

방향 탐지용 소형 안테나 개발

조치현*, 오승섭**, 추호성*, 박익모***

*홍익대학교 전자전기공학부, 서울시 마포구 상수동 72-1

** LIG 넥스원(주) 연구개발본부 전자전연구소

***아주대학교 전자공학부, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5

Design of Small Antennas for Direction Finding Applications

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

*School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

** LIG Nex1 Co.,Ltd. Electronic Warfare R&D Center

*** Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University, Suwon, Korea

E-mail: hschoo@hongik.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a novel small antenna for direction finding applications. The proposed antenna adopts a hat type disk-loading to eliminate the radiation null on the broad-side direction for broad bandwidth. Also, the proposed antenna has a multi-section conical structure for wide band impedance matching in frequency. The antenna shows lower than -3 dB return loss and more than -3 dBi gain from 200 MHz to 1300 MHz. Additionally, in low frequency range, the proposed antenna has a better transmission loss compared to a conventional dipole antenna with a same height.

I. 서론

방향 탐지 시스템은 미지의 전파원의 위치를 추적하기 위한 것으로 일반적으로 무지향 배열 안테나를 이용해 미약한 전파를 수신하고, LNA(Low Noise Amplifier) 등을 이용하여 수신한 전파를 증폭시킨다. 전파원의 위

치는 각 배열 안테나를 통해 수신된 전파들의 위상 차이를 이용하여 계산된다[1]. 과거에는 위치추적 시스템이 군사적인 용도로 많이 사용되었으나, 최근에는 급증하는 무선통신 서비스와 주파수 자원의 효율적 관리를 위해 전파관리국이나 공방, 항만 등의 다양한 민간 시설에서도 사용되고 있다.

이러한 방향 탐지 시스템에 사용하기 위한 안테나는 가능한 azimuth 평면에서 무지향성 복사패턴 특성과, elevation 평면에서 다이폴과 유사한 도넛 형태의 복사패턴을 가져야 하며, 단일 시스템으로 넓은 주파수 대역에서 동작할 수 있는 안테나가 요구된다. 그러나 기존에 연구된 광대역 안테나들은 임피던스 정합 특성은 우수하나 주파수에 따라 안테나 복사패턴이 크게 변하여 방향 탐지용 안테나로 활용하기 어렵다. 일반적으로 무지향성 복사패턴을 구현하기 위해 다이폴 형태의 안테나가 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 핀 다이오드를 안테나 선로 사이에 삽입하여 전류의 흐름을 통제하고 이를 통하여 안테나 유효 길이를 변화시켜 다중 대역을 구현하는 기법이 방향 탐지용 안테나에 많이 사용되고 있다 [2].

본 논문은 LIG 넥스원(과제명 : 이동형 방향 탐지 시스템 개발)의 지원하에 이루어졌음.

