

# DIFAR Sonobuoy의 시간영역에서의 음원 방향 추정

김정화\*, 이백열\*, 배현기\*, 박순종\*, 김천덕\*\*, 임정빈\*\*\*, 이영욱\*\*\*\*

\*부경대학교 대학원, \*\*공과대학 전기제어계측공학부, \*\*\*목포해양대 해양운송시스템학부, \*\*\*\*(주)넥센

## The Estimaion of Sound source of DIFAR Sonobuoy in Time Domain

Jung-Hwa Kim\*, Baek-Lyeol Lee\*, Hyeon-Gee Bae\*, Soon-Jong Park\*  
Chun-Duck Kim\*\*, Jung-Bin Lim\*\*\*, Yung-Yook Lee\*\*\*\*

\*Graduate School Pukyong National Univ.

\*\*Div. of Electrical and Control Eng. Pukyong National Univ.

\*\*\*Div. of Maritime Transportation System Mokpo National Maritime Univ.

\*\*\*\*NEXEN Co.

### 요 약

시간영역에서의 음원 방향 추정 알고리즘을 이용하여 수동형 DIFAR Sonobuoy 의 도래각 추정 성능 평가 시스템을 구성하고 추정 오차에 대하여 고찰하였다.

일반 실내에서 음원주파수  $f_0$  (700Hz ~ 1.7kHz) 로 입사하는 음원에 대하여 도래각을 추정한 결과 한 주기 당 한계  $\pm 10^\circ$  이내로 약 80% 이상 추정 결과로 나타났으며 특히, 1.7kHz 의 경우는  $\pm 2.97^\circ$  로 적은 오차를 보임에 따라 이 대역에서의 기준 주파수로 평가 시스템에 적용할 수 있음을 확인하였다.

관한 성능 평가는 직접 해상에 투하하여 항공기의 전시기상에서 평가하는 다소 복잡하고 불편한 과정을 거치고 있다.

본 논문에서는 생산단계에서 사용할 수 있는 도래각 추정 성능 평가 시스템을 구성하기 위하여 시간영역 및 주파수 영역에서 사용되고 있는 여러 가지 도래각 추정 알고리즘 중 간편하게 이용 가능한 Delay-and-Sum Beamforming 기법을 적용하고[3,4], 일반 실내에서 임의의 주파수를 가지고 입사되는 음향 신호의 도래각을 추정하여 시스템의 도래각 추정 오차의 기준을 작성하고자 한다.

### I. 서 론

최근 수중 음향 정보의 탐지는 군사적인 목적 뿐 아니라 자질탐사나 해양동물의 관찰 등의 과학적인 분야에서 넓게 이용되고 있다.

수중음향 탐지기에 있어 소노부이(Sonobuoy)는 항공기에 의해 해상에 투하되어 수신된 신호를 무선 중계하여 음원의 위치정보를 얻는 시스템으로 비교적 가격이 싸고 신속히 음원에 가까이 위치시킬 수 있다는 장점을 가진다[1]. 하지만 이러한 소노부이의 도래각 추정

### II. 방향 추정 시스템

그림 1은 DIFAR Sonobuoy 의 hydrophone의 배치도를 간략히 도시화한 것이다. 중심(원점)에 무지향 hydrophone이 위치하고, 이를 기준으로 상하 좌우  $d/2$  의 간격으로 지향성 hydrophone이 대칭으로 배치되어 있다. Ch.A는 hydrophone  $A_1$ 과  $A_2$ 로 수신된 신호의 출력이고, hydrophone  $B_1$ 과  $B_2$ 의 신호는 Ch.B로 출력된다.  $A_1$ 과  $B_1$ 에 접지가 연결되어 있다.

임의의 도래각  $\alpha$ 를 가지는 음향신호에 대한 각 센서의 출력은 다음의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

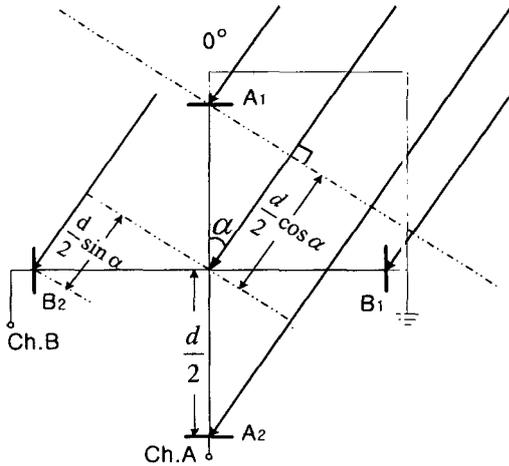


그림 1. hydrophone의 배치도

$$\begin{cases} V_{\max} e^{j\omega t} e^{-jkr} & : \text{무지향} \\ V_{\max} e^{j\omega t} e^{-jk(r - d/2 \cos \alpha)} & : A_1 \\ V_{\max} e^{j\omega t} e^{-jk(r + d/2 \cos \alpha)} & : A_2 \\ V_{\max} e^{j\omega t} e^{-jk(r + d/2 \sin \alpha)} & : B_1 \\ V_{\max} e^{j\omega t} e^{-jk(r - d/2 \sin \alpha)} & : B_2 \end{cases} \quad (1)$$

