

# AMDF를 이용한 디지털 소나의 반사 신호처리에 관한 연구

## A Study on the Reflected Signal Processing of Digital Sonar Using the AMDF

\* 홍 우 영 (Hong, Woo-Young)  
\*\* 임 광 호 (Yim, Kwang-Ho)  
\*\*\* 차 일 환 (Cha, Il-whan)

### 국 문 요 약

소나 신호 처리 (SONAR Signal Processing)에서, 흔히 발생하는 난반사에 의한 잡음때문에, 기존에 사용되어지고 있는 알고리즘으로 처리하기에는 많은 문제점을 내포하고 있다.

본 연구는 소나 시스템의 신호 처리를 위하여 마이크로 프로세서를 사용하였으며, 신호처리 방법은 코릴레이션 (Correlation)과 AMDF (Average Magnitude Difference Function)를 비교한 후, AMDF에 의한 수중에서의 직접음과 반사음을 식별하고, 거기서 평가된 것을 기준으로 직접음만의 신호를 재생하여 반사음을 처리하였다.

실험의 결과치와 계산치를 비교한 결과, 무향 구조의 특성에 의한 오차를 제외하고는 거의 오차가 없었으며, 그 오차는 주파수가 낮아짐에 따라 증가하였다.

실험 결과를 토대로 처리 시스템의 소형·단순화가 가능한 것으로 분석되었다.

### ABSTRACT

#### A Study on the reflected signal processing of Digital SONAR using the AMDF

Because of layer & scattering which is often occurred in the ocean, there are some problems in algorithm currently used for the recognition of targets.

In this study, the simple method of eliminating the reflected sound wave in time domain is proposed for the SONAR Signal Processing by the AMDF. The received signals are recognized, estimated, and then the direct sound wave is reconstructed.

Possibility of application to SONAR signal processing is proved. 2 KHz, 4 KHz, 8 KHz, 12 KHz, 16 KHz sound wave is used in experiment. To obtain a reference signal, anechoic water tank, which is made of wood, is used in processing and aluminium water tank is used instead of real ocean. As a result, there are a few errors caused by anechoic water tank. These errors is much increased by decreasing frequency.

It is analysed that system of processing can be simple and small.

### I. 서 론

1490년 Leonardo da Vinci<sup>1)</sup>에 의하여 시작된 수중 음향학은, 1827년 Geneva 호수에서 Co-

lladon과 Strum<sup>2)</sup>이 현대의 계산치와 근사한 수중에서의 음속을 계산하였다.

그 이후 Jacque와 Pierre Curie가 1880년에 압전 물질을 규명하여<sup>3)</sup>, 수중에서의 에너지 변환 장

\* 정회원 : 연세대 대학원

\*\* 정회원 : 과학기술대 교수

\*\*\* 정회원 : 연세대 교수

치의 시작이 되었다.

1차 대전중 독일의 과학자들에 의해 해수의 염도, 온도, 압력에 따른 음속이 유도되어 수중에서 음에 대한 과동방정식을 얻었고, 2차 대전을 전후한 군사 장비의 개발과 더불어 소나 시스템의 개발의 급격한 발전이 있었으며, 그후 전자공학의 발달로 인한 컴퓨터의 개발과 함께 소나 운용 시스템은 더욱 정확하고 빠른 처리 시스템으로 발전해 왔다.

본 연구에서는, 수면이나 해저의 바닥 반사음으로 인한 잡음원때문에 야기되는 신호 처리상에 있어서의 문제점을 해결하고자, 기존에 사용되고 있는 코릴레이션 처리의 문제점을 음성 신호 처리의 주기 검출이나 특징을 추출하는데 사용되어지고 있는 AMDF를 사용하여, 직접음과 반사음을 식별하였으며, 그 후 평가된 직접음만을 재생시켜 반사 신호를 제거하여 소나 신호 처리의 AMDF 적용 가능성을 제시하였다.

II. AMDF를 이용한 반사 신호 처리

II-1. 소나 시스템 모델링

소나 시스템 모델링은 그림 2-1로 나타낼 수 있다.

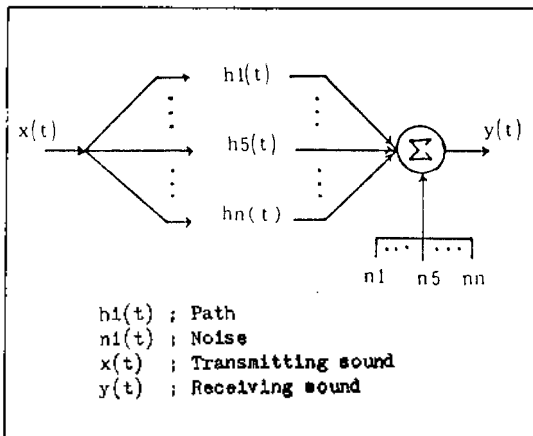


그림 2-1 소나 운용 시스템 모델링

여기에서, 수신된 음  $y(t)$ 는

$$y(t) = \sum_{i=1}^n \{x(t) h_i(t) + n_i(t)\} \dots (2-1)$$

로 표시할 수 있는데, 우리가 원하는 신호 성분은 잡음  $n_i(t)$ 와  $n-1$ 개의 반사음이 제거된 직접음이다. 그러나 수중에서의 전달 특성에 따른 여러 경로차와 해양에서 잠재하는 잡음 성분이 작용하여 그 소

나 시스템 수행 기능을 저하시키는데 최근에는 해상 교통량의 증가로 기존 소나 시스템의 문제점을 야기시키고 있으며, 따라서 S/N 비를 높이는 알고리즘이 요구된다.<sup>4)</sup>

II-2. Correlation과 AMDF

코릴레이션은 신호의 일치도나 동기 (Synchronization) 및 그 외의 여러 목적으로 사용한다.<sup>5)6)</sup> 즉,

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t+\tau) dt \dots (2-2)$$

이는 신호  $x(t)$ ,  $y(t)$ 와의 상호 관계를 규명하는 식으로 디지털 처리를 위해 식 (2-2)를 바꾸면 다음과 같다.

$$CF_{\tau} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{L'} S_j S_{j-\tau}$$

(단,  $\tau = 0, 1, \dots, \tau_{max}$ ) ..... (2-3)

여기서  $S_j, S_{j'}$ 는 비교되어지는 두 신호이며,  $\tau$ 는 지연값 (Delay Value),  $\tau_{max}$ 는  $\tau_{max} \leq L - L'$  범위의 최대 지연 이동값 (Maximum Delay Shift)이다.

