효동리 시추공 관측소의 배경잡음 특성

Back Ground Noise of Borehole Seismic Data at Hyodongri

신진수* 지헌철* 박정호* 황의홍* 신인철*

Shin Jin-Soo Chi Heon-Chul Park Jung-Ho Hwang Eui-Hong Shin In-Chul

ABSTRACT

We have installed the borehole seismic recording system at Hyodongri in eastern part of Kyungsan Basin, which has the advantages of reduction in noise by human activities and distorting effects of near-surface rocks. Here we describe briefly the borehole seismic station and recording system. And we analyse the characteristics of back ground noise around the station obtained from borehole sensors. The back ground noise level in time domain is about 50~100 μ cm/sec. The average curve of noise spectrum is lower than NHNM(New High Noise Model) of GSN(Global Seismic Network) operated by USGS. The results could be useful prior information for study on earthquake records observed at Hydongri station.

1. 서 론

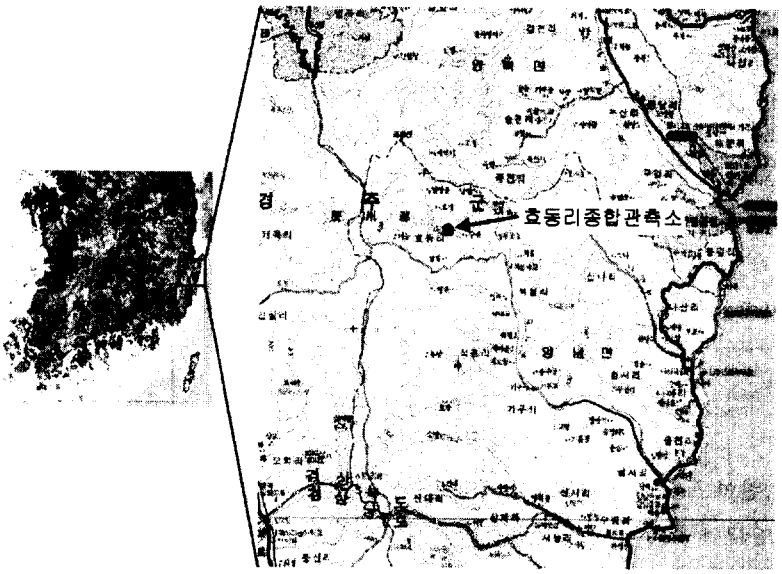
한국 자원연구소는 경상분지의 지진활동을 체계적으로 관측하고 내진 설계의 기본이 되는 지반의 반응특성을 규명하기 위해 1995년부터 9개소의 트리거 기록방식의 단주기 지진관측소를 경상분지에서 운영하고 있으며 4개소 트리거 기록방식 단주기 지진관측소와 2개소의 연속기록방식 단주기 지진관측소와 5 개소의 광대역 지진관측소를 그외 지역에서 운영하고 있다[1]. 현재 한국 자원연구소가 설치한 지진관측소들은 대부분 잡음 수준이 낮은 곳에 위치하여 양질의 지진기록을 기록하고 있으나 지표에 센서가 설치되어 바람, 비등의 자연 현상과 인간의 활동과 같은 고주파잡음의 영향을 받는 경우가 있다. 또한 모든 관측소는 센서가 지표에 설치되어 있어 내진 설계의 중요한 요소인 site effect를 구하기가 쉽지 않다. 시추공 지진 기록은 표토층에 의한 감쇠효과를 분석함으로써 지진동에 의한 퇴적층에서의 공명 증폭효과 등과 같은 site effect에 대한 자료를 제공한다. 또한 깊이에 따라 표면파가 지수적으로 감쇠하므로 인간의 활동에 의한 잡음 등 각종 고주파 잡음의 영향을 작게 받으므로 지표관측소에 비해 정확한 지진의 관측이 가능하다[2].

