

그래프 데이터 기반의 지반 탐사 시스템 A Ground Discovery System based on Graph Data

송재오, 권진관, 최도진*, 유재수*
(주케이아이씨티, 충북대학교*)

Je-O Song, Jin-Gwan Kwon, Do-jin Choi*,
Jae-Soo Yoo*
K-ICT Co.,Ltd., Chungbuk National University*

요약

최근 지반이 가라앉아 지면에 구멍이 발생하는 싱크홀(Sink Hole)의 발생이 빈번하게 발생하고 있으며, 이에 대한 피해사례도 증가하고 있다. 이를 예방하고 대응하기 위하여 국가적으로 대대적인 지반조사를 하고 있으며 해당 지반을 탐사하기 위하여 지표투과레이더와 내시경 등을 활용한 방법을 사용하고 있다. 본 논문에서는 현재까지 가장 효율적인 방법으로 알려진 지표투과레이더의 데이터를 그래프 형태로 표현하고 분석하여 효과적으로 탐사를 할 수 있는 시스템을 제안한다.

I. 서론

싱크홀은 도심지개발이 발달하면서 땅속에 매설된 지장물 중 물과 관련된 상수관로, 하수관로의 노후화로 인한 파손 및 지표면에서의 굴착행위 등으로 인해 파손되어 유발되는 것이 대부분으로, 최근 도심지 개발이 증가하면서 교통하중과 고정하중이 증가하는 순간 싱크홀 발생이 증가하고 있다.

이러한 싱크홀은 GPR(Ground Penetrating Radar)이라는 지표투과레이더에 기반한 전자기파 탐사를 통해 회절 징후를 파악하는 방법으로 찾아내는 것이 대부분이다. 하지만, 해당 전자기파 탐사 장비는 대부분이 해외에 의존하는 경우가 많으며 장비에서 반사되는 전자기파를 측정하기 위한 모듈을 일체형으로 탑재하고 있어서 크기와 무게 측면에서 이동성에 대한 제약을 받게 된다. 더하여, 반사되는 전자기파에 대한 급격한 변화만을 검출하는 형태로 세밀한 탐사를 위해 내시경을 함께 사용하고 있다.

본 논문에서는 이더넷에 기반하여 지반 탐사 장비로부터의 전자기파 데이터를 수신하고, 이를 그래프 데이터로 표현 및 분석함에 따라 상기와 같은 이동성과 정확성에 대한 문제점을 개선하는 시스템을 제안한다.

II. 설계 및 구현

본 연구에서는 60MHz~300MHz의 전자기파를 발생하는 GPR(Ground Penetrating Radar)장비와 Triangular 형태의 삼각 안테나 2개를 사용하였으며, 이는 각각 탐사 대상이 되는 토양의 유형에 따른 전자기파의 세기 설정과 3차원 그래프 데이터 생성에 사용된다. 제안 시스템은 GPR(Ground Penetrating Radar)과 Triangular

Antenna만으로 구성된 하드웨어에 유·무선 이더넷 모듈을 탑재하여 이동성을 개선하였으며, 노트북이나 테블릿 PC등을 이용하여 반사되는 전자기파에 대한 데이터를 원거리에서 수신 및 처리할 수 있도록 하여 지반을 구성하고 있는 층간 데이터를 구별할 수 있도록 함으로써 정확성을 개선하였다.



▶▶ 그림 1. 시스템의 구성과 순서

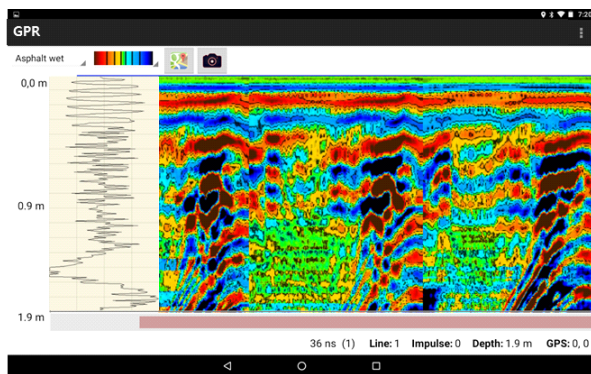
GPR(Ground Penetrating Radar) 측정 데이터는 TCP 형태로 수신되며 10m 당 약 100만개의 데이터를 발생시킨다. 제안 시스템은 해당 데이터를 실시간으로 처리하기 위해 1m마다의 측정 데이터를 배열 형태로 처리할 수 있도록 설계하여 메모리 관리할 수 있도록 하였다. 표 1은 측정 데이터를 그래프 형태로 처리하기 위해 사용되는 토양 유형별 전도도와 깊이에 대한 감쇠 지수이다. 수신된 데이터는 주파수 파형을 기준으로 1주기마다 샘플링되어 그래프로 생성될 수 있도록 전처리 되어진다. 전

처리된 데이터는 측정을 위한 이동거리에 따른 시간에 따라 연속적인 그래프로 재구성된다. 즉, 사람이 육안으로 지반의 구성을 판별할 수 있는 형태의 시각적 정보를 최종적으로 보여준다.

