

전방급전 반사경 안테나용 광대역 초크링 피드 설계

이한소*, 김기홍**, 민재용***, 김상기****, 오재욱*****¹, 김지환*****², 안병철*****³

Design of a Broadband Choke Ring Feed for Prime Focus Reflectors

Han-So Lee*, Ki-Hong Kim**, Jae-Yong Min***, Sang-Ki Kim****, Jae-Wook Oh*****¹,
Ji-Hwan Kim*****², and Biering-Chearl Ahn*****³

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음(2019-0-01183)

요 약

전방급전 반사경 안테나는 구조의 단순성으로 인해 고이득 저가 안테나 구현에 널리 사용되고 있다. 최근 전파 활용이 확대됨에 따라 광대역 반사경 안테나의 수요가 증가하고 있다. 본 논문에서는 전방급전 반사경 안테나용 광대역 초크링 피드의 설계를 제시하였다. 제안된 피드는 원형 도파관 개구와 개구 둘레에 배치된 3 개의 1/4 파장 초크로 구성된다. 원형 도파관 개구의 직경, 초크의 위치, 폭, 깊이를 최적화하여 넓은 주파수 범위에서 원형 대칭적 방사패턴과 낮은 후방 방사 특성을 얻었다. 설계된 피드는 9.5-19.0GHz의 주파수에서 10.1-12.4dBi의 이득, 104.6°-120.4°의 10-dB 빔폭, 25.7-26.6dB의 전후방비를 보였다. 설계된 피드를 직경 878 mm의 전방급전 반사경에 적용하였을 경우 9.5-19.0GHz 범위에서 37.7-42.9dBi의 이득과 63.9-78.6%의 개구효율을 얻었다.

Abstract

Prime-focus reflector antennas are widely used in the realization of low-cost high-gain antennas for their simplicity. Recently, demands for broadband reflector antennas are increasing as the utilization of radio wave is enlarged. In this paper, we present a design of a broadband choke ring feed for prime-focus reflector antenna applications. The proposed choke ring feed consists of a circular waveguide aperture and three quarter-wave chokes placed around the aperture. We have obtained circular symmetric radiation patterns and low back radiation characteristics by optimizing the diameter of the circular waveguide aperture, the position, width, and depth of the choke. The designed feed shows 10.1-12.4dB gain, 10-dB beamwidth of 104.6°-120.4°, and front-to-back ratio of 25.7-26.6dB. When the designed feed is applied to a prime-focus reflector with a diameter of 878mm, we obtained gain of 37.7-42.9dBi and aperture efficiency of 63.9-78.6%.

Keywords

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

* 중원대학교 대학원 기계공학과 박사과정
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9804-901x>
** (주)KG모빌리티 기술연구소 책임연구원
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4235-1478>
*** (주)KIPCO 서울종합연구소 수석연구원
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8711-8110>
**** (주)이앤씨 책임연구원
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2909-0184>

***** 충북대학교 정보통신공학부(*****³ 교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0002-9882-5897>
- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0002-9019-0962>
- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0003-7977-8760>

• Received: Nov. 18, 2024, Revised: Dec. 12, 2024, Accepted: Dec. 15, 2024

• Corresponding Author: Bierng-Chearl Ahn
Dept. of Radio Communications Eng., Chungbuk National University,
Chungdae-ro, Cheongju City, Chungbuk, Korea
Tel.: +82-43-261-3194, Email: bician@cbu.ac.kr

1. 서 론

전방급전 반사경 안테나는 구조의 단순성으로 인해 저가형 고이득 안테나로 널리 사용되고 있다[1]. 전방급전 반사경 안테나의 경우 피드와 피드 지지대에 의해 반사면에서 반사되는 전파가 산란되고 차폐되어 이득이 감소하고, 부엽과 교차편파가 증가하는 단점을 가진다. 반면에 회전 대칭성이 없고 피드 고정이 보다 복잡한 오프셋 반사경 안테나에서는 이러한 단점이 없다[2]. 구조의 단순성 때문에 특별한 경우를 제외하고 많은 경우에 전방급전 안테나가 널리 사용되고 있다[3].

