

## 의성 분지의 심부 MT 탐사

이춘기\*, 이희순\*\*, 권병두\*, 조인기\*\*\*, 오석훈<sup>4\*</sup>, 송윤호<sup>5\*</sup>, 이태종<sup>5\*</sup>, 정현기<sup>6\*</sup>

- \* : 서울대학교 지구과학교육과, cklee92@snu.ac.kr
- \*\* : 경인교육대학교 과학교육과
- \*\*\* : 강원대학교 지구물리학과
- <sup>4\*</sup> : 한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소
- <sup>5\*</sup> : 한국지질자원연구원 지하수지열연구부
- <sup>6\*</sup> : 한국지질자원연구원 지반안전연구부

### 1. 서론

MT (Magnetotelluric) 탐사는 자연적으로 존재하는 전자기장을 측정하여 지하의 전기비저항 분포를 탐사하는 방법으로서 국내에서의 경우 가탐심도가 수 km에서 수십 km에 이르러 심부지각구조 연구에 이용할 수 있다. 1990년대에 들어서면서 국내에서도 심부지각구조의 연구를 위한 MT 탐사가 이루어지기 시작하였으며(정승환 외, 1993; 이희순, 1994), GPS를 이용한 동기화를 통해 원거리기준점의 운용이 용이해 짐에 따라 자료의 질이 보다 향상되어 가고 있다(송윤호 외, 2003). 본 연구는 한반도의 심부전기구조에 대한 파악을 위해 인천-포항에 이르는 축선에 따라 심부 전기비저항 구조를 조사하는 연구의 일환으로 문경-의성지역에서의 MT 탐사를 수행하였다. 또한, 원거리 기준점의 운용에도 불구하고 극심한 인공잡음은 국내 MT 탐사의 한계로 인식되고 있어 향후 보다 향상된 자료획득을 위해 인공잡음 송신원들의 공간적인 분포에 대해 분석하였다.

### 2. 지질 개요

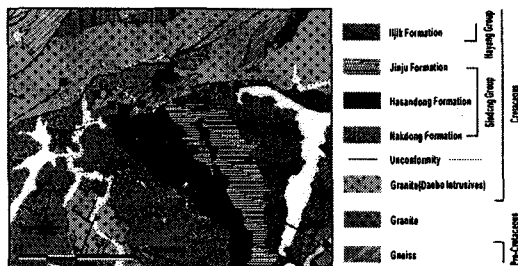


Fig. 1 Geology map of the study area.

Fig. 1에서와 같이 연구지역의 서북지역은 소백산 육괴에 속하는 소백산편마암복합체에 해당하는 지역으로 선캄브리아기의 화강편마암과 대보화강암을 비롯한 중생대에 관입한 화강암으로 이루어져 있다. 남동지역은 경상분지의 소분지인 의성분지에 속하며 백악기 퇴적암이 분포하고 있다. 특히, 이 지역은 경상분지의 하부를 이루고 있는 신동층군에 해당하는데, 신동층

군은 소백산 육괴를 기반암으로 하여 부정합으로 놓여있다. 경상분지의 서쪽 경계로부터 차례로 낙동층, 하산동층, 진주층으로 구성되어있으며 주요 구성암석은 역암, 사암, 셰일, 미사암, 석회암 등이다.

의성지역에서 낙동층의 두께는 1,900 m 하산동층의 두께는 1,300 m, 진주층의 두께는 600 m로 알려져있으며(대한지질학회, 1999), 의성소분지 일대에서의 중력 이상 스펙트럼 분석에 의하면 평균깊이가 2.44, 4.44, 14.03 km 인 3개의 구간으로 나누어지며, 자력 이상으로부터 1.94, 4.65 km의 평균깊이를 가지는 것으로 알려져 있다(김원균 외, 2000).

### 3. MT 탐사

한반도는 고압송전선, 전력선 및 기타 전기시설물들로부터 발생하는 인공잡음이 심할 뿐만 아니라 높은 전기비저항 구조를 가지고 있어서 잡음 송신원으로부터 먼 거리까지 인공잡음의 영향이 크다. 이러한 인공잡음의 영향을 최소화하기 위해서는 원거리 기준점(remote reference)를 운영하여야한다(송윤호 외, 2003). 이 연구에서는 문경-의성으로부터 약 150km 거리에 위치하는 춘천인근의 산지를 원거리 기준점으로 선정하였으며, GPS 동기화를 통해 탐사 측정과 원거리기준점에서 동시에 전자기장을 측정하였다.

