

Design of K-band Array Antenna for Satellite Communications

이 현 진[†] · 김 현 철*
(Hyeon-Jin Lee · Hyun-Chul Kim)

Abstract - In this paper, 2x4 microstrip patch antenna are proposed to implement K-band satellite communications. The microstrip feed line are inset into the radiation patch to match input impedance. Also the same current in each elements are excited by Kirchhoff's law. The elements distance of proposed array antenna are optimized $0.8\lambda_g$ to minimize a mutual coupling and maximize a gain. A power divider network are employed to distribute T-junction divider. As result, the proposed antenna get gain of 14[dBi] at 10.525[GHz].

Key Words : K-band, Array Antenna, Microstrip Patch Antenna

1. 서 론

세계 최초의 상업위성이 1965년 발사되어 위성 서비스를 제공하여 왔으며, 우리나라에도 1995년 국내 최초의 통신방송 위성인 무궁화 위성이 발사되어 위성통신 및 방송서비스가 이루어졌다. 국내외적으로 다양한 위성통신서비스가 확대되고 수용자가 급증하고 있으므로 주파수 대역폭의 확장이 요구되고 있는 추세에 있다. K-band 시스템은 광대역 통신이 가능하며, 안테나 및 RF장비의 소형화가 가능한 이점을 가지고 있다. 현대의 위성통신 단말기시스템은 효율적인 이동성의 확보를 위하여 소형 경량화가 요구되고 있으며, 양질의 통신신호의 전송을 위하여 소형경량화 및 고 이득의 안테나가 핵심 장비로 부각되고 있는 추세이다. 따라서 마이크로스트립 안테나와 같은 평판 안테나는 경량 인쇄회로기판 제작방법을 이용하여 대량생산이 가능하여 가격의 저렴화에 기여할 수 있으며 다양한 변형된 구조를 통하여 사용 목적에 적용성이 우수한 장점을 갖고 있다. 특히 위성 통신 안테나 및 레이더의 경우 K-밴드(10~20GHz, 10.9~36GHz)의 고주파수에서 사용된다.

하지만 널리 사용되고 있는 패치 안테나는 이득이 낮고 대역폭이 좁은 단점이 있다. 본 논문에서는 이득을 향상시키기 위하여 주기형 배열안테나를 제안하였다. 배열 안테나는 키르히호프 법칙을 바탕으로 설계된다[1]. 배열 안테나 설계 방법에는 각 패치에 동일한 급전이 인가되는 균일 급전과 동일하지 않은 신호가 급전되는 급전 두 가지의 급전방법이 있다. 동일하지 않은 급전방법에는 루돌프 체비세프 방법과 바이노미얼 방법이 있다[2]. 마이크로스트립 안테나는 무게

와 부피가 작고 경제적이고, 직접화가 가능하며, 표면 부착력이 탁월하여 많은 분야에 이용되고 있다. 그러나 단일 마이크로스트립 패치 안테나는 지향특성은 낮고 그 방사 패턴은 반 파장 다이폴 안테나의 특성과 유사한 특징을 갖는다. 위성통신에서는 빔폭이 좁은 방사패턴이 요구되므로 이를 달성하기 위해서는 마이크로스트립 패치 안테나를 배열 형식으로 구현하는 많은 연구가 진행되고 있다[3-6]. 안테나의 배열을 설계하기 위해서는 많은 고려하여야 할 요소가 있으나 그중에서 배열 요소와의 거리를 결정하는 문제이다. 요소간의 거리가 너무 가까우면 상호결합(mutual coupling)에 의하여 간섭을 일으켜 안테나 이득에 나쁜 영향을 미치게 된다. 배열 요소의 수는 방사패턴을 결정하며 이 배열 요소의 수가 증가 할수록 안테나의 빔폭은 좁아진다. 또한 급전구조가 복잡하여지고 마이크로스트립선로에서의 손실로 인하여 효율은 낮아지게 된다. 따라서 본 논문에서는 방사부와 급전부의 정합을 향상하기 위하여 마이크로스트립 급전선로를 방사 패치 내부로 삽입하는 구조를 이용하였다. 이는 방사 패치가 장자리 임피던스가 200~250[Ω]의 매우 높은 임피던스 값을 갖는다. 이와 같이 높은 임피던스 값을 갖은 방사패치와 50[Ω]의 매우 폭이 좁은 마이크로스트립 급전선로가 직접 연결될 때는 급전부와 방사체간의 좋지 않은 정합특성을 보여서 급전 효율이 낮아지는 결과를 초래하여 전체적인 안테나 특성이 나빠진다. 국내외의 많은 연구자들에 의하여 부피가 크고 무게가 무거워 이동성에 지장을 받는 반사기 안테나 일명 접시 안테나보다 많은 연구 결과가 발표되고 있다. 본 논문에서는 마이크로스트립 패치 구조를 방사 요소로 하여 2x4 마이크로스트립 배열 안테나를 설계 제작하였다.

