

물리탐사기법에 의한 울산광역시 약수지역 천부지하구조 조사

이정모* · 공영세** · 장태우* · 박동희* · 김태경*

*경북대학교 지질학과 · **부경대학교 탐사공학과

요 약

울산단층의 구조와 위치는 한반도 동남부의 지각 진화 해석에 중요한 역할을 한다. 울산단층을 피복하고 있는 충적층의 두께와 충적층 하부의 단층 수반 파쇄대를 조사하고 가능하다면 주단층의 정확한 위치를 파악하기 위하여 굴절법 탄성파탐사와 쌍극자 전기비저항탐사를 수행하고 분석하였으며, 이들 결과와 함께 이 지역에서 독립적으로 수행된 타연구의 반사법 탄성파탐사 결과를 도입하여 종합적인 해석을 하였다. 전기비저항탐사에서 동천 동쪽에서의 탐사선에서는 단층으로 사료되는 비저항 이상대가 발견되지 않았으나, 동천 서쪽 탐사선에는 잘 발달된 연속적인 낮은 비저항 이상대를 발견하였다. 이는 울산단층의 주단층은 동천이나 동천 서쪽에 위치하는 것을 시사한다. 동천 동쪽 탐사선에서 실시한 굴절법 탄성파탐사에서는 기반암과 충적층의 경계 및 지하수면으로 사료되는 두 굴절면을 발견하였으며, 충적층의 두께는 약 30 m 정도로 해석되었다. 결과해석의 신뢰도를 높이기 위하여 본 조사와 별도로 실시된 반사법 탄성파 자료를 참고한 결과 반사법 탄성파탐사에서 발견된 많은 단층대가 굴절법탐사나 비저항탐사에서는 나타나지 않았다. 낮은 비저항 이상은 파쇄대를 따른 함수량의 영향보다는 점토의 영향에 밀접한 관련이 있는 것으로 가정할 때 그 원인은 설명되나, 굴절법탐사나 비저항탐사의 해상도와 관련이 있을 수 있다. 정확한 원인구명을 위해서는 정밀한 연구가 필요하다. 일반적으로 전기비저항 탐사는 단층위치 파악에 유용한 지구물리학적 탐사법으로 알려져 있으나 본 조사에서는 반사법 탄성파 탐사에 비해 그 효과가 뚜렷하지 못하였다. 쌍극자 전기비저항탐사에서 해상도를 유지하면서 가탐심도를 증가시키기 위해서는 전개수를 늘려야 한다. 그러나 배경잡음 때문에 한계점을 가지는데, 본 조사에서 측정치의 통계학적 성질을 볼 때 조사지역에서의 측정치가 전개수 16까지는 충분한 의미를 가짐을 알 수 있었다.

주요어: 울산단층, 쌍극자 전기비저항탐사, 굴절법 탄성파탐사

Lee, Jung Mo, Kong, Young-Sae, Chang, Tae Woo, Park, Donghee, and Kim, Taekyung, 2000, Shallow Subsurface Structure of the Yaksoo Area, Ulsan, Korea by Geophysical Surveys. Journal of Korean Geophysical Society, v. 3, n. 1, p. 57-66.

ABSTRACT: The location and geometry of the Ulsan Fault play important roles in interpreting tectonic evolution of the southeastern part of the Korean Peninsula. Dipole-dipole electrical resistivity surveys and seismic refraction surveys were carried out in the Yaksoo area, Ulsan in order to measure the thickness of the alluvium covering the Ulsan Fault and to find associated fracture zones and possibly the location of its major fault plane. The collected data were analyzed and interpreted. Some results reported previously by others were also used in this interpretation. No low resistivity anomalies were found in the cross-sectional resistivity image of the survey line located in the east of the Dong River. In contrast, well-developed continuous low resistivity anomalies were detected in the west of the Dong River. This strongly suggests that the major fault plane of the Ulsan Fault is located under or in the west part of the Dong River. Two refraction boundaries corresponding to the underground water level and the bottom of the alluvium were found by refraction surveys carried out on the limited part of the east survey line. The thickness of the alluvium was found to be about 30 m. Small faults in the basement rock identified by reflection surveys were not detected by both resistivity and refraction seismic surveys. This might be explained by assuming that low resistivity anomaly is more closely related to the clay contents than the water contents.

On the other hand, it may be resulted by the limited resolution of the resistivity and refraction surveys. Detailed study is required to clarify the reason. Resistivity survey is frequently considered to be a good exploration method to detect subsurface faults. However, it appears to be less useful than reflection seismic survey in this work. In dipole-dipole resistivity survey, the number of separation should be increased to survey deeper subsurface with the same resolution. However, signal to noise ratio decreases as the number of separation increases. In this survey area, the signal to noise ratio of up to sixteen separations was good enough based on the statistical properties of measurements.

Key words: Ulsan Fault, dipole-dipole electrical resistivity survey, refraction seismic survey

(Lee, Jung Mo, Chang, Tae Woo, Park, Donghee, and Kim, Taekyung, Department of Geology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea; Kong, Young-Sae, Department of Exploration Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea. email:jung@kyungpook.ac.kr)

1. 서 론

한반도 동남부에 경주와 울산에 잇는 북북서-남남동으로 발달하는 불연속선(김중환 외, 1976; 원종관 외, 1978)은 최현일 외(1980)와 김옥준 외(1980)에 의하여 울산단층으로 명명되어졌으며, 구체적인 기제나 정의가 정립되지 않은 상황에서 김인수·김중열(1983)에 의하여 울산단층대 또는 울산단층계 등으로 불리어져 왔다. 울산단층은 부근에 북북동-남남서로 발달하는 양산단층(1964), 동래단층(1998), 모량단층(1998) 등과 방향에 있어서 대조를 보인다. 최근 울산단층을 중심으로 그 동측 지괴에서 입실 단층을 비롯한 여러 단층들이 발달하고 있는 것으로 보고되어(류충렬 외, 1996, 1997) 울산단층에 대한 관심이 고조되며, 울산단층의 정확한 기하학적 형태, 단층운동의 시기, 및 단층운동 방향은 한반도 동남부 지각발달사 해석에 중요한 영향을 미칠 것으로 사료된다. 그러나, 울산단층은 대부분 충적층으로 피복되어 있어 지질도폭에 표시된 단층선은 지형에 의한 추정 단층선에 불과하다.