Fig. 2 와 같이 문경-의성간 약 40 km 구간의 9측점에서 MT 탐사를 수행하였으며, 주파수 대역은 320 - 0.00042 Hz 이다. Fig. 3 에 겔보기비저항과 위상의 단면도를 도시하였다. 주변의 인공잡음수준에 따라 겔보기 비저항과 위상의 오차의 분산이 차이가 나며, 특히 0.1 Hz를 중심으로 한 소위 Dead Band와 전력선의 잡음이 반영된 60 Hz 대역에서 상당한 왜곡이 나타남에 따라 오차가 큰 대역의 데이터는 제거하였다.

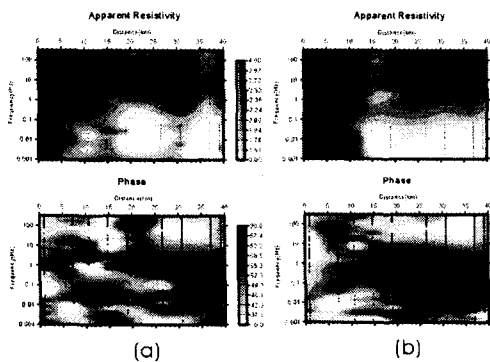


Fig. 2 Pseudosections of MT data: (a) TE mode, (b) TM mode.

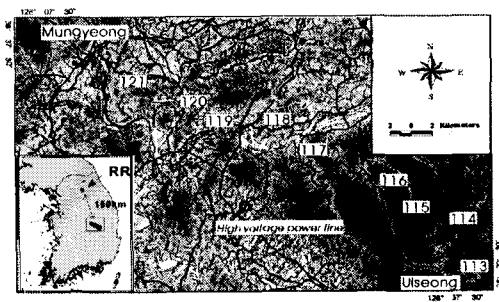


Fig. 3 Location map with MT survey sites and remote reference site.

의성방향 측정점들의 저주파 대역에서 낮은 겔보기 비저항이 나타남을 볼 수 있으며, 이는 경상분지에 속하는 합천, 의령에서 실시되었던 심부 MT 탐사 결과와 유사한 특성을 가진다(정승환 외, 1993). 각 측정점에 대하여 1차원 역산을 실시한 결과, 3-4 km 깊이에서 저비저항의 이상대가 나타나며, 상부는 200 Ohm-m 이상의 전기비저항을 가지고 있으며, 하부는 1-10 Ohm-m의 낮은 전기비저항을 가짐을 알 수 있었다. 측정점 117과 118을 경계로 하는 겔보기비저항 분포의 수평적인 변화는 의성분지와 소백산 편마암 복합체의 경계를 잘 나타

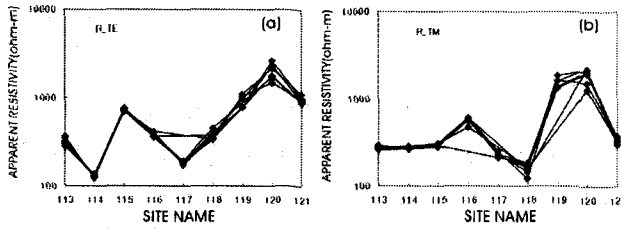


Fig. 4 (a) TE and (b) TM mode apparent resistivities in the frequency ranges of 115 - 320 Hz.

나타나고 있으며, 주파수 대역을 고려하였을 때 이러한 정적효과는 지형의 형상과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각된다. 측정으로부터 반경 1km 이내의 DEM으로부터 추출된 지형의 방향성과 115 Hz 자료의 Polar 다이어그램의 방향성이 상관관계를 보이고 있으며, 이로부터 정적효과를 강하게 받는 모드를 결정할 수 있다. 즉, 측정 115의 경우 지형의 주향이 측선 방향과 거의 일치하므로 TE 모드의 정적효과가 더 크고, 측정 116의 경우 지형의 주향이 측선과 수직한 방향이므로 TM 모드의 정적효과가 더 크다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 지형의 방향성과 고주파 대역의 임피던스의 방향성을 고려하여 정적보정(static shift)을 수행하였다.

