

# 지하 암반 매질을 통과한 인공발파음 특성 규명

정회원 윤상훈\*, 종신회원 배명진\*

## Certifying the Characteristics of Artificial Explosion Sounds Traveled through Underground Bedrock Medium

Sang-Hoon Yoon\* *Regular Member*, Myung-Jin Bae\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 지하 암반을 타고 전달된 인공발파음 특성을 규명하기 위해 제안한 알고리즘에 대해 기술한다. 지하 암반 매질을 통과한 인공발파음은 다중전달경로 현상과 지질의 불균일 등으로 인해서 거리증가에 따라 고주파 대역에서 감쇠가 발생한다. 본 논문에서는 제안한 알고리즘 성능검증을 위해 지하터널에서 발파 실험을 하였고 수집한 데이터를 가지고 지하암반을 통과한 채널에서 특징 파라미터를 추출하여 수치적으로 정량화함으로써 인공 발파음 특성을 규명하였다.

**Key Words** : Seismic, Explosion, Elastic wave, Gradient index, Random index

### ABSTRACT

This paper stated the proposed algorithm to certify the characteristics of artificial explosion sounds traveled through underground bedrock medium. Artificial explosion that travel through underground bedrock had an attenuation within high frequency bands in increase of a distance with multiple transmission paths phenomenon and inhomogeneity of geological status. In this paper, explosion experiment was made in underground tunnel to verify efficiency of proposed algorism. We could certify the characteristics of artificial explosion sounds as extracted and numerically quantified the characterized parameter with collected sound sample that traveled through underground bedrock channel

### 1. 서 론

지진신호는 지진에 의해 발생한 진동을 시간 이력 파형으로 나타낸 것으로써 탄성파를 통해 전달되며 음파를 수반한다. 이러한 지진신호는 지진발생 메카니즘(Mechanism)과 진원으로부터 측정위치까지의 전달매체 및 측정지역의 지반 성질 등에 따라 그 특징이 크게 달라진다. 지진은 발생 원인에 따라 자연지진과 인공지진으로 나눌 수 있다. 자연지진은 지구내부에서 급격한 변동이 생겨 그 충격으로 생

긴 파동 즉, 지진파가 지표면까지 전해져 지반을 진동시키는 것을 말한다. 인공지진이란 컴프레서나 착암기 등과 같은 어느 특정 주파수 진동이 의미 있게 크고 연속적으로 관측되는 연속진동(Continuous Vibration)과 단조기나 향타기와 같은 타격과 화약의 폭발이나 핵폭발 또는 무거운 물체의 낙하 등 충격에 의해 점진적인 감쇠 진동을 나타내는 충격진동(Shock Vibration)이 있다<sup>1,2)</sup>.

지진신호의 음파분석(Seismo-acoustic analysis)은 지표발파로부터 발생하는 대기압력 변화를 관측하고

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부(ysh37990@hanmail.net)

논문번호 : KICS2008-07-321, 접수일자 : 2008년 7월 21일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 17일

분석함으로써 인공지진을 식별하고 있다. 그러나 지진파 및 음파 분석은 한반도 일원에서 관측된 전체 지진목록 중 약 9%에 해당하는 지진기록만을 인공지진으로 식별하고 있으며<sup>[3]</sup>, 지하 암반의 매질을 통과하여 탄성파로 전달되기 때문에 신호가 저주파 대역에 집중되어 있고 스펙트럼 에너지 분포가 고주파 대역에서 감소되기 때문에 공명 또는 고조파 특성이 거의 나타나지 않아 식별이 어렵다. 이와 같은 지진파에 대해서는 인공지진의 식별을 위해서 지진기록에 대한 직접적인 식별 분석이 필요로 한다<sup>[4,5]</sup>.

지진원에 대한 지진학적 관심 이외에도 핵실험 감시 목적으로 자연지진과 인공지진을 식별하기 위한 많은 연구가 진행중에 있다. 현재까지 지진자료를 이용한 다양한 식별기술이 제안되었으나, 음원식별 기술의 성공여부는 연구지역에 따라 다른 결과를 보이고 있다<sup>[6-8]</sup>. 따라서 지진자료를 이용한 객관적이고 명확한 음원식별을 위해서는 연구지역의 지질 조건과 지진원 특성에 맞는 음원식별 기술이 개발되어야 한다. 특히, 한국 지질은 노년기층으로 암반 구조가 불균일하여 지역마다 탄성과 전달속도가 상이하며, 호수, 계곡 등 다양한 전달경로를 통해 전달되기 때문에 신호가 변형이 된다<sup>[4,9]</sup>. 그리고 발파 규모가 작은 원거리에서 발생한 지진파는 신호감쇠와 잡음 유입 등으로 인해서 FFT 분석기법만으로는 지하 암반매질을 통과한 인공지진음인지 또는 지표면에서 발생한 인공지진음인지의 여부에 대한 구분이 매우 제한된다.