이 식 (2-3)을 이용한 수중에서의 직접음 및 반사음의 식별에는 많은 시간이 요구되고, 또한 그 값이 커짐에 따라 유착된 바이트 (Byte) 동작이 깨어지게 된다. 그러므로 이와같은 문제점을 해결하고자, 다음의 식 (2-4)로 구성되어지는 평균 크기차 함수(AMDF)를 도입한다.<sup>7)8)</sup>

$$D_{\tau} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{L'} |S_j - S_{j-\tau}|$$

(단,  $\tau = 0, 1, \dots, \tau_{max}$ ) ..... (2-4)

평균 크기차 함수와 코릴레이션의 관계를 알아 보기 위해서 슈왈츠 부등식 (Schwartz's Inequality)를 적용시키면,

$$D_n \approx \beta_n \left( \frac{1}{N} \sum_k S_k^2 + \frac{1}{N} \sum_k S_{k-n}^2 - \frac{2}{N} \sum_k S_k S_{k-n} \right)^{\frac{1}{2}} \dots (2-5)$$

여기에서,  $\beta_n$ 은  $S_k$ 와  $S_{k-n}$ 의 결합 확률 밀도 함수는 지연지수 (Delay Index)  $n$ 에 따라 변하기 때문에,  $\beta_n$ 은  $n$ 의 함수로서 0.6에서 1.0 사이에 존재

하는 값이다.

한편 식 (2-5) 에서 처음 두항은  $n=0$ 에서 autocorrelation으로 볼 수 있으므로  $R_0 = \frac{1}{N} \sum_k S_k^2 \approx \frac{1}{N} S_{k=0}^2$  이 되고, 따라서  $D_0 = \beta_0 [ 2 (R_0 - R_0) ]^{1/2}$  의 관계가 성립된다.

AMDF를 이용한 디지털 소나의 반사 신호 처리의 흐름도 (Flow Chart)는 그림 2-2와 같다.

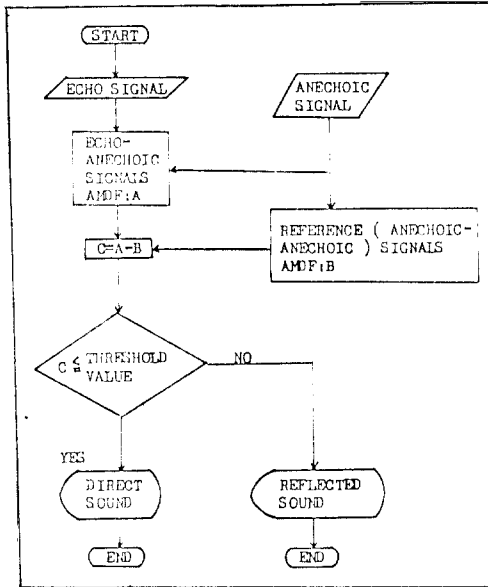


그림 2-2 신호처리 흐름도

제시 (NEC PC8001) 가 사용되었다. 마이크로 프로세서에 무향 구조체의 신호를 자체 AMDF시켜 그 결과값 메모리에 저장시켰고, 특성 임피던스 (Characteristic Impedance)가  $17.0 \times 10^9$  (MKS Rayls)인 알루미늄 구조체는 실 해상에서 존재할 수 있는 반사음에 대한 신호를 얻은후 무향구조의 신호와 상관 AMDF를 시킨후 | 자체 AMDF - 상관 AMDF | 의 차를 구해 직접음과 반사음을 식별하였다. 여기서 평가·생성된 직접음의 신호를 Plotter Printer (GS PRT-5) 로 인쇄하였다.

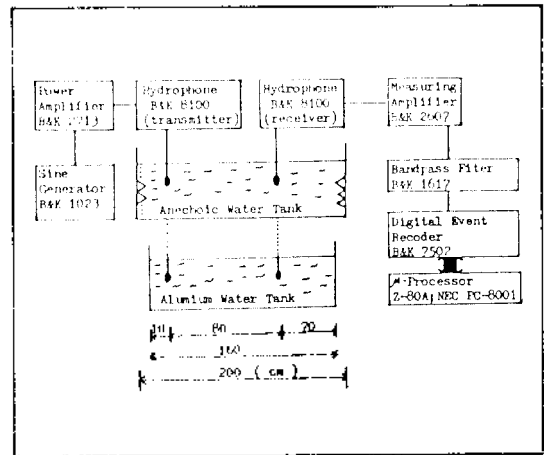


그림 3-1 실험 장치

### III. 실험 및 결과 고찰

#### III-1. 실험 방법

##### III-1-1. 실험 장치 구성

그림 3-1은 본 연구에 사용된 실험 장치의 구성도 (Block Diagram)이다.

