

# 3차원 MT 모델링을 통한 한반도 및 주변의 GDS(Geomagnetic Depth Sounding) 자료 해석

<sup>1)</sup>양준모\*, <sup>2)</sup>권병두, <sup>1)</sup>류용규, <sup>1)</sup>윤용훈

<sup>1)</sup>기상연구소 해양기상지진연구실, 156-720 서울특별시 동작구 신대방 2동 460-18

<sup>2)</sup>서울대학교 지구과학교육과, 151-748 서울특별시 관악구 신림9동 산 56-1

## Interpretation on GDS(Geomagnetic Depth Sounding) data in and around Korean peninsula using 3-D MT modeling

<sup>1)</sup>Junmo Yang\*, <sup>2)</sup>Byung-Doo, Kwon, <sup>1)</sup>Yong-Gyu, Ryu and <sup>1)</sup>Yong-Hoon Youn

<sup>1)</sup>Marine Meteorology & Earthquake Res. Lab./METRI

<sup>2)</sup>Department of Earth Science Education, Seoul National University

### 초록

한반도의 심부 전기구조를 조사하기 위해서 극심부 전자탐사 중 하나인 지자기 수직탐사(GDS; Geomagnetic Depth Sounding)를 수행하였다. 본 연구에서는 한반도 동남부에서 추가적으로 획득된 5개의 GDS 탐사 자료와 기존의 12개 측정의 탐사 자료를 통합하여 해석하였다. 또한 한반도 및 주변 해양의 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 3차원 MT 모델링이 수행되었다. 관측된 실수 유도 지시자는 주변 해양의 영향만으로 설명되지 않았으며, 이 차이를 설명할 수 있는 2개의 전도성 구조를 제시하였다. 첫 번째는 Quiling-Dabie-sulu 대륙 충돌대의 연장성이라 생각되는 임진강 벨트이며, YIN과 ICHN에서 그 영향을 명확히 확인할 수 있었다. 두 번째는 한반도 남해안과 큐슈 섬 사이에 존재할 것으로 추정되는 맨틀 용승에 의한 고전도성층(HCL; Highly Conductive Layer)로서, 주로 한반도 동남부에 위치하는 KZU, KMT101, 107에서 그 존재를 확인할 수 있었다.

### ABSTRACT

A GDS (Geomagnetic Depth Sounding) method, one of extremely low-frequency EM methods, has been carried out to examine deep geo-electrical structures of the Korean peninsula. In this study, five additive GDS sites acquired in south-eastern area of the Korea were integrated into twelve previous GDS results. In addition, 3-D MT modeling considering the surrounding seas of the Korean peninsula was performed to evaluate sea effect at each GDS site quantitatively. As a result, Observed real induction arrows was not explained by solely sea effect, two conductive structures that are able to explain differences between observed and calculated induction arrows, was suggested. The first conductive structure is the Imjingang Belt, which is thought as a extension of Quiling-Dabie-sulu continental collision belt. The effects of the Imjingang Belt clearly appear at YIN and ICHN sites. The second one is the HCL (Highly Conductive Layer), which is considered as a conductive anomaly by mantle upwelling generated in back-basin region. The effects of the HCL are also confirmed at KZU, KMT101, 107 sites, in the south-eastern of the Korean peninsula.

## 1. 서론

한반도는 크고 작은 지진이 빈번히 발생하는 중국과 일본 사이에 위치하며, 두 나라와의 지질학적 연속성 및 연결성이라는 면에서 지체구조적으로 매우 중요한 지역이다 (조문섭 등, 1995; Cluzel et al., 1992). 이러한 한반도의 지체구조적인 중요성에도 불구하고, 중·자력 연구들(Kwon and Yang, 1985; 김성균 등, 1997; 최광선 등, 1993)을 제외한 다른 광역적인 심부 지구물리 자료 및 연구는 매우 부족한 상황이다. 근래 들어 민경덕(2001), 양준모 등(2003)은 GDS(Geomagnetic Depth Sounding) 탐사를 이용하여 한반도 및 주변의 심부 전기 구조를 조사하였으나, 보조적인 지구물리 자료와 조밀하지 못한 공간 해상도로 인해 정성적인 해석에 머물 수밖에 없었다. 본 연구에서는 기존의 연구결과와 한반도 동남부에서 추가적으로 획득된 5개의 GDS 측점을 통합하여, 지구물리적인 해석을 시도하고자 한다.

