

지표 및 지하 탐사를 위한 저항성 V 다이폴의 디자인과 성능에 대한 연구

김강욱¹⁾, Waymond R. Scott, Jr.²⁾

¹⁾광주과학기술원 기전공학과, mkkim@gist.ac.kr

²⁾Georgia Institute of Technology, School of Electrical and Computer Engineering

Design and Performance Evaluation of the Resistive V-Dipole for Surface and Subsurface Probing

Kangwook Kim¹⁾, Waymond R. Scott, Jr.²⁾

¹⁾Gwangju Institute of Science and Technology, Dept. Mechatronics

²⁾Georgia Institute of Technology, School of Electrical and Computer Engineering

요약: 저항성 V 다이폴(RVD)은 V 안테나의 각 암(arm)에 연속적인 Wu-King 저항 프로파일을 실은 것이다. RVD는 매우 짧은 펄스를 한 방향으로 복사할 수 있고, 복사된 펄스는 입력 펄스의 미분 등으로 간단하게 연관되는 등 지표 및 지하 탐사를 위해 매우 좋은 특성을 가지고 있다. 또한 레이더 단면적이 적어 지표와 안테나 사이의 다중 반사를 줄일 수 있다. 단점으로는 높은 입력 저항과 제작의 어려움을 들 수 있다. 본 연구에서는 저주파에서의 성능과 제작상의 문제를 개선하면서도 저항성 V 다이폴의 특성을 유지하기 위한 방법을 제시한다. 제작된 V 다이폴을 이용하여 간단한 바이스태틱 레이더를 구성하고 지하 구조물에 대하여 스캔하여 이미지로 나타내었다.

주요어: 다이폴, Wu-King, 레이더

Abstract: The resistive V dipole (RVD) is a V antenna with both arms loaded with the continuous Wu-King resistive profile. The RVD has many advantages for surface and subsurface probing, such as the ability to radiate a short pulse in a desired direction. The radiated pulse is simply related to the input pulse, e.g., derivative. In addition, it mostly eliminates the multiple reflections between the surface of the ground and the antenna because of its low radar cross section. The drawbacks of the RVD include the high input impedance and the difficulty in implementation. This paper presents ways to improve the accuracy and easiness of the implementation and to improve the low-frequency performance while maintaining the characteristics of the V antenna that are good for probing applications. The implemented antenna is used to form a bistatic radar to scan targets underground, and the result is imaged.

Keywords: dipole, Wu-King, radar

1. 서론

저항성 V 다이폴은 두 개의 직선형 암을 V 형으로 배치하여 그 접점에 입력신호를 집어넣음으로써 구동된다. 이 때 각 암엔 연속적인 Wu-King 저항 프로파일이 실려 있다. 저항성 V 다이폴은

지표 및 지하 탐사에 적합한 안테나이다. 저항성 V 다이폴은 매우 짧은 펄스를 한 방향으로 보낼 수 있고, 복사된 펄스는 입력 신호의 미분 등으로 단순하게 연관된다. 또한, 구조가 어레이를 구성하기에 적합하고, 무게가 가벼워 차량용뿐 아니라 휴대용 레이더에 응용하기에도 좋다.

그러나 저항성 V 다이폴은 몇 가지 개선해야 할 점이 있다. 한가지는, 주파수가 내려감에 따라 입력저항이 커져서 저주파에서 정재파비(VSWR)가 매우 높다는 점이다. 이것은 저주파에서의 응용을 제한한다. 다른 점으로는 정확한 Wu-King 저항 프로파일을 가지면서 구조적으로 안정된 저항성 V 다이폴을 구현하기가 어렵다는 것이다.

본 연구에서는 지표 및 지하 탐사에 적합한 특성들을 유지하면서도 저주파에서의 VSWR을 개선하고, 구조적으로 강한 저항성 V 다이폴을 구현하는 방법을 제안한다.

2. 안테나 디자인

저항성 V 다이폴의 각 암(arm)엔 다음 식으로 표현되는 연속적인 Wu-King 저항 프로파일이 실려 있다.

$$R(r') = \frac{R_0}{1 - (r'/h)} \tag{1}$$

여기서 R 은 단위길이당 저항, R_0 은 구동점에서의 단위길이당 저항, r' 은 구동점으로부터 암을 따라 측정되는 거리, h 는 암의 길이이다. 따라서 단위길이 당 저항은 구동점에서부터 암을 따라 R_0 에서부터 무한대로 늘어난다.

