工學碩士 學位論文

전자기 결합을 이용한 위성방송 수신용 마이크로스트립 다이폴 어레이 안테나의 특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of Microstrip Dipole Array Antenna Using Electromagnetic Coupled Technique for DBS Reception

指導敎授 閔 庚 植

2001年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

林 正 男

Abstract

This thesis describes a characteristics of microstrip EMC (Electro-Magnetic Coupled) cross dipole array antenna with circular polarization. EMC cross dipole array antennas are attractive elements with the desirable properties such as simplicity, small size, and circular polarization.

This thesis is composed of five chapters including the introduction. The chapter 2 explains a design for microstrip EMC cross dipole antenna element with a circular polarization and a wide bandwidth. The circular polarization is obtained by the X-shaped cross dipole radiation element. The wide bandwidth is realized by EMC technique. The antenna characteristics are analyzed by the Ensemble and the FDTD (Finite Difference Time Domain) method with Mur's 2nd order ABC (Absorbing Boundary Condition). The radiation power for uniform illumination in an array design is also controlled by offset parameters.

In the chapter 3, T-junction power splitter is presented. The characteristics of reflection and transmission coefficients were calculated.

The chapter 4 shows the performance of array antenna. The 20-element array antenna was designed and fabricated. The measured results agreed with the calculated ones. The beam-tilt characteristics are numerically obtained by control of element distance. The proposed beam-tilt antenna can be applied for DBS

(Direct Broadcasting from Satellite) reception. When the distance between elements is 12 mm at 12 GHz, the radiation angle of array antennas is obtained -45° beam-tilt. Furthermore, the 40- and 80-Element beam-tilt array antennas were proposed for realizing high gain. By control of the element distance on the feed line in design, the array antennas with high gain and beam tilting angel of -45° could be realized. The axial ratio of 0.1 dB below was designed for the wide bandwidth. However, future work is to suppress the high grating lobe.

Then, it was concluded in the chapter 5.

목 차

제 1 장 서론

오늘날 위성을 이용한 이동통신 및 위성방송의 급격한 증가 추세에 따라 마이크로스트립 안테나는 많은 무선통신 시스템의 안테나 복사소자로서 널리 사용되어지고 있다. 그림 1.1과 같이 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[2]- [4]. 마이크로스트립 안테나의 이러한 문제점을 해결하기 위해 급전선로와 복사소자간의 전자기적 결합특성을 이용한 광대역화에 관한 연구가 진행되어 왔다[5], [6]. 또한 마이크로스트립의 형상이나 급전구조를 이용하여 원편파를 실현하기 위한 연구도 다각도로 추진되어 왔다[7]- [9]. 본 논문에서는 이를 응용한 EMC (Electro-Magnetic Coupled) cross dipole을 제안한다.

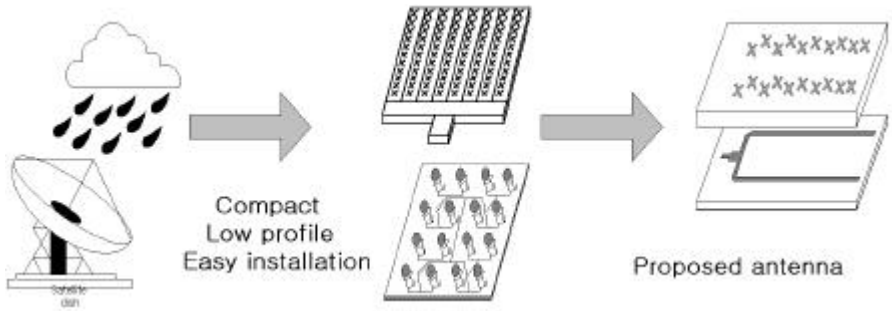


그림 1.1 위성방송 수신용 안테나

Fig. 1.1 Antenna for DBS receiption.

본 논문의 전체구성을 살펴보면 서론을 제외한 3개의 장으로 구분할 수 있다. 먼저, 제 2장에서는 전자기 결합(EMC)기법을 이용한 마이크로스트립 cross dipole 안테나소자의 구조와 파라미터스터디를 통해 안테나의 광대역성과 원편파특성을 나타내었다. 또한 안테나 해석 소프트웨어 Tool인 Ensemble과 전자파 수치해석법중 하나인 FDTD법을 써서 계산하였고 그 둘의 계산치를 비교하였다. 제 3장에서는 본 논문에서 제안한 안테나의 급전구조에 대하여 설명하였다. 특히, 20소자이상의 어레이시에 필요한 T-junction Power Splitter의 구조 및 계산결과를 나타내었다.

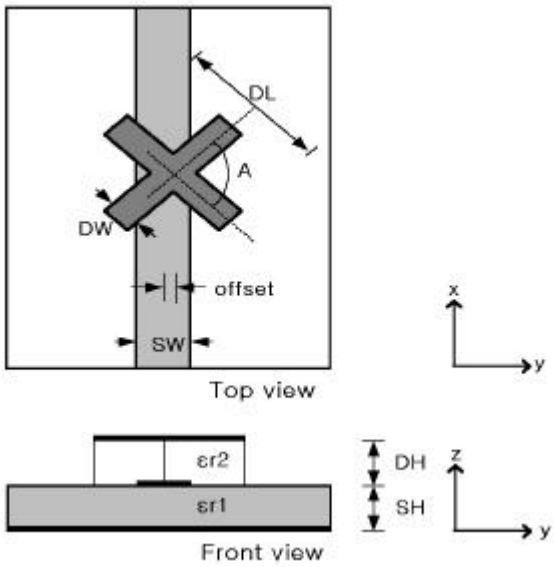
제 4장에서는 제 2장에서 설계한 안테나 복사소자를 어레이하여 안테나의 복사패턴 및 반사계수를 계산하였고, 또한 제작을 통해 계산치와 측정치를 비교하여 본 논문에서 제안하고 있는 EMC cross dipole 안테나의 설계법의 타당성을 입증하였다. 그리고, 어레이 안테나의 빔틸트에 관하여 언급하고 있다. 기존의 위성방송 수신용 안테나는 건물 옥상이나 벽에 설치했을 때 또는 이동체에 탑재하였을 경우, 많은 공간을 차지하거나 건물의 미화에 부정적인 영향을 끼쳤고, 또한 비, 바람, 눈 등의 외부 환경에 파손되기가 쉬웠다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 안테나 어레이시 소자간의 간격을 조정함으로써 빔의 지향각을 변화시켰다.

제 2 장 EMC cross dipole 복사소자

EMC dipole은 급전 마이크로스트립 라인에 의해 약하게 결합되어 전파를 복사하게 된다. 복사소자의 원편파 특성을 실현하기 위해, EMC cross dipole 복사소자를 제안하고 있으며 이에 대한 최적의 설계파라미터의 도출 결과에 대하여 기술한다. 반사 및 투과특성과 복사파워는 EMC cross dipole과 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.

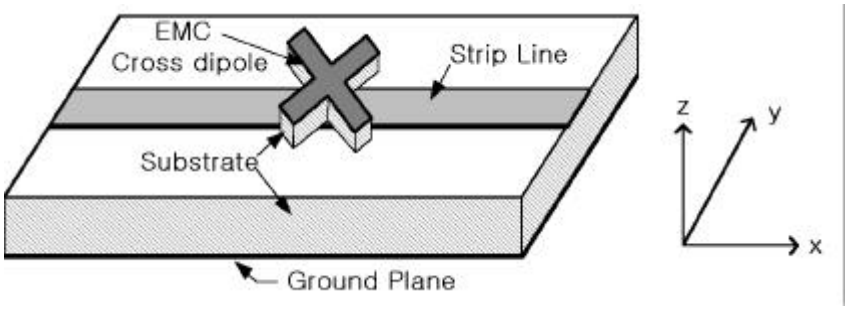
2.1 안테나의 구조

안테나의 해석구조를 그림 2.1에 나타내었다. 제안한 안테나는 급전 마이크로스트립 라인과 그 위에 유전체를 사이에 두고 원편파를 발생하기 위한 EMC cross dipole 복사소자로 구성되었다. 설계파라미터로는 그림 2.1 (a)에서 보여주듯이 다이폴 길이(DL), 높이(DW), 각도(A)와 급전 마이크로스트립 라인과 복사소자간의 간격(DH), 비유전율(ε_{r2}), 급전라인의 폭(SW), 그라운드와 급전라인의 유전체 두께(SH)등이 있다.



(a) **해석 모델**

(a) Analysis model.



(b) **모델 안테나의 구조**

(b) Structure of antenna model.

그림 2.1 **급전 마이크로스트립 라인과** EMC cross dipole**로 구성된 안테나**

Fig. 2.1 The antenna composed of microstrip line and EMC cross dipole.

2.2 안테나 설계파라미터

본 논문에서는 주파수 대역폭을 넓히기 위해 EMC 기술을 적용하였고, 원편파를 복사하기 위해 EMC cross dipole를 제안했다. 설계 중심주파수는 무궁화 위성의 위성방송용 주파수대역인 12 GHz로 하였다. 급전 마이크로스트립 라인의 설계 파라미터는 중심주파수 12 GHz에서 급전라인의 폭=2.2 mm, 유전체의 두께=0.8 mm 그리고 비유전율=2.6일 때 복사전력이 14.44 %로 최적의 특성을 나타냈기 때문에 설계를 위한 계산에서 상수로 사용하였다.

2.2.1 다이폴 높이에 의한 반사계수

그림 2.2는 EMC 다이폴과 급전 라인과의 높이변화(DH)에 따른 반사계수을 나타내고 있다. DH가 증가할수록 반사계수는 조금씩 좋아지며 대역폭 또한 증가하고 있음을 알 수 있다.

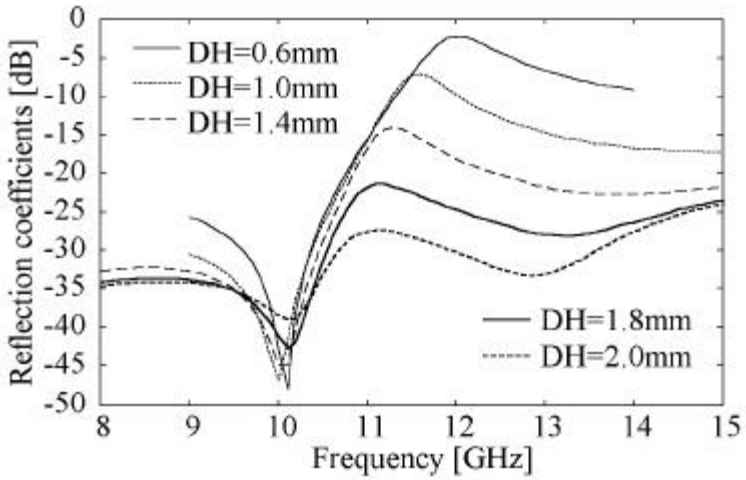


그림 2.2 다이폴 높이의 변화에 따른 반사계수

Fig. 2.2 S11 as functions of the variations of dipole height.

다이폴의 높이가 1.8 mm일 때, 8 15 GHz의 주파수 대역에서 -20 dB이하의 반사특성을 가지고 있는 것을 알 수 있으며, 11.1 GHz에서 반사가 약 -20 dB이고, 이때 복사소자에서 최대복사전력이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 안테나의 광대역특성을 위해 중요한 파라미터가 된다. 이후의 파라미터 스터디에서는 어레이시의 설계와 제작의 용이성을 위해 다이폴의 높이를 1.8 mm로 유지했다.

2.2.2 비유전율에 의한 반사계수

그림 2.3은 비유전율(ε_{r2})의 변화에 따른 반사계수를 나타낸다. ε_{r2}가 점차 증가함에 따라 반사의 레벨은 거의 변화하지 않지만 설계주파수의 값이 낮은 주파수로 이동하는 것을 알 수 있다. 이는 DH와 마찬가지로 어레이시에 복사전력을 조절할 수 있는 파라미터이다. 하지만, 제작의 용이성과 설계의 간소화를 위해 ε_{r2}는 2.1로 고정한다. ε_{r2}가 2.1일 때 최대 복사 전력이 설계 주파수인 12 GHz에서 최대가 되며, 반사계수도 -20 dB이하이다.

