

안테나 교정의 R-SAM과 시간영역기술 융합 연구

2013. 12.



제 출 문

본 보고서를 「안테나 교정의 R-SAM과 시간영역기술 융합연구」
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2013. 12. 31.

연구책임자1 : 박완기(전파시험인증센터 시험과)
연구책임자2 : 박정규(전파시험인증센터 시험과)
연 구 원 : 김우년(전파시험인증센터 시험과)
강병규(전파시험인증센터 시험과)
연한국(전파시험인증센터 시험과)

요 약 문

본 보고서는 2011년에 국립전파연구원에서 새로이 개발하여 IEEE에 논문으로 발표하고 CISPR에 안테나 교정방법으로 제안한 방법으로서 국립전파연구원 안테나 교정방법 R-SAM과 자유공간 응답 특성을 측정하기 위하여 야외시험장에서 직접파와 반사파를 구분 추출하여 그 경로차를 이용할 수 있는 시간영역 안테나 교정기술을 접목하여 융합하였다. 그를 위해 20 MHz에서 1020 MHz 대역의 안테나로서 인자가 이론적으로 계산된 NPL형 표준안테나를 이용하였다. R-SAM은 수신측의 전기장에 대한 정보를 통하여 두 개의 안테나만을 사용하여 한 번의 측정으로 송신 안테나의 인자를 측정하는 방식이다. 본 연구를 통하여 국립전파연구원 안테나 교정 야외 시험장에서 측정값과 NPL 표준안테나의 안테나 인자 이론값을 0.1 dB의 오차로 정합시켰으며, 시간영역 측정기술을 이용하여 자유공간 안테나 인자의 이론값과 측정값을 비교 하였다. 아직은 보완할 점이 있지만 두 기술의 융합은 성공적이다. 그에 따라 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나를 활용도를 높일 수 있게 되었으며 안테나 교정기술을 다각화 하였다.

SUMMARY

In this report, the Radio Research Agency Standard Antenna Method, R-SAM, and time domain technology of radio wave for antenna calibration is tried to fuse into one. 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. We use the calculable dipole antennas as standard antenna, which antenna factors was calculated theoretically. Basic formula of the antenna for R-SAM are discussed open area test site(OATS). The antenna factors are matched with antenna calibration site of RRA. Also, antenna calibration method using time domain in open area test site is discussed. The reflected waves due to the ground are traced in time domain. After they are removed by time gating function of network analyzer, the free space transmission coefficient S_{21} is extracted. Such a way was applied to NPL standard antenna having broad band characteristic.

목 차

제1장 서 론	1
제2장 R-SAM과 시간영역 측정기술	2
제1절 R-SAM 기본 이론 리뷰	2
제2절 전자파 시간영역 측정이론	8
제3절 R-SAM에 사용하는 표준 안테나	15
제3장 측정 연구	18
제1절 국립전파연구원 야외시험장과 계산형 표준안테나 정합	18
제2절 R-SAM에 의한 NPL 안테나 인자 측정	43
제3절 NPL 안테나의 시간영역 특성 측정 및 반사파 추적	47
제4절 게이팅 : 직접파 추출	67
제5절 안테나 인자 산출	84
제4장 맺음말	85
* 참고문헌	87

표 목 차

표 1-1 주파수 측정범위, 윈도우 선택과 응답분해능의 근사관계 ...	10
표 1-2 NPL 다이폴 소자의 공진 주파수와 주파수 대역	16
표 1-3 NPL 표준안테나 이론값 및 측정값 비교	18
표 1-4 NPL 표준안테나 인자 이론값 및 측정값 비교	44
표 1-5 NPL 다이폴 소자의 주파수 대역	47

그 립 목 차

그림 2-1 송신 안테나로부터 생성되는 전기장의 세기	2
그림 2-2 안테나 인자의 정의	3
그림 2-3 안테나 교정 구성	3
그림 2-2 안테나 인자의 정의	3
그림 2-4 ~ 2-6 안테나 교정법등의 구성	4
그림 2-7 네트워크분석기를 이용한 R-SAM 측정 개념도	6
그림 2-8 응답 분해능	10
그림 2-9 시간측정범위 분해능	12
그림 2-10 직접파와 반사파의 분해	14
그림 2-11 야외시험장에서 반사파를 추적하기 위한 측정 구성 ...	14
그림 2-12 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나	15
그림 2-13 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 구조	16
그림 3-1 ~ 3-24 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측 정값 비교(30 MHz ~ 1000 MHz)	19 ~ 42
그림 3-25 야외 시험장에서 R-SAM 기하구조	43
그림 3-26 R-SAM에 의한 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적 인 시험장 감쇠량과 측정값 비교	45
그림 3-27 R-SAM에 의한 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적 인 안테나인자와 측정값 비교	46
그림 3-28 ~ 3-47 NPL 다이폴 시간영역특성	48 ~ 66
그림 3-48 ~ 3-63 NPL 다이폴 의 게이팅 전후 시간영역 및 주파수 특성	68 ~ 83
그림 3-64 NPL 다이폴의안테나 높이 7m, 8m, 9m에서 시간영역 반사파 추적에 의해 R-SAM에 의하여 측정한 안테나 인자의 비교값	84

제 1 장 서 론

안테나 교정은 전파의 세기를 측정하는 안테나, 특히 전계강도의 세기에 관심을 두는 EMI용 안테나의 전압-전계강도 변환인자인 안테나 인자의 측정 목적을 하고 있다. 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 SAM을 결합하여 R-SAM 이다. 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 EMC에 논문으로 발표하였고, 같은 해 CISPR 총회에 우리나라의 안테나 교정법으로 제안하였다.

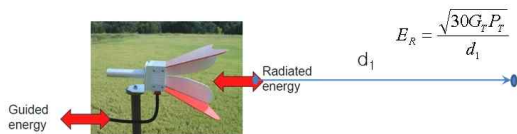
본 연구를 통하여 표준시험방법과 결과를 비교하여 좋은 일치치를 보인다는 것을 검증하였다. 또한 이론적인 근거를 굳건히 하였으며, 상용하는 안테나의 인자값을 이론값에 소급할 수 있도록 NPL 계산형 표준안테나를 이용하여 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 측정값과 정합 시켰다. NPL 계산형 표준안테나의 시간영역 특성을 측정하였으며, 시간영역에서 반사파를 추적하여 직접파와 반사파의 분리를 시도하여 직접파를 추출하고 역 푸리에 변환으로 자유공간에서 안테나 삽입손실을 구하여 NPL 표준안테나의 자유공간 안테나 인자를 R-SAM 방법으로 산출하였다. 이 결과를 이론값과 비교하여 비교적 잘 일치함을 보였다.

본 연구를 통하여 R-SAM과 시간영역을 융합하여 표준안테나를 포함한 송수신 안테나 단 2개의 안테나를 이용하여 한 번의 측정으로 자유공간 안테나 인자를 측정하는 방법을 개발하였다. 아직은 완벽하지 않지만 측정기술과 이론을 더 다듬어 한층 더 발전할 수 있도록 지속적인 연구를 수행할 필요가 있다.

제 2 장 R-SAM과 시간영역 측정기술

제1절 R-SAM 기본 이론 리뷰

1. R-SAM 이론



[그림 2-1] 송신 안테나로부터 생성되는 전기장의 세기

[그림 2-1]에서 이득이 G_T 이고 출력전력이 P_T 인 전송안테나로부터 거리 d_1 인 지점에 방사되는 전기장의 세기는 다음과 같다.

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

방정식 (2-1)을 G_T 에 대하여 표시하면 다음과 같다.

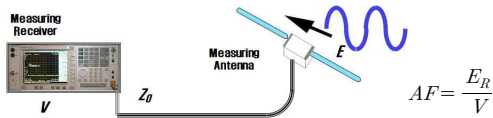
$$G_T = \frac{E_R^2 d_1^2}{30 P_T}$$

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

한편 안테나 인자의 정의는 그림 [그림 2-2]에서 보는바와 같이 수신전기장 E_R 과 안테나에 유기되는 전압과의 비로 방정식 (2-3)과 같이 정의된다.

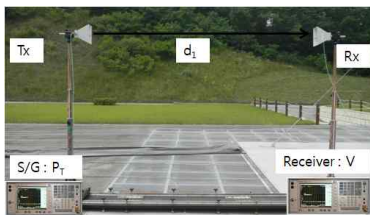
$$AF = \frac{E}{V}$$

$$AF(dB/m) = E(dBV/m) - V(dBV) \quad (2-3)$$



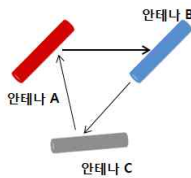
[그림 2-2] 안테나 인자의 정의

방정식 (2-2)는 송신 안테나로부터 거리 d_1 인 지점에서 전기장 E_R 에 대한 정보를 알고 송신측의 출력 전력 P_T 를 측정하면 송신안테나의 이득 G_T 를 결정할 수 있음을 의미한다. 또한 수신측의 전기장 E_R 은 안테나인자가 AF인 안테나에서 측정되는 전압 V 를 측정함으로써 알 수 있다. 그러므로 그림 [그림 2-3]과 같은 안테나 측정 구성에서 송신측 신호발생기 S/G에서 전력 P_T 를 측정하고 안테나 인자 AF를 알고 있는 수신측 수신기 또는 스펙트럼 분석기로부터 전압 V 를 측정함으로써 방정식 (2-2)와 (2-3)으로부터 송신 안테나의 G_T 를 구할 수 있다. 이는 기존의 안테나 교정기술이 반드시 3개의 안테나를 필요로 하며, [그림 2-4]의 3-안테나법 또는 표준시험장법, [그림 2-5]의 표준안테나법과 같이 측정 과정을 3번 또는 2번을 거쳐야 했지만, [그림 2-6]에서 보논바와 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)로부터 송신안테나의 이득을 측정할 수 있다.

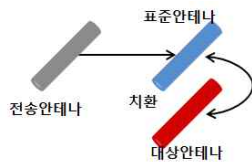


[그림 2-3] 안테나 교정 구성

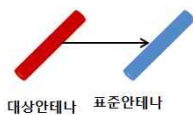
3



[그림 2-4] 3-안테나법 또는 표준 시험장법의 안테나 구성



[그림 2-5] 표준 안테나법의 안테나 구성



[그림 2-6] 국립전파연구원 표준안테나법의 안테나 구성

4

한편, 수신 입력 임피던스가 Z_L 일 때 아래의 안테나 인자와 이득과의 관계식 (2-4)를 방정식 (2-2)에 대입함으로써

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

$$AF(dB/m) = 20\log AF = 10\log \frac{480\pi^2}{Z_L} - 20\log \lambda - G(dB) \quad (2-4)$$

송신 안테나의 인자 방정식 (2-5)를 얻는다.

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

$$AF(dB/m) = 10\log \frac{30 \cdot 480\pi^2}{Z_L} + 10\log P_T - 20\log \lambda - 20\log E_R - 20\log d_1 \quad (2-5)$$

50 Ω 시스템에서 주파수 f_{MHz} 단위로 방정식 (2-2), (2-4)와 (2-5)는 실무적으로 다음과 같이 표현된다.

$$G_T(dB) = AF_R + 20\log V_R + 20\log d_1 - 10\log P_T - 14.77 \quad (2-2-1)$$

$$AF(dB/m) = 20\log f_{MHz} - G(dB) - 29.78 \quad (2-4-1)$$

$$AF_T = -AF_R + 10\log P_T + 20\log f_{MHz} - 20\log V_R - 20\log d_1 - 15.01 \quad (2-5-1)$$

여기서 G_T , AF_T 는 송신안테나의 이득 및 인자이며, AF_R 은 수신인자 기준 안테나의 인자, P_T , V_R , d_1 은 각각 측정해야할 송신전력, 수신전압, 안테나 사이의 거리, f_{MHz} 는 MHz 단위의 주파수이다.

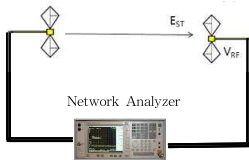
그림 [2-7]에서와 같이 네트워크분석기를 사용하는 경우 안테나 사이의 삽입손실 또는 감쇠량 $A_{RT}=10\log(P_T/P_R)$ 을 측정하기 때문에, 그리고 수신전력 $P^R=V_R^2/Z_L$ 관계에서 수신 네트워크분석기의 입력임피던스 $Z_L=50\Omega$ 을 이용

5

하면 교정대상이자 송신안테나의 이득 방정식 (2-2-1) 및 인자 방정식 (2-5-1)는 다음과 같이 방정식 (2-6)과 (2-7)처럼 주어진다.

$$G_T(dB) = AF_R + 20\log d_1 - A_{RT} + 2.22 \quad (2-6)$$

$$AF_R(dB/m) = -AF_T + A_{RT} + 20\log f_{MHz} - 20\log d_1 - 32 \quad (2-7)$$



[그림 2-7] 네트워크분석기를 이용한 R-SAM 측정 개념도

2. 수신 안테나 이득 및 인자 측정

예초 R-SAM은 수신측에 안테나 인자를 알고 있는 표준안테나를 설치하고 송신안테나의 이득과 인자를 측정하는 방법으로 고안되었다. 그러나 반대로 송신측에 기준안테나를 수신측에 대상안테나를 놓으면 수신측의 안테나인자 AF_R 은 방정식 (2-1)과 안테나인자의 정의식 (2-3)에 과 안테나 인자 및 이득 관계식 (2-4)에 따라 다음과 같이 주어진다.

$$AF_R = \frac{\sqrt{30G_TP_T}}{V_Rd_1} = \frac{\sqrt{30P_T}}{V_Rd_1AF_T\lambda} \sqrt{\frac{480\pi^2}{Z_L}}$$

$$AF_R = G_T(dB) + 10\log P_T - 20\log V_R - 20\log d_1 + 14.77 \quad (2-8)$$

$$= -AF_T + 10\log P_T - 20\log V_R - 20\log d_1 + 20\log f_{MHz} - 15.01$$

안테나 인자 및 이득 관계식 (2-4-1)을

$$AF(dB/m) = 20\log f_{MHz} - G(dB) - 29.78 \quad (2-4-1)$$

방정식 (2-8)에 대입하면 다음과 같이 수신안테나의 이득방정식을 얻는다.

$$G_R = AF_T - 10\log P_T + 20\log V_R + 20\log d_1 - 14.77 \quad (2-9)$$

방정식 (2-8)에 대입하면 수신 안테나의 이득은 (2-9)와 같이 주어진다.
 안테나 인자 방정식 (2-5-1)과 (2-8)은 국립전파연구원 표준안테나법 R-SAM이 표준안테나를 송신 또는 수신측에 놓고도 대상 안테나를 교정할 수 있음을 의미하며, 한편 방정식 (2-9)는 송신측에 안테나 인자를 알고있는 기준안테나를 설치하고 수신측에 대상안테나를 놓고 송신전력 P_T , 수신전압 V_R 거리 d_1 을 측정함으로써 수신안테나의 이득을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 특히, 이득을 측정하기 위하여 수신측에만 위치해야만 하는 액티브 안테나는 방정식 (2-9)를 통하여 R-SAM을 응용하여 측정할 수 있다.

제 2절 전자파 시간영역 측정 이론

1. 시간영역

시간영역에서 엘리어싱 없이 전자파를 측정할 수 있는 시간의 길이로서 측정영역을 정의한다. 응답의 반복은 시간에 있어서 규칙적인 간격으로 일어나며 엘리어싱 응답은 시간 측정범위를 넘어선다. 이산적인 주파수 점들을 모은 주파수 영역 테이터에 의하여 엘리어싱은 발생한다. 이산 주파수 점들인 표본의 함수 효과는 매 $1/\Delta f$ 초 마다 반복한다. 수학적으로 그 임펄스는 매 $1/\Delta f$ 초 마다 반복을 일으키는 표본함수의 역 푸리에변환으로의 콘볼루션이다. 이러한 시간의 길이는 측정의 영역을 정의하며 응답의 반복사이의 시간의 분리거리와 같다. 엘리어싱이 없는 영역은 측정점의 수(number of points)에 비례하고 주파수 범위에 반비례한다. 측정 영역을 증가시키기 위해서는 측정점의 수를 늘리거나 주파수 범위를 줄여서 달성할 수 있다. 엘리어싱을 없애기 위해서, 측정하고 있는 회로망으로부터 재반사는 엘리어스가 없는 시간간격에서 최소의 세기까지 감소시켜야만 한다. 만일 엘리어스가 없는 바깥영역에서 커다란 반사응답이 있다면, 엘리어싱이 없는 영역에도 나타나게 된다. 측정점의 수가 증가하고 응답이 시간에 따라 움직인다면 그것은 엘리어스 응답일 가능성이 상당히 높다. 만일 되돌아온 응답이 측정하기에 너무 작으면 주파수 측정범위와 상관없이 측정영역은 제한된다. 측정 영역 다음과 같이 계산된다.

$$\text{측정범위(m)} = (1/\Delta f) \times V_f \times c \quad (2-10)$$

여기서

Δf = 주파수 측정 간격 (주파수측정범위/측정점의수)

V_f = 전송선의 속도인자

c = 빛의 속도(3×10^8 m/s, 정확히는 2.997925×10^8 m/s)

측정가능 영역을 결정하기 위하여 측정점의 수에서 1을 빼고 그것을 주파수 측정범위로 나눈다. 예를 들어 측정점의 수가 401, 측정주파수 범위가

2.50kHz의 측정에 대해 응답은 매 160ns 마다 반복될 것이다.

