

넓은 빔 스캔을 위한 소형화된 미앤더 슬롯 형태의 자기 다이폴 안테나

Compact Meander Slot Magnetic Dipole Antenna for Wide-Angle Scanning

유종상¹ · 조혜원² · 조현영³ · 유종원⁴

Jong-Sang Yoo¹ · Hyewon Jo² · Hyunyoung Cho³ · Jongwon Yu⁴

요 약

본 논문에서는 V2X(Vehicle to Everything) 통신에 사용하기 적합한 미앤더 슬롯 형태의 자기 다이폴 안테나를 제안하였다. 차량용 안테나는 차량의 루프탑 위에 설치되는 경우가 많은데, 제안한 안테나는 이러한 환경에서 V2X 통신을 위한 넓은 빔 폭을 가지며, 배열 안테나 구성을 위한 소형화도 구현되었다. 시뮬레이션과 제작을 통해 5.8 GHz에서 차량 위와 같은 넓은 그라운드에서 넓은 빔 폭 5.3 dBi의 최대 이득과 160°의 3 dB 빔 폭을 가지고, 기존의 자기 다이폴 안테나와 비슷한 성능을 내는 것을 검증하였다.

Abstract

A meander slot magnetic dipole antenna for vehicle-to-everything communication is proposed. The vehicle antenna is often mounted on the vehicle's rooftop, and the proposed antenna has a wide beam width for V2X communication in this environment. Miniaturization of the array antenna is implemented. Simulation and measurement results show that, at 5.8 GHz, the proposed antenna has a peak gain of 5.3 dBi and a 3 dB beam width of 160° on a large ground area, exhibiting performance similar to that of a conventional antenna.

Key words: V2X Communication, Magnetic Dipole Antenna, Wide-Beam Width, Large Ground, Miniaturization

I. 서 론

무인자동차에 관한 관심이 커지면서, 이를 안전하게 운행하기 위한 V2X(Vehicle to Everything)통신기술이 중요한 문제로 대두되고 있다. V2X통신은 차량이 기지국, 위성, 다른 차량 등과 통신을 함으로써 운전자에게 필요한 정보를 얻어 효율적이고 안정적으로 운전을 할 수 있도록

도움을 주는 것으로, 본래 차량용 통신 안테나로 샤크핀 안테나를 사용하는 경우가 많았다. 하지만 최근에는 높은 정확도의 빔 조향, 낮은 가격으로 간단한 제작이 가능한 위상배열안테나를 차량용 안테나로써 사용하려는 연구도 이루어지고 있다. V2X 통신의 경우, 차량과 차량의 통신은 지면 방향에서 일어나고, 차량과 위성과의 통신은 그보다 더 높은 각도에서 이루어지는 등 통신이 이루어

「이 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원으로 연구되었음(No.2017-0-00795, 넓은 각각을 지원하는 차량용 소형 배열 안테나 시스템 연구).」

한국과학기술원 전기 및 전자공학부(Department of Electrical Engineering, KAIST)

1: 박사과정(<https://orcid.org/0000-0001-7575-8973>), 2: 박사과정(<https://orcid.org/0000-0002-0114-4212>), 3: 석사과정(<https://orcid.org/0000-0003-0485-9157>),

4: 교수(<https://orcid.org/0000-0001-9932-757X>)

· Manuscript received June 5, 2019 ; Revised July 29, 2019 ; Accepted October 23, 2019. (ID No. 20190605-002S)

· Corresponding Author: Jong Sang Yoo (e-mail: yujongsang@kaist.ac.kr)

지는 범위가 다르다. 따라서 모든 통신을 하기 위해서는 약 $\pm 45^\circ$ 의 빔 조향 각도^[1]를 갖는 일반적인 위상배열안테나보다 넓은 빔 스캔이 가능한 안테나가 필요하다. 배열 안테나의 빔 패턴식에 따르면, 넓은 빔 스캔을 구현하기 위해서는 단일 안테나가 넓은 빔 폭을 가져야 한다^[2]. 또한, 차량용 안테나는 보통 큰 금속판인 차량 루프탑 위에 설치되므로 이러한 넓은 그라운드 위의 환경에서 넓은 빔 폭을 가져야 한다. 넓은 그라운드에서는 영상법(image theory)을 적용하면 각 소스에 대해 빔 패턴이 어떻게 되는지 구할 수 있는데^[3], 그림 1에서 각 소스에 따른 빔 패턴의 결과를 확인할 수 있다. M 은 자류, J 는 전류, v 는 수직, p 는 평행, E 는 전기 전도체를 나타낸다. 즉, 자류가 전기 전도체에 평행하게 흐를 때 넓은 빔 패턴을 가진다. 이와 같은 소스를 가지고 빔을 형성하는 안테나 중 하나가 자기 다이폴 안테나이다. 기존의 자기 다이폴 안테나는 크기가 크기 때문에 배열을 구성하게 되면 그레이팅로브가 발생하게 돼 위상배열안테나에 적합하지 않다^[4]. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서는 안테나의 소형화가 필요하다. 본 논문에서는 기존의 자기 다이폴 안테나의 구조를 바꿔 소형화를 구현하여 V2X 통신에 사용하기 적합하며, 위상배열안테나로 사용할 수 있는 미앤더 슬롯형태의 자기 다이폴 안테나를 제안한다.

