

인공잡음 제거를 위한 기준점 이용 탄성과 측정시스템 개발

황학수¹⁾ · 이태섭²⁾ · 성낙훈²⁾

Development of a Seismic Measurement System with a reference for the Reduction of Artificial Noise

Hak Soo Hwang, Tai Sup Lee and Nak Hoon Sung

요 약 : 도시화된 인구밀집지역과 인공잡음(예, 소음, 진동, 전력선 등)이 매우 심한 환경에서 양질의 탄성과 자료를 획득하기 위하여 기준점을 이용한 실험적 수준의 탄성과 측정시스템을 개발하였다. 소음과 전자파 잡음에 대한 상관측정(소음에 대한 상관측정의 센서는 마이크와 수진기 사용, 전자파에 대한 상관측정의 센서는 EM루프와 수진기 사용)을 각각 김포공항과 전라북도 김제시에서 수행하였으며, 또한 각 잡음의 측정 시계열에 대해 스펙트럼 분석도 실시하였다. 소음에 의한 두 센서(마이크와 수진기) 반응은 높은 상관성을 갖고 있으나, 두 센서 반응의 가장 큰 차이는 200 Hz를 기준으로 저주파수 그리고 고주파수대역에서 일어나고 있다. 200 Hz 이하의 주파수대역에서는 수진기를 통하여 측정된 잡음의 스펙트럴 에너지가 상대적으로 크고(예, 10 Hz와 100 Hz에서 각각 20 dB 이상 큼) 200 Hz 이상의 상대적인 고주파수에서는 마이크를 통하여 측정된 잡음의 수준이 높다(예, 500 Hz에서 30 dB 이상). 전체적으로 수진기를 통하여 측정된 잡음의 스펙트럴 파워는 주로 600 Hz 이하에 집중되어 있는 반면에 마이크에 측정된 잡음의 파워는 주로 200 Hz 이상에서 분포하고 있다. 전력선 잡음을 가정하여 교류직류 인버터에서 발생한 전자파잡음에 대한 EM루프와 수진기를 통하여 측정된 전자파잡음은 각 센서에서 그 파형이 매우 일정하며, 또한 서로 간에 높은 상관성을 보였다. EM루프에 측정된 전자파잡음의 경우 60 Hz에 대한 기수 조화주파수가 우수 조화주파수에 비하여 그 스펙트럴 에너지가 매우 크지만, 수진기의 경우는 그 차이가 거의 없었다.

Abstract : A proto-type seismic measurement system with a reference was developed to improve S/N (signal-to-noise ratio) of seismic data, especially in noisy urban areas. Two pairs of correlation measurements (the one for microphone and geophone, and another for electromagnetic (EM) loop and geophone) were carried out near Kimpo Airport and at Kimje. The spectrum analyses were also performed to investigate the correlation of two pairs of time series; one for microphone and geophone, and another for EM loop and geophone. The sound waves measured with the microphone and the geophone are highly correlated. However, differences in the responses are readily identifiable across 200 Hz; in the vicinity of 100 Hz, the spectral energy for geophone is 20 dB higher than that for microphone, and at near 500 Hz, the spectral energy for microphone is 30 dB higher than that for geophone. Overall, the spectral energy appears concentrated on the frequency window below 600 Hz for geophone. It contrasts with the observation of dominant frequency at the range of above 200 Hz for microphone. The wave forms of EM noise (due to an ACDC inverter) measured with EM loop and geophone are consistently and highly correlated each other. The power spectrum of the EM noise for EM loop shows that the spectral energies at odd harmonic frequencies of 60 Hz are higher than those at even harmonic frequencies of 60 Hz. It is compared to the power spectrum for geophone; the spectral energies at odd harmonics are nearly same as those at even harmonic frequencies.

