

위성수신용 마이크로스트립 어레이 안테나 설계

김 장 욱*, 전 주 성**

Design of Microstrip Array Antenna for Satellite Reception

Jang-Wook Kim*, Joo-Seong Jeon**

요 약

본 논문은 현재 직접 위성수신용 안테나로 사용 중인 파라볼릭 안테나를 대체할 수 있는 마이크로스트립 어레이 안테나를 연구하였다. 마이크로스트립 어레이 안테나는 극히 제한적인 분야에서 사용되었으나 직접위성 수신용 안테나와 같이 우리 실생활에 직접 적용할 수 있다면 많은 분야에서 활용이 예상된다. 마이크로스트립 어레이 안테나가 직접 위성수신용 안테나로 활용되려면 우선적으로 광대역 특성이 요구된다. 따라서 본 논문의 목표를 직접 위성수신을 위한 광대역 주파수 대역이 보장되는 안테나 설계기술로 설정하였다. 본 논문에서 제안된 마이크로스트립 안테나는 사각형 패치에 직교하는 두 개의 급전선로에 의해서 급전되도록 하였으며 순차 회전 급전기술로 광대역에서 좋은 축비를 얻을 수 있도록 설계하였다. 사각형 패치는 위성수신 주파수 대역에서 설계되었으며 폭과 길이는 $W=L=8.9\text{ mm}$ ($0.352\lambda_0$)이며 전체 크기는 $250\times 250\text{ mm}$ 이다. 제안된 안테나는 기존 급전방식의 안테나에 비해서 1 dB 이상의 축비가 개선되는 것을 실험을 통하여 입증하였다. 안테나의 성능 입증을 위해서 두 개의 8×8 어레이 안테나를 제작하여 실험하였다. 안테나의 최대 이득은 20.8 dB, 사이드로브 레벨 -10 dB 이하를 확인하였다. 본 논문의 안테나를 국내 무궁화 위성수신 시스템에 적용한다면 $C/N=6.7\text{ dB}$ 의 수신성능이 확보됨을 링크버짓 계산을 통하여 입증하였다.

▶ Keywords : 마이크로스트립 패치, 어레이 안테나, 위성수신

Abstract

In this paper, the microstrip array antenna is studied to replace the parabolic antenna in the direct satellite reception. A microstrip array antenna has been used in extremely limited area, but if it is applied to practical life like a direct satellite reception antenna, we expect that it will be used in various way. First

•제1저자 : 김장욱 •교신저자 : 전주성

•투고일 : 2014. 7. 4, 심사일 : 2014. 7. 23, 게재확정일 : 2014. 7. 30.

* 동양미래대학교 정보전자과(Dept. of Information Electronics, Dongyang Mirae University)

** 한국통신 IT 부문(IT Section, Korea Telecommunication)

※ 본 논문은 동양미래대학교의 학술연구과제를 통해 연구되었음을 알립니다.

of all, if we use a microstrip array antenna for a direct satellite reception antenna, it should be guaranteed characteristics of broadband frequency. Therefore, the goal of this paper is designing technique an antenna which guarantees broadband frequency band for a direct satellite reception. In this paper, the proposed microstrip antenna is fed by orthogonal two feed lines to a rectangular patch and a sequentially rotated feeding technique is designed proposed for a good axial ratio in broadband frequency band. The rectangular patch is designed to satellite reception band, and the width and length are $W=L=8.9$ mm ($0.352 \lambda_0$) respectively. The antenna's ground plane has dimensions of 250×250 mm. The experimental results verify that the proposed antenna had the axial ratio of above 1dB broader than that of the conventional feeding antenna. In order to verify the performance, a 8×8 array having two pairs was fabricated and tested. The maximum gain is 20.8 dB, the sidelobe level confirm less than -10 dB. It is verified by link budget calculation that $C/N=6.7$ dB can be obtained for domestic use if this proposed antenna is used in Koreasat reception system.

▶ Keywords : Microstrip patch, Array Antenna, Satellite reception

I. 서 론

세계 각국에서는 고도화된 국제간 정보통신망 증대와 자국민의 다양한 정보전달의 욕구를 충족하기 위해서 독자위성을 발사하여 다양한 서비스를 진행하고 있다. 우리나라에서도 이러한 국제적인 추세에 발맞춰 '95년 9월에 국내 최초의 복합 위성인 무궁화 위성을 발사한 이후 지속적으로 후속 위성을 발사하여 정보통신 및 방송 서비스를 진행하고 있다.

지금까지 위성수신용 안테나는 반사형 파라볼릭 안테나를 주로 사용하였으나 대출력 송신기를 탑재한 무궁화 위성과 같은 직접위성 수신인 경우에는 마이크로스트립 어레이 안테나와 같은 작은 크기의 평면형 안테나로도 위성수신이 가능할 것으로 판단된다. 국내에서는 파라볼릭 안테나로 위성수신하고 있어 평면형 마이크로스트립 어레이 안테나에 관한 연구가 많지 않다. 그러나 직접위성수신 시장이 활성화되어 있는 선진각국에서는 위성수신용 마이크로스트립 어레이 안테나 분야의 연구가 활발하게 진행되고 있다[1].

