

인공신경망을 이용한 탄성과 잡음제거¹⁾

황학수²⁾ · 이상규 · 이태섭 · 성낙훈

Minimisation Technique for Seismic Noise Using a Neural Network

Hak Soo Hwang, Sang Kyu Lee, Tai Sup Lee and Nak Hoon Sung

요 약 : 송신원의 파워 증가가 제한되고 인공잡음이 존재하는 지역에서 양질의 탄성과 자료를 획득하기 위하여 근/원기 준점(reference)을 이용한 탄성과 잡음예측필터를 개발하였다. 잡음예측필터에 사용된 방법은 backpropagation 알고리즘을 이용한 3층의 인공신경망(neural network)으로서, 훈련자료(training data) 및 검증자료(testing data)에 훈련된 잡음예측필터를 적용시 신호대잡음비(signal-to-noise ration)를 약 3배 정도 증가시켰다. 그러나, 일반적으로 전기, 전자탐사 자료의 질을 향상하기 위해 사용되는 스케일링(scaling)기법으로는 전혀 탄성과의 잡음을 제거할 수 없었다.

Abstract : The noise prediction filter using a local/remote reference was developed to obtain a high quality data from seismic surveys over the area where seismic transmission power is limited. The method used in the noise prediction filter is a 3-layer neural network whose algorithm is backpropagation. A NRF (Noise Reduction Factor) value of about 3.0 was obtained with applying training and test data to the trained noise prediction filter. However, the scaling technique generally used for minimizing EM noise from electric and electromagnetic data cannot reduce seismic noise, since the technique can allow only amplitude difference between two time series measured at the primary and reference sites.

Keywords : Neural network, backpropagation, local/remote reference, Noise prediction filter

서 론

최근 탄성파탐사는 도로, 터널, 교량 등과 같은 지상/지하 구조물 설치를 위한 천부 지질조사 및 지반 안정성 평가 등과 같은 토목분야에 그 사용이 급증하고 있다. 우리나라에서 지상/지하 구조물을 설치하는 대부분의 지역은 도시화가 이루어진 인구밀집 지역으로서, 소음 및 진동 등의 탄성과 잡음과 전력선에 의해 야기되는 전자파 잡음이 상존하며, 탄성파탐사 수행 시 탄성과 발생원의 에너지를 무한정 증가시킬 수 없으므로 양질의 측정자료를 획득하기가 매우 어렵다. 그러므로 탄성과 그리고 전자파 잡음이 심한 환경에서 양질의 탄성과 자료를 획득하기 위해서는 효과적인 잡음제거 기술 및 자료 측정시스템의 개발이 절실한 실정이다. 또한, 지질공학측면에서 토목 설계의 목적, 즉 지반안정성 평가를 위한 탄성파탐사의 수행은 천부 구조지질의 고분해능 해석을 요구하고 있다.

본 연구는 탄성과 잡음이 매우 심한 환경에서 양질의 탄성과 자료를 얻기 위한 기초 연구로서, 전자파(EM: Electromagnetic)탐사의 일종인 Magnetotelluric(MT) 탐사에서 주로 사용

되어 발달한 원거리기준점(Gamble *et al.*, 1979a, 1979b)을 이용한 탄성과 잡음제거 기술을 개발하는 것을 목적으로 한다.

잡음제거의 목적으로 대부분의 측정기기에서 사용하는 기존의 Notch필터는 특정 주파수(frequency)에서 제거를 원하는 잡음 뿐만 아니라 신호도 함께 제거한다. 또한, 잡음의 조화(harmonic) 주파수를 모두 제거하기 위해서는 조화주파수의 각각에 대하여 Notch필터를 적용해야하며, 이에 따라 조화주파수 근처의 다른 주파수에서 신호를 심하게 왜곡시키는 단점을 갖고 있다. 그러므로, 지구물리탐사의 여러 분야에서는 기존에 사용된 필터의 단점을 보완하기 위하여 원/근거리기준점을 이용한 잡음제거 방법이 최근에 도입되어 많은 연구가 진행 중에 있다(Halverson, 1982, 1990; Halverson *et al.*, 1987; Hwang, 1995, 1997; Hwang and Buselli, 1996; Hwang and Lee, 1996; Kim and Hohmann, 1992).

