

MEMS 가속도 센서 기반의 CrowdQuake 운영을 통한 지진 관측 데이터 분석

신 주 용*, 안 재 광*, 이 장 수**, 권 영 우°

Analysis on Seismic Observation Data through Operation of MEMS Acceleration Sensor Based CrowdQuake

Juyong Shin*, Jae-Kwang Ahn*, Jangsoo Lee**, Young-Woo Kwon°

요 약

CrowdQuake는 MEMS 가속도 센서를 기반으로 하는 지진 관측망으로서, 2019년 300대의 스마트폰 기반 지진 감지 장치를 시작으로 2021년 9월 전국에 5,200여 개 감지 장치를 설치하여 운영 중이다. 본 논문에서는 2021년 9월에 2주간의 기록을 통해 CrowdQuake의 지진 감지 성능을 분석한다. 시간 변화에 따라 관측망에 연결된 장치 수의 변화를 파악하고 센서의 기록 품질을 K-means clustering 기반 모델을 활용해 세 등급으로 분류한다. 지진 감지 장치의 데이터 품질 등급을 분류하여 지진 감지에 이용될 수 있는 장치의 비율을 시간별, 요일별로 분석한다. 또한, 기상 변화에 따른 데이터 품질의 변화를 파악하기 위해 2021년 9월 발생한 태풍이 상륙했을 때의 감지 장치 데이터 품질의 변화를 파악한다. 마지막으로 2021년 9월 17일 태안에서 발생한 규모 2.2의 지진과 2021년 9월 20일에 보성에서 발생한 규모 2.2의 지진 데이터로 분석을 수행하고, CrowdQuake의 지진 감지 성능을 평가한다.

Key Words : Earthquake, MEMS Accelerometer, Noise Analysis, Machine Learning

ABSTRACT

CrowdQuake is a seismic observation network based on MEMS acceleration sensors. Starting with 300 smartphone-based seismic sensors in 2019, more than 5,200 sensors have been installed and operated nationwide in September 2021. In this paper, we analyze the seismic detection performance of CrowdQuake through two weeks of records in September 2021. First, we monitor changes in the number of sensors connected to the seismic network according to the time change. Then, we classify the recording quality of each sensor using K-means clustering. By classifying the data quality of a sensor, we can see how sensor data quality affects the overall performance of earthquake detection thereby analyzing the detection performance of CrowdQuake. In addition, to understand changes in data quality due to the weather, we collected sensor data when typhoon Omais was passed across the country in September 2021. Finally, we report two detected earthquake cases of magnitude 2.2 in Taean on September 17, 2021, and magnitude 2.2 in Boseong on September 20, 2021.

* 이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. NRF-2021R1I1A3043889).

• First Author : Kyungpook National University, foretrouge7@knu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Kyungpook National University, ywkwon@knu.ac.kr, 정회원

* Korea Meteorological Administration, propjk@korea.kr, 정회원

** Kyungpook National University, dellhart@knu.ac.kr, 학생회원

논문번호 : 202110-274-C-RE, Received October 1, 2021; Revised November 5, 2021; Accepted November 5, 2021

I. 서론

지진 조기 경보는 지진이 도달하기 전 경보를 전파해 피해를 줄이는 기술로써 2020년 기준 기상청은 전국의 265개소에서 지진을 관측 및 감지하고 있다¹⁾.

지진 조기 경보를 발송하려면 지진 발생 시각과 위치를 정해야 하는데 이를 위해서는 적어도 4개의 관측소에서 지진파를 감지해야 한다²⁾. 관측소의 수를 늘리면 경보의 신속성과 정확도를 높일 수 있지만, 관측소를 추가로 설치하기 위한 비용이나 운용의 어려움 등 여러 문제가 따른다. 이러한 제약 사항을 극복하기 위하여 최근 연구에서는 ICT 기술과 MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems) 가속도 센서를 활용한 지진 조기 경보에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

CrowdQuake는 저가의 MEMS 가속도 센서를 조밀하게 설치하고 빅데이터 처리 기술과 인공지능 기술을 사용하여 지진을 감시하는 지진 관측 체계이다³⁾. MEMS 가속도 센서 기반의 새로운 지진 관측 체계 구축 및 운영은 SK 텔레콤과 여러 공공기관의 도움과 협조로 이루어지고 있다. 지진 감시 장치 제작과 통신망 구축은 SK 텔레콤의 지원이 있었고, 전국 단위의 장치 설치에 소방청, 우정사업본부, 해양경찰청과 같은 공공기관의 협력을 받아 이루어졌다. 지진 감시 장치의 쉬운 설치를 위하여 장치는 그림 1과 같이 콘센트 형태로 제작하였다. 2019년도에 스마트폰 300대로 시작한 CrowdQuake는 2021년 9월 기준 그림 2와 같이 전국에 5,200여 개 규모로 확장되어 지진 감시를 수행 중이다.



