

고정형 선배열 음탐기 체계를 위한 효과도 분석 기법 연구

Study on the Effectiveness Analysis Method for the Fixed Linear Arrays System

김정훈*

Kim, Jeong-Hoon

ABSTRACT

In this paper, a simulation model for FLAS(Fixed Linear Arrays System) is presented and methods for effectiveness analysis are studied to analyze the valid target detection effectiveness of this system.

The simulation model is constructed taking the FLAS operational specification into account, and thus the change in system specification is effectively reflected on the simulation results. The computational burden is reduced by using the pre-processed simulation parameters which are calculated from the real environmental database. Also, the cell effectiveness and TMOE(Total Measurement of Effectiveness) are computed.

The target detection effectiveness of FLAS can be simulated under the multiple target interference simulation. It is shown that the presented algorithm is suitable for the underwater system which needs the simulation model for the optimum system design.

주요기술용어(주제어) : Fixed Linear Arrays System(고정형 선배열 음탐기 체계), Total Measurement of Effectiveness(총효과도), Cell Effectiveness(셀 효과도), Transmission Loss(전달 손실), Minimum Discernable Signal to Noise Ratio(최소 탐지 신호대 잡음비)

1. 머리말

고정형 선배열 음탐기 체계는 선배열 센서부 구조체를 해저에 고정하여 운용하는 수중탐지 장비중의 하나로서 설치가 완료되면 소요 시간과 비용 관계상 장비의 회수나 재설치 작업이 사실상 불가능한 특성을 가진다. 따라서 이러한 종류의 수중 장비는 해저

설치작업을 수행하기 전에 장비의 성능을 최대한으로 보장하기 위한 최적의 설계 방안을 도출할 수 있는 시뮬레이션의 개발과 적용이 필수적이다^[1].

본 연구는 선배열 음탐기 체계의 개수나 배치 형태, 배치 각 등 주어진 기본 설계 사양에 따른 유효 탐지 효과도를 분석하기 위하여 먼저 선배열 센서부와 대상 표적, 환경, 전달 손실 등의 시뮬레이션 모델을 구축하고 효과도 분석 방법론을 선배열 음탐기 체계의 특성에 적합하도록 구성하였다.

현재까지의 수중 탐지체계 모의는 심해의 단순한 환경에서 탐지 성능 위주로 연구가 이루어져 왔으나, 본 연구에서는 전해의 복잡한 환경에서 다양한 해상

† 2004년 4월 30일 접수 ~ 2004년 6월 15일 심사완료

* 국방과학연구소(Agency for Defense Development) 2본부

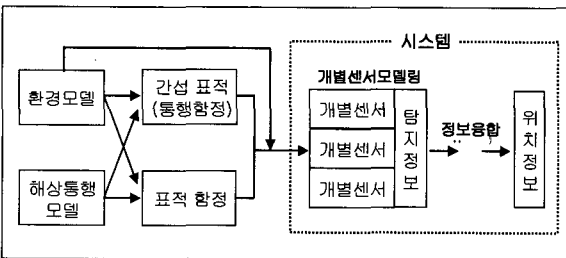
주저자 이메일 : kimjh@add.re.kr

통행이 있다는 가정 아래 이러한 간섭의 영향을 분석하기 위한 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 쉘 단위로 계산된 효과도와 쉘 효과도를 확률적으로 통합한 총 효과도를 도출하도록 구성하였다^[2].

2. 시뮬레이션 모델링

가. 개요

효과도 분석 시뮬레이션 수행을 위해 구성한 모델링의 개념은 그림 1과 같다. 고정형 선배열 음탐기 체계를 선박 통행이 빈번한 해역에서 운용시키는 경우, 환경에 의한 시스템 영향뿐만 아니라 해상 통행에 의한 선박 소음의 동적인 영향이 개별 센서의 탐지 성능에 미치는 영향을 증가시키기 때문에 이를 모델링 하였으며 시스템을 개별 센서의 표적 방위 정보만을 융합하여 위치정보를 도출하도록 모델링을 구성하였다^[3].



[그림 1] 모델링 구성 개요

나. 시스템 모델링

1) 개별 센서 모델링

개별 센서 모델링은 개별 센서에 대한 탐지 모델링과 방위추정 모델링을 구현한 것이다. 선배열 음탐기 체계를 구성하고 있는 각 대역별로 동일한 빔 패턴을 적용하였다. 일반적으로 Conventional Beam Pattern은 빔 폭과 탐지성능 측면에서 높은 성능을 발휘하나 부엽준위가 크기 때문에 빔 폭은 넓어지지만 부엽이 크게 줄어드는 적응형 빔을 사용한다.