한편, 한반도는 삼면이 해양으로 둘러싸여 저주파수에서 해양의 영향이 지배적이므로, GDS 탐사 자료를 해석하기 위해서는 주변 해양에 대한 평가가 필수적이다. 이를 위해 3차원 MT 모델링(Mackie et al., 1993)을 수행하였고, 관측된 실수 유도 지시자와의 비교를 통해 한반도 및 주변의 전도성 구조를 추정하였다.

## 2. 자료 처리

MT 및 GDS 탐사는 2004년 2월부터 2004년 12월에 걸쳐 서울대학교에 의해 수행되었으며, 측점은 한반도를 N30°E 방향으로 가로지르는 직선을 따라서 분포한다(Fig. 1). 측정 장비는 한국지질자원연구원이 보유하고 있는 캐나다 Phoenix사의 MTU-5A 시스템이며, 측정 시간은 한 측정점 당 15시간, 샘플링 간격은 15 Hz이며 수평 자기장 및 전기장 두 성분과, 수직 자기장 한 성분, 총 5성분을 측정한다. 기존의 GDS 탐사 자료는 전파연구소와 한국지질자원연구원이 운영하는 총 4개의 고정 지자기 관측점에서 얻어진 결과와 일본 규슈대학 연구팀이 극저주파(Extremely Low Frequency) 측정 장비를 이용하여 총 2달 동안 한반도에서 획득된 총 8개의 측정점(민경덕, 2001)에 대한 결과이다. 자료 처리는 한반도의 특성을 고려한 전처리 기법이 포함되어 있는 양준모 등(2005)의 방법을 이용하였으며, MT 측정점과 YIN, ICHN은 원거리 기준점(Remote reference)기법이 적용되었다.

## 3. 관측 실수 유도 지시자 및 해양 효과 모델링

Fig. 1은 관측된 실수 유도 지시자를 측정점에 따라 주기 600초와 3600초에서 도시한 것이다. 본 연구에서 실수 유도 지시자의 방향은 전기전도도가 높은 쪽을 향하도록 정의되며(Parkinson arrow), 그 크기는 전기전도도 대비에 비례한다. 또한 특별한 언급이 없는 한 유도 지시자는 관측 실수 유도 지시자를 의미한다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 대부분 측정점에서 주기 3600초의 유도 지시자는 동 또는 동남쪽으로 향함을 확인할 수 있는데, 동해와 서해의 평균 수심차가 약 30배(Fig. 2)임을 고려하면, 이는 주로 동해의 영향으로 생각된다. 그러나 상대적으로 단주기인 주기 600초에서는 인근 해양의 영향을 받는 것으로 보이며, 황해 인근 측정에서는 서남 또는 남쪽 방향을 향함을 확인할 수 있다. 그러나 YIN, ICHN에서는 예상되는 해양 효과와 다른 북, 북동 패턴을 보인다.

보다 정확한 해양 효과를 평가하기 위해 한반도 주변 해양에 대한 3차원 MT 모델링을 수행하였다. 3차원 해양 모델에 대한 자세한 정보는 Fig. 3에 도시되어 있다. Fig. 4는 각 측정에서의 해양 효과와 관측 유도 지시자를 도시한 것인데, 주기 3600초의 경우 해양 효과와 관측 유도 지시자는 상당히 유사한 것으로 보인다. 그러나 주기 600초 부근의 경우, 해양 효과만으로 설명되지 않는 측정점들이 존재한다. 논의의 편의상 두 개의 그룹으로 나누어 서술하기로 한다.

