

통신용 헤드셋을 위한 능동소음제어기의 설계

A Design of an Active Noise Controller in a Communication Headset

정 태 진, 정 찬 수

(Tae-Jin Chung and Chan-Soo Chung)

Abstract : In this paper, an active noise controller for a communication headset was designed. In a communication headset, there exist information signals such as voices from the end of the communication line as well as also, undesirable noises which are induced by external noise sources such as engine noises. Therefore, it is necessary to reduce the external noises for clear hearing of the communication signals. This problem was solved by a robust H_∞ controller to reduce noise and a compensator for information signals. The designed controller was implemented using TMS320C31 DSP and Op-amp, and several experiments were performed to verify its performance. The results showed that the controller reduces the undesirable noises sufficiently, while communication signals are not reduced.

Keywords : active noise control, robust H_∞ control, μ synthesis

I. 서론

전투용 비행기나 전차와 같이 소음이 심한 환경에서 사용하는 통신용 헤드셋에서는 헤드셋 내부로 유입되는 외부 소음의 영향으로 통신용 음성이 불확실해질 수 있고 헤드셋 착용자는 이를 인식하는데 어려움이 많다. 또 장시간 소음환경에서 작업할 경우에는 헤드셋 사용자에게 쉽게 피로감을 줄 수 있고 이는 작업의 효율성에 큰 영향을 미친다. 따라서, 명확한 통신내용의 전달과 헤드셋 사용자의 작업효율을 향상하기 위해서는 통신용 음성신호는 그대로 전달하면서 외부로부터 유입되는 소음을 헤드셋 내부에서 효과적으로 제어할 수 있는 능동 소음제어기의 설계가 필요하다. 일반적으로 능동 소음제어방법은 적응필터를 이용한 적응제어방식이 많이 사용되고 있다. 하지만 이 방법은 최소한 2개의 마이크로폰이 필요하고 소음신호를 미리 측정하여 이를 추정하는 알고리즘을 사용하기 때문에 헤드셋과 같은 작은 공간에서는 사용하기 어렵다. 따라서 헤드셋에서의 소음제어를 위해서는 1개의 마이크로폰과 1개의 제어 스피커를 이용한 오차 궤환 제어방식이 사용되고 있다.

음향학적으로, 헤드셋을 착용했을 때 생기는 것과 같은 밀폐된 작은 음향공간을 소형밀폐공간이라고 말한다. 소형밀폐공간에서는 공간 내부에 유입되는 음향의 진폭이 공간의 크기보다 작다고 가정할 수 있기 때문에 그 특성을 상당히 간단하게 모형화할 수 있다[1][2]. 이러한 소형밀폐공간에서의 능동소음제어문제는 1956년도에 Olson이 처음 제안하였고, 이후 Wheeler(1986), Carme(1987) 그리고 Nelson과 Elliott(1992)에 의해 발전되어왔다[1]. [1]에서는 이상적인 마이크로폰과 스피커가 사용된다는 가정 하에, 소형밀폐공간의 특성을 1차시스템으로 모형화하고

간단한 제어 예를 보였다. [3]에서는 [1]의 방법을 응용하여 실제 제어를 설계·제작하고 소음제어 실험결과를 발표하였다. 하지만 이들 방법에서는 시스템의 모형이 정확하고 시불변이라는 가정 하에 제어를 설계했으므로 실제로 발생할 수 있는 모형화 오차와 시스템 파라미터의 변화에 상당히 불안정하여 효과적인 성능을 발휘하지 못했다. 실제 헤드셋의 경우, 착용자의 착용습관이나 움직임에 의해 헤드셋 내부의 음향학적인 특성이 변화할 수 있고 이런 특성의 변화는 페루프 시스템의 안정도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 불확실성을 고려한 강인제어이론을 이용한 능동소음제어기의 설계방법이 연구되어왔다[4][5]. 이 연구에서는 제어스피커와 소형밀폐공간 구조의 특성에서 비롯되는 비선형 특성, 음향신호의 시간지연 등을 불확정적 요소로 보고 이들 요소에서 야기되는 불확실 특성을 고려한 강인한 능동 소음제어기를 설계하였다.

본 논문에서는 앞선 연구결과를 바탕으로 통신용 헤드셋의 능동소음제어기를 설계하되, 통신용 헤드셋의 특성을 고려하여 통신신호(음성)를 고려하였다. 즉, 외부로부터 유입되는 소음은 감소시키고 통신을 위한 음성신호는 감소시키지 않는 특성을 얻고자 한다. 이를 위해서 소음제어를 위한 궤환제어기를 설계하고, 음성신호의 감소를 보상하기 위해 보상기를 설계하는 방법을 사용한다. 소음제어를 위해서는 강인 H_∞ 제어이론을 응용하여 제어문제를 재정의하고, μ 설계방법을 이용하여 그 해를 구함으로써 강인한 능동 소음제어기를 설계한다. 또 음성신호가 제어기의 입력으로 더해질 경우 음성신호에 가해지는 소음제어기의 영향을 줄이기 위해 보상회로를 첨가하여 음성신호의 에너지에 비해 소음신호의 에너지를 충분히 감소시키는 제어를 설계한다. 설계된 제어기는 TMS320C31 DSP와 Op-amp를 이용하여 구현하였고 몇 가지 실험을 수행함으로써 그 성능을 검증하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 헤드셋의 시스템 소개와 모형화 과정을 설명한다. 3장에서는 구해진 모형에 대해서 강인

접수일자 : 2000. 4. 18., 수정완료 : 2000. 11. 2.

