

다이플렉서 정합구조를 이용한 전술차량형 광대역 안테나 설계

Designing a Wideband Antenna Using Diplexer Matching Network for Tactical Vehicles

조지행 · 동문호

Ji-Haeng Cho · Moon-Ho Dong

요약

SDR(software defined radio)기술을 활용한 전술통신 무전기는 음성뿐만 아니라, 고속 데이터 통신이 가능한 수준으로 발전하였으며, 다대역 및 다채널 특성을 갖고 있어 다수의 무전기 운용에서 탈피가 가능하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 모노폴 안테나에 다이플렉서 정합구조를 이용하여 전술차량형 광대역 안테나를 구현하였다. 제안한 안테나는 두 개(상단, 하단)의 방사체와 다이플렉서 구조를 이용한 정합단, 하단 방사체에 삽입되어 있는 3개의 L-C회로망, 스프링 마운트로 구성되어 있다. 다이플렉서 정합단은 V/UHF 대역에서 광대역 정합특성을 갖도록 설계하였으며, 안테나 하단 방사체에 삽입되어 있는 L-C 회로망은 안테나의 운용주파수에 따라 안테나의 전기적 길이를 조절할 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서 제안한 안테나는 EM 툴을 활용하여 설계하였으며, 제작하여 open site 환경에서 측정을 수행하였다. 측정 결과, V/UHF 대역에서 높은 이득 특성과 중심주파수 대비 190 % 이상의 대역폭에서 VSWR 3.5 : 1 이하의 광대역 특성을 갖는 것을 확인하였다.

Abstract

Tactical communication radio systems that employ software defined radios(SDRs) have been developed for achieving high-speed data transmissions and voice communications. Such systems possess multiband and multichannel features, and can potentially replace several existing radio systems. This paper proposes a design for wideband antennas by incorporating a diplexer matching network for tactical vehicles. The proposed antenna design includes two radiators(upper and lower) and a diplexer matching network connected to the end of the feed line such that the LC matching networks are interleaved in the lower radiator and spring mount. By employing the diplexer matching network, the designed antenna can perform wideband impedance matching for the fifty ohm feed line. The designed LC networks aid in varying the effective electrical length of the antenna according to the operation frequency. The primary objective behind adjusting the electrical length is to vary the current distribution above and below the LC networks. The proposed antenna was fabricated and tested in an open site. The obtained evaluation results show that the designed antenna can achieve a relative bandwidth of 190% with a VSWR value of 3.5:1, and can attain good antenna gains over VHF and UHF bands.

Key words: A Wideband Antenna, The Diplexer Matching Network, L-C Network, SDR

I. 서론

정보통신 기술이 급속하게 발전함에 따라 전술통신 무

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received April 23, 2018 ; Revised May 29, 2018 ; Accepted September 2, 2018. (ID No. 20180423-053)

· Corresponding Author: Ji-Haeng Cho (e-mail: jeniens@naver.com)

전기도 SDR(software defined radio) 기술을 적용하여 다대역 다기능 무전기로 설계함으로써 다양한 임무 목적에 따라 다수의 웨이브폼을 탑재하여 운용할 수 있으며, 음성뿐만 아니라 고속 데이터 통신이 가능하게 되었다^[1]. 이러한 추세에 따라 통신장비의 효율성을 극대화하고, 다대역 특성을 지원하기 위하여 광대역 특성 및 양호한 이득과 전방향성 방사특성을 갖는 안테나 개발이 필요하다.

