

제 출 문

본 보고서를 「30MHz~1GHz EMI용 안테나 교정방법 개선 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005 . 12. .

연구책임자 : 류재만

연 구 원 : 고흥남

박정규

정동찬

조진영

요 약 문

1. 과제명 : 30MHz~1GHz EMI용 안테나 교정방법 개선 연구
2. 연구 기간 : 2005.01 - 2005.12
3. 연구책임자 : 류재만
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	고홍남													
○자료수집	박정규													
○이론 및 교정방법 연구	박정규													
○안테나 인자 측정 - 감쇠량측정 HSA - 표준전계측정 HSA - 표준안테나법 - 표준전계준자유공간법	교정담당													
○안테나 국제비교	교정담당													
○국내외 논문발표 - 통신학회 논문발표 - ISAP 논문발표	교정담당													
○보고서 작성	박정규													
분기별 수행진도(%)		25			25			25			25			100

나. 세부 과제별 추진사항

- ☐ 감쇠량 측정 Height Scanning Averaging
 - o 자유공간 조건 연구
 - 최적의 안테나 Scanning 높이 분석
 - 측정 거리의 최적화 연구
 - Averaging 회수와 불확도와의 관계 분석
 - o 측정 거리 및 Scanning 높이와 안테나인자의 상관관계

- ☐ 표준전계 측정 Height Scanning Averaging
 - o 높이에 따른 표준전계와 자유공간 조건과의 관계 분석
 - o Averaging 전계 이론 연구
 - o NIST 표준 수신 다이폴의 전계와 Averaging 전계 관계분석
 - o 감쇠량 측정과 전계측정의 상관관계 분석

- ☐ Height Scanning Averaging의 개선 방안 연구
 - o 기본 이론 연구
 - o 높이에 따른 준자유공간 조건 연구

5. 연구 결과

- ☐ Height Scanning Averaging 법 연구
 - o 이론 확립 및 시뮬레이션
 - o 안테나 인자 높이 패턴 측정
 - o HSA 법 개선
 - 안테나 마스트 6 m → 10 m 교체
 - 측정거리 10 m → 20 m

- 표준전계 측정 준 자유공간법 연구
 - NIST 표준수신 다이폴의 헤드 교정
 - 안테나 인자의 높이 패턴 측정
 - HSA와 비교 측정
- 한일 안테나 비교 측정
 - 표준안테나법 및 HSA 법 비교
- 연구 결과 대외 학술 발표
 - 통신학회 및 전자파 학회
 - 국제 전파전파 및 안테나 심포지움 발표(ISAP)
- 고시 개정 추진
 - 안테나 교정 절차서 작성
 - 고시개정에 반영 추진
 - 전자파적합측정설비의교정검사기준및절차
(전파연구소고시 제 1997 제141호)

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	규격	수량	용도	보유 현황	확보 방안	비고
N/A 안테나 마스트	HP 8753C HD	1 1	네트워크분석기 안테나 마스트	보유 보유		

8. 기타사항

없음

SUMMARY

In this paper, we derive the Height Scanning Averaging equation to yield a free space antenna factor. The HSA method gets rid of the reflect waves, due to measure the site attenuations between the antennas and get the average of them. In the case of dipole antennas, we show that HSA is not affected by mutual impedance between antennas. The deflection of antenna factor according to the mutual impedances is only 0.000749dB for 30MHz. We get height pattern of site attenuation measuring attenuation with 1cm interval and gain the height-dependent antenna factors, quasi free space antenna factor by Friss equation. Also we explain the results the antenna comparison measurement between Radio Research Lab. and NICT(National Institute of Communication and Technology; old CRL) in Japan, which they measure the antenna by standard antenna method at 2m and 3m height.

목 차

제 1 장 서 론	
제 2 장 Height Scanning Averaging	
제 1 절 개요	
제 2 절 Height Scanning Averaging 방정식	
제 3 절 Averaging 항의 검토	
(1) 높이 패턴	
(2) Averaging의 주파수 분포	
제 4절 상호임피던스의 영향	
(1) 기본방정식	
(2) HSA의 상호임피던스 영향	
제 5절 HSA에 의한 측정 결과	
(1) 측정시스템의 구성	
(2) 감쇠량 및 안테나인자의 높이 패턴	
제 3장 표준전계 측정 준자유공간법	
제 1절 NIST 표준수신 다이폴안테나	
(1) NIST 안테나의 구조 및 특성.....	
(2) NIST 안테나의 다이폴헤드 교정	
(3) 안테나 교정방법	
① 야외시험장	
② 자유공간 안테나 인자의 개념	
③ 자유공간 안테나 인자 산출법	
(4) 측정결과	
제 4장 측정 결과의 비교	
제 1절 HSA 법과 표준전계 측정 준자유공간법 비교	
제 2절 HSA 법과 표준안테나법의 국제 비교	
제 5장 맺음말	
* 참고문헌	

제 1 장 서 론

안테나 인자 K는 적절한 단위로 표현한 측정 출력 전압과 전기장의 세기의 비율로 나타내는 비례 상수

$$K = E/V \quad (1)$$

로 정의하는데, E는 측정 위치의 공간에 형성된 전기장이고 V는 그 전기장에 의하여 안테나에 유기되는 전압이다.

국제무선장해특별위원회 (CISPR)는 CISPR16-1-5^[1] 문서를 통하여 자유공간 안테나 인자의 산출을 권고하고 있으며 자유공간 안테나인자의 측정방법으로서 ANSI C63.5의 표준시험장법^[2], 표준안테나법, 흡수체를 이용하는 방법 그리고 안테나를 높은 높이에 놓고 측정하는법 및 임피던스측정법^[3] 등이 있다.

전파연구소 이천분소에서는 높이에 따라 안테나 사이의 감쇠량을 dB 단위로 측정하여 그것의 산술평균을 취하여 대지면의 반사파를 산술적·기술적으로 상쇄 시키는 HSA (Height Scanning Averaging)^{[4],[5]}법으로 자유공간의 안테나 인자를 산출하고 있다.

본 보고서에서는 Friss 방정식^[4]을 근간으로 3-안테나법 또는 2-안테나법을 이용하여 동시에 같은 높이를 유지하는 송신 및 수신 안테나의 높이에 따라 감쇠량을 측정하고 산술 평균을 취하여 자유공간의 안테나 인자를 산출하는 Height Scanning Averaging을 논의한다. 이 방법은 접지면 및 송수신 안테나 사이의 상호 결합에 의한 상호 임피던스의 영향도 Averaging에 의하여 상쇄되어 접지면 및 안테나-안테나 결합을 무시할 수 있는 안테나 측정법이다. 또한 NIST 표준수신안테나^[6]를 이용하여 주파수 30MHz에서도 충분히 far-field를 형성하도록 안테나사이의 거리를 60m로 하고 안테나마스트의 높이를 18m로 이천분소에 구축한 안테나 시험장에서 안테나 인자를 산출하는 새로운 방법에 대하여 논하고자 한다. 이 방법은 표준안테나를 이용하여 공간상의 표준 전계를 결정하고 피교정 안테나가 같은 위치 및 높이에서 그 유기되는 전압을 측정함으로써 안테나 인자를 높이에 따라 산출하고 그 높이 패턴에 의하여 자유공간의 안테나 인자를 구하는 방법을 논의한다.

제 2 장 Height Scanning Averaging

제 1절 개요

Height Scanning Averaging은 독일의 안테나 제조사 Schwarzbeck의 설립자 Dr. Schwarzbeck이 처음 고안한 방법^[5]으로 전파연구소에서 그 방법을 발전시켜 이용하고 있다.

안테나 이득 측정에 있어서 기본이 되는 Friis 방정식을 dB로 표시하면 다음과 같다;

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

여기서 G_t 와 G_r 은 송신 및 수신안테나의 이득, d 는 안테나 사이의 거리, λ 는 파장, P_r 와 P_t 은 송신 및 수신 전력이다. 방정식 (2)는 특정한 파장 λ 에 대해 일정거리 d 에서 신호를 주고받는 송신 및 수신 안테나의 이득의 합은 송신 및 수신 전력의 비, 즉 안테나 사이의 공간 감쇠량에 비례하며, 특히, 두 안테나 사이의 직접적인 상호작용만이 관계하여 반사파 등 여타의 다른 영향을 배제한 자유공간상의 안테나 전송방정식을 의미한다.

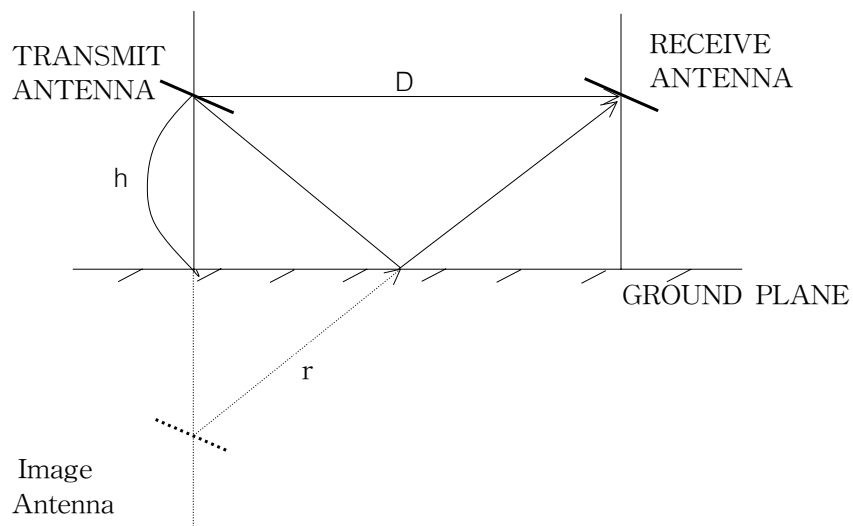


그림1. Height Scanning Averaging Setup

그러나 실제 측정환경에서는 시험장의 접지면에 의한 반사파가 존재한다. 반사파의 영향이 없는 직접파만의 상호작용을 고려하여 안테나 인자를 측정하기 위하여 그림 1과 같은 측정 시스템을 고려해 보자. 그림 1은 접지면으로부터 같은 높이에 있는 송신 및 수신안테나가 신호를 주고받을 때 수신안테나는 송신안테나로부터 직접파 및 반사파의 영향을 받는다는 것을 보여주고 있다. 반사파의 영향을 없애기 위해, 그림 2처럼 두 안테나가 같은 높이를 유지하고, 똑같이 상하로 변화시키면서 전계강도를 측정하면 수신 안테나는 높이 변화에 따라 직접파의 세기 및 위상은 변화하지 않는 반면에 그림 3에서 보듯이 반사파의 세기는 높이에 따라 감소하고 위상은 변화한다. 이러한 사실을 이용하여 각각의 높이에서 수신측의 전기장을 측정하고 측정된 모든 값에 대하여 합성 평균을 취하면 위상이 일정한 직접파만이 남게 되고 위상차가 있는 반사파들은 서로간의 간섭에 의하여 소멸되어 일종의 자유공간 상태를 만들게 된다. 이러한 원리로 안테나 인자를 산출하는 방법이 Height Scanning Averaging 이다. 실제로는 완전한 자유공간조건을 만들 수가 없기 때문에 이러한 상태를 준자유공간이라고 말한다.

