

수동과 능동방식을 혼용한 폐공간에서 소음감쇠

Noise Reduction using Passive and Active Noise Control in the Closed Area

조 병 모*
(Byung-Mo Cho*)

요 약

수동적인 소음 감쇠는 산업현장에서 발생하는 소음을 감소시키기 위해서 주로 사용된 방법이다. 그리고 능동적인 소음 감쇠방법은 수동적인 소음 감쇠방법에 비해 많은 이점을 가지고 있다. 능동적인 소음 감쇠 시스템은 낮은 대역의 주파수 영역에서 소음 감쇠 성능이 우수하며, 소형, 경량으로 설계할 수 있는 이점이 있다.

본 논문에서는 능동적인 소음감쇠를 위한 간단한 폐쇄 루프 제어 시스템을 제안한다. 능동적인 폐쇄 루프 제어 시스템은 위상 지연 보상과 반전 회로와 외부 소음을 수음할 수 있는 마이크로폰과 외부 소음을 줄이기 위해 위상이 반전된 소음을 발생시키는 스피커로 구성되어 있다. 그리고 소음감쇠 성능을 향상시키기 위해서 위상천이기를 사용하여 진폭 응답 곡선에서 최대가 되는 주파수에서 위상차가 180° 가 되도록 위상을 보정하여 소음을 제거했다.

능동소음제어에서 위상 지연이 50° 와 310° 사이에 존재하는 소음이 감소되는 경향이 있었으며, 소음은 헬멧 내에서 약 20[dB] 감쇠되는 결과를 얻었다.

Abstract

Passive noise reduction is a classical approach to attenuate industrial noise, and an active noise cancellation has several advantages over the passive noise cancellation. The active noise reduction system offers a better low frequency performance with a smaller and lighter system. This paper presents a simple active closed loop control system which consists of an controller for inverting and compensating the phase delay, a microphone for picking up the external noise, and a loudspeaker for radiating the acoustic out of phase signal to reduce the external noise, and external noise can be reduced after compensating the phase difference to be 180° in the frequency of maximum value in the amplitude response.

The noise of the phase delay covered from 50° to 310° tends to be reduced in the active noise control system and it is possible to obtain a noise cancelling of up to approximately 20[dB] at the ears in the enclosure.

Keywords : Acoustic Noise Reduction, Noise Control, Phase Shifter, Out of Phase, Feedback Control

* 순천대학교 전자공학과

(Acoustic Speech Signal Processing Lab., Dept. of

Electronic Engineering, Sunchon National University

接受日: 2001年 3月 8日, 修正完了日: 2001년 7月20日

1. 서 론

소음을 감소시키는 방법으로는 수동적인 방법과 능동적인 방법이 있으며, 수동적인 소음 감쇠 기술은 소

음 발생 지점과 감쇠시키려는 지점사이에 흡음재나 차음재를 설치하여 소음을 차단 또는 감쇠시키는 방법으로 고주파 영역에서는 효과적이지만 저주파 영역(약 500 Hz 미만)에서는 소음의 파장이 길기 때문에 이를 흡음시키거나 차폐시키기 위해서는 부피가 큰 흡음재나 차폐물이 필요하기 때문에 비효과적이다.

능동적인 방법인 ANR(Active Noise Reduction)은 감소시키고자 하는 소음과 진폭이 같고 위상차가 180° 가 되는 인위적인 음을 발생시켜서 스피커를 통해 방사하여 소음을 능동적으로 감쇠시키는 방법이며, 냉장고나 에어컨에서 발생하는 소음, 특히 공조기의 덕트(duct)에 이용되고 있으며[1], 장거리 전화회선에서 발생하는 에코우 제거(Echo Cancellation)나 등화기(Equalization)[2], 3차원 공간에서의 음상정위(Sound Localization)[3]나 입체 음향재생(Sound Reproduction)[4] 등에 응용되고 있다.

적응 디지털 필터를 이용한 능동소음제어에서 궤환 제어(Feedback)방식은 소음과 상관관계가 있는 신호를 검출할 수 있는 경우에는 효과적이지만 상당히 많은 비동기적인 회전체를 갖는 기계가 운행중인 공장내 소음이나 자동차나 비행기와 같이 소음원이 공간 내에 넓게 분포되어 있는 경우에는 효과적인 방법은 아니다.

