

물리탐사를 이용한 청주 화강암 지역의 지반특성 파악

김지수¹⁾, 한수형^{*2)}, 서용석¹⁾, 이용재¹⁾

¹⁾충북대학교 지구환경과학과 · 기초과학연구소, ²⁾지오제니 컨설턴트

Ground Characterization of the Cheongju Granite Area Using the Geophysical Methods

Ji-Soo Kim¹⁾, Soo-Hyung Han^{*2)}, Yong-Seok Seo¹⁾, Yong-Jae Lee¹⁾

¹⁾Dept. Earth and Environmental Sci. · Institute for Basic Sciences, Chungbuk National University,

²⁾Geogeny Consultant

이 연구는 물리탐사를 이용하여 청주 화강암을 기반으로 한 지역의 지반특성을 파악하는데 목적이 있으며, 시험지역으로서 충북대학교 건물동을 선정하였다. 또한 시험지역의 동쪽에 위치한 노두에서 관찰되는 소규모의 단층과 관입암의 발달 양상을 물리탐사를 통해 확인하고, 이에 따른 풍화정도를 탐사에서 얻어진 각종 물성자료들과 비교, 파악하였다. 조사지역의 지반은 표준 암반분류표를 이용하여 탄성과 속도 800 m/s를 기준으로 크게 풍화토층과 풍화암층으로 구분되며 이층들은 표준관입시험결과 각각 중-고밀도와 고밀도의 값을 갖는다. 풍화토층은 탄성파속도 500 m/s와 전기비저항 200 ohm-m를 기준으로 불포화/포화 풍화토층으로 세분되며 불포화 층은 지하투과레이다탐사 자료와의 상관해석 결과 건조층과 습윤층으로 더욱 세분할 수 있다. 불포화/포화 풍화토층의 경계는 지하수면의 경계에 해당하는 것으로 지하투과레이다탐사 결과 대략 5~6.2 m에 발달하는 것으로 보이며 이는 시추조사 결과와 잘 일치한다. 그러나 건물 기초의 지지면이 되는 기반암 경계는 파악하기 어려웠다. 신축부지 동편의 노두에서 확인되는 단층 및 관입암은 지하투과레이다탐사 결과에서 신축부지까지 연장되지 않는 것으로 확인된다. 저비저항과 저속도대로 특징되는 노두구간의 풍화등급은 지질공학 조사결과 “완전풍화”에 해당된다.

주요어: 물리탐사, 지질공학조사, 청주 화강암, 지반특성.

This research is aimed at investigating the ground characterization of the Cheongju granite area using the geophysical methods. Test site was chosen from the building site in Chungbuk University, Chongju, Chungbuk province. Furthermore, geophysical methods are employed on the outcrops in the east to map the distribution of fault and intrusion and reveal the degree of weathering. The subsurface structure mapped from seismic refraction survey mainly consists of two units of weathered soil and rock. Threshold of the units were determined on the basis of seismic velocity of 800 m/s, supported from the standard classification table. From the results of standard penetrating test(SPT), these units are found to show medium-high and high density, respectively. Weathering soil is subdivided in unsaturated layer and saturated layer with thresholds of seismic velocity (500 m/s) and resistivity (200 ohm-m). In particular, unsaturated layer is again classified into dry and wet portions using the GPR sections. The boundary between unsaturated and saturated weathering soils corres-

* Corresponding author: geop22@cbu.ac.kr

ponds to the groundwater table at depth of approximately 5~6.2 m, which is well correlated with the one from drill-core data. However, bedrock is not delineated by geophysical methods. In the GPR section, fault and intrusion observed on the outcrop are revealed not to extend to the building site. With respect to weathering degree, the outcrop characterized by low resistivity and velocity corresponds to the grade of "completely weathered" from the geotechnical investigations.

Key words: geophysical methods, geotechnical investigation, Cheongju granite, ground characterization

서 언

건설 및 시공을 위한 사전 지질조사로서는 일반적으로 지표지질조사, 굴절법 탄성파탐사, 시추조사 등을 실시하지만, 복잡한 천부 지질구조나 지하수면의 파악에는 충분치 않은 경우가 많다. 특히 지질조사는 지표만을 대상으로 하고 정밀 지질조사 방법인 시추조사는 지하 지층의 시료를 직접 채취하여 원위치 시험을 통해 지하매질의 물성정보를 정확하게 파악 가능하지만 시추위치에 국한된 정보만을 얻을 수 있다는 단점이 있다. 또한 굴절법 탄성파탐사는 주로 지반의 평균적인 탄성파속도를 구하는 것으로서 고속도층의 아래에 저속도층이 분포할 경우에는 저속도층에 대한 해석이 대단히 어려워지는 단점도 가지고 있다. 따라서 지반조사 분야에서 정확한 평가를 내리기 위해서는 지표뿐만 아니라 지하에 대한 정보를 얻어 이들을 서로 상관해석하는 것이 필수적이며 특히 지하구조나 지하 물성정보를 정량적으로 파악하기 위해서는 다양한 물리탐사를 복합적으로 실시하는 것이 요구된다 (Nascimento da Silva et al., 2004).

전기비저항탐사는 지반의 공극률, 물의 포화도, 공극수의 전기비저항, 점토함유량 등에 민감하기 때문에 탄성파탐사로서 파악하지 못하는 복잡한 지질구조나 지하수의 파악에 특히 유용하다 (박삼규와 김희준, 1994; Matsui, 1993). 또한 지하투과레이다탐사는 전자기파를 지하로 방사시킨 후 지질 경계면이나 지하의 불균질면, 파쇄대, 지하매설물 등 여러 가지 경계면으로부터 반사되어 되돌아오는 전자기파를 받아서 지하 지질구조를 파악하는 탐사방법으로 수십 MHz에서 수 GHz의 전자기파를 이용하므로 천부의 지질구조를 고해상도로 파악할 수 있어 최근 다양한 분야에서 각광받고 있다 (문장수 등, 1997; Bano et al., 2000; McMechan et al., 1998; Nakashima et al., 2001; Rashed et al., 2003).

이 연구는 충북대학교 건물동 신축부지의 지반특성을 파악하고 신축부지 동편에 위치한 노두 부근에서 관

찰되는 단층과 관입암의 발달 양상과 풍화정도를 파악하여 건물의 안정성을 검토하는 것이 목적이다. 따라서 조사지역의 지하구조를 정확하게 해석하고 지하매질의 물성 값을 정량적으로 파악하기 위해 각종 물리탐사(전기비저항, 굴절법 탄성파, 지하투과레이다)를 실시하여 시추 및 지질공학 자료와 상관해석하였다. 조사지역의 지하구조와 물성과 같은 지반특성은 전기비저항과 굴절법 탄성파탐사를 통해 파악하고자 하였으며 지하구조의 정밀 해석을 위해 지하투과레이다탐사를 수행하였다. 노두에서 관찰되는 단층과 관입암의 발달양상은 고분해능 지하투과레이다탐사를 이용해 영상화하였고 풍화특성은 굴절법 탄성파와 전기비저항탐사를 실시하여 알아 보았다.

지질개요

연구지역은 1대 5만 청주도폭 (권영일과 진명식, 1974)의 중심부인 충북대학교 자연대 신축부지로 북위 36°37' 32" , 동경 127°27' 23" 부근에 위치하며 주 구성암석은 중생대 쥐라기 대보화강암체이다.