전방급전 반사경 안테나는 피드의 개구가 반사판 방향으로 향하는 Prime-focus 형식[4][5]과 반대 방향으로 향하는 Backfire 형식[6]-[8]이 널리 사용된다. Prime-focus 방식은 피드 지지대가 필요하다는 단점이 있지만 Backfire 형식보다는 성능이 우수하며 광대역 성능 구현이 가능하다는 장점을 가진다.

Prime-focus 형식의 피드에 있어서 피드의 방사패턴을 개선하기 위해 흔히 Corrugation[9][10] 사용하거나 초크링[11][12]을 사용한다. Corrugation이 사용된 피드는 초크링 피드보다 부피가 크고 제작이 복잡하여 보통 고성능 반사경 안테나에 적용된다. 반면에 초크링 피드는 구조가 단순하며 동시에 양호한 패턴 특성을 제공하므로 저가형 반사경에 주로 사용된다.

전파통신의 활용이 확장됨에 따라 광대역 반사경 안테나의 수요가 증가하고 있다[13][14]. 본 논문에서는 이러한 수요에 부응하여 9.5-19.0GHz에서 동작하는 전방급전 반사경 안테나용 초크링 피드를 설계하였다. 설계에는 Dassault Systemes Simulia 사의 CST Studio Suite™을 사용하였다. 다음 장에서는 제안된 피드의 설계와 전방급전 반사경 안테나에 적용할 경우의 특성을 제시한다.

II. 초크링 피드 설계

그림 1은 본 논문에서 설계한 초크링 피드의 기본 구조이다. 단순한 원형 도파관 피드의 경우 도파관 직경이 0.6과장 내지 0.7과장으로 하여 전방 급

전 반사경 피드로 사용한다. 이 경우 후방 이득이 -8dBi 수준으로 높은 편이다. 그림 1에서와 같이 원형 도파관 주위에 1/4과장 깊이의 링을 여러 개 사용하여 후방 이득을 -22dBi 수준으로 감소시킬 수 있다.

이러한 구조는 광대역에서 반사된 신호가 안테나 수신부로 도달하기 전에 여러 번 반사되거나 흡수되어 반사 신호의 세기를 감소시키고 주 신호와의 간섭을 최소화시킨다. 제안된 피드는 방사패턴을 개선하는 초크링 부, 전자기파를 수집하는 원형 개구(Aperture), 초크링의 기저부를 형성하는 접지판, 개구에서 수신된 전자기파를 송수신부로 전달하는 도파관으로 구성된다.

원형 도파관의 크기가 주어진 경우 초크링의 위치, 개수, 깊이, 폭의 설계변수를 조정하여 최적설계를 도출할 수 있다.

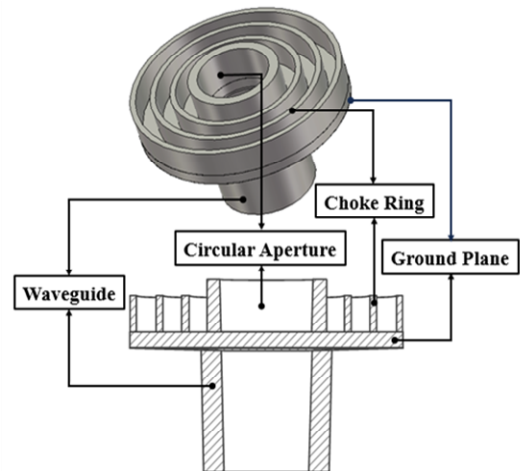


그림 1. 제안된 초크링 피드의 구조
Fig. 1. Structure of the proposed choke ring feed

2.1 초크링 급전기 설계

전방급전 반사경 안테나의 피드로 적합하도록 전계면 빔폭과 자계면 빔폭이 유사한 초크링 피드를 설계하였다. 그림 2는 제안한 피드의 설계변수를 보인 것이다. 원형 도파관 직경 D 는 19.1mm로서 TE₁₁ 모드 차단주파수는 9.20GHz이다.

방사 패턴은 개구의 전류 분포와 푸리에 변환 관계를 가지므로, 개구 주위에 여러 개의 초크를 사용한 확장 개구 안테나를 사용한다.