본 연구에서는 황학수 등(1999)에 의해 개발된 실험적 수준의 다중채널 자료 측정시스템을 사용하여 기준점 센서(microphone)와 수진기(geophone) 간의 상관측정을 통한 상관성 분석을 실시하였고 이를 바탕으로 인공신경망을 이용한 잡음 예측필터를 개발하였다. 이와 더불어 잡음예측필터의 결과

*2000년 5월 20일 접수

1) 지구물리탐사학회

2) 한국자원연구소, 탐사개발부(Korea Institute of Geology, Mining & Materials)

와 일반적으로 전자파잡음 제거에 사용되는 스케일링(scaling) 기법과 비교하여 개발된 잡음제거 필터의 적용성을 검토하였다.

상관측정

마이크와 수진기를 사용하여 소음에 의해 야기된 탄성과 잡음의 상관측정(correlation measurement)이 수행된 조사지역은 김포공항 부근이다. 운행 중인 비행기의 엔진(engine) 소음에 의해 발생된 탄성과 잡음 신호는 두 측정센서에 의해 감지되며, 감지된 신호는 다시 저주파수통과필터(차단주파수: 1 kHz)에 통과시켜서 차단주파수보다 높은 주파수의 신호를 제거한 후, 잡음 신호의 파형을 충분히 표현할 수 있도록 초당 10,000 샘플로 최대 60초까지 측정하였다. 자료측정시 입력신호와 시스템의 전자잡음비를 향상하기 위하여 수진기 신호의 경우 10~1000배 그리고 마이크의 신호는 5~1000배까지 증폭하였다. 상관측정을 위한 다중채널 자료측정 시스템은 황학수 등(1999)에 의해 실험적 수준으로 개발되었다.

Fig. 1은 마이크와 수진기를 센서로 사용하여 측정시스템의 전자잡음을 포함한 조사지역의 배경잡음을 동시에 9초 동안 측정된 시계열과 각각에 대한 파워 스펙트럼을 도시한 것으로서, 자료 측정시 전치증폭기(pre-amplifier)에서 사용한 증폭배율은 100이다. 수진기에 측정된 시계열(그림에서 CH00로 표시) 상 전체적인 조사지역의 배경잡음 수준은 약 10 mV로서, 마이크에 측정된 동일지역의 배경잡음(그림에서 CH01으로 표시)과 비교하여 약 2배 정도 작다. 조사지역에 존재하는 배경

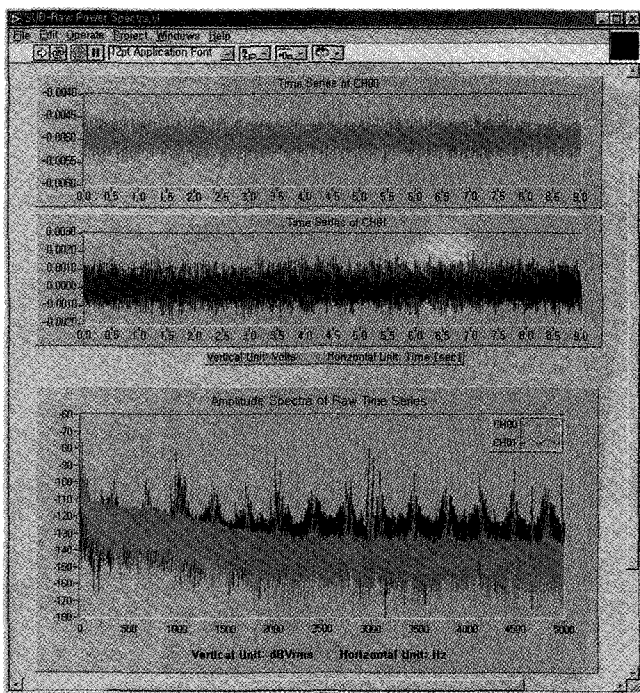


Fig. 1. Correlation measurement of background noise.

