

다이폴 루프 결합형 빔 조향 안테나

Beam Steering Antenna Using a Dipole and a Loop

하 상 준 · 김 용 진* · 정 창 원

Sang-Jun Ha · Yongjin Kim* · Chang Won Jung

요 약

본 논문에서는 다이폴과 루프 안테나가 결합된 빔 조향(steering) 재구성(reconfigurable) 안테나를 제시하였다. 본 안테나는 다이폴(dipole)과 루프(loop) 두 안테나가 결합하였을 때, 특정 비율에서 빔 방사 방향이 서로 상쇄되거나 보상되는 특성을 이용한 빔 조향 안테나이다. 본 안테나는 구조적으로 비교적 간단한 평판형 안테나이며, 안테나 상에 두 개의 스위치를 이용하여 안테나의 xy-평면상에서 서로 다른 세 개의 빔 방향을 갖도록 설계되었다. 본 논문에서는 우선 스위치를 이용한 빔 조향의 가능성을 확인하기 위하여 2개의 가상의 스위치(line 연결)를 이용하였으며, 두 개의 스위치 on/off 상태에 따라, 최대 빔 방향은 xy-평면상에서 0°, ±50°, 3개의 빔 조향이 가능하다. 동작 주파수는 VSWR 2:1 기준으로 2.50~2.56 GHz이다. 빔 조향 시 2.48~1.96 dBi의 최대 이득(peak gain)을 가지며, 세 가지 빔은 전체 125° 정도의 넓은 빔 커버리지를 갖는다.

Abstract

In this paper, we propose a reconfigurable beam steering antenna using a dipole and a loop. The radiation patterns of the two antennas were cancelled or compensated, and head for the specific direction when a dipole and a loop antenna are combined at the reasonable ratio. The structure of the antenna is very simple and planar. By changing on/off states of switches, the proposed antenna can steer the beam direction in the x-y plane. Simulation results confirmed the steering characteristic by using two imaginary switches. The proposed antenna can change the direction of the maximum gain in the x-y plane(0°, ±50°). The proposed antenna operates in 2.5~2.56 GHz(VSWR<2). It showed that peak gain of the antenna is 1.96~2.48 dBi and overall beam width of the reconfigurable antenna covers about 125°.

Key words : Reconfigurable Antenna, Dipole Antenna, Beam Steering, Loop Antenna, RF-Switches

I. 서 론

최근 통신 시스템이 복잡해지면서 하나의 시스템에 다양한 기능이 포함되고 있다. 또한, 통신 채널의 사용이 늘어남에 따라 사용되는 주파수원이 부족하게 될 것으로 예상되며, 주파수의 재 사용률을 향상시키기 위하여 공간적인 방향성을 가지는 안테나를 이용하는 것과 송신 전력을 줄이는 방법 등으로 주

파수원을 효율적으로 사용하는 방법이 연구 중에 있다^[1]. 이러한 경향은 안테나 분야에서도 동일하게 적용되는데, 이를 만족시키기 위한 방법 중 한 가지는 안테나의 특성을 재구성(reconfigurable) 하는 것이다. 재구성 안테나는 원하는 특성을 전기적 혹은 기계적으로 제어할 수 있는 안테나를 말하며, 주파수 재구성 안테나, 빔 패턴 재구성 안테나, 편파 재구성 안테나 등으로 나눌 수 있다^[2]. 빔 조향 방법은 다수 안

「이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0003086)」

서울산업대학교 NID융합기술대학원(Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Technology)

*인하공업전문대학 전기정보과(Dept. of Electrical Information, Inha Technical College)

· 논문 번호 : 20100604-05S

· 교신저자 : 정창원(e-mail : changwoj@snut.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 8월 23일

테나 배열(array)의 위상 변화를 이용한 방법^[3]과 단일 안테나 상에 스위치 소자(diode, MEMS switch)^[4]를 이용한 방법으로 분류할 수 있다. 다수 안테나 배열에 의한 방법은 다수 안테나 배열에 의해 매우 높은 이득을 가지며, 위상 차이를 조절함으로써 빔 조향이 가능하나, 넓은 조향 각을 갖기에는 어려움이 있으며, 다수의 안테나의 배열로 인해 단일 안테나에 비해 크기가 커지는 단점이 있다. 단일 안테나 상에서 빔 조향(steering) 기술을 구현하는 안테나의 경우는 현재까지 연구된 방법들^{[5],[6]}은 특정한 안테나 구조에 국한되어 있으며, 스위치 소자를 이용하므로 bias 회로가 필요하여 설계 난이도가 높으며, 다수 배열 안테나에 의한 빔 조향 방법에 비해 넓은 빔 조향 각을 유지할 수는 있으나, 이득은 낮은 편이다.

