

안테나 특성 측정에 있어서 거리의 영향 연구

오창열, 이효근, *오승엽

한국항공우주연구원, 우주센터, *충남대학교 전자공학과
전화: 042-860-2094

A study on the impact of the distance on the Antenna measurement

Chang-yul Oh, Hyo-keun Lee, *Seung-hyeub Oh

Space Center / Korea Aerospace Research Institute,
*Dept. of Electronic Engineering, Chungnam National University
E-mail: ocy@ kari.re.kr

Abstract

This paper has been studied the impact of the distance between the signal source and the antenna under test on the antenna measurements such as gain and pattern (Phase). The concept and principles of the far-field in the antenna measurement are reviewed at first. The analysis on the impact has been focused on the 11 m parabola antenna system which will be used in the ground telemetry station for tracking and receiving the S-band (2200~2400MHz) signal of KSLV-I. Also, the impact of the distance on the tracking performance of the antenna system has been analyzed.

I. 서론

정보 통신의 발전은 언제 어디서든 통신하고자 하는 새로운 요구를 발생시켰으며, 이를 만족시키기 위하여 대형 안테나를 사용하는 지상 및 위성 통신 시스템의 사용이 확대되고 있다. 또한 국방 및 우주개발 등 국가적으로 수행하고 있는 프로젝트에서도 보다 먼 거리의 신호를 추적하여 수신할 수 있는 대형 안테나 시스템의 사용이 증가되고 있다. 이러한 대형 추적 안테나 시스템은 신뢰성 향상을 위하여 특성을 정확히 측정하여야 하며, 주기적인 점검 및

교정(calibration)이 필수적으로 요구된다. 파라볼라 형태의 대형 추적 안테나 시스템의 특성 측정 및 교정을 위한 일반적인 방법으로 calibration boresight 시스템이 사용되고 있다. calibration boresight 시설은 안테나로부터 충분한 원거리(far-field $r = 2D^2 / \lambda$)에서 적당한 양각을 가져야 하며, 측정에 영향을 줄 수 있는 주위의 반사체가 없는 장소에 설치하여야 한다. 또한 안테나 측정에 있어서 요구되는 거리(far field)는 안테나 크기중가의 제곱으로 요구되어 2GHz 대역에서 동작하는 11m 안테나의 경우 최소거리는 약 1800m가 된다.

본 논문은 향후 전남 고흥 우주센터에서 KSLV 위성 발사체 발사에 있어서 원격자료수신을 위하여 사용할 11 m 파라볼라 안테나의 특성측정에 있어서 안테나와 신호원과의 충분한 원거리(Far field)를 확보할 수 없는 환경에서 안테나 이득, 패턴 및 추적성능 등의 특성을 측정할 경우에 측정 안테나와 신호원 사이의 거리가 측정 특성에 주는 영향을 분석하고자 한다.

II. 원거리 (far field) 기본 개념

안테나의 특성 중에 원거리 신호의 추적 및 수신에 가장 민감한 요소는 안테나 이득특성과 패턴특성이다. 정확한 안테나 특성을 위해서는 입사하는 파가 평면파의 특성, 즉 안테나의 어느 점에서도 파의

위상이 동일하여야 하며, 이를 만족하기 위해서는 신호원(calibration boresight)이 측정하고자 하는 안테나로부터 무한대의 거리에 있어야 한다. 그러나 이러한 요구거리를 만족하는 인공시설을 설치하는 것은 매우 어려우며, 일반적으로 최소한의 거리인 Far Field (Fraunhofer distance) 이상 떨어진 곳에서 측정한다. 안테나 특성 측정에 있어서 Far Field 는 안테나 전체 개구면에 도착하는 전자파의 위상차이 (δ)가 22.5deg ($\delta = \lambda/16$) 이내가 되는 거리를 말하며, 그 거리는 그림 1의 개념에서 식(1)과 같이 구해진다.

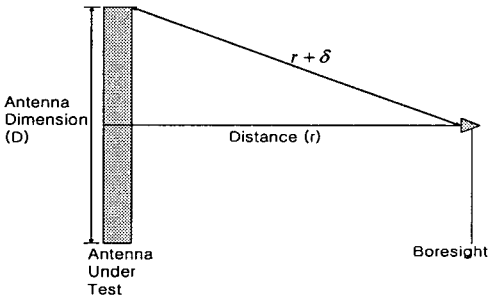


그림 1. Far Field 개념

$$\begin{aligned} (r + \delta)^2 &= r^2 + 2r\delta + \delta^2 \\ &= r^2 + (D/2)^2 \\ 2r\delta + \delta^2 &= D^2 / 4 \end{aligned}$$