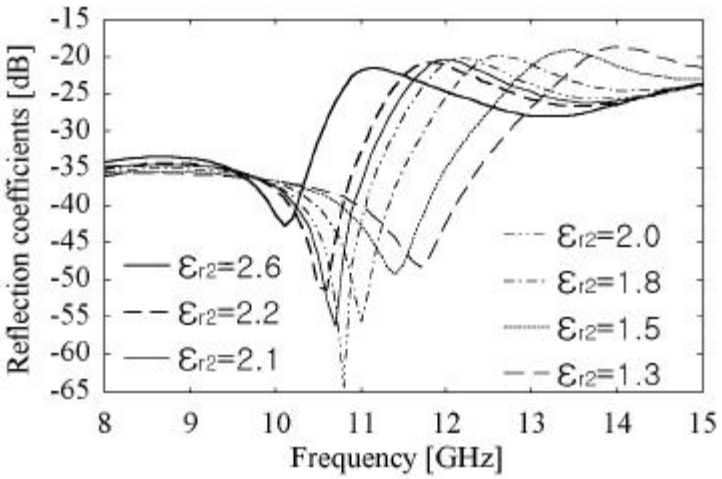


그림 2.3 비유전율의 변화에 따른 반사계수

Fig. 2.3 S11 as functions of the variations of dielectric permittivity.

2.2.3 cross dipole 각도에 의한 반사계수

그림 2.4는 EMC cross dipole의 각도(A) 변화에 따른 S11의 주파수 특성을 나타냈다. A가 변화함에 따라 최대복사전력의 주파수가 변화한다. ε_{r2}의 경우와 같이 A의 각도가 커지면 낮은 주파수대로 이동하며, S11은 여전히 -20 dB이하로 유지하고 있다. 설계주파수인 12 GHz 에서 최대복사전력을 내는 각도는 70 75 ° 이다.

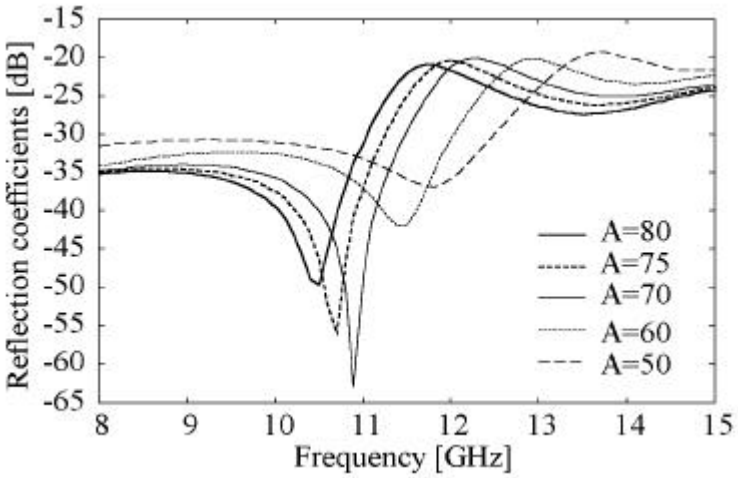


그림 2.4 다이폴 각도의 변화에 따른 반사계수

Fig. 2.4 S11 as functions of the variations of dipole angle.

2.2.4 다이폴의 길이에 의한 반사계수

그림 2.5는 다이폴 길이(DL)의 변화에 따른 S11의 주파수특성을 나타낸다. DL의 길이에 따라 중심주파수의 변화가 일어났다. 이는 DL의 길이가 수신전파의 주파수에 의존하는 것으로 당연하다고 할 수 있다.

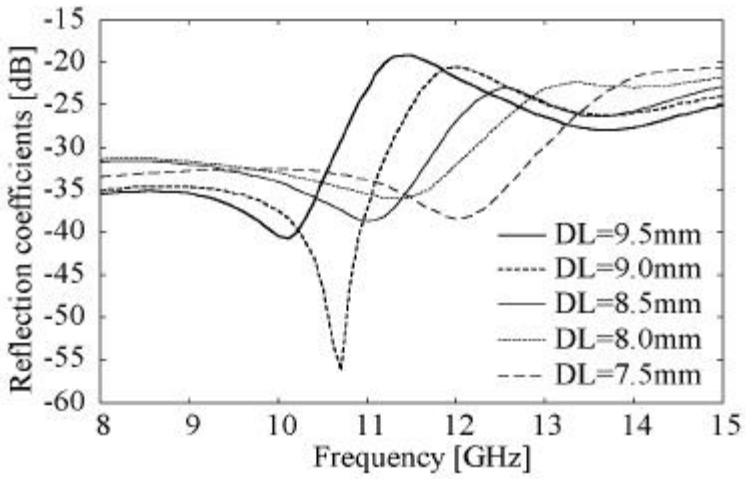


그림 2.5 다이폴 길이의 변화에 따른 반사계수

Fig. 2.5 S11 as functions of the variations of dipole length.

2.3 최적 설계 파라미터

그림 2.6은 표2.1를 설계 파라미터로하여 계산했을 때의 MoM 법을 적용한 Ensemble과 FDTD법의 계산결과에 의한 반사 및 투과 계수를 나타낸다[10]-[12]. 그림에서 알 수 있듯이 12 GHz에서 최대 복사전력을 나타내고 있으며, 넓은 주파수대역에서 -20 dB이하의 반사계수를 나타내고 있어 광대역 특성을 만족시켰다.

12 GHz에서 Ensemble과 FDTD법으로 계산한 복사전력은 각각 14.44 %와 15.72 %로 유사한 결과를 얻었다. 그림 2.7은 표 2.1에 주어진 설계 파라미터로 계산한 복사패턴의 Ex와 Ey성분을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 넓은 각도에서 좋은 원편파특성을 나타내고 있으며, 정면방향으로의 cross polarization의 레벨도 약 -58 dB를 보여준다.

표 2.1 모델 안테나의 설계파라미터

Table 2.1 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

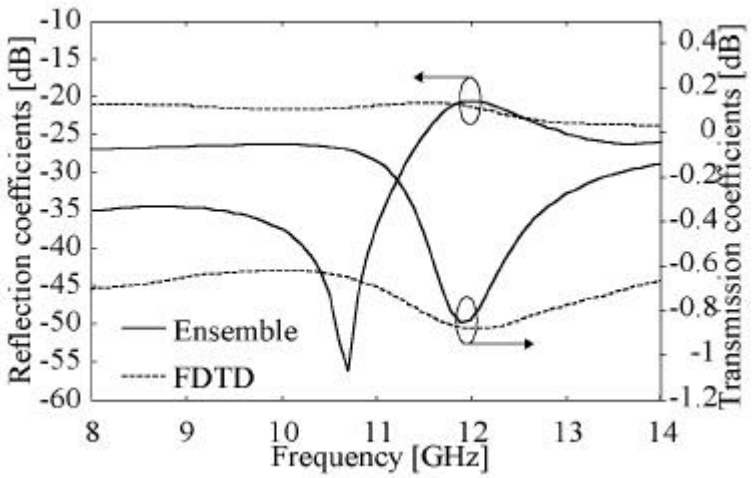


그림 2.6 표 2.1의 설계파라미터를 적용한 안테나의 반사계수 및 투과계수

Fig. 2.6 The calculated S11 and S21 of the model antenna with the parameter given in Table 2.1.

그림 2.8은 축비의 주파수특성을 나타낸다. 그림에서 점선으로 나타낸 3 dB이하의 범위가 약 580 MHz이며, 중심주파수 12 GHz에서 약 4.9 %의 대역폭을 나타내었다.

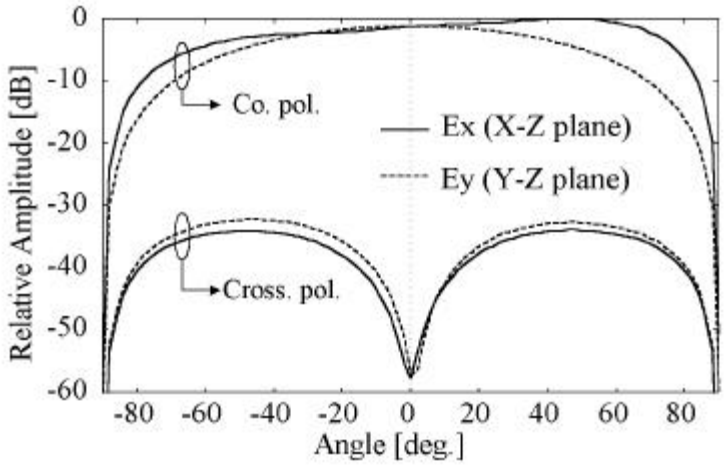


그림 2.7 12 GHz에서, 모델 안테나의 복사패턴

Fig. 2.7 The calculated radiation patterns of the model antenna at 12 GHz.

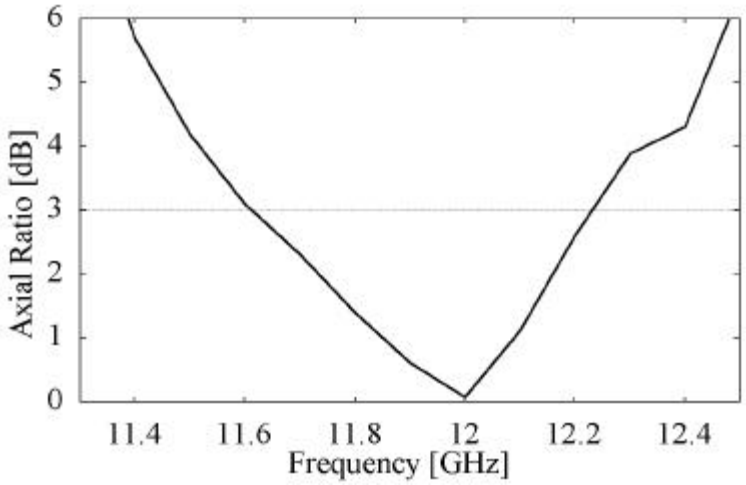


그림 2.8 모델 안테나의 축비에 대한 주파수 특성

Fig. 2.8 The calculated axial ratio of the model antenna.

2.4 offset에 의한 특성변화

어레이 안테나를 설계하기 위해서는 소자간의 간격(D)과 각각의 소자에서 복사되는 복사전력을 고려해야 된다. 먼저 각 소자로부터 복사되는 복사전력을 일정하게 하기 위해서 급전 마이크로스트립 선로의 입력포트에 가까운 소자의 복사전력은 작게 하고 점점 복사전력을 크게 하여 반사는 최소로 하면서 균일한 전력이 복사되도록 설계한다. 이를 위해서는 각 소자마다 유전율, 높이, 다이폴 각도 등을 변화시켜가면서 그 특성을 조사하는 것이 일반적이다. 그러나 유전율, 다이폴 높이와 각도 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[13], [14].

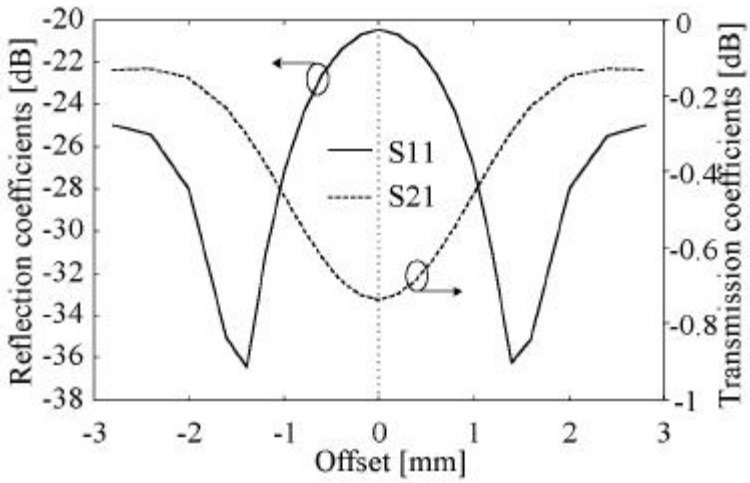


그림 2.9 offset 변화에 따른 반사계수과 투과계수
Fig. 2.9 S11 & S21 as functions of the variations of offset.

