

20 MSVQ 알고리즘을 이용한 자연 및 인공 지진음 식별

Discrimination Between Natural and Artificial Seismic Sounds by Using 20 MSVQ Algorithm

윤 상 훈*, 송 영 환*, 배 명 진*
(Sang-Hoon Yoon*, Young-Hwan Song*, Myung-Jin Bae*)

* 숭실대학교 정보통신전자공학부
(접수일자: 2008년 12월 8일; 채택일자: 2009년 3월 17일)

본 논문에서는 하이드로폰으로 측정한 지진음 데이터를 가지고 20 MSVQ 알고리즘을 이용하여 자연지진음과 인공지진음을 식별하였다. 지진음 식별을 위한 특징 파라미터로는 스펙트럼 대역별 에너지, MFCC를 사용하였으며, 실험을 통하여 식별에 적합한 특징 파라미터 차수를 결정하였다. 2개의 특징 파라미터를 가지고 20 MSVQ 알고리즘으로 식별한 결과 MFCC를 사용하였을 경우에 99.9%, 스펙트럼 에너지 파라미터는 83.9%의 식별결과를 얻었다. 본 논문에서 제안한 파라미터와 알고리즘을 사용하여 지진음을 식별한 결과 성능이 매우 우수함을 확인하였다.

핵심용어: 식별, 인식, 지진음, 에너지, MFCC

투고분야: 음향 신호처리 분야 (1,2)

This paper proposes an identification technique to discriminate natural and artificial seismic sounds by using the 20 MSVQ algorithm with the data measured by using a hydrophone. Spectrum band energy and MFCC were used as representative parameters for sake of discriminating natural and artificial seismic sounds, and the orders of characterized parameters were determined through experiments. As a result of using 20 MSVQ algorithm with the 2 characterized parameters, MFCC had 99.9% and the spectrum energy parameter had 83.9% percent of success. It was verified that it is extremely accurate when seismic sounds were discriminated by using the method suggested by this paper.

Keywords: Discrimination, Recognition, Seismic, Energy, MFCC

ASK subject classification: Acoustic Signal Processing (1,2)

I. 서론

최근 중국 쓰촨성, 인도 쓰나미 등 대규모 자연지진음들이 많이 발생되고 있으며 근래에 모든 분야의 산업이 급속도로 발전함에 따라 국토개발이 활발해져 대규모 주택단지, 지하철, 도로 및 터널, 핵폐기물 지하 처분장 등의 건설에 따라 폭발음이나 충격으로 인한 인공지진음이 많이 발생되고 있다.

지금까지 지진음 식별은 지진계로 측정된 데이터를 가지고 주로 F와 L(S)파 간의 스펙트럼 진폭 비율을 이용한 방법이 많이 사용되고 있으며 [1][2], 최근에는 스펙트럼

특성과 선형판별 분석을 이용한 식별방법이 연구되어 보다 정확한 식별을 가능하게 했다 [3][4]. 그리고 3-D spectrogram을 이용한 식별방법과 군속도 측정 (group velocity)을 통한 식별방법도 많이 사용되고 있다 [5][6]. 또한 F/K (Frequency versus wave number K) 및 spectral complexity 방법도 사용되고 있다 [5][7]. 이러한 방법들은 규모가 크고 근거리에서 발생된 지진음일 경우에는 양호한 식별결과를 얻을 수 있으나 지진의 규모가 작고 원거리에서 발생된 경우에는 암반 매질을 통과하는 동안 매질의 층상구조, 불균일한 전달 경로 등으로 인해서 반사, 굴절, 산란 또는 거리에 따른 감쇠와 다른 음파로의 전환이 일어나 자연지진음과 인공지진음 식별이 어렵다. 따라서 상기 방법들을 복합적으로 사용함으로써 식별률을 높일 수 있다.

책임저자: 윤 상 훈 (ysh37990@hanmail.net)
156-743 서울시 동작구 상도동 511 숭실대학교 정보통신전자공학부
(전화: 02-748-2385; 팩스: 02-793-6917)

최근에는 하이드로폰에 포착된 신호를 이용한 지진파 식별 및 특성 분석에 관한 연구가 아래와 같이 진행되었다. 자연음과 인공음 식별방법에 관한 연구 [8], 지하 발파음과 지상 발파음 특성 분석에 관한 연구와 더불어 지하암반 매질을 통과한 인공발파음 특성규명 [9][10]과 스펙트럼 기술품을 이용한 자연지진음과 인공지진음 특성 분석에 관한 연구가 진행 되었다 [11].