본 연구에서는 지하 암반의 매질로 전달된 인공 발파음 특성을 규명하고자 발파 실험을 하였다. 인공발파음 실험 데이터를 가지고 제안한 알고리즘을 이용하여 발파 거리별 특징 파라미터를 추출함으로써 인공발파음의 특성을 규명하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 II장에서는 거리중가에 따른 지진에서 고주파 감쇠특성을 설명하고 제 III장에서는 인공발파음 특징 파라미터 추출을 위한 알고리즘에 대하여 다룬다. 제 IV장에서는 발파실험 및 결과고찰에 대하여 논하고, 마지막으로 제 V장에서 결론과 향후 연구방향을 제시하였다.

## II. 거리중가에 따른 지진에서 고주파 감쇠특성

지진파는 지하 암반을 타고 전달되는 과정에서 지진파의 종류, 매질의 상태, 거리중가에 따라 고주파 감쇠현상이 나타난다. 고주파 영역에서 관측 강진운동(Strong motion)이 급격하게 감소하는 현상을

대표하는 이론은 Hanks가 제안한  $f_{max}$  모델(1982년), Anderson and Hough가 제안한 Kappa 모델(1984년), Tsai and Chen이 제안한  $f_{95}$  모델(2000년) 등이 제시되어 있다<sup>[10-12]</sup>.

Kappa 모델은 고주파 영역에서의 급격한 감쇠모형을 대표하고 있다. 즉  $f_E$  이상에서 주파수의 증가에 따른 에너지 감쇠에 대한 모델이다. 그림 1은 지진 가속도계 스펙트럼에서 고주파에서 감쇠를 나타내는 파라미터  $\kappa$ (kappa)의 그래프이다.  $\kappa$  모델은 하나의 매개 변수에 대해 이루어졌으며, 이 모델은 스펙트럼의 매개 변수  $\kappa$ 의 감소에 대해 디자인된 것이다. 또한 스펙트럼 감쇠 파라미터를 조절하는데 있어 지수 함수적으로 감쇠하는 식별이 불가능한 스펙트럼 형상을  $f_E$ 로 표시하였으며 스펙트럼 형상에서 특정값 위에 존재하는 주파수 스펙트럼 곡선의 형상에 맞게 추정하였다. 그리고  $f_{95}$ 는 고주파수가 감쇠할 때 에너지가 집중되어 있는 부분을 가리킨다<sup>[12]</sup>.

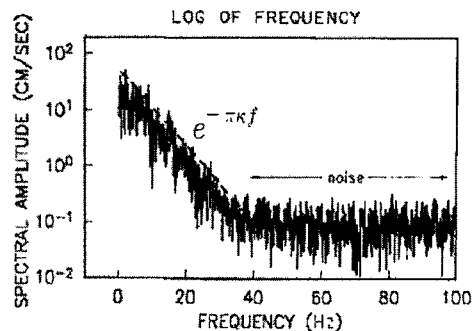


그림 1. 지진 가속도계 스펙트럼에서  $\kappa$  그래프 (선형-로그 축)  
Fig. 1.  $\kappa$  Graph in Spectrum of Earthquake Acceleration

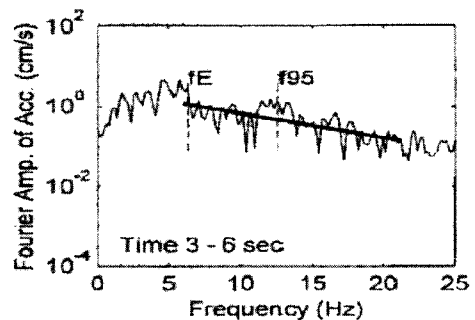


그림 2. 가속도계 스펙트럼에서  $f_E, f_{95}, \kappa$  값의 추정치(로그로그 축)  
Fig. 2.  $f_E, f_{95}, \kappa$  Estimate Values in Acceleration Spectrum

