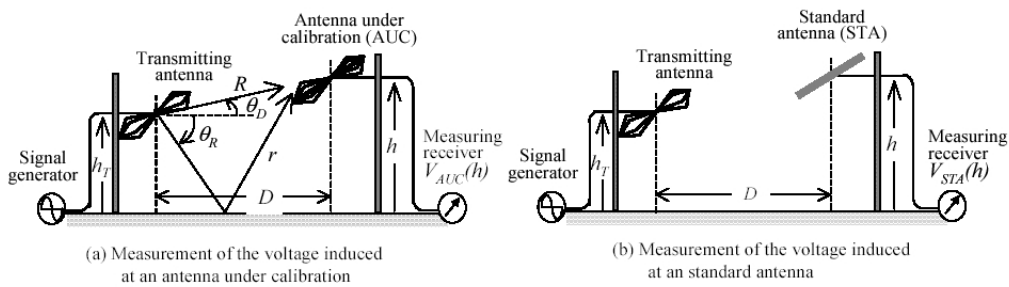


그림 6 NPL형 안테나를 이용한 표준안테나법(송수신 높이 모두 고정)

안테나 인자의 민감도가 크지 않기 때문에 송수신 안테나 모두를 고정하여 측정하여도 무방하다고 한다. 그림 7의 (a)처럼 송신안테나 및 교정대상안테나(AUC)를 특정높이로 고정하여 수신안테나인 교정대상 안테나에 연결된 수신기가 읽는 전압 $V_{AUC}(h)$ 를 측정한다. 그 다음 똑같은 조건하에서 그림 (b)처럼 교정대상안테나 대신 안테나 인자값을 정확히 알고 있는 NPL형 표준안테나를 같은 위치에 놓고 표준안테나에 의해 수신기가 읽는 전압 $V_{STA}(h)$ 를 측정한다. 그림 7에서 보듯이 송신안테나의 송신세기 및 높이가 일정하게 유지된다고 하면 측정할 위치에서 전기장은 항상 일정한 값으로서 $E = \text{일정한 값}$ 이 될 것이다. 안테나 인자의 정의 식 (1)에 의하여 다음과 같이 교정대상 안테나의 인자를 산출할 수가 있다.

$$E(h) = AF_{STA}(h) + V_{STA}(h) = AF_{AUC} + V_{AUC}(h) = \text{constant} \quad (13)$$

$$AF_{AUC} = AF_{STA}(h) + \{ V_{STA}(h) - V_{AUC}(h) \}$$

여기에서 소급성은 국가표준기관으로부터 전압표준을 소급함으로써 소급성을 유지할 수가 있다.

2. NIST형 표준안테나를 이용하는 표준안테나법

2-1. 다이오드형 수신전용 안테나

NIST 표준 수신다이폴안테나(NIST type Diode Loaded Dipole Antenna)는 전계강도의 수신전용으로 미국의 NBS(지금의 NIST)에서 개발된 것을 원형으로 하고 있다. 다이오드 검파식으로 고 임피던스이며 주파수범위는 25MHz ~ 1GHz 이다. 그 구조는 그림 8에서 보는 것과 같다.

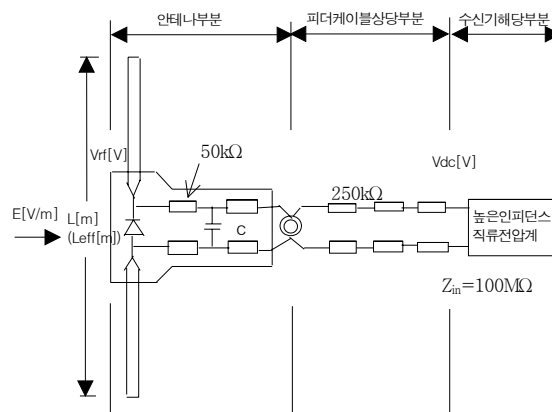


그림 7 NIST 표준다이폴 안테나 구조

그림 1에서 보듯이 NIST 다이폴은 구조가 간단하고 제작이 용이한데 안테나의 직류 출력전압 V_{DC} 을 측정하고 다이폴의 실효길이 L_{eff} 을 구하여 공간에 형성된 전계강도를 정의에 따라 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E = V_{rf} / L_{eff} \quad (14)$$

여기서 실효길이 L_{eff} 는 안테나의 실제길이 L 를 측정하여 다음과 같은 관계식¹⁾에 따라 구할 수 있다.

$$L_{eff} = \lambda / \pi \times \tan(\pi L / 2\lambda) \quad (15)$$

방정식 (2)과 (3)로부터 공간에 형성된 전계 E 를 정확하게 측정할 수 있다.

NIST 안테나에 부하된 임피던스가 매우 높기 때문에 접지면이나 다른 반사물에 영향을

받지 않으며 안테나 소자에 유기된 고주파 전압은 다이오드로 정류되고 직류전압으로 변환됨으로 안테나 출력은 직류전압이 된다. 여기서 NIST 다이폴의 RF와 DC 상호관계를 구하기 위하여 다이폴헤드의 교정이 필요하다.

NIST 다이폴은 V_{rf} 을 측정하는 것이 아니고 다이오드에서 정류된 직류전압인 V_{DC} 를 측정하는 것이기 때문에 V_{DC} 와 V_{rf} 의 정확하게 알기 위하여 다이폴헤드의 교정이 필요하다. 이러한 다이폴헤드의 교정을 통해서 신호발생기와 직류전압계의 전압에 대한 소급성을 유지함으로써 안테나 측정의 소급성을 유지할 수 있게된다. 이 교정은 안테나의 소자를 제외하고 검파회로 부

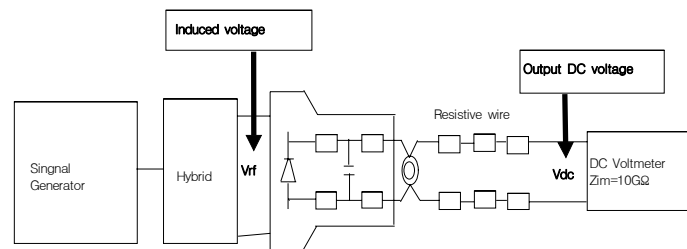
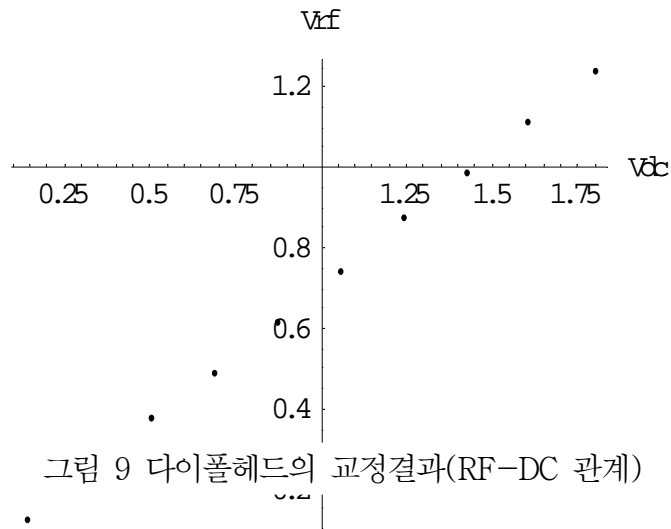


그림 8 다이폴헤드의 교정(RF-DC 변환)

분에 180도 하이브리드 지그를 끼워 정확히 교정된 신호발생기에서 RF 신호를 보내면 다이오드에서 정류된 V_{DC} 를 고 임피던스 직류전압계로 측정함으로써 V_{DC} 와 V_{rf} 의 상관관계를 알아낼수 있다. 다이폴헤드의 교정주파수는 50MHz에서 실시하는데 이러한 교정결과를 다른 주파수에 적용하여도 지장이 없다고 한다.