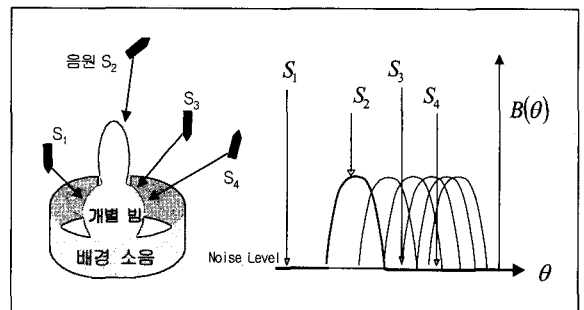
시뮬레이션에 적용된 적응형 빔 패턴을 식 (1)과 같은 단순식으로 모델링하였다. 부엽은 최악의 경우에도 $-min$ dB보다 작으므로 이 빔 패턴을 적용하면

부엽의 영향을 정확하게 평가하지는 못하지만 과소평가할 가능성을 배제할 수 있다.

$$Beam(d, \delta) = \begin{cases} -3\left(\frac{(d-\delta)/\sigma}{4}\right)^3, & Beam(d, \delta) > -min \\ -min, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

여기서, δ 는 선배열 음탐기 체계의 지향방위, d 는 표적 방위를 의미한다.

n 개의 소음원이 있는 상황에서 선배열 음탐기 체계가 방위(θ)로 지향하는 빔을 형성할 경우 수신되는 신호의 크기는 식 (2)와 같이 표현되며, 배경소음과 각종 이동 소음원으로부터 발생하는 소음의 합으로 표현된다.



[그림 2] 개별 빔의 수신신호 모델링

$$S(\theta) = NL \oplus \sum_{i=1}^n \oplus AS_i(a_i, \theta, d_i) \quad (2)$$

여기서, NL 은 배경소음 준위이다.

$$a \oplus b \stackrel{def}{=} 10 \log(10^{a/10} + 10^{b/10}) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \oplus a_i \stackrel{def}{=} a_1 \oplus a_2 \oplus \dots \oplus a_n \quad (4)$$

$S_i(a_i, \theta, d_i)$ 는 i 번째 이동 소음원에 의해서 음탐기 체계에 미치는 신호의 크기로서 식 (5)와 같다.

$$S_i(a_i, \theta, d_i) = SL_i - TL(\alpha_i, d_i) + B(\theta) \quad (5)$$

여기서 $TL(a_i, d_i)$ 는 방위 a_i , 거리 d_i 에서의 전달 손실이다.

선배열 음탐기 체계의 방위(θ)별 탐지는 식 (6)과 같은 탐지조건을 만족하는 경우 탐지가 이루어진 것으로 간주한다.

$$Sig > NL \oplus \sum_{i=1}^n \oplus S_i(\theta, d_i) + MDSNR \quad (6)$$

여기서, Sig 는 거리 d_T , 방위 α_T 의 원하는 표적에 의해서 음탐기 체계에 미치는 신호의 크기로서 식 (7)과 같이 계산된다.

$$Sig(\alpha_T, \theta, d_T) = SL_T - TL(\alpha_T, d_T) + B(\theta) \quad (7)$$

MDSNR(Minimum Discernable Signal to Noise Ratio)은 식 (8)과 같이 계산되며 여기서의 n 은 대역당 채널수이다.

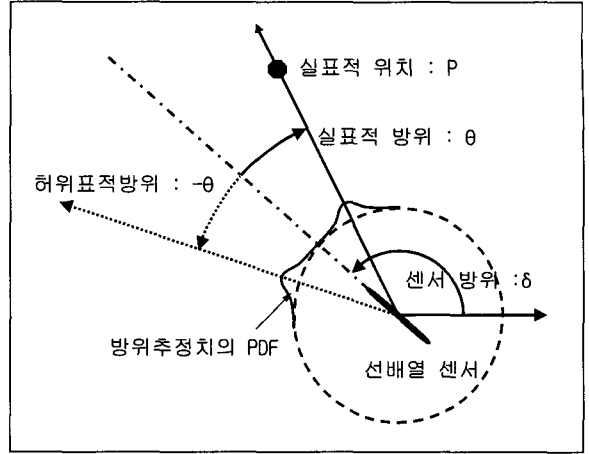
$$MDSNR = 5\log_{10}(15) - 5\log_{10}(n/2) - 10\log_{10}(n) \quad (8)$$

선배열 음탐기 체계에 의하여 표적이 탐지될 경우 선배열 음탐기 체계는 오차를 포함한 표적 방위 추정치를 제공하며 선배열 음탐기 체계의 설치방향과 대칭으로 Mirror Image가 나타난다. 따라서 추정방위의 분포는 그림 3과 같으며, 방위추정치의 확률밀도 함수는 실패적 방위와 허위표적 방위에 대하여 식 (9)와 같이 각각 표현된다.