마이크로스트립 안테나는 주파수 대역폭이 좁고 효율과 전력 핸들링 능력이 낮은 단점을 지니고 있다. 그러나 소형경량이며 평면형 구조이므로 능동소자를 쉽게 집적시킬 수 있으며 포토에칭 기술을 사용하므로 엮기형으로 안테나를 대량생산할 수 있는 장점을 지니고 있어 다양한 분야에서 활용될 수

있다. 최근에는 밀리미터 주파수 대역에서 능동회로와 수동회로가 함께 집적화된 안테나 기술이 보고되었다[2][3].

지금까지 국외에서 보고된 평면형 위성수신용 안테나에 관한 대부분의 연구는 radial 슬롯 안테나, 헬리컬 안테나, 도파관 슬롯 안테나 등이다. radial 슬롯 안테나와 헬리컬 안테나는 안테나의 효율은 높으나 원형평판 상에 복사소자를 방사형으로 배열하므로 균일한 전계분포를 위해서 복사소자나 급전 probe를 각각 조절해야 하므로 안테나의 해석과 제작이 무척 난해한 단점을 지닌다. 도파관 슬롯 안테나는 높은 효율과 빔 틸트 설계가 용이한 반면 경제성이 없기 때문에 개별 수신용보다는 차량 탑재용으로 연구가 제한되고 있는 실정이다[4][5].

따라서 본 논문에서는 단층구조의 위성수신용 마이크로스트립 어레이 안테나를 연구하였다. 단층구조의 위성수신용 마이크로스트립 어레이 안테나는 제작공정이 간단하면서도 대량생산이 가능하다는 장점을 가지고 있으며 안테나의 품질관리가 용이하여 균일한 전기적 특성 설계가 가능하다. 반면 다른 안테나에 비해서 주파수 대역폭이 좁은 단점을 가지고 있어 이에 대한 개선연구가 필요하다.

본 논문에서 연구한 안테나의 설계목표는 직접위성에서 사용하고 있는 300 MHz 주파수 대역에서 전압정재파비가 2 이하와 3 dB 이하의 축비를 갖는 원편파 특성을 갖는 마이크로스트립 어레이 안테나의 구현이다. 제작된 마이크로스트립 어레이 안테나로 국내 무궁화 위성의 수신 링크 버짓 계산을

통하여 위성수신용 안테나로의 이용 가능성을 제시하였다.

II. 마이크로스트립 안테나의 해석

마이크로스트립 안테나를 해석하는 방법으로 여러 연구가 보고되었으며 본 논문에서는 3-port 전송선로모델링 방법을 사용하였다[6]. 3-port 전송선로 모델링 방법은 그림 1에서 도시된 바와 같이 사각형 마이크로스트립의 폭(W)이 다른 전송선로가 연결되어 있는 선형 공진기로 가정한다. 사각형 마이크로스트립의 길이(L)를 사용 주파수의 반파장이 되도록 구성한다고 가정하면 양단에 누설되는 전계의 수직성분은 상쇄되어 없어지고 수평성분만 남으므로, 두 개의 슬롯이 약 반파장 정도 떨어진 경우로 등가화 시킬 수 있다.

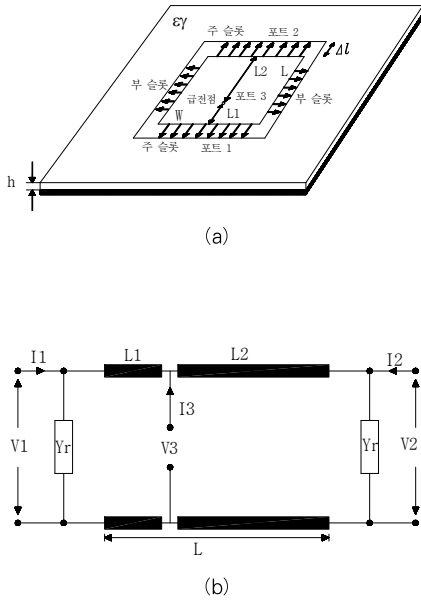


그림 1. 마이크로스트립 안테나 (a) 구조 (b) 등가회로
Fig. 1. Microstrip Antenna (a) Structure (b) Equivalent Circuit

상호 커플링을 고려한 3-port 모델의 어드미턴스 행렬식을 구하여 port 3로 급전되는 경우를 고려하면 입력 어드미턴스는 $I_1=I_2=0$ 라는 가정에 의해서 전류행렬을 전개하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} I_1 = 0 \\ I_2 = 0 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_r - jY_0 \coth(\gamma_g L_1) & -Y_m & -Y_0 \csc h(\gamma_g L_1) \\ -Y_m & Y_r + Y_0 \coth(\gamma_g L_2) & -Y_0 \csc h(\gamma_g L_2) \\ -Y_0 \csc h(\gamma_g L_1) & -Y_0 \csc h(\gamma_g L_2) & Y_0 \coth(\gamma_g L_1) + Y_0 \coth(\gamma_g L_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

