

논문 2009-46TC-3-6

임펄스 GPIR시스템의 시간영역 최적화 설계

(Optimization Design in Time Domain on Impulse GPIR System)

김관호*, 박영진*, 윤영중**

(Kwan-Ho Kim, Young-Jin Park, and Young-Joong Yoon)

요약

본 논문은 초광대역 임펄스를 이용한 지반탐사 영상레이더 시스템 (Ground Penetrating Image Radar; GPIR) 설계에서 수직심도의 해상도를 높이기 위한 시간영역 관점에서의 최적화 설계방법을 제시하였다. 시스템의 핵심 부분인 임펄스 발생원 및 초광대역 안테나에 대하여 시간영역에서의 해석 기법을 제시하였고, 시뮬레이션에 의해 최적 설계 파라미터를 설정하였다. 특히, 임펄스 신호의 파형을 정형화하여 임펄스 신호의 스펙트럼 효율을 높였으며, 초광대역 안테나로는 U자형 평판형 다이폴 안테나를 사용하였다. 제안된 안테나는 반사체를 사용하여 외부 잡음을 차단하였고, 지중과의 신호 결합을 개선하였다. 또한 시스템의 성능을 열화시키는 안테나에 의한 떨림을 제거하기 위해, 저항을 사용하였고, 송수신 안테나는 시간영역 시뮬레이션을 통하여 최적화 하였다. 지중 매질의 영상화를 위해 마이그레이션을 기법을 사용하였으며, 지면의 영향 등에 의한 수신된 펄스의 왜곡 현상은 시간영역에서의 잡음 및 신호 왜곡 저감 기법을 사용하여 성능을 개선하였다. 최적화된 설계 방법의 평가를 위하여, 지중 매질물 탐지용 레이더 시제품을 개발하였고, 성능 시험을 위한 시험장을 활용하였다. 측정 결과 수직 심도는 이론적인 해상도만큼 우수한 성능을 보였다.

Abstract

In this paper, system optimization design technique of an impulse ground penetrating image radar (GPIR) in time domain is proposed to improve depth resolution of the system. For the purpose, time domain analysis method of key components such as impulse generator and UWB antenna is explained and by simulation, parameters of each component are determined. In particular, by standardizing the impulse signal, spectrum efficiency of a radiated impulse signal is improved and a U-shaped planar dipole antenna for a UWB antenna is developed. By equipping a parabolic metal reflector with the proposed antenna, external noise is prevented and the ability of radiating an input impulse into ground is improved. In addition, to remove ringing effect of the propose antenna which causes serious degradation of the system performance, resistors are loaded at the edge of the antenna and then Tx and Rx UWB antennas are optimized by simulation in time domain. For images of targets buried under the ground, migration technique is applied and influence of tough ground surface on distortion of received impulse signals is reduced using technique of noise and signal distortion reduction in time domain and its time resolution is enhanced. To verify the design optimization procedure, a prototype of an GPIR and an artificial test field are made. Measurement results show that the resolution of the system designed is as good as that of a theoretical model.

Keywords : Impulse radar, Ground penetrating image radar, UWB planar dipole antenna

I. 서론

초광대역(Ultra Wide Band; UWB) 임펄스 신호는

주파수 스펙트럼이 넓어서 투과성이 좋고 정보의 용량성이 커서 토양 같은 손실 유전체 매질 내에 매설된 물체의 깊이나 형상 판별에 유리하여 많이 활용되고 있다. 이것은 매우 짧은 전자기파인 임펄스 에너지를 안테나를 통해 지면으로 방사시켜, 토양매질내의 물체에 의해 반사되는 펄스 진폭크기 및 전파 지연시간 등의 귀환 응답특성을 이용해 지반탐사 영상레이더(Ground Penetrating Image Radar; GPIR) 장치를 간단히 제작

* 정회원, 한국전기연구원
(Korea Elcetrotechnology Research Institute)

** 평생회원, 연세대학교 전기전자공학과
(Dept. of Elecetrical and Electronic Engineering,
Yonsei University)

접수일자: 2008년11월18일, 수정완료일: 2009년3월9일

할 수 있기 때문이다.

일반적으로 지반탐사 시스템을 구성하기 위한 핵심 구성요소는 임펄스 발생기, 초광대역 안테나 그리고 영상 신호처리장치이다. 지중매질물에서의 신호반사특성을 이용하는 지반탐사 레이더는 신호 전파경로상의 여러 매질에 의해 복잡한 산란현상을 보인다. 이러한 환경에서 각 구성요소들의 설계방법은 지반탐사레이더 시스템의 효용성을 결정짓는 해상도에 영향을 미치게 된다. 따라서 고해상도를 위한 지반탐사 영상레이더를 구현하기 위한 연구들이 지속적으로 연구되고 있다.