범위(second) = (401-1)/(2.5×10⁸Hz) = 160ns

자유공간에서 측정가능 거리를 찾기 위하여 자유공간에서 빛의 속도를 이 시간범위 값을 곱한다.

범위(m) = 160ns × 2.997925×10⁸ m/s = 48m

사용할 수 있는 물리적인 실제 거리를 계산하기 위하여 자유공간의 이 값에 전송매질의 상대 전파속도를 곱한다.

범위(m) = 48m × 0.66 = 32m (물리적 길이)

VNA는 그러한 수학을 계산하도록 환경을 설정할 수 있다. 기본적으로 제공되는 속도인자를 바꾸고 측정 형식을 선택함으로써 화면에 표시되는 측정결과 표식은 그 디바이스의 적절한 길이를 보여줄 것이다.

만일 어떤 응답이 실제 인지 엘리어싱인지 의심이 간다면, 첫 번째 시험은 시간 측정범위를 늘려가서 그들 사이에 관찰할 만한 간격으로 분명한 반복성이 있는가를 보는 것이다.

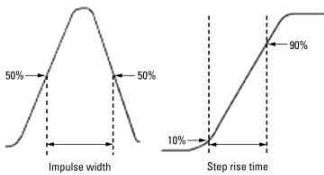
엘리어스가 없는 측정에 대해 시간영역의 측정 범위는 측정대상 디바이스의 전기적 길이에 의존한다. 반사측정은 요구되는 범위가 신호가 불연속점에 도달하고 시험포트에 되돌아오도록 하기위해 두 배가 되어야 한다.

시간영역에서는 두 가지 다른 종류의 분해능, 응답 분해능 (response resolution)과 영역 분해능 (range resolution)이 있다.

시간응답 분해능은 근접하여 떨어져 있는 두 신호를 분해할 수 있는 능력 또는 두 응답이 서로서로 얼마나 가까이 있을 수 있는지 그리고 서로서로를 여전히 구분할 수 있는지의 측정으로 정의한다. 응답 분해능은 시간영역 모드, 주파수 범위, 반사측정인지 전송측정인지 그리고 신호 경로의 상대적 전파속도에 의존한다.

같은 진폭의 응답에 대해 그 응답들의 분해능은 [그림 2-8]에서 보는바와

같이 임펄스 폭의 50%(-6dB) 또는 계단형 신호의 상승시간이 10%에서 90%까지로 정의한다. 그것은 측정할 주파수 범위에 반비례하고 또한 변환에 이용하는 윈도우 함수에도 영향을 받는다.



[그림 2-8] 응답 분해능은 임펄스 폭의 50%, 계단신호의 상승시간 10%에서 90% 와 같다.

[표 1-1]은 같은 진폭의 응답에 대해 응답 분해능의 주파수 측정범위 및 윈도우 함수 사이의 근사적인 관계를 나타낸다. 이러한 특성은 주파수 측정 범위에 반비례하고 선택된 윈도우에 대한 어떤 함수관계가 있다.

[표 1-1] 주파수 측정범위, 윈도우 선택과 응답분해능의 근사관계

윈도우	저대역통과 계단 신호(10%~90%)	저대역통과 임펄스 신호(50%)	대역통과 임펄스
최소	0.45/주파수측정 범위	0.60/주파수측정 범위	1.20/주파수측정 범위
보통	0.99/주파수측정 범위	0.98/주파수측정 범위	1.95/주파수측정 범위
최대	1.48/주파수측정 범위	1.39/주파수측정 범위	2.77/주파수측정 범위

예를 들어 대역 통과 모드에서 10GHz의 넓은 주파수 측정범위와 표 1-3에서 볼 수 있는 윈도우함수 보통을 사용하여 같은 크기의 진폭을 가진 두 응답의 분해능을 계산할 수 있다:

- 응답 분해능 : 50% 임펄스폭(시간) × 빛의 속도

$$1.95/\text{주파수측정범위} = 1.95/10\text{GHz} = 195\text{ps}$$

$$195\text{ps} \times \text{빛의 속도} = 195\text{ps} \times 2.997925 \times 10^8\text{m/s} = 58\text{mm}$$

반사측정에서는 양방향의 여행 시간이 관계하기 때문에 불연속점 사이의 최소한의 분리 거리는 위의 값의 절반으로서 97.5ps(29mm) 이다.

분해될 수 있는 그 응답들의 물리적인 최소 분리 거리는 실제의 전송 매질의 전파속도(V_f)에 의존한다.

$$195\text{ps} \times \text{빛의 속도} \times V_f = 38\text{mm} : \text{물리적 분리거리}$$

주파수 측정범위의 줄어들고, 주파수 영역 데이터 윈도우의 더 커지며, 더 작은 불연속점의 응답을 마스킹하는 커다란 불연속점 등과 같은 인자 모두는 유효 응답 분해능의 성능을 저하시킨다.

시간영역 범위 분해능은 단독의 응답이 시간속에 위치할 능력으로서 정의한다. 만일 단 한 응답만이 존재한다면, 범위 분해능은 응답의 최고점을 얼마나 가깝게 정확히 찾아내는가의 측정이다. 영역 분해능은 화면표시 기능의 디지털 분해능과 같은데, 화면표시상 시간영역 측정범위를 측정점의 수로 나눈 값이다.

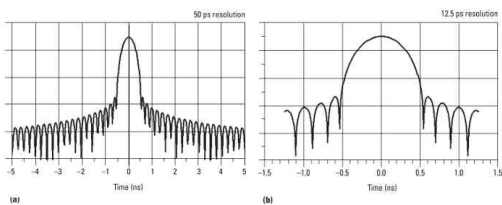
$$\text{범위 분해능} = T_{\text{span}}/(\text{측정점의수} - 1)$$

범위 분해능을 최대로 얻기 위하여, 응답을 화면표시기능의 중심에 놓고 시간영역 측정범위를 줄인다. 범위 분해능은 응답 분해능보다 항상 더 정교하

다. [그림 2-9 a)]는 50ps의 범위 분해능을 낳는 10ns의 시간측정 범위를 보여준다. [그림 2-9 b)]는 시간측정범위를 2.5ns로 줄임으로써 영역분해능이 12.5ps로 줄었음을 보인다. 양 경우에 측정점의 수는 201로 고정되어 있다. 단지 측정범위 만의 변화로 데이터 점들 사이의 간격이 늘거나 줄어든다; 그것은 가깝게 인접해 있는 두 신호를 분해하는 능력에 영향을 미치지 않는다.

시간영역에서 시간영역 측정범위는 선택된 주파수 측정범위에 독립적이다. 그 응답을 화면표시 기능의 중심에 놓고 시간측정범위를 단순하게 줄임으로써 화면상에서 확대할 수 있다. 이것은 시간 측정범위를 줄이는 것과 같은 인자에 의하여 범위 분해능을 개선한다.

전형적인 전송 매질의 비균질 전파속도 불연속점의 물리적인 위치를 정확하게 찾아내는 측정자의 능력을 제한할 것이라는 데 주의한다. 도파관과 같은 분산매질에서 비선형 위상응답은 응답의 실제 최고점의 정확한 위치를 찾아내는 능력을 또한 제한한다.



[그림 2-9] a) 10ns 시간측정범위는 범위 분해능 50ps
b) 시간측정범위를 2.5ns로 줄이면 범위 분해능 12.5ps

2. 시간영역 안테나 교정

반사파는 야외시험장에서 자유공간 안테나 이득 또는 인자를 측정하는데 있어서 장애요인이다. 표준시험방법, 표준안테나법 등 그 반사파를 적절히 취급하여 자유공간 값을 측정하고자하는 여러 가지 방법들이 시도되고 있다. 이러한 방법들은 주파수 영역에서 수행하는 방식들이다. 그러나 주파수 영역에서 두 안테나 사이의 S파라미터로서 삽입손실을 측정하고 그 데이터를 수학적으로 역푸리에 변환을 하여 시간영역의 데이터로 변환시키는 것이 가능하다. 직접파와 반사파의 경로차에 의하여 전송안테나에서 수신안테나에 도달하는 시간에 차이가 있다. 만일 시간 분해능이 반사파를 구분하기에 충분한 분해능을 갖추고 있다면 안테나 교정에 관한 시간영역 해석은 야외시험장에서 반사파와 같은 원하지 않는 신호를 효과적으로 제거하기 위한 효율적인 수단이 된다. 고성능 벡터 네트워크 분석기는 게이팅이라하는 강력한 기능을 가지고 있어서 반사신호의 전송응답을 유연하게 선택하여 제거할 수가 있다. 게이팅이 시간영역에서 적용되고 바로 그 데이터를 다시 주파수 영역으로 변환시킬 수가 있는 것이다. 그리고 나면 시간영역에서 안테나 사이의 자유공간 삽입손실을 측정하는 것이다.

시간영역에서 측정의 시간범위는 엘리어싱이라고 하는 응답의 반복이 없는 시간의 길이로 정의한다. 샘플링 이론에 따르면 시간영역에서 시간 길이 T가 $1/\Delta f$ 보다 크면 엘리어싱이 일어난다. 엘리어싱이 발생하지 않는 최대의 측정시간 간격은 $1/\Delta f$ 과 같다. 여기서 Δf 는 주파수 영역에서 샘플링 간격으로서 네트워크 분석기의 주파수 스패와 number of point로부터 지정하여 소스로부터 생성되는 주파수 사이의 간격이 된다. 측정 시간 범위 T는 다음과 같이 주어진다.

$$T = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{(f_N - f_0)/N} = \frac{N}{f_N - f_0} \quad (2-11)$$

여기서 주파수 스패는 $f_N - f_0$ 이고 number of point는 N+1이다. 공식 (2-11)에 전자기파의 속도 c를 곱하면 측정시간 범위는 다음과 같다.

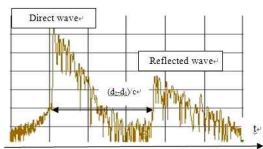
$$D = T \times c \quad (m) \quad (2-12)$$

13

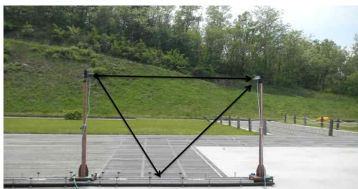
그림 2-8에서 보는바와 같이 안테나 이득이나 인자를 산출하기 위한 전송 계수 S_{21} 을 측정하는데 있어서 신호의 직접파 경로 d_1 및 반사파 경로 d_2 는 측정거리범위 D내에 있어야만 한다. 또한 시간영역에서 신호의 응답시간은 게이팅으로 반사파를 제거하기 위하여 충분히 분해될 수 있어야 한다. 말하자면, [그림 2-10]과 같이 그 신호를 직접파 및 반사파는 경로의 시간차 $(d_1 - d_2)/c$ 내에서 겹치지 말아야 한다. 야외시험장에서 반사파를 추적하기 위한 측정 구성은 [그림 2-11]에서 볼 수 있다.

두 안테나의 이격 거리가 d_1 이고 시험장 면으로부터 안테나 높이가 h이면 [그림 2-11]에서 반사파의 경로는 다음과 같이 주어진다.

$$d_2 = 2 \times \sqrt{(d_1/2)^2 + h^2} \quad (m) \quad (2-13)$$



[그림 2-10] 직접파와 반사파의 분해



[그림 2-11] 야외시험장에서 반사파를 추적하기 위한 측정 구성

제3절 R-SAM에 이용되는 표준안테나

1. 계산형 표준안테나 특성

국립전파연구원에서 보유하고 있는 표준 안테나는 두 가지로 수신전용으로 발룬에 다이오드가 장착되어 RF 신호를 DC로 변환하는 NIST형 표준 안테나와 시험장감쇠량과 안테나 인자가 계산되는 NPL형 표준 안테나이며, 이중 시간영역에서 이용할 수 있는 안테나는 NPL 계산형 표준안테나이다. 그의 핵심 구조는 NEC에 의하여 수치적으로 계산된 다이폴소자와 180° 하이브리드 커플러를 가진 발룬으로 구성된다. 계산형 표준 다이폴 안테나는 [그림 2-12]에서 보는바와 같다.

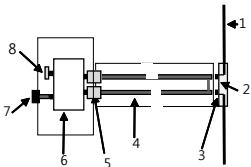


[그림 2-12] NPL 계산형 표준 다이폴 안테나

다이폴 소자는 Push-Fit 컨넥터가 발룬에 연결되도록 안테나 중앙 앞면에 구멍이 뚫린 유전체 지지대에 꼭 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 1-2]와 같은 주파수 대역에서 작동한다.

[표 1-2] NPL 다이폴 소자의 공진 주파수와 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 만 강체형 동축 케이블
- 5. 정합 패드
- 6. 1과 직교하는 하이브리드 커플러
- 7. N 타입 컨넥터
- 8. 50 Ω 종단

[그림 2-13] NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 구조

[그림 2-13]는 다이폴 발룬의 구조를 보여준다. 다이폴 소자가 장착되며 Push-Fit 커넥터가 발룬과 연결될 수 있도록 안테나 중심부에 홈이 파여진 유전체 지지대가 있다. 발룬은 30 MHz ~ 1 GHz 범위에서 위상 평행도가 1.5°보다 좋고 진폭 평행도가 0.2 dB 보다 좋은 180° 하이브리드 결합기로 구성된다. 하이브리드의 합(Σ)포트는 50 Ω 부하로 종단되어 있으며 두 개의 각 평행 포트는 정합 패드와 연결되어 있다. 저항이 50 Ω인 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.

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.

송신 및 수신 안테나의 안테나 인자가 각각 AF_{TX}와 AF_{RX}일 때 그 사이의 삽입손실을 SIL이라 하면 안테나 인자 방정식은 다음과 같다.

$$AF_{Tx} + AF_{Rx} = SIL + 20\log(f_{MHz}) - 10\log(d_1) - 32 \quad (2-14)$$

여기서 f_{MHz}는 MHz 단위로 표시된 주파수이고 d는 m 단위의 안테나 사이의 거리이다. 방정식 (2-14)에서 송신 안테나와 수신안테나가 완전히 동일하면, 즉, AF_{TX}= AF_{RX}이면 두 안테나 사이의 삽입손실 SIL 값으로 다음과 같이 안테나 인자가 주어진다.

$$AF_{Tx} = AF_{Rx} = \frac{1}{2} [SIL + 20\log(f_{MHz}) - 10\log d_1 - 32] \quad (2-15)$$

NPL의 계산형 표준안테나는 무한평면 완전도체위에서 삽입손실을 방정식 (2-15)에 의해서 계산하고 송신 및 수신 안테나는 0.06 dB 이내로 동등성을 갖고 있기 때문에 두 안테나를 동등한 안테나로 취급할 수 있다.

