

논문 2009-46SP-1-11

스펙트럼 기울기를 이용한 자연지진음과 인공지진음 특성 분석

(Analyzing characteristics of Natural Seismic Sounds and Artificial Seismic Sounds by using Spectrum Gradient)

윤 상 훈*, 배 명 진**

(Sang-Hoon Yoon and Myung-Jin Bae)

요 약

본 논문에서는 자연지진음과 인공지진음 특성 분석을 위해 스펙트럼 기울기 파라미터 추출을 위한 알고리즘을 제안하였다. 신뢰성을 높이기 위해 다양한 지역에서 실험을 실시하였고 제안한 알고리즘을 이용하여 실험 데이터로부터 자연지진음과 인공지진음의 기울기 지수를 추출함으로써 특성을 분석하였다. 실험 및 분석결과 자연지진음이 인공지진음보다 스펙트럼에서 고주파 감쇠가 크고 저주파대역에 집중되어 있어 자연지진음의 기울기 지수가 인공지진음의 기울기 지수보다 높은 것으로 나타났다.

Abstract

This paper proposed an algorithm for extracting spectrum gradient parameter to analyze the characteristics of natural seismic sounds and artificial seismic sounds. The experiment was performed in various area to raise the reliability. The characteristics of natural seismic sounds and artificial seismic sounds were analyzed by extracting gradient indexes of artificial seismic sounds and natural seismic sounds from the data of experiment by using the proposed algorithm. As a result of the experiment and the analysis, gradient indexes of natural seismic sounds were higher than that of artificial seismic sounds because natural seismic sounds had higher attenuation at high-frequency than artificial seismic sounds did and natural seismic sounds were concentrated in low-frequency band.

Keywords : Seismic; Spectrum; Gradient; Explosion; Efficient frequency band

I. 서 론

최근에 한반도 지역에서도 지진음이 많이 발생되고 있으며 한국도 지진의 안전지대가 아니다. 또한 산업발전에 따른 대규모 인공발파음은 주거지역에서 진동으로 전달되어 생활 잡음으로 불편을 초래하고 있다^[1]. 국외에서는 중국 쓰촨성, 인도네시아 슈마트라섬 등에서 발생한 다수의 지진을 보면 규모가 강진으로 우리 인간에게 많은 피해를 가져오고 있다^[2]. 지진이 발생하면 지진파는 사방으로 전파되며 지표면에서 진동을 발생시킨

다. 실체파인 종파(P파)와 횡파(S파)는 주로 저층의 건축물을 진동시켜 피해를 주고, 표면파인 레일리파와 러브파는 주로 저주파를 발생시켜 단층에서 상대적으로 멀리 떨어져 있는 고층 건축물을 진동시켜 가끔 피해를 준다. 자연지진음이나 핵실험, 대규모 인공발파음 등의 인공지진음은 엄청난 양의 에너지를 단시간 내에 방출한다. 자연지진의 에너지원은 맨틀 열대류에 의한 지구 지각판의 상대적인 운동에 의해 모아진 지각변동의 응력이다. 큰 지진의 경우 지각에 축적된 탄성응력 에너지는 단층파열에 의해 수초에서 수십초 이내에 에너지를 방출한다. 이러한 지진은 지표면으로 0.1 Hz ~ 30 Hz까지의 주파수로 진동한다. 그리고 대규모 인공발파음은 구형의 급격한 팽창을 하면서 탄성파를 만들며 20

* 정회원, ** 평생회원, 숭실대학교 정보통신공학과
(Department of Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)
접수일자: 2008년9월24일, 수정완료일: 2008년12월27일

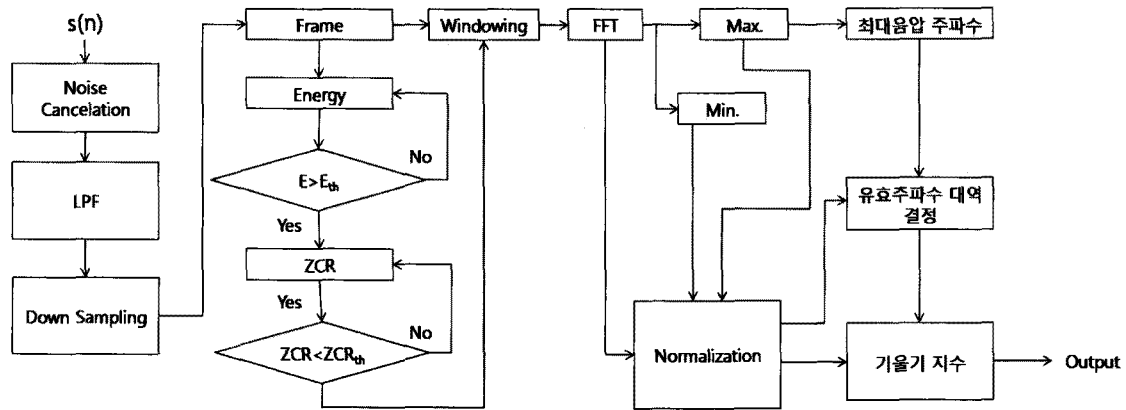


그림 1. 제안한 스펙트럼 기울기 검출 방법

Fig. 1. Detection method of proposed spectrum gradient.