대부분의 지반탐사 레이더의 해상도 의미는 지중매질물을 클러터와 구별할 수 있는 영상 인식도에 비중을 두고 있었으며 이러한 GPIR 시스템의 효용성을 실험하는 연구들이 추진되어 왔다^[1~2]. 그러나 계측레이더로서의 효용성을 갖기 위해서는 매질물의 수직 심도 깊이를 정확히 판정할 수 있어야 한다. 이를 위해서 각 매질계층에 따라 투과되어 반사되는 임펄스 신호전파 효율을 최적화하고 수직해상도를 호리게 하는 산란잡음들에 대한 제거가 필요하게 된다. 여기서 임펄스 신호의 특성상 전체 시스템의 모델링은 시간영역에서 취급하는 것이 편리하므로 각 구성요소들의 주파수영역 설계부분을 시간영역 관점에서 이론적 해석방법으로 정립해야 한다.

본 논문은 이러한 방법에 의해 GPIR 시스템의 수직 심도 해상도를 개선하는 요소기술들의 최적화 설계와 시스템 제작방법을 제시하였다. 탐사심도를 결정하는 신호 주파수대역의 파형을 형성시키는 임펄스 발생기, 산란잡음 영향이 적고 반사 신호 검출에 유리한 파라볼릭 금속 반사체가 부착된 U자형의 평판형 팻 다이폴 구조의 안테나설계 방법이 제안되었다. 최적화된 하드웨어 시스템에서의 고해상도의 영상신호 구현을 위해 2차원 A, B 스캔(scan) 방법의 영상 신호처리 알고리즘을 적용하였다^[3]. 최적화 설계로 제작된 시스템 해상도의 성능개선 효과를 시험하기 위해 실제 환경의 참조모델을 통해 수직심도 해상도를 분석하였다.

II. 초광대역 임펄스 GPIR 시스템의 모델링

1. 시스템 설계 파라미터

일반적인 레이더 방정식과 같이 GPIR의 탐사 심도범위는 일차적으로 토양매질 내를 전파할 때 생기는 경로 손실, 토양매질 손실, 분산손실, 목표물에 의한 반사 혹

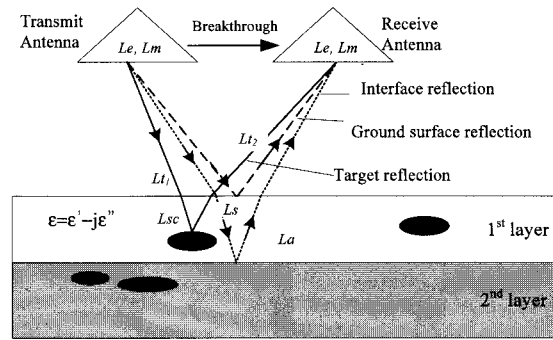


그림 1. 지반탐사 영상레이더 시스템의 신호전파경로
Fig. 1. Signal propagation path model of GPIR system.

은 산란손실에 따라 결정된다.

그림 1에는 GPIR 시스템에서 탐사신호의 전파경로에 대한 모델을 제시하였다^[4]. 우선, 그림으로부터 수신기에 의해 탐지된 신호는 크게 다음과 같이 분류할 수 있다. 첫 번째는 목표물에 의한 반사 신호, 두 번째는 지반의 토양매질이 비 균일 매질이기 때문에 각기 다른 유전율을 가지는 지반 각 층의 불연속면에서 발생하는 반사 신호, 세 번째는 지면에 의한 직접 반사 신호, 마지막으로 송신 안테나로부터 직접 수신되는 신호이다. 이러한 수신신호들 중에서 시스템의 탐사심도 범위를 결정하는 것은 목표물에 의한 반사 신호의 크기이다.

송신에서 수신까지 전파경로상의 여러 손실에 의한 총 손실, L_T 는 다음 식 1과 같이 나타낸다.

$$L_T = L_e + L_m + L_{t1} + L_{t2} + L_s + L_a + L_{sc} \quad (1)$$

여기에서 L_e 는 안테나 효율손실, L_m 은 안테나 부정합 손실, L_{t1} 은 공기에서 토양매질로 가는 전송손실, L_{t2} 는 토양매질에서 공기로 가는 전송손실, L_s 는 안테나 확산손실, L_a 는 토양매질의 감쇠손실, L_{sc} 는 목표물의 산란손실을 의미한다.

최대 송신전압이 V_t 라면, 전파경로상의 경로손실을 감안한 토양 매질내의 탐사 목표물에서 반사된 수신신호 전압 중 수신할 수 있는 최소 검출 전압을 V_r 이라고 하면, 시스템에서 목표물 검출 범위를 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 이러한 관계식은 시스템의 탐사 심도와 직접적 관련이 있다.

$$D = 20 \log (V_r / V_t) \text{ (dB)} \quad (2)$$

일반적으로 전자기파 전파속도는 유전체내에서 줄어

표 1. 추정된 주파수, 탐사심도, 심도 해상도와의 상관관계
Table 1. Approximate relationship of frequency, depth and resolution.

