

지하정보의 한계에 도전한다

[GPR탐사 시스템]

신성렬 / 연구개발부 과장, 박부성 / 연구개발부 대리

급 격한 도시화 및 경제성장에 따라 전력, 통신, 가스 등 사회 간접 시설망이 확충되었으나 지하시설물에 대한 관리체제가 일관성있게 이루어지지 않아 각 기관에서 보유한 지하매설물의 도면이 현지상황과 상이한 경우가 많다. 따라서 사전에 정확한 매설상황을 파악하지 않고 공사를 할 경우 대형 사고로 연결될 가능성이 매우 높은 실정이다. 현재는 안전사고와 부실 시공을 방지하기 위하여 정밀안전시공과 품질관리 강화에 대한 노력이 증가하고 있으며, 또한 반영구적인 구조물이 세월이 지남에 따라 발생하는 구조물의 조기열화 및 노후화에 대비하여 안전성 확보차원에서 보수보강의 필요성과 체계적인 유지관리에 대한 요구가 증대되고 있다.

따라서 지하에 매설된 다양한 종류의 지하시설물을 효과적으로 탐지하고, 구조물에 손상을 주지 않으면서 구조물의 내부를 효과적으로 파악할 수 있는 비파괴조사(Non Destructive Test) 기술이 요구되고 있으며, 최근 국내외에서도 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 다양한 종류의 기법과 장비가 개발되고 있다. 이에 따라 당사 연구개발부에서는 1996년 10월 지반투과 레이더

(Ground Penetrating Radar, GPR) 시스템을 도입하여 지하매설물, 공동구 위치조사, 맨홀조사, 기반암 심도조사, 터널라이닝 등의 비파괴조사, 철근배근 및 Con'c 피복 두께조사, 기초조사 등에 폭넓게 활용해 왔으며 이와 함께 지하매설물 조사의 보조수단으로 파이프 탐지기(Pipe Locator, 영국 Radio-detection Ltd의 RD400PDL2(수신기)와 RD433HCTx2(송신기))를 이용하고 있다. 본고에서는 GPR탐사의 간단한 원리와 함께 당사 현장에서 성공적으로 수행한 몇가지 탐사 사례를 소개하고자 한다.

GPR 탐사의 원리

GPR(Ground Penetrating Radar)란 16~1000MHz의 전자기파를 송신안테나로 부터 방출시켜 전자기적 물성이 다른 물체를 만나 반사되어 돌아오는 신호를 수신안테나에서 탐지하고, 이를 처리하여 단면도로 작성, 해석하는 과정으로 주변 시설물이나 지반에 전혀 손상을 주지 않는 비파괴 조사라 할 수 있다.

(그림 1)은 GPR탐사의 측정원리에 대한 모식도를 나타내었다. GPR탐사에서 전자기파의 전파속도를

(표 1) 재료의 유전상수 및 전기전도 계수

재 료	유 전 상 수	전기전도 계수 (mho/m)
공 기	1	0.0
물	80 - 81	$1 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-3}$
해 수	81	4
얼 음	3 - 4	1×10^{-3}
동 결 토	3 - 6	$1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-4}$
콘크리트	4 - 10	1.4×10^{-4}
암석/암반(Rock)	4 - 10	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-2}$
도로 포장재	5 - 10	$2 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$
점 성 토	4 - 16	$2 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-2}$
사 질 토	4 - 25	$2 \times 10^{-5} - 7 \times 10^{-3}$
실 트	9 - 23	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-2}$
빙적토(Till)	9 - 25	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$
유기토(Peat)	50 - 78	$1 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3}$

