

협대역 수중음향측정을 위한 신뢰도 기반의 측정정확도 분석

Analysis of Measurement Accuracy Based on Confidences for Narrow-Band Underwater Acoustic Measurement

도 경 철*, 최 재 용*, 이 용 곤*

(Kyeong Cheol Dho*, Jae Yong Choi*, Yong Gon Lee*)

요 약

본 연구에서는 오차분산을 명확하게 표현하지 못하는 협대역 수중음향 측정체계의 측정성능 및 운용성을 설계 단계에서 사전 예측할 목적으로, 신호대잡음비에 따른 신뢰도 기반의 협대역 측정정확도 예측 기준을 제안한다. 제안 기준에서 신호의 평균과 분산은 신호의 샘플 개수와 신호대잡음비에 의해 표현된다. 본 논문에서는 편향된 환경에서 수중음향을 분석하는 경우와 배경소음을 사전 예측하여 측정음향에서 제거시키는 경우에 대하여 협대역 수중음향 측정성능 예측을 제안 기준에 의해 시뮬레이션하고 그 결과를 고찰한다.

핵심용어: 측정 정확도, 신뢰도, 크라마러오 최저경계, 신호대잡음비, 배경소음
투고분야: 음향신호처리 분야(1.6)

ABSTRACT

In order to predict the performance and the usefulness of the narrow-band underwater acoustic measurement system at design stage, whose error variance is not clearly described, in this study a boundary equation to estimate the measurement accuracy is proposed based on the confidency as SNR variation. The boundary is presented as a function of SNR and the number of samples. In this paper, the measurement performance for narrow-band signal is simulated by the proposed boundary equation and the results are reviewed in the biased noise condition and separately in the background noise rejected condition.

Key words: Measurement accuracy, Confidency, CRLS, SNR, Ambient noise.

1. 서 론

CRLB(Cramer-Rao Lower Bound)는 시지연(time-delay)의 분산 최저치 예측 방법으로서, 표적방위 추출이 목적인 탐지(detection)성능의 이론적 예측에 유용하게 이용되어 왔다[1-5]. Quazi[4] 등은 신호대잡음비 SNR, 운용 중심주파수의 주파수 대역폭 B와 수신기 시간적분 T의 항으로 시간지연 예측오차를 표현한 바 있다. 그러나 표적음향의 원음 녹음이 목표인 측정에서는 시지연에 의한 입사각 추출 보다 표적음향의 정확한 에너지와 신호를 왜곡없이 수신하는 정도가 정확도로서 더욱 중요하다. 따라서 측정에서는 시지연 예측오차의 분산 산정이 현실적으로 어렵고 물리적으로도 의미가 없으므로 CRLB 적용이 곤란하다. 뿐만 아니라 측정에서는 원음의 왜곡없는 주파수 특성 및 절대 음원준위(source level)에 대한 정확도가 예측

되어야 하므로 보다 높고 명확한 신뢰도의 성능예측 기준이 필요하다.

이를 위하여 Dho[6] 등은 광대역 수중음향 측정을 목적으로, 신뢰도 부등식을 이용한 성능예측기준 설정 방법을 제안하고 수신신호에 대한 B와 T와의 곱 BT 및 신호 전력으로 광대역 측정 정확도 예측 기준을 표현한 바 있다. 그러나 협대역 신호의 경우에는 BT 및 신호 전력으로 평균과 분산을 표현하기가 어려우므로 광대역 측정정확도 예측 기준을 협대역에 적용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 평균과 분산을 샘플 개수(the number of sample) 및 음원준위로 표현하며 이를 신뢰도 부등식에 적용한 협대역 측정정확도 성능예측 방법을 유도하고 시뮬레이션에 의한 측정정확도 예측 결과를 고찰한다.

서론에 이어 2장에서는 협대역 측정정확도 예측 기법을 정립하고 3장에서 협대역 측정정확도 예측 기준을 제안한다. 4장에서는 성능예측 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 고찰한다.

* 국방과학연구소 연구원

접수일자: 2000년 3월 15일

II. 협대역 음향측정 정확도 예측 기법

2.1. 협대역 음향측정 및 분석 개념

일반적으로 음향측정에서 신호분석은 그림 1의 스펙트럼 분석에 의해 수행된다. 신호는 주파수대역 B의 필터를 거치고 T시간 동안 적분된다. Z는 측정 음향에너지이며 a와 b는 표적신호 주파수의 실수 및 허수성분이다. (a² + b²)은 표적음향의 음원준위 SL에 해당한다. X와 Y는 표적신호와 함께 측정된 정규분포의 상호 독립적인 랜덤(random) 잡음이다. 협대역 음향측정에서는 신호의 평균을 B와 T의 곱 BT로 나타내지 않고 1회 평균시의 샘플 개수 N으로 표현한다[7].