저항성 V 다이폴은 적절히 디자인될 경우, 안테나 내부에서 전류의 반사가 무시할 수준이다. 그러나 피드라인에서 입사되는 전류는 안테나의 구동점에서 심하게 반사된다. 그 이유로는 구조의 불연속을 들 수 있다. 피드라인은 보통 평행한 완전도체이지만 안테나는 V자로 벌어지고 저항성분을 가지고 있다. 이 불연속을 완화시키기 위해서는 안테나 모양이 평행한 구조에서 서서히 V자로 벌어져야 하며, 구동점에서의 저항 성분이 낮아 져야 한다. 안테나 모양을 변화시키기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 안테나 암의 모양을 제안한다.

$$, \tag{2}$$

여기서 y 는 안테나 축에서부터의 거리, z 는 안테나 구동점에서부터 안테나 축을 따라 측정되는 거리, $L=17.15cm$ 은 안테나의 축방향 길이이고, $z_0=3.43cm$, $a=0.793mm$, $b=67.34$, $c_0=0.007976$, $c_1=0.5371$, $c_2=-1.302$ 이다.

구동점에서의 저항을 낮추기 위해서는 R_0 을 낮추어야 하나, Wu-King 프로파일을 수정하지 않은 상태에서의 R_0 을 낮출 경우, 안테나 내부에서의 반사가 커질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Wu-King 프로파일을 다음과 같이 수정하였다.

$$R(r') = \left\{ \frac{1 - (r'/h)}{R_0} + \frac{[1 - (r'/h)]^2}{R_m} \right\} \tag{3}$$

여기서 $R_m=R_0$ 을 사용하였다. 이 방정식은 $R_m \rightarrow \infty$ 일 경우 모든 r' 에서 수식 (1)로 수렴하고, R_m 이 유한한 경우 $r' \rightarrow h$ 에 대하여 수식 (1)로 수렴한다. 수식 (3)의 프로파일을 사용한 경우 Wu-King 프로파일의 특성, 즉, 무시할 만한 내부 반사 특성은 유지되면서 구동점에서의 저항은 반으로 줄어든다. 따라서 저주파에서의 VSWR도 개선되는 효과가 있다.

3. 안테나 구현

Fig. 1은 구현된 안테나를 보여준다. 안테나 암은 수식 (2)에 따라 PCB 기판에 프린트하였다. PCB 기판으로는, 기판이 안테나 특성에 미치는 영향을 최소화하기 위하여, 유전율이 약 3.4이고 두께가 약 $51\mu m$ 인 Kapton 기판을 사용하였다. 사용된 Kapton 기판은 두께가 얇아 그 자체로는 구조적인 안정성이 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 Kapton 기판을 두께가 약 $0.8mm$ 이면서 구조적인 안정성을 가진 FR-4 기판에 붙여서 사용하였다. 이때 FR-4 기판에서 안테나 암과 가까운

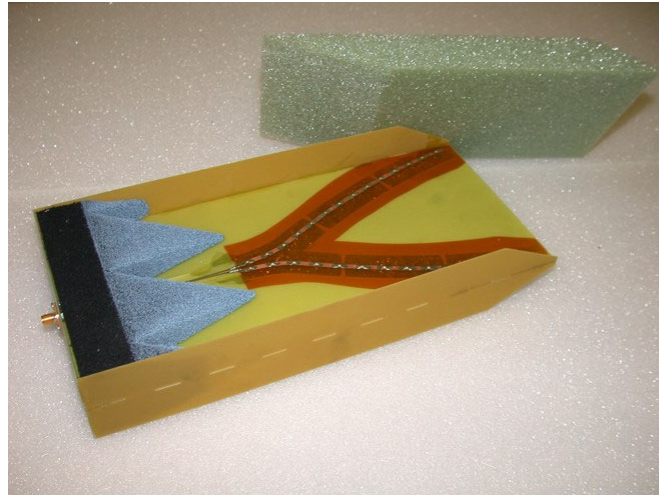


Fig. 1. 구현된 저항성 V 다이폴 안테나

부분은 잘라내어 RF-4 기판이 안테나에 미치는 영향을 최소화하였다. 프린트된 안테나의 각 암에는 14개의 틈이 있다. 각 틈은 칩 저항으로 연결하였으며, 칩 저항의 저항값은 수식 (3)을 각 틈간으로 적분하여 칩 저항의 위치에서 저항값이 같아지도록 하였다. 안테나는 구조상 balanced 피드라인에 의해 구동되어야 한다. 따라서 구현된 안테나에서는 double-Y 밸런을 이용하여 unbalanced 구조의 동축케이블을 balanced 구조의 coplanar waveguide로 변환시켰다. 구현된 안테나는 double-Y 밸런의 영향으로 성능이 약간 감소하나 복사되는 펄스의 모양에는 거의 영향이 없다. 짧은 펄스를 위한 밸런은 앞으로 더욱 연구되어야 할 분야이다.

구현된 안테나의 FR-4 기판은 안테나 자체보다 레이더 단면적이 더 크다. 따라서 본 연구에서는 마이크로파 흡수체를 안테나 구조체 안에 집어넣어 레이더 단면적을 줄였다. 또한 안테나가 필드에서 사용될 경우 풀이나 나무 등에 직접 닿아 성능이 떨어지는 것을 방지하기 위해 스티로폼을 안테나 양면에 부착하였다. 스티로폼은 유전율이 공기와 매우 비슷하여 안테나에 미치는 영향이 무시할 수준이다.