Hz~1,000 Hz 까지의 주파수로 진동한다^[3~4].

자연지진음과 인공지진음 식별 및 특성 분석에 관한 연구동향을 보면 지진음의 고주파 감쇠 모델을 대표하는 이론은 Hanks가 제안한 모델(1982년), Anderson and Hough가 제안한 kappa 모델(1984년), Tsai and Chen이 제안한 모델(2000년) 등이 제시되어 있다^[5~7].

지진계에 포착된 지진파를 시간 및 주파수 스펙트럼 특성과 선형판별분석을 이용한 식별에 관한 연구가 진행되었고^[8~11], 또한 지진계와 공중음파 특성을 이용한 식별에 관한 연구도 진행되었다^[12~13].

최근에는 지진계나 음압계 신호보다 해상도가 높은 하이드로폰에 포착된 신호를 이용한 지진파 특성 분석에 관한 연구가 다음과 같이 진행되었다. 스펙트럼 기울기와 랜덤지수를 이용하여 자연지진음과 인공발파음 식별에 관한 연구^[14], 인공지진음 중 지하에서 발파한 인공지진과 지표면에서 발파한 인공지진 특성 분석에 대한 연구^[15~16] 및 지하암반 매질을 통과한 인공발파음 특성 규명에 대한 연구가 진행되었다^[17].

자연지진에서는 초동(First onset)이 압축과 팽창으로 되어 있으나, 인공지진의 경우는 초동이 대부분의 경우 압축파(P파)로 나타난다. 그러나 규모가 작은 지진이나 인공지진에서는 배후잡음 때문에 압축과 팽창의 구별이 쉽지 않다. 또한 자연지진음이나 인공지진음은 암반을 타고 탄성파로 전달되기 때문에 매질의 종류 및 상태, 거리증가에 따른 감쇠가 동반된다^[3, 17].

본 논문에서는 핵실험, 대규모 인공발파음, 자연지진음 등 많은 신호가 지진파 수신장비에 포착되고 있는데, 이렇게 포착된 자연지진과 인공지진에 대한 특성을 알아보기 위해 분석하였다.

실험데이터 수집을 위해 지진파 수신 장비를 이용하여 다양한 지역에서 자연지진음을 수집하고 발파실험을 하였다. 그리고 제안한 알고리즘을 이용하여 발파실험 데이터로부터 자연지진음과 인공지진음 기울기 지수를 추출하여 특성을 분석하고 기울기 지수를 수치적으로 제시하였다.

제II장에서는 기울기 지수 파라미터 추출을 위한 알고리즘에 대해 기술하였고, 제III장에서는 데이터 수집을 위한 실험과 자연지진음과 인공지진음 특성을 분석하였으며 제IV장에서는 종합분석을 하였고, 제V장에서 결론 및 향후 연구방향을 제시하였다.

II. 기울기 지수 파라미터 추출을 위한 알고리즘

1. 제안한 방법

지진파는 주파수별 감쇠 특성이 발생 원인에 따라 다르게 나타나기 때문에 스펙트럼 성분에서 차이를 보이며, 이 때문에 기울기 지수는 지진파의 발생여부에 따라 매우 큰 차이를 나타낸다^[17]. 이와 같이 스펙트럼의 변화율 또는 기울기를 통해 자연 발생된 지진과 인공 발생된 지진의 여부를 알 수 있다.

그림 1은 본 논문에서 제안한 스펙트럼 기울기 지수를 이용하여 자연지진음과 인공지진음 특성추출을 위한 알고리즘이다.

하이드로폰을 통해 입력받은 데이터는 스펙트럼 기울기를 측정하기 위한 전처리로서 잡음제거 필터를 사용하여 60 Hz 전기 유도음, 지전류 등을 제거한 후에 유효한 주파수 대역의 해상도를 높이기 위하여 LPF와 다운샘플링을 하였다. 이와 같이 처리된 데이터는 EPD(End Point Detection)을 통해 자연지진음 또는 인

공진음이 발생되었는지 여부를 확인하였다. EPD 방법으로는 프레임 단위로 에너지와 ZCR(Zero Crossing Rate)를 사용하였다. 이벤트가 검출되면 지진이 발생한 신호 전체에 대해 FFT를 수행한 후에 기울기 지수를 추출하였다. 이때 FFT를 위한 이벤트 구간은 파형에서 신호에너지가 최대 지점인 P파 또는 S파가 시작된 이후를 이벤트 검출 구간으로 결정하였다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘에서는 탄성파의 종류, 잔향, 지속시간 등에 대한 정확한 분석을 필요로 하지 않기 때문에 느슨한 끝점 검출을 사용하였다. 입력 받은 데이터는 폭발의 세기에 따라 에너지의 차이가 발생하며 기울기 지수를 구하기 위해 정규화(Normalized)시켰다. 주파수 스펙트럼의 정규화는 스펙트럼 크기의 최대값과 최소값을 이용하였고, 이를 이용하여 유효 주파수 대역을 결정한 후에 기울기 지수를 추출하였다.

