

지반공학과 구조물 진단분야에서의 GPR기술 응용

배 성 호*1
김 학 수*2
윤 윤 상*3

1. 서론

최근들어 협소한 국토 이용의 효율성을 높이기 위해 지반을 대상으로 하는 건설공사의 규모가 점차 대형화되고 대상 심도도 증가됨에 따라 지층들의 경계 및 구조, 기반암(bedrock)과 파쇄대(fracture zone)의 분포상태 등 지반에 대한 각종 정보의 중요성과 필요성이 크게 증가하고 있는 추세이다. 그리고 도심에서 이루어지는 각종 토목-건축공사현장의 경우 이러한 지반상태에 대한 파악뿐만 아니라 공사대상 부지내부나 인근 도로하부에 불규칙하게 매설된 상-하수도관, 가스관등과 같은 공공 시설물들이 설계나 시공과정에서 장애요인으로 작용함에 따라 이들 지하 매설물의 매설 심도, 위치 그리고 진행방향에 대한 정보의 파악도 매우 중요시 되고 있다.

90년대에 들어서 대형 토목-건축 구조물의 안전사고가 빈번하게 발생함에 따라 시공중인 구조물 뿐만 아니라 기존의 사용중인 터널, 교량등과 같은 대형 시설물의 안전여부가 큰 사회적 문제로 대두되고 있다.

앞에서 언급한 유용한 지반 정보를 획득하고 시공과정이나 시공 후 발생할 수 있는 여러

문제점들을 효과적으로 해결하기 위해 다양한 장비들과 기법들이 사용되고 있으며 그 중에서도 물리탐사(geophysical prospecting) 기술을 응용한 지하레이다 [GPR, ground penetrating(probing) radar] 탐사법이 다양한 적용범위, 결과의 정확성 및 경제성으로 인해 가장 각광을 받고 있다.

본 고에서는 탐사의 기본 원리, 탐사를 구성하는 기본요소 등 지하레이다 탐사와 관련된 전반적인 내용과 당사가 국내 자사 및 타사 현장에서 얻은 자료와 모델실험자료의 연구, 분석을 통해 얻은 결과의 일부를 소개하고 아울러 지하레이다 탐사법의 적용성, 유용성 및 한계에 대해 간단하게 논의 하고자 한다.

2. 지하레이다 탐사법

2.1 지하레이다 탐사법의 정의

지하레이다 탐사법이란 고주파대역의 전자파(electromagnetic wave)를 지표에서 송신안테나를 통해 지하로 방사시킨 후 지표하부의 지층경계, 파쇄대, 공동(cavity), 매설관(buried pipe) 등과 같은 지하의 불균질층(체)으로

*1 정희원, 동부건설(주) 기술연구소 지반팀 주임연구원

*2 동부건설(주) 기술연구소 지반팀 선임연구원

*3 정희원, 동부건설(주) 기술연구소 지반팀 연구원

부터 반사된 반사파를 수신안테나를 통해 기록하고 기록된 수신 파형을 처리, 분석하여 지하의 상태에 대한 정보를 얻는 물리탐사기법중의 하나이다.

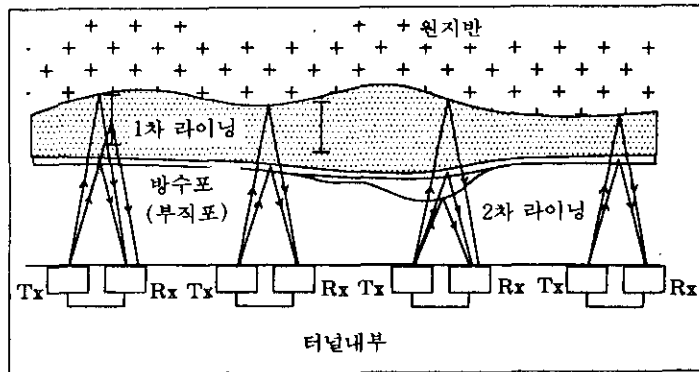
지하레이다 기술은 초기 응용단계에서는 지질조사나 광업분야에서 부분적으로 사용되었지만 최근에는 전자공학, 안테나 설계기술 그리고 컴퓨터분야의 급속한 발전으로 적용 및 응용범위가 지반공학과 환경 오염문제를 다루는 정밀 지반조사를 비롯하여 지하철, 대형교량등 각종 토목-건축구조물의 안전진단을 위한 비파괴 검사(NDT, non-destructive test) 분야에까지 광범위하게 확대되고 있다.

2.2 지하레이다 탐사법의 기본원리

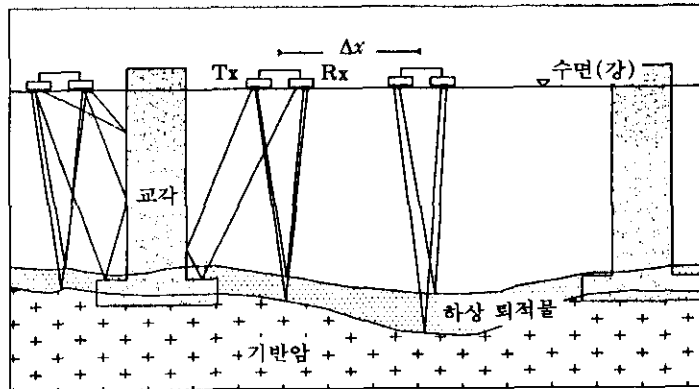
레이다(radar)는 원래 1940년대 이후 미국

에서 적의 비행기나 군함등의 탐지를 위해 군사적 분야에서 처음 사용되었고 현재는 군사용뿐만 아니라 항공분야를 비롯해 여러 상업적 용도로 광범위하게 사용되고 있는데 이러한 레이더를 지상이 아닌 지하에 적용시켜 지하의 대상을 탐지하는 것을 지하레이다 탐사법이라 한다.

지하레이다 탐사법의 기본원리는 지상레이다와 같지만 차이점은 지상레이다의 경우 파의 전달 매질이 균질한 공기이고 탐지목적이 단순히 탐지대상의 공간상의 위치파악에 있지만 지하레이다에서는 매질이 아주 불균질한 매질이기에 때문에 매우 정밀한 자료처리 및 해석기법이 필요하고 탐사목적도 단순히 대상물의 위치를 파악하는 것 뿐만 아니라 연속적인 탐사를 통해 지하단면의 영상을 획득하는데 있다. 그



(a) 터널 라이닝 안전진단



(b) 하상조사

그림 1. 지하레이다의 탐사원리

립1은 터널 라이닝 안전진단과 하상조사시의 탐사원리를 도시적으로 나타낸 것으로 실제 전자파의 반사 패턴은 매우 복잡하지만 이해를 돕기위해 파의 전달 경로를 간단하게 도식적으로 나타내고 있다.

