



Technical Report

한반도 남부 광역 지진관측망의 관측소 색인 자료 통합

안병석¹, 강태섭^{1,*}, 정진오²

¹부경대학교 지구환경시스템과학부

²부경대학교 교육대학원 지구과학교육전공

Station metadata integration of regional seismic networks in the southern Korean Peninsula

Byeong Seok Ahn¹, Tae-Seob Kang^{1,*}, Jin Oh Jung²

¹Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

²Graduate School of Education, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

Received: December 13, 2023 / Revised: January 3, 2024 / Accepted: January 3, 2024

*Corresponding author: +82-51-629-6632 / E-mail: tskang@pknu.ac.kr

요약: 한반도 남부 지역에서 운영되고 있는 광역 지진관측망의 관측소 546개소에 대한 색인 자료를 통합하였다. 최초 설치 시점부터 2023년 7월까지 기상청과 한국지질자원연구원 및 한국원자력안전기술원에서 운영한 지진관측소의 위치와 장비에 대한 설치 및 변경 이력과 계기 응답 정보를 수집하였다. 지진관측소 색인 자료를 현재 지진 시계열 자료 처리와 분석에 가장 널리 사용되고 있는 소프트웨어 체제인 ObsPy용 Extensible Markup Language (XML) 형식과 Seismic Analysis Code용 pole-zero (SACPZ) 파일 형식으로 통합하였다. 지진관측 정보의 투명성을 견인하고, 정보 취합 과정에서의 오류를 수정하며, 향후 추가 또는 변경되는 지진관측소 정보를 반영할 수 있도록 색인 통합 자료를 인터넷에 게시하였다(<https://geophysics.pknu.ac.kr/SeismicNetwork.html>).

주요어: 지진관측망, 지진관측소 변경 이력, 지진계 계기 응답, 지진관측소 색인 자료

ABSTRACT: Station metadata for the 546 stations of the regional seismic networks being operated in the southern Korean Peninsula were integrated. The bibliographic and index data regarding the installations and change histories of seismic stations administered by Korea Meteorological Administration, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, and Korea Institute of Nuclear Safety from their initial installation to July 2023 were collected through the responses in their instruments. The resulting station metadata were integrated into extensible markup language (XML) format for use in the ObsPy platform and into pole-zero (SACPZ) format for use in the Seismic Analysis Code software. These pieces of software are currently the most widely used for seismic waveform processing and analysis. The integrated station metadata was posted on a webpage to promote the transparency of seismic monitoring information, correct possible errors in the information collection process, and allow the consideration of some additional seismic station information in the future through feedback from individual analysts (<https://geophysics.pknu.ac.kr/SeismicNetwork.html>).

Key words: seismic network, seismic station history, seismograph instrument response, seismic station metadata

1. 서론

지진관측소의 위치와 지진계의 계기 응답 정보를 포함한 색인 자료(metadata)는 관측한 지진 파형을 이용하여 지진 원인과 그 특성 및 지진파 전파 속도구조, 지진동 특성 등을 분석하기 위한 필수적인 정보이다. 지진관측소 색인 자료는 일반적으로 특정한 디지털 파일 형식으로 관리된다. 지진 파형을 분석하는 사용자가 다루는 지진 분석 소프트웨어에 따라서 활용할 수 있는 지진관측소 색인 자료 형식은 다를 수 있다. 예를 들어, 범용 지진 파형 자료 처리와 분석 응용 프로그램인 Seismic Analysis Code (SAC)는 지진 시계열 자료 및 관련 색인 자료의 보관과 교환 목적의 자료 형식인 Standard for the Exchange of Earthquake Data (SEED) 계기 응답 정보를 일반 문자 형식으로 표현하는 RESP 파일과 지진계를 통한 출력과 입력 신호의 비로 응답을 표현하는 지진계 전달함수의 분자와 분모의 근을 나타내는 SAC pole-zero (SACPZ) 파일 형식을 이용할 수 있다(Goldstein *et al.*, 2003; Goldstein and Snoke, 2005). Python 프로그래밍 언어를 기반으로 지진 자료를 처리하기 위한 체계인 ObsPy에서는 임의 자료의 저장, 전송 및 복원을 위한 Extensible Markup Language (XML) 파일 형식을 주로 이용한다(Beyreuther *et al.*, 2010; Megies *et al.*, 2011; Krischer *et al.*, 2015). 또한, ObsPy에서 RESP와 같은 파일 형식도 이용할 수 있지만, SACPZ 파일 형식을 그대로 이용하는 것은 불가능하다.

기상청은 1996년 12월 13일 규모(M_L) 4.5 영월지진과 1997년 6월 26일 규모(M_L) 4.2 경주지진을 계기로 1997년부터 한반도 남부 지역에서 과거 아날로그 방식의 지진계를 디지털 방식으로 전환하면서 국가 지진관측망을 대폭 확충하기 시작하였다(Korea Meteorological Administration, 2001; Kim *et al.*, 2006). 한국지질자원연구원은 1994년 양산단층 북부 지역에 트리거(trigger) 방식의 상시 디지털 지진관측 4개소 설치를 시작으로 연구용 광역 지진관측망을 구축하였다(Chi *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 2006). 현재 기상청과 한국지질자원연구원에서 운영하는 광역 지진관측망을 통해 한반도와 주변 지역의 계기지진 관측이 이루어지고 있다. 국내 상시 지진관측망에는 기상청과 한국지질자원연구원 이외에도 원자력발전소 부지의 지진 활동 감시를 위하여 한국원자력안전기술원에서 운영하는 지진관측소가 포함된다.