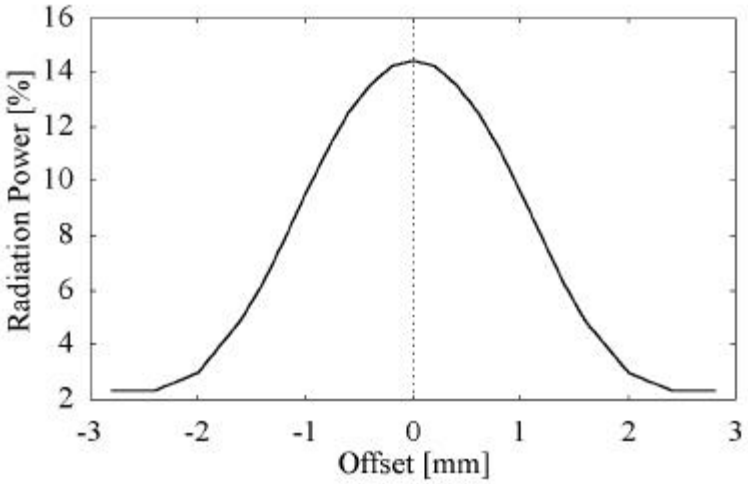


그림 2.10 offset 변화에 따른 복사전력
Fig. 2.10 Radiation power as functions of the variations of offset.

그림 2.9와 2.10은 offset의 변화에 따른 반사와 투과계수 그리고 복사전력을 나타낸다. EMC cross dipole이 마이크로스트립 선로의 정 중앙에 위치했을 때 복사전력이 14.44 %로 최대가 되며 좌우로 이동했을 때 복사전력은 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 따라서 복사소자를 어레이 하고자 할 때 그림 2.10의 offset 데이터를 이용하여 각 소자마다 균일한 복사전력을 발생시킬 수 있도록 조정하면 안테나의 효율을 극대화시킬 수 있다.

2.5 검토

제 2장에서는 광대역과 원편파특성을 위해 급전용 마이크로스트립 라인과 EMC cross dipole 복사소자로 구성된 안테나를 설계하였다. EMC cross dipole과 급전 마이크로스트립 라인사이의 전자기적 결합을 계산하기 위해 MoM법을 적용한 상용 소프트웨어인 Ensemble과 FDTD법을 사용하였다. 파라미터 스터디를 통해 DH,

ε_{r2}, A 그리고 DL의 변화에 따른 반사계수를 계산하였고 또한 어레이시에 필요한 파라미터중 하나인 offset변화에 따른 특성을 살펴보았다. 어레이 설계시 이러한 파라미터들을 조정함으로써 균일한 복사전력을 발생시킬 수 있다는 것을 알았다. 3장에서 어레이 안테나의 설계시, DH와 ε_{r2}는 설계와 제작의 용이성을 위해 일정한 값으로 고정되어야 한다. EMC cross dipole의 각도는 70 75 °에서 좋은 특성을 나타냈지만, 반사계수와 중심주파수 변화에 대해서는 민감한 변화는 없었다. 표 2.1의 설계 파라미터를 파라미터 스터디를 통해 얻었으며, 이를 Ensemble과 FDTD법으로 비교하여 설계의 타당성을 확인하였다. 복사패턴을 계산하여 주엽의 축비가 0.1 dB 이하로 원편파특성을 나타내었다. 또한 중심주파수 12 GHz에서 대역폭이 약 4.9 %로 광대역특성을 만족시켰다.

제 3 장 급전회로

3.1 T-junction Power Splitter

그림 3.1은 마이크로스트립 T-junction power splitter를 나타낸다.

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 정합시키기 위해 Quarter-wave matching transformer를 사용하였다[15], [16].

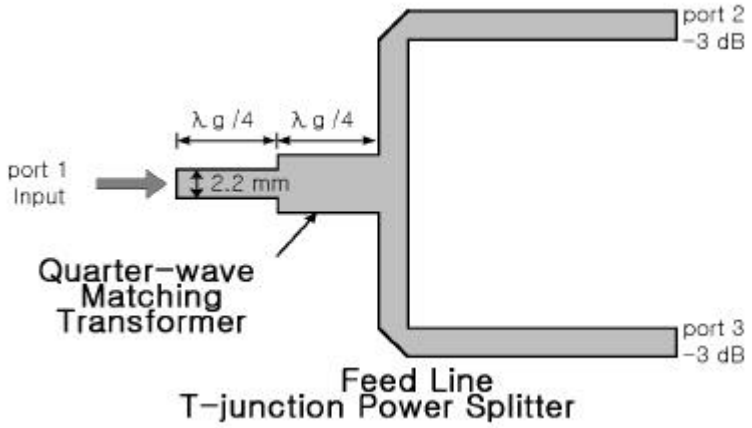
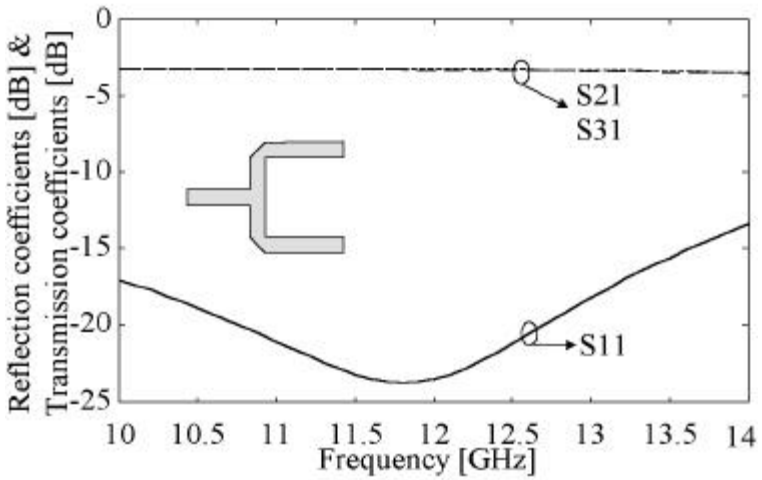


그림 3.1 λ/4 matching transformer을 사용한 마이크로스트립 T-junction power splitter

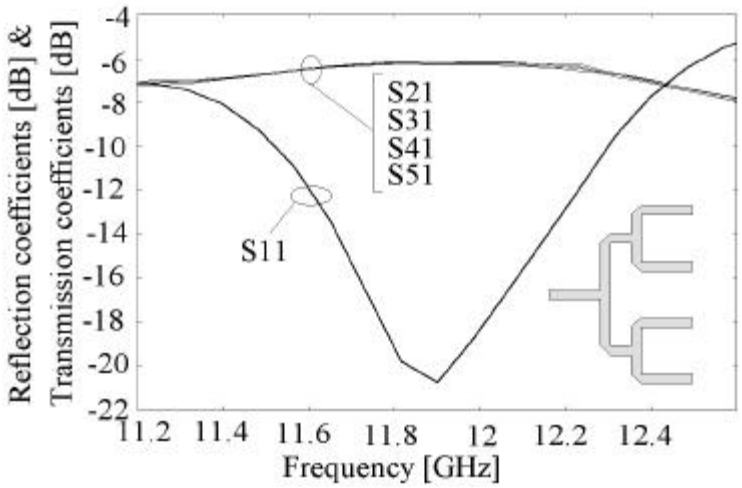
Fig. 3.1 Microstrip T-junction power splitter with quarter-wave matching transformer.

3.2 계산결과

그림 3.2 (a)는 quarter-wave matching transformer를 가진 T-junction power splitter의 반사와 투과계수을 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 매우 만족할만한 특성을 나타내고 있다. 그림 (b)는 3개의 T-junction power splitter를 사용하여 1개의 입력포트와 4개의 출력포트로 구성된 급전회로이다. DBS대역에서 -15 dB이하의 반사계수를 나타내었고, 투과계수는 설계주파수 12 GHz에서 약 6.15 dB를 나타내고 있어 만족할만한 분배특성을 얻었다.



(a)



(b)

그림 3.2 급전 라인의 반사계수 및 투과계수

Fig. 3.2 The calculated S11 & S21 of the microstrip T-junction power splitter with quarter-wave matching transformer.

제 4 장 EMC cross dipole 어레이 안테나

4.1 10소자 어레이

단일 복사소자 안테나의 설계를 통해 얻은 표 2.1의 설계 파라미터를 적용하여 10소자 어레이 안테나를 설계하였다. 먼저 각 소자에서 균일한 복사파워를 발생시키기 위해 그림 2.10의 offset 결과를 적용하였다. 그림 4.1은 EMC cross dipole 10소자 어레이 안테나를 위에서 본 구조이다.

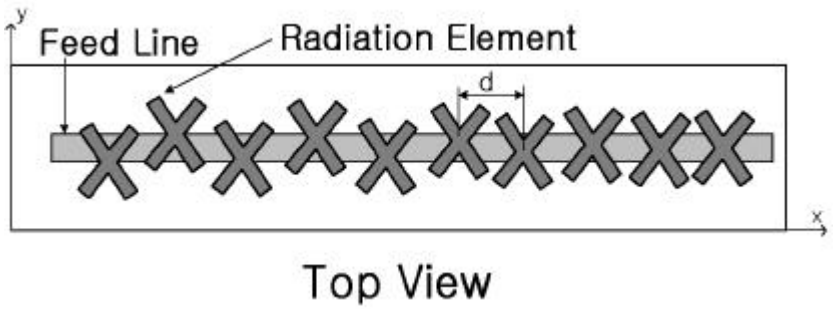


그림 4.1 10소자 EMC cross dipole 어레이 안테나
Fig. 4.1 10-Element array antenna using microstrip EMC cross dipole.

그림 4.1에서 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 복사전력을 가질 때의 값이다. 그림 4.2는 10소자 어레이시에 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 정면방향을 향하고 있으며 d를 ±0.5 mm씩 변화시켰을 때, 주빔의 방향이 약 ±8°씩 이동하였다. 소자간의 상호결합으로 인해 소자사이의 간격 d가 $\lambda_g/2$보다 조금 작은 8.0 mm일 때 빔의 방향이 정면으로 향하는 것을 알 수 있다.

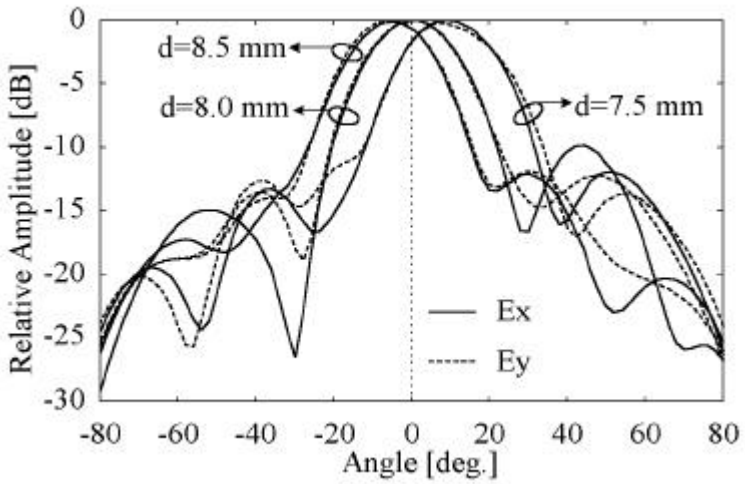


그림 4.2 10소자 EMC cross dipole 어레이 안테나의 복사패턴
Fig. 4.2 Radiation patterns of 10-Element array antenna with the microstrip EMC cross dipole.

4.2 20소자 어레이

그림 4.3은 3장에서 설계한 마이크스트립 T-junction power splitter 급전 선로 위에 유전체를 사이에 두고 20개의 EMC cross dipole 소자를 어레이 한 안테나의 구조를 나타낸다.

