

시퀀셜 로테이션 분배기 구조를 이용한 X-band 마이크로스트립 4×4 광대역 원형 편파 배열 안테나

X-band Microstrip 4×4 Broadband Circularly Polarized Array Antenna Using Sequential Rotation Divider Structure

김정한 · 김중관 · 김용진 · 이흥민

Jung-Han Kim · Joong-Kwan Kim · Yong-Jin Kim · Hong-Min Lee

요 약

본 논문은 X-band에서 동작하는 마이크로스트립 원형 편파 4×4 배열 안테나의 설계와 제작에 대해 다룬다. 단일 안테나는 정사각형 패치를 사용하고 비대칭 십자 개구 결합 급전 구조를 사용하여 RHCP(Right Handed Circularly Polarization)로 동작하도록 하였다. 기존의 배열 안테나의 소자간의 간격을 $0.8 \lambda_0$ 에서 $0.45 \lambda_0$ 로 간격을 줄여 실장 면적을 감소시켰다. 급전 선로는 시퀀셜 로테이션 분배기로 2×2 배열 안테나를 설계하여 양호한 이득과 축비 대역폭을 나타내었다. $\lambda/4$ Transformer와 T-junction 전력 분배기로 4×4 배열 안테나로 확장하였다. 시뮬레이션으로 확인한 결과 최대 방사 이득은 15.09 dBi로 나타났으며, 축비 대역폭은 3 dB 기준 9.05~10.4 GHz(13.5 %)의 양호한 특성을 보였다. 제작된 4×4 배열 안테나는 10 GHz에서 측정 결과 임피던스 대역폭(VSWR ≤ 2)은 8.45~11.84 GHz(33.9 %)로 나타났으며, 최대방사 이득은 11.10 dBi를 얻었다. 또한 측정된 축비 대역폭은 9.42~10.47 GHz(10.5 %)를 얻었다.

Abstract

In this paper, the circularly polarized 4×4 array antenna is proposed for the X-band. A single antenna consists of square patch and unequal cross-aperture coupled feeding. The RHCP(Right Handed Circularly Polarization) is generated by unequal cross-aperture coupled feeding. By reducing space among elements of array antenna from $0.8 \lambda_0$ to $0.45 \lambda_0$, the mounting area of array antenna is miniaturized. The 2×2 array antenna is designed using sequential rotation feeding network. The good level of gain, axial ratio, and impedance bandwidth are achieved. The 4×4 array antenna is extended by $\lambda/4$ transformer and T-junction power divider. The simulated maximum radiation gain is 15.09 dBi at 10 GHz. The simulated 3 dB Axial Ratio bandwidth is from 9.05 to 10.4 GHz(13.5 %). Also the measured impedance bandwidth(VSWR ≤ 2) of manufactured 4×4 array antenna is from 8.45 to 11.84 GHz(33.9 %). The measured maximum radiation gain is 11.10 dBi at 10 GHz. The measured 3 dB Axial Ratio bandwidth is from 9.42 to 10.47 GHz(10.5 %).

Key words : Unequal Cross-Aperture, Sequential Rotation, Circular Polarization, Power-Divider, Broadband

I. 서 론

국내외적으로 다양한 위성 통신 서비스의 확대와

이용자 급증에 따라 최근 무선 통신 시스템은 고속, 대용량, 경제화로 나아가는 추세이다. 이러한 무선 통신 시스템 구현을 위해서는 고 이득, 고 효율의 안

경기대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

· 논문 번호 : 20061103-08S

· 수정완료일자 : 2007년 1월 16일

테나 개발이 필요하다. 그 중 마이크로스트립 안테나는 반세기동안 지속적인 연구와 개발이 진행되어 현재까지 활발히 연구되어지고 있다. 마이크로스트립 안테나는 소형화, 저자세화 및 경량화 구현이 용이하며, 제작 비용이 저렴하고, 실장이 용이하여 우주선, 위성, 미사일, 이동 통신 등 많은 분야에서 응용되고 있다. 그러나 저 효율, 저 전력, 높은 Q값으로 인하여 대역폭이 협소하고, 비교적 낮은 지향성을 갖고 있으며, 급전 선로에서 불요 방사가 발생하는 단점이 있다^[1]. 이러한 특성으로 인해 높은 지향성을 요구하는 레이더나 위성 통신 분야에서는 사용에 한계가 있다. 따라서 높은 지향성 안테나를 구현하기 위하여 안테나 배열에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

