

## 철원 지진-공중음파 관측망 설치 The Installation of Chul-Won Seismo-Acoustic Array

전명순\*                      전정수\*                      신인철\*                      김동균\*                      제일영\*  
 Jun, Myung-Soon    Jeon, Jeong-Soo    Shin, In-Cheol    Kim, Dong-Kyun    Che, Il-Young

김용성\*                      박정호\*                      Brian Stump\*\*    Chris Hayward\*\*    Jason McKenna\*\*  
 Kim, Yong-Sung    Park, Jung-Ho

### ABSTRACT

Korea Earthquake Monitoring System(KEMS) in the Korea Institute of Geology, Mining, and Materials(KIGAM) has detected more than 1000 events since the end of 1998. But, not all events are interpreted as earthquakes because many events are concentrated on daytime. It strongly implies that in addition to earthquake, these events include artificial effects such as industrial blasting. Before the determination of earthquake characteristics in the Korean peninsula, it is necessary to discriminate the detected events as earthquakes or artificial events. For the discriminant study, KIGAM and SMU(Southern Methodist University) installed a triangular four-element 1-km aperture seismo-acoustic array at Chul-Won area northeast of Seoul, Korea.

Each array element includes a GS-13 seismometer in the bottom of borehole and a Validyne DP250-14 microbarometer sensor mounted inside of the borehole 1.2 meter deep connected to a 11 arm radial array of 10m porous soaker hoses. This array introduce the use of 2.4-GHz radios for inter-array communication and a link for the outgoing alpha protocol. Also each element comprises of self-contained solar-charged power system and GPS time-keeping system. A 24-bit digital data acquisition system performs 40 SPS in the infrasound and seismometer data. Velocity and direction of wind and temperature are also measured at hub site and included to the data stream.

This seismo-acoustic array will be used to identify and locate associated with industrial blasting and these identified and located events will be applied to form a ground truth database useful to assist the other development of discriminant studies.

### 1. 서 언

1998년 이후 한국자원연구소의 지진자료 자동분석 시스템에 의해 분석된 한반도 내의 events는 1000여 개에 이른다. Events를 시간대별 발생빈도로 도시하였을 때 일과시간에 집중되어 발생하는 경향으로 보아 이들 events는 지진이외에도 산업현장에서 발파와 같은 인공적으로 발생된 events가 상당수 포함된 것으로 해석된다(전명순 외 1999).

\* 한국자원연구소    \*\* Southern Methodist University

따라서 한반도 내의 지진을 관측하고 발생시각, 발생위치, 발생심도 및 규모 등의 지진 특성 결정에 앞서 이들 events를 자연지진과 인공발파로 식별하는 과정이 선행되어야 한다. 지진과 인공발파의 식별을 위한 방법으로는 직접적인 지진파의 초동, 진앙지 위치 및 깊이에 대한 식별, 표면파와 실체파의 비, 주파수 대역별 크기 분석, spectral scalloping 분석, focal mechanism 분석, depth phase에 의한 깊이 분석, 파형의 복잡성 연구, 특수통계처리를 통한 분석 등의 연구(Li et al., 1996)가 진행 중이나, 현재까지 명확한 방법이나 기준이 설정되어 있지 않는 상황이다.

따라서 한국자원연구소는 자연지진과 인공발파의 식별을 위한 연구의 하나로 미국 SMU(Southern Methodist University)와 공동으로 강원도 철원지역에 국내 최초로 지진-공중음파 관측소를 설치하였다. CTBT(Comprehensive Test Ban Treaty)의 감시체제인 IMS(International Monitoring System) 일환으로 수행되는 공중음파 관측소는 기본적인 지하 핵실험감시이외에도 지표나 대기에서 인공발파로 발생하는 저주파 음파를 탐지하여 event식별에 기본적인 정보(Ground Truth Database)를 제공하는데 이용되고 있다.

## 2. 공중음파 관측소

공중음파는 1940 ~ 1950년대에 대기권 핵실험감시에 중요한 방법으로 전세계적인 관측망을 구축하게 되었다. 그 후 1963년 대기권 및 수중 핵실험 금지조약에 의해 관측소의 운영이 거의 중지되었으나, 최근 IMS의 공중음파 관측소 구축계획에 따라 일부 선진국을 중심으로 공중음파 관측소를 설치 및 시험운영 단계에 있다. 공중음파는 초저주파 음파로서 핵실험, 화산폭발, 운석의 이동, 태풍, 산사태, 오로라, 지진(Ground coupled waves), 인공발파, 초음속 비행기, 미사일 발사, 산악지대에서의 대기흐름 변화, 대기권에서의 비행체 등이 음원이 될 수 있다. 관측대상은 이러한 음원에 의해 발생하는 대기압의 변화이며, IMS공중음파 관측장비는 대기압에 의한 표준부피 변위를 정밀기압계(microbarometer)로 0.01microbars(1mPa)까지 측정할 수 있어야 하고 0.02Hz-4Hz의 저주파대역에서 일정한 반응을 나타내야 한다. 관측소 주변의 바람의 영향으로 발생하는 잡음을 줄이기 위해 기압계는 특수한 대기 흡입장치와 연결되어 있으며, 신호 대 잡음비를 높이기 위한 대기 흡입장치의 개발과 배열에 관한 연구가 계속 수행되고 있다. 대부분의 IMS 공중음파 관측소는 중앙에 위치한 관측소를 포함한 삼각형 모양으로 배열되며, 관측소간의 간격은 약 1~3km 거리를 유지한다.