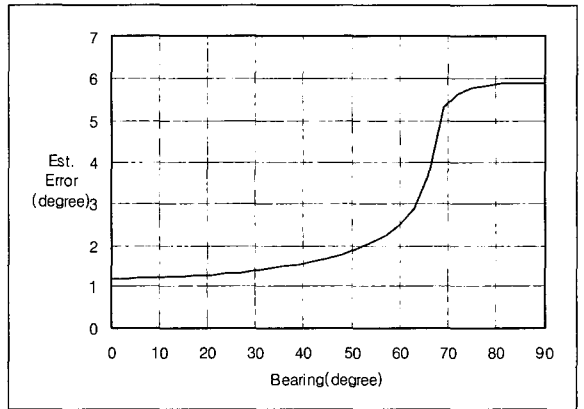
$$f(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\theta - E(\theta))^2}{2\sigma^2}\right), E(\theta) \geq 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\theta - (-E(\theta)))^2}{2\sigma^2}\right), E(\theta) < 0 \end{cases} \quad (9)$$

여기서, θ 는 선배열 센서의 배치 위치에 대한 상대방위이다.

방위 추정치는 방위 탐지오차(σ)를 갖는 정규분포를 가정하는 선배열 음탐기 체계의 지향방위(δ)에 의존하는 함수이며, 식 (10)과 같은 관계를 따른다.



[그림 3] 방위 추정치의 분포



[그림 4] 방위별 방위추정 오차의 표준편차

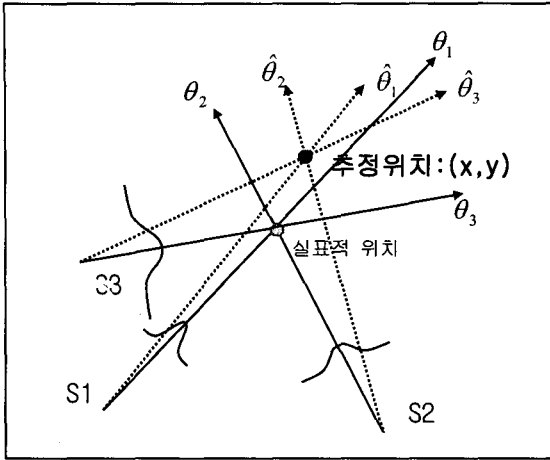
$$\sigma = \sigma(\delta) = \frac{\sin^{-1}\left(\delta + \frac{1}{n}\right) - \sin^{-1}\left(\delta - \frac{1}{n}\right)}{2} \quad (10)$$

식 (10)에 따라 계산된 방위 탐지오차의 표준편차는 그림 4에서 보는 바와 같이 90° 방향에서 큰 오차를 갖는다.

2) 정보 융합 모델링

정보 융합 모델링은 개별 센서 모델링에 의한 탐지 정보의 위치추정 분포를 산정하고 위치 추정의 오차를 감안하여 위치 정보를 추정하는 단계이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 개별 센서의 방위 추정



[그림 5] 위치 추정 개념도

오차가 존재하기 때문에 융합된 위치 정보도 오차 분포를 갖게 되어 추정된 위치의 분포는 식 (11)과 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L(x, y) = \prod_{i=1}^3 f(x, y | \theta_i, \sigma_i) = \prod_{i=1}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(-\frac{(\theta_i - \hat{\theta}_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (11)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(x, y) L(x, y) dx dy \quad (12)$$

여기서 $D(x, y)$ 는 (x, y) 와 실제 표적위치와의 거리이다.

다. 환경 모델링

해도 DB는 해안선, 등수심선 및 등고선으로 구성되며, 전달손실 DB와 같이 전처리되어 있는 DB와 함께 해역 모델링을 수립하기 위한 기본 DB이다. 해도 DB를 이용하여 수심 0m의 등수심선(해안선)을 그린 후 내부를 Masking 처리하는 방식으로 육지와 여러 섬들이 구현된다^[4].