Sine Generator ( B & K 1023 ) 에 의해 발생된 2 KHZ, 4 KHZ, 8 KHZ, 16 KHZ의 연속 음파 ( Continuous Sound Wave ) 가 Power Amplifier ( B & K 2713 ) 를 통해 1W로 증폭되어 Hydrophone ( B & K 8100 ) 으로 전송이 성립되었다. 수신부의 80 cm 위에 있는 동일 종류의 Hydrophone에 의해 수중을 통과한 신호가 수신되며, 여기서 수신된 신호를 Measuring Amplifier ( B & K 2607 ) 로 증폭하여 1/2 Octave의 Band Pass Filter를 통해 Low pass Filtering 시킨다음, Digital Event Recorder ( B & K 2502 ) 에 디지털로 기록을 하였다. Digital Event Recorder를 제어하고 신호 처리를 위해 CPU는 Z-80인 마이크로 프로

#### III-1-2. 시스템 제어와 데이터 처리 회로

수신부의 Measuring Amplifier에서 증폭된 아날로그 ( Analog ) 신호를 디지털 값으로 변환시키기 위하여 Digital Event Recorder를 사용하였으며, 각 수와 수명 A/D 변환시각은 16 KHZ, 12 KHZ, 8 KHZ 신호의 경우 10  $\mu$ sec로 하였고, 4 KHZ에서는 20  $\mu$ sec, 2 KHZ에서는 50  $\mu$ sec로 하였다.

Digital Event Recorder를 제어하고 메모리에 있는 데이터를 외부로 전송하기 위하여 핸드 셰이크 ( Hand Shake ) 방식을 이용하였다. 이 방식을 이용한 회로는 그림 3-2와 같고, 처리 결과를 보기 위해 D/A변환기를 사용한 회로는 그림 3-3과 같다.

본 실험에서 제작된 알고리즘에 의해 처리된 직접음과 반사음의 처리 관계는 그림 3-9, 3-10, 3-11, 3-12, 3-13과 같다. 여기서 무향 신호만의 AMDF 처리를 자체 AMDF, 무향 신호와 반사 신호와의 차이를 상관 AMDF라 한때 명칭을 | 자체 AMDF - 상관 AMDF | 의 차를 나타낸다.

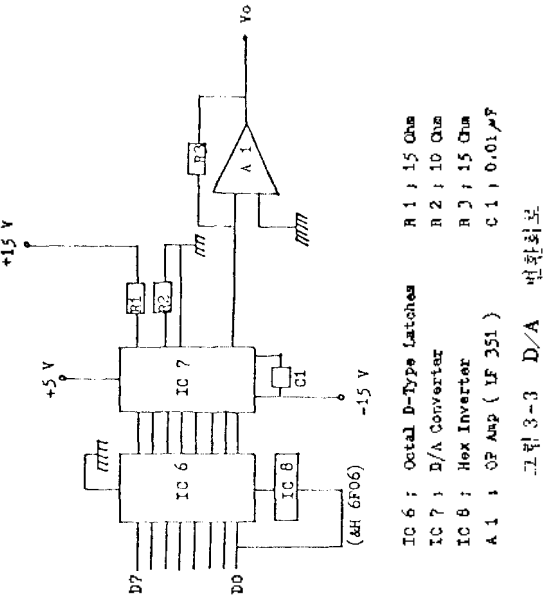


그림 3-2 Digital Event Recorder 제어회로

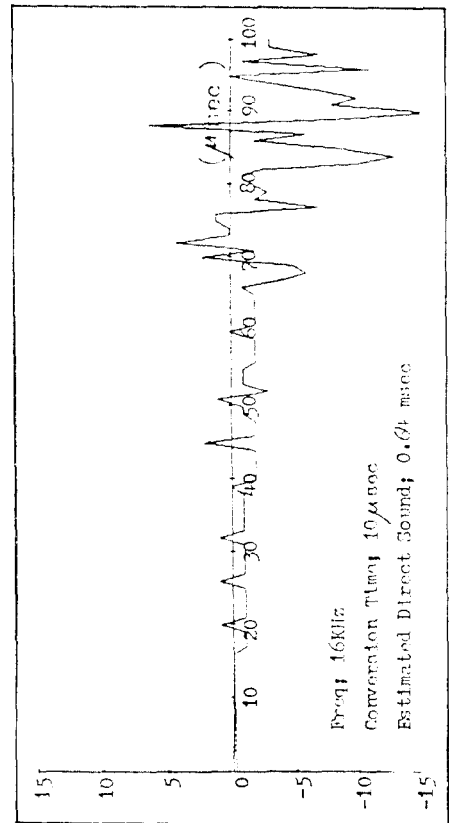
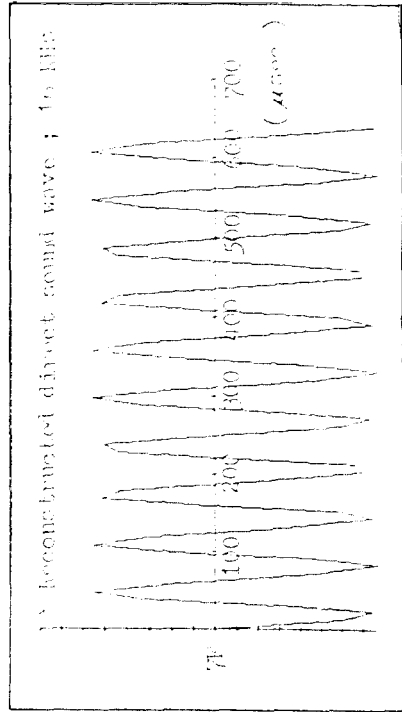


