

# 배경잡음 수준 분석에 의한 동남권 신규 관측소 성능 특성 평가

## Characterizing the Performance of New Seismic Stations in Southeastern Region, Korea Using Seismic Noise Levels

신진수<sup>1)\*</sup> · 성윤정<sup>2)</sup> · 손민경<sup>3)</sup>

Shin, Jin Soo<sup>1)\*</sup> · Seong, Yun-Jeong<sup>2)</sup> · Son, Minkyung<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>한국지질자원연구원 지진연구센터 책임연구원, <sup>2)</sup>한국지질자원연구원 지진연구센터 선임기술원, <sup>3)</sup>한국지질자원연구원 지진연구센터 선임연구원

<sup>1)</sup>Principal Researcher, Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, <sup>2)</sup>Senior Engineer, Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, <sup>3)</sup>Senior Researcher, Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

### / A B S T R A C T /

We performed seismic noise level analysis to access the proper functioning of 11 newly established seismic stations in the southeastern region of Korea. One-hour long segments of seismograms were selected from the continuous data of the 3 elements for 61 days from March 1, 2019. For each segment of data, the power spectral density (PSD) was estimated from the continuous background noise data of the 3 elements for periods ranging from 0.02~100 s. The median noise levels (NLs) of the stations were compared with the new noise model (NNM) of USGS and NLs of station TJN installed in a tunnel on a granite basement. We observed that the NLs of the newly installed seismometers were between the upper and lower limit of the NNM. In a comparison with the noise level of station TJN, the new seismometers had their own noteworthy features. The NLs from accelerometers (Epi-sensors) were ~ 40 dB higher than the NLs from velocimeters (STS-sensors) for periods > 10 s, which is because the small and light Epi-sensors are sensitive to environmental changes. Daily and weekly variations in spectral noise level were observed clearly in short periods < 1 s, and these are considered to be related to human activities. The seismometers in boreholes showed ~20 dB weaker NLs in the cultural noise band. The NLs of accelerometers at a depth of 30 m were also much lower by 30 dB for long periods > 10 sec. Overall the functioning of the new velocimeter and accelerometer stations was reliable for periods ranging from 0.02~100 s and 0.02~10 s, respectively.

**Key words:** Seismic station, Functioning, Noise level, NNM, Cultural noise

## 1. 서론

2016년 경주지진, 2017년 포항지진 이후 우리나라에서 지각구조와 지진활동 특성을 규명하고 지진조기 경보 능력을 강화하기 위하여 지진 관측망이 보강 확대되고 있다. 한국지질자원연구원(KIGAM)에서도 동남부 지역에 11개의 관측소를 신설하여 운영하고 있다. 지진관측소는 양질의 관측 자료를 확보하기 위하여 가능한 주위의 배경잡음 수준이 낮고 주변 지역에 지하 지질을 대표할 수 있는 암반 노두에 설치하여야 한다. 하지만 사람들의 생활 밀집도가 높은 우리나라와 같은 상황에서 이러한 조건을 상당히 만족

하는 지점에 지진관측소를 설치하는 것은 매우 어렵다. 현재 신설되고 있는 대부분의 관측소 위치는 생활권에서 멀리 떨어져 있지 않기 때문에 여기서 만들어지는 잡음 특성을 정량적으로 이해하여 지진기록 품질에 어떠한 영향을 주는지 파악할 필요가 있다.

배경잡음의 원인을 규명하는 연구 활동은 꾸준히 진행되어 왔다. 많은 연구에서 배경잡음 진동 주기 별로 분류하여 원인을 설명하고 있다. 주기 1.0 sec 이하 대역의 지진배경잡음은 주로 자동차 운행, 기계작동 소음과 같은 인간 활동에 의하여 만들어진대[1-4]. 자연적인 원인인 바람이 직접 지표면에 부딪히거나 나무를 흔들어 뿌리에서 진동이 전파하는 경우에는 1 sec 이하의 단주기 잡음을, 지상의 큰 구조물은 흔들어서 진동을 생성할 때는 1 sec 이상의 장주기 잡음이 만들어진다[2]. 전세계 대부분 지역에서 크게 관측되는 10~16 sec 대역의 지진잡음은 대양에서 중첩된 파도에너지가 해저면에 충격을 주면서 만들어진다[5]. 파도가 직접 해안에 부딪히면서

\*Corresponding author: Shin, Jin Soo

E-mail: jinsoo@kigam.re.kr

(Received July 23, 2019; Revised September 25, 2019; Accepted October 14, 2019)

만들어 지는 진동은 4~8 sec 대역 잡음의 원인이다[6].

여기에서는 KIGAM 신규 관측소의 배경잡음 수준과 대역별 특성을 평가하였다. 잡음특성 분석은 신규관측소의 관측 능력과 자료품질을 정량적으로 이해하는 첫 번째 단계이다. 잡음 수준의 평가는 Peterson[7]이 제안한 NLNM(new low noise model), NHHM(new high noise model)과 비교하는 방식으로 이루어졌다. 또한 지진계 주변 환경이 배경잡음에 시간적 그리고 공간적으로 주는 영향 분석도 이루어 졌다.

