

# 능동 합성개구면소나에 의한 해저 소형물체 협대역 탐지 성능 고찰

김부일\*

## A Narrowband Detection Performance for Small Objects on Seabed by the Active Synthetic Aperture Sonar

Boo-Il Kim\*

### ABSTRACT

Detection and processing techniques for small objects on seabed by the active synthetic aperture sonar can be increased the detection performance because it can be used by short sensor array in small unmanned underwater systems that are spatially constrained. But the limited conditions on constant speed and straight movement of the platform cause a large error in the number of external environmental factors and exact phase synthesis process. In this study, analyzed the applicability of active synthetic aperture processing that is mounted on such a system, and compared detection resolution change in accordance with the phase difference mismatch caused by the along track disturbance. Various simulations were performed as a coherently focus processing model by adding along track disturbance mismatched parameter on the configuring simulator. As the result, detection performance of active synthetic processing for small objects on seabed was found a number of changes by the phase difference mismatch errors according to track disturbances and S/N ratio variations.

**Key words** : UUV, Active Sonar, Synthetic Aperture Sonar, Azimuth Resolution

### 요약

능동 합성개구면소나에 의한 해저부설 소형물체 탐지처리 기술은 공간적 제약을 받는 소형 무인화 시스템에서 짧은 센서어레이 사용이 가능하므로 개구면 합성처리에 의해 탐지성능을 올릴 수가 있다. 하지만 플랫폼의 정속도 직선이동에 의한 제한조건은 여러 가지 외부 환경요인과 정확한 위상차 합성 처리에 있어서 많은 오차를 유발하게 된다. 본 연구에서는 이러한 시스템에 탑재되는 능동형 합성개구면처리에 대한 적용 가능성을 분석하고, 전용 시뮬레이터를 구성하여 진행경로 변동에 의해 발생되는 위상차 부정합에 따른 탐지해상도 성능변화를 비교 검토하고자 한다. 시뮬레이션은 코히어런트 초점처리 모델에 경로변동 모듈을 추가하여 실행하였으며, 결과에서 알 수 있듯이 합성개구면처리에 의한 해저 소형물체 탐지성능은 플랫폼의 경로변동에 의한 위상차 부정합 및 S/N비 변화에 의해 많은 변화가 있음을 알 수 있었다.

**주요어** : 수중무인시스템, 능동소나, 합성개구면소나, 방위해상도

## 1. 서론

\* 이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

**Received:** 22 November 2014, **Revised:** 12 December 2014,  
**Accepted:** 16 December 2014

\***Corresponding Author:** Boo-Il Kim

E-mail: bikim@pknu.ac.kr  
Department of Interdisciplinary Program of Weapon Systems  
Engineering, Specialized Graduate School Science & Technology  
Convergence, Pukyong National University

현대 수중에서의 음향탐지체계는 급격한 과학기술의 발달과 다양한 임무수행 변화에 대한 수요증가로 수중 무인화 시스템에 대한 관심이 고조되고 있다(Landay III 등, 2004; Lionel, 2007). 따라서 앞으로의 수중환경은 다양한 무기체계, 소요인력의 증대 및 해양작전의 위험성 증대로 자동화 개념 도입이 필수적이며, 운용 시스템의 유지비 감소 및 플랫폼의 소형화로 발전되는 추세이다

(Winnefeld 등, 2013). 이에 국방 전장환경은 NCW(Network Centric Warfare) 기반 ASW(Anti-Submarine Warfare) 개념에 따른 유인 및 무인화 체계로의 입체적, 복합적으로 통합 운용될 것으로 예측되며, 또한 민수분야에서는 각종 수중환경 탐사 및 지형 조사 등으로 수중 무인화 시스템이 널리 활용될 것이다. 이에 따라, 수중 무인화 시스템에 탑재되어 운용되는 능동 소나는 매우 중요한 역할을 할 것이며, 해저부설 소형물체의 탐지/식별에 필요한 고주파 능동소나의 탐지성능에 대한 다양한 연구는 필수적이라 할 수 있다(Hayes, 2009; Fernandez 등, 2003). 해저 소형물체를 탐지하기 위해 운용되는 소형 무인화 시스템용 능동소나는 주로 사이드스캔소나를 사용하고 있으나, 플랫폼 소나탑재 공간상의 제약으로 고해상도 탐지성능에 필요한 충분한 길이의 센서배열을 구성할 수 없고, 초고주파 영역의 능동소나 주파수대역 사용으로 탐지거리가 상대적으로 짧게 형성된다. 이를 극복하기 위하여 레이더 배열처리에서 사용되는 합성개구면 처리방법을 수중 능동소나로의 적용을 최근 선진외국에서 활발하게 시도되고 있다(Hansen, 2011; Piper 등, 2002; Gough 등, 1998). 합성개구면소나 신호처리방법은 비교적 짧은 센서 배열로 수중 무인 시스템의 정속도 직선기동으로 발생하는 거리변화에 따른 위상차이를 코히어런트 합성처리하여 수신 배열신호 개구면 합성으로 고해상도 탐지성능을 확보할 수 있으며(Istepanian 등, 2002), 같은 탐지 해상도를 가진 능동소나에 비해 상대적으로 좀 더 원거리 탐지성능을 증가시킬 수 있다(Hansen 등, 2003). 하지만 수중 환경에서의 여러 가지 제약으로, 즉 상대적으로 낮은 음파속도, 다중경로 형성 및 수중환경 변동 등으로 개구면 합성처리에 여러 가지 오차를 발생하게 되어 탐지 해상도에 많은 성능저하 효과를 유발시키며, 이에 대한 영향 분석 및 효과에 대한 많은 연구가 수행되고 있다(Silva 등, 2008; Callow 등, 2009).