상기에서 보는 바와 같이 여러 가지 식별방법들이 사용되고 있으나 하이드로폰으로 포착된 지진음 데이터를 가지고 음향 파라미터를 사용하여 인식 알고리즘을 이용한 연구는 시도되지 않았다. 본 논문에서는 하이드로폰으로 측정된 지진음을 가지고 스펙트럼에서 지진음 특징 파라미터를 추출한 후 20 MSVQ 알고리즘을 이용하여 자연지진음과 인공지진음을 식별하고자 한다. 본 논문에서는 암반에 시추를 하여 물이 충전되어 있는 시추공에 하이드로폰을 설치하여 데이터를 측정함으로써 지상 잡음의 유입이 상대적으로 적고, 시추공 속에 설치함에 따라 수직 및 수평 성분의 진동에 대한 탐지능력이 탁월하며, 광대역 탐지능력을 가지고 있어 스펙트럼에서 보다 많은 정보를 추출할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 지진음의 특성을 분석하였으며, 제 III장에서는 지진음 식별을

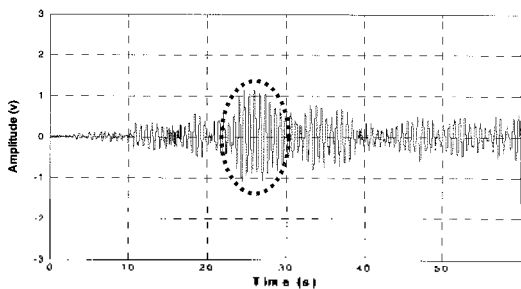
위한 20 MSVQ 알고리즘과 코드북 작성 및 특징 파라미터 추출 방법에 대해서 설명하였다. 제 IV장에서는 추출된 지진음 파라미터를 가지고 지진음 식별 실험 및 결과를 분석하였다. 마지막으로 제 V장에서는 결론과 향후 연구 방향을 기술하였다.

II. 지진음 특성 분석

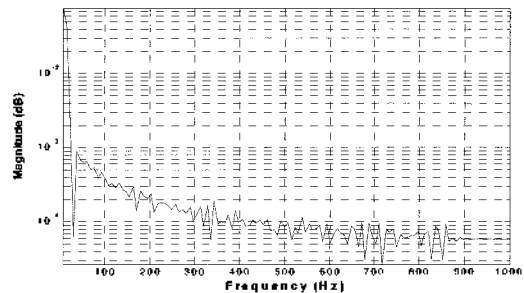
최적의 지진음 특징 파라미터 추출과 정확한 식별을 하기 위해서 지진음 특성분석을 하였다.

그림 1과 그림 2는 자연지진음 파형 및 스펙트럼이다. 그림 1은 인도 슈마트라섬에서 발생한 원거리 자연지진음으로 피크 주파수가 약 9.8 Hz 이하의 초저주파이다. 그리고 그림 2는 강원도 화천군 지역에서 발생한 근거리의 자연지진음으로써 피크 주파수가 약 35 Hz 이하의 저주파이다. 자연지진음은 300 Hz 이하의 중·저주파 대역에 분포되어 있고, 주로 100 Hz이하에 많은 에너지 성분이 많이 포함되어 있다.

그림 3은 지표면에서 발파한 인공지진음의 파형 및 스펙트럼이다. 에너지는 1,000 Hz 이하 중·저주파 대역에 분포되어 있고, 고주파 감쇠로 인해 대부분 100 Hz 이하



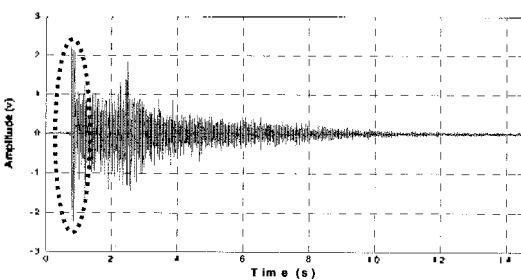
(a) Waveform



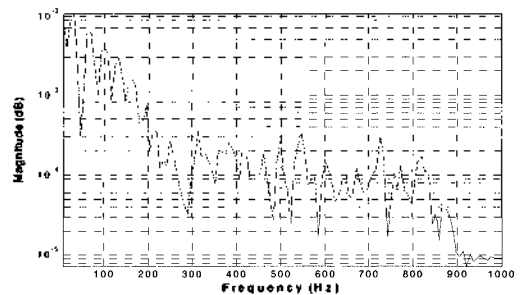
(b) Spectrum

그림 1. 인도 슈마트라섬에서 발생한 자연지진음의 파형 및 스펙트럼 (2007.9.13, scale 7.8, distance 5,350 km)

Fig. 1. The waveform and the spectrum of the natural seismic sounds that appeared in Sumatra, India.



