

저궤도 중형급 위성용 isoflux 방사패턴을 갖는 마이크로스트립 안테나 설계

A Design of Isoflux Radiation Pattern Microstrip Patch Antenna for LEO Medium-sized Satellites

김 준 원*

(Jun-Won Kim)

(Chungnam national university)

우 종 명**

(Jong-Myung Woo)

(Chungnam national university)

· Corresponding author : Jong-Myung Woo(Chungnam national university), E-mail jmwoo@cnu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 저궤도 중형급 위성에 장착에 적합한 isoflux 방사패턴을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 isoflux 방사패턴 특성을 얻기 위해 패치 아래의 접지면을 사다리꼴 모양으로 변형시켜 패치 끝의 개구면과 접지면 사이에 발생하는 프링징 필드를 조절하였다. 그리고 후방으로 방사되는 레벨을 줄이기 위해서 패치 안테나 양 끝에 cavity wall을 채택하였다. 끝으로 패치의 길이와 급전점을 조절하여 원형편파를 발생시켰다. 설계된 안테나는 S-band uplink(2.025 ~ 2.110 GHz)를 수용하도록 설계하였으며, 접지면을 포함한 안테나의 전체 크기는 160 mm × 160 mm × 40 mm ($1.1\lambda \times 1.1\lambda \times 0.3\lambda$, λ 은 2.068 GHz의 공기 중 한 파장)를 가진다. 또한 -10 dB 대역폭은 90 MHz(4.4 %)로 목표주파수 대역을 만족시키며, 3 dB이하 축비대역폭은 18 MHz(0.9 %)로 측정되었고, 방사패턴은 isoflux 형태를 가지며, y축 편파 E-plane 46°에서 최대 5.31 dBi의 이득이 측정되었다.

핵심어 : 마이크로스트립 패치 안테나, Isoflux 방사패턴, 저궤도, 중형급 위성, S-band

ABSTRACT

In this paper, a microstrip antenna with isoflux radiation patterns is presented for Low Earth Orbit(LEO) medium-sized satellites. Because of making isoflux patterns, the ground of proposed antenna under the patch was transform into a trapezoid for adjusting fringing field between the patch and ground. Next, the cavity walls were located at end of the ground for reducing back radiation. The proposed antenna was designed to receive S-band uplink(2.025 ~ 2.110 GHz) and the dimensions of the designed antenna with the ground are 160 mm × 160 mm × 40 mm($1.1\lambda \times 1.1\lambda \times 0.3\lambda$, λ is the free-space wavelength at 2.068 GHz). Measured -10 dB bandwidth was 90 MHz(4.4 %) and it covers the required system bandwidth. Also, measured 3 dB axial ratio was 18 MHz(0.9 %). On the other hand, measured radiation patterns were isoflux patterns and its measured gain was 5.31 dBi at E-plane 46° in the y-axis pol.

Key words : Microstrip patch antenna, Isoflux radiation pattern, Low Earth Orbit, Medium-sized satellite, S-band

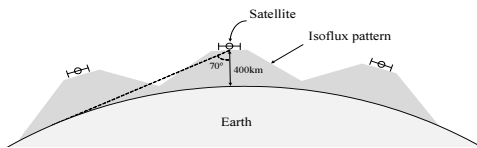
* 주저자 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사과정

** 공저자 및 교신저자 : 충남대학교 전파공학과 교수

† Received 3 March 2015; reviewed 31 March 2015; Accepted 6 April 2015

I. 서론

최근 인공위성을 이용한 통신발달로 인하여 광범위한 지역에 다양한 통신 서비스가 가능하게 되었고, 이를 위해 다양한 형태의 수많은 인공위성들이 존재하게 되었다. 위성의 경우 좁은 공간 내에 다양한 업무를 수행하기 위한 여러 통신시스템이 장착되어 있는데 제한된 공간으로 인해 통신시스템들의 소형화가 요구된다. 그러나 대부분 통신부품들이 소형화되어 통신시스템이 작아짐에도 불구하고, 안테나는 그 물리적 크기로 인하여 위성 장착에 제약받고 있다. 또한 그림 1에 나타낸 바와 같이 Low Earth Orbit(LEO)를 비행하고 있는 위성의 경우 지구와의 거리차가 크지 않아 지구 수직 상의 짧은 거리에 위치한 곳에서는 방사레벨을 다소 낮게 하고 수직 상에서 벗어난 곳에서는 방사레벨을 증가시켜 안정된 S/N를 확보하면서 동시에 통신 영역을 넓게 또는 위성사용 시간을 길게하기 위해 isoflux 방사패턴을 필요로 한다.



