The Journal of Engineering Geology, Vol.9, No.1, April, 1999 pp.59-68

양산단층 남부 상천리 일대의 천부 전기비저항 및 VLF 탐사

Shallow Electrical Resistivity and VLF Profiling at Sangchon-ri Area along the Southern Part of Yangsan Fault

경 재 복(Jai Bok Kyung)	한국교원대학교 지구과학교육과
한 수 형(Soo Hyug Han)	충북대학교 지구환경과학과
조 현 주(Hyun Ju Cho)	한국교원대학교 지구과학교육과
김 지 수(Ji Soo Kim)	충북대학교 지구환경과학과

요약 / ABSTRACT

단층의 존재 가능성과 파쇄대에 대한 지전기적 구조를 밝히기 위하여 양산단층 남부 상천리 지역에 대하여 전기 비저항 탐사(쌍극자 탐사)와 VLF 탐사를 수행하였다. 양산단층 추정선을 가로질러 4개의 측선에 걸쳐 실시한 전기 비저항 탐사 결과 단층선을 경계로 주로 동측에는 고비저항대가 서측에는 저비저항대가 나타난다. 이는 수직운동성분이 포함된 주향이동 단층운동에 의해 동측 기반암 블록이 상대적으로 상승한 결과로 사료된다. 파쇄대와 밀접하게 관련되어 나타나는 VLF 자료의 0점 통과점과 지전기적 저-고 비저항대 경계부는 양산단층의 제 4기 단층운동 추정선과 거의 일치하게 나타난다. 저비저항대가 지표에서 거의 수직으로 나타나는 것으로 보아 본 연구 지역의 예상 단층선을 통과하는 양산단층은 단층 양측이 10m 이상의 기반암의 깊이 차이를 나타내며 고각의 경사를 지닌 단층으로 추정된다.

주요어 : 양산단층, 천부 전기비저항, VLF 탐사

To clarify the geological structure of Yangsan fault around Sangchon-ri in the southern part of Kyungsang Basin the resistivity (dipole-dipole profiling) and VLF surveys carried out on the four profiles, crossing the inferred trace of the fault. The resistivity contrast across the fault is clearly shown on the profiles: higher resistivity and lower resistivity on the east and west, respectively. It is most likely from the uplift of the granitic bedrock on the east part due to the strike-fault faulting with vertical movement. The zero-crossing points of VLF anomalies, associated with near-surface fracture zone, are found to well correlate with the resistivity boundaries from the dipole-dipole profiling. Consequently, southern segment of Yangsan fault (at Sangchon-ri area) is interpreted to be vertically developed strike-slip fault with a difference more than 10m in depth of basement rock at both sides.

Key Words : Yangsan fault, Shallow electrical resistivity, VLF survey

1. 서 언

양산단층은 한반도 동남부의 중생대와 신생대의 지체 구조사를 규명하는데 중요한 지질 구조이다. 양산단층의 운동 시기는 지질 분포를 기준으로 백악기 이후부터 시작하여 고제3기 초(김종환 외 1976; 원종관 외, 1978)까지로 보았으며, 장기홍(1990)은 양산단층이 불국사 관입암 및 곡강동 유문암류를 절단하고 있으므로 이들의 관입 시기인 에오신 중기 직후로 보았다.

단층 운동에 대해서는 경사 이동 단층(이민성과 강필종, 1964; 이윤종과 이인기, 1972; 김종열, 1993), 회전 단층(최현일등, 1980) 및 주향 이동 단층(엄상호 등 1983; Lee et al., 1986; 장기홍, 1990) 등 몇 가지 의견이 있어 왔지만, 우수향 주향 이동 단층이라는 견해가 지배적이다.

양산단층의 응력장의 복원 (이준동 등 1993; 채병곤과 장태우, 1994; 김영화 등, 1996; 황재하, 1994)을 통해 볼 때, 양산단층은 한번의 운동에 의해 단층이 형성되었다기 보다는 여러번의 운동을 한 다중 변형의 결과로 해석된다(채병곤과 장태우, 1994).

양산단층은 지구 물리 탐사를 통하여 단층 파쇄대의 확인과 단면 구조가 부분적으로 해석되었다(김영화 외,1990; Lee et al., 1985; Kim, 1987; Kim and Lee, 1988; Kwon and Lee, 1991). 특히, 언양 지역 전기 비저항 탐사의 결과(Kim and Lee, 1988)는 양산단층이 고각도의 서축 경사를 가진다고 하였다.

근래, 양산단층 남부 일부 지역에 대한 지형 및 트렌치 조사를 통해 제4기 후기까지도 활동하였음을 시사해 주고 있다(경재복 외, 1999 ; Okada et al., 1994).

본 연구는 양산단층 남부 지역에서 제 4기동안 단층운동이 일어났다고 사료되는 추정선을 따라 지하에 단층으로 인지될 수 있는 지하 구조가 존재하는지를 정확히 확인하고, 그 구조를 밝히기 위하여 전기 비저항 탐사(쌍극자 탐사)와 VLF 탐사를 실시하였으며 그 결과를 제시하고자 한다.

2. 지질 및 지형

연구지역은 한반도 남동부에 위치하고 있는 양산단층의 남부지역인 언양-양산천 일대로서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 이 지역은 주로 하양층군의 퇴적암과 유천층군의 관입암 및 안산암질 화산암, 불국사 화강암류가 주로 분포한다.