2차원적 해석을 위하여 S65°E 방향의 직선 측선을 가정하고 각 측정점의 좌표를 직선 측선에 투영하여 2차원 역산을 실시하였다. 일반적인 2차원 MT 역산 알고리즘을 수행하는 과정에서 매우 큰 행렬의 계산을 필요로 하기 때문에, 많은 시간이 소요된다. NLCG(non-linear conjugate gradient) 알고리즘은 conjugate gradient 알고리즘을 사용하여 반복적인 계산을 수행함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있다(Rodi and Mackie, 2001). Fig. 6에 NLCG 방법에 의한 각 모드별 2차원 역산결과를 도시하였다. 전체적인 경향은 모두 비슷한 결과를 보이고 있으나, 의성분지 퇴적층의 층상 구조를 잘 나타내주는 TM 모드의 역산결과가 가장 타당한 것으로 생각된다. 역산 결과로부터 의성방면의 2-3 km 깊이 이하에서 나타나는 이상대가 역산 결과로부터 의성 분지 하부에 매우 낮은 저비저항대가 나타나는 데 전기비저항이 1-30 ohm-m에 달하고 3-8km 깊이에 존재하는 것으로 추정된다. 문경방면에서는 의성분지 하부와 같은 저비저항대는 나타나지 않고 고비저항대가 8-10 km 깊이까지 연장되어 있음을 알 수 있다.

I

#### 4. 인공 잡음원에 대한 공간분석

인공잡음의 영향이 매우 큰 한반도의 전자기적 특성이 탐사자료에서도 나타나고 있다. 특히, 문경방향의 117 - 120 측정점은 전기장과 자기장 모두

내어 주고 있다.

전체적인 겉보기 비저항은 TE, TM 모드 모두 서로 일치하는 양상을 보이지만 부분적으로 정적효과(static effect)가 나타나고 있어서 2차원 역산결과에 큰 차이를 나타낸다. 정적효과는 천부 지하의 불균일성에 기인하는 것으로 고주파 대역의 겉보기비저항을 도시한 Fig. 4에서와 같이 몇몇 측정점에서 매우 큰 정적효과가

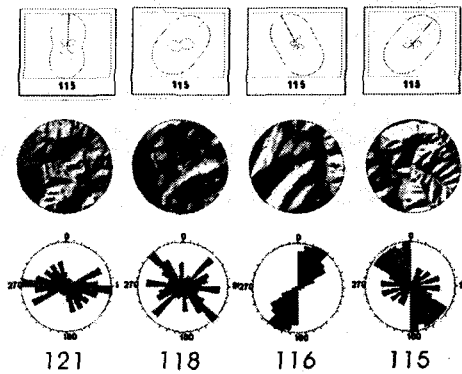


Fig. 5 Comparisons between the polar diagram of 115 Hz data(top) and topography strike direction derived from DEM(bottom). The middle plots show the hill-shaded topography.

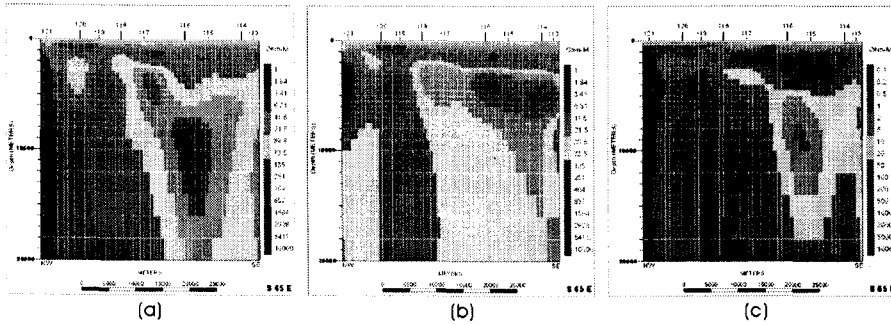


Fig. 6 2-D MT inversion results using non-linear conjugate gradient algorithm. (a) TE mode, (b) TM mode (c) TE, TM mode.