그림 1에서 SL = a² + b²을 왜곡없이 산출하고 a와 b의 정확한 주파수 특성을 추출함이 협대역 음향측정의 궁극적인 목적이다. T를 길게 하면 누적시간 내 신호간의 상관관계가 낮아지고 수신기 하드웨어 부담이 과중해지므로 이를 고려하여 T를 설계한다. 협대역 측정에서는 이와 같은 개념으로 샘플 개수 N을 적절하게 선정해야 한다.

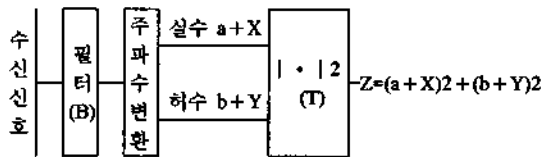


그림 1. 음향측정에서의 일반적인 스펙트럼 분석 개념
Fig. 1. General concept of spectrum analysis for acoustic measurement.

2.2. 신뢰도 기반의 측정정확도 예측

음향측정은 일정 평균값을 기준으로 어느 정도 편차를 가진 신호를 녹음한다. 따라서 수신신호 분산에 대한 신뢰도를 임의의 값으로 가정한다면, 수신신호에 대한 절대음원준위 예측치 \hat{E} 는 측정신호 Z의 평균 $E(Z)$ 과 표준편차 $\sigma(Z)$ 와 가감으로 표현할 수 있다. 즉, 표준편차 또는 분산에 대한 신뢰도를 β 라 하면, 예측치 \hat{E} 의 경계는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다[6].

$$E(Z) - \beta \sigma(Z) < \hat{E} < E(Z) + \beta \sigma(Z) \quad (1)$$

협대역 음향측정 정확도는 음원준위 예측치 \hat{E} 와 실제 음원준위 SL과의 비로서 정의되므로, 식 (1)의 각 항을 SL로 나누면 측정정확도 d_n 에 대한 경계를 구할 수 있다. 식 (2)는 이를 나타낸다. 그리고 식 (2)를 식 (1)에 적용시키면 협대역 음향측정 정확도 경계는 식 (3)으로 표현된다.

$$d_n = \hat{E} / SL \quad (2)$$

$$\frac{|E(Z) - \beta \sigma(Z)|}{SL} < d_n < \frac{|E(Z) + \beta \sigma(Z)|}{SL} \quad (3)$$

음향측정에서 식 (3)의 $E(Z)$ 와 $\sigma(Z)$ 은 예측이 어려우므로 측정정확도 d_n 은 식 (3)에 의해 바로 계산되지 못한다. 협대역 측정에서는 $E(Z)$ 와 $\sigma(Z)$ 가 신호대잡음비 SNR 및 샘플수 N의 항으로 표현되어야 식 (3)에 의한 예측이 가능해진다.

2.3. SNR과 샘플수에 따른 평균 및 분산 유도

그림 1의 음향측정체계에 정규분포 모멘트 이론[7,8]을 적용시키면, 평균 0 및 분산 $\sigma^2/2$ 인 정규분포 X와 Y의 모멘트는 식 (4)와 같이 주어진다. 본 연구에서는 수식의 간편함을 위하여 분산을 $\sigma^2/2$ 로 두었다.

$$E(X) = E(Y) = 0 \quad (4a)$$

$$E(X^2) = \text{Var}(X) = \sigma^2/2 \quad (4b)$$

$$E(X^3) = 0 \quad (4c)$$

$$E(X^4) = 3(\sigma/\sqrt{2})^4 = (3/4)\sigma^4 \quad (4d)$$

정규분포의 잡음만이 존재하는 경우 실수 및 허수 성분인 X와 Y가 상호 독립적임을 고려하면, 이 때의 측정신호 Z에 대한 평균 $E(Z)$ 및 분산 $\text{Var}(Z)$ 은 식 (5)와 같다.

$$E(Z) = E(X^2 + Y^2) = \sigma^2 \quad (5a)$$

$$\text{Var}(Z) = E(Z^2) - [E(Z)]^2 = \sigma^4 \quad (5b)$$

잡음과 표적음향신호가 공존하는 경우, 잡음과 표적음향신호는 상호 독립적이므로 측정신호 Z에 대한 평균 $E(Z)$ 와 분산 $\text{Var}(Z)$ 은 각각 다음 식으로 표현된다.

$$E(Z) = E[(X+a)^2 + (Y+b)^2] = \sigma^2 + SL \quad (6)$$

$$\text{Var}(Z) = E(Z^2) - [E(Z)]^2 = \sigma^2(\sigma^2 + 2SL) \quad (7)$$

위에서 유도한 식 (5)~식 (7)을 환경에 맞도록 식 (3)에 적용시키면 협대역 음향측정시의 측정정확도 예측이 가능해진다.