고주파 감쇠필터 모델인 Kappa 모델론은 다음과 같은 형태로 제시된다.

$$P(f) = e^{-\pi \cdot \kappa(R) \cdot f} \quad (1)$$

여기서  $k$ 는 스펙트럼의 기울기를 나타내는 파라미터이며,  $R$ 은 진원거리(Hypocentral distance)를 나타내고  $f$ 는 주파수이다. 또한 식 (1)의 지수부분의 주된 구성요소인  $\kappa(R)$ 은 지진파가 지진원으로부터 관측소까지 지각을 통과할 경우 발생하는 지진파의 감쇠를 모델링하고 있다. 위에서 제시한 감쇠효과를 고려한 식은 아래 식 (2)에 의해 모델화된다.

$$\kappa(R) = \frac{H}{\beta Q_s} + \frac{R}{\beta_0 Q(f)} \quad (2)$$

여기서  $H$ 는 관측소 부지하부의 전체 토양층의 깊이를 나타내며,  $\beta$ 는 전단파 속도,  $Q_s$ 는 부지하부 전체 토양층의 질적요소(Quality factor) 값의 평균을 나타낸다.  $\beta_0$ 는 지진원 부근의  $S$ 파 속도를 나타낸다. 식 (2)에서 등호 오른쪽의 첫 번째 항은 거리가 0인 경우에 해당하며 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\kappa(0) = \frac{H}{\beta Q_s} \quad (3)$$

그리고 두 번째 항은 거리에 따라 나타나는 감쇠효과를 나타내며  $Q(f)$ 는 주파수에 따라 결정된다. 따라서 고주파대역에서 거리증가에 따라 카파( $\kappa$ ) 값은 커지고 고주파가 감쇠로 인해 스펙트럼 기울기 값은 증가한다<sup>[5,11]</sup>.

### III. 인공발파음 특징 파라미터 추출을 위한 알고리즘

본 논문에서는 지진파가 거리 증가에 따라 스펙트럼에서 고주파수 대역이 감쇠하고, 또한 스펙트럼 기울기 등 특성이 변화한다는 원리를 이용하여 스펙트럼에서 지진파 특성 파라미터를 추출해서 인공 발파음 특성을 규명하였다.

#### 3.1 유효 주파수 대역(Efficient frequency band)

스펙트럼 기울기를 결정하기 위해서는 먼저 유효 주파수 대역을 결정하여야 한다. 이러한 유효 주파수 대역은 스펙트럼에서 최대 음압 주파수 즉, 기본 주파수부터 대역결정 Factor가 임계치 이상의 값을 가지는 영역으로 결정된다.

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 절대값 즉, 곡물의 총량을 기준으로 하여 결정하였다. 스펙트럼이 저주파에서 고주파로 갈수록 크기의 변화하는 정도는 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 변화량이 임계값 이상인 부분에 대하여 유효 주파수로 결정하였으며 임계값은 실험을 통하여 Training시 최적값으로 결정하였고 이때 임계값의 오차범위는  $\pm 0.001$ 까지로 하였다.

3.2 스펙트럼 기울기 지수(Spectrum gradient index)  
스펙트럼 기울기 지수는 지진파의 주파수에 따라 나타나는 감쇠정도를 표현한다. 기울기 지수는 신호의 성분 중에서 음원으로부터 발생한 신호가 데이터로서 유효한 값을 가지고 있는 성분이 존재하는 대역에 대해서 스펙트럼의 기울기를 추출한다. 음원으로부터 발생한 신호는 지진파의 주파수별 감쇠특성에 따라 고주파 성분의 감쇠가 심하게 나타나며 저주파 대역에서는 감쇠 정도가 고주파 대역에 비해 적게 나타난다. 식 (4)는 기울기 지수를 계산하는 수식이다.

$$G = \frac{|\tilde{S}(\hat{\omega}_1)| - |\tilde{S}(\hat{\omega}_2)|}{\hat{\omega}_2 - \hat{\omega}_1} \quad (4)$$

여기서  $|\tilde{S}(\hat{\omega})|$ 는 지진파 신호의 정규화 주파수 스펙트럼을 나타내며,  $\hat{\omega}_1$ 는 최소 유효주파수이고,  $\hat{\omega}_2$ 는 최대 유효주파수이다.

