



텔레메트리 추적 피드용 교차 다이폴 설계

박영규*¹, 노준우*², 안병철**

Design of a Crossed Dipole for Telemetry Tracking Feeds

Young-Kyu Park*¹, Joon-Woo Noh*², and Bieng-Chearl, Ahn**

이 논문은 2015년도 충북대학교 학술연구지원사업의 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음
(This work was supported by the intramural research grant of Chungbuk National University in 2015)

요 약

본 논문에서는 C-대역 텔레메트리 추적 반사경 안테나 피드용 원편파 교차 다이폴을 제안한다. 제안된 교차 다이폴은 인쇄형이며, 별론이 통합된 마이크로스트립 선로에 의해 급전된다. 반복적으로 설계변수를 조절하여 교차 다이폴을 최적 설계하였다. 설계된 교차다이폴은 4.8-5.6GHz에서 -15dB 이하의 반사계수, 5.12GHz에서 10dBic의 이득, 빔축에서 64° 이내에서 1.0-3.9dB의 축비와 9.7dB의 이득 테이퍼 특성을 갖는다. 설계된 교차 다이폴 5개를 직경 136mm 접지면 위에 배치하여 F/D 가 0.4인 전면급전 모노펄스 반사경 안테나를 위한 모노 펄스 피드를 설계하였다. 설계된 피드의 합패턴은 단일 교차 다이폴의 특성과 거의 같으며, 방위각 및 고각 차 패턴은 10.6dBic의 이득, 빔축으로부터 64° 내에서 1.7-6.9dB의 축비와 8dB의 이득 테이퍼, -30dBic의 영점이득 특성을 갖는다. 설계된 피드의 성능을 초점거리 520mm 직경 1300mm인 반사경에 적용하여 확인하였다.

Abstract

This paper presents a circularly-polarized crossed dipole for use in the feed of a C-band telemetry tracking reflector antenna. The proposed dipole is of printed type and fed by a microstrip line with an integrated balun. The crossed dipole is optimally designed by iterative adjustments of design parameters. The designed crossed dipole has reflection coefficient of less than -15dB at 4.8-5.6GHz, and at 5.12GHz, gain of 10dBic, axial ratio of 1.0-3.9dB and gain taper of 9.7dB within 64° from the beam axis. Five units of the designed crossed dipole are placed on a 136-mm diameter ground plane to design a monopulse feed for a prime-focus monopulse reflector antenna with F/D of 0.4. The sum pattern of the designed feed is nearly same as that of a single crossed dipole, and azimuth and elevation difference patterns have gain of 10.6dBic, axial ratio of 1.7-6.9dB, gain taper of 8dB, and null gain of -30dBic. The performance of the designed feed has been verified by applying it to a 1300-mm diameter reflector antenna with a focal length of 520mm.

Keywords

crossed dipole, monopulse feed, C-band telemetry, reflector antenna, tracking feeds

* 충북대학교 전자통신전공

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0003-0410-191X>- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0003-0083-3822>

** 충북대학교 정보통신공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7977-8760>

Received: Dec. 26, 2017, Revised: Feb. 26, 2018, Accepted: Feb. 29, 2018

Corresponding Author: Bieng-Chearl Ahn

Dept. of Information and Communications Engineering, Chungbuk National University, #1 Chung-dae-ro, Seowon-ku, Cheong-ju City, 28644, Korea,

Tel.: +82-43-261-3194, Email: bician@cbu.ac.kr

1. 서 론

로켓, 항공기, 무인기, 미사일, 포탄 등의 비행 시험 시 지상국과 발사체간의 텔레메트리를 통해 정보를 원격으로 수신한다[1][2]. L-대역과 S-대역의 텔레메트리 주파수의 사용증가에 따라 주파수 간섭 문제가 대두되어 WRC-2007 국제회의에서 C-대역 주파수(5.091~5.150GHz, 5.925~6.700GHz)가 새로이 텔레메트리용으로 배정되었다[3].

장거리 텔레메트리 추적에는 고이득 반사경 기반의 모노펄스 기술이 사용 된다[4][5]. 장거리 무선 링크에서 발생하는 다중경로 페이딩에 대처하기 위해 이중편파(선형편파 또는 원편파)가 사용된다. 이중편파 모노펄스 반사경 피드로서 교차 다이폴이 널리 사용되고 있다[6]-[8]. 교차 다이폴은 이중 원편파 반사경 안테나 급전용 [9], 다중 편파 이동통신 기지국용[10][11] 등의 용도로도 널리 사용되고 있다. 텔레메트리 안테나 피드로서의 인쇄형 교차 다이폴의 설계에 관한 연구는 매우 빈약한 실정이다.

