

능동 소나 체계에서의 표적 탐지거리 예측 알고리즘과 최적 탐지깊이 결정에의 응용

박 재 은* · 김 재 수**

(1993년 12월 24일 접수)

Detection Range Estimation Algorithm for Active SONAR System and Application to the Determination of Optimal Search Depth

Jae-Eun Park* · Jae-Soo Kim**

Key Words : Detection range(탐지거리), Signal excess(신호 이득), SONAR equation(소나 방정식), Transmission loss(전달 손실), Reverberation(복반사), Detection probability(탐지 확률)

Abstract

In order to estimate the detection range of a active SONAR system, the SONAR equation is commonly used. In this paper, an algorithm to calculate detection range in active SONAR system as function of SONAR depth and target depth is presented. For given SONAR parameters and environment, the transmission loss for given source is computed for each receiver depth and range. Once the transmission loss and background level are found, signal excess is computed. Using log-normal distribution, signal excess is converted to detection probability at each range. Then, the detection range is obtained by integrating the detection probability as function of range for each depth.

The proposed algorithm have been applied to the case of omni-directional source with center frequency 30Hz for summer and winter sound profiles. It is found that the optimal search depth is the source depth since the detection range increase at source depth where the signal excess is maximized.

* 해군작전사령부 근무

** 한국해양대학교 해양공학과

1. 서론

소나 체계에서 탐지거리를 예측하는 것은 체계의 성능을 예측하는 것과 같은 의미의 과정인데 이러한 탐지거리를 예측하기 위해 여러가지 모델로서 연구가 수행되어 왔다. 그 몇가지 예를 보면 미 해군의 NISSM II¹⁾에서는 ray 이론을 이용하여 각 ray에 따른 전달 손실과 복반사 준위를 구한 후 현대역 탐지기를 이용 신호대 잡음비와 탐지 확률을 거리 함수에 따라 구하였으며, Schippers의 능동소나 거리에측(REACT) 모델²⁾에서는 sound channel과 bottom-surface path의 해석적인 ray solution을 이용한 전달손실 모델과 Lambert법칙 등을 이용한 후방산란강도에 의한 복반사율을 계산하여 최소 탐지가능 신호를 결정한 후 거리함수의 탐지확률과 탐지거리를 계산하였다. 특히 Ferla와 Porter³⁾는 수동 소나 체계에서 음원 깊이를 아는 경우에 음원 깊이 또는 음원 깊이에서와 같은 음속을 갖는 깊이에 수신기를 배치하는 것과, 음원 깊이를 모르는 경우 최저 음속 깊이에 수신기를 배치하는 것이 탐지에 가장 적합한 수신기 위치 선택임을 보였다.

수동 소나 체계보다 적극적 탐색 방법인 능동 소나 체계는 위에서 보인 모델들 이외에 다양하게 개발되어 사용되고 있으나 여러 가지 이유로 발표되는 것은 미미한 편이다. 한편 능동과 수동의 가장 큰 차이점은 능동 소나의 경우 신호 이득에 복반사의 영향이 매우 크게 좌우되어 수동 소나의 결과와는 다른 양상을 보인다. 따라서 본 논문에서는 능동소나 체계에서 탐지거리 예측을 위한 계산과정을 살펴 보며, 음원깊이와 표적깊이의 함수인 탐지거리와 피탐지 거리를 계산한 결과에 대해 수동소나의 원칙과 비교하여 살펴보고자 한다.

2. 배경 이론

2.1 소나 방정식과 각 요소

소나 방정식은 소나 설계와 함께 소나 체계의 성능을 예측하는데 주로 이용이 된다. 능동소나

체계에서의 신호 이득은 다음 식으로 표현 된다.

$$SE = SL - TL1 - TL2 + TS - (NL - DI) * RL - DT \dots\dots\dots (2-1)$$

여기에서 사용된 각 변수들의 정의를 보면,

- SE : 신호 이득(dB)
- SL : 음원 준위(dB re 1 μPa & 1m)
- TL1 : 음원에서 표적까지의 전달 손실 (dB re 1m)
- TL2 : 표적에서 음원까지의 전달 손실 (dB re 1m)
- TS : 표적 강도(dB)
- NL : 소음 준위(dB)
- DI : 방향성 이득(dB)
- RL : 복반사 준위(dB)
- DT : detection threshold(dB)

이며, (NL-DI)*RL은 소음 준위와 복반사 준위의 power sum으로서 단위는 dB이며 배경소음 준위(BGL : Background level)라고도 한다.²⁾ 능동 소나 방정식에서의 각 항과 사용된 각 변수들은 다음과 같다.

