

# 전자기 결합기법을 이용한 원편파 마이크로스트립 크로스 다이폴 어레이 안테나의 설계

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

민 경 식 · 임 정 남

Kyeong-Sik Min · Jung-Nam Lim

### 요 약

본 논문에서는 광대역 특성을 가지는 원편파 마이크로스트립 EMC 크로스 다이폴 어레이 안테나의 설계에 관하여 기술하고 있다. 광대역 특성과 원편파 특성을 실현하기 위해, 급전선과 전자기적으로 결합하는 크로스 다이폴 소자를 제안한다. 원편파 EMC 크로스 다이폴 소자의 최적 설계 파라미터들은 FDTD와 앙상블에 의해 계산되었다. 어레이에 있어서 전계의 균일한 개구분포를 얻기 위하여, 크로스 다이폴 소자들을 마이크로스트립 급전선로를 중심으로 하여 지그재그로 배치하는 Offset 기법을 사용하였다. 20소자 어레이 설계로부터 12 GHz 에서 계산된 축비와 이득은 각각 0.1 dB와 9.9 dBi였다. 제작된 20소자 어레이 안테나의 주파수 특성이 측정되었고 계산 결과와 잘 일치하였다.

### Abstract

This paper describes a design for the circularly polarized microstrip EMC cross dipole array antenna with the wide bandwidth. To realize the characteristics of wide bandwidth and circular polarization, the electromagnetic-coupled cross dipole element is proposed. The optimum design parameters of a circularly polarized EMC cross dipole element are calculated by the FDTD and the Ensemble. To obtain the uniform aperture illumination of electric field in an array, offset technique that the cross dipole elements are alternatively arranged on center of the microstrip feed line 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. 서 론

오늘날 위성을 이용한 이동통신 및 위성방송의 급격한 증가 추세에 따라 마이크로스트립 안테나는 많은 무선통신 시스템의 안테나 복사소자로서 널리 사용되어지고 있다. 기존의 위성방송 수신용 파라볼

라 안테나는 눈, 비, 바람 등 외부환경으로 인한 영향을 비교적 많이 받는다는 단점을 가지고 있었기 때문에, 이에 대한 대안으로 평면안테나의 연구가 활발히 진행 중이다<sup>[1]</sup>. 원편파 특성을 갖는 프린트 안테나 소자는 많이 있으나, 마이크로스트립을 이용하였을 경우, 심각한 문제 중 하나는 높은 주파수대

한국해양대학교 공과대학 전파공학과(Department of Radio Sciences & Engineering, College of Sciences and Engineering, Korea Maritime University)

· 논문 번호 : 20001104-07S

· 수정완료일자 : 2000년 12월 19일

에서 협대역폭을 갖고 있다는 것이다. 마이크로스트립 안테나의 이러한 문제점을 해결하기 위해 급전선로와 복사소자간의 전자기적 결합특성을 이용한 광대역화에 관한 연구가 진행되어 왔다<sup>[2],[3]</sup>. 또한 마이크로스트립의 형상이나 급전구조를 이용하여 원편파를 실현하기 위한 연구도 다각도로 추진되어 왔다<sup>[4]~[6]</sup>. 본 논문에서는 광대역 특성과 원편파 특성을 구현하기 위하여 전자기 결합 기법과 마이크로스트립 형상을 응용한 EMC(Electro-Magnetic Coupled) Cross dipole를 제안한다. 그림 1의 (a)와 (b)는 본 논문에서 제안한 안테나 복사소자의 해석모델과 설계파라미터 그리고 3차원 구조를 보여 주고 있다.

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

## II. 단일 복사소자의 설계

### 2-1 설계 파라미터

단일 복사소자 안테나의 해석구조와 설계를 통하여 구해야 할 각 파라미터들을 그림 1에 나타내었다. 제안한 안테나는 급전 마이크로스트립 선로와 그 위에 유전체를 사이에 두고 원편파를 발생시키기 위한 EMC 크로스 다이폴로 구성되어 있다. 설계 파라미터로는 다이폴 길이(DL), 다이폴 폭(DW), 다이폴 사이의 각도(A)와 급전 마이크로스트립 라인 과 복사소자간의 높이(DH), 비유전율( $\epsilon_r2$ ) 그리고 Offset 등이 있다. 그 외에 기판의 두께(SH)와 폭(SW)은  $50\Omega$ 에 맞추어 설계한 값을 사용하였고, 비

