

# 실시간 해양정보와 DB정보의 융합을 통한 선배열소나의 성능예측기법 연구

나영남, 장덕홍, 정문섭, 최진혁, 심태보

(국방과학연구소, 진해)

## Performance Prediction Techniques of Linear Array Sonar by Merging Data of Real Time and Data Base

Young-Nam Na, Duck-Hong Chang, Mun-Sub Jurng, Jin-Hyuk Choi, Taebo Shim

(Agency for Defense Development, Chinhae)

### 요 약

시,공간적으로 변하는 해양환경에서 선배열 소나의 성능예측 정보를 추출하기 위해서는 정밀 해양 DB (Data Base)와 함께 현장에서 실시간으로 측정된 해양자료의 연동이 필수적이다. 이러한 실시간 정보와 DB 정보를 융합하여 얻을 수 있는 정보들로는 전술적 운용상황, 근거리 환경소음 분포, 전파손실/탐지확률 분포, 그리고 음파의 전파 경로 등이 있다. 소나 운용자는 이들 정보로부터 최종적으로 전술상황을 판단함과 동시에 소나의 최적 운용 수심 및 방향을 권고할 수 있다. 국과연에서는 이러한 정보를 획득하기 위하여 음탐환경분석 S/W를 개발하였으며, 수차례의 해상시험을 통하여 그 성능을 검증하였다. 본 논문에서는 실시간 해양정보와 DB정보의 융합을 통하여 선배열 소나의 핵심 성능예측 기법인 전파손실/탐지확률 계산과 근거리 환경소음 계산을 수행하는 알고리즘을 제시한다. 아울러 S/W로 구현된 이들 기법들의 해상시험 결과도 제시하고자 한다.

### 1. 서 론

현대의 무기체계는 점점 고도화, 정밀화되어 가는 추세이며, 이는 매우 민감한 센서를 기본으로 하는 경우가 대부분이다. 해양에서 장거리 표적을 탐지하는 것이 주목적인 선배열 소나체계도 수중음파의 압력에 매우 민감한 음향센서를 도입하고 있다. 이렇게 민감한 센서의 탐지성능에 영향을 미치는 요인중에는 표적신호의 세기 이외에 주위에서 발생하는 소음도 있다. 따라서 소음으로부터 원하는 표적의 신호를 얼마나 정확히 추출할 수 있는지의 여부가 소나의 성능을 좌우한다 하겠다. 이를 위해서는 주어진 해양환경하에서 소나의 탐지성능이 어느 정도인지를 예측하는 것이 기본이 된다. 또한 주어진 환경하에서 최적의 센서 수심 및 방향을 판단하여 권고하는 것도 소나의 탐지성능을 최대로 유지하는 데 필수적이다.

한편 실제 해양은 시,공간적으로 변하므로 신뢰성 있는 소나의 운용정보를 추출하기 위해서는 정밀한 해양 DB (Data Base)와 함께 현장에서 실시간으로 측정된 해양자료의 연동이 필수적이다. 이러한 실시간 정보와 DB 정보를 융합하여 얻을 수 있는 운용정보들로는 전술적 운용상황, 환경소음 분포, 전파손실/탐지확률 분포, 그리고 음파의 전파경로 등이 있다. 소나 운용자는 이들 정보로부터 최종적으로 전술상황을 판단함과 동시에 소나의 최적 운용 수심 및 방향을 권고할 수 있다. 본 논문에서는 위에서 제시된 운용정보를 획득하기 위한 음탐환경분석기법 중 전파손실/탐지확률과 근거리 소음예측

기법을 중심으로 논의하기로 한다.

### 2. 해양정보 연동/융합 기법

선배열 소나의 최적 예인 수심 및 방향을 결정하기 위한 핵심 전술정보는 전파손실과 탐지확률 분포이다. 이를 위해서는 실시간 자료를 연동할 뿐만 아니라 DB 자료를 추출하여 필요한 자료를 융합해야 한다. 즉, 실시간 정보인  $E_o(x, y, z, t)$  형태의 자료를 연동하고 DB 정보인  $E_c(x, y, z)$  형태의 자료를 추출하여 이들을 융합해야 한다. 이렇게 연동/융합해야 하는 절차는 실시간 XBT 정보 수집/연동, DB 정보의 추출/전송, 그리고 실시간 정보와 DB 정보의 융합/전송 절차로 구분할 수 있다.

