

야외 시험장에서 표준안테나법에 의한 안테나인자 교정

정회원 신진국*, 김정환*, 박정일*

Antenna Factor Calibration by Standard Antenna Method at Open Area Test Site

Jin Koog Shin*, Jeong Hwan Kim*, Jeong Il Park* *Regular Members*

요 약

본 논문은 한국표준과학연구원의 야외시험장에서 표준안테나법을 이용하여 안테나인자측정 시스템에 관하여 기술하고 주변 잡음이 안테나인자에 미치는 영향을 줄이기 위한 방법에 대해 논한다. 측정주파수의 범위는 30 ~ 1000 MHz이며, 모든 제어와 데이터 수집은 컴퓨터를 이용하여 자동화 하였다. 측정된 안테나인자를 나타내었고, 안테나인자의 총 측정불확도는 ± 1 dB 이다.

ABSTRACT

This paper describes the measurement system of antenna factor using standard antenna method in OATS(Open Area Test Site) of KRISS(Korea Research Institute of Standards and Science) and methods for reducing an environmental noise affecting antenna factor. The range of measurement frequency is 30 - 1000 MHz, all control and data acquisition were done by computer automatically. Measurement results of antenna factors are presented, total uncertainty of antenna factor is ± 1 dB.

I. 서 론

세계적으로 이동통신, 무선전화 등 무선기술이 활성화되어 감에 따라 안테나를 이용한 관련기술이 급속히 발전해 가고 있다. 또한 EMI/EMC 분야의 경우 관련된 규제가 강화되고 있으며, 규제항목들도 지금보다 상당히 늘어날 것이 확실시 되고 있는 실정이다. 산업체의 경우는 "비관세 무역장벽"으로 대두되고 있는 전자파 장애규제를 극복하여야 하기 때문에 전자파 장애대책이 세워진 상품의 개발에 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다. 이러한 기술 발전과 관련규제에 능동적으로 대처하기 위해서는 핵심기술인 안테나인자 정밀측정기술의 개발이 시급하다.

안테나 인자는 안테나를 균일한 세기의 평면파가 존재하는 곳에 놓고, 안테나 단자에서 최대전압이

나타나도록 안테나 위치를 변화시켰을때 그 평면파의 전기장의 세기와 출력전압과의 비로 정의한다. 즉, 안테나 인자를 측정하기 위해서는 세기가 균일한 평면파의 표준전계가 필요하며, 이러한 표준전계는 주위에 반사물체가 없는 완전한 자유공간이 아니면 실현시킬 수 없지만, 현실적으로는 충분한 전기장의 세기와 방향의 균일성이 확보되면 된다. 표준 전기장의 생성수법으로서는 송신측에서 표준전계를 만드는 방법인 표준 전자장법(SFM), 수신측에서 표준전계를 만드는 방법인 표준안테나법(SAM) 및 이들 두 방법의 중간위치에 있는 표준시험장법(SSM)이 있다¹⁾.

본 논문에서는 표준안테나법을 이용하여 안테나 인자를 측정하였고, 이론적인 계산에 의한 안테나인자와 제작자의 안테나인자를 함께 나타냈다. 정확한 측정과 계산을 하기위해 전과정을 컴퓨터를 이용하여 자동화 하였고, 측정에 이용되는 장비들을 IEEE-

* 한국표준과학연구원

논문번호: 99148-0413, 접수일자: 1999년 4월 13일

488 인터페이스 케이블을 이용하여 컴퓨터로 제어할 수 있도록 하였으며, 이러한 장비들을 제어하고 데이터를 수집하는 모든 과정과 수집된 자료를 처리하는 방법으로 자체 개발한 프로그램을 이용하였다. 주변잡음을 제거하기 위하여 측정 주파수범위에서 수신 안테나에 가장 많은 영향을 미치는 주파수를 선택하고 대역통과 필터를 이용하였고, 노이즈 신호를 모델링하여 안테나인자 측정에 이용하였다.

II. 표준안테나법에 의한 안테나 인자 측정

표준안테나법을 이용한 안테나인자의 측정 기술은 미국 국립표준기술원(NIST)에서 개발한 기술로 각국의 표준기관에서 전기장세기의 국가표준으로 많이 이용되고 있는 기술이다. 이 표준안테나법은 표준 수신안테나의 유효길이 및 안테나의 단자전압으로부터 표준안테나가 놓여있는 지점의 전기장의 세기를 구하는 것으로 표준은 수신측이 된다. 표준안테나법으로 안테나 인자를 측정할 때 안테나 단자에서의 개방회로 전압을 측정하기 위하여, 제작한 열전압변환기의 RF-DC차를 이용하여 안테나 전압계의 전압비를 구하였다. 또한 안테나 전압계의 입력 임피던스를 회로망 분석기를 이용하여 측정하였다. 안테나 소자 입력단의 RF 전압 크기에 대한 DC 전압 크기의 비를 주파수 별로 알게되어 표준안테나와 안테나 전압계를 이용하면 표준안테나법으로 표준안테나가 위치한 지점의 전자기장의 세기를 알 수 있기 때문에 피교정 안테나의 안테나인자를 구할 수 있다.

