

## 홍성 단층대에서의 전기, 전자 탐사 연구

권병두<sup>1</sup> · 이희순<sup>2</sup> · 이춘기<sup>\*1</sup> · 박계순<sup>1</sup> · 오석훈<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 사범대학 지구과학교육과, 151-742, 서울특별시 관악구 신림동 산 56-1

<sup>2</sup>경인교육대학교 과학교육과, 407-753, 인천광역시 계양구 계산동 산59-12

<sup>3</sup>기상연구소 해양기상지진연구실, 156-720, 서울특별시 동작구 신대방동 460-18

## Electric and Electromagnetic Surveys of the Hongseong Fault Zone

Byung-Doo Kwon<sup>1</sup> · Heuisoon Lee<sup>2</sup> · Choon-Ki Lee<sup>\*1</sup>  
Gyesoon Park<sup>1</sup> · Seokhoon Oh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Science Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>2</sup>Department of Science Education, Gyeongin National University of Education, In-cheon, Korea

<sup>3</sup>Marine Meteorology & Earthquake Research Lab, Meteorological Research Institute, Seoul, 156-720, Korea

**Abstract:** We have investigated the electric resistivity structure of the fault zone located in the Hongseong area where a big earthquake with M 5.0 occurred in 1978. Usually, Electric and Electromagnetic methods are broadly operated in the field of engineering works since these methods are effective to understand the distribution of geological weak zones - fault or fracture zones. We have conducted the dipole-dipole array resistivity method and MT(magnetotelluric) method and interpreted the resistivity distribution of the fault zone with the aid of various inversion methods. An MT survey was performed at 18 points along a 2.9 km survey line perpendicular to the fault line and a magnetic dipole source was used to enhance the S/N ratio in the high frequency. A Electric dipole-dipole array resistivity survey with the dipole length of 50 meters was carried out perpendicular to the fault. In view of two survey results, the fault marks the boundary between two opposite resistivity structures, especially the low resistivity zone is exhibited deeply through the prospective fault line. The result that the low resistivity zone is located at the center of the fault zone corresponds with the fact that the fault zone of the Hongseong area is active. We expect these results to provide basic information about the physical properties of fault zones in Korea.

Keywords: Hongseong fault, Electric resistivity survey, Magnetotelluric survey

**요약:** 1978년에 규모 5.0의 지진이 발생한 홍성지역에 발달한 단층대의 전기, 전자적 특성을 조사하였다. 전기, 전자 탐사는 최근 토목공사현장에서 단층대 및 파쇄대 등의 연약지반을 확인하기 위한 수단으로 널리 쓰이고 있으며 이들 탐사로부터 얻어지는 전기비저항 구조는 연약대의 공간적 분포를 효과적으로 파악할 수 있는 정보를 제공한다. 홍성지역에 위치한 단층대를 가로질러 쌍극자배열 전기비저항탐사와 MT (Magnetotelluric) 탐사를 실시하였으며 역산을 통해 단층대의 전기비저항의 분포를 추정하였다. MT 탐사는 주단층대를 가로지르는 2.9 km의 축선상의 18 측정점에서 실시하였으며, 자기쌍극자를 인공 송신원으로 사용하였다. 전기탐사는 단층대를 축선의 중앙으로 하여 전극간격이 50 m인 쌍극자배열 전기비저항 탐사를 실시하였다. 두 탐사 결과는 예상단층선을 따라 좌우지역의 전기비저항이 서로 다른 양상으로 발달하고 있음을 보여주고 있으며, 특히 예상단층선을 따라서는 뚜렷한 저비저항대가 깊게 발달해 있음을 보여주고 있다. 홍성지역의 단층대에서 낮은 전기비저항분포를 보이는 부분이 수직으로 잘 발달해 있다는 것은 최근에 두 차례의 지진이 발생한 것처럼 이 지역 단층이 활동 중인 단층이라는 사실과 일치하는 결과를 보여주는 것이다. 본 연구 성과는 앞으로 홍성단층 뿐만 아니라 우리나라에서 발생하는 지진들에 대한 연구에 기초 자료를 제공할 것이라 기대된다.

주요어: 홍성단층, 전기비저항 탐사, MT 탐사

\*Corresponding author: cklee92@snu.ac.kr

Tel: 017-362-1937

Fax: 02-874-3289

## 서론

한반도는 유라시아 판 내부에 위치하며 그 지진활동은 매우 불규칙한 전형적인 판 내부 지진활동의 특성을 보여주고 있다. 큰 지진이 발생하는 것은 아니지만 소규모와 중규모의 지진들은 간혹 발생하고 있는 실정이다. 지진이 발생하는 지역의 지구물리학적 특성을 연구하는 것은 지진재해를 경감하는 가장 기초적인 자료를 제공해 준다.

