

임펄스 기술을 이용한 지반탐사레이더의 개발

정 영경*, 윤 동기*, 민 상보*, 김 관호**, 이 원태**, 이 재조**, 유 동욱**
 * 한국전기연구원, ** (주)마이크로라인

Development of Ground Penetration Radar using Impulse Technology

Young-Gyung Jung*, Dong-Gi Youn*, Sang-Bo Min*, Kwan-Ho Kim**, Won-Tae Lee**, Jae-Jo Lee**, Dong-Uk Yoo**

Abstract - 본 연구에서는 UWB(Ultra Wide Band width)기술인 임펄스 기술을 이용하여 초광대역 지반탐사 레이더를 개발하였다.

국내에서 사용되는 지반탐사 레이더는 대부분 수입품에 의존하고 있으며 이는 국내의 토양환경이나 측정 조건 등을 고려하지 않은 제품이기 때문에 기대만큼 만족도를 주지 못하고 있다. 따라서 국내 토양환경의 대부분을 차지하는 점토질에 대한 분석과 함께 지반탐사를 위한 최적의 주파수를 분석하고 이를 바탕으로 국내환경에 적합한 지반탐사 레이더를 개발하고자 하였다.

본 연구에서는 100~300MHz의 주파수 대역을 가지는 임펄스를 이용하여 지반탐사 레이더 시제품을 개발하였으며 측정결과에서 지하 50cm~1m 이내에 매설된 금속 매설물들을 모두 검출하였으며 3m 범위까지 레이더 탐지가 가능함을 확인하였다. 기능 구현시 관련 프로그램 및 측정조건 등을 모두 모듈화 하여 향후 기능개선 및 적용분야 확대에 응용이 가능하도록 하였다.

1. 서 론

경제 성장 및 산업화의 급속한 진행으로 산업 설비의 수요가 늘어남에 따라 대형 인프라의 구축이 활발히 진행되고 있다. 이에 따른 건물, 교량, 터널, 지하 설비들의 대형화, 첨단화가 이루어짐으로서 시공상의 안전도 상대적으로 증대하고 있으며 안전진단을 위해 여러 가지 방법이 적용되고 있다. 가장 보편적인 방법인 지반탐사 레이더는 고고학 탐사나 건축물의 안전진단과 같은 비파괴 검사(NDT)와 가스 파이프, 통신 케이블과 같은 각종 지반의 매설물 상태와 위치 등을 파악하는 광범위한 분야에 응용되고 있다[1-2].

지반탐사 레이더는 일반레이더와 마찬가지로 대부분 임펄스형 레이더를 사용하고 있으며 근거리 탐사나 특수 목적을 위한 CW(연속파) 레이더가 사용되기도 한다. 임펄스형 레이더는 그 신호 자체가 가지는 광대역 특성으로 인해 넓은 대역에서의 주파수 특성을 얻을 수 있으므로 대상체를 구분하거나 신호를 분석하는데 있어서 우수한 성능을 보인다[3].

국내에서는 대부분 해외에서 수입하여 서비스 영역을 해주는 형태가 대부분이었으나 가격이 비싼데다 국내 토양환경과 맞지 않아 많은 어려움이 있었다. 최근에는 이와 같은 기술적인 한계와 가격문제를 극복하고자 한국가스공사가 주축이 되어 (주)콘트롤 기술정보에서 2년간에 걸쳐 가스관탐지기의 개발이 이루어졌으며, 한국전기연구원에서는 FM-CW 방식을 이용한 근거리(30cm이내) 금속·비금속탐지 레이더를 개발하였다.

본 연구에서는 FM-CW 방식의 근거리 레이더에 비해 회로구성이 간단하고 주파수 특성이 우수한 고해상도의 임펄스 기술을 이용하여 최대 3m 이내의 지하 매설물을 탐지하여 그 결과를 GUI(Graphic User Interface) 방식

으로 디스플레이 하는 지반탐사 레이더 장치를 개발하였다.

2. 레이더 시스템 분석 및 설계

임펄스 방식의 레이더는 전파를 짧은 펄스로 나누어 방사하는 송신기와 송신 안테나, 그리고 목표로부터 반사되어져 되돌아오는 반사파를 수신하는 수신안테나와 수신기로 구성되어 있다. 그림 1에는 임펄스 방식의 레이더 구성도를 나타내었다.