본 논문에서는 5.09-5.15GHz 대역 텔레메트리 추적 피드용으로서 교차 다이폴 설계를 제안하고, 설계된 교차 다이폴을 적용하여 5소자 모노펄스 피드 구성안과 특성을 제시하였다. 또한 설계된 피드를 전방 급전 반사경에 적용하여 특성을 확인하였다. 설계에는 널리 사용되고 있는 CST의 Microwave Studio를 이용하였다.

II. 교차 다이폴 설계

그림 1은 본 논문에서 제안한 교차 다이폴의 구조로서 마이크로스트립(Microstrip Line)으로 급전되는 서로 수직으로 교차하는 2개의 인쇄형 다이폴(Dipole 1, Dipole 2)과 공동으로 구성된다. 교차 다이폴을 사용하여 이중 선형편파 또는 이중 원편파 텔레메트리 추적용 피드를 구현할 수 있다. 본 논문에서는 이중 원편파용 교차 다이폴을 설계하였다. 그림 1에서 금속 공동은 교차 다이폴의 축비성능을 향상시키기 위해 사용하였다.

그림 2은 본 논문에서 제안한 교차 다이폴의 설계변수이다. 그림 2의 좌측상부에 공동의 치수가 표

시되어 있다. 공동의 직경과 높이는 각각 D_3 , H_2 이다. 그림 2의 좌측하부에 표시된 것과 같이 다이폴이 인쇄된 기판의 폭과 높이는 각각 W_0 , H_0 이다.

그림 2의 우측상부에는 인쇄형 다이폴의 설계변수가 표시되어 있다. 기판 이면에는 다이폴 급전을 위한 그림 2의 하부에 도시된 마이크로스트립 선로가 인쇄된다. 다이폴의 길이는 W_1 이며 폭은 H_4 이다. 다이폴의 각 암(Arm)에는 수직으로 연결된 높이가 H_5 인 금속 스트립은 뒷면 마이크로스트립 선로의 접지면으로 사용된다. 두 금속 스트립의 종단은 공동의 접지면에 의해 단락되어 별론으로 동작한다. 두 다이폴의 다이폴 부분 치수는 동일하다.

그림 2의 하부 좌측과 우측의 그림은 다이폴을 급전하기 위한 다이폴 기판 뒷면에 인쇄된 마이크로스트립 급전선로의 설계변수이다.

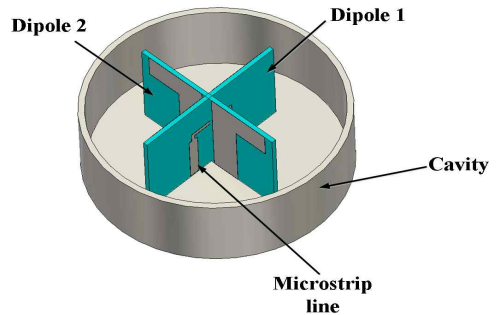


그림 1. 제안된 교차 다이폴 구조
Fig. 1. Structure of the proposed crossed dipole

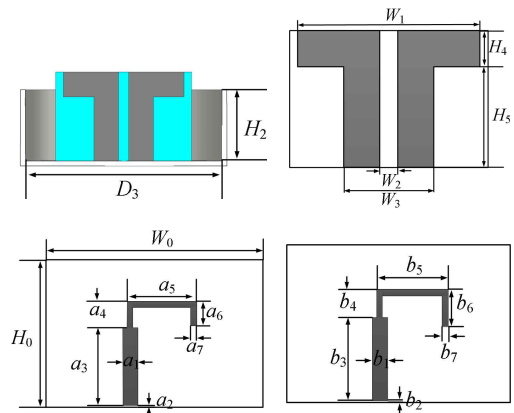


그림 2. 제안된 교차 다이폴의 설계변수
Fig. 2. Design parameters of the proposed crossed dipole

마이크로스트립 선로 하단의 입력부의 특성 임피던스는 50Ω이며 스트립의 길이 a_3 , b_3 를 지나서 스트립의 폭이 감소된 후 90° 꺾이고 다이폴 스트립 사이의 공극을 가로 지른 후 다시 90° 꺾여서 아래로 향한 후 길이 a_6 , b_6 만큼 진행한 후 개방형태로 종료된다. 기판은 Taconic 사의 RF-35(유전율 3.5, 손실탄젠트 0.018, 두께 0.76mm)를 사용하였다.