먼저, 음원 준위는 일반적으로 방향성을 가진 변환자 배열에서 표적의 방향으로 송신된 음의 세기로서 정의된다. 이러한 음원 준위는 입력된 힘과 전기적 에너지가 음향 에너지로 전환시의 효율성, 그리고 빔에 음이 집중되는 것으로 인한 방향 이득에 관계되며 다음과 같이 표현된다.

$$SL = 171 + 10\log P + DI_r \dots\dots\dots (2-2)$$

여기에서 10logP는 power level(dB re 1 watt)이며 DI_r는 송신 방향 이득으로서 전방향 음원일 경우 송신 방향 이득(DI_r)은 0 dB이다.

전달 손실은 매질에서 음파가 전달되며 발생되는 손실로서 전파 모델을 사용하여 계산되는 데 본 연구에서는 SAFARI 모델⁴⁾을 이용하였다. 이 방법은 탄성파를 비롯한 존재하는 모든 종류의 파를 포함하기 때문에 full wave solution이라고도 한다. 본 연구에서는 30Hz 주파수의 전방향음원을 사용하였으며, 음원 I깊이를 100m, 1500m로 달

리하여 수신기 깊이는 100m까지는 10m간격, 그 이하 깊이는 50m간격으로 계산하였으며 이는 계산상 기억 용량과 conjugate depth 효과를 고려한 것이다.

능동소나에서 표적강도는 표적에 입사된 음의 세기와 음의 중심에서 1m 거리의 표적에 의해 맞고 되돌아온 음의 세기의 비(dB)로서 표현되며 표적의 크기, 모양, 구성 재질 및 자세각에 따라 좌우된다. 수중표적의 대표격인 잠수함의 경우에 대해 Urick의 표준화 된 세 값을 사용하였다.⁵⁾⁶⁾ 즉, 정함수 또는 정함미일 경우 +10dB, 현측일 경우에는 +25dB, 기타 자세각의 경우에는 +15 dB 이다.

다음으로 배경소음 준위의 두 요소인 소음 준위와 복반사 준위인데, 소음 준위는 크게 주변소음과 자체소음 두 가지로 나뉘어 진다. 소나를 사용시에는 이를 이용하는 선박의 속력이 20kts 까지 증가될 때의 주변소음 상황과, 그 이상 속력에서의 자체소음 상황으로 구분된다. 주변소음은 10Hz에서 100kHz까지의 범위에서는 타 선박에 의한 소음과, 바람에 의한 해수면 상태에 따른 소음의 조합으로 나타나며 이를 계산하기 위해 Wenz곡선을 이용하였다.

복반사 준위는 송신된 음원 준위나 펄스길이, 소나 빔폭이 증가함에 따라 증가된다. 따라서 소나 설계시에는 위의 세 가지 사항을 적절히 고려해야 하며 복반사의 종류로는 해수면 복반사, 해저 복반사, 체적 복반사가 있으며, 이는 다음의 기본식으로 계산하였다.

$$RL = SL - 40\log r + S_{V,SB} + 10\log A \dots\dots\dots (2-3)$$

여기에서 r은 거리, A는 ensonified area이며, S_{V,SB}는 각각 체적, 해수면, 해저 후방산란강도로서 해수면 후방산란강도는 Chapman & Harris 식을 이용하여 구하였고, 해저 후방산란강도는 Lambert 법칙을 이용하여 각 복반사를 계산 후 power를 합하였다.

마지막으로, detection threshold(이하 DT)는 탐지 결정을 위해 특징하게 주어진 준위를 만족하는 수신 빔폭에서의 signal power 대 수신단에서

측정된 1Hz band에서의 noise power 비로서 정의된다. DT를 계산하기 위해 탐지확률(P_D)과 오탐지확률(P_{FA})이 주어져야 하는데, 탐지확률 50%와 오탐지확률 0.01%에서 receiver-operating-characteristic (ROC) 곡선을 이용하여 detection index (d)를 구하였으며 reverberation-limited인 상황에서 소음과 복반사음 안에서 송수신 신호를 완전히 모를 경우에서의 에너지 탐지기인 Square law receiver를 사용하였다.⁵⁾⁷⁾

2.2 탐지 확률 및 탐지 거리 계산

이상에서 신호 이득을 구하는 데 필요한 각 항들에 대해 알아 보았으며 각 항들을 조합, 소나 방정식에 대입하여 SE값을 구한다. 계산된 신호 이득은 각 거리에서 대수표준분포(log-normal distribution)로 나타낼 수 있다. 즉,

$$P_D(SE) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \int_{SE}^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{\sigma^2}\right) dx \dots\dots\dots (2-4)$$

