

전자기적 결합을 이용한 원편파 크로스-다이폴 마이크로스트립 어레이 안테나의 설계

민경식*, 임정남*, 김동철*, 임학규*, Hiroyuki Arai**

*한국해양대학교 전파공학과, **요코하마 국립대학 정보통신공학과

Design for Circularly Polarized Microstrip Cross Dipole Array Antenna by Electromagnetic Coupled Technique

Kyeong-Sik Min*, Jung-Nam Lim*, Dong-Chul Kim*,
Hag-Gyu Lim* and Hiroyuki Arai**

*Department of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University
#1, Dongsam-Dong, Youngdo-Ku, Pusan 606-791, Korea
Tel : 051-410-4425 / E-mail : ksmin@hanara.kmaritime.ac.kr

**Division of Electrical and Computer Engineering, Yokohama National University
79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240, Japan
Tel : +81-45-339-4260 / E-mail : arai@arailab.dnj.ynu.ac.jp

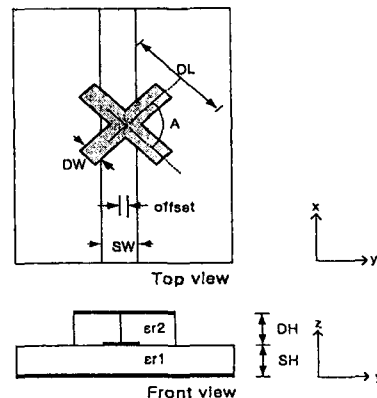
Abstract

This paper describes a design for microstrip EMC cross dipole array antenna with circular polarization. To realize the wide bandwidth and circular polarization, the electromagnetic-coupled cross dipole is used. To obtain the uniform aperture illumination, offset technique for array is adopted. In 20-element array design, the calculated axial ratio and gain are about 0.1 dB and 9.9 dBi at 12 GHz, respectively. The frequency characteristics of a fabricated 20-element array antenna are measured. The calculated results agree well with the measured ones.

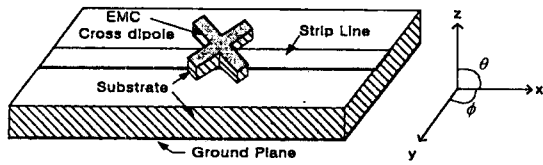
I. 서론

오늘날 위성을 이용한 이동통신 및 위성방송의 급격한 증가 추세에 따라 마이크로스트립 안테나는 많은 무선통신 시스템의 안테나 복사소자로서 널리 사용되고 있다. 기존의 위성방송 수신용 파라볼라 안테나는 눈, 비, 바람 등 외부환경으로 인한 영향을 비교적 많이 받는다는 단점을 가지고 있었기 때문에, 이에 대한 대안으로 평면안테나의 연구가 활발히 진행중이다[1]. 원편파 특성을 갖는 프린트 안테나 소자는 많이 있으나, 마이크로스트립을 이용하였을 경우, 심각한 문제 중 하나는 높은 주파수대에서 협대역폭을 갖고 있다는 것이다. 마이크로스트립 안테나의 이러한 문제점을 해결하기 위해 급진선로와 복사소자간의 전자기적 결합특성을 이용한 광대역화에 관한 연구가 진행되어 왔다[2][3]. 본 논문에서는 이를 응용한 EMC(Electro-Magnetic Coupled) Cross dipole를 제안한다. Fig. 1의 (a)와 (b)

는 본 논문에서 제안한 안테나 복사소자의 해석모델을 보여준다.



(a) Analysis model



(b) Geometry of antenna model

Fig. 1. The antenna composed of microstrip line and EMC Cross dipole

EMC 다이폴은 급전 마이크로스트립 라인에 의해 약하게 결합되어 전파를 복사하게 된다. 복사소자의 원편파 특성을 실현하기 위해, EMC Cross 다이폴 복사소자를 제안하고 있으며 이에 대한 최적의 설계파라미터의 도출 결과에 대하여 기술한다. 반사 및 투과특성과 복사파워는 EMC Cross 다이폴과 급전 마이크로스트립 선로 사이의 간격을 조정함으로써 안테나의 광대역 특성을 얻을 수 있다. 그 외의 파라미터인 마이크로스트립 선로 위의 유전체에 대한 비유전율 ϵ_{r2} , 다이폴 각도 A 그리고 다이폴 길이 DL 등이 반사특성에 민감한 영향을 준다는 것을 알았다. 단일 소자에서의 특성을 고려하여 20소자 어레이 안테나의 설계를 행하였다.