지진 발생지역에 대한 지구물리학적 계측은 관측망을 설치하고 모니터링하는 방법이 주로 시도되고 있다. 이때 모니터링을 실시하는 지점에서 물리탐사를 실시하여 지하의 물성을 미리 파악하는 것이 중요하다. 선진국의 경우를 살펴보면, 지진발생지역에서 통상적인 지진파를 측정하는 경우를 제외하면, 자기장을 측정하는 경우(Johnston *et al.*, 1994; Fraser-Smith, 1990), 전기비저항의 변화를 관측하는 경우(Mazella and Morrison, 1974), 전자기장을 측정하는 경우(Singh and Rankin, 1985) 등이 있다. 그러나 우리나라에서는 지진과 관련된 전기, 전자기 계측에 의한 모니터링은 거의 이루어지고 있지 않는 실정이다. 지진이 발생하는 지역에 대한 전기, 전자기적 반응을 통한 지하 구조의 연구는 향후에 모니터링이 실시될 때 매우 중요한 기초 자료를 제공하게 된다.

본 연구는 단층대에서의 전기, 전자적 특성을 알아보기 위하여 실시되었다. 최근에 전기, 전자 탐사는 날로 증가하는 추세에 있으며, 특히 최근에 터널공사 등을 위한 토목지질 분야에서는 전기, 전자탐사가 매우 중요한 역할을 하고 있다. 터널공사를 위한 전기, 전자 탐사의 응용은 주로 연약지반이나 연약대를 찾아내는 데에 중요한 목적이 있다. 이러한 탐사가 다수 실시되면서 연약대나 단층의 특성을 규명하는데 전기, 전자탐사의 효용성이 부각되고 있으며 이에 대한 많은 연구 논문이 보고 되고 있다. 본 연구에서는 최근의 이러한 전기, 전자 탐사 분야의 연구 성과를 순수 지구물리학적 입장에서 단층대의 구조 파악에 적용하기 위하여 단층대에서 전기비저항 탐사와 자기지전류(MT) 탐사를 실시하고, 자료를 분석하였다.

특히 본 연구에서 조사지역으로 선정된 홍성지역은 1978년에 규모 5.0의 비교적 큰 지진이 발생하였으며 2002년에는 규모 2의 지진이 다시 발생하기도 하였다. 이 지역은 많은 단층이 발달되어 있으며, 중력, 자력, 방사능 등 지구물리 탐사를 통해 단층대의 조

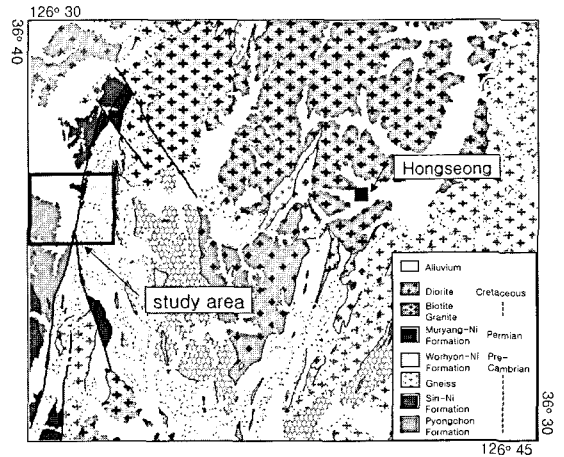


Fig. 1. Geology map of Hongseong area.

사가 이루어졌으며(Lee and Chung, 1985; Lee *et al.*, 1986), 이러한 연구 성과들과 함께 본 연구의 결과는 향후 한국에서의 지진활동연구에도 유용한 정보를 제공할 것으로 예상된다.

## 지질개요

홍성 지역의 전반적인 지질은 선캄브리아기의 편암류 및 편마암류로 구성되어 있고, 백악기 동안 관입된 것으로 추정되는 수많은 종류의 관입암으로 되어 있으며, 시대미상의 변성암 또는 작은 규모의 퇴적암이 상당부분을 차지한다(이종혁과 김성수, 1963). 그 밖에 폐름기와 쥬라기의 퇴적층류가 극히 소단위로 분포한다.

선캄브리아시대의 지질은 명호리통, 월현통과 덕정리편마암으로 구성되어 있다. 이 지역의 서편에 분포되어 있는 명호리통은 평촌층과 신리층으로 구분될 수 있고, 양쪽 모두 정합의 관계를 보여주고 있다. 평촌층을 이루고 있는 암석은 대부분 견운모-녹니석 편암과, 석영-흑운모 편암 또는 좁은 균열의 규암이 끼워져 있다. 신리층은 석영-장석 편암, 녹니석 편암 그리고 규암 또는 석영 편암으로 구성되어 있다. 평촌리 일대를 점유하고 발달되는 평촌층의 일반적인 편리의 주향은 N30W내외이나 경사는 배사구조로 인해서 SW60~NE55 내외로 상반된다. 그러나 곳에 따라서 특히 단층부분에서 변동은 큰 편이다.