국내 광역 지진관측망의 관측소 위치와 각 관측소에 설치된 지진계에 대한 정보는 기관별 홈페이지(기상청: <https://necis.kma.go.kr>; 한국지질자원연구원: <https://data.kigam.re.kr/quake>; 한국원자력안전기술원: <https://emc.kins.re.kr>)에서 확인할 수 있다. 기상청과 한국지질자원연구원 홈페이지에서는 관측소 색인 자료를 배포하고 있다. 또한 각 지진관측

망 운영 기관별 출판 문헌들로부터 관측소 운영과 변경 이력에 대한 정보를 확인할 수 있다. 기상청은 지진관측이 처음 이루어진 1978년부터 2000년까지의 관측 현황과 지진 활동에 대한 보고(Korea Meteorological Administration, 2001) 이후, 현재까지 매년 지진연보(Korea Meteorological Administration, 2002-2017, 2018a-2023a)와 지진관측자료 품질 분석보고서(이하 품질분석보고서; Korea Meteorological Administration, 2018b, 2018c, 2019b-2023b)를 발간하고 있다. 한국지질자원연구원에서는 2019년 지진활동 연보를 시작으로, 학술지진연보(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2021a, 2021b, 2022)를 통해 당해연도 연구 지진관측망 현황과 지진 활동 관측 결과를 제시하고 있다. 이처럼, 지진관측망을 운영하는 각 기관의 해당 홈페이지와 지진 연보로부터 1990년대 말부터 2023년 7월 기준 현재까지 가동이 이루어진 지진관측소에 대한 설치와 운영 및 변경 이력을 확인할 수 있다.

기상청과 한국지질자원연구원에서 지진관측소 색인 자료를 배포하고 있지만, 해당 정보에는 두 가지 문제점이 있다. 하나는 지진관측소 변경 이력에 대한 계기 응답이 완전하게 반영되어 있지 않다는 점이다. 기상청 지진관측소 색인 자료의 경우, 현재 운영 중인 지진관측소의 계기 정보만을 포함하고 있다. 따라서, 지진관측소의 운영을 종료, 운영 중인 지진관측소에 대한 성능 개선을 위하여 지진계를 다른 장비로 교체, 유지관리 기간에 임시로 지진계를 대체하는 경우, 교체 이전의 계기 응답 정보, 대체 기간과 해당 지진계의 계기 응답 정보등을 확인하기 어렵다. 한국지질자원연구원 지진관측소 색인 자료의 경우, 일부 지진관측소들의 과거 변경 이력이 온전하게 반영되어 있지 않다. 이와 같은 문제는 분석자가 지진관측소의 변경 이력과 그에 상응하는 계기 정보들을 모두 수집하여 직접 새로운 색인 자료를 만들거나 기존 자료를 수정함으로써 해결할 수 있다. 그러나 색인 자료의 생성이나 수정에 필요한 상세 정보를 해당 기관 외부에서 완전하게 확보하기는 어렵다. 만약 해당 정보를 얻을 수 있다고 하더라도, 개별 분석자가 현재까지 모두 수백 개소에 이르는 지진관측소들에 대한 방대한 정보를 수집하여 정리하는 것은 많은 시간과 노력이 있어야 한다. 또한, 지진계의 교체 또는 대체에 대한 이력이 불분명한 경우, 생성한 색인 자료의 완전성을 보장하기가 어렵다.

또 다른 문제는 기상청과 한국지질자원연구원에서 배포하는 지진관측소 색인 자료의 형식이 다르다는 점이다. 기상청이 색인 자료를 RESP 형식으로 배포 중인 반면, 한국지질자원연구원은 XML 파일과 SACPZ 형식으로 배포하고 있다. 이러한 색인 자료 형식의 차이가 지진기록에 대한 계기 응답 보정 결과에 영향을 미치지 않는다는. 그러나 색

인 자료를 통일된 양식으로 유지하는 것이 자료 관리와 지진 분석의 편의성 측면에서 바람직하다. 한편, Lim and Kim (2020)은 같은 양식의 지진관측소 색인 자료의 필요성을 고려하여, 2020년 1월까지 기상청과 한국지질자원연구원 및 한국수력원자력이 운영한 152개의 지진관측소에 대한 색인 자료를 작성하여 SACPZ 형식의 파일을 공유하였다. 이 색인 자료에서는 한국지질자원연구원의 운영 관측소 외에 나머지 관측소에 대해서는 시작일과 종료일 정보 없이 하나의 대표 계기 응답만이 포함되어있다. 따라서 지진관측소의 변경 이력을 고려한 완전한 색인 자료를 구성하여야 하는 과제가 남겨졌다.