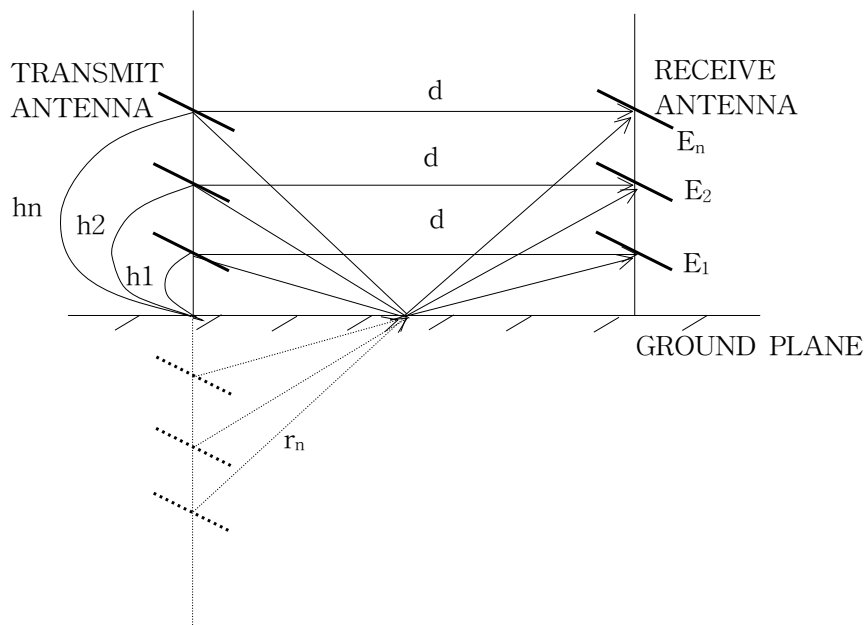


그림2. Height Scanning Averaging 측정

제 2절 Height Scanning Averaging 방정식

그림 1과 같은 구성에서 송신안테나의 이득이 G_t 이고 송신전력이 P_t 인 경우 수신점에서의 전기장은 다음과 같은 방정식으로^[6] 주어진다.

$$E_r = \sqrt{30 G_t P_t} \left(\frac{e^{-jkD}}{D} + |\rho| \frac{e^{-j(k-\varphi)}}{r} \right) \quad (3)$$

여기서, E_r 은 수신점의 전기장이고 d 는 안테나 사이의 거리이고, r 은 반사파의 경로의 길이로 안테나 사이의 거리 d 및 안테나의 지면으로부터의 높이 h 에 의하여 표시하면, $r = \sqrt{D^2 + 4h^2}$ 이다. φ 는 반사파의 반사 전후의 위상차이며 ρ 는 접지면의 복소 반사 계수로 다음과 같이 주어진다.

$$\rho = \frac{\sin\gamma - \sqrt{\epsilon_R - 60\lambda\sigma j - \cos^2\gamma}}{\sin\gamma + \sqrt{\epsilon_R - 60\lambda\sigma j - \cos^2\gamma}} \quad (4)$$

또한 위의 복소반사계수에서 γ 는 반사파의 입사각, ϵ_R 은 접지면의 유전율, σ 는 접지면의 전도도이다.

한편, 수신점에서의 전기장과 수신안테나의 출력 전압에 비로 표현되는 수신안테나의 인자 K_r 를 dB로 표시하면 다음 방정식과 같다.

$$K_r(dB/m) = 20\log\frac{E_r}{V_r} = E_r(dBV/m) - V_r(dBV) \quad (5)$$

여기서 E_r 은 전송안테나에 의한 수신위치의 전기장이고, V_r 은 수신안테나의 출력 전압이다. 그리고 수신기의 입력 임피던스가 Z_L 인 수신안테나 인자와 이득과는 다음과 같은 관계식이 성립 한다

$$K_r(dB/m) = 10\log\frac{480\pi^2}{Z_L\lambda^2} - G_r(dB) \quad (6)$$

그림 2를 참조하여 각각의 높이 h_n 에서 전기장을 $E_r^{(n)}$ 로 표시하면 방정식 (3)은 다음과 같이 표시 된다.

$$E_r^{(n)} = \sqrt{30 G_t^{(n)} P_t} \left(\frac{e^{-jkD}}{D} + |\rho^{(n)}| \frac{e^{-j(kr^{(n)} - \varphi)}}{r^{(n)}} \right) \quad (7)$$

여기서 위첨자 (n)으로 표시된 기호는 높이 h_n 에서 h_n 에 의존하는 량을 의미한다. 방정식 (7)를 dB로 바꾸고 높이에 따른 N번의 측정에 대한 전기장 및 이득의 평균을 다음과 같이 정의한다. 여기서 꺾은 괄호 $\langle \rangle$ 는 평균을 의미한다.

$$\begin{aligned} \langle E_r (dBV/m) \rangle &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 20 \log |E_r^{(n)}| \\ \langle G_t (dB) \rangle &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10 \log G_t^{(n)} \end{aligned} \quad (8)$$

수신측 전력 P_r 은 전기장 및 수신 안테나의 인자, 입력임피던스로 표시하면 다음의 식으로 표시되며,

$$P_r = \frac{|E_r|^2}{Z_L K_r^2} \quad (9)$$

여기서 P_r 은 또한 높이 h_n 의 함수이다. 방정식 (5), (6), (7), (8), (9)로부터 다음과 같이 우리가 원하는 Height Scanning Averaging 방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \langle G_t \rangle + \langle G_r \rangle &= 20 \log \frac{4\pi D}{\lambda} + \langle 10 \log \frac{P_r}{P_t} \rangle \\ &\quad - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 20 \log \left| 1 + |\rho^{(n)}| \frac{D}{r^{(n)}} e^{-jk(r^{(n)} - D) + j\varphi} \right| \end{aligned} \quad (10)$$

지금까지 유도한 식 (10)은 방정식 (2)의 자유공간 Friss 방정식에 Averaging 항이 덧붙혀진 형태로 이 값이 0 dB가 되면 자유공간의 Friss 방정식과 동등해진다.

제 3절 Averaging 항의 검토

(1) 높이 패턴

방정식 (9)의 Averaging 항은 직접파와 반사파의 비율에 대한 높이 h_n 의 함수로 주어지는 전기장의 산술평균으로서 간섭 항이다. h_n 은 n 번째 높이로 반사파의 경로 $r^{(n)} = \sqrt{D^2 + 4h_n^2}$ 의 관계를 갖는다. 측정 상한 및 하한 높이를 각각 h_{\max} 와 h_{\min} 라고 하면 반사파의 최대경로 r_{\max} 와 최소경로 r_{\min} 의 차가 최소한 한 파장 λ 보다 클 때 반사파의 간섭에 의한 Averaging 효과가 충분히 나타난다. 즉, $r_{\max} - r_{\min} = \sqrt{D^2 + 4h_{\max}^2} - \sqrt{D^2 + 4h_{\min}^2} \geq \lambda$ 이어야 한다. 측정 하한높이 $h_{\min} = 1$ m 이고 측정거리 $D = 10$ m 일 때, 주파수 범위 30 MHz - 1 GHz에서 측정 상한높이는 그림 3에서 보여주고 있고, 30 MHz에서 상한높이는 8.8 m가 된다.

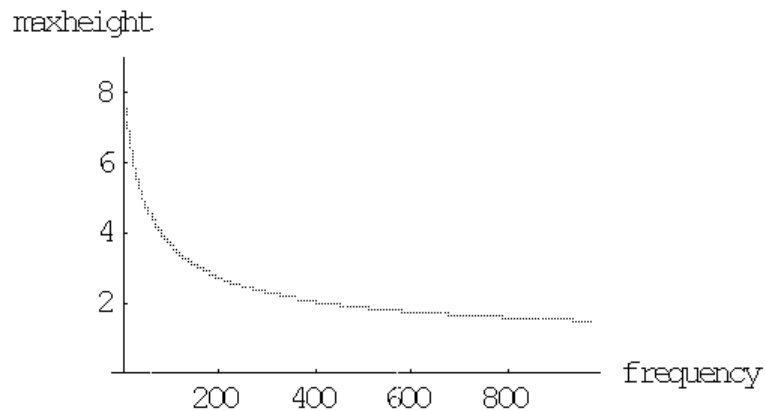


그림 3 주파수에 따른 Averaging 최소높이

접지면이 도체일 때, 30 MHz, 300 MHz에서 Averaging 항의 이론적인 높이 패턴은 그림 4 에서 보여주며 그것에 대한 Averaging 값은 각각 0.773 dB, -0.198 dB, 이다. 이론 계산을 수행하는데 0.1 cm 간격으로 측정수 $N = 7801$ 이다.

