

Disk-Loaded 다이폴과 Folded 다이폴로 동작하는 Reconfigurable 안테나

A Reconfigurable Antenna for Alternative Operation between Disk-Loaded Dipole and Folded Dipole

박슬기 · 정근석* · 추호성 · 오이석

Seulgi Park · Geunseok Jeong* · Hosung Choo · Yisok Oh

요 약

본 논문에서는 PIN 다이오드를 사용하여 disk-loaded 다이폴 안테나와 folded 다이폴 안테나로 형상이 변화하는 새로운 구조의 소형 안테나를 개발하였다. 개발된 안테나는 PIN 다이오드의 RF on/off 특성을 이용하여 안테나의 전기적 길이를 변화시켜 이중 대역에서 동작하며, 저주파 대역에서는 높은 복사 저항 값을 가지는 folded 다이폴 안테나로 동작하고 고주파 대역에서는 수평 방향으로 무지향성의 복사 패턴과 수직 방향으로 도넛 형태의 복사 패턴을 가지는 disk-loaded 다이폴 안테나로 동작한다. 제안된 안테나는 20~300 MHz에서 30 cm 다이폴 안테나에 비해 크기가 소형화 되었음에도 높은 이득을 가진다. 또한, 300~1,300 MHz에서 80° 이상의 넓은 빔 폭을 가짐으로써 방향 탐지 안테나로 사용이 가능하다.

Abstract

In this paper, we propose a reconfigurable antenna which operates as a disk-loaded dipole antenna and a folded dipole antenna alternatively using RF on/off switches. The antenna can change its effective length to achieve dual-band operation; operates as the folded dipole antenna for stepping up the radiation resistance in low frequency band of 20~300 MHz, and as the disk-loaded dipole antenna for an omni-directional radiation pattern (horizontal plane) and a donut-shaped radiation pattern (vertical plane) in high frequency band of 300~1.3 GHz. In the low band, the proposed antenna shows higher gain than a conventional dipole antenna with a reduced antenna size. In the high band, the antenna maintains a broad beamwidth of about 80°, thus the antenna can be applicable to antennas for direction finding applications.

Key words : Reconfigurable Antenna, PIN Diode, Direction Finding Antenna, Disk-Loaded Dipole, Folded Dipole

I. 서 론

방향 탐지 시스템은 전자전에서 적의 장비로부터 발생하는 소량의 전자파를 탐지하여, 전파원의 방향을 알아내는 시스템으로 최근에는 군사적 목적뿐만

이 아니라, 공항, 철도, 항만 등의 민간 시설에도 사용되고 있다. 방향 탐지 시스템에 사용되는 방향 탐지용 안테나는 광대역 소형 안테나 설계 기술 및 고기능의 active RF 회로 설계 기술이 바탕이 되어야 하며 국내에서는 특정 주파수 범위에서 사용될 수

「본 논문은 LIG넥스원(과제명: 이동형 방향 탐지 시스템 개발)의 지원하에 이루어졌음.」

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*LIG 넥스원(주) 연구개발본부 전자전연구소(Electronic Warfare R&D Center, LIG Nex1 Co. Ltd.)

· 논문 번호 : 20070821-088

· 수정완료일자 : 2007년 12월 11일

있는 몇몇 방향 탐지 안테나가 개발되었지만, 아직 넓은 주파수 대역에서 사용할 수 있는 이동형 소형 방향 탐지 안테나의 개발은 미진한 실정이다.

방향 탐지 안테나는 배열(array) 안테나를 이용해 소량의 전파를 수신하고 증폭기를 이용하여 수신된 전파를 증폭시킨 후 각 안테나의 위상차를 이용하여 전파원의 위치를 추적한다. 이때 안테나는 넓은 주파수의 전파 수신을 위해 광대역 특성과 모든 방향의 전파 수신을 위해 수평(horizontal) 방향으로는 무지향성의 복사 패턴을 수직(vertical) 방향으로는 도넛 형태의 복사 패턴을 가져야 한다. 특히 저주파 대역에서는 LNA 소자와의 원활한 임피던스 정합을 위해 높은 입력 저항 값을 가져야 한다. 일반적으로 방향 탐지 안테나는 다이폴 안테나를 사용하지만 다이폴 안테나는 동작 대역폭이 협소하고, 저주파 대역의 입력 저항 값을 높이기 위해 크기가 커지는 단점을 가지고 있다^{[1],[2]}.

본 논문에서는 기존 방향 탐지 안테나의 문제점을 개선하기 위해 능동 소자인 PIN 다이오드의 RF 스위칭 기능을 이용하여 안테나의 전류 흐름을 조절^[3]함으로써 folded 다이폴 안테나와 disk-loaded 다이폴 안테나로 형상이 변화하는 이중 대역 방향 탐지 안테나를 개발하였다. 개발된 안테나는 저주파 대역(20~300 MHz)에서 다이폴 안테나에 비해 입력 저항이 높은 folded 다이폴 안테나로 동작하여 20~80 MHz에서 LNA와의 반사 손실 성능을 개선하였으며, 고주파 대역(300 MHz~1.3 GHz)에서는 disk-loaded 다이폴 안테나로 동작하여 특정 주파수의 주 빔 방향($\theta=90^\circ$)으로 복사 패턴의 null이 생기는 다이폴 안테나의 단점을 개선하였다^{[4],[5]}.