Keywords : spectrum, correlation measurement, EM noise, harmonic frequency

서 론

최근 탄성과탐사는 구조물 설치를 위한 천부 지질조사 및 지반 안정성 평가 등과 같은 토목분야에 많이 사용되고 있다. 우리나라의 대부분 지역과 같이 도시화된 인구 밀집지역에서 양

질의 탄성과탐사 자료를 얻기 위해 탄성과 발생원 에너지를 무한정 증가시킬 수는 없다. 또한, 산업화 및 도시화의 산물인 인공적 잡음(예, 소음, 진동, 전력선 잡음 등)에 의해 고속도로, 공항, 전력선 주변 등에서는 양질의 자료를 얻기가 매우 어렵다. 그러므로 탄성과 잡음이 심한 환경에서 양질의 탄성과 자

*1999년 8월 16일 접수

1) 한국자원연구소 자연재해방재단 (Center for National Hazard Prevention Research, Korea Institute of Geology, Mining and Materials)
2) 한국자원연구소 자원연구부 (Geophysical Exploration and Mining Division, Korea Institute of Geology, Mining and Materials)

료를 획득하기 위해서는 효과적인 잡음제거 기술 및 측정시스템의 개발이 절실한 실정이다.

본 논문은 탄성과 잡음이 매우 심한 지역에서 양질의 탄성과 자료를 얻기 위한 기초 연구로서, 주로 MT(Magnetotelluric) 탐사에서 사용되어 발달한 원거리기준점(Gamble, *et al.*, 1979a, 1979b)을 이용한 실험적 수준의 탄성과 측정시스템 개발이다. 잡음제거를 목적으로 기존에 사용한 디지털 필터의 단점을 보완하기 위하여 최근에는 이 같은 원/근거리기준점 방법이 지구물리탐사의 여러 분야에 사용되고 있다(Halverson, 1982, 1990; Halverson, *et al.*, 1987; Hwang, 1995, 1997; Hwang and Buselli, 1996; Hwang and Lee, 1996; Kim and Hohmann, 1992). 또한, 본 연구에서는 개발된 실험적 수준의 측정시스템을 이용하여 기준점 센서와 수진기 간의 상관측정을 통한 상관성 분석을 실시하여 잡음제거를 위하여 간단히 사용될 수 있는 스케일링(*scaling*)기법(Wilt, *et al.*, 1983)의 적용가능성을 검토 하였다.

자료측정 시스템

자료측정 시스템은 크게 3부분, 즉 센서부, 필터부 그리고 A/D변환기(Analogue-to-Digital converter)를 포함한 컴퓨터로 구성되었다(Fig. 1).

소음 측정을 위한 센서로는 선택형 증폭기(selectable pre-amplifier)가 내장된 마이크(microphone)를 사용하였으며, DC-AC인버터(DC-to-AC Inverter)에 의해 발생한 전자파잡음을 측정하기 위해서는 EM루프를 사용하였다. EM루프(electromagnetic loop)의 크기와 권수는 각각 45 cm × 45 cm와 100이므로 EM 루프의 통과면적(passive area)은 20.25 m²이다. 필터부는 신호를 100배까지 증폭할 수 있는 선택형 증폭기와 차단주파수(cut-off frequency)가 1 kHz와 100 kHz인 선택형 저주파수통과필터(lowpass filter)로 구성되었다.

잡음 신호를 디지털화(*digitization*)하기 위해 사용한 A/D변환기는 National Instrument사의 12bit A/D변환기인 AT-MIO/AI E-1이므로, 초당 최대 1,200,000 샘플(sample)까지 측정할 수 있다. 또한, 자료측정 시스템의 모든 조정은 그래픽 프로그램 언어인 LabView를 사용하였고 측정에 사용한 컴퓨터는 Docking 시스템을 갖춘 Pentium 166 MHz의 HP 노트북과 공업용컴퓨터이다. 자료 측정시 인버터에서 발생하는 전자잡음

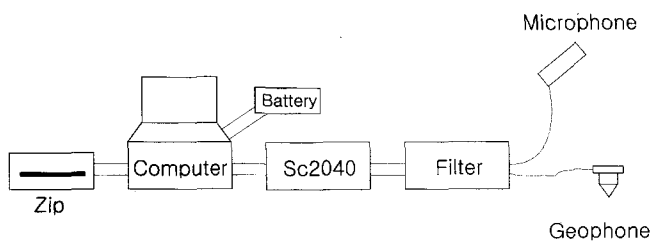


Fig. 1. Data acquisition system.

