

방향 탐지용 소형 안테나 설계

Design of Small Antennas for Direction Finding Applications

조치현 · 오승섭* · 추호성 · 박익모**

Chihyun Cho · Seungsub Oh* · Hosung Choo · Ikmo Park**

요 약

본 논문에서는 새로운 구조의 방향 탐지용 소형 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 800 MHz 이상의 고주파 대역에서도 안테나의 복사 패턴이 일그러지지 않도록 끝이 구부러진 스커트 모양의 디스크가 연결되었으며, 200 MHz 이하의 저주파 대역에서 증폭기와의 임피던스 매칭이 가능하도록 다단 구조의 매칭 스티브가 삽입되었다. 20~700 MHz에서 제안된 안테나는 60 cm 다이폴 안테나에 비해 크기가 1/2로 축소되었음에도 불구하고 유사한 성능을 가진다. 또한, 다이폴 안테나와 달리 700~1,300 MHz에서 복사 패턴이 크게 일그러지지 않고 주 빔 방향으로 널이 발생하지 않으며 넓은 빔 폭을 가진다.

Abstract

In this paper, we propose a novel small antenna for direction finding applications. The proposed antenna employs a skirt type disk to eliminate the radiation null on the broad-side direction in the high frequency range. Additionally, the multi-section matching stub is used for impedance matching in the low frequency range. The size of the proposed antenna is reduced as a half of the 60 cm dipole which has a same resonance frequency of 200 MHz. The antenna maintains a donut shape radiation pattern with a broad beamwidth for a wide range of frequency while the 60 cm dipole shows radiation nulls on the broad-side direction and the high side-lobe level from 700 MHz to 1,300 MHz.

Key words : Small Antenna, Dipole, Direction Finding, Genetic Algorithm

I. 서 론

방향 탐지 시스템은 미지의 전파원 위치를 추적하기 위한 것으로 일반적으로 무지향 배열 안테나를 이용해 미약한 전파를 수신하고, low noise amplifier (LNA) 등을 이용하여 수신한 전파를 증폭시킨다. 전파원의 위치는 각 배열 안테나를 통해 수신된 전파들의 위상 차이를 이용하여 계산된다^{[1],[2]}. 과거에는 위치 추적 시스템이 군사적인 용도로 많이 사용되었으나, 최근에는 급증하는 무선 통신 서비스와 주파수 자원의 효율적 관리를 위해 전파관리국이나 공

항, 항만 등의 다양한 민간 시설에서도 사용되고 있다.

이러한 방향 탐지 시스템에 사용되기 위한 안테나는 수평 방향(H-plane)으로 무지향성 복사 패턴 특성을 가지며, 수직 방향(E-plane)으로 다이폴과 유사한 도넛 모양의 복사 패턴을 가져야 한다. 또한, 단일 시스템으로 미지 전파원의 주파수와 무관하게 신호를 수신하기 위해서는 광대역의 동작 특성을 갖는 안테나가 요구된다. 그러나 기존에 연구된 광대역 안테나들은 임피던스 정합 특성은 우수하나 주파수에 따라 안테나 복사 패턴이 크게 변하여 방향 탐지용 안테나로 활용하기 어렵다. 또한, 무지향성 복사

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

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

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

**아주대학교 전자공학부(Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20070518-10S

· 수정완료일자 : 2007년 8월 6일

패턴을 구현하기 위해 다이폴 형태의 안테나가 많이 사용되지만 이러한 안테나들은 대역폭이 협소한 단점을 가진다. 최근 이러한 문제점을 해결하기 위해 다중 대역에서 동작하는 다이폴 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 on-off 스위칭 기능을 가지는 편 다이오드를 안테나 선로 사이에 삽입하여 전류의 흐름을 통제하고 이를 통하여 안테나 유효 길이를 변화시켜 다중 대역을 구현하는 기법이 방향 탐지용 안테나에 많이 사용되고 있다³⁾.

그러나 이러한 능동 소자들은 완벽한 on-off 스위칭 기능을 하지 못하고 소자에 인가된 전압에 따라 기생 저항처럼 동작하여 안테나의 복사 효율과 이득을 감소시키며, 부가적인 능동 소자의 사용에 따라 생산 비용이 증가하는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 능동 소자를 사용하지 않고 광대역에서 무지향성 복사 패턴을 가지며 복사 이득이 높은 방향 탐지용 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 200~1,300 MHz에서 약 -5 dBi 이상의 이득을 가지며, 100° 이상의 빔 폭(Gain > -15 dBi)과 90 % 이상의 복사 효율을 가진다. 제안된 안테나의 성능을 비교·검증하기 위해 동일한 공진 주파수를 가지는 60 cm 다이폴 안테나를 이용하였다. 제안된 안테나는 30 cm의 크기를 갖지만 20~700 MHz에서 60 cm 다이폴과 유사한 동작 특성을 보인다. 또한, 700~1,300 MHz에서 다이폴 안테나는 복사 패턴이 일그러지고 주 빔 방향으로 이득이 크게 감소하지만 제안된 안테나는 다이폴 안테나와 달리 수직 방향으로 도넛 모양을 유지하며 수평 방향으로 무지향성 복사 패턴을 가진다.