전달손실 DB의 구조는 임의의 음탐기 체계 위치를 중심으로 방위, 거리, 수심별로 전달손실을 계산한 결과로 구성되어 있다.

전달 손실은 임의의 두 지점간의 음향 감쇄를 의미하며 모델링에 의해서 전달손실을 계산하는 것은 상당한 시간이 소요되는 작업이기 때문에 시뮬레이션을 수행하면서 동시에 두 지점간의 전달손실을 계산하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서 필요한 모든 지점들 간의 전달손실을 사전에 계산해 두고 DB화시켜 놓음으로써 시뮬레이션 수행 시 전달손실 계산 결과를 DB로부터 직접 추출하여 적용하는 방식으로 모델링하였다. 이러한 방식의 모델링에 의하여 고속의 전달손실 계산은 가능하나 시뮬레이션 수행 플랫폼의 메모리가 많이 소요되며 정밀도나 정확도가 DB를 구성하는 점의 수에 비례하게 되므로 각 지점간의 간격을 어느 정도로 취할 것인가가 중요한 요소 중의 하나이다.

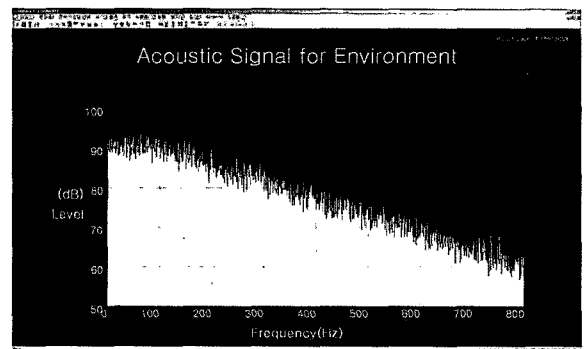
배경소음은 해역, 계절 및 해상상태 등의 해양환경에 따라서 정의한다. 주파수 범위는 0Hz에서 800Hz까지로 하며 각 주파수별 신호의 발생은 식 (13)에 따르는 일정한 분산을 갖는 정규확률 변수이다.

$$S_B(f) = S_M(f) + \epsilon \quad (13)$$

여기서 $S_M(f)$ 는 주파수 f 인 신호 크기의 평균값이며 ϵ 는 $N(0, \sigma^2)$ 으로 정의된다.

따라서, $S_B(f)$ 의 분포는 식 (14)와 같이 평균 $S_M(f)$, 분산 σ^2 인 정규분포를 따름을 알 수 있다.

$$S_B(f) \sim N(S_M(f), \sigma^2) \quad (14)$$



[그림 6] 배경소음 형태 (00해역 5월)

그림 6은 00해역 5월의 전형적인 배경소음 패턴을 모의한 것이다.

해양 환경은 인근의 배경소음의 수준과 더불어 해상을 통행하는 어선이나 상선에 의한 방해 신호의 영향도 중요한 요소 중의 하나가 된다. 이러한 해상 통행에 의한 방해신호를 모델링하기 위하여 해역의 선박통행 패턴을 조사하였고 특정 해역의 연도별, 월별, 시간대별 통행빈도 및 선박통행로 분석 자료를 이용한 출입항 통계는 이동소음원의 분포를 모의하는 데에 중요한 요소이다.

라. 표적 신호 모델링

표적 신호 모델링은 항해중인 간섭 표적과 실제 표적의 기동에 의해서 야기되는 방사소음의 모델링에 집중한다.

함정이나 선박의 기동은 속도 벡터에 의해서 통제된다. 모든 선박은 각각의 통행 경로와 속도로 이루어진 통행 스케줄이 존재하며, 이 통행 경로에 따라서 기동이 이루어진다. 통행 경로는 A지점에서 B지점으로 또는 역으로 연결된 곡선을 따라서 이동하며 각 선분 $C_i + C_{i+1} (i=0, \dots, 4)$ 에서의 속도를 정의함으로써 결정된다. 해당 해역의 통행은 n 개의 모든 가능한 통행 경로 및 속도로 정의하며 통행 빈도를 감안하여 각 통행 경로에 확률 P_i 를 부여함으로써 해당 해역의 간섭 표적의 통행을 모의할 수 있다.

따라서 $\{AB_i, P_i, i=0, \dots, n\}$ 는 전체 통행 스케줄을 구성하며, 각각의 통행 스케줄은 m 개의 균일한 속도 벡터를 갖는 $\{AB_{ij} = (C_{ij}, S_{ij}), j=1, \dots, m\}$ 로 정의되는 하위 통행 스케줄로 구성된다.

