전자기결합 다이폴을 이용한 직선편파 마이크로스트립 안테나의 설계

Design for Linearly Polarized Microstrip Antenna using Electromagnetic-Coupled Dipoles

민 경 식* · 장 철 순**

Kyeong-Sik Min* · Cheol-Sun Jang**

요 약

본 논문에서는 전자기적으로 결합하는 다이폴을 이용하여 직선편파를 복사하는 마이크로스트립 안테나의 설계에 관하여 기술하였다. 다이폴의 위치에 의해 서로 다른 직선편파를 가지는 안테나의 해석 및 설계는 FDTD 법으로 행하였다. 급전선로와 복사소자간의 상호결합을 고려한 단일 소자 안테나의 설계로부터 각 편파에 대한 설계파라미터들을 구했으며, 이를 이용한 어레이 설계에서 Offset을 변화시켜 복사전력을 조절할 수 있었다. 또한 어레이 소자간의 간격을 조정함으로써 원하는 방향으로의 지향각을 설계할 수 있었다. 5 소자 어레이 안테나를 제작하여 측정을 행하였고, 이들 결과는 이론치와 잘 일치하였다.

Abstract

This paper describes a design for linear polarization antenna using the EMCD (electromagnetically coupled dipole). The analysis and the design of model antennas are conducted by FDTD method. Vertical and horizontal linear polarizations are easily obtained by variation of dipole position. In 1-element antenna design, mutual coupling between microstrip feed line and radiator is considered. Design parameters of each 1-element antenna with vertical and horizontal polarization are used for array design. Radiation power and main beam tilting angle can be controlled by the offset and the distance between radiating elements in an array, respectively. 5-element array antennas are fabricated and measured to prove the design validity. The results of FDTD simulation and measurement show the reasonable agreement.

I. 서 론

직선편파를 이용하여 위성통신을 하기 위한 여러 종류의 안테나가 연구되고 있다. 위성통신의 경우, 수직편파와 수평편파를 동시에 사용하므로 안테나 하나로 양편파를 만족시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구의 최종 목표는 안테나의 급전선에 대한 다이폴의 위치를 다르게 하여 서로 다른 수직편파를 복사하게 하고, 급전 구조에 스위치를 두어 편파를 선택할 수 있는 안테나를 구현하고자 하는 것이다. 본 논문에서는 수직편파와 수평편파를 복사할 수 있는 안테나 소자를 설계하고, 이 소자들을 배열하였을 때 발생하는 결합특성과 주빔의 틸트 특성을 각 편파에 대해 설계하는 것까지로 한다. 본 연구에서 얻

* 한국해양대학교 공과대학 전파공학과(Department of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University)
** (유)신동(Shin Dong LTD.)
· 논 문 번 호 : 20010627-086
· 수정완료일자 : 2001년 9월 6일

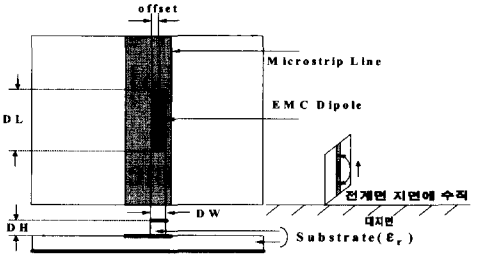
은 결과를 바탕으로 스위치를 할 수 있는 어레이 안테나를 설계하는 것은 본 논문에서 제외하며 금후의 과제로 한다. 복사소자인 다이폴의 위치만을 변화시켜 양편파를 구현할 수 있다는 설계의 장점과 제작의 용이성을 고려하여, 본 논문에서는 전자기적으로 결합하는 특성을 가지는 다이폴을 이용한 직선편파 안테나의 소자특성 및 어레이 안테나의 설계를 행하였다.

전자기 결합 다이폴 (EMCD) 안테나는 소자배열이 쉽고 급전구조가 간단하며, 소형·경량화가 가능하다. 또한 마이크로스트립 급전선로 위의 다이폴 배치에 따라 수직편파와 수평편파를 쉽게 만들어 낼 수 있는 이점이 있다[1]~[5]. 본 논문에서는 먼저, 복사소자인 다이폴의 배치변화로부터 수직편파 및 수평편파을 복사하는 단일소자에 대해 QFDTD법[6]을 이용하여 전자계 해석과 설계를 행하고, 수치해석에 의한 설계 파라미터를 제시한다. 설계주파수는 위성통신용으로 할당된 12 GHz로 하였으며, 설계를 위한 파라미터로는 다이폴의 길이(DL), 다이폴의 폭(DW), 다이폴의 높이(DH), 그리고 다이폴의 Offset 등이 있다. 이들 파라미터들이 안테나에 미치는 영향과 편파에 미치는 영향을 계산을 통해 분석하였고, 비유전율 및 유전체의 높이 등은 테프론 유전체 기판을 선택함으로써 고정된 파라미터로 이용할 수 있었다[7]. 단일 소자의 설계로부터 얻은 데이터를 이용하여 어레이 설계로 확장시켰다. 어레이시 소자간격을 조정하여 빔의 지향각이 변화하는 것을 보았으며, 소자간의 결합량은 Offset의 조정에 의해 행하였다. 수직편파와 수평편파에 대한 5 소자 어레이 안테나를 각각 제작하여 측정을 행하였고, 그 결과를 이론치와 비교하였다.