II. 안테나 디자인

패치 안테나의 자류는 공동 모델의 분석을 통해 알 수 있다. 공동 모델의 TM_{010}^x 모드에서 패치 안테나의 전기장은 그림 2(a), 그림 2(b)의 검은 화살표와 같이 나타난다. 이를 등가 이론에 따라 자류로 바꾸면 빨간 화살표와 같이 나타낼 수 있는데, 이 자류들이 빔을 형성하는 소스가 된다. 그림 2(b)의 경우, M_3, M_4 가 상쇄, M_5, M_6 가 상쇄되어 해당 면에서는 방사가 일어나지 않는다. 따라서 M_1 과 M_2 만이 빔 패턴을 만드는 데 영향을 준다. 이때 M_1 만을 소스로 만들기 위해서 전기장이 0이 되는 패치 안테나의 가운데 부분에 금속 비아벽을 세워두면 그림 3과 같은 자기 다이폴 안테나가 된다. 이 안테나는 M_7 이 주요 소스가 돼서 빔 패턴을 형성한다. M_8 과 M_9 의 경우에는 상대적으로 적게 반대 편파로만 영향을 끼치기 때문에 자기 다

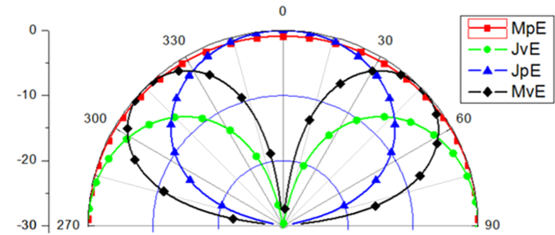


그림 1. 넓은 그라운드 위에서 4가지 소스의 빔 패턴
Fig. 1. Beam pattern of the 4 source on the large ground.

이폴 안테나는 그림 1과 같은 넓은 빔 패턴을 가진다.

등가회로 모델에 따르면, 자기 다이폴 안테나는 여러 개의 부전송선로(subtransmission line)의 병렬구조로 나타낼 수 있다^[6]. 하나의 전송선로는 저항, 인덕터, 축전기의 병렬로 볼 수 있는데, 이를 종합하여 등가회로를 보이면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다^[7]. 등가회로 모델을 토대로 살펴보면 자기 다이폴 안테나의 공진주파수는 총 인덕턴

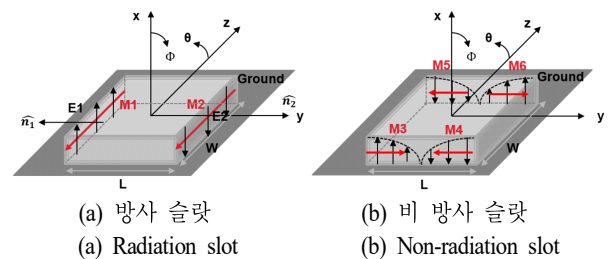


그림 2. 패치 안테나의 TM_{010}^x 모드일 때 전기장과 자류^[5]
Fig. 2. The electric field and the magnetic current in the TM_{010}^x mode of the patch antenna^[5].

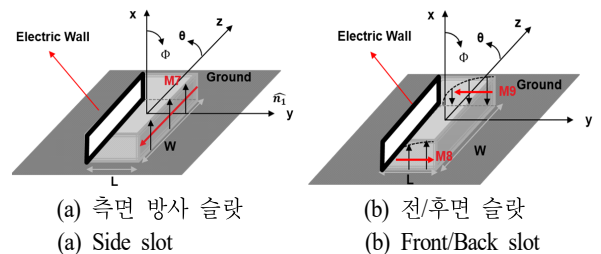


그림 3. 자기 다이폴 안테나의 TM_{010}^x 모드일 때 전기장과 자류^[5]
Fig. 3. The electric field and the magnetic current in the TM_{010}^x mode of the magnetic dipole antenna^[5].

