

## 선박내 소음 정음화를 위한 실시간 능동소음제어 시스템 구현

### Implementation of an Active Noise Control System for Improvement of Noise Environment in a Ship

이 병 도\*, 이 민 호\*\*, 김 기 만\*\*\*, 정 기 룡\*\*\*\*

(Byung Do Lee\*, Min Ho Lee\*\*, Ki Man Kim\*\*\*, Gi Ryong Jeong\*\*\*\*)

#### 요 약

선박내의 작업 환경에서 발생하는 소음은 엔진, 발전기, 펌프와 같은 다양한 소음원에 기인한다. 이들은 대체적으로 저주파 대역에서 주기성을 가지며, 이로 인해 능동 소음 제어 기법이 적용될 수 있다. 이 논문에서는 선박내 소음 환경을 개선하기 위해 소음 흡음재·차단재를 이용한 헤드폰 착용과 같은 수동적인 방법이 아니라, 작업 상황에 따라 소음을 줄이기 위한 능동소음제어(ANC: Active Noise Control) 시스템을 구현한다. 특히 선박내의 침실 공간으로 적용 가능성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 고찰하고, TMS320C50 DSP를 포함한 하드웨어 구성을 통해 그 성능을 실험하고 평가한다.

#### ABSTRACT

The acoustic noise in a ship is caused by various noise sources such as the sound generated by operating an engine, generator and pump. It has not only the periodical characteristics but also high power in low-frequency less than 500Hz and thus an active noise control technique can be easily applied to eliminate the acoustic noise in a ship. In this paper, we have studied not passive method, putting on headphone using sound-absorbing or interceptive materials, but active method with design technique of adaptive filter. Computer simulation and experimental results show that the proposed active noise control method is effective to reduce the acoustic noise in a specific space like a bedroom.

#### 1. 서 론

일반적으로 소음을 제어하는 방법은 수동소음제어와 능동소음제어로 나뉜다. 지금까지의 소음 제어는 흡음재나 차음재를 사용하여 발생된 소음을 흡수, 차단하려는 수동적인 방법이 주로 연구되어 왔으나 이러한 방법은 사용재료의 특성상 무게와 부피의 증가로 설치에 넓은 공간과 많은 비용이 필요하다. 특히 500Hz이하의 저주파에서는 그 성능이 떨어지는 단점이 있다[1-3]. 이에 비해 2차 음원을 사용하여 소음과 동일한 진폭과 반대의 위상을 갖는 인공음을 발생시켜 중첩시킴으로써 소음의 음압 레벨을 줄이는 능동소음제어는 저주파수를 제어하기에 적합하며 소음의 진행 경로를 차단하는 수동적 방법과는 달리 무게와 부피를 줄일 수 있는 장점이 있다[4-7]. 이러한 개념은 1930년부터 있었으나 마이크로프로세서의 고성능화로 신호처리 기술이 급격히 발달된 최근에 와서야 실시간 능동소음제어 시스템을 구현할 수 있게 되어 확

발한 연구가 진행되고 있다. 현재 능동소음제어 기술은 자동차나 비행기 등과 같은 중량을 줄여야 하는 대상과 도관과 같은 단방향 소음의 제어 및 구조물 내부의 정음화, 가전 제품의 소음 제어, 열린 공간과 닫힌 공간의 정음화등에 적용되어 많은 성과를 거두고 있다.

본 연구는 이러한 능동소음제어 기술을 선박내 소음의 제어에 응용하여 실시간 처리 시스템으로 구현하기 위한 시스템을 개발하기 위해 선박내 소음 데이터를 수집하고, 스펙트럼 분석을 통해 소음의 주파수 성분의 특성을 분석한다. 또한, 기존의 소음 제어 방법들을 검토하고 컴퓨터 시뮬레이션으로 선박내 소음 제어에 적용 가능성을 검증한다. 그리고 입출력 신호를 처리하는 아날로그 필터, 파워 앰프, 프리 앰프등의 주변 장치 시스템의 성능 테스트 및 제작, 신호의 실시간 처리 및 주요 계산을 수행하기 위해 입·출력 신호를 변환하는 A/D, D/A 변환기, 범용 DSP(digital signal processor)를 사용하여 실질적인 하드웨어 시스템을 구성한다. 그리고 실제 시스템에 적용할 때 단일 채널을 사용해서는 소음을 충분히 줄이지 못하므로 이 논문에서는 2채널을 사용하여 소음 제어를 수행하였다.