본 연구에서는 최근 많은 관심을 가지는 소형 수중무인화 시스템에 적용 가능한 능동형 합성개구면소나의 탐지성능 및 시스템 설계에 필요한 관련 여러 가지 제한점을 파악하고, 진행경로 변동 파라미터를 시뮬레이터에 구성하여 방위해상도에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 먼저, 해저 소형물체 탐지에 필요한 거리/방위해상도에 따른 펄스반복주기의 한계점을 고찰하고, 수신된 각 배열신호는 플랫폼 이동에 따른 거리변화를 계산하여 이에 따른 위상변이를 보상하는 코히어런트 합성처리를 해 줌으로써 능동소나의 탐지 해상도를 향상시키고자 한다. 또한 합성개구면소나의 정속/직선경로 운용시 발생하는 경로

변동 오차, 즉 위상 부정합에 영향을 미치는 파라미터를 변화시켜 방위 유발오차에 따른 방위해상도 성능 변화 및 S/N비 변화에 따른 특성 변화를 비교 분석하였다. 이들은 데이터 처리시 경로변동 모듈을 추가하여 시뮬레이터로 완성시킨 후, 실제 환경에 적용 가능한 조건에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

## 2. 능동 합성개구면소나 코히어런트 합성처리 및 성능 변화

수중무인 시스템에 탑재하여 해저 소형물체를 탐지하는 사이드스캔소나는 매우 높은 고주파수 센서 사용으로 탐지거리가 짧고 수신빔이 상대적으로 넓다. 이를 극복하기 위하여 원거리에서도 고해상도의 탐지성능을 가지는 합성개구면배열에 의한 능동소나처리가 요구된다. 이는 무인체가 정속도로 직선 기동하면서 개구면을 코히어런트 합성처리 함으로써 수신빔을 좁게 할 수 있어 방위해상도를 높일 수가 있으며, 이에 따라 주파수를 좀 더 낮게 가져갈 수 있어 탐지거리의 성능 향상을 가져올 수 있다. 하지만 수중환경의 외적영향으로 수중 무인체 플랫폼의 경로 및 속도 오차, 음향신호의 굴절, 변동 등으로 합성개구면처리에 있어 많은 오차를 유발하게 된다.

### 2.1 합성개구면소나 형성

Fig. 1은 수중 무인화 시스템에 운용 가능한 능동 합성개구면소나의 기하학적 그림으로서, 소나레이어를 탑재한 수중 운동체는 해저면에서 높이가  $h$ 인 수중을 정속도  $v_p$ 로 직선운동을 하게 된다(Hansen 등, 2003).

소나빔은 해저의 소형물체를 탐지하기 위하여 고도빔폭(elevation beamwidth)  $\theta_E$ 와 방위빔폭(azimuth beamwidth)  $\theta_H$ 로 능동 펄스신호를 송신하면, 경사거리(slant range)

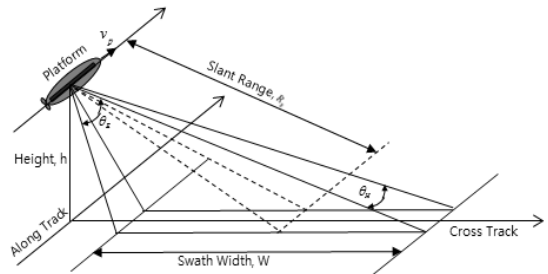


Fig. 1. Synthetic aperture sonar operation overview on UUV system

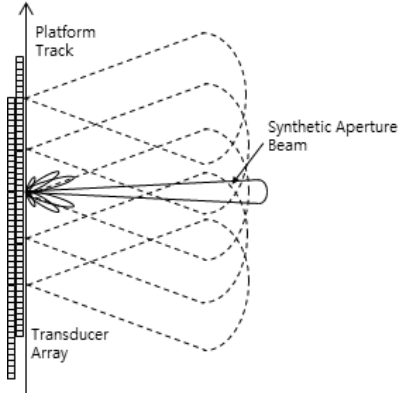


Fig. 2. Basic scheme of synthetic aperture beam

$R_s$ 에 있는 해저 산란자에 의해 반사가 이루어진다. 소나 어레이는 한번 송신된 펄스신호에 의해 산란자에서 반사된 신호의 도달시간을 계산하여 스와스폭(swath width)  $W$  영역만큼의 해저물체에 대한 탐지를 수행한다. 물체의 탐지 성능에 좌우되는 방위 해상도는 경사거리  $R_s$ 에 비례하여 나빠지게 되고, 고해상도를 얻기 위해선 고주파수의 송신신호를 사용하게 되지만 수중에서는 주파수가 높아짐에 따라 감쇄효과가 점점 커지게 되므로 탐지거리가 짧게 된다. 공간적인 제약을 갖는 수중 무인운동체에서 보다 나은 해상도를 가지기 위해선 플랫폼 이동에 따른 개구면 합성처리로 센서어레이의 길이효과를 가져올 수 있으므로 정밀한 해상도의 탐지 성능 향상을 가져올 수 있으나, 플랫폼의 이동 속도 및 경로 변동, 낮은 음파속도에 따른 다중경로, 수중환경의 변동 등으로 합성개구면처리에는 많은 제약이 따른다(Istefanian 등, 2002).