## 3. 철원 지진-공중음파 관측소 설치

한국자원연구소는 지진-공중음파 관측망(Seismo-Acoustic Array)을 설치하고 이곳으로부터 수집된 자료를 분석하는 것이 한반도 및 인근에서 발생하는 자연지진 및 인공발파의 식별에 중요한 자료(Ground Truth Database)를 제공하리라 판단하여 미국 SMU(Southern Methodist University)와 공동으로 강원도 철원지역에 관측망을 설치하였다. 철원 공중음파 관측망은 삼각형 모양의 총 4개 관측소에 지진계와 공중음파 센서가 설치된 것으로 IMS 공중음파 관측소의 원형을 따르고 있다. 또한 철원 공중음파 관측소의 센서와 관측망 배열은 미국 내에 설치된 TXAR(Lajitas, Texas)과 NVAR(Mina, Nevada)과 유사하며, 자료기록계는 LANL(Los Alamos National Laboratory) 관측소와 유사하나 지역적인 특성에 맞도록 배열의 기하학적 위치와 자료전송방식에는 약간의 차이가 있다. 공동연구 기관인 SMU는 장비의 공급, 센서의 설계 및 제작과 설치 전 장비시험을 담당하였으며, 한국자원연구소는 관측소 운용을 위한 전력 및 통신망 설계와 구축, 부지정리 및 시추와 관련된 토목공사와 철원 - 한국자원연구소 - SMU까지의 실시간 자료(alpha protocol) 전송을 담당하였다.

지진-공중음파 관측망 부지는 강원도 철원읍 비무장지대에 근접한 지역으로 선정되었다. 이 지역은 민간인 통제구역으로 인공적인 음파의 교란을 일으킬 수 있는 공항, 고속도로 및 고층 건물

이 없는 군사지역 내에 위치한다. 또한 공중음파 관측소 설치조건에 적합한 주위의 지형경사가 20° 미만인 철원평야 내에 위치하며, 관측소 운용을 위한 전력사용 및 자료전송이 비교적 용이한 지역에 위치하고 있다. 설치 지역의 지표에는 현무암과 층적층이 분포하고 암반까지의 심도는 1~10m이다. 그림 1은 지진-공중음파 관측망의 구성도로 중앙 관측소(CHN00)를 포함한 삼각형 모양(CHN01, CHN02, CHN03)으로 관측소간의 거리가 1km인 4개의 관측소(4-elements 1km aperture array)로 구성되며, 관측소들은 고도 140 ~ 160m에 위치한다.

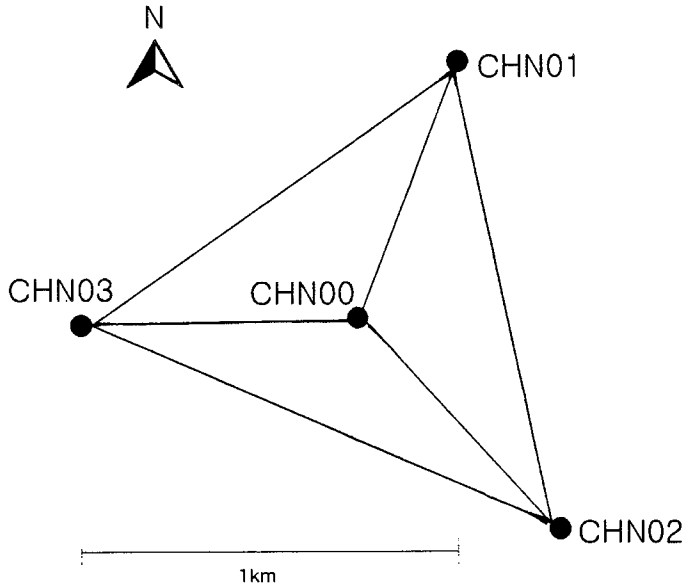


그림 1. 철원 지진-공중음파 관측망 구성도.