통상적인 전술통신 무전기에 사용되는 안테나들은 외부의 충격에 강하고, 전방향성의 방사패턴을 위해 모노폴 또는 다이폴 구조를 갖지만, 운용 가능한 대역폭이 중심 주파수의 5~10% 정도로 좁은 대역폭 특성을 갖는다^{[2][3]}. 왜냐하면 일반적인 모노폴 및 다이폴 안테나는 저주파수 대역에서 낮은 radiation resistance와 상대적으로 높은 capacitive reactance의 임피던스 특성을 갖기 때문이다. 따라서, 광대역 특성을 구현하기 위하여 일반적으로 L-C 정합 회로^[4] 또는 페라이트코어^[5] 발룬을 이용하지만 L-C 정합 회로는 정합단의 단수 증가가 불가피하며, 페라이트코어는 고주파수 영역에서 높은 삽입손실이 발생한다^{[6][7]}. 현재 군 통신망에서 사용되는 전술통신용 안테나는 VHF와 UHF 대역 안테나를 각각 사용하고 있으며, SDR을 활용한 전술통신 무전기의 출현으로 V/UHF 대역을 운용할 수 있는 광대역 안테나가 필요하다. 모노폴 또는 다이폴 안테나를 이용하여 광대역 특성을 구현하는 또 다른 방안으로는 Double-Whip 안테나를 예로 들 수 있다. Double-Whip 안테나는 두 개의 독립된 방사체와 전송선으로 구성되며, VHF대역 안테나와 UHF 대역 안테나로 구분되어 광대역 운용이 가능하다^[8]. 하지만 Double-Whip 안테나를 차량에 장착하여 운용하는 경우, 안테나를 설치하기 위한 추가적인 공간이 필요하며, 안테나 상호간의 간섭(cosite interference)과 설치 공간의 제약이 발생한다. 한편, 안테나의 다양한 광대역화 기법을 이용하여 대역폭을 개선하더라도 운용 주파수의 파장이 안테나의 물리적인 길이보다 길어지면 안테나의 이득 및 방사패턴에 많은 왜곡이 발생하게 되며, 이러한 이득 및 방사패턴의 왜곡은 통신 성능을 저하시키는 또 다른 요인이 된다.

본 논문에서는 앞에서 제시한 단점들을 개선하고 전방향 특성 및 광대역 운용 특성을 구현하기 위한 전술차량형 광대역 안테나를 설계하였다. 전술차량형 광대역 안테

나는 다이플렉서 구조를 이용하여 안테나의 정합단을 설계하고, 안테나 하단 방사체 내부에 3개의 L-C회로망을 삽입하여 광대역 특성 및 안테나의 전기적 길이를 운용주파수에 따라 조절되도록 설계하였다. 본 논문에서 설계한 안테나는 EM 시뮬레이션 툴을 이용하여 설계하고, 제작과 open site에서 측정을 통해 안테나 성능을 검증하였다.

II. 안테나의 설계 및 구조

본 논문에서 설계한 전술차량형 광대역 안테나는 차량형 다대역 다기능 무전기 또는 VHF 및 UHF 대역의 전술차량형 통신장비에 장착하여 운용되는 안테나로서 상단 및 하단 방사체, 스프링 지지대로 구성되어 있으며, 스프링 지지대는 기동 시 안테나를 구부리고, 장애물과 충돌 시 안테나가 파손되지 않도록 보호하는 역할을 한다. 본 논문에서 설계한 안테나는 VHF와 UHF 대역에서 동작하는 안테나로 VHF의 저주파수 대역에서 안테나 이득을 확보하기 위해 중심주파수의 파장에 비하여 안테나 길이가 긴 것을 알 수 있다. 전술통신에 운용되는 VHF 대역 중 30 MHz 대역의 인공 잡음(man made noise)은 고주파수 대역보다 높아 전술통신의 성능을 떨어뜨리므로 낮은 주파수 대역에서의 안테나 이득 확보가 중요한 요소가 된다.

그림 1에서는 모노폴 안테나의 협대역 특성을 극복하

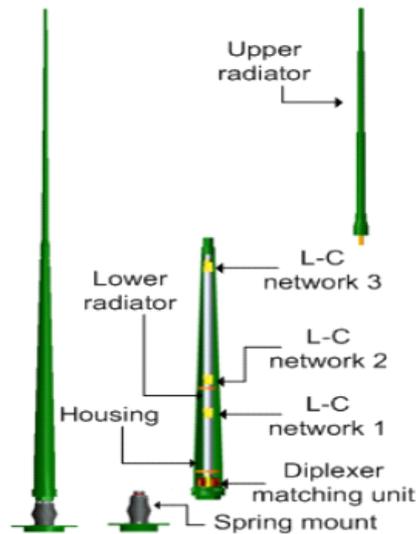


그림 1. 안테나 구조

Fig. 1. Geometry of the designed antenna.