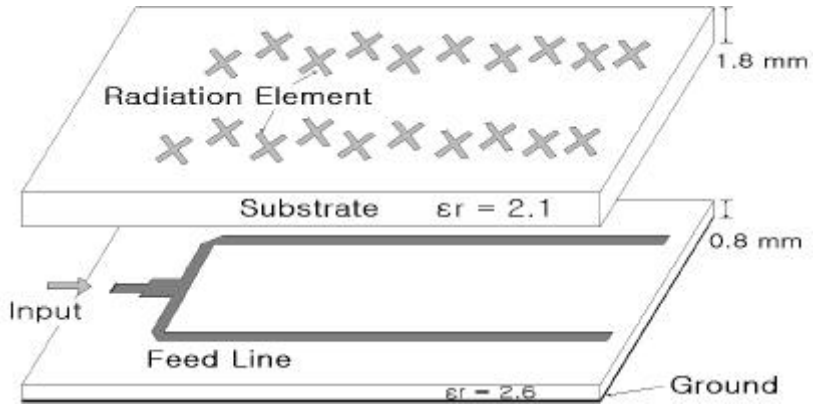


그림 4.3 20**소자** EMC cross dipole **어레이 안테나의 구조**
Fig. 4.3 20-Element array antenna using microstrip EMC cross dipole .

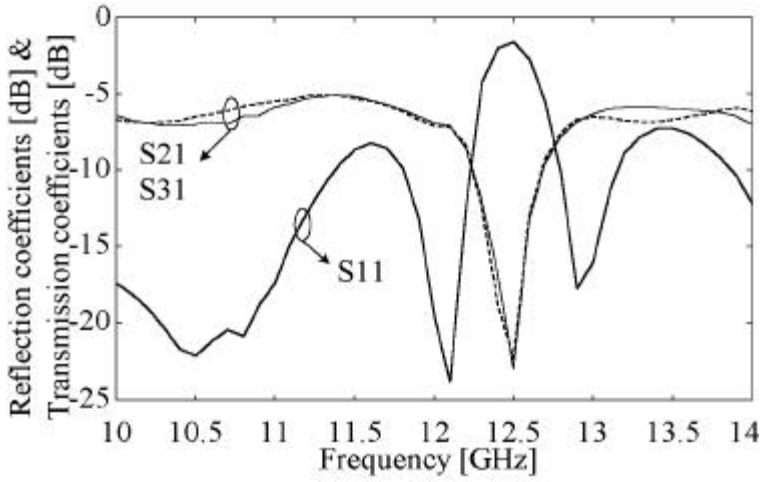


그림 4.4 20**소자 어레이 안테나의 반사계수 및 투과계수**
Fig. 4.4 The calculated S11 & S21 of 20-Element array antenna.

복사소자의 파라미터는 표 2.1**을 따랐다. 그림** 4.4**는** d=8.0 mm **일 때** 20**소자 어레이 안테나의 반사 및 투과계수를 나타낸다.** 12 GHz**에서 복사파워는 약** 73 %**로 계산되었다. 그림** 4.5**는 소자사이의 간격** d**의 변화에 따른** Ex**와** Ey**성분의 복사패턴을 나타낸다.**

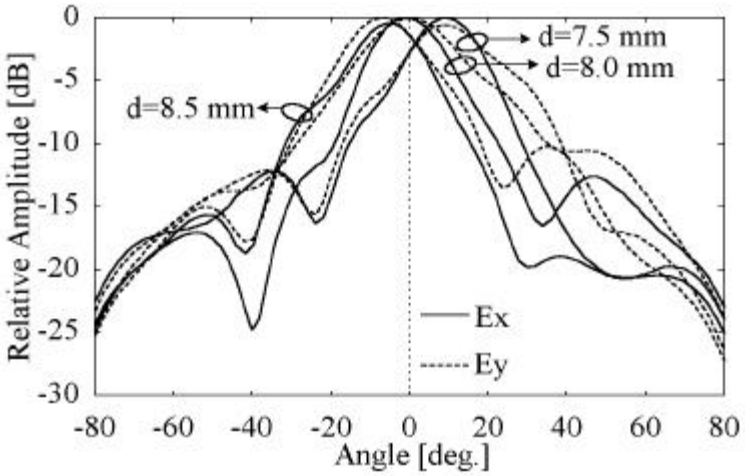


그림 4.5 **20소자 어레이 안테나의 복사패턴**
Fig. 4.5 Radiation patterns of 20-Element array antenna.

10**소자 어레이 안테나에서와 같이** d**가 변화함에 따라 빔의 방향이 변화하고 있음을 알 수 있다. 하지만** d=8.0 mm**일 때** 3 dB **빔폭을 가지는 각도가** - 18 ° 20 ° **정도이며 축비는 약** 1 dB**를 나타내고 있어 좋은 원편파 특성을 보여주고 있다. 그림** 4.6**은 계산된** 10**소자와** 20**소자 어레이 안테나의 이득을 나타내었다.** 12 GHz**에서** 10**소자와** 20**소자 어레이 안테나의 이득은 각각** 7.6 dBi**와** 9.9 dBi**로** 2.3 dB **차이가 있으며,** 12 GHz**에서 최고값을 나타내었고 점차 이득이 낮아지고 있음을 확인하였다.**

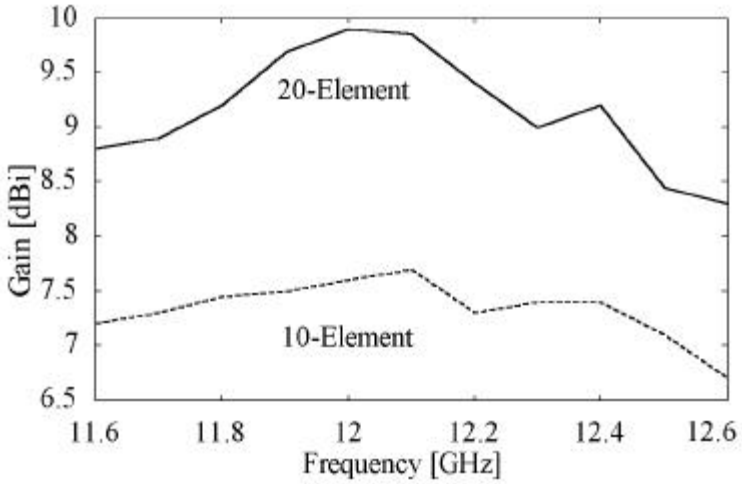


그림 4.6 **마이크로스트립** EMC cross dipole **어레이 안테나의 이득**

Fig. 4.6 The calculated gain of the microstrip EMC cross dipole array antenna.

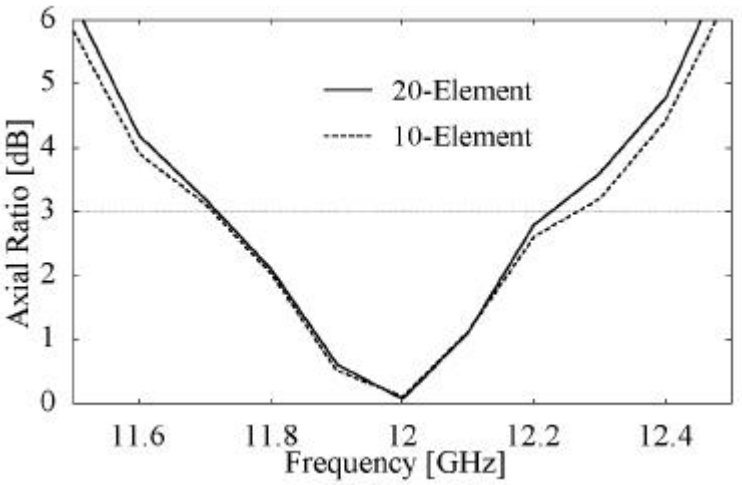


그림 4.7 EMC cross dipole **어레이 안테나의 축비특성**

Fig. 4.7 The calculated axial ratio of microstrip EMC cross dipole array antenna.

그림 4.7은 10소자, 20소자 어레이 안테나의 축비를 나타내고 있다. 10소자 어레이의 경우, 약 4.33 %(520 MHz), 20-Element 의 경우, 약 4.08 %(490 MHz)의 넓은 대역폭에서 -3 dB이하의 축비를 나태내고 있어 넓은 대역폭내에서 좋은 원편파특성을 얻었다.

4. 3 어레이 안테나의 빔틸트 특성

기존의 위성방송 수신용 안테나는 위성으로부터의 방송신호를 수신하기 위해 위성방향으로 안테나를 향하게 하였다. 그림 4.8과 같이 건물의 벽이나 옥상에 설치하거나 이동체에 탑재할 때 많은 공간을 차지하거나 미관상 부정적인 영향을 끼쳤고, 또한 바람, 비, 눈 등의 외부환경에 의해 파손의 우려가 있었다. 따라서 현재에는 안테나주빔의 방향을 변화시켜 건물의 벽에 붙일 수 있도록 요구되고 있다.

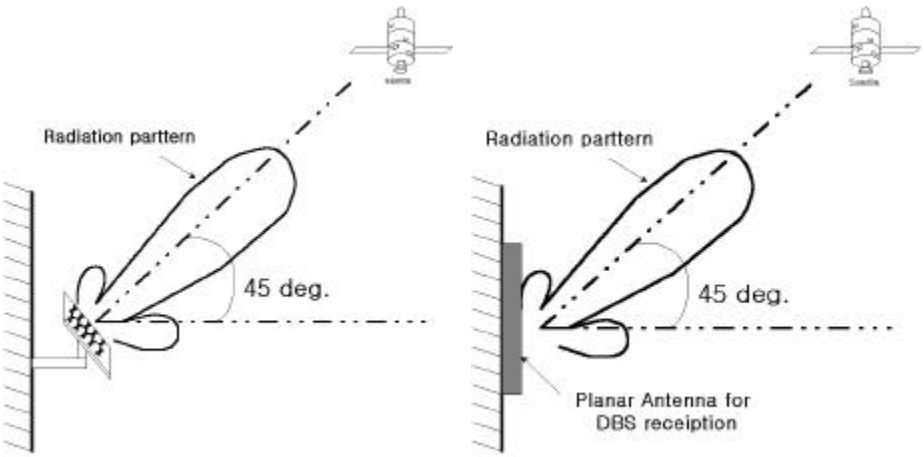
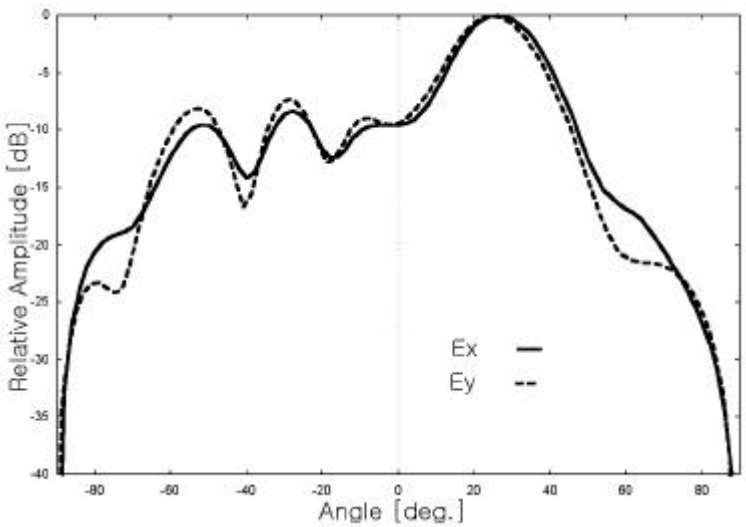


그림 4.8 벽면에 설치된 위성방송 수신용 안테나의 지향성
Fig 4.8 The directivity of DBS reception antenna.