그림 1. CrowdQuake 감시 장치 설치
Fig. 1. Installing a CrowdQuake sensor

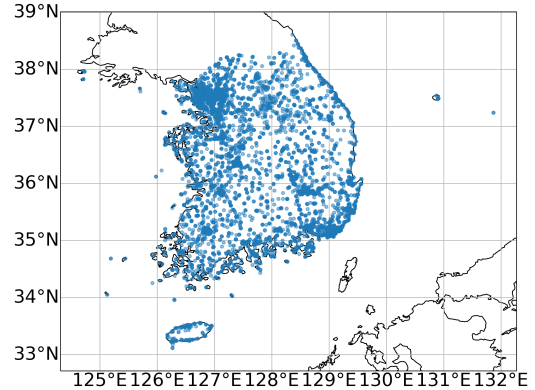


그림 2. CrowdQuake 감시 장치 설치 현황(2021.09.)
Fig. 2. Installation of CrowdQuake sensors (September 2021)

여러 기관의 협력과 쉬운 설치 방법은 설치 밀도를 증가시키는 데 효율적이었지만 지반, 주변 환경, 관측소 간 거리 등 설치 환경에 대한 기준이 법적으로 정해져 있는⁴⁾ 기상청 지진 관측소와 달리 CrowdQuake의 지진 감시 장치는 설치 환경에 대한 법적 기준이 없으므로 설치 환경으로 인한 잡음 수준 또한 다양하다. 그러므로 대규모 관측망에 설치된 각 감시 장치의 배경 잡음 상태와 이에 따른 지진 감지 성능 파악이 필요하다. CrowdQuake에서는 감시 장치의 잡음 분석에 기계학습 방법의 하나인 K-Means 클러스터링 기반 분류 모델을 활용하여 지진 감시 장치의 능력을 평가한다.

본 논문에서는 CrowdQuake 잡음 데이터를 분석하여 잡음 수준과 등급 비율의 변화를 일간, 주간 범위로 분석한다. 그리고, 2021년 8월에 발생한 태풍 오마이스(Omais)에 의한 영향을 분석하고 2021년 9월에 충남 태안과 전남 보성 지역에서 발생한 지진 감시 사례를 통해 CrowdQuake의 지진 감지 성능을 분석한다. 이처럼 다양한 분석을 통하여 MEMS 센서 기반 지진 관측망이 지진 관측에 중요한 역할을 수행할 수 있음을 보인다.

II. 연구 배경

가속도 센서에서 수집되는 배경 잡음의 특성은 관측소의 성능을 평가하는 요소로 활용될 수 있다. 2009년 기상청에서는 13개 광대역 관측소로부터 1년 이상 모은 배경 잡음 데이터를 사용해 표준 배경 잡음 모델을 개발하였다⁵⁾. 해당 연구가 진행된 시점에 사용하던 잡음 모델은 이미 개발된 지 10년이 지났고, 여러

나라 관측소의 데이터를 사용하여 우리나라의 지형적 특성과 차이를 보인다는 점에서 우리나라 잡음 데이터를 활용한 모델 개발 연구가 진행되었다.

같은 해에 한국지질자원연구원에서는 2005년부터 2007년까지의 잡음 데이터로 일간, 계절 간 잡음 수준 변화 분석, 태풍에 의한 잡음 수준 변화 등을 연구하였다⁶⁾. 해당 연구에서는 주간의 잡음 수준이 야간의 잡음 수준과 비교하여 약 4dB 높음을 보였다. 또한, 2006년에 우리나라에 영향을 미친 3개의 태풍에 대한 분석에서는 태풍이 가까이 다가올 때 큰 이중 주파수(Double-Frequency)의 최대치가 기록됨이 관찰되었다.

CrowdQuake에서는 지진 감시 장치에 사용된 MEMS 가속도 센서의 배경 잡음을 분석하기 위해 X, Y, Z 축 데이터에 대해 PSD(Power Spectral Density)를 구하고, 데이터의 평균, 표준 편차, 사분 범위, 이상 값 수, 최대 차이, 평균 제곱 오차 등의 특징값을 구한다. 수천여 대의 감시 장치로부터 얻은 특징값을 효율적으로 이용해 감시 성능을 판별하기 위해 K-Means 클러스터링 기반 분류 모델을 사용해 16개 군집으로 분류한다⁷⁾. 이 군집을 평균 잡음 수준이 낮은지, 모든 주기에서 일정한 세기를 보이는지 등을 기준으로 Green(안정), Yellow(양호), Red(불안정) 등급으로 다시 분류한다. 세 축 중 하나라도 Red 등급을 받은 감시 장치는 Red 등급으로 분류하고, 그렇지 않으면 과반수 등급을 해당 감시 장치 등급으로 분류한다. 이 중, Green과 Yellow 등급인 감시 장치를 지진 감시에 활용하고 있다. 그림 3은 분류 후 각 등급에 해당하는 감시 장치의 주기별 잡음 수준과 25, 50, 75번째 감시 장치 잡음 수준을 검은 점선으로 나타낸 결과로, Red 등급은 비교적 잡음 수준이 높고 일정하지 않은 모습을 보인다.