다이폴헤드 교정을 위한 구성은 그림 3과 같다 그림 4는 다이폴헤드의 교정결과 예를 보여주는 그래프이다. 그래프에서 V_{DC} 를 기준으로 약 0.2V에서 1.75V 사이에서 V_{DC} 와 V_{rf} 는 선형적인 관계를 이루며 다음과 같은 관계식에서 비례상수 a와 b를 산출한다.

$$V_{rf} = aV_{DC} + b \quad (16)$$



2-2 다이오드형 수신전용 표준다이폴 안테나를 이용한 교정법

NIST형 다이오드 수신전용 표준다이폴을 이용한 교정방법은 그림 11에서 보여준다. 우선, 특정 높이(2m 또는 3m)에 NIST형 표준다이폴 안테나를 고정하고 송신안테나를 1m에서 4m 사이를 스캔하여 신호가 가장 높은 지점을 찾아 송신안테나를 고정한 후 표준다이폴에서 감지되는 DC 전압을 측정한다. 방정식 (14), (15) 및 (16)을 이용하여 표준수신안테나가 있는 지점의 표준전기장 E를 계산한다.

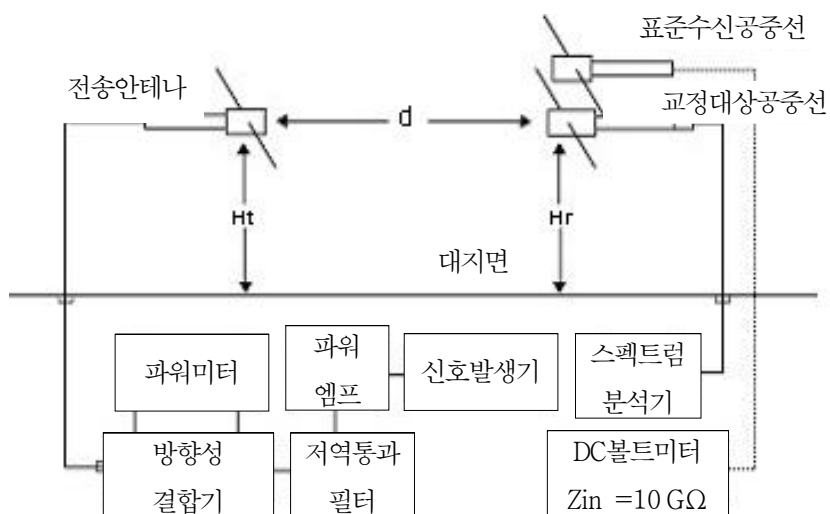


그림 10 NIST형 안테나 이용 교정 구성

그리고나서 송신안테나의 높이 및 송신전력을 같은 상태로 유지하고 표준수신안테나 있던 똑같은 높이에 교정대상안테나(AUC)를 놓고 그 안테나에 연결된 수신기가 읽는 전압 $V_{AUC}(h)$ 를 측정한다. 안테나 인자의 정의식 (1)을 이용하여 다음과 같이 교정대상 안테나의 인자를 산출할 수가 있다.

$$AF_{AUC}(linear) = \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff} V_{AUC}(h)} \quad (17)$$

$$AF_{AUC}(dB/m) = 20 \log \{ (a V_{DC} + b) / L_{eff} \} - 20 \log V_{AUC}$$

여기에서 소급성은 국가표준기관으로부터 전압표준, RF-DC차 및 길이를 소급함으로써 소급성을 유지할 수가 있다.

제 3 절 안테나 인자를 소급하는 안테나 교정법

국가표준이나 그 하위 기관으로부터 안테나 인자 AF를 직접 소급받아서 교정하는 방법은 기준안테나법 또는 참조안테나법이다. 이는 ANSI 63.5에서 주어진 방법으로서 방정식 (13)과 같은 방식이다. 이 방법은 각 안테나의 전압을 측정함으로써 전압표준도 소급받아야 한다.

$$E = AF_{Ref} + V_{Ref} = AF_{AUC} + V_{AUC} = constant \quad (18)$$

$$AF_{AUC} = AF_{Ref} + \{ V_{Ref} - V_{AUC} \}$$

이러한 안테나인자는 소급받은 물리량에 의존하는데, 자유공간안테나 인자를 소급받았으면, 측정값은 자유공간안테나 인자이며, 특정 높이의 안테나 인자를 소급했으면 특정높이의 안테나 인자가 된다. 측정구성은 그림 7과 유사한 형태이다. 기준안테나를 특정높이에 두고 송신안테나를 1m에서 4m까지 스캔하여 신호가 최대가 되는 지점에서 기준안테나에 유기되는 전압을 측정한 후, 같은 조건의 송신안테나로 송신하고 같은 지점에 교정대상안테나(AUC)를 놓고 그 안테나에 유기되는 전압을 측정하여 방정식 (18)을 사용하여 안테나인자를 산출한다.

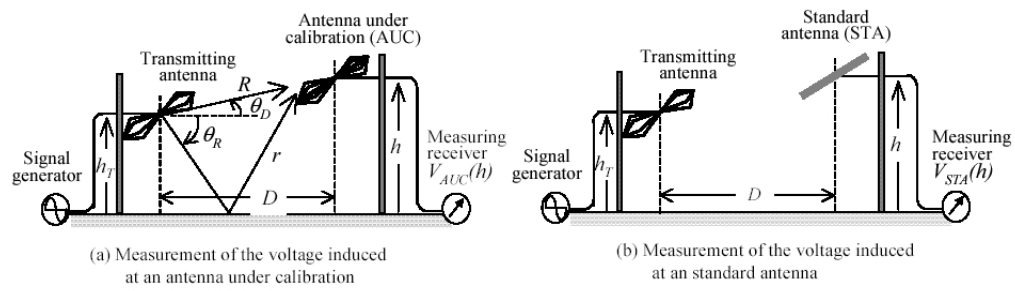


그림 11 안테나인자를 아는 기준안테나로 교정하는 교정법

제 3 장 자유공간 안테나인자

제 1 절 왜 자유공간 안테나 인자인가?

CISPR와 같은 EMC 관련 국제기구들은 EMI 측정용 안테나에 대해 자유공간 안테나 인자를 결정하는 안테나 교정법을 논의하고 있다. 일반적으로 안테나 교정은 접지면의 반사파에 의해 강하게 영향을 받는 야외시험장에서 수행되고 있다. 이는 자유공간 안테나 인자를 산출하는데 많은 어려움이 있다는 것을 의미한다. 안테나 인자는 접지면으로부터 높이에 의존하는데 그것은 안테나와 접지면 사이의 상호 결합에 의한 안테나의 임피던스 변화에 기인한다. 임피던스를 고려한 수신안테나 측의 등가회로는 그림 13과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 h_e 는 안테나의 실효길이이고 Z_a 는 안테나 임피던스, Z_0 는 안테나에 연결된 수신기의 입력임피던스이다. 이 회로에 전류 I 가 흐른다면, 안테나에 유기되는 전압 $h_e E$ 와 전압 V 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} h_e E &= I(Z_a + Z_0) \\ V &= IZ_0 \end{aligned} \quad (19)$$

위의 식 (19)와 안테나인자의 정의식 (1)로부터 안테나인자를 다음과 같이 임피던스 항으로 표시할 수 있다.

$$AF = \frac{E}{V} = \frac{1}{h_e} \frac{Z_a + Z_0}{Z_0} \quad (19)$$

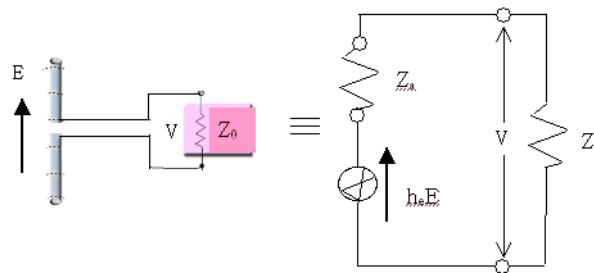


그림 12 안테나의 등가회로

안테나의 임피던스는 Z_a 는 금속도체면과 임피던스 결합이 있으며, 접지면으로부터 높이 h 에서 다음과 같은 근사적인 관계식이 성립한다.

$$Z_a(h) = Z_{free} - j \frac{60\pi}{\lambda} h_e^2 \frac{e^{-jk(2h)}}{2h} \quad (20)$$

여기서 Z_{free} 는 안테나의 자유공간임피던스로 약 73Ω 이다. 100MHz의 경우 안테나 임피던스의 높이 의존 예가 그림 (14)에 나타나 있다.