#### 3.3 랜덤지수(Random index)

랜덤지수는 스펙트럼 포락선에서 작고 불규칙한 변화들이 발생하는 정도를 나타낸다. 이 특징값은 스펙트럼에서 에너지 변화 정도를 파악할 수 있으며, 음원을 판별하는데 중요한 척도로 사용된다. 랜덤지수는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$R = \sum_{i=1}^N |S(\hat{\omega}_i) - \tilde{S}(\hat{\omega}_i)| \quad (5)$$

여기서  $|S(\hat{\omega}_i)|$ 는 지진파 신호의 정규화된 주파수 스펙트럼을 나타내며,  $|\tilde{S}(\hat{\omega}_i)|$ 는 주파수 스펙트럼의 중간값 스무딩(Median smoothing)을 나타낸다.

#### 3.4 스펙트럼 무게중심(Spectrum Centroid)

스펙트럼 무게중심 지점은 주파수 대역에서 에너지 분포의 평균지점으로 신호 에너지의 대부분이 집중하

는 주파수 영역을 결정하며 식 (6)과 같이 계산된다.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N S|\hat{\omega}_i| \times \hat{\omega}_i}{\sum_{j=1}^N S|\hat{\omega}_j|} \quad (6)$$

여기서  $S|\hat{\omega}_i|$ 는 지진파 신호의 정규화된 주파수 스펙트럼을 나타내며,  $\hat{\omega}_i$ 는 주파수이며  $i$  및  $j$ 는 FFT 이후 이산적으로 발생하는 주파수 대역을 나타내는 서브 스크립트이다. 이 특징값은 인공발파음 분포 정도를 나타낼 수 있기 때문에 서로 규모가 다른 발파음을 구분하는데 유용하게 사용될 수 있다. 특히 인공발파음의 경우 암반의 매질을 따라 전달되어 신호 주파수가 저주파에 모여 있는데, 스펙트럼 무게중심을 이용할 경우 저주파 대역에서 에너지가 중심을 이루는 부분의 특징을 찾을 수 있어 인공발파음의 구분에 용이하다.

#### IV. 발파실험 및 결과고찰

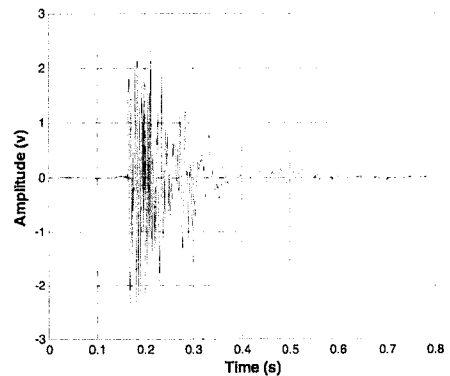
##### 4.1 실험 방법

2003년 9월 2일과 2005년 6월 9일 2회 걸쳐서 강원도 철원군 양지리 지역 일대의 지하터널 89 m 지점에서 발파 실험을 하였다. 실험지역 날씨는 영상 20 ~ 28℃ 이었고 바람은 초속 5 m/s 이내로써 양호하였다. 실험장비 지진파 수신기는 5 Hz ~ 4 kHz의 동작주파수 범위를 갖고 수신 증폭기는 60 dB로 위치해 놓았다. 하이드로폰은 덴마크 B&K 8106 Type을 사용하였으며, 시추공 내에 물이 충만된 상태에서 50 ~ 200 m 깊이에 하이드로폰을 설치하였다. 화약은 (주)고려화학 제품인 뉴에몰라이트 1 L/B (454 g)을 10회 걸쳐 발파를 하였다. 그리고 발파지점으로부터 160 ~ 1400 m 이격지점에 하이드로폰을 설치하여 거리별 발파음을 측정하였다. 지진파 수신기에서 포착된 발파신호 중 양호한 신호만을 선택하여 잡음제거 필터를 사용해서 60 Hz 등 주변잡음을 제거하였다. 그리고 샘플링 주파수 및 비트수는 10,000 Hz와 16 bit/sample이고, FFT 포인트 개수가 1024개인 33개 실험데이터를 만들었다. 이러한 데이터를 가지고 제안한 알고리즘을 이용하여 특징 파라미터를 추출하였다.

