

# 저궤도 위성 원격측정데이터 신호 수신을 위한 S-대역 위상배열안테나 시스템 연구

## A Study on S-Band Phased Array Antenna System for Receiving LEO Satellite Telemetry Signals

이 동 효\*, 서 정 원\*, 이 명 신\*\*, 정 대 원\*\*, 이 동 국\*\*\*, 표 성 민\*\*\*\*★

Dong-Hyo Lee\*, Jung-Won Seo\*, Myoung-Sin Lee\*\*, Daewon Chung\*\*,  
Dongkook Lee\*\*\* and Seongmin Pyo\*\*\*\*★

### Abstract

This paper presents a S-band phased array antenna system for receiving LEO satellite telemetry signals. The proposed antenna, which is performed to be beam-tilted along the elevation direction, consists of 16 sub-array assemblies, 16 active circuit modules, a perpendicular feed network and a control/power unit. In order to precisely track an LEO satellite, the developed antenna is placed with its elevation axis along the projected trajectory of the satellite on the earth. The center of antenna aperture is facing to the maximum elevation angle in the LEO trajectory. The beam-tilted angles for tracking LEO satellite are obtained by calculating accurately satellite points. Satellite tracking measurements are carried out in the range of  $\pm 30^\circ$  with the respect to the maximum elevation angle. The  $S/N$  ratio of 16.5 dB and the  $E_b/N_0$  of 13.3 dB at the maximum elevation angle are obtained from the measurements. The measured result agrees well with the pre-analyzed system margin.

### 요 약

본 논문에서는 저궤도 위성 원격측정데이터 신호 수신을 위한 S-대역 위상배열안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 16개의 부배열 조립체, 16개의 능동회로모듈, 수직 급전회로망 및 제어/전원반으로 구성되며 고각 방향으로 빔틸트가 수행된다. 개발된 안테나는 고각 축과 위성 궤적을 일치시키고 개구 중심을 위성 궤적 상의 최대 고각을 바라보도록 하여 정밀한 위성 추적을 수행하였다. 저궤도 위성의 궤적은 위성점 계산을 통하여 정확하게 산출하였다. 위성 추적 시험은 최대 고각을 기준으로  $\pm 30^\circ$  범위에서 수행되었다. 위성 추적 시험 결과 최대 고각에서의  $S/N$ 비는 16.5 dB이고  $E_b/N_0$ 는 13.3 dB를 얻었다. 수행된 위성 추적 결과는 사전 시스템 분석 결과와 잘 일치함을 확인하였다.

*Key words : Phased Array Antenna, LEO Satellite, Telemetry, Satellite point, Maximum Elevation Angle*

\* Senior Researcher, Korea Aerospace Research Institute (KARI)

\*\* Principal Researcher, Korea Aerospace Research Institute (KARI)

\*\*\* CEO, DUTA Technology, Co. Ltd.

\*\*\*\* Professor, Dept. of Information and Communication Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

E-mail : spyo@edu.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1202

Manuscript received May. 17, 2022; revised Jun 7, 2022; accepted Jun. 13, 2022.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### I. 서론

최근 소형 위성 기반의 저궤도 통신은 군사, 과학, 지구탐사 및 항법 등 다양한 영역에서 활용되고 있다 [1]-[3]. 대규모 위성 개발 전문업체인 SpaceX, Telesat, Amazon 등에서는 저궤도 위성을 이용한 군집 운용 기술을 활발하게 보급하고 있다. 군집 위성 기술은 광역 관측, 정찰 임무, 통신 임무 등에 적용되면서 지속적인 통신 네트워크를 형성할 수 있게 하였다[4]-[5].

본격화된 저궤도 위성의 개발이 시작되면서 주목받는 기술 중의 하나가 지상국 안테나 분야이다. 저궤도 위성용 지상국 안테나는 주엽의 방향을 위성 궤도와 일치시켜 실시간으로 통신이 이루어지도록 하여야 한다. 저궤도 위성용 지상국 안테나로는 흔히 페데스탈 이용한 고이득 반사판 구조가 사용된다[6]-[7]. 페데스탈 기반의 반사판 안테나는 동시간에 단일 위성의 궤적을 추적할 수 있으므로 군집 위성 운영이 요구되는 경우 다수의 안테나가 요구된다. 또한, 반사판 안테나는 고각 및 방위각 방향으로의 제어가 필요하므로 높은 설치 비용과 넓은 공간이 요구되어 안테나 설치 부대 비용이 증가하는 문제가 있다. 이와 같은 기존 반사판 안테나의 문제를 해결하기 위한 구조가 다중 빔포밍 안테나이다[8]-[9]. 다중 빔포밍 안테나는 다수의 빔을 동시에 형성함으로써 여러 개 위성을 동시에 추적이 가능하다. 이와 같은 다중 빔포밍 안테나는 다수의 송수신 모듈과 위상 변위기를 갖는 평면 배열안테나의 일종이다.

