
선박 방사소음의 Tonal 신호 자동분류에 관한 연구

이필호* · 박규칠** · 윤종락**

A Study for Tonal Signal Automatic Classification of Ship-Radiated Noise

Phil-Ho Lee* · Kyu-Chil Park** · Jong-Rak Yoon**

요 약

여러 형태의 Tonal 신호로 나타내어지는 선박 수중방사소음 원인을 효율적으로 분류하기 위해서 Tonal 신호를 잡음으로부터 분리하고 임계값을 초과하는 Tonal 신호를 자동으로 추출하였다. 추출된 신호의 발생기원이 속력 종속적인지 속력 비종속적인지 여부를 Q factor 및 신경회로망의 패턴인식 기법을 이용하여 자동으로 판별하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 수치 시뮬레이션 및 실제 수중에서 측정된 선박소음에 적용하여 제안된 알고리즘의 유용성 여부에 대하여 검토하였다.

ABSTRACT

The ship radiated noise appear the various characteristic signals due to the mechanic system in the ship, the propeller and the interaction between ship body and sea water. Generally, it is classified two main components: the speed dependent signal and the speed independent signal. It is required that very complex procedure to classify the signal origin from the ship-radiated noise. This paper presents techniques to automatically detect and classify the tonal signals from the ship-radiated noise, using the Q factor and the neural network.

키워드

선박 방사소음, Tonal 신호, LOFAR 그램, 신경회로망, Q factor

* 국방과학연구소 제2체계개발본부
** 부경대학교 공과대학 전자컴퓨터정보통신공학부

접수일자 : 2005. 10. 21

I. 서 론

선박의 수중방사소음은 선박에 장착된 다양한 기계류나 추진기 혹은 선체와 유체간의 상호 작용으로 인하여 여러 형태의 특성신호로 나타난다. 이러한 신호는 일반적으로 속력 종속적인 추진계통신호 성분과 속력 비종속적인 보기류 신호 성분이 혼재되어 다수의 신호성분으로 나타난다.[1-3] 또한 선박의 운용조건, 각종 장비의 회전특성 및 내부구조에 따라 스펙트럼상에 복잡한 주파수 성분으로 확인되고, Tonal 신호의 세기와 바다의 음향 전달 특성 등으로 인하여 신호가 미약하게 되거나 끊어져서 불연속하게 나타나기도 한다.[4-8]

이러한 선박 방사소음은 선박의 설계와 보수유지, 선박의 진단, 기계설비 모니터링 등에 유용하게 사용된다. 이를 위해 소음원의 정확한 분석이 필요하며, 선박내부에 장착된 장비의 소음/진동에 대한 사전정보와 경험을 바탕으로 작동 정보 파악 등에 응용할 수 있게 된다. 그러기 위해서는 먼저 선박의 방사소음에 기초하여 소음원을 분류/식별하는 과정이 선행되어야 한다.[2-3]

본 논문에서는 여러 형태의 특정신호로 나타내어지는 선박 수중방사소음의 발생기원을 효율적으로 분류하기 위해서 Tonal 추출 및 추출된 Tonal 신호의 발생기원이 속력 종속인지 속력 비종속적인지를 자동으로 판별하는 두 가지 알고리즘을 제안하고, 실제 수중에서 측정된 선박소음에 적용하여 제안된 알고리즘이 유용한지에 대해 검토하였다.

II. Tonal 신호 추출

그림 1은 선박으로부터 방사되는 소음을 분석한 예로, 시간에 따른 주파수 스펙트럼의 변화를 나타낸 것으로 LOFAR그램이라 불리는 것이다. 그림에서 세로로 선들로 나타나는 부분은 Tonal 신호인 극대점으로 주위보다 높은 진폭을 가진다. Tonal 신호 추출에는 다음의 두 과정을 거쳤다. 먼저 극대점을 추출하고, 그 다음 신호의 크기가 주어진 임계값을 넘는지를 판단하여 추출하였다.

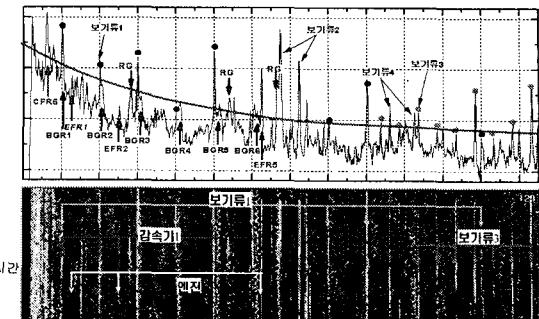


그림 1. 선박 방사소음의 선 스펙트럼과
LOFAR그램의 예

Fig. 1 Example of line spectrum and LOFAR-gram for ship radiated noise

먼저, 각 프레임의 전 주파수 성분에 대하여 인접해 있는 주파수 성분과의 차분 계수를 구하여 극대점 여부를 조사한다. 그림 2에 나타낸 것과 같이, 현재의 주파수 성분 $x(n)$ 과 왼쪽에 인접해 있는 주파수 성분 $x(n-1)$ 과의 차분 계수 Δx_1 는