이 연구에서는 가용한 모든 지진관측소 정보를 수집하여 통일된 형식의 색인 자료를 작성하고, 이를 통합하여 현재 지진 시계열 자료 처리와 분석에 보편적으로 사용되는 컴퓨터 환경에서 활용할 수 있도록 인터넷을 통하여 게시한다. 이 과정에는 지진관측소 최초 설치 이후의 변경 이력 추적, 배경잡음과 지진 분석을 통하여 지진계의 일시적인 변동 가능성 추정, 장비 검정 기록과의 대조를 통한 지진계 설정값의 확인 등이 포함된다. 다음 절에서 먼저 지진관측소 색인 자료 작성을 위한 정보 수집 과정과 내용을 설명하고, 수집된 정보를 바탕으로 색인 자료를 통합하는 방법에 대하여 설명한다. 이후, 통합된 색인 자료 작성 결과를 종합하고, 이를 분석자가 사용할 때의 유의점과 함께 토의한다. 인터넷에 게시된 통합 색인 자료의 수정이나 보완이 필요한 사항에 대한 사용자의 환류 중요성을 강조하며 마무리한다.

2. 자료

지진관측소 색인 자료 작성을 위해 수집한 정보와 그 출처는 다음과 같다. 기상청 지진관측소 정보는 지진연보와 지진관측자료 품질분석보고서, 국가지진종합정보시스템(NECIS) 홈페이지(<https://necis.kma.go.kr>; 2023년 12월 11일 마지막 접속)에 게재된 지진관측소 정보와 RESP 파일 및 지진계 검정 기록(calibration sheet)과 관측 장비 목록을 활용하였다.

기상청 지진연보에서는 해당 연도의 운영 중인 관측소, 관측 종료된 관측소, 그리고 신설된 관측소들의 관측 개시, 관측 종료일, 위치와 센서 모델 정보는 알 수 있지만, 계기 응답 정보와 정확한 변경 일자 는 확인할 수 없다. 신설 또는 이전되는 일부 관측소들에서 기록계 정보나 변경 이력을 확인할 수 있지만, 변경이 발생하는 날짜는 확인할 수 없다. 또한 일부 과거 관측소의 경우 센서 모델이 잘못 게재되었을 가능성이 있으므로 추가적인 확인이 필요하다. 기상청의 2013년 지진연보(Korea Meteorological Administration,

2014)부터는 시추공 관측소의 센서 설치 깊이를 확인할 수 있다.

품질분석보고서에서는 관측소 변경 이력이 발생한 날짜와 변경된 장비 모델을 확인할 수 있지만, 장비별 신호 증폭비(gain) 값을 포함한 계기 응답 정보는 확인할 수 없다. 검정 기록은 센서의 신호 증폭비, 극점(pole)과 영점(zero), 유효 주파수 범위 등 상세한 계기 응답 정보를 포함하고 있다. 그러나 해당 자료는 모든 관측소에서 확인할 수 있는 정보는 아니다. 또한 지진관측소의 변경 이력에 따른 장비별 계기 응답 정보를 확인할 수 없으므로, 센서 모델마다 다를 수 있는 계기 응답의 범위를 파악하기 위해서도 이용되었다. 국가지진종합정보시스템의 색인 자료는 RESP 파일이며, 운영 중인 기록계와 센서의 모델과 상세 계기 응답 정보를 확인할 수 있지만 운영 종료된 관측소와 변경 이력이 있는 관측소의 이전 장비에 대한 계기 응답 정보는 확인할 수 없다. 또한 국가지진종합정보시스템 관측 장비 목록 자료에는 운영 중인 관측소의 기록계와 센서 모델을 확인할 수 있다. 여기서 동일한 센서 모델이라도 계기 응답이 다른 경우에는 구분되어 표시되어 있다.

한국지질자원연구원 관측소 정보는 학술지진연보, 한국지질자원연구원 지오빅데이터 오픈플랫폼 지진연구정보 홈페이지(<https://data.kigam.re.kr/quake>; 2023년 12월 11일 마지막 접속)에 게재된 관측소 정보와 색인 자료와 요청하여 받은 관측소 변경 이력 자료와 검정 기록으로부터 수집되었다. 학술지진연보에서는 운영 중인 관측소에 대한 위치, 기록계와 센서 모델을 확인할 수 있으나, 센서의 신호 증폭비는 확인할 수 없다. 해당 색인 자료는 XML 파일과 SACPZ 파일이며, 일부 관측소의 경우 변경 이력이 불확실하여 해당 기간에 대한 정보는 반영되어 있지 않다. 시추공 관측소의 경우 센서의 설치 깊이가 작성되어 있으며, 동시에 관측소 고도가 센서 설치 깊이에 맞게 보정된 값이 기재되어 있으므로 관측소 고도를 사용할 때 이를 고려하여야 한다.

3. 방법

수집한 모든 정보는 관측소별로 분류된 후 변경 이력에 따른 관측 기간별로 관측 시작일과 종료일, 관측소 위치, 기록계 모델명, 센서 모델명, 기록계 연결 포트 정보와 특이사항이 정리되었다. 이때, 공중음파 관측소와 해저 지진관측소 정보는 포함되지 않았다.

3.1. 지진계 장비 종류와 계기 응답

한반도 남부 광역 지진관측망에서 설치된 기록계에는 Kinematics사의 Q330 모델 계열과 Q4120, Q4128, Q680, Q730 모

Table 1. Gain values according to input ports of data loggers.

Data logger model	Port	The number of bits	Gain (counts/V)
Q330HRS	A	26	1677720
Q330HRS	B	24	419430
Others	A, B	24	419430

Table 2. Gain values of seismometers.