II. 단일 복사소자의 설계

II-1. 설계 파라미터

단일 복사소자 안테나의 해석구조를 Fig. 1에 나타내었다. 제안한 안테나는 급전 마이크로스트립 선로와 그 위에 유전체를 사이에 두고 원편파를 발생시키기 위한 EMC Cross 다이폴로 구성되어 있다. 설계 파라미터로는 다이폴길이(DL), 폭(DW), 각도(A)와 급전 마이크로스트립 라인과 복사소자간의 간격(DH), 비유전율(ϵ_{r2}) 등이 있다. 설계 중심주파수는 무궁화 위성의 위성방송용 주파수대역인 12 GHz 대역으로 하였다. Table 1은 12 GHz에서 구한 안테나의 설계 파라미터 값들이다.

Table 1. Design parameters of model antenna

EMC dipole length (DL)	9.0 mm
EMC dipole width (DW)	1.2 mm
EMC dipole height (DH)	1.8 mm
Dielectric constant of upper layer (ϵ_{r2})	2.1
EMC dipole angle (A)	75°
Microstrip line width (SW)	2.2 mm
Microstrip line height (SH)	0.8 mm
Dielectric constant of lower layer (ϵ_{r1})	2.6

급전 마이크로스트립 선로의 설계 파라미터는

중심주파수 12 GHz에서 폭(SW)=2.2 mm, 유전체의 두께(SH)=0.8 mm 그리고 유전율(ϵ_{r1})=2.6일 때 복사파워가 14.44 %로 최적의 특성을 나타냈기 때문에 설계를 위한 계산에서 상수로 사용하였다[4],[5].

II-2. 계산결과

Fig. 3은 Table 1의 설계 파라미터를 이용하여 계산했을 때의 MoM을 적용한 상용 소프트웨어인 Ensemble과 FDTD법[6]의 계산결과에 의한 반사 및 투과특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 12 GHz에서 최대 복사파워를 나타내고 있으며, 넓은 주파수대역에서 -20 dB이하의 반사특성을 나타내고 있어 광대역 특성을 만족시켰다. 12 GHz에서 Ensemble과 FDTD법으로 계산한 복사파워는 각각 14.44 %와 15.72 %로 유사한 결과를 얻었다[4],[5].

Fig. 4는 Table 1에 주어진 설계 파라미터로 계산한 복사패턴의 Ex와 Ey성분을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 넓은 각도에서 걸쳐 양호한 원편파 특성을 나타내고 있으며, 정면방향에서의 Cross polarization의 레벨도 약 -58 dB를 보여준다.

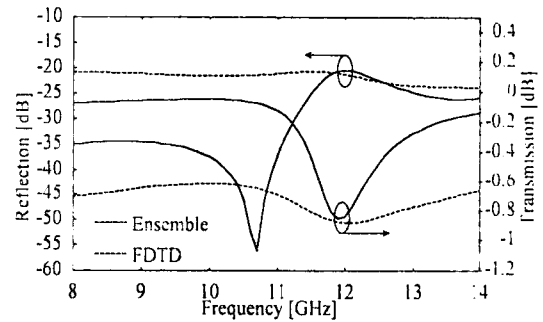


Fig. 3. The calculated S11 & S21 of the model antenna with the parameters given in Table 1.