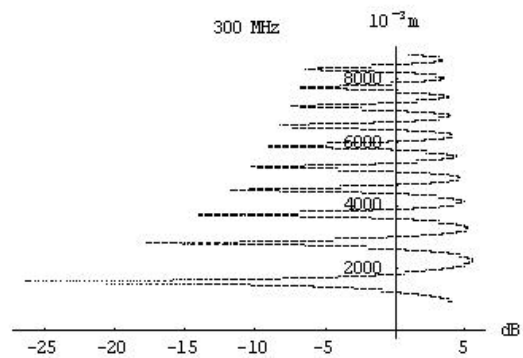
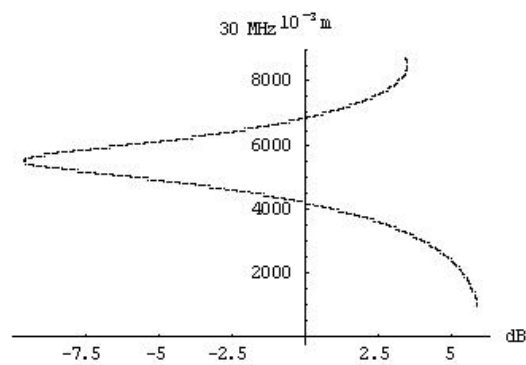


그림 4 averaging 항의 높이 패턴(상 : 30 MHz, 하 : 300 MHz)

(2) Averaging의 주파수 분포

그림 5는 방정식 (10)의 Averaging 항의 값이 자유공간 조건인 0dB 로부터 얼마나 떨어져 있는지를 나타내는 그래프로서 30MHz ~ 1GHz의 범위에서 금속접지면($\sigma=\infty$, $\epsilon=0$)과 모래($\sigma=0.001$, $\epsilon=15$) 위 1m ~ 8.8m 사이에서 계산된 값이다. 이 계산은 일률적으로 1m ~ 8.8m에서 수행하여 31MHz에서 42MHz 사이에 주파수 대역에서는 반사파들 사이의 경로차가 $1\lambda < r_{\max} - r_{\min} < 1.5\lambda$ 이기 때문에 약간 부적절한 합이 포함되어 편차가 약간 크게 나타나는데 70MHz 이상에서는 자유공간과의 편차가 0.25dB 이내가 된다. 접지면이 금속이 아닌 일반 대지위에서 측정함으로써 같은 주파수 대역에서 0.4dB 이내로 자유공간 조건을 구현할 수 있다. 이러한 이유 때문에 Height Scanning Averaging을 준자유공간의 안테나 측정법이라고 한다.

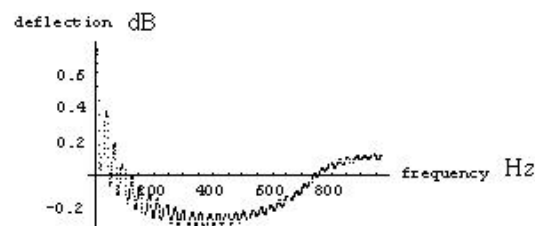
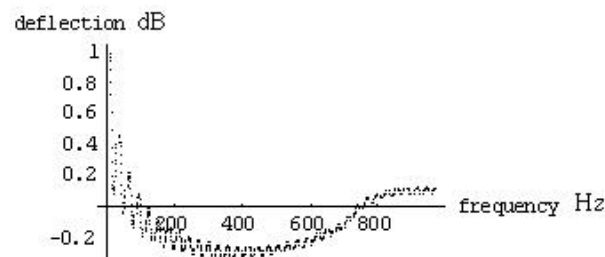


그림 5. 금속면(상) 및 모래(하) Averaging 항의 주파수분포

제 4절 상호임피던스의 영향

(1) 기본방정식

송신 및 수신 안테나는 상호임피던스에 의해서 서로영향을 받지만 Height Scanning Averaging은 측정값의 Averaging 과정에서 상호임피던스의 영향을 상쇄한다. 다이폴안테나의 경우 다음 그림 (6)을 고려해 보자. 임피던스 Z_{ij} 에 의해 전압을 표시하면 다음 방정식^[7] (11)과 같다.

$$\begin{aligned} V_1 &= (Z_{11} - Z_{13})I_1 + (Z_{12} - Z_{14})I_2 \\ V_2 &= -Z_L I_2 = (Z_{21} - Z_{23})I_1 + (Z_{22} - Z_{24})I_2 \end{aligned} \quad (11)$$

한편, 다이폴안테나상의 전류가 I_0 이고 그 다이폴로부터 거리가 r 인 지점에서 전기장의 세기는 식 (12)와 같다.

$$E = \frac{60I_0}{r} e^{-jkr} \quad (12)$$

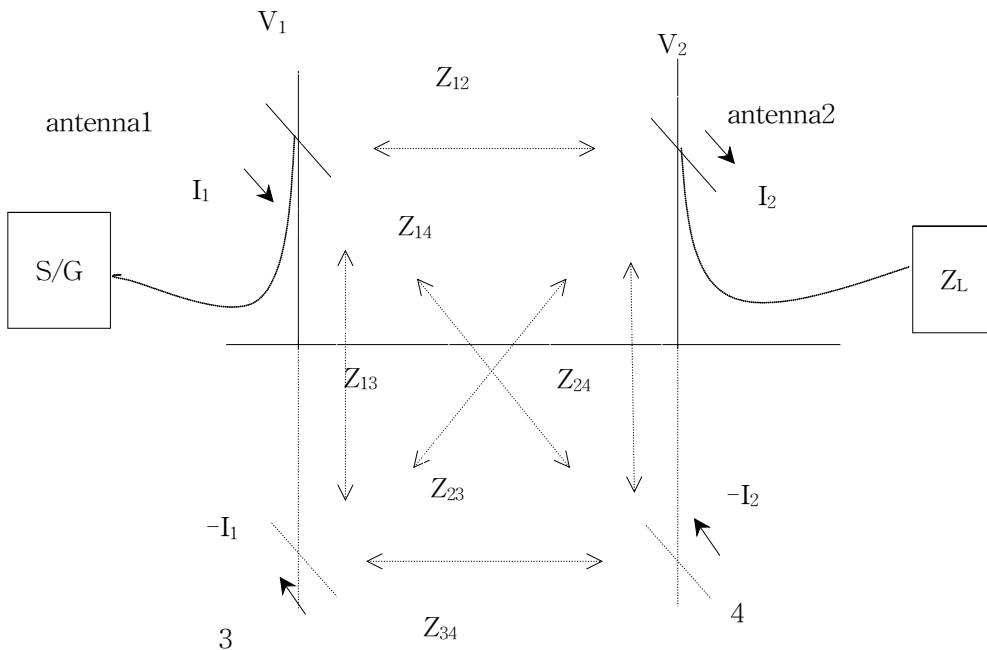


그림 6 안테나 상호임피던스

그림 6에서 수신안테나 antenna 2는 나머지 세 안테나가 방사하는 전계에 영향을 받는데, 안테나 1, 2 사이의 거리가 d 이고 높이가 h_n 일 때 수신안테나 위치에서 전계 E_n 은 다음과 같다($r^{(n)} = \sqrt{D^2 + 4h_n^2}$).

$$E_n = \frac{60I_1}{D}e^{-jkD} + \frac{-60I_1}{r^{(n)}}e^{-jkr^{(n)}} + \frac{-30I_2}{h_n}e^{-jkh_n} \quad (13)$$

안테나 인자의 정의식 (1)과 (11) 및 (13) 식을 이용하면 높이 h_n 에서의 안테나 인자 K_n 은 식 (14)가 된다.

$$K_n = \frac{60I_1}{Z_L I_2 D}e^{-jkD} + \frac{-60I_1}{Z_L I_2 r^{(n)}}e^{-jkr^{(n)}} + \frac{-30I_2}{Z_L h_n}e^{-jkh_n} \quad (14)$$

여기서 $I_1/I_2 = (Z_{22}-Z_{24}+Z_L)/(Z_{23}-Z_{21})$ 이다.

그림 7과 같이 마주 보고 있는 두 안테나 1, 2의 상호임피던스 $Z_{ml} = R_{ml} + jX_{ml}$ ($m, l = 1, 2$)은 다음 식^[8]의 적분으로 표시된다.

$$\begin{aligned} R_{ml} &= \frac{\eta}{4\pi} [2C_i(u_0) - C_i(u_m) - C_i(u_l)] \\ X_{ml} &= -\frac{\eta}{4\pi} [2S_i(u_0) - S_i(u_m) - S_i(u_l)] \\ C_i(x) &= -\int_x^\infty \frac{\cos y}{y} dy \\ S_i(x) &= \int_0^x \frac{\sin y}{y} dy \\ u_0 &= ka \\ u_1 &= k(\sqrt{a^2 + b^2} + b) \\ u_2 &= k(\sqrt{a^2 + b^2} - b) \end{aligned} \quad (15)$$

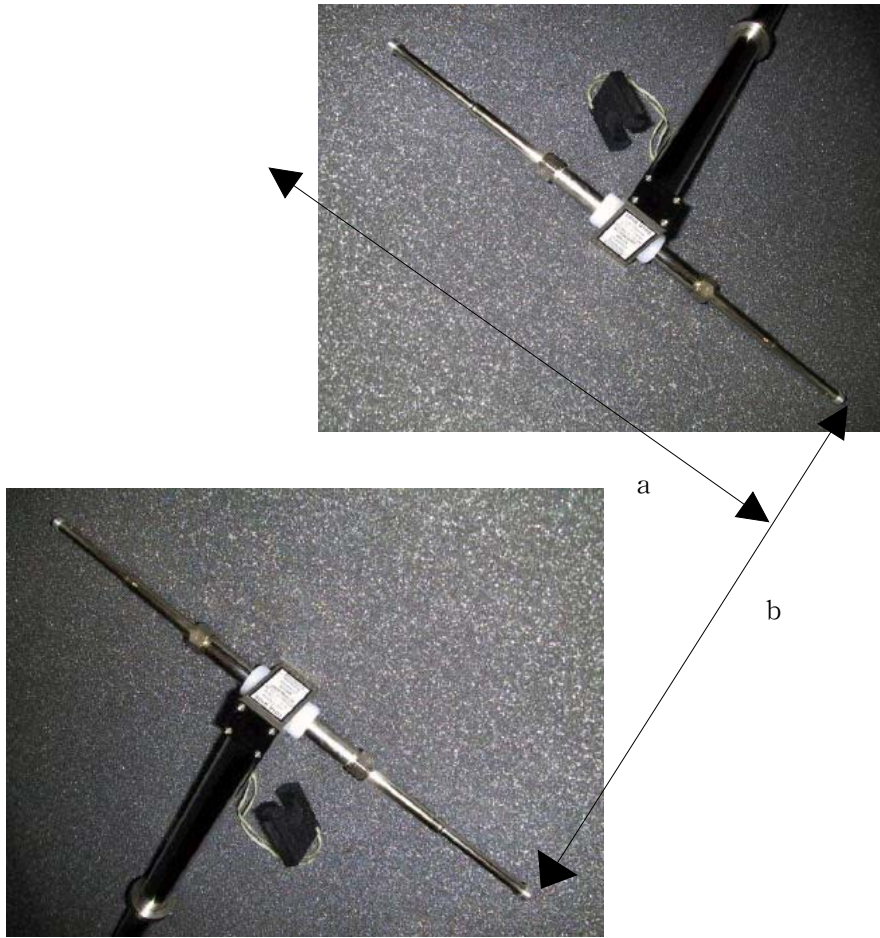


그림 8 마주보는 두 다이폴 구조

여기서 a 는 마주보는 안테나 사이의 거리이고 b 는 안테나의 길이이다. 방정식 (14)에서 첫 항은 직접파에 의한 자유공간 안테나인자이고, 두 번째 항은 반사파에 의한 성분이며, 세 번째 항은 수신 안테나의 재복사에 기인한 자신의 반사파에 의하여 영향 받는 안테나 인자의 성분이다.