그림 3-4 16KHz에서의 직접음과 반사음관계 및 직접음



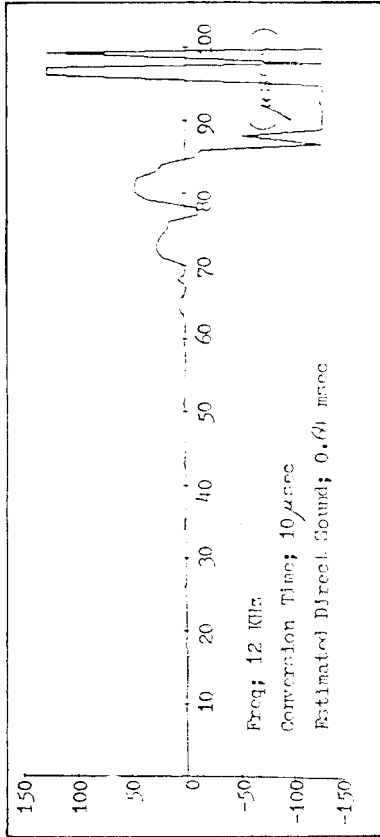
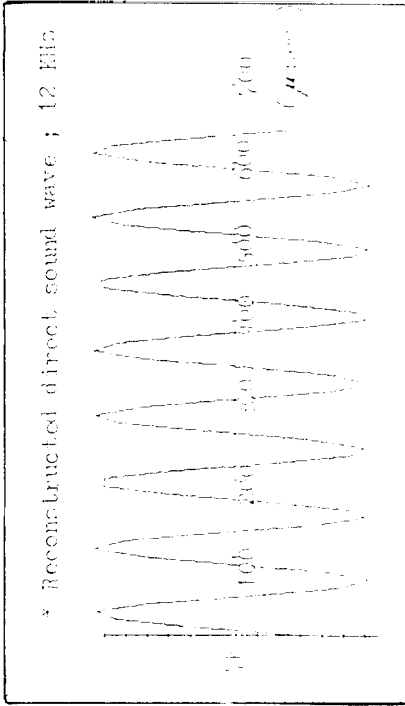


그림 3-5 12KHz 에서의 직접음과 반사음관계 및 직점음

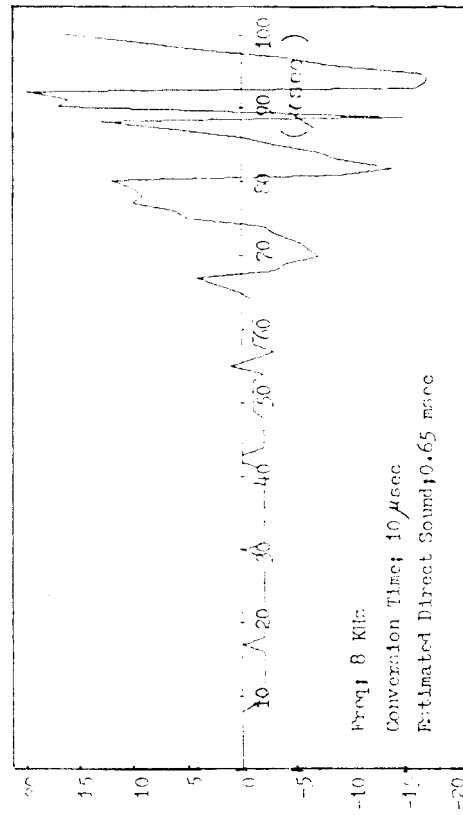
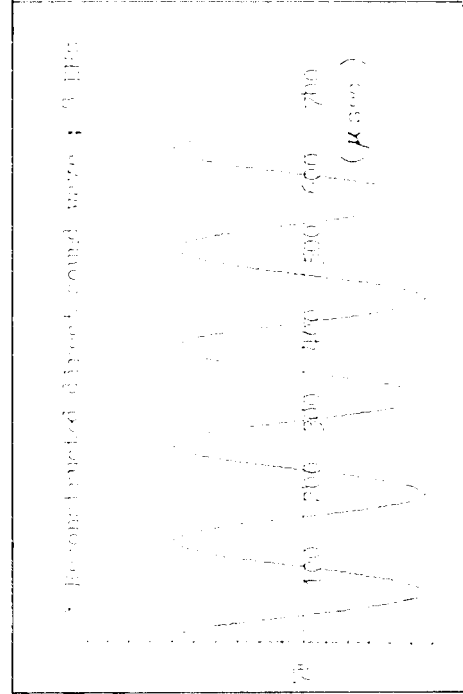