전자기장은 전기장 성분과 자기장 성분으로 이루어져 있으며, 공간상의 한 지점에서 파의 임피던스(Z)는 전기장의 세기(E)와 자기장의 세기(H)의 비($Z=E/H$)로서 나타내진다. 원역장의 경우 파의 임피던스는 파가 진행해가는 매질의 특성 임피던스와 같으며(자유공간의 경우 120 π), 근역장의 경우에는 전파원의 특성과 전파원에서 전자기장을 관찰하는 지점까지의 거리에 의하여 임피던스 값이 정해진다. 만약 전파원이 높은 전류와 낮은 전압을 가진다면 근역장 영역내에서는 파의 임피던스가 자유공간의 임피던스보다 작아지며, 이 경우 원역장 영역을 만족시키는 조건과 비교하여 볼 때 자기장의 세기가 상대적으로 강하게 되고, 전파원이 낮은 전류와 높은 전압을 가진다면 파의 임피던스가 자유공간의 임피던스보다 커지게 되어 원역장 영역의 조건에서 보다 전기장의 세기가 상대적으로 강하게 나타난다.

표준안테나법을 이용한 안테나 인자 측정방법에 대한 블록도를 그림 1에 보였다.

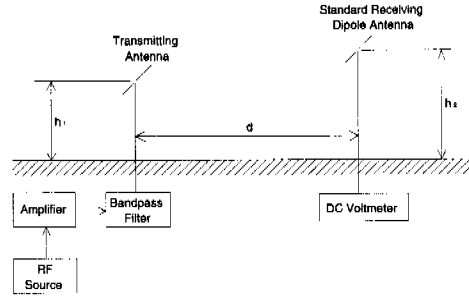


그림 1. 표준안테나법을 이용한 안테나인자 측정.

여기서 표준 수신안테나의 중심에 유기되는 개방회로 RF 전압을 측정하고, 수신안테나의 기하학적 구조로부터 결정된 안테나 유효길이 값을 계산하여 측정 지점에서의 전자기장의 세기를 결정하게 된다. 이 방법에 의하여 구해지는 공간중의 한 지점에서의 전기장의 세기는 수평면상에 출력이 최대가 되도록 놓여진 반파장 공진 이극 안테나에 유기되는 개방회로 전압 V_{oc} 와 안테나의 기하학적 구조로부터 구해진 유효길이를 부터 구해진다.

$$E = \frac{V_{oc}}{h} \quad (1)$$

여기서,

E = 전기장의 세기 (V/m)

V_{oc} = 안테나에 유기되는 개방 회로 전압 (V)

h = 안테나의 유효길이 (m)

따라서, 수신 안테나가 위치한 지점에 입사하는 전기장의 세기를 알기 때문에 이 지점에 피측정 안테나를 위치시키고 이 안테나에 연결된 수신기가 읽는 값과 표준안테나를 이용하여 구한 전기장의 세기와의 비를 구하면, 이 값이 피측정 안테나의 안테나 인자가 된다. 안테나에 유기되는 개방회로 전압 V_{oc} 는 높은 임피던스를 갖는 전압계로 측정되며 안테나 중앙단자에서 개방회로 전압 측정시의 부하효과는 다음과 같다.

$$\frac{V_L}{V_A} = \frac{Z_L}{Z_A + Z_L} \quad (2)$$

여기서 V_L 은 안테나에 부하가 연결될 때 부하에서 측정되는 전압이며, Z_L 은 안테나에 연결되는 부

하의 임피던스를 나타내고, Z_A 는 안테나의 입력 임피던스이다.

식 (2)에서 안테나에 연결된 부하가 크면 클수록 부하에 유도되는 전압이 안테나 단자의 개방회로 전압에 접근함을 알 수 있다. 이 식에서 안테나의 임피던스 Z_A 는 지면의 조건과 지면으로 부터의 높이에 따라 안테나와 지면과의 결합효과에 의하여 그 값이 변하게 되며 이 영향을 무시할 수 있도록 안테나 전압계를 제작하는 것이 매우 중요하다.