위와 같은 인쇄형 다이폴의 급전구조는 간단하지만 마이크로스트립과 슬롯선로의 변환부, 다이폴 급전을 위한 벌룬 부분을 겸비하고 있다. 설계변수에 따른 특성변화 분석을 바탕으로 제안된 교차 다이폴을 최적 설계하였다. 두 다이폴을 교차하여 설치하기 위해 각 다이폴의 급전점 위치를 약간 다르게 해야 한다. 이에 따라 두 다이폴의 반사계수 특성도 약간 다르게 된다. 아래에서 두 다이폴 중 1개의 주요 변수변화에 따른 다이폴의 입력 반사계수 변화를 분석하였다.

그림 3은 다이폴 길이 W_1 에 따른 반사계수 특성을 보인 것이다. 여기서 다른 치수는 모두 최종 최적 설계 값이다.

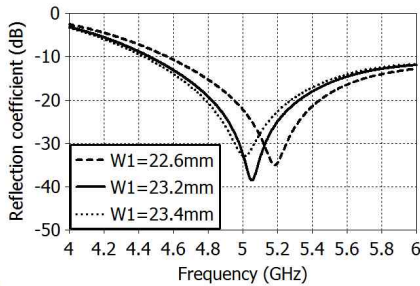


그림 3. 다이폴 길이에 따른 반사계수
Fig. 3. Reflection coefficient versus dipole length

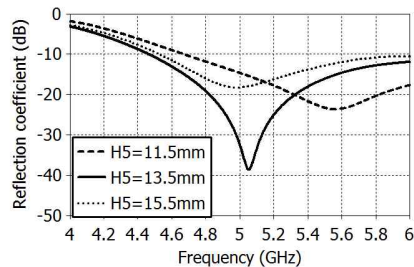


그림 4. 다이폴 높이에 따른 반사계수
Fig. 4. Reflection coefficient versus dipole height

다이폴 길이를 조정하여 동작 중심주파수를 변경할 수 있다. 그림 4는 다이폴과 접지면 사이의 간격 H_5 에 따른 반사계수로서 다이폴의 임피던스 특성이 H_5 에 민감함을 알 수 있다. 그림 5는 a_3 를 변경하여 다이폴의 급전점의 위치를 조정하였을 경우의 반사계수 변화로서 급전점을 조정하여 임피던스를 정합할 수 있음을 알 수 있다. 그림 6은 마이크로스트립 급전선로 종단 길이 a_6 에 따른 다이폴의 입력 임피던스 변화이다.

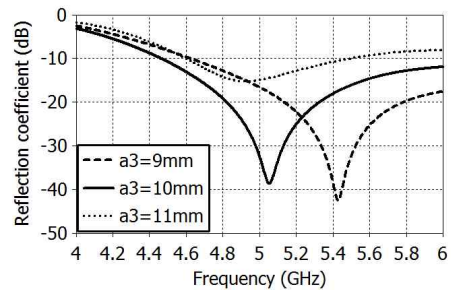


그림 5. 다이폴 급전점 위치에 따른 반사계수
Fig. 5. Reflection coefficient versus dipole feed point

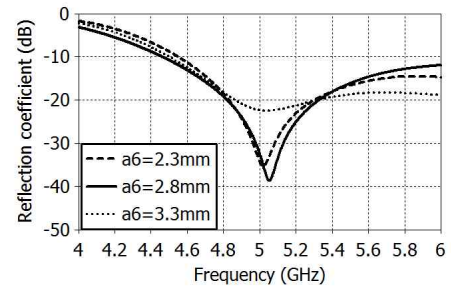
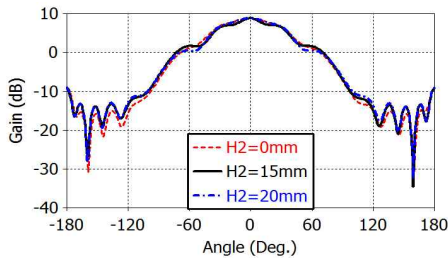