행렬식(1)을 전개하면 식(2)와 같은 사각형 마이크로스트립 안테나의 입력어드미턴스를 구할 수 있다.

$$Y_{in} = \frac{Y_o^2 + Y_r^2 - Y_m^2 + 2Y_r Y_o \coth(\gamma_g L) - 2Y_m Y_o \operatorname{csch}(\gamma_g L)}{Y_r + Y_o \coth(\gamma_g L)} \quad (2)$$

여기서, Y_o 는 전송선로의 특성 어드미턴스이며 γ_g 는 복소 전파상수이며 $\gamma_g = \alpha_g + j\beta_g$ 이다. 감쇠정수 α_g 와 위상정수 β_g 로 마이크로스트립 안테나의 도체손실과 유전체손실을 고려하면 더 정확한 해석이 가능하다. 입력 어드미턴스를 구하는 식에서 안테나의 공진주파수를 구할 수 있다. 즉 Y_{in} 의 허수부가 0이 될 때 공진조건이 되므로 패치길이 L이 주어지거나 반대로 공진주파수가 주어졌을 때 공진길이 L을 결정할 수 있다.

마이크로스트립 선로가 직접 사각형 마이크로스트립 안테나로 급전되는 경우에는 기생효과에 의해서 주슬롯의 자기 어드미턴스에 변화가 발생한다. 정확한 입력 어드미턴스를 구하기 위해서 식(2)에서 이를 고려하면 식(3)으로 구할 수 있다.

$$Y'_{in} = Y_{in} - (W_s / W_{eff}) Y_r \quad (3)$$

여기서 W_s 는 급전되는 마이크로스트립 선로의 폭이며 W_{eff} 는 마이크로스트립 선로의 유효 폭이며 Y_r 는 다음 식으로 구한다.

$$Y_r = G_r + jB \quad (4)$$

식(4)의 복사 컨덕턴스 G_r 는 식(5)와 같다.

$$G_r = \frac{1}{\pi \eta} \left\{ w \operatorname{Si}(w) + \frac{\sin w}{w} + \cos w - 2 \left[1 - \frac{S^2}{24} \right] + \frac{S^2}{12} \left(\frac{1}{3} + \frac{\cos w}{w^2} - \frac{\sin w}{w^3} \right) \right\} \quad (5)$$

여기서

$$w = k(W + \Delta L) \tag{6}$$

$$S_l = k\Delta L \tag{7}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \tag{8}$$

$$S_i(w) = \int_0^w \frac{\sin u}{u} du \tag{9}$$

식(6), (7)에서 ΔL 은 사각형 마이크로스트립 안테나 등 가회로에 나타난바와 같이 마이크로스트립 안테나에 전력이 인가되면, 복사평면의 개방 단에서 프린징 효과에 의해서 전 기적인 길이가 증가되는 길이를 의미한다.

$$\Delta L = \frac{t\xi_1\xi_2\xi_3}{\xi_4} \tag{10}$$

여기서,

$$\xi_1 = 0.434907 \frac{\epsilon_{\text{eff}}^{0.81} + 0.26(W/t)^{0.8544} + 0.236}{\epsilon_{\text{eff}}^{0.81} - 0.189(W/t)^{0.8544} + 0.87} \tag{11}$$

$$\xi_2 = 1 + \frac{0.5274 \tan^{-1}[0.084(W/t)^{1.9413/\xi_3}]}{\epsilon_{\text{eff}}^{0.9236}} \tag{12}$$

$$\xi_3 = 1 - 0.218 \exp\left(-7.5 \frac{W}{t}\right) \tag{13}$$

$$\xi_4 = 1 + 0.0377 \tan^{-1}\left[0.067\left(\frac{W}{t}\right)^{1.456}\right] \{6 - 5 \exp[0.036(1 - \epsilon_r)]\} \tag{14}$$

$$\xi_5 = 1 + \frac{(W/h)^{0.371}}{2.358\epsilon_r + 1} \tag{15}$$

식(4)의 자기 서셉턴스 B는 식(16)과 같다.

$$B = Y_o \tan(\beta_g \Delta L) \tag{16}$$

여기서 $\beta_g = k_o \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$ 이며 k_o 는 자유공간 전파상수이며 ϵ_{eff} 는 마이크로스트립 안테나 기판의 실효 유전상수이다. 그리고 두 개의 슬롯 사이의 상호 어드미턴스 Y_m 은

$$Y_m = G_m + jB_m \tag{17}$$

여기서 상호 컨덕턴스 G_m 은 보조 커플링 함수 및 주슬롯 의 유한한 길이와 부슬롯의 잔여 영향을 보정하는 보정함수에

의해서 얻어진다.