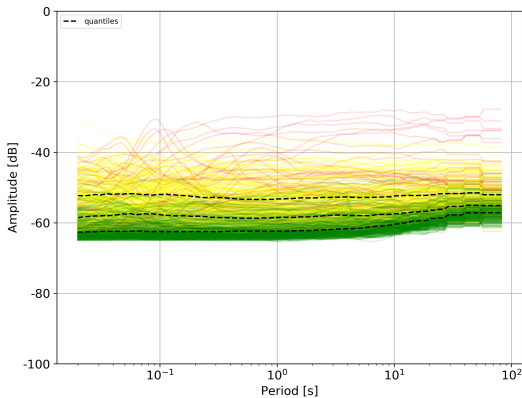


그림 3. CrowdQuake 감시 장치 등급과 잡음 수준
Fig. 3. Quality and noise level of CrowdQuake sensors

III. 본 론

3.1 시간 범위별 감시 장치의 성능 분석

본 논문에서는 2021년 9월 10일 02시부터 9월 24일 03시까지 전체 감시 장치에서 수집한 잡음 데이터를 사용해 분석하였다. 감시 장치의 설치 환경과 사람들의 활동이 지진 감지 성능에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위하여 4개의 시간대를 선택했다. 선택된 시간대는 사람의 활동이 거의 없는 02~03시, 출근 시간대인 08~09시, 오후 14~15시, 퇴근 시간대인 18~19시이다.

표 1은 하루 동안 시간대별 CrowdQuake에 연결된 감시 장치 수의 변화를 나타낸 것이다. 평일의 경우, 야간 시간대보다 주간 시간대에 지진 감시 장치의 수가 400여 개 더 증가함을 알 수 있다. 지진 감시 장치의 설치 환경이 사무실과 같은 일반 건물이기 때문에 야간 절전 등의 요인에 의해 주간 시간대에만 동작하는 지진 감시 장치가 존재하는 것으로 파악된다. 그러므로 이후 분석에서는 데이터 수집 기간 동안 항상 관측망에 연결되어 있던 4,500개 장치의 잡음 데이터를 사용하였다.

하루 동안 시간에 따른 지진 감시 장치의 등급의 변화와 잡음 수준의 변화는 표 2와 같이 나타났다. 야간 시간대인 2~3시에 Green 등급을 받은 지진 감시 장치가 71.74%에 달했고, 주간 시간대에는 Green 등급의 비율이 줄어들고 Yellow와 Red 등급의 비율이 늘어났다. 평균 잡음 수준도 야간 시간대보다 주간 시간대에 상승하는 것으로 관찰되었다.

그림 4는 시간대 변경에 따라 지진 관측 장치의 등

표 1. 시간대별 평균 감시 장치 수
Table 1. Average number of sensors by time

	02:00	08:00	14:00	18:00
Weekday	4,684	4,771	5,089	5,013
Weekend	4,675	4,698	4,698	4,684

표 2. 시간대별 등급 비율, 평균 잡음 수준
Table 2. Quality ratio, average noise level by time

	Green (%)	Yellow (%)	Red (%)	Noise (dB)
02:00	71.74	20.45	7.81	-57.72
08:00	63.26	26.77	9.96	-56.34
14:00	63.44	26.89	9.67	-56.49
18:00	64.46	25.67	9.87	-56.63

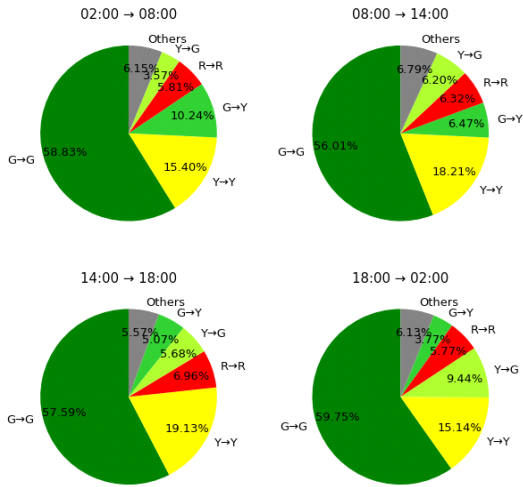


그림 4. 시간대에 따라 등급이 변하는 감시 장치 비율
Fig. 4. Percentage of sensors whose grade change over time