탐사심도(m)	중심주파수	심도 해상도(m)
<0.25	2GHz	0.03
<0.5	1GHz	0.05
<1.0	500MHz	0.1
<2.0	250MHz	0.2
<4.0	125MHz	0.4
<8.0	63MHz	0.8
<16.0	31MHz	1.6

는다. 이러한 특성을 통해 매질 내에서 상대 전파속도를 측정하거나 유도된다면 목표물의 심도깊이를 알 수 있다. 균일하고 등방체인 토양매질에서의 상대 전파속도 v_r 은 식 (3)에서 계산된다.

$$v_r = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m/s}) \quad (3)$$

여기에서 c 는 자유공간에서의 전파속도이며 값은 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, ϵ_r 은 토양매질의 상대유전율이다. 목표물의 심도, d 는 다음 식 (4)에서 유도할 수 있다.

$$d = v_r \frac{t_r}{2} \quad (\text{m}) \quad (4)$$

여기에서 t_r 은 목표물까지의 전파 왕복시간을 의미하며 탐사심도의 계측 파라미터이다. 이러한 전파속도를 감안한 주파수와 심도 해상도의 추정 상관관계는 표 1과 같다^[5].

2. 임펄스 GPIR 시스템 제원설계

지반탐사 영상레이더 시스템의 설계에서 가장 먼저 고려되어야 할 것은 탐사 목표물이며, 이러한 목표물이 묻혀있는 매질, 깊이, 크기가 결정되면 대부분의 시스템 설계 파라미터가 결정된다.

본 논문에서 시스템 설계의 참조모델은 국내의 일반적인 토양 속에 매설된 다양한 파이프라인을 탐사 대상으로 한다. 스캔방식은 안테나를 송신과 수신부로 분리시켜 일정한 안테나의 배열구조와 이동성을 갖는 바이스테틱 방식으로 구성한다. 이 방식으로 탐사 목표물에 의해 반사되는 수신신호를 일정한 간격으로 배열하면 쌍곡선 확산함수의 지층단면 탐사영상을 얻을 수 있다.

토양의 전기적인 특성은 모래나 점토 등의 비율에 따른 유전율로 나타내며 신호전파 손실을 가져온다. 그래

표 2. GPIR 경로 손실값 설계
Table 2. Path loss for GPIR design.

손실종류	손실값	비 고
L_e	4 dB	개별 저항장하 안테나 2dB
L_m	2 dB	개별 안테나 부정합 손실 1dB
L_{t1}	4 dB	$Z_m = 97\Omega$
L_{t2}	4 dB	$L_{t1} = L_{t2}$
L_s	20 dB	$G_t = 1.5 \text{ dBi}$, $A_r = 0.2 \text{ m}^2$, $R_s = 1.5 \text{ m}$, $\sigma = 1 \text{ m}^2$
L_a	37 dB	$f = 250 \times 10^6$, $\epsilon_r = 15$
L_{sc}	1.6 dB	비균일 매질을 가정한 여유손실

서 탐사심도는 토양 매질의 상대유전율에 따른 방사신호 에너지 크기와 수신감도에 의해 결정될 수 있다. 참조모델로 하는 GPIR 시스템은 금속 가스관 및 전력 케이블 대부분이 지중 1m 내외에 묻혀 있기 때문에 여유깊이를 고려하여 최대 탐사심도를 1.5m로 정하였다. 국내 일반적인 토양성분이 점토매질인 점을 고려하면 상대유전율은 최대 15로 할 수 있다. 이에 따라 참조 GPIR 모델의 탐사신호 중심 주파수는 표 1에 의해 250MHz로 추정할 수 있다.

시스템의 제원을 결정하기 위해 주파수 선택에 따른 시스템 경로손실을 계산하였다. 본 논문에서는 개방형 동축 프로브 방법을 활용하여 시험장 토양의 복소 유전율을 구했다^[6].

250MHz에서 복소유전율은 $14.8 - j2.1$ 이며, 상대유전율은 상수 15에 근사한다. 이를 이용하여 GPIR 시스템의 경로손실 파라미터들을 식 (1)에 의해 계산하면 참조모델에 대한 경로손실 값은 표 2와 같으며 전체 경로손실 L_T 는 중심주파수에서 대략 72.6dB의 손실 값을 얻는다. 안테나는 다이폴 안테나를 고려하였고, 저항 장하에 의한 안테나 손실과 부정합 손실은 3dB로 하였다.