III. 안테나 인자 측정 및 분석

1. 안테나 전압계의 제작 및 특성측정

표준 안테나가 제작되면 안테나의 기하학적 구조로부터 안테나의 유효길이가 구해지고, 안테나의 중앙 단자에서 안테나에 유기되는 개방회로 전압을 측정하면 공간중의 한 점에서 전기장의 세기(E)를 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다. 이 개방회로 전압을 RF 전압계로 측정하려면 기준 측정면을 정하기가 매우 어렵게 되어 정확도가 떨어지게 된다. 이러한 문제는 안테나의 중심 간극에 입력 임피던스가 매우 높은 평형선로 전압계를 설치함으로써 해결할 수 있다. 이러한 조건을 만족시키는 안테나 전압계는 고주파용 다이오드와 저항 그리고 캐패시터 및 손실선로로 이루어진 여파기를 안테나 전압계로 사용한다. 이 안테나 전압계의 출력은 직류이므로 입력 임피던스가 높은 디지털전압계로 읽을 수 있다. 이때 정류기가 갖추어야 할 조건은 RF 저항이 크고 DC 출력 저항은 작아야 한다. 개방회로 RF 전압을 측정할 때 부하의 효과를 줄이기 위해 RF 저항값이 크면 클수록 좋지만 RF 저항값이 커짐에 따라 DC 저항값도 커지기 때문에 정류기 선택에 신중을 기하여야 한다. 정류기의 출력은 저역 여파기를 거치는데 이는 정류기에 영향을 주지 않아야 하므로 임피던스가 매우 높아야 하고 평형선로로 구성해야 하기 때문에 쇼트키 장벽 다이오드 칩 저항과 칩 캐패시터 및 저항선로를 이용하여 그림 2와 같이 제작하였다. 이 저항선로는 RF 신호를 감쇠시키고 주변의 전자기장에 교란을 주지않기 위해 사용된다. 안테나 전압계에 이용한 저항선로의 저항치는 20 ~ 30 k Ω /ft 이고 이 전송선의 단위 길이당 감쇠상수 α 는 다음과 같다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}} \quad (3)$$

이 식에서 ω 는 각주파수, R 과 C 는 단위길이 당의 저항과 캐패시턴스 값을 나타낸다.

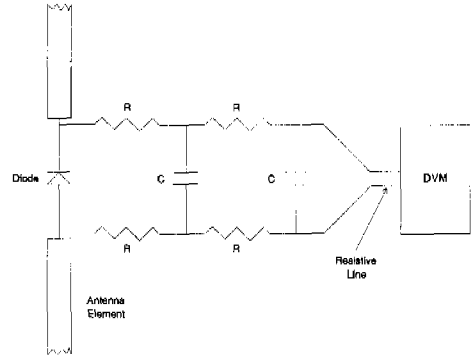


그림 2. 안테나 전압계.

제작된 안테나 전압계의 기판의 두께는 0.8 mm 이고, 저항선로와 안테나 전압계 사이에 접촉저항이 매우 작은 단자를 이용하였으며, 저항선로 끝단에 있는 BNC 연결기의 고정용으로 베이크라이트를 이용하여 제작하였다.

표준공진 이극 안테나에 유기되는 개방회로 전압을 측정하기 위하여 제작한 안테나 전압계의 입력 RF전압에 대한 출력 DC전압 특성을 측정하였다. 안테나 전압계의 입력에 가해지는 RF전압에 대한 출력 DC전압을 측정하기 위하여 열전압변환기를 제작하고, 열전압 변환기의 전압기준면과 안테나 전압계의 전압기준면을 일치시키기 위하여 안테나소자가 접촉되는 안테나 전압계의 양단에 연결할 수 있게 기판을 열전압 변환기의 윗면에 맞도록 원형으로 설계·제작하였다. 이 원형의 측정치구와 열전압 변환기를 이용하여, 제작한 안테나 전압계의 RF-DC 특성을 측정하면 안테나 전압계의 입력전압의 크기에 따른 응답특성을 알 수 있게 된다. 안테나 전압계의 RF-DC특성을 측정하기 위하여 그림 3과 같이 실험장치를 구성하였다. 측정방법은 그림 3(a)와 같이 열전압변환기와 안테나 전압계를 병렬로 연결하고 RF전압을 인가한다. 신호원의 크기를 증가시켜 안테나 전압계 출력에 연결된 디지털 전압계의 지시값이 1 V 근처의 전압이 되도록 신호원의 출력 레벨을 조절하고 안테나 전압계의 출력값과 열전압 변환기의 열전대 출력값(V_d)을 기록한다. 그림 3(b)와 DC 표준기에 열전압변환기를 연결하고 DC 표준기의 출력을 그림 3의 (a)에서 얻은 값(V_d)을 디지털 전압계가 지시할 때까지 증가시키고 이때의 DC 표준기의 출력전압(V_{dc})을 측정한다. 따라서 그

림 3의 (a)에서의 열전압변환기 및 안테나 전압계의 입력 RF 전압은 V_{dc} 값과 열전압변환기의 RF-DC 차(δ)로 다음 식을 이용하여 구한다.

