

자체 개발 안테나 교정 방법 유효성 확인 연구

2012. 12. 31.

제 출 문

본 보고서를 「자체 개발 안테나 교정 방법 유효성 확인 연구」
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2012. 12. 31.

연구책임자 : 박완기(전파시험인증센터 시험과)

연구원 : 박정규(전파시험인증센터 시험과)

김우년(전파시험인증센터 시험과)

서명원(전파시험인증센터 시험과)

곽영철(전파시험인증센터 시험과)

요 약 문

본 보고서는 2011년에 국립전파연구원에서 새로이 개발하여 IEEE에 논문으로 발표하고 CISPR에 안테나 교정방법으로 제안한 방법으로서 국립전파연구원형 안테나 교정방법(R-SAM)의 유효성을 확인하였다. R-SAM은 수신측의 전기장에 대한 정보를 통하여 두 개의 안테나만을 사용하여 한 번의 설치로 송신 안테나의 이득 또는 인자를 측정하는 방식이다. 수신측의 전기장에 대한 정보는 안테나 인자를 알고있는 표준안테나 또는 기준안테나를 필요로 한다. 그에 따라 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나를 도입하였고 표준시험장법으로 측정한 데이터를 상호비교하여 두 결과가 잘 일치함을 보였다.

SUMMARY

In this report, a Radio Research Agency - Standard Antenna Method(R-SAM) is proposed. The main idea is that a information for electric field at receiving gives antenna gains of transmitting antenna. The existing Reference Antenna Method(RAM) or Standard Antenna Method(SAM) have to conduct two measurements with three antennas in order to yield antenna gains or factors. The R-SAM needs only one time measurement with two antennas to measure gains of Tx antenna. The standard antenna should be known for its antenna factors or should be possible to measure a electric field at receiving location. Basic formula for R-SAM from the electric field formula of Tx antenna are derived both in Free space and in Open Area Test Site(OATS) with a conducting plane. Measuring procedure is explained. Calibration results due to the proposed method and SSM are compared. Biconical, Bilog, LP and horn antenna, knowing its factors were used as the reference. They respectively measured the antenna factors of LP and biconical, bilog and horn antennas as AUC. The comparison results between the two methods show good agreement.

목 차

제1장 서 론	9
제2장 국립전파연구원형 표준안테나법(R-SAM)	10
제1절 안테나 교정관련 기본 이론	10
제2절 R-SAM의 교정이론	18
제3절 표준 안테나	21
제4절 R-SAM의 적용	50
제3장 측정	57
제1절 표준시험장법에 따른 안테나 교정서비스 제공	57
제2절 R-SAM과 표준시험장법에 교정결과 비교	60
제3절 안테나 교정 국제표준문서 제정	62
제4장 맺음말	65
* 참고문헌	67

표 목 차

<표 2-1> 다이폴 소자의 공진 주파수에 주파수 대역	23
<표 2> 이론값 산출	25
<표 2-3> NPL 표준안테나법에 의한 측정 결과	50
<표 3.4.1> EDmax와 $20\log D _{\max}$ 비교값	55

그 립 목 차

<그림 2-1-1> 면적 A를 통과하는 전자기파의 전력	10
<그림 2-1-2> 등방성 안테나의 단위 입체각당 방사 전력	11
<그림 2-1-3> 실제 안테나의 단위 입체각당 방사 전력	11
<그림 2-1-4> 송신 안테나로부터 생성되는 전기장의 세기	13
<그림 2-1-5> 안테나 인자의 정의	14
<그림 2-1-6> 안테나 실효 길이의 정의	14
그림 <2-1-7> 안테나 실효 면적과 포획되는 전자기파 전력	16
<그림 2-2-1> 3-안테나법(표준시험장법)	19
<그림 2-2-2> 표준안테나법(치환법)	19
<그림 2-2-3> R-SAM의 개념도	20
<그림 2-3-1> NIST 표준다이폴 안테나의 구조	21
<그림 2-3-2> 우리원에서 보유하고 있는 NIST 표준다이폴	21
<그림 2-3-3> NIST 표준다이폴의 RF-DC 관계	22
<그림 2-3-4> NPL 계산형 표준 다이폴 안테나	23
<그림 2-3-5> NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 구조	24
<그림 2-3-6> 무한 완전 도체면위의 두 안테나에 대한 2-포트 모델	26
<그림 2-3-7> NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 발룬 구조	27
<그림 2-3-8> 안테나 인자의 정의	28
<그림 2-3-9> 표준안테나 발룬 실물과 대응되는 포트>	30
<그림 2-3-10> S-파라미터 측정할 안테나 부분>	30
<그림 2-3-11> A 포트에 연결된 Push-Fit 커넥터>	31
<그림 2-3-12> S 파라미터 측정을 위한 구성>	31
<그림 2-3-13> G 및 A 포트 S 파라미터 측정을 위한 연결	33
<그림 2-3-14> A 및 B 포트의 S 파라미터 측정을 위한 연결	34
<그림 2-3-15> 압축파일 CAP2010.zip의 압축 해제후 생성된 폴더	35
<그림 2-3-16> 실행 프로그램 Calculable Antenna Processor	35

<그림 2-3-17> Calculable Antenna Processor 폴더 내부	36
<그림 2-3-18> CapData 폴더 내부	36
<그림 2-3-12> 발룬 포트 구분	37
<그림 2-3-18> 6003AG11.txt 파일 내용	37
<그림 2-3-19> CAP2010의 데이터 처리 구조	39
<그림 2-3-20> Pairs 폴더내의 6개의 안테나 쌍 파일	40
<그림 2-3-21> Cap2010 실행 화면	41
<그림 2-3-22> 측정할 안테나 쌍 파일 생성	41
<그림 2-3-23> 안테나 쌍 편집 파일	42
<그림 2-3-24> 안테나 쌍 편집 파일	43
<그림 2-3-25> 이론적인 시험장감쇠량 및 안테나 인자 결과 파일	43
<그림 2-3-26> 표준 안테나법(치환법, 비교법)	45
<그림 2-3-27> NPL의 표준 안테나법	46
<그림 2-3-28> NPL 안테나 교정시험장 : 40 m × 60 m 금속면	47
<그림 2-3-29> NPL 계산형 표준 안테나의 설치	48
<그림 2-3-30> NPL 표준 안테나의 설치후 SIL 측정	48
<그림 2-3-32> NPL 표준 안테나를 우리원의 안테나로 치환 설치	49
<그림 2-3-33> NPL 표준 안테나와 우리원 안테나 SIL 측정	49
<그림 2-4-1> 야외 시험장에서 R-SAM 기하구조	53
<그림 3-4-1> 3-안테나법(표준시험장법)	54
<그림 3-1-1> 바이코니칼 안테나 인자 연간 추이 및 평균값	58
<그림 3-1-2> LP 안테나 인자 연간 추이 및 평균값	58
<그림 3-1-3> 바이로그 안테나 인자 연간 추이 및 평균값	59
<그림 3-1-4> 혼 안테나 인자 연간 추이 및 평균값	59
<그림 3-2-1> R-SAM과 표준시험장법 비교 결과(바이코니컬 및 LP)	60
<그림 3-2-2> R-SAM과 표준시험장법 비교 결과(바이로그 및 혼)	61
<그림 3-2-3> CISPR 16-1-6 제정의 CD표지	63
<그림 3-2-4> 제정될 CISPR 16-1-6의 참고문헌에 인용된 R-SAM 논문	64

제 1 장 서 론

본 보고서에서 우리원에서 독자적으로 개발한 안테나 교정방법의 유효성을 확인하였다. 그 방법은 표준안테나 또는 안테나 인자를 알고 있는 기준안테나를 사용하는 방법으로서 R-SAM이라 명명하였다. Radio Research Agency Standard Antenna Method의 첫 글자의 R과 Standard Antenna Method의 SSM을 결합하여 R-SAM이다. 번역하자면 ‘국립전파연구원형 표준안테나법’이라 할 수 있다. 이 새로운 R-SAM은 송신용안테나와 기준안테나(또는 표준안테나) 2개만을 사용하여 단 한번의 측정 구성과 측정으로 안테나 인자 또는 이득을 측정하는 획기적인 방법이다. 이 결과를 2012년 IEEE EMC 심포지움에 발표하였고 같은 해에 CISPR 총회에 우리나라의 안테나 교정법으로 제안하였다. 그리고 이 방법의 유효성과 효율성을 확인하기 위하여 1년간 기존의 안테나 교정서비스 데이터를 확보하고 표준시험장법과 결과를 비교하여 좋은 일치를 보인다는 것을 보여 당장이라도 교정서비스 현장에 투입할 수 있도록 검증하였다. 또한 그것의 이론적인 근거를 굳건히 하였으며, 상용하는 안테나의 인자값을 이론값에 소급할 수 있도록 NPL 계산형 표준안테나를 도입하였었다. 도입과정에서 영국 NPL 현지에서 NPL의 안테나 교정기술을 습득하였으며 NPL 안테나 야외시험장에서 NPL 방법의 측정결과와 우리원의 안테나 야외시험장에서 표준시험장법 측정결과와 훌륭하게 일치함을 확인하였다. 안테나에 관한 국제표준문서 CISPR 16-1-6 제정에 있어서 우리원의 R-SAM이 국제적인 안테나 교정 전문가들로부터 인정받아 그 참고문헌에 기재되는 개가를 올렸다. 또한 R-SAM을 응용하여 이동이 불가능한 토지에 고정된 통신용 안테나 이득 측정 방법을 국내 특허출원 및 PCT에 의한 국제특허출원을 하였다.

본 보고서는 R-SAM의 기본이론, NPL 표준안테나의 도입, 1년간 표준시험장법으로 안테나 인자를 측정하여 그 평균값을 기준값으로 하는 상용 안테나로 R-SAM을 측정하고 표준시험장법으로 측정한 결과가 잘 일치함으로 보였다.

제 2 장 전파연구원형 표준안테나법 (R-SAM)

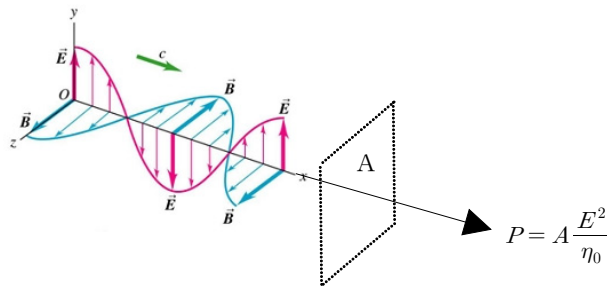
제1절 안테나 교정관련 기본 이론

1. 포인팅 벡터

전자기파는 포인팅(Poynting) 벡터로서 다음과 같은 방정식으로 전기장 E 또는 자기장 H 에 의하여 단위면적당 전력(W/m^2)의 에너지를 전달한다.

$$|\vec{P}| = |\vec{E} \times \vec{H}| = \eta_0 H^2 = \frac{E^2}{\eta_0} = \frac{E^2}{120\pi^2} \quad (2-1-1)$$

여기서 η_0 는 자유공간의 임피던스이다.



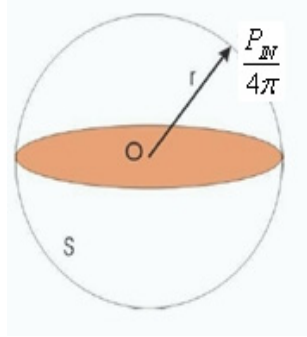
<그림 2-1-1> 면적 A 를 통과하는 전자기파의 전력

2. 안테나 이득

① 등방성 안테나의 방사 전력

등방성 안테나는 사방으로 같은 크기의 전력을 방사한다. 입력 전력을 P_{IN} 이라 하면 특정방향으로 입체각 $\Delta\Omega$ 당 방사하는 전력 ΔP_r 은 어느 방향이나 단위 입체각당 $P_{IN}/4\pi$ 을 방사한다. 즉, 모든 방향에서 다음과 같다.

$$\frac{\Delta P_r}{\Delta \Omega} = \frac{P_{IN}}{4\pi} \quad (2-1-2)$$

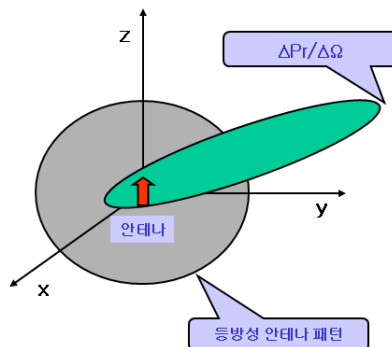


<그림 2-1-2> 등방성 안테나의 단위 입체각당 방사 전력

② 실제 안테나의 방사 전력

실제 안테나는 이상적인 등방성 안테나와는 달리 모든 방향으로 같은 크기의 전력을 방사하지 않는다. 방향의 함수로 특정한 방향 (θ, ϕ) 방향에서 입체각 $\Delta\Omega$ 에 $\Delta P_r(\theta, \phi)$ 전력을 방사한다. 단위 입체각당 방사전력은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta P_r(\theta, \phi)}{\Delta \Omega} \quad (2-1-3)$$



<그림 2-1-3> 실제 안테나의 단위 입체각당 방사 전력

③ 안테나 이득의 정의

안테나 이득 $G(\theta, \phi)$ 은 등방성 안테나의 단위 입체각당 방사전력과 실제 안테나의 최대방사 전력방향에서 단위 입체각당 방사전력의 비로 정의 된다. 관계식 (2-1-2)와 (2-1-3)에서 $G(\theta, \phi)$ 는 다음과 같은 수식으로 나타내진다.

$$G(\theta, \phi) = \frac{\Delta P_r(\theta, \phi) / \Delta \Omega}{P_{IN} / 4\pi} \quad (2-1-4)$$

3. 안테나 이득과 전기장 관계

안테나 이득의 정의식 (2-1-4)에서 좌변을 정리하여 우변으로 전개하고 (2-1-4)를 다시 배열하면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta P_r(\theta, \phi)}{\Delta \Omega} = \frac{G(\theta, \phi) P_{IN}}{4\pi} \quad (2-1-5)$$

송신 안테나를 원점으로 먼거리 r 에 위치한 입체각 $\Delta \Omega$ 를 바라보는 면적 ΔS 는 또한 다음으로 주어진다.

$$\Delta S = r^2 \Delta \Omega \quad (2-1-6)$$

관계식 (2-1-5)의 분모에 각각 r^2 을 곱하면

$$\frac{\Delta P_r}{\Delta S} = \frac{\Delta P_r(\theta, \phi)}{r^2 \Delta \Omega} = \frac{G(\theta, \phi) P_{IN}}{4\pi r^2} \quad (2-1-7)$$

이 된다.

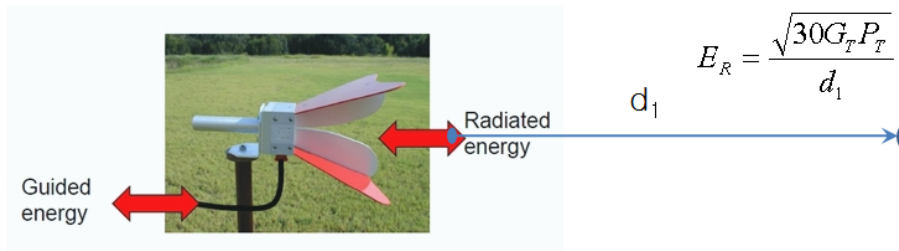
(2-1-7)의 좌변은 단위면적당 방사전력을 의미하며 이는 (2-1-1)의 전자기 파의 포인팅 벡터의 크기와 같다.

$$\frac{\Delta P_r}{\Delta S} = |\vec{E} \times \vec{H}| = \frac{E^2}{\eta_0} = \frac{E^2}{120\pi} \quad (2-1-8)$$

그러므로 관계식 (2-1-7)과 (2-1-8)의 가장 우변의 항을 같게 놓으면 안테나에서 방사하는 전력 및 이득, 거리 r 에서의 전기장 E 와의 관계가 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \frac{E^2}{120\pi} &= \frac{G(\theta, \phi) P_{IN}}{4\pi r^2} \\ E &= \frac{\sqrt{30 G(\theta, \phi) P_{IN}}}{r} \end{aligned} \quad (2-1-9)$$

송신안테나의 방사전력을 P_T 라 하고 이득을 G_T 라 표시하면 안테나로부터 직접파의 거리 d_1 에서 생성되는 수신전기장 E_r 은 <그림 2-1-4>에서와 같이 나타내진다.