경북 경주시 효동리에 위치한 (그림 1) 시추공 관측소는 이 일대에 발생하는 지진의 정확한 위치

* 한국자원연구소 지진연구센터

및 발생 메카니즘을 규명하는데 중요한 구실을 할 수 있을 것이며 이를 통해 최근에 발견된 활성단층선과의 연관성을 규명할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 각종 고주파 잡음이 제거된 강진자료와 약진 자료를 기록함으로써 한국의 지진 자료의 기준점이 될 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 시추공 지진관측소에 설치된 지진장비는 광대역 속도 센서와 가속도 센서를 동시에 설치하여 강진, 미소지진, 원거리 지진 자료를 획득함으로써 지진학과 지진공학에서 필요로 하는 자료를 동시에 얻을 수 있도록 하였다. 또한 기록되는 자료의 호환성과 통일성을 높이기 위해 한국시추공지진 기록장비의 기준을 마련하였다. 지진 기록 장비는 미소지진과 강진을 동시에 기록할 수 있는 분해능을 가진 광대역 기록장비인 Q4128을 하였고, 강진을 기록할 가속도 센서는 미국 Kinemetrics사의 ES-DH로 최대 감지 값은 0.5G로 하였다. 미소지진과 원거리지진 연구를 목적으로 하는 속도센서는 영국 Guralp 사의 광대역 시추공 속도 센서인 CMG3TB이다.

시추공 관측장비는 미국지질조사소 표준에 따라 설치 하였다. 가속도 센서와 속도 센서를 설치하기 위해 2개의 시추공을 굴착하였다. 가속도 센서를 설치할 시추공은 25m 깊이를 2 °의 경사 이내



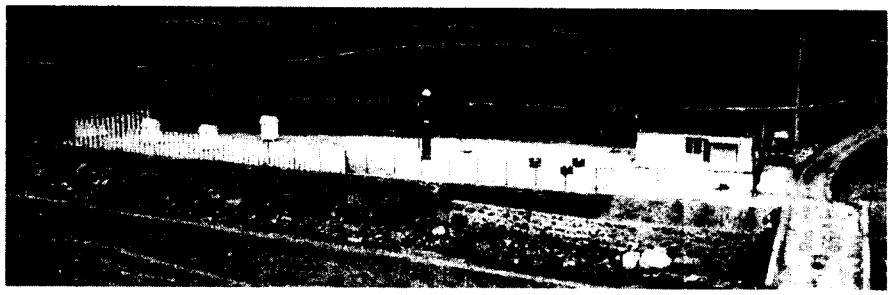


그림 1. 효동리 시추공 지진관측소 위치 및 전경

로 굴착하였으며 속도 센서를 설치할 시추공은 65m깊이를 3 °이내의 경사로 굴착하였다. (그림 2)

2. 배경잡음 분석

지진 관측망의 구축 과정에 있어서 추가적으로 중요하게 다루어야 할 부분은 지진 기록에 지속적으로 포함되는 배경 잡음이다. 조류, 대기의 압력 변화, 지표의 계절적인 온도 변화, 인간의 활동에 의한 잡음은 지속적으로 발생되며 시간적, 공간적으로 변하고 모든 주파수에서 일정하지 않다. 이러한 배경 잡음은 지진 기록 시스템에 대한 설계에 많은 영향을 미친다.

시추공 관측소의 관측 조건과 기록되는 지진자료의 질적 상태를 검증하기 위하여 관측소의 배경 잡음 특성을 분석하였다. 배경 잡음의 수준은 지진관측 기록을 이용한 규모 결정이나 기타 후속연구에서 관측소 보정 계수로 활용되기 때문에 사전에 이러한 분석은 필수적인 사항이다. 만약에 관측소에서 원인을 알 수 없는 배경잡음의 수준이 확연히 구분된다면 실제 지진기록을 활용한 연구에서도 이에 대한 보정을 반드시 수행해야 한다. 배경 잡음 분석은 두가지의 목적을 갖는다. 첫 번째 목적은 시추공 관측장비부터 얻어진 배경 잡음에 대한 catalog를 제공하기 위한 것이며, 두 번째 목적은 연속적인 배경 잡음에 대한 기본적인 모델을 정하는데 있다. 실제로 이러한 배경 잡음 모델은 자료의 수집과 처리 과정에 보다 나은 영향을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