본 조사는 물리탐사 방법을 이용하여 울산단층을 피복하고 있는 충적층의 두께와 충적층 하부의 단층수반 파쇄대를 조사하고 가능하다면 주단층의 정확한 위치를 파악하는 것이 목적이며, 이를 위하여 굴절법 탄성파탐사와 쌍극자 전기비저항탐사를 수행하고 분석하였으며, 이들 결과와 함께 이 지역에 김기영 외(2000)에 의해 독립적으로 수행된 반사법 탄성파탐사 결과를 도입하여 종합적인 해석을 하였다. 본 조사는 현재 일반적으로 통용되는 탐사방법과 분석방법을 이용하여 지하천부구조를 밝히는 것이 주목적이다.

2. 지형 및 지질

조사대상 지역(이하 본 역)은 행정구역상 울산광역시 북구 중산동 약수지역 일대로 동경 129° 20' 40", 북위 35° 38' 31" 에 해당된다(Fig. 1). 대상지역의 동쪽과 서쪽에는 산사면이 발달해 있어 충적층의 폭이 비교적 좁은 지역이다. 충적층 동부에 7번 국도가 위치하며 국도 서쪽 약 500 m 위치에 동천이 흐르고 있다. 동천은 사행천으로 조사지역 부근에서는 약 100 m 폭의 제방으로 쌓여있다. 동천 동부와 서부에 논이 발달해 있어 탐사조건이 비교적 양호하나 양쪽 제방 사이에서는 탐사수행이 거의 불가능하다.

한국지질도 울산도폭(박양대·윤형대, 1968)에 의하면 이 지역의 충적층은 제 4기 충적층에 해당되며 인접지역의 주요 지질은 조사지역의 동쪽과 서쪽에 울산층인 적색 세일, 사암, 역암, 및 혼펠스와 회록색 세일, 사암이 분포하고, 북동쪽에서는 제 3기의 대안리 안산반암과 흑운모 화강암이 관입하고 있으며, 남서쪽에서는 흑운모 화강암이 관입하고 있다(Fig. 2). 조사지역에서 울산단층의 추정위치는 7번 국도와 동천 사이에 존재하는 것으로 보고되어 있다(한국자원연구소, 1998).

3. 쌍극자 전기비저항탐사

각종 물리탐사법 중에서 전기비저항탐사법은 금속광상, 석탄 및 지하수 탐사 등에 광범위하게 사용되어 온 방법으로 여러 가지 전극 배열을 사용하여 지하의 전기비저항 분포에 대한 정보를 얻을 수 있다(Ward, 1990). 각종 암석들의 전기비저항값은 많은 중첩을 보이므로(Keller · Frischknecht, 1966;

Telford, *et al.*, 1976) 전기비저항탐사를 통하여 직접적으로 지하의 암상을 유추하기는 매우 어렵고 전기비저항값의 상대적인 차이로부터 지하 구조를 알 수 있다. 일반적으로 파쇄대 또는 단층대는 점토광물 및 지하수 등의 유체가 많이 함유되어 있고, 공극들은 서로 연결상태가 좋아 주변보다 상대적으로 비저항이 낮다(Van Nostrand · Cook 1966). 이러한 전기적 성질의 이상(anomaly)을 이용하여 지표에 노출되어 있지 않은 파쇄대 및 단층대 탐사에 전기비저항탐사법이 많이 이용되고 있다(Bogoslovsky · Oglivy, 1977; Kim, 1981; Kim, 1982; 김인수 · 김종열, 1983; Olorunfemi, *et al.*, 1986; 정승환 외, 1987; Lee, 1988; 김필선, 1989; 이성복, 1990).

본 조사에서는 지하 전기비저항 구조를 2차원적으로 파악할 수 있는 쌍극자배열법(dipole-dipole array)을 선택하였다. 쌍극자배열법 전기비저항탐사는 전류전극(current dipole)과 전위전극(potential dipole)의 간격을 일정하게 유지하고 전류전극을 기준으로 전위전극을 측선을 따라 전극간격의 배수만큼 증가시

켜가며 전위전극의 전위차를 측정하는 방법으로 전위전극의 전위차와 전류전극의 전류량으로부터 겉보기 비저항(apparent resistivity)을 계산한다. 이를 무차원 매개변수인 전개수(number of separation)를 이용하여 표시하면,

$$\rho_a = -2\pi(n-1)n(n+1)l \frac{\Delta V}{I}$$

로 된다. 위 식은 전극간격이 $2l$ 이고, 전류전극 중점과 전위전극 중점 사이의 거리가 $2nl$ 인 경우에 해당된다. 위 식에서 보여진 바와 같이 실제로 측정하는 전위차는 n^3 에 반비례한다.

가탐심도는 전위전극과 전류전극 사이의 거리 ($2nl$)에 비례하는 반면 탐사결과와 해상도는 전극간격($2l$)에 반비례한다. 따라서 가탐심도와 해상도는 상쇄(trade-off)관계에 있으며 주어진 계기의 성능과 탐사현장의 배경잡음(background noise)을 고려하여 탐사목적에 부합되도록 전극간격과 전개수를 조정하여야 한다. 이를 완벽하게 해결하기