합성개구면처리는 Fig. 2와 같이 소나어레이의 이동에 따라 해저 소형물체로 펄스 핑신호를 반복적으로 주사함으로써 합성개구면이 커져서 높은 정밀도를 가진 빔을 형성할 수 있으며, 해저에 부설된 소형표적에 대한 방위 해상도가 좋은 영상을 얻을 수 있다.

2.2 거리 및 방위에 따른 펄스반복주파수

진행경로에 따른 개구면 합성은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 산란자로 부터의 경로 차이를 갖게 되며, 수신신호에 대한 경사거리는 다음과 같다.

$$R_s = [R_0^2 + (x - x_0)^2]^{1/2} \tag{1}$$

$$\approx R_0 + \frac{(x - x_0)^2}{2R_0}, \quad |x - x_0| \ll R_0$$

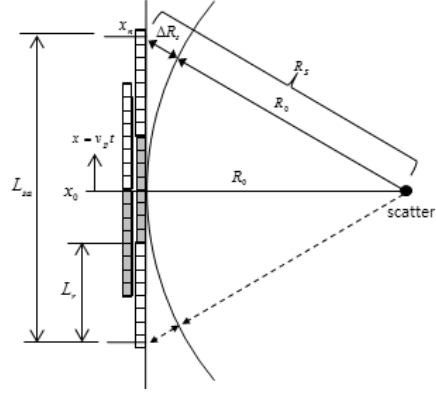


Fig. 3. Range differences of active synthetic aperture formation

여기서  $R_s$ 는 경사거리,  $R_0$ 는 최근접점에서의 거리이다. 따라서 거리  $x$ 에서의 수신신호 위상차는 다음과 같이  $x_0(t = 0)$ 에서의 위상보다 왕복거리  $\Delta R_s$ 만큼의 위상차를 갖게 된다.

$$\Delta\phi(t) = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R_s = \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) \left(\frac{(x - x_0)^2}{2R_0}\right) = \frac{2\pi v_p^2 t^2}{\lambda R_0} \tag{2}$$

여기서  $\lambda$ 는 송신신호 파장,  $v_p$ 는 플랫폼 속도이다. 각 채널에서의 수신신호는 코히어런트 적분시간 동안 Eq. (2)에서 유도된 위상차를 계산하여 보상에 줌으로써 이득이 큰 신호를 합성할 수 있다. 또한 경로진행에 따른 수신시간은 센서어레이의 이동시간과 관련되며, 수신신호의 언더샘플링을 고려하여 다음과 같이 펄스반복주파수 PRF (Pulse Repetition Frequency)를 결정하여야 한다(Bruce, 1992).

$$PRF \geq \gamma \frac{2v_p}{L_r} \tag{3}$$

여기서  $\gamma$ 는 오버샘플링 계수이며,  $L_r$ 는 센서어레이 길이이다.

송신된 펄스신호는 Fig. 4와 같이 센서어레이의 경사빔폭에 의해 신호가 전파되고, 최대거리인  $R_{max}$ 의 산란자에서 돌아온 신호를 수신하여야 한다. 수신시간은  $t = 2R_{max}/c$ 에 의해 결정되며, 다음 펄스신호는 경사거리에 따른 불확실성을 피하기 위해서 최대거리에서의 수신신호 이후에 송신되어야 한다. 그러므로 펄스반복주파수는 다음과 같이 주어진다.

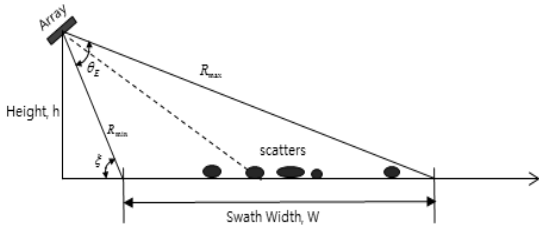


Fig. 4. Elevation and grazing angle of synthetic aperture array

$$PRF \leq \frac{c}{2(R_{\max} - R_{\min})} \quad (4)$$

따라서 소나어레이에서 송신되는 펄스반복주파수는 플랫폼의 진행경로 이동거리 및 최대탐지 경사거리에 의해 다음과 같은 조건을 만족하게 설계하여야 한다.

$$\gamma \frac{2v_p}{L_r} \leq PRF \leq \frac{c}{2[h^2 + (W + hcot\xi)^2]^{1/2} - h/\sin\xi} \quad (5)$$

여기서  $\xi$ 는 근접 그레이징 각도(grazing angle)이다.

