

초크링 피드를 이용한 광대역 전방급전 반사경 안테나 설계

표수련*¹, 김선각*², 김기홍*³, 허지원**², 안병철***²

Design of a Broadband Prime-Focus Reflector Antenna Employing a Choke-Ring Feed

Purevsuren Baatarkhuu*¹, Sun-Gak Kim*², Ki-Hong Kim*³, Jiwon Heo**², and
Bierng-Chearl Ahn***²

논문은 2023학년도 충북대학교 학술연구영역 사업의 연구비 지원에 의하여 연구 되었음

요 약

본 논문에서는 초크링 피드를 이용한 광대역 전방급전 반사경 안테나의 설계를 제시하였다. 초크링 피드는 후방 방사를 감소시키기 위해 주변에 다수의 초크링 추가된 원형 도파관 방사기이다. 초크링 피드를 전방급전 반사경 안테나에 적용할 경우 주빔 주변의 부엽을 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 우선 전방급전 반사경에 적합하도록 원형 도파관에 개구부를 더하고 개구부를 기준으로 1/4파장 깊이의 3개의 초크링을 사용한 구조의 초크링 피드를 설계하였다. 설계된 피드는 9.5-19.0GHz의 주파수에서 10.1-12.4dBi의 이득, 104.6°-120.4°의 10-dB 빔폭, 25.726.6dB의 전후방비를 보였다. 다음으로 포물 반사경에 설계된 피드가 적용된 경우의 특성을 해석하였다. 설계된 피드를 직경 878mm의 전방급전 반사경에 적용하였을 경우 9.5-19.0GHz 범위에서 37.7-42.9dBi의 이득과 63.9-78.6%의 개구효율을 얻었다.

Abstract

In this paper, a design is presented for a broadband prime-focus reflector antenna employing a choke-ring feed. A choke-ring feed is a circular waveguide radiator that has multiple choke rings added around it. There is an advantage of reducing sidelobes near the main beam when a choke-ring feed is applied to a prime-focus reflector. First, a choke ring feed is designed that is suitable for prime-focus reflector antennas. The designed feed shows 10.1-12.4 dB gain, 10-dB beamwidth of 104.6°-120.4°, and front-to-back ratio of 25.7-26.6dB at 9.5-19.0 GHz. When the designed feed is applied to a prime-focus reflector with a diameter of 878 mm, the reflector shows gain of 37.7-42.9dBi and aperture efficiency of 63.9-78.6% at 9.5-19.0GHz.

Keywords

choke ring feed, prime-focus reflector, antenna, optimum design, broadband

* 충북대학교 대학원 전파통신공학전공
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0009-4773-2296>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0003-0385-4039>
- ORCID³ <http://orcid.org/0000-0002-1100-8644>
** 충북대학교 산업인공지능연구센터
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1100-8644>

*** 충북대학교 정보통신공학부 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7977-8760>

· Received: Dec. 24, 2024, Revised: Jan. 17, 2025, Accepted: Jan. 20, 2025
· Corresponding Author: Bierng-Chearl Ahn
Dept. of Information and Communication Engineering, Chungbuk National University
Tel.: +82-43-261-3194, Email: bician@cbnu.ac.kr

1. 서 론

전방급전 반사경 안테나는 구조의 단순성으로 인해 저가형 고이득 안테나로 널리 사용되고 있다[1]. 반사경 안테나는 포물선 구조의 반사판과 급전 피드로 구성된다. 전방급전 반사경 안테나는 피드의 개구가 반사판 방향으로 향하는 Prime-focus 형식[4][5]과 반대 방향으로 향하는 Backfire 형식[6][7]이 널리 사용된다. Prime-focus 방식은 피드 지지대가 필요하다는 단점이 있지만 Backfire 형식보다는 성능이 우수하고 광대역 성능 구현이 가능하다는 장점을 가진다.

Prime-focus 형식의 피드에 있어서 피드의 방사패턴을 개선하기 위해 흔히 Corrugation[8][9] 사용하거나 초크링[10][11]을 사용한다. Corrugation이 사용된 피드는 초크링 피드보다 부피가 크고 제작이 복잡하여 보통 고성능 반사경 안테나에 적용된다. 반면에 초크링 피드는 구조가 단순하며 동시에 우수한 후방 방사 억제 특성을 제공하므로 저가형 반사경에 주로 사용된다.