초크링이 없는 원형 도파관 개구의 경우 도파관 외벽으로 흐르는 전류에 의해 넓은 주파수 대역에 걸쳐 원형 대칭적인 빔폭을 얻기 어렵다. 초크링은 표면 임피던스를 증가시켜 도파관 외벽으로 흐르는 전류를 줄인다. 초크링의 깊이 Q 는 0.25파장에서 0.5파장의 범위에서 정한다.

후방 이득 감소 설계와 함께 급전 안테나로서 요구되는 빔폭을 충족하기 위해서는 적절한 도파관 직경과 초크링의 수, 도파관의 돌출된 길이 H 를 결정하였다. 이러한 H 와 Q 를 정하기 위하여 상용 소프트웨어인 CST Studio Suite™를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림 2에서와 같이 초크링의 개수를 3개로 하고, 초크링 개구 폭 G 를 4.15mm로 설정하였다.

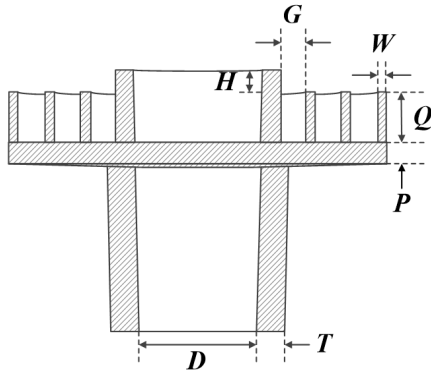


그림 2. 제안된 초크링 피드의 설계변수
Fig. 2. Design parameters of the proposed choke-ring feed

적용 예정인 전방급전 반사경 안테나의 F/D 가 0.43인 경우, 그림 2의 구조와 같이 초크링과 도파관 끝의 높이 차이에 해당하는 H 를 조절하여 전개면 빔폭과 자계면 빔폭이 거의 동일하게 하였다. 초크링이 3개인 경우에 H 의 변화에 따른 초크링 피드의 10-dB 빔폭을 13.5GHz에서 계산하여 표 1에 정리하였다. H 가 2.6mm일 때, 대칭적인 빔폭을 얻을 수 있었다.

표 2는 최적 설계한 초크링 피드의 치수이다. 제안된 초크링의 높이 Q 는 8mm로 설계하였으며, 초크링의 벽 두께 W 는 1.6mm로 최적화하였다. 최적화는 각 변수를 일정 범위에서 일정한 간격으로 변화시키면서 피드의 특성을 확인하고 특성이 가장 좋은 값을 선택하는 방식으로 수행하였다.

표 1. H 에 따른 초크링 피드의 10-dB 빔폭 ($f = 13.5\text{GHz}$)
Table 1. 10-dB beamwidth of the choke ring feed versus H ($f = 13.5\text{GHz}$)

$H(\text{mm})$	Gain(dBi)	10-dB beamwidth(deg.)	
		H -plane	E -plane
-8.0	9.02	137.3	89.4
-6.0	9.54	124.2	97.5
-4.0	10.8	101.4	99.7
-2.0	10.7	97.5	105.4
0.0	9.97	107.2	113.0
2.6	9.13	124.0	124.6
4.5	9.59	123.9	120.4
6.5	10.76	117.5	112.5

표 2. 설계된 피드의 치수 (mm)
Table 2. Dimensions of the designed feed (mm)

Parameters	Dimension	Parameters	Dimension
D	19.10	Q	8.00
G	4.15	T	2.93
H	2.60	W	1.60
P	3.10		

그림 3은 3개의 초크링이 부착된 경우에 대한 원형 도파관 개구면에서의 전기장 분포를 보여주고 있다. 초크링이 없는 경우에 비해 전기장의 수직편과 성분이 지배적이 되며 전개면 테이퍼와 자계면 테이퍼가 비슷하게 되어 방사패턴의 원형 대칭성이 증가한다.

그림 3(a)와 3(b)로부터 개구면 전기장 분포가 9.5GHz에서와 13.5GHz에서 유사함을 알 수 있다. 또한 원형 도파관 TE11 모드의 경우보다 자계면 테이퍼가 감소함을 확인할 수 있다. 주파수가 19.0GHz일 경우 그림 3(c)에 의하면 개구면 중심에서 전기장이 최대가 되지 않고 전기장 방향으로 중심으로부터 벗어난 위치에서 최대가 됨을 알 수 있다. 이는 원형 도파관 고차 모드가 여기되어 발생한다. 원형 도파관 TE11 모드와 같이 도파관 중심에서 전기장이 최대이며 전기장 분포가 우함수인 첫 번째 고차 모드는 TM11 모드이다. 도파관 직경이 19.1mm일 경우 TM11 모드의 차단 주파수는 19.14GHz이다. 원형 도파관을 이용한 피드의 동작 하한 주파수는 TE11 모드 차단 주파수에 의해 결정되며, 상한 주파수는 TM11 모드 차단 주파수에 의해 결정된다.