### 2.3 합성개구면 코히어런트 초점처리

해저 산란자에서 반사된 신호는 경사거리를 통해 수신하게 되며, 수신된 에코신호  $r_n(t)$ 는 송신 펄스신호  $s(t)$ 의 시간지연을 거쳐 주위환경에 따른 크기의 변화를 가지고 수신된다.

$$r_n(t) = A_n s(t - t_n) \quad (6)$$

여기서  $A_n$ 는 수신신호 크기이며,  $t_n$ 은 송신 후 왕복경로를 거친  $n$ 번째 수신기에 도달되는 시간이다. 거리해상도는 거리에 따른 두 산란자를 구별할 수 있는 최소거리이며, 송신펄스의 길이에 의해 결정되고 펄스폭을 줄임으로서 해상도를 올릴 수 있다. 하지만 송신 펄스폭은 음파 발생 및 전송시 강도에 영향을 주므로 무한정 줄일 수가 없고 해상도를 올리기 위해 여러 가지 펄스 압축기법을 사용하기도 한다.

$$\delta R = \frac{c\tau}{2} = \frac{c}{2B} \quad (7)$$

여기서  $\delta R$ 는 거리해상도,  $\tau$ 는 송신 펄스폭,  $B$ 는 송신신호의 밴드폭이다. 합성개구면소나는 코히어런트 시스템

으로 긴 배열개구면에 수신되는 각 에코신호의 위상차를 보상 후 합성하여 해상도를 향상시킬 수 있으며 방위해상도는 다음과 같다(Istepanian, 2002).

$$\delta x_{sa} = \theta_{sa} R_0 = \frac{\lambda}{2L_{sa}} R_0 \approx \frac{L_r}{2} \quad (8)$$

여기서  $\delta x_{sa}$ 는 합성개구면 방위해상도,  $\theta_{sa}$ 는 빔폭,  $L_{sa}$ 는 합성개구면 길이이다. 방위해상도는 거리  $R$ 에 있는 한 표적을 서로 다른 위치의 센서어레이에서 초점 합성개구면처리를 위하여 수신시간 계산이 필요하고, 이때 각 수신되는 센서에서 산란자까지의 거리는 어레이의 위치함수로 표현이 되며, 이는 도달시간차이를 발생하고 위상변이를 가져 온다.

$$t_n^2 = t_{n0}^2 + \left(\frac{2nv_p}{c}\right)^2 \left(\frac{1}{PRF}\right)^2 \quad (9)$$

수신신호의 지연된 시간(거리)은 수신신호와 송신신호의 상호상관함수에 의해 값이 최대가 되는 지점까지를 지연시간으로 구할 수 있으며, 외부요인에 의한 위상 부정합에 따른 오차가 존재하게 된다. 각 위치에서의 수신신호는 왕복거리에 의한 위상차를 적용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$X_n(x_n, R) = \exp[-j\Delta\phi(x)] \approx \exp\left[-j\left(\frac{2\pi}{\lambda R_0}(x_n - x_0)^2\right)\right] \quad (10)$$

따라서 각 위치에서의 신호는 각 위치에서 보상된 위상차 지연된 합  $\hat{E}_n$ 으로 신호를 크게 합성할 수 있다.

$$\hat{E}_n(x_n, R) = \sum_{N_0 - N_c/2}^{N_0 + N_c/2} \hat{X}_n(x_n, R) \quad (11)$$

여기서  $\hat{X}_n$ 는 경로 위상차를 보정한 신호이다. 합성된 수신 에코신호는 위상차와 매칭되는 위치에서는 신호가 크게 되고 이미지 픽셀로서 표시가 된다. 하지만 외부요인에 의한 진행거리 변동에 의한 부정합이 발생되고, 거리변동 오차만큼의 위상차 변동을 고려해 주어야 하며 그 만큼의 탐지 해상도는 나빠지게 된다.

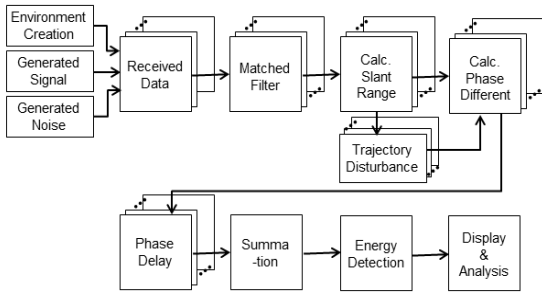


Fig. 5. Proposed simulator scheme of executed data processing and analysis

$$\hat{x}_n = x_n + \Delta x_n \quad (12)$$

$$\hat{E}_n(x_n, R) = \sum_{N_0 - N_c/2}^{N_0 + N_c/2} \hat{X}_n(\hat{x}_n, R) \quad (13)$$

여기서  $\Delta x_n$ 은 외부요인에 의한 진행 경로변동 요소이며, 탐지해상도 영향분석을 위해 가우시안 분포 오차를 고려하여 부정합에 따른 크기 변화를 적용하였다.