급전 피드의 전기적 성능 및 물리적 크기는 반사경 안테나의 특성을 크게 좌우한다. 특히 급전 피드의 크기가 큰 경우 개구면에서의 블로킹 현상으로 반사경 안테나의 부엽 레벨이 증가하고 이득이 감소되는 경향을 보인다. 광대역 초크링 피드의 설계 과정에 있어서 동작 주파수 범위 내에서 전자계면에 대칭적인 이득 패턴과 낮은 후방 방사를 구현하는 설계적인 노력이 요구된다.

본 논문에서는 원형 도파관 방사기와 방사기 주변에 다수의 초크를 배치하여 넓은 주파수 범위에서 대칭적인 이득 패턴과 낮은 후방 방사 특성을 가지는 초크링 피드를 설계하고 이를 전방급전 반사경에 적용하여 그 특성을 해석하였다. 해석에는 Dassault Systemes Simulia 사의 CST Studio Suite™을 사용하였다. 다음 장에서는 제안된 피드의 설계와 전방급전 반사경 안테나에 적용할 경우의 특성을 제시한다.

II. 반사경 안테나 설계

2.1 반사경 안테나 초기 설계

그림 1은 본 논문에서 설계한 전방급전 반사경 안테나의 구조이다. 제안된 안테나는 포물면 반사경과 초크링 피드로 구성된다.

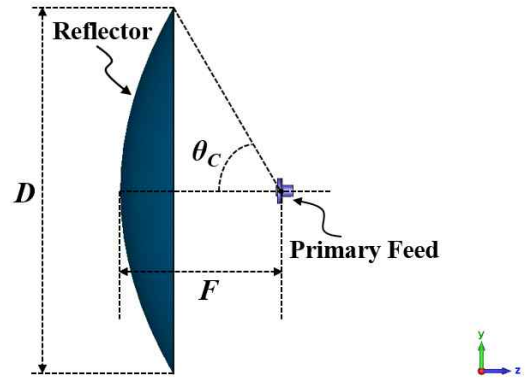


그림 1. 제안된 반사경 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of the proposed reflector antenna

표 1은 본 논문에서 설계할 전방급전 반사경 안테나의 설계 규격이다. 설계 목표 안테나는 9.5-19.0 GHz의 주파수에서 동작하며 37dBi 이상의 이득, 2.5° 이하의 3-dB 빔폭, 900mm 이하의 직경을 가질 것이 요구된다. 반사경의 초기 설계는 반사경의 형상 정보와 피드의 10-dB 빔폭을 입력값으로 하여 얻는다.

표 1. 반사경 안테나 설계 규격
Table 1. Design specifications of a reflector antenna

Characteristics	Specifications
Frequency	9.5-19.0GHz
Gain	≤ 37dBi
Beamwidth(3dB)	≥ 2.5°
Size(Reflector diameter)	> 900mm

반사경 안테나의 효율을 70%로 가정하고 동작 주파수의 중심(13GHz)에서 표 1의 안테나 이득이 만족되도록 반사경의 직경(D)과 초점 거리(F)를 각각 878mm와 380mm로 하였다. 이 경우 피드가 반사경을 조사하는 10-dB 각도(θ_c)는 다음 식 (1)에 의해 $\pm 60^\circ$ 이다.

$$\theta_c = 2 \tan^{-1} \left[\frac{1}{4(F/D)} \right] \quad (1)$$

후방 이득 감소 설계와 함께 급전 안테나로서 요구되는 빔폭을 충족하기 위해서는 적절한 도파관 직경과 초크링의 수, 도파관의 돌출된 길이를 결정하였다. 적용 예정인 전방급전 반사경 안테나의 F/D 가 0.43인 경우, 그림 2의 구조와 같이 초크링과 도파관 끝의 높이 차이를 조절하여 전계면 빔폭과 자계면 빔폭이 거의 동일하게 하였다.

최적화는 각 변수를 일정 범위에서 일정한 간격으로 변화시키면서 피드의 특성을 확인하고 특성이 가장 좋은 값을 선택하는 방식으로 상용 소프트웨어인 CST Studio Suite™를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고 다음 절에서 피드 설계 결과를 제시하였다.

