

복 반사음 합성기에 관한 연구

임 준 석 · 신 재 범 · 이 상 영 · 김 재 수 · 박 성 희

A Study on Underwater Reverberation Synthesizer

Jun-seok Lim, Jae-bum Shin, Sang-young Lee, Jae-soo Kim
and Song-hui Park

Abstract

In the active sonar development, the reverberation is one of the major factors to be overcome like the clutter in the rader development. Unfortunately real reverberation data in various cases cannot be achieved so easily as real clutter data can be and there is a trend to build a simulator before a complex sonar system is developed. In the sonar simulator, the synthesized reverberation signal is necessary.

In this paper we propose an algorithm to simulate the reverberation for the moving active sonar to use it in a simulator, and show some simulated results.

1. 서 론

최근 몇년간 computer 와 신호처리 부분의 상당한 발전이 이루어져왔다. 이런 발전은 sonar system에도 영향을 미쳐서 좀더 복잡한 system을 만들게 되었다. 이와같은 sonar system이 개발됨에 따라서 그 장비에 대한 설계 성능 대 실제 성능 test에 대한 필요가 대두되게 되었다. 이런 필요를 충족하기 위한 분야가 sonar signal simulation이다.

[1,2]

Sonar system이 음향 펄스를 수중에서 발사하면 그 펄스는 매질을 전파하게 된다. 이 과정에서

매질에 음향학적 불연속이 생기면 음향 펄스가 반사되어 되돌아오게 되는데, 이런 반사파가 우리가 원하는 물체에서 돌아올 때는 에코(echo)라하고 원하지 않는 물체에 반사되어 되돌아 오면 reverberation 이라고 한다.

Reverberation이 일어나는 원인에는 크게 3가지로 분류한다. 즉, 해수면에서부터 생기는 surface reverberation, 해저면으로부터 일어나는 bottom reverberation 과 매질에서 일어나는 volume reverberation이 있다. 실제로 수중에서 sonar에서 수신되는 잡음(noise)에는 주변소음(ambient noise), 유체소음(flow noise)과 자체소음(self noise) 등

여러가지가 있는데, 그들중 reverberation 이 문제가 되는 이유는 이것이 송신한 신호와 밀접하게 관계되어 sonar signal processing 에서 echo 신호와 reverberation 신호를 완전히 분리하여 생각할 수 없기 때문이다.[3,4]

일반적으로 sonar system이 복잡해질수록 그 성능을 검증하기 위해서 더 많은 data를 요구하게 된다. 이상적으로 말하면 수중에서 실제 측정한 data를 가지고 검증하는 것이 좋겠으나, 수중 환경이 시간과 거리(range)에 의존하는 환경이기 때문에 모든 경우를 다 검증하기란 비용면 뿐만 아니라 실제적으로도 어렵다. 그래서 computer로 simulation된 data가 system 성능 검증용으로 사용되는 것이다. 이 simulation data는 sonar detection estimation process의 statistic performance를 결정하기 위한 Monte Carlo 방식에 사용되기도 한다.

본 연구에서는 reverberation의 각 요소를 모델링하고 시간과 거리에 종속적인 nonstationary 환경을 일정 range sample간격에선 stationary하다고 보는 quasi-stationary 라는 가정하에서 time series를 합성하는 기법을 제시 하였다.

2. 본 론

본 연구에서는 FOM(Faure, ol' Shevskii, Middleton)의 reverberation 모델을 근간으로 하고 reverberation의 상세한 모델은 측정 또는 이론적으로 계산된 모델을 보완하였으며, 또한 AR(Auto Regressive) 모델 기법과 multi-rate signal processing 기법을 사용하여 지정된 환경 조건에서 나올 수

있는 reverberation time series를 합성하도록 하였다. [1,2]

가. Reverberation spectrum model

Faure, ol' Shevskii Middleton의 모델은 거리가 r이고 주파수가 f일때의 reverberation envelope의 power density spectrum을 다음과 같이 나타내고 있다.[1]

$$P_i(f,r) = \sigma^2(r) \cdot Y_i(f,r) * |S_{Ti}(f)|^2 * D_i(f)$$

여기서

$$\sigma^2(r) = \text{total reverberation power}$$

$Y_i(f,r)$ = normalized sonar motion envelope spectrum

$S_{Ti}(f)$ = normalized signal envelope spectrum

$D_i(f)$ = scatterer motion spectrum

각 요소를 살펴보면 다음과 같다.

total reverberation power는

$$\sigma_v^2(r) = \frac{P_o^2 TS_v 10^{-2\alpha r}}{2 r^2}$$

$$\int_0^\pi \int_0^\pi b_{TR}(\theta, \varphi) d\theta d\varphi : \text{volume}$$

$$\sigma_s^2(r) = \frac{P_o^2 TS_s 10^{-2\alpha r}}{2 r^2}$$

$$\int_0^\pi b_{TR}(\theta_s, \varphi) \cos(\theta_s) d\varphi$$

: surface

$$\sigma_b^2(r) = \frac{P_o^2 TS_b 10^{-2\alpha r}}{2 r^2}$$

$$\int_0^\pi b_{TR}(\theta_b, \varphi) \cos(\theta_b) d\varphi$$

: bottom

sonar motion에 의한 영향을 나타내는 $Y_i(f,r)$

은

$$Y_v(f, r) = F \left\{ \frac{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} b_{TR}(\theta, \varphi) \exp \left(j \frac{4\pi \nu O r}{\lambda} \cos \theta \cos \varphi \right) d\theta d\varphi}{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} b_{TR}(\theta, \varphi) d\theta d\varphi} \right\}$$

