

지진파에 의해 유도되는 전자기장 변동

이춘기*¹, 이희순², 권병두¹, 양준모³,
오석훈⁴, 송윤호⁵, 이태종⁵, Toshihiro Uchida⁶

¹서울대학교 지구과학교육과

²경인대학교 과학교육과

³기상연구소 해양기상지진연구실

⁴수자원연구원 댐안전연구소

⁵한국지질자원연구원 지하수지열연구부

⁶Institute of Geo-Resource and Environment, Geological Survey of Japan

서론

최근 많은 관측 자료에 의해 지진 발생 전후 전자기장 변동이 발생한다는 사실이 알려져 왔다(Fraser-Smith *et al.*, 1990; Park *et al.*, 1993). ULF 대역에서의 전자기장의 교란을 설명하는 메카니즘으로 압전(piezoelectric) 효과(Ogawa *et al.*, 1985), 전기역학적(electrokinetic) 효과(Fenoglio *et al.*, 1995), 수리자기(hydromagnetic) 효과(Draganov *et al.*, 1991), 유도 탄성-전자기(inductive seismo-electromagnetic) 효과(Molchanov *et al.*, 2001; Surkov *et al.*, 2003), 전기전도도 변동의 효과(Merzer and Klemperer, 1997; Egbert, 2002) 등이 제안되어왔다. 특히, 지진 발생과 동시에 관측되는 전자기장 변동에 대한 연구에서 전자기 신호의 도착시간이 지진파의 도착과 일치하는 것이 보고 되기도 하였다(Nagao, *et al.*, 2000). 최근 제주도에서 실시된 자기지전류(MagnetoTelluric) 탐사 자료에서 일본의 Kii 반도 남동쪽 해상에서 발생한 지진활동과 관련된 전자기 현상이 관측되었으며, 전자기장 변동의 특성과 메카니즘을 분석하였다.

본론

2004년 9월 5일 일본의 Kii 반도 남동쪽 해상에서 전진-본진-여진의 형태를 가지는 지진활동이 시작되었다. 10시 7분(GMT)에 규모 6.9의 전진이 발생하였고 14시 57분(GMT)에 규모 7.4의 본진이 발생하였다. 가장 큰 여진은 규모 6.4의 지진으로 9월 6일 23시 29분(GMT)에 발생하였다. 지진들은 Nankai 해구를 따라 분포하며, 지진 발진기구는 남북 방향의 압축력을 받는 역단층의 형태를 보여준다.

같은 시기인 9월 5일부터 9월 16일 동안 한국지질자원연구원은 제주도일대에서 자기지 전류 탐사를 실시하였으며, 자료처리 과정에서 9월 5일 발생한 전진과 본진과 관련된 전 자기장 변동이 확인되었다. 9월 5일에는 제주도의 3측점과 일본에 위치한 원거리 기준점에서 측정이 이루어졌으며 모든 측점에서 지진관련 신호가 포착되며, 특히 제주도 동쪽 측점에서 가장 큰 신호가 기록되었다.

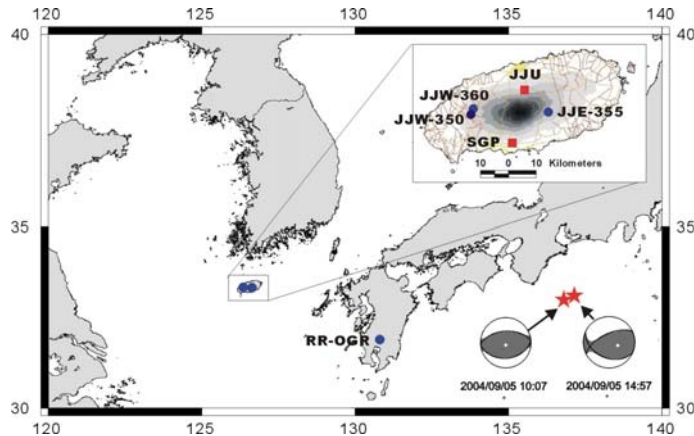


Fig. 11 The epicenter of earthquakes(stars) and location of MT sites(circles) and seismic observation sites(squares)

제주도에서 관측된 지진관련 전자기 신호의 초동은 지진 발생시간으로부터 2.5분후에 도착하였다. 가장 큰 진폭은 약 5분후에 도달하였으며, 그 형태는 분산(dispersion)을 가지는 표면파와 유사하다. 이러한 결과는 관측된 전자기 신호는 진원에서 발생한 것이 아니라 지진파의 전파에 의해서 유도되는 현상임을 암시한다. 스펙트럼 분석결과, 배경 MT 신호에서 구별되는 지진관련 전자기 신호는 0.05 - 0.3 Hz의 주파수 대역을 가지고 있으며 대역통과 필터링을 실시한 결과 전자기 신호와 지진파 기록이 유사한 형태임을 알 수 있다. 제주도 동쪽 측점과 서쪽 측점에서 기록된 신호의 도달 시간 차이를 상호상관을 통해 계산한 결과 약 3-5km/s의 속도를 가지는 것으로 추정되며, 이는 표면파의 전파 속도와 유사함을 알 수 있다.

MT 임피던스의 관점에서 볼 때, 지진관련 신호는 겉보기 비저항은 증가시키고, 위상은 0 으로 수렴하게 하는 효과를 나타내고 있다. 이는 전기장과 자기장이 같은 위상을 가지고 있으며 전자기 송신원의 근거리장(near-field) 지역에 측점이 위치하고 있음을 나타낸다. 전자기장의 분극특성을 살펴보았을 때, 제주도 동-서쪽 측점에서 다른 양상의 분극

을 나타내고 있는데, 이는 지진파에 의한 전자기장의 발생이 국부적인 지질구조에 의해 좌우됨을 나타낸다.