III. 협대역 측정정확도 예측 기준 제안

3.1. 편향배경소음 환경에서의 측정성능예측 기준

배경소음이 일정값 N_b 를 갖는 경우 이는 수신신호를 편향(bias)시킨다. 그러므로 협대역 음향측정 Z는 식 (8)의 일차 모멘트를 갖는 정규 프로세서로 표현할 수 있다.

$$E(Z) = N_b + SL \quad (8a)$$

$$\sigma(Z) = [(N_b^2 + 2SL \cdot N_b) / N]^{1/2} \quad (8b)$$

식 (8)을 식 (3)의 부등식에 적용시키면, 이 환경에서의 예측치를 \hat{E}_{nb} 라 하는 경우 상대적 측정정확도 \hat{E}_{nb}/SL 는 식 (9)로 주어진다. 여기서 신호대잡음비 $\text{SNR} = SL/N_b$ 의 역수를 $N_b/SL = 1/\text{SNR} = \alpha$ 로 표현하고 있다

$$1 + \alpha - \beta \alpha [(1+2/\alpha)/N]^{1/2} < \hat{E}_{nb}/SL < 1 + \alpha + \beta \alpha [(1+2/\alpha)/N]^{1/2} \quad (9)$$

식 (9)에서 상대적 측정정확도가 최대값을 갖게 될 \hat{E}_{nb}/SL 의 상위조건을 d_{nb} 로 정의하면, 배경소음이 편차역할을 하는 경우의 평균한 스펙트럼 개수 즉 샘플 수 N_{nb} 는 식 (10)으로 표현된다.

$$N_{nb} = \beta^2 \alpha (2 + \alpha) / (d_{nb} - 1 - \alpha)^2 \quad (10)$$

3.2. 예측 배경소음을 제거하는 경우의 측정성능예측 기준

협대역 음향측정에서 표적신호의 토널 성분은 배경소음과 함께 녹음된다. 만약 배경소음 예측이 가능하다면 측정음향에서 배경소음을 제거하여 원하는 표적신호만을 분리해 낼 수 있으므로, 배경소음을 정확하게 예측한다면 측정정확도는 그만큼 증대될 수 있다.

그러나 광대역 음향측정과는 달리 협대역 음향측정의 경우 배경소음 편향 예측이 대단히 어렵다. 단일 주파수 또는 좁은 주파수 대역폭을 갖는 각 스펙트럼의 편향 정도를 일일이 예측하는 현실적으로 불가능하다. 그러므로 협대역 음향측정의 경우에는 배경소음을 정상적(stationary) 상태라고 가정하고 예측한다.

정상적 상태의 배경소음 예측전력을 임의의 상수 σ_n^2 로 나타내면, 평균이 임의의 상수로 표현될 수 있는 배경소음 예측전력에 대한 일차모멘트는 다음 식과 같다.

$$E(\sigma_n^2) = \sigma_n^2 = N_b \quad (11a)$$

$$\sigma(\sigma_n^2) = \sigma_n^2 / \sqrt{N} = N_b / \sqrt{N} \quad (11b)$$

배경소음이 임의의 일정값을 가진다고 가정하였으므로 식 (11)에서도 배경소음 전력은 상수 N_b 로 표현되고 있다. 표적신호와 배경소음의 합 신호에 대한 예측전력을 σ_s^2 로 표현하면, 합 신호 예측전력에 대한 일차모멘트는 아래와 같다.

$$E(\sigma_s^2) = \sigma_n^2 + SL = N_b + SL \quad (12a)$$

$$\sigma(\sigma_s^2) = [(N_b^2 + 2SL \cdot N_b) / N]^{1/2} \quad (12b)$$

합 신호 예측전력 σ_s^2 에서 배경소음 예측전력 σ_n^2 를 제거시킴으로서 원하는 표적음향신호의 예측정확도를 증대시킬 수 있다. 즉, 원하는 음향신호 $\sigma_s^2 - \sigma_n^2$ 에 대한 예측 음원준위를 \hat{S}_{nb} 로 표기하면, 배경소음 예측전력을 제거시킨 경우의 협대역 측정음향의 절대 음원준위 예측치는 $\hat{S}_{nb} = SL - \sigma_n^2$ 가 된다. 따라서 \hat{S}_{nb} 의 일차모멘트는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$E(\hat{S}_{nb}) = SL \quad (13a)$$

$$\sigma(\hat{S}_{nb}) = [(2N_b^2 + 2SL \cdot N_b) / N_{nb}]^{1/2} \quad (13b)$$

식 (13)을 식 (3)에 적용시키면, 이 환경에서 협대역

신호의 절대 음원준위에 대한 상대적 측정정확도 \hat{E}_{nb}/SL 는 식 (14)로 주어진다. 여기서 신호대잡음비 $SNR=SL/N_b$ 의 역수를 $N_b/SL = 1/SNR = \alpha$ 로 표현하고 있다

$$1 - \beta \alpha [2(1+1/\alpha)/N_{nb}]^{1/2} < \hat{E}_{nb}/SL < 1 + \beta \alpha [2(1+1/\alpha)/N_{nb}]^{1/2} \quad (14)$$