이며, 여기에서 σ는 신호 이득의 표준편차로서 여러값에 따라 다양한 곡선으로 나타나는 데 σ는 8~9 dB 사이의 값을 갖는다.⁵⁾⁸⁾

표준편차를 대입후 신호 이득 축으로 적분을 하면 각 신호 이득에서의 탐지확률을 구할 수 있다. 그리고 신호 이득은 거리 r과 깊이 d, 음원의 깊이 d_s, 표적의 깊이 d_t의 함수로서 거리와 깊이에 따라 신호 이득의 각 값에 대한 탐지확률이 계산되면, 이를 각 깊이 별 거리로 적분하여 탐지거리(DR)를 구할 수 있다. 즉 탐지거리(DR)는 신호이득(SE), 음원 깊이(d_s), 표적 깊이(d_t), 거리(r)의 함수로서

$$DR(SE, d_s, d_t, r) = \int_0^r P_D(SE, d_s, d_t, r) dr \dots\dots\dots (2-5)$$

이다.⁵⁾⁹⁾

3. 탐지거리 계산 결과

3.1 여름 음속 분포에서의 탐지거리 계산 결과

여름의 음속 분포는 최저 음속 깊이가 100m이며, 표면에서 100m 깊이까지 온도의 감소가 압력의 증가보다 우세하여 일정하게 감소하다가 100 m 이하에서는 온도는 거의 일정하지만 압력이 증가하므로 음속이 증가하는 가상적 음속 분포를 사용하였다. 주파수 30Hz, 펄스 길이 100msec인 전방향 음원을 사용하였으며 풍속은 2m/sec, 해저 지질은 모래, 수심은 2500m이고, 선박 통행에 따른 주변 소음은 가장 낮은 단계에서 음원 깊이를 100m, 1500m로 하여 계산하였다.

전달 손실에서 보면 각 음원 깊이별 예에서 약 5km까지의 거리에서는 어느 정도 빔 형태를 형성함을 볼 수 있으며 이는 Lloyd mirror 효과에 의한 것이며, 그 이상의 거리에서는 해수면과 해저의 전달 손실에 의한 간섭효과가 전 깊이에서 나타나 전달 손실이 매우 불규칙함을 알 수 있다. 또한 배경소음 준위를 보면 거리가 증가함에 따라 일정하게 감소를 보이다가 음원에서 해수면과 해저까지의 각 거리에서 복반사 준위가 상대적으로 크게 나타나는 데 이는 각각 해수면과 해저 복반사 준위의 영향임을 보인다. 그림 1에서 그림 8까지는 각 음원 깊이에서 전달 손실과 배경소음 준위, 신호 이득, 탐지거리 계산 결과를 보인다.