정태진, 정찬수 : 숭실대학교 전기공학과(tarzan@ee.soongsil.ac.kr/chung@ee.ssu.ac.kr)

※ 본 논문은 2000년도 숭실대학교 교내연구비 지원에 의해서 연구되었습니다.

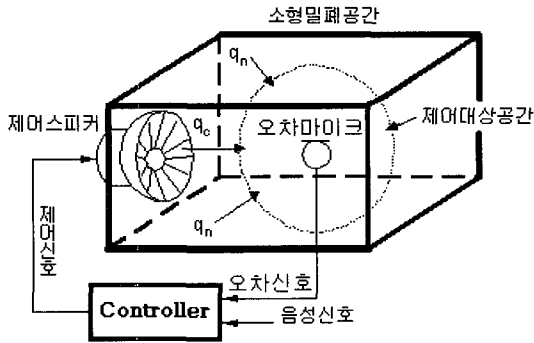


그림 1. 소형밀폐공간 시스템.
Fig. 1. Small cavity system.

H_∞ 제어기를 설계하고 4장에서 제어기의 구현 및 실험결과를 보인다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 소개

그림 1은 통신용 헤드셋의 간략한 개념도이다. 통신용 헤드셋을 착용했을 때 착용자의 머리와 헤드셋의 구조물 사이에는 작은 밀폐된 공간이 형성된다. 보통 이 공간의 크기는 공간 내부에 유입되는 소음신호의 진폭의 크기보다 작다. 음향학적으로 이런 공간을 소형밀폐공간이라고 하며, 이 공간 내부에서의 음압의 크기는 공간 내부에서의 위치에 관계없이 일정하다고 가정할 수 있다. 이러한 시스템에서 원하는 제어기는 외부에서 유입되는 소음신호 a_n 의 에너지를 감소하고 음성신호의 전달에는 영향을 주지 않는 성능을 가져야 한다. 이러한 제어기의 설계과정은 크게 2단계로 나눌 수 있는데, 첫 번째 단계에서는 통신신호를 무시하고 소형밀폐공간에서 공간 내부의 소음신호를 제어하는 능동소음제어기를 설계하고, 두 번째 단계에서는 설계된 제어기에 음성신호를 입력으로 도입하고 음성신호에 대한 소음제어기의 영향을 줄이기 위해 보상기를 도입함으로써 전체적인 제어기의 설계를 하는 것이다. 우선, 능동소음제어기 설계를 위해 그림 1의 시스템을 모형화한다.

헤드셋의 특성은 제어 스피커와 마이크 사이의 음향 전달특성이다. 이를 모형화하기 위해서 측정 주파수 대역을 정하고 이 대역을 일정하게 분할한 후에 각 주파수의 정현파를 제어스피커에 입력으로 하고 마이크로부터 그 응답을 측정하는 방법을 이용하였다. 이 방법은 임펄스성 신호나 백색잡음을 입력으로 사용하는 방법에 비해서 저주파대역에서의 시스템의 특성을 좀더 정확하게 측정할 수 있고 위상응답까지도 측정할 수 있는 장점이 있다. 측정에서 사용된 주파수 대역은 헤드셋의 내부에 유입되는 소음의 특성이 주로 2000Hz 이하의 영역에서 존재하기 때문에 20Hz에서 2000Hz 사이의 영역으로 정하였고, HP Dynamic Signal Analyzer 35670A를 이용하여 측정하였다. 그림 2과 그림 3의 점선은 측정된 음향전달특성의 이득특성과 위상특성을 보인 것이다. 원하는 모형은 점선으로 표현된 이득 및 위상 특성을 근사화하는 방정식이다. 이 과정에서 많이 사용되는 방법이 모형과 측정된 데이터

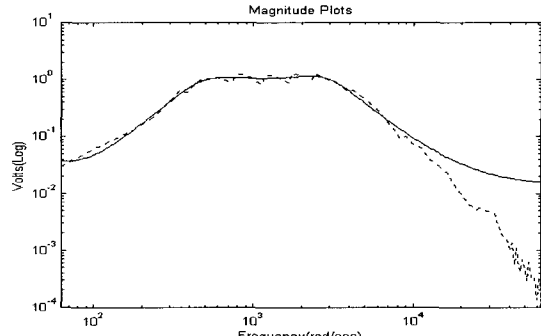


그림 2. 이득 특성 (점선 : 측정 데이터, 실선 : 근사화된 모형).

Fig. 2. Magnitude characteristics (Dotted line : Measured data, Solid line : Approximated model).