기 위해 본 논문에서 제안하는 다이플렉서 정합구조를 이용한 광대역 안테나 구조를 보여준다.

안테나의 길이는 $2.43 \lambda_0$ 로 약 2.7 m이며, ' λ_0 '는 운용 주파수 대역의 중심주파수에 대한 파장을 나타낸다. 다이플렉서 구조를 활용한 안테나 정합단은 광대역에서 저손실 선로 특성을 갖기 위해 저대역 신호를 통과시키는 저대역 통과필터(low pass filter)와 고대역 신호를 통과시키는 고대역 통과필터(high pass filter)의 각 전송선로에 대해 정합특성을 양호하게 하고 이를 다시 하나의 공통포트로 결합되는 구조로 설계하였으며 안테나의 정합특성 및 광대역 특성을 구현하기 위해 입력과 출력단의 임피던스를 선정하였다. 또한, 안테나 하단 방사체 사이에 3개의 L-C 회로망을 삽입하여 각 L-C 회로망이 운용주파수에 따라 삽입 손실이 변화하여 안테나의 전기적 길이가 조절되는 효과를 갖도록 설계하였다. 그림 2는 다이플렉서 구조를 활용한 안테나 정합단과 하단 방사체에 삽입되어 있는 L-C 회로망에 대한 등가회로를 보여주며, 마이크로스트립 구조에 집중 소자를 이용하여 설계하였고, 표 1은 안테나 정합단과 L-C 회로망에 대한 M&S 소자 값을 나타낸다. 한편, 다이플렉서 정합구조의 저대역 통과필터는 VHF 대역의 임피던스 특성을 위한 전송선로이며,

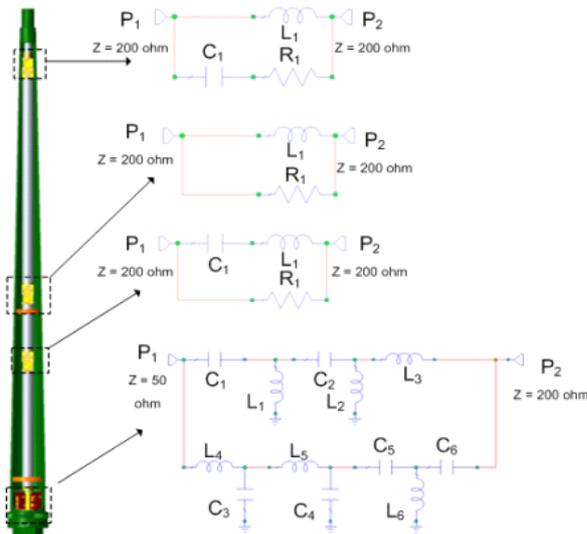


그림 2. 안테나 정합단과 L-C 회로망의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of antenna matching network and L-C network.

표 1. 안테나 정합단과 L-C 회로망 소자 값
Table 1. Design parameter of antenna matching network and L-C network.

Name	Parameter	Component value
Diplexer matching unit	C ₁	173 pF
	C ₂	43 pF
	C ₃	5.8 pF
	C ₄	3.7 pF
	C ₅	4.8 pF
	C ₆	5.83 pF
	L ₁	283 nH
	L ₂	565 nH
	L ₃	320 nH
	L ₄	25 nH
	L ₅	52 nH
L-C network 1	C ₁	52 pF
	L ₁	1,000 nH
	R ₁	209 ohm
L-C network 2	L ₁	123.3 nH
	R ₁	68 ohm
L-C network 3	C ₁	6.26 pF
	L ₁	51.2 nH
	R ₁	26.6 ohm

고대역 통과필터는 UHF 대역의 임피던스 특성을 위한 전송선로이다.

