

강인성을 고려한 능동소음제어 시스템

정관수*, 오학준*, 구준근**, 이상철**, 정양웅***

* : 숭실대학교, ** : 대유공업전문대학, *** : 군산실업전문대학

Robust Active Noise Control System

Chan-Soo Chung*, Hak-Joon Oh*, Choon-Keun Koo**, Sang-Cheol Lee**, Yang-Woong Chung***

* : Soongsil University, ** : Daeyu College, *** : Gunsan College

Abstract

This paper proposes a robust active noise control (ANC) system. The system constructs filter with a standard model. An adaptive filter, connected to the system in parallel, compensates the modeling error.

When the adaptive filter does not work, the proposed system is robust while the conventional system loses the noise control capability. But proposed ANC system shows that the performance is comparable with that of the conventional ANC system under normal conditions.

1. 서론

신호처리를 위한 최적필터를 구성할 때 시스템의 정보가 불분하거나 시스템파라미터 주변변동이 시변인 경우 시스템필터의 파라미터를 추정하면서 필터링하는 적응필터링 기법이 우수적이다. 적응필터는 설치환경에 구애됨이 없이 일정프로토타입으로 동작되는 장점이 있으나 강인성이 보장되지 않는 경우가 많다. 또한 오프라인으로 시스템 전달함수를 측정하여 이에 맞는 제어시스템을 구성하면 강인성 문제는 해결되지만 시스템의 변화에 적응하지 못하는 결함이 있다.

본 논문에서는 이러한 두 시스템의 단점을 보완하기 위하여 표준모형을 정하여 필터를 구성하고 시스템의 모델링오차 영향은 적응제어시스템으로 제어시스템을 구성하여 오차를 보상하는 강인성이 고려된 ANC 시스템을 제안한다. 이 시스템은 설치할 때마다 시스템 전달함수를 측정해야하는 번거로움이 있으나 적응필터가 고장으로 동작되지 않는 상태나, 안정성이 깨어져서 재동작시키는 경우의 과도상태에서도 전체 ANC 시스템의 성능이 어느정도는 보장되는 장점이 있다.

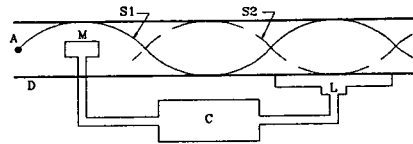
제한한 시스템의 구성을 위한 실험방법은 다음과 같다. 자음 구성한 덕트내에 임펄스를 발생시켜 제어스피커와 입력마이크로폰, 제어스피커와 오차마이크로폰 사이의 전달함수를 구하고 측정된 전달함수에 오차가 있으므로 이를 보상하기 위하여 적응필터를 병렬로 연결하여 시스템을 구성한다. 컴퓨터 실험을 통하여 기존의 능동소음제어 시스템인 Filtered-x NC 시스템과 비교하며, 적응필터가 동작되지 않을 때의 성능을 평가한다.

II. 이론

1. 능동소음제어의 원리

소음을 줄이기 위한 방법으로 종래에는 주로 흡음, 차음등의 수동적기법을 사용하여 왔지만, 종래의 소음감소대책은 500Hz이상의 고주파영역에서는 좋은 소음감소효과를 보여주나, 500Hz이하의 저주파영역에서는 소음감소효율이 좋지않음은 널리 알려진 사실이다. 특히 공조덕트내 소음은 흡음, 차음등 수동적 소음감소대책으로는 감소시키기 어려운 500Hz이하의 저주파영역에 대부분의 소음에너지가 집중되어 있는 특성을 갖고 있으므로 저주파 영역에서의 소음감소를 위한 기술의 개발이 요구되어 왔다. 따라서 수동소음제어기법의 저주파 영역에서의 단점을 보완하기 위하여 소음을 그 소음과 동일한 음압을 갖으며 위상차가 180° 인 인위적인 음파로 상쇄시키는 기술^[1]인 능동소음제어(그림 1)에 관한 연구가 각광을 받게 되었다.