안테나인자의 높이의존 측정결과는 그림 (15)에서 보여준다. 자유공간 안테나 인자를 선호하게 되는 이유가 여기에 있다. 100MHz 다이폴의 경우, 그림 (15)에서 높이에 따라 안테나 인자값에 최대 최소 차이가 8dB 이상의 차이를 보인다. 그러므로 안테나의 고유성 능으로서 자유공간 안테나인자는 한 개의 값만이 존재하게 된다.

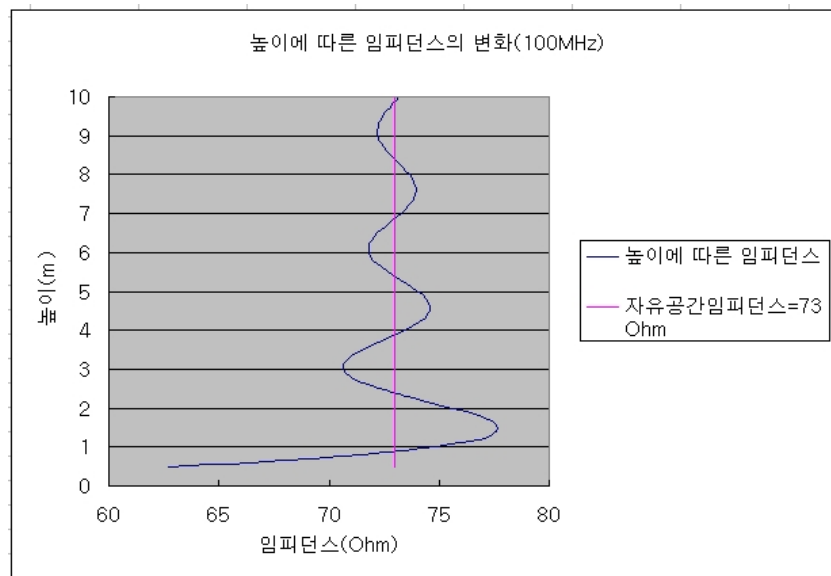


그림 13 안테나임피던스의 높이의존 패턴(100MHz)

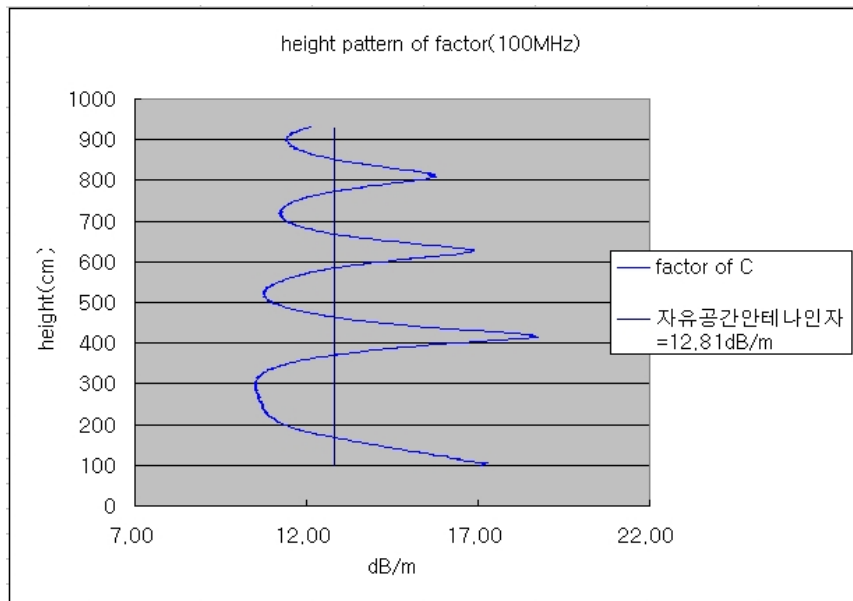


그림 14 안테나인자의 높이패턴과 자유공간 안테나인자

제 2 절 자유공간 안테나 인자 산출 교정법

ANSI 63.5의 표준시험장법은 자유공간 안테나인자를 산출하는 것으로 알려졌으며, NPL형 계산가능 다이폴안테나 안테나를 이용한 표준안테나법도 계산된 안테나 인자에 따라 자유공간안테나 인자 혹은 특정높이 안테나 인자를 측정하게 된다. 가장 일반적인 측정법인 3-안테나법이나 NIST형 다이폴을 이용한 표준안테나법, 기타 다른 표준안테나법 등은 특정높이에서 측정하는 안테나 인자이기 때문에 자유공간 안테나 인자를 측정하기 위하여 부가된 기술이 필요하다. 대표적인 것으로서 첫째 접지면으로부터 상당히 높은 위치에서 안테나를 교정하는 것이고, 두 째 흡수체로 이루어진 안테나 챔버에서 교정하거나, 야외시험장에서 안테나 높이에 따라 안테나 인자를 평균하는 방법 등이 거론된다. 다음에는 자유공간 안테나 인자를 측정하는 방법으로서 전파연구소에서 발전시킨 Height Scanning Averaging 법과 일본 정보통신연구기구(NICT)에서 NPL형 표준다이폴을 이용한 Curve Fitting Method를 소개한다.

1. Height Scanning Averaging (전파연구소의 안테나 교정법)

어떤 송신 안테나에 대해 거리 d 만큼 떨어진 지점의 자유공간 원역장 영역에서 전기장의 세기는 다음과 같다.

$$(21)$$

여기서 P_t 는 전송 전력이고, G_t 는 전송안테나의 안테나 인자이다. 일반적으로 광학 2-ray 모델에서 도체면 위에 놓인 단일 소스에 의해 생성되는 전기장은 다음과 같이 표현된다.

$$(22)$$

여기서 r 은 반사파의 경로길이이다.

반사파를 제거하는 Height Scanning Averaging 방법의 측정 구성은 그림 15와 같다.

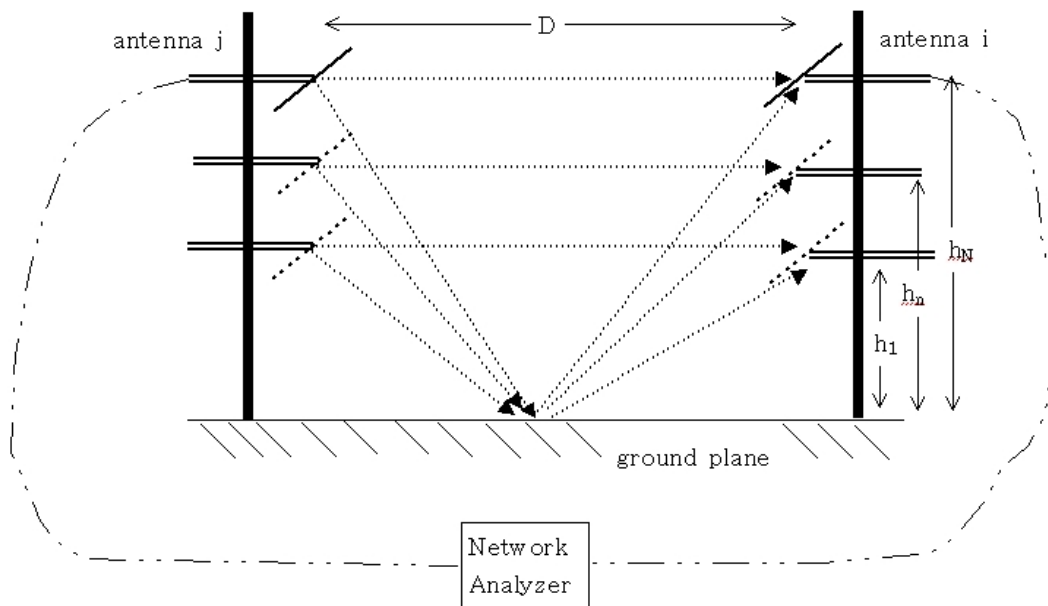


그림 15 Height Scanning Averaging 측정 구성

최저높이에서 최고높이까지 스캔하는 동안 송신 및 수신 안테나는 같은 높이를 유지한다. 수신점에서 직접파의 전기장 E_{dir} 및 반사파의 전기장 E_{ref} 의 합인 총 합성 전기장 $E = E_{dir} + E_{ref}$ 이다. 직접파의 전기장은 경로길이가 같아 항상 같은 위상을 지니지만, 반사파들은 그들의 경로의 길이가 서로 다르기 때문에 위상차가 생기게 되어 그들의 평균을 취함으로써 직접파의 성분만 추출하게 된다. 그러한 상황의 정성적인 결과가 그림 16에서 보여준다.