III. 안테나의 M&S 결과

그림 3은 안테나 정합단에서의 주파수 대역별 전력밀도에 대한 M&S 결과를 보여준다. UHF 대역 신호 인가 시에는 고대역 통과필터의 전송선로에 전력밀도가 집중되며, VHF 대역 신호 인가 시에는 저대역 통과필터의 전송선로에 전력밀도가 집중되는 것을 알 수 있다.

그림 4는 안테나 정합단과 안테나 하단 방사체에 삽입되어 있는 L-C 회로망의 S-parameter에 대한 M&S 결과를 보여준다. ' f '는 운용 주파수를, ' f_0 '는 안테나의 중심주파수를 나타낸다. 우선, 하단 방사체의 상단 부분에 위치한

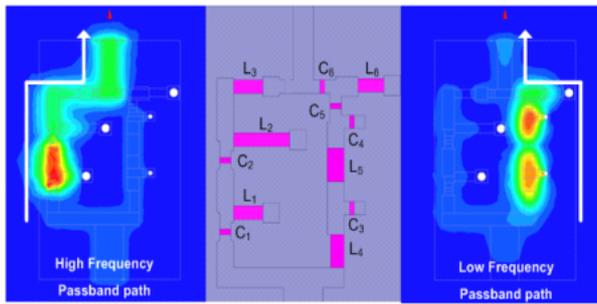


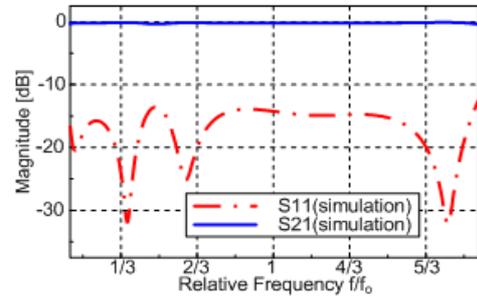
그림 3. 안테나 정합단의 입력전력밀도
Fig. 3. Input power density of matching network.

L-C 회로망 3은 VHF 고주파수의 $\lambda/4$ 길이에 삽입하여 VHF의 중간주파수 대역부터 삽입 손실이 증가하는 것을 알 수 있다. 다음으로 L-C 회로망 2는 군 통신망 VHF와 UHF 중간대역의 $\lambda/4$ 길이에 삽입하였으며, L-C 회로망 1은 UHF 대역 $\lambda/4$ 길이에 삽입하였다. 그림 4(a)는 안테나의 다이플렉서 정합단에 대한 S-parameter M&S 결과를 보여주며, VHF와 UHF 전 대역에서 반사손실이 12 dB 이하이며, 삽입 손실이 1 dB 이하로 전 대역에서 정합이 잘 되어 있음을 알 수 있다. 또한 안테나 하단 방사체에 삽입되어 있는 3개의 L-C 회로망은 운용주파수 대역에서의 안테나 정합 및 방사특성의 영향을 고려하여 설계하였다.

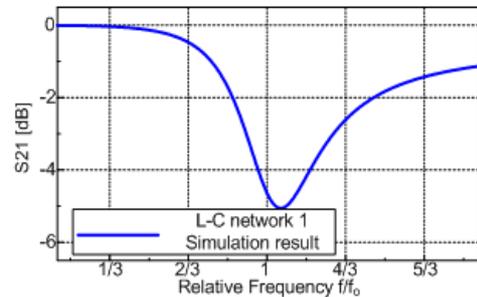
그림 4(b)~(d)에 제시된 L-C 회로망의 삽입손실 M&S 결과를 보면 VHF 대역에서는 3개의 L-C 회로망의 삽입손실이 낮아 대부분의 입력전력이 안테나 상단방사체까지 전달될 수 있으며, 주파수가 높은 UHF 대역에서는 3개 L-C 회로망의 삽입손실이 증가하여 상단 방사체에 전달되는 전력이 낮아지는 것을 알 수 있다. 따라서 안테나의 물리적인 길이는 고정되어 있지만, 운용 주파수에 따라 안테나의 전기적 길이를 가변시키는 역할을 수행할 수 있다.