〈그림 1〉 LEO 위성 운용 개념
〈Fig. 1〉 The concept of LEO satellites

기존의 isoflux 방사패턴을 갖는 대표적인 안테나로 quadrifilar 헬리컬 안테나를 예로 들 수 있다 [1-4]. Quadrifilar 헬리컬 안테나는 급전선로부터 나오는 네 가닥을 나선형으로 꼬아 만든 안테나로써, isoflux 방사패턴을 구현 가능하지만 안테나의 제작이 어려울 뿐만 아니라 안테나가 높이 돌출되어 있어 위성 표면 장착에는 적합하지 못하다. 다음으로 isoflux 방사패턴을 갖는 안테나로 bow-tie dipole 안테나를 이용하여 만든 turnstile antenna를 예로 들 수 있는데 [5], isoflux 방사패턴은 접지면과 안테나 사이의 높이를 조절하여 만들어 졌으나 접지면으로부터 다소 높은 위치에 안테나가 있어 역

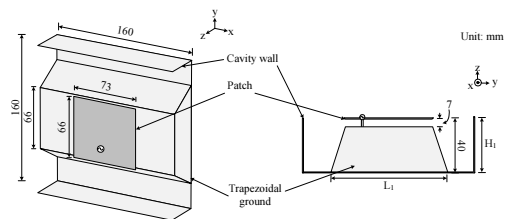
시 위성표면 장착에 어려울 뿐만 아니라 안테나 전개 등에 어려움이 있을 수 있다. 따라서 위성에 장착하기 위해서는 저자세의 구조를 갖고 표면장착이 쉬우며 isoflux 방사패턴을 갖는 안테나가 필요하다.

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나를 이용하여 isoflux 방사패턴 특성을 갖도록 위성표면 장착용 안테나를 설계하였다. 여기서 마이크로스트립 안테나를 기본구조로 채택한 것은 저자세와 구조가 간단하여 제작이 용이하다는 장점이 있기 때문에 만일 isoflux 방사패턴이 형성될 경우 위성표면 장착 안테나로 적합할 수 있다 [6-8]. 제안된 안테나가 isoflux 방사패턴을 얻기 위해서 패치 아랫부분의 접지면을 사다리꼴 모양으로 변형하여 요구되는 방사패턴을 얻고자 하였다. 다음으로 마이크로스트립 패치 안테나의 높이가 증가함에 따라 후방방사가 강해지는 것을 억제하기 위해서 cavity wall을 이용하여 보완하였으며, 급전점을 조절하여 원형편파를 발생시켰다. 설계된 안테나가 LEO(지구상공 400 km)의 중형급 위성에 표면 장착을 목표로 안테나의 크기와 높이를 160 mm × 160 mm × 50 mm로 제한하였다.

다음에는 제시된 안테나의 설계 과정에 대해 기술하고자 한다.

II. 본론

1. Isoflux 방사패턴의 선형편파 마이크로스트립 안테나

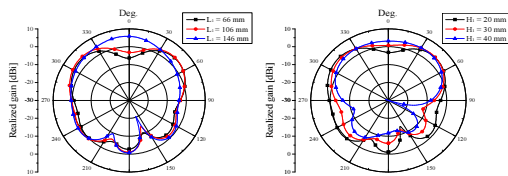


〈그림 2〉 Isoflux 방사패턴의 선형편파 마이크로스트립 안테나의 구조

〈Fig. 2〉 Structures of the isoflux radiation pattern microstrip antenna with linear polarization

그림 2에는 isoflux 방사패턴의 선형편과 마이크로스트립 패치 안테나를 나타내었다. Isoflux 방사패턴을 형성시키기 위해서 패치 안테나의 아래 접지면을 사다리꼴 모양으로 변형하여 패치 끝과 접지면 사이에 형성된 프링징 필드를 조절하였다. 또한 후방방사를 줄이기 위해서 접지면 끝에 cavity wall을 올렸다.

설계된 안테나의 사다리꼴 접지면과 cavity wall의 효과를 알아보기 위해서 파라미터별 방사패턴의 변화를 확인해 보았다.