$$G_m = G_r \left[J_o(L') + \frac{S_1^2}{24 - S_1^2} J_2(L') \right] \tag{18}$$

여기서

$$L' = k(L + \Delta L) \tag{19}$$

$$S_1 = k\Delta L \tag{20}$$

$J_n(L')$ 은 1종차 베셀함수이다. 식(18)의 G_m 에서 G_r 을 제외한 오른쪽 대괄호항이 보조 커플링함수이며, 보정함수가 1이라면 주슬롯과 부슬롯의 영향이 상쇄됨을 의미한다. 마찬가지로 상호 서셉턴스 B_m 은 보조 커플링함수와 보정함수로 이루어진다.

$$B_m = B \left[\frac{\pi}{2} \frac{Y_o(L') + \frac{S_1^2}{24 - S_1^2} Y_2(L')}{\ln\left(\frac{S_1}{2}\right) + \gamma - \frac{3}{2} + \frac{S_1^2/12}{24 - S_1^2}} \right] [1 - \exp(-0.21w)] \tag{21}$$

여기서 γ 는 Euler상수(0.577216)이며, $Y_n(L')$ 는 2종 n차 베셀함수이고 식(21)은 보조 커플링함수와 보정함수로 구성된다. 이상과 같이 전개된 식을 이용하여 식(3)에 대입하면 사각형 마이크로스트립 안테나의 입력 어드미턴스를 구할 수 있다.

III. 위성수신용 안테나 설계 및 고찰

3-1. 원편파 구조의 안테나 설계

위성수신을 위해서는 원편파 특성의 안테나가 요구된다. 원편파는 전계의 크기가 일정하면서 전계 벡터가 시간에 따라 회전하며 진행한다. 즉 전파가 임의의 주파수에서 z축 방향으로 진행한다고 가정했을 때 편파벡터 E의 전파 직교성분을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$E = E_x \cos \omega t x + E_y \cos(\omega t + \delta) y, \quad \delta = \pm \pi / 2 \tag{22}$$

여기에서 δ 에 따라서 좌, 우원편파로 구분할 수 있으며, 원

편파의 특성은 축비(Axial ratio)의 측정을 통하여 알 수 있다.

두 개의 직선편파가 서로 수직하게 서로의 위상차가 90°가 되면 원편파 안테나로 동작한다. 즉 사각형 마이크로 스트립 패치에 90° 위상차를 가진 두 급전선을 직교방향으로 구성하면 90° 위상차를 갖는 두 직교 모드가 발생되어 원편파를 발생한다. 이와 같은 직교 급전방식은 급전선의 두 전기적 길이가 정확하지 않거나 급전선에서 불연속 부분이 존재하면, 위상차가 발생하거나 두 급전선의 전력이 다르게 되어 정확한 원편파 특성을 얻기 어렵다. 일반적으로 마이크로스트립 안테나는 다른 초고주파용 안테나에 비해서 원편파 주파수 대역폭이 좁은 단점을 가지고 있다. 이같은 단점을 개선하기 위해서 본 논문에서는 순차배열 방식을 사용하여 안테나를 설계하였다.

그림 2에서 순차배열로 구성된 2x2 서브 어레이와 등가회로를 도시하였다. 그림 2에 도시된 급전선의 구성에서 z1은 75 Ω 임피던스를 갖는 주급전선이며, z2, z4, z5, z6는 λ/4의 전기적인 길이를 가지며 z7는 λ/2의 전기적 길이를 갖는다.

사각형 마이크로스트립 안테나 A와B, C와D를 서로 반대 방향으로 구성하나, z4의 급전선에서 90° 만큼 위상차를 두 고서 급전하므로 동위상으로 만들 수 있다.

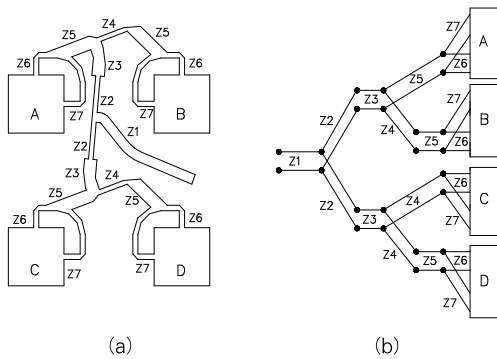


그림 2. 마이크로스트립 안테나 구성 (a) 순차배열 (b) 등가회로
Fig. 2. Configuration of Microstrip Antenna (a) Sequential Arrangement (b) Equivalent Circuit

일반적으로 마이크로스트립 안테나는 완전한 원편파로 동작하는 것이 아니며 거의 타원편파와 유사하게 동작한다. 그림 3에서와 같이 사각형 마이크로스트립 안테나 A와 B를 순차배열로 구성하면 각 패치는 전계의 수평 및 수직성분에 따라 E_x , E_y 축 상에 타원편파로 동작한다. 이같은 타원편파 특성을 순차배열을 이용하면 광대역 원편파 특성의 안테나로 설계가 가능하다.