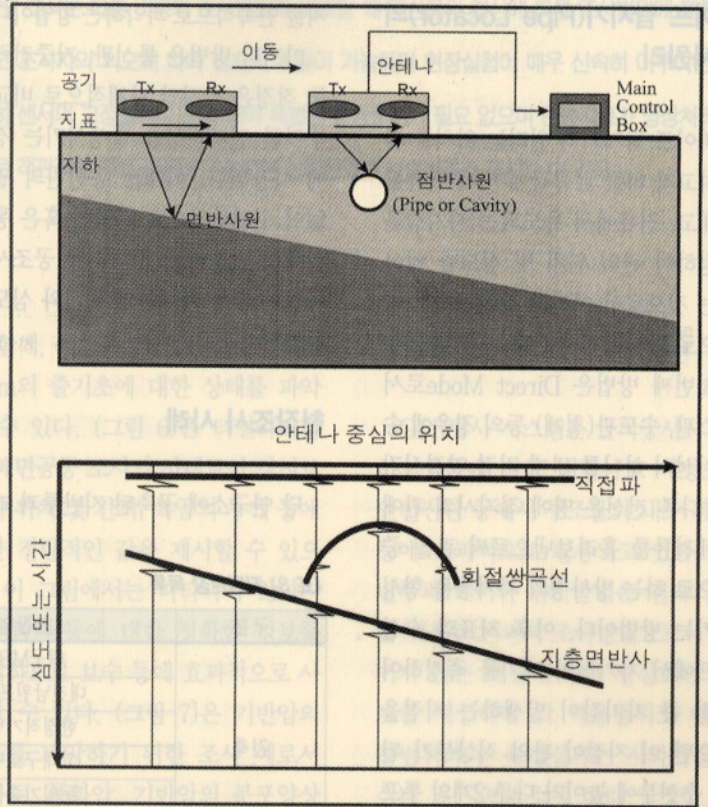
* 유전상수는 동일 재료라도 함유수비가 커질수록 증가한다. 하얀값은 불포화 재료에 대한 값이다.

결정짓는 주요 물성은 유전율 (Dielectric Permittivity), 전기전도도(Electric Conductivity)와 같은 지반 구성물질의 전기적 특성에 의해 크게 영향을 받는다.

지반을 구성하는 각종 매질에서의 전자파의 전달속도는 유전상수에 의해, 파의 감쇄는 전기전도도에 의해, 유전율은 매질이 균질할 경우 수분 함량과 공극률에 의해, 전기전도도는 매질내의 수분 및 전도성 물질의 함량에 의해 영향을 받는다(표 1 참조).

조사심도는 사용 안테나에 따라 수십cm ~ 수 십m까지 조정 가능하며, 사용안테나의 중심주파수, 안테나 간격, 안테나 이동간격, 샘플링 간격 등으로 구성되는 탐사설계의 여러 요소들도 탐사결과에 어느 정도 영향을 주게 된다.(표 2 참조)

GPR 조사는 다른 비파괴 조사방법과 비교할 때 대상물의 형상에 따른 조사범위에 제한이 없고 조사자의 의도에 따라 심도의 조절이 가능하며 현장실험이 매우 신속히 이루어진다. 특히 센서의 고정설치나 준비 등의 특별한 현장준비가 필요 없으며 관련 자료가 영상처리되므로 객관적인 자료 제공이 가능하여 신뢰성있는 시험성과가 제시될 수 있다. GPR 조사는 완성된 구조물이나 지반에 시행될 수 있을 뿐 아니라 시공단계에서도 신속히 시행할 수 있어 시공물의 품질관리에 매우 효과적이며 그 적용 대상물에 제한이 없어 범용적으로 사용되고 있다.



(그림 1) GPR(Ground Penetrating Radar)의 원리 및 측정 모식도

(표 2) 안테나의 종류, 용도 및 조사심도

중심주파수 (MHz)	송수신기 배열 차폐여부	용도	최대조사심도
1000	송수신기 일체형 차폐	철근배근상태 파악 구조물내의 미세공동 파악	0.5m
900	송수신기 일체형 차폐	미세공동 탐지 콘크리트 두께 측정	0.75m
500 400	송수신기 일체형 차폐	지하매설물탐지 문화재발굴조사	3m
300 200	송수신기 일체형/분리형 차폐	매설탱크, 매립파이프탐지 그라우팅효과조사, 지질조사	6m
100	송수신기 일체형/분리형 차폐	매립지 경계조사, 지질조사 호수 및 강 수심조사	15m
25-120 (MLF)	송수신기 분리형 비차폐	지질조사 기반암 경계조사	50m
1000/2500	송수신기 분리형 (Horn형 안테나)	도로포장 두께조사 숏크리트 두께조사	1m/30cm

파이프 탐지기(Pipe Locator)의 조사원리

파이프 탐지기의 원리는 위치를 파악하고자 하는 금속관에 미세 전류를 보내고, 전류에서 유도되는 자기장을 측정하여 관의 위치 및 심도를 알아내는 것으로서 아래와 같은 3가지 방법으로 탐사를 수행한다.