전이 퇴적암층을 대표하는 월현통은 넓게 분포하고 있으며, 구성암석과 다른 암석층들과의 관계에 있어

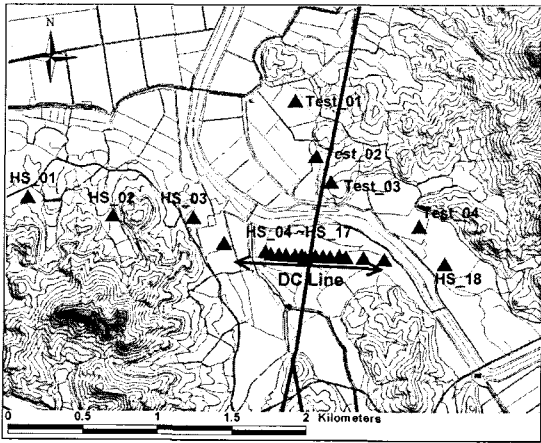


Fig. 2. Location map with sites of MT survey (triangle) and a line of DC resistivity survey (arrow line).

복잡함을 보여주고 있다. 이 통은 덕정리 편마암, 화강 편마암, 그리고 시대미상의 편암질 화강암, 그리고 백악기의 여러 종류의 화강암 군들에 의해서 관입 되어있다. 층들의 구성암석들은 주로 흑운모-백운모 편암, 사문석 편암이 침투한 각섬석 편암, 또는 흑연 편암 그리고 결정질의 석회석이 침투된 흑운모-각섬석 편암과 녹니석 편암과 더불어 규선석 편암이다.

홍성 지역의 4분의 1 이상 넓게 분포하고 있는 층적층의 구성물질들은 표석, 모래, 그리고 점토이다. 그러나 마치 부드러운 지형 상태와 거대한 규모의 관입과 약해진 산사면의 지질에 의해서 영향을 받은 것처럼, 대부분의 모래와 작은 크기의 표석들은 현재의 퇴적물로부터 공급되었다.

단층을 비롯한 홍성 지역의 선구조들은 약 80% 이상이 N 0°-50° E 방향에 집중되어있다. 이러한 방향성은 대보조산운동에 의해 형성된 것으로 알려져 있으며, 추가령 단층대의 연장선상에 위치한 선구조들이다. 1978년 발생한 홍성지진은 규모 5.2, 깊이 10km 미만이며, 홍성읍을 N 65° E 방향으로 통과하는 구조선 및 이에 거의 직교하는 구조선을 따라 높은 진도값을 보였으며, 높은 지진활동과 각종 지구물리학적 탐사 결과는 이 지역의 단층대가 지진학적으로 활발함을 시사한다(Lee et al., 1986)

### 전기, 전자 탐사자료 획득

연구지역은 충남 홍성군 서면의 일부지역으로 위도

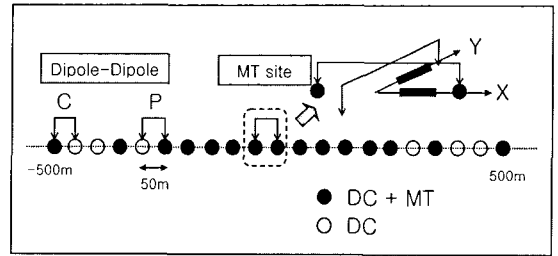


Fig. 3. The array configuration of DC resistivity and MT survey on the central region. The fault line is parallel to Y-direction.

36° 35' 20", 경도 126° 31' 11" 지점을 중심으로 반경 2km 이내의 지역이다(Fig. 2). 지형효과나 지표의 불균일성으로 인한 MT 자료의 정적효과를 최소화하기 위해 평야지대를 탐사지역으로 선정하였다. 탐사 축선의 중심은 층적층으로 이루어져 있으며, 하부에는 선캠브리아기의 편암류로 이루어진 월현리층(단층 동쪽)과 평촌층(단층 서쪽)이 기반암을 이루고 있다.

표층의 전기전도도를 정밀하게 측정하기 위하여 단층을 가로지르는 1km의 축선을 따라 전극간격 50m의 쌍극자 배열(dipole-dipole array) 전기비저항 탐사를 실시하였다. MT 탐사는 단층을 가로지르는 2.9km의 축선을 따라 18측점, 보조 축선을 따라 4측점에서 실시되었다. HS\_05-HS\_15 측점에 해당하는 중심 지역에서는 전기비저항 탐사의 측점간격과 동일한 50m의 간격으로 측정하였으며, 단층으로부터 멀어질수록 측점간격을 넓게 하였다. Fig. 3에는 탐사 지역 중심부의 MT 탐사와 쌍극자배열 전기비저항 탐사의 측점 배치도를 나타내주고 있다.

MT 탐사는 10Hz-70kHz까지의 주파수대역을 측정 범위로 갖는 미국 EMI의 IMAGEM 장비를 사용하여 가청주파수(audio-frequency) 대역에서 측정하였다. 통상적인 MT 탐사보다 높은 주파수 대역을 가지는 AMT(audio-frequency magnetotellurics) 방법은 보통 가청주파수인 10Hz-10kHz의 주파수대역의 자연 전자기장을 측정하는 방법이며, 서로 직각인 두 쌍의 전기장 및 자기장을 측정한다. 고주파영역에서는 자연 전자기장의 강도가 매우 작기 때문에 인공적인 송신원을 사용하는 CSAMT(controlled source audio-frequency magnetotellurics)방법을 이용하기도 한다(Vozoff, 1991; Zonge and Hughes, 1991). CSAMT 탐사는 원거리장(far-field)에 속하는 거리에 지하에 접지된 전기 쌍극자를 사용하는 것이 보편적인 방법