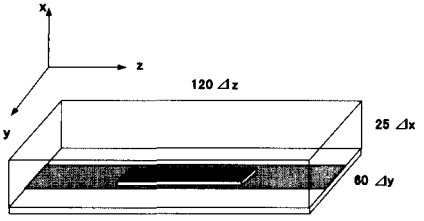
Ⅱ. EMCD 안테나의 구조

2-1 수직편파용 다이폴 소자

그림 1(a)는 수직편파를 복사하기 위한 EMCD 안테나의 구조를 보여주고 있다. 각각의 파라미터와 명칭은 그림과 같다. 그림에서 마이크로스트립 선로의 길이 방향으로 다이폴이 얹혀져 있기 때문에 안테나를 대지면에 수직으로 세울 경우 전계면이 대지면과 수직이 되어 수직편파가 발생함을 알 수 있다. 그림 1(b)는 단일 소자 모델 안테나를 FDTD법으로 해석하기 위한 구조를 나타내고 있다. 설계에 사용된 수직편파용 안테나 모델의 크기는 $25\Delta x \times 60\Delta y \times 120\Delta z$이고 Δx, Δy, Δz는 각각 0.2 mm로 하여 이후 모든 계산에 있어 같은 셀의 크기를 사용하였다.



(a) Top view of model antenna



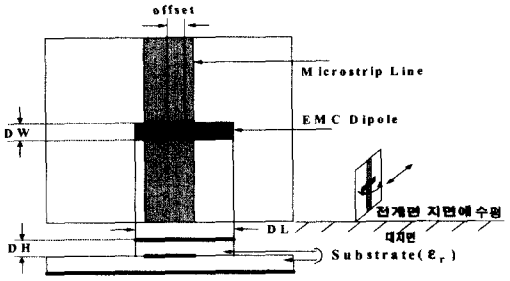
(b) 3-D Structure

그림 1. 수직편파 전자기결합형 다이폴 안테나의 구조

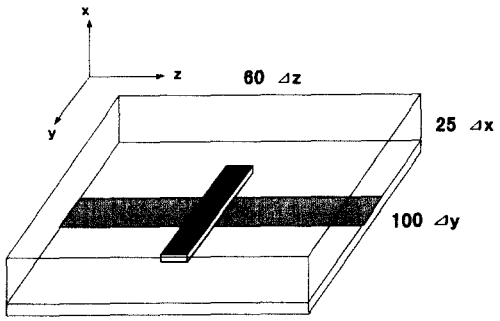
Fig. 1. EMCD antenna structure with vertical polarization.

2-2 수평편파용 다이폴 소자

그림 2(a)는 수평편파를 복사하기 위한 EMCD 안테나의 구조를 나타낸다. 이 모델안테나에서 구하고자 하는 파라미터들의 명칭은 그림 2(a)와 같다. 그림 1(a)의 수직편파와는 달리 수평편파는 다이폴이 스트립라인에 수직으로 얹혀있기 때문에 안테나를 대지면에 수직으로 세울 경우 전계면이 대지면과 수평이 되어 수평편파가 발생함을 알 수 있다. 그림 2(b)는 단일 소자 모델 안테나를 FDTD법으로 해석



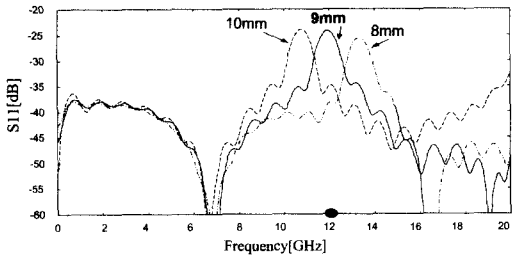
(a) Top view of model antenna



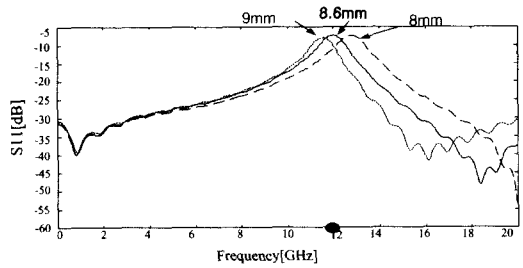
(b) 3-D Structure

그림 2. 수평편파 전자기결합형 다이폴 안테나의 구조

Fig. 2. EMC dipole antenna structure with horizontal polarization.



(a) S_{11} with respect to the variation of DL for model antenna with vertical polarization



(b) S_{11} with respect to the variation of DL for model antenna with horizontal polarization

그림 3. 두 종류 모델 안테나의 주파수 특성

Fig. 3. Frequency characteristics of two types model antennas.

