

# R-SAM 측정방법 국제표준화 추진

2016. 12.



국립전파연구원

National Radio Research Agency



# 제 출 문

본 보고서를 「R-SAM 측정방법 국제표준화 추진」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 12. 31.

연구책임자1 : 윤세정(전파시험인증센터 적합성인증과)

연구책임자2 : 이보원(전파시험인증센터 적합성인증과)

김희백(전파시험인증센터 적합성인증과)

임종혁(전파시험인증센터 적합성인증과)

최윤조(전파시험인증센터 적합성인증과)



## 요 약 문

본 보고서는 2011년 국립전파연구원에서 새롭게 개발한 표준안테나 법 R-SAM(Radio Research Agency - Standard Antenna Method)의 유효성을 검증하여 '16년 CISPR 총회에 기고한 내용을 기술하였다. 단 한 번의 측정으로 안테나 인자를 결정하기 위해 1 GHz ~ 18 GHz(7개 대역)의 동등한 안테나를 사용하는 새로운 개념의 표준안테나(안테나 인자)를 제안하였다. 제작된 혼 안테나의 동등 특성을 검증하기 위하여 임의의 공통 전송 안테나와 제작된 안테나 사이의 시험장 감쇠량을 측정하고 두 결과를 상호비교 함으로써 최대오차가 0.19 dB 차이를 보임으로써 모든 대역에서 동등성을 검증 하였다. 또한 동등성이 확보된 안테나를 사용하여 동등한 표준안테나(안테나 인자)를 정의 내렸다. 또한, R-SAM 측정방법의 유효성을 검증하기 위하여 표준안테나 인자를 이용하여 광대역 혼 안테나(SCHWARZBECK BBHA9120 D model)를 R-SAM에 의해 안테나 인자를 산출하고 3-안테나 법(TAM)으로 산출한 안테나 인자와 상호 비교하였다. 측정된 두 결과로부터 0.2 dB 이내의 측정오차로 결과가 잘 일치함을 보임으로써 R-SAM 측정법의 유효성이 검증되었다. R-SAM은 수신측에 기준안테나를 놓고 송신 안테나를 측정할 수 있는 획기적인 방법이기 때문에 실 환경에서 사용되고 있는 상용 안테나에도 R-SAM 측정법을 확대 적용하기 위하여 약 18 GHz, 37 GHz 대역의 강우감쇠 측정용 안테나의 인자를 산출하였다. 측정된 결과로부터 안테나 인자의 결과는 18 GHz대역에서 0.28 dB, 37 GHz대역에서 0.14 dB의 차이를 보임으로써 고정 안테나 측정에도 R-SAM 측정법이 유효하다는 것을 증명하였다.



# 목 차

|   |    |
|---|----|
| 제1장 서 론 .....                             | 1  |
| 제2장 전파연구원형 표준안테나법(R-SAM) .....            | 2  |
| 제1절 안테나 측정 기본 이론 .....                    | 2  |
| 제2절 R-SAM 측정 이론 .....                     | 6  |
| 제3절 표준안테나 .....                           | 8  |
| 제3장 국제표준화 단계 및 절차.....                    | 10 |
| 제1절 국제표준화 추진 단계 및 절차 .....                | 10 |
| 제2절 R-SAM 측정방법 IEC/CISPR 국제표준화회의 기고 ..... | 16 |
| 제4장 상용(강우감쇠)안테나를 사용한 R-SAM 유효성 검증 .....   | 57 |
| 제1절 동등 표준 안테나의 안테나 인자 산출 .....            | 57 |
| 제2절 상용(강우감쇠)안테나의 안테나 인자 산출.....           | 58 |
| 제5장 맺음말.....                              | 63 |
| * 참고문헌 .....                              | 64 |

# 표 목 차

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| [표 3.1.1] | 프로젝트 단계 및 관련 문서 .....                        | 10 |
| [표 3.3.1] | 1.12 GHz ~ 1.8 GHz대역 동등성 평가 결과 .....         | 22 |
| [표 3.3.2] | 1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역 동등성 평가 결과 .....          | 24 |
| [표 3.3.3] | 2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역 동등성 평가 결과 .....         | 25 |
| [표 3.3.4] | 3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역 동등성 평가 결과 .....        | 27 |
| [표 3.3.5] | 5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역 동등성 평가 결과 .....         | 28 |
| [표 3.3.6] | 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역 동등성 평가 결과 .....         | 30 |
| [표 3.3.7] | 12.5 GHz ~ 18 GHz대역 동등성 평가 결과 .....          | 31 |
| [표 3.4.1] | 1.12 GHz ~ 1.8 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자 .....  | 35 |
| [표 3.4.2] | 1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자 .....   | 36 |
| [표 3.4.3] | 2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자 .....  | 37 |
| [표 3.4.4] | 3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자 ..... | 38 |
| [표 3.4.5] | 5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자 .....  | 39 |
| [표 3.4.6] | 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자 .....  | 40 |
| [표 3.4.7] | 12.5 GHz ~ 18 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자 .....   | 41 |
| [표 3.5.1] | 측정결과 상호비교(1.12 GHz ~ 1.8 GHz대역) .....        | 43 |
| [표 3.5.2] | 측정결과 상호비교(1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역) .....         | 45 |
| [표 3.5.3] | 측정결과 상호비교(2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역) .....        | 47 |
| [표 3.5.4] | 측정결과 상호비교(3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역) .....       | 49 |
| [표 3.5.5] | 측정결과 상호비교(5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역) .....        | 51 |
| [표 3.5.6] | 측정결과 상호비교(8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역) .....        | 53 |
| [표 3.5.7] | 측정결과 상호비교(12.5 GHz ~ 18 GHz대역) .....         | 55 |
| [표 4.1.1] | 동등 표준안테나 안테나 인자(12.5 GHz ~ 18 GHz대역) .....   | 57 |
| [표 4.1.2] | 동등 표준안테나 안테나 인자(26.5 GHz ~ 40 GHz대역) .....   | 55 |
| [표 4.2.1] | 강우감쇠 측정용 안테나시스템 제원 .....                     | 59 |

## 그림 목 차

|            |  |    |
|------------|--|----|
| [그림 2.1.1] | 면적 A를 통과하는 전자기파의 전력 .....                      | 2  |
| [그림 2.1.2] | 등방성 안테나의 단위체적당 방사 전력 .....                     | 3  |
| [그림 2.1.3] | 실제 안테나의 단위체적당 방사 전력 .....                      | 3  |
| [그림 2.1.4] | 안테나 인자의 정의 .....                               | 6  |
| [그림 2.2.1] | 국립전파연구원형 표준안테나법(R-SAM)의 측정 구성 .....            | 6  |
| [그림 3.3.1] | 혼 안테나 급전도파관 및 개구면 구조 .....                     | 17 |
| [그림 3.3.2] | 치환법에 의한 안테나 사이의 감쇠량 측정 비교 .....                | 22 |
| [그림 3.3.3] | 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(1.1 GHz ~ 1.8 GHz) .....   | 23 |
| [그림 3.3.4] | 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(1.8 GHz ~ 2.6 GHz) .....   | 25 |
| [그림 3.3.5] | 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(2.6 GHz ~ 3.95 GHz) .....  | 26 |
| [그림 3.3.6] | 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(3.95 GHz ~ 5.85 GHz) ..... | 28 |
| [그림 3.3.7] | 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(5.85 GHz ~ 8.2 GHz) .....  | 29 |
| [그림 3.3.8] | 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(8.2 GHz ~ 12.5 GHz) .....  | 31 |
| [그림 3.3.9] | 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(12.5 GHz ~ 18 GHz) .....   | 32 |
| [그림 3.4.1] | 제작 안테나 동등성 평가를 위한 감쇠량 측정 .....                 | 34 |
| [그림 3.4.2] | 측정된 1.12 GHz ~ 1.8 GHz대역 표준 안테나 인자 .....       | 35 |
| [그림 3.4.3] | 측정된 1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역 표준 안테나 인자 .....        | 36 |
| [그림 3.4.4] | 측정된 2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역 표준 안테나 인자 .....       | 37 |
| [그림 3.4.5] | 측정된 3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역 표준 안테나 인자 .....      | 38 |
| [그림 3.4.6] | 측정된 5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역 표준 안테나 인자 .....       | 39 |
| [그림 3.4.7] | 측정된 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역 표준 안테나 인자 .....       | 40 |
| [그림 3.4.8] | 측정된 12.5 GHz ~ 18 GHz대역 표준 안테나 인자 .....        | 41 |
| [그림 3.5.1] | 안테나 인자 상호비교 결과(1.1 GHz ~ 1.8 GHz대역) .....      | 44 |
| [그림 3.5.2] | 안테나 인자 상호비교 결과(1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역) .....      | 46 |
| [그림 3.5.3] | 안테나 인자 상호비교 결과(2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역) .....     | 48 |
| [그림 3.5.4] | 안테나 인자 상호비교 결과(3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역) .....    | 50 |
| [그림 3.5.5] | 안테나 인자 상호비교 결과(5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역) .....     | 52 |

|   |    |
|---|----|
| [그림 3.5.6] 안테나 인자 상호비교 결과(8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역) ..... | 54 |
| [그림 3.5.7] 안테나 인자 상호비교 결과(12.5 GHz ~ 18 GHz대역) .....  | 56 |
| [그림 4.2.1] 연구원에서 운용중인 강우감쇠 측정용 안테나 시스템 .....          | 59 |
| [그림 4.2.2] 강우감쇠 측정용 안테나 시스템 .....                     | 60 |
| [그림 4.2.3] 수신지점에서 측정된 수신 전력 : $f_c = 17.94$ GHz ..... | 61 |
| [그림 4.2.4] 수신지점에서 측정된 수신 전력 : $f_c = 37.09$ GHz ..... | 62 |

## 제1장 서론

본 보고서에서는 우리원에서 독자적으로 개발한 안테나 측정방법(R-SAM)의 유효성을 검증하여 '16년 CISPR 총회에 우리나라 안테나 측정법으로 제안한 내용을 기술하였다. 안테나 측정은 전파의 세기를 측정하는 EMI 측정용 안테나의 전압-전계강도 변환 인자인 안테나 인자 측정을 목적으로 하고 있으며 국제무선장해위원회(CISPR 16-1-6)에서는 자유공간 안테나 인자 측정을 권고하고 있다. 안테나 인자 측정방법으로는 세계적으로 3-안테나 법(TAM), 미국국립표준(ANSI)에서 제시하는 표준 시험장 법, 표준 안테나법이 주로 사용되고 있다.

기존의 3-안테나 법, 표준시험장 법은 3개의 안테나를 사용하고 3번의 측정을 통하여 안테나 인자를 결정할 수 있다. 표준 안테나 법은 비록 측정구성이 2번으로 간소화 되지만 안테나 인자를 결정하기 위해서는 3개의 안테나를 사용해야 한다. 하지만 국립전파연구원에서 개발한 표준 안테나 법(R-SAM)은 송신측에 피측정(AUC) 안테나를 설치하고 수신측에 값을 알고 있는 표준 안테나( $ANT_{std.}$ )를 설치하여 안테나 사이의 감쇠량을 단 한번 측정하여 안테나 인자를 측정할 수 있는 획기적인 기술이다. 특히 반사파로부터 자유로운 환경에서 그 장점이 두드러진다. 또한 특성이 똑같은 2 개의 안테나가 존재한다면 두 안테나 사이의 삽입손실을 단 한번 측정함으로써 표준 안테나(인자)를 정의내릴 수 있다. 이는 측정방법의 간소화뿐만 아니라 측정 불확도를 낮추는 장점을 갖는다.

본 보고서는 안테나 측정 기본이론 및 R-SAM 안테나 측정이론과 표준안테나 고찰, 그리고 국제표준 추진 단계 및 절차와 '16년 CISPR 총회에서 기고 발표한 1 GHz ~ 18 GHz대역에서 동등한 혼 안테나를 사용한 새로운 개념의 표준 안테나 및 R-SAM 측정방법, 마지막으로 국립전파연구원에서 강우감쇠 측정용으로 사용되고 있는 약 18GHz 및 37GHz 대역 상용안테나에 R-SAM 측정방법을 확대 적용하여 유효성을 검증 결과로 구성되었다.

## 제2장 전파연구원형 표준안테나법(R-SAM)

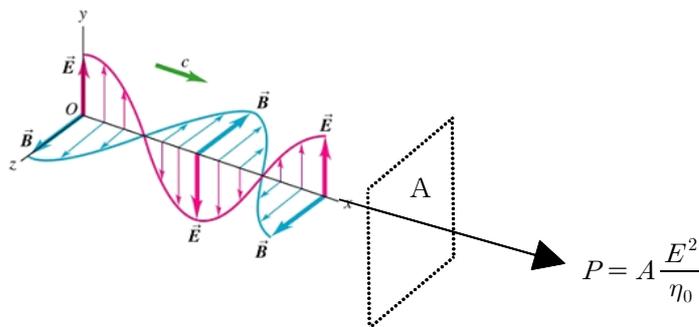
### 제1절 안테나 측정 기본 이론

#### 1. 포인팅 벡터

[그림 2.1.1]에서 보여주는 바와 같이 전자기파는 포인팅(Poynting) 벡터로서 식 (2.1.1)과 같은 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  $\eta_0$ 는 자유공간 임피던스이다.



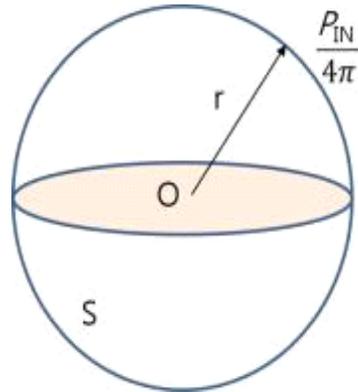
[그림 2.1.1] 면적 A를 통과하는 전자기파의 전력

#### 2. 안테나 이득

##### ① 등방성 안테나의 방사 전력

등방성 안테나는 [그림 2.1.2]와 같이 사방으로 같은 크기의 전력을 방사한다. 입력 전력을  $P_N$ 이라 하면 특정방향으로 단위체적  $\Delta\Omega$ 당 방사하는 전력  $\Delta P_r$ 은 어느 방향이나 단위체적당  $P_N/4\pi$ 을 방사한다. 즉, 모든 방향에서 식 (2.1.2)와 같다.

$$\frac{\Delta P_r}{\Delta \Omega} = \frac{P_{IN}}{4\pi} \quad (2.1.2)$$

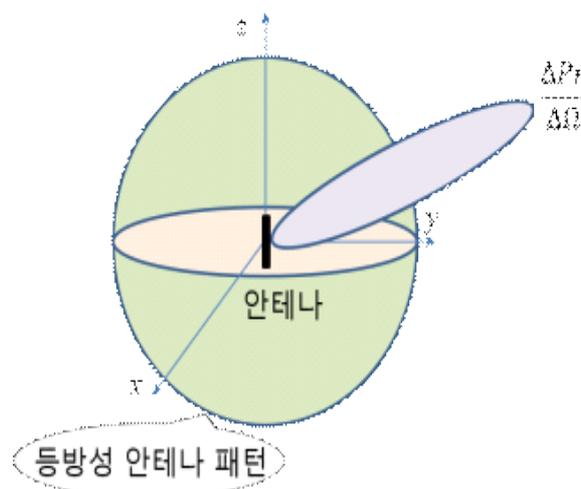


[그림 2.1.2] 등방성 안테나의 단위체적당 방사 전력

## ② 실제 안테나의 방사 전력

실제 안테나는 이상적인 등방성 안테나와 달리 모든 방향으로 같은 크기의 전력을 방사하지 않는다. [그림 2.1.3]과 같이 방향의 함수로서 특정한 방향  $(\theta, \phi)$  에서 단위체적  $\Delta \Omega$ 에  $\Delta P_r(\theta, \phi)$  전력을 방사한다. 단위체적당 방사 전력은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta P_r(\theta, \phi)}{\Delta \Omega} \quad (2.1.3)$$



[그림 2.1.3] 실제 안테나의 단위체적당 방사 전력

### ③ 안테나 이득의 정의

안테나 이득  $G(\theta, \phi)$ 은 등방성 안테나의 단위체적당 방사전력과 실제 안테나의 최대방사 전력방향에서 단위체적당 방사전력의 비로 정의 된다. 관계식 (2-1-2)와 (2-1-3)에서  $G(\theta, \phi)$ 는 식(2.1.4)와 같이 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 먼 거리  $r$ 에 위치한 단위체적  $\Delta \Omega$ 를 바라보는 면적  $\Delta S$ 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 전자기파의 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 마지막 우변의 항을 같게 놓으면 안테나에서 방사하는 전력 및 이득, 거리  $r$ 에서의 전기장  $E$ 와의 관계가 식(2.1.9)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \frac{E^2}{120\pi} &= \frac{G(\theta, \phi)P_{IN}}{4\pi r^2} \\ E &= \frac{\sqrt{30G(\theta, \phi)P_{IN}}}{r} \end{aligned} \quad (2.1.9)$$

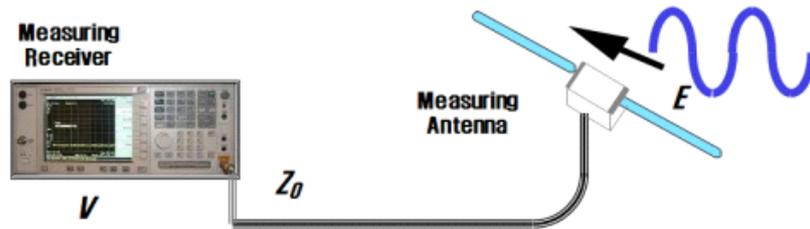
안테나 이득이  $G_T$ 이고 송신출력이  $P_T$ 인 송신(대상) 안테나로부터 거리( $d_m$ )인 지점에 방사되는 전기장의 세기  $E_R$ 은 다음식과 같다.

$$E_R = \frac{\sqrt{30G_T P_T}}{d_m} \quad (2.1.10)$$

#### 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 정의되며 식(2.1.11)과 같이 주어진다.

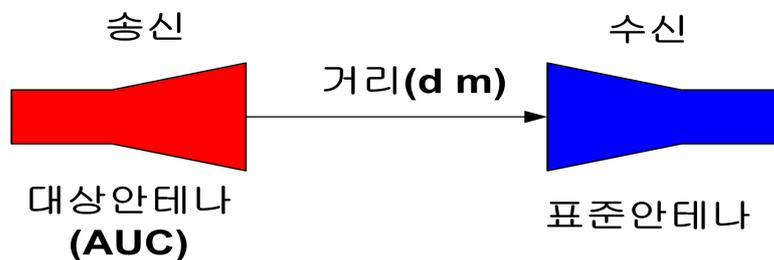
$$\begin{aligned} AF &= \frac{E}{V} \\ AF(dB/m) &= E(dBV/m) - V(dBV) \end{aligned} \quad (2.1.11)$$



[그림 2.1.4] 안테나 인자의 정의

## 제2절 R-SAM 측정 이론

국립전파연구원형 표준안테나 법(R-SAM)은 [그림 2.2.1]에서 보여주는 바와 같이 안테나 인자를 알고 있는 표준안테나를 수신측에 위치시키고 피 측정 대상안테나(AUC)를 송신측에 위치시키는 측정구성으로 단 한 번의 측정을 통해 안테나 인자를 측정하는 획기적인 기술이다. 원칙적으로 주파수에 구애 받지 않으나 사용하는 표준 안테나의 주파수에 의존한다. 만약 반사파가 존재한다면 한쪽 안테나를 특정 범위의 높이로 스캔하여 최대전계의 지점에서 측정하게 되며 보통 스캔범은 30 MHz ~ 1 GHz 대역의 안테나를 야외시험장에서 측정할 때 유용하다. 특히 1 GHz 이상 대역 지향성이 강한 혼 안테나의 경우 반사파가 거의 존재하지 않기 때문에 자유공간 조건과 동일한 조건으로 두 안테나를 고정된 채로 2 m 높이 이상의 야외 시험장에서 안테나 인자를 산출한다. 만약 양질의 전자파무반사실(chamber)에서는 반사파를 무시하고 R-SAM을 바로 적용할 수 있다.



[그림 2.2.1] 국립전파연구원형 표준안테나법(R-SAM)의 측정 구성

R-SAM은 [그림 2-2-1]의 안테나 이득이  $G_T$ 이고 송신출력이  $P_T$ 인 송신(대상) 안테나로부터 거리( $d$  m)인 지점에 방사되는 전기장의 세기  $E_R$ 이 다음과 같이 주어지는 것에 근거를 둔다.

$$E_R = \frac{\sqrt{30G_T P_T}}{d_m} \quad (2.2.1)$$

위 식을  $G_T$ 에 대하여 정리하면

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

$$G_T(dB) = 20\log E_R + 20\log d_1 - 10\log P_T - 14.77 \quad (2.2.2)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

또한, 안테나 인자는 안테나 고유성능을 결정하기 위한 고유 파라미터로서 다음과 같이 정의 내릴 수 있다.

$$AF(dB/m) = 20\log\left(\frac{E}{V}\right)$$

$$AF(dB/m) = E(dBV/m) - V(dBV) \quad (2.2.3)$$

식 (2.2.3)을 이용하여 R-SAM 방법에 의한 안테나 인자 산출 방정식을 얻을 수 있다. 이 과정에서 안테나 인자(AF)와 안테나 이득(G)과의 관계를 이용한다.

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

$$AF(dB/m) = 20\log(AF) = 10\log\left(\frac{480\pi^2}{Z_L}\right) - 20\log(\lambda) - G(dB) \quad (2.2.4)$$

여기서,  $Z_L$ 은 수신 안테나의 입력 임피던스 이다.

50 Ω 시스템에서 MHz 단위 주파수에서 R-SAM의 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$AF_T = -AF_R + 10\log(P_T) + 20\log(f_{MHz}) - 20\log(V_R) - 20\log(d_1) - 15.01 \quad (2.2.5)$$

여기서  $P_T$ ,  $V_R$ ,  $d_1$ 은 송신전력, 측정되는 수신전압, 안테나 사이의 거리( $d$  m),  $f_{MHz}$ 는 MHz 단위의 주파수이다. 경우에 따라서는(주로 네트워크 분석기를 사용할 때) 안테나 사이의 삽입손실 또는 감쇠량  $A_{RT} = 10\log(P_T/P_R)$ 을 측정하기 때문에, 실무적으로 식(2.2.6)과 같은 방정식을 주로 사용한다.

$$AF_T(dB/m) = -AF_R + A_{RT} + 20\log f_{MHz} - 20\log d_1 - 32 \quad (2.2.6)$$

### 제3절 표준안테나

#### 1. 표준안테나에 대한 고찰

안테나 교정 및 측정 분야에서 가장 많이 언급되는 개념 중에 하나가 표준안테나이다. 국제적으로 합의된 표준의 정의는 「어떤 양을 재는 기준으로 쓰기 위하여 어떤 단위나 어떤 양의 한 값 이상을 정의하거나 현시, 보존 또는 재현하기 위한 물적 척도, 측정기기, 기준물질이나 측정시스템」으로 되어 있다. 이러한 정의에 따라 측정용 안테나의 경우, ‘어떤 양’에 해당하는 물리량으로서 전기장을 측정한다. 그런데 공간상의 전기장을 측정하기 위한 기준으로 쓰는 ‘정의된 어떤 단위나 어떤 양의 한 값’에 해당하는 것은 안테나의 변환 계수인 안테나인자(Antenna factor)이다. ‘그 안테나 인자를 정의하는 측정기기’가 “표준안테나”가 되는 셈이다.

#### 2. 동등안테나 개념을 사용한 표준안테나 제안

30 MHz ~ 1 GHz 대역 다이폴 형 표준안테나는 발룬(Balun)의 특성에 의하여 안테나의 인자를 산출할 수 있다. 현재까지 표준 안테나라고 일컬어지는 것은 다이폴 형태이며 발룬에 특수한 장치를 고안하여 만들어 졌으며 세계적으로 NIST형과 NPL형 안테나가 개발되어 사용되고 있다. 그러므로 아직까지 표준안테나로 정의된 안테나는 30 MHz ~ 1 GHz 대역 다이폴 안테나 뿐이다.