본 논문에서는 단일 방향으로 빔 조향 특성을 갖는 S-대역 저궤도 위성 수신용 배열안테나의 개발 과정과 이를 이용한 위성 추적 방법을 제시한다. 제안된 안테나는 16개의 부배열 조립체와 16개의 능동회로 모듈, 1개의 수직 급전회로망, 1개의 제어 및 전원반으로 구성된다. 빔틸트가 이루어지는 안테나의 축과 저궤도 위성의 궤적을 일치시키고 안테나의 개구면 중심을 위성 궤도의 최대 고각 방향을 향하도록 하여 위성 추적 시험을 수행하였다. 실제 한반도 상공을 위성이 지나가는 경우 각 시간대별 안테나에서 요구되는 빔 틸트각을 계산하고 이를 반영하여 위성 추적 성능을 검증하였다. 이를 통하여 본 논문의 방법에 대한 유용성을 제시하였다.

### II. 본론

#### 1. S-대역 위상배열안테나

##### (1) 단방향 빔 조향 특성을 갖는 안테나

Fig. 1은 본 논문에서 제안한 S-대역 위상배열안테나

의 동작 개념이다. 제안된 안테나는 고각 방향(Fig. 1.에서의 점선 방향)으로만 빔 조향이 이루어진다. 개발된 안테나를 이용하여 저궤도 위성의 원격측정데이터를 수신하기 위해서는 지표면에 투영된 위성의 궤적과 안테나의 고각 축을 일치시킨다. 다음으로 안테나의 개구면에서의 법선 방향과 위성 궤적의 최대 고각( $EL_{max}$ ) 방향을 일치시켜 빔 조향을 수행한다. 안테나의 고각 축과 위성 궤적을 일치시키기 위하여 진북 기준으로  $\alpha$ 만큼 회전시키고 전체 기구물의 좌/우를 각도  $\beta$ 만큼 기울여서 안테나 중심이 위성 궤적의 최대 고각을 향하도록 하여야 한다.

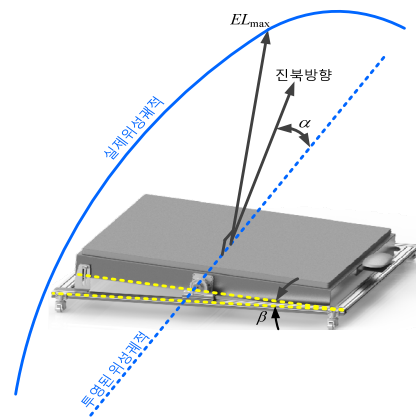


Fig. 1. Operating principle of the proposed antenna. 그림 1. 제안된 안테나의 동작 개념

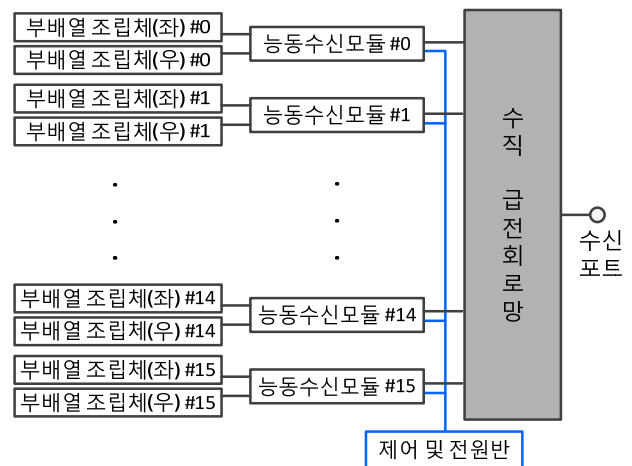


Fig. 2. Configurations of the phased array antenna. 그림 2. 위상배열안테나의 구성

Fig. 2는 S-대역 위상배열안테나의 전체 블록도이다. 방사 소자로 구성되는 16개의 부배열 조립체가 배열되고 다음 단계는 수신 신호의 크기와 위상을 조정하는 능동 회로모듈이 각각 연결된다. S-대역의 부배열 조립체는 전체 길이가 너무 길어서 가공이 어려우므로 좌/우 2개 조립체로 구분하여 구현하였다. 제어 및 전원반은 총 16

개의 능동회로 모듈에서 필요로 하는 전원과 신호의 크기 및 위상을 조정하기 위한 제어 비트를 공급한다. 부배열 조립체와 능동회로 모듈을 통과한 신호는 수직 급전 회로망을 거쳐 1개의 수신 포트에 연결된다.

좌/우 2개의 부배열 조립체를 하나로 묶어주고 이에 필요한 신호의 크기와 위상을 제어하는 능동회로모듈의 구성은 Fig. 3과 같다. 좌/우의 부배열 조립체에서 입사된 신호는 첫 번째 저잡음 증폭기를 통과한 후 전력합성기를 거쳐 동위상으로 결합된다. 다음으로 신호는 두 번째 저잡음 증폭기와 디지털 가변 감쇠기, 위상변위기 등을 순차적으로 거쳐 최종 출력된다.