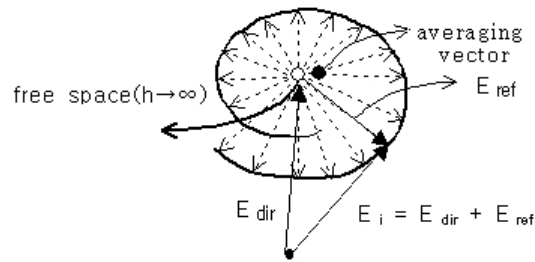


그림 16 반사파의 합성과 자유공간 개념

만일 높이에 의존하는 $N+1$ 개의 데이터가 얻어지고, 그들의 평균을 취하게 되면 다음과 같은 과정을 통하여 자유공간 조건을 충족하게 된다. 방정식 (22)를 다음과 같이 변형하자.

$$(23)$$

여기서 밑첨자 i 는 i 번째 높이 h_i 를 의미하며 반사파의 경로길이 r_i 는

$$(24)$$

이다.

방정식 (23)의 평균은 다음과 같이 표현된다.

$$(25)$$

만일 측정의 횟수 N 이 상당히 크다면, 즉, $N \rightarrow \infty$ 로 근사 된다면, 방정식 (25)의 두 번째 항의 평균값은 다음과 같은 적분으로 근사 될 것이다.

(26)

여기서 r_0 는 스캐닝의 시작점, 최소높이에서 반사파의 경로길이이며, r_N 은 스캐닝의 끝점, 최대높이에서 반사파의 경로길이가 된다. 방정식 (26)의 적분항은 피적분 함수에 대한 면적으로 해석되며, 그 피적분 함수는 다음과 같이 그래프로 그림 17에서 보여준다. 이 그래프의 경우, 주파수 100MHz이고 반사파의 최대경로 r_N 과 r_0 에는 차이가 반파장의 7배, $r_N - r_0 = 7 \times \lambda/2$ 일 때이다. 이 그래프의 면적은 양과 음이 교대로 나타나고, 그림 16과 같은 위상차가 0도 부터 360도 까지 되는 벡터들의 합이 0에 수렴하듯이, 면적은 최대경로길 이와 최소경로 길이가 다음과 같이 반파장의 정수배가 될 때 0에 수렴한다.

$$r_N - r_0 = m \times \lambda/2 \quad (m=1, 2, 3, \dots) \quad (27)$$

이러한 averaging의 효과에 의하여 반사파의 합은 0에 수렴함으로 자유공간의 효과를 얻기 때문에 자유공간 안테나 삽입손실 및 자유공간 안테나 인자를 산출할 수가 있다. 이렇게 측정한 3-안테나의 자유공간 안테나 삽입손실(안테나 감쇠량)을 방정식 (6-1)에 대입하여 자유공간 안테나 인자를 산출한다.

$$\begin{aligned} F_1(Free) &= \frac{1}{2} [L_{12} - L_{23} + L_{31} + 20\log f_{MHz} - 20\log D - 32] \\ F_2(Free) &= \frac{1}{2} [L_{23} - L_{31} + L_{12} + 20\log f_{MHz} - 20\log D - 32] \\ F_3(Free) &= \frac{1}{2} [L_{31} - L_{12} + L_{23} + 20\log f_{MHz} - 20\log D - 32] \end{aligned} \quad (6-1)$$

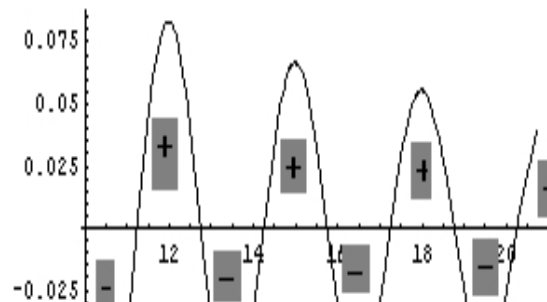


그림 17 HSA측정의 효과 (100MHz 경우)

2. NPL형 표준다이폴을 이용한 Curve Fitting Method

이 방법은 안테나 인자를 이론적 계산에 의하여 알고 있는 안테나를 이용하여 자유공간 안테나 인자를 산출하는 방법으로 일본의 정보통신연구기구(NICT)에서 개발한 방법이다.

우선 그림 7과 비슷한 구성으로 표준안테나를 특정높이에 고정하고 송신안테나를 1m에서 4m 사이를 스캔하여 신호가 최대가 되는 지점에서 표준안테나가 측정한 전압 V_{STD} 를 측정하고 같은 위치에 교정대상안테나(AUC)로 치환하여 AUC가 측정한 전압 V_{AUC} 를 측정한 후 방정식 (13-1)에 의하여 안테나 인자를 계산한다.

$$E(h) = AF_{STA}(h) + V_{STA}(h) = AF_{AUC} + V_{AUC}(h) = constant \quad (13-1)$$

$$AF_{AUC} = AF_{STA}(h) + \{ V_{STA}(h) - V_{AUC}(h) \}$$

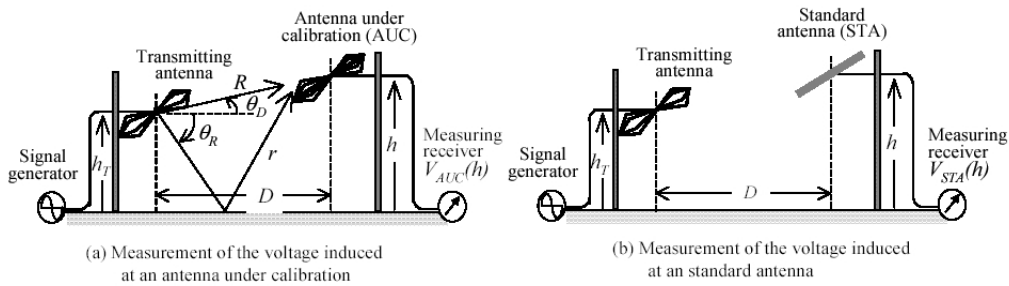


그림 18 NIST의 표준안테나법(송신:1-4m스캔, 수신:고정)

이렇게 측정한 안테나 인자는 높이에 의존하는 안테나 인자이다. 여기서 자유공간 안테나 인자를 산출하기 위하여 높이를 변화해 가며 여러 높이에서 위와 같은 과정을 되풀이하여 높이 의존 안테나 인자의 데이터를 수집한다.

한편 안테나 인자는 방정식 (19-1)와 같이 안테나 임피던스와 수신기의 입력임피던스로 표시할 수 있다.

$$AF = \frac{E}{V} = \frac{1}{h_e} \frac{Z_a + Z_0}{Z_0} \quad (19-1)$$

방정식 (20-1)에서처럼 안테나의 임피던스는 높이에 의존한다.

$$Z_a(h) = Z_{free} - j \frac{60\pi}{\lambda} h_e^2 \frac{e^{-jk(2h)}}{2h} \quad (20-1)$$

방정식 (19)와 (20)에 따르면, 안테나 인자는 높이에 따라 주기성을 갖고 어떤 값에 수렴하는 특성을 보인다. 그러므로 자유공간 안테나 인자를 산출하기 위하여 다음과 같은 모델 함수를 가정한다.

$$(28)$$

여기서 $AF(\infty)$, A , $b1$ 및 $\triangle\theta$ 는 미정계수이며, 높이의존 안테나 인자의 데이터들로부터 최소자승법에 의하여 결정함으로써 자유공간 안테나 인자를 산출한다.