이 지점을 기점으로 한 주변 지질은 Fig. 1에 자세하게 나타내었다. 이 지역은 화강암이 폭넓게 분포하고 있으며, 또한 이를 비슷한 시기에 관입한 것으로 생각되는 섬록암과 중생대 또는 백악기의 맥암류가 곳곳에 산재한다. 그리고 이들 기반암들을 4기의 충적층들이 부정합 관계로 폭넓게 덮고 있다.

이 지역에 분포하는 화강암류는 영광-대전-청주-충주-원주-강릉 방면에 걸쳐 북동-남서 방향으로 분포하는 화강암질 저반체로서 남한에서 가장 넓은 면적을 차지한다. 청주 도폭에 분포하고 있는 화성암류는 반상화강암, 흑운모 화강암이며 암상은 화강섬록암-화강암 계열에 속한다. 이것의 최근 연구 (정창식 외, 2003)에서 U-Pb를 이용한 관입정지연대는 174.6±2.7로 해석하였다. 특히 조사영역 내에 분포하고 있는 화강암체는 반상

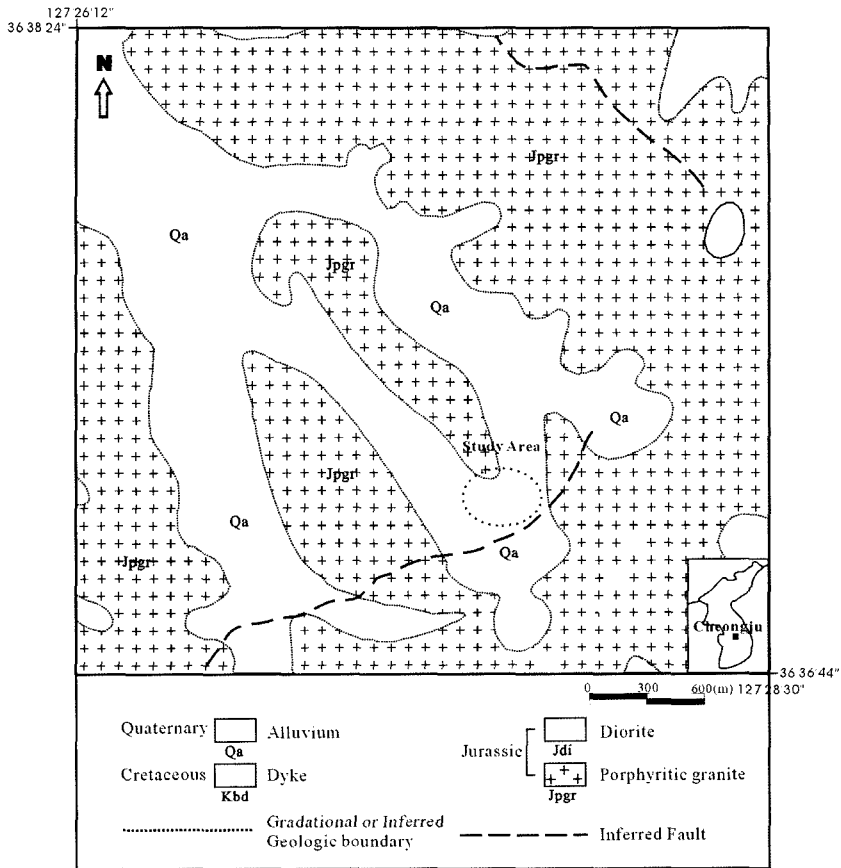


Fig. 1. Location and geologic map of the study area.

화강암으로 분류된다. 섬록암은 기존의 화강암체에 관입되어 있는 것으로 암주상으로 조사영역의 동부에서 일부 나타난다. 주 성분광물로는 사장석, 각섬석 등이며, 부성분 광물로는 흑운모, 석영 등이 육안관찰에 의해 나타난다. 조사지역에 분포하고 있는 맥암류는 산성암맥과 염기성암맥이 존재하며 주 방향성은 N30°W-N30°E이다.

조사지역의 지질은 노출되어 있는 암상을 기준으로 했을 때 크게 반상화강암과 염기성 맥암으로 구성된다 (Fig. 2). 이 암석들은 풍화로 인하여 대부분 마사(saprolite)로 변해가는 과정 중에 있으나 대부분 기존 암석의 특징이 잘 나타난다. 육안에서 확인되는 반상화강암의 주 구성광물은 석영, 정장석, 흑운모, 각섬석 등이며 정장석이 반정으로 나타나는 것이 특징이다. 또한 이 반상화강암체 내에는 지질도 상에 표기되지 않지만

N10°W, 45°SW의 방향성을 갖는 소규모의 단층이 잘 나타난다. 육안으로 관찰된 파쇄대의 폭은 대략 20 cm 정도이다. 이 단층의 윗부분은 폭이 약 40 cm이고 N10°E, 75°NW의 방향성을 갖는 염기성 맥암으로 단절되어 있다 (Fig. 2). 육안상 관찰에서 이 염기성 맥암은 주 구성광물이 각섬석과 장석류로 추정되며 입자의 크기는 0.5 mm 이내이다.

청주화강암의 지질공학적 특성

본 연구지역에는 중생대 주라기에 관입한 화강암이 분포하며, 최대 심도 약 40 m까지를 조사대상으로 하고 있으므로 주로 화강암질 기원의 풍화토와 풍화암이 주 연구대상이다. 노두상에서 관찰되는 화강암 (Fig. 2)은 황갈색 내지 적갈색을 띠고 있으며, ISRM (1978)에서 제

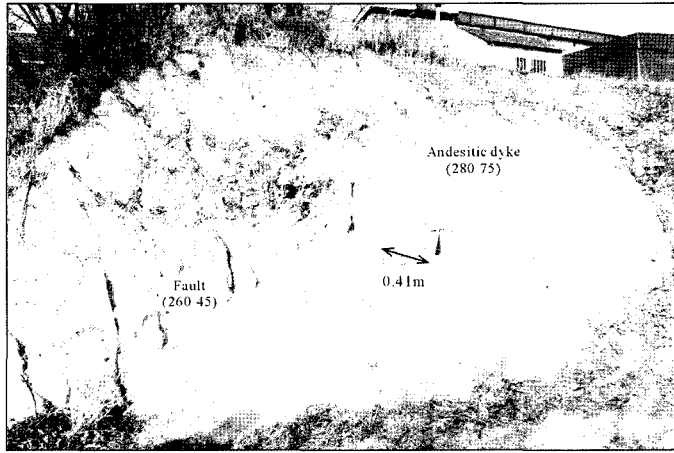


Fig. 2. Photographic view of the outcrop which is located in the east of the study area.

