

Ultra Wideband GPR용 광대역 다이폴 안테나

조성배*, 박영진*, 이재조*, 변우봉*, 김관호*, 권순원**
*한국전기연구원, **경희대학교

Ultra Wideband Dipole Antenna for GPR

Sung-Bae Cho*, Young-Jin Park*, Jae-Jo Lee*, Woo-Bong Byun*, Kwan-Ho Kim*, Soon-Won Kwon**
*Korea Electrotechnology Research Institute(KERI), **Kyunghee University

Abstract - 본 논문은 UWB(Ultra WideBand) 기술에 기반한 지반탐사레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)용으로 개발된 광대역 안테나의 특성에 관해 나타낸다. UWB 기술의 핵심은 주기가 수 나노초 이하의 짧은 임펄스를 이용하는 것으로 지반탐사레이더는 이 임펄스 기술을 이용함으로써 탐사 능력과 해상도를 높일 수 있다. 임펄스 전송을 위해 안테나는 넓은 대역폭, 크기, 무게, 가격 등 지반탐사레이더에 적용될 수 있는 조건을 만족해야 함으로 안테나의 설계는 이에 부합할 수 있는 다이폴 안테나를 선택하여 개발하였다. 개발된 안테나의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션과 실험을 실시하였고 그 결과 설계된 안테나의 대역폭이 0.5 GHz에서 2.7 GHz로 2.2 GHz(138%)의 사용대역을 나타냄으로서 UWB 기술에 기반한 지반탐사레이더용으로 유용함을 확인하였다.

1. 서 론

지반탐사레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)는 건축물의 안전진단, 고고학 탐사 등과 같은 비파괴 검사(NDT)와 가스파이프 검출, 통신선의 위치파악 등 지하 매설물의 위치와 상태를 파악하는데 많이 응용되어 지고 있다. 일반적으로 지반탐사레이더는 길이가 아주 짧은 펄스를 사용하며 이를 통해 넓은 주파수 대역폭과 그에 따른 고해상도의 탐색능력을 보일 수 있다.[1]

이를 위해 최근 홈네트워크와 같은 단거리 통신이나 고해상도 레이더 등 많은 응용분야로 주목받고 있는 Ultra Wideband(UWB)의 임펄스 기술을 이용한 방법이 많이 연구되어지고 있다.[2]

지하에 매설된 다양한 유전체나 금속성 물질들을 고해상도로 탐지하기 위해서는 그 기술이 주파수 영역이나 시간영역을 사용함에 상관없이 더 넓은 주파수 대역폭을 요구한다. UWB에 사용되는 임펄스는 펄스의 지속시간이 수나노초 이하의 짧은 펄스로 이를 이용함으로써 넓은 대역폭을 만족하고 따라서 탐지결과와 고해상도를 보장할 수 있다. 이때 고해상도를 위한 필수적인 장비로서 광대역의 임펄스 전송을 위한 임펄스 대역폭에 맞는 광대역 안테나가 있다.

광대역 안테나의 종류는 여러 가지가 있으나 지반탐사레이더에 적합하기 위해서는 가볍고, 작고, 저가격 등의 조건을 만족해야한다. 이러한 조건들을 만족하는 안테나로서 Bow-tie 안테나 또는 Fat 다이폴 같은 평판 다이폴 안테나가 GPR용으로 많이 연구되고 있다.[2]-[6]

Fat 다이폴 안테나의 경우 일반적으로 안테나 길이는 동작주파수의 최저값에 맞게 설정되며 안테나 암의 높이가 높아질수록 안테나의 대역폭이 증가한다. Fat 다이폴 안테나는 암의 길이와 높이 비가 약 1이고 암 사이의 간격이 암 길이의 약 10%일 때 가장 좋은 성능을 나타낼 수 있다.[7]

그러나 지반탐사레이더에 사용되는 주파수는 보통 침투깊이를 고려하여 최대주파수가 1 GHz 이하의 영역을 사용하며 GPR을 위해 Fat 다이폴 안테나를 사용하는

경우 [7]에 따라 최저 동작 주파수에 따라 안테나의 길이가 길어지고 따라서 안테나 사이의 간격이 너무 넓어져 급전과 임피던스 정합의 어려움을 야기한다.