하기 위한 구조를 나타내고 있다. 설계에 사용된 수평편파를 가지는 모델의 크기는 $25\Delta\chi \times 100\Delta y \times 60\Delta z$이고 $\Delta\chi$, Δy, Δz 는 수직편파에서와 마찬가지로 0.2 mm로 하여 이후 모든 계산에 있어 같은 셀의 크기를 사용하였다.

Ⅲ. EMCD 단일소자의 설계

3-1 다이폴의 길이(DL)

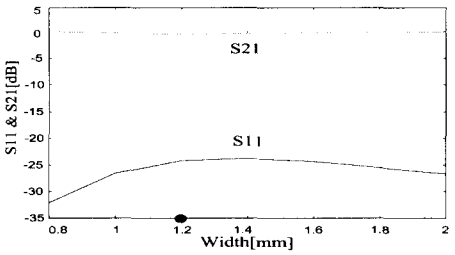
마이크로스트립에서 다이폴의 일반적인 공진 길이는 식 (1)에 의해 구할 수 있다[4]. 식 (1)에서 자유공간파장이 λ_0이고 $\varepsilon_r = 2.6$일 때, 12 GHz에 대한 공진 길이는 식 (1)로 부터 9.31 mm를 얻을 수 있다. 그러나 이 식에는 공진길이에 영향을 줄 수 있는 선로와 다이폴간의 상호결합 효과가 포함되어 있지 않다. 이 효과를 고려하여 FDTD법으로 시뮬레이션을 해 본 결과 그림 3으로부터 알 수 있듯이 수직편파에서는 9 mm, 수평편파에서는 8.6 mm에서 공진함을 알 수 있다. 식에 의한 공진 길이와 시뮬레이션에 의한 공진 길이가 다른 이유는 위에서도 언급했듯이 마이크로스트립선로와 다이폴 사이의 상호결합 효과 때문이다. 또한 그림 3(b)의 수평편파소자의 반사계수특성이 그림 3(a)에 비해 나쁘게 나타나는 것은 복사소자인 다이폴이 급전선로와 직교하고 있어 상호결합이 수직편파소자안테나 구조보다 강하기 때문이다. 본 연구에서는 12 GHz에서 공진하는 9 mm와 8.6 mm를 각각 선택하였다.

$$DL \simeq \frac{\lambda_0}{\sqrt{2(\varepsilon_r + 1)}} \quad (1)$$

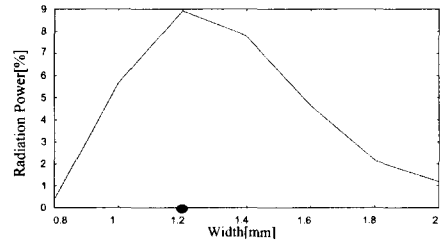
3-2 다이폴의 폭(DW)

그림 4는 수직편파에서 다이폴의 폭을 0.8 mm에서 2 mm까지 변화시켰을 때의 S_{11} 및 S_{21}의 변화와 복사전력을 나타내고 있는데 그림으로부터 알 수 있는 것처럼 전체적으로 −25 dB 이하의 양호한 반사특성을 보이고 있다. 또한 그림 4(b)를 보면 다이폴의 폭이 1.2 mm일 때 최대 복사전력을 나타내고 있다. 이는 어레이 설계시에 반사량과는 무관하게 폭의 조정을 통하여 복사전력을 제어할 수 있음을 의미한다. 여기서는 1.2 mm의 수직편파용 다이폴의 폭을 이후의 설계에서 선택하기로 한다.

그림 5는 수평편파에 대해 수직편파에서와 같이 다이폴의 폭을 변화시켜 보았다. 수직편파에서와는 달리 폭이 1.0 mm에서 특성이 가장 좋음을 알 수 있다. 복사전력은 S_{11} 및 S_{21}의 값을 이용하여 식 (2)에 의해 간단히 구할 수 있다. 폭 변화에 따른 S_{11} 및 S_{21}의 변화는 적지만 그림 4(b)와 그림 5(b)를 비교해 보면 상호결합의 영향에 의해 복사전력량에 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 수평편파용 다이폴을 어레이할 경우는 다이폴의 위치변화 등에 의한 복소전력량의 조절이 필요하게 된다.



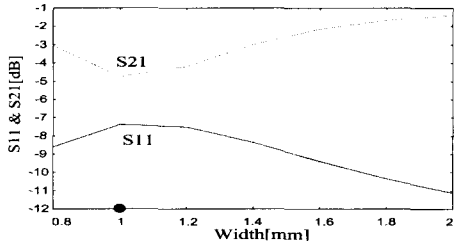
(a) S_{11} and S_{21} functions of the variation of DW



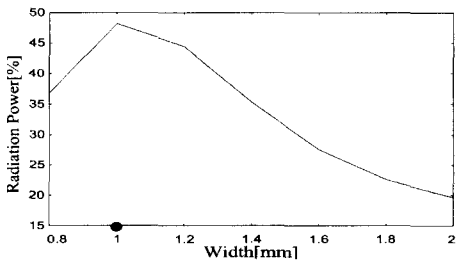
(b) Radiation power of the variation of DW

그림 4. 수직편파 모델 안테나의 다이폴 폭 변화특성

Fig. 4. The variation of DW for model antenna with vertical polarization.