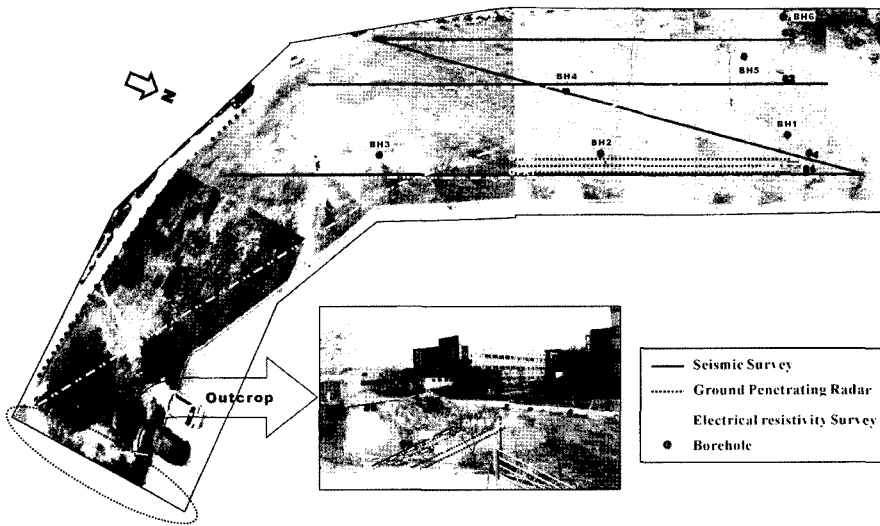


Fig. 3. Perspective views of the study area showing geophysical survey lines.

안한 암반풍화등급 분류에 의하면 완전풍화 (completely weathered)에 속한다. 상기 문헌의 Manual index test를 이용하여 분류하면 R1 (very weak rock)에 속한다. 또한 현장에서 측정된 슈미터햄머 값은 14~16에 분포하며 평균 15를 보인다. 노두상에 관입된 암맥은 풍화가 심하게 진행되어 슈미터햄머로는 측정이 불가능하며 완전풍화 (completely weathered) 내지 잔류토 (residual soil)에 속한다.

본 역에서는 총 6공의 시추조사가 실시되었다. 이들의 위치는 Fig. 3에 나타나 있으며, 이들의 주상도와 심도별 표준관입값을 Fig. 4에 나타내었다. 시추조사 결과를 바탕으로 본 역에 분포하는 지층을 세분하면 매립층, 모래질 점토층, 풍화토층, 풍화암층으로 분류된다.

매립층은 최상부 0.2~2.5m까지 분포하며, 4회/30 cm의 N치를 보이며 매우 느슨한 상대밀도를 보이고 있다. 모래질 점토층은 연구지역의 서측에서 관찰되며 층후가

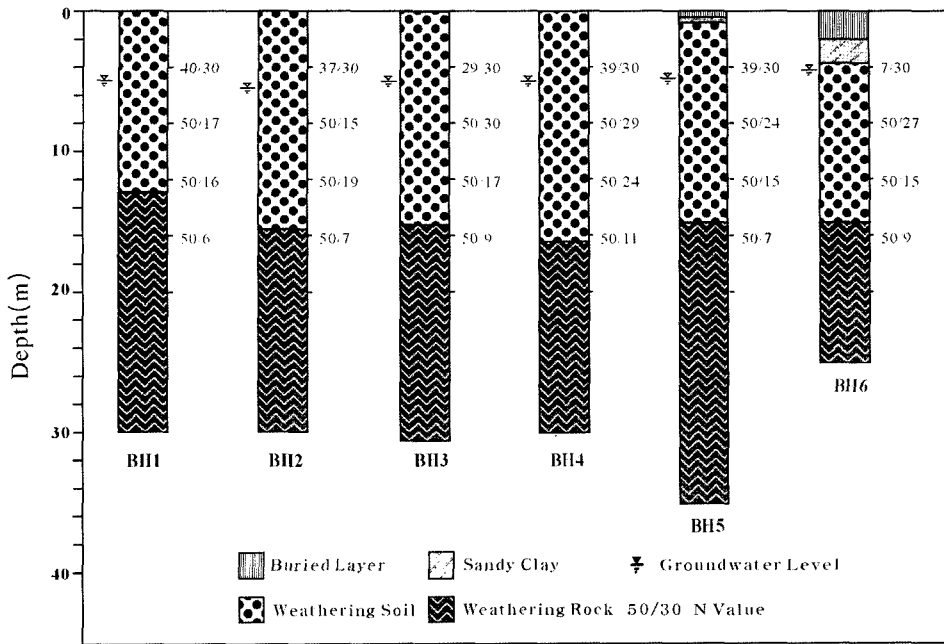


Fig. 4. Lithological descriptions and N-values of each drill-core.

0.9~1.7m를 보이고 있다. 이들은 주로 실트질 점토로 구성되어 있고 갈색의 습윤상태를 보인다. N치는 6회/30cm로 보통 견고의 연경도를 보인다.

기반암 최상부 풍화대에 속하는 풍화토층은 층후가 11.7-17.00m까지 비교적 두껍게 분포하며 시추공에 따른 편차가 심한 편이다. 통일분류법에 의한 분석에 의하면 이 지층은 실트질 모래에 속한다. N치의 분포는 13회/30cm-50회/11cm이며 중밀도-극밀도의 상대밀도를 보이고 있다. 풍화암층은 본 조사의 최하부층으로서 각 시추공에서 13~19.5m까지 분포하는 것으로 확인되었다. 심도가 깊어짐에 따라 기반암인 화강암의 조직과 구조가 명확하게 관찰되며, N치는 50회/10cm ~ 50회/4cm로 극밀한 상대밀도를 보이고 있다. 각 시추공에서 관찰된 공내수위는 4.5-5.4m 범위에서 관찰되었다.

본 역의 풍화토층의 토질특성을 파악하기 위하여 실내시험을 실시한 결과를 Table 1에 나타낸다. 시료채취는 약 1m 깊이의 트랜치에서 불교란형태로 채취되었다. 분석결과에 의하면 본 지역에 분포하는 풍화토는 USCS 분류법상 SM에 속하는 것으로 나타났다.

자료수집 및 처리

지하투과레이다탐사

고분해능 지하투과레이다탐사는 조사지역의 천부 지하구조를 정밀하게 파악하기 위해 실시하였다. 자연광이 들어서는 주 조사지역에서는 4개 축선, 노두 부근에서는 단층과 관입암의 분포양상을 파악하기 위해 노두 아래에서 4개 축선을 실시하였다(Fig. 3). 자료수집에 사용된 장비는 pulseEKKO 100 시리즈이며 주 조사지역에서는 100 Mhz, 노두 부근에서는 450 Mhz의 안테나를 사용하였다(Table 2). 자료수집인자는 200 Mhz의 안테나를 사용하는 경우 공간적 알리아싱 (spatial aliasing)을 고려하여 안테나 간격 0.5 m, 안테나 이동간격 0.1 m로 하였고 450 Mhz를 사용하는 경우에는 연속모드로 측정하였다.

현장에서 취득된 자료들은 S/N을 높이기 위해 자료처리 소프트웨어인 RADPRO (2001)를 사용하여 처리하였으며 인공잡음을 최대한 억제하기 위해 자료처리과정은 디와우잉 (dewowing), 대역통과필터, 이득회수 조절 등의 기본적인 과정만을 수행하였다. 단층 및 관입암과 같은 불연속면의 분포 특성을 효과적으로 파악하기 위해서는 GPR-SLICE를 이용하여 3차원 영상을 재건하였다.