앞에서 제시한 방법을 수행 및 분석하기 위하여 Fig. 5와 같이 데이터 처리 블록을 구성하였다. 먼저, 요구환경에 적합한 송신신호의 펄스반복주파수 및 플랫폼 속도, 합성개구면 수를 결정하고, 각 개구면 센서어레이에서 수신된 신호는 매칭필터에 의해 중심위치에서의 왕복 도달시간이 추출된다. 각각 수신위치별 최근접 위치에 따른 포물선 형태의 경사거리를 계산한 다음, 진행경로에 대한 위상차 부정합을 궤적변동 데이터 처리 블록에서 수행한다. 이 블록에서 궤적변동에 따른 영향을 인가해 줄 수 있으며, 이에 따른 변동 거리 및 시간 계산이 이루어진다. 이 결과들은 다음단의 위상차계산 블록으로 인가되고, 이들은 각 개구면 센서위치에서의 위상 지연/합 과정을 거쳐 표적에 대한 에너지 탐지가 이루어지며, 처리 결과는 전시 영상으로 표현된다. 이렇게 완성된 시뮬레이터를 사용하여 수중 무인시스템 운용 시나리오에 의해 해저부설 점 표적들에 대한 탐지성능 시뮬레이션을 수행하였고, 외부환경에 의한 경로변동 변화에 따른 위상부정합 처리 결과를 비교 검토하여 합성개구면 처리시 방위해상도에 미치는 영향분석을 수행하였다.

### 3. 시뮬레이션 및 고찰

소형 수중무인시스템에 탑재 가능한 소나어레이에 대

한 합성개구면처리 탐지해상도를 검토하기 위하여 다음과 같은 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저 해저에 부설되어 있는 표적은 세 개의 점 표적으로 하였으며, 수중환경의 변화 및 센서 관련 특성, 음파전달 특성에 관련된 사항 등은 본 연구 범위에서 벗어나므로 이상적으로 고려하였다.

- 탑재 어레이 센서수/총길이 : 10개/1m
- 송신신호 주파수 : 50kHz
- 펄스폭 : 100μsec
- 샘플링 주파수 : 500kHz
- 수중 무인체 주행 높이 : 100m
- 수중 무인체 이동 속도 : 1.5m/sec
- 점 표적 : 3개(Cross Range=100m, Distance=1m, 0.5m)
- 방위해상도( $\delta x_{sa}$ ) : 20cm
- 근접 그레이징 각도 : 60°
- 스와스 폭(swath width) : 300m

송신 펄스파형은 Hann 포락선 형태의 신호를 사용하였으며, 수중 운동체는 정속도로 주어진 직선경로를 이동하고, 수중소음은 백색 가우시안 잡음으로 변화를 주었으며, 수중운동체 진행에 의한 주변 자체소음 관련 영향은 무시하였다. 먼저 근접 그레이징 각에 의한 브라인드(blind) 거리는 57.7m가 되며, 스와스 폭에 따른 수직 빔폭은 44.4°, 최대 경사거리는 371.5m, 최소 경사거리는 130.5m로 계산된다. 경사거리에 의한 최소 펄스반복간격은  $PRF_{min} = 2(371.5 - 130.5)/1500 = 321msec$ 이므로  $PRF$ 를 330msec로 선택하였으며, 최대반복주파수  $PRF_{max}$ 는 3.03Hz이다. 방위 모호성을 피하기 위해서는  $PRF = 3 = (2 \times v_p)/L_r$ 이므로, 속도  $v_p$ 가 1.5m/sec일 때 길이  $L_r$ 는 1m가 된다. 즉,  $L_{req}/L_{max} = L_r/(2 \times \delta x_{sa}) = 2.5$ 이므로 주어진 방위해상도를 얻기 위해서 3개의 개구면으로 합성처리하였다.

Fig. 6은 해저에 부설된 1개의 점표적에서 반사되어 돌아오는 수신센서 위치별 도착시간을 계산한 결과로써 경사거리별 포물선 형태의 시간지연이 생겨 도착됨을 알 수 있고, 이는 각 센서별 수신신호 위상차 합성시 고려해 주어야 된다. Fig. 7은 S/N비가 15dB인 비교적 양호한 환경에서 이러한 위상차를 보상하여 합성개구면 초점처리에 의한 표적탐지 결과이다. 100m 지점에 부설된 표적이 영상으로 선명하게 표시됨을 알 수 있고, 진행경로 방위 2m 지점에서 방위해상도가 설계치와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

