

전도성 충적지반의 지질 및 하부 기반암 조사를 위한 지하레이다(GPR)의 적용

윤운상¹⁾ · 배성호²⁾ · 김병철³⁾ · 김학수⁴⁾

Application of GPR Technology for Detecting Bedrock under Conductive Overburden and Geological Survey

Woon-Sang Yun, Seong-Ho Bae, Byung-Chul Kim and Hag-Soo Kim

ABSTRACT The principle and applications of GPR(Ground Penetrating Radar) are familiar to engineering geologists and geophysicists as very attractive technique for continuous high resolution images of the subsurface. However, the main limitation of GPR is obviously related to presence of clayey or silty conductive soils, resulting in complete attenuation of radar signals. This difficulty gives hesitation for the exploration of the deeper targets for example detecting bedrock, particularly in Korean situation that most regions have conductive overburden.

In order to prove usefulness of geological survey with GPR in that situation, the technique was tried to investigate depth of bedrock under thick conductive overburden and the other geological informations for the construction of foundation in the Dongbu apartment site, Kimhae. The reflection patterns on the processed GPR sections are well correlated with the geotechnical units-bedrock, alluvium, landfill unit and their internal layer-boundaries of boring data before GPR survey, except upper contact of bedrock. The isopach maps of the geotechnical units for the 3-D interpretations are made from GPR sections. The maps provided useful geological information that bedrock was distributed as plain and valley with 22~27 m depth under alluvium unit (this depth is 5~8 m deeper than drill log) and sedimentary layers subsided and bended along growth fault with NNE strike/15°SE dip in alluvium unit.

1. 서 론

70년대 이후 좁은 국토의 대부분이 산악지형으로 이루어진 조건하에서 생활 공간의 부족과 높은 지가로 인해 거주공간의 형태가 일반주택에서 벗어나 아파트 위주로 변화되어 왔고 근래에는 점차 이전의 중, 저층 아파트보다 더 집약적인 15층 이상의 고층아파트의 건설이 일반화되는 추세이다. 다른 고층 건축물과 마찬가지로 고층 아파트도 하부의 지반을 바탕으로 구조물이 지탱되기 때문에 상부의 하중에 충분히 견딜 수 있는 기초의 설계 및 시공의 중요성이 점차 증가되고 있다. 특히 지반이 연약한 지역에 건설되는 고층 아파트의 경우는 지층구조 및 기반암선의 분포등 부지의 지질 상태를 정확히 파악하는

것이 시공의 성패를 가름하는 관건으로 부각되고 있다. 이러한 지하 지질 정보를 획득하기 위해 시추조사와 함께 각종 물리탐사 기법이 응용되고 있으며, 최근 들어 지하레이다를 이용한 탐사에 많은 관심이 모아지고 있다. 그러나 고해상도의 지질 정보를 획득하는 유용한 기법중의 하나인 지하레이다 탐사의 경우, 포화된 점토질 또는 실트질의 전도성 충적층내에서 심한 신호의 감쇄를 보이는 한계로 인해 두꺼운 전도성 연약 지층하부의 기반암

* 1995년 5월 7일 접수

- 1) 정회원, 동부건설 기술연구소 연구원
- 2) 정회원, 동부건설 기술연구소 연구원
- 3) 정회원, 동부건설 기술연구소 주임연구원
- 4) 정회원, 동부건설 기술연구소 선임연구원

등 심부 대상을 탐사하는 데는 어려움이 있는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 지반이 매립층과 층적층으로 구성되어 있는 경남 김해시 내외지구 9-2 블록 동부 아파트 부지를 대상으로 말뚝기초공사(SIP공법)의 굴착심도 및 기타 기초공사에 필요한 기반암선 및 제반 지질정보를 획득하기 위하여 지하레이다 탐사를 수행하였으며, 이 결과를 기존 시추자료와 비교, 해석하고 이를 다시 굴착을 통하여 확인함으로써 지반조사에 대한 지하레이다의 적용성을 검증하고자 한다.

2. 지하레이다(GPR) 탐사법

지하레이다 탐사법¹⁾은 고주파 대역 전자파(Electromagnetic Wave)를 지하로 방사시켜 지하의 불균질층(체)으로부터 반사된 파를 수신기를 통해 기록하고 수신 신호를 처리, 분석함으로써 지하의 상태에 대한 정보를 얻는 물리탐사기법 중의 하나로 지반에 대한 연속적인 고해상도의 영상정보를 제공하기 때문에 최근 들어 지반조사²⁾, 지하매설물 탐사³⁾, 구조물의 안전 진단⁴⁾ 및 오염지역 탐사 등에 활발히 적용되고 있다.

지하레이다 탐사법에는 반사법(reflection mode), CMP법(Common mid-point mode), 투과법(Transillumination mode) 등의 탐사방식이 있다¹⁾. 그 중 반사법은 송신안테나와 수신안테나를 일정한 간격으로 고정시킨 후 일정한 거리로 이동시키면서 지하의 불균질대 또는 지층 경계에서 반사되어 돌아온 파의 도달시간에 의해 불균질대의 심도를 계산하는 방법으로서 지반조사를 위한 지하레이다탐사에서 가장 일반적으로 쓰이고 있다(Fig. 1)^{2,3)}.