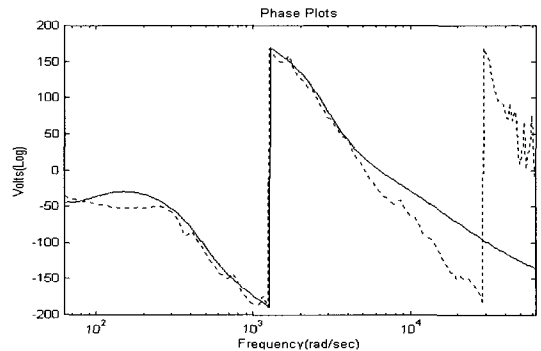


그림 3. 위상 특성 (점선 : 측정 데이터, 실선 : 근사화된 모형).

Fig. 3. Phase characteristics (Dotted line : Measured data, Solid line : Approximated model).

와의 오차를 최소화하는 Curve Fitting 알고리즘이나, 이 알고리즘은 이득특성에 대해서 최소위상 모형을 구하기 때문에 통신용 헤드셋과 같이 비최소위상이고 위상특성이 중요한 플랜트를 대상으로 하는 경우에는 위상특성에서 많은 오차가 발생하여 제어기 설계에 사용할 수 없다. 이 문제를 해결하기 위해서 우선 이득곡선을 근사화하는 최소위상 모형을 구한 후에, 이득특성에는 영향을 주지 않고 측정된 위상특성을 근사화하기 위해 모형의 영점의 부호를 적절하게 변화시키고 시간지연에 대한 Pade 근사화 항을 도입함으로써 그림 2과 3의 실선에서 보이는 이득특성과 위상특성을 갖는 모형을 구하였다. 구해진 모형의 영점, 극점, 이득은 표 1과 같다.

그림 2과 3에서 저주파 영역에서는 측정데이터와 모형과의 오차가 거의 발생하지 않으나, 약 6,283 rad/sec(1kHz) 이상의 영역에서는 이득특성과 위상특성에서 상당한 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이 오차의 크기는 모형의 차수를 증가시킴으로써 감소시킬 수 있으나 고차의 모형으로 강인제어기를 설계할 경우 제어기의 차수가 상당히 커지게 되므로 고차의 모형은 바람직하지 않다. 게다가 헤드셋의 내부로 유입되는 소음신호의 대부분이 1kHz 미만의 주파수 대역에 존재하게 되므로 이 대역의 특성을 근사화하는 모형을 구하였다. 고주파 영역에서 발

생하는 모형의 오차는 제어기 설계시에 불확실성으로 두고, 이러한 불확실성에 의해서 페루프 시스템 구성시에 발생할 수 있는 안정도 문제를 해결하기 위해 강인제어 설계 방법을 이용하였다.

표 1. 근사화된 모형.
Table 1. Approximated model.

근사모형의 영점	-9.3186e+0 ± j1.2090e+1 2.2632e+3 2.6877e+3 1.1111e+1
근사모형의 극점	-2.0109e+2 ± j4.0951e+2 -3.5747e+1 ± j6.5969e+1 -1.1111e+1
근사모형의 이득	-3.0008e-2

III. 제어기의 설계

1. 능동소음제어기의 설계

음성신호를 무시했을 때 페루프 시스템은 그림 4처럼 표현된다.

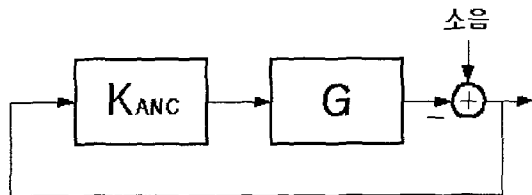


그림 4. 소음제어기를 위한 블록선도.
Fig. 4. Block diagram for a noise controller.

그림에서 K_{ANC} 는 설계할 제어기, G 는 헤드셋의 음향 전달경로를 나타낸다. 여기서, G 는 표 1의 모형으로 표현될 수 있으나 실제 시스템에는 2장에서 언급한 바와 같이 모형오차가 존재한다. 강인 제어에서는 이러한 특성을 불확실성으로 두고, 불확실성에 기인한 페루프 시스템의 안정도 문제를 해결하는 방법을 제공한다. 본 논문에서는 헤드셋 플랜트를 (1)처럼 표현된 곱셈형 불확실성이라고 가정하였다.

$$G = G_0(1 + 4W_2) \tag{1}$$

여기서 G_0 는 2장에서 구한 모형이다. W_2 는 모형의 불확실성에 대한 가중함수이고 $\|W\| < 1$ 이다. 이런 불확실 시스템에서 소음신호로부터 오차신호까지의 페루프전달경로는

$$T(s) = \frac{1}{1 + K_{ANC}(s)G(s)} \tag{2}$$

이고, 제어설계 문제는 $T(s)$ 의 무한대 노음을 원하는 소음 제어성능만큼 작게 하는 내부 안정 제어기를 찾는 것이다. 강인 H_∞ 제어에서 이러한 제어목적은 가중함수 W_1 을 이용해서 (3)과 같이 표현한다. 또 강인 안정도를 보장하기 위한 조건으로 가중함수 W_2 를 이용하여 (4)와 같이 표현한다. (3)과 (4)를 만족하는 제어기는 공칭 성능조

