

능동소음제어기법을 이용한 공조덕트소음제어

Active Noise Control for Duct Systems

이 종 식
J. S. Lee
한국해사기술연구소



- 1956 년생
- 음향신호처리를 전공하였으
며 능동소음제어 및 수중음향기
기 개발에 관심을 가지고 있다.

1. 머릿말

종래에는 공조덕트내 소음의 감소를 위하여 주로 흡음, 차음등의 기법을 사용하여 왔다. 그러나 이러한 종래의 소음감소 대책은 500Hz 이상의 고주파 영역에서는 좋은 소음감소효과를 보여주나, 500Hz 이하의 저주파 영역에서의 소음감소 효율이 좋지 않음은 널리 알려진 사실이다. 특히 공조덕트내 소음은 흡음, 차음 종래의 소음 감소 대책으로는 감소시키기 어려운 500Hz 이하의 저주파 영역에 대부분의 소음 에너지가 집중되어 있는 특성을 갖고 있으므로, 이러한 저주파수 영역에서의 소음 감소를 위한 기술의 개발이 요구되어 왔다.

500Hz 이하의 저주파 소음은 각종 구조물의 진동을 야기시켜 정밀 작업이 요구되는 작업환경을 파괴하고, 작업자의 심리를 불안하게 하여 작업능률을 떨어뜨릴 뿐만아니라, 청정 환경이 요구되는 곳에서의 소음감소를 위하여 흡음재료를 사용할 경우 흡음재료로부터 떨어져 나오는 미세분배에 의해 청정환경의 보존이 어려워진다. 이러한 종래의 소음감소 대책의 저주파수 영역에서의 단점을 보완하기 위하여 소음을 그 소음과 동일한 음압을 갖으며 위상차가 180도인

인위적인 음파로 상쇄시키는 기술인 능동소음 제어기술 (active noise control technique)이 개발되고 있다.

2. 능동소음 제어장치 국내외 기술 현황

1936년 미국의 Paul Lueg가 능동소음제어 기술에 대한 특허(U.S.Pat. No.2, 042, 416)를 세계 최초로 출원한후 현재까지 수 많은 연구가 진행되어 매년 수백편의 논문이 발표되고 수십건의 특허가 출원되고 있다. 특히 1980년대 이후 디지털 신호처리기술 및 전자산업의 급격한 발전에 힘입어 능동소음 제어 기술의 실용화, 상품화가 급속히 진행되어 왔다. 현재까지 상품화 발표된 공조덕트용 능동소음제어장치중 두 가지 예를 들면 미국 DIGISONIX사의 digital sound cancellation systems와 일본 히타치플랜트 건설사의 전자소음(電子消音) 시스템이 있다.

국내에서도 1980년대 후반부터 능동소음제어에 대한 학계 및 산업계의 관심이 높아져 현재 매우 활발한 연구가 진행되고 있다. 국내 연구 개발 현황을 살펴보면 가전업계에서는 냉장고 및 에어컨 소음제어용, 자동차 업체에서는 배기계 및 자동차실내소음제어용, 공조설비 업체

에서는 공조덕트용 능동소음제어기 개발을 자체적 또는 대학교 및 국책연구소와 공동으로 수행하고 있거나 계획중인 것으로 알려져 있으며, 최근 공조덕트용 능동소음제어장치의 국내 개발이 발표되었다.

3. 공조덕트 능동소음 네어 이론

그림 1은 공조덕트용 능동소음제어장치의 기본원리를 보여주고 있다.

공조덕트로 전달되는 소음의 발생원인 송풍기 근처에 마이크로폰(탐지 마이크로폰)을 설치하여 송풍기로부터 발생하는 소음의 특성(x)을 측정하여 소음이 탐지 마이크로폰에서 제어스피커 설치위치까지 진행되는 동안에 능동소음 제어기에서 덕트내 음향 특성(음속, 풍속, 반향 등)을 고려한 신호처리를 수행하여 제어스피커에 원래의 소음과 위상차가 180도인 신호(y)를 공급하면 제어스피커 앞부분에서 원래소음과