급이 변하는 비율을 그래프로 표현한 것이다. 시간대가 바뀔 때도 Green 등급을 유지하는 감시 장치는 적어도 56% 이상 존재했고, 15% 이상의 감시 장치는 종일 Yellow 등급을 유지함을 알 수 있다. 야간 시간대인 02시와 출근 시간대인 08시를 비교한 그래프에서 10.24%의 감시 장치가 Green 등급에서 Yellow 등급으로 변하는 것을 볼 수 있었다. 오후 동안은 Green 등급을 유지하는 감시 장치의 비율이 줄어들고, Yellow 등급 감시 장치의 비율이 늘어났다. 이후, 퇴근 시간대인 18시와 야간 시간대인 02시를 비교한 그래프를 보면 다시 Yellow 등급에서 Green 등급으로 좋아지는 감시 장치의 비율이 증가함을 알 수 있었다. Others로 표기된 영역은 Green 또는 Yellow 등급에서 Red 등급으로 바뀌는 경우로 1.05~2.1% 수준이며, 반대로 Red에서 Yellow, Green 등급으로 상태가 좋아지는 감시 장치도 1~2% 정도의 비율을 보였다.

요일별로 분석한 결과는 표 3과 같다. 일일 분석 결과에서 사람의 활동이 적은 야간 시간대에 Green 등급의 비율이 높았던 것처럼 요일별 분석 결과에서도 평일보다 주말에 Green 등급의 비율이 높고 평균 잡음 수준도 1.9dB 낮음을 보였다.

일간 시간대별 변화를 나타내는 표 2와 주간 요일별 변화를 나타내는 표 3의 Green, Yellow 등급 비율을 종합해보면 전체 장치 중 90%는 Green 등급 또는 Yellow 등급을 받는 것을 확인했다.

추가로 Red 등급으로 분류되는 감시 장치 수와 추세에 대한 분석을 수행하였다. 이상적인 MEMS 센서

표 3. 요일별 등급 비율, 평균 잡음 수준
Table 3. Quality ratio, average noise level by day of the week

	Green (%)	Yellow (%)	Red (%)	Noise (dB)
Sun	69.01	22.09	8.91	-58.10
Mon	66.36	24.11	9.53	-57.49
Tue	65.36	25.47	9.17	-57.21
Wed	65.51	25.68	8.81	-56.20
Thu	60.80	29.11	10.09	-57.07
Fri	64.19	26.11	9.70	-57.12
Sat	67.29	23.67	9.04	-57.75

의 경우 PSD를 시간별로 구해 확률로써 나타낸 PPSD(Probabilistic Power Spectral Densities) 그래프를 그렸을 때 전 주기에서 X축에 평행한 모양으로 표현되지만 항상 Red 등급을 받는 장치의 경우 잡음 데이터를 PPSD로 표현할 경우 특정 구간에서 그래프가 올라가는 형태(특정 주기에서 Amplitude 값이 증가)로 표현된다. 감시 장치 중 대부분은 일시적인 요인에 의해 Red 등급을 받더라도 다시 Yellow나 Green 등급으로 바뀐 것으로 보인다. 그림 5는 분석 기간 중 1회만 Red 등급을 받은 감시 장치의 PPSD 그래프이다. 이 경우에는 등급 분류에 이용되는 0.02~1초 주기, 1~10초 주기 영역에서 X축에 평행한 형태로 나타나는 것을 볼 수 있다.

다만, 전체 분석 기간동안 Red 등급으로 분류된 감시 장치가 97개 존재하였다. 이들 중 하나의 PPSD 그래프인 그림 6을 보면 0.1초 주기 주변 일부 영역에서 증가하는 모양을 보였고, 2초 이상 주기에서 잡음 수준이 전체적으로 증가하는 모습을 보였다. 이러한 감시 장치는 설치 환경의 문제 또는 감시 장치 자체의 고장이 의심되므로 분석을 통해 설치 장소를 변경하

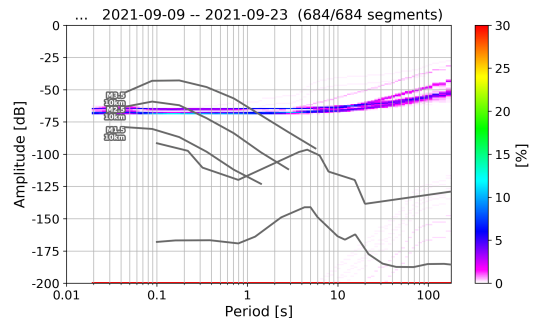


그림 5. 분석 기간 중 1회만 Red 등급인 감시 장치 PPSD
Fig. 5. PPSD of a sensor which is rated Red only once for analysis period

