

## 기동함정의 소음분석 및 유사 방사음 발생기의 설계

### Analysis of the noises of maneuvering vessels and design of systems which can generate asymptotic noises

윤 병 우\*, 송 종 관\*, 신 종 욱\*  
Byung-woo Yoon\*, Jongkwan Song\*, Jonguk Shin\*

#### 요 약

기동하는 잠수함이나 함정 등의 방사 소음 특성은 톤 신호와 광대역 배경잡음으로 구분된다. 톤 신호는 함정의 모터나 엔진의 회전 등으로 인한 것이고, 배경잡음은 기동시 일어나는 함정 주변의 기포들의 발생과 소멸로 인한 것이다. 본 연구에서는 ATW 알고리즘을 이용하여 수중 기동함정의 방사소음을 분석한다. 또한 분석한 소음을 바탕으로 힐버트 변환을 이용하여 광대역 유사 잡음을 발생시킬 수 있는 시스템을 설계하고 분석한 톤 신호를 합성함으로써 유사 방사 잡음 발생 시스템을 설계한다. 이 시스템은 현장 기동함정과 유사한 소음을 발생시키게 함으로써 적으로부터 아군의 함정이 노출되었을 때 기만기로 사용함으로써 적의 어뢰 등의 공격을 피할 수 있는 시스템으로 활용할 수 있을 것이다.

#### ABSTRACT

The noise characteristics of the submarines and vessels are composed of tonal signals and background noises. Tonal signals are from the revolution of the motors or engines, and background noises are from the generation and disappearing of the bubbles around the vessels. We analyze the noises from maneuvering underwater vessels with ATW algorithm. We design broadband asymptotic noise generator using Hilbert transform and design the system which can generate asymptotic noise with sum of generated background noise and synthesized tonal signals. This system can be used as a cheating system from the torpedo attacks.

**Key words** : Sonar, DOA, Ambient noise, ATW algorithm

#### I. 서 론

공간이나 수중에 존재하는 신호원의 위치, 거리, 이동 방향, 속도 등을 추정하는 것은 레이더나 소나 시스템 등에서 매우 중요하다. 수중에서는 음파만이 신호 전달의 유일한 수단[1]이므로 주로 소나를 이용하여 통신을 하거나 표적에 대한 정보를 알아낸다. 소나[2]란 수중 음향을 이용하여 바다에서 표적의 위치, 성질 등을 측정하는 방법이나 장비를 말하는데 능동소나와 수동소나로 구분할 수가 있다. 능동소나는 음향신호를 송신하고 표적으로부터 반사된 신호를 수신하여 표적을 탐

색하고 추정하는 것을 말하고, 수동소나는 표적 자체에서 방사되는 소음을 이용하여 표적을 탐색하고 추정하는 방법을 말한다. 따라서 수동소나는 주로 방어적 목적으로 많이 이용되고 능동소나는 공격적 목적으로 많이 사용된다.

함정이나 잠수함 등이 기동을 하면 불가피하게 여러 가지 요인에 의한 음향 에너지를 방사하게 되는데 이러한 음향을 감지하여 분석하면 표적에 대한 여러 가지 정보를 알아낼 수 있다[3]. 또한 분석된 자료를 바탕으로 유사 방사음을 합성할 수 있는 시스템을 만들 수 있다면 상대방을 현혹시키거나, 음파를 추적하여 유도되는 어뢰로부터 공격을 피할 수가 있다.

본 연구에서는 자동추적 윈도우 알고리즘[5]을 이용하여 함정의 소음을 분석하여 광대역 잡음과 톤 성분으로 분리한 후 기동중의 임의의 함정에서 발생하는 소음과 유사한 신호 발생기를 설계한다.

\*경성대학교 전기전자컴퓨터공학부

접수 일자 : 2003. 11. 06      수정 완료 : 2004. 4. 09

논문 번호 : 2003-4-22

\*본 논문은 2004년도 경성대학교 학술지원연구비에 의하여 연구되었음.