안테나는 저주파 대역(20~300 MHz)에서 30 cm 다이폴 안테나의 비해 12 Ω 정도 높은 입력 저항 값을 가지며, 고주파 대역(300 MHz~1.3 GHz)에서는 전 대역에서 -10 dBi 이상의 이득 값을 가지고, 또한 700~1,300 MHz에서 50 cm 다이폴 안테나와 달리 수직 방향으로 도넛 형태를 유지하며, 수평 방향으로 무지향성 복사 패턴을 가진다.

II. 안테나 구조 및 모델링

그림 1은 folded 다이폴 안테나와 disk-loaded 다이폴 안테나로 동작하는 reconfigurable 안테나의 구조로서 제작이 용이하도록 1.6 mm FR-4 기판($\epsilon_r=4.3$, $\sigma=0.04$)에 프린트된 형태를 가지며, 설계 변수로는 PIN 다이오드의 개수(M)와 위치(s), 안테나의 높이(h), 선로 폭(w_1 , w_2) 및 선로 사이 거리(d), 디스크의 크기(r) 등이 있다. 제안된 안테나는 RF on/off 기능을 하는 PIN 다이오드를 사용하여, 그림 2의 전류 분포에서와 같이 RF on 시 저주파 대역(20~300 MHz)에서는 folded 다이폴 안테나로 동작하고, RF off 시 고주파 대역(300 MHz~1.3 GHz)에서는 disk-loaded 다이폴 안테나로 동작한다.

저주파 대역에서 안테나는 RF on 되어 folded 다이폴 안테나로 동작하며, 안테나의 입력 저항 값을 적절히 높이기 위해 Siemens사의 BAR64-02W PIN 다이오드를 사용하였다^[6]. PIN 다이오드가 RF on으로 동작하는 순방향이 되기 위해서는 0.7 V 이상의 DC-bias 전압이 인가되어야 하며, DC-bias 전압이 높을수록 PIN 다이오드 내부 저항 값이 낮아져 안테나의 복사 효율은 높아지나, LNA와의 부정합이 증가한다.

고주파 대역에서 안테나는 PIN 다이오드가 RF off 되어 disk-loaded 다이폴 안테나로 동작함으로써,

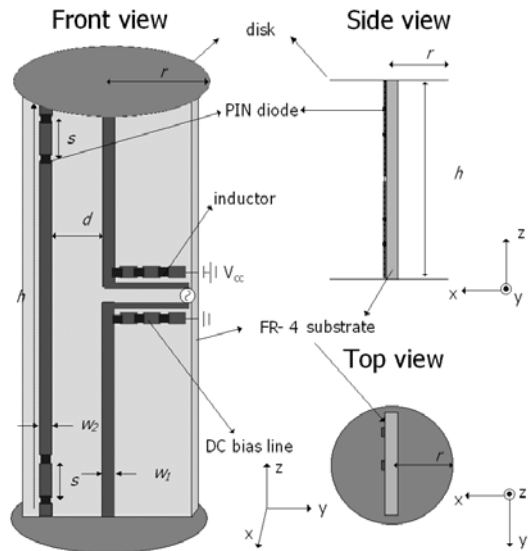


그림 1. 제안된 안테나 구조
Fig. 1. The proposed antenna structure.

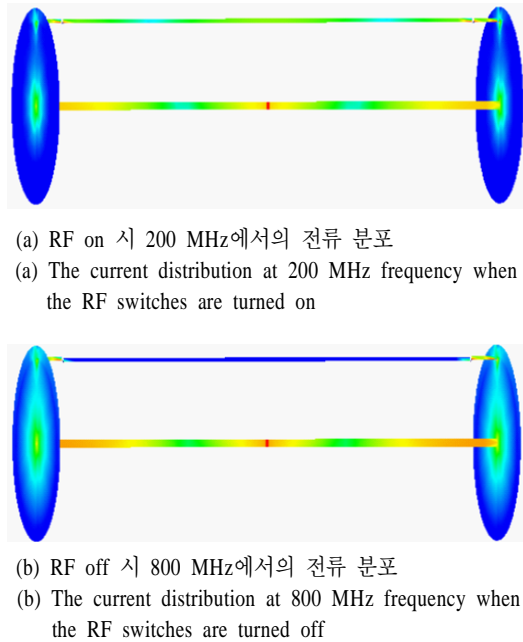


그림 2. 제안된 안테나의 전류 분포
Fig. 2. The current distribution of the proposed antenna.

다이폴 안테나가 1λ 크기 이상이 되면 side-lobe가 발생하고, 약 1.8λ 이상의 크기가 되면 주 빔 방향 ($\theta=90^\circ$)으로 이득 null이 발생하는 문제점을 해결하였다⁷⁾. 그림 3은 disk-loading시 주 빔 방향($\theta=90^\circ$) 이득 특성을 보여주며, 주 빔 방향에서 null이 발생하는 주파수를 동작 주파수 대역보다 높은 주파수 대역으로 이동시켜 광대역에서 수직 방향으로 도넛 형태의 복사 패턴이 형성되도록 하였다.