탐사결과는 주로 유전상수(dielectric constant), 전기전도도(electrical conductivity)와 같은 지반 구성물질의 전기적 특성에 크게 영향을 받는다. 지반을 구성하는 각종 매질에서의 전자파의 전달속도는 유전상수에 파의 감쇠(attenuation)는 전기전도도에 크게 영향을 받는데 전기전도도는 매질내의 수분함량과 전도성 물질의 함량에 의해 영향을 받으며 유전율은 매질이 균질할 경우 수분함량과 공극률에

영향을 받는다.

그리고 사용안테나의 중심주파수(dominant frequency), 안테나 간격(antenna separation), 안테나 이동간격(spacing), 수신신호의 기록범위(time window), 샘플링 간격(sampling interval) 등으로 구성되는 탐사설계의 여러 요소들도 탐사결과에 어느 정도 영향을 주게 된다.

식(1), (2), (3), (4)는 지하레이다 탐사법에서 전자파의 전달속도, 반사면의 심도 등의 값을 구하는데 사용되는 기본 식들을 나타내고 있으며 표1은 지반을 구성하는 대표적인 물질들(공기, 물, 콘크리트 포함)의 전기적인 물성값들과 전자파의 전파속도값을 나타낸 것이다.

표 1. 주요 지반구성 물질의 전기적 특성값 및 전자파의 전파속도

물 질 명	유 전 상 수	전기비저항(ohm-m)	전파속도(m/ns)
공 기	1	∞	0.3
맑 은 물	81	100	0.033
바 닷 물	81	0.00033	0.033
얼 음	3~4	100	0.15~0.17
화 강 암(건조)	5	$1e8$	0.1
화 강 암(습윤)	7	1000	0.11
화 강 암(건조)	8	$1e6$	0.1
현 무 암(습윤)	12	10000	0.087
점 토	5~40	1~10	0.047~0.13
실 트	5~30	0.01~1	0.054~0.13
모 래(포화)	30	0.1~1	0.054
모 래(건조)	4~6	100	0.12
새 일	5~15	10~1000	0.075~0.13
석 회 암	4~8	$50 \sim 1e7$	0.11~0.17
사 암	6	$1 \sim 1e8$	0.12
흙(모래질, 건조)	2.5	7000	0.18
흙(모래질, 습윤)	25	100	0.06
흙(점토질, 건조)	2.4	3000	0.18
흙(점토질, 습윤)	15	20	0.075
흙(롬)	2.5~19	50~10000	0.07~0.18
흙(동결)	3~6	100~10000	0.12~0.17
콘 크 리 트	4~10		0.09~0.12

안테나에서 방사되는 에너지는 유전율이 다른 매질의 경계(공기/지반)에 송신안테나가 위치할 때 에너지의 대부분(양호한 지반조건에서는 90%)이 상대적으로 유전율이 큰 매질로 방사되는 특성을 가진다. 그림2는 이론적으로 구한 공기와 접한 지반구성 매질의 유전율의 크기에 따른 방사에너지의 변화형태를 도식적으로 나타내고 있다.(Annan et al., 1975, Smith, 1984, 설순지, 1996)

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \text{ (m/ns)} \quad (1)$$

$$d = \frac{vt}{2} \text{ (m)} \quad (2)$$

$$A = \frac{1635\sigma}{\sqrt{\epsilon}} \text{ (dB)} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{1000c}{f\sqrt{\epsilon}} \text{ (m)} \quad (4)$$

v : 전자파의 매질내 전달속도

d : 반사면(체)과의 거리

A : 파의 감쇠

λ : 파장

c : 공기중에서의 전자파 전달속도(0.3m/ns)

σ : 전기전도도(S/m)

f : 안테나의 중심주파수(MHz)

ϵ : 유전상수

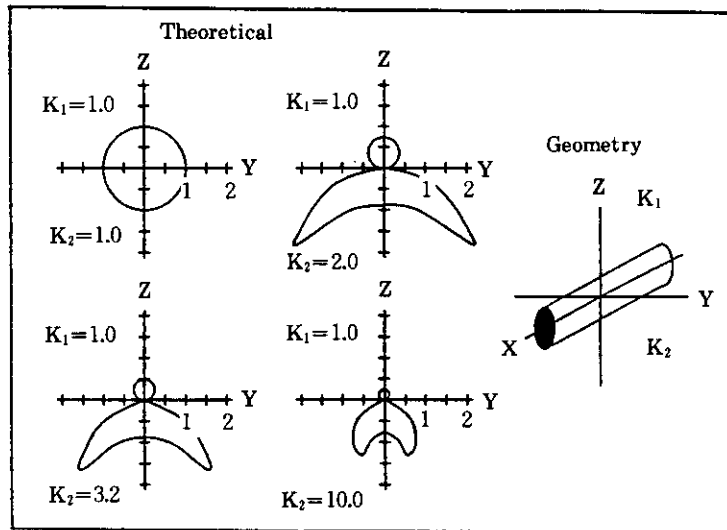


그림 2. 지반구성 매질의 유전율 크기에 따른 방사에너지의 형태

2.3 탐사 구성요소

지하레이다 탐사과정은 크게 탐사설계(survey design), 현장 탐사작업(field operation), 현장에서 얻은 자료에 대한 처리(data processing) 및 해석(interpretation)과정의 4단계로 나뉘어지는데 본절에서는 탐사설계와 자료처리에 대해 간단히 소개하겠다.

2.3.1 탐사설계

현장에서 탐사를 실시하기 전 단계로 탐사의 목적과 대상 지역의 지질 및 환경조건을 고려하여 최적의 자료를 얻기 위해 안테나의 주파수, 송-수신안테나의 간격, 장비의 이동간격 등과 같은 탐사에 구체적으로 영향을 미치는 세부 요인들을 결정하는 과정을 탐사설계라고 하는데 일반적으로 다음과 같이 나눌 수 있다.

(1) 안테나의 주파수(antenna frequency)

사용 안테나의 중심주파수는 탐사의 목적과 대상물(체)의 심도와 크기 등을 모두 고려하여 결정된다. 사용 안테나의 주파수가 증가할수록 자료의 해상도는 증가하지만 탐사가능 심도가 알아지기 때문에 매우 신중하게 선택해야 한다. 보편적으로 기반암이나 파쇄대의 분포상태나 지질학적 층서구조를 파악하기 위해서는 25~100MHz 범위의 안테나가 사용되며 심도 2m 내외에 매설된 상-하수도, 가스관 등의 지하매설물 탐지에는 200~500MHz, 터널의 2차 라이닝의 두께나 그 배면의 공동 및 콘크리트 슬래브 내부의 철근탐지와 같은 비파괴 안전진단분야에는 500~1000MHz(혹은 1000MHz 이상)의 안테나가 사용된다.