## 2. 배경잡음 자료처리

KIGAM에서는 경주, 포항지진이후 동남권 지역에 11개의 관측소를 순차적으로 설치하여 운영하고 있다(Fig. 1). 관측소는 관측환경과 설치 목적에 따라 지표형 또는 시추공형으로 구성되고 관측 센서 또한 속도계와 가속도계의 조합으로 이루어져있다(Table 1). 지진 기록계는 모두 KINEMATRICS사의 Q330HR이다. 속도계는 지표형에는 STS-2.5 광대역 센서가 설치되었다. POSB 관측소의 300 m 깊이의 시추공형 광대역 속도계는 KINEMATRICS STS-5A이고 POHB 지표형 단주기 속도계는 Guralp CMG-4T이다. 지표형과 시추공형 가속도계는 각각 KINEMATRICS ES-T와 ES-DH이다. 광대역 속도 센서 STS- 2.5와 STS-5A는 평활 주파수 응답영역이 8.33 mHz~50 Hz이며 민감도는 1,500 volt·sec/m이다. 최대 출력전압은 ±20 volt이고 현장에서 측정 가능한 최대 속도는 ±13 mm/sec로 설정되어있다. 단주기 속도 센서 CMG-40T는 평활한 주파수 응답영역이 1.0~100 Hz 민감도는 2,000 volt·sec/m이다. 최대 출력전압은 ±20 volt이고 현장에서 측정 가능한 최대 속도는 ±8.8 mm/sec로 설정되어있다. ES-T와 ES-DH는 주파수 응답영역이 200 Hz까지이고 민감도는 40 volt/G이다. 최대 출력

전압은 ±20 volt이고 측정 가능한 최대 가속도는 ±0.5 g로 설정되어있다. 배경잡음 수준 분석을 위하여 McNamara and Buland[2]의 PPSD(probabilistic power spectral density) 방식을 적용한 Python 공개 프로그램(obspsy. signal.spectral\_estimation.PPSD)을 계산에 사용하였다.

PSD 방식으로 배경잡음 수준을 계산하기 위하여 우선 대상 관측소에서 2019년 3월 1일부터 4월 30일 까지 61일간 3 성분 연속자료를 수집하고 이를 50% 중첩되게 하여 1시간 단위로 분절하였다. 따라서 1시간 단위로 분절된 자료 수는 총 61일×24시간×2(50%중첩) - 1개이다. 각각의 1시간 자료는 75% 중첩하여 13개로 다시 소분절 된다. 소분절 기록으로부터

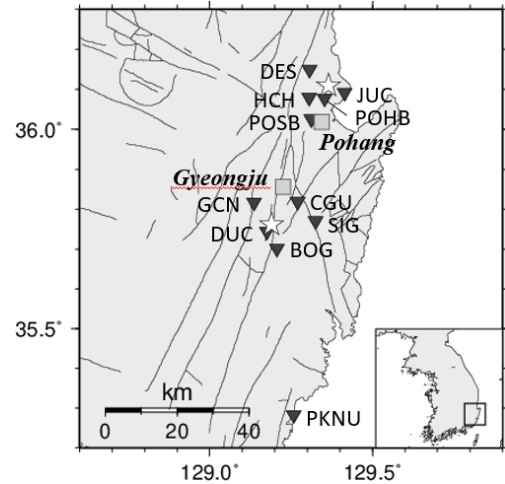


Fig. 1. Map showing the locations of eleven seismic stations (▼) installed after 2016 Kyeongju and 2017 Pohang earthquakes (☆)

Table 1. Locations and Instrumentations of seismic stations newly installed by KIGAM

Station Code	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Start Date (yyyy/mm/dd)	Seismic Sensor
POHB	36.0778	129.3533	99	2017/06/14	CMG-40T ES-DH (depth 30 m)
BOG	35.7014	129.2067	136	2017/12/22	ES-T ES-DH (depth 30 m)
CGU	35.8194	129.2698	205	2017/12/22	ES-T ES-DH (depth 30 m)
DUC	35.7446	129.1758	118	2017/12/22	ES-T ES-DH (depth 30 m)
GCN	35.8170	129.1363	121	2017/12/22	ES-T ES-DH (depth 30 m)
DES	36.1490	129.3065	75	2019/02/07	STS-2.5 ES-T
HCH	36.0793	129.3052	100	2019/02/07	STS-2.5 ES-T
JUC	36.0924	129.4143	28	2019/02/08	ES-T ES-DH (depth 30 m)
PKNU	35.2830	129.2585	7	2019/02/08	ES-T ES-DH (depth 30 m)
SIG	35.7708	129.3251	100	2019/02/08	ES-T ES-DH (depth 30 m)
POSB	36.0256	129.3118	100	2019/02/22	STS-5A (depth 300 m) ES-DH (depth 30 m)

터 POWER 스펙트럼  $P(\omega)$ 을 계산하고 이를 가속도 스펙트럼 데시벨 [ $10 \times \text{Log}(P(\omega) \text{ m/sec}^2)^2/\text{Hz}$ ] 로 전환하여 하나의 PSD를 생성한다. 1시간 13개 PSD 평균으로 1시간 자료의 PSD가 만들어진다. 시간 단위 PSD는 일별로 또는 전체 기간으로 통계처리 하여 최종 결과를 도출하였다. 여러 개의 PSD로부터 통계처리 된 하나의 최종 PSD를 정하는 과정에서는 평균값보다는 중앙값을 취하였다. 이러한 방식이 실제 지진, 연속자료 누락, 또는 센서의 자체보정 신호등과 같이 배경잡음신호가 아닌 이상신호에 의한 비정상적인 PSD값의 영향을 줄이는데 더 효율적이다[8].