본 논문에서는 이러한 문제점 해결을 위해 Fat 다이폴 안테나의 수정된 형태로써 새로운 광대역 Stepped-Fat 다이폴 안테나를 설계하였다. 그리고 임펄스를 이용한 지반탐사레이더 안테나로서의 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나의 실험결과를 나타내었다.

2. Stepped-Fat 다이폴 안테나 설계

기본적인 지반탐사레이더 안테나의 조건을 만족하기 위해 제안한 안테나는 Fat 다이폴 안테나의 광대역 특성을 살리며 문제점으로 제기된 임피던스 정합과 급전방법의 개선을 위해 안테나의 암에 Coplanar Strip Line(CPS)와 같은 탭을 사용하였다. CPS 구조는 via hole이 필요없고 여러 부품들과의 조립도 용이한 등의 장점을 가지고 있다.[8]

그림 1은 본 논문에서 제안한 안테나를 나타낸 것이다. 다이폴 암에 중간 탭을 두고 탭의 크기 S, G1, G2를 조절하여 설계시 입력 임피던스의 조절이 용이해 지고 이를 통해 임피던스 정합과 급전방법을 간단하게 해결할 수 있다.

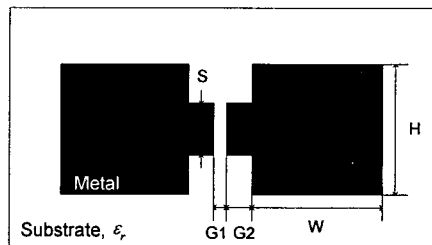


그림 1. 평판 Stepped-Fat 다이폴 안테나

여기서, 뒷면의 접지면을 생략함으로써 via hole 과 같은 제작상의 불편함을 제거하였다.

3. 시뮬레이션

최적의 탭 크기를 결정하기 위해 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 여러 가지 경우의 결과를 살펴보았다. 본 논문에서는 FIT (Finite Integration Technique)를 기반으로 하는 프로그램인 CST Microwave Studio를 사용하였다. 안테나의 제작에 사용될 재질은 상대 유전율, ϵ_r 이 2.5인 Teflon으로 하였고 유전체의 두께는 0.79 mm, 금속판의 두께는 0.018 mm로 두었다.

지반탐사레이더에 사용될 임펄스는 주파수 대역이 400 MHz - 800 MHz로 이를 만족하기위해 안테나 암의 길이, W와 높이, H는 100 mm로 두고 최적의 결과를 얻기 위해 탭의 크기를 조절하였다. 그림 2에 각각의 탭 파라

미터 변화에 따른 S_{11} 파라미터 값을 나타내었다.

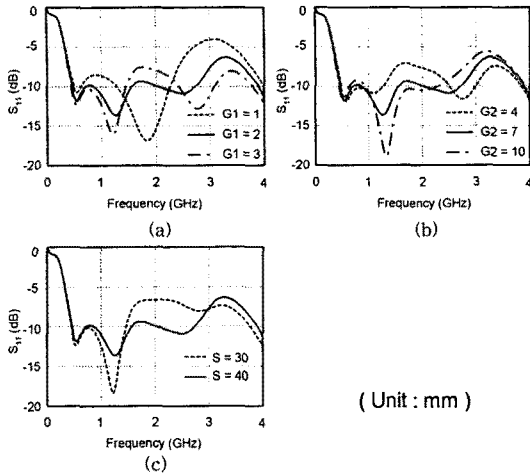


그림 2. (a) 탭의 간격, G_1 의 변화에 따른 S_{11} 의 변화. $G_2 = 7$ mm, $S = 40$ mm. (b) 탭의 길이, G_2 의 변화에 따른 S_{11} 의 변화. $G_1 = 2$ mm, $S = 40$ mm. (c) 탭의 높이, S 의 변화에 따른 S_{11} 의 변화. $G_1 = 2$ mm, $G_2 = 7$ mm.