3. Height Scanning Averaging의 최적화

자유공간 안테나 인자를 산출하기 위한 HSA법의 스캐닝 범위 등을 최적화 하기 위하여 각 안테나 스캐닝 시작높이를 1m, 2m, ..., 9m로 높이 간격 1cm로 높이의존 안테나 인자를 측정하였다. 스캐닝의 최대높이는 반사파의 최대경로와 최소경로가 그 주파수의 한 파장의 N배가 되는 지점이다. 안테나 마스트의 최대높이는 10m이므로 모든 측정은 높이가 10m로 제한되어 있다.

방정식 (24)와 (27)에 따라 각 주파수 50MHz 및 70MHz에서 스캐닝 범위와 스캐닝 횟수의 예는 표1 및 표2 에서 보여준다. 표 1에서 스캐닝의 시작점은 1m에서 5m이고 50MHz의 경우는 최대높이 및 최소높이에서 반사파의 경로길이의 차는 각 스캔 시작높이에서 1파장 차만을 갖는 스캔범위를 갖고 2파장 차 이상은 안테나 마스트의 제한높이 10m를 초과하여 스캐닝이 불가능하다. 70MHz의 경우는 5m의 시작점을 빼고는 2파장 차이의 높이까지 스캐닝이 가능하다. 표에 주어지지 않는 30MHz의 경우는 스캐닝 시작 높이가 1m 및 2m에서 한파장의 범위까지만 가능하고, 40MHz의 경우는 1m, 2m, 3m, 4m에서 시작하여 한파장의 범위까지만 가능하다. 표 2에서 보는바와 같이 1000MHz의 경우는 1m, 2m, ..., 9m에서 스캔을 시작할 수 있고, 1m 시작점에서는 1파장에서 40파장 차이의 범위까지 스캐닝 데이터가 있으며, 9m 시작점인 경우는 1파장 및 2파장 스캐닝 데이터가 존재한다. 30MHz에서 1000MHz까지 총 스캐닝 범위의 수는 1238개에 이른다.

표 2 스캐닝 범위(50, 70MHz)

Frequency	Min Height (<u>start point</u>)	Scanning ranges	
		1-wavelength <u>path difference</u>	2-wavelength <u>path difference</u>
50MHz	1m	1m – 6.37m	Over 10m
	2m	2m – 6.73m	Over 10m
	3m	3m – 7.28m	Over 10m
	4m	4m – 7.96m	Over 10m
	5m	5m – 8.74m	Over 10m
70MHz	1m	1m – 5.24m	1m – 7.94m
	2m	2m – 5.63m	2m – 8.28m
	3m	3m – 6.21m	3m – 8.79m
	4m	4m – 6.93m	4m – 9.45m *
	5m	5m – 7.74m	Over 10m
* No data			

표 3 스캐닝 범위 및 수 (1000MHz)

	Scanning ranges			
	1-wavelength <u>path difference</u>	2-wavelength <u>path difference</u>	... <u>omit</u> ...	40-wavelength <u>path difference</u>
1m	1m – 1.33m	1m – 2.04m	...	1m – 9.91m
2m	2m – 2.37m	2m – 2.71m		Over 10m
<u>omit</u>		Over 10m
9m	9m – 9.17m	9m – 9.34m	...	Over 10m

이와 같이 각 시작 높이에서 반사파의 최대높이와의 경로길이의 N파장 차의 스캐닝에 의한 높이 의존 안테나 인자 평균값의 추이는 70MHz에서 1000MHz 경우 그림 19에서 23 까지에서 보여준다.

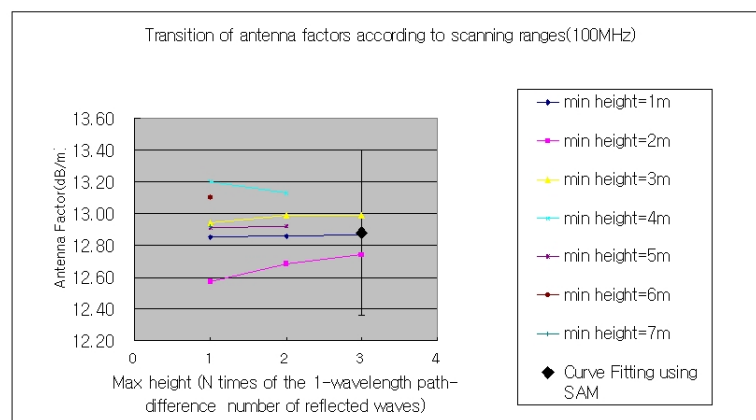
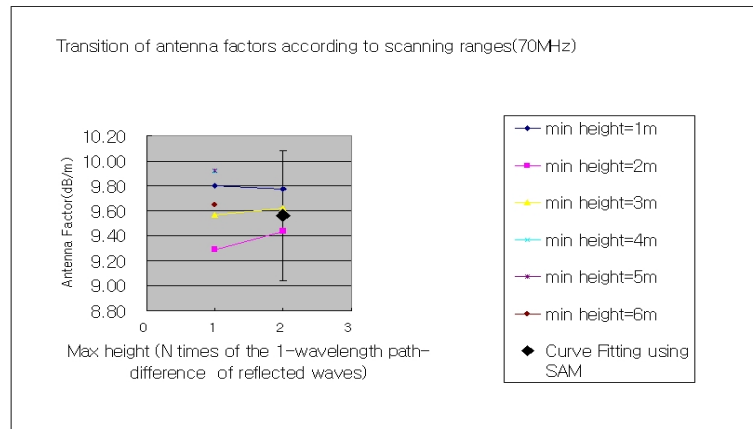


그림 19 Averaging 및 스캐닝 범위와 높이에 따른
안테나인자의 변화추이(70, 100MHz)

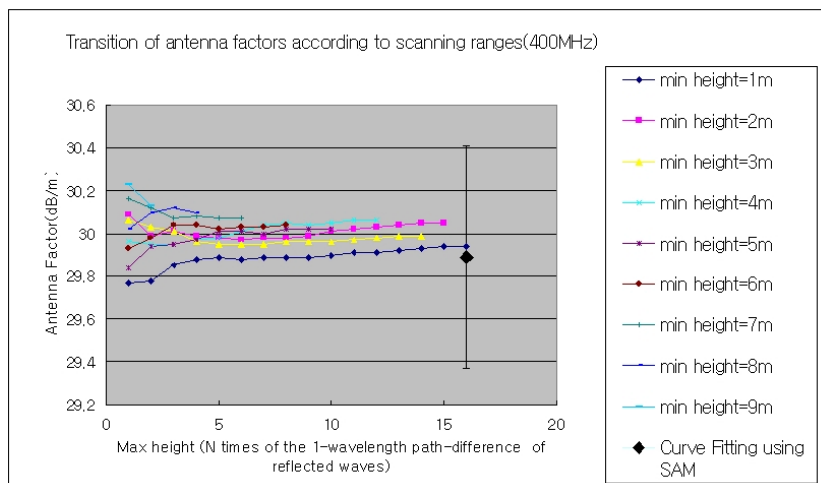
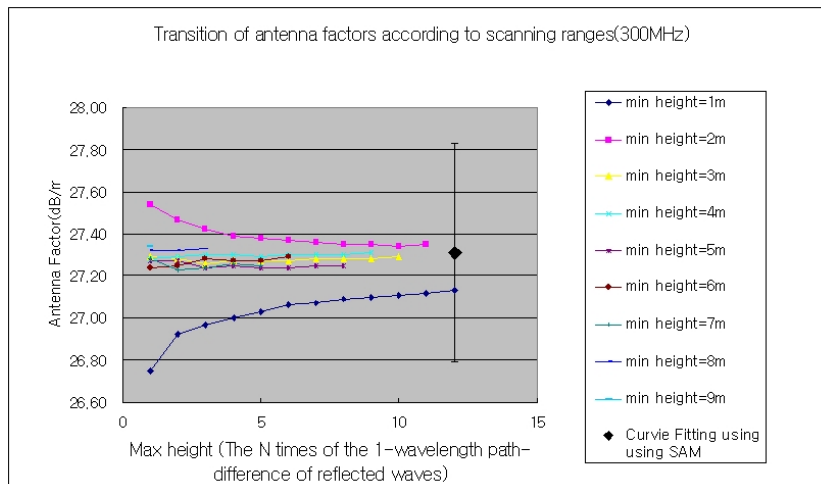
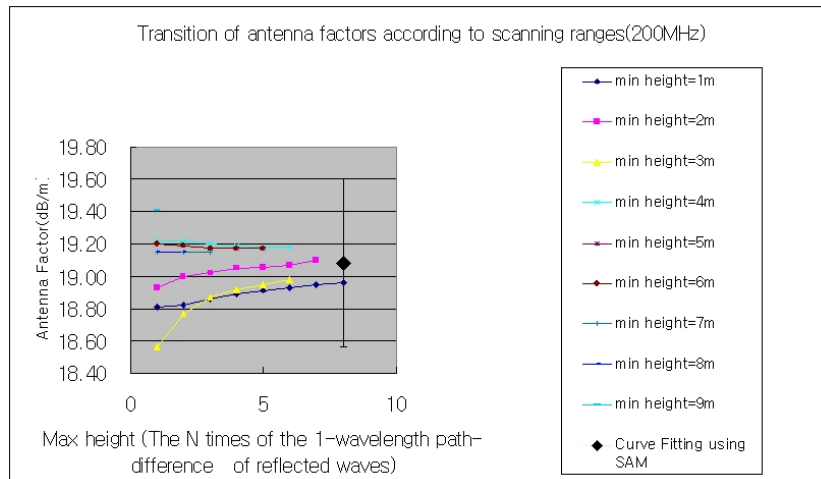