방사소음은 함정의 속도에 따라서 달라진다. 주파수 범위는 0Hz에서 800Hz까지로 하며 각 주파수별 신호의 발생은 식 (15)에 따르는 일정한 분산을 갖는 정규확률 변수이다.

$$S_E(f, v) = S_M(f, v) + \varepsilon \tag{15}$$

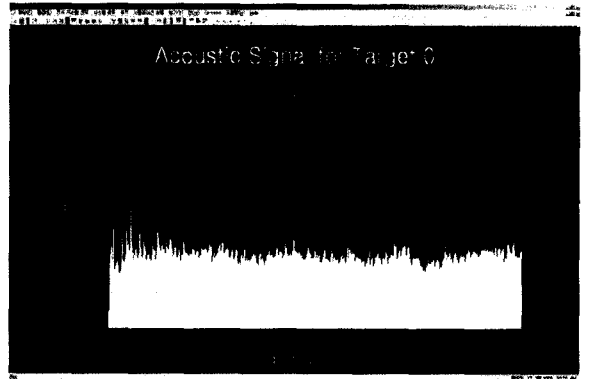
여기서 $S_E(f, v)$ 는 주파수 f , 속도 v 에서의 신호 크기의 평균값이며 ε 는 $N(0, \sigma^2)$ 으로 정의된다.

따라서, $S_E(f, v)$ 의 분포는 식 (16)과 같이 평균

$S_M(f, v)$, 분산 σ^2 인 정규분포를 따름을 알 수 있다.

$$S_E(f, v) \stackrel{d}{\sim} N(S_M(f, v), \sigma^2) \tag{16}$$

그림 7은 속도 5노트인 특정 간섭 표적의 방사소음 패턴을 보여주고 있다.



[그림 7] 방사소음의 형태 (속도:5kts)

3. 효과도 분석⁽⁵⁾

가. 셀 정의

관심 영역을 $m \times n$ 개의 영역으로 나누어 셀(Cell)을 구성하며 각 셀에 고유한 셀 효과도를 할당함으로써 효과도 테이블(Effectiveness Table)을 구성한다.

각 셀은 식 (17)과 같이 표기할 수 있으며 직사각형의 영역을 갖는다.

$$C_{ij} = \{x, y, x \in (x_j, x_{j+1}), y \in (y_i, y_{i+1})\} \tag{17}$$

$$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n)$$

셀 효과도를 정의하기 위한 셀 사건 E_{ij} 는 식 (18)과 같이 정의된다.

$$E_{ij} = \{\text{특정 시스템이 } (x, y) \text{ 위치의 표적에 성공적으로 대응 } (x, y) \in C_{ij}\} \tag{18}$$

$$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n)$$

나. 셀 효과도

셀 효과도는 식 (19)와 같이 표기하며 각 셀의 성공확률을 의미한다.

$$eff(E_{ij}) = eff_{ij}$$

$$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n) \quad (19)$$

여기서 E_{ij} 는 셀 C_{ij} 에 있는 표적에 대하여 성공적으로 대응할 사건이다.

특정 시스템의 셀 효과도는 식 (20)과 같이 계산된다.

$$eff(E_{ij}) = \int_{(x,y) \in C_{ij}} P_D(x,y) f(x,y) dx dy$$

$$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n) \quad (20)$$

여기서 $P_D(x,y)$ 는 다음과 같다.

$$P_D(x,y) = Pr \{detect Target | pos = (x,y)\} \quad (21)$$

$f_{X_i}(x,y) = f_{X_i}(x) f_{Y_j}(y)$ 는 (x,y)의 확률밀도 함수로서 C_{ij} 공간에 균일하게 분포한다고 가정할 경우 x와 y의 확률밀도함수는 각각 식 (22), 식 (23)과 같다.

$$f_{X_i}(x) = \frac{1}{x_{i+1} - x_i}, x_i \leq x < x_{i+1} \quad (22)$$

$$f_{Y_j}(y) = \frac{1}{y_{j+1} - y_j}, y_j \leq y < y_{j+1} \quad (23)$$

다. 셀 효과도 추정 절차

각 셀 효과도의 추정치(Estimate of Cell Effectiveness)는 \widehat{eff}_{ij} 로 표기하며 식 (24)와 같이 반복 계산에 의해서 시행 횟수와 성공 횟수의 비율로 추정된다.

