

GPR에 의한 안전진단 사례 (Case Studies of Safety Diagnosis by GPR)

*한자경, *최광철

Abstract

Ground penetrating radar(GPR) uses radio waves to detect buried objects in any non-metallic material. Initially it was used to detect structures in ice. GPR has evolved to include the penetration of soils, rocks and man-made structures. GPR uses a sensitive detector to record weak radio waves reflected from objects embedded in the material under investigation. In this study, the GPR is applied to outside plant telecommunication facilities such as cable tunnels, manholes and underground conduits and model experiments to obtain radar characteristics. The thickness and soundness of tunnel lining can be evaluated, and the location of rebars and steel ribs can also be found effectively. The location of underground conduits as well as manholes can be found and the results of GPR give good coincidence with design drawings. In order to investigate the tunnel lining, the GPR mounted vehicle is developed and it is proved that the vehicle can save time and manpower.

1. 서론

한국통신은 초고속 멀티미디어의 종합통신망을 구성하기 위한 각종 시설물을 보유하고 있는 데 이 중에서 통신선로용 관로(underground conduit), 맨홀(manhole) 및 통신구(cable tunnel)는 지하에 매설, 또는 건설되어 있는 중요 구조물이라 할 수 있다. 따라서, 이와 같은 시설에 대한 안전확보는 절대적으로 필요하므로 통신구 구조물에 대해서는 정기적으로 안전점검을 실시하고 있으며, 통신선로용 관로의 경우에는 굴착공사시 기존매설물의 위치정보를 파악하여 타 시설물에 대한 피해를 최소화시킬 뿐 아니라, 우리시설물에 대한 정확한 파악이 이루어지도록 지장물조사 등을 하고 있다. 특히, 터널형으로 건설된 통신구는 일반 박스(box) 구조물과는 달리 각종 이상현상 발생에 대한 점검항목이 다르며, 긴 연장을 신속하고 효율적으로 점검할 필요가 있기 때문에 물리탐사(geophysical prospecting) 기술을 응용한 지중레이다(GPR, Ground Penetrating Radar) 장비를 적용하였다.

본 논문에서는 지중레이다(GPR) 기법의 개요를 살펴보고 터널 및 지장물 탐사사례를 정리, 제시하였으며 이와 아울러 소단면의 터널 crown부를 효율적으로 점검할 수 있는 지중레이다(GPR)탐재차량의 개발내용을 소개하였다.

* 한국통신, 가입자망연구소, 전임연구원

2. 탐사방법 소개

2.1 지중레이다(GPR) 개요

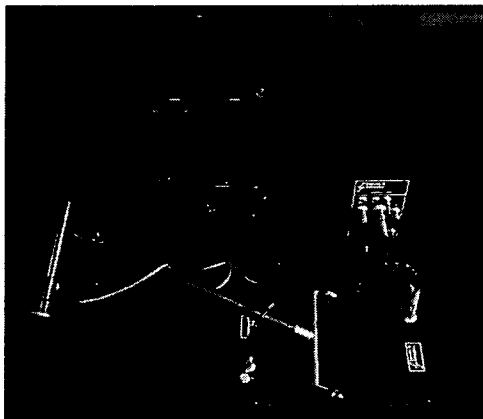
지중레이다(GPR)은 1970년대 이전에는 주로 남극과 북극의 빙하 두께측정에 사용되었으나, 1970년대에 와서 Annan과 Davis(1976)에 의하여 지반조사에 응용되기 시작하였으며, 그 후 1970년대 후반과 1980년대에 Annan & Davis(1989), Scaife(1991), Morey(1974), Benson(1984), Ulriksen(1982)등에 의하여 본 기술의 장점 및 단점에 대한 연구가 집중적으로 발표되었으며, 현재 다양한 장비가 개발되어 실무현장에 적용되고 있다. 지중레이다(GPR)는 전자파를 지표에서 송신 안테나를 통해 지하로 방사하여 지표하부의 지층경계, 파쇄대, 공동, 매설관 등과 같은 지하의 불균질층(체)으로부터 반사된 반사파를 수신안테나를 통해 기록한 후, 그 파형을 처리 분석하는 탐사법으로 지중레이다(GPR)의 응용분야에는 다음과 같은 것이 있다.