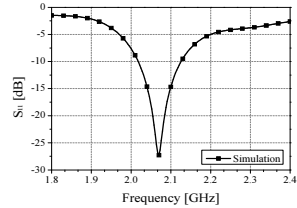
(a) Parameter by L_1 (H_1 : 20 mm) (b) Parameter by H_1 (L_1 : 106 mm)

〈그림 3〉 파라미터 변화에 따른 방사패턴 (단위 : mm)
 〈Fig. 3〉 The radiation patterns by parameters (unit : mm)

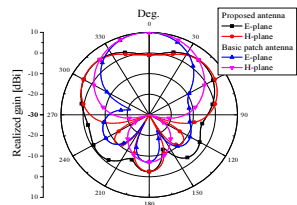
그림 3(a)에는 사다리꼴 접지면의 밑변 길이(L_1)를 조절하였을 때 변화되는 방사패턴을 확인하였다. 이때 cavity wall의 높이(H_1)는 20 mm로 설정하였다. 밑변의 길이를 66 mm에서 146 mm까지 40 mm씩 변화시켰다. 그 결과 접지면의 길이(L_1)가 줄어들수록 0도에서의 레벨이 줄어들면서 양 옆으로 방사가 일어나 isoflux 방사패턴을 형성하여, 사다리꼴 접지면 길이(L_1)를 조절할 경우 isoflux 방사패턴을 형성하여 조절 할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 접지면의 밑변 길이(L_1)가 106 mm 이상의 경우 $\pm 50^\circ$ 부근에서의 레벨증가 효과는 더 이상 미미하게 된다.

그림 3(b)에는 cavity wall의 높이(H_1)에 변화에 따른 방사패턴의 변화를 나타내었다. cavity wall 높이(H_1)를 20 mm에서 40 mm까지 10 mm씩 변화 시켜 보았고, 이때 사다리꼴 접지면 밑변의 길이(L_1)는 106 mm로 설정하였다. Cavity wall의 높이의 변화에 따라 방사패턴이 변화하게 되지만, cavity wall의 높

이가 높아짐에 따라 후방방사가 줄어드나 isoflux 방사패턴이 유지되기 어려워진다. 따라서 사다리꼴 접지면 밑변의 길이를 조절할 경우 isoflux 방사패턴을 형성 할 수 있으며, cavity wall의 높이를 조절하여 후방방사를 줄일 수도 있음을 확인하였다.



(a) S_{11}



(b) Radiation pattern

〈그림 4〉 Isoflux 방사패턴의 선형편과 마이크로스트립 안테나의 특성(시뮬레이션)

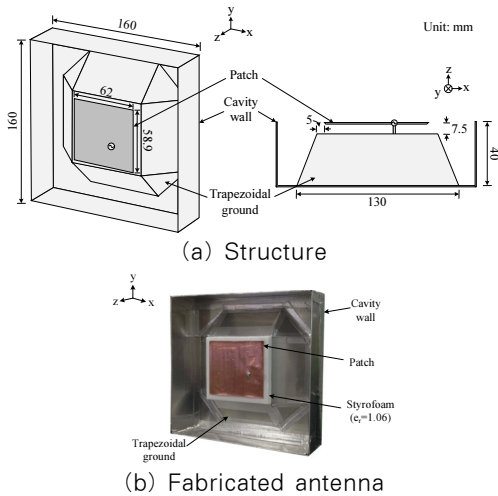
〈Fig. 4〉 Characteristics of isoflux radiation pattern microstrip antenna with linear polarization (simulation)

그림 4에는 선형편과 안테나 경우의 시뮬레이션된 S_{11} 특성 및 방사패턴을 나타내었다. 이때 사다리꼴 접지면 밑변 길이(L_1)는 114.5 mm이며, cavity wall 높이(H_1)는 25 mm로 설정하였다. 시뮬레이션된 -10 dB 대역폭은 150 MHz(7.2%)로 목표 대역인 S-band uplink를 만족한다. 그림 4(b)에는 제안된 안테나의 방사패턴과 일반 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴을 나타내었으며, 제안된 안테나는 isoflux 방사패턴이 형성된 것을 알 수 있다. 일반 마이크로스트립 패치 안테나의 경우 0° 에서의 이득이 9.6 dBi로 나타났다. 반면, 제안된 isoflux 방사패턴의 선형편과 마이크로스트립 안테나는 -1 dBi로 일반 마이크로스트립 패치 안테나보다 약 10.6 dB의 이득 차가 나지만, 지구상공 400 km 위에서 볼 수 있는 최대각인 70° 와 290° 에서 E-plane의 경우 각각 20.8 dB, 13.2 dB와 H-plane에서 모두 7.45 dB

의 높은 이득을 얻었다. 비교결과 제안된 안테나는 isoflux 패턴을 형성하여 저궤도 인공위성에 장착시 일반 마이크로스트립 패치 안테나보다 더 넓은 범위에 송수신하기에 유리하다.