$$Y_s(f, r) = F \left\{ \frac{\int_0^{\pi} b_{TR}(\theta, \varphi) \exp \left(j \frac{4\pi \nu O r}{\lambda} \cos \theta \cos \varphi \right) \cos(\theta_s) d\varphi}{\int_0^{\pi} b_{TR}(\theta, \varphi) \cos(\theta_s) d\varphi} \right\}$$

$$Y_b(f, r) = F \left\{ \frac{\int_0^{\pi} b_{TR}(\theta, \varphi) \exp \left(j \frac{4\pi \nu O r}{\lambda} \cos \theta \cos \varphi \right) \cos(\theta_b) d\varphi}{\int_0^{\pi} b_{TR}(\theta, \varphi) \cos(\theta_b) d\varphi} \right\}$$

여기서

P_0 = 발사 펄스의 power [μP^2]

S_{vSB} = 체적, 해면, 바닥 산란 계수

c = 음속 [$m = sec$]

φ = 수평 방위각

θ = 수직 방위각

T = 펄스 길이 [sec]

r = 거리 [m]

α = 흡음 계수

θ_s = 소나빔의 해면 교차각

θ_b = 소나빔의 해저면 교차각

F = Fourier Transform

나. AR Modeling

AR modeling은 시스템을 과거의 결과로부터 추정이 가능한 시스템이라고 가정한 모델링 기법이다. 이런 모델링 기법은 결국 시스템의 pole을 모델링하는 기법으로 생각할 수 있고 그 수학적 표현은 다음과 같다. [4.5]

$$X_n = - \sum_{k=1}^p a_k X_{n-k}$$

여기서 \hat{X}_n : n번째 추정값

X_n : n번째 입력값

위 수식으로부터 필터의 계수 a_k 를 추정하기위 해서 최소 자승 오차기법과 직교의 원리를 이용하면 다음과 같은 최종 결과 식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{j=0}^p R(i-j) a_j = 0$$

$$\sum_{k=0}^p R(k) a_k = \sigma_e^2$$

위 식으로부터 a_k 를 구하기 위해서 Levinson algorithm을 적용하였다.

3. Numerical Implementation

서론에서도 언급했듯이 quasi-stationary한 time series를 만들기 위해서 다음과 같은 range sampling을 하였다.

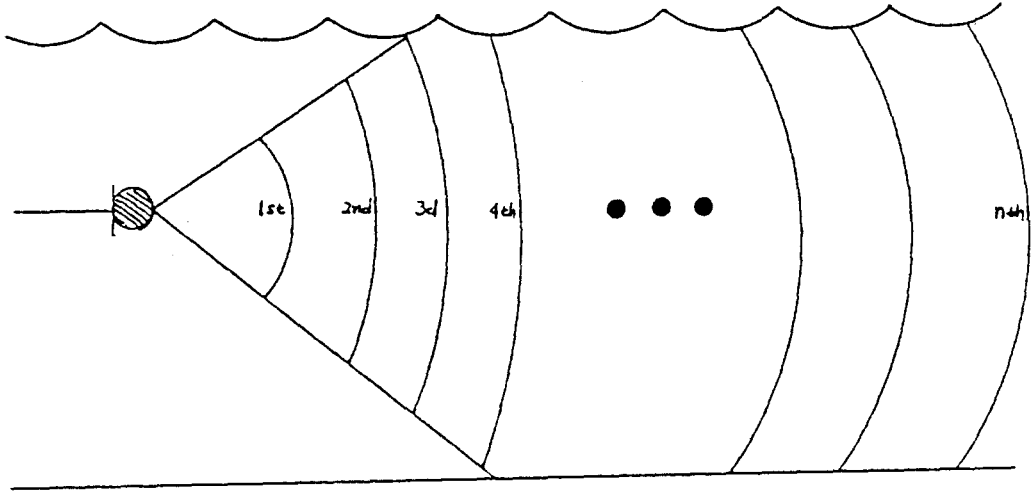


Fig. 1 Range Sampling

각 sampling range에서는 다음과 같은 공간적인 나뉼을 시도하였다.