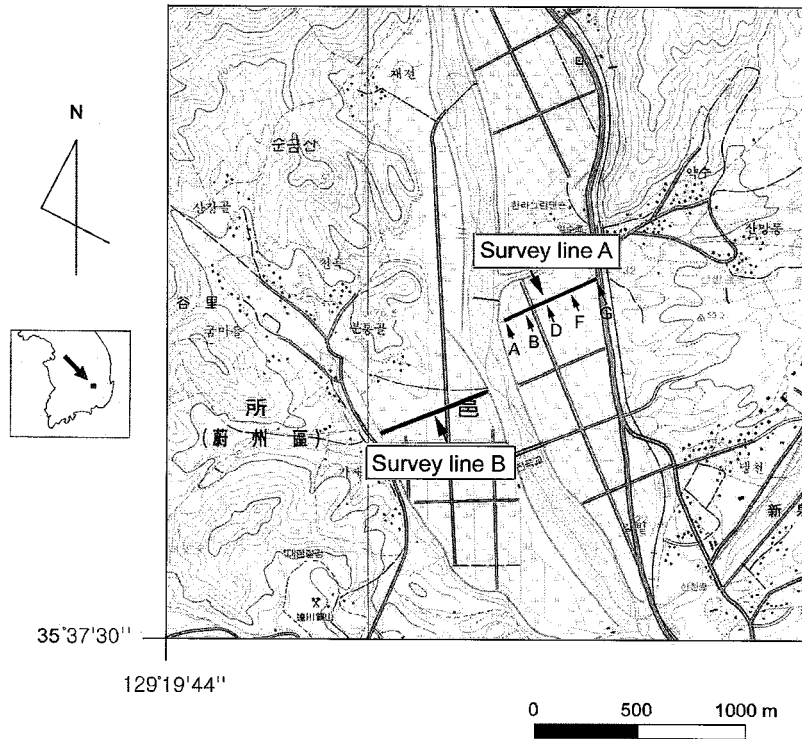


Fig. 1. Location map of the Yaksoo survey area.

위해서는 계기의 측정오차, 배경잡음 및 지하의 비저항구조에 대한 정보가 필요하다. 계기의 측정 오차나 배경잡음은 측정할 수 있으나, 지하 비저항구조는 탐사목적이므로 가상모형을 사용할 수밖에 없다. 비록 이렇게 복잡한 과정을 거쳐 탐사기 획을 하여도 가상모형을 사용하였으므로 최적화 여부는 미지수이다. 본 조사에서는 이렇게 복잡한 과정을 피하고 우선 탐사결과에 요구되는 최소한의 해상도를 가지는 전극간격을 설정한 후 전개수를 증가시키며 반복 측정하여 측정치의 평균값과 표준편차를 관찰하여 평균값이 측정치로서 의미를 가질 수 있는 전개수를 최대 전개수로 설정하고 이에 따른 가탐심도를 수용하였다.

전기비저항탐사에서 사용한 계기는 50 W 출력의 IRIS의 Syscal Junior로 최대 입력전류는 800 mA, 최대 입력전압은 400 V, 측정전압 상대오차는 1% 이하다. 측선은 추정된 울산단층의 주향에 거의 직교하는 서남서-동북동 방향으로 7번 국도와 동천 사이의 465 m와 동천 서부의 560 m이다 (Fig 1). 편의상 이들을 순서에 따라 측선A와 측선 B로 명명한다.

측선A에서는 울산단층에 수반되는 파쇄대가 최소한 15 m 이상 될 것이라는 가정하에 전극간격을 15 m로 하였다. 처음 4개의 전류전극에서 전개수 20까지 32회 이상 반복 측정하여 측정값을 통계

처리한 결과 19번과 20번이 측정자료로서 의미가 없다는 것이 밝혀졌다. 이는 앞에서 기술한 측정한계로 사료되며, 이후 측정자료의 안정성과 경제성을 고려하여 전개수를 17로 조절하고 8회 반복 측정하여 측정자료의 품질관리(quality control)를 하였다. 측정치의 표준편차가 평균값의 10% 이상이면 다시 측정하였으며, 다시 측정된 결과 역시 이 조건을 만족시키지 못하면 입력전압을 증가시킨 후 다시 측정하였다. 조사지역의 대체적인 지형은 거의 수평에 가까우므로 별도의 지형보정은 필요하지 않다. 자료분석은 자원연구소에서 개발하고 (김정호, 1987; 정승환 · 김정호, 1987), 김건영(1999)이 해석해를 이용하여 신뢰도를 검증한 역산 프로그램을 이용하였으며 해석된 지하 전기비저항 분포는 Fig. 3에 제시하였다.

측선B에서는 측선A의 경험을 바탕으로 전극간격은 20 m, 전개수는 16으로 하였다. 측선A에서와 같은 방법으로 측정자료의 품질관리를 하였으며, 같은 역산 프로그램을 이용하여 분석하여 결과를 Fig. 4에 제시하였다.

4. 굴절법 탄성파탐사

굴절파를 이용하는 굴절법 탄성파탐사는 1920년대까지 주로 석유 탐사에 성공적으로 이용되어

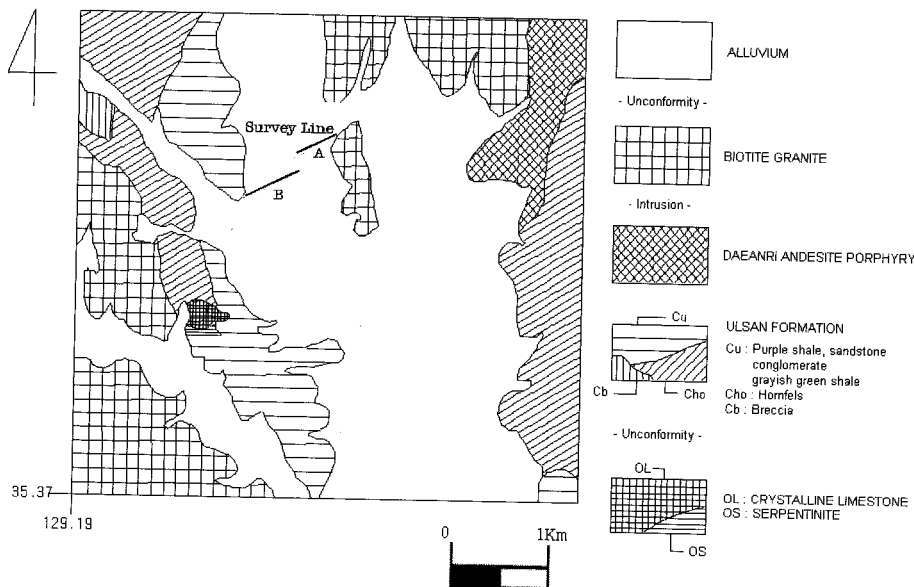


Fig. 2. Geological map of the survey area (after Park · Yoon, 1968).