(2) 송-수신안테나 간격 (antenna separation)

송신안테나와 수신안테나의 간격을 말하는 것으로 한 탐사에서는 이 간격이 일정하게 고정되며 매설물이나 안전진단을 위한 탐사에서는 10~50cm사이의 값을 사용하고 깊은 심도의 탐사에서는 최소한 1m 이상의 값을 사용하는데 안테나의 간격이 넓어질수록 수평반사층에 대한 탐지범위가 증가하게 된다.

(3) 송-수신장비 이동간격 (station spacing)

안테나와 송-수신기를 포함한 송-수신부의 이동간격을 말하며 한 탐사에서는 일정하게 유지된다. 지반이나 지질탐사에는 탐사 성격에 따라 20~100cm의 값이 사용되며 매설물탐사에서는 5~10cm, 안전진단 조사에서는 5cm이하의 값이 사용된다.

(4) 신호 샘플링 간격 (signal sampling interval)

지하의 반사면(체)에서 반사되어 수신되는 신호들은 수신부에서 연속적으로 기록되는 것이 아니라 일정한 시간간격으로 단락적으로 기

록되는데 이 때 신호가 기록되는 시간 간격을 샘플링 간격이라 한다. 신호 샘플링 간격이 너무 짧은 경우에는 기록되는 자료의 양이 방대해지고 너무 긴 경우에는 일정 수준이상의 고주파 성분이 저주파 성분으로 변환되어 나타나는 알리아싱(aliasing)현상이 발생하여 신호의 왜곡을 가져오기 때문에 적당한 범위의 값을 선택해야 한다. 샘플링 주파수가 나이퀴스트(nyquist) 주파수의 2배 이상일 때 원래 파형의 재생이 가능하다.

(5) 신호기록 범위(time window)

수신되는 반사파 신호가 기록되는 총시간을 의미하며 탐사대상물에 대한 정확한 정보를 함유한 신호가 기록될 수 있도록 정해져야 하며 탐사 지역의 지질조건이 불확실한 경우 일반적인 범위보다 30% 정도 증가시킨다.

(6) 탐사선의 위치 및 방향(survey line location)

탐사의 진행방향을 말하며 지하의 구조 및 성질에 대한 정보를 얻기 위한 탐사에서는 일반적인 물리탐사법과 같이 주향(strike)에 수직하게 방향을 설정한다. 지하의 매설물 탐사와 같이 매설물의 위치, 심도, 진행방향등에 대한 정보를 총체적으로 얻기 위해서는 매설물의 예상진행방향에 대해 횡방향과 종방향으로 격자형의 탐사선을 설정하는 것이 유리하다. 도면상의 탐사선 위치와 실제 현장에서의 탐사선 위치가 일치하지 않는 경우 탐사결과 자체가 무의미해지기 때문에 정확한 탐사선의 위치를 정하는 작업은 간단하면서도 매우 중요한 탐사 설계 요소로 볼 수 있다.

2.3.2 자료 처리

일반적인 지상레이다에서는 전자파의 전달 매질이 균질하고 유전율이 1인 공기이기 때문에 파의 감쇠가 비교적 작고 신호 대 잡음비(signal/noise ratio)가 상당히 높아 수신된 신호를 이용해 바로 대상물의 위치를 파악할

수 있으나 지하레이다의 경우 파의 전달대상인 지반이 암석, 흙, 수분, 공극 등으로 아주 복잡하게 혼합된 불균질한 매질들로 구성되어 있어 전자파 파동에너지의 대부분이 방사 후 지수함수적으로 급격히 감소하게 된다. 각 매질의 경계면에서 물리적 특성차에 의해 반사, 회절 및 굴절현상을 일으키게 되며 지반자체에서 발생하는 저주파 잡음성분이 수신신호에 혼합되어 나타난다. 특히 탐사가 도심에서 이루어질 때에는 지반자체에서 발생하는 잡음외에도 차량, 각종 철구조물, 통신케이블 등의 원인에 의해 발생하는 신호성분이 함께 기록되기 때문에 주로 야외에서 이루어지는 통상적인 탐사에 비해 신호 대 잡음비가 매우 낮다. 실질적으로 획득된 수신자료로부터 정확하고 유용한 지하에 대한 정보를 얻기 위해서는 기하급수적으로 감소한 파를 적절한 수준까지 보정하고 불필요한 잡음성분을 제거 혹은 감소시켜 신호대 잡음비를 원하는 수준까지 향상시키고 왜곡된 부분을 바로 잡는 과정이 필요한데 이 과정을 자료처리(data processing)과정이라 한다. 탐사의 심도가 증가하고 지반의 상태가 양호하지 못할수록 자료처리과정이 어렵고 복잡해지며 그 중요

성도 증가하게 된다. 지하레이다 탐사자료는 신호의 수신형태가 탄성과 탐사(seismic exploration)에서 획득되는 신호의 형태와 유사하기 때문에 탄성과 탐사자료의 처리에 이용되는 기법들이 선택적으로 적용된다. 여러 자료 처리기법들은 일정한 순서대로 순차적으로 적용되는 것이 아니라 자료의 상태에 따라 선택적, 반복적, 시행착오적 방법(trial & error method)으로 적용되기 때문에 담당자의 경험과 자료에 대한 처리 및 해석능력이 결과자료의 상태에 영향을 미치는 주요 요인으로 작용하게 된다.

2.4 탐사 시스템의 구성요소

그림3은 지하레이다 시스템의 구성을 도시적으로 나타낸 것인데 크게 송신부, 수신부, 송-수신부를 제어하는 제어부 그리고 자료의 기록, 처리를 담당하는 컴퓨터부로 나눌 수 있다.

제어부(control console)에서는 전원을 조절하며 디지털 프로세싱과 송-수신부의 전원 공급, 타임시퀀싱(time sequencing) 및 컴퓨터와의 통신을 조절하는 기능을 담당한다. 송신부는 송신기(transmitter)와 안테나로 구성되며

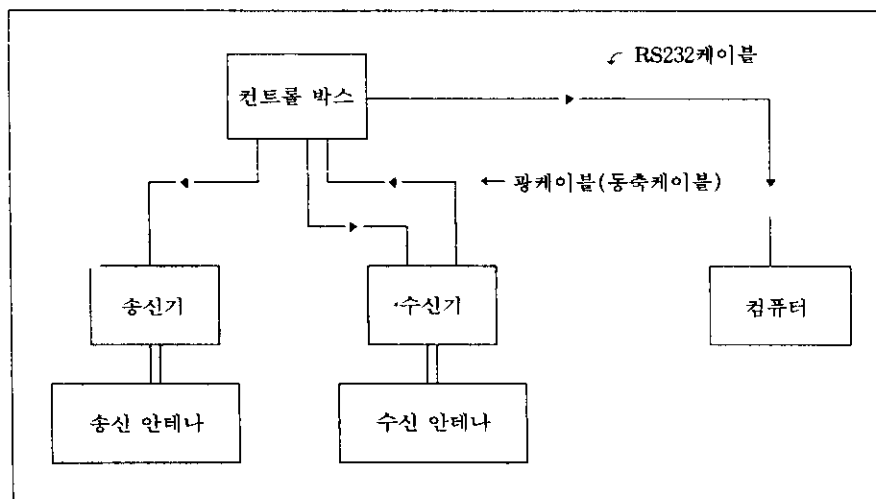


그림 3. 지하레이다 시스템의 구성도

제어부에서 송신신호와 전원 공급을 받아 펄스 형태의 전자파를 발생시켜 지반으로 방사시키는 기능을 가진다. 수신부는 송신기(receiver)와 안테나로 이루어지며 제어부에서 전원 공급과 수신시간의 제어를 받아 지하의 반사체에서 반사된 신호를 수신받아 디지털 형태로 변환시킨 후 제어부로 전송하는 역할을 담당한다.