(a) Waveform



(b) Spectrum

그림 2. 강원도 화천군에서 발생한 자연지진음의 파형 및 스펙트럼 (2006.6.15, scale 2.2, distance 5 km)

Fig. 2. The waveform and the spectrum of the natural seismic sounds that appeared in Hwa-Cheon, Gang-Won-Do

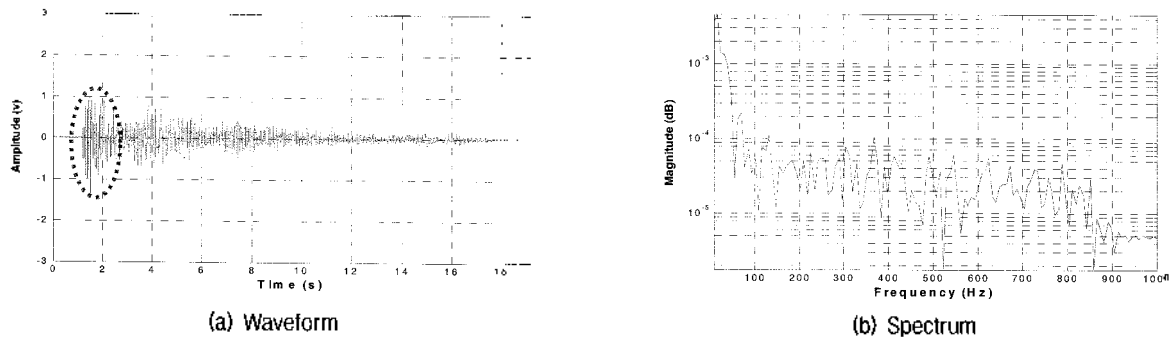


그림 3. 지표면에서 TNT 540 kg을 발파했을 때의 파형 및 스펙트럼 (2008.8.16, distance 14 km)
 Fig. 3. The waveform and the spectrum when 540 kg of TNT is exploded on the surface of the earth.

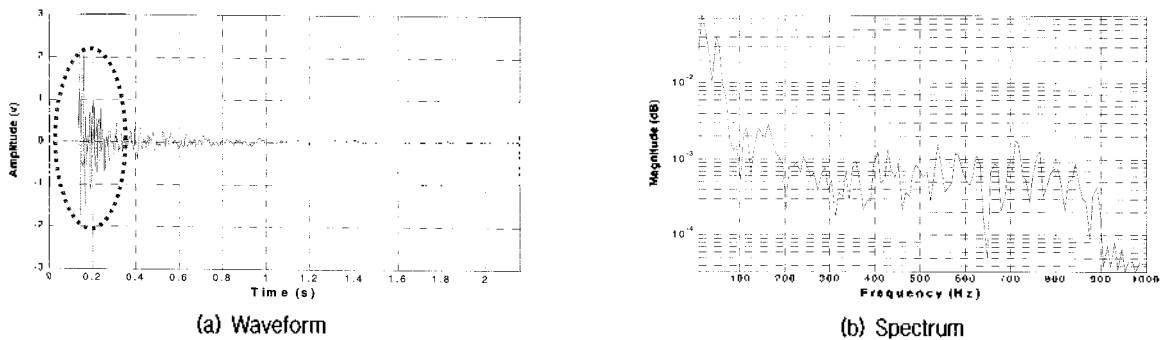


그림 4. 지하터널에서 TNT 908 g을 발파했을 때의 파형 및 스펙트럼 (2003.9.2, depth 80 m, distance 1 km)
 Fig. 4. The waveform and the spectrum when 908 g of TNT is exploded in the underground tunnel.

에 저주파 에너지가 분포되어 있으며 피크 주파수는 30 Hz 이다. 이러한 음은 근거리에서 발생된 자연지진음과 유사한 특성을 가지고 있다. 그림 4는 지하터널에서 발파한 인공지진음의 파형 및 스펙트럼이다. 에너지는 1,000 Hz 이하 중·저주파 대역에 분포되어 있으며, 고주파 감쇠로 인해 대부분 200 Hz 이하에 주파수가 분포되어 있고 피크 주파수는 107 Hz로써 지표에서 발생된 인공지진음 보다 높다.

자연 및 인공 지진음의 특성을 분석한 결과 주파수 범위는 1,000 Hz 이하에 분포되어 있다. 인공지진음은 P파의 진폭에 비해서 S파의 진폭이 매우 약하게 나타난다. 그러나 일부 인공 지진음은 위상이 반대로 나타난다. 그리고 자연지진음의 대부분은 S파의 진폭이 P파보다 크게 나타나나 일부는 위상이 반대로 나타난다. 상기와 같이 P파 위상의 시작점이 불명확하고 배경잡음 등으로 인해 P파의 자동 신호검출이 어려워 많은 어려움을 수반한다. 따라서 위상의 변화에 영향을 받지 않도록 스펙트럼의 에너지 최대지점에서 파라미터 추출 및 인식하는 방법을 사용하였다. 그림 1에서 그림 4의 지진음 파형에서 원형 점선 (·)으로 나타 부분은 신호의 최대 에너지를 나타내는 피크점이다.

