

## 인공잡음원의 공간분포와 MT 자료의 상관관계

이춘기<sup>1)\*</sup>, 이희순<sup>2)</sup>, 권병두<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>서울대학교 지구과학교육과 [cklee92@snu.ac.kr](mailto:cklee92@snu.ac.kr)

<sup>2)</sup>경인교육대학교 과학교육과

### Correlation between the distribution of cultural noise source and MT data

Choon-Ki Lee<sup>1)</sup>, Heuisoon Lee<sup>2)</sup>, Byung-Doo Kwon<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Seoul National University, Dept. Earth Science Education

<sup>2)</sup>Gyeongin National University of Education, Dept. Science Education

**요약 :** 자기지전류 탐사의 적용에 있어 인공잡음의 영향은 탐사의 승패를 좌우하는 매우 중요한 요소이며 인공잡음의 영향을 최소화할 수 있는 탐사의 설계와 자료처리가 요구되고 있다. 본 연구에서는 수치공간자료들에서 추정되는 인공잡음의 영향과 실제 탐사 자료 간의 상관관계를 살펴봄으로써 자기지전류 탐사에 있어 공간자료의 활용가능성을 고찰하였다. 60 Hz 조화파 대역에서는 건물과 도로가 주요한 인공잡음원이며 잡음원의 분포와 자기장의 파워가 서로 상관관계를 가짐을 확인하였다. 'Dead band'로 불리는 0.05-0.5 Hz 대역에서는 매우 강한 분극을 가지는 신호가 광범위하게 관찰되고 있으며 이는 탐사지역에 인접한 거대도시의 영향으로 추정된다.

**주요어 :** 자기지전류 탐사, 인공잡음, 공간자료

**Abstract :** In the present age, the quality of MT(magnetotellurics) data highly depends on the level of industrial interference in data. We analyzed the correlation between the spatial distributions of man-made EM noise source and the characteristics of MT data. The noise source analysis shows the correlation between the noise source density and the power spectral density of measured magnetic field in the frequency band of 60 Hz harmonics. In the MT 'dead band', the strong polarization observed on the magnetic field reveals that the severe artificial noises are caused by the adjacent metropolis.

**Keywords :** MT(magnetotellurics), Cultural noise, Spatial data

#### 1. 서론

MT 탐사는  $10^5 - 10^{-5}$  Hz 에 이르는 매우 넓은 주파수 대역을 사용하므로 이 대역에 속하는 자연적인 송신원과 인공적인 송신원이 다양하게 존재하여 주파수 대역에 따라 MT 신호의 전자기적 특성들이 다르다. 예를 들면, 60 Hz 전자기파는 탐사 측점에서 평면파 가정을 만족하기 힘들기 때문에 자연적인 전자기장을 심각하게 왜곡시키는 인공잡음으로 인식되고 있다. 또한, 소위 "dead band" 라고 불리는 1-0.01 Hz 대역은 자연적인 전자기장의 세기가 매우 약하기 때문에 임피던스의 정확한 추정이 매우 어렵다. 특

히, 주변에 인공적인 잡음이 존재하는 경우, 임피던스의 값이 매우 불안정해지거나 심각하게 왜곡되는 현상을 보인다. 즉, 자기장의 잡음으로 인해 겉보기 비저항이 하향 왜곡(downward bias)되거나 전기장의 잡음으로 인해 상향 왜곡(upward bias)되는 양상을 나타내며, 주변 잡음원의 위치에 따라 V자형 겉보기 비저항 양상을 나타내기도 한다. 선행 연구들에 의하면 전기 철도, 인접한 도시 등이 이러한 심각한 왜곡 현상을 일으키는 것으로 알려져 있다(Qian and Pederson, 1991; Illiceto and Santarato, 1999). 본 연구에서는 한반도 중동부 지역에서 측정된 MT 자료에 나타나는 인공잡음의 영향과 인공잡음원의 공간분포와의 상관관계를 규명하고자 하였다.

## 2. 한반도 중동부 지역의 MT 자료

한반도 심부 지전기 구조의 규명을 위한 연구를 일환으로 포항-괴산 구간 총 150 km 연장의 측선 상에서 획득되어진 30 측정점의 MT 자료를 사용하였다. 측정장비는 Phoenix Geophysics Ltd. 사의 MTU-5A 시스템이다. MTU-5A 시스템은 전기장 2성분 ( $E_x, E_y$ ), 자기장 3성분 ( $H_x, H_y, H_z$ )을 측정할 수 있으며, 2400, 150, 15 Hz의 샘플링 밴드를 가지고 있으며, 해석가능한 주파수 대역은 약 320-0.0003 Hz이다. 측정점은 포항 쪽에서부터 101에서 130으로 증가하도록 명명하였다. 101-112 측정점은 충남 금산 지역에, 113-130 측정점은 강원도 홍천에 원거리기준점을 운영하여 GPS 동기화를 통해 탐사 측정점과 원거리기준점에서 동시에 전자기장을 측정하였다.