2.2 초크링 급전기 설계

그림 2는 본 논문에서 설계한 초크링 피드의 기본 구조이다. 단순한 원형 도파관 피드의 경우 도파관 직경이 0.6 파장 또는 0.7 파장으로 하여 전방급전 반사경 피드로 사용한다. 이 경우 후방 이득이 -8dBi 수준으로 높은 편이다. 그림 2는 초크링 피드의 구조를 보인 것으로 원형 도파관에 원형 개구부를 추가하고 원형 개구부를 기준으로 1/4 파장 깊이의 3개의 초크링을 사용하였다. 그림 2에서와 같이 직경이 19.1mm인 원형 도파관 주위에 1/4 파장 깊이의 링을 여러 개 사용하여 후방 이득을 -22dBi 수준으로 감소시킬 수 있다.

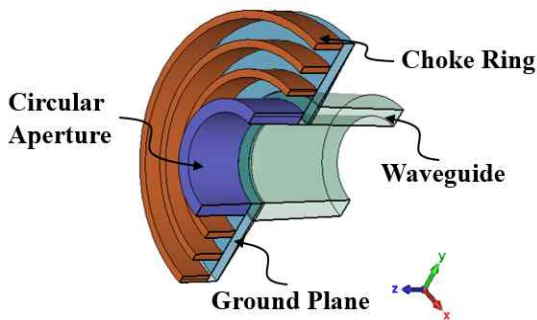
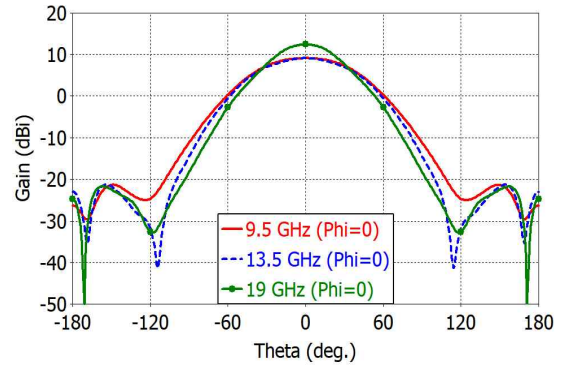


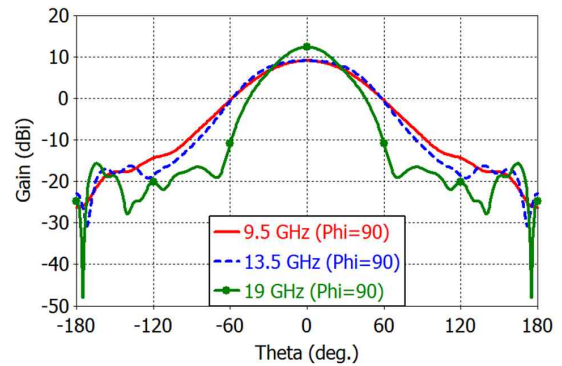
그림 2. 초크링 피드의 구조
Fig. 2. Structure of the choke ring feed

그림 3은 설계한 초크링 피드의 이득 패턴을 보인 것이다. 전계면 패턴 ($\Phi = 90^\circ$)과 자계면 패턴 ($\Phi = 0^\circ$)의 대칭성이 패턴각이 -180° 에서부터 $+180^\circ$ 일 때까지 우수함을 확인할 수 있다. 주파수 9.5GHz,

13.5GHz, 19.0GHz에서 피드의 이득은 각각 9.7dBi, 10.4dBi, 12.0dBi이며 $\pm 120^\circ$ 이상의 영역 최대이득은 각각 -16.1dBi, -13.5dBi이다. 전후방비는 위 3개 주파수에서 각각 25.8dB, 26.6dB, 25.7dB이다.