Table 1. Physical and engineering characteristics of soil collected from Cheongju granite area

Sample	Under natural condition			Specific gravity			
	Field moisture content (%)	Field density (g/cm ³)	Dry density (g/cm ³)				
Cheongju	15.2	1.771	1.537	2.67			
Grain size distribution, %, Finer than							USCS
No. 200	No. 100	No. 40	No. 10	No. 4	12.7 mm	19.1 mm	
16.9	21.4	44.7	81.1	92.0	96.3	100	SM

Table 2. Data acquisition parameters for geophysical data

Main survey area						
Methods	Location	Line Interval	Number of Line	Station Interval	Sensors	Sources
Seismic Refraction	Main Survey Area	15 m	5	3 m	10 Hz Geophone	SISSY, Hammer
Electrical Resistivity		15 m	4	4 m	Electrode	250 mA
GPR		2 m	4	0.1 m	200 MHz	Radar
Outcrop						
Seismic Refraction	Upper	·	1	1 m	10 Hz Geophone	Hammer
	Under		1			
Electrical Resistivity	Upper	·	1	1 m	Electrode	250 mA
	Under		2 m			
GPR	Under	1 m	4	0.1 m	450 MHz	Radar

탄성과 굴절법탐사

탄성과 굴절법탐사는 지하 매질의 속도 값을 파악하여 지하구조를 영상화하기 위해 신축부지에서 4개 축선에서 수행하였으며 노두 부근에서는 단층 및 관입암에 의한 매질의 풍화특성을 알아보기 위해 노두 위와 아래에서 각각 1개 축선에서 실시하였다(Fig. 3). 자료취득은 24 채널 ABEM Terraloc Mark 6을 이용하였으며, 파원으로는 탄성파발진장치 (SISSY: seismic impulse source system)와 4.7 kg 해머를 함께 사용하였다(Table 2). 탐사에 사용된 지오폰 규격은 10 Hz로서 주 조사지역에서는 3 m 간격으로, 노두 부근에서는 1 m 간격으로 설치하였다. 해머를 사용하는 경우 자료의 S/N을 높이기 위해 기록 당 8회 연속 타격하여 수직중합 하였으며, 샘플링간

격은 0.05 ms, 저주파차단필터는 10 Hz로 설정하였다.

현장자료의 처리는 지형이나 지하구조가 복잡한 곳에서도 해석결과에 오차가 안정한 탄성과 굴절법 토모그래피 방법을 이용한 CSTOFRA (조창수, 2002)을 사용하였다.

전기비저항탐사

전기비저항탐사는 굴절법탐사 자료와 상관분석하기 위해 실시하였다. 주 조사지역에서는 지반특성을 파악하기 위해 굴절법 축선과 동일하게 4개 축선에서 실시하였으며 노두 부근에서는 단층과 관입암의 발달양상을 파악하기 위해 노두 위와 아래에서 각각 1개와 2개 축선

에서 수행하였다(Fig. 3). 탐사에 사용된 장비는 ABEM Terrameter SAS 300 및 Booster를 이용하였고 전류는 S/N을 최대한 높이기 위해 250 mA를 투입하였고 자료의 신뢰성을 위해 자료중합은 4회 이상으로 하였다. 자료수집인자(Table 2)는 구조물의 신축부지의 경우 전극 간격 4 m, 전극의 개수 21, 축선연장길이 80 m, n 값을 9로 하여 가탐심도를 25 m가 되도록 하였고 사면부근에서는 천부의 지질구조를 상세하게 파악하기 위해 전극 간격 1 m, 전극의 개수 21, 축선연장길이 20 m, n 값을 9로 하여 가탐심도를 5 m가 되도록 하였다.

획득한 자료들은 역산을 위해 각 면적 셀과 이에 대한 전기비저항을 추정 변수로 작성된 자료처리 소프트웨어인 DIPROWIN(2000)을 사용하였다.

자료해석

신축부지

고분해능 지하투과레이다탐사를 실시한 결과 대략 2.5 m와 5~6.2 m 부근에서 두 개의 반사 이벤트(RE 1, RE 2)를 확인할 수 있다(Fig. 5). 모든 단면의 2.5 m 깊이 이하에서 나타나는 레이다파의 감쇠는 물의 분포와 관련된 것으로 보이며 5 m 부근에서 나타나는 반사면을 제외하고 특별한 이벤트가 보이지 않아 단층이나 관입암에 의해 교란 받지 않은 균질한 매질로 생각된다. 앞선 시추조사 결과(Fig. 4)에서 지하수면이 대략 4.4~5.8 m에 형성되어 있는 것을 고려할 때 지하투과레이다탐사 결과의 5~6.2 m에 보이는 두 번째 반사면은 지하수면으로

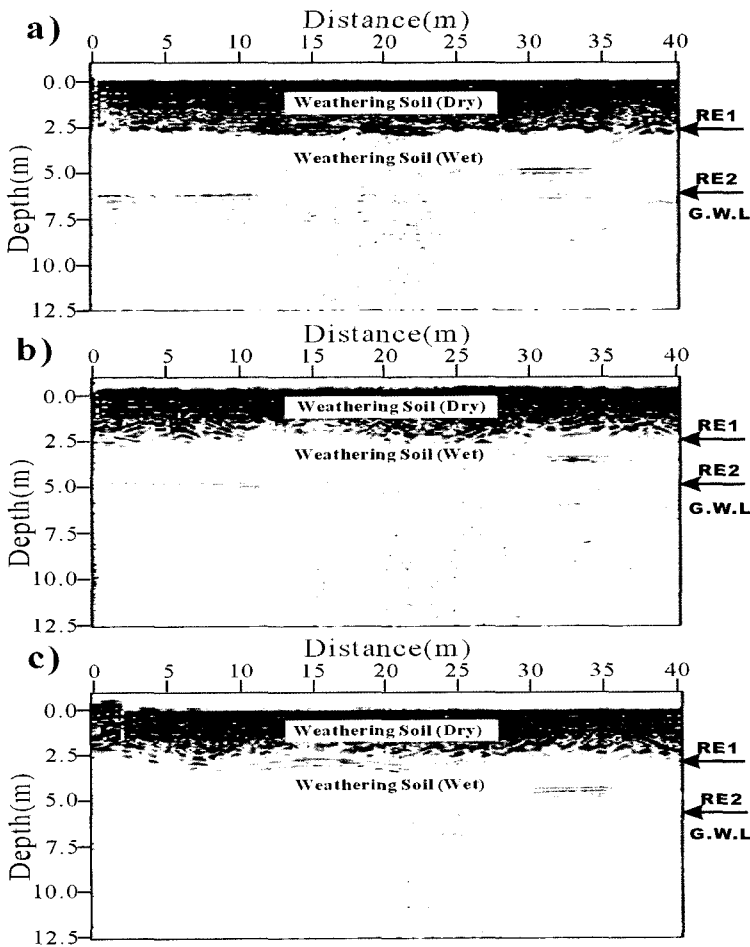


Fig. 5. GPR sections for the lines of a) GPR 1, b) GPR 2, c) GPR 3.