첫번째 방법은 Direct Mode로서 가스관, 수도관(철제) 등의 경우에 송신전선의 하나를 관에 직접 연결시키고, 다른 전선은 땅에 접지시켜 관에 미세전류를 흘려보냄으로써 관을 중심으로 하는 방사형의 자기장을 형성시키는 방법이다. 이후 지표의 수신루프에서 자기장의 세기를 측정하여 가장 큰 자기장이 발생하는 지점을 찾으면 이 지점이 관의 직상부가 된다. 수신부에 높이가 다른 2개의 루프를 설치하였으므로 심도의 계산도 가능하다.

두번째 방법은 비금속관 또는 사람이 접근할 수 있는 공동구 등의 경우 자기장을 발생시킬 수 있는 Probe를 송신원으로 하여 지표에서 Probe의 위

치를 연속적으로 파악하는 방법이다.

마지막 방법은 통신관, 지중전력선 등 직경은 작지만 자체적으로 비교적 뚜렷한 전자기장을 발생시키는 경우에 사용된다. 이때는 송신원의 필요 없이 수신부만으로 전력선 혹은 통신선에서 발생하는 주파수와 공조시켜 매설관 혹은 케이블의 위치와 심도를 찾아낸다.

현장조사 사례

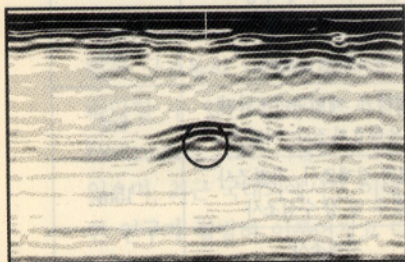
당 연구소에 구축된 지반투과 레이

(표 3) 지원현장 목록

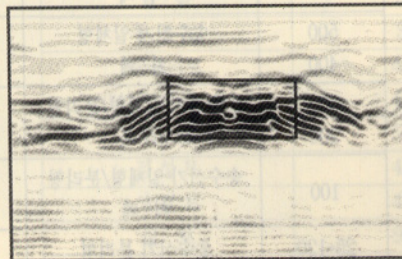
구분	현장명	과업종류
건축	대구MBC	지하매설물조사
	대전남원프라자	지하매설물조사
	한경직기념관	지하매설물조사
	고대구로병원	지하매설물조사, 기초두께
	동일기술공사	지하매설물조사
	삼진빌딩	지하매설물조사
토목	부산신선대	철근배근조사
	6호선통신구	지하매설물조사
	신내~망우도로	지하매설물조사
	지하철 6-6공구	지반조사, 지하매설물조사
전기	부산향콘데이너	지하매설물조사, 맨홀조사
기타	용평리조트	공동구 위치확인

다 시스템을 아래의 (표 3)과 같이 토목, 건축, 전기공사 현장 등에 적용하여 성능 및 효율을 확인하였다.

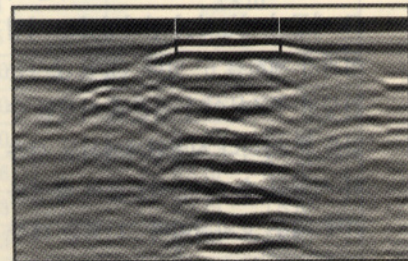
수집된 자료들 중에서 종류별로 대표적인 반응양상을 알아볼 때, (그림 2)는 지하 약1.2m에 매설된 직경 300mm의 상수도관에 대한 GPR반응을 나타내고 있는데 파이프에서 회절된 반사파를 뚜렷이 구분할 수 있다. 화면에 나타나는 영상으로부터 관로의 매설심도 및 위치정보는 정량적으로 파악되며 관로의 종류 및 직