2. 유효 주파수 대역

스펙트럼 기울기를 결정하기 위해서는 먼저 유효 주파수 대역(Efficient frequency band)을 결정하여야 한다. 이러한 유효 주파수 대역은 스펙트럼에서 최대 음압 주파수 즉, 기본 주파수로 부터 대역결정 Factor가 임계치 이상의 값을 가지는 영역으로 결정하였다.

대역결정 Factor는 주파수에 따른 스펙트럼의 2차 미분을 기준으로 하였다. 신호에 대한 스펙트럼의 포락선은 그 변화가 심하여 임계점 추정에 어려움이 따른다. 따라서 주파수에 따른 스펙트럼의 2차 변화량의 절대값인 곡률의 총량을 기준으로 하여 결정하였다.

스펙트럼이 저주파에서 고주파로 갈수록 크기의 변화량이 줄어든다. 즉 크기가 증가 또는 감소한다 하더라도 그 변화하는 양(절대값)은 고주파 영역으로 갈수록 줄어든다. 물론 변화량 또한 잦은 증가 및 감소가 반복되나 그 정도가 스펙트럼에서보다 작기 때문에 유효 주파수 대역 설정에 보다 효과적이다.

신호의 기울기가 주파수에 따라서 변화할 때 그 변화량의 임계값 이상인 부분에 대하여 유효 주파수로 사용하였고 임계값은 실험치로 결정하였으며 오차범위는 ±0.001까지로 하였다.

3. 스펙트럼 기울기 지수

스펙트럼 기울기 지수는 지진파 주파수에 따라 나타나는 감쇠 정도를 표현한다. 기울기 지수는 신호의 성분 중에서 음원으로부터 발생한 신호가 데이터로써 유효

한 값을 가지고 있는 성분이 존재하는 대역에 대해서 스펙트럼의 기울기를 추출하였다.

자연 및 인공 지진음은 진동 규모와 거리에 따라 고주파 대역에서는 감쇠가 크게 나타나고 저주파 대역에서는 감쇠가 적게 나타난다. 기울기 지수를 계산하는 수식은 식 (1)과 같다.

$$G = \frac{|\tilde{S}(\hat{\omega}_1)| - |\tilde{S}(\hat{\omega}_2)|}{\hat{\omega}_2 - \hat{\omega}_1} \quad (1)$$

여기서 $\tilde{S}(\hat{\omega})$ 는 지진파 신호의 정규화 주파수 스펙트럼을 나타내며, $\hat{\omega}_1$ 은 최소 유효 주파수이고, $\hat{\omega}_2$ 는 최대 유효 주파수이다.

III. 실험 및 특성분석

1. 실험 및 데이터 수집

자연지진음 데이터 수집을 위해 2006년 12월부터 2008년 8월까지 경기 및 철원 북부지역 일대에 지진파 수신장비 하이드로폰(B&K 8106 Type) 10개를 물이 층만되어 있는 시추공 50~200m 깊이에 설치하였다. 지표 및 지하 인공지진음 데이터 수집을 위해 2003년 9월 2일부터 2008년 6월까지 강원 철원군 터널에서 발파 규모별 및 이격 거리별로 지하발파 실험을 하였다. 또한 경기 문산, 파주, 연천지역 지표면에서 발파 규모별 및 이격 거리별로 다양한 발파 실험을 하여 표 1과 같은 실험 데이터를 수집하였다.

실험 데이터는 10,000 Hz로 샘플링 되었으며, 샘플당 비트수는 16 bits/sample이다. 입력 받은 데이터는 잡음제거 필터를 사용하여 지전류, Hum 등을 제거하였다. 그리고 유효한 범위 내에서 주파수 기울기를 측정하기 위해 1,000 Hz로 다운 샘플링(down sampling)

표 1. 실험 데이터
Table 1. Data of experiment.

지진파 종류	리히터 규모 / 발파량	이격거리	데이터 개수
자연지진음	규모 1.72~8.2	2~5,350 km	83
지표 인공지진음	TNT 454g~1,100 kg	0.37~14 km	105
지하 인공지진음	TNT 454~907 g	1~1.4 km	43

하였으며, FFT 포인트 수가 1,024개인 231개 실험 데이터를 만들었다. 이러한 실험 데이터는 제안한 알고리즘을 이용해서 스펙트럼 기율기 지수를 추출하여 특징을 분석하였다.

2. 자연지진음 특성 분석

자연지진음은 리히터 규모 1.72~8.2까지 83개 데이터를 가지고 특성을 분석하였다.

그림 2는 최근 중국에서 발생한 자연지진음의 파형 및 스펙트로그램을 보여주고 있다. 그림 2 (a)는 중국 쓰촨성 지역에서 발생한 7.8 규모의 강진으로 2,330 km 이격된 강원 철원지역에서 수신되었다. 수신된 지진파에서는 중파가 발생한 수초 후에 횡파가 발생하였으며 1 분 이상 지속되었다. 그림 2 (b)는 스펙트로그램으로써 피크 주파수는 약 5Hz 이하의 초저주파이었고 음압 세기는 -27 dB 이하로 매우 낮았다.

