

## 능동소나 탐지효과도 분석

### Measure of Effectiveness Analysis of Active SONAR for Detection

박지성\*      김재수\*      조정홍\*      김형록\*\*      신기철\*\*\*  
 Ji-Sung Park      Jea-Soo Kim      Jung-Hong Cho      Hyoung-Rok Kim      Kee-Cheol Shin

#### ABSTRACT

Since the obstacles and mines are of the risk factors for operating ships and submarines, the active sonar system is inevitably used to avoid the hazards in ocean environment. In this paper, modeling and simulation algorithm is used for active sonar system to quantify the measure of mission achievability, which is known as Measure of Effectiveness(MOE), specifically for detection in this study. MOE for detection is directly formulated as a Cumulative Detection Probability(CDP) calculated from Probability of Detection(PD) in range and azimuth. The detection probability is calculated from Transmission Loss(TL) and the sonar parameters such as Directivity Index (DI) calculated from the shape of transmitted and received array, steered beam patterns, and Reverberation Level (RL). The developed code is applied to demonstrating its applicability.

Keywords : Measure of Effectiveness(MOE), Detection of Probability(PD), Cumulative Detection Probability(CDP), Mine and Obstacle Avoidance SONAR(MOAS), Active SONAR

#### 1. 서론

해양에는 수상, 수중운동체를 운용함에 있어서 수많은 위험요소가 존재한다. 이 중 소형장애물로는 기뢰가 있으며, 이를 탐지하기 위하여 능동소나인 기뢰/장애물 회피소나(MOAS : Mine and Obstacle Avoidance SONAR)를 사용한다. 선진국의 경우 기뢰 또는 장애물에 대한 탐지 및 회피기동에 대한 수중음향모델링의

연구가 이루어졌고<sup>[1]</sup>, 대기뢰전(MIW : Mine Warfare)의 훈련체계인 MIREM(Mine Warfare Readiness and Effectiveness Measuring)으로부터 능동탐지효과도(MOE : Measure of Effectiveness)를 측정 및 분석을 하는 등 기뢰/장애물 회피소나 운용에 대한 체계가 확립되어 있다<sup>[2]</sup>. 효과도는 소나를 운용함에 있어서 성능을 예측하고, 전술의 적용에 따른 효과 및 전술환경을 분석함으로써 효율적인 표적의 탐지를 위한 지표로 쓰인다<sup>[3]</sup>. 국내에서는 능동탐지에 대한 연구사례가 있지만 능동탐지효과도의 연구사례는 문헌에서 찾아보기 힘들다.

본 논문에서는 능동소나의 제원과 탐지시스템을 기반으로 두 가지 기동시나리오에 따른 시간대별 탐지확률(PD : Probability of Detection)과 누적탐지확률(CDP : Cumulative Detection Probability)을 계산하여 능동소

† 2013년 1월 7일 접수~2013년 3월 15일 게재승인

\* 한국해양대학교 해양공학과

\*\* 국방과학연구소(ADD) 제6기술 연구본부 1부

\*\*\* LIG Nex1 Maritime R&D 연구소

책임저자 : 박지성(piarinis@hanmail.net)

나의 탐지효과도를 분석하였다.

능동소나 탐지효과도 분석을 위하여 탐지소나 및 표적의 정보, 해양환경으로부터 능동소나방정식에 대한 소나파라미터(SONAR Parameter)를 도출하였다. 기뢰/장애물 회피소나는 수직배열센서를 이용하여 신호를 송신하고, 수평배열센서를 이용하여 신호를 수신하며 표적을 탐지한다<sup>[1]</sup>. 이러한센서의 형상에 대하여 수치적분법을 적용하여 송·수신 빔패턴을 계산하였고<sup>[4]</sup>, 빔패턴으로부터 빔조향 방위에 대한 지향지수(Directivity Index) 및 유효빔폭을 고려한 잔향음준위(Reverberation Level)를 도출하였다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 조향빔의 패턴을 간단한 수치모델을 사용하였으나, 정확한 계산을 위해서는 실제 관측데이터를 적용할 수 있다. 능동소나방정식으로부터 신호초과이득(SE : Signal Excess)을 계산하여 탐지소나와 표적의 기동시나리오에 대한 시간대별 탐지정보 및 탐지확률을 도출하고, 표적탐지를 위한 거리와 방위에 대하여 도식화하였으며, 전체 기동시간에 한 누적탐지확률을 계산을 통해 능동소나의 탐지효과도 분석을 수행하였다<sup>[6]</sup>.

## 2. 능동탐지효과도 이론

효과도란 주어진 해양환경과 탐지소나와 표적의 항적 시나리오 하에서 소나에 대한 음향 탐지효과를 정량적인 방법으로 도출하는 것이다. 이를 위해 먼저 효과도(MOE : Measure of Effectiveness)계산과 성능측정(MOP : Measure of Performance)의 개념이 선행되어야 한다<sup>[7]</sup>.

### 가. 효과도 개념

Fig. 1과 같이 MOE와 MOP는 어떤 임무에서의 무기체계에 대한 성능을 평가하기 위해 사용된다. MOE는 작전상의 임무나 임무의구성요소를 특정 시스템(무기체계 또는 세력)을 사용하여 성공적으로 달성하는가를 측정하며, 임무가 주어지면 MOE가 곧 주어진 임무에 대한 효과도 측정이 된다. MOP는 질적 또는 양적인 측면에서 시스템의 능력, 특성을 측정하는 것이다. 시스템의 성능을 거의 고려하지 않아도 될 간단한 임무일 경우 MOE만으로도 효과도를 측정할 수 있지만, 복합임무의 경우 MOE를 바로 도출할 수 없으므로, 먼저 시스템의 성능, 즉 MOP를 테스트과정을 통해 먼저 산출한 뒤, MOE의 도출에 사용한다. 그러

므로 MOP는 MOE의 구성요소이자 경우에 따라 MOP가 MOE가 될 수 있다<sup>[8]</sup>.