본 논문 구성은 다음과 같다. 2절에서는 선박내에서 측정한 소음의 스펙트럼 분석을 통해 선박 소음의 특성을

\* 한국해양대학교 전기공학과

\*\* 경북대학교 센서기술연구소

\*\*\* 한국해양대학교 선파공학과

\*\*\*\* 한국해양대학교 운항시스템공학과

파악하고, 3절에서는 선상 침실 국부 공간에 적용할 능동 소음 제어 관련 기술 조사를 통하여 피드백(feedback) 제어를 이용한 능동소음제어의 알고리즘을 간단히 파악하였다. 4절에서는 적응소음제어 기법이 선박 소음 제거에 얼마만큼의 효과를 가지는지 검증하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션한 결과를 보이고, 5절에서는 실제 제작된 능동소음제어 시스템의 선박내 공간에 적용하여 소음을 제어한 실험 결과를 나타내고, 그 성능을 평가하였다.

## II. 선박내 소음 스펙트럼 분석

선박내 소음의 제어를 위해서는 소음의 특성을 분석하고 소음원을 밝혀내어 적합한 제어방법을 연구하며, 소음의 주파수 분석을 통해 능동소음제어에 적합한 주파수 대역인가를 검증해야 한다. 이를 위해 선박내 소음신호의 획득 및 주파수 분석을 수행하였다. 특히 선박의 운항 정도에 따라 소음 특성이 어떻게 변화하는가를 알아보기 위해 선박이 정박중인 때와 10 knots 정도의 정속 운항을 하는 경우에 대해 소음을 분석하였다. 소음 데이터를 얻기 위해 데이터를 채취한 선박은 선박 운항에 관한 학술적인 전문지식과 승선 생활관에서 쌓은 인성교육을 통한 교양과 실제의 현장 실무에 작용하여 선박과 해상활동에 대한 견문을 넓히는 목적으로 1975년 8월에 제작된 실습선 한바다호로서 전장이 99.8m이고 폭이 14.5m이며 총톤수가 3,491.77톤으로서 정원이 총 228명을 수용할 수 있는 선박이다.

선박내의 소음 데이터는 DAT(digital audio tape)를 사용하여 녹음하였고, 분포 주파수 성분을 분석하기 위해 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer)를 사용하였다.

그림 1은 선박의 선속이 0 knots인 상태에서 팬실에서 측정된 소음으로 340Hz에서 음압레벨이 큰 피크치를 가진다.

그림 2는 선속이 0 knots인 상태에서 엔진실에서 측정된 소음으로 큰 음압레벨을 가지는 주파수 성분이 40Hz, 60Hz, 250Hz이다.

그림 3은 선속이 10 knots로 강의실에서 녹음한 소음으로 104Hz의 주파수이다.