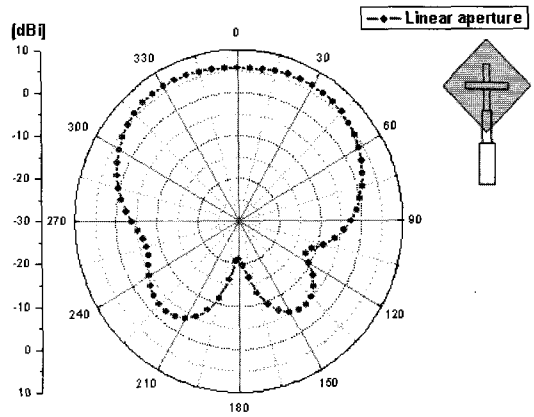
특히 위성에 사용되는 배열 안테나의 경우, 전리층의 산란이나 공간상의 전파 장애에 강한 원형 편파를 사용한다. 따라서 truncated patch, 또는 두 개의 급전부를 이용하는 방법을 통하여 원형 편파를 구현하고 시퀀셜 로테이션 분배기를 이용한 배열을 통하여 높은 이득과 양호한 편파 특성을 구현하는 연구가 활발히 진행되고 있다^{[2],[3]}. 하지만 기존의 배열 안테나는 소자 간격과 급전 선로 구현에 있어 시스템상의 실장 면적이 증가하여 소형화가 어려우며, 급전 선로와 패치가 동일 선상에 있어 시퀀셜 로테이션 분배기 설계 시 결합에 의한 위상 특성의 열화가 발생하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 비대칭 개구 결합 급전 방식을 이용하여 급전 선로와 패치를 효과적으로 격리시켰다. 또한, 별도의 분리가 필요 없어 구조가 간단하고 정합이 쉬우며 배열 안테나로 확장 시 많은 장점을 가지는 단일 급전 방식을 이용한다. 제안된 2x2 시퀀셜 로테이션 원형 편파 배열 안테나를 설계하여 양호한 측비 특성을 확보하고 $\lambda/4$ Transformer와 T-junction 전력 분배기를 이용하여 확장된 4x4 시퀀셜 로테이션 원형 편파 배열 안테나를 제안한다.

II. 단일 안테나의 설계

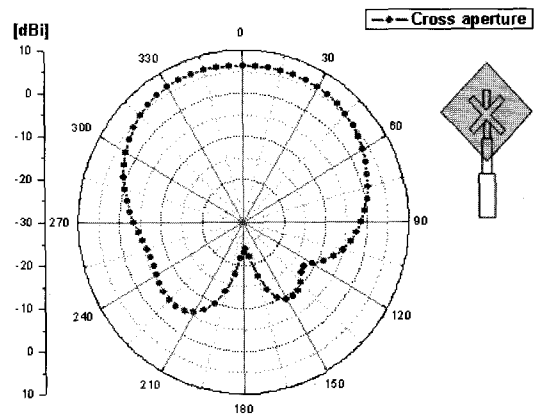
단일 안테나는 배열 구조를 고려하여 설계하여야 한다. 기존의 배열 형태는 방사 소자와 급전 선로가 동일한 유전체위에서 구현된다. 이러한 구조는 에

너지 전달 과정에서의 손실을 야기시키고 급전 선로에 의한 기생 방사는 안테나의 방사 특성을 저하시키며, 높은 Q값으로 인해 임피던스 대역폭 특성을 저하시킨다. 따라서 본 논문에서는 급전 선로와 방사 소자를 접지 면에 의해 분리시켜 안테나의 방사 효율과 대역폭 특성을 개선시킬 수 있도록 하였다. 또한, 개구 크기가 상대적으로 작은 비대칭 십자 개구 결합 구조를 이용하여 후방 방사를 줄이고 서로 다른 직교 모드를 형성하여 원형 편파를 구현할 수 있도록 하였다.

그림 1은 linear aperture 급전 구조와 cross aperture



(a) Linear aperture 급전 구조
(a) Linear aperture feeding geometry



(b) Cross aperture 급전 구조
(b) Cross aperture feeding geometry

그림 1. Linear aperture 급전 구조와 cross aperture 급전 구조의 후방 방사 비교

Fig. 1. Comparison of backward radiation of linear aperture feeding geometry and cross aperture feeding geometry.