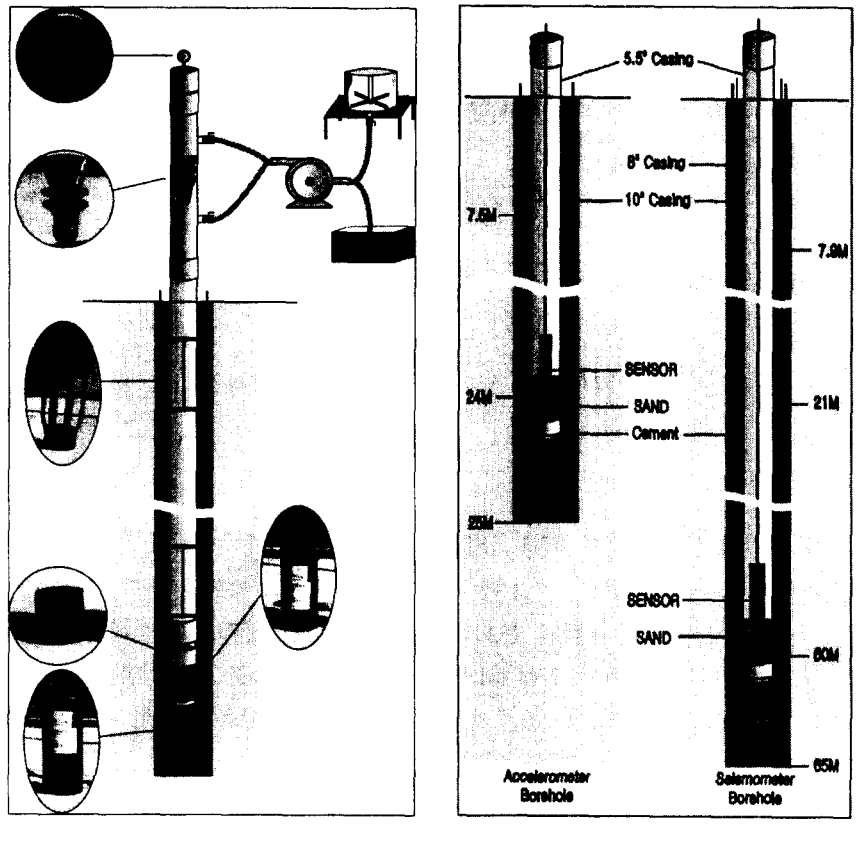


그림 2. 시추공내 구조(좌) 및 가속도·속도 시추공 센서(우)

2.1 자료 수집 과정

효동리 시추공 관측소에서는 CMG3TB 속도 지진계와 Q4128 기록계가 설치되어 STS-2 센서가 설치된 광대역 관측소와 같은 주파수 대역에 대해서 이벤트 자료와 연속 자료를 동시에 저장하고 있다. 이 중에서 배경 잡음 분석에서 사용된 자료는 기록계(Q4120 계열)에 저장된 100Hz 성분의 연속적인 자료들이다. 연속적인 자료들 중 비교적 인위적인 잡음이 적은 새벽 시간대를 설정한 후, 이벤트가 기록되지 않은 시간대에 대해서 충분히 광범위한 대역의 주파수 특성을 분석하기 위해 각각 약 3분 동안의 100Hz 자료를 수집하여 50Hz까지의 주파수 특성을 분석하였다. 일변화의 배경 잡음 분석을 위해서 2000년 7월 8일 - 10일 사이의 24시간동안 매 시간 3분 동안의 자료를 수집하였으며, 자료 수집시 각 수집된 자료들에 대해서 육안 분석과 필터를 적용하여 이벤트가 기록되지 않은 시간대의 자료를 수집한 후 각각의 파형에 대해 noise spectra를 계산하였다.

