

논문 2010-5-11

대형 접시형 안테나 추적성능 검증에 관한 연구

A Study on the Validation of Tracking Performance of a Big Parabola Antenna System

오창열*, 오승엽**

Chang-Yul Oh*, Seung-Hyeub Oh**

요 약 무선주파수를 사용하는 추적안테나의 추적성능은 비행체 추적 및 위치 측정에서 매우 중요한 요소이나, 전기적·물리적으로 매우 큰 안테나의 특성을 정확히 측정하는 것은 쉽지 않다. 특히 우주응용분야에서 사용되는 대형 접시형 추적안테나 시스템과 같이 신호원을 따라 안테나의 지향방향이 변하는 경우에는 안테나 지향방향에 따라 특성이 일정하지 않을 수 있다. 본 논문에서는 대형 추적안테나 시스템의 추적 성능지표인 지향정확도 및 추적정확도에 영향을 주는 오차요인을 검토하고, 나로우주센터에서 원격측정용으로 사용하고 있는 11m 대형 접시형 추적안테나에 대한 추적성능을 효율적으로 측정할 수 있는 저궤도위성(Low Earth Orbit)을 사용한 측정방법 및 그 결과를 기술한다.

Abstract The tracking performance of the big tracking antenna system using Radio Frequency is very important for the tracking and position measuring for the flight vehicle, but the precise measuring of the tracking performance is not easy, especially for the big antenna system such as ground telemetry antenna or tracking radar in space application because it's characteristics could be different in accordance with the antenna direction. In this paper, the error factors impacting on the tracking performance (pointing accuracy and tracking accuracy) and the ranges of each factor are reviewed, and the simple and efficient method to measure the tracking performance is introduced which using low earth orbit as the signal source. Finally, the measurement results for the telemetry ground antenna in NARO Space Center are reviewed.

Key Words : Tracking antenna, Tracking performance, Pointing accuracy, Tracking accuracy.

1. 서 론

안테나의 추적성능은 안테나를 구성하는 구성품의 정확도와 각 구성품을 어느 정도 정확하게 정렬하고 설치하였는가에 따라 달라진다. 특히, 빔폭이 1도 이하 정도의 전기적·물리적으로 큰 안테나의 경우 그 특성을 안테나시험장에서 측정하는 것은 비현실적이거나 불가능하다. 예를 들어 2GHz 주파수를 사용하는 11m 개구면 안

테나의 특성을 측정하기 위해서는 원역장(Far field) 조건에 맞는 송수신간 거리는 약 2km를 확보해야 하며, 주변의 간섭신호원이 없어야 한다.^{[1],[2]}

또한 대형 구조체 안테나의 경우, 안테나의 지향 방향에 따라 각 부분이 받는 중력, 태양열 및 바람 등의 차이로 안테나 구조의 미세한 변형이 이루어져 안테나 방향에 따라 특성이 달라질 수 있으며, 안테나의 구동특성(각속도)에 따라 대형 안테나의 추적성능은 차이가 날 수 있다. 따라서 고정된 신호원을 이용하여 안테나의 특정방향에 대하여 측정된 추적성능을 안테나 전체의 특성으로 나타내는 것은 무리가 있다.

이러한 측정방법의 한계를 극복하고 대형 추적 안테

*정희원, 한국항공우주연구원 우주센터

**정희원, 충남대학교 전자공학과

접수일자 2010.9.4 수정일자 2010.10.5

게재확정일자 2010.10.15

나 시스템의 특성을 정확하고 간편하게 측정하는 방법으로 우주 전파원이나 위성 등을 사용할 수 있다. 특히, 저궤도 인공위성을 사용할 경우 충분한 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio)를 확보하면서 안테나의 전체 운용범위에 대한 특성을 측정할 수 있다.