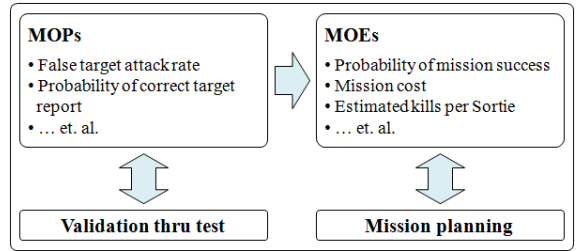


Fig. 1. MOEs/MOPs의 연관성<sup>[8]</sup>

Table 1. Standard system/platform level ASW MOPs<sup>[3,9,10]</sup>

분류 \ MOPs	MOPs 종류
ASW Detection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probability of detection ad a function of lateral range</li> <li>• Cumulative detection probability as a function of range</li> <li>• Figure Of Merit</li> </ul>
ASW Classification	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probability of correct classification given a valid contact</li> <li>• False alarm rate</li> <li>• Time from detection to correct classification</li> </ul>
ASW Localization	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probability of successful localization give a valid contact</li> <li>• Time from detection/classification to localization</li> <li>• Probability of localization as a function of lateral range</li> <li>• Cumulative probability of localization of lateral range</li> </ul>
ASW Attack	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probability of successful attack</li> <li>• Time from localization to attack</li> </ul>
ASW Vulnerability	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probability of counter detection versus lateral range</li> <li>• Cumulative probability of counter detection versus range</li> <li>• Cumulative probability of torpedo detection versus range</li> <li>• Cumulative probability of torpedo classification versus range</li> <li>• Cumulative probability of torpedo hit versus range</li> </ul>

대잠수함전(ASW : Antisubmarine Warfare)에서 사용되는 임무(MOPs)는 Table 1과 같이 탐지, 식별, 위치

추정, 공격 그리고 취약성 5항목으로 분류된다<sup>[3,9,10]</sup>. 본 논문에서는 설정된 시나리오에서 기동경로에 대한 능동탐지효과도를 분석하기 위하여 임무구분에 따른 17가지 임무 중 탐지에 대한 항목인 ASW Detection에서 거리에 따른 누적탐지확률로서 효과도를 정의한 Cumulative detection probability as a function of range 를 능동탐지효과도의 MOE로 적용하였다.

나. 탐지효과도 계산

능동소나의 탐지효과도 분석을 위한 누적탐지확률 계산에는 관측시점에 대한 표적의 탐지확률이 필요하며<sup>[11]</sup>, 탐지확률은 소나방정식으로부터 계산할 수 있다<sup>[12]</sup>.

1) 탐지확률

탐지확률 계산을 위해 식 (1)과 같이 능동소나방정식을 이용하여 신호초과이득을 계산하였다<sup>[5,13,14]</sup>.

$$SE = SL - 2(TL) + TS + DI_r - (RL * NL) - DT \quad (1)$$

능동소나방정식에서의 신호초과이득(SE : Signal Excess)은 표적의 음원준위(SL : Source Level)와 전달손실(TL : Transmission Loss), 표적강도(TS : Target Strength), 지향지수(DI : Directivity Index), 잔향음준위(RL : Reverberation Level), 소음준위(NL : Noise Level), 탐지문턱(DT : Detection Threshold)의 관계식으로 정의되고, 능동소나(Active SONAR)의 경우 수동소나(Passive SONAR)와 달리 송신신호에 대한 잔향음(Reverberation)이 존재하며, 이러한 잔향음이 주변환경에 존재하는 소음과 함께 수신된다. 식 (1)에서 (RL \* NL)은 잔향음준위와 소음준위가 상관관계가 없는 경우의 신호세기 합에 해당한다<sup>[5,13,14]</sup>.

식 (1)에서 계산된 신호초과이득으로부터 식 (2) Log-normal 분포에 적용하여 탐지확률을 계산하였다<sup>[12]</sup>.

$$P_d(SE) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^{SE} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (2)$$

식 (2)에서  $\sigma$ 는 신호초과이득의 분포에 대한 표준편차이고, 해상실험을 통한 실험값으로 8~9dB 사이의 값을 갖는다<sup>[5]</sup>. 본 논문은 능동소나 탐지확률 계산에 사용되는 표준편차를 9dB로 가정하여 계산하였다.

2) 누적탐지확률

능동소나가 표적을 탐지함에 있어서 탐색경로에 대한 효과도 측정 방법인 누적탐지확률을 계산하였다<sup>[3]</sup>. 본 논문에서는 누적탐지확률을 계산하는 알고리즘 중 하나인 독립적관측(Independent Discrete Glimpses)에 대한 누적탐지확률을 계산하였으며<sup>[11]</sup>, 탐지시간 변화만 고려된 독립적인 누적탐지확률 계산식 (3)에서  $Pd_i$ 는 현재시점에 대한 탐지확률이고  $CDP_{i-1}$ 는 이전시점에 대한 누적탐지확률이다.

$$CDP_i = Pd_i \times (1 - CDP_{i-1}) + CDP_{i-1} \quad (3)$$

3. 시뮬레이션

능동탐지효과도를 도출하기 위해 해양환경과 탐지소나의 제원 및 기동경로를 설정하였고, 정지하여 계류된 표적에 대하여 각 시점에서의 신호초과이득을 도출하여 탐지확률을 계산하였으며, 탐지확률로부터 전체 기동경로에 대한 누적탐지확률을 계산하여 효과도 측정 및 분석을 수행하였다.

가. 시뮬레이션 환경

본 논문에서 설정한 해양환경은 Fig. 2와 같다. 수심은 300m이고, 수심별 음속은 1500m/s로 일정한 Pekeris waveguide 환경으로 설정하였다. 여기서 해수의 밀도는 1.0g/cm<sup>3</sup>, 해저 밀도는 1.5g/cm<sup>3</sup>이며, 해저에서의 음속은 1600m/s 이다.

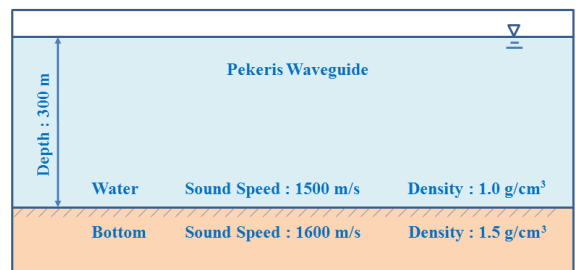


Fig. 2. 시뮬레이션 해양환경

1) 기동시나리오

본 논문에서 능동탐지효과도를 측정하기 위해 설정된 시나리오는 해역좌표(1.5,1.5)km, 수심 250m에서 표적이 정지하여 계류된 상태이며, 탐지소나가 표적과

동일한 수심 250m에서 10km/hr의 속도로 기동하며 표적을 탐지한다. 설정된 능동소나의 최대 탐지거리는 2km이며, 빔 조향하는 수평방위( $\theta$ )는  $-45^\circ \sim +45^\circ$ , 수직방위( $\phi$ )는  $-12^\circ \sim +12^\circ$ 이고, 30kHz의 주파수신호로 표적을 탐지하게 된다. 이에 Fig. 3, Fig. 4와 같이 서로 다른 기동경로에 대해 효과도 분석을 수행하였으며, Fig. 3의 경우 탐지소나가 표적과의 거리 200m 측면을 지나며 기동하는 시나리오이고, Fig. 4의 경우 탐지소나가 표적을 향하여 기동하다가 회피를 수행하는 시나리오이다.

