

자연사면에서 기반암 및 지질특성을 탐지하기 위한 지구물리 조사

박종오*

대전대학교 지반설계정보공학과

Geophysical Investigation for Detecting a Bedrock and Geological Characterization in Natural Slope

Jong-Oh Park*

Department of Geotechnical Design Engineering, Daejeon University

지구물리 탐사는 대전대학교에 위치한 자연사면의 상부에서 2개 축선을 실시하였다. 전기비저항 탐사와 탄성과 굴절법 탐사는 천부에 대한 지층 경계, 풍화대 지역 및 지질 특성을 파악하기 위해 실시한 반면, AMT 탐사는 비교적 깊은 심도에 대한 정보를 얻기 위해 축선 2에서 병행하였다. 탐사 결과를 보면, 전기비저항 탐사와 탄성과 굴절법 탐사는 찾고자 하는 지질 특성에 관련하여 서로 일치하는 양상으로 나타났으며, AMT 탐사는 전반적인 기반암의 분포와 파쇄대에 대한 영상을 제시하였다. 그러므로 자연사면에서 복합 물리탐사의 적용은 지하 구조에 대해 상세한 정보를 제공하므로, 이를 통해 사면 붕괴에 대해 보다 정확한 해석을 할 수 있다.

주요어 : 자연사면, 전기비저항, 탄성과 굴절법, 지질 특성, AMT

Geophysical surveys were conducted on an upper part of a natural slope located at Daejeon University. Electrical resistivity and seismic refraction measurements were carried out to obtain information on a weathered zone and internal structure at shallow depth, while AMT measurement a bed rock and geological structure at deep depth. With all the techniques applied, these results show a good correlation between electrical resistivity images and refraction velocity distributions for the characterization of a weathering and geological structure at depth. In particular, AMT survey seems to be the powerful tool for detecting a distribution of a bed rock with deep depth. The combined geophysical investigation produced a detailed image of a subsurface structure and improved well in the interpretation.

Key words : natural slope, resistivity, refraction, weathering, AMT

서 론

국내의 자연사면에서 발생하는 산사태는 산사면 계곡 부를 따라 발생하는 쇄설성 유동 형태가 가장 많고, 이러한 쇄설성 유동은 산사면 상부의 잔류토양과 붕괴토에서 발생하여 계곡부로 물질이 유동하며, 그 규모가 크지 않는 것이 특징이다(김원영 외, 2000). 산사태 유발의 가장 큰 원인은 강우에 의한 것으로 국내의 경우 강우는 여름철에 집중되며, 국지성 집중호우 양상을 보이고 있어 그 피해가 심각하다. 대부분의 자연사면이나 절개사면은 토

사부의 파괴보다 토사하부 암반 내에 존재하는 연약한 불연속면을 따라 파괴가 발생하는 것이 일반적이다. 또한 사면파괴는 퇴적암의 층리와 변성암의 엽리에 규제된 파괴, 단층 파쇄대를 따른 활동파괴, 토사사면 내에 잔존되어 있는 불연속면을 따라 파괴 및 상이한 지층의 경계부에서 파괴 등으로 복잡한 지질적 특성에 관련하여 발생된다(이창섭, 2007). 또한 국내에서 산사태들은 집중 호우에 의해 발생되었으며, 국지적으로 밀집되는 양상을 보이므로 강우와 산사태는 매우 밀접한 연관성을 나타낸다(김경수 외, 2006). 특히, 산사면의 붕괴는 보편적

*Corresponding author: jopark@dju.ac.kr

으로 낮은 사면 경사보다 30~40°사이의 비교적 높은 사면 경사에서 발생 빈도가 높게 나타난다.

본 연구지역의 사면은 대전대학교에 위치한 자연사면으로 비교적 완만한 경사면을 보이며 약 340m의 연장성을 갖는다(Fig. 1). 이러한 자연사면은 단층 및 파쇄대와 같은 지질구조선을 따라 많은 풍화를 받아왔으며 여름철 강우(2007년)에 의해 소규모 원호파괴가 발생하였다. 이러한 붕괴의 원인은 상부 토사가 강우와 관련하여 기존에 발달된 잔존 불연속면을 따라 붕괴된 것으로 판단된다. 지질의 분포는 전반적으로 화강편암, 흑운모 편암 및 페그마타이트 등으로 구성된다.

