

전자기장의 분광 에너지에 기반한 MT 및 GDS 자료의 전처리 기법 연구

양준모, 권병두

서울대학교 지구과학교육과, jun017@snu.ac.kr

Pre-screening technique for MT and GDS data processing based on the spectral power of Electromagnetic field

Junmo Yang, Byungdoo Kwon

Dep. of Earth Science Education, Seoul National University

요약 : 한반도는 고도의 산업화와 도시화로 인해 깨끗한 MT 및 GDS 자료를 획득하기 매우 어렵다. 이러한 환경에서는 적당한 신호 대 잡음비를 가지는 자료를 선별하는 전처리 과정이 필수적이다. 본 연구에서는 전자기장의 분광에너지에 기반한 자동 전처리 과정(RMP)을 한반도의 현실적인 상황을 고려하여 수정하였고, 이를 한반도 내륙에서 획득된 총 7 측정점의 MT 자료에 적용하였다. 전반적으로, RMP 기법은 주기 10초 대역 부근에서 주파수에 따른 전기비저항과 위상의 연결성을 상당히 향상시켰다. 또한 RMP 기법에 의한 결과는 수작업으로 편집된 기존의 처리 결과와도 거의 유사였고, 특히 전기 비저항의 연결성면에서 그 우수성이 확인되었다.

주요어 : MT 자료 처리, 전처리 과정, RMP(Rejection based on the Median of Power)

Abstract : The Korean peninsula has been known to be very difficult to acquire clean MT and GDS data due to its highly industrialization and civilization. In this environment, a pre-screening step selecting data segments with a proper S/N ration is an essential one. This study modified the automatic pre-screening step based on the spectral power of electromagnetic field (RMP) taking account of the situation of the Korean Peninsula. The modified RMP technique was applied to MT data measured at seven sites located in middle part of the peninsula. In the whole sense, the RMP technique considerably improved the connectivity of apparent resistivity and phase curves around the period of 10 sec. In addition, the results processed by the RMP technique showed a very little difference with those derived from manual editing, and the superior performance of it is found especially in the connectivity of apparent resistivity curve.

Keywords : MT data processing, pre-screening step, RMP(Rejection based on the Median of Power)

1. 서론

지자기지전류 탐사(MT: Magneto-Telluric)와 지자기 수직 탐사(GDS: Geomagnetic Depth Sounding)는 자연적으로 존재하는 지구 전자기장의 변화를 송신원으로 이용하여 광역적인 지각 구조를 조사하는 전자탐사 기술이다. 두 탐사에서 기본적으로 제공하는 자료는 국지적이며, 주파수 의존적인 수평 전기장 또는 수직 자기장과 수평 자기장 사이

의 상관관계, 즉 전달함수이다. MT의 경우 이 전달함수는 임피던스 텐서로, GDS의 경우 티퍼 또는 지자기 전달함수로 불리 운다. 그러나 현실적인 상황에서 측정 주변의 잡음, 최소자승법에서 가정하는 가우스 분포 모델의 부적절성, 송신원의 비균질성 등으로 인해 두 탐사의 결과물인 전달함수는 심각하게 왜곡되어 물리적 해석이 불가능한 경우가 빈번히 발생한다. 이러한 난점은 일정 수준의 외치나 잡음에 대해 적절한 가중치를 부여하는 로버스트(robust) 추정 기법과 BI 추정(Egbert and Booker, 1986; Chave et al., 1987, Chave and Thomson, 1989; Larsen, 1989; Larsen et al., 1996; Chave and Thomson, 2004), 원거리 기준점(RR: Remote Reference)에서 측정과 동시에 전자기장을 측정하여 국지적 잡음을 최소화하는 원거리 기준점 기법(Gamble et al., 1979)의 도입으로 상당 부분 해결되었다. 두 기법이 결합된 로버스트 RR 기법은 현재 MT 프로세싱에서 가장 광범위하게 사용되고 있다.