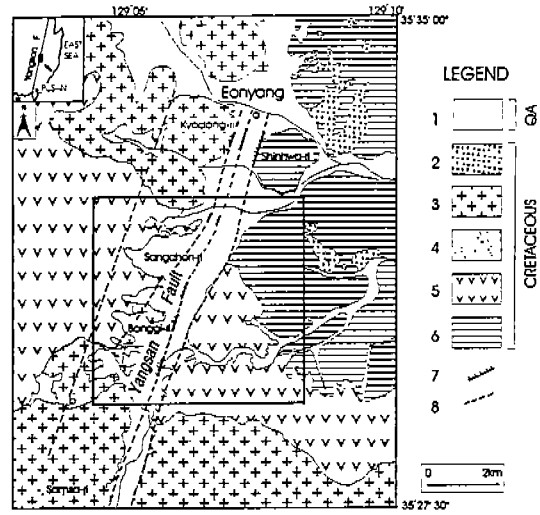

Fig. 1. Geological map around Eonyang area (compiled from Lee and Lee, 1972; Lee and Kang, 1964; Okada *et al.*,1994). 1 : Alluvium or terrace deposits, 2 : Felsite, 3 : Granitic rocks, 4 : Feldspar porphyry, 5 : Chusan andesite, 6 : Taegu formation, 7 : active fault, 8 : inferred fault, a: Taehwa river b:Yangsan stream. Box is illustrated in Fig.2

대구층으로 명명(이윤종 · 이인기, 1972)되는 퇴적암류는 양산단층대의 동편에 넓게 분포한다. 백악기 대구층의 퇴적과 고화 후 안산질암의 화산활동이 있었다. 백악기 후기 화성활동 동안은 언양화강암 및 기타 화강암류가 기존의 층서를 관입하면서 나타난다. 대구층의 암상은 녹회색-흑회색의 사암, 실트암, 사질셰일, 녹회색-흑회색 셰일로 주로 구성되어 있다. 주산안산암으로 명명되는 안산암은 연구지역 서편에 넓게 분포하며 주로 안산암질 반

암, 안산암, 안산암내에 협재된 응회질 집괴암으로 구성되어 있다. 주로 흑운모 화강암으로 구성되는 화강암은 연구지역 북부에서 언양화강암(이윤종·이인기, 1972), 남부에서 흑운모 화강암(이민성·강필종, 1964)으로 각각 명명 기재되어 있다. 양산주단층은 연구지역 중앙부를 거의 NNE-SSW 방향으로 통과하고 있으며 2-3개의 서로 인접 평행한 부수단층들로 구성되어 있다고 사료된다.

이 일대의 지형은 N20°E 방향으로 분포하는 양산단층을 경계로 단층의 동부 지역이 대체로 서쪽보다 낮은 구릉 지대를 이루고 있다(Fig. 2). 서부 지역은 동쪽보다 높은 고지를 형성하고 계곡들은 대부분 U자곡을 형성하고 있어서 만장년기의 지형 형태를 보여 준다. 연구 지역에서는 선상지 기원의 단구 퇴적물이 단층곡을 따라 분포하고 있으며 본 단구면은 지표면의 고도, 연속성, 개석도, 단구역층의 풍화정도, 적색토양의 층서 등을 기초로 고위, 중위, 저위 단구로 구분된다(Okada et al., 1994; 경재복 외, 1999). 고위면의 지형면은 대체로 동쪽을 향해 완만한 경사를 나타내지만 단층대를 따라 여러 지역에서 동측이 서측보다 약 2-10m 융기된 지형 형태를 보인다. 이는 단구 퇴적물이 퇴적된 제4기 후기 이후 양산 단층의 단층운동에 기인한다고 사료된다.

제4기 단층 운동의 확인을 위해 트렌치 조사 결과, 나타난 편평력의 변형 형태로서 주향 이동이 탁월한 단층 운동과 단층 점토대의 파쇄 물질의 관찰에 의해 우주향 이동의 단층운동이 제시되었다(Okada et al., 1994; 경재복 외, 1999). 또한, 단구면 및 퇴적물에 대한 추정 계산치로부터 양산단층계의 평균 상하 변위 속도는 0.02-0.03mm/y 정도로 추정되었다(Okada et al., 1994).

3. 자료 획득

양산단층 남부 지역인 경남 울산광역시 울주군 삼남면 상천리와 가천리 일대에서 전기 탐사에 의한 지전기적 이상대와 단층 추정선의 일치 여부와 단층 구조 해석을 위하여 전기 비저항 탐사(쌍극자 배열 탐사) 및 VLF 탐사를 수행하였다.

전기 탐사는 천부의 수직 및 수평 비저항 분포의 조사에 경제적이고 효율적이어서 많은 분야의 연구에 적용되고 있다. 본 연구에서 전기 탐사는 단층대 주변의 2차원적 전기 전도도 분포를 얻기 위해 쌍극자 배열 탐사를 수행하였으며 탐사기기는 스웨덴 Atlas Copco사의 ABEM TERRAMETER SAS 300C 및 BOOSTER를 사용하였다. 전기 비저항 쌍극자 탐사 자료는 소프트웨어 DIPRO(1996)를 이용하여 전산 처리 해석하였다.