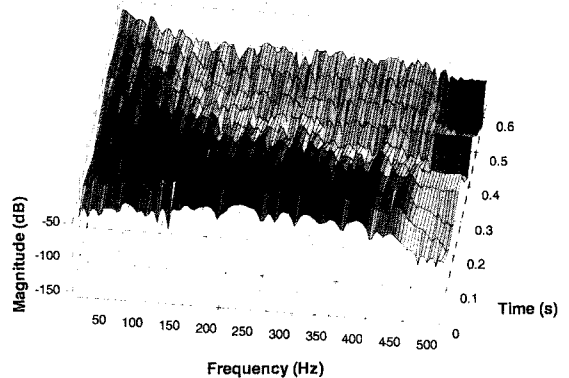
##### 4.2 지하 인공발파음 특성분석

그림 3. (a)는 1 L/B 폭약을 하이드로폰으로부터 190 m 이격지점인 지하터널 89 m 지점에서 발

파시 인공발파음에 대한 파형을 보여주고 있다. 탄성응력 에너지가 단층파열에 의해 0.44 s 이내에 순간적으로 강한 에너지를 방출함에 따라 터널 전단면이 떨어져 나갔다. 탄성과 초동(First Onset)이 압축과 팽창으로 구분이 안되었으며, 압축파인 P파만 나타났다. 그림 3. (b)는 인공발파음 스펙트로그램으로써 순간적인 발파 에너지 충격으로 인해 소리의 기동형태가 크게 나타났으며 또한, 피크 주파수는 약 274 Hz이며 음압의 세기는 -29 dB 이하였다. 에너지는 대부분 500 Hz 이하의 중·저주파수에 집중되어 있고, 고주파 대역에서는 급격한 에너지 감쇠 특성이 나타났다.



(a) Waveform (Distance 190m)



(b) Spectrogram (Distance 190m)

그림 3. 1LB 인공 발파시 파형 및 스펙트로그램  
Fig. 3. Waveform and spectrogram for 1LB artificial explosion

표 1은 발파음 10개 Event를 가지고 전파속도를 측정된 결과이다. 지하암반 매질을 통과한 인공발파음의 종파(P파)의 전파속도는 5.2 km/s 이었다. 이러한 전파속도를 고려할 때 이 지역의 지질은 단단한 화강암 지층임을 알 수 있다<sup>[1]</sup>.

표 1. Event별 전파 속도  
Table. 1. Propagation velocity by events

Event	P wave velocity (km/s)	Event	P wave velocity (km/s)
1	5.25	6	5.12
2	5.30	7	5.19
3	5.26	8	5.20
4	5.20	9	5.17
5	5.17	10	5.10
Mean	5.20		

4.3 특징 파라미터 추출 및 결과 고찰

그림 4는 발파 Event별 이격된 거리에 따른 포착된 신호의 파형에서 진폭 변화특성을 나타내는 그래프이다. 진폭범위는 최소 2.06 V에서 최대 3.54 V이며, 평균 2.65 V이었다.

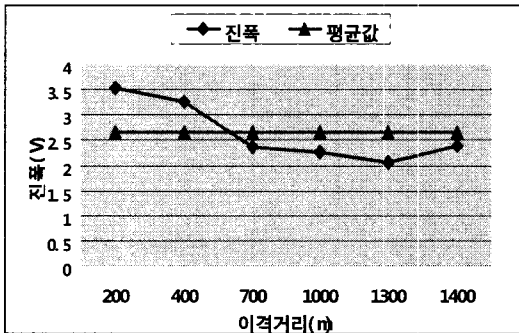


그림 4. 1LB 발파시 거리에 따른 진폭 변화특성  
Fig. 4. Change of amplitude by distance

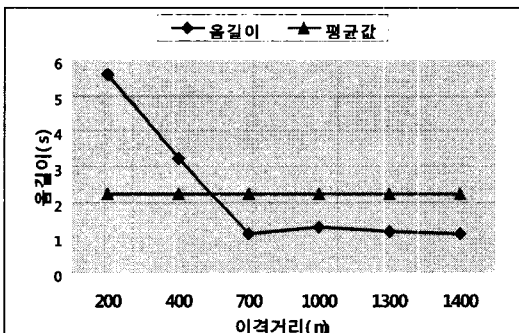
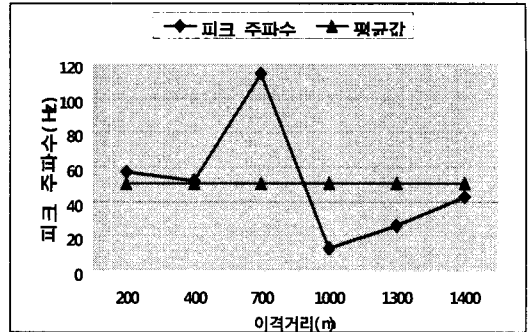