(2) HSA의 상호임피던스 영향

방정식 (14)를 dB로 나타내고 임피던스에 대한 식 (15)를 이용하여 Height Scanning Averaging의 시뮬레이션을 하면 결과는 그림 8 및 9에서 보는바와 같다.

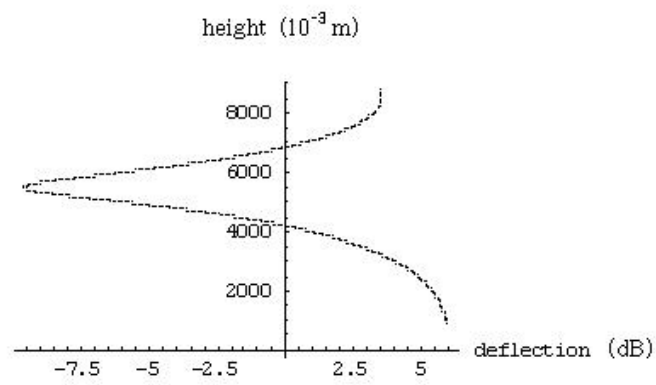
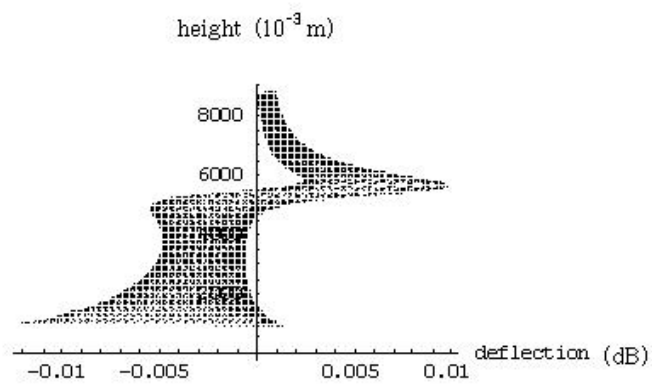
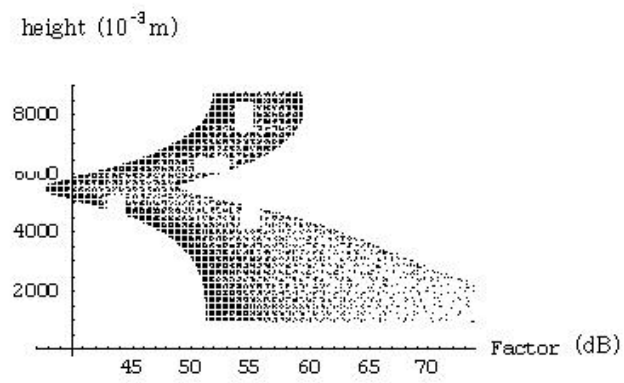
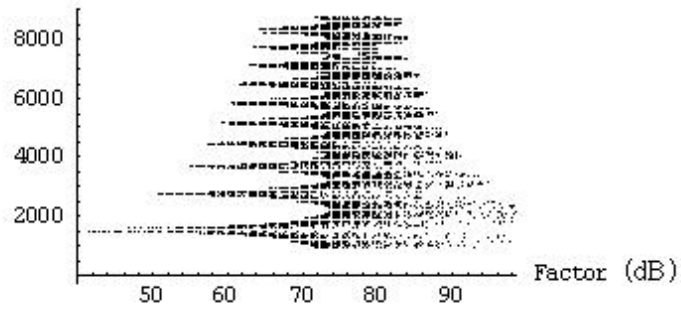
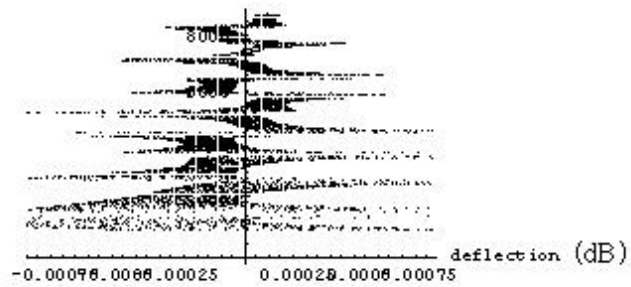


그림 8 식(14)의 시뮬레이션결과 (30 MHz)

height (10^{-3} m)



height (10^{-3} m)



height (10^{-3} m)

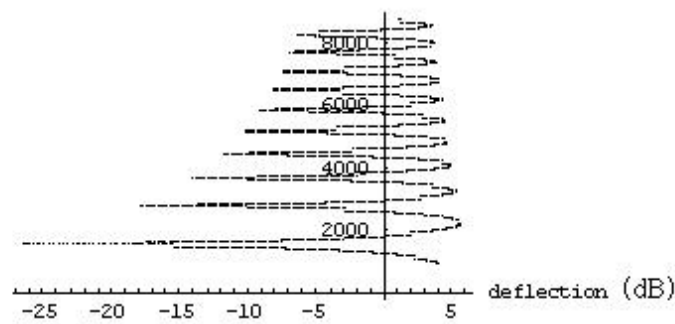


그림 9 식(14)의 시뮬레이션결과 (300 MHz)

그림 8 및 9에서 맨 좌측은 식 (14)의 전체 항을 계산한 결과로 높이에 따른 안테나 인자이고 30MHz 및 300MHz에 대해 52.11dB/m과 73.5911dB/m이다. 중간 그림은 전체항의 결과에서 수신안테나와 그 이미지안테나 사이의 상호작용 항인 마지막 항을 뺀 결과로 30MHz 및 300MHz에 대해 0.77314dB, -0.19752dB이다. 마지막 그림은 전체항에서 첫항과 두 번 째 항을 더한 값을 뺀 결과로 수신안테나와 그 이미지안테나 사이의 상호작용하는 항만을 나타내는 그림으로 30MHz 및 300MHz에 대해 각각 -0.000749dB, -0.0000133dB이다.

제 5절 HSA에 의한 측정 결과

(1) 측정시스템의 구성

HSA를 측정하기위한 야외시험장은 30m×20m의 도체 접지면이며 안테나 마스트의 높이는 5.6m로 그림 10에서 보는바와 같으며 감쇠량측정은 네트워크 분석기 HP8753C로 측정구성은 그림 11과 같다.



그림 10 안테나 교정 야외 시험장

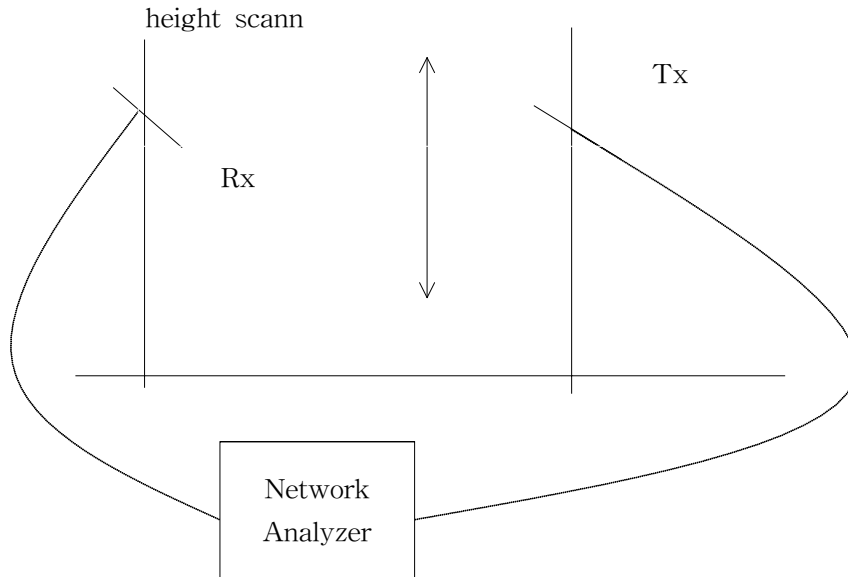


그림 11 Height Scann의 측정시스템 구성

(2) 감쇠량 및 안테나인자의 높이 패턴

감쇠량의 높이 패턴의 전형적인 모습은 그림 12에서 보여준다. 두 BiLog 안테나(CHASE CBL6111B 1892, 1893)를 1m~5.6m 사이를 1cm 간격으로 측정한 것이다.

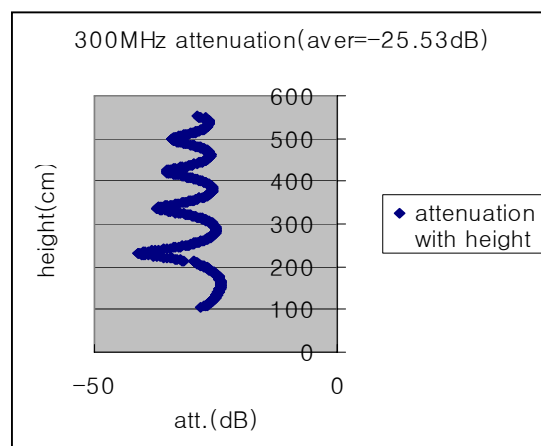


그림 12 감쇠량 높이패턴의 전형적인 모습

그림 13 및 14는 HSA로 Schwarzbeck dipole756, 757 및 713의 3안테나로 3-안테나법에 의해 측정한 30MHz 및 300MHz의 준자유공간 안테나인자와 안테나인자 및 감쇠량의 높이패턴을 나타내는 그림이다. 안테나 scann 높이는 30MHz에서 1m~5.6m에 10cm 간격으로 측정하고 300MHz에서 1m~4m에 7cm 간격이다.