쌍극자 방법은 Fig. 2의 E1, E2, E3 및 E4 측선을 따라 실시하였다. 쌍극자 간격은 10m로 측선의 길이는 모두 200m로 하였고 측선 방향은 단층 추정선에 직교하는 방향으로 배열하였다. 전극 전개수는 n=8, 가탐심도는 50m, 주입 전류의 크기는 50mA로 하였다.

VLF 탐사는 15-25kHz의 저주파수 대역의 전자파를 이용하여 지하의 전도성 광체나 파쇄대와 같은 지질 구조에 의해 나타나는 전자장 변화를 측정하는 방법으로서 간편한 탐사장비와 신속한 현장 작업 등의 장점으로 천부 지하구조 탐사에 널리 이용된다. 본 연구에서의 VLF 탐사는 Scintrex사의 ENVI기기를 사용하여 4개의 쌍극자 탐사측선을 따라 수행하였다.

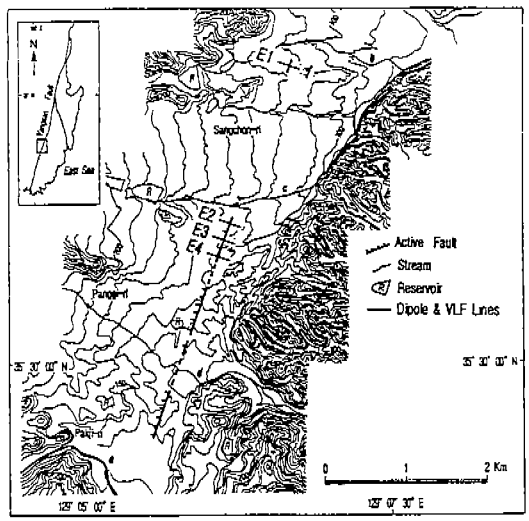

Fig. 2. Topographic map in the study area which is denoted as box in Fig.1. E1-E4 indicate the profiles of dipole-dipole and VLF surveys.

4. 전기 비저항 및 VLF 탐사 결과 해석

측선 E1

Fig. 2의 측선 E1은 중남 초등학교의 남쪽 약 50m 지점으로서 단층 예상선에 수직으로 설정한 측선이다. 본 연구 지역 E1에서 활단층의 존재를 확인하기 위한 트렌치 조사 결과(Fig. 3), 12번 측점 부근에서 단층이 발견되었고, 단층의 동측은 화강암, 서측은 제 4기 역질 퇴적물(gravel deposits)이 단층을 경계로 접하고 있으며 수직에 가까운 경사를 보였다(Kyung et al., 1997). 탐사측선의 길이는 200m이며 한 측선에서 측점 간격을 10m로 하였다. 탐사 자료의 해석은 역산 과정을 통해 야외 관측 자료와 이론적인 자료 사이의 오차를 최소화하여 얻게 되는 이론적인 자료에 근거한 지하 비저항 구조를 얻는 것이다(김정호, 1987). 쌍극자 배열 전기비저항 탐사 자료의 해석은 한국자원연구소에서 개발한 자동역산 프로그램인 DIPRO(1996)를 사용하였다. 이것은 지하구조에 대해 측선 방향과 수직 방향의 2차원적 구조를 가정하여 모형 반응을 계산하게 된다.

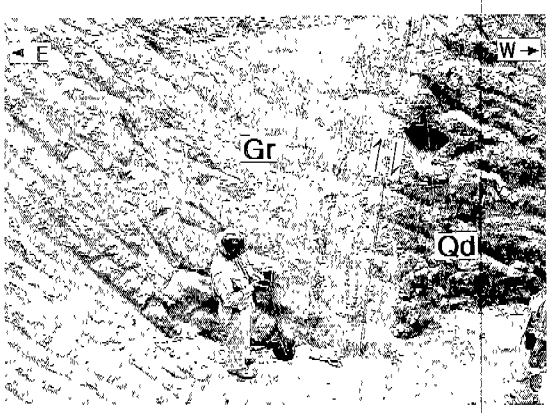

Fig. 3. Southern wall of trench excavation site at Sanchon-ri area. Gr: Granite, Qd: Quaternary deposit.

Fig. 4a는 측점 간격을 10m로 하여 쌍극자 배열 탐사 결과 얻어진 현장 탐사 가단면도이고, Fig. 4b는 현장 측정 자료에 대한 역산 결과 얻어진 지하 전기 비저항 분포에 대한 이론 겉보기 가단면도이며, Fig. 4c는 역산 과정을 통해 얻은 지하의 비저항 분포도이다. Fig. 4a,b,c에 나타난 비저항 등고선도를 비교해 볼 때 역산 과정을 통한 2차원 지하 전기 비저항 구조가 신빙성이 있다고 할 수 있을 만큼 전체적으로 잘 일치한다. 탐사 결과 자료에 의하면 측점 10-13사이에 비저항 등고선이 밀하게 나타나 파쇄대의 존재를 강하게 시사하고 있다. 특히, 비저항 값이 측점 11-12를 중심으로 서측에 21-201ohm · m의 저비저항대와 동측에 46-1687 ohm · m의 고비저항대 경계면이 고각으로 존재하여 거의 수직에 가까운 단층의 존재를 시사하고 있다.