사면에서 지구물리 탐사는 일반적으로 산사태 지역의 지질구조와 기반암 상부에 존재하는 풍화대의 두께에 대한 정보를 얻기 위해 적용되어진다(Jomard *et al.*, 2007; Sass, 2008). 물리탐사 방법들은 탄성과 굴절법 탐사를 이용하여 지층의 두께 파악 및 지층의 속도 대비를 통해 물성 파악(서만철 외, 1994; Otto and Sass, 2006; Vita *et al.*, 2006; 이경미 외, 2007), 전기비저항 탐사를 이용하여 풍화대 지역 및 지질구조에 대한 상세한 정보 파악(Jomard *et al.*, 2007; Sass *et al.*, 2008; 김만일 외, 2008) 등이 있다. 또한 절개사면에서 토모그래피의 적용은 탄성과 토모그래피(박종오, 2005)와 전기비저항 토모그래피(박충화와 박종오, 2007) 등이 있다. 산사태 지역에 있는 물성들은 일반적으로 낮은 전기비저항 값과 낮은 탄성과 속도로 특징되어진다(Gktrkler *et al.*, 2008).

본 연구의 목적은 자연사면과 부분적으로 절개된 사면에서 전기비저항 탐사, 탄성과 탐사 및 AMT 탐사를 통하여 사면 내에 존재하는 파쇄대와 같은 연약대의 발달과 풍화도 및 기반암의 지층 경계 등을 파악하는 것이다. 이러한 복합 물리탐사법은 전기비저항 탐사와 탄성과 탐사를 통해 천부에 대한 지층 경계선 및 지질구조 등을 찾는 반면, AMT 탐사를 통해 지질구조선의 하부까지 연장성과 깊은 심도의 기반암 분포를 찾고자 적용하였다. 또한 상기의 탐사 결과들을 서로 비교함으로써 보다 정확한 해석을 도출할 수 있으므로 토사와 암반의 경계, 지질구조선과 같은 불안정한 요소들이 위치하는 지점들을 사면에서 제시할 수 있다.

지구물리 조사

물리탐사는 우리가 찾고자 하는 지반공학적인 변수들인 물성 값들을 여러 탐사 방법을 통하여 얻어내어 이러한 물성 값의 대비로 지질구조를 해석하는 것이다. 그러므로 지질학적인 변수들을 획득하기 위해서는 각종 여러 물

리탐사 방법들을 이용하는 것이 바람직하다. 또한 탐사 방법에 따라 차이는 있겠지만 정확한 지하구조를 파악하기 위해서는 정밀한 탐사를 통하여 분해능을 향상시켜야 하며 이러한 결과를 통하여 기반암의 깊이 및 지질구조선의 위치와 연장성 등을 파악할 수 있다.

전기비저항 탐사

전기비저항 탐사법은 2개의 전류전극에서 일정한 전류를 대지에 공급하여 전위 분포를 일으키면서 발생된 전위의 크기를 2개의 전위전극에서 측정하여 지질구조에 따른 전기비저항 값의 변화 양상을 탐지하는 것이다. 이러한 탐사법은 지하에 일정 전류의 흐름에 대한 한 쌍의 전위전극에서 측정된 포텐셜 값과 전극 배열에 관한 기하학적 거리 계수(K)를 곱하여 계산되어지며, 이러한 측정값들은 항상 양의 겉보기 전기비저항(apparent resistivity)으로 나타난다. 전기비저항은 조사지역의 토양에 대한 화학적 성질, 공극의 크기 및 지하수 함량에 따라 그 차이를 보인다.

본 연구지역에서의 전기비저항 탐사는 미국사의 String 장비를 이용하였다. 해석으로는 유한요소법을 근거하였으며, 비선형 최소자승 역산 방법으로 측정 자료와 이론 모델 반응치의 차에 대한 목적함수를 최소화하는 방식으로 해를 풀이하였다(박종오 외, 2004). 전기전도도로 구성된 블록의 모델 변수벡터를 최적화하기 위하여 모델 블록의 전기비저항에 관한 측정 자료의 미분법을 사용한다.

연구지역에서의 전기비저항 탐사는 쌍극자 배열법을 이용하여 옹벽의 상부 사면에 측선 1, 측선 1에서 약 10m 상부에 측선 2를 선정하여 수행하였다. 전자는 180m의 측선 거리이며, 후자는 344m이다. 전극 간격은 측선 1에서 2m, 측선 2에서 4m로 하였으며, 가탐심도는 $n=8$ 까지 하였다(Fig. 2). 전극 배열에 있어서 쌍극자 배열은 분해능 측면에서 가장 높으며, 반면에 측정 전위 값 측면에서 가장 낮다(김정호 외, 2001).