(a) S_{11} and S_{21} functions of the variation of DW



(b) Radiation power of the variation of DW

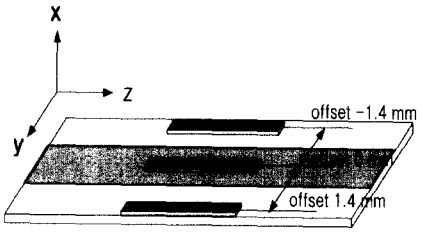
그림 5. 수평편파 모델 안테나의 다이폴 폭 변화특성

Fig. 5. The variation of DW for model antenna with horizontal polarization.

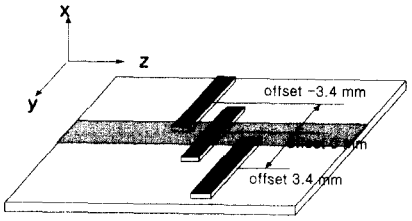
$$Pr = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \quad (2)$$

3-3 다이폴의 Offset

다이폴 소자들을 배열할 경우, 각 소자로부터의 복사전력을 균일하게 하기 위하여 단일 다이폴 소자를 이용하여 다이폴의 위치변화에 따른 복사전력의 변화를 알아보기 위해 다이폴의 Offset을 계산하였다. 그림 6(a)와 (b)에서 Offset의 기준점은 급전선의 중심(Offset = 0 mm)이다. 수직편파에 대해 다이폴의 폭을 1.2 mm로 고정하고 Offset을 −1.4 mm에서 1.4 mm까지 변화시켜 보았다. 수평편파에서는 다이폴의 폭을 1.0 mm로 고정하고 Offset을 −3.4 mm에서 3.4 mm까지 변화시켰으며, 수직 및 수평편파에서 정한 Offset의 범위는 어레이를 하였을 경우, 다이폴이 서로 겹치지 않으면서 옆의 선로에 영향

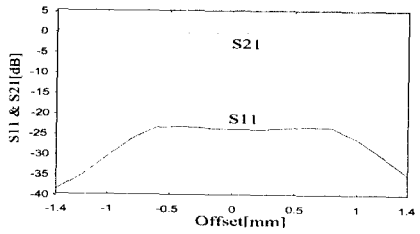


(a) The variation of offset as vertical polarzation

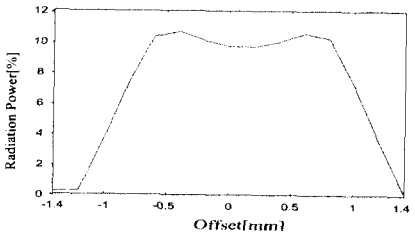


(b) Offset of the variation as horizontal polarization

그림 6. 어레이 설계를 위한 Offset의 변화 모양
Fig. 6. The variation of offset for array design.



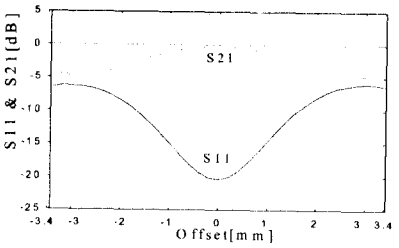
(a) S_{11} and S_{21} as functions of offset



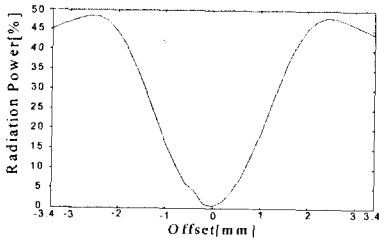
(b) Radiation power as function of offset

그림 7. 수직편파용 모델 안테나의 Offset 변화
Fig. 7. The offset variation for model antenna with vertical polarization.

을 가장 적게 줄 수 있는 위치까지로 한정하였다. 이 범위를 벗어나면 어레이시 옆선로와의 결합으로



(a) S_{11} and S_{21} as functions of offset



(b) Radiation power as function of offset

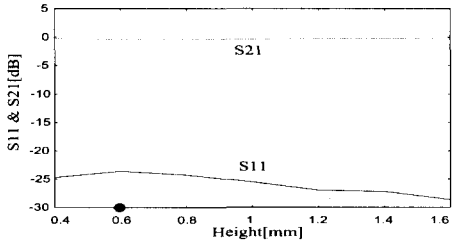
그림 8. 수평편파용 모델 안테나의 Offset 변화
Fig. 8. The offset variation for model antenna with horizontal polarization.

특성의 변화가 생긴다. 또한 급전선로와 다이폴사이의 전자적 결합이 강하지 않으면 전계강도가 약하여 전파를 복사하는 데에 문제가 되므로 Offset의 범위를 그림 6과 같이 한정하였다. 그림 6에서는 수직 및 수평편파 배열 안테나에서의 소자간 Offset이 변화하는 모양을 나타내었다.