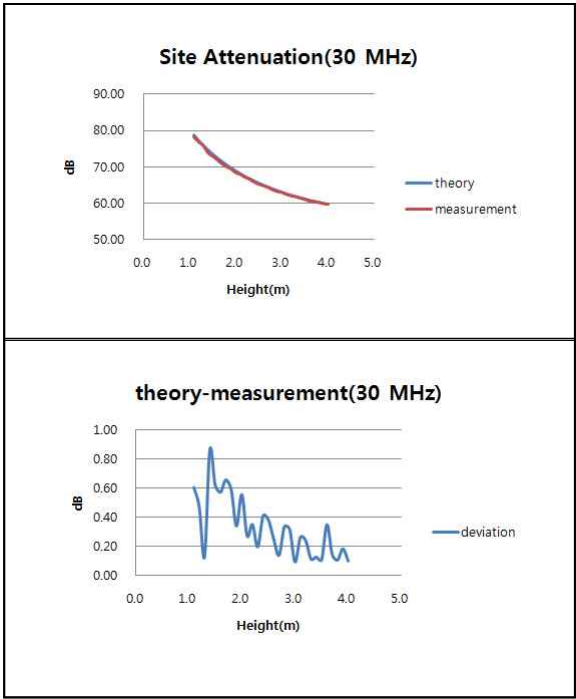
제3장 측정 연구

제1절 국립전파연구원 야외시험장과 계산형 표준안테나 정합

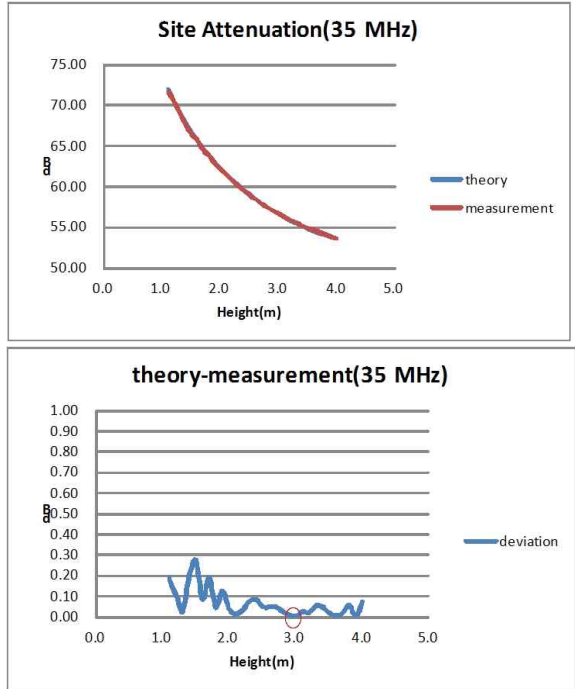
이론값이 계산되는 NPL형 표준 안테나는 무한도체의 완전평면을 가정하였기 때문에 60 m × 50 m 금속도체에 일부가 배위로 구성된 국립전파연구원 전파인증시험센터의 안테나 야외 시험장에서 계산형 표준안테나와의 정합이 필요하다. 1 m에서 4 m까지 송수신 안테나의 높이를 가변하면서 이론으로 계산된 시험장 감쇠량과 측정값을 비교하여야 한다. 다음 그림들은 1.2 m에서 4 m까지 가변하면서 0.1 m 간격으로 측정한 시험장 감쇠량 값과 이론값이다. [그림 3-1]에서 [그림 3-24] 까지 30 MHz에서 1000 MHz의 감쇠량 높이 페턴의 이론값과 측정값을 보여주는데 그 차이가 가장 작은 높이의 값을 빨간색 원형으로 표시하였다. 이 위치에서 국립전파연구원 안테나 교정시험장과 NPL형 표준안테나의 이론값과 정합되는 곳이다. 정합되는 높이에서 시험장감쇠량의 이론값과 측정값 차와 그 위치에서 NPL형 표준안테나의 이론적인 안테나 인자값은 [표 1-3]에서 주어진다.

[표 1-3] NPL 표준안테나 이론값 및 측정값 비교

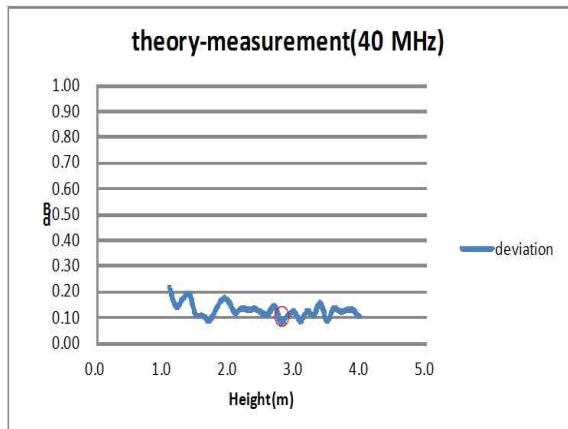
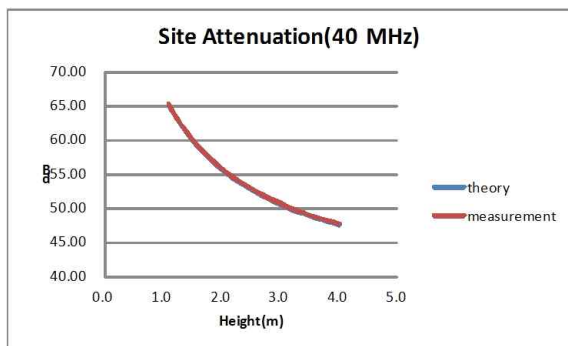
주파수(MHz)	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120	140
이론감쇠량 (dB)	63.03	56.60	51.36	41.49	39.47	33.03	32.70	43.44	51.05	44.77	59.00	46.71
측정감쇠량 (dB)	62.93	56.60	51.43	41.49	39.56	33.02	32.70	43.42	51.04	44.77	59.08	46.72
차이(dB)	0.09	0.00	-0.08	0.00	-0.08	0.00	-0.00	0.01	0.00	-0.00	-0.08	-0.01
높이(m)	3	3	2.8	3.9	2.7	2.2	3.6	1.6	1.2	1.6	3.4	2.1
이론적 안테나인자	19.99	18.04	16.04	13.60	11.65	8.53	11.35	13.76	16.25	16.28	23.85	21.42
주파수(MHz)	160	180	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
이론감쇠량 (dB)	39.24	35.45	43.42	44.01	46.35	44.43	49.21	53.39	54.68	51.48	55.24	67.08
측정감쇠량 (dB)	39.30	35.77	43.43	44.01	46.36	44.41	49.30	53.44	54.70	51.48	55.32	67.27
차이(dB)	-0.06	-0.32	-0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.09	-0.05	-0.02	0.00	-0.07	-0.19
높이	4	19	11	2	17	3.3	21	2	22	4	28	18
이론적 안테나인자	18.17	17.00	18.50	22.39	24.76	24.41	28.26	31.29	29.46	31.28	33.61	35.16



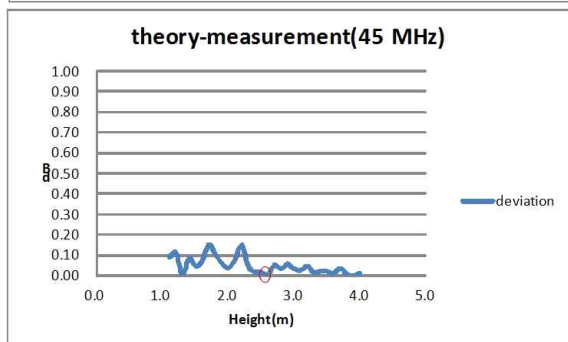
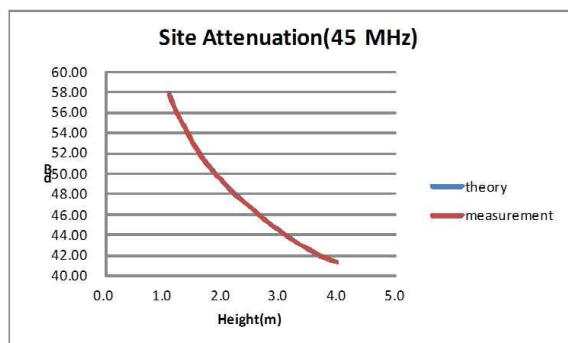
[그림 3-1] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(30 MHz)



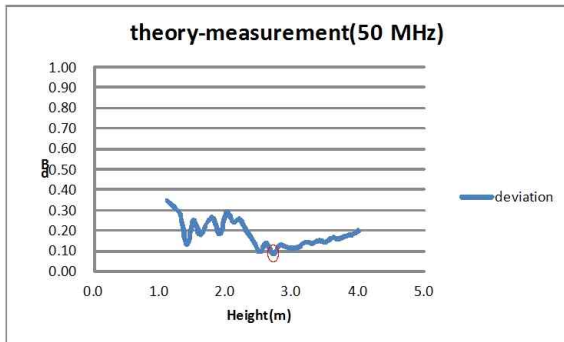
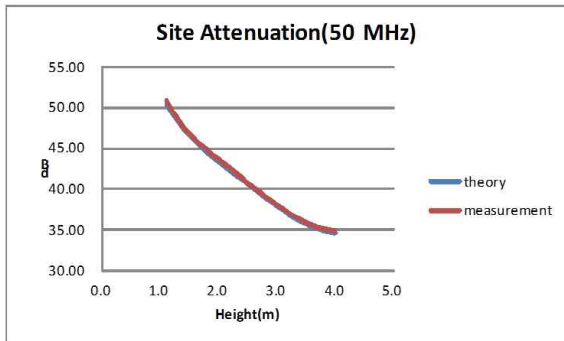
[그림 3-2] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(35 MHz)



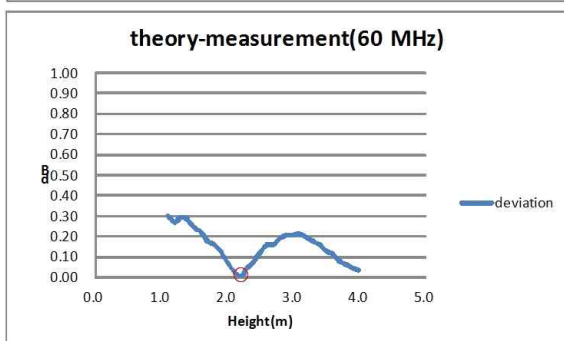
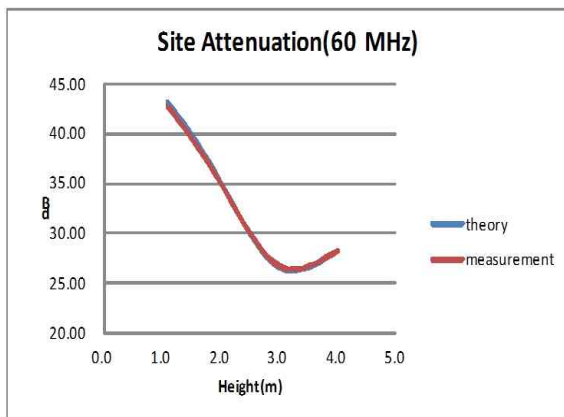
[그림 3-3] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(40 MHz)



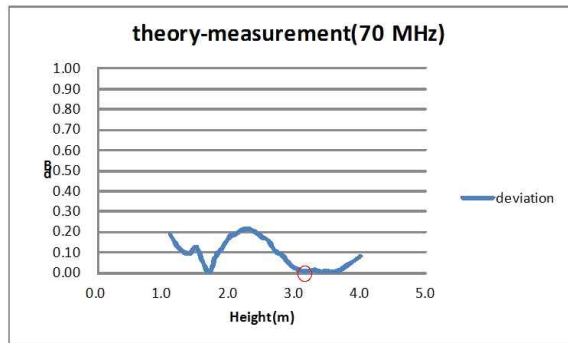
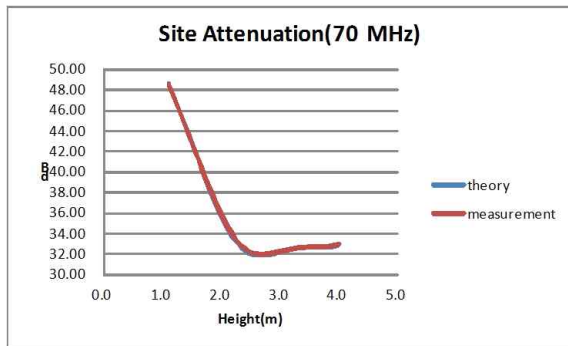
[그림 3-4] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(45 MHz)



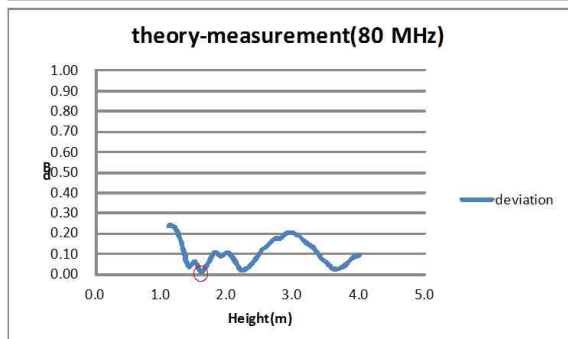
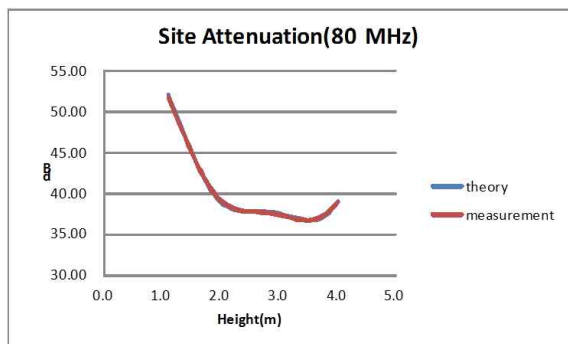
[그림 3-5] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(50 MHz)



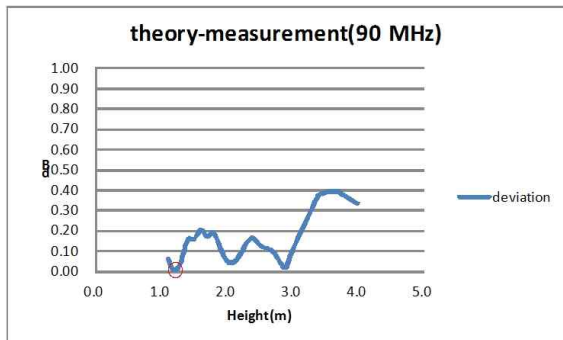
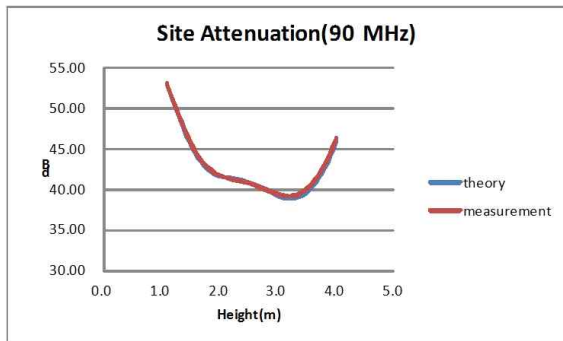
[그림 3-6] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(60 MHz)



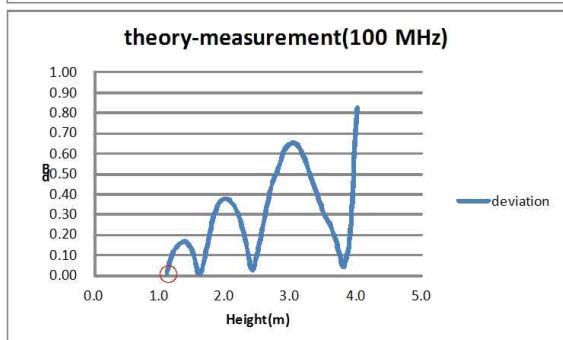
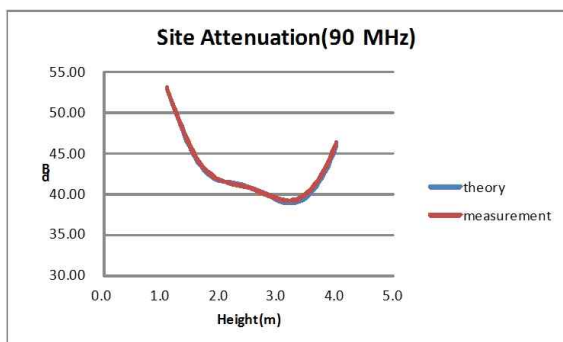
[그림 3-7] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(70 MHz)



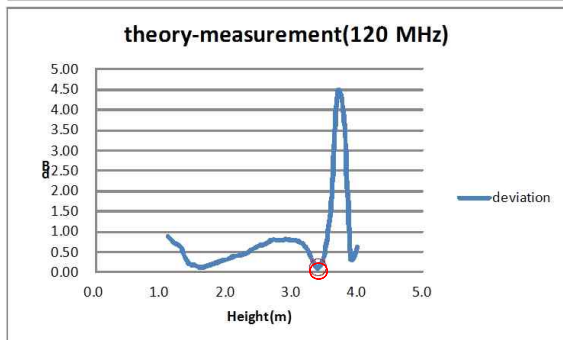
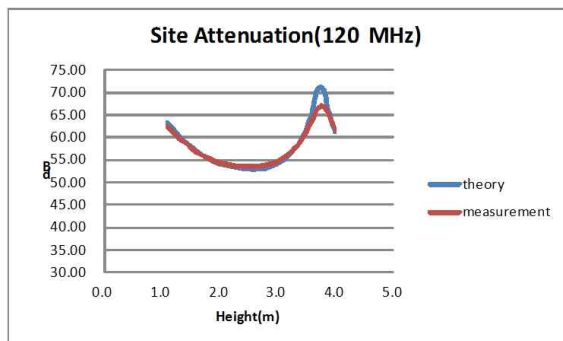
[그림 3-8] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(80 MHz)