탄성과 굴절법 탐사

탄성과 굴절법 탐사는 스넬법칙에 의해 허부 매질의 탄성과 속도가 상부 매질보다 클 경우, 임계 굴절된 에너지가 지층의 경계면을 따라 허부 층의 속도로 전파하다 다시 상부 층으로 재 굴절된 파이다. 임계 굴절된 선두파는 각 수신기에 도달되는 초동 시간을 측정하여 지층의 경계면의 깊이 및 지층에 대한 탄성과 속도를 파악한다. 이 탐사법의 장점은 정확한 기반암의 탄성과 속도, 깊이 및 지층 내의 파쇄대의 방향과 관련한 속도에 대한 정보를

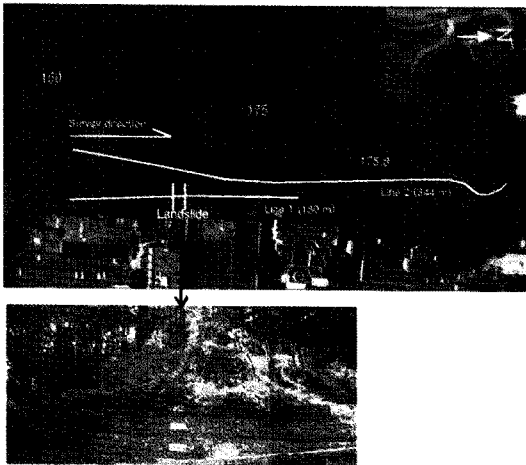


Fig. 1. A map showing the lines of geophysical survey and the landslide.

제공하며 탐사작업이 간편하고 쉽다. 깊이의 증가에 따라 속도가 감소하는 지층이 존재하는 지역이나 속도가 점진적으로 증가하는 지역에서는 탐사가 용이하지 않는 단점이 있다. 그러나 표토와 기반암 층의 탄성과 속도 및 깊이를 파악하는데 있어서는 다른 물리탐사법에 비하여 중요한 탐사법이다.

굴절법 탐사 자료 해석은 탄성과 기록지의 각 트레이스로부터 수진기에 가장 먼저 도달한 파의 초동 주시를 발췌하여 음원으로부터 각 수진기까지 거리 함수로 나타내어 주시곡선도(time-distance curve)를 작성하며, 이러한 곡선을 가지고 지층 경계면의 깊이 및 기반암의 속도를 계산하여 지하 구조를 해석한다. 주시곡선도에서 굴절된 양상은 속도의 변화를 보이므로 서로 다른 층들이 존재하며, 회절된 양상은 단층이나 급격한 지층의 변화에 관

련된다(Ackermann *et al.*, 1986).

탄성과 탐사는 전기비저항 탐사 측선과 동일한 측선에서 수행하였으며, 수진기 간격을 2m로 일정하게 배열하였다. 음원으로는 햄머를 사용하였으며, 정확한 자료 취득을 위해 다섯 번 발파를 하였다(Fig. 2). 탄성과 기록은 측선 1에서 3개이며, 측선 2에서 7개이다. 탐사 장비는 OYO사의 24채널 McSeis를 사용하였으며, 탐사 해석으로는 Seisimager-E 프로그램을 이용하였다.

AMT 탐사

본 탐사법은 자연적으로 존재하는 전자기장의 성분을 이용하여 유도영역 전자과 탐사 방법으로 지하에 있는 전도체와 반응에 대해 생성된 2차장을 측정하여 지하구조를 해석한다. 이 탐사법은 한 측정점에서 심부 방향에 따라 변화하는 전자기장을 측정하며, 가탐 심도가 깊은 심부 및 전기전도도의 대비가 있는 지질구조 파악에 이용된다.

본 연구에서 사용된 장비는 미국 EMI사의 EMIGEM 장비이며, 주파수는 11.7~73,600 Hz대역으로 총 58개 주파수로 구분하여 천부에 대해 고 주파수의 자료, 심부에 대해 저 주파수의 자료를 나타낸다. 탐사 방법은 한 측정점에서 2개의 전·자기장의 성분을 서로 직교하도록 설치하며, 각 성분들에 대해 연속적으로 나타나는 시간영역 자료를 주파수 영역 자료로 변환하여 크기의 비로 나타낸다. 그러므로 걸보기 전기비저항은 전기장과 자기장의 수직 성분에 대한 비의 제곱으로 구해지며, 일반적으로 Cagniard 방정식을 이용하여 층서 구조모형 해석에 주로 사용된다. 전자파는 평면파로 전파하다가 지하로 침투하면서 에너지의 크기가 지수 함수 형태로 감소하면서 손실된다. 즉, 가탐심도는 전자기파의 사용주파수, 지하의 전기적 물성 및 송·수신간격 등에 따라 달

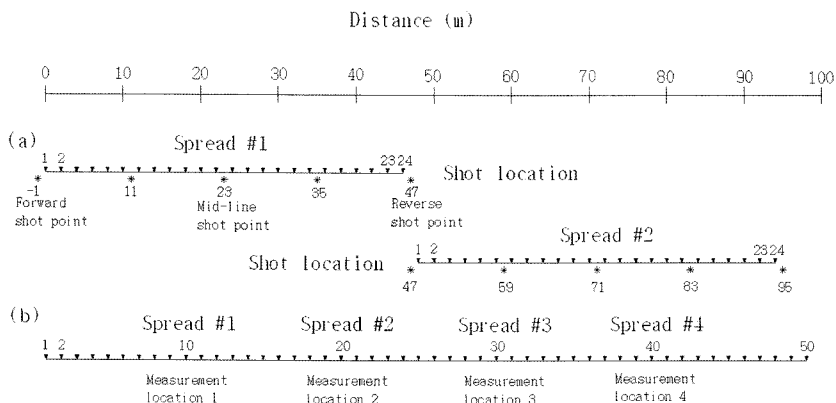


Fig. 2. Array methods. (a) inline seismic refraction survey and (b) dipole-dipole array in resistivity survey.

