

## 다중 수신기 DPC 처리에 의한 속도 교란 수중 무인체의 자동초점 위상 보상

김부일\*

### Autofocus Phase Compensation of Velocity Disturbed UUV by DPC Processing with Multiple-Receiver

Boo-il Kim\*

Department of Electrical, Electronics and Software Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

#### 요 약

능동 합성 개구면 소나를 운용하는 소형 수중 무인체는 외부 수중환경의 영향으로 진행경로에 여러 가지 속도 교란이 발생할 수 있으며, 이는 코히어런트 합성 개구면 처리시 위상 오차를 발생시켜 탐지 이미지에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 진행방향으로 주기적 사인형태의 속도 교란이 발생할 때 각 위치에서 왕복 진행 경사거리에 의해 발생하는 위상을 다중 수신 신호에 대한 상호상관 계수를 추정된 후 중첩된 DPC에서의 위치변위를 최대 허용 범위 내에서의 평균값으로 보상하는 방법을 제시하였다. 시뮬레이션을 통하여 수중 무인체의 속도 교란 크기 및 변동 주파수에 의해 손상된 이미지는 제시된 위상 보상 방법으로 허위 표적 제거 및 방위해상도의 성능이 개선됨을 확인하였다.

#### ABSTRACT

In the case of a small UUV operating an active synthetic aperture sonar, various velocity disturbances may occur on the path due to the influence of external underwater environment, and this causes phase errors in coherent synthetic aperture processing, which has a large influence on the detected image. In this paper, when a periodic sinusoidal velocity disturbance is generated in the traveling direction, the phase generated by the round trip slope range at each position is estimated the cross correlation coefficient for multiple received signals and compensated the position variation in the overlapped DPC by the average value within the maximum allowable width. Through simulations, it has been confirmed that the images degraded by the velocity disturbance amplitude and fluctuating frequency of the UUV are removed from the false targets and the performance of azimuth resolution is improved by the proposed phase compensation method.

**키워드** : 수중 무인체, 능동 합성 개구면 소나, DPC, 속도 교란, 위상 보상

**Key word** : UUV(Unmanned Underwater Vehicle), Active Synthetic Aperture Sonar, Displaced Phase Center, Velocity Disturbance, Phase Compensation

Received 26 August 2017, Revised 05 September 2017, Accepted 12 September 2017

\* Corresponding Author Boo-il Kim (E-mail:bikim@pknu.ac.kr, Tel:+82-51-629-7819)

Department of Electrical, Electronics and Software Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.10.1973>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

능동 합성 개구면 소나(synthetic aperture sonar)는 비교적 적은 수의 수신센서를 가지고 현측방향으로 높은 해상도의 탐지 성능을 얻을 수가 있어, 최근 들어 수중 무인체(unmanned underwater vehicle)에 탑재하여 해저 물체를 탐지/조사하는 분야에 활발하게 연구되고 있다 [1,2]. 이는 수신센서 어레이의 가상적인 확장으로 많은 수의 핑신호(ping signal)를 합성 처리할 수가 있으므로 실제 센서 어레이 길이에 비해 좁은 수신 빔폭을 형성할 수가 있고, 거리와 주파수에 무관하게 높은 정밀도의 방위 해상도(azimuth resolution)를 얻을 수 있으므로 상대적으로 낮은 주파수의 송신기를 사용하여 탐지 성능을 올릴 수가 있다[3,4]. 가상의 수신기에 대한 개구면 수신신호 빔형성을 위해서는 플랫폼이 정속도 및 직선으로 운동하는 조건이 필요하나, 실제 시스템을 운용할 때에는 외부의 수중환경 영향으로 진행에 여러 가지 교란이 발생하게 된다. 합성 개구면 소나처리에 큰 영향을 미치는 교란으로는 현측방향으로 일어나는 궤적 교란, 진행방향으로의 속도교란 및 진행각에 따른 교란 등이 있다. 이들을 보상하는 방법으로는 플랫폼에 정밀한 계측센서를 부착하여 위치신호를 사용하는 방법과 다중 수신센서를 이용하여 자체적으로 수신된 핑신호들을 이용하는 자동초점(autofocus) 방법으로 나눌 수 있다. 최근에는 고가의 계측센서에 대한 부담 및 수중에서의 여러 가지 음파진행에 따른 환경 변동 등에 강인한 다중 수신기에 의한 자동초점 방법들에 대하여 많은 연구를 진행하고 있다[5,6]. 이들은 목적에 따라 시간영역에서 거리 천이(range migration)와 각 수신기에서의 위상 보상으로 방위 압축(azimuth compression)을 수행하여 코히어런트(coherent) 합성처리하는 방법과 주파수 영역에서 위상 기울기(phase gradient) 및 거리도플러, 파수(wavenumber)에 의한 추정방법 등이 연구되고 있다[7-9]. 실제 환경에서는 외부 영향으로 예정된 직선방향으로부터 궤적교란에 일어남과 동시에 진행방향으로 여러 가지 방해 및 플랫폼의 속도 불균형으로 실제 진행 속도에 교란이 발생하게 된다. 이는 능동 합성 개구면의 왕복 경사거리(slant range)에서 위상에 대한 오차가 발생하게 되어 빔형성 합성처리시 방위해상도 및 탐지된 영상에 큰 성능저하를 가져 온다.