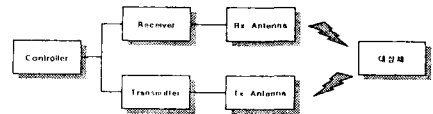


그림 1. 임펄스 레이더의 구성도

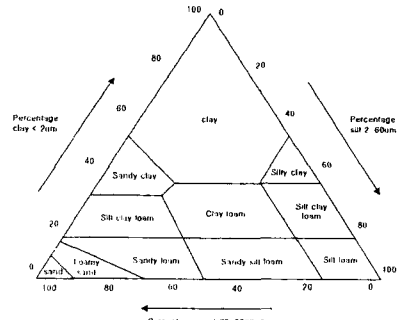


그림 2. 토질에 따른 구분

레이더 시스템은 크게 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어를 연동하여 구성되며 가장 먼저 고려되어야 할 것은 대상체에 대한 정확한 설정과 매질의 특성을 충분히 분석되어야 한다.

본 연구에서 고려되는 대상체는 지하 매설물(금속, 비금속 파이프나 기타 매장물)이며 따라서 대상체가 매설되어져 있는 토질에 대한 분석이 가장 먼저 이루어져야 한다.

그림 2에는 토질의 등급에 따른 분류를 표로 나타낸 것이다. 미국이나 중국과 같은 사막지대가 많은 곳은 모래로 구성된 토질이 많기 때문에 탐사조건이 양호한 편이다. 그러나 국내의 토질은 대부분 점토(진흙)로 이루어져 있으며 이는 수분을 많이 포함하고 있기 때문에 매질을 전파하는 전파의 감쇄율이 크다.

표 1에는 매질에 따른 감쇄비율과 상대유전율을 나타내었다[1].

표 1. 매질에 따른 감쇄비율과 상대유전율

Material	Attenuation (dB/m)	Relative permittivity (F/m)
Air	0	1
Asphalt: dry	2-15	2-4
Asphalt: wet	2-20	6-12
Clay	10-100	2-40
Coal: dry	1-10	3.5-9
Coal: wet	2-20	8-25
Concrete: dry	2-12	4-10
Concrete: wet	10-25	10-20
Freshness	0.1	80
Freshwater ice	0.1-2	4
Granite: dry	0.5-3	5
Granite: wet	2-5	7
Limestone: dry	0.5-10	7
Limestone: wet	10-25	8
Permittivity	0.1-5	4-5
Rock salt: dry	0.01-1	4-7
Sand: dry	0.01-1	4-6
Sand: saturated	0.03-0.3	10-30
Sandstone: dry	2-10	2-3
Sandstone: wet	10-20	5-10
Seawater	1000	81
Seawater ice	10-30	4-5
Shale: saturated	10-100	6-9
Snow: firm	0.1-2	8-12
Soil: sandy dry	0.1-2	4-6
Soil: sandy wet	1-5	15-30
Soil: loamy dry	0.5-3	4-6
Soil: loamy wet	1-6	10-20
Soil: clayey dry	0.3-3	4-6
Soil: clayey wet	5-30	10-15

표에서 보이는 바와 같이 상대 유전율이 클수록 수분을 많이 포함하고 있기 때문에 전파가 매질을 진행하는데 있어 많은 감쇄율을 가지게 된다. 모래가 많은 지형에서는 감쇄율이 1dB/m 이하이므로 동일한 출력의 신호로 더 깊은 곳까지 탐사가 가능하다. 국내의 토양은 대부분 점토(clay)로 구성되기 때문에 100dB/m의 큰 감쇄가 생기게 된다. 따라서 지금까지 도입된 외국의 제품들이 국내 환경에 적합하지 못하게 설계되었기 때문에 실제로 실무에 적용할 때 많은 오차가 발생하게 된다.

본 연구에서는 이러한 근본적인 문제점을 해결하기 위하여 가장 먼저 국내 토질에서 보다 효율적으로 운용될 수 있는 지반탐사 레이더 장비의 가용 주파수 선정 작업을 실시하였고 그 결과를 바탕으로 시스템 설계를 진행하였다.