식 (14)에서 좌변항은 최소경계가 된다. 이는, 정상적 상태의 배경소음을 예측하여 제거하는 경우 상대적인 측정정확도가 적어도 어느 정도 이상은 될 수 있음을 뜻한다. 그러므로 식 (14)의 좌변항은, 이와 같은 조건에서 측정정확도 \hat{E}_{nb}/SL 가 가질 수 있는 최소값이다. 식 (14)의 하위조건에 해당하는 측정정확도 \hat{E}_{nb}/SL 를 d_{ns} 로 표기하면, 이는 식 (15)와 같다.

$$N_{ns} = 2\beta^2 \alpha (1 + \alpha) / (1 - d_{ns})^2 \quad (15)$$

IV. 성능예측 시뮬레이션 및 결과 분석

4.1. 시뮬레이션 사양

협대역 음향측정에서는 분석하고자 하는 주파수대역폭이 상대적으로 좁기 때문에 본 연구에서는 평균된 샘플 개수 N 을 최저 10개에서 최대 200개까지 시뮬레이션 한다. 음향측정 설계 정확도는 $\pm 1.5dB$ 및 $\pm 2.5dB$ 로 각각 제한한다. 이 값들은 음향측정시 실제 적용되고 있는 측정 정확도 범위이다. 시뮬레이션을 위한 신뢰도배분율(신뢰도상수 β)은 95%와 97%에 대하여 중점적으로 고찰한다. 이와 같은 신뢰도는 물리적으로 달성 가능한 신뢰도 가운데 비교적 높은 값들이다.

4.2. 측정 정확도에 대한 N 및 SNR

신뢰도 95%와 97%에서 $\pm 1.5dB$ 및 $\pm 2.5dB$ 측정정확도를 얻기 위해 평균된 샘플 개수 N 에 따라 요구되는 SNR은 그림 2~5와 같다. 표 1은 신뢰도 95%에서 요구되는 SNR을 요약하여 보여준다.

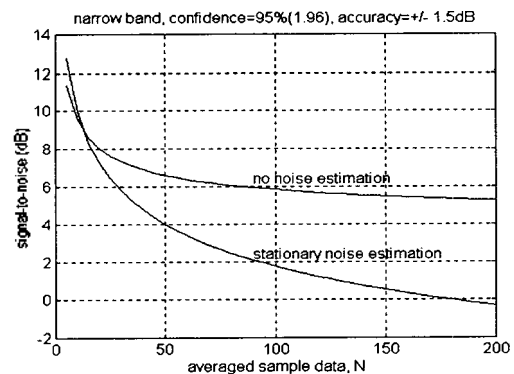


그림 2. 신뢰도 95% 및 정확도 $\pm 1.5dB$ 의 협대역 측정 성능
Fig. 2. Narrow-band measurement performance in confidence 95% and accuracy $\pm 1.5dB$.

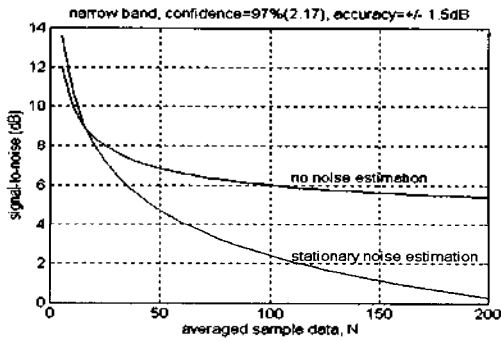


그림 3. 신뢰도 97% 및 정확도 ±1.5dB의 협대역 측정 기준
Fig. 3. Narrow-band measurement performance in confidencey 97% and accuracy ±1.5dB.

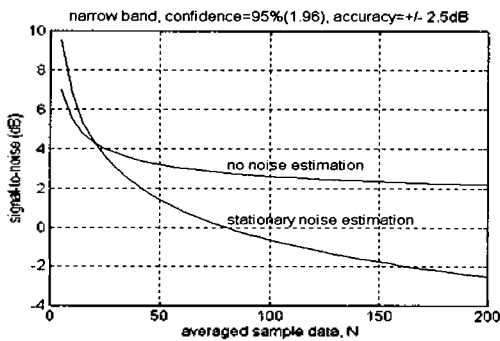


그림 4. 신뢰도 95% 및 정확도 ±2.5dB의 협대역 측정 기준
Fig. 4. Narrow-band measurement performance in confidencey 95% and accuracy ±2.5dB.