강인 안정도를 보장하는 제어기이다[6]-[8].

$$\left\| W_1(s) \frac{1}{1 + K_{ANC}(s)G_0(s)} \right\|_\infty < 1 \tag{3}$$

$$\left\| W_2(s) \frac{K_{ANC}(s)G_0(s)}{1 + K_{ANC}(s)G_0(s)} \right\|_\infty < 1 \tag{4}$$

우선, 모형의 불확실성을 고려하는 가중함수 W_2 를 정의한다. 모형 G_0 와 실제 플랜트 G 사이에 생기는 오차는 $(G - G_0)/G_0$ 이므로 측정 데이터와 모형의 주파수 특성으로 이를 계산해보면 그림 5의 점선과 같다. 즉, 3,000rad/sec(약 477Hz) 까지의 저주파 영역에서는 약 20%의 오차가 있고, 10,000rad/sec(1,592Hz)에서 100%의 오차, 그리고 그 이상에서는 상당히 큰 오차가 있음을 알 수 있다. 가중함수 W_2 는 이러한 오차의 특성을 포함해야 함으로 그림 5의 굵은 실선처럼 설정하였고 그 전달함수는 (5)과 같다.

$$W_2 = 0.2 \frac{\left(\frac{1}{9.425} s + 1\right)^3}{\left(\frac{1}{125.664} s + 1\right)^3} \tag{5}$$

다음으로 소음제어 성능을 표현하는 가중함수 W_1 을 그림 5의 실선처럼 정의하고 (6)으로 표현하였다.

$$W_1 = 10 \frac{\left(\frac{1}{37.699} s + 1\right)^2}{\left(\frac{1}{4.398} s + 1\right)^2} \tag{6}$$

이 가중함수로써, 2,000rad/sec(약 320Hz) 이하에서는 20dB의 소음감소 성능을, 5,000rad/sec(약 796Hz)에서는 약 10 dB, 그리고 그 이상의 소음은 제어대상에서 제외한다는 의미를 갖는다. 실제로 헤드셋 내부로 유입되는 소음은 저주파 대역에 주로 존재하고 그 이상의 주파수 대역에 존재하는 소음은 헤드셋의 외함에 의해서 수동적으로 제어되므로 (6)의 소음제어 성능은 헤드셋 시스템의 성능조건으로 적절하다고 생각할 수 있다. 마지막으로, 유입되는 소음의 주파수 특성을 고려한다. 만일 주파수 특성을 고려하지 않는다면, 모든 주파수 대역에서 일정한 크기의 소음이 유입된다는 것을 가정하는 것이지만, 앞에서 언급한 바와 같이 유입되는 소음은 저주파 대역에 주로 존재한다. 그림 6의 점선으로 나타낸 특성은 외부의 소음이 헤드셋 내부로 유입되는 주파수 특성을 보인 것이다. 소음의 대부분이 300rad/sec(약 50Hz)와 4,000rad/sec(약 637Hz) 사이에 존재함을 알 수 있다. 이러한 특성을 제어기의 설계 과정에서 고려하기 위해서 가중함수 W_3 를 그림 6의 굵은 실선의 특성을 가지도록 (7)와 같이 정의하였다.

$$W_3 = 0.03 \frac{\left(\frac{1}{63} s + 1\right) \left(\frac{1}{50.266} s + 1\right)}{\left(\frac{1}{1.822} s + 1\right)^3} \tag{7}$$

지금까지 정의한 가중함수를 이용하여 제어기의 설계 목적을 다음과 같이 요약할 수 있다.

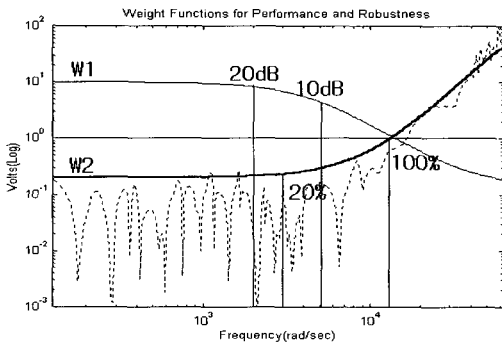


그림 5. 제어성과 불확실성을 위한 가중함수.
Fig. 5. Weight functions for performance and uncertainty.

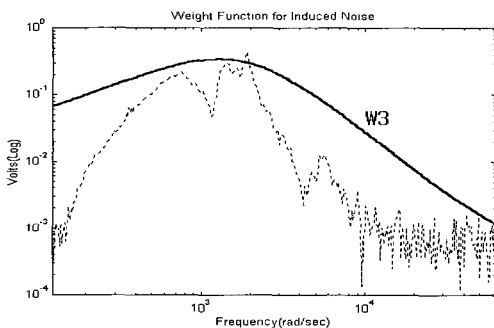


그림 6. 헤드셋 내부에 유입되는 소음의 특성.
Fig. 6. Characteristic of noise induced in the headset.

