

큐브위성용 평면배열안테나의 isoflux 방사특성 유도에 관한 연구

A Study on the Derivation of isoflux Radiation Characteristics of Planar Array Antenna for CubeSAT

정진우*, 표성민**★

Jinwoo Jung*, Seongmin Pyo**★

Abstract

In this paper, we studied the derivation method of isoflux radiation for a planar array antenna. The presented array antenna was designed for considering of 1U-sized CubeSAT with Ku-band communications. For the presented array antenna, 8×8 radiating elements were arranged, and the distance between radiating elements was set of half-wavelength. The excited current weighting for each radiating elements was calculated by the signal processing technique used in the design of the low-pass filter. As a result of analysis of the method proposed in this paper, it was confirmed that a seamless isoflux pattern can be derived.

요약

본 논문에서는 Ku대역 통신시스템을 사용하는 큐브 위성에 장착이 가능한 평면배열안테나 있어, isoflux 방사특성을 유도하기 위한 급전신호 가중치 분석에 관하여 연구하였다. 평면배열안테나는 큐브위성 장착성을 고려하여 8*8개의 방사소자를 평면 배열하였으며, 각 축 기준 방사소자 간 간격은 0.5 lambda로 설정하였다. isoflux 방사특성 유도를 위한 급전신호 가중치는 저대역 통과필터 설계에 활용되는 신호처리 기법을 이용하여 산출하는 방법을 제시하였다. 본 논문에서 제안된 방법의 분석 결과 원활한 isoflux 패턴을 유도할 수 있음을 확인하였다.

Key words : CubeSAT, Planar Array Antenna, Beam Forming, Current Weighting, Isoflux Radiating Pattern

* Assistant Professor, Dept. of Energy IoT, Dongshin University

** Associate Professor, Dept. of Information and Communication Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

E-mail : spyo@hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1202

※ Acknowledgment

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2020-0-00843, Development of low power satellite multiple access core technology based on LEO cubesat for global IoT service)

Manuscript received Sep. 4, 2020; revised Sep. 22, 2020; accepted Sep. 22, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

큐브위성은 1999년 교육적 목적으로 고안되어, 현재 고도 550km 까지의 하부 열권 저궤도에서 지구관측 및 우주탐사의 목적으로 사용되는 1U 크기의 1.33kg의 중량을 갖는 초소형 인공위성이다[1], [2]. 큐브위성은 위성산업의 발달 및 위성기술의 발전에 따라 지구관측, 지진감시, 우주탐사 등 다양한 분야에서 활용가치가 증가되고 있다[3].

저궤도에서 운용되는 큐브위성에서 위성국과 지구국 사이의 이격거리는 지구국의 위치에 따라 많은 차이가 발생하게 된다. 무선통신에 있어, 각 통신국 사이의 거리는 전파 손실(Propagation Loss)로 직결되고, 안정적인 통신망을 구축하기 위해서는 지구국 위치를 기준으로 위성국은 추가적인 전

력 제어를 수행해야 한다. 더불어, 방송 통신망과 같이 다수의 지구국이 위성국의 신호를 동시에 수신해야 하는 경우, 각 지구국은 위치에 따라 수신 신호를 감쇄 혹은 증폭시켜야 한다.

위 문제는 위성국의 통신 안테나의 방사 특성을 isoflux 패턴으로 유도하여 해소하는 방법이 연구되어 왔다[4]~[6]. isoflux 방사 특성은 안테나의 중심축을 기준으로 중심각에서는 이득이 상대적으로 낮고, 중심축에서 이격된 각도에서는 이득이 상대적으로 높은 방사 패턴을 뜻한다.

본 논문에서는 Ku대역을 활용하여 통신망을 구축하기 위한 큐브 위성국에 장착된 평면배열안테나에 있어, Isoflux 방사특성을 유도하기 위한 방법에 관하여 연구하였다. 연구를 위해 큐브 위성에 장착 가능한 평면배열안테나의 구성을 제시하였으며, 제시된 안테나를 기준으로 isoflux 방사특성을 유도하기 위한 급전신호 가중치에 관하여 연구하였다. 제안된 급전신호 가중치 산출방법은 유한 이산 신호를 기반으로 저역 통과필터 설계방법의 리플(ripple) 현상으로부터 착안하였다.

