

언양지역 단층대에서의 복합 지구물리탐사 기법 연구

박계순*, 이춘기*, 권병두*, 이희순**, 오석훈***, 이덕기****

* 서울대학교 사범대학 지구과학교육과 (pgs@mantle.snu.ac.kr)

** 경인교육대학교 과학교육과

*** 한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소

**** 기상연구소 해양기상지진연구실

1. 서 론

본 연구는 언양 지역을 통과하는 양산 단층대의 지구물리학적 특성을 통하여 그 구조를 밝히는데 있으며, 이를 위하여 연구지역에서 전기비저항탐사와 함께 광역적인 지질 구조 파악에 효과적인 중력탐사를 병행하는 복합 지구물리 탐사를 수행하여 해석하였다. 또한, 본 지역을 포함하는 항공 자력 자료를 통하여 광역적인 해석의 기초 자료로 활용하였다. 특히 본 연구가 수행된 양산 단층 지역은 미소지진과 역사지진 자료로부터 지진 활동성이 제기된 지역으로 본 연구의 결과는 향후 이루어질 한국의 지진예지 연구에도 유용한 기초 정보를 제공할 것이다.

2. 탐사 지역의 지질 분포

탐사 지역의 지질은 중생대 백악기에 생성된 녹회색 사암과 실트스톤, 셰일의 암석을 포함하는 경상계 신라통 대구층과 주산안산암질암 각력질안산반암, 안산반암 및 안산암 급응회질암으로 구성된 주산안산암질층이 Fig. 1과 같이 단층대의 양쪽에 분포하고 있다. 또한, 백악기 말에 관입한 경상계 불국사통 언양화강암이 단층대의 서쪽으로 일부 분포하고 있으며, 단층대를 따라 역암, 사암, 점토를 포함하는 충적층이 넓게 자리 잡고 있다(이윤중, 이인기, 1972).

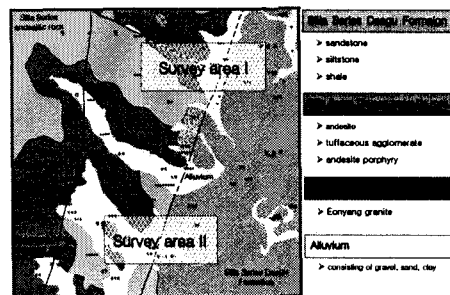


Fig. 1. Geology map of Eonyang area.

3. 물리 탐사 개요

연구 지역은 울산광역시 울주군 언양읍 일대 지역으로 두 개의 측선에서 중력탐사와 전기비저항탐사를 수행하였으며, 연구 지역을 포함하는 항공자력 자료를 이용하였다. 첫 번째 측선은 위도 30° 38' 16.4", 경도 129° 9' 52.9" 지점을 중심으로 양산단층을 가로지르는 약 2.5km 길이의 측선이다. 중력 탐사의 경우 측점 1에서 6사이는 100-200m 간격으로, 측점 7에서 측점 35 사이는 50m 간격으로 중력을 측정하였다. 두 번째 측선은 첫 측선에서 약 5km 북쪽에 위치하며 총 36개의 측점에서 중력을 측정하였다. 두 번째 측선의 측점 간격은 측점 1에서 측점 7까지는 100m, 그 외의 모든 측점은 80m로 설정하였다.

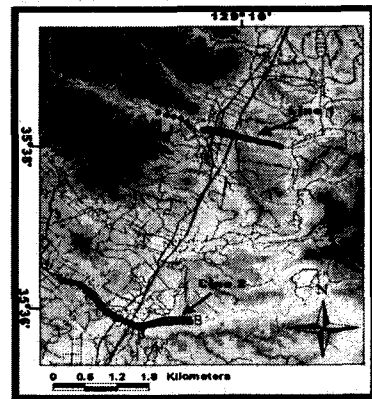


Fig. 2 Location map with Gravity measurement points and lines of DC resistivity exploration.

Fig. 2에서 나타나고 있는 것은 두 측선이 표시된 지형도이고, 단층선은 경부 고속도로 근처에 위치하고 있으며 단층을 경계로 실트스톤과 화강암, 실트스톤과 안산반암의 암상 변화를 보이고 있다. 탐사 여건상 측선은 층적층 부근에 위치하고 있다. 전기비저항 측선은 중력 측선과 동일하며, 표층의 전기전도도를 정밀하게 측정하기 위하여 단층을 가로지르는 2km 길이의 측선을 따라 측선 I에서는 30m, 측선 II에서는 40m로 하여 쌍극자 배열(dipole-dipole array) 전기비저항 탐사를 실시하였다.