- 지반조사 (soil investigations)
- 기반암 조사 (bedrock surveys)
- 지하수 조사 (groundwater studies)
- 하천 및 호반조사 (river & lake investigation)
- 건설부지 조사 (site investigation)
- 콘크리트 구조물 조사 (concrete structures)
- 환경조사 (environmental studies)

2.2 적용장비

2.2.1 지중레이다(GPR)

적용 지중레이다(GPR) 장비는 캐나다의 Sensors & Software사에서 제작한 pulseEKKO1000 시스템(사진 1)이며 이에 대한 제원은 <표 1>과 같다.



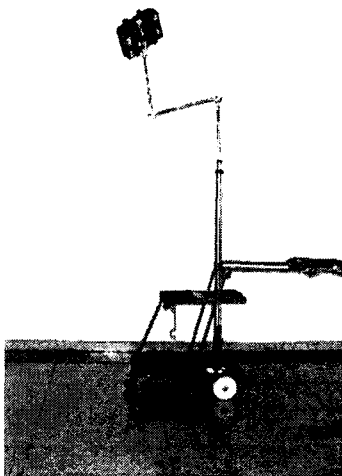
(사진 1) pulseEKKO1000 System

<표 1> 지중레이다(GPR)의 주요제원

구분	제원
Time Window	10 ~ 250 ns
Sampling interval	100 ~ 1000 ps
Staking range	1 ~ 2048 stacks
Power	12V DC
Weight	2.8 kg
pulse repetition rate	30 kHz
Antenna	225MHz, 400MHz, 900MHz
컴퓨터	32.0MB RAM
자료저장	FDD, HDD, RAM disk
프로그램	EKKO-RUN

2.2.2 지중레이다(GPR) 탑재점검차량

한편, 일반 도로터널과 같은 대단면 터널의 경우에는 고소작업차량 등을 이용하여 탐사를 수행할 수 있으나 통신구는 단면이 작기 때문에 터널 crown부의 효율적 탐사를 위하여 (사진 2)과 같은 소단면의 터널에 적합한 지중레이다(GPR) 탑재점검차량을 개발하였다. (사진 3)은 이 차량을 이용하여 터널의 crown부를 탐사하고 있는 전경을 보여주고 있다.



(사진 2) 탑재점검차량



(사진 3) 탑재차량을 이용한 터널 crown부 탐사

2.3 탐사설계 (survey design)

탐사를 실시하기 위한 준비단계로 탐사 지역에 대한 정보를 바탕으로 탐사선의 위치, 장비의 이동 방법, 안테나의 사용주파수, 안테나의 이동간격 등의 세부적인 요인들을 지반조건, 목표물의 예상심도 및 크기에 따라 결정하여야 하는데, 본 연구에서 실제로 자료를 취득하기 위해서 설정한 탐사대상별 변수항목은 <표 2>에 제시되어 있다.

<표 2> 탐사대상별 적용변수항목

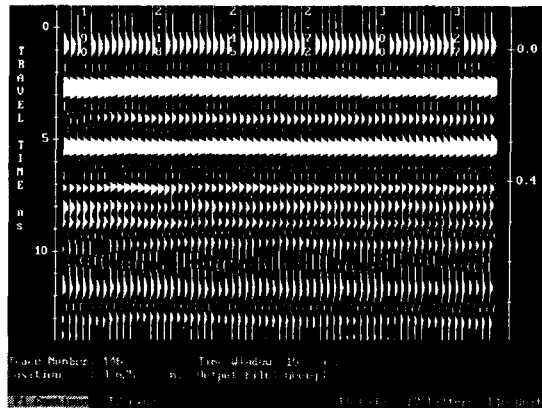
탐사대상 변수항목	지반 라이닝	지반 해면중층	광드 및 맨홀	비고
time window (ms)	10 ~15	20~25	25~40	가탐심도와 관련
frequency (MHz)	900/1200	450	225/450	
sampling int. (ps)	100	200	400/200	
stacks	8	8	1	
min. antenna sep. (m)	0.17/0.075	0.25	0.5/0.25	
max. step size (m)	0.025/0.02	0.05	0.1/0.05	
velocity (m/ns)	0.1	0.1	0.1	측정면의 습윤상태에 따라 다르게 설정
operating mode	cont./step	high speed collection	high speed collection	
gains	AGC	AGC	AGC	AGC (Auto Gain Control)