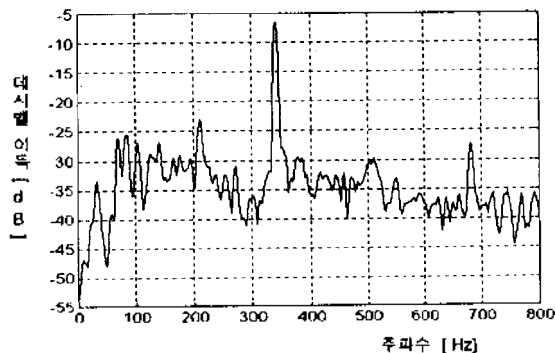


그림 1. 팬실 소음의 스펙트럼  
Fig. 1 Spectrum of a noise in fan room

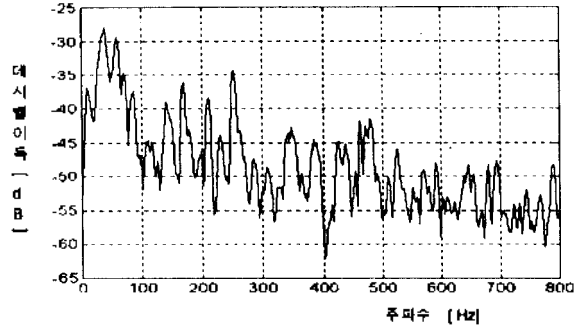


그림 2. 엔진실 소음의 스펙트럼  
Fig. 2 Spectrum of a noise in engine room

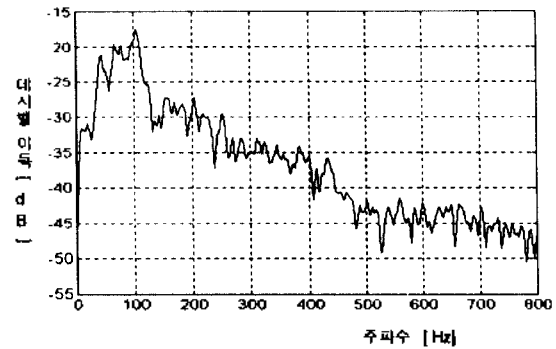


그림 3. 강의실 소음의 스펙트럼  
Fig. 3 Spectrum of a noise in lecture room

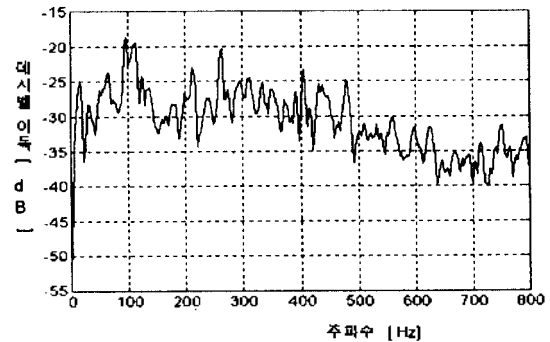


그림 4. 엔진 제어실 소음의 스펙트럼  
Fig. 4 Spectrum of a noise in engine control room

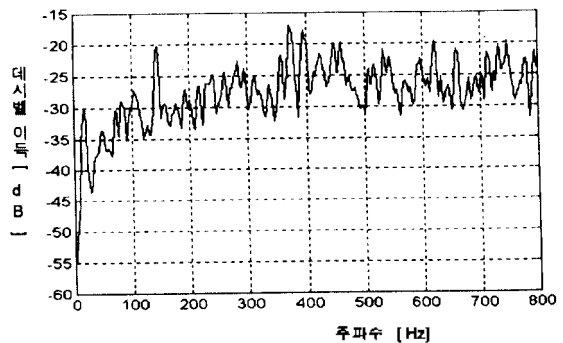


그림 5. 발전기실 소음의 스펙트럼  
Fig. 5 Spectrum of a noise in generator room

그림 4는 선속이 10 knots인 상태에서 엔진 제어실에서 측정된 소음으로 60Hz, 94Hz, 110Hz, 264Hz인 주파수 성분을 갖는다.

그림 5는 선속이 10 knots로 발전기 앞에서 측정된 소음으로 142Hz, 370Hz, 395Hz인 주파수에서 음압레벨이 높다.

위의 스펙트럼 분석을 통해 확인할 수 있는 사실은 선박내 공간에서 갖는 큰 음압의 주파수 분포는 20-400Hz이다. 이러한 주파수 분포는 주기적으로 회전하거나 반복 작업하는 기계(팬, 엔진, 발전기 등)에서 생기는 노이즈로 협대역(narrowband) 주파수 특성을 가진다. 엄밀히 말하자면 선박내에서 발생하는 주파수는 팬이나 발전기 등의 모터가 회전할 때 발생하는 주파수이다. 이러한 특징은 소음의 통계적인 특성이 시변인 경우에 적응 필터를 이용한 능동 소음 제어를 적용할 수 있게 한다.

### III. 선상 침실 공간의 능동소음제어

#### 1. 능동소음제어의 원리

능동소음제어 기법이라 함은 그림 6과 같이 소음에 대해 위상이 180° 반전된 인공음을 적용 필터를 통해 발생시켜 두 신호의 상호 결합에 의한 중첩의 원리를 이용하여 소음을 감쇄시키고자 하는 이론이다[1][8-10]. 인공음은 센서를 사용하여 검출한 소음원으로부터의 신호를 참조 신호로 삼아 이를 적응필터를 거쳐 발생시키게 되며 이때의 적응필터의 계수는 오차마이크로폰에 입력된 오차 신호에 의해 갱신된다[11-12].

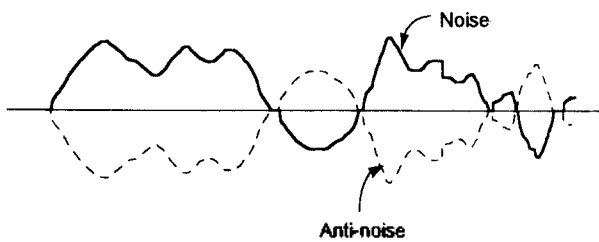
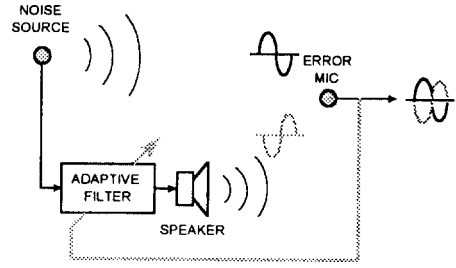


그림 6. 능동소음제어의 원리(중첩의 원리)  
Fig. 6 The principle of an active noise control

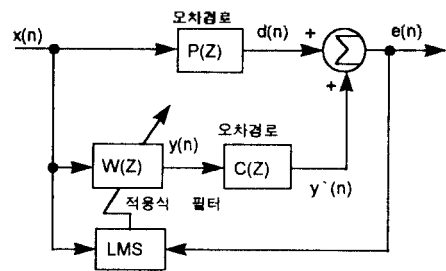
#### 2. 능동 소음 제어 이론

능동소음제어에는 피드포워드(feedforward) 능동소음제어와 피드백(feedback) 능동소음제어로 구분될 수가 있다. 본 논문에서는 좁은 공간에 대한 소음제어를 위해 피드백 능동소음제어를 사용한다.