2.2 분석 방법 및 과정

연속적으로 기록된 배경 잡음 자료를 수집 한 후 각각의 자료를 처리하고 분석하였다. 시간영역에서 절대값 크기 분석과 주파수 영역에서 스펙트럼 분석을 통한 우세 주파수 대역 비교 등의 방법으로 분석을 수행하였다. 시추공 관측소의 배경 잡음의 수준을 알아보기 위해 선택된 자료들에 대해서 스펙트럼을 계산한 후 진폭의 평균값을 구하여 각 관측소에서의 일변화를 비교 분석하였다.

시간영역에서 배경잡음의 크기는 배경잡음 기록의 포락곡선(Envelope Curve)을 계산 한 후 이 곡선의 평균값과 표준 편차를 구하였다. 이 때 포락곡선은 Hilbert 변환[3] 방법을 적용하여 계산하였다. 이는 원함수 $f(t)$를 90도 위상 변환 시킨 $h(t)$를 구한 후

$$E(t) = \sqrt{f(t)^2 + h(t)^2}$$

와 같이 계산하는 것이다. 여기서 $h(t)$는 다음과 같은 관계로 얻어진다.

$$\begin{aligned} H(\omega) &= iF(\omega) \quad \text{for } \omega > 0 \\ &= -iF(\omega) \quad \text{for } \omega < 0 \end{aligned}$$

일변화 분석은 24시간 동안의 배경 잡음 변화를 비교 분석하므로써 주간과 야간에대한 주변 잡음 수준을 비교하는데 유용하다. 또한 관측소 전체적으로 해류의 영향, 대기의 변화 등에 의한 저주파수 영역의 잡음이 우세하게 분포하고 있어서 단지 관측소 주변에서 기록되는 고주파수 영역의 잡음 수준을 비교분석하기 위해 1Hz이하의 저주파수 성분을 제거하는 필터를 적용하였다. 저주파수 제거 필터를 적용하므로써 장주기의 특성에 의한 영향을 제거할 수 있으며 관측소 주변만의 배경 잡음을 이용한 분석이 가능하였다.

마지막으로 관측소에서 얻어진 배경 잡음 스펙트럼을 중첩시켜 광대역 관측소의 배경 잡음에서 나타나는 주된 구조적 특징을 분석하였으며, 배경 잡음 수준을 GSN(Global Seismic Networks)

의 배경 잡음 수준과 비교하였다. 이러한 비교 분석을 위해서 각 관측소의 배경 잡음에서 얻어진 스펙트럼의 분산율 감소시키기 위해 주파수 영역에서 Tapering을 수행한 후, Fast Fourier Transform을 사용하여 스펙트럼을 계산하였다. 그런 다음 스펙트럼의 진폭값을 dB 값으로 전환한 후 , 최종적으로 주파수 영역에 대해서 n-point smoothing을 수행하였다. 이와 같은 방법에 의해 얻어진 결과값을 주기 영역에 대해서 나타낸 후 USGS의 배경 잡음 모델과 중첩시켜 비교 하였다