IV. 안테나의 제작 및 측정 결과

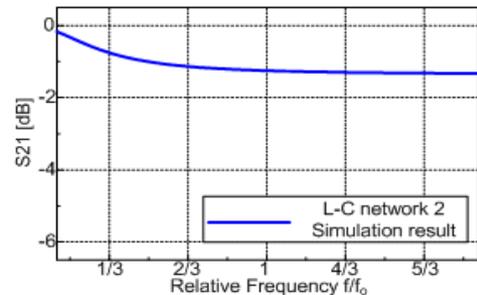
그림 5는 설계한 안테나의 정재파비(VSWR) 측정 환경을 보여준다. 모노폴 안테나는 그라운드 크기에 따라 안테나의 S-parameter 및 방사패턴, 이득 특성이 변하게 된다. 본 논문에서 설계한 안테나는 전술차량에 탑재되어 운용되므로 운용 환경을 고려하여 안테나의 그라운드는 가로, 세로 3 m×3 m로 설계하여 M&S 및 측정을 수행하였다.



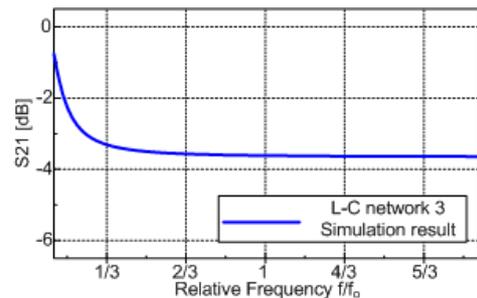
(a) S_{11}/S_{21} of diplexer matching unit



(b) S_{21} of L-C network 1



(c) S_{21} of L-C network 2



(d) S_{21} of L-C network 3

그림 4. 안테나 정합단과 L-C 회로망의 S-parameter M&S 결과

Fig. 4. M&S results of matching network and L-C networks.

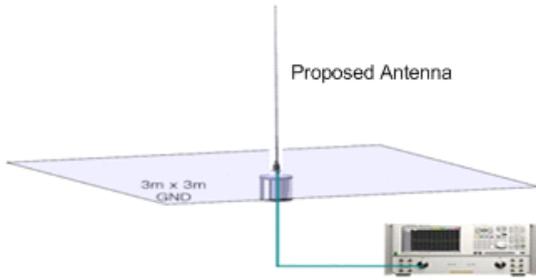


그림 5. 안테나 그라운드 환경
Fig. 5. Antenna ground for S_{11} measurement.

그림 6은 제작된 안테나의 정재파비(VSWR)에 대한 M&S 및 측정결과를 보여준다. VHF와 UHF 운용주파수 대역에서 정재파비는 3.5 : 1 이하를 만족하는 것을 알 수 있으며, 안테나의 대역폭은 중심주파수 대비 약 190 % 이상의 광대역 특성을 만족함을 알 수 있다. 하지만 제작에 사용된 안테나 정합단 및 L-C 회로망의 R/L/C 소자 값과 M&S에 사용된 소자 값들이 차이로 VSWR에 대한 M&S와 측정 값의 차이가 발생함을 알 수 있다.

그림 7은 제작된 안테나의 이득과 방사패턴 측정을 위한 open site 환경을 보여준다. 일반적으로 안테나의 이득 및 방사패턴을 측정하기 위해서는 무반사실(anechoic chamber)에서 운용주파수 파장 대비 8~10배의 LOS 환경이 필요하지만, VHF 운용주파수 대역에서 무반사실 환경을 구성하기 어렵기 때문에 본 논문에서 설계한 안테나는 이