그림 6. 급전선로 종단 길이에 따른 반사계수
Fig. 6. Reflection coefficient versus length of the open end in feed line

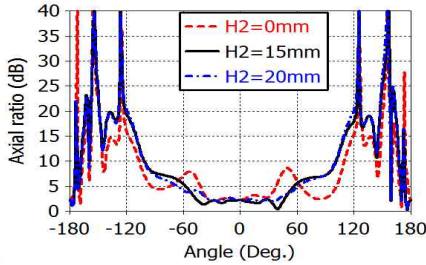
표 1. 제안된 교차 다이폴 최적치수(단위: mm)

Table 1. Optimum dimensions of the proposed crossed dipole(unit: mm)

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
D_3	39.00	H_2	15.00	a_4	1.80	b_3	10.00
W_0	26.87	H_4	4.88	a_5	8.57	b_4	3.30
W_1	23.2	H_5	13.50	a_6	2.80	b_5	8.57
W_2	2.00	a_1	1.77	a_7	0.80	b_6	4.80
W_3	11.76	a_2	0.26	b_1	1.77	b_7	0.80
H_0	18.5	a_3	10.00	b_2	0.26		



(a) 이득 (Gain)



(b) 축비 (Axial ratio)

그림 7. 공동높이에 따른 방사패턴.

Fig. 7. Radiation pattern versus cavity height

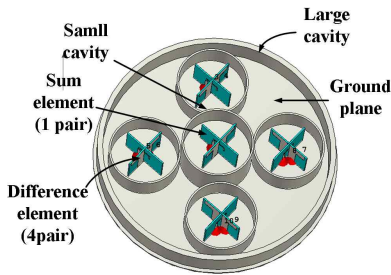
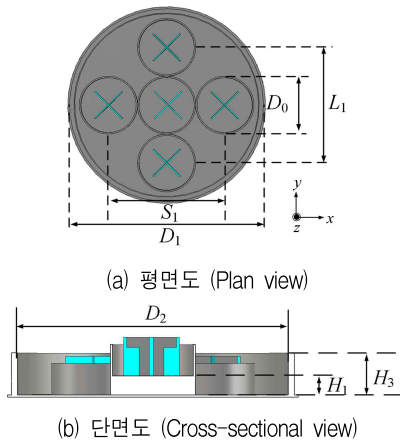


그림 8. 텔레메트리 추적 피드 구조

Fig. 8. Structure of telemetry tracking feed



(b) 단면도 (Cross-sectional view)

그림 9. 텔레메트리 추적 피드의 설계변수

Fig. 9. Design parameters of telemetry tracking feed

그림 7은 공동 높이 H_2 에 따른 5.12GHz에서의 이득과 축비 패턴을 보인 것이다. 공동 높이를 조정하여 보다 넓은 각도에 걸쳐 축비특성이 양호하게 할 수 있다. 최적 값은 15mm로 하였다. 두 다이폴의 반사계수 특성은 텔레메트리 추적 피드용 배열로 사용하였을 경우와 거의 유사하므로 다음 절에서 제시하였다. 표 1에 제안된 교차 다이폴의 최적 치수를 제시하였다.

III. 텔레메트리 추적 피드 설계

앞 절에서 설계한 교차 다이폴을 텔레메트리 추적 반사경 안테나용 피드 설계에 적용하였다. 그림 8은 설계한 피드의 구조이며 그림 9는 평면도, 단면도 및 설계변수를 보인 것이다. 5개 소자를 원형 접지면에 배치하고 모노펄스 패턴 특성 향상을 위해 접지면 테두리에 금속벽을 설치하였다. 합패턴 소자는 피드 중앙에 배치하고, 상하소자를 이용하여 고각방향 차패턴을 형성하고, 좌우소자를 이용하여 방위각 방향 차패턴을 형성하였다.

교차 다이폴 소자 사이의 간격을 최소화하여 차패턴이 과도하게 첨예하게 되는 것을 방지하였다. 피드의 패턴 설계시 텔레메트리 추적 반사경 안테나에 적용되는 초점 대 직경비(F/D)가 0.4인 경우를 고려하였다. 이 경우 피드의 반사경 조사각은 $\pm 64^\circ$ 가 된다.