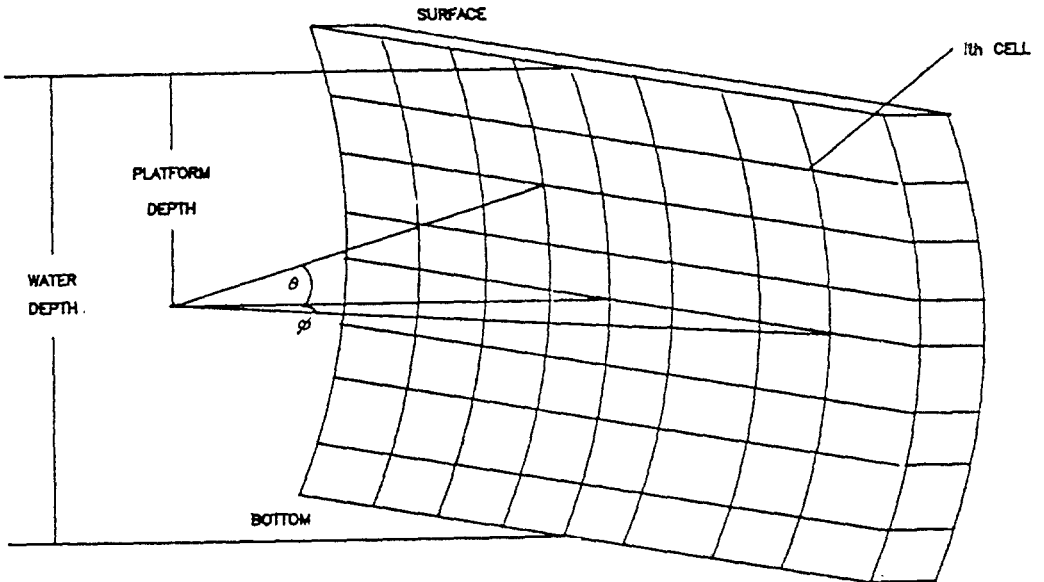


Fig. 2 Space Division

각 sampling range에서는 이미 밝힌 해양학적인 모델과 AR 모델링 기법을 사용해서 그 거리에서

일어나는 time series를 다음과 같은 흐름으로 발생시킨다.

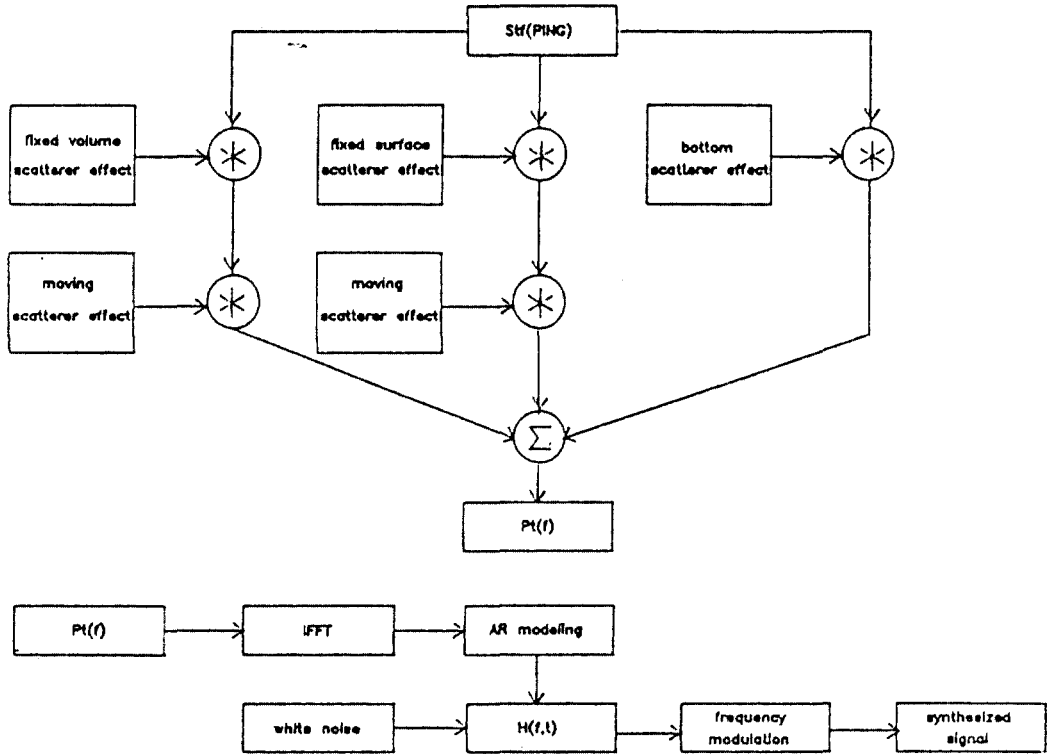


Fig. 3 프로그램 흐름도

4. 결 과

다음은 아래와 같은 환경조건에서 일어나는 잔향을 제시된 model을 이용하여 합성한 결과이다.

- 환경조건 -

- 1) 깊이 : 85 m
- 2) 바다 상태 : 2
- 3) 펄스 주파수 : fo kHz

- 4) 펄스 형태 : pure tone
- 5) reverberation type : surface, bottom, volume
- 6) beam pattern : narrow
- 7) sonar depth : 25 m
- 8) sound speed : 1500 m/sec
- 9) maximum range : 510 m
- 10) range sampling : 50 m