본 논문에서는 수동적인 방법으로 헬멧을 이용하여 고주파영역의 소음을 감소시키고, 그리고 밀폐된 국소영역에서 궤환제어를 이용한 능동소음 감쇠 방법과 위상 천이기(phase shifter)를 이용하여 역위상이 되는 주파수 대역을 개방이득이 최대가 되는 주파수 대역으로 이동시켜서 소음을 감쇠시킨 방법을 제안하고 실험으로 고찰한다.

DSP을 이용한 능동소음감쇠 시스템의 경우에 생기는 아날로그 신호를 디지털로 변환할 때의 샘플간의 시간차를 없애고 또 DSP나 메모리, 기타 입출력 소자가 필요하므로 소음감쇠 시스템이 방대해진다는 단점을 보완하기 위해서 본 논문에서는 먼저 수동적으로 고주파수의 소음을 우선적으로 감소시키고 다음으로 능동적인 방법으로 위상차가 0° 에서 360° 가 되는 주파수 대역을 위상천이기를 이용해서 개방이득이 최대가 되는 주파수 영역으로 천이시킨 후 소음을 감소시킨다.

2장에서는 국소영역에서 소음감쇠를 위해 설계한 시스템의 입,출력관계와 시스템의 안정성에 대해서 살펴보고, 3장에서는 소음감쇠에 이용된 위상천이 회로의 전달특성에 대해서 설명한다. 그리고 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 구조의 성능을 고찰하고 결론을 맺는다.

II. 폐공간 영역의 소음 감쇠

궤환제어에서 소음을 감쇠시키기 위해서는 먼저 이상적인 센서와 스피커(이상적으로 모든 대역에서 진폭 특성이 평탄하고 위상지연이 영인 시스템)를 개발한다는 것은 불가능하기 때문에 이러한 특성을 보상할 수 있는 보상 필터(Compensation Filter)를 사용하여 소음을 제어하여 감쇠시킨다. 이 때 보상필터를 설계할 때에 고려해야 할 우선적인 사항은 필터의 안정성에 관한 문제이다. 안정성에 영향을 미치는 가장 큰 요소는 센서와 스피커의 위치·간격 차에서 생기는 음향학적 시간(위상)지연이다. 시간 지연을 최소화하고 스피커와 마이크로폰, 그리고 그 사이의 음향 함수를 포함한 전기음향(electroacoustic)전달함수의 위상 변화율이 최소가 되도록 시스템을 설계해야 한다. 음향학적 시간지연을 최소화하기 위해서는 먼저 스피커와 마이크로폰간의 거리를 짧게 하는 것이 바람직하다.

일반적인 궤환제어를 이용한 소음감쇠의 블록도를 그림 1에 나타내었으며, 마이크로폰에 입력된 소음 $p(t)$ 는 증폭기와 보상필터에서 동일진폭, 역위상인 $q(t)$ 로 변환되어 스피커로 발생된다. 이 때에 외부에서 인가되는 소음 $p(t)$ 와 스피커에서 방사된 2차음 $q(t)$ 가 공간에서 중첩의 원리로 합해지면 외부에서 발생된 소음은 마이크로폰의 국소영역에서는 상쇄되어 감소된다. 여기서 감소된 신호 $e(t)$ 의 전력스펙트럼 밀도와 제어기 $G(s)$ 의 안정도에 관해서 살펴본다.

입력과 마이크로폰 출력사이의 전기음향 전달함수를 $C(s)$, 소음이 스피커에서 방사된 신호와 공간에서 합해져서 감소된 신호를 $E(s)$, 그리고 제어기의 전달함수를 $G(s)$ 라 한다면 소음이 감쇠된 신호 $E(s)$ 는 다음과 같다.

$$E(s) = P(s) + G(s)C(s)E(s) \quad (1)$$

$$E(s) = \frac{P(s)}{1 - G(s)C(s)} \quad (2)$$

전달 함수가 $1/(1 - G(s)C(s))$ 인 선형 시스템에 외부에서 인가되는 신호 $p(t)$ 가 백색잡음이고 그 전력스펙트럼 밀도가 $S_{pp}(w)$ 이라면 궤환이 있을 때 감쇠 신호의 전력스펙트럼밀도는 다음과 같이 주어진다[5].