을 최소화하기 위하여 배터리 파워의 직류전원을 사용하였다.

각 탄성과 잡음에 대한 상관측정(즉, 소음에 대한 상관측정을 위한 마이크와 수진기(기본주파수: 25 Hz) 그리고 전자파잡음의 상관측정을 위한 EM루프와 수진기)을 위해서는 Fig. 1에 도시한 동일한 2개의 시스템을 사용하였으며, 두 시스템 측정의 동기화를 위하여 디지털 트리거(*digital trigger*)를 사용하였다.

자료측정 및 분석

마이크와 수진기를 사용하여 소음의 상관측정(*correlation measurement*)이 수행된 지역은 김포공항 부근이다. 두 측정센서에 감지된 신호는 저주파수통과필터(차단주파수: 1 kHz)에 통과시키고 초당 10,000 샘플로 측정하였다. 측정시 수진기의 신호를 100배 그리고 마이크의 신호를 5배로 증폭하였다. Fig. 2는 마이크와 수진기를 센서로 사용하여 측정한 잡음(비행기 이착륙시 엔진에서 발생한 소음)의 시계열을 도시한 것이다. 시계열 상의 측정시간대 10 s~20 s에서 비행기 엔진에서 발생된 소음에 의해 두 다른 센서에 야기된 진폭이 매우 큰 잡음을 볼 수 있다. 수진기에 측정된 잡음의 진폭은 약 4 mV이고 이에 비하여 마이크에 측정된 잡음의 진폭은 상대적으로 큰 약 15 mV이다. 전체적인 두 시계열의 포락선의 형태는 매우 유사하나, 각 그림 우측하단에 도시한 측정시간 14.4 s~14.6 s 범위에서 동일한 잡음원에 의해 발생된 두 잡음의 시계열을 비교하면 수진기의 잡음이 마이크의 잡음에 비하여 상대적으로 매우 낮은 주파수의 파형을 보인다.

Fig. 3은 수진기와 마이크에서 측정된 잡음의 파워 스펙트럼을 도시한 것으로서, 약 200 Hz 이하의 주파수대역에서는 수진기를 통하여 측정된 잡음의 스펙트럼 에너지가 상대적으로 크고(예, 10 Hz와 100 Hz에서 각각 20 dB 이상 큼) 200 Hz 이상의 상대적인 고주파수에서는 마이크를 통하여 측정된 잡음

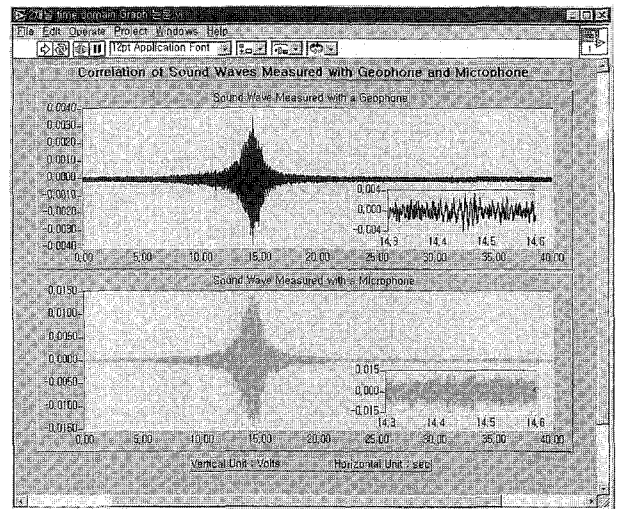


Fig. 2. Correlation measurement of sound waves measured with a geophone and a microphone.