$$V_{rf} = V_{dc}(1 + \delta(\%)/100) \quad (4)$$

따라서 주파수별로 안테나 전압계의 출력 DC 전압을 측정하면 안테나 전압계 입력단에서의 RF 전압을 얻게 되어 안테나에 유기되는 개방회로 전압은

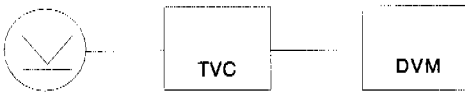
$$V_{oc} = V_{antv} \cdot R_v \left| \frac{Z_u + Z_{antv}}{Z_{antv}} \right| \cdot V_r \quad (5)$$

여기서, V_{antv} 는 안테나 전압계에 연결된 디지털 전압계의 지시값이고, R_v 는 안테나 전압계의 AC 입력에 대한 DC 출력전압의 비이고, Z_u 와 Z_{antv} 는 각각 안테나와 안테나 전압계의 입력 임피던스이다. 그리고 V_r 은

$$V_r = \left| \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma e^{-2\beta l}} \right| \quad (6)$$

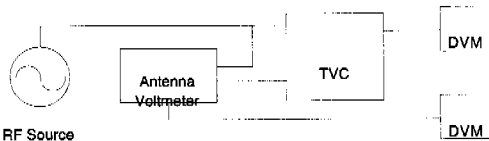
$$\Gamma = \frac{Z_{antv} - 50}{Z_{antv} + 50}$$

여기서 l 은 안테나 전압계 교정을 위해 사용된 측정치구의 두께이며 전압기준면의 차이를 보정하기 위한 것이다.



DC Source

(a) Measurement of the output voltages for the RF input voltage.



(b) Measurement of the equivalent DC input voltage.

Fig. 3 Measurement of the RF-DC characteristics of antenna voltmeter.

안테나 전압계의 입력 임피던스는 입력전압에 따라 변하기 때문에 실제 측정조건에 맞도록 안테나

전압계의 출력이 1 V 근처가 되도록 하고 자동 회로망 분석기를 이용하여 측정하였다.

2. 안테나 전압계 교정용 열전압변환기 제작

안테나 소자의 양단에 걸리는 개방회로 전압을 정확히 알기 위해서는 안테나 전압계의 교정값을 알고 있어야 하기 때문에, 안테나 전압계를 교정할 수 있는 전용 열전압변환기를 제작할 필요가 있다. 일반적인 열전압변환기를 가지고 안테나 전압계를 교정할 경우 기준면이 다르기 때문에 오차요인이 생긴다. 이런 오차요인을 없애기 위해서 열전압변환기를 개조하고 안테나 전압계를 고정 시킬수 있는 치구를 제작하였다.

안테나 전압계 교정용 열전압 변환기를 교정하기 위하여, 먼저 써미스터 마운트(HP478A)를 이용하여 전압 전달표준인 열전압 변환기(1396H-1)를 교정하였다^[2,3,4].

열전압 변환기의 RF-DC차(δ)는 아래와 같이 나타낸다.

$$\delta = \left(\frac{V_{rf}}{V_{dc}} - 1 \right) \times 100(\%) \quad (7)$$

열전압 변환기를 이용하여 다른 열전압 변환기를 교정할 경우에는 기준면이 같지만 써미스터 마운트를 이용하여 열전압 변환기를 교정할 때에는 연결기가 서로 다른 형태이기 때문에 열전압 변환기와 써미스터 마운트 사이에 type N f/f 연결기를 써서 연결한다. 이로 인한 RF 전압의 전송손실이 발생하고 이 손실을 측정과 계산을 통해 보정해 주어야 한다. 안테나전압계의 입력임피던스를 그림 4에 나타내었다.

위와같이 구한 RF 전압은 식(7)에 의하여 δ 가 구해지고 이것은 써미스터 마운트를 이용하여 열전압 변환기를 교정할때 type N f/f 연결기의 손실을 보정한 RF-DC차가 되며, 이 값은 안테나 전압계 교정용 열전압변환기(DUT TVC)를 교정할때 표준 열전압변환기(STD : 1396H -1)의 데이터로 쓰이고 교정된 열전압변환기(DUT TVC)로 안테나전압계를 교정하게 된다. 피측정 안테나에 수신되는 RF 신호는 전력계를 가지고 측정하는데, 실제로 측정시에는 전력계와 피측정 안테나와 어느정도 거리가 떨어져 있기 때문에 RF 케이블로 연결을 하게 된다. 이로 인해 케이블에서의 전송손실이 나타나게 되고, 이러한 손실만큼을 보상해 주기위해 케이블 자체의 전송손실을 측정하였다. 그리고 피측정 안테나에 수신

되는 신호가 매우 작기 때문에 증폭기(HP 8447E)를 이용하여 신호를 크게하고 사용하는 수신측 케이블의 손실을 VM-7 을 이용하여 측정하였으며, 측정된 데이터는 그림 5에 나타내었다. 여기서, 30, 35, 40, 45, 50 MHz의 주파수에서는 대역통과 필터와 증폭기(HP 8447E)와 케이블의 전송손실을 RF 스위치(HP 87106A) 2개를 이용하여 한주파수씩 선택해 가면서 측정하였고, 그외의 주파수에서는 필터를 거치지 않고 RF 스위치를 전송케이블을 이용하여 직접 연결한 다음 케이블과 증폭기의 전송손실을 측정하였다.