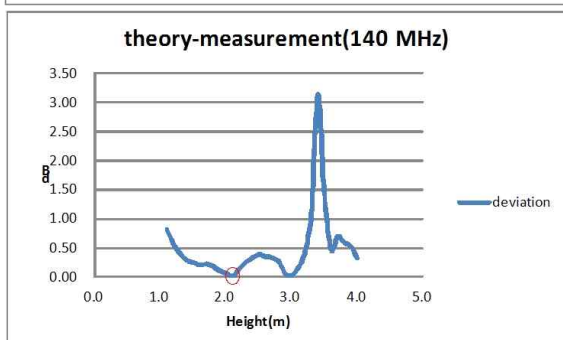
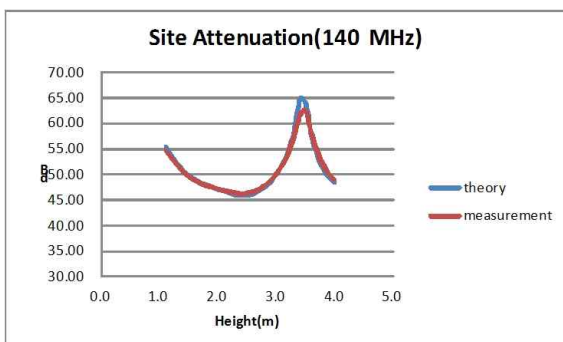
[그림 3-9] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(90 MHz)



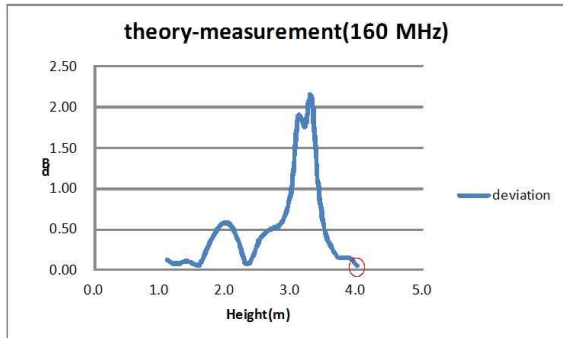
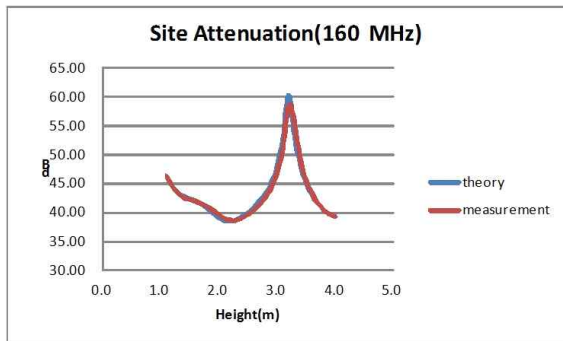
[그림 3-10] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(100 MHz)



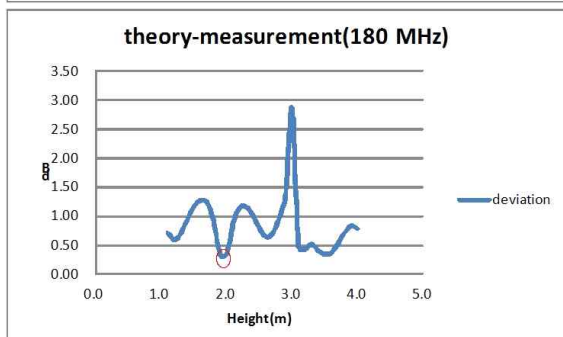
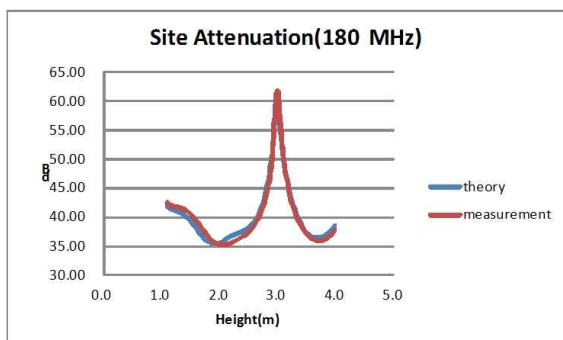
[그림 3-11] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(120 MHz)



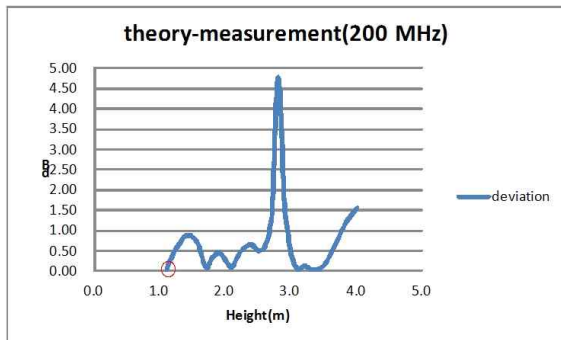
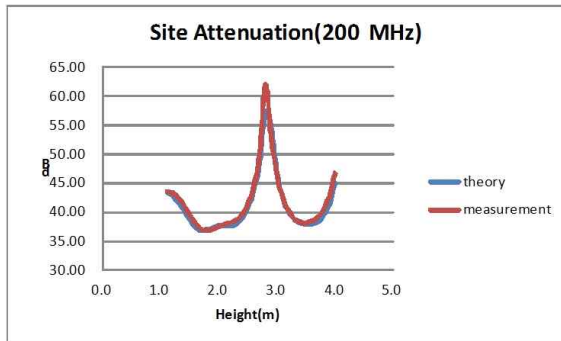
[그림 3-12] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(140 MHz)



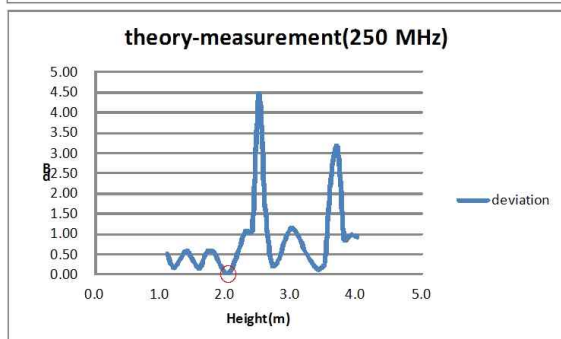
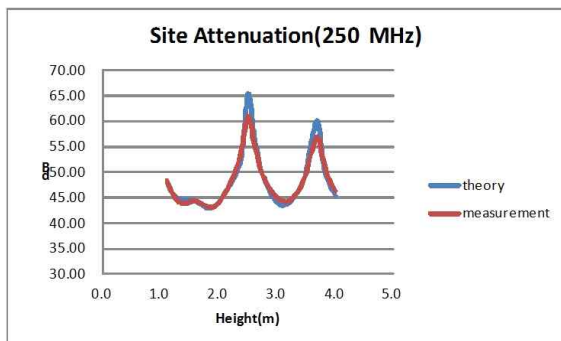
[그림 3-13] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(160 MHz)



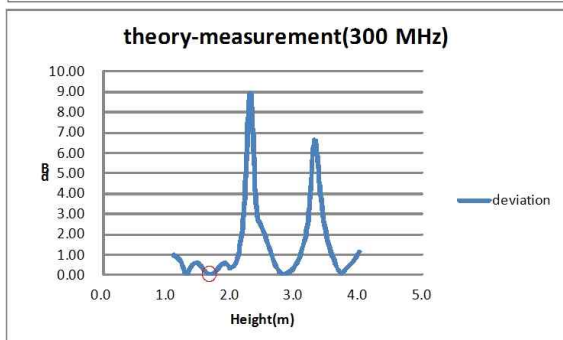
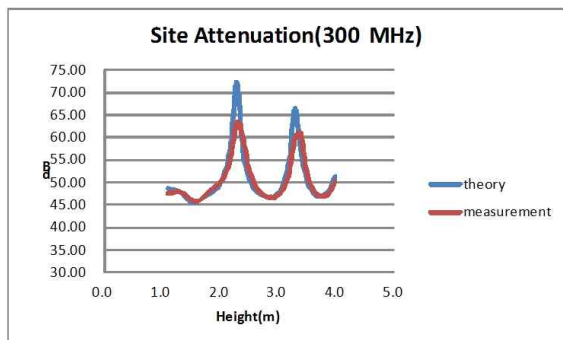
[그림 3-14] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(180 MHz)



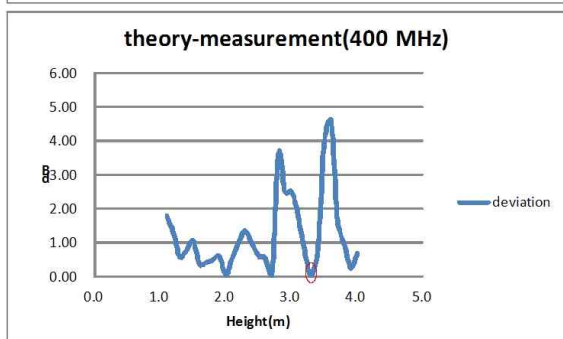
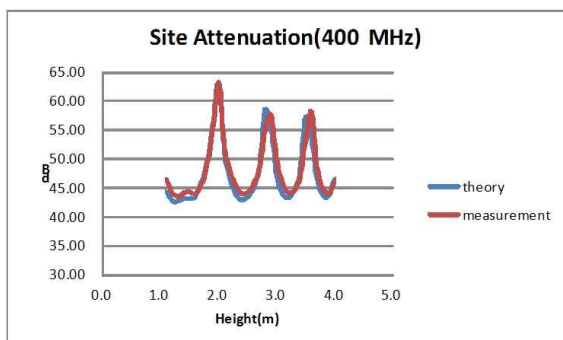
[그림 3-15] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(200 MHz)



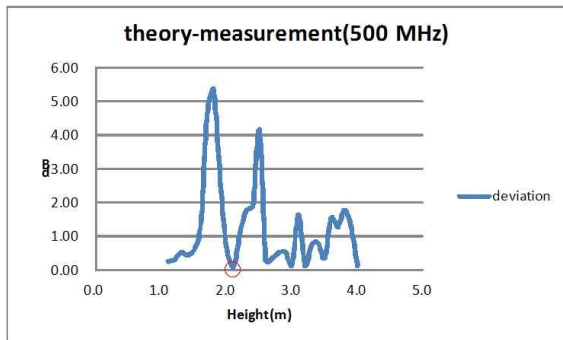
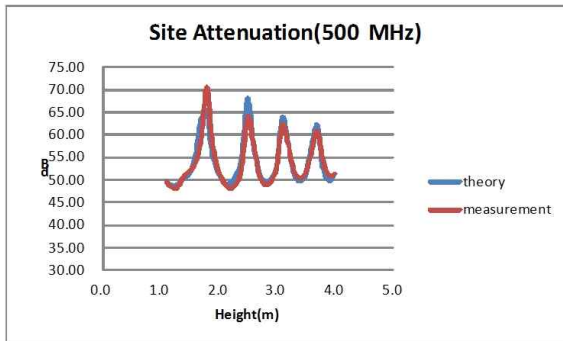
[그림 3-16] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(250 MHz)



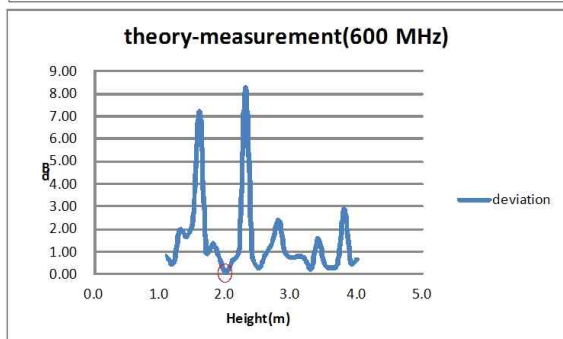
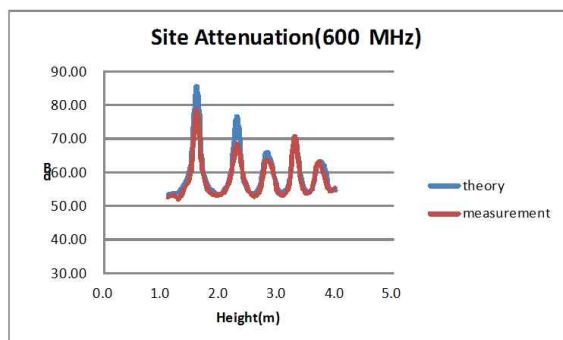
[그림 3-17] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(300 MHz)



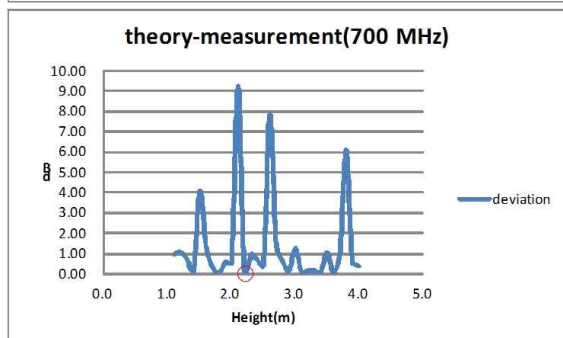
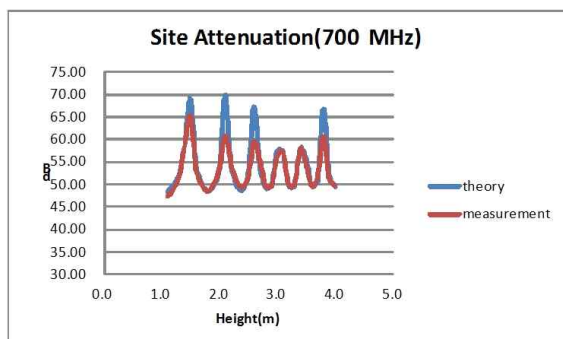
[그림 3-18] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(400 MHz)



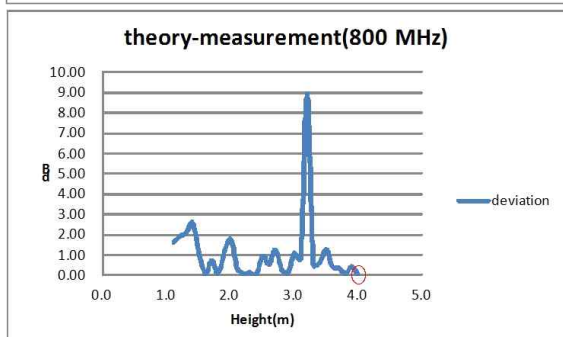
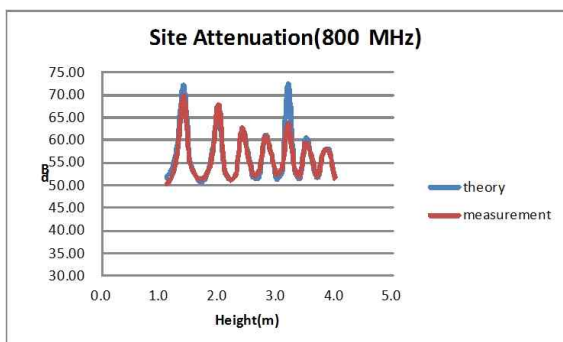
[그림 3-19] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(500 MHz)