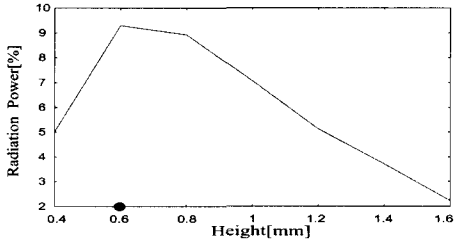
수직편파의 경우 그림 7에서 보듯이 다이폴이 급전선로에서 벗어날수록 커플링이 약해져 복사전력이 작아짐을 알 수 있다. 수평편파의 경우 그림 8을 보면 알 수 있듯이 수직편파와는 달리 다이폴이 급전선로에서 벗어날수록 복사전력이 커짐을 알 수 있다. 이것은 다이폴이 급전선로에 수직으로 놓여 있기 때문에 전류의 흐름을 방해하고 전류의 벡터 방향을 바꾸므로 다이폴의 끝단에서 복사가 강하게 생기기 때문이다. 이들 특성을 어레이에 적용하여, 다이폴간의 커플링 효과를 이용한 복사전력의 제어를 행하여 각각의 다이폴이 균일하게 전파를 복사할 수 있도록 할 수 있음을 그림으로부터 판단할 수 있다.

3-4 다이폴의 높이(DH)

다이폴의 높이는 급전선로에서부터 다이폴까지의 거리를 말한다. 높이의 변화에 따라, 상호결합 효과와 회로의 반사특성이 달라지므로 설계를 통하여 최적의 높이를 찾는 것은 대단히 중요하다. 그림 9로부터 알 수 있는 것처럼, 수직편파용 모델에서는 높이가 다소 변해도 반사특성의 변화가 적어 높이

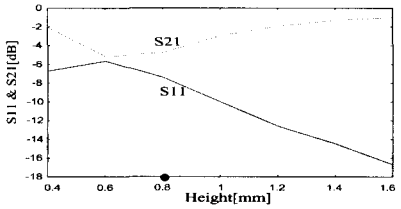


(a) S_{11} and S_{21} as functions of dipole height

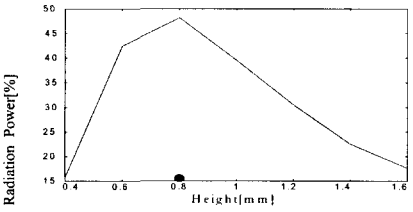


(b) Radiation power as functions of height

그림 9. 수직편파용 모델 안테나의 다이폴 높이 변화
Fig. 9. The variation of DH for model antenna with vertical polarization.



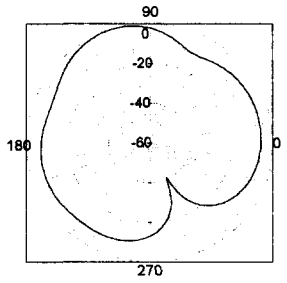
(a) S_{11} and S_{21} as functions of dipole height



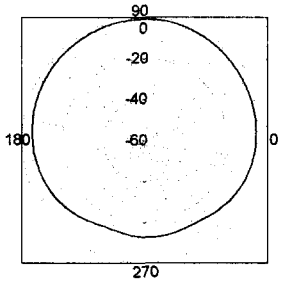
(b) Radiation power as functions of height

그림 10. 수평편파용 모델 안테나의 다이폴 높이 변화
Fig. 10. The variation of DH for model antenna with horizontal polarization.

에 따른 복사전력의 변화는 적음을 알 수 있다. 예를 들어, 0.6 mm일 때 복사전력이 가장 좋지만 높이 0.8 mm와는 복사전력의 차이가 0.4 % 밖에 나지 않는다. 그래서 실제 제작시의 테프론 기판을 고려하여 설계에서는 유전율 2.6, 높이 0.8 mm을 선택하여 고정된 파라미터로 사용하였다. 수평편파에서는 높이 0.8 mm일 때 특성이 가장 좋다.



(a) Vertical polarization



(b) Horizontal polarization

그림 11. 12 GHz에서의 1소자 안테나에 대한 E면 지향성
Fig. 11. E-plane radiation pattern for 1-element Antenna at 12 GHz.

Table 1. Design parameters of EMC dipole with vertical and horizontal polarization

	수직편파	수평편파
설계주파수	12 GHz	
ε_r	2.6	2.6
다이폴 길이(DL)	9 mm	8.6 mm
다이폴 폭(DW)	1.2 mm	1.0 mm
다이폴 높이(DH)	0.8 mm	0.8 mm
Offset	0 mm	1.0 mm

3-5 지향성 패턴

Table 1은 앞의 설계에서 구한 파라미터를 정리한 표이며, 이들의 값을 이용하여 12 GHz에서의 수직편파 및 수평편파에 대한 각각의 Eθ면 지향성 패턴을 그림 11에 나타내고 있다. 각각의 그림들을 보면 정면 방향(90°)에서 약간씩 빔이 틸트됨을 알 수 있다. 그러나 이것은 Offset, 높이의 변화 등에 기인하는 것으로 이 설계에서는 큰 의미를 가지지 않으며 단일 소자에 대한 지향특성을 잘 보여주고 있다.