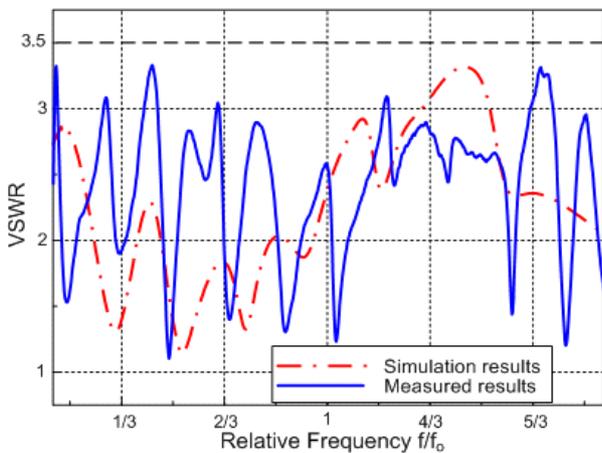


그림 6. 안테나의 정재파비(VSWR) 결과
Fig. 6. M&S and measured VSWR results.

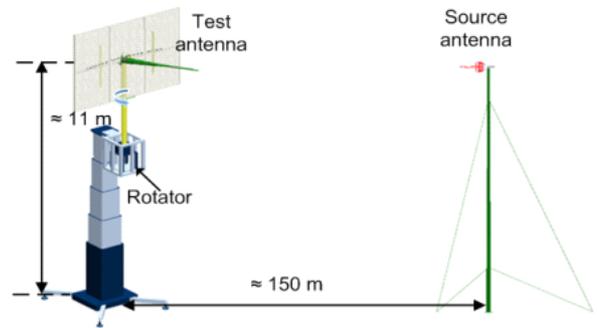


그림 7. 안테나의 이득 및 방사패턴 측정 환경
Fig. 7. Open site setup for gain and radiation pattern measurement.

격거리 약 150 m, 지면 반사파의 효과를 최대한 없애기 위해 높이 11 m의 야외환경을 구축하여 측정하였다.

안테나의 이득 및 방사패턴은 reference 안테나를 이용해 교정을 한 후 본 논문에서 설계한 안테나를 360도 회전시켜 수직과 수평방향에 대한 안테나 이득 및 방사패턴을 측정하였다.

그림 8은 제작된 안테나의 이득에 대한 측정 결과를 보여준다.

본 논문에서 설계한 안테나는 지상 전술환경에서 운용하는 특성을 고려하여 수직방향(E-plane 90°) 기준 $\pm 20^\circ$ 범위 내 peak 이득을 취하였다. 측정 결과를 보면 VHF 대역에서 -5 dBi 이상, UHF 대역에서 -3 dBi 이상의 안테나

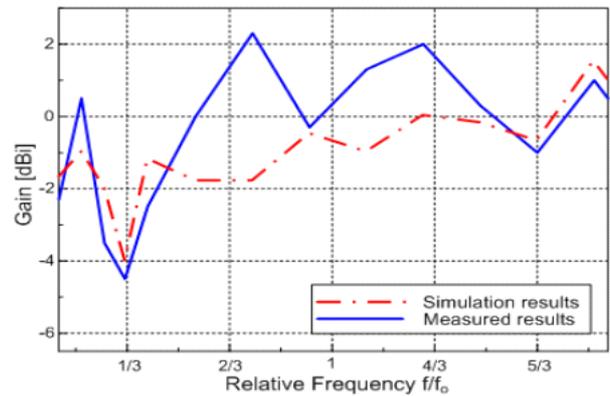


그림 8. 안테나의 이득 결과
Fig. 8. M&S and measured gain results.

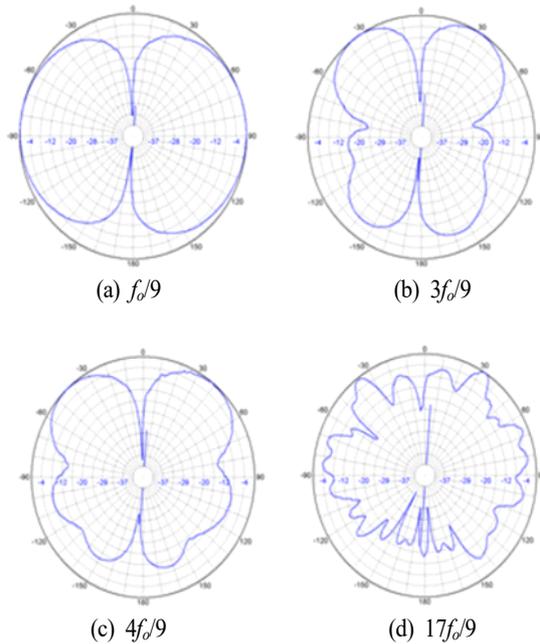


그림 9. 안테나의 방사패턴 측정 결과
Fig. 9. Measured results of proposed antenna radiation pattern.

