

# 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나의 빔포밍 특성

## Beamforming Performance for Phased Array-Fed Reflector Antenna

류성준 · 이치호\* · 김선교\* · 추호성

Sungjun Yoo · Chiho Lee\* · Seon-Kyo Kim\* · Hosung Choo

### 요 약

본 논문에서는 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나의 빔포밍 특성을 연구하였다. 제안된 안테나의 반사판의 직경,  $F/D$ , 급전부의 배열 소자수가 변함에 따라 반사판에 의해 형성되는 빔의 조향각을 계산함으로써 안테나의 빔포밍 특성을 확인하였다. 또한 실제 측정을 통해 제안된 안테나의 빔포밍 특성을 확인하기 위해 직경 1.5 m의 반사판, LPDA(Log Periodic Dipole Array) 4소자로 구성된 급전부를 이용하여 빔포밍 성능을 확인하였다.

### Abstract

In this study, the beamforming characteristics of a reflector antenna, such as a phased array antenna, as a feeder have been studied. The beamforming characteristics were examined by observing the actual steering angle of the reflector according to the diameter, the  $F/D$  of the reflector, and the number of array elements of the feeder. In addition, the beamforming characteristics were verified by measurement using a reflector of 1.5 m diameter and a four-element log-periodic dipole array(LPDA).

Key words: Array-Fed Reflector, Phased Array Antenna, Beamforming

### I. 서 론

위상 배열안테나는 단일 급전 안테나 시스템에 비해 많은 이점을 가지고 있어 항공 및 선박에 장착되는 레이더와 같은 응용 분야에 필수요소로 자리잡고 있다<sup>[1]</sup>. 위상 배열안테나를 이용한 다중 빔 안테나는 고이득 및 빔조향 특성을 가지고 있어 최근 위성시스템 체계에 적용시키기 위한 연구가 활발히 진행 중이다<sup>[2]</sup>. 위성시스템 체계의 경우, 저궤도(250~2,000 km), 중궤도(2,000~36,000 km), 정지궤도(36,000 km) 등에서 지구로부터 미약신호를

수신하기 때문에 높은 이득 성능을 갖는 안테나가 요구된다. 고이득 및 다중빔 특성을 도출하기 위한 안테나는 대표적으로 다수의 안테나를 배열안테나로 확장한 직접 방사 배열(direct radiating array)과 반사판과 개별안테나 급전부로 구성된 단일 급전 반사판 안테나(single-fed reflector antenna)가 많이 사용된다<sup>[2]</sup>. 직접 방사 배열의 경우, 넓은 조향각 범위에서 배열안테나의 빔조향이 가능하지만, 설계의 복잡도 및 물리적인 크기가 증가하는 단점이 존재한다. 단일 급전 반사판 안테나의 경우 고이득 도출이 가능하지만, 빔조향 손실(scan loss characteristic)이

「This work was supported by the research fund of Signal Intelligence Research Center supervised by Defense Acquisition Program Administration and Agency for Defense Development of Korea.」

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received December 5, 2018 ; Revised January 14, 2019 ; Accepted February 7, 2019. (ID No. 20181205-09S)

· Corresponding Author: Hosung Choo (e-mail: [hschoo@hongik.ac.kr](mailto:hschoo@hongik.ac.kr))

직접 방사 배열에 비해 증가한다. 이러한 성능 열화를 극복하기 위해 고이득, 빔조향 손실, 넓은 조향각, 빔 분해능, 설계 복잡도, 안테나의 물리적 크기를 고려하여, 배열안테나와 반사판을 접목한 위상 배열 급전부를 포함한 반사판 안테나(phased array-fed reflector antenna)가 제안되었다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나의 빔포밍 특성을 관찰하였다. 제안된 안테나는 배열안테나로 이루어진 급전부와 반사판으로 구성되어 있으며, 배열안테나의 전기적 빔조향이 가능하도록 급전부의 배열안테나에 위상천이기가 연결되어 있는 형상이다. 제안된 안테나의 빔조향 특성을 확인하기 위해 반사판의 직경, 반사판과 급전부의 거리의 비율, 배열안테나의 배열반경을 조정하여 상관관계를 확인하였다. 또한 급전부에서 조향되는 빔의 각도(steering angle of the array feeder)와 반사판을 통해서 도출되는 빔의 각도(actual reflected steering angle)를 각각 확인하여 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나의 빔포밍 특성에 대해 확인하였다.

