論文2002-39TC-4-6

수평편파 EMCD 어레이 안테나의 빔 틸트 특성

(Beam-tilting Characteristics of Horizontally Polarized EMCD Array Antennas)

閔 庚 植 *, 新井宏之 **

(Kyeong-Sik Min and Hiroyuki Arai)

요 약

본 논문에서는 수평편파용 EMCD 어레이 안테나의 빔 틸트 특성을 기술하고 있다. 소자하나에 대하여 설계를 한 후, 이를 어레이 설계에 적용하여 어레이 안테나의 특성을 평가하였다. FDTD법에 의해 해석된 수평편파용 EMCD 어레이 안테나의 이론적 주파수특성과 지향성 패턴 결과는 실제 제작한 안테나의 측정치와 잘 일치하였다. 제작된 20 소자 어레이 안테나의 주빔의 앙각 틸트 각도는 무궁화위성이 위치한 47°였고, 반치폭은 약 ± 7.5° 정도로 양호한 지향성 특성을 보였다.

Abstract

This paper describes beam-tilting characteristics of horizontally polarized EMCD (electromagnetically coupled dipole) array antennas. The result of one element radiator is used for array elements designs and is evaluated its characteristics. Theoretical frequency characteristics and radiation pattern of the horizontally polarized EMCD array antennas analyzed by FDTD method agree well with the measured results of the practically fabricated array antennas. The measured main beam tilt angle and 3 dB beam width of the fabricated 20-element array antennas are 47° and about ± 7.5°, respectively. A good radiation pattern and beam tilting characteristics are observed in experiments.

Key Words : horizontal polarization, electromagnetically coupled dipole array antenna, microstrip antenna, beam tilting

Ⅰ. 서 론

디지털통신용으로 할당된 CS(Communication Satellite) 채널을 사용하여 디지털방송을 포함한 다양한 서비스가 전 세계적으로 급증하고 있는 추세이다. 그러나 아직 대부분의 CS용 안테나는 편파변환이 용이하고 고이득이라는 이유로 파라볼라 안테나를 사용하고 있는 실정이다. 파라볼라 안테나는 고주파수에서는 특성이 우수하나 눈, 비, 바람 등의 영향을 많이 받고 내구성 및 설치상의 애로와 편파변환을 수동적으로 행해야 하는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 평면안테나에 대한 많은 연구들이 이루어지고 있다[1~4]. 일반적으로 CS는 원편파를 사용하는 방송위성(DBS)과는 달리 수평(상향), 수직(하향)의 직선편파를 사용하고 있다. 따

* 正會員, 韓國海洋大學校 工科大學 電波工學科
(Department of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University)
** 요코하마 國立大學 電子情報工學科
(Division of Electrical and Computer Engineering, Yokohama National University)
接受日字:2001年9月12日, 수정완료일:2002年3月22日

라서 평면 안테나로 CS 서비스를 하기 위해서는 수직·수평편파를 동시에 수신할 수 있는 편파공용 안테나의 개발이 필수적이다. 저자 등은 다이폴의 구조변경에 의해 쉽게 수직편파공용의 특성을 가지는 전자기결합 다이폴 (Electro-Magnetically Coupled Dipole: EMCD) 어레이 안테나를 제안해 오고 있다[5,6]. 특히 마이크로스트립 안테나는 대역폭이 좁은 단점이 있으나 이를 개선하기 위한 방법으로 전자기 결합기법이나 다층구조를 널리 이용하며, 전자기 결합기법을 이용하여 수직편파를 얻기 위한 방법이 다수 제안되어져 왔다[7~9].