본 논문은 대형 추적 안테나의 추적성능을 간단하게 측정하는 방법 및 결과에 대하여 다음과 같은 구성으로 기술한다. 2장에서는 추적안테나의 추적성능지표 및 성능에 영향을 주는 주요 요인을 나로우주센터에서 운용 중인 11m 접시형안테나를 중심으로 확인하고, 3장에서는 신호원을 갖는 저궤도위성을 추적하여 지향정확도(Pointing Accuracy) 및 추적정확도(Tracking Accuracy) 등 추적성능을 측정하는 방법 및 결과를 기술하며, 4장에서 결론을 맺는다.

II. 추적안테나 추적성능지표 및 주요 요인

안테나 시스템의 추적성능은 안테나가 지향하고자 하는 방향을 얼마나 정확하게 지향하는가를 나타내는 지향정확도와 RF 신호를 자동추적 메커니즘으로 어느 정도 정확성을 유지하면서 추적하는지를 나타내는 추적정확도로 나누어진다.

안테나 추적성능에 영향을 주는 요인으로는 안테나 내부요인 및 외부요인으로 구분할 수 있다. 추적안테나 내부요인으로는 피드, 반사판, 모터, 기어 등 서보장치 및 Encoder등의 각 구성품의 전기, 기계적 특성 및 정렬 상태에 의해 영향을 받는다. 앞에 기술한 바와 같이 태양열, 중력, 바람 등도 안테나 추적성능에 영향을 주는 자연적인 요인이다. 이들이 안테나 각 부분에 미치는 영향 정도가 안테나의 지향방향에 따라 달라지며, 이 영향의 차이가 안테나의 구조에 미세한 변형을 주고 결과적으로 추적성능에 영향을 준다.^[1]

안테나 성능에 영향을 주는 내·외부요인 이외에도 정확한 성능측정을 어렵게 하는 여러 가지 요인이 있다. 전파의 전달과정에서 발생하는 전파 반사 및 굴절도 안테나 추적성능에 영향을 주는 주요 요인이다. 사용 안테나의 빔패턴(패턴 및 빔치각 특성) 및 주변 지형에 따라 다르지만 일반적으로 저고각에서는 Multipath 및 scattering에 의하여 영향을 받게 되고, 중저고각에서는

전파굴절에 의해 영향을 받는다. 전파굴절에 의한 영향은 안테나의 고각에 따라 다르며, 고각 0도일 때 약 0.6도, 고각 5도일 때 0.17도, 고각 10도일 때 0.1도로 알려져 있다.^{[3],[4],[5]}

또한 측정에 기준이 되는 신호원 위치(위성 궤도)정보의 정확도도 측정오차의 요인이 된다. 예로서 고도 800km 이하의 저궤도 위성에 대한 궤도정보는 수~40 milli-degree정도의 오차를 포함할 수 있는 것으로 알려져 있다. 가능한 오차를 줄이기 위하여 3일 이내에 갱신된 최신 위성궤도 정보의 사용을 권장한다.^[7]

아래의 표는 제주추적소 11m 접시형 안테나에 대한 성능오차요인 및 요인별 정도를 나타낸다.

표 1. 추적성능 영향요인 및 범위^{[1]~[7]}
Table1. Error Factors and It's ranges

구분	오차요인	오차정도 (milli-degree)
시스템 내부*)	Pedestal verticality	10
	Orthogonality	5
	Encoder (17bits)	2.7
	Acceleration lag	~수
	Wobble	5
자연현상*)	열팽창	10
	중력	10
	바람	47 @ 64km/h
측정오차	신호원 위치 오차 (위성궤도정보)[7]	수~40 (고도 800km 위성)
전파전파	굴절[4,5,6]	수~600
	반사[3]	~0 @ EI > 0.42

*) 11m 접시형안테나 기준

III. 추적성능 측정방법 및 결과

1. 추적성능 측정방법

지향정확도는 이미 알고 있는 신호원 방향(D_0)을 안테나에 명령하여 구동하면서 실제 안테나 지향 방향(D_a)과의 차이($D_0 - D_a$)를 측정함으로써 안테나가 지향하고자 하는 방향을 얼마나 정확하게 지향하는지를 측정할 수 있다. 안테나 전체 구동범위에 대한 특성을 측정하기 위하여 앞에서 기술한 바와 같이 지상 추적안테나와 호환성이 있는 신호원을 탑재한 저궤도위성(Low Earth Orbit)을 신호원으로 사용한다.