안테나가 저주파 대역과 고주파 대역의 이중 대역에서 동작하도록 PIN 다이오드를 사용하여 안테나의 전기적 형상을 변화시켰다. 형상 변화에 사용될 PIN 다이오드는 광대역에서 적절한 역방향과 순방향 RF on/off switching 기능을 하여야 한다. 그러나 실제 20 MHz~1.3 GHz의 광대역에서 적절한 RF on/off switching 기능을 단일 PIN 다이오드로는 구현이 어려워 비교적 동작 주파수 대역에서 on/off 특성이 좋은 다수의 상용 PIN 다이오드(Siemens BAR-64 02 W)로 구현하였다. 적절한 RF on/off 스위치 기능을 할 수 있는 PIN 다이오드의 개수를 알아보기 위해 PIN 다이오드 개수에 따른 다이오드를 통과한 leakage 전류를 분석하였다. 그림 4는 PIN 다이오드

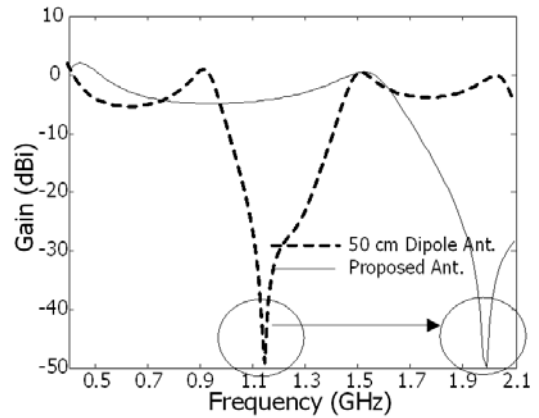


그림 3. 제안된 안테나의 디스크 로딩 효과
Fig. 3. The disk-loading effect of the proposed antenna.

를 사용하지 않았을 때 흐르는 전류의 크기 대비 PIN 다이오드를 통과한 leakage 전류의 양을 보여주며, leakage 전류가 5% 미만인 것을 알 수 있다. PIN 다이오드의 개수를 늘리면 완전한 RF on/off 기능을 하게 되고, 같은 크기의 다이폴 안테나가 20 MHz에서 0.1 Ω 입력 저항 값을 갖는 것에 비해 안테나의 입력 저항 값이 올라가게 되어 20~80 MHz에서 LNA와의 임피던스 매칭이 유리한 장점을 가지나, 다이오드 내부 저항에서의 전력 손실로 그림 5와 같이 안테나의 복사 효율이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 제안된 안테나는 일정한 복사 효율을 유

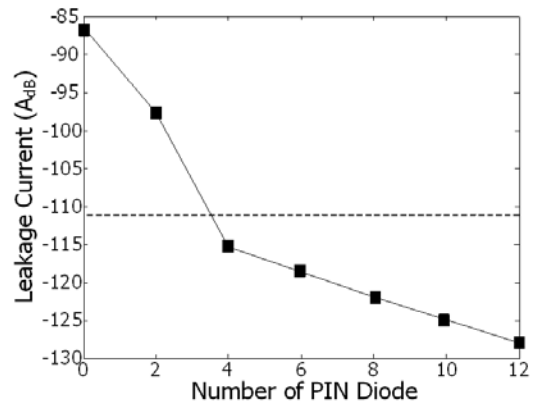


그림 4. PIN 다이오드 개수에 따른 leakage 전류
Fig. 4. The leakage current depending on the number of the PIN diodes.

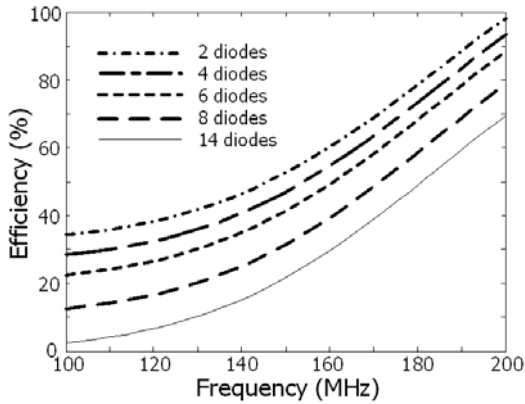


그림 5. PIN 다이오드 개수에 따른 복사 효율
Fig. 5. The radiation efficiency depending on the number of the PIN diodes.

지하면서도 RF off 시 leakage 전류를 5 % 미만으로 하는 4개의 PIN 다이오드를 사용하였다.

PIN 다이오드의 DC 급전은 안테나 입단부 윗단에서 시작하여 위쪽 disk와 아래쪽 disk를 거쳐 안테나 입단부 아랫단의 접지부분으로 흐르는 구조이며, 안테나의 RF 급전부는 balanced LNA에 연결되어 동작한다. 이 때 사용되는 일반적인 balanced LNA는 각 포트에 DC block 캐패시터가 포함되어 있어 DC 전원이 RF 급전부로 흐르는 것을 차단한다. 이 DC 전원 동작 원리는 그림 6과 같이 PSpice를 사용한 DC 회로 모델링으로 나타낼 수 있다⁸⁾. PIN 다이오드가 순방향이 되기 위해서는 DC 급전부에서 2.9 V 이상의 전압을 인가시켜야 4개의 다이오드에 각각 0.7 V 이상의 전압이 유지되어 단락된 스위치로 동작할 수 있다. 순방향 최소 전압, 안테나 복사 효율 및 DC 전력 소모를 고려하여 DC 급전부에 3.7 V의 전압을 인가하였으며, 이 때 각 PIN 다이오드는 약 2 Ω의 내부 저항 값을 가진다. 또한, PIN 다이오드의 DC 전압 인가 시 RF 신호가 DC 전원 선로를 따라 흐르는 것을 방지하기 위하여 6.3 μH 인덕터를 각각 3개씩 삽입하여 RF 신호가 DC 전원 선로에 흐르는 것을 방지하였다.