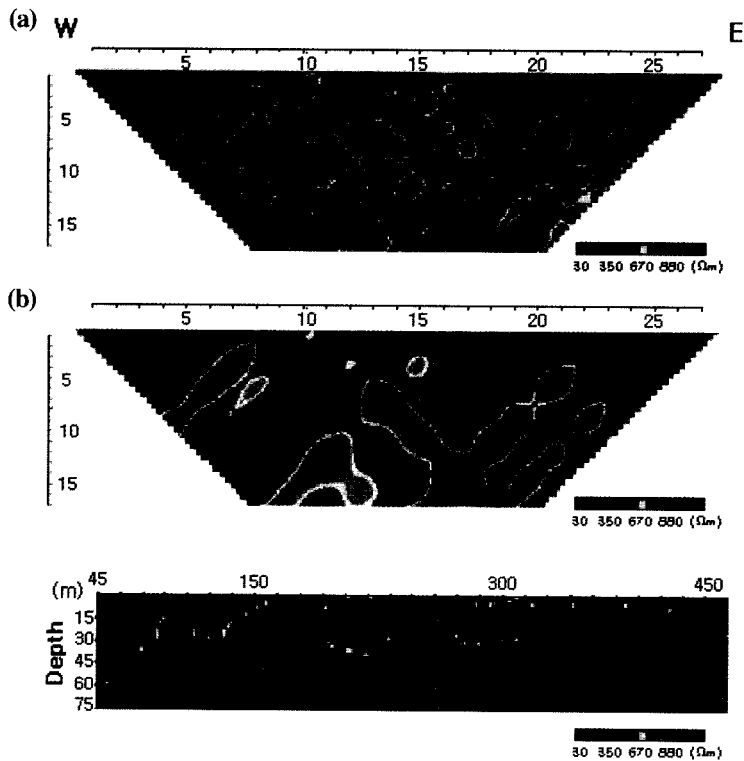


Fig. 3. Results of dipole-dipole array resistivity survey at the east of Dong River, Yaksoo area, Ulsan, Korea. The dipole separation is 15 m and the number of separations is 17. The measured apparent resistivity pseudosection (A), the computed pseudosection from the inverted cross-section (B), and the cross-sectional resistivity image (C) are presented.

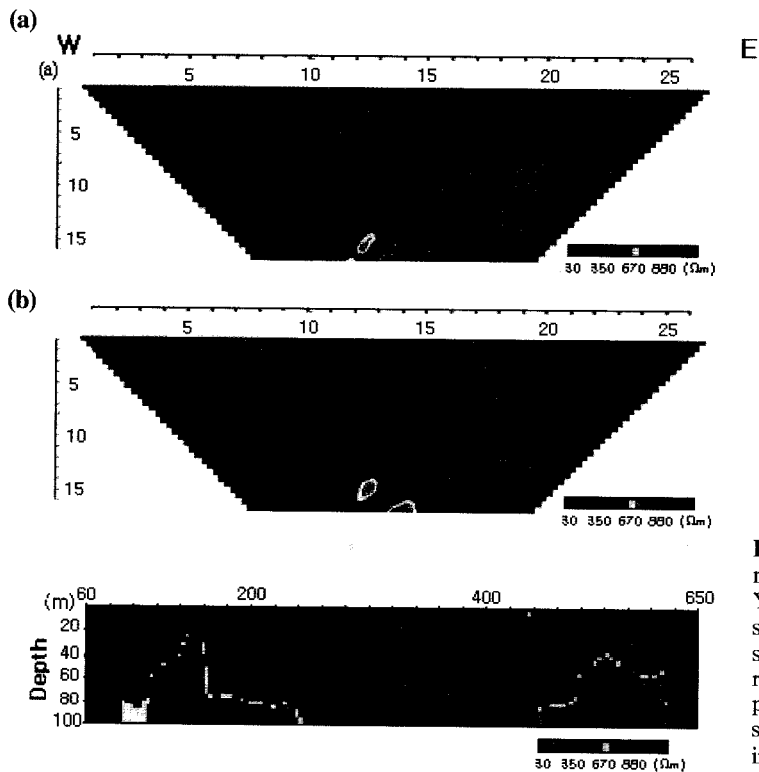


Fig. 4. Results of dipole-dipole array resistivity survey at the west of Dong River, Yaksoo area, Ulsan, Korea. The dipole separation is 20 m and the number of separations is 16. The measured apparent resistivity pseudo-section (A), the computed pseudo-section from the inverted cross-section (B), and the cross-sectional resistivity image (C) are presented.

왔으나 탄성파탐사 기술과 장비의 발달에 힘입어 현재는 반사법 탄성파탐사가 석유 탐사에 주로 이용되고 있다. 탐사에 소요되는 시간 및 비용 면에서 굴절법이 반사법에 비해 훨씬 유리하기 때문에 천부 지하를 대상으로 하는 개략적인 지각조사에서는 아직도 굴절법 탄성파 탐사가 널리 쓰이고 있다. 반사법이 고가의 디지털 탐사장비를 사용하고 자료분석에 있어서 여러 단계의 전산처리 과정을 거쳐야 하는 반면, 굴절법은 저가의 디지털 혹은 아날로그 탐사장비를 사용할 수 있고 직접파와 굴절파의 초동시간만을 이용하기 때문에 자료분석 과정이 비교적 간단하다. 또한, 지하에 저속도층이나 박층(암영대)이 존재하게 되면 지하 구조 해석에 있어 오류가 발생하며, 초동시간 이외의 정보를 버리는 약점이 있다.