급전 구조의 후방 방사 특성을 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과 cross aperture 급전 구조는 linear aperture 급전 구조에 비해서 후방 방사가 감소함을 알 수 있었다. 비대칭 십자 개구 결합 구조는 일반 개구 결합 구조의 개구 길이보다 임피던스 정합을 고려할 때 각각의 개구 길이가 일반 개구 결합 구조의 개구 길이보다 작아 후방 방사를 줄이는 장점을 갖도록 하였다. 그리고 크기는 같고 위상이 90° 차이인 두 개의 독립적인 직교 모드인 TM_{10} , TM_{01} mode를 형성하여 원형 편파를 구현하도록 하였다^[4].

설계된 단일 안테나의 구조를 그림 2에 나타내었다. 비대칭 십자 개구 결합 급전 구조는 일반적인 개구 결합 구조와 마찬가지로 각각의 개구 길이와 개방 스테르브의 길이에 따라 안테나의 입력 임피던스를 조정할 수 있다. 그림 2(a)는 비대칭 십자 개구 결합 급전 구조의 평면도를 나타내었다. Feed line은 50 Ω 선로와 100 Ω 선로를 사용하였으며, 임피던스 매칭을 위하여 70.7 Ω의 $\lambda/4$ transformer를 사용하였다. Feed line의 폭이 넓으면 소형화가 어렵고 feed line간의 coupling이 발생하여 위상 특성의 열화가 발생하는 단점이 있어 상대적으로 폭이 좁은 100 Ω 선로를 사용하여 소형화 및 임피던스 정합을 용이하게 하였다. 그림 2(b)는 측면도를 나타내었다. 하층 기판은 외부로의 방사를 줄이고 개구면으로 전자파 전달을 향상시키기 위하여 유전상수가 높고 두께가 얇은 FR-4($\epsilon_r=4.4$, $t=0.8$ mm) 기판을 사용하였고, 상층 기판은 방사 소자의 대역폭 및 방사 효율을 높이기 위하여 유전상수가 낮고 두께가 두꺼운 Teflon(ϵ_r ,

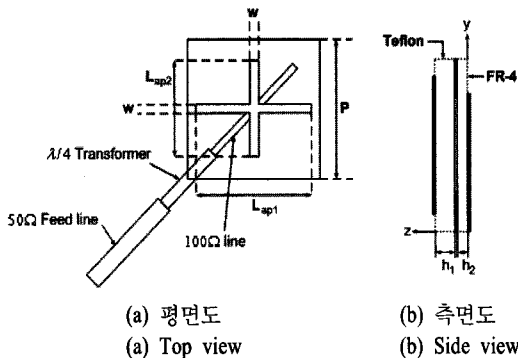


그림 2. 비대칭 십자 개구 결합 급전 구조
Fig. 2. Geometry of unequal cross-aperture feeding.

표 1. 제안된 단일 안테나의 설계 파라미터(단위: mm)

Table 1. The design parameter of the proposed single antenna(unit: mm).

L_{ap1}	L_{ap2}	P	h_1	h_2	W
7.2	5.4	7.4	1.6	0.8	0.4

=2.2, $t=1.6$ mm) 기판을 사용하였다^[5].

표 1은 제안된 안테나의 설계 파라미터를 나타내었다.

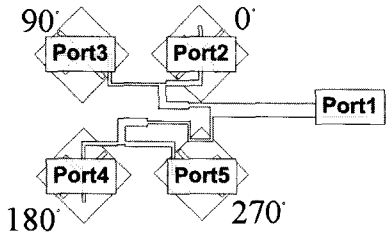
III. 2x2 순차 배열 안테나의 설계

안테나의 배열을 구현할 때 소자 사이의 간격, 배열을 구성하는 분배기의 특성은 아주 중요한 설계 요소이다. 소자간의 간격은 안테나의 이득과 빔 폭 등을 결정짓는다. 일반적으로 간격이 $0.7 \sim 0.9 \lambda_0$ 일 때 이득이 가장 높지만^{[6],[7]} 실장 면적의 감소를 위해 본 논문에서는 기존의 $0.8 \lambda_0$ 의 배열 소자간의 간격을 약 $0.45 \lambda_0$ 로 설계하여 안테나를 소형화시켰다. 이는 10 GHz에서 13.095 mm가 된다.