그림 3은 자연지진음에서 리히터 규모별 스펙트럼 기율기 지수를 보여주고 있다. 수집된 자연지진음의 평

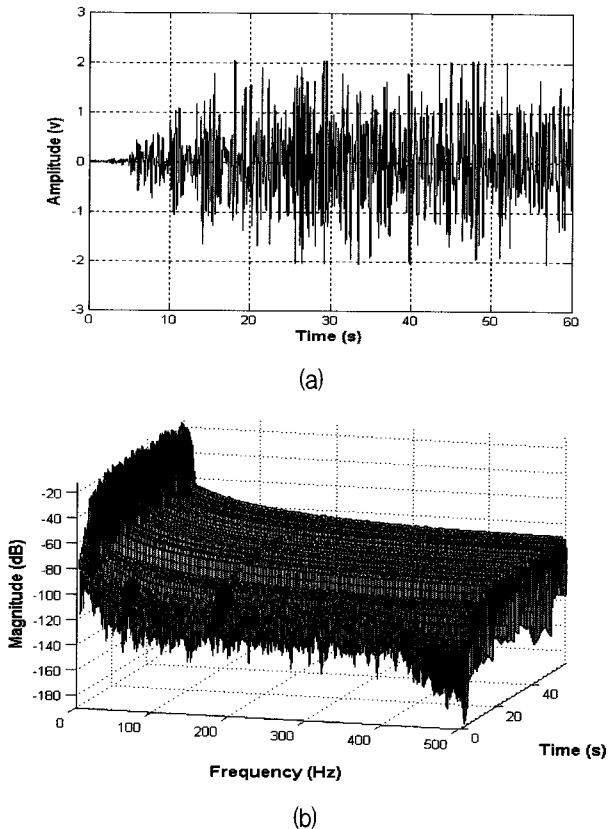


그림 2. 중국 쓰촨성 지진('08.5.12 15:32, 규모 7.8, Distance, 2,330 km) (a) 파형 (b) 스펙트로그램
Fig. 2. Natural seismic sounds of Chinese Sichuan. (a) Waveform (b) spectrogram

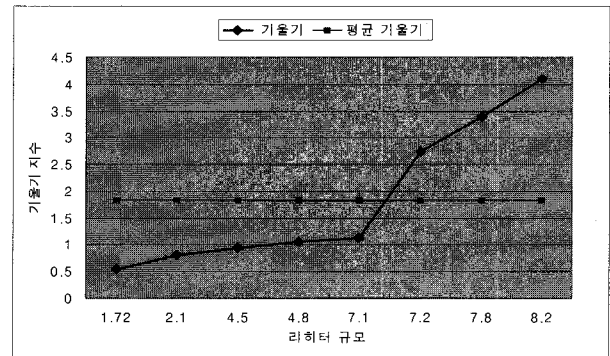


그림 3. 자연지진음 리히터 규모별 기율기 지수
Fig. 3. Gradient index of natural seismic sounds classified by the richter scale

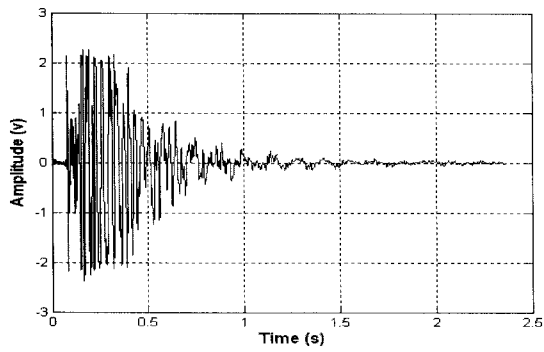
균 기율기는 1.84 정도였으며, 기율기 범위는 0.5~4 정도 이었다. 그리고 지진 규모가 클수록 기율기가 높아졌다. 따라서 지진 규모가 클수록 많은 에너지(Power)와 진동을 포함하고 있음을 알 수 있으며, 7.0 규모 이상의 강진일 경우 인적 및 물적인 많은 피해를 가져다 줄 수 있다.

3. 지표 인공지진음 특성 분석

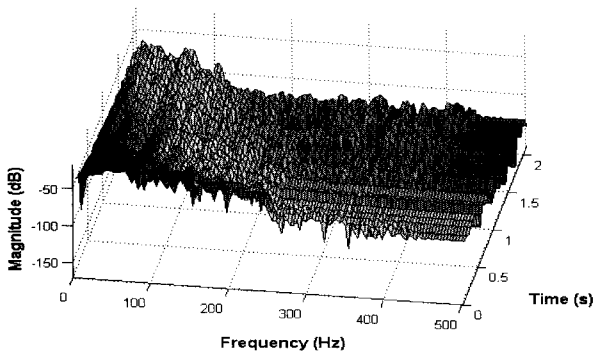
지표에서 발생한 인공지진음 특성 분석을 위해 발파 규모별(454 g~1,100 kg), 이격 거리별 발파 실험한 105개의 데이터를 가지고 특성을 분석하였다.