4. 자료 처리

4.1. 중력 탐사

본 연구에서는 현장에서 획득된 중력 자료를 통상적인 보정과정을 거쳐 잔여 중력 이상을 계산하였다. 두 측선에서의 고도 변화, 푸리에어 이상, 부계 이상, 광역이상을 Fig.3과

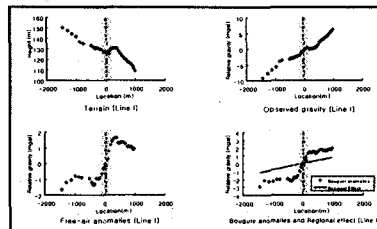


Fig. 3. Gravity anomalies of Line I.

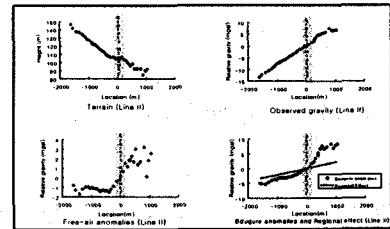


Fig. 4. Gravity anomalies of Line II.

Fig.4에 도시하였다. 좌표는 경부 고속도로를 기준으로 동쪽을 양의 값, 서쪽을 음의 값으로 표시하였으며, 중력 이상값 역시 좌표 기준점을 0으로 하는 상대 중력 이상값을 사용하였다.

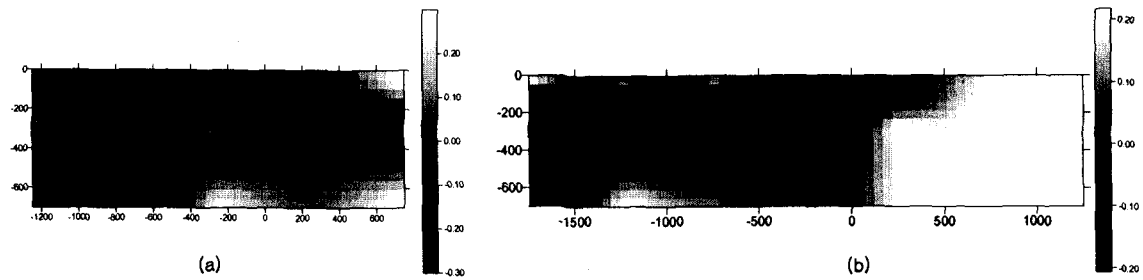


Fig. 5. Results of 2-D Gravity Inversion (a) Line I (b) Line II

잔여 중력 이상값을 통하여 2차원 중력 역산을 수행하였으며, 그 결과를 Fig.5에 나타 내었다. 역산 결과는 파쇄대와 같은 지질의 세부 구조 보다는 고속도로 부근에서 나타나는 광역적인 단층대의 위치와 구조를 잘 반영하고 있다.

4.2. 항공 자력 자료

자력 자료는 본 연구의 탐사 지역을 포함하는 넓은 지역에서 이루어진 항공 탐사 자료를 사용하여 보정을 수행한 자료이다. 획득된 자력 자료는 RTP 보정을 수행하였으며, 그 결과는 Fig.6과 Fig.7에 나타내었다. 자력 이상도는 양산단층대의 광역적인 경계위치 잘 보여주고 있으며, 화성암이 주를 이루는 단층의 서쪽에 분포하는 언양화강암 및 주산안산암 절암층과 퇴적암층이 주를 이루는 단층선의 동쪽에 위치하는 대구층의 분포를 반영하고 있어, 단층대의 위치 파악에 많은 정보를 제공해 주고 있다.

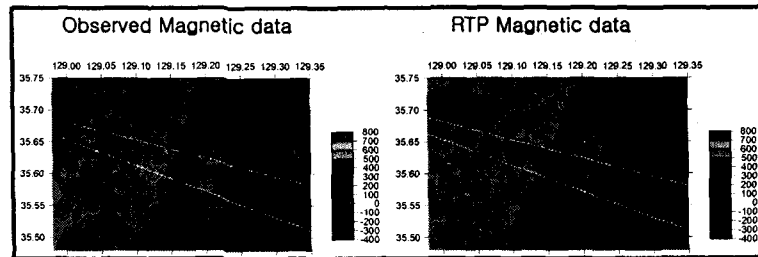


Fig. 6. Map of Magnetic anomalies at Eonyang area. Curved lines are survey lines. Straight lines are profile(Fig.7) lines.