본 연구는 다양한 지역에서 규모별, 거리별로 측정된

데이터로 파라미터를 추출, 자동 인식을 이용하여 지진음 식별함에 따라 규모 및 거리에 따른 감쇠의 영향은 고려 대상에서 배제된다.

III. 지진음 식별을 위한 20 MSVQ 알고리즘

3.1. 제안한 방법

자연 및 인공 지진음은 진원 (hypo-center)으로부터 측정지점까지 시간적 변화가 적고, 지표나 지하 암반을 타고 전달되기 때문에 거리 증가에 따른 에너지 감쇠로 인해 진폭은 변화되지만 개질에 따라 변하는 지진음의 패턴 변화 (pattern variance)가 적다. 따라서 비교적 계산량이 적고 결정해야 하는 매개 변수의 수량이 적은 지진음의 특성을 이용하여 여러 개의 지진음을 발생 시간에 관계없이 동일하게 20개로 분할하고 각 분할된 프레임에서 독립적인 코드북을 작성하여 지진음 식별에 있어서 용이한 다중 분할 벡터 양자화 식별기법인 20 MSVQ (Multi Section Vector Quantization) 알고리즘을 사용하였다.

그림 5는 본 논문에서 제안한 지진음 식별 알고리즘 흐름도이다. 먼저 지진파 수신장치에서 측정된 지진음 데

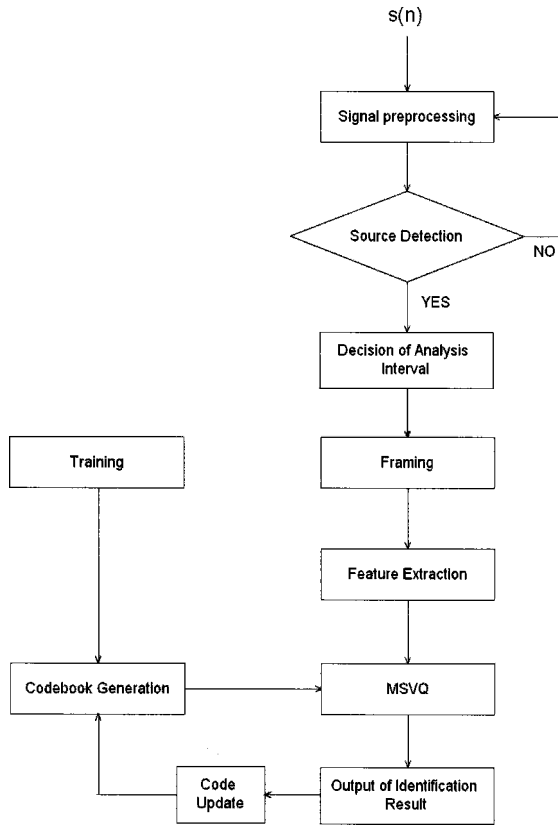


그림 5. 제안한 지진음 식별 알고리즘 흐름도
Fig. 5. Proposed flow chart for discrimination algorithm of seismic sounds.

이더로부터 지전류, Hum 제거 등 전처리 (preprocessing) 를 하였다. 그리고 식별률에 큰 영향을 미치는 지진음 구간과 배경잡음을 구별하는 정확한 신호검출이 요구되므로 패턴 매칭처리와 지진음 구간 검출을 독립적으로 수행하는 독립적 접근방법 (independent access method)을 사용하였다.

지진음의 신호검출 구간은 제 II장에서 지진음 특성 분석을 통해 신호의 길이 및 지진파 주파수 특성을 고려하여 그림 6과 같이 시간영역에서 1.6 초 동안의 길이로 결정하였다. 여기서 시작점은 신호의 에너지가 최대인 지점이고, 끝점은 파형의 시작점으로부터 1.6 초인 지점이다.

지진음은 음성에 비해 시간의 변이성은 크지 않으며, 1,000 Hz 이하의 주파수 대역에 분포되어 있고 신호 길이가 1.5분 이내로 짧고 단발성인 점 등을 고려할 때 20개 프레임에서 충분히 파라미터 추출이 가능함에 따라 20개로 프레임 (framing) 하였다. 그리고 프레임 간의 시변성을 반영하기 위해서 분석구간을 0.2 초 단위로 중복시켜 분할함으로써 보다 많은 정보를 포함하게 하였으며, 스펙트럼 대역별 에너지 및 MFCC 파라미터를 사용하여 자연지진음과 인공 지진음을 식별하였다.