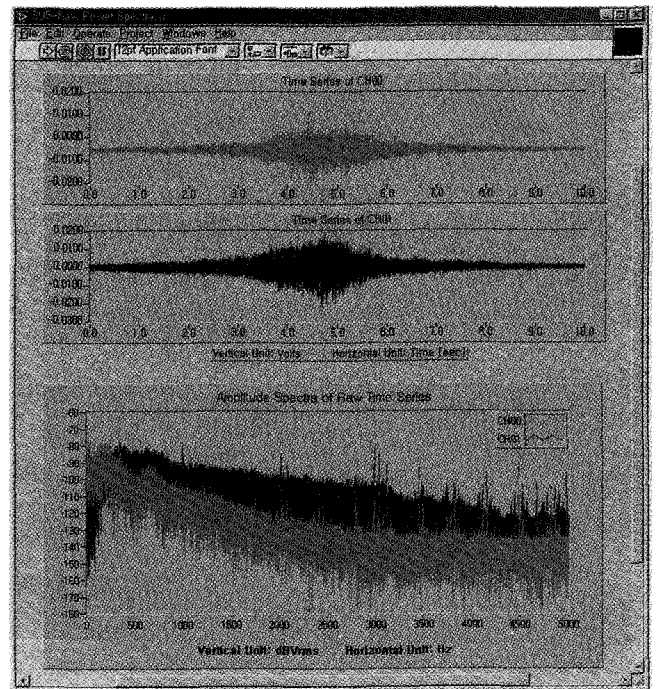


Fig. 2. Correlation measurement of seismic noise.

잡음의 주파수분석을 위해 실시한 각 신호의 스펙트럼은 Fig. 1의 하부에 도시하였는데, 대부분의 스펙트럼 에너지(약 110 dBVrms)는 100 Hz 이하에 집중 분포하고 있으며, 또한 기본 주파수(base frequency)가 약 300 Hz이고 이의 조화주파수에 스펙트럼 에너지가 분포하고 있다.

Fig. 2는 조사지역 상공에서 운행 중인 비행기의 엔진 소음에 의한 잡음의 상관측정 자료를 도시한 것으로서, 상부 2개의 그림은 수진기(CH00)와 마이크(CH01)에서 감지된 동일한 잡음원의 잡음시계열이며, 그림의 하부는 각각에 대한 스펙트럼이다. 전체적으로 두 잡음 시계열의 포락선의 형태는 매우 유사하며, Fig. 1에 도시된 조사지역의 배경잡음 시계열과 비교하여 비행기 엔진소음에 의한 잡음의 진폭이 약 10배 이상 큰 것을 알 수 있다. 소음에 의한 잡음에 대한 파워스펙트럼과 배경잡음의 스펙트럼의 분석에 의하면 고주파수 차단주파수(1000 Hz) 이하의 주파수대역에서 잡음의 스펙트럼 에너지가 약 20 dB 이상 높게 나타나고 있으며, 특히 특정주파수(300 Hz) 이하의 대역에서는 잡음의 스펙트럼 에너지가 최대 30 dB 이상 높게 나타나고 있다. 두 센서(수진기와 마이크)에 감지된 잡음 신호에 대한 스펙트럼의 비교분석으로부터 약 300 Hz를 기준으로 저주파수대역에서는 수진기의 스펙트럼 에너지가 마이크와 비교하여 상대적으로 매우 높음을 알 수 있다.

일반적으로 천부 지질구조의 고분해능 해석을 위한 굴절법 및 반사법 탄성파탐사에서 사용하는 주파수대역은 20 Hz~250 Hz이다. 그러므로 본 연구에서는 실제 탄성파탐사의 경우를 가정하여 탄성과 신호의 주파수대역에서 적용한 필터의 왜곡 현상을 최소화하고, 전치증폭기에 의해 야기된 DC offset를 제

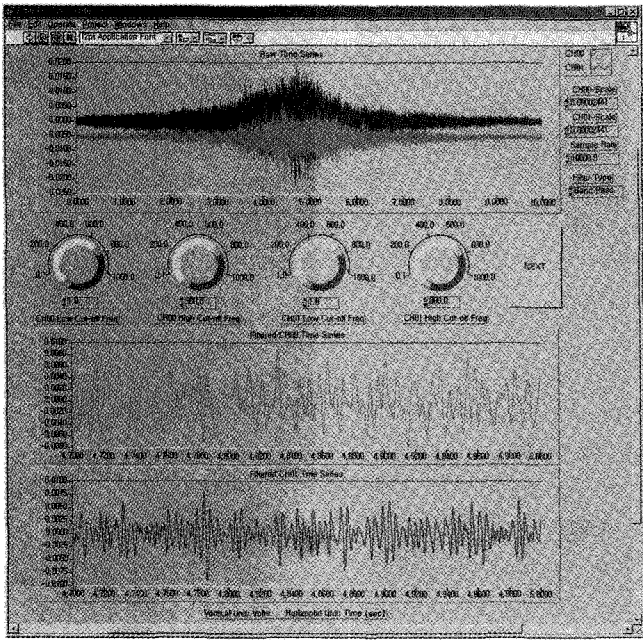


Fig. 3. Example of application of a bandpass filter to seismic noise.