고주파 대역(300 MHz~1.3 GHz)에서 안테나는 PIN 다이오드로 folding 선로의 전류를 차단하여 disk-loaded 다이폴로 동작하게 된다. 하지만 그림 1의 구조에서 안테나 folding 선로와 급전 선로의 거

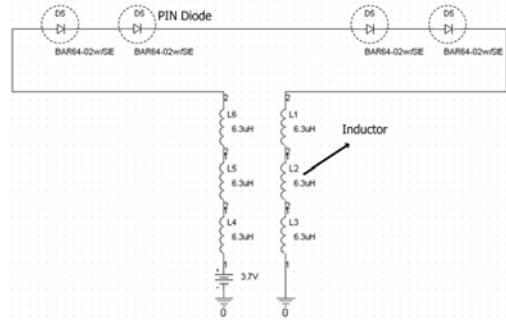


그림 6. 제안된 안테나의 DC 회로 모델
Fig. 6. The DC circuit model of the proposed antenna.

리(d)가 너무 가까워지면, 전기적으로 연결되어 있지 않은 folding 선로에 인덕티브 결합 전류가 흐르게 되어, 수평 방향 무지향성 복사 패턴을 유지할 수 없게 된다. 그림 7은 선로 거리(d)를 변화하였을 때 folding 선로에 유도되는 전류 값으로서, 시뮬레이션을 이용한 복사 패턴 해석 결과, 수평 방향의 복사 패턴에 큰 영향을 주지 않기 위해서는 folding 선로의 유도 전류가 5 mm 거리(d)일 때의 유도 전류에 비해 약 5 % 이하이어야 하며, 이 때 선로 사이의 거리(d)는 약 3.7 cm 이상이 되어야 한다.

제안된 안테나의 입력 임피던스를 분석하기 위해 그림 8과 같이 등가 회로 모델링을 하였다. 먼저 저주파 대역(20~300 MHz)에서 안테나는 PIN 다이오드가 RF on 되어 folded 다이폴 안테나로 동작한다.

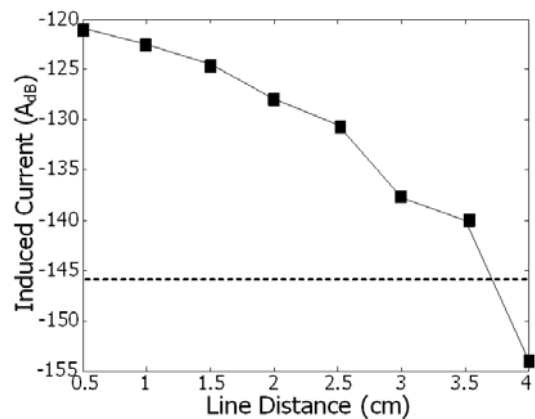


그림 7. 선로 거리에 따른 유도 전류 변화
Fig. 7. The induced current depending on the distance between the conducting lines.

이때 안테나는 안테나 모드와 전송 선로 모드가 동시에 존재하며, 이 두 모드가 병렬 조합되어 안테나의 입력 저항 값을 높인다. 이를 등가 회로 모델로 분석하기 위해 먼저 안테나 모드와 전송 선로를 각각의 등가 회로로 구성한 후 전송 선로 모드의 스위치를 단락시켜 두 모드가 병렬 연결되도록 하였다. 이 때 전송 선로 모드의 임피던스는 2배 그리고 안테나 모드의 임피던스는 4배 증가시키는 임피던스 트랜스포머를 사용하였으며, PIN 다이오드 내부 임피던스는 약 8 Ω의 저항 값을 가지게 된다. 그림 9는 등가 회로를 이용하여 분석한 저주파 대역(20~300 MHz)에서의 입력 임피던스 값이며, 안테나의 시뮬레이션 임피던스 값과 등가 회로를 이용한 임피던스 값이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 회로 모델에서 제안된 안테나는 20~80 MHz 주파수 대역에서 30 cm 다이폴 안테나가 약 0.1 Ω의 입력 저항 값을 가지는 것에 비해 약 12 Ω 정도 높은 입력 저항 값을 가지고, 리액턴스 또한 0에 가까우므로 LNA와의 임피던스 정합이 매우 유리한 것을 확인할 수 있다.