2. 본 론

2.1 마이크로스트립 패치 안테나의 설계 이론

2.1.1 마이크로스트립 패치 안테나의 단일 배열 소자 설계
마이크로스트립 안테나는 유전체위에 매우 얇은 도체로

[†] 교신저자, 정회원 : 동강대학교 전기전자과 교수 · 공학

E-mail: hyeonjin@dkc.ac.kr

* 정 회원 : 전남대학교 공대 전자컴퓨터학부 석사과정

접수일자 : 2011년 8월 6일

최종완료 : 2011년 9월 23일

구성되고, 마이크로스트립 패치는 최대 방사각 수직으로 향하도록 설계된다. 이는 패치 아래의 여기 모드를 적절히 선택함으로써 가능하다. 직사각형 패치에 대하여, 길이 L 은 보통 $\lambda_0/3 \leq L \leq \lambda_0/2$ 이다. 마이크로스트립 안테나에 사용되는 상대유전상수들은 보통 $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ 이다. 안테나와 연결되어지는 초고주파 회로는 높은 유전상수와 얇은 기판이 필요하기 때문에 좋은 안테나 성능과 회로 설계에 사이에는 상호 배타적 특성이 있다. 안테나의 입력 임피던스 매칭은 슬롯의 길이와 폭을 변화시켜 설계 주파수 대역에서 패치로 유도되는 결합크기를 결정하고, 튜닝 스테브의 길이는 급전부의 리액턴스 성분을 최소화 한다. inset(인셋)급전은 마이크로스트립 급전선로를 방사소자의 내부로 삽입하는 구조의 급전 방법으로 그림 1에 보이고 있다. 이는 방사 소자의 대역폭과 복사효율을 높이며 정합특성을 고려하는 여기부의 임피던스가 $50[\Omega]$ 의 특성 임피던스에 근접하도록 하였다. 그림 1은 배열 안테나의 단일 소자의 설계구조를 나타낸 그림이며 설계변수 값은 표1에 나타내었다. P_w 와 P_h 은 패치 안테나의 넓이와 길이를 의미하고 inset_h는 삽입 급전선로의 길이를 나타낸다. 패치 안테나의 입력 임피던스는 inset_h의 길이를 조절하여 최적화 할 수 있다.

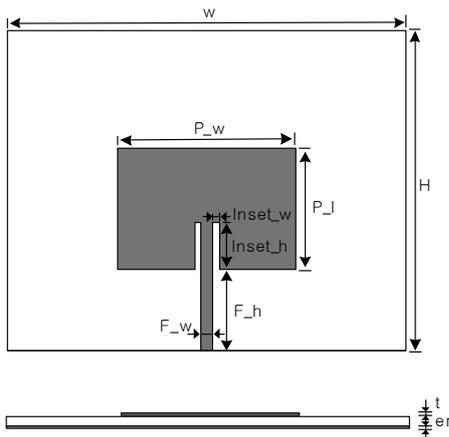


그림 1 단일 패치 안테나 구조
Fig. 1 Structure of proposed antenna

표 1 단일 패치 구조 변수 값
Table 1 Parameter value of single patch

변수(parameter)	값(mm)	변수(parameter)	값(mm)
W	20	L_h	2.72
H	16	L_w	0.3
P_w	8.84	F_h	4.028
P_h	5.79	F_w	0.631

그림 2와 3은 단일 배열 안테나의 해석 결과이다. 그림 2는 시뮬레이션 반사계수 특성을 나타낸 그림으로 10.525 [GHz]에서 공진이 발생되었으며 600[MHz]의 대역폭을 갖는다. 그림 3에 방사 패턴을 나타내었으며 패턴의 구조는 기

존의 마이크로스트립 안테나의 패턴구조를 나타내고 있다. 최대 이득은 7[dBi]의 값을 얻었다. 이는 급전부와 방사체가 매우 우수한 정합을 이루고 있음을 반증할 수 있다.