2x2 분배 구조는 원형 편파를 일으키는 안테나의 반사 손실 대역폭 및 축비 특성을 개선시키기 위하여 90°의 위상 지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 분배 방법으로 구현하였다. 분배기 설계는 Ansoft사의 Designer tool을 사용하여 2D 해석을 하고, 선로간의 커플링에 의한 영향과 공간상의 3D 해석에 용이한 상용 소프트웨어인 CST사의 MWS tool을 이용하여 tuning 하였다. 그림 3은 3D tool(MWS)로 tuning한 분배기의 각 단자 위치와 전력 분배량 및 위상 지연 특성을 나타내었다. 각 출력 단자의 전력 분배 특성은 10 GHz에서 $-6.76 \sim -5.65$ dB 약 -6 dB로 균등하게 나타남을 확인하였다. 또한 각 단자마다의 위상차가 오차 범위 $\pm 5^\circ$ 로 약 90°의 위상차를 보임을 알 수 있다.

설계된 시퀀셜 로테이션 분배기를 적용한 2x2 배열 안테나의 구조를 그림 4에 나타내었다. 각 방사 소자간의 간격은 13.095 mm를 유지하였다. Feed line은 단일 안테나의 구조와 동일하게 50 Ω 선로와 100 Ω 선로를 사용하였으며, 임피던스 매칭을 위하여 70.7 Ω의 $\lambda/4$ transformer를 사용하였다.

그림 5는 2x2 배열 안테나의 전계 법선 성분을 모



(a) 5-port 시퀀셜 로테이션 분배기
(a) 5-port sequential rotation divider

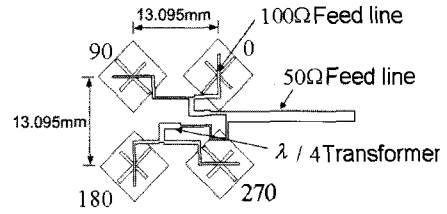
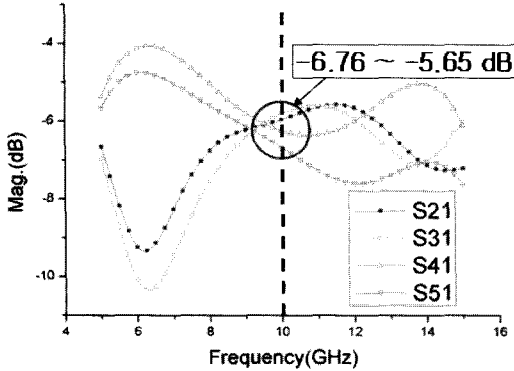
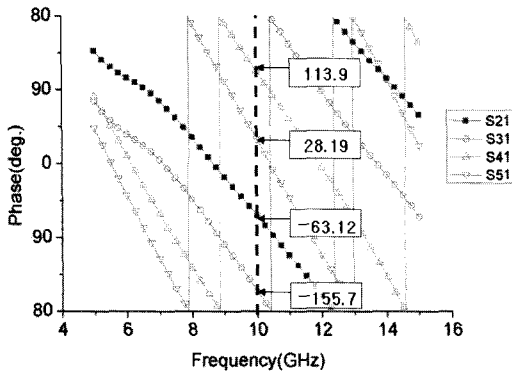


그림 4. 2x2 배열 안테나의 구조
Fig. 4. Geometry of 2x2 array antenna.



(b) 10 GHz에서 각 포트의 전력 분배
(b) Power division of each port at 10 GHz



(c) 10 GHz에서 각 포트의 위상차
(c) Phase difference of each port at 10 GHz

그림 3. 2x2 배열 안테나의 전력 분배량과 위상차
Fig. 3. Power division and phase difference of 2x2 array antenna.