조사지역에서 굴절법 탄성파탐사는 전기비저항 탐사 측선A에서 실시하였으며 Fig. 1에 A, B, D, F, G로 표시되어 있다. Geometrics의 StrataView 24채널 기록기를 이용하여 5 m 수신기 간격(geophone interval)으로 2전개(spread) 실시하였으며 각 전개별로 진동원 위치는 전개의 중심점, 양끝점 및 3개의 원격점으로 하였다. 정확한 수신기 전개 위치와 진동원 위치는 Fig. 5에 전기비저항탐사 기점으로부터 상대거리와 함께 도시되어 있다. 진동원은 4 kg 망치를, 수신기는 40 Hz 수직수진기를

이용하였다. 진동원 발생시간(기록 시작시간)은 진동원으로부터 10 cm 위치에 설치한 수신기의 신호를 이용하였으며, 신호대 잡음을 증가시키기 위하여 각 진원점에 설치한 알루미늄판을 수십회 타격하여 중합(stack)한 후 기록하였다. 각 진동원별 중합 회수는 Fig. 5에 제시되어 있다. 기록 간격(sampling rate)은 매초당 4000점이며 총기록 시간은 0.512초이다.

취득된 자료분석은 Rimrock Geophysics Inc. (1995)의 SIP 소프트웨어 패키지를 이용하여 실시하였다. SIP software package에는 자동초동발체 기능이 있으나, 신호대 잡음이 감소하면 신뢰도가 급격히 저하된다. 1차로 자동초동발체를 실시한 후, 결과를 확인하고 수작업으로 보정하여 주시곡선(time-distance curve)을 작성하였으며 그 결과를 Fig. 6에 제시하였다. Fig. 6의 주시곡선들 중에서 “3”으로 표시된 원거리 진동원에 의한 주시곡선은 4번 층의 경계면에 의한 것으로 해석할 수도 있으나, 인접하는 진동원에 의한 주시곡선과 유사한 절편과 경사를 보이고, 또한 진동원의 출력에 의한 가탐심도를 고려할 때, 가능성은 희박하다.

주시곡선의 기울기는 해당 직접파 또는 굴절파 속도의 역수이다. 그러나 주시곡선을 이루는 점들이 하나의 완벽한 직선을 이루고 있지 않다. 이는 층 내부의 지역적 속도변화나 경계면의 요철에

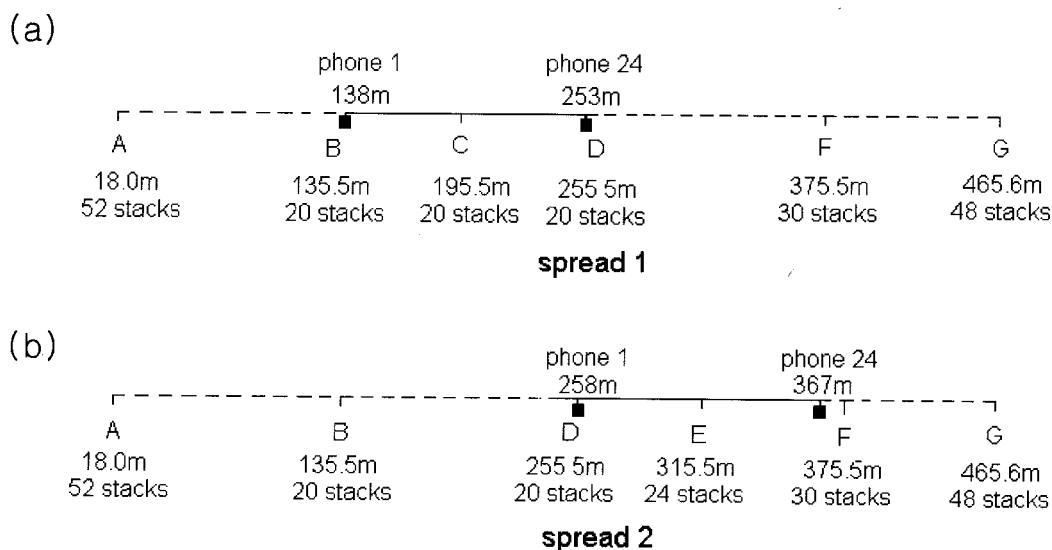
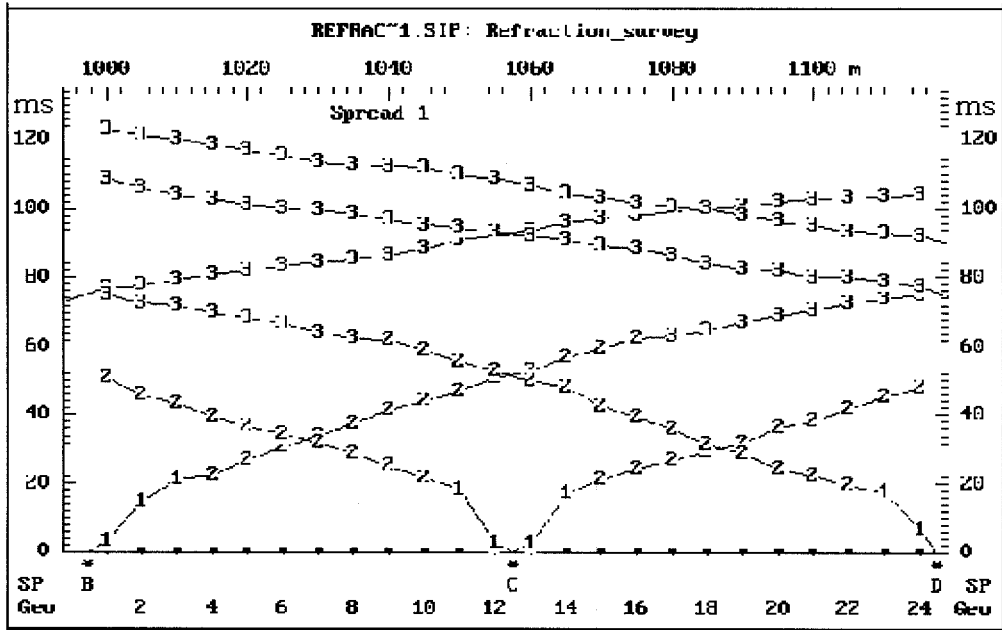


Fig. 5. Detailed geophone spread configurations of refraction seismic survey with shot points. The number of stacks are presented at each shot point.