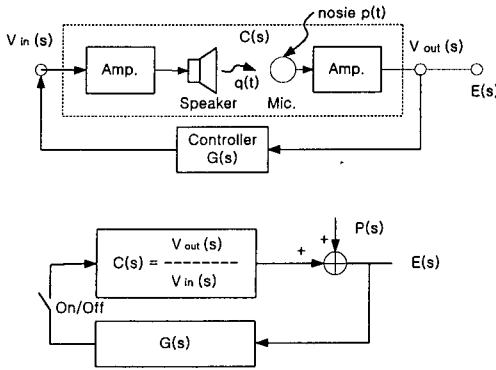


그림 1. 일반적인 폐환 소음제어 시스템

Fig. 1. The general approach to a feedback noise reduction system

$$S_{ee}(w) = S_{pp}(w) \left[\frac{1}{|1 - G(jw)C(jw)|^2} \right] \quad (3)$$

임의의 주파수 w_0 에서 $E(s)$ 를 최소로 하기 위해서는 $|1 - G(jw)C(jw)|^2$ $w = w_0$ 가 최대가 되어야 한다. 여기서 주파수 응답 $G(jw)C(jw)$ 의 진폭응답을 $A(w)$, 위상응답을 $\Phi(w)$ 이라하면 $|1 - G(jw)C(jw)|^2$ 은 $1 + A^2(w) - 2A(w) \cos \Phi(w)$ 가 된다

$C(jw)$ 가 주어졌을 때, 이득 $A(w)$ 가 각 주파수에서 최대가 되고 감쇠시키고자 하는 소음의 주파수 대역 내에서 외부소음과 스피커에서 방사되는 제2차음 $q(t)$ 와의 위상의 합이 $\pm 180^\circ$ 가 되도록 $G(jw)$ 를 설계해야 한다.

폐환제어에서 시스템의 안정도와 소음감쇠를 위한 시스템을 구현하기 위해서는 스피커와 마이크로폰간의 크기와 위상응답(개방응답) $G(jw)C(jw)$ 을 고찰해 볼 필요가 있다. $G(s)C(s)$ 의 주파수 응답을 Bode도로 그림 2에 나타내었다. 여기서 이득여유(gain margin)는 다음과 같이 정의된다[5].

$$G_i = 20 \log_{10} \frac{1}{|G(jw)C(jw)|_{w=w_i}} \quad [dB] \quad (4)$$

그림에서 이득이 0이 되는 주파수 w_0 과 w_1 에서의 위상차를 위상여유 ϕ_0, ϕ_1 , 그리고 위상응답이 0° 와 360° 가 되는 주파수에서의 이득차를 이득여유 G_0, G_1 하며, 이득이 큰 주파수 대역에서는 위상차가 180° 근방

에 있어야 하며, 또 위상차가 동상이 되는 주파수 영역에서는 이득은 낮을 수록 안정한 시스템이 된다. 따라서 $w_0 < w < w_1$ 영역사이에서 소음이 감소되기 위해서는 위상응답이 180° 근방에 있어야 소음감소가 이루어진다. 즉 입력신호와 동상(0° 또는 360°)이 될 때는 시스템이 안정하기 위해서는 개환되는 신호레벨이 낮아야 되고 이득레벨이 큰 대역에서, 즉 이득이 $0[dB]$ 보다 큰 주파수 대역에서 소음을 감소시키기 위해서는 역위상이 되어야 하므로 $\pm 180^\circ$ 의 위상차가 생겨야 한다.

소음제어를 위한 보상필터를 설계할 때에는 스피커와 증폭기의 위상 변화가 역위상인 180° 가 되도록 필터를 설계하는 것이 바람직하며, 소음감쇠 영역을 넓히고자 할 때에는 그림 2에서 $\pm 180^\circ$ 가 되는 주파수 대역을 확장시킬 필요가 있다. 특히 위상차가 0° 을 포함해서 360° 의 정수배 일 때 이득이 1보다 큰 경우에는 불안정해지 때문에 소음을 제어하고자 하는 주파수 대역내에서 이득이 1보다 큰 경우 360° 의 정수배가 되는 주파수가 존재하지 않는 것이 바람직하다.