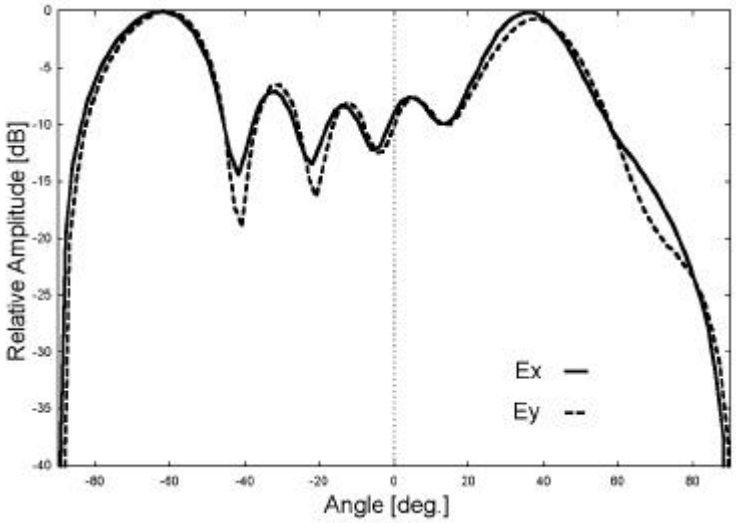
4.3절에서는 3장까지의 연구 결과를 토대로 빔 틸트 안테나를 설계하였다. 빔 틸트 안테나를 설계하기 위해 안테나의 설계파라미터중 소자간의 간격 d에 변화를 주었다

4.3.1 10소자 어레이 안테나의 빔 틸트

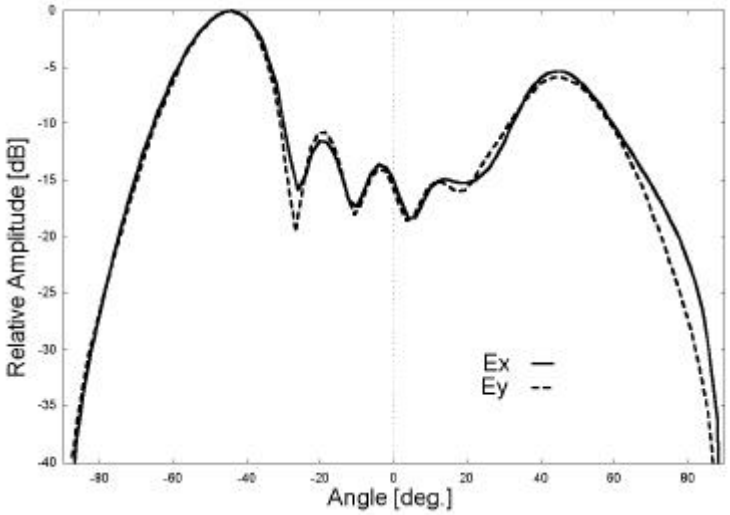
그림 4.9는 10소자 안테나의 소자간격 d의 변화에 의한 복사패턴을 나타내었다. 4.1절에서 10소자 안테나의 소자간격 d 가 약 8 mm(λ/2)일 때, 빔은 정면방향을 향한다. 그림에서 알 수 있듯이, d가 점점 커짐에 따라 빔의 방향은 +쪽으로 틸트되고 d가 약 3λ/4일 때, -방향의 부빔이 커지고 있다. 그리고, d가 λ에 가까워지면서 빔은 정면방향을 향하고 있다. d가 약 12 mm일 때, 빔 틸트는 목표치인 45° 에 근접하고 있음을 알 수 있다.



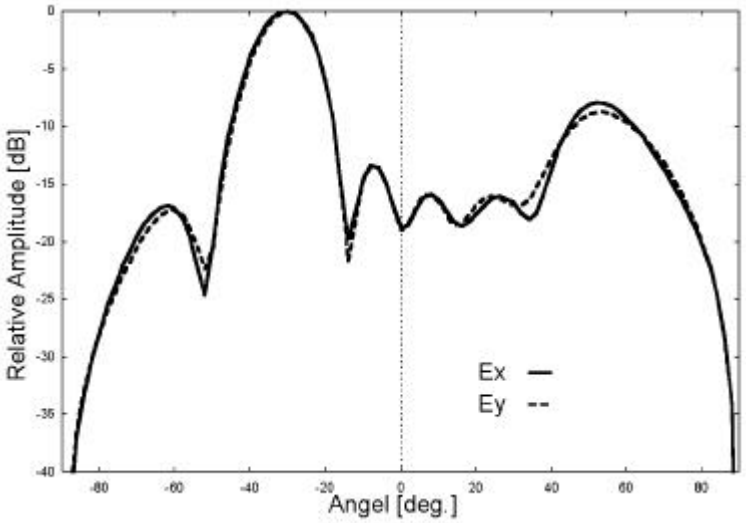
(a) d = 10 mm



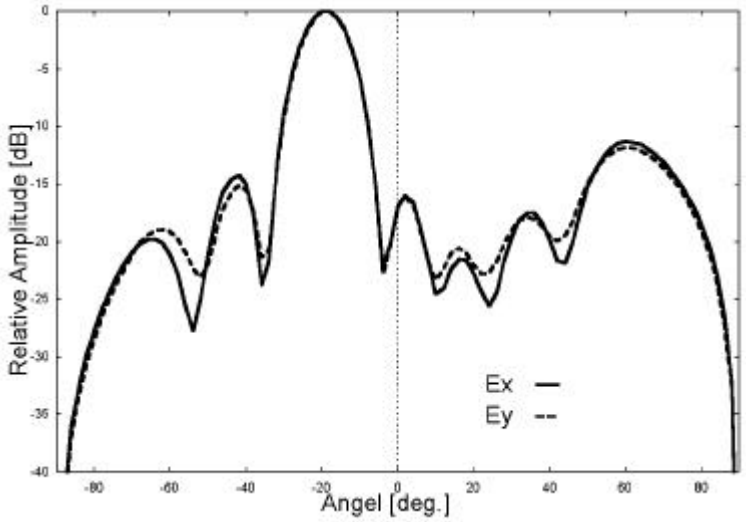
(b) d = 11 mm



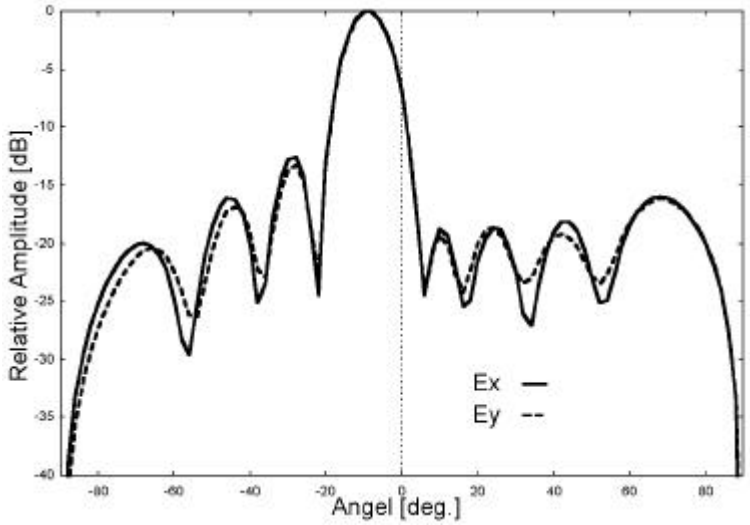
(c) d = 12 mm



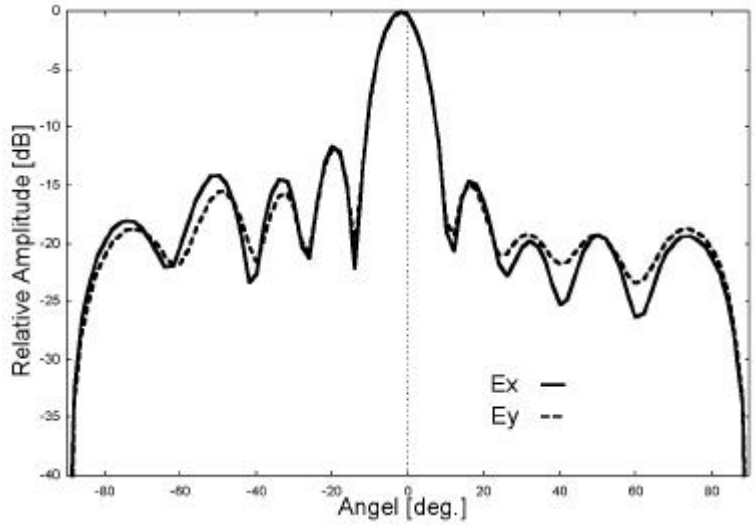
(d) d = 13 mm



(e) d = 14 mm



(f) d = 15 mm



(g) d = 16 mm

그림 4.9 소자간격의 변화에 따른 안테나의 복사패턴

Fig. 4.9 The calculated radiation pattern as functions of the variations of d.

그림 4.10은 10소자 어레이 안테나의 반사계수를 나타내고 있다. 안테나 소자간격이 변화함에 따라 반사계수의 값이 변화하고 있다. 하지만, 넓은 주파수 대역에서 약 -20 dB이하의 양호한 특성을 나타내고 있으며, 소자간격이 12 mm일 때 DBS대역에서 -25 dB이하의 좋은 특성을 나타내고 있다.

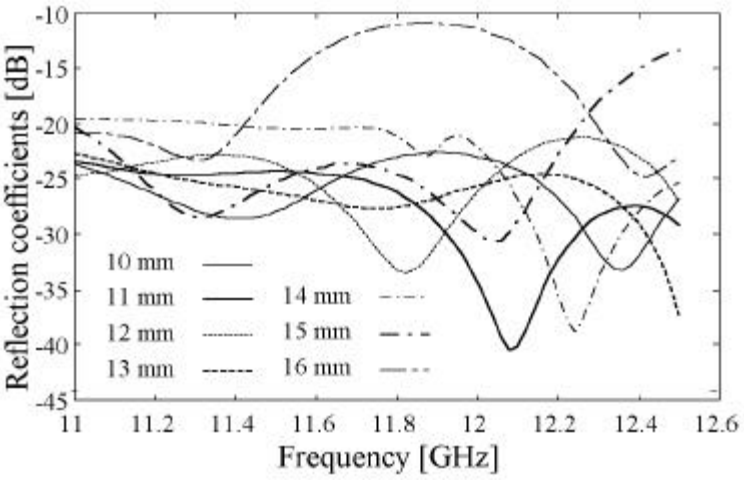
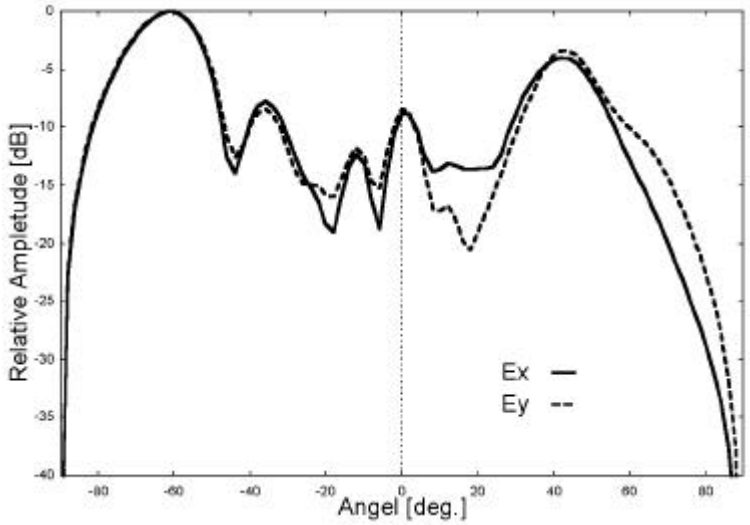


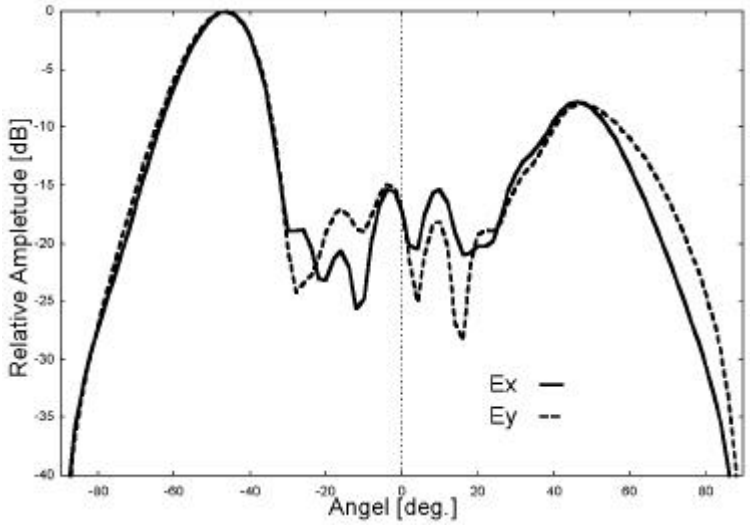
그림 4.10 소자간격의 변화에 의한 반사계수
Fig. 4.10 S11 as functions of the variations of d.