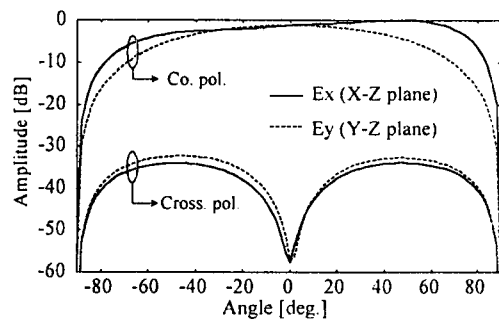


Fig. 4. The calculated radiation patterns of the model antenna at 12 GHz

II-3. Offset에 따른 특성변화

어레이 안테나를 설계하기 위해서는 소자간의 간격

(d)과 각각의 소자에서 복사되는 복사파워를 고려해야 된다. 먼저 각 소자로부터 복사되는 복사파워를 일정하게 하기 위해서 급전 마이크로스트립 선로의 입력포트에 가까운 소자의 복사파워는 작게 하고 점점 복사파워를 크게 하여 반사는 최소로 하면서 균일한 파워가 복사되도록 설계한다. 이를 위해서는 각 소자마다 유전율(ϵ_{r2}), 거리(DH), 다이폴 각도(A) 등을 변화시켜가면서 그 특성을 조사하는 것이 일반적이다. 그러나 ϵ_{r2} , DH와 A 등이 각각 변화를 한다면 제작하기 어려운 단점을 가지고 있기 때문에, 본 논문에서는 이들 파라미터를 일정하게 두고 급전 마이크로스트립 선로의 중심과 EMC 다이폴의 중심과의 Offset에 변화를 주어 제작의 용이성을 충분히 고려한 설계를 행하였다.

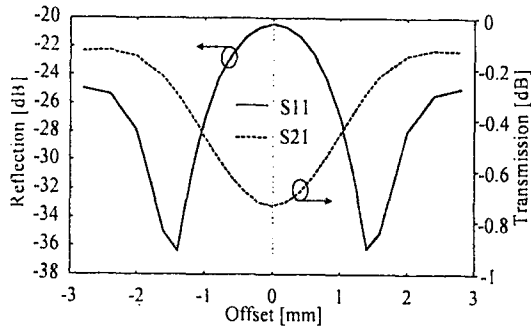


Fig. 5. S11 & S21 as functions of the variations of offset

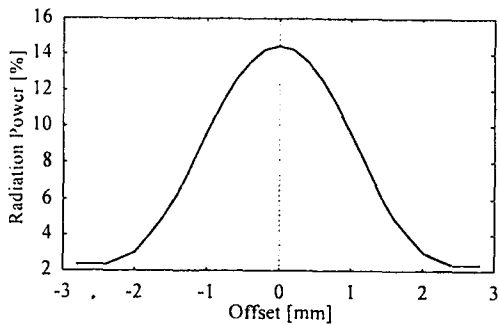


Fig. 6. Radiation power as functions of the variations of offset

Fig. 5와 6은 Offset의 변화에 따른 반사와 투과계수 그리고 복사파워를 나타낸다. EMC 다이폴이 마이크로스트립 선로의 정 중앙에 위치했을 때 복사파워가 14.11%로 최대가 되며 좌우로 이동했을 때 복사파워는 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 따라서 복사소자를 어레이 하고자 할 때 Fig. 6의 Offset 데이터를 이용하여 각 소자마다 균일한 복사파워를 발생시킬 수 있도록 조정하면 안테나의 효율을 극대화시킬 수 있다.

III. 어레이 안테나의 설계

III-1. 10-Element Array

단일 복사소자 안테나의 설계를 통해 얻은 Table 1의 설계 파라미터를 적용하여 10소자 어레이 안테나를 설계하였다. 먼저 각 소자에서 균일한 복사파워를 발생시키기 위해 Fig. 6의 Offset 결과를 적용하였다. Fig. 7은 EMC Cross 다이폴 10소자 어레이 안테나를 위에서 본 구조이다.