Fig. 5a는 Fig. 4c의 색채 단면도이다. 즉, 최저 경계나 최대 경계의 이하나 이상값은 최저나 최대 값으로 정규화 시켜 해당 범위 내의 값들은 값의 크기에 따라 그레이스케일로 나타낸 것이다. 측점 12를 경계로 색채 단면도 상의 왼쪽인 서쪽에 저비저항대와 색채 단면도 상의 오른쪽인 동쪽에 고비저항대가 나타나 뚜렷한 비저항의 대비를 보여 주며, 단층 및 파쇄대의 존재 가능성을 강하게 시사하고 있다. 오른쪽의 고비저항 영역은 기반암인 화강암 블록이 위치하고 왼쪽의 저비저항 영역은 지표면 부근 지하 약 10m 깊이 이상까지 제 4기층(주로 역층)이 존재하기 때문으로 사료된다.

Fig. 5b는 VLF 탐사에서 19.8kHz와 22.3kHz 의 주파수에 대한 실성분 값의 분포로서 12번과 13번 사이에서 0점 통과점이 나타나 쌍극자 탐사 결과와 좋은 일치를 보여주고 있다. 따라서, 단층은 측점번호 12 근방에 존재하리라 추정된다.

따라서 본 연구 지역 E1에서의 전기 탐사 결과는 트렌치에 나타난 지하구조와 잘 부합된다.

탐사측선 E2

Fig. 2의 측선 E2는 언양-통도사 사이에 위치한 상천리의 상천 저수지 부근이다. Fig. 6a는 진비저항 단면도에서 고비저항대와 저비저항대의 경계가 수직으로 발달되지는 않으나, 측점 4와 15사이에 40m 깊이까지 22-63ohm-m의 저비저항 값을 나타낸다. Fig 2에서 보는 바와 같이 이 지역은 양산단층의 주단층이 통과할 가능성이 높은 지역으로서 지하 파쇄대가 넓게 분포할 가능성이 큼을 의미한다. 측점 11의 동측은 79-728ohm · m의 고비저항 영역을 나타내고 서측은 저비저항 분포를 보여 측

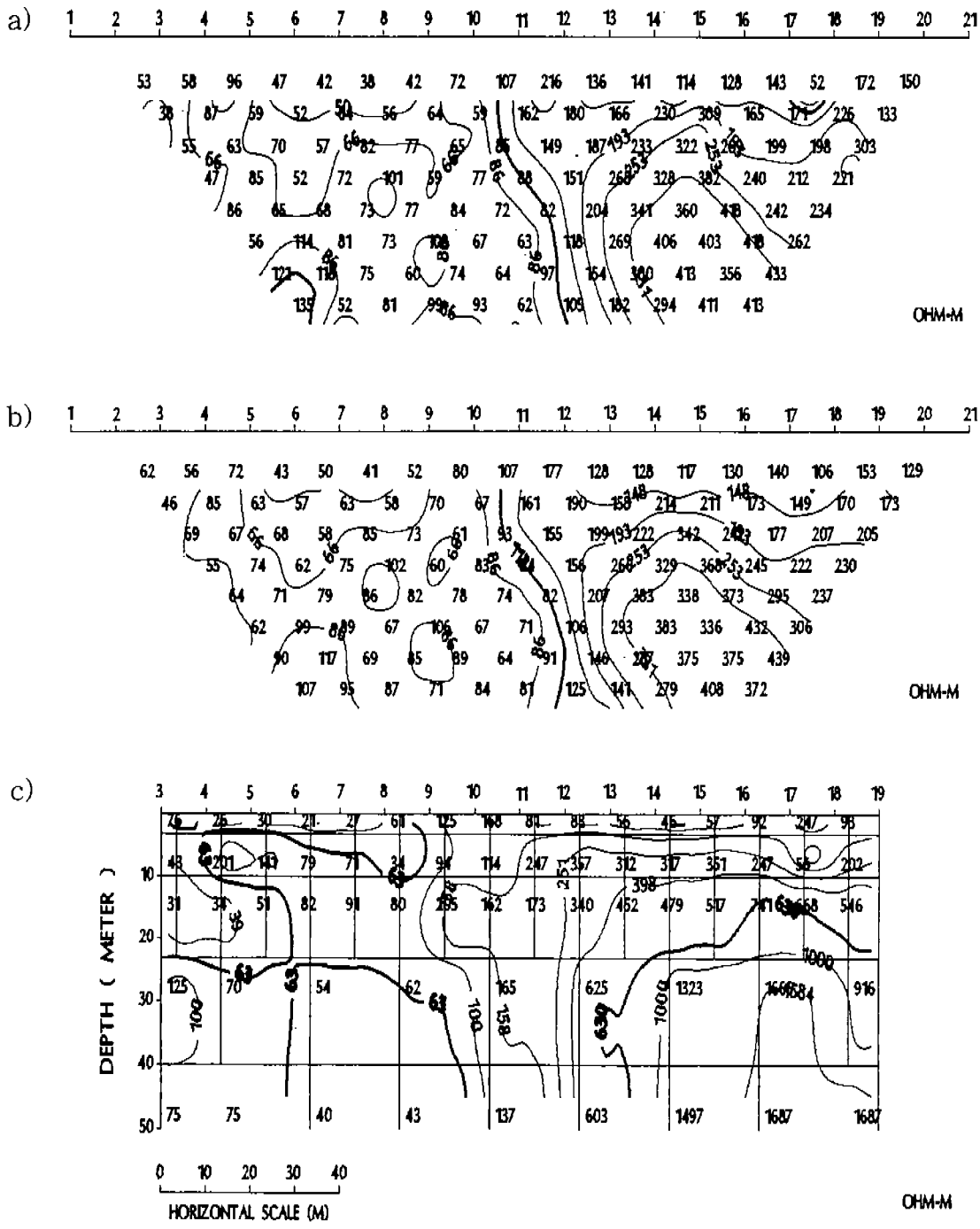

Fig. 4. Dipole-dipole resistivity data for line E1.
(a) Field data pseudosection. (b) Theoretical data pseudosection.
(c) 2-D resistivity structure