동남권 지역에 신설된 지진관측소 배경잡음 수준을 USGS에서 제시한 NNM(new noise model)과 비교하였다. Peterson[6]은 전 세계에 위치한 초광대역 속도계 STS-1 자료로부터 NNM을 도출 하였다. 초광대역 배경잡음 속도 스펙트럼을 가속도 스펙트럼으로 전환한 후 전체적인 수준의 하한(NLNM), 상한(NHNM)을 제시한다. NLNM과 NHNM 각각 정상적으로 작동하는 전세계 관측소의 배경잡음 수준의 하한과 상한을 포괄하도록 설정된 기준이다. 신규 관측소의 배경잡음 수준이 이 범위에 있을 때 특별히 영향을 주는 잡음원이 주변에 존재하지 않고 관측소가 정상적으로 자료를 취득한다고 판단할 수 있다. 한편 국내 기존 관측소에서 대전에 한국지질자원연구원 내에 있는 TJN 관측소 자료와 비교하는 것도 수행하였다. TJN 관측소는 STS-2.5와 ES-T 장비로 구성되어 있으며 위치가 비록 생활권역이기는 하지만 화강암 암반의 터널 내에 있어 비교적 양호한 관측환경을 지니고 있다.

### 3. 결과

Fig. 2는 각 관측소의 배경잡음 신호의 PSD 계산 결과를 보여준다. 보다 구체적인 분석을 위하여 계산 내용을 속도 자료(Fig. 2(a)), 시추공 가속도 자료(Fig. 2(b)), 지표 가속도 자료(Fig. 2(c)) 등 세 그룹으로 분류 하였다. 속도 자료의 배경잡음 PSD를 보면 전체적으로는 NLNM과 NHNM 사이에 있다. 하지만 TJN과 비교하였을 때 HCH, DES는 N-S, E-W, U-D 성분 모두 다소 높은 배경잡음 수준을 보여준다. 1 sec 미만의 단주기 영역에서 더 높은 배경잡음 값을 갖는다. 이는 이들 관측소가 주변의 생활 환경 잡음에 영향을 많이 받고 있기 때문이다. POSB 속도계는 지하 300 m에 위치한다. Fig. 2(a)에서 1 sec 이하 주기 대역에서 TJN 보다 POSB의 PSD가 낮게 나온다. 1 sec 이상 대역에서는 POSB와 TJN이 비슷한 수준이다. POSB를 HCH, DES와 비교하면 주기 0.1 sec에서는 20 dB, 1 sec에서는 10 dB 정도 PSD가 낮다. 관측 지점 주변에 생활 잡음의 영향을 시추공 관측소에서 최소화할 수 있다는 것을 보여주는 좋은 사례이다.

가속도 자료의 PSD는 속도자료 PSD와 조금 다른 경향을 보여주고 있다 (Fig. 2(b), (c)). 가속도 PSD도 10 sec 이하 주기에서는 전체적으로 NHNM 값을 초과하지 않고 있어 관측소 상태는 비교적 양호한 것으로 평가된다. 비록 지표형 가속도 관측소에서 0.1 sec 미만 주기에서는 큰 PSD값을 보여주

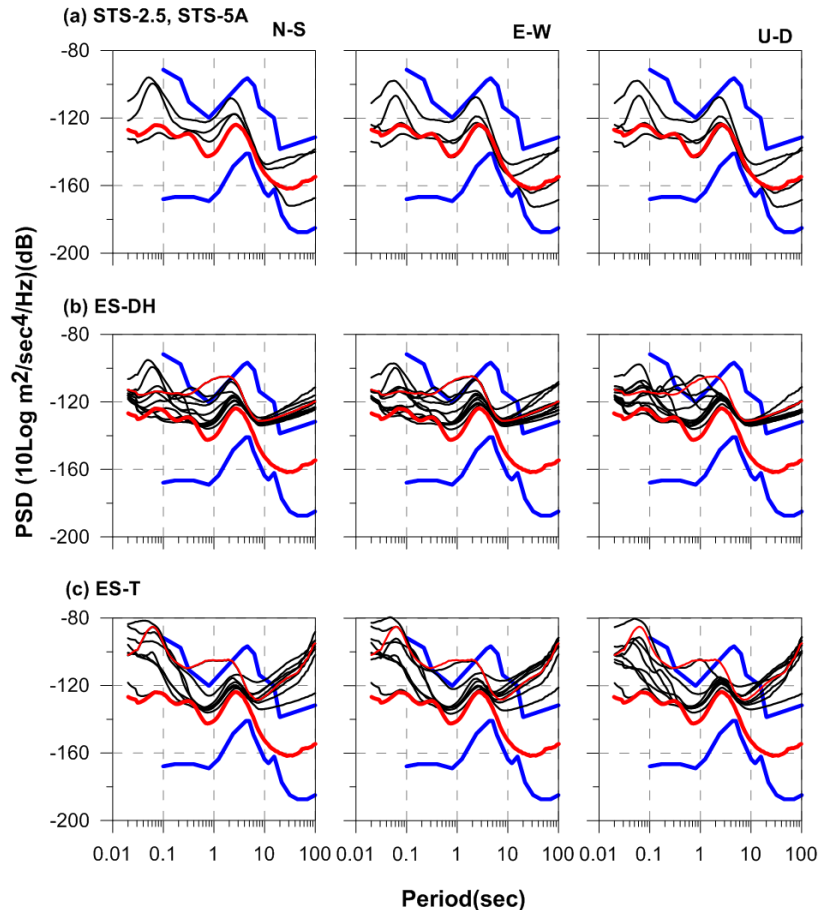


Fig. 2. Spectral noise levels (black lines) of three components computed for (a) broadband velocimeters (STS), (b) accelerometers at depth 30 m (ES-DH) and (c) on the surface (ES-T). Bold blue lines indicates the upper (NHNM) and lower (NLNM) limits of USGS NNM. Bold and thin red lines indicates TJN and GCN stations, respectively