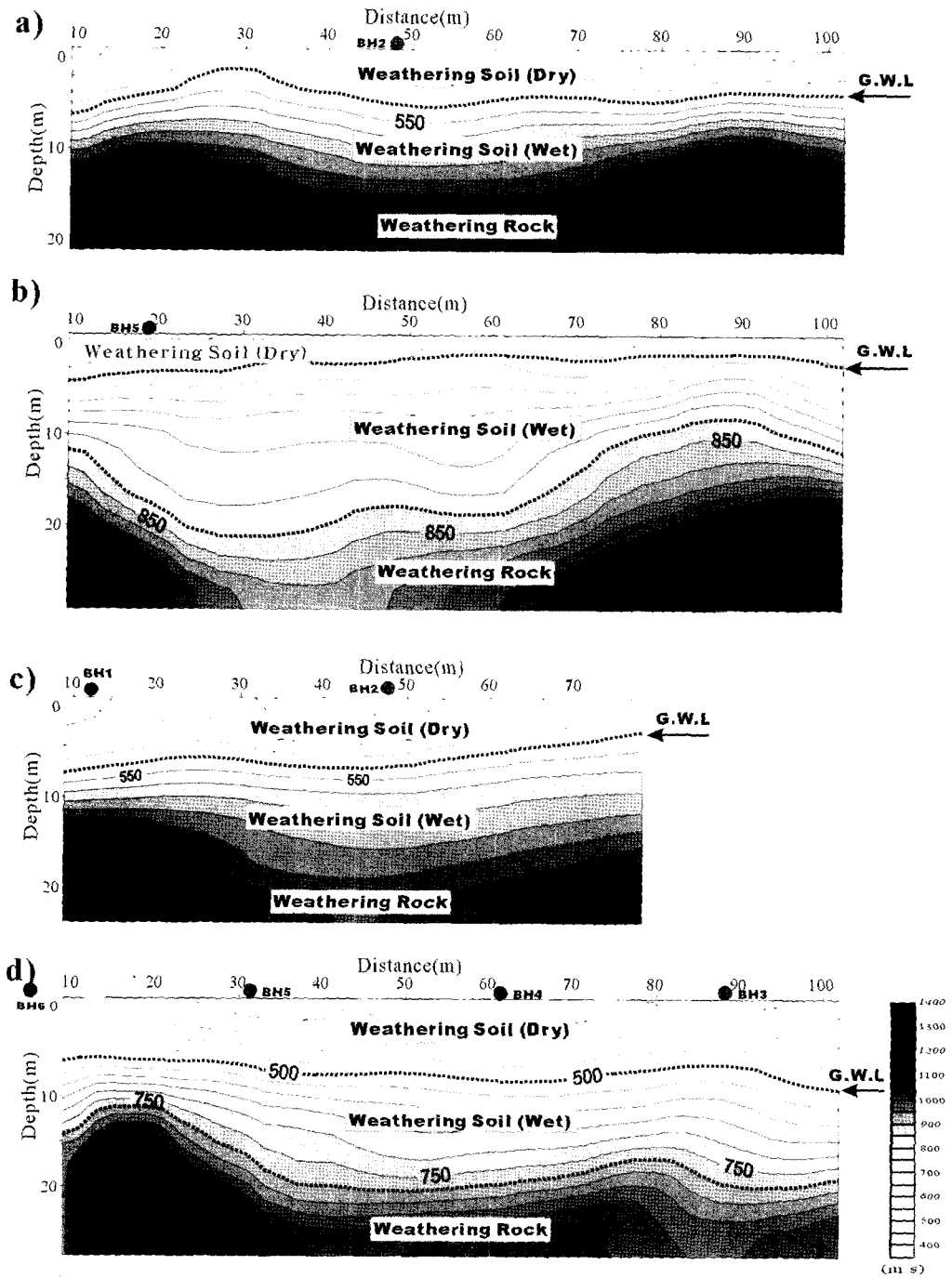


Fig. 6. Seismic refraction results for the lines of a) S1, b) S2, c) S3, d) S4.

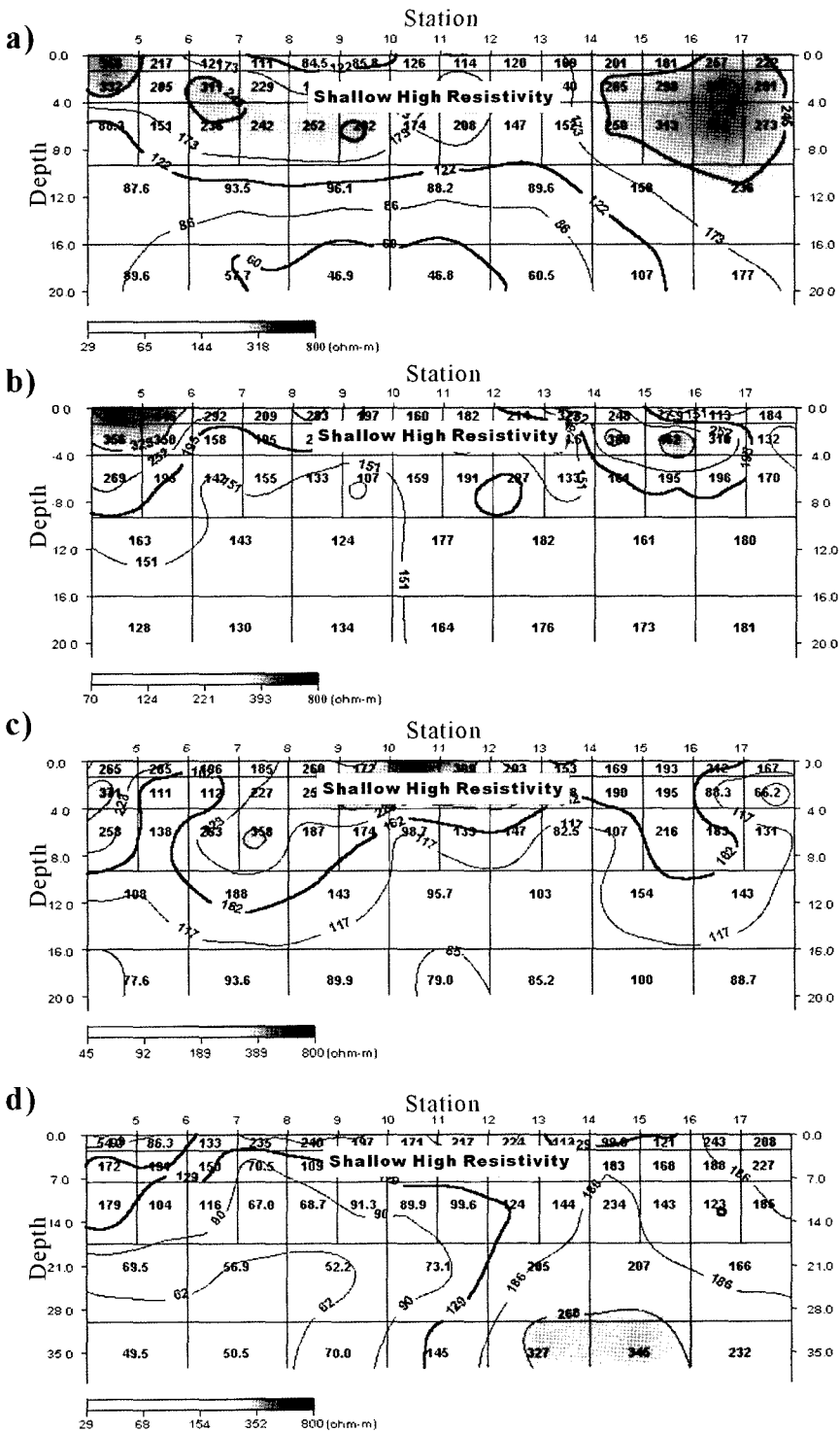


Fig. 7. Electrical resistivity sections for the lines of a) E1, b) E2, c) E3, d) E4.