본 연구에서는 비교적 간단한 구조의 하나의 평판형 안테나에 2개의 스위치를 이용하여 3개 이상의 빔 방향 제어가 가능한 안테나를 제안하였다. 빔 조향의 가능성을 확인하기 위하여 가상의 스위치(line 연결)를 이용하였으며, 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실을 통해서 제안된 안테나의 동작 주파수를 검증하였고, 각 동작 주파수에서의 방사 패턴 및 이득 측정을 통하여 xy-평면상에서 120° 이상의 넓은 빔 조향 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

II. 안테나 설계

2-1 결합형 안테나의 기본 구조

제안된 안테나의 기본 구조는 그림 1에 볼 수 있듯 dipole과 loop의 결합형 안테나이다. Dipole 안테나와 loop 안테나가 적절한 급전 구조로 결합되어 급전이 이루어지면, 소형의 안테나로 설계 가능하며, 지향성 있는 방사 패턴을 생성하는 특성을 이용한 안테나이다^{[7]-[9]}. 다이폴의 길이는 주파수 2.5 GHz에서 $\lambda/2$ 인 28 mm이며, 루프의 총 둘레는 74.1 mm 이고, 이것은 동일 주파수에서 1.32 λ 이다. 두 안테나 결합시 안정적인 방사 패턴을 얻기 위해서는 결합형 안테나의 급전 부분부터 입력 신호의 크기와 위상의 적절한 조합을 이루어야 한다. 결합형 재구성 안테나의 기본적인 시뮬레이션에서는 다이폴 안테나의 길이를 고정해 놓고, 루프 안테나의 총 둘레를 조절함으로써 빔 조향 가능한 방사 패턴을 구현

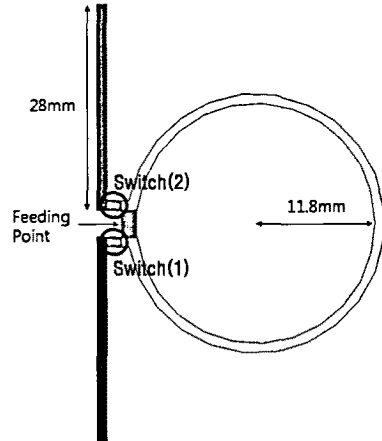


그림 1. 다이폴과 루프 결합형 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of the dipole and loop combined antenna.

표 1. 스위치 on/off에 따른 안테나 state
Table. 1 Antenna by the switches on/off states.

State	Switch(1)	Switch(2)
0	on	on
1	on	off
2	off	on

하였다. 두 개의 안테나가 맞닿는 부분에 스위치를 가정한 선을 구성하였으며, 두 개의 스위치 on/off 상태에 따라 표 1과 같이 설정하였다. 각 state에 따라 대칭적이었던 구조가 비대칭적으로 되면서 최대 빔 방사 방향이 변하게 된다.

2-2 결합형 안테나의 설계

전통적인 원형 루프보다 크기는 작으면서도 반사 손실 및 이득이 개선된 루프 안테나를 구현하고자 삼각형 루프 안테나를 설계하여 적용하였다^[10]. 또한, 스위치가 모두 on 상태인 state(0)와 스위치가 하나만 on되어 있는 상태인 state(1, 2)에서 중심 주파수가 각각 2.6 GHz, 2.5 GHz으로 서로 상이하므로, 모든 state에서 중심 주파수를 통일시키기 위해 다이폴 안테나 부분을 그림 2와 같이 구부린 형태의 다이폴로 변형시켜 시뮬레이션하였다.

그림 3은 다이폴 안테나의 구부린 각도 변화에 따라 공진 주파수 2.5 GHz에서 state(0)와 state(2)의 반사 손실을 비교한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션

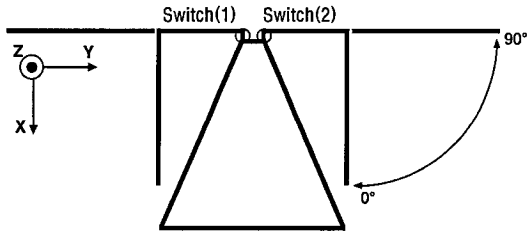


그림 2. 다이폴 안테나의 기울림 각도
Fig. 2. The inclined angle of the dipole.