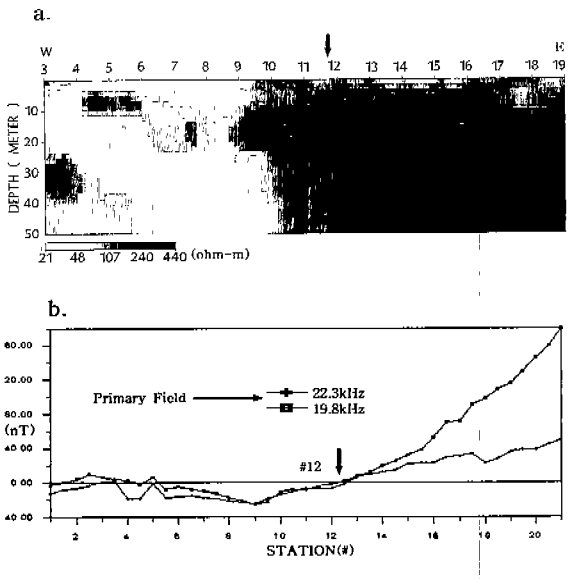

Fig. 5. Results of line E1. (a) Dipole-dipole resistivity. (b) VLF real-component anomaly.

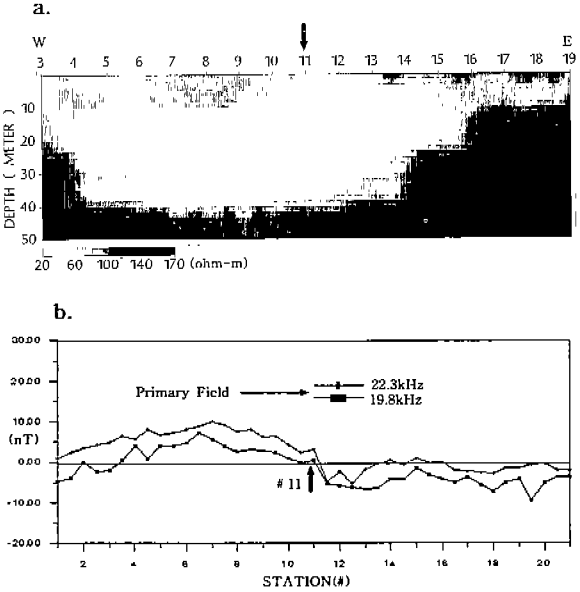

Fig. 6. Results of line E2. (a) Dipole-dipole resistivity. (b) VLF real-component anomaly.

점 11이 그 경계로 추정된다.

VLF 탐사 결과(Fig. 6b)에 의하면 실성분 값의 0점 통과점이 측점 11과 12번 사이에 나타남으로서 쌍극자 탐사 결과와 마찬가지로 이 위치에 단층 통과의 가능성을 잘 나타내 주고 있다.

탐사측선 E3

Fig. 2의 측선 E3는 측선 E2에서 남쪽으로 약 300m 떨어진 상천 저수지와 인접한 곳으로서 양산단층 추정선에 직교하게 설정한 측선이다.

Fig. 7a는 진비저항 단면도로서 서쪽에 32-164 ohm-m까지 저비저항대가 분포하고 동쪽에 58-792 ohm-m의 고비저항대가 분포하여 측점 10-12에 단층의 존재를 시사하고 있다.

Fig. 7b의 VLF 탐사 자료의 경우, 측점 10-15번까지 매우 넓은 지역에 걸쳐 낮은 값을 보이면서 0점 통과점이 존재한다고 볼 수 있다. 따라서, 단층에 대한 VLF의 반응이 명확하지 않으나 개략적인 위치는 쌍극자 탐사 결과와 대체적으로 일치한다고 볼 수 있다.

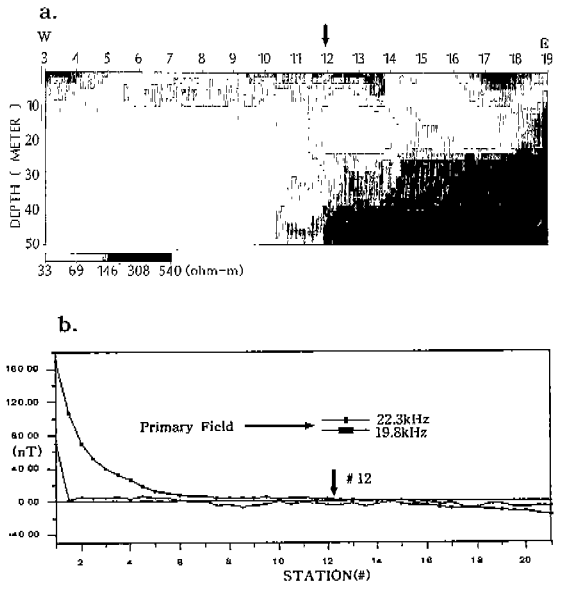

Fig. 7. Results of line E3. (a) Dipole-dipole resistivity. (b) VLF real-component anomaly.