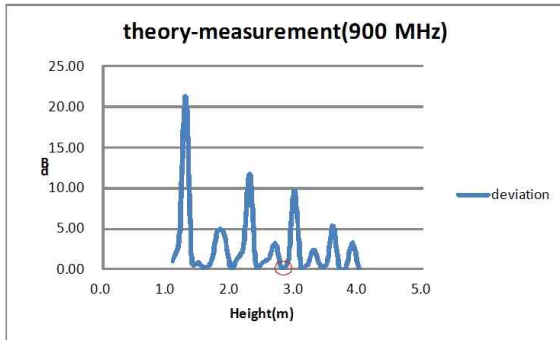
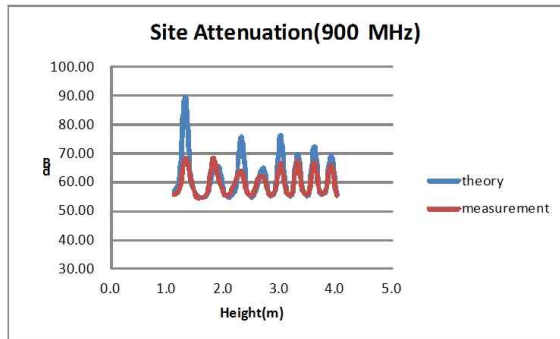
[그림 3-20] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(600 MHz)



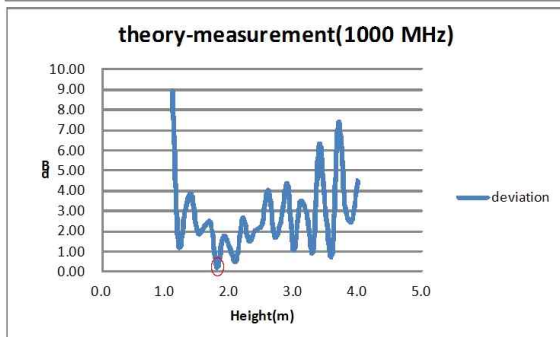
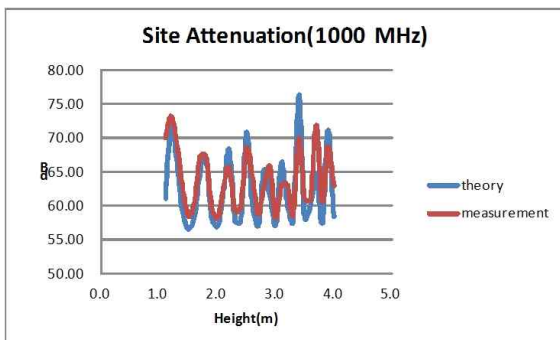
[그림 3-21] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(700 MHz)



[그림 3-22] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(800 MHz)



[그림 3-23] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(900 MHz)



[그림 3-24] 국립전파연구원 안테나 야외시험장에서 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교(1000 MHz)

제 2 절 R-SAM에 의한 NPL 안테나 인자 측정

반사파가 존재하는 야외시험장의 [그림 3-25]와 같은 구조를 고려해 본다.여기서 R-SAM의 기본 방정식 (2-7)에서

AF_R(dB/m)=-AF_T+A_RT+20logf_MHz-20logd_1-32 (2-7)

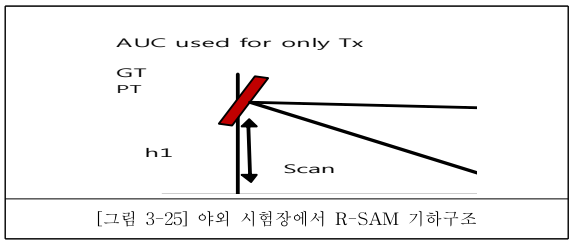
안테나 사이의 직접파 경로거리 d_1은 직접파와 반사파의 합을 나타내는 거리 인자 D로 대체되어 다음과 같이 주어진다.

AF_R(dB/m)=-AF_T+A_RT+20logf_MHz+20logD-32 (3-1)

여기서 D는 다음과 같이 주어진다.

D=frac(sqrt(d_1^2+d_2^2-2d_1d_2cos[frac{pi}{150}f_MHz(d_2-d_1)]}{d_1d_2} (3-2)

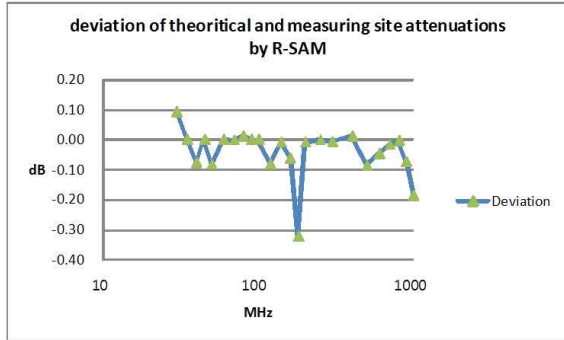
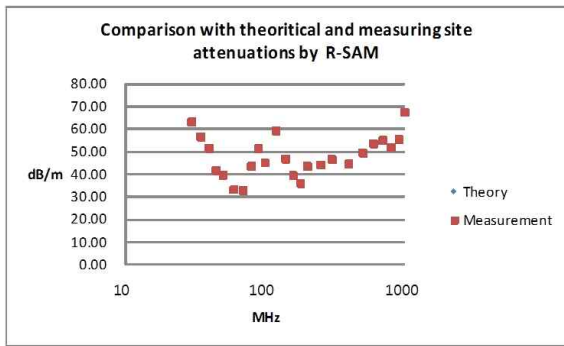
f_MHz는 MHz 단위로 표시한 주파수 이다.



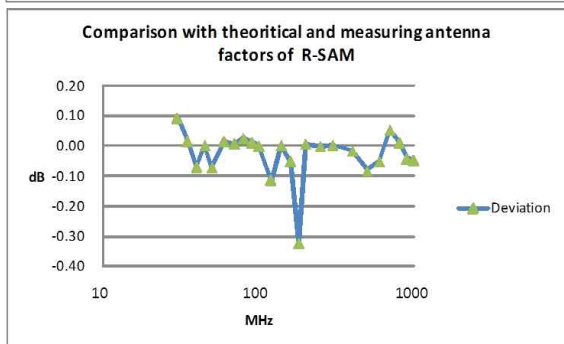
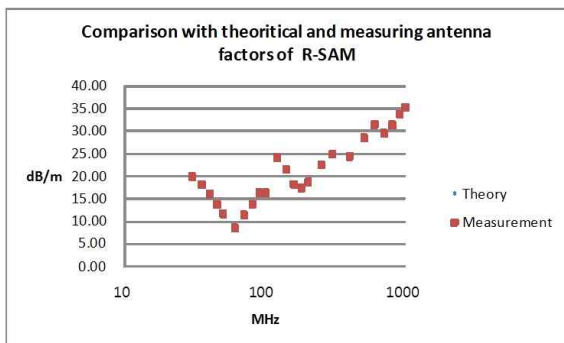
안테나 사이의 거리 d_1=10 m이고 높이가 [표 1-4]에서 주어진 NPL 안테나의 시험장 감쇠 이론값의 국립전파연구원 교정시험장과 정합된 높이에서 R-SAM에 의하여 측정한 안테나인자와 이론값의 [표 1-4]와 [그림 3-26] 및 [그림 3-27]에서 비교하고 있다.

표 1-4 NPL 표준안테나 인자 이론값 및 측정값 비교

주파수(MHz)	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120	140
이론인자 (dB/m)	19.99	18.04	16.04	13.60	11.65	8.53	11.35	13.76	16.25	16.28	23.85	21.42
측정인자 (dB/m)	19.90	18.03	16.11	13.60	11.72	8.52	11.34	13.73	16.24	16.28	23.96	21.42
차이(dB)	0.09	0.01	-0.07	0.00	-0.07	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	-0.11	0.00
높이(m)	3	3	2.8	3.9	2.7	2.2	3.6	1.6	1.2	1.6	3.4	2.1
주파수(MHz)	160	180	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
이론인자 (dB/m)	18.17	17.00	18.50	22.39	24.76	24.41	28.26	31.29	29.46	31.28	33.61	35.16
측정인자 (dB/m)	18.22	17.32	18.49	22.39	24.76	24.43	28.34	31.34	29.41	31.27	33.65	35.21
차이(dB)	-0.05	-0.32	0.01	0.00	0.00	-0.02	-0.08	-0.05	0.05	0.01	-0.04	-0.05
높이	4	1.9	1.1	2	1.7	3.3	2.1	2	2.2	4	2.8	1.8



[그림 3-26] R-SAM에 의한 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 시험장 감쇠량과 측정값 비교



[그림 3-27] R-SAM에 의한 NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 이론적인 안테나인자와 측정값 비교

제 3 절 NPL 안테나의 시간영역 특성 측정 및 반사파 추적

R-SAM의 기본 방정식 (2-7)은 야외시험장에서 방정식 (3-1)과 달리 반사파 없이 자유공간 조건에서 안테나 사이의 직결거리 d_1 과 그때의 안테나 사이의 삽입손실 A_{RT} 를 측정함으로써 송신안테나의 인자를 산출한다.

$$AF_R(dB/m) = -AF_T + A_{RT} + 20\log f_{MHz} - 20\log d_1 - 32 \quad (2-7)$$

야외시험장에서는 [그림 3-25]에서와 같이 직결파와 반사파가 수신안테나에 도달하여 합성 전기장 형태로 검출된다. 시간영역에서 이들은 순차적으로 수신 안테나에 도달하며 엘리어싱이 없는 측정범위 내에서 두 신호가 분리 되도록 한다면 반사파의 추적이 가능하게 되고 직결파만 추출할 수 있으면 그 때 직결파의 감쇠가 방정식 (2-7)의 삽입손실 A_{RT} 가 되어 송신 안테나의 자유공간 인자를 계산할 수 있다. 반사파를 추적하기 위하여 안테나 사이의 거리를 10m, 같은 높이를 유지하는 송수신 안테나가 1m에서 10m로 가변시키며 1m 간격으로 측정한다. 네트워크 분석기 주파수 스패는 30MHz ~ 1000MHz이고 측정점수는 5001로 설정하였다. 방정식 (2-11)과 (2-12)에 의한 측정범위는 시간으로는 $5.16\mu s$, 거리로는 약 1547m가 되어 현재의 측정조건에서는 엘리어싱이 일어날 수가 없다.

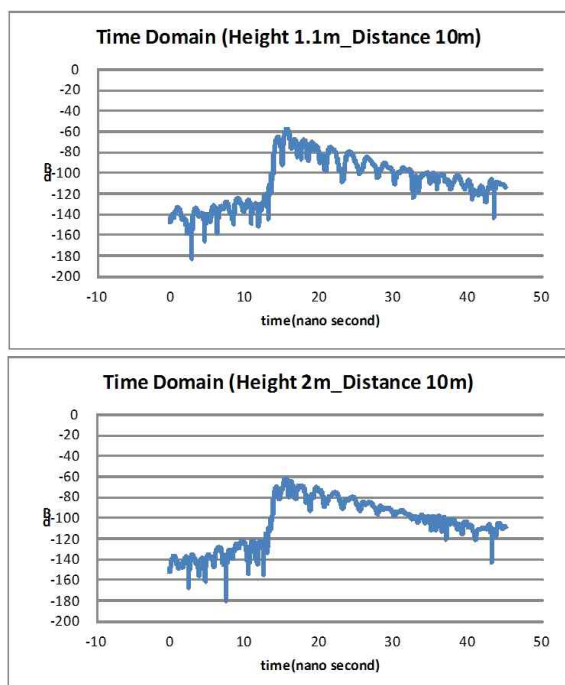
$$T = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{(f_N - f_0)/N} = \frac{N}{f_N - f_0} \quad (2-11)$$

$$D = T \times c \quad (m) \quad (2-12)$$

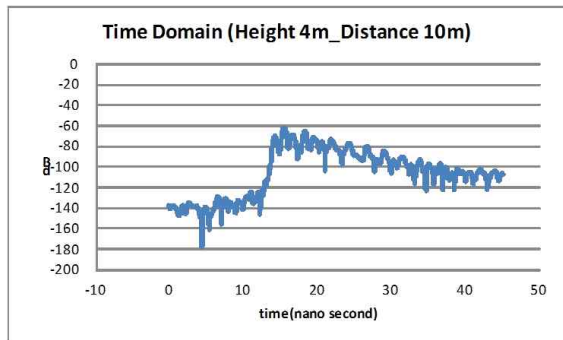
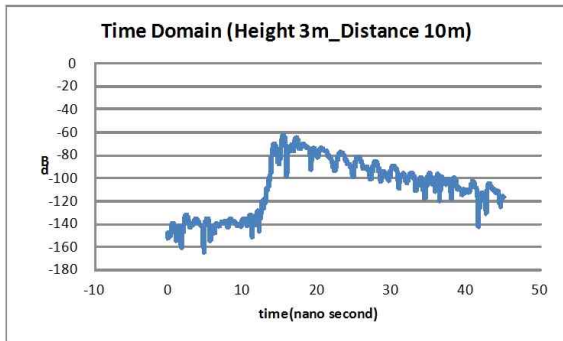
[표 1-5] NPL 다이폴 소자의 주파수 대역

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

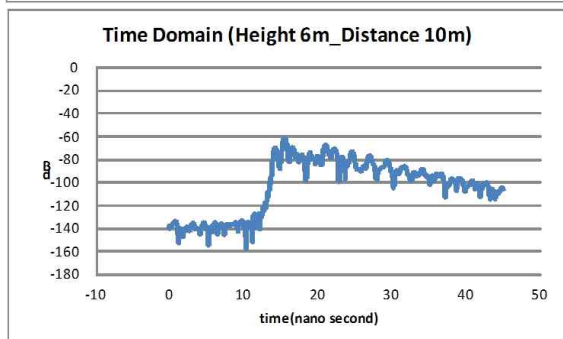
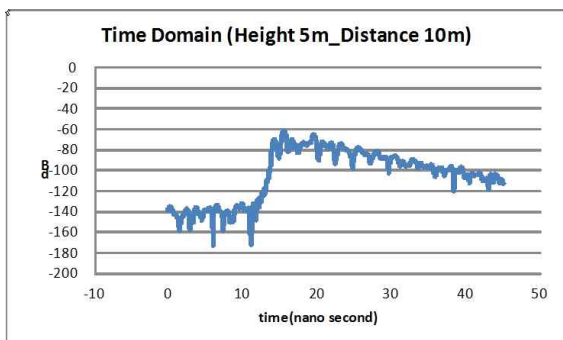
NPL 표준안테나는 소자가 4개로 구성되었으며 각 소자의 주파수 대역은 [표 1-5]에서 보는바와 같다. 각 소자에 의한 반사파 추적은 다음 그림에서 볼 수 있다.