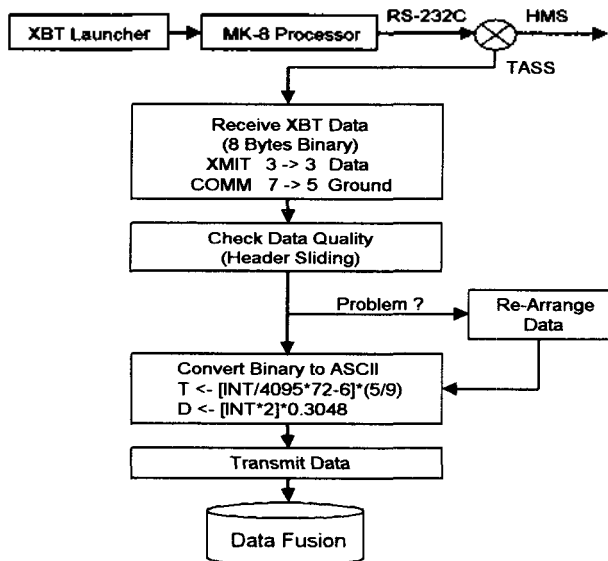
#### 2.1 실시간 XBT 정보 수집/연동

선배열 소나의 탐지거리가 수심 km 범위라 할 때 이러한 범위에서의 소나 성능예측을 위해서는 수중과 퇴적층의 거리종속 가정이 이뤄져야 한다. 퇴적층은 사실상 시간에 따라서 일정하다고 가정할 수 있으나 수중은 시,공간적으로 크게 변한다. 신속한 대감전을 위주로 하는 경우 수중의 환경은 자료 획득의 제약 때문에 어쩔 수 없이 거리독립적 환경으로 가정한다고 하나 그 시간 변화성은 수시로 실시간 자료를 획득하므로써 반영이

가능하다.

XBT(Expendable Bathythermograph)는 수온센서가 장착된 소모성 Probe를 도입하여 작전중에도 신속하게 수층의 수온분포를 획득할 수 있는 시스템으로서, 소나의 성능예측을 위하여 필수적인 자료이다. Probe는 특성에 따라 여러 유형이 있으나 30kts의 고속 항해시에도 운용 가능한 T-4 유형을 주로 운용하는데, 이 형태는 최대 수심 460m까지의 수온분포를 얻을 수 있으므로, 그 이후의 수심에서 수온이 거의 일정한 대부분의 한국 근해에서 유효하다.

본 연구에서는 예인함에 설치된 XBT 시스템과 연동하여 음탐환경분석 S/W에 연동할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. <그림 6>은 XBT Probe를 발사하여 예인함 탑재 Processor를 거친 다음 시스템에 연동되는 과정을 나타내고 있다. 먼저 Launcher에서 발사된 Probe의 신호선을 통해서 야날로그 신호가 전송되면 신호처리기(MK-8)에서 이를 일정한 수심(약 0.63m)의 디지털 신호로 전환한다. 이 신호는 RS-232C 신호선을 통해 선체 고정형 능동 소나와 선배열 소나로 전달되어 성능예측에 이용된다. 선배열 소나 성능예측 시스템에 전달된 XBT 자료(8 bytes, binary)는 종종 header 부분이 밀려나는 소위 'sliding' 현상이 발생하므로 이의 점검이 필요하다. 점검 후 수심별 수온 자료를 ASCII 자료로 전환한 다음 소나의 성능예측에 이용하기 위해 자료 융합 부분으로 전송된다.



<그림 1> 실시간 XBT 정보 수집/연동 알고리즘.

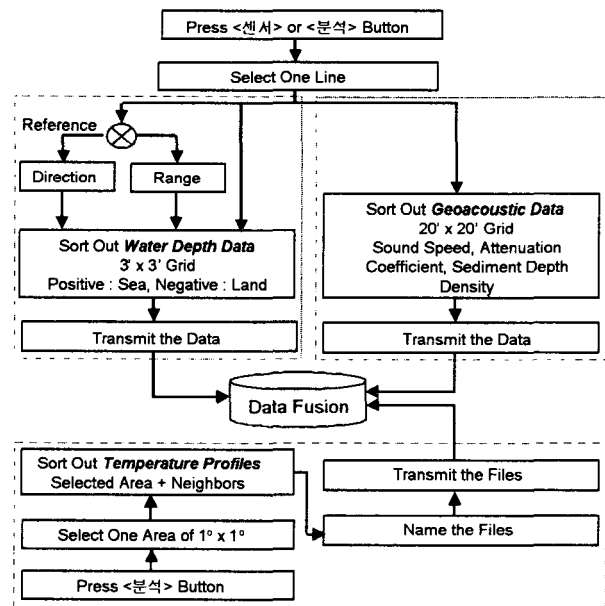
## 2.2 DB 정보의 추출/전송

시간적으로 변하지 않으나 공간적으로는 변하는 자료들에는 수심과 지음향 자료 등이 있다. 이들은 전파손실과 탐지확률을 계산하는데 필수적인 뿐만 아니라 계산된 결과의 정확도와 신뢰도를 좌우한다. 따라서 이라

한 DB를 얼마나 정확히, 그리고 얼마나 방대하게 확보하느냐 하는 것이 관건이다. 여기에 더하여 사전 작전계획 수립 등을 위하여는 기준이 되는 표준적인 수온자료 DB가 필요하다.