거하기 위하여 자료처리 과정에서 저주파수 그리고 고주파수의 차단주파수를 각각 1 Hz와 300 Hz인 대역필터(bandpass filter)를 사용하였다.

Fig. 3의 하부 두 시계열은 Fig. 2에 도시한 두 잡음시계열, 즉 Fig. 3의 상부 그림의 두 시계열에 대하여 상술한 대역필터를 적용한 후, 필터된 시계열의 일부분(4.7~5.0 sec)을 나타낸 것이다. 필터된 두 잡음시계열의 파형은 전체적으로 높은 상관성을 나타내고 있으나, 비록 잡음 신호가 동일한 잡음원에서 발생되었어도 센서에 따라 그 파형이 다를 수 있다. 즉, 수신기를 통하여 측정된 잡음시계열이 마이크와 비교하여 상대적으로 저주파수의 파형을 보이고 있다. 그러므로 일반적으로 지구물리탐사 분야 중 전기, 전자탐사에서 많이 사용되고 있는 스케일링(scaling)기법, 즉 두 신호의 진폭차(amplitude difference)만을 보정한 후 보정된 두 신호를 차감하는 기법으로는 좋은 결과를 기대할 수 없음을 짐작할 수 있다.

잡음제거필터

잡음제거필터의 설계가 가장 용이한 스케일링기법의 효율성을 검토하기 위하여 Fig. 3의 대역통과필터된 두 시계열(수진기 및 마이크에 측정된 잡음시계열)에 스케일링기법을 적용한 예를 Fig. 4에 도시하였다. 스케일링기법의 잡음제거율(NRF: Noise Reduction Factor)은 0.74로서, 기준점을 이용한 탄성과잡음 제거를 위한 두 신호의 주파수특성을 고려하지 않고 진폭만을 보정하는 스케일링기법의 적용은 전혀 실용성이 없음을 알 수 있다. 여기서, 잡음제거율은 두 원시시계열의 진폭에 대한 각각의 Root Mean Square(RMS) 값의 비로 정의

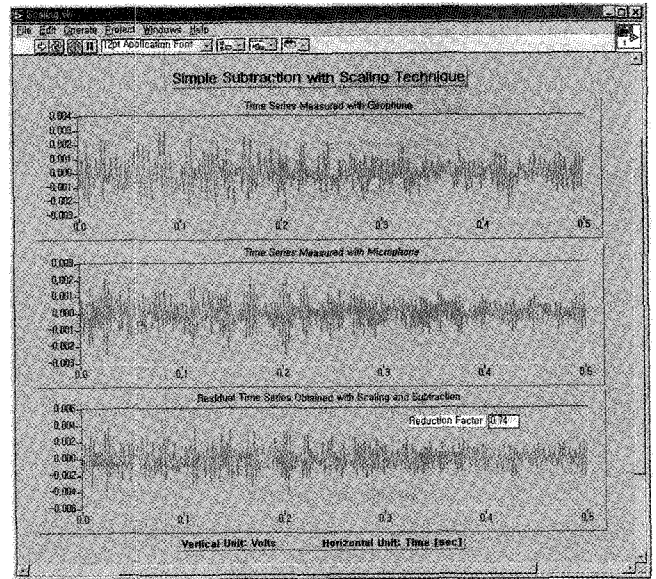


Fig. 4. Performance of scaling technique.

한다.

두 신호의 주파수특성 및 진폭 차이를 효과적으로 보정하기 위해서 본 연구에서는 비선형 함수(nonlinear function) 중 sigmoid 함수를 전달함수(transfer function)로 사용하는 인공신경망 구조를 이용한 비선형 잡음제거필터(본 연구에서는 Remote Reference Seismic Filter(RRSF)로 명명함)를 개발하였고 인공신경망의 훈련 알고리즘으로는 backpropagation 알고리즘을 사용하였다. 인공신경망에 대한 상세한 이론적 체계는 참고문헌(Anderson and Rosenfeld, 1989; McClelland and Rumelhart, 1988; Wassermann, 1989)을 참고한다. 이 같은 인공신경망을 이용한 필터는 일반적으로 그 적응력(adaptability)이 매우 좋은 것으로 보고되고 있다 (Hwang, 1995, 1997, 1999; Hwang and Buselli, 1996; Hwang and Lee, 1996).