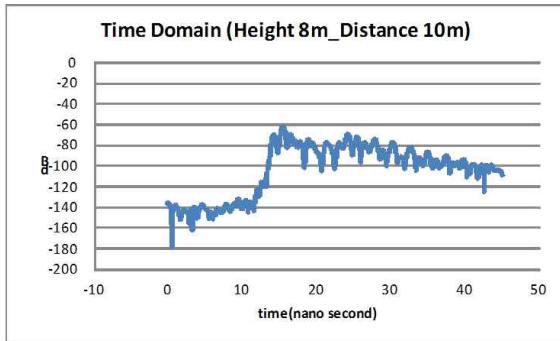
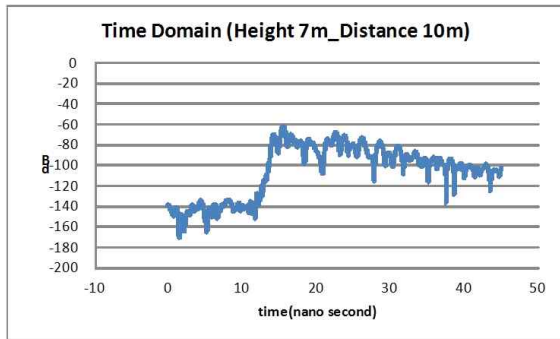
[그림 3-28] NPL 다이폴 소자1(대역폭 20MHz~100MHz)의 시간영역 특성 높이 1.1m(상) 및 2m(하)



[그림 3-29] NPL 다이폴 소자1(대역폭 20MHz~100MHz)의 시간영역 특성
높이 3m(상) 및 4m(하)

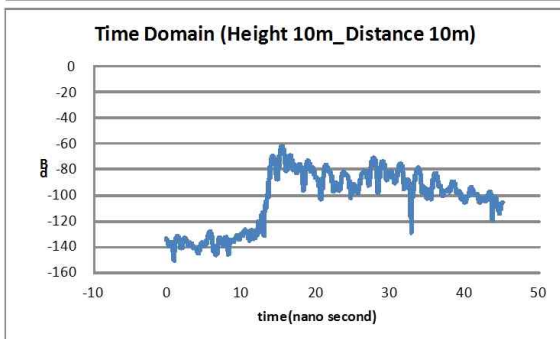
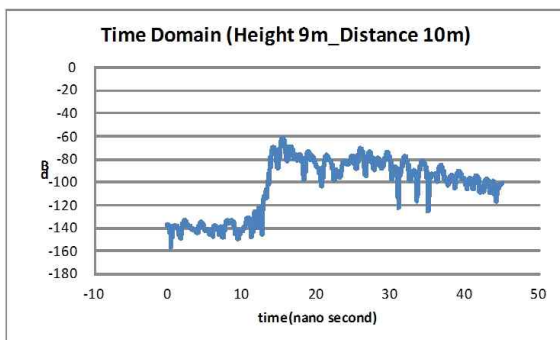


[그림 3-30] NPL 다이폴 소자1(대역폭 20MHz~100MHz)의 시간영역 특성
높이 5m(상) 및 6m(하)



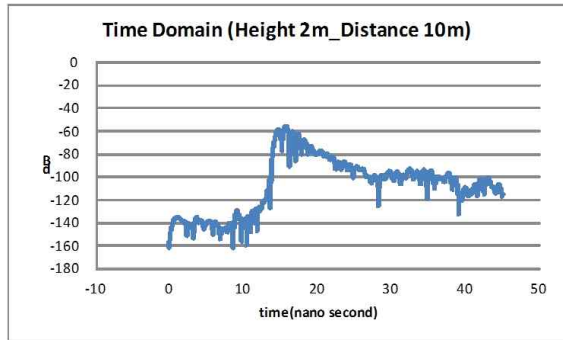
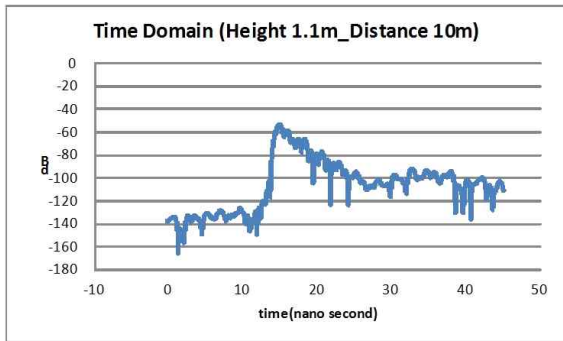
[그림 3-31] NPL 다이폴 소자1(대역폭 20MHz~100MHz)의 시간영역 특성
높이 7m(상) 및 8m(하)

51

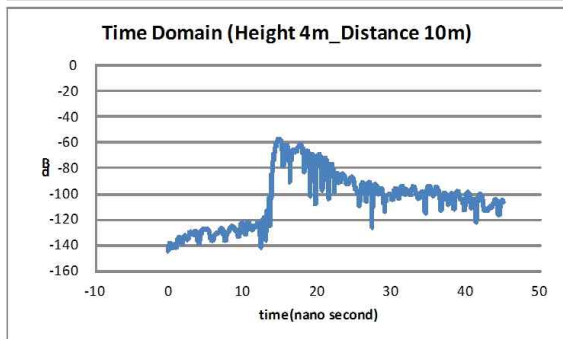
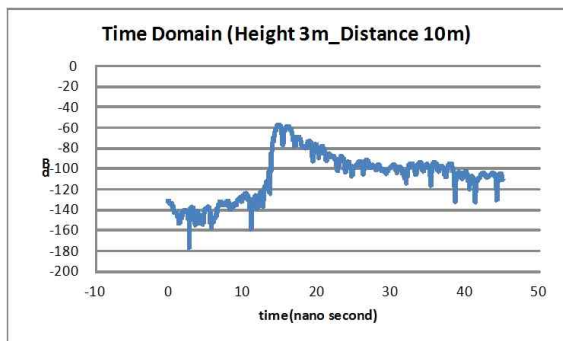


[그림 3-32] NPL 다이폴 소자1(대역폭 20MHz~100MHz)의 시간영역 특성
높이 9m(상) 및 10m(하)

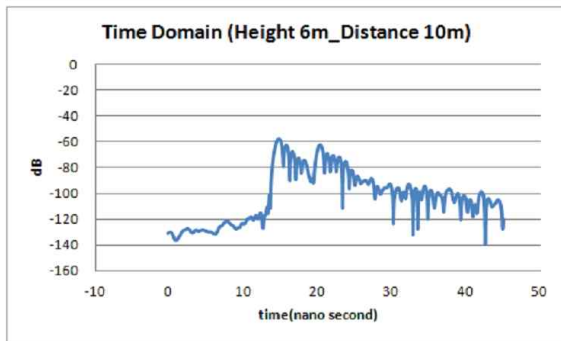
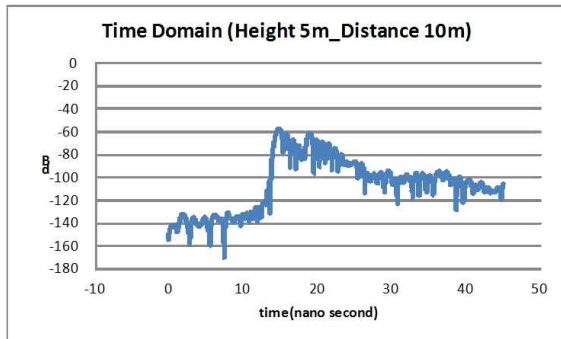
52



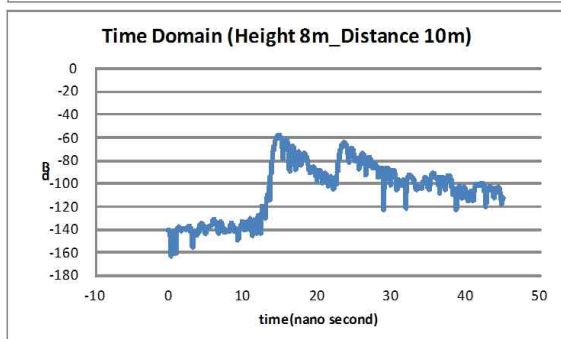
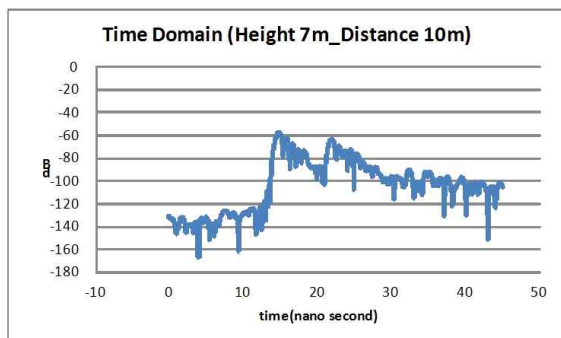
[그림 3-33] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 시간영역 특성
높이 1.1m(상) 및 2m(하)



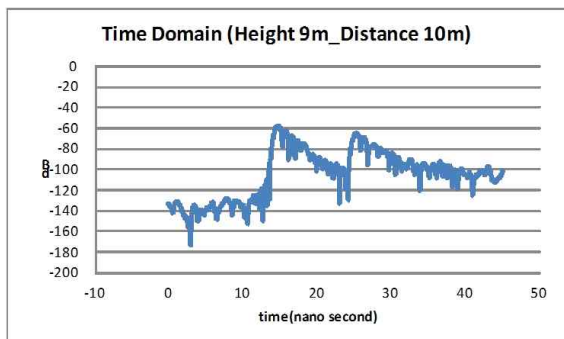
[그림 3-34] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 시간영역 특성
높이 3m(상) 및 4m(하)



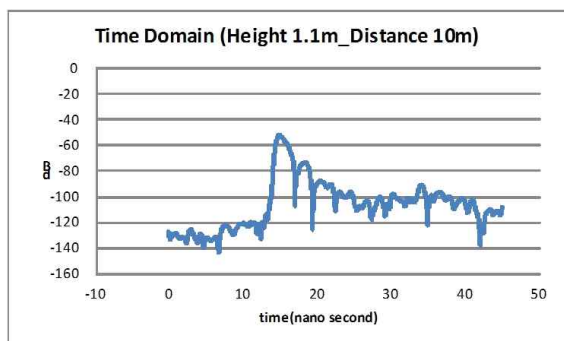
[그림 3-35] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 시간영역 특성
높이 5m(상) 및 6m(하)



[그림 3-36] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 시간영역 특성
높이 7m(상) 및 8m(하)

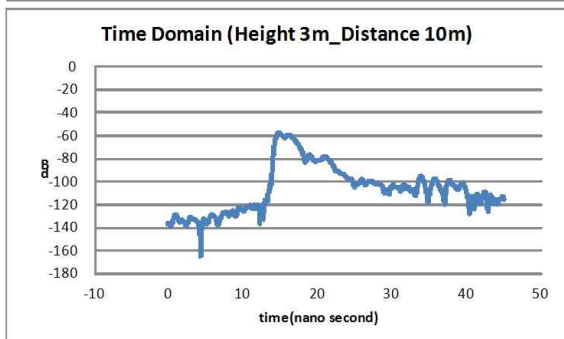
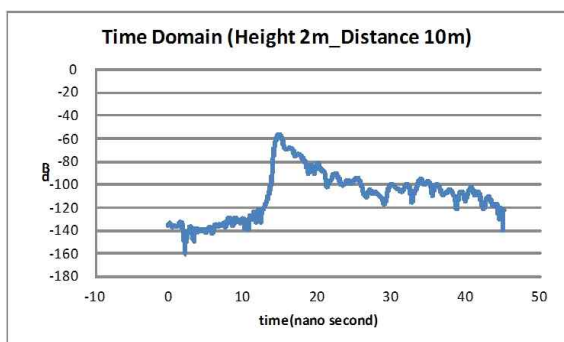


[그림 3-37] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 시간영역 특성
높이 9m



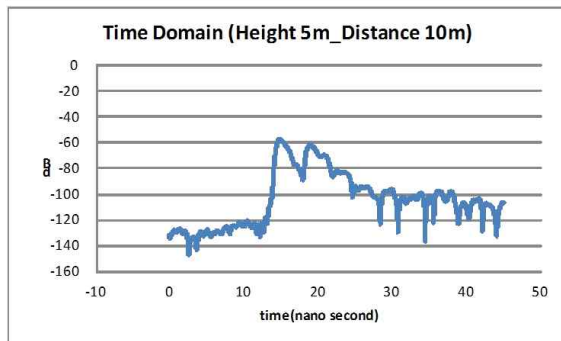
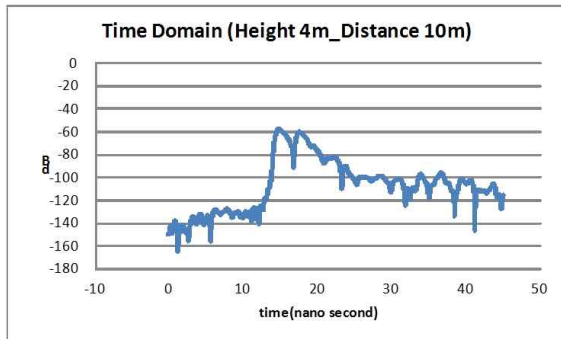
[그림 3-38] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 시간영역 특성
높이 1.1m

57

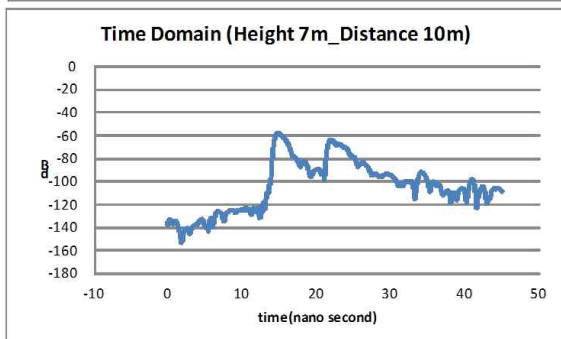
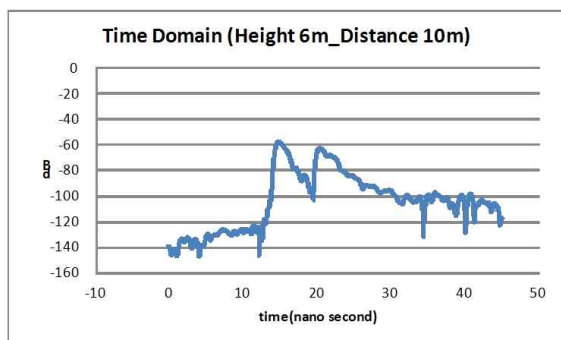


[그림 3-39] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 시간영역 특성
높이 2m(상) 및 3m(하)

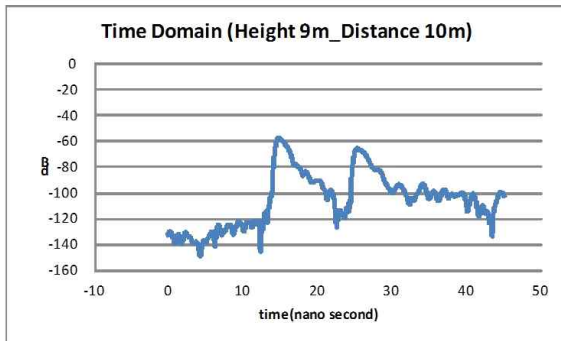
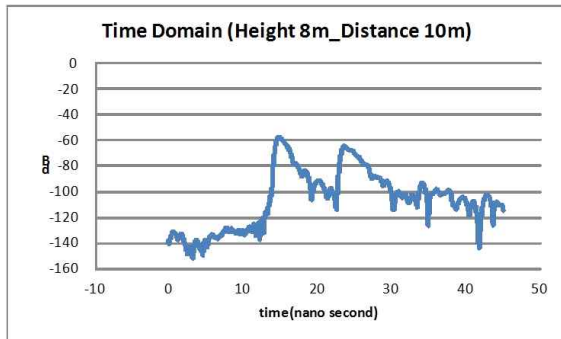
58



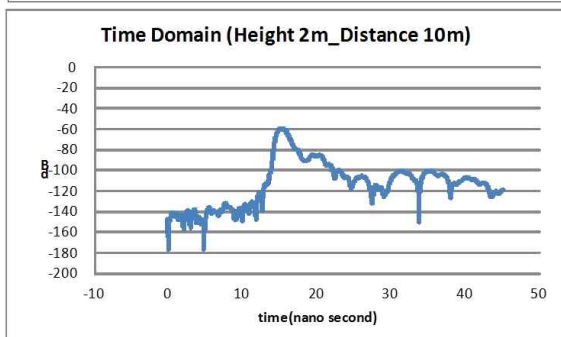
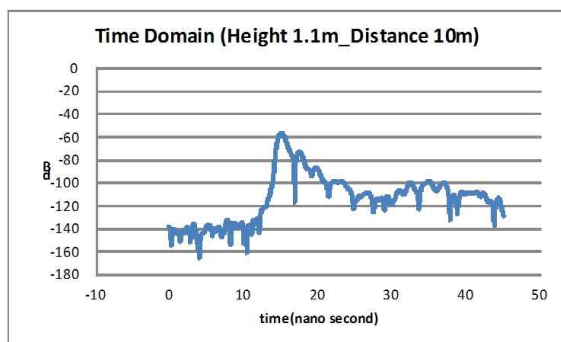
[그림 3-40] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 시간영역 특성
높이 4m(상) 및 5m(하)



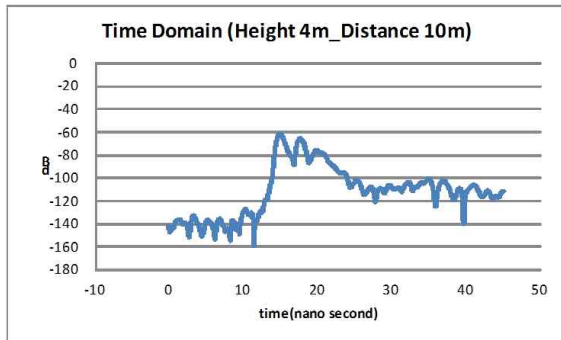
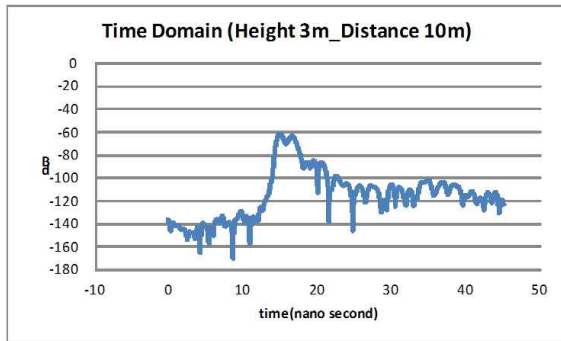
[그림 3-41] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 시간영역 특성
높이 6m(상) 및 7m(하)