Sensor model	Frequency range	Gain (V/m/s)
CMG-3T	120 s - 50 Hz	1500 or 2000
CMG-3TB	120 s - 50 Hz	1500 or 2000
CMG-3ESPC	120 s - 100 Hz	2000
STS-1	360 s - 10 Hz	2400
STS-2	120 s - 100 Hz	1500
STS-2.5 (Gen2, Gen3)	120 s - 50 Hz	1500
STS-5A	120 s - 50 Hz	1500
Trillium 120 Posthole	120 s - 150 Hz	1500
CMG-40T-1	1 s - 100 Hz	2000
SS-1	Above 1 Hz	345
GS-13	Above 1 Hz	2180

Table 3. Gain values of accelerometers.

Sensor model	Gain (V/g)
ES-T	2.5, 10 or 40
ES-DH	40
Episensor2	40
Titan Posthole	40
CMG-5T	10

텔, Guralp사의 CMG-DM24 모델, Nanometrics사의 Centaur 모델 등이 있다. Q330 계열의 Q330HRS는 센서 연결 포트에 따라 bit 수의 차이가 있으므로 유의해야 한다(A 포트: 26 bits, B 포트: 24 bits). 나머지 기록계는 포트와 관계없이 모두 24 bits이다. 전치 증폭기(preamplifier)의 값은 모두 1로 고정하였다. 기록계 모델과 포트에 따른 신호 증폭비 값은 표 1에 정리되어 있다. Markrand사 제품이 이용된 관측소 정보는 색인 자료에 포함되지 않았다.

지진관측망에 설치된 센서의 종류에는 속도 센서와 가속도 센서가 있다. 설치된 속도 센서에는 Guralp사의 CMG-3T, CMG-3TB, CMG-40T-1, CMG-3ESPC 모델, Streckeisen사의 STS-1, STS-2, STS-2.5, STS-5A 모델, Kinometrics사의 SS-1, Geotech사의 GS-13과 Nanometrics사의 Trillium 120 Posthole 모델 등이 있다. 관측망에 설치된 CMG-3T와 CMG-3TB 센서의 신호 증폭비 값은 대부분 1500 V/m/s이

지만 2000 V/m/s인 경우도 존재한다. STS-2 센서의 경우 generation에 따라 계기 응답이 다르며, 이는 검정 기록의 제품 일련번호로 확인할 수 있다.

가속도 센서는 Kinometrics사의 ES-T, ES-DH, Episensor2 모델, Guralp사의 CMG-5T 모델과 Nanometrics사의 Titan Posthole 모델 등이 있다. Kinometrics사의 가속도 센서들의 신호 증폭비 값은 대부분 40 V/g로 확인되나 지진관측망 구축 초기의 일부 과거 관측소의 경우 신호 증폭비 값이 2.5 V/g 또는 10 V/g인 것으로 확인된다. 속도 센서와 가속도 센서 모델에 따른 신호 증폭비 값은 각각 표 2와 3에 정리되어 있다. Markrand사 제품이 이용된 관측소 정보는 포함되지 않았다.

3.2. 관측소 위치 정보

관측소 위치 정보는 홈페이지와 여러 문헌으로부터 확

인할 수 있지만, 동일 관측소에 대해 약간의 근소한 차이들이 확인된다. 관측소 위치 이전으로 판단되는 수준의 큰 차이가 아니라면 최신 문헌에 기재된 정보로 통일하였다. 또한 관측소 위치가 크게 변경된 경우는 추가로 조사하여 잘못 기재된 정보인지 판단한 후에 정리하였다.

3.3. 관측소 색인 자료 작성

관측소 색인 자료 작성을 위해 먼저 기록계-센서 쌍에 대한 대표 계기 응답 자료를 만들었다. 대표 계기 응답 자료는 미국 Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS; <https://www.iris.edu>; 2023년 12월 11일 마지막 접속)에서 제공하는 장비별 명목 계기 응답(nominal instrument response; Templeton, 2017)과 Python 프로그래밍 언어 기반의 지진 시계열 자료 처리와 분석 체계인 ObsPy를 이용하여 생성

하였다. 이후, 대표 계기 응답 자료에 관측소 정보를 기재하여 변경 이력별 색인 자료를 작성하였고, 이를 단일 지진관측소 색인 자료로 취합하여 작성하였다.

4. 결과와 토의

4.1. 관측소 정리 및 색인 자료 작성 결과

지진관측소 정리 결과, 총 559개소의 지진관측소에 대한 운영 이력과 변경 이력을 확인하였다(그림 1). 지진관측소 정보 정리 과정에서 지진관측망 구축 초기의 일부 과거 지진관측소들과 변경 이력이 발생한 일부 관측소들에 대한 색인 자료가 불확실한 경우들이 확인되었다. 불확실한 정보가 포함된 기간의 지진관측소 정보는 지진관측소 색인 자료 작성 과정에서 제외되었고, 최종적으로 546개소에 대한 지진관측소 색인 자료가 작성되었다(XML 형식과 SACPZ