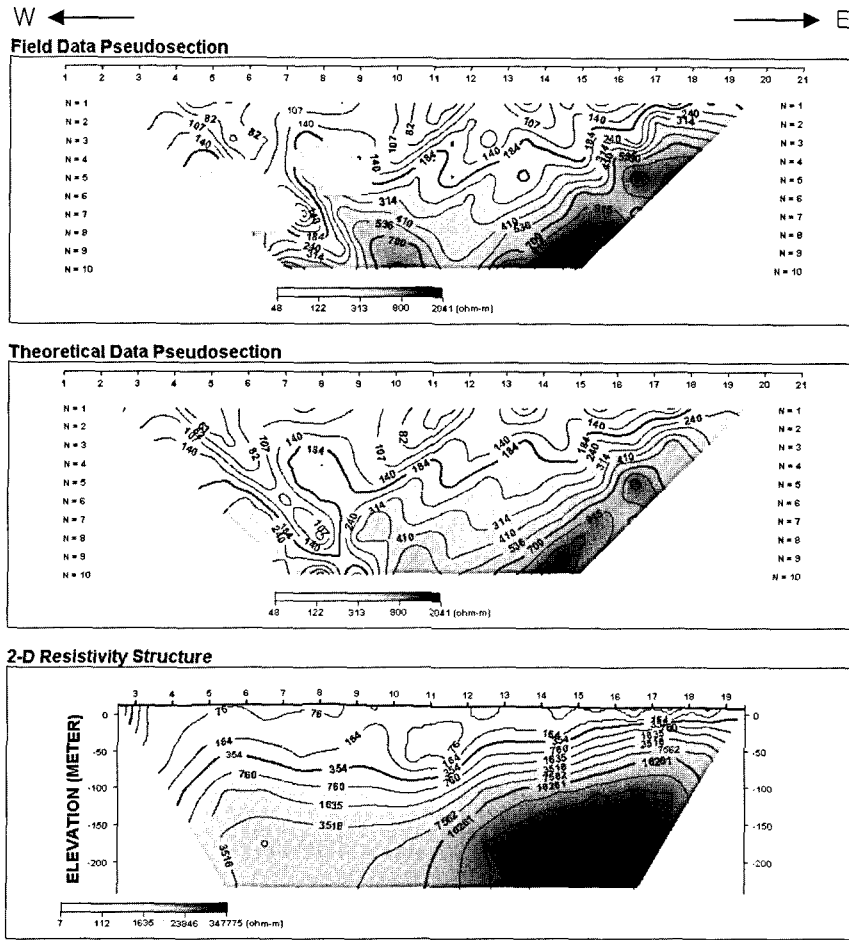


Fig. 4. The results of DC resistivity survey.

이다. 그러나 본 연구에서는 자기쌍극자를 인공송신 원으로 사용하였다. 이러한 자기쌍극자를 사용하는 방법은 전기쌍극자에 비해 에너지감소가 심하여 송신 에너지의 한계가 있으나 비교적 이동과 설치가 용이하다는 장점을 가지고 있다(이희순과 송윤호, 1997).

### 자료 처리

#### 전기비저항 탐사

전기비저항 탐사 자료의 겉보기전기비저항은 약 50~2000Ohm-m 범위에 분포하며 표층에서 낮은 비저항을 가지며 하부로 갈수록 비저항이 증가하는 양상을 보인다. 전기비저항 탐사 해석 프로그램인 DIPRO를 이용하여 지형이 고려된 유한요소법과 ACB(active constraint balancing) 방법(Yi and Kim, 1998)으로 역산을 수행하였다(Fig. 4).

전기탐사 측선은 층적층으로 이루어진 평야에 위치하여 고도차이가 최대 8m에 불과한 평탄한 측선이므로 지형 효과는 거의 나타나지 않는다. 역산 결과, 표층은 100Ohm-m 이하의 매우 낮은 전기비저항을 보이고 있으며, 하부는 수 천 Ohm-m 이상의 고비저항도 나타난다. 측선의 중앙에 위치한 단층을 중심으로 서쪽지역에서는 약 50m까지 100Ohm-m 이하의 전기비저항을 보이며, 동쪽 지역에서는 약 20-30m 깊이까지 100Ohm-m 이하의 전기비저항을 나타낸다. 1000Ohm-m의 전기비저항을 나타내는 경계 역시 단층의 양쪽에서 서로 다른 깊이를 보임을 확인할 수 있다. 100Ohm-m 보다 낮은 전기비저항을 가지는 표층 중에서 측선의 중앙에서는 상대적으로 낮은 전기비저항이 나타나고 있으며, 이러한 분포 역시 단층과 연관된 현상으로 생각된다.

