

## 위성 SAR용 이중 반사판 검증을 위한 위상 배열 급전기 설계 및 제작

### Design and Manufacturing of a Phased Array Feeder to Verify Dual Reflectors for Satellite Synthetic Aperture Radar Applications

이재민 · 유제우 · 채희덕 · 박종국 · 정화영 · 이재덕\* · 이동우\* · 김세영\*

Jae-Min Lee · Je-Woo Yu · Heeduck Chae · Jong-Kuk Park · Hwa-Young Jung ·

Jae-Duck Lee\* · Dong-Woo Lee\* · Se-Young Kim\*

#### 요 약

본 논문에는 위성 SAR용 이중 반사판 안테나 검증을 위해 위상 배열 급전기 개발 시, 구성품의 주요 시험 및 급전기의 성능 검증에 대한 내용을 다루었다. 대역폭, 편파, 지향성, 빔폭 및 부엽 등의 급전기에 요구되는 목표 사양을 구성품인 복사소자, RF/제어 보드 그리고 통합된 위상 배열 급전기 레벨에서 성능을 검증하였다. 그 결과, 대역폭 19.18 % (H), 16.07 % (V), 지향성 38.42 dBi (H), 38.32 dBi (V) 이상, 빔폭 방위각/고각 2.064° (H)/2.187° (H), 2.083° (V)/2.202° (V), 부엽 -12.84 dB (H), -13.05 dB (V) 이하로 개발목표가 만족됨을 확인하였다. 따라서, 위성 SAR용 이중 반사판 안테나 검증을 위한 위상 배열 급전기로 활용이 가능함을 확인하였다.

#### Abstract

In this study, when developing a phased array feeder for the verification of dual reflector antennas for satellite synthetic aperture radar (SAR) applications, the main component test and performance verification of the feeder were considered. The performance was verified at the level of the component radiator, radiofrequency/control board, and integrated phased array feeder with specifications, including the bandwidth, polarization, directivity, beam width, and side lobe, required for the feeder. Accordingly, it was confirmed that the bandwidth was 19.18 % (H) and 16.07 % (V), directivity was 38.42 dBi (H), 38.32 dBi (V), HPBW Az/EI 2.064° (H)/2.187° (H), 2.083° (V)/2.202° (V), and the side lobe was under -12.84 dB (H), -13.05 dB (V). Therefore, we verified that it can be adopted as a phased array feeder for the verification of dual reflector antennas for satellite SAR applications.

Key words: Phased Array Feeder, Dual Reflector, Satellite SAR

#### I. 서 론

위성 SAR는 궤도에서 획득한 지상 표적의 신호를 지상국에 전달하고, 이를 영상으로 처리하는 시스템이다.

「본 연구는 “위성용 경량화 SAR 안테나 기술 개발” 사업의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음.」

LIG 넥스원(LIG Nex1)

\*국방과학연구소(Agency of Defence Department)

· Manuscript received July 21, 2022 ; Revised August 2, 2022 ; Accepted September 14, 2022. (ID No. 20220721-007S)

· Corresponding Author: Heeduck Chae (e-mail:heeduck.chae2@lignex1.com)

시스템의 성능 및 기능 만족을 위해서 현재까지 능동위상배열안테나가 주로 사용되었다<sup>[1][2]</sup>. 능동위상배열안테나는 개구면 크기가 커지면 이득 증가, 빔 형성 가중치의 설계 용이성 증가 및 집진적 성능 저하 등의 장점이 있지만, 비용 및 무게가 크게 증가되는 단점이 있다. 위성체의 무게는 발사 비용과 관련성이 높기 때문에 최근에는 무게를 절감시키며, 발사 효율을 향상시키기 위한 전개형의 경량화 반사판 안테나 개발이 활발히 진행 중이다<sup>[2][3]</sup>. 여기에 빔 조향 및 빔 성형 기능을 추가적으로 구현하기 위해 능동위상배열 급전기를 적용하여 부피 및 무게를 감소시키며, 능동위상배열 구조의 안테나 기능을 가지는 위성 SAR용 안테나 개발이 가능하다.

능동위상배열 구조에서는 빔 패턴 성능에 영향을 줄 수 있는 송수신 모듈 채널 신호의 편차를 최소화하는 것이 필수적이다<sup>[4]</sup>. 특히, 송수신 모듈에 배치되는 가변감쇄기 및 위상변위기는 사용자가 요구하는 크기 혹은 위상을 변화시킬 때, 원하지 않는 오차를 발생시킬 수 있다. 이와 같은 오차는 가변감쇄기와 위상변위기의 크기 및 위상 특성을 모두 측정하고, 이를 기반으로 테이블을 생성 및 적용하여 오차를 보상할 수 있다.