본 논문에서는 실시간 처리가 가능하며 큰 궤적 변동

에 비교적 강인한 코히어런트 합성처리를 기본으로 다중 수신기의 인접된 연속 송신 핑신호에 대한 중첩된 DPC(displaced phase center)에서의 상호 상관도를 계산하여 위치변위를 추정한 후, 속도 교란된 플랫폼에서 일어나는 위상 부정합을 왕복 경사거리에 따른 위상 추정으로 자동초점 처리시 보상하는 방법을 제시하였다. 이들은 해저에 부설된 가상의 점표적에 대하여 주기적 사인 형태의 속도 교란이 일어나는 플랫폼에서 연속 핑신호의 위상차 보상으로 시뮬레이션을 실시하여 그 성능을 분석하였다.

## II. 속도교란 UUV의 능동 합성 개구면 자동초점 위상 보상

### 2.1. 다중 수신기 DPC 모델

능동 합성 개구면 소나를 탑재한 수중 무인체에서 해저에 부설된 물체를 탐지하기 위하여 운용되는 개념도 및 다중 수신기에서 수신되는 신호의 시간 지연은 그림 1과 같다.

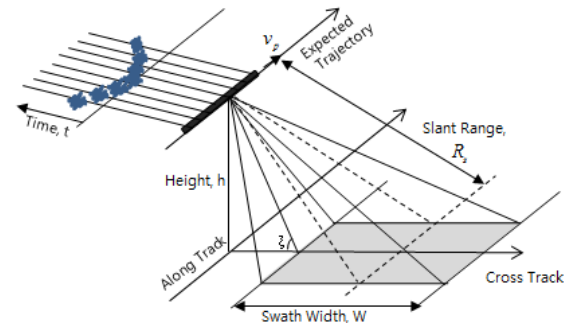


Fig. 1 Synthetic aperture sonar operation geometry

플랫폼에서 송신된 신호는 해저에 부설된 물체에서 반사가 이루어지고, 반사된 신호는 다중 수신기의 위치  $x_n$ 에서  $t_n$ 만큼의 왕복 진행 시간지연을 가지고 수신하게 된다. 다중 수신기의 각 센서에서 수신된 에코신호  $r_n$ 은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$r_n(t, x_n, R_n) = \int A_m s(t - t_n) dx_n dR_n \quad (1)$$

여기서  $A_m$ 은 수신신호 크기,  $s(t)$ 는 송신신호,  $t_n$ 은 송신 후 왕복 경사거리  $R_n$ 을 거쳐  $n$ 번째 수신기에 도달되는 지연시간이다. 따라서 다중 수신기를 운용할 때 각 센서의 경사거리에 따른 왕복 도달시간은 송신기와 수신기의 위치에 따라 식 (2)과 같이 표현된다.

$$t_n = \frac{1}{c} \left( \sqrt{(x-x_0)^2 + y^2} + \sqrt{(x-x_0-d_n)^2 + y^2} \right) \quad (2)$$

여기서  $x_0$ 는 수중 물체와 최근접 지점에서의 진행방향 위치이며,  $d_n$ 은 송신기와  $n$ 번째 수신기와의 거리이다. 한 개의 송신기와 다중 수신기에 의해 수신되는 신호는 단상태(monostatic)에서 거리가 동일하게 되는 등가센서로 표현할 수 있으며, 이들의 등가적 DPC는 그림 2와 같다[10,11].