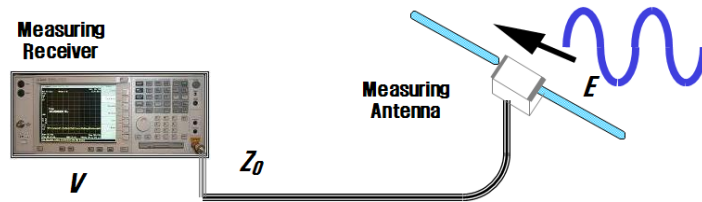


<그림 2-1-4> 송신 안테나로부터 생성되는 전기장의 세기

4. 안테나 인자

안테나 인자 AF 는 전기장 E 를 계측하기 위한 안테나의 변환인자로서 안테나에 입사되는 전기장 E 와 안테나 개방회로에 유기되는 전압 V 의 비로 정의 된다

$$\begin{aligned} AF &= \frac{E}{V} \\ AF(dB/m) &= E(dBV/m) - V(dBV) \end{aligned} \quad (2-1-10)$$



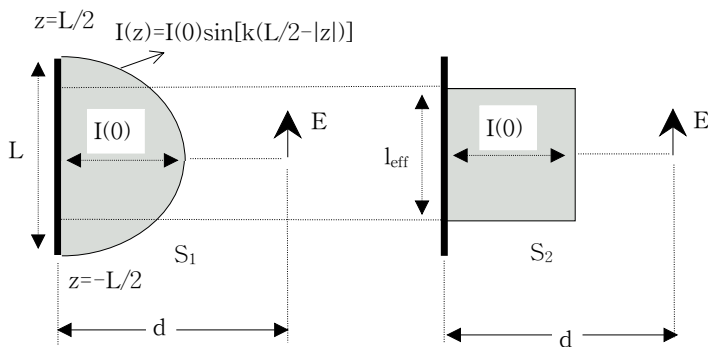
<그림 2-1-5> 안테나 인자의 정의

5. 안테나 실효길이

안테나 복사소자가 전자기파 에너지를 유효하게 복사하거나 수신하여 포획할 수 있는가의 척도를 나타내는 안테나의 특성으로서 송신 및 수신의 두 가지 경우에 대하여 다음과 같다.

① 송신 안테나의 입장

안테나의 전류분포가 $I(z)=I(0)\sin[k(L/2-|z|)]$ ($-L/2 \leq z \leq L/2$)일 때 급전부의 전류 $I(0)$ 에 의하여 일정하게 분포되어 있는 가상적인 길이 l_{eff} 를 말하며 실제 안테나 및 가상적인 안테나에서 거리 d 인 위치에서 동일한 전기장 강도 E 를 준다는 조건하에서 정의 된다. <그림 2-1-6>에서 실제안테나와 가상적인 안테나의 전류분포에 의한 면적 S_1 과 S_2 는 같은 것으로 정의된다.



<그림 2-1-6> 안테나 실효 길이의 정의

② 수신 안테나의 입장

수신안테나의 경우 <그림 2-1-5>에서 보는바와 같이 실효길이는 안테나에 입사되는 전계강도 E 와 안테나 단자의 개방 회로 전압 V 의 비율로 다음과 같이 정의 된다.

$$l_{eff} = \frac{\text{안테나단자의개방회로전압크기}}{\text{안테나편파방향에서전계강도크기}} = \frac{|V_{oc}|}{|E|} \quad (2-1-11)$$

6. 안테나 인자와 실효길이 관계

관계식 (2-1-10)과 (2-1-11)에서 그 둘은 역수의 관계가 있음을 알 수 있다. 즉,

$$AF = \frac{1}{l_{eff}}$$

$$AF(dB/m) = -l_{eff}(dB_m) \quad (2-1-12)$$

이다. 여기서 dB.m은 m 단위의 거리를 dB로 표시하면서 전력의 단위 dBm과 혼동을 방지하기 위하여 표시한 기호이다.

7. 안테나 실효면적

전자기파는 포인팅 벡터 형태로 전력밀도를 통하여 에너지를 전달함으로 전자기파 에너지를 수신하여 전달받는 안테나는 그 전력밀도를 전력으로 전환하기 위한 가상적인 수신 단면적인 존재한다고 볼 수 있다. 이를 안테나의 실효단면적이라 하고 다음과 같은 관계로 주어진다.

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G(\theta, \phi) \quad (2-1-13)$$

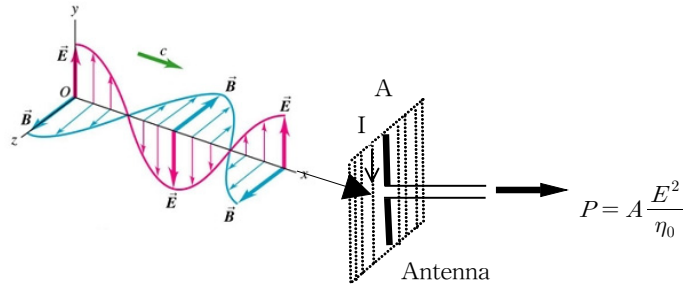


그림 <2-1-7> 안테나 실효 면적과 포획되는 전자기파 전력

8. 안테나 실효면적과 실효길이의 관계

안테나에 입사되는 전자기파의 전력 $P_{incident}$ 는 포인팅 벡터의 크기 (2-1-1)과 실효단면적 A_{eff} 의 곱으로 주어진다.

$$P_{incident} = A_{eff} \times \frac{E^2}{\eta} \quad (2-1-14)$$

한편, 그 안테나에 연결된 회로의 부하 임피던스를 Z_L 이라하고 그 양단의 전압을 V 라 하면 그 수신 전력 $P_{receive}$ 은 다음과 같다.

$$P_{receive} = \frac{V^2}{Z_L} \quad (2-1-15)$$

(2-1-14)과 (2-1-15)의 두 전력은 같기 때문에, $P_{incident} = P_{receive}$ 놓고 실효길이의 정의 (2-1-11)을 이용하여 그 관계는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} A_{eff} \times \frac{E^2}{\eta} &= \frac{V^2}{Z_L} \\ A_{eff} &= \frac{\eta}{Z_L} \frac{V^2}{E^2} = \frac{\eta}{Z_L} l_{eff}^2 \end{aligned} \quad (2-1-16)$$

(2-1-16)은 안테나에 걸리는 부하임피던스 Z_L 이 자유공간 임피던스 η 와 같으면 실효길이의 제곱 즉, 실효길이를 정사각형으로 하는 면적이 실효면적과 같음을 의미한다.

9. 안테나 인자와 이득과의 관계

안테나인자와 이득은 상호 변환 관계가 존재한다. 실효면적 및 실효길이 관계식 (2-1-16)과 실효면적과 안테나 이득과의 관계식 (2-1-13) 그리고 실효길이와 안테나 인자와의 관계식 (2-1-12)를 사용하여 정리하고 선형 및 데시벨 단위로 표시하면 다음과 같다.

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G = \frac{\eta}{Z_L} l_{eff}^2 = \frac{\eta}{Z_L} \frac{1}{AF^2}$$

$$AF^2 = \frac{4\pi\eta}{G\lambda^2 Z_L} = \frac{480\pi^2}{G\lambda^2 Z_L}$$

$$AF(dB/m) = 20\log AF = 10\log \frac{480\pi^2}{Z_L} - 20\log \lambda - G(dB) \quad (2-1-17)$$

$Z_L=50\Omega$ 시스템에서 MHz 단위의 주파수 f_{MHz} 로 (2-1-17)을 다음식과 같이 다시 쓰면 일반적인 안테나 교정 조건에서 안테나 인자와 이득과의 관계가 주어진다. 여기서 파장 λ 는 광속 c 와 주파수 f 로 $\lambda = c/f = 300/f_{MHz}$ 이다.

$$AF(dB/m) = -G(dB) + 20\log f_{MHz} - 29.78 \quad (2-1-18)$$

제2절 R-SAM의 교정 이론

1. R-SAM의 개념

안테나로부터 방사되는 전기장의 관계식 (2-1-9)를 고려해보자. 송신측과 수신측을 명확히 구분하기 위하여 다음과 같이 쓴다.

$$E_R = \frac{\sqrt{30 G_T P_T}}{d_1} \quad (2-2-1)$$

방정식 (2-2-1)은 <그림 2-1-4>의 이득이 G_T 이고 출력전력이 P_T 인 전송안테나로부터 거리 d_1 인 지점에서 전기장 E 의 세기를 나타낸다. 식 (2-2-1)을 G_T 에 대하여 표시하면

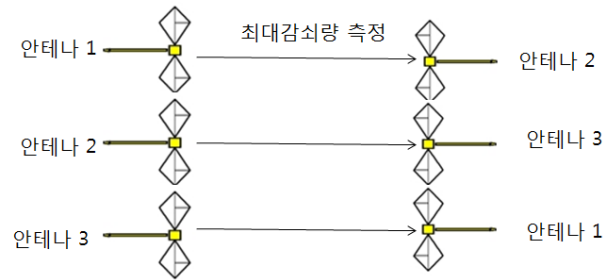
$$G_T = \frac{E_R^2 d_1^2}{30 P_T}$$

$$G_T(dB) = 20 \log E_R + 20 \log d_1 - 10 \log P_T - 14.77 \quad (2-2-2)$$

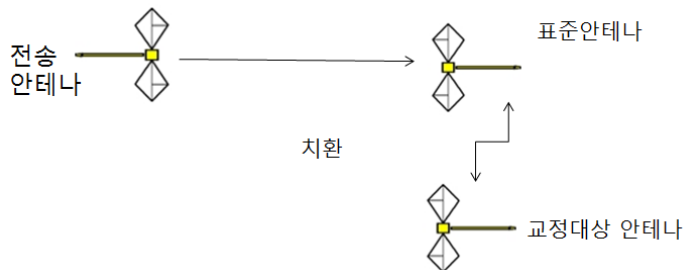
방정식 (2-2-2)는 송신 안테나로부터 거리 d_1 인 지점에서 전기장 E_R 에 대한 정보를 알 수 있으면 송신측의 출력 전력 P_T 를 측정함으로써 송신안테나의 이득 G_T 를 결정할 수 있음을 뜻한다. 이는 기존의 안테나 교정기술이 반드시 3개의 안테나를 필요로 하며, <그림 2-2-1>의 3-안테나법 또는 표준 시험장법, <그림 2-2-2>의 표준안테나법과 같이 측정 과정을 3번 또는 2번을 거쳐야 했지만, <그림 2-2-3>에서 보는바와 같이 거리 d_1 인 지점에서 전기장을 결정할 수 있는 표준안테나를 이용한다면 교정대상 안테나를 송신측에 놓음으로써 2개의 안테나만을 사용하여 1번의 측정을 통하여 방정식 (2-2-2)로부터 송신안테나의 이득을 측정할 수 있다. 안테나 인자와 이득과의 관계식 (2-1-17)을 (2-2-2)에 대입함으로써 송신안테나의 인자를 교정할 수 있다.

$$AF^2 = \frac{480\pi^2}{G\lambda^2 Z_L} = \frac{480\pi^2}{\lambda^2 Z_L} \frac{1}{G} = \frac{480\pi^2}{\lambda^2 Z_L} \frac{30 P_T}{E_R^2 d_1^2}$$

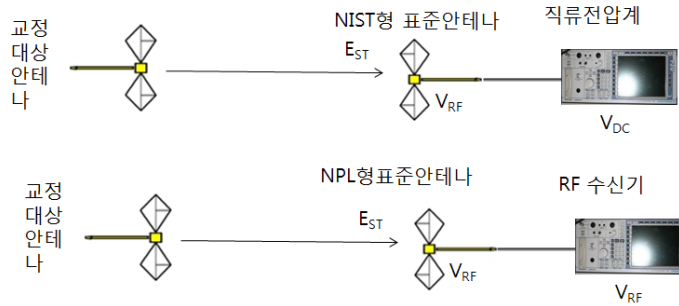
$$AF(dB/m) = 10\log \frac{30 \cdot 480\pi^2}{Z_L} + 10\log P_T - 20\log \lambda - 20\log E_R - 20\log d_1 \quad (2-2-3)$$



<그림 2-2-1> 3-안테나법(표준시험장법)



<그림 2-2-2> 표준안테나법(치환법)



<그림 2-2-3> R-SAM의 개념도

2. 수신측 전기장 E_R의 결정

수신측의 전기장의 세기는 특성, 즉 안테나 인자나 실효길이를 알고 있는 표준안테나를 이용한다. 현재 세계적으로 주파수 대역 30MHz - 1GHz 대역에서 표준안테나가 개발되었는데, 미국 NIST의 수신전용 표준 다이폴안테나는 발룬의 RF와 DC 변환 특성과 실효길이가 이론적으로 계산되어 방정식 (2-1-11)의 정의에 따라 수신전압을 측정하여 수신측의 전기장 E_R을 결정할 수 있다.

$$E_R = \frac{V_{RF}}{L_{eff}} = \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff}}$$

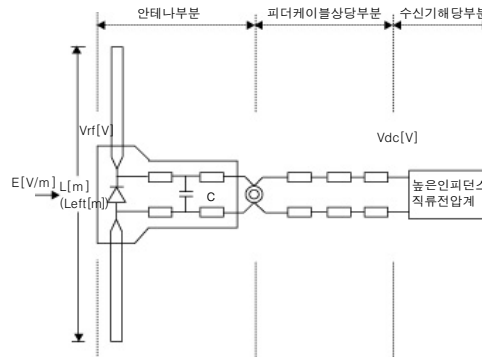
$$L_{eff} = \frac{\lambda}{\pi} \tan\left(\frac{\pi L}{2\lambda}\right) \quad (2-2-4)$$

영국 NPL의 계산가능 표준다이폴 안테나는 발룬의 특성에 의해 이론적으로 안테나 인자를 계산할 수가 있으며, 안테나 인자의 정의식 (2-1-10)에 따르면 $E_R = A_{FR} \times V_R$ 로서 수신 안테나의 안테나 인자 A_{FR} 를 알고 있는 안테나로부터 수신 전압 V_R 을 측정함으로써 그 수신점 d₁에서 전기장 E_R을 결정할 수가 있다.

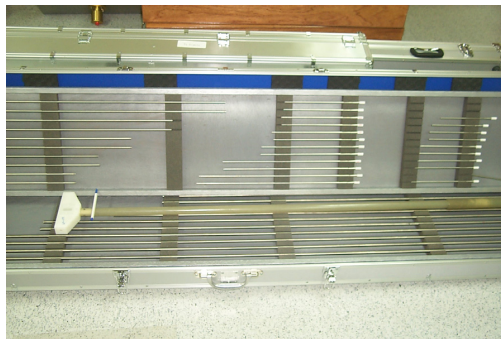
제3절 표준안테나

1. NIST형 수신전용 표준안테나

NIST 다이폴안테나(NIST type Diode Loaded Dipole Antenna)는 수신전용으로 미국의 NIST에서 개발된 것을 원형으로 한다. 다이오드 검파식으로 고임피던스이며 주파수범위는 25 MHz - 1 GHz 이다. 그 구조는 <그림 2-3-1>에서 보는 바와 같다. 다이폴 헤드의 RF-DC 선형 관계를 결정하고 안테나의 출력 DC전압 V_{DC} 을 측정하여 방정식 (2-2-4) 아래식의 실효길이 L_{eff} 을 계산하면 수신점의 전계강도는 (2-2-4) 윗 식에 따라 전계강도가 결정된다.