## II. 기동함정의 방사소음 분석

수중기동함정의 방사소음을 채취하기 위해서는 먼저 그림 1과 같이 배열안테나(하이드로폰 센서)를 이용하여 함정의 위치에 대한 방위각을 추정한 후, 그 방향으로 안테나의 빔을 형성하여 데이터를 채취한다. 함정이나 잠수함이 기동할 때 방사되는 잡음은 주추진기관에 의한 소음, 보조기계 소음, 캐비테이션 소음, 유체역학적 소음 등으로 대별할 수 있다. 주 추진기관과 보조기계 소음은 불연속우세주파수 성분들로 이루어진 토날 성분으로 나타나고, 캐비테이션 소음은 프로펠러가 회전할 때 기포의 생성과 소멸로 인한 광대역 잡음으로 나타난다. 이 때 표적의 방위각을 추정하기 위해서 방사소음의 토날 신호 중 세력이 가장 강한 신호를 찾고 이것을 이용하여, ATW 전처리 알고리즘[5]을 이용하여 각 안테나의 위상지연에 대한 공간주파수를 찾아내면 표적의 방위각을 추정할 수 있다. 이 와 같이 방위각을 추정하고 그림 1과 같이 각 센서에 입력된 신호에 지연(delay)  $\delta$ 를 적절히 조정하면 방위각  $\theta$ 에 대하여 모든 센서에서 유기된 신호의 위상을 일치(in-phase)시킬 수 있다. 따라서 신호  $y[n]$ 의 신호 성분 세기는 센서의 개수  $N$ 에 비례하여 증가하며, 상대적으로 불규칙한 위상관계를 가지는 각 센서의 잡음 성분은 감소되므로 신호대 잡음비를 개선할 수 있다. 이 때 각 센서에 대한 시간지연  $\delta$ 는 다음과 같다.

$$\delta = \frac{d \sin \theta}{c} \quad (1)$$

여기서  $c$ 는 수중에서의 음속을 나타내고  $d$ 는 센서간의 거리,  $\theta$ 는 입사각을 나타낸다.

빔 형성기의 출력  $y[n]$ 은 다수의 토날 성분과 광대역 배경잡음으로 이루어진 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y[n] = \sum_{i=1}^L A_i \cos(\Omega_i n + \Phi_i) + w[n] \quad (2)$$

여기서  $A_i$ ,  $\Omega_i$ ,  $\Phi_i$ 는 각각  $i$ 번째 토날 신호의 진폭,

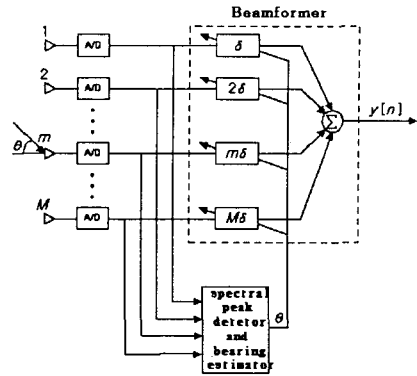


그림 1. 방위각 추정기와 빔형성기의 구조  
Fig. 1. Structure of the DOA estimator and the Beamformer.

디지털 주파수, 위상을 나타내고  $w[n]$ 은 광대역 잡음을 나타낸다. 수중기동표적에서 발생하는 방사잡음은 저주파 대역에서는 비교적 균일한 분포를 갖는 반면 고주파 대역에서는 감소하는 경향이 있다. 따라서 표적 식별을 위하여 방사잡음으로부터 협대역의 토날 성분을 추출하기는 어렵다. 또한 많은 토날 신호가 조밀하게 분포되어 있으면 인접한 성분에 편의가 생긴다. 그래서 본 연구에서는 주파수대역을 몇 개의 채널로 분리하고 각 채널에 대해 독립적인 ATW를 형성하는 방법을 사용하였다.

그림 2는 방사소음 분석의 흐름도이다. 먼저 A/D변환기로 신호를 채취하고 FFT를 함으로써 방사소음의 주파수 특성을 구하는데, 여러 번의 시행으로 평균을 취함으로써 보다 정확한 방사소음의 주파수특성을 얻는다. 그리고 방사소음의 스펙트럼을 몇 개의 채널로 분리하여 각 채널에 대하여 독립적으로 ATW를 취하여 토날 성분과 배경잡음을 분리한다. 배경잡음의 스펙트럼은 포락선이 중요하므로 토날 성분과 분리된 배경잡음을 부분선형화 함으로써 배경잡음의 포락선을 구한다.