1 GHz 이상 대역 측정용 안테나는 혼 안테나가 주로 사용된다. 하지만 혼 안테나는 발룬 이라는 장치가 없다. 따라서 R-SAM 측정법에 따라 한쪽에 안테나 인자를 아는 표준안테나를 설치하면 대상 안테나는 한 번의 측정으로 안테나 인자( $AF_T$ )를 식 (2.3.1)와 같이 정의할 수가 있다.

$$AF_T(dB/m) = -STA_R + A_{RT} + 20\log f_{MHz} - 20\log d_1 - 32 \quad (2.3.1)$$

만약 특성이 똑같은 두 안테나가 있다면 안테나 사이의 감쇠량을 단 한번 측정하여 동등한 표준안테나의 안테나 인자를 정의할 수가 있다. 다이폴 안테나의 경우 표준안테나는 발룬의 RF-DC 관계를 측정하거나, 하이브리드의 S파라미터를 측정함으로써 안테나 인자를 산출할 수 있는 것처럼 동등한 두 안테나는 단 한 번의 감쇠량 측정으로 안테나 인자를 측정할 수가 있다. 따라서 동등한 두 안테나는 일종의 표준안테나의 역할을 하고 표준 안테나라 정의 할 수 있는 것이다. 더군다나 1 GHz 이상 대역의 혼 안테나는 강한 지향성 때문에 야외시험장 위에서 어떤 특정한 높이(2m 이상)에서는 반사파를 거의 무시할 수가 있어서 자유공간 조건을 만족한다 할 수 있다. 안테나의 동등성이 인정된다면 R-SAM의 식 (2.2.6)에서  $AF_R = AF_T$  가됨으로 동등 안테나의 안테나 인자는 식 (2.3.2)와 같이 간단하게 표현될 수 있다.

$$AF_R(dB/m) = \frac{1}{2}A_{RT} + 10\log f_{MHz} - 10\log d_1 - 16 \quad (2.3.2)$$

## 제3장 국제표준화 추진

### 제 1절 국제표준화 추진 단계 및 절차

[표 3.1.1]은 기술 작업을 개발하기 위해 거쳐야 하는 프로젝트 단계의 순서와 각 단계와 관련된 문서 명칭을 나타내고 있다.

[표 3.1.1] 프로젝트 단계 및 관련 문서

| 프로젝트 단계  | 관련문서   |             |
|----------|--|-------------|
|          | 명칭   | 약어          |
| 0. 예비단계  | 예비 업무항목(Preliminary Work Item)                             | PWI         |
| 1. 제안단계  | 신규업무제안(New Work Item Proposal)                             | NP          |
| 2. 준비단계  | 작업초안(Working Draft)  | WD          |
| 3. 위원회단계 | 위원회 초안(Committee Draft)<br>최종위원회 초안(Final CD)              | CD<br>FCD   |
| 4. 승인단계  | 국제규격안(Draft International Standard)<br>최종 국제규격안(Final DIS) | DIS<br>FDIS |
| 5. 발행단계  | 국제규격(International Standard)                               | IS          |

#### 0. 예비단계(Preliminary stage)

- 1) 기술위원회(TC) 또는 분과위원회(SC)는 자체 P 멤버의 과반수 득표를 통해 다음 단계로 진행하기에는 아직 충분하게 성숙되지 못하고 목표 기한도 정할 수 없는 예비 작업 항목을 자체 작업 프로그램에 제출하여야 하며 모든 예비 작업 항목은 위원회의 정기적인 검토를 거쳐야 한다. 특히 이 단계는 신규 작업 항목 제안 및 최초 초안 개발을 위한 과정으로 활용할 수 있다.

#### 1. 제안 단계(Proposal stage)

- 1) 기존 기술위원회(TC) 또는 분과위원회(SC)의 범위 내 신규 작업 항목 제안은

회원기관(NB : National body), 해당 기술위원회(TC) 또는 분과위원회(SC)의 간사국, 타 기술위원회(TC) 또는 분과위원회(SC), 기술관리이사회 또는 그 자문 그룹 중 하나, 마지막으로 사무총장이 할 수 있다.

2) 각 신규 작업 항목 제안은 서식을 이용하여 제출하여야 하며 충분히 타당성을 입증하고 표현지침에 따라 적절하게 작성해야 한다. 작성된 제안서 서식 사본은 기술위원회(TC) 또는 분과위원회(SC)의 멤버(P멤버의 경우 투표용, O멤버와 리에중 멤버는 참조용)에 회람한다. 이때 투표 기간은 12주이며 위원회는 상황에 따라 결의안 방식으로 신규 작업항목 제안에 대한 투표기간을 8주로 단축시키는 방안을 결정 할 수 있다.

### 3) 승인요건

- 해당 기술위원회(TC) 또는 분과위원회(SC) 투표에서 P멤버 과반수가 작업 항목을 승인해야하며 기권표는 투표에 산정되지 않는다.
- P멤버가 16명 이하인 위원회는 최소한 P멤버 4명 이상이, P멤버가 17명 이상인 위원회는 최소한 P멤버 5명 이상이 기술 전문가를 지명하고 작업 초안에 코멘트 함으로써 프로젝트의 발전에 참여한다. 즉, 준비단계에서 실질적인 기여를 하겠다는 약속을 해야 한다. 이때 작업 항목을 작업 프로그램에 포함해도 좋다고 승인한 P멤버만 계산에 넣는다. 찬성표에 동봉되는 양식에 전문가가 지정되어 있지 않으면, 해당 회원기관의 적극적 참여 의사는 이 투표에서 승인 기준 충족 여부를 판단할 때 감안하지 않는다.
- 신규 항목 제안(NP)의 본문에서 회원기관이 “반대” 투표의 이유를 명확하게 밝히지 않은 경우, 위원회 간사국은 회원기관에 해명을 할 2주의 시간을 제공해야 한다. 만약 회원기관이 2주의 기간 내에 답변을 제공하지 않는 경우, 해당 표결은 결과에 반영하지 않는다. 이때 간사국은 절대로 이유에 관해 가치 판단을 해서는 안 되며 의문사항은 반드시 회원기관에 문의해야 한다. 해당 산업 또는 기술적 지식이 극소수의 P 멤버에만 존재한다고 문서로 입증할 수 있는 경우, 해당 위원회는 기술 관리이사회에 지정 기술 전문가를 4 또는 5인 미만으로 해줄 것을 요청할 수 있다.

## 4) 승인

- 신규 작업 항목이 승인되면, 적절한 우선순위가 지정된 새로운 프로젝트로서 관련 기술위원회(TC) 또는 분과위원회(SC)의 작업 프로그램에 등록된다. 합의된 목표 기한은 해당 서식에 명시되어야 한다. 투표 결과는 투표 마감 후 6주 안에 ISO 중앙사무국 또는 IEC 중앙사무국에 보고한다.

## 2. 준비 단계(Preparatory stage)

- 1) 준비 단계는 ISO/IEC 기술작업지침서, Part2를 준수하는 업무 초안(WD: Working draft)을 준비한다.
- 2) 새로운 프로젝트가 승인되면 프로젝트 리더는 승인 단계가 진행되는 동안 P 멤버가 지명한 전문가와 협력해야 한다.
- 3) 간사국은 회의나 통신을 통해 기술위원회(TC) 또는 분과위원회(SC)에 작업반 설립을 제안할 수 있으며, 일반적으로 컨비너가 프로젝트 리더를 맡게 된다. 이러한 작업반은 기술위원회나 분과위원회에 의해 설립되어야 하며, 기술위원회 또는 분과위원회에 초안을 제출하기 위해 작업을 정의하고 목표 기한을 설정해야 한다. 이때 작업반 컨비너는 착수한 작업이 투표한 작업 항목의 범위 내에서 유지되도록 해야 한다.
- 4) 작업반 설립제안에 대하여 적극적으로 참여하는데 찬성한 P멤버는 자체 기술 전문가를 확정해야 한다. 다른 P멤버 또는 범주 A연계기구 또는 범주 D 연계기구도 전문가를 지명할 수 있다.
- 5) 프로젝트 리더는 프로젝트의 개발에 대한 책임을 지며 일반적으로 작업반의 회의를 소집하고 의장을 맡게 된다. 프로젝트 리더는 작업반의 멤버를 간사로 활동하도록 요청할 수 있다.
- 6) 프로젝트 개발의 후속 단계가 지연되는 것을 막기 위해 불어 및 영문 버전의 문서를 작성하는데 필요한 모든 노력을 다해야 한다. 이때 만약, 3개 국어(영어, 불어, 러시아어) 표준이 작성되어야 한다면, 이 조항에 러시아 버전이 포함되어야 한다.
- 7) 준비 단계는 작업 초안이 첫 번째 위원회안(CD: Committee Draft)으로서 기술위원회 또는 분과위원회의 멤버에 회람되고 중앙사무국이 이를 등록하는 것으로 완료된다. 만약 위원회가 위원회안(CD)을 생략하기로 했다면 준비단계는 바로 질의 초안(DIS)이 회람될 수 있을 때 종료된다.

### 3. 위원회 단계(Committee stage)

- 1) 위원회 단계는 기술 콘텐츠에 대한 합의에 도달하기 위해 회원기관의 의견을 검토해야 하는 주요 단계이다. 따라서, 회원기관은 위원회안의 문안에 대해 신중하게 검토하고, 이 단계에서 모든 적절한 의견을 제출해야 한다. 위원회는 부속서SS에 따라 CD 단계를 생략하기로 결정할 수 있다.
- 2) 위원회안이 작성되는 즉시 기술위원회 또는 분과위원회의 모든 P멤버 및 O멤버들이 검토할 수 있도록 회람되어야 하며, 최종 회신 제출 날짜를 분명하게 명시해야 한다. CD회람 기본기간은 8주이며 기술위원회 또는 분과위원회의 합의에 따라 회원기간이 의견을 제출할 수 있는 기간은 12주 또는 16주로 연장할 수 있다. 회원기관은 회의 전에 해당 국가의 입장에 대해 대표단에 충분한 정보를 제공해야 한다.
- 3) 회신 제출이 종료된 후 4주 안에 간사국은 의견집을 작성하고 기술위원회 또는 분과위원회의 모든 P멤버 및 O멤버에게 이를 회람시켜야 한다. 간사국은 이러한 의견집 제작 시 그 제안을 설명하고, 아래와 같은 프로젝트의 진행을 위해 기술위원회 또는 분과위원회의장, 필요한 경우 프로젝트 리더와의 협의를 거쳐 제작할 수 있다. 만약 발송일로부터 8주 안에, 2개국 이상의 P멤버가 간사국의 제안(개정된 위원회안에 대한 검토를 위한 회람 또는 위원회안을 질의 단계로 등록)에 반대하는 경우 회의에서 위원회안이 논의되어야 한다.
- 4) 위원회안이 회의에서 검토되지만, 해당 시점에 합의에 이르지 못하는 경우, 회의에서 내려진 결정 사항을 포함한 후속 위원회안을 12주 안에 배포하여 검토하도록 해야 한다. 기술위원회 또는 분과위원회의 합의에 따라, 12주 또는 16주 동안 회원기관은 후속 초안 및 기타 후속 버전에 대한 의견을 제출할 수 있다.
- 5) 후속 초안들에 대한 검토는 기술위원회 또는 분과위원회의 P멤버들이 합의에 이를 때까지 또는 해당 프로젝트의 폐기 또는 연기가 결정될 때까지 계속 되어야 한다.
- 6) 질의안 회람에 대한 결정은 합의의 원칙에 의거한다. ISO와 JTC1 내에서 합의에 대한 의심의 여지가 있는 경우, 기술위원회 또는 분과위원회 P멤버 중 2/3의 찬성을 얻으며, 위원회안을 질의안으로 등록하는 것이

승인되었다고 충분히 간주될 수 있다. 하지만, 반대투표를 해결하기 위한 모든 노력이 이루어져야 한다. 여기서 기권표는 물론, 기술적 사유를 명시하지 않은 반대투표도 투표수에서 제외된다.

위원회안을 담당하는 기술위원회 또는 분과위원회 간사국은 질의안 회의 또는 통신을 통해 결정 사항이 충분히 반영되었음을 보장해야 한다.

- 7) 기술위원회 또는 분과위원회에서 합의에 도달하면, 해당 간사국은 최장 16주 안에 회원기관에 질의를 위하여 배포하기에 적합한 전자 서식으로 최종안을 작성하여 중앙사무국(분과위원회의 경우, 기술위원회 간사국에 제출할 사본 1부와 함께)에 제출하여야 한다. 간사국은 제안된 질의안(DIS)을 해설서와 최종 CD에 대한 의견, 의견에 대해 취한 조치 내역과 함께 ISO 중앙사무국에 전자문서 형식으로 제출한다.
- 8) 모든 기술 문제가 해결되고, 위원회안을 질의안으로 회람하는 것이 승인되어 중앙사무국에 등록되면, 위원회 단계가 종료된다. ISO/IEC 기술작업 지침서, Part2를 준수하지 않는 문서는 등록 전에 수정 요청과 함께 간사국에 반려된다.
- 9) 적절한 시한 내에 기술 문제가 해결되지 않는 경우, 기술위원회 및 분과위원회는 국제표준에 대한 합의가 진행중인 기술 시방서의 형식으로 발간물의 발행을 고려할 수도 있다.

#### 4. 승인(질의) 단계(Enquiry stage)

- 1) 다음은 질의안(ISO: DIS, IEC: CDV)으로 중앙사무국에 의해 모든 회원기관에 회람되어 12주 안에 투표를 종료한다. 이때 중앙사무국은 회원기관에 투표가 마감되는 시한을 알려야 한다. 투표 기간이 종료되면, 사무총장은 신속한 후속 조치를 위해 4주 안에 기술위원회 또는 분과위원회의 의장 및 간사국에 투표 결과를 접수된 의견과 함께 전달해야 한다.
- 2) 회원기관이 제출한 투표는 찬성, 반대 또는 기권 등의 의사를 명확하게 나타내야 한다. 찬성투표는 논평 또는 기술적 의견이 포함될 수 있으며, 간사는 기술위원회 또는 분과위원회의 의장 및 프로젝트 리더와 협의하여 이를 어떻게 처리할지를 결정한다. 만약 회원기관이 질의안을 수용할 수 없다고 판단하는 경우, 반대에 투표해야 하며 기술적 사유를 명시해야 한다. 특정 기술 수정안이 수용되면 반대투표를 찬성투표로 변경할 수 있다고 명시할 수 있지만, 수정안 수용에 대한 조건부 찬성투표로 해서는 안 된다.

- 3) 승인조건 : 기술위원회 또는 분과위원회 P 멤버 투표수의 2/3가 찬성하고, 총 투표 수 중 1/4 이하가 반대할 때 승인된다. 이때 기권표는 물론, 기술적 사유를 명시하지 않은 반대투표도 투표수에서 제외된다.

공식 투표 기간 이후 접수된 의견은 국제표준에 대한 다음 번 검토 시 검토될 수 있도록 기술위원회 또는 분과위원회 간사국에 제출되어야 한다.

- 4) 투표 종료 후 12주 안에 기술위원회 또는 분과위원회의 간사국은 정식 보고서를 작성해야 하며, 이 보고서를 중앙사무국에 의해 회원기관이 회람하도록 해야 한다. 이 보고서는 아래와 같이 구성되어야 한다.

- 투표결과 제시
  - 기술위원회 또는 분과위원회 의장의 결정 사항 명시
  - 접수된 의견에 대한 문안 재작성
  - 제출된 각 의견에 대한 기술위원회 또는 분과위원회 간사국의 소견 포함
- 의장은 반대투표 해결을 위해 최선을 다해야 하며, 발송 후 8주안에 2개국 이상의 P 멤버가 의장의 결정에 반대하는 경우, 이 초안은 회의에서 논의되어야 한다.

- 5) 의장이 승인단계 또는 발행 단계로 진행할 것을 결정하면 기술위원회 또는 분과위원회의 간사국은 투표 기간이 종료된 후 최장 4개월 내에 해당 편집위원회의 지원을 받아 최종본을 작성하고 중앙사무국으로 전달하여, 최종 국제표준안을 작성 및 회람할 수 있도록 한다. 이때 간사국은 수정 가능한 전자형태의 서식은 물론, 수정 가능한 서식의 승인을 허용하는 형식으로 중앙사무국에 제공해야 한다. 만약 ISO/IEC 기술작업지침서, Part2를 준수하지 않은 문서는 등록 전에 수정 요청과 함께 간사국에 반려된다. 수정된 최종본은 투표결과에 따라 의장이 내린 결정의 내역과 함께 ISO 서식 13을 이용해 전자문서 형식으로 ISO 중앙사무국에 제출되어야 한다.

- 6) 이 단계는 중앙사무국이 최종본을 최종 국제표준안으로 회람하기 위해 등록하면 종료된다.

## 5. 발행단계(Publication stage)

- 1) ISO의 경우 4주, IEC의 경우 6주 안에, 중앙사무국은 기술위원회 또는 분과위원회 간사국이 지적한 오류를 수정하고 국제표준을 인쇄 및 배포한다.

## 제 2절 R-SAM 측정방법 IEC/CISPR 국제표준화회의 기고

### 1. R-SAM 측정방법과 1 GHz ~ 18 GHz대역에서 동등한 혼 안테나를 사용한 새로운 개념의 표준안테나

2016년 중국 항저우에서 개최된 IEC/CISPR 국제표준화 회의에서 R-SAM 측정방법과 1 GHz - 18 GHz 주파수 범위에서 동등한 피라미드 혼 안테나를 사용한 새로운 개념의 표준안테나를 소개하였다. R-SAM 측정방법은 앞장에서 기술한 것과 같이 수신지점에서 값을 알고 있는 표준안테나를 사용하면 단 한 번의 측정으로 송신안테나의 이득을 산출할 수 있는 획기적인 기술이다. 만약 동등한 2개의 안테나가 존재한다면 안테나 사이의 감쇠량(*SIL*)을 단 한번 측정함으로써 표준안테나(안테나인자)를 정의 내릴 수 있고, 이 안테나는 R-SAM 측정방법으로 사용될 수 있음을 소개하였다. 여기서 동등안테나란 측정불확도의 오차범위를 고려하여 0.2 dB 이내의 차이를 보이면 동등하다고 간주한다.

### 2. 새로운 개념의 표준안테나

안테나 인자는 안테나 고유성능을 결정하기 위한 고유 파라미터로서 다음과 같이 정의 내릴 수 있다.

$$AF(dB/m) = 20\log\left(\frac{E}{V}\right)$$

$$AF(dB/m) = E(dBV/m) - V(dBV) \quad (3.2.1)$$

송신 안테나와 수신 안테나의 안테나 인자가 각각  $AF_{TX}$ 와  $AF_{RX}$  이고 공간 삽입손실이 *SIL*일 때 안테나 인자는 식(3.2.2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$AF_{TX} + AF_{RX} = SIL + 20\log(f_{MHz}) - 20\log(d) - 32 \quad (3.2.2)$$

여기서  $f_{MHz}$ 는 MHz단위의 주파수이고,  $d$ 는 두 안테나 사이의 거리(m)이다. 만약 송신 안테나와 수신 안테나가 식(3.2.2)에서 동등하다면 위 식은 다음과

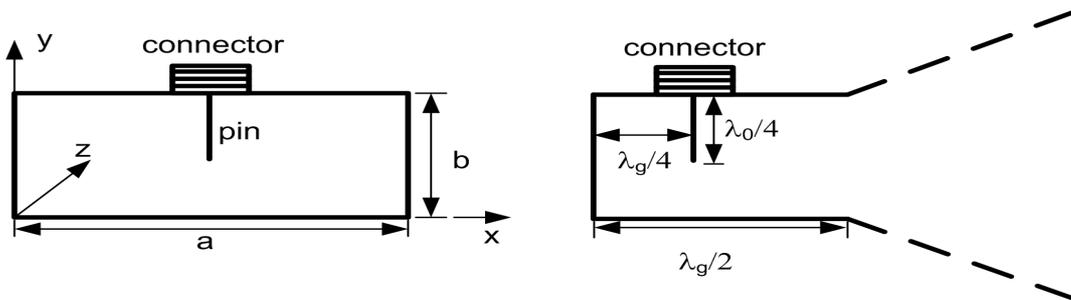
같은 식(3.2.3)과 같이 나타낼 수 있다. 이는 두 안테나 사이의 공간삽입손실을 단 한번 측정함으로써 쉽게 안테나의 인자를 정의 내릴 수 있음을 의미하며 이러한 동등안테나를 새로운 개념의 표준 안테나로 정의할 수 있다.

$$AF_{TX} = AF_{RX} = \frac{1}{2}SIL + 10\log(f_{MHz}) - 10\log(d) - 16 \quad (3.2.3)$$

### 3. 동등한 피라미드 혼 안테나 설계 및 동등성 검증

#### 가. 동등 피라미드 혼 안테나 설계

앞서 설명한 간단한 표준안테나의 인자를 얻기 위해서는 두 개의 동등한 혼 안테나가 필요하다. 여기서 동등한 안테나란 물리적인 모양 및 특성이 모두 동일한 안테나를 의미한다. [그림 3.3.1]에서 보여주는 바와 같이 피라미드형 혼 안테나는 급전 점으로부터 입력된 전파를 전달하는 직사각형 도파관과 공간으로 방사하기 위한 개구면으로 구성된다. [그림 3.3.1]에서 보는바와 같이 도파관의 크기, 특히 폭(a)은 전달되는 전자파의 차단 주파수( $f_c$ )를 결정하게 되며 일반적으로 도파관의 높이(b)의 약 2배의 길이를 갖는다. 제안된 혼 안테나는 두께 4mm인 알루미늄을 사용하여 제작되었다.



[그림 3.3.1] 혼 안테나 급전도파관 및 개구면 구조

직사각형 도파관은  $TM$ ,  $TE$  모드(mode)가 존재하지만  $TEM$  모드는 존재하지 않는다. 따라서 전송선 또는 도파관에서  $z$ 방향으로 진행되는 전자파의 맥스웰 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\nabla \times \ddot{\mathbf{E}} &= -j\omega\mu\ddot{\mathbf{H}} \\ \nabla \times \ddot{\mathbf{H}} &= -j\omega\epsilon\ddot{\mathbf{E}}\end{aligned}\quad (3.3.1)$$

여기서

$$\begin{aligned}\ddot{\mathbf{E}} &\equiv [E_x(x,y)e^{-j\beta z}, E_y(x,y)e^{-j\beta z}, E_z(x,y)e^{-j\beta z}], \\ \ddot{\mathbf{H}} &\equiv [H_x(x,y)e^{-j\beta z}, H_y(x,y)e^{-j\beta z}, H_z(x,y)e^{-j\beta z}]\end{aligned}\quad (3.3.2)$$

이다.

TE 모드는  $E_z = 0$  이고  $H_z \neq 0$  이므로 식 (3.3.1)과 식 (3.3.2)로부터 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned}H_x &= -\frac{j\beta}{k_c^2} \partial \frac{H_z}{\partial x} \\ H_y &= -\frac{j\beta}{k_c^2} \partial \frac{H_z}{\partial y} \\ E_x &= -\frac{j\omega\mu}{k_c^2} \partial \frac{H_z}{\partial y} \\ E_y &= -\frac{j\omega\mu}{k_c^2} \partial \frac{H_z}{\partial x}\end{aligned}\quad (3.3.3)$$

여기서,  $k_c^2 = k^2 - \beta^2$ 이며  $k = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$ 로 도파관 내의 파수벡터이고  $k_c$ 는 차단 파수벡터(cutoff wavenumber)로 정의되고 도파관에서 전자파가 전달될 수 있는 주파수 특성이며 다음과 같이 유도된다. [그림 3-3-1]과 같은 도파관 구조의 자기장 성분  $H_z$ 에 대한 파동방정식은 다음과 같다.