지만 생활권역 내에 설치된 관측소임을 감안하면 비정상적인 범위는 아닌 것으로 여겨진다. 하지만 실제 이런 지진 기록 분석에서 0.1 sec 이하 주기 성분의 가속도 기록을 분석할 경우에는 배경잡음의 영향을 반드시 고려해야 할 것이다. 가속도 PSD에서 특이한 현상을 보이는 곳은 GCN 관측소이다. Fig. 2(b)에서 N-S 성분에는 2 sec 이상에서, E-W 성분에서는 0.5 sec 이상에서, U-D에서는 5 sec 이상 주기대역에서 GCN 관측소 PSD는 그 외 관측소 결과에 다른 경향을 보인다. GCN 관측소는 양성자 가속기 센터 부지 내에 위치하고 있으며 인근에 고속철도 선로와 통행량이 많은 고속도로가 존재한다. 배경잡음 수준만으로 이들의 영향을 구분하여 설명하기 어렵지만 가속기 센터의 기기 작동, 고속철도 그리고 고속도로의 복합적인 영향으로 0.3~3.0 sec 대역에서 진동이 상시 존재하여 PSD 결과에 반영된 것으로 추정된다.

가속도 PSD의 큰 특징은 10 sec 이상의 장주기 영역에서 볼 수 있다. 가속도 PSD는 관측 위치에 상관없이 모두 10 sec 이상 주기에서 NHNM보다 큰 배경잡음 수준을 보인다. 관측도 가속도 PSD가 NHNM을 초과하는 것은 장비 특성에 기인한다. ES-T와 같이 속도계 보다 크기가 작은 진자형

가속도 센서는 주변 환경 변화에 더 민감하게 반응한다. Govoni et al.[9] 등에 의하면 장비 크기가 작고 가벼울수록 장비 주변의 기온 변화에 따라서 내부 부품의 인장응력 변화, 센서 케이스의 열 팽창 수축 등이 상대적으로 심해진다. 이로 인하여 장주기 대역에서 센서의 응답함수가 민감하게 변화하여 가속도 잡음 수준을 높이는 것으로 분석되었다[9].

### 3.1 배경잡음 일변화

11개 신규 관측소의 매 시간대 PSD를 종합하여 배경잡음의 24시간 변화를 살펴보았다. Fig. 3은 광대역 속도 시추공형(STS-5A), 지표형(STS-2.5) 그리고 가속도 시추공형(ES-DH), 지표형(ES-T)의 배경잡음 일변화를 보여준다. POSB STS-5A는 포항공대 부지에 설치되어 있다. 관측소 위치가 시내에 위치하지만 센서 위치가 지하 300 m이기 때문에 배경잡음 수준이 비교적 낮은 수준이다. 1 sec 이하 주기대역에서 배경잡음의 일변화를 관찰할 수 있다. 0.5, 0.1 sec 주기의 진동이 오전 8시부터 오후 7시 사이에서 -125~-120 dB 정도인 반면에 야간 시간대에는 이보다 약 10 dB 작게 배경