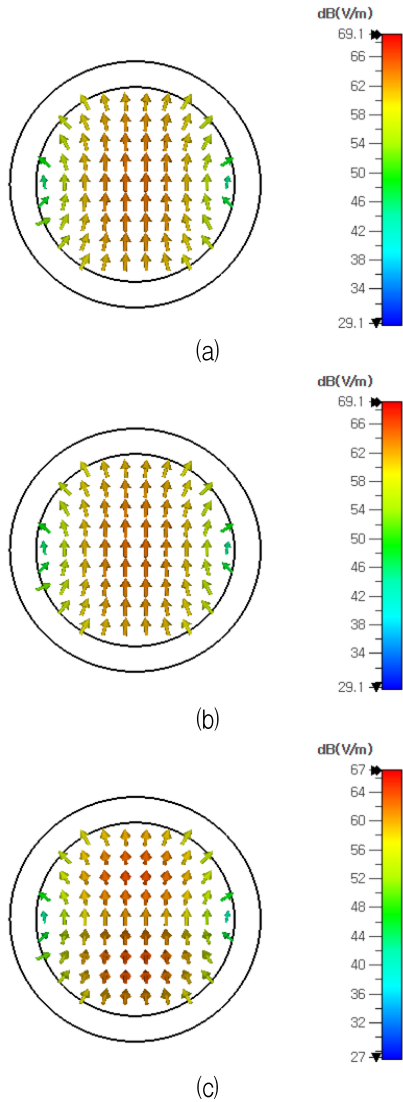


그림 3. 피드 개구면에서의 전기장 분포
 (a) 9.5GHz, (b) 13.5GHz, (c) 19GHz
 Fig. 3. Electric field distribuit in the feed aperture
 (a) 9.5GHz, (b) 13.5GHz, (c) 19GHz

그림 4는 설계된 피드의 반사계수 특성을 보인 것이다. 9.5–19.0GHz에서 -12.4dB 이하의 값을 보인다. TE₁₁ 모드 차단 주파수는 9.20GHz이며 이보다 1.032 배인 9.5GHz에서 반사계수는 -12.4dB가 된다.

그림 5와 그림 6은 설계한 초크링 피드의 이득 패턴과 위상 패턴을 보인 것이다. 전계면 패턴 ($\Phi = 90^\circ$)과 자계면 패턴 ($\Phi = 0^\circ$)의 대칭성이 패턴각 -80° 에서부터 $+80^\circ$ 까지 우수함을 확인할 수 있다. 주파수 9.5, 13.5, 19.0GHz에서 피드의 이득은 각각 9.7, 10.4, 12.0dBi이며 $\pm 120^\circ$ 이상의 후방영역 최대 이득은 각각 -16.1, -18.2, -13.5dBi이며 이 경우 전후방비는 각각 25.8, 28.6, 25.7dB이다.