표 1. 토양유형별 유전체 처리 지수

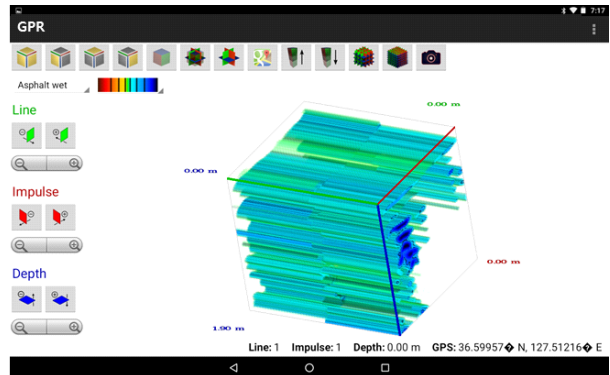
Material	Conductivity, σ (S-m)	Relative Permeability ($\mu_r = \mu/\mu_0$)	Relative Permittivity ($\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$)	Attenuation, α (dB-m ⁻¹)
Air	0	1	1	0
Asphalt—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	2-4	2-4	2-15
Asphalt—wet	$10^{-1} - 10^0$	6-12	6-12	2-32
Clay—dry	$10^{-1} - 10^0$	2-6	2-6	10-50
Clay—wet	$10^0 - 10^1$	5-40	5-40	20-100
Coal—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	3.5	3.5	1-10
Coal—wet	$10^{-1} - 10^0$	8	8	2-20
Concrete—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	4-10	4-10	2-12
Concrete—wet	$10^{-1} - 10^0$	10-20	10-20	10-25
Freshwater	$10^{-1} - 10^0$	81	81	0.01
Freshwater ice	$10^{-2} - 10^{-1}$	4	4	0.1-2
Granite—dry	$10^{-4} - 10^{-3}$	5	5	0.5-3
Granite—wet	$10^{-3} - 10^{-2}$	7	7	2-5
Limestone—dry	$10^{-4} - 10^{-3}$	7	7	0.5-10
Limestone—wet	$10^{-2} - 10^{-1}$	8	8	1-20
Fermafrost	$10^{-2} - 10^{-1}$	4-8	4-8	0.1-5
Rock salt—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	4-7	4-7	0.01-1
Sand—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	2-6	10-30	0.01-1
Sand—wet	$10^{-1} - 10^0$	10-30	2-5	0.5-5
Sandstone—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	2-5	5-10	2-10
Sandstone—wet	$10^{-1} - 10^0$	5-10	5-10	4-20
Sea water	10 ⁶	81	81	100
Sea water ice	$10^{-1} - 10^0$	4-8	4-8	1-10
Shale—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	4-9	4-9	1-10
Shale—saturated	$10^{-1} - 10^0$	9-14	10-30	5-30
Snow—firm	$10^{-2} - 10^{-1}$	6-12	6-12	0.1-2
Soil clay—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	4-10	4-10	0.3-3
Soil clay—wet	$10^{-1} - 10^0$	10-30	10-30	5-50
Soil loamy—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	4-10	4-10	0.5-5
Soil loamy—wet	$10^{-1} - 10^0$	10-30	4-10	1-6
Soil sandy—dry	$10^{-2} - 10^{-1}$	4-10	4-10	0.1-2
Soil sandy—wet	$10^{-1} - 10^0$	10-30	10-30	1-5

그림 2와 같이, 기본적으로 2차원 형태의 측정 데이터를 그래프 정보로 처리가 가능하며, 동일한 측정 위치를 3회에 걸쳐 측정하면 그림 3과 같이 3차원 형태의 그래프 정보를 확인할 수 있다.



▶▶ 그림 2. 2차원 그래프 형태의 지반 탐사 결과

그림 2와 같이 지반 탐사 데이터가 2차원 그래프로 처리된 결과 화면에서는, 깊이 0.9m 근처에서 배관 같은 원형의 물체가 측정 토양 아래에 매설되어 있음을 알 수 있으며 깊이 1.5m에서는 좌측의 주파수 파형과 우측의 지반 그래프를 비교하여 볼 때, 지반내의 홀(Hole) 발생으로 인하여 전자기파가 급격히 단일 방향으로만 반사되고 있음을 알 수 있다.



▶▶ 그림 3. 3차원 그래프 형태의 지반 탐사 결과

그림 3과 같이 지반 탐사 데이터가 3차원 그래프로 처리된 결과 화면에서는, 그림 2의 2D 그래프 데이터의 깊이 0.9m 근처에서 보였던 원형의 물체가 매설된 형태를 확인할 수 있으며 깊이 1.5m에서는 홀(Hole)로 예측했던 위치는 그래프 파형이 나타나지 않고 있다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2017년도 산학연 협력 기술개발사업(No.C0514301)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] Gurbuz Ali C, McClellan James H, Scott Jr. Waymond R, "Compressive sensing for subsurface imaging using ground penetrating radar", Journal of the Signal Processing, Vol.89, No.10, pp.1959-1972, 2009.
- [2] Wonil Choi, Seungcheol Baek, "Comparison of Analysis Model on Soil Disaster According to Soil Characteristics", Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol.18, No.6, pp.21-pp.30, 2017.
- [3] Hyung-Ik Cho, Eun-Seok Bang, Myeong-Jong Yi, Yun-Wook Choo, Dong-Soo Kim, "Development of Electrical Resistivity Survey System for Geotechnical Centrifuge Modeling", Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol.30, No.10, pp.19-pp.31, 2014.
- [4] Jin-Ho Park, Kang-Hyun Lee, Sang-Hoon Shin, Seong-Won Lee, In-Mo Lee, "Harmony search algorithm to predict anomalous zone ahead of tunnel face utilizing electrical resistivity survey", Journal of the Korean Tunn Undergr SP Assoc, Vol.16, No.2, pp.149-pp.160, 2014.