본 논문에서는 위성 SAR용 전개형 이중 반사판 안테나를 검증하기 위한 시험용 장치로서, 위상 배열 급전기의 주요 기능 및 통합 성능 검증에 대해 서술하였다.

## II. 구성품 제작 및 시험

### 2-1 급전기 구성 및 요구사항

위성 SAR용 이중 반사판 안테나에 급전을 위한 위상 배열 급전기의 개발 목표는 표 1과 같다. 수평/수직 편파, 빔 조향 등의 기능 구현 및 지향성, 빔폭 성능을 고려하여, 그림 1과 같이 급전기를 구성하였다.

### 2-2 복사소자

그림 2는 복사소자의 적층 구성과 제작된 패치 안테나의 형상을 보여준다. 적층 구성은 스트립 구조의 급전 선로와 하단 패치, 폼 그리고 상단 패치를 적용하여 광대역의 특성을 만족할 수 있도록 구성하였다. 그림 3은 시물

표 1. 위상 배열 급전기 개발 목표

Table 1. Design specification of phased array feeder.

Bandwidth	>12.2 %
Polarization	Ver./Hor. pol.
Directivity	>37.5 dBi @ center freq.
Beam width	Azimuth: $2.05^{\circ} \pm 0.205^{\circ}$ Elevation: $2.2^{\circ} \pm 0.22^{\circ}$
Side lobe level	<-11 dB
Beam-steering angle	$\pm 12^{\circ}$

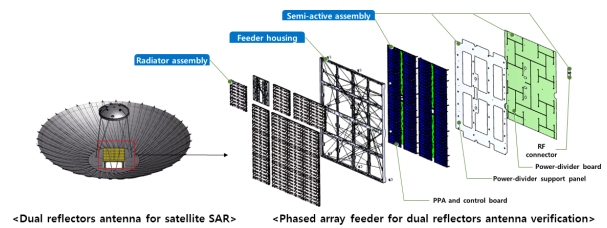


그림 1. 위성 SAR용 이중 반사판 및 급전기 구성

Fig. 1. Dual reflector for satellite SAR and configuration of feeder.

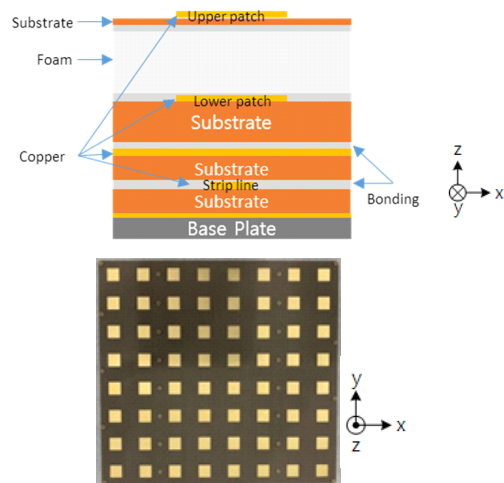


그림 2. 복사소자 구성 및 제작 형상

Fig. 2. Configuration and figure of radiator.

레이션(파선) 및 측정(실선)된 능동반사손실을 나타내며, 편파별 128개 채널 중 38개의 채널을 측정하여 설계 및 제작의 유효성을 충분한 샘플 검증으로 확인하였다. 수평 및 수직 편파의 대역폭은 -10 dB 기준으로 각각 19.18