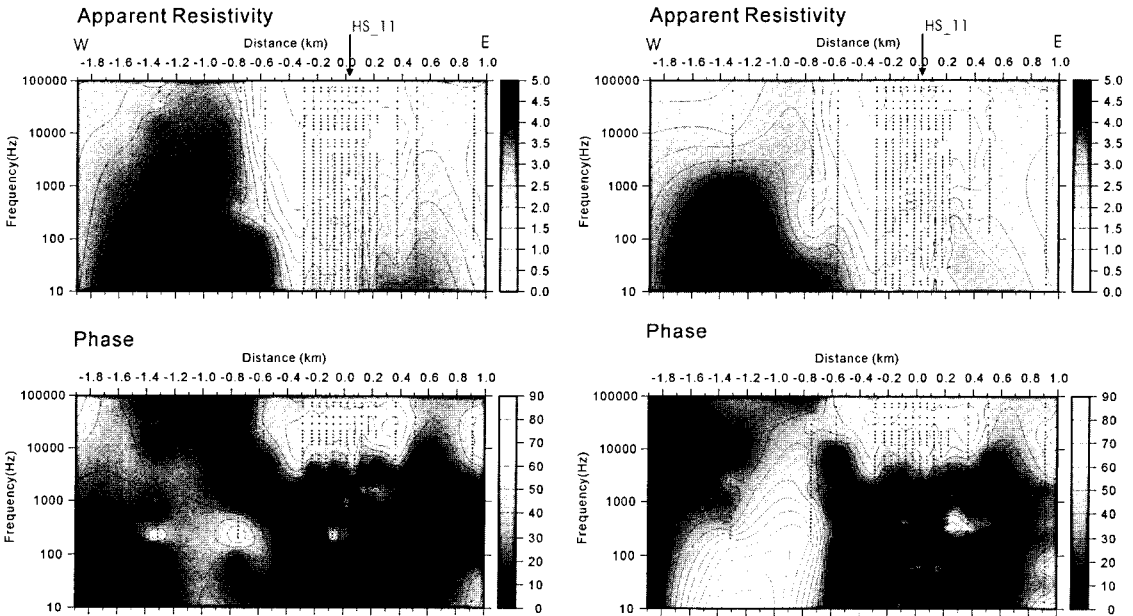


Fig. 5. The pseudosections of MT survey: (a) TM mode and (b) TE mode.

### MT 탐사

Fig. 5에 MT 탐사를 통해 얻어진 가단면도를 도시하였다. 그림에서는 TM모드와 TE 모드에서의 겉보기저항과 위상차를 보여주고 있는데, 가단면도의 양상은 겉보기저항과 위상이 TM, TE 모드에서 비슷한 양상을 보인다. 축선의 중앙부근에서는 고주파대역에서의 겉보기저항이 10ohm-m의 매우 낮은 전기비저항을 보이고 있으며, 저주파대역으로 갈수록 급격하게 증가하는 양상을 나타낸다. 축선의 서쪽에서는 매우 높은 겉보기저항을 나타내는데, 이는 기반암을 피복한 표층이 매우 얇은 두께를 가지기 때문으로 생각된다.

깊이에 따른 전기비저항의 양상을 살펴보기 위하여 HS\_11측점의 자료를 이용하여 1차원 역산을 수행하였다(Fig. 6). 10~30m 깊이에서 뚜렷한 경계를 보여주고 있으며 표층은 10ohm-m이하의 매우 낮은 비저항이 나타나며, 그 하부는 1,000ohm-m 이상의 높은 비저항이 나타난다. 그러나 이러한 역산 결과에는 겉보기저항이나 위상에서도 나타나듯이 근거리장의 영향이 부분적으로 작용하고 있는 것으로 생각된다. 근거리장(near-field) 효과는 매우 가까운 거리의 송신원에서 발생하는 전자기장이 MT 방법에서 가정하는

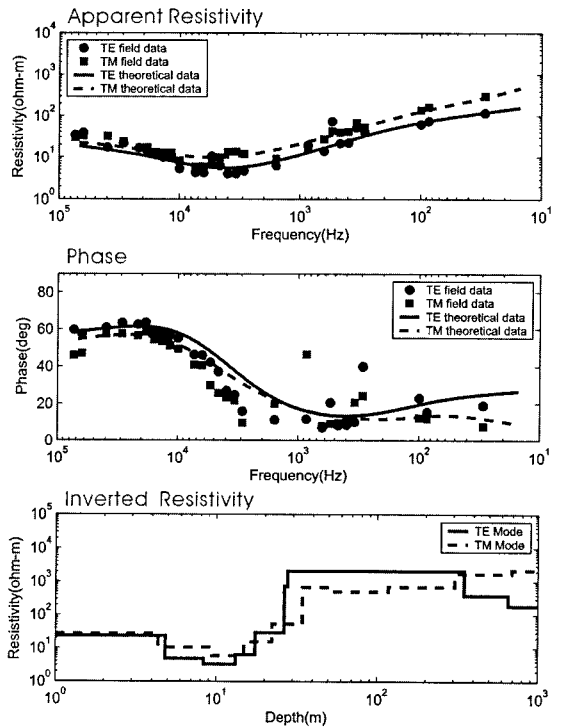


Fig. 6. The 1-D MT inversion result of HS\_11 site using Marquardt-Levenberg method. Initial values are derived from the decimated model of Bostick inversion results.