$$\Delta x_1 = x(n) - x(n-1) \quad (1)$$

로 주어진다. 같은 방법으로 현재의 주파수 성분 $x(n)$ 과 오른쪽에 인접해 있는 주파수 성분 $x(n+1)$ 과의 차분 계수 Δx_2 는

$$\Delta x_2 = x(n+1) - x(n) \quad (2)$$

로 주어진다. 현재의 주파수 성분 $x(n)$ 이 극대점을 가지는 변곡점이라면, Δx_1 는 양(+)의 부호를 가지며, Δx_2 는 음(-)의 부호를 가지게 됨을 알 수 있다. 부호가 양에서 음으로 변하므로 $\Delta x_1 - \Delta x_2$ 를 취하게 되면 극대점을 가지는 변곡점에서는 항상 양의 부호를 가짐을 알 수 있다. 이를 식으로 정리하면,

$$\begin{aligned} \Delta x_1 - \Delta x_2 &= [x(n) - x(n-1)] - [x(n+1) - x(n)] \\ &= -x(n-1) + 2x(n) - x(n+1) \end{aligned} \quad (3)$$

로 주어진다.

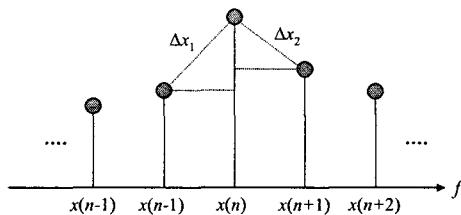


그림 2. 차분 계수에 의한 Tonal 신호의 극대점 추출
Fig. 2 Peak detection of Tonal signal by differential coefficients

현재의 주파수 성분 $x(n)$ 에는 가중치 2를 두고, 좌우 측에 있는 주파수 성분 $x(n-1)$, $x(n+1)$ 에는 각각 가중치 -1을 주고 그 합을 구하여 극대점을 추출하게 된다.

다음으로 추출한 극대점을 Tonal 신호로 인정을 할 수 있는지 없는지를 정하는 그 판단 기준으로 임계값을 도입하였다. Tonal 신호는 주위에 비해 비교적 높은 값을 가지므로 각 단에서의 출력값에 대하여 임계값을 초과하는 값을 Tonal 신호로 간주하고 그 성분만을 추출하였다. 임계값의 기준은 극대값보다 -6dB 낮은 값으로 설정하였다.

III. Tonal 신호 분류

Tonal 신호가 속력 종속 성분인지를 분류하기 위해 임계값을 초과하는, 추출된 각 주파수 성분을 대상으로 재분류 과정을 거친다. 여기서 재분류 과정은 Tonal 신호의 주파수 변화폭이 서로 다른 것에 착안하였다. 즉 속력 종속 성분은 기계류의 부하 상태가 시간에 따라 변화하므로 주파수 변화가 일어난다. 본 연구에서는 신호의 시간에 따른 주파수 변화폭의 관계에서, 중심 주파수에 대한 신호의 통계적인 형태를 바탕으로 두 가지 분류 방법을 도출하였다. 주파수 축에 대한 신호의 가중합을 바탕으로 한 1차원적인 Q factor에 의한 분류 방법이 하나이고, 주파수 축과 시간 축에서의 신호의 분포를 바탕으로 한 2차원적인 신경회로망의 패턴 인식 기법을 이용한 분류 방법을 적용하였다.

1. Q factor에 의한 분류

앞 장에서 구한 임계값을 초과하는 각 주파수 성분을 전 프레임에 걸쳐, 각 주파수별로 나타난 빈도를 계산하

여 주파수별 높이와 폭을 조사하여 두 성분을 분류하는 방식이다. Tonal 신호의 경우, Tonal 중심 주파수에서 주위보다 강한 스펙트럼을 보이므로, 일반적인 공진회로로 취급하여 공진특성의 첨예도를 나타내는 데 사용되는 quality factor Q를 도입하여, 신호의 속력 종속 여부 판단에 적용하였다. Tonal 신호의 특성상 속력 비종속 성분은 주파수 변화폭이 좁고, 속력 종속 성분은 주파수 변화폭이 상대적으로 넓다. 이것을 바탕으로 Tonal 신호의 중심 주파수와 폭으로 Q factor를 계산하여 두 성분을 분류를 하였다. 그림 3은 일반적인 공진회로에서의 주파수대 진폭관계를 나타낸 것이다.