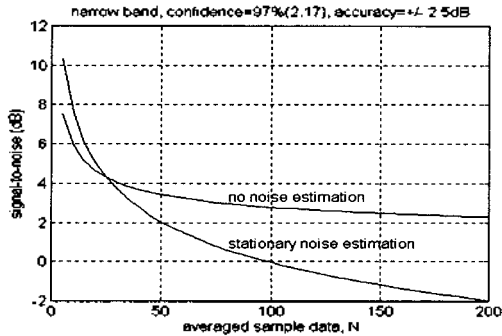


그림 5. 신뢰도 97% 및 정확도 ±2.5dB의 협대역 측정 기준
Fig. 5. Narrow-band measurement performance in confidencey 97% and accuracy ±2.5dB.

표 1. 신뢰도 95% 경우의 협대역 음향측정 소요 SNR
Table 1. Requested SNR for narrow-band acoustic measurement with confidencey 95%.

N	정확도	배경소음 예측 없는 경우 SNR	정상상태 배경소음 예측/제거 경우 SNR
20	±1.5dB	8.0dB	7.5dB
	±2.5dB	4.4dB	3.3dB
50	±1.5dB	6.7dB	4.0dB
	±2.5dB	4.4dB	1.3dB
100	±1.5dB	5.9dB	1.8dB
	±2.5dB	2.6dB	-1.5dB
200	±1.5dB	5.2dB	-0.2dB
	±2.5dB	2.2dB	-2.4dB

배경소음을 예측 않은 경우에 협대역 음향측정에 필요한 신뢰도 95%의 SNR은 약 5.9dB(측정정확도 1.5dB)~2.2dB(측정정확도 2.5dB) 수준이다. 주파수 토널 성분의 준위가 비교적 높음을 고려하면, 이는 한국 해역에서 획득 가능한 SNR로 예상된다. 그리고 정상적 상태의 배경소음을 예측하여 측정음향에서 제거시킨 경우, 신뢰도 95%에서 요구되는 SNR은 약 1.8dB(측정정확도 1.5dB)~ -2.4dB(측정정확도 2.5dB) 수준이다. 이 경우에는 SNR이 낮게 요구된다. N=100인 경우에 약 4dB 정도 차이가 나고, N=200인 경우에는 약 5dB 정도 차이가 난다.

협대역 음향측정에서의 주요 관심인 저주파수 대역에서 요구되는 SNR은 표 1의 N=20 및 N=50에서 요약된 바와 같다. 배경소음을 예측하지 않은 상황에서 N을 20으로 설계하기 위해 요구되는 신뢰도 95%의 SNR은 약 8dB(측정정확도 1.5dB)~4.4dB(측정정확도 2.5dB) 수준이다. 가장 높은 SNR이 요구되는 이 경우에, 8dB 획득은 다소 어려운 SNR로 판단된다. 표 1에서, 정상적 상태의 배경소음을 예측하여 제거시키더라도 약 7.5dB(측정정확도 1.5dB)~3.3dB(측정정확도 2.5dB) 수준의 SNR이 요구되어 별로 효과가 없다. 이는 N을 20으로 설계함은 다소의 무리가 있음을 의미하지만 협대역 토널 성분 추출에는 크게 무리가 없는 SNR이다.

N을 50으로 증가시키면 배경소음을 예측하지 않은 상황에서 요구되는 신뢰도 95%의 SNR은 6.7dB(측정정확도 1.5dB)~4.4dB(측정정확도 2.5dB) 수준이다. 정확도가 높은 경우에만 SNR이 다소 낮게 요구된다. 정상적 상태의 배경소음을 예측하여 제거시키면 N=50에서 요구되는 신뢰도 95%의 SNR은 4.0dB(측정정확도 1.5dB)~1.3dB(측정정확도 2.5dB) 수준으로, 배경소음을 예측하지 않은 경우 보다 매우 낮아진다. 그러므로 N이 너무 작지만 않으면, 작은 N에서는 정상적 상태의 배경소음을 예측하여 측정음향에서 제거시키는 방안이 바람직하다.

낮은 주파수대역에서 요구되는 SNR은 주파수대역이 증가함에 따라 상당량 낮아진다. 그리고 SNR의 감소량은 배경소음 예측 및 제거의 경우에 그 정도가 더 크다. 그림 2~5에서 보는 바와 같이, 배경소음 예측 및 제거의 경우에 요구되는 SNR은 N 증가에 반비례하여 급격히 낮아진다. 반면, 배경소음을 예측하지 않은 경우는 N이 증가함에 따라 SNR이 완만하게 감소하고, 특히 일정 N부터는 SNR 요구수준이 거의 포화된다. 배경소음 예측 및 제거의 경우 N이 계속 증가하더라도 SNR 요구수준이 거의 포화되지 않음과 비교하여 대조적이다. 결과적으로 N이 증가하면 할수록 배경소음 예측 및 제거의 효율은 더욱 더 높아짐을 알 수 있다.