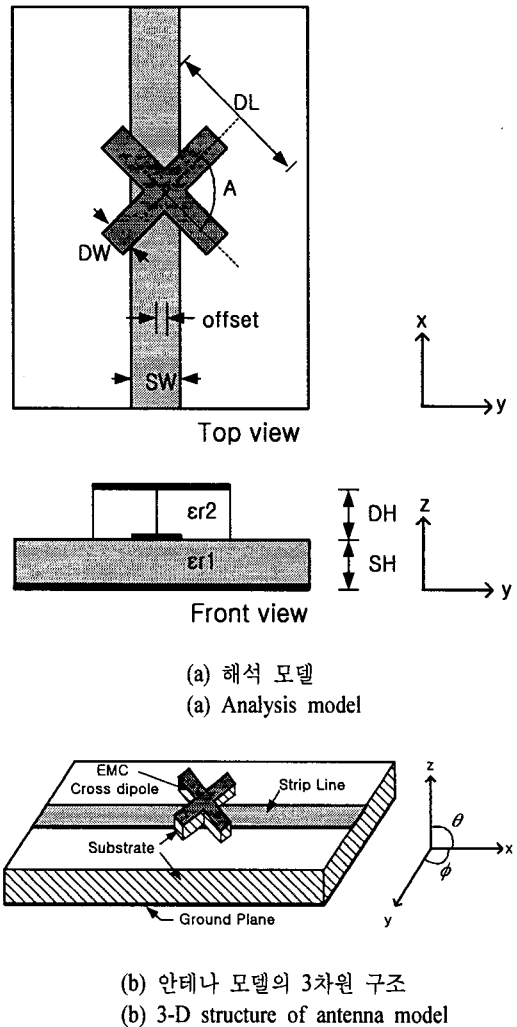


그림 1. 마이크로스트립 선로와 EMC 크로스 다이폴로 구성된 안테나 소자

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

유전율( $\epsilon_r1$ )은 기판에 의존한 값을 설계에 사용하였다. 설계 주파수는 무궁화 위성의 위성방송용 주파수대역인 12 GHz대역으로 하였다. 표 1은 12 GHz에서 구한 안테나의 설계 파라미터 값들이다.

급전 마이크로스트립 선로의 설계 파라미터는 중심주파수 12 GHz에서 선로 폭(SW) = 2.2 mm, 유전체의 두께(SH) = 0.8 mm 그리고 유전율( $\epsilon_r1$ ) = 2.6 일 때, 복사파워가 14.44 %로 최적의 특성을 나타냈기 때문에 설계를 위한 계산에서 상수로 사용하였다<sup>[7],[8]</sup>.

표 1. 제안한 안테나의 설계 파라미터

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 ( $\epsilon_{r2}$ )	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 ( $\epsilon_{r1}$ )	2.6

2-2 계산결과

그림 2는 표 1의 설계 파라미터를 이용하여 반사 계수 및 투과계수를 계산했을 때의 MoM을 적용한 상용 소프트웨어인 Ensemble과 FDTD법<sup>[9]</sup>의 계산결과를 비교한 특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 12 GHz에서 최대 복사파워를 나타내고 있으며, 두 계산 결과 모두 넓은 주파수대역에서 -20 dB이하의 반사계수를 나타내고 있어 광대역 특성을 만족시켰다. 12 GHz에서 Ensemble과 FDTD법으로 계산한 복사파워는 각각 14.44 %와 15.72 %로 유사한 결과를 얻었다<sup>[7],[8]</sup>.

그림 3은 12 GHz에서 표 1에 주어진 설계 파라미터로 계산한 복사패턴의 Ex와 Ey성분을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 넓은 각도에서 걸쳐 양호한 원편파 특성을 나타내고 있으며, 정면방향에서

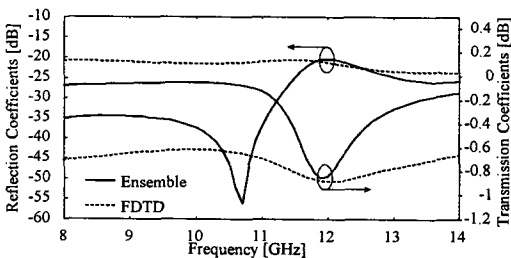


그림 2. 표 1의 파라미터를 이용한 모델 안테나의 계산된 반사 및 투과계수

Fig. 2. The calculated  $S_{11}$  &  $S_{21}$  of the model antenna with the parameters given in Table 1.