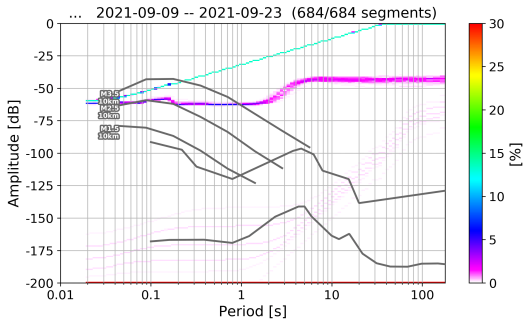


그림 6. 분석 기간 모두 Red 등급인 감시 장치 PPSD
Fig. 6. PPSD of a sensor which is rated Red for all analysis period

거나 센서의 교체 등 추가적인 조치가 필요하다.

3.2 기상 현상에 의한 영향 분석

앞서 관련 연구에서 태풍에 의해 나타나는 잡음 특성이 있음을 기술하였다. CrowdQuake의 지진 감시 장치는 태풍에 의해 얼마나 영향을 받는지 확인하기 위해 2021년 8월 23일에서 24일까지 경상남도 지역을 관통한 태풍 오마이스에 의한 잡음 데이터를 수집하였다. 데이터 수집 주기는 그림 9와 같이 태풍이 올라오는 동안은 2시간 간격, 상륙 직전인 22시부터는 매시간 데이터를 수집하였다.

태풍의 영향을 비교하기 위해 그림 7과 같이 세 지역을 선택하였다. 위치 1(L1, 파란색 원)은 태풍이 상륙한 경남 고성군 일대 반경 50km 이내 지역으로 지진 감시 장치는 213개가 설치되어 있다. 위치 2(L2, 주황색 삼각형)는 태풍이 동해상으로 진출한 경북 포항시 일대 반경 50km 이내 지역으로 108개의 지진 감시 장치가 설치되어 있다. 이 두 위치는 지진 감시

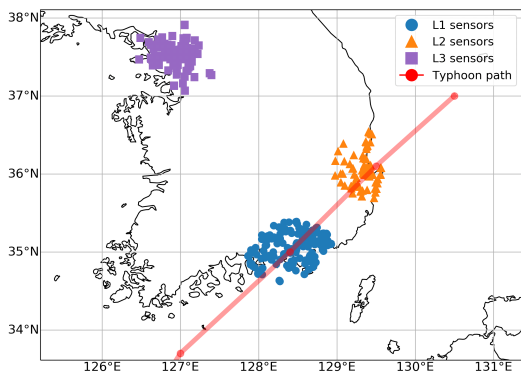


그림 7. 태풍 오마이스 경로와 CrowdQuake 감시 장치 위치
Fig. 7. The path of typhoon Omais and the location of CrowdQuake sensors

장치가 붉은 실선으로 표시된 태풍의 진행 경로상에 있는 경우이고, 위치 3(L3, 보라색 사각형)은 대조근으로 태풍의 진행 경로상이 아닌 서울 기상청 일대 반경 50km 내에서 108개의 장치를 선택하였다.

그림 8은 시간에 따라 세 위치의 잡음 수준이 어떻게 변하는지를 분석한 결과 그래프로, 녹색 실선은 태풍의 중심 기압의 변화를 나타냈고, 파란색, 주황색, 보라색은 각각 위치 1, 2, 3 지역에 설치된 감시 장치 잡음 수준의 시간별 변화이다. 빨간색 세로 점선은 태풍이 위치 1인 경남 고성 지역에 상륙한 시간이고, 녹색 세로 점선은 태풍이 경북 포항 지역에서 동해상으로 나간 시간을 표시하였다. 그림 8의 보라색 선과 그림 9의 L3 그래프는 서울 지역의 지진 감시 장치로, 태풍의 진행 경로로부터 200km 이상 떨어져 있다. 그러므로 표 2에서 보인 것과 같이 사람의 활동이 없는 야간에 잡음 수준이 낮아지고 Green 등급의 비율이 증가하는 야간 시간대 잡음 변화의 경향을 따른다. 하지만 태풍의 진행 경로상에 있는 감시 장치는 태풍이 그 지역을 지난 시간대에만 잡음 수준이 증가했다가 다시 감소하는 양상을 보였으며, 해당 시간대를 전후로 Green 등급의 비율이 줄어드는 것을 볼 수 있었다.