협대역 음향측정에서, 배경소음 예측 및 제거를 수행한 경우와 수행하지 않은 경우의 SNR 차이는 측정정확도에 의해 크게 영향을 받지 않는다. N=200 및 95%의 신뢰도에서 정확도가 ±1.5dB인 경우에는 약 5.4dB 정도 차이가 나고, 정확도가 ±2.5dB인 경우에는 약 4.6dB 정도 차이가 난다. N=100 및 95%의 신뢰도에서는 정확도에 상관없이 약 4.1dB 정도 차이가 난다.

결과적으로, 협대역 음향측정의 경우 95%의 신뢰도와 정

확도 $\pm 1.5\text{dB}$ 를 전반적으로 실현시키기 위해 요구되는 SNR은 물리적으로 해상에서 얻을 수 있는 수준이다. 그러나 $N=50$ 의 낮은 샘플 개수에서는 6.7dB (신뢰도 95%, 정확도 $\pm 1.5\text{dB}$)의 비교적 높은 SNR이 요구되므로, 배경소음 예측 및 제거를 통하여 SNR 요구수준을 낮춤이 바람직하다. 배경소음 예측 및 제거는 샘플 개수가 높을수록 효과가 더 좋다.

4.3. 정확도에 따른 음향측정 성능예측

정확도에 따른 음향측정 성능예측 기준에 대한 고찰 역시 SNR 관점에서 이루어진다. 신뢰도 97%에서의 시뮬레이션 결과는 그림 6 및 그림 7과 같다.

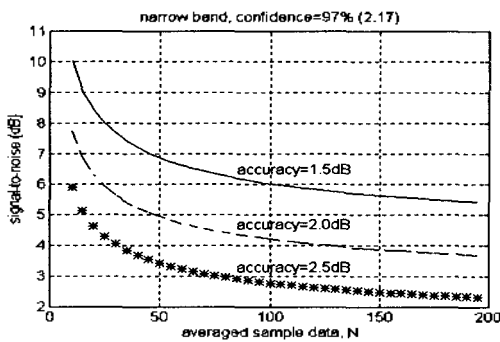


그림 6. 배경소음 제거 않는 경우 정확도에 따른 협대역 측정 성능(신뢰도 97%)

Fig. 6. Narrow-band measurement performance as variation of accuracy in background noise condition (confidence 97%).

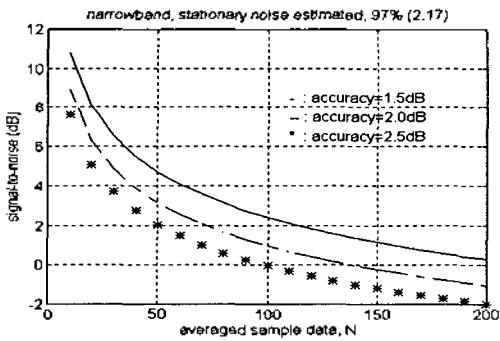


그림 7. 정상적 배경소음 예측/제거시 정확도에 따른 협대역 측정 성능(신뢰도 97%)

Fig. 7. Narrow-band measurement performance as variation of accuracy when the stationary background noise is rejected by estimation (confidence 97%).

배경소음을 예측하지 않는 경우에는, 측정정확도 차이에 일정 비례하여 SNR 요구수준이 차이가 난다. 그러나 배경소음을 예측하여 제거시키는 경우에는 그림 7에서 보듯이 측정정확도가 좋아짐에 따라 SNR 요구수준 차이가 늘어난다. 이는 측정정확도가 증가할수록 배경소음 예측 및 제거의 효과가 우수함을 의미한다. 그러나 SNR의

절대적인 감소면에서는 측정정확도가 낮을수록 배경소음 예측 및 제거 효과가 우수하다. 수중배경소음을 예측하지 않는 경우 측정정확도 1.5dB 차이에 약 4.5dB SNR 차이가 나지만, 배경소음 예측 및 제거의 경우 측정정확도 1.5dB 차이에 약 3.5dB 만 SNR 차이가 나므로 SNR 변화 폭이 1dB 정도 더 좁다.