앞장에서 설명한 3-port 전송선로 모델링 방법을 통하여 단일 소자 사각형 마이크로스트립 안테나의 설계 파라미터를

계산한 결과를 표 1에 나타내었다. 단일소자 안테나 A, 안테나 B의 중심 주파수는 11.85 GHz, 급전선은 50 Ω으로 정합 설계하였다.

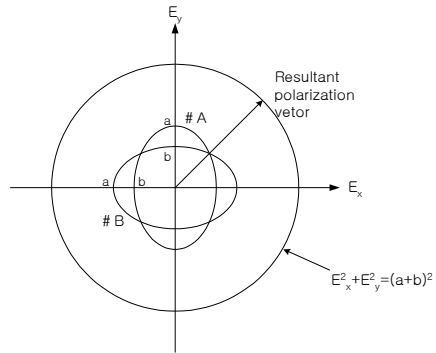


그림 3. 순차배열에 의한 원편파 효과
Fig. 3. Circular polarization effects of the sequential arrangement

마이크로스트립 안테나의 주파수 대역폭을 확장시키는 기술 중에서 두꺼운 기판의 사용은 안테나의 대역폭을 확장시킬 수 있지만 표면파 복사와 불요모드가 발생된다. 따라서 안테나 제작에 사용되는 기판의 두께를 제한하는 요소로 작용되므로 안테나의 대역폭이 제한될 수 밖에 없다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법은 저유전율 기판의 사용이다.

표 1. 설계 파라미터
Table 1. Design parameters

안테나	L	W	입력 임피던스	기판 유전율	기판 두께
A	8.2 mm	8.9 mm	130 Ω	3.8	0.3 mm
B	8.9 mm	8.9 mm	300 Ω	2.17	1.2 mm

그림 4에서 두 안테나의 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

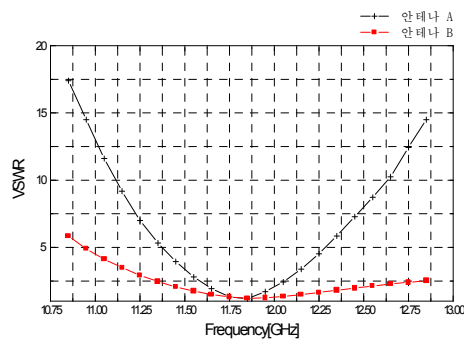


그림 4. 마이크로스트립 안테나의 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation Results of the Microstrip Antenna

두 안테나의 전압정재파비(VSWR) 특성을 2 이하인 조건으로 비교한다면 안테나 A가 385 MHz 이며 안테나 B가 980 MHz이다. 결과적으로 기판의 두께가 두껍고 유전율이 낮으면 주파수 대역폭 증가를 시뮬레이션 결과를 통하여 확인하였다.

3-2. 제작된 안테나의 실험결과 고찰

최소 20 dBi 이상의 이득특성을 가진 원편과 안테나를 위해서 순차배열 방식으로 8×8 어레이 안테나를 설계하였다. 즉 표 1에서 도시한 단일 소자의 설계 파라미터를 이용하여 어레이 안테나로 확장 설계하였다. 안테나 설계에서 사용된 유전체 기판은 비유전율 $\epsilon_r=2.17$, 두께 $h=1.2$ mm, 손실 탄젠트 $\tan \delta=0.009$ 인 미국 Taconic사의 테프론 기판이다. 설계된 안테나는 표 1에서 도시한 바와 같이 시뮬레이션을 통하여 검증된 소자 스펙(안테나 B)을 기반으로 어레이 안테나로 확장하였다.

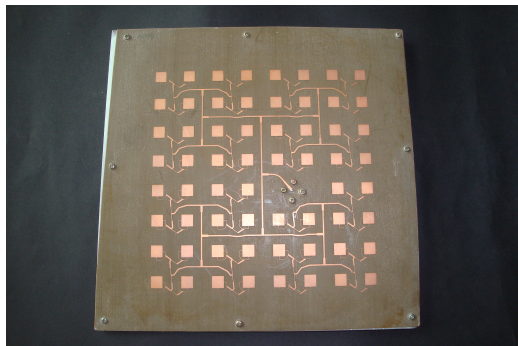


그림 5. 제작된 8×8 어레이 안테나
Fig. 5. Fabricated 8×8 Array Antenna

그림 5에서 제작된 마이크로스트립 어레이 안테나를 도시하였다. 제작된 안테나는 마이크로스트립 패치를 $0.8 \lambda_g$ 간격으로 배열하여 8×8 어레이로 구성하였으며 전체 크기는 21.5×21.5 cm의 정방형 구조이다. 테프론 기판의 평탄도 유지를 위하여 아연도강판을 접지면에 부착하여 조립하였다.