4.3.2 20소자 어레이 안테나의 빔 틸트

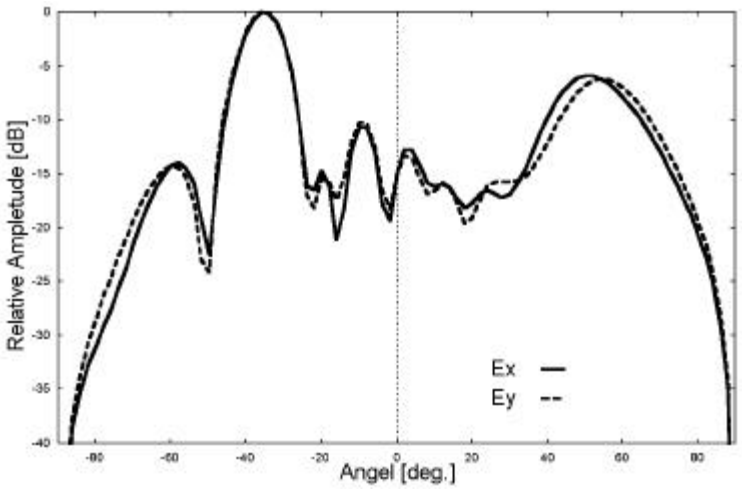
10소자 어레이 안테나의 빔 틸트에서 소자간격이 약 12 mm일 때 빔의 방향이 약 -45° 정도 틸트됨을 알았다. 그림 4.11은 20소자 어레이 안테나의 소자간격을 변화시켰을 때의 복사패턴을 나타낸다.



(a) d = 11 mm



(b) d = 12 mm



(c) d = 13 mm

그림 4.11 소자간격의 변화에 의한 안테나의 복사패턴

Fig. 4.11 The calculated radiation pattern as functions of the variations of d.

20소자 어레이 안테나의 빔 틸트도 10소자 어레이 안테나의 경우와 같이 소자간격이 12 mm일 때, 주빔의 방향은 약 -45°로 향하고 있다. 그림 4.12는 소자간격의 변화에 따른 반사계수를 나타내고 있다.

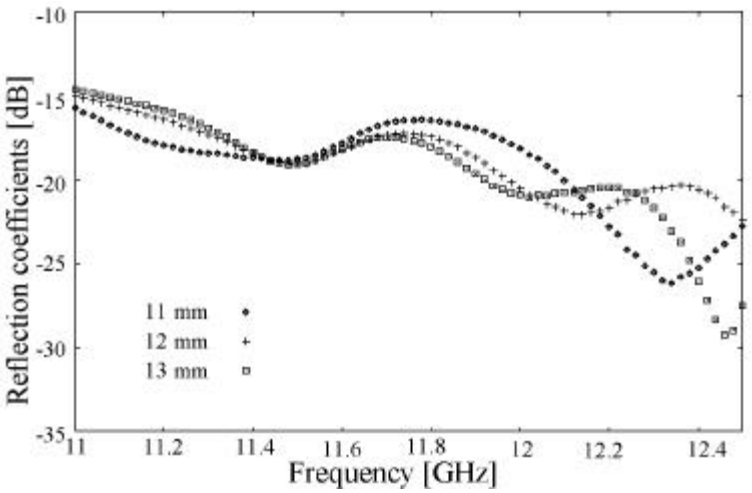


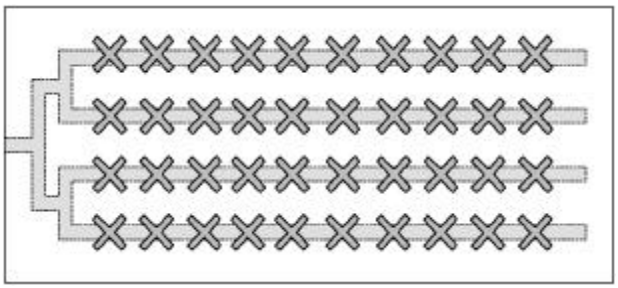
그림 4.12 소자간격의 변화에 의한 반사계수

Fig. 4.12 S11 as functions of the variations of d.

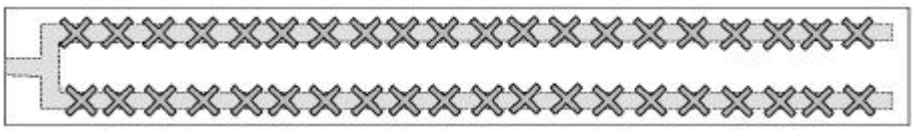
소자간격이 변화할 때 반사계수의 값은 변화하지만 반사레벨은 약 -16 dB이하로 좋은 특성을 나타내고 있다.

4.3.3 40소자 어레이 안테나의 빔 틸트

그림 4.13은 40소자 어레이 안테나를 나타내고 있다. (a)는 4열 × 10소자 어레이 안테나이고, (b)는 2열 × 20소자로 어레이 하였다.



(a) 4열 × 10소자 어레이 안테나



(b) 2열 × 20소자 어레이 안테나

그림 4.13 40소자 어레이 안테나

Fig. 4.13 40-Element array antenna

그림 4.14와 그림 4.15은 40소자 어레이 안테나의 복사패턴을 나타내고 있다. 복사소자 및 급전라인은 20소자 어레이 안테나를 토대로 하였고, 소자간격은 4.3.1절에서 12 mm일 때 약 -47°의 지향성을 나타내었으므로 12 mm로 하였다. 40소자의 계산결과 4열×10소자 어레이, 2열×20소자 어레이 안테나에서 각각 약 -48°, -46°의 지향성을 얻어 연구 목적에 부합되는 결과를 얻었다.

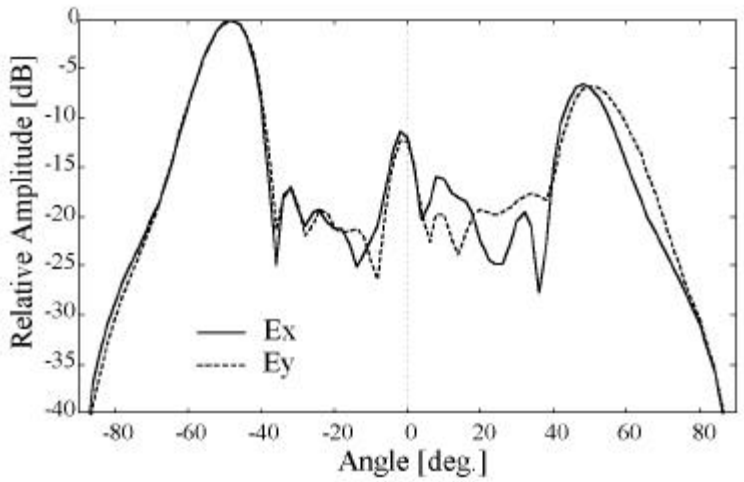


그림 4.14 **4열 × 10소자 어레이 안테나의 복사패턴**

Fig. 4.14 Radiation patterns of 4-line × 10-Element array antenna.

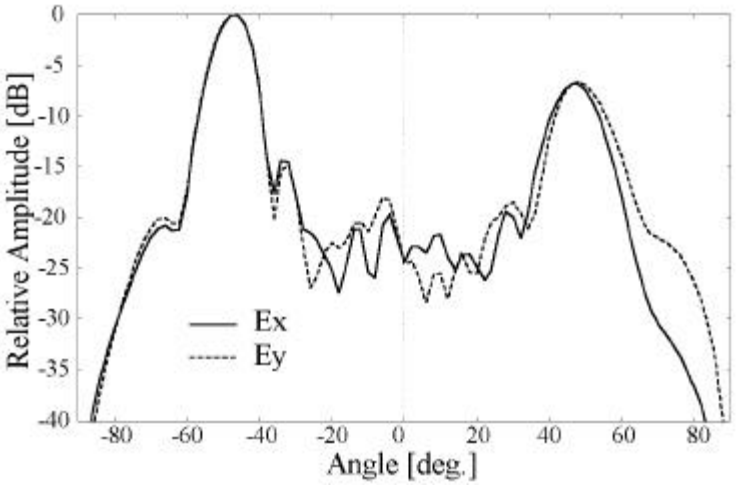


그림 4.15 **2열 × 20소자 어레이 안테나의 복사패턴**

Fig. 4.15 Radiation patterns of 2-line × 20-Element array antenna.

그림 4.16**은 40소자 어레이 안테나의 반사계수를 나타내었다.** 4**열 × 10소자 어레이 안테나의 경우, 공진 주파수는** 11.6 GHz**를 나타내고 있지만,** DBS**대역에서도 약** - 14 dB**이하의 좋은 특성을 나**

타내고 있다. 또한, 2열 × 20소자 어레이 안테나의 반사계수는 4열 × 10소자 어레이 안테나와 유사한 특성을 나타내고 있다.

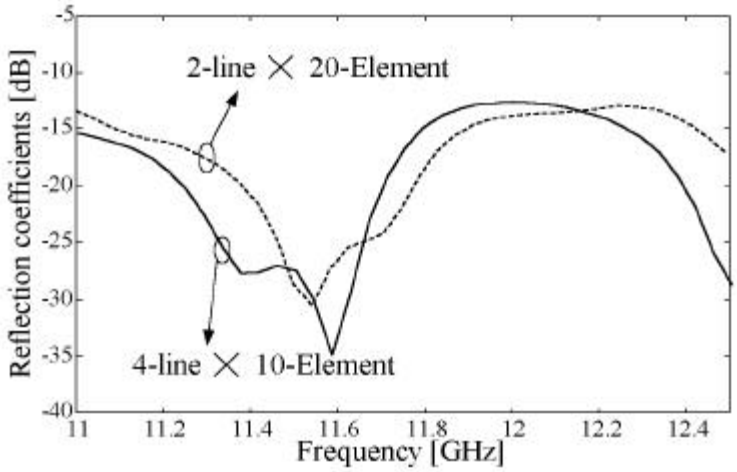
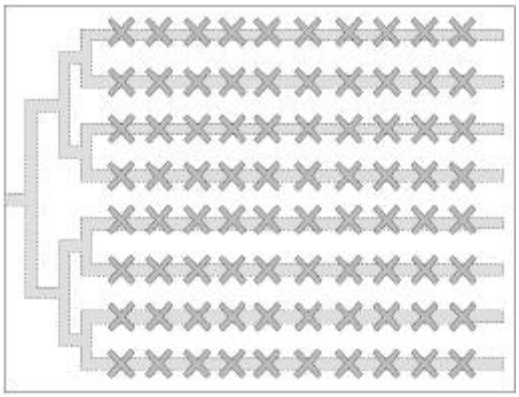


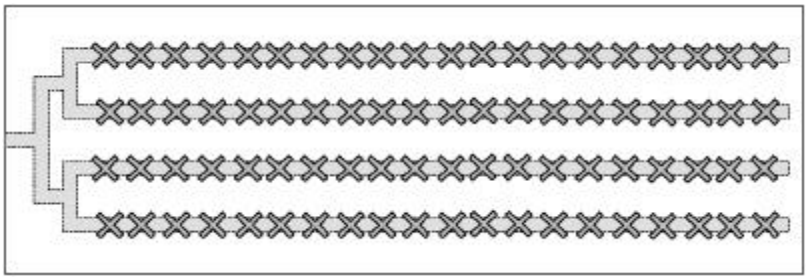
그림 4.16 40소자 어레이 안테나의 반사계수
Fig. 4.16 S11 of 40-Element array antenna

4.3.4 80소자 어레이 안테나의 빔 틸트

그림 4.17은 80소자 어레이 안테나를 나타냈다. (a)는 8열 × 10소자 어레이 안테나를 보여주고, (b)는 4열 × 20소자 어레이 안테나를 나타냈다.