그림 4 (a)는 454 g 폭약을 하이드로폰으로부터 417 m 이격된 지표면에서 발파시 지표 인공발파음에 대한 파형이다. 탄성응력 에너지가 단층파열에 의해 2.5 초 이내에 순간적으로 강한 에너지가 발생되었다. 이러한 지표발파음은 초동(First Onset)이 압축파 팽창으로 구분이 안되었으며 압축파인 P파만 나타났다. 그림 4 (b)는 인공발파음 스펙트로그램으로써 순간적인 발파 에너지 충격으로 인해 소리의 기동형태가 크게 나타났으며 또한, 피크 주파수는 약 39 Hz이며 음압의 세기는 -27 dB 이하였다. 에너지는 대부분 300 Hz 이하의 중·저주파수에 집중되어 있고, 고주파 대역에서는 급격한 에너지 감쇠 특성이 나타났다.

그림 5는 하이드로폰으로부터 1.5~1.6 km 이격된 지표면에서 소량으로 발파시 발파규모별 기율기 지수이다. 평균 기율기 지수를 보면은 454 g 발파시 0.045이고, 908 g 발파시는 0.081이며 1362 g 발파시에는 0.124이었다. 그리고 전체평균은 0.089이다. 지표면에서 발파함에 따라 지형 등 외부적 환경의 영향을 많이 받아 지하터널에서 발파한 음보다 기율기 지수가 약간 높으나 소량



(a)



(b)

그림 4. 454 g을 지표에서 발파시 파형 및 스펙트로그램(Distance 417 m) (a) 파형 (b) 스펙트로그램
Fig. 4. Spectrum and spectrogram with ground explosion of 417 m.
(a) Waveform (b) spectrogram

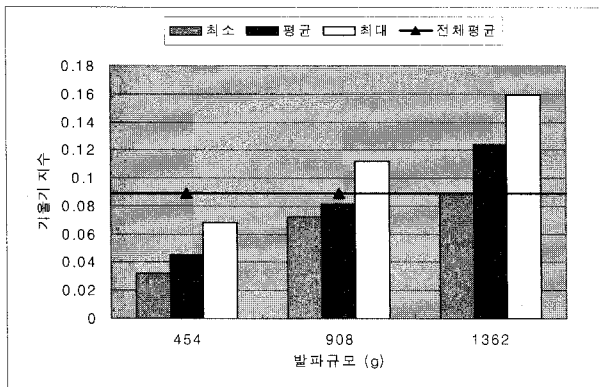


그림 5. 1.5~1.6 km 지점에서의 발파규모별 기율기 지수
Fig. 5. Gradient index classified by explosive scale at a distance of 1.5~1.6 km.

으로 발파한 만큼 발파규모별 기율기 지수에서는 큰 차이가 없었다.

그림 6은 동일한 이격거리(9 km)에서 발파량을 증가시켰을 때 발파규모별 기율기 지수이다. 55~83 kg까지 큰 변화는 없었으나, 발파량을 700 kg으로 증가시에는 상대적으로 기율기 지수가 높게 나타났다. 평균 기율기

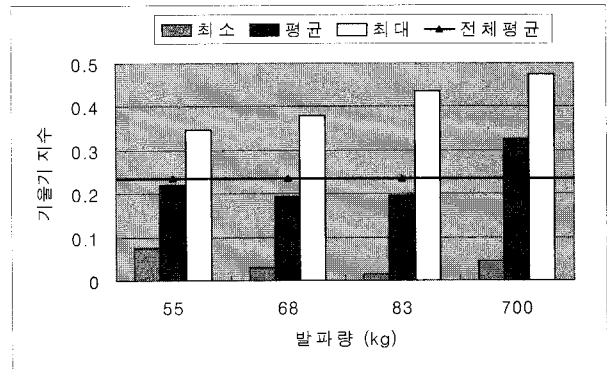


그림 6. 9 km 지점에서의 발파규모별 기율기 지수
Fig. 6. Gradient index classified by explosive scale at a distance of 9 km.

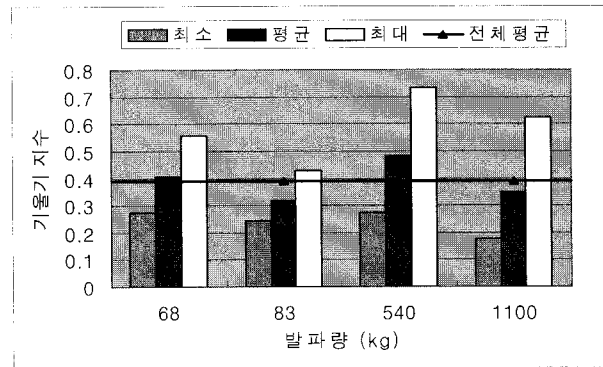


그림 7. 14 km 지점에서의 발파규모별 기율기 지수
Fig. 7. Gradient index classified by explosive scale at a distance of 14 km.

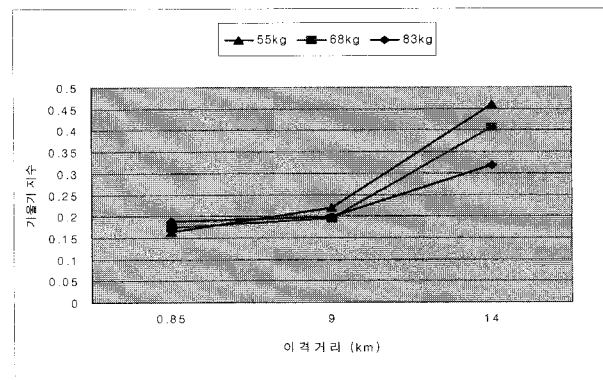


그림 8. 발파규모별 및 거리별 기율기 지수
Fig. 8. Gradient index classified by explosive scale and a distance.