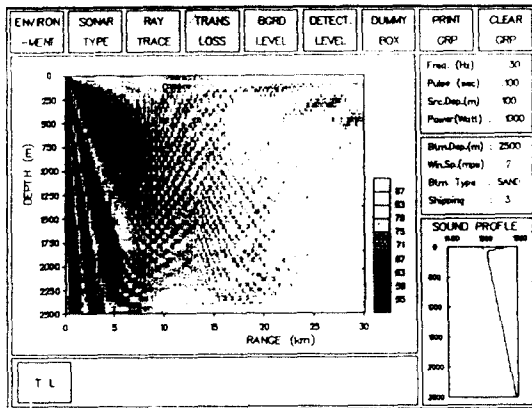


Fig. 1 Transmission loss for summer profile with 30Hz source at depth 100m

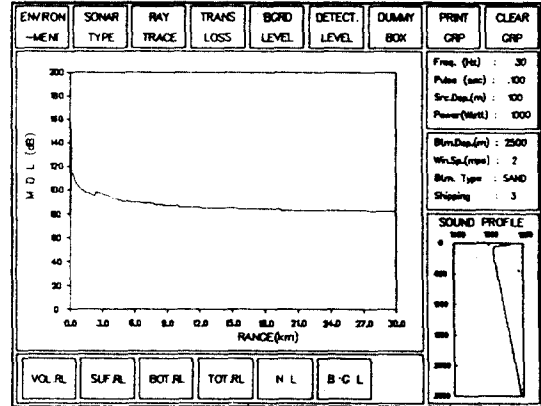


Fig. 2 Background level for summer profile with 30Hz source at depth 100m

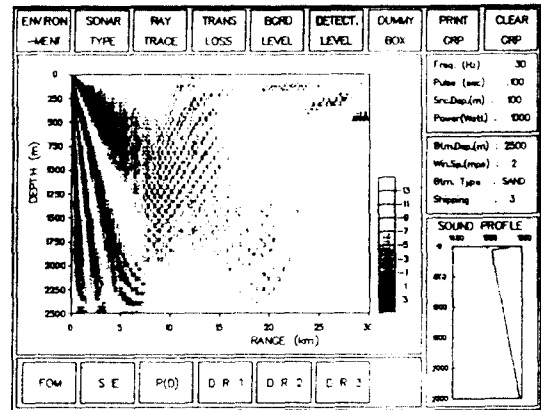


Fig. 3 Signal excess for summer profile with 30 Hz source at depth 100m

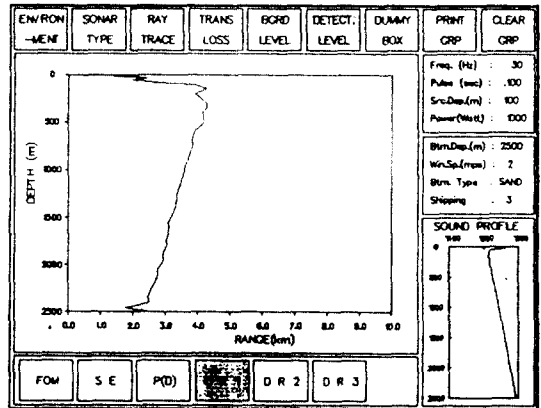


Fig. 4 Detection range for summer profile with 30Hz source at depth 100m

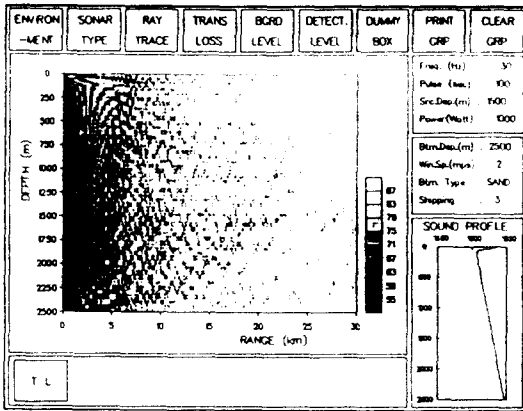


Fig. 5 Transmission loss for summer profile with 30Hz source at depth 1500m

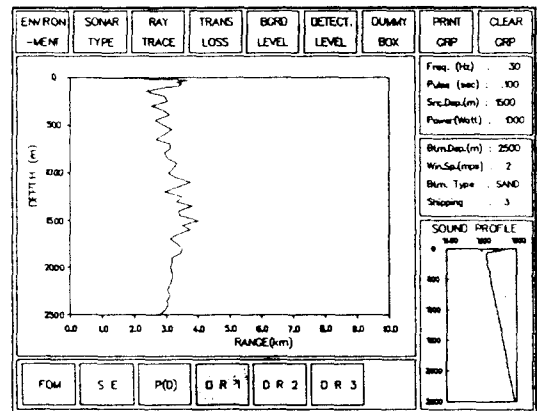


Fig. 8 Detection range for summer profile with 30Hz source at depth 1500m

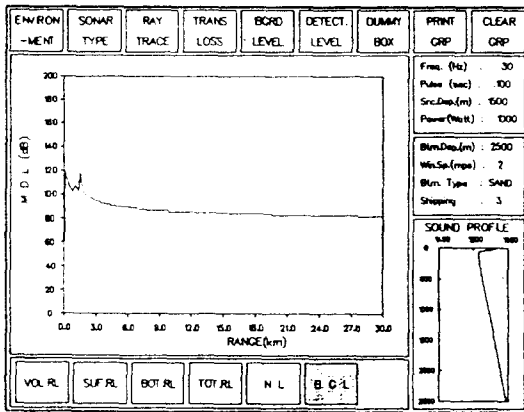


Fig. 6 Background level for summer profile with 30Hz source at depth 1500m

3.2 겨울 음속 분포에서의 탐지거리 계산 결과

겨울 환경에서는 표면에서의 온도가 낮으므로 전 깊이에서의 온도는 거의 일정한 값을 갖는 데 비해 깊이가 증가할 수록 압력이 증가되므로 이 두 요소에 의해 음속 분포는 일반적으로 깊이가 증가할 수록 음속도 증가하는 분포를 가정하여 사용하였다.

그림 9에서 그림 12까지는 주파수 30Hz를 사용하여 여름 음속 분포에서와 같은 요소로서 음원 깊이 300m에서의 전방향 음원을 각각 사용하여 계산한 결과이다.