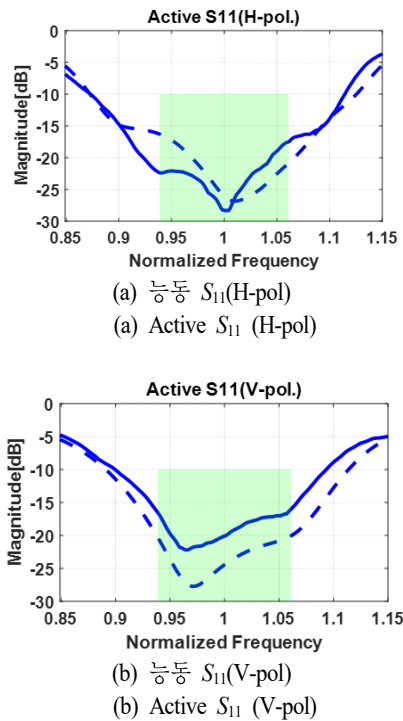
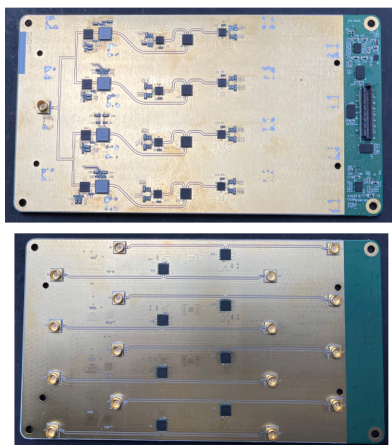
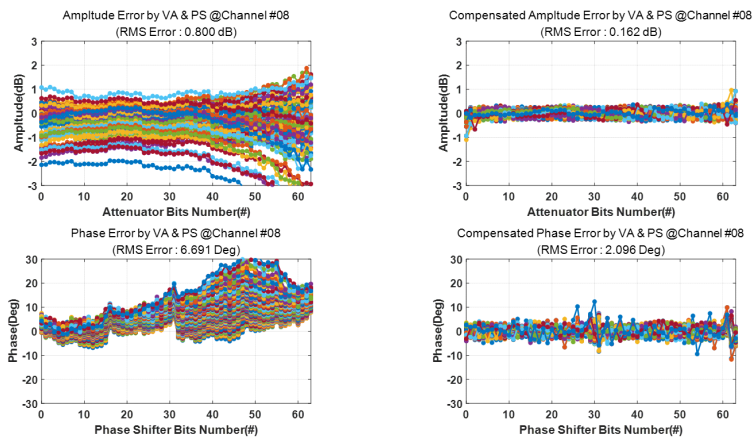


그림 3. 능동  $S_{11}$ (H-, V-pol)  
Fig. 3. Active  $S_{11}$  (H-, V-pol).

%, 16.07 %이며, 편파는 수직 및 수평 편파에서 특성이 확인되어 목표 성능 및 기능이 만족됨을 확인하였다.



(a) 제작된 RF/제어보드  
(a) Fabricated RF/control board



(b) 감쇄기 및 위상변위기 제어 오차(보상 전) (c) 감쇄기 및 위상변위기 제어 오차(보상 후)  
(b) Attenuator and phase shifter control error (before compensation) (c) Attenuator and phase shifter control error (after compensation)

그림 4. 제작된 RF/제어보드 및 감쇄기 및 위상변위기의 제어에 따른 오차 보상 전/후 크기 및 위상  
Fig. 4. Manufactured RF/control board and before/after magnitude and phase error of compensated control bit.

## 2-3 RF/제어 보드

위상 배열 안테나의 채널에 크기 및 위상 가중치를 적용하기 위해 전력분배기, 가변감쇄기 및 위상변위기를 적용하여 그림 4(a)와 같이 RF/제어 보드를 제작하였다.

가변감쇄기 및 위상변위기는 제어에 따라 원하는 크기 및 위상 변화를 발생시킨다. 이는 급전기 통합 성능의 성능 저하로 이어지기 때문에, 급전기 통합 전 구성품의 특성 데이터를 구축하고 보상하여야 한다. RF/제어보드 내 가변감쇄기 및 위상변위기의 모든 제어 오차를 그림 4(b)에 나타내었다.

이와 같이 획득한 데이터를 가변감쇄기 및 위상변위기에 적용을 위해, 이상적 감쇄 및 위상 변위 특성에 가장 가까운 제어가 가능하도록, 보상 테이블을 확보하고 보상하여 그림 4(c)와 같이 결과를 확인하였다. 보상 적용 전의 크기 및 위상 RMS 0.644 dB, 6.242° 오차가 보상 적용 후에는 크기 0.157 dB, 위상 2.093°의 RMS 오차로 감소되었다.

## Ⅲ. 배열 안테나 통합 및 시험

그림 5에는 통합된 위상 배열 급전기의 전면/후면을 나타내었으며, 급전기는 복사소자, RF/제어보드, 전력 분배기로 구성된다. 후면에는 RF 보드 각 채널의 격리도 향상

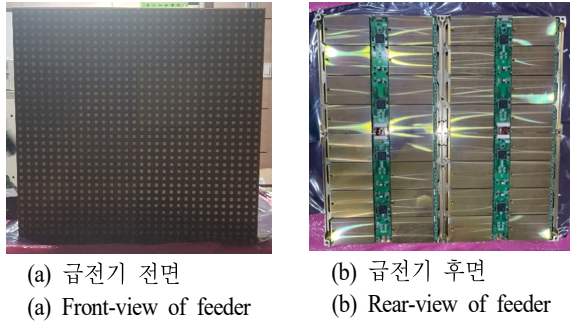


그림 5. 제작된 위상배열 급전기

Fig. 5. Manufactured phased array feeder.