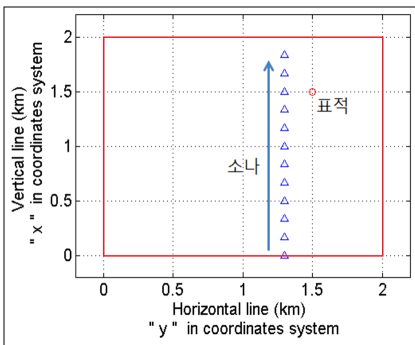


Fig. 3. 탐지소나와 표적의 기동패턴(시나리오 #1)

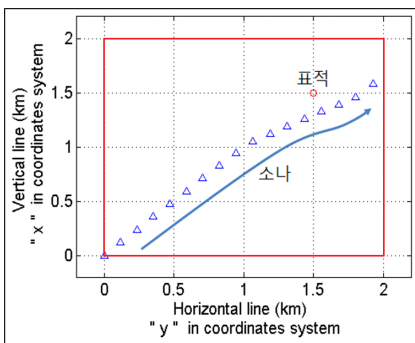


Fig. 4. 탐지소나와 표적의 기동패턴(시나리오 #2)

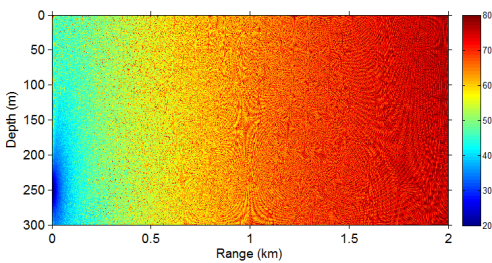


Fig. 5. 전달손실

Fig. 2에서 정의한 해양환경정보를 바탕으로 음향전파모델인 Bellhop을 이용하여 전달손실을 계산하였으며, 탐지소나가 위치한 수심 250m에서 최대탐지거리 2km에 대한 전달손실은 Fig. 5와 같다.

시나리오 상에서 표적이 기동하는 수심 250m에서의 전달손실은 Fig. 6과 동일하다. Fig. 6은 음향전파모델을 적용하여 계산한 결과로서 현실성 있는 결과이지만 거리 변화에 따른 전달손실의 변동폭이 최고 20dB이다. 이에 거리에 따른 탐지확률의 경향 파악을 위해 전달손실을 Fig. 7과 같이 11m 간격으로 이동평균(Moving Average)하여 시뮬레이션 환경에 적용하였다.

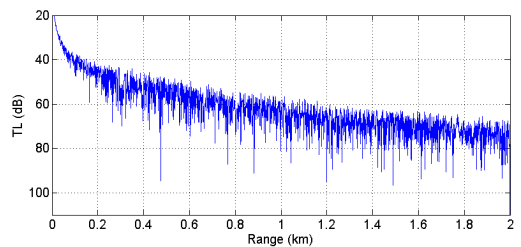


Fig. 6. 수심 250m의 전달손실

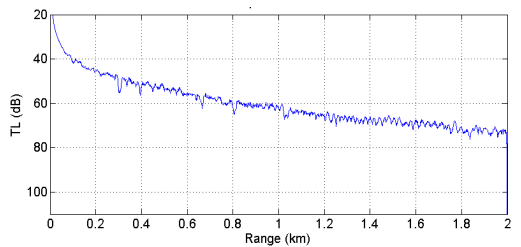


Fig. 7. 수심 250m에서 11m 이동평균으로 계산한 전달손실

## 2) 소나형상에 따른 빔 패턴

본 논문에서 사용한 능동탐지소나는 수직배열센서를 이용하여 송신하고, 수평배열센서를 이용하여 신호를 수신하여 표적을 탐지한다. 이러한 소나형상에 대한 빔 패턴을 Fig. 8의 좌표계에 따라 수치적분법에 의해 계산하였으며<sup>[4]</sup>, 각 방위에 대하여 빔 조향을 수행하였다.

### 가) 수직배열센서

수직배열센서는 기뢰/장애물 회피소나에서 신호를 송신하는 센서로서 Fig. 9와 같이 단일센서를  $\lambda/2$  간격 즉, 0.025m 간격으로 가로 2개, 세로 40개로 배열하였으며, 수치적분법을 통하여 빔패턴을 도출하였다<sup>[4]</sup>.

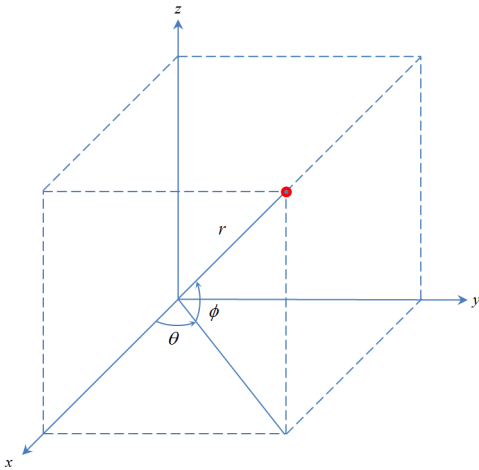


Fig. 8. 빔 패턴 구현을 위한 좌표계

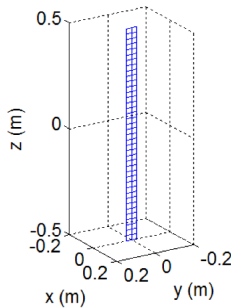


Fig. 9. 수직배열센서 형상

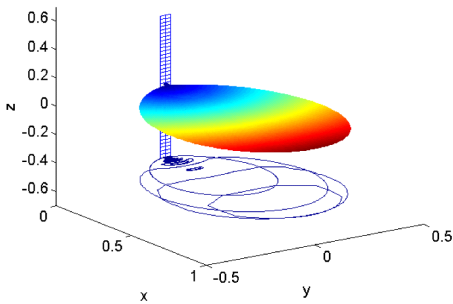


Fig. 10. 수직배열센서의 단일 빔 패턴

수직배열센서의 탐지주파수는 30kHz이며, Fig 10은 빔패턴을 계산한 결과로서 수직방위각  $\phi$ 의 유효빔폭은 약  $3^\circ$ 이고, 수평방위각  $\theta$ 의 유효빔폭은 약  $60^\circ$ 이다. 도출된 빔 패턴을 이용하여 수직방향으로  $-12^\circ \sim +12^\circ$ 에서  $1.5^\circ$ 의 간격으로 빔 조향을 수행하면서 표적을 탐지한다.