탐사측선 E4

측선 E4는 측선 E3에서 남쪽으로 약 300m에 위치한 과수원 밭 지역으로서 단층 예상선에 직교하게 설정하였다. Fig. 8a,b는 각각 전기 비저항 단면

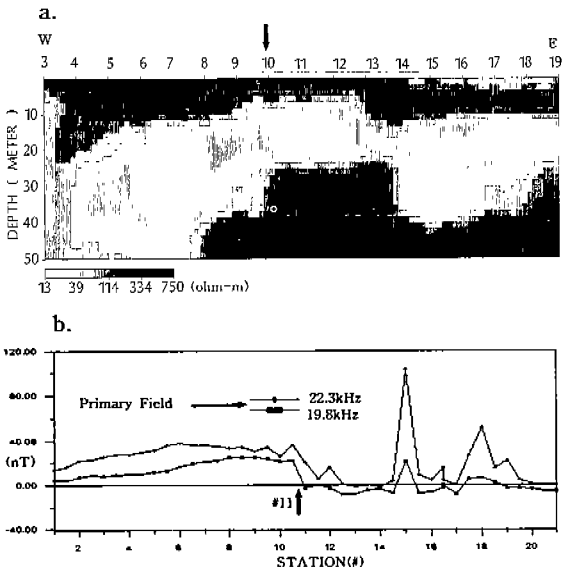

Fig. 8. Results of line E4. (a) Dipole-dipole resistivity. (b) VLF real-component anomaly.

도와 VLF 분포를 나타낸다. 측점 9-10을 경계로 동측은 100-700 ohm-m의 고비저항 영역이 지하 약 25m 깊이에서 나타나지만 서측은 100 ohm-m 이하의 저비저항 영역이 40-50m 깊이까지 나타난다.

이 지역에는 전기적인 잡음을 유발할 수 있는 송전 케이블이 비교적 가까이 위치하는 관계로 VLF 자료의 질이 양호한 상태는 아니다. 그림에서 저주파대역(19.8kHz)의 경우 측점 11에서 0점 통과점을 보임으로서 쌍극자 탐사 결과에 의한 단층 측정 위치와 개략적으로 일치한다고 볼 수 있다.

종합해석

4개측선을 통해 얻은 결과에서 대해 수직변위를 갖는 고각 단층이 해석될 수 있는지 2개측선의 결과인 Fig. 6a와 Fig. 7a에 대한 모형 반응계산과 그 역산결과를 가지고 살펴보자.

먼저 100 ohm-m과 1000 ohm-m의 두 개의 겉보기 비저항 블록으로 구분되는 수직단층(Fig. 9a)에 대한 모형반응 결과(Fig. 9b)를 이 연구에 사용된 자료처리 프로그램(Dipro, 1996)을 통해 역산된 결과(Fig. 9c)와 비교하였다. 역산을 통해 얻어진 해석단면도(Fig. 9d)는 입력된 모형(Fig. 9a)과 비교적 일치되고 있으나 그 경사도는 실제 모형보다 완만하게 나타난다. 따라서 수직 단층모형에 대한 역산결과는 단층의 지표 경계는 측점11 부근에서 정확히 일치하나 그 경사가 수직이 아닌 완만한 경사를 띠는 것으로 볼 때 측선 E2에서 해석된 완만한 경사구조(Fig. 6a)는 실제로는 수직 단층에 가깝다는 것을 유추할 수 있다.

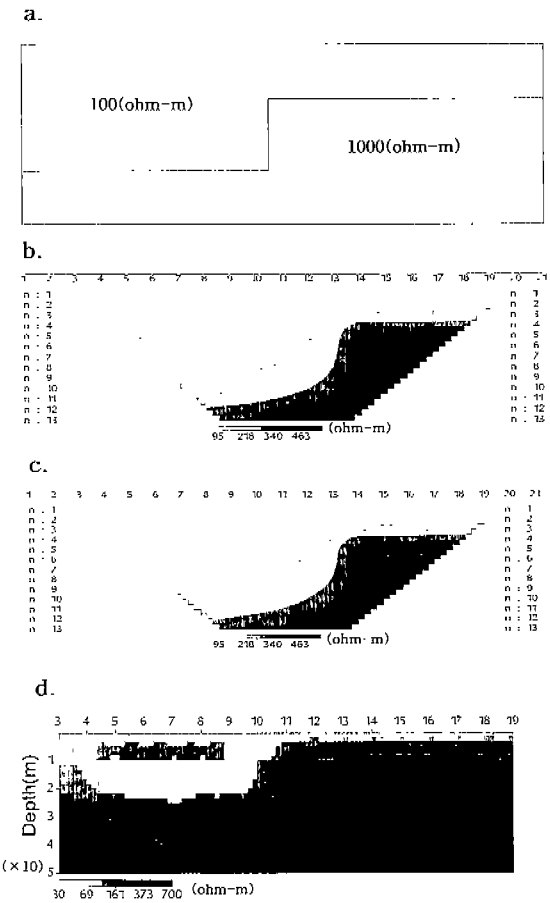

Fig. 9. Inversion of resistivity model along E2 line. (a) Resistivity model (b) Pseudosection model (c) Theoretical data pseudosection (d) 2-D resistivity structure.