$$\widehat{eff}_{ij} = \frac{\#(successes)_{ij}}{\#(trials)_{ij}}$$

$$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n) \quad (24)$$

\widehat{eff}_{ij} 의 분포는 식 (25)와 같이 이항분포를 따른다.

$$\#(successes)_{ij} \underset{d}{\sim} B(\#(trials)_{ij}, eff_{ij}) \quad (25)$$

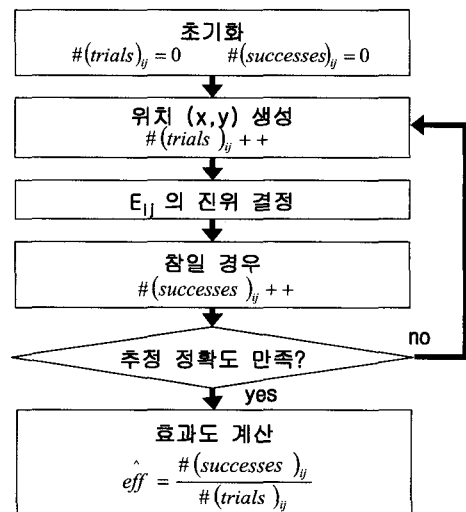
이 때, 셀 효과도 추정치 \widehat{eff}_{ij} 의 분포는 n이 클 경우 근사적으로 식 (26)과 같이 정규분포를 따른다고 알려져 있다.

식 (26)의 분산 항은 시행 횟수의 함수이므로 시행 횟수가 커지면 분산이 반비례하여 작아지고, 시행 횟수가 커지면 더욱 정밀한 추정치를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이를 이용하면 연산 중단 시점(횟수)을 정할 수 있다.

$$\widehat{eff}_{ij} = \frac{\#(successes)_{ij}}{\#(trials)_{ij}} \underset{d}{\sim} N\left(eff, \frac{eff_{ij}(1-eff_{ij})}{\#(trials)_{ij}} \right)$$

$$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n) \quad (26)$$

각 셀 효과도 추정은 그림 8과 같은 절차를 수행하여 구해진다. C_{ij} 공간에 무작위로 위치한 임의의 표적에 대한 셀 사건을 반복적으로 발생시켜서 셀 사건을 시뮬레이션하여 셀 사건의 진위를 판단하고 셀의 성공비율을 추정함으로써 효과도를 추정하는 것이다^[6].



[그림 8] 셀 효과도 추정 절차

위치 (x,y) 는 식 (27), 식 (28)과 같이 각각 독립적 이고 균일분포를 가정한 모분포에서 뽑힌다.

$$x \underset{\sim}{d} \text{Uniform}(x_j, x_{j+1}) \quad (27)$$

$$y \underset{\sim}{d} \text{Uniform}(y_i, y_{i+1}) \quad (28)$$

이 때, 시뮬레이션의 중단조건(stopping rule)은 식 (26)의 분산항을 고려하여 추정치의 정밀도(분산항의 크기)가 만족될 경우에 - 예를 들어 분산항이 0.012 이하일 경우에 만족된다.

효과도란 어떠한 장비가 특정한 요구 성능을 달성 할 것으로 기대되는 정도를 나타내는 척도(Measure) 이다. 편의상 셀 효과도와 구분하기 위해서 총효과도 라 정의하기로 하며 상황에 따라 평균 효과도나 면적 효과도, 또는 임무 효과도의 다른 형태로 주어질 수 있다.

평균 효과도라 함은 전체 셀 효과도의 가중평균 (Weighted Average)을 의미하며 식 (29)와 같이 계 산될 수 있다. 표적이 있을 확률은 가중치를 통하여 부여할 수 있으며, 가중치를 알 수 없는 경우에는 가 중치를 균일하게 주는 것도 가능하다.

$$Eff = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} eff_{ij} \times \omega_{ij} \quad (29)$$

$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n)$

여기서 각 셀의 면적(a_{ij})에 비례하는 각 셀의 비중 은 식 (30)과 같다.

$$\omega_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} a_{ij} \quad (30)$$

$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n)$

평균 효과도는 의미상으로는 효과도 테이블 범위 내에 존재하는 임의의 표적에 대한 평균 대응능력으 로 해석될 수 있다. 면적 효과도라 함은 전체 셀 효과도의 면적을 의미하

며 식 (31)과 같이 계산될 수 있다. 면적 효과도는 의미상으로는 표적에 대응할 수 있는 영역의 크기 (Coverage)로 해석될 수 있다.