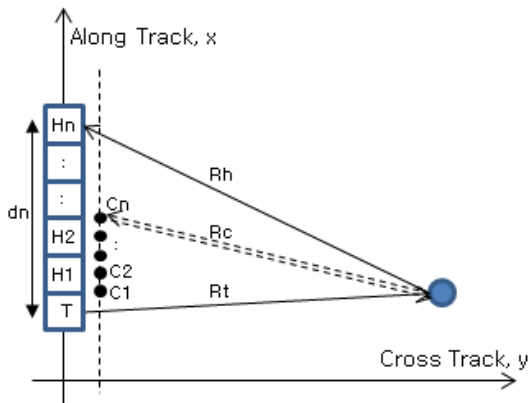


Fig. 2 Equivalent DPC for multiple receivers

등가적 DPC 적용은 송/수신기와 수중 물체와의 거리가  $R \gg d_n^2/4\lambda$ 인 조건에서 적용이 가능하며, 송신기와 각 해당 수신기 사이에 위치하는 각 DPC에서의 거리는 식 (3)과 같이 근사화하여 사용할 수 있다[10].

$$R_c \approx \frac{1}{2}(R_t + R_h) \quad (3)$$

여기서  $R_t, R_h, R_c$ 는 송신기, 수신기 및 등가 DPC에서 물체까지의 경사거리이다. 따라서 각 등가적 DPC 위치  $x_{cn}$ 에서의 수신시간은 식 (4)와 같이 적용할 수 있다.

$$t_n = \frac{2}{c} \left( \sqrt{(x_{cn} - x_0 - d_n/2)^2 + y^2} \right) \quad (4)$$

## 2.2. DPC에 의한 코히어런트 합성 처리

다중 수신기의 진행 경로 이동거리는 플랫폼 속도에 따라 달라지며, 이를 고려하여 나이키스트 샘플링조건에 만족하는 펄스반복주파수 PRF(Pulse Repetition Frequency)를 결정하여야 한다. 이는 등가적 DPC 처리를 위하여 일반적으로 전체 길이  $L_r$ 에 중첩되게 이동속도를 정한다. 이에 따라 중첩 DPC의 개수가 정해지며, 이들 개수가 많을수록 정밀한 보상처리가 가능하지만 진행방향으로의 이동 속도가 낮아지므로 단위시간당 구역 탐색율은 나빠지게 된다. 또한 해저 물체의 탐지를 위하여 펄스반복주파수는 최대 탐지거리에서 반사되는 신호를 수신한 후 송신해야 하므로 거리에 따른 PRF가 제한이 된다. 그림 1과 같은 수중환경에서 운용되는 플랫폼에서 PRF의 최소 및 최대 조건은 식 (5), (6)과 같이 표현할 수 있으며, 다중수신기 길이에 대한 이동속도 및 탐색하는 스와스 폭(swath width)에 따라 결정이 된다[12].

$$PRF \geq \frac{2v_p}{L_r} \quad (5)$$

$$PRF \leq \frac{c}{2 \left[ \{h^2 + (W + h \cot \xi)^2\}^{1/2} - h/\sin \xi \right]} \quad (6)$$

여기서  $v_p$ 는 플랫폼 이동속도,  $L_r$ 은 다중수신기 길이,  $c$ 는 수중 음속,  $h$ 는 해저면에서 플랫폼의 높이,  $W$ 는 스와스 폭,  $\xi$ 는 근접 그레이징 각도(grazing angle)이다. 탐색 거리 및 거리 정밀도가 결정이 되고, 탐색율을 높이기 위해 속도를 증가시키면 최대 PRF에 따른 언더샘플링이 이루어져 방위 해상도의 모호성(ambiguity)이 증가하게 된다. 일반적으로 각 수신 센서간의 간격  $d$ 일 때,  $\lambda/2$ 이내의 거리차이에서 위상 합성이 이루어지며, 이 간격이 넓어지면 그레이팅 로브(grating lobe)가 발생하게 되어 허위 표적이 생기게 된다[13].

$$(nd)\sin \phi_g = m(\lambda/2) \quad (7)$$

$$x_g = R_0 \sin \phi_g = \frac{(PRF)R_0 m \lambda}{2v_p} \quad (8)$$

$$y_g = \sqrt{R_0^2 - x_g^2} = R_0 \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{(PRF)m\lambda}{2v_p} \right)^2 \right\} \quad (9)$$

여기서  $\theta_g, x_g, y_g$ 는 그레이팅 로브 각도 및 위치이며,  $R_0$ 는 최근접 위치에서의 경사거리,  $d$ 는 센서 간격,  $m$ 은 엘리어스 수(alias number)이다. 등가 DPC에서의 수신신호에 대한 코히어런트(coherent) 합성처리를 위해서는 각 위치에서의 경사면에 대한 왕복 수신시간 계산이 필요하며, 이들은 다중 수신기의 위치함수으로써 식 (11)과 같이 최근접 위치에서의 시간과의 차이로 표현한다[14].