(a) spread 1



(b) spread 2

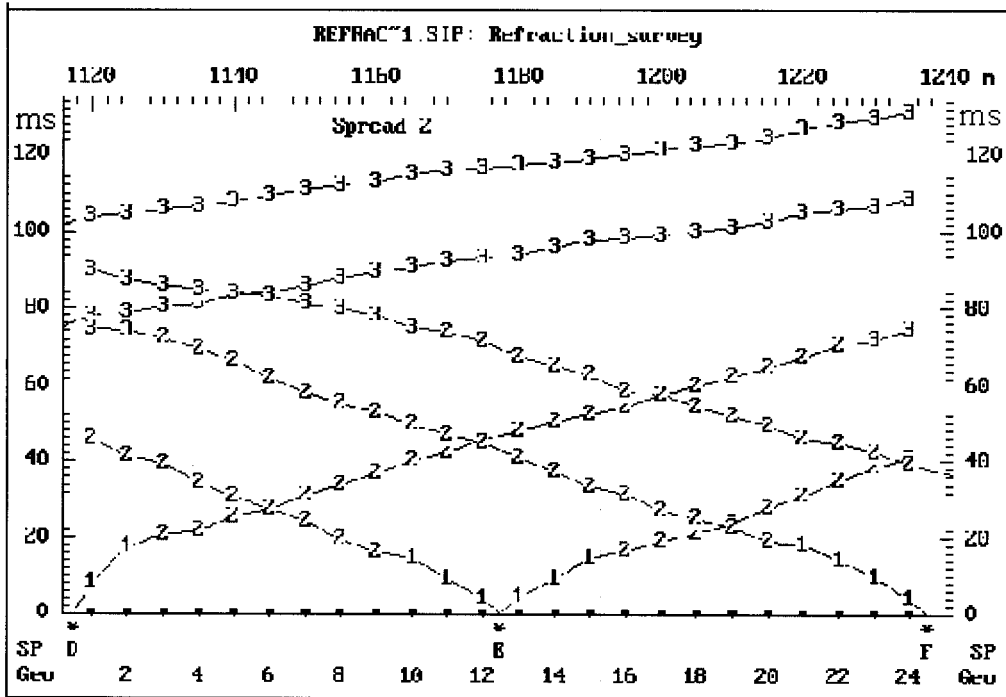


Fig. 6. Time-distance curve of each spread.

기인하는 것으로 속도 분석시 주의가 요구되는 부분이다. SIP에서는 최상부층의 속도는 진동원에서 수신기까지 거리와 주행시간으로부터 구하고, 그 하부층들은 최소자승(least squares)법과 Hobson-Overton 방법(Hobson, 1970)으로 병행하여 구한 후 평균값을 취한다. 이들 방법으로 구한 각 층의 속도는 최상부층으로부터 각각 655, 1681, 3747 m/s이다. 앞에서 구한 각 층의 속도와 Gardner (1939)의 지연시간(delay time)을 이용하여 각 수신기 하부에서의 각 층의 두께를 계산하여 탄성파속도구

조 단면도를 작성하여 Fig. 7에 제시하였다.

5. 탐사분석결과 해석

Fig. 3에 도시되어 있는 측선A의 비저항단면도에는 우선 지하 천부 10 m까지 전체적으로 낮은 비저항대가 나타나는 것은 조사지역이 논으로 점토 광물을 많이 포함하는 토양이 수분을 많이 함유하고 있는 상황으로 해석할 수 있다. 수평방향으로 연속적인 이 비저항대가 120 m, 220 m 및 300 m

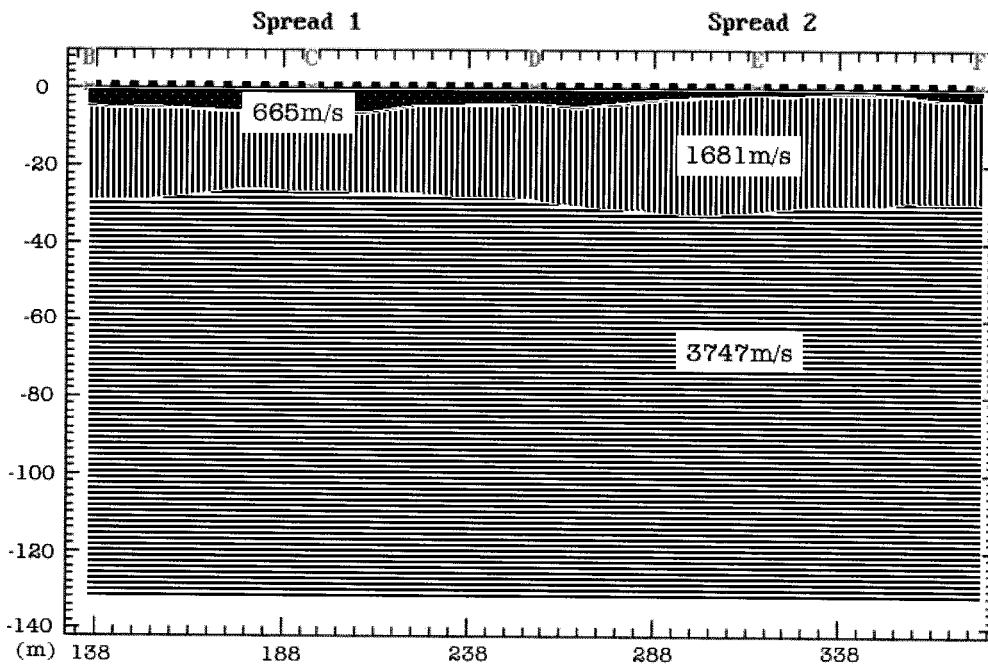


Fig. 7. Cross-sectional seismic velocity image from refraction surveys.