그림 20 Averaging 및 스캐닝 범위와 높이에 따른
안테나인자의 변화추이(200, 300, 400MHz)

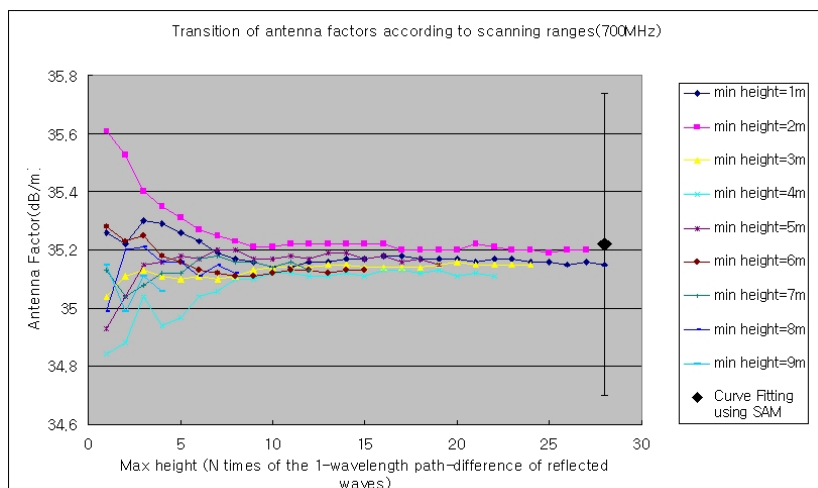
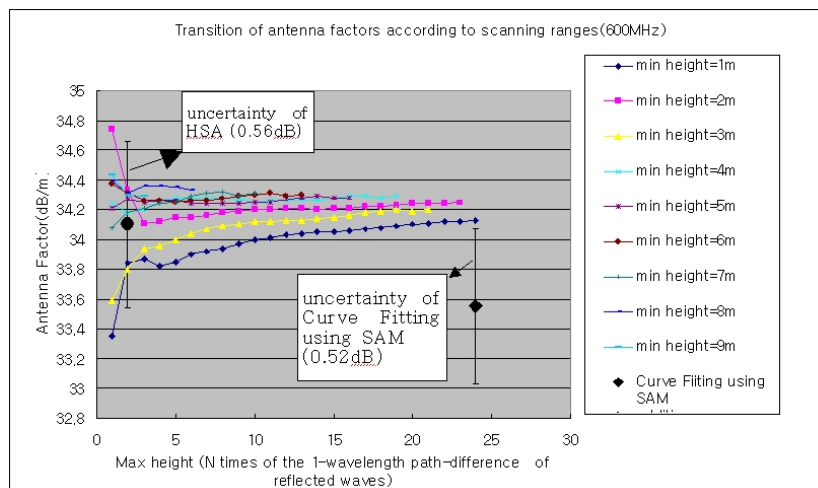
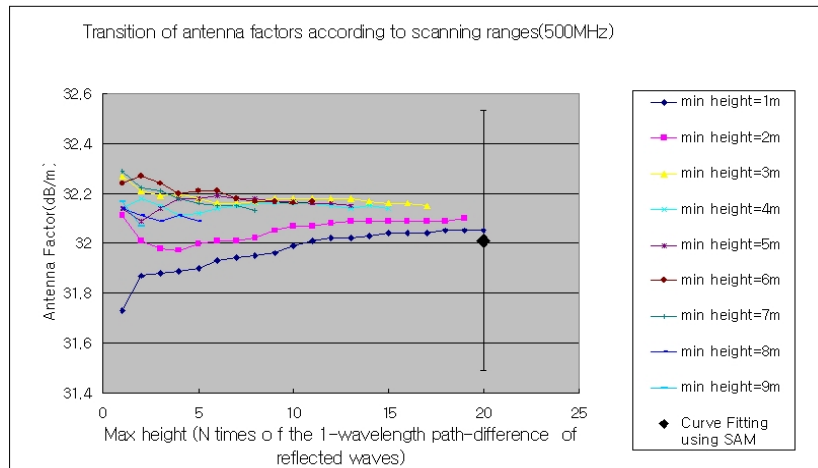


그림 21 Averaging 및 스캐닝 범위와 높이에 따른
안테나인자의 변화추이(500, 600, 700MHz)

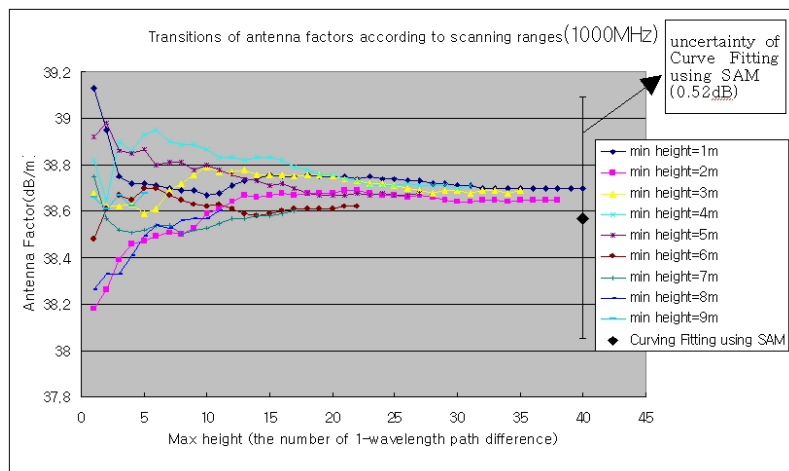
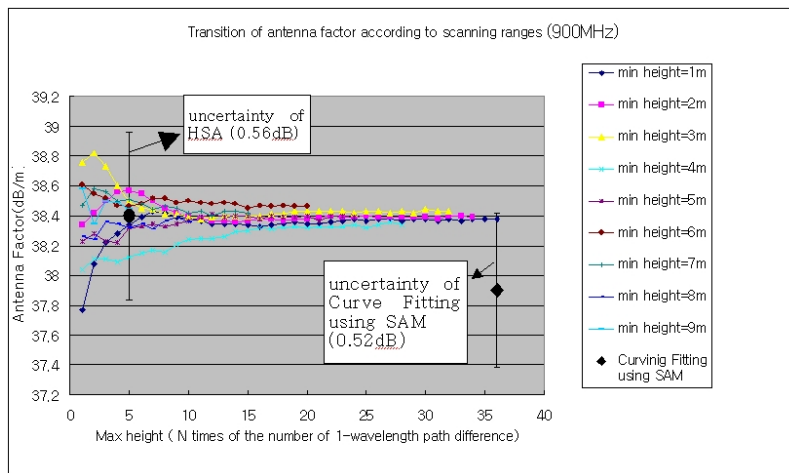
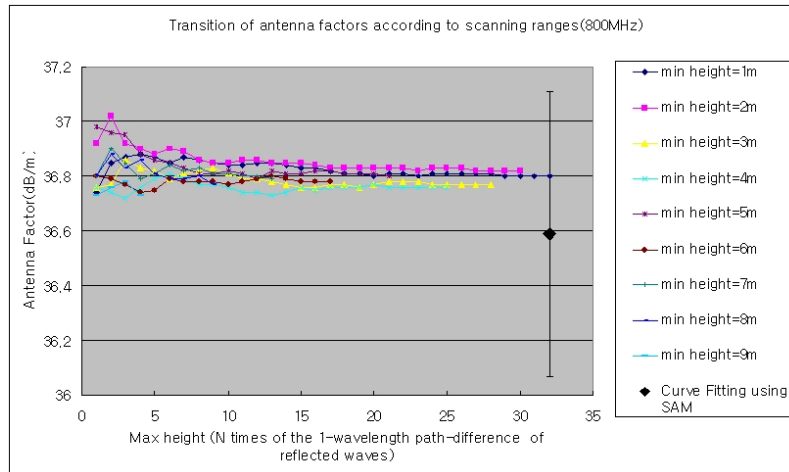