지반탐사를 실시하는데 있어 사용 주파수가 높아짐에 따라 측정 깊이는 급격히 감소하게 되는데, 식 (1)을 이용하면 주파수에 따른 탐사 깊이를 가늠할 수 있다.

$$\text{Maximum depth} = \lambda(\text{파장}) \times 20 \quad (1)$$

위 수식에 따르면 본 연구에서 측정하고자 하는 깊이 3m의 탐사 심도를 가지기 위해서는 2GHz 이내의 주파수를 사용해야 한다. 하지만 이는 어디까지나 토질의 영향을 고려하지 못한 결과이며 국내토질에서의 특성을 살펴보면 표 2의 결과와 같다.

표 2. 주파수에 따른 감쇄특성

Material	Loss at 100MHz	Loss at 1GHz
Clay	5~300dB/m	50~3000dB/m

표 2의 결과를 보면 주파수가 10배 차이가 남에 따라 감쇄율도 10배정도 차이가 나게 된다. 획득 신호의 해상도(resolution)을 높이려면 주파수를 높여야하지만 반대로 주파수가 높아지면 감쇄가 심하게 되므로 적절한 보상관계(trade-off)가 이루어져야 한다.

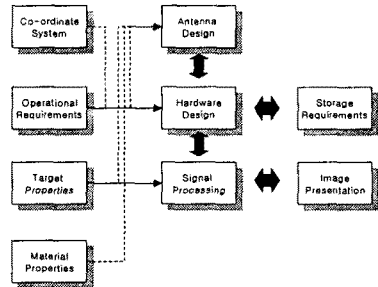


그림 3. 설계된 레이더 시스템 구성도

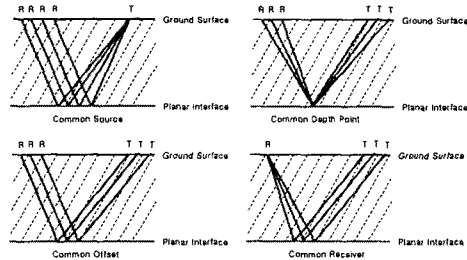


그림 4. 지반 탐사 방법

그림 3에는 본 연구에서 설계된 레이더 시스템의 구성을 나타낸 것이며 그림 4에는 이러한 시스템을 이용한 지반 탐사의 방법을 나타낸 것이다.

지반탐사의 방법은 그림에서 보인 바와 같이 크게 네가지로 구분되며 본 연구에서는 공통 차등 지점 탐사법(Common Offset Depth Point) 방법을 사용하였다.

사용된 방법은 송수신 안테나의 거리가 일정하게 유지되고 이동거리가 동일하게 유지될 때 적용되는 방법으로 지반탐사 방법 중 가장 많이 적용되는 방법이다.

2. 지반탐사 레이더 구현 및 측정

지반탐사 레이더의 하드웨어적 구성을 보면 우선 국내 지반 환경조건을 고려할 때 3m의 탐사심도를 가지기 위한 주파수 변환장치, 그리고 송·수신 안테나, 신호처리 장치 그리고 디스플레이장치로 구분된다.

주파수 변환장치는 앞선 조사의 결과에 의거하여 100~300MHz의 주파수 대역을 가지는 임펄스 발생기를 사용하기로 하였다.

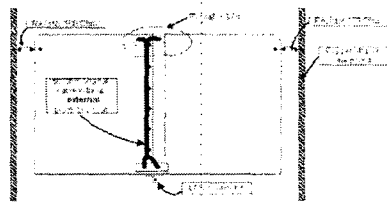


그림 5. 설계·제작된 안테나

송·수신 안테나는 작고 선형적인 물체에 효과적인 다이폴 안테나로 선정하여 특수 제작된 기구에 장착하여 그림 5와 같이 제작하였다. 안테나의 종단에는 저항을 붙여 종단에서 발생하는 링잉(ringing)현상을 억제하도록 하였다[4].

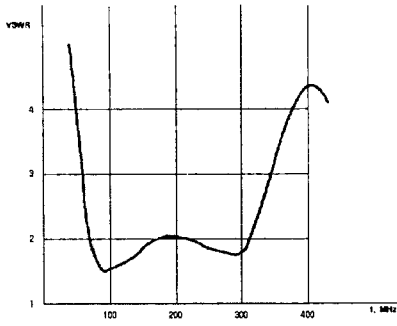


그림 6. 안테나의 특성측정 결과

그림 6에는 제작된 안테나의 특성측정 결과를 나타내었다. 사용하고자하는 주파수 대역인 100~300MHz 대역에서 안테나의 일반적인 특성을 만족하고 있다. 그림 7에는 제작된 송·수신 안테나를 나타내었다.