(그림 2) 파이프형 지하매설물의 반응



(그림 3) Box형 지하구조물의 반응



(그림 4) 금속 맨홀커버의 반응

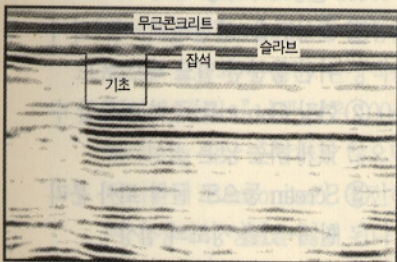
GPR 조사는 다른 비파괴 조사방법과 비교할 때 대상물의 형상에 따른 조사범위에 제한이 없고 조사자의 의도에 따라 심도의 조절이 가능하며 현장실험이 매우 신속히 이루어진다. 특히 센서의 고정설치나 준비 등의 특별한 현장준비가 필요 없으며 관련자료가 영상처리되므로 객관적인 자료 제공이 가능하여 신뢰성있는 시험성고가 제시될 수 있다.

경 등은 다른 정보를 이용하여 파악한다. (그림 3)은 지하 약1m정도에 시공된 Box형 구조물(하수 Box 또는 공동구)의 반응을 나타내고 있는데 구조물의 상부 끝지점에서 회절되는 양상으로부터 구조물의 수평거리를 정확히 파악할 수 있다. (그림 4)는 몇차례의 아스팔트 재포장에 의해 약 30~40cm 하부에 매몰된 맨홀카바를 탐사한 사례이다. 개략적인 탐사로서 금속탐지기를 사용하여 예상지점을 좁힌 이후, GPR을 이용하였다. 금속제 맨홀카바의 반응을 명확히 구분할 수 있고 그 하부에는 다중반사파가 나타나고 있다. (그림 5)는 건축물의 하부기초를 파악한 사례로서 약 20cm의 무근콘크리트 하부에 20cm 두께의 슬라브가 있고 10cm의 잡석

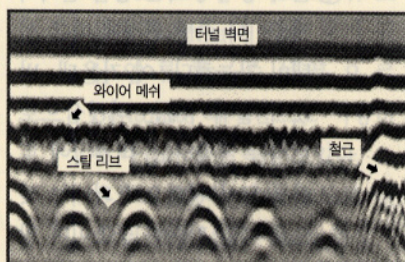
과 함께, 기초폭 약 50cm, 근입깊이 80cm의 줄기초에 대한 상태를 파악할 수 있다. (그림 6)은 터널라이닝 및 배면공동 조사의 사례로서 강지보공의 위치 및 간격, 복공의 두께 등에 대한 정량적인 값을 제시할 수 있으며, 이 그림에서는 나타나지 않았지만 배면공동에 대한 정확한 정보를 제시하므로 보수 등에 효과적으로 사용할 수 있다. (그림 7)은 기반암의 심도를 파악하기 위한 조사 예로서 풍화도, 풍화암, 기반암의 분포양상을 쉽게 구별할 수 있다. 그러나 도심지에서 실시되는 지반조사는 주변 건물, 전선주, 차량 등 강력한 잡음요소가 많고 지반에 점토질이 우세하거나 지하수위가 높을 때는 적용시 상당한 어려움이 발생한다.

맺음말

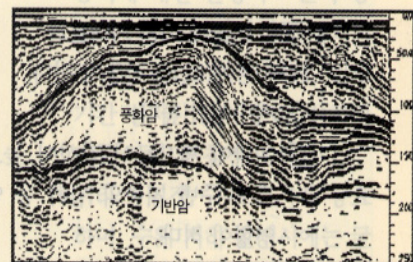
GPR탐사 시스템은 굴착공사시 지하시설물에 의한 대형사고 예방 및 안전진단 등에서 구조물의 내부 파악 등에 효과적으로 활용되고 있다. 지반투과 레이더 탐사방법은 전자기파를 이용한 비파괴 조사방법으로서 보이지 않는 매질에 대한 영상화된 정보를 제공하며 그 적용범위도 매우 광범위하다. 측정결과는 지하매질의 상태 및 주변요소에 따라 일정한 한계를 갖기 때문에 현장작업시 조사대상에 대한 충분한 공학적 검토와 이해를 필요로 한다. 특히 지반조사 수행시에는 지표지질조사와 더불어 보링(Boring)과 같은 직접시험 결과와 상호 비교·검토되어야 한다. SS



(그림 5) 건축물의 기초조사



(그림 6) 터널 라이닝 및 배면공동 조사



(그림 7) 기반암 조사