4.4. 신뢰도에 따른 음향측정 성능예측

신뢰도에 따른 음향측정 성능예측 기준에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 8~11과 같다. 배경소음을 예측하지 않는 경우에는, 신뢰도 차이에 일정 비례하여 SNR 요구수준이 차이가 난다. 다만, N이 매우 증가하면 신뢰도 차이에 의한 SNR의 차이가 조금씩 줄어들음을 알 수 있다. 예를 들어 그림 8에서 동일한 신뢰도 차이에서 SNR 변화폭 차이가 0.5dB 이상이다. 결과적으로 N이 매우 큰 경우에는 신뢰도를 증가시키더라도 N이 작은 경우 보다 그 효과가 다소 줄어든다.

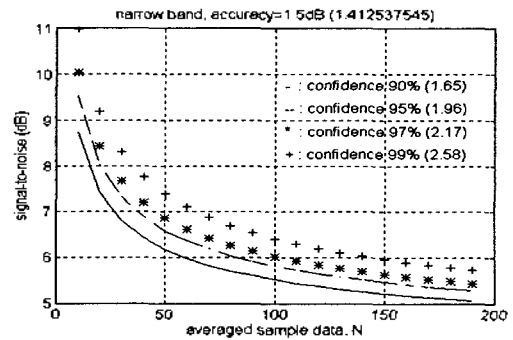


그림 8. 배경소음 제거 않는 경우 신뢰도에 따른 협대역 측정 성능(정확도 1.5dB)

Fig. 8. Narrow-band measurement performance as variation of confidence 95% in background noise condition (accuracy 1.5dB).

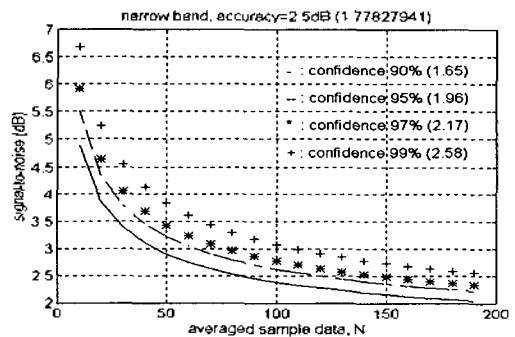


그림 9. 배경소음 제거 않는 경우 신뢰도에 따른 협대역 측정 성능(정확도 2.5dB)

Fig. 9. Narrow-band measurement performance as variation of confidence 95% in background noise condition (accuracy 2.5dB).

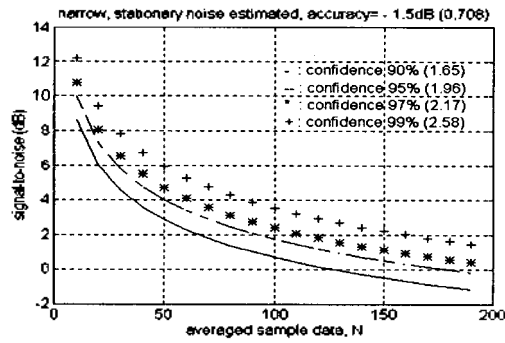


그림 10. 정상적 배경소음 예측/제거시 신뢰도에 따른 협대역 측정 성능(정확도 1.5dB)

Fig. 10. Narrow-band measurement performance as variation of confidency when the stationary background noise is rejected by estimation(accuracy 1.5dB).

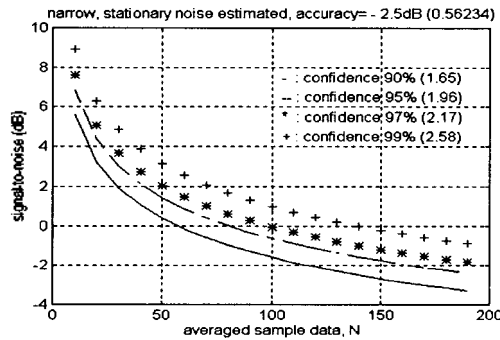


그림 11. 정상적 배경소음 예측/제거시 신뢰도에 따른 협대역 측정 성능(정확도 2.5dB)

Fig. 11. Narrow-band measurement performance as variation of confidency when the stationary background noise is rejected by estimation(accuracy 2.5dB).

동일한 신뢰도 차이에서, 배경소음을 예측하지 않은 경우 보다 배경소음을 예측하여 측정음향에서 제거하는 경우 그 효과가 우수함을 그림 8-11에서 알 수 있다. 배경소음을 예측하지 않은 그림 8에서 요구되는 측정정확도 1.5dB의 SNR는 5.5dB 수준을 중심으로 약 0.5dB의 폭을 가진다. 그러나 배경소음 예측 및 제거를 수행한 그림 10에서 요구되는 측정정확도 1.5dB의 SNR는 0.2dB 수준을 중심으로 약 1.5dB의 폭을 가진다. 이는 배경소음 예측 및 제거시 신뢰도에 의한 영향을 많이 받음을 의미하고, 배경소음 예측 및 제거의 효과가 그 만큼 큼을 의미한다. 요구되는 SNR 수준도 기본적으로 5.3dB 차이가 난다. 이는 매우 큰 차이이다. 배경소음 예측 및 제거에 의한 효과는 광대역 음향측정에서도 동일한 경향을 보임을 이미 연구한 바 있다[6].