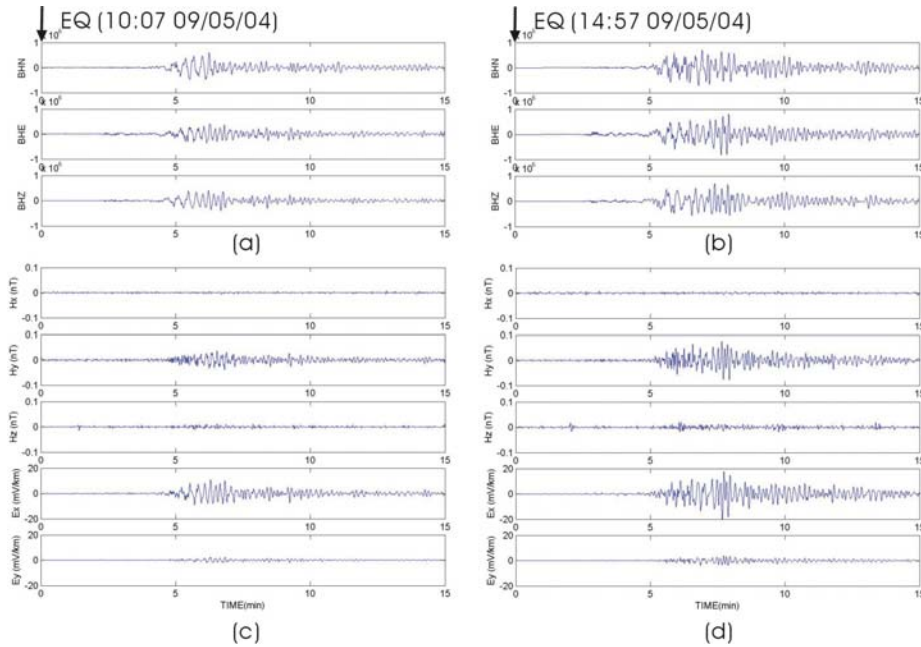


Fig. 12 Broad band seismic signals of (a) M 6.9 earthquake and (b) M 7.4 earthquake at JJU seismographic station and band-pass filtered electromagnetic signals of (c) M 6.9 earthquake and (d) M 7.4 earthquake at east MT site (JJE-355). The frequency band of band-pass filter is 0.3-0.05 Hz.

결론

제주도에서 관측된 지진관련 전자기장 변동은 0.05-0.3 Hz 주파수 대역을 가지며, 주로 표면파와 관련된 신호로 추정된다. MT 임피던스나 전자기장의 분극 특성은 전자기장의 송신원이 축점 가까이 위치함을 나타낸다. 제주도 동-서쪽 축점에서 기록된 전자기장의 변동이 서로 다른 양상을 나타내고 있으며 이는 전자기장의 발생이 국부적인 지질구조에 의해 좌우됨을 의미한다. 제주도의 경우 한라산을 이루는 화산체의 형태에 의해 표면파의 전파 양상이 변화하게 되고, 이로 인해 전자기장 변동의 차이가 나타나는 것으로 추정된다.

참고문헌

- Draganov, A.B., Inan, U.S., and Taranenkov, Y.N., 1991, ULF magnetic signatures at the earth surface due to ground water flow: A possible precursor to earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 1127–1130.
- Egbert, G. D., 2002, On the generation of ULF magnetic variations by conductivity fluctuations in a fault zone: *Pure Appl. Geophys.*, **159**, 1205–1228.
- Fenoglio, M.A., Johnston, M.J.S., Byerlee, J.D., 1995, Magnetic and electric fields associated with changes in high pore pressure in fault zones: application to the Loma Prieta ULF emissions. *J. Geophys. Res.* **100**, 12951–12958.
- 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: *Geophys. Res. Lett.*, **17**, 1465–1468.
- Merzer, M. and Klemperer, S. L., 1997, Modeling low-frequency magnetic-field precursors to the Loma Prieta earthquake with a precursory increase in fault-zone conductivity: *Pure Appl. Geophys.*, **150**, 217–248.
- Molchanov, O., Kulchitsky, A. and Hayakawa, M., 2001, Inductive seismo-electromagnetic effect in relation to seismogenic ULF emission, *Nat. Haz. Earth Sys. Sci.* **1**, 61–67.
- Nagao, T., Orihara, Y., Yamaguchi, T., Takahashi, I., Hattori, K., Noda, Y. Sayanagi, K., Uyeda, S., 2000, Co-seismic geoelectric potential changes observed in Japan. *Geophys. Res. Lett.* **27**, 1535–1538.
- Ogawa, T. and Hill, D. P., 1985, Electromagnetic radiations from rocks: *J. Geophys. Res.*, **90**, 6245–6249.
- Park, S. K., Johnston, M. J. S., Madden, T. R., Morgan, F. D., and Morrison, H. F., 1993, Electromagnetic precursors to earthquakes in the ULF band: a review of observations and mechanisms: *Review of Geophysics*, **31**, 117–132.
- Surkov, V.V., Molchanov, O.A. and Hayakawa, M., 2003, Pre-earthquake ULF electromagnetic perturbations as a result of inductive seismomagnetic phenomena during microfracturing, *J. Atm. Solar Terr. Phys.*, **65**, 31–46.