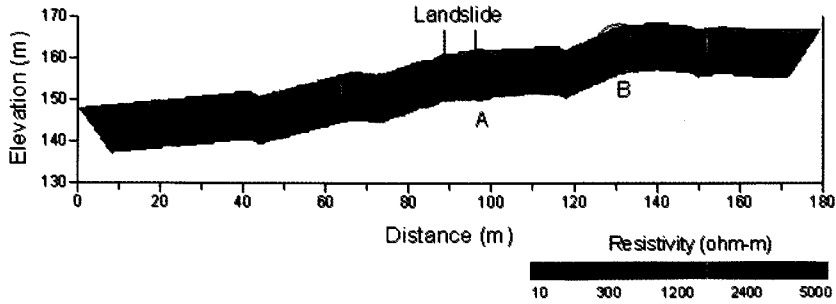


Fig. 3. Resistivity section at line 1 using a dipole-dipole array.

라지며, 주파수와 전기전도도의 역수인 전기비저항을 측정하여 표피심도(skin depth)를 계산한다. 야외 탐사는 측선 2에서 5m의 측점 간격으로 전체 64점을 측정하여 310m 구간에 대해 지하구조를 전기비저항 영상으로 도시하였다.

탐사 결과

산사태 발생 지역에서 물리탐사는 그 지역의 지질구조와 지층의 두께에 대한 정보를 얻기 위하여 적용되어진다(Jomard *et al.*, 2007). 일반적으로 복합 물리탐사와 시추자료는 산사태 범위, 지질구조, 토양 및 암반에 대한 물성 정보를 보다 정확하게 제시할 수 있으며, 탐사 결과로부터 얻어진 정확한 지하 구조의 정보와 시추자료를 비교하여 해석되어진다(Sass *et al.*, 2008). 그러므로 복합 물리탐사의 적용은 각 탐사 방법으로부터 얻어진 결과들을 비교하여 기반암의 깊이 및 지질 구조선의 위치 등을 정확하게 파악할 수 있다.

본 연구지역에서 물리탐사는 전기비저항 탐사, 탄성과 굴절법 탐사 및 AMT 탐사 등을 병행하여 실시하였다. 전기비저항 탐사는 비교적 천부에 대해 전기전도도와 관련된 지하구조 파악에 매우 민감하게 반응하나 전극 간격의 차이에 따라 지하구조에서 이상대의 영상이 매우 넓게 나타나는 단점이 있다. 탄성과 굴절법 탐사는 다른 지층의 경계면에서 에너지가 층을 따라 굴절하다가 지표 방향으로 다시 반사하므로 지층의 경계면 파악에 매우 탁월하다. AMT 탐사는 한 지점에서 깊이 방향에 대해 전기전도도의 대비에 관련된 지질구조 파악을 비교적 깊은 심도까지 확인 할 수 있다. 이러한 탐사법의 적용은 천부에 대한 지층 경계선 및 지질구조를 전기비저항 탐사와 탄성과 탐사를 통하여 파악하며, 심부까지 연장되는 지질구조선 등을 AMT 탐사를 통해 확인하고자 한다.

측선 1

측선 1은 사면 경계부에 있는 수로를 따라 약 180m 거리이며, 이 측선에서 전기비저항 탐사와 탄성과 탐사를 실시하였다. 산 사면의 붕괴지점은 88m~96m 지점으로 2007년도 여름철에 소규모 원호파괴가 발생하였다. 붕괴 사면은 N13E의 주향과 약 5253의 경사각을 보인다.