저궤도 위성의 신호를 수신하기 위한 안테나의 설계에 앞서 전체적인 시스템 분석을 수행하였다. S-대역 저궤도 위성의 송신 EIRP는 -4 dBW 이고 위성 최대 고각에서 지구국과 위성 간의 거리가 560 km라 할 때, 전체 시스템 마진은 Table 1.과 같다.

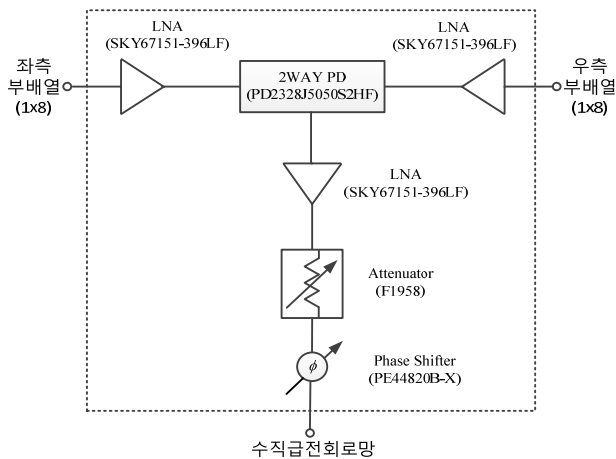


Fig. 3. Composition of the active circuit module.  
그림 3. 능동회로모듈의 구성

Table 1. Calculation of the antenna system margin.

표 1. 안테나 시스템 마진 계산

항목	값
EIRP	-4 dBW
Frequency	2.25 GHz
Distance in free space(R)	560.0 km
Air Loss	-1.0 dB
Polarization Mismatch	-3.0 dB
System Noise Temperature	137.1 K
Antenna Gain	27 dBi
Channel Bandwidth	112.8 kHz
Received Power at antenna	-106.0 dBm
Noise Power	-126.7 dBm
S/N	20.7 dB

Fig. 3에 제시된 각 RF 소자의 전체 이득과 잡음 지수는 각각 25.2 dB 및 1.53 dB이다. 16×16 평면 배열 안테나의 잡음 온도를 15 K로 가정할 경우 전체 시스템 잡음 온도는 137.1 K이다[10]. 수신 채널 대역폭이 112.8 kHz 인 경우 27 dBi 이득을 갖는 안테나에 수신되는 전력은 -106 dBm, 잡음 전력은 -126.7 dBm으로 계산된다. 따라서 Fig. 2와 Fig. 3에 제시된 위상배열 안테나의 수신 S/N비는 20.7 dB로 예측된다.

## 2. 위상배열안테나 설계 및 제작

### (1) 부배열 조립체

배열안테나의 방사소자는 별론 구조를 갖는 인쇄형 다이폴 안테나[11]을 적용하였다. 다이폴 방사소자는 마이크로스트립 선로에 의하여 급전된다. 좌/우 2개의 부배열 안테나는 총 8개의 방사소자와 동일 전력 및 위상을 갖는 병렬 급전회로를 연결하여 설계하였다. 좌/우 2개의 부배열 조립체는 능동회로모듈 내의 전력합성기를 통해 총 16×1 배열의 부배열 조립체를 구성한다.

### (2) 능동회로모듈 설계

능동회로모듈은 그림 3과 같이 3개의 LNA, 전력합성기, 디지털 감쇄기 및 위상 변위기로 구성된다. 전체 능동회로모듈은 각 RF 부품에서 요구되는 임피던스 정합 회로, 바이어스 회로 및 최소화된 경로 손실 등을 반영하여 설계되었다. 각 RF 부품에 인가되는 전원은 제어 및 전원반으로부터 적절히 분배되었다.

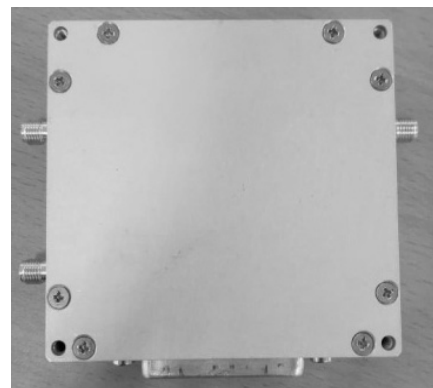


Fig. 4. Fabricated active circuit module.  
그림 4. 제작된 능동회로모듈

위상변위기 및 디지털 감쇄기의 제어 비트는 SPI 버퍼를 통해 제공된다. 그림 4는 제작된 능동회로모듈의 모습이다.

그림 5는 제작된 능동회로모듈의 제어비트의 변화에

따른 전체 모듈의 측정 이득과 위상 오차에 대한 RMS 오차이다. 제작된 능동회로모듈은 0.4 dB 이하의 이득 및 1.1° 이하의 위상 RMS 오차를 갖는다. 전체 위상배열안테나의 빔폭이 방위각 및 고각 방향으로 4° 이상이므로 이와 같은 오차에 의한 빔틸트 값의 변화는 작을 것으로 예측된다. 전체 16개의 능동회로모듈을 제작하여 안테나를 구성하였다.