1970년대 중반에 Widrow 등은 적응신호처리 이론을 개발하였고, 최근에는 DSP칩의 발달로 실시간 처리가 가능한 하드웨어 구현으로 능동소음제어기술이 크게 발달하였다.



A : 소음원 M : 마이크로폰 D : 덕트
C : 제어박스 L : 스피커
S1 : 감쇄되어야 할 소음
S2 : 제어박스에서 만든 2차소음

그림 1. 능동소음제어의 개념

그림 2는 덕트내 능동소음제어의 기본원리로 입력마이크로폰과 입력신호를 필터링하여 오차를 최소화 하기위한 필터계수를 적용시키는 모델, 제어계 출력을 제어신호파로 부가음을 발생시키는 스피커, 그리고 제어되어 감쇄된 소음을 감지하는 오차마이크로폰으로 구성되어 있다.

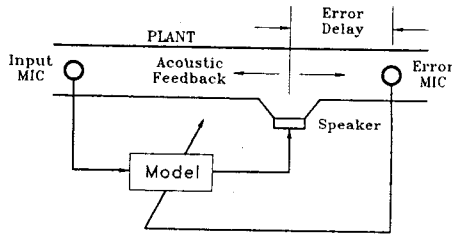


그림 2. 덕트용 능동소음제어의 기본원리도

2. Filtered_x LMS 알고리즘을 이용한 적응제어 시스템

그림 3은 Widrow의 Filtered_x 알고리즘^[5]을 도입한 능동소음제어의 일반적인 형상을 나타낸다. 여기서 P는 입력마이크로폰으로부터 제어스피커까지의 덕트의 전달함수이고, M1과 M2는 마이크로폰과 전치증폭기, 저역통과필터, 증폭기의 전체전달함수이다. S는 저역통과필터, 증폭기, 제어스피커의 전체전달함수를, E는 제어스피커에서 오차마이크로폰까지의 덕트내 전달경로의 전달함수를 나타낸다. 그리고 F는 음향교환을 나타낸다.

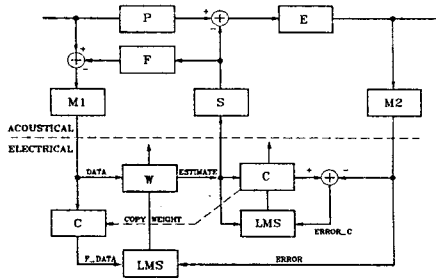


그림 3. Filtered_x LMS 알고리즘을 이용한 음향제어계의 블록선도

LMS필터 C는 보조경로와 오차경로내의 전달함수 S, E, M2를 역모델링하는 역필터이다. 오차경로의 적응지연 역모델의 계수는 LMS필터 W로 가는 입력경로내에 복제되며 입력 마이크로폰에서 받은 입력데이터를 필터링하여 주 적응제어기의 계수(W)를 갱신토록하는 오차상관기로 동작한다. ^{[1][2][5]}

3. 강인성을 고려한 능동소음제어기의 구성

위에서 소개한 ANC 시스템은 설치 할 때마다 프로그램을 바꾸거나 시스템모델링을 할 필요가 없기 때문에 설치가 용이하고 시변시스템에도 잘 동작되는 등 장점이 있다. 그러나, 적응필터의 강인성이 보장되지 않는 경우에는 수시로 필터를 복귀시켜야 하는데 이때 큰 펄스성 잡음이 생긴다. 또한 필터가 고장인 경우는 수리가 완료될 때 까지 ANC 시스템이 동작되지 않으므로 큰 소음이 그대로 전달되는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위하여 그림 4와 같이 강인성을 고려한 ANC 시스템을 제안한다.