송신원의 성격으로 볼 때 지하레이다 탐사는 전자탐사의 범주에 들지만 고주파 대역의 전자파는 송·수신 파형의 형태가 탄성파(Seismic Wave)와 유사하기 때문에 탄성파신호의 자료처리(Data Processing) 단계에서 사용되는 일반적인 처리 기법을 이용하여 탐사결과를 얻을 수 있다. 안테나에서 방사되는 전자파는 주파수 대역이 증가할수록 분해능(해상도)이 증가하는 반면 감쇠율이 급격히 증가하기 때문에 파의 전달가능 심도는 얕아지게 된다. 동일한 주파수 대역에서 전자파의 전파(Propagation)에 영향을 미치는 전기적 물성으로는 전기전도도(Electrical Conductivity)와 유전율(Dielectric Constant)이 있으며, 일반적으로 전기전도도는 수분함량과 전도성 물질의 함량에 영향을 받으며

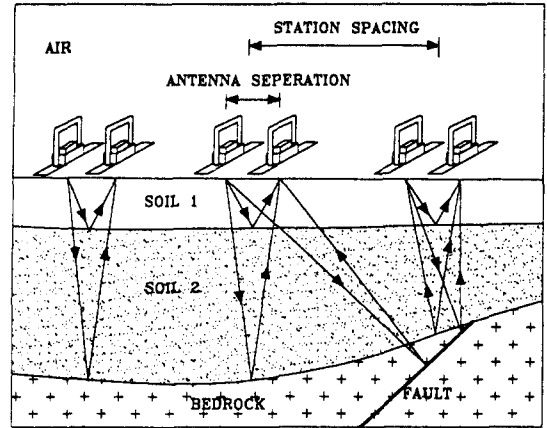


Fig. 1. Schematic diagram of GPR reflection mode for geotechnical survey

유전율은 매질이 균질한 경우 수분함량과 공극율에 영향을 받는다. 식 (1),(2),(3),(4)는 지하레이다 탐사법에서 파의 전달속도, 반사면의 심도 등의 값을 구하는데 사용되는 기본적인 식들이다.

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

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

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

$$I = \frac{1000 c}{f \sqrt{\epsilon}} \quad (4)$$

V : 파의 전달속도

c : 진공에서의 전자파의 속도 (0.3 m/ns)

S : 반사면과의 거리

σ : 전기전도도 (ohm/m)

A : 파의 감쇠

f : 안테나 주파수 (MHz)

I : 파장

ε : 유전율

3. 현장 시추지질 개요

현장 부지의 시추조사¹⁰⁾는 지하레이다 탐사 이전에 BX 직경의 15공(BX-1~15)과 NX 직경의 5공(NH-1~5)등 총 20개 지점에 대하여 표준관입시험과 함께 실시되었으며, 시추 지점은 Fig. 2에 표시하였다. 시추에 의해 현장 부지의 지질은 크게 하부로부터 상호 부

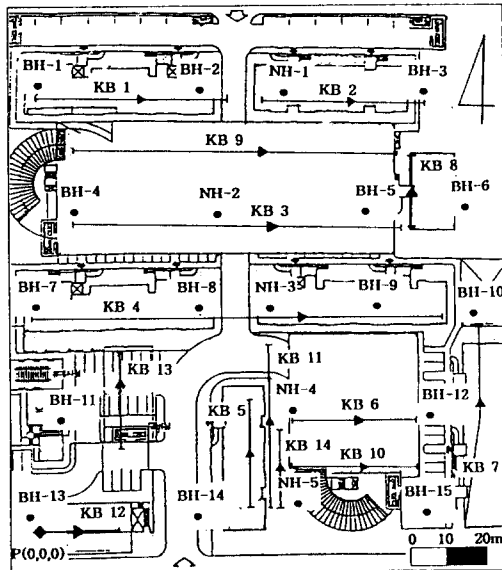


Fig. 2. Boring points(BX-1~15, NX-1~5) and GPR survey lines(KB 1~14) in the study area.

정합 관계인 기반암, 충적층, 매립층으로 구분되며, 지하수위는 대체로 해발 2~3 m 사이에 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 두꺼운 충적연약층에서 실시된 시추는 코아 형상을 갖추기 어려워 정밀한 심도측정이 힘들고, 충적층이 점이적인 입도변화를 보일 때 정확한 내부 층계계를 인지하기 어려우므로 시추기재상의 약간의 오차는 감안해야 할 것으로 사료된다.

3.1 기반암(Bedrock)

기설시된 시추지질조사상의 기반암은 암갈색에서 황갈색의 완전 풍화 또는 극풍화 상태를 보이는 풍화암으로 기재되어 있으며, 모암구조가 잔존되어 있고 하부로 갈수록 풍화 정도가 양호한 암반상태를 보이는 것으로 조사되었다. 중립 내지 조립질의 석영을 함유하고 있는 이 기반암과 충적층의 경계는 깊이 18 m 내외(해발 -10 m 내외)에 분포하는 것으로 보고되었다(Fig. 6).