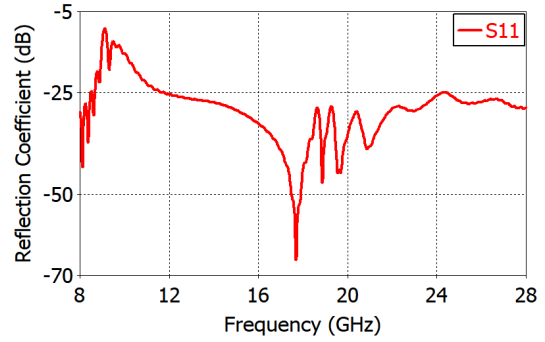


그림 4. 설계된 피드의 반사계수
 Fig. 4. Reflection coefficient of the designed feed

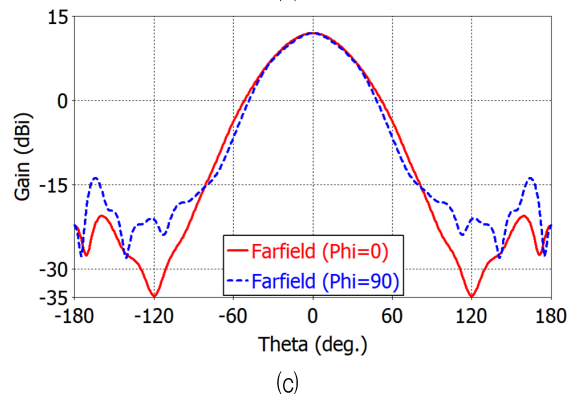
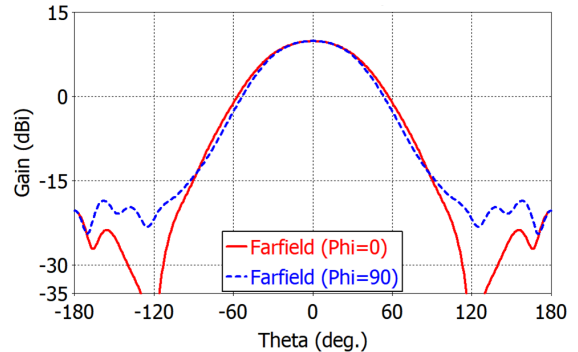
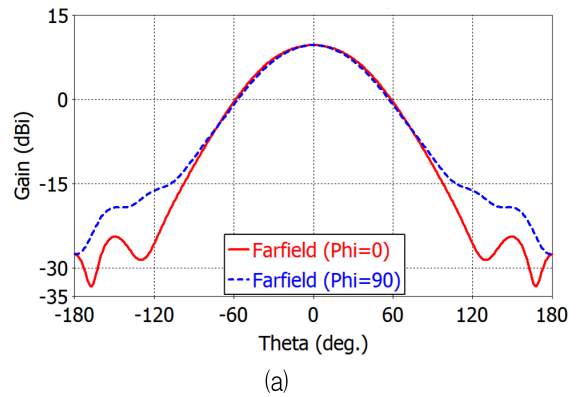


그림 5. 설계된 피드의 이득패턴
 (a) 9.5GHz, (b) 13.5GHz, (c) 19GHz
 Fig. 5. Gain patterns of the designed feed
 (a) 9.5GHz, (b) 13.5GHz, and (c) 19GHz

그림 6은 설계된 초크링 급전기의 주파수별 이득과 교차편파 최대 레벨의 계산 결과이다. 안테나 이득은 9.5–19.0GHz에서 9.7–12.0dBi의 값으로 형성되었으며 교차편파 최대 레벨은 -10.2dB이었다. 9.5, 13.5, 19.0GHz에서 피드의 10-dB 빔폭은 각각 120.4°, 110.2°, 104.6°이다. 설계된 초크링 피드의 3-dB 빔폭을 그림 7에 도시하였다. 9.5–19.0GHz 범위에서 3dB 빔폭은 48.7°–69.0°의 범위를 갖고 있었다.

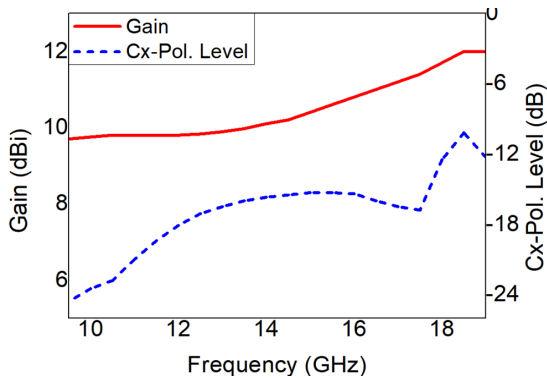


그림 6. 설계된 피드의 이득 및 교차편파 레벨
Fig. 6. Gain and cross-polarization of the designed feed