고주파 대역(300 MHz~1.3 GHz)에서 안테나는 PIN 다이오드가 RF off 되어 disk-loaded 다이폴 안테나로 동작한다. 이를 등가 회로 모델로 분석하기 위해 전송 선로 모드의 스위치를 개방시킴으로써 등가 회로가 안테나 모드만으로 동작하게 하며, 이때 안테나 모드에서 트랜스포머의 n 값은 1이 되고, PIN 다이오드의 내부 임피던스는 1.8 pF의 커패시턴스 값을 가지게 된다. 그림 10은 등가 회로를 이용한 고주

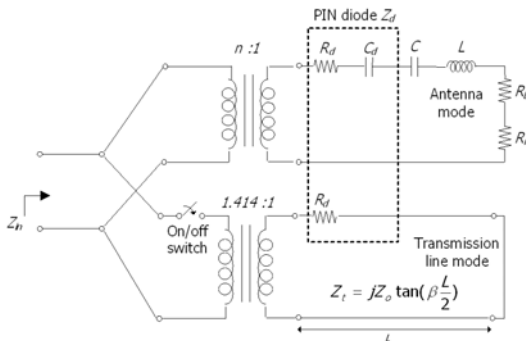
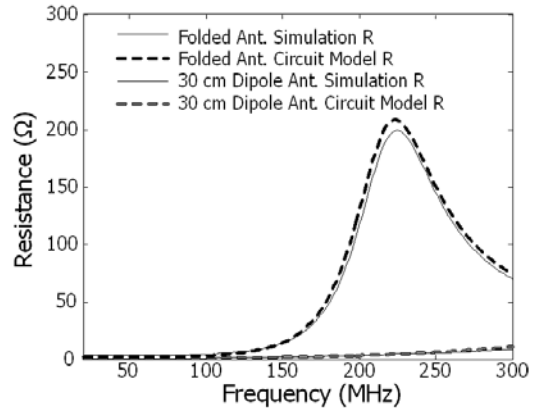
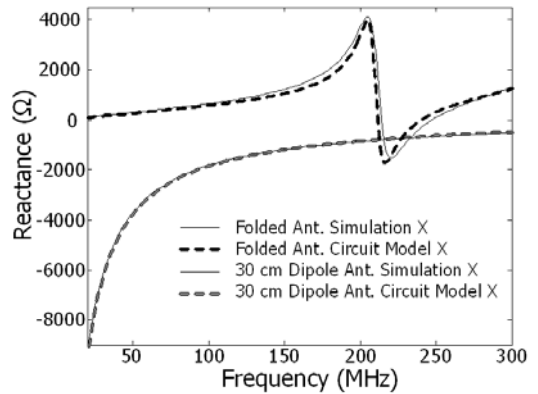


그림 8. 제안된 안테나의 등가 회로 모델
Fig. 8. The equivalent circuit model of the proposed antenna.



(a) 저주파 대역 입력 저항
(a) The input resistance in low frequency band



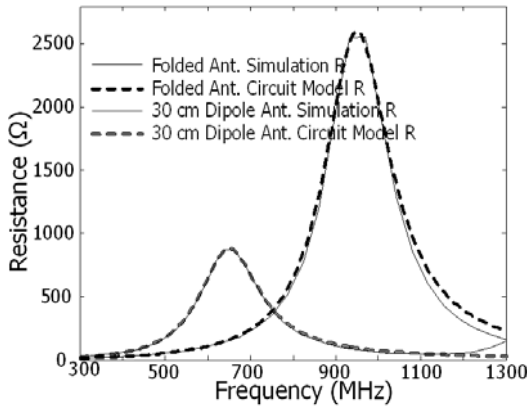
(b) 저주파 대역 입력 리액턴스
(b) The input reactance in low frequency band

그림 9. 제안된 안테나의 저주파 대역(20~300 MHz) 입력 임피던스

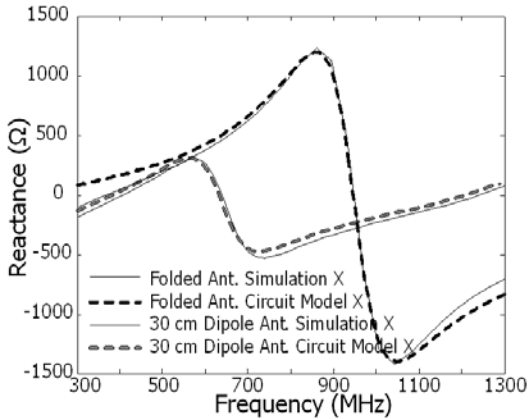
Fig. 9. The input impedance of the proposed antenna in low frequency band.

파 대역에서의 입력 임피던스로서, 안테나의 시뮬레이션 임피던스 값과 등가 회로를 이용한 임피던스 값이 매우 유사한 것을 볼 수 있으며, 저주파 및 고주파 대역에서의 안테나 임피던스 특성을 그림 8의 등가 회로 모델로 정확히 나타낼 수 있음을 확인할 수 있다.

안테나의 동작 원리를 고려한 안테나 설계 변수의 세부적인 최적화는 안테나 최적화 기법 중 하나인 Pareto 유전자 알고리즘과 FEKO EM 시뮬레이터를 이용하였다^{[9]~[11]}. 설계 변수 중에서 PIN 다이오드의 개수(N)는 4개로 고정하고, 그 외의 설계 변수



(a) 고주파 대역 입력 저항
(a) The input resistance in high frequency band



(b) 고주파 대역 입력 리액턴스
(b) The input reactance in high frequency band

그림 10. 제안된 안테나의 고주파 대역(300 MHz~1.3 GHz) 입력 임피던스
Fig. 10. The input impedance of the proposed antenna in high frequency band.