그림 6은 능동회로모듈에서 요구되는 제어 비트와 전원을 공급하기 위한 제어 및 전원반의 블록도이다. 제어 및 전원반은 Xilinx™사에서 공급하는 ZYNQ-7000 칩셋을 이용하여 구현하였다.

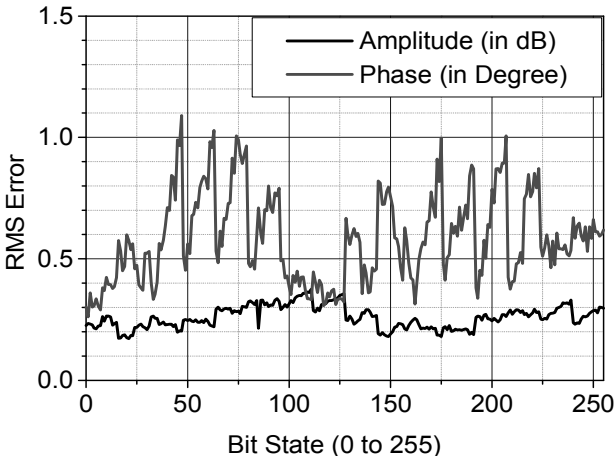


Fig. 5. Measured RMS errors of the active circuit module.  
그림 5. 능동회로모듈의 측정된 RMS 오차

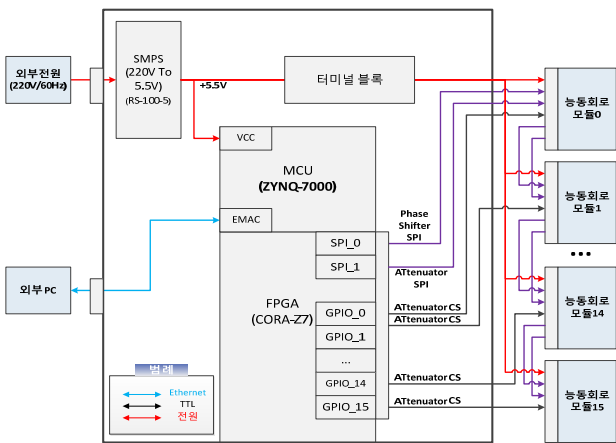


Fig. 6. Diagram of a control and power unit.  
그림 6. 제어 및 전원반 구성도

각 능동회로모듈에 공급되는 제어비트는 칩 내부의 FPGA 로직에서 SPI 통신 방식으로 제어하였다. 안테나 내부의 전원은 외부 220V AC 전원을 100 W 급 SMPS를 거쳐 5.5 VDC로 변환 후 필요한 구성품에 전원을 인

가한다. 제어 및 전원반과 16개 능동회로모듈에 공급되는 제어신호는 Ethernet 통신 기반으로 외부 PC와 연동된다.

(3) 배열안테나 제작 및 성능 측정

S-대역 위상배열안테나는 앞절에서 설명된 부배열 조립체, 능동회로모듈, 제어 및 전원반을 개별적으로 설계 제작한 후 조립하여 구성하였다. 수직 급전회로망은 Fairview Microwave®에서 공급하는 16-Way Power divider (Model: MP8211-16)를 이용하였다. 그림 7은 제작된 S-대역 위상배열안테나의 형상이며 전체 크기는 1.66×1.58×0.25 m이다. 안테나 빔틸트를 위한 제어는 안테나 측면에 있는 이더넷 포트와 외부 PC를 연결하여 수행하였다.

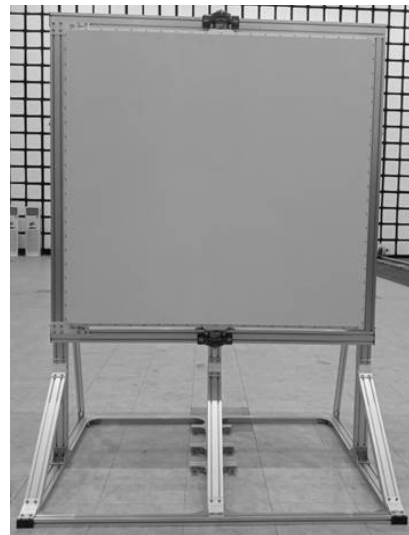


Fig. 7. Fabricated S-band phased array antenna.  
그림 7. 제작된 S-대역 위상배열안테나

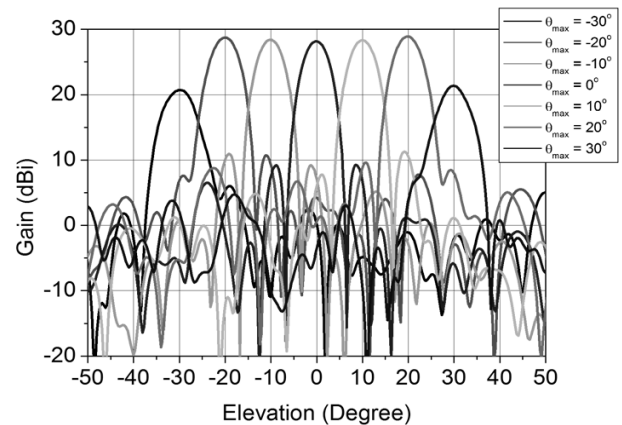


Fig. 8. Measured gain patterns in the elevation plane with the beam-tilted angle.