의 실험을 통하여 우수계 원형 편파일 때 입력 신호의 위상에 따라 0°에서 360°까지 90° 간격으로 나누어 표현한 것이다. 입력 위상의 변화에 따라 전계의 법선 성분은 반시계 방향으로 회전하므로 우수계 원형 편파 특성이 나타나는 것을 볼 수 있으며, 동일 위상

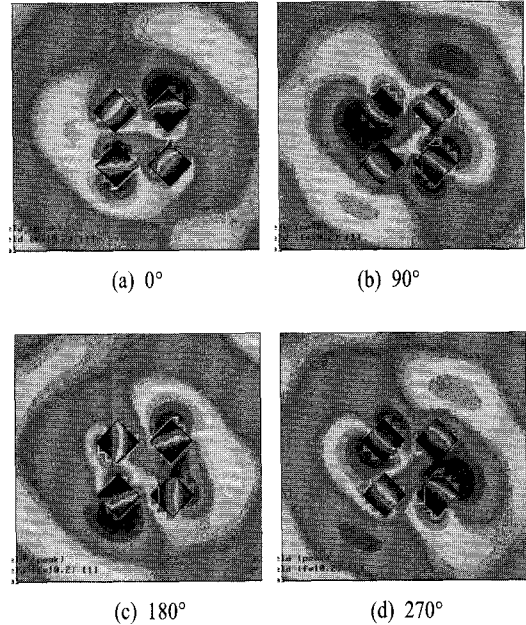
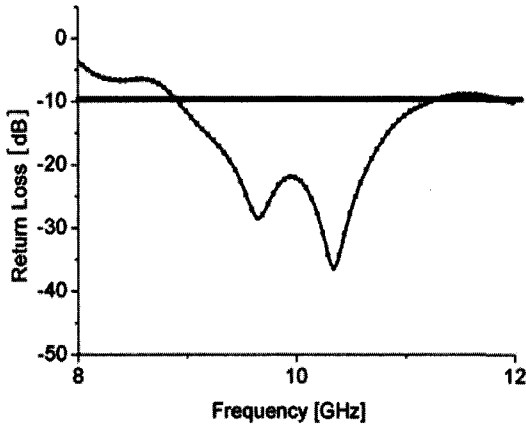


그림 5. 2x2 배열 안테나의 전계 법선 성분
Fig. 5. E-field normal component of 2x2 array antenna.

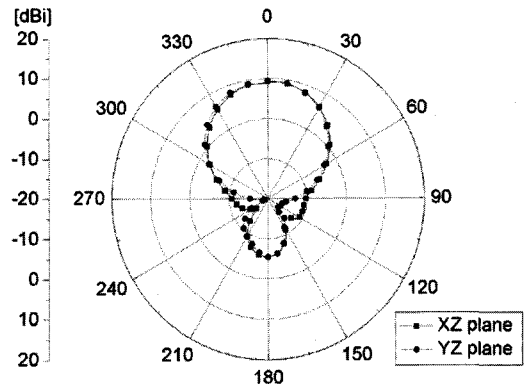
에서 각 방사 소자의 전계의 법선 성분이 시퀀셜 로테이션 분배기에 의해 방향성이 일치함을 알 수 있다.

그림 6은 2x2 배열 안테나의 모의 실험 결과를 보여주고 있다. 임피던스 대역폭(VSWR ≤ 2)은 8.9~11.3 GHz(24%)로 나타났다. 비대칭 십자 개구 결합 급전 구조에 따른 90°의 위상차를 갖는 두 개의 직교 모드에 여기된 이중 공진 특성이 10.05 GHz에서 나타남을 반사 손실과 스미스 차트를 통하여 확인할 수 있다.

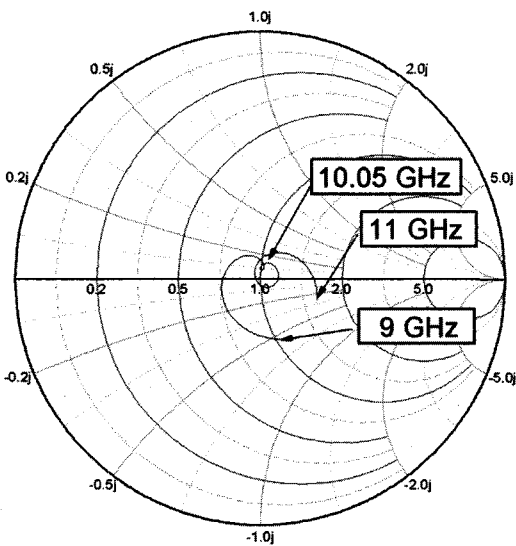
그림 7은 동작 주파수 10 GHz에서 방사 패턴과 축비 특성을 나타내었다. 이득은 9.4 dBi로 일반적인 2x2 배열 안테나의 이득을 만족하였다. 빔 폭 30° 내에서 -3 dB 이하의 양호한 축비 특성을 보여주고