그림 10은 이중 원편파 모노펄스 패턴을 얻기 위한 교차 다이폴 합성도이다. 여기서 QH는 90° 하이브리드 커플러, PC는 전력 합성기, S_1/S_2 는 합패턴 소자, V_1/V_2 및 V_1'/V_2' 은 고각 차패턴 소자, H_1/H_2 및 H_1'/H_2' 은 방위각 차패턴 소자이다.

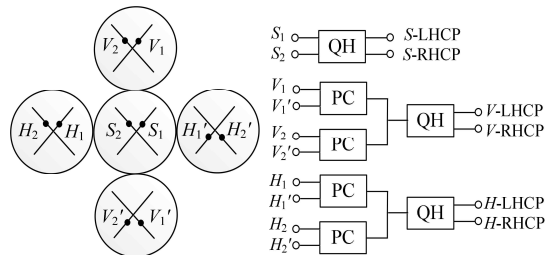
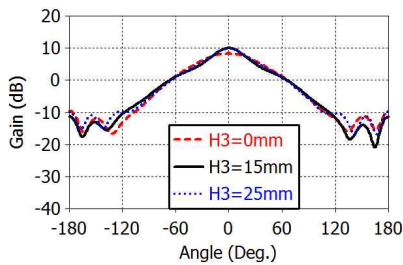


그림 10. 텔레메트리 추적 피드용 교차 다이폴 합성

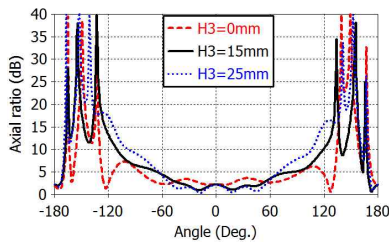
Fig. 10. Synthesis of crossed dipoles for telemetry tracking feed

그림 11은 접지면 테두리 금속벽 높이 H_3 에 따른 5.12GHz에서 피드의 패턴특성으로서 H_3 에 따라 특히 축비특성이 소폭으로 변화하는 것을 알 수 있다. 최적값은 15mm로 하였다.

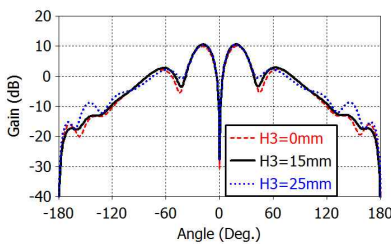
상호결합 효과에 의해 교차 다이폴의 특성이 변화한다. 상호결합의 효과를 감소시키기 위해 그림 9(b)에서와 같이 중앙의 합패턴 소자를 차패턴 소자보다 접지면으로부터 높이 H_1 만큼 높게 설치하였다.



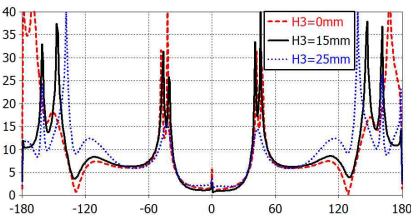
(a) 합패턴 이득 (Sum gain)



(b) 합패턴 축비 (Sum axial ratio)



(c) 고각 차패턴 이득 (Elevation difference gain)

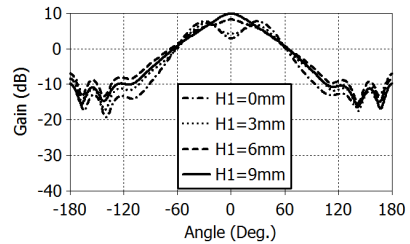


(d) 고각 차패턴 축비 (Elevation difference axial ratio)

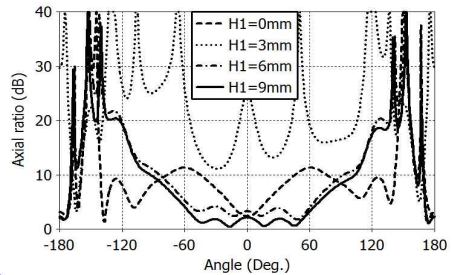
그림 11. 접지면 높이에 따른 피드의 패턴
Fig. 11. Feed patterns versus height of ground plane wall

그림 12는 높이 H_1 에 따른 합패턴 특성변화이다. 축비패턴과 이득패턴 특성이 H_1 의 9mm일 경우 가장 양호하다. 최적 설계된 피드의 합패턴은 최대이득 10dBi, 부엽준위 -21.2dB, -10dB빔폭 $\pm 64^\circ$ 의 특성을 가지며 차패턴은 최대이득 10.6dBi, 영점이득 -30dB, 부엽준위 -7.7dB의 특성을 가진다.