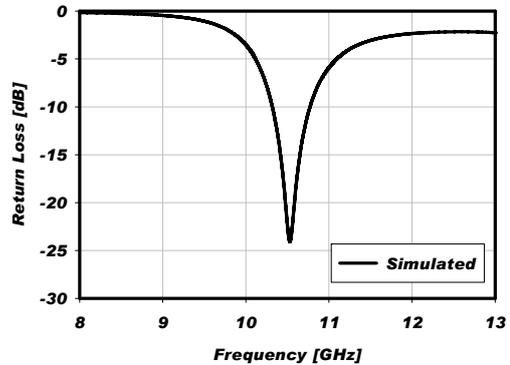


그림 2 단일 패치 구조의 반사계수
Fig. 2 Return loss of single patch

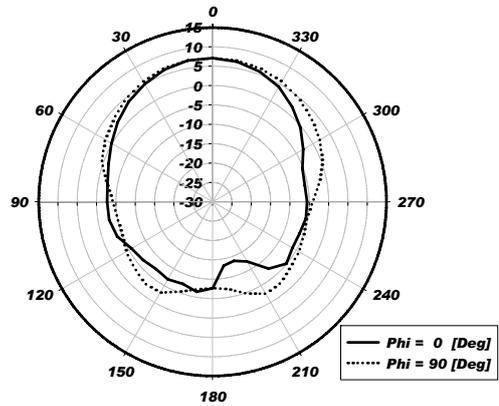


그림 3 단일 패치 구조 방사 패턴
Fig. 3 Radiation pattern of single patch

2.1.2 마이크로스트립 배열안테나의 2x1 배열 소자 설계

안테나 배열을 형성할 때에 고려사항 중 배열 소자간의 거리는 안테나 효율에 커다란 영향을 미치는 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 그 이는 이득(gain), 지향성(directivity), 빔폭(beam width), grating lobe의 위치 등을 결정짓는 요소가 된다. 소자간의 간격이 너무 가까우면 상호결합이 일어나 안테나의 이득과 효율이 나빠지는 현상이 일어난다. 즉 부엽(side lobe level)을 증가하게 하여 주빔을 어긋나게 하는 원인되고, 영점(null)을 발생하게 한다. 그림 4는 2x1 배열 소자에 대한 그림이며 배열 소자와 소자간의 거리에 따른 상호 간섭에 의하여 안테나 특성의 변화 및 이득의 차가 발생되므로 일반적인 $0.6\lambda_g \sim 0.9\lambda_g$ 의 범위에서 변화의 특성을 해석하여 최적의 거리에서 배열 소자의 간격을 결정 한다. 그림 4는 2x1 배열 소자에 대한 구조의 그림으로 배열 소자와 소자간의 거리에 따른 상호 간섭에 의하여 안테나 특성의 변화 및 이득의 차가 발생되므로 일반적인 $0.6\lambda_g \sim 0.9\lambda_g$ 의 범위에서 변화의 특성을 해석하여 최적의 거리에서 배열 소자의 간격을 결정 한다.

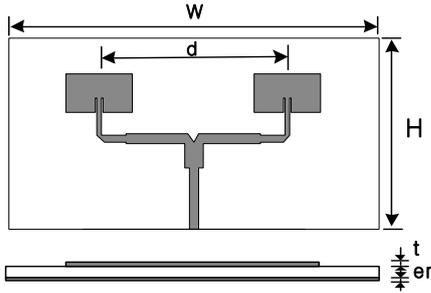


그림 4 2x1 배열 안테나 구조
Fig. 4 Structure of 2x1 array antenna

그림 5는 방사 소자간의 간격을 변화하여 안테나의 이득 특성을 알아본 그림이며 그림에서 방사 소자간의 간격이 $0.8\lambda_g$ 일 때 최적의 이득을 얻을 수 있어 본 논문에서 배열 안테나의 소자간의 거리는 동작 주파수의 $0.8\lambda_g$ 만큼의 거리로 설계 하였다.