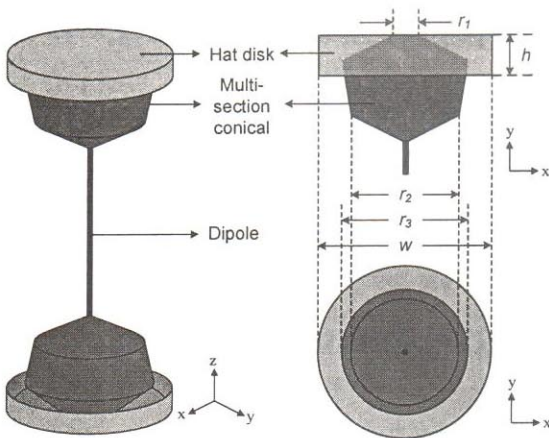


그림 1 제안된 소형 방향 탐지용 안테나 구조

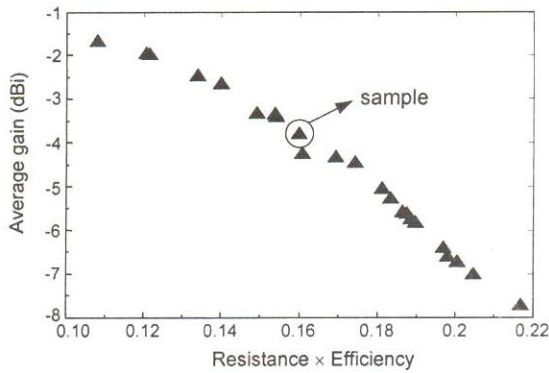


그림 2 최적화 결과

그러나 이러한 능동 소자들은 완벽한 on-off 스위칭 기능을 하지 못하고 소자에 인가된 전압에 따라 기생 저항처럼 동작하여 안테나의 복사효율과 이득을 감소시키며 생산비용을 상승시킨다. 따라서 본 논문에서는 이러한 능동소자를 사용하지 않으며 전 방향 복사패턴과 광대역 특성을 가지는 방향 탐지용 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 20 MHz ~ 200 MHz 에서 사용되는 같은 높이의 다이폴 안테나보다 우수한 전송손실을 보이고, 200 MHz ~ 1300 GHz 에서 반전력 대역폭 (half power bandwidth) 반사손실 특성을 만족하며 -3 dBi 이상의 우수한 이득 특성을 가진다. 또한 안테나의 복사패턴이 찌그러지지 않고 전 방향 특성을 가져 방향 탐지용 안테나로 충분히 사용될 수 있다.

II. 안테나 구조 및 결과

그림 1 은 본 논문에서 제안된 무지향성 복사패턴을 갖는 소형 방향 탐지용 안테나를 보여준다. 제안된 안테나는 주파수와 무관하게 복사패턴이 x-y 평면에서 동일한 특성을 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 주빔 방향($\theta = 90^\circ$)에 널이 발생된다[3]. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 디스크 로딩을 이용하여 다이폴 안테나의 크기를 축소하고 이를 통하여 부엽(side lobe)과 널(null)이 동작 주파수보다 높은 대역에서 발생되도록 하였다. 디스크는 안테나의 크기를 효율적으로 줄이기 위해 양끝을 모자 형태로 구부렸다. 또한 광대역 임피던스 정합을 이루기 위해 디스크와 다이폴 안테나 사이에 다단 코니컬(multi-section conical)을 삽입하였다. 일반적으로 코니컬(conical) 안테나는 진행파(traveling wave)를 형성하여 광대역 특성을 가진다[4]. 제안된 안테나는 코니컬을 여러단으로 구성하여 임피던스 정합이 보다 쉽게 이루어지도록 하였다. 제안된 안테나의 구체적 설계 변수는 Pareto 유전자 알고리즘[5]과 FEKO EM 시뮬레이터[6]를 이용하여 최적화하였다. 최적화를 위해 다음의 비용평가 함수를 이용하였다.

$$Cost1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Gain(\theta_i, f_j) \quad (\pi/6 < \theta_i < 5\pi/6, 200 \text{ MHz} < f_j < 1.3\text{GHz})$$

$$Cost2 = R_{input} \times Efficiency (f = 20 \text{ MHz})$$

$Cost1$ 은 고주파 영역(200 MHz ~ 1300 MHz)에서 높은 이득과 넓은 빔폭을 가지도록 사용된 함수이며, $Cost2$ 는 저주파 대역에서 증폭기와의 매칭이 용이하도록 입력 저항을 높이고 복사효율을 증가시키기 위해 사용된 함수이다.

최적화 결과를 그림 2 에 나타내었다. 가로축은 20 MHz에서의 입력 저항과 효율의 곱을 나타내고, 세로축은 200 MHz ~ 1300 MHz 사이의 평균 이득을 나타낸다. 고주파 영역과 저주파 영역에서 각각의 안테나 특성이 서로 반비례 관계를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 또한 최적화된 안테나들은 고주파 영역에서 -10 dBi 이상