한편, 잡음이 매우 심한 환경에서는 위에서 언급된 추정 기법들도 안정적이고 신뢰성 있는 전달함수 추정을 보장할 수 없다. 이 문제의 해결 방법은 로버스트 또는 BI 추정 과정 전에 적절한 신호대 잡음비를 가진 자료를 선별하는 전처리 과정을 수행하는 것이다. 현재까지 제안된 방법들은 주로 전기장과 자기장의 다중 코히런스(multiple coherency)에 기반한 코히런스 정렬 기법(CSM: Coherency Sorting Method)으로서, 보통 수준의 잡음 환경에서 CSM 적용 후 보다 향상된 결과를 보여주었다(Egbert and Likelybrooks, 1996; Smirnov, 2003). 최근, Weckman et al.(2005)는 주파수 영역에서 다양한 파라미터를 이용한 자료 제거 방법을 제시하였는데, 그들의 방법은 자료의 국지적 특성에 의존하며 자료 제거 기준도 자동적으로 결정되기 보다는 자료의 특성에 의존하여 주관적으로 결정하여야 한다.

한반도는 고도의 산업화 및 도시화로 인해 깨끗한 MT 및 GDS 자료를 획득하기 어렵다고 알려져 있다(이춘기 등, 2005). 또한 한반도를 구성하고 있는 전반적인 암석의 전기비저항이 매우 높기 때문에, 인공적인 잡음에 의한 전자기장은 감쇄가 덜 하며 보다 멀리 떨어진 거리까지 전파한다. 이러한 환경에서 CSM은 향상된 결과를 도출하기 어려우며, 잡음에 의한 근거리장의 특성상 CSM은 오히려 신호보다는 잡음에 기인하는 자료를 선택하기 쉽다(Oettinger et al., 2001). 이러한 한반도 상황에서, 양준모 등(2005)는 전자기장의 분광 에너지(spectral power)에 기반한 자동 전처리 과정인 RMP(Rejection based on the Median of Power) 기법을 제안하였고, 제주도에서 측정된 MT 자료에 적용하여 보다 향상된 결과를 도출하였다. 본 연구에서는 양준모 등(2005)의 연구를 바탕으로, RMP의 가장 중요한 기준인 각 주파수 밴드의 중간 파워의 결정에 대해 간단히 논의한다. 그 후, 2004년에 한반도 내륙에서 측정된 총 7 측정점의 MT 자료에 시험적으로 RMP 기법을 적용하여 RMP 적용 전의 결과 및 기존의 SSMT2000을 이용하여 수작업으로 편집된 결과(이춘기 등, 2005)와 비교, 분석하고자 한다.

2. MT 자료 및 수정된 RMP 기법

본 연구에서 사용된 MT 자료는 15Hz로 샘플링된 자료로서 2004년 2월부터 2004년 12월에 걸쳐 수행되었으며, 측정점은 포항부터 문경까지 한반도를 N30° E 방향으로 가로지르는 측선을 따라서 분포한다. 측정 장비는 한국지질자원연구원이 보유하고 있는 캐나다 Phoenix사의 MTU-5A 시스템이며, 두 채널의 수평 전기장 및 자기장(북쪽과 동쪽)과 한 채널의 수직 자기장 성분을 측정하였다. MT 탐사 기간 동안, 원거리 기준점들이

GPS로 동기화 되어 운영되었으며 MT 자료에 대한 자세한 설명은 이춘기 등(2005)에 기술되어 있다.

자료 처리 방법은 양준모 등(2005)과 동일하게 로버스트 추정, BI 추정, RR 기법, RMP 기법이 결합된 형태이다. Fig. 1은 대구광역시와 인접해 있는 KMT105 측점의 주기 10초 대역에서 MT 전달함수 Z_{xy} 와 그와 관련 있는 파라미터들을 도시한 것이다. 여기서, 첨자 x 는 지리좌표계에서 북쪽, y 는 동쪽, z 는 연직방향을 의미한다. 또한 x 축의 자료 번호는 세그먼트 번호를 의미하며, 자료 번호 280 부근이 자정, 400 부근이 새벽 5시 정도의 시간이다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 자정 전에 E_x 채널 대부분의 세그먼트들은 극단적으로 큰 분광 에너지를 가지고, 그 때 대응하는 전달함수 및 전달함수 추정 에러값은 매우 불규칙하고 산란된 양상을 보여준다. 또한 자기장도 한 방향으로 강하게