그림 6에서 제작된 어레이 안테나의 전압 정재파비 특성을 도시하였다. 위성에서 사용되는 전 주파수대역(11.7 ~ 12.2 GHz)에서 1.5 이하의 좋은 특성을 나타내었다.

위성수신용 안테나 설계에서 고려해야할 중요 파라미터가 안테나의 복사특성이다. 이는 최근 한반도 주위에 위치한 인접 위성으로 부터 송신되는 간섭으로 인한 영향을 최소화하기 위함이다. 특히 반사형 파라볼릭 안테나와는 달리 평면형 마이크로스트립 안테나에서는 설계 가능한 최소의 사이드로브

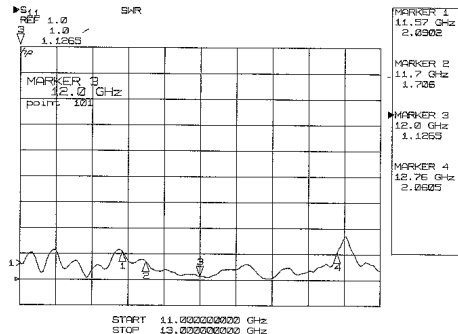
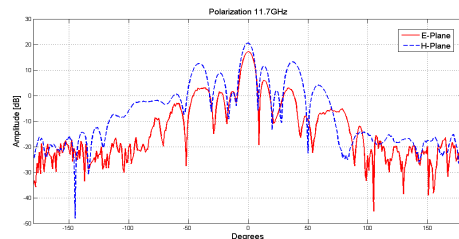
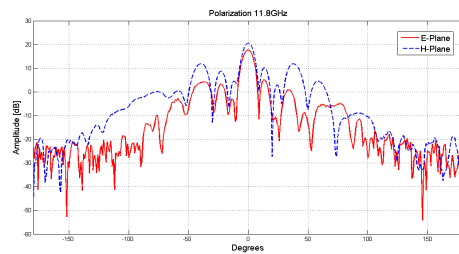


그림 6. 측정된 전압정재파비
Fig. 6. Measured VSWR

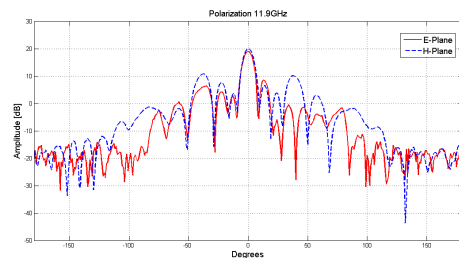
레벨은 안테나의 다른 특성과 타협하지 않고서는 일반적으로 제한되기 때문이다[7][8].



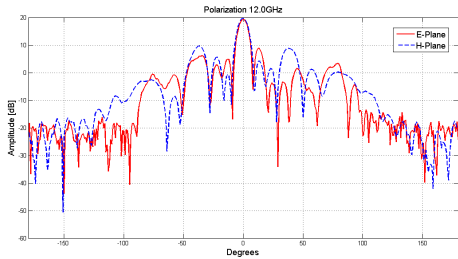
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7. 측정된 복사패턴 (a) fo=11.7 GHz (b) fo=11.8 GHz (c) fo=11.9 GHz (d) fo=12.0 GHz
 Fig. 7. Measured Radiation Pattern (a) fo=11.7 GHz (b) fo=11.8 GHz (c) fo=11.9 GHz (d) fo=12.0 GHz

그림 7에서 제작된 안테나의 복사패턴 측정결과를 나타냈다. 측정 주파수 대역은 위성채널로 사용되는 주파수 대역인 11.7 ~ 12.0 GHz에서 4개의 중심주파수를 대상으로 측정하였다.

H-plane 복사특성은 주빔을 중심으로 좌우 첫번째 사이드 로브는 -9.1 dB ~ -22.3 dB로 측정되었으며 전력반치폭 (Half Power Beam Width)은 8.5°이다. E-plane 복사특성은 주빔을 중심으로 좌우 첫번째 사이드 로브는 -10.2 dB ~ -20.3 dB로 나타났으며 전력반치폭은 8.2°이다. 전반적으로 안테나의 복사특성이 우수한 수준으로 판단되며 안테나의 이득은 위성수신 주파수 대역에서 20.2 ~ 20.8 dB의 평탄한 이득 특성을 얻었다. 파라볼릭 안테나와 비교한다면 직경 25 cm급 파라볼릭 안테나와 동등한 이득이다. 반면 파라볼릭 안테나는 설치공간의 제약을 받으며 사계절 기후특성이 명확한 우리나라의 특수성을 감안한다면 겨울철 적설의 영향과 여름철 강우에 의한 부작용 등은 평면형 마이크로스트립 어레이 안테나가 월등히 좋은 환경적인 특성을 갖는 것으로 판단된다.