수심자료는 미국 NOAA 위성이 전 세계 해양을 3'x3' Grid 간격으로 관측한 자료를 입수하여 필요한 해역(110-170°E, 10-60°N) 자료를 추출하였다. 지음향 자료는 국과연에서 자체적으로 수집한 자료와 미국 해양국(NOO: Naval Oceanographic Office)에서 관측한 자료를 바탕으로 20'x20' Grid 간격의 DB를 구축하였다. 또한 표준 수온구조 DB는 국과연 자체 뿐만 아니라 미국, 일본 해양자료센터로부터 입수한 자료에서 계절별로 1°x1° Grid 간격으로 구성하였으며, 이는 약 1800여 쌍의 수온구조를 포함하고 있다.

<그림 3>은 DB정보로부터 필요한 자료를 추출하는 알고리즘 절차를 나타내고 있다. '센서' 모드는 현장에서 실시간으로 성능예측을 하는 모드이고 이에 비해 '분석' 모드는 사전/사후 성능예측을 하는 모드이다. 일단 하나의 모드가 선택된 후 마우스를 통해 분석하고자 하는 단면이 선택되면 자동적으로 해당 단면에서의 수심과 지음향 자료가 추출되며, 타 자료와의 융합을 위해 전송된다. 수심 자료는 일단 한 단면이 선택된 후에도 미리 정해진 범위, 거리별 자료를 다시 추출할 수 있다. 표준 수온구조 DB는 '분석' 모드에서만 이용이 가능하며, 분석 버튼이 선택된 정점에 해당하는 Grid의 인접 수온구조까지를 추출하여 파일로 작성한 다음 자료 융합을 위해 전송된다.



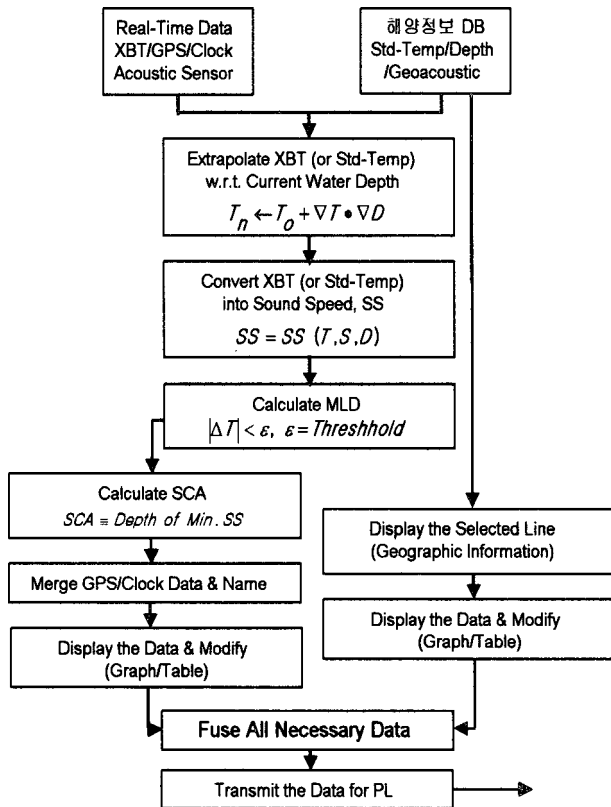
<그림 2> DB 정보의 추출/전송 알고리즘.

## 2.3 실시간 정보와 DB 정보의 융합/전송

정확하면서도 신뢰성 있는 전술음탐환경정보의 생산을 위해서는 실시간 정보와 DB 정보가 적절하게 융합되

어야 한다. 예를 들어 전파손실 계산에 이용되는 입력 파일을 구성하는데는 XBT, GPS, Clock 자료 등의 실시간 자료와 표준 수온구조, 지음향, 수심 등의 DB 자료가 함께 필요하다.