II. 안테나 구조 및 최적화 결과

그림 1은 본 논문에서 제안된 무지향성 복사 패턴을 갖는 소형 방향 탐지용 안테나를 보여준다. 제안된 안테나는 주파수와 무관하게 복사 패턴이 수평 방향(x-y 평면)에서 동일한 이득을 가지도록 다이폴 안테나를 기본 구조로 사용하였다. 그러나 다이폴 안테나의 경우, 안테나 표면에 1λ 이상의 전류가 흐르게 되면 부엽(side-lobe)이 형성되고, 약 1.8λ 의 전류가 흐르게 되면 주 빔 방향($\theta=90^\circ$)에 널이 발생된다⁴⁾. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기

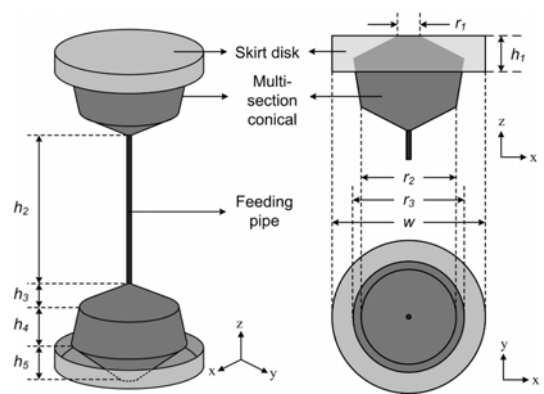


그림 1. 제안된 소형 방향 탐지 안테나 구조
Fig. 1. Structure of the proposed antenna for direction finding applications.

위해 디스크 로딩을 이용하여 다이폴 안테나의 크기를 축소하고, 부엽(side lobe)과 널(null)을 동작 주파수 대역보다 높은 주파수 대역으로 이동시켜 광대역에서 도넛 모양의 복사 패턴이 형성되도록 하였다. 로딩된 디스크는 안테나의 크기를 효율적으로 줄이면서도 로딩 효과를 높이기 위해 양 끝을 스킨 형태로 구부렸고, 저주파 대역 임피던스 정합을 이루기 위해 디스크와 급전 금속 봉 사이에 다단 매칭 스텐브(multi-section matching stub)를 삽입하였다. 삽입된 다단 매칭 스텐브는 저주파 대역에서 입력 저항을 상승시켜 안테나와 증폭기 사이의 임피던스 매칭을 용이하게 한다.

제안된 안테나는 방향 탐지용 배열 안테나로 구성되므로 주변의 안테나와 일정한 공간을 확보하기 위해 디스크의 지름이 150 mm 이하가 되어야 하며, 방향 탐지 시스템의 이동성을 높이기 위해 안테나 전체 높이는 500 mm 이하의 크기를 가져야 한다. 또한 급전 금속봉은 야외에서 태풍 등의 강한 바람에도 충분한 내구성을 가질 수 있도록 10 mm 이상이 되어야 하며, 다단 매칭 스텐브의 크기는 급전 금속봉에 능동 회로의 부착이 용이하도록 75 mm 이하의 크기를 가져야 한다. 본 안테나의 설계 조건을 나열하면 표 1과 같다.

이러한 설계 조건들을 모두 만족하며 안테나를 설계하기에는 많은 어려움이 있으므로 최적화 기법을 도입하여 그림 1에서 제안된 안테나의 설계 변수들을 최적화하였다. 최적화 기법에는 최적화에 소요

표 1. 소형 방향 탐지 안테나 설계 목표 및 조건
Table 1. Design goal of the small antenna for direction finding application.

설계 변수	설계 목표 및 조건
저주파 대역(20 MHz) 복사 저항	> 0.1 Ω
고주파 대역 (200~1,300 MHz) 이득	> -15 dBi
수평 방향(H-plane) 복사 패턴	무지향성
빔 폭(Gain > -15 dBi)	> 60°
디스크 크기	w < 150 mm
금속봉 지름	> 10 mm
매칭 스테브 각 부분의 지름	금속봉 지름 < r ₁ , r ₂ , r ₃ < 디스크 크기
매칭 스테브의 전체 높이	75 mm < h ₃ +h ₄ +h ₅ < 250 mm
안테나 전체 높이	< 500 mm

되는 시간이 짧으며 동시에 다수의 설계 목표를 최적화하는데 효과적인 Pareto 유전자 알고리즘^{[5]~[8]}을 개발하여 이용하였다. 또한, FEKO EM 시뮬레이터^[9]의 다양한 해석 기법들 중 MoM 해석 기법을 사용하여 안테나의 성능을 예측하고 평가하였으며, 최적화를 위해 Pareto 유전자 알고리즘에서 사용된 비용 평가 함수는 각각 다음과 같다.

$$Cost\ 1 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Gain(\theta_i, f_j)}{m \times n}$$

($\pi/6 < \theta_i < 5\pi/6$, 200 MHz < f_j < 1,300 MHz)

$$Cost\ 2 = 1 - \left(\frac{R_{ant}}{R_{amp}} \times Eff_{ant} \right) \quad (f=20\text{ MHz})$$

Cost 1은 200~1,300 MHz에서 높은 이득과 넓은 빔 폭을 가지도록 사용된 함수이며, 안테나의 평균 이득이 -15 dBi 이상이 되도록 하였다. R_{ant}와 Eff_{ant}는 안테나의 입력 저항과 복사 효율을 나타내며, R_{amp}는 증폭기의 입력 저항을 나타낸다. 일반적으로 증폭기의 최적 임피던스는 50 Ω이지만, 저주파 대역에서 소형 안테나는 매우 낮은 입력 저항값을 가지므로 Cost 2는 증폭기와 임피던스 정합이 용이하

도록 안테나의 입력 저항과 복사 효율을 최대한 증대시키기 위해 사용된 함수이다.