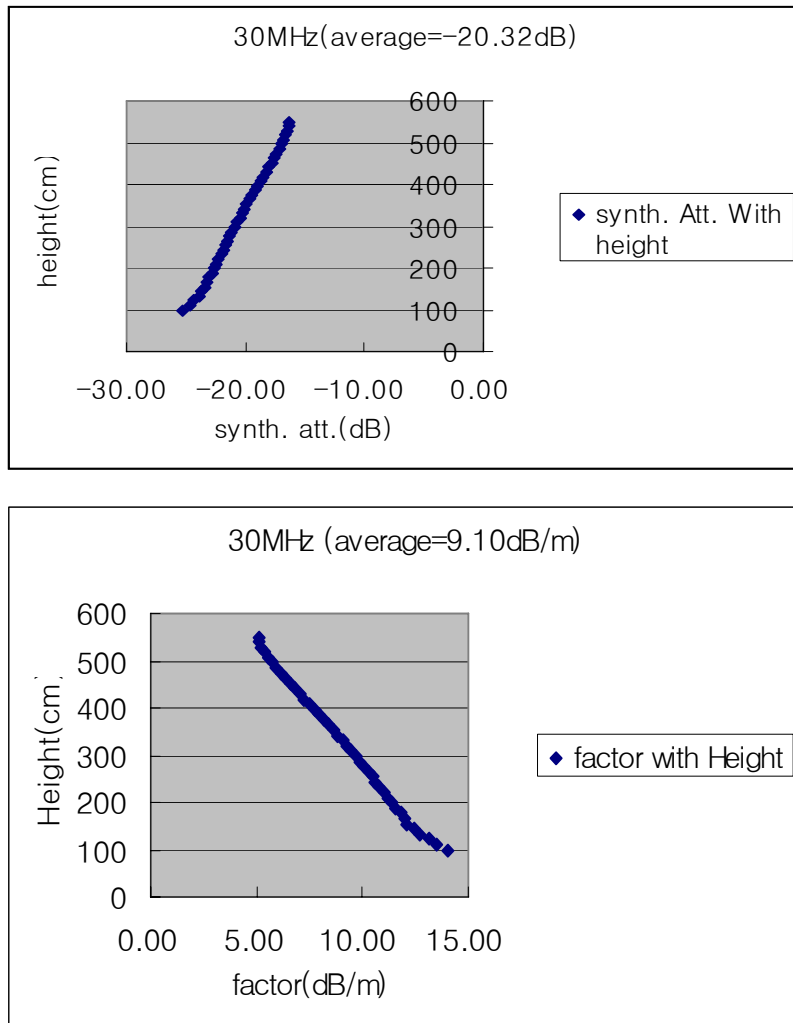


그림 13 감쇠량(상) 및 안테나인자(하)의 높이패턴(30 MHz)

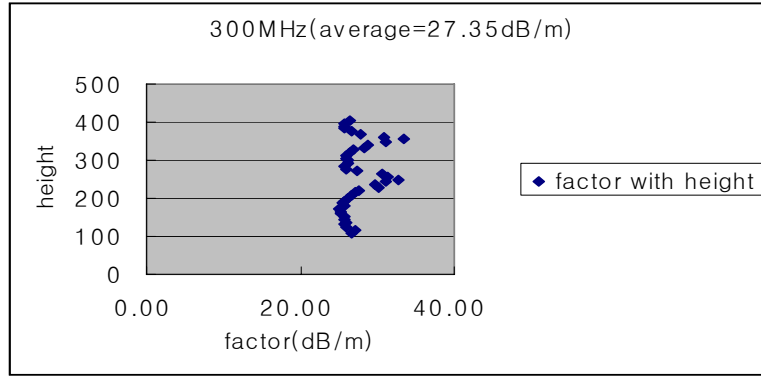
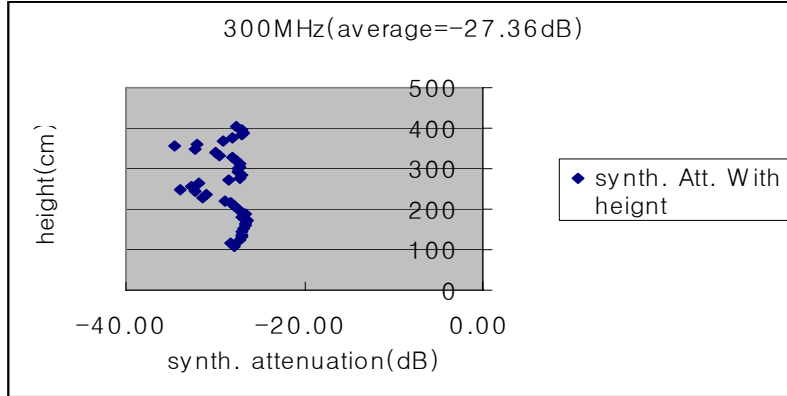


그림 14 감쇠량(상) 및 안테나인자(하)의 높이패턴(300 MHz)

방정식 (2)와 (6) 그리고 안테나 1, m, n 각각 두 안테나 사이의 감쇠량 A_{lm} 에 의해 안테나 인자는 다음 식에 의하여 결정된다.

$$K_l = 10 \log \frac{120\pi}{Z_L \lambda D} - \frac{1}{2} (A_{lm} - A_{mn} + A_{nl}) \quad (16)$$

그림 13 및 14에서 감쇠량과 안테나인자는 거울대칭의 패턴을 갖는데 방정식 (16)에 의한 당연한 귀결이다.

측정한 세 안테나의 30MHz 및 300MHz에 대한 준자유공간의 안테나인자는 표 1과 같다.

표 1 안테나인자 표

주파수(MHz)	S/B D757	S/B D757	An MP652B
30	9.10 dB/m	8.92 dB/m	3.70 dB/m
300	27.35 dB/m	27.21 dB/m	26.99 dB/m

제 3장 표준전계 측정 준자유공간법

제 1절 NIST 표준수신 다이폴안테나

(1) NIST 안테나의 구조 및 특성

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 15에서 보는 것과 같으며 제작된 안테나의 실물사진은 그림 16에서 보여주는 바와 같다.

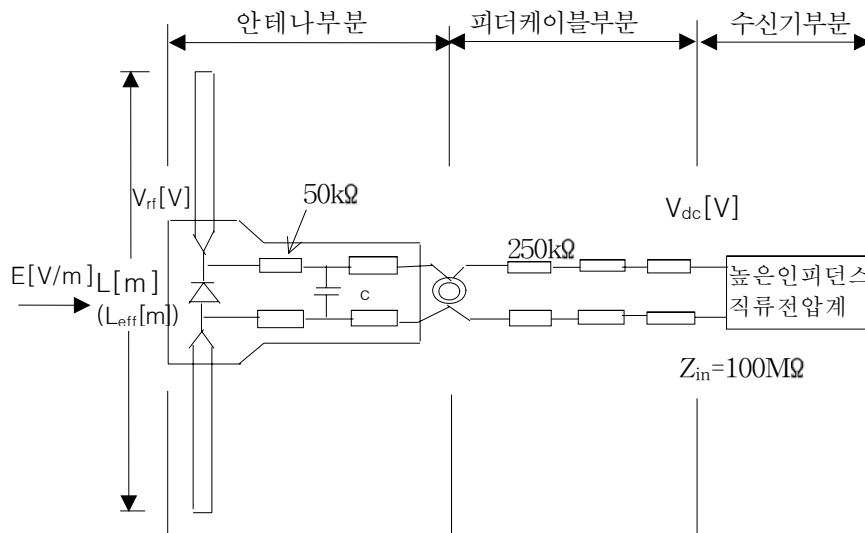


그림 15 NIST 표준다이폴 안테나 구조

안테나 소자는 휘어짐을 방지하기 위하여 티타늄으로 제작하였다.

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

$$E = V_{rf}/L_{eff} \quad (17)$$

여기서 실효길이 L_{eff} 는 안테나의 실제길이 L 를 측정하여 다음과 같은 관계식^[9]에 따라 구할 수 있다.

$$L_{eff} = L \times \tan(\pi L / 2\lambda) \quad (18)$$

방정식 (17)과 (18)로부터 공간에 형성된 전기장 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.



그림 16 제작된 NIST 표준다이폴의 실물사진

(2) NIST 안테나의 다이폴헤드 교정

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 부분에 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^[10].