그림 8에서 마이크로스트립 안테나의 축비 특성을 나타내었다. 본 논문에서 시도한 순차배열 방식의 안테나와 일반적인 배열방식의 안테나를 비교 측정하여 그 효과를 확인하였다. 정확한 축비특성을 측정하기 위해서 안테나의 편파 평면 상에 수직, 45°, 수평, 135°의 총 4개의 직선성분을 OEG(Open Ended Waveguide) 안테나로 회전하면서 측정된 데이터로 축비를 산출하였다. 측정된 축비 특성은 위성수신 주파수 300 MHz 대역폭에서 본 논문에서 제시한 순차배열 방식으로 설계된 안테나의 경우에는 3 dB 이하의 양호한 특성을 나타냈다. 반면 일반적인 배열방식의 안테나는 4 dB 수준이며 순차배열 방식의 안테나와는 평균 1 dB 이상의 축비 특성이 열화 되는 것을 확인할 수 있었다.

측정에 사용된 계측장비는 H/P 8510B를 신호원으로 사용한 이스라엘 Orbit사의 AL-4951 근역장 측정장비(Near Field Scanner)를 사용하였다.

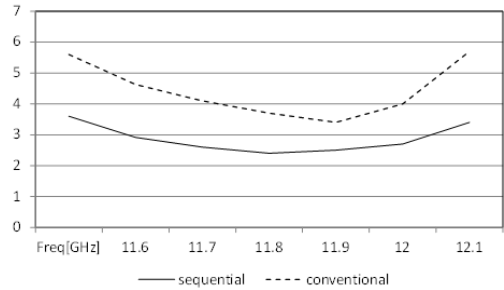


그림 8. 측정된 축비 비교
 Fig. 8. Comparison of Measured Axial Ratio

3-3. 위성수신 안테나 타당성 검토

국내 무궁화 위성에서 사용하는 하향회선의 주파수 대역은 11.7 ~ 12.0 GHz으로 주채널은 2, 6, 12 채널을 사용한다. 위성 송신기 출력은 120 W, 유효 등방성 복사전력 (Effective Isotropically Radiation Power)은 국내 내륙을 기준으로 62 dBW 이상으로 규정하고 있다[9]. 위성수신 시스템의 총잡음전력은 안테나에 입력되는 안테나 잡음 전력과 수신기에서 발생하는 잡음전력의 합으로 구한다.

안테나에서 출력된 반송파 대 잡음비를 C/N(Carrier to Noise)비라 하며 이는 위성수신품질의 평가척도가 되며 C/N 비는 식(23)으로 구할 수 있다[10][11].

$$C/N = \frac{EIRP \cdot L_f \cdot R \cdot \alpha \cdot G_a \cdot N_u}{K \cdot B \cdot [\alpha T_a + (1-\alpha)T_0 + (F-1)T_0]} \quad (23)$$

여기서 EIRP는 유효 등방성 복사전력, L_f는 자유공간손실, R는 강우감쇠, K는 볼츠만 상수, B는 수신기 채널 대역폭, N_u는 상향회선 C/N비에 의한 수신 C/N비의 열화를 나타낸다.

표 2. 위성수신 안테나의 링크 버짓
 Table 2. Satellite Reception Antenna Link Budget

	항목	규격	단위	비고
1	유효등방성 복사전력(EIRP)	62	dBW	국내 내륙기준
2	하향회선의 자유공간손실	-205.40	dB	

3	하향회선의 강우감쇠	-4.0	dB	99.90%
4	수신 안테나의 이득	20.8	dB	본 논문 설계 안테나 기준
5	수신기 입력	-126.6	dBW	(1)+(2)+(3)+(4)
6	볼츠만 상수	-228.60	dBj/K	
7	시스템 잡음온도	21.17	dB K	LNB N/F=0.7 dB, Ant. N/T=80°K
8	수신기 대역폭	74.3	dBHz	27MHz
9	수신기 입력잡음	-133.30	dBW	(6)+(7)+(8)
10	수신 C/N비	6.7	dB	(5)-(9)

안정적인 위성수신을 위해서는 위성수신 시스템의 링크 버짓 설계는 필수적이다. 즉 수신하고자 하는 지역에서의 가장 적합한 이득의 안테나와 저잡음 컨버터(Low Noise Block down converter)의 선택이 위성수신 품질과 밀접한 연관이 있으므로 매우 중요하다. 식(23)을 이용하여 본 논문에서 설계한 안테나를 기준으로 위성수신 링크 버짓을 계산하여 국내에서 필요한 최적의 안테나 스펙을 제시하였다. 관계식을 정리하여 계산하면 표 2와 같다. 수신 안테나는 본 논문에서 설계된 안테나의 이득을 기준으로 계산하였으며 시스템 잡음 온도는 저잡음 컨버터의 상용모델을 기준으로 $N/F=0.7$ dB, 변환 이득=55dB typical, 이득 평탄도=3 dBp-p, 국부발진기 안정도=1.0 MHz 등의 파라미터를 활용하여 계산하였다.