II. 평면위상배열안테나 구조

큐브위성의 크기는 Unit 단위로 설정되면, 1U는 100mm의 체적을 지칭한다. 본 논문에서 위성국과 지상국은 Ku-대역(12 GHz)대역을 활용하여 통신망이 형성된다고 가정하였다. 위성국의 통신 안테나는 큐브 위성의 한 면을 할당하여 장착된다고 가정하였다. 이에 따라 안테나의 전체 면적은 최대 100mm² 이내로 구성되어야 한다.

그림 1은 물리적 면적 조건과 통신주파수를 고려하여 설계된 평면 위상배열안테나의 구조도를 보

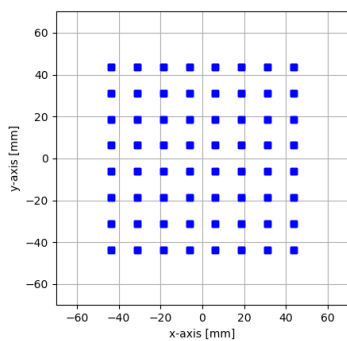
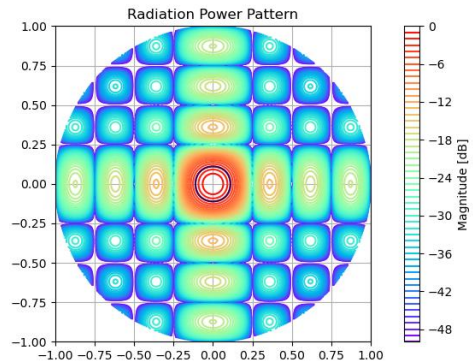
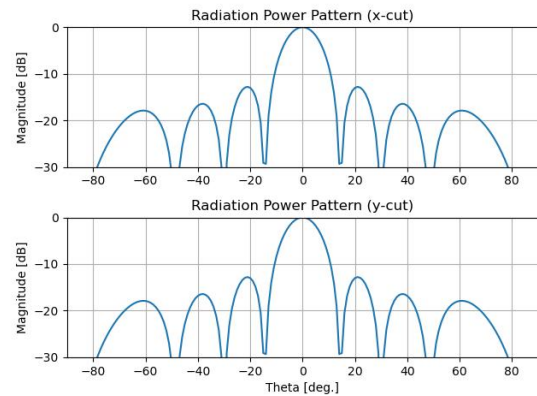


Fig. 1. Geometry of planar array antenna.
그림 1. 평면배열안테나의 구조도

여준다. 제시된 안테나는 8×8개의 방사소자가 평면에 균등 간격으로 배열된 구조이다. 각 축 기준 방사소자 간 간격은 반 파장으로 설정하였다. 이에 따른 평면배열안테나의 방사소자 배열 면적은 약 100 mm²로 1U 큐브위성은 한 면의 면적과 유사함을 알 수 있다.



(a) Contour pattern



(b) x and y cut pattern

Fig. 2. Radiation characteristics for presented planar array antenna.

그림 2. 제시된 평면배열안테나의 방사 특성평면배열안테나의 구조도

그림 2는 그림 1의 배열안테나에 있어, 균일 급전된 경우 방사특성을 보여준다. 제시된 안테나의 x 및 y축 기준 반치각은 약 12.5 deg. 이다.