첫 번째 그룹은, 가장 북쪽에 위치하는 두 관측점(YIN, ICHN)이다. YIN은 서해와 인

접하므로 주기 600초에서 ICHN보다 서해의 영향을 더 받는 것으로 생각된다. 주변 해양의 영향을 고려했을 때, 주기 600초에서 YIN의 유도 지시자는 서 혹은 서남쪽으로, ICHN의 유도 지시자는 동쪽 방향이 예상된다. 그러나 YIN의 경우 유도 지시자는 거의 북쪽을, ICHN의 경우 북동쪽을 향한다. 이는 두 축점의 북쪽에 대규모 전도성 구조가 존재할 가능성을 시사한다. 오석훈 등(2002)와 양준모 등(2003)은 YIN과 ICHN 축점의 북부에 존재하는 전도성 구조로서, 임진강 벨트를 제안하였다. 본 연구 결과도 이들의 연구 결과를 지지하며, 임진강 벨트의 영향이 주기 600초까지 존재함을 고려할 때 임진강 벨트는 상당히 심부까지 확장되어 있는 구조이며, 이는 과거 대륙 충돌대인 Quilling-Dabie-sulu 벨트의 연장선이라는 사실을 지지하는 것으로 생각된다. 두 번째 그룹은, 한반도 동해안에서 내륙 쪽으로 분포하는 6개의 축점(KZU, KMT101, KMT107, KMT109, KMT113, KMT116)이다. 특히 KZU, KMT101, 107 축점에서의 기대되는 해양 효과와 관측 유도 지시자는 20도 안팎의 차이를 보이고 있다. 이는 축점들의 남쪽에 전도성 구조가 존재함을 의미한다. 현재 수준에서 유력한 전도성 구조 후보는 대한해협과 일본 규슈섬 사이에 존재하는 것으로 추정되는 맨틀 용승에 의한 고전도선층(HCL; Highly Conductive Layer)(Shimoizumi et al., 1997)으로 판단된다.

#### 4. 결론

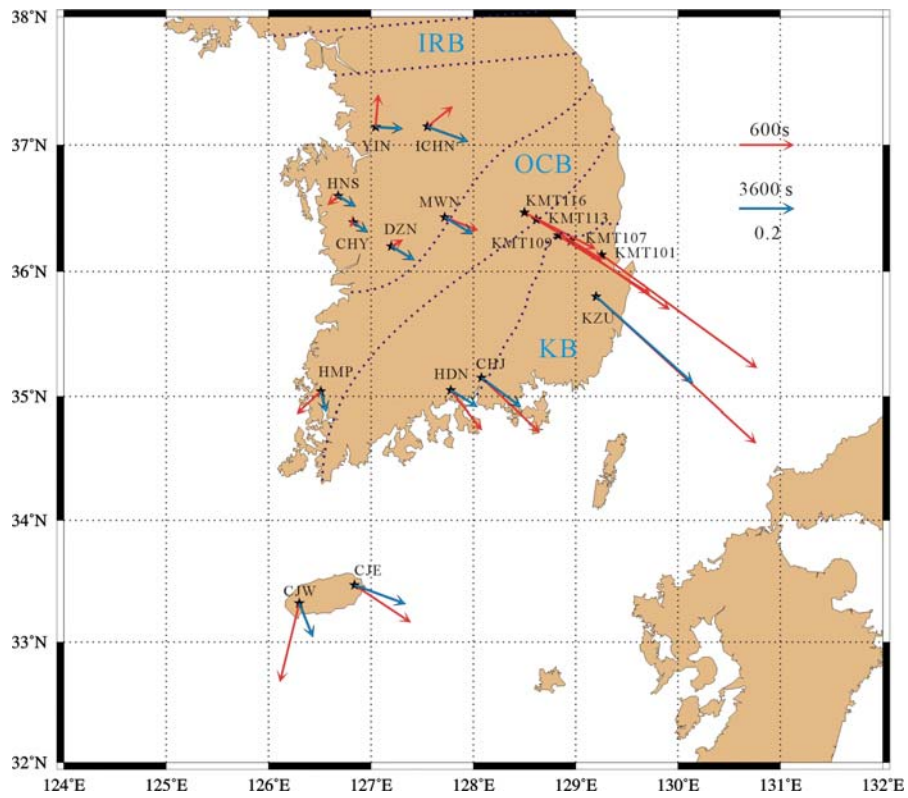
한반도에서 획득된 총 17개의 GDS 탐사 자료와 3차원 해양 효과 모델링을 통하여 한반도 및 주변의 심부 구조를 해석하였다. 대부분의 축점에서 주변 해양, 특히 동해의 영향이 지배적이었고, 주변 해양의 효과만으로 설명되지 않은 축점들이 존재하였다. 이는 관측 유도 지시자를 설명하기 위해서는 다른 전도성 구조가 존재해야 함을 의미한다. 본 연구에서는 YIN과 ICHN 축점 북쪽에 존재하는 임진강 벨트와 KZU, KMT101, 107 남쪽에 존재하는 경상분지 고전도선층을 유력한 전도성 구조로 추정하였다. 추정된 전도성 구조들이 얼마나 잘 관측 유도 지시자를 설명하는지 조사하기 위해서는 이 구조들을 고려한 3차원 모델링이 요구되며, 이를 바탕으로 보다 정량적인 한반도 심부 지전기 구조를 규명할 수 있을 것이라 기대된다.