3.2 충적층(Alluvium)

지하수위 아래에서 포화되어있는 충적층은 기반암 상부와 접한 모래 자갈층 위에 실트질 모래층과 실트질 점토층이 반복하여 퇴적된 양상을 보이며, 이들 개별층들은 하부로부터 3차례의 퇴적 작용에 의하여 충적된 A, B, C 의 3개의 충적층으로 다시 구분될 수 있다(Fig. 6).

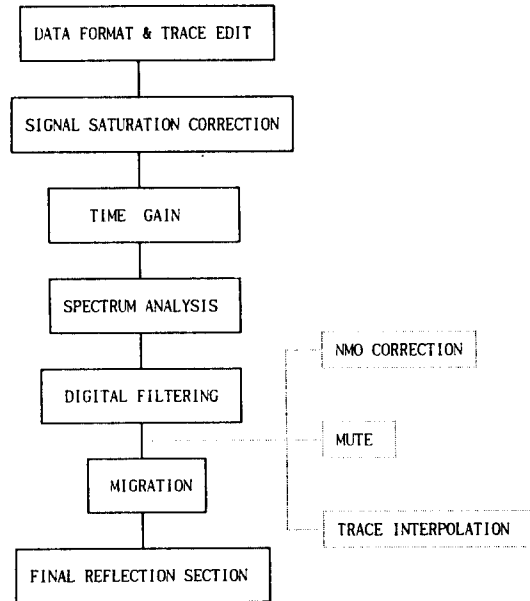


Fig. 3. Pseudo-flow chart of GPR data processing.

3.2.1 A 충적층

A 충적층은 조사 지역의 충적층중 하부층으로서 최하부의 모래자갈층(AG)과 실트질 모래층(AS) 및 실트질 점토층(AC)으로 구성되어 하부로부터 상향 세립의 점진적인 변화를 보이는 것으로 사료되며, 10 m 내외의 두께를 보인다. AG-모래자갈층은 매우 조밀한 갈색의 중립 및 조립질 모래와 자갈 및 전석으로 구성되어 있으며, N치는 대체적으로 40이상의 값을 나타낸다. 보통 2~3 m의 두께를 가지지만 BH-4,7 지점에서는 4~5 m, BH-5,9지점에서는 0.5~1 m 등 불규칙한 두께의 변화를 보인다(Fig. 6). AS-실트질 모래층은 암갈색에서 암회색의 세립 및 중립질의 실트질 모래로 구성되어 있으며, N치는 10~40 이다. 층의 두께는 2~3 m 내외이나, 곳에 따라 기재가 되지 않은 지점(BH-7)도 있으며 이는 국부적인 상변화(Phase Change)로 해석된다. AC-실트질 점토층은 담녹색에서 녹회색의 높은 점성을 가지는 매우 연약한 실트질 점토로 구성되어 있으며, N치는 3이하이다. 일반적으로 4~6 m의 두께를 가지지만, BH-8 및 NH-2 지점에서는 2 m 이내의 상대적으로 얇은 두께를 보이고 있다(Fig. 6).

3.2.2 B 충적층

B 충적층은 A 충적층 상부에 퇴적된 실트질 모래층(BS)과 실트질 점토층(BC)으로 구성되어 있으며, 역시 상향 세립의 변화를 보이고, 5~10 m 사이의 두께변화

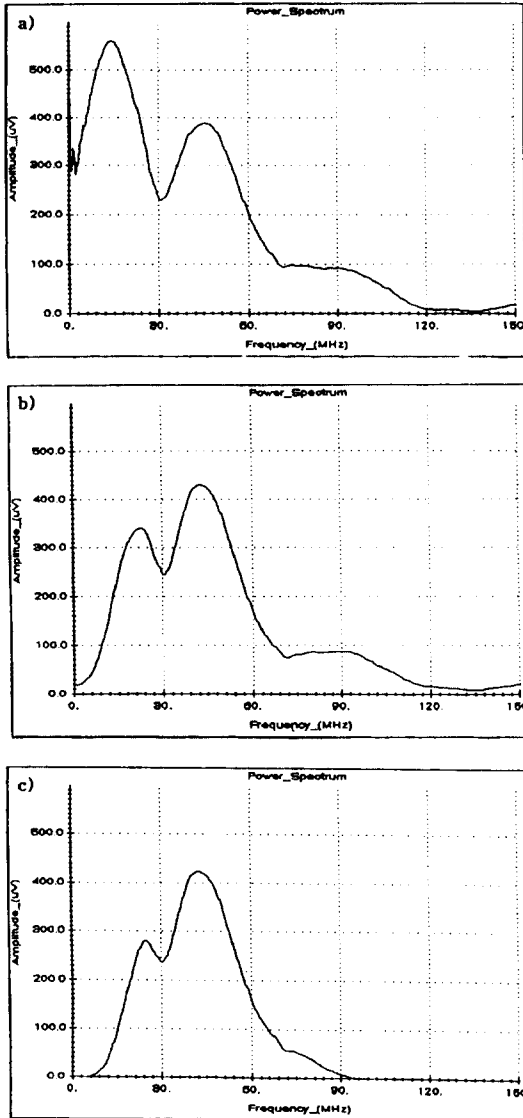


Fig. 4. Spectrum analysis of KB 5 survey data. (a) only time gained spectrum, (b) signal saturation correction applied to (a), and (c) temporal filtering applied to (b).