본 논문에서는 수평편파에 대한 단일 소자에서부터 어레이 안테나까지의 전자계 해석 및 설계와 주빔의 지향각 틸트효과를 중심으로 논하고자 한다. 빔 틸트를 하는 방법으로는 크게 소자사이의 간격 및 급전선과의 결합효과를 이용하는 것과 능동소자를 이용하여 전자적으로 빔을 조정하는 방법[10,11] 등이 있다. 본 논문에서는 전자의 고정빔을 틸트시키는 방법을 이용하였다. 본 논문에서 EMCD 단일 소자 안테나는 다층구조 마이크로스트립 안테나의 해석에 적합한 FDTD법을 이용하여 이론적 전자계해석을 행하였다[12]. 어레이 설계에도 FDTD법을 이용하였으며, Offset을 변화시켜 복사전력을 조절하였고, 어레이 소자간의 간격을 조정함으로써 원하는 방향으로 주빔의 지향각을 조절하는 설계를 행하였다. 제작된 20 소자 어레이 안테나의 주빔의 앙각 틸트각도는 무궁화위성이 위치한 47° 였고, 반치폭은 약 ± 7.5° 정도로 양호한 지향성 특성을 보였다. 또한 제안된 수평편파용 빔 틸트 EMCD 어레이 안테나의 주파수 특성 및 지향성에 대한 이론치와 측정치의 비교를 통해 설계법의 타당성을 입증하였다.

Ⅱ. 안테나의 설계

1. 단일복사소자의 구조와 설계

그림 1.은 수평편파용 EMCD 안테나의 구조와 지향성 패턴을 위한 좌표계를 나타내고 있다. 급전을 위한 마이크로스트립선로와 전자기적 결합을 하는 복사 다이폴소자로 구성된 이 안테나는 구조적으로 수평편파를 발생한다. 일반적으로 EMCD 안테나는 다이폴소자와 급전선로와의 각도차이에 의해 쉽게 수직·수평편파를 얻을 수 있으며, 본 논문에서는 수직편파에 대한 설계법을 기초로 하여 수평편파에 대한 설계를 행하였다[6]. 설계를 위한 파라미터로는 다이폴의 길이(D_l), 다이폴의 폭(D_w), 다이폴의 두께(D_h), 급전선로의 중심에서부터 다이폴 중심까지의 Offset(D_o)와 다이폴 소자간의 간격(D_d) 등이 있다. FDTD법을 이용하여 수치해석을 하기 위한 각각의 셀 크기는 다이폴의 두께, 다이폴의 길이, 마이크로스트립선로 폭과 다이폴의 폭을 고려하여 $\Delta x = 0.389mm$, $\Delta y = 0.4mm$, $\Delta z = 0.265mm$로 하였다. 전자계해석에 있어서 Mur의 2차 흡수경계조건을 사용하였다.

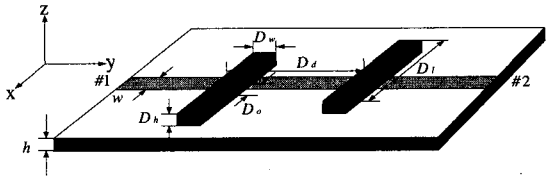


그림 1. 수평편파용 전자기결합 다이폴 안테나의 구조
Fig. 1. The structure of electromagnetically coupled dipole antennas with horizontal polarization.

표 1은 FDTD법을 이용하여 설계한 수평편파용 EMCD 안테나의 파라미터를 나타내고 있다. 제작상의 편의를 위해 급전을 위한 마이크로스트립 선로의 기판과 다이폴에 사용된 기판은 같은 종류의 테프론 기판을 고려하였다. 설계에서는 비유전율(ε_r) 2.6, 두께 0.8 mm인 기판의 파라미터를 고정 값으로 사용하였으며, 급전을 위한 50 Ω 마이크로스트립선로 폭 w는 2.334 mm로 하였다. 다이폴의 길이(D_l)는 EMCD 안테나의 설계주파수에 의해 결정된다. 본 논문에서 고려한 설계주파수는 12 GHz이다. 급전선로와 소자간의 상호결합 특성을 고려하지 않은 다이폴 소자의 공진 길이는 다음 식에 의해 간단히 구할 수 있다[13].

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

따라서 설계주파수 12 GHz를 위 식에 대입하면 다이폴의 길이는 약 9.31 mm를 얻을 수 있다. 식을 통하여 얻은 수치를 이용하여 다이폴소자 하나에 대해 FDTD법으로 계산한 결과, 설계주파수 12 GHz에 대한 수평편파용 EMCD 다이폴 안테나의 공진 길이는 8.169 mm임을 알 수 있었다. 길이가 식 (1)에서 계산한 것보다 짧은 이유는 선로와 다이폴 상호간의 결합이 강하게 일어나기 때문인 것으로 사료된다. 표 1.에 나타낸 계산된 설계 파라미터들의 특성은 참고문헌 [5]에 언급

하고 있다.