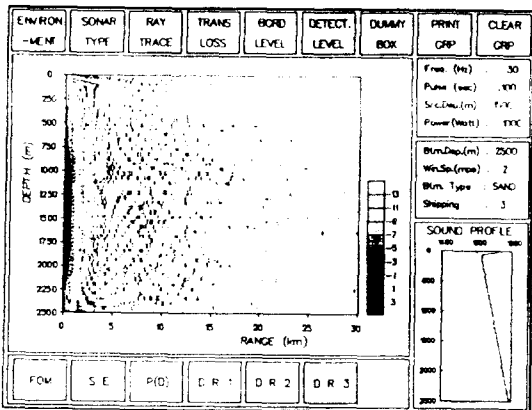


Fig. 7 Signal excess for summer profile with 30 Hz source at depth 1500m

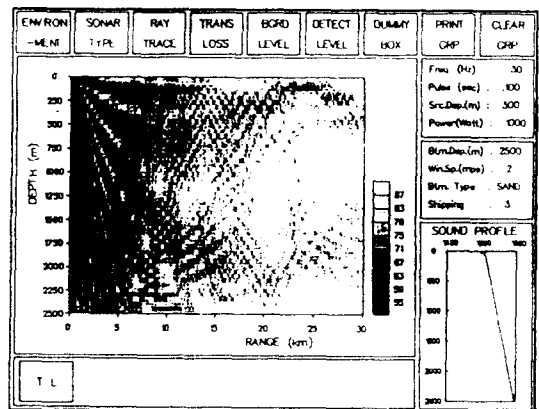


Fig. 9 Transmission loss for winter profile with 30Hz source at depth 300m

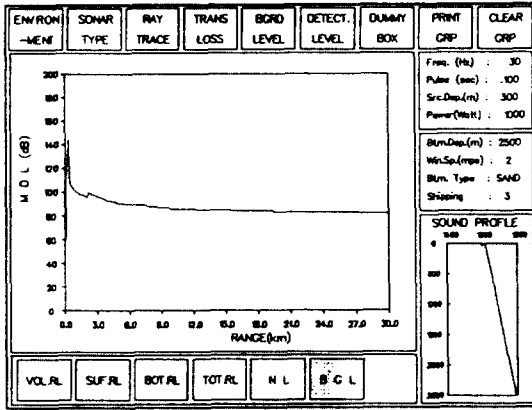


Fig. 10 Background level for winter profile with 30Hz source at depth 300m

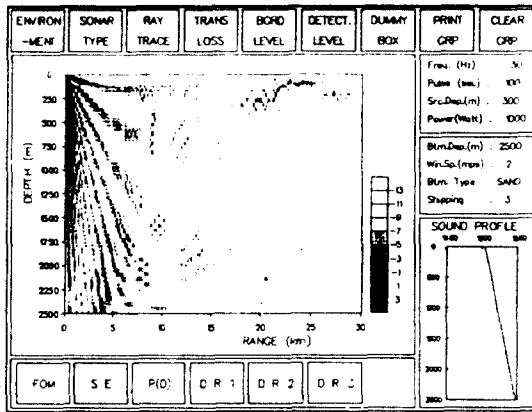


Fig. 11 Signal excess for winter profile with 30Hz source at depth 300m

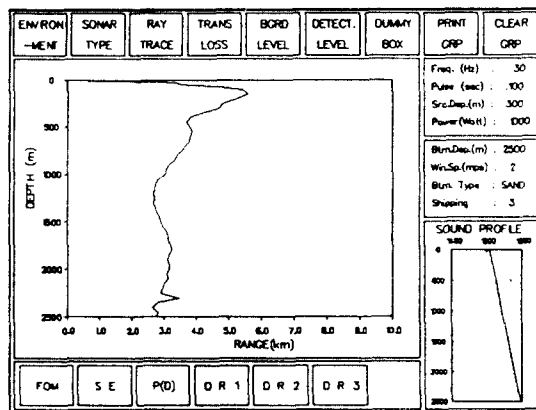


Fig. 12 Detection range for winter profile with 30 Hz source at depth 300m

3.3 탐지거리 계산 결과에 대한 고찰

앞에서 여름과 겨울의 일반적 음속 분포에서 30Hz 주파수의 전방향 음원을 사용하여 음원 깊이를 달리한 탐지거리 계산 결과를 보았다.

본 논문에서의 탐지거리 계산을 위한 몇 가지의 가정 사항과 제한 사항을 살펴 보면 다음과 같다. 먼저, 전달 손실을 구하기 위해 SAFARI 모델을 이용하였는데 이는 거리함수에 독립인 모델인 데 각 격자의 크기는 거리 분해능이 30Hz 주파수에서는 약 179m로 계산되었다. 또한 표면에서 100m까지의 깊이에서는 10m 간격이며, 100m에서 해저까지의 깊이에서는 50m 간격으로 계산하였으며 이는 conjugate depth 효과를 보기 위한 함과 프로그램의 계산 용량에 의한 제한 사항이다.

다음으로 소음 준위는 주변소음과 자체소음의 power를 합하여 구하는데 자체소음은 소나 운용 체계에서의 소음으로 인한 것으로 볼 수 있으며 이는 주변 소음에 비해 상대적으로 작아 log크기로 power를 합할 때 수치적 변동이 미미하여 주변소음만으로 소음 준위를 대표하였다.