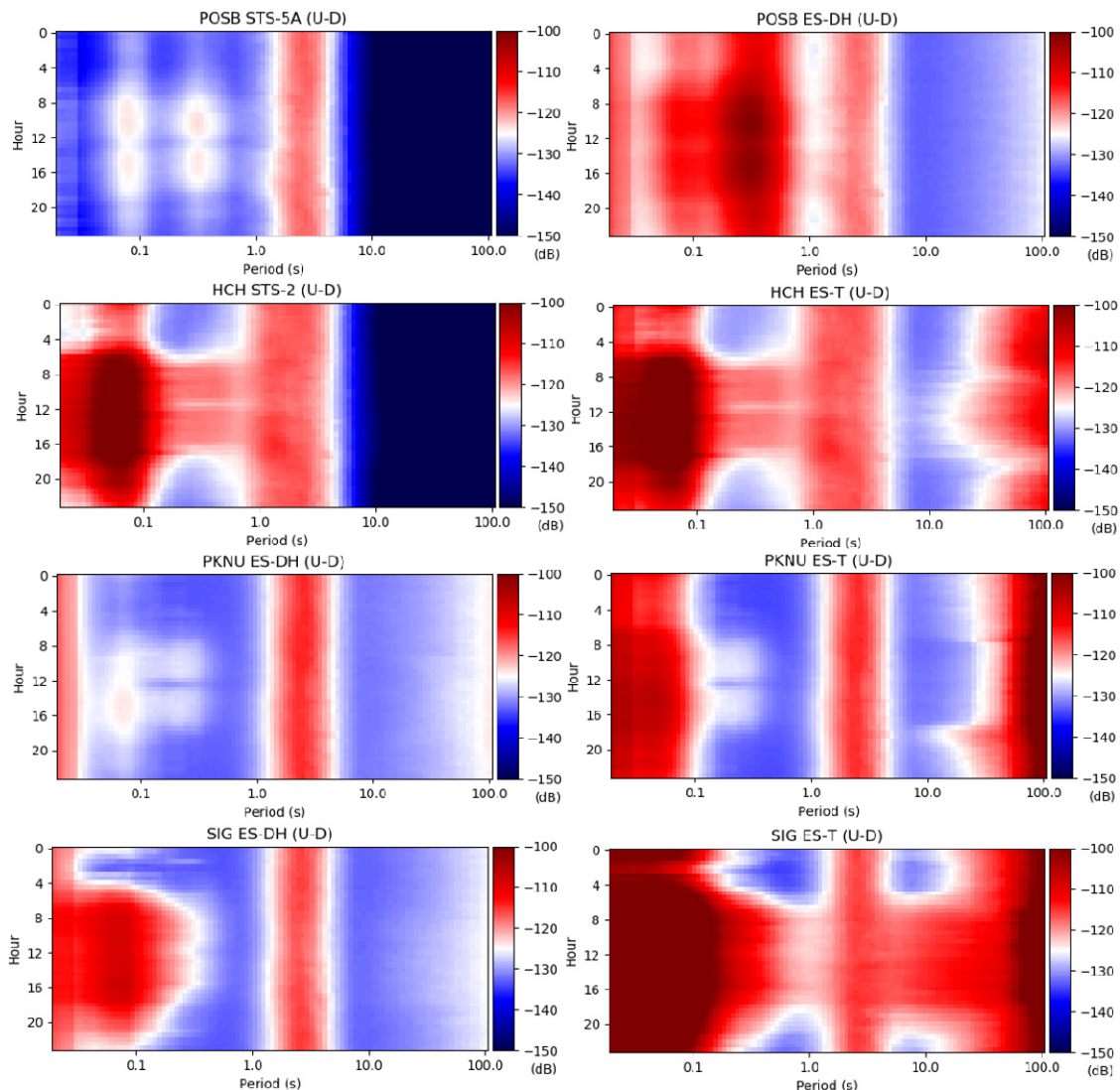


Fig. 3. Daily variations of spectral noise levels of U-D components for the stations, POSB HCH PKNU and SIG

잡음 진동이 있다. 1 sec 이상의 배경잡음의 일변화는 거의 관측되지 않는다. 거주지 지역 지표에 설치된 HCH STS-2.5 기록에서는 1 sec 이하 생활 잡음 수준이 시추공형 관측소 보다 크며 일변화도 확연히 관측된다. 주간 시간대에 0.1 sec 주기에서 POSB보다 20 dB 이상 큰 상시 진동이 있다. 장주기 영역에서는 일변화가 거의 없다.

시추공 가속도계(ES-DH)는 모두 지하 30 m 깊이 설치되어 있다. 시추공 가속도 자료에서도 일변화 양상을 관측할 수 있는데 지진계가 설치된 주변 환경에 따라 조금은 다른 특징을 지닌다. 시추공 가속도 기록에서는 장주기에서는 일변화가 발생하지 않으며 관측소 위치에 상관없이 배경잡음 수준도 -130~-125 dB로 거의 유사하다. POSB는 낮 시간대 0.5 sec 부근 주기에서 잡음수준이 -100 dB 이상으로 야간 시간대 보다 약 10 dB 이상 크다. 대학 캠퍼스 내에 있는 POSB와는 달리 SIG는 일반 주거지 인근에 위치한다. 생활 잡음 대역에서 SIG가 전반적으로 POSB 보다 작은 잡음 수준이다. SIG에서 주된 잡음 대역은 0.1 sec 이하이다. PKNU 관측소는 생활 인구 밀도가 작은 주거지역 인근이다. 일상적으로 활동이 많은 주간 시간대에 잡음 수준이 높기는 하지만 다른 지역보다 변화폭은 작다. 시추공 가속도의 배경잡음에서 보면 생활 대역에서 주간에 잡음 수준이 높은 주기는 일상적인 주거지인 경우에는 0.05 sec 부근이고 기계작동에 의한 상시진동이 있는 경우에는 0.5 sec 부근이다.

지표에 설치된 가속도계(ES-T)에서는 배경잡음의 일변화가 확실하게 관측된다. 또한 1 sec 이하 생활주기 대역에서 배경잡음의 수준은 같은 장소의 시추공형보다 20~30 dB 이상 크다. 동일한 지표형인 HCH의 STS-2.5와 ES-T를 비교하였을 때는 지진계 센서의 차이에도 불구하고 배경잡음 수준은 유사하다. 특이하게 SIG에서 장주기 일변화가 관측되는데 10 sec 부근에서 주간이 야간보다 10~20 dB 더 큰 값을 보인다. 이보다 더 주기가 긴 50 sec 이상 대역에서도 일변화가 관측되는데 변화 형태가 관측소에 따라 다소 차이가 보이며 배경잡음 수준이 특별히 높거나 낮은 시간대를 지목할 수 없다.

### 3.2 배경잡음 주간변화

각 관측소에서 24시간의 PSD를 계산하고 이를 일별로 분석기간은 61 일 동안 변화를 종합한 것이 Fig. 4이다. Fig. 4에서 배경잡음의 주간 변화를 관찰할 수 있다. 대학 캠퍼스 내(POSB) 또는 연구시설 부지(TJN, GCN) 내에 설치된 관측에서는 1 sec 이하 대역에서 1 주일을 주기로 PSD가 변화하는 것을 쉽게 볼 수 있다. 0.1 sec 기준으로 주중 배경잡음 수준이 주말보다 약 10 dB 정도 높다. 거주 지역 인근에 설치된 관측소(SIG, DUC, CGU)