표 1. 설계 파라미터
Table 1. Design parameters.

Dipole Length (D_l)	8.169 mm
Dipole Width(D_w)	0.8 mm
Dipole Height(D_h)	0.8 mm
Dipole offset(D_o)	1.167 mm
Dipole distance(D_d)	6 mm (0.357 λ_g)

그림 2는 위의 파라미터를 토대로 수평편파용 다이폴 소자 하나에 대해서 FDTD법으로 시뮬레이션 한 주파수 특성을 나타내고 있다. S_{21}이 설계주파수인 12 GHz에서 미세하지만 투과계수가 낮아지고 있으므로 안테나로써 공진하고 있음을 알 수 있다.

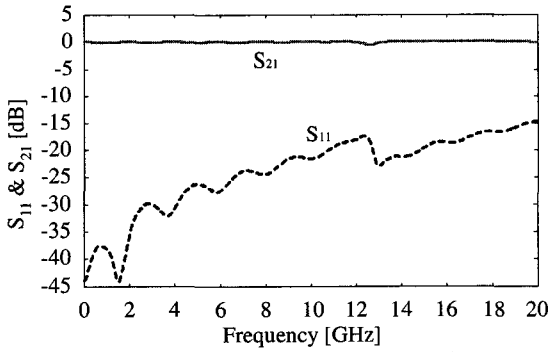


그림 2. 1 소자 다이폴 안테나의 이론적 주파수 특성
Fig. 2. Theoretical frequency characteristics of a dipole antenna

2. 20 소자 어레이 설계

그림 3은 소자 20 개를 배열시킨 수평편파 안테나의 구조이다. 다이폴 소자를 배열할 때 그림 3과 같이 인접한 소자와 반대쪽으로 offset을 가지도록 하는 역배열법과 어레이 소자 모두를 동일방향의 동일 offset을 가지게 하는 동배열법을 생각할 수 있다. 소자간의 결합이 작을 경우에는 소자 모두를 동일방향으로 offset 배열시키는 동배열법이 유효하나, 그림 3과 같이 소자간의 결합이 강할 경우에는 역배열법이 유효하다. 동배열법으로 소자를 어레이하면 소자간 강한 결합 특성에 의해 지향성이 양방향으로 갈라지고 부엽이 증가하게 된다. 본 논문에서는 소자간의 상호 결합을 가급적 줄이기 위해 다이폴을 지그재그로 배치하여 주빔의 방향을 조정하고자 하였다. 20 소자 어레이에서 다이폴의 offset은 ±1.167 mm로 역배열법을 사용하였다.

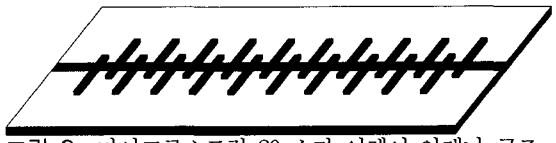


그림 3. 마이크로스트립 20 소자 어레이 안테나 구조
Fig. 3. Microstrip 20-element array antennas structure.

표 2는 FDTD 시뮬레이션에 의해 계산된 소자 수의 변화에 따른 주파수 특성 및 복사전력을 나타내고 있다. 이들 계산 값은 12 GHz에서 얻는 것으로 20 소자의 이론적 주파수 특성은 측정치와의 비교를 한 그림 9를 참조하면 된다. 계산한 결과로부터 소자수의 증가에 따라 복사전력이 증가함을 알 수가 있으며 소자수가 20개인 어레이 안테나의 경우, 반사손실이 약 -21 dB로 이론적으로 만족할 만한 반사손실특성을 보이고 있다. 공간으로 복사되는 복사전력의 양은 다음 식에 의해 간단히 구할 수 있다.

$$P_r = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \tag{2}$$

표 2. 소자수에 따른 주파수 특성과 복사전력
Table 2. Frequency characteristics and radiation power for the various number of elements.