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + k_c^2\right)H_z(x,y) = 0\quad (3.3.4)$$

변수 분리에 따라  $H_z(x,y) = X(x)Y(y)$ 라 하면 다음이 성립한다.

$$\begin{aligned}\frac{d^2 X}{dx^2} + k_x^2 X &= 0 \\ \frac{d^2 Y}{dy^2} + k_y^2 Y &= 0 \\ k_x^2 + k_y^2 &= k_c^2\end{aligned}\quad (3.3.5)$$

$H_z$ 에 대한 일반해는

$$= (A \cos k_x x + B \sin k_x x)(C \cos k_y y + D \sin k_y y) \quad (3.3.6)$$

과 같이 해석된다. 따라서 도파관 도체 벽의 접선성분에 대한 전기장은

$$\begin{aligned}E_x(x, y) &= 0, \quad 0 \leq y \leq b \\ E_y(x, y) &= 0, \quad 0 \leq x \leq a\end{aligned}\quad (3.3.7)$$

이므로 (3.3.5)와 (3.3.7)에 따라

$$\begin{aligned}H_z(x, y, z) &= A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \quad \text{이고,} \\ E_x(x, y, z) &= \left(-\frac{j\omega\mu n\pi}{k_c^2 b}\right) A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\ E_y(x, y, z) &= \left(-\frac{j\omega\mu m\pi}{k_c^2 a}\right) A_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\ H_x(x, y, z) &= \left(\frac{j\beta m\pi}{k_c^2 a}\right) A_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\ H_y(x, y, z) &= \left(\frac{j\beta n\pi}{k_c^2 b}\right) A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}\end{aligned}\quad (3.3.8)$$

이다.

$TM$  모드에서는  $H_z = 0$ 이고  $E_z \neq 0$ 이므로  $TE$  모드에서와 같은 과정을 거치면

$$\begin{aligned}E_z(x, y, z) &= B_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\ E_x(x, y, z) &= \left(-\frac{j\beta m\pi}{k_c^2 a}\right) B_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E_y(x, y, z) &= \left( -\frac{j\beta n\pi}{k_c^2 b} \right) B_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\
H_x(x, y, z) &= \left( -\frac{j\omega\epsilon n\pi}{k_c^2 b} \right) B_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\
H_y(x, y, z) &= \left( -\frac{j\omega\epsilon m\pi}{k_c^2 a} \right) B_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z}
\end{aligned} \tag{3.3.9}$$

를 얻게 된다.

위에서 유도된 식으로부터  $TE$  및  $TM$  모드에서 전파상수  $\beta$ 는

$$\beta = \sqrt{(k^2 - k_c^2)} = \omega \sqrt{[k^2 - (m\pi/a)^2 - (n\pi/b)^2]} \tag{3.3.10}$$

식 (3.2.10)과 같이 주어지는데,

$$k > k_c = \sqrt{[(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2]} \tag{3.3.11}$$

일 때,  $\beta$  가 실수가 되어 도파관내에서 전파가 가능하게 된다.  $a > b$  인 경우 식 (3.3.8)과 식 (3.3.11)에 따라  $TE$  모드에서 가장 낮은 주파수는  $m=1, n=0$  으로  $TE_{10}$  모드로

$$f_c = \frac{ck_c}{2\pi} = \frac{\left[ \sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2} \right]}{2\pi} = \frac{c}{2a} \tag{3.3.12}$$

이다. 여기서  $c$ 는 전자파의 자유공간 속도 약  $3 \times 10^8$  m이다. 한편,  $TM$  모드에서는 식 (3.3.9)와 식 (3.3.11)에 의해서  $TM_{00}, TM_{01}, TM_{10}$  모드는 존재하지 않는다. 따라서 도파관을 통과할 수 있는 모드는  $TM_{11}$ 로 최저 주파수는 다음과 같다.

$$f_c = \frac{ck_c}{2\pi} = \frac{\left\{ c \sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{b}\right)^2} \right\}}{2\pi} \tag{3.2.13}$$

따라서 도파관을 통과하는 최저 주파수인 차단주파수( $f_c$ )는  $TE_{10}$  모드인 식

(3.3.12)이다. 파수 벡터들의 관계식 (3.3.10)을 파장으로 표시하면

$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g}, k = \frac{2\pi}{\lambda_0}, k_c = \frac{2\pi}{\lambda_c}$  이므로 식 (3.3.10)은 다음과 같이 된다.

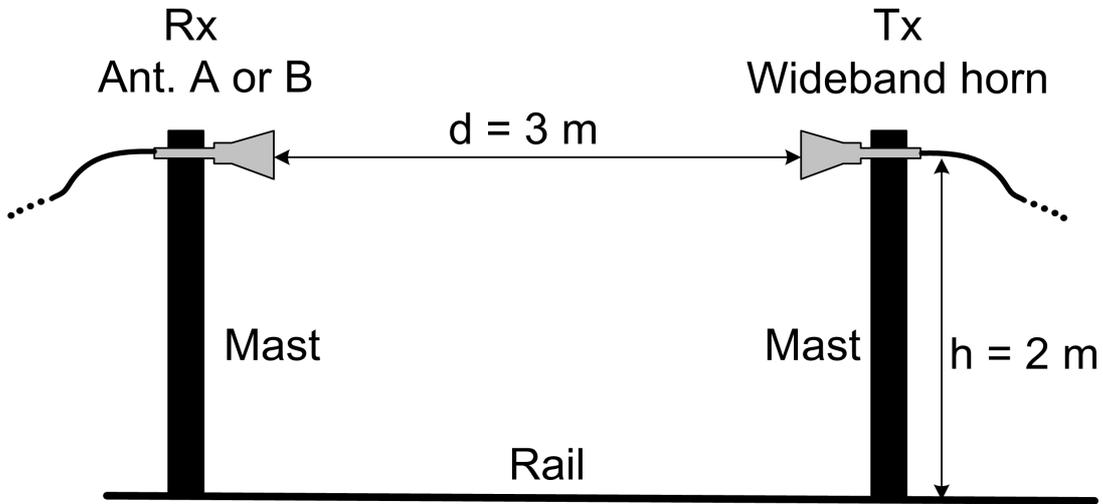
$$\frac{1}{\lambda_g} = \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}\right)} \quad (3.2.14)$$

[그림 3-3-1]의 직사각형 도파관 구조에서 길이는  $L = \frac{\lambda_g}{2}$ , 급전 핀의 높이

$L_0 = \frac{\lambda_0}{4}$ 가 성립한다.

#### 나. 제작된 혼 안테나의 동등성 측정결과

새로운 개념의 표준 혼 안테나는 식 (3.2.3)을 이용하여 안테나 인자를 산출하기 때문에 안테나 인자 산출에 있어서 동일성을 판단하는 가장 중요한 요소는 안테나 사이의 감쇠량 값이 된다. 따라서 동일성을 평가하기 위하여 이천 전파시험인증센터의 야외 시험장에서 [그림 3.3.2]에서 보는바와 같이 치환법을 사용하여 높이(h) = 2 m, 거리(d) = 3 m 이격시키고 제작된 안테나(A, B)와 연구원에서 보유하고 있는 광대역 혼 안테나(SCHWARZBECK BBHA9120 D mode)를 송신 안테나로 놓고 두 안테나 사이의 감쇠량을 측정하였다. 측정된 두 안테나(A, B)의 감쇠량 값을 상호 비교함으로써 7개 대역의 제작된 혼 안테나의 동일성을 검증하였다. 야외시험장에서 감쇠량 측정에 사용된 계측기는 키사이트(社)의 26.5 GHz까지 측정할 수 있는 네트워크 분석기(모델명 : E8362B)를 사용하였다. 7개 대역에 대한 동등성 평가 결과는 [표 3.3.1] ~ [표 3.3.7]에 [그림 3.3.3] ~ [그림 3.3.9]에 각각 나타내었다.

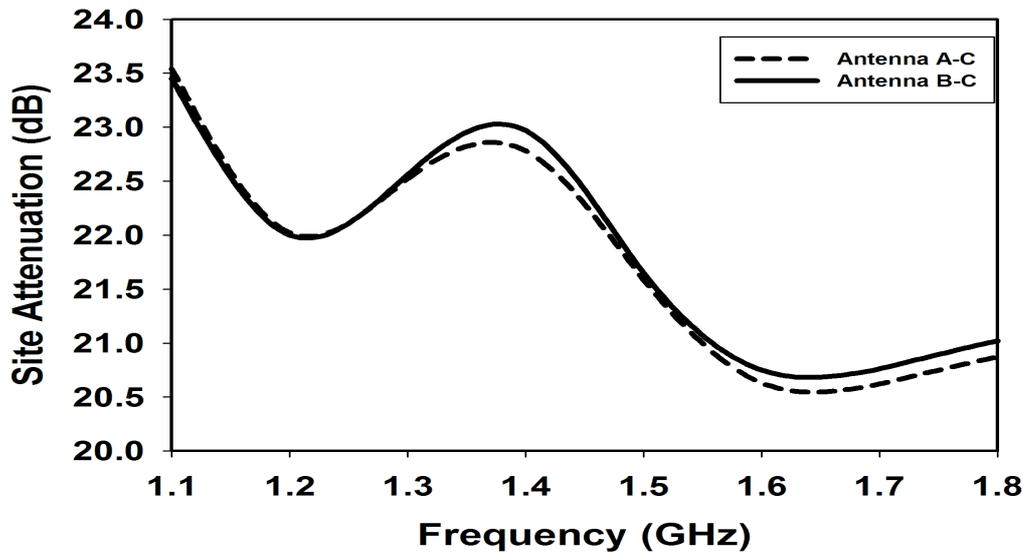


[그림 3.3.2] 치환법에 의한 안테나 사이의 감쇠량 측정 비교

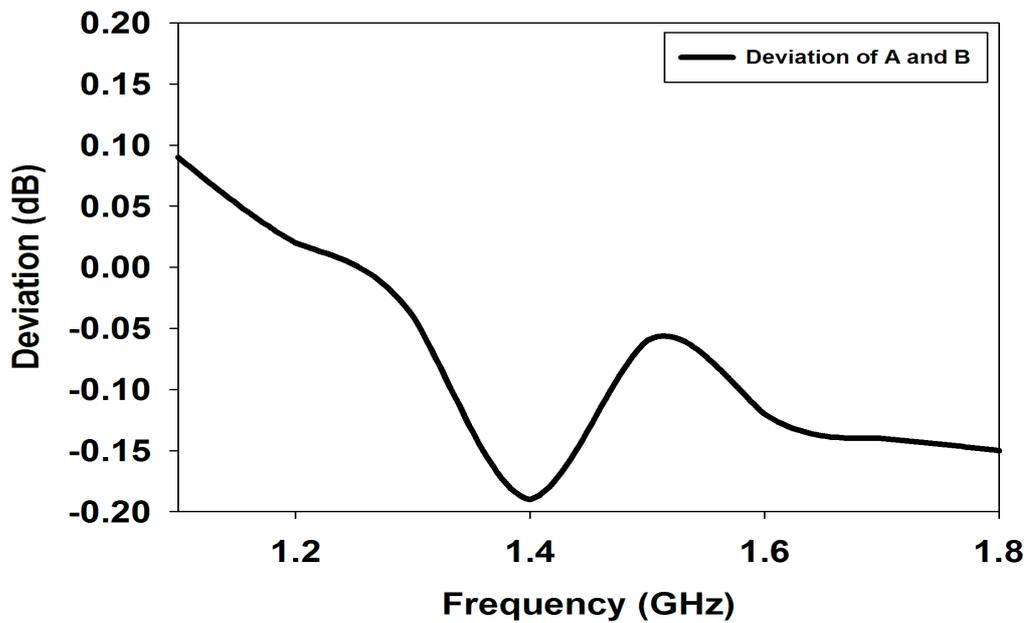
1) 1.12 GHz ~ 1.8 GHz대역에 대한 검증 결과

[표 3.3.1] 1.12 GHz ~ 1.8 GHz대역 동등성 평가 결과

| 주파수(GHz) | 안테나 A-C | 안테나 B-C | 편차    |
|----------|---------|---------|-------|
| 1.1      | 23.54   | 23.45   | 0.09  |
| 1.2      | 22.02   | 22.00   | 0.02  |
| 1.3      | 22.52   | 22.56   | -0.04 |
| 1.4      | 22.78   | 22.97   | -0.19 |
| 1.5      | 21.59   | 21.65   | -0.06 |
| 1.6      | 20.63   | 20.75   | -0.12 |
| 1.7      | 20.62   | 20.76   | -0.14 |
| 1.8      | 20.87   | 21.02   | -0.15 |



(a) 감쇠량



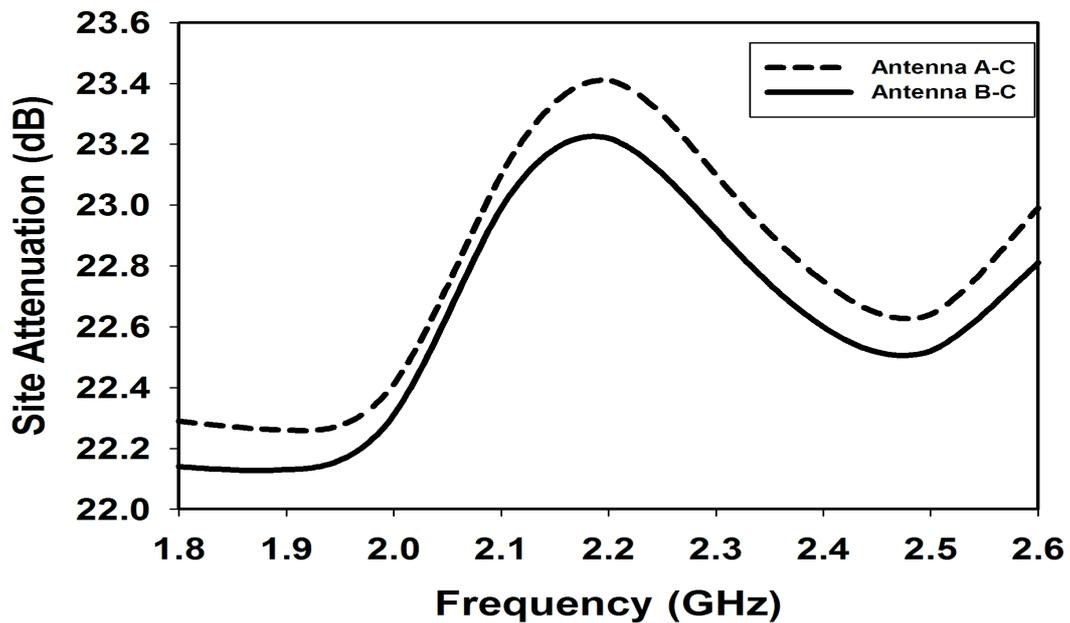
(b) 편차

[그림 3.3.3] 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(1.1 GHz ~ 1.8 GHz)

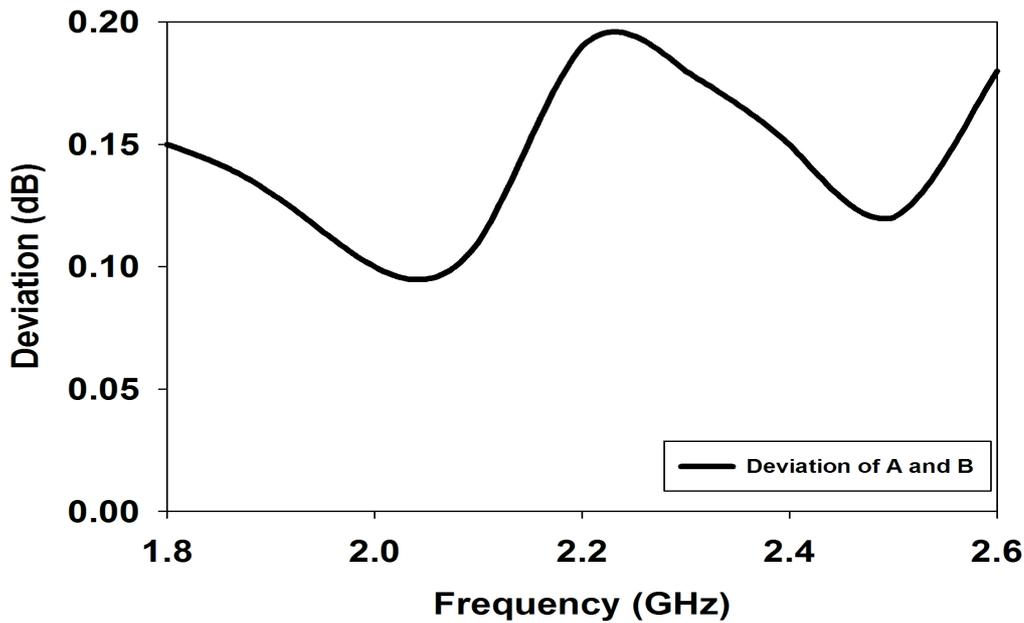
## 2) 1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역에 대한 검증 결과

[표 3.3.2] 1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역 동등성 평가 결과

| 주파수(GHz) | 안테나 A-C | 안테나 B-C | 편차   |
|----------|---------|---------|------|
| 1.8      | 22.29   | 22.14   | 0.15 |
| 1.9      | 22.26   | 22.13   | 0.13 |
| 2.0      | 22.41   | 22.31   | 0.10 |
| 2.1      | 23.10   | 22.99   | 0.11 |
| 2.2      | 23.41   | 23.22   | 0.19 |
| 2.3      | 23.10   | 22.92   | 0.18 |
| 2.4      | 22.75   | 22.60   | 0.15 |
| 2.5      | 22.64   | 22.52   | 0.12 |
| 2.6      | 22.99   | 22.81   | 0.18 |



(a) 감쇠량



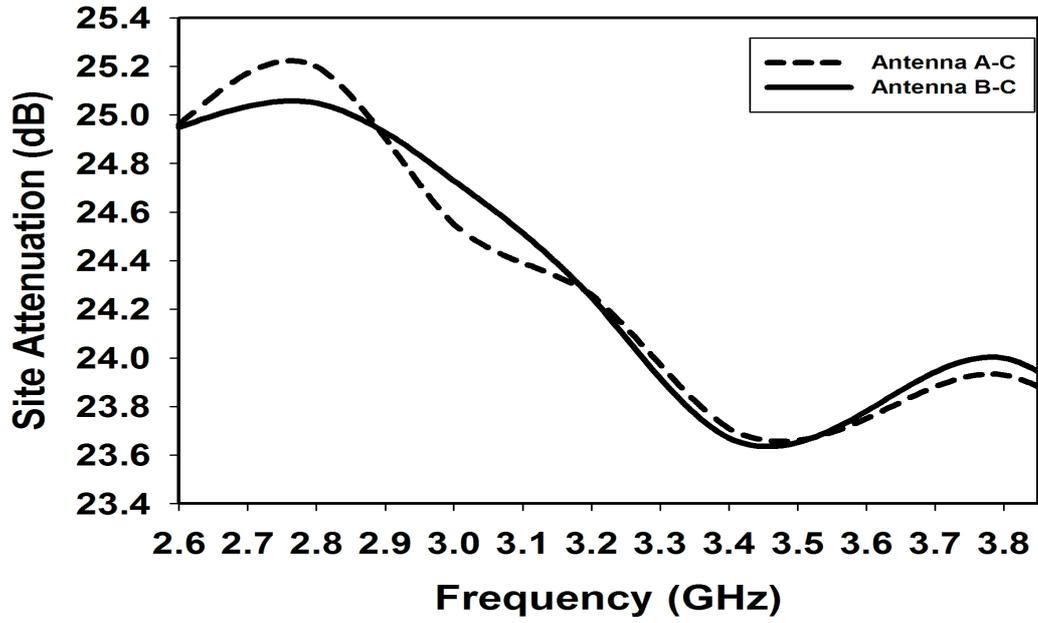
(b) 편차

[그림 3.3.4] 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(1.8 GHz ~ 2.6 GHz)

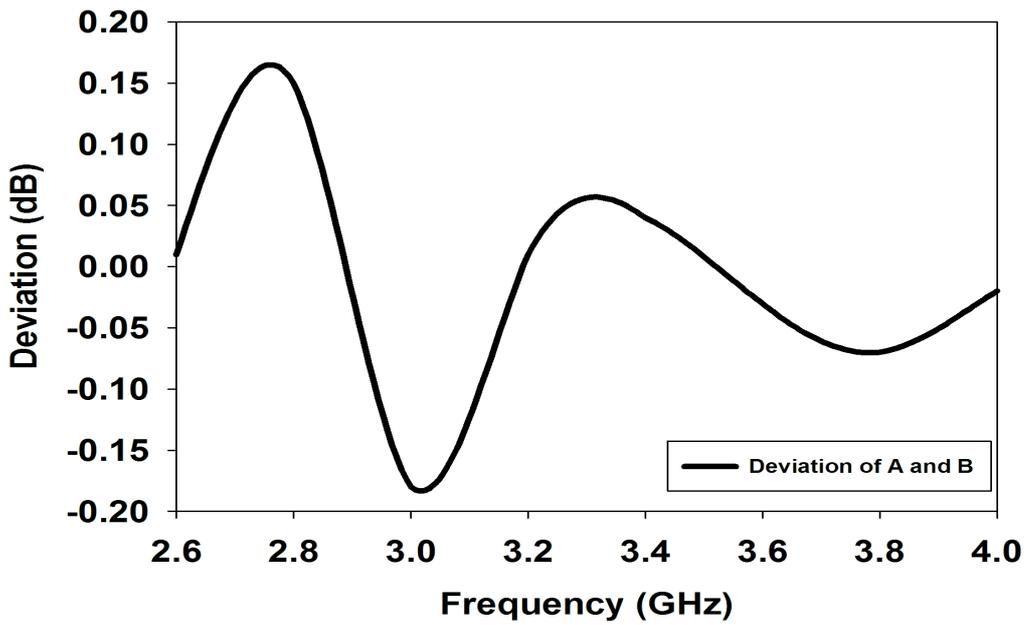
## 3) 2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역에 대한 검증 결과

[표 3.3.3] 2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역 동등성 평가 결과

| 주파수(GHz) | 안테나 A-C | 안테나 B-C | 편차    |
|----------|---------|---------|-------|
| 2.6      | 24.96   | 24.95   | 0.01  |
| 2.8      | 25.20   | 25.05   | 0.15  |
| 3.0      | 24.55   | 24.73   | -0.18 |
| 3.2      | 24.26   | 24.25   | 0.01  |
| 3.4      | 23.71   | 23.67   | 0.04  |
| 3.6      | 23.75   | 23.78   | -0.03 |
| 3.8      | 23.93   | 24.00   | -0.07 |
| 4.0      | 23.58   | 23.60   | -0.02 |



(a) 감쇠량



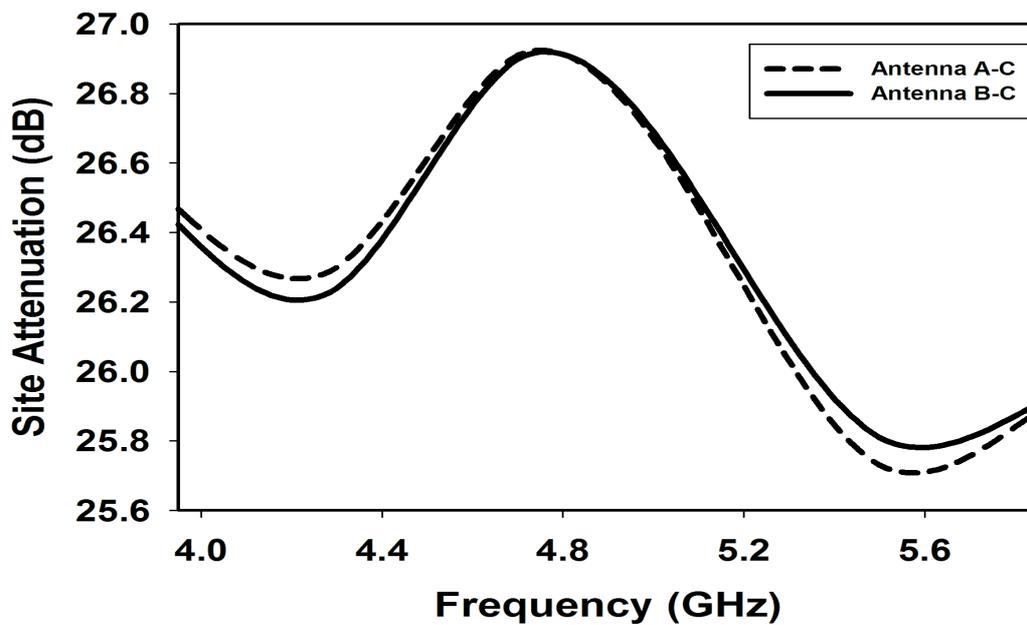
(b) 편차

[그림 3.3.5] 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(2.6 GHz ~ 3.95 GHz)