여기에서  $r$ 은 음원에서 무지향성 hydrophone 까지의 거리이다. 무지향 신호를 기준으로  $A_1$ 의 신호는  $-d/2 \cos \alpha$  만큼,  $A_2$ 의 신호는  $+d/2 \cos \alpha$ 의 위상차가 생기고,  $B_1, B_2$ 의 신호는  $\pm d/2 \sin \alpha$ 의 위상차가 발생하게 된다.

한편 Ch.A와 B의 출력은 식 (2)와 같다.

$$\begin{cases} j2V_{\max} e^{j\omega t} e^{-jkr} \sin\left(k \frac{d}{2} \cos \alpha\right) & : \text{ChA} \\ j2V_{\max} e^{j\omega t} e^{-jkr} \sin\left(k \frac{d}{2} \sin \alpha\right) & : \text{ChB} \end{cases} \quad (2)$$

여기에서 도래각  $\alpha$ 를 포함하는 항만을 구하기 위하여 각 Ch.A, B의 출력에 무지향 센서의 출력을 각각 나누어 최종적으로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin^{-1}\left(k \frac{d}{2} \sin \alpha\right)}{\sin^{-1}\left(k \frac{d}{2} \cos \alpha\right)} \right\} \quad (3)$$

그림 2는 식 (1)~(3)에서 설명한 음향 신호의 도래각 추정 알고리즘을 사용하여 센서의 도래각 추정 성능 평가를 하기 위한 실험 장치도를 나타낸다.

음향신호의 도래각을 변화시키기 위하여 입사되는 음

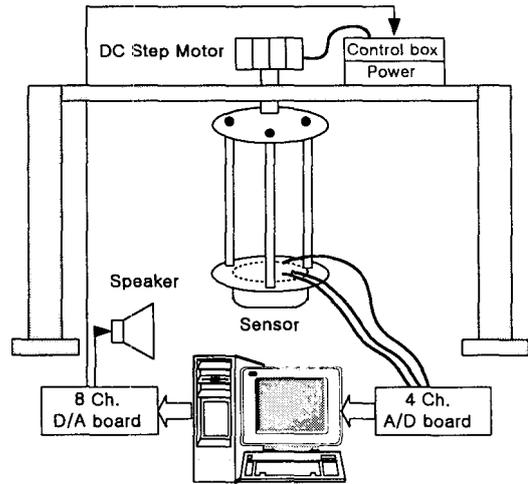


그림 2. 실험 장치도

향 신호의 위치를 변화시켜야 하지만 편의상 중심의 Sonobuoy를 회전시켜 도래각을 변화시킨다.

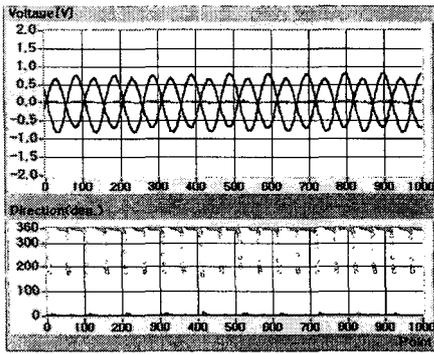
먼저 음향 신호의 도래각을 일정하게 변화시키기 위해 DC Step Motor를 사용하였고, 이를 제어하기 위해 D/A 보드에서 원하는 각도만큼의 신호를 출력하여 Motor를 제어하게 된다. 방사되는 일정 주파수의 음향 신호 또한 D/A 보드에서 사용하고자 하는 주파수 신호로 제어하게 된다.

제어 장치에서 일정 각도로 신호를 받을 센서를 위치시킨 후, 스피커를 통해 정현파의 신호를 방사시키고 지향 채널 두 개와 무지향 채널 하나에서 받은 신호를 A/D 보드에 연결시켜 센서로부터의 신호를 입력받게 된다. 이 때 A/D의 샘플링 주파수는 정현파 신호 주파수의 100배이다. 위와 같은 평가 시스템을 운용하기 위하여 A/D와 D/A 보드의 시스템 제어 및 A/D 한 신호로부터 도래각 추정을 위한 알고리즘 구성에 사용된 소프트웨어는 LabVIEW[5]를 이용하였으며 총괄적인 제어 및 전사가 가능하도록 구성하였다.