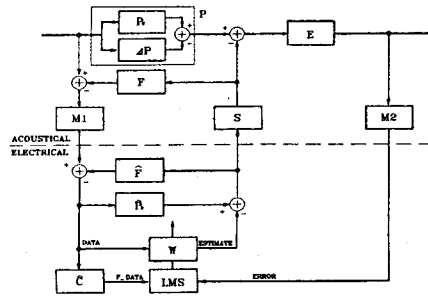


그림 4. 강인성을 고려한 능동소음제어기의 블록선도

그림 4는 그림 3에서 제시한 Filtered_x LMS 시스템에서 입력마이크로폰으로부터 제어스피커까지의 덕트의 전달함수 P를 측정하여 \hat{P}_0 로 고정하고, 음향교환 F를 측정하여 \hat{F} 로 고정한다. 그리고 보조경로내의 전달함수 C(S, E, M)를 측정하여 \hat{C} 로 고정후 변화분에 대해서는 적응필터를 병렬로 연결하여 보상하는 능동소음제어 시스템의 블록선도이다. 여기서 \hat{F} , \hat{P}_0 , \hat{C} 는 오프라인으로 측정하고, 이들 전달함수에 의해 발생하는 오차(모형화 오차)는 적응필터 W로 보상한다. 이렇게 하면 적응필터가 제 기능을 다하지 못하는 경우에도 \hat{P}_0 에 의해 소음제어가 가능해져 전체시스템의 강인성이 보장되어 최소한의 성능이 보장된다.

III. 결과 및 고찰

제어대상인 공조덕트는 아크릴로된 원통을 사용하였으며, 입력스피커, 제어스피커와 입력마이크로폰 및 오차마이크로폰을 원통의 적절한 곳에 설치하였다. 그림 5는 이들 장치와 제어시스템을 요약한 계통도이다. 임펄스신호를 발생시켜 입력스피커로 소리를 발생시키고, 입력마이크로폰에서 얻은 입력신호와 제어스피커의 위치에 놓인 오차마이크로폰에서 얻은 출력신호를 토대로 하여 전달함수 \hat{P}_0 를 구하고, 임·출력을 바꾸어서 \hat{F} 를 구한다. 또한 제어스피커의 입력과 오차마이크로폰의 출력을 이용하여 \hat{C} 를 구한다. \hat{C} 는 Filterd_x 알고리즘의 성능과 안정성을 향상시키기 위해 필요한 요소이나, 약간의 오차는 전체시스템에 큰 영향이 없으므로 계산량을 줄이기 위해 고정시키기로 하였다.

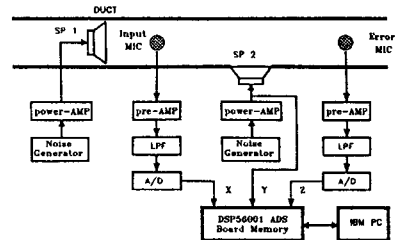


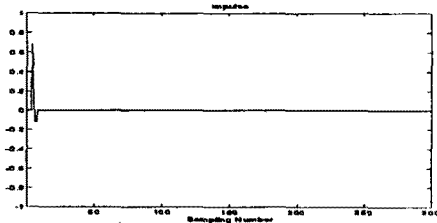
그림 5. 실험계통도

그림 6은 제어스피커로 들어가는 입력신호와 입력마이크로 폰에서 측정된 출력신호이며, 이 신호를 근거로 전달함수 F_c 를 구하였다.

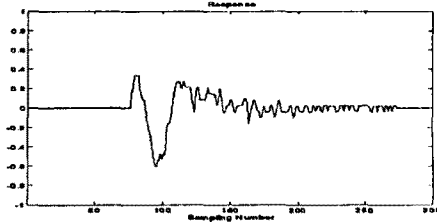
$p = 8, q = 2$ 인 ARX모형의 계수를 구한결과는 다음과 같다.

$$A(q) = 1 - 0.7472q^{-1} + 0.0161q^{-2} + 0.0480q^{-3} + 0.0212q^{-4} - 0.1286q^{-5} - 0.0502q^{-6} - 0.0953q^{-7} + 0.0154q^{-8}$$

$$B(q) = 0.0180q^{-60} (1 + 1.272q^{-1})$$



(a)



(b)

그림 6. 전달함수 측정을 위한 입·출력 신호

그림 7은 적응필터가 정상인 경우에 Filterd_x ANC 시스템과 본 논문에서 제안한 강인성을 고려한 ANC 시스템에 소음을 인가한 후의 오차신호를 데시벨값으로 나타낸 것이다. 300Hz의 정현파에 백색잡음을 첨가하여 소음원으로 사용하였으며, 음향궤환을 고려하였다.