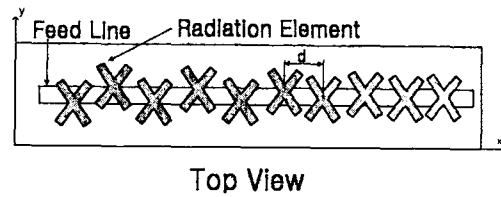


Fig. 7. 10-element array antenna using microstrip EMC Cross dipole

Fig. 7에서 d는 소자간의 간격을 나타낸다. Offset은 입력측에서부터 대칭적으로 각각 1.4, -1.4, 1.2, -1.2, -1.1, 1.0, 0.9, -0.8, 0.4, 0 mm로 하여 지그재그식으로 어레이 하였다. 이 Offset 수치는 설계에서 각 소자마다 약 6%의 복사파워를 가질 때의 값이다. Fig. 8은 10소자 어레이에 계산된 Ex와 Ey성분의 복사패턴을 나타낸다. 주빔의 Ex성분과 Ey성분이 거의 일치하고 있어 원편파를 복사하고 있음을 알 수 있으며, 또한 소자 사이의 간격 d의 변화에 의해 주빔의 지향각도가 이동하고 있음을 알 수 있다. d의 간격이 8.0 mm일 때 빔이 정면방향으로 향하고 있으며 d를 ± 0.5 mm씩 변화시켰을 때, 주빔의 방향이 약 $\pm 8^\circ$ 씩 이동하였다. 소자간의 상호 결합으로 인해 소자사이의 간격 d가 $\lambda_w/2$ 보다 조금 작은 8.0 mm일 때 빔의 방향이 정면으로 향하는 것을 알 수 있다.

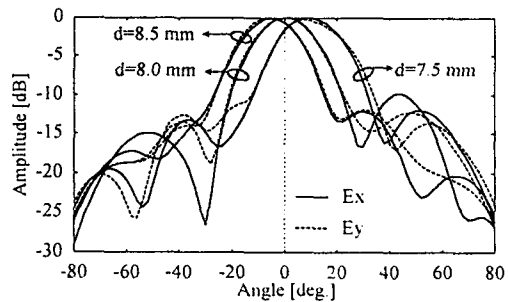


Fig. 8. Radiation patterns of 10-element array antenna with the microstrip EMC Cross dipole

III-2. 급전 구조

Fig. 9는 마이크로스트립 T-junction power splitter를 나타낸다.

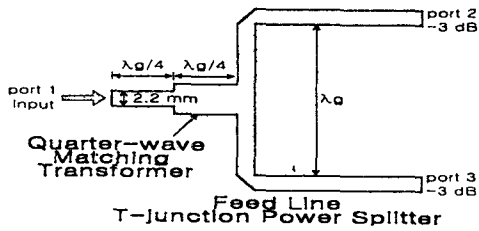


Fig. 9. Microstrip T-junction power splitter with quarter-wave matching transformer

20소자 어레이 안테나를 설계하기 위해서는 port 1에서 입력된 입력파가 port 2와 port 3로 -3 dB씩 나누어져야 하기 때문에 T-junction를 적용하였고, 그림으로부터 알 수 있는 것처럼 각 포트를 50 Ω으로 매칭시키기 위해 Quarter-wave matching transformer를 사용하였다[7][8].

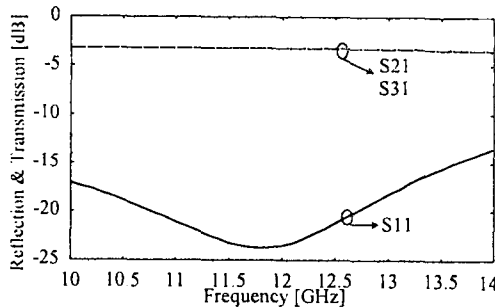


Fig. 10. The calculated S11 & S21 of the microstrip T-junction power splitter with quarter-wave matching transformer

Fig. 10은 quarter-wave matching transformer를 가진 T-junction power splitter의 반사와 투과특성을 나타낸 것이다. 반사계수가 -20 dB이하인 주파수대역은 10.77 ~ 12.72 GHz로 대역폭이 약 2 GHz이고, S21 및 S31은 12 GHz에서 각각 -3.13 dB와 -3.18 dB를 나타내고 있어 안테나 급전 마이크로스트립 선로로써 좋은 특성을 나타내고 있다.

III-3. 20-Element Array

Fig. 11은 위에서 설계한 마이크로스트립 T-junction power splitter 급전 선로 위에 유전체를 사이에 두고 20개의 EMC Cross 다이폴 소자를 어레이 한 안테나의 구조를 나타낸다.