Ⅳ. EMCD 어레이 설계

4-1 5-element 어레이 설계

Table 1에서 도출한 1개 소자에 대한 설계값을 이용하여 어레이 설계를 행하였다. 안테나 소자들 사이의 상호결합 특성을 조사하기 위해 소자수를 5개까지 늘려보았다. 그림 12(a)와 (b)는 Offset에 따른 복사전력의 값을 이용한 소자간의 커플링을 고려하여 설계한 어레이 안테나를 나타내고 있다. 이때 수직편파에서는 소자간의 간격이 17 mm일 때 주빔의 지향각이 정면방향인 90°였으며, 수평편파에서는 8.2 mm일 때 지향각이 90°였다. 수직편파의 경우 소자사이의 간격을 $\lambda g/2$로 두지 못하는 이유는 수직편파를 복사하는 안테나의 길이가 9 mm로 서로 겹치기 때문이다.

그림 13과 그림 15는 각각 수직 및 수평편파 어레이 안테나에서의 반사와 투과계수를 나타내며, 그림 14와 그림 16은 어레이수의 변화에 따른 E-plane의 방사패턴 변화를 나타낸다. 그림 14와 그림 16의 지향성 패턴의 경우, 소자수가 증가할수록 팬슬 빔이 됨을 알 수 있다. 또한 소자수의 증가와 더불어 상대적인 지향이득이 커짐을 알 수 있다. 당연한 결과이지만 소자수가 증가함에 따라 주빔이 정면방향으로 이동하고 있고 이는 동위상으로 전파가 여진하는 것을 의미하므로 설계의 목적과 이론이 잘 일치함을 알 수 있다.

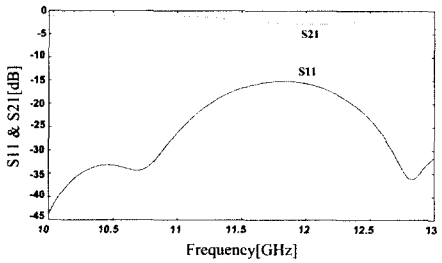
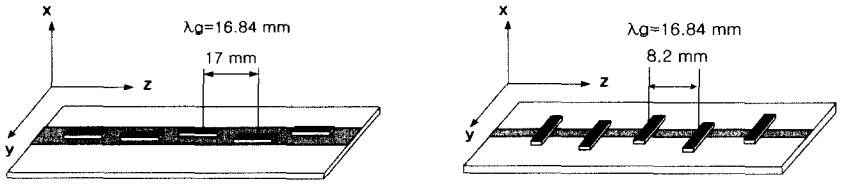


그림 13. 수직편파용 5 소자 어레이 안테나의 S_{11} 및 S_{21}

Fig. 13. S_{11} and S_{21} of 5-element array antennas with vertical polarization.



(a) Vertical polarization (b) Horizontal polarization

그림 12. 두 종류의 5소자 어레이 안테나 구조

Fig. 12. Two types of 5-element array antennas structure.

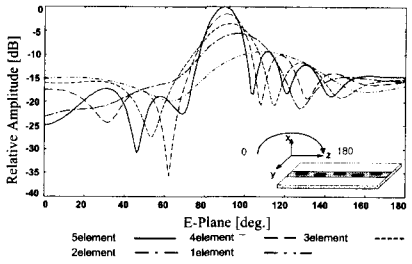


그림 14. 12 GHz에서의 소자수 변화에 따른 수직편파 E면 지향성 패턴

Fig. 14. E-plane radiation pattern of V-pol. for the various elements at 12 GHz.

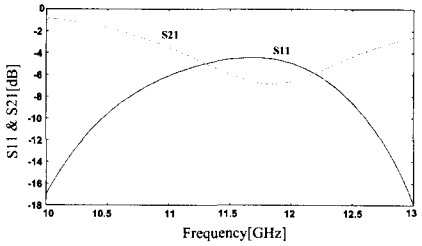


그림 15. 수평편파용 5 소자 어레이 안테나의 S_{11} 및 S_{21}

Fig. 15. S_{11} and S_{21} of 5-element array antennas with horizontal polarization.

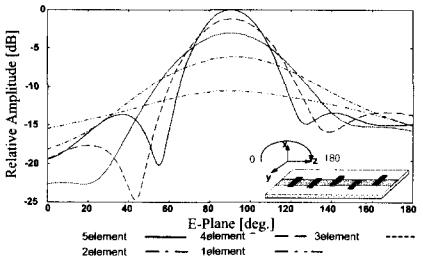


그림 16. 12 GHz에서의 소자수 변화에 따른 수평편파 E면 지향성 패턴

Fig. 16. E-plane radiation pattern of H-pol. for the various elements at 12 GHz.