III. Isoflux 패턴 유도

평면배열안테나의 패턴 분석을 위한 AF(Array Factor)는 식 (1)과 같다.

$$AF = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M I_{nm} e^{jk\vec{r} \cdot \vec{r}'_{nm}} \tag{1}$$

여기서 N 은 x 축 기준 방사소자 배열 수, M 은 y 축 기준 방사소자 배열수, I_{nm} 은 $[n, m]$ 의 인덱스를 갖는 방사소자에 급전되는 신호의 가중값, k 는 전파상수, \vec{r} 은 관측지점의 단위벡터 그리고, \vec{r}_{nm} 은 $[n, m]$ 의 인덱스를 갖는 방사소자의 위치벡터이다. 식 (1)을 x 및 y 축을 기준으로 분리하면 식 (2)와 같다.

$$AF_x = \sum_{n=1}^N I_n e^{jk\vec{r} \cdot \vec{r}_n} \quad (2-1)$$

$$AF_y = \sum_{m=1}^M I_m e^{jk\vec{r} \cdot \vec{r}_m} \quad (2-2)$$

식 (2)과 식 (1)의 비교에 있어, I_{nm} 은 I_n 과 I_m 의 곱으로 표현가능하다. 식 (2)를 살펴보면, 이산 신호에 대한 푸리에 변화식에 대응됨을 알 수 있다. 이를 기반으로 이산 푸리에 역변환식을 이용하여 저역통과필터 설계를 위한 이산 신호를 유도하는 식을 기반으로 급전신호의 가중치(I_n, I_m)를 산출하면 식 (3)과 같이 유도된다.

$$I_n = \text{sinc}\left(\frac{\Omega_c^x}{\pi}n\right) \quad (3-1)$$

$$I_m = \text{sinc}\left(\frac{\Omega_c^y}{\pi}m\right) \quad (3-2)$$

여기서, Ω_c^x 와 Ω_c^y 는 푸리에 변환 기준 주파수 영역에서의 필터의 통과대역 기준이다.

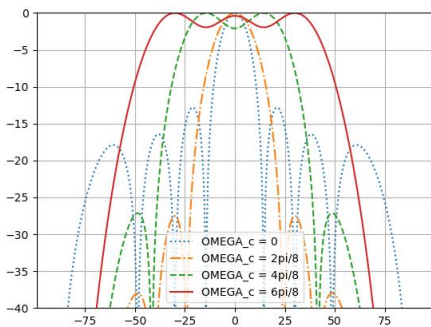
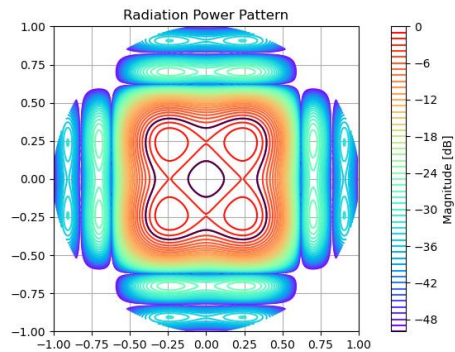


Fig. 3. Array Factor according to Ω_c .
그림 3. Ω_c 에 따른 Array Factor

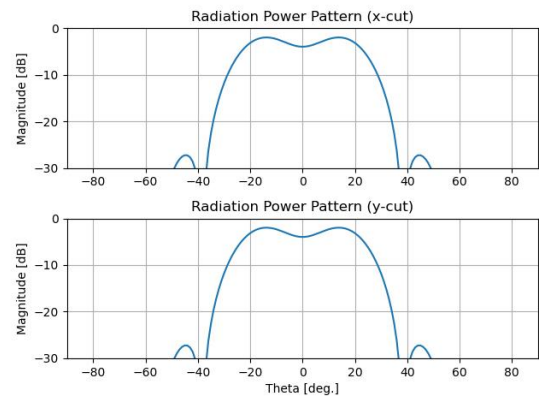
그림 3은 식 (3-1)에 있어, Ω_c^x 가 $(0)\pi/N$ 부터 $(6)\pi/N$ 까지 $(2)\pi/N$ 단위로 변화할 때의 식 (2-1)의 결과를 보여준다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이,

안테나의 방사특성이 저역통과필터 특성과 유사하게 유도됨을 확인할 수 있다. 더불어, 유한 이산 신호를 기반으로 필터가 구현될 때 나타나는 통과대역 내 리플이 형성됨을 알 수 있다.