## II. 위상 배열 급전부를 포함한 반사판 안테나 형상 및 성능

그림 1은 제안된 위상 배열 급전부를 포함한 반사판 안테나 형상을 나타낸다. 제안된 안테나는 배열안테나로 이루어진 급전부와 5 m의 직경( $D$ )을 갖는 반사판으로 구성되어 있으며, 반사판과 급전부의 거리는  $F$ , 배열안테나의

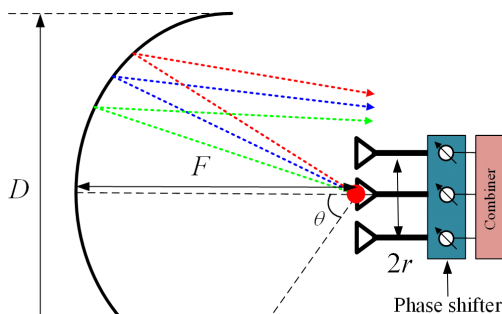


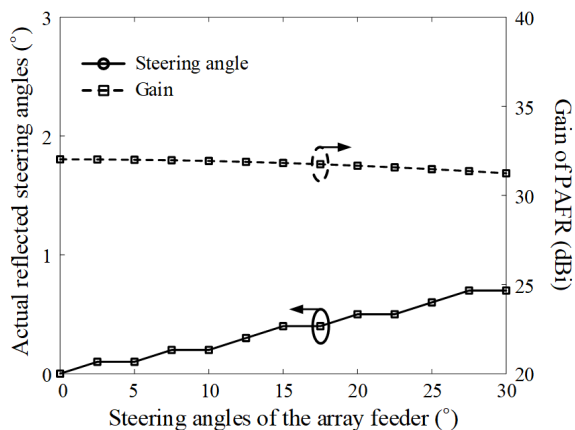
그림 1. 제안된 위상 배열 급전부를 포함한 반사판 안테나 형상

Fig. 1. Geometry of the proposed phased array-fed reflector antenna.

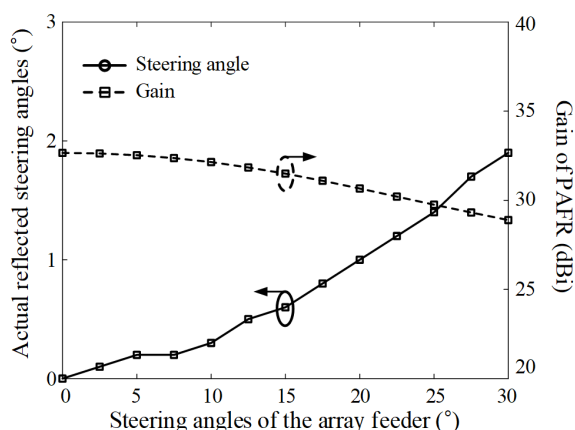
배열 반경은  $2r$ 로 이루어져 있다. 제안된 안테나의 전기적 빔조향이 가능하도록 급전부의 배열소자는 각각 위상천이기와 연결되어 있다. 제안된 안테나의  $F/D$  값에 따라 적절한  $2r$ , 배열안테나의 소자 개수를 도출하기 위해 FEKO EM 시뮬레이터를 이용하여 변수변화에 따른 안테나 특성을 조사하였다.

그림 2는 제안된 안테나의  $F/D$  값이 0.6, 0.8, 1.0일 때 제안된 안테나의 빔포밍 특성을 보여준다.  $F/D$ 가 0.6인 경우, 반사판을 맞고 형성되는 빔의 조향 각도(actual reflected steering angle)는 급전부에 인가되는 빔의 각도(steering angle of the array feeder)가  $30^\circ$ 일 때 최대  $0.7^\circ$ 까지 도출되며, 안테나의 최대이득은 약 32 dBi로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 그림 2(b)는  $F/D$ 가 0.8일 때 빔포밍 특성을 보여주며, 최대 조향각은  $1.7^\circ$ 로 증가하며, 제안된 안테나의 최대이득은 32.6 dBi에서 28.8 dBi로 약 3.8 dB 감소하는 경향을 보인다.  $F/D$ 가 1.0인 경우 제안된 안테나의 최대 조향각은  $2.3^\circ$ 로  $F/D$ 가 0.8에 비해 약  $0.6^\circ$  증가하는 경향을 보이지만 안테나의 이득이 25.8 dBi로 감소하고,  $1^\circ$  이상의 조향각을 가질 때 빔의 왜곡이 발생한다.