<그림 3>은 실시간 정보와 DB 정보를 융합/전송하는 절차를 나타낸다. 실시간 연동된 정보와 추출된 DB 정보를 전송받아 먼저 XBT (또는 표준 수온구조) 자료는 현재 자함이 위치한 수심까지 모자라는 자료를 보충한다. 그 이후 수온자료는 음속자료로 전환되고, 표층 혼합층 및 최소음속층을 계산하여 전시한다. 이 음속자료는 다른 실시간 자료들과 융합되어 파일명을 자동으로 생성하고 운용자가 수정할 수 있도록 표로 나타낸다. 한편 선택된 수심 단면 등은 전술상황 지도에 표시됨과 동시에 운용자가 수정 가능하도록 표로 나타낸다. 최종적으로 융합된 정보는 전송되어 이후 전파손실, 탐지확률, 근거리 환경소음, 그리고 음파의 전파경로 등을 계산하는데 이용된다.



<그림 3> 실시간 정보와 DB 정보의 융합/전송 알고리즘.

### 3. 선배열 소나의 성능예측기법

#### 3.1 전파손실 계산/전시

예인형 선배열 소나를 운용하기 위해서는 근본적으로 어느 수심에서 어느 방향으로 예인해야 할 것인지를 결

정하는 것이 중요하다. 음파가 전파되는 매체인 해양 자체가 시,공간적으로 변하므로 이러한 결정은 실제 작전 중에 이뤄져야 그 실효성을 유지할 수 있다. 이러한 결정을 위한 핵심 정보를 제공하는 것이 바로 전파손실/탐지확률 분포이다. 이를 위해서 요구되는 입력자료로는 XBT나 표준 수온구조, 수심, 지음향 자료와 함께 운용자가 선택하는 음원 깊이, 주파수, 성능지수, 음원준위 등이 있다.

전파손실 계산에 이용된 모델은 RAM (Range-dependent Acoustic Model)이며, 이 모델은 파동 방정식의 해를 구하는데 있어 포물선 방정식 (PE : Parabolic Equation) 이론을 도입한다. RAM 모델은 포물선 방정식을 수치적으로 풀기 위하여 Pade' 근사 기법을 이용하는데, 이는 큰 거리 증분으로도 비교적 정확한 해를 얻게 하는 등 지금까지 가장 효과적인 알고리즘으로 알려져 있다.

원통형 좌표계를 이용하여 파동 방정식으로부터 주어진 거리  $r$  과 수심  $z$  에서의 음장  $p(r, z)$  를 구해 보자. 음장이 원거리-장 (Far-Field) 조건을 만족하고 방위각에 대해서 대칭이라고 가정하면 다음과 같은 거리독립 파동 방정식을 만족한다.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \rho \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \right) + k^2 p = 0, \quad (1)$$

여기에서  $\rho$  는 밀도,  $k = (1 + i\eta)\omega/c$  는 파수,  $\omega$  는 각주파수 (angular frequency),  $c$  는 음속,  $\beta$  는 음감쇄율 (dB/λ), 그리고  $\eta = (40\pi \log e)^{-1}$  이다.

위의 식에 대한 최종적인 해만을 표시하면 다음과 같다

$$p(r + \Delta r, z) = \exp(ik\Delta r) \left( 1 + \sum_{j=1}^N \frac{\gamma_{j,n} X}{1 + \beta_{j,n} X} \right) p(r, z). \quad (2)$$

여기에서  $\Delta r$  은 거리에 대한 증분이고  $X$  는 미분 연산자이며, 도입된 계수  $\gamma_{j,n}, \beta_{j,n}$  은 복소수로서 유리 함수의 정확도와 안정도를 규정함으로써 정의된다.

시동장은 초기 조건을 구하는데 있어서 정확하면서도 효과적인 접근법이다. 특이점에서의 해를 피하기 위해 RAM 모델은 다음과 같은 방법으로 시동장을 정의한다 (Cederberg & Collins, 1995).

$$(1 - X)^2 q(z) = k_o^{-1/2} \delta(z - z_o), \quad (3)$$

$$p(r_o, z) = (1 + X)^{1/4} \exp(ik_o r_o (1 + X)^{1/2}) q(z). \quad (4)$$

여기에서 중간 단계의 해  $q(z)$  는 두 개의 연속적인 미분을 갖는다고 가정한다.