을 위한 격벽과 제어보드의 배치 형상을 보여준다.

제작된 위상 배열 안테나의 성능을 시험하기 위해 평면형 근접전계 측정 시설을 활용하였으며, 수평 및 수직 편파 각 편파 채널의 정렬 상태는 제어에 따른 오차 테이블을 보상하여, back projection된 크기 및 위상 분포가 균일함을 그림 6과 같이 확인하였다.

이와 같이 위상 배열 급전기의 정렬 상태를 확인 후, 원전계 패턴을 그림 7에 나타낸 바와 같이 확인하였다.

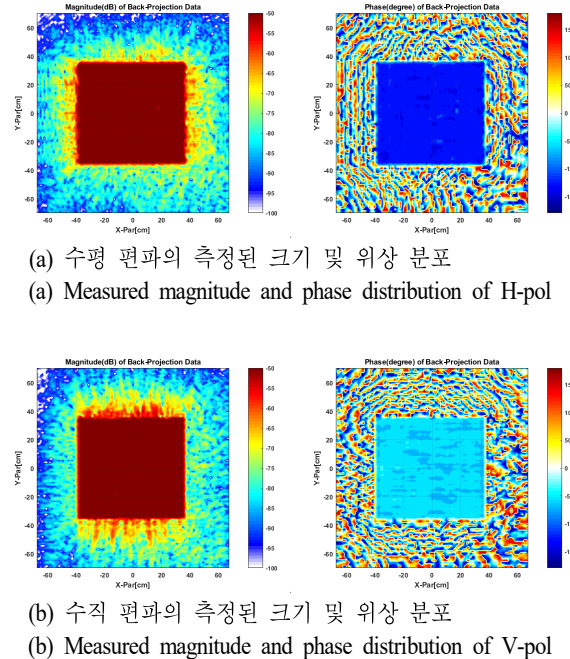


그림 6. 측정된 개구면의 크기 및 위상 분포

Fig. 6. Measured magnitude and phase distribution of aperture.

측정된 패턴과 시뮬레이션 패턴은 매우 일치하는 결과를 보여 제작 및 측정이 유효함을 확인하였다. 방위각 수평 편파 채널의 방위각/고각 빔폭은  $2.064^\circ/2.187^\circ$ , 수직 편파 채널의 방위각/고각 빔폭은  $2.083^\circ/2.202^\circ$ 로 확인되었으며, 부엽은 수평 및 수직 편파 채널에서  $-12.84$  dB,  $-13.05$  dB 이하로 확인되어 목표 성능이 만족됨을 확인하였다.

다음으로 급전기의 채널 오차 테이블에 의한 유효성을 그림 8과 같이 수직 편파에 대해 지향성 변화 및 패턴으로 확인하였다. 오차 테이블이 적용되기 전/후 지향성은  $38.29$  dBi/ $38.32$  dBi로  $0.03$  dB 증가하였으며, 패턴의 보상 전 비대칭한 부엽은 보상 후 대칭이 됨을 확인하였다. 이는 오차 테이블 보상에 의해 급전기 개구면에 분포하는 크기 및 위상이 더 균일해지기 때문이다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 위성 SAR용 이중 반사판 안테나 검증

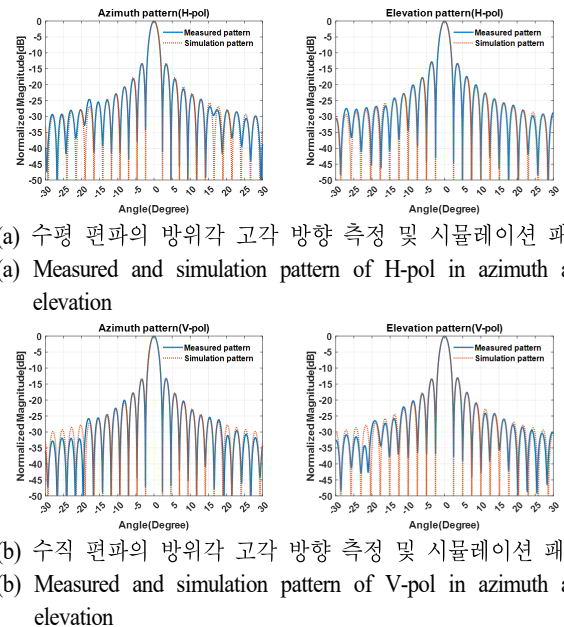


그림 7. 방위각 및 고각 방향의 측정 및 시뮬레이션 패턴(H-, V-pol)

Fig. 7. Measured and simulated pattern in azimuth and elevation (H-, V-pol).