$$t_n^2 = t_{n0}^2 + \frac{n^2(2v_p)^2}{(cPRF)^2} \quad (10)$$

$$\Delta t_n \approx \frac{2}{t_{n0}} \left( \frac{nv_p}{cPRF} \right)^2 \quad (11)$$

여기서  $t_{n0}$ 는 최근접 지점에서의 수신시간이다. 그러므로 등가 DPC 위치에서의 시간지연을 가진 수신신호  $X_{cn}$ 은 식 (12)로 표현할 수 있으며, 이들 신호는 각 지점에서 발생된 시간 차이 만큼 위상 차이를 가지게 된다.

$$X_{cn}(t, x_{cn}, R_{cn}) = r_n(t, x_{cn}, R_{cn}) \exp[-j\Delta\phi(x_{cn})] \quad (12)$$

$$\approx r_n(t, x_{cn}, R_{cn}) \exp \left[ -j \left( \frac{2\pi}{\lambda R_0} (x_{cn} - x_0)^2 \right) \right]$$

여기서  $\Delta\phi$ 는 왕복거리 수신신호 위상차,  $R_{cn}$ 은 각 DPC에서의 경사거리이다. 따라서 위상 차이를 계산한 각 수신신호는 합성 개구면 등가 DPC에서의 지연된 합으로 코히어런트 합성처리가 이루어지며, 합성 개구면 신호의 합성신호  $E_n$ 은 식 (13)과 같이 신호  $X_{cn}$ 으로 구할 수 있다.

$$E_n(t, x_n, R_{sn}) = \sum_{cn=1}^{n_c} X_{cn}(t, x_{cn}, R_{cn}) \quad (13)$$

### 2.3. 속도교란 UAV의 자동초점 위상 보상

능동 합성 개구면 소나의 코히어런트 합성처리에는 운용 플랫폼의 정속도 직선기동 제약조건이 수반된다. 하지만 실제 수중환경에서는 외부 환경 및 시스템 자체

영향으로 정속도 진행에 여러 가지 교란이 발생하게 된다. 이러한 교란으로 예측된 진행거리에 변화가 생기고 다중 센서에서 수신된 각 신호들은 속도가 교란된 만큼의 수신신호에 위상 오차가 일어난다. 속도 교란에 따른 진행방향의 거리변동  $\Delta x_n$ 에 따라 각 지점에서의 왕복 신호 진행의 경사거리  $R_{sn}$ 에 영향을 미치게 된다.

$$R_{sn} = \left\{ (x_n - x_0 + \Delta x_n)^2 + y_n^2 + h_n^2 \right\}^{1/2} \quad (14)$$

경사거리의 변화는 개구면 합성처리시 위상 부정합이 발생되며 방위해상도 및 탐지 이미지의 손상을 가져온다. 속도 교란은 여러 가지 형태로 나타나며, 일반적으로 주기적인 사인형태의 교란으로 고려해 볼 수 있다. 그림 3과 같이 능동 SAS를 운용하는 플랫폼이 진행방향으로 속도  $\Delta v_p$ 만큼 교란이 발생되면, 프로젝트 T에서 연속적인 송신신호에 대한 중첩된 DPC 위치는  $\epsilon$ 만큼의 위치변동이 발생되어 위상부정합이 일어나게 된다.

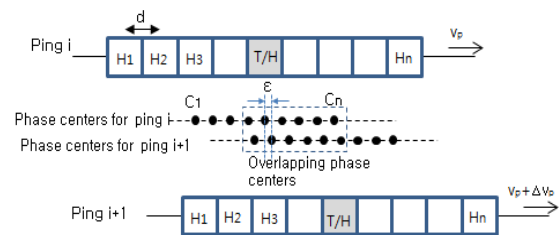


Fig. 3 Along track motion errors of sensor array between two pings

능동 SAS를 운용하는 수중 플랫폼의 속도 교란은 진행방향으로의 위치 변화를 가져오며, 이들은 송신기의 연속적인  $i$  및  $i+1$ 번째 ping신호에 의한 중첩된 DPC 위치에서의 수신신호의 상관관계로 처리할 수 있다. 인접 송신 ping신호  $p(t)$ 에 의해 해저 물체에서 반사된 신호  $x_{n_p,k}(t)$ ,  $x_{n_p+1,k}(t)$ 는  $k$ 번째 DPC 위치에서 수신되며, 이들은 매칭필터를 통해 각각 처리한 신호  $s_{n_p,k}(t)$ ,  $s_{n_p+1,k}(t)$ 를 얻는다. 이들 신호에 대한 다중 수신기에서의 각 센서  $k, l$  간의 상호상관 계수  $\gamma_{kl}(n_p)$ 는 식 (15)과 같이 구할 수 있으며, 속도 교란이 없으면  $k=l$ 인 지점에서의 상호상관 계수 값이 가장 크게 나타난다.