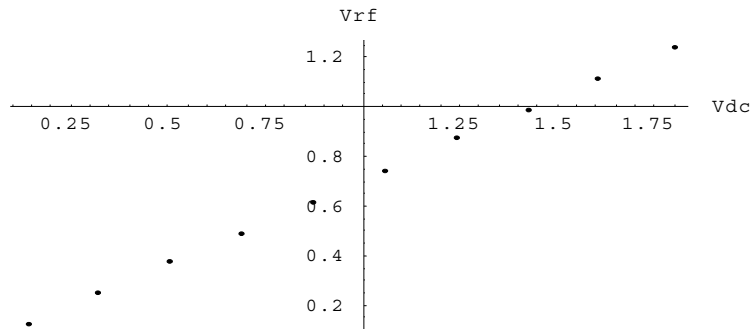
<그림 2-3-1> NIST 표준다이폴 안테나의 구조



<그림 2-3-2> 우리원에서 보유하고 있는 NIST 표준다이폴

NIST는 임피던스가 매우 높기 때문에 접지평면 영향을 받지 않으며 안테나 소자에 유기된 고주파 전압은 다이오드로 정류되고 직류전압으로 변환됨으로 안테나 출력은 직류전압이 된다. 다이폴 발룬의 다이오드에서 정류된 직류전압인 V_{DC} 를 측정하는 것이기 때문에 V_{DC} 와 V_{RF} 의 정확하게 알기 위하여 다이폴헤드의 교정이 필요하다. 이러한 다이폴헤드의 교정을 통하여 측정의 소급성을 유지하게 된다. 안테나의 소자를 제외하고 검파회로 부분에 180도 하이브리드 지그를 끼워 정확히 교정된 신호발생기에서 RF 신호를 보내어 다이오드에서 정류된 V_{DC} 를 고 임피던스 직류전압계로 측정함으로써 V_{DC} 와 V_{RF} 의 상관관계를 알아낼 수 있다. 다이폴헤드의 교정주파수는 50 MHz에서 실시하는데 이러한 교정결과를 다른 주파수에 적용하여도 된다. <그림 2-3-3>은 다이폴헤드의 교정결과를 보여주는 그래프이다. V_{DC} 를 기준으로 약 0.2 V에서 1.75 V 사이에서 V_{RF} 와 선형적인 관계가 주어지며 측정 데이터를 선형 fitting을 시키면 다음과 같은 관계식이 얻어진다.

$$V_{RF} = a V_{DC} + b = 0.67 V_{DC} + 0.036 \quad (2-3-1)$$



<그림 2-3-3> NIST 표준다이폴의 RF-DC 관계

2. NPL 계산형 표준안테나

NPL형 안테나의 핵심 구조는 NEC에 의하여 수치적으로 계산된 다이폴 소자와 180° 하이브리드 커플러를 가진 발룬으로 구성된다. 2012년도 NPL로부터 도입한 계산형 표준 다이폴 안테나는 <그림 2-3-4>에서 보는바와 같다.



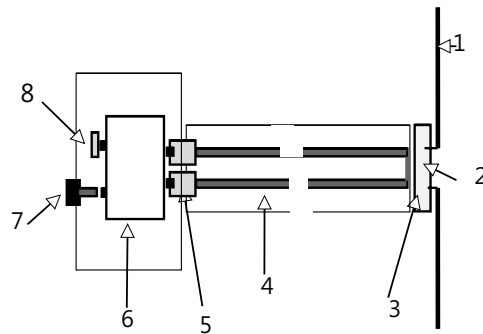
<그림 2-3-4> NPL 계산형 표준 다이폴 안테나

◇ 다이폴 소자

다이폴 소자는 Push-Fit 컨넥터가 발룬에 연결되도록 안테나 중앙 앞면에 구멍이 뚫린 유전체 지지대에 꽂 들어맞게끔 설계되었으며 시험장의 등가 2-포트 회로망을 결정하도록 NEC로 계산하여 모델화하여 제작되었다. 그 모델은 시험장의 접지 평면이 무한대이며 완전도체로 간주하여 계산하였다. 소자는 4개의 공진 소자로 각각 광대역 특성을 가지고 <표 2-1>과 같은 주파수 대역에서 작동한다.

<표 2-1> 다이폴 소자의 공진 주파수에 주파수 대역

공진 주파수 (MHz)	주파수 대역 (MHz)
60	30 ~ 100
180	100 ~ 300
400	300 ~ 600
700	600 ~ 1000



1. 다이폴 소자
2. 유전체로된 안테나 지지대
3. Push-Fit RF 컨넥터
4. 위상이 정합된 50 Ω 반 강체형 동축 케이블
5. 정합 패드
6. 1과 직교하는 하이브리드 커플러
7. N 타입 컨넥터
8. 50 Ω 종단

<그림 2-3-5> NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 구조


◇ 발룬

<그림 2-3-5>는 다이폴 발룬의 구조를 보여준다. 다이폴 소자가 장착되며 Push-Fit 컨넥터가 발룬과 연결될 수 있도록 안테나 중심부에 홈이 파여진 유전체 지지대가 있다. 발룬은 30 MHz - 1 GHz 범위에서 위상 평형도가 1.5°보다 좋고 진폭 평형도가 0.2 dB 보다 좋은 180° 하이브리드 결합기로 구성된다. 하이브리드의 합(Σ)포트는 50 Ω 부하로 종단되어 있으며 두 개의 각 평형 포트는 정합 패드와 연결되어 있다. 저항이 50 Ω 인 두 개의 반 강체형 동축 케이블은 위상이 1° 이내로 정합되어 있으며 다이폴 소자와 하이브리드를 연결하는 역할을 한다. 다이폴 끝부분에는 이러한 동축 케이블을 차폐하도록 전기적으로 서로 연결되어 있다. 발룬은 복소 S-파라미터를 네트워크 분석기를 사용하여 자동적으로 쉽게 측정할 수 있도록 설계되었으며 또한 시험장 측정에서 안테나를 다시 배치하지 않고도 안테나 소자를 재빠르게 교체할 수 있도록 설계 되었다.

◇ 시험장 감쇠량 및 안테나 인자의 이론값

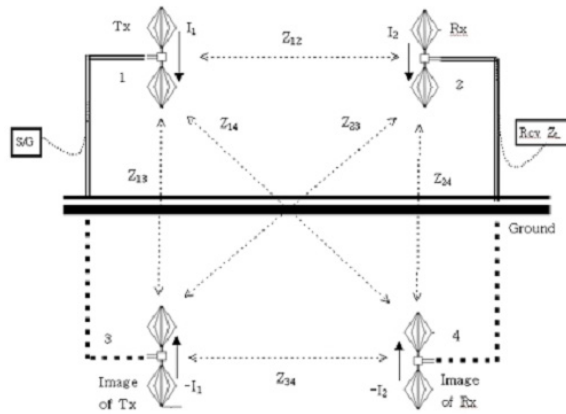
무한평면의 완전 도체위에서 두 안테나의 ①발룬 특성과 ②전송안테나의 복소 입력임피던스, 수신 안테나에 유기되는 전류 및 복소 입력임피던스를 알면 안테나 사이의 삽입손실 즉 시험장 감쇠량을 이론적으로 계산할 수가 있다. 이렇게 계산된 시험장 감쇠량은 이상적인 것으로서 기준값이 된다. 발룬의 특성은 그 S-파라미터를 직접 측정해야 하고 안테나의 입력 임피던스 및 전류는 시험장의 무한평면 완전도체의 조건에 따라 전자파 수치해석 기법의 일종인 모멘트법을 이용하는 NEC에 의하여 계산된다.

<표 2-2> 이론값 산출

시험장 감쇠량 및 표준 안테나의 이상적인 이론값 산출	
↑	
소프트웨어 CAP 2010 구동	
(측정값 입력) ↑	(주파수, 거리, 높이 입력)↑
발룬 특성 측정 (송신 및 수신안테나 발룬의 S파라미터)	NEC에 의한 수치해석
	무한면 완전 도체위의 송신 및 수신 안테나의 복소 입력임피던스 및 전류 계산
S 파라미터 측정 $S_{aa}, S_{a\beta}, S_{\beta a}, S_{a\gamma}, S_{\gamma a}, S_{\beta\beta}, S_{\beta\gamma}, S_{\gamma\beta}, S_{\gamma\gamma}$	Z_{IN1} : 송신 안테나 입력임피던스 Z_{IN2} : 수신 안테나 입력임피던스 I_{LD} : 수신 안테나에 유도되는 복소 전류
※ S 파라미터는 6개월에 한번 측정하여 적용한다.	※ 복소 임피던스 및 복소 전류의 계산은 운용 소프트웨어 CAP2010에서 안테나의 거리 및 높이를 입력하여 계산

◇ 이론 1 (무한면 완전도체 위에서 이상적인 시험장 감쇠량)

무한평면의 완전 도체위에 놓인 두 안테나에 대한 2-포트 이론은 <그림 2-3-6>과 같은 구조에서 전개된다. 송신 및 수신 안테나 사이의 시험장 감쇠량, 즉 삽입손실 SIL은 L, M, N 파라미터라는 양으로 다음과 같은 방정식 (2-3-2)에 의해서 주어진다.

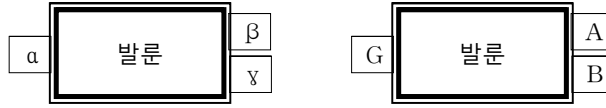


<그림 2-3-6> 무한 완전 도체면위의 두 안테나에 대한 2-포트 모델

$$S_{21} = \frac{l_{21}m_{12}n_{12}}{(1-l_{22}m_{11})(1-m_{22}n_{11})-l_{22}m_{12}m_{21}n_{11}}$$

$$SIL = 20\log_{10} \frac{1}{|S_{21}|} \quad (2-3-2)$$

<그림 2-3-7>에서 보여주는 안테나 발룬 구조에서 L 및 N 파라미터는 각각 송신 안테나 및 수신 안테나 발룬의 S 파라미터를 측정하여 얻어진다. L 파라미터는 송신안테나 S파라미터 사이의 관계식으로서 다음과 같은 방정식 (2-3-3)에서 정의되며, N 파라미터는 수신안테나의 S 파라미터 사이의 관계로서 방정식 (2-3-4)와 같이 정의된다.



<그림 2-3-7> NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 발룬 구조

$$\begin{aligned}
 l_{11} &= S_{GG} \\
 l_{12} &= \frac{S_{GA} - S_{GB}}{2} \\
 l_{21} &= S_{AB} - S_{BG} \\
 l_{22} &= \frac{S_{AA} + S_{BB} - S_{AB} - S_{BA}}{2} \quad (2-3-3)
 \end{aligned}$$

여기서 $S_{ij}(i, j = \alpha, \beta, \gamma)$ 는 송신 안테나의 S 파라미터 이다.

$$\begin{aligned}
 n_{11} &= \frac{S_{AA} + S_{BB} - S_{AB} - S_{BA}}{2} \\
 n_{12} &= S_{AB} - S_{BG} \\
 n_{21} &= \frac{S_{GA} - S_{GB}}{2} \quad n_{21} = \frac{S_{\alpha\beta} - S_{\alpha\gamma}}{2} \\
 n_{22} &= S_{GG} \quad (2-3-4)
 \end{aligned}$$

또한 여기서 $S_{ij}(i, j = G, A, B)$ 는 수신 안테나의 S 파라미터 이다.

다이폴 소자는 31개의 선분을 가진 와이어로 모델화 되었으며, 1 V 신호원이 전송 와이어의 중심에 인가된다. NEC는 전송 안테나의 입력 임피던스 Z_{IN1} 을 계산하고 수신안테나의 100 Ω 로드에서 입력임피던스 Z_{IN1} 및 복소전류 I_{LD} 를 계산한다. 이것으로부터 M 파라미터는 다음 방정식 (2-3-5)로 주어진다.

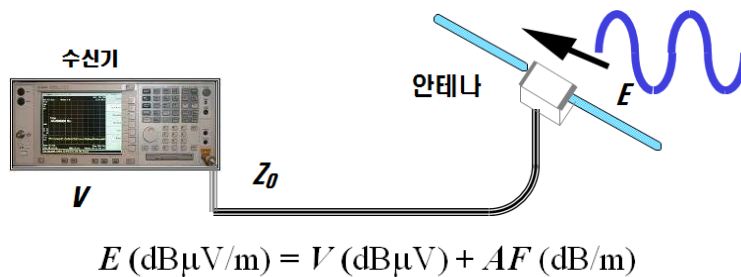
$$\begin{aligned}
 m_{11} &= \frac{Z_{IN1} - 100}{Z_{IN1} + 100} \\
 m_{12} &= m_{21} \\
 m_{21} &= 100I_{LD}(1 + m_{11}) \\
 m_{22} &= \frac{Z_{IN2} - 100}{Z_{IN2} + 100}
 \end{aligned} \tag{2-3-5}$$

방정식 (2-3-3), (2-3-4) 및 (2-3-5)를 방정식 (2-3-2)에 대입함으로써 이론적인 삽입손실 SIL을 얻을 수 있으며 이 계산은 소프트웨어 CAP2010이 수행한다.

◇ 이론 2 (안테나 인자의 이론값)

안테나 인자는 안테나의 고유 성능을 나타내는 파라미터로서 <그림 2-3-8>과 같이 입사되는 전기장 E와 안테나에 유기되는 전압 V의 비율로 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 AF &= \frac{E}{V} \\
 AF(dB/m) &= 20\log\left(\frac{E}{V}\right)
 \end{aligned} \tag{2-3-6}$$



<그림 2-3-8> 안테나 인자의 정의

송신 및 수신 안테나의 안테나 인자가 각각 AF_{Tx} 와 AF_{Rx} 일 때 그 사이의 삽입손실을 SIL 이라 하면 안테나 인자 방정식은 다음과 같다.

$$AF_{Tx} + AF_{Rx} = SIL + 20\log(f_{MHz}) - 10\log(d_1) - 32 \quad (2-3-7)$$

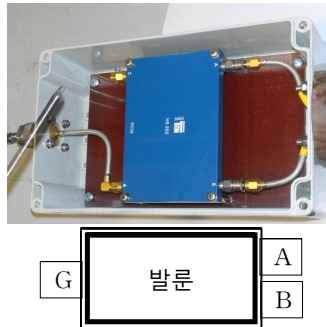
여기서 f_{MHz} 는 MHz 단위로 표시된 주파수이고 d 는 m 단위의 안테나 사이의 거리이다. 방정식 (2-3-7)에서 송신 안테나와 수신안테나가 완전히 동일하면, 즉, $AF_{Tx} = AF_{Rx}$ 이면 두 안테나 사이의 삽입손실 SIL 값으로 다음과 같이 안테나 인자가 주어진다.

$$AF_{Tx} = AF_{Rx} = \frac{1}{2} [SIL + 20\log(f_{MHz}) - 10\log d_1 - 32] \quad (2-3-8)$$

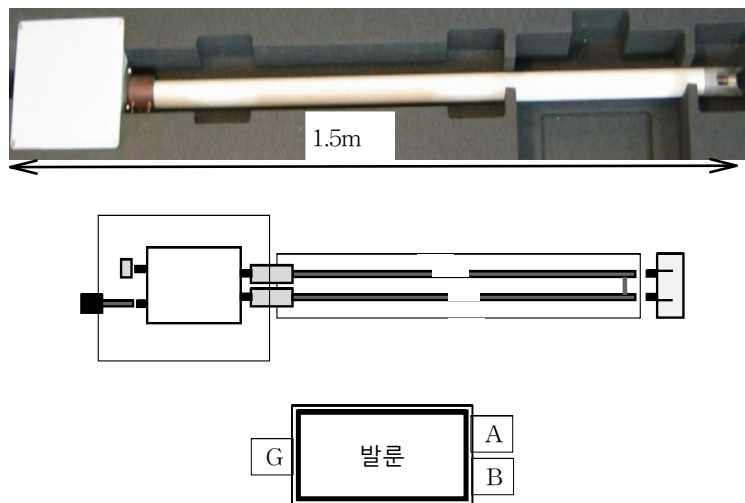
NPL의 계산형 표준안테나는 무한평면 완전도체위에서 삽입손실을 방정식 (2-3-2)에 의해서 계산하고 송신 및 수신 안테나는 0.06 dB 이내로 동등성을 갖고 있기 때문에 두 안테나를 동등한 안테나로 취급할 수 있다. 그러므로 방정식 NPL의 계산형 표준안테나의 이론적인 안테나 인자를 계산할 수 있으며 이 과정은 운용 소프트웨어 CAP 2010이 수행한다.