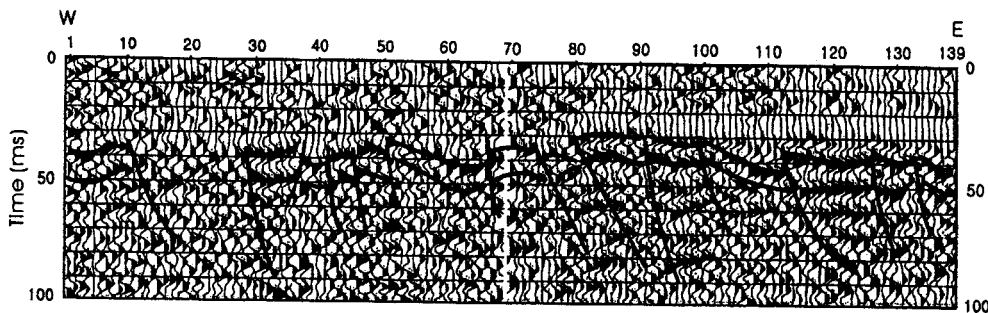


Fig. 8. Common-offset reflection seismic section. The shot interval is 3 m (After Kim *et al.*, 2000).

부근에서는 깊이 30 m 이상 발달한다. 이들 하부에는 대부분 비저항값이 1000 Ωm 이상으로 나타난다. 45 m 부근에 비저항대가 깊이 75 m까지 발달하는데 이는 탐사측선의 가장자리로 분석결과의 신뢰도가 낮은 부분이다. 이 부분에 대해 더 자세히 알기 위해서는 측선을 더 연장해서 탐사를 시행하여야 한다.

Fig. 7에 도시되어 있는 탄성파속도 단면도에서는 뚜렷한 3층 구조를 보인다. 각 층의 속도를 고려할 때 깊이 30 m 이하의 최하부층만이 결정질 암석으로 해석될 수 있다. 이 경우 탄성파속도와 조사지역의 지질을 고려할 때 상부 2층은 충적층으로 해석이 가능하고 최상부층과 중간층의 경계는 지하수면으로 사료된다. 문제는 지하수면 아래 충적층의 일부에서 보이는 높은 비저항값(>1000 Ωm)과 변화폭이다. 이는 조사지역의 충적층이 사질이고 비저항값이 낮은 부분은 점토 함유량이 부분적으로 높은 것으로 가정하면 어느 정도 설명이 가능하다.

조사지역의 측선A에서는 김기영 등에 의해 반사법 탄성파탐사가 독립적으로 수행되었으며 최적 공통 오프셋(common-offset)단면을 발표하였으며(김기영 외, 2000), Fig. 8에 인용하였다. 속도분석과 중심점 중합이 이루어지기 전 단계이기 때문에 신호대잡음비가 낮고 시간을 깊이척도로 변환시키지 않았지만, 많은 단층과 30 ms 와 40 ms 사이에 최상부 반사면이 뚜렷하게 보인다. 여기에 본조사의 굴절법 탄성파에서 밝혀진 제 2층 속도(1681 m/s)를 적용하여, 최상부 반사면의 깊이를 개략적으로 계산하면 25 m에서 34 m 사이로 굴절법 탄성파탐사에서 밝혀진 제 2경계면과 잘 맞는다.

비저항단면도에서는 깊이 30 m 이하의 기반암에서는 비록 변화가 있지만 1000 Ωm 이상으로 나타난다. 왜 반사파탐사에서 밝혀진 단층면들이 비저항탐사에서는 찾을 수 없는가 하는 문제에 봉착하게 된다. 이는 반사파탐사에서 밝혀진 단층들이 울산주단층 주변의 소단층들로 각각은 격렬하고 큰 전단파쇄운동을 수반하지 않았을 것이라는 가설로 설명될 수 있다. 격렬한 전단파쇄를 수반하지 않는 단층운동은 단층비지를 만들지 않아 비록 파쇄대가 존재하여 함수량이 증가하더라도 점토가 적어 비저항값이 감소하지 않을 수가 있다는 것이다. 또한, 쌍극자탐사 결과의 해상도에 의한 결과일 수도 있다. 측선A에서 전극간격은 15 m 이므로 수평해상도는 대략 15 m 정도이다. 비록

단층비지가 생성되어 비저항값이 감소하였다 하더라도, 그 폭이 15 m 에 비해 훨씬 작아 15 m 폭의 평균값에 미치는 영향이 매우 작아 발견되지 않았을 가능성도 배제할 수 없다.

Fig. 4에 제시된 측선B의 비저항단면도에서는 측선A의 비저항단면도와 대조적으로 연속적으로 잘 발달된 비저항대를 볼 수 있다. 여기에도 물론 비저항값이 1000 Ωm 이상인 기반암들이 뚜렷하게 보인다. 결론적으로 울산단층의 주 단층선은 조사 지역에서는 동천 또는 동천 서부에 위치할 것으로 사료된다.

6. 결 론

울산단층의 주 단층 위치를 파악하기 위하여 울산광역시 약수지역에서 쌍극자 전기비저항탐사와 굴절법 탄성파탐사를 실시하여 이를 분석, 해석하였다. 전기비저항탐사에서 동천 동쪽에서의 탐사선(측선 A)에서는 단층으로 사료되는 비저항 이상대가 발견되지 않았으나, 동천 서쪽 탐사선(측선 B)에는 아주 잘 발달한 연속적인 낮은 비저항 이상대를 발견하였다. 이는 울산단층의 주단층은 동천이나 동천 서쪽에 위치하는 것을 시사한다. 동천 동쪽 탐사선에서 실시한 굴절법 탄성파탐사에서는 기반암과 충적층의 경계 및 지하수면으로 사료되는 두 굴절면을 발견하였으며, 충적층의 두께는 약 30 m정도로 사료된다.