를 보인다. BS-실트질 모래층은 갈색에서 회갈색의 세립 및 중립질의 실트질 모래로 구성되어 있고, 소량의 잔 자갈이 분포하고 있으며, 곳에 따라 얇은 점토층이 협재하는 경우가 있다. N치는 대개 10~30사이의 값을 가지며, 두께는 1.5~6 m의 불규칙하고 폭넓은 변화 양상을 보인다(Fig. 6). BC-실트질 점토층은 암회색 및 암갈색의 포화된 실트질 점토로 구성되어 높은 점성을 가진 매우 연약한 층으로서 N치는 5이하이며, 매립층

과 부정합 경계 또는 C 층적층과의 정합경계를 보인다. 경계조건에 따라 변화를 보이지만 대체로 2~3 m의 두께를 보인다.

3.2.3 C 층적층

C 층적층은 연장성이 좋지 않은 암갈색 내지 암회색의 실트질 모래, 중립질 및 조립질 모래와 잔 자갈로 구성된 실트질 모래층으로써 B 층적층 상부에 BH-4 및 NH-3등에서 지엽적으로 분포한다(Fig. 6). N치는 5~10의 값을 가지는 것으로 보고되었으며, 0.5~2 m의 두께를 가진다.

3.3 매립층(Land Fill)

갈색 및 암갈색의 습윤한 점토 및 자갈, 전석이 혼합된 느슨한 층으로써 N치는 10내외이며, 일반적으로 4~5 m의 두께를 보인다(Fig. 6).

4. 지하레이다 탐사 설계(Survey Design) 및 자료처리(Data Processing)

4.1 지하레이다 탐사 설계(Survey Design)

조사지역의 탐사는 Sensors & Software사의 pulseEKKO IV 시스템을 사용하였으며, 세부 탐사설계 내용은 다음과 같다^{3, 4)}.

- ① 탐사방식(Survey Mode): 반사법(Reflection Mode)
- ② 사용안테나의 중심 주파수(Antenna Central Frequency): 50 MHz
- ③ 송신안테나와 수신안테나의 간격(Antenna Separation): 2 m
- ④ 장비 이동간격(Station Spacing): 0.2 cm
- ⑤ 수신신호 샘플링 간격(Sampling Interval): 3.3 ns
- ⑥ 수신신호 시간범위(Time Window): 800~900 ns
- ⑦ 탐사선의 위치 및 진행방향

총연장 630 m의 남→북 방향으로 6개, 서→동 방향으로 8개 등 모두 14개의 탐사선(KB 1~14)에 대하여 지하레이다 탐사를 수행하였으며, Fig. 2에 탐사선의 위치와 방향을 표시하였다.

4.2 지하레이다 탐사 자료처리(Data Processing)

지면과 접하고 있는 안테나에서 땅으로 방사된 전자파는 각층의 경계면에서 반사(Reflection), 굴절(Refraction) 및 회절(Deflection) 현상을 일으키며 층