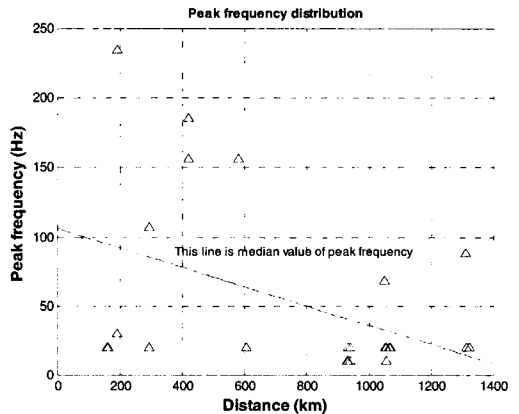
그림 5. 1LB 발파시 거리에 따른 음길이 변화특성  
Fig. 5. Change of time-length by distance

그림 5는 발파 Event별 이격거리에 따른 파형의 음길이를 나타내는 그래프이다. 음길이는 최소 1.1 s에서 최대 5.6 s이며, 평균 2.2 s이었다. 그림 2, 3에서 진폭의 크기 및 음길이는 다소 불규칙하였지만 거리가 증가함에 따라 감소하였다. 이러한 특징에서 지하압반에서 발파신호의 진폭과 음길이는 근

거리에서는 거리증가에 따라 거리에 반비례(1/r)하면서 진폭은 작아지고 음길이는 짧아지지만 일정거리 이상이 되면 변화폭이 거의 없었다.



(a) 피크 주파수 변화특성



(b) 피크 주파수 분포도

그림 6. 1LB 발파시 거리에 따른 피크 주파수 변화분포  
Fig. 6. Change Peak frequency by distance

그림 6. (a)는 발파 Event별 거리증가에 따른 피크 주파수변화 그래프이다. 피크 주파수는 최소 13 Hz에서 최대 114 Hz사이에 분포되어 있으나, 모든 Event에서 가장 많은 피크 주파수는 19.5 Hz이며 평균 51 Hz로써 저주파에 집중되어 있고 거리가 증가함에 따라 피크주파수 값은 줄어들었다.

그림 6. (b)는 거리별 피크 주파수 변화분포를 나타내고 있다. 피크 주파수 분포는 700 m까지는 고주파 및 저주파수가 혼합되어 있고 변화폭이 크지 않다. 그러나 전체적인 변화분포를 보았을 때 거리 증가에 따라 고주파가 감소되고 있다. 그리고 거리 증가에 따라 피크 주파수가 일정하게 낮아지지 않는 것으로 보아 발파규모 또는 음 전달 경로와 지질특성의 영향을 많이 받은 것으로 보인다. 따라서 다른 지역의 지반특성에서는 상이하게 나타날 수도 있다.

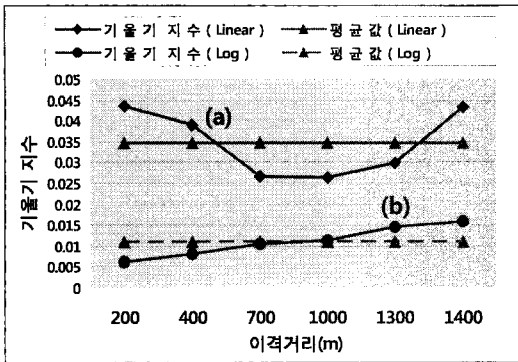


그림 7. 1LB 발파시 거리에 따른 기울기 지수 변화특성  
Fig. 7. Change of gradient index by distance

그림 7은 Event별 이격거리에 따른 감쇠특성을 나타내는 기울기 지수 그래프이다. 그림 7. (a)는 Linear 상태에서 기울기 지수로써 최소 0.026에서 최대 0.044이며, 평균 0.035이다. 거리가 증가함에 따라 기울기 지수가 감소하다가 1000 m 지점 이후부터는 기울기 지수가 다시 증가하고 있다. 이것은 암반의 불균일과 거리 증가에 따른 에너지 감쇠가 증가한 것으로 사료된다. 그림 7. (b)는 Log 상태에서 기울기 지수이다. 그 값의 범위는 최소 0.006에서