측선 E3 (Fig. 7a)도 마찬가지이다. 이번에는 서쪽, 동쪽의 천부 및 심부를 100 ohm-m, 500

ohm-m, 1000 ohm-m인 3개의 겉보기 비저항 블록을 가지는 모형(Fig. 10a)으로 생각하였다. Fig. 9와 마찬가지로 여기에서도 세 영역으로 구분되는 양상은 비슷하지만 그 경사는 약간 완만하게 나타나고 단층의 지표 경계면도 오른쪽으로 치우친 측점 13에서 나타나고 있다. 따라서 측선 E3의 해석단면도(Fig. 7a)의 실제 지하구조는 실제모형(Fig. 10a)과 역산결과(Fig. 10d)와 비교할 때 지표경계가 측점 11인 거의 수직단층으로 추정할 수 있다.

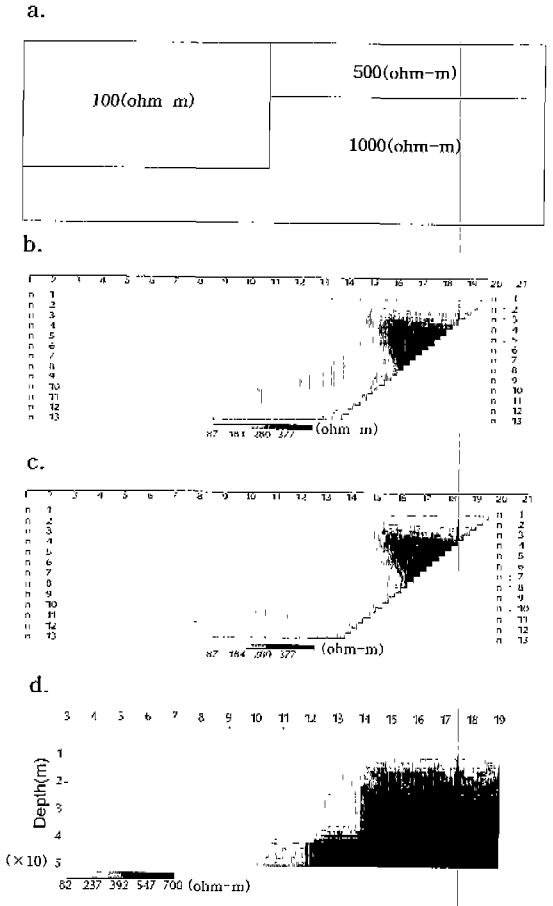

Fig. 10. Inversion of resistivity model along E3 line. (a) Resistivity model (b) Pseudosection model (c) Theoretical data pseudosection (d) 2-D resistivity structure.

이와 같은 추측모형에 대한 모델링 및 역산결과를 현장자료의 해석단면도와 비교하는 프로그램의 역산 특성 연구는 앞으로 현장자료의 정확한 해석에 좋은 지침이 될 것으로 보인다.

위 탐사 결과를 종합하면 양산 단층대 남부지역에서의 주단층과 부단층의 예상선을 따라 전기 비저항 및 VLF 탐사 결과, 단층의 동측은 고비저항, 서측은 저비저항을 나타내며 위치에 따라 다르나 양측은 약 10m 이상의 기반암의 깊이 차이를 나타낸다고 추정된다. 이는 단층 운동을 통해 단층 동측의 기반암(주로 화강암 혹은 안산암)이 상대적으로 상승한 결과로 사료된다. 단층 파쇄대의 폭은 위치에 따라 다르지만 매우 좁은 폭의 접촉대로 나타나기도 하지만 곳에 따라 수 십m의 넓은 폭을 나타내는 지역도 있다고 판단된다. 또한, 지전기적 구조의 해석에 의하면 단층의 경사는 거의 수직으로 발달되어 있다고 사료된다.

5. 결 론

경상분지 남부, 울산광역시 울주군 삼남면 상천리 일대에서 양산단층이 제 4기 동안 단층 활동을 수반한 흔적을 보이는 지역에 대해 천부 전기 비저항 탐사(쌍극자 탐사)와 VLF 탐사를 실시하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 4개 측선 (E1-E4)의 쌍극자 탐사에서 단층의 동측에는 고비저항 영역, 서측에는 저비저항 영역이 거의 수직에 가까운 경계를 나타낸다. 이는 양산 단층의 단층 경사가 거의 수직임을 시사한다. 이는 측선 E1에서 실시한 트렌치 결과(경재복 외, 1999)인 동측의 기반암과 서측의 제4기 역질 퇴적물을 경계로 거의 수직으로 발달된 단층 구조와 잘 부합된다고 볼 수 있다.

2. 동측의 고비저항값은 기반암(주로 화강암 및 안산암)이 지표 가까이 까지 융기되어 나타나기 때문이며, 서측의 저비저항값은 제4기 역질퇴적물이 10m이상의 깊이까지 기반암 위에 분포하는 결과로 사료된다. 또한 그 경계를 따라 단층 파쇄대는 지역에 따라 십수cm-수 십m 폭으로 다양하게 나타나리라 추정된다.