$r \gg \delta \ll D$ 이면,

$$r = D^2 / (8\delta) \quad (1)$$

식 (1)에 위상차이가 22.5 도를 만족하는 조건 $\delta = \lambda/16$ 을 대입하면 다음 식 (2)와 같다.

$$r = 2D^2 / \lambda \quad (2)$$

III. 안테나 이득 측정의 거리 영향

2.1 안테나 이득 측정의 보정요소

거리(r)가 짧아짐에 따라 측정된 안테나의 특성들은

일반적으로 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 방사패턴이 넓어짐 (Broader radiation pattern)
- 부엽 이득이 높아짐 (Higher minor lobes)
- 로브 사이의 Nulls 이 없어짐

안테나와 신호원의 거리가 Far field 에 비하여 너무 짧을 경우에는 정확한 이득을 알기 위해서는 측정이득에 대한 보상이 필요하며, 실제 안테나 이득 (G_{real}) 과 측정 이득 ($G_{measure}$) 과의 관계는 다음과 같다.

$$G_{real} = G_{measure} + CF \quad (3)$$

$$CF = 20 * \log(ABS(\text{Sinx} / x))$$

$$x = ((2 * \pi) / \lambda) * D^2 / 16r \quad (4)$$

여기서 D는 안테나 크기이고, r은 거리이다.

식 (3)과 (4)를 이용하여 2200 ~ 2400MHz 대역에서 11m 안테나를 사용하는 경우에 대하여 계산한 안테나와 Boresight 사이의 거리별 이득보정요소는 아래의 그림 2와 같으며, 식 (1)을 이용하여 계산한 거리별 위상오차는 그림 3과 같다.

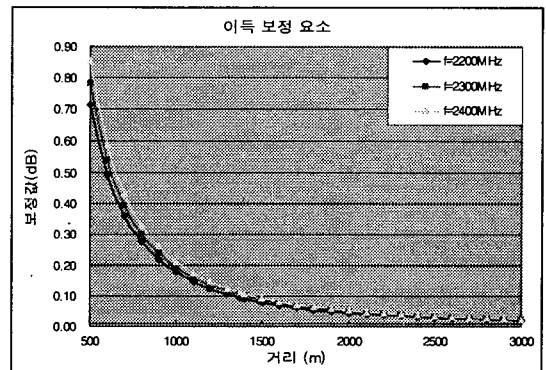


그림 2. 거리별 측정 이득에 대한 보정요소

2.4GHz 주파수 대역에서 11m 안테나와 신호원사이의 거리가 1300m 인 경우에 대한 분석결과, 측정이득은 실제 안테나 이득보다 약 0.1dB 정도 감소하고, Far field 인 약 1900m 거리의 신호원을 이용하여 측정할

경우의 이득 감소 (약 0.04dB)와 비교할 때 그 차이는 약 0.05dB로 미미한 것으로 판단된다.

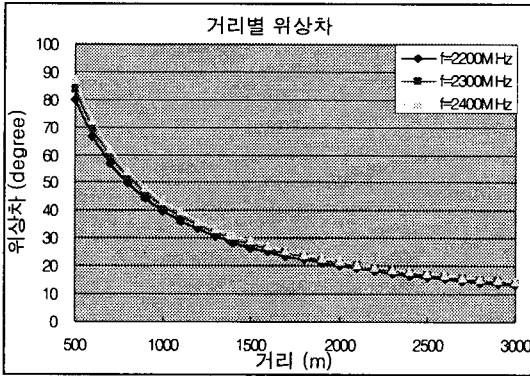


그림 3. 거리별 위상오차

거리에 따른 위상오차는 그림 3 에서 보는 바와 같이 거리에 따라 큰 차이를 보이며, 결과적으로 측정 안테나 패턴은 거리가 짧아짐에 따라 Null 특성이 급격히 사라진다. 따라서 근거리 신호원을 이용한 안테나 패턴특성 측정에 있어서 Null 특성의 측정은 무시하여야 할 것으로 판단된다.

3.2 추적시스템에 대한 영향

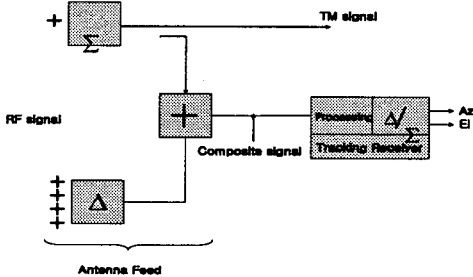


그림 4. 5 다이폴 모노펄스 안테나 개념

앞에서 살펴본 바와 같이 측정 안테나와 신호원사이의 거리가 짧은 상태에서 안테나의 특성을 측정하면 측정 이득은 감소하고, 측정 패턴은 실제보다 넓어지면서 Null 이 존재하지 않게 된다. 이러한 거리가 짧아짐에