그림 8. 빔틸트 각도에 따른 측정된 고각 방향 이득 패턴

제작된 안테나의 주요 성능은 근접 전계 시스템을 이용하여 측정하였다. 외부 PC를 통하여 원하는 고각 방향의 빔틸트 각도를 입력하고 측정된 안테나의 패턴을 분석하였다. 그림 8은 외부 PC를 통해 고각 방향의 빔틸트 각을  $-30^\circ$ 에서  $+30^\circ$ 까지 변화시킨 경우의 이득패턴이다. 고각 틸트각이  $\pm 20^\circ$  이내 범위에서는 패턴 왜곡 없이 28 dBi 이상의 이득을 얻었다. 반면에 빔틸트각이  $\pm 30^\circ$ 인 경우 빔폭이 넓어지면서 8 dB 이상의 이득이 감소되는 것을 알 수 있다.

### 3. 위성추적 이론 및 시험 결과

#### (1) 위성점 계산

개발된 S-대역 위상배열안테나를 기반으로 저궤도 위성의 원격측정데이터 신호를 수신하기 위해서는 위성점 (satellite point)을 정확하게 계산하는 것이 중요하다. 위성점은 위성의 위치와 지구 중심을 일직선으로 연결하는 경우 지구 표면에서의 교점이다[12].

그림 9는 지구 상공을 지나는 위성과 지구국, 위성점 간의 관계를 설명한 것이다. 지상 안테나가 설치된 지구국의 수평면과 위성이 이루는 각은 고각( $El$ ), 지구국과 위성간의 거리는  $H$ 이다.

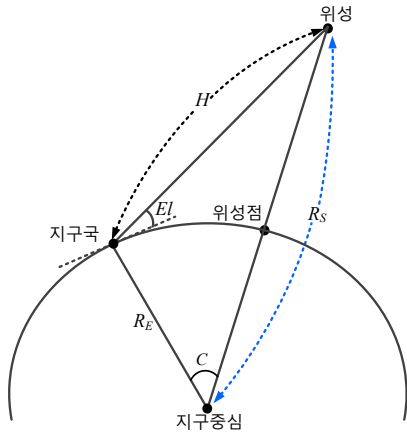


Fig. 9. Definitions of an earth station, a satellite point and an elevation angle.

그림 9. 지구국, 위성점 및 고각에 대한 정의

위성 궤적의 이동에 따라 고각 값이 최대가 되는 위치는 최대 고각(Maximum elevation angle)이라 한다. 지구 중심에서 위성점을 통과하여 위성까지의 거리는  $R_s$  이고 지구 중심을 기준으로 지구국과 위성 사이의 각도는  $C$ 이다. 여기서  $R_E$ 는 지구의 반지름이다. 지구 중심과 위성까지의 거리  $R_s$ 와 지구국과 위성 사이의 각도  $C$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$R_s = \sqrt{(R_E + H \sin El)^2 + (H \cos El)^2} \quad (1)$$

$$C = \sin^{-1} \frac{H \cos El}{R_s} \quad (2)$$

지구 표면에 위치하는 지구국과 위성점, 지구국 위치에서의 방위각 각도  $A_z$  및 지구국과 위성점 사이의 경도차  $\Delta\psi$ 의 관계는 그림 10과 같다. 지구국 위치에 대한 경도 및 위도는  $L_e$ 와  $l_e$ 이고 위성점에서의 경도와 위도는  $L_s$ 와  $l_s$ 이다. 방위각은 지구국의 지평면에서 진북과 지표면 상에 투영된 위성 경로가 이루는 각도를 의미한다. 그림 10b는 지구 표면에서 지구국, 위성점 및 지구 중심의 관계를 도시한 것이다.

지구 표면이 구면이므로 진북과 위성점 간의 각도  $B$ 와 지구국과 위성점 간의 경도차  $\Delta\psi$ 는 구면 삼각함수 공식을 이용하여 식 (3)-(4)와 같이 얻을 수 있다.