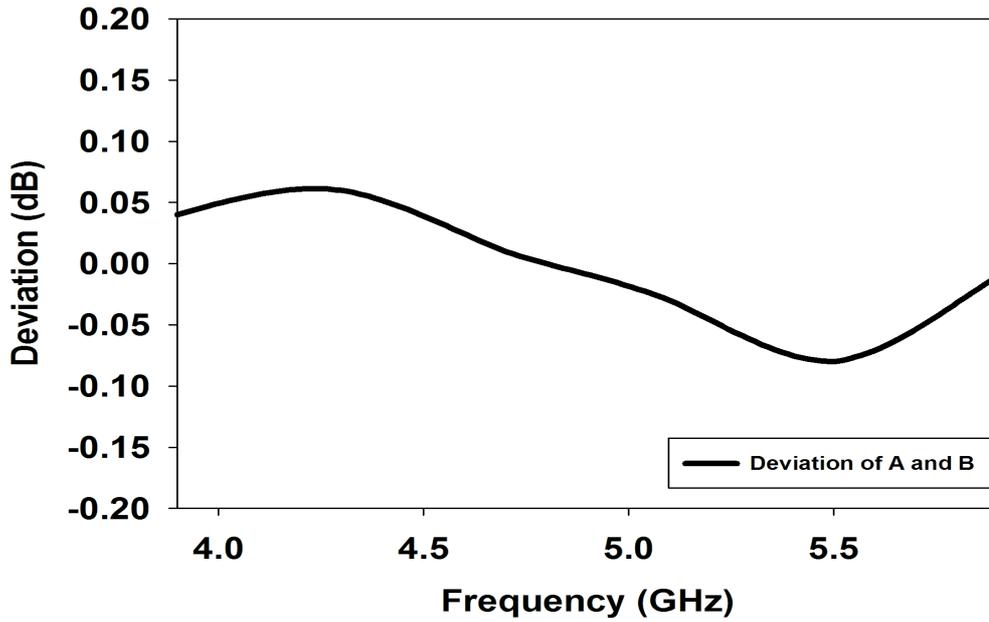
## 4) 3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역에 대한 검증 결과

[표 3.3.4] 3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역 동등성 평가 결과

| 주파수(GHz) | 안테나 A-C | 안테나 B-C | 편차   |
|----------|---------|---------|------|
| 3.9      | 26.53   | 26.49   | 0.03 |
| 4.3      | 26.30   | 26.24   | 0.06 |
| 4.7      | 26.91   | 26.90   | 0.01 |
| 5.1      | 26.47   | 26.50   | 0.03 |
| 5.5      | 25.73   | 25.81   | 0.08 |
| 5.9      | 25.93   | 25.94   | 0.01 |



(a) 감쇠량



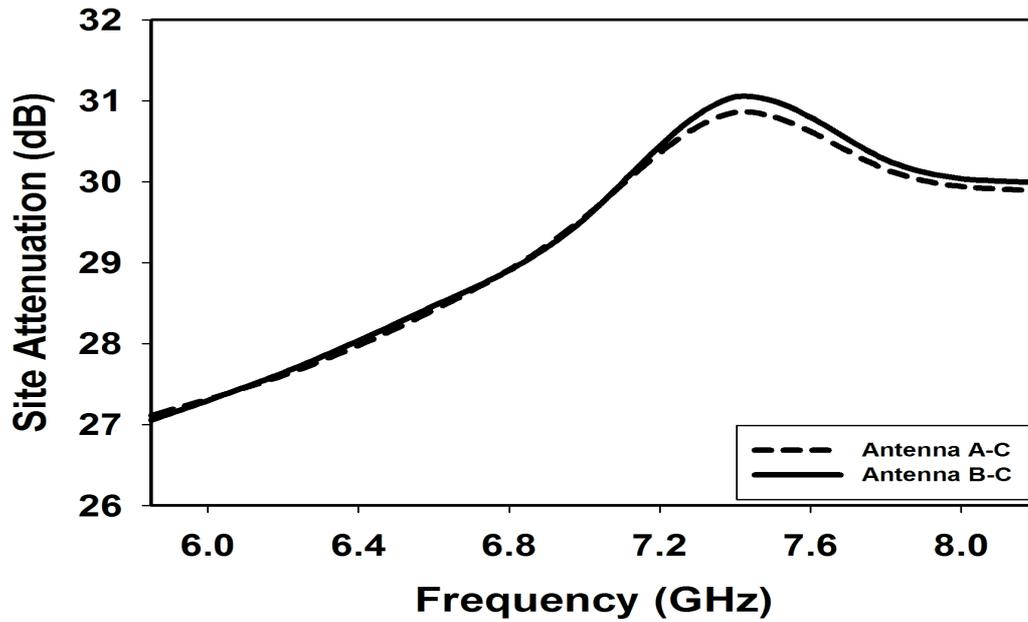
(b) 편차

[그림 3.3.6] 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(3.95 GHz ~ 5.85 GHz)

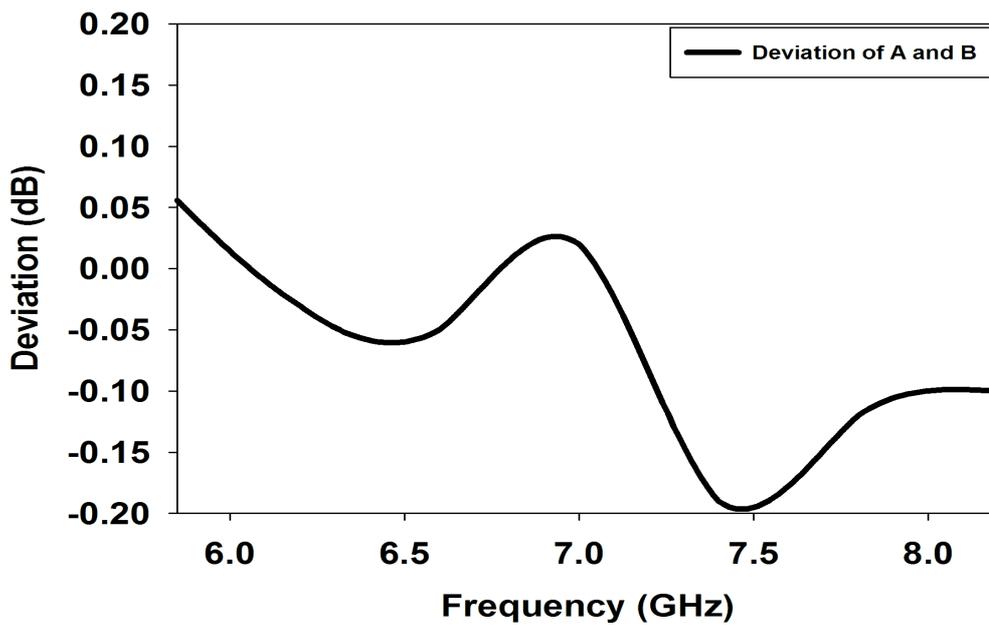
5) 5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역에 대한 검증 결과

[표 3.3.5] 5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역 동등성 평가 결과

| 주파수(GHz) | 안테나 A-C | 안테나 B-C | 편차   |
|----------|---------|---------|------|
| 5.8      | 27.05   | 26.98   | 0.07 |
| 6.2      | 27.61   | 27.64   | 0.03 |
| 6.6      | 28.42   | 28.47   | 0.05 |
| 7.0      | 29.56   | 29.54   | 0.02 |
| 7.4      | 30.86   | 31.05   | 0.19 |
| 7.8      | 30.15   | 30.27   | 0.12 |
| 8.2      | 29.89   | 29.99   | 0.11 |



(a) 감쇠량



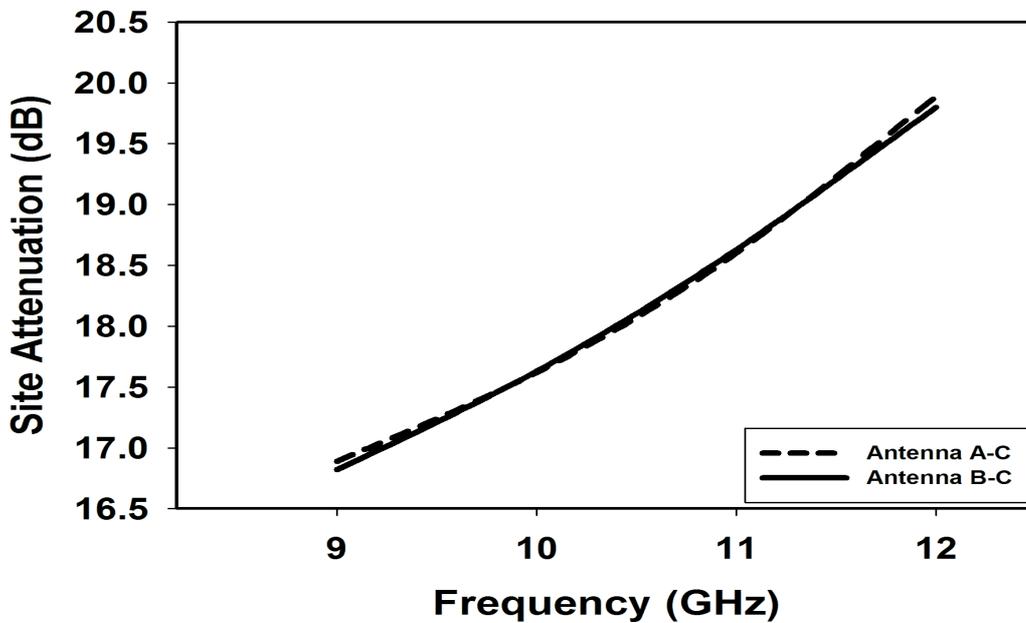
(b) 편차

[그림 3.3.7] 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(5.85 GHz ~ 8.2 GHz)

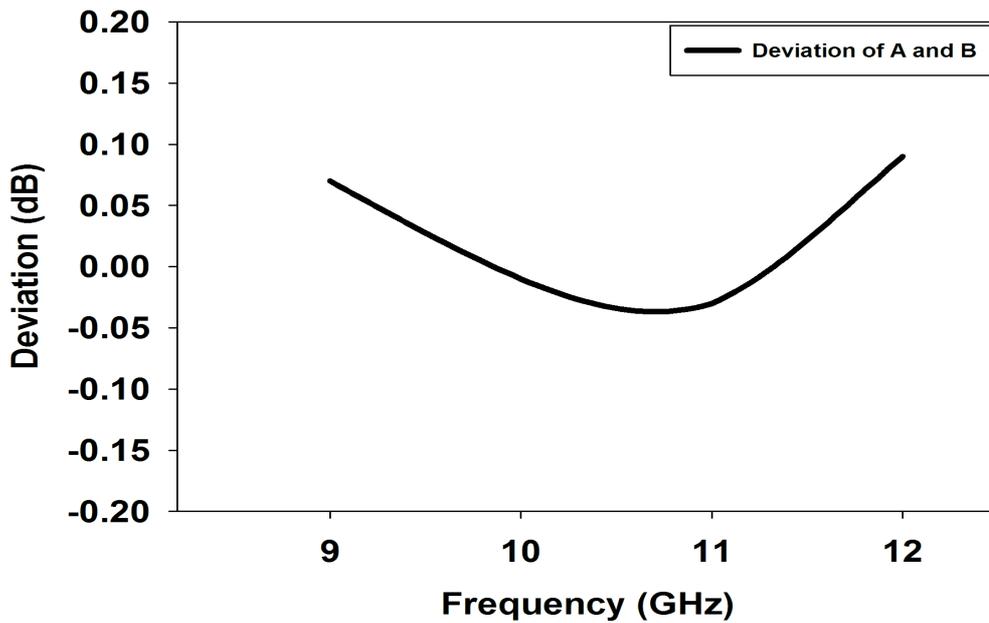
6) 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역에 대한 검증 결과

[표 3.3.6] 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역 동등성 평가 결과

| 주파수(GHz) | 안테나 A-C | 안테나 B-C | 편차   |
|----------|---------|---------|------|
| 9        | 16.89   | 16.82   | 0.07 |
| 10       | 17.62   | 17.63   | 0.01 |
| 11       | 18.6    | 18.63   | 0.03 |
| 12       | 19.89   | 19.8    | 0.09 |



(a) 감쇠량



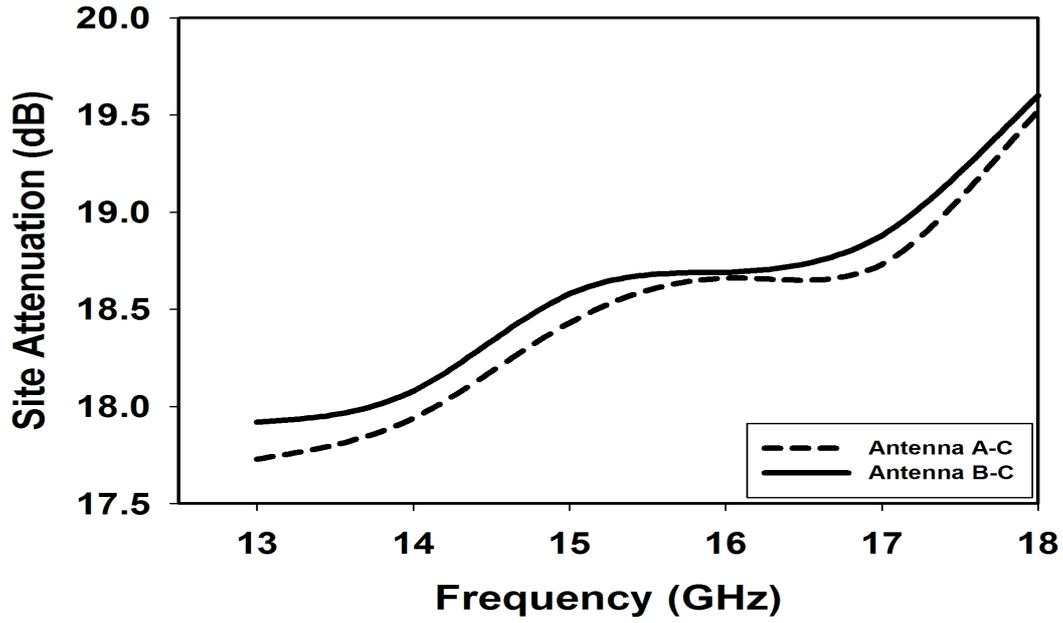
(b) 편차

[그림 3.3.8] 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(8.2 GHz ~ 12.5 GHz)

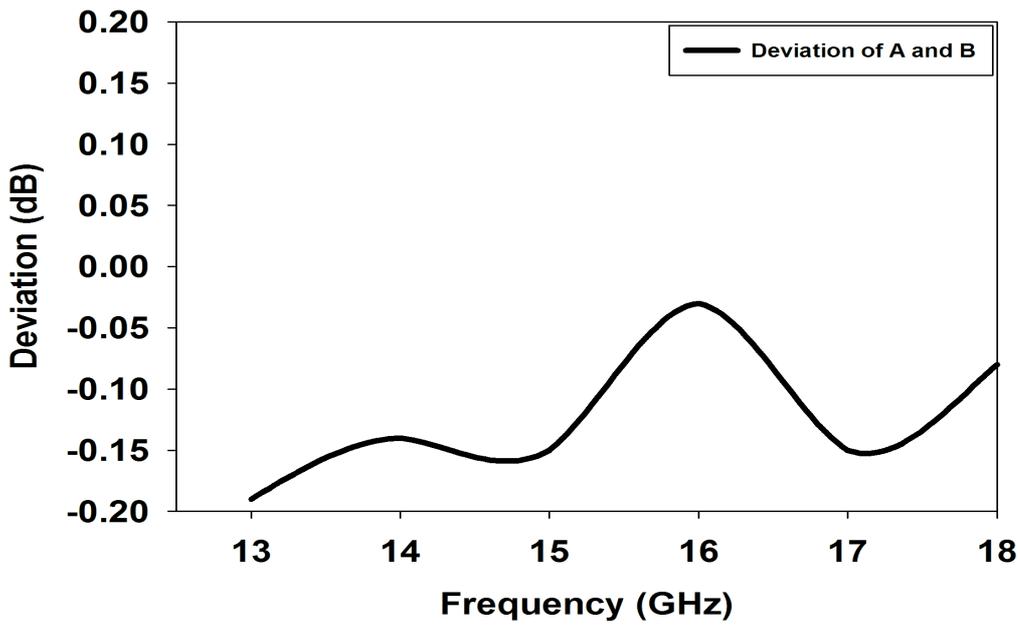
#### 7) 12.5 GHz ~ 18 GHz대역에 대한 검증 결과

[표 3.3.7] 12.5 GHz ~ 18 GHz대역 동등성 평가 결과

| 주파수(GHz) | 안테나 A-C | 안테나 B-C | 편차   |
|----------|---------|---------|------|
| 13       | 17.73   | 17.92   | 0.19 |
| 14       | 17.94   | 18.08   | 0.14 |
| 15       | 18.43   | 18.58   | 0.15 |
| 16       | 18.66   | 18.69   | 0.03 |
| 17       | 18.73   | 18.88   | 0.15 |
| 18       | 19.52   | 19.6    | 0.08 |



(a) 감쇠량



(b) 편차

[그림 3.3.9] 안테나(A, B) 감쇠량 측정 결과(12.5 GHz ~ 18 GHz)

[표 3.3.1] ~ [표 3.3.7]와 [그림 3.3.3] ~ [그림 3.3.9]의 결과로부터 1.12 GHz ~ 1.8 GHz 대역에서는 1.4 GHz대역에서 최대 편차가 0.19 dB, 1.8 GHz ~ 2.6 GHz 대역에서는 2.3 GHz대역에서 0.19 dB, 2.6 GHz ~ 3.95 GHz 대역에서는 3 GHz 대역에서 0.18 dB, 3.95 GHz ~ 5.85 GHz 대역에서는 5.5 GHz 대역에서 0.08 dB, 5.85 GHz ~ 8.2 GHz 대역에서는 7.4 GHz 대역에서 0.19 dB, 8.2 GHz ~ 12.5 GHz 대역에서는 12 GHz 대역에서 0.09 dB, 마지막으로 12.5 GHz ~ 18 GHz 대역에서는 13 GHz 대역에서 0.19 dB를 보였다. 따라서 제작된 혼 안테나는 최대 편차가 모두 0.2 dB이내임을 보임으로써 동등성이 검증되었다. 측정에 사용된 측정 장비인 네트워크 분석기의 측정불확도가 0.1 dB이며 기타 고주파 케이블의 커넥터 연결 및 안정도 등의 불확도가 약 0.2 dB, 기타 시험장 불확도, 주변잡음, 안테나 높이 및 거리 오차, 혼 안테나 주 빔 방향 오차 등을 고려했을 때 두 안테나의 편차 0.2 dB이내는 불확도 범위 내에 있기 때문에 7개 대역 모두 0.2 dB 오차 범위에서 동등하다고 정의내릴 수 있다.

#### 4. 동등 표준안테나에 의한 R-SAM 검증

##### 가) 동등 혼 안테나의 표준 안테나인자 결정

###### 1) R-SAM에 의한 안테나 인자

위에서는 측정불확도를 고려하여 두 측정결과를 상호비교 함으로써 1 GHz ~ 18 GHz(7개 대역) 동등 혼 안테나의 동등성은 모든 대역에서 0.2 dB 이내의 편차로 안테나의 특성이 동등하다는 것을 확인하였다. 따라서 동등안테나의 안테나인자는 인자 식 (3.2.3)으로부터 산출할 수 있다.

이 식에 따르면 두 개의 동등 혼 안테나 사이의 감쇠량( $A_{RT}$ )를 단 한번 측정함으로써 동등한 표준 안테나인자( $AF_{TX} = AF_{RX}$ )를 결정할 수가 있다. 이는 마치 표준 다이폴 안테나의 발룬 특성을 측정하여 표준 다이폴안테나의 안테나인자를 결정하는 것과 같다.

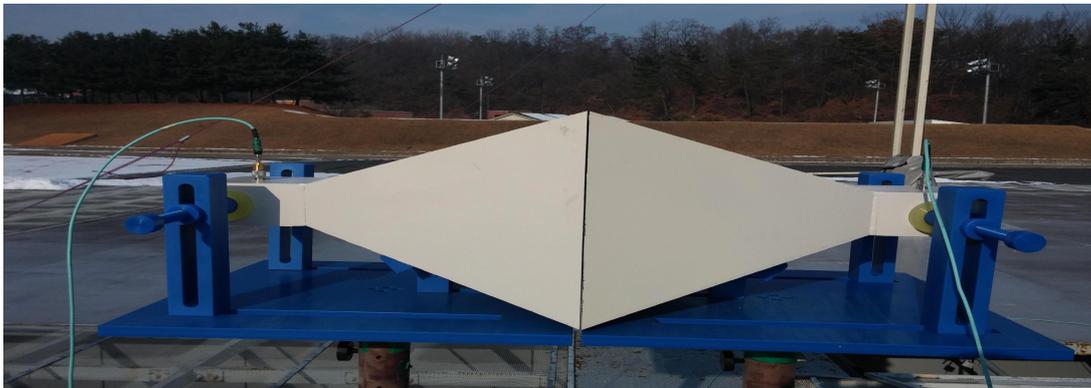
여기서 동등 혼 안테나는 감쇠량 측정 결과를 상호 비교함으로써 동등성을 확인했으며 측정불확도를 고려하여 0.2 dB이내의 값으로 두 안테나가 같다고 정의 내렸다. 이와 같이 동등하다고 하는 것, 즉 안테나 특성이 똑 같다고 하는 것은 제작된 상태 그 자체로 확인한다는 것은 불가능하며 동등성

이라는 정의에 따라 측정을 수행하고 측정불확도 내에서 동등하다고 선언해야 할 것이다.

다음은 1 GHz ~ 18 GHz(7개 대역)의 혼 안테나의 동등 표준 안테나인자 산출에 대한 결과를 나타내었다.

## 2) 동등 표준 안테나인자 산출

크기가 서로 다른 7개대역의 안테나를 거치하고 측정하기 위한 안테나 지그는 [그림 3.4.1]에서 보여주는 바와 같으며 동등한 혼 안테나는 높이 2 m 에서 수평을 조절하고 금속 접지평면 위의 평형이 보장되는 레일(연구원 특허 등록 : 전자파 측정용 보조장치) 위에서 거리를 3 m 이격시키고 각각의 감쇠량을 측정하였다. 측정된 감쇠량 값으로부터 산출된 동등 표준 안테나 인자는 [표 3.4.1] ~ [표 3.4.7]과 같으며, 이는 동등 혼 안테나의 표준 안테나 인자로서 [그림 3.4.2] ~ [그림 3.4.3]에 나타내었다.