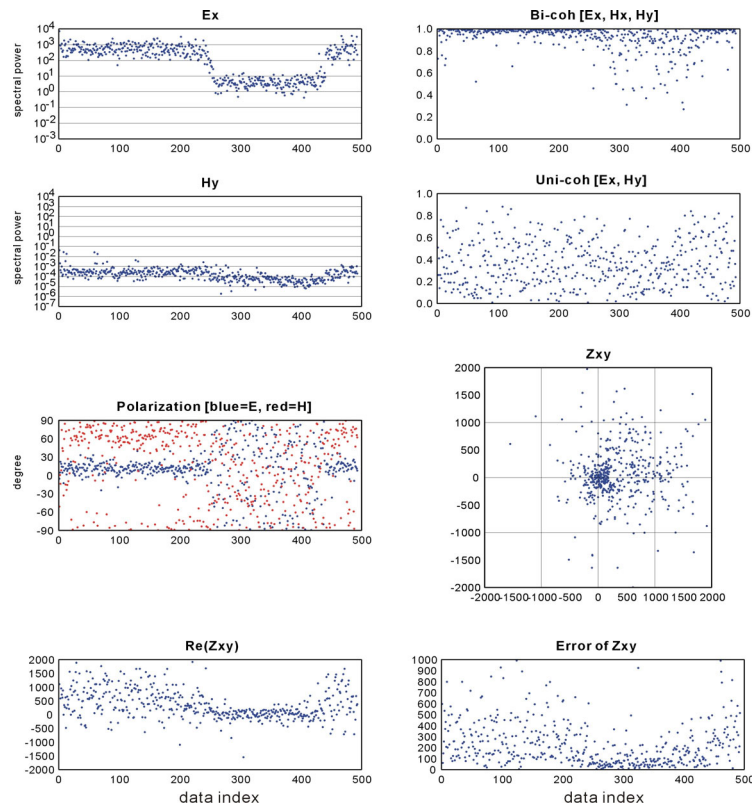


Fig. 1 Spectral power density and statistical parameters related with estimation of Z_{xy} for the period of 10 sec at site nearby city of Daegu. The x-axis of most graph shows the data segment number, which is a proxy for time. The plot of Z_{xy} is displayed in the complex plane (Argand diagram).

분극 되어 있음을 알 수 있다. 그러나 다중 코히런시는 매우 큰 값을 갖는다. 일반적으로, 한 주파수 대역에서 분광 에너지의 분포는 2 디케이드(decade) 정도이고, 자연적으로 발생하는 자기장은 어느 한 방향으로 분극 되지 않는다는 사실(Weckman et al., 2005)을 고려할 때 자료 번호 280 이전의 세그먼트들은 주변의 인공잡음에 기인한다고 판단

된다. 이 현상은 MT 전처리 기법 개발에 중요한 단서를 제공하는데, 이는 극단적인 분광에너지를 가지는 세그먼트들은 MT 전달함수의 편향 및 왜곡에 기여할 가능성이 크다는 것이다. 또한, 이 현상은 CSM과 같은 코히런스 기반의 전처리 기법은 한반도에서 적절한 방법이 아님을 반증한다.

한편, 한반도 상황에 효과적인 RMP 기법에서 가장 중요한 기준인 중간 파워의 결정인데, 양준모 등(2005)은 전체 자료의 세그먼트를 이용하여 각 주파수별 중간 분광에너지 (P_{med}^{total})를 계산하였다. 본 연구에서는 Fig. 2의 분석결과를 바탕으로 비교적 인공잡음에 덜 영향을 받을 것이라 예상되는 자정부터 새벽 5까지의 자료를 이용하여 각 주파수 별 중간 파워 (P_{med}^{clean})를 계산하였다. 그러나 P_{med}^{clean} 이 항상 P_{med}^{total} 보다 작다는 보장은 없으므로, 두 값 중 더 작은 값이 최종적인 중간 파워값으로 선택되도록 알고리즘을 구현하였고, 이를 수정된 RMP 기법이라 명명하였다.

3. 자료 처리 결과 및 분석

Fig. 2는 각 측정점에서 주파수에 따른 두 중간값의 비, 즉 $P_{med}^{total}/P_{med}^{clean}$ 를 나타낸다. 전체적으로 두 중간값의 비는 주기 10초 이하와 100초 이상의 주기에서는 큰 차이가 없고, 주로 10초와 100초 사이 대역에서 차이가 발견된다. Hx 채널과 Hz 채널의 경우, 주기 10초에서 100초 사이에 약 2배 정도 차이를 보이고 있다. 특징적으로 Ex 채널의 경우 KMT103~106 측정점에서 5배 이상의 차이를 보이고 있는데, 이는 이들 측정 주변에 강력한 인공잡음의 존재를 암시한다.