$$Eff = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} eff_{ij} \times a_{ij} \quad (31)$$

$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n)$

선배열 음탐기 체계의 셀 효과도를 정의하기 위한 셀 사건은 식 (32)와 같이 정의된다. 셀 사건은 셀 C_{ij} 에 있는 임의의 한 점 (x,y) 에 위치한 표적을 선배열 음탐기 체계가 탐지하는 사건으로 해석될 수 있다.

$$E_{ij} = \{ \text{선배열 음탐기 체계가 } (x,y) \text{ 위치의 표적을 탐지 } (x,y) \in C_{ij} \} \quad (32)$$

$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n)$

이 때 효과도는 식 (33)과 같이 정의할 수 있으며, 셀 효과도는 셀 C_{ij} 에 있는 한 점 (x,y) 에 위치한 표적을 선배열 음탐기 체계가 탐지할 확률로 해석될 수 있다.

$$eff(E_{ij}) = P(E_{ij}) \quad (33)$$

$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n)$

ℓ 개 선배열 음탐기 체계의 셀 효과도를 정의하기 위한 셀 사건은 식 (34)와 같이 정의된다. 셀 사건은 셀 C_{ij} 에 있는 임의의 한 점 (x,y) 에 위치한 표적을 복수의 선배열 음탐기 체계중 한 조 이상이 표적을 탐지하는 사건으로 해석될 수 있다.

$$E_{ij} = \{ \text{복수 선배열 음탐기 체계 중 한개 이상이 } (x,y) \text{ 위치의 표적을 탐지 } (x,y) \in C_{ij} \} \quad (34)$$

$(i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n)$

이 사건은 다시 구성하면 식 (35)와 같으며, 각 음 탐기 체계의 탐지사건 E_{ij}^k 의 합집합이 되므로 집합의 범위가 커지게 된다.

$$E_{ij} = \bigcup_{k=0}^{l-1} E_{ij}^k \quad (35)$$

여기서 $E_{ij}^k = \{(k\text{번째 선배열 음탐기 체계가 } (x, y) \text{ 위치의 표적을 탐지} | (x, y) \in C_{ij}\}$ 으로 정의되며, 이 때 쉘 효과도는 식 (36)과 같다.

$$eff(E_{ij}) = P(E_{ij}) = P\left(\bigcup_{k=0}^{l-1} E_{ij}^k\right) \quad (i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n) \quad (36)$$

선배열 음탐기 체계는 방위 정보만 제공하기 때문에 하나의 음탐기 체계의 탐지 정보만으로는 위치 정보를 제공하기 어렵다. 따라서 2개 이상의 방위 정보를 융합해야만 위치 정보를 제공할 수 있으며, 2조 이상의 선배열 음탐기 체계가 탐지할 수 있느냐 아니냐는 중요한 성능 요소이다.

복수의 선배열 음탐기 체계의 탐지 효과도를 구하기 위한 쉘 사건은 식 (37)과 같이 정의된다. 쉘 사건은 쉘 C_{ij} 에 있는 임의의 한 점 (x, y) 에 위치한 표적을 복수의 선배열 음탐기 체계중 두 개 이상의 선배열 음탐기 체계가 탐지하는 사건으로 해석될 수 있다.

$$E_{ij} = \{(k\text{개의 선배열 음탐기 체계 중 두개 이상이 } (x, y) \text{ 위치의 표적을 탐지} | (x, y) \in C_{ij}\} \quad (i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n) \quad (37)$$

이 사건은 다시 구성하면 식 (38)과 같다.

$$E_{ij} = \bigcup_{k < l} (E_{ij}^k \cap E_{ij}^l) \quad (38)$$

여기서 E_{ij}^k 는 $E_{ij}^k = \{(k\text{번째 선배열 음탐기 체계가 } (x, y) \text{ 위치의 표적을 탐지} | (x, y) \in C_{ij}\}$ 으로 정의되며, 이 때 쉘 효과도는 식 (39)와 같이 쉘 C_{ij} 에 있는 한 점 (x, y) 에 위치한 표적을 두 개 이상의 선배열 음탐기 체계가 탐지할 확률로 해석될 수 있다.

$$eff(E_{ij}) = P(E_{ij}) = P\left(\bigcup_{k < l} (E_{ij}^k \cap E_{ij}^l)\right) \quad (i = 0, 1, \dots, m, j = 0, 1, \dots, n) \quad (39)$$

식 (33), 식 (36), 식 (39)와 같은 경우의 효과도 $eff(E_{ij})$ 의 추정치 eff_{ij} 를 구하는 절차는 그림 8에서 제시된 절차를 따르며 각 음탐기별 사건 E_{ij}^k 의 진위 판단은 식 (6)의 탐지조건을 만족하는지의 여부로 판단할 수 있다. 식 (17)과 같은 모든 C_{ij} 에 대한 시뮬레이션을 반복 수행하여 각 쉘 효과도를 추정하게 된다.