4. 실험

안테나의 지표 및 지하 탐사를 위한 성능을 검사하기 위하여 모래상자에 대상물을 묻고 스캔하였다. 대상물은 5.1cm 크기의 금속구 한 개, 22.2cm 크기의 대전차 지뢰 VS-1.6 한 개, 그리고 9cm 크기의 대인 지뢰 TS-50 세 개이다. 금속구와 대전차 지뢰는 모두 11.5cm 깊이에 위치하며, 대인 지뢰 중 두 개는 1.5cm 깊이에, 다른 하나는 2cm 깊이에 위치한다.

Fig. 2에 보이는 스캔된 대상물의 이미지에서 포물선 모양의 반응을 보이는 것이 인위적으로 묻은 대상물이다. 포물선 모양의 꼭지점을 찾음으로써 대상물의 위치를 정확히 찾을 수 있다. Fig. 2에서는 지표탐지 레이더에서 흔히 볼 수 있는 지표와 안테나 사이의 다중 반사도 보기 힘들며 그 이유는 안테나의 레이더 단면적이 무시할 수준이기 때문이다. 이미지에서 보이는 가로 줄은 모래 상자 내부의 수분 함량 변화에 의한 것과 3차원 위치조정기에서 반사된 신호들이다.

5. 결론

지표 및 지하 탐사를 위하여 저항성 V 다이폴의 특성을 개선하였다. 개선된 저항성 V 다이폴을 이용하여 지하에 위치한 대상물을 스캔하였다. 스캔된 이미지는 대상물들의 위치를 정확히 나타내며 신호처리 기술과 동반될 경우 대상물의 종류까지도 알 수 있을 것으로 예상된다. 앞으로의 연구는 광대역 펄스를 위한 밸런의 개발과 후방 복사의 차폐에 집중되어야 할 것으로 생각된다.

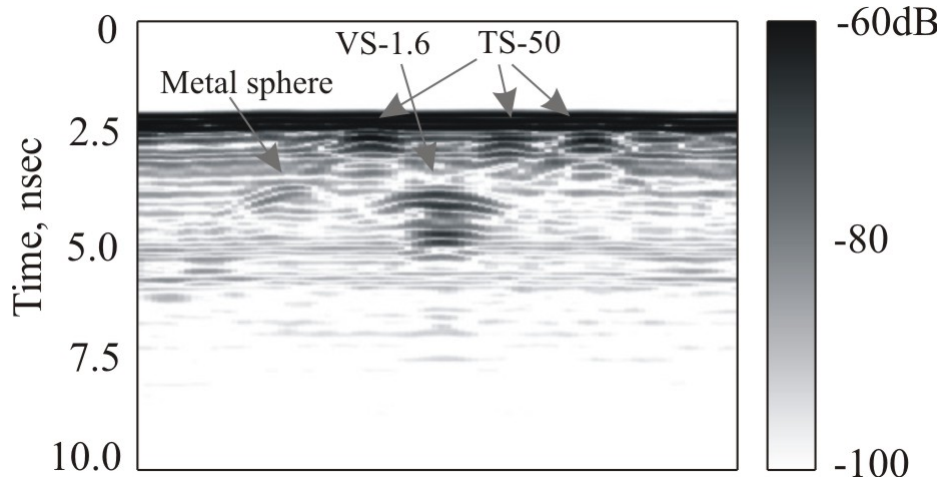


Fig. 2. 금속구, 대전차 지뢰 VS-1.6, 그리고 세 개의 대인 지뢰 TS-50를 스캔한 결과

참고문헌

- Kim, Kangwook and Scott, W. R., "Design and realization of a discretely loaded resistive vee dipole for ground-penetrating radars," *Radio Science*, vol. 39, no. 4, July 2004.
- Kim, Kangwook and Scott, W. R., "A resistive linear antenna for ground-penetrating radars," *Proc. SPIE*, vol. 5415, pp. 359-370, Apr. 2004.
- Kim, Kangwook and Scott, W. R., "Design of a resistively loaded vee dipole for ultrawide-band ground-penetrating radar applications," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 53, no. 8, pp. 2525-2531, Aug. 2005
- Scott, W. R., Norville, P. D., Kim, Kangwook, McClellan, J. H., and Larson, G. D., "Experimental investigation of techniques for the detection of near surface targets in cluttered media," in *Institute for Mathematics and Its Applications (IMA) "Hot Topics" Workshop: Adaptive Sensing and Multimode Data Inversion*, Minneapolis, MN, June 27-30, 2004.
- Wu, T. T. and King, R. W. P., "The cylindrical antenna with nonreflecting resistive loading," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 13, pp. 369-373, May 1965.