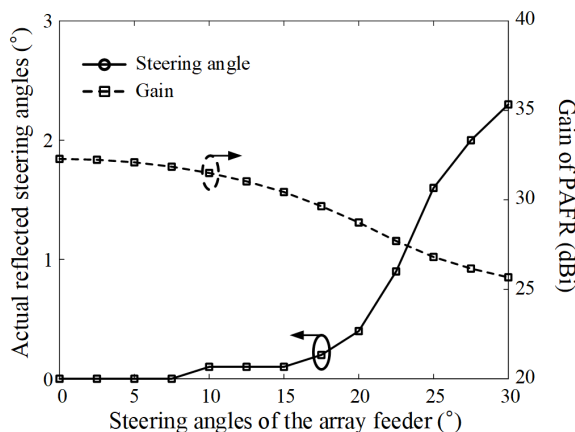
그림 3(a)는  $F/D$  값과 actual reflected steering angle 특성과의 상관관계를 보여준다. Actual reflected steering angle의 경우,  $F/D$ 가 증가함에 따라  $0.7^\circ$ 에서  $2.5^\circ$ 까지 변하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3(b)는  $F/D$  값이 0.6에서 1.5까지 변화할 때 제안된 안테나의 이득 및 소자수의 특성을 나타내었다.  $F/D$ 가 증가함에 따라 제안된 안테나의 이득 특성을 약 32 dBi로 유지되는 경향을 보이며, 급전부 배열안테나의 소자개수의 경우  $F/D$ 가 1.5일 때 32개로 확인된다. 이와같이  $F/D$ 가 증가함에 따라 배열안테나의 소자개수가 증가하는 원인은 반사판 안테나의 taper efficiency와 spillover efficiency를 고려하여 급전부의 배열안테나의 배열 반경 및 배열 소자수가 결정되어야 하며, 급전부 배열안테나의 빔폭은 좁고 고이득 특성을 도출하기 위해 배열 소자수가 증가하는 경향을 보인다. 따라서 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나 설계 시 시스템의 중량, 최대 빔 조향각(maximum actual reflected steering angle), 반전력 빔폭(half power beamwidth) 등에 대한 고려가 필요하며, 특히  $F/D$ 와 최대 조향각, 안테나 이득,



(a)  $F/D=0.6$

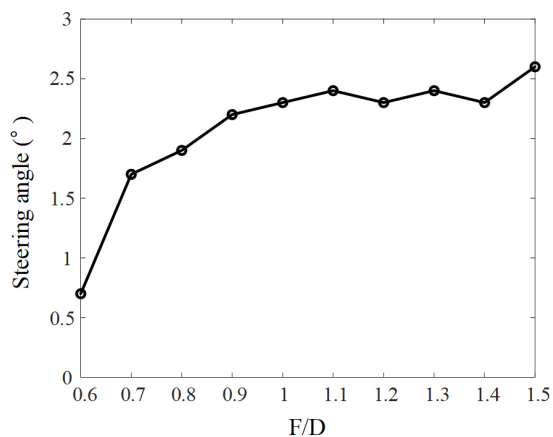


(b)  $F/D=0.8$

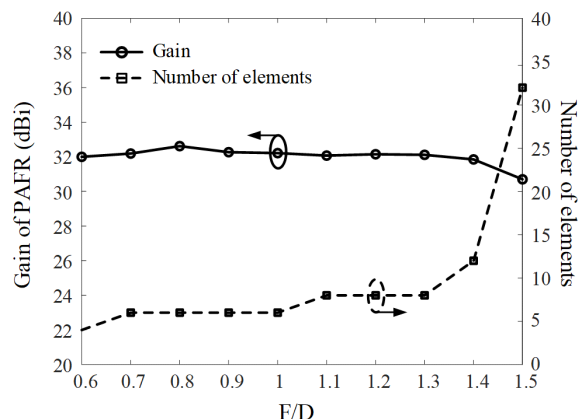


(c)  $F/D=1.0$

그림 2.  $F/D$  값에 따른 제안된 안테나의 빔포밍 특성  
Fig. 2. Beamforming characteristic of the proposed antenna according to  $F/D$ .