Fig. 3은 전기비저항 탐사에서 쌍극자 배열법을 이용하여 얻어진 자료에 대한 결과도이다. 측선 거리 25m~130m 지점의 하부는 전반적으로 풍화토 내에 함수대의 존재로 인하여 약 100 ohm-m 이하의 전기비저항이 넓게 분포하는 것으로 보이며, 이는 매우 깊은 심도까지 있는 것으로 해석된다. 또한 상부의 지역은 토사 층이나 부분적인 차별풍화 및 함수대의 하강으로 인해 약 500 ohm-m 이상의 전기비저항이 분포하는 것으로 평가된다. 붕괴지점의 우측 하부에는 약 1,000 ohm-m 이상의 전기비저항 대가 보이며, A 지점은 약 200 ohm-m 이하의 전기비저항이 거의 수직으로 발달한다. 이러한 영상은 기반암과 풍화토의 경계로서 지질구조선에 의한 것으로 판단된다. 측선 거리 135m 지점(B)은 풍화토와 암반과의 경계부분으로 평가되며, 이는 단층과 같은 지질 구조선에 의해 나타난 영상으로 매우 취약한 지반으로 구성되어 있는 것으로 해석된다. 측선 거리 135m~180m의 지점은 암반으로 높은 전기비저항이 지표까지 연장된 영상으로 나타났으며, 지표에서 암반이 확인되었다.

Fig. 4는 굴절법 탐사를 통해 얻어진 주시곡선도(a)와 속도 분포 단면도(b)이다. 주시곡선도를 보면, 측선 거리 약 140m 지점까지는 거리에 따라 주행시간이 매우 길게 나타난 반면, 그 이후의 측선 거리는 상대적으로 짧게 측정되었다. 지층간의 속도는 토사, 풍화암, 기반암 등으로 구분하는 것이 일반적이나 주행시간이 매우 길어 낮은 속도대로 나누었다. 지층 단면도를 보면, 토사 층은 약 15m의 폭을 갖고 측선 거리 140m까지 연장되어 있으므로 많은 풍화를 받은 것으로 판단된다. 그러나 측선

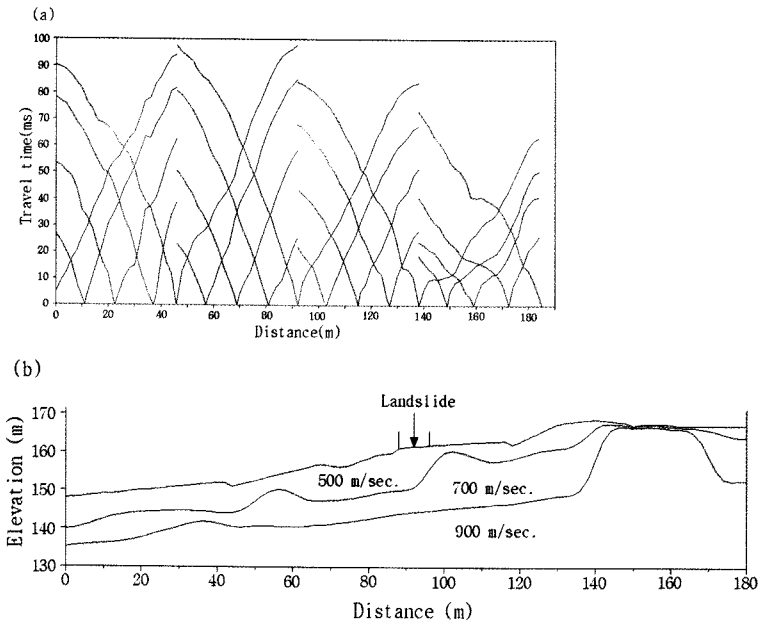


Fig. 4. Seismic refraction results at line 1. (a) traveltime curve and (b) section of velocity distribution.

거리 140 m 이후는 900 m/sec.의 속도 분포 층이 지표 부근까지 연장됨을 알 수 있다. 산사태가 발생된 지점은 700 m/sec.의 속도 층이 가파른 경사로 나타나고 있으며, 측선 거리 140m 지점은 700m/sec.와 900m/sec.의 속도 층이 동일한 양상으로 제시되었다. 이러한 지점들은 Ackermann *et al.*(1986)이 제시한 한 것을 근거하여 보면, 단층과 같은 지질구조선이 존재하거나 급격한 지층 변화를 보이는 층으로 해석된다.

측선 2

측선 2는 측선 1에서 약 10m 상부에 위치하며, 344m의 측선 거리에서 전기비저항 탐사, 탄성파 굴절법 탐사 및 AMT 탐사를 병행하여 실시하였다. 측선의 설정은 측선 1로부터 얻어진 결과와 비교하여 측선 1에서 제시된 지질구조

선들이 산 정상 방향으로 연장되어 있는지 파악하기 위함이다.

Fig. 5는 측선 2에서 얻어진 전기비저항 역산 결과의 단면도이다. A 와 B지점은 측선 1과 동일한 영상으로 나타나며, 사면에서부터 산 정상 방향으로 낮은 전기비저항대가 연장된 것으로 평가된다. C지점은 약 130m-210m에 분포하는 기반암을 측선 거리 195 m 지점에서 거의 수직으로 자른 영상을 보이므로, 이는 지질구조선에 의한 것으로 해석된다. D 와 E지점은 함수대와 관련된 풍화토가 낮은 전기비저항 분포를 보이며 지표로부터 심도 20m까지 존재한다. 이는 지질특성에 연관되어 매우 많은 풍화를 받아 낮은 전기비저항 값을 보이는 것으로 판단된다. 산 정상부근의 295m과 315m지점들은 100 ohm-m 이하의 전기비저항이 거의 수직으로 나타므로, 이는 기반암내에 연약대가 발달하는 것으로 해석된다.