탐사심도 범위를 결정하는 임펄스 신호의 임펄스 신호 첨두치는 시스템 설계 파라미터인 경로손실을 포함하여 산정한다. 일반적으로 수신장치는 수신신호 크기가 1mV 이상이면 탐지가 가능하다. GPIR 시스템에서 배경잡음이 -60dB 정도에 분포되므로 고정된 여유손실을 감안하여 최저 수신레벨을 10mV로 결정하면 참조모델 환경에서의 매설물 탐사가 가능하다.

따라서 최대 탐사심도 범위를 결정하는 식 (2)에 의해 최저 수신레벨이 10mV 이상이 되려면, 임펄스 신호 첨두치는 40V 이상의 송신출력을 요구한다.

III. 초광대역 임펄스 신호와 안테나 설계

1. 임펄스 신호파형과 방사 특성

광대역 신호특성을 갖는 임펄스 신호는 가우시안 (gaussian) 펄스신호가 주로 사용된다. 가우시안 형태의 펄스를 시간영역으로 나타내면 식 (5)와 같다.

$$f(t) = e^{-t^2/2T^2} \quad (5)$$

여기에서 T 는 펄스폭이며 펄스의 상승시간 및 하강 시간에 의해 결정된다. 상수 T 와 펄스 상승시간과의 관계를 구하기 위하여, 진폭 10%까지의 펄스 상승시간을 t_1 이라 하고 진폭 90%까지의 펄스 상승시간을 t_2 라 할 때, 진폭 10%에서 90%까지의 펄스 상승시간을 t_r 로 표시하면 식 (6)과 식 (7)로 펄스 상승시간을 나타낸다.

$$f(t_1) = e^{-t_1^2/2T^2} = 0.1 \quad (6)$$

$$f(t_2) = e^{-t_2^2/2T^2} = 0.9 \quad (7)$$

여기에서 펄스 상승시간 $t_2 = t_1 + t_r$ 이므로 식 (7)에 식 (6)를 대입하면 식 (8)의 이차방정식이 된다.

$$2\ln\left(\frac{0.9}{0.1}\right)T^2 - 2t_r\sqrt{-2\ln(0.1)}T + t_r^2 = 0 \quad (8)$$

T 의 근을 얻어 표시된 펄스파형은 그림 2와 같은 1ns의 상승시간을 갖는 가우시안 펄스파형이다. 또한, 그림 3은 가우시안 펄스의 미분파형에 대한 상승시간의 변화에 따른 전력밀도함수의 변화를 나타내었다. 그림에서처럼 펄스 상승시간이 짧을수록, 최대 전력밀도를 갖는 주파수가 증가한다.

임펄스 발생기 제작은 여러 CMOS 게이트들을 이용하여 시간특성을 만족하는 극단펄스(short pulse)를 만들고, 이를 스텝 리커버리 다이오드(Step Recovery Diode)에 통과시켜 파형을 증폭, 정형화 하였다.

2. 초광대역 평판형 다이폴 안테나

가. U자형 초광대역 평판형 팻 다이폴 안테나

광대역 다이폴 안테나와 같은 공진형에서는 광대역 임피던스 부정합 현상으로 안테나의 방사체 날개종단 모서리 부분에서 다중공진에 의한 반사 신호가 생긴다.

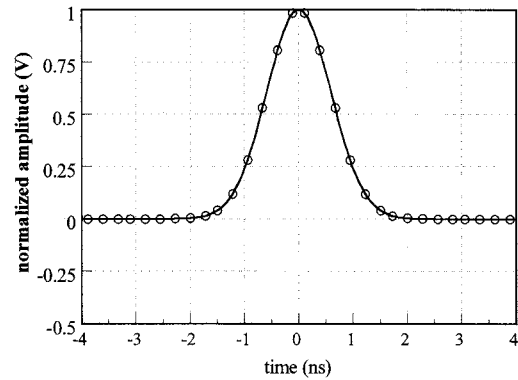


그림 2. 정규화 가우시안 펄스
Fig. 2. Normalized Gaussian pulse.

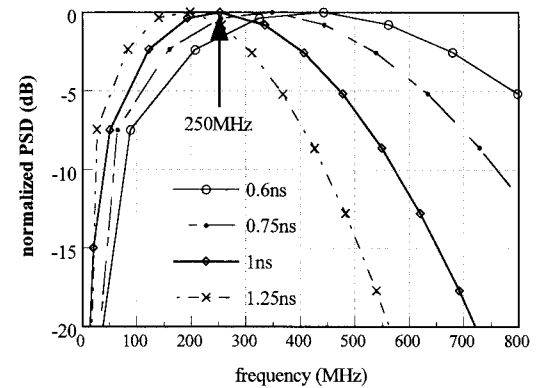


그림 3. 상승시간 변화에 따른 가우시안 펄스 미분의 정규화 전력밀도함수
Fig. 3. Derivative Gaussian pulse PSD for different rising time.