V. 결 론

본 연구에서는, 오차분산을 명확하게 표현하지 못하는 수중음향 측정의 경우에 신뢰도 부동식을 이용하여 협대

역 음향측정 성능예측 기준을 설정하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서는 원하는 측정정확도를 얻기 위한 신호대잡음비 SNR을 측정음향의 평균과 분산의 항으로 표현하지 않고 샘플 개수 N의 항으로 유도하였다.

그리고 본 연구에서는 제안 알고리즘을 이용하여, 시험해역 및 음원에 의해 주어지는 SNR의 환경 하에서 원하는 측정정확도 및 신뢰도를 실현하기 위한 주파수대역폭 및 수신시간적분 설계가 가능한 지를 판단하고 원하는 측정정확도 및 신뢰도를 실현하기 위하여 협대역 음향측정체가 요구하는 SNR 수준을 시뮬레이션에 의해 예측하였다. 일반적으로 배경소음은 측정음향을 편향시키므로 본 연구에서는 편향된 환경에서의 측정음향을 그대로 분석하는 경우와 수중배경소음을 예측하여 측정음향에서 제거시키는 경우를 별도로 구분하여 음향측정 성능예측 기준을 시뮬레이션하고 그 결과를 고찰하였다.

시뮬레이션 결과, 협대역 음향측정의 경우 95%의 신뢰도와 정확도 $\pm 1.5dB$ 획득에 요구되는 SNR이 해상에서 얻을 수 있는 수준이며, 작은 샘플 개수 N에서는 비교적 높은 SNR이 요구되어 배경소음 예측 및 제거를 통해 SNR 요구수준을 낮출 필요가 있음을 확인하였다. 배경소음 예측 및 제거는 N이 클수록 효과가 우수하고, 측정정확도 1.5dB 확보를 위한 최소 샘플 개수는 N=20 정도까지로 시뮬레이션 되었다. 또한 본 연구에서는 목표하는 측정정확도와 신뢰도 기준 하에 한국해역에서 운용될 수 있는 협대역 측정체계 설계 및 구현이 가능함을 아울러 확인하였다.

참 고 문 헌

1. C. W. Helstrom, *Statistical Theory of Signal Detection*, New York, Pergamon, pp. 274-319, 1968.
2. Anthony D. Whalen, *Detection of Signal in Noise*, New York, Academic Press, pp. 337-339, 1971.
3. G. C. Carter, "Time delay estimation," H. G. Urban(ed), *Adaptive Methods in Underwater Acoustics*, D. Reidel Publishing Company, pp. 175-196, 1985.
4. A. H. Quazi, "An overview on the time delay estimation in active and passive systems for target location," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, Vol. ASSP-29, No. 3, pp. 527-533, June, 1981.
5. 도경철, 김용범, "CRLB를 이용한 수중음향추적체계 설계성능 예측," *한국음향학회지* 제12권 제3호, pp. 34-42, 1993.
6. 도경철, 최재용, 손경식, "신호대잡음비에 따른 신뢰도 기반의 광대역 음향측정 정확도 예측," *한국음향학회지* 제17권 제8호, pp. 93-97, 1998.
7. William S. Burdic, *Underwater Acoustic System Analysis*, 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1991.
8. Julius S. Bendat, Allan G. Piersol, *Random Data*, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1991.

- ▲ 도 경 철(Kyeong-Cheol Dho) 1958년 8월 6일생
 1984년 2월 : 부산대학교 전기기계공학과(학사)
 1986년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과(석사)
 1999년 8월 : 부산대학교 대학원 전자공학과(박사)
 1986년 2월 ~ 국방과학연구소, 선임연구원(팀장)
 ※ 주관심분야: 수중음향신호처리, 수중추적신호처리, 음향 탐지신호처리, 음향 측정 및 분석기법
- ▲ 이 용 곤(Yong-Gon Lee) 1968년 2월 7일생
 1993년 2월 : 한국해양대학교 해양공학과(학사)
 1996년 2월 : 한국해양대학교 대학원 해양공학과(석사)
 1996년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원
 ※ 주관심분야: 수중추적신호처리, 수중음향전달모델, 음향 탐지신호처리
- ▲ 최 재 용(Jae-Yong Choi) 1968년 2월 13일생
 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과(학사)
 1996년 2월 : 경북해양대학교 대학원 전자공학과(석사)
 1996년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원
 ※ 주관심분야: 수중추적신호처리, 음향탐지신호처리, 음향 측정 및 분석기법