최적화된 안테나는 지름 16 mm, 디스크 지름은 96 mm, 안테나 전체 높이는 299.8 mm, 단단 매칭 스테브 크기는 61.8 mm로 설계 조건을 모두 만족하며, 최적화된 안테나의 구체적인 설계 변수는 다음과 같다: r₁=80.4 mm, r₂=71.4 mm, r₃=74 mm, w=99.6 mm, h₁=19.8 mm, h₂=176.2 mm, h₃=29.2 mm, h₄=25.4 mm, h₅=7.2 mm FEKO를 이용한 안테나 성능 시뮬레이션 결과, 제안된 안테나는 20 MHz에서 입력 저항과 효율의 곱이 약 0.1 Ω 이상의 특성을 가져 증폭 회로와 임피던스 매칭이 유리하며, 또한 200~1,300 MHz에서 주 빔 방향으로 약 -5 dBi 이상의 높은 이득과 90 % 이상의 복사 효율을 가지며, 20~1,300 MHz까지 광대역의 범위에서 안테나의 수직 방향으로 복사 패턴이 크게 일그러지지 않고 수평 방향으로 무지향성을 갖는다.

III. 안테나 성능 측정

제안된 안테나는 알루미늄을 이용하여 제작되었으며, 그림 2는 제작된 안테나의 사진을 보여준다. 플라스틱 케이스를 이용하여 안테나와 능동 회로를 지지할 수 있도록 구성하였다.

그림 3은 표본 안테나의 반사 손실 특성을 나타내며, 점선과 실선은 각각 시뮬레이션과 측정 결과를 의미한다. 일점 쇄선은 제안된 안테나와 공진 주파수가 동일한 60 cm 다이폴 안테나의 반사 손실이다. 반사 손실은 안테나를 모노폴 형태로 제작한 후 영상법을 이용하여 측정하였다. 제작된 안테나는 약 200 MHz 부근에서 공진을 하며, 200 MHz 이상에서도 약 -2 dB의 반사 손실 특성을 보인다. 또한, 제안된 안테나는 60 cm 다이폴 안테나와 유사한 공진 주파수를 가짐에도 불구하고 안테나의 크기가 약 1/2로 축소된 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이션과 측정 결과의 차이는 급전 금속 봉 지름이 두꺼워 측정 장비 커넥터와의 불연속에 기인한 것으로 사료된다. 하지만 전체적인 그래프 형태는 매우 유사한 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 주 빔 방향($\theta=90^\circ$) 안테나 이득을 나타내며, 각각 점선과 실선은 제안된 안테나의 시뮬레

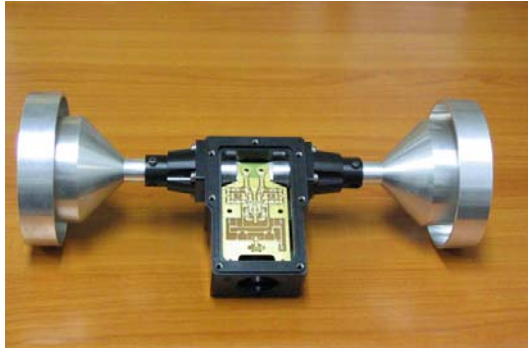


그림 2. 제작된 안테나
Fig. 2. Photo of the fabricated antenna.

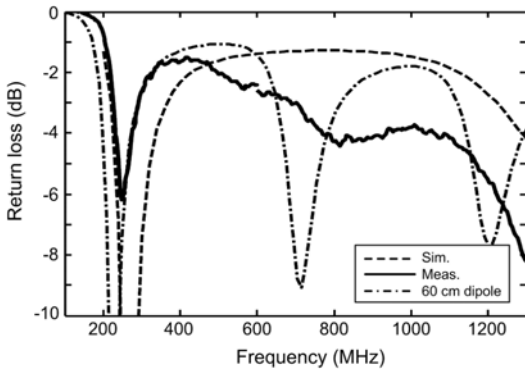


그림 3. 제안된 안테나와 60 cm 다이폴 안테나의 반사 손실 비교
Fig. 3. Comparison of the return losses for the proposed antenna and the 60 cm dipole antenna.

이선과 측정값이며, 일점 쇄선은 60 cm 다이폴 안테나의 이득을 의미한다. 제작된 안테나는 200 MHz 이하의 저주파 대역에서도 60 cm 다이폴 안테나와 유사한 이득 특성을 보이며, 200~1,300 MHz에서 약 -5 dB 이상의 비교적 높은 안테나 이득을 가진다. 그러나 60 cm 다이폴 안테나의 경우, 800~1,000 MHz에서 다른 주파수 대역에 비해 급격히 안테나 이득이 저하된다. 이는 안테나 표면에 1.5λ 이상의 전류가 흐르게 되어 복사 패턴이 일그러지고 부엽이 크게 발생되기 때문이다. 제안된 안테나는 디스크 로딩을 이용하여 복사 패턴의 부엽과 널을 동작 주파수 대역보다 높은 주파수 대역으로 이동시켜 주빔 방향 이득을 상승시켰다.