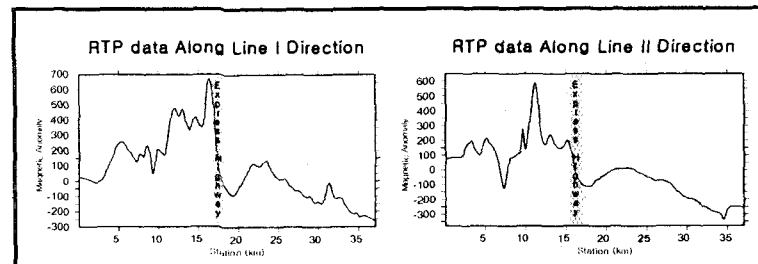


Fig. 7. Map of Magnetic anomaly profiles at Eonyang area.

4.3. 전기비저항 탐사

본 연구에서는 전기비저항 탐사자료를 해석 프로그램인 DIPRO를 이용하여 유한요소법과 ACB(Active Constraint Balancing) 방법(Yi and Kim, 1998)으로 역산을 수행하였다. 역산 결과, 측선 I의 경우 예상 단층선의 서쪽 부근에서 1000Ohm-m 미만의 비저항 분포를 나타내고 있으며, 동쪽 하부로 갈수록 비저항 값이 점점 커지는 양상을 나타내고 있으나, 예상 단층선에서 동쪽으로 400m 정도 치우친 위치에서 급격한 변화 양상을 보이고 있다. 이는 이 부근까지 파쇄대가 발달하고 있기 때문인 것으로 예상된다. 측선 II의 경우는

30-2500Ohm-m의 범위로 측선 I 지역보다 고비저항의 값이 나타나고 있는 있으나 전반적인 형태는 수평적인 전기비저항의 변화가 강하고 예상 단층선 위치에서 급격한 전기전도도의 변화를 나타내는 등 수직적으로 발달한 단층의 모습이 측선 I 지역과 유사한 경향성을 가지고 있다.

이러한 저비저항대는 단층의 작용에 의해서 파쇄대가 발달하고 이때 발생하는 균열 속으로 유체의 흐름이 발생하여 전기전도도가 높아져 나타나는 단층대의 대표적인 물성으로 지구물리 탐사를 통하여 단층의 위치를 파악하는데 중요한 정보로 이용된다.

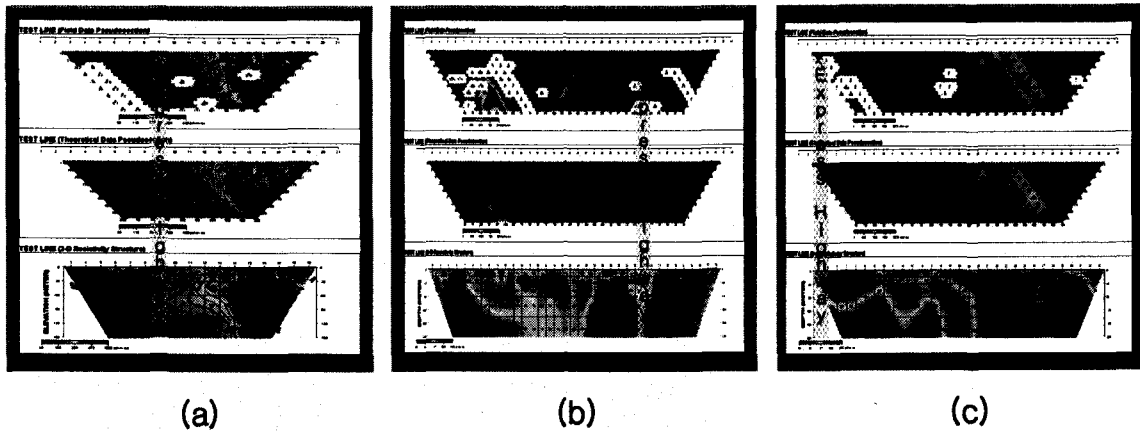


Fig. 8. The results of DC resistivity exploration. (a) : Line I (b) : Line II AA' (c) : Line II BB'

5. 복합 자료 해석

중력 탐사와 전기비저항 탐사 모두 동일한 측선에서 탐사가 이루어졌으며, 항공 자력 자료는 탐사 지역을 포함하는 넓은 지역의 자료를 사용하였다. 복합 지구물리 자료 처리 결과 중-자력 탐사와 전기비저항 탐사에서 동일하게 고속도로와 나란하게 단층대가 발달하고 있는 것을 확인할 수 있었으며, 단층의 모습은 수직에 가깝게 하부로 연속되어 있는 것으로 추측된다.