탄성과 잡음제거를 위해 사용한 backpropagation 알고리즘의 인공신경망 구조는 하나의 bias와 3개의 층(layer), 즉 input layer, hidden layer, output layer로 구성되었다. 여기서, input layer는 41개의 processing element(PE), hidden layer는 15개의 PE 그리고 output layer는 input layer와 같이 41개의 PE로서 구성하였다. 각 PE에서 사용한 전달함수는 sigmoid 함수이며, 3층의 모든 PE들은 서로 연결(connection)되었다.

설계된 인공신경망 필터(RRSF)를 훈련시키기 위하여 1개의 훈련자료(training data set)와 훈련된 RRSF의 효율성을 검토하기 위하여 2개의 검증자료(testing data set)는 스케일링기법에 사용한 대역필터된 시계열(Fig. 4의 상부 두개의 그림)로부터 생산되었다. 훈련자료의 경우 0 msec~49 msec 범위(500 샘플)의 시계열로부터 총 460개의 훈련패턴(training pattern)으로 구성되었다. 그리고 2개의 검증자료는 RRSF의 훈련자료에 포함하지 않은 시계열로부터 생산된 것으로서, 그 중 하나는 50 msec~99 msec 범위(500 샘플)의 시계열로부터 총 460개의 검

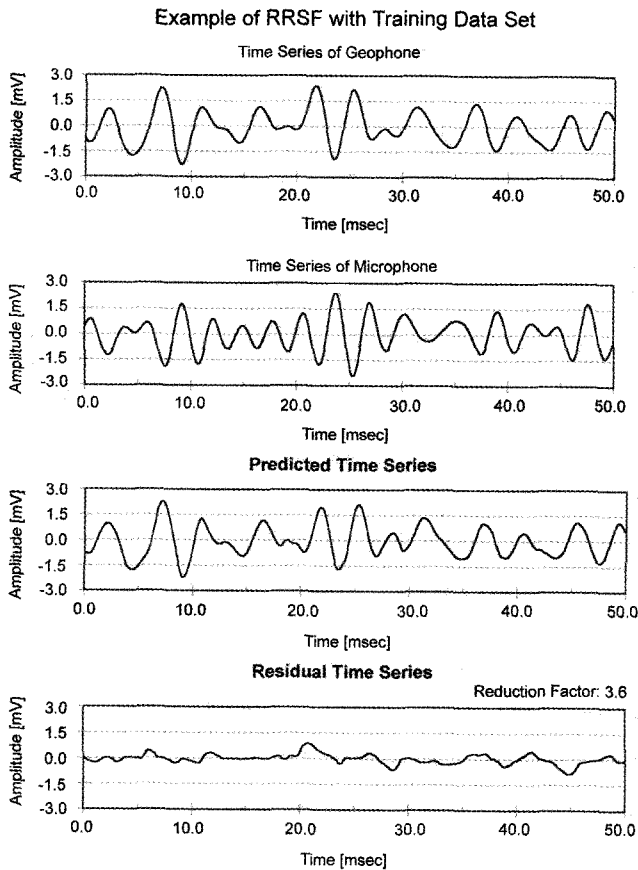


Fig. 5. Performance of RRSF with training data.

증패턴 그리고 다른 하나의 검증자료는 100 msec~199 msec 범위(1000 샘플)의 시계열로부터 총 960개의 검증패턴으로 구성되었다.

Fig. 5~Fig. 7은 훈련된 RRSF의 성능에 대한 예로서, 설계된 RRSF는 훈련자료를 사용하여 200 cycle 동안 반복 훈련되었다. 여기서, 1 cycle은 훈련자료의 모든 패턴이 인공신경망의 훈련에 사용(본 연구에서는 460 iterations)된 것으로 정의한다.