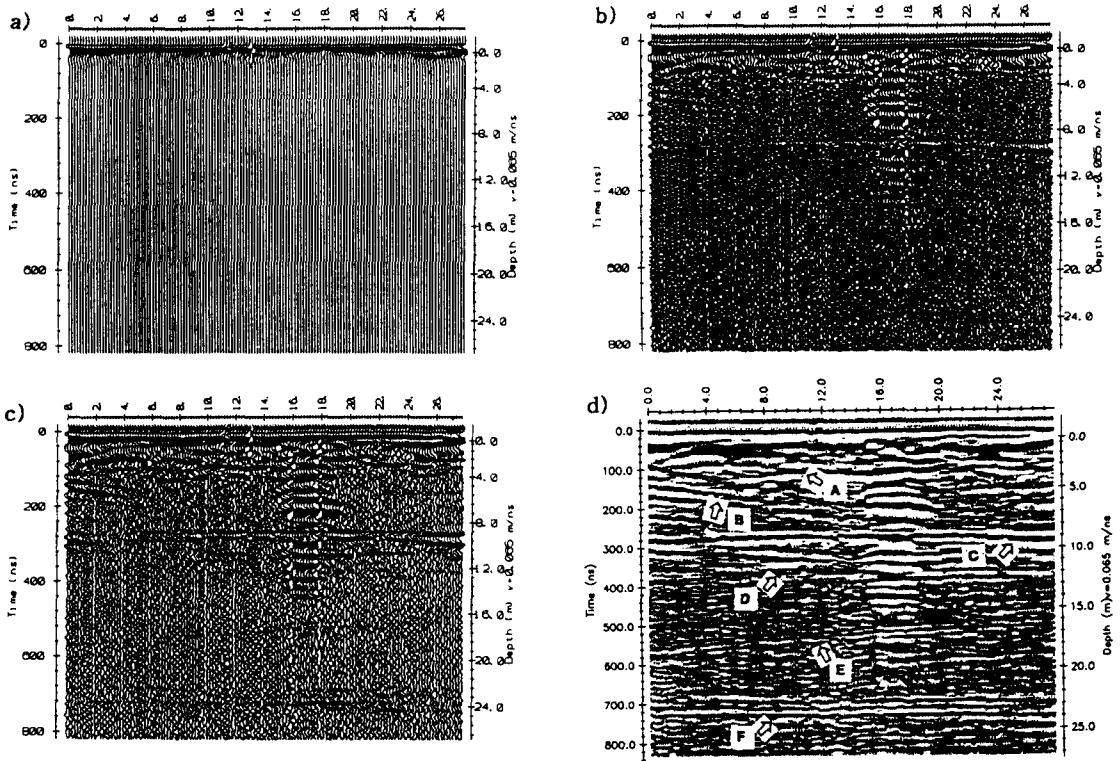


Fig. 5. Data processed GPR sections of KB 5. (a) raw data section, (b) time gained (a), (c) signal saturation correction and temporal filtering applied to (b), and (d) spatial filtering and interpolation applied to (c). A~F: reflectors.

을 구성하고 있는 매질들의 전기적 물성차이에 의해 감소되고 왜곡된다. 또한 지반자체에서 발생하는 일관성 잡음(Coherent Noise)이외에도 탐사장비, 각종 철구조물 등에 의해 발생하는 잡음성분으로 인해 신호 대 잡음비(S/N 비)가 매우 낮다. 그러므로 획득된 수신자료로부터 정확하고 신뢰성 있는 지하 단면영상을 얻기 위해서는 자료처리를 통하여 지반특성에 의해 기하급수적으로 감소한 파를 적절한 수준까지 보정하고 불필요한 잡음성분을 제거 또는 감소시켜 신호대 잡음비를 일정한 수준까지 향상시켜야 한다. 지하레이다 탐사법에서는 탄성과 탐사의 자료처리에 사용되는 기법들이 적용되며 자료처리 기법들은 Fig. 3과 같다.

Fig. 4는 이번 김해 내외지구 지하레이다 탐사에서 얻은 자료들 중의 하나에 대해 스펙트럼 분석(Spectrum Analysis)을 실시한 결과이다. Fig. 4(a)는 다른 처리기법은 적용하지 않고 단지 이득보정만 한 초기자료(Raw Data)의 파워 스펙트럼을 나타낸 것으로서 탐사에 사용한 안테나의 중심주파수(50 MHz)를 중심으로 한 중형

분포를 보이지 않고 15-20 MHz의 주파수대를 갖는 저주파 성분과 고주파대 잡음이 나타나고 있다. Fig. 4(b)는 초기자료의 장비와 지반자체에서 발생하는 저주파 영역의 잡음을 제거(감소)시키기 위해 신호 포화 보정(Signal Saturation Correction)기법을 적용한 후의 스펙트럼을 나타낸 것으로 Fig. 4(a)에서 나타나던 저주파 잡음성분들이 크게 감소했음을 알 수 있다. Fig. 4(c)는 Fig. 4(b)자료에 대해 시간영역 필터(Temporal Filter)의 저주파통과 필터(Lowpass Filter), 대역통과 필터(Bandpass Filter) 및 중앙값 필터(Median Filter)를 적용시킨 후 스펙트럼 분석을 실시한 결과이다. Fig. 4(b)에서 보이던 고주파대역의 잡음성분이 크게 제거되었고 저주파대역에서 나타나던 잡음도 어느정도 제거되어 전체적으로 중형분포를 나타내고 있다.

Fig. 5(a)는 탐사에서 얻은 초기자료(Raw Data)의 영상으로서 초기 시간대 파의 진폭에 비해 후기 시간대의 진폭이 급격히 감소함을 알 수 있다. Fig. 5(b)는 초기자료의 후기 시간대의 정보를 얻기 위해 적절한 이득