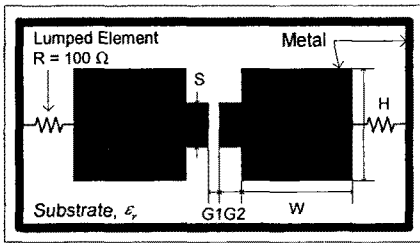


그림 3. Ringing 방지용 저항의 설치

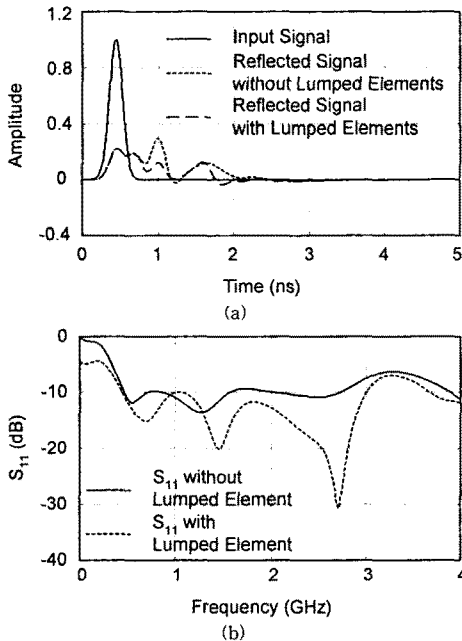


그림 4. Ringing 방지용 저항의 영향 비교. (a) 시간영역에서의 반사신호 비교. (b) S_{11} 파라미터 비교

그림 2의 결과에 따라 탭의 크기는 $G_1 = 2$ mm, $G_2 = 7$ mm, $S = 40$ mm로 결정하였다. 그리고 안테나의 탭과 전체 크기가 결정된 후 시간영역에서 입력신호의 반사로 인한 Ringing 현상을 막기 위해 100 Ω 의 저항을 설치하여 보았다. 그림 3은 저항을 설치한 안테나를 나타낸 것이며 그림 4는 이의 시뮬레이션 결과를 저항이 없을 때와 비교한 그림이다. 여기서 안테나의 크기는 똑같이 유지하였다.

그림 4 (a)에서 입력신호의 시간영역 반사신호 결과는 저항이 반사신호를 줄이고 있으며 그림 4 (b)에서 안테나의 VSWR을 보다 개선시키고 동작 주파수 대역폭을 조금 증가시키는 효과를 보인다. 그러나 이는 임펄스 인가시 저항의 전력소모가 성능개선 요소보다 큰 것으로 판단되어 향후 제작에서는 생략하였다.

그림 5는 저항이 없고 선택된 탭의 파라미터를 이용하여 시뮬레이션 결과이다.

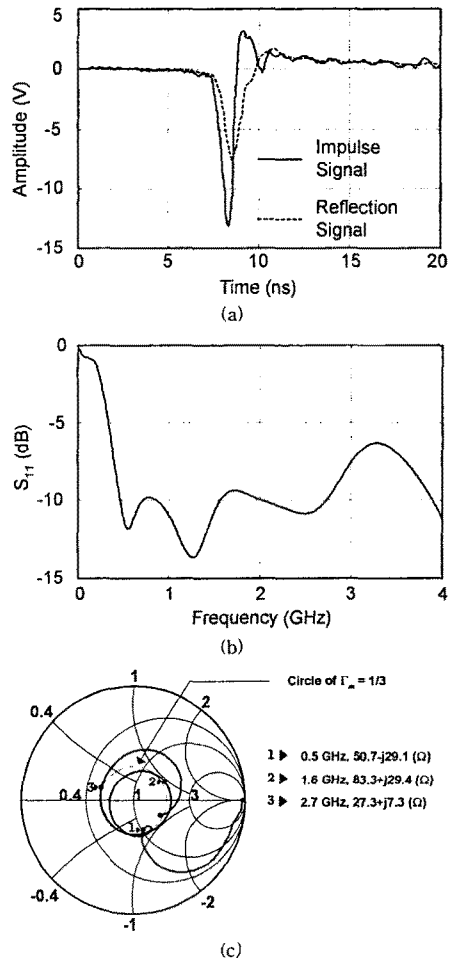


그림 5. (a) GPR을 위한 임펄스 신호와 안테나의 반사신호. (b) 제한한 안테나의 S_{11} 시뮬레이션 결과. (c) 스미스 차트.