다이폴헤드 교정을 위한 구성은 그림 17과 같다

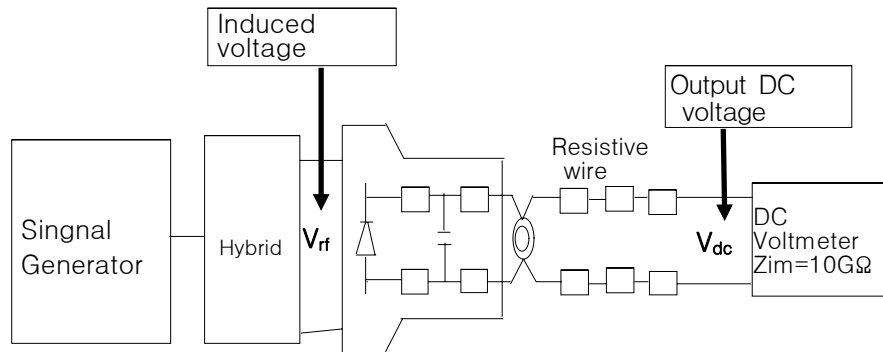


그림 17 다이폴헤드 교정을 위한 측정 구성

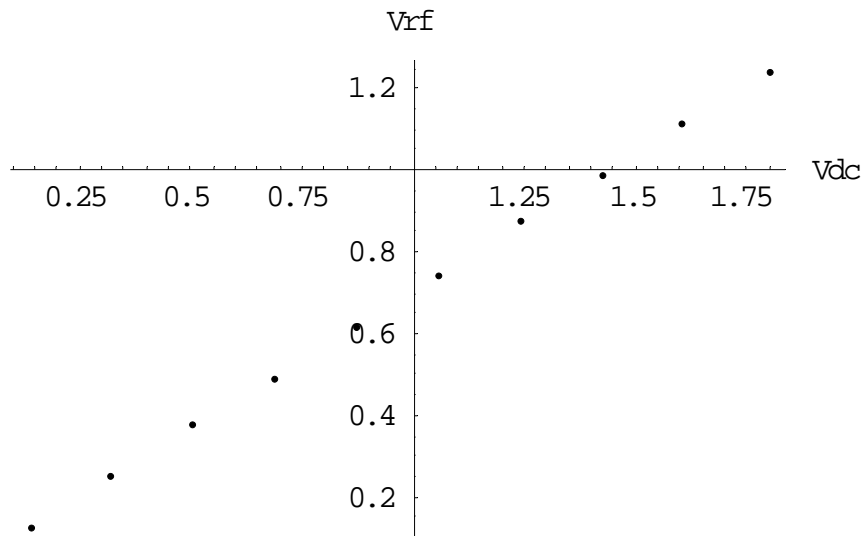


그림 18 다이폴헤드 교정결과

그림 18은 다이폴헤드의 교정결과를 보여주는 그래프이다. V_{DC} 를 기준으로 약 0.2V에서 1.75V 사이에서 V_{DC} 와 V_{rf} 는 선형적인 관계를 이루며 측정 데이터를 메스메티카에 의하여 선형 fitting을 시키면 다음과 같은 관계식이 얻어진다.

$$V_{rf} = 0.674277 \times V_{DC} + 0.0360451 \quad (19)$$

여기서 단위는 Volt 이다.

(3) 안테나 교정방법

① 야외시험장

충분한 far-field를 구현하고 안테나간 상호 결합을 줄이기 위하여 송신 및 수신 안테나 사이가 최소 6λ 가 되는 안테나 야외시험장을 구축하였는데, 안테나 마스트 사이의 거리가 측정 최대 파장인 30MHz에 대하여도 far-field가 되도록 안테나 마스트 사이를 60m로 하였다. 저주파(30MHz~100MHz)에서도 전계의 충분한 높이 패턴이 나타나도록 마스트의 높이를 17m로 하였고 케이블의 지지를 위한 12m의 보조 마스트 2개를 설치하였으며 수신측 마스트 주위에 30m×10m의 금속 ground 평면을 설치하였다. 야외시험장의 모습은 그림 5에서 보여주고 있다.



그림 19 표준전계측정 준자유공간법 측정용 시험장
(마스터간 거리 : 60 m, 마스터 높이 : 17 m)

② 자유공간 안테나 인자의 개념

안테나 고유의 특성으로서 안테나 인자는 자유공간의 안테나 인자를 의미한다. 자유공간 안테나인자는 송신 및 수신안테나가 직접 상호작용하는 전계만을 고려하여 산출할 수 있는데, 일반적으로 안테나를 측정할 때 반사파에 의한 전계까지 함께 측정하게 된다.

그림 20은 송수신 안테나 사이의 거리가 일정하고 같은 높이를 유지하면서 안테나의 높이를 변화시켰을 때의 직접파 E_{dir} 와 반사파 E_{ref} 의 합성과 E_{sum} 을 나타내는 그림이다. 안테나의 높이를 높함에 따라 반사파의 위상이 변화하고 세기나 작아지는 모습을 나타낸 것인데 원점 O로부터 원형 점선 부분까지가 합성전계 E_{sum} 이며 원형의 중심점이 높이가 무한대일 때의 반사파의 E_{ref} 성분이 없는 자유공간의 상태를 나타낸다.

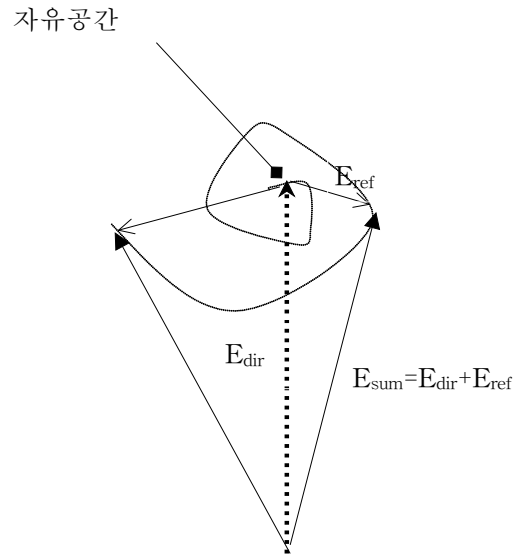


그림 20 직접파와 반사파의 합성과 자유공간

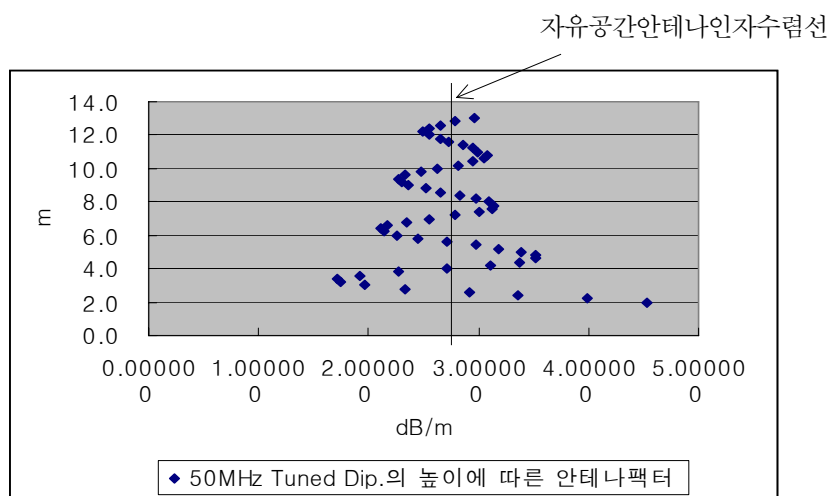


그림 21 높이에 따른 안테나 인자

그림 21은 실측한 데이터로 그림에서 보듯이 안테나인자는 높이에 따라 변화며 높이가 올라감에 따라 자유공간 인자값에 수렴하는데, 안테나 높이가 무한대일 때 우리가 찾고자 하는 안테나인자 값이 된다.

③ 자유공간 안테나 인자 산출법

우선, 높이에 따른 안테나 인자를 구하고 그결과를 이용하여 자유공간 안테나 인자를 산출하기 위하여 다음과 같은 절차에 따라 측정한다.

(단계 1) 그림 22와 같이 측정시스템을 구성한다.

(단계 2) 송신안테나를 고정하고 일정한 출력이 나오도록 한 후 수신측에서 NIST 안테나를 이용하여 높이 h 에 따른 전압 $V_{DC}(h)$ 를 측정하고 방정식 (2)과 (4)을 이용하여 각각 높이에서 표준 전계 $E(h)$ 를 결정한다.

(단계 3) NIST 안테나가 측정한 똑 같은 위치에서 교정할 안테나(AUC)로 전압 $V_{auc}(h)$ 를 측정한다.

(단계 4) 안테나인자 정의 식 (1)에 따라 높이의존 안테나인자 $K(h) = E(h)/V_{auc}(h)$

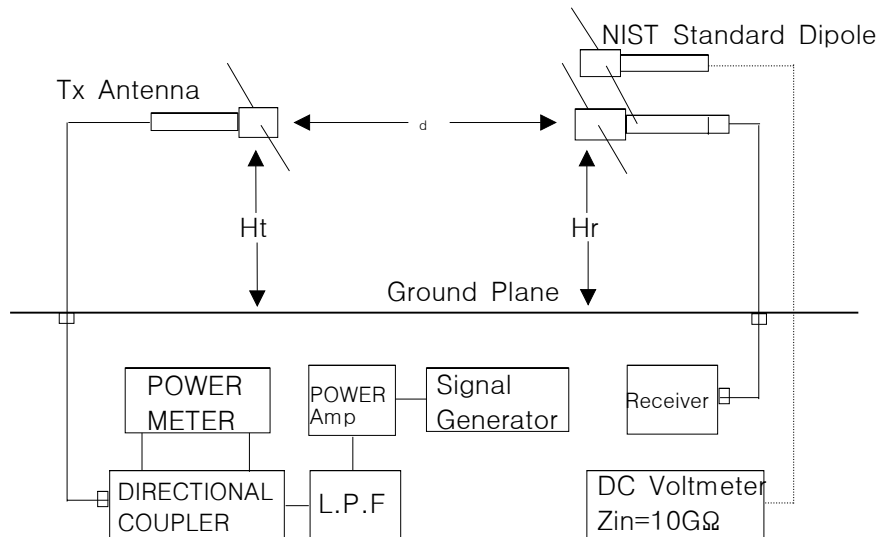


그림 22 NIST 다이폴을 이용한 전계강도 측정

를 결정한다.

(단계 5) 높이의존 안테나인자 $K(h)$ 의 값들 중 서로 이웃하는 세 극점 $K(h_1)$, $K(h_2)$, $K(h_3)$ 를 찾아 다음의 자유공간인자 산출식^[11]으로부터 자유공간 안테나인자

를 구한다.

$$K_{\text{free}} = 1/2 \times [(K(h_1) + K(h_3))/2 + K(h_2)] \quad (5)$$

(4) 측정결과

그림 9는 30MHz 및 40MHz의 Maeda Tuned Dip.와 Maeda Half wave Dip.의 높이에 의존하는 안테나 인자의 높이 패턴을 보여주는 그림이다. 전송안테나로 Maeda Tx Dip.을 사용하였다. 수신 안테나의 높이를 2m~13.6m 사이에서 가변하면서 20cm 간격으로 측정하였다. 그림 23 및 24 와 방정식 (5)를 이용하여 안테나 인자의 산출결과는 표 1에서 보여주고 있다.