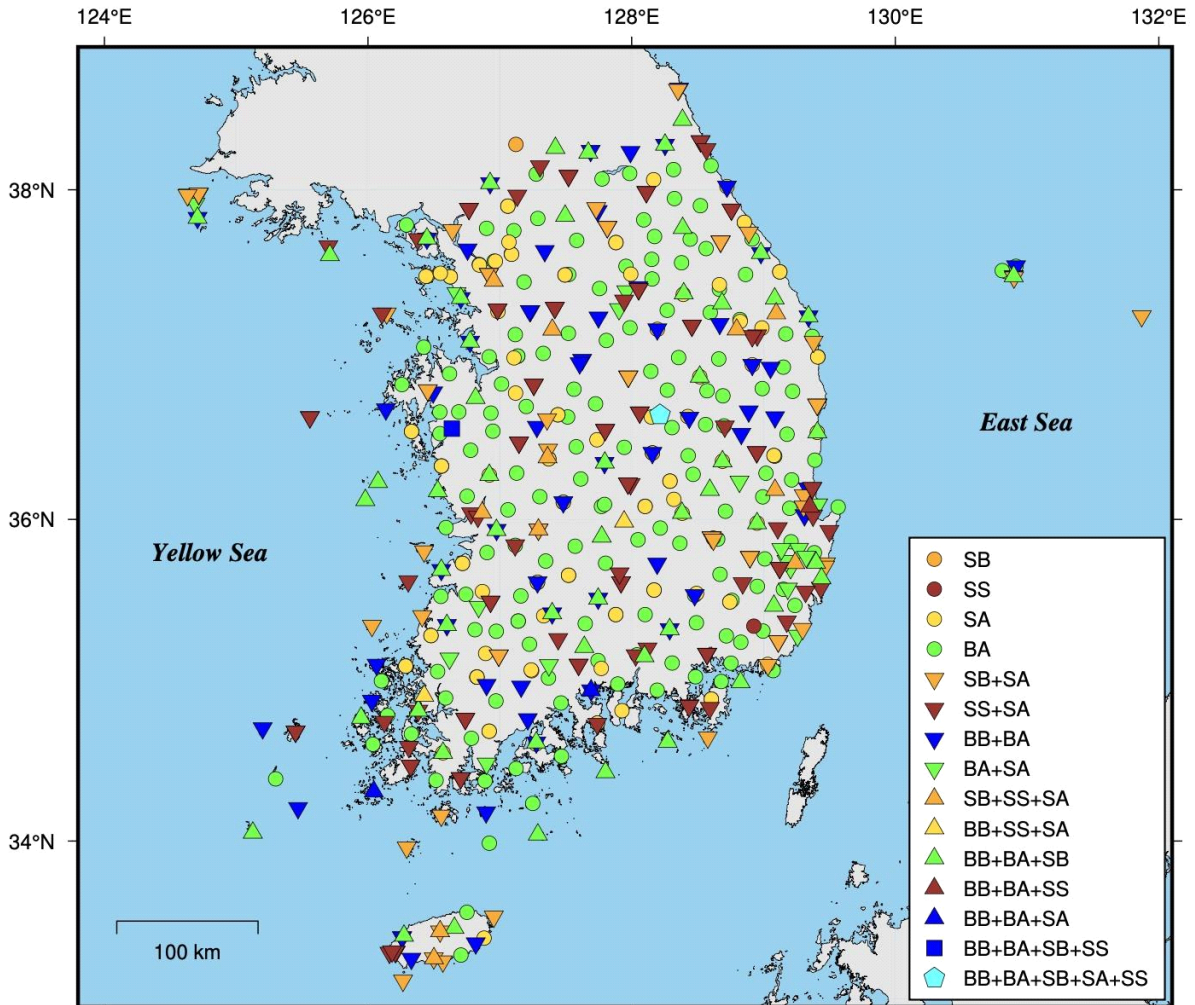


Fig. 1. Distribution of seismic stations comprising regional networks in the southern Korean Peninsula. The type of seismic sensors is classified with different colors and symbols (SB: surface broadband seismometer, SS: surface short-period seismometer, SA: surface accelerometer, BB: borehole broadband seismometer, BA: borehole accelerometer).

형식). 위의 제외 과정으로 인하여, 일부 지진관측소에 대한 자료 공백 기간이 존재하게 되었으며, 이는 관련 기관과의 소통과 추가적인 검토를 통해 보완할 필요가 있다.

지진관측소에 설치된 센서는 측정 물리량 유형(속도 또는 가속도)과 측정 주파수 대역폭(bandwidth)과 설치 깊이(지표 또는 시추공)에 따라 다섯 가지 유형으로 구분할 수 있다: 1) 지표 광대역 속도 센서(surface broadband seismometer; SB), 2) 지표 단주기 속도 센서(surface short-period seismometer; SS), 3) 지표 가속도 센서(surface accelerometer; SA), 4) 시추공 광대역 속도 센서(borehole broadband seismometer; BB), 5) 시추공 가속도 센서(borehole accelerometer; BA). 속도 센서가 설치된 대부분의 관측소는 비슷한 위치(지표 또는 시추공)에 가속도 센서가 함께 설치되어 운영되었다. 또한 한국지질자원연구원에서 운영하는 관측소 중에는 지표와 시추공에 가속도 센서가 1대씩 총 2대가 설치된 지표-시추공 가속도 관측소들이 존재한

다. 속도 센서가 설치된 관측소의 경우, 기록계의 26 bits용 A 포트에 속도 센서가 연결되었고, 지표-시추공 가속도 관측소들의 경우, 시추공에 설치된 가속도 센서가 26 bits용 A 포트에 연결되었다. 시추공 속도 센서는 대부분 약 30~100 m 깊이에 설치되어 있으며, POSB 관측소의 경우 약 300 m 깊이에 설치되어 있다. 시추공 가속도 센서는 대부분 60 m 이내로 설치되어 있다.