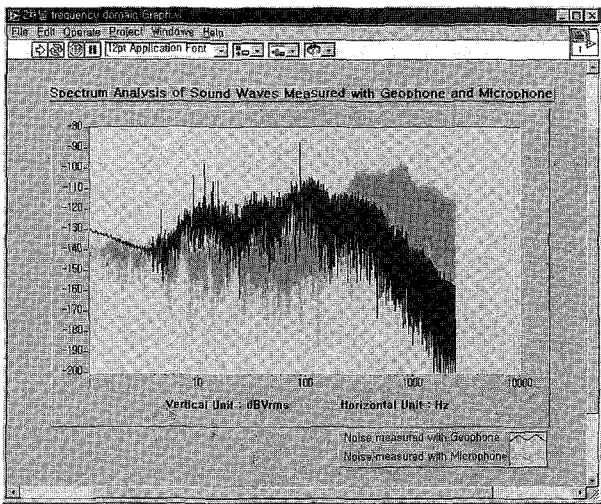


Fig. 3. Power spectra of sound waves measured with a geophone and a microphone.

의 수준이 높다(예, 500 Hz에서 30dB 이상). 전체적으로 수진기를 통하여 측정된 잡음의 스펙트럴 파워는 주로 600 Hz 이하에 집중되어 있는 반면에 마이크에 측정된 잡음의 파워는 주로 200 Hz 이상에서 분포하고 있다. 그러므로 두 센서에 측정된 잡음의 스펙트럼 분석으로부터 간단한 스케일링기법(예, analogue bucking)으로는 수진기에 야기된 잡음을 제거할 수 없다는 것을 알 수 있다. 여기서, analogue bucking 기법(Wilt et al., 1983)은 상관측정된 두 잡음의 주파수 특성은 고려하지 않고 다만 서로의 진폭만을 보정하는 방법이다.

Fig. 4는 전라북도 김제시 대창리 지역에서 수행한 교류직류 인버터에 의해 발생하는 전자파 잡음에 대한 상관 측정으로서, 총 측정시간은 20 s이나 그림 상에서는 전자파의 파형만을 보기 위하여 0.3 s의 시계열만 도시하였다. 사용된 센서는 수진

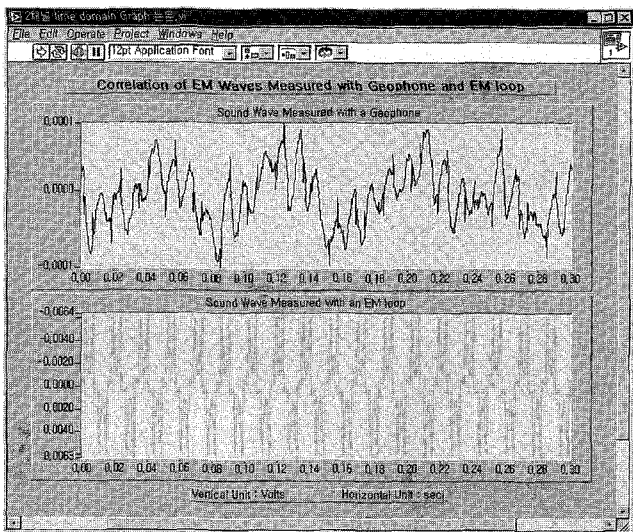


Fig. 4. Correlation measurement of EM waves measured with a geophone and an EM loop.