(a) 높이 및 수평 조절



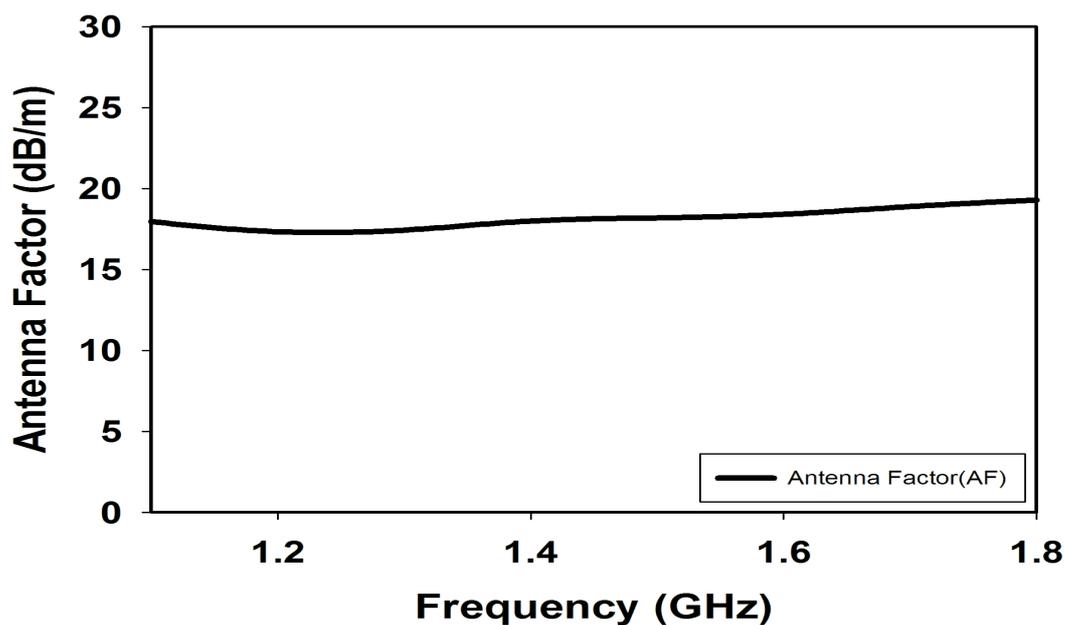
(b) 거리 이격(3 m)

[그림 3.4.1] 제작 안테나 동등성 평가를 위한 감쇠량 측정

가. 1.12 GHz ~ 1.8 GHz대역 동등 표준 안테나 인자

[표 3.4.1] 1.12 GHz ~ 1.8 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자

| 주파수 (GHz) | 소스안테나와 안테나<br>A, B 사이의<br>감쇠량 (dB) | 동등 혼 안테나 안테나 인자(AF)<br>(dB/m) |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------|
|           |                                    | A = B                         |
| 1.1       | 16.63                              | 17.96                         |
| 1.2       | 14.62                              | 17.33                         |
| 1.3       | 14.12                              | 17.43                         |
| 1.4       | 14.60                              | 17.99                         |
| 1.5       | 14.38                              | 18.18                         |
| 1.6       | 14.27                              | 18.41                         |
| 1.7       | 14.72                              | 18.89                         |
| 1.8       | 15.01                              | 19.29                         |

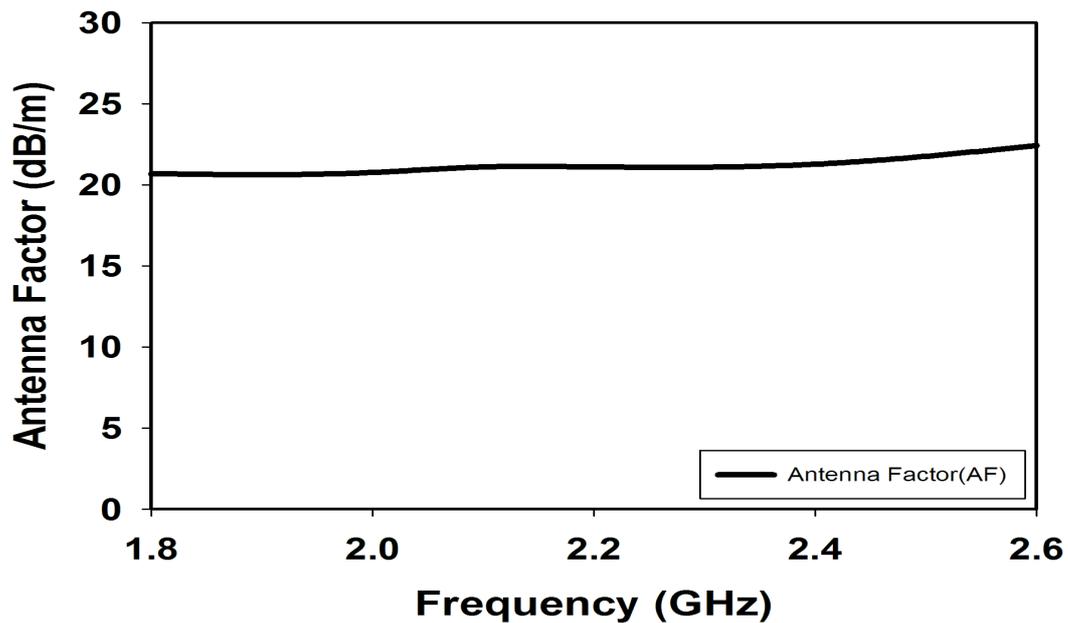


[그림 3.4.2] 측정된 1.12 GHz ~ 1.8 GHz대역 표준 안테나 인자

## 나. 1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역 동등 표준 안테나 인자

[표 3.4.2] 1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자

| 주파수 (GHz) | 소스안테나와 안테나<br>A, B 사이의<br>감쇠량 (dB) | 동등 혼 안테나 안테나 인자(AF)<br>(dB/m) |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------|
|           |                                    | A = B                         |
| 1.8       | 17.82                              | 20.69                         |
| 1.9       | 17.21                              | 20.62                         |
| 2         | 17.04                              | 20.76                         |
| 2.1       | 17.29                              | 21.10                         |
| 2.2       | 16.90                              | 21.10                         |
| 2.3       | 16.46                              | 21.08                         |
| 2.4       | 16.49                              | 21.27                         |
| 2.5       | 17.10                              | 21.76                         |
| 2.6       | 18.07                              | 22.42                         |

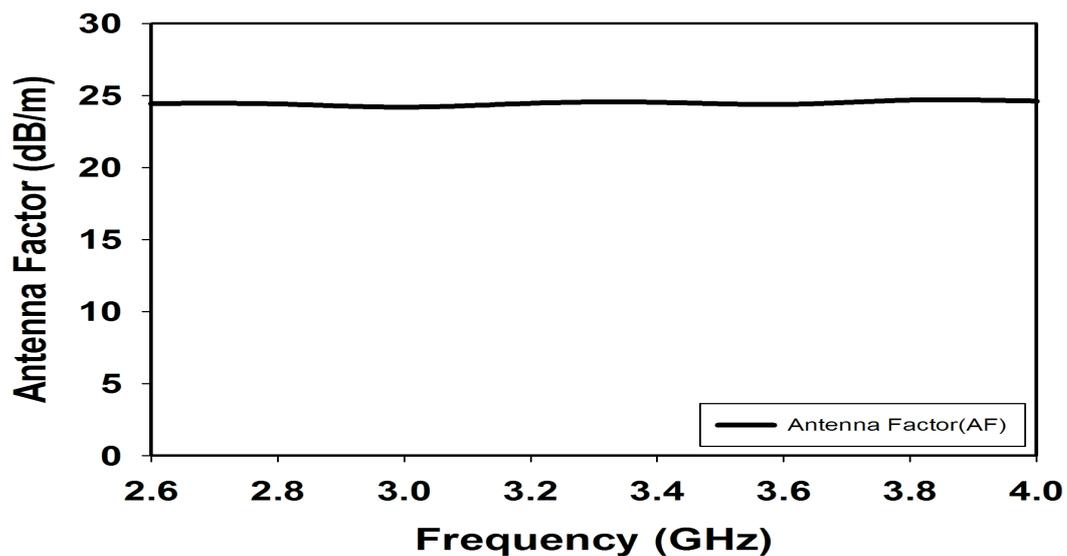


[그림 3.4.3] 측정된 1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역 표준 안테나 인자

다. 2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역 동등 표준 안테나 인자

[표 3.4.3] 2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자

| 주파수 (GHz) | 소스안테나와 안테나<br>A, B 사이의<br>감쇠량 (dB) | 동등 혼 안테나 안테나 인자(AF)<br>(dB/m) |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------|
|           |                                    | A = B                         |
| 2.6       | 22.11                              | 24.43                         |
| 2.8       | 21.42                              | 24.41                         |
| 3         | 20.36                              | 24.18                         |
| 3.2       | 20.35                              | 24.45                         |
| 3.4       | 19.96                              | 24.52                         |
| 3.6       | 19.16                              | 24.37                         |
| 3.8       | 19.31                              | 24.68                         |
| 4         | 18.72                              | 24.61                         |

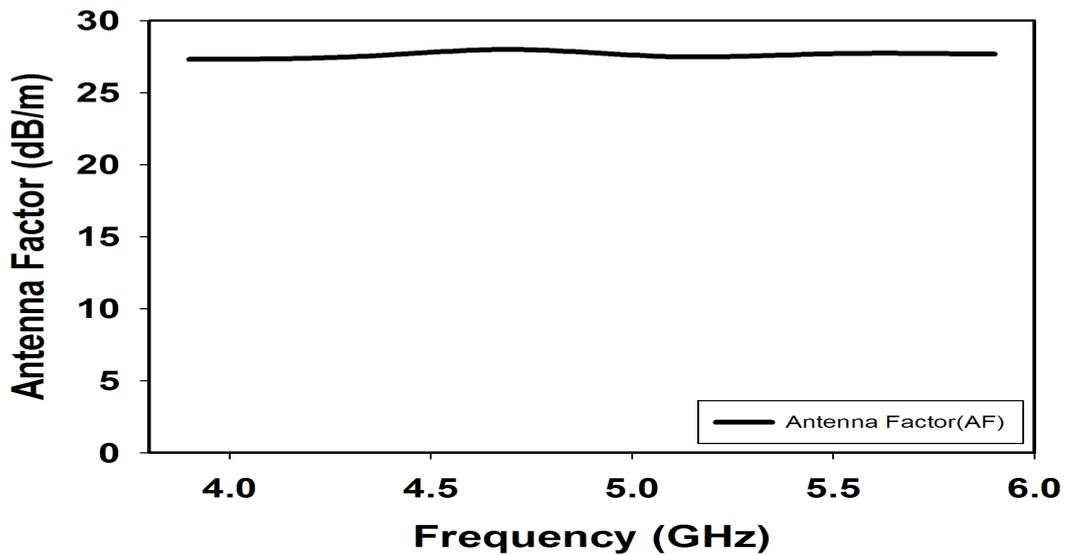


[그림 3.4.4] 측정된 2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역 표준 안테나 인자

라. 3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역 동등 표준 안테나 인자

[표 3.4.4] 3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자

| 주파수 (GHz) | 소스안테나와 안테나<br>A, B 사이의<br>감쇠량 (dB) | 동등 혼 안테나 안테나 인자(AF)<br>(dB/m) |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------|
|           |                                    | A = B                         |
| 3.9       | 24.32                              | 27.30                         |
| 4.3       | 23.82                              | 27.48                         |
| 4.7       | 24.10                              | 28.00                         |
| 5.1       | 22.36                              | 27.49                         |
| 5.5       | 22.13                              | 27.70                         |
| 5.9       | 21.46                              | 27.67                         |

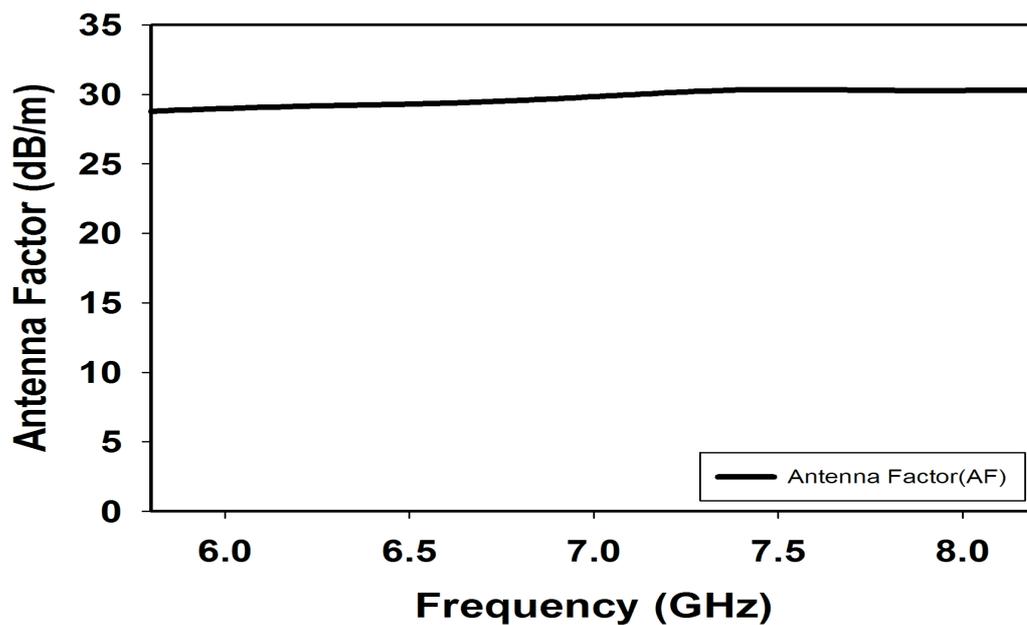


[그림 3.4.5] 측정된 3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역 표준 안테나 인자

마. 5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역 동등 표준 안테나 인자

[표 3.4.5] 5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자

| 주파수 (GHz) | 소스안테나와 안테나<br>A, B 사이의<br>감쇠량 (dB) | 동등 혼 안테나 안테나 인자(AF)<br>(dB/m) |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------|
|           |                                    | A = B                         |
| 5.8       | 23.84                              | 28.79                         |
| 6.2       | 23.95                              | 29.13                         |
| 6.6       | 23.87                              | 29.36                         |
| 7.0       | 24.30                              | 29.83                         |
| 7.4       | 24.78                              | 30.31                         |
| 7.8       | 24.25                              | 30.27                         |
| 8.2       | 23.86                              | 30.30                         |

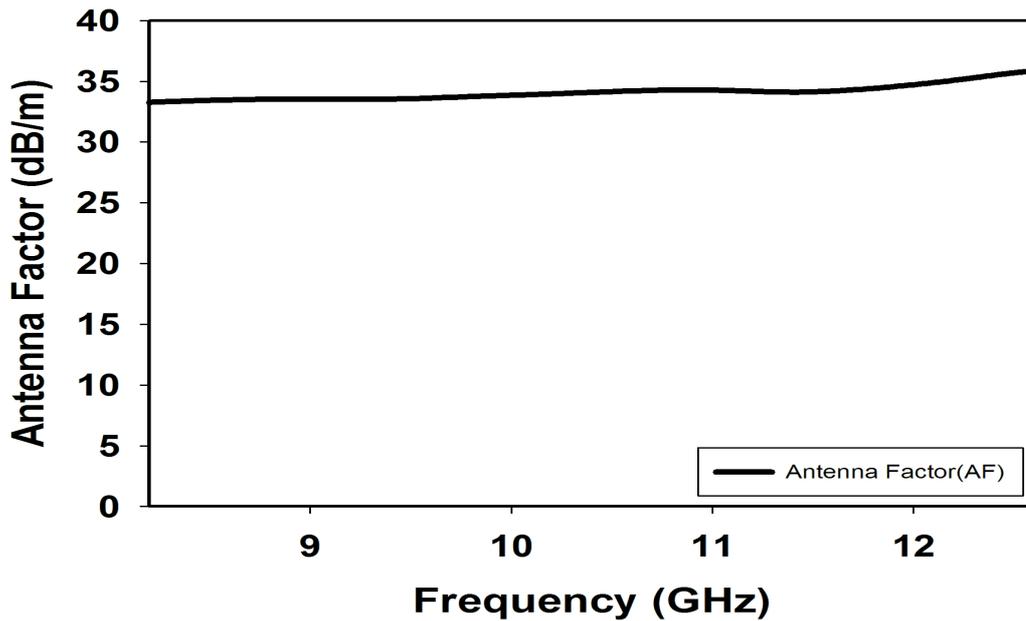


[그림 3.4.6] 측정된 5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역 표준 안테나 인자

바. 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역 동등 표준 안테나 인자

[표 3.4.6] 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자

| 주파수 (GHz) | 소스안테나와 안테나 A, B 사이의 감쇠량 (dB) | 동등 혼 안테나 안테나 인자(AF) (dB/m) |
|-----------|------------------------------|----------------------------|
|           |                              | A = B                      |
| 8.2       | 29.79                        | 33.26                      |
| 8.6       | 29.78                        | 33.46                      |
| 9.0       | 29.51                        | 33.52                      |
| 9.4       | 29.13                        | 33.52                      |
| 9.8       | 29.19                        | 33.73                      |
| 10.2      | 29.29                        | 33.96                      |
| 10.6      | 29.44                        | 34.20                      |
| 11.0      | 29.25                        | 34.27                      |
| 11.4      | 28.62                        | 34.11                      |
| 11.8      | 28.93                        | 34.41                      |
| 12.2      | 29.97                        | 35.08                      |
| 12.6      | 30.54                        | 35.50                      |

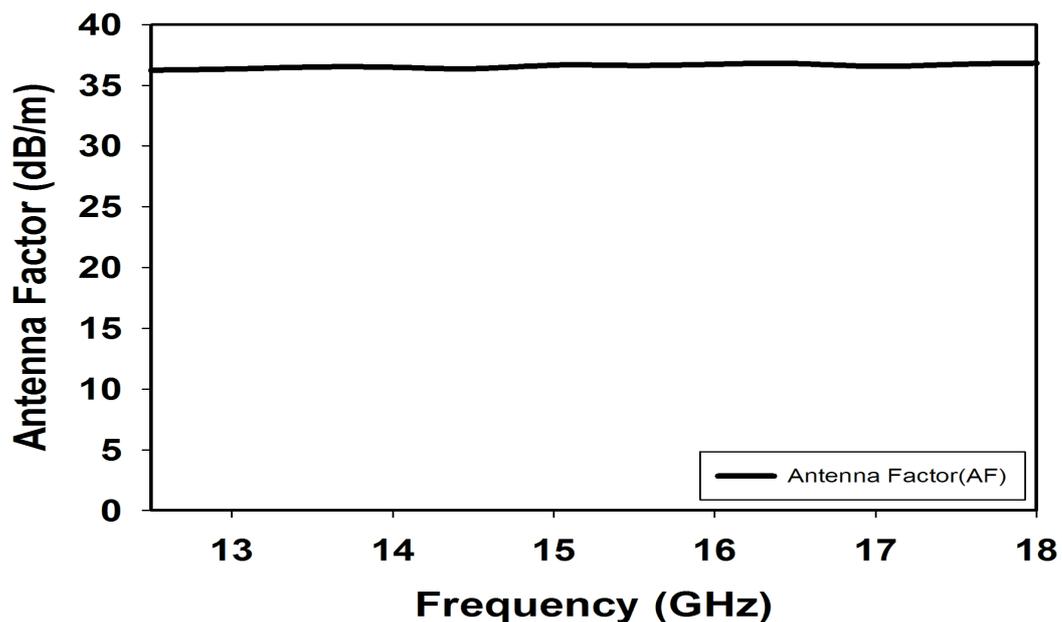


[그림 3.4.7] 측정된 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역 표준 안테나 인자

사. 12.5 GHz ~ 18 GHz대역 동등 표준 안테나 인자

[표 3.4.7] 12.5 GHz ~ 18 GHz대역 감쇠량 값과 표준 안테나 인자

| 주파수 (GHz) | 소스안테나와 안테나<br>A, B 사이의<br>감쇠량 (dB) | 동등 혼 안테나 안테나 인자(AF)<br>(dB/m) |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------|
|           |                                    | A = B                         |
| 12.5      | 32.09                              | 36.24                         |
| 13.0      | 31.93                              | 36.34                         |
| 13.5      | 31.92                              | 36.49                         |
| 14.0      | 31.58                              | 36.48                         |
| 14.5      | 31.03                              | 36.36                         |
| 15.0      | 31.32                              | 36.65                         |
| 15.5      | 30.98                              | 36.62                         |
| 16.0      | 30.90                              | 36.72                         |
| 16.5      | 30.76                              | 36.78                         |
| 17.0      | 30.05                              | 36.56                         |
| 17.5      | 30.11                              | 36.71                         |
| 18.0      | 30.08                              | 36.82                         |



[그림 3.4.8] 측정된 12.5 GHz ~ 18 GHz대역 표준 안테나 인자

## 5. R-SAM과 3-안테나 법 측정결과 상호비교

앞에서는 7개 대역의 동등 표준안테나 인자를 산출하였다. 이렇게 산출된 동등 표준 안테나 인자를 사용하여 R-SAM법에 의해 임의의 광대역 (SCHWARZBECK BBHA9120 D model) 안테나 (주파수대역 : 1 GHz ~ 18 GHz)의 안테나 인자를 산출하였다. 또한 기존의 대표적인 3-안테나 법(TAM)을 사용하여 광대역 안테나 (SCHWARZBECK BBHA9120 D model)의 안테나 인자를 산출하고 R-SAM 측정방법 결과와 상호비교 함으로써 R-SAM 측정방법의 유효성을 검증하였다. 두 측정법으로 얻은 안테나 인자는 1 GHz ~ 18 GHz대역 범위에서 최대 오차는 0.19 dB를 보임으로써 R-SAM 측정방법의 유효성이 검증되었다. 이때 두 측정방법의 측정환경은 모든 대역에서 높이( $h$ ) = 2 m, 거리( $d$ ) = 3 m로 동일하게 적용하였다.