위의 여러 수식들은 식 (2)를 이용하여 거리종속적 환경으로 확장될 수 있다. 즉, 거리 종속적 문제에서는 각 영역간 수직 경계면에서의 조건을 규정할 필요가 있다. 정확한 해는 다음과 같이 에너지 보존조건을 도입함으로써 얻어질 수 있다.

$$E = \text{Im} \int \rho^{-1} p \frac{\partial p}{\partial r} dz. \quad (5)$$

에너지 속 (Energy Flux)은 다음의 선형량을 보존함으로써 보존될 수 있는데, 이는 Normal-Mode 형태의 해를 이용하여 규명할 수 있다 (Collins & Westwood, 1991).

$$A = \rho^{-1/2} k_o^{1/2} (1 + X)^{1/4} p. \quad (6)$$

음파 에너지가 거의 수평적으로 전파될 경우에는

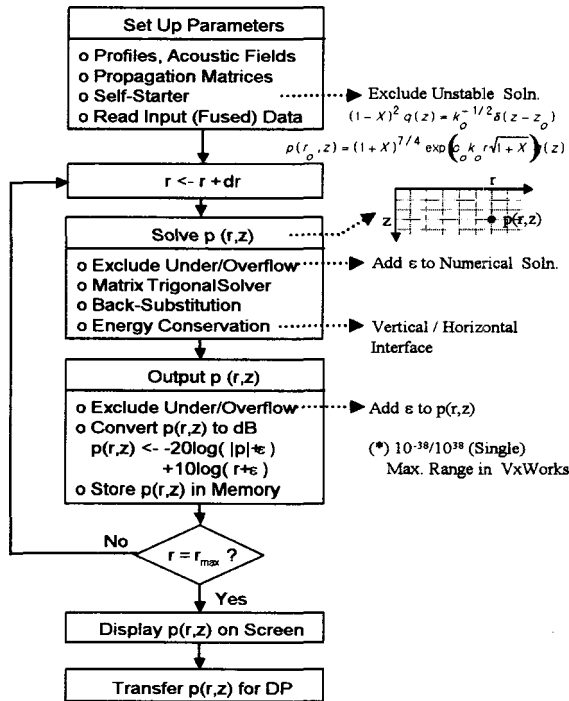
$$A \sim p/\alpha, \quad (7)$$

여기에서  $\alpha = (\rho/k)^{1/2}$ 이다.  $p/\alpha$ 의 양을 보존함으로써 대부분의 수중음향 문제에서 정확한 해를 구할 수 있다. 수평방향뿐만 아니라 수직방향의 경계면에서의 에너지를 보존하기 위해 RAM 모델은 수정된 종속 변수  $\bar{p} = p/\alpha$ 와 다음과 같은 수심 연산자를 도입한다.

$$\bar{X} = k_o^{-2} \left( \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \alpha + k^2 - k_o^2 \right). \quad (8)$$

수심 연산자  $\bar{X}$ 는 Galerkin 방법 (Collins & Westwood, 1991)을 이용하여 이산화할 수 있다.

모델의 입력자료, 전달손실 계산 및 출력 과정을 나타내면 <그림 4>와 같다. 전파손실 계산은 필요한



<그림 4> 전파손실 계산/전시 절차.

Parameter 들을 초기화하는 데서 시작된다. 즉, 음속구조를 포함한 입력자료를 읽고 Matrix 및 시동음장을 초기화한다. 시동장은 앞절에서 언급한 바와 같이 수치해를 구하는 과정에서 불안정한 해를 배제시키는 효과를 보인다. 필요한 Parameter들을 초기화한 다음 거리-수심 격자별로 음장을 구하게 된다. 정확한 음장을 구하기 위해 수평 방향 뿐만 아니라 수직 방향 경계면에서 에너지 보존법칙을 적용하였으며, 각 수치해 단계마다 Underflow/ Overflow 문제를 해결하기 위해 아주 작은 값 ( $\epsilon = 10^{-30}$ )을 추가하였다. 각 거리-수심 격자에서 계산된 음장은 그 변화 범위가 매우 크기 때문에 Logarithm을 취하여 dB 값으로 환산한다. 모든 격자에서의 음장이 구해지면 화면에 전시하고, 탐지확률 계산에 이용하기 위하여 메모리에 저장한다.

### 3.2 탐지확률 계산/전시

탐지확률 분포는 주어진 환경하에서 계산된 전파손실을 바탕으로 선배열 소나의 탐지성능을 최종적으로 제시한다. 즉, 수심-거리별 탐지확률 (%)을 계산/전시하여 최적의 센서 예인 수심과 방향을 제시함과 아울러 주어진 환경하에서 최대 탐지가능 거리를 제시하게 된다.