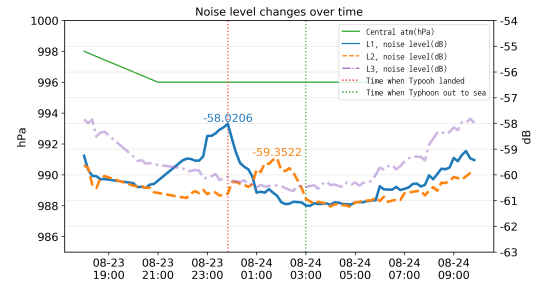


그림 8. 태풍 오마이스 동안 잡음 수준 변화
Fig. 8. Noise level changes during typhoon Omais

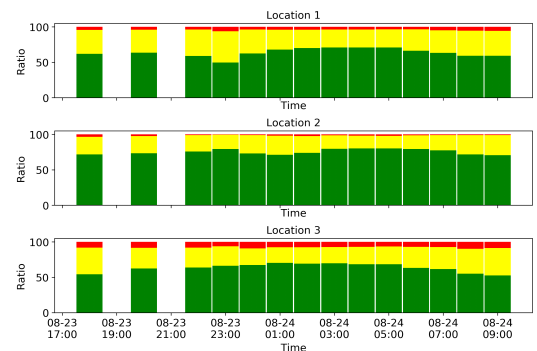


그림 9. 태풍 오마이스 동안 등급 비율 변화
Fig. 9. Sensor quality changes during typhoon Omais

위치 L1에서 최고점의 잡음 수준은 최소일 때에 비해 3.2dB 증가한 -58dB로 표 2에서 보인 평균 잡음 수준에 따르면 태풍이 지진 감지 장치가 설치된 지역을 직접 통과하더라도 평균적인 영향은 주간과 야간 잡음 수준의 차이임을 확인하였다. 또한, 분석 기간 중 1회만 Red 등급을 받은 지진 감지 장치의 잡음 수준과 지진 규모를 나타낸 그림 5에 따르면 -58dB의 잡음 수준은 지진 속보의 기준이 되는 규모 3.5의 지진을 감지 가능한 수준으로 판단된다⁸⁾. 등급 비율 면에서도 시간별, 요일별 분석 결과인 표 2, 표 3과 태풍에 의해 단기간의 등급 변화를 나타내는 그림 9에서 보였듯 Green 등급과 Yellow 등급의 감지 장치가 평균적으로 5,200여 대 중 90%이므로 저가형 MEMS 가속도 센서를 활용한 조밀한 관측 체계로써 지진 관측에 중요한 역할을 수행할 수 있다고 판단된다.

3.3 지진 감지 사례 분석

데이터 수집 기간 중 9월 17일 태안 지역과 9월 20일 보성 지역에서 지진이 발생하였다. 이에 지진이 발생하기 직전에 감지 장치의 상태와 등급을 알아보고자 추가로 지진 발생 1시간 5분 전 ~ 5분 전까지 1시간 동안의 잡음 데이터를 모으고, 사후 분석을 수행했다. 이 1시간 동안 전체 감지 장치 수, 진앙 주변 반경 40km 내 감지 장치 수, 등급별 감지 장치 수는 표 4와 표 6으로 나타내었다.

보성 지진 발생 시각에 진앙 주변 반경 40km 이내의 지진 감지 장치 97개의 등급을 분류한 결과 Green, Yellow 등급 센서의 합은 총 91개였다. 표 5에 따르면 지진을 감지한 감지 장치가 4개가 모인 시점은 지진 발생 후 4.33초, 7개까지는 5.34초가 걸렸다. 보성 지진의 진앙 주변 반경 40km 내 감지 장치 중 지진을 감지한 감지 장치를 지도에 표시한 결과는 그림 10과 같다.

9월 17일에 발생한 태안 지진의 경우, 진앙 주변 반경 40km 범위의 감지 장치는 총 43개였고, 등급을 분류한 결과 Green, Yellow 등급 센서는 총 41개였다. 표 7에 따르면 지진을 감지한 감지 장치가 4개가 모인

표 4. 보성 지진 직전 등급별 감지 장치 수
Table 4. Number of sensors by grade before the Boseong earthquake

	Count	Green	Yellow	Red
Entire	4,695	3,256	1,069	370
Near Epicenter	97	78	13	6

표 5. 보성 지진을 감지한 장치별 시간, 등급, 잡음 수준
Table 5. Time, grade, and noise level of sensors which detected the Boseong earthquake