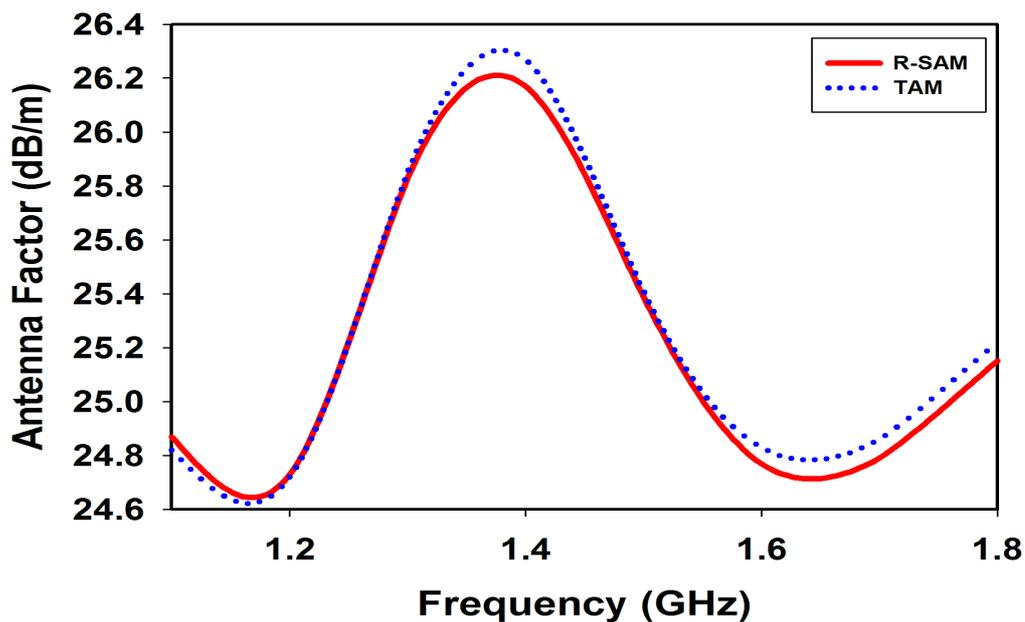
### 1) 상호비교 측정 결과(1 GHz ~ 18 GHz 대역)

#### 가. 1 GHz ~ 1.8 GHz 대역

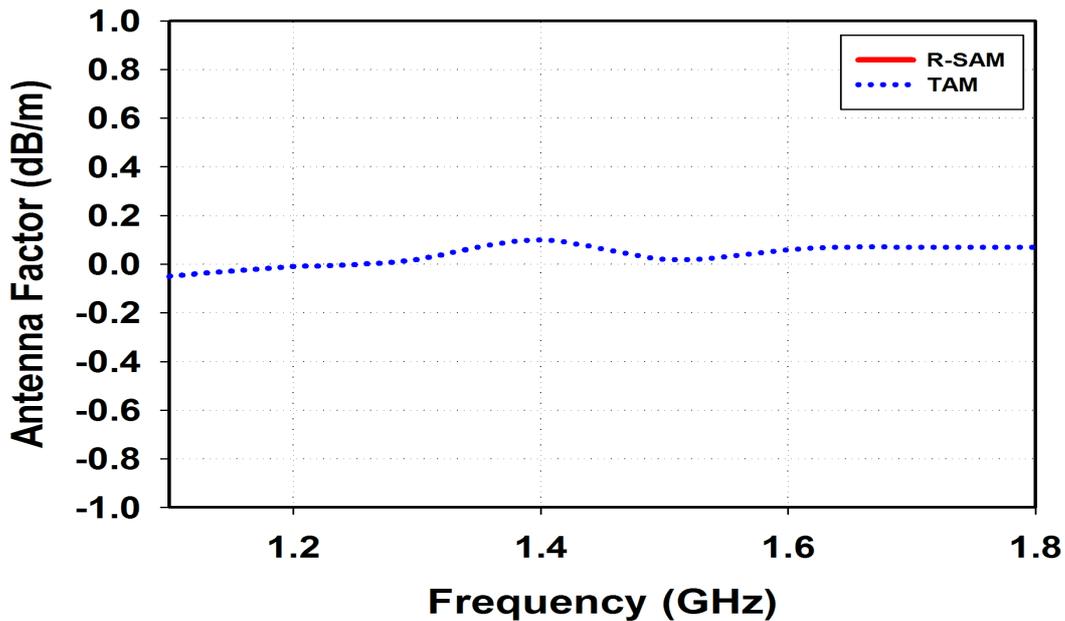
R-SAM과 TAM 측정결과는 [표 3.5.1]과 [그림 3.5.1]에서 보여주는 바와 같이 측정된 1 GHz ~ 1.8 GHz대역의 안테나 (SCHWARZBECK BBHA9120 D model)의 인자는 약 24 dB/m ~ 26.5 dB/m 범위의 값을 갖으며 거의 모든 주파수에서 R-SAM결과와 TAM 결과는 0.07 dB 이내로 일치하는 것을 확인하였다. 또한 TAM으로 측정된 안테나 A, B의 특성에서도 두 안테나의 동등성이 0.2 dB이내임을 보이며 다시 한 번 동등성이 검증되었다. 따라서 전체 측정불확도를 고려했을 때 0.2 dB 이내의 값으로 두 안테나가 같은 값을 갖는다고 정의할 수 있다.

[표 3.5.1] 측정결과 상호비교(1 GHz ~ 1.8 GHz대역)

| 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 3-안테나법<br><i>AF</i><br>(dB/m) |       |       | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 3-안테<br>나법과<br>R-SAM<br>편차<br>(dB) | 3-안테나 법<br>A,B 동등성<br>평가<br>(dB) |
|--------------|------------------------------|-------------------------------|-------|-------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|              | A=B                          | A                             | B     | C     | C                            | C(비교)                              | A, B 차이                          |
| 1.1          | 17.96                        | 18                            | 17.91 | 24.82 | 24.87                        | -0.05                              | 0.09                             |
| 1.2          | 17.33                        | 17.34                         | 17.32 | 24.72 | 24.73                        | -0.01                              | 0.02                             |
| 1.3          | 17.43                        | 17.41                         | 17.45 | 25.85 | 25.83                        | 0.02                               | -0.04                            |
| 1.4          | 17.99                        | 17.89                         | 18.09 | 26.27 | 26.17                        | 0.10                               | -0.20                            |
| 1.5          | 18.18                        | 18.15                         | 18.21 | 25.41 | 25.39                        | 0.02                               | -0.06                            |
| 1.6          | 18.41                        | 18.35                         | 18.46 | 24.83 | 24.77                        | 0.06                               | -0.11                            |
| 1.7          | 18.89                        | 18.82                         | 18.96 | 24.86 | 24.79                        | 0.07                               | -0.14                            |
| 1.8          | 19.29                        | 19.21                         | 19.36 | 25.22 | 25.15                        | 0.07                               | -0.15                            |



(a) 안테나 인자



(b) 편차

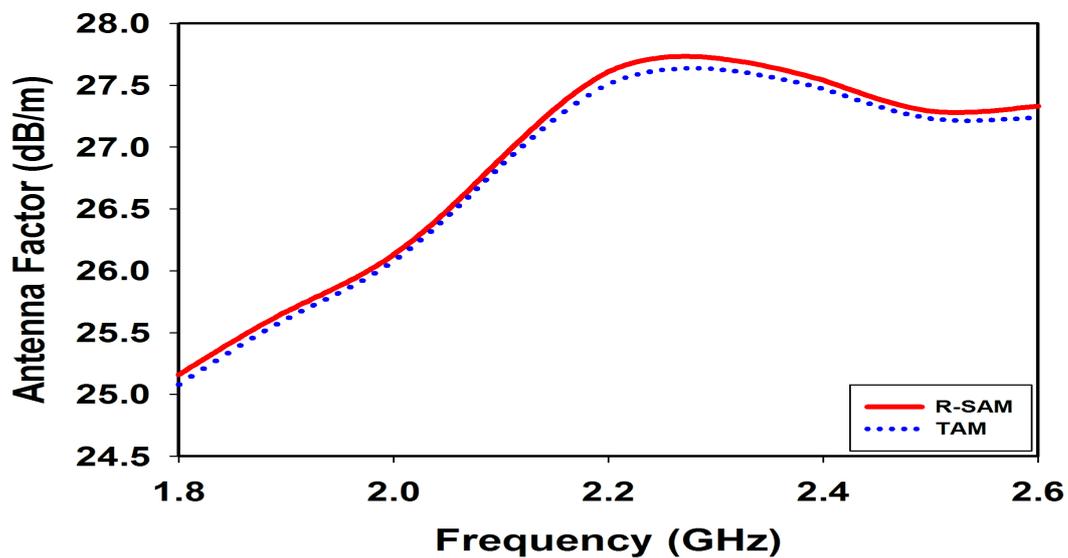
[그림 3.5.1] 안테나 인자 상호비교 결과(1.1 GHz ~ 1.8 GHz대역)

## 나. 1.8 GHz ~ 2.6 GHz 대역

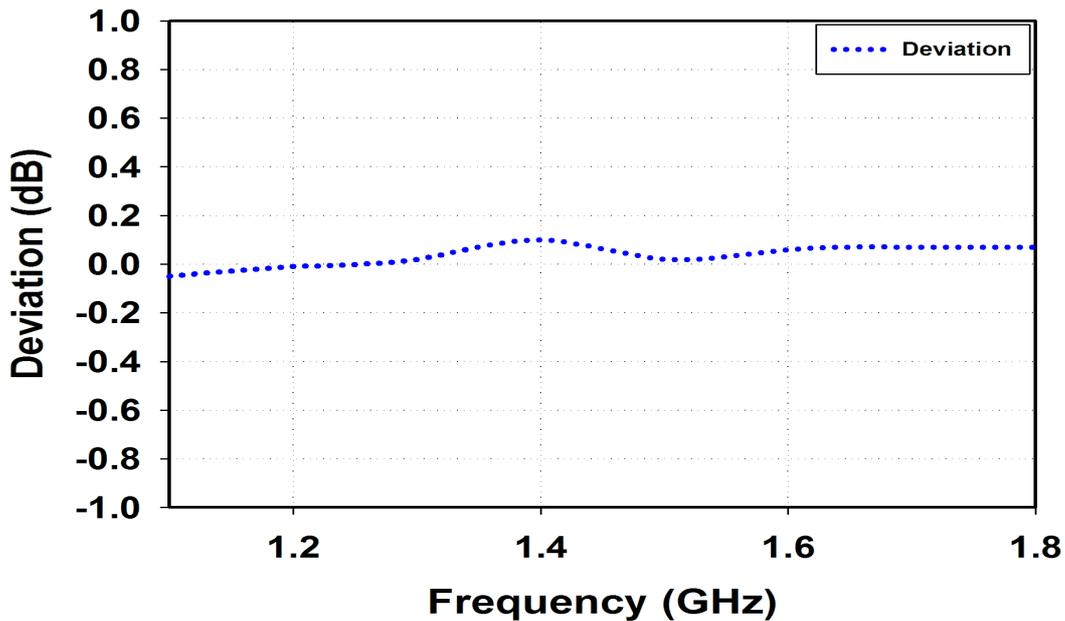
1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역의 R-SAM과 TAM 상호비교 측정결과는 [표 3.5.2]와 [그림 3.5.2]에 나타내었다. [표 3.5.2]와 [그림 3.5.2]에서 보여주는 바와 같이 측정된 1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역의 안테나(SCHWARZBECK BBHA9120 D model)의 인자는 약 25 dB/m ~ 28 dB/m 범위의 값을 갖으며 거의 모든 주파수에서 R-SAM결과와 TAM 결과는 0.09 dB 이내로 일치하는 것을 확인하였다. 또한 3-안테나 법으로 측정된 안테나 A, B의 특성에서도 다시 한 번 두 안테나의 동등성이 0.2 dB 이내임을 보임을 확인하였다. 따라서 전체 측정불확도를 고려했을 때 0.2 dB 이내의 값으로 두 안테나가 같은 값을 갖는다고 정의할 수 있다.

[표 3.5.2] 측정결과 상호비교(1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역)

| 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br>$AF$<br>(dB/m) | 3-안테나법<br>$AF$<br>(dB/m) |       |       | R-SAM<br>$AF$<br>(dB/m) | 3-안테나<br>법과<br>R-SAM<br>편차<br>(dB) | 3-안테나 법<br>$A, B$ 동등성평가<br>(dB) |
|--------------|-------------------------|--------------------------|-------|-------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|              | A=B                     | A                        | B     | C     | C                       | C(비교)                              | A, B 차이                         |
| 1.8          | 20.69                   | 20.77                    | 20.62 | 25.08 | 25.16                   | 0.08                               | 0.15                            |
| 1.9          | 20.62                   | 20.69                    | 20.56 | 25.61 | 25.67                   | 0.06                               | 0.13                            |
| 2.0          | 20.76                   | 20.81                    | 20.71 | 26.08 | 26.13                   | 0.05                               | 0.10                            |
| 2.1          | 21.10                   | 21.15                    | 21.04 | 26.85 | 26.91                   | 0.05                               | 0.11                            |
| 2.2          | 21.10                   | 21.20                    | 21.01 | 27.51 | 27.61                   | 0.09                               | 0.19                            |
| 2.3          | 21.08                   | 21.16                    | 20.99 | 27.63 | 27.72                   | 0.09                               | 0.17                            |
| 2.4          | 21.27                   | 21.35                    | 21.20 | 27.47 | 27.54                   | 0.08                               | 0.15                            |
| 2.5          | 21.76                   | 21.82                    | 21.70 | 27.23 | 27.29                   | 0.06                               | 0.12                            |
| 2.6          | 22.42                   | 22.51                    | 22.32 | 27.24 | 27.33                   | 0.09                               | 0.19                            |



(a) 안테나 인자



(b) 편차

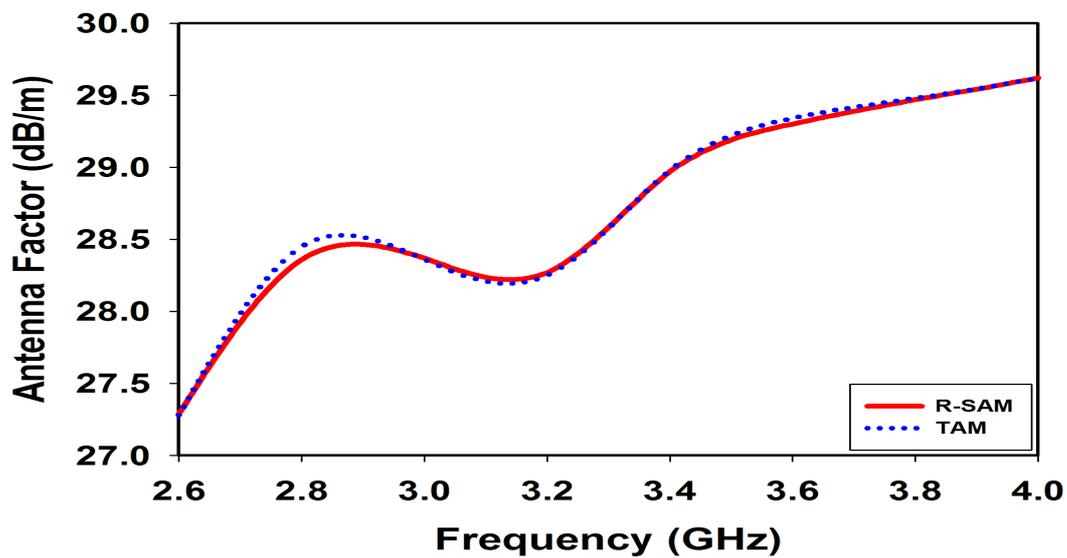
[그림 3.5.2] 안테나 인자 상호비교 결과(1.8 GHz ~ 2.6 GHz대역)

#### 다. 2.6 GHz ~ 3.95 GHz 대역

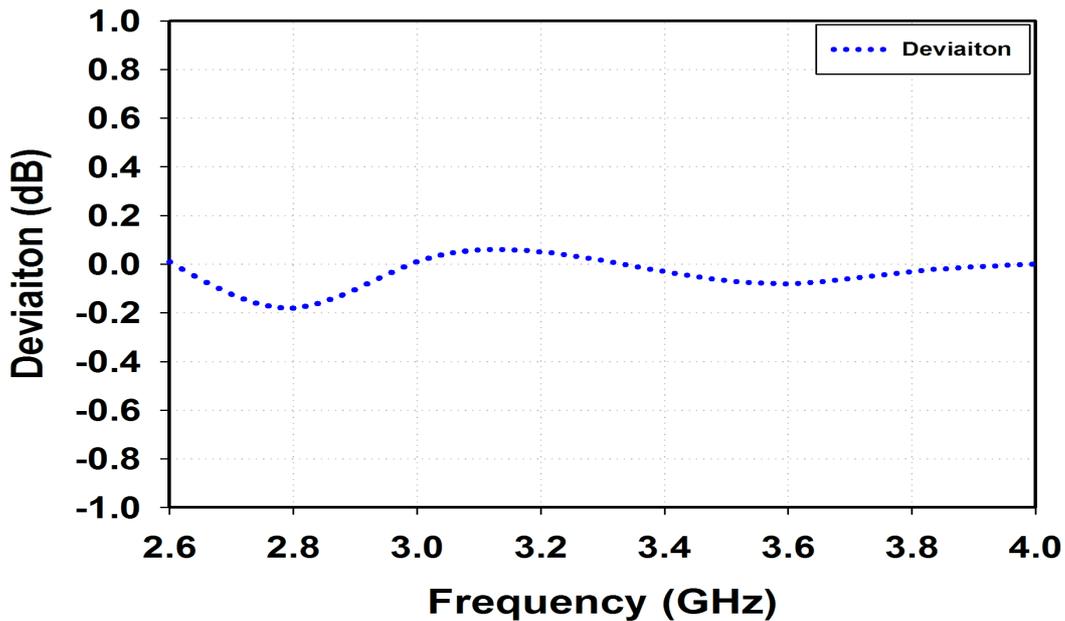
2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역의 R-SAM과 TAM 상호비교 측정결과는 [표 3.5.3]과 [그림 3-5-3]에 나타내었다. [표 3.5.3]과 [그림 3-5-3]에서 보여주는 바와 같이 측정된 2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역의 광대역안테나(SCHWARZBECK BBHA9120 D model)의 인자는 약 27.2 dB/m ~ 29.8 dB/m 범위의 값을 갖으며 거의 모든 주파수에서 R-SAM 결과와 TAM 결과는 0.09 dB 이내로 일치하는 것을 확인하였다. 또한 2.6 GHz ~ 3.95 GHz 대역에서도 TAM 법으로 측정된 안테나 A, B의 특성에서도 두 안테나가 0.2 dB이내의 동등성을 갖는 것을 확인하였다. 따라서 전체 측정불확도를 고려했을 때 이 대역에서도 0.2 dB 이내의 값으로 두 안테나가 같은 값을 갖는다고 정의할 수 있다.

[표 3.5.3] 측정결과 상호비교(2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역)

| 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br>$AF$<br>(dB/m) | 3-안테나법<br>$AF$<br>(dB/m) |       |              | R-SAM<br>$AF$<br>(dB/m) | 3-안테<br>나법과<br>R-SAM<br>편차<br>(dB) | 3-안테나 법<br>A,B 동등성<br>평가<br>(dB) |
|--------------|-------------------------|--------------------------|-------|--------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|              | A=B                     | A                        | B     | C            | C                       | C(비교)                              | A, B 차이                          |
| 2.6          | 24.43                   | 24.44                    | 24.43 | <b>27.28</b> | <b>27.29</b>            | 0.01                               | 0.01                             |
| 2.8          | 24.41                   | 24.09                    | 24.27 | <b>28.45</b> | <b>28.36</b>            | -0.18                              | -0.18                            |
| 3.0          | 24.18                   | 24.46                    | 24.45 | <b>28.36</b> | <b>28.37</b>            | 0.01                               | 0.01                             |
| 3.2          | 24.45                   | 24.55                    | 24.5  | <b>28.25</b> | <b>28.27</b>            | 0.05                               | 0.05                             |
| 3.4          | 24.52                   | 24.36                    | 24.39 | <b>28.98</b> | <b>28.97</b>            | -0.03                              | -0.03                            |
| 3.6          | 24.37                   | 24.64                    | 24.72 | <b>29.34</b> | <b>29.3</b>             | -0.08                              | -0.08                            |
| 3.8          | 24.68                   | 24.59                    | 24.62 | <b>29.48</b> | <b>29.47</b>            | -0.03                              | -0.03                            |
| 4.0          | 24.61                   | 24.85                    | 24.85 | <b>29.62</b> | <b>29.62</b>            | 0.00                               | 0.00                             |



(a) 안테나 인자



(b) 편차

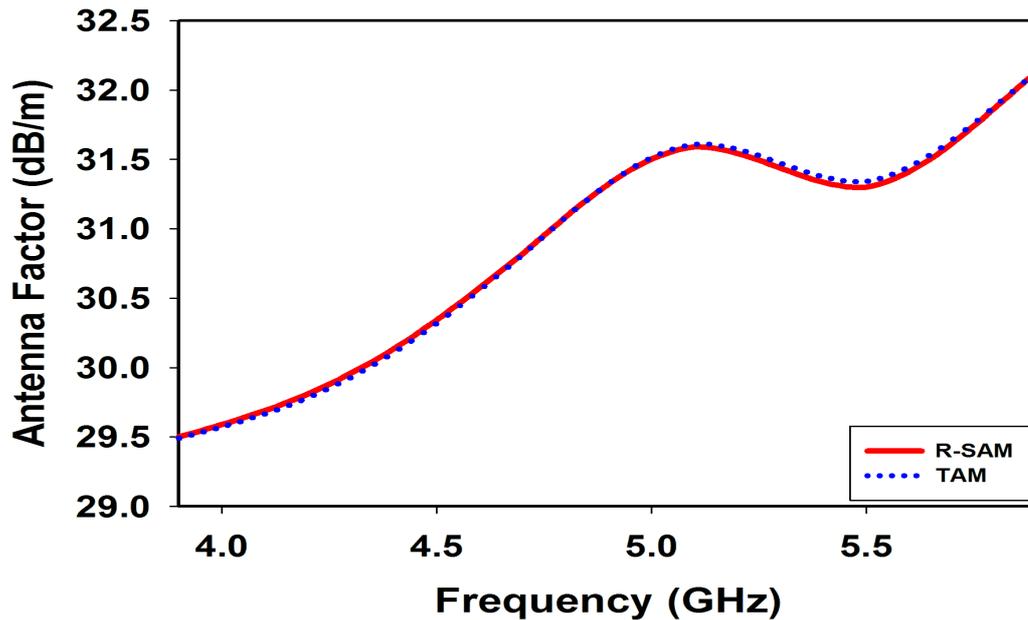
[그림 3.5.3] 안테나 인자 상호비교 결과(2.6 GHz ~ 3.95 GHz대역)

라. 3.95 GHz ~ 5.85 GHz 대역

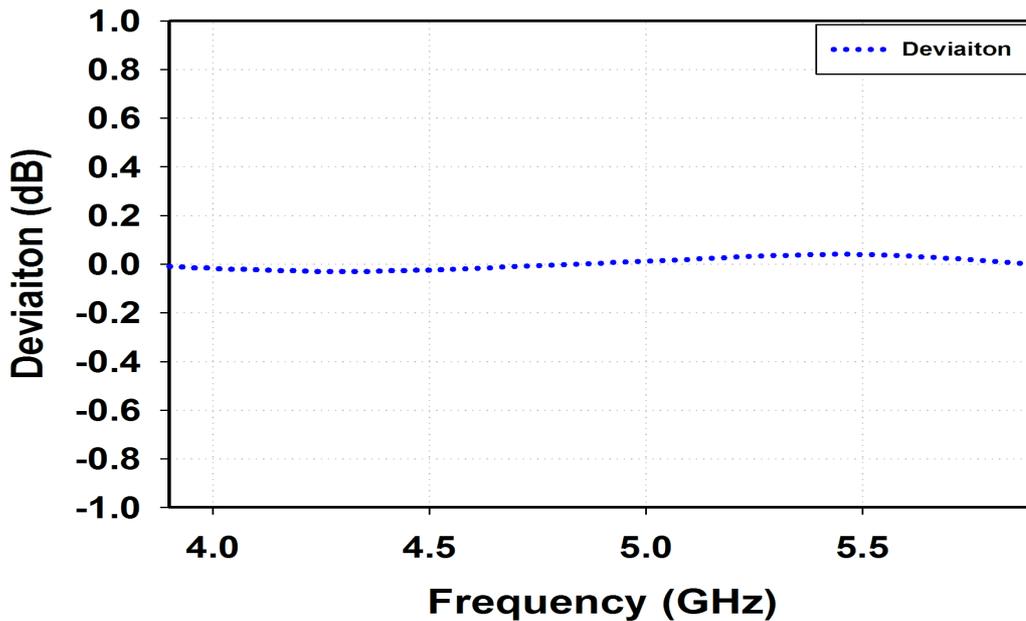
3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역의 R-SAM과 TAM 상호비교 측정결과는 [표 3.5.4]와 [그림 3.5.4]에 나타내었다. [표 3.5.4]와 [그림 3.5.4]에서 보여주는 바와 같이 측정된 3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역의 광대역안테나(SCHWARZBECK BBHA9120 D model)의 인자는 약 29 dB/m ~ 32.5 dB/m 범위의 값을 갖으며 거의 모든 주파수에서 R-SAM 결과와 TAM 결과는 0.04 dB 이내로 아주 잘 일치하는 것을 확인하였다. 또한 3.95 GHz ~ 5.85 GHz 대역에서도 TAM으로 측정된 안테나 A, B의 특성에서도 두 안테나의 동등성이 0.2 dB이내임을 확인하였다. 따라서 전체 측정불확도를 고려했을 때 0.2 dB 이내의 값으로 두 안테나가 같은 값을 갖는다고 정의할 수 있다.