## III. 유사 방사소음 합성기의 설계

표적의 방사소음과 유사한 신호를 발생시킬 수 있는 시스템을 설계하기 위하여 먼저 분석 과정에서 찾아낸 배경잡음의 포락선과 유사한 잡음을 발생시킬 수 있는 FIR 필터를 설계하고, 이 필터에 백색잡음을 입력시켜서 방사소음의 배경잡음과 특성이 유사한 잡음을 발생시킨다. 또한 ATW 알고리즘을 이용하여 분리해 놓은 토날 신호와 필터를 이용하여 발생시킨 잡음을 합성함으로써 방사소음과 유사한 소음을 발생시킬 수 있다.

모든 신호함수는 우함수와 기함수의 합으로 나타낼 수 있는데, 힐버트(Hilbert)변환 관계식을 이용하면 그 신호의 우함수 부나 기함수 부 중 어느 하나만 알면 다른 하나를 구할 수 있다[6]. 따라서 어떤 신호의 우함수나 기함

수 중 하나를 알면 원래 신호를 복구할 수가 있다. 즉 어떤 신호함수를  $h[n]$ 이라 하면 이것은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h[n] = h_e[n] + h_o[n] \quad (3)$$

여기서  $h_e[n]$ 과  $h_o[n]$ 은 각각  $h[n]$ 의 우함수 부와 기함수 부를 나타낸다.

그리고  $u_+[n]$ 을

$$u_+[n] = \begin{cases} 2, & n > 0 \\ 1, & n = 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases} \quad (4)$$

로 정의하면

$$\begin{aligned} h[n] &= h_e[n]u_+[n] \\ &= h_o[n]u_+[n] + h[0]\delta[n] \end{aligned} \quad (5)$$

으로 나타낼 수 있다. 또 모든 신호의 우함수의 푸리에 변환은 원신호의 푸리에 변환 중 실수부에 해당하고 기함수의 푸리에 변환은 허수부에 해당하므로 어떤 신호의 푸리에 변환의 실수부와 허수부 사이에는 힐버트 변환 관계에 있다.

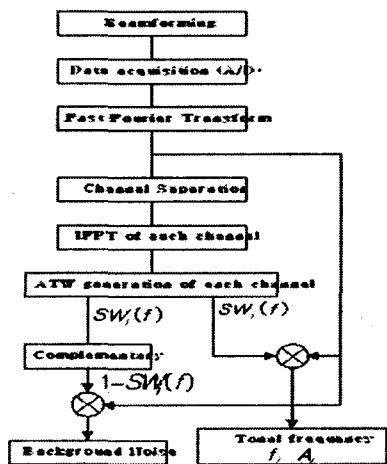


그림 2. 방사소음 분석 흐름도

Fig. 2. Flow diagram for the analysis of the emitting noise.

또한 주기가 N인 어떤 주기함수를  $\tilde{h}[n]$ 이라고 하면 이것은 식(3)과 비슷하게 주기함수에 대한 우함수와 기함수로 나타내어진다. 이 때 인과성이 성립하는 주기함수에 대해  $\tilde{u}_N[n]$ 을

$$\tilde{u}_N[n] = \begin{cases} 1, & n = 0, N/2 \\ 2, & n = 1, 2, \dots, (N/2-1) \\ 0, & n = (N/2+1), \dots, (N-1) \end{cases} \quad (6)$$