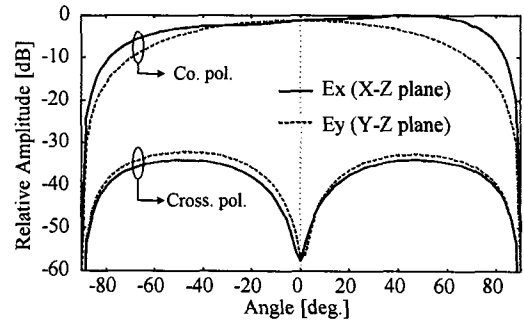


그림 3. 12 GHz에서 계산된 모델 안테나의 복사패턴  
Fig. 3. The calculated radiation patterns of the model antenna at 12 GHz.

의 축비는 약 0.01 dB이고, cross polarization의 레벨도 약 -58 dB를 보여준다.

2-3 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 최종적으로 균일한 파워가 복사되도록 설계한다. 이를 위해서는 각 소자마다의 비유전율, 다이폴과 선로와의 거리, 다이폴 각도 등을 변화시켜 가면서 그 특성을 조사하는 것이 일반적이다. 그러나  $\epsilon_{r2}$ , DH와 A 등이 각각 변화를 한다면 제작하기 어

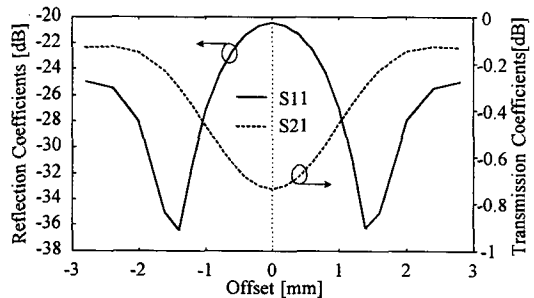


그림 4. Offset의 변화에 대한 반사계수와 투과계수  
Fig. 4.  $S_{11}$  &  $S_{21}$  as functions of the variations of offset.

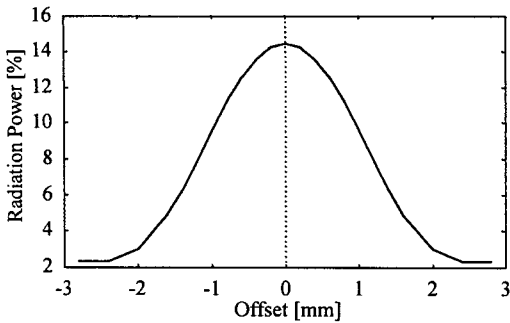


그림 5. Offset의 변화에 대한 복사파워  
Fig. 5. Radiation power as functions of the variations of offset.

려운 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.

그림 4와 5는 12 GHz에서 Offset의 변화에 따른 반사와 투과계수 그리고 복사파워를 나타낸다. EMC 다이폴이 마이크로스트립 선로의 정 중앙에 위치했을 때 복사파워가 14.44 %로 최대가 되며 좌우로 이동했을 때 복사파워는 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 따라서 복사소자를 어레이 하고자 할 때, 그림 5의 Offset 데이터를 이용하여 각 소자마다 균일한 복사파워를 발생시킬 수 있도록 조정하면 안테나의 효율을 극대화시킬 수 있다.

### III. 어레이 안테나의 설계

#### 3-1 10소자 어레이

단일 복사소자 안테나의 설계를 통해 얻은 표 1의 설계 파라미터를 적용하여 10소자 어레이 안테나를 설계하였다. 먼저 각 소자에서 균일한 복사파워를 발생시키기 위해 그림 5의 Offset 결과를 적용하였다. 그림 6은 EMC 크로스 다이폴 10소자 어레이 안테나를 위에서 본 구조이다.