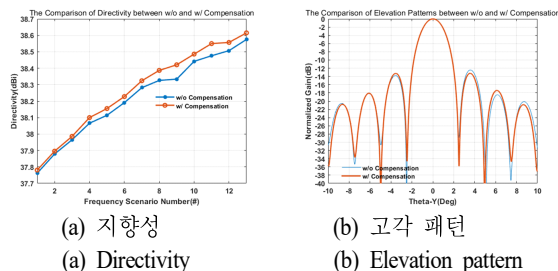


그림 8. 채널별 오차 테이블 보상 전/후 패턴 및 지향성 (V-pol)

Fig. 8. Directivity and pattern before/after error table compensation (V-pol).

을 위한 급전기 설계 및 제작에 대한 내용을 다루었다. 위상 배열 급전기의 구성품에서 주요한 시험 및 결과에 대해 확인하였다. 복사소자는 능동반사손실 특성을 통해 대역폭을 확인하였고, RF/제어보드는 전체 채널의 오차 테이블을 획득하여, 보상값 생성 및 적용 전/후의  $S_{21}$  결과를 확인하였다.

이와 같은 구성품 시험 데이터를 활용하여 통합된 급전기 성능을 확인하였으며, 그 결과, 목표 성능이 모두 만족됨을 확인하였다.

따라서, 위성 SAR용 이중 반사판 안테나 검증을 위한 급전기로서 활용이 가능함을 확인하였다.

이 재 민 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2293-0976>



2011년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학사)  
2013년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
2013년 2월~현재: LIG넥스원 선임연구원  
[주 관심분야] 레이더 및 영상레이더 초고주파 시스템 등

유 제 우 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-1204-074X>



2005년 8월: 충남대학교 정보통신공학부 (공학사)  
2008년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
2008년 2월~현재: LIG넥스원 수석연구원  
[주 관심분야] 레이더 및 영상레이더 초고주파 시스템 등

## References

- [1] A. Suriani, P. Capece, and G. Mannocchi, "Developments in SAR active phased array antennas in Thales Alenia Space," in *2019 IEEE International Symposium on Phased Array Systems & Technology(PAST)*, Waltham, MA, Oct. 2019.
- [2] A. Hees, M. Stngl, G. Adamiuk, S. Riegger, and C. Heer, "Status and future trends of active phased array antennas for AIRBUS space-borne SAR systems," in *2019 IEEE International Symposium on Phased Array Systems & Technology(PAST)*, Waltham, MA, Oct. 2019.
- [3] T. K. Lee, "Design of deployable lightweight antenna for satellite SAR," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 11, pp. 1104-1112, Nov. 2014.
- [4] D. W. Yi, J. H. Lee, S. Y. Kim, and B. T. Jeon, "A study of T/R module output compensation method for active synthetic aperture radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 21, no. 9, pp. 955-964, Sep. 2010.



채 희 덕 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-4609-1764>



1999년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학사)  
2001년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)  
2008년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)  
2007년 3월~현재: LIG넥스원 수석연구원

[주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 시스템, 레이더 시스템, 초고주파 수동 회로 설계 및 전자파 수치 해석

이 재 덕 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-8742-7389>



2012년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
2014년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
2014년 10월~현재: 국방과학연구소 선임연구원  
[주 관심분야] 레이더 및 영상레이더 초고주파 시스템 등

고주파 시스템 등

박 중 국 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-5834-9238>



1995년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1997년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
2001년 8월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)  
2001년 11월~현재: LIG넥스원 수석연구원

[주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 시스템, 레이더 시스템, 초고주파 수동 회로 설계 및 전자파 수치 해석

이 동 우 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-1149-9954>



2002년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
2005년 2월: 포항공과대학교 전자공학과 (공학석사)  
2018년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
2005년 3월~현재: 국방과학연구소 책임연구원

[주 관심분야] 레이더 및 영상레이더 초고주파 시스템 등

정 화 영 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5366-4527>



2000년 2월: 홍익대학교 기계설계학과 (공학사)  
2002년 2월: 한양대학교 기계설계학과 (공학석사)  
2002년 4월~현재: LIG넥스원 수석연구원  
[주 관심분야] 위성용 전개형 안테나, 능동위상배열 및 레이더 시스템 등

김 세 영 [국방과학연구소/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5112-3524>



1991년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
1993년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)  
2010년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
1993년 3월~현재: 국방과학연구소 수석연구원

[주 관심분야] 영상레이더 시스템 설계, 성능 분석, 검보정 및 궤도 검증 등