◇ 발룬의 S-파라미터 측정 절차

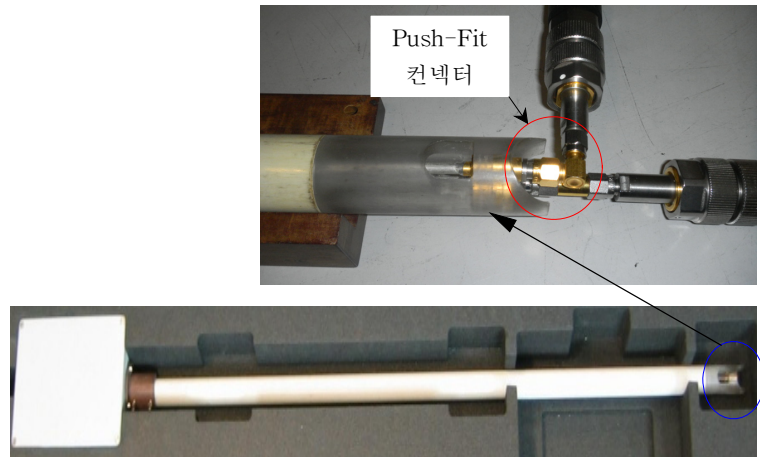
발룬의 S-파라미터는 네트워크분석기를 이용하여 측정한다. NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 실제 발룬의 내부 모습은 <그림 2-3-9>에서 볼 수 있다. <그림 2-3-9>은 발룬 실물이지만 S-파라미터의 측정은 안테나 소자가 제거된 <그림 2-3-10>의 상태로 측정한다. G 포트와 A 및 B 포트 사이의 길이는 약 1.5m 이다. A 및 B 포트의 연결을 위해서는 Push-Fit 컨넥터라는 특수한 컨넥터가 필요하다. Push-Fit 컨넥터는 그림 9에서 볼 수 있다. <그림 2-3-11>는 A 및 B 포트에 Push-Fit 컨넥터를 이용하여 네트워크분석기와 연결하여 S-파라미터를 측정하도록 구성되었다. S 파라미터 측정을 위한 전체 구성 사진은 <그림 2-3-12>에서 볼 수 있다.



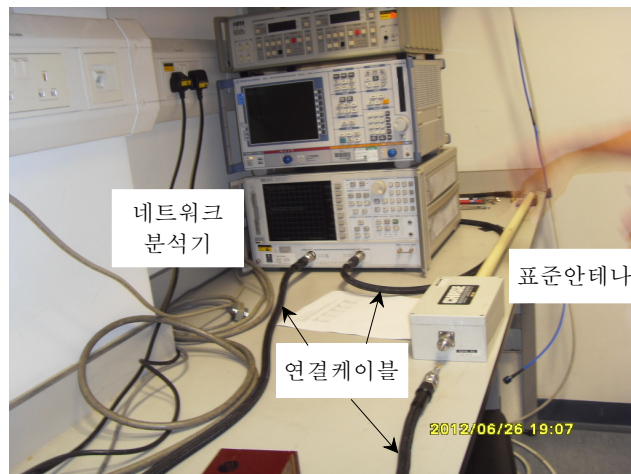
<그림 2-3-9> 표준안테나 발룬 실물과 대응되는 포트



<그림 2-3-10> S-파라미터 측정할 안테나 부분



<그림 2-3-11> A 포트에 연결된 Push-Fit 컨넥터>



<그림 2-3-12> S 파라미터 측정을 위한 구성>

<측정 절차>

△ 필요 장비

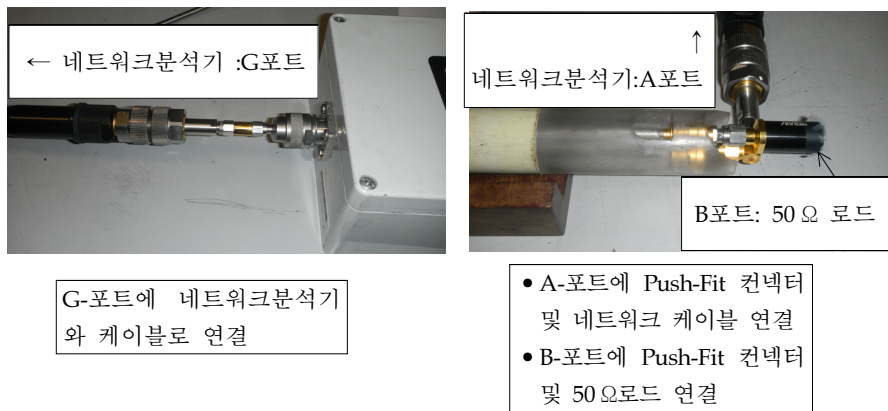
- 네트워크 분석기
- Cal Kit
- 50 Ω 로드
- 케이블
- 커넥터 : N 타입, SMA 타입, Push-Fit 커넥터

△ 절차

- ① 측정에 필요한 위의 장비들을 준비한다.
- ② 네트워크 분석기를 충분히 예열하고 아래와 같은 측정 조건을 세팅한 후 두 개의 주파수 대역에 대해 Full Two Port 캘리브레이션을 실시하고 그 캘리브레이션 데이터를 저장한다.
 - 주파수 스펜 : 1) 20 MHz ~ 320 MHz
2) 320 MHz ~ 1020 MHz
 - IF 대역폭 : 500 Hz 이하
 - Number of Point : 1) 301 (1 MHz 스텝, 20 MHz ~ 320 MHz)
2) 351 (2 MHz 스텝, 320 MHz ~ 1020 MHz)
 - 출력 전력 : 0 dBm
 - 스위치 타임 : 자동
- ③ G-A 포트에 대한 S 파라미터 측정
 - 측정량 : S_{GG} , S_{GA} , S_{AG} , S_{AA}
 - B 포트에 Push-Fit 커넥터를 달고 50 Ω 로드를 연결한다.
 - G 포트에 네트워크 포트에 연결된 케이블을 연결한다.
 - A 포트에 Push-Fit 커넥터를 달고 네트워크 포트에 연결된 케이블을 연결한다.
 - 먼저 20 MHz ~ 320 MHz 대역에 대해 $S_{GG} \rightarrow S_{AG} \rightarrow S_{GA} \rightarrow S_{AA}$ 순으로 측정한다. 측정 데이터를 확장자가 csv인 파일로 저장한다. 파일 이름은 S_{GG} 의 측정에 대하여 LFS11AG, S_{AG} 의 경우는 LFS21AG, S_{GA} 의 경우는 LFS12AG, S_{AA} 의 경우는 LFS22AG로 한다.

※ 측정은 위의 순서를 반드시 지킬 필요는 없다.

- 그 다음 320 MHz ~ 1020 MHz 대역에 대해 $S_{GG} \rightarrow S_{AG} \rightarrow S_{GA} \rightarrow S_{AA}$ 순으로 측정한다. 측정 데이터를 확장자가 csv인 파일로 저장한다. 파일이름은 S_{GG} 의 측정에 대하여 HFS11AG, S_{AG} 의 경우는 HFS21AG, S_{GA} 의 경우는 HFS12AG, S_{AA} 의 경우는 HFS22AG로 한다.



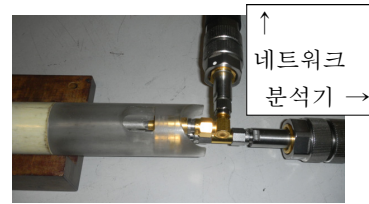
<그림 2-3-13> G 및 A 포트 S 파라미터 측정을 위한 연결

- ④ G-B 포트에 대한 S 파라미터 측정 : 측정절차는 절차 ③과 동일
 - 측정량 : S_{GG} , S_{GB} , S_{BG} , S_{BB}
 - 저장할 파일 이름은 20 MHz ~ 320 MHz 대역에 대해 S_{GG} 의 측정은 LFS11BG로 S_{GB} 는 LFS12BG, S_{BG} 의 경우는 LFS21BG, S_{BB} 의 경우는 LFS22BG로 한다. 320 MHz ~ 1020 MHz 대역에 대해 위의 파일이름에서 L을 H로 바꾼 이름을 사용한다.
- ⑤ A-B포트에 대한 S 파라미터 측정
 - 측정량 : S_{AA} , S_{AB} , S_{BA} , S_{BB}
 - G 포트에 50 Ω 로드를 연결한다.
 - A 및 B 포트 각각에 Push-Fit 컨넥터를 달고 네트워크 포트에 연결된 케이블을 연결한다.

- 먼저 20 MHz ~ 320 MHz 대역에 대해 $S_{AA} \rightarrow S_{AB} \rightarrow S_{BA} \rightarrow S_{BB}$ 순으로 측정하고 파일명은 S_{AA} 의 측정에 대하여 LFS11AB, S_{AB} 의 경우는 LFS12AB, S_{BA} 의 경우는 LFS21AB, S_{BB} 는 LFS22AB로 한다.
- 그 다음 320 MHz ~ 1020 MHz 대역 측정후 파일명은 위의 파일이름에서 L을 H로 바꾸어 저장한다.



G-포트에 50 Ω로드 연결



A 및 B 포트에 Push-Fit 컨넥터를 달고 네트워크 쪽 케이블 연결

<그림 2-3-14> A 및 B 포트의 S 파라미터 측정을 위한 연결

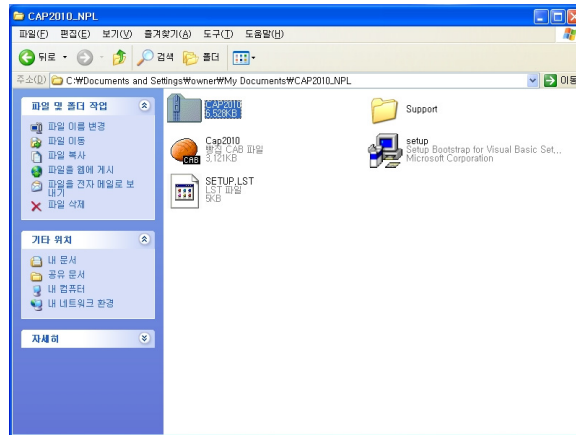
◇ 운용 소프트웨어 CAP 2010 및 측정 데이터의 처리

NPL형 표준 다이폴의 이론적인 시험장 감쇠량과 안테나 인자의 계산은 발룬의 S-파라미터의 측정값을 적용하여 소프트웨어 CAP 2010을 실행하여 산출한다. CAP 2010은 안테나의 입력임피던스와 전류를 계산하는 NEC와 연동되어 구동된다. 그러므로 S-파라미터 데이터를 처리하고 CAP 2010을 운용하여 원하는 조건의 삽입손실 및 안테나 인자를 얻어낸다.

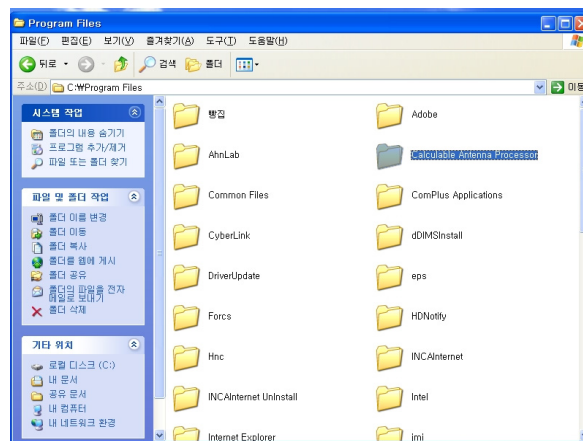
<설치>

- ① CAP2010.zip 파일을 임의의 폴더에 압축을 해제한다.
- ② setup.exe 파일을 클릭하여 소프트웨어를 설치한다.
- ③ 소프트웨어를 설치하면 Program Files 폴더 안에 Calculable Antenna Processor 라는 폴더와 윈도우 하단 시작 탭의 프로그램에 “Calculable Antenna Processor” 라는 실행 프로그램이 생성되며 C 드라이브 루트에 “CapData” 폴더가 만들어 진다.

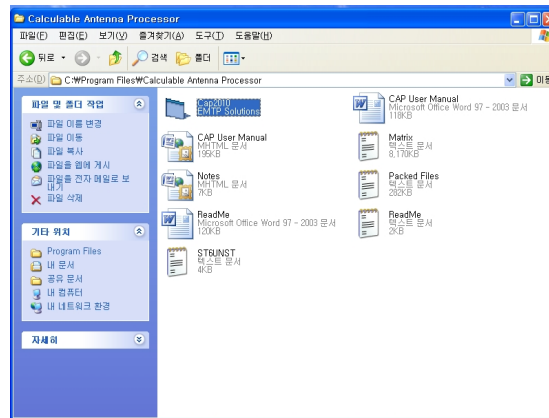
- ④ Calculable Antenna Processor 라는 폴더는 실행 프로그램이며 모든 데이터 처리는 CapData 폴더에서 이루어진다.



<그림 2-3-15> 압축파일 CAP2010.zip의 압축 해제후 생성된 폴더

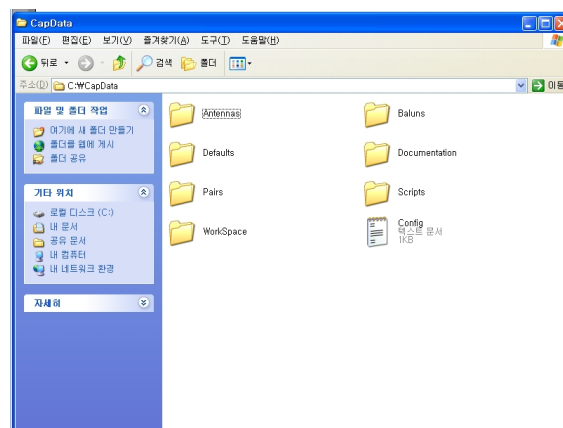


<그림 2-3-16> 실행 프로그램 Calculable Antenna Processor



※ Cap2010 EMTP Solution을 더블 클릭하면 프로그램이 실행된다.

<그림 2-3-17> Calculable Antenna Processor 폴더 내부



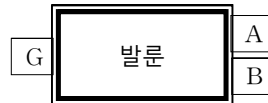
※ 발룬의 S-파라미터 측정 데이터는 Baluns 폴더에서 처리해야 한다.

<그림 2-3-18> CapData 폴더 내부

<S-파라미터 측정 데이터 처리>

- ① CAP 2010을 처음 설치하면 C:\CapData\Baluns\Three Port 폴더에 6003.bal, 6003AB11.txt, 6003AG11.txt, 6003BG11.txt가 생성된다.

- ② 파일 6003AB11.txt, 6003AG11.txt, 6003BG11.txt에 송신안테나의 S-파라미터가 저장되어야 하며, 송신 및 수신 안테나가 완전히 동등하면 위의 세 개의 파일만으로도 충분하다. 수신 안테나의 S-파라미터는 파일 6004AB11.txt, 6004AG11.txt, 6004BG11.txt를 만들어 저장해야 한다.
- ③ S-파라미터가 저장되는 파일명에서 AB, AG, BG는 편의상 발룬의 세 포트를 그림 17과 같이 구분하여 정의한 것이다. 예를 들어, 송신 안테나의 발룬에서 G포트를 50 Ω으로 종단하고 포트 A-B사이에 S-파라미터를 측정하여 6003AB11.txt에 저장한다.



<그림 2-3-12> 발룬 포트 구분

- ④ 발룬의 S-파라미터를 측정한 데이터는 그림 18과 같은 데이터 구조를 가진 txt 파일로서 6003AB11.txt를 만들어야 한다. 이런 형식이 CAP 2010에서 정상적으로 구동하기 때문이다.