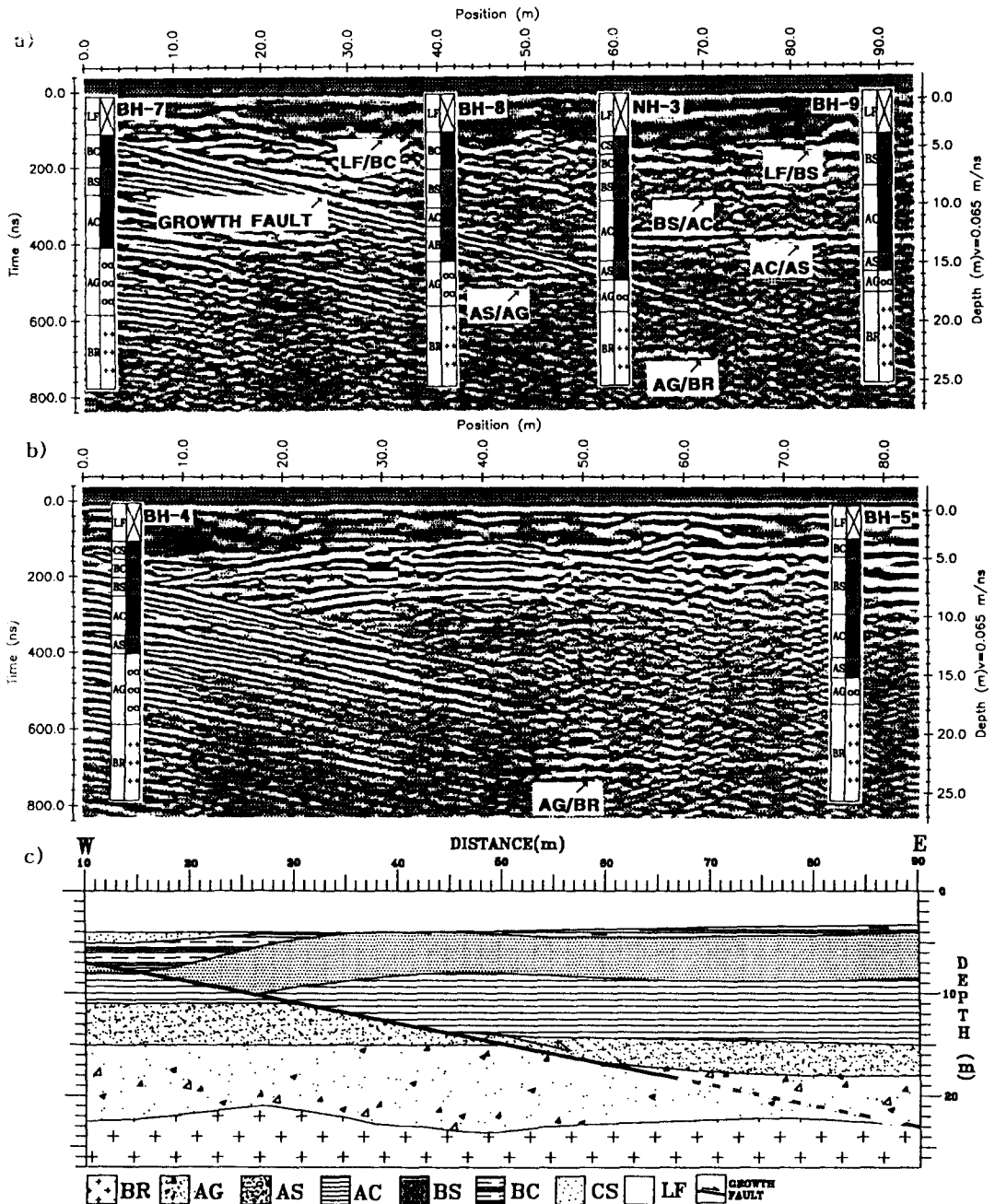


Fig. 6. GPR sections to be correlated with drill log. (a) KB 4 survey line, (b) KB 9 survey line and (c) geological interpreted section of b). BR: bedrock; AG, AS, AC, BS, BC, CS: layers in alluvium; LF: land fill unit.

함수(Gain Function)로 이득보정을 시킨 결과이며, 신호 성분과 잡음성분도 같은 비율로 증가하기 때문에 신호 대 잡음비(S/N)가 낮게 나타나고 있다. Fig. 5(c)는 Fig. 5(b)의 자료의 신호 대 잡음비를 향상시키기 위해 신호 포화 보정과 시간영역 필터를 적용시킨 후의 결과

로서 Fig. 5(b)에서 나타나던 잡음성분들이 많이 감소 되었음을 알 수 있다. Fig. 5(d)는 수평방향의 신호성분을 증가시키기 위해 공간영역 필터(Spatial Filter)중 저주파통과 필터(Lowpass Filter)를 적용시킨 후, 지층 경계를 나타내는 신호들의 연속성을 향상시키기 위해

내삽(Interpolation)기법을 적용시킨 결과로서 Fig. 5(c)와 비교해 볼때 수평층 및 완만하게 경사진 층의 경계가 뚜렷하게 나타나며, 연속성이 크게 향상되었다. 이상의 자료처리 기법을 모든 GPR 탐사 자료에 적용시켰다.

5. 지하레이다 탐사결과 및 해석

지하레이다 탐사에 의한 지하단면 영상과 시추주상도와 비교하여 각 단면의 지질을 해석하였으며(Fig. 6), 이 결과를 종합하여 기반암과 충적층의 경계, 충적층중 A 충적층과 B 충적층의 경계, 그리고 성장단층으로 추정되는 충적층내의 불연속면에 대해 등고선과 3차원 지하 지형으로 도시하여 보았다(Fig. 7). 시추조사와 지하레이다 탐사 결과는 기반암선을 제외하고는 대체로 유사한 양상을 보였으며, 탐사에 의해 부지하부의 입체적이고 연속적인 지질정보를 획득할 수 있었다. 특히 이번 탐사의 경우 이전에 실시된 시추조사를 바탕으로 지하레이다 탐사 자료의 지질 특성을 대비하였으나, 앞으로 지하레이다등 물리탐사를 실시하여 지반의 전반

적인 정보를 얻은 후에 정확한 시추지점을 선정하여 시추조사를 수행한다면 비용절감과 함께 지반에 대한 보다 정확한 정보를 획득할 수 있을 것이다. 탐사에 의해 해석된 세부지질 특성은 다음과 같다.