	Time after(s)	Grade	Noise(dB)
1	4.13	Green	-60.06
2	4.15	Green	-60.28
3	4.25	Green	-59.80
4	4.33	Green	-56.80
5	4.48	Green	-59.44
6	4.97	Green	-58.43
7	5.34	Yellow	-51.09
8	5.42	Yellow	-59.38

표 6. 태안 지진 직전 등급별 감지 장치 수
Table 6. Number of sensors by grade before the Taean earthquake

	Count	Green	Yellow	Red
Entire	4,699	3,235	1,102	362
Near Epicenter	43	35	6	2

표 7. 태안 지진을 감지한 장치별 시간, 등급, 잡음 수준
Table 7. Time, grade, and noise level of sensors which detected the Taean earthquake

	Time after(s)	Grade	Noise(dB)
1	5.18	Green	-59.81
2	6.64	Green	-59.27
3	7.36	Green	-59.22
4	8.01	Green	-59.79
5	8.75	Green	-57.02
6	8.96	Green	-58.85
7	9.96	Green	-60.30
8	10.9	Yellow	-44.74

시점은 지진 발생 후 8.01초, 7개까지는 9.96초가 소요되었다.

그림 11은 보성 지진 진앙 주변 반경 40km 이내에 있는 97개의 지진 감지 장치를 나타내고 있으며 그림 12는 태안 지진의 진앙 주변에 위치한 43개의 지진 감지 장치의 잡음 수준을 등급별 색깔로 나타낸 그래프이다. Red 등급으로 분류된 감지 장치는 잡음 수준이 전 주기 영역에서 고르지 못하고 비정상적인 양상을 보이는 것을 확인하였다. 이에 따라 수천 개 감지 장치의 상태를 등급으로 분류하는 것이 이상 센서 판단에 도움이 됨을 보였다.

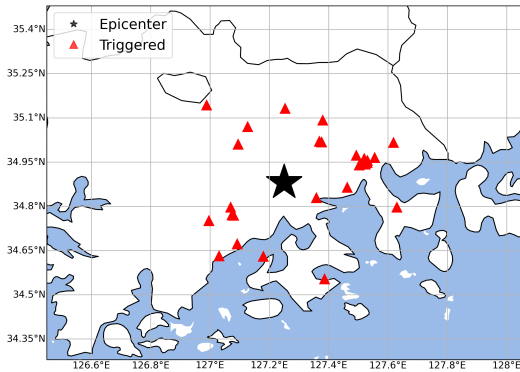


그림 10. 9월 20일 보성 지역 진앙과 주변 센서
Fig. 10. Epicenter of Boseong earthquake and surrounding CrowdQuake sensors

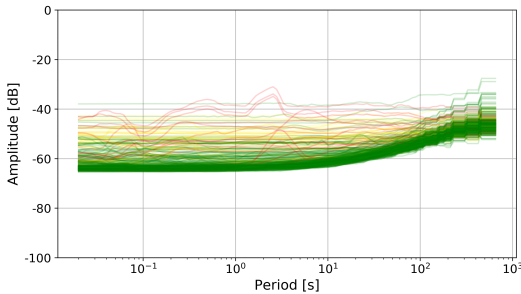


그림 11. 보성 지진 진앙 주변 감시 장치 잡음 수준
Fig. 11. Noise level of sensors around the epicenter of Boseong earthquake

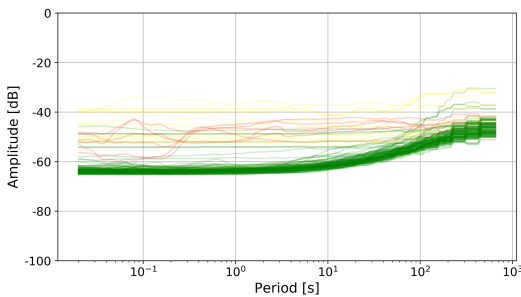


그림 12. 태안 지진 진앙 주변 감시 장치 잡음 수준
Fig. 12. Noise level of sensors around the epicenter of Taean earthquake

IV. 결론

본 논문에서는 MEMS 가속도 센서를 활용한 지진 관측망인 CrowdQuake에서 수집된 15일간의 데이터를 이용해 현재 설치된 수천 대의 지진 감시 장치의 상태와 지진 감시 성능을 분석하였다.

시간대별로 감시 장치의 성능을 분석한 결과, 감시

장치의 설치 환경적 요인에 의해 주간에만 동작하는 감시 장치가 평균 400여 대 존재함을 알아냈다. 등급 분석 결과로는 주간보다 야간에, 평일보다 주말에 Green 등급의 비율이 높았고, 잡음 수준도 낮음을 확인하였다. CrowdQuake는 지진 감시에 Green 등급과 Yellow 등급만을 활용하는데, 분석 기간 중 평균적으로 90% 정도가 Green 또는 Yellow 등급으로 나타났다. 태풍 오미스에 의한 잡음 수준의 변화를 분석하여 태풍이 지나간 시간대에 잡음 수준이 증가했고, Yellow 등급 감시 장치의 비율이 증가하는 양상을 확인하였다.