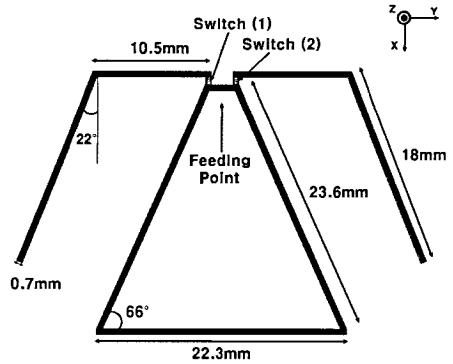


그림 4. 최적화된 다이폴과 루프 결합형 안테나
Fig. 4. Geometry of the optimized antenna.

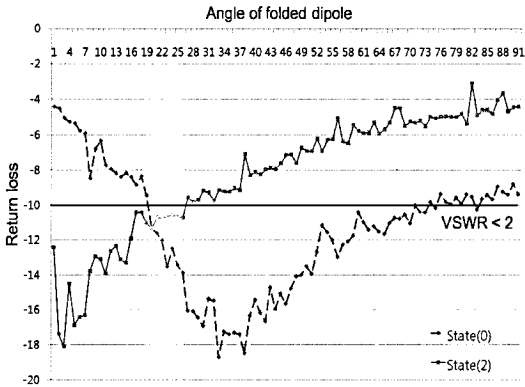


그림 3. 다이폴 안테나의 기울림 각도에 따른 반사 손실
Fig. 3. Return losses versus the inclined angle of the dipole.

tool은 HFSS를 이용하여 진행되었다. State(0) 상태에서 다이폴의 기울림 각도가 0°일 때는 반사 손실 특성이 좋지 않았다가 각도가 커짐에 따라 약 40°까지 반사 손실 특성이 향상되는 것을 볼 수 있고, state(2) 상태에서는 0°일 때 반사 손실 특성이 양호하다가 기울림 각도가 커짐에 따라 반사 손실 특성이 저하됨을 알 수 있다. 다이폴 안테나의 접힌 부분의 각도가 약 19~26°되었을 때, 모든 state에서 동작 주파수 2.5 GHz에서 -10 dB 이하의 반사 손실을 만족시킨다. 그림 4는 이러한 과정을 거쳐 최적화된 안테나의 구조도이다. 또한, 실제 스위치를 이용한 안테나 설계 시에는 bias 회로 등에 의한 안테나 성능 저하를 최대한 고려하여 설계 및 제작을 하여야 한다.

III. 안테나 제작 및 측정

그림 5은 다이폴 안테나의 구부린 각도에 따른 반

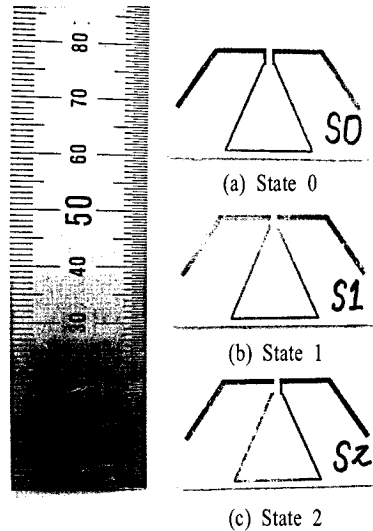


그림 5. 제작된 안테나의 사진
Fig. 5. Photograph of the proposed antenna.

사 손실 시뮬레이션을 기반으로 하여, 두께 1 mm, 가로 38 mm, 세로 20 mm인 FR-4($\epsilon=4.4$) 기판에 실 제작한 안테나이다. 제안된 안테나의 각 state에 따라 3종류의 안테나로 제작되었다. 그림 6에서는 제안된 안테나의 각 state별로 반사 손실을 나타낸 그래프이다. 3개의 state에서 모두 동일 동작 주파수 2.5 GHz에서 -10 dB 이하의 양호한 반사 손실 특성을 가지며, 대역폭은 40~60 MHz이다. 그림 7에서는 각 state마다 방사 패턴을 나타내었다. State (0)에서는 공진 주파수 2.5 GHz에서 2.48 dBi의 방사 이득을 나타내며, 지향 각 175°에서 75°의 반전력 빔 폭을 갖는다. Switch (1)만 on 상태인 State (1)에서는 공진 주파