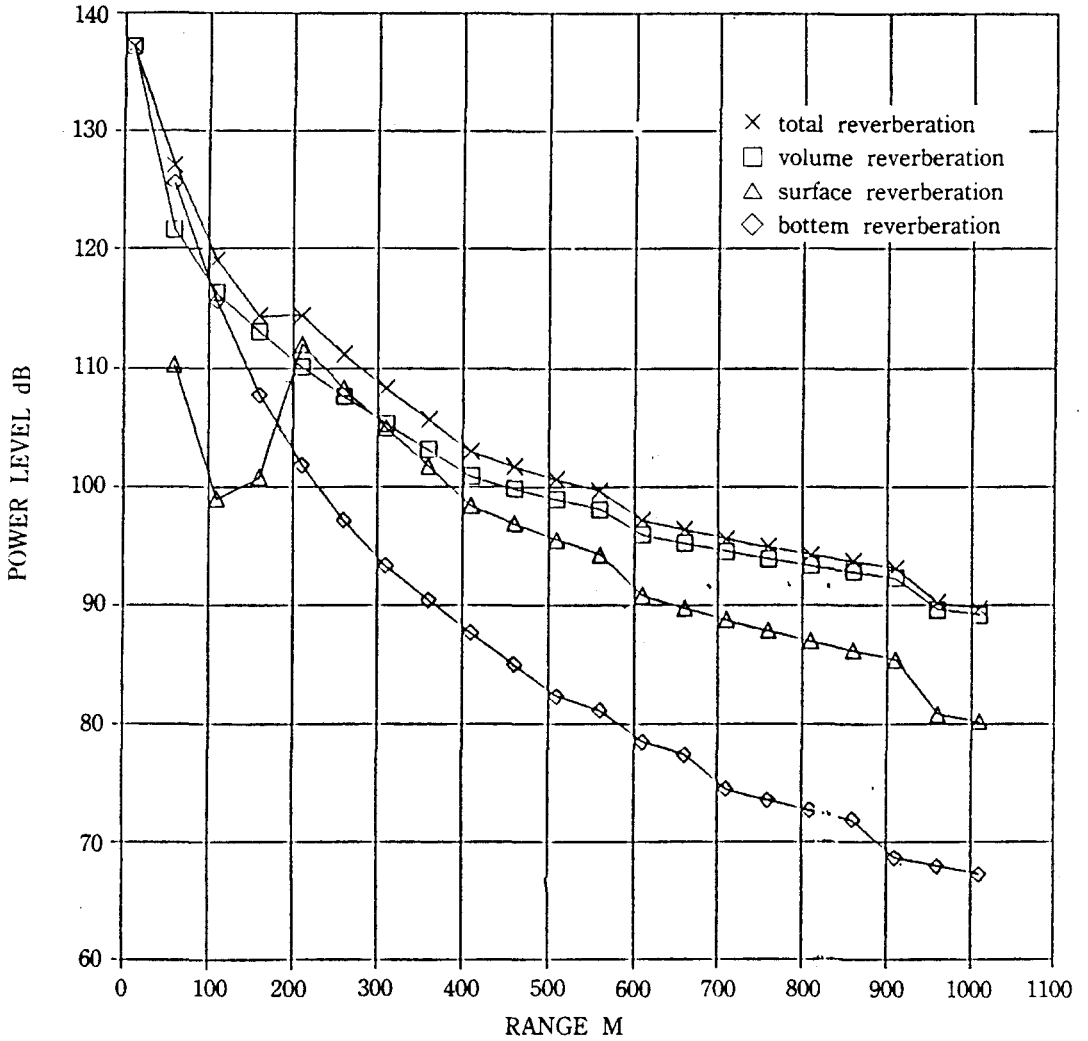


Fig. 4 이론적인 잔향레벨 변화

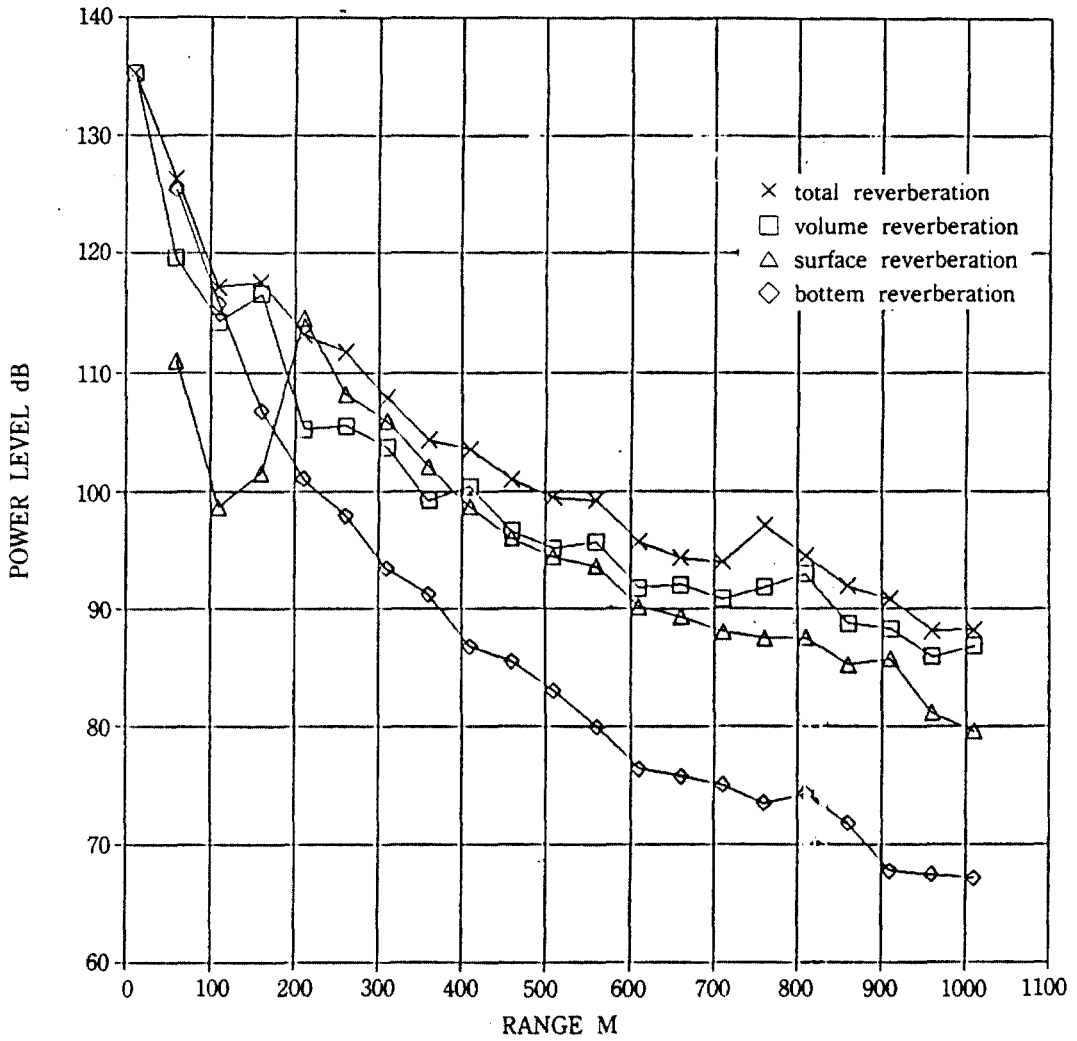