4.2. 유의점

지진관측소 자료를 정리하는 과정에서 수집된 정보가 부족한 경우 이외에도 지진관측소 정보가 서로 다른 경우도 다수 확인되었다. 일례로, 하나의 지진관측소에 대하여 관측소 위치 정보가 다르거나, 같은 관측소에 대하여 같은 기간에 설치된 지진 계측 장비에 대하여 정보의 출처에 따라 다른 경우들이 있다. 이 경우, 지진관측 자료 분석을 통해 확인할 수 있다면 수정하였다. 그렇지 못한 경우에는 여

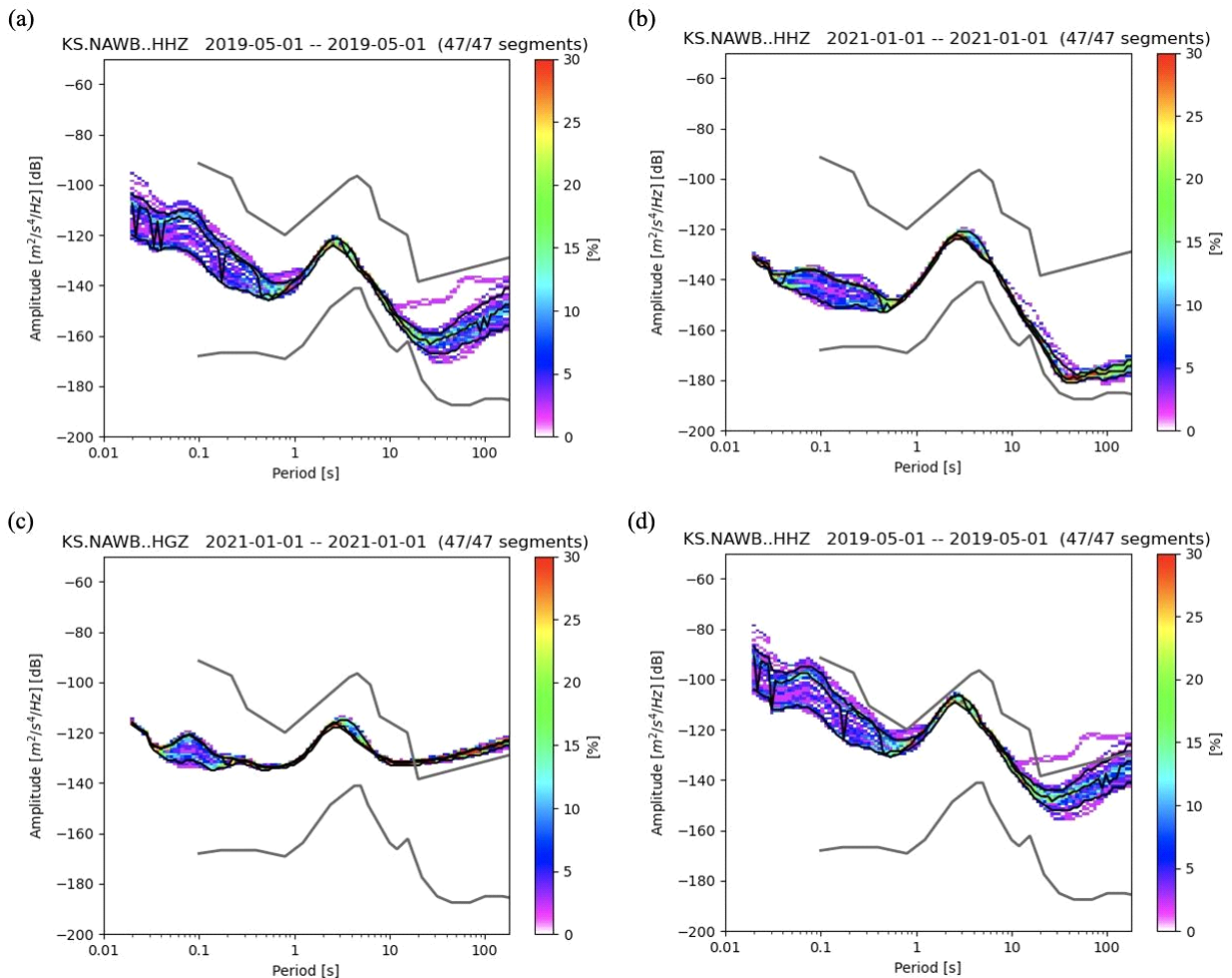


Fig. 2. Results of probabilistic power spectral density (PPSD) analysis using ambient noise data according to different sensitivities. (a) CMG-3T (2000 V/m/s), (b) CMG-3TB (1500 V/m/s), (c) ES-T (40 V/g), and (d) CMG-3T (1500 V/m/s).

러 문헌에서의 정보를 비교하여 상대적으로 더 많이 언급된 정보를 고르거나 최신의 정보를 선택하는 등, 가능한 합리적으로 판단하여 정보를 취합하였다. 그런데도, 수집된 정보가 완전하지 않기 때문에 잘못된 정보들이 포함되어 있을 가능성이 있으므로 분석자가 사용 시에 유의해야 할 필요가 있다.