W_2 로 표현된 곱셈형 불확실 시스템에서, W_3 의 특성을 갖는 소음을 제어하도록 페루프 시스템이 W_1 의 성능을 갖는 내부 안정 제어기 K 를 설계한다.

실제로 제어기 설계시에는 (3)과 (4)의 조건을 하나의 충분조건으로 표현하여 사용하고 있으며, 위에서 구한 소음신호의 특성 가중함수인 W_3 를 이용하여 다시 표현하면 (8)과 같다.

$$\left\| \left| \frac{W_2(s) \frac{K_{ANC}(s) G_0(s)}{1 + K_{ANC}(s) G_0(s)}}{W_1(s) \frac{1}{1 + K_{ANC}(s) G_0(s)} W_3(s)} \right| \right\|_{\infty} < 1 \quad (8)$$

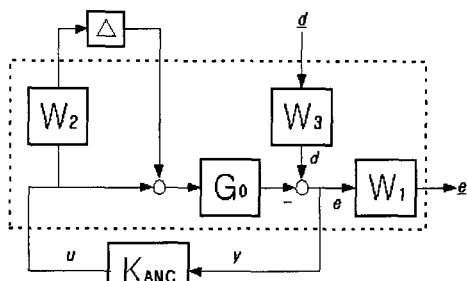


그림 7. 강인 제어기 설계를 위한 표준 케환 블록선도.
Fig. 7. Block diagram for robust controller synthesis.

그림 7는 μ 설계기법을 이용하여 원하는 설계목적

만족하는 강인 H_{∞} 제어기를 설계하기 위해, 전체 시스템을 표준케환 블록선도로 표현한 것이다

그림에서 d 와 e 는 정규화된 소음과 오차로 생각할 수 있다. 위의 시스템에서 설계조건을 만족하는 제어기를 μ 설계 방법을 이용하여 설계하였다. 제어기는 Matlab의 μ -Analysis and Synthesis Toolbox[9]를 이용하여 구하였다. 제어기는 1번의 D-K 반복을 통해서 구하였으며, 그때의 스케일링 함수는 6차로 선택하였다. 설계한 제어기의 주파수 특성은 그림 8과 9의 점선과 같다. 강인성능의 μ 값은 그림 10과 같다. 이때 최대 μ 값이 0.8804로서 강인 성능(robust performance)조건을 만족하는 것을 알 수 있다. 하지만 설계과정에서 사용되는 가중함수와 스케일링 함수의 차수가 플랜트의 차수와 더해진 결과가 제어기의 차수로 나타나기 때문에 설계된 제어기는 상당한 고차를 가지게 된다. 설계된 제어기의 차수는 25차로 실제 구현하기에 상당한 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 본 논문에서는 설계된 제어기를 Hankel 노음근사화를

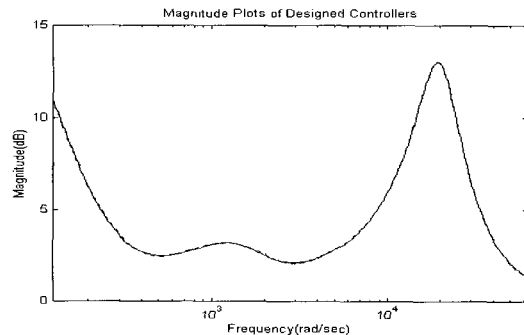


그림 8. 설계된 제어기와 저차화된 제어기의 이득특성 (점선 : 설계된 제어기, 실선 : 저차화된 제어기).
Fig. 8. Magnitude characteristics (Dotted line : The designed controller, Solid line : reduced-order controller).

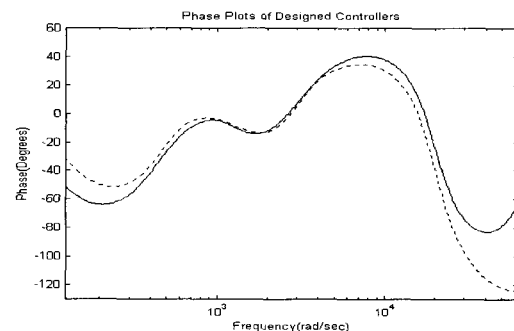


그림 9. 설계된 제어기와 저차화된 제어기의 위상특성 (점선 : 설계된 제어기, 실선 : 저차화된 제어기).
Fig. 9. Phase characteristics (Dotted line : The designed controller, Solid line : reduced-order controller).

이용한 저차화 방법을 이용하여 8차로 저차화하였다. 제

여기의 저차화했을 때의 최대 μ 값은 1.0047으로써 저차화된 제어기가 충분히 강인성조건을 만족한다고 생각할 수 있다. 그림 8과 9에서의 실선은 설계된 25차의 제어기(점선)를 8차로 저차화한 제어기의 특성이다. 이득특성은 거의 같고, 위상특성에서 약간의 차이가 있음을 알 수 있다.