2.3 배경 잡음 특성

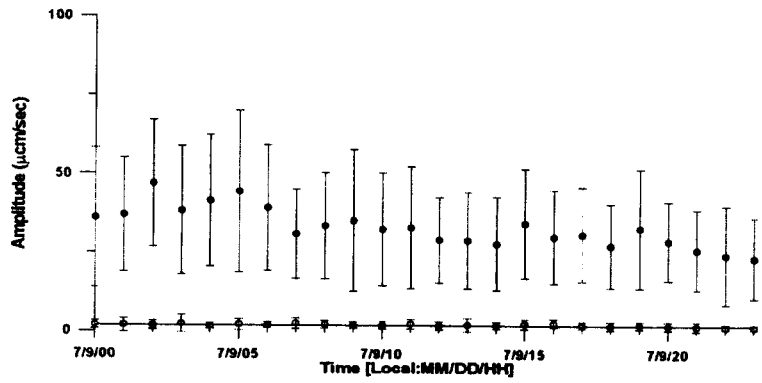
시추공 관측소의 배경 잡음은 0.05~0.1Hz, 0.2~0.5Hz 영역의 주파수가 우세한 특성을 보이고 있으며, 1Hz 이상의 고주파수 영역에서는 진폭의 변화가 비교적 적게 나타났다. 특히 각 채널별로 수직 성분에서는 2-8Hz의 범위에서 비교적 진폭의 변화가 심해서 불안정하게 나타나며 10Hz 이상의 고주파수 영역에서는 일정한 값의 진폭을 갖는 것으로 나타났다. 반면에 수평 성분의 기록에서는 상대적으로 2Hz이상의 고주파수 영역에서 진폭의 변화가 적은 특징을 보인다.

시추공 관측소에서의 일변화는 평균 진폭이 48.0~78.0μcm/sec으로 나타났다. 이 값은 저주파수에 의한 영향에 의해 높은 값을 보이는 것으로 판단된다. 1Hz이하의 저주파수를 제거하는 필터를 적용한 결과 평균값이 3.9~10.0μcm/sec으로 낮게 나타났다(그림 3). 저주파수 필터를 적용한 결과에서 알 수 있듯이 수직 방향과 동서 방향의 배경 잡음은 대전 관측소와 유사하게 매우 낮은 분포를 보이는 것으로 나타났지만, 남북 방향의 성분은 상대적으로 높은 분포를 보이고 있다. 또한 시추공 관측소의 배경 잡음은 주간과 야간이 구분 되지 않을 만큼 비교적 진폭의 변화가 적다는 것을 알 수 있다.

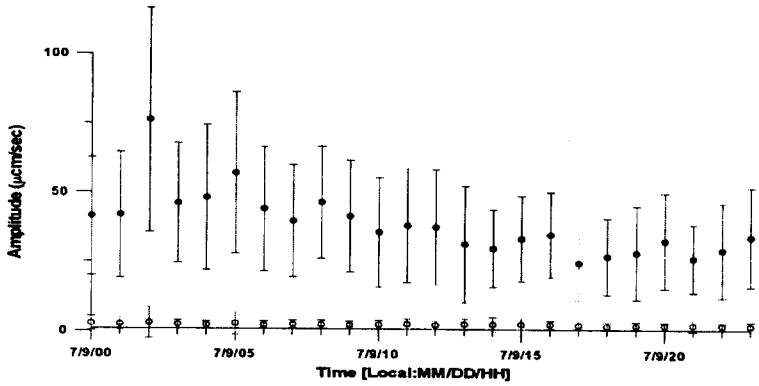
2.4 배경 잡음 모델

시축공 관측소에서의 배경 잡음의 수준을 USGS(U.S Department of Interior Geological Survey)의 GSN(Global Seismic Networks) 관측망의 배경 잡음 수준과 비교하여 보았다. USGS에서는 이미 각 관측소에서 얻어진 배경 잡음을 이용하여 최고 잡음 수준과 최소 잡음 수준을 대표하는 배경 잡음 모델을 작성했으며, 최근에는 기존의 모델을 근거로 새로운 배경 잡음 모델까지 작성하였다[4]. 이러한 배경 잡음 모델을 이용하여 USGS에서는 각 관측소에서 나타나는 배경 잡음의 수준을 판단할 수 있는 근거로 사용하고 있다.