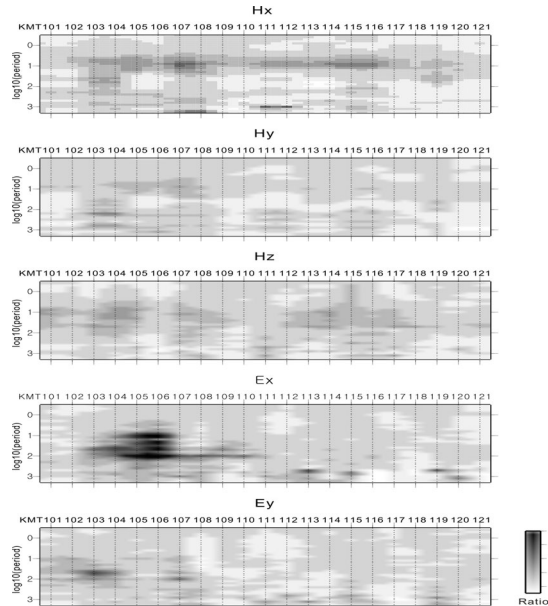


Fig. 2 The gray-shaded map showing the ratio of two kinds of median value ($P_{med}^{total}/P_{med}^{clean}$) for the five MT field components.

Fig. 3은 전처리 과정을 거치지 않은 결과, Fig. 4는 수정된 RMP 기법의 적용 결과, Fig. 5는 이춘기 등(2005)의해 수작업으로 편집된 결과를 각각 도시한 것이다. 본 연구

에서 이용한 KMT101~KMT107 MT 자료는 한반도 상황에서 비교적 양호한 자료이므로, 전처리 과정 전후에 큰 차이를 보이지는 않는다. 가장 뚜렷한 변화를 보인 측점은 KMT101인데, XY와 YX 모드의 전기비저항과 위상이 모두 연결성이 향상되었고, 주로 주기 100초 이하에서 그 변화가 뚜렷하다. 한편 Ex 채널에서 두 중간값이 매우 큰 차이를 보였던 KMT103~107 측정점의 경우(Fig. 2), 특히 Ex와 관련 있는 XY 모드의 주기 10초 부근부터 100초까지의 전기비저항과 위상이 매우 불안정하며 산란된 양상을 보인다. 이는 두 중간값의 비가 주변 인공 잡음원의 강도를 유추할 수 있는 근거로 활용될 수 있음을 의미한다. 이러한 불안정한 패턴은 RMP 기법 적용 후에도 완전히 제거되지 않았으나, 주기 10초 부근에서 전기 비저항의 연결성은 두 모드 모두에서 상당히 향상되었다. 또한 RMP 기법을 이용한 자료 처리 결과(Fig. 4)는 수작업에 의한 결과(Fig. 5)와 매우 유사하며, 주파수에 따른 전기비저항 곡선의 연결성이라는 면에서 보다 우위를 갖는 것으로 판단된다.

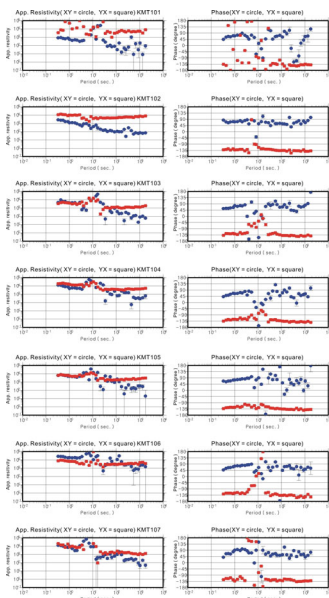


Fig. 3 The processing results without any other pre-screening technique.

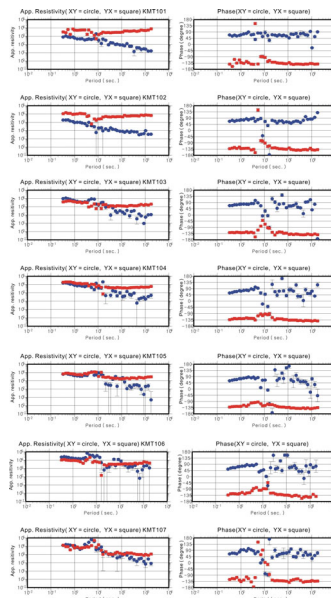


Fig. 4 The processing results with the RMP technique.