그림 6에서  $d$ 는 소자간의 간격을 나타낸다. 소자의 위치는 그림 4와 5의 계산 결과를 이용하여 Offset을 입력측에서부터 대칭적으로 각각 1.4, -1.4, 1.2, -1.2, -1.1, 1.0, 0.9, -0.8, 0.4, 0 mm로

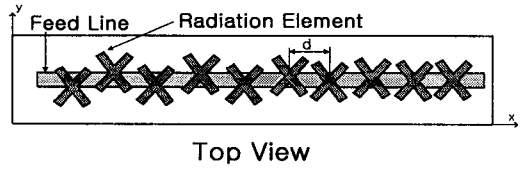


그림 6. 마이크로스트립 EMC 크로스 다이폴을 이용한 10소자 어레이 안테나의 구조  
Fig. 6. The structure of 10-element array antenna using microstrip EMC cross dipole.

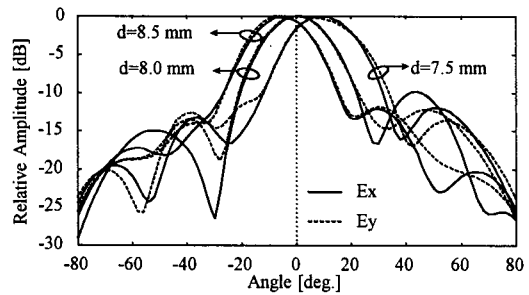


그림 7. 12 GHz에서 마이크로스트립 EMC 크로스 다이폴을 이용한 10소자 어레이 안테나의 복사패턴  
Fig. 7. Radiation patterns of 10-element array antenna with the microstrip EMC cross dipole at 12 GHz.

하여 지그재그식으로 어레이 하였다. 이 Offset 수치는 설계에서 각 소자마다 약 6 %의 복사파워를 가질 때의 값이다<sup>[7],[8]</sup>. 그림 7은 10소자 어레이를 하였을 때 계산된 x-z면의 Ex성분과 Ey성분의 복사패턴을 나타낸다. 주 빔의 Ex성분과 Ey성분이 거의 일치하고 있어 원편파를 복사하고 있음을 알 수 있으며, 또한 소자 사이의 간격  $d$ 의 변화에 의해 주 빔의 지향각도가 이동하고 있음을 알 수 있다.  $d$ 의 간격이 8.0 mm일 때 빔이 정면방향을 향하고 있으며  $d$ 를  $\pm 0.5$  mm씩 변화시켰을 때, 주 빔의 방향이 약  $\pm 8^\circ$  씩 이동하였다. 소자간의 상호 결합으로 인해 소자 사이의 간격  $d$ 가  $\lambda_g/2$ 보다 조금 작은 8.0 mm일 때 빔의 방향이 정면으로 향하는 것을 알 수 있다.

#### 3-2 급전 구조

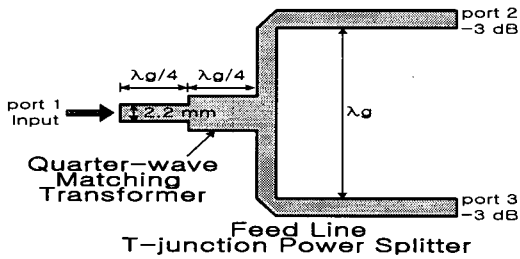


그림 8. 1/4파장 정합 변환기를 이용한 마이크로스트립 T정합 전력 분배기

Fig. 8. Microstrip T-junction power divider with quarter-wave matching transformer.

그림 8은 마이크로스트립 T-junction 전력 분배기를 나타낸다.

20소자 어레이 안테나를 설계하기 위해서는 port 1에서 입력된 파가 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<sup>[10],[11]</sup>.

그림 9는 quarter-wave matching transformer를 가진 T정합 전력 분배기의 반사와 투과계수를 나타낸 것이다. 반사계수가 -20 dB 이하인 주파수대역은 10.77~12.72 GHz로 대역폭이 약 2 GHz이고,

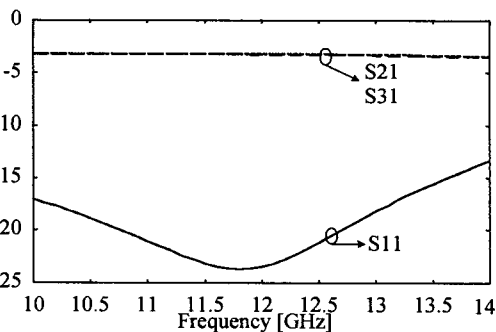


그림 9. 1/4파장 정합 변환기를 이용한 마이크로스트립 T정합 전력 분배기의 계산된 반사계수와 투과계수

Fig. 9. The calculated  $S_{11}$  &  $S_{21}$  of the microstrip T-junction power divider with quarter-wave matching transformer.