그림 5는 디스크 로딩에 따른 안테나의 주빔 방

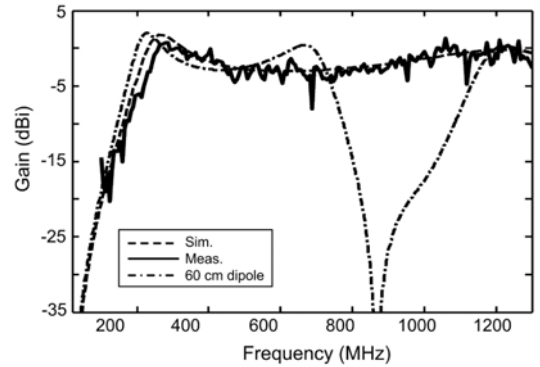


그림 4. 제안된 안테나와 60 cm 다이폴 안테나의 주빔 방향 이득 비교
Fig. 4. Comparison of the broad-side gain for the proposed antenna and the 60 cm dipole antenna.

향 이득을 보여준다. 각각 점선과 일점 쇄선 및 실선은 다이폴 안테나, 반지름 50 mm 디스크를 로딩한 안테나, 반지름 100 mm 디스크를 로딩한 안테나를 나타낸다. 각 안테나들은 동일한 주파수에서 공진하도록 설계되었으며, 200 MHz 부근에서 가장 높은 이득을 보인다. 디스크의 크기가 커질수록 800 MHz 부근의 주빔 방향 이득 감소현상이 크게 개선되는 것을 볼 수 있다. 안테나의 전류는 디스크를 포함한 전체 구조에 유기되지만, 디스크에 유기된 전류들은 대칭적 분포를 가지므로 원거리장에서 대부분 상쇄되고, 급전 금속 봉에 유기된 전류만이 전파 복사에 기여한다. 따라서 디스크를 사용한 안테나는 동일한 동작 주파수를 가지는 다이폴 안테나에 비해 안테나

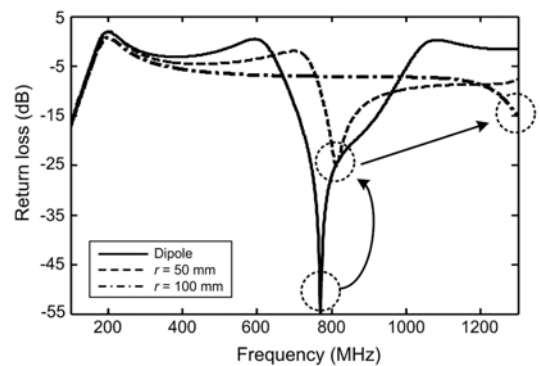


그림 5. 디스크 크기에 따른 주빔 방향 이득
Fig. 5. Broad-side gain with the various size of the disk-loading.

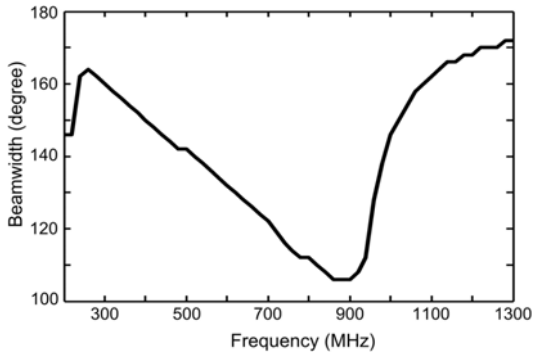


그림 6. 제안된 안테나의 빔 폭
Fig. 6. Beamwidth of the proposed antenna.

의 유효 길이가 축소되어, 주 빔 방향에서 발생하는 복사 패턴의 부엽이나 널이 억제되는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 주파수에 따른 안테나의 빔 폭 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 방향 탐지 안테나는 수평 방향으로 무지향성을 가져야 할 뿐만이 아니라, 수직 방향으로도 넓은 빔 폭을 가져야 한다. 빔 폭은 안테나 이득이 방향 탐지 안테나 설계 기준인 -15 dBi 이상인 범위를 나타내며, 200 MHz에서 1,300 MHz 사이에서 100° 이상의 넓은 빔 폭을 갖는다. 따라서 제안된 안테나는 미지의 전파원의 높이가 변하더라도