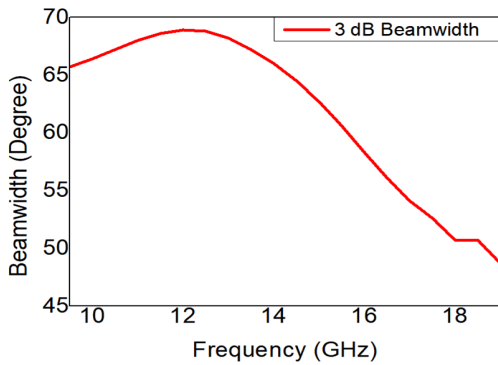


그림 7. 설계된 피드의 3-dB 빔폭
Fig. 7. 3-dB beamwidth of the designed feed

표 3은 설계된 피드가 전방급전 반사경 안테나를 -60°에서부터 +60°까지의 각도 범위에서 조사할 경우 주파수별로 개구면 테이퍼를 정리한 것이다. 주파수가 9.5GHz에서부터 증가함에 따라 피드의 이득이 증가하며 개구면 테이퍼가 증가한다. 19.0 GHz에서의 개구면 테이퍼는 전계면과 자계면 상에서 각각 15.5dB와 21.3dB로 다소 큰 편이며 이는 아래 그림 8에서 확인할 수 있듯이 개구효율을 70% 이하로 감소시키는 원인으로 작용한다.

표 3. 주파수에 따른 반사경 개구면 테이퍼
Table 3. Reflector aperture taper versus frequency

Frequency (GHz)	Aperture taper(dB)	
	E-plane	H-plane
9.5	10.2	10.5
13.5	11.4	12.7
19.0	15.5	21.3

앞서 설계된 초크링 피드를 직경 D가 878mm, 초점거리 F가 380mm인 포물면 반사경 안테나 (F/D = 0.432)에 적용할 경우 이득과 개구효율을 계산하여 그림 8에 도시하였다. 9.5GHz에서의 안테나 이득은 37.7dBi이며 13.5GHz에서 40.8dBi, 19.0GHz에서 42.9 dBi이다. 9.5GHz에서부터 15GHz까지 78% 이상의 개구효율을 보였다. 주파수가 16GHz 이상인 경우 그림 8과 표 3에서 확인할 수 있듯이 피드의 빔폭이 감소하며 이에 따라 개구면 테이퍼가 증가하고 이에 따라 Spill-over 효율이 감소하여 개구효율이 급격히 감소한다. 19GHz에서 개구효율은 63.9%가 되며 이 경우 이득은 42.9dBi이다.

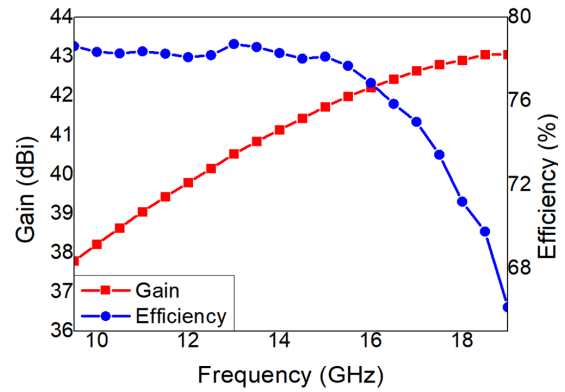


그림 8. 설계된 피드가 적용된 반사경 안테나의 이득과 개구효율

Fig. 8. Gain and aperture efficiency of a reflector antenna with the designed feed

III. 결 론

본 논문에서는 전방급전 반사경 안테나용으로 적합한 9.5–19.0GHz에서 동작하는 광대역 초크링 피드를 제시하였다. 직경 19.1mm의 원형 도파관 개구방사기 둘레에 3개의 초크링을 적용하였다. 초크링의 위치, 초크링 개구의 폭과 깊이를 최적화하여 광

대역 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 초크링 피드는 광대역 전방급전 반사경 안테나 구현에 유용하게 사용될 수 있으리라 기대된다.