Number of elements	S_{11}	S_{21}	RP
5	-17.805 dB	-0.735 dB	13.92 %
10	-23.233 dB	-2.858 dB	47.75 %
20	-20.212 dB	-6.037 dB	74.23 %

소자수의 증가에 따른 주빔의 지향방향 변화를 보기 위해 표 1.의 파라미터를 가지고 12 GHz에서 지향성 패턴을 계산하였다. 그림 4.는 소자수의 변화에 따른 X-Z면의 이론적 지향특성을 나타내고 있다. 이때 다이폴 offset은 1.167 mm씩 지그재그로 배치하였다. θ = 90° 가 안테나의 정면방향으로, 소자수가 5 개, 10 개, 20 개로 늘어남에 따라 주빔의 지향각 θ는 정면방향으로 미소하게 변화하며, 20 개 소자일 때 θ는 40° 를 지향하고 있음을 알 수 있다. 또한 소자수가 늘어남에 따라 물리적으로 안테나 전체의 개구면이 커지는 것과

같은 효과로부터 복사전력 및 이득이 증가하고, 반면 주빔의 빔폭이 작아지면서 지향각이 팬슬 빔으로 변하는 것을 그림 4의 결과로부터 알 수 있다. 그림 4에서 각 어레이의 진폭은 상대적으로 표현하였다.

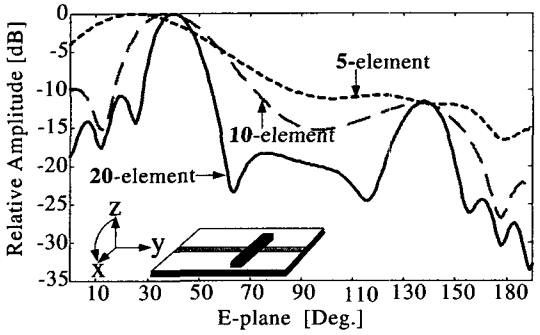


그림 4. 12 GHz에서 소자수의 변화에 따른 빔 특성
Fig. 4. Beam characteristics of radiation pattern for various element numbers at 12 GHz.

일반적으로 어레이 소자를 설계할 때 주빔의 지향각을 제어하는 가장 중요한 파라미터는 소자와 소자사이의 간격이다. 브로드사이드 어레이의 경우, 빔이 정면방향에서 벗어나면 소자간 위상차에 의해 부엽이 증가하며 안테나의 이득이 상대적으로 떨어지게 되나, 이를 설계를 통하여 trade off점을 찾아 소자간 간격을 결정하고 목적하는 방향으로의 빔 틸트 설계를 한다. 본 논문에서도 이 방법을 적용하였으며, 일례로써 그림 5.는 12 GHz에서 어레이시 소자간의 간격(D_d) 변화에 대한 X-Z면의 이론적 지향특성을 나타내고 있다. 소자간의 간격이 6 mm(0.357 λ_g), 6.8 mm(0.4 λ_g), 7.4 mm (0.44 λ_g)일 때의 특성을 비교한 것으로 소자간격이 6 mm보다 커질수록 주빔의 방향은 다이폴의 정면 방향 (90°)쪽으로 틸트되는 것을 알 수 있다. 이미 수직편파 EMCD 어레이 안테나의 설계시 확인한 것과 마찬가지로 수평편파 EMCD 어레이 안테나에서도 어레이시 소자간의 간격을 조정함으로써 EMCD 안테나 주빔의 지향하는 각도를 얼마든지 원하는 방향으로 틸트시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 소자간의 거리가 7.4 mm인 경우가 6.0 mm인 경우에 비해 안테나의 빔폭이 좁고 예리하여 지향성이 큰 것을 알 수 있다. 이는 정면방향(90°)으로 갈수록 소자간의 위상차가 줄어들어 안테나의 이득이 좋아진다는 것을 의미하고 있다. 그림 5.의 진폭은 각 지향성을 상대값으로 표현하고 있어 최대값의 크기가 같은 것처럼 보이지만 실제로는 틀리며, 이득의 손실분만큼 빔을 원하는 방향으로 틸트시킬 수 있음을 보여주고 있다. 주빔의 앙각 지향각이 42° ~ 50° 근방이 되면 안테나를 대지면과 수평인 위치에 두고서 무궁화 위성을 수신할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 빔 틸트 각도를 무궁화 위성의 방향으로 하고 있다.