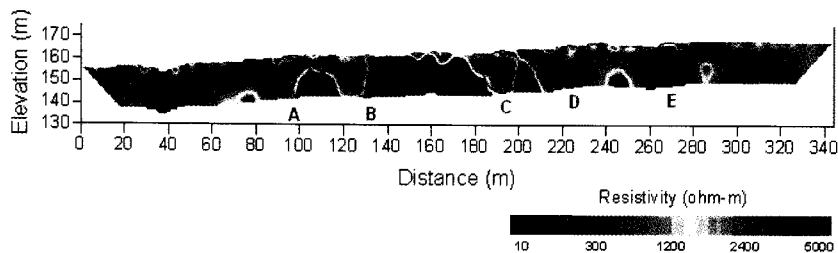


Fig. 5. Resistivity section at line 2 using a dipole-dipole array.

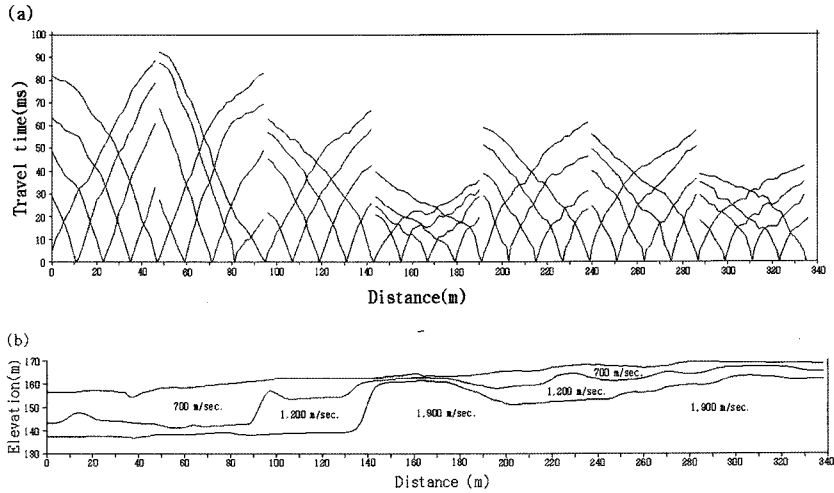


Fig. 6. Seismic refraction results at line 2. (a) traveltime curve and (b) section of velocity distribution.

Fig. 6은 측선 2에서 탄성과 굴절법 탐사를 통해 얻어진 주시곡선도(a)와 탄성과 속도 분포 단면도(b)이다. 지층의 구분은 토사(700 n/sec.), 풍화암(1,200 m/sec.) 및 기반암(1,900 m/sec.)으로 일반적으로 제시되는 속도 분포로 하였다. 주시 곡선도를 보면, 측선 거리 180 m까지는 측선 1과 비슷한 경향으로 보이나 전반적으로 약 10 m/sec. 늦은 주행시간으로 나타났으며, 그 이후의 측선 거리는 양단 발파의 경우 약 40 ms~60 ms내외의 주행시간을 보였다. 이러한 주행시간은 측선 1보다 작게 나타나므로 토사 및 풍화암 층들이 다소 얇게 있는 것으로 해석된다. 측선 거리 90 m~100 m과 130 m~140 m 지점은 풍화암과 토사가 급격한 경계를 보이는 속도 단면을 제시하였으며, 측선 1과 거의 일치하는 경향으로 나타났다. 기반암으로 보이는 속도 대는 측선 거리 135 m~180 m 지점으로 지표까지 연장된 것으로 제시되었다. 그 이후 측선 거리에서의 속도 단면은 비교적 토사 및 풍화암 층이 깊어지다가 산 정상으로 갈수록 얇아지는 경향으로 해석되었다. 즉, 속도 단면에 대한 결과는 측선 거리 135 m~180 m과 290 m~320 m에서 기반암이 분포하는 것으로 보이며, 그 이외의 지역은 지질구조선에 연관하여 매우 많은 풍화를 받아 기반암이 15 m~20 m의 심도 이하에 있는 것으로 해석된다.