[표 3.5.4] 측정결과 상호비교(3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역)

| 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 3-안테나법<br><i>AF</i><br>(dB/m) |       |              | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 3-안테나<br>나법과<br>R-SAM<br>편차<br>(dB) | 3-안테나 법<br>A,B 동등성<br>평가<br>(dB) |
|--------------|------------------------------|-------------------------------|-------|--------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|              | A=B                          | A                             | B     | C            | C                            | C(비교)                               | A, B 차이                          |
| 3.9          | 27.3                         | 27.32                         | 27.23 | <b>29.49</b> | <b>29.50</b>                 | -0.01                               | 0.09                             |
| 4.3          | 27.48                        | 27.51                         | 27.44 | <b>29.93</b> | <b>29.96</b>                 | -0.03                               | 0.07                             |
| 4.7          | 28.00                        | 28.00                         | 28.00 | <b>30.81</b> | <b>30.82</b>                 | -0.01                               | 0.00                             |
| 5.1          | 27.49                        | 27.47                         | 27.50 | <b>31.61</b> | <b>31.59</b>                 | 0.02                                | -0.03                            |
| 5.5          | 27.70                        | 27.66                         | 27.74 | <b>31.34</b> | <b>31.30</b>                 | 0.04                                | -0.08                            |
| 5.9          | 27.67                        | 27.66                         | 27.67 | <b>32.14</b> | <b>32.14</b>                 | 0.00                                | -0.01                            |



(a) 안테나 인자



(b) 편차

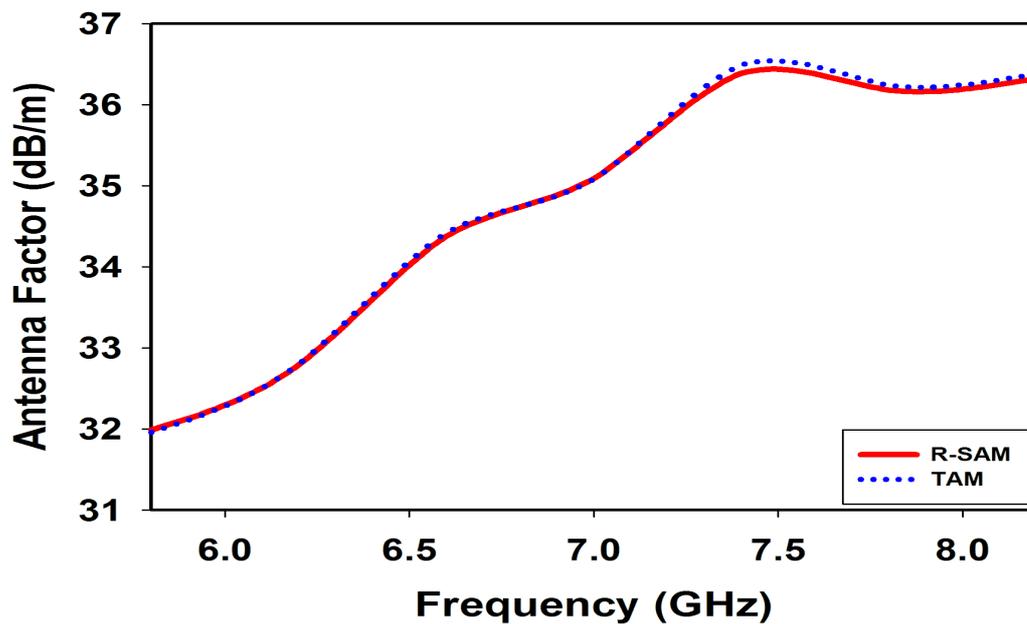
[그림 3.5.4] 안테나 인자 상호비교 결과(3.95 GHz ~ 5.85 GHz대역)

#### 마. 5.85 GHz ~ 8.2 GHz 대역

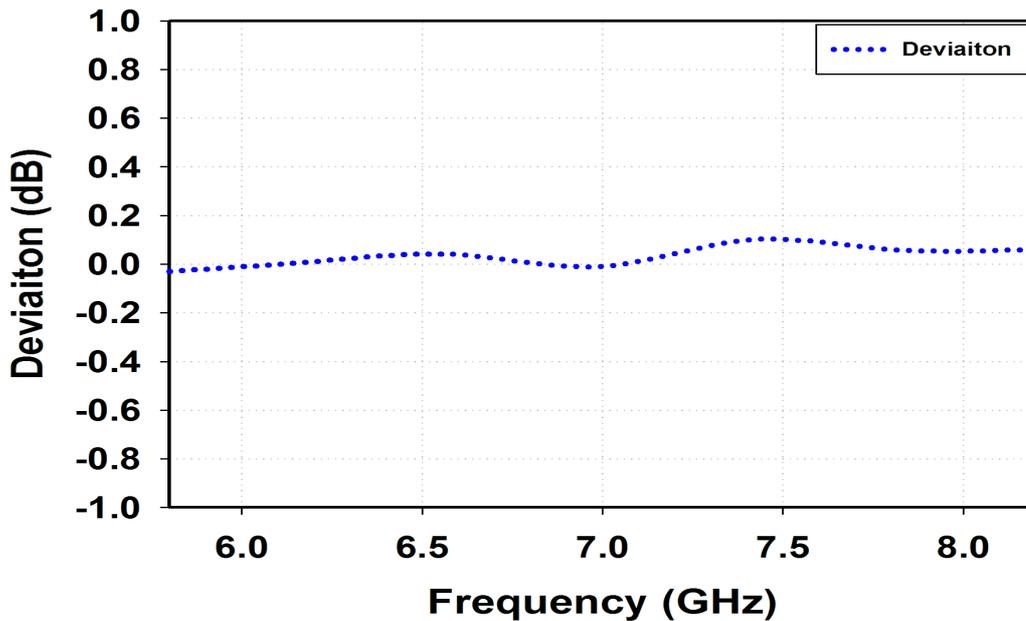
5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역의 R-SAM과 TAM 상호비교 측정결과는 [표 3.5.5]와 [그림 3.5.5]에 나타내었다. [표 3.5.5]와 [그림 3.5.5]에서 보여주는 바와 같이 측정된 5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역의 안테나(SCHWARZBECK BBHA9120 D model)의 인자는 약 32 dB/m ~ 36.5 dB/m 범위의 값을 갖으며 거의 모든 주파수에서 R-SAM 결과와 TAM 결과는 0.10 dB 이내로 아주 잘 일치하는 것을 확인하였다. 또한 5.85 GHz ~ 8.2 GHz 대역에서도 3-안테나 법으로 측정된 안테나 A, B의 특성에서도 두 안테나의 동등성이 0.2 dB이내임을 확인하였다. 따라서 전체 측정 불확도를 고려했을 때 0.2 dB 이내의 값으로 두 안테나가 같은 값을 갖는다고 정의할 수 있다.

[표 3.5.5] 측정결과 상호비교(5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역)

| 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br>$AF$<br>(dB/m) | 3-안테나법<br>$AF$<br>(dB/m) |       |       | R-SAM<br>$AF$<br>(dB/m) | 3-안테나법과<br>R-SAM<br>편차<br>(dB) | 3-안테나 법<br>A,B 동등성<br>평가<br>(dB) |
|--------------|-------------------------|--------------------------|-------|-------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|              | A=B                     | A                        | B     | C     | C                       | C(비교)                          | A, B 차이                          |
| 5.8          | 28.79                   | 28.82                    | 28.75 | 31.96 | 31.99                   | -0.03                          | 0.07                             |
| 6.2          | 29.13                   | 29.11                    | 29.18 | 32.80 | 32.79                   | 0.01                           | -0.07                            |
| 6.6          | 29.36                   | 29.66                    | 29.73 | 33.93 | 33.91                   | 0.04                           | -0.07                            |
| 7.0          | 29.83                   | 29.83                    | 29.82 | 35.08 | 35.09                   | -0.01                          | 0.01                             |
| 7.4          | 30.31                   | 30.22                    | 30.13 | 36.49 | 36.39                   | 0.10                           | 0.09                             |
| 7.8          | 30.27                   | 30.21                    | 30.33 | 36.24 | 36.18                   | 0.06                           | -0.12                            |
| 8.2          | 30.30                   | 30.25                    | 30.35 | 36.38 | 36.32                   | 0.06                           | -0.10                            |



(a) 안테나 인자



(b) 편차

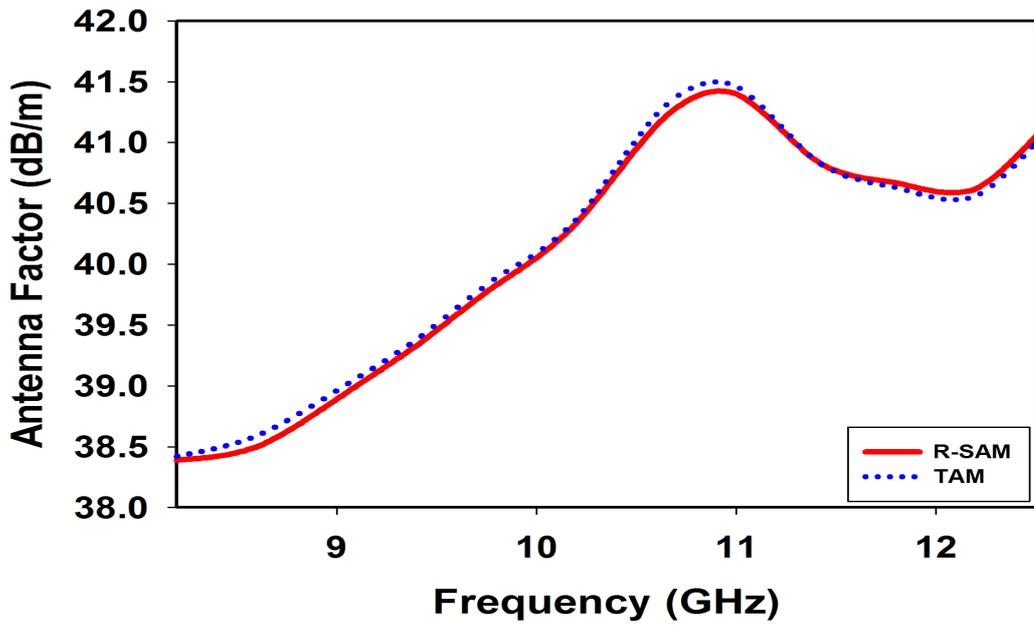
[그림 3.5.5] 안테나 인자 상호비교 결과(5.85 GHz ~ 8.2 GHz대역)

바. 8.2 GHz ~ 12.5 GHz 대역

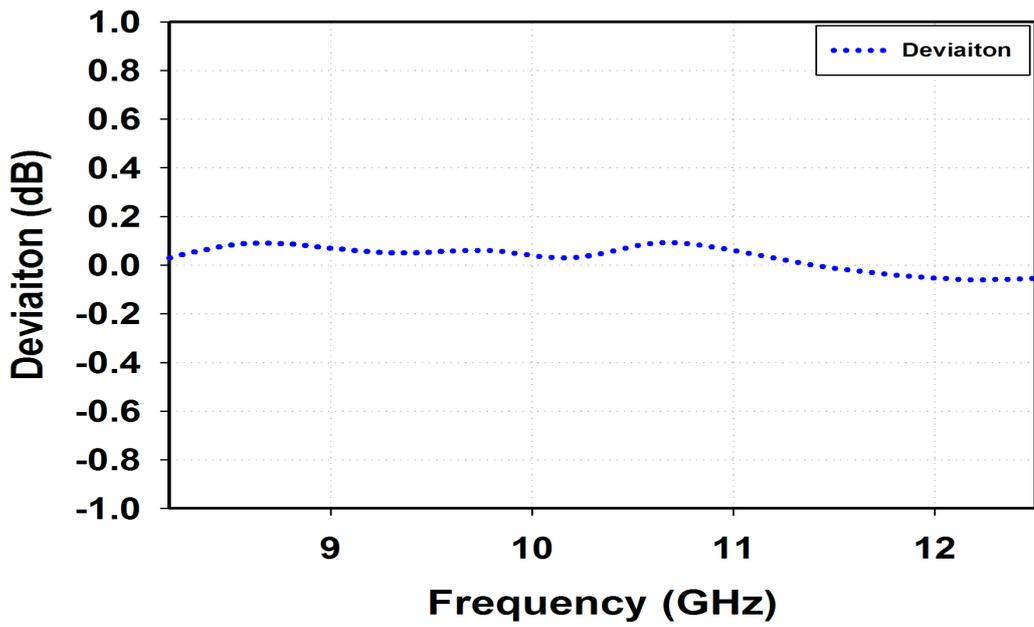
8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역의 R-SAM과 TAM 상호비교 측정결과는 [표 3.5.6]과 [그림 3.5.6]에 나타내었다. [표 3.5.6]과 [그림 3.5.6]에서 보여주는 바와 같이 측정된 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역의 광대역안테나(SCHWARZBECK BBHA9120 D model)의 인자는 약 38 dB/m ~ 41.5 dB/m 범위의 값을 갖으며 거의 모든 주파수에서 R-SAM결과와 TAM 결과는 0.09 dB 이내로 아주 잘 일치하는 것을 확인하였다. 또한 8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역에서도 3-안테나 법으로 측정된 안테나 A, B의 특성에서도 두 안테나의 동등성이 0.2 dB 이내임을 확인하였다. 따라서 전체 측정 불확도를 고려했을 때 두 안테나는 0.2 dB 이내의 값으로 동등한 값을 갖는다고 정의할 수 있다.

[표 3.5.6] 측정결과 상호비교(8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역)

| 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 3-안테나법<br><i>AF</i><br>(dB/m) |       |              | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 3-안테<br>나법과<br>R-SAM<br>편차<br>(dB) | 3-안테나 법<br>A,B 동등성<br>평가<br>(dB) |
|--------------|------------------------------|-------------------------------|-------|--------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|              | A=B                          | A                             | B     | C            | C                            | C(비교)                              | A, B 차이                          |
| 8.2          | 33.26                        | 33.23                         | 33.30 | <b>38.42</b> | <b>38.39</b>                 | 0.03                               | -0.07                            |
| 8.6          | 33.46                        | 33.37                         | 33.55 | <b>38.59</b> | <b>38.50</b>                 | 0.09                               | -0.19                            |
| 9.0          | 33.52                        | 33.45                         | 33.60 | <b>38.96</b> | <b>38.89</b>                 | 0.07                               | -0.14                            |
| 9.4          | 33.52                        | 33.48                         | 33.57 | <b>39.38</b> | <b>39.33</b>                 | 0.05                               | -0.10                            |
| 9.8          | 33.73                        | 33.68                         | 33.79 | <b>39.89</b> | <b>39.83</b>                 | 0.06                               | -0.12                            |
| 10.2         | 33.96                        | 33.93                         | 33.98 | <b>40.37</b> | <b>40.34</b>                 | 0.03                               | -0.05                            |
| 10.6         | 34.20                        | 34.12                         | 34.28 | <b>41.23</b> | <b>41.14</b>                 | 0.08                               | -0.17                            |
| 11.0         | 34.27                        | 34.21                         | 34.32 | <b>41.46</b> | <b>41.40</b>                 | 0.06                               | -0.11                            |
| 11.4         | 34.11                        | 34.11                         | 34.10 | <b>40.85</b> | <b>40.85</b>                 | 0.00                               | 0.00                             |
| 11.8         | 34.41                        | 34.45                         | 34.37 | <b>40.63</b> | <b>40.67</b>                 | -0.04                              | 0.07                             |
| 12.2         | 35.08                        | 35.14                         | 35.02 | <b>40.56</b> | <b>40.62</b>                 | -0.06                              | 0.12                             |
| 12.6         | 35.50                        | 35.55                         | 35.45 | <b>41.18</b> | <b>41.23</b>                 | -0.05                              | 0.10                             |



(a) 안테나 인자



(b) 편차

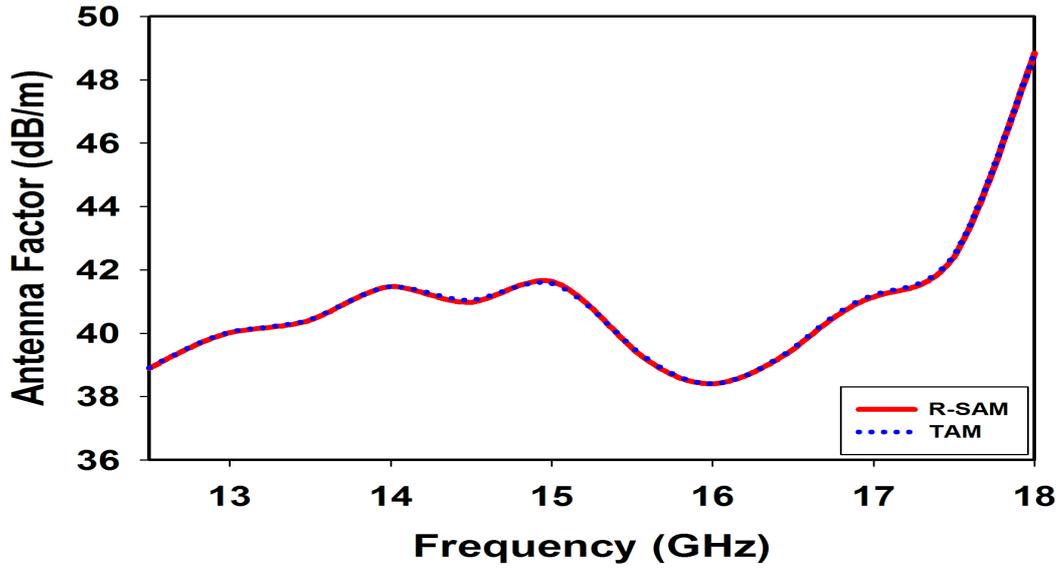
[그림 3.5.6] 안테나 인자 상호비교 결과(8.2 GHz ~ 12.5 GHz대역)

### 사. 12.5 GHz ~ 18 GHz 대역

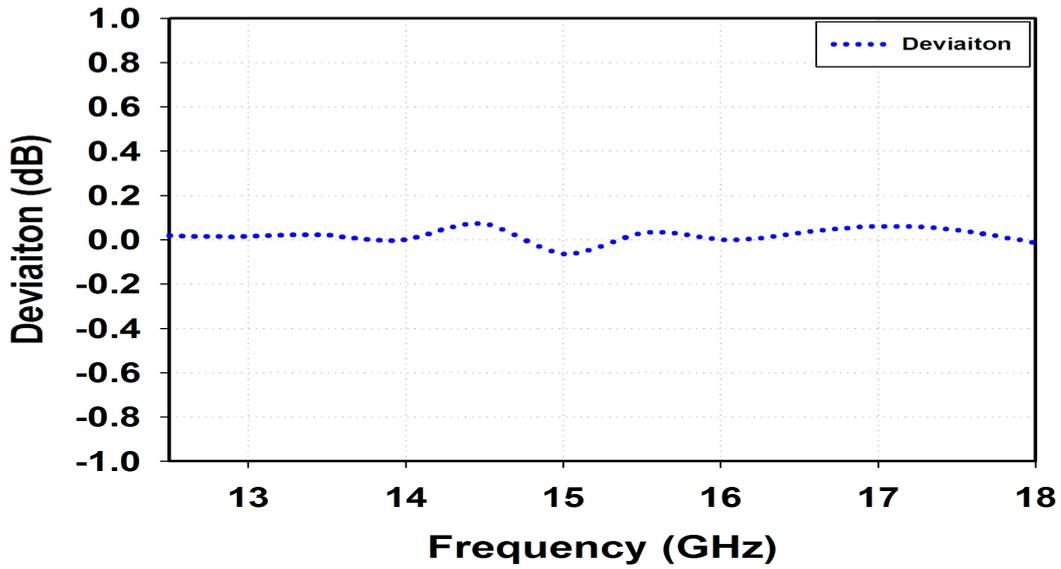
12.5 GHz ~ 18 GHz대역의 R-SAM과 TAM 상호비교 측정결과는 [표 3.5.7]과 [그림 3.5.7]에 나타내었다. 표 3.5.7]과 [그림 3.5.7]에서 보여주는 바와 같이 측정된 12.5 GHz ~ 18 GHz대역의 광대역안테나(SCHWARZBECK BBHA9120 D model)의 인자는 약 38.5 dB/m ~ 49 dB/m 범위의 값을 갖으며 모든 주파수에서 R-SAM 결과와 TAM 결과는 0.07 dB 이내로 아주 일치하는 것을 확인하였다. 12.5 GHz ~ 18 GHz대역에서도 TAM으로 측정된 안테나 A, B의 특성에서도 두 안테나의 동등성이 0.2 dB이내임을 확인하였다. 따라서 전체 측정불확도를 고려했을 때 0.2 dB 이내의 값으로 두 안테나가 같은 값을 갖는다고 정의할 수 있다.