III. 위상 천이 및 보상

제어기의 진폭 특성은 크기가 일정한 이상적인 특성을 갖고 있어야 하며 스피커나 마이크로폰에서 필수적으로 생기는 위상지연 특성만을 보상해 주는 필터가 필요하다. 일반적으로 극점과 영점이 많은 시스템의 경우에 소음제어 대역내에서 평탄한 이득 특성을 갖는 시스템을 구현하기 어려운 단점이 있다.

Carne[6]은 복소공역인 두 개의 극점과 영점을 갖는 전달 함수를 이용하여 소음을 제어했으며, Wheeler[7]는 최소 위상 특성을 만족하는 1차 필터를 구현하여 소음을 감소시키는 방법을 제안했다.

본 논문에서는 국소 영역의 폐공간에서 소음 제어를 위해서 효과적인 방법으로 마이크로폰에 입력되는 소음만의 위상만을 반전시켜서 소음을 감소시키는 방법을 제안한다. 이 때에 소음 신호의 레벨을 변화시키지 않고 위상만을 변화시키는 위상천이 회로와 그 위상특성 곡선을 그림 3에 나타내어었다.

그 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{-R_2}{R_1} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{1/jwC}{R_3 + 1/jwC}\right) \quad (5)$$

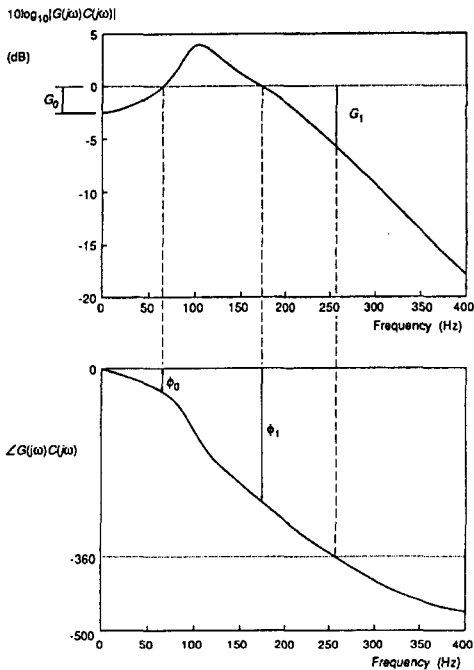


그림 2. Bode도(주파수응답함수) $G(jw)C(jw)[5]$
 Fig. 2. Bode plot(Frequency response function $G(jw)C(jw)[5]$)

여기서 R_1 은 반전 입력소자, R_2 는 캐환 소자, R_3 은 비반전 입력소자, 그리고 C 는 비반전과 접지사이의

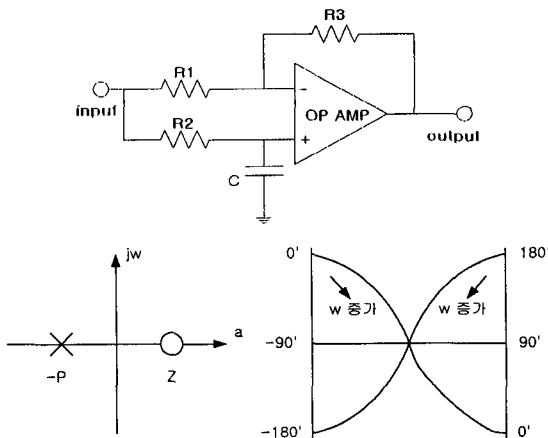


그림 3. 회로, 영점-극점도와 위상 응답
 Fig. 3. The circuit, pole-zero diagram and phase response

소자이다. 만일 $R_1 = R_2$, $1/CR_3 = K_1$ (여기서 K_1 은 상수)이라면

$$\frac{V_o(w)}{V_i(w)} = \frac{K_1 - jw}{K_1 + jw} \quad (6)$$

가 되며, 제어기의 전달함수는 식 (7)과 같다.