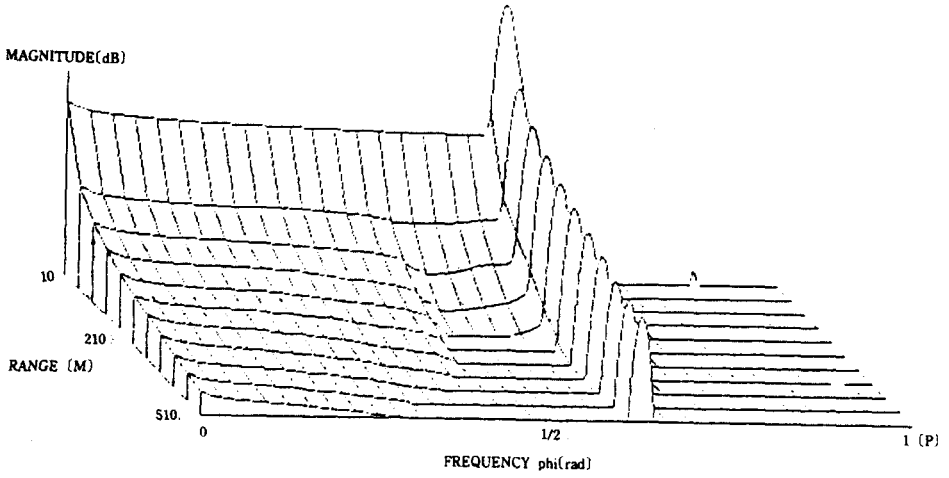
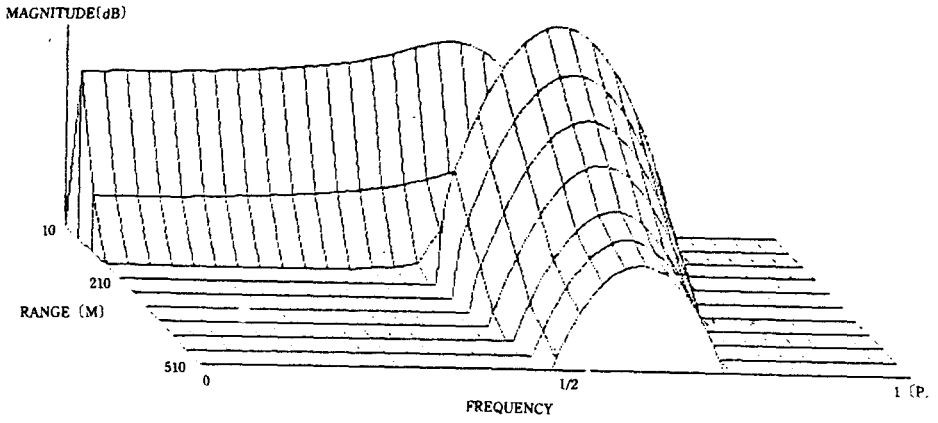