Fig. 5는 사용된 훈련자료에 대한 RRSF의 잡음제거 성능을 나타낸 것으로서, 그림의 최상부로부터 2개의 그림은 수진기와 마이크를 사용하여 동시에 측정된 탄성파잡음의 원시 시계열이며, 3번째 그림은 마이크를 사용하여 측정된 잡음시계열로부터 수진기의 잡음을 예측한 시계열 그리고 최하부의 그림은 수진기의 잡음시계열로부터 RRSF에 의해 예측된 시계열을 차감한 잡음의 잔여시계열(residual time series)이다. 훈련자료에 대한 RRSF의 잡음제거율은 3.6으로서 다른 두 개의 검증자료에 대한 RRSF의 성능보다는 비교적 좋다.

Fig. 6과 Fig. 7은 훈련된 RRSF의 성능을 검증하기 위하여 RRSF의 훈련에 사용하지 않은 잡음시계열에 대한 예이다. 잡음제거율은 각각 3.21과 2.94로서 탄성파잡음의 진폭을 약 3 배까지 감소하였다.

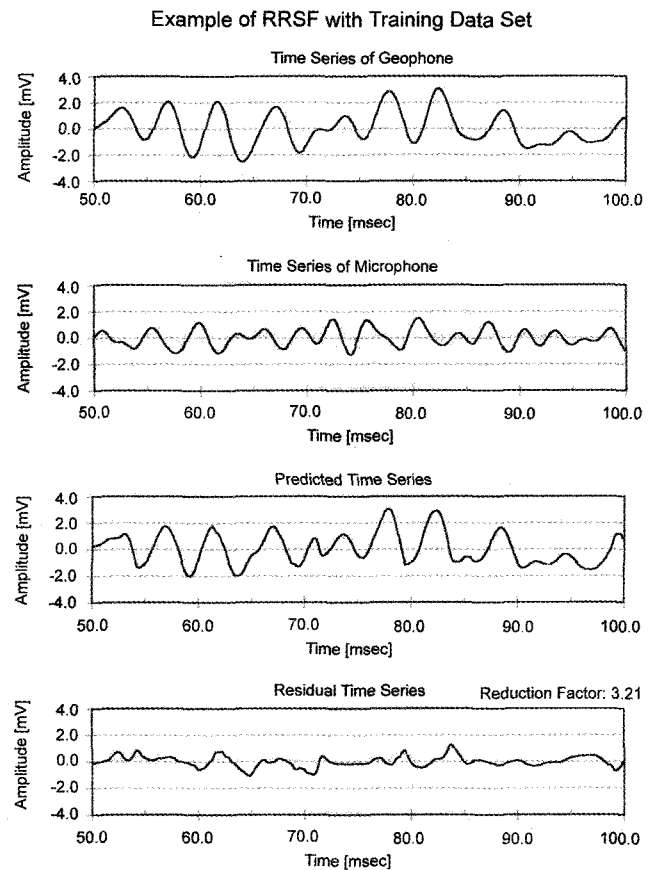


Fig. 6. Performance of RRSF with testing data (50~100 msec).

결론

본 연구는 송신원의 파워 증가가 제한되고 인공적 잡음이 존재하는 지역에서 양질의 탄성파자료를 획득하기 위한 일환으로 실시하였다. 탄성 송신원에 대하여 반응을 하지 않는 센서(마이크)를 이용한 원근거리기준점 탄성파시스템의 개발(실험적 수준)을 통한 상관측정과 측정자료의 주파수분석 그리고 탄성파 잡음제거 필터(RRSF: Remote Reference Seismic Filter)의 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 소음에 대한 두 센서(마이크와 수진기)반응의 스펙트럴 에너지는 조사지역의 배경잡음과 비교하여 약 20 dB 이상 높게 나타나며, 특히, 특정주파수(300 Hz) 이하의 대역에서는 잡음의 스펙트럴 에너지가 최대 30 dB 이상이다. 두 센서에 측정된 동일 송신원의 잡음 신호의 전체적인 포락선은 매우 유사하며, 또한 서로 높은 상관성을 나타내고 있으나, 파형에 있어서는 수진기의 반응이 마이크의 반응과 비교하여 상대적으로 저주파수의 파형이다.