$$T(s) = \left(\frac{-s+z}{s+p} \right)_{z=p=K_1} \quad (7)$$

여기서 z 와 p 는 각각 영점과 극점을 나타낸다. 그리고 극점과 영점이 실수축의 좌·우에 대칭으로 위치하기 때문에 진폭특성은 모든 주파수에서 일정하다

IV. 실험 방법 및 결과 고찰

본 실험의 블록도는 그림 4와 같다. 먼저 수동 소음 감쇠 방법으로 소음을 감소시키기 위해서 헬멧을 이용하였으며, 헬멧내에는 외부소음과 스피커에서 출력되는 음(제 2차음)을 감지하기 위한 콘덴서 마이크로폰과 그리고 그 음과 역위상이 되는 2차 음을 발생시키는 스피커(스피커와 마이크로폰간의 거리는 1cm정도이며, 이를 그림 5에 나타내었다)를 설치하였으며, 외부에는 위상을 보상해 주는 위상보상필터가 있다. 위상보상필터는 상용화된 그리고 일반적으로 용이하게 구입할 수 있는 증폭기로 구성하였다. 실험에 이용된 외부 소음은 백색 잡음이며, 잡음발생기를 이용해서 발생시켰다.

4.1 수동소음감쇠기 헬멧의 소음 감쇠 특성

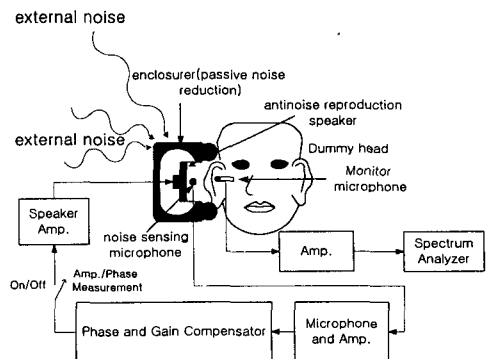


그림 4. 소음감쇠 실험 블록도.
 Fig. 4. Block diagram of acoustic noise reduction

소음을 감소시키기 위해서 먼저 헬멧이 외부의 소음을 어느 주파수 영역까지 감소시키는지 알아보기 위해서 외부 소음 레벨을 약 100[dB](소음계로 측정)로 설정한 후 측정용 마이크로폰(B&K)으로 측정한 소음의 스펙트럼을 그림 6에 나타내었다(Without Helmet의 곡선). 그리고 더미헤드(B&K)에 헬멧을 장착한 후 더미헤드의 양 귀에 설치되어 있는 마이크로폰으로 동시에 수음하여 이들의 스펙트럼을 32회 평균(이후에 있는 모든 스펙트럼은 마찬가지로 32회 평균했으며, 주파수 변위는 log scale이고 이득(y축) 변위의 한 간격은 10[dB]이다)취하였다.

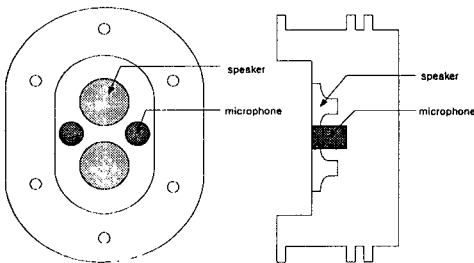


그림 5. 스피커와 마이크의 위치모양.
Fig. 5. The Setup of Speaker and Mic.

그림 6에서 알 수 있듯이 약 400[Hz]에서 18[dB], 500[Hz]에서 20[dB]정도 감소되는 것을 알 수 있으며, 그 이상의 주파수로 갈수록 10[dB/decade]로 감소되어 고주파수 영역으로 갈수록 소음감쇠 성능이 우수했다. 따라서 수동과 능동 소음감쇠기법을 혼용할 경우 헬멧을 수동소음감쇠기로 사용할 때에는 소음 감쇠를 위한 보상필터는 약 600[Hz]인 주파수 영역까지 고려하는 것이 바람직하다.