그림 3-6 8KHz 에서의 직접음과 반사음관계 및 직점음

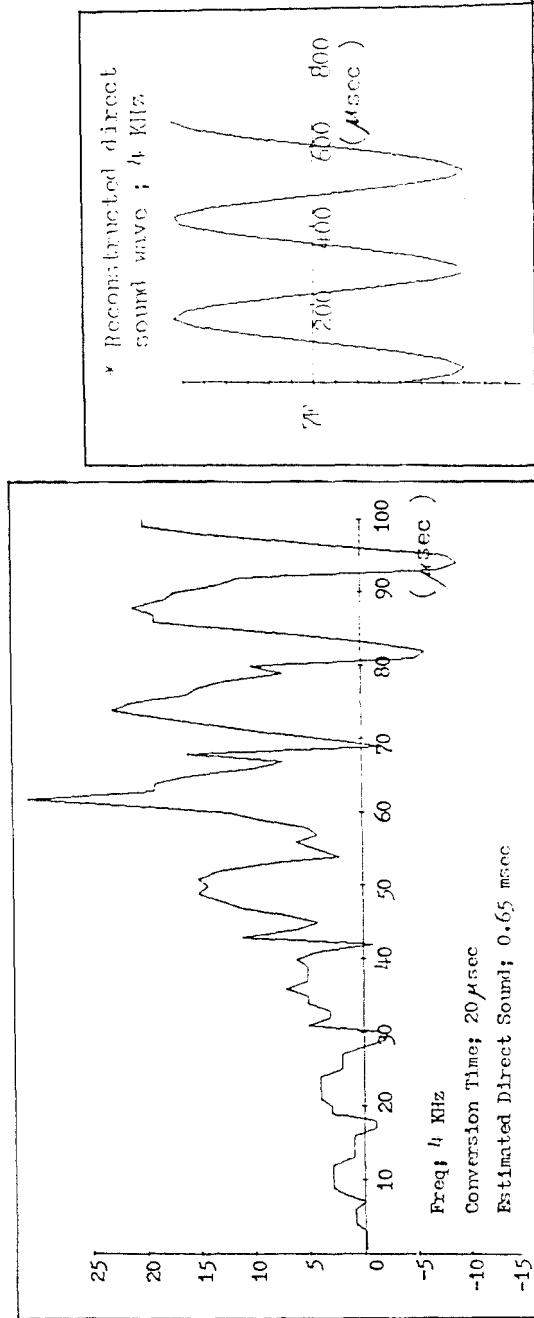


그림 3-7 4KHz에서 직접음과 반사음판계 및 직접음

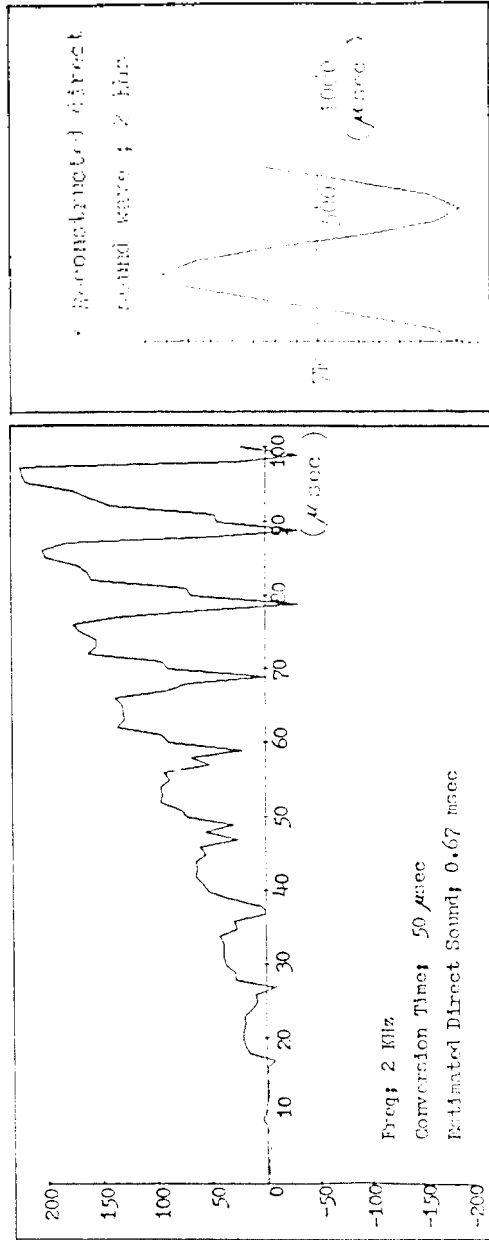


그림 3-8 2KHz에서 직접음과 반사음관계 중 직접음

이상에서 살펴본 바와 같이 16KHZ, 12KHZ에서는 Computer Simulation에 의해 계산된 직접음만의 도달시간 0.64msec와 일치하는 정확한 결과를 얻었으나, 8 KHZ, 4 KHZ에서는 0.65msec로서 그 오차는 0.01msec였고, 2 KHZ에서는 0.67msec로서 0.02msec의 오차가 있었으므로 주파수가 내려감에 따라 그 오차는 증가하였다. 이는 무향 수조의 흡음 특성이 주파수가 낮아짐에 따라 바닥 및 모서리에서의 난반사 증가로 나빠짐을 보여준다. 무향 특성이 좋은 수조에서 기준 신호를 얻었을 시 개선된 결과를 얻을 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

수중에서 음파의 전달 특성에 따라 여러가지 층(Layer)이 발생하게 되며, 여기서 발생된 잔향잡음(Reverberant Noise)은 신호처리케 큰 문제가 된다.

본 연구에서는 채널 잔향 잡음 신호를 제거하고자 무향 수조에서 기준 신호를 얻고, 실제 해상에서 발생 가능한 반사 신호는 알루미늄 수조에서 얻은후 AMDF를 사용하여 처리한 모델링 실험을 하였다.

실험결과 16 KHZ, 12 KHZ, 8 KHZ에서는 비교적 정확한 처리 결과가 나왔으나, 4 KHZ, 2 KHZ로 주파수가 낮아짐에 따라 무향 수조의 불완전한 무향 특성에 의해 오차가 발생하였으므로, 특성이 향상된 무향 수조에서 기준 신호를 얻을시 좀 더 정확한 결과치를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 제시된 알고리즘은 기존에 사용되고 있는 코릴레이션의 연산 수행에 따른 시간 지연과 그로 인한 회로 구성의 복잡성 및 그 값의 증가로 인한 바이트(Byte) 규척이 깨어지는 처리상의 문제점을 해결해 준다. 또한 S/N비를 높이기 위해 사용하는 정합 필터(Matched Filter) 등에 응용 가능하며, 그 시스템의 소형·단순화의 가능성을 보여주고 있다.

#### IV-2. 결과 고찰

기준 신호를 얻기 위해 무향 수조에서 얻은 각 주파수별 신호와, 반사 신호를 얻기 위해 알루미늄 수조에서 얻은 신호는 그림 3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8과 같다. 여기서  $\alpha$ 축은 시간 축으로 각각의 그림은 4K의 메모리에 저장된 수신 신호를 D/A 변환기를 통해 오실로스코프 파형을 관찰한 것으로 스코프

방향에 의해 정현파형이 중복되어 나타난 것이다.  $\beta$ 축은 첨두 대 첨두(Peak to Peak)값이  $\pm 4V$ 로서 신호 처리상 고려하지 않아도 된다.

#### 참 고 문 헌

1. Bell, T.G., "Sonar and Submarine Detection", U.S. Navy Underwater Sound Lab. Rep, pp. 545, 1962.
2. R.J. Urick, Sound Propagation in the Sea, Peninsular Pub., 1982.
3. R.J. Urick, Principles of Underwater Sound, 3ed., McGrawHill, 1983.
4. 차일환, 음향공학개론, 한신문화사, 1980.
5. Julius S. Bendat and G. Piersol, Engineering Applications of Correlation & Spectral Analysis, John Wiley & Sons, 1980.
6. F.H. Lange, Correlation Techniques, London Iliffe Books Ltd., 1967.
7. L.R. Rabiner and R.W. Schafner, Digital Processing of Speech Signals. Prentice-Hall, 1978.
8. M.J. Ross et al., "Average Magnitude Difference Function Pitch Extractor", IEEE. Trans. On Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-22, No. 5, pp. 353-362, Oct., 1974.