지수는 0.19~0.33이었다.

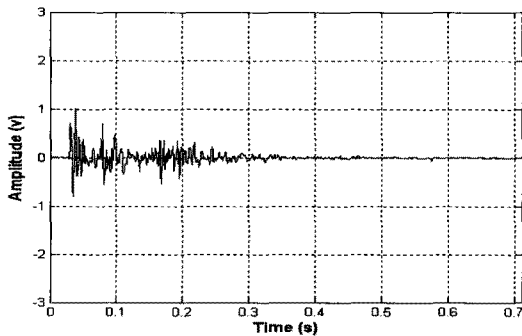
그림 7은 그림 6과 같은 동일한 실험조건으로 하이드로폰을 설치하고 이격 거리 14 km에서 발파량을 증가시켰을 때의 기율기 지수이다. 83 kg 발파를 했을 경우에는 기율기 지수가 감소하였고 540 kg 발파시에는 증가하였으며, 2배 정도 발파량(1,100 kg)을 증가시켰을

때는 기울기 지수가 낮아졌다. 이것은 발파 에너지가 매우 커 상대적으로 감쇠가 적게 나타난 것으로 추정할 수 있다. 또한 68 kg, 83 kg의 2회 발파를 9 km에서 14 km로 거리를 증가시켰을 때는 거리증가에 따른 스펙트럼 감쇠가 커지므로 인해서 기울기 지수가 높았다.

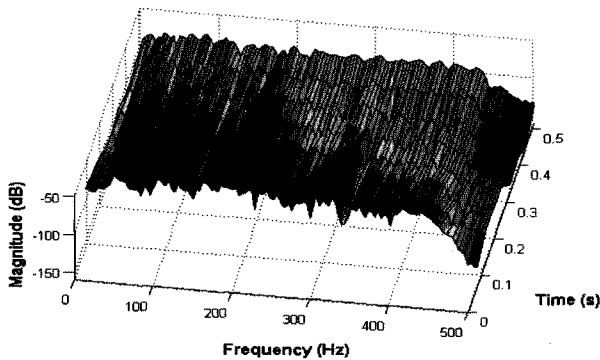
그림 8은 발파규모별(55 kg, 68 kg, 83 kg)로 거리에 따른 기울기 지수를 나타내고 있다. 기울기 지수가 9 km 까지는 큰 변화없이 점진적으로 증가하고 있으나 이격거리가 약 2배 정도 증가했을 경우 즉, 9 km 이후에는 기울기 지수가 급격하게 높아졌고 발파량이 적을수록 기울기 지수가 높았다. 이것은 발파량이 적고 거리가 증가할수록 스펙트럼에서 에너지 감쇠가 증가하고 있다는 것을 의미한다.

4. 지하 인공지진음 특성 분석

지하에서 발생된 인공지진음 특성 분석을 위해 지하 터널 89 m 지점에서 소량의 발파량(454~907 g)을 사용하여 이격 거리별 발파 실험한 43개의 데이터를 가지



(a)



(b)

그림 9. 454 g 지하발파시 파형 및 스펙트로그램 (Distance 419m) (a) 파형 (b) 스펙트로그램

Fig. 9. Waveform and spectrogram by underground explosions of 419m. (a) Waveform (b) spectrogram.

고 특성을 분석하였다.

그림 9 (a)는 1 L/B 폭약을 하이드로폰으로부터 419 m 이격지점인 지하터널 심도 89 m 지점에서 발파시 지하발파음에 대한 파형이다. 탄성응력 에너지가 단층 파열에 의해 0.44 초 이내에 순간적으로 강한 에너지를 방출함에 따라 터널 전단면이 떨어져 나갔다. 지하발파음의 초동(First Onset)이 압축파 팽창으로 구분이 안되었 으며, 압축파인 P파만 나타났다.

그림 9 (b)는 인공발파음 스펙트로그램으로써 순간적인 발파 에너지 충격으로 인해 소리의 기동형태가 크게 나타났으며 또한, 피크 주파수는 약 156 Hz로써 지표 발파음보다 높았으나, 음압의 세기는 -52 dB로 매우 낮았다. 에너지는 대부분 500 Hz이하의 중·저주파수에 집중되어 있고 고주파 대역에서는 급격한 에너지 감쇠 특성이 나타났다.