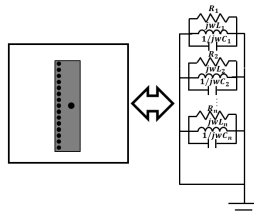
스와 총 커패시턴스에 의해 결정되며, 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$f_{resonance} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{total} * C_{total}}} \quad (1)$$

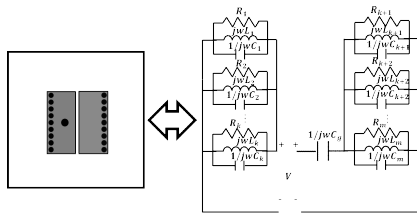
그림 4(a)의 안테나의 길이를 짧게 만들기 위해 반으로 나눠 기존 안테나에 병렬구조로 만들 수 있는데^[7], 두 개로 나눠진 안테나 사이에는 축전기 성분이 생기므로 등가회로는 그림 4(b)처럼 나타낼 수 있다. 인덕터와 축전기의 크기는 안테나의 가로길이에 의해 정해지기 때문에 각 소자의 값은 모두 같다. 이 값을 부전송선로 이론^{[6],[8]}에 따라서 구할 수 있다. 소자의 개수(m)를 안테나의 세로길이와 기판 두께의 길이 비율로 나눌 수 있고, 이를 통해 길이 단위의 소자값을 구할 수 있다. 거기에 안테나의 가로길이(d)를 곱하면 소자값을 구할 수 있고 이를 이용한 공진주파수의 계산은 다음과 같다.

$$L_1 = L_2 = \dots = L_{value}, C_1 = C_2 = \dots = C_{value} \quad (2)$$

$$m = \frac{17}{1.575} = 10.8, C_g = 0.48\text{pF} \quad (3)$$



(a) 긴 자기 다이폴 안테나의 등가회로
(a) Equivalent circuit of the long magnetic dipole antenna



(b) 기존 자기 다이폴 안테나의 등가회로
(b) Equivalent circuit of the conventional magnetic dipole antenna

그림 4. 자기 다이폴 안테나의 등가회로
Fig. 4. The equivalent circuit of the magnetic dipole antenna.

$$L_{value} = \frac{\mu_0}{m}d = 0.88\text{nH}, C_{value} = m\epsilon_0d = 0.77\text{pF} \quad (4)$$

$$L_{total} = \frac{L_{value}}{m} = 81.5\text{pH},$$

$$C_{total} = mC_{value} + C_g = 8.8\text{pF} \quad (5)$$

$$f_{resonance} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{total} * C_{total}}} \simeq 5.8\text{GHz} \quad (6)$$

축전기 성분인 C_g 의 경우, 시뮬레이션을 통해 구하였다. 이때 안테나를 소형화시키기 위해 가로와 세로를 줄이게 되면 등가회로 측면에서는 개별 인덕터의 크기가 작아지게 되므로 총 인덕턴스의 크기가 줄어드는 효과가 나타난다. 이를 보상해주기 위해서는 커패시턴스 성분을 키워야 된다. 즉, 소형화를 시키면서 본래의 주파수에서 공진하기 위해서는 커패시턴스를 키워야 한다. 본 논문에서는 두 개의 안테나의 사이를 미앤더 구조로 만들고, 오른쪽 안테나에 슬롯을 만들어 커패시턴스의 성분을 늘렸다. 완성된 안테나 구조의 윗면은 그림 5(a), 옆면은 그림 5(b)와 같고, 안테나의 파라미터는 표 1에 나타났다. 안테나의 기판은 Rogers5880($\epsilon_r = 2.2$, $\tan\delta = 0.0009$)을 사용하였다.

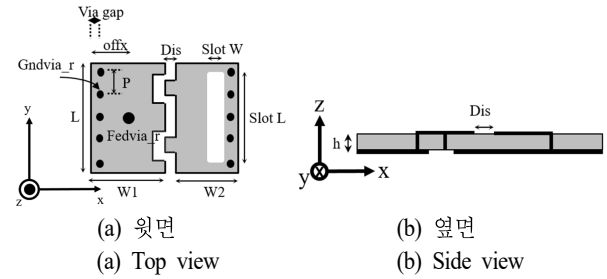


그림 5. 제안한 안테나 구조
Fig. 5. Figure of the proposed antenna.

표 1. 안테나 파라미터(mm)
Table 1. Antenna parameter(mm).