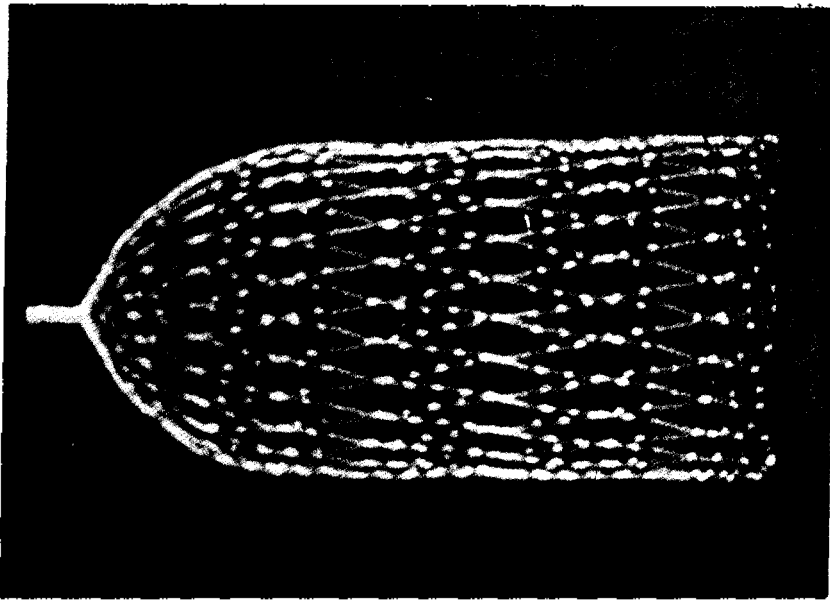


그림 3-9 (a) 16KHz에서의 무향 신호

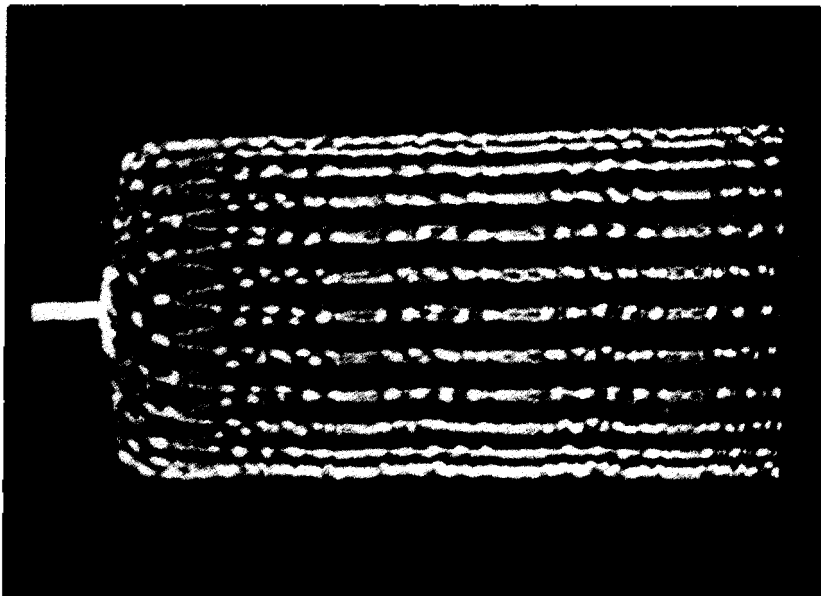


그림 3-9 (b) 16KHz에서의 반사 신호

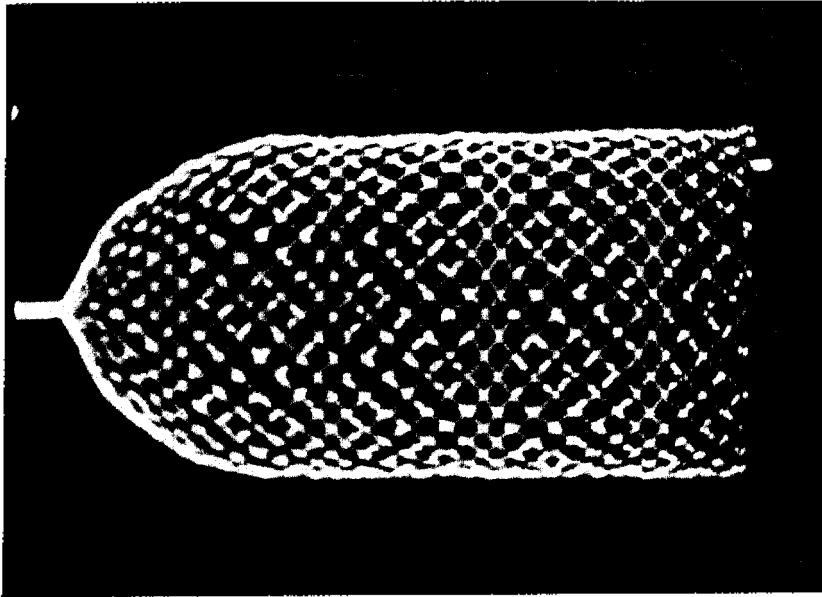


그림 3-10 (a) 12KHz에서의 무향 신호

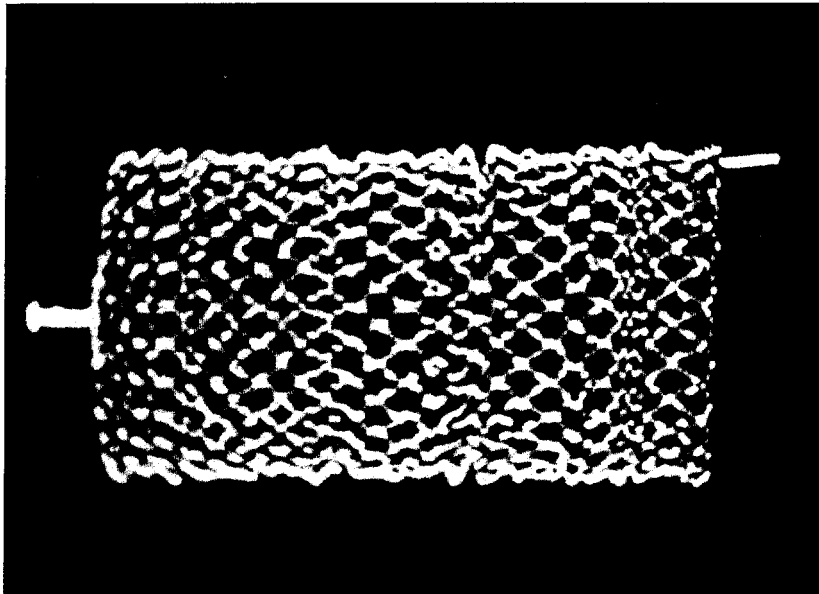