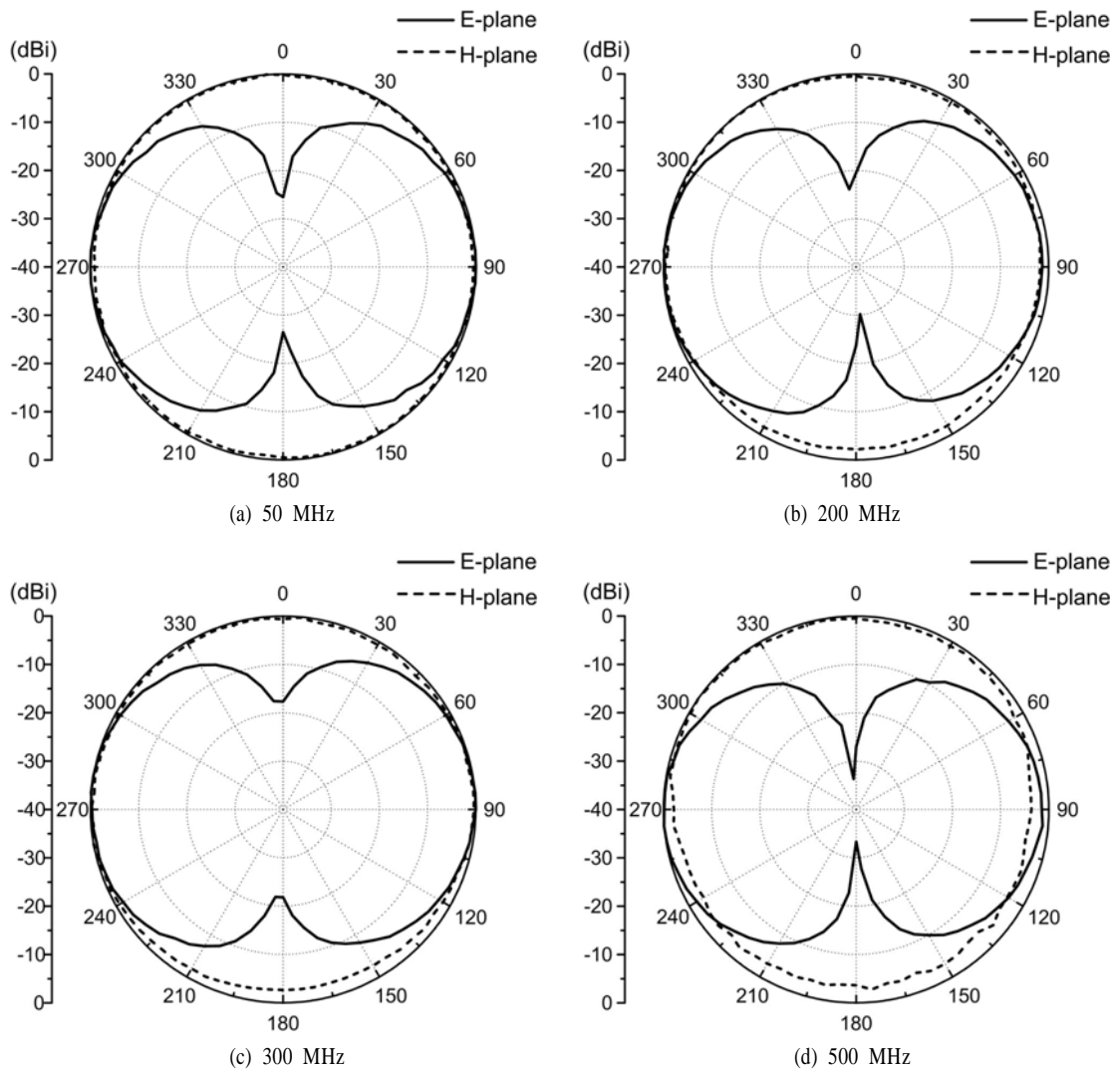


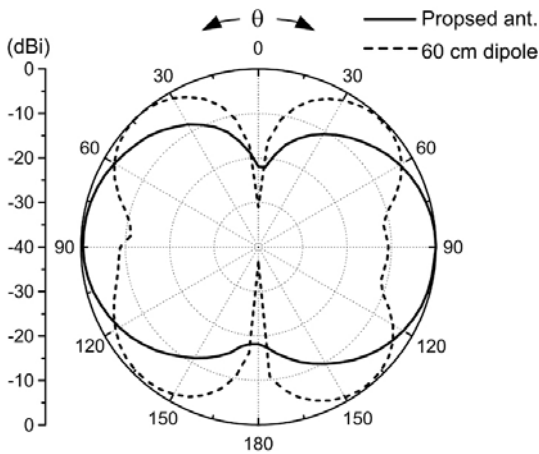
그림 7. 제안된 안테나의 저주파 대역 복사 패턴
Fig. 7. Radiation pattern of the proposed antenna in low frequency band.

40° θ 140° 범위에서 충분히 미지의 전파 신호를 수신할 수 있다.

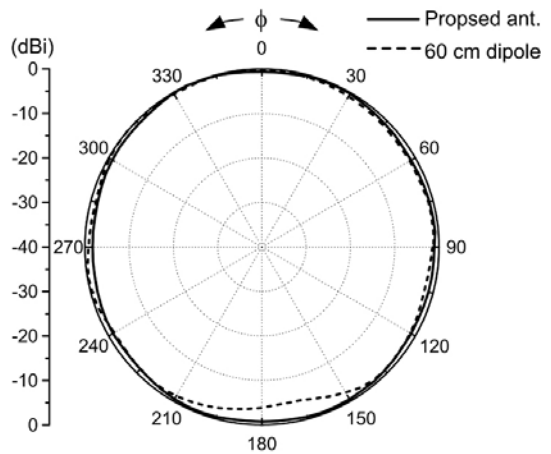
그림 7은 저주파 대역의 안테나 복사 패턴을 나타낸다. 저주파 대역 복사 패턴은 파장의 크기로 인하여 전파 무반사실에서 측정하기에 많은 어려움이 있어 야외 측정장을 구성하여 저주파 대역 복사 패턴을 측정하였다. 송신단은 파워 앰프와 평균 5 dBi의 이득을 가지는 다중 대역 야기 안테나^[10]를 이용하여 구성하였다. 수신단은 측정 안테나의 급전 금속 봉에 평균 이득 15 dB의 증폭기를 장착한 후, 약 4 m 크기