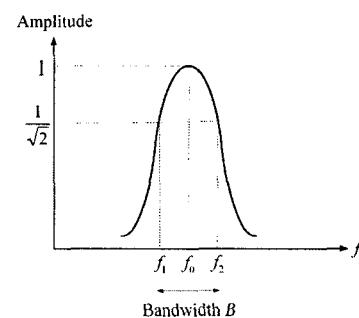


그림 3. 공진회로에서의 주파수대 진폭관계도
Fig. 3 Amplitude versus frequency for the resonant circuit

그림 3에서 f_0 은 공진 주파수, f_1 및 f_2 는 각각 반전력 주파수를 나타낸다. B 는 $f_2 - f_1$ 로 반전력 주파수 대역폭으로 공진 주파수에서의 진폭의 -3dB 되는 주파수 간의 거리를 나타낸다. 공진회로에서 Q factor는 반전력 주파수의 대역폭과 공진 주파수에 의해 다음과 같이 정의된다.[9]

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (4)$$

Q factor는 대역폭과 중심 주파수로 결정되므로, 같은 주파수에서 대역폭이 넓으면 낮은 값으로, 대역폭이 좁으면 높은 값이 된다. 그림 4는 Q factor에 의한 신호 분류가 가능한지 수치 시뮬레이션 한 결과이다. 맨 위의 그림에서 각 신호는 가우시안 분포를 이용하여 그린 것으로, 10 프레임 동안의 주파수 변동 폭은 앞에서부터 0, 1, 2, ...,

7Hz인 신호이다. 이 신호를 각 주파수 영역에서 가산한 신호가 중간의 신호이며, 이 신호의 대역폭을 계산한 결과가 맨 아래의 그림이다. 그 결과를 보게 되면, 주파수 변동 폭이 크면 클수록 가산한 결과가 완만한 곡선을 그리게 되어 대역폭이 그 만큼 넓어지게 된다. 즉, Q factor가 작아짐을 의미한다. 이상의 결과를 바탕으로 속력 종속 성분과 속력 비종속 성분을 적절한 대역폭 값에 의해 분류하게 된다.

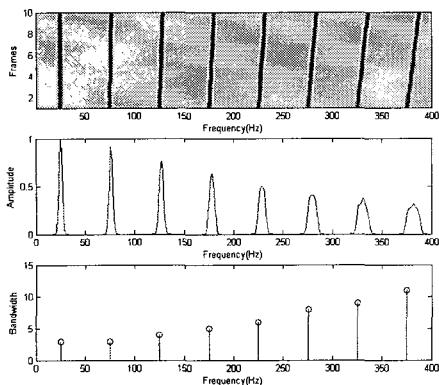


그림 4. 대역폭 계산 예
Fig. 4 Example of the bandwidth calculation

2. 패턴 인식에 의한 분류

그림 5는 속력 종속 성분 또는 속력 비종속 성분 분류를 위해 도입된 신경회로망이다. 이 회로망은 입력층과 출력층 사이에 은닉층이 존재하는 계층구조로써 다중 패

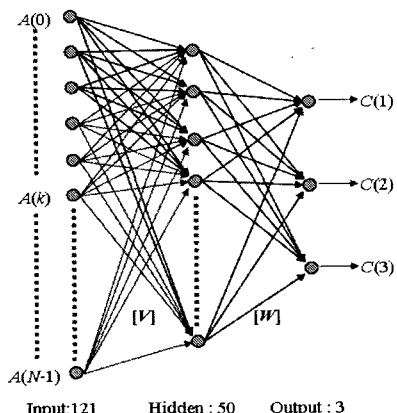


그림 5. Tonal 신호의 속력 종속 또는 속력 비종속 판단을 위한 신경회로망

Fig. 5 Neural network diagram for decision of speed dependant or not of the tonal signal

셉트론의 구조를 이룬다. 패턴 인식 기법을 이용하여, 입력층과 중간층을 연결하는 뉴런들의 연결강도를 학습을 통해 구하며, 학습이 되어진 회로망에 추출된 Tonal 신호의 패턴을 입력시켜 결과 값을 얻는다. 최종적으로 출력되는 기대값은 속력 종속 성분, 속력 비종속 성분, 신호 없음으로 분류하여 각각 C(1), C(2), C(3)로 출력 뉴런을 3개 두었다. 속력 종속 성분의 경우 출력은 1, 0, 0이며, 속력 비종속 성분의 경우 0, 1, 0, 신호 없음의 경우는 0, 0, 1로 나타나게 된다.