복반사 준위에서는 해수면과 해저 복반사 준위를 구할 때 거리와 음파가 각 표면에 도달할 때의 입사 각도만을 변수로 하여 각각 Chappman과 Harris의 실험식과, Lambert법칙을 사용하였고, 여기에 음속이 일정하다고 가정하여 계산한 관계로 음파가 진행하며 음선이 휘므로서 생기는 거리 오차에 대한 값은 무시하였다. 이는 2500m 깊이와 30km까지의 거리로 구성된 본 논문의 음장에서 음선이 휘므로서 생기는 거리 오차는 큰 영향을 미치지 못할 것으로 여겨진다. 그리고 체적 복반사 준위 계산시 체적 후방 산란 강도는 -65dB 값을 취하였다. 물론 각 해역과 계절별, 일별 체적 후방 산란 강도는 각각 차이가 크게 나타나며 이는 체적 복반사 준위에 큰 영향을 주는 데 일반적 값으로 가정한 것이다. 또한 거리 변수에 대해서는 계산 과정상 간격을 100m로 계산하여 전달 손실에서의 거리 값에 따라서 이를 보정하여 신호 이득을 구하는 과정을 아울러 수행하였다.

위와 같은 계산상의 가정과 제한은 본 알고리

즘에서 국부적으로는 영향을 미칠 수 있으나, 전체적 탐지거리 계산 결과 경향에의 영향은 적을 것이다.

본 알고리즘으로 계산된 탐지거리 결과에 대해 Ferla와 Porter가 보인 수동 소나에서의 결과와 비교하여 보면, 수동 소나인 경우에는 복반사가 없는 관계로 신호 이득은 단지 전달 손실에 의해 영향을 받는 것에 반하여,³⁾ 능동 소나에서의 신호 이득은 전달 손실뿐만 아니라 복반사에 의해 음원에서 해수면과 해저 복반사가 발생하는 거리에 대해 전 방향으로 감소가 일어난다. 즉, 예로서 계산한 음원 깊이 100m, 1500m에서 볼 때, 각 음원에서 해수면까지의 거리에 따라 해수면 복반사 준위가 크게 나타나는 영향으로 신호 이득이 음원에서 각 해수면까지의 거리에 해당하는 거리에서 급격히 감소됨을 알 수 있으며, 이러한 복반사 거리에서 신호 이득의 감소가 음원을 중심으로 구형으로 발생되어 음원 깊이에서 신호 이득이 감소되는 거리 간격이 음원 이외의 깊이에서 감소되는 거리 간격보다 짧게 되므로 음원 깊이에서 탐지거리가 증대되는 경향이 있다. 이는 수동 소나에서의 결과인 음원 깊이와, 그 깊이에서와 같은 음속을 가진 깊이(conjugate depth)에서 탐지거리가 증대되는 결과와는 다른 결과에 대한 설명이 될 수 있다.

그리고 수동소나인 경우 음원 깊이에서 수신하는 것이 가장 탐지거리가 길게 나타나는 데 비하여 능동 소나인 경우 몇가지 음원 깊이에서 탐지거리가 긴 것으로 나타나지만 효과가 그렇게 뚜렷하지는 않으며, 이 역시 복반사의 영향으로 볼 수 있다.

4. 탐지 및 피탐지 거리 예측

앞 장에서 고정 음원 깊이에서 음속 분포와 사용 주파수를 변경해 가며 표적의 탐지 거리를 계산하였다. 본 장에서는 계산된 탐지거리를 이용하여 음원 위치에서의 최대 표적 탐지와, 표적 위치에서의 최대 피탐지 거리를 위한 음원과 표적의 깊이 선택 알고리즘에 대해 살펴 보았다.

4.1 표적탐지를 위한 음원 깊이 계산

음원의 깊이를 알고 있는 경우 표적의 위치를 모를 때 최대 탐지거리가 가능한 음원 깊이 선택을 필요로 한다. 따라서 다음 계산 과정이 필요하며 이는 다음과 같다.

먼저, 각 깊이의 음원에 대해 평균 탐지 거리 DR_S 를 구한다.

$$DR_S(d_s, r) = \left(\sum_{i=1}^m DR_i(SE, d_s, d_i, r) \right) / m, \\ j=1, n \dots\dots\dots (4-1)$$

여기에서 i 는 깊이의 표본표적갯수, j 는 음원의 갯수, DR_S 는 평균탐지거리이다. 각 깊이에서 평균 탐지거리 $DR_S(d_s, r)$ 에 표적 깊이의 가중치를 곱하면 표적의 위치를 모르는 경우에서의 최적탐지를 위한 음원 깊이를 알 수 있으며 이 때의 가중 탐지거리(DR_{AS})는 (4-2)식과 같다.

$$DR_{AS}(j, r) = DR_S(d_s, r) \times G_R(d_i), i=1, m \\ (\text{단 } i=j) \dots\dots\dots (4-2)$$

여기에서 $G_R(d_i)$ 는 표적깊이의 가우스 분포를 정규화한 가중치이다.