들인 각 선로의 거리(d)는 $3.7\text{ cm} < d < 5\text{ cm}$ 로 안테나의 높이(h)는 $0\text{ cm} < h < 30\text{ cm}$ 로, 디스크의 반경은 $0\text{ cm} < r < 5\text{ cm}$ 로 제한을 두어 최적화를 수행하였다. 최적화 시 사용된 비용 평가 함수는 다음과 같다.

$$Cost1 = R_{input} \times E_{ff} \quad (f = 20\text{ MHz})$$

$$Cost2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Gain(\Theta_i, f_j)$$

$$(300\text{ MHz} < f_j < 1,300\text{ MHz}, 30^\circ < \theta_i < 150^\circ)$$

$Cost1$ 은 저주파 대역(20~300 MHz)에서 높은 입력 저항과 높은 복사 효율을 가지기 위해 사용된 항



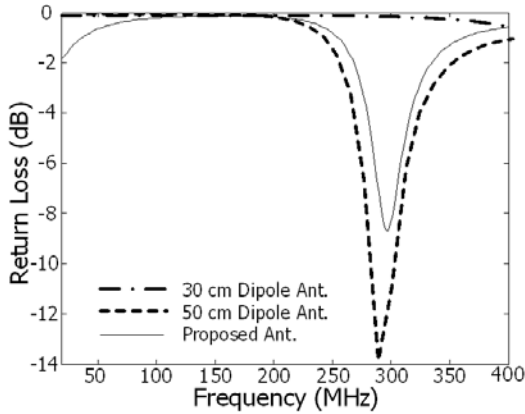
그림 11. 제작된 안테나 모습
Fig. 11. The fabricated antenna structure.

수이며, $Cost2$ 는 고주파 대역(300 MHz~1.3 GHz)에서 -10 dBi 이상의 이득 값을 가지고 최대한 넓은 빔 폭을 가지기 위해 사용된 함수이다. 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화된 설계 변수($N=4, h=23\text{ cm}, s=1.3\text{ cm}, w_1=0.35\text{ cm}, w_2=0.18\text{ cm}, r=4.5\text{ cm}, d=4.1\text{ cm}$)를 사용하여 LNA 부분을 제외한 안테나를 그림 11과 같이 실제 제작하였다.

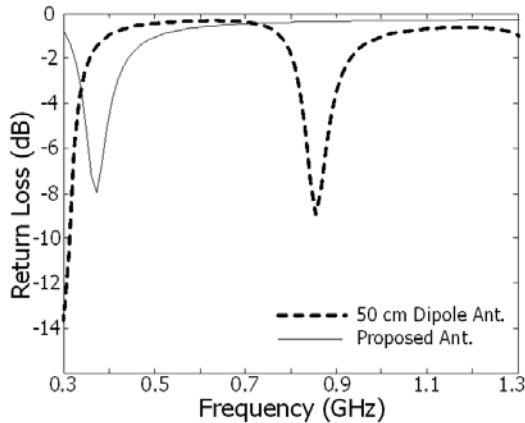
III. 성능 측정 및 분석

실제 제작된 안테나의 성능을 측정하기 위해 반사 손실, 주 빔 방향($\theta=90^\circ$) 이득, 복사 효율과 복사 패턴을 광대역에서 동작하는 balun을 부착하여 측정하였으며, 저주파 대역에서는 제작된 안테나와 크기가 비슷한 30 cm 다이폴과 성능을 비교하였고, 고주파 대역에서는 제작된 안테나와 동일한 공진 주파수를 가지는 50 cm 다이폴 안테나와 성능을 비교하였다. 그림 12는 최적화된 안테나의 측정된 반사 손실로서, 저주파 대역(20~300 MHz)에서 안테나는 PIN 다이오드가 RF on 되어 folded 다이폴 안테나로 동작한다. 이때 안테나는 23 cm로 소형화 되었음에도 30 cm 다이폴 안테나에 비해 높은 입력 저항 값을 가지며, 낮은 주파수인 300 MHz에서 공진한다. 고주파 대역(300 MHz~1.3 GHz)에서 안테나는 PIN 다이오드가 RF off 되어 disk-loaded 다이폴 안테나로 동작하게 되며, 약 380 MHz에서 공진한다.

그림 13은 안테나의 주 빔 방향($\theta=90^\circ$)에서 측정된 이득 값이며, 반사 손실 개선으로 30 cm 다이폴 안테나의 비해 약 10 dB 이상 높은 이득 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 고주파 대역의 이득 특성 및 복사 패턴 특성은 동일 공진 주파수를 가지는 50 cm 다이폴 안테나와 비교하였다. 50 cm 다이폴 안테나



(a) RF on 시 저주파 대역 반사 손실(20~300 MHz)
 (a) The return loss in low frequency band when the RF switches are turned on(20~300 MHz)