지진 관측망의 지진 감시 성능을 확인하기 위해 지진 발생 전 1시간 길이의 데이터로 진앙 주변 감시 장치의 등급을 분류하였고, Red 등급 감시 장치의 비정상적인 잡음 수준 변화도 보였다.

이번 분석에는 1시간 길이의 데이터를 사용해 감시 장치의 잡음 수준 분석과 등급 분류에 사용하였다. 향후 연구에서는 1시간 길이가 아닌 더 긴 시간과 더 짧은 시간의 잡음 데이터를 사용하여 지진 감시 장치의 상태를 분석하는 연구를 수행할 계획이다. 이를 통해 실시간으로 감시 장치의 상태를 활용 가능할 것으로 기대한다.

References

- [1] Korea Meteorological Administration, *National Earthquake Observation Network Map(2020)*, Retrieved Jan. 13, 2022, from https://www.kma.go.kr/kma/biz/earthquake_volcano_02.jsp.
- [2] R. M. Allen, "The ElarmS Early Warning Methodology and Application across California," *Earthquake Early Warning Syst.*, pp. 21-43, 2007.
- [3] X. Huang, J. Lee, Y. W. Kwon, and C. H. Lee, "CrowdQuake: A networked system of low-cost sensors for earthquake detection via deep learning," in *Proc. ACM SIGKDD*, pp. 3261-3271, Virtual Event, USA, Aug. 2020.
- [4] Korea Ministry of Government Legislation, *Enforcement decree of the act on the preparation for earthquakes and volcanic eruptions*, Retrieved Jan. 13, 2022, from <https://www.law.go.kr/LSW/eng/engLsSc.do?menuId=2&query=#liBbgcolor0>.
- [5] B. J. Cho, D. H. Sheen, B. G. Jo, S. C. Park,

and E. H. Hwang, "Development of a standard background noise model for broadband seismic stations of KMA," *J. Geological Soc. Korea*, vol. 45, no. 2, pp. 127-141, Apr. 2009.

- [6] D. H. Sheen, J. S. Shin, and T. S. Kang, "Seismic noise level variation in South Korea," *Geosciences J.*, vol. 13, no. 2, pp. 183-190, Jun. 2009.
- [7] J. Lee and Y. W. Kwon, "Clustering MEMS acceleration sensor using k-means clustering based on their quality," in *Proc. JCCI*, Busan, Korea, Apr. 2021.
- [8] Korea Meteorological Administration, *Announcement standards for earthquake notification*, Retrieved Nov. 03, 2021, from https://www.kma.go.kr/kma/biz/earthquake_volcano_03.jsp.

신 주 용 (Juyong Shin)



2021년 2월 : 경북대학교 컴퓨터학부 졸업
 2021년 3월~현재 : 경북대학교 컴퓨터학부 석사과정
 <관심분야> 분산 시스템, 사물인터넷
 [ORCID:0000-0001-7632-5395]

안 재 광 (Jae-Kwang Ahn)



2006년 : 한양대학교 공학사
 2008년 : 한양대학교 공학석사
 2017년 : 한양대학교 공학박사
 2008년~2011년 : (주)제일엔지니어링종합건축사사무소, 건설교통연구원, 대리
 2017년~2018년 : 한국건설기술연구원, 지반연구소, Post-Doc.

2018년~현재 : 기상청, 지진화산연구과, 기상 연구사
 <관심분야> 지진, 내진설계, 방재공학, 지진조기경보, 재난정책

이 장 수 (Jangsoo Lee)



2018년 2월 : 경북대학교 컴퓨터학부 졸업
 2020년 2월 : 경북대학교 컴퓨터학부 석사
 2020년 3월~현재 : 경북대학교 컴퓨터학부 박사과정

<관심분야> 분산시스템, 사물인터넷, 기계학습, 딥러닝, 오픈소스

권 영 우 (Young-Woo Kwon)



2003년 2월 : 경북대학교 컴퓨터학과 졸업
 2005년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
 2014년 7월 : Virginia Tech, 컴퓨터학과 박사
 2014년 8월~2017년 6월 : Utah State University, 교수

2017년 8월~현재 : 경북대학교, 컴퓨터학부 교수
 <관심분야> 분산시스템, 빅데이터, 인공지능, IoT, 지진조기경보, 재난 ICT

[ORCID:0000-0003-0625-8232]