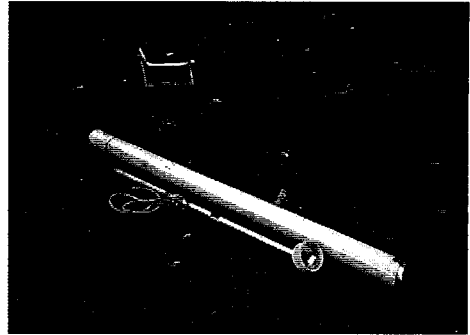
장비 설치에 앞서 부지 정리작업과 부지 중앙에 6~13m 깊이까지 시추 후 내경이 8인치인 케이싱을 설치하고 주위 암석과는 그라우팅 처리하였다. 철제 케이스 바닥은 방수와 지진계를 안치시킬 수 있도록 편평하게 바닥면을 용접하였다. 또한, 각 관측소에서 중앙 관측소까지 자료 전송을 위한 안테나, GPS, 태양전지와 기록계 등의 전자장비 보호상자를 연결하여 지탱할 수 있도록 전신주를 설치하고 접지공사로 전자장비를 보호하였다. (그림 2.)

각 관측소에는 GS-13 단주기 수직성분 지진계를 시추공 바닥면에 설치하였으며, Validyne DP250-14 정밀 기압계측기는 시추공 내부 1.2m 깊이에 설치하였다. 정밀 기압계측기는  $10^{-4}$ Pa까지 대기압 변위 측정이 가능하며, 0.02~10Hz의 초저주파대역의 신호를 탐지할 수 있도록 제작되었다. (Hayward et al., 1999) 정밀 기압계는 관측소 지표면에 설치된 11개의 방사상으로 배열된 10m 길이의 다공성 호스와 연결되어 있다. 다공성 호스는 바람의 영향으로 생성되는 지역적인 대기압의 배경 잡음(Background Noise)을 감쇠시키기 위해 설치된 것으로 음파의 신호 대 잡음비를 높이는 역할을 한다. 기록계는 지진파와 공중음파를 초당 40개로 샘플링하여 나이퀴스트 주파수를 20Hz로 향상시켰다.

지진계와 기압계가 설치된 4개 관측소는 태양전지를 이용한 자체 전원공급장치로 운영되며, 획득된 자료는 무선자료송신장치를 통해 중앙기록실로 전송되며, 전송된 자료는 alpha-format으로 변환된 후 한국자원연구소로 전송된다. 또한 이 건물에는 기상장비를 설치하여 바람의 방향, 속도와 온도를 1분마다 측정하여 자료에 포함시켰다. 관측망 설치지역은 군사지역 내에 위치하여 상용전화선을 이용한 자료전송이 제한되는 지역이다. 따라서 중앙기록실로부터 전용선 사용이 가능



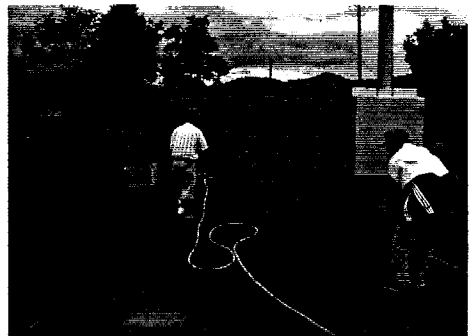
(a)



(b)



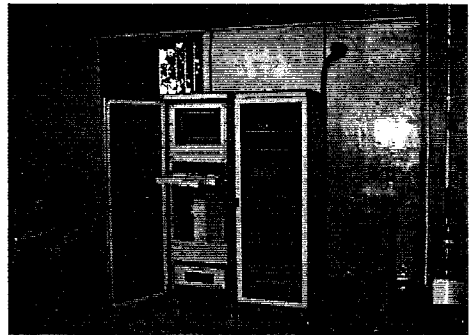
(c)



(d)

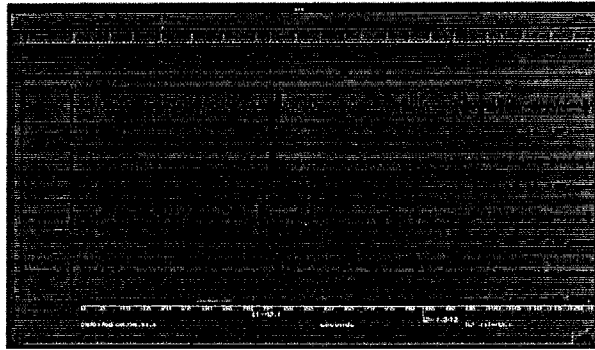


(e)

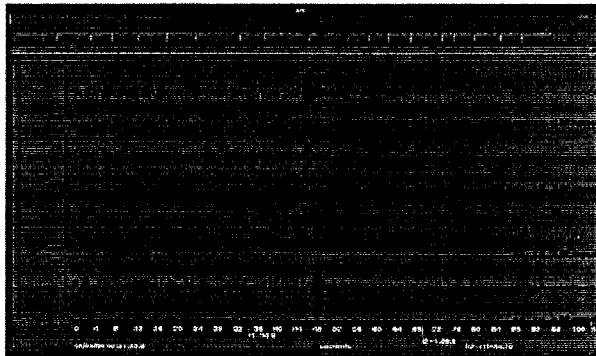


(f)