$$\gamma_{kl}(n_p) = \frac{\sum s_{n_p,k}(t)s_{n_p+1,l}(t-\tau)}{|s_{n_p,k}(t)||s_{n_p+1,l}(t-\tau)|}, 1 \leq k, l \leq n_c \quad (15)$$

속도 교란이 존재하면 변동된 거리만큼의 상호상관 값에 변화가 일어나며, 식 (16)과 같이 계수 값이 최대가 되는 지점을 찾아서 이동된 DPC 위치변위를 계산할 수 있다. 이들은 각 센서 위치에서의 상호상관 값이 외부 환경에 따라 변동이 있으므로, 최대 허용 범위  $W_m$  이내 값들의 평균으로 위치변화를 추정한다.

$$\Delta x_{cn}(k) = \text{lag}(k-l)_{\arg \max \{\gamma_{k,l}(n_p)\}}, 1 \leq k, l \leq n_c \quad (16)$$

$$\Delta \hat{x}_{cn}(k) = \frac{1}{n_c} \sum_{c_k=1}^{n_c} \Delta x_{cn}(k), |\Delta x_{cn}(k)| \leq W_m \quad (17)$$

추정된 값은 경사거리 계산에 적용하여 다중 수신기의 수신신호 지연합(delay sum) 처리시 식 (20)과 같이 각 수신신호에 대한 추정된 위상을 보상한다.

$$\hat{R}_{sn} = \left\{ (x_{cn} - x_0 + \Delta \hat{x}_{cn})^2 + y_n^2 + h_n^2 \right\}^{1/2} \quad (18)$$

$$\hat{x}_{cn} = x_{cn} + \Delta \hat{x}_{cn} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \hat{E}_n(t, \hat{x}_{cn}, \hat{R}_{sn}) \\ \approx \sum_{c_n=1}^{n_c} r_n(t, \hat{x}_{cn}, \hat{R}_{sn}) \exp \left[ -j \left( \frac{2\pi}{\lambda R_0} (\hat{x}_{cn} - x_0)^2 \right) \right] \end{aligned} \quad (20)$$

따라서 진행 경로에서 발생되는 속도 교란의 위치오차에 대하여 다중 수신기에서 추정된 위상 값을 보상할 수 있어, 합성 개구면의 코히어런트 합성처리에서 발생되는 방위 해상도의 성능을 개선할 수가 있다.

### III. 시뮬레이션 결과

속도 교란된 수중 무인체에 대하여 다중 수신기의 중첩된 DPC에 의한 자동초점 위상 보상의 성능을 분석하기 위하여 표 1과 같은 운용 환경을 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서 송/수신 센서 관련 특성, 수중 환경의 변화 및 음파전달 특성 등은 이상적인 환경으로 고려하였다.

Table. 1 Simulation parameters

Division	Parameters	Value
Platform	Height	50m
	Velocity	3knots
	Velocity disturbance	Sinusoidal
	Magnitude of disturbance	0.8~2kts
	Periodic freq. of disturbance	0.25~1Hz
Environment	S/N ratio	6~15dB
	Target number	3 Point targets
	Cross range of targets	50m
	Distance between targets	1m, 0.5m
Synthetic Aperture Sonar	Closed grazing angle	60°
	Swath width	100m
	No. of receivers	9
	Length of sensor array	0.9m
	Transmitting signal frequency	80kHz
	Transmitting pulse width	0.1msec
	Azimuth resolution	20cm
Sampling frequency	500kHz	

해저에는 현측방향으로 50m 지점에 3개의 점표적을 1m 및 0.5m 간격으로 설정하였고, 수중소음은 백색 가우시안 잡음을 사용하였다. 수중에서의 신호 대 잡음비는 6~15dB로 변화를 주었으며, 송신신호 및 매칭필터 처리에는 Hanning 윈도우를 적용하였다. 정속도 직선운동을 하는 플랫폼의 속도 교란 크기는 0.8~2kts, 변동 주기는 0.25~1Hz로 변화시킨 주기적인 사인형태를 고려하였다. 그림 4는 직선 운동하는 플랫폼이 속도 교란이 없는 정속도로 기동하는 환경과 주기적인 사인형태의 속도교란이 존재하는 환경에서의 코히어런트 개구면 합성처리를 수행한 탐지 에너지 레벨이다. 그림에서와 같이 진행방향으로 속도 교란이 발생되면 다중 수신기에 교란된 위치변화 만큼의 수신 신호에 위상 부정합이 발생되므로 그림 (b)와 같이 합성 처리된 탐지 에너지 레벨은 심하게 훼손되어 나타난다.