지향정확도는 그림 1과 같이 추적안테나를 두 가지 구동모드(자동추적모드, 프로그램모드)로 운용하면서 측정할 수 있으며, 각 방법은 일정한 오차를 포함한다.

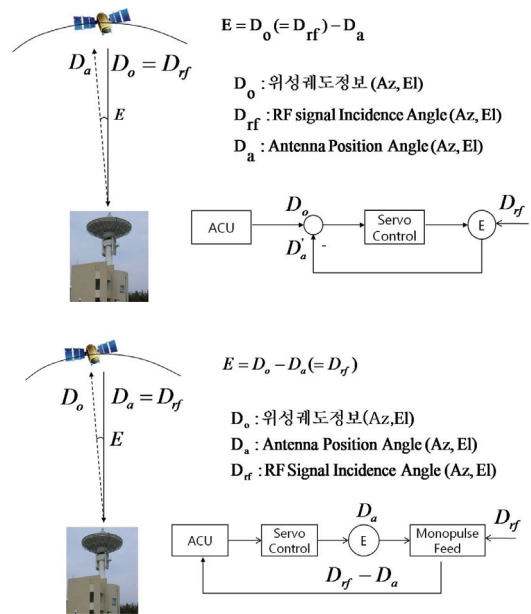
먼저 지상 추적안테나를 케도모드(신호원의 케도정보에 따라 안테나 방향을 지향)로 운용하면서 안테나 지향방향(D_a)과 RF 신호원 입력방향($D_o=D_{rf}$) 차이를 측정한다. 신호원 방향(D_o)은 위성케도정보를 추적안테나 기준의 지향방향으로 변환한 것으로 국제기구(예 NORAD TLE: North American Aerospace Defense Command Two Line Element)에서 인터넷을 통하여 제공한 정보를 활용할 수 있다. 실제 안테나가 지향한 방향, 즉 안테나의 RF 축 지향방향과 안테나 시스템내의 각도기(Encoder)에서 측정된 방향을 서로 다르기 때문에 정확한 안테나 지향각도를 측정할 수 없다. 그러나 안테나 지향방향(RF 축방향= D_a)과 신호입사방향($D_o=D_{rf}$)의 차이는 안테나의 신호 자동추적 메커니즘에서 측정하여 신호추적오차로 기록할 수 있다.

비슷한 원리로, 신호원을 탑재한 저궤도위성을 자동추적모드로(RF신호원의 방향을 추적) 추적하면서 안테나 각도($D_a=D_{rf}$)를 기록하며, 후처리로 위성케도정보와 비교하여 차이(D_o-D_a)를 분석한다.

지향정확도는 안테나 구성품(mechanical alignment & structure, 서보, 엔코더, 안테나 제어 장치) 및 전체 안테나 시스템의 기계적 정렬 정확도와 전기·전자적 분해도에 영향을 받는다. 위의 측정 방법은 신호원의 방향이 신호입사방향과 동일($D_o=D_{rf}$)하다는 가정을 전제로 한다. 따라서 전파굴절 및 반사 등에 의하여 신호입사방향이 신호원 방향과 차이가 있을 경우 이는 측정오차가 되므로 전파굴절 및 반사에 의한 각도변화는 보정되어야 한다. 또한 위성케도정보(D_o)의 오차도 측정오차와 직접적으로 관련된다. 본 논문에서는 고각 2도 이상의 측정 자료를 사용하였으며, 국제 관측기구에서 사용하는 표준대기기준의 전파굴절 각도를 측정결과에 보정하였으며, 최신의 위성케도정보를 사용하였다.