그림 13과 그림 14는 30Hz 주파수를 사용한 여름과 겨울 음속 분포에서 각 음원 깊이의 탐지거리를 500m까지 평균한 결과로서 이를 보면 음속 분포의 영향은 작고 겨울의 음속 분포에서 탐지거리가 상대적으로 약간 긴 결과를 나타내며, 또한 해수면에 가까운 깊이를 제외하고는 비교적 일정한 탐지거리를 나타낸다. 이는 수동 소나의 경우에서와 같이 음원 선택의 원칙과 같은 결론을 도출할 만한 결과가 능동 소나의 경우에는 매우 어려움을 나타내며, 단지 해수면 근처에서의 탐지거리가 짧음을 알 수 있는 데 두 사항 모두 능동 소나의 경우에만 나타나는 복반사의 영향으로 볼 수 있다.

4.2 피탐지를 위한 표적깊이 계산

본절에서는 표적 입장에서 음원의 깊이를 알지 못하는 경우의 피탐지를 위한 각 표적 깊이에서 거리 계산 과정을 살펴보았다. 이는 먼저, 각 깊

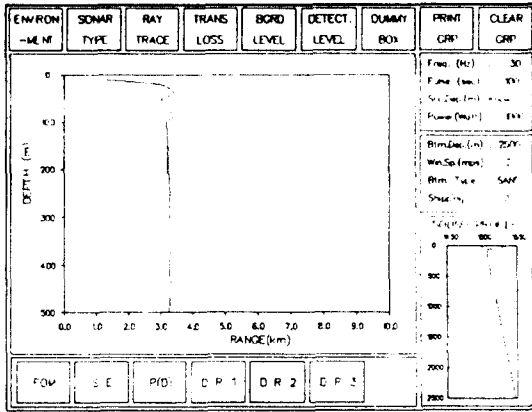


Fig. 13 Average detection range for summer profile with 30Hz source

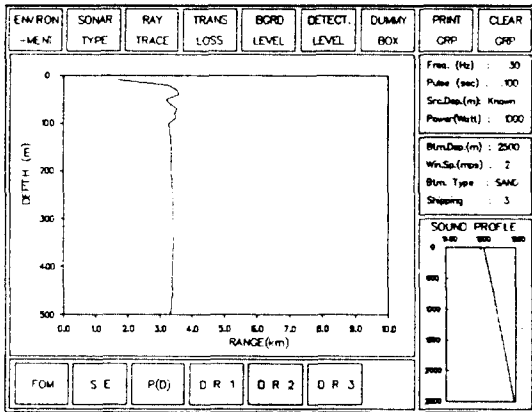


Fig. 14 Average detection range for winter profile with 30Hz source

$$i=1, m \dots\dots\dots (4-4)$$

여기에서 i 는 깊이의 함수인 표본표적갯수, DR_R 은 각 깊이별 평균탐지거리이다.

그림 15와 그림 16은 30Hz 주파수를 사용하여 여름과 겨울의 음속 분포에서 각 표적 깊이의 피탐지거리를 평균한 결과이며, 약 100m보다 깊은 깊이에서 거의 일정한 피탐지거리를 보이며 앞 절에서와 같이 해수면 부근에서 피탐지거리가 짧아 표적의 입장에서 유리한 깊이임을 알 수 있었고 이 또한 해수면 복반사의 영향이 크게 나타남을 보인다.

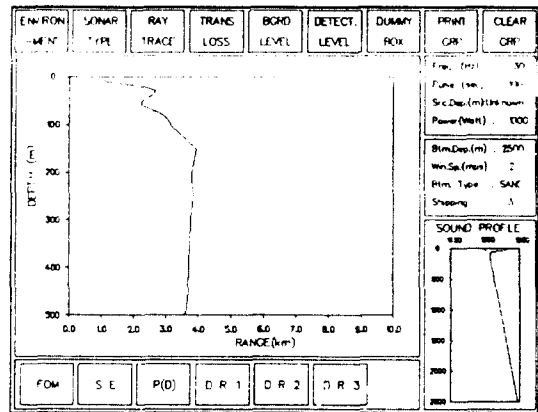


Fig. 15 Average counter-detection range for summer profile with 30Hz source

이의 음원에 의한 계산된 탐지거리에 음원깊이의 가중치 $G_s(d_s)$ 를 곱한다. 즉,

$$DR_R(j, r) = DR_{Rj}(SE, d_s, d_b, r) \times G_s(d_s),$$

$$j=1, n \dots\dots\dots (4-3)$$

여기에서 j 는 음원의 갯수이고 $G_s(d_s)$ 는 음원 깊이의 확률을 가우스 분포로 하여 정규화한 가중치이다.