볼 수 있다. 시추조사에서 화강암 풍화토층이 13~16 m 까지 발달하는 것으로 확인되어 지하투과레이다탐사에서 나타나는 반사이벳트들은 매질의 지하수 함량 차이에 의한 경계로 볼 수 있다.

지하투과레이다탐사로 확인되는 지하수면의 경계는 굴절법과 전기비저항탐사 결과(Figs. 6, 7)에서도 잘 나타난다. 굴절법탐사 결과(Fig. 6)에서 지하구조는 탄성과 속도 800 m/s를 기준으로 크게 두 개의 층으로 구분되며, 각 층은 P파 속도와 내압강도에 의한 암반분류 기준(Table 3; 대한지질공학회, 2003)을 참고하여 풍화토층 (<800 m/s)과 풍화암층 (>800 m/s)으로 정의할 수 있다. 탄성과 속도 800 m/s를 기준으로 구분되는 풍화토와 풍화암층은 표준관입실험에 따르면 각각 중-고밀도와 고밀도의 상대밀도로 특징된다. 첫 번째 층인 풍화토는 지하수면을 경계로 불포화 풍화토층 (<500 m/s)과 포화 풍화토층 (500~800 m/s)으로 세분되며 불포화 풍화토층은 지하투과레이다탐사 자료의 해석결과(Fig. 5) 건조 풍화토층과 습윤 풍화토층으로 더욱 세분할 수 있다. 두 번째 층인 풍화암의 속도가 표준 암반분류 기준 값에 비해 약간 높은 값을 갖는 것은 지표조사결과 조사 지역의 매질의 모양이 균질한 화강암 기원이기 때문이다. 굴절법탐사 결과는 전기비저항탐사에서 잘 나타나는데 전기비저항탐사에 의한 지하구조는 천부 7-8 m 내에서 보이는 200 ohm-m의 고비저항대를 기준으로 불포화 풍화토층과 포화 풍화토층 및 풍화암으로 구분할 수 있다(Fig. 7). 그러나 굴절법탐사로 확인되는 풍화토층과 풍화암의 경계는 전기비저항탐사 결과에서는 잘 구분되지 않는다.

건물 기초의 지지면이 되는 기반암의 심도는 축선전개의 제한으로 물리탐사를 이용해 확인할 수 없었다. 본 조사지역에서 축선전개 조건에 따른 굴절법 탄성과와 전기비저항탐사의 최대 가탐 심도를 고려할 때 기반암

은 40 m 보다 깊은 곳에 위치하는 것으로 해석된다. 따라서 청주 화강암으로 구성된 본 조사지역은 풍화대가 최소 40 m 이상으로 두껍게 발달하는 것으로 추정된다. 앞으로 청주 화강암 지역에서 기반암의 위치 및 구조물의 안정성을 저해할 수 있는 기반암 내의 연약대를 정확하게 탐지하기 위해서는 좁은 조사지역에서 깊은 심도의 지하구조를 파악할 수 있는 고분해능 반사법탐사가 추가적으로 요구된다.

노두지역

신축부지의 동편 노두에서 관찰되는 단층과 관입암의 발달양상과 그에 따른 풍화특성을 파악하기 위해 노두 위와 아래에서 물리탐사를 실시하였다(Fig. 3).

지하투과레이다탐사를 실시한 결과(Fig. 8) 노두에서 확인되는 단층과 관입암은 노두에서 8 m 떨어진 곳에서 얻은 단면(Fig. 8d)에서는 나타나지 않는다. 따라서 지반의 안정성을 저해할 수 있는 단층과 관입암과 같은 연약대는 신축부지까지 연장되지 않는 것으로 해석된다. 노두 아래에서 단층과 관입암의 발달양상을 입체적으로 파악하기 위해 450 Mhz에 대한 결과를 이용하여 3차원 영상을 재건하였다(Fig. 9). 그 결과 단층 및 관입암의 발달양상을 효과적으로 파악할 수 있으며 이것은 지표 지질조사 결과와도 잘 일치한다. 따라서 3차원 영상화 방법은 천부 지반환경에서 건물의 안정성을 저해할 요소인 연약대의 발달양상을 파악하는데 도움이 크게 될 것으로 기대된다.

단층과 관입암의 발달하는 구간에 대한 특성을 좀더 정확하게 파악하기 위해서 전기비저항 및 굴절법 탄성파탐사를 실시하였다. 전기비저항탐사 결과(Fig. 10) 단층 구간은 저비저항 이상대로 특징되는 반면 염기성 관입암은 고비저항값을 갖는 것으로 나타났다. 저비저항

Table 3. Standard ground classification using P-wave velocity and strength under natural condition

Classification	P-wave velocity (m/s)	Internal pressure strength (kg/cm ²)
Residual Soil	<0.7	<300
Weathered Rock	0.7-1.2	300-700
Soft Rock	1.2-1.9	700-1000
Moderate Rock	1.9-2.9	1000-1300
Hard Rock	2.9-4.2	1300-1600

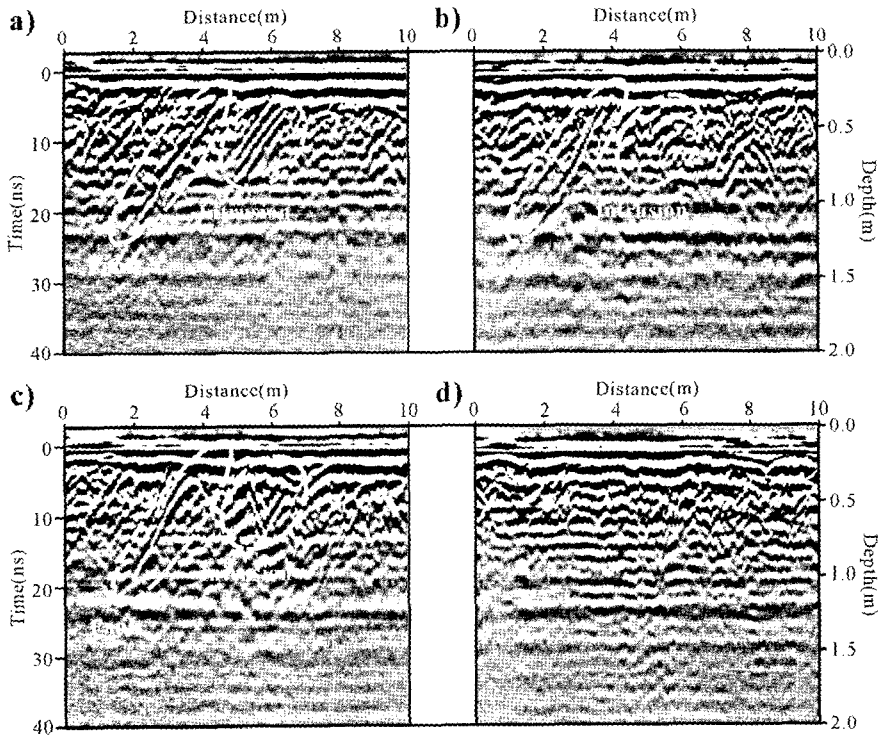


Fig. 8. GPR sections for the lines of a) GPR 4, b) GPR 5, c) GPR 6, d) GPR 7.