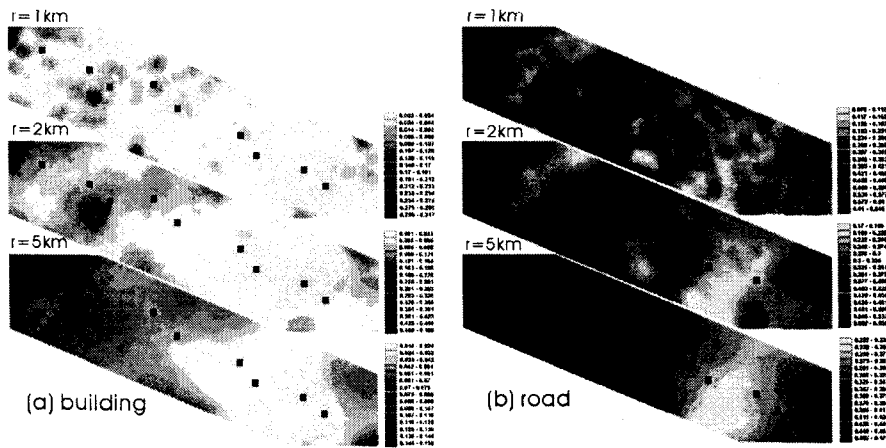


Fig. 7 Density maps of (a) buildings and (b) roads located within the radius of 1km, 2km and 5km.

매우 낮은 coherency 를 보이고 있으며, 임피던스의 추정에 있어서도 큰 오차범위를 나타낸다. 향후 추가적인 탐사계획이나 다른 지역에서의 MT 탐사를 효과적으로 수행하기 위해서는 인접한 인공잡음원의 영향을 분석할 필요가 있다. 건물과 도로를 근거리 잡음원으로 가정하고 이들의 영향을 분석하기 위해 1:25000 수치지형도로부터 도로와 건물을 추출하여 이를 50m 픽셀의 그리드로 변환하여 측정으로부터 일정한 탐색 거리 내에 존재하는 잡음원의 밀도를 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$\text{Noise source density} = \frac{\text{Number of noise source pixels}}{\text{Total number of pixels within the search radius}} \quad (1)$$

건물과 도로의 밀도 분포를 살펴보면 지형도에서도 알 수 있듯이 문경 방향에서 건물과 도로의 밀도가 더 크게 나타난다(Fig. 7) MT 자료에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각 측정점에서의 잡음원의 밀도와 임피던스 추정과정에서 발생하는 임피던스 위상의 오차범위를 비교하였다. Fig. 8 에 잡음원인 건물과 도로의 밀도를 도시하였고, Fig. 9 에 모든 주파수의 위상 오차범위를 측정별로 표시하였다. 전반적으로 문경 방향으로 갈수록 잡음원의 밀도와 위상 오차범위가 증가하는 양상을 보이고 있으며, 특히 측정점 118과 119에서 가장 큰 잡음원의 밀도와 위상 오차가 나타나는 것을 알 수 있다. MT 자료가 충분히 많지 않고, 잡음원

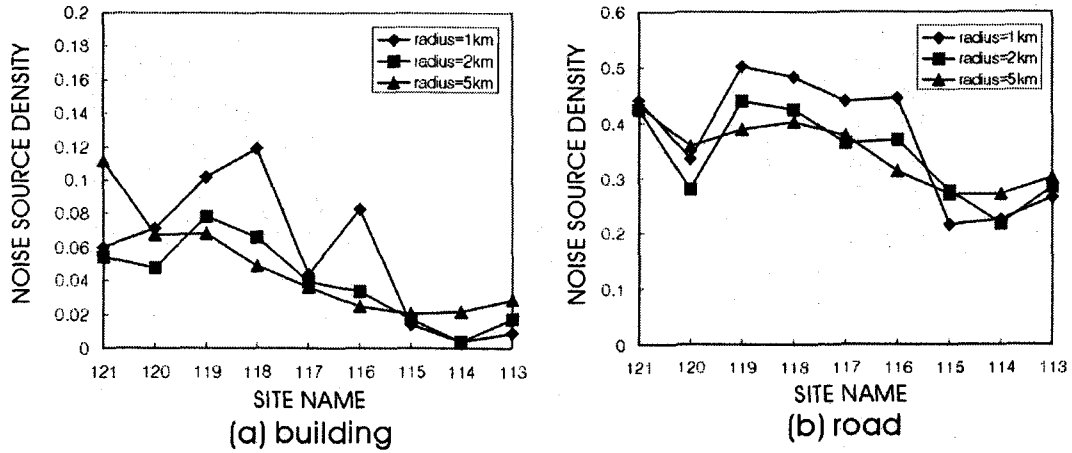


Fig. 8 Densities of noise sources within the search radius of 1km, 2km and 5km.