이득 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 한편, 안테나 운용 주파수 대역의 $f_0/3$ 지점에서는 운용주파수 대비 안테나의 전기적 길이가 길어져 안테나 이득이 감소하나, 안테나의 정합특성은 양호하다.

그림 9는 제작된 안테나의 수직방향(E-plane)의 최대 이득을 기준으로 normalized된 방사패턴 측정 결과를 보여준다. 방사패턴 측정결과, 전방향성의 방사패턴 특성을 갖는 것을 알 수 있으며, 운용주파수 전 대역에서 양호한 이득 특성과 전방향성의 방사패턴 특성을 나타내어 전술 운용환경에서 안정적인 통신 운용성을 제공할 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 다이플렉서 정합구조를 이용한 전술차량형 광대역 안테나를 설계하였다. 본 논문에서 설계한 안테나는 VHF와 UHF 대역에서 운용이 가능하도록 다이플렉서 구조를 이용한 안테나 정합단과 안테나 하단 방사체 내부에 3개의 L-C 회로망을 삽입하여 전 대역에서 정재파비(VSWR)가 3.5 : 1 이하가 되도록 정합하여 중심

주파수 대비 약 190 % 이상의 광대역 특성을 구현하였다. 설계된 안테나는 EM 시뮬레이션 툴을 통해 모델링하고, 시제품 제작과 open site 환경에서 측정을 통해 성능을 검증하였다.

References

- [1] L. Goeller, D. Tate, "A technical review of software defined radios: Vision, reality, and current status," in *2014 IEEE Military Communications Conference*, Baltimore, MD, 2014, pp. 1466-1470.
- [2] P. Sivalingam, S. Ooi, "Electronically tunable monopole antenna," in *2008 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, San Diego, CA, 2008, pp. 1-4.
- [3] K. Yegin, A. Q. Martin, "Very broadband loaded monopole antennas," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1997 Digest*, Montreal, Quebec, 1997, vol. 1, pp. 232-235.
- [4] Y. Li, Z. Zhang, W. Chen, Z. Feng, and M. F. Iskander, "A switchable matching circuit for compact wideband antenna designs," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 11, pp. 3450-3457, Nov. 2010.
- [5] T. R. O'Mera, R. L. Sydnor, "A very-wide-band balun transformer for VHF and UHF," in *Proceedings of the IRE*, Nov. 1958, vol. 46, no. 11, pp. 1848-1860.
- [6] H. Mosallaei, K. Sarabandi, "Magneto-dielectrics in electromagnetics: Concept and application," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 6, pp. 1558-1567, Jun. 2004.
- [7] B. Yu, M. H. Dong, J. H. Cho, and S. W. Han, "A wide band antenna design using synthesis of independent dual resonance modes for manpack SDR(Software Defined Radio)," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 17, no. 1, pp. 57-63, 2014.
- [8] X. Ding, B. Z. Wang, G. D. Ge, and D. Wang, "A broadband VHF/UHF double-whip antenna," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 2, pp. 719-724, 2012.

조 지 행 (국방과학연구소/연구원)



2010년 8월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
2012년 8월: 전북대학교 전자공학과 (공학석사)
2012년 10월~현재: 국방과학연구소 연구원
[주 관심분야] 안테나 설계, RF 시스템 설계

동 문 호 (국방과학연구소/수석연구원)



1980년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
1982년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
1982년 9월~현재: 국방과학연구소 수석연구원
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, RF 통신시스템 설계