## 3. MT 자료의 특성

MT 탐사의 장점 중의 하나인 지질구조의 방향성 및 차원에 대한 정보 추출은 서로 수직인 방향의 전자기장을 측정하여 임피던스 텐서를 추정할 수 있기 때문에 가능한 것이다. 더 나아가 잡음에 대한 정량적 분석을 위해서는 전기장과 자기장 자체에 대한 방향성을 분석할 필요가 있으며 이를 위해 전자기장의 분극 방향을 분석하였다. 전자기장의 분극 방향은 송신원의 위치, 송신원의 분극 방향, 측정 주변의 지하구조의 방향성에 크게 좌우된다. Maxwell 방정식으로부터 알 수 있듯이, 전기장은 지하 매질의 전기전도도 분포에 따라 크게 좌우되나 자기장은 상대적으로 작은 변화를 나타내기 때문에 송신원의 방향성을 추정하는 데에는 자기장의 분극방향이 보다 효과적이다.

MT 탐사 자료의 전자기장 성분은 대부분 타원분극의 형태를 나타내며 매우 많은 전자기장 신호의 중첩으로 나타나기 때문에 다양한 분극방향을 나타낸다. 수평성분 전자기장의 각 주파수별 타원분극 방향(tilt angle of polarization ellipse)을 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다(Balanis, 1989).

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2A_x A_y}{A_x^2 - A_y^2} \cos(\Delta\phi) \right) \quad (1)$$

여기서,  $A_x, A_y$  는 각 성분의 진폭을,  $\Delta\phi$ 는 위상차를 나타내며,  $\tau$  는 y 축으로부터 반시계방향의 각도를 의미한다. 각 주파수별 타원분극 방향의 빈도를 살펴보기 위해 10° 간격의 구간 내에 분포하는 샘플들의 전체 샘플 수에 대한 비율을 영상화하였다. 측정점에 따라 다소 다른 분극 양상을 보이고 있으나 106 측정점을 예로 들어 공통적인 특성들을 설명하도록 하겠다(Fig. 1).

분극방향의 특성에 따라 MT 주파수 대역을 6개의 구간으로 나눌 수 있다. A 구간(35 Hz 이상)은 전력선에 기인하는 60 Hz 조화파의 영향을 받는 구간으로서 뚜렷한 분극방향을 보인다. 이 대역의 분극 방향은 측정마다 서로 다른 방향을 나타내고 있으며, 그 분

극 방향은 인접한 전력선 혹은 전기 시설물의 위치에 의해 결정될 것으로 추정된다. B 구간( $5-35 \text{ Hz}$ )에서는 강한 분극은 보이지 않으나  $10 \text{ Hz}$  부근의 좁은 대역에서 강한 방향성을 보인다. C 구간( $0.5-5 \text{ Hz}$ )은 분극 방향의 경향성이 거의 관찰되지 않는 무작위 분포를 보이는 구간이다. D 구간( $0.05-0.5 \text{ Hz}$ )은 "dead band"에 해당하는 대역으로서 강한 방향성( $\tau = 60^\circ - 80^\circ$ )을 나타낸다. 이 구간에서는 A 구간과는 달리 101 측정에서는 분극방향이 약  $40^\circ$  이고 서쪽 방향으로 갈수록 분극방향이 회전하여 121 측정에서는 약  $100^\circ$  의 분극 방향을 가지게 된다. E 구간( $0.005-0.05 \text{ Hz}$ )은 어느 정도 강한 분극 방향을 나타내고 있으며 그 방향은 약  $70^\circ - 90^\circ$  로 측점에 상관없이 거의 일정한 값을 보인다. 이 주파수 대역에서는 동해에 의한 해양효과가 나타나기 시작하여 해양과 육지의 경계면을 따라 자기장이 분극되는 양상을 보이는 것으로 추정된다. F 구간( $0.005 \text{ Hz}$  이하)은 샘플의 개수가 적어서 분극의 빈도를 추정하기가 어려운 대역이다.