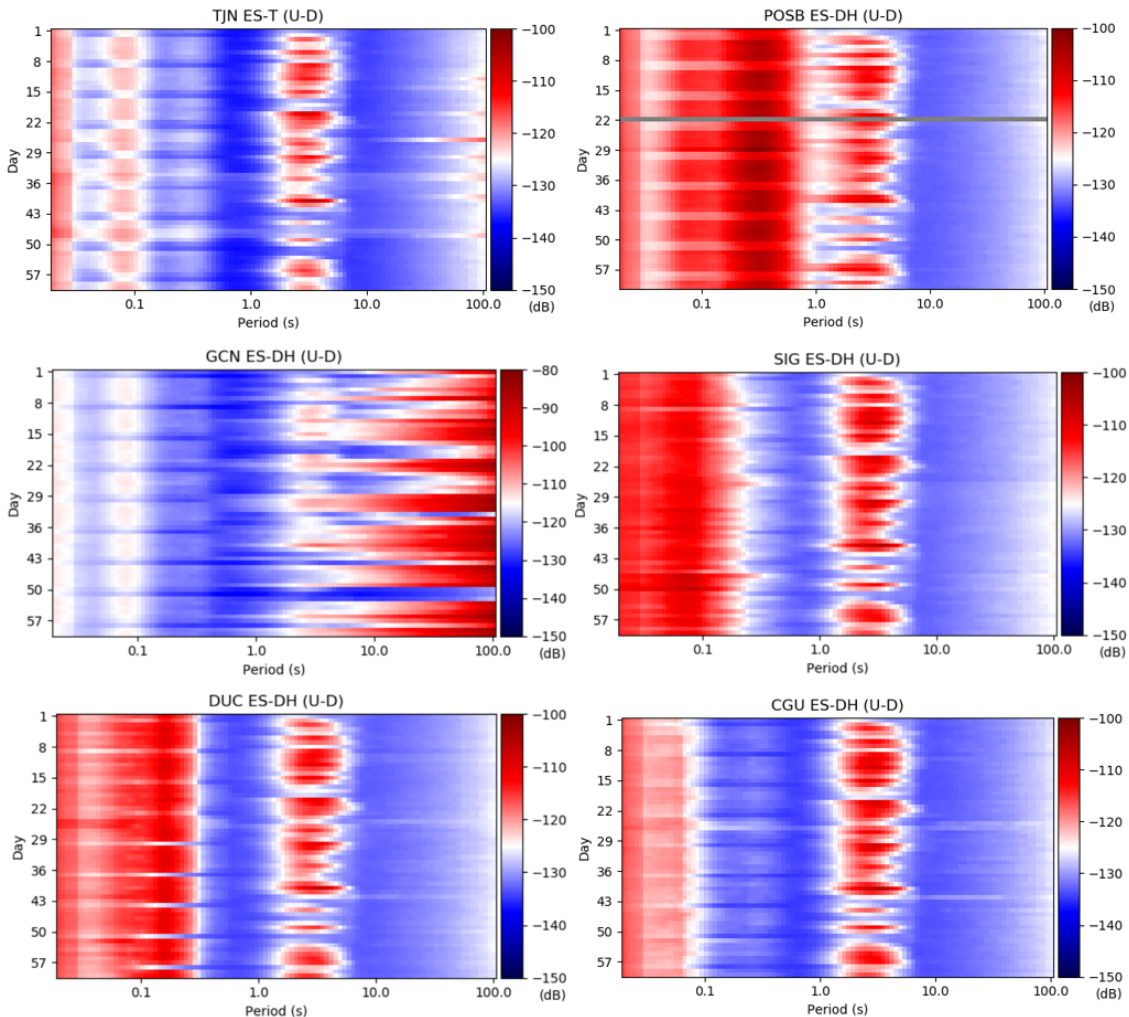


Fig. 4. Weekly variations of spectral noise levels of U-D components for the stations, TJN POSB GCN SIG DUC and CGU

에서도 주간 변화의 특징을 볼 수는 있으나 앞에 언급된 지역보다는 변화량이 작다. 1~10 sec 대역에서도 일별로 배경잡음 수준이 변화하기는 하는데 확실한 주기성을 찾기는 어렵다.

### 3.3 배경잡음 깊이변화

지상과 지하에 KINEMATRICS Epi-sensor 계열의 가속도계가 설치되어 있는 7개소의 배경잡음 수준을 비교하였다. 시추공 관측소는 주변의 생활 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 설치 운영된다. 관측소 주변 잡음의 주원인은 인위적인 활동에 의하여 만들어지는 극미소지진들이다. 배경잡음의 기록에는 이 극미소지진의 Rayleigh파가 가장 많이 포함되어 있다 [10]. Rayleigh 파는 표면파의 대표적인 특징인 깊이에 따라 진폭이 지수함수적으로 감소한다. Fig. 5(a)는 주간시간(오후 2:00~3:00)과 야간시간(오전 2:00~3:00)에 시간영역에서 배경잡음의 평균 진폭을 비교한 것이다. 모든 관측소에서 지표에서 관측되는 배경잡음의 평균 진폭이 지하 30 m 깊이보다 수평 성분에서 4~5배 정도이다. GCN을 제외하고 수직 성분은 수평 성분보다 주야 배경잡음 진폭의 비가 더 크다. Fig. 5(b)는 지표/지하 관측소의 배경잡음 수준을 보여주는 BOG 관측소 기록 예이다. 지하에서 배경잡음의 크기가 줄어드는 것을 직관적으로 확인할 수 있다. 또한 주야 시간대에 배경잡음 변화도 지표에서 더 크게 관측된다.

깊이 30 m에 설치된 가속도계에서 평균 배경잡음 진폭이 지표의 25% 수준인 것은 Rayleigh파가 우세한 배경잡음 운동이 깊이가 증가할수록 진폭이 급격히 감소하는 특징에 기인한다. 이러한 현상은 주파수가 증가할수

록 더 큰 감쇠특성을 보인다. 따라서 지하에서는 지표보다 약 5 Hz 이상의 고주파수 성분이 상대적으로 줄어든다. Fig. 6은 동일 지점에서 지표와 지하의 PSD 값의 차이를 표시한 것이다. Fig. 6에서 보면 주기 0.1 sec 이하 대역 관측기간인 60일간 평균 PSD가 지표에서 약 30~40 dB 이상 큰 것을 확인할 수 있다. 지표와 지하에서 PSD 비교 결과에서 보면 10 sec 이상 장주기 영역에서도 지표에서 PSD가 10 dB 이상 큰 것으로 나타났다. 관측소가 설치된 지점 지반 상부는 연약 또는 토사지반이다. 여기서 전단파 속도를 단순하게 500 m/sec 로 가정하면 주기가 10 sec 이상 Rayleigh파의 파장 길이는 5 km 이상이다. 파장의 1/4보다 훨씬 작은 30 m 깊이 정도에서는 장파장의 스펙트럼 값이 지표와 차이가 거의 없다. 따라서 장주기 영역에서 지표와 지하의 PSD 차이는 가속도계의 응답 특성에 기인한다. Epicsensor 와 같은 작은 크기의 진자형 가속도계는 주변 환경의 변화에 장주기 영역의 지진응답이 예민하게 반응한다[9]. 지하보다 환경 변화가 많은 지표 지진계의 지진응답 함수변화가 장주기 영역에서 큰 PSD 변화결과를 초래한 것으로 추정된다.