(a)



(b)

그림 3. 피드의 이득패턴 (a) $\phi = 0^\circ$, (b) $\phi = 90^\circ$
Fig. 3. Gain patterns of the feed (a) $\phi = 0^\circ$, (b) $\phi = 90^\circ$

그림 4와 그림 5는 CST Studio Suite™의 기능 중 Equirectangular Projection을 이용하여 설계된 초크링 급전기의 주파수별 2D 이득패턴과 2D 위상패턴을 시각화하여 나타낸 것이다. 원형 도파관의 중심축을 직각 좌표계의 z 축으로 했을 때 Φ 방향은 구좌표계의 ϕ 방향, Θ 방향은 구좌표계의 θ 방향이다.

그림 4로부터 설계된 피드의 이득 패턴의 ϕ 방향 대칭성이 9.5GHz와 13.5GHz에서 우수함을 알 수 있다. 19GHz에서는 이득패턴 대칭성이 떨어진다. 또한 주파수가 9.5GHz에서 19.0GHz까지 증가함에 따라 후방 방사가 점진적으로 감소함을 확인할 수 있다. 그 이유는 주파수가 19GHz에 접근함에 따라 원형 도파관 내에서 지배 모드인 TE_{11} 모드 외에 고차 모드가 추가로 발생하여 개구면 상의 전기장 분포의 테이퍼가 증가하기 때문이다.

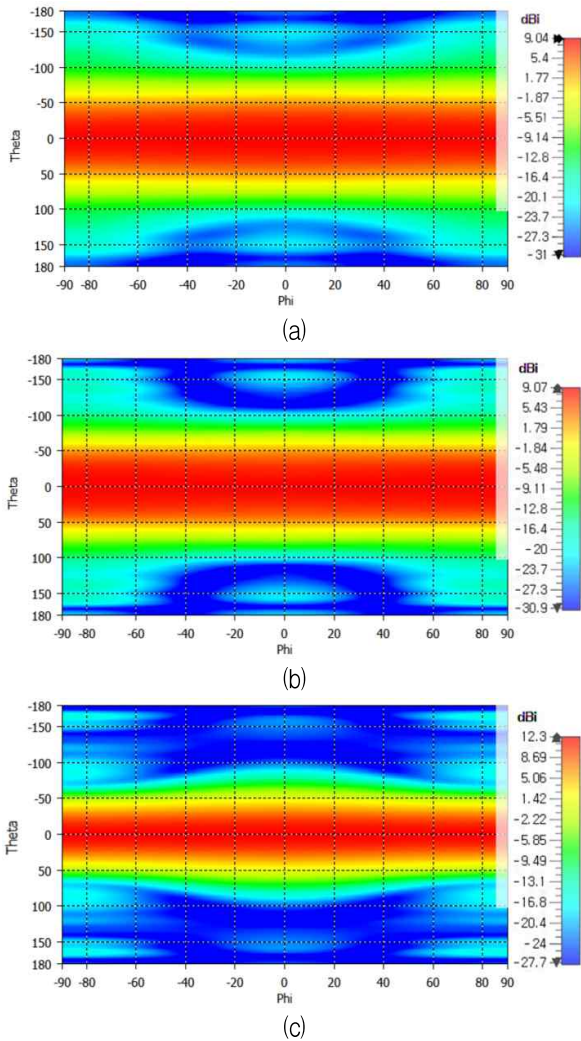
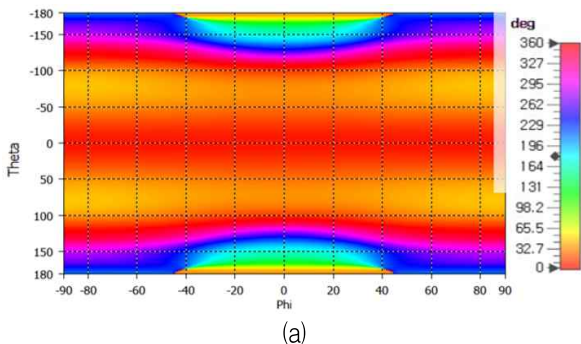


그림 4. 설계된 피드의 2D 이득패턴
 (a) 9.5GHz, (b) 13.5 GHz, (c) 19.0GHz
 Fig. 4. 2D gain patterns of the designed feed
 (a) 9.5 GHz, (b) 13.5GHz, (c) 19.0GHz

그림 5에 표시된 주파수에 따른 2D 위상패턴으로부터 피드의 원거리 위상의 ϕ 방향 대칭성이 이득의 대칭성과 마찬가지로 우수함을 알 수 있다. 반사경 조사각인 θ 가 -60° 에서부터 60° 범위에서 위상변화는 최대 30° 정도이다.