$S_{21}$  및  $S_{31}$ 은 12 GHz에서 각각 -3.13 dB와 -3.18 dB를 나타내고 있어 안테나 급전 마이크로스트립 선로로써 매우 만족할 만한 특성을 나타내고 있다.

### 3-3 20소자 어레이

그림 10은 위에서 설계한 마이크로스트립 T정합 전력 분배 급전 선로 위에 유전체를 사이에 두고 20개의 EMC 크로스 다이폴 소자를 어레이한 안테나의 구조를 나타낸다.

복사소자의 파라미터는 표 1에 따랐다. 그림 11은  $d=8.0$  mm일 때 20소자 어레이 안테나의 반사 및 투과계수를 나타낸다. 12 GHz에서 복사파워는 약 73 %로 계산되었다. 12 GHz대에서  $S_{11}$ 은 -10 dB 이하를 보이고 있고,  $S_{21}$ 과  $S_{31}$ 은 같은 진폭의 특성을 보이고 있어 양호한 신호의 분배특성을 알 수 있

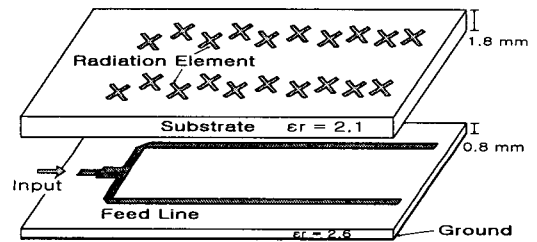


그림 10. 마이크로스트립 EMC 크로스 다이폴을 이용한 20소자 어레이 안테나의 구조

Fig. 10. The structure of 20-element array antenna using microstrip EMC cross dipole.

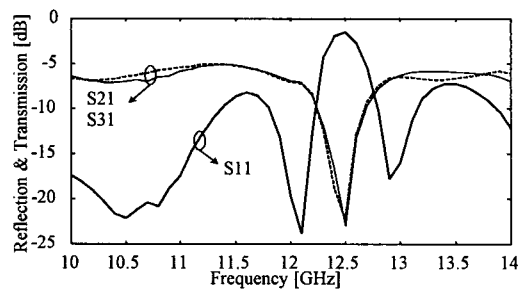


그림 11. 20소자 어레이 안테나의 계산된 반사 및 투과계수

Fig. 11. The calculated  $S_{11}$  &  $S_{21}$  of 20-element array antenna.

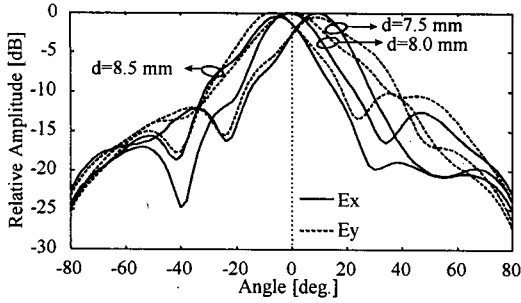


그림 12. 12 GHz에서 20소자 어레이 안테나의 복사패턴

Fig. 12. Radiation patterns of 20-element array antenna at 12 GHz.

다.

그림 12는 12 GHz에서 계산된 소자사이의 간격  $d$ 의 변화에 따른 x-z면의 Ex성분과 Ey성분의 복사패턴을 나타낸다. 10 소자 어레이 안테나에서와 같이  $d$ 가 변화함에 따라 빔의 방향이 변화하고 있음을 알 수 있다. 또한  $d=8.0$  mm일 때 3 dB 빔 폭을 가지는 각도가  $-18^\circ \sim 20^\circ$  정도이며 이 각도에서의 측비는 약 1 dB 이내를 나타내고 있어 양호한 원편파 특성을 보여주고 있다.

그림 13은 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 최고 이득을 나타내었고 점차 이득이 낮아지고 있음을 계산으로부터 확인하였다.