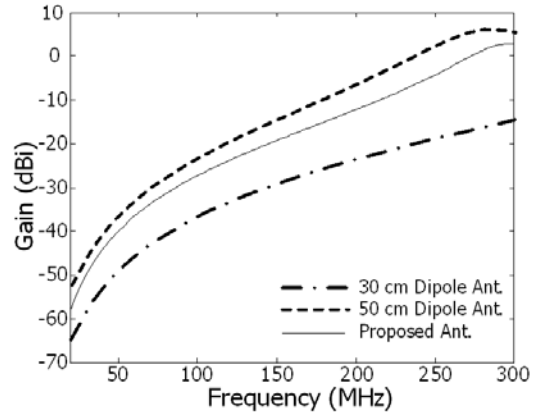


(b) RF off 시 고주파 대역 반사 손실(300 MHz~1.3 GHz)
 (b) The return loss in high frequency band when the RF switches are turned off(300 MHz~1.3 GHz)

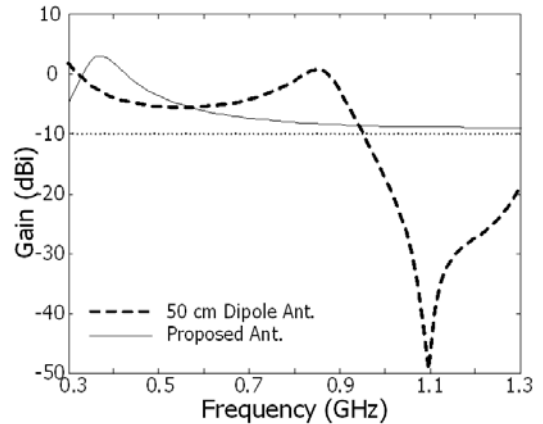
그림 12. 제안된 안테나의 반사 손실
 Fig. 12. The return loss of the proposed antenna.

가 동작 주파수 내에서 주 빔 방향으로 이득 값의 null이 생기는데 반해, 제안된 안테나는 disk-loading 효과로 null을 동작 주파수보다 높은 주파수 대역으로 이동시켜 고주파 전대역에서 주 빔 방향으로 방향 탐지 시스템의 요구 조건인 -10 dB 이상의 이득을 가진다.

그림 14는 개선된 wheeler cap 효율 측정법^[12]을 사용하여 측정된 안테나의 복사 효율(radiation efficiency)로서, PIN 다이오드를 사용하였음에도 고주파 대역에서는 90 % 이상의 효율 값을 가지고 저주파



(a) RF on 시 저주파 대역 주 빔 방향($\theta=90^\circ$) 이득(20~300 MHz)
 (a) The gain of a main beam($\theta=90^\circ$) in low frequency band(20~300 MHz)



(b) RF off 시 고주파 대역 주 빔 방향($\theta=90^\circ$) 이득(300 MHz~1.3 GHz)
 (b) The gain of a main beam($\theta=90^\circ$) in high frequency band(300 MHz~1.3 GHz)

그림 13. 제안된 안테나의 주 빔 방향($\theta=90^\circ$) 이득
 Fig. 13. The gain of a main beam ($\theta=90^\circ$) of the proposed antenna.

대역에서도 일정 이상의 효율(30 %, 20 MHz)을 유지하는 것을 볼 수 있다^[13].

그림 15는 안테나의 복사 패턴 측정값으로서 제작된 안테나는 disk-loading 효과로 side-lobe 발생을 억제하여, 수직 방향 복사 패턴이 50 cm 다이폴 안테나에 비해 비교적 도넛 형태의 복사 패턴을 유지하는 것을 볼 수 있으며, 수평 방향으로 무지향성의 복사 패턴을 가진다.

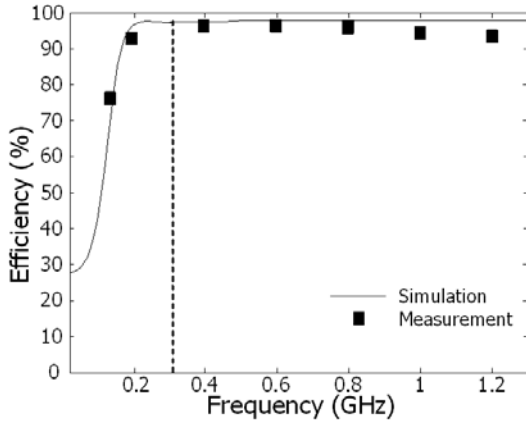


그림 14. 제안된 안테나의 복사 효율
Fig. 14. The radiation efficiency of the proposed antenna.

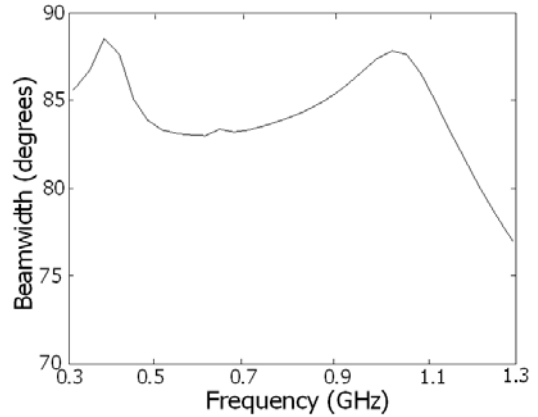
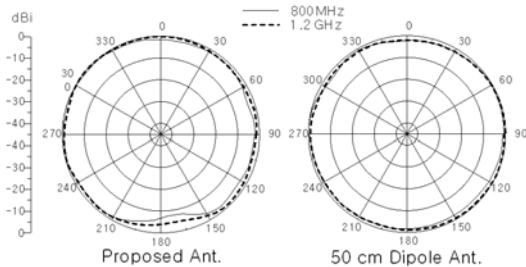
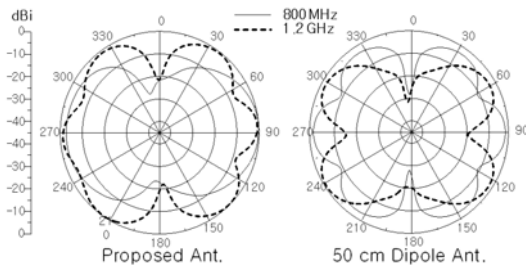


그림 16. 제안된 안테나의 수직 방향 빔 폭
Fig. 16. The beamwidth of the proposed antenna along the vertical plane.