그림 5 (a)는 지반탐사를 위한 임펄스 신호(실선)를 안테나에 전원으로 공급했을 때 반사신호(점선)를 시간 영역에서 나타낸 것이다. 이 임펄스 신호는 설계에서 안테나 크기의 결정을 위해 반영되었다. FFT를 통해 이 임펄스는 안테나를 통해 전송될 때 약 400MHz에서 800MHz의 대역폭을 가짐을 알 수 있다. 그림 5 (b)는

안테나의 반사손실을 나타낸 것이며 (c)는 입력 임피던스를 스미스 차트에 나타낸 것이다. 이 결과는 제안한 안테나의 동작 대역폭이 -10 dB를 기준으로 0.5 GHz에서 2.7 GHz로서 2.2 GHz임을 보여주고 있다.

또한 스미스 차트를 이용해 동작 대역에서 임피던스의 변화가 심하지 않고 반사계수의 크기가 대부분 $\Gamma_m < 1/3$ 는 것을 나타낸다. 다시 말해 이것은 정재파비 (VSWR)가 동작 대역에서 2.0 : 1 보다 좋다는 것을 의미한다.

4. 제작 및 실험결과

안테나의 제작을 위해 유전율 2.5, 유전체 두께 0.79 mm, 급속판의 두께 0.018 mm인 Teflon 기판을 사용하였다. 안테나의 크기는 시뮬레이션에서 결정된 바와 같이 $W = H = 100$ mm 로 하였다. 그림 6에 제작된 안테나의 사진을 나타내었다. 뒷면의 접지면을 제거하였고 중간 탭 사이에 50Ω의 동축 케이블 급전을 위한 SMA 커넥터를 연결하였다.

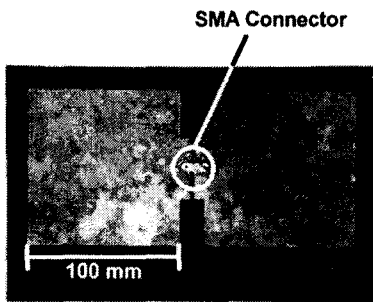


그림 6. 제작된 Stepped-Fat 다이폴 안테나

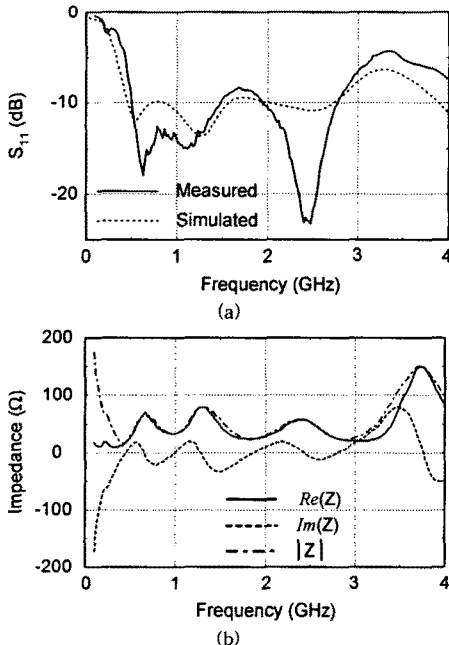


그림 7. 실험 결과. (a) 측정된 S_{11} 파라미터 값과 시뮬레이션 결과 비교. (b) 안테나 임피던스.