6003AG12_110.txt - 메모장

파라미터 편집(E) 서식(O) 도움말(H)

***** HF8753 NETWORK ANALYSER 4-PORT MEASUREMENTS *****

HOST CODE IDENTITY STRING: ANADOPV4.CPP vs 3-Jun-1999A/BOS.02 (Prototype)

TITLE: 6003AG11

TIME: Tue Jan 11 15:22:08 2011

DATA: CORRECTED S-PARAMETERS

CALIBRATION: Two port

NETWORK ANALYSER IDENTITY: HEWLETT PACKARD, 8753E, 0, 7, 74

START=20MHz STOP=1020MHz (RAMP)

POWER=0dBm POINTS=651 AVG=4 ELEC.DELAY= (NONE)

SWEEP TIME=12sec IFBW=100Hz

FREQ	S11		S21		S22		S12		S23		S32		S13		S31	
MHz	Re	Im	Re	Im	Re	Im	Re	Im	Re	Im	Re	Im	Re	Im	Re	Im
20.0	-0.114578	0.277451	0.357234	0.259476	0.134949	0.069183	0.367355	-0.259491	0.134949	0.069183	0.367355	-0.259491	0.134949	0.069183	0.367355	-0.259491
21.0	-0.110199	0.266220	0.351547	-0.280853	0.132797	0.057091	0.351547	-0.280854	0.132797	0.057091	0.351547	-0.280854	0.132797	0.057091	0.351547	-0.280854
22.0	-0.106552	0.256195	0.347477	-0.300568	0.130165	0.046066	0.34763	-0.300629	0.130165	0.046066	0.34763	-0.300629	0.130165	0.046066	0.34763	-0.300629
23.0	-0.103507	0.247251	0.317154	-0.318948	0.127350	0.035118	0.317155	-0.318948	0.127350	0.035118	0.317155	-0.318948	0.127350	0.035118	0.317155	-0.318948
24.0	-0.101219	0.239349	0.298966	-0.335678	0.124275	0.027031	0.298960	-0.335663	0.124275	0.027031	0.298960	-0.335663	0.124275	0.027031	0.298960	-0.335663
25.0	-0.099121	0.232353	0.280197	-0.351120	0.121101	0.018730	0.280151	-0.351135	0.121101	0.018730	0.280151	-0.351135	0.121101	0.018730	0.280151	-0.351135
26.0	-0.097260	0.226158	0.260925	-0.365219	0.117813	0.011040	0.260925	-0.365173	0.117813	0.011040	0.260925	-0.365173	0.117813	0.011040	0.260925	-0.365173
27.0	-0.095718	0.220673	0.241272	-0.377991	0.114437	0.003941	0.241272	-0.377976	0.114437	0.003941	0.241272	-0.377976	0.114437	0.003941	0.241272	-0.377976
28.0	-0.094369	0.215813	0.221298	-0.389496	0.110992	-0.002817	0.221344	-0.389511	0.110992	-0.002817	0.221344	-0.389511	0.110992	-0.002817	0.221344	-0.389511
29.0	-0.093203	0.211540	0.201019	-0.399302	0.107544	-0.008831	0.201004	-0.399607	0.107544	-0.008831	0.201004	-0.399607	0.107544	-0.008831	0.201004	-0.399607
30.0	-0.091583	0.207802	0.180588	-0.409134	0.103995	-0.014610	0.180542	-0.409195	0.103995	-0.014610	0.180542	-0.409195	0.103995	-0.014610	0.180542	-0.409195
31.0	-0.090294	0.204498	0.159836	-0.417221	0.100395	-0.020073	0.159851	-0.417267	0.100395	-0.020073	0.159851	-0.417267	0.100395	-0.020073	0.159851	-0.417267

<그림 2-3-18> 6003AG11.txt 파일 내용

⑤ 6003AB11.txt 만들기

- C:\CapData\Baluns\Three Port 폴더에 ABTX, AGTX, BGTX라는 폴더를 만든다.
- ABTX 폴더에 송신 안테나에 대한 S-파라미터 측정 데이터 이름에 AB가 포함된 파일(LFS11AB, LFS12AB, LFS21AB, LFS22AB, HFS11AB, HFS12AB, HFS21AB, HFS22AB)를 저장한다.
- 엑셀을 구동하고 '열기' 탭에서 "모든 파일"을 선택하고 C:\CapData\Baluns\Three Port에 있는 최초에 기본으로 생성된 txt 파일 6003AB11.txt를 연다.
- ABTX에 저장된 파일을 열고 그 데이터를 엑셀로 열려 있는 6003AB11.txt 내부의 순서와 양식에 맞도록 복사하고 저장한다.
- 복사 순서는 (LFS11AB, HFS11AB) → (LFS21AB, HFS21AB) → (LFS22AB, HFS22AB) → (LFS12AB HFS12AB)으로 하면 편리하다.

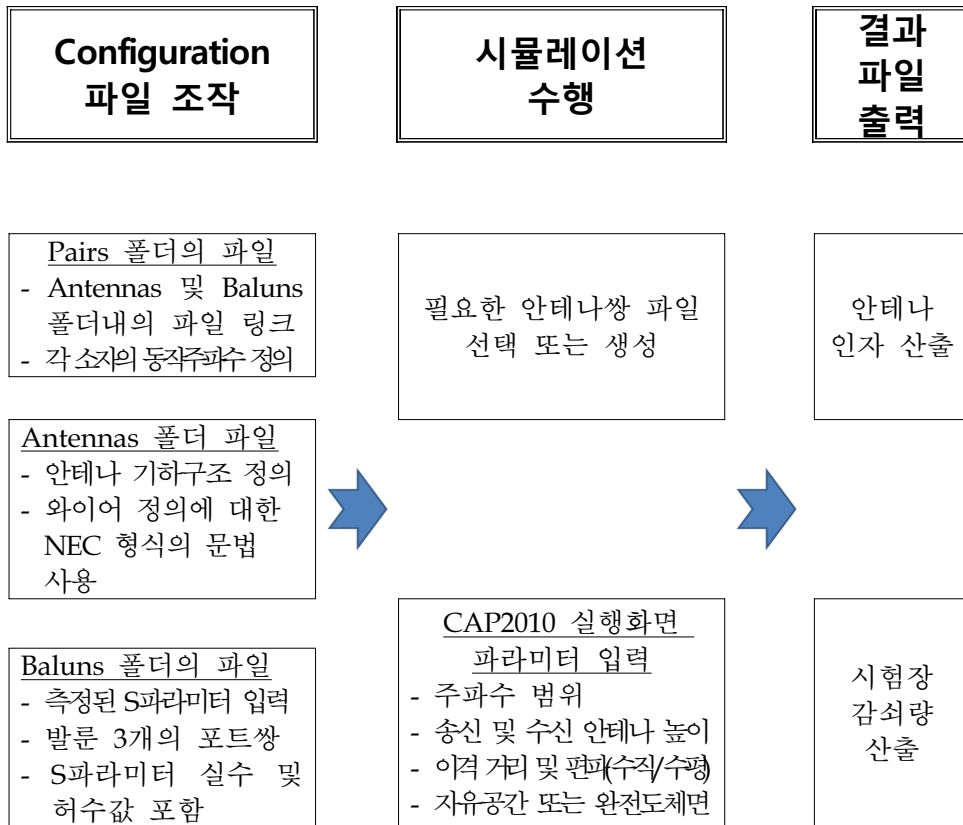
⑥ 6003AG11.txt, 6003BG11.txt 및 6004AG11.txt, 6003AG11.txt, 6004BG11.txt 파일도 ⑤와 같은 방식으로 만든다. 수신 안테나 발룬을 측정한 데이터는 ABRX, AGRX, BGRX 폴더를 만들어 저장하여 같은 방식으로 처리한다.

⑦ C:\CapData\Baluns\Three Port 폴더에 있는 6003.bal은 다음과 같이 편집한다.

6003AB11.txt
6003AG11.txt
6003BG11.txt

⑧ C:\CapData\Baluns\Three Port 폴더에 있는 6004.bal은 다음과 같이 편집하여 새로 만들어 저장한다.

6004AB11.txt
6004AG11.txt
6004BG11.txt

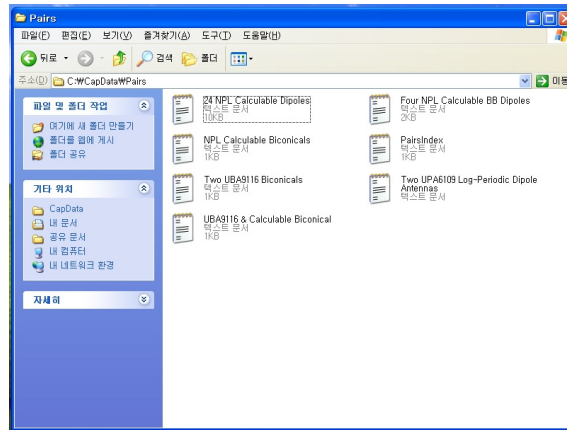


<그림 2-3-19> CAP2010의 데이터 처리 구조

① Pairs 폴더에는 기본적으로 아래와 같은 6개의 안테나 쌍에 대한 양식을 파일로 제공한다.

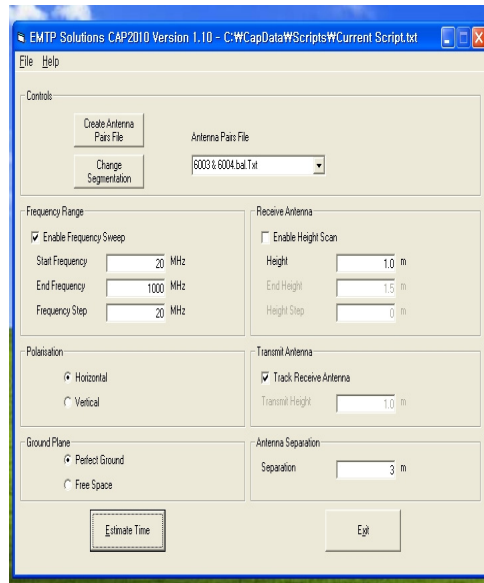
- 24 NPL Calculable Dipoles
- Four NPL Calculable BB Dipoles
- NPL Calculable Biconicals
- Two UBA 9116 Biconicals
- Two UPA 9116 Log-Periodic Dipole Antennas
- UBA 9116 Calculable Biconicals

이 파일들의 목록은 Pairsindex.txt 파일에 기록되어 있다.

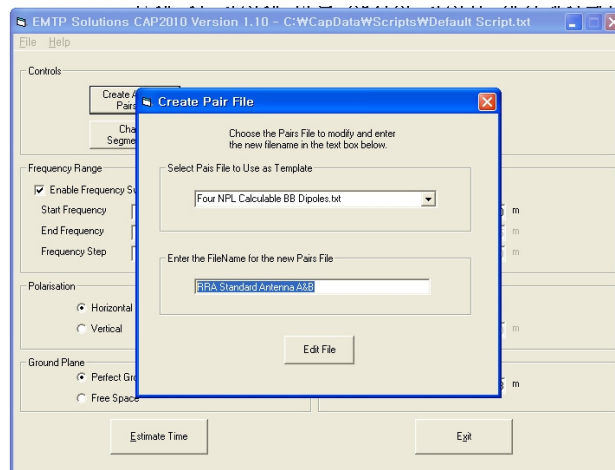


<그림 2-3-20> Pairs 폴더내의 6개의 안테나 쌍 파일

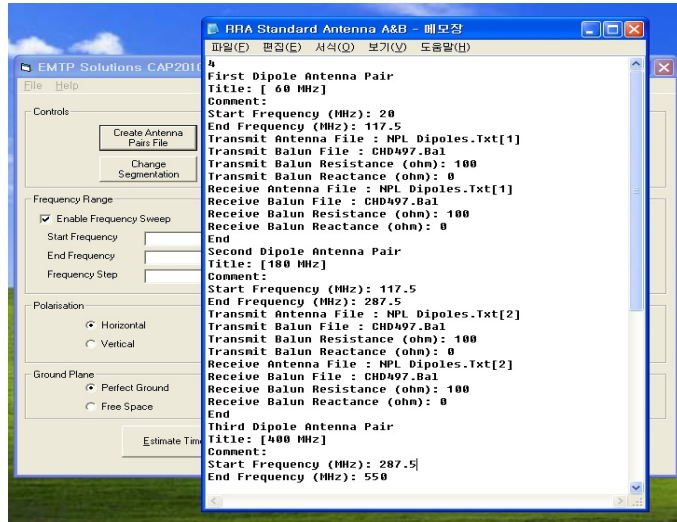
- ② Pairs 폴더 안의 해당되는 안테나는 측정을 위해 새로운 파일을 만들어야 한다. 여기에서 국립전파연구원에 도입되는 안테나는 4개의 소자를 가진 Four NPL Calculable BB Dipoles이기 때문에 이 파일에 맞는 양식의 파일을 생성해야한다.
- ③ 새로운 안테나 쌍에 대한 파일을 만들기 위해서 그림 20의 CAP2010 실행화면의 Control 탭에서 Antenna Pairs File의 하단부에서 “Four NPL Calculable BB Dipoles”을 선택하여 Create Antenna Pairs File 탭을 클릭한다.
- ④ 그러면 그림 21과 같이 Create Pair File이라는 대화상자 하단부 좌란색 부분에 6003&6004.Bal라고 입력한 후 하단의 Edit File 단추를 클릭한다.



<그림 2-3-21> Cap2010 실행 화면



<그림 2-3-22> 측정할 안테나 쌍 파일 생성



<그림 2-3-23> 안테나 쌍 편집 파일

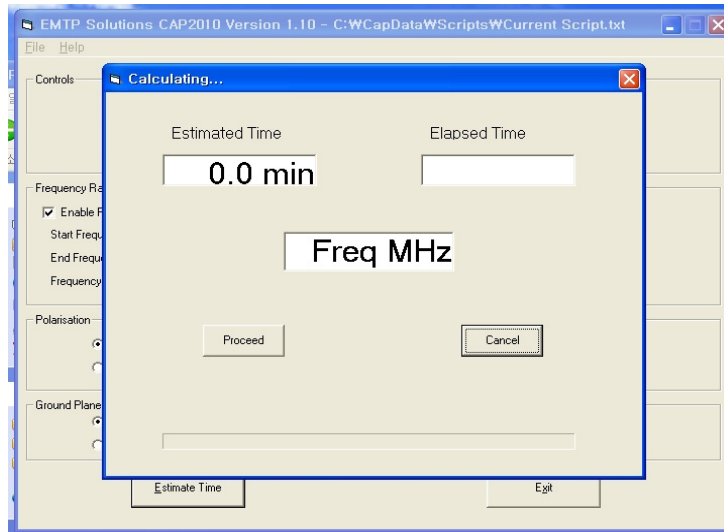
- ⑤ 그 Edit File 단추를 클릭하면 <그림 2-3-23>와 같이 편집용 Txt 파일이 화면에 나타난다. 이때, 파일의 내용을 다음과 같이 수정하고 저장한다.

Transmit Balun File : CHD497.Bal → Transmit Balun File : 6003.Bal
 Receive Balun File : CHD497.Bal → Receive Balun File : 6004.Bal
 파일 내용에서 위의 작업을 60MHz, 180MHz, 400MHz 및 700MHz 모두 변경해야 한다. 그러면 Pairs 폴더에 6003&6004.Bal.Txt라는 Txt 파일이 생성되고 Pairsindex.txt 파일 내용에 '6003&6004.Bal.Txt'라는 기록이 생긴다.

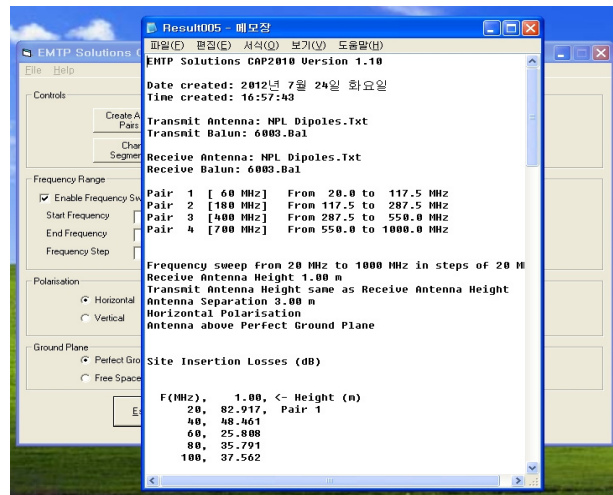
<프로그램 실행>

- ① <그림 2-3-21>의 실행 화면에서 Frequency Range(시작, 끝, 스텝 주파수), Receive Antenna(높이, 스캔 시작 및 종료 높이), Transmit Antenna(높이), Polarisation(수평, 수직), Ground Plane(자유공간, 완전도체) 및 Antenna Separation 등을 설정한다.