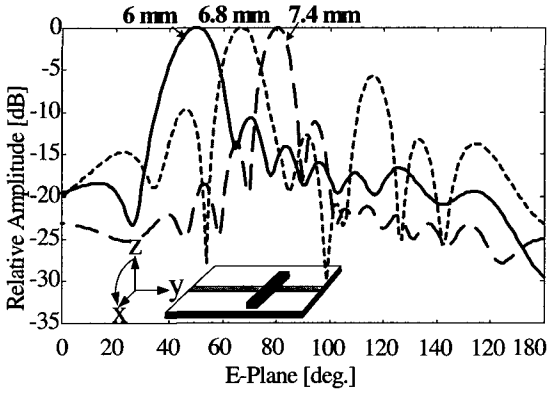


그림 5. 12 GHz 수평편파용 20 소자 어레이의 소자간 간격변화에 의한 빔 틸트 특성
Fig. 5. Beam tilt characteristics by elements distance variation of 20-element array antennas with horizontal polarization at 12 GHz.

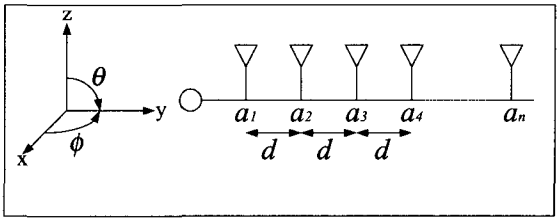


그림 6. 구좌표계에서 선형 어레이 factor를 사용한 지향성 이득 설계
Fig. 6. Directivity gain design using linear array factor at the spherical coordinates.

본 논문에서는 어레이 소자에 대한 지향성이득을 계산하였다. 지향성이득은 FDTD법과 어레이 Factor를 이용하여 구하였다. 그림 6은 구좌표계를 이용하여 안테나로부터 원방계로 복사되는 전파의 지향성이득을 계산하기 위한 개념도이다. 식 (3)의 어레이 Factor F (θ, ϕ)는 각도에만 의존하는 함수로, 각 소자의 전력진폭과 위상은 복소수로 표현된다. 따라서 FDTD법의 계산에 있어 진폭은 각 소자의 투과계수 T에 포함되어 있고 이를 어레이 Factor에 곱한다. 위상항은 소자배치에 의한 위상항과 소자간격의 변화에 의한 위상항으로 나타낼 수 있으며 이들을 계산에 적용한다.

$$F(\theta,\phi)=\sum_{n=0}^{N-1} a_n \times \exp(jknd\sin\theta\cos\phi) \times \exp[j(-f_p-(n+1)\,d_l)] \quad (3)$$

$$a_n = I\times (T)^n$$

$$D(\theta,\phi)=f(\theta,\phi)\times F(\theta,\phi)$$

$$G_i = 4\pi \frac{|D(\theta_0,\phi_0)|}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}|D(\theta,\phi)|^2\sin\theta d\theta d\phi} \quad (4)$$

여기서 $F(\theta,\phi)$: 어레이 Factor, $f(\theta,\phi)$: 단일 소자 지향성, $D(\theta,\phi)$: 어레이 지향성, $D(\theta_0,\phi_0)$: 최대 복사방향, N : 소자수, a : 소자진폭, T : 투과계수, d : 소자간격, f_p : 초기위상 그리고 d_l : 한 소자당 위상차를 나타낸다.

지향성이득 계산을 위하여 본 논문에서 사용한 해석 파라미터는 $I=1.0$, $T=0.949$, $d=6.0$ mm, d_l = 105.8°, f_p = -86.5° 이다. 이들 파라미터들은 그림 5의 d = 6.0 mm 지향성의 계산으로부터 구해지며, 이들을 이용하여 식 (4)로부터 이득을 계산한다. 20소자 어레이의 경우 계산된 이득은 약 17 dBi 정도로 소자수에 따른 이득의 계산 결과를 그림 7에 나타낸다.