#### 사사

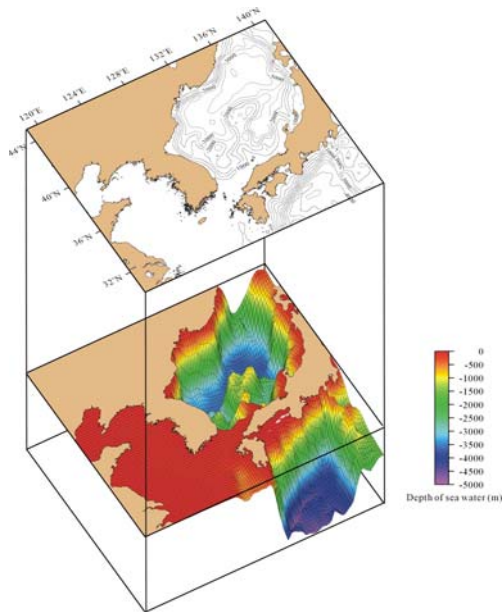
본 연구는 기상청 기상연구소 기상지진기술개발 사업의 「지진해일 예측 및 지진전조탐지기술 개발」의 지원으로 수행되었으며 이에 사의를 표합니다.

## 참고 문헌

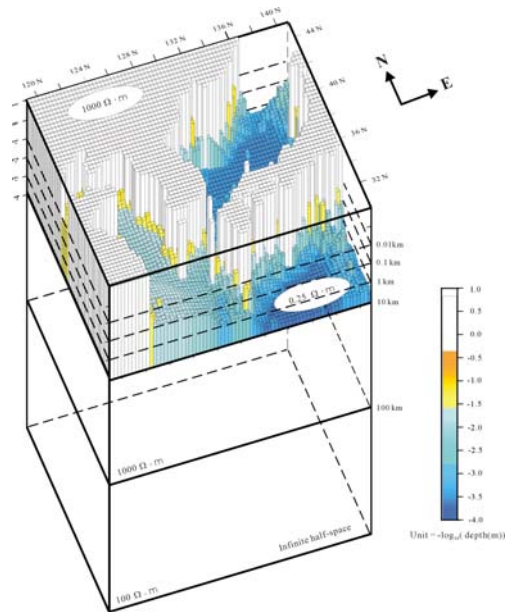
- 김성균, 안건상, 오진용, 1997, 중력탐사에 의한 옥천대 남서부의 지하지질구조 (1), 자원환경지질학회지, 30, 363-369.
- 민경덕, 2001, 한반도와 일본 구주사이 연변해저의 맨틀 다이아퍼에 관한 연구, 한국과학재단, 996-0400-001-2.
- 양준모, 오석훈, 이덕기, 권병두, 윤용훈, 2003, 한반도내 전도성 구조를 고려한 지자기 모델링 및 차이 지시자의 적용, 한국지구과학회, 24, 440-448
- 오석훈, 양준모, 이덕기, 남재철, 2002, 지자기 수직 탐사에 의한 한반도 주변의 전기 전도도 구조, 자원환경지질학회, 35, 437-444.
- 이춘기, 이희순, 권병두, 조인기, 정현기, 오석훈, 송윤호, 이태종, 2004, 문경-의성 지역의 MT 탐사, 대한자원환경지질학회 춘계학술발표회, 174-177.
- 조문섭, 권성택, 이진한, Nakamura, 1995, 연천-전곡 지역에 분포하는 임진강대의 고압 각섬암, 한국광물학회지, 4, 1-19.
- 최광선, 공영세, 이화경, 1993, 중력자료 해석에 의한 한반도 일원의 지각구조, 한국 지구과학회지, 14, 225-230.
- Cluzel, D., 1992. Ordovician bimodal magmatism in the Ogchen belt (South Korea): Intracontinental rift-related volcanic activity, Jour. Southeast Asian Earth Sci., 7, 195-209.
- Kwon B. D. and Yang S. Y., 1985, A study on the crustal structure of the southern Korean peninsula through gravity analysis, Jour. Korean Inst. Mining Geol., 18, 309-320.
- Mackie, R. L., Madden, T. R., and Wannamaker, P. E., 1993, Three-dimensional magnetotelluric modeling using difference equations - Theory and comparisons to integral equation solutions, Geophysics, 58, 215-226.
- Shimoizumi, M., Mogi, T., Nakada, M., Yukutake, T., Handa, S., Tanaka, Y., and Uchida, H., 1997, Electrical conductivity anomalies beneath the western sea of Kyushu, Japan, Geophysical Research Letters, 24, 1551-1554.