- ② <그림 2-3-21>의 실행 화면에서 좌측 하단의 Estimate Time 버튼을 누르면 그림 23과 같은 화면이 뜨고 좌측하단의 Proceed 버튼을 누르면 이론적인 시험장 감쇠량 및 안테나 인자의 결과값이 기록된 Txt파일이 <그림 2-3-23>과 같이 화면상에 나타난다. 이 파일은 C:\CapData\WorkSpace 폴더에 자동으로 저장된다.



<그림 2-3-24> 안테나 쌍 편집 파일



<그림 2-3-25> 이론적인 시험장감쇠량 및 안테나 인자 결과 파일

o 표준 안테나법(치환법)

안테나 인자를 측정하기 위한 표준 안테나법은 특성을 알고 있는 표준 안테나를 기준으로 대상 안테나와 상대비교를 통하여 그 안테나 인자를 측정하는 치환법 또는 비교법이다. 표준 안테나의 특성을 이용하여 수신측의 전기장을 결정한다. 그 기본적인 안테나 측정 구성은 <그림 2-3-25>에서 보여준다. 이 방법은 전송 안테나로부터 안정되고 세기가 일정한 전력을 출력해야 하며 표준안테나가 측정했던 똑같은 위치에 교정대상안테나가 치환되어야 한다. 현재, 30MHz ~ 1GHz 대역 정도를 측정할 수 있도록 개발된 표준안테나는 다이오드 발룬을 가진 NIST형과 하이브리드 발룬을 가진 NPL형이 있다. NIST형은 발룬의 RF-DC 및 소자의 유효길이를 측정하며 NPL형은 발룬의 S파라미터를 측정한다. 수신측의 전기장은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$E_0 = \frac{V_{RF}}{L_{eff}} = \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff}} \quad (\text{NIST형})$$

$$E_0 = V_0 AF_0 \quad (\text{NPL형}) \quad (2-3-9)$$

여기서, a 및 b는 RF-DC 계수이고 V_{DC} 는 NIST 안테나가 측정한 DC 전압이며 L_{eff} 는 소자의 유효길이이다. AF_0 는 NPL 안테나의 계산된 안테나 인자, V_0 는 NPL 안테나가 측정한 전압이다.

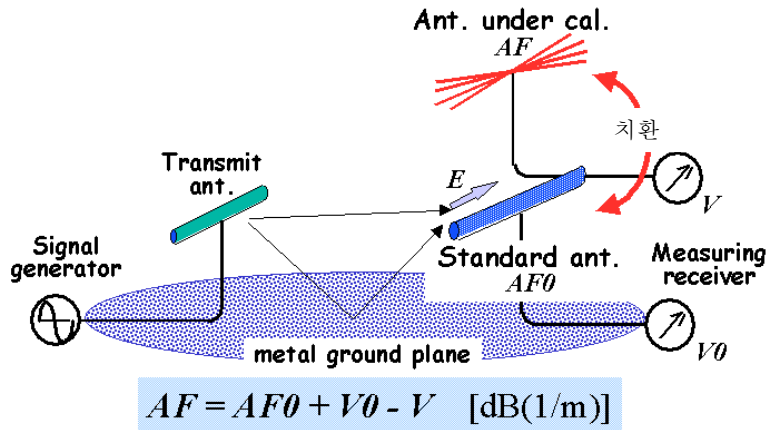
교정대상 안테나 같은 위치에서 측정한 전압을 V라 하면 안테나 인자의 정의에 따라 교정대상 안테나의 인자는 다음과 같이 주어진다.

$$AF = \frac{V_{RF}}{L_{eff} V} = \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff} V}$$

$$AF = 20 \log \left(\frac{a V_{DC} + b}{L_{eff}} \right) - 20 \log V \quad (\text{NIST형})$$

$$AF = \frac{V_0 AF_0}{V}$$

$$AF = AF_0 + (V_0 - V) \quad (\text{NPL형 : dB 단위}) \quad (2-3-10)$$

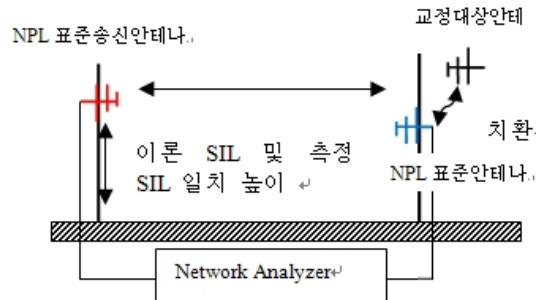


<그림 2-3-26> 표준 안테나법(치환법, 비교법)

o NPL 계산형 표준 안테나를 이용한 교정

NPL 계산형 표준 안테나는 이론적인 안테나 인자를 알고 있기 때문에 기본적으로 그림 25의 표준안테나법으로 교정대상안테나 (AUC : Antenna Under Calibration)의 인자를 측정한다. 계산형 표준 안테나에 대하여 안테나 사이의 이격거리와 송신 및 수신 안테나의 높이 등을 입력하여 프로그램 CAP2010를 구동하면 dB 단위의 이론적인 시험장감쇠량 ($SIL_{\text{이론}}$) 및 안테나 인자(AF_0)를 얻는다. 두 개의 표준안테나를 실제의 안테나 시험장에서 같은 거리 및 높이로 설치하고 표준 안테나 사이의 실제 감쇠량(SIL_0)을 측정한다. 이 값이 이론적인 시험장감쇠량과 같으면 그 때의 안테나의 위치가 교정의 기준이 되며, 만일 실제 감쇠량과 이론적인 시험장감쇠량의 차이가 있으면 송신 안테나 높이를 조정하여 감쇠량 값이 일치하는 높이를 찾는다. 이론 감쇠량과 실제 감쇠량이 같아지는 높이에서 표준 수신 안테나를 교정대상안테나로 치환하여 그 사이의 감쇠량(SIL_{AUC})을 측정한다. 교정대상 안테나의 안테나 인자는 방정식 (2-3-10)에서 전압차 ($V_0 - V$)가 감쇠량의 차 ($SIL_0 - SIL_{\text{AUC}}$)로 방정식 (2-3-11)으로 대체된다.

$$AF = AF_0 + (SIL_0 - SIL_{\text{AUC}}) \quad (\text{dB 단위}) \quad (2-3-11)$$



<그림 2-3-27> NPL의 표준 안테나법

<교정 절차>

- 장비 : 동등한 NPL 계산형 표준안테나 2조, 네트워크분석기, 10dB 감쇠기 2조, 충분한 길이의 케이블
- 이론 SIL과 실제 SIL이 일치하는 안테나 높이 찾기
 - ① 네트워크분석기를 충분히 예열하고 캘리브레이션을 실시한다.
 - ② 케이블 양 끝에 10dB 패드를 달고 안테나를 연결한다.
 - ③ 주파수에 따른 이론적인 SIL값 및 안테나 인자값과 계산에 이용된 거리 및 높이를 출력한다.
 - ④ 이론에 계산된 거리 및 높이에 동등한 NPL 계산형 안테나를 각각 위치시킨 후 측정된 SIL 값이 이론값과 일치하는지를 확인한다.
 - ⑤ 만일 두 SIL 값이 일치하지 않는 경우 송신 안테나의 높이를 위아래로 변화시키면서 SIL 값을 측정한다. 이론에서 계산한 SIL과 일치하는 높이를 찾아 기록한다. 이론의 안테나 높이와 실제의 안테나 높이가 차이나는 이유는 두 안테나가 완전히 동일하지 않고 약간의 차이를 보이기 때문이다.
 - ⑥ 위와 같은 방식으로 찾아낸 안테나 높이를 주파수별로 보관 기록하고 안테나 교정시 활용한다.

- AUC의 교정

- ① 네트워크분석기를 충분히 예열하고 캘리브레이션을 실시한다.
- ② 케이블 양 끝에 10dB 패드를 달고 NPL 표준 안테나를 연결한다.
- ③ 먼저 위의 절차에서 찾아낸 주파수에 따른 거리와 안테나 높이에 NPL 표준안테나를 설치한다.
- ④ SIL 값이 이론값과 일치하는지를 확인한다.
- ⑤ NPL 수신 안테나를 제거하고 AUC를 그 위치로 대체한 후 SIL 값을 측정한다.
- ⑥ 측정할 모든 주파수에 대해 ①에서 ⑤까지의 절차를 반복한다.
- ⑦ 방정식 (10)에 의하여 AUC의 안테나 인자를 산출한다.

o NPL 현지에서 안테나 교정 실시

우리 국립전파연구원 전파시험인증센터에서 운용하는 다이폴 안테나 Schwarzbeck Dipole을 현지로 가지고가서 교정대상 안테나로 하여 NPL의 표준안테나 법으로 교정을 실시하였다.



<그림 2-3-28> NPL 안테나 교정시험장 : 40 m × 60 m 금속면



<그림 2-3-29> NPL 계산형 표준 안테나의 설치



<그림 2-3-30> NPL 표준 안테나의 설치후 SIL 측정



<그림 2-3-32> NPL 표준 안테나를 우리원의 안테나로 치환 설치



<그림 2-3-33> NPL 표준 안테나와 우리원 안테나 SIL 측정

<표 2-3> NPL 표준안테나법에 의한 측정 결과

주파수(MHz)	안테나 거리(m)	수신안테나 높이(m)	송신안테나 높이(m)	안테나 인자 (dB/m)
60	10	2	4	14.9
180	10	2	1.9	23.0
400	10	2	1.5	48.2
700	10	2	1.88	34.8

제4절 R-SAM의 적용

1. 안테나 챔버 또는 자유공간 조건

R-SAM의 기본 관계식 (2-2-2) 및 (2-2-3)을 이용한다.

$$G_T = \frac{E_R^2 d_1^2}{30 P_T}$$

$$G_T(dB) = 20\log E_R + 20\log d_1 - 10\log P_T - 14.77 \quad (2-2-2)$$

$$AF(dB/m) = 10\log \frac{30 \cdot 480\pi^2}{Z_L} + 10\log P_T - 20\log \lambda - 20\log E_R - 20\log d_1 \quad (2-2-3)$$

① NIST형 다이오드 장착 표준 다이폴 안테나 사용

NIST형 표준안테나는 전기장이 (2-2-4)에 의하여 주어짐으로 이를 (2-2-3)에 대입하면 (3-4-1)을 얻는다.

$$E_R = \frac{V_{RF}}{L_{eff}} = \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff}} \quad (2-2-4)$$

$$\begin{aligned}
G_T(dB) &= 20\log \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff}} + 20\log d_1 - 10\log P_T - 14.77 \\
AF(dB/m) &= 10\log \frac{30 \cdot 480\pi^2}{Z_L} + 10\log P_T - 20\log \lambda - 20\log \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff}} - 20\log d_1
\end{aligned}
\tag{3-4-1}$$

50Ω 시스템에서 주파수는 MHz 단위로 (3-4-1)의 안테나 인자 항을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$AF(dB/m) = 10\log P_T + 20\log f_{MHz} - 20\log \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff}} - 20\log d_1 - 15.01 \tag{3-4-2}$$

방정식 (3-4-1) 및 (3-4-2)는 표준안테나로서 NIST 안테나를 사용하면 송신전력 P_T 와 거리 d_1 을 측정함으로서 송신 안테나의 인자를 교정할 수 있음을 의미한다.

② NPL 계산형 표준다이폴 사용

NPL형 표준안테나는 이론으로 계산한 전기장이 안테나 인자의 정의 (2-1-10)에 의하여 주어짐으로 이를 (2-2-3)에 대입하면 (3-4-3)을 얻는다.

$$AF = \frac{E}{V} \tag{2-1-10}$$

$$\begin{aligned}
G_T(dB) &= AF_R + 20\log V + 20\log d_1 - 10\log P_T - 14.77 \\
AF(dB/m) &= -AF_R + 10\log \frac{30 \cdot 480\pi^2}{Z_L} + 10\log P_T - 20\log \lambda - 20\log V_R - 20\log d_1 \\
AF(dB/m) &= -AF_R + 10\log P_T + 20\log f_{MHz} - 20\log V_R - 20\log d_1 - 15.01
\end{aligned}
\tag{3-4-3}$$

(3-4-3)의 마지막 식은 50Ω 시스템에서의 방정식이며 AF_R 은 NPL형 표준 안테나의 인자값이며 송신전력 P_T 와 수신전압 V_R 및 거리 d_1 을 측정함으로써 송신안테나의 인자를 교정할 수 있음이 방정식 (3-4-3)으로부터 주어진다.

한편, 방정식 (3-4-3)에서 수신측의 전력관계식 $P_R=V_R^2/Z_L$ 을 사용하면 안테나 사이의 감쇠량의 $A_{RT}=10\log(P_T/P_R)$ 으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$G_T(dB) = AF_R + 20\log d_1 - A_{RT} + 2.22$$

$$AF(dB/m) = -AF_R + A_{RT} + 20\log f_{MHz} - 20\log d_1 - 32 \quad (3-4-4)$$

③ 안테나 인자를 알고 있는 기준안테나 사용

NIST 및 NPL형 표준안테나는 특성상 주파수 대역이 30MHz에서 1GHz대역으로 제한되어 있다. R-SAM은 안테나 인자를 알고 있거나 알 수 있는 표준 또는 기준안테나를 이용하기 때문에 주파수에 제한이 없다는 장점이 있다. 그러므로 주파수 범위와 관계없이 안테나 인자를 알고 있는 기준안테나를 이용한다면 안테나 이득의 측정 또는 안테나 인자의 교정은 NPL 계산형 표준다이폴 사용하는 것과 같이 방정식 (3-4-3) 또는 (3-4-4)에 의하여 산출할 수 있다.

2. 안테나 교정 야외시험장 : 금속 도체면

① 기본 방정식

금속 접지면을 가진 야외시험장은 <그림 2-4-1>에서처럼 시험장 접지면으로부터 반사파가 발생한다. 기하광학 2-ray 모델에 따르면 반사파가 존재하는 야외시험장에서 전기장의 세기는 방정식 (2-2-1)에 시험장 바닥면의 반사파 항을 포함하여 (3-4-6)다음으로 주어진다.

$$E_R = \frac{\sqrt{30 G_T P_T}}{d_1} \quad (2-2-1)$$

$$E_R = \sqrt{30 G_T P_T} \left(\frac{e^{-jkd_1}}{d_1} - \frac{e^{-jkd_2}}{d_2} \right) \quad (3-4-6)$$

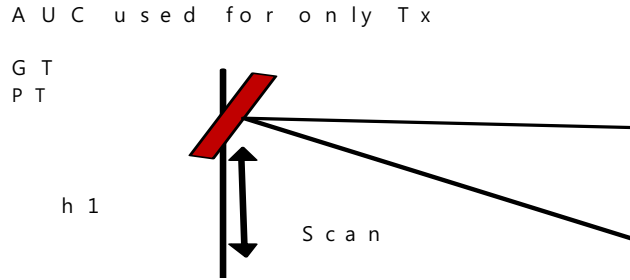
전기장의 표현식 (3-4-6)을 크기로 표시한다.

$$|E_R| = \sqrt{30 G_T P_T} \left| \frac{e^{-jkd_1}}{d_1} - \frac{e^{-jkd_2}}{d_2} \right| = \sqrt{30 G_T P_T} D \quad (3-4-7)$$

여기서 직접파와 반사파의 간섭인자 D는 다음과 같이 정의한다.

$$D = \left| \frac{e^{-jkd_1}}{d_1} - \frac{e^{-jkd_2}}{d_2} \right| = \frac{\sqrt{d_2^2 + d_1^2 - 2d_1d_2 \cos[k(d_2 - d_1)]}}{d_2 d_1} \quad (3-4-8)$$

전기장에 대한 표현식 (2-2-1)과 (3-4-7)을 비교하면 안테나 사이에 직접파가 도달하는 거리 d_1 을 직접파와 반사파의 간섭항 D의 역수 $1/D$ 로 치환하면 된다는 것을 알 수 있으며 지난 절에서 유도한 이득이나 인자에 대한 표현식에서 d_1 을 $1/D$ 로 치환하면 된다.