소음 제어를 실현하기 위한 제어기의 블록선도를 그림 7(a)에 나타내고 모델링에 대한 등가적인 블록선도를 그림 7(b)에 나타낸다. 그림 7(b)에서  $x(n)$ 은 소음원을 나타내고,  $d(n)$ 은 소음원에서 마이크로폰 사이의 경로,  $P(Z)$ 를 통해 얻어지는 신호이며,  $y(n)$ 은 적응식 필터의 출력



(a) 피드백제어를 이용한 능동소음제어의 블록선도



(b) 등가 블록선도.

그림 7. 능동 소음 제어의 블록선도  
Fig. 7 The block diagram of an active noise control

을 나타내며,  $y'(n)$ 은 스피커와 마이크로폰 사이의 경로,  $C(Z)$ 를 통해 얻어지는 신호이고,  $e(n)$ 은  $d(n)$ 과  $y'(n)$ 의 함으로 마이크로폰을 거쳐 얻어지는 신호이다. 능동 소음 제어는  $e(n)$ 의 신호를 적응식 필터를 통해 감소시키려는 것이 그 원리이다. 최소 평균 자승(Least Mean Square) 알고리즘의 유도는 다음과 같이 구해진다[13]. T는 전치행렬(transpose)을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 e(n) &= d(n) - y'(n) \\
 &= d(n) - c(n) * y(n) \\
 &= d(n) - c(n) * |w^T(n)x(n)|
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

평균 자승 오차(mean square error: MSE)는

$$\zeta = e^2(n)
 \tag{2}$$

로 되고, 적응 필터의 가중치 갱신은 다음과 같다.

$$w(n+1) = w(n) - \frac{\mu}{2} \nabla \zeta(n)
 \tag{3}$$

여기서,  $\nabla \zeta(n)$ 는

$$\begin{aligned}
 \nabla \zeta(n) &= \nabla e^2(n) = \frac{\partial e^2(n)}{\partial w(n)} \\
 &= 2[\nabla e(n)]e(n)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$= -2c(n)x(n)e(n)$$

이고,  $\mu$ 는 step-size 파라미터이며  $\mu$ 의 크기는 다음과 같다.

$$0 < \mu < \frac{2}{\text{tap-input power}} \quad (5)$$

그림 7의 (b)에서의 오차경로는 Filtered-x LMS 알고리즘을 사용하여 모델링 하여야 한다. 오차경로를 모델링 한다는 것은 스피커로 발생시키는 신호를 입력신호로 하고 마이크로 받은 신호를 출력 신호로 하여 시스템을 모델링 하는 것이다. 이러한 오차경로 추정은 능동소음제어에서 중요한 영향을 미친다[14]. 오차경로 추정방법은 크게 능동소음제어를 하기 전 미리 추정하여 고정시키며, 소음제어 과정 중 불필요한 연산을 줄이고 성능에 지장을 주지 않는 장점을 가지고 있는 오프-라인 추정방법과 능동소음제어를 하면서 동시에 오차경로를 추정하는 온-라인 추정방법으로 나눌 수 있다[5][15].

#### IV. 능동소음제어기법의 컴퓨터 시뮬레이션

본 절에서는 선박의 소음제어 가능여부를 가름하기 위해 컴퓨터시뮬레이션을 통해 미리 검증한다. 좁은 공간에 대한 소음 제어로 라우드 스피커와 마이크로폰 사이의 경로와 시스템의 전기적인 지연 및 하드웨어적 비선형성을 무시한다. 그리고 디지털 저역 통과 필터 설계는 통과역단 주파수(passband edge frequency)를 500Hz로 하고, 샘플링 주파수(sampling frequency)는 4kHz이며, 천이폭(transition width)은 167Hz, 저지역단 감쇄량(stopband attenuation)은 50dB 이상으로 하며, 필터 계수는 해밍 창 함수를 사용하여 정규화 천이폭(normalized transition width)  $\Delta f$ 의 식 6과 식 7의 관계에 의해 80개로 한다. 시뮬레이션을 위한 소음원은 선속이 8knots인 상태에서 선박내의 침실에서 채취한 것이다.