References

- [1] W. A. Imbriale, "Comparison of prime focus and dual reflector antennas for wideband radio telescopes", 2012 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, pp. 1-8, Mar. 2012. <https://doi.org/10.1109/AERO.2012.6187092>.
- [2] A. W. Rudge and N. A. 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.1978.11170>.
- [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, Dec. 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, pp. 108-114, 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, pp. 1173-1176, 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] J. Lian, K. Park, A. Gorshkov, and B.-C. Ahn, "Design of a C-band reflector antenna with a splash-plate feed", Journal of KIIT, Vol. 17, No. 12, pp. 111-117, Dec. 2019. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.12.111>.
- [9] 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>.
- [10] K. Sambasivarao, D. R. Jahagirdar, and R. K. Bhatta, "High performance choked feed horn for compact antenna test range reflector", IEEE 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>.
- [11] S. J. Jo, J.-H. Lim, T.-K. Lee, and J.-W. Lee, "Choke feeder design for deep reflector antenna in small satellite SAR", Journal Korean Institute Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 31, No. 1, pp. 1-11, Jan. 2020. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2020.31.1.1>.
- [12] Y. Tyagi, P. Mevada, D. K. Jangid, V. K. Singh, S. Kulshrestha, and M. 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>.
- [13] P. V. Prasannakumar, M. A. Elmansouri, and D.

S. Filipovic, "Broadband reflector antenna with high isolation feed for full-duplex applications", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 66, No. 5, pp. 2281-2290, May 2018. <https://doi.org/10.1109/TAP.2018.2814224>.

[14] G. Wainwright and C.-C. Chen, "Low-profile broadband reflector antenna designed for low mutual coupling", 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Switzerland, Vol. 114, pp. 1-5, Apr. 2016. <https://doi.org/10.1109/EuCAP.2016.7481427>.

저자소개

이 한 소 (Han-So Lee)



1997년 2월 : 전북대학교
행정학과(학사)
2015년 2월 : 충북대 경영대학원
클러스터 CEO과정수료
2019년 2월 : 2019년 충북대
경영대학원 AMP과정수료
2020년 2월 : 중원대학원 기계

공학과(석사)

1997년 1월 ~ 2005년 12월 : 코오롱상사 점장
2017년 4월 ~ 현재 : 씨지에스 대표
관심분야 : 기계공학, 산업안전기기, 자동화설비

김 기 흥 (Ki-Hong Kim)

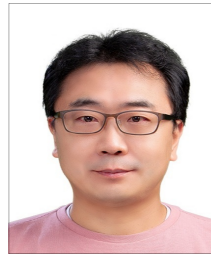


2002년 2월 : 동국대학교
컴퓨터공학전공(학사)
2016년 8월 : 충북대학교
전파통신공학전공(석사)
2023년 2월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학전공 박사과정
2004년 2월 ~ 현재 : KG모빌리티

기술연구소 책임연구원

관심분야 : 안테나, 전자파 응용

민 재 용 (Jae-Yong Min)



2002년 2월 : 한국교통대학교
전자통신공학과(학사)
2005년 2월 : 충북대학교 전파공학
(공학석사)
2016년 8월 : 충북대학교 전파공학
(공학박사수료)
2022년 6월 : (주)한화/방산

중합연구소 선임연구원

2024년 6월 ~ 현재 : KIPCO우주항공 서울중합연구소
수석연구원

관심분야 : 안테나, 전자파 응용

김 상 기 (Sang-Gi Kim)

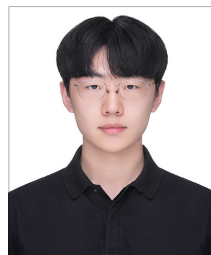


2006년 2월 : 충북대학교 전기전자
컴퓨터공학부(공학사)
2008년 2월 : 충북대학교
전파공학과(공학석사)
2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 박사수료과정
2017년 ~ 현재 : (주)이앤씨

수석연구원

관심분야 : IoT 응용, Multi Band 안테나, RFID
안테나, 능동회로 및 수동회로 설계

오 재 욱 (Jae-Wook Oh)



2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
정보통신공학부 학사과정
관심분야 : 안테나, 네트워크,
빅데이터, AI

김 지 환 (Ji-Hwan Kim)



2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
정보통신공학부 학사과정
관심분야 : 안테나, 네트워크, AI

안 병 철 (Bierng-Chearl Ahn)



1981년 2월 : 서울대학교

전기공학(학사)

1983년 2월 : 전기전자공학(석사)

1992년 12월 : University of

Mississippi 전기전자공학과(박사)

1992년 12월 ~ 1995년 2월 :

국방과학연구소 선임연구원

1995년 3월 ~ 현재 : 충북대학교

정보통신공학부 교수

관심분야 : 전자파 응용, 안테나