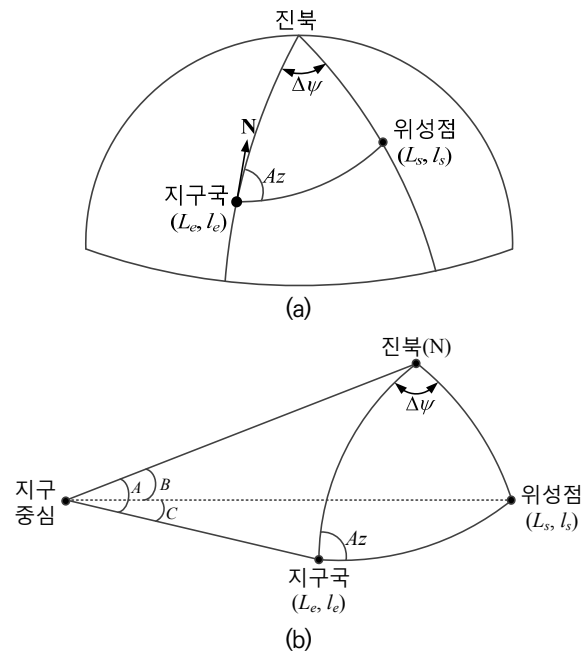


Fig. 10. Relationships of earth station, satellite point and true north (a) on earth surface and (b) in earth.

그림 10. 지구국, 위성점 및 진북 간의 관계 (a) 지표면 (b) 지구 내부

$$\cos B = \cos A \cos C + \sin A \sin C \cos A_z \quad (3)$$

$$\Delta\psi = \cos^{-1} \left[ \frac{\cos C - \cos A \cos B}{\sin A \sin B} \right] \quad (4)$$

식 (3)과 (4)로부터 위성점 위치에서의 위도( $l_s$ ) 및 경도( $L_s$ )는 다음과 같이 계산된다.

$$l_s = 90^\circ - B \quad (5)$$



$$L_S = \begin{cases} L_e + \Delta\psi & , \quad Az \leq 180 \\ L_e - \Delta\psi & , \quad Az > 180^\circ \end{cases} \quad (6)$$

이상과 같이 얻어진 위성점 좌표를 통해 지구 상공의 위성 위치를 계산한다. 개발된 안테나의 개구 중심이 최대 고각 위치의 위성을 향하도록 설치되므로 안테나의 고각 방향 빔틸트 각은 지구곡을 중심으로 최대 고각의 방향과 임의 위성 위치로 향하는 벡터 사이의 각도가 된다.

(2) 위성 원격측정데이터 수신시험

제작된 S-대역 위성배열안테나를 이용하여 저궤도 위성의 원격측정데이터를 수신하는 시험을 수행하였다. 지구곡에 위치하는 안테나는 그림 1의 설명과 같이 지표면에 투영된 위성의 궤적과 동일하게 위치하도록 진북 기준 대비  $\alpha$ 만큼 이격시켜 배치하였다. 다음으로 안테나 표면 중심이 위성 궤적의 최대 고각( $EL_{max}$ ) 방향을 바라보도록 전체 안테나의 좌우를 각도  $\beta$ 만큼 기울였다. 진북 방향과의 오프셋 각도  $\alpha$ 는 안테나 측면에 설치된 Dual GPS로부터의 좌표 정보를 이용하여 보정하였다.

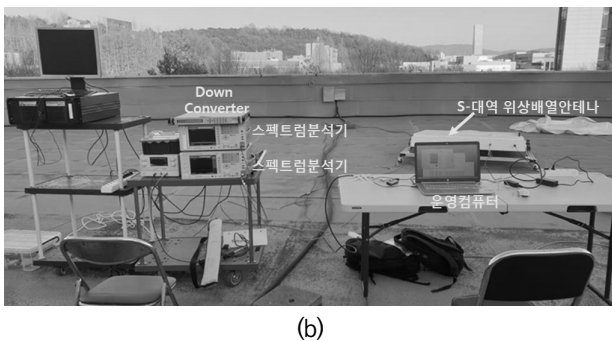
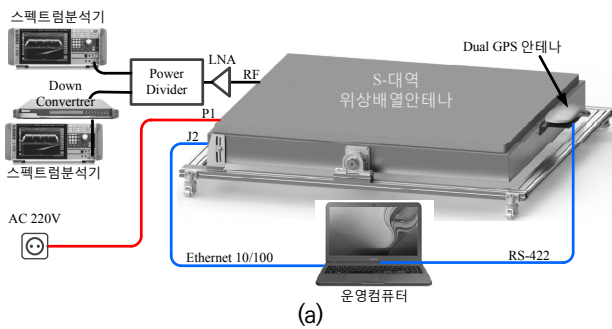
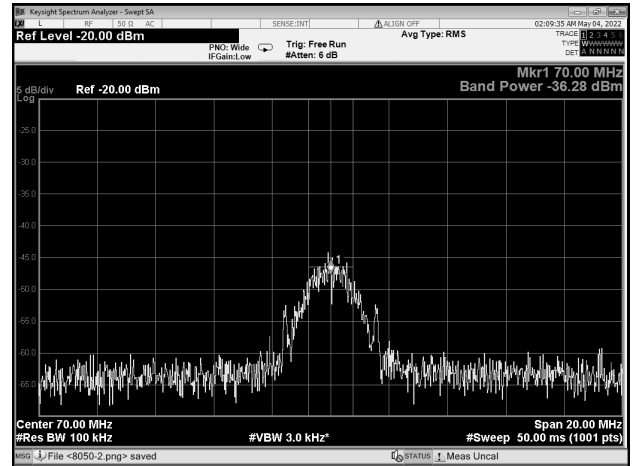