### 4. 결론 및 토의

경주, 포항지진이후 동남권 지역의 지진활동 연구 능력 보강을 위하여 한국지질자원연구원에서 신규로 설치하여 운영하고 있는 지진관측소 11개소의 자료 품질을 알기위하여 배경잡음 수준 분석을 수행하였다. 지표형 광대역 속도관측소인 DES, HCH의 배경잡음 수준은 USGS의 NNM 범위 안에 있어 배경잡음이 지진자료의 품질에 영향을 미칠수 있는 수준은 아닌

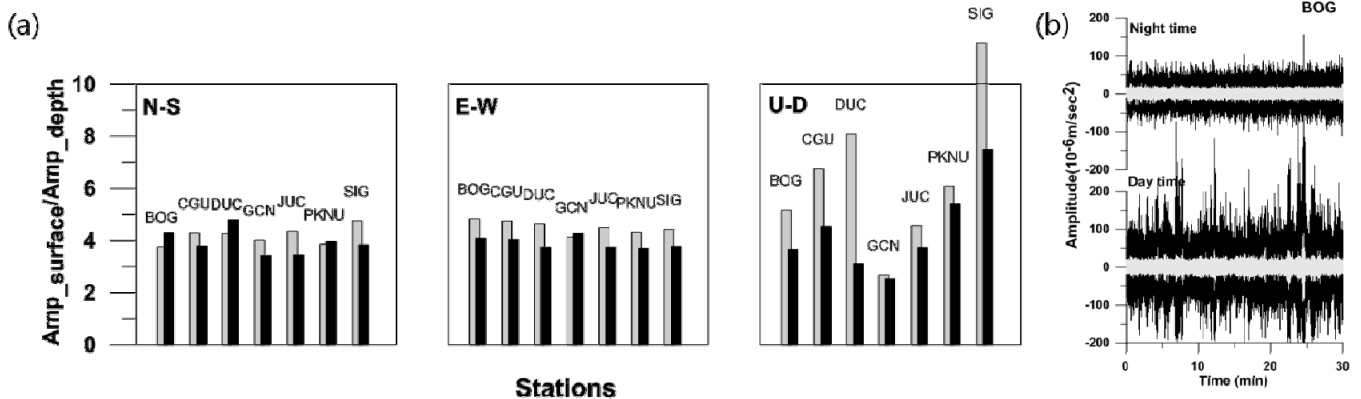


Fig. 5. Comparison of vertical seismograms in accelerometers at depth and on the surface. (a) ratio of average noise amplitudes on the surface to average noise amplitude at depth 30 m for the seven stations on daytime (gray bar) and nighttime (black bar), (b) Example of seismograms recorded at surface level (black) and depth of 30 m (gray) for 30 minute at station BOG

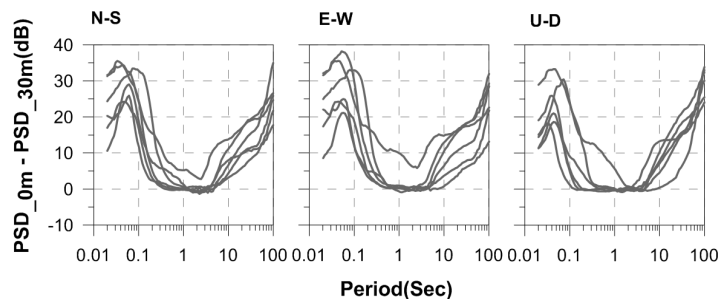


Fig. 6. Differences between seismic noise levels at surface (PSD\_0 m) and depth 30 m (PSD\_30 m)

것으로 판단된다. 그러나 관측소 환경이 양호한 TJN 관측소 자료와 비교하여 보면 1 Hz 이상 대역에서 생활 잡음의 수준이 10~20 dB 높다. 한반도 내륙이나 인근해역에서 발생하는 소규모 지진의 진원 재결정, 파형특성 해석에서도 2~8 Hz 대역 필터링된 자료가 주로 사용된다[11-13]. 또한 한반도 지진 대부분을 차지하는 규모 4.0 미만의 미소지진은 진원의 모서리 주파수가 1 Hz 이상이다. 이렇게 1 Hz 이상 대역 자료에서 발전기구 해석, 정밀 파형특성 분류 등의 해석을 수행할 경우 관측소 배경잡음 수준 특성에 대한 고려가 필요하다.

300 m에 설치된 POSB 광대역 관측소의 연구기간 평균 PSD는 TJN과 거의 같은 수준이며 10 Hz 이상 대역에서는 오히려 약 5 dB 정도 낮다. 관측소 위치가 사람들 생활권 내에 위치하여 주변 배경잡음 특히 1 Hz 이상 생활진동이 상존할 때 시추공형 관측소가 이들의 영향을 최소화하여 정확한 지진기록을 획득하는 유용함을 확인 할 수 있다.