(a)

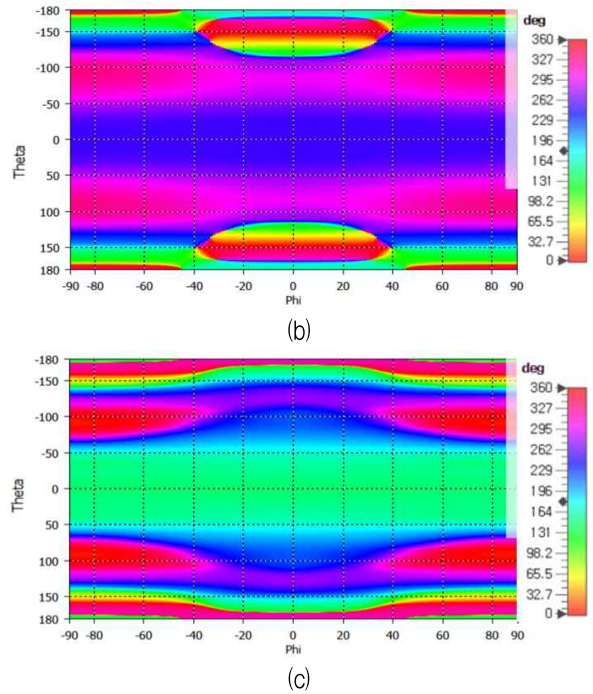


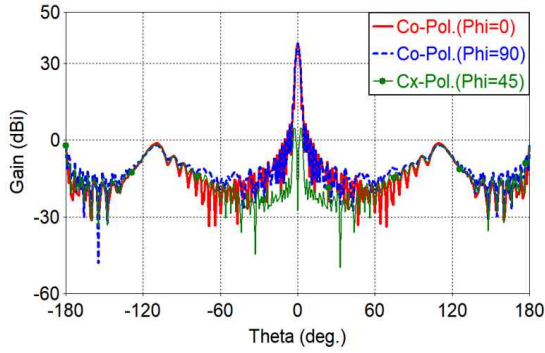
그림 5. 설계된 피드의 2D 위상 패턴
 (a) 9.5GHz, (b) 13.5GHz, (c) 19.0GHz
 Fig. 5. 2D phase patterns of the designed feed
 (a) 9.5 GHz, (b) 13.5GHz, (c) 19.0GHz

2.3 반사경 안테나 설계

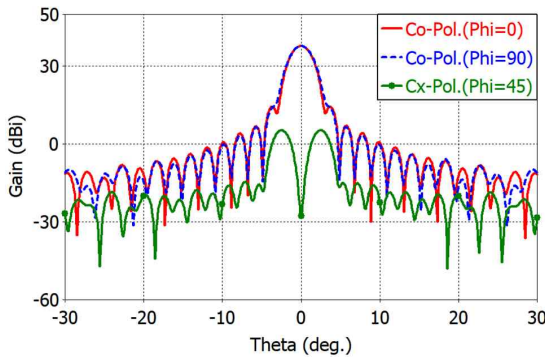
앞서 설계된 초크링 피드를 직경 D 가 878mm, 초점거리 F 가 380mm인 포물면 반사경 안테나($F/D = 0.432$)에 적용할 경우 이득과 개구효율을 계산하여 그림 6에 도시하였다. 9.5GHz에서의 안테나 이득은 37.7dBi이며 13.5GHz에서 40.8dBi, 19.0GHz에서 42.9dBi이다.

9.5GHz에서부터 15GHz까지 78% 이상의 개구효율을 보였다. 주파수가 16GHz 이상인 경우 개구효율이 급격히 감소하여 19GHz에서 63.9%가 되며 이 경우 이득은 42.9dBi이다. 19GHz에서 효율이 감소하는 이유는 그림 3의 피드 이득 패턴에서 볼 수 있듯이 $\pm 60^\circ$ 에서 개구면 테이퍼가 자계면에서 15dB, 전계면에서 23dB로 최적값이 10dB에서 크게 벗어나며 또한 전계면 테이퍼와 자계면의 대칭성이 떨어지기 때문이다.

