

Source analysis of the Memorial Day explosion, Kimchaek, North Korea

Sean R. Ford, Douglas S. Dreger, and William R. Walter

2009년 5월 25일 북한에서 실시한 핵실험(인공지진)에 대하여 10-15초 band의 complete waveform modeling을 이용하여 source inversion을 수행하였다.

이 연구를 수행하기 위하여 사용된 자료는 GSN네트워크의 INCN, TJN 관측소 자료와 China Digital Seismograph Network(CDSN) 네트워크의 MDJ, BJT, HIA 자료를 이용하였다. 수집된 자료는 변위로 적분한 후 corner frequency가 0.02-0.1 Hz의 6차 acusal Butterworth filter로 band-pass 필터링을 하였다. 그런 후 MDJ, INCN, TJN 관측소에 대해서는 MDJ2 속도모형을 이용하여 그림함수를 계산하였다. 그림함수는 2009년 5월 9일, 00:54:43.38 41.2986°/129.0694°p align 시켰는데, 모델과 실측자료가 잘 일치하도록 하기 위하여 TJN 관측소의 경우 2s를 이동시켰으며, BJT HIA 관측소에 대해서는 약 5s를 이동시켰다. 이는 MDJ2 속도구조 모델의 편향성을 반영하는 것으로 BJT, HIA 관측소에 대해서는 MJD2 관측소의 속도모형을 일부 수정하여 계산하였다. 계산을 위한 초기 source depth는 600m로 하였다.

인공지진에 대한 DC(double couple), deviatoric, full moment tensor solution을 구하였는데 DC solution의 best fit parameter를 찾기 위하여 grid search 방법을, deviatoric과 full moment tensor solution에 대해서는 least-square liner inversion을 이용하였다.

순수한 발파 모델로 가정할 경우 isotropic moment는 모멘트 규모 4.1에 대응하는 양으로 76%의 VR(barience reduction)값을 가지며, 순수한 DC 지진에 대한 해는 Mw 4.4에 대하여 VR 값이 52%로 계산되었다. 또한, single degree of freedom 발파 모델이 4 degree explosion DC 모델보다 더 잘 match 되었으며, 이는 인공지진과 순수지진을 판별하는데 유용한 방법이기도 하다. 가장 잘 fitting 되는 DC의 strike, rake, dip은 50, -80°, 10°이며 이와 같이 steep dip slip 메카니즘은 순수 지진의 경우 일반적인 것이 아니다. 따라서 인공적인 발파에 의한 신호인 것을 알 수 있다. 한편, Explosion과 DC에 대하여 Best fitting 된 차이를 비교해보면, DC의 경우 모든 관측자료에 대하여 transverse 성분에서 LOVE wave amplitude가 과대평가되고, 특히 TJN 관측소에서는 Rayleigh wave의 amplitude가 과소평가된다. 몇몇 관측소에서 LOVE wave가 관측된다는 사실은 source가 non-isotropic component라는 것을 지시한다.

또한, 2009년 핵실험과 2006년 핵실험의 waveform과 spectra를 비교한 결과 유사성을 확인하였으며, 2006년 실험의 경우보다 2009년 실험이 약 5배 큰 값을 보임을 알 수 있다.