그림 6은 속력 종속 성분 또는 속력 비종속 성분 분류 신경회로망에 입력할 기본 입력 패턴을 나타낸 것이다. 학습용 패턴은 2차원이나 입력층의 뉴런은 1차원으로 되어 있으므로 1차원으로 변형시켜 입력을 하며, 각각 11개의 주파수 빈과 11개의 프레임으로 정하여 입력층의 뉴런 수는 121($=11 \times 11$)개, 은닉층의 수는 50개로 구성하였다. 학습 패턴의 구성은 중심 주파수에서 주파수 변화폭을 고려하여 구성하였다. 그림 6(a)의 경우, 왼쪽에서부터 순서대로 주파수 변화폭 1~5Hz인 신호이며, 좌우대칭으로 구성되어 있다. 각 패턴에서 색깔이 있는 픽셀은 값을 1로, 없는 픽셀은 값을 0으로 처리하여 입력한다. 각각의 기본 패턴에서 색깔이 있는 픽셀 수는 총 11개이다. 여기서 패턴 입력시 하나의 픽셀만 남기고 나머지 픽셀은 전부 0으로 처리하여 각각의 기본 패턴은 다시 11개의 패턴으로 나누어져 최종 학습 패턴으로 입력된다. 속력 종속 성분용 110개 패턴(11×10), 속력 비종속 성분 11개 패턴

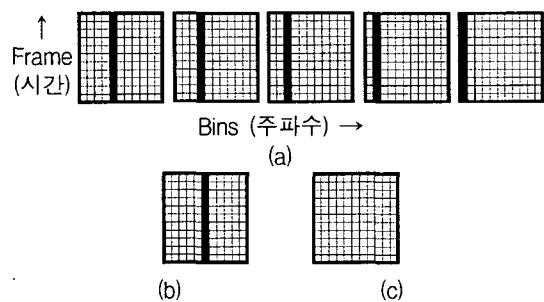


그림 6. Tonal 신호의 속력 종속 또는 속력 비종속 판단을 위한 신경회로망용 기본 학습 패턴

- (a) 속력 종속 성분(좌우대칭) : $44 \times 2 = 88$ 패턴
- (b) 속력 비종속 성분(11패턴), (c) 신호 없음(1패턴)

Fig. 6 Neural network primary learning patterns for decision of speed dependent or not of the tonal signal

- (a) speed dependent : 88 patterns, (b) speed independent : 11 patterns, (c) no signal : 1 pattern

(11×1), 신호 없음에 1개 패턴(1×1)으로 하여, 총 패턴 수는 122개로 구성되어 있다.

IV. 수치 시뮬레이션

이상의 방법을 바탕으로 수치 시뮬레이션을 하기 위해 시험 신호를 그림 7과 같이 속력 종속 성분과 속력 비종속 성분으로 나누어 구성하였다. 속력 비종속 성분은 주파수 변화폭이 전혀 없는 것으로 간주하여 직선으로 구성하였다. 속력 종속 성분은 주파수 변화폭이 각각 1, 2, 3Hz인 것과 신호의 주기가 각각 10, 20, 30프레임인 것으로 가정하여 60프레임 길이의 9개의 신호를 만들었다. 여기에 실제 신호와 유사하게 주위 잡음을 추가하였다. 백색 가우시안 잡음을 각각 0, 20, 40% 정도 부가하여 총 3종류의 시험 신호를 만들었다. 왼쪽에서부터 속력 비종속 성분, 1Hz 30프레임, 2Hz 30프레임, 3Hz 30프레임, 1Hz 20프레임, 2Hz 20프레임, 3Hz 20프레임, 1Hz 10프레임, 2Hz 10프레임, 3Hz 10프레임의 속력 종속 성분들이다.

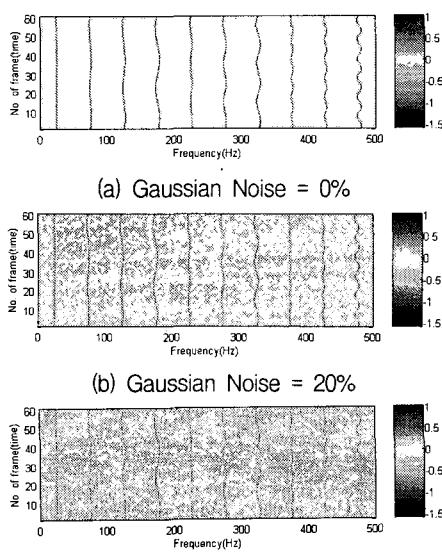


그림 7. Gaussian noise에 따른 시뮬레이션 신호
Fig. 7 Simulation signal according to Gaussian noise ratio

1. 극대점 추출 결과

그림 8은 그림 7의 시험 신호에 극대점 추출을 행한 결과이다. 위에서부터 백색 가우시안 잡음을 0%, 20%, 40% 부가한 신호를 처리한 결과이다.