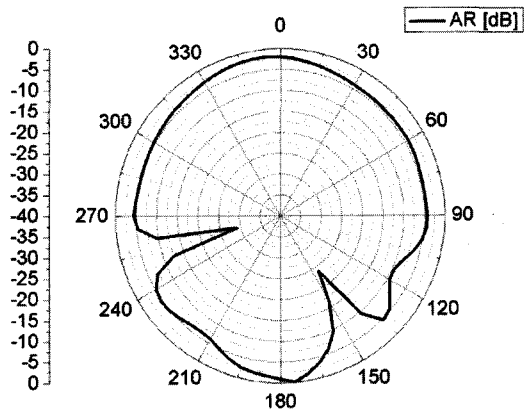
(a) 반사 손실
(a) Return loss



(a) 방사 패턴
(a) Radiation pattern



(b) 스미스 차트
(b) Smith chart



(b) 축비
(b) Axial ratio

그림 6. 2×2 배열 안테나의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation results of 2×2 array antenna.

있다.

IV. 4×4 배열 안테나의 제작 및 특성

제안된 2×2 배열 안테나에 하나의 입력을 받아 두 개의 출력 포트에 동일한 전력을 분배하는 T-junction 전력 분배기와 서로 다른 임피던스를 매칭시키기 위한 λ/4 transformer를 이용하여 4×4로 확장하였다. 전체 방사 소자간의 거리는 2×2 배열 안테나에서와 동일한 간격으로 설계하였다. 제작된 안테나의

그림 7. 2×2 배열 안테나의 방사 패턴과 축비 특성 (Simulation)

Fig. 7. Radiation pattern and axial ratio characteristic of 2×2 array antenna(Simulation).

구조와 사진을 그림 8과 그림 9에 나타내었다.

그림 10과 11은 제작된 안테나의 반사 손실과 Smith chart에서의 측정 결과를 보여주고 있다. 임피던스 대역폭(VSWR≤2)은 8.45~11.84 GHz(33.9 %)로 광대역 특성을 나타내었다.

그림 12는 제안된 안테나 모의 실험 결과 축비 대역폭과 실제 제작되어진 안테나의 축비 대역폭을 나타내었다. 측정된 축비 대역폭은 9.42~10.47 GHz (10.5 %)로 시뮬레이션 결과 9.05~10.4 GHz(13.5 %)보다는 약간 감소하였지만 유사한 특성을 나타내었다.

그림 13은 제안된 안테나의 시뮬레이션 결과와 실제 제작되어진 안테나의 방사 패턴을 나타내었다.

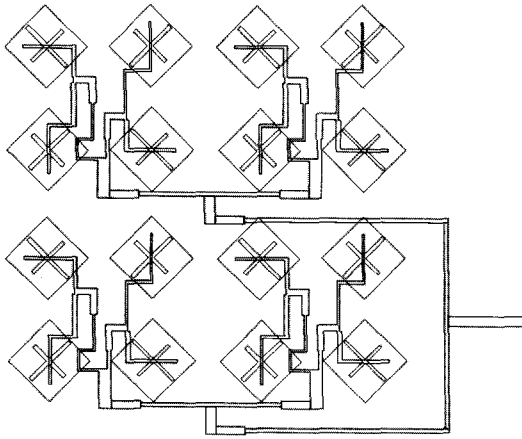
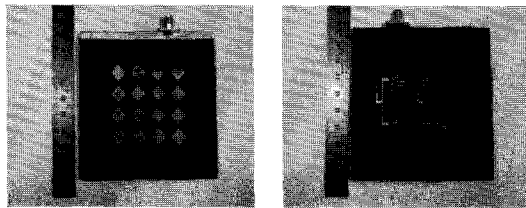


그림 8. 제작된 4×4 배열 안테나의 구조
Fig. 8. Geometry of manufactured 4×4 array antenna.