둘째, 마이크를 사용하여 측정된 소음에 의한 잡음으로부터 동시에 측정된 수진기의 탄성과 잡음을 제거하기 위하여 적용된 스케일링기법은 단지 두 반응 시계열의 진폭만을 보정 그리고 차감하는 기법으로 수진기의 탄성잡음을 전혀 제거할 수

참고문헌

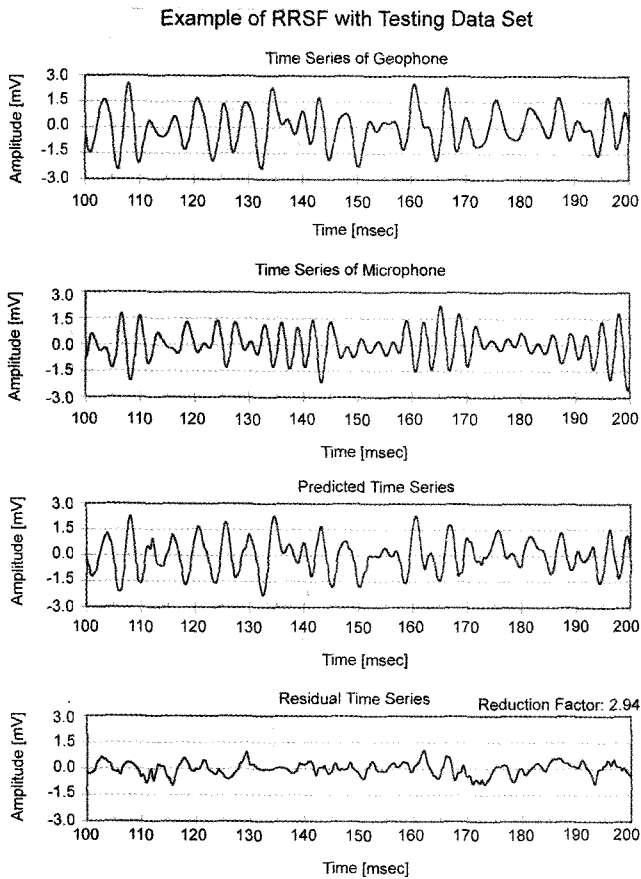


Fig. 7. Performance of RRSF with testing data (100~200 msec).

없었다.

셋째, backpropagation 알고리즘의 인공신경망(neural network)을 이용하여 개발된 Remote Reference Seismic Filter (RRSF)의 구조는 3개의 층(input layer, hidden layer, output layer)으로 구성되었다. 각 층의 processing element(PE)의 수는 41, 15 그리고 41개로 구성되었으며, PE의 전달함수(transfer function)로는 sigmoid함수를 사용하였다. 훈련자료 및 검증자료를 통한 RRSF의 잡음제거율은 약 3.0으로서 탄성파 잡음의 진폭을 약 3배까지 감소시킬 수 있었다.

사 사

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발사업의 하나인 자연재해방재기술개발사업 및 한국자원연구소 기초기반과제로 수행된 것이다.

황학수 · 이태섭 · 성낙훈, 1999, 인공잡음 제거를 위한 기준점 이용 탄성파 측정시스템 개발: 물리탐사학회지, 2(4), p. 180-183.
 Anderson, J., and Rosenfeld, E., 1989, Neurocomputing: Foundations of research: MIT Press.
 Gamble, T. D., Goubau, W. M., and Clark, J., 1979a, Magnetotellurics with a remote magnetic reference: *Geophysics*, 44, 53-68.
 Gamble, T. D., Goubau, W. M., and Clark, J., 1979b, Error analysis for remote reference magnetotellurics: *Geophysics*, 44, 958-968.
 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*, 4, SEG, p. 199-226.
 Halverson, M. O., 1982, Telluric noise cancellation in induced polarisation prospecting: U.S. patent No. 4339720.
 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.
 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.
 Hwang, H. S., 1995, Sferics Noise minimisation in transient electromagnetic systems using neural networks: Ph.D. Thesis, Macquarie University, 271p.
 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.
 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.
 Kim, B. O., and Hohmann, G. W., 1992, Adaptive noise cancellation for time domain EM data: *Geophysics*, 57, 466-469.
 McClelland, J. L., and Rumelhart, D. E., 1988, Explorations in parallel distributed processes: MIT Press.
 Wasserman, P., 1989, Neural computing: Theory and Practice: Van Nostrand Reinhold, New York.
 Wilt, M., Goldstein, N. E., Stark, M., Haught, J. R., and Morrison, H. F., 1983, Experience with the EM-60 electromagnetic system for geothermal exploration in Nevada: *Geophysics*, 48, 1090-1101.