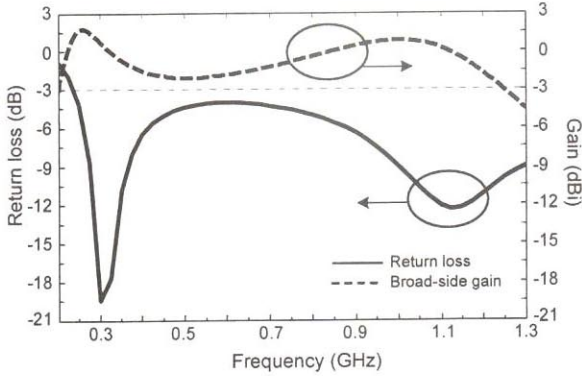


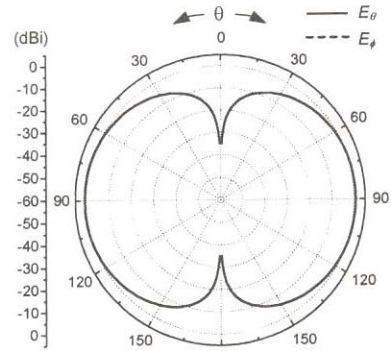
그림 3 안테나 반사손실과 이득

을 만족하며 20 MHz 에서도 증폭기와의 매칭이 용이하도록 효율과 입력저항의 곱이 0.1 이상이 되도록 최적화되었다. 최적화 결과를 검증하기 위해 표본 안테나의 성능을 분석하였다.

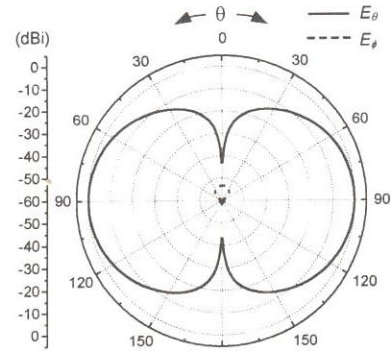
그림 3은 200 MHz ~ 1300 MHz 에서 표본 안테나의 반사손실과 이득을 나타낸다. 각각 점선과 실선은 안테나 이득($\theta=90^\circ$)과 반사손실을 나타낸다. 표본 안테나의 반사손실은 약 250 MHz 에서 1300 MHz 사이에서 -3 dB (half power limit)를 만족한다. 일반적으로 방향 탐지 안테나는 증폭기를 이용하여 수신된 신호를 증폭하지만, 잡음과 전파원을 정확히 구별하기 위해서 약 -10 dBi 이상의 안테나 이득이 요구된다. 제안된 안테나는 200 MHz 에서 1250 MHz 사이에서 -3 dBi 이상의 이득 특성을 가져 방향 탐지 안테나의 요구 사항을 충분히 만족한다.

그림 4 (a), (b), (c)는 각각 300 MHz, 800 MHz, 1300 MHz 에서 θ 각도에 따른 시뮬레이션 복사패턴을 나타내며, 수직편파와 수평편파를 각각 실선과 점선으로 표시하였다. 제안된 안테나는 선형 편파(linear polarization) 특성과, 모든 주파수 대역에서 다이폴 안테나와 유사한 도넛 모양의 복사패턴 특성을 가지며, 주빔 방향($\theta = 90^\circ$)으로 최대 이득이 나타난다. 또한 주파수에 따라 안테나의 복사패턴이 크게 변하지 않아 안테나 동작 주파수 대역에서 부엽과 널이 제거가 된 것을 확인할 수 있다.

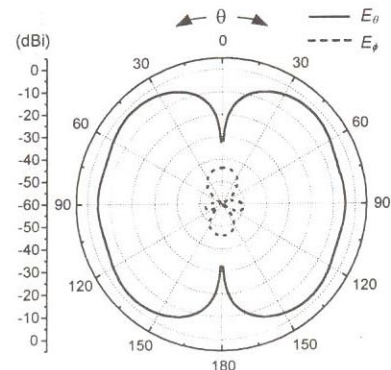
그림 5는 표본 안테나의 전송손실(transmission loss)을 나타낸다. 일반적으로 저주파 대역은 파수가 매우 길기 때문에 유한한 크기를 가지고 있는 전파 무반사실(anechoic chamber)등에서 안테나 성능 측정이



(a) 300 MHz 복사패턴



(b) 800 MHz 복사패턴



(c) 1300 MHz 복사패턴

그림 4 주파수에 따른 안테나 복사패턴

어렵다. 따라서 본 논문에서는 저주파 대역의 안테나 특성을 분석하기 위해 전송손실을 시뮬레이션 하였다. 전송손실은 마른 지표면($\epsilon_r: 3.0, \sigma=0.001$)으로부터