$$\Delta f = 0.167/4 \approx 0.04175 \quad (6)$$

$$N = 3.3/\Delta f = 79.042 \quad (7)$$

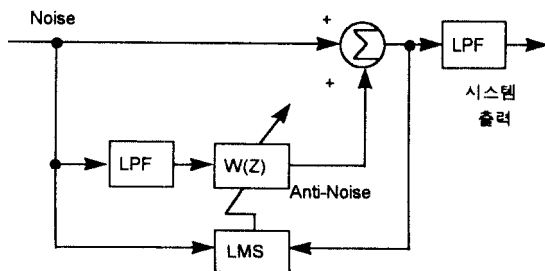


그림 8. 컴퓨터 시뮬레이션 모델 블록선도  
Fig. 8 The block diagram of a model for computer simulation

그림 8은 시스템의 전기적인 지연 및 라우드 스피커와 마이크로폰 경로인 오차 경로를 무시한 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 블록선도이다[16]. 표기된 Noise는 선박내의 소음을 나타내고, Anti-noise(인공음)는 적응 필터를 통해 출력되어지는 신호이다. 그리고 시스템 출력은 중첩의 원리에 의해 Noise와 Anti-noise가 상호 결합하여 소음이 제거된 신호이다.

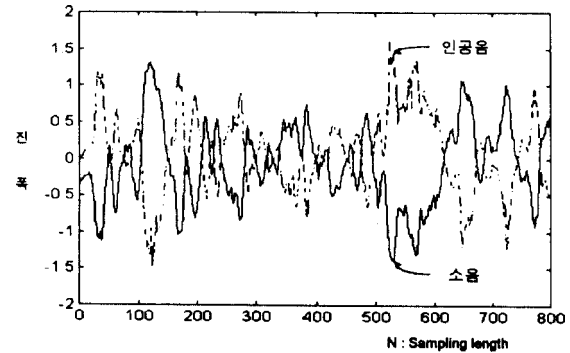


그림 9. 소음과 인공음  
Fig. 9 Noise and Anti-noise

그림 9는 소음원인 Noise와 적응 필터를 통해 출력되어지는 Anti-noise로 그림에서 알 수 있듯이 두 신호 사이에는 진폭의 크기가 비슷하고 위상이 180° 반전된 신호로서 나타난다. 실선이 Noise이고 점선이 Anti-noise이다.

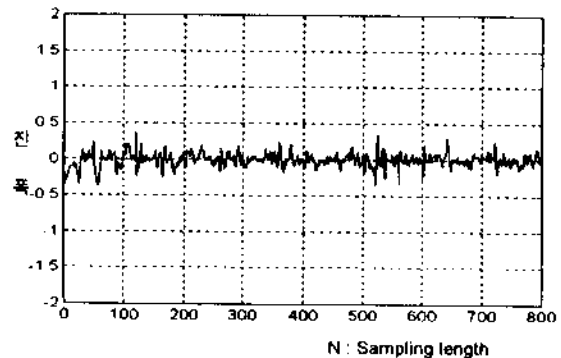


그림 10. 시스템 출력  
Fig. 10 System output

그림 10은 시스템 출력 파형으로 Noise와 Anti-noise가 중첩되어 나타나는 신호로, 결과적으로 사람의 귀를 자극하는 신호이다.

그림 11은 실선이 선박 소음이고, 점선이 능동소음 처리되어 나타나는 시스템의 출력으로 스펙트럼 분석한 결과를 나타낸 것이다. 그림 11에서 알 수 있는 것과 선박 소음이 저주파수 부분에서 큰 파워를 가지는 것에 비해 적응 소음 처리된 결과가 약 30dB~40dB의 감쇄 효과가 있음을 확인할 수가 있다. 위 그림에서의 진폭이라 함은 전압 이득을 의미한다.