기와 EM루프(수직성분)이며, EM루프의 통과면적은 20.25 m²이다. 측정시 센서에 의해 감지된 신호를 100으로 증폭하였으므로 EM루프의 유효면적(effective area)는 2025 m²이다. 이같은 수신안테나의 유효면적은 한국자원연구소에서 보유한 시간영역전자탐사(TEM: Time-domain/Transient Electromagnetic) 수신안테나 RVR (Roving Vector Receiver)의 유효면적의 약 1/5이다. Fig. 4의 각 센서를 통하여 측정된 전자파잡음의 파형은 매우 일정한 주기성을 갖고 있으며, 두 개의 다른 센서(위: 수진기, 아래: EM루프)를 통하여 측정된 두개의 시계열간에 높은 상관성을 보이고 있다. 예로서, EM루프 시계열 상에서 스파이크 형태의 파형이 나타나는 측정시간대에 수진기의 시계열 상에서도 스파이크 형태의 파형이 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5는 수진기와 EM루프를 통하여 동시에 측정한 전자파 잡음에 대한 스펙트럼을 도시한 그림으로, 사용된 샘플은 총 100,000개, 즉 20 s(초당 5,000개)의 시계열이다. 두 개의 다른 센서에 감지된 전자파잡음의 스펙트럴 에너지는 주로 60 Hz의 기수 조화주파수 그리고 우수 조화주파수에 집중 분포하고 있다. 그리고 EM루프에 감지된 전자파잡음과는 달리 수진기 파워스펙트럼의 20 Hz 부근에 분포하는 스펙트럴 에너지는 측정시스템인 공업용 컴퓨터의 전원 팬(power supply fan)에서 발생하는 진동에 의한 것으로 사료된다. 탄성파탐사에서 전력선에 의한 전자파잡음을 제거하기 위해서는 보통 노치(notch) 필터를 사용한다. 이 같은 노치 필터는 특정 주파수의 잡음 뿐만 아니라 신호 자체도 제거하는 문제점이 발생한다. 또한 조화주파수의 잡음을 제거하기 위해 여러 주파수의 노치 필터를 사용할 경우는 각 주파수의 신호의 제거 뿐만 아니라 필터에 의해 신호자체도 심하게 왜곡됨으로, 천부 지질구조의 고분해능 해석을 위한 반사파탐사의 경우는 의미있는 자료를 얻지 못할 것이다.

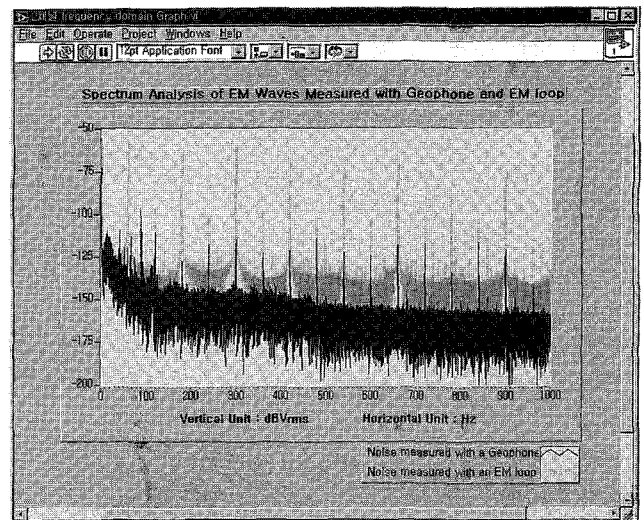


Fig. 5. Power spectra of EM waves measured with a geophone and an EM loop.

제안 및 결론

참고문헌

송신원의 파워증가가 제한되고 인공적 잡음(예, 전력선, 소음 등)이 존재하는 지역에서 양질의 탄성파 자료를 얻기 위한 연구의 일환으로 탄성 송신원에 반응을 나타내지 않는 센서를 사용한 상관측정 및 자료분석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 소음에 의한 두 센서(마이크와 수진기) 반응은 높은 상관성을 갖고 있으나, 두 센서 반응의 가장 큰 차이는 200 Hz를 기준으로 저주파수 그리고 고주파수대역에서 일어나고 있다. 200 Hz 이하의 주파수대역에서는 수진기를 통하여 측정된 잡음의 스펙트럴 에너지가 상대적으로 크고(예, 10 Hz와 100 Hz에서 각각 20 dB 이상 큼) 200 Hz 이상의 상대적인 고주파수에서는 마이크를 통하여 측정된 잡음의 수준이 높다(예, 500 Hz에서 30 dB 이상). 전체적으로 수진기를 통하여 측정된 잡음의 스펙트럴 파워는 주로 600 Hz 이하에 집중되어 있는 반면에 마이크에 측정된 잡음의 파워는 주로 200 Hz 이상에서 분포하고 있다.

둘째, 전력선 잡음을 가정하여 교류-직류 인버터에서 발생한 전자파잡음에 대한 EM루프와 수진기를 통하여 측정된 전자파잡음은 각 센서에서 그 파형이 매우 일정하며, 또한 서로 간에 높은 상관성을 보인다. EM루프에서 측정된 전자파잡음의 경우 60 Hz의 우수 조화주파수에 비하여 기수 조화주파수에서 그 스펙트럴 에너지가 매우 크지만, 수진기의 경우는 그 차이가 거의 없었다.