(a) 방사부 (a) Radiation element
(b) 급전부 (b) Feeding structure

그림 9. 제작된 4×4 배열 안테나
Fig. 9. Manufactured 4×4 array antenna.

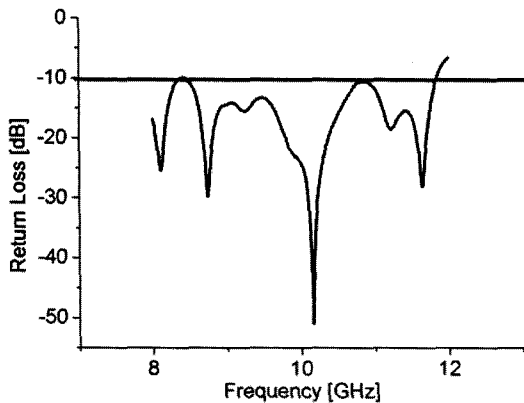


그림 10. 제작된 4×4 배열 안테나의 반사 손실
Fig. 10. Return loss of manufactured 4×4 array antenna.

10 GHz에서 모의 실험 결과 최대 방사 이득은 15.09 dBi를 나타내었다. 실제 제작되어진 안테나의 최대

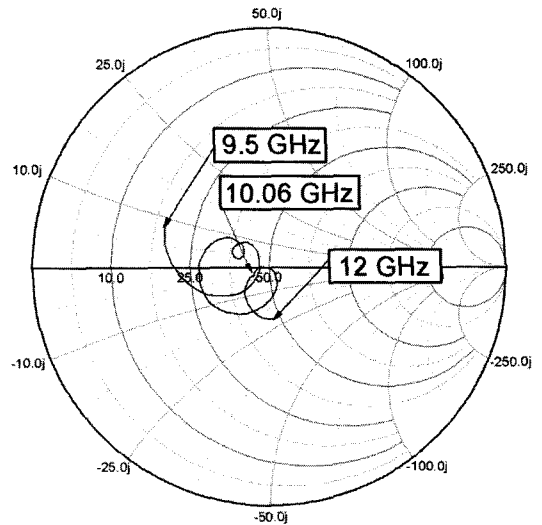


그림 11. 제작된 4×4 배열 안테나의 Smith chart
Fig. 11. Smith chart of manufactured 4×4 array antenna.

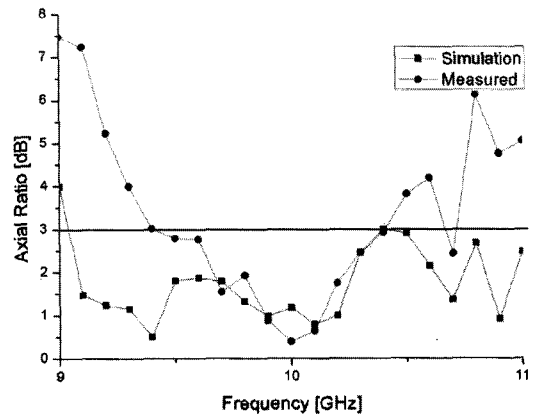
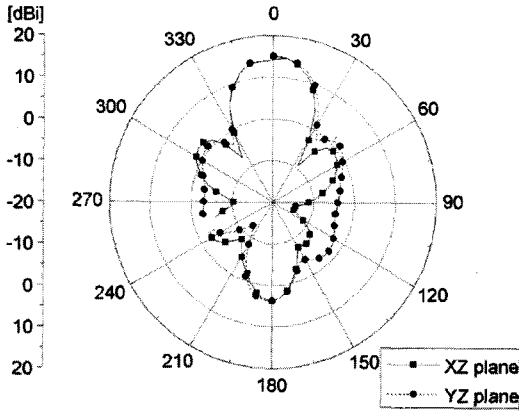


그림 12. 4×4 배열 안테나의 축비 대역폭
Fig. 12. Axial ratio bandwidth of manufactured 4×4 array antenna.