### 나) 수평배열센서

수평배열센서는 기뢰/장애물 회피소나에서 신호를 수신하는 센서로서 Fig. 11과 같이 단일 센서를  $\lambda/2$  간격 즉, 0.025m 간격으로 가로 40개, 세로 2개로 배열하였으며, 수치적분법을 통하여 빔 패턴을 도출하였다<sup>[4]</sup>.

수평배열센서의 탐지주파수는 수직배열센서와 마찬가지로 30kHz이며, Fig. 12는 빔 패턴을 계산한 결과로서 수직방위각  $\phi$ 의 유효빔폭은 약  $60^\circ$ 이고, 수평방위각  $\theta$ 의 유효빔폭은 약  $3^\circ$ 이다. 도출된 빔 패턴을 이용하여 수평방향으로  $-45^\circ \sim +45^\circ$ 에서  $3^\circ$ 의 간격으로 빔 조향을 수행하면서 표적을 탐지한다.

Fig. 10과 Fig. 12에서 입체적으로 나타낸 빔패턴의 형상에 대한 혼동을 피하기 위해 x-y 평면상에 빔패턴을 등고선으로 투영하여 도식화하였다.

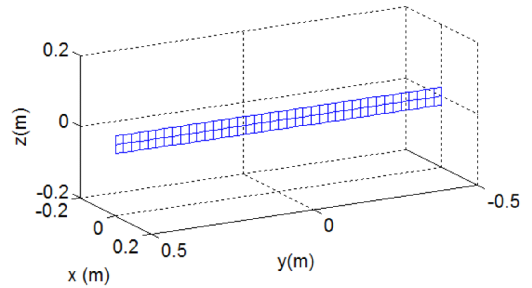


Fig. 11. 수평배열센서 형상

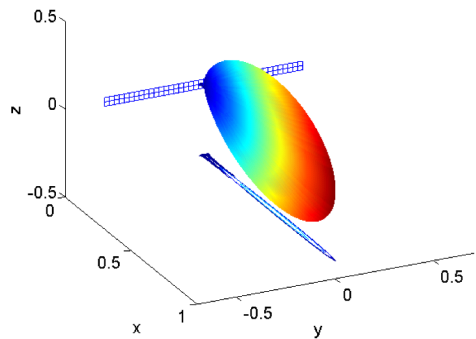


Fig. 12. 수평배열센서의 단일 빔 패턴

### 3) 능동소나의 탐지확률 계산

탐지공간상에 능동소나의 탐지확률을 계산하기 위하여 능동소나방정식의 소나파라미터(SONAR Parameter)를 설정하고, 탐지하고자 하는 공간에서 소나방정식 (1)에 의해 신호초과이득을 계산하여 Log - normal 분포로부터 탐지확률을 도출하였다.

가) 음원준위(SL : Source Level)

음원준위는 센서의 사양이 결정되면 적용할 수 있는 값으로 식 (4)에서 파워 ( $W$ )를 200Watt로 설정하여 계산하였다<sup>[5]</sup>. 그리고  $DI_t$ 는 송신방향성이득으로 앞서 도출한 송신 빔패턴으로부터 계산하여 적용하였다<sup>[14]</sup>.

$$SL = 171 + 10 \log_{10} W + DI_t \quad (4)$$

나) 표적강도(TS : Target Strength)

능동탐지효과도 계산을 위한 시나리오에서 표적의 형상을 지름이 1m인 구형으로 설정하였고, 구형표적의 표적강도를 계산하는 수신인 식 (5)에서 표적의 지름  $D$ 를 1m로 적용하여 표적강도를 계산하면 -12dB가 계산된다<sup>[5]</sup>.

$$TS = 20 \log \frac{D}{4} = -12dB \quad (5)$$

다) 소음준위(NL : Noise Level)

Wenz 곡선으로부터 주파수 30kHz에 대한 해상의 풍속을 4m/s로 가정하면 1Hz 대역폭에 대한 소음준위가 약 45dB이 되며, 이를 적용하였다<sup>[5]</sup>.

라) 지향지수(DI : Directivity Index)

지향지수는 소나의 형상 및 배열에서 빔패턴이 조항되는 방향에 대하여 에너지가 집중되는 정도를 나타내며, 식 (6)과 같이 표현된다<sup>[5]</sup>. 앞서 계산된 빔 패턴으로부터 신호를 송신하는 경우의 지향지수( $DI_t$ )와 수신하는 경우의 지향지수( $DI_r$ )를 계산하여 적용하였다.

$$DI = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{d} \right) \quad (6)$$

여기에서  $d$ 는 directivity factor이며, Fig. 8의 좌표계에 대하여  $B^2(\theta, \phi)$ 인 빔 패턴의 제곱의 평균값에 해당하며, 식 (7)과 같이 표현된다<sup>[5]</sup>.

$$d = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} B^2(\theta, \phi) \cdot r^2 \cos \phi \, d\theta \, d\phi \quad (7)$$

마) 탐지문턱(DT : Detection Threshold)

탐지문턱 값은 센서의 사양에 따라 결정되며, 본 논문에서는 1Hz band대역에 대하여 탐지문턱 값을 계산하는 식 (8)에서  $d$ (Detection Index)와  $w$ (대역폭),  $t$ (신

호지속시간)의 값을 1로 설정한 0dB로 계산하여 적용하였다<sup>[15]</sup>.

$$DT_0 = 5 \log_{10} d + 5 \log_{10} w - 5 \log_{10} t \quad (8)$$

바) 잔향음준위(RL : Reverberation Level)

시뮬레이션에는 체적 잔향음만을 고려하여 적용하였으며, volume scattering strength를 -50dB로 설정하여 잔향음을 계산하면 Fig. 13과 같다. Fig. 13에서 푸른 실선과 붉은점선의 경우 검증용 목적으로 이론식으로 무지향성(Omni) 빔패턴에 대해 계산된 결과이고, 분홍 실선은 무지향성 빔패턴으로부터 능동탐지센서의 송·수신 빔 패턴을 적용하여 계산된 잔향음이다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 능동탐지센서의 빔 패턴을 적용한 잔향음인 분홍실선의 잔향음을 적용하였으며, 탐지거리-수평방위( $\theta$ )에 대하여 도식화 하면 Fig. 14와 같다.