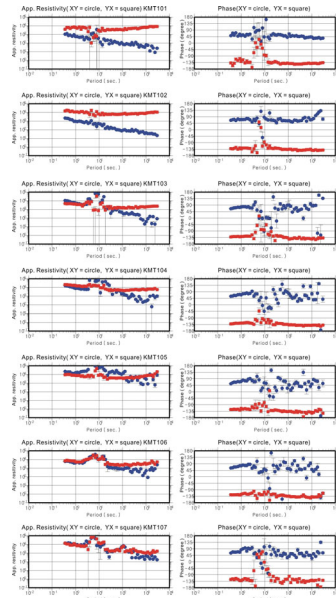


Fig. 5 The previous processing results by the manual editing.

4. 결론

양준모 등(2005)에 의해 개발된 RMP 기법을 수정하여, 한반도 내륙에서 획득된 총 7개 측정점의 MT 자료에 적용하였다. 본문에서 언급하지는 않았지만, 수정된 RMP 기법에 의한 결과는 기존의 RMP 기법에 의한 결과와 크게 차이 나지 않았다. 그러나 수정된 RMP 기법은 한반도의 현실적인 상황을 고려했다는 면에서 그 의미를 갖는다. 한편, 이춘기 등(2005)에 의해 수작업으로 편집된 MT 자료 처리 결과는 RMP 기법에 의한 결과의 거의 일치하였고, 전기비저항의 연결성면에서는 RMP 기법이 보다 우수한 성능을 보여주었다. RMP 기법이 자료 적응적(data-adaptive)하며 자동적으로 전처리 과정을 수행한다는 사실을 고려할 때, RMP 기법은 자료 편집에 소요되는 많은 경제적, 시간적 노력들을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 한반도와 같이 인공 잡음이 심한 환경에서 안정적인 MT 및 GDS 전달함수를 추정할 수 있는 유력한 대안 중 하나라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지원의 특정기초연구(연구과제명: 한반도 심부 전기구조의 지구구물리학적 연구)의 지원으로 이루어졌으며, 연구를 지원해 주신 한국과학재단에 감사드립니다.

참고문헌

- 양준모, 권병두, 이덕기, 윤용훈, 2005, BI(Bounded Influence)와 RMP(Rejection based on Median Power) 기법을 이용한 MT 전달함수의 로버스트 추정, 한국지구시스템공학회지, **42**, 419-436.
- 이춘기, 이희순, 권병두, 2005, 인공 잡음의 공간적 분포와 MT 자료의 상관관계, 제 2차 한국물리탐사학회·한국지구물리학회 공동학술대회, 한국지질자원연구원
- Chave, A. D., Thomson, D. J. and Ander, M. E., 1987, On the robust estimation of power spectra, coherences, and transfer functions, *J. geophys. Res.*, **92**, 633-648.
- Chave, A. D. and Thomson, D. J., 1989, Some comments on magnetotelluric response function estimation, *J. geophys. Res.*, **94**, 14215-14225
- Chave, A. D. and Thomson, D. J., 2004, Bounded influence magnetotelluric response function estimation, *Geophys. J. Int.*, **157**, 988-1006.
- Egbert, G. D. and Booker, J. R., 1986, Robust estimation of geomagnetic transfer functions, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **87**, 173-194.
- Egbert, G. D. and Likhlybrooks, D., 1996, Single station magnetotelluric impedance estimation: coherence weighting and the regression M-estimate, *Geophysics*, **61**, 964-970.
- Gamble, T. D., Goubau, W. M. and Clarke, J., 1979, Magnetotellurics with a remote reference, *Geophysics*, **44**, 55-68.
- Larsen, J. C., 1989, Transfer functions: smooth robust estimates by least square and remote reference methods, *Geophys. J. Int.*, **99**, 655-663.
- Larsen, J. C., Mackie, R. L., Manzella, A., Fiordelisi, A. and Rieven, S., 1996, Robust smooth magnetotelluric transfer functions, *Geophys. J. Int.*, **124**, 801-819.
- Oettinger, G., Haak, V. and Larsen, J. C., 2001, Noise reduction in magnetotelluric time-series with a new signal-noise separation method and its application to a field experiment in the Saxonian Granulite Massif, *Geophys. J. Int.*, **146**, 659-669.
- Smirnov, M. Yu., 2003, Magnetotelluric data processing with a robust statistical procedure having a high breakdown point, *Geophys. J. Int.*, **152**, 1-7
- Weckman, U., Maguria, A. and Ritter, O., 2005, Effective noise separation for magnetotelluric single site data processing using a frequency domain selection scheme, *Geophys. J. Int.*, **161**, 635-652