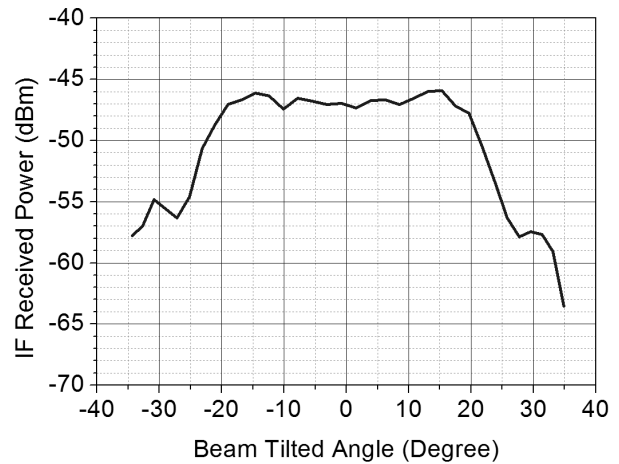
Fig. 11. Measurements for receiving LEO satellite telemetry signals (a) measurement setup (b) photograph.  
 그림 11. 저궤도 위성의 원격측정데이터를 수신하기 위한 측정 (a) 측정 환경 (b) 사진

그림 11은 S-대역 위성배열안테나를 이용한 저궤도 위성의 원격측정데이터 수신 시험 환경과 측정 모습이다. 제작된 안테나의 RF 수신 포트는 외부의 별도 LNA

와 전력 분배기를 연결하였다. 전력 분배기를 통하여 분배된 신호는 RF 신호를 측정하기 위한 스펙트럼 분석기와 IF 신호를 측정하기 위한 스펙트럼 분석기에 각각 연결된다.



(a)



(b)

Fig. 12. (a) Spectrum of the received signal at maximum elevation angle and (b) received power level versus beam tilted angle.

그림 12. (a) 최대 고각에서 수신된 신호의 스펙트럼과 (b) 빔 틸트각별 수신 전력 레벨

제어 포트는 이더넷 케이블을 이용하여 운영 컴퓨터와 연결하였다. 안테나가 설치된 위치에서의 진북 좌표는 측면에 설치된 Dual-GPS 안테나와 RS-422 케이블을 통해 얻었다.

그림 12는 측정된 스펙트럼 마스크와 빔틸트각에 따른 원격측정데이터의 수신 레벨이다. 그림 12(a)는 위성 궤적의 최대 고각에서 측정된 IF 신호의 수신 결과이다. 최대 고각에서 수신된 레벨은 -47.3 dBm이고 S/N비는 16.5 dB이다. 실제 위성 추적 시험에서는 IF 신호 뿐만

아니라 RF 신호를 측정하기 위하여 전력 분배기를 사용하였다. 전력 분배기의 손실 3dB를 고려할 경우 표 1에서 예측된 S/N비 20.7 dB가 17.7dB로 변경된다. 따라서 측정된 S/N비의 오차는 -1.2 dB 이다. 이와 같은 오차는 실제 측정 환경에서의 케이블 손실, 대기 손실 등에 의한 것으로 보인다.

그림 12(b)는 빔틸트각의 변화에 따른 위성 신호의 수신 신호 레벨이다. 빔틸트각이  $\pm 20^\circ$  이내인 경우 수신 레벨은 -47.0 dBm ~ -46.0 dBm에서 형성되는 반면에 그 외 범위에서는 수신 레벨이 감소하여  $\pm 30^\circ$ 에서는 -8 ~ -12 dB까지 적은 값을 확인할 수 있다. 이와 같은 원인은 그림 8의 안테나 패턴에서와 같이 안테나 이득이 저하되었기 때문이다. 본 위성 추적 시험을 통하여 얻어진  $E_b/N_0$ 는 13.3 dB임을 확인하였다.

### III. 결론

본 논문에서는 저궤도 위성의 원격측정데이터를 수신하기 위한 S-대역 위상배열안테나를 설계, 제작하였다. 제작된 안테나는 16개의 부배열 조립체, 16개의 능동회로모듈, 수직급전회로망 및 제어/전원반으로 구성된다. 각 조립체는 개별적으로 설계/제작한 후 전체 구조를 조립하였다. 완조립된 위상배열안테나는 근접 전계 시스템을 이용하여 성능을 측정하였다.

제작된 위상배열안테나는 한쪽 방향으로만 빔틸트각 이루어지므로 이에 적합한 저궤도 위성 수신 방법을 제안하였다. 저궤도 위성의 개별 궤적에 대한 지표면에서의 위성점 계산 방법을 제시하고 이에 대한 위성 신호 수신 방법을 제시하였다. 실제 저궤도 위성의 원격측정 데이터의 수신 시험을 통하여 본 논문의 방법에 대한 유용성을 입증하였다. 위성 궤적의 최대 고각에서 측정된 신호 대 잡음비와  $E_b/N_0$ 는 각각 16.5 dB와 13.3 dB 값을 얻었다. 본 논문의 결과는 향후 저궤도 위성을 위한 지구국 안테나를 위상배열안테나로 개발하는 과정에서 유용한 도구로 활용될 수 있다.