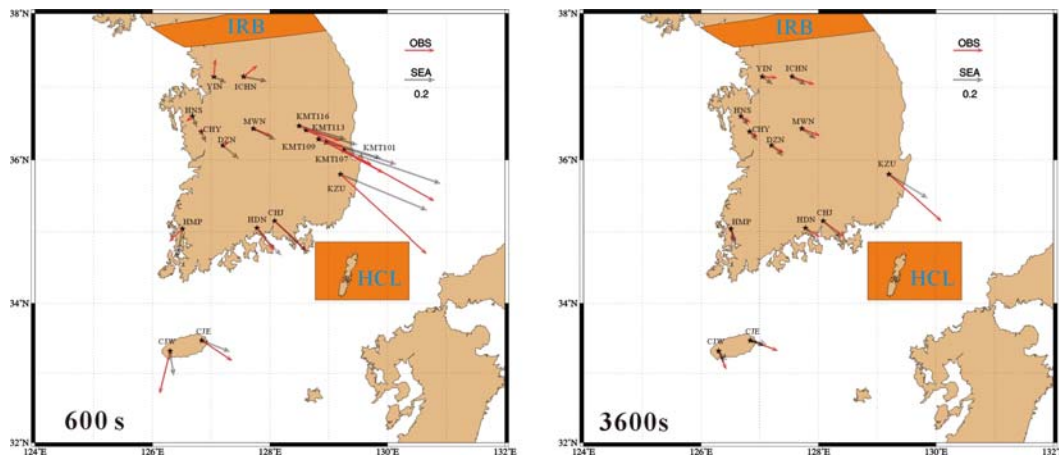
**Fig. 1** Observed in-phase induction arrows for 600 and 3600 seconds at 17 observation sites. Because the longest period of five MT sites (KMT101, 107, 109, 113, 116) is about 1000 seconds, only induction arrows for 600 seconds are illustrated in figure. The IRB, OCB and KB denote Imjin River Belt, OCheon Belt and Kyongsang Basin, respectively.



**Fig. 2** A 3-D perspective view for the bathymetry around the Korea peninsula. The East Sea is about 30 times as deep as the Yellow Sea



**Fig. 3** The structure of the input parameters for the model SEA. Due to sharp difference in depth between the Yellow Sea and the East Sea (Sea of Japan), a negative logarithm was taken for depth value. Each grid cell in the figure corresponds to the grid scale in the numerical model.



**Fig. 4** The in-phase induction arrows by observations, model SEA at all of observation sites for the period of 600 and 3600 seconds.