4.2 실험에 이용된 증폭기와 마이크로폰 특성

다음에 위상보상 필터를 설계하기 위해서 그림 4의 블록도에서 보상필터를 제거하고 스피커와 증폭기, 마이크로폰, 그리고 헬멧 내의 음향특성까지를 포함한 진폭특성과 위상특성을 측정하였다. 이를 그림 7과 그림 8(위)에 나타내었다. 실험에 이용된 스피커와 증폭기, 마이크로폰을 포함한 이들 주파수 특성은 저주파수 영역에서 진폭특성(감도)이 우수하고 주파수가 높아질수록 진폭이 감소하는 특성을 가졌다. 그러나 그림 8의 위상특성을 살펴보면 진폭응답이 최대가 되는 150[Hz]

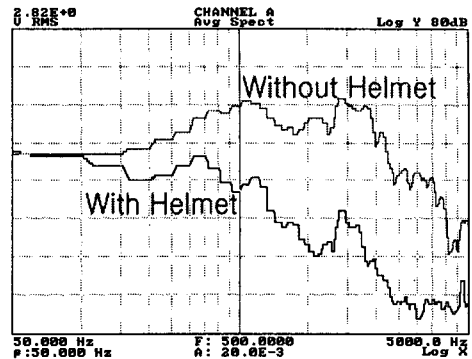


그림 6. 헬멧의 소음감쇠 특성
Fig. 6. Noise Reduction of Helmet

에서 위상차는 90°가 되기 때문에 증폭도가 클 경우에는 불안정하게 된다. 따라서 이 주파수에서 위상차가 ±180°가 되도록 위상을 천이시켜서 위상여유(Phase margin)을 크게할 필요가 있다. 따라서 위상천이기를 이용해서 스피커를 포함한 마이크로폰까지의 진폭응답에서 최대응답을 갖는 주파수 150[Hz]에서 ±180°가 되도록 위상을 천이시켰다. 이렇게 하여 측정한 위상응답을 그림 8의 아래 부분에 나타내었다. 그러나 위상을 보정하기 전에는 소음을 감소시키고자 하는 주파수 대역(50[Hz] ~ 600[Hz])범위내에서 위상변화는 완만하게 변화했으나 보정후의 위상 변화는 위상천이기에 의해 더해져서 오히려 더 급격히 변했다. 또 600[Hz]인 경우

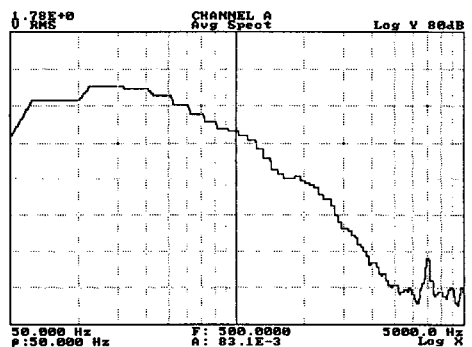


그림 7. 스피커 Amp에서 마이크로폰 Amp.까지의 주파수 특성
Fig. 7. Frequency Response of Speaker Amp.-Mic. Amp.

에 위상차가 $\pm 360^\circ$ 가 되어 동상이 되었지만 헬멧에 의해서 외부에서 입력되는 소음이 약 20[dB]감소되어 쾌환되기 때문에 시스템이 발산하지는 않는다.

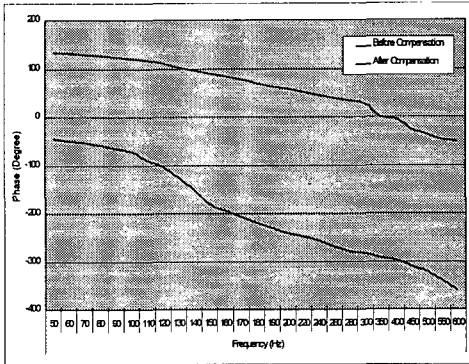


그림 8. 위상특성(위:보정전, 아래:보정후)

Fig. 8. Phase Response(Upside:Before Compensation, Downside:After Compensation)

4.3 실험 결과 고찰

마이크로폰과 스피커를 포함한 케환제어기의 진폭 특성이 그림 7, 그리고 위상특성이 그림 8(아래)과 같을 때 외부소음의 크기가 100[dB]와 80[dB]인 경우 소음감쇠 결과를 그림 9와 그림 10에 나타내었다. 50[Hz]와 600[Hz]사이의 소음은 상당히 감소되지만 600[Hz]~1700[Hz]사이의 주파수 영역에서는 오히려 증폭되는 경향이 있다.