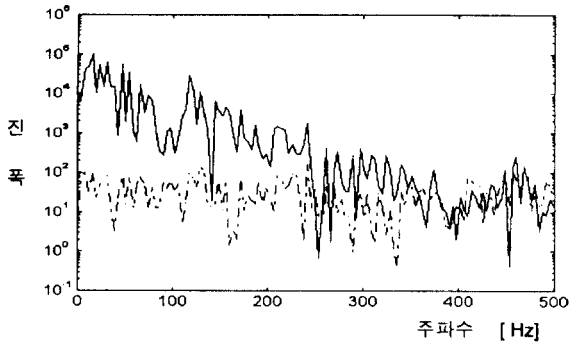


그림 11. 소음과 시스템 출력의 스펙트럼  
Fig. 11 Spectrum of noise and system output

V. 하드웨어 구성 및 선박내 공간으로의 적용

선박내 소음제어 시스템의 구성을 위해 저역 통과 아날로그 필터, 증폭기(파워 앰프, 프리 앰프), A/D·D/A 컨버터는 설계 제작하고, 디지털 신호처리 프로세서인 TMS320C50 DSP을 장착한 보드를 사용하여 실시간 동작하도록 구현한다[17]. 저역 통과 필터는 아날로그에서 디지털 부분으로 전환되는 부분과 디지털에서 아날로그로 전환되는 부분으로 나누어 사용하게 되는데 차단주파수(cut-off frequency)는 양쪽의 경우 모두 500Hz이다. 전자의 저역 통과 필터는 신호의 에일리어싱(aliasing)을 제거하는 에일리어싱 제거 필터이고, 후자는 D/A된 신호의 형태를 완만하게(smoothing) 만들어 주는 Shaping Filter이다. 그리고 A/D·D/A 컨버터는 14비트 분해능(resolution)을 가지고 사용 온도는 0°에서 70°까지 사용 가능하다. 또한 DSP의 개략적인 설명을 한다면, TMS320C50은 TI (Texas Instrument)사의 제 5세대 C5xx 시리즈의 16비트 고정 소수점 DSP이고, 머신 사이클이 20ns~25ns (20~40 MIPS)이다. C50은 2K 워드의 부트 마스크 ROM, 10K 워드의 RAM을 내장하고 있어 외부에 메모리칩 확장하게 되면 상당히 큰 응용 시스템에 사용할 수 있다[18]. 이러한 하드웨어를 설계·제작하여 제어 시스템을 구성한 것이 그림 12이다.

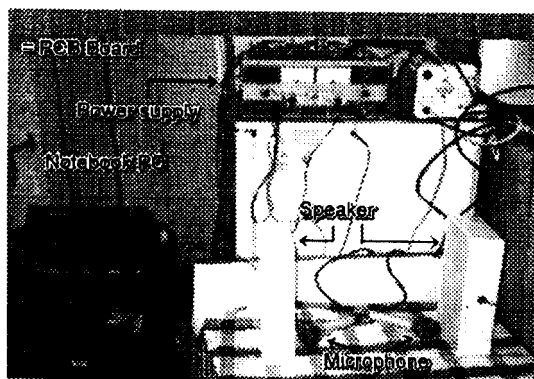
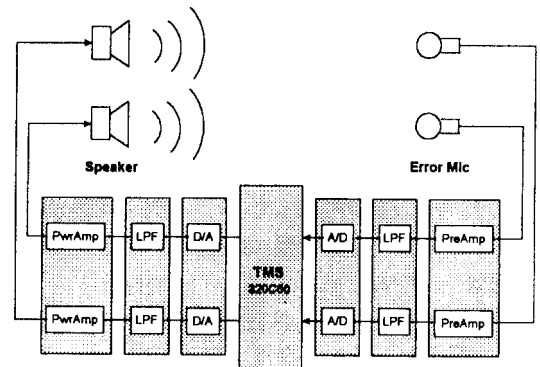
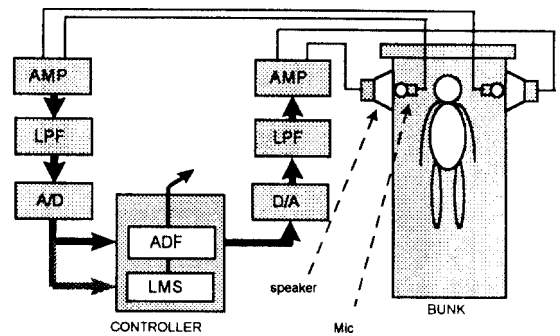


그림 12. 시스템의 적용 사례  
Fig. 12 Applied example of systems in a ship

그림 12의 구성을 블록선도로 표현한 것이 그림 13이다. 그림과 같이 침대 옆 인의 장소에 새어가를 두고 사람이 누운 침대 머리맡에 스피커와 마이크로폰을 설치하여 복귀하는 국부 공간에서의 소음을 제거한다.



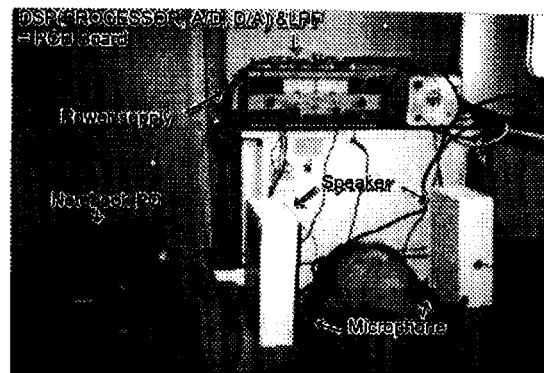
(a) The hardware block diagram of active noise control system