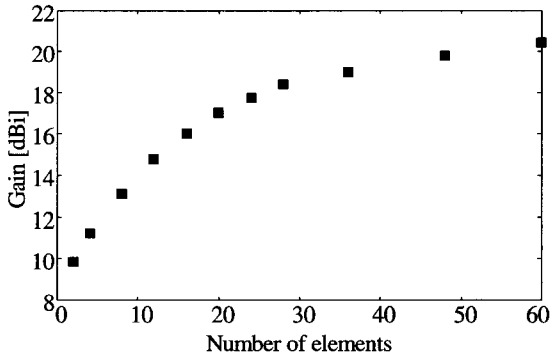


그림 7. 식 (4)에 의해 계산된 지향성이득
Fig. 7. Directivity gain calculated by equation (4).

그림 7로부터 알 수 있는 것처럼, 소자수가 증가할수록 지향성이득도 증가하나 60 소자를 넘으면 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 이득을 증가시키려면, 한 열당 배열 소자 수는 일정하게 하고, 소자가 배열된 각 열을 증가시킬 필요가 있다. 본 논문에서 제안하는 수평편파용 안테나를 CS 수신에 적용할 경우, 요구되는 이득이 32 dBi이상이므로 이득을 높이기 위해 한 열에 소자수를 증가시키기보다는 20 소자 어레이의 열을 증가시킬 필요가 있다.

Ⅲ. 측정결과

20 소자 어레이 안테나의 설계치를 이용하여 안테나를 제작하였다. 그림 8은 제작한 수평편파 빔 틸트형 안테나의 사진을 보여주고 있다. 안테나의 크기는 약 43 mm ×133 mm이고 소자 간격은 6.0 mm, 다이폴 offset은 마이크로스트립선로의 중심에서부터 약 ±1.2 mm씩 지그재그로 위치시켰다. 고주파용 SMA 커넥터를 사용하였고, 테프론 기판의 비유전율은 2.6, 두께는 약 0.8 mm이다. 급전선로 및 다이폴은 비유전율이 같은 기판을 사용하였다. 두 포트에 커넥터가 있는 것은 S-parameter를 측정하여 복사전력을 예측하기 위함이고, 안테나 지향성을 측정할 때는 입력단 포트의 커넥터만을 사용한 1 포트 급전을 한다.

그림 8. 제작된 20 소자 EMCD 어레이 안테나
Fig. 8. The manufactured 20-element EMCD array antennas.

그림 9는 소자수가 20 개인 수평편파를 복사하는 EMCD 어레이 안테나의 주파수 특성에 대한 이론치와 측정치를 비교한 그림이다. 이때 소자의 설계파라미터는 표 1에서 제시한 바와 같다. 반사계수의 경우 측정치와 약간의 차이를 보이긴 하지만, 11 GHz~13 GHz 대역에 걸쳐 -15 dB이하에서 발생하는 오차이므로 무시할 수 있을 정도이며 광대역 특성을 보이고 있다. 특히 설계주파수 12 GHz에서는 이론치(S_{11}=-20.212 dB, S_{21}= -6.037 dB)와 측정치(S_{11}= -20.082 dB, S_{21}= -4.523 dB)가 잘 일치함을 알 수 있다. 또한 그림으로부터 알 수 있는 것처럼 측정치에서 복사전력이 최대가 되는 주파수의 천이가 다소 일어나고 있다. 이는 다이폴 사이의 간격과 offset의 미소한 차이가 중첩되어 소자간의 상호 결합이 이론치와 다소 차이가 생긴 것으로 사료된다. 측정치의 경우 12 GHz에서 63.73 %의 복사전력이 공간으로 방사됨을 식 (2)으로부터 알 수 있다.