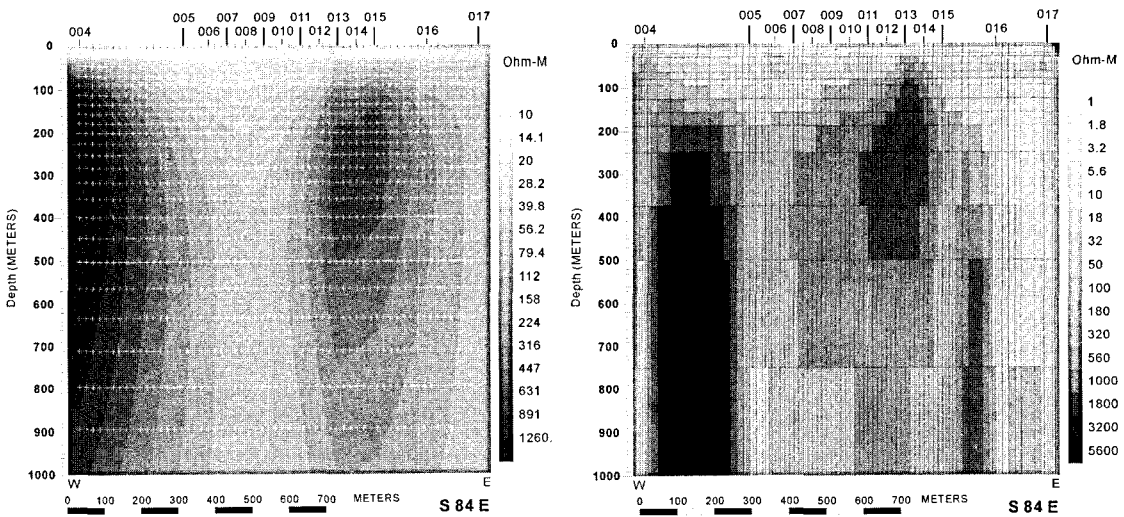


Fig. 7. 2-D MT inversion results using (a) rapid relaxation inversion and (b) non-linear conjugate gradient algorithm.

평면과 조건을 만족하지 못하기 때문에 발생하는 것이다. 송신원이 전기쌍극자인 경우에는 근거리장 지역(near-field zone)에서는 겘보기전기비저항이 급격히 증가하고 위상이 0에 가까워지는 경향이 발생하며, 자기쌍극자인 경우에는 반대로 겘보기전기비저항이 감소하며 위상차는 90에 수렴한다(이희순 등, 1997). 이러한 근거리장 효과는 겘보기전기비저항과 위상을 왜곡시켜 저주파영역 자료의 질을 떨어뜨리고 겘보기 비저항 값을 증가시키므로 자료해석을 주의할 기울여야 한다. 탐사에 사용된 인공송신원의 주파수 대역은 1kHz-64kHz이며, 이격거리가 300-400m가 되도록 자기쌍극자를 설치하였다. 탐사지역의 표층이 10-100 Ohm-m의 전기비저항을 나타내므로 인공송신원에 의한 근거리장 효과는 크지 않은 것으로 생각된다. 그러나 10-200Hz 대역에서는 주변 전력선의 영향으로 겘보기 비저항과 위상의 왜곡이 발생하여 코히어런스 등을 고려하여 선별된 자료만을 역산 과정에 적용하였다.

Fig. 6에서 보여지는 측점 HS\_11에서의 1차원 역산에서의 결과는 단층에 의한 파쇄대가 지하 30m 정도까지 발달한 것으로 보여지나 이는 측점하나만의 1차원 역산이므로 단지 추정만이 가능하다. 보다 자세한 역산 결과와 지하구조 해석은 2차원 또는 3차원 역산이 이루어져야 하나 본 연구에서는 단층대를 중심으로 2차원 구조를 가정하고 2차원 역산을 실시하였다.

MT 탐사자료의 2차원 역산에 최근 가장 많이 사

용되는 방법에는 Occam, NLCG(non-linear conjugate gradient), RRI(rapid relaxation inversion) 방법 등이 있다. Occam 역산은 지하의 물성변화가 매우 부드럽게 변한다는 가정을 토대로 하고 있으며, 가장 부드러운 모델을 사용하여 관측 자료를 해석하는 방법이다(Constable *et al.*, 1987; deGroot-Hedlin and Constable, 1990). Occam 역산과 같은 일반적인 역산 알고리즘을 수행하는 과정에서 매우 큰 행렬의 계산을 필요로 하기 때문에, 많은 시간이 소요된다. 이러한 문제점은 conjugate gradient 알고리즘을 사용하여 반복적인 계산을 수행함으로써 해결될 수 있다(Rodi and Mackie, 2001). 가장 빠른 방법인 RRI 알고리즘은 전자기장의 수평적인 변화를 근사적으로 적용함으로써, 1차원 역산과 같은 방식으로 근사적인 2차원 역산을 수행하는 방법이다(Smith and Booker, 1991). 본 연구에서는 MT 탐사자료에 RRI 역산과 NLCG 역산을 적용하였다(Fig. 7). RRI 역산은 빠른 계산 속도가 장점이지만 경우에 따라서 해에 정확히 수렴하지 못하는 단점도 가지고 있다. RRI 역산의 RMS 오차가 NLCG 역산에 비해 2배 이상으로 크게 나타났으며, Fig. 7의 역산 결과와 같이 RRI 역산 결과가 더 단순한 형태를 보이고 있다. 그러나, 전체적인 전기비저항의 분포는 비슷한 양상으로 나타나는 것으로 보아 역산 결과는 타당한 것으로 생각된다.