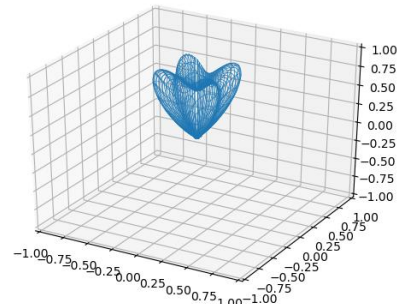
제안한 안테나의 구조에서 $\Omega_c = 4\pi/8$ 인 경우의 방사특성을 살펴보면, 통과 대역 내 리플 현상에 의해 안테나 중심축 기준 중심각도에서는 이득이 상대적으로 낮고, 중심축에서 이격된 각도에서는 이득이 높은 Isoflux 패턴이 유도됨을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 상기와 같은 현상을 기반으로 isoflux 방사 특성을 가지는 평면배열안테나의 가중치를 유도하였다.



(a) Contour pattern



(b) x and y cut pattern



(c) 3D Linear scale pattern

Fig. 4. Isoflux Radiation pattern for presented planar array antenna.

그림 4. 제시된 평면배열안테나 기준 Isoflux 방사 패턴

제시된 평면배열안테나 구성을 기준으로, 원활한 isoflux 방사특성이 유도되기 위한 Ω_c^x 와 Ω_c^y 를 탐색하였으며, $\Omega_c^x = \Omega_c^y = 3.8(\pi/8)$ 의 조건에서 원활한 isoflux 패턴이 유도되었음을 확인하였다.

그림 4는 탐색결과가 반영된 식 (3)의 결과 식 (1)에 적용하였을 때의 방사특성을 보여준다.

그림 4에서 확인할 수 있듯이, 제시된 평면배열안테나 기준으로 원활한 Isoflux 패턴이 유도될 수 있음을 알 수 있다.

본 논문에서 제시된 결과 이외에 다양한 Ω_c 에 따른 방사특성 분석 결과에 따르면, Isoflux 방사특성을 유도함과 동시에 빔폭 또한 변화시킬 수 있음을 확인하였다. 이는 지구국 분포에 대응하여 빔폭 또한 제어가 가능함을 뜻한다.

IV. 결론

본 논문에서는 큐브위성에 장착 가능한 Ku-대역 통신용 평면배열안테나를 기준으로, 지구국 위치에 따라 수신강도의 변화가 상대적으로 적어 원활한 통신망을 구성할 수 있는 Isoflux 방사특성을 유도하는 방법에 관하여 연구하였다. 분석결과 적절한 급전신호 가중치 변화를 통해 원활한 isoflux 방사특성을 유도할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] Sandau R. "Status and trends of small satellite missions for Earth observation," *Acta Astron.*, vol.66, no.1, pp.1-12, 2010.
DOI: 10.1016/j.actaastro.2009.06.008
- [2] Y. Rahmat-Samii, V. Manohar, and J. M. Kovitz, "For satellites, think small, dream big: A review of recent antenna developments for CubeSats," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol.59, no.2, pp.22-30, 2017. DOI: 10.1109/MAP.2017.2655582
- [3] S. W. Kang, S. H. Han, H. C. Gong, and G. H. Choi, "Current state of CubeSat development in Korea," *Current Ind. and Technol. Trends in Aerospace*, vol.11, no.2, pp.172-178, 2013.
DOI: 10.5139/JKSAS.2017.45.11.975
- [4] 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, 2011.

DOI: 10.5139/JKSAS.2017.45.11.975

[5] D. Colantonio and C. Rosito, "A spaceborne telemetry loaded bifilar helical antenna for LEO satellites," *2009 Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, pp.741-745, 2009.

DOI: 10.1109/IMOC.2009.5427481

[6] P. Rezaei, "Design of quadrifilar helical antenna for use on small satellites," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3 pp.2895-2898, 2004.

DOI: 10.1109/APS.2004.1331982