본 논문에서는 협대역 신호에 대한 탐지확률 분포 결과만을 간단히 제시하기로 한다. 협대역 신호란 밴드 폭이 중심 주파수에 비해서 매우 작은 경우 ( $B \ll f_c$ )를 말한다. Sine 파에 가우시안 특성을 갖는 협대역 잡음이 섞인 신호 포락선에 대한 확률밀도함수를 구하기로 한다. 신호는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$r(t) = A \cos(\omega_c t + \theta) + n(t)$$

$$= [A \cos \theta + x(t)] \cos \omega_c t - [A \sin \theta + y(t)] \sin \omega_c t, \quad (9)$$

여기에서  $\theta$ 는  $(0, 2\pi)$  사이에 균등하게 분포되어 있다고 가정하고 진폭  $A$ 와 주파수  $\omega_c$ 는 이미 알고 있는 값이라고 가정한다. 이때 포락선은

$$z(t) = \{ [A \cos \theta + x(t)]^2 + [A \sin \theta + y(t)]^2 \}^{1/2} = [z_c^2(t) + z_s^2(t)]^{1/2}. \quad (10)$$

여기에서  $z_c(t) = A \cos \theta + x(t)$ ,  $z_s(t) = A \sin \theta + y(t)$ 이다.

탐지 이론의 최종 목적은 주어진 신호대 잡음비에 따른 탐지확률을 구하는 것이다. 이처럼 신호대 잡음비가 주어질 경우 오경보 확률 (False Alarm Probability)에 대한 탐지확률을 그림으로 나타낸 것을 ROC (Receiver Operating Characteristics) 곡선이라 한다. 오경보 확률을  $P_{fa}$ 라 하면 정규화된 문턱 (Threshold)  $\beta$ 는 다음과 같은 관계식이 성립한다 (Nielsen, 1991).

$$\beta = (-2\sigma^2 \ln P_{fa})^{1/2}. \quad (11)$$

따라서 탐지확률은 다음과 같은 Marcum Q-함수로 표시

된다.

$$P_D = \int_0^\infty \nu \cdot \exp\left[-\frac{\nu^2 + \alpha^2}{2}\right] I_0(\alpha\nu) d\nu = Q(\alpha, \nu). \quad (12)$$

소나의 실제적 성능과 운용 매체 특성을 고려하여 소나의 성능을 추정할 수 있는 식을 소나 방정식이라 한다. 본 연구에서는 예인형 선배열 소나를 기본적으로 고려하였으므로 수동 소나 방정식만을 개략적으로 기술하기로 한다.

일반적으로 수동 소나 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$FOM = SL - NL - (DT - DI) \geq PL \quad (13)$$

여기에서

- FOM = 소나의 성능지수 (Figure of Merit in dB),
- SL = 음원준위 (Source Level in dB//  $1\mu Pa/\sqrt{Hz}$ ),
- NL = 주변소음 준위 (Noise Level in dB//  $1\mu Pa/\sqrt{Hz}$ ),
- DT = 탐지문턱 (Detection Threshold in dB),
- DI = 지향지수 (Directivity Index in dB),
- PL = 전파손실 (Propagation Loss in dB)이다.

소나의 성능지수를 나타내는 FOM 값은 거리와 무관한 양으로서 동일한 주파수의 두 소나의 성능을 비교하는 데 이용된다. 거리에 따른 전파손실 그래프에서 주어진 FOM 값에 해당하는 전파손실 값과 교차되는 거리를 구하면 이 값이 곧 50% 확률을 지닌 탐지 가능거리가 된다. SL과 NL은 실제로 측정되는 값들로서, 주파수의 함수이다.

탐지문턱은 배열을 통한 신호처리 이득과 소나 운용자의 능력에 따라서 좌우된다. 일반적으로 초보 운용자의 경우 +10dB이고 고도로 숙련된 운용자의 경우 -20dB 까지 기대할 수 있다. 지향지수는 배열이득 (AG : Array Gain)의 특별한 경우로서, 소음이 등방성 (Isotropic)일 경우 배열이득과 지향지수는 일치하게 된다. 배열이득은 하나의 청음기를 사용할 때의 신호 대 잡음비에 대해서 배열일 경우의 이득을 나타내는 지표로서 다음과 같이 정의된다.