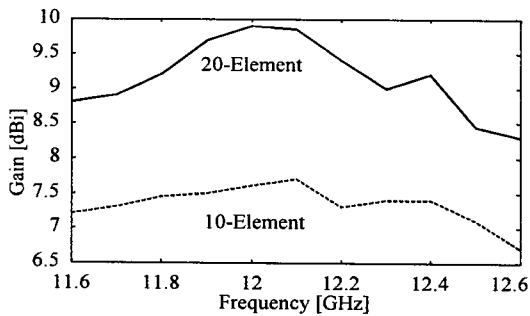


그림 13. 마이크로스트립 EMC 크로스 다이폴 어레이 안테나의 계산된 이득

Fig. 13. The calculated gain of the microstrip EMC cross dipole array antenna.

#### IV. 측정 결과

그림 14는 위에서 설계한 20소자 어레이 안테나를 제작한 사진이다. 2개의 마이크로스트립기판으로 이루어져 있으며, 아래의 기판은 급전선으로 되어 있으며, 그 위의 기판은 복사소자로 되어 있다. 고주파용 SMA 커넥터가 사용되었고, 기판은 미국의 Metclad사([www.metclad.com](http://www.metclad.com))의 것을 사용하였고 각각의 사양을 살펴보면, 접지 동판과 급전 마이크로스트립 선로 사이의 기판 유전율은 2.5, 기판의 두께는 0.7874 mm, 동박의 두께는 0.035 mm이고, 선로와 크로스 다이폴 사이의 유전율은 2.17, 두께는 1.8 mm, 동박의 두께는 0.035 mm인 테프론 기판이다.

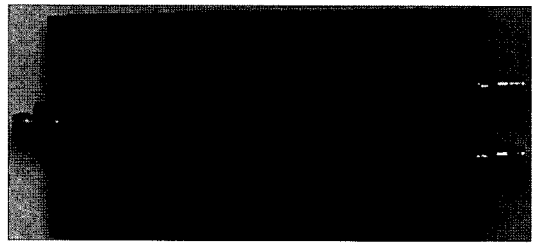


그림 14. 제작된 20소자 어레이 안테나의 사진

Fig. 14. Photograph of the fabricated 20-element array antennas.

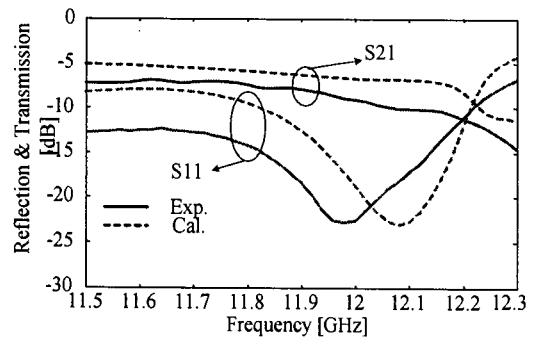


그림 15. 20소자 어레이 안테나의 계산 및 측정된 주파수 특성

Fig. 15. The calculated and the measured frequency characteristics of the 20-element array antennas.

20소자 어레이 안테나의 주파수 특성 계산 결과와 측정 결과를 그림 15에 나타내었다.