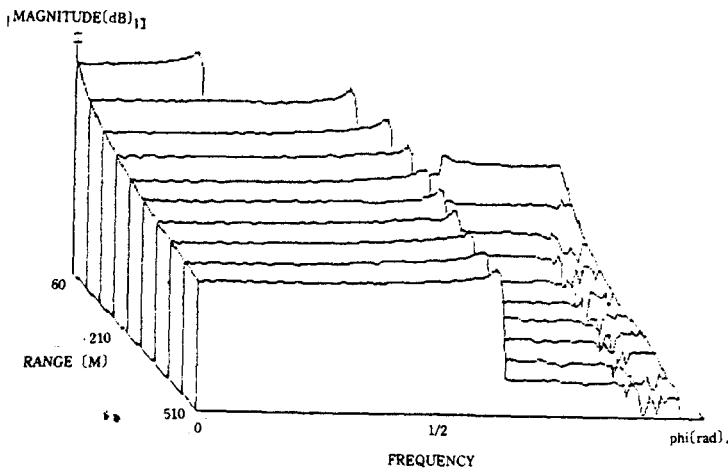
Fig. 5 합성된 잔향레벨 변화



(a) 체적잔향의 power spectrum

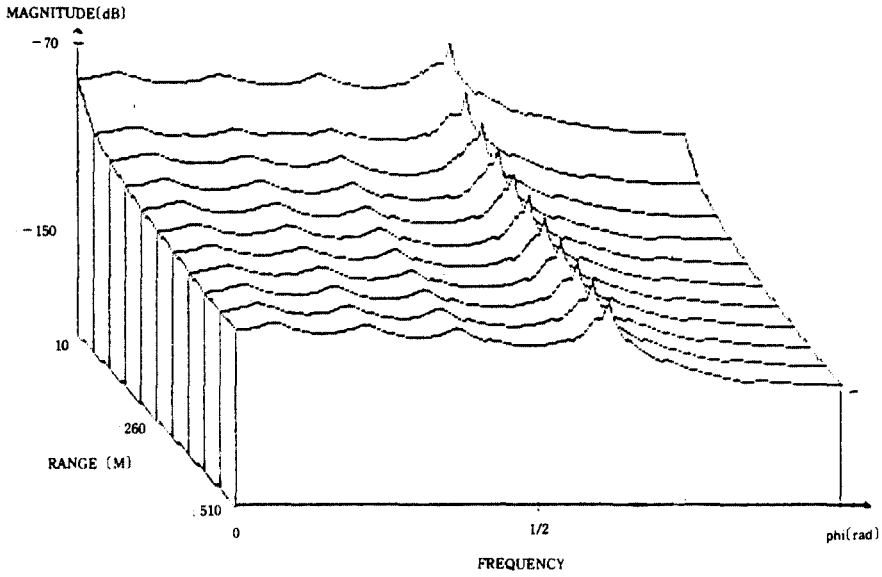


(b) 수면잔향의 power spectrum

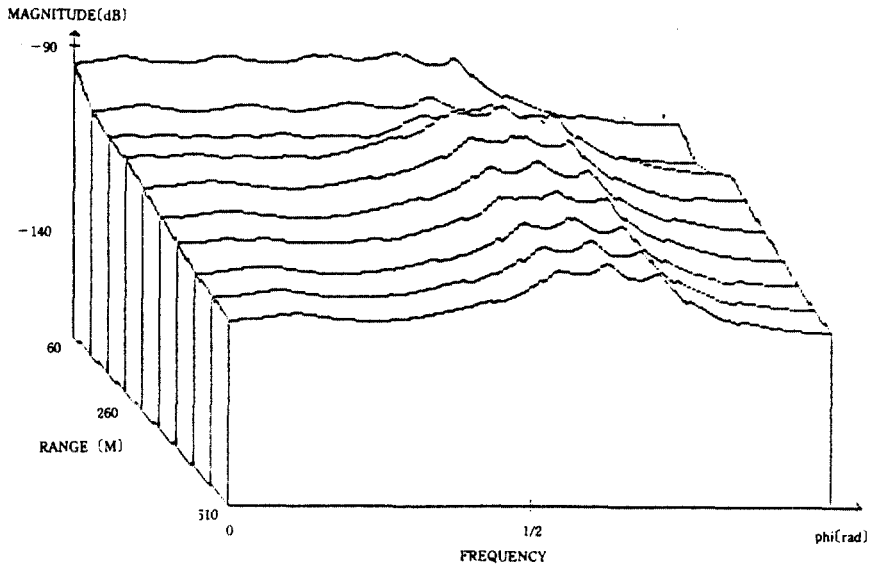


(c) 바닥면잔향의 power spectrum

Fig. 6 잔향의 POWER SPECTRUM