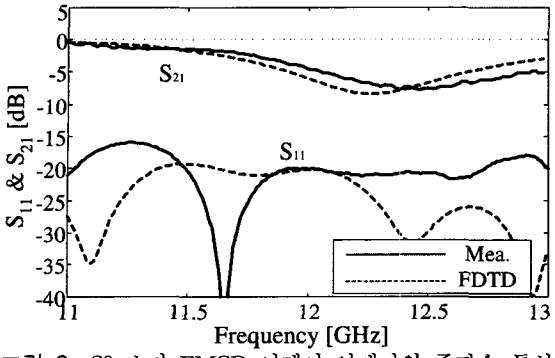


그림 9. 20 소자 EMCD 어레이 안테나의 주파수 특성에 대한 이론치와 측정치의 비교

Fig. 9. The comparison between simulation and measurement of 20-element array antennas with horizontal polarization.

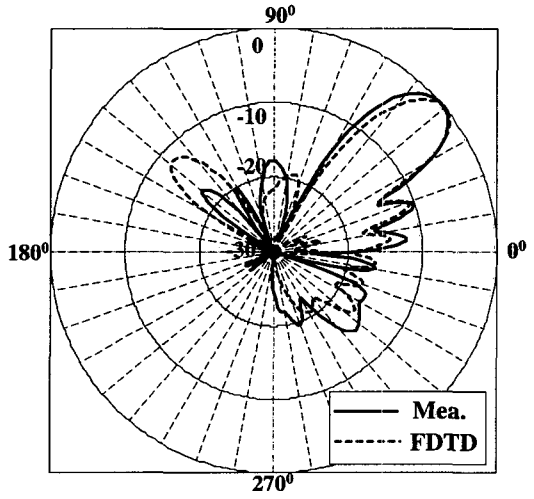


그림 10. 12 GHz에서 수평편파를 복사하는 20 소자 EMCD 어레이 안테나 지향성의 이론치 및 측정치의 비교

Fig. 10. Comparison between the calculated and the measured radiation pattern for horizontally polarized 20-element EMCD array antennas at 12 GHz.

그림 10은 설계주파수 12 GHz에서 수평편파를 복사하는 EMCD 어레이 안테나의 X-Z면 지향성에 대한 이론치와 측정치를 비교한 그림이다. 소자간격이 6 mm 일 때 주빔의 지향각은 다이폴의 정면방향(90°)을 기준으로 약 47° 기울어져 있으며, 이론치와 측정치가 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 주빔의 각도는 앞에서 설명한 바와 같이 소자간의 간격과 소자수에 의존하는 것으로 소자간격의 조정에 의해 얼마든지 주빔의 각도 변화는 가능하다. 또한 반치폭이 약 ± 7.5° 정도로 양호한 지향성 특성을 보이고 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 CS 수신을 위한 수평편파용 빔 틸트를 할 수 있는 EMCD 어레이 안테나를 설계하였다. 소자하나에 대한 특성을 계산한 후, 이를 어레이 설계에 적용하여 어레이 안테나의 특성을 파악하였다. 수평편파용 다이폴 소자의 경우, 급전선로와 소자간의 강한 결합에 의해 설계주파수 12 GHz에 대한 다이폴 소자의 공진 길이는 이론치보다 1.141 mm 줄어 든 8.169 mm였다. 수평편파용 EMCD 어레이 안테나에 대한 FDTD법에 의한 해석 결과와 실제 제작한 안테나의 측정치는 설계주파수 12 GHz에서 주파수특성 뿐만 아니라 지향성 패턴도 잘 일치하였다. 또한 어레이 안테나를 설계할 경우 소자간의 간격을 조정함으로써 어레이 안테나의 지향각을 임의의 방향으로 설계할 수 있다는 것을 시뮬레이션 결과와 실험을 통해 확인 할 수 있었다. 제작된 20 소자 어레이 안테나의 주빔의 앙각 틸트 각도는 무궁화위성이 위치한 47° 였고, 반치폭은 약 ± 7.5° 정도로 양호한 지향성 특성을 보였다. 금후, CS수신에 적용할 수 있도록 이득을 향상시키는 것과 수직·수평편파를 한 개의 안테나로 수신하기 위한 편파공용 EMCD 어레이 안테나를 설계·제작하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] N. Ando, K. Sakurai, N. Goto, K. Arimura and Y. Ito, "A radial line slot antenna for 12 GHz satellite TV reception," *IEEE Trans.*, AP-33, Vol. 12, pp. 1347~1353, Dec. 1985.