5.1 기반암의 분포

현장 부지의 지하레이다 탐사 자료에 의하면 기반암과 충적층의 경계는 일반적으로 깊이 23~24 m 내외에 분포하며, 기반암의 지형은 조사 지역의 북서부에서 비교적 높은 대지(깊이 22~23 m)를 형성하고, 남동부에서는 급격히 깊어져 25~27 m의 심도를 가지는 분지를 형성하고 있다(Fig. 7). 이와 같은 탐사결과는 시추자료(약 17~19 m)에 비해 상당히 깊은 지점을 기반암의 상부경계로 가리키고 있다(Fig. 5(d)-F, Fig. 6). 이러한 차이는 시추 조사의 경우 극(또는 완전)풍화암과 충적층하부의 모래자갈층과의 경계를 기반암의 상부 경계로 기재하였던 반면에 지하레이다 탐사에서는 상부 퇴적층과 전기전도도와 유전율 등의 전기적, 물리적 성질이 확연히 구분되는 암반의 경계(연암 이하)를

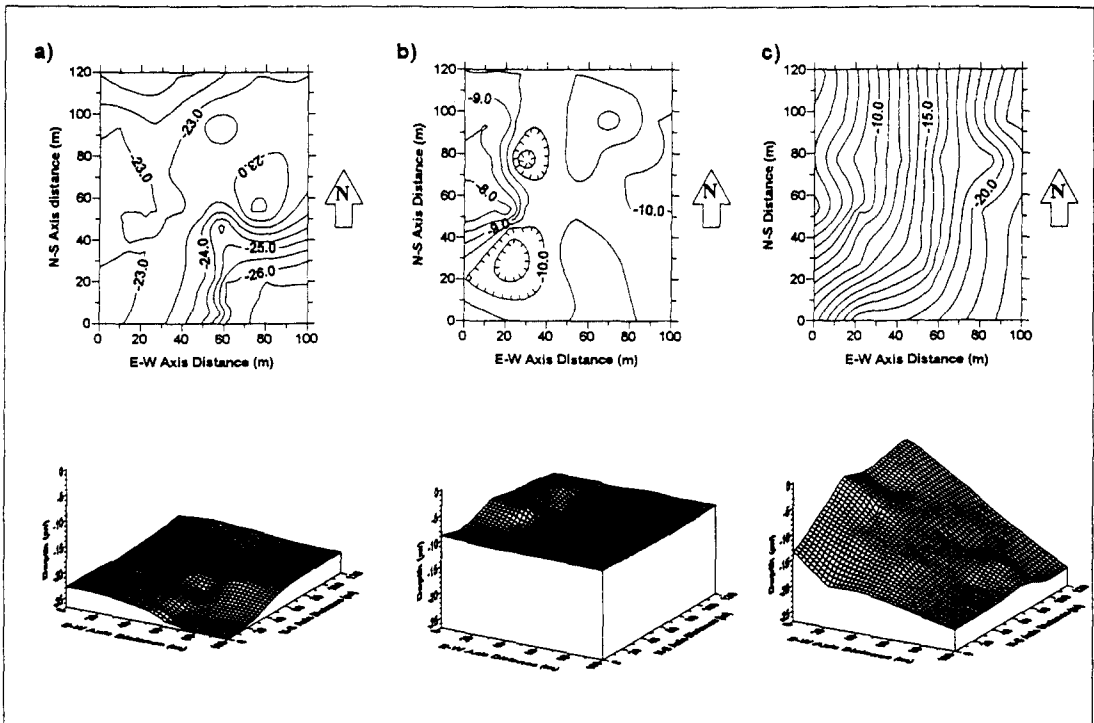


Fig. 7. 3-D representation and isopach maps of a) upper-contact of bedrock, b) internal boundary(BS/AC) of alluvium and c) growth fault. Origin point(0,0,0) is P point in Fig. 2.

기반암의 상부경계로 인식한 결과로 생각된다⁵⁾. 탐사 이후 말뚝 시공을 위하여 지반을 굴착한 결과, 말뚝 지선과 탐사 결과상의 기반암선이 일치하는 것으로 판명되었다.

5.2 충적층의 분포 및 성장단층(Growth Fault)