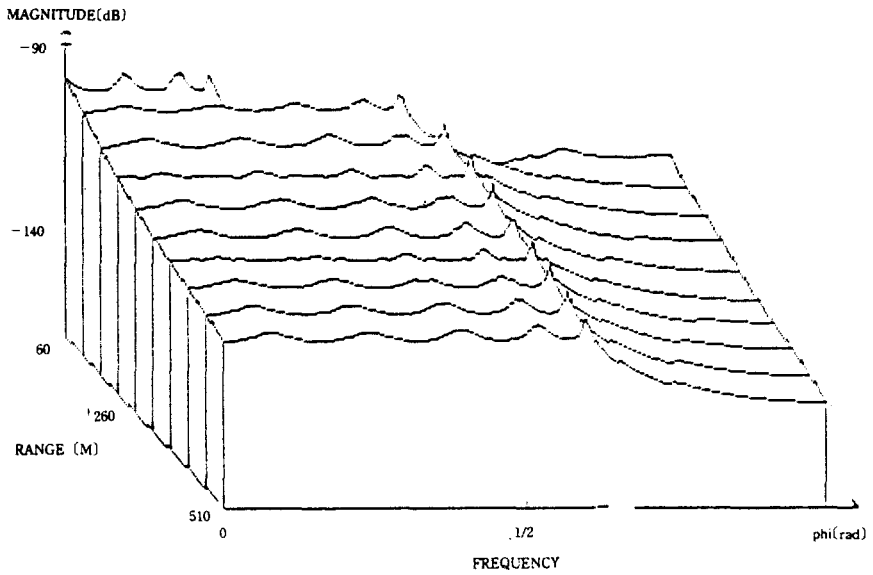


(a) 모델화된 체적잔향

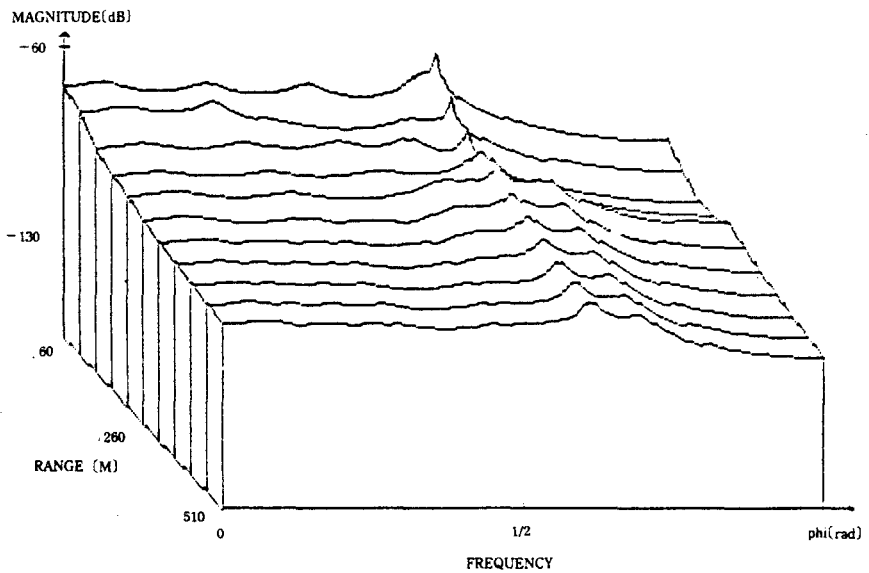


(b) 모델화된 수면잔향

Fig. 7 모델화된 잔향

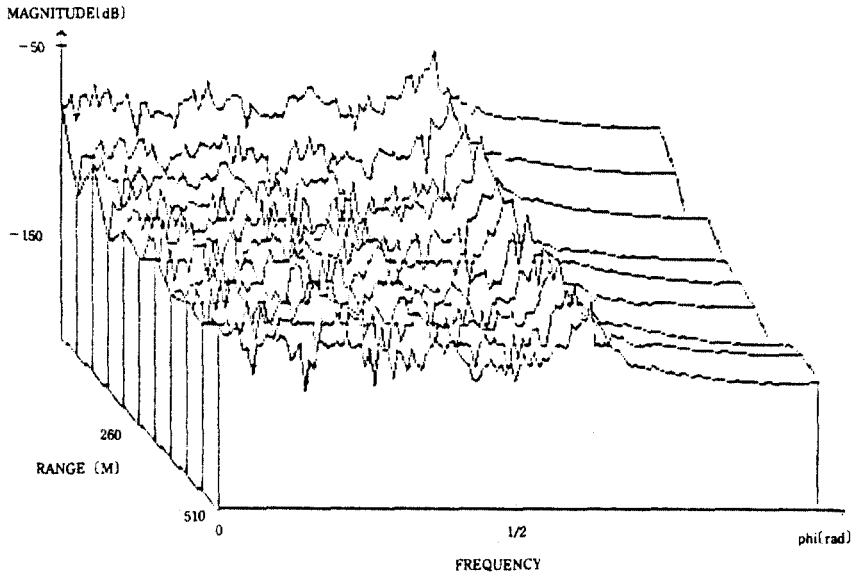


(c) 모델화된 바닥면 잔향

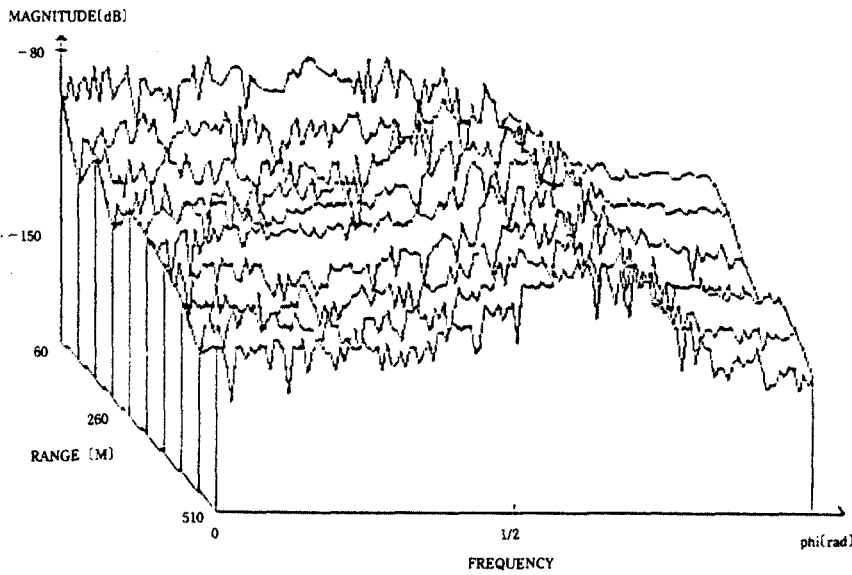


(d) 모델화된 총체잔향

Fig. 7 모델화된 잔향(계속)