W_1	W_2	L	Slot W	Slot L	Off x	Dis
7.3	6.3	9.5	1.5	7	3.6	1.2
Via gap		Fedvia		Gndvia	h	P
1		0.75		0.5	1.575	1.5

III. 시뮬레이션, 측정 결과 비교

시뮬레이션과 측정은 차량 위와 비슷한 환경인 넓은 금속판(500 mm×500 mm) 위에서 기존 안테나^[7]와 제안한 안테나의 S -parameter와 xz -평면, yz -평면의 빔 패턴을 비교하는 것으로 진행했다. 두 안테나 모두 5.8 GHz에서 공진하며, 10-dB 대역폭의 경우 기존 안테나는 290 MHz, 제안한 안테나의 시뮬레이션은 186 MHz, 측정 결과는 176 MHz를 가졌다. 기존 안테나의 크기가 더 크기 때문에 매칭이 더 잘 되고 10 dB 대역폭이 더 좋게 나왔으나, 제안한 안테나도 5.8 GHz에서 잘 동작하였다. 빔 패턴을 비교하면, xz -평면에서 기존의 안테나는 최대 이득이 5.2 dBi, 3 dB 빔 폭은 163.8°가 나왔으며, 제안한 안테나의 경우 시뮬레이션은 최대 이득이 5.23 dBi, 3 dB 빔 폭은 163.1° 측정 결과로는 최대 이득은 5.3 dBi, 3 dB 빔 폭은 160°를 가졌다. yz -평면에서는 기존의 안테나는 3.7 dBi의 최대 이득과 80.4°의 3 dB 빔 폭, 제안한 안테나의 경우 시뮬레이션은 3.6 dBi의 최

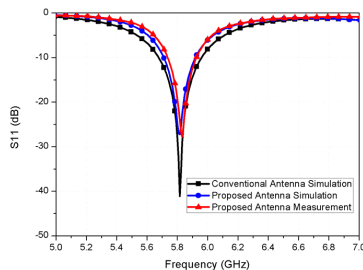
대 이득과 90°의 3 dB 빔 폭, 측정 결과로는 3.75 dBi의 최대 이득과 87°의 3 dB 빔 폭을 가졌다. 크기를 비교하면, 기존 안테나는 길이(L)가 17mm, 폭(W)이 16.8 mm이고, 제안한 안테나는 길이와 폭이 각각 14.8 mm, 9.5 mm로 줄어들었다.

IV. 결 론

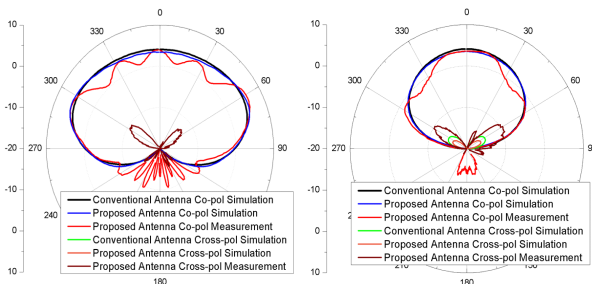
본 논문에서는 V2X 통신에 사용하기에 알맞은 자기 다이폴 안테나를 제안하였다. 배열 안테나를 구성하기 위해 안테나의 소형화를 구현하였으며, 시뮬레이션과 측정을 통해 기존의 자기 다이폴 안테나와 비슷한 주파수 특성과 빔 패턴 특성을 가지는 것을 확인하였다.

References

- [1] R. C. Hansen, *Phased Array Antennas*, 2nd ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, p. 13, 2009.
- [2] G. Yang, J. Li, S. G. Zhou, and Y. Qi, "A wide-angle E-plane scanning linear array antenna with wide beam elements," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 2923-2926, Sep. 2017.
- [3] R. Wang, B. Wang, X. Ding, and X. Yang, "Planar phased array with wide-angle scanning performance based on image theory," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 9, pp. 3908-3917, Sep. 2015.
- [4] J. Liu, Q. Xue, "Microstrip magnetic dipole Yagi array antenna with endfire radiation and vertical polarization," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 3, pp. 1140-1147, Mar. 2013.
- [5] C. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, p. 804, 2016.
- [6] J. D. Kraus, K. R. Carver, *Electromagnetics*, 2nd ed. London, McGraw-Hill, pp. 170-174, 1978.
- [7] C. Liu, S. Xiao, H. Tu, and Z. Ding, "Wide-angle scanning low profile phased array antenna based on a novel magnetic dipole," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 3, pp. 1151-1162, Mar. 2017.
- [8] J. D. Kraus, *Antennas*, 2nd ed. New York, NY, McGraw-Hill, pp. 745-749, 1988.



(a) 기존 안테나와 제안한 안테나의 S_{11}
(a) S_{11} of the conventional antenna and proposed antenna



(b) xz 평면에서의 빔 패턴
(b) Beam pattern of the xz -plane
(c) yz 평면에서의 빔 패턴
(c) Beam pattern of the yz -plane

그림 6. 안테나 성능 비교

Fig. 6. Antenna performance comparison.