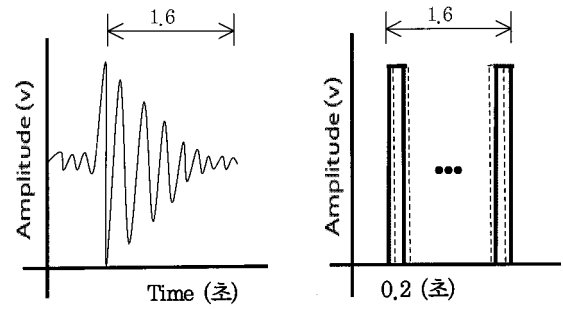


그림 6. 시간 영역에서 신호검출 과정
Fig. 6. Signal detection process within time domain.

표 1. 지진음 코드북 구성 및 크기
Table 1. Constitution and size of seismic sounds codebook.

파라미터	Section number	Codebook size
에너지	400개	8,000
MFCC	100개	2,000

3.2. 지진음 코드북 작성

코드북은 데이터 수집 시 신뢰성을 높이기 위해 다채널 환경에서 오차가 큰 데이터를 제거하고 수집된 데이터의 집합에서 추출한 파라미터의 평균값을 그 집합의 코드북으로 작성하였다. 또한 식별대상음을 식별 한 후 식별결과에 따라 코드북을 갱신 (centroid)하였다. 코드북의 갱신을 위해서는 기존 코드북의 작성에 사용된 데이터의 개수를 알아야 하며, 이에 따른 가중치를 적용하여 코드북을 갱신하게 하였다.

코드북 크기 및 섹션의 개수는 파라미터별로 다르게 구성되어 있다. 코드북에서 각 섹션의 수는 파라미터 차수와 같으며, 프레임의 수에 따라 증가하게 된다. 표 1은 자연 및 인공 지진음 코드북 구성 및 크기를 나타낸다. 예를 들어 스펙트럼 대역별 에너지 파라미터의 경우 400 차수를 사용하였는데, 이때 코드북 크기는 20 Frame × 400 Section = 8,000이 된다.

코드북 작성을 위해 지진음을 동일한 20개 프레임으로 분할하였고 각 구간에서 특징 파라미터 추출이 가능하도록 κ -평균 알고리즘을 이용하여 독립적인 20 MSVQ 코드북을 작성하였다. 여기서 코드북 (Codebook)은 식 (1)과 같이 코드워드 (Codeword)의 집합으로 구성되어 있다.

$$C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_{20}\} \quad (1)$$

그림 7은 20 MSVQ 코드북 작성 과정을 나타내고 있다. 여기서 $V_{2,3}(1)$ 은 구간 $V_{1,2}(1)$ 에도 속하고 구간

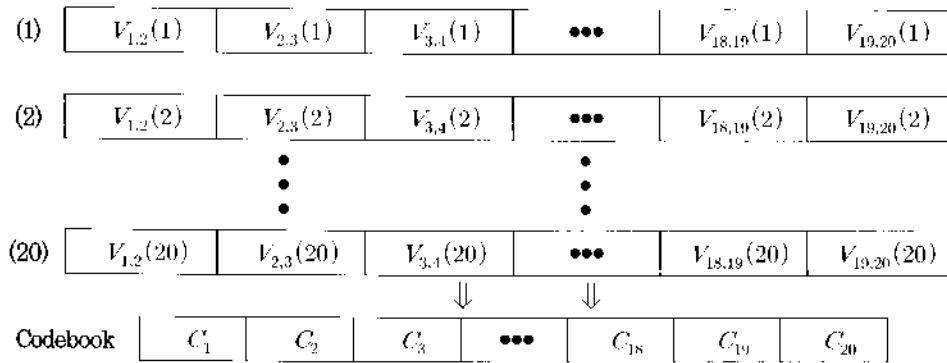


그림 7. 20 MSVQ 코드북 작성 과정
Fig. 7. Preparation procedure of 20 MSVQ codebook.

$V_{3,4}(1)$ 에도 속한다. 마찬가지로 $V_{18,19}(1)$ 은 구간 $V_{17,18}(1)$ 에도 속하고 구간 $V_{19,20}(1)$ 에도 속한다. 이렇게 프레임 간에 중첩시킴으로써 구간으로 분할할 때에 분할된 부분의 정보손실을 방지할 수 있으며, 시험패턴이 표준패턴과 매칭 시에 자기 구간의 코드워드를 비교할 뿐만 아니라 그 보다 하나 앞선 구간의 코드워드와도 비교한 후 가장 거리 값이 작은 것과 매칭함으로써 보다 정확한 식별이 가능하다.

시험 데이터에서 추출한 파라미터들은 식 (2)를 이용하여 각 섹션의 코드워드들과 비교해서 거리값이 가장 작은 관측치를 선택하여 지진음을 식별하였다.

$$D_{AVB} = \frac{1}{20} \sum_{n=1}^{20} |E_T - E_R| \quad (2)$$

여기서 E_T 는 시험 데이터 집합에서 구한 평균값이며 E_R 는 학습 데이터 집합에서 구한 평균값이다.