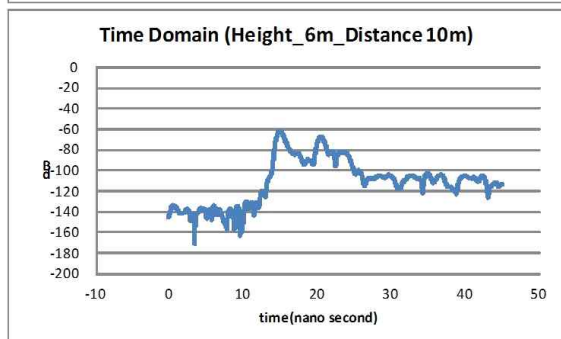
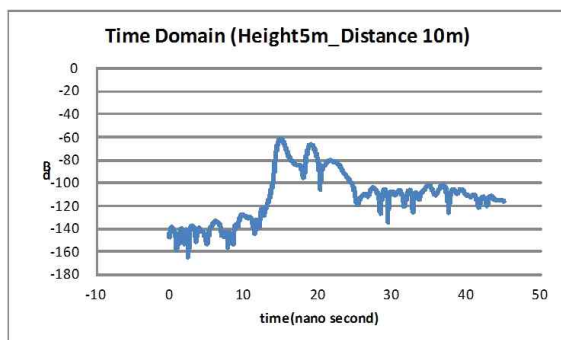
[그림 3-42] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 시간영역 특성
높이 8m(상) 및 9m(하)



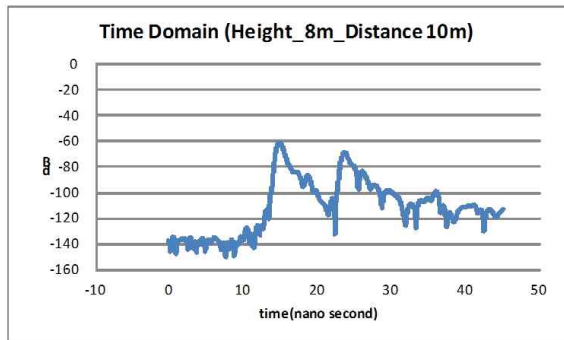
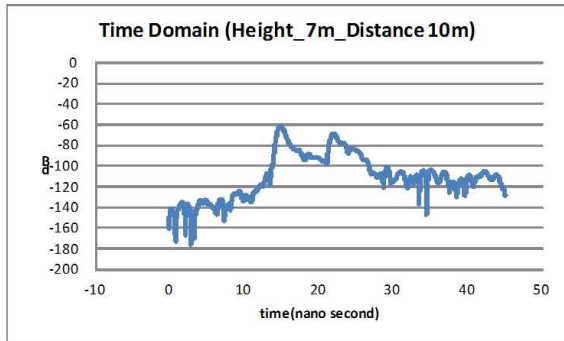
[그림 3-43] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 시간영역 특성
높이 1.1m(상) 및 2m(하)



[그림 3-44] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 시간영역 특성 높이 3m(상) 및 4m(하)

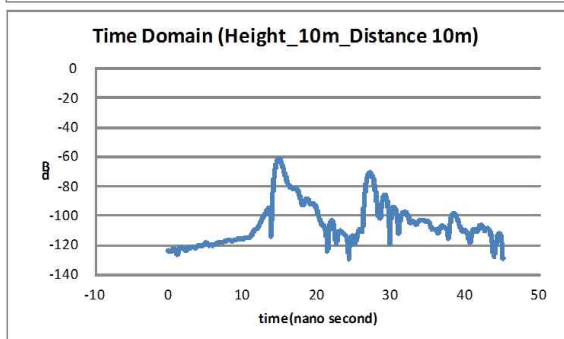
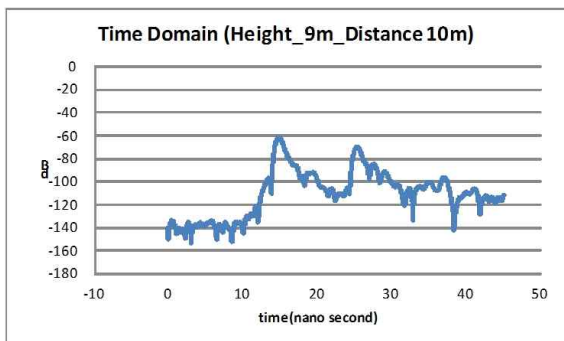


[그림 3-45] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 시간영역 특성 높이 5m(상) 및 6m(하)



[그림 3-46] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 시간영역 특성
높이 7m(상) 및 8m(하)

65



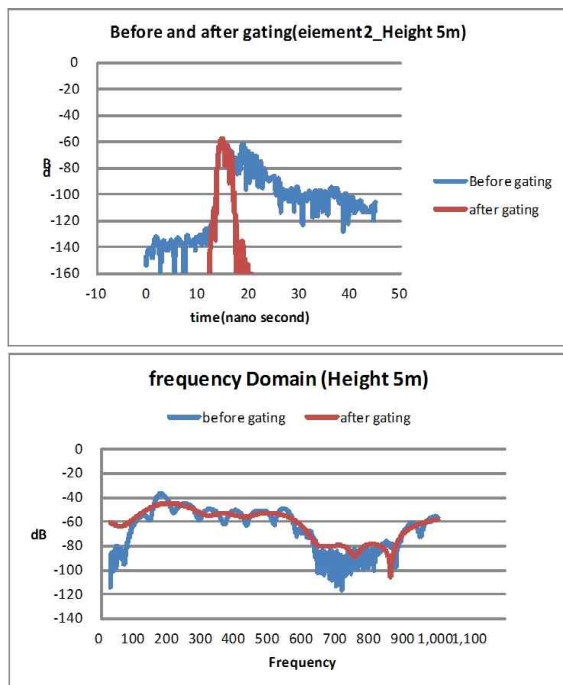
[그림 3-47] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 시간영역 특성
높이 9m(상) 및 10m(하)

66

제 4 절 게이팅 : 직접파 추출

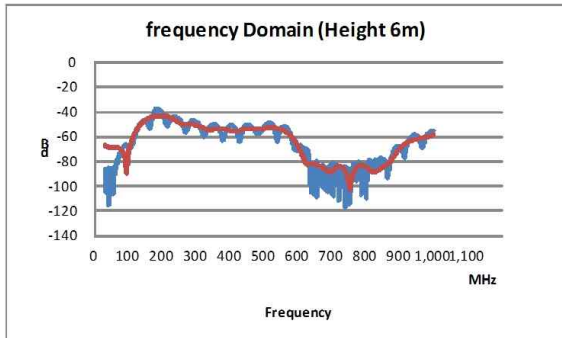
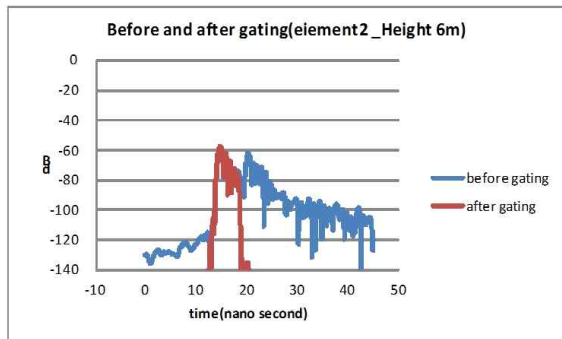
주파수 대역이 30MHz~100MHz인 엘리먼트1은 [그림 3-28]에서 [그림 3-32]까지 보듯이 직접파와 반사파의 분리가 관찰되지 않는다. 이는 주파수 폭이 70MHz에 불과하기 때문으로 보여진다. 주파수 폭이 200MHz, 300MHz, 400MHz인 엘리먼트 2, 3 및 4는 안테나 높이가 5m부터 직접파와 반사파의 분명한 분리가 관찰된다. 게이팅을 통해 직접파를 분리하고 역푸리에 변환으로 직접파만의 주파수 응답을 추출해낸다. 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수영역의 비교 그래프가 아래의 그림으로부터 비교할 수가 있다.

67

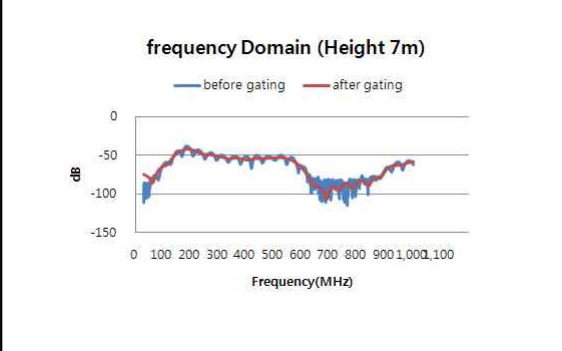
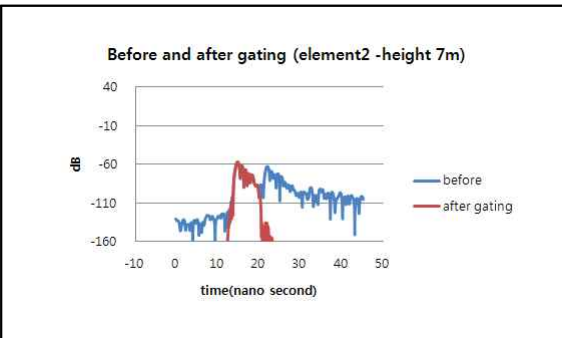


[그림 3-48] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 5m)

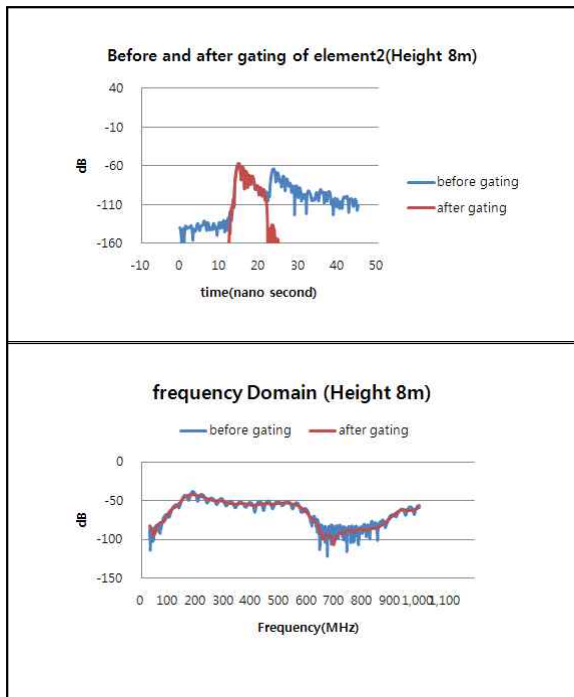
68



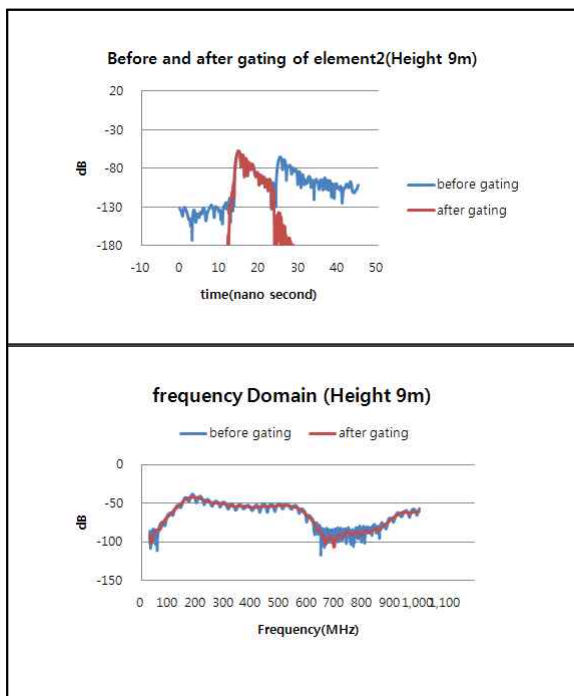
[그림 3-49] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 6m)



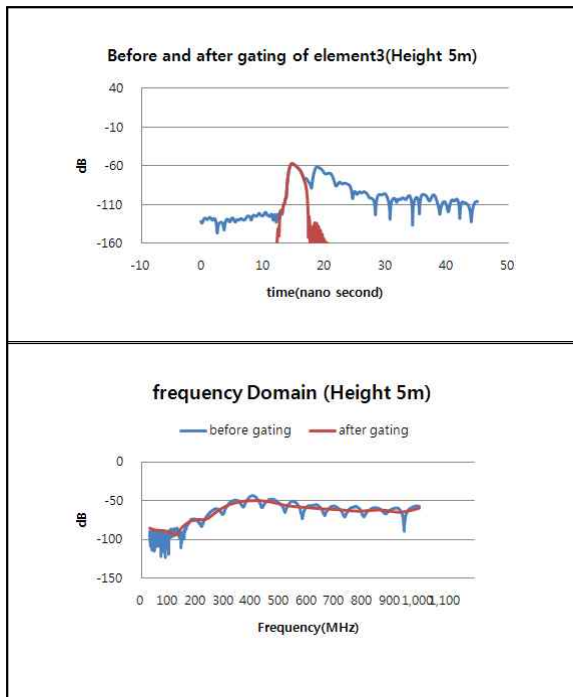
[그림 3-50] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 7m)



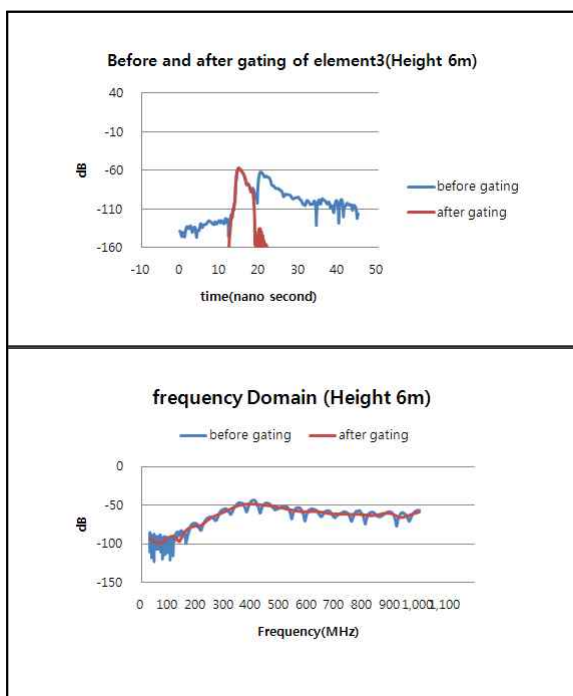
[그림 3-51] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 8m)



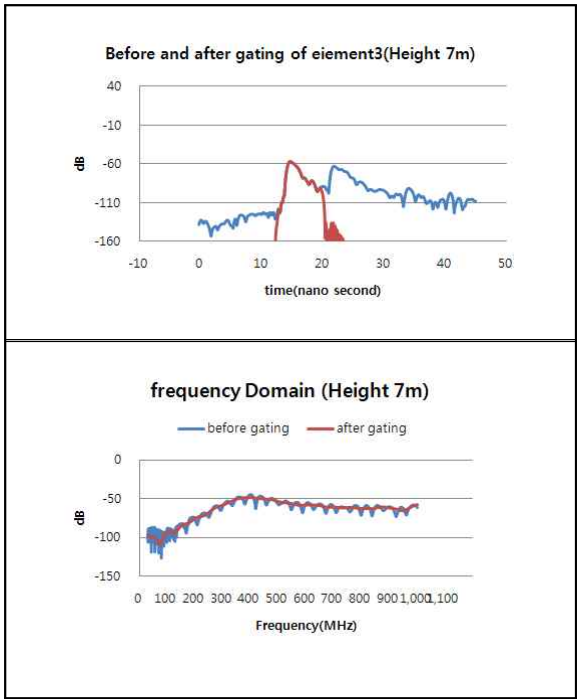
[그림 3-52] NPL 다이폴 소자2(대역폭 100MHz~300MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 9m)