다음 과정으로 계산된 가중탐지거리(DR_R 를 깊이별로 더하여 평균을 취하여 표적의 피탐지 거리를 계산하였다.

$$DR_{Ri}(d_s, r) = \left(\sum_{j=1}^n DR_{Rj}(d_s, d_b, r) \right) / n,$$

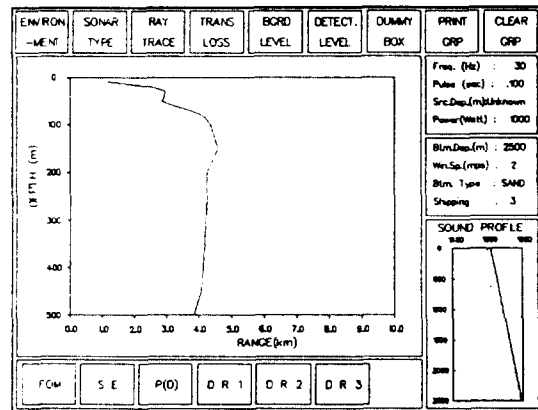


Fig. 16 Average counter-detection range for winter profile with 30Hz source

5. 결 론

수동 소나 체계보다 적극적 탐지 방법인 능동 소나 체계에서 탐지확률 및 탐지거리 예측을 위한 알고리즘으로 계산한 결과, 수동 소나인 경우에는 복반사가 없는 관계로 신호 이득은 단지 전달 손실에 의해 영향을 받는 것에 반하여, 능동 소나에서의 신호 이득은 전달 손실뿐만 아니라 복반사에 의해 음원에서 해수면과 해저 복반사가 발생하는 거리에 대해 전 방향으로 감소가 일어난다. 그러므로 복반사가 음원에서 구형으로 신호이득에 영향을 주어 음원 깊이에서 탐지거리가 증대됨을 알았으며, 이러한 복반사의 영향은 TVG (Time Varing Gain) 효과로서 소나 체계 설계시 시뮬레이터를 통해 탐지거리를 최대로 할 수 있는 최적 TVG를 구하는 데에 본 연구 결과가 적용될 수 있다.

또한 평균 탐지거리와 피탐지거리 계산 결과 해수면에 가까운 깊이를 제외하고는 비교적 일정한 탐지거리와 피탐지거리를 나타내었으며, 이는 해수면 복반사의 영향이 크게 나타남을 알 수 있었다.

본 논문에서 보인 능동 소나 체계에서 소나 방정식을 이용한 탐지거리 예측 알고리즘은 전달 손실을 구하는 데 저주파 모델을 사용하였지만 고주파 모델을 사용시 방법론은 동일하므로 거리 및 깊이 분해능과 복반사의 정밀도를 증대시킨다면 소나 체계에서 각 변수에 따른 체계 성능의 예측과, 음원과 표적의 위치에서 각 탐지거리를 예측하는 데 적용될 수 있을 것이다.

그리고 무지향성 음원을 사용하였는 데, 빔폭을 가진 음원을 사용시 해수면 복반사가 낮아져 탐지거리의 양상이 달라질 수 있다. 또한 음의 굴

절이 고려되지 않은 점은 근거리에서는 영향이 크게 나타나지 않겠지만 장거리인 경우 도달시간에 차이를 보일 것이다. 그러나 이는 깊이별 탐지거리의 경향에는 영향이 없으며 음의 굴절을 고려시 같은 거리에서 복반사 준위가 낮아져 탐지거리가 약간 길게 나타날 것이며, 앞으로의 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) H. Weinberg, Navy Interrim Surface Ship Model(NISSM) II, NUSC Technical Report 4527, Oct. 1973.
- 2) Schippers P., "REACT, A Model for Active Sonar Range Prediction", *UDT'91 Conference Book of Proceedings*, MEFL, 23-25 April 1991, London, U. K.
- 3) C. M. Ferla & M. B. Porter, "Receiver Depth Selection for Passive Sonar Systems", pp. 267-278, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 16, No. 3, July 1991.
- 4) H. Schmidt, SAFARI User's Guide, SACLAN-TCEN REPORT, Serial No. SR-113, Sep. 1988.
- 5) R. J. Urick, Principles of underwater sound, McGraw-hill Book Company, New York, 3rd ed. 1983.
- 6) James W. Jenkins, "Sonar Principles and Anti-submarine Warfare", pp. 61-70, *Sea Tecnology*, Feb. 1993.
- 7) W. S. burdic, Underwater Acoustic System Analysis, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.