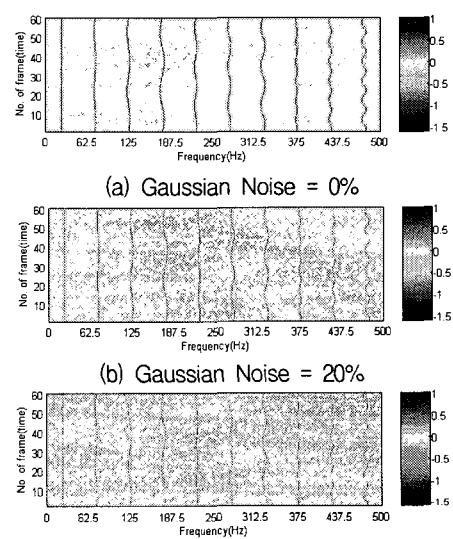


그림 8. Gaussian noise에 따른 극대점 추출 결과 비교
Fig. 8 Results of peak detection according to Gaussian noise ratio

잡음의 비율이 높아짐에 따라 Tonal 신호 이외에도 여러 군데에 극대점이 존재함을 알 수가 있으며, 부가 잡음이 높은 (c)의 경우 더 많은 극대점을 판별할 수 있다.

2. 임계값 초과 성분 추출 결과

그림 9는 임계값을 초과하는 값을 Tonal 신호로 간주하고 그 성분만을 추출한 결과이다. 기술한 바와 같이 임계값은 최대 출력의 $1/2$ 즉 -6dB 로 하여 추출하였다. 원래의 LOFAR 그램과 극대점의 추출된 그림을 각각 비교해 보면, 신호의 성분이 강한 부분이 잘 추출되어 있는 것과 주위의 잡음이 많이 없어져 있는 것을 알 수 있다. 또한 잡음이 높아지면 원래의 Tonal이 아닌 신호 중에서도 임계값을 넘어서 추출되어져 있는 신호도 관찰할 수 있다. 그림 9에서 가로로 그어진 두 실선은 패턴 인식을 위해 사용되는 22프레임의 신호를 나타낸 것이다.

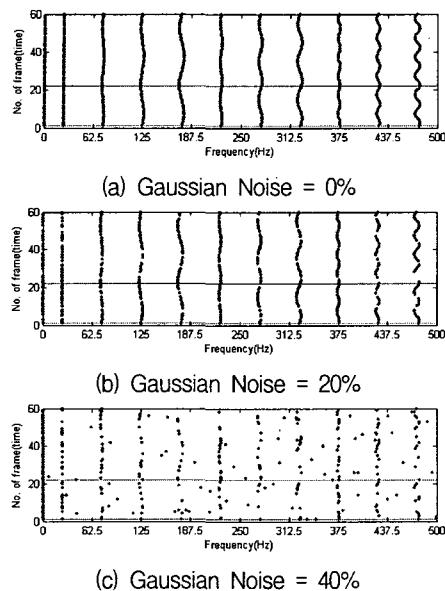


그림 9. 임계값 -6dB 초과 Tonal(주파수선) 검출 결과
Fig. 9 Result of tonal(frequency line) detection over a threshold -6dB

3. Q factor에 의한 분류 결과

그림 10은 그림 9의 결과로부터 속력 종속 성분 또는 속력 비종속 성분 분류를 한 결과로 위에서부터 부가 잡

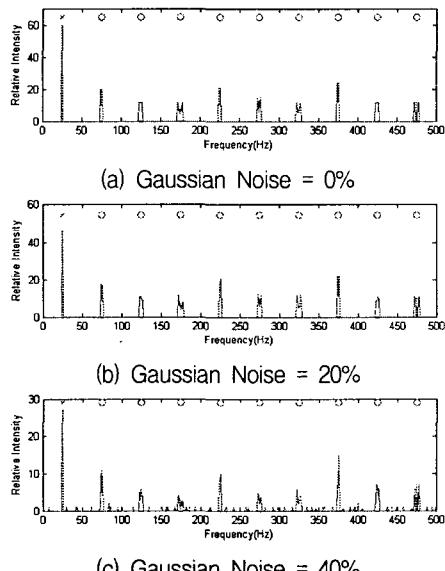


그림 10. Q factor에 의한 Tonal 신호의 분류 결과
Fig. 10 Result of tonal classification applied by Q factor