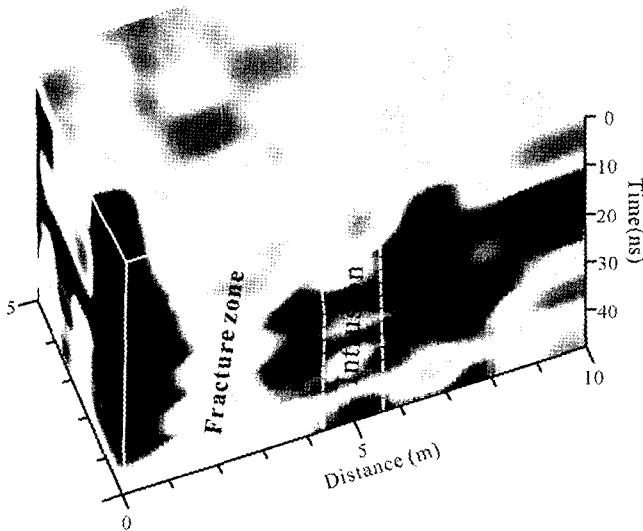


Fig. 9. 3D image for GPR results. The whiter, the higher amplitude.

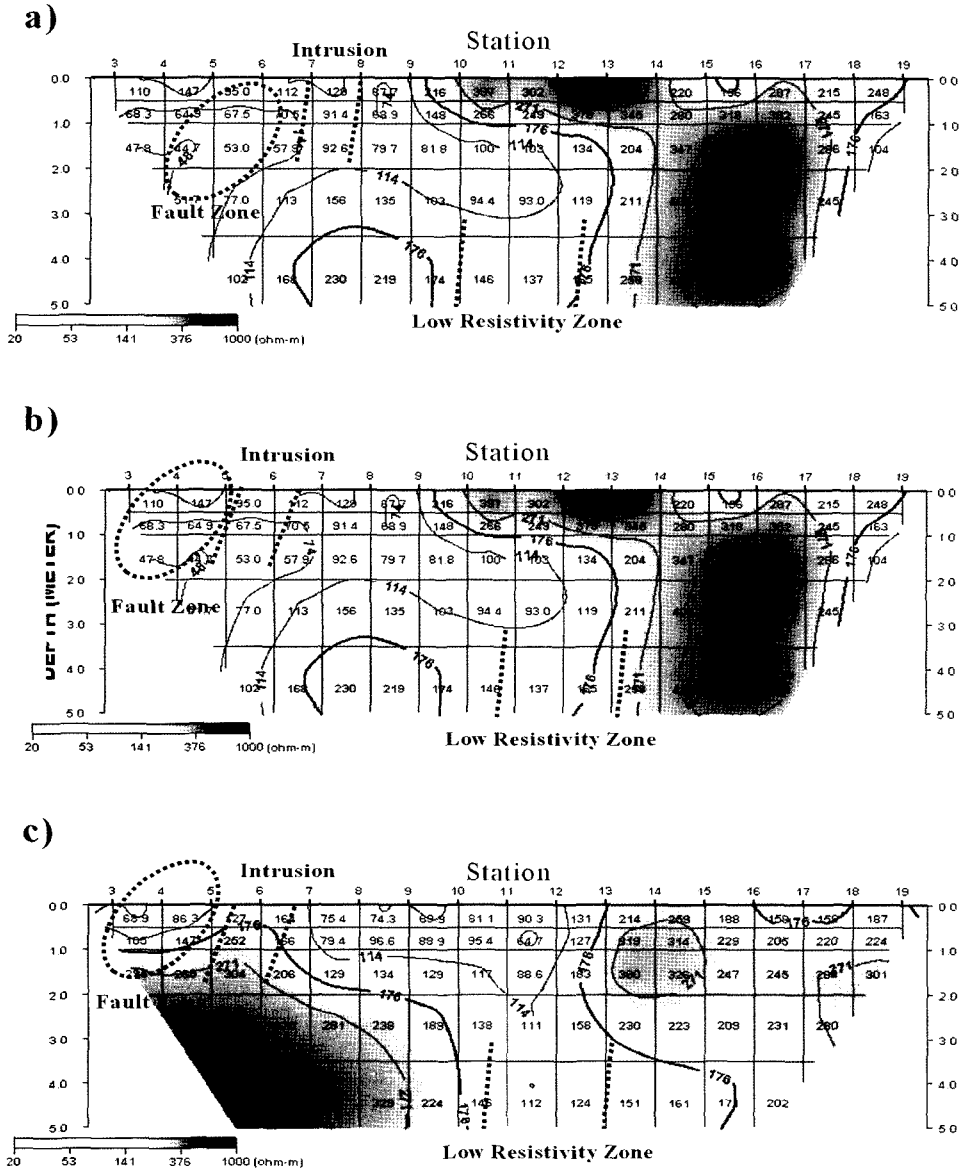


Fig. 10. Electrical resistivity sections for the lines of a) E5, b) E6, c) E7.

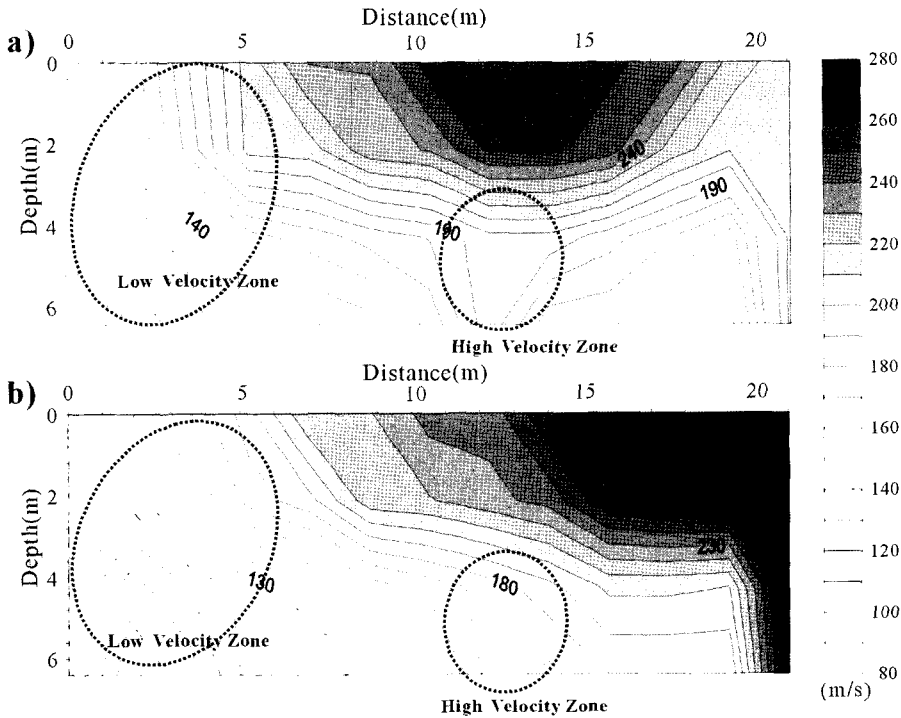


Fig. 11. Seismic refraction results for the lines of a) S5, b) E6.