2. 음성신호를 위한 보상기 설계

일반적으로 음성신호와 소음신호가 동일한 채널에서 입력된다면 소음신호만을 선택적으로 구별하여 제어하는 문제는 상당히 어려워진다. 하지만 그림 11과 같이 헤드셋의 경우에는 소음신호와 음성신호가 각기 다른 채널로 입력되기 때문에 문제는 두 개의 입력과 한 개의 출력을 갖는 시스템으로 생각할 수 있고, 각 전달경로의 특성을 만족하는 제어기 K_{ANC} 와 보상기 K_{CMP} 를 설계하는 문제로 간략화할 수 있다. 위에서 설계한 제어기로 페루프 시스템을 구성하고 음성신호를 도입할 경우 소음신호와 음성신호에서 오차신호까지의 전달함수는 (9), (10)와 같다. 그리고 (10)의 K_{CMP} 를 1로 했을 때, 각각의 이득특성을 구해보면

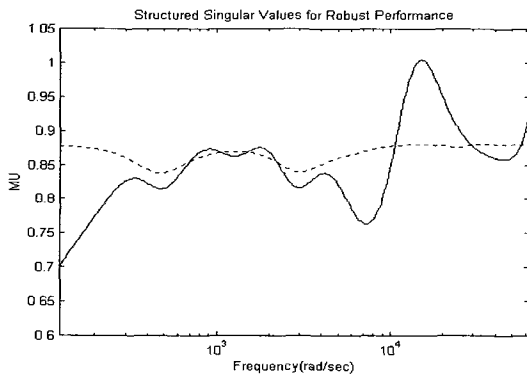


그림 10. 강인성능(Robust performance)의 SSV (점선 : 설계된 제어기, 실선 : 저차화된 제어기).

Fig. 10. SSV for robust performance (Dotted line : The designed controller, Solid line : reduced-order controller).

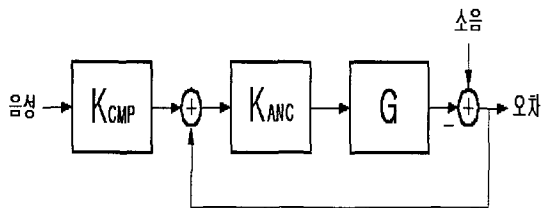


그림 11. 음성신호 첨가시의 블록선도.

Fig. 11. Block diagram when Voice signal is added.

그림 12의 점선(소음신호에서 오차신호)과 실선(음성신호에서 오차신호)과 같다. 소음신호의 경우 앞절에서 구한 제어기의 영향으로 그 크기가 감소되지만 음성신호의 경우 이득특성이 거의 1임을 알 수 있다. 이것은 설계한 제어기는 음성신호에 대해서는 거의 영향을 주지 않음을 의미한다.

$$\frac{\text{오차신호}}{\text{소음신호}} = \frac{1}{1 + K_{ANC} G} \quad (9)$$

$$\frac{\text{오차신호}}{\text{음성신호}} = K_{CMP} \frac{K_{ANC} G}{1 + K_{ANC} G} \quad (10)$$

이때, 페루프의 안정도는 이미 K_{ANC} 에 의해서 정해졌기 때문에 K_{CMP} 는 시스템의 안정도에 영향을 주지 않는다. 즉, 임의의 안정한 K_{CMP} 를 설계할 수 있다. 헤드셋 시스템에서 K_{CMP} 는 전기적인 음성신호를 헤드셋 내부의 스피커로 전달하는 일종의 버퍼로서, 전기적인 잡음을 필터링하는 역할과 헤드셋 내부의 스피커를 효과적으로 구동하는 앰프역할을 할 수 있다. 하지만 본 논문에서는 K_{CMP} 를 가장 간단한 이득형 보상기로 설계하였다. 이 보상기를 사용하여 음성신호를 일정크기만큼 증폭해 줌으로써 헤드셋의 착용자에게 음성신호를 효과적으로 전달할 수 있다. 또 이

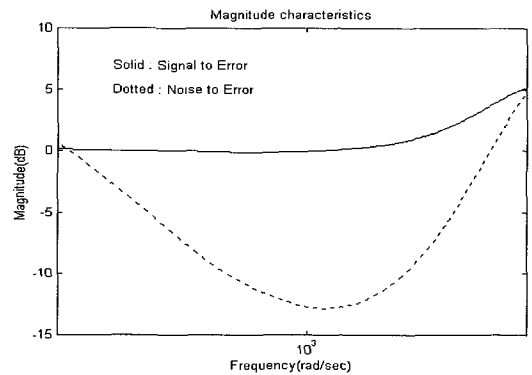


그림 12. 음성신호 첨가시 이득특성 비교 (점선 : 소음신호->오차신호, 실선 : 음성신호->오차신호).

Fig. 12. Magnitude characteristics when voice signal added (Dotted line : Noise signal to Error signal, Solid line : Voice signal to Error signal).