(a) 8열 × 10소자 어레이 안테나



(b) 4열 × 20소자 어레이 안테나

그림 4.17 80소자 어레이 안테나

Fig. 4.17 80-Element array antenna

그림 4.18과 4.19는 80소자 어레이 안테나의 복사패턴을 나타내고 있다. 소자간격은 12 mm로 하였다. 주빔의 지향각은 각각 -46°, -48°를 나타내고 있어 연구목적에 부합되는 계산결과를 얻었다.

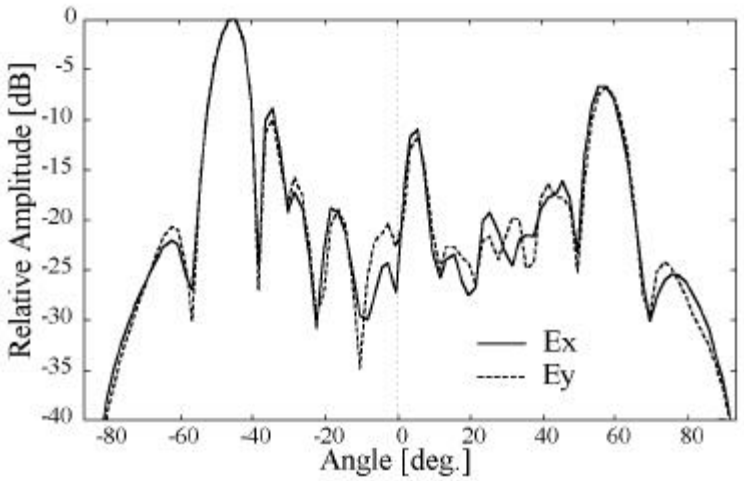


그림 4.18 8열 × 10소자 어레이 안테나의 복사패턴

Fig. 4.18 Radiation patterns of 8-line × 10-Element array antenna.

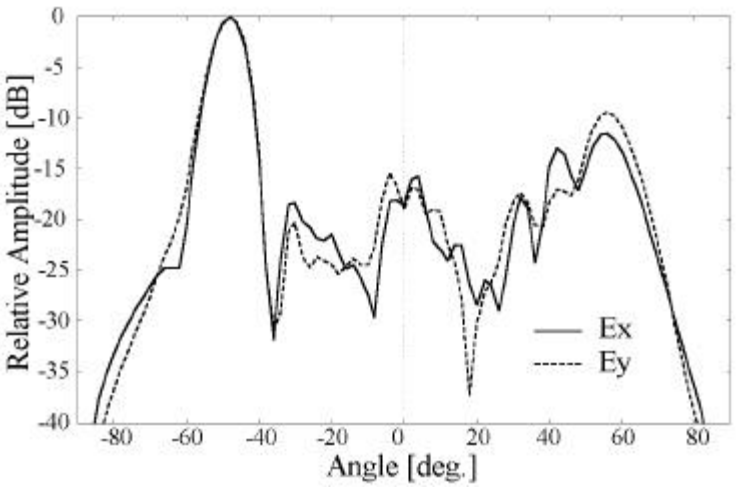


그림 4.19 **4열 × 20소자 어레이 안테나의 복사패턴**

Fig. 4.19 Radiation patterns of 4-line × 20-Element array antenna.

그림 4.20**은 80소자 어레이 안테나의 반사계수를 나타낸다**. 8**열 × 10소자 어레이 안테나와 4열 × 20소자 어레이 안테나의 반사계수의 주파수 특성의 차이는 있으나**, DBS**대역에서 각각 약** - 13 dB**이하의 반사계수를 나타내고 있다**.

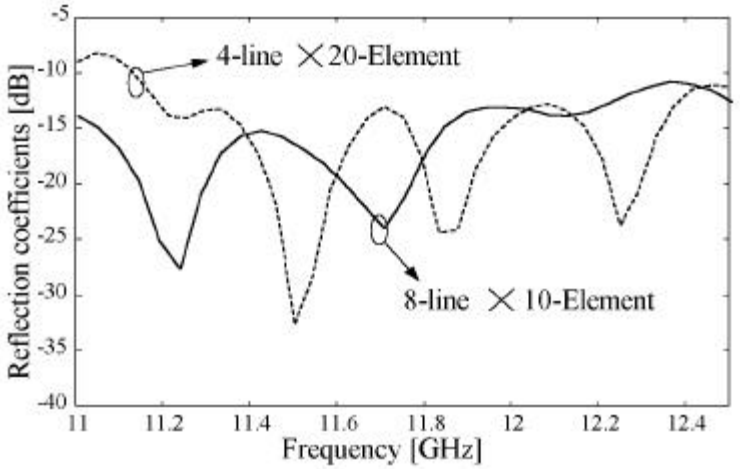


그림 4.20 80**소자 어레이 안테나의 반사계수**

Fig. 4.20 S11 of 80-Element array antenna.

4.3.5 어레이 안테나의 축비 및 이득

그림 4.21과 4.22는 10소자, 20소자 어레이 안테나의 축비와 이득에 대한 주파수 특성을 나타내고 있다. 이 때, 소자간격 d의 값은 지향각 -45°를 나타내고 있는 12 mm로 하였다. 그림 4.21에서 3 dB이내의 주파수 대역이 DBS대역과 약 60 MHz정도의 차이를 보이고 있지만, 약 350 MHz, 360 MHz로 광대역 특성을 나타내고 있다. 아래의 축비가 DBS대역을 포함하고 있지 않은 이유는 설계 중심주파수를 12 GHz로 하였기 때문이다.

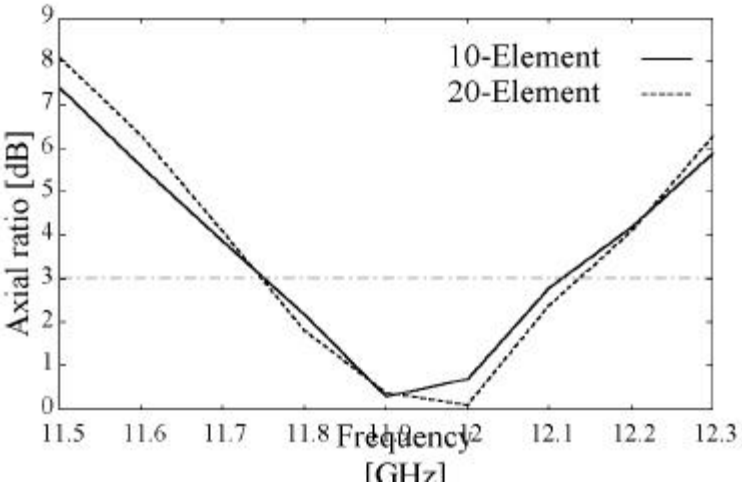


그림 4.21 10소자, 20소자 어레이 안테나의 축비
Fig. 4.21 Axial ratio of 10- / 20-Element array antenna.

그림 4.22는 10소자, 20소자 어레이 안테나의 이득에 대한 주파수 특성을 나타낸다. 중심주파수 12 GHz에서 최대값을 나타내고, 점점 이득이 낮아지고 있음을 알 수 있다. 10소자 어레이 안테나의 경우 12 GHz에서 8.5 dBi, 20소자 어레이 안테나의 경우 11.1 dBi의 이득을 얻었다.

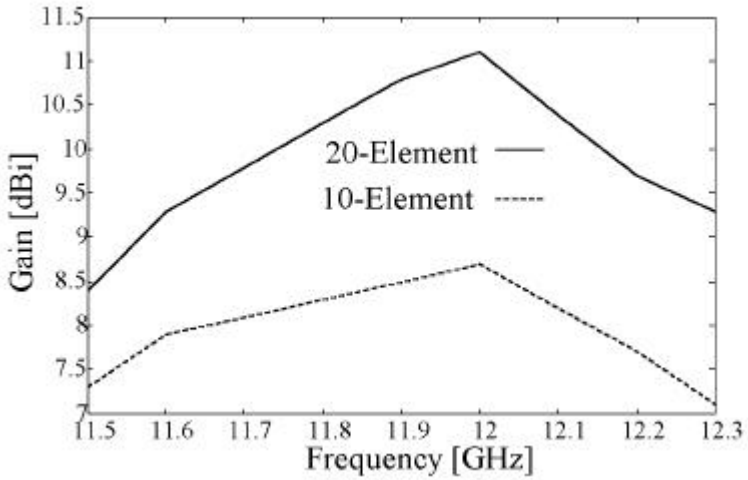


그림 4.22 10**소자**, 20**소자 어레이 안테나의 이득**
Fig. 4.22 Gain of 10 / 20-Element array antenna.

그림 4.23**과** 4.24**는** 40**소자**, 80**소자 어레이 안테나의 축비와 이득에 대한 주파수 특성을 나타내고 있다**. **계산시 소자간격** d**의 값은** 12 mm**로 하였다**. **그림** 4.19**에서 원편파특성을 정의하는** 3 dB**이내의 주파수 대역폭은** 40**소자 어레이 안테나의 경우 약** 380 MHz**이고** 80**소자 어레이 안테나의 경우 약** 370 MHz**이다**. **하나의 열에** 10**소자 어레이 안테나**, 20**소자 어레이 안테나의 축비 및 이득의 주파수 특성이 유사하여**, **안테나를 제작할 때**, **사용 목적에 맞게 크기와 구조를 변경할 수 있다**..

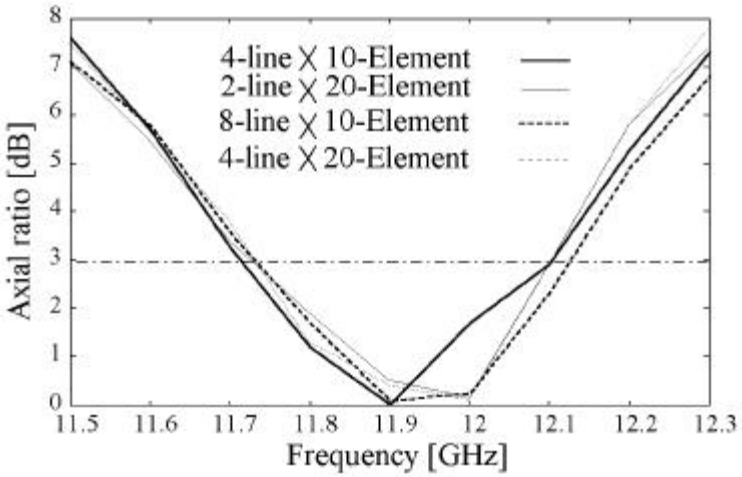


그림 4.23 40**소자**, 80**소자 어레이 안테나의 축비**

Fig. 4.23 Axial ratio of 40- / 80-Element array antenna.

그림 4.24**는** 40**소자**, 80**소자 어레이 안테나의 이득에 대한 주파수 특성을 보여준다**. 12 GHz**에서** 40**소자 어레이 안테나의 경우 각각** 13.4 dBi, 13.8 dBi, 80**소자 어레이 안테나의 경우 각각** 15.3 dBi, 15.7 dBi**의 이득을 얻었다**.