그림 13과 그림 14는 최종 설계된 피드의 위상패턴과 반사계수이다. 피드의 위상중심은 접지면으로부터 44mm 높이에 있다. 합패턴은 피드 조사각인 $\pm 64^\circ$ 이내에서 거의 균일한 위상특성을 보인다. 차패턴의 경우 소자 간의 거리가 과다한 관계로 $\pm 40^\circ$ 이상의 각도에서 균일한 위상특성에서 벗어난다.



(a) 이득 (Gain)



(b) 축비 (Axial ratio)

그림 12. 접지면으로부터의 높이에 따른 피드의 합패턴
Fig. 12. Feed's sum pattern versus height from the ground plane

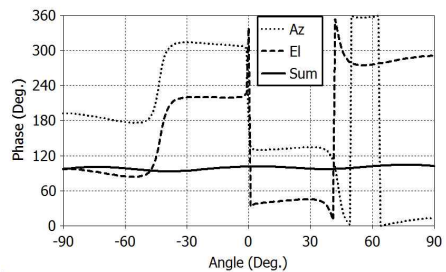


그림 13. 설계된 피드의 위상패턴

Fig. 13. Phase patterns of the designed feed

그림 14로부터 피드에 사용된 교차 다이폴의 반사계수는 4.8-5.6GHz에서 모두 -15dB 이하임을 알 수 있다. 표 2에 설계된 피드의 치수를 제시하였다.

마지막으로 설계된 피드를 직경 1300mm, 초점거리 520mm인 전방급전 포물 반사경에 적용하였다.

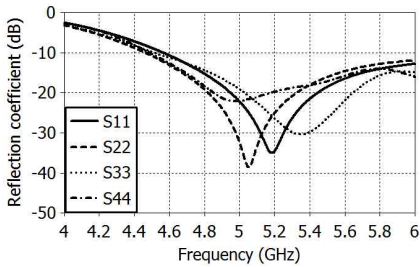


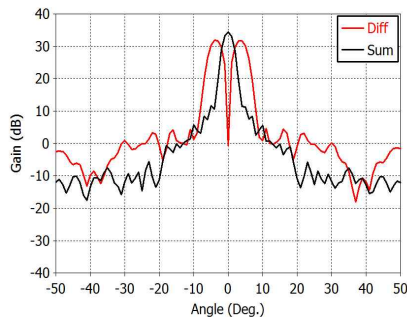
그림 14. 설계된 피드의 반사계수

Fig. 14. Reflection coefficients of the designed feed

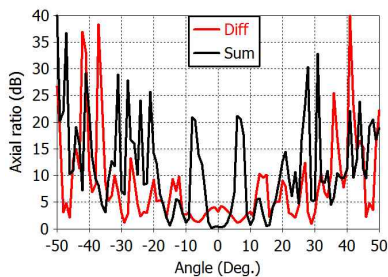
표 2. 설계된 피드의 치수(단위: mm)

Table 2. Dimensions of the designed feed(unit: mm)

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
D_0	41.00	D_2	130.00	S_1	28.28	H_1	9.00
D_1	136.00	D_3	39.00	L_1	28.28	H_3	15.00



(a) 이득 (Gain)



(b) 축비 (Axial ratio)