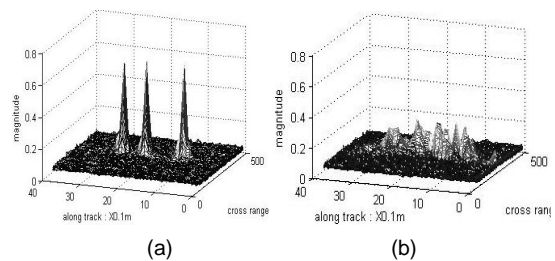


Fig. 4 Processed target energy level for (a) no velocity disturbance (b) periodic velocity disturbance

정속도로 진행하는 수중 무인체에 속도 교란이 발생된 환경에서 처리된 표적 탐지 결과는 그림 5와 같다. 주기적 변동 주파수 0.5Hz인 환경에서 속도 교란 크기가 0.8kts에서 1.6kts로 변화된 경우의 개구면 처리 이미지는 교란의 크기가 클수록 다중 수신기의 위치 오차가 크게 일어나므로 허위표적의 발생과 동시에 탐지 처리된 이미지가 매우 헝클어져 표적의 정확한 위치를 알 수가 없다. 표적이 존재하는 지점에서의 탐지 에너지 레벨을 보면 위치에 따른 위상 부정합의 영향으로 방위 해상도가 매우 나빠지게 된다. 그림 6은 연속되는 송신 신호에 의한 중첩 DPC에서 위상이 보상된 처리 결과이다. 해저에 부설된 3개의 점표적은 제시된 방법에 의하여 위치변위에 대한 위상이 보상 처리가 이루어져 코히어런트 합성처리에 의해 많은 허위 표적이 제거되고 탐지 이미지는 선명하게 나타남을 확인할 수 있다.

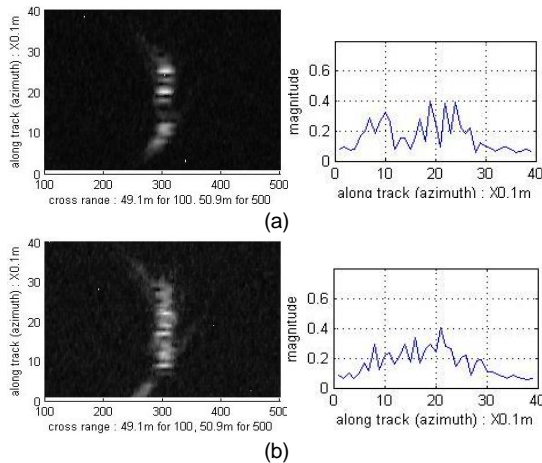


Fig. 5 No compensation processed images and energy level on 3 point targets for periodic velocity disturbance (a)  $\Delta v_m = 0.8kts$  (b)  $\Delta v_m = 1.6kts$

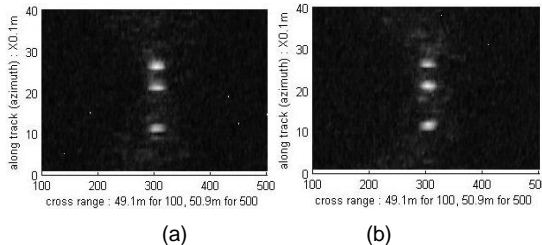


Fig. 6 Compensation processed images on 3 point targets for periodic velocity disturbance (a)  $\Delta v_m = 0.8kts$  (b)  $\Delta v_m = 1.6kts$

그림 7과 그림 8은 속도 변동의 크기가 0.8kts에서 2kts까지 0.4kts 단계로 증가하였을 때 표적이 존재하는 지점에서의 스캔라인에 대한 상대적인 탐지 에너지 크기를 비교한 결과이다. 속도 교란의 크기 폭이 클수록 보상처리를 하지 않은 탐지결과 에너지 레벨은 방위 해상도가 매우 나빠지며 허위 표적과 더불어 정확한 표적의 위치를 찾을 수가 없게 된다. 중첩된 DPC에서의 경사거리 상관계수 변화 추정 값에 의한 코히어런트 합성 처리 결과는 속도 교란으로 발생하는 위상 부정합을 위치 추정에 따른 위상 보상의 결과로 3dB를 기준으로 방위 해상도가 개선되고 허위표적도 많이 제거됨을 알 수 있다.