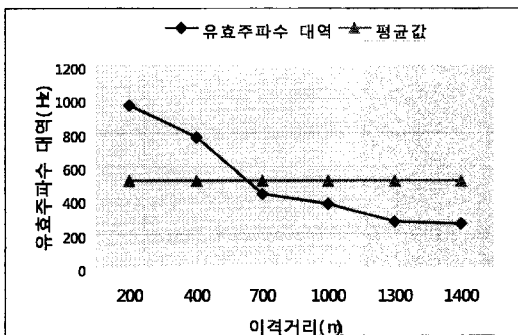


그림 8. 1LB 발파시 거리에 따른 유효주파수대역 변화특성  
Fig. 8. Change of efficiency frequency band by distance

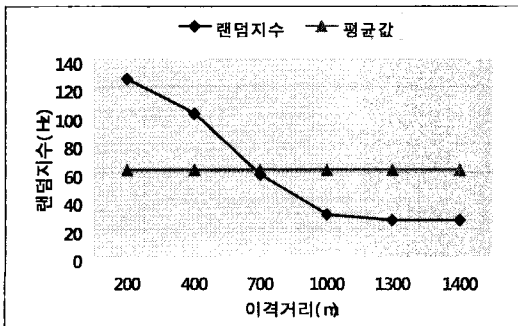


그림 9. 1LB 발파시 거리에 따른 랜덤지수 변화특성  
Fig. 9. Change of random index by distance

최대 0.016에 분포되어 있으며, 평균 0.011이하이다. 기울기 지수는 거리가 증가함에 따라 점진적으로 증가하고 있다. 이것은 고주파 대역에서 감쇠가 크게 나타나는 것을 의미한다.

그림 8은 발파 Event별 이격거리에 따른 최대 음압 주파수로부터 대역결정 Factor가 임계치 이상의 값을 가지는 주파수 영역을 나타내는 유효 주파수 대역 변화특성을 나타내는 그래프이다. 그 값의 범위는 최소 254 Hz에서 최대 965 Hz이며, 평균 513 Hz이다. 유효 주파수 대역은 거리 증가에 따라 지수 함수적( $1/r$ )으로 감소되고 있다.

그림 9는 발파 Event별 이격거리에 따른 스펙트럼 포락선에서 작고 불규칙한 변화의 정도를 나타내는 랜덤지수 그래프이다. 그 값의 범위는 최소 26 Hz에서 최대 126 Hz이며, 평균 61 Hz이다. 랜덤 지수는 거리 증가에 따라 지수 함수적으로 감소하고 있으며 1 Km 이후에는 감소폭이 아주 적다. 그림 8,9의 유효주파수 대역과 랜덤지수 파라미터에서 나타나는 특징은 근거리에서는 스펙트럼 에너지 변화가 많고 거리가 증가할수록 변화가 적다.

그림 10은 발파 Event별 이격거리에 따른 스펙트럼에서 에너지가 집중되어 있는 주파수 무게중심 특성을 나타내는 그래프이다. 그 값의 범위는 최소 654 Hz에서 최대 1245 Hz이며, 평균 986 Hz 이다. 이와 같은 결과에서 거리가 증가할수록 주파수 무게중심 값은 증가하는데, 이것은 발파신호 에너지가 저주파에 집중되어 있다는 것을 의미한다.

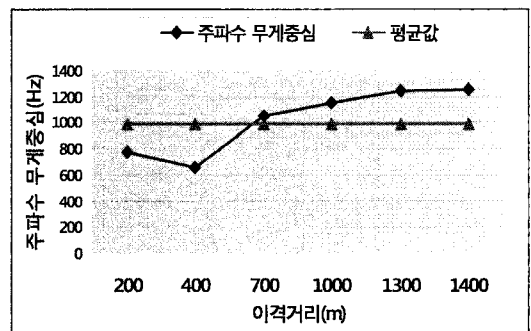


그림 10. 1LB 발파시 거리에 따른 주파수 무게중심 변화특성  
Fig. 10. Change of spectral Centroid by distance

## V. 결론

본 논문에서는 철원지역에서 실험한 인공발파음 데이터를 가지고 제안된 알고리즘을 이용하여 지하 매질을 통과한 인공발파음의 특성을 아래와 같이

규명하였다.