의 마스트 위에 측정 안테나를 고정하고 송신단으로부터 약 200 m의 거리를 두었다. 점선과 실선은 각각 수평 방향(H-plane)과 수직 방향(E-plane) 복사 패턴을 의미한다. 제안된 안테나는 500 MHz 이하의 저주파 대역에서 수평 방향으로 무지향성 복사 패턴과 수평 방향으로 다이폴 안테나와 유사한 도넛 모양의 복사 패턴을 가져 방향 탐지용 안테나에 적합한 것을 확인할 수 있다.

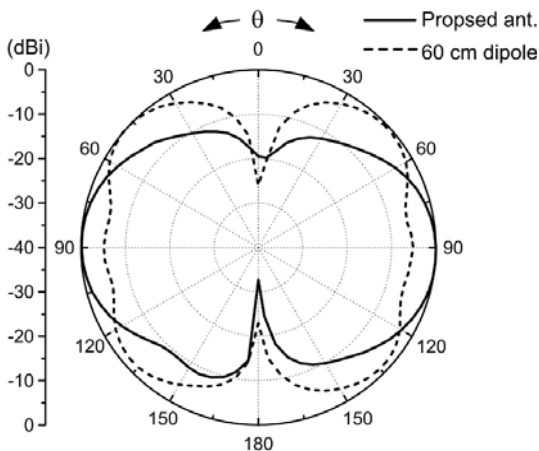
그림 8은 800 MHz 이상의 고주파 대역 복사 패턴이며, 실선과 점선은 각각 제안된 안테나와 60 cm



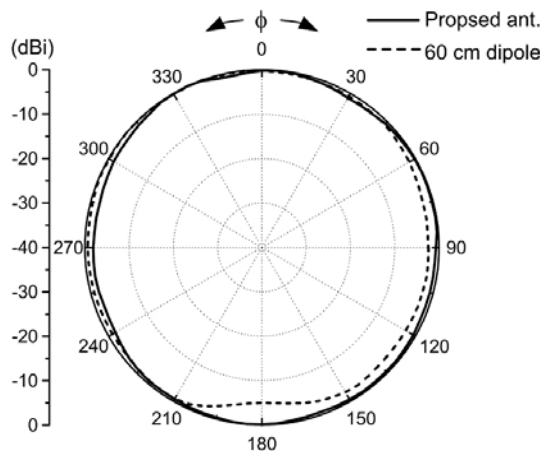
(a) 800 MHz 수직 복사 패턴
(a) E-plane radiation pattern on 800 MHz



(b) 800 MHz 수평 복사 패턴
(b) H-plane radiation pattern on 800 MHz



(c) 900 MHz 수직 복사 패턴
(c) E-plane radiation pattern on 900 MHz



(d) 900 MHz 수평 복사 패턴
(d) H-plane radiation pattern on 900 MHz

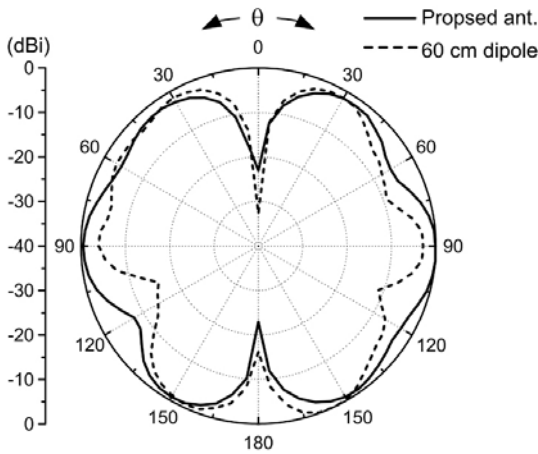
그림 8. 고주파 대역에서 제안된 안테나와 60 cm 다이폴 안테나의 복사 패턴 비교

Fig. 8. The comparison of the radiation pattern for the proposed antenna and 60 cm dipole antenna in high frequency band.