그림 15. 반사경 안테나 특성

Fig. 15. Reflector antenna characteristics

그림 15는 5.12GHz에서 반사경 안테나의 이득과 축비 패턴이다. 합패턴 이득은 34.5dBic(개구효율 57.5%), 빔폭 2.7°, 부엽준위 -23dB, 축비 0.35dB, 고각 차패턴 이득은 31.9dBic, 이득 교차각 $\pm 1.9^\circ$, 영점이득 0dBic, 부엽준위 -27.3dB, 축비 6.9dB로서 설계된 교차 다이폴이 적용된 피드는 양호한 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 최근에 새로이 활용되기 시작한 C-대역 텔레메트리 추적 피드에 적합한 교차 다이폴의 설계를 제안하였다. 별론이 내장된 마이크로스트립 급전선에 의해 여기되는 2개의 인쇄형 다이폴을 원형 공동에 교차되게 설치하여 양호한 성능을 얻을 수 있었다. 설계된 교차 다이폴은 4.8-5.6Hz에서 -15dB이하의 반사계수, 5.12GHz에서 합패턴 이득 10dBic, 축비 2.2dB, 차패턴 이득 10.6dBic, 영점이득 -30dB, 축비 2.8dB의 특성을 보였다. 설계된 교차 다이폴을 이용하여 텔레메트리 추적 반사경용 피드를 설계하였다. 설계된 피드를 직경 1300mm 반사경 안테나에 적용한 결과 반사경 안테나는 텔레메트리 추적용에 적합한 양호한 특성을 가짐을 확인하였다. 본 논문에서 제안된 교차 다이폴은 C-대역에서 원격추정, 추적 및 통제를 텔레메트리 추적 피드 개발에 유용하게 사용될 수 있다고 판단된다.

References

- [1] F. Carden, R. Jedlicka, and R. Henry, Telemetry Systems Engineering, Boston: Artech House, 2002.
- [2] H. L. Stiltz, Ed., Aerospace Telemetry, New York: Prentice-Hall, Volume I (1961), Volume II (1966).
- [3] M. Rice, "The challenges of C-band missile telemetry", Tech. Report No. AFFTC-PA-12423, US Air Force.
- [4] S. Sherman, Monopulse Principles and Techniques, Boston, MA, Artech House, 1984.
- [5] V. Y. Lo, "Ka-band monopulse antenna-pointing

systems analysis and simulation", NASA TDA Progress Rep. 42-124, Feb. 1996.

- [6] R. E. Webster, "The ultimate S-band monopulse focal-point feed", IEEE Trans. Aerospace Electron. Sys., Vol. 2, No. 2, pp. 61-67, Nov. 1966.
- [7] S. R. Jo, Y. S. Jung, D. H. Kim, C. Y. Oh, and B. C. Ahn, "Design of a dual-polarized monopulse antenna employing crossed dipoles", Journal of KIIT, Vol. 11, No. 11, pp. 75-82, Nov. 2013.
- [8] V. K. Panasa, R. Chivukula, and K. Sreekumar, "Dual polarized monopulse tracking feed for prime focal reflector antenna at S-band using crossed dipole elements", Proc. 12th European Radar Conf., pp. 361-364, 9-11 Sept. 2015.
- [9] S. Y. Eom, I. P. Hong, and J. M. Kim, "Broadband printed crossed-dipole element with four polarization reconfigurations for mobile base station array", Int. Jour. Antennas Propagat., pp. 1-10, Apr. 2011.
- [10] J. H. Bang, S. W. Choi, J. W. Noh, J. Y. Lim, D. H. Kim, D. O. Kim, and B. C. Ahn, "A new dual circularly polarized feed employing a dielectric cylinder-loaded circular waveguide open end fed by crossed dipoles", Int. Jour. Antennas Propagat., Vol. 2016, pp. 1-7, Dec. 2016.
- [11] S. L. Zuo, Q. Q. Liu, and Z. Y. Zhang, "Wideband dual-polarized crossed-dipole antenna with parasitical crossed-strip for base station applications", PIER-C, Vol. 48, pp. 159-166, Mar. 2014.

저자소개

박 영 규 (Young-Kyu Park)



2016년 2월 : 충북대학교
정보통신공학과(공학사)
2016년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파공학과 석사과정
관심분야 : 안테나 및 RF 회로
설계

노 준 우 (Joon-Woo Noh)



2016년 2월 : 충북대학교
정보통신공학과(공학사)
2016년 9월 ~ 현재 : 충북대학교
전파공학과 석사과정
관심분야 : 안테나 설계, RF
시스템 설계

안 병 철 (Bierng-Chearl Ahn)



1981년 2월 : 서울대학교
전기공학과(공학사)
1983년 2월 : 한국과학기술원
전기전자공학과(석사)
1992년 12월 : University of
Mississippi 전기전자공학과(박사)
1983년 ~ 1986년 (주) 금성정밀

주임연구원

1992년 ~ 1994년 : 국방과학연구소 선임연구원
1995년 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 교수
관심분야 : 전자파 응용, 안테나