음 0%, 20%, 40%에 해당한다. 그림에서 속력 종속 성분은 o로 표시되어져 있으며, 비 종속 성분은 x로 표시되어 있다. 분류 결과 전 신호가 원래 예상했던 결과대로 분류가 되어져 있음을 알 수가 있다. 또한 신호의 주파수 변화폭이 크면 클수록 주파수 영역에서 합산된 신호의 폭이 넓어지고, 진폭이 낮아짐을 알 수 있다. 부가 잡음이 높아짐에 따라 Tonal 이외의 신호도 관측되나 주파수 별로 1-2번의 출몰빈도를 가지는 신호는 제외시켰다.

4. 패턴 인식에 의한 분류 결과

그림 11은 패턴 인식 기법을 이용하여 분류를 한 결과로 속력 종속 성분은 0, 1, 0의 출력, 비 종속 성분은 1, 0, 0의 출력, 신호 없음은 0, 0, 1로 표시되어 있다. 왼쪽 위에서부터 오른쪽 아래 순으로 각 신호를 그린 것으로, 부가

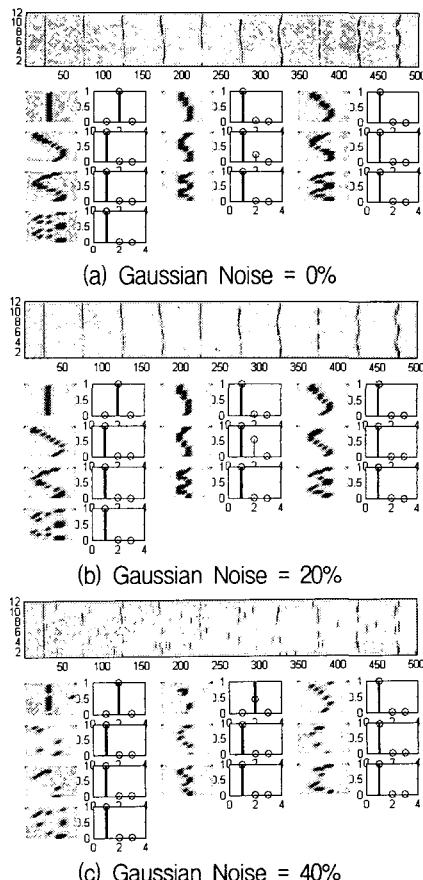


그림 11. 패턴 인식 결과
Fig. 11 Results of pattern recognition

잡음 0% 및 20%의 경우, 모두 정확하게 속력 종속 성분과 속력 비종속 성분을 인식하고 있다. 부가 잡음 40%의 두 번째 신호의 경우는, 신호가 잡음에 의해 불연속점이 많이 생겨 원래의 신호의 형태에서 절반 정도 신호가 소실된 상태로 인식 결과는 속력 종속 성분으로 나와 유일하게 오인식되는 결과를 얻었다.

V. 실제 측정된 신호에 적용한 결과

이상의 수치 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제안된 기법을 실제 측정된 신호에 적용하였다. 사용된 신호의 종류는 각각 다른 선박의 방사소음으로 2가지 신호에 대하여 적용, 검토하였다. 2가지 신호는 편의상 신호 1, 2으로 하여 구분한다.

그림 12, 13은 각각 신호 1, 2에 적용한 결과이며, 위에서부터 (a) 원신호 및 극대점 계산 결과, (b) 임계값 초과 분, (c) Q factor에 의한 신호 분류 결과, (d) 패턴 인식 결과를 나타낸다. (b)에서 가로로 그어진 두 실선은 패턴 인식 용으로 사용된 22프레임의 신호로, 선박이 측정 장소와 가장 근접한 때 측정된 신호이며, Tonal 신호가 가장 많이 나타나는 프레임이다. 각 그림의 (c)의 경우는 속력 종속 성분은 o로 표시되어져 있으며, 비 종속 성분은 x로 표시되어져 있다. 또한 45Hz 미만의 복잡한 신호는 분류는 되어 있으나, 해석에서는 제외를 시켰다.