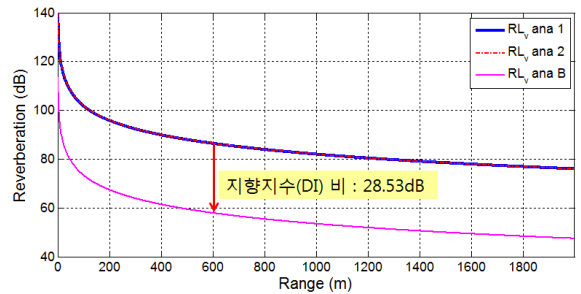


Fig. 13. 잔향음준위

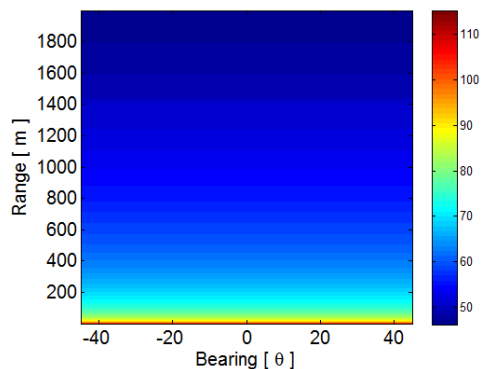


Fig. 14. 탐지거리 및 수평방위( $\theta$ )에 대한 잔향음준위

사) 전달손실(TL : Transmission Loss)

Fig. 7에서 도출된 전달손실을 탐지거리-수평방위( $\theta$ )에 대하여 도식화하였으며, Fig. 15와 같다.

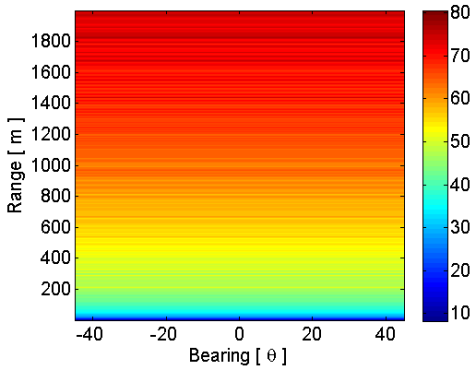


Fig. 15. 탐지거리 및 수평방위( $\theta$ )에 대한 전달손실

아) 신호세기(Signal Intensity)

능동탐지소나에서는 수신된 신호에 대하여 근거리에 대한 신호가 원거리에 대한 신호보다 강하며, 이에 대하여 평균화하는 시간가변이득(TVG : Time Varying Gain)을 적용하였다. Fig. 16은 표적이 존재하지 않는 경우의 잔향음에 대한 신호세기를 나타내었고, 이 경우 Fig. 17 시간가변이득을 적용하면 Fig. 18과 같다. Fig. 18의 신호세기의 경우 근거리와 원거리의 신호세기 차이가 Fig. 16 보다 비교적 평균화 된 것을 확인할 수 있다. 탐지거리-수평방위( $\theta$ )에 대해 도식화된 Fig. 18과 동일하게 계산하여 수평방위( $\theta$ )-수직방위( $\phi$ )에 대하여 도식화하면 Fig 19와 같다.

자) 탐지확률(PD : Probability of Detection)

탐지확률은 표적 수신신호로부터 도출된 신호초과 이득에서 식 (2) Log-normal 분포의  $\sigma$ 를 9dB로 설정하여 계산하였다<sup>[5]</sup>.

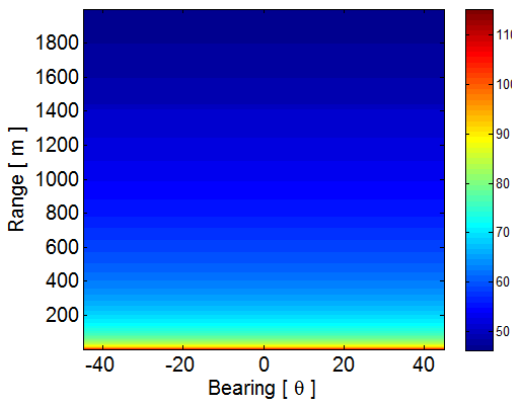


Fig. 16. 탐지거리-수평방위에 대한 신호세기

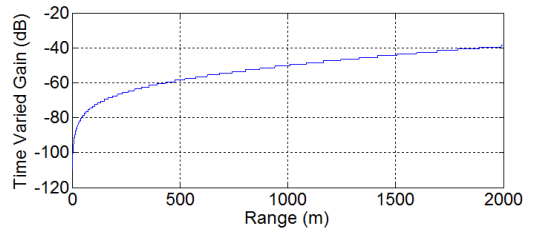


Fig. 17. 시간가변이득

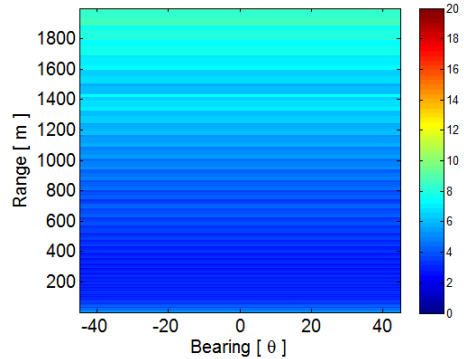


Fig. 18. 탐지거리-수평방위에 대한 신호세기(시간가변이득 적용)