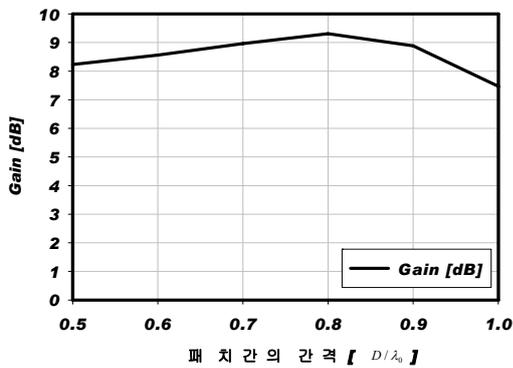


그림 5 패치 간격 변화에 따른 이득
Fig. 5 Gain against change distance

그림 6은 그림 4의 구조에 대한 반사계수 특성을 나타낸 것으로 단일 소자의 결과 값과 매우 일치함을 알 수 있다.

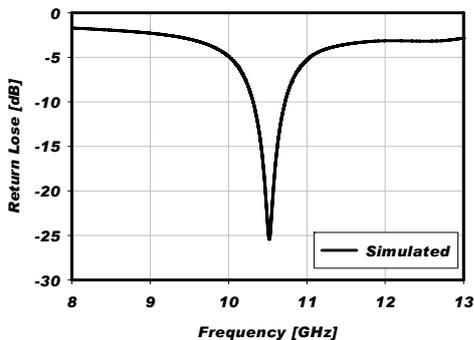


그림 6 2x1 배열 안테나 구조 반사계수
Fig. 6 Return loss of 2x1 array antenna

그림 7은 본 논문에서 제안한 2x1 배열안테나의 방사패턴의 그림으로 그림에서 알 수 있듯이 단일 요소의 방사패턴과 비교하여 빔폭이 좁아지고, 이득은 증가하는 것을 볼 수 있다.

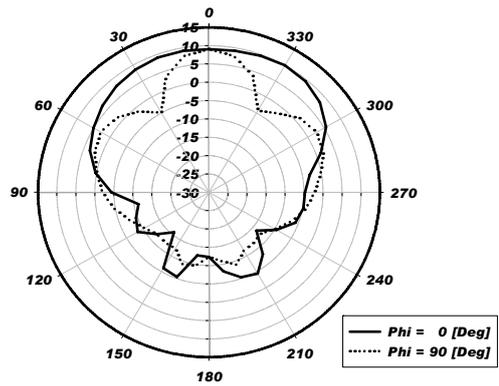


그림 7 2X1 배열 패치 구조 방사 패턴
Fig. 7 Radiation pattern of 2x1 array antenna

2.1.3 마이크로스트립 배열안테나의 2x4 배열 소자 설계

1) 배열안테나의 급전을 위한 전력 분배기 설계

배열 안테나에서는 신호를 효율적으로 분배할 수 있는 급전구조의 설계가 매우 중요한 요소이며 이에 중점을 두어 전력분배기와 임피던스 정합이 중심이 되도록 설계하여야 한다. 2x4 배열의 기본 소자를 설계하는데 사용된다. 그림 8은 본 논문에서 제안한 2X4 배열 안테나의 구조이며 $\lambda_g/4$ 변환기와 T-junction 전력 분배기를 이용하여 설계하였다. 또한 배열 용소의 거리를 나타내는 d는 $0.8\lambda_g$ 의 소자간 거리를 두고 최적화 하였다. 표2에 설계 변수 값을 나타냈으며 그림 9와 10에 반사계수 특성 및 방사 특성을 나타낸 그림이다. 그림 9는 스미스 차트에서 본 입력임피던스를 나타낸 그림으로 정규화값 1의 근처에서 공진이 이루어지는 것을 알 수 있으며 이는 전체적인 정합이 잘 이루어져 있음을 나타내고 있다. 그림 10은 설계된 배열 안테나를 제작한 사진을 보여주고 있으면 오른쪽의 사진은 배열 요소로 구성된 사진이며, 왼쪽의 사진은 안테나 뒷면의 접지면 사진이다. 그림11의 그림은 그림 2와 6의 그림에서의 공진주파수와 모두 일치하는 10.525[GHz]에서 공진이 일어나고 있다. 또한 그림 9에서는 시뮬레이션 과 측정 결과를 비교하였으며 두 값이 근사하고 있음을 알 수 있다. 그림 10에서 최대 이득이 14[dBi] 이상을 얻을 수 있어 위성통신용 배열 안테나로 사용할 수 있는 안테나를 설계 제작 하였다. 그림 12에는 제작된 배열 안테나의 방사패턴의 특성을 나타낸 그림이다.