본 논문에서 설계된 안테나로의 위성수신 링크 버짓은 C/N비 6.7 dB로 실제 국내 내륙지역에서 요구되는 위성수신시스템의 최소기준인 9 dB에는 다소 부족하다. 최근 국내 하절기 집중호우 기간을 고려한다면 위성수신 안테나의 최적 이득은 27 dB 이상으로 예상된다. 결국 본 연구의 마이크로 스트립 어레이 안테나는 16×16 혹은 16×32 어레이 안테나로 확장해야 양호한 위성수신이 가능할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 논문에서는 위성수신용 마이크로스트립 어레이 안테나의 설계 및 제작을 연구하여 국내 무궁화 위성수신용 안테나로의 이용 가능성을 제시 및 고찰하였다.

원편파 수신용 마이크로스트립 어레이 안테나의 단점인 원편파 대역폭 개선을 위하여 순차배열 방식으로 설계하여 3 dB 이하의 양호한 축비 특성을 얻었으며 일반적인 배열방식

의 안테나와는 1 dB 이상의 축비 특성을 개선하는 효과를 확인하였다. 또한 안테나 기판을 저유전율과 두께가 비교적 두꺼운 기판을 사용하여 마이크로스트립 안테나의 단점인 주파수 대역폭을 개선하였다. 본 논문에서 연구한 안테나의 C/N비 계산에서 6.7 dB를 확인함에 따라 평면형 마이크로스트립 어레이 안테나의 전기적 특성으로도 대출력 트랜스폰더를 탑재한 국내 직접 위성수신용 안테나에서는 파라볼릭 안테나를 충분히 대체할 수 있을 것으로 평가된다.

향후 추가적인 연구는 국내 전역에서 위성수신이 가능한 고이득을 갖는 어레이 안테나로 확장하고 Teflon 기판상에 저잡음 컨버터 회로를 직접 실장시켜 일체형 위성수신용 안테나 설계 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] T. Yasin, T. R. Baktur, "Circularly Polarized Meshed Patch Antenna for Small Satellite Application," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp.1057-1060, Aug. 2013.
- [2] M. Maqsood, S. Gao, "Low-Cost Dual-Band Circularly Polarized Switched-Beam Array for Global Navigation Satellite System," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, pp.1975-1982, Apr. 2014.
- [3] M. M. Bilgic, K. Yegin, "Low Profile Wideband Antenna Array With Hybrid Microstrip and Waveguide Feed Network for Ku Band Satellite Reception Systems," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, pp.2258-2263, Apr. 2014.
- [4] Y. M. Madany, A. F. Miligy, "Compact C-Band slotted waveguide array antenna using multi-mode metamaterial array and multi-mode extractor converter structure," *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, pp.1548-1549, Jul. 2013.
- [5] N. Tung, H. Ueda, J. Hirokawa, M. S. Ando, "A Radial Line Slot Antenna for an Elliptical Beam," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 60, pp.5531-5537, Dec. 2014.
- [6] H. Pues, A. Capelle, "Accurate transmission-line

model for the rectangular microstrip antenna," IEE Proceeding, vol. 131, Part H, pp.334-340, 1984.

[7] A. B. Smolders, R. M. C. Mestrom, A. C. F. Reniers, M. Geurts, "A Shared Aperture Dual-Frequency Circularly Polarized Microstrip Array Antenna," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 12, pp.120-123, Mar. 2013.

[8] Jangwook Kim, "Design of Wide Band Antennas for Mobile Communications," The Korea Society of Computer and Information Letters, vol. 18, pp. 27-34, Mar. 2013.

[9] Koreasat System Specification Documents, KT.

[10] Introduction of Direct Broadcasting Satellite Reception, NHK, Association of Japan Broadcasting Publishers.

[11] I. Yasushi, "The Characteristics of CN Ratio using Different Antenna Type," Japan Television Society Technical Report, vol. 11, pp.1-4, Feb. 1990.

저 자 소 개



김 장 옥
 1990: 한국과학기술원
 전기전자공학과 공학사.
 1997: 고려대학교
 정보통신공학과 공학석사.
 2004: 한국항공대학교
 항공통신공학과 공학박사
 현 재: 동양미래대학교
 전기전자통신공학부
 정보전자과 부교수
 관심분야: 이동통신시스템, OFDM,
 차세대 이동통신시스템,
 안테나
 Email : jwkim@dongyang.ac.kr



전 주 성
 1999: 한국항공대학교
 통신공학과(공학박사)
 1988~1995: LG전자 연구소
 선임연구원
 1995~1996: 전자부품연구원(KETI)
 선임연구원
 현재: KT IT부문 서비스플랫폼본부
 관심분야: 이동통신시스템,
 이동통신 플랫폼,
 차세대 이동통신시스템,
 안테나
 Email : jsjeon016@gmail.com