결과 해석의 신뢰도를 높이기 위하여 본 조사의 무관하게 실시된 반사법 탄성파자료를 참고로 한 결과 반사법 탄성파탐사에서 발견한 많은 단층대는 굴절법탐사나 비저항탐사에는 나타나지 않았다. 이는 낮은 비저항 이상은 파쇄대를 따른 함수량의 영향보다는 점토의 영향과 탐사해상도에 관련이 있는 것으로 사료된다. 일반적으로 전기비저항탐사는 단층위치 파악에 유용한 지구물리학적 탐사 방법으로 알려져 있으나, 쌍극자 배열 방식을 사용한 본 조사의 경우에는 좋은 결과를 보여주지 못하였다. 모든 지구물리학적 탐사방법은 지하내부를 조사하는 간접적인 방법이므로 여러 탐사방법을 병행하여야 보다 신뢰도 높은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

쌍극자 전기비저항탐사에서 해상도를 유지하면서 가탐심도를 증가시키기 위해서는 전계수를 늘려야 한다. 그러나 배경잡음 때문에 한계점을 가지는데, 본 조사에서 측정치의 통계학적 성질을

불 때 조사지역에서의 측정치가 전개수 16까지는 충분한 의미를 가짐을 알 수 있었다.

사 사

이 논문은 1998 한국학술진흥재단의 학술연구비(1988-015-D00277)에 의해 지원되었음.

참고문헌

김건영, 1999, 전기비저항 탐사법을 이용한 지하 천부 파쇄대 조사. 경북대학교 석사 학위 논문.

김기영, 김우혁, 김교홍, 이광자, 이소영, 김종민, 정용희, 2000, 경상남도 천곡리와 매곡리 일대 울산단층의 고해상도 반사파 연구, 대한지질공학회 창립 10주년 기념 정기총회 및 학술발표회(초록), 대전 대전대학교, 215-220.

김옥준, 정봉일, 엄상호, 장기홍, 박봉순, 강필중, 1980, 한반도의 지진지체구조에 관한 연구, 과학기술처.

김인수, 김종열, 1983, 경상분지 연양단층 지역에 대한 전기비저항 탐사연구, 광산지질학회지, 16, 11-18.

김정호, 1987, 2차원 전기비저항 탐사자료의 역산. 서울대학교 박사학위논문.

김종환, 강필중, 임정웅, 1976, Landed-1 영상에 의한 영남지역 지질구조와 광상과의 관계연구, 지질학회지, 2, 79-89.

김필선, 1989, 전기탐사에 의한 음성퇴적분지 부근의 지하수조 연구. 충남대학교 석사학위논문.

류충렬, 양경희, 김인수, 1996, 울산단층 주변의 제 4기 단층: 활성단층인가?, 대한지질학회 제51차 학술발표회(초록), 79-80.

류충렬, 경재복, 김인수, 1997, 울산단층대 동측의 신기지구조운동과 지형발달, 대한자원환경지질학회 제 30차 학술발표회(초록), 14.

박양대, 윤정대, 1968, 한국지질도(1:50000), 울산도폭 및 지질보고서, 국립지질조사소, p.

원종관, 강필중, 이상현, 1978, 경상분지 구조해석과 Igneous pluton에 관한 연구, 지질학회지, 14, 79-92

이민성, 강필중, 1964, 한국지질도 (1:50000), 양산도폭 및 지질보고서, 국립지질조사소.

이성복, 1991, 논산 월성리 단층지역의 전기 비저항 탐사연구. 공수사범대학 석사학위논문.

정승환, 김정호, 1987, Dipole-Dipole 비저항 탐사자료의 대화식 2차원 해석연구, 광역탐사연구, KR-862-4, 한국동력자원연구소.

정승환, 김정호, 서재영, 1987, 탄전지역 단층, 파쇄대 탐지를 위한 전기 비저항탐사 적용성 연구.

KR-87-H 연구보고서, 탐사기술개발연구, 동력자원연구소.

최현일, 오재호, 신성천, 양문열, 1980, 울산지역 경상계 지층의 지질 및 지하화학적 연구, 자원 개발 연구소, 대전.

한국자원연구소, 1998, 양산단층을 고려한 설계기준 지진의 재평가 최종보고서, 한국전력 공사.

Bogoslowsky, V.A and Ogilvy, A.A., 1977, Application of geophysical methods for he investigation of landslides Geophysics, 28, 633-657.

Gardner, L.W., 1939, An areal plan of mapping subsurface structure by refraction shooting, Geophysics, 4, 247-259.

Hobson, George, D., 1970, Seismic methods in mining and groundwater geophysics, In Minging and groundwater geophysics/1967 : Morley, L.W., editor, Geological survey Survey of Canada, Econ, Geol. Rep., 26, 148-176.

Keller, G.V. and Frischknecht, F.C., 1966, Electrical methods on geophysical Prospecting, Pergamon.

Kim, H.J., 1981, Studies on the resistivity inversion; 1.automatic interpretation of electrical resistivity sounding data, Journal of Korean Institute of Mining Geology, 14, 193-201.

Kim, Y.H., 1982, An example of a geophysical survey in an inferred fault area, The Journal of the Geological Society of Korea, 18, 73-82.

Lee, D.I., 1988, An electrical resistivity study of the Gongju Pull-Apart Basin. M.E. Thesis, University of Chungnam National.

Olorunfemi, M.O., Olarecaju, V.O., and Avci, M., 1986, Geophysical investigation of a fault zone-case history from left, southwest Nigeria Geophysical Prospection, 34, 1277-1284.

Rimrock Geophysics Inc., 1995, User's Guide to SIP SHELL, Lakewood.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1976, Applied geophysics, Cambridge University Press.

Van Nostrand, R.G and Cook, K.L., 1966, Interpretation of resistivity data, Geological Survey Professional Paper 499, U. S. Government Printing Office, Washington.

Ward, S.H., 1990, Resistivity and induced polarization methods in Geotechnical and environmental Geophysics, Society of Exploration Geophysicists, 1, 147-189.

1999년 11월 29일 원고접수
2000년 3월 21일 원고채택