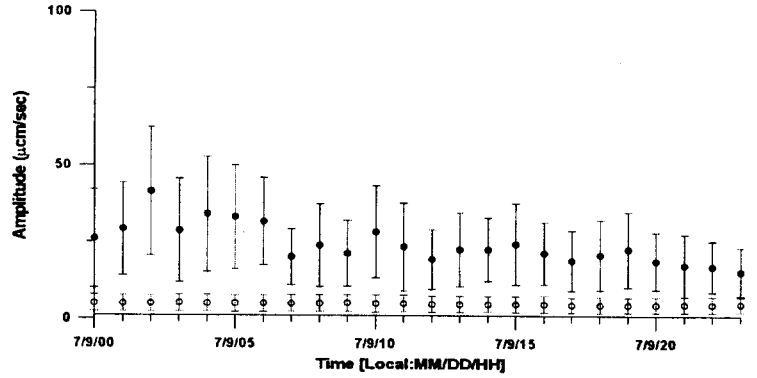
따라서 시추공 관측소의 배경 잡음 수준을 USGS의 모델과 비교하므로써 잡음 수준의 정도를 알 수 있을 것이다. 그림 4는 시추공 관측소에서 얻어진 배경 잡음을 주기와 진폭값에 대해서 중첩시킨 후 USGS의 배경 잡음 모델과 비교한 것이다. 시추공 관측소의 스펙트럼이 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 USGS 배경 잡음 모델의 NLNM(New Low Noise Model)과 NHNM(New High Noise Model) 사이에 집중되어 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 것으로 볼 때 본 과제에서 수행된 광대역 관측소의 배경 잡음 수준은 USGS의 GSN 관측소의 배경 잡음과 크기와 경향성에서 유사하다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 시추공 관측소의 주위 여건 및 설치 상태는 매우 양호하다고 할 수 있다.



(a)

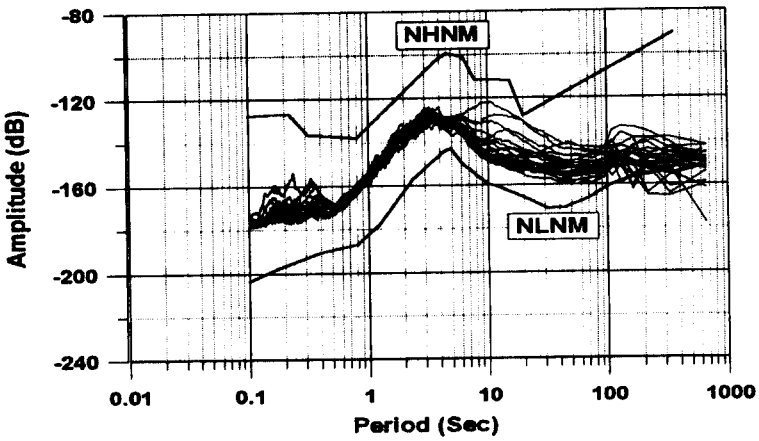


(b)

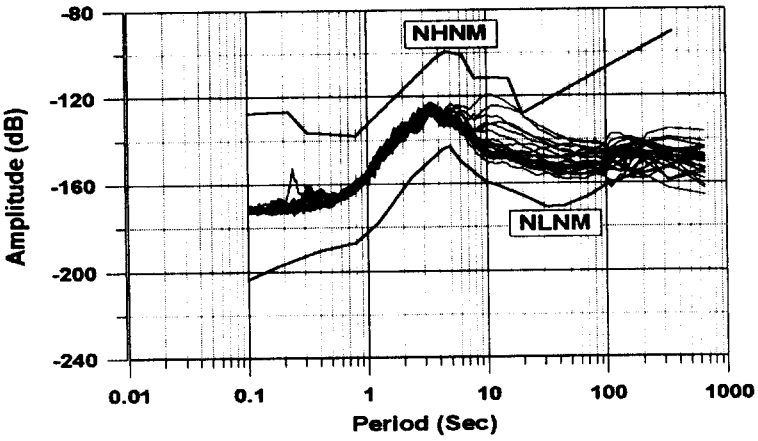


(c)