그림 10은 지하터널에서 454 g, 681 g , 908 g 을 발파규모별로 발파시 1~1.3 km 이격지점에서의 기울기

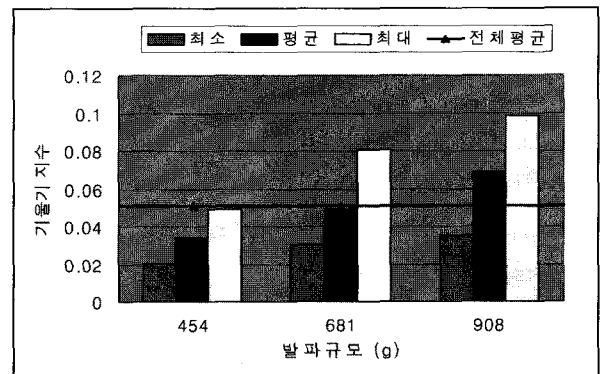


그림 10. 지하 발파규모별(1~1.3 km) 기울기 지수 Fig. 10. Gradient index classified by underground explosive scale in a distance of 1~1.3 km.

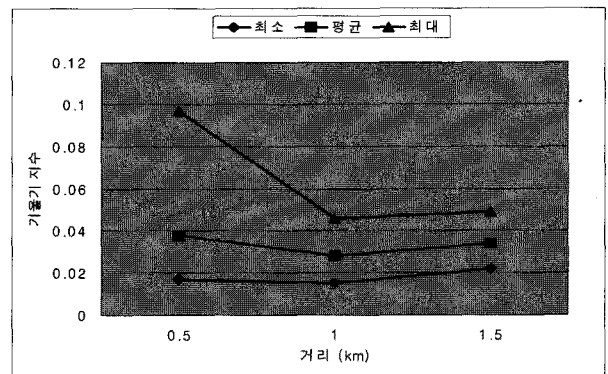


그림 11. 454 g 지하발파시 거리별 기울기 지수 Fig. 11. Gradient index classified by a distance on underground explosions of 454 g.

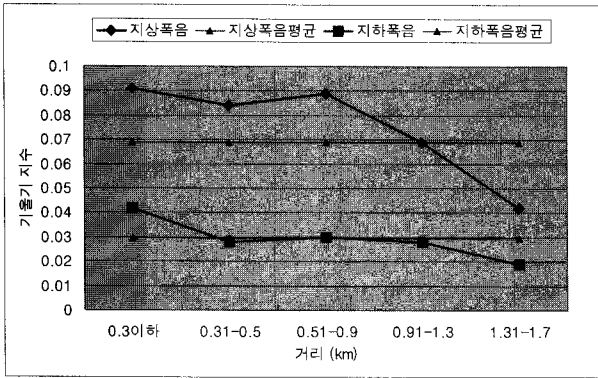


그림 12. 454 g 지표 및 지하 인공발파시 기울기 지수
 Fig. 12. Gradient index on ground and underground artificial explosions of 454 g.

지수이다. 454 g을 발파했을 때의 기울기 지수는 0.034 이고 681 g은 0.049이며 908 g은 0.069이다.

그림 11은 454 g을 지하터널에서 발파시 거리별 기울기 지수이다. 기울기 지수가 1 km 까지는 지수함수적으로 감소하다가 오히려 1 km 이후에서는 약간 증가하고 있다. 소량의 발파량에도 불구하고 기울기 지수 변화가 높게 나타나지 않는 것으로 보아 지하터널에서 발파시 지표발파보다 탄성과 감쇠가 적음을 알 수 있다.

그림 12는 454 g을 지하터널 및 지표면에서 발파시 거리별 기울기 지수이다. 지표발파음은 평균 0.069이고 지하발파음은 0.029로써 지표발파음이 지하발파음보다 기울기 지수가 높다. 이러한 이유는 지표발파음은 지표면을 타고 전달되기 때문에 지형 등 외적 영향으로 인해 지하암반 매질을 타고 전달된 지하발파음보다 에너지 감쇠가 많이 발생되므로 인해서 기울기 지수가 높다.

IV. 자연지진음과 인공지진음 종합분석

표 2는 자연지진음과 인공지진음의 평균기울기 지수를 나타내고 있다. 자연지진음의 기울기 지수가 인공지진음에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 그것은 자연지진음은 스펙트럼의 고주파 대역에서 감쇠가 크고 저주파 대역에 에너지가 집중되어 있어 기울기 지수가 높은 것으로 판단된다. 자연지진음과 인공지진음 기울기 지수를 산출하여 종합 분석한 결과 기울기 지수를 이용하여 2개 인공지진음에 대한 식별이 가능했다.

지표인공음과 지하인공음의 평균기울기 지수는 동일 거리에서 소량 발파(454 g)시에는 지하발파음의 기울기

표 2. 기울기 지수
 Table 2. Index of gradient.