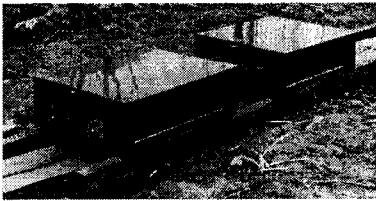


그림 7. 제작된 송·수신 안테나

제작된 장치들을 이용하여 그림 8과 같은 측정을 위한 시험장 구성을 하였다. 송·수신 안테나 위에 임펄스 발생기와 고속의 Oscilloscope(1GHz, 5GS/s)를 장착하였고, 따로 제작된 간이 레일위로 10cm 간격으로 샘플 값을 취할 수 있도록 하였다. 그림 9에는 시험장에 매설된 매설물들을 나타내었다.

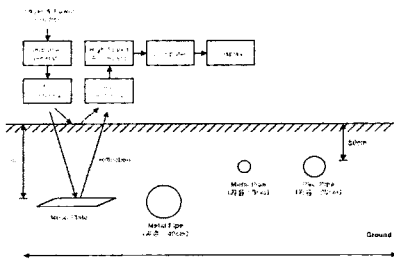


그림 8. 시험장 구성



그림 9. 시험장의 매설물들

4. 결 론

시험장을 구성할 때 주위의 큰 바위들은 장비를 이용하여 제거하였으나 국내 토지의 전형적인 특성인 많은 자갈과 젖은 토질(진흙)로 구성되어져 있었다. 특히 약 50cm 이상의 깊이에서는 수분함량이 표토와는 달리 4배정도 측정되었고, 가 실험결과에서도 3m 이상의 결과를 예측했었음에도 실제로는 2.5~3m 정도가 탐사심도의 한계였다.

실험을 위해 간이로 제작된 목조 레일과 그 위로 약 5cm의 높이로 송·수신 안테나가 올려졌고, 수동으로 약 10cm의 간격으로 레일 위를 이동하여 샘플 값을 취하였는데 이때 Oscilloscope의 저장 기능을 이용하여 저장한 후 Delphi로 프로그래밍 하여 영상처리를 하였다. 측정된 전체 샘플 값은 100개이며 이를 이용하여 그림 10과 같은 측정 결과를 얻었다.

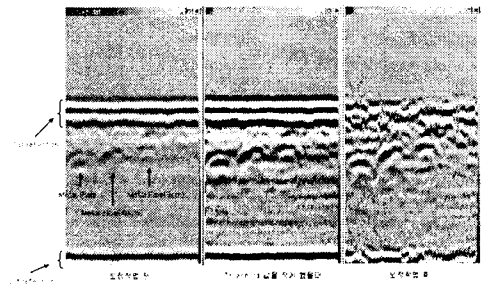


그림 10. 화상처리 결과

그림 10의 측정 결과에서 왼쪽 보정작업전의 표토층을 보정작업을 거쳐 제거한 후 최종 결과를 얻었다. 결과에서 금속으로 된 파이프들은 결과를 확실히 알 수 있었으나 비금속인 플라스틱 파이프는 그 결과를 판별하기가 모호하였다. 또한 이미지처리 작업을 거쳐 좀더 명확한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

앞으로 프로토타입으로 제작된 본 시스템을 각 모듈별로 제작하여 하나의 모듈화 된 시스템으로 구성하고, GUI 프로그램 상에서 대상체의 거리나 크기에 대한 자동판독 기능과 고해상도의 결과를 얻을 수 있도록 성능 개선작업을 진행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] D.J Daniels, "Surface Penetrating Radar", IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 6, 1996
- [2] 吉田孝 著, 金榮海 譯, "레이더 기술", 기전출판사, 1993
- [3] N. Ida, "Microwave NDT". KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS. 1998
- [4] Bernard D. Steinberg, Harish M. Subbaram, "Microwave Imaging Techniques", John Wiley & Sons, Inc., 1991
- [5] KEITH M. KEEN, "ANTENNA DESIGN OFFERS COMPACT SIZE AND LOW COST." APPLIED, p 77-78, August 1996.