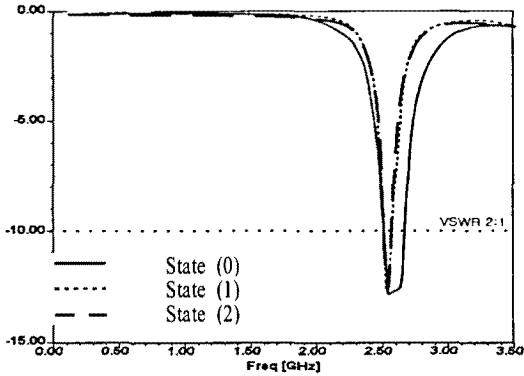


그림 6. 측정된 반사 손실(state 0, 1, 2)
Fig. 6. Measured return losses(state 0, 1, 2).

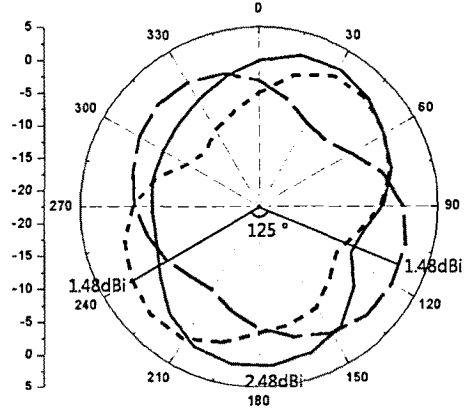


그림 8. 반전력 빔 폭에 따른 전체 빔 조향 범위(x-y plane)
Fig. 8. Overall beam width by the HPBW(x-y plane).

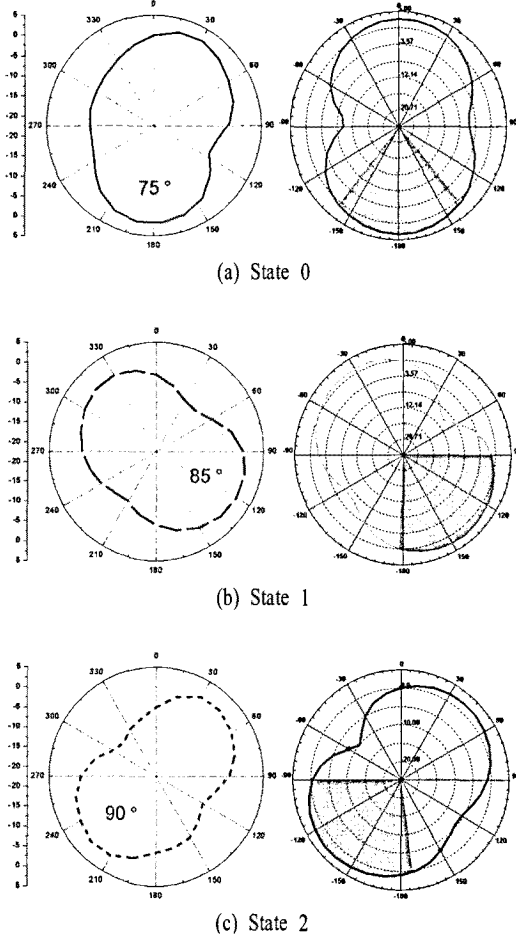


그림 7. 시뮬레이션과 측정된 방사 패턴의 비교(좌측: 측정 결과, 우측: 시뮬레이션 결과)
Fig. 7. Compared to simulated and measured radiation pattern(left: measurement, right: simulation).

표 2. 제안된 안테나의 성능(최대 이득, 반사 손실 @ 2.5 GHz, 반전력 빔 폭)

Table 2. The performance of the proposed antenna(Max. gain, R.L @2.5 GHz, HPBW).

	Max. gain (dBi)	R.L(dB)	HPBW(°)
State(0)	2.48	-11.68	75
State(1)	2.11	-12.47	85
State(2)	1.96	-11.74	90

수 2.5 GHz에서 최대 이득이 2.11 dBi, 지향 각 120°에서 85°의 반전력 빔 폭 특성을 나타낸다.

Switch (2)만 on되어 있는 상태인 state (2)에서는 공진 주파수 2.5 GHz에서 최대 이득이 1.96 dBi이며, 지향 각 225°에서 90°의 반전력 빔 폭 특성을 갖는다. 세 개의 state가 모두 서로 다른 지향 각을 가지며, 반전력 빔 폭의 차는 10° 이내이다. 빔 스티어링 안테나의 경우 빔이 스티어링되었을 때의 이득과 원래 안테나의 최대 이득과의 차이가 적어야 널(null)이 없는 전체 빔 조향 범위를 모두 사용 가능한 우수한 빔 스티어링 안테나로 판단한다. 본 논문에서는 state (0)의 최대 이득 2.48 dBi를 기준으로 -1 dBi 낮은 이득인 1.48 dBi를 전체적인 빔 커버리지로 설정하였으며, 그림 8에 나타내었다.