$$AG = 10 \log \frac{(S/N)_{array}}{(S/N)_{1-element}}. \quad (14)$$

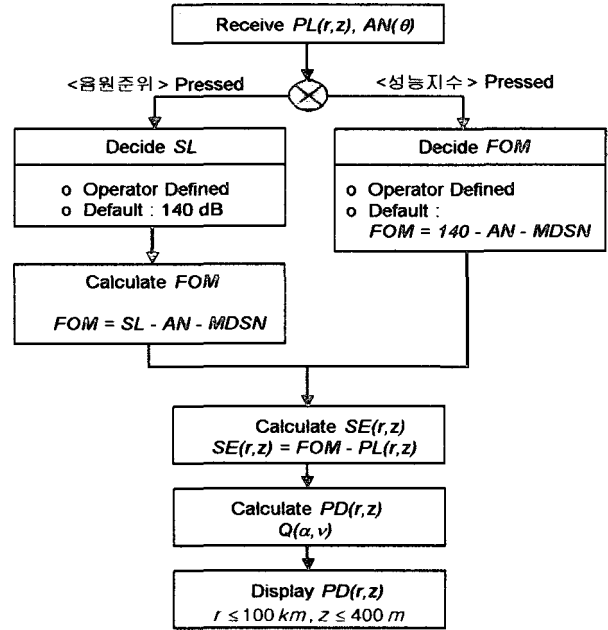
만약 신호가 완전하게 일관성이고 (Coherent) 반면에 소음은 비일관성 (Incoherent)이라면 (즉, 청음기간 상호상관함수  $\rho = 0$ ) 배열이득은 다음과 같이 청음기 수  $n$ 만의 함수로 나타낼 수 있다.

$$AG = 10 \log \frac{n}{1 + (n-1)\rho} = 10 \log n. \quad (15)$$

예를 들어 청음기가 10개로 구성된 배열일 경우 배열이득은 10dB가 된다. 그런데 현대의 소나에서는 점차 DT와 DI의 구분이 모호해지고 있으므로 DT-DI 값을 새로운 변수인 최소인자 신호대 잡음비 (MDSN : Minimum

Discernible Signal/Noise)로 정의하여 사용한다. 이렇게 정의할 경우 MDSN 값이 작을수록 소나의 성능지수는 커지게 된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 소나의 성능지수 FOM은 음원준위, 주변소음 준위, 최소인자 신호대 잡음비의 함수이므로 이들 개별 경우에 대한 탐지거리 비교보다는 FOM 값 변화에 대한 시도가 합리적이다. <그림 5>는 탐지확률을 계산하여 전시하는 절차를 나타내고 있다.



<그림 5> 탐지확률 계산/전시 절차.

#### 4. S/W 구현 및 해상시험 결과

##### 4.1 S/W 구현

예인형 선배열 소나는 운용수심을 가변시켜 장거리 수중표적을 탐지하려는 목적으로 이용된다. 이 목적을 달성하기 위해서는 시,공간적으로 변하는 운용환경에 따라 선배열 수동소나의 최적 예인 수심과 방향 등의 전술정보 이용이 필수적이다. 이러한 전술적 정보의 생산을 위해서 요구되는 사항은 크게 3가지로서 첫째, 실시간 해양자료의 연동을 통한 정보의 정확성, 둘째, 시시각각 변하는 대잠전 상황에 충분히 부응하기 위한 정보 생산의 신속성, 셋째, 정보 생산 방법이 해역이나 환경 조건에 제약을 받지 않는 고신뢰성이다. 특히 이들 기법들을 S/W로 구현하여 실제 작전에 운용하기 위해서는 위의 3가지 조건에 더하여 실용성이 요구된다. 대부분의 경우 모델의 정확성과 실용성은 계산 시간면에서 상충되므로 이에 대한 절충이 필요하다.

국과연에서는 선배열 소나를 위한 음탐환경분석 S/W (나 등, 1999)를 개발하였으며, 해상시험을 통하여 그 성능을 검증하였다. S/W의 주요 기능으로는 전술상

황정보 제시, 전파손실/탐지확률 분포 계산/제시, 환경소음 계산/모니터링, 해양정보 연동/융합, 그리고 음파의 전파경로 계산/제시 등이다. S/W는 VxWorks-5.3 (Tornado)를 운영체제로 하는 Power PC-604 Workstation에서 운용이 가능하며, GUI (Graphic User Interface)는 X-lib와 Motif를 이용하여 구축하였다.