그림 3-10 (b) 12KHz에서의 반사 신호

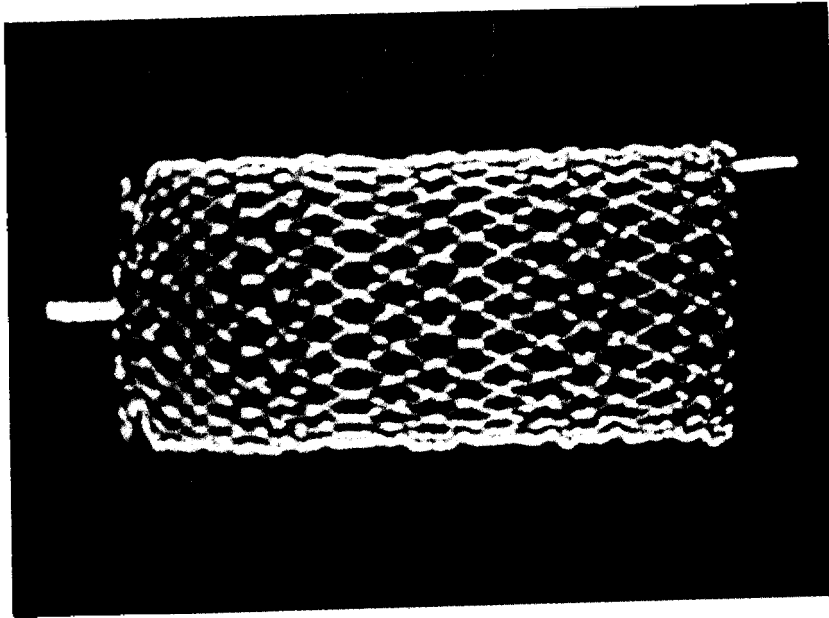


그림 3-11 (a) 8KHz 에서의 무향 신호

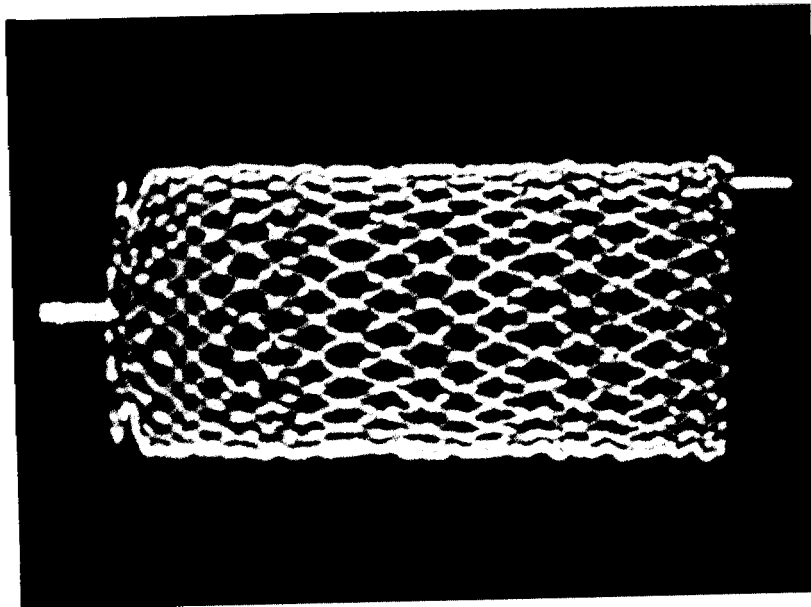


그림 3-11 (b) 8KHz 에서의 반사 신호

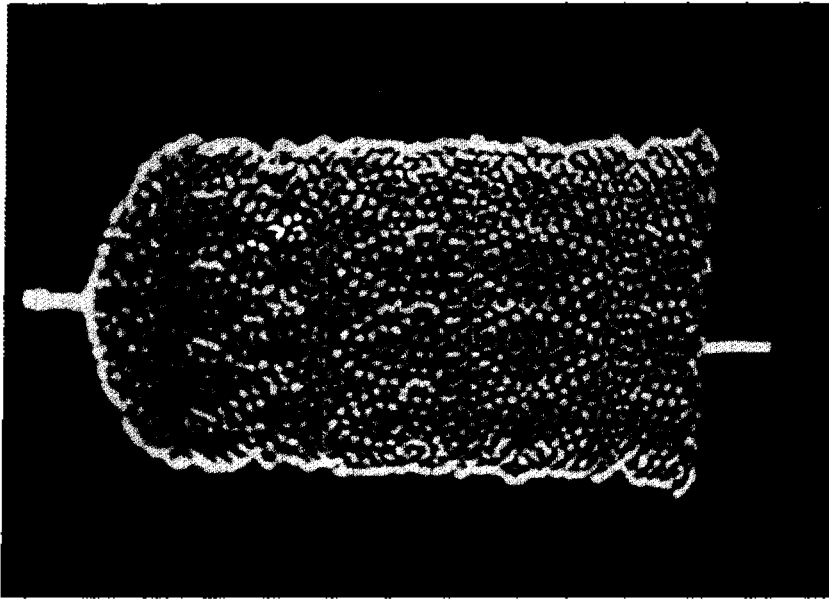