<그림 2-4-1> 야외 시험장에서 R-SAM 기하구조

$$G_T(dB) = 20 \log \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff}} - 20 \log D - 10 \log P_T - 14.77$$

$$AF(dB/m) = 10 \log \frac{30 \cdot 480 \pi^2}{Z_L} + 10 \log P_T - 20 \log \lambda - 20 \log \frac{a V_{DC} + b}{L_{eff}} - 20 \log d_1$$

(NIST형 표준안테나를 사용하는 경우)

$$G_T(dB) = AF_R + 20\log V - 20\log D - 10\log P_T - 14.77$$

$$AF(dB/m) = -AF_R + 10\log \frac{30 \cdot 480\pi^2}{Z_L} + 10\log P_T - 20\log \lambda - 20\log V_R + 20\log D$$

$$AF(dB/m) = -AF_R + 10\log P_T + 20\log f_{MHz} - 20\log V_R + 20\log D - 15.01$$

(NPL형 표준안테나 또는 안테나 인자를 알고 있는 기준안테나 사용 경우)
(3-4-5)

(3-4-5)의 NPL형 또는 기준안테나를 사용하는 R-SAM의 경우 50Ω 시스템에서 안테나 사이의 감쇠량을 측정하여 안테나 이득 또는 인자를 구하는 방정식은 (3-4-6)과 같다.

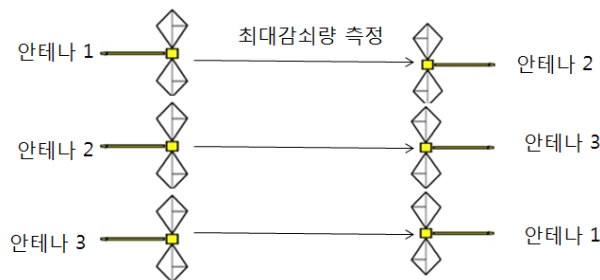
$$G_T(dB) = AF_R - 20\log D - A_{RT} + 2.22$$

$$AF(dB/m) = -AF_R + A_{RT} + 20\log f_{MHz} + 20\log D - 32 \quad (3-4-6)$$

② 표준시험장법의 유추

국제적으로 가장 많이 이용되는 표준시험장법은 Smith에 의해 고안되었다. 표준시험장법은 무한 크기의 금속평면을 가진 야외시험장을 기준으로 그림 <3-4-1>과 같이 무한평면 금속 도체면에서 3-안테나법에 의한다. 기본 방정식은 다음과 같다.

$$AF_T + AF_R = 20\log f_{MHz} + 20\log E_D^{\max} + A_{RT} - 48.92 \quad (3-4-6)$$



<그림 3-4-1> 3-안테나법(표준시험장법)

한쪽의 안테나를 시험장면으로부터 특정높이(보통 2m)에 고정하고 다른 쪽의 안테나를 1에서 4m를 스캔하여 A_{RT} 가 최대가 되는값을 측정하여 방정식 (3-4-6) 여기서 A_{FT} 는 전송안테나의 안테나 인자, A_{FR} 은 전송안테나의 안테나 인자 f_M 은 Mhz 단위의 주파수, E_D^{\max} 는 전송안테나가 1에서 4m 스캔하는 동안 최대 전계이며 A_{RT} 는 E_D^{\max} 일 때 안테나간의 감쇠량이다. 직접파와 반사파의 간섭항인 (3-4-8)의 D와 같이 E_D^{\max} 는 다음식의 최대값으로 이론적으로 계산하여 적용한다.

$$E = \frac{\sqrt{49.1} \sqrt{d_2^2 + d_1^2 - 2d_1d_2\cos[k(d_2 - d_1)]}}{d_2d_1} \quad (3-4-9)$$

금속접지 야외시험장에서 R-SAM은 표준시험방법과 마찬가지로 방법을 사용한다. 한 쪽 안테나를 특정높이에 고정하고 다른쪽의 안테나를 1에서 4m를 스캔하여 A_{RT} 가 최대가 되는값을 측정한후 D가 최대가 되는 이론값 D^{\max} 를 적용하여 방정식 (3-4-5) 또는 (3-4-6)에 적용하여 안테나 이득 또는 인자를 산출한다. 이론으로 계산된 E_D^{\max} 와 $20\log D|^{\max}$ 비교값을 <표 3.4.1>에서 주어진다.

<표 3.4.1> E_D^{\max} 와 $20\log D|^{\max}$ 비교값

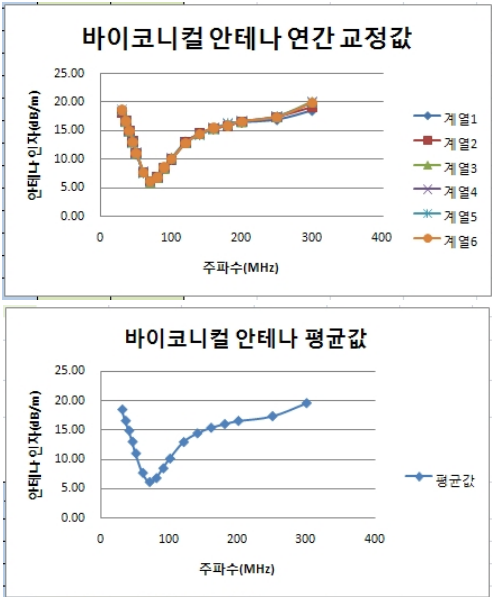
Frequency(MHz)	$20\log D^{\max}(\text{dB/m})$	$E_D^{\max}(\text{dB}\mu\text{V/m})$
30	-21.69	-4.76
35	-20.49	-3.56
40	-19.47	-2.56
45	-18.61	-1.69
50	-17.87	-0.95
60	-16.69	0.24
70	-15.83	1.09
80	-15.24	1.69
90	-14.87	2.05
100	-14.71	2.21
120	-14.53	2.39
140	-14.43	2.49
160	-14.36	2.56
180	-14.32	2.60
200	-14.29	2.63

250	-14.24	2.68
300	-14.21	2.71
400	-14.2	2.71
500	-14.35	2.57
600	-14.29	2.63
700	-14.25	2.67
800	-14.23	2.69
900	-14.21	2.71
1000	-14.20	2.72

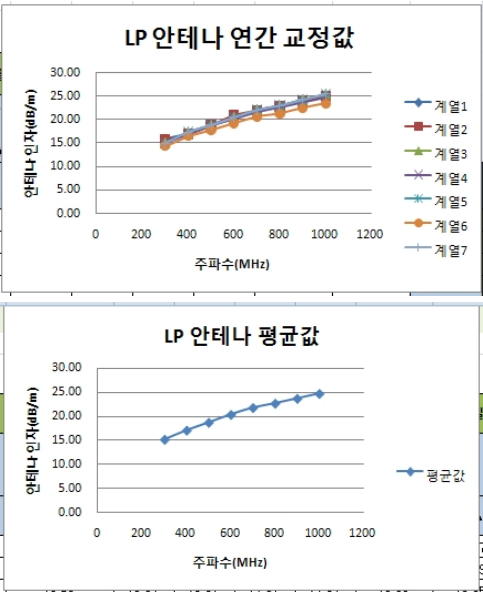
제3장 측정

제1절 표준시험장법에 따른 안테나 교정서비스 제공과 데이터 확보

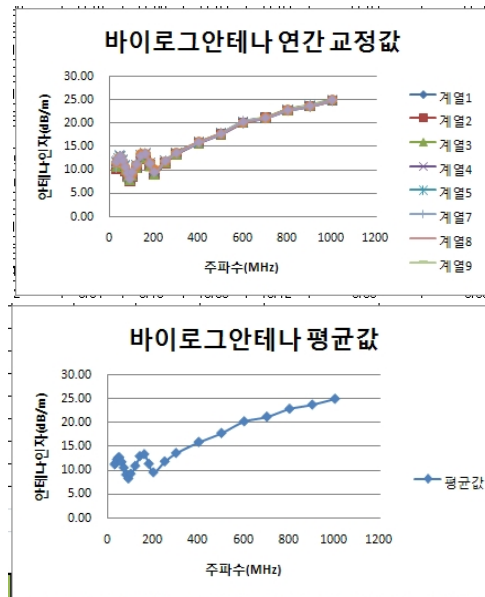
현재 우리원의 안테나 교정서비스는 방송통신기기 지정 시험기관이 보유하고 있는 측정용 안테나의 인자를 교정해주는 것을 목적으로 하고 있다. 하지만 RF 중심 국가기관으로서 산업체나 국군통신사령부 등 다른 국가기관에서 의뢰하는 안테나도 교정하고 있으며 그 비율은 연간 약 30% 정도가 된다. 국립전파연구원 공고 제2011-9호 「전자파적합 측정설비 교정검사 기준 및 방법」에는 안테나 교정방법으로서 표준시험장법, 표준안테나법 및 높이스캔평균법 등을 규정하고 있는데, 주로 ANSI C63.5의 방법인 표준시험장법으로 교정서비스를 해주고 있다. 2012년 11월 기준으로 286건의 안테나 교정서비스를 제공하였고 R-SAM의 유효성 검증을 위해 표준시험장법의 데이터를 축적 비교하였다. EMI 측정용 안테나의 종류는 다이폴안테나(30MHz-1GHz), 바이코니컬 안테나(30MHz-300MHz), LP안테나(300MHz-1GHz), 바이로그 안테나(30MHz-1GHz) 및 혼안테나(1GHz-18GHz) 등이 있으며 안테나 교정서비스를 수행할 때는 시험기관이 의뢰한 안테나와 우리연구원의 기준안테나 1식 내지 2식을 포함하여 교정을 수행한다. 한 번의 교정서비스를 위한 측정이 끝나면 측정의뢰 안테나를 비롯하여 우리원의 안테나 인자값도 매번 교정을 실시할 때마다 산출되어 직전의 측정된 우리원의 기준값이 0.3dB 이내로 일치하도록 데이터를 관리하고 있다. 표준시험장법으로 측정한 각각의 안테나에 대한 연간 교정값과 그 평균값은 <그림 3-1-1>부터 <그림 3-1-4>에서 보여준다. R-SAM과 비교를 위한 기준값 산정에 대해 바이코니컬안테나(30MHz-300MHz), LP안테나(300MHz-1GHz), 바이로그안테나(30MHz-1GHz) 인 경우는 10m 거리에서 측정값과, 혼안테나의 경우는 3m의 이격거리에서 측정값을 보여준다. 우리원의 교정부서에서 보유한 위의 각 안테나를 기준안테나로 R-SAM을 비교하기 위하여 1년간 표준시험장법에 의하여 측정한 평균값을 그 안테나의 교정된 안테나 기준 안테나 인자값으로 하였다.



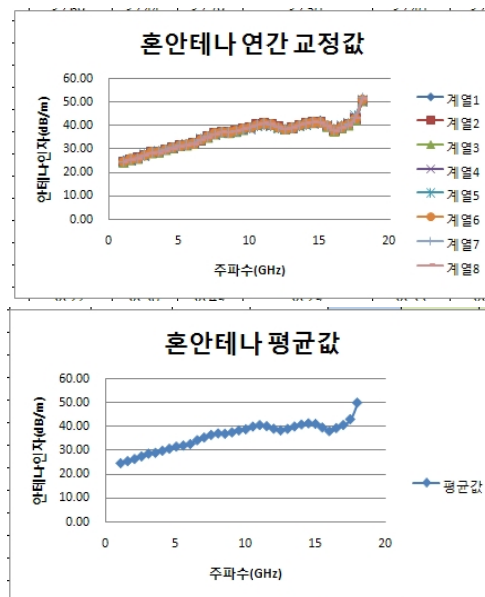
<그림 3-1-1> 바이코니컬 안테나 인자 연간 추이 및 평균값



<그림 3-1-2> LP 안테나 인자 연간 추이 및 평균값



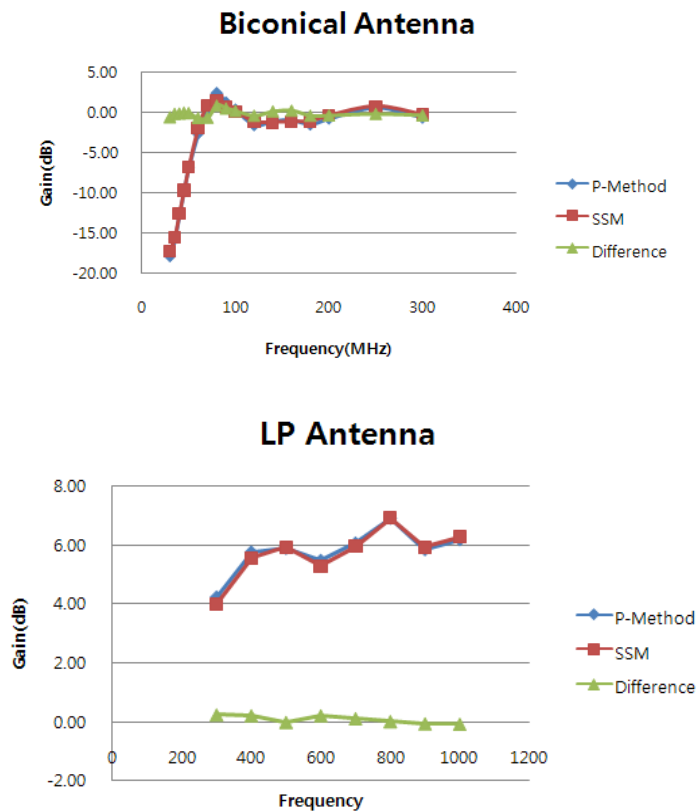
<그림 3-1-3> 바이로그 안테나 인자 연간 추이 및 평균값



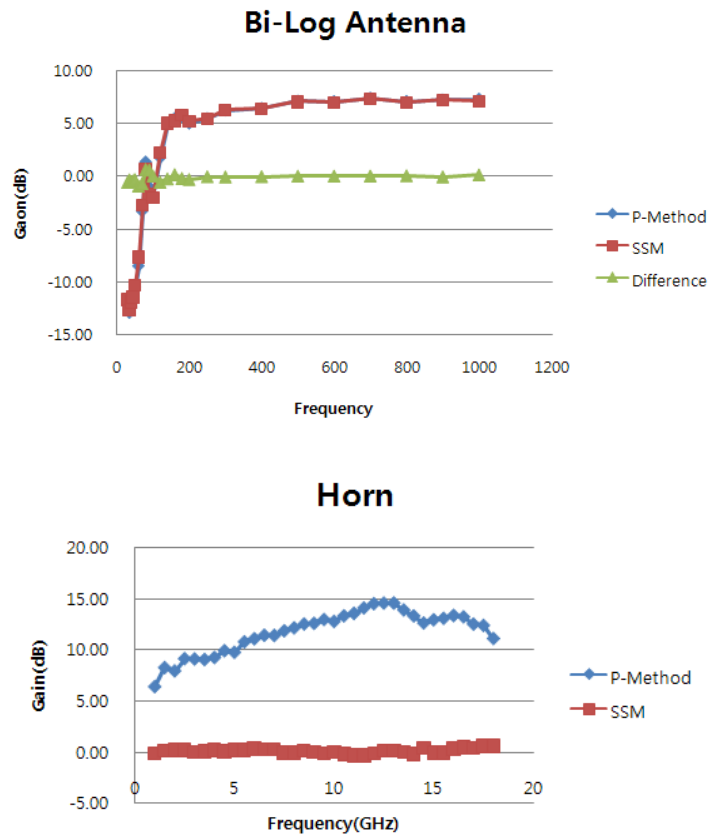
<그림 3-1-4> 혼 안테나 인자 연간 추이 및 평균값

제2절 R-SAM과 표준시험장법에 교정결과 비교

제1절에서 산출한 평균값을 기준 안테나의 인자값으로 하여 시험기관에서 의뢰한 안테나에 대한 교정을 R-SAM에 의하여 측정한 결과와 표준시험장법에 의하여 교정한 결과를 비교하였다. <그림 3-2-1> 및 <그림 3-2-2>에서 보는바와 같이 두 결과는 아주 훌륭한 일치를 보여주고 있다.