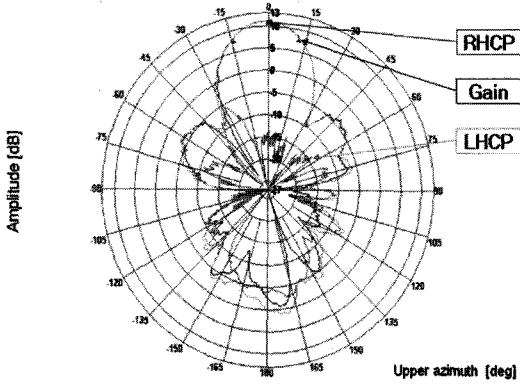
방사 이득은 11.10 dBi를 나타내었고, RHCP와 LHCP의 차는 약 25 dBi가 남을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 X-band에서 동작하는 공진 주파수가 10 GHz인 비대칭 십자 개구 결합 급전 구조를 갖는 4×4 순차 배열 원형 편파 안테나를 설계, 제작하였다. 단일 안테나는 정사각형 패치를 사용하고 비



(a) 방사 패턴(Simulation)
(a) Radiation pattern(Simulation)



(b) 방사 패턴(10 GHz)(Measured)
(b) Radiation pattern(10 GHz)(Measured)

그림 13. 제작된 4×4 배열 안테나의 방사 패턴
Fig. 13. Radiation pattern of manufactured 4×4 array antenna.

대칭 십자 개구 결합 급전 구조를 사용하여 RHCP 안테나로 동작하도록 하였다. 실장 면적의 감소를 위해 기존의 배열 안테나의 소자간의 간격을 $0.8 \lambda_0$ 에서 $0.45 \lambda_0$ 로 줄여 안테나 크기의 소형화를 이루었다. 또한 급전 선로는 시퀀셜 로테이션 분배기로 2×2 배열 안테나를 설계하였으며 $\lambda/4$ Transformer와 T-

junction 전력 분배기로 4×4 배열 안테나를 설계, 제작하였다. 제작된 10 GHz 4×4 배열 안테나의 측정 결과 임피던스 대역폭(VSWR≤2)은 8.45~11.84 GHz (33.9 %)로 나타났으며 최대 방사 이득은 11.10 dBi를 얻었다. 또한 측정된 축비 대역폭은 9.42~10.47 GHz(10.5 %)를 만족하였다. 배열 안테나로 우수한 특성을 가지며, 소형화를 이룬 제한된 안테나는 좁은 실장 면적을 요하는 위성 시스템에서 적용되어질 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

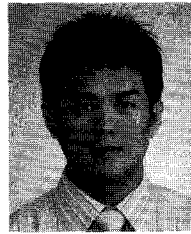
- [1] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [2] B. Nauwelaers, G. Raguene, and A van de Capelle, "La rotation sequentielle et la polarisation circulaire", *Conference Journees Internationales de Nice sur les antennas*, pp. 459-462, Nov. 1990.
- [3] 양태식, 이범선, "Ku 밴드 8×8 원형편파 마이크로 스트립 배열 안테나 설계 및 제작", 한국전자 과학회 종합학술발표회 논문집, pp. 385-389, 1998년 11월.
- [4] T. Vlasits, E. Korolkiewicz, A. Sambell, and B. Robinson, "Analysis of cross-aperture coupled patch antenna using transmission line model", *Electron Lett.*, vol. 32, pp. 612-613, Oct., 1996.
- [5] Girish Kumar, K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House, 2003.
- [6] E. Levine, G. Malamud, S. Shtrikman, and D. Treves, "A study of microstrip array with the feed network", *IEEE Trans Antennas Propagat* 37, pp. 426-434, 1989.
- [7] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, Inc. 1998.

김 정 한



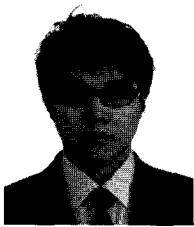
2000년 3월~현재: 경기대학교 전
자공학부 학사과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해
석, RF 이동통신 시스템

김 용 진



2000년 3월~현재: 경기대학교 전
자공학부 학사과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해
석, RF 수동소자

김 중 관



2000년 3월~현재: 경기대학교 전
자공학부 학사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, RF 수
동소자, RF 이동통신 시스템

이 홍 민



1972년 2월: 연세대학교 전자공학
과 (공학사)
1974년 2월: 연세대학교 전자공학
과 (공학석사)
1990년 2월: 연세대학교 전자공학
과 (공학박사)
1991년 3월~현재: 경기대학교 전
자공학과 교수
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 전파 전파, RF 수동소
자