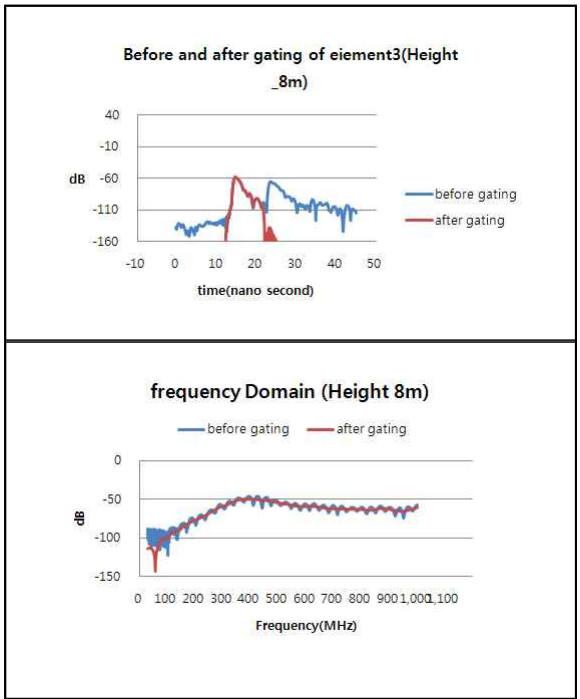
[그림 3-53] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 5m)



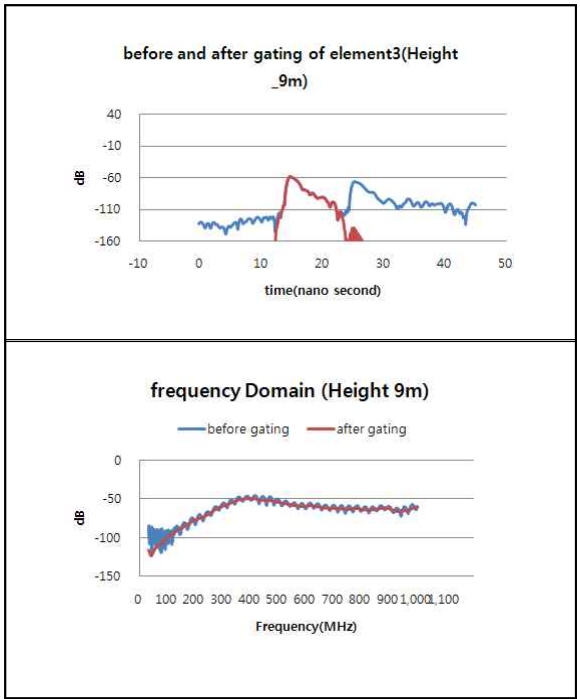
[그림 3-54] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 6m)



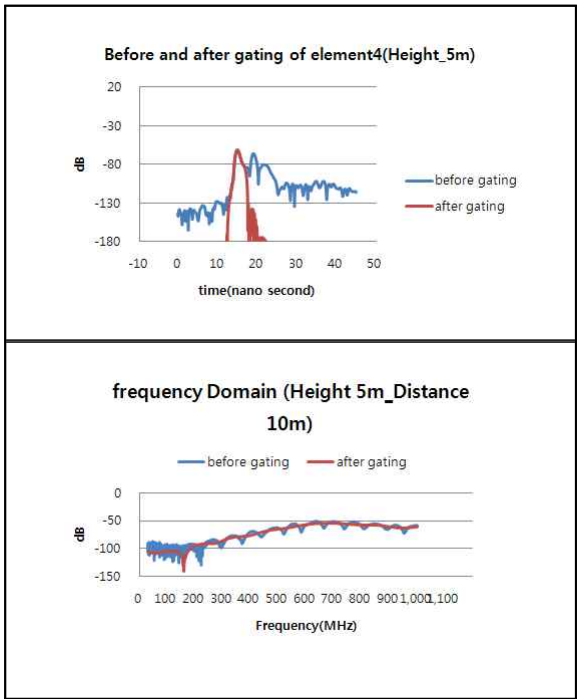
[그림 3-55] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 7m)



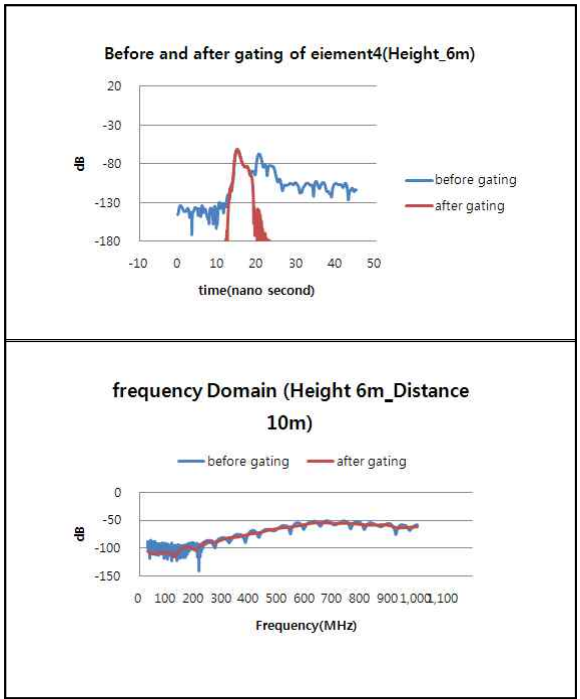
[그림 3-56] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 8m)



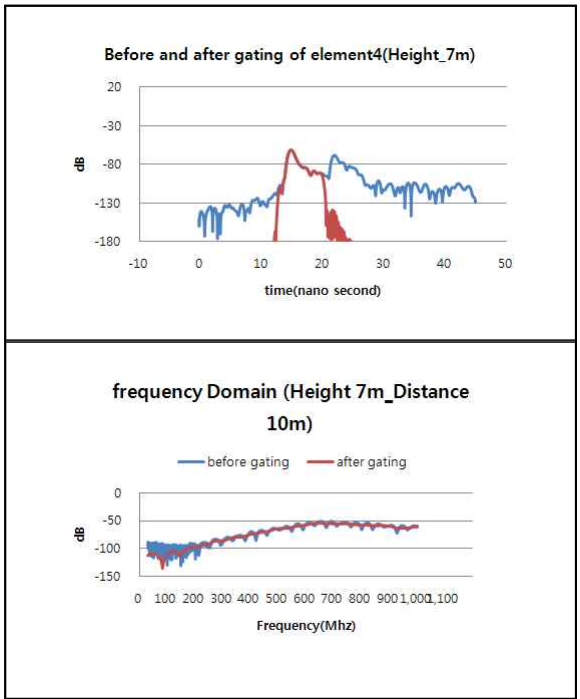
[그림 3-57] NPL 다이폴 소자3(대역폭 300MHz~600MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 9m)



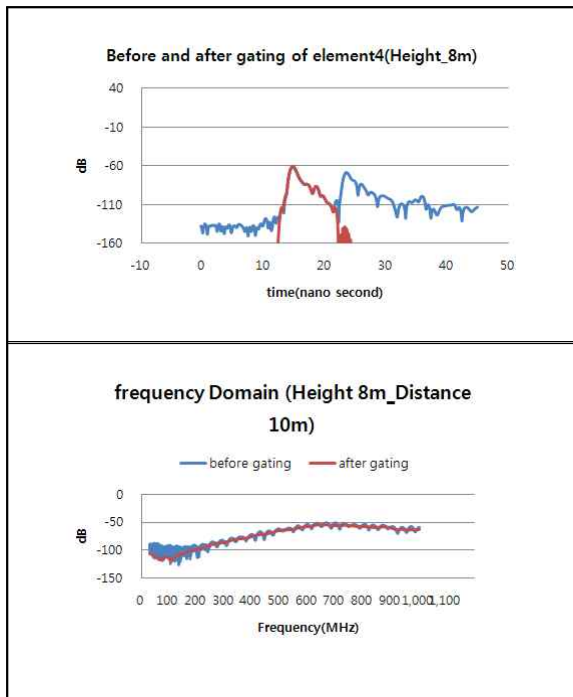
[그림 3-58] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 5m)



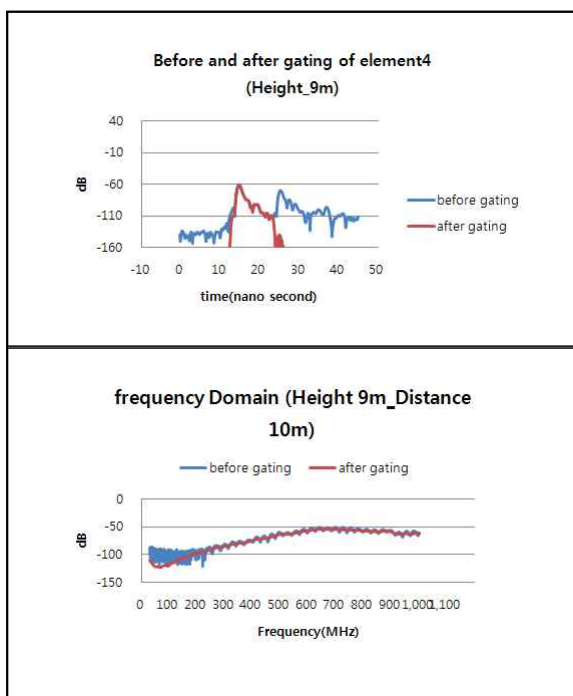
[그림 3-59] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 6m)



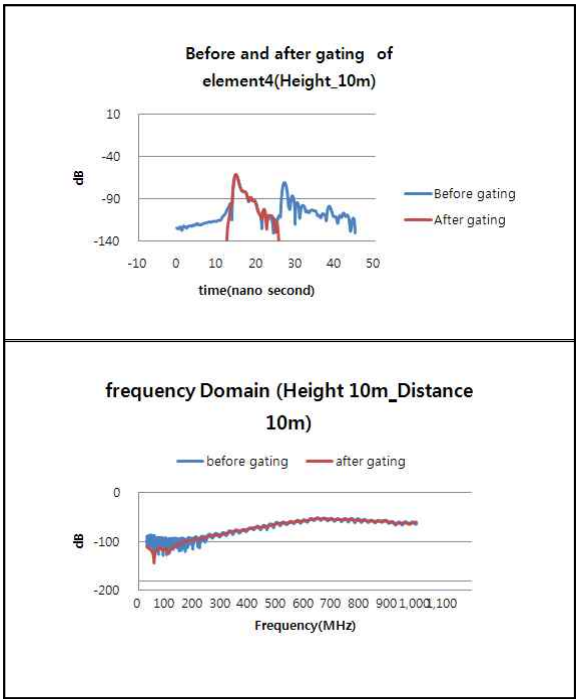
[그림 3-60] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 7m)



[그림 3-61] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 8m)



[그림 3-62] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 9m)



[그림 3-63] NPL 다이폴 소자4(대역폭 600MHz~1000MHz)의 게이팅 전후의 시간영역 및 주파수 특성 (높이 10m)

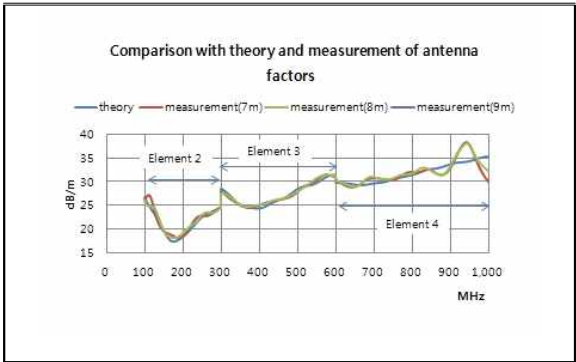
83

제 5 절 안테나 인자 산출

시간영역 반사파 추적에 의하여 게이팅을 통해 직접파를 추출하고 이를 역 푸리에 변환으로 주파수 영역의 데이터를 얻었다면 이렇게 얻은 직접파의 주파수 응답은 자유공간의 안테나 삽입손실이 될 것이다. R-SAM에서 안테나 사이의 삽입손실을 측정하는 방식으로 자유공간 안테나 인자를 구하는 식은 방정식 (2-7)과 같다.

$$AF_R(dB/m) = -AF_T + A_{RT} + 20\log f_{MHz} - 20\log d_1 - 32 \quad (2-7)$$

안테나 높이 7m, 8m, 9m에서 산출한 안테나 인자와 이론적인 값을 그림 3-64에서 볼 수 있다.



[그림 3-64] NPL 다이폴 소자2, 3, 4에 대하여 안테나 높이 7m, 8m, 9m에서 시간영역 반사파 추적에 의해 R-SAM에 의하여 측정된 안테나 인자의 비교값

84

제 4 장 맺음말

본 보고서에서는 국립전파연구원 표준안테나법 R-SAM을 시간영역 측정 기술과 접목하여 표준안테나와 대상 안테나 두 개를 사용하여 한 번의 측정으로 자유공간 안테나인자를 산출하는 방법에 대하여 분석하고 측정 하였다. R-SAM을 적용하려면 안테나 인자를 알고있는 표준안테나가 필요하다. 본 연구를 수행하기 위하여 주파수 대역이 20MHz ~ 1020MHz인 안테나 인자가 이론적으로 계산된 NPL형 다이폴 안테나를 이용하였다. NPL형 표준안테나는 발룬에 하이브리드가 장착되고 그의 손실 특성이 측정 되었으며 엘리먼트가 4개로 20MHz ~ 100MHz, 100MHz ~ 300MHz, 300MHz ~ 600MHz 및 600MHz ~ 1020MHz의 광대역 주파수 특성을 갖는다. 이 표준안테나로 국립전파연구원 전파인증센터가 보유하고 있는 60m × 50m 크기의 금속면과 메쉬로 구성된 안테나 교정 야외시험장에서 1m에서 4m 높이의 범위로 이론값과 측정값의 정합 측정을 수행하였다. 30MHz에서 1000MHz에서 24 주파수의 모든 주파수에서 0.1dB 정도의 오차로 이론 및 측정값이 일치함을 보였다. 다만 180MHz에서 약 0.3dB 차이를 보인것이 아쉬운 점이다. 이는 높이와 안테나 사이의 거리를 더 정밀하게 조정함으로써 교정이 가능하다.

전자파의 시간영역측정에 대한 응용으로서 안테나 사이의 직접파와 반사파를 구분하기 위하여 그 경로차를 이용하여 직접파를 추출하고 그것의 역푸리에 변환으로 직접파만의 주파수 응답을 끌어내어 자유공간 안테나 인자를 측정하는데 적용하였다. NPL 표준안테나의 자유공간 안테나 이득 측정에 있어서 안테나를 접지면으로부터 1m부터 10m 까지 올려가면서 반사파를 추적하였다. NPL 표준안테나의 시간응답 특성을 측정하였고 엘리먼트 1은 반사파와 직접파의 분리가 어렵다는 것을 확인하였다. 엘리먼트 2와 3 및 4는 경로차를 점점 크게 함으로써 파의 분리를 확인하였다. 직접파와 반사파의 분리가 뚜렷한 안테나 높이가 7m 이상이었다. 그때의 안테나 인자를 계산하였다. 자유공간 안테나 인자를 비교하여 주파수 범위 100MHz ~ 300MHz 엘리먼트 2와 300MHz ~ 600MHz 엘리먼트 3의 측정값은 이론값과 비교적 잘 일치하였으나 600MHz ~ 1000MHz 엘리먼트 4는 다소 큰 차이를 보였다. 이는 안테나를 지지하고 10m까지 높이로 올리는 마스트 사이의 거리가 높은 위치에서 오차가 큰 것과 시간영역 및 주파수 변환 과정에서 게이팅 및 역

푸리에 변환과정에서 일종의 끝주파수에서 잘라내기 효과에 기인하는 것으로 추정된다.

본 보고서에서의 연구결과를 토대로 2014년에는 1GHz 이상 대역과 30MHz 이하에서 R-SAM을 더 확고히 하면서 1GHz 이상의 혼안테나의 시간영역 융합 연구를 진행할 예정이다.

[참고문헌]

- [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 한국전자과학회 종합학술발표회 Vol. 14, No.1, 2004.11.5
- [16] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design" John Wiley & Sons, 1982
- [17] Microwave Antenna Theory and Design by Silver, Vol. 12, Radiation Laboratory Series, 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. Friis, "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"
- [31] 박정규 외, "시간영역에서 안테나 교정방법 연구 " 2011년도 전파연구보고서
- [32] 박정규, 김우년, "시간영역에서 안테나 이득 측정 연구 " 한국전자과학회 논문지 2012, Nov 23(11) pp 1217~1227
- [33] 박정규 외, "자체개발 안테나 교정방법 유효성 확인 연구 " 2012년도 전파연구보고서
- [34] Jungkuy Park et. al, "Height Average Analysis of Antenna Factors for EMI Antenna", 2009 IEEE EMC Symposium . Aug 2009.
- [35] Sakasai M., et.al., *Evaluation of Uncertainty in Free-space Antenna Factor Calibration in CRL*. Proc. of EMC symposium in Sendai, pp.657-660, June 2004.
- [36] Agilent , "*Agilent Time Domain Analysis using a network analyzer* " Application Note 1287-12