Fig. 7은 AMT 탐사를 통해 한 측점에서 심부 방향에 따라 변화하는 전기기장을 측정하여 지하구조를 해석하는 방법으로 200 m 깊이에 대한 전기비저항 영상이다. 전반적인 결과에 대한 단면을 보면, 기반암은 측선 거리 280 m~310 m 지점을 기준으로 약 3,000 ohm-m 이상의

전기비저항 값을 보이며, 측선 거리 0 m로 갈수록 기반암의 심도가 깊어짐을 알 수 있다. 즉, 기반암의 분포는 산 정상으로부터 산 하부 방향으로 가면서 심도가 깊어지면서 연장되어 있다. 그러나 이러한 기반암은 부분적으로 단층, 파쇄대 및 페그마타이트의 관입과 같은 지질특성에 의해 매우 많은 풍화를 받은 것으로 해석된다.

결론

대전대학교 내에 위치한 자연사면은 2007년도 여름철에 상부토사가 강우와 연관하여 기존에 발달된 잔존 불연 속면을 따라 소규모 원호파괴가 발생하였다. 본 연구는 자연사면에서 지구물리탐사인 전기비저항 탐사, 탄성과 탐사 및 AMT 탐사를 실시하고 얻어진 결과들을 비교하여 지층경계 및 지질특성들을 파악함으로써 향후 산사태 가능 지점들을 사전에 파악하고자 한다.

1) 자연사면은 전반적으로 매우 심한 풍화를 받아왔으며, 깊은 심도까지 연장성을 보인다.

2) 측선 1에서 전기비저항 탐사와 탄성과 탐사는 매우 일치하는 결과를 도출하였다. 측선 거리 25 m~130 m 지점의 하부는 전반적으로 풍화도 내에 함수대의 존재로 인하여 낮은 전기비저항 대가 넓게 분포한다. 붕괴지점은 전기비저항 영상에서 하부의 기반암 위에 풍화도가 있으며, 탄성과 탐사에서 가파른 지층 경계를 나타내므로, 이는 지질구조선에 의한 것으로 평가된다. 측선 거리 135 m 지점은 전기비저항과 탄성과 탐사 결과 풍화도와 암반과의 경계부분으로 전기

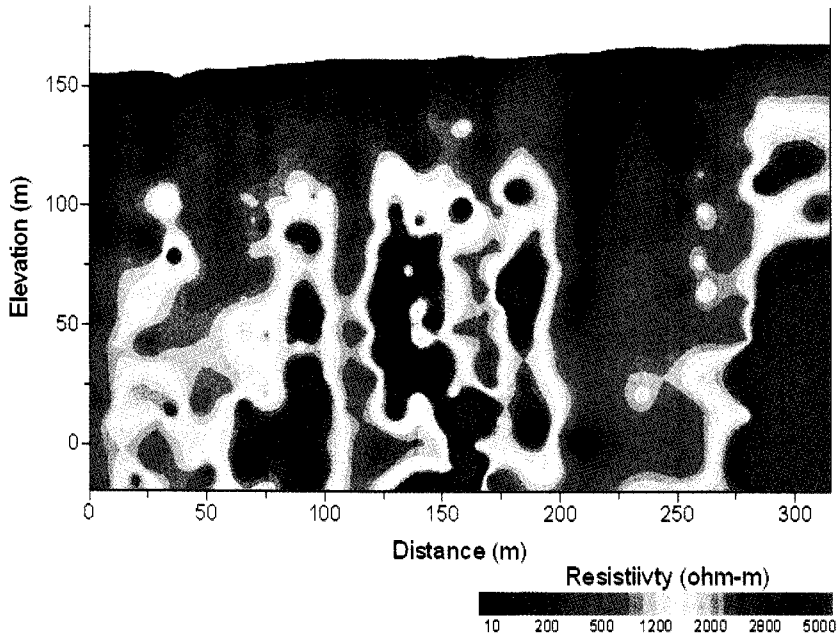


Fig. 7. Result of AMT survey at line 2.

비저항 대비가 뚜렷하며, 가파른 지층 경계로 나타났다. 축선 거리 135m 이후는 암반으로 지표부근까지 연장되었다.

3) 축선 2에서 얻어진 물리탐사 결과는 매우 일치하는 경향을 보였다. 축선 1에서 제시된 이상대의 위치(A와 B지점)는 축선 2에서 동일하게 확인되므로 사면으로부터 산 정상으로 연장된 것으로 해석된다. 축선 1에서 제시된 암반은 전기비저항 탐사에서 축선거리 약 135 m~215 m 부근으로 보이나 195 m 지점에서 지질구조선에 의해 기반암이 잘린 영상이며, 탄성과 탐사에서 이 영상과 거의 일치하는 속도 단면으로 나타났다. 축선 거리 215 m~340 m 지점은 지질구조선에 연관하여 매우 많은 풍화를 받아 탄성과 탐사에서 기반암이 깊은 심도 이하에 있으며, 전기비저항 탐사에서 대체적으로 낮은 전기비저항 분포를 보인다. AMT 탐사의 결과를 보면, 기반암의 분포는 산 정상으로부터 산 하부 방향으로 가면서 심도가 깊어진다. 그러나 이러한 기반암은 부분적으로 단층, 파쇄대 및 페그마타이트의 관입과 같은 지질특성에 의해 매우 많은 풍화를 받은 것으로 해석된다.