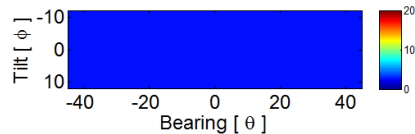


Fig. 19. 수평방위-수직방위에 대한 신호세기

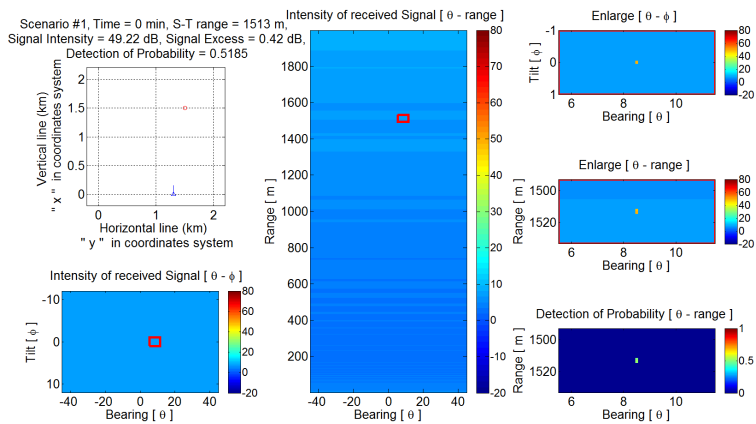
나. 능동탐지효과도 분석

본 논문에서는 능동탐지효과도를 분석하기 위하여 정지된 표적에 대한 탐지소나의 기동경로로부터 탐지확률을 계산하고, 전체기동경로에 따른 누적탐지확률을 도출하였다.

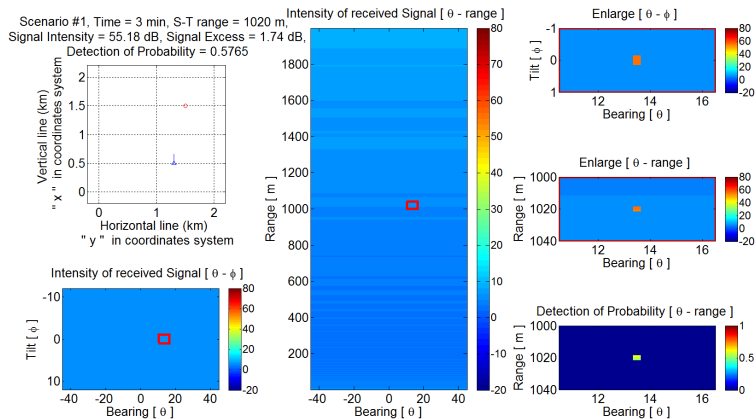
1) 탐지소나 기동패턴에 따른 탐지확률

Fig. 3, Fig. 4의 시나리오에 대해 탐지소나가 기동하여 표적에 근접하는 동안 탐지거리-수평방위( $\theta$ ), 수평방위( $\theta$ )-수직방위( $\phi$ )에 대한 신호세기 및 신호초과 이득을 계산하여 도식화하였다. 표적이 존재하는 위치에서 각 탐지시점에 대해 확대하였고, 탐지거리-수평방위( $\theta$ )를 확대한 결과로부터 표적의 탐지확률을 함께 도식화하였다. 탐지하는 시간간격을 1분으로 설정하였으며, 이에 대해 탐지확률을 계산하였다.

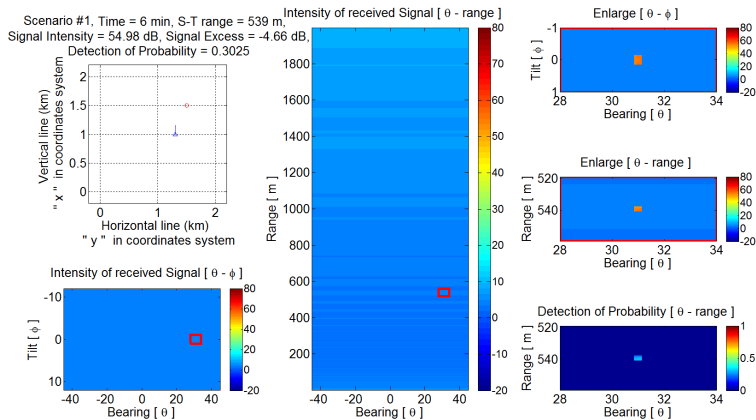
가) 시나리오 #1



(a) 0분



(b) 3분



(c) 6분

Fig. 20. 시나리오 #1 탐지시간에 따른 신호세기 및 신호초과이득, 탐지확률



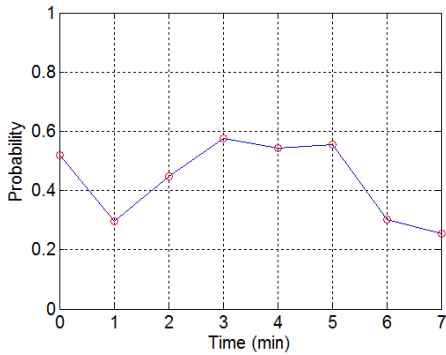
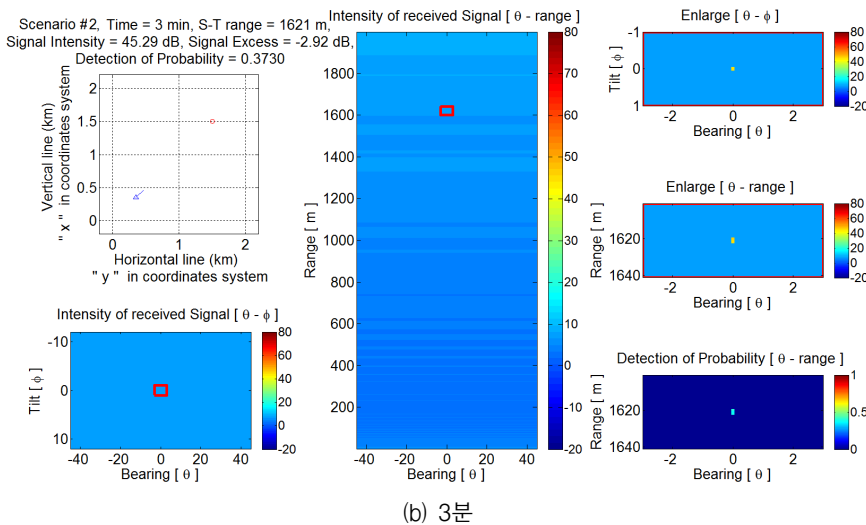
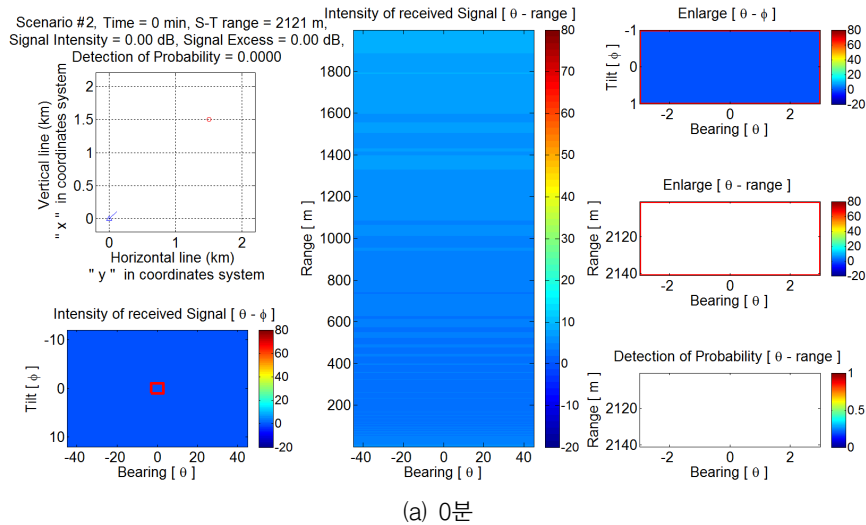