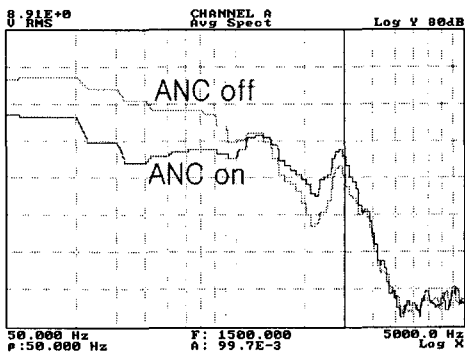


그림 9. 소음스펙트럼(소음크기:100[dB])
Fig. 9. Noise spectrum(Noise level:100dB)

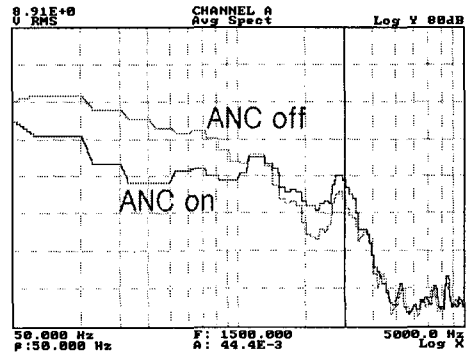


그림 10. 소음스펙트럼(소음크기:80[dB])
Fig. 10. Noise spectrum(Noise level:80dB)

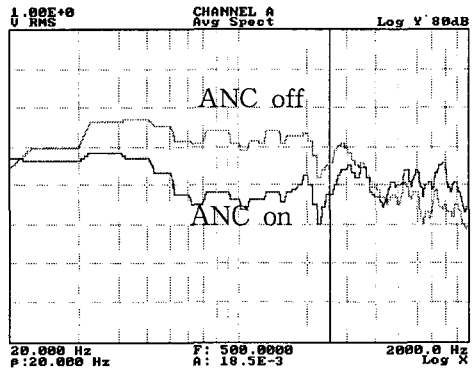


그림 11. 소음스펙트럼(소음크기:70[dB])
Fig. 11. Noise spectrum(Noise level:70dB)

외부 소음레벨이 보다 작을 때에 소음감소레벨을 측정된 결과를 그림 11부터 그림 13까지 나타내었다. 여기서 측정된 결과의 주파수 범위는 20[Hz]에서 2000[Hz]이다. 외부 소음레벨이 낮아짐에 따라 소음감소 주파수 범위가 좁아지는 것을 알 수 있다. 이것은 마이크로폰과 스피커의 증폭감도가 낮아지기 때문으로 해석된다.

결과적으로 위상이 $\pm 180^\circ$ 인 150Hz의 주파수를 중심으로 하위 50°의 위상차가 생기는 60Hz와 상위 310°의 위상차가 생기는 500Hz 사이의 소음은 감소되는 것을 알 수 있다. 그리고 외부 소음의 레벨이 낮아짐에 따라 소음감소 대역이 좁아짐을 알 수 있었다.

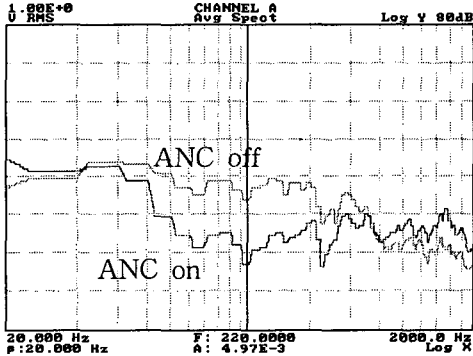


그림 12. 소음스펙트럼(소음크기:60[dB])
Fig. 12. Noise spectrum(Noise

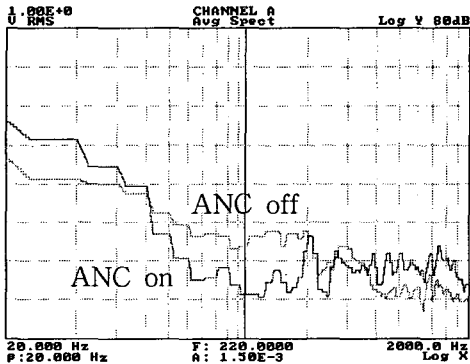


그림 13. 소음스펙트럼(소음크기:50[dB])
Fig. 13. Noise spectrum(Noise level:50dB)

V. 결 론

현재 소음공해 문제가 제기되고 있는 가운데 소음 감쇠는 생활에서 꼭 필요한 분야로 부각되고 있다.