추적정확도는 안테나가 신호원 방향을 감지하고 계속하여 신호입사방향으로 안테나 지향방향을 조절하는 자동추적모드 상태에서 안테나 자동추적 메커니즘(안테나 피드)에 의해 측정된 안테나 주빔 방향(RF 축)과 신호 입사방향의 차이(Tracking error)를 말한다. 우주센터의 추적안테나는 신호를 자동추적하기 위한 메커니즘으로 Monopulse방식을 사용하며, 이 방식으로 측정된 안테나의 RF 축과 신호입사각의 차이를 추적정확도로 기록한다. 추적정확도는 안테나 자동추적 제어방식 및 구동성능, 안테나 패턴 및 추적적기울기 등에 의해 주로 영향을

받는다.



1.

그림 4. 추적성능 측정개념 a)케도모드 b)자동추적모드

Fig 1. Concept of tracking performance measure

a) Ephemeris mode b)Auto-tracking mode

2. 우주센터 원격측정 안테나 시스템 구성

나로우주센터 제주추적소에는 원격측정용 지상수신 안테나 2대가 운용되고 있다. 각 안테나는 동일한 특성으로 11m 대형 파라볼라 형태이며, 반치각(HPBW: Half Power Beam Width)이 약 $\pm 0.42\text{deg}$, 이득이 약 45dBi로서 원형편파로 RF 신호를 추적·수신한다. 신호의 자동추적은 모노펄스(Monopulse) 추적방식을 적용한 피드와 안테나제어장치(ACU)를 이용한다.

안테나 운용관련 정보인 안테나 운용각도(방위각, 고각: Az, El), 추적오차, 운용모드, 케도정보각도(D_o) 등이 10Hz로 실시간으로 안테나 제어 장치에 기록되어 추후 분석에 사용된다.

3. 추적성능 측정결과

그림2와 그림3은 저궤도위성(아리랑2호와 IRS-P6)을 이용하여 측정된 제주추적소 원격측정안테나(SCF)의 추적성능 예이다. 추적성능 측정 전에 인터넷을 통하여 가용 위성을 확인하고 측정에 사용할 위성의 최신 케도정

보(D_o)를 안테나에 입력하고, 위성 신호에 대한 추적오차를 측정하기 위하여 안테나의 편파를 위성신호의 편파와 동일하게 맞추어 측정하였다.

지향정확도 측정은 안테나를 자동추적모드로 운용하면서 위성을 추적한 안테나 각도($D_a=D_{tr}$)와 위성궤도정보(D_o)의 차이를 기록하였으며, 위성궤도정보와 신호입사방향(안테나 지향방향)을 비교하기 전에 신호입사방향은 안테나 고각에 따른 전파굴절에 대한 각도오차를 보정하였다. 보정에 사용한 값은 국제 관측기관에서 사용하는 값을 사용하였다.

그림 2는 아리랑2호 위성을 사용한 측정결과이다. 안테나는 방위각 15 ~ 195도, 고각 0 ~ 81도 범위를 구동하였으며, 안테나 고각 2도 이상에서 자동추적모드로 위성을 추적하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 위성이 안테나 직상공(고각 81도)으로 통과하는 약 400초쯤에는 방위각 방향으로 순간 각속도가 약 5도/초 정도로 매우 빨라짐에 따라서 안테나가 위성을 정상 추적하더라도 지향정확도 및 추적정확도의 오차가 증가하는 것을 볼 수 있다.

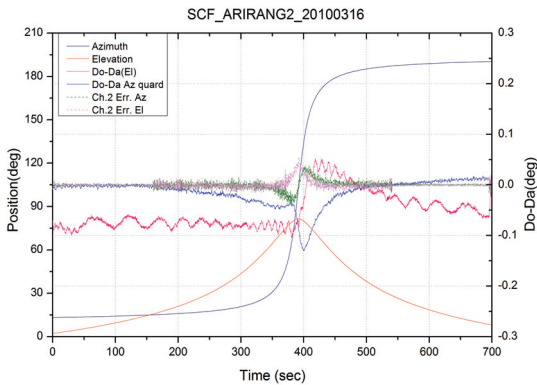


그림 5. SCF 안테나 추적성능 결과 (ARIRANG2 위성)
Fig. 2. Tracking performance measured with ARIRANG2 satellite.