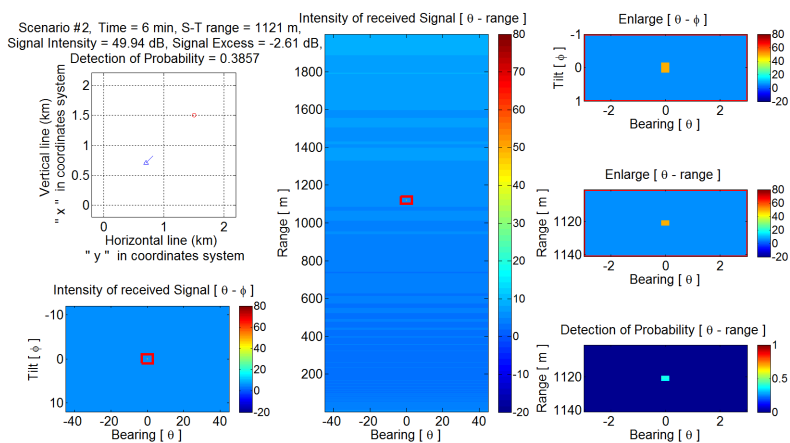
Fig. 21. 시나리오 #1 각 시점에서 계산된 탐지확률

시나리오 #1은 기동시작부터 7분 동안 탐지가 이루어졌으며, Fig. 20과 같이 3분 간격으로 도식화하였고, Fig. 21은 탐지소나가 기동하는 동안의 1분 간격에 대하여 탐지확률을 그래프로 나타낸 결과이다. 시나리오의 시작부터 탐지소나가 표적을 탐지하고, 표적을 향하여 기동하면서 표적과의 거리가 근접하게 되지만 탐지되는 표적의 방위가 수평방위( $\theta$ )에 대하여 측면으로 향하기 때문에 탐지확률이 저하되는 것을 확인할 수 있다.

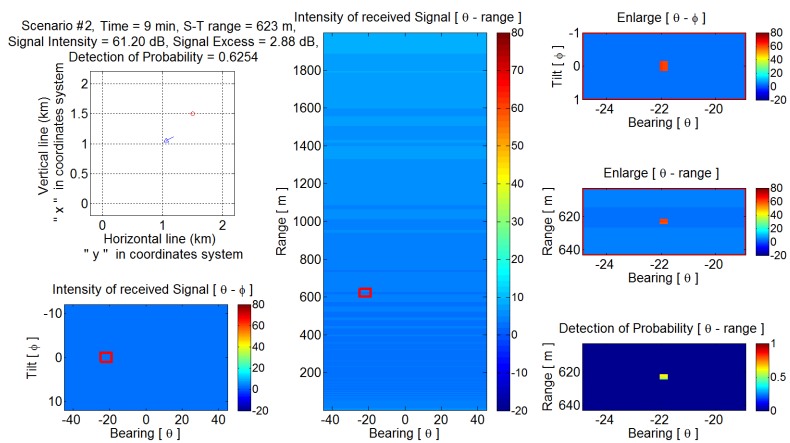
나) 시나리오 #2



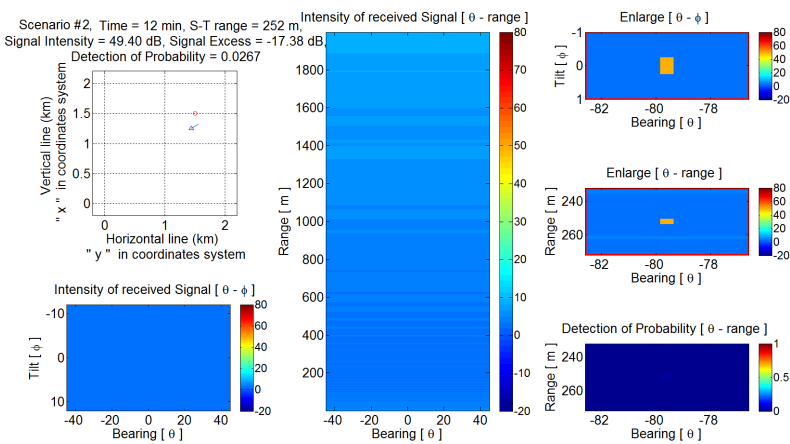
## 능동소나 탐지효과도 분석



(c) 6분



(d) 9분



(e) 12분

Fig. 22. 시나리오 #2 탐지시간에 따른 신호세기 및 신호초과이득, 탐지확률

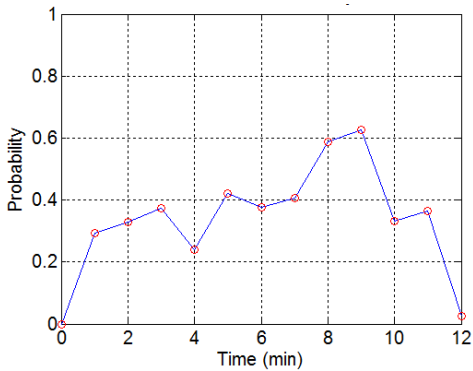


Fig. 23. 시나리오 #2 각 시점에서 계산된 탐지확률

시나리오 #2는 기동시작부터 12분 동안 탐지가 이루어졌으며, Fig. 22와 같이 3분 간격으로 도식화하였고, Fig. 23은 탐지소나가 기동하는 1분 간격에 대하여 탐지확률을 그래프로 나타낸 결과이다. 탐지소나가 표적을 향하여 정면으로 접근함에 따라 탐지확률이 증가하고, 회피기동을 수행함에 따라 탐지확률이 저하되는 것을 확인 할 수 있다.