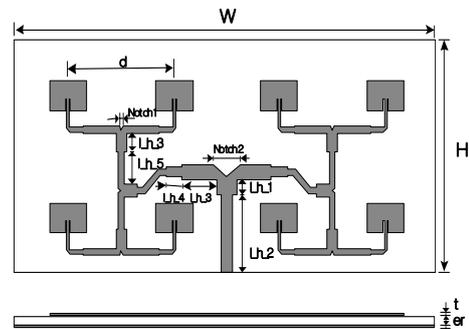


그림 8 2X4 배열 안테나의 구조
Fig. 8 Structure of 2x4 array antenna

표 2. 2x4 배열 구조 변수 값

Table 2 Parameter value of single patch

변수(parameter)	값(mm)	변수(parameter)	값(mm)
W	100	L_h_1	2.999
H	45	L_h_2	15.088
d	22.8	L_h_3	8.176
t	0.02	L_h_4	3.844
er	1.6	L_h_5	6.219
Notch1	0.86	L_h_6	3.643
Notch2	6.16		

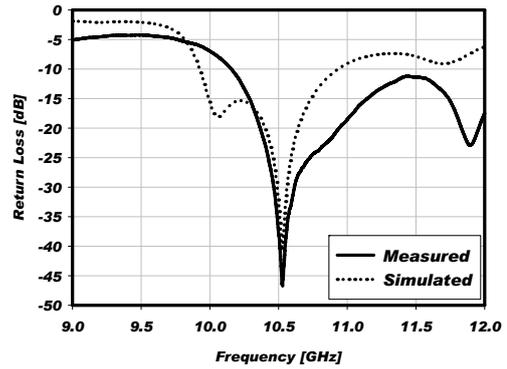


그림 11 4x2 배열 안테나 반사 계수

Fig. 11 Return loss of measurement of simulated antenna

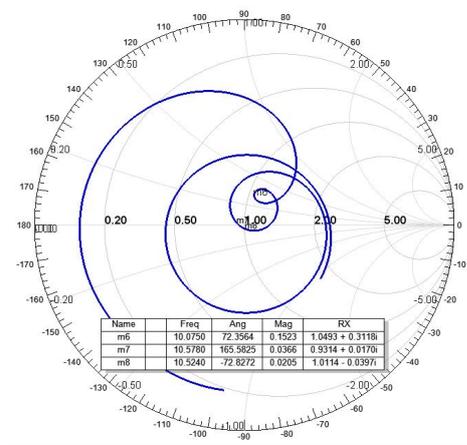


그림 9 2x4 배열 안테나의 스미스 차트에서의 입력 임피던스

Fig. 9 Input impedance 2x4 array antenna on Smith chart

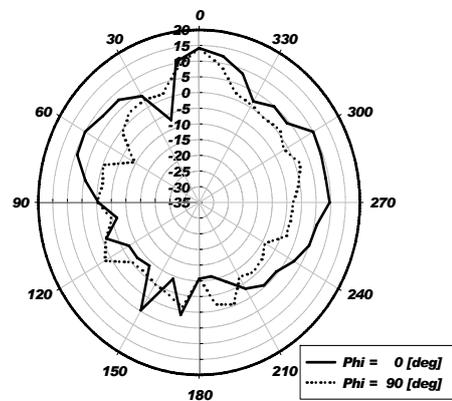


그림 12 2x4 배열 안테나의 측정 방사패턴

Fig. 12 Measurement radiation pattern of 2x4 array antenna

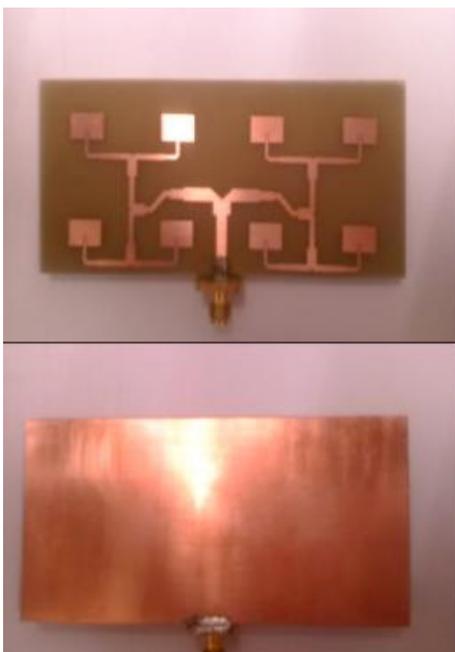


그림 10 제작된 2x4 배열 안테나의 사진

Fig. 10 Photograph of 2x4 array antenna

3. 결 론

본 논문에서는 2x4 배열 안테나를 구성하는 중심 공진 주파수가 10.525[GHz]인 마이크로스트립 배열 안테나를 설계 제작하였다. 각 배열 요소의 방사체인 패치의 입력 임피던스를 조절하기 위한 키르히호프 방법을 이용하였다. 급전 점의 입력 임피던스의 정합을 위하여 인셋 급전 방법을 사용하였다. 배열 안테나의 해석은 기성 프로그램인 HFSS 10을 이용하여 해석 하였으며, 급전구조는 전력분배는 $\lambda_g/4$ 변환기와 T-junction 전력분배기를 이용하여 2x4 배열 안테나를 설계하였다. 설계 및 측정 결과 중심 공진 주파수 10.525[GHz]의 대역폭이 600 [MHz] 이며 최대 이득 14 [dBi]인 결과를 얻었다. 따라서 본 논문의 연구결과는 위성 통신용 배열 안테나로 사용할 수 있는 배열 안테나이다.

참 고 문 헌

[1] Robert J. Mailloux." array Architecture," *Proc, IEEE*, Vol. 80, No. 1, pp. 163-172, 1992.
 [2] Robert J. Mailloux, John F. McIlvenna, and Nicholas P. kernweis, " Microstrip Array Technology." *IEEE Trans. Antennas propagat.*, Vol. AP-29, No.1, pp.25-37, Jan.,