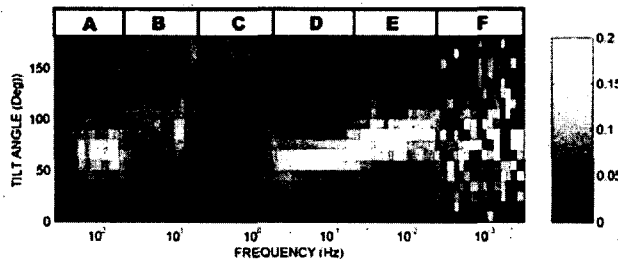


Fig. 1 The distribution of tilt angle of magnetic field polarization ellipse at 106 site. The angle denotes the azimuth counterclockwise from the east.

#### 4. 인공잡음 분석

MT 주파수 대역에서 인공잡음의 영향이 가장 큰 영향을 미치는 대역은  $60 \text{ Hz}$  조화파 대역(A구간)과  $0.05-0.5 \text{ Hz}$ 의 "dead band" 대역(D구간)이다. 본 논문에서는 이 두 대역에서의 인공잡음에 대하여 논하도록 하겠다.

##### 4-1. 60Hz 조화파 대역

인접한 전력선이나 전기시설물은  $60 \text{ Hz}$  조화파 잡음을 방출하고 있으므로  $60 \text{ Hz}$  주변 대역의 전자기장에 매우 큰 영향을 준다. Lee *et al.*(2004)의 연구에 의하면 건물과 도로로 대표되는 인공 잡음원의 공간 밀도 분포와 MT 임피던스 추정오차 사이에 밀접한 상관관계가 있다. 인공 잡음원의 공간분포가 MT 신호에 미치는 영향을 보다 효과적으로 분석하기 위해서는 측정되는 채널별 전자기장과 잡음원과의 상관관계를 분석할 필요가 있다. 이를 위한 첫 번째 방법은 측정으로부터 일정한 반경 내에 분포하는 잡음원의 밀도분포와 측정된 전자기장 파워와의 상관관계를 분석하는 방법이다. 도로의 분포는 건물의 분포와 거의 유사한 특성을 가지므로 여기서는 건물만을 잡음원으로 가정한다. 연구 지역 지형도로부터 추출된 건물의 분포로부터 탐색반경(R)내에 존재하는 인공 잡음원 밀도(Noise Source Density, NSD)를 계산하였으며(Lee *et al.*, 2004), 자기장의 각 성분별 파워와 NSD의 상관관계를 계산하였다(Fig. 4). 측정이 이루어진 시간이 각 측점에 따라 다르므로 배경 MT 장의 시간에 따른 변동을 제거하기 위하여 원거리기준점의 자기장 파워로 각 측정의 자기장 파워를 정규화 하였다. 자기장과 NSD의 상관계수는  $60 \text{ Hz}$

조화파 대역에서 뚜렷이 증가하는 것을 볼 수 있다. 탐색 반경이 커질수록 상관계수가 높은 주파수가 저주파로 이동하는 양상이 보이며 이는 주파수에 따른 전자기장의 감쇠에 의한 영향으로 보인다. 자기장의 각 성분에 따른 상관계수의 차이는 인공잡음원의 방향 특성에 기인하는 것으로 보인다.

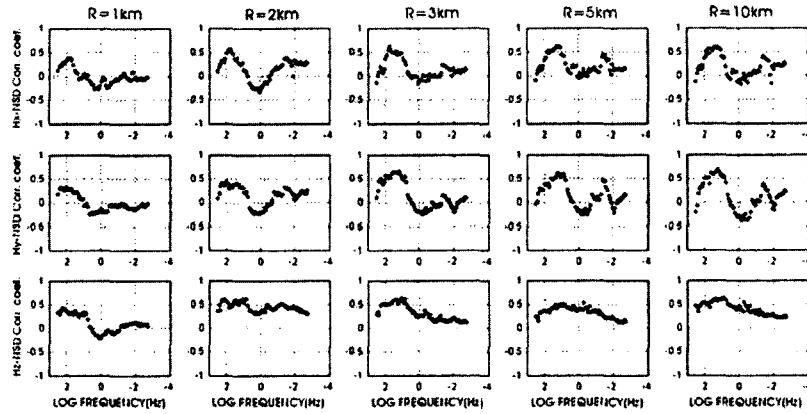


Fig. 2 Correlation coefficients between the power spectrum of magnetic field and noise source density with various radius(R) from building distribution.