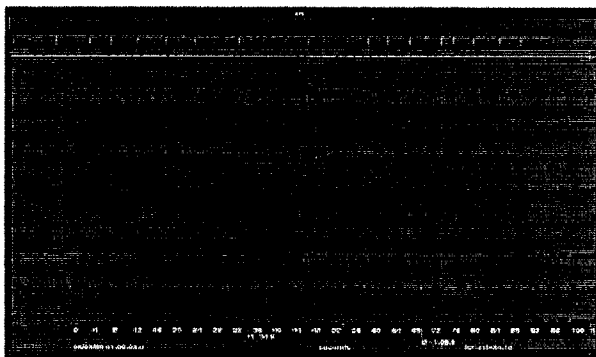
그림 2. 지진-공중음파 관측소 설치 과정. (a) GS-13 지진계 설치. (b) 정밀 기압계측기. (c) 지진계와 기압계 설치 후 기록계와 연결. (d) 관측소 지표면에 다공성 호스배열. (e) CHN00 관측소 최종 설치 후. (f) 중심기록실 내의 자료 획득 및 전송 장비.



(a)



(b)



(c)

그림 3. 철원 지진-공중음파 관측망에서 관측된 공중음파의 예. (a) 1999년 8월 1일 15시 07분 14초경. (b) 1999년 8월 3일 9시 52분 40초경. (c) 1999년 8월 3일 10시 06분 50초경.

한 대마리 중계소까지 라디오 모뎀으로 전송(4.5km)하고 대마리 중계소로부터는 전용 전화선을 이용하여 실시간으로 한국자연연구소의 지진자료 자동분석 시스템에 연결시키고, 다시 미국 SMU 까지 인터넷을 통해 전송하는 네트워크로 구성하였다.

철원 지진-공중음파 관측망은 1999년 7월말에 설치 완료되었으며, 그림 3은 관측소 설치 후

1999년 8월 1일 15시 07분 14초경, 8월 3일 9시 52분 40초경과 8월 3일 10시 06분 50초경에 관측된 공중음파의 예이다.

#### 4. 토의 및 결론

한국자원연구소는 한반도에서 발생하는 events를 자연지진과 인공발파로 식별하기 위하여 미국 SMU와 공동으로 지진-공중음파 관측망을 국내 최초로 강원도 철원지역에 설치하였다. 본 관측망은 IMS 공중음파 관측소의 원형을 따르고 있으며, 배열의 기하학적 형태와 자료전송은 지역적인 특성에 맞게 변경되어 설계되었다.

지진-공중음파 관측망은 중심 관측소를 포함한 삼각형 모양의 관측소 배열로 이루어졌으며, 지진계와 기압계는 각각 시추공 바다과 내부에 설치되었다. 각 관측소는 태양전지를 이용한 자체 전원공급장치로 운영되며, 획득된 자료는 무선자료송신장치와 전용회선에 의해 한국자원연구소로 전송되고 인터넷을 통해 SMU로 전송되는 네트워크로 구성되었다.  $10^{-4}$ Pa까지의 대기압의 변위를 측정할 수 있는 정밀 기압계는 인공발파에 의해 발생하는 저주파의 음파를 탐지할 수 있으며, 신호 대 잡음비를 높이기 위해 지표에는 대기 흡입장치를 배열하였다.

철원 지진-공중음파 관측망은 인공발파에 대한 감지, 확인 및 위치결정으로 지진연구에 필요한 정보를 제공하고 핵실험 감시등에도 이용될 수 있을 것이다. 이를 위하여 공중음파의 특성 및 분석에 관한 연구, 신호 대 잡음비를 높이기 위한 흡입장치 배열에 관한 연구 및 인공발파에서 나타나는 지진파와 음파와의 관계성 연구 등이 앞으로 수행되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

1. 전명순, 김동균, 강익범, 김성배, 전정수, 1999, 지진관측의 문제점 및 향후 대책, 한국자원연구소 논문집(인쇄중).
2. Hayward, C., B. Stump, P. Golden, E. Herrin, M.-S. Jun, and J.-S. Jeon, 1999. The Korean seismo-acoustic array, in Proceedings of the 21st Annual Seismic Research Symposium on Monitoring A Comprehensive Test Ban Treaty, 21-24 September 1999.
3. Li, Y., M. N. Toksoz, and W. L. Rodi(1996), Discrimination of small earthquakes and explosions, in Proceeding of the 18th annual seismic research symposium on monitoring a Comprehensive Test Ban Treaty, pp 574-583.