3. 현장 적용 및 분석사례

동부건설(주) 기술연구소에서는 93년 12월 캐나다의 Sensors & Software 사로부터 지하레이다 시스템을 도입한 이후 지금까지 50여개의 당사 및 타사현장에 적용하여 좋은 성과를 올린 바 있다. 본 장에서는 지하레이다의 대표적 적용 가능분야와 당사에서 얻은 일부 탐사자료의 처리, 분석 결과에 대해 간략히 설명하도록 하겠다.

3.1 지하 매설물 탐사분야

우리나라의 경우 상-하수도관, 가스관, 전력구 등과 같은 주요 공공 시설물들이 무계획적으로 불규칙하게 시공되어 있을 뿐만 아니라 각종 관전기관에서 보유하고 있는 도면들도 자료의 정확성이 낮은 경우가 많기 때문에 지하레이다 기술이 도입되기 전까지는 대부분 줄파기에 의해 시설물에 대한 파악이 이루어졌다. 그러나 이러한 방법은 별도의 인적, 경제적 부담이 필요하고 전체적인 정보파악에는 한계가 있었다. 따라서 이러한 지하에 매설된 시설물의 심도나 위치에 대한 정보의 부재 및 부정확성으로 인해 굴착시 이러한 시설물들의 파손으로 많은 경제적 피해와 민원상의 불편을 야기시키고 있다. 당사에서는 사전 설계의 보조자료로 이용하거나 시공시 시설물들의 파손을 방지 혹은 최소화 시킬 목적으로 탐사를 실시해 오고 있다.

3.1.1 조사결과의 응용항목

① 구조물의 설계시 기초설계의 보조자료로

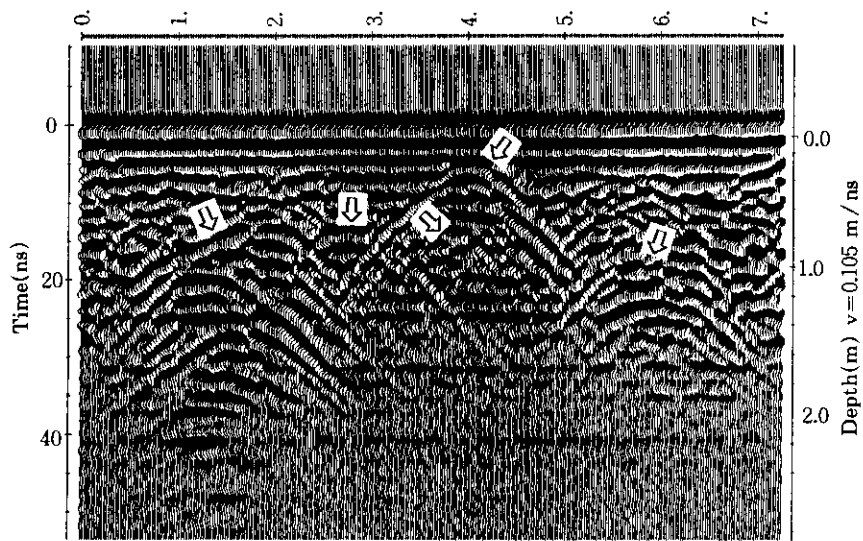
활용

- ② 굴착작업시 안전시공의 자료로 활용
- ③ 공공시설의 지하매설시 기존 시설물과의 간섭여부 파악
- ④ 잘못된 기존 지하 시설물도면의 수정

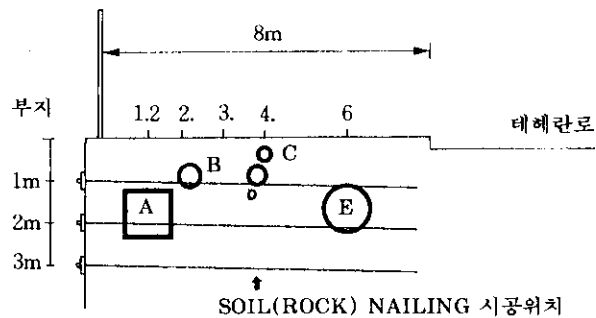
3.1.2 현장 적용사례

그림 4-(a)는 서울 강남구에 위치한 A 건축현장에서 인접한 보도하부에 매설된 관들의 위치를 파악하여 굴착작업 과정에서 인접 보도하부의 보강을 위해 설계된 soil(rock) nailing의 시공시 기존 공공 시설물의 침해 및 파손 가능성 여부를 사전에 파악하고자 실시한 탐사 결과를 나타낸 것이다. 자료 분석결과 보도의 하부에는 5종류의 매설물들(♣)이 매설된 것으로 추정되며 총 3단으로 설계된 soil(rock) nailing 중 심도 1m에 시공되는 1단은 기존의 지하 시설물들을 손상시킬 것으로 판단되었으며 2m 심도에 시공되는 2단도 기존의 시설물을 손상시킬 가능성이 큰 것으로 판단되었다. 그림 5-(b)는 탐사결과로부터 추정한 지하 시설물의 위치와 기존 설계도에 나타난 soil(rock) nailing의 예상위치를 도시적으로 표시한 그림이다. 1, 2단이 기존의 지하 시설물들에 영향을 줄 수 있다. 따라서 매설물의 크기와 자료의 오차 그리고 시공작업의 오차를 모두 고려해 볼 때 안전시공을 위해서는 심도 2.5m 부근에 1단이 수평방향보다 약간 경사지게 시공되어야 할 것으로 판단되었다.(동부건설(주) 기술연구소, 1996)

그림5는 경기도 성남시 B 고가도로 현장에서 교각과 교대가 시공될 도로 하부에 묻혀있는 매설물을 탐지할 목적으로 실시한 탐사결과 중의 하나와 결과의 모식도를 나타낸 것이다. 도로와 보도의 하부에 화살표와 같이 많은 관들이 매설되어 있는 것을 볼 수 있는데 5~9m 지점의 심도 0.8~1.2m에 나타나는 4개의 관들(♣)은 상수관으로 밝혀졌다. 이 중 3개의 상수관들과 10m지점의 심도 0.3m 부근에서 나타나는 관은 교각과 교대가 설치될 지역을 통과하는 것으로 밝혀졌는데 이 지역은 좁은 도로