라. 적용 결과

시스템 모델링과 환경 모델링을 수립하고 쉘 효과도의 계산을 위한 알고리즘을 구성하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 고찰하였다. 임의의 대상 해역을 설정하고 4조의 선배열 음탐기 체계를 X자 형태로 배치하여 간섭 표적의 분포에 따른 쉘 탐지 효과도를 계산하여 도시하였다.

그림 9는 선배열 음탐기 체계 1조를 배치하고 간섭 표적이 15개인 경우에 대하여 쉘 효과도를 계산하여 도출한 결과이다. 그림 9에서 보는 바와 같이 간섭 표적의 영향으로 쉘 효과도가 없는 영역이 나타남을 알 수 있다.

그림 10과 그림 11은 4조의 선배열 음탐기 체계를 배치하고 간섭 표적이 없는 경우와 15개인 경우의 유



[그림 9] 쉘 효과도 도출 결과
(운용 체계 : 1조, 간섭 표적 : 15개)



[그림 10] 유효 탐지 확률 도출 결과
(운용 체계 : 4조, 간섭 표적 : 0개)



[그림 11] 유효 탐지 확률 도출 결과
(운용 체계 : 4조, 간섭 표적 : 15개)

효 탐지확률을 도출한 결과이다. 유효 탐지확률은 복수의 선배열 음탐기 체계중 두 개 이상이 표적을 탐지하는 사건의 확률이다. 그림 11은 통행 중인 간섭 표적에 의해서 유효 탐지확률이 없는 영역이 발생되었음을 보여주며 선배열 음탐기 체계 1조를 배치한 경우(그림 9)에 비하여 전반적인 탐지 효과도의 향상을 알 수 있다.

4. 맺음말

고정형 선배열 음탐기 체계의 주요 파라미터 효과를 분석하기 위하여 실제 운용시 시스템이 받게 될

통행 선박이나 해상 소음 등의 영향을 효과적으로 모델링 하였다.

지금까지의 일반적인 센서 모델링은 주로 통행 선박이 없는 심해 환경에서의 분석을 위해 개발되어 왔으나 본 연구에서는 천해의 복잡한 환경에서 선박 통행의 영향을 고려함으로써 실질적인 효과도를 분석할 수 있도록 구성하였다. 또한 일정한 탐지권을 갖는 시스템의 효과도를 분석하기에 적합하도록 셀 효과도 개념을 도입하여 총효과도를 도출할 수 있도록 분석 시스템을 구축하였다.

본 연구의 결과를 통하여 고정형 선배열 음탐기 체계의 위치 추정 효과도를 모의할 수 있었으며, 모의 결과 간섭 표적에 의한 영향이 실질적으로 반영되었음을 알 수 있었다. 따라서 고정형 선배열 음탐기 체계와 같이 사전 시뮬레이션에 의한 배치 설계가 필요한 수중 장비의 개발 과정에서 효과도 분석용 알고리즘이 유용한 수단으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 박성희 외 9명, “수중 무기체계 시뮬레이션 기법 연구”, 국방과학연구소, NWS-519-980071, 1998, pp.5~10.
- [2] 이동훈, “선배열 음탐장비를 이용한 위치추정 효과도 분석”, 국방과학연구소, NSDC-517-011495C, 2001, pp.13~18.
- [3] 전재완, “함정 전투체계 효과도 분석 시뮬레이션 프로그램에 대한 연구”, 국방과학연구소, NWS-519-960500, 1996, pp.12~18.
- [4] 양승윤 외 3명, “3차원 해저지형 수치모델에 관한 연구”, 한국군사과학기술학회지, 제5권 제2호, 2002, pp.50~61.
- [5] 이동훈 외 2명, “항만감시체계 효과도 분석용 시뮬레이션 모델”, 국방과학연구소, NSDC-515-040150L, 2003, pp.31~38.
- [6] 임건홍, 송광호, “무기체계 효과도 분석 기법 연구”, 국방과학연구소, OFSA-515-91515, 1991, pp.8~17.