본 연구에서는 복합해석을 위하여 역산을 통해 획득된 암석의 물성 분포값을 통하여 위치에 따른 분산값을 구하고, 이를 토대로 지질 구조의 경계 위치를 예측하였다. 이는 지질 경계 부근에서는 암석의 물성값의 변화가 크기 때문에 물성치의 분산이 크게 나타날 것이라는 예측에 기반한 것으로 실제 결과와 잘 부합하였다.

이 결과를 통하여 해석을 수행한 결과 측선 II의 경우는 각각의 역산 결과에서 확인할 수 있었던 결과와 일치하는 해석이 가능하였고, 측선 I의 경우는 전기비저항의 역산 범위가 좁기 때문에 단층선의 위치가 파쇄대의 동쪽인지 서쪽인지 확정짓기 어려웠으나, 아래의 그림을 살펴보면 예상 단층선과는 달리 파쇄대의 서쪽에 분포할 것이라 해석할 수 있었다. 또한, 이 값들의 해석 기법을 개발하면 복합적인 지구물리 탐사들이 병행되어 이루어질 경우 각각의 탐사 기법에 따라 해석되는 물성의 특성으로 인해서 복합 해석시 나타나는 난해함을 극복하고 보다 객관적인 해석이 가능할 것이다.

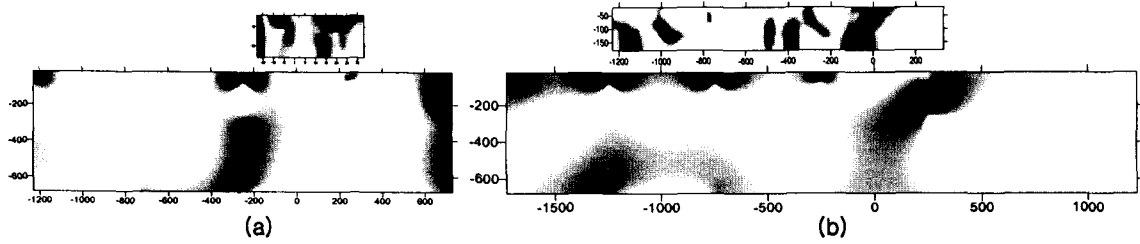


Fig. 9. Variance profiles of the property of rocks.

6. 결 론

본 연구에서 수행한 전기비저항 탐사와 중력 탐사는 각각의 탐사 기법들이 반영하는 암석의 물성이 서로 다르기 때문에 동일한 구조를 나타내는 결과의 획득을 기대하기 어렵다. 그러나 지구물리 탐사의 특성상 암석의 물성이 변화하는 경계 위치를 반영하기 때문에 두 결과물을 종합적으로 해석하여 보다 타당한 지질 구조를 획득 할 수 있었다.

본 연구 지역의 해석 결과 중·자력 자료를 통하여 지질 구조 변화의 경계인 단층대의 개략적인 위치를 효과적으로 파악할 수 있었으며, 전기비저항 탐사를 통하여 정밀한 파쇄대의 형태 및 위치를 확인 할 수 있었다. 양산단층대에서는 단층대를 따라 저비저항대의 파쇄대가 퇴적층 쪽으로 잘 발달되어 있었으며, 이러한 파쇄대는 단층의 운동에 의하여 발생하는 미소한 균열을 통하여 유체의 흐름이 발생하기 때문에 이로부터 잘 발달한 저비저항대가 존재하게 되었을 것이다.

사 사

본 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술개발 사업의 하나인 지진예지 및 지진해일 예측기술개발 과제에서 수행된 것입니다. 연구비를 지원해 주신 기상청에 감사드립니다.

참고문헌

- 이윤중, 이인기, 1972, 한국지질도 1:50,000 언양도폭, 국립지질조사소
 Yi, M. J., Kim, J. H., 1998, Enhancing resolving power of the least-squares inversion with active constraint balancing: 68th SEG Annual meeting (U. S. A.)