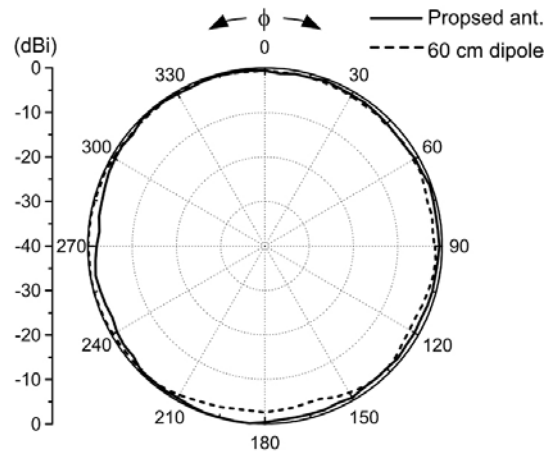
다이폴 안테나의 복사 패턴을 나타낸다. 고주파 대역 복사 패턴은 준전파 무반사실에서 광대역 밸런^[11]을 이용하여 측정하였다. 제안된 안테나와 60 cm 다이폴 안테나는 수평 방향으로 무지향성과 유사한 복사 패턴을 가진다. 그러나 60 cm 다이폴 안테나는 수직 방향으로 부엽이 크게 발생하여 안테나의 복사 패턴이 크게 일그러지지만 제안된 안테나는 디스크 로딩을 이용하여 안테나의 복사 패턴이 도넛 모양을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 앞서 전술한 야외 측정 방법을 이용하여

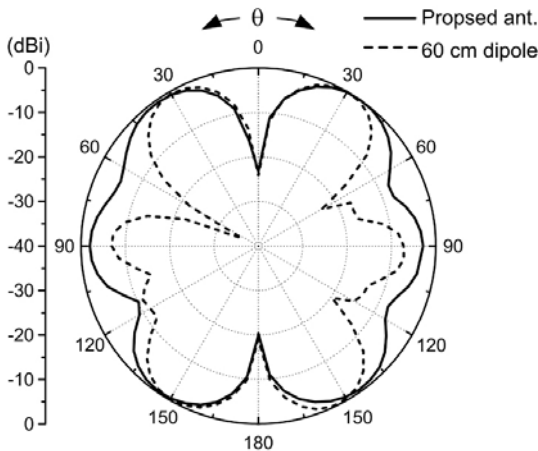
측정한 안테나의 수신 전력이다. 각각 실선과 점선은 제안된 안테나와 60 cm 다이폴 안테나를 의미한다. 동작 주파수가 700 MHz 이상이 되면 60 cm 다이폴 안테나의 수신 전력이 제안된 안테나에 비해 급격히 감소한다. 700 MHz 이상에서 60 cm 다이폴 안테나는 주 빔 방향으로 복사 패턴에 널이 발생되지만 제안된 안테나는 디스크 로딩을 이용하여 발생하는 널이 보다 높은 주파수 대역으로 이동되었기 때문이다. 100 MHz 이하의 저주파 대역에서 제안된 안테나는 크기가 약 1/2로 축소되었음에도 불구하고



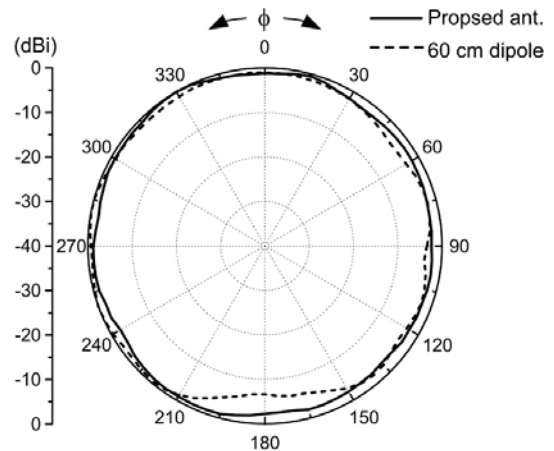
(e) 1,100 MHz 수직 복사 패턴
(e) E-plane radiation pattern on 1,100 MHz



(f) 1,100 MHz 수평 복사 패턴
(f) H-plane radiation pattern on 1,100 MHz



(g) 1,200 MHz 수직 복사 패턴
(g) E-plane radiation pattern on 1,200 MHz



(h) 1,200 MHz 수평 복사 패턴
(h) H-plane radiation pattern on 1,200 MHz

그림 8. 계속
Fig. 8. Continued.

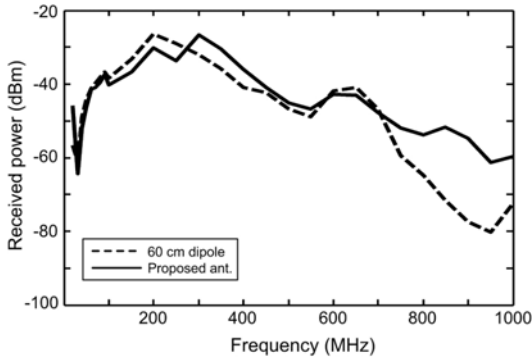


그림 9. 증폭 회로와 결합된 제안된 안테나와 60 cm 다이폴 안테나의 수신 전력 비교

Fig. 9. Comparison of the received powers for the proposed antenna and 60 cm dipole with the amplifying circuit.

다이폴 안테나와 동일한 수신 전력 특성을 가진다. 이는 디스크와 급전 금속봉 사이에 다단 구조의 매칭 스텐브를 삽입하여 안테나 입력 저항 값과 이득 값을 상승시켰기 때문이다.