3.3. 지진음 특징 파라미터 추출

본 논문에서는 스펙트럼 대역별 에너지, 기울기, MFCC 파라미터를 사용하여 지진음 특징 파라미터를 추출하였다. 특히 제 II장의 지진음 특성 분석을 통하여 지진음의 신호의 길이는 대부분 0.2~1.5분 이내에 존재하며 시간영역에서 최대 피크 지점이 시작 지점보다 많은 정보를 가지고 있다는 주파수 특징을 고려하여 1,000 Hz 이하에서 파라미터를 추출하였다. 먼저 파라미터 추출하기 전에 최적의 파라미터 차수 (Order)를 결정하였다.

3.3.1. 파라미터 차수 결정

그림 8은 자연 및 인공 지진음 파라미터의 차수 결정을

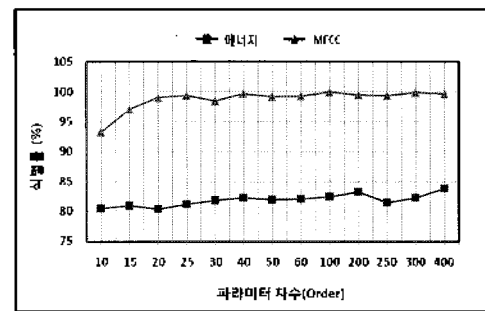


그림 8. 파라미터 차수별 지진음 식별 분포도
Fig. 8. Distribution of discrimination by parameter orders.

표 2. 지진음 파라미터 차수
Table. 2. Order of parameters for seismic sounds.

파라미터 종류	스펙트럼 대역별 에너지	MFCC
차수	400차	100차

위해 20 MSVQ 알고리즘을 가지고 차수별로 식별한 결과이다. 여기서 차수란 지진음 파라미터 추출 시에 주파수 영역에서 프레임을 20개로 고정해 놓고 추출된 특정 파라미터의 수를 의미한다.

파라미터 차수결정 방법은 20 MSVQ 알고리즘을 이용하여 제 4.2절의 자연 및 인공 지진음 식별과 동일한 방법을 사용하였으며 식별률이 가장 우수한 때를 표 2와 같이 파라미터의 차수로 결정하였다.

3.3.2. 스펙트럼 대역별 에너지 파라미터

자연 및 인공 지진음의 스펙트럼 대역별 에너지 (spectrum band energy) 파라미터 추출은 FFT방법을 사용하였으며 아래와 같이 정의할 수 있다. 그림 9는 주파수 영역에서 파라미터 추출과정을 나타내고 있다.

Subband 개수 : M

FFT points 개수 : 2^N

표 3. 자연 및 인공 지진음 측정 데이터
Table 3. Measured data of natural and artificial seismic sounds.

지진음 종류	리히터 규모 /발파량	이격거리 (km)	측정 개수
자연지진음	리히터 규모 1.72~8.2	2~5.350	82
지표 인공지진음	TNT (kg) 0.454~1,100	0.42~14	105
지하 인공지진음	TNT (kg) 0.454~1.8	0.16~5	149
계			336

및 규모별로 실험을 하였다. 측정 데이터는 2,000 Hz로 샘플링 되었으며 샘플당 비트수는 16 bits/sample인 336개 측정 데이터를 만들었다. 이러한 측정 데이터를 가지고 20 MSVQ 알고리즘을 이용하여 자연지진음과 인공지진음을 식별하였다.

4.2. 자연 및 인공 지진음 식별결과

본 논문에서 제안한 20 MSVQ 알고리즘 방법을 이용하여 자연지진음과 인공지진음을 식별하였다.

실험방법은 자연지진음과 인공지진음 데이터를 가지고 336개 코드북을 작성하였다. 336개 코드북 중에서 임의의 168개 코드북을 선택하여 학습(training)을 시켰고, 나머지 168개는 식별대상 데이터로 이용하여 학습된 코드북과 유사도를 각 파라미터별로 20회를 측정하였다.

지진음의 에너지 파라미터 식별률은 식 (6)에 의해 계산 하였으며 MFCC 파라미터도 동일한 방법을 사용하였다.

에너지 파라미터 식별률 (%) =

$$\left[\frac{\text{자연지진음 식별 개수} - \text{인공지진음 식별 개수}}{\text{학습 데이터 개수}(168\text{개})} \right] \times 100 \quad (6)$$

표 4는 자연 및 인공 지진음 식별률을 나타내고 있다. MFCC 파라미터를 사용하였을 경우에는 99.9%로써 우수한 식별결과를 얻었으며, 스펙트럼 대역별 에너지는 83.9%의 식별결과를 얻었다.