4-2 5-element 어레이의 빔 틸트 설계

평면안테나의 평면구조의 특성을 최대한으로 활용하기 위해 소자간의 간격조정에 의한 주 빔의 틸트 각도를 설계하였다. 그림 17과 그림 18은 5개 소자 어레이시 수직 및 수평편파 각각에 대해 소자의 간격을 조정함으로써 변화되는 빔의 지향각을 나타내고 있다. 수직편파의 경우, 소자간격이 20 mm일 때 77° (정면 방향에 대하여 13° 급전방향의 반대방향으로 빔이 틸트), 17 mm일 때 90° (정면방향), 14 mm일 때 107° (정면방향에 대하여 17° 급전방향으로 빔이 틸트)가 됨을 알 수 있다. 빔이 틸트되는 만큼 소자사이의 간격이 달라져 복사되는 전파의 위상이 틀려지게 되고 이득은 다소 감쇠하나 빔

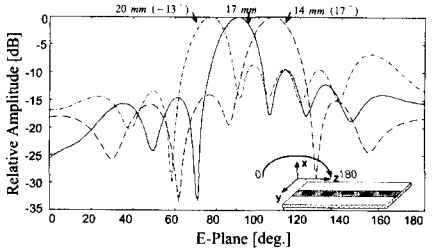


그림 17. 12 GHz에서 수직편파용 5소자 어레이 안테나의 소자간 거리변화에 따른 E면 지향성 패턴

Fig. 17. E-plane Radiation Patterns by elements distance variation of 5-element Array antennas with vertical polarization at 12 GHz.

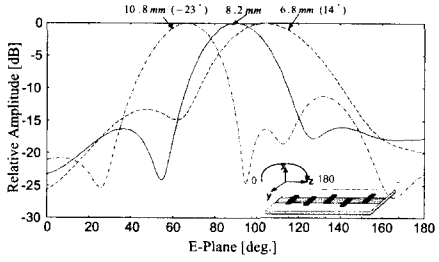


그림 18. 12 GHz에서 수평편파용 5소자 어레이 안테나의 소자간 거리변화에 따른 E면 지향성 패턴

Fig. 18. E-plane Radiation Patterns by elements distance variation of 5-element Array antennas with horizontal polarization at 12 GHz.

을 원하는 방향으로 임의적으로 조정할 수 있다는 특징이 있다. 계산으로부터 이를 확인할 수 있었다.

수평편파의 경우 5개 어레이시 소자간격이 10.8 mm일 때 67° (정면 방향에 대하여 23° 급전방향의 반대방향으로 빔이 틸트), 8.2 mm일 때 90° (정면 방향), 6.8 mm일 때 104° (정면 방향에 대하여 14° 급전방향으로 빔이 틸트)가 됨을 알 수 있다. 이는 소자간의 간격을 조정함으로써 빔을 원하는 방향으로 틸트시킬 수 있음을 나타낸다. 또한 유전체를 사용하므로 빔은 급전방향의 반대방향으로 틸트되는 것이 일반적인 것을 고려하면, 수평편파의 경우,반파장보다 소자사이의 거리가 커질수록 빔의 틸트각이 커지고 그레이팅 로브를 줄일 수 있음을 설계로부터 예측할 수 있다.

V. 안테나의 제작 및 측정결과

그림 19는 실제 제작한 안테나의 사진이다. 전체의 길이가 수직편파일 경우 11.6 cm, 수평편파일 경우 7.5 cm로 아주 작다. 제작시 마이크로스트립라인 위에 얹히는 다이폴이 아주 작기 때문에 정밀하게 제작할 수 없었으며, 설계에서 고려한 옵셋을 정확하게 맞출 수 없는 어려움이 있었다. 또한 설계한 유전율 2.6인 테프론 기판을 구할 수가 없어서 특성이 비슷한 유전율 2.5, 높이 0.8 mm인 테프론 기판을 사용하였다.

그림 20은 수직편파를 복사하는 5소자 어레이 안테나의 투과 및 반사계수에 대한 측정결과와 시뮬레이션 결과를 비교한 그림이다. S_{11}은 다소 차이가 있지만 S_{21}은 어느 정도 일치하고 있음을 보여준다. 측정치와 이론치가 다소 차이가 생긴 이유는 위에서도 언급하였듯이 유전율의 차이, 다이폴 소자들의 일정한 높이 유지 등이 실제 제작하는 과정에서 오차로 작용한 것으로 사료된다.

그림 21은 수평편파를 복사하는 5소자 어레이 안테나의 투과 및 반사계수에 대한 측정결과와 시뮬레이션 결과를 비교한 그림이다. 수직편파에 비해 주파수의 천이가 일어나고 있으며, 이는 위에서 언급한 제작상의 오차로 사료된다. 또한 수평편파의 경우 반사계수의 특성을 향상시킬 필요가 있으며, 이는 다이폴 소자의 구조변화를 할 필요가 있음을 측정치와 이론치의 비교로부터 알 수 있었다. 이는 향후의 과제로 남겨 두고자 한다.,

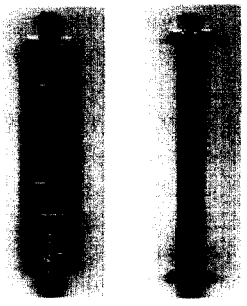


그림 19. 제작된 두 종류의 어레이 안테나의 사진
Fig. 19. Photographs of the manufactured two types array antennas.