(b) The block diagram of active noise control system for a ship

그림 13. 능동 소음 제어기의 하드웨어 구현  
Fig. 13 The implementation of hardware for active noise control system

그리고 실제 시스템에 적용할 때 단일 채널을 사용하는 소음을 충분히 줄이지 못하므로 이 논문에서는 2채널을 사용하여 소음 제어를 수행하였고 사용되는 적응 필터 세수의 개수는 20개를 사용하였다. 또한 선박이 정



박 중일 때, 즉 선속이 0 knots, 침실내에서 침실문을 닫은 경우와 열어 놓은 두 가지 환경에 대해서 실험을 행하였다. 이러한 실험 환경과 시스템의 구축으로 다음의 결과를 얻을 수 있었다. 그 결과는 그림 14와 그림 15를 통해 보인다. 침실에서 측정된 소음의 진폭의 최대 피크는 주파수 대략 80Hz, 110Hz에서 갖는다.

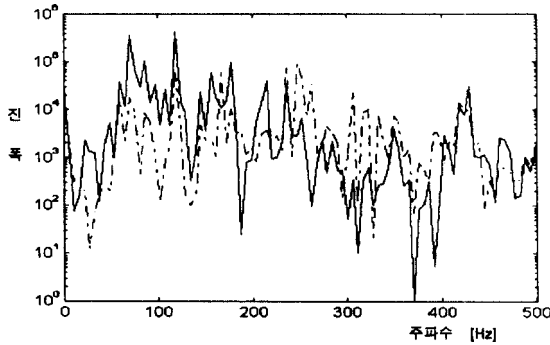


그림 14. 선박내 침실 공간에서 소음과 처리 결과의 스펙트럼  
Fig. 14 Spectrum of the noise and the processed result in a sleeping room

그림 14는 선박이 정박 중일 때 침실 내에서 침실 문을 열어 놓은 상태에서 소음 제어한 결과를 나타낸 것이다. 실선이 침실 공간의 소음을 나타내고, 점선이 소음 제어한 결과이다. 발생된 소음의 80Hz에서는 약 25dB의 감쇄를 갖고, 110Hz에서는 20dB의 감쇄 효과를 갖는다.

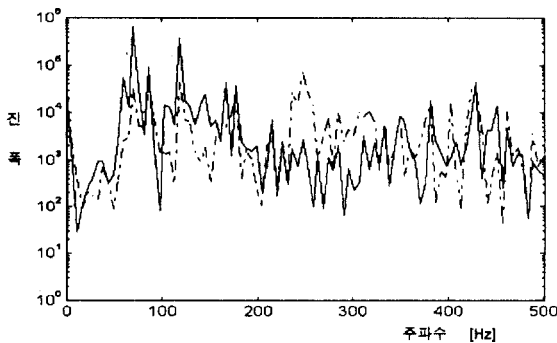


그림 15. 선박내 침실 공간에서 소음과 처리 결과의 스펙트럼  
Fig. 15 Spectrum of the noise and the processed result in a sleeping room