그림 3-12 (a) 4KHz에서의 무향 신호

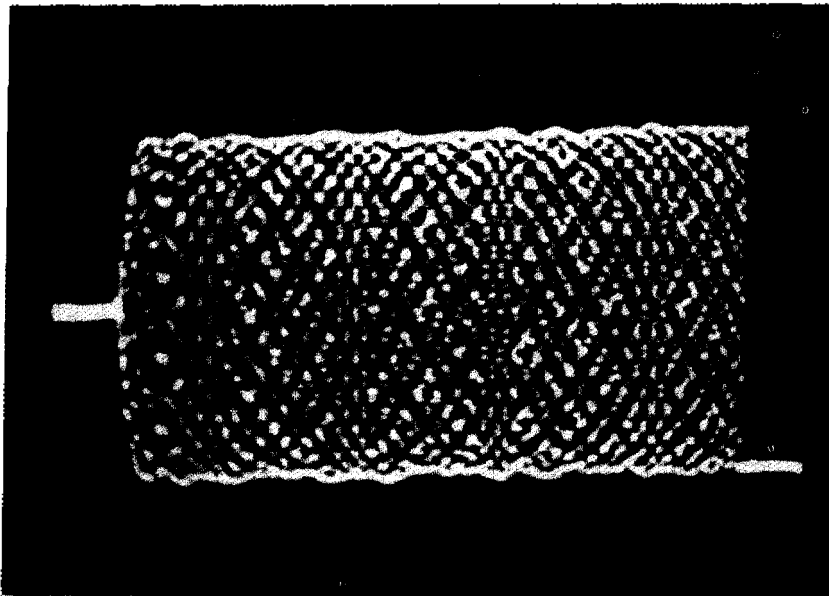


그림 3-12 (b) 4KHz에서의 반사 신호

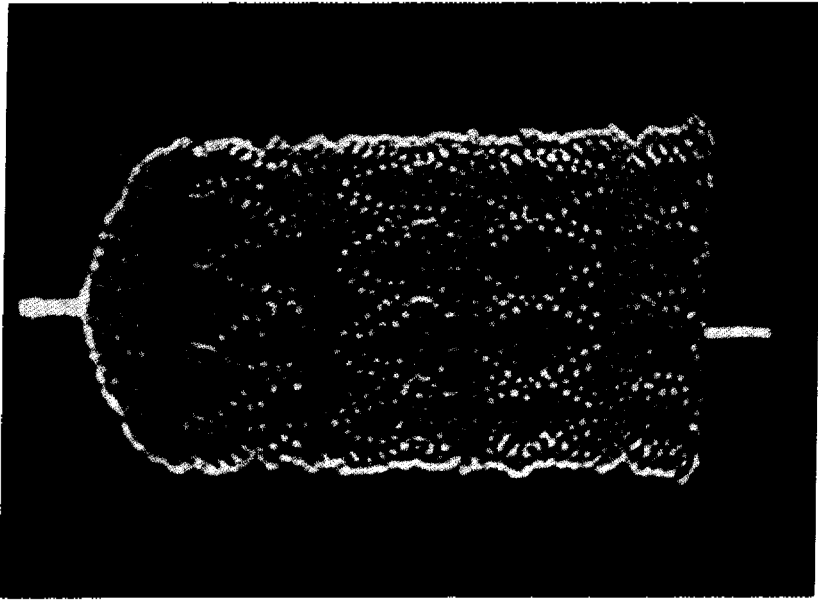


그림 3-13 (a) 2kHz에서의 우향 신호

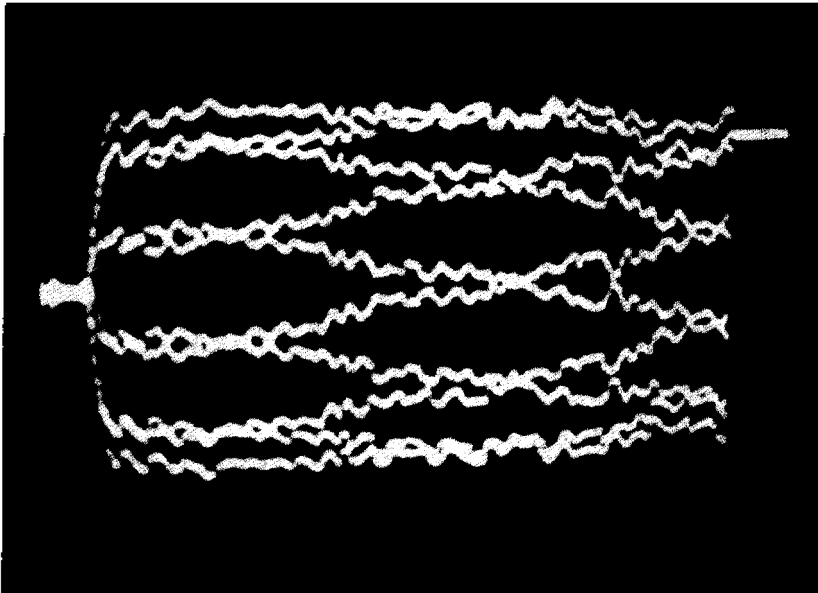


그림 3-13 (b) 2kHz에서의 반사 신호