투과계수의 경우, 계산치와 측정치가 약 2 dB의 차이를 보이고 있고, 반사계수의 경우 측정치가 약 100 MHz 정도 이동되었다. 오차의 원인을 분석하여 보면, 계산에 있어서 기관의 동박 두께는 고려되지 않았으며, 비유전율의 높이도 다소 차이가 있으며, 주파수 천이는 비유전율의 차에 의해 야기된 것으로 사료된다. 또한 전체적으로 제작상의 미세한 오차와 복사소자들을 급전선로에 정확히 위치시키기 어려운 점과 DH의 정확한 높이 유지 등이 실험상으로 어려운 것 등이 복합적으로 작용한 결과라고 사료된다. 하지만 위의 원인들을 고려해 볼 때, 반사계수의 특성이 DBS 대역에 걸쳐 -14 dB 이하로 양호하며, 측정치와 계산치가 잘 일치하는 특성을 보이고 있다. 본 논문에서 제안한 어레이 안테나를 실제 사용하기 위한 안테나로 제작할 때에는 본 논문에서 파악한 문제들을 고려한 설계와 제작이 필요할 것이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 광대역과 원편파 특성을 얻기 위해 급전 마이크로스트립 선로와 EMC 크로스 다이폴 복사소자로 구성된 단일소자 안테나를 설계하여 특성을 평가하고, 이들 특성을 이용한 10소자 및 20소자 어레이 안테나의 설계와 측정결과를 제시하고 있다. EMC 크로스 다이폴과 급전 마이크로스트립 선로 사이의 전자기적 결합을 계산하기 위해 상용 소프트웨어인 Ensemble과 FDTD법을 사용하였다. 단일소자의 설계를 통해 DH,  $\epsilon_r$ , A 그리고 DL 등의 설계값을 얻었고, 이 값들을 이용하여 어레이설계를 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  $\Omega$ 으로 정합시키기 위해 Quarter-wave matching Transformer를 적용한 T-junction을 사용하였다. 10소자 어레이와 20소자 어레이 안테나의 계산된 복사패턴은 양호한 원편파특성을 나타내었고, 소자 사이의 간격 조절에 의한 주 빔

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 반사 및 투과계수를 측정하였고, 반사계수의 특성이 DBS 대역에 걸쳐 -14 dB 이하로 양호하였으며, 계산치와 비교해 볼 때 제작상의 오차 및 실험상의 오차에 기인한 다소의 오차는 있었으나 대체로 잘 일치하는 특성을 보였으며, 계산치와의 비교를 통해 본 연구의 타당성을 증명하였다.

## 감사의 글

본 연구를 수행하는 동안 많은 토론과 의견을 주신 일본 요코하마국립대학의 Hyroyuki Arai교수와 안테나의 제작과 실험에 많은 도움을 준 (주) 백금정보통신에 깊이 감사드립니다.

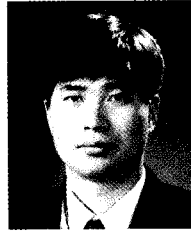
## 참 고 문 헌

- [1] K. Kechagias, E. Vafiadis, and J. N. Sahalos, "On the RLSA antenna optimum design for DBS reception," *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 44, no. 4, pp.460-469, 1998.
- [2] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of microstrip antenna*, IEE press, Ch. 5, 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] J. Watkins, "Circular Resonant Structures in Microstrip," *Electron. Lett.*, vol. 5, no. 21, pp. 524-525, 1965.
- [5] K. Ito and T. Adachi, "Novel Circularly Polarized antennas combining a slot with parasitic dipoles," *Digest of IEEE AP-S Int. Symp.*, vol. AP. 2-4, pp.52-55, Jun., 1980.
- [6] 羽石, 最新 平面アンテナ技術, (株)總合技術センター, 第 4章, 1993.
- [7] 민경식, 임정남, 김동철, 임학규, Hiroyuki Arai "마이크로스트립 원편파 X자형 EMC 다이폴

어레이 안테나에 관한 연구”, *춘계 마이크로파 및 전파전파학술대회*, vol. 23, no. 1, pp. 395-398, 2000. 5.

- [8] 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,” *Int. Symp. on Antennas & Propagation*, vol. 1, pp. 201-204, Aug., 2000.
- [9] E. Yamasita and Qian, *FDTD analysis of microwave planer circuits and antennas*, Realize Inc., 1996.
- [10] E. H. Fooks and R. A. Zakarevicius, *Micro-wave engineering using microstrip circuits*, Prentice Hall, 1990.
- [11] K. C. Gupta, R. Garg, and I. J. Bahl, *Micro-strip lines and slot lines*, Artech House, 1979.

민 경 식



1962년 1월 22일 생  
 1989년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
 1991년 2월: 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사)  
 1992년 1월: 한국해양대학교 조교  
 1992년 1월~92년 9월: 고등기술연구원 정보통신연구실 근무  
 1992년 10월~96년 9월: 동경공업대학 전기전자공학과 (공학박사)  
 1997년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 조교수  
 [주 관심분야] 위성방송 및 이동통신용 평면안테나 설계, 초고주파회로 설계

임 정 남

1975년 6월 11일 생  
 1998년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 졸업(공학사)  
 1998년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 안테나 및 초고주파 회로 설계