인공잡음원의 밀도분포만을 고려하는 것은 전자기장의 감쇠를 고려하지 못하므로 정확한 인공잡음의 추정이라 할 수 없다. 전자기장의 기하학적 감쇠에 의한 효과를 고려하기 위하여 잡음원의 형태를 접지된 수평 전기 쌍극자(grounded horizontal electric dipole)로 가정하여 축점에 미치는 잡음원에 의한 전자기장 크기를 추정하였다. 하나의 수평 전기 쌍극자에 대하여 자기장의 수평성분과 거리와의 관계는 근거리장에서는  $1/r^2$ 에 비례하고 원거리장에서는  $1/r^3$ 에 비례한다. 많은 수의 쌍극자를 고려하는 경우, 송신원이 일정한 공간밀도로 고루 분포한다고 가정하였을 경우 송신원의 수는 면적에 비례하므로 근거리장내에서는 거리의 효과를 무시할 수 있어서 위에서 언급한 인공잡음원 밀도를 사용하는 것에 있어서 문제는 없다. 그러나, 원거리장으로 갈수록 자기장의 감쇠가 심해지므로 전자기장의 기하학적 감쇠를 고려할 필요가 있다.

잡음송신원의 거리에 따른 감쇠효과를 고려한 모델에 의해 계산되어진 자기장 잡음 파워의 예(Fig. 3(b))를 잡음원 밀도(Fig. 3(a))와 비교하여 도시하였다. 사용된 주파수와 전기비저항은 각각  $60 \text{ Hz}$ ,  $1000 \text{ ohm-m}$ 이다. 이 경우 대략 표피심도인  $2 \text{ km}$  이상의 거리에 있는 잡음송신원은 거리에 따른 감쇠 효과로 인해 근거리에 있는 송신원보다 작은 영향을 미치게 된다. 따라서 자기장 잡음의 파워스펙트럼은 근거리에 있는 잡음원의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

쌍극자 모델에 의한 자기장 잡음 스펙트럼과 측정되어진 자기장의 스펙트럼과의 상관관계를 구한 결과를 Fig. 4에 도시하였다. 상관계수의 양상은 Fig. 3에서  $1-2 \text{ km}$  이내의 잡음원 밀도를 사용한 경우와 유사한 형태를 보이고 있다.  $5 \text{ km}$ 까지의 잡음원을 고려한 경우보다  $10 \text{ km}$ 까지의 잡음원을 고려한 경우가 더 높은 상관관계를 나타낸다. 이것은 잡음원의 공간분포가 균일하지 않고 도시를 중심으로 집중되어있기 때문에 원거리라 하더라도 무시할 수 없을 정도의 영향을 주기 때문이다.

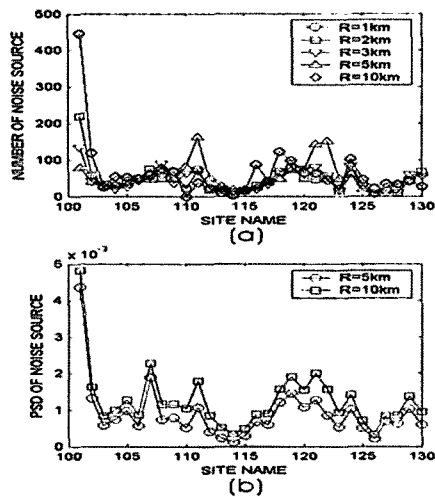


Fig. 3 Comparison of (a) the noise source density and (b) horizontal magnetic noise power approximated by grounded horizontal dipole source.

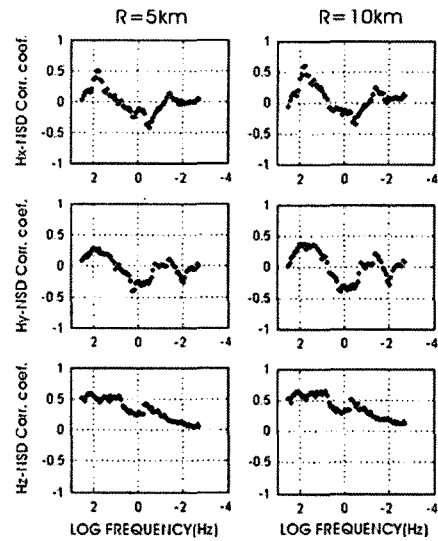


Fig. 4 Correlation coefficients between the power spectrum of measured magnetic field and calculated magnetic noise.