이상대는 노두에서 확인되는 단층 구간 이외에도 측정 10-12 사이의 4 m 하부에서도 새롭게 확인된다. 굴절법 탄성파탐사 결과(Fig. 11)에서는 단층과 관입암이 발달하는 곳은 저속도로 나타난다. 단층과 관입암이 발달하는 노두의 전기비저항 및 속도 값은 각각 100 ohm-m와 200 m/s 이하로서 단층 및 관입효과에 의해 풍화가 심하게 일어난 것으로 해석된다. 이러한 노두의 풍화특성은 지질공학 조사 결과 암반풍화등급이 완전풍화에 속해 물리탐사 자료와 잘 일치된다. 전기비저항탐사에서 새로이 확인되는 저비저항 이상대는 굴절법탐사 결과 주변보다 높은 속도 값을 갖는데 이는 4 m 이하에 발달하는 단층 파쇄구간은 지하수로 포화되어 있어 속도가 높게 나타나는 것으로 해석된다.

결론

1. 조사지역의 지반구조는 건설표준품셈의 암반분류표를 이용하여 탄성과 속도 800 m/s를 기준으로 풍화토층과 풍화암으로 구분된다. 여기서 풍화토층은 지하수면을 경계로 불포화 풍화토층 (<500 m/s)과 포화 풍화토층 (500-800 m/s)으로 세분된다. 전기비저항탐사에서

는 200 ohm-m 부근의 고비저항 값을 기준으로 불포화대 (불포화 풍화토층)와 포화대 (포화 풍화토층, 풍화암)로 구분된다. 여기서 불포화풍화토층은 지하투과레이다탐사 결과 건조/습윤층으로 더욱 세분할 수 있다. 탄성과 속도 800 m/s를 기준으로 구분되는 풍화토와 풍화암층은 표준관입실험에 따르면 각각 중-고밀도와 고밀도의 상대밀도를 보이고 있다.

2. 굴절법탐사결과 지하수로 포화된 풍화토층의 상부 경계는 대략 5 m이며, 포화 풍화토층과 풍화암 경계는 12-17 m로서 지하투과레이다 및 시추자료와 잘 일치한다.

3. 노두에서 확인되는 단층과 관입암의 발달양상은 450 MHz의 지하투과레이다탐사 자료의 3차원 내삽을 통한 입체도의 재건을 통해 효과적으로 파악 가능하였다. 단층과 관입암은 노두에서 8 m 떨어진 축선에서는 확인되지 않아 신축부지까지 연장되지 않는 것으로 해석된다.

4. 단층과 관입암은 전기비저항탐사 결과 각각 저비저항과 고비저항 이상대로, 굴절법탐사 결과 단층 및 관입암이 발달하는 구간은 저속도로 특징된다. 여기서 노두의 전기비저항 및 속도값은 100 ohm-m와 200 m/s 이하로서 작게 나타나 풍화가 많이 진행된 것으로 해석

된다. 이것은 지질공학 조사결과에 따르면 노두의 암반 풍화 등급이 완전풍화에 속하는 것과 일치한다.

5. 건물의 설계 및 시공시 기초의 지지면이 되는 기반암의 심도는 최대 40 m의 가탐심도를 가지는 물리탐사로 확인이 불가능하다. 따라서 풍화대가 40 m 이상 두껍게 발달하는 본 조사지역에서 기반암의 위치 및 구조물의 안정성을 저해 할 수 있는 기반암 내의 연약대를 정확하게 탐지하기 위해서는 좁은 조사지역에서 깊은 심도의 지하구조를 영상화할 수 있는 고분해능 반사법탐사가 요구된다.

사 사

이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝힌다.

참고문헌

- 권영일, 진명식, 1974, 청주 지질도폭 (1:50,000), 설명서국립 지질 광물 연구소, 8.
- 대한지질공학회, 2003, 암반의 조사와 적용, 대한지질공학회·한국지질조사탐사업협동조합.
- 문장수, 김세환, 남옥현, 오영철, 1997, 지하레이더 탐사법을 이용한 지반조사 사례연구, 대한지질공학회지, 7, 161-171.
- 박삼규, 김희준, 1994, 전기비저항 영상법에 의한 거제도의 지반조사, 자원환경지질학회지, 6, 563-569.
- 정창식, 정연중, 길영우, 정기영, 2003, 청주화강암의 U-Pb 스피넬연대, 한국광물학회·한국암석학회 공동학술발표회 논문집, 53.
- 조창수, 이희일, 서정희, 2002, 탄성과 굴절법 토모그래피를 이용한 지반의 속도분포해석. 물리탐사학회지, 5, 6-17.
- Bano, M., Marquis, G., Niviere, B., Maurin, J.C., and Cushing, M., 2000, Investigating alluvial and tectonic features with ground-penetrating radar and analyzing diffractions patterns, Journal of Applied Geophysics 43, 33-41.
- DIPROWIN, 2000, Electrical resistivity dipole-dipole processing software, Heesong Ltd., Korea
- ISRM, 1978, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst., 15, 6, 319-368.
- Matsui, T., 1993, High-density electrical prospecting technique and availability for tunnel investigation, Underground Space Utilization, Symposium, Japan Soc. Civil Eng., 37-48.
- McMechan, G.A., Loucks, R.G., Zeng, X., and Mescher, P., 1998, Ground penetrating radar imaging of a collapsed paleocave system in the Ellenburger dolomite, central Texas, Journal of Applied Geophysics, 39, 1-10.
- Nakashima, Y., Zhou, H., Sato, M., 2001, Estimation of groundwater level by GPR in an area with multiple ambiguous reflections, Journal of Applied Geophysics, 47, 241-249.
- Nascimento da Silva, C.C., Eugenio de Medeiros, W., Jardim de Sa, E.F., and Neto, P.X., 2004, Resistivity and ground-penetrating radar images of fractures in a crystalline aquifer: a case study in Caicara farm-NE Brazil, Journal of Applied Geophysics, 56, 295-307.
- RADPRO, 2001, GPR processing software, Heesong Ltd., Korea.
- Rashed, M., Kawamura, D., Nemoto, H., Miyata, T., Nakagawa, K., 2003, Ground penetrating radar investigations across the Uemachi fault, Osaka, Japan, Journal of Applied Geophysics, 53, 63-75.

투 고 일	2004년 11월 15일
심 사 일	2004년 11월 16일
심사완료일	2005년 1월 23일

김지수

충북대학교 지구환경과학과

361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동 산48

Tel: 043-261-3201

Fax: 043-276-9645

E-mail: geop22@cbu.ac.kr

한수형

지오제니컨설팅트

137-831 서울특별시 서초구 방배동 807-2번지 부운빌딩 2층

Tel: 02-3472-2261

Fax: 02-3476-8057

E-mail: vincentsh@geogeny.biz

서용석
충북대학교 지구환경과학과
361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동 산48
Tel: 043-261-2765
Fax: 043-276-9645
E-mail: ysseo@cbu.ac.kr

이용재
충북대학교 지구환경과학과
361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동 산48번지
Tel: 043-261-3201
Fax: 043-276-9645
E-mail: akaby@hanmail.net