4) 붕괴된 지점은 축선 1과 축선 2에서 낮은 전기비저항 대가 연장되며, 탄성과 탐사에서 가파른 속도 단면을 보이므로 지질구조선이 존재하는 지역으로 평가된다. 그러므로 토사 내부에는 잔존 불연속면이 존재하여 지표 부근에서 원호파괴가 발생된 것으로 해석된다. 또한, 시공

후 gabion 옹벽의 상부 사면은 약 5253의 경사도를 보이므로 일반적인 토사사면에 대한 비탈면의 경사를 넘어 향후 붕괴될 위험이 있다고 판단된다.

사 사

본 연구를 위해 현장조사에 아낌없이 지원을 해주신 대전대학교 임용철 총장님과 남상호 부총장님께 감사드립니다. 또한 본 논문의 향상을 위해 세심한 수정과 지적을 해주신 익명의 심사위원과 심사위원장님께도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김경수, 송영석, 조용찬, 김원영, 정교철, 2006, 지질조건에 따른 강우와 산사태의 특성분석, 대한지질공학회, 16, 201-214.
- 김만일, 김종태, 김재홍, 노병돈, 정교철, 편마암 풍화사면에서의 지구물리 탐사 및 안정성 해석 사례연구, 대한지질공학회, 18, 287-295.
- 김원영, 채병곤, 김경수, 기원서, 조용찬, 최영섭, 이사로, 이봉주, 2000, 산사태 예측 및 방지기술 연구, 한국자원연구소, KR-00-(T)-09.
- 김정호, 이명중, 송윤호, 정승환, 2001, 2차원 전기탐사를 위한 전극 배열법의 비교, 한국자원공학회지, 38, 116-128.
- 박종오, 김희준, 송무영, 2004, 지형효과를 포함한 3차원

- 전기비저항 역산, 대한지질공학회, 14, 21-28.
- 박종오, 2005, 절개사면에서 탄성과 토모그래피 적용에 관한 연구, 대전대학교 산업기술연구소, 16, 41-50.
- 박중화, 박종오, 2007, 절개사면에서 전기비저항 토모그래피 적용 기법, 대한지질공학회, 17, 271-277.
- 서만철, 김민규, 최원석, 1994, 경북 추령터널 부근 암석의 풍화특성에 관한 지구물리학적 연구, 대한지질공학회, 4, 269-281.
- 이경미, 기현, 이재혁, 서용석, 김지수, 2007, 지구물리탐사를 이용한 산사태 지역의 지하수위에 따른 안정성 해석, 대한지질공학회, 17, 545-554.
- 이창섭, 2007, 사면파괴 사례와 안정화 대책, 2007년도 지질공학 workshop, 대한지질공학회지, 149-214
- Ackermann, H. D., Pankratz, L. W., and Dansereau, D., 1986, Resolution of ambiguities of seismic refraction traveltime curves, *Geophysics*, 51, 223-235.
- Gktrkler, G., Balkaya, C., and Erhan, Z, 2008, Geophysical investigation of a landslide: The Altdalandslide site, zmir (western Turkey), *Journal of Applied Geophysics*, 65, 84-96.
- Jomard, H., Lebourg, T., and Tric, E., 2007, Identification of the gravitational boundary in weathered gneiss by geophysical survey: La Clapire landslide (France), *Journal of Applied Geophysics*, 62, 47-57.
- Otto, J., C. and Sass, O., 2006, Comparing geophysical methods for talus slope investigations in the Turtmann valley (Swiss Alps), *Geomorphology*, 76, 257-272.

- Sass, O., 2007, Bedrock detection and talus thickness assessment in the European Alps using geophysical methods, *Journal of Applied Geophysics*, 62, 254-269.
- Sass, O., Bell, R., and Glade, T., 2008, Comparison of GPR, 2D-resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the schingen landslide, Swabian Alb (Germany), *Geomorphology*, 93, 89-103.
- Vita, P. D., Agrello, D., and Ambrosino, F., 2006, Landslide susceptibility assessment in ash-fall pyroclastic deposits surrounding Mount Somma-Vesuvius: Application of geophysical surveys for soil thickness mapping, *Journal of Applied Geophysics*, 59, 126-139.

2008년 12월 11일 원고접수, 2009년 3월 18일 게재승인

박종오

대전대학교 공과대학 지반설계정보공학과
300-716 대전광역시 동구 용운동 96-3
Tel: 042-280-2575
Fax: 042-280-2570
e-mail: jopark@dju.ac.kr