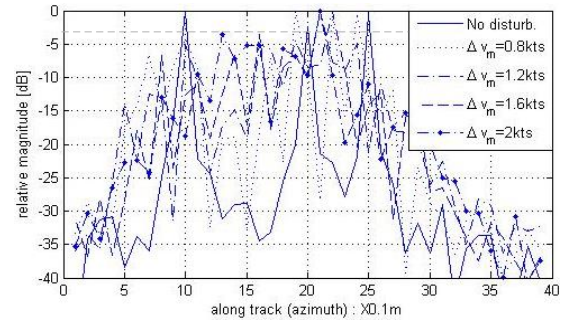


Fig. 7 Scan line magnitudes of no compensation processing results for periodic velocity disturbance (cross range:50m)

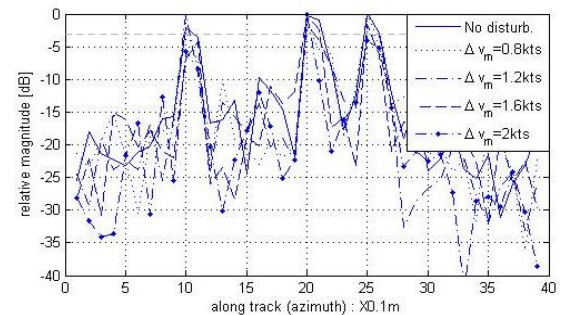
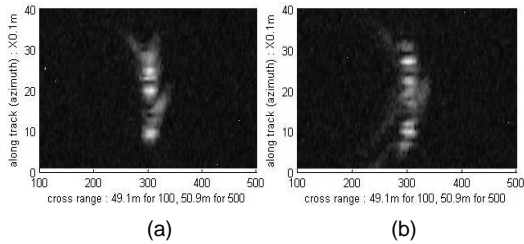


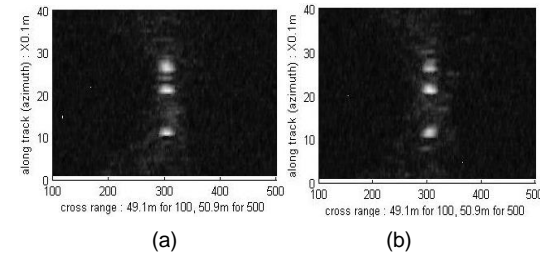
Fig. 8 Scan line magnitudes of compensation processing results for periodic velocity disturbance (cross range:50m)

그림 9와 그림 10은 외부환경의 속도 교란 크기가 1.2kts일 때 변동 주파수가 0.25Hz, 0.75Hz로 변화했을 때의 위상보상 전후의 개구면 합성 처리 결과 탐지 이미지 결과이다. 속도 교란 주파수가 증가함에 따라 다중 수신기에서의 상대적 교란의 크기가 증가함으로 탐

지된 이미지는 점점 나빠지고 허위표적도 증가하게 되나, 위상이 보상된 처리 결과는 속도 교란의 크기 변화에 따른 처리 결과와 유사하게 허위표적이 제거됨과 동시에 탐지 이미지가 양호하게 나타나고 방위해상도도 개선됨을 확인하였다.



**Fig. 9** No compensation processed images on 3 point targets for periodic velocity disturbance (a)  $f_v = 0.25Hz$  (b)  $f_v = 0.75Hz$



**Fig. 10** Compensation processed images on 3 point targets for periodic velocity disturbance (a)  $f_v = 0.25Hz$  (b)  $f_v = 0.75Hz$

#### IV. 결 론

본 논문에서는 정속도로 기동되는 소형 수중운동체 운용 환경에서 여러 가지 외부의 영향으로 속도 교란이 발생될 때 개구면 합성 처리시 DPC에서의 위치변위를 추정하여 다중 수신기에서의 수신신호에 대한 위상을 보상처리하고 탐지 이미지 및 방위 해상도에 미치는 영향을 분석하였다. 속도 교란은 주기적인 사인형태의 교란을 인가하고 속도 교란의 크기와 변동 주파수에 따라 보상처리 전후를 비교하기 위한 환경을 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 합성 개구면 코히어런트 처리에서 속도 교란의 크기가 클수록 허위표적이 나타남과 동시에 방위 해상도가 나빠져서 탐지 이미지에 큰 왜곡이