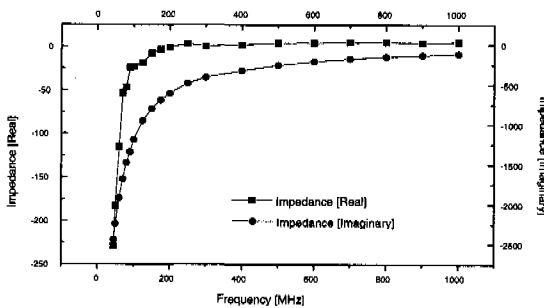


그림 4. 안테나 전압계의 입력 임피던스

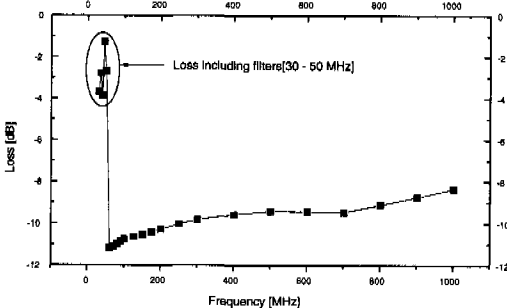


그림 5. 수신부의 손실.

3. 노이즈 제거를 위한 하이브리드의 구성 및 filter box 제작

안테나 인지측정은 야외시험장(Open Area Test Site : OATS)에서 이루어지고, 주변에는 전자파 잡음이 매우 많이 존재한다. 안테나 전압계는 주파수 선택성이 없기 때문에 송신신호가 전달되지 않을 때에도 안테나 전압계의 출력은 0이 아니다. 노이즈 효과를 줄이기 위하여 안테나 전압계의 출력은 다이폴 안테나의 공진현상을 고려하여 실험적으로 다음과 같이 모델링 하였다.

$$V_0 = \sqrt{S^2 + n^2 - 2nS \cos \theta} \quad (8)$$

여기서, S는 신호, n은 노이즈, θ 는 신호와 노이즈 사이의 위상차이다.

식 (14) 와 같이 모델링을 하고, 신호와 노이즈 사이의 위상차 θ 를 변화시키기 위하여 송신측에 위상천이기를 구성하였다. 위상천이기를 구성하기 위하여 RF 스위치(HP 33311B) 2개, switch/control unit(HP 3488A), 90° hybrid 1개, 180° hybrid 1개를 이용하였다.

수신되는 신호에 잡음이 가장 많이 포함되는 주파수는 30, 35, 40, 45, 50 MHz 이다. 송신 안테나를 통해 전달된 신호가 수신 안테나에 수신될때 포함되어 있는 다른 주파수 대역의 잡음 성분을 제거하기 위해 수신측에 RF 스위치와 대역통과 필터를 이용해서 filter box 를 제작하였다. 대역통과 필터를 선정할때 3 dB 대역폭을 중심주파수의 3 %로 하고 section의 수를 5개로 하여 통과대역의 대역폭을 매우 좁게 하였으나, 3 dB 대역폭이 작아지고 section이 증가하면서 삽입손실이 큰 단점이 있었다. 필터를 측정주파수에 맞춰서 하나씩 선택하기 위하여 RF 스위치(HP 87106A) 2개를 사용 하였으며, 스위치를 구동하기 위하여 switch/control unit(HP 3488A) 를 이용하였다. 여기서, RF 스위치의 포트를 선택하는 데에는 3488A의 내부전원(5 V_{dc})과 전원공급기로부터의 외부전원(24 V_{dc})이 함께 이용되었다. RF 스위치는 SMA type으로 된 7개의 port로 구성되어 있으며, 그중에서 5개는 필터를 연결하는데 쓰이고 하나는 전송선로를 이용하여 직접 연결하였으며, 가운데에 위치한 하나의 포트는 수신안테나의 신호가 케이블을 통해 입력되고 다른 한개의 스위치의 가운데에 있는 포트를 통해 필터를 거친 신호와 필터를 거치지 않은 신호가 출력된다.