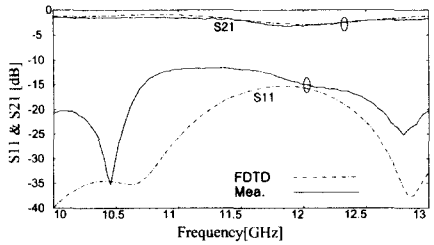


그림 20. 수직편파용 5소자 어레이 안테나의 계산치와 측정치의 비교
Fig. 20. The comparison between simulation and measurement of 5-element array antennas with vertical polarization.

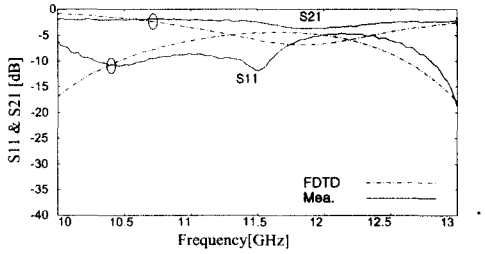


그림 21. 수평편파용 5 소자 어레이 안테나의 계산치와 측정치의 비교
Fig. 21. The comparison between simulation and measurement of 5-element array antennas with horizontal polarization.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 전자기적으로 결합하는 다이폴을 이용하여 수직편파 및 수평편파를 복사하는 마이크로스트립 안테나의 설계에 관하여 기술하였다. 다이폴의 배치에 의해 서로 다른 직선편파를 가지는 안테나의 해석 및 설계는 FDTD법으로 행하였다. 급전선로와 복사소자간의 상호결합을 고려한 단일 소자 안테나의 설계로부터 각 편파에 대한 설계파라미터들을 구했으며, 이를 이용한 어레이 설계에서 Offset을 변화시켜 복사전력을 조절할 수 있었다. 또한 어레이 소자간의 간격을 조정함으로써 원하는 방향으로의 지향각을 설계할 수 있었다. 5 소자 어레이 안테나를 제작하여 측정을 행하였고, 이들 결과는 FDTD법으로 구한 시뮬레이션 값들과 잘 일치하였다. 금후의 과제로는 본 연구에서 얻은 결과를 바탕으로 수직편파와 수평편파를 급전구조에서 스위치 할 수 있는 어레이 안테나를 설계·제작하는 것이다.

참 고 문 헌

[1] P. B. Katehi and N. G. Alexopoulos, "On the modeling of electromagnetically coupled micro strip antennas - The printed strip dipole", *IEEE Trans., AP-32*, pp. 1179-1186, 1984.

[2] H. G. Oltman and D. A. Huebner, "Electromagnetically coupled microstrip dipoles", *IEEE Trans., AP-29*, pp. 151-157, 1981.

[3] P. B. Katehi, "A generalized method for the elevation of mutual coupling arrays", *IEEE Trans., AP-35*, pp. 125-133, 1987.

[4] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of microstrip antennas*, IEE Series 28, Peter Peregrinus Ltd., pp. 295-310, 1989.

[5] 민경식, 임정남, "전자기 결합기법을 이용한 원편파 마이크로스트립 크로스 다이폴 어레이 안테나의 설계", 한국전자파학회논문지, 제12권 1호, pp. 50-57, 2001.

[6] E. Yamasita and Qian, *FDTD Analysis of Microwave Planner Circuits and Antennas*, Realize Inc., 1996.

[7] 민경식, 서성기, 진종성, 박세현, 김동철, 임학규, Hiroyuki Arai, "전자결합 다이폴을 이용한 직선편파 안테나의 설계에 관한 연구", 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, Vol. 23, No. 1, pp. 391-394, May 2000.

민 경 식

1962년 1월 22일생
1989년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
1991년 2월: 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사)
1992년 1월: 한국해양대학교 조교
1993년 1월~1993년 9월: 고등기술연구원 정보통신연구실 근무
1993년 10월~1996년 9월: 동경공업대학 전기전자공학과 (공학박사)
1997년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 조교수
[주 관심분야] 위성방송 및 이동통신용 평면안테나 설계, 초고주파회로 설계, DBF 수신시스템 설계

장 철 순

1949년 10월 27일생
1971년 12월: 한국해양대학교 기관학과 (공학사)
1971년~1982년: 범양상선(주)승선 및 조선감독
1983년~1986년: 한진중공업(주) 해외주재
1986년~1991년: (주)사라콤 전무이사
1991년~현재: (유)신동 대표이사
[주 관심분야] 선박용 위성 통신 안테나 운용 및 응용