[2] T. Nakayama, T. Yamada, S. Kado, M. Ohta and H. Ishizaka, "Development of flat antenna for communication satellites," Proceeding of the 1995 IEICE general conference, B-71, March 1995.

[3] T. Matsuzaki and H. Arai, "Dual polarized array antenna built in wall tile for CS-TV reception," *APMC*, Vol. 3, pp. 728~731, Singapore, Dec. 1999.

[4] Haneishi, *最新平面アンテナ技術*, *(株)總合技術センタ*, 1993.

[5] 민경식, 박세현, 김동철, 임학규, 김상태, "EMC 다이폴을 이용한 CS용 마이크로스트립 어레이

안테나의 설계", *한국해양정보통신학회학술대회*, Vol. 3. No. 2, pp. 120~123, 11. 1999

[6] 민경식, 장철순, "전자기결합 다이폴을 이용한 직선편파 마이크로스트립 안테나의 설계", *한국전자파학회논문집*, Vol. 12, No. 7, pp. 1~10, Dec. 2001

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

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

[9] 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.

[10] L. Huang, J. C. Chiao and M. P. De Lisio, "An electromagnetically switchable leaky wave antenna," *IEEE Trans.*, AP, Vol. 48, No. 11, pp. 1769~1772, Nov. 2000.

[11] M. Li and K. Chang, "Novel low-cost beam-steering techniques using microstrip patch antenna arrays fed be dielectric image lines," *IEEE Trans.*, AP, Vol. 47, No. 3, pp. 453 ~ 457, Mar. 1999.

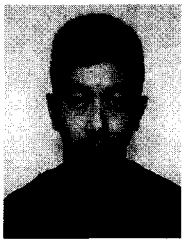
[12] E. Yamasita and Qian, FDTD Analysis of Microwave Planner Circuits and Antennas, *Realize Inc.*, 1996.

[13] James, J. R. and Hall, P. S., Handbook of microstrip antennas, *IEE Series 28*, Peter Peregrinus Ltd., 1989.

저 자 소 개

閔 庚 植(正會員)

1962년 1월 22일 생. 1989년 2월 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사). 1991년 2월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사). 1991년 1월 한국해양대학교 조교. 1993년 1월~93년 9월 고등기술연구원 정보통신연구실 근무. 1993년 10월~96년 9월 동경공업대학 전기전자공학과 (공학박사). 1997년 3월~현재 한국해양대학교 전파공학과 조교수. 2001년 2월~2002년 2월 일본 요코하마국립대학 객원교수. <주관심분야 : 위성방송 및 이동통신용 평면안테나 설계, Direct Conversion RF 회로 설계 및 초고주파회로 설계>



新井 宏之

Hiroyuki ARAI received the B.E. degree in Electrical and Electronic Engineering, M.E. and D.E.in Physical Electronics from Tokyo Institute of Technology in 1982, 1984 and 1987, respectively. After a research associate in Tokyo Institute of technology, he joined to Yokohama National University as a lecturer in 1989. Now he is an associate professor in Division of Electrical and Computer Engineering, Yokohama National University. He investigated microwave passive components for high power handling applications such as RF plasma heating in large Tokamaks. He developed a flat diversity antenna for mobile telephone terminal,a polarization diversity base station antenna for Japanese PDC systems, and small base station antennas of In-building micro cellular system. He was awarded the "Meritorious Award on Radio" by the Association of Radio Industries and Businesses in 1997 for the development of polarization diversity antenna. He is collaborating with a large number of companies for mobile terminal antennas, cellular base station antennas, antenna measurement techniques, indoor /outdoor propagation measurement and simulation, and EMC measurements and wave absorbers. He published more than 50 reviewed journal papers and about four hundreds international and domestic conference papers. He is the co-author and authors of five text books about electromagnetic waves and mobile antennas, and he holds four US patents of antenna, and several Japanese patents.