따른 이득특성 및 패턴특성의 변화가 그림 4 와 같은 모노 펄스 추적 안테나 시스템의 추적정확도에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 안테나 추적오차는 일반적으로 아래 식(5)과 같이 표현된다.

$$\sigma_{ms} = \theta / k \sqrt{KTB / S} \quad (5)$$

여기서, k : 추적기울기

K : 볼츠만 상수

T : 에리채널의 잡음온도

B : 안테나 서보 대역폭

S : 합 채널의 수신 신호

θ : 안테나 3dB 빔폭

식 (5)에서 거리에 따라 영향을 받는 항목은 수신 신호의 레벨이 감소하는 것뿐이며, 따라서 신호원이 무한 거리에 있을 경우와 비교하여 거리가 짧아짐에 따른 추적오차의 변화는 식(6)과 같이 비교하여 구할 수 있다.

$$\sigma_{ms,r} = \sigma_s \sqrt{S_\infty / S_r} \quad (6)$$

여기서 $\sigma_{ms,r}$: 거리 r 에서의 추적오차

S_r : 거리 r 에서의 수신이득

σ_s : 무한대 거리에서의 추적오차

S_∞ : 무한대 거리에서의 수신이득

무한거리에서의 추적오차($\sigma_{ms,r}$)에 대한 제한거리에서의 추적오차(σ_s)의 비율은 식 (6)을 정리하고 앞에서 구한 거리별 이득보정요소를 이용하여 식 (7)과 같이 계산할 수 있다.

$$\sigma_{ms,r} / \sigma_s = \sqrt{S_\infty / S_r}$$

$$10 \text{Log}(S_\infty / S_r) = CF, [dB]$$

$$\sigma_{ms,r} / \sigma_s = \sqrt{10 \text{EXP}(CF, / 10)} \quad (7)$$

식 (7)을 이용하여 S-band (2200 ~ 2400MHz) 대역을 사용하는 11m 안테나 시스템의 추적오차는 그림 5 와 같다. 이 안테나의 특성을 측정하기 위해 요구되는 Far

field는 약 1800m 이상이며, 1800m에 위치한 신호원을 이용하여 측정할 때의 추적오차는 무한 거리에 있는 신호원을 이용하는 것보다 약 0.6% 추적오차가 증가하며, 1300m 거리의 신호원을 이용할 경우에는 약 1.2%정도의 추적오차가 증가한다.

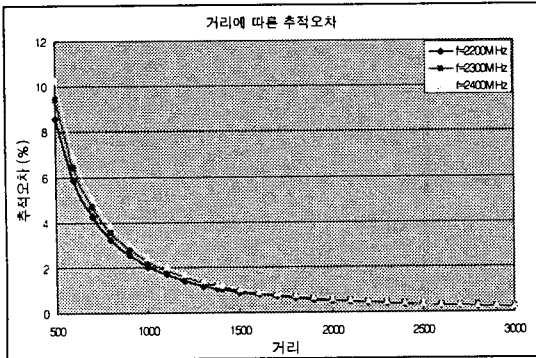


그림 5. 신호원과의 거리에 따른 모노펄스 안테나의 추적오차

V. 결론

이번 논문은 안테나 특성(이득 및 패턴) 측정에 있어서 거리의 영향에 대하여 분석하였으며, 또한 추적 안테나 시스템의 추적성능측정에 있어서 거리의 영향을 분석하였다. 분석결과 거리가 짧아짐에 따라서 안테나 측정 이득은 실제의 안테나 특성보다 다소 작아지고, 측정패턴은 부엽파의 증가 및 Null 특성이 심하게 왜곡 될 것으로 판단된다. 그러나 안테나 이득측정 및 추적성능측정에 있어서 신호원과의 거리에 대한 영향은 미미한 것으로 분석되었다. 또한 모노 펄스 추적방식의 안테나 에서 거리에 따른 추적정확도의 변화는 무한대의 거리에 대한 신호원을 추적하는 것에 비하여 Far field 거리의 약 1/2 까지는 약 2% 정도였으나 그 이하로 너무 근접할 경우에는 추적오차는 급격히 증가하는 것으로 분석되었다.

References

- [1] Constantine A. Balanis, " Antenna Theory" 2nd Ed.
- [2] R. A. Burberry, " VHF and UHF Antennas" , Peter Peregrinus Ltd, 1992
- [3] Barton, David and Ward, " Handbook of radar measurement" , prentice-hall 1969
- [4] 이상호, 강정수 " 레이더 공학" , 1999, 성문사
- [5] www.orbitfr.com " introduction to antenna measurement theory"