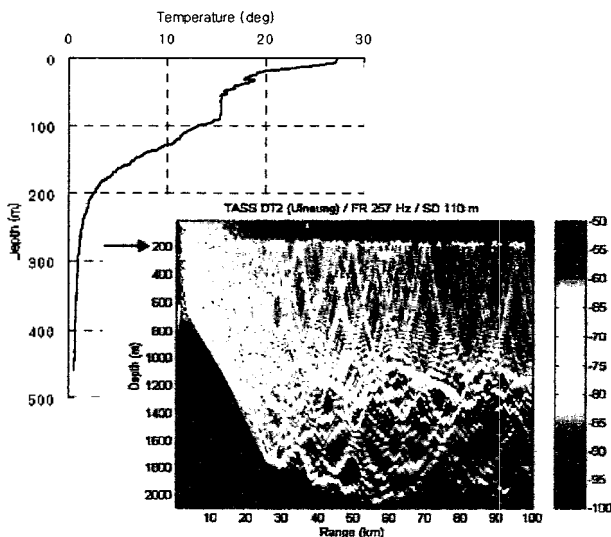
#### 4.2 해상시험

개발된 음탐환경분석 S/W의 성능 검증을 위하여 수차례의 해상시험을 실시하였다. 매 시험마다 음탐환경분석 S/W는 선배열 센서의 최적 예인 수심 및 방향을 권고하였으며, 심해와 천해에서 모두 정확하면서도 신속하게 정보를 제시하여 소나의 최대 탐지성능을 유지토록 하였다. 여기에서는 여러 해상시험 중 두 경우의 결과만을 제시하기로 한다.

##### A. 1998년 9월 시험

검증 시험은 동해 일원에서 약 8시간 동안 계속되었다. 시험 방법은 탐양호 (부경대학교)가 모의표적을 수심 110-120m 사이에서 예인하고, 선진호 (국과연)가 선배열 센서를 예인하면서 표적신호를 탐지하도록 하였다. 모의표적은 7개 주파수에서 CW 신호를 발생하였다.

현장에서 XBT 자료를 수집하고 음탐환경분석 S/W를 운용한 결과 선배열 소나의 최적 권고 수심은 m 이상, 권고 방향은 북동쪽, 그리고 탐지 가능거리를 제시하였다. 이 결과에 따라 소나를 운용한 결과 장거리 탐지에 성공하였으며, 더 이상의 탐지가 충분히 가능한 상태였으나 시간상의 제약으로 인해 중단하였다. <그림 6>은 당시 수집된 XBT와 예측된 전파손실 분포를 나타낸다.



<그림 6> 시험 당시의 XBT와 전파손실 분포.

##### B. 1999년 4월 시험

이 시험은 약 9시간 동안 동해 일원에서 실시되었으며, 선배열 센서를 탑재한 함정과 모의표적을 예인하는 선진호가 동원되었다. 조건은 모의표적이 130-140m 사이에서 약 7개 주파수의 CW 신호를 발생하고, 선배열 센서는 예인되면서 이 신호를 탐지하도록 하였다.

현장에서 XBT 자료를 획득하여 음탐환경분석 S/W를 운용한 결과 선배열 소나의 최적 권고 수심 m, 권고 방향 북동쪽 또는 동쪽이었다. 또한 주어진 환경하에서는 비교적 양호한 음수렴 구역 (Convergence Zone)이 형성되며, 제 차 수렴구역까지 탐지가 가능함을 제시하였다. 음탐환경분석 S/W에서 제시한 운용조건에 따라 시험한 결과 제 차 음수렴 구역까지 장거리 탐지하는데 성공하였다.

#### 5. 결 론

장거리 수중표적을 탐지하는 것이 주목적인 선배열 소나의 최적 예인 수심 및 방향을 제시하기 위해서는 실시간 해양정보의 연동을 통한 정보의 정확성, 급변하는 대잠전 상황에 부응하기 위한 정보 생산의 신속성, 그리고 정보 생산 방법이 해역이나 환경조건에 제약을 받지 않는 고신뢰성 등이 요구된다. 이러한 조건을 만족시키고자 음탐환경분석 기법이 필요하며, 주요 요구 기능은 실시간 해양정보 수집/연동과 DB정보 구축/추출 기능, 전술상황 제시 기능, 환경소음 모니터링 기능, 전파손실/탐지확률 계산/전시 기능 등이다.

국과연에서는 Workstation에서 운용되고 위의 기능을 수용한 선배열 소나용 음탐환경분석 S/W를 개발하였으며, 수차례의 실제 해상시험을 통해 그 실용성을 입증하였다.

#### 참 고 문 헌

1. 나영남, 장덕홍, 박정수, 정문섭, 예인음탐기체계 음탐 환경분석 S/W (ASADE-T)의 이론적 배경, 국방과학연구소 보고서 NWS-517-990607, pp. 1-62, 1999.
2. Cederberg, R. J. and M. D. Collins, "An efficient forward model and experimental configuration for geoacoustic inversion," *J. Acoust. Soc. Am.* 1995.
3. Collins, M. D. and E. K. Westwood, "A higher-order energy-conserving parabolic equation for range-dependent ocean depth, sound speed, and density," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 89, pp. 1068-1075, 1991.
4. Nielsen, R. O., *Sonar Signal Processing* (Artech House, Boston & London, 1991), p. 121.
5. Strang, G., *Introduction to Linear Algebra* (Wellesley-Cambridge, Wellesley, 1993), p. 87.