로 정의하면

$$\begin{aligned} \tilde{h}[n] &= \tilde{h}_e[n] \tilde{u}_N[n] \\ &= \tilde{h}_o[n] u_N[n] + h[0]\delta[n] \\ &\quad + h[N/2]\delta[n - N/2] \end{aligned} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $\tilde{h}_e[n]$ 과  $\tilde{h}_o[n]$ 은 각각  $\tilde{h}[n]$ 의 우함수와 기함수를 나타내고  $\delta[n]$ 은 델타함수를 나타낸다. 식 (7)에 나타난 바와 같이 주기함수의 우함수나 기함수를 알고 있으면 원래 함수를 복원할 수 있다. 어떤 시스템의 전달함수에 대한 푸리에 변환이

$$H[\Omega] = |h_e[n]u_+[n]| e^{j \arg[H(\Omega)]} \quad (8)$$

와 같다고 가정하자. 이 때 식(8)의 양변에 로그를 취한 것을  $\hat{H}[\Omega]$ 라고 하면

$$\hat{H}[\Omega] = \log[H(\Omega)] = \log|H(\Omega)| + j \arg[H(\Omega)] \quad (9)$$

이다. 그런데  $\hat{H}[\Omega]$ 을  $\tilde{h}[n]$ 의 DFT라고 가정하면  $\log|H(\Omega)|$ 와  $\arg[H(\Omega)]$ 사이에는 힐버트 변환 관계에 있으므로 전달함수의 진폭의 로그값이나 위상 특성 중 하나를 알면 다른 하나를 구할 수 있다. 따라서 힐버트 변환을 이용하면 백색 잡음을 입력으로 하여 분석한 배경 잡음과 유사한 포락선을 이용하면 백색 잡음을 입력으로 하여 분석한 배경 잡음과 유사한 포락선을 갖는 잡음을 생성할 수 있는 필터를 설계할 수 있다. 설계한 광대역 잡음 생성 필터의 출력과 분석한 토날 성분의 신호를 그림3과 같이 합성하면 분석해 놓은 방사 소음과 유사한 신호 합성기를 설계할 수 있다. 여기서 토날 신호는 분석해 놓은 신호의 주파수와 진폭 정보를 이용하여 발생시킬 수도 있고, 분석한 토날 신호들에 대한 LP계수를 구하여 그 계수를 이용한 필터에 백색 잡음을 입력시킴으로써 발생시킬 수도 있다.

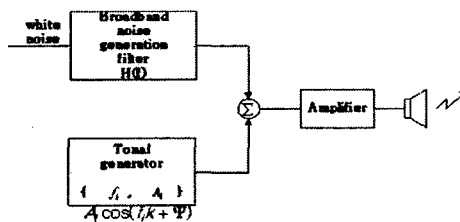


그림 3. 방사음 합성기의 구성도.

Fig. 3. Structure of the emitting noise synthesizer.

IV. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서는 A/D 변환기를 이용하여 실제 합정의 방사 소음을 4 KHz의 샘플링 주파수로 채취하여 실험 데이터로 사용하였다. 이 때 1024 포인트씩을 한 프레임으로 하여 신호의 스펙트럼을 분석하였으며, 10 프레임의 스펙트럼을 평균하여 표적 방사 소음의 스펙트럼을 구하였다. 또한 배경 잡음과 톤 성분만을 분리하기 위하여 전체 주파수대역을 여러 개의 채널로 분리하고, 분리된 각 채널에 대하여 독립적으로 ATW를 형성한 후 이들을 종합하여 전체 ATW를 형성하였다. 그리고 형성된 ATW를 이용하여 톤 성분과 배경 잡음을 분리하고, 분리된 배경 잡음에 대해 부분 선형화를 함으로써 광대역 배경 잡음의 포락선을 구하였다. 또한 분석한 표적의 방사 소음과 유사한 소음을 발생시킬 수 있는 시스템을 설계하기 위하여 힐버트 변환을 이용하여 256차의 비순환(FIR) 필터를 설계한 후 분산이 1인 백색 잡음을 입력시켜 광대역 잡음을 출력으로 얻었다. 또한 이 필터의 출력과 ATW 알고리즘을 이용해 추출한 톤 신호를 합성함으로써 기동 합정의 방사 소음과 유사한 소음을 발생시키는 시스템을 설계하였다.