그림 3은 IRS-P6 위성을 사용한 측정결과이다. 지상 안테나는 방위각 17 ~ 350도, 고각 0 ~ 약 72도 범위에서 구동되었으며, 안테나 고각 2도 이상에서 자동추적모드로 위성을 추적하였다. 위성이 최대고각을 지나가는 약 400초쯤에 안테나의 최대 각속도는 약 2도/초이었다.

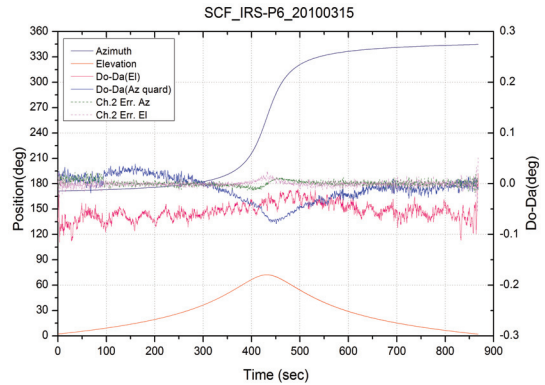


그림 6. SCF 안테나 추적성능 결과 (IRS-P6 위성)
Fig. 3. Tracking performance measured with IRS-P6 satellite

두 개의 위성을 이용하여 지향정확도를 측정하는 동안 지상 추적안테나는 위성을 정상적으로 자동추적하였으며, 측정에서 안테나의 지향정확도($Do-Da$) 오차는 방위각(Az)과 고각(EI)에서 각각 0.13도 이내이고, 추적정확도는 방위각(Ch2 Err. Az) 및 고각(Ch2 Err. EI)에서 각각 0.056도와 0.028도 이내로 확인되었다. 오차의 최대 값은 각각 위성이 최대고각을 지나가는 시점에 발생하였으며, 위성의 최대 고각이 81도인 그림2의 측정결과가 최대 고각이 71도인 그림3의 측정결과에 비하여 지향오차와 추적오차가 큰 것을 볼 수 있다. 이것은 구좌표계를 사용하는 추적시스템의 특성으로 고각이 높아질수록 방위각의 분해능이 떨어지며, 안테나의 구동 각속도가 증가함에 따라 추적오차가 증가하는 것이다.

아래 표들은 안테나 2대의 추적성능 측정결과로서, 앞의 그림 2와 3과 같이 위성을 이용하여 2010년 3월 15일과 16일, 2일 동안 동시에 측정한 결과이다. 표 2와 3은 각 안테나의 지향정확도 측정결과이고 표 4와 5는 추적정확도 측정결과이며, 단위는 milli degree이다. 6번의 위성추적 중에 3월16일의 ARIRANG2위성의 최고 고각이 81도로 가장 높았으며, 3월16일의 IRS-P6위성의 최대고각이 약 10도로 가장 낮았다. 두 개의 추적안테나에서 각각의 위성추적 결과에 따른 추적성능은 약간씩 차이가 있으나, 전체적인 평균치는 약 120 milli-degree 이내의 지향정확도와 50 milli-degree 이내의 추적정확도를 확인할 수 있다.

표 2. SCF 안테나 지향정확도 측정결과
Table 2. SCF Antenna Pointing Accuracy

SCF	Max EL	Do-Da(Az)		Do-Da(EI)	
		평균	최대	평균	최대
ARIRANG2 315	29.6	-17	65	-60	120
ENVISAT	32.2	42	126	-58	115
IRS-P6	72.1	-10	79	-54	116
ARIRANG2 316	81.4	-12	131	-47	105
ENVISAT	50.9	-32	110	-55	101
IRS-P6	10.9	-48	77	-66	104
평균		-12.8	98.0	-56.7	110.2