그림 22 Averaging 및 스캐닝 범위와 높이에 따른
안테나인자의 변화추이(800, 900, 1000MHz)

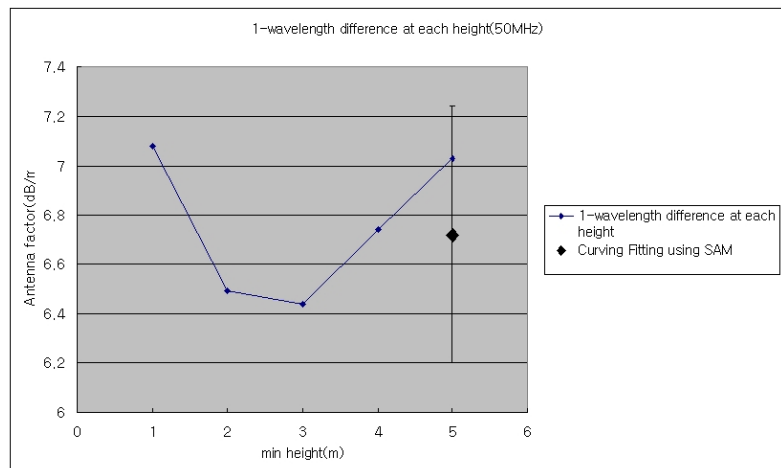
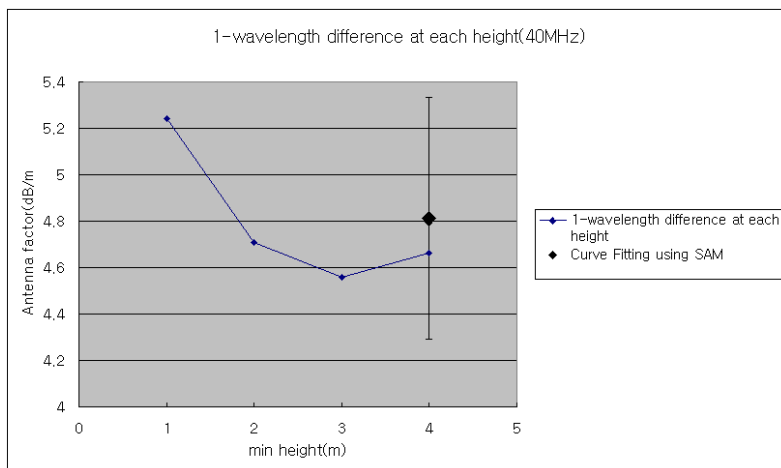
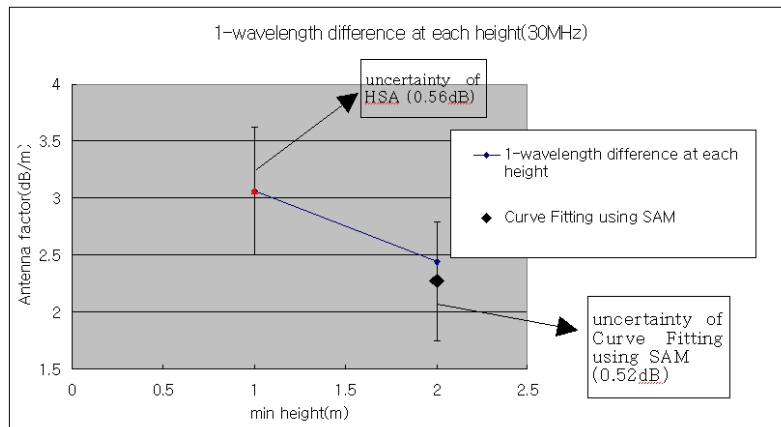


그림 23 1과장 스캐닝 범위에서 각 높이에 따른
안테나인자의 변화추이(30, 40, 50MHz)

최대 및 최소 높이에서 반사파의 경로길이의 N파장 차이의 스캔범위(Averaging)에 따른 안테나 인자는 어떤 수렴값으로 가는 경향이 있음을 확인할 수 있다. 이것은 Averaging할 데이터가 많으면 많을수록 그런 경향을 확연히 보여 준다는 것을 의미하며 그 수렴값이 자유공간 안테나 인자가 될 것이다. HSA의 측정불확도는 0.56dB이고 표준안테나법의 Curve Fitting Method의 측정불확도가 0.52dB로서 양 측정결과가 잘 일치함을 볼 수 있다.

이 결과로 안테나 스캐닝 시작 높이는 2m로 스캐닝 범위는 안테나 마스트가 허용하는 최대 높이로 최대높이의 반사파 경로길이와 최소높이 반사파 경로길이가 N파장이 되는 최대높이 까지 스캔하여 평균값을 구하면 최적화된 자유공간 안테나 인자를 산출할 수 있다. 그러나 스캔의 시작높이를 1m 이사에서 시작하고 반드시 N파장의 높이까지 스캔을 안하더라도 그 차이는 0.2dB 이내이기 때문에 이 정도의 오차를 허용하는 측정에서는 최적화된 스캔 범위가 아니어도 무방하다.

제 4 장 자유 공간 안테나 인자의 국제 비교

각자 국가의 전파법을 근간으로 EMI용 안테나의 안테나 교정서비스를 제공해 주는 전파 연구소와 일본의 정보통신연구기구(NICT) 상호간의 공동연구로서 자유공간 안테나 인자의 비교측정을 수행하였다. 전파연구소는 자유공간 안테나 인자를 산출하기 위한 Height Scanning Averaging 법을 사용하고 일본 정보통신연구기구는 NPL형 계산가능 표준다이폴을 이용하는 Curve Fitting Method에 의하여 자유공간 안테나 인자를 산출한다. 전파연구소와 정보통신연구기구의 안테나 교정 설비는 표 3에서 보여준다. 또한 비교대상 다이폴 및 광대역 안테나의 종류 및 비교 주파수는 표 4에서 주어진다.