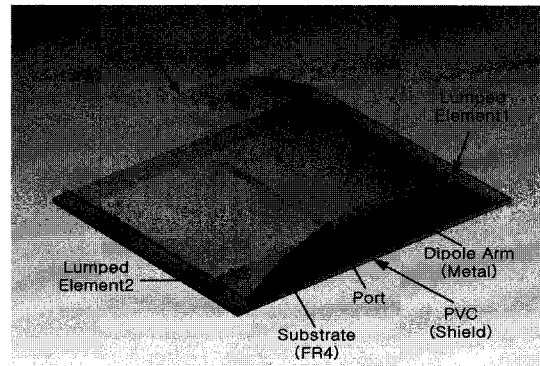


그림 4. 안테나 수치해석을 위한 안테나 모델
Fig. 4. Antenna model for numerical analysis of the antenna.

이는 시간영역에서 떨림(ringing)현상으로 나타나며, 근거리 전자기계를 사용하는 GPR 시스템에서 송수신 신호를 분산 왜곡시켜 해상도를 열화 시킨다.

GPR용 안테나에서는 제작이 쉽고 비교적 저주파에

서 광대역 특성을 갖는 다이폴 안테나를 사용하기 위해 안테나의 모서리 부분에 저항을 연결하는 광대역 임피던스 정합방식을 사용하고 있다. 본 논문에서는 이러한 광대역 임피던스 정합방법을 사용하여 지층과 최적의 결합조건을 만족시키고 수신신호의 분산왜곡을 최소화하는 그림 4와 같은 U자형 초광대역 평판형 팻 다이폴 안테나를 설계하여 사용하였다^[7].

안테나 구조는 U자형의 금속 패턴 양쪽에 인쇄 기판(PCB)의 팻 다이폴 날개를 갖는다. 안테나의 두 날개는 일반적인 다이폴처럼 분리되지 않고 아래 부분에서 연결되어 있다. 이러한 구조는 사각 팻과 팻의 모서리에 단락핀(shorting post)이 부착된 모노폴 안테나 구조와 유사하다고 생각할 수 있다^[8]. 즉, 단락 핀을 갖는 모노폴 구조의 지평면(ground plane)을 대체하는 또 다른 사각 팻을 연결한 것이다.

일반적으로 팻 또는 사각 다이폴은 와이어 형태의 다이폴 보다는 넓은 대역폭을 가지지만, 일반적인 광대역 안테나와 비교하면 대역폭 비율이 낮다. 안테나의 아래 날개 부분을 연결함으로써 안테나의 주파수 대역특성을 개선할 수 있다. 또한, 다이폴 급전부의 U형상 부분에 급전용 동축선을 금속면에 길게 부착하면 수평 오프셋 급전이 가능하다. 이러한 급전방식은 수직급전에 의한 재방사 및 외부 신호의 유도간섭을 줄일 수 있어 수신신호의 산란잡음 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다.

안테나 날개에 부착한 저항 장하의 값은 급전부의 임피던스가 50Ω이므로 각 모서리에 R=100Ω 저항을 병렬로 연결하였다. 특히 외부로부터의 간섭신호를 차단시키며, 안테나의 이득도 보상하는 금속 반사체 구조가 사용되었다.

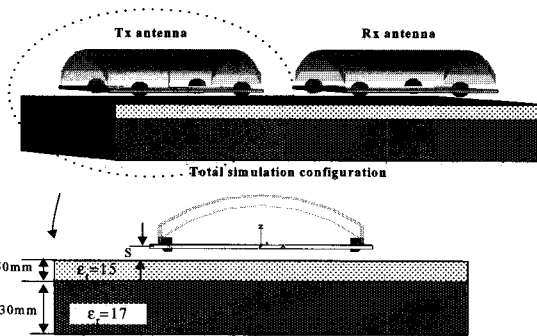


그림 5. 안테나의 전파특성 해석을 위한 안테나 시스템 구성도
Fig. 5. Antenna system configuration to analyze the propagation properties of the antenna.

실사용 환경에 최적인 안테나 설계특성을 최적화하기 위해 그림 5와 같은 안테나 시스템을 모델링하여 주파수 특성의 경우는 유한적분(FIT) 응용시뮬레이터에 의해 해석되었으며 시간영역의 특성은 유사해석 이산시간신호(analytic-like discrete time signal)방법에 의해 분석되었다.

나. 주파수 영역 해석

그림 6에는 일반적인 사각 팻 다이폴과 제안된 U자형 안테나의 주파수 대역특성을 비교하였다. 시뮬레이션에서 안테나와 결합되는 지면은 상대유전율 15~17인 토양매질을 가정하였으며, 저항은 사용하지 않았다. 그림으로부터 사각 팻 다이폴은 대략 180~280MHz 대역폭을 갖는다. 그러나 U자형 팻 다이폴 안테나는 최저 주파수가 75MHz이다. 따라서 팻 다이폴을 연결하는 편이 낮은 주파수 대역에서의 특성이 더욱 개선됨을 알 수 있다. 이는 지면의 상대유전율이 높아서 특성 임피던스가 낮아졌기 때문이다.