4. 하이트 패턴

안테나 시험장에 놓여있는 수신안테나에는 송신 안테나로부터 직접 수신되는 직접파 이외에 접지판에 반사되는 반사파도 함께 수신된다. 직접파와 반사파의 합성파는 수신 안테나의 높이에 따라서 변화하는데 수신 안테나의 높이와 합성파의 관계를 나타내는 것을 하이트 패턴(height pattern) 이라 한다. 그림 6의 데이터는 송수신 안테나 사이의 거리가 10 m 이고, 송신 안테나의 높이 2 m, 수신 안테나의 높이를 1 m에서 4 m까지 접지판에 대해 수직으로 이동시킬때, 각 주파수에서의 수평편파에

대한 하이트 패턴의 측정치를 나타내었다. 이 하이트 패턴으로부터 각각의 주파수에 대하여 안테나 인자 측정을 위한 수신안테나의 높이를 결정하게 되는데 결정과정에서 고려해야 할 사항들이 있다. 우선 전송손실이 최소가 되는(전계의 세기가 최대가 되는) 점을 선택한다. 그러나 전송손실이 최소가 되는 지점이 3m 이하이면 접지면의 영향을 최소화 하기 위하여 3m 이상되는 지점에서 전송손실이 최소가 되는 지점을 선택한다. 그리고 전송손실이 최소가 되는 지점의 경사가 가파른 경우는 피하고 경사가 완만한 곳을 선택한다.

다이폴 안테나의 입력 임피던스는 접지면에서 떨어진 정도에 따라 달라지므로 식 (5)의 Z_a (다이폴 안테나의 임피던스)는 개방회로 전압에 영향을 미치게 되고 결국 안테나 인자의 오차요인이 된다. 안테나 인자를 측정할때 표준안테나와 피측정 안테나가 위치하게 되는 높이를 측정된 하이트패턴 으로부터 결정한다^[5,6].

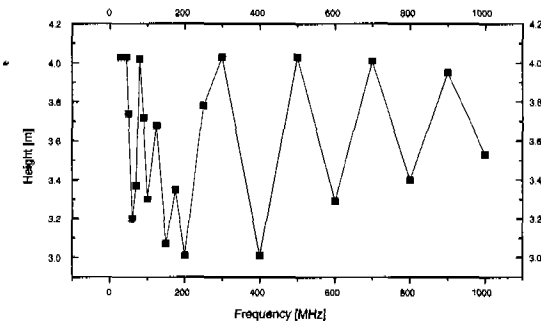


그림 6. 다이폴 안테나의 측정 높이.

5. 측정시스템 구성 및 측정결과

표준안테나법의 측정시스템을 그림 7에 나타냈다. 측정시스템에서 모든 과정의 제어와 데이터 수집 및 처리는 IEEE-488 버스를 사용하여 HP 9000 시리즈 컴퓨터와 자체 개발한 프로그램을 이용하였다.

여기서, 송신측과 수신측의 장비들이 서로 멀리 떨어져 있기 때문에 광 케이블로 연결된 GPIB-extender를 이용하였고, 위상천이기의 제어를 위해 HP33311B(RF 스위치)와 switch/control unit를 이용하였으며, 신호원에서 출력된 신호의 하모닉을 제거하고 신호를 증폭하기 위하여 대역통과 필터와 고전력 증폭기를 이용하였다.

측정주파수가 200 MHz 이하일 경우에는 위상천이기의 위상을 90° 씩 바뀌가면서 수신측의 DVM

으로 측정된 전압값과 위상천이기의 위상을 바꿨을 때 변화된 손실의 크기와 측정된 위상을 가지고 노이즈를 모델링하는데 이용하며, 측정주파수가 200 MHz 보다 클 경우에는 R&S사의 step attenuator의 감쇠량을 1 dB 씩 변화시켜 가면서 송신측 방향성 결합기의 sidearm에 연결된 GPIB로의 제어가 가능한 전력계(HP 437B)로 전력을 측정하고 그때의 위상을 이용하여 노이즈를 모델링한다. 수신안테나를 0.5 m ~ 4.5 m 범위내에서 원하는 위치까지 이동하기 위해서 마스트를 이용하였다.

표준 수신 안테나의 개방회로 전압을 알기 위해 표준 수신 안테나와 함께 연결된 안테나 전압계의 출력 DC 전압을 디지털전압계로 읽어서, 안테나의 기하학적인 구조로부터 구해진 유효길이를 알면 측정지점에서의 전기장의 세기를 알게된다. 표준 수신 안테나와 똑같은 지점에 피측정 안테나를 위치시키고 이 안테나에 연결된 수신기가 읽은 값과 표준 수신 안테나를 이용하여 구한 전기장의 세기와의 비를 구하면 이 값이 피측정 안테나의 안테나 인자가 된다. 여기서 피측정 안테나의 출력은 주변의 다른 주파수대역의 신호가 혼입되기 때문에 대역통과 필터를 사용하였고, 필터의 대역폭이 좁고 section 수의 증가로 인해 삽입손실이 크기 때문에 증폭기(8447E)를 사용하였다. 측정시 송수신안테나의 거리는 10 m이고, 송신안테나의 높이는 2 m, 수신안테나는 하이트패턴으로부터 구해진 높이에 위치시켰다.