<그림 3-2-1> R-SAM과 표준시험장법 비교 결과(바이코니컬 및 LP)




<그림 3-2-2> R-SAM과 표준시험장법 비교 결과(바이로그 및 혼)

제3절 안테나 교정 국제표준문서 제정

EMI 측정용 안테나에 대한 국제적으로 통일된 표준방법을 제정하는 움직임으로써 1990년 대 말부터 CISPR를 중심으로 추진하였고, 2005년에 안테나 교정방법의 최종안으로 위원회의 CD문서가 제정되어 회람되었으나 각국의 이해관계로 부결되었다. 사실, EMI를 측정하는데 있어서 가장 근본이 되는 것이 안테나 교정임에도 불구하고, 다른 여타의 EMI 시험방법이 CISPR 국제문서화 된 반면 안테나 교정방법에 관한 국제적인 이해관계가 얹히어 안테나에 대한 국제 표준문서를 제정하지 못하였다. 2005년도에 최종 위원회안 CD 문서에는 3-안테나법, 표준시험장법, 표준안테나법을 거론하였지만 표준문서화에 실패하고 다시 프로젝트를 진행하여 2012년도에 최종 CD 문서가 각국에 회람되어 통과하게 되었다.

이에 앞서 우리 연구원은 R-SAM을 개발하여 2011년도 미국 LA에서 개최된 IEEE EMC 심포지움에 결과를 발표하고, 당해 CISPR 총회에 안테나 교정방법으로서 새로운 기술을 제안하였다. 안테나 교정 국제 문서 제정에 책임을 맡은 영국 NPL의 Martin Alexander의 제청과 직전의 프로젝트 책임자인 일본 도후쿠 대학의 스기우라 교수의 부가 의견 제시 등으로 R-SAM 방법을 인정받게 되었지만, 안테나 교정에 관한 표준문서 CISPR 16-1-6 제정안이 거의 99%가 종결된 상황이기 때문에 CISPR 16-1-6의 본문에 구체적으로 언급되지 않고 문서 제정에 기여한 참고문헌에만 기재되는 성과를 얻었다.

<그림 3-2-3>은 CISPR 16-1-6 제정을 위한 위원회(안) CISPR/A/990/CD의 표지이며 이 문서는 2012년 2월부터 4월 까지 국제회람되어 통과 되었다. <그림 3-2-4> 그 CISPR/A/990/CD에 참고문헌으로 기재된 우리원의 연구결과로서 2012 IEEE EMC 심포지움에 발표한 논문을 인용하고 있다.

		CISPR/A/990/CD COMMITTEE DRAFT (CD)	
IEC/TC or SC: CISPR/A		Project number CISPR 16-1-6 Ed. 1.0	
Title of TC/SC: Radio-interference measurements and statistical methods		Date of circulation 2012-02-17	Closing date for comments 2012-04-20
Also of interest to the following committees: CISPR/B, D, F, H and I		Supersedes document CISPR/A/943CD and CISPR/A/967/CC	
Proposed horizontal standard <input type="checkbox"/> Other TC/SCs are requested to indicate their interest, if any, in this CD to the TC/SC secretary			
Functions concerned: <input type="checkbox"/> Safety <input checked="" type="checkbox"/> EMC <input type="checkbox"/> Environment <input type="checkbox"/> Quality assurance			
Secretary: Steve Leitner, USA		THIS DOCUMENT IS STILL UNDER STUDY AND SUBJECT TO CHANGE. IT SHOULD NOT BE USED FOR REFERENCE PURPOSES. RECIPIENTS OF THIS DOCUMENT ARE INVITED TO SUBMIT, WITH THEIR COMMENTS, NOTIFICATION OF ANY RELEVANT PATENT RIGHTS OF WHICH THEY ARE AWARE AND TO PROVIDE SUPPORTING DOCUMENTATION.	
Title: CISPR 16-1-6: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC-antenna calibration			
(Title):			
Introductory note This is the fourth CD for CISPR 16-1-6 Ed. 1.0, following CISPR/A/967/CC. The decision to go with a fourth CD was made during the Seoul meetings in October because of the large number of non-editorial comments in 967/CC. During the meetings it was agreed that a two-month commenting period for both CISPR 16-1-6 and the linked 16-1-5 am2 Ed. 1.0 would provide sufficient review time given the number of review cycles that have already occurred. Please refer to the introduction preceding the 4 th CD text for details.			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Copyright © 2012 International Electrotechnical Commission, IEC. All rights reserved. It is permitted to download this electronic file, to make a copy and to print out the content for the sole purpose of preparing National Committee positions. You may not copy or "mirror" the file or printed version of the document, or any part of it, for any other purpose without permission in writing from IEC. </div>			
<small>® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission</small>		<small>FORM CD (IEC) 2009-01-09</small>	

<그림 3-2-3> CISPR 16-1-6 제정의 CD표지

CISPR-16-1-6/Ed1/CD © IEC - 161 - CISPR/A/990/CD

4487 [46] NPL GPG 73, *The Antenna Calibration Good Practice Guide*, December 2004, available
4488 from (http://www.npl.co.uk/publications/good_practice/).

4489 [47] PARK, J., Mun, G., Yu, D., Lee, B., Kim, W., *Proposal of Simple Reference Antenna*
4490 *Method for EMI Antenna Calibration*, *IEEE EMC Symposium 2011*, p. 90-95.

4491 [48] RIEDELSHEIMER, J., Trautnitz, F.W., *Influence of Antenna Pattern on Site Validation*
4492 *above 1 GHz for Site VSWR Measurements*, *2010 IEEE Symposium on EMC*, Fort
4493 Lauderdale, FL, USA.

4494 [49] ROCKWAY, J.W., Logan, J.C., Daniel, W.S.T., and Shing T. L., *The Mininec system:*
4495 *Microcomputer analysis of wire antennas*, Artech House Inc., MA, USA, 1988.

4496 [50] SALTER, M.J., and Alexander, M.J., *EMC antenna calibration and the design of an*
4497 *open-field site*, *Measurement Science and Technology*, Institute of Physics (UK), 1991,
4498 vol. 2, no. 6, p. 510-519.

4499 [51] SCHELKUNOFF, S.A., *Theory of Antennas of Arbitrary Size and Shape*, *Proceedings of*
4500 *the Institute of Radio Engineers*, Sep. 1941, vol. 29, p. 493-592.

4501 [52] SCHELKUNOFF, S.A. and FRIS, H.T., *Antennas: Theory and Practice*, New York: John
4502 Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331.

4503 [53] SCHWARZBECK, D., *Calibration of Vertical Monopole Antennas (9kHz - 30MHz)*,
4504 (http://schwarzbeck.com/appnotes/Cal_vertical_monopole_antenna.pdf),
4505 (<http://www.schwarzbeck.de/appnotes.php?lang=1>).

4506 [54] SMITH, A.A., *Standard-site method for determining antenna factors*, *IEEE Transactions*
4507 *on Electromagnetic Compatibility*, vol. 24, 1982, p. 316-322.

4508 [55] SMITH, A.A., German, R.F., and Pate, J.B., *Calculation of Site Attenuation From*
4509 *Antenna Factors*, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. EMC-24,
4510 No. 3, 1982, p. 301-316.

4511 [56] SUGIURA, A., *Formulation of Normalized Site Attenuation in Terms of Antenna*
4512 *Impedances*, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. EMC-32, No. 4,
4513 pp. 257-263, 1990.

4514 [57] SUGIURA, A., Shinozuka, T., and Nishikata, A., *Correction factors for normalized site*
4515 *attenuation*, *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility*, vol. EMC-34, No. 4, p.
4516 461-470, Nov. 1992.

4517 [58] TRAINOTTI, V., and Figueroa, G., *Vertically Polarized Dipoles and Monopoles,*
4518 *Directivity, Effective Height and Antenna Factor*, *IEEE Transactions on Broadcasting*,
4519 vol. 56, p. 379-409.

4520 [59] WOLFF, E.A., *Antenna Analysis*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1966, p. 61.

4521

<그림 3-2-4> 제정될 CISPR 16-1-6의 참고문헌에 인용된 R-SAM 논문

제4장 맺음말

본 보고서에서 수신측의 전기장을 결정할 수 있도록 안테나 인자를 알고 있는 표준안테나(NPL형:30MHz - 1GHz) 또는 다른 방법으로 안테나 인자가 교정된 기준안테나(주파수 제한 없음)를 사용하거나 또는 수신측의 전기장을 직접 측정할 수 있는 표준안테나(NIST형:30MHz - 1GHz)를 이용하여 두 개의 안테나만으로 1번의 측정을 통하여 안테나 인자를 결정하는 새로운 표준안테나법 R-SAM을 논의하였다. 기존의 안테나 교정 기술인 표준시험장법, 표준안테나법 등이 반드시 3개의 안테나를 이용해야 하고 3번의 측정 또는 2번의 치환 측정으로 안테나 인자를 결정한다는 것에 대해 획기적인 방법이다. 이 방법은 국립전파연구원이 독자적으로 개발하여 그 결과를 2011년도 IEEE EMC 심포지움에 발표하고 연이어 같은 해에 CISPR 총회에 우리나라의 안테나 교정방법으로 제안하여 EMI 측정용 안테나 교정에 관한 국제표준문서 CISPR 16-1-6의 제정에 기여한 연구결과로 참고문헌에 등재되는 성과를 얻었다. 또한 R-SAM을 응용하여 토지에 고정된 통신용 안테나의 이득 측정방법으로 국내 특허 출원을 하였고 PCT에 의한 국제특허출원을 하였다.

R-SAM의 실재적인 적용을 위하여 표준시험장법에 의한 안테나 교정서비스 데이터를 축적하고 1년간의 교정 결과를 바탕으로 기준 안테나의 안테나 인자값을 결정하였다. 이렇게 인자가 결정된 안테나를 기준으로 바이코니컬 안테나, LP 안테나, 바이로그 안테나, 혼안테나에 대한 R-SAM과 표준시험장 결과값을 비교하여 좋은 일치를 보인다는 것을 확인하였다.

또한 본 보고서는 R-SAM의 이론적인 배경을 확립하였고, 30MHz - 1GHz 대역의 NPL 계산형 표준안테나를 제작 도입하여 R-SAM의 실효성을 얻기 위한 작업을 수행하였다. 다만 아쉬운 것은 NPL 안테나 제작기간이 오래 걸렸고 연말의 나쁜 기후 조건 때문에 CISPR 16-1-6 제정 프로젝트의 책임자인 Martin Alexander가 제안한 NPL 표준안테나로 R-SAM의 추가 확인 실험을 못한점이다. 그럼에도 불구하고 기존의 상용 안테나를 이용하여 R-SAM의 유효성을 확인하였고 이는 바로 교정서비스로 이어질 수 있음을 증명하였다.

본 보고서에서의 연구결과를 토대로 국립전파연구원 공고 「전자파적합

측정 설비의 교정기준 및 방법」에 R-SAM을 추가하여 안테나 교정서비스 업무의 효율성을 높일 것이며 CISPR 16-1-6이 제정된 후라도 그 문서의 본문에 R-SAM이 기존의 표준시험방법과 어깨를 나란히 견줄수 있도록 지속적으로 연구를 수행하고 CISPR에 제안할 과제를 남겨 두었다. 내년에는 우리원의 안테나 야외 시험장 특성이 반영된 NPL형 표준안테나의 인자값을 확립하고 이를 근간으로 R-SAM을 더욱 발전시킬 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] J Park, G Mun, D Yu, B Lee, W Kim "Proposal of Simple Reference Antenna Method for EMI Antenna Calibration", IEEE EMC Symposium, Aug 2012, pp90-95
- [2] Alexander M.J, Salter M.J, "Low measurement uncertainties in the frequency range 30 MHz to 1 GHz using a calculable dipole antenna and national reference ground plane", IEE Proc.-Sci Meas. Sci Technol., July 1996, 143, No. 4, pp221 ~ 228
- [3] Salter M.J, Alexander M.J, "EMC antenna calibration and the design of an open field site", J. Phys. E. Meas. Sci Technol., 1991, 2, pp510 ~ 519
- [4] Smith, A.A., "Standard site method for determining antenna factors", IEEE Trans., 1982, EMC-24, pp311 ~ 322
- [5] Martin Alexander, Martin Salter, Benjamin Loader, and David Knight, "Broadband calculable dipole Reference antennas", IEEE Trans. on EMC, Vol. 44, No. 1, Feb. 2002, pp45 ~ 58
- [6] Jungkuy Park, Dongchan Jeong, Hun Youn, Myoungwon Seo, Daehoon Yu, Jaeman Ryoo. "3-Antenna Height Scanning Average method of EMI Antenna Calibration" 2009 IEEE EMC Symposium, Aug. 2009.
- [7] Alexander M.J, Loader B.G, Salter M.J, "Reduced measurement uncertainty in the frequency range 500 MHz to 1 GHz using a calculable standard dipole", NPL management Ltd-Internal
- [8] CISPR/A/990/CD "CISPR 16-1-6: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus-EMC-antenna calibration", 2012
- [9] David Cheadle "Introduction to Calculable Antenna Processor

- (CAP2010)", June. 2012.
- [10] Stanley L. Baker, "Calculable Antenna Processor User Manual", NPL, Mar 2011 pp1 ~ 18.
 - [11] H. T. Friis, "A note a simple transmission formula", Proc IRE., May 1946, pp254~256
 - [12] D. G. Camel, E. B. Larsen and W. J. Anson, "NBS calibration procedure for horizontal dipole antenna(25 to 1000 Mhz)", National Bureau of Standards Electromagnetic Fields Division
 - [13] Brian Kidney, "Horn Antennas", Engineering 9816-Antennas, November 26, 2001
 - [14] IEC CISPR/A/644/CD Project number CISPR 16-1-5 Amd.1 Ed1., "Antenna Calibration"
 - [15] 박정규, 정동찬, 차기남, 고흥남, "30 Mhz에서 1 GHz 대역 EMI용 안테나의 준자유공간 안테나팩터 산출에 관한 연구" 2004년도 한국 전자파학회 종합학술발표회 Vol. 14, No.1, 2004.11.5
 - [16] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design" John Wilely & Sons, 1982
 - [17] Microwave Antenna Theory and Design by Silver, Vol. 12, Radiation Laboratory Seriess, McGraw-Hill, 1949, pp. 582-585
 - [18] Antenna by Kraus, McGraw-Hill, 1950, pp. 455-457
 - [19] Standard Site Method For Determining Antenna Factors, IEEE EMC Transaction, Vol. EMC-24, No. 3, August 1983, pp 316-322
 - [20] ANSI C63.5 American National Standard for Electromagnetic Compatibility -- Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference(EMI) Control -- Calibration of Antennas
 - [21] IEEE Std 149 IEEE Standard Test Procedures For Antennas
 - [22] NBS Circular 517, Calibration of Commercial Radio Field-Strength

Meters

- [23] H. T. Friss, "A note a simple transmission formula", Proc. IRE.. pp. 254~256, May 1946.
- [24] Albert A Smith, "Standard Site Method for Determining Antenna Factors" IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-24, NO. 3, pp. 316~322 August 1982.
- [25] D. G. Gamel et. al, "NBS Calibration Procedures for Horizontal Dipole Antenna(25 to 1000MHz)", National Bureau of Standards Technical Note 1309, Apr. 1997.
- [26] Martin Alexander, Martin Salter, Benjamin Loader, and David knight., "Broadband Calculable Dipole Reference Antennas" IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility, VOL. 44, NO. 1, pp. 45~58, 2002.
- [27] Albert A Smith, Robert F. German, and James B Pate, "Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors" IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-24, NO. 3, pp. 315 August 1982.
- [28] ANSI C63.5 , "American National Standard for Electromagnetic Compatibility-Radiated Emission Measurement in Electromagnetic interference(EMI) Control-Calibration of Antennas (9kHz to 40GHz)", pp10, April 2006.
- [29] NPL, A National Measurement Good Practice Guide No. 73 "Calibration and use of antennas, focusing on EMC application",
- [30] CISPR/A/990/CD "CISPR 16-1-6: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods- Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus-EMC antenna calibration"

자체 개발 안테나 교정 방법
유효성 확인 연구



140-848 서울시 용산구 원효로41길 29

발 행 일 : 2012. 12.

발 행 인 : 이 동 형

발 행 처 : 방송통신위원회 국립전파연구원

전 화 : 02) 710-6555

인 쇄 : 한국장애인이워크협회

Tel. 02) 2272-0307

ISBN : 978-89-97525-06-5-93560 < 비 매 품 >

주 의

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