(a)



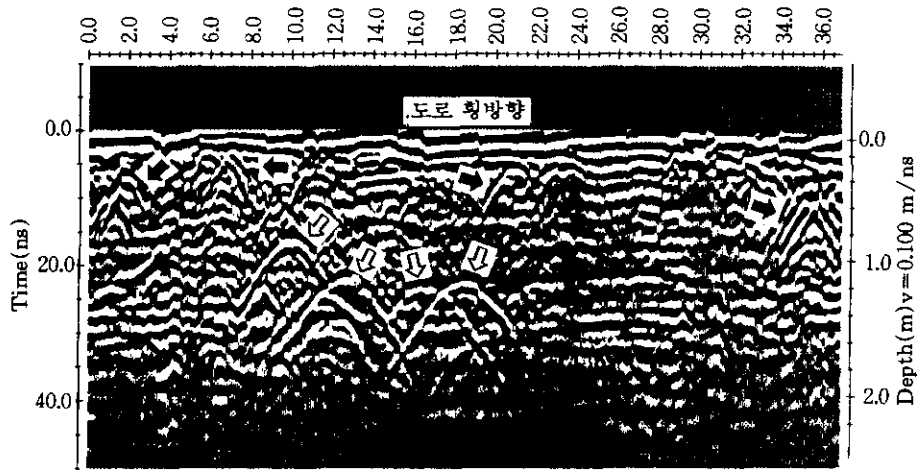
(b)

그림 4. 지하레이다 탐사결과 및 결과의 모식도

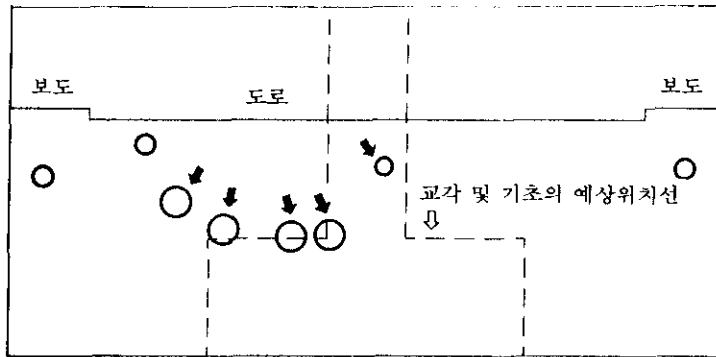
쪽으로 인해 설계변경이 불가능하기 때문에 기존의 관들을 모두 다른 지역으로 이설한 후 굴착공사가 이루어졌다.

그림 6은 강원 춘천시 도심의 C상수관로 매설현장에서 굴착작업시 안전시공의 자료로 삼고자 도로를 가로질러 매설된 횡방향의 매설물에 대한 정보를 얻기 위해 실시한 탐사결과이

다. 8~10m사이의 심도 0.6m에 나타나는 신호들은 하수 box로 판단되었고 그 외에 19m 지점의 심도 1.1m에 1개의 관이 매설된 것으로 파악되었다. 이 지역에서는 상수관이 매설될 1.2km 구간에 대해 도로 중, 횡방향의 탐사결과를 바탕으로 안전사고 없이 공사를 수행하였다.



(a)



(b)

그림 5. 지하레이다 탐사결과 및 결과의 모식도

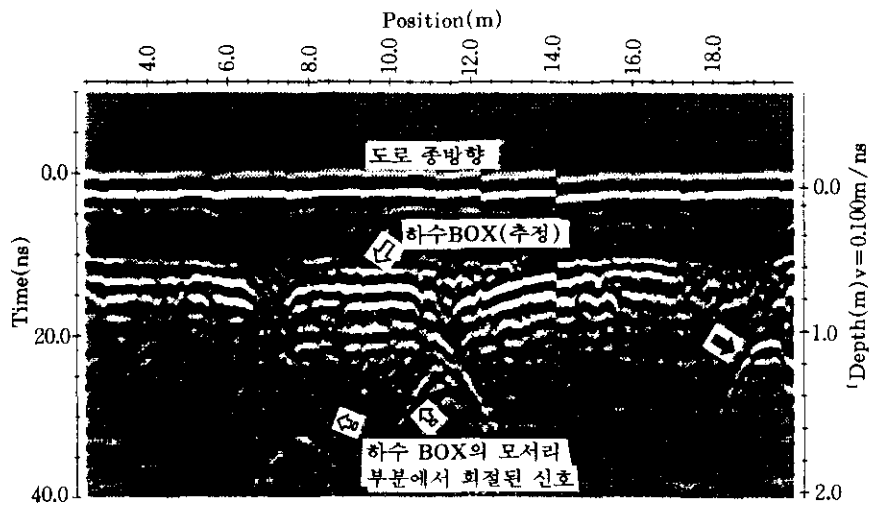


그림 6. 지하레이다 탐사결과

3.2 비파괴 안전진단분야

90년대들어 대형건설사고가 빈번하게 발생하여 큰 인적, 경제적 손실을 가져옴에 따라 기존의 사용중인 교량, 터널 등 대형 토목구조물에 대한 각종 안전 검사가 실시되었고 현재 시공중인 구조물에 대한 철저한 안전 진단이 이루어지고 있다. 앞으로는 현재보다 더 정밀하고 정확한 검사가 이루어질 것으로 전망된다. 본 절에서는 여러 구조물중 터널의 안전진단에 대해서 언급하도록 하겠다. 지하레이다를 이용한 터널 라이닝 구조물의 안전진단에서 조사 가능한 항목은 다음과 같다.

3.2.1. 조사가능 항목(비파괴 터널 안전진단)

- ① 2차 라이닝의 시공성(시공두께 및 두께의 변화상태)
- ② 1차 라이닝의 시공 및 누락여부(스틸 리브, 록볼트등)
- ③ 라이닝 내부의 철근상태(피복두께, 설치 간격, 누락여부등)
- ④ 콘크리트 재질의 정성적인 특성(상대적인 균질성, 함수비등)
- ⑤ 2차 라이닝의 결함부위(일정 규모이상의 배면 공동, 파쇄부분, 누수등)
- ⑥ 원지반과 라이닝의 경계(발파에 의한 여

굴적)

⑦ 시공 history의 추정

3.2.2 현장 적용사례

그림 7은 성남 D지하철 현장에서 2차 라이닝의 시공두께를 파악하기 위해 실시한 탐사결과와 일부이다. 화살표(↑)로 나타낸 신호는 슛크리트와 2차 콘크리트 라이닝의 경계부(방수포 삽입)에서 반사된 것으로 이 신호들의 분석결과 2차 라이닝이 설계상의 기준 두께인 30cm 내외로 시공되었음을 추정할 수 있었다. 그림 8은 현재 사용중인 서울 E 도로터널에서 강지보재의 누락여부를 확인하기 위해 실시한 탐사결과이다. 분석결과 강지보재는 설계대로 1.2m 간격으로 시공되었음을 확인할 수 있었고 6m 지점은 개착식 공법과 터널식 공법구간의 경계부분으로 판단되었다.