서로 다른 3개의 빔 조향을 통해 전체 125°의 넓고 평탄한 커버리지를 갖는 것을 보여 준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 다이폴과 루프가 결합된 전기-자기계 방사체 결합형 안테나에 가상의 스위치를 구성하여 2.5 GHz 대역에서 서로 다른 3개의 빔 빙향을 조향할 수 있는 안테나를 제안하였다. 안테나는 3가지 상태(state 0, 1, 2)에서 모두 동일 동작 주파수 2.5 GHz에서 동작하며, xy-plane에서 전체 125°의 빔 커버리지(115°~240°)를 만족하는 빔 조향 성능을 구현하였다. 제안된 안테나 구조는 단일 안테나로 설계가 용이한 평면형 빔 조향 안테나로써 향후 다양한 빔 조향 분야에 응용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] A. Alexiou, M. Haardt, "Smart antenna technologies wireless for future wireless systems: trends and challenges", *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, pp. 90-97, 2004.

[2] Woosung Lee, Hyunrak Kim, and Young Joong Yoon, "Reconfigurable slot antenna with wide bandwidth", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 3063-3066, 2006.

[3] M. Yassir, Y. Kimura, and H. Haneishi, "Beam - adjustable planar arrays composed of microstrip antennas", *Microwave Conference, APMC*, pp. 343-346, 2006.

[4] A. Mehta, D. Mirshekar-Syahkal, and H. Nakano, "A

switched beam star patch antenna", *IEEE International Symposium*, pp. 1-4, 2008.

[5] Woong Kang, Man Geun Kim, Jong-Hyun Lee, Kijun Bahng, and Kangwook Kim "A beam reconfigurable antenna using MEMS switches", *IEEE International Symposium*, pp. 1-4, 2009.

[6] Hisamatsu Nakano, Jun Eto, Yosuke Okabe, and Junji Yamauchi, "Tilted- and axial-beam formation by a single-arm rectangular spiral antenna with compact dielectric substrate and conducting plane", *IEEE Trans Antennas Propag.*, vol. 50, no. 1, Jan, 2002.

[7] C. Jung, Ming-jeer Lee, G. P. Li, and F. De Flaviis, "Reconfigurable scan-beam single-arm spiral antenna integrated with RF-MEMS switches", *IEEE-Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, pp. 455-463, Feb. 2006.

[8] 김용진, 정창원, 김영봉, 권도훈, *A Small UWB Antenna with Combination of Electric-Magnetic Radiators*, 대한전기학회, pp. 33-37, 2009.

[9] D. H. Kwon, "On the radiation Q and the gain of crossed electric and magnetic dipole moment", *IEEE Trans Antennas Propag.*, vol. 53, pp. 1681-1687, 2005.

[10] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design, 2nd Ed.*, New York: John Wiley & Sons, pp. 249-250, 2001.

하 상 준



2010년 3월: 서울산업대학교 매체 공학과 (공학사)
 2010년~현재: 서울산업대학교 방송통신융합프로그램 석사과정
 [주 관심분야] 안테나, RF, 방송통신 융합

김 용 진



1996년 2월: 오하이오주립대학교 전기공학과 (공학석사)
 2003년 6월: 오하이오주립대학교 전기공학과 (공학박사)
 2003년 7월~2007년 3월: 삼성종합기술원
 2007년 3월~현재: 인하공업전문대학 전기정보과 조교수

[주 관심분야] RF, 소형 안테나, 지향성 안테나, 최적화 알고리즘

정 창 원



2001년 12월: University of Southern California 전자공학과 (공학석사)

2005년 6월: University of California, Irvine 전자공학과 (공학박사)

1997년 1월~2000년 6월: LG 정보통신 연구원

2005년 7월~2005년 10월: University of California, Irvine, Post Doctor

2005년 11월~2008년 4월: 삼성종합기술원 전문연구원

2008년 5월~현재: 서울산업대학교 NID 융합기술 대학원 조교수

[주 관심분야] 안테나, RF, EMI/EMC, RF-MEMS, 센서