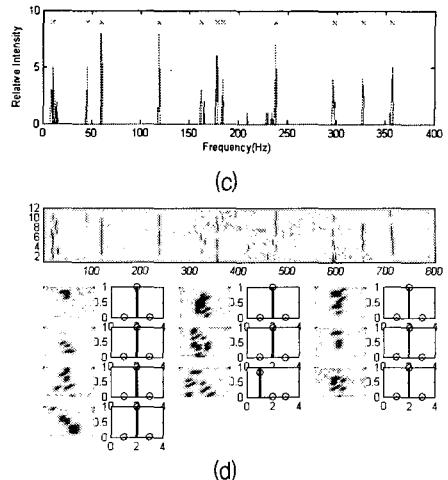
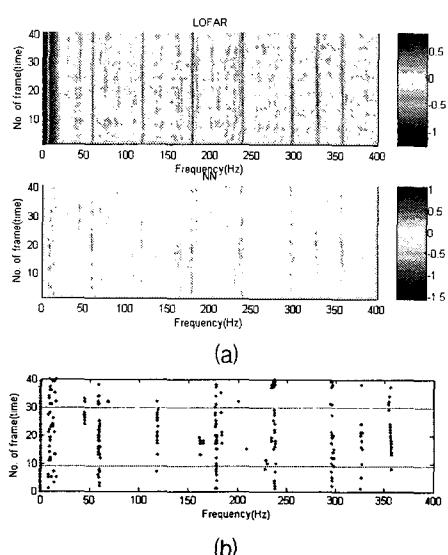


그림 12. 신호 1의 자동 분류 결과

Fig. 12 Results of automatic classification for signal 1

그림 12의 결과를 살펴보면, Q factor에 의한 전체 Tonal 신호의 분류 결과는 속력 비종속 성분으로 나타났다. (a)의 원래 신호 및 (b)의 추출된 신호에서 300Hz 부근의 신호가 시간에 따라 주파수 변동을 하는 곡선처럼 보이지만, 주파수 변동폭이 적은 관계로 전부 속력 비종속 성분으로 분류가 되었으며, 실제로도 60Hz 신호의 고조파 성분으로 속력 비종속 성분으로 분류되어야 하는 신호이나, 패턴 인식의 결과에서는 8번째 신호로 속력 종속 성분으로 잘못 분류되었다.

그림 13의 결과를 살펴보면, 9개의 속력 비종속 성분과 2개의 속력 종속 성분으로 분류가 되었다(45Hz 미만 제외). 200Hz 부근의 신호는 너무 근접하여 있는 관계로 하나의 신호로 분류가 된 부분을 제외하고는 Q factor에 의해 비교적 잘 분류되어 있음을 알 수 있다. 패턴 인식의 결과를 살펴보면, 8번째 신호의 경우 전 프레임에서는 속력 비종속 성분으로 분류가 될 780Hz 신호이지만, 임계값을 초과한 신호의 개수가 너무 적은 관계로 신호 없음으로 분류가 되어 있어 보다 정확한 분류가 된 것으로 판단할 수 있다.

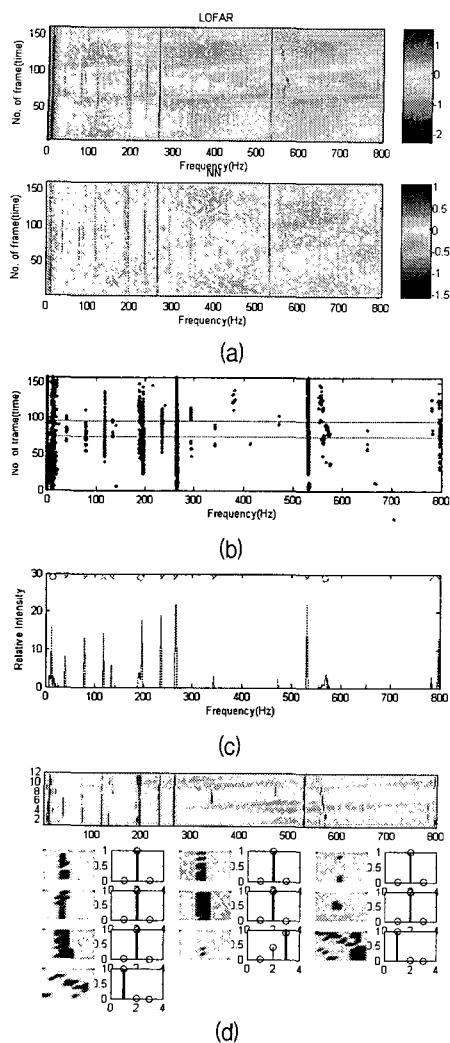


그림 13. 신호 2의 자동 분류 결과
Fig. 13 Results of automatic classification for signal 2

VI. 결 론

본 논문에서는 여러 형태의 특정신호로 나타내어지는 선박 수중방사소음의 발생기원을 효율적으로 분류하기 위해서 Tonal 신호의 추출 및 추출된 Tonal 신호의 발생기원이 속력 종속적인지 속력 비종속적인지를 자동으로 판별하는 알고리즘을 제안하였다.