[표 3.5.7] 측정결과 상호비교(12.5 GHz ~ 18 GHz대역)

| 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 3-안테나법<br><i>AF</i><br>(dB/m) |       |              | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 3-안테나법과<br>R-SAM<br>편차<br>(dB) | 3-안테나 법<br>A,B 동등성<br>평가<br>(dB) |
|--------------|------------------------------|-------------------------------|-------|--------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|              | A=B                          | A                             | B     | C            | C                            | C(비교)                          | A, B 차이                          |
| 12.5         | 36.24                        | 36.22                         | 36.26 | <b>38.91</b> | <b>38.89</b>                 | 0.02                           | -0.04                            |
| 13.0         | 36.34                        | 36.32                         | 36.35 | <b>40.04</b> | <b>40.02</b>                 | 0.01                           | -0.03                            |
| 13.5         | 36.49                        | 36.47                         | 36.51 | <b>40.44</b> | <b>40.42</b>                 | 0.02                           | -0.04                            |
| 14.0         | 36.48                        | 36.48                         | 36.48 | <b>41.48</b> | <b>41.48</b>                 | 0.00                           | 0.00                             |
| 14.5         | 36.36                        | 36.29                         | 36.43 | <b>41.05</b> | <b>40.98</b>                 | 0.07                           | -0.15                            |
| 15.0         | 36.65                        | 36.72                         | 36.59 | <b>41.58</b> | <b>41.64</b>                 | -0.06                          | 0.13                             |
| 15.5         | 36.62                        | 36.59                         | 36.65 | <b>39.56</b> | <b>39.53</b>                 | 0.03                           | -0.06                            |
| 16.0         | 36.72                        | 36.72                         | 36.72 | <b>38.41</b> | <b>38.41</b>                 | 0.00                           | 0.00                             |
| 16.5         | 36.78                        | 36.75                         | 36.82 | <b>39.51</b> | <b>39.48</b>                 | 0.03                           | -0.06                            |
| 17.0         | 36.56                        | 36.50                         | 36.62 | <b>41.21</b> | <b>41.15</b>                 | 0.06                           | -0.12                            |
| 17.5         | 36.71                        | 36.67                         | 36.76 | <b>42.45</b> | <b>42.41</b>                 | 0.04                           | -0.09                            |
| 18.0         | 36.82                        | 36.83                         | 36.81 | <b>48.82</b> | <b>48.84</b>                 | -0.01                          | 0.03                             |



(a) 안테나 인자



(b) 편차

[그림 3.5.7] 안테나 인자 상호비교 결과(12.5 GHz ~ 18 GHz대역)

## 제4장 상용(강우감쇠)안테나를 사용한 R-SAM 유효성 검증

## 제 1절 동등 표준안테나의 안테나 인자 산출

R-SAM측정방법은 송신측에 피측정(AUC) 안테나를 놓고 수신측에 값을 이미 알고 있는 표준 안테나를 사용하여 단 한 번의 측정을 통해 안테나 인자를 산출할 수 있는 획기적인 방법이다. 이는 토지나 건물에 고착되어 사용되고 있는 안테나의 특성을 측정할 수 있는 장점을 갖는다. 따라서 본 장에서는 동등 표준 안테나인자를 사용하여 [그림 4.2.1]에서 보여주는 바와 같이 실 환경에서 사용되고 있는 상용안테나(약 18 GHz, 37 GHz대역에서 전파의 강우감쇠 특성 측정용)의 특성 측정을 기술하였다. 상용안테나 측정에 앞서 식(3.2.3)을 사용하여 동등안테나 인자를 산출하였다.

$$AF_{TX} = AF_{RX} = \frac{1}{2}SIL + 10\log(f_{MHz}) - 10\log(d) - 16 \quad (3.2.3)$$

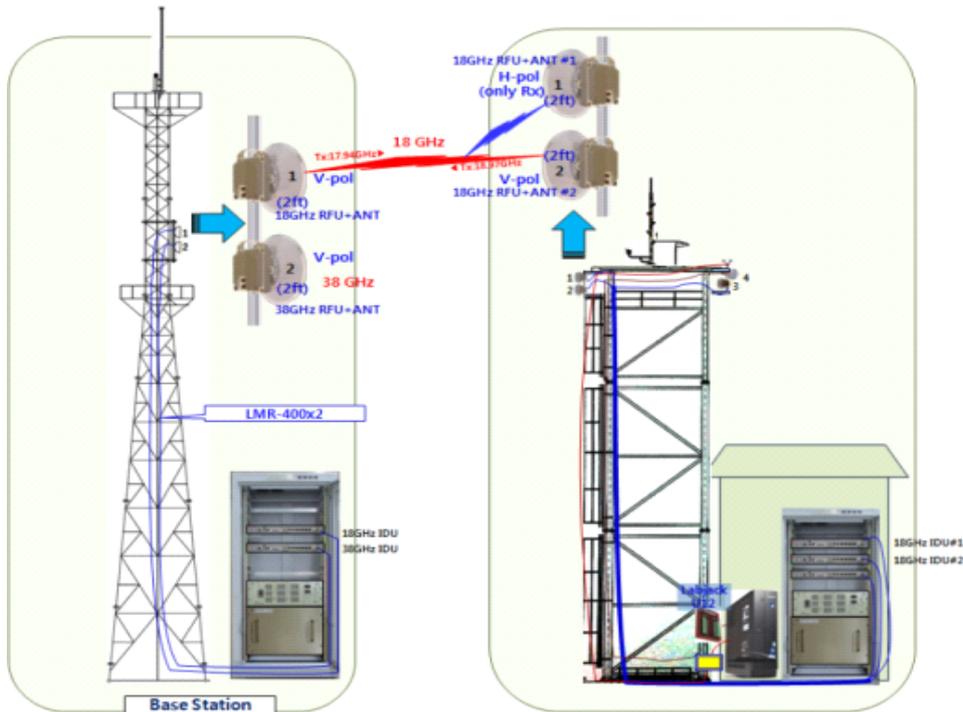
[표 4.1.1] 동등 표준안테나 안테나 인자(12.5GHz ~ 18GHz대역)

| 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br>$AF$<br>(dB/m) | 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br>$AF$<br>(dB/m) | 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br>$AF$<br>(dB/m) |
|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
|              | A=B                     |              | A=B                     |              | A=B                     |
| 12.5         | 36.24                   | 14.5         | 36.36                   | 16.5         | 36.78                   |
| 13.0         | 36.34                   | 15.0         | 36.65                   | 17.0         | 36.56                   |
| 13.5         | 36.49                   | 15.5         | 36.62                   | 17.5         | 36.71                   |
| 14.0         | 36.48                   | 16.0         | 36.72                   | 18.0         | 36.82                   |

[표 4.1.2] 동등 표준안테나 안테나 인자(26.5GHz ~ 40GHz대역)

| 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) | 주파수<br>(GHz) | R-SAM<br><i>AF</i><br>(dB/m) |
|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|
|              | A=B                          |              | A=B                          |              | A=B                          |
| 27           | 25.84                        | 31.5         | 17.47                        | 36           | 18.52                        |
| 27.5         | 18.22                        | 32           | 18.14                        | 36.5         | 18.55                        |
| 28           | 17.45                        | 32.5         | 18.01                        | 37           | 18.64                        |
| 28.5         | 17.82                        | 33           | 17.18                        | 37.5         | 18.75                        |
| 29           | 17.42                        | 33.5         | 17.85                        | 38           | 19.08                        |
| 29.5         | 17.83                        | 34           | 16.82                        | 38.5         | 18.79                        |
| 30           | 18.04                        | 34.5         | 18.57                        | 39           | 18.90                        |
| 30.5         | 18.08                        | 35           | 18.69                        | 39.5         | 18.57                        |
| 31           | 18.31                        | 35.5         | 18.49                        | 40           | 17.61                        |

제 2절 상용(강우감쇠)안테나의 안테나 인자 산출



(a) 강우감쇠 측정시스템



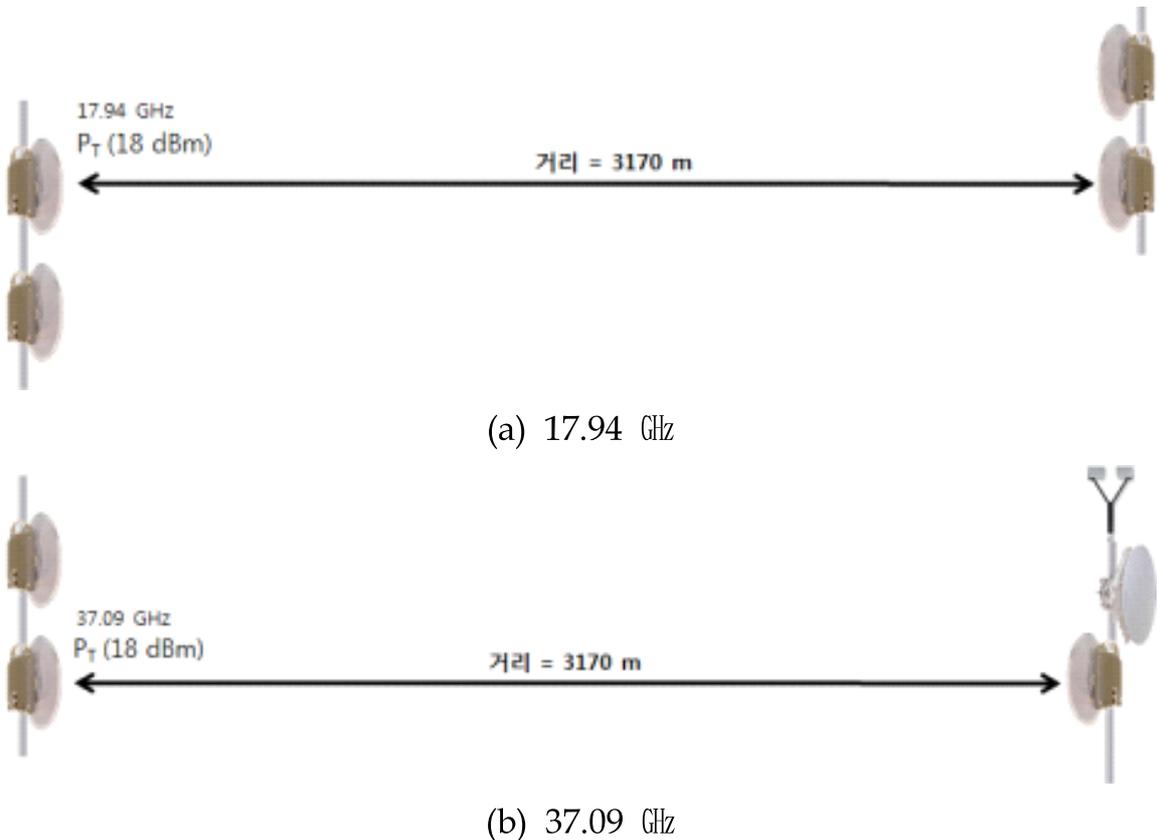
(b) 항공 사진

[그림 4.2.1] 연구원에서 운용중인 강우감쇠 측정용 안테나 시스템

[그림 4.2.1]에서 보는바와 같이 송신 안테나는 기지국(이천시 설성면 금당리 KT 무선기지국) 철탑에, 수신 안테나는 이천 전파시험인증센터 낙하수밀 시험장 철탑에 설치되어 있으며 이격거리는 약 3170 m이다. 강우 감쇠 측정용 시스템은 상용으로 판매되고 있는 직진성이 강한 2개의 동등한 안테나를 사용하고 높이 약 25 m 이상에서 운용하고 있으며 제원은 [표 4.2.1]과 [그림 4.2.2]에 나타내었다.

[표 4.2.1] 강우감쇠 측정용 안테나시스템 제원

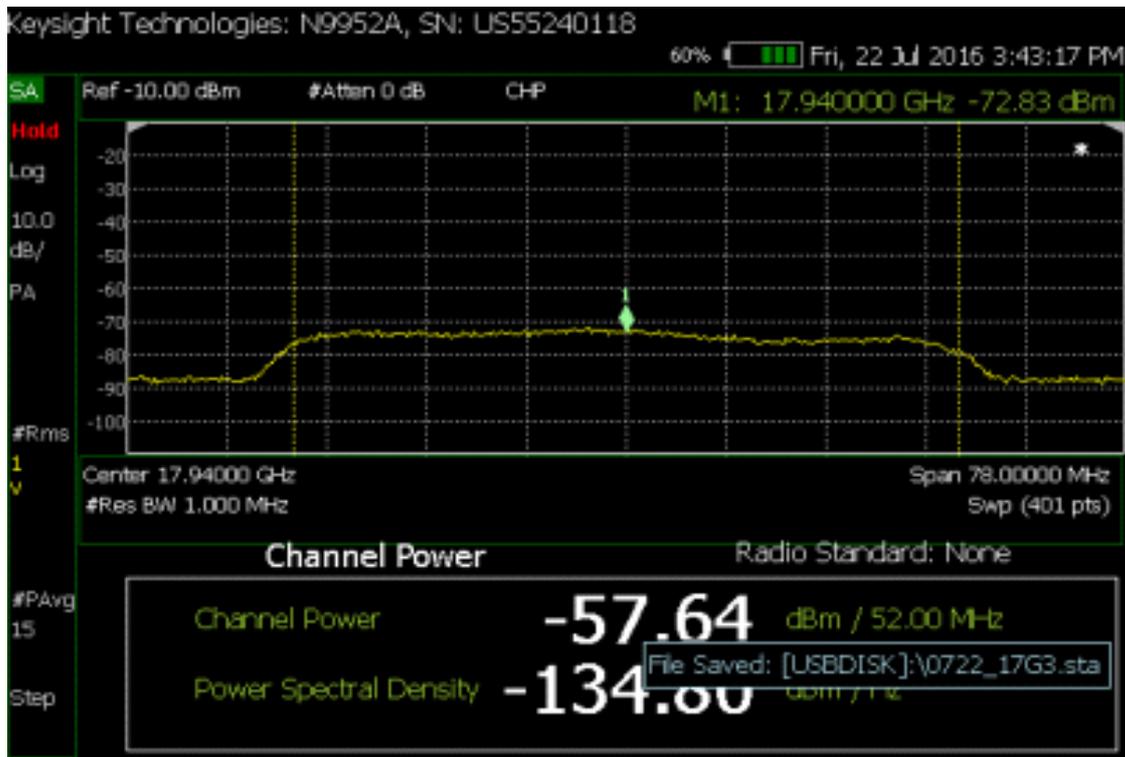
| 주파수<br>(GHz) | 송신출력<br>(dBm) | 채널 대역폭<br>(MHz) | 측정거리<br>(m) |
|--------------|---------------|-----------------|-------------|
| 17.94        | 18            | 52              | 3170        |
| 37.09        | 18            | 6.2             | 3170        |



[그림 4.2.2] 강우감쇠 측정용 안테나 시스템

강우감쇠 측정용 송신 안테나의 안테나인자를 앞에서 이미 산출된 동등 표준 안테나인자를 사용하여 측정하였다. 측정에 사용된 계측기는 keysight사의 휴대용 스펙트럼 Field Fox(측정범위 : 9 kHz ~ 50 GHz)을 사용하였으며, 휴대용 스펙트럼과 표준 혼 안테나를 연결하기 위한 케이블(삽입손실 : 약 4.65 dB @( $f_c$ ) = 17.94 GHz, 삽입손실 : 약 6.9 dB @( $f_c$ ) = 37.09 GHz)을 사용하였다. [그림 4.2.3]에서 보는 바와 같이 중심주파수 17.94 GHz에서 측정된 채널 수신 전력은 약 -57.64 dBm을 보였다. 이 값에 케이블 삽입손실 4.65 dB를 보상 해주면 공간손실  $A_{RT}$ 는 -52.99 dBm이 된다. 따라서 강우감쇠 측정용 송신 안테나의 안테나 인자는 아래 식 (2.3.1)을 이용하여 산출할 수 있다. 이미 산출한 표준 안테나인자( $STA$ )는 17.94GHz에서 36.77 (dB/m) 이다.

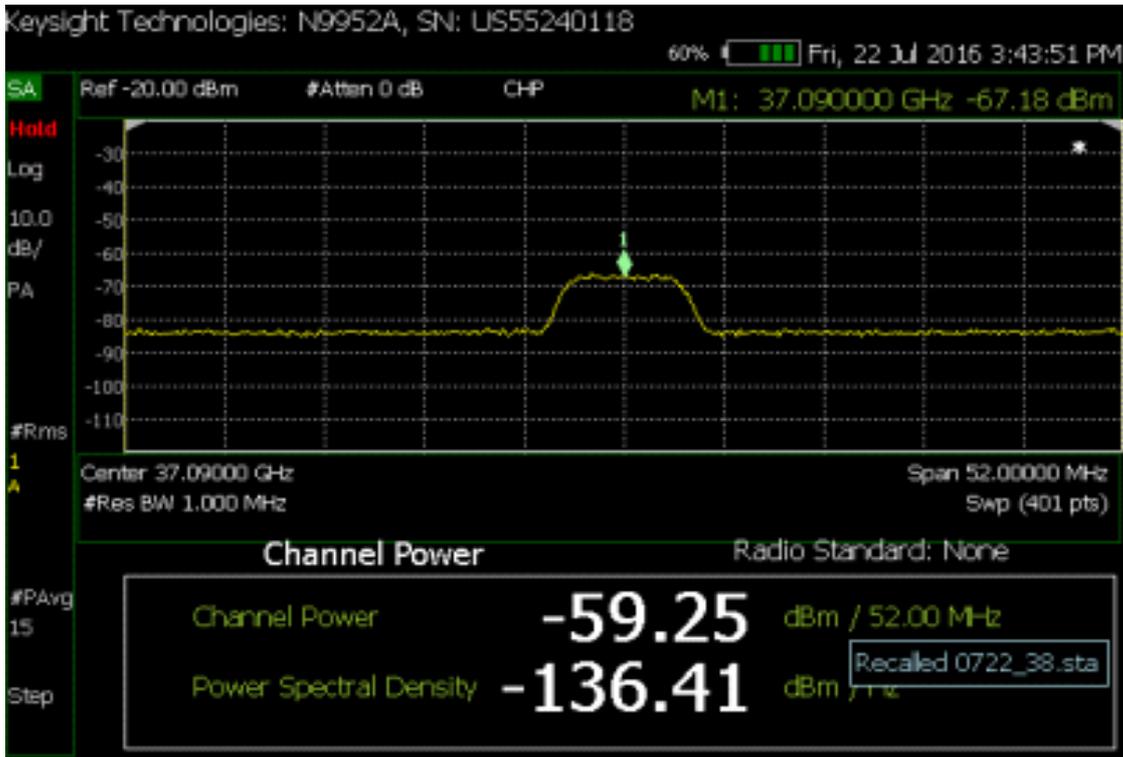
$$AF_T(\text{dB}/m) = -STA_R + A_{RT} + 20\log f_{\text{MHz}} - 20\log d_1 - 32 \quad (2.3.1)$$



[그림 4.2.3] 수신지점에서 측정된 수신 전력 :  $f_c = 17.94$  GHz

위 식으로부터 17.94 GHz대역의 산출된 송신안테나의 안테나 인자는 16.86 (dB/m)이며 안테나 인자와 이득과의 관계식을 이용하면 송신안테나의 이득은 약 38.02 dBi 값을 산출할 수 있다. 제조사 제공 안테나이득 38.3 dBi와 약 0.28 dB 차이를 보임으로써 R-SAM 안테나 측정방법의 유효성이 검증되었다.

중심주파수 37.09 GHz 대역에서 측정된 채널 수신전력은 [그림 4.2.4]에서 보는 바와 같이 -59.25 dBm의 값을 보였다. 이 값에 케이블 삽입손실 6.9 dB를 보상해주면 공간손실  $A_{RT}$ 는 -52.35 dBm이 된다. 따라서 강우감쇠 측정용 송신 안테나의 안테나 인자는 관계 식 (2.3.1)을 이용하여 산출할 수 있다. 이미 산출한 표준 안테나인자(STA)는 37.09GHz에서 42.97 (dB/m) 이다. 따라서 산출된 37.09 GHz대역의 송신안테나의 안테나 인자는 16.75 (dB/m)이며 안테나 인자와 이득과의 관계식을 이용하면 송신안테나의 이득은 약 44.86 dBi 값을 산출할 수 있다. 제조사 제공 안테나 이득 45 dBi와 약 0.14 dB차이를 보임으로써 이 대역에서도 마찬가지로 R-SAM 안테나 측정방법의 유효성이 검증되었다.



[그림 4.2.4] 수신지점에서 측정된 수신 전력 :  $f_c = 37.09$  GHz

두 결과로부터 상용안테나의 특성 측정에도 R-SAM 측정법이 유효하다는 것을 증명하였으며, 특히 R-SAM은 토지나 건물에 고착되어 있는 안테나의 특성 측정에 유용하게 사용될 수 있음을 보였다.

## 제5장 맺음말

본 보고서에서는 우리원에서 독자적으로 개발한 안테나 측정방법(R-SAM)의 유효성을 검증한 연구결과를 '16년 중국 항저우에서 개최한 IEC/CISPR 국제 표준화회의 총회에 제안한 내용을 기술하였다. R-SAM 방법을 이용하기 위한 동등 표준안테나(인자)에 대해 고찰하였다. 특성이 똑같은 동등 안테나가 존재한다면 단 한 번의 감쇠량 측정으로 동등 표준안테나의 안테나 인자를 결정할 수 있다. 따라서 1 GHz ~ 18 GHz(7개 대역)에서 동작하는 동등 혼 안테나의 감쇠량 측정 비교법으로 그 동등성을 검증하였다. 감쇠량 측정의 기준으로 계측기의 불확도 및 측정 시 영향을 미치는 오차 요인을 감안하여 0.2 dB 이내면 동등하다고 정의 내렸다. 단 한 번의 감쇠량 측정으로 동등 혼 안테나의 표준 안테나 인자를 산출하고, 그 안테나 인자를 기준 값으로 사용하여 교정 대상 광대역 혼 안테나(SCHWARZBECK BBHA9120 D model)의 안테나 인자를 R-SAM에 의하여 측정 산출하였다. R-SAM 측정방법의 유효성을 검증하기 위하여 안테나 측정의 가장 근간이 되는 3-안테나 법(TAM)으로 측정하여 두 결과를 상호 비교하여 그 값이 0.2 dB 이내의 오차를 보임으로써 R-SAM 유효성을 검증하였다. 또한 R-SAM은 수신측에 기준안테나를 놓고 송신 안테나를 측정할 수 있는 획기적인 방법이기 때문에 실 환경에서 사용되고 있는 상용 안테나에 R-SAM을 확대적용하기 위하여 약 18 GHz, 37 GHz 대역의 강우감쇠 측정용 안테나의 특성을 측정하였다. 측정된 결과로부터 안테나 인자의 결과는 제조사에서 제공하는 값과 18 GHz대역에서 0.28 dB, 37 GHz대역에서 0.14 dB의 차이를 보임으로써 R-SAM 측정방법의 유효성이 검증되었다. 따라서 R-SAM 측정법은 토지나 건물에 고착되어 있는 안테나의 특성 측정에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 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 Symp.*, Aug. 2012, pp. 90–95
- [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 Tech.*, Jul. 1996, 143, no. 4, pp. 221–228
- [3] Salter M.J, Alexander M.J, "EMC antenna calibration and the design of an open field site," *J. Phys. E. Meas. Sci Tech.*, 1991, 2, pp. 510–519
- [4] Smith, A.A., "Standard site method for determining antenna factors," *IEEE Trans. on* 1982, EMC-24, pp. 311–322
- [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, pp. 45–58
- [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 Symp.*, 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)," Jun, 2012.
- [10] "ISO/IEC 기술작업지침서 제1부 통합 ISO 증보판 - 기술작업을 위한 절차", 국가기술표준원 KSA 한국표준협회, 2016. 4. 30.

- [11] Stanley L. Baker, "Calculable Antenna Processor User Manual," *NPL*, Mar. 2011 pp, 1–18.
- [12] H. T. Friis, "A note a simple transmission formula," *Proc IRE.*, May 1946, pp. 254~256
- [13] 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
- [14] Brian Kidney, "Horn Antennas," *Engineering* 9816-Antennas, Nov. 26, 2001.
- [15] IEC CISPR/A/644/CD Project number CISPR 16-1-5 Amd.1 Ed1., "Antenna Calibration"
- [16] 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.
- [17] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design," John Wiley & Sons, 1982
- [18] Microwave Antenna Theory and Design by Silver, vol. 12, Radiation Laboratory Series, McGraw-Hill, 1949, pp. 582–585
- [19] Antenna by Kraus, McGraw-Hill, 1950, pp. 455–457
- [20] Standard Site Method For Determining Antenna Factors, *IEEE EMC Trans. on* vol. EMC-24, No. 3, Aug. 1983, pp. 316–322
- [21] ANSI C63.5 American National Standard for Electromagnetic Compatibility -- Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference(EMI) Control -- Calibration of Antennas
- [22] IEEE Std 149 IEEE Standard Test Procedures For Antennas
- [23] NBS Circular 517, Calibration of Commercial Radio Field-Strength Meters
- [24] Albert A Smith, "Standard Site Method for Determining Antenna Factors," *IEEE Trans. on* Electromagnetic Compatibility, vol. EMC-24, no. 3, pp. 316–322 Aug. 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, Aug. 1982.
- [28] ANSI C63.5 , "American National Standard for Electromagnetic Compatibility-Radiated Emission Measurement in Electromagnetic interference(EMI) Control-Calibration of Antennas (9 kHz to 40 GHz)", pp. 10, Apr. 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, "교정용 혼 안테나 제작 및 교정방법 연구," 2010년도 전파연구보고서
- [32] 박정규 외, "시간영역에서 안테나 교정방법 연구," 2011년도 전파연구보고서
- [33] 박정규 김우년, "시간영역에서 안테나 이득 측정 연구," 한국전자과학회 논문지 2012, Nov 23(11) pp. 1217~1227
- [34] 박정규 외, "자체개발 안테나 교정방법 유효성 확인 연구," 2012년도 전파연구보고서
- [35] Jungkuy Park et. al, "Height Average Analysis of Antenna Factors for EMI Antenna", *2009 IEEE EMC Symp.*, Aug .2009.
- [36] Sakasai M., et.al., "Evaluation of Uncertainty in Free-space Antenna Factor Calibration in CRL," *Proc. of EMC symp.*, in Sendai, pp. 657-660, Jun. 2004.
- [37] Agilent, "Agilent Time Domain Analysis using a network analyzer," Application Note 1287-12
- [38] 박정규 외, "안테나\_교정의 R-SAM과 시간영역 기술융합 연구(2차년도)," 2015년도 전파연구보고서

---

## R-SAM 측정방법 국제표준화 추진

---



국립전파연구원

National Radio Research Agency

(58217) 전남 나주시 빛가람로 767

발행일 : 2016. 12.

발행인 : 유 대 선

발행처 : 미래창조과학부 국립전파연구원

전화 : 061) 338-4414

인쇄 : (사)한국척수장애인협회 광주·전남인쇄사업소  
062) 222-2788

---

ISBN : 979-11-5820-070-1 < 비 매 품 >

### 주 의

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