(a)  $F/D$ 에 따른 조향각 특성  
(a) Steering angle according to  $F/D$



(b)  $F/D$ 에 따른 이득 및 소자수  
(b) Gain and number of elements according to  $F/D$

그림 3.  $F/D$  값에 따른 조향각, 이득, 급전 소자개수 특성 비교

Fig. 3. Comparison of steering angle, gain, number of array according to  $F/D$ .

표 1. 위상 배열 급전부를 포함한 반사판 안테나 변수 및 성능 비교

Table 1. Comparison the performance of the phased array-fed reflector antenna.

| Number of elements | $2r$          | $F/D$ | Gain |
|--------------------|---------------|-------|------|
| 4                  | $0.2 \lambda$ | 0.6   | 32.0 |
| 6                  | $0.5 \lambda$ | 0.8   | 32.6 |
| 6                  | $0.6 \lambda$ | 1.0   | 32.2 |
| 8                  | $0.6 \lambda$ | 1.2   | 32.1 |

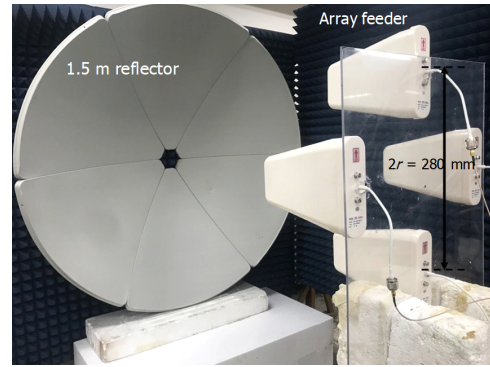
급전부 배열 소자개수에 대한 상관관계에 대한 분석이 필수적임을 알 수 있다.

제안된 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나의 빔포밍 특성을 확인하기 위해 직경 1.5 m의 반사판, 급전부의 배열안테나의 개별소자로 LPDA(log periodic dipole array) 안테나를 사용하여 제안된 안테나의 빔포밍 성능을 측정하였다. 개별소자로 사용된 LPDA 안테나의 동작 주파수는 1 GHz에서 2.8 GHz까지이며, 안테나의 길이는 280 mm, 안테나의 평균 전면 방향 이득은 7.4 dBi (1~2.8 GHz)이다. 급전부의 배열 반경  $2r$ 은 280 mm( $0.8\lambda$ ), 급전부 배열 소자수는 4개로 설계되었다.

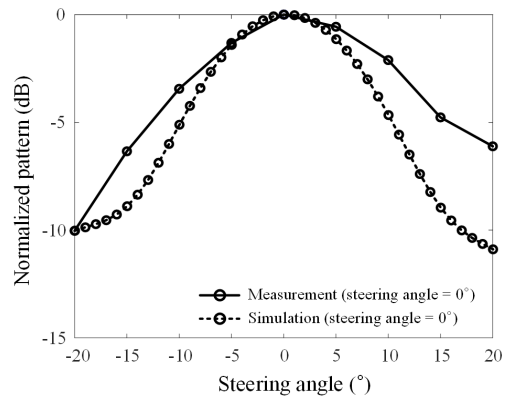
그림 4는 제안된 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나의 측정을 위한 실험실 및 측정결과를 보여주며, 반사판의 직경은 1.5 m,  $F/D$ 는 0.4, 급전부의 배열반경  $2r$ 은 280 mm로 설계되었다. 각 소자의 위상값이  $0^\circ$ 으로 인가될 때 제안된 안테나는 전면방향을 지향하며, 안테나의 전면방향이득의 측정값은 20.7 dBi, 시뮬레이션은 19.9 dBi의 값을 갖는다. 또한 위상값의 차이가  $30^\circ$ 일 때  $5^\circ$ 의 빔조향 특성을 갖는 것을 확인하였다. 그 결과, 제안된 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나를 이용하여 전기적 빔조향이 가능함을 확인하였다.