### References

[1] T. Halt, "Smallsats by numbers: A discussion of the smallsats industry," *SatMagzine*, 2009.  
 [2] P. S. Kim, J.-G. Ryu, and W. J. Byun, "Research trends in global wireless communication technology based on LEO satellite communication network,"

*Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 35, No.5, pp.83-91, 2020.

DOI: 10.22648/ETRI.2020.J.350507

[3] O. Kodheli, E. Lagunas, N. Maturo, and *et. al.*, "Satellite communications in the new space era: a survey and future challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.23, No.1, pp.70-109, 2021. DOI: 10.1109/COMST.2020.3028247

[4] G. Curzi, D. Modenini, and P. Tortota, "Large constellations of small satellites: A survey of near future challenges and missions," *Aerospace*, Vol.7, No.9, pp.133, 2020. DOI: 10.3390/aerospace7090133

[5] S. Marcuccio, S. Ullo, M. Carminati, and O. Kanoun, "Smaller satellites, larger constellations: Trends and design issues for earth observation systems," *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, Vol.34, No.10, pp.50-59, 2019.

DOI: 10.1109/MAES.2019.2928612

[6] B. S. Reddy, P. V. Sitatraman, C. Arora, C. Sriharsha, and V. S. Kumar, "MEOSAR satellite ground station reflector antenna for search & rescue applications," *2018 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC)*, 2018.

DOI: 10.1109/IMaRC.2018.8897539

[7] M. Boettcher, L. Leidig, and K. Sabine, "Design of a low-cost S/X dual-band satellite ground station for small satellite missions," *Conf. of IAA/AAS Scitech*, 2020.

[8] D. Sikri and R. M. Jayasuriya, "Multi-beam-phased array with full digital beamforming for SATCOM and 5G," *Microwave Journal*, Apr. 2019.

[9] F. Bongard, and *et al.*, "A new aperture for switched-beam low-profile Ku-band mobile terminal array antennas," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol.50, No.3, pp.289-300. 2012.

DOI: 10.1109/MAP.2012.6294007

[10] J. Mayhan, "The calculation of the effective temperature of planar antennas in a plasma environment," *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol.18, no.1, pp.136-137, 1970.

[11] R. L. Li, B. Pan, T. Wu, K. Lim, J. Laskar, and M. M. Tentzeris, "A broadband printed dipole and a printed array for base station applications,"

*International Symposium on 2008 IEEE Antennas and Propagation Society*, pp.1-4, 2008.

DOI: 10.1109/APS.2008.4619528

[12] Pratt, T. and Allnutt, J., *Satellite Communications, 3<sup>rd</sup> Ed.*, John Wiley & Sons, 2020.

## BIOGRAPHY

### Dong-Hyo Lee (Member)



2008 : BS degree in Tele-communication Engineering, Namseoul University.  
2010 : MS degree in Radio Sciences and Engineering, Korea University.

2022~Current : PhD degree in Department of Information and Communication Engineering, Hanbat National University.

2014~Current : Senior Researcher, Korea Aerospace Research Institute (KARI).

### Jung-Won Seo (Member)



2009 : BS degree in Information & Communication Engineering, Dongguk University.  
2012 : MS degree in Information & Communication Engineering, Dongguk University.

2014~Current : Senior Researcher, Korea Aerospace Research Institute (KARI).

### Myeong-Shin Lee (Member)



1998 : BS degree in Control Engineering, Cheonbuk University.  
2011 : MS degree in Information Technology Engineering, Chungnam University.  
1999~Current : Principal Researcher, Korea Aerospace Research Institute (KARI).

### Daewon Chung (Member)



1992 : BS degree in Electrical Engineering, Kyungbook University.  
1994 : MS degree in Electrical Engineering, Kyungbook University.  
2007 : PhD degree in Electrical Engineering, Chungnam University.

1994~Current : Executive director, Korea Aerospace Research Institute (KARI).

### Dong-Kook Lee (Member)



1990 : BS degree in Electronic Engineering, Kookmin University.  
1990~2000 : Researcher, ADD  
2000~2014 : Executive director, PINETELECOM  
2001 : MS degree in Radio Communication Engineering, Chungbuk University.

2012 : PhD degree in Radio Communication Engineering, Chungbuk University.

2015~Current : CEO, DUTA Technology

### Seongmin Pyo (Member)



2002 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.  
2004 : MS degree in Radio Sciences and Engineering, Korea University.  
2011 : PhD degree in Radio Sciences and Engineering, Korea University.

2011~2013 : Senior Researcher, Agency for Defense Development (ADD).

2014~Current : Professor, Department of Information and Communication Engineering, Hanbat National University