보상기는 제어기를 사용하였을 때만 작동하도록 하여 제어기가 사용되지 않았을 때의 비정상적인 음성신호의 증폭을 방지하도록 하였다. 따라서, K_{CMP} 과 K_{ANC} 를 이용함으로써 효과적인 소음신호의 감소와 음성신호의 전달을 위한 제어기를 설계할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

설계된 제어기의 성능을 평가하기 위해 제어기를 하드웨어로 구현하고 실제 소음에 대한 소음제어성능을 평가해 본다. 우선 설계된 제어기 K_{ANC} 는 샘플링주기가 10kHz인 디지털 IIR필터 형식으로 변환하고 TMS320C31 DSP를 이용하여 구현하였고, K_{CMP} 는 약 20dB의 증폭율을 갖도록 Op-amp를 이용하여 구현하였다. 실험과정은 제어기를 가동하지 않았을 때 헤드셋 내부에 전달되는 소음의 스펙트럼을 측정하고, 제어기를 가동했을 때도 같은 스펙트럼을 측정하여 그 크기를 비교하였다.

첫 번째 실험으로 제어기의 소음제어성능 평가를 위해 소음환경에서 음성신호가 없는 상태에서 제어기를 가동했

을 때와 가동하지 않았을 때 오차신호의 스펙트럼을 비교하였다. 그림 13는 실험결과이다. 그림에서 점선은 제어기를 가동하지 않았을 때, 실선은 제어기를 가동했을 때 오차신호의 스펙트럼을 나타내었다. 약 50Hz-700Hz의 주파수대역에서 제어기를 가동했을 때 소음신호의 크기는 가동하지 않았을 때보다 약 20dB정도 감소되는 것을 알 수 있다. 단, 50Hz 이하에서 약간의 증폭이 있었는데, 이것은 마이크론의 인터페이스 회로에서 발생하는 offset전압의 영향으로 생각된다. 하지만 그 영향이 소음제어 성능에 큰 영향을 미치지 않을 뿐 아니라 구현된 회로의 정밀한 튜닝작업으로 제거할 수 있으리라 생각된다.

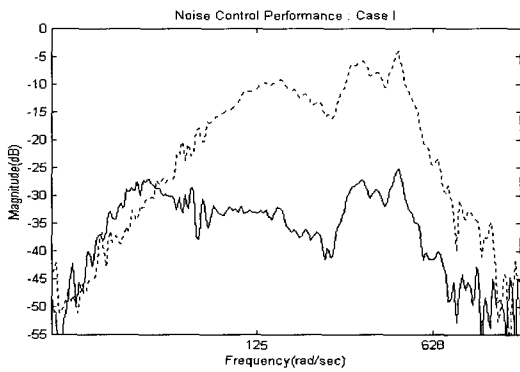


그림 13. 능동소음제어기의 소음제어성능 : Case I.
 Fig. 13. Noise control performance of the designed ANC: Case I.

두 번째 실험으로 음성신호가 유입된 상태에서 제어기를 가동했을 때와 가동하지 않았을 때에 소음제어성능을 평가하고 음성신호의 크기변화를 비교하였다. 음성신호로는 100Hz, 200Hz, 500Hz의 단일 주파수신호로 실험하였다. 그 결과가 각각 그림 14, 15, 16이다. 그림 14에서 점선은 제어기를 가동하지 않았을 때 헤드셋 내부의 음향신호의 스펙트럼이다. 이 경우 그림 13의 점선으로 나타낸 소음신호에 음성신호로 가정한 100Hz의 단일주파수 신호가 복합된 음향신호임을 알 수 있다. 만일 이 음향을 듣는다면 외부소음의 영향으로 음성신호의 구별이 상당히 어려울 것이라는 것을 알 수 있다. 반면에 그림의 실선은 제어기를 가동했을 때의 스펙트럼이다. 이 경우에는 100Hz 부근의 음성신호의 크기가 다른 영역의 소음신호의 크기보다 충분히 크므로 음성신호의 구별을 쉽게 할 수 있을 것이다. 나머지 경우도 첫 번째 경우와 동일한 결과를 갖는다. 제어기를 가동하지 않았을 때 소음신호의 스펙트럼에 가려져있던 음성신호가 제어기를 가동함으로써 그 구별이 확연해지는 것을 알 수 있다. 또 이 세 경우의 결과로 미루어 광대역 통신신호에 대해서도 같은 결과를 얻을 수 있을 것으로 쉽게 미루어 짐작할 수 있다. 이러한 실험 결과로 볼 때, 본 논문에서 설계한 능동소음제어기를 통신용 헤드셋에 응용함으로써 음성신호의 수신을 명확하게 할 수 있는 효과적인 헤드셋의 구현이 가능할 것이다.

VI. 결론

본 논문에서는 소형밀폐공간에서의 능동소음제어기술을 응용하여 통신용 헤드셋에서 음성신호에 대한 소음신호의 영향을 줄이므로써 성능이 우수한 통신용 헤드셋을 위한 능동소음제어기를 설계·구현하였다. 설계 방법으로

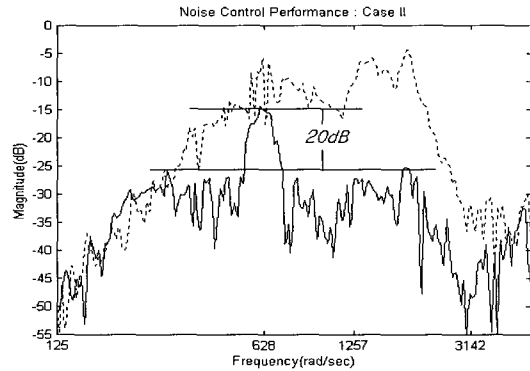


그림 14. 능동소음제어기의 소음제어성능 : Case II.
 Fig. 14. Noise control performance of the designed ANC: Case II.