전체적인 경향은 전기비저항 탐사에서와 마찬가지로 표층에서는 낮은 비저항을 보이고 하부로 갈수록

높은 비저항을 나타낸다. 축선의 서쪽지역에서는 가 단면도에서도 볼 수 있듯이 높은 비저항이 나타나며, HS\_13 축점을 중심으로 한 높은 비저항의 이상대도 나타나고 있다. MT 탐사자료 역산의 특이한 내용은 단층이 지나가리라고 예상되는 부근에서 낮은 전기비저항대가 탐지된다는 것이다. 이러한 저비저항대는 발달된 깊이도 매우 깊은 것으로 보인다. 그러나, MT 탐사자료에는 근거리장 효과로 인해서 저주파 대역의 자료가 많이 왜곡되어 있어서 심부의 전기비저항 분포를 추정하는 데 한계가 있다.

### 복합 자료 해석

전기비저항 탐사와 MT 탐사는 공통적으로 암석의 전기비저항과 관련되어있으므로 서로 일치하는 결과를 보여야 할 것이다. MT 탐사축선은 비교적 단층대를 중심으로 길게 설정하였으며 그 축선의 중심부에서 MT 탐사 축점과 동일한 위치에 전극이 오도록 쌍극자 배열 전기비저항 탐사를 실시하였다. Fig. 4와 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 표층의 낮은 비저항과 하부의 높은 비저항의 분포는 일치하고 있다. 두 탐사의 결과를 비교하기 쉽게 하기 위해 전기비저항 탐사 역산 결과와 NLCG 방법에 의한 MT 역산 결과를 Fig. 8에 함께 도시하였다. 단층을 중심으로 동쪽에 위치한 하부의 고비저항대의 위치가 거의 유사함을 알 수 있다. 이는 단층을 중심으로 양쪽 암석들의 전기비저항 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 축선의 중앙부근에서부터 하부로 내려갈수록 서쪽방향으로 발달하는 저비저항대 역시 두 탐사 결과에서 동일하게 나타나고 있다. 두 탐사 결과를 바탕으로 축선의 중앙 부근에 단층이 존재함을 확인할 수 있으며, 단층의 위치는 동쪽의 고비저항대와 서쪽의 저비저항대의 경계를 따라 연장되어 있을 것으로 생각된다. 이러한 결과는 홍성단층이 현재까지도 활동하고 있는 단층이라는 지진분석 결과와도 일치하는 것이다.

### 결 론

본 연구는 홍성에 위치한 단층대에서의 전기, 전자적 특성을 알아보기 위하여 수행되었다. 전기, 전자 탐사는 최근에 널리 사용범위를 넓히고 있다. 특히, 토목공사현장에서 단층대와 파쇄대 등의 연약지반을

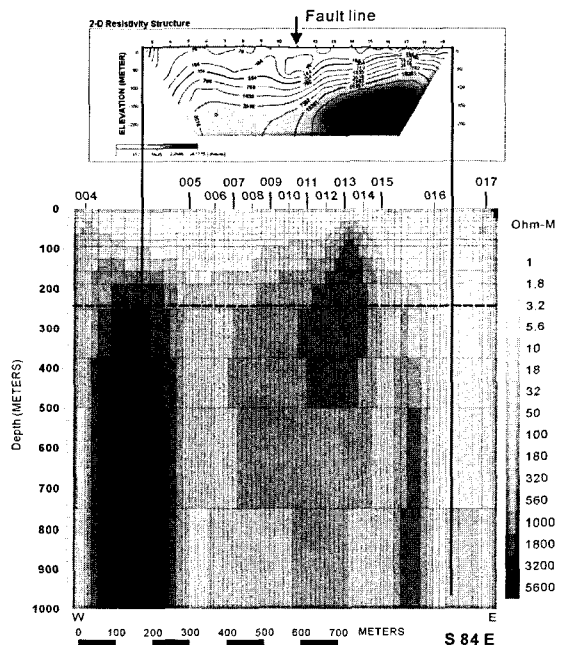


Fig. 8. The comparison between DC resistivity survey and MT survey. The upper section shows the resistivity section of DC survey and lower section represents that of MT inversion using non-linear conjugate gradient inversion. The solid lines indicates the left and right boundary of DC section. The dashed line indicates the depth of bottom boundary of DC section.