3. 탐사사례

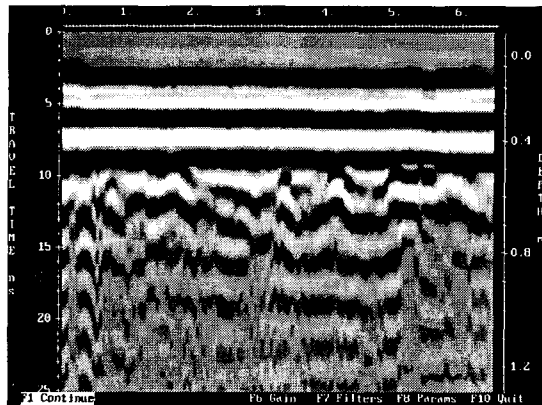
지중레이다(GPR)를 이용하여 터널의 내부라이닝과 배면공동 등을 탐사하였으며, 지하매설물 및 맨홀에 대해서도 탐사를 실시하였다.

3.1 터널 탐사

(그림 1)은 터널라이닝의 두께를 알아보기 위하여 900MHz 안테나를 사용하여 탐사한 결과이며 라이닝의 두께는 약 30cm로서 당초의 설계조건과 동일함을 확인하였다.



(그림 1) 터널라이닝두께(wiggle type)

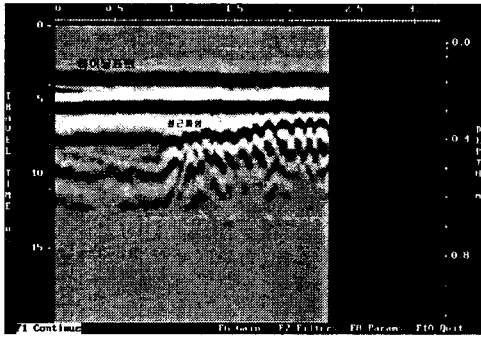


(그림 2) 터널라이닝 내부의 스틸리브

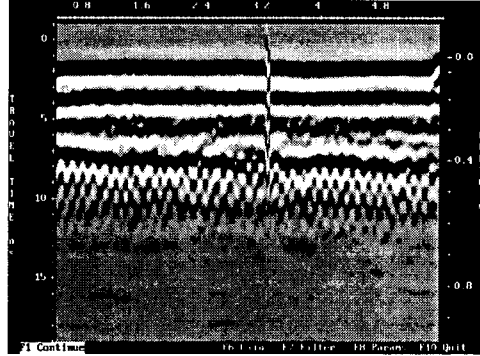
(그림 2)는 터널라이닝 내부에 설치된 스틸리브(steel rib)를 탐사한 결과이며 역포물선 형태로 뚜렷이 나타난 강한 화상이 스틸리브로서 설치간격이 약 1m 임을 보여 주고 있다.

(그림 3)과 (그림 4)는 터널라이닝에 철근이 배근되어 있는 경우와 배근되어 있지 않은 경우를 900MHz 안테나를 사용하여 탐사한 결과를 보여주고 있으며, 철근의 매설심도 뿐만 아니

라, 배근간격까지도 확인이 가능함을 알 수 있었다.



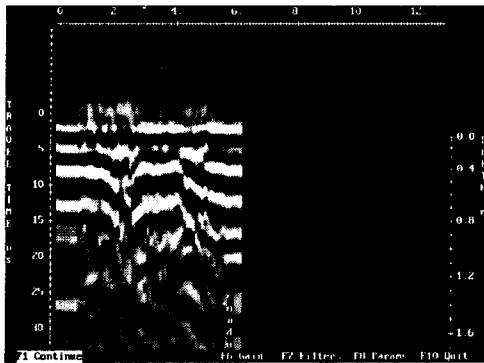
(그림 3) 라이닝 내부의 철근탐사(I)