그림 6은 9.5GHz에서 전계면($\phi = 90^\circ$), 자계면($\phi = 0^\circ$)에서의 -180° 각도에서부터 $+180^\circ$ 까지의 주편파 성분(Co-Pol.) 이득 패턴과 -30° 에서부터 $+30^\circ$ 까지의 이득 패턴을 보인 것이다.



(a)



(b)

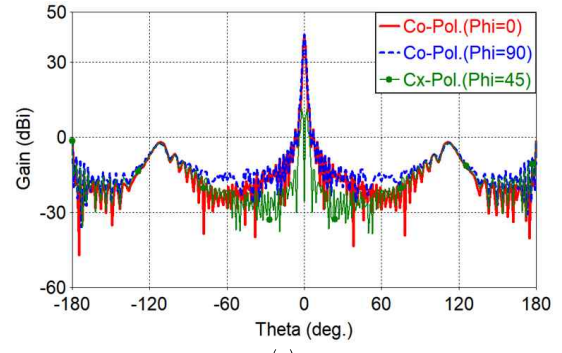
그림 6. 반사경 안테나의 9.5GHz 이득패턴
(a) $\pm 180^\circ$ 범위, (b) $\pm 30^\circ$ 범위

Fig. 6. 9.5GHz gain patterns of the reflector antenna
(a) $\pm 180^\circ$ range, (b) $\pm 30^\circ$ range

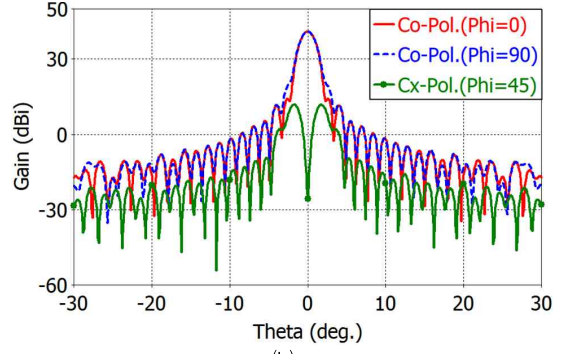
전계면과 자계면의 이득 패턴이 거의 동일함을 확인할 수 있다. 이는 초크링 피드의 이득 패턴 대칭성에 기인한다. 9.5GHz에서 주편파 성분 최대 이득은 37.7dBi, 3-dB 빔폭은 2.30° , 부엽비는 23.2dB, 전후방비는 39.6dB이다. 대각면($\Phi = 45^\circ$)에서 교차편파 성분 최대 이득은 5.4dBi이다.

그림 7은 13.5GHz에서 전계면($\Phi = 90^\circ$), 자계면($\Phi = 0^\circ$)에서의 -180° 각도에서부터 $+180^\circ$ 까지의 주편파 성분(Co-Pol.) 이득 패턴과 -30° 에서부터 $+30^\circ$ 까지의 이득 패턴을 보인 것이다. 전계면과 자계면의 이득 패턴이 유사함을 확인할 수 있다. 13.5GHz에서 주편파 성분 최대 이득은 40.8dBi, 3-dB 빔폭은 1.50° , 부엽비는 23.7dB, 전후방비는 42.3dB이다. 대각면($\Phi = 45^\circ$)에서 교차편파 성분 최대 이득은 11.8dBi이다.

그림 8은 19.0GHz에서 전계면($\Phi = 90^\circ$), 자계면($\Phi = 0^\circ$)에서의 -180° 각도에서부터 $+180^\circ$ 까지의 주편파 성분(Co-Pol.) 이득 패턴과 -30° 에서부터 $+30^\circ$ 까지의 이득 패턴을 보인 것이다.