확인하기 위한 수단으로 널리 쓰이고 있으며 터널공사 등의 대규모 토목사업에 많은 도움을 주고 있는 실정이다. 최근의 이러한 토목분야의 연약지반에 대한 전기, 전자 탐사 분야의 연구 성과는 이미 그 효용성을 토목공사현장에서 입증된바가 있으므로 이러한 기술과 연구 성과를 바탕으로 보다 순수 지구물리학적 입장에서 단층대의 구조 파악에 시도하였다.

쌍극자배열 전기비저항탐사와 MT 탐사를 실시하여 역산을 통해 지하의 전기비저항의 분포를 추정하였다. 두 탐사 결과를 바탕으로 축선의 중심 부근 단층의 존재함을 확인할 수 있으며, 단층의 위치는 동쪽의 고비저항대와 서쪽의 저비저항대의 경계를 따라 연장되어 있을 것으로 생각된다. 해석 결과는 본 탐사에서 조사지역으로 선정된 홍성단층이 예상단층지역을 따라 뚜렷한 저비저항대가 있음이 밝혀졌다. 이러한 결과는 홍성단층이 과거의 비교적 큰 지진뿐만 아니라 최근까지도 지진을 일으키는 활동 중인 단층이라는 추정과 상호 일치하는 결과를 보여주는 것이

다. 단층이 지속적으로 활동하고 있으면 단층대를 따라 유체의 흐름이 더욱 활발히 일어나게 되고 이것으로부터 잘 발달한 저비저항대가 존재하게 될 수 있는 것이라 사료된다.

본 연구에서 조사지역으로 선정된 홍성지역은 과거 큰 지진이 발생하였던 지역으로 최근에도 상당한 규모의 지진이 발생하는 등 지진학 분야에서는 중요한 관심의 대상이다. 따라서 본 연구를 통해 밝혀진 홍성지역 단층대에서의 전기, 전자적 특성은 그 자체의 연구 성과로서뿐만 아니라 향후 지진의 발생 메커니즘이나 지진의 예지 등의 연구를 위한 기본 물성 제공 등에 기여하리라 생각된다. 또한 향후 다른 단층에 대해서도 전기 및 전자학적 탐사가 수행되어서, 한반도에서의 지진과 관련 있는 단층들에 대한 구조 및 지질특성 파악에 폭넓은 자료가 축적되기를 기대한다.

## 사 사

본 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술개발 사업의 하나인 지진예지 및 지진해일 예측기술개발 과제에서 수행된 것입니다. 본 논문의 내용을 세밀하게 검토해주신 기상연구소 이덕기 박사님을 비롯하여 연구비를 지원해주신 기상청에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 이종혁, 김성수, 1963, 한국지질도 1:50,000 홍성도폭, 국립지질조사소.
- 이희순, 송윤호, 1997, 전기장 또는 자기장 송신원을 이용한 벡터 CSMT, *자원환경지질*, 30(5), 451-458.
- Constable, S. C., Parker, R. L., and Constable, C. G., 1987, Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52, 289-300.
- deGroot-Hedlin, C., Constable, S., 1990, Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.
- Fraser-Smith, A. C., Bernardi, A., McGill, P. R., Ladd, M. E., Helliwell, R. A., and Villard, Jr. O. G., 1990, Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the ML 7.1 Loma Prieta earthquake: *Geophysical Research Letters*, 17, 1465-1468.
- Johnston, M. J. S., Mueller, R. J., and Sasai, Y., 1994, Magnetic field observations in the near-field the 28 June 1993 Mw 7.3 landers, California, earthquake, *Bulletion of the Scismological Society of America*, 84, 792-798.
- Lee, K. and Chung, T. W., 1985, A gravity survey of the Hongsung Area. *The Journal of the Geological Society of Korea*, 21, 127-132.
- Lee, K., Jeong B. and Kim, K. H., 1986, Seismicity of the Korean peninsula (I): Seismicity of the Hongsung Area. *The Journal of the Geological Society of Korea*, 22, 164-175.
- Mazella, A., Morrison, H. F., 1974, Electrical resistivity variations associated with earthquakes on the San Andreas Fault. *Science*, 185, 855-857.
- Rodi, W., Mackie, R. L., 2001, Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics*, 66, 174-187
- Singh, R. P., Rankin, D., 1985, The application of VHF measurements to earthquake prediction, *Geophysical Prospection*, 33, 1232-1239.
- Smith, J. T., Booker, J. R., 1991, Rapid inversion of two- and three-dimensional magnetotelluric data. *Journal of Geophysical Research*, 96, 3905-3922.
- Vozoff, K., 1991, The magnetotelluric method. In Nabighian, M. N., (ed), *Electromagnetic methods in applied geophysics-applications*, vol. 2, part B, Society of Exploration Geophysicists, 641-711.
- 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)
- Zonge, K. L., Hughes, L. J., 1991, Controlled source audio-frequency magnetotellurics. In Nabighian, M. N., (ed), *Electromagnetic methods in applied geophysics-applications*, vol. 2, part B, Society of Exploration Geophysicists, 713-809.

2003년 5월 19일 원고 접수  
2003년 5월 24일 수정원고 접수  
2003년 5월 24일 원고 채택