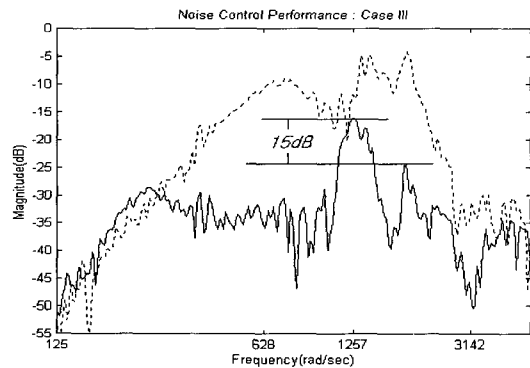


그림 15. 능동소음제어기의 소음제어성능 : Case III.
 Fig. 15. Noise control performance of the designed ANC: Case III.

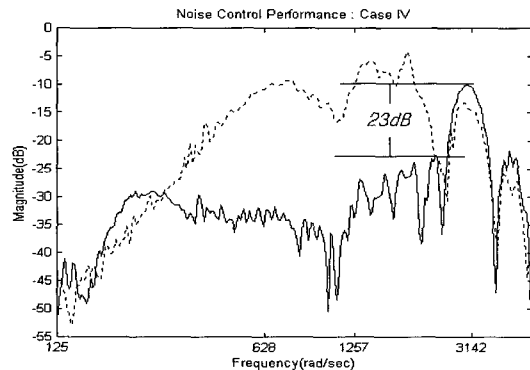


그림 16. 능동소음제어기의 소음제어성능 : Case IV.
 Fig. 16. Noise control performance of the designed ANC: Case IV.

는 우선 음성신호를 무시하고 μ 설계법을 이용하여 소형밀폐공간에서의 강인 H_{∞} 능동소음제어기를 설계하였다. 설

계된 제어기로 페루프를 구성하고 음성신호를 도입했을 때 설계된 제어기는 음성신호에는 거의 영향을 미치지 않게 되므로 음성신호를 위한 임의의 안정한 보상기를 설계할 수 있었다. 설계된 제어기의 성능은 소음환경 내에서 단일주파수신호로 가정한 음성신호와 소음신호의 스펙트럼 변화를 비교함으로써 검증하였고 그 결과 설계된 제어기는 음성신호의 스펙트럼은 제어하지 않고 외부 소음신호의 스펙트럼만 제어함으로써 그 효율성을 증명하였다.

참고문헌

- [1] P. A. Nelson and S. J. Elliott, *Active Control of Noise*, London: Academic Press, 1992.
- [2] L. L. Berneck, *Noise and Vibration Control*, McGill-Hill, 1971.
- [3] Tae-Jin Chung and Chan-Soo, "Feedback control of the noise in a small cavity," *IEEE singapore International Conference on Interlligent Control and Instrumentation*, pp. 132-137, July, 1995,

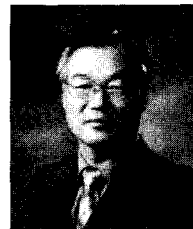
Singarpore.

- [4] Tae-Jin Chung, Woo-Hyun Ann, Chi-Hyoung You, and Chan-Soo Chung, "A robust control of noise in a small cavity," *High New Techology and Traditional Industry*, pp. 487-492, July 28-31, 1996, China.
- [5] Tae-Jin Chung and Chan-Soo Chung, "A design of ear protector using LMIs," *proc. 2nd ASCC*, pp. 111-114, July 22-25, 1997, Seoul.
- [6] J. C. Doyle, B. A. Francis, and A. R. Tannenbaum, *Feedback Control Theory*. Macmillan Publishing Company, 1992.
- [7] K. Zhou, *Essentials of Robust Control*, Prentice-Hall Inc., 1998.
- [8] K. Zhou, J. C. Doyle, and K. Glover, *Robust and Optimal Control*, Prentice-Hall Inc., 1996.
- [9] G. J. Balas, J. C. Doyle, K. Glover, A. Packard, and R. Smith, " μ -Analysis and synthesis TOOLBOX", The MathWorks Inc., 1995.



정 태 진

1971년 3월 28일생. 1994년 숭실대학교 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996 ~ 현재 동 대학원 박사과정. 관심분야는 강인제어이론, LMI 및 BMI.



정 찬 수

1949년 8월 10일생. 1972년 서울대학교 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(Ph.D). 1981 ~ 현재 숭실대학교 공대 전기공학과 교수. 주요관심분야는 신호처리,

적용필터이론 및 응용, 강인제어.