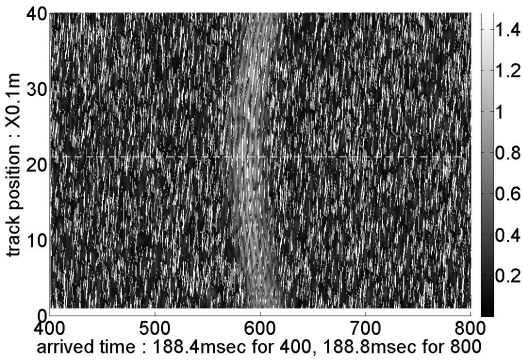


Fig. 6. Returned raw data from a point target

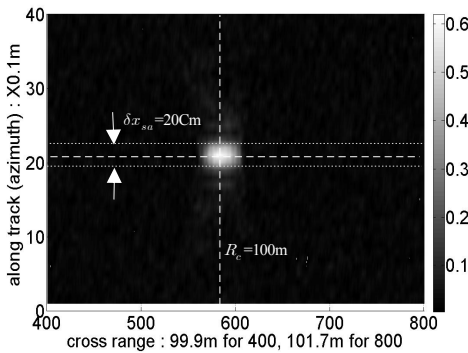
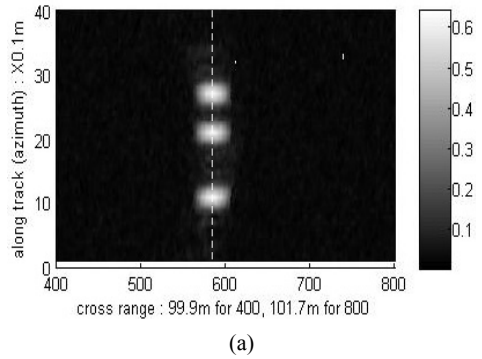


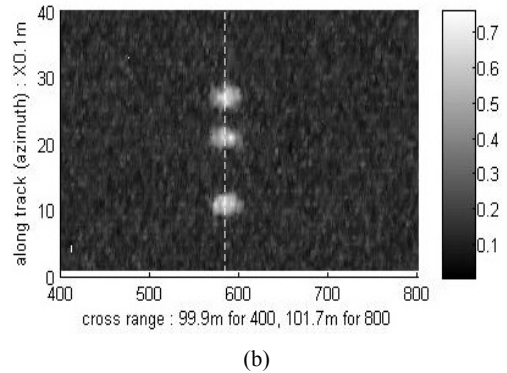
Fig. 7. Processed data image for a point target

Fig. 8과 Fig. 9는 3개의 점표적에 대하여 S/N비 변화에 따른 합성개구면처리 시뮬레이션한 결과이다. 표적은 해저 100m 지점에 1m, 0.5m 간격으로 부설되어 있고, 전체적으로 각 위치에서 탐지처리 결과 표적 영상이 선명하게 나타난다. S/N비가 나빠질수록 영상은 희미해지기 시작하며, 백색 가우시안 잡음의 적용으로 각 센서 마다 경로차 위상처리 합성시 주변소음은 점점 제거되고 표적 신호는 크게 되어 0dB시에도 형태는 희미해지지만 표적을 정확하게 식별할 수가 있다. Fig. 9는 S/N비가 각각 15dB, 6dB, 3dB 0dB인 환경에서 탐지거리인 100m 지점에서의 상대적인 에너지 탐지 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 S/N비가 3dB 보다 나빠지면 주변 잡음의 영향으로 각 표적영상은 형클어지고 방위해상도가 떨어짐을 알 수 있다.

두 개의 표적을 30cm로 접근했을 때의 방위해상도 결과는 Fig. 10 및 Fig. 11과 같다. 설계치 방위해상도가 20Cm이므로 데이터 처리 결과 분리된 영상을 볼 수 있으나, S/N비가 나빠지면 탐지영상의 방위해상도가 떨어지



(a)



(b)

Fig. 8. Processed data images for 3 point targets : d=1 m, 0.5 m (a) S/N=15 dB (b) S/N=0 dB

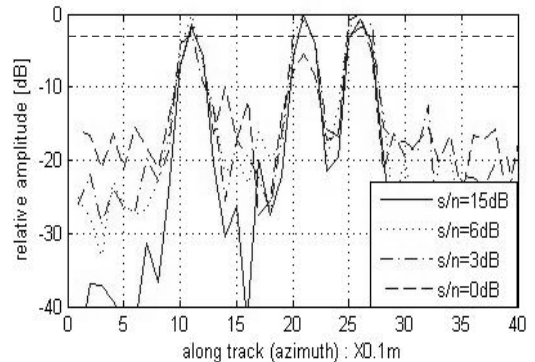


Fig. 9. Amplitudes of data processing results on S/N ratio :  $R_c=100$  m, d=1 m, 0.5 m

므로 두 표적은 겹쳐 보이게 된다. Fig. 11은 근접표적에 대한 S/N비 변화에 대한 처리 결과로써, 3dB보다 나쁜면 방위해상도는 나빠져서 두 표적 구별은 어렵게 된다.