그림 10은 다단 구조 매칭 스텐브를 이용한 저주파 대역 입력 저항과 안테나 이득 개선을 보여준다. 다이폴 안테나는 동작 주파수 파장에 비해 안테나 길이가 짧아지면 입력 저항값이 급격히 하락하여 증폭 회로와 정합이 어렵고 안테나 이득도 크게 감소한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 주로 두꺼운 다이폴(fat dipole)^[12]을 사용하지만 본 논문에서는 다단 매칭 스텐브를 사용하여 보다 효과적으로 입력 저항

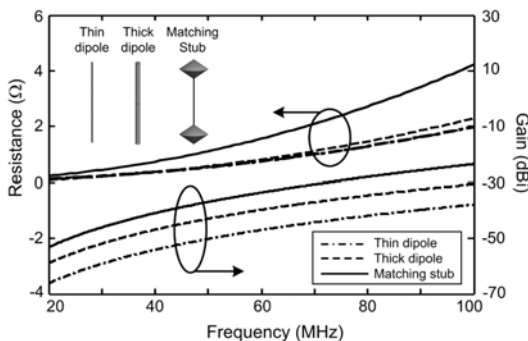


그림 10. 얇은 다이폴과 두꺼운 다이폴 및 매칭 스텐브를 이용한 다이폴의 입력 저항과 이득

Fig. 10. Input resistance and gain for the thin dipole, the fat dipole and the dipole with the matching stub.

값과 이득을 향상시켰다. 일점 쇄선과 점선 및 실선은 각각 얇은 다이폴 안테나(지름 0.8 mm), 두꺼운 다이폴 안테나(지름 16 mm)와 다단 매칭 스텐브가 연결된 안테나(지름 0.8 mm, 스텐브 높이 70 mm, 스텐브 폭 50 mm)를 의미하며, 각 안테나들은 300 mm의 높이를 가진다. 지름이 두꺼운 안테나가 다이폴 안테나에 비해 입력 저항값이 소폭 상승하고 약 6 dB의 이득이 개선되었지만, 다단 매칭 스텐브를 안테나 양 끝에 연결하면 약 12 dB 이상의 이득이 개선되고 입력 저항값도 크게 상승한 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 미지의 전파원의 위치를 추적하는 소형 방향 탐지용 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 스커트 형태로 구부러진 디스크를 로딩하여 넓은 주파수 범위에서도 복사 패턴이 찌그러지지 않고 다이폴 안테나와 유사한 도넛 모양의 복사 패턴을 가진다. 또한, 다단 매칭 스텐브를 삽입하여 저주파 대역에서 입력 저항과 이득을 상승시켰다. 제안된 안테나는 동일한 공진 주파수를 가지는 60 cm 다이폴 안테나에 비해 크기가 약 1/2로 축소되었음에도 불구하고 20~700 MHz 범위에서 유사한 이득 특성을 가진다. 800 MHz 이상의 고주파 대역에서는 60 cm 다이폴 안테나와 달리 주 빔 방향으로 널이 발생하지 않고 복사 패턴이 크게 일그러지지 않아 약 1,300 MHz 범위까지 방향 탐지 안테나로 충분히 활용할 수 있음을 확인하였다. 또한, 제안된 안테나는 100° 이상의 빔 폭을 가져 수직 방향으로 넓은 범위에서 전파원의 수신에 가능하다. 200~1,300 MHz의 넓은 주파수 범위에서 -5 dBi 이상의 높은 이득을 보이며, 특히 800 MHz 이상에서는 60 cm 다이폴 안테나에 비해 20 dBm 이상 높은 전력을 수신할 수 있음을 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 이

용한 이동 신호원의 방향 탐지에 관한 연구", 한국전자공학회논문지, 38(4), pp. 87-92. 2001년 12월.

[3] http://www.rsd.de/www/dev_center.nsf/html/ddf195-misc, "ADD195 antenna".

[4] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1998.

[5] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, Reading, MA, 1989.

[6] Y. Rahmat-Samii, E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York: John Wiley & Sons, 1999.

[7] N. Srinivas, K. Deb, "Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithm", *J.*

Evol. Comput., vol. 2, pp. 221-248, 1995.

[8] T. Hiroyasu, M. Miki, and S. Watanabe, "The new model of parallel genetic algorithm in multi-objective optimization problems - divided range multi-objective genetic algorithm", *Proc. 2000 Congress on Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 333-340, 2000.

[9] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 5.2".

[10] <http://www.microlease.com/ProductTypeCodeCHC-BL6111A.htm>, "Chase Electronics - Bilog antenna (CBL6111A)".

[11] <http://www.picosecond.com>, "Broadband pulse inverter(Model-5100)".

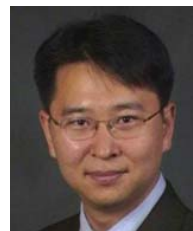
[12] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 1997.

조 치 현



2004년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2006년 2월: 홍익대학교 전파통신공학과 (공학석사)
 2006년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 소형 안테나, RFID 태그 안테나 설계 및 유전자 알고리즘을 이용한 최적화

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 승 섭



1989년 2월: 조선대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 1월: 금성전기(주) 연구소 입사
 2002년~현재: LIG넥스원(주) 전자전 연구소 책임연구원
 [주 관심분야] 항공용 및 함정용 전자전장비, 통신대역 전자전장비 체계

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 (공학사)
 1989년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
 1994년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
 1994년~1996년: LG전자기술원
 1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수
 [주 관심분야] 초고주파 수동소자(안테나 포함) 설계 및 해석