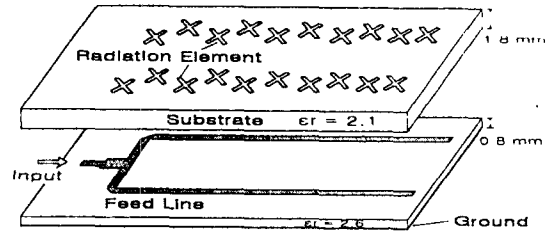


Fig. 11. 20-element array antenna using microstrip EMC Cross dipole

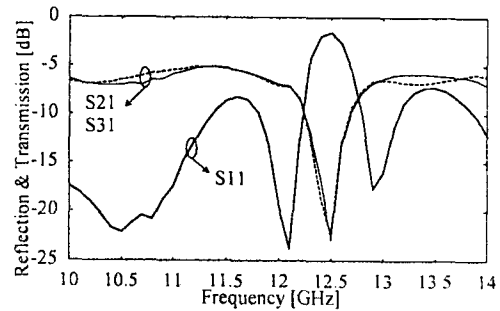


Fig. 12. The calculated S11 & S21 of 20-element array antenna

복사소자의 파라미터는 Table 1에 따랐다. Fig. 12는 d=8.0 mm일 때 20소자 어레이 안테나의 반사 및 투과특성을 나타낸다. 12 GHz에서 복사파워는 약 73 %로 계산되었다. Fig. 13은 소자사이의 간격 d의 변화에 따른 Ex와 Ey성분의 복사패턴을 나타내었다.

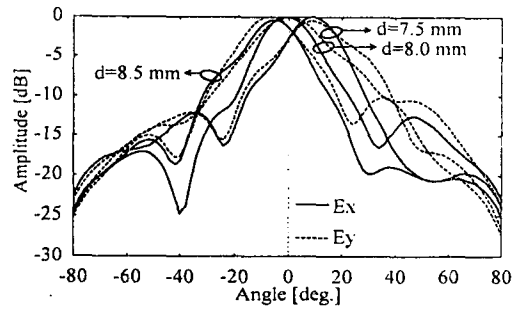


Fig. 13. Radiation patterns of 20-element array antenna

10 소자 어레이 안테나에서와 같이 d가 변화함에 따라 빔의 방향이 변화하고 있음을 알 수 있다. 하지만 d=8.0 mm일 때 3 dB 빔폭을 가지는 각도가 -18° ~ 20° 정도이며 축비는 약 1 dB를 나타내고 있어 좋은 원편파 특성을 보여주고 있다. Fig. 14는 계산된 10소자와 20소자 어레이 안테나의 이득을 나타내었다. 12 GHz에서 10소자와 20소자 어레이 안테나의 이득은 각각 7.6 dBi와 9.9 dBi로 2.3 dB 차이가 있으며, 12 GHz에서 최고값을 나타내었고 점차 이득이 낮아지고 있음을 확인하였다.

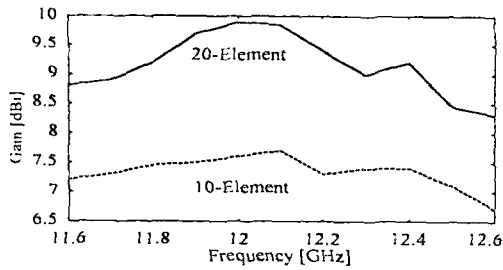


Fig. 14. The calculated gain of the microstrip EMC Cross dipole array antenna

IV. 측정 결과

Fig. 15는 위에서 설계한 20-element array antenna를 제작한 사진이다. 2개의 마이크로스트립기판으로 이루어져 있으며, 아래의 기판은 급전선으로 되어 있으며, 그 위의 기판은 복사소자로 되어 있다.



Fig. 15. Photograph of the fabricated 20-element array antennas

20-element array antenna의 주파수 특성 계산 결과와 측정 결과를 Fig. 16에 나타내었다.