(a) 수평 방향 복사 패턴
(a) The radiation pattern along the horizontal plane



(b) 수직 방향 복사 패턴
(b) The radiation pattern along the vertical plane

그림 15. 제안된 안테나의 복사 패턴
Fig. 15. The radiation pattern of the proposed antenna.

그림 16은 -10 dBi를 기준으로 한 안테나의 빔 폭(beamwidth)으로서 고주파 대역에서 대부분 80° 이상의 빔 폭을 가짐으로써 방향 탐지 안테나로 사용 가능함을 보여준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 PIN 다이오드를 사용하여 전류의 흐름을 조절하여 folded 다이폴 안테나와 disk-loaded 다이폴 안테나로 형상이 변화하는 소형 방향 탐지용 안테나를 제안하였다. 안테나는 저주파 대역($20 \sim 300$ MHz)에서 PIN 다이오드가 RF on 됨으로써 folded 다이폴 안테나로 동작하여 높은 입력 저항 값을 가지게 된다. 이로 인해 $20 \sim 80$ MHz에서 LNA와의 임피던스 정합이 유리하게 되며, 이를 등가회로 모델링을 통하여 확인하였다. 또한, 고주파 대역(300 MHz ~ 1.3 GHz)에서는 PIN 다이오드가 RF off 됨으로써 disk-loaded 다이폴 안테나로 동작하여 수평 방향으로 무지향성의 복사 패턴과 수직 방향으로 도넛 형태의 복사 패턴을 가지는 소형 다이폴 안테나와 유사한 복사 패턴을 가진다.

제안된 안테나는 크기가 축소되었음에도 $20 \sim 300$ MHz의 저주파 대역에서 30 cm 다이폴 안테나의 비해 12Ω 정도 높은 입력 저항 값을 가지며, 이에 따른 LNA와의 반사 손실 개선으로 인하여 10 dBi 정도 높은 이득 값을 가진다. 또한, 300 MHz ~ 1.3 GHz의 고주파 대역에서는 50 cm 다이폴 안테나와 달리 주 빔 방향으로 null이 발생하지 않고 고주파 전대역에서 -10 dBi 이상의 이득과 80° 이상의 넓은 빔 폭을 가짐으로써 미지의 전파원을 수신하는 방향 탐지 안테나로 사용 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 임중수, 정철구, 채규수, "원형 배열 복합 방식을 이용한 초고주파 방향 탐지 기술", 한국전자과학 회논문지, 16(6), pp. 549-555, 2005년 6월.
- [2] 이봉수, 송우영, "원형 배열 안테나 시스템을 이용한 이동 신호원의 방향 탐지에 관한 연구", 전자공학회 논문지, 38(4), pp. 87-92, 2001년 12월.
- [3] D. Peroulis, K. Sarabandi, and L. P. D. Katehi, "Design of reconfigurable slot antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 2, pp. 645-654, Feb. 2005.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3th Ed., New York: John Wiley & Sons, pp. 515-521, 2005.
- [5] C. H. Friedman, "Wide-band matching of a small disk-loaded monopole", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 33, pp. 1142-1148, Oct. 1985.
- [6] <http://www.datasheetcatalog.com>, Siemens Semiconductor Group, "BAR 64-02W".
- [7] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd Ed., New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [8] <http://www.psice.com>, Cadence Design Systems, Inc., "PSpice Version 9.2".
- [9] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, Reading, MA, 1989.
- [10] Y. Rahmat-samii, E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [11] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 5.2".
- [12] H. Choo, R. Rogers, and H. Ling, "On the Wheeler cap measurement of the efficiency of microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 7, pp. 2328-2332, Jul. 2005.
- [13] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3th Ed., New York: John Wiley & Sons, pp. 64-65, 2005.

박 슬 기



2006년 2월: 홍익대학교 전자전기 공학부 (공학사)
 2006년 2월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, 차량용 안테나

정 근 석



2003년 2월: 서울시립대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2005년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
 2005년 1월: 넥스윈퓨처(주) 전자전 연구소 입사
 2007년~현재: LIG넥스윈(주) 전자전연구소 주임연구원
 [주 관심분야] 통신대역 전자전장비 안테나 및 수신기

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)

2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)

2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)

2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)

2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

오 이 석



1982년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)

1988년 12월: University of Missouri-Rolla, 전기 및 컴퓨터공학과 (공학석사)

1993년 12월: University of Ann Arbor, 전기공학 및 컴퓨터과학과 (공학박사)

1994년 3월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수
[주 관심분야] 전파 산란, 마이크로파 원격탐사, 안테나