수진기와 마이크에 측정된 잡음의 스펙트럼 분석으로부터 서로의 진폭만을 보정하는 간단한 스케일링 기법으로는 수진기에 야기된 잡음을 제거할 수 없다. 또한, 특정한 주파수와 그 조화주파수에 대한 잡음제거를 위해 기존의 노치 필터를 사용할 경우에는 잡음과 함께 신호의 손실 뿐만 아니라 적용된 필터에 의해 신호자체가 심하게 왜곡된다. 그러므로 잡음(소음, 전력선 잡음 등)이 심한 환경에서 천부 지질구조의 고분해능 해석을 위한 양질의 탄성파자료를 얻기 위해서는 기존에 많이 사용된 디지털 필터 개념이 아닌 MT(Magnetotelluric)탐사에서 주로 사용되어온 원거리기준점 기법(Gamble, *et al.*, 1979a, 1979b) 등이 사용될 수 있다. 또한, 이와 더불어 기준점에서 측정된 잡음을 이용하여 실제 측정지역의 잡음을 예측하기 위하여 통계적(예, Autoregressive Integrated Moving Average: Box, 1976) 또는 인공지능(예, neural network: Anderson and Rosenfeld, 1989; McClelland and Rumelhart, 1988) 기법 등도 연구되어야 한다.

1. Anderson, J. and Rosenfeld, E., 1989, Neurocomputing: Foundations of research: MIT Press.
2. Box, G. P., 1976, Time series analysis: Forecasting and control: Holden-Day, San Francisco.
3. Gamble, T. D., Goubau, W. M. and Clark, J., 1979a, Magnetotellurics with a remote magnetic reference: Geophysics, **44**, 53-68.
4. Gamble, T. D., Goubau, W. M. and Clark, J., 1979b, Error analysis for remote reference magnetotellurics: Geophysics, **44**, 958-968.
5. Halverson, M. O., 1990, Real-time telluric cancellation in broadband IP exploration: Flink, J. B., McAlister, E. O., Sternberg, B. K., Wieduwilt, W. G. and Ward, S. H., Eds., Induced polarisation-Applications and case histories: Investigations in Geophysics, Vol. 4, SEG, p. 199-226.
6. Halverson, M. O., 1982, Telluric noise cancellation in induced polarisation prospecting: U.S. patent No. 4339720.
7. Halverson, M. O., Kingman J. E. E. and Corbett, J. D., 1987, Advances in IP technology: Telluric cancellation and high spatial resolution arrays: Exploration 87 Proceedings, 183-1190.
8. Hwang, H. S., 1997, Remote reference prediction filter in TEM measurements: The journal of the korean institute of mineral and energy resources engineers, **34**, 505-512.
9. Hwang, H. S., 1995, Sferics Noise minimisation in transient electromagnetic systems using neural networks: Ph.D. Thesis, Macquarie University, 271p.
10. Hwang, H. S. and Lee, S. K., 1996, High-frequency Sferics Correlation Measurements and Spectrum Analysis: The journal of the korean institute of mineral and energy resources engineers, **33**, 318-331.
11. Hwang, H. S. and Buselli, G., 1996, Comparison of the performance of neural network EM noise prediction filters with other noise prediction methods: The 13th workshop on electromagnetic induction in the earth, Onuma International Seminar House, Hokkaido, Japan, 86-87.
12. Kim, B. O. and Hohmann, G. W., 1992, Adaptive noise cancellation for time domain EM data: Geophysics, **57**, 466-469.
13. McClelland, J. L. and Rumelhart, D. E., 1988, Explorations in parallel distributed processings: MIT Press.
14. Wilt, M., Goldstein, N. E., Stark, M., Hought, J. R. and Morrison, H. F., 1983, Experience with the EM-60 electromagnetic system for geothermal exploration in Nevada: Geophysics, **48**, 1090-1101.