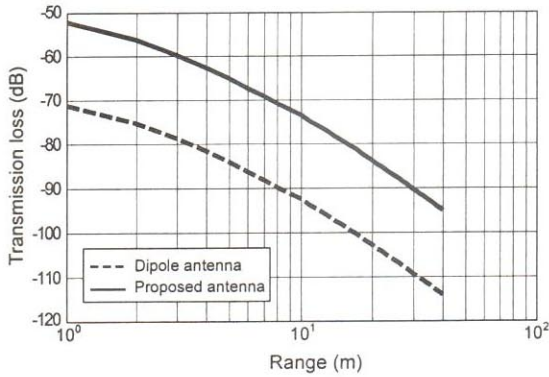


그림 5 Transmission loss

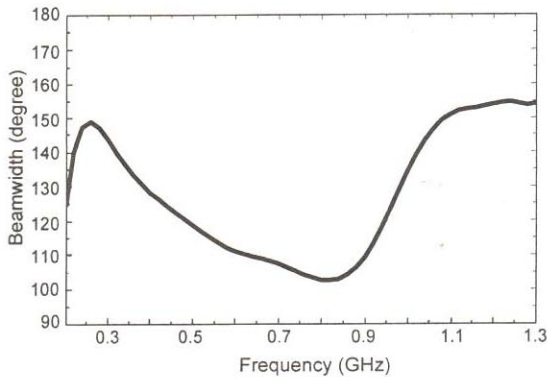


그림 6 주파수에 따른 빔폭

III. 결론

본 논문에서는 미지의 전파원의 위치를 추적하는 방향 탐지용 안테나를 개발하였다. 제안된 안테나는 모자 모양의 디스크 로딩을 이용하여 넓은 주파수 범위에서도 복사패턴이 찌그러지지 않고 다이폴 안테나와 유사한 도넛 모양의 복사패턴을 가진다. 또한 다단 코니컬 구조를 이용하여 광대역 임피던스 정합을 이루어 200 MHz ~ 1300 MHz 범위에서 반사손실이 -3 dB 이하이며, 안테나의 이득이 -3 dBi 이상을 보인다. 또한 $40^\circ < \theta < 140^\circ$ 에서 안테나 이득이 -10 dBi 보다 높은 특성을 보이며 저주파 대역에서는 같은 길이의 다이폴 안테나에 비해 35 dB 이상의 우수한 전송손실 특성을 가진다.

참고문헌

- [1] 임중수, 정철구, 채규수, “원형 배열 복합 방식을 이용한 초고주파 방향 탐지 기술,” 한국전자과학회 논문지, 16(6), pp. 549-555, 2005년 6월.
- [2] http://www.rsd.de/www/dev_center.nsf/html/ddf195misc, “ADD195 antenna.”
- [3] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, pp. 164-173, 1998.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, pp. 442-447, 1997.
- [5] J. Horn, N. Nafpliotis and D. E. Goldberg, “A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization,” in *Proc. First IEEE Conf. Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 82-87, June 1994.
- [6] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, “FEKO Suite 5.2.”

지상으로 1 m 떨어진 곳에 각각 안테나와 전원을 위치시킨 후, 안테나가 수신하는 전력을 계산하였다. 그림 5는 60 MHz 주파수 대역 신호의 전송손실을 나타낸 것으로 실선은 표본 안테나의 전송손실을 나타내며, 점선은 표본 안테나와 동일한 크기를 가지는 다이폴 안테나의 전송손실을 나타낸다. 제안된 안테나가 같은 크기의 다이폴 안테나에 비해 약 20 dB 높은 전송손실 특성을 나타낸다.

그림 6은 주파수에 따른 안테나의 빔폭을 나타낸다. 빔폭은 안테나 이득이 방향 탐지 안테나 설계 기준인 -10 dBi 이상인 범위를 나타내며, 200 MHz에서 1300 MHz 사이에서 100° 이상의 넓은 빔폭을 갖는다. 따라서 제안된 안테나는 미지의 전파원의 높이가 변하더라도 $40^\circ < \theta < 140^\circ$ 범위에서 충분히 전파 신호를 수신할 수 있다.