그리고, 그림 15는 침실문을 닫은 상태에서 소음 제어한 결과로 실선이 소음을 나타내고, 점선이 소음 처리한 결과를 나타낸다. 이 실험 또한 80Hz에서 25dB, 110Hz에서 20dB의 감쇄 효과를 가진다. 이러한 사실에서 알 수 있는 것과 같이 실시간 소음 제어기의 하드웨어적 실험을 통해 소음 처리된 결과는 20dB 정도의 감쇄 성능 효과를 볼 수 있었다. 특정 주파수에서 진폭이 증가한 것은 스피커가 가지는 비선형성과 오차 경로를 무시한 제어의 영향으로 기인한다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 선박내 공간의 침실에서 선상인의 안락한 수면을 위해 소음 음압레벨을 감쇄시키는 실시간 능동소음제어 시스템을 구현하였다. 스피커의 위치를 침대의 베개 머리 양쪽에 설치하고 마이크로폰은 스피커의 아래쪽에서 스피커를 마주보게 위치시켰다. 특히, 능동소음제어에서 스피커와 마이크로폰의 위치는 공간의 음향학적 특성에 의해 제어장치의 성능과 안전성 측면에서 매우 중요하다. 실질적으로 컴퓨터 시뮬레이션과 시스템 구성상에서의 감쇄 효과의 차이는 하드웨어의 매칭관계 및 TMS320C50 DSP의 고정 소수점 연산 방식, 제어장치의 적당한 위치 선정에 있어서 완전하지 못한 점에서 초래되었다. 앞으로는 지금까지의 연구에서 발생한 문제점들을 개선하고, 다른 적용 알고리즘의 사용 및 2차 음향경로의 모델링으로 안정성 있는 능동소음제어기 개발을 위해 많은 노력이 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. S. J. Elliott and P. A. Nelson, "Active Noise Control", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 12-35, October, 1993.
2. S. J. Elliott, I. M. Stothers and P. A. Nelson, "A Multiple Error LMS Algorithm and Its Application to the Active Control of Sound and Vibration," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-35, no. 10, pp. 1423-1434, October 1987.
3. S. J. Elliott, C. C. Boucher, P. A. Nelson, "The Behavior of a Multiple Channel Active Control System," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 40, no. 5, pp. 1041-1052, May 1992.
4. B. Widrow, J. R. Glover, J. M. McCool et al., "Adaptive Noise Cancelling: Principles and Applications," *Proc. IEEE*, vol. 63, no. 12, pp. 1692-1716, 1975.
5. Hyounsuk Kim, Youngjin Park, Jeong Guon Ih, "An Efficient ANC Algorithm for a Long Duct System," *Korea-U.S. Vibration Engineering Seminar*, pp. 275-292, March 1993.
6. Hiroshi Uchida, Norihiko Nakao, Tetsuro Butsuen, "High Performance Active Noise Control System for Engine Noise in a Car Cabin," *Proc. Noise and Vibration Conference*, pp. 1-7, 1994.
7. J. R. Glover Jr, "Adaptive Noise Cancelling Applied to Sinusoidal Interferences," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-25, no. 6, pp. 484-491, December 1977.
8. G. E. Warnaka, "Active attenuation of noise-the state of the art," *Noise Control Eng. J.*, 18, 100-110, May-June 1982.
9. D. Guicking, "Active noise control-achievements, problems and perspectives," in *Proc. Int. Symp. Active Control of Sound Vib.*, 1991, pp. 109-118.

10. D. Guicking, "Recent advances in active noise control," in *Proc. 2nd Int. Cong. Recent Developments in Air-and Structure-Borne Sound Vib.*, 1992, pp. 313-320.
11. B. Widrow, S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1985.
12. N. Ahmed and T. Natarajan, *Discrete-time Signals and Systems*, Reston Publishing Company, 1983.
13. Sen M. Kuo and Dennis R. Morgan, *Active Noise Control Systems, Algorithms and DSP Implementations*, App. B, pp. 323-328.
14. C. C. Boucher, S. J. Elliott, P. A. Nelson, "Effect of Errors in the Plant Model on the Performance of Algorithms for Adaptive Feedforward Control," *Proc. IEE*, vol. 138, no. 4, pp. 313-319, August 1991.
15. P. L. Feintuch, N. J. Bershad and A. K. Lo, "A Frequency Domain Model for the Training Mode," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, no. 4, pp. 1518-1531, April 1993.
16. Simon Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Third Edition, vol. 9, pp. 365-444.
17. P. M. Clarkson, *Optimal and Adaptive Signal Processing*, Boca Raton, FL: CRC Press, 1993.
18. 차영배, 초보자를 위한 DSP(TMS320C50), 다나미디어.

▲이 병 도



1966년 11월 14일생  
 1997년 2월: 부경대학교 제어계측공학과(학사)  
 1997년~현재: 한국해양대학교 전기공학과 석사과정  
 1985년~1991년: 현대전자 근무  
 ※주관심분야: 신경회로망 모델링, 소음 신호 처리 및 신호 분리 등.

E-mail: vipslee@kmucc.kmaritime.ac.kr

▲이 민 호



1965년 12월 19일생  
 1988년 2월: 경북대학교 공과대학 전자공학과(학사)  
 1992년 3월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)  
 1995년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사)  
 1995년 9월~1997년 9월: 한국해양대학교 전기공학과 전임 강사  
 1997년 10월~1998년 2월: 한국해양대학교 전기공학과 조교수  
 1998년 3월~현재: 경북대학교 센서기술연구소 대학원 센서공학과 전임강사  
 ※주관심분야: 신경회로망, 뉴로-퍼지 회로망, 지능제어, 신호처리 및 센서시스템

▲김 기 만

현재: 한국해양대학교 전자공학과 전임 강사  
 第 15卷 6號 參照  
 E-mail: kimkim@hanara.kmaritime.ac.kr

▲정 기 룡



1957년 2월 26일생  
 1983년 2월: 한국항공대학 통신공학과(학사)  
 1992년 2월: 동아대학교 전자공학과(석사)  
 1997년 2월: 동아대학교 전자공학과(박사)  
 1983년 11월~1986년 8월: 대한선주(주) 통신장  
 1988년 4월~현재: 한국해양대학교 해사대학 운항시스템공학부 부교수  
 ※주관심분야: 신호처리 및 영상압축