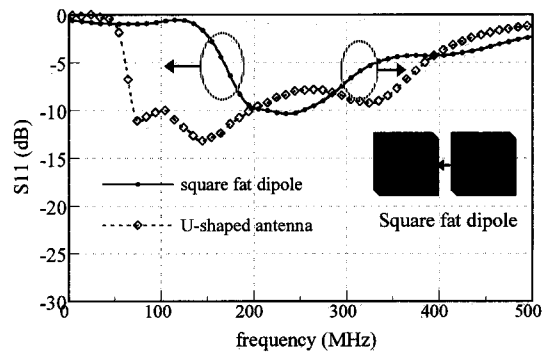


그림 6. 일반적인 사각 팻 다이폴과 U자형 다이폴 반사 특성 비교
Fig. 6. Comparison of reflection behavior between square fat dipole and U-shaped fat dipole.

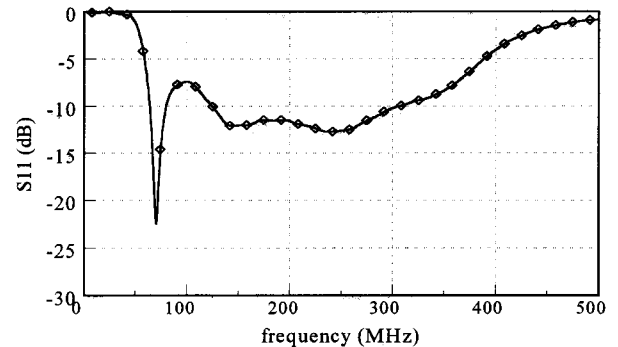


그림 7. 안테나 반사특성의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulated results of antenna reflection.

그림 7에 제시된 반사체가 있는 안테나의 반사특성에 대한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션을 위하여 지면과 안테나 사이에는 안테나 날개 손상을 방지하기 위한 PVC 절연체만을 고려하였다. 시뮬레이션 결과로부터 75MHz 부근에서 첫 번째 공진점이 생긴다. 상위 주파수 대역은 대략 300MHz까지 확장됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 반사체 없이, 시뮬레이션 한 사각뿔 다이폴 안테나의 대역특성 결과보다 우수하다. 이는 파라볼릭 금속반사체 차폐층과 저항 장하가 U자형 평판 다이폴 안테나의 고주파 특성을 개선한 것으로 추정되어 반사체의 효용성을 입증하였다.

다. 시간 영역 해석

그림 8은 지면과 안테나 사이에 간격 없이 저항 장하를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 대한 반사 특성 시뮬레이션 결과이다. 저항 사용에 상관없이 초기 반사 신호의 크기는 일정하나, 반사 신호의 꼬리 부분에서 생기는 안테나 떨림에 의한 반사 신호의 크기와 시간은 다르다. 즉, 저항을 사용한 경우는 상대적으로 떨림에 의한 반사 신호의 크기가 줄어들었음을 확인할 수 있다.

따라서 저항 장하방식의 초광대역 안테나는 사용조건에 따른 시간적 응답특성을 통해 수신신호의 왜곡을 일으키는 불필요한 잡음신호들을 제어할 수 있다. 주파수 영역에서는 해상도를 열화 시키는 임펄스 방사신호의 시간지연 특성을 확인할 수 없었으나, 시간영역 응답특성 분석은 안테나 자체 및 외부의 분산왜곡 신호들을 분석할 수 있으므로 해상도 개선에 적절한 설계방법이 된다.

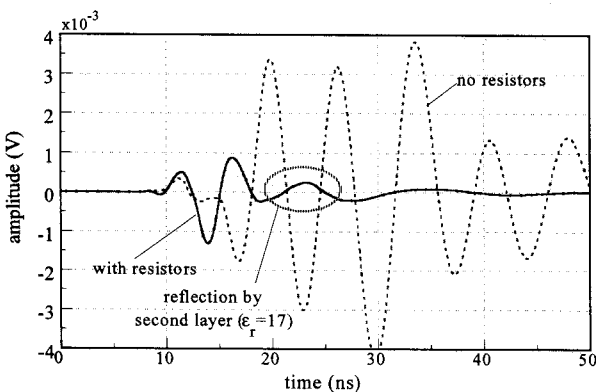


그림 8. 저항 장하에 따른 투과특성 시뮬레이션 (R=100Ω)

Fig. 8. Simulated transmission behavior between with resistors loading and without resistors.