### III. 결 론

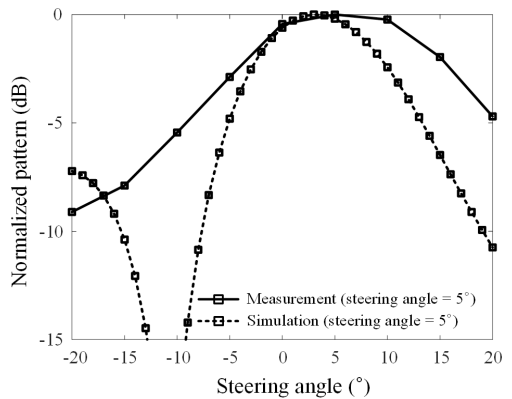
본 논문에서는 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나의 빔포밍 특성을 반사판의 직경,  $F/D$ , 급전부의 배열 소자수가 변함에 따라 확인하였다.  $F/D$ 의 값이 0.6, 0.8, 1인 경우, 최대 조향각은 각각  $0.7^\circ$ ,  $1.7^\circ$ ,  $2.3^\circ$ 로 확인되며,  $F/D$ 가 증가함에 따라 안테나의 이득은 감소하고, 급전부의 배열 소자수가 증가하여 안테나의 설계 복잡도 및 제작 단가가 증가하는 것으로 나타났다. 제안된 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나의 빔조향 특성을 실험적으로 확인하기 위해, 직경 1.5 m 반사판 및 4 소자 LPDA 안테나로 구성된 급전부, 위상천이기, 전력분배기를 제작하였다. 측정 결과 제안된 안테나의 조향각은  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ 로 나타났으며, 위상 배열안테나 급전부를 포함한 반사판 안테나를 이용하여 전기적 빔조향이 가능함을 확인하였다.



(a) 측정 실험실  
(a) Measurement laboratory



(b) 제안된 안테나의 빔조향 특성( $0^\circ$ )  
(b) Beam steering characteristic



(c) 제안된 안테나의 빔조향 특성( $5^\circ$ )  
(c) Beam steering characteristic

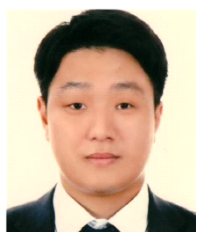
그림 4. 위상 배열안테나 급전부를 포함한 안테나의 빔조향 특성

Fig. 4. Beam steering characteristic of the proposed phased array-fed reflector antenna.

## References

- [1] P. S. Hall, S. J. Vetterlein, "Review of radio frequency beamforming techniques for scanned and multiple beam antennas," in *IEE Proceedings H - Microwaves Antenna and Propagation*, 1990, vol. 137, pp. 293-303.
- [2] M. Cooley, "Phased array-fed reflector(PAFR) antenna architectures for space-based sensors," in *2015 IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, 2015, pp. 1-11.
- [3] L. A. Greda, A. Winterstein, A. Dreher, S. A. Figur, B. Schonlinner, and V. Ziegler, et al., "A satellite multiple-beam antenna for high-rate data relays," *PIER*, vol. 149, pp. 133-145, 2014.

### 류 성 준 [홍익대학교/박사과정]



2014년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학사)  
 2016년 8월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)  
 2016년 9월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정  
 [주 관심분야] GPS 배열안테나, 안테나 설계 및 위치 최적화

### 김 선 교 [국방과학연구소/연구원]



2010년 8월: 연세대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
 2013년 2월: 연세대학교 컴퓨터과학과 (공학석사)  
 2013년 12월~현재: 국방과학연구소 연구원  
 [주 관심분야] ES 신호분석

### 이 치 호 [국방과학연구소/책임연구원]



1996년 2월: 아주대학교 전파공학과 (공학사)  
 1998년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)  
 2002년 8월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)  
 2002년 9월~2005년 2월: 광주과학기술원 초고속광네트워크연구센터 연구교수  
 2003년 10월~2004년 10월: 미국 미조리주립대학교 교환교수  
 2005년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원  
 [주 관심분야] 디지털통신시스템, 정보전자전

### 추 호 성 [홍익대학교/교수]



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)  
 2000년 8월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)  
 2003년 5월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)  
 2003년 6월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수  
 [주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, 차량 및 항공기 안테나