표 3. PCF 안테나 지향정확도 측정결과
Table 3. PCF Antenna Pointing Accuracy

PCF	Do-Da(Az)		Do-Da(EI)	
	평균	최대	평균	최대
ARIRANG2 315	-95	191	-38	122
ENVISAT	-38	130	-31	130
IRS-P6	12	67	-24	128
ARIRANG2 316	-9.4	119	-14	158
ENVISAT	23	66	-39	105
IRS-P6	75	106	-82	120
평균	-5.40	113.17	-38.00	127.17

표 4. SCF 안테나 추적정확도 측정결과
Table 4. SCF Antenna Tracking Accuracy

SCF	Ch error (Az)		Ch Error (EI)	
	평균	최대	평균	최대
ARIRANG2 315	0.04	25	0.21	28
ENVISAT	-0.08	104	0.2	39
IRS-P6	0.95	25	-0.1	26
ARIRANG2 316	0.0013	44	0.18	56
ENVISAT	-0.03	15	0.1	16
IRS-P6	0.88	71	-0.2	31
평균	0.29	47.33	0.07	32.67

표 5. PCF 안테나 추적정확도 측정결과
Table 5. PCF Antenna Tracking Accuracy

PCF	Ch error (Az)		Ch Error (EI)	
	평균	최대	평균	최대
ARIRANG2 315	0.2	66	1.13	77
ENVISAT	-0.3	28	0.02	25
IRS-P6	0.043	24	0.15	36
ARIRANG2 316	0.026	44	0.24	56
ENVISAT	0.001	9	0.1	14
IRS-P6	-0.015	43	-0.17	44
평균	-0.01	35.67	0.25	42.00

IV. 결론

본 논문에서는 대형 추적안테나의 추적성능지표에 대한 정의 및 영향을 주는 요인을 검토하고, 추적안테나의 다양한 구동범위에 대한 추적성능을 간단하게 검증하는 저궤도위성 추적방법을 소개하였다. 저궤도위성 추적방법을 이용하여 측정된 나로우주센터 11m 접시형 원격측정용 추적안테나시스템의 지향정확도 및 추적정확도는 각각 최대 약 0.2도와 약 0.05도 이내로서 설계기준을 만족함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Electronic Trajectory Measurement Group RCC, "Error Sources Applicable to Precision Trajectory Radar Calibration", RCC Document 255-80.
- [2] 오창열, 이효근, 오승엽, "안테나 특성측정에서 거리의 영향에 대한 연구" 대한전자공학회 하계종합 학술대회, 2004.
- [3] IN-SNEC, "Technical Analysis for KARI", DJD200045 Ed2. rev1, 2005.
- [4] P. E. Schmid, Goddard Space Flight Center Greenbelt, Md, "Atmospheric Tracking Errors at S- and C-band Frequencies", NASA TND-3470, 1966.
- [5] NASA TN D-5966, March, 1971 "Refraction Correction"
- [6] K. T. Lin, A. W. Dissanayake, and C. Cotner, "Propagation Impairments on very low elevation angle C-band Satellite Link", AIAA-94-1045-CP, 1993.
- [7] Heiner Klinkrad, "Space debris: models and risk analysis.", Praxis,
- [8] Samuel M. Sherman "Monopulse principles and Techniques" Artech House, 1984.

저자 소개

오 창 열(정회원)



- 1990년: 충남대학교 전자공학과졸업 (공학사)
- 1992년: 충남대학교 전자공학과졸업 (공학석사)
- 1992~2000: 국방과학연구소 선임연구원
- 2000~현재: 한국항공우주연구원 나로

우주센터 선임연구원

<주관심분야: 무선통신, 추적안테나 및 전파전파, 원격측정>

오 승 엽(정회원)



- 1971: 연세대학교 전자공학과졸업 (공학사)
- 1973: 연세대학교 전자공학과졸업 (공학석사)
- 1982: 연세대학교 전자공학과졸업 (공학박사)
- 1980~1981: Tohoku University, Japan

재직

• 1985~1986: Pennsylvania State University, USA 초빙연구원 근무

• 1984~현재: 충남대학교 전자공학과 교수, KICS, KIEES 그리고 IEEE 정회원

<주관심분야: 안테나 및 디지털 통신, RF Sub-system 분야 설계 등>