그림 8과 그림 9는 각각 바이코니칼 안테나와 대수 주기형 안테나의 안테나인자를 나타내고 그림 10과 그림 11은 반파장 공진다이폴 안테나 #1과 #2의 안테나인자를 나타낸다. 송수신안테나 사이의 거리는 10 m이고 송신안테나는 2m 높이에 위치시키고 수신안테나는 1 m에서 4 m로 높이를 변화시키면서 측정하였다. 여기에 보인 이론치는 입력 임피던스가 72 Ω인 표준 이극 안테나에 50 Ω의 임피던스를 갖는 부하가 연결되었을 때 표준안테나의 이론적으로 구한 안테나 인자를 높이에 따라 변화하는 안테나의 임피던스를 계산하여 아래의 식으로 구한 보정값을 더한 것이다^[7,8].

$$CF = 50 \frac{(Z_a + Z_{in})(1 + S_{11})}{122 S_{21} Z_{in}} \quad (9)$$

여기서, Z_a 은 높이에 따라 변하는 안테나의 임피던스,

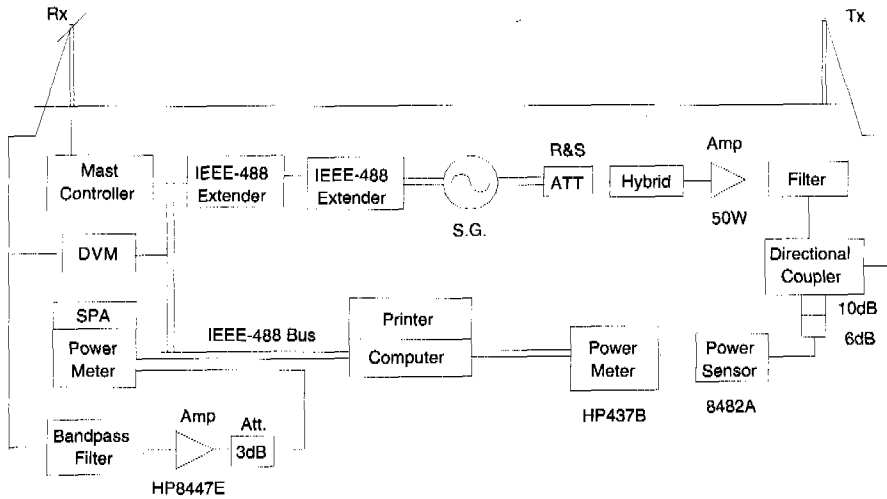


그림 7. 표준안테나법.

$$Z_{in} = 50 \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}$$

$$S_{11} = 10^{S_{11,max}/20} e^{jS_{11,phase} \times \pi / 180}$$

$$S_{21} = 10^{S_{21,max}/20} e^{jS_{21,phase} \times \pi / 180} \text{ 이다.}$$

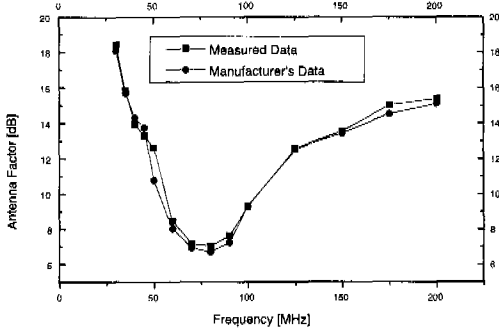


그림 8. 바이코너칼 안테나의 안테나 인자.

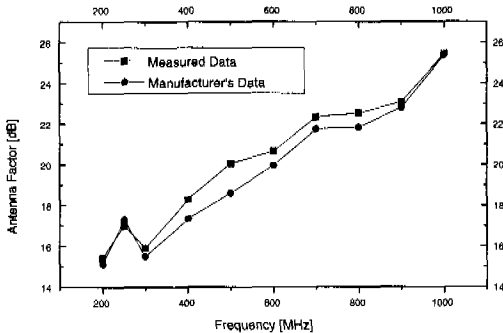


그림 9. 대수 주기형 안테나의 안테나 인자.