일부 지진관측소들은 서로 같은 지진관측소 식별 부호가 이용된 경우가 있다. 예로, 기상청과 한국지질자원연구원에서 각각 운영한 백령도 관측소들은 둘 다 동일한 지진관측소 식별 부호(BRD)로 운영된 이력이 있다. 또한 기상청 목표 관측소와 영암 관측소의 경우, 지진관측소 식별 부호인 MOP와 MOK가 서로 중복되어 사용된 이력이 있다. 이 관측소들은 설치된 장비는 크게 다르지 않으나 관측소 위치 정보가 불확실하다.

시추공 관측소 센서의 점검 또는 수리가 필요할 경우, 수리 기간의 결측을 보완하기 위해 지표에 대체용 센서가 설치되어 운영된 경우들이 있다. 기상청 품질분석보고서에서 대체된 센서의 모델을 확인할 수 있지만, 그에 따른 검정 기록이나 계기 응답 정보는 얻을 수 없다. 이럴 때 해당 센서의 통상적인 계기 응답 정보가 반영되었다. 또한 센서의 일련번호가 같더라도 수리나 정비를 인해 계기 응답 정보가 변경되는 경우도 존재한다. 이처럼 모든 변경 이력에 대한 계기 정보를 취득할 수 없었기 때문에, 변경 이력이 있는 경우에는 해당 기간의 지진계 민감도(sensitivity)에 대하여 확신할 수 없다.

그림 2는 작성된 색인 자료의 검증을 위해 변경 이력이 있는 남원(NAWB) 시추공 관측소에 대하여 확률 파워스펙트럼 밀도(probabilistic power spectral density; PPSD) 방법(McNamara and Buland, 2004)을 이용한 기간별 배경잡음 품질 분석 결과들을 보여준다. NAWB 관측소의 경우, 그림 2a, 2b는 각각 지표 속도 센서 CMG-3T (2000 V/m/s)와 시추공 속도 센서 CMG-3TB (1500 V/m/s)가 운영된 기간에 대한 배경 잡음 분석 결과이다. 그림 2c는 그림 2b와 같은 기간에 대하여 함께 설치된 가속도 센서 기록을 분석한 결과이고, 그림 2d는 그림 2a의 자료에 대하여 잘못된 신호 증폭비 값(1500 V/m/s)으로 분석했을 경우의 결과를 보여준다. 그림 2a와 2b 및 2c는 서로 비슷한 수준의 진폭을 보여주지만, 그림 2d는 앞선 세 그림에 비해 높은 진폭을 보여준다.

마지막으로 문헌상의 관측소 종료일 이후에도 관측 자료가 존재하는 경우가 많이 확인된다. 관측 종료일을 벗어난 관측 자료에 대해서는 색인 자료가 분석에서 곧바로 적용될 수 없으므로 분석상의 편의를 위하여 관측이 종료된 관측소의 경우 색인 자료상의 관측 종료 일자를 2099년으로 설정해 두었다.

5. 결론

가용한 관측소 정보를 수집하여 관측소 운영 이력과 변경 이력을 정리하였고, 2023년 7월을 기준으로 운영이 종료된 지진관측소를 포함하여 총 546개소에 대한 관측소 색인 자료를 작성하였다. 해당 자료에 공중음파 관측소와 해저에 설치된 지진계 정보는 포함되지 않았다. 작성된 색인 자료 형식은 XML 파일과 SACPZ 파일 형식이며, 모든 사용자가 쉽게 이용할 수 있도록 인터넷을 통하여 지진관측소 색인 자료를 게시하였다(<https://geophysics.pknu.ac.kr/SeismicNetwork.html>). 수집된 정보의 불완전성으로 인하여 작성된 색인 자료 역시 아직 완전성을 보장할 수는 없으므로 분석자에게 주의를 요한다. 이러한 이유로, 게시된 통합 색인 자료를 이용하는 사용자가 문제점을 발견하면 해당 사항을 환류하는 것이 매우 중요하다. 이처럼 수집된 정보에 대한 추가적인 검토를 통해서 색인 자료를 수정할 수 있으며, 갱신 자료를 지속해서 공유할 예정이다. 지속적인 색인 자료의 갱신을 통하여 하나의 완성된 지진관측소 색인 자료가 공유될 수 있으며, 개별 분석자는 자체적인 지진관측소 색인 자료 작성에 대한 부담을 덜 수 있다. 또한 통합 색인 자료를 공유하는 분석자들은 공통된 계기 보정 자료를 사용함으로써 계기 정보 차이로 인하여 야기될 수 있는 분석 결과의 차이 발생과 오류를 방지할 수 있다. 그 결과, 통합 지진관측소 색인 정보의 제공으로 지진 연구자들에게 지진 시계열 자료 처리의 편의성과 지진 분석 결과의 신뢰성을 높이는데 노력할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

이 연구는 기상청 ‘지진·지진해일·화산 감시 응용기술 개발’ 사업(KMI2021-01812)의 지원으로 수행되었다.