IV. 시스템 성능평가

1. 탐사측정 및 영상신호처리

설계 제작된 지반탐사 영상레이더의 측정 임펄스의 반복 주파수는 10kHz이다. 스캔탐사 측정간격은 5cm마다 데이터를 취득한다. 그림 9는 지중 매질물에 대한 스캔 데이터를 취득해서 불필요한 잡음신호 제거 알고리즘을 수행하고 영상으로 표현하는 영상 데이터처리 소프트웨어 구성도를 나타내었다. 그림으로부터 탐사측정은 매 5cm마다 이동하여 오프라인으로 500회의 A-scan과 158회의 B-scan 데이터를 스캔탐사 모델에 저장하고, 이에 대한 잡음제거 알고리즘을 수행한다. 이렇게 측정된 데이터 값을 이용하여 신호크기에 따른 색깔을 구분하여 A, B 스캔 데이터의 영상이행 과정을 수행한다. 데이터 값을 컬러 영상으로 변환시켜 최종 탐사영상을 컴퓨터 그래프에 쌍곡선 확산함수의 단면영상으로 나타낸다.

여기서 분산잡음이나 지면에 의한 강한 반사 신호등의 불필요한 데이터는 B-scan에서 평균화하여 제거시키는 영상 신호처리 알고리즘을 사용한다^[3].

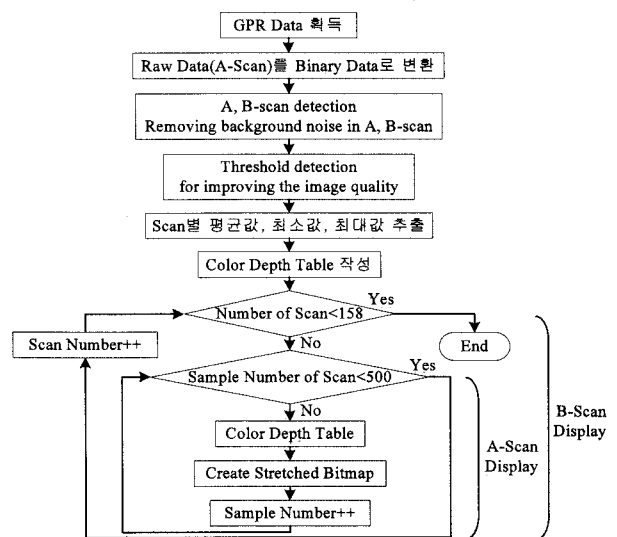


그림 9. 지반탐사 영상레이더의 영상 데이터처리
Fig. 9. GPR image data processing.

2. 지반탐사 영상레이더의 해상도 성능

그림 10과 같은 지반탐사 영상레이더 실증시험장에서 최적화 설계된 GPR을 제작하여 해상도 성능을 측정하였다. 시험장 구성에서 금속판(metal plate)은 1m,

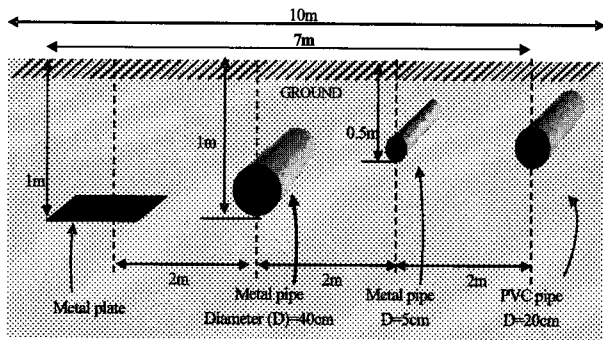


그림 10. 지반탐사 영상레이더 실증 시험장 구성
Fig. 10. GPR test field configuration.

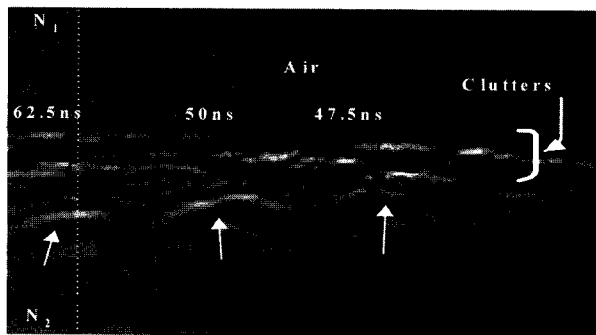


그림 11. 탐사영상의 해상도
Fig. 11. Resolution of GPR scan image.

40cm 금속관(metal pipe)은 깊이가 대략 60cm, 그리고 5cm 금속관은 50cm의 깊이에 매설되었다.

그림의 매설물에 의해 탐사된 영상은 그림11과 같으며 각 매설물에 의해 측정된 쌍곡선 확산함수의 꼭지점 시간을 나타내었다. 각각의 꼭지점 시간차이를 분석함으로써 시스템의 수직심도 해상도를 계산할 수 있다.