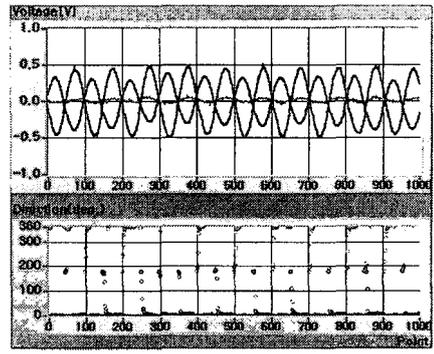
### III. 실험 결과

그림 3은 앞 절에서 설명한 도래각 추정 평가 시스템을 이용하여 음향 신호의 주파수  $f_0$ 를  $1.7kHz$ 로 하여 소음 레벨  $45.8dB$ 의 일반 실내에서 음원 도래각을 추정한 결과로써 대표적인 것을 나타내었다.

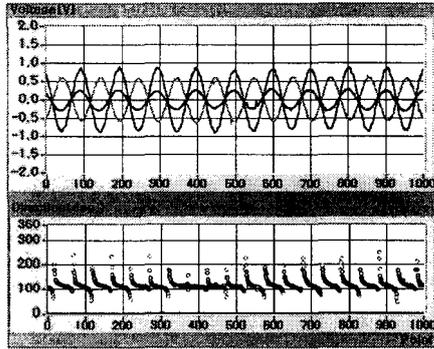
그림 3-(a)의 음원 도래각이  $0^\circ$ 인 경우는 음원 방향이 Ch.A에 정방향으로 입사되어 Ch.A의 센서는 가장 크게 신호를 입력받게 되고, 반면 Ch.B에서는 거의 신호를 받을 수 없어 0에 가깝게 나타난다. 또한 무지향 신호와는  $180^\circ$ 의 위상차를 보이고 있다. 그 결



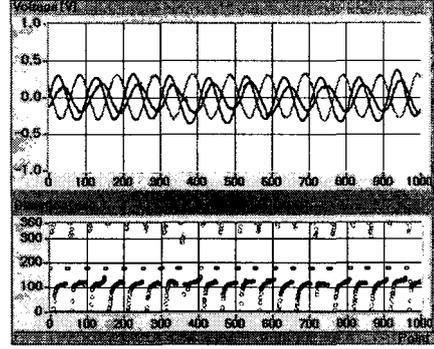
(a) 0 °



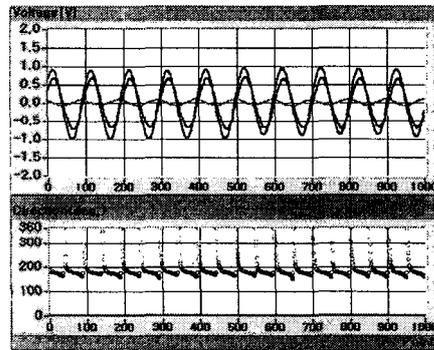
(a) 0 °



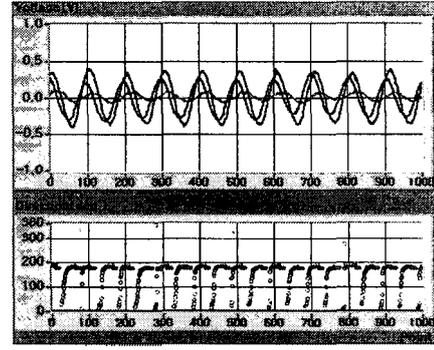
(b) 120 °



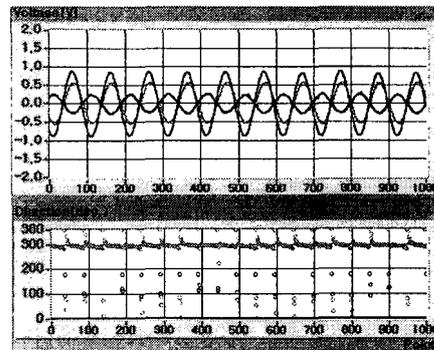
(b) 120 °



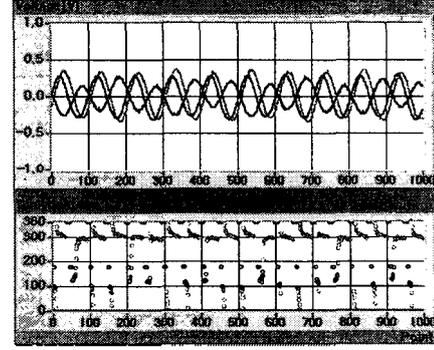
(c) 180 °



(c) 180 °



(d) 300 °



(d) 300 °

그림 3. 음원 방향 추정 ( $f_o = 1.7kHz$ )