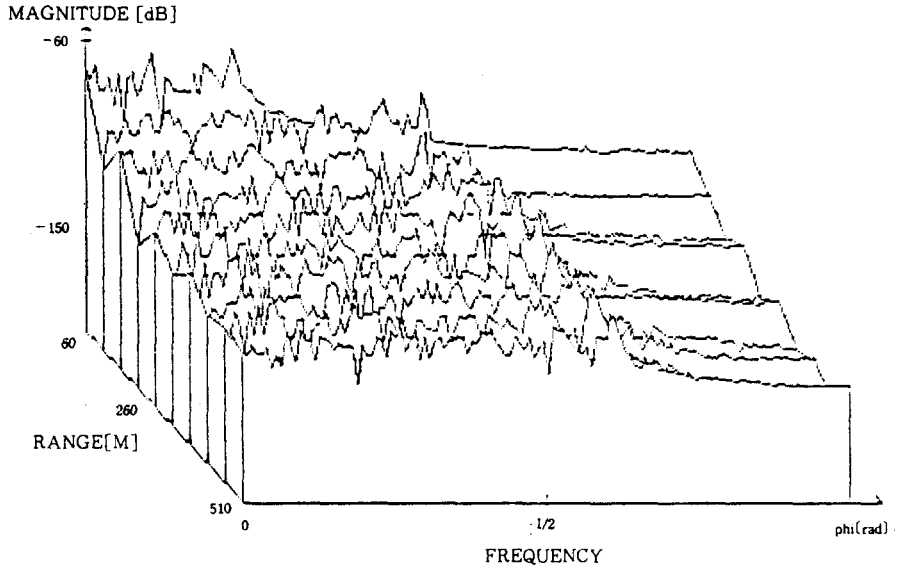


(a) 합성된 체적잔향

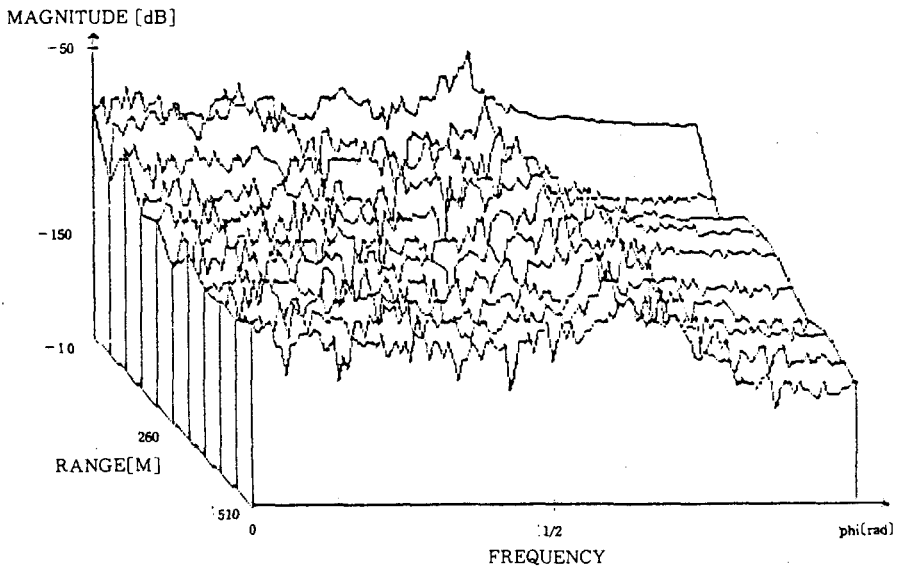


(b) 합성된 수면잔향

Fig. 8 합성된 잔향



(c) 합성된 바닥면 잔향



(d) 합성된 총체잔향

Fig. 8 합성된 잔향(계속)

5. 결 론

본 논문을 통해서 주어진 해양 환경에서의 잔향을 합성 하는 방법을 제안하였고, 한 환경을 설정하여서 그로부터의 잔향을 합성해보았다.

이 방법을 통해서 능동 소나 특히 움직이는 능동 소나의 성능예측 및 개발시 성능 검증에 사용할 잔향 신호의 합성을 가능하게 하였다.

참 고 문 헌

1. Faure P. "Theoretical Model of Reverberation Noise," J.A.S.A. Vol.36, 1964. pp. 259-268.
2. Chamberlain S. G. and Galli J. C., "A Model for Numerical Simulation of Nonstationary Sonar Reverberation Using Linear Spectral Prediction." IEEE J. Oceanic Eng. OE-8, pp. 21-36, 1983.
3. Robert J. Urick, Principles of Underwater Sound, New York, McGraw-Hill , 1983.
4. William S. Burdick, Underwater Acoustic System Analysis, NJ, Prentice-Hall, 1984.
5. Sophocles J. Orfanides, Optimum Signal Processing an Introduction, New York, McGRAW-Hill, 1990