지진파 종류	리히터 규모 / 발파량	기울기 지수
자연지진음	규모 1.72~8.2	0.5~4
인공지진음	TNT 454 g~1,100 kg	0.03~0.408

지수가 낮지만, 지표발파와 지하발파의 기울기 지수에서 큰 차이는 보이지 않았다. 그러나 전체적인 발파규모를 보았을 때는 지표에서 발생된 인공지진음은 지하에서 발생된 인공지진음에 비해 기울기 지수가 크다. 이러한 이유는 지표인공음은 지표면을 타고 전달되기 때문에 하천, 계곡, 지형의 특성 등의 외부적 환경의 영향을 많이 받아 에너지 감쇠가 크기 때문에 기울기 지수가 높은 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 자연지진음과 인공지진음 특성 분석을 위해 스펙트럼 기울기 파라미터 추출을 위한 알고리즘을 제안하였다. 신뢰성을 높이기 위해 다양한 지역에서 실험을 실시하였고, 제안한 알고리즘을 이용하여 실험 데이터로부터 자연지진음과 인공지진음 기울기 지수를 추출함으로써 특성을 분석하였다. 실험 및 분석 결과 자연지진음이 인공지진음보다 스펙트럼에서 고주파 감쇠가 크고 저주파대역에 집중되어 있어 자연지진음 기울기 지수가 인공지진음의 기울기 지수보다 높은 것으로 나타났다. 또한 지표에서 발파한 인공지진음이 지하에서 발파한 인공지진음보다 기울기 지수가 높게 나타났다. 따라서 본 논문에서 제시한 기울기 지수 특성을 이용하여 자연지진음과 인공지진음의 식별, 그리고 지하암반에서 발파한 인공지진음과 지표면에서 발파한 인공지진음 식별에 사용되기를 기대한다.

앞으로는 지진파 특징 벡터를 추출하고 MSVQ (Multi Section Vector Quantization), 은닉 마코브 모델 (Hidden Markov model) 등의 음원식별 알고리즘을 이용한 자연지진음과 인공지진음 식별에 대한 연구를 진행할 계획이다.

참고 문헌

- [1] 김소구, "지진학개론," 한국화술정보(주), 2007.
- [2] 한국지진정보통신(주), "http://eik.kr/index.php".
- [3] 기상청, "지진의 실체," 2001.
- [4] 안전공학협회 공편, 박상규 등 5명 공역, "소음·진동학," 해문당, 2002.8.
- [5] Hanks, T. C., "fmax," Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 72, pp. 1867-1879, 1982.
- [6] Anderson, J. G. and S. E. Hough, "A model for the Shape of the Fourier Amplitude Spectrum of Acceleration at High Frequencies," Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 74, pp. 1969-1993, 1984.
- [7] Tsai, C.-C. P. and K. C. Chen, "A model for the High-Cut process of Strong-Motion Accelerations in terms of Distance, Magnitude and Site Condition: An example from the SMART 1 array, Lotung, Taiwan," Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 90, pp. 1535-1542, 2000.11.
- [8] 제일영, 전정수, 이희일, "지진파 스펙트럼특성과 선형관별분석을 이용한 자연지진과 인공지진 식별," 한국지진공학회 추계학술대회 논문집, pp. 13-19, 2003.9.
- [9] 박용철, "시간-주파수 스펙트럼 분석을 이용한 미소 지진과 인공 폭발의 구별," 석사학위논문, 1997.
- [10] 김성배, "한반도 자연지진과 인공지진 구별에 관한 연구," 공주대학교 석사학위논문, 2000.2.
- [11] 김성균, 김명수, "주파수 영역에서의 인공지진과 자연지진의 식별," 대한자원환경지질학회 제36권 제3호 통권160호, pp. 201-212, 2003.6.
- [12] 김용성, "지진파와 공중음파의 특성을 이용한 자연 지진과 인공발파의 식별에 관한 연구," 연세대학교 석사학위논문, 1996.6.
- [13] 제일영, 전정수, 신인철, "철원 지진-공중음파 관측망과 인공발파 식별연구," 한국지질자원연구원 논문집, Vol. 6, No.1, pp. 7-11, 2002.3.
- [14] 윤상훈, 배명진, "자연음과 인공음 식별방법에 관한 연구," 한국음향학회 논문지, Vol. 26, No. 1, pp. 137-138, 2007.
- [15] 윤상훈, 배명진, "지하 발파음과 지상 발파음 특성 분석에 관한 연구," 한국음향학회, 제25회 음성통신 및 신호처리학술대회 논문집, KSCSP 2008 Vol. 25, No. 1, pp. 47-50, 2008.8.30.
- [16] 윤상훈, 배명진, "인공지진파 특성분석에 관한 연구," 신호처리학회, 제21회 신호처리합동학술대회 논문집, Vol. 21, No. 1, pp. 133, 2008.9.
- [17] 윤상훈, 배명진, "지하암반 매질을 통과한 인공발파음 특성규명," 한국통신학회 논문지, Vol. 33, No. 10, pp. 844-850, 2008.10.12.

저자 소개



윤 상 훈(정회원)
1991년 서울산업대학교
전자공학과 졸업(학사).
1993년 한양대학교 산업대학원
전자통신공학과 졸업
(석사).
1998년 정보통신기술사.

2006년~2007년 숭실대학교 정보통신공학과
박사수료.

2009년 현재 육군본부 서기관.

<주관심분야 : 지진파 및 탄성파 신호처리, 지진
음 식별>



배 명 진(평생회원)
1977년 숭실대학교 전자공학과
졸업(학사).
1981년 서울대학교 전자공학과
졸업(석사).
1983년 서울대학교 전자공학과
졸업(박사).

2009년 한국음향학회 회장.

2009년 현재 숭실대학교 정보통신공학과 교수.

<주관심분야 : 음성·음향 신호처리 및 분석, 음
성인식>