REFERENCES

- Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L., Megies, T., Behr, Y. and Wassermann, J., 2010, ObsPy: A Python toolbox for seismology. *Seismological Research Letters*, 81, 530-533, <http://dx.doi.org/10.1785/gssrl.81.3.530>.
- Chi, H.C., Ryu, C.-H. and Shin, I.-C., 1997, Seismological Study at the Kyungssang Basin (IV). KIGAM Research Report KR-97(C)-3, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 124 p (in Korean with English abstract).
- Goldstein, P., Dodge, D., Firpo, M. and Minner, L., 2003, SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers. In: Lee, W.H.K., Kanamori, H., Jennings, P.C. and Kisslinger, C. (eds.), *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. Academic Press, London, 1613-1614.
- Goldstein, P. and Snoke, A., 2005, SAC availability for the IRIS

- community. Incorporated Institutions for Seismology Data Management Center Electronic Newsletter, 7.
- Kim, S.K., Jun, M.-S. and Jeon, J.-S., 2006, Recent research for the seismic activities and crustal velocity structure. *Economic and Environmental Geology*, 39, 369-384 (in Korean with English abstract).
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2021a, 2019 Academic Annual Report of Earthquakes. Monitoring and Response Team of Earthquake Research Center, Daejeon, 520 p (in Korean).
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2021b, 2020 Academic Annual Report of Earthquakes. Monitoring and Response Team of Earthquake Research Center, Daejeon, 348 p (in Korean).
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2022, 2021 Academic Annual Report of Earthquakes. Monitoring and Response Team of Earthquake Research Center, Daejeon, 379 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2001, Earthquake Observation Report 1978-2000. Korea Meteorological Administration, Seoul, 153 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2002, Seismological Annual Report 2001. Korea Meteorological Administration, Seoul, 53 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2003, Seismological Annual Report 2002. Korea Meteorological Administration, Seoul, 111 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2004, Seismological Annual Report 2003. Korea Meteorological Administration, Seoul, 114 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2005, Seismological Annual Report 2004. Korea Meteorological Administration, Seoul, 102 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2006, Seismological Annual Report 2005. Korea Meteorological Administration, Seoul, 133 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2007, Seismological Annual Report 2006. Korea Meteorological Administration, Seoul, 188 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2008, Seismological Annual Report 2007. Korea Meteorological Administration, Seoul, 148 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2009, Seismological Annual Report 2008. Korea Meteorological Administration, Seoul, 109 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2010, Seismological Annual Report 2009. Korea Meteorological Administration, Seoul, 137 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2011, Seismological Annual Report 2010. Korea Meteorological Administration, Seoul, 114 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2012, Seismological Annual Report 2011. Korea Meteorological Administration, Seoul, 156 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2013, Seismological Annual Report 2012. Korea Meteorological Administration, Seoul, 167 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2014, Seismological Annual Report 2013. Korea Meteorological Administration, Seoul, 249 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2015, Seismological Annual Report 2014. Korea Meteorological Administration, Seoul, 150 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2016, Seismological Annual Report 2015. Korea Meteorological Administration, Seoul, 155 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2017, Seismological Annual Report 2016. Korea Meteorological Administration, Seoul, 253 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2018a, Seismological Annual Report 2017. Korea Meteorological Administration, Seoul, 287 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2018b, 2016 Annual Quality Analysis Report of Seismic Data. Korea Meteorological Administration, Seoul, 576 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2018c, 2017 Annual Quality Analysis Report of Seismic Data. Korea Meteorological Administration, Seoul, 337 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2019a, Seismological Annual Report 2018. Korea Meteorological Administration, Seoul, 273 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2019b, 2018 Annual Quality Analysis Report of Seismic Data. Korea Meteorological Administration, Seoul, 831 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2020a, Seismological Annual Report 2019. Korea Meteorological Administration, Seoul, 219 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2020b, 2019 Annual Quality Analysis Report of Seismic Data. Korea Meteorological Administration, Seoul, 513 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2021a, Seismological Annual Report 2020. Korea Meteorological Administration, Seoul, 184 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2021b, 2020 Annual Quality Analysis Report of Seismic Data. Korea Meteorological Administration, Seoul, 514 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2022a, Seismological Annual Report 2021. Korea Meteorological Administration, Seoul, 263 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2022b, 2021 Annual Quality Analysis Report of Seismic Data. Korea Meteorological Administration, Seoul, 539 p (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2023a, Seismological Annual Report 2022. Korea Meteorological Administration, Seoul,

- 314 p (in Korean).
Korea Meteorological Administration, 2023b, 2022 Annual Quality Analysis Report of Seismic Data. Korea Meteorological Administration, Seoul, 537 p (in Korean).
- Krischer, L., Megies, T., Barsch, R., Beyreuther, M., Lecocq, T., Caudron, C. and Wassermann, J., 2015, ObsPy: A bridge for seismology into the scientific Python ecosystem, *Computational Science and Discovery*, 8, 014003, <http://doi.org/10.1088/1749-4699/8/1/014003>.
- Lim, H. and Kim, Y., 2020, A dataset of seismic sensor responses of South Korea seismic stations. *Journal of the Geological Society of Korea*, 54, 515-524, <https://doi.org/10.14770/jgsk.2020.56.4.515> (in Korean with English abstract).
- McNamara, D.E. and Buland, R.P., 2004, Ambient noise levels in the continental United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94, 1517-1527, <https://doi.org/10.1785/012003001>.
- Megies, T., Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L. and Wassermann, J., 2011, ObsPy - What can it do for data centers and observatories?. *Annals of Geophysics*, 54, 47-58, <https://doi.org/10.4401/ag-4838>.
- Templeton, M.E., 2017, IRIS library of nominal response for seismic instruments. Incorporated Research Institutions for Seismology, Dataset, <https://doi.org/10.17611/S7159Q> (December 9, 2023).