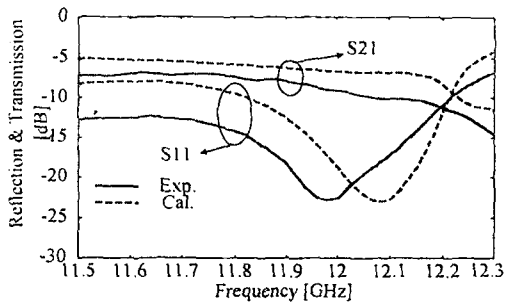


Fig. 16. The calculated and the measured results of the 20-element array antennas

투과계수(S21)의 경우, 계산치와 측정치가 약 2 dB의 차이를 보이고 있고, 반사계수(S11)의 경우 측정치가 약 100 MHz정도 이동되었다. 이는 제작상의 오차로 인한 것으로 사료된다. 하지만 반사계수의 특성이 DBS 대역에 걸쳐 -14 dB이하로 양호하며, 측정치와 계산치가 상당히 일치하는 특성을 보이고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 광대역과 원편파 특성을 얻기 위해 급전 마이크로스트립 선로와 EMC Cross 다이폴 복사소자로 구성된 단일소자 안테나를 설계 특성과 이득 특성을 이용한 10소자 및 20소자 어레이 안테나의 설계와 측정결과를 제시하고 있다. EMC Cross 다이폴과 급전 마이크로스트립 선로사이의 전자기적 결합을 계산하기 위해 상용 소프트웨어인 Ensemble과 FDTD법을 사용하였다. 단일소자의 설계를 통해 DH, ϵ_{eff} , A 그리고 DL 등의 설계값을 얻었고, 이 값들을 이용하여 어레이 설계를 행하였다. 또한 어레이 안테나의 설계와 제작의 용이성을 위해 Offset에 따른 복사파워를 계산하여 각 소자에서 균일한 복사파워를 가질 수 있도록 소자들을 지그재그형으로 배열하였다. 어레이 급전구조는 각 port마다 50 Ω 로 정합시키기 위해 Quarter-wave matching Transformer를 적용한 T-junction을 사용하였다. 10소자 어레이와 20소자 어레이 안테나의 계산된 복사패턴은 양호한 원편파특성을 나타내었고, 소자사이의 간격 조정에 의한 주빔 방향의 조정도 가능함을 알 수 있었다. 또한 어레이 안테나의 이득은 설계주파수인 12 GHz에서 각각 7.6 dBi와 9.9 dBi로 계산되었다. 20소자 어레이 안테나를 실제로 제작하여 방사특성과 투과특성을 측정하였고, 계산치와의 비교를 통해 본 연구의 타당성을 증명하였다.

참고문헌

- [1] K. Kechagias, E. Vafiadis and J. N. Sahalos, "On the RLSA antenna optimum design for DBS reception", IEEE Trans. on Broadcastion, vol. 44, no. 4, pp. 460-469, 1998.
- [2] JR. James and PS. Hall, "Handbook of microstrip antenna", Ch. 5, IEE, 1989.
- [3] K. S. Min, S. H. Park, D. C. Kim and H. Arai, "Design for microstrip array antenna with EMC dipole for communication satellite system", KIMICS, vol. 3, no. 2, pp. 120-124, 1999.
- [4] 민경식, 임정남, 김동철, 임학규, Hiroyuki Arai "마이크로스트립 원편파 X자형 EMC 다이폴 어레이 안테나에 관한 연구", 마이크로파 및 전파전 과학술대회, 2000. 5.
- [5] K. S. Min, J. N. Lim, D. C. Kim, H. G. Lim and H. Arai "Design for Microstrip Antenna with EMC Cross Dipole for Circular Polarization", International Symposium on Antenna & Propagation, 2000. 8
- [6] E. Yamasita and Qian, "FDTD analysis of microwave planer circuits and antennas", Realize Inc., 1996.
- [7] E. H. Fooks and R. A. Zakarevicius, "Microwave engineering using microstrip circuits", Prentice Hall, 1990.
- [8] K. C. Gupta, R. Garg, and I. J. Bahl, "Microstrip lines and slotlines", Artech, 1979.