따라서 제안된 안테나는 저자세이며, isoflux 방사패턴을 가지므로 위성에 장착하기 용이하다. 하지만 선형편파의 경우 송수신되지 않을 수 있는 편파가 존재함으로 원형편파이면서 isoflux 방사패턴을 갖는 안테나가 필요하다. 따라서 다음으로 원형편파로 isoflux 방사패턴을 얻고자 하였다.

2. Isoflux 방사패턴의 원형편파 마이크로스트립 안테나

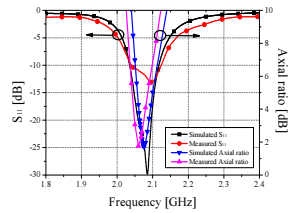


〈그림 5〉 Isoflux 방사패턴의 원형편파 마이크로스트립 안테나

〈Fig. 5〉 The isoflux radiation pattern microstrip antenna with circular polarization

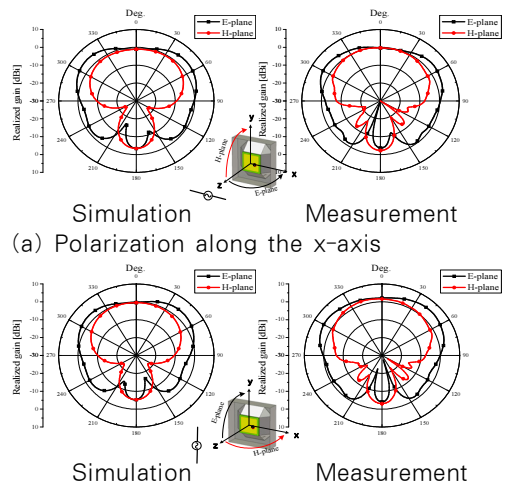
선형편파의 단점을 보강하기 위해서 isoflux 방사패턴을 갖는 원형편파 마이크로스트립 안테나에 대해 시뮬레이션 하였고 제작된 안테나를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)에 나타난 안테나를 원형편파로 만들기 위해서 급전점을 패치 안테나의 대각선에 위치시켰고, 패치의 양쪽 방사개구면의 경사도를 주었다. 또한 접지면의 모든 방향에 40 mm의 높이를 가지는 cavity wall을 장착하였다. 이렇게 설계된 안테나를 제작하였고 그림 5(b)에 나타내었다.

제작된 안테나는 동 테이프를 이용하여 안테나를 제작하였으며, 접지면은 알루미늄을 채택하였다. 또한 패치 안테나를 지지하기 위해서 styrofoam($\epsilon_r = 1.06$)을 사용하였다. 설계된 안테나의 크기는 160 mm × 160 mm × 40 mm($1.1\lambda \times 1.1\lambda \times 0.3\lambda$, λ 은 2.068 GHz의 공기 중 한 파장)를 가진다. 설정된 안테나의 크기 값은 isoflux 방사패턴을 얻기 위해 최적화시킨 결과로부터 채택된 것이며, 제한조건을 만족한다.



〈그림 6〉 S_{11} 및 축비
〈Fig. 6〉 S_{11} and axial ratio

그림 6에는 isoflux 방사패턴의 원형편파 마이크로스트립 안테나의 S_{11} 특성과 축비를 각각 나타내었다. 시뮬레이션과 측정은 거의 일치하였으며, 측정된 -10 dB 대역폭은 90 MHz(4.4%)로 설계 목표인 S-band Uplink의 대역폭을 모두 만족하였다. 측정된 3 dB이하 축비는 18 MHz(0.9%)이다.



〈그림 7〉 방사패턴 (2.068 GHz)
〈Fig. 7〉 Radiation patterns (2.068 GHz)

그림 7에는 원형편파 안테나의 S-band uplink 중심주파수 2.068 GHz에서 x축과 y축에 해당되는 방사패턴을 나타내었다. 시뮬레이션과 측정된 방사패턴은 서로 잘 일치하였다. x축 편파의 경우 E-plane 55°에서 최대치 4.06 dBi가 측정되었으며, y축 편파의 경우 E-plane 46°에서 최대치 5.3 dBi가 측정되었다. 또한 두 편파에서 모두 isoflux 방사패턴 특성을 유지하였다.