2) 탐지소나 기동패턴에 따른 누적탐지확률

탐지소나의 시나리오에 따른 탐지확률 Fig. 21, Fig. 23에 대하여 식 (3)을 적용하여 Fig. 24, Fig. 25와 같이 각 시점에 대한 누적탐지확률을 그래프로 도식화하였다.

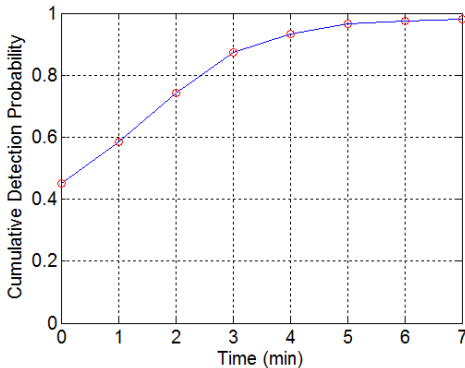


Fig. 24. 시나리오 #1 각 시점에서 계산된 누적탐지확률

본 논문에서 설정된 능동탐지소나를 적용하여 주어진 시나리오에서의 누적탐지확률을 계산함으로써 능동 탐지 효과도를 도출하였다. 시나리오 #1은 탐지소나가 표적과의 거리 200m 측면으로 지나가며 기동하

는 경로로서 누적탐지확률이 0.9798에 수렴하게 된다. 시나리오 #2는 탐지소나가 표적을 향하여 기동하다가 회피기동을 수행하는 경로로서 누적탐지확률이 0.9908에 수렴하게 된다.

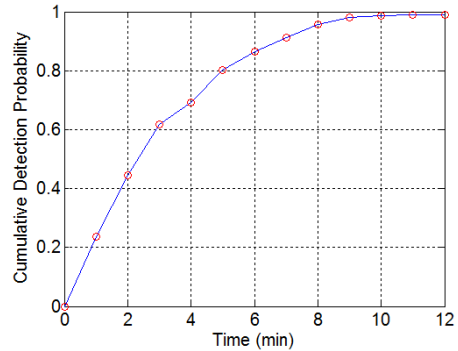


Fig. 25. 시나리오 #2 각 시점에서 계산된 누적탐지확률

4. 결론

본 논문에서는 능동소나의 제원과 소나탐지시스템을 고려한 능동소나방정식으로부터 두 가지 기동시나리오에 따른 시간대별 탐지확률과 누적탐지확률을 계산하여 능동탐소나의 탐지효과도를 분석하였다.

능동시나리오에서 사용된 능동탐지소나는 국내외에서 많이 사용되고 있는 기뢰/장애물 회피소나로서 30kHz의 주파수를 이용하여 수직배열센서에서 신호를 송신하고, 수평배열센서에서 표적의 정보를 수신하여 탐지한다. 이와 같은 탐지소나의 빔 패턴 계산 및 탐지알고리즘을 적용한 탐지소나의 정보와 표적 및 해양환경의 정보로부터 소나파라미터를 도출하고, 능동소나방정식으로부터 신호초과이득을 계산하였다.

능동소나 탐지효과도 분석을 위하여 두 가지 기동시나리오에서 표적탐지를 위한 거리 및 수평방위, 수직방위에 대하여 탐지정보 및 탐지확률을 도식화하였고, 개별 탐지확률로부터 전체 기동시간에 대한 누적탐지확률을 도출하였다.

References

[1] ELAC Nautic, “<http://www.elac-nautic.com>”.  
 [2] “<http://www.globalsecurity.org>”.

- [3] M. W. Zynwalt, A. J. Korsakm, and R. S. Ratner, "Appendix A Standard Antisubmarine Warfare Measures of Effectiveness and Measures of Performance", PEO (MUW) INST 3370.1, 2000.
- [4] C. A. Balanis, "Uniform Circular and Rectangular Arrays for Adaptive Beamforming Applications", IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION, Vol. 4, pp. 351~354. 2005.
- [5] R. J. Urick, Principles of Underwater Sound, 3rd edition, McGraw-Hill Book company, 1983.
- [6] D. R. DelBalzo, K. P. Hemsteter, M. D. Wagstaff, E. R. Rike, and J. H. Leclere, "Environmental Effects on MCM Tactics Planning", MTS/IEEE Conference on Ocean, Vol. 3, pp. 1394~1399. 2002.
- [7] Jung Hong Cho, Jea Soo Kim, Jun-Seok Lim, Seongil Kim, and Young-Sun Kim, "Optimal Acoustic Search Path Planning for Sonar System Based on Genetic Algorithm", International Journal of Offshore and Polar Engineering, pp. 218~224, Vol. 17, No. 3, 2007(SCIE, ISSN 1053-5381).
- [8] 조정홍, "수중음향 모델링에 기반한 소나체계의 성능 분석", 공학박사 논문, 한국해양대학교 대학원, 2011.
- [9] D. R. DelBalzo, K. P. Hemsteter, M. D. Wagstaff, E. R. Rike, and J. H. Leclere, "Environmental Effects on MCM Tactics Planning", MTS/IEEE Conference on Ocean, Vol. 3, pp. 1394~1399, 2002.
- [10] K. P. Hemsteter and D. R. DelBalzo, "Acoustic Benchmark Validation of GRASP ASW Search Plans", MTS/IEEE Conference on Ocean, Vol. 1, pp. 60~64, 2002.
- [11] D. H. Wagner, W. C. Mylander, and T. J. Senders, "Naval Operations Analysis", Naval Institute Press. 3rd Ed., 1999.
- [12] C. M. Ferla and M. B. Porter, "Receiver Depth Selection for Passive Sonar Systems", IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, Vol. 16, No. 3, 1991.
- [13] 박재은, 김재수, "능동 소나 체계에서의 표적 탐지거리 예측 알고리즘과 최적 탐지깊이 결정에의 응용", 한국해양공학회지, Vol. 8, No. 1, pp 62~70, 1994.
- [14] Jea Soo Kim, Underwater Acoustics and Sonar Engineering, Lecture Note, 2005.
- [15] R. L. Dawe, "Detection Threshold Modeling Explained", DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION, 1997.