발생됨을 확인하였으며, 이들은 중첩 DPC에서 연속되는 송신신호에 대한 위치변화 추정으로 코히어런트 합성 처리에서 위상 보상이 가능하다. 보상된 탐지 이미지 및 스캔라인에서의 방위별 에너지 레벨을 비교해 본 결과, 속도 교란이 없는 환경에서의 해상도는 조금 나빠지지만, 속도 교란이 0.8kts~2kts인 환경에서의 처리 결과는 많은 허위 표적이 제거되었고 탐지 이미지 및 방위 해상도의 성능개선이 이루어짐을 확인하였다. 이러한 결과는 기 수행된 현측방향으로의 궤적 교란 보상 결과와 결합하여 임의의 속도/궤적 교란 보상 방법 및 외부 교란에 따른 진행각 추정 분석 등에 대한 연구에 적용될 예정이다.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2017 year)

#### REFERENCES

- [ 1 ] M. P. Hayes, "Synthetic aperture sonar: a review of current status," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 34, pp. 207-217, July 2009.
- [ 2 ] T. O. Saebo, S. A. V. Synnes, and R. E. Hansen, "Wideband interferometry in synthetic aperture sonar," *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 51, no. 8, pp. 4450-4459, Aug. 2013.
- [ 3 ] M. S. Davis, Cook and D. A. Cook, "Quantify the impact of range and azimuth ambiguities on multichannel SAR and SAS image quality," *Proceedings of the 10<sup>th</sup> European Conference on Synthetic Aperture Radar*, Germany, pp. 1393-1396, July 2014.
- [ 4 ] K. Watanabe, S. Honda, and T. Sawa, "Study on improvement in resolution of synthetic aperture sonar using spatial filter," *2009 ICROS-SICE International Joint Conference*, Japan, pp. 2317-2320, Aug. 2009.
- [ 5 ] Z. Qiao and D. Kraus, "Azimuth Ambiguity in Redundant Sampled Stripmap SAS Imaging," *Proceedings of the OCEANS 2016 - Shanghai*, China, pp. 1-5, April 2016.

- [ 6 ] H. Schmaljohann and J. Groen, "Motion estimation for synthetic aperture sonars," *Proceedings of the 9<sup>th</sup> European Conference on Synthetic Aperture Radar*, Germany, pp. 78-81, April 2012.
- [ 7 ] Z. Tian, J. Tang, H. Zhong, and S. Zhang, "Extended range doppler algorithm for multiple-receiver synthetic aperture sonar based on exact analytical two-dimensional spectrum," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 41, no. 1, pp. 164-174, Jan. 2016.
- [ 8 ] M. S. Davis and A. D. Lanterman, "Aliasing in recurrently sampled signals with an application to synthetic aperture imaging," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 63, no. 12, pp. 3088-3095, June 2015.
- [ 9 ] X. Zhang, J. Tang, and H. Zhong, "Multireceiver correction for the chirp scaling algorithm in synthetic aperture sonar," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 39, no. 3, pp. 472-481, July 2014.
- [10] A. Bellettini and M. A. Pinto, "Theoretical accuracy of synthetic aperture sonar micronavigation using a displaced phase-center antenna," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 27, no. 4, pp. 780-789, Oct. 2002.
- [11] H. J. Callow, M. P. Hayes, and P. T. Gough, "Motion-compensation improvement for widebeam, multiple-receiver SAS systems," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 34, no. 3, pp. 262-268, July 2009.
- [12] B. I. Kim, "Influences analysis of SAS azimuth resolution on the UUV trajectory disturbances," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 1, pp. 222-229, Jan. 2016.
- [13] R. McHugh, S. Shaw, and N. Taylor, "Azimuth ambiguities in broadside and squint mode synthetic aperture sonar," *IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation*, vol. 146, no. 2, pp. 113-119, April 1999.
- [14] R. S. H. Istepanian and M. Stojanovic, *Underwater Acoustic Digital Signal Processing and Communication Systems*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.



김부일(Boo-il Kim)

1985 경북대학교 전자공학과 공학석사  
2001 경북대학교 전자공학과 공학박사  
1985-2013 국방과학연구소 수석연구원  
2013-현재 부경대학교 전기전자소프트웨어공학과 부교수  
※ 관심분야 : 능동수나, 합성개구면소나, 수중음향대응, 정밀측정장비