1981.

- [3] D.M. Pazar, "A reciprocity method of analysis for printed slots and slot coupled microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, pp. 1439-1446, Dec. 1986.
- [4] PETER L. SULLIVAN, "Analysis of an Aperture Coupled Microstrip Antenna" *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, VOL. AP-34, NO. 8, AUGUST 1986.
- [5] Kai Fong Lee, Wei Chen, "Advanced in Microstrip and Printed Antennas", Wiley Isterscience, pp71-109, 1997 .
- [6] Aloni, E and Kastner, R., "Analysis of a dual circularly polarized microstrip antenna fed gy crossed slots", *Antenna and Propagation, IEEE Transactions AP*, vol. 42, Issue 8, pp. 1053-1058, Aug. 1994
- [7] A. Adrian and D. H. Schaubert, "Dual aperture-coupled microstrip antenna for dual or circular Polarization." *Electron. Lett.*, vol.23, pp. 1226-1228, 1987
- [8] D. M. Pozar and S. D. targonski, "A novel wideband circularly polarized aperture-coupled microstrip antenna," in *Proc. 1991 Int. IEEE AP-S Symp.*, London, Ontario, Canada, pp. 1098-1101, June 1991

저 자 소 개



이 현 진(李玄辰)

1958년 8월 생. 1982년 조선대학교. 전기공학과 졸업. 1996년 전남대학교 대학원 전기동학과 졸업(공학). 1997.6 -1998. 7 펜실베니아 주립대학교 전기공학과 교환교수. 1992. 3 - 현재 동강대학교 전기전자과 교수.

Tel : 062) 520-2260

FAX : 062) 520-2356

E-mail : hyeonjin@dkc.ac.kr



김 현 철(金鉉哲)

1983년 10월 22일 생. 2009년 2월 호남대학교 전파이동통신공학과 졸업. 2009년 3월 ~ 현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정.

Tel : 062)530-1752

E-Mail : ravink@nate.com