각 쌍곡선 확산함수의 꼭지점 심도 깊이를 구해보면, 가장 큰 값을 갖는 것은 금속관이며 대략 62.5ns이다. 금속관은 50ns, 작은 금속관은 47.5ns이다. 여기에서 토양매질의 상대유전율을 15로 가정한다면, 12.5ns의 차이는 상대 전파속도에 의해 0.96m이며, 시험장에서 금속관과 금속관의 왕복 거리차는 80cm이다. 따라서 시스템의 심도오차는 20cm이내임을 알 수 있다. 이는 GPR 시스템이 이론적 해상도와 거의 일치함을 알 수 있다.

V. 결 론

최적화 설계된 GPR 시스템은 실증 시험장에서의 측정 결과로부터 지하 1m 이상의 수직심도 범위내의 금속물질을 탐지할 수 있다. 또한, GPR시스템의 중요한

성능평가 척도를 수직심도의 해상도 중심으로 분석하여 최적화된 설계방법으로 20cm이하의 고해상도를 보임을 검증하였다. 국내의 토양은 수분 함유량이 높고, 자갈 등과 같은 클러터들이 많은 지층에서도 해상도가 매우 우수함을 알 수 있다.

이러한 결과는 임펄스신호의 송수신 구성요소들을 시간적 파라미터로 설계하여 지반탐사 영상레이더에서 발생하는 시간지연 산란신호들에 의한 분산왜곡 현상을 최적화된 하드웨어와 소프트웨어에 의해 효과적으로 최소화시킬 수 있었기 때문이다.

특히 시간영역에서의 이론적 최적화 설계방법은 효율적인 주파수 스펙트럼 발생으로 광대역 팻 다이폴 안테나 시스템을 가져야하는 임펄스통신 응용분야등에서 매우 효율적인 설계방법이 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Y. J. Park, K. H. Kim, S. B. Cho et al, "Buried small object detected by UWB GPR", IEEE A&E Systems Magazine pp. 3-6, Oct 2004.
- [2] 박영진, 김관호, 이원태 "초광대역 임펄스를 이용한 지반탐사 이미지 레이더," 전자공학회논문지, 제35권 D편, 제3호, pp. 56-62, 2005년 3월
- [3] K. H. Kim, Y. J. Park, and H. G. Park, "High resolution impulse radar for detecting underground object", Microwave Opt. Technol. Lett., Vol. 43, No. 6, pp. 521-524, Dec. 2004.
- [4] D. J. Daniels, "Ground penetrating radar (2nd Ed.)", IEE press, 2004.
- [5] D. J. Daniels, "Surface Penetrating Radar", Electronics & Communication Engineering J., pp. 165-170, Aug. 1996.
- [6] H. C. Oh, Y. S. Jo, S. Y. Hyun, and S. Y. Kim, "Modeling of electrical property of background medium applied to ground penetrating radar", Proc. Asia-Pacific Microwave Conf., Seoul, Korea, pp. 921-924, Nov. 2003.
- [7] 김관호, 박영진, 윤영중, "초광대역 임펄스 지반탐사 레이더에서 지면의 영향에 따른 임펄스 전파 특성 연구", 전자공학회 논문지, 제 44권 TC편, 제11호, pp. 42-47, 2007.
- [8] M. J. Ammann and Zhi Ning Chen, "Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems", IEEE Antennas Propagat. Magazine, Vol 45, No. 2, pp. 146-150, Apr. 2003.

저 자 소 개



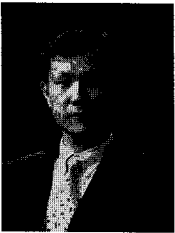
김 관 호(정회원)
 1978년 숭전대학교 전자공학과
 (공학사)
 1980년 연세대학교 전자공학과
 (공학석사)
 2008년 연세대학교 전기전자
 공학과 (공학박사)

1980년~1983년 한국전력공사
 1983년~현재 한국전기연구원 전기정보망연구
 센터 센터장
 <주관심분야 : 전파통신, 전력선통신 시스템, 무
 선에너지 전송, UWB레이더 및 센서>



박 영 진(정회원)
 1997년 중앙대학교 전자공학과
 (공학사)
 1999년 한국과학기술원
 전기전자과 (공학석사)
 2002년 Universitaet Karlsruhe
 전기전자과 (공학박사)

2002년~현재 한국전기연구원
 <주관심분야 : 임펄스 통신, 임펄스 레이더, 전파
 전파, 밀리미터파 차량용 레이더, 전력선 통신>



윤 영 중(평생회원)
 1981년 연세대학교 전자공학과
 (공학사)
 1986년 연세대학교 전자공학과
 (공학석사)
 1991년 Georgia Institute of
 Technology (공학박사)

1992년~1993년 한국전자통신연구원
 위성통신기술연구단
 1993년~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
 <주관심분야 : 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파,
 EMI/EMC>