그림 4는 톤신호가 강한 경우에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과로, 전체 스펙트럼을 16개의 채널로 분리하고 4 포인트로 부분선형화를 하였고 수정된 Hann 창함수를 이용하고  $\alpha$ 와  $\gamma$ 를 모두 0.5로 하였을 경우이다. 또한 그림 5는 톤신호와 배경 잡음의 전력이 비슷한 경우로, 전체 스펙트럼을 8개의 채널로 분리하고 부분 선형화는 6포인트 씩으로 하였으며 Hann 창함수를 이용하여  $\alpha$ 는 0.5,  $\gamma$ 는 0.3으로 한 경우이다.

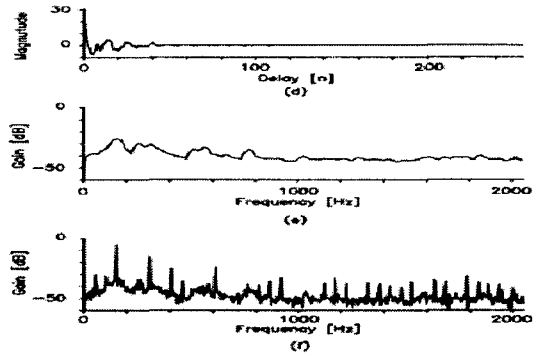
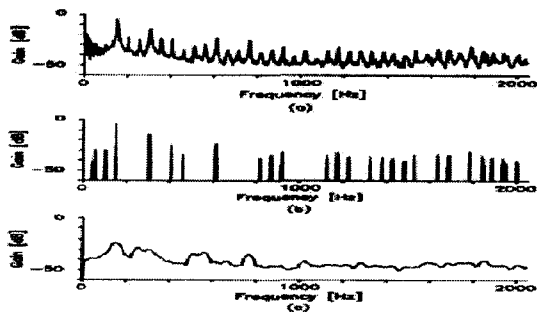


그림 4. 톤신호가 배경잡음보다 훨씬 강한 경우.

- (a) 방사소음의 스펙트럼 (b)분리된 톤신호
- (c)배경잡음의 포락선 스펙트럼
- (d)설계된 필터의 충격응답 (e)잡음생성 필터 출력의 스펙트럼 (f)합성된 방사소음의 스펙트럼.

Fig. 4. When the tonal signal is much stronger than the ambient noise.

- (a) the spectrum of the emitting noise, (b) separated tonal signal, (c) envelope spectrum of the ambient noise,
- (d) the impulse response of the designed filter, (e) the output spectrum of noise generation filter, (f) the synthesized spectrum for the emitting noise.

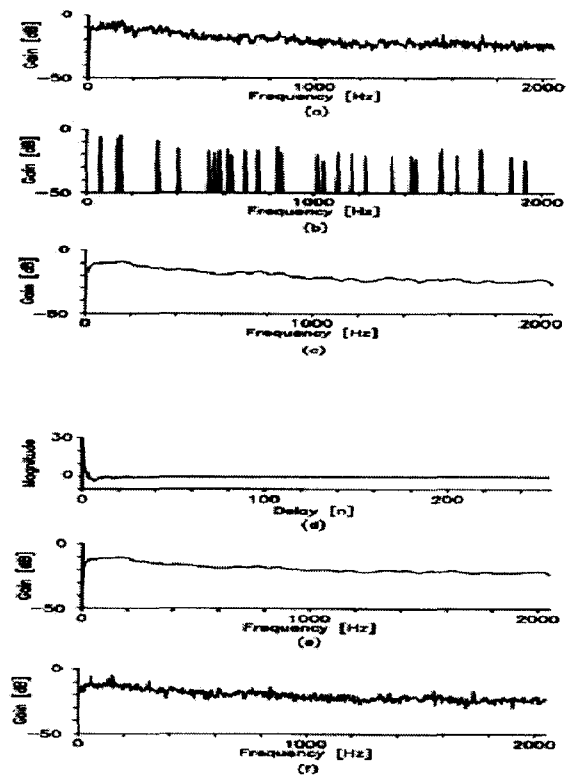


그림 5. 톤 신호와 배경잡음의 전력이 비슷한 경우

- (a) 방사소음의 스펙트럼 (b) 분리된 톤 신호
- (c) 배경잡음의 포락선 스펙트럼
- (d) 설계된 필터의 충격응답 (e) 잡음생성 필터 출력의 스펙트럼 (f) 합성된 방사소음의 스펙트럼.