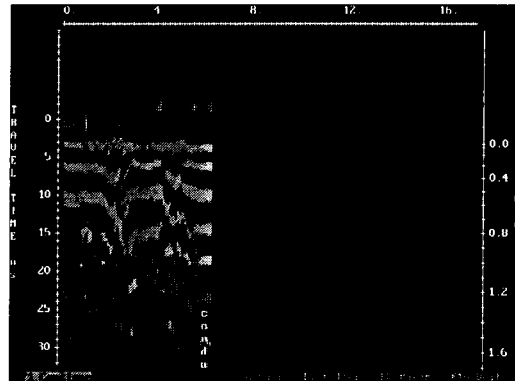
(그림 4) 라이닝 내부의 철근탐사(II)

3.2 지하매설물 탐사

(그림 5)는 지하에 매설되어 있는 맨홀을 225MHz 안테나를 사용하여 탐사한 것으로서 역포물선 형태로 나타난 것이 맨홀이며, 도면과 비교한 결과 심도 및 위치가 정확히 일치함을 확인할 수 있었다. (그림 6)은 (그림 5)의 display mode를 wiggle type으로 바꾼 것임.)



(그림 5) 맨홀 탐사결과

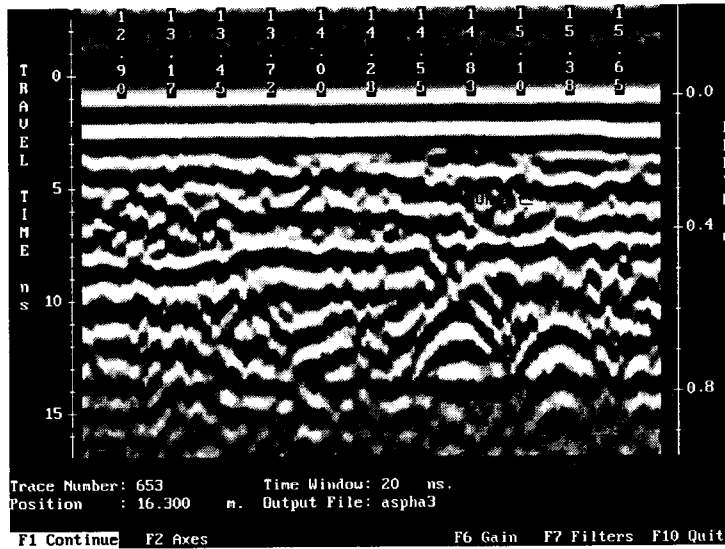


(그림 6) 맨홀 탐사결과 (wiggle type)

(그림 7)은 450MHz 안테나를 사용하여 지중에 매설되어 있는 주철 상수도관과 콘크리트 관의 길이방향에 대하여 직각으로 탐사를 실시한 결과이다. 그림에서 매설관의 파형을 보이고 있는 것 중 왼편이 주철로 된 상수도관, 오른편이 콘크리트 관으로서 비교적 잘 나타나 있으며, 이를 도면과 비교 검토한 결과 매설물의 심도 및 위치가 정확히 일치함을 확인할 수 있었다.

(그림 8)은 225MHz 안테나를 사용하여 지중에 매설된 경질염화비닐전선관(PVC)을 탐사한 결과이며 관의 길이방향에 대하여 직각으로 탐사를 실시하였다. 실제로 화단에서부터 약

2m 이격된 지점에 관로가 매설되어 있었는데 탐사화상에서도 볼 수 있듯이 관로의 공동파형이 뚜렷하게 나타나 있으며 이를 통하여 관로의 매설심도 및 위치파악이 가능함을 알 수 있었다.