표 5는 파라미터 종류별로 자연지진음과 인공지진음의 오식별 개수를 나타내고 있다. 잘못 분류된 지진음은 인공지진음 중에서도 지표에서 발생된 인공지진음으로써 0.15~20.5개 이었다. 이것은 지표에서 발생된 인공지진음은 지표면을 타고 전달됨에 따라 거리 증가에 따른 감쇠로 인해서 자연지진음과 유사한 특성을 가지고 있기 때문이다.

표 4. 자연 및 인공 지진음 식별결과
Table 4. Discrimination result of natural and artificial seismic sounds.

식별 회수	에너지 (400차)	MFCC (100차)
1회	82.7	100
2회	80.2	100
3회	82.7	100
4회	82.7	100
5회	85.1	100
6회	90.0	99.5
7회	85.1	100
8회	80.2	100
9회	87.6	100
10회	85.1	100
11회	85.1	99.5
12회	82.7	100
13회	90.2	100
14회	87.6	100
15회	80.2	100
16회	80.2	100
17회	80.2	99.5
18회	85.1	100
19회	82.7	100
20회	82.7	100
식별률 (%)	83.9	99.9

표 5. 자연지진음과 인공지진음 오식별 개수
Table 5. Misclassification numbers of natural and artificial seismic sounds.

매개변수	자연지진음 (개수)	인공 지진음 (개수)	
		지표 인공지진음	지하 인공지진음
에너지	-	20.5	-
MFCC	-	0.15	-

4.3. 지진음 코드북 클러스터링 분석

지진음 식별 시 특정 파라미터 별로 코드북에서 각 코드워 간에 충분한 거리를 확보하고 있는지를 알아보기 위해 코드북의 클러스터링 (Clustering)을 하였다.

그림 11과 그림 12는 자연 및 인공 지진음 코드북에서 파라미터별로 클러스터링한 결과를 보여주고 있다. 여기서 가로축은 코드북 20개의 프레임에서 대표 코드워드 값을 나타내고 세로축은 코드북에서 정규화 (0~1)된 값

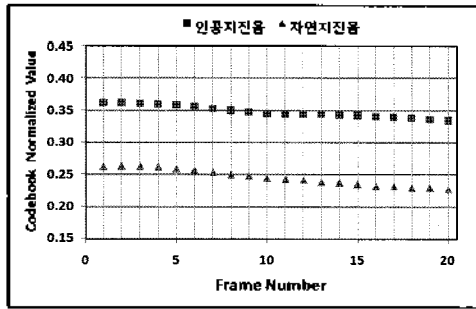


그림 11. 스펙트럼 대역별 에너지의 코드북 클러스터링 패턴
Fig. 11. Codebook clustering pattern of spectrum band energy.

을 나타낸다. 그리고 각각의 표시점 (■, ▲)들은 자연지진음과 인공지진음의 코드워드 값을 나타낸다.

그림 11의 스펙트럼 대역별 에너지 파라미터에서 자연지진음과 인공 지진음의 정규화 값의 차는 0.103인데 반해 그림 12의 MFCC 코드북의 클러스터링에서 정규화 값의 차는 평균 0.217로서 MFCC 파라미터의 정규화 값이 스펙트럼 대역별 에너지 파라미터보다 큼으로 인해서 식별률이 높았다.

표 6은 자연지진음과 인공지진음을 식별할 수 있는 코드북의 최소 및 최대 정규화 값을 수치적으로 나타낸 것이다. 인공지진음이 자연지진음보다 정규화된 값이 상대적으로 큼을 분수 있는데, 각각의 코드워드 간의 거리가 충분히 확보되어 있어 자연 및 인공지진음 간에 정확한 식별이 가능함을 확인 할 수 있었다.

코드북의 클러스터링한 결과에서 프레임 구간별로 코드워드가 존재함에 따라 설사 일부 구간에서 겹치는 부분이 존재하더라도 통계학적으로 다른 구간과 상호 비교하여 식별함에 따라 식별 성능이 우수하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 하이드로폰에서 측정된 데이터를 가지고 자연 및 인공 지진음으로 부터 특징 파라미터를 추출하여 20 MSVQ 알고리즘으로 자연지진음과 인공지진음을 식별하였다.

지진음 파라미터 종류별로 코드북의 클러스터링에서 MFCC 파라미터를 사용했을 때의 식별결과가 스펙트럼 대역별 에너지 파라미터를 사용하여 식별했을 때 보다 식별률이 양호하였다. 이것은 코드북에서 MFCC 파라미터가 스펙트럼 대역별 에너지 파라미터보다 코드워드 간의 거리가 더 많이 확보되어 있는 것을 의미한다.