3. VLF 탐사 자료에서는 실성분의 0점 통과점이 4개 중 3개 측선에서 쌍극자 탐사 결과와 비교적 잘 부합되며 단층 예상선에 거의 일치하여 나타나 지하 지질구조를 잘 반영한다고 볼 수 있다

참 고 문 헌

경재복, 이기화, Okada, A., Watanabe, M., Suzuki, Y., and Takemura, K., 1999, 양산단층계 남부 상천리 일대의 트렌치 조사에 의한 단층특성 규명, 한국지구과학회지, 20-1, 101-110

김영화, 이기화, 성일경, 1990, 경주 북쪽에 있어서의 양산단층의 구조에 관한 지전기학적 연구, 지질학회지 26-4, 393-403.

김영화, 장보안, 박상욱, 1996, 양산 단층 지역의 화강암체내에 분포하는 열린 미세 균열과 경상분지의 고응력장, 지질학회지, 32-5, 367-377.

김종렬, 1993,양산단층의 단층계와 파쇄대, 한국지구과학회지,14-3, 281-299.

김종환, 강필종, 임정웅, 1976, LANDSAT-1 영상에 의한 영남 지역 지질구조와 광상과의 관계 연구 ,지질학회지, 12, 79-89.

김정호, 1987, 2차원 전기 탐사 자료의 역산, 서울대학교 대학원 박사학위 논문

엄상호, 최현일, 손진담, 오재호, 곽영훈, 신성천, 윤혜수, 1983, 경상분지의 경상누층군의 지질 및 지화학적 연구, 연구특보-36, 자원개발연구소, 27.

이민성, 강필종, 1964, 한국 지질도 (1:50,000) 양산 도폭 및 설명서, 국립지질 조사소, 24pp.

이윤종, 이인기, 1972, 한국 지질도(1:50,000) 언양 도폭 및 설명서, 국립지질 조사소, 22pp.

이준동, 김인수, 윤선, 상기남, 김영화, 1993, 언양 지역을 중심으로 한 양산단층에 관한 연구-특히 파쇄 작용과 자기 비등방성 고찰을 중심으로, 지질학회지, 29-2, 128-143.

원종관, 강필종, 이상헌, 1978, 경상분지의 구조 해석과 Igneous Pluton에 관한 연구, 지질학회지, 14-3, 79-92.

장기홍, 1990, 경상분지 동부 지질 발달사, 1989년도 전국 대학 기초과학 연구소 지구과학(지질)분야 심포지움, 경북대학교, 12, 1-3.

장태우, 장천중, 김영기, 1993, 언양 지역 양산단층 부근 단열의 기하 분석, 광산지질, 26-2, 227-236.

채병곤, 장태우, 1994, 청하-영덕 지역 양산단층의 운동사 및 관련 단열 발달 상태, 지질학회지, 30-4, 379-394.

최현일, 오재호, 신성천, 양문열, 1980, 울산 지역 경상계 지층의 지질 및 지화학적 연구, 연구특보-20, 자원 개발 연구소, 1-33.

황재하, 1994, 백악기 초 이후 한반도 남동부에 작용한 고응력 복원, 지질학회지, 30, 27-34.

DIPRO, 1996, 전기비저항 쌍극자 탐사 자료 처리 소프트웨어, 희송(주).

Kwon, B.D. and Lee, K.H., 1991, Magnetic Investigation of the Yangsan fault, Jour. Korean Inst. Mining Geol., 24-4, 421-434.

Kyung, J.B., Lee, K., Okada, K., Takemura, K., Watanabe, M., Suzuki, Y., and Naruse, T., 1997, Active fault study in the central part of the Yangsan Fault, Southeastern part of Korea, Tectonic Evolution of Eastern Asian Continent: Geol. Soc. Korea 50th Anniv. Int'l Symp. 33-38.

Kim, Y.H., 1987, A geoelectric study on the structure of the Yangsan fault, ph.D. Thesis, Seoul National University, 120pp.

Kim, Y.H. and Lee, K. H., 1988, A geoelectric study on the structure of the Yangsan fault in the South of Kyeongju, Jour, Geol. Soc. Korea, 24-1, 47-61.

Lee, K.H., Jeong, B.I. and Kim, Y.H. 1985, A geophysical study of the Yangsan fault area (II), Jour. Geol. Soc. Korea, 21-2, 79-89.

Lee, K.H., Kim, Y.H. and Chang, T.W., 1986, Seismicity of the Korean Peninsula(II); Seismicity of the northern part of the Yangsan fault, Jour. Geol. soc. Korea, 22-4, 347-365.

Okada, A., Watanabe, M., Sato, H., Jeon, MS., Jo, H.R., Kim, S.K. and Oike, K., Jeon, J.S., Choi, H.C., 1994, Active fault topography and

trench survey in the central part of Yangsan fault, Southeast Korea, Jour. Geog. 103-2, 111-126.

경재복, 조현주
한국교원대학교 지구과학교육과
363-791, 충북 청원군 강내면 다락리 산7
Tel : 0431-230-3742
Fax : 0431-232-7176
E-mail : jbkyung@cc.knue.ac.kr

김지수, 한수형
충북 청주시 개신동
충북대학교 자연과학대학
지구환경과학과
Tel : 0431-261-3201
E-mail : geop22@cbucc.chungbuk.ac.kr (김지수)
suhyung@geop.chungbuk.ac.kr (한수형)