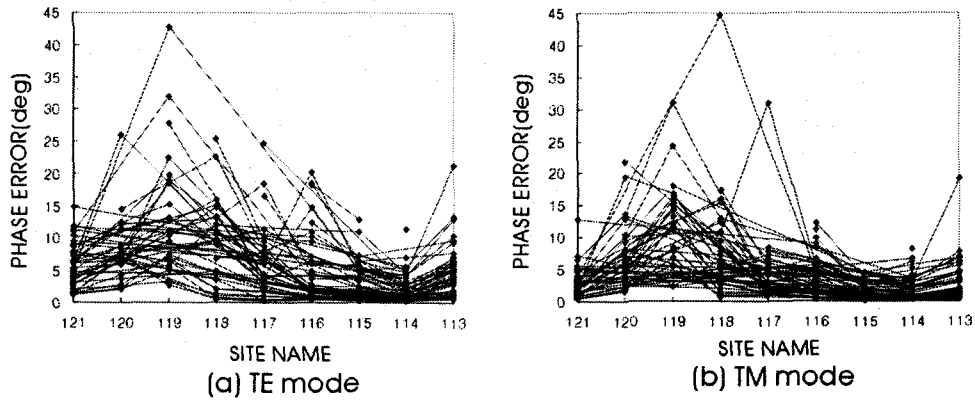


Fig. 9 Phase errors of all sites over the whole frequency range.

과 측정사이의 거리에 따른 전자기장의 감쇠나 지하매질의 전기비저항에 따른 잡음의 감쇠 특성, 건물과 도로의 전기적 특성 등을 고려하지 않았으므로 잡음원의 밀도와 MT 자료의 잡음수준을 정량적으로 비교분석할 수는 없으나, 정성적으로 상관관계를 가지는 것으로 생각된다. 이러한 잡음원 밀도의 분석은 향후 MT 탐사의 계획수립이나 최적의 측정 선정등에 유용한 사전 정보로 이용될 수 있을 것이다

## 5. 결론

한반도 심부 지전기 구조에 대한 연구의 일환으로 문경-의성 지역에서 MT 탐사를 실시하였다. 경상분지와 소백산 육괴의 경계에서 수평적인 전기비저항의 변화가 2-10 km 깊이에서 나타나며, 경상분지에 해당하는 의성지역에서는 2-3 km 깊이에서 뚜렷한 경계가 나

타난다. 경상분지 하부의 비저항대는 전기비저항이 1-30 ohm-m이고 3-8 km 깊이에 존재한다. 이 저비저항대의 원인이나 특성을 명확히 규명하기는 어려우나 경상분지의 특징적인 지전기 구조를 반영하는 것으로 생각되며 향후 추가적인 심부탐사가 요구된다. 근거리 잡음원에 대한 밀도분석을 통해 근거리에 존재하는 건물과 도로가 MT 탐사자료의 잡음수준과 관련이 있음을 알 수 있으며 향후 최적의 MT 탐사를 위해 유용한 사전정보로 이용될 수 있을 것이다.

### 참고 문헌

- 김원균, 민경덕, 원중선, 김정우, 2000, 포텐셜필드의 스펙트럼대비법을 이용한 의성소분지의 지구구조 연구: 자원환경지질학회지, 33, p. 217-228.
- 대한지질학회, 1999, 한국의 지질: 시그마프레스, p. 802.
- 송윤호, 이성곤, 손정술, 조성준, 황세호, 박인화, 임성근, 2003, 경상북도 포항시 북부에서의 심부 전자탐사 사례: 한국지구시스템공학회 2003년도 춘계학술발표회 논문집, p. 159-162.
- 이희순, 1994, 제주도 지질구조의 지구물리학적 연구, 서울대학교 박사학위논문, p. 172.
- 정승환 외, 1993, MT 및 DGS 탐사에 의한 경상분지내 지열 및 탄화수소 탐사(I): 한국자원연구소, p. 55
- Rodi, W., Mackie, R. L., 2001, Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion: Geophysics, 66,174-187