적응필터가 정상적으로 동작하는 경우 제안한 시스템은 그림 7에서 처럼 Filterd_x ANC 시스템과 성능에 차이가 없었으나, 적응필터가 어떤요인으로 제기능을 다하지 못하는 경우에는 그림 8에서 보듯이 기존의 ANC 시스템은 소음제거기능을 상실하지만 제안한 ANC 시스템은 제기능을 상당히 유지함을 알 수 있다.

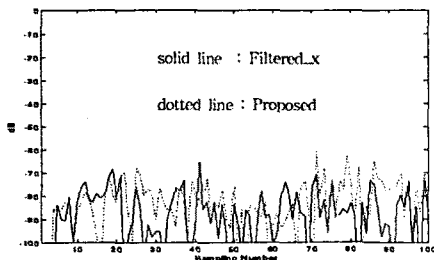


그림 7. 적응필터가 정상인 경우의 Filterd_x ANC 시스템과 제안한 ANC시스템의 오차신호[dB]

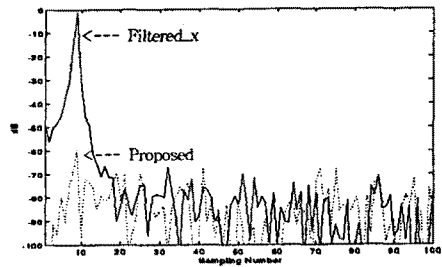


그림 8. 적응필터가 고장인 경우의 Filterd_x ANC 시스템과 제안한 ANC시스템의 오차신호[dB]

IV. 결론

본 논문에서는 능동소음제어 시스템의 문제점중의 하나인 강인성을 향상시키기 위한 방법을 제안하였다. 제안한 시스템에서는 표준모형을 정하여 필터를 구성하고, 시스템의 모델링 오차는 적응필터를 병렬로 연결하여 보상하였다.

컴퓨터 모의실험을 행한 결과 적응필터가 정상적으로 동작할 경우 제안한 ANC 시스템의 성능은 기존의 능동소음제어 시스템과 별다른 차이가 없었다. 그러나 적응필터가 제기능을 다하지 못하는 경우 기존의 시스템은 소음제거기능을 상실하지만 제안한 시스템은 강인성이 보장됨을 알 수 있었다.

앞으로 DSP칩을 사용하여 실시간 처리가 가능한 시스템을 구성하여 공조덕트의 소음제거에 응용하고자 한다.

V. 참고문헌

- [1] 정찬수 외, "적응제어기술에 관한 연구." 한국과학재단 목적기초 연구사업 보고서, 1990
- [2] 이강욱 "역모델을 이용한 능동소음 제어시스템," 숭실대학교 석사학위 논문, 1992.8
- [3] 정찬수·오학준 외, "능동소음제어기 구성을 위한 전달함수측정," 대한전기학회 하계학술대회 논문집A, pp. 661-663, 1994
- [4] P.A Nelson and S.J Elliott, "Active Control of Sound," Academic Press, 1992
- [5] Bernard Widrow and Samuel D. Stearns, "Adaptive Signal Processing," Prentice-Hall, 1985
- [6] L.J Eriksson, "Recursive Algorithm for Active Noise Control," Active Control of Sound and Vibration, pp.137-146, April, 1991
- [7] L.J Eriksson, "Development of the Filterd_U Algorithm for Active Noise Control," J. Acoust. Soc. Am., pp. 257-265, January 1991