그림 9는 현재 개통되어 사용중인 영동 고속도로 시공 당시 F 터널현장에서 실시한 탐사결과이다. 검은 화살표(↑)는 발파로 인해 형성된 원지반선으로 판단된다. 그리고 원지반의 경계부에 나타나는 신호들(↕로 표시)은 암반 내에 보강된 록볼트의 plate에서 반사된 신호들로 판단된다. 전체적으로 2차 라이닝의 시공 두께에는 별 문제가 없으며 수선파형의 진폭과

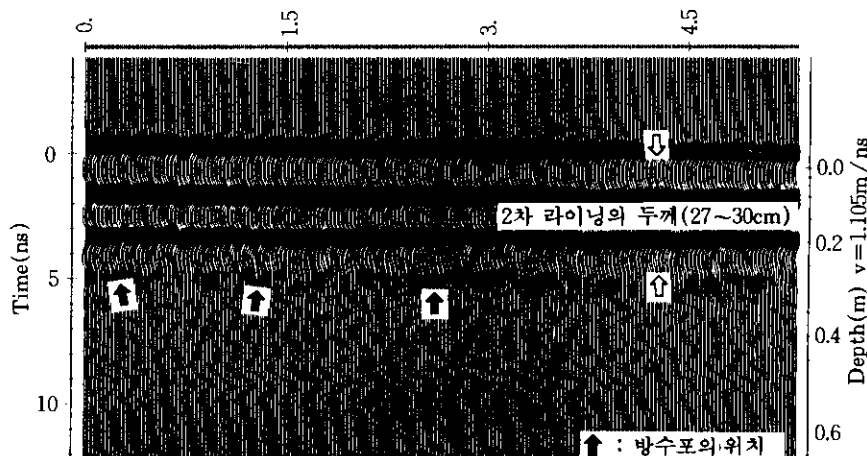


그림 7. 지하레이다 탐사결과

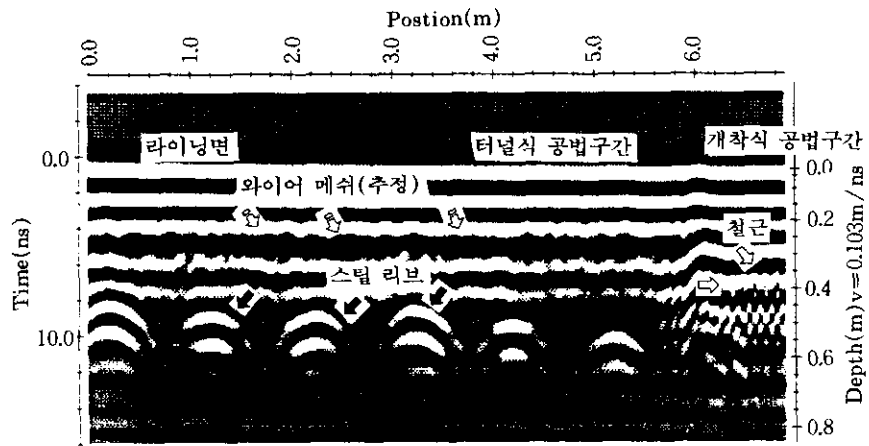


그림 8. 지하레이다 탐사결과

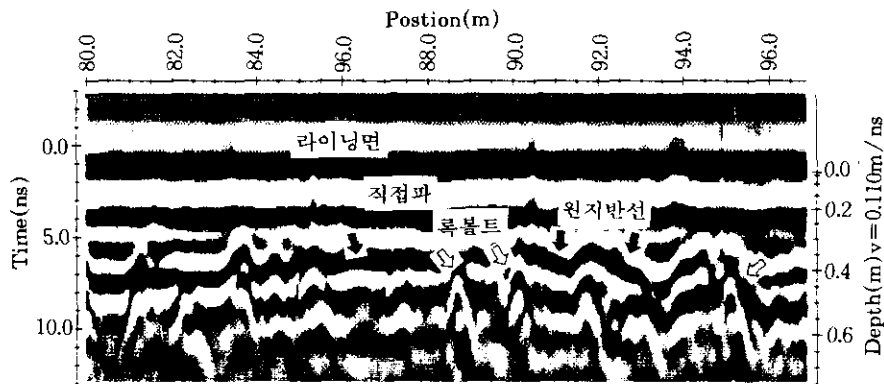


그림 9. 지하레이다 탐사결과

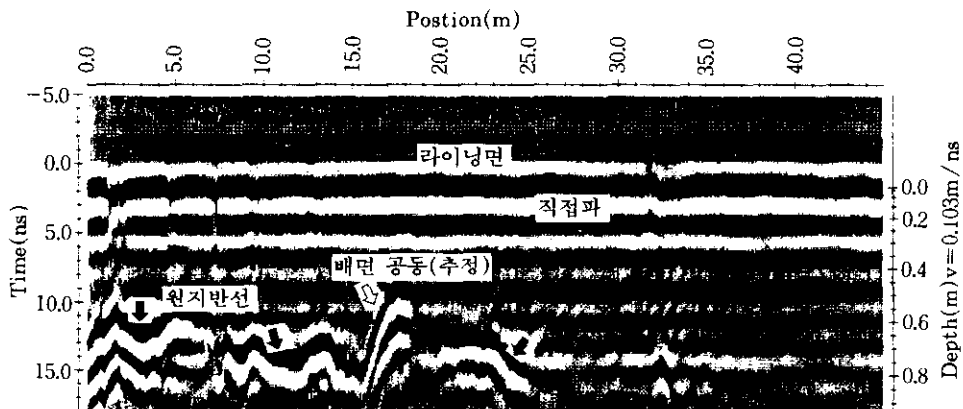


그림 10. 지하레이다 탐사결과

스펙트럼 분석결과 콘크리트 재질의 균질성도 양호한 것으로 판단되었다.(동부건설(주) 기술연구소, 1995) 그림 10은 일제 시대에 건설되어 현재 사용중인 G 철도터널에서 실시한 결과자료의 일부이다. 분석결과 라이닝 재질의 균질성도 양호하지 못하며 라이닝내부의 굽은 골재의 영향으로 인한 파의 산란현상으로 전체적인 신호의 상태가 양호하지 못하였다. 검은 화살표(↓)로 나타낸 신호들은 원지반선으로 추정되며 화살표(↗)는 파의 다중반사나 회절 현상으로 판단할 때 물이 채워진 일정규모 이상의 배면 공동의 가능성이 크다.