수치 시뮬레이션을 위해서 속력 종속 성분과 속력 비

종속 성분이 포함된 시험 신호를 구성하였고, 실제 신호와 유사하게 백색 가우시안 잡음을 각각 20%, 40% 정도 부가하여 총 3 종류의 시험 신호를 만들어 테스트하였다. 그 결과, 부가 잡음이 많아질수록 Tonal 신호가 끊어지는 현상이 증가함을 알 수 있었고, 원래의 Tonal이 아닌 신호가 임계값을 넘어서 추출되어지는 현상도 관찰할 수가 있었다. Q factor에 의한 분류 결과는 전체적으로 속력 종속 성분과 속력 비종속 성분을 정확하게 분리할 수 있었다. 패턴 인식의 경우, 한 신호를 잘 못 분리하였다.

수치 시뮬레이션을 바탕으로 실제 수중에서 측정된 선박소음에 적용하여 제안된 알고리즘이 유용한지에 대해 검토하였다. 그 결과, 신호 2의 경우 존재하는 미약한 Tonal을 추출을 못하는 부분과 속력 종속 또는 속력 비종속 분류를 부정확하게 하는 부분이 있었다. 위의 두 경우를 제외하면, 전체적으로 제안한 알고리즘이 Tonal 신호를 추출하고 분류하는 데 매우 효과적임을 알 수 있었다.

앞으로의 과제로는 Tonal의 안정성을 판단하는 것을 실제 측정된 신호로 확대, 적용시켜 Tonal 신호의 자동 분류에 러를 감소시키는 방안과 Tonal의 추출단계에서 최적의 임계값을 정하는 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Thomas L. Hemminger and Yoh Han Pao, "Detection and Classification of Underwater Acoustic Transients Using Neural Networks," IEEE, 5(5), p.712-718, 1994.
- [2] 이필호, 윤종락, 박규칠, 임기현, "선박의 방사소음원 분류를 위한 Tonal 신호 자동인식 기법연구", 2004년도 한국음향학회 춘계학술발표대회, 23(1), p.175-178, 2004.
- [3] Kyu-Chil Park, Jong Rak Yoon and Phil-Ho Lee, "Neural Network Application for Ship Radiated Noise," The 25th Symposium on ULTRASONIC ELECTRONICS, USE2004, p.295-296, 2004.
- [4] R. O.Nielsen, Sonar Signal Processing, Norwood, MA: Artech House, 1991.
- [5] Chun Ru Wan, Joo Thiam Goh and Hong Tat Chee, "Optimal tonal detectors based on the power spectrum," IEEE Journal of Oceanic Engineering, 25(4), p.540-552, 2000.

- [6] Chu Kei Yu and Huang Chia Huang, "Application of Neural Network for Real-time Underwater Signal Classification", Proceedings of the 1998 International Symposium on Underwater Technology, p.253-257, 1998.
- [7] 이성은, 황수복, 남기곤, 김재창, "확장 칼만 필터를 이용한 수중 표적의 불안정 주파수선 추출 기법", 한국 음향학회, 15(6), p.104-109, 1996.
- [8] 이성은, 황수복, "협대역 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출 기법 연구", 한국음향학회지, 19(8), p.78-93, 2000.
- [9] C. K. Alexander and M. N. O. Sadiku, Fundamental of Electric Circuits 2nd Edition, McGRAW HILL, 2003.

저자소개



이 필 호(Phil-Ho Lee)

1985년 인하대학교 해양학과(학사)
1987년 인하대학교 해양학과(석사)
2005년 부경대학교 음향진동공학
과(공학박사)
1990년 ~ 현재 국방과학연구소

※관심분야: 선박방사소음, 표적식별



박 규 칠(Kyu-Chil Park)

1993년 부산수산대학교 전자공학
과(공학박사)
1995년 부산수산대학교 전자공학
과(공학석사)

2000년 일본 오카야마대학 자연과학연구과(공학박사)
2000년 ~ 2002년 일본 아키타현립대학 시스템과학기술
학부 연구원
2002년 ~ 현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
조교수

※관심분야: 음향신호처리, 수치해석, 최적화 및 역문제



윤 종 락(Jong-Rak Yoon)

1977년 부경대학교 어업학과(수산
학사)
1980년 부경대학교 수산물리학과
(수산학석사)

1979년 ~ 1985년 : 국방과학연구소 수중음향 연구실 연
구원
1987년 플로리다 어틀랜틱대학교 해양공학과(공학석사)
1990년 플로리다 어틀랜틱대학교 해양공학과(공학박사)
2004년 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학
부 교수

※관심분야: 음향신호처리, 수중통신 시스템설계, 수중
음향