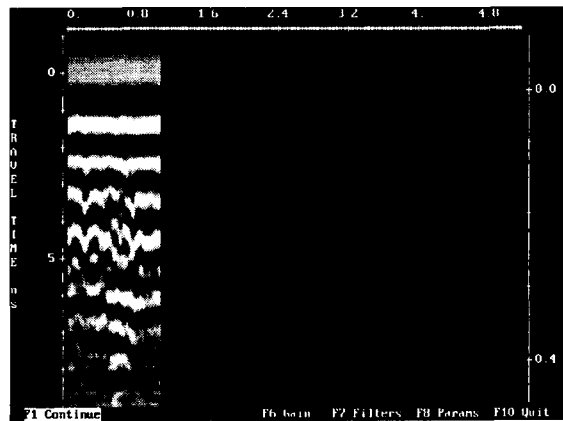
(그림 7) 상수도관 및 콘크리트관 탐사자료



(그림 8) PVC관로 탐사자료

3.3 균열탐사

지중레이다(GPR)의 안테나가 균열이 발생한 터널라이닝의 콘크리트 표면을 지나갈 때와 균열이 없는 깨끗한 표면을 지나가는 경우, 화상이 어떻게 달라지는 지에 대하여 알아보기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. 즉, 콘크리트 슬라브에 폭이 약 5mm되는 균열이 콘크리트를 관통한 경우에 대한 정밀탐사를 스텝모드(step mode)를 사용하여 실시하였다. (그림 9)는 이에 대한 탐사화상으로서 균열이 발생하지 않은 콘크리트에 대한 탐사화상과 다른 파형을 얻을 수 있었으며, 이는 균열부의 공기층 존재로 인한 것이라 추정된다. 한편, 육안으로 보이는 균열이라 하더라도 균열이 관통되지 않은 경우, 화상으로 균열을 파악하기 어려운 것을 확인하였다.



(그림 9) 콘크리트 슬라브 균열부 탐사결과

4. 결론

본 논문은 지중레이다(GPR)를 통신토목시설물에 적용한 사례를 중심으로 정리한 것으로서 적용후 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 소단면 터널의 탐사를 효율적으로 수행하기 위하여 지중레이다(GPR) 탑재점검차량을 개발하였으며, 이를 실제 터널에 적용한 결과 신속하고 효율적인 탐사가 가능하였다.
- 2) 터널라이닝의 두께, 라이닝 콘크리트의 건전성(soundness), 라이닝 배면의 스틸리브 및 콘크리트 내부의 철근을 지중레이다(GPR)에 의하여 신속하고 정확히 탐지할 수 있었다.
- 3) 지중레이다(GPR)에 의하여 지중매설물(맨홀 및 관로)의 매설심도 및 위치를 정확히 파악할 수 있었으며, 주철관, 콘크리트관 및 경질염화비닐관 등에 대한 탐지에서도 양호한 결과를 얻을 수 있었다.
- 4) 폭이 5mm이상인 비교적 큰 균열이 콘크리트를 관통하여 콘크리트 내에 또 다른 매질인 공기 층이 형성되었을 경우에는 균열의 위치를 화상으로 잘 나타나는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 현병구, 물리탐사용어사전, 선일문화사, 1995.
2. 정연문, 이명성, 이영남, Kong. F, Georadar를 이용한 터널지반조사, 대한 토목학회 1995년 학술발표회 논문집, 1995.
3. 배성호, 김학수, 윤운상, 지반공학과 구조물 진단분야에서의 GPR기술응용, 한국지반공학회지, 1996.
4. Sensors & Software Inc., "pulseEEKO 1000 RUN" User's Guide Version 1.2", 1996.
5. Annan, A.P. and Davis, J.L., Impulse Radar Soundings in Permafrost: Radio Science, Vol.11, pp.383-394, 1976.
6. Davis, J.L., and Annan, A.P., Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy. Geophysical Prospecting, Vol.37, pp.67-72, 1989.
7. Benson, R.C., Glaccum, R.A. and Noel, M.R., Geophysical Techniques for Sensing Buried Wasters and Waste Migration. US EPA Contract No. 68-03-3053. Environmental Monitoring Systems Laboratory. Office of R&D. US EPA, Las Vegas, Nevada89114. 236p., 1984.
8. Morey, R.M., Continuous Subsurface Profiling by Impulse Radar. Proceedings of Engineering Foundations Conference on Subsurface Exploration for Underground Excavations and Heavy Construction. Henniker, NH. p.213-232, 1974.
9. Scaife, J.E., & Annan, A.P., Ground Penetrating Radar-A Powerful, High Resolution Tool for Mining Engineering and Environmental Problems; paper presented at 93rd CIM Annual General Meeting, Vancouver, B.C., April 29-May 1, 1991.
10. Ulriksen, C.P.F., Application of Impulse Radar to Civil Engineering. Unpublished Ph.D.Thesis, Dept.of Engr, Geol., U. of Technology, Lund, Sweden, 175p., 1982.