Fig. 5. When the power of tonal signal and ambient noise are similar.

- (a) the spectrum of the emitting noise, (b) separated tonal signal, (c) envelope spectrum of the ambient noise, (d) the impulse response of the designed filter, (e) the output spectrum of noise generation filter, (f) the synthesized spectrum for the emitting noise.

### V. 결 론

본 연구에서는 잠수함이나 함정이 기동할 때 방사되는 소음과 유사한 방사 소음을 발생할 수 있는 시스템을 설계하기 위하여 실제 함정의 방사음을 A/D 변환기를 이용하여 채취하고, ATW 알고리즘을 이용하여 톤성분과 광대역 잡음을 분리하였다. 그리고 힐버트 변환을 이용하여 분석된 광대역 배경 잡음과 유사한 잡음을 생성시킬 수 있는 비순환 필터를 설계한 후, 분산이 1인 백색 잡음을 입력하여 광대역 잡음을 발생시킨 후 톤신호정보를 합성함으로써 기동시의 함정에서 발생하는 소음과 유사한 신호를 합성할 수 있는 시스템을 설계하였다. 이 시스템은 적함에 대한 기동훈련이나 아함이 어뢰의 공격으로부터 위협을 받을 때 아군 함정의 방사 소음과 유사한 방사음을 내는 시스템을 만들어 띄우고 아군 함정은 잠수를 함으로써 어뢰의 공격에 대해 기만을 할 수 있는 기만 시스템으로 사용할 수 있을 것으로 생각한다.

### 참고 문헌

1. W. S. Burdic, Underwater Acoustic System Analysis, Prentice-Hall, Inc., 1984.
2. W. C. Knight, R. G. Pridham, and S. M. Kay, "Digital Signal Processing for Sonar," Proc. IEEE, vol. 69, no.11, November 1981
3. M. A. Deaett, Signature Modeling for Acoustic Trainer Synthesis, IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. OE-12, no.1, January 1987.
4. 윤병우, 신유기, "자동추적윈도우를 이용한 방위각 추정 알고리즘의 개선에 관하여," 대한전자공학회 논문집, 제 27권 12호, 1990년 12월
5. 윤병우, 신유기, 성평모, "등화기를 이용한 천해에서의 수중통신," 한국음향학회논문집, 제8권3호, 1988년 8월.
6. A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, Digital Signal Processing, Prentice-Hall, Inc., 1975.
7. R. J. Urick, "Principles of Underwater Sound,

McGraw-Hill, 1975.

8. R. O. Nielsen, Soanr Signal Processing, Artech House, 1991.
9. Y. Bar-Shalom and X. R. Li, Estimation and Tracking : Principles, Techniques, and Software, Artech House, 1993.



윤 병 우(Byung-Woo Yoon)

1987년 부산대학교 전자공학과 공학사  
 1989년 부산대학교 전자공학과 공학석사  
 1992년 부산대학교 전자공학과 공학박사  
 1993년~1995년 한국전자통신연구원 선임 연구원  
 1995년~현재 경성대학교 전기전자·컴퓨터 공학부 부교수

관심분야 : 배열안테나, 적응신호처리, 음성신호처리, VLSI 설계 등



송 종 관(Jongkwan Song)

1989년 2월 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사).  
 1991년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학 석사).  
 1995년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학 박사).

1995년~1997년 한국이동통신(현 SK Telecom) 중앙연구소 선임연구원으로 근무.

1997년 이후 경성대학교 전기전자 컴퓨터공학부 부교수로 재직.

관심 분야 : 영상처리 및 통신 등임



신 종 욱(Jonguk Shin)

2002년 8월 경성대학교 전기전자공학과 졸업(공학사)

2003년 2월 ~ 현재 경성대학교 대학원 전기전자공학과 재학중

관심분야 : 영상처리, VLSI 설계 등임