Fig. 12와 Fig. 13은 수중 무인체 직선기동시 경로변동에 따른 위상차 부정합에 의해 발생하는 방위해상도 변화

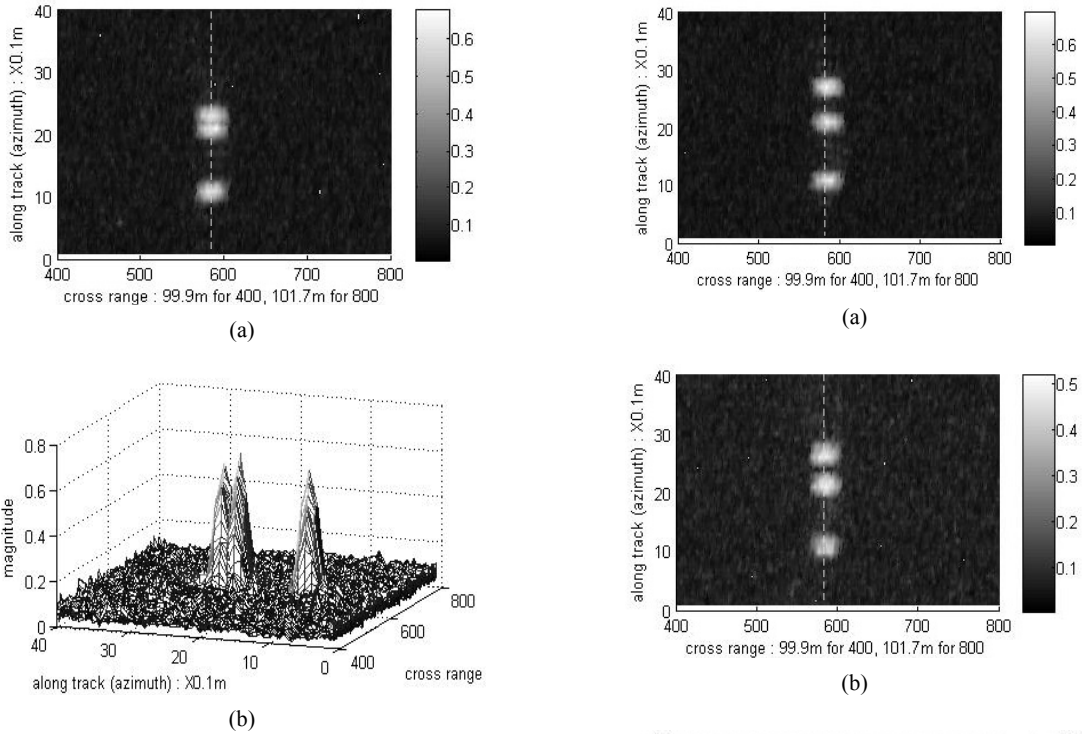


Fig. 10. Processed data images for 3 point targets :  $d=1$  m, 0.3 m (a) images (b) magnitudes

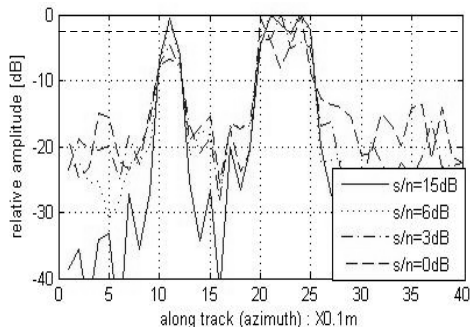


Fig. 11. Amplitudes of data processing results on S/N ratio :  $R_c=100$  m,  $d=1$  m, 0.3 m

를 시뮬레이션한 결과이다. 이는 구성된 시뮬레이터의 경로변동 모듈에서 수행되며, 변동오차 정도는 가우시안 분포를 고려하여 부정합에 따른 크기 변화를 적용하였다. 그림은 S/N비가 6dB일 때 진행경로에 대한 펄스폭 기준 변동폭 변화에 대해 분석한 결과이다. 직선경로 변동은 여러 환경요소에 의해 일어날 수 있으며, 변동이 없을 때의 결과에 비해 방위해상도가 점점 나빠짐을 알 수 있다.

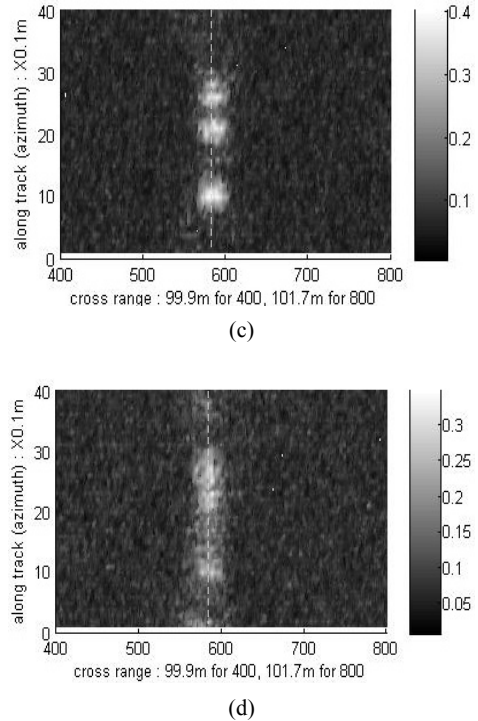


Fig. 12. Processed data images for 3 point targets (a)  $\text{del-x}=0$  (b)  $\text{del-x}=(1/2)pw$  (c)  $\text{del-x}=pw$  (d)  $\text{del-x}=(3/2)pw$