시추자료상의 충적층의 분포와 지하레이다 탐사단면을 대비시켜본 결과, 시추기재상의 오차를 감안할 때 충적층 및 내부 개별층의 심도와 두께의 변화 양상이 대체로 일치하고 있으며, 탐사단면상에서 충적층 내에 서쪽으로 약 15°가량 경사진 강한 반사면이 확인되었다(Fig. 6). 이 반사면을 경계로 각 층들이 정단층 성격의 변위를 보이며 단층 상반에 해당하는 충적층 내에는 배사(Anticline) 구조가 발달하고있어, 이에 따라 각 층의 수직 두께가 위치에 따라 변화를 보이고 있다(Fig 6(a)-BH-8, NH-3). 이 퇴적층들의 두께 변화 양상은 시추조사상의 두께 변화와 일치하며, 이러한 두께 변화를 유발시킨 특징적인 반사면은 퇴적층 내에 발달하는 성장단층으로 사료된다. 완만한 경사 변화를 보이는 성장단층은 누적된 퇴적층에 의해 미고결된 하부 퇴적층이 미끄러진 면으로서 이 단층면을 따라 상반의 침하 및 수평변위가 발생하고 상반 단층경계부에 상대적으로 큰 침하(수직변위)가 발생함으로써 완만한 배사구조(Rollover Anticline)를 형성하게 된다⁶⁾. A 충적층과 B 충적층과의 경계면은 조사지역의 북서부에서 상대적으로 높은 지대를 형성하다가 남-북 및 북북동 방향의 일정한 선을 따라 급격히 깊어지며, 그 경계 동편에서 북북동방향의 축을 가지는 배사 또는 돔(Dome) 구조를 보이고 있다(Fig. 7(b)). 급격히 심도변화를 일으키는 경계는 Fig. 7(c)의 성장단층면과 일치하며, 이러한 충적층의 변위를 발생시킨 성장단층의 방향은 대체로 북북동에서 북동 주향, 남서 경사방향이며, 기반암의 분포 심도에 따라 완만한 경사변화를 보이는 것으로 사료된다. 이렇게 미고결된 연약한 충적층내의 성장단층은 구조물 등의 과도한 상부 하중이 작용할 때 재차 미끄러짐을 일으켜 지반의 부등 침하를 일으키는 요인이 될 수 있다.

5.3 매립층의 분포

매립층과 충적층과의 경계는 약 4~5 m 깊이에 매우 뚜렷하게 관찰되며, 시추자료와 정확하게 일치하고 있다(Fig. 5(d)-A,6).

6. 결 론

두꺼운 충적층과 매립층 상부에 시공되는 김해 내외 지구 9-2 블록 동부 아파트 현장에 대해 기초시공에 필요한 지질정보를 얻을 목적으로 지하레이다 탐사를 실시하였으며, 탐사 결과를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 부지하부의 지질은 시추조사 결과 하부로부터 기반암, 충적층, 매립층으로 이루어져 있는 것으로 보고 되었으며, 기반암 경계를 제외한 지질경계의 위치에 대하여 시추조사 결과와 지하레이다 탐사 결과는 대체로 유사한 양상을 나타내었다.

2) 기반암의 위치에 대하여 지하레이다 탐사 결과는 탐사이전에 실시된 시추 지질조사(17~19 m)보다 깊은 심도(22~27 m)를 나타내었으나, 탐사 이후 말뚝 기초 시공과정에서 말뚝 지지력 확보에 필요한 기반암의 위치가 지하레이다 탐사 결과와 일치하는 것으로 확인되어 탐사 결과의 신뢰성이 검증되었다.

3) 지하레이다 탐사 결과에 의해 부지 하부의 충적층 내에 성장단층 및 상반 배사구조가 발달하고 있는 것을 파악할 수 있었으며, 시추조사 결과에서 얻을 수 없었던 지반의 지질 정보를 획득할 수 있는 등 지반조사에 대한 적용성이 우수한 것으로 판명되었다.

4) 시추에 의한 지질조사는 시추지점에 한정된 단속적인 정보만을 제공하는 반면, 지하레이다 탐사를 이용한 결과 전도성 충적층이 두께 분포하고 있는 부지의 한계에도 불구하고 연속적이고 세밀한 지질정보를 획득할 수 있었으며, 3차원 지질 상태를 효과적으로 분석할 수 있었다.

5) 이번 탐사의 경우 기존 실시된 시추조사 결과와 지하레이다 탐사 결과를 대비하였으나, 앞으로 지하레이다 등 물리탐사를 통해 지반의 전반적인 지질 정보를 얻은 다음, 적절한 지점을 선정하여 시추조사를 수행한다면 비용절감과 함께 지반의 보다 정확한 정보를 획득할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Annan, A.P., 1992, Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Sensors & Software, Inc., pp. 150.
- 2) Davis, J.L. and Annan, A.P., 1989, Ground

- Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy, *Geophys. Prosp.*, pp.531-551
- 3) Madsen, J.A., McGeary, S., Krantz, D.E., McIntire, S.S., Daniel, W.F. and Storlazzi, C.D., 1994, Ground Penetrating Radar Investigation of a Wetlands Replacement Site, *Proc. of the 5th International Conference on Ground Penetrating Radar, Vol 2*, pp.831-841.
 - 4) Annan, A.P. and Cosway, S.W., 1992, Ground Penetrating Radar Survey Design, *Proc. of the Sympos. on the Application of Geophysicist to Engineering and Environmental Problems*, pp. 329-352.
 - 5) Johnson, R.B. and DeGraff, J.V., 1988, *Principles of Engineering Geology*, John Wiley & Sons. pp.497.
 - 6) Twiss, R.J. and Moores, E.M., 1992, *Structural Geology*, W.H. Freeman and Company, pp.532.
 - 7) 동부건설(주) 기술연구소, 1994, 부산 지하철 221공구 파쇄대 분포 탐사, pp.62.
 - 8) 동부건설(주) 기술연구소, 1994, 춘천하수 처리장 지하매설물 탐사 보고서, pp.71.
 - 9) 동부건설(주) 기술연구소, 1995, 지하레이다를 이용한 터널 라이닝 두께 조사, pp.40.
 - 10) 중앙지하개발, 1994, 김해 내외지구 동부 아파트현장 지질조사보고서, pp.82.