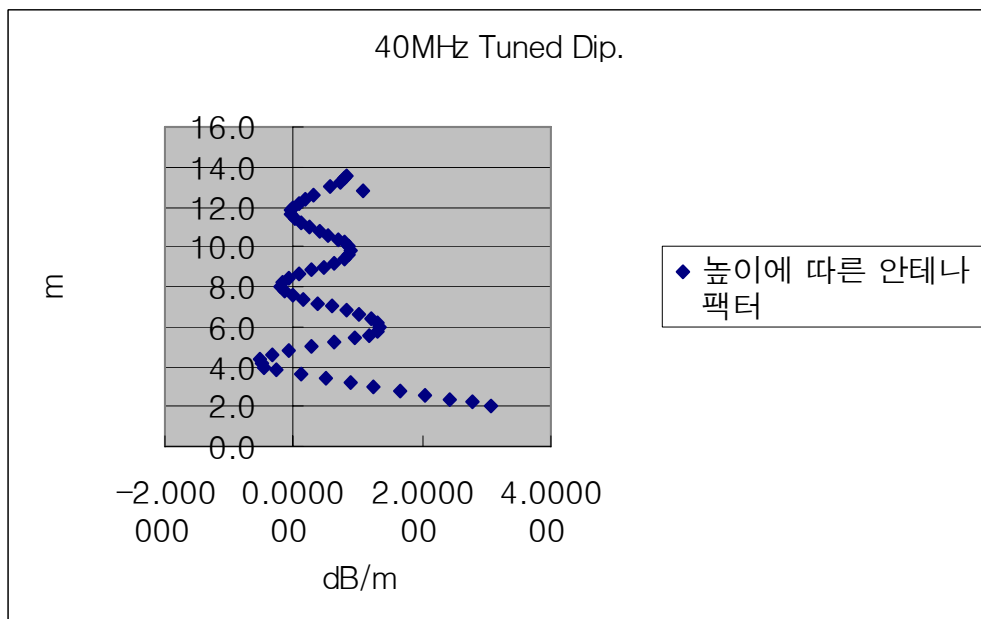
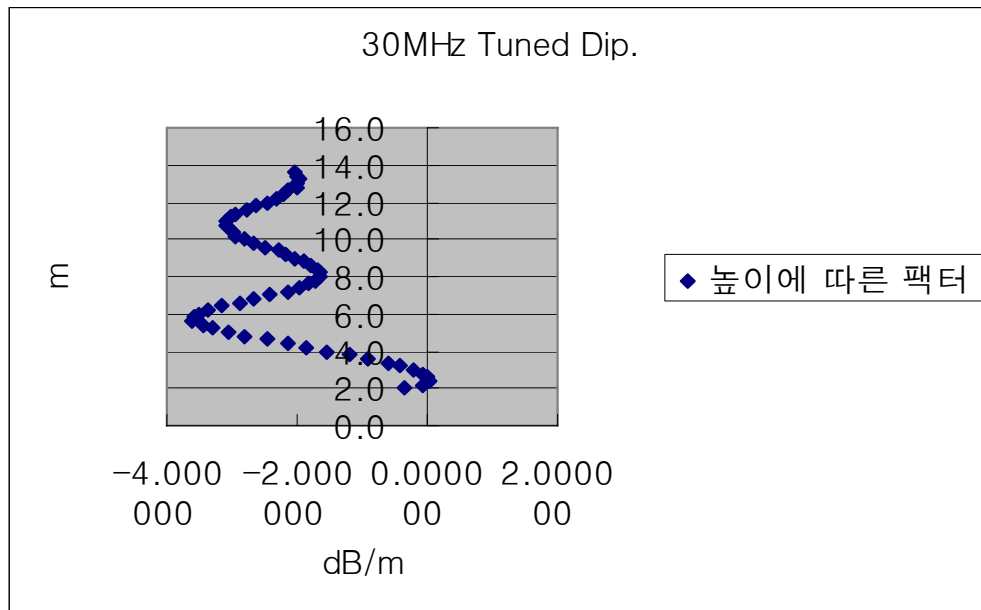


그림 23 높이에 따른 안테나인자 측정 결과(30 MHz)

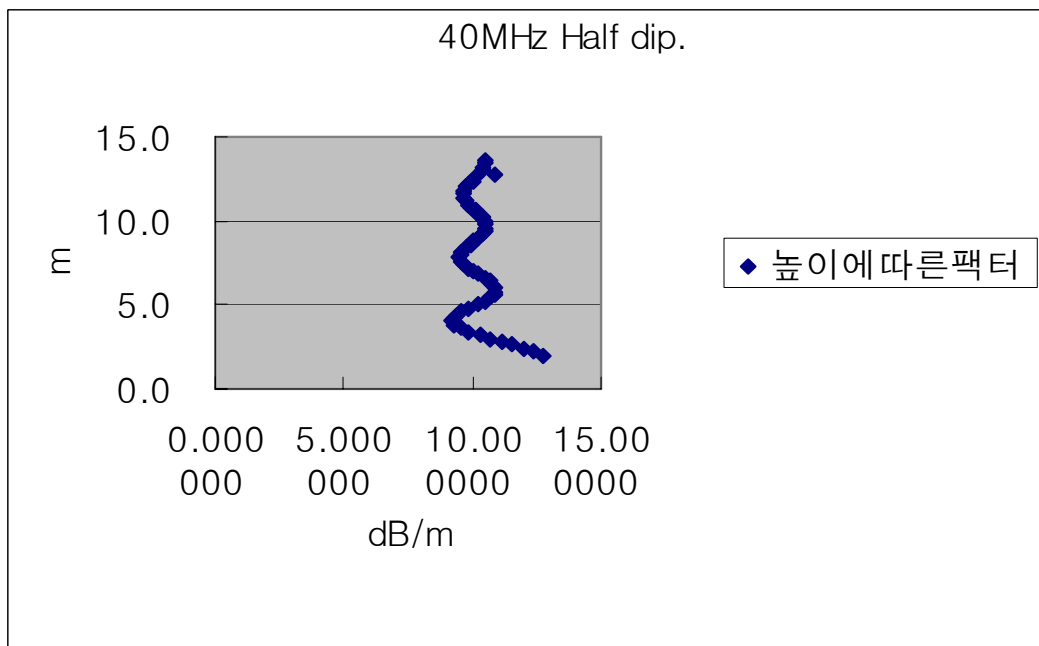
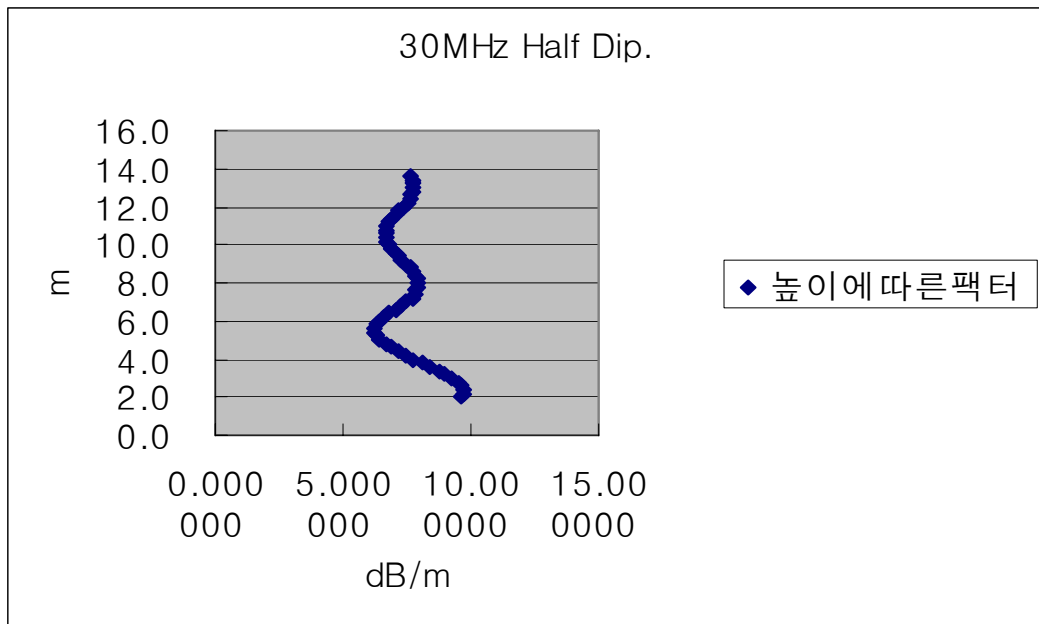


그림 24 높이에 따른 안테나인자 측정 결과(40 MHz)

표 2 새로운 측정법에 의한 안테나 인자

주파수(MHz)	안테나 인자(dB/m)	
	Tuned Dipole	Half wave Dipole
30	-2.20	7.81
40	0.49	10.12
50	2.72	-

제 4장 측정 결과의 비교

제 1절 HSA 법과 표준전계 측정 준자유공간법 비교

HSA를 이용한 3-안테법으로 측정하기 위하여 Schwarzbeck Dip. VHAP 757, Maeda Tuned Dip. 및 Maeda Half wave Dip.를 사용하였다. 안테나 사이의 거리는 10m이고 scanning 높이는 1m~5.6m 이다. 그 결과는 표 2에서 보여준다.

표 3 HSA법에 의한 안테나 인자

주파수(MHz)	안테나인자(dB/m)		
	Tuned Dip.	Half wave Dip.	Schwarzbeck Dip.
30	-1.01	8.39	8.02
40	0.71	10.15	9.78
50	2.72	12.19	11.89

표준전계 측정 준자유공간법과 HSA법에 의한 안테나 측정결과와의 차이의 그래프는 그림 25에서 보여준다.