3.3 정밀 지반조사분야

지금까지 지반을 대상으로 하는 건설현장의 경우 대표적으로 몇 개 지점에 대해 시추 지질 조사를 실시하고 그 결과를 바탕으로 전체 지반상태를 평가해 왔다. 그러나 실제 시추조사 자료의 신뢰성에 문제가 있고 신뢰성이 있는 경우에도 전체 지반상태에 대한 판단을 하는데는 무리가 따르기 때문에 최근에는 시추지질 조사와 병행하여 응용물리탐사 기법을 이용한 조사가 크게 부각되고 있는 추세이다. 이러한 물

리탐사기법에는 탐사깊이, 길이, 대상심도, 탐사목적 및 대상지역의 지질특성에 따라 여러 종류의 방법이 있지만 심도 20m내외의 천부 지반을 대상으로 할 때에는 레이더 탐사법이 작업의 효율성이나 결과의 정확성으로 인해 최근 적용 빈도가 점차 증가하고 있는 추세이다. 지반조사의 범위는 매우 넓으며 대부분의 경우 자료의 정확성 및 신뢰성을 높이기 위해 시추 지질조사나 지표 지질조사와 병행하여 실시된다.

3.3.1 조사가능 항목

- ① 지표하부의 지층구조(지층구분, 지층의 경계)
- ② 암반내 절리군 및 파쇄대의 분포상태
- ③ 암반내 존재하는 일정규모 이상의 공동 위치
- ④ 하상 구조 및 교각 주위 세굴

3.3.2 현장적용 및 분석사례

앞에서 언급한 바와 같이 지반조사에서 지하 레이더의 응용가능 범위는 매우 넓으며 본 소절에서는 당사에서 실시한 탐사중 암절토사면과 하상에서 실시한 탐사결과를 소개하도록 하겠다.

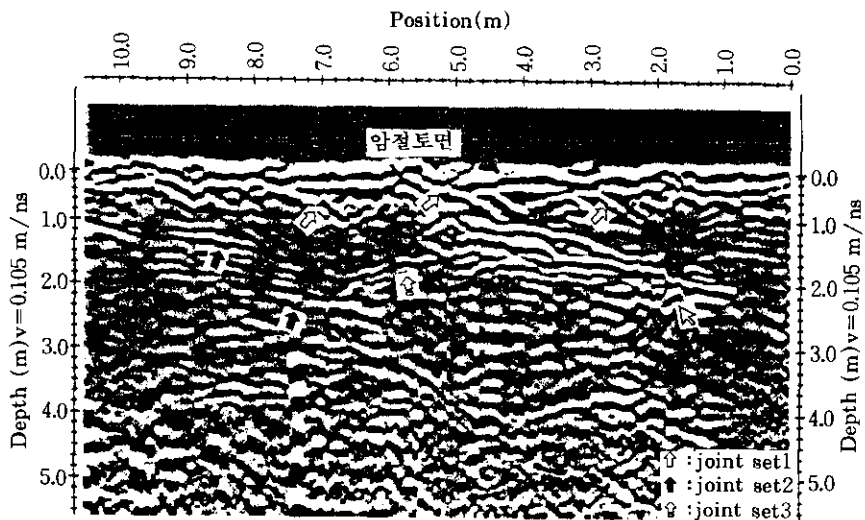


그림 11. 지하레이더 탐사결과

그림 11은 영동고속도로 시공 당시 H 대절토 암반사면(rock slope)중 soil nailing 공법으로 보강한 구간에서 실시한 탐사결과이다. 탐사는 보강구간중 특정 3개 지점에서 다른 지점에 비해 그라우팅재의 주입량이 수십배로 과다 주입현상이 발생하여 그 원인을 규명하기 위해 지표 지질조사와 병행하여 실시하였다. 탐사자료와 지표지질조사 자료의 분석 결과 그라우팅재의 과다주입이 발생한 지점의 직하부

2m 부근에서 3개 절리군(joint sets)의 교차(↖로 표시한 지점)에 의해 암반내 파쇄대 및 교차틈새가 형성되었고 이 공간을 통해 그라우팅재가 사면안쪽 방향으로 과다주입된 것으로 판단되었다.

그림 12는 남한강을 가로지르는 영동고속상의 I교량하부에서 하상구조 파악 및 강물의 흐름에 따른 교각주변 강하부 토사의 세굴여부를 알아보기 위해 실시한 탐사결과이다. 그림