따라서 원형편파 마이크로스트립 안테나의 경우 제안된 크기와 S-band uplink 대역폭을 만족하고, isoflux 방사패턴을 형성하고 있으므로 LEO궤도내의 중형급 위성에 장착하기 적합하다.

III. 결 론

본 논문은 LEO의 중형급 위성에 장착에 적합한 S-band uplink용 isoflux 방사패턴의 마이크로스트립 안테나를 설계하였다. 설계된 안테나는 isoflux 방사패턴을 형성하기 위해서 마이크로스트립 패치 안테나의 아랫부분의 접지면을 사다리꼴 모양으로 변형하고, 후방방사를 줄이기 위해서 접지면 끝에 cavity wall을 만들었다. 설계된 안테나는 일반 마이크로스트립 패치 안테나와 비교하여 E-plane 290°에서 최대 21 dB의 이득 차이가 났으며, isoflux 방사패턴을 형성하였다. 원형편파로 설계하기 위해서 급전 점을 패치 대각선에 위치시키고, 접지면의 경사도를 조절하여 isoflux 방사패턴을 형성하였다. 최적으로 설계된 안테나의 크기는 160 mm × 160 mm × 40 mm의 크기를 가져 제한조건을 만족하였다. -10 dB 대역폭은 90 MHz(4.4 %)로 설계 대역을 만족하며, 3 dB 축비대역폭은 18 MHz(0.9 %)로 측정되었다. 방사패턴의 경우 최대 5.3 dBi의 이득을 얻었다.

따라서 제안된 안테나의 경우 기존 안테나들과 달리 저자세를 가지며 isoflux 방사패턴을 형성하고 있으므로 LEO에 중형급 위성에 장착하기 적합함을 확인하였다. 또한, 최근 증가하는 차량과 위성용을 이용한 통신 시스템에 제안된 안테나를 차량에 장착하여 사용될 경우 원활한 통신이 가능하다고 판단된다.

REFERENCES

- [1] S. Hebib, N.J.G. Fonseca and H. Aubert, "Compact printed quadrifilar helical antenna with isoflux-shaped pattern and high cross-polarization discrimination," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 10, pp. 635-638, June 2011.
- [2] D. Colantonio and C. Rosito, "A spaceborne telemetry loaded bifilar helical antenna for LEO satellites," *2009 Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, pp. 741-745, Belem, Brazil, November 2009.
- [3] P. Rezaei, "Design of quadrifilar helical antenna for use on small satellites," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3 pp. 2895-2898, June 2004.
- [4] M. Ahmad, M. Amin and A.A Khan, "Effect of ground plane on the input impedance of quadrifilar helix antenna," *2015 12th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology(IBCASC)*, pp.574-578, Islamabad, Pakistan, January, 2015.
- [5] E.-C. Choi, J.W. Lee and T.-K. Lee, "Modified S-band satellite antenna with isoflux pattern and circularly polarized wide beamwidth," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp.1319-1322, October 2013.
- [6] K. F. Lee and K. F. Tong, "Microstrip patch antennas—basic characteristics and some recent advances," *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 7, pp.2169-2180, July 2012.
- [7] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of microstrip antennas*. London, United Kingdom, Peter Peregrinus Ltd., 1989.
- [8] F. Casado, A. Arriola, E. Arruti, I. Ortego and J.I. Sancho, "Frequency estimation for compact microstrip antennas," *Electronics Letters*, vol. 51, no. 7 pp.546-548, April 2015.

저자소개



김 준 원 (Kim, Jun-Won)

2013년 9월 ~ 현재 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사과정

2006년 2월 ~ 2013년 7월 : 충남대학교 전파공학과 (공학사)

e-mail : jw_kim@cnu.ac.kr

연락처 : 042) 821-8882



우 중 명 (Woo, Jong-Myung)

1996년 6월 ~ 현재 : 충남대학교 전파공학과 교수

1993년 4월 ~ 1996년 3월 : 일본, 니혼대학교 전자공학과 (공학박사)

1991년 4월 ~ 1993년 3월 : 일본, 니혼대학교 전자공학과 (공학석사)

1989년 3월 ~ 1990년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)

1981년 3월 ~ 1985년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학사)

e-mail : jmwoo@cnu.ac.kr

연락처 : 042) 821-8882