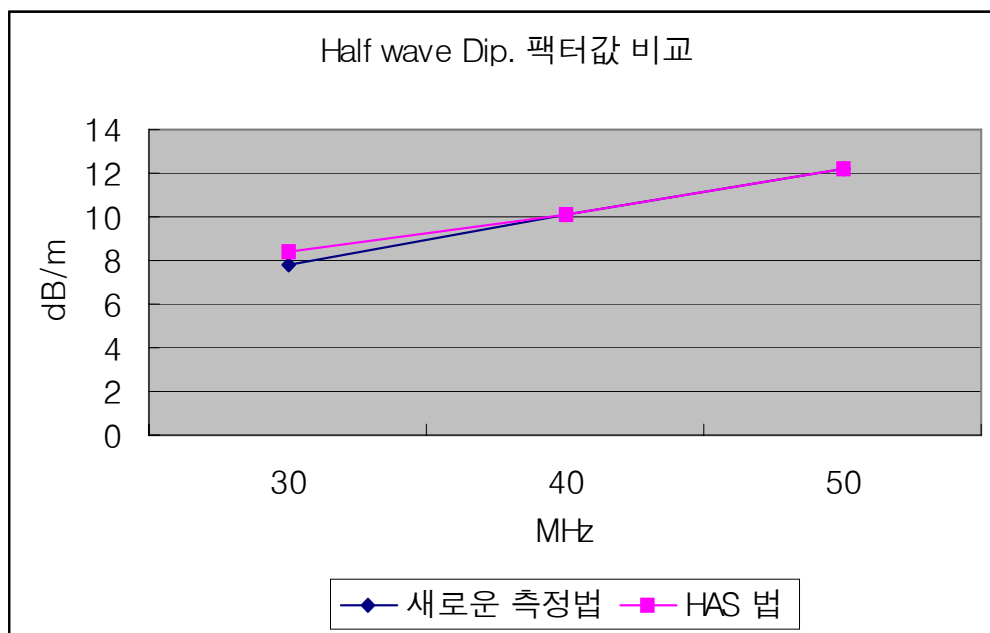
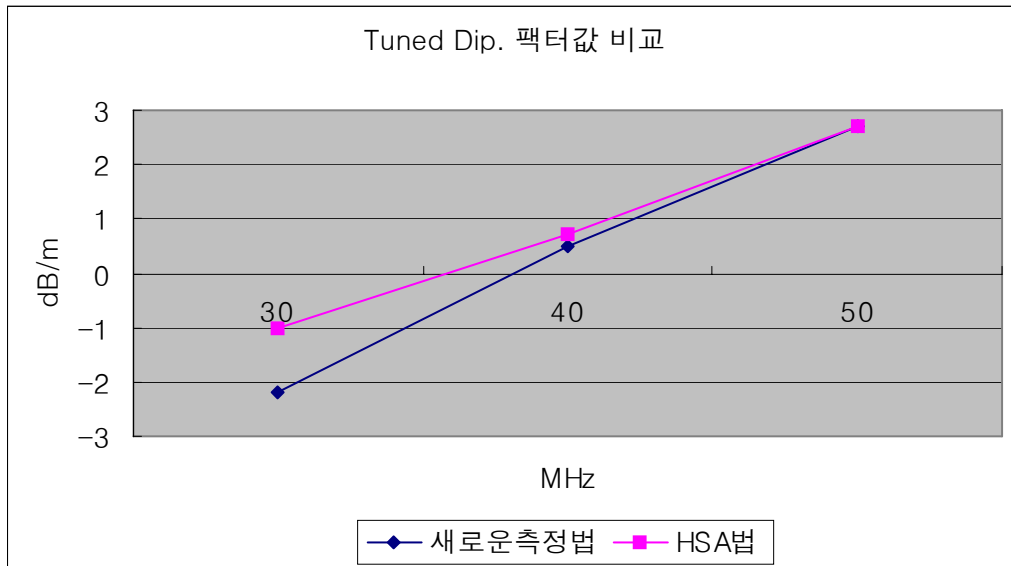


그림 25 표준전계 준자유공간법과 HSA 측정결과 비교

제 2절 HSA 법과 표준안테나법의 국제 비교

일본정보통신연구기구(NICT: 구 CRL)은 표준안테나를 2m 및 3m에 고정하고 송신안테나를 1m~4m사이에서 scann 하여 최대수신점에서 측정할 AUT를 같은 지점에서 측정하여 비교하는 표준안테나법에 의하여 EMI용 안테나를 교정하고 있다. 일본정보통신연구기구와 전파연구소 이천분소 안테나시험장을 왕래하며 각자의 안테나 측정법으로 안테나의 비교 측정을 수행하였다. 주파수 범위는 30MHz ~ 1000MHz 이고 비교대상 안테나는 Anritsu dipole MP652B(30 - 200MHz) 및 S/B D713 (300 - 1000MHz) 이다. 결과는 그림 26에서 보여주고 있다.

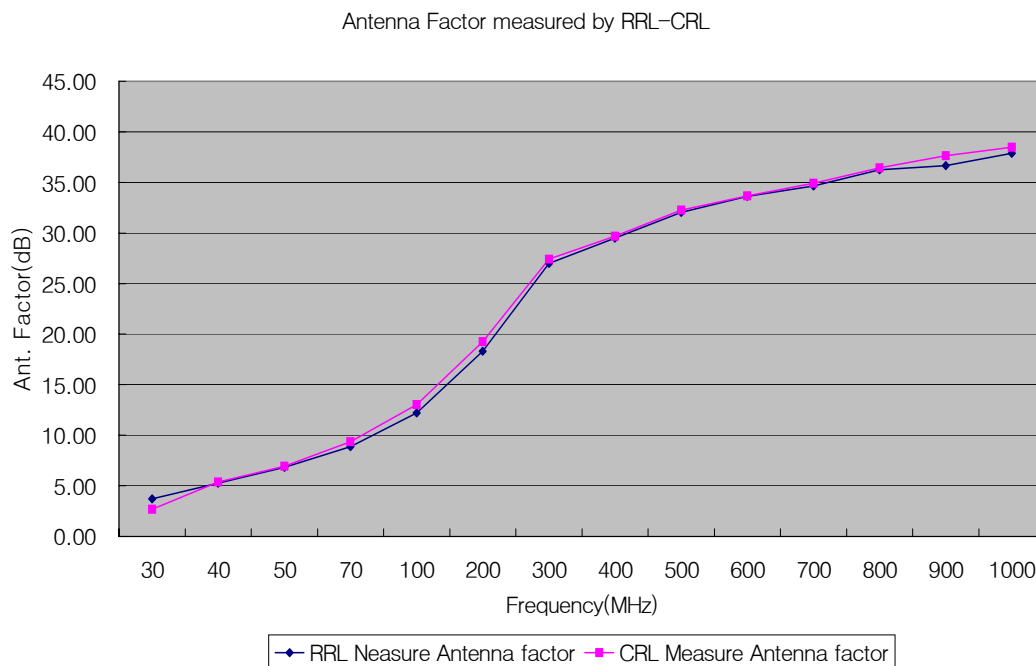


그림 26 전파연구소(HSA법)과 일본 정보통신연구기구 (표준안테나법)와 안테나 비교측정 결과

주파수 전역에서 잘 일치하는 것을 볼수 있으나 30MHz에서는 0.99dB 의 차가 난다. 이는 그림 3과 4 그리고 그림 10에서 보듯이 30MHz에서 높이패턴의 한 주기는 8.8m 이지만 측정에 사용된 안테나 마스트가 5.6m로 Averaging의 편이가 존재하기 때문이다.

제 5장 맺음말

본 보고서에서는 안테나 높이에 따라 안테나 사이의 공간 감쇠량을 측정하여 평균을 취함으로써 반사파를 상쇄하여 준자유공간의 안테나인자를 산출하는 Height Scanning Averaging의 방정식을 유도하고 다이폴 안테나의 경우 안테나의 상호임피던스에 의한 영향이 Averaging에 의하여 상호작용이 가장 큰 30MHz에서도 0.000749dB에 불과하다는 것을 보였다. 그리고 안테나의 높이를 1cm 간격으로 감쇠량의 높이 패턴을 측정하였고 3-안테나 법을 이용하여 높이에 따른 안테나인자 및 그것의 평균으로서 자유공간 안테나인자를 산출하였다.

연구소에서 제작한 NIST 수신 다이폴안테나를 이용하여 정확한 전계를 결정하고 안테나 인자의 높이에 따른 높이 패턴을 측정함으로써 자유공간의 안테나 인자를 산출하는 새로운 시설과 방법에 대하여 논하고 기존의 측정법과의 결과를 비교하였다. 30 MHz에서 약간의 차이를 보이는 것은 기존의 안테나 측정법은 측정 거리가 10 m인 관계로 안테나 사이의 결합과 완전한 far-field의 형성이 어렵기 때문인 것으로 분석된다. 이의 데이터를 근간으로 HSA법을 측정하기 위한 10 m 안테나 마스트를 도입하고 측정거리도 30 MHz에서 20 m로 하는 방안과 함께 안테나 교정절차를 개선하고 그 결과를 고시에 반영하여 추진하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] CISPR 16-1-5 "Radio disturbance and immunity measuring apparatus"
oct. 1999.10
- [2] ANSI C63.5-1988 American National Standard for Calibration of
Antennas Used for Radiated Emission Measurements in
Electro-magnetic Interference(EMI) control
- [3] Shinya Kaketa et. al., "A Novel Method for EMI Antenna Calibration
on a Metal Ground Plane", May 2003.
- [4] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and design",
pp.296-303 John wiley & Sons, 1982
- [5] Schwarzbeck's method for calibration of antennas AK-AntCal 17-93
27 May 1993, 30 pages.
- [6] James McLean et. al. "Measurement for the antennas factor of
Diverse Antennas Using a Modified Standard Site Method ", *IEEE*
pp.595-600, 1999
- [7] Albert A. Smith, Jr. "Calculation of Site Attenuation from antenna factors',
IEEE Trans. of Electromagnetic Compatibility. Vol. EMC-24 NO. 3, August
1982
- [8] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and design",
pp.296-303 John wiley & Sons, 1982
- [9] D.G.Camell et. al., "NBS Calibration Procedures for Horizontal Dipole
Antennas (25 to 1000 MHz)", National Bureau of Standards Technical
Note 1309 Natl. Bur.Stand.(U.S.), 48 pages, Apr. 1987
- [10] S.F.Kawalko and M.Kanda: "Effective length and Input Impedance of
the NIST Standard Dipoles", *IEEE Trans. Electromag. Compat.*,
vol.39, pp404-408, November 1997.
- [11] Atsuya Maeda et. al., "Development of an Antenna Factor
Calibration Method for EMI Testing in Quasi-free Space., February
2003.