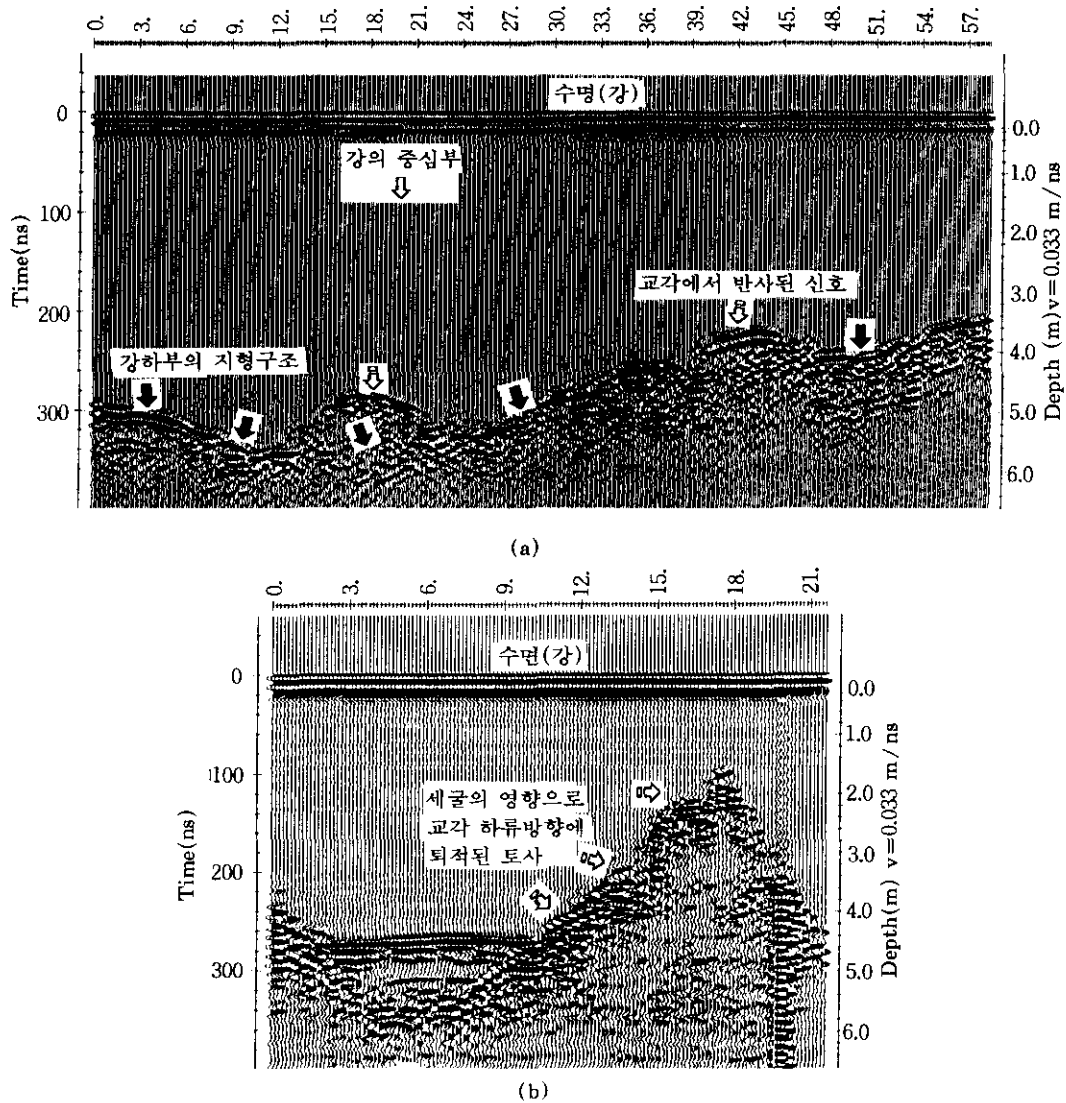


그림 12. 지하레이다 탐사결과

12-(a)는 강을 횡단하여 탐사한 결과로 토사의 퇴적에 의해 형성된 강 하부의 지형구조를 잘 보여주고 있으며 유속이 가장 빠른 강의 중심의 심도가 가장 깊음을 알 수 있다. 그림 12-(b)는 유속이 빠른 강 중심에 위치한 교각의 주변을 대상으로 탐사한 결과자료로 교각 하부 토사의 세굴현상을 잘 보여주고 있는데 화살표(↓)는 세굴에 의해 교각 하류쪽에 쌓여 형성된 토사로 판단된다.

4. 결 론

지금까지 지하레이다 탐사와 관련된 기본적인 내용들과 응용가능 분야별로 실제 국내의 여러 현장에서 획득한 적용 및 분석사례의 일부에 대해 소개하였으며 이를 토대로 지하레이다 기술의 현장 적용성과 한계에 대해 간략하게 정리하면 다음과 같다.

- 1) 일반적으로 각종 탐사기법이나 진단법의 경우 적용가능 범위가 제한적인데 비해 지하레이다 탐사법은 사용하는 안테나의 주파수 영역이 매우 넓기 때문에 하나의 시스템으로 다양한 분야에서 적용이 가능하다. 그리고 시스템의 운영, 현장 자료수집 및 자료처리면에서 다른 탐사법에 비해 많은 장점을 가지고 있고 높은 해상도의 탐사결과를 획득할 수 있기 때문에 최근 건설분야를 중심으로 각광을 받고 있으며 앞으로는 지하레이다 기술을 적용하는 대상과 범위는 점차 증가할 것으로 생각된다.
- 2) 우리나라의 지반조건에서는 대체로 탐사 가능 심도가 20m 내외로 제한되어 있고 탐사결과가 지반의 상태에 많이 영향을 받는 단점이 있기 때문에 깊은 심도를 조사대상으로 하거나 지반상태가 불량한 지역을 대상으로 정밀 지반조사를 하는 경우 탐사 결과의 정확성과 신뢰성을 향상

시키기 위해서는 시추지질조사 자료나 기타 다른 물리탐사 자료와의 상호 비교 검토하는 과정이 반드시 필요하리라고 본다.

- 3) 탐사지역 지반의 전기전도도가 매우 높을 경우 파의 감쇠가 탐사가능 심도가 얕아지며 도심과 같이 주변에 각종 전도성 물체가 많거나 전자파를 발생시키는 시설물이 존재하는 환경에서는 간섭현상으로 인해 원하는 결과를 얻지 못할 수가 있다. 그리고 지반조사에 있어 차폐(shielding)되지 않은 안테나를 사용할 경우 탐사지역 주변의 지상 반사체에서 반사, 회절되어 수신되는 지상반사직접파의 영향을 신중하게 고려하여야 한다.
- 4) 지하레이다 탐사법은 단순히 장비를 현장에 적용시킨다고 해서 항상 원하는 결과를 바로 얻을 수 있는 것이 아니다. 탐사자료의 상태에 따라 많은 처리 및 분석과정이 필요하며 경우에 따라서는 원하는 결과를 얻지 못할 수 있기 때문에 일부 사람들에 의해 인식되고 있는 '지하레이다는 만능이며 탐사작업과 동시에 결과를 바로 얻을 수 있는 계속장비이다.'라는 잘못된 인식은 고쳐져야 할 것으로 생각된다. 앞으로 지하레이다 탐사법의 적용성과 탐사결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 단순히 장비의 양적 증가보다는 정량적으로 결과를 얻을 수 있는 탐사기법이나 자료의 처리, 해석, 모델링 실험 그리고 현장 탐사작업의 효율성을 향상시킬 수 있는 탐사보조 장치의 개발 등 기술적 부문에 대한 많은 연구와 투자가 필요하리라고 본다.

참 고 문 헌

1. 동부건설(주) 기술연구소, (1995), "지하레이다를 이용한 기반암 분포조사 보고서", pp. 24~36.

2. 동부건설(주) 기술연구소,(1995), "지하레이다 (GPR)를 이용한 터널 라이닝 두께조사 보고서", pp.2~13.
3. 동부건설(주) 기술연구소,(1996), "지하레이다 (GPR)를 이용한 지하매설물 조사 보고서", pp.12~20.
4. 민경덕, 서정희, 권병두., (1980), "응용지구 물리학", 우성문화사, pp.243~287.
5. 변중무, (1993), "시추공 레이더 탐사자료의 자료처리에 관한 연구", 서울대학교 대학원 공학 석사학위 논문, pp.7~51.
6. 설순지, 권형석, 서정희.,(1996), "레이더 탐사의 지표에너지 방사 특성에 관한 연구", 한국자원공학회 제66회 논문 발표집, pp.243~246.
7. A.P.Annan et al., (1975), "The Electromagnetic Response of a Low-Loss, 2-Layer, Dielectric Earth for Horizontal Electric Dipole Excitation", Geophysics, Vol. 40, No.2, pp. 285~298.
8. A.P.Annan, S.W.Cosway.,(1992), "Ground Penetrating Radar Survey Design", Proceeding of the Symposium on the Application of Geophysicist to Engineering and Environmental Problems", pp.329~352.
9. Glen S. Smith,(1984), "Directive Properties of Antennas for Transmission into a Material Half-Space", IEEE Trans. Antennas Propagate, AP-32, pp.232~246.
10. "Ground Penetrating Radar Workshop Notes"
11. Satoshi Maekawa, Thomas J.F., "Study of Cavity Estimation Behind Concrete Tunnel Lining Using GPR", 4th International Conference on Ground Penetrating Radar, pp. 895~905.