본 논문에서는 고주파수 영역에서 소음감쇠 성능이 우수한 수동방식과 저주파수 영역에서 우수한 능동방식을 혼용한 소음 감쇠 방법과 위상천이기를 이용하여 스피커와 마이크로폰의 진폭응답 중 최대가 되는 주파수에서 위상차가 ±180° 가 되도록 위상을 천이시켜서 소음레벨을 감소시키는 방법을 제안했다.

각각의 증폭기와 위상보상필터의 이득과 위상 특성을 해석하고 실시간 처리를 통한 실험으로 소음레벨의

감소 결과를 확인하였다.

실험 결과, 약 15dB에서 20dB 정도의 소음 감쇠 결과를 얻었다. 그리고 외부 소음레벨이 낮아짐에 따라 소음감소 주파수 범위가 좁아졌으며, 이것은 마이크로폰과 스피커의 증폭감도가 낮아지기 때문이었다.

또 위상이 ±180° 인 150Hz의 주파수를 중심으로 하위 50° 의 위상차가 생기는 60Hz와 상위 310° 의 위상차가 생기는 500Hz 사이의 소음은 감소되는 것을 알 수 있었다.

소음감쇠가 되는 주파수 영역을 넓히기 위해서는 스피커와 마이크로폰, 그리고 증폭기는 평탄한 특성을 갖도록 위상특성을 고려하여 제작되어야 한다. 그래서 이상적인 센서와 위상 지연이 없는 스피커와 증폭기를 이용하면 우수한 소음 감쇠 결과를 기대할 수 있다.

참고문헌

- [1] D. Guicking, "Active noise control-achieve -ments, problems and perspectives," *Inter -national Symposium on Active Control of Sound and Vibration*, Tokyo Japan, Apr. 9-11, 1991.
- [2] John N. Mourjopoulos, "Digital Equalization of Room Acoustics", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 42, No. 11 pp. 884 - 900 Nov. 1994
- [3] J. Martin, D. Van Maercke, and J.P. Vian, "Binaural Simulation of concert halls : A new approach for the biaural reverberation process", *J.Acoust. Soc. Am.* 94(6), pp 3255-3264, Dec. 1993
- [4] Michael A. Gerzon, "Optimum Reproduction matrices for Multispeaker Stereo", *J. Audio Eng. soc.*, vol.40, No. 7 pp. 571-589, July 1992
- [5] P.A. Nelson, S.J. Elliott, *Active Control of Sound*, Academic press, pp. 204-230, 1992
- [6] Ch. Carne, "A new filtering method by feedback for A.N.C. at the ear", *Proc. of Inter-Noise 88*, pp. 1083-1086, 1988
- [7] P. D. Wheeler, "Voice Communications in the cockpit noise environment-the role of active noise reduction", Ph.D. Thesis, University of Southampton, England, 1986
- [8] Ir. L. Van Laere, Dr. Ir. P. Sas, " Principles and Applications of Active Noise Cancellation." *Proc. of*

Inter-Noise 88, pp. 999-1002, 1988

[9] Douglas O'shaughnessy, Speech Communication, pp 144, Addison-Wesley Publishing Company, 1987.

[10] Tu Y and Fuller CR, "Multiple reference feedforward active noise control part II : Preprocessing and experimental results," Journal of Sound and Vibration, V. 233 N. 5, 2000-06-22.

저 자 소 개

조 병 모 (正會員)



1982년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업

1984년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업

1991년 2월:연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1991년~현재 : 순천대학교 전자공학과 전임강사/조교수/부교수

관심분야 : 음향신호처리, Multirate System 및 필터뱅크