그림 4. 음원 방향 추정 ( $f_o = 700Hz$ )

표 1. 방향 추정 및 오차

음원방향	0 °	30 °	60 °	90 °	120 °	150 °	180 °	210 °	240 °	270 °	300 °	330 °
추정각도 (1.7kHz)	-3.42	31.31	57.09	86.13	117.08	149.70	183.01	209.40	234.23	261.50	297.50	330.65
오 차	-3.42	+1.31	-2.91	-3.87	-2.92	-0.30	+3.01	-0.60	-5.77	-8.50	-2.39	+0.65
추정각도 (700Hz)	2.07	24.16	50.34	87.27	125.63	156.15	176.29	199.30	223.42	256.16	315.98	344.98
오 차	+2.07	-5.84	-9.66	-2.73	+5.63	+6.15	-3.71	-10.70	-16.58	-13.84	+15.98	+14.98

과 추정 각도는 0 ° 와 360 ° 부근에서 나타나고 있다.

그림 3-(b)에 나타낸 도래각 120 ° 의 결과는 hydrophone B<sub>1</sub>과 A<sub>2</sub> 사이의 4사분면에서 입사해 들어오는 신호로써 정확한 대각선 135 ° 의 신호보다 Ch.B에 치우쳐 있어 Ch.A에 비해 큰 값을 가진다.

그림 3-(c)의 결과는 음원이 180 ° 에서 입사해 들어올 때 지향 채널은 0 ° 와 같은 모양을 보이거나 무지향 신호와는 반대로 동위상을 가지게 된다.

그림 3-(d) 300 ° 의 경우도 역시 그림 3-(b)의 조건과는 반대방향에서 입사해 들어오는 신호이기 때문에 무지향의 신호의 위상차만 다르게 나타나게 된다.

음향 신호 주파수  $f_0$  가 700Hz 일 때의 추정 결과는 그림 4에 나타낸다. 그림 3과 같이 각각 0 ° , 120 ° , 180 ° , 300 ° 의 결과를 나타냈으며 신호의 패턴은  $f_0 = 1.7kHz$  와 같은 모습을 보이고 있다. 하지만 음향 신호원과의 거리 때문에 진폭의 크기가 줄어들었으며 각 채널의 신호간에 지연이 발생하여 정확한 각도를 추정하는데 오차의 범위를 크게 한다.

표 1.은 두 주파수영역에서 음원 도래각 추정시 30 ° 간격으로 했을 경우 추정각도와 그 오차를 나타낸 것이다. 전체의 데이터 중에서 실제 각도에 영향을 미치는 의미 있는 값들만을 평균하여 나타낸 값으로 1.7kHz 의 경우 최대 -8.50(210 °)에서 +3.01(130 °)로 평균 ± 2.97 ° 의 오차를 보이고 있다. 700Hz 의 경우는 최대 -16.58(240 °)에서 +15.98(300 °)로 평균 ± 8.98 ° 의 오차가 있다. 동일한 실험 조건에서 음원의 주파수만을 달리했을 때 저주파수로 갈수록 오차가 커지고 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

수동형 DIFAR Sonobuoy 에 대해 실제 음원의 방향 추정과 그 오차에 대한 평가 시스템을 구현하기 위해 공기 중에서 시간영역의 추정 알고리즘을 사용하여 일정 각도로 입사해 들어오는 음향 신호에 대해 각각 그

도래각을 추정하였다. 그 결과 한 주기의 약 80% 이상의 데이터가 실제 각도를 나타냈으며 그 오차 정도는 음향 신호의 주파수  $f_0$  가 1.7kHz 의 경우 ± 2.97 ° ,  $f_0$  가 700Hz 에서는 ± 8.99 ° 로써 10 ° 이내로 보이고 있다. 따라서 평가 시스템의 경우 오차의 범위가 적게 나타나는 고주파수에서 유효할 것으로 보이고, 실제 생산라인에서 Sonobuoy의 도래각 추정 평가 시스템을 적가능한 것을 확인하였다.

#### Reference

- [1] Richard O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, (Boston, Artech House, 1991).
- [2] Simon Haykin, *Advances in Spectrum Analysis and Array Processing Vol. 3*, (New Jersey Prentice Hall, 1995).
- [3] 송도훈, 표적추적 시스템에서 시간지연 추정의 분해능 향상에 관한 연구, 부경대학교 석사학위논문, 2000.
- [4] 이호철, 시간지연추정을 이용한 음원위치추적에 관한 연구, 국민대학교 석사학위논문, 2000.
- [5] 박두영, *LabVIEW*, Ohm사, 2002.