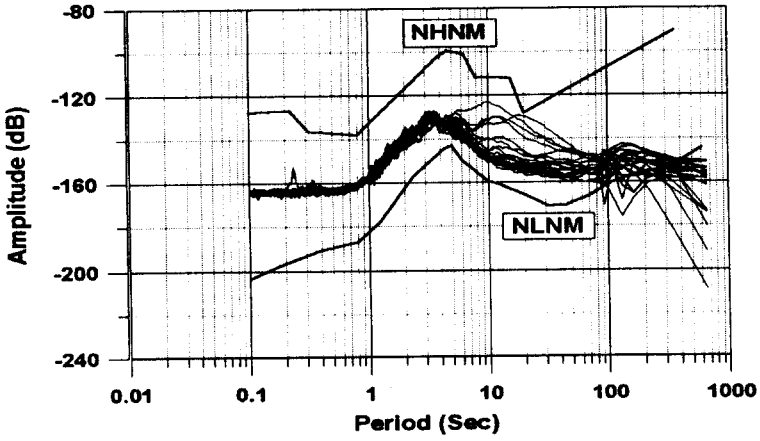
그림 3. 효동리 시추공 관측소의 일일 시간대별 배경 잡음 수준 변화
(a) U-D 성분 (b) E-W 성분 (c) N-S 성분



(a)



(b)



(c)

그림 4. 그림 시추공 지진계의 배경 잡음과 USGS Noise Model의 비교
(a) U-D (b) E-W (c) N-S

3. 결론

광대역 관측소에서 얻어진 배경 잡음은 전체적으로 주파수별 배경 잡음 수준의 양상이 유사한 특징을 보여주고 있으며, 장주기의 잡음이 가장 우세하게 분포한다는 특징을 갖고 있다. 특히 0.1~0.5Hz의 주파수 범위에서 큰 진폭을 갖는 영역이 나타났으며 이것은 continental noise에 의한 영향으로 판단된다. 또한 2~3Hz의 범위에서 전기적인 noise에 의한 영향으로 보이는 peak가 나타났으며, 그 이상의 고주파수 영역에서는 경북대 관측소가 다른 관측소에 비해 상대적으로 잡음 수준이 높은 것으로 나타났다. 저주파수 영역에서는 자연 현상에 의해 발생되는 장주기 특성의 noise가 비교적 크게 작용되어 큰 진폭을 보이고 있다.

시간 영역에서 배경잡음의 수준은 대략적으로 평균 50~100μcm/sec정도의 크기이다. 이 값을 지진의 규모대 최대 지반속도 곡선[5]과 비교하여 보았을 때 이 정도의 잡음 수준은 규모 2.0 지진이 거리 200 km에서 발생 하였을 때의 지반진동과 유사한 크기이다. 그러나 이 값은 대부분 저주파수 진동에 의한 것으로 약 200 km 정도에서 규모 2.0 지진이 발생하여도 특별한 사전 자료 처리 과정 없이 관측소 기록으로부터 지진에 의한 진동을 구별 할 수 있다. 효동리관측소의 잡음 수준은 반경 1,000 km 이내에서 발생하는 규모 2.0 이상, 1 hz 이상의 지진신호에 영향을 미치지 않을 크기이다. 이는 우리나라 전역과 인근 해역을 포괄하는 넓이로 효동리 관측소에서 지진자료를 배경잡음으로 인한 왜곡 없이 기록 할 수 있음을 의미한다.

참고문헌

1. 지헌철, 이희일, 전정수, 신인철, 김동균, 박정호, 김근영, 1998, "지진공학연구" 한국자원연구소, KR-98(C)-06.
2. Liu, H. P., Warrick, R. E., Westerlund, R. E. and Fletcher. J. B. 1991, " A Three Component Borehole Seismometer for Earthquake Seismolgy", BSSA, Vol. 81. No 6, 2458-2485.
3. Claerbout, J. F., 1976, "Fundamentals of Geophysical Data Processing" McGraw-Hill
4. Peterson, J., 1993, "Observation and Modeling of Seismic Background noise" USGS Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico.
5. Jo, N. D., 1999, "Stochastic Prediction of Strong Ground Motions in Southern Korea" M.S degree Thesis, Seoul Nat'l Univ.