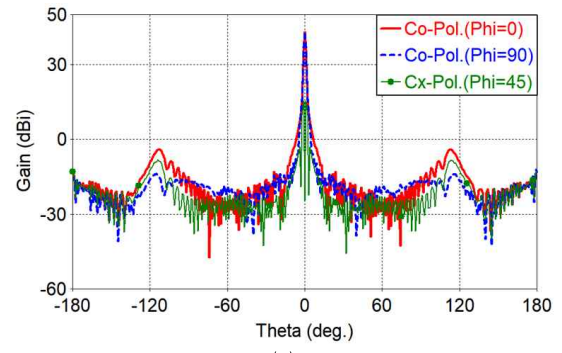
(a)



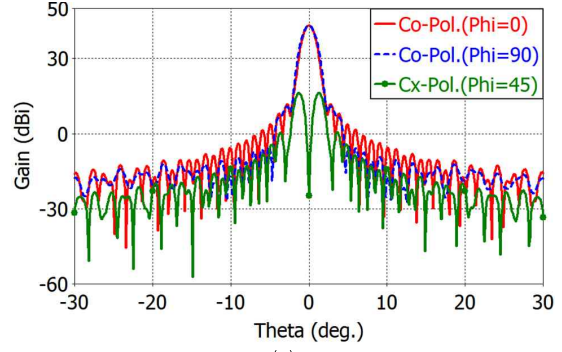
(b)

그림 7. 반사경 안테나의 13.5GHz 이득패턴
(a) $\pm 180^\circ$ 범위, (b) $\pm 30^\circ$ 범위

Fig. 7. 13.5GHz gain patterns of the reflector antenna
(a) $\pm 180^\circ$ range, (b) $\pm 30^\circ$ range



(a)



(b)

그림 8. 반사경 안테나의 19.0GHz 이득패턴
(a) $\pm 180^\circ$ 범위, (b) $\pm 30^\circ$ 범위

Fig. 8. 19.0GHz gain patterns of the reflector antenna
(a) $\pm 180^\circ$ range, (b) $\pm 30^\circ$ range

전계면과 자계면의 이득 패턴이 유사함을 확인할 수 있다. 19.0GHz에서 주편과 성분 최대 이득은 42.9dBi, 3-dB 빔폭은 1.40°, 부엽비는 31.8dB, 전후방비는 51.6dB이다. 대각면($\Phi = 45^\circ$)에서 교차편과 성분 최대 이득은 16.3dBi이다.

표 2는 설계된 초크링 피드를 적용한 전방급전 반사경 안테나의 9.5GHz, 13.5GHz, 19.0GHz에서 이득, 3-dB 빔폭, 부엽비, 교차편과 이득 및 전후방비를 요약하여 정리한 것이다.

표 2. 반사경 안테나의 성능 요약

Table 2. Summary of the reflector antenna performance

Frequency (GHz)	Gain (dBi)	3dB Beamwidth (°)	side lobe ratio (dB)	Cross polarization (dBi)	Front-to-back ratio(dB)
9.5	37.7	2.30	23.2	5.4	39.6
13.5	40.8	1.50	23.7	11.8	42.3
19.0	42.9	1.40	31.8	16.3	51.6

III. 결 론

본 논문에서는 초크링 피드가 적용된 광대역 전방급전 반사경 안테나의 설계를 제시하였다. 직경 19.1mm의 원형 도파관 개구 방사기 둘레에 3개의 초크링을 적용하였다. 초크링의 위치, 초크링 개구의 폭과 깊이를 최적화하여 광대역 주파수에 걸쳐 우수한 빔폭 대칭성과 높은 전후방비를 얻었다. 제안된 피드를 직경 878mm의 포물면 반사경 안테나에 적용할 경우 9.5-19.0GHz 주파수 범위에서 37.7-42.9dBi의 이득 특성과 63.9%-78.6%의 개구효율 특성을 얻었다. 본 논문에서 제안한 광대역 반사경 안테나는 고이득이 필요한 다양한 통신 링크 구현에 유용하게 사용될 수 있으리라 기대된다.