첫째, 파형에서 신호의 진폭 및 음질이 변화특성은 700m 까지는 거리의 증가에 반비례(1/r)하여 진폭이 감소되고 음질이 떨어지나, 700m 이상에서는 변화폭이 거의 없었다.

둘째, 스펙트럼의 Linear상에서는 기울기 지수, 유효 주파수 대역, 랜덤지수 값은 거리가 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소하는 특성을 나타냈는데, 이것은 근거리에서는 스펙트럼 에너지 변화가 많고 거리가 증가할수록 변화가 적다는 것을 의미한다.

셋째, Log 상에서 기울기 지수와 주파수 무게중심 변화는 거리가 증가함에 따라 수치값이 증가하는 동일한 특성을 가지고 있다. 이것은 거리가 증가할수록 에너지가 저주파에 많이 모여 있음을 의미한다.

넷째, 피크 주파수는 거리에 따라 일정한 특성을 가지고 있지 않는 것으로 보아 탄성과 전달경로 및 지질 특성의 영향을 많이 받는 것으로 보인다.

이와 같은 실험결과를 통하여 지하 압반을 통과한 발파음 특징 파라미터를 추출하여 특성을 수치적으로 정량화하여 규명하였다. 따라서 제안한 알고리즘을 지하 매질채널에서 사용한다면 인공발파음 여부에 대한 음원식별을 신속하고 정확하게 판별이 가능할 것이다.

앞으로는 지하 및 지표면에서 다양한 발파 규모별 실험을 통하여 지하 발파음과 지상 발파음 음원식별과 인공지진음과 자연지진음 식별에 대한 연구를 진행할 계획이다.

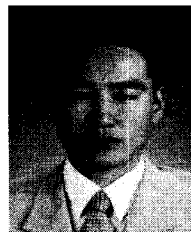
참 고 문 헌

[1] 안전공학협회 공편, 박상규 등 5명 공역, “소음·진동학”, 해문당, 2002. 8.  
 [2] 박형기, 정현고, “인공 지진파 작성을 위한 유전자 알고리즘의 적용”, 한국지진공학회 논문집, Vol.11, No.2, pp.1-9, 2007.  
 [3] Che, I. Y., M. S. Jun, J.S. Jeon, K. D. Min, “Analysis of Local Seismo-acoustic Events in the Korean Peninsula”, Geoph. Res. Let., Vol. 29, No. 12, 2002.  
 [4] 윤상훈, 배명진, “자연음과 인공음 식별방법에 관한 연구”, 한국 음향 학회지, Vol.26, No.1, pp.137-138, 2007.  
 [5] 김준경, “후쿠오카 지역에서 발생한 12개 지진의 지진원 및 지진파 감쇠값에 관한 연구”, 한국지진 공학회 논문집, Vol.11, No.1, pp.89-97, 2007. 2.

[6] Kim, W. Y., V. Ahraonian, A. L. Lerner-Lam, and P. G. Richards, “Discrimination of earthquakes and explosions in Southern Russia using regional high-frequency three -component data from the IRIS/JSP Caucasus Network”, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.87, pp.569-588, 1997.  
 [7] Koch, K., “Seismic event identification of earthquakes and explosions in Germany using spectral Lg ratios”, Pure Appl. Geophys., Vol.159, pp.759-778.  
 [8] 제일영, 전정수, 이회일, “지진파 스펙트럼특성과 선형 판별분석을 이용한 자연지진과 인공지진 식별”, 한국지진공학회 추계학술대회 논문집, pp.13-19, 2003.  
 [9] 대한지질학회, 한국의 지질, 시그마프레스, 1999.5  
 [10] Hanks, T. C., “fmax”, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.72, pp.1867-1879, 1982.  
 [11] 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.  
 [12] 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..

윤 상 훈 (Sang-Hoon Yoon)

정회원



1993년 8월 한양대학교 산업대학원 전자통신공학과(공학석사)  
 1998년 12월 정보통신기술사  
 2006년~현재 숭실대학교 정보통신공학부(공학박사과정)  
 <관심분야> 지진파 및 탄성파 신호처리

배 명 진 (Myung-Jin Bae)

중신회원



2008년 현재 음향학회 부회장  
 2008년 현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수  
 <관심분야> 음성·음향·오디오 신호처리 및 분석