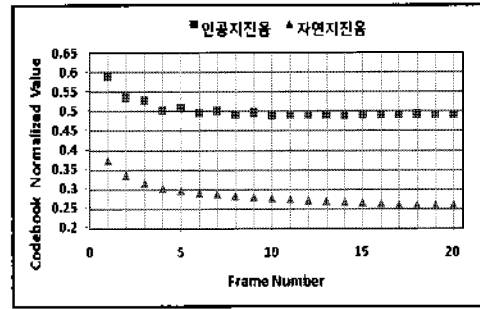


그림 12. MFCC의 코드북 클러스터링 패턴
Fig. 12. Codebook clustering pattern of MFCC.

표 6. 지진음 코드북 정규화 값

Table 6. Normalized value of seismic sounds codebook.

파라미터	자연지진음	인공지진음
에너지	0.23~0.26	0.33~0.36
MFCC	0.26~0.38	0.49~0.59

본 논문에서 제안한 알고리즘은 다양한 지역에서 규모별, 거리별 데이터를 이용하여 특징 파라미터를 추출해서 자동인식기를 이용하여 지진음을 식별함에 따라 규모, 거리에 따른 감쇠 등에 대한 영향을 배제할 수 있고 식별 성능이 매우 우수함을 확인하였다.

앞으로는 지진음 식별 알고리즘에서 패턴매칭과 식별을 동시에 처리하여 계산 속도를 향상시키는 방법과 지진음에 대한 모델링 기법을 연구하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 2009년도 숭실대학교 학술 연구지원사업의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- William R. Walter, Kevin M. Mayeda and Howard J. Patton, "Phase and Spectral ratio discrimination between NTS Earthquakes and Explosions. Part 1: Empirical observations," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 85, No. 5, pp. 1050-1067, Aug. 1995.
- W.-Y. Kim, V. Aharonian, 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," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 87, No. 3, pp. 569-588, June, 1997.
- 김성균, 김명수, "주파수 영역에서의 인공지진과 자연지진의 식별," *자원환경지질공학회지*, 36권, 3호, 201-212쪽, 2003. 5.

4. 제일영, 전정수, 이희일, "지진파 스펙트럼특성과 선형판별분석을 이용한 자연지진과 인공지진 식별," *한국지진공학회, 2003년도 추계학술대회 논문집*, 36권, 2호, 13-19쪽, 2003.9.
5. So-Gu Kim, "Discrimination of Underground Explosions from micro-Earthquakes through the pure continental path," *The Journal of Engineering Geology*, vol. 4, no. 1, pp. 29-42, Apr, 1994.
6. A. Dziewonski, S. Bloch and M. Landisman, "A Technique for the Analysis of Transient Seismic Signals," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 59, no. 1, pp. 427-444, Feb, 1969.
7. 김성배, "한반도 자연 지진과 인공 지진 구별에 관한 연구," 공주대학교 대학원 석사학위논문, 2000.2.
8. 윤상훈, 배명진, "자연음과 인공음 식별방법에 관한 연구," *한국음향학회지*, 26권, 1호, 137-138쪽, 2007.5.
9. 윤상훈, 배명진, "지하 발파음과 지상 발파음 특성분석에 관한 연구," *한국음향학회, 제25회 음성통신 및 신호처리학술대회 논문집*, KSCSP 2008, 25권, 1호, 47-50쪽, 2008.8.
10. 윤상훈, 배명진, "지하입반 매질을 통과한 인공발파음 특성 규명," *한국통신학회지*, 33권, 10호, 844-850쪽, 2008.10.
11. 윤상훈, 배명진, "스펙트럼 기울기를 이용한 인공지진음과 자연 지진음 특성분석," *대한전자공학회지 SP편*, 46권, 1호, 79-86쪽, 2009.1.
12. 윤상훈, "자연 및 인공 지진음 식별에 관한 연구," *숭실대학교 정보통신전자공학부 박사논문*, 51-123쪽, 2009.2.

저자 약력

• 윤 상 훈 (Sang-Hoon Yoon)



1991년 2월: 서울산업대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 8월: 한양대학교 산업대학원 전자통신공학과 (공학석사)
 1998년 12월: 정보통신기술사
 2009년 2월: 숭실대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 2000년 7월: 2009년 현재: 육군본부 서기관
 ※주관심분야: 지진파와 탄성파 신호처리 및 분석, 지진음 식별

• 송 영 환 (Young-Hwan Song)



2007년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학사)
 2009년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)
 ※주관심분야: 음성 및 오디오 신호처리, 분석

• 배 명 진 (Myung-Jin Bae)



1977년: 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)
 1981년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1983년: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 2009년 현재: 숭실대학교 정보통신공학과 교수
 ※주관심분야: 음성과 음향 신호처리 및 분석, 음성인식