References

- [1] W. A. Imbriale, "Comparison of prime focus and dual reflector antennas for wideband radio telescopes", IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, pp. 1-8, Mar. 2012. <https://doi.org/10.1109/AERO.2012.6187092>.
- [2] J. R. Rudge and A. W. Adatia, "Offset-parabolic-reflector antennas: A review", Proc. of the IEEE, Vol. 66, No. 12, pp. 1592-1618, Dec. 1978. <https://doi.org/10.1109/PROC.1978.111170>.
- [3] R. C. Gupta, S. K. Sagi, and M. B. Mahajan, "Rotationally symmetric shaping of center-fed reflector antenna for GEO communication collocated small-sized spacecraft", IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP), Hyderabad, India, pp. 1-4, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1109/INCAP.2018.8770779>.
- [4] R. C. Gupta, K. K. Sood, and R. Jyoti, "Compact and high-performance feed systems for prime-focus reflector antennas", International Journal of Microwave and Wireless Technologies, Vol. 5, No. 6, pp. 753-758, Aug. 2013. <https://doi.org/10.1017/S1759078713000500>.
- [5] L.-J. Zhang, S.-G. Choi, B.-C. Ahn, and J.-H. Bang, "Simplified feed prime focus reflector antenna", Microwave Journal, Vol. 59, No. 2, Feb. 2016.
- [6] S. Yamamoto, S. Nuimura, T. Mizuno, Y. Inasawa, and H. Miyashita, "Low sidelobe compact reflector antenna using backfire primary radiator for Ku-band mobile satellite communication system on board vessel", Proc. of the International Symposium on Antennas & Propagation, Nanjing, China, Oct. 2013.
- [7] A. Mehrabani and L. Shafai, "Compact rear-radiating circularly polarized feeds for front-fed reflector antennas", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 16, pp. 2449-2452, Jul. 2017. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2017.2723598>.
- [8] Z. Ying, A. A. Kishk, and P.-S. Kildal, "Broadband compact horn feed for prime-focus reflectors", Electronics Letters, Vol. 31, No. 14, Jul. 1995. <https://doi.org/10.1049/EL:19950782>.
- [9] K. Sambasivarao, D. R. Jahagirdar, and R. K.

Bhatta, "High performance choked feed horn for compact antenna test range reflector", International Conference on Antenna Innovations & Modern Technologies for Ground, Aircraft and Satellite Applications (iAIM), Bangalore, India, pp. 1-4, Nov. 2017. <https://doi.org/10.1109/IAIM.2017.8402545>.

[10] S. J. Jo, J.-H. Lim, T.-K. Lee, and J.-W. Lee, "Choke feeder design for deep reflector antenna in small satellite SAR", Jour. Korean Inst. Electromag. Eng. Sci., Vol. 31, No. 1, pp. 1-11, Jan. 2020. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2020.31.1.1>.

[11] Y. Tyagi, P. Mevada, D. K. Jangid, V. K. Singh, S. Kulshrestha, and M. B. Mahajan, "Design of choke loaded horn antenna offering stable phase center for Fresnel field based holography measurement", Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 114, pp. 45-50, Nov. 2023. <https://doi.org/10.2528/PIERL23050502>.

김기홍 (Ki-Hong Kim)



2002년 2월 : 동국대학교
컴퓨터공학전공(학사)
2016년 8월 : 충북대학교
전파통신공학전공(석사)
2023년 2월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학전공 박사과정
2004년 2월 ~ 현재 : KG모빌리티

기술연구소 책임연구원
관심분야 : 안테나, 전자파 응용

허지원 (Jiwon Heo)



2020년 2월 : 충북대학교
전파통신공학전공(석사)
2024년 8월 : 충북대학교
전파통신공학전공(박사)
2024년 10월 ~ 현재 : 충북대학교
산업인공지능연구센터 연구원
관심분야 : 안테나, RF, 전자파 응용

안병철 (Bierng-Chearl Ahn)



1981년 2월 : 서울대학교
전기공학(학사)
1983년 2월 : 전기전자공학(석사)
1992년 12월 : University of
Mississippi 전지전자공학과(박사)
1992년 12월 ~ 1995년 2월 :
국방과학연구소 선임연구원

1995년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
정보통신공학부 교수
관심분야 : 전자파 응용, 안테나

저자소개

표수련 (Purevsuren Baatarkhuu)



2018년 6월 : ACH Medial
University(학사)
2023년 9월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 석사과정
관심분야 : 안테나, RF, 안테나
측정기술

김선각 (Sun-Gak Kim)



1995년 8월 : 충북대학교
경영학과(학사)
2016년 2월 : 충북대학교
나노반도체공학(석사)
2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 박사과정
2015년 5월 ~ 현재 : (주)

네오세미텍 대표이사
관심분야 : 전자회로, 유무선통신, 반도체