지표형 가속도 관측소 9개소의 배경잡음 수준은 0.1~10 sec 주기 대역에서는 GCN을 제외한 8개소에서 NNM의 상한, 하한 범위에 있다. 비록 1 sec 이하 주기에서 생활 진동의 영향을 많이 받고 있지만 NNM을 벗어나지는 않는다. GCN 관측소의 경우 0.3~3.0 sec 범위에서 PSD가 NNM을 초과한다. 이는 관측소가 위치한 양성자 가속기 센터의 기기 가동 그리고 인근에 있는 고속철도와 고속도로와 관련된 상시진동의 영향으로 판단된다.

가속도 PSD의 중요한 특징은 약 10 sec 이상의 주기 대역에서는 NNM을 초과한다. 같은 지점에서 광대역 속도계에는 이런 현상이 관측되지 않는다. 장주기 가속도 기록에서 이러한 현상이 관측되는 것은 가속도계 고유 응답특성에 기인한다. 가속계 지진 응답은 기기가 설치된 주변의 온도, 습도, 풍향 등 기후 조건 변화에 따라 변할 수 있는데 특히 장주기 영역에서 더 예민하게 반응한다. 같은 지점에 설치된 지표, 지하의 가속도 기록 PSD를 비교하면 주변 환경 변화가 더 큰 지표에서 장주기에서 배경잡음 수준이 높게 계산된다. 시추공형 가속도계의 PSD도 지표형과 유사한 경향을 보이나 전체적으로 지표보다는 지하에서 배경잡음 수준이 낮다. 장주기 대역에서 PSD가 NNM을 초과하는 정도도 지표보다는 20 dB 정도 낮다.

Cho et al.[14]은 기상청에서 운영 중인 11개 광대역 속도 관측소의 배경잡음 수준을 분석하여 관측소 신뢰도 평가를 수행하였다. 이번의 연구에 포함된 광대역관측소 배경잡음도 이들 결과와 유사한 수준임을 알 수 있다. 이 연구[14]에서 국내 광대역 관측소 배경잡음의 DFP(Double Frequency Peak)이 USGS NNM에서는 주기 5 sec 주변에 있는 반면에 이보다 다소 단주기 영역이 2.5~3.0 sec 주변에 있다고 제시하고 있는데 이는 이번 연구 결과에서 동일한 양상을 보인다. 이번엔 신설된 광대역관측소의 배경잡음 특성이 국내 타 관측소와 유사함을 알 수 있다.

신설된 관측소들이 모두 거주지 또는 생활권 내부 또는 인근에 위치하여 1 Hz 이상 고주파수 대역에서 PSD가 생활잡음의 영향을 많이 받는다. 광대역 속도 기록을 기준으로 주간 잡음 수준이 야간보다 10 dB 정도 크다. 1주일 기록을 변화를 보면 일일 중앙평균값이 주중이 주말보다 역시 약 10 dB 이상이다. 하지만 주중 주간 시간대 PSD도 USGS NNM을 초과하지는 않는다.

## / 감사의 글 /

본 논문은 한국지질자원연구원 주요연구사업인 ‘한국형 (하이브리드)

지진조기경보체계 및 기간산업 시설 활용 연구(GP2017-001)’에 의해 수행되었습니다.

## / REFERENCES /

1. Ringdal F, Bungum H. Noise level variation at NORSAR and its effect on detectability. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1977;67:79-49.
2. McNamara DE, Buland RP. Ambient noise levels in the continental United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2004;94:1517-1527.
3. Sheen DH, Shin JS, Kang TS. Seismic noise level variation in South Korea. *Geoscience Journal*. 2009;13(2):183-190.
4. Young CJ, Chael EP, Withers MM, Aster RC. A comparison of the high-frequency (>1 hz) surface and subsurface noise environment at three sites in the United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1996;86:1516-1528.
5. Longuet-Higgins MS. A theory of the origin of microseisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, Series A*. 1950;243:1-35.
6. Hasselmann K. A statistical analysis of the generation of microseisms. *Review of Geophysics*. 1963;1:177-209.
7. Peterson J. Observations and modeling of background seismic noise. U.S. Geological Survey, Open-File Report 93-322;1993:1-95.
8. Ramirez EE, Vidal-Villegas JA, Nunez-Leal MA, Ramirez-Hernandez J, Mejia-Trejo A, Rosas-Verdugo E. Seismic noise levels in northern Baja California, Mexico. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2019;109(2):610-620.
9. Govoni A, Bonatto L, Capello M, Cavaliere A, Chiarabba C, D'Alema E, Danesi S, Lovati S, Margheriti L, Massa M, et al., AlpArray-Italy: Site description and noise characterization. *Adv. Geosci*. 2017; 43:39-52.
10. Koper KD, Burlacu R. The fine structure of double-frequency microseisms recorded by seismometers in North America. *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 2015;120:1677-1691.
11. Son M, Shin JS, Kim G, Cho CS. Epicenter relocation of two 2013 earthquake sequences in the Yellow Sea, Korea, using travel-time double-differences and Lg-wave cross-correlation. *Geosciences Journal*. 2015 June;19(2):295-303.
12. Kim KH, Ree JH, Kim YH, Kim S, Kang SY, Seo W. Assessing whether the 2017 Mw 5.4 Pohang earthquake in South Korea was an induced event. *Science*. 2018 Jun;360:1007-1009.
13. Han M, Kim HJ, Kang SY, Kim KH, Yoon SH, Kyung JB. Detection of microearthquakes and identification of their causative structures in the eastern offshore region of South Korea. *Tectonophysics*. 2019 Jan;750(5):36-44.
14. Cho BJ, Sheen DH, Jo BG, Park SC, Hwang EH. Development of a standard background noise model for broadband seismic stations of KMA. *Journal of the Geological Society of Korea*. 2009;45(2):124-141.