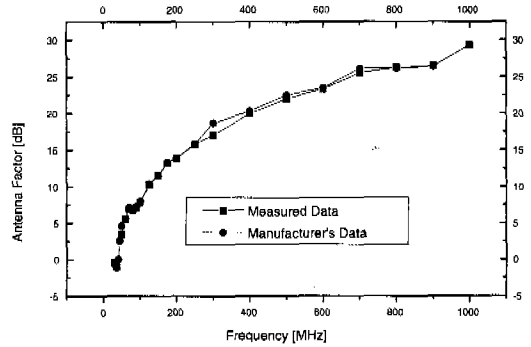


그림 10. 반파장 공진다이폴 안테나#1의 안테나 인자.

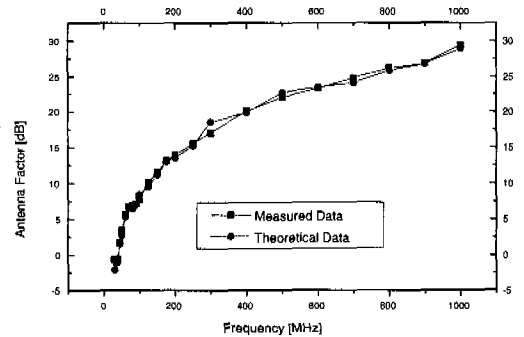


그림 11. 반파장 공진다이폴 안테나#2의 안테나 인자.

IV. 결론

안테나인자 정밀측정을 위하여 미국립표준기술원 (NIST)에서 개발되어 세계 각국에서 이용되고 있는

표준안테나법을 이용하여 한국표준과학연구원의 야외시험장에서 수행하였다. 안테나 전압계와 안테나 전압계 교정용 열전압변환기를 제작하여 RF-DC 특성파 RF-DC차를 각각 측정하였으며 신호에 혼입된 주변잡음을 제거하기 위하여 대역통과 필터를 사용하였다. 그리고, 노이즈 모델링을 위하여 송신측에 위상천이기를 구성하였고, 안테나 소자의 임피던스가 높이에 따라 얼마나 변하는가를 이론해석을 통해 계산하여 안테나 인자의 측정에 이용하였다.

모든 제어와 데이터 수집 및 계산과정이 IEEE-488 인터페이스 버스를 연결하여 컴퓨터로 처리하였고, 또한 장비마다 명령어가 다른 복잡성을 극복하여 프로그램을 자체로 개발하였다. 표준안테나법을 이용한 전자기장의 세기 표준이 ± 1 dB의 불확도로 확립되었으며, 안테나 인자 측정시스템이 구축되었다.

Interference Measurements and Methods to Calibrate Them”, *IEEE Trans., EMC-36*, No. 4, Nov. 1994.

- | | |
|---------------------------|-----|
| 신진국(Jin Koog Shin) | 정회원 |
| 1983년 2월: 인하대학교 전자공학과 졸업 | |
| 1995년 2월: 충북대학교 대학원 공학석사 | |
| 1999년 2월: 충북대학교 대학원 공학박사 | |
| 1987년 8월~현재: 한국표준과학연구원 | |
| <주관심 분야> 어레이 안테나, EMI/EMC | |
| 김정환(Jeong Hwan Kim) | 정회원 |
| 1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 졸업 | |
| 1980년 2월: 한국과학기술원 공학석사 | |
| 1980년 3월~현재: 한국표준과학연구원 | |

참고 문헌

- [1] ANSI C63.5-1988, “American National Standard for calibration of antennas used for radiated emission measurements in electromagnetic interference (EMI) control”
- [2] J. K. Shin, “Variation of the RF-DC differences of thermal voltage converter by connector discontinuity”, *The Journal of Korean Institute of Communication Science*, Vol. 23, no. 10, pp. 2864-2871, 1998.
- [3] N. Marcuvitz, *Waveguide Handbook*. London : Peter Peregrinus Ltd., 1986, pp. 234, 310-312.
- [4] J. A. Stratton, *Electromagnetic Theory*. New York and London : McGraw Hill, 1941, pp. 546-554.
- [5] H. E. Taggart and J. L. Workman, “Calibration principles and procedures for field strength meters (30 Hz to 1 GHz)”, U. S. Dept. of commerce, NBS Tech. Note 370.
- [6] F. M. Green and M. Slow, “Development of very-high-frequency field-intensity standards”, *J. Res. NBS*, Vol. 44, pp. 527-547, May 1950.
- [7] M. Kanda, “Analytical and Numerical Techniques for Analyzing an Electrically Short Dipole with a Nonlinear Load”, *IEEE Trans., AP-28*, No. 1, Jan. 1980.
- [8] M. Kanda, “Standard Antennas Electromagnetic

- | | |
|-------------------------------|-----|
| 박정일(Jeong Il Park) | 정회원 |
| 1988년: 충남대학교 전자공학과 졸업 | |
| 1990년: 충남대학교 대학원 전자공학과 석사 | |
| 1995년~현재: 한국표준과학연구원 | |
| <주관심 분야> 전자파 전력, 잡음온도, 안테나 측정 | |