제작된 안테나의 성능을 측정을 위해 HP 8753D

Network Analyzer를 이용하여 반사계수와 안테나의 입력 임피던스를 측정하였고 그 결과를 그림 7에 나타내었다.

그림 7. (a)는 안테나의 S_{11} 파라미터(실선) 값을 시뮬레이션 결과(점선)와 비교한 것이며 그림 7. (b)는 안테나의 임피던스 값이다. 실험 결과, S_{11} 파라미터의 경우 -10 dB를 기준으로 안테나의 동작 대역폭이 0.5 GHz에서 2.7 GHz로 138%의 광대역 특성을 나타내었다. 이는 시뮬레이션의 결과와도 매우 일치하는 것이다. 또한 동작 대역에서 안테나의 임피던스가 약 50Ω으로 잘 정합되고 있음으로 탭을 통해 임피던스 정합이 이루어졌음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 UWB 기술을 이용한 지반탐사레이더를 위한 새로운 Stepped-Fat 다이폴 안테나를 설계, 제작하여 그 결과를 나타내었다.

제작된 안테나는 기본적인 지반탐사레이더용으로서의 조건을 만족하고 있으며 적절한 입력 임피던스로의 최적화과정인 안테나 암의 탭 크기 조절을 통해 일반적인 Fat 다이폴 안테나가 가질 수 있는 급전의 어려움과 임피던스 정합의 문제를 잘 해결할 수 있었다.

또한 제작된 안테나의 동작 주파수 대역폭이 0.5 GHz에서 2.7 GHz로 2.2 GHz(138%)의 광대역 특성을 나타내고 있으며 시뮬레이션과 실험결과의 비교가 매우 일치하게 나타남으로 이 안테나가 광대역 임펄스 기술을 이용한 지반탐사레이더 응용에 매우 적합할 뿐만 아니라 UWB 통신과 같은 다른 여러 응용분야에도 응용 가능성을 알 수 있었다.

향후 과제로서는 현재의 급전 방법과 임피던스 정합방법을 보다 개선함으로써 정재파비(VSWR)를 향상시키는 것과 일정한 방향의 방사패턴과 안테나 이득의 향상에 관한 연구가 계속 되어야할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정영경, 윤동기, 민상보, 김관호, 이원태, 이재조, 유동욱, "임펄스 기술을 이용한 지반탐사레이더의 개발," *대한전기학회 2002 하계학술대회*, 제주, July 2002
- [2] J. D. Taylor (Ed.), *Ultra-Wideband Radar technology*. CRC press: USA, 2001.
- [3] J. Thaysen, K. B. Jakobsen, and J. Appel-Hansen, "A Logarithmic Spiral Antenna for 0.4 to 3.8 GHz," *J. Applied Microwave & Wireless*, Technical Feature, no. 2, pp 32-45, Feb. 2001.
- [4] D.J. Daniels, *Surface Penetrating Radar*. IEE: London, UK, 1996.
- [5] Y. J. Park, D. G. Youn, S. B. Cho and K. H. Kim, "Ultra Wideband (UWB) Principle for Short Range Radar (SRR)," *4th Korea-Japan Joint Workshop on Microwave and Millimeter-Wave Photonics*, Daejeon, Korea, Jan., 2003.
- [6] R. Clarke, "A High Efficiency Bow-tie Antenna for Impulse Propagation," *Microwave Journal*, Technical Feature, no. 8, Aug., 2001.
- [7] J. I. Kim, B. M. Lee, and Y. J. Yoon, "Wideband Printed Dipole Antenna for Multiple Wireless Services," *J. Applied Microwave & Wireless*, Technical Feature, no. 9, pp 70-77, Sep. 2002.
- [8] Y. D. Lin and S. N. Tsai, "Coplanar waveguide-fed uniplanar bow-tie antenna," *IEEE Trans. Antenna and Propag. Letter*, vol. 45, no. 2, pp. 305-306, Feb. 1997.

본 연구의 시뮬레이션을 도와주신 아주대학교 전자공학과 초고주파실험실에 감사드립니다.