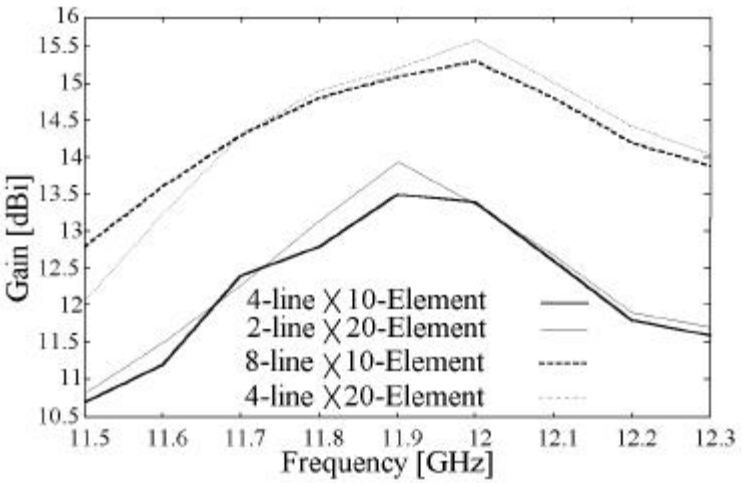


그림 4.24 40**소자**, 80**소자 어레이 안테나의 이득특성**

Fig. 4.24 Gain of 40- / 80-Element array antenna.

4.4 실험 결과

그림 4.25는 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)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.

20소자 어레이 안테나의 주파수 특성 계산 결과와 측정 결과를 그림 4.26에 나타내었다.

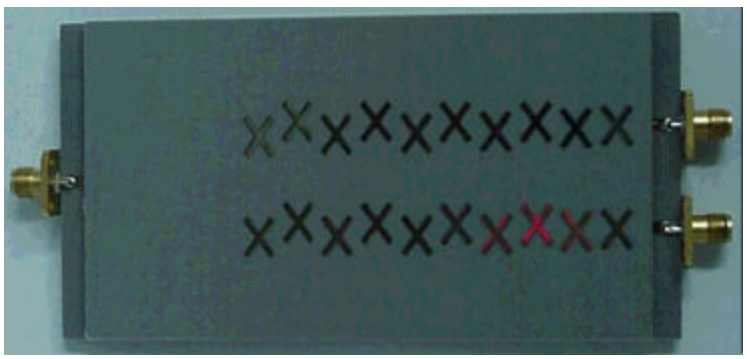


그림 4.25 제작된 20소자 EMC cross dipole 어레이 안테나의 사진
Fig. 4.25 Photograph of the fabricated 20-element array antennas.

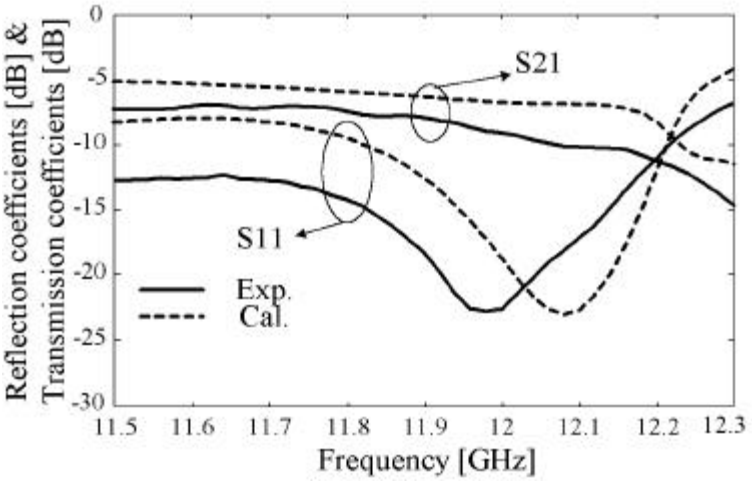


그림 4.26 20소자 어레이 안테나의 계산 및 측정된 주파수 특성
Fig. 4.26 The calculated and the measured frequency characteristics of the 20-element array antennas.

투과계수의 경우, 계산치와 측정치가 약 2 dB의 차이를 보이고 있고, 반사계수의 경우 측정치가 약 100 MHz정도 이동되었다. 오차의 원인을 분석하여 보면, 계산에 있어서 기판의 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 위치시키기가 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 dB이하로 양호하며, 측정치와 계산치가 잘 일치하는 특성을 보이고 있다.

4.5 검토

본 논문에서는 광대역과 원편파 특성을 얻기 위해 급전 마이크로스트립 선로와 EMC cross dipole소자로 구성된 단일소자 안테나를 설계 특성과 이들 특성을 이용한 10소자 및 20소자 어레이 안테나의 설계와 측정결과를 제시하고 있다. 어레이 급전구조는 각 port마다 50 Ω으로 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 반사계수와 투과계수를 측정하였고, 계산치와의 비교를 통해 본 연구의 타당성을 증명하였다.

그리고 10소자, 20소자 어레이 안테나의 지향각 변화를 살펴보았다. 10소자 어레이 안테나에서 소자간격이 약 8 mm(λ/2)때 주빔은 정면방향을 향하게 되고, 점점 커짐에 따라 빔의 방향은 +쪽으로 틸트되고 소자간격이 약 3λ/4일 때, -방향의 부빔이 커지고 있다. 그리고, 소자간격이 λ에 가까워지면서 빔은 정면방향을 향하고 있다. 또한 소자간격이 약 12 mm일 때 지향각이 약 -45°를 나타내고 있어 연구목적에 부합되는 결과를 얻었다. 20소자 어레이 안테나의 경우, 10소자 어레이 안테나와 마찬가지로 소자간격이 12 mm일 때 -46°의 지향각을 얻었다.

또한, 반사계수도 DBS대역에서 10소자의 경우 약 25 dB이하, 20소자의 경우 약 15 dB이하의 양호한 결과를 얻었다.

10소자, 20소자 어레이 안테나의 축비 및 이득의 계산결과 넓은 주파수대역과 양호한 이득을 얻었다.

10소자, 20소자 어레이 안테나의 결과를 토대로 40소자, 80소

자 어레이 안테나의 지향각 변화에 대하여 알아보았다. 지향각 변화를 위해 안테나의 소자간격을 변화시켜 -45° -48°의 빔 틸트를 행하였다. 이때 소자간격은 12 mm로 하였고, 그 외의 파라미터는 20소자의 것을 따랐다. 계산결과 약 48°, 46°를 얻어 연구목적에 부합되었고, 반사계수 역시 DBS대역에서 -14 dB, -13 dB이하의 좋은 특성을 얻었다. 또한, 하나의 라인에 10소자와 20소자씩 어레이 하여 그 특성을 알아보았다. 80소자 안테나의 경우, 8열 × 10소자 어레이 안테나와 4열 × 20소자 어레이 안테나의 복사패턴, 반사계수, 축비, 이득의 특성이 유사한 특성을 보이고 있어, 안테나 제작시 그 목적에 맞게 안테나 구조를 변경할 수 있다.

제 5 장 결론

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. 평면안테나중 마이크로스트립 안테나를 많이 사용하고 있지만 높은 주파수대에서 협대역폭을 갖고 있고 또한, 각각의 안테나 복사소자에 직접급전을 함으로써 기생복사를 발생하고 있다는 문제점을 가지고 있다. 마이크로스트립 안테나의 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 EMC Technique를 적용한 cross dipole을 제안한다.

본 논문에서는 먼저 EMC cross dipole 한 개의 복사소자에 대한 파라미터 스터디를 행하여 최적화된 안테나의 설계 파라미터를 얻었고, 그 계산결과 광대역특성과 원편파특성을 갖는 안테나소자를 설계하였다. 또한, 급전라인의 중심과 cross dipole의 중심과의 offset 변화에 따른 특성을 살펴 소자들을 어레이할 때 어레이 안테나 전체에 대해 균일한 복사전력이 복사되게 하였다.

하나의 안테나 복사소자를 어레이하여 10소자, 20소자 어레이 안테나를 설계하였으며, 직접 제작하여 그 계산치와 측정치를 비교하여 본 논문에서 설명한 안테나설계의 타당성을 입증하였다.

위성방송을 수신하기 위해서는 안테나주빔의 방향을 위성방향에 맞추어야 한다. 기존의 파라볼라 안테나, 평면 안테나는 주빔의 방향이 안테나의 정면방향을 향하고 있어, 건물벽이나 옥상 혹은 이동체에 탑재할 때 많은 공간를 차지할 뿐 아니라 미화적으로 부정적인 영향을 끼치었다. 이러한 점을 해결하기 위해 안테나의 소자간격을 조정함으로써 빔의 지향각을 조정하였다. 10소자, 20소자, 40소자, 80소자 어레이 안테나의 계산결과 안테나 소자간격이 약 12

mm일 때, 약 -45°의 지향각을 얻었다. 향후, 10소자, 20소자 안테나에 대한 복사패턴 실험를 통해 그 측정치와 계산치를 비교하고, 빔 틸트 어레이 안테나의 제작 및 실험이 과제로 남아있다.

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] C. A. Balanis, Antenna Theory, Ch. 14, John Wiley & Sons, 1982.

[3] I. J. Bahl, and P. Bhartia, Microstrip Antennas, Ch. 6, Artech House, 1982.

[4] W. L. Stutzman, and G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, Ch. 5, John Wiley & Sons, 1998.

[5] JR. James, and PS. Hall, Handbook of microstrip antenna, Ch. 5, IEE, 1989.

[6] 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.

[7] J. Watkins, "Circular Resonant Structures in Microstrip," Electron. Lett., vol. 5, no.21, pp. 524-525, 1965.

[8] 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.

[9] 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.

[10] E. Yamasita, and Qian, FDTD analysis of microwave planer circuits and antennas, Realize Inc., 1996.

[11] K. S. Yee. "Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equation in Anisotropic

Media", IEEE Trans. Antennas Prop., Ap-14, pp 302 307, 1966.

[12] G. Mur, "Absorbing Boundary Condition for the Finite Difference Approximation of the Time Domain Electromagnetic Field Equations", IEEE Trans. Microwave Theory, vol. MTT-23, no. 4, pp. 377 382, Nov. 1981.

[13] **민경식**, **임정남**, **김동철**, **임학규**, Hiroyuki Arai "**마이크로스트립 원편파 X자형 EMC 다이폴 어레이 안테나에 관한 연구**“, **마이크로파 및 전파전파학술대회**, 2000. 5.

[14] 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, Aug. 2000.

[15] E. H. Fooks, and R. A. Zakarevicius, Microwave engineering using microstrip circuits, Prentice Hall, 1990.

[16] K. C. Gupta, R. Garg, and I. J. Bahl, Microstrip lines and slotlimes, Artech House, 1979.

본 연구와 관련된 발표논문

[1] "**전자기적 결합을 이용한 원편파 크로스-다이폴 마이크로스트립 어레이 안테나의 설계**", **추계 전자파학회 학술대회**, 2000. 11.

[2] "Design for Microstrip Antenna with EMC Cross Dipole for Circular Polarization", International Symposium on Antenna & Propagation(ISAP), Aug. 2000.

[3] "**마이크로스트립 원편파 X자형 EMC 다이폴 어레이 안테나에 관한 연구**", **춘계 마이크로파 및 전파학술대회**, 2000. 5.

[4] "EMC Cross **다이폴을 이용한 원편파 안테나소자의 설계에 관한 연구**", **한국해양정보통신학회 춘계종합학술대회**, 2000. 5.

[5] "ㄷ**자형** Back Plate**를 가진 중계국안테나의 설계에 관한 연구**", **한국해양정보통신학회 논문지**, vol. 2, no. 4, 1998. 12.

[6] "A Study on Suppression of Back-lobe from Base Station Antennas for Mobile communication", Korea-Japan AP/EMC /EMT Conference(KJJC), Oct. 1998.

[7] "ㄷ**자형** Back Plate**를 가진 기지국안테나의 설계에 관한 연구**", **춘계 마이크로파 및 전파학술대회**, 1998. 5.

[8] "**이동통신용 기지국안테나의 후방부엽 개선에 관한 연구**", **한국해양정보통신학회 춘계종합학술대회**, 1998. 5.