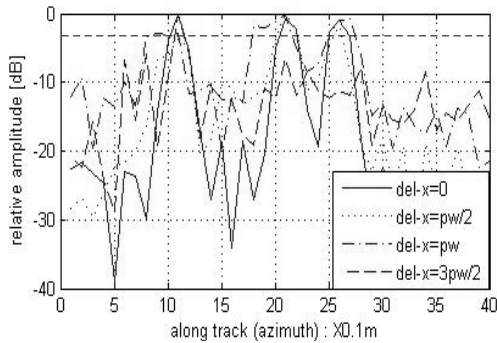


Fig. 13. Amplitudes of data processing results on trajectory disturbance

표적거리 100m 기준에서 경로변동이 송신신호 펄스폭 크기를 가지게 되면 방위해상도는 매우 나빠지며(Fig. 12(c)), 경로변동이 펄스폭 보다 커지게 되면 탐지표적의 해상도는 급격히 나빠지게 되고 Fig. 12(d) 결과에서 보는 바와 같이 1.5배가 되면 표적을 구분할 수 없게 된다. Fig. 13은 이러한 변화를 비교해 볼 수 있으며, 상대크기의 3dB 기준점에서 그 결과를 볼 수 있듯이 송신펄스폭 이상의 경로변동에 대한 처리결과는 방위해상도에 매우 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 소형 무인화 시스템에서의 능동 합성개구면소나 적용 가능성 및 해저부설 소형물체 협대역탐지시 방위해상도 성능에 미치는 여러 가지 효과에 대하여 고찰하였다. 합성개구면소나처리는 방위해상도를 높일 수 있으나 운용 플랫폼의 기동조건 및 외부요인에 의하여 많은 오차를 유발하게 된다. 본 실험실에서 구성한 시뮬레이터로 설정된 시나리오에 의해 시뮬레이션을 해 본 결과, 방위해상도는 설계치와 유사하였고 S/N비 변화에 의한 영향은 3dB 이상부터 표적영상이 흐릿어지고 방위해상도가 떨어지게 된다. 주어진 모델링 조건에서 코히어런트 합성처리시 플랫폼의 경로변동이 위상 부정합에 미치는 정도는 변동폭이 송신펄스폭을 초과할 때 방위해상도는 큰 오차를 가지게 된다. 운용속도는 펄스반복주파수에 의해 결정되고 실제 운용시 이를 초과하면 탐지해상도는 떨어지며, 샘플링주파수는 합성개구면처리시 많은 데이터 처리량에도 불구하고 최근에는 컴퓨팅 처리능력의 향상으로 큰 제약사항이 아니게 되었다. 앞으로 이 분석 결과를 기초로 하여 무인화 및 소형화 수중무인시스템의 급격

한 발달에 따른 합성개구면처리에 의한 분포표적 탐지 성능효과 및 외부환경요소에 미치는 효과도에 대한 지속적인 연구가 수행될 것이다.

#### References

1. Hayden J. Callow, Michael P. Hayes, and Peter T. Gough, "Motion-Compensation Improvement for Widebeam, Multiple-Receiver SAS Systems", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 34, pp. 262-268, 2009.
2. James A. Winnefeld, Frank Kendall, "Unmanned Systems Integrated Roadmap FT2013-2038", Ref. No.: 14-S-0553, U.S., pp. 1-25, 2013.
3. Jose E. Fernandez, James T. Christoff, and Daniel A. Cook, "Synthetic Aperture Sonar On AUV", Oceans 2003 MTS/IEEE Conference, pp. 1718- 1722, 2003.
4. John E. Piper, Kerry W. Commander, Eric I. Thorsos, and Kevin L. Williams, "Detection of Buried Targets Using a Synthetic Aperture Sonar", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 27, pp. 495-503, 2002.
5. Lapierre Lionel, "Underwater Robots Part I: Current Systems and Problem Pose", LIRMM, France, pp. 309-330, 2006.
6. Michael P. Bruce, "A Processing requirement and Resolution Capability Comparison of Side-Scan and Synthetic-Aperture Sonars", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 17, pp. 106-117, 1992.
7. Michael P. Hayes, "Synthetic Aperture Sonar: A Review of Current Status", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 34, pp. 207-217, 2009.
8. P. T. Gough and D. W. Hawkins, "A Short History of Synthetic Aperture Sonar", IEEE Xplore Digital Library, pp. 618-620, 1998.
9. Robert S. H. Istepanian and Milica Stojanovic, "Underwater Acoustic Digital Signal Processing and Communication Systems", Kluwer Academic Publishers, pp. 37-75, 2002.
10. Roy Edgar Hansen, "Introduction to Synthetic Aperture Sonar", www.intechopen.com, pp. 1-25, 2011.
11. Roy Edgar Hansen and Sean Chapman, "Signal Processing for AUV based Interferometric Synthetic Aperture Sonar", IEEE Xplore Digital Library, pp. 2438-2444, 2003.
12. Sergio Rui Silva, Sergio Cunha, Anibal Matos and Nuno Cruz, "Sub-Band Processing of Synthetic Aperture Sonar Data", Pricceeding of the OCEANS 2008 MTS/IEEE Conference, pp.1-8, 2008.
13. W. E. Landay III, M. A. LeFever, R. A. Spicer, R. M. Levitre, and S. J. Tomaszeski, "The Navy Unmanned Undersea Vehicle(UUV) Master Plan", pp. 1-53, 2004.





**김 부 일** (bikim@pknu.ac.kr)

1981 경북대학교 전자공학과 학사

1985 경북대학교 전자공학과 석사

2001 경북대학교 전자공학과 박사

1985~2013 국방과학연구소 수석연구원

2013~현재 부경대학교 과학기술융합전문대학원(무기체계공학협동과정) 부교수

관심분야 : 능동소나, 합성개구면소나, 수중음향신호합성, 수중음향대응