표 4 전파연구소와 NICT의 교정설비 비교

		NICT	RRL
Ground Plane	Size	45m×30m	40m×30m
	Metal	Steel Sheet	Steel Sheet+12mm mesh
Mast Height		6m	10m
Measurement Equipment		Network Analyzer	Network Analyzer

표 5 비교대상 안테나 및 주파수

Manufacturer	Type	Model	Fre. range
Anritsu	dipole	MP 652B	30-200MHz
Schwarzbeck	dipole	UHALP793	300-1000MHz
Schwarzbeck	biconical	BBA9106	30-200MHz
Schwarzbeck	LPDA	UHALP9108	300-1000MHz
Calibration Frequencies(MHz)			
30, 40, 50, 70, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000			

표 6 양 기관의 측정불확도 (k=2)

Antenna	NICT	RRL	Freq. range
dipole	0.52 dB	0.56 dB	30-1000MHz
biconical	0.4 dB	0.58 dB	30-300MHz
LPDA	0.7 dB	0.65 dB	300-1GHz

표 7 다이폴의 비교 결과

Frequency (MHz)	Results of NICT(dB/m)	Results of RRL(dB/m)	Difference (dB)
30	2.27	2.44	-0.17
40	4.81	4.71	0.1
50	6.72	6.49	0.23
70	9.56	9.44	0.12
100	12.88	12.57	0.31
200	19.08	19.02	0.06
300	27.31	27.42	-0.11
400	29.89	29.99	-0.1
500	32.01	32.01	0
600	33.55	34.15	-0.6
700	35.22	35.25	-0.03
800	36.59	36.86	-0.27
900	37.90	38.42	-0.52
1000	38.57	38.59	-0.02

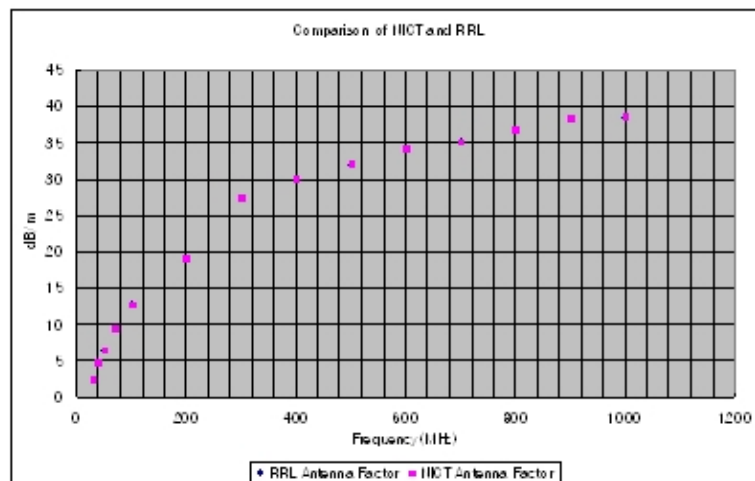


그림 24 양 기관에서 교정한 다이폴안테나 비교 결과

각 기관은 각자의 안테나 교정방법에 따라 다이폴 안테나 및 광대역 안테나의 측정불확도를 산출하였고 그 결과는 표 5에서 주어지며 다이폴 안테나의 비교 측정 결과는 표 6 및 그림 24에서 보여준다. 광대역 안테나의 경우는 표 7과 그림 25에서 보여준다. 다이폴 안테나의 경우 최대 차이는 600MHz에서 0.6dB이고 광대역 안테나의 경우 30MHz에서 0.47dB인데, 이 결과는 양기관의 측정불확도를 고려하면 잘 일치하는 것으로 결론 지을 수 있다.

표 7 광대역 안테나의 비교 결과

Antenna	Frequency (MHz)	Results of NICT (dB/m)	Results of RRL (dB/m)	Difference (dB)
Biconical	30	18.4	18.87	-0.47
	40	14.8	14.71	0.09
	50	11.1	11.35	-0.25
	70	6.0	5.81	0.19
	100	10.2	10.33	-0.13
	200	16.8	16.55	0.25
	300	19.7	19.31	0.39
LPDA	300	13.6	14.00	-0.4
	400	16.1	16.17	-0.07
	500	17.3	17.44	-0.14
	600	19.1	18.93	0.17
	700	20.1	20.29	-0.19
	800	20.9	20.81	0.09
	900	21.8	22.02	-0.02
	1000	22.7	22.90	-0.2

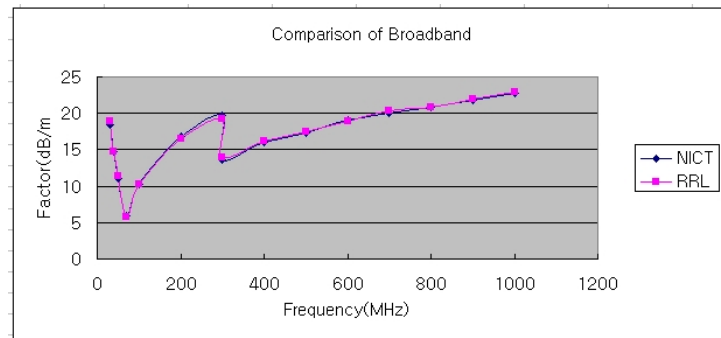


그림 25 양 기관에서 교정한 광대역안테나 비교 결과

제 5 장 맺음말

EMI 측정용 안테나의 교정방법을 표준화 하려는 시도는 CISPR를 중심으로 몇 년 동안 활발히 논의되어오다가 2005년 말에 안테나 교정에 관한 최초의 문서인 IEC CISPR/A/644/CD가 회원국에 회람되었다. 이 문서는 3-안테나법, 표준안테나법, 표준시험장법을 비롯하여 자유공간 안테나 인자를 산출하는 여러 가지 방법에 대해 논의했다. 그 중에 전파연구소에서 상용하는 높이에 따라 평균을 취하여 자유공간 안테나 인자를 측정하는 방법에 대하여도 일부 논의 되어 있다. 또한 안테나 교정에 있어서 가장 중요한 측정불확도를 산출하는 지침을 내놓았다. 2006년도 CISPR 회의 때 안테나 교정 표준방법에 대한 열띤 토론을 하였지만, 각 회원국의 이해관계 등으로 인해 안테나 교정 표준방법을 국제적으로 이끌어내지 못하였고 결국 CISPR/A/644/CD는 폐기하기로 하고, 안테나 교정 방법의 표준안은 처음부터 다시 검토하는 것으로 결론이 났다.

본 보고서에서는 현재 국제적으로 가장 많이 이용되는 안테나 교정방법을 비교하고 체계화 시켰으며 물리량의 국가표준 또는 국제표준으로의 소급성이라는 측면에서 분류하여 정리하였다. 또한 자유공간안테나 인자를 산출하는 교정법인 Height Scanning Averaging 법의 이론적인 근거 및 실험적인 증명을 논하였다. NPL형 표준다이폴을 이용하는 표준안테나법으로 Curve Fitting Method에 의하여 자유공간 안테나 인자를 산출하는 일본의 정보통신연구기구와 안테나 인자의 상호 비교를 통하여 두 기관간에 교정결과가 잘 일치함을 보여 전파연구소의 안테나 교정방법의 국제적 유효성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] IEC CISPR/A/644/CD Project number CISPR 16-1-5 Amd.1 Ed1., "Antenna Calibration"
- [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] 박정규, 정동찬, 차기남, 고흥남, "30 MHz에서 1 GHz 대역 EMI용 안테나의 준자유공간 안테나팩터 산출에 관한 연구" 2004년도 한국전자과학회 종합학술발표회 Vol. 14, No.1, 2004.11.5
- [4] 박정규, 정동찬, 조진영, 유석원, "EMI용 다이폴안테나 교정의 측정불확도 산출", 2006년도 한국전자과학회 종합학술발표회 Vol. 16, No.1, 2006.11.3
- [5] 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"
- [6] 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"
- [7] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design" John Wiley & Sons, 1982
- [8] Agilent Technologies, "Agilent PNA Microwave Network Analyzer", 5988-7988(EN)
- [9] Agilent Technologies, "Reference Guide 8719ET/20ET/22ET, 8719ES/20ES/22ES, Network Analyzer", 08720-90393
- [10] Hewlett Packard, HP 8753C Network Analyzer, operating Manual
- [11] CISPR/A/644/CD, "Antenna Calibration,", Dec. 2005
- [12] K. Bullington, "Radio propagation at frequencies above 30 megacycles," Proc. IRE. Pp. 1122-1136, Oct. 1947.
- [13] Sakasai M., et.al., Evaluation of Uncertainty in Free-space Antenna Factor Calibration in CRL. Proc. of EMC symposium in Sendai, pp.657-660, June

2004. .

- [14] Sigura A., Formulation of Normalized Site Attenuation in Terms of Antenna Impedance IEEE Trans. On EMC, VOL. 32, NO.4, pp.257–263, 1990.
- [15] Agilent Technologies "Reference guide 8719ET/20ET, 8719ES/20ES/22ES, Network Analyzer", 08720–90393
- [16] ETSI TR 100 028–1 v1.4.1 "Electromagnetic Compatibility and Radio spectrum matter; uncertainty in the measurement of mobile radio equipment" pp34–35, Dec. 2001.
- [17] T. Kawana and S. Miyajima, "Theoretical investigations of site attenuation by means of mutual impedance between antennas " in