#### 4-2. 'Dead band'

0.05-0.5 Hz 대역은 자연적인 신호가 매우 약하므로 인공잡음이 지배적인 영향을 미치는 대역이다. 많은 경우 임피던스 추정이 매우 부정확하여 지전기 구조 해석에 있어 제외되는 경우가 많다. 본 연구에 사용된 자료에서도 매우 뚜렷한 인공잡음을 확인할 수 있다. 대부분의 측정에서 매우 일관적이고 뚜렷한 분극방향의 변화가 관찰된다. 지역시간으로 오전 0시에서 5시 30분경까지를 제외하고 매우 강한 분극방향을 형성하고 있으며 (Fig. 5(a)), 분극방향은 측정의 위치에 따라 연속적으로 변화한다(Fig. 5(b)). 야간에 불규칙 지구자기장 맥동( $P_{i1}, P_{i2}$ )이 강해지는 경향이 있으나 측정 자료처럼 규칙적이고 뚜렷한 변화는 보이기 어려우므로 인공잡음의 영향으로 설명하는 것이 타당하다. 분극방향의 양상을 살펴보기 위해 가장 빈도가 높은 분극방향의 연장선을 지질도와 함께 Fig. 6에 도시하였다. 자기장의 분극방향이 수렴하는 경향이 있으며 이는 인접한 대구광역시의 위치와 일치하는 것을 볼 수 있다. Dead band에서 특정시간에 관찰되는 강력한 인공잡음의 송신원은 대구광역시 근처에 존재하는 것으로 추정되며 잡음이 나타나는 시간은 전력사용량이 많은 시간과 일치하며 이로부터 대구광역시 내의 전기시설물들로부터 강력한 인공잡음이 방출되는 것으로 생각된다.

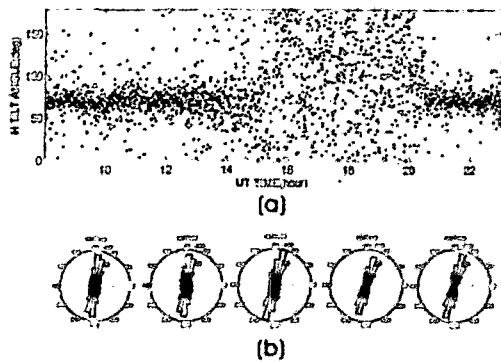


Fig. 5 Variation of tilt angle of magnetic field at the frequency of 0.11Hz : (a) time variation at 106 site and (b) rose diagram at 109~113 site.

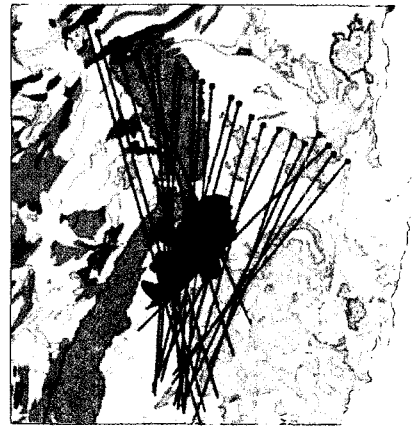


Fig. 6 Pattern of the polarization of magnetic field. The area with dark blue color indicate Daegu city.

### 5. 결론

수치공간자료로부터 MT 탐사자료의 이해에 필요한 정보를 추출하기 위하여 인공잡음원의 분포와 MT 탐사자료의 상관관계를 고찰하였다. 60 Hz 조화파 대역에서는 건물과 도로가 주요한 인공잡음원이며 잡음원의 분포와 자기장의 파워가 서로 상관관계를 가짐을 확인할 수 있었다. 'Dead band'로 불리는 0.05-05 Hz에서는 매우 강한 분극을 가지는 신호가 광범위하게 관찰되고 있으며 이는 탐사지역에 인접한 대도시의 영향으로 추정된다. 향후 연구를 통해 공간자료로부터 추출된 정보를 MT 임피던스 추정기법에 적용함으로써 보다 향상된 MT 자료 해석이 가능하리라 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지원의 특정기초연구(연구과제명: 한반도 심부 전기구조의 지구 물리학적 연구)의 지원으로 이루어졌음을 밝히며, 연구 지원을 해주신 한국과학재단에 감사드립니다.

### 참고문헌

- Balanis, C. A., 1989, *Advanced engineering electromagnetics*, John Wiley & Sons, New York, 168p.
- Lee, C.K., Lee, H., Kwon, B.D., Cho, I.K., Oh, S., Song, Y., Lee, T.J. and Yang, J., 2004, Magnetotelluric imaging of the structure of Kyeongsang basin in Korea, *Proceedings of the 7th SEGJ International Symposium*, SEGJ, Japan, 288-291.
- Iliceto, V. and Santarato, G., 1999, On the interference of man-made EM fields in the magnetotelluric 'dead band', *Geophysical Prospecting*, 47, 707-719.
- Qian, W. and Pederson, L.B., 1991, Industrial interference magnetotellurics: An example from the Tangshan area, China, *Geophysics*, 56, 265-273.