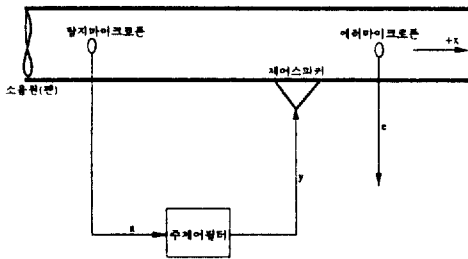


그림 1 공조덕트용 능동소음제어장치 기본원리

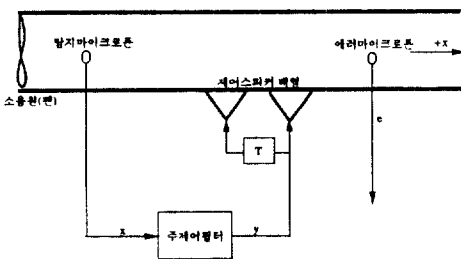


그림 2 지향성 스피커배열을 이용한 능동소음 제어기법

상쇄음파가 합성되어 제어스피커 이후 덕트내에서의 소음이 감소될 것이다. 그러나 실제의 경우 상쇄음파 발생기로 부터 방사된 상쇄음파가 원래 소음의 진행방향(그림 1의 +x방향)뿐만 아니라 소음원인 송풍기쪽(-x 방향)으로도 진행되어, 결과적으로 탐지 마이크로폰에는 소음원인 송풍기에서 발생된 소음 뿐만 아니라 제어스피커에서 방사된 음파도 측정될 것이다. 이러한 현상을 음향 피드백현상(acoustic feedback)이라 부르며, 이 현상이 발생할 경우 능동소음 제어 시스템의 성능이 급격히 감소하고 제어시스템이 불안정하게 된다. 이러한 음향 피드백 현상을 감소시키기 위해 여러가지 방법이 제안되어 왔으며, 그림 2, 3, 4는 대표적인 음향피드백 제거 방법을 보여주고 있다.

그림 2⁽¹⁾는 두개(또는 그 이상의) 스피커와 시간지연장치(T)를 이용하여 제어스피커로부터 방사된 상쇄음파가 제어대상 소음의 진행방향 +x방향)으로만 전파되도록 설치하여 상쇄음파가 탐지 마이크로폰에 의해 다시 측정되지 않도록 하는 방법을 보여 주고 있다.

이와 같이 지향성을 갖는 스피커 배열을 사용할 경우 상쇄음파가 탐지센서에 탐지되는 음향 피드백(acoustic feedback) 현상을 근본적으로 감소시켜 피드백 루프(feedback loop)에 의한 능동소음 제어기의 발산 현상을 방지할 수 있으나 요구되는 정밀도의 지향성을 갖는 스피커 배열의 설치가 매우 까다롭고, 설치 및 제작 비용이 많이 들어, 최근에는 설치가 간편하고 제작 및 설치비용이 저렴한 무방향성 스피커 1개를 사용하고 음향 피드백 현상은 능동소음 제어 프로그램에서 보상해 주는 방법이 많이 사용되고 있다.

그림 3⁽²⁾은 무방향성 스피커 1개를 사용하고, 이 경우 발생되는 음향피드백 현상을 능동소음 제어프로그램내에서 음향 피드백 보상 필터(F)를 이용하여 제거시키는 능동소음제어기법을 보여주고 있다.

그림 4⁽³⁾는 제어스피커에서 동일한 거리만큼 떨어진 위치에 두개의 마이크로폰을 설치하여 두개의 마이크로폰에서 측정된 소음의 차이를

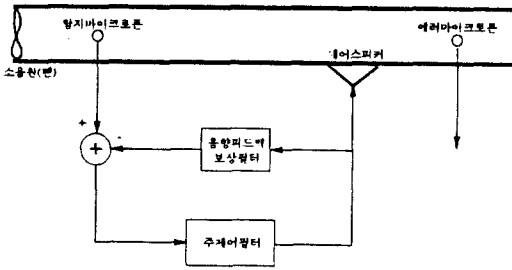


그림 3 음향피드백 보상 필터를 이용한 능동 소음제어기법

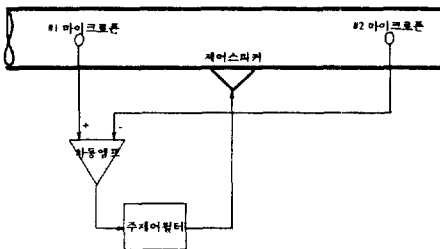


그림 4 두개의 탐지마이크로폰을 이용한 능동 소음제어기법

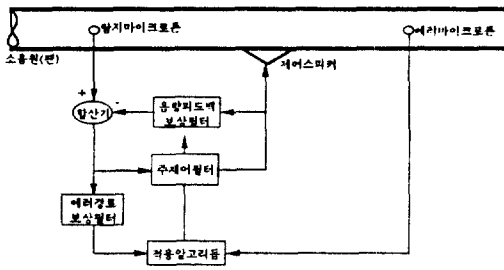


그림 5 능동소음제어장치의 작동블럭도

이용하여 음향피드백 현상을 제거하는 방법을 보여주고 있다.

4. 능동소음제어장치의 구성 및 성능

그림 5는 한국해사기술연구소에서 개발한 공조덕트용 능동소음제어장치의 작동블럭도를 도시한 것이다.

송풍기등의 소음원에서 발생한 덕트내 소음은 탐지마이크로폰에 의해 탐지되어 능동소음제어장치에 입력되며, 이 능동소음제어장치는 주어진 음향환경에 적합한 신호처리를 수행하여 소음 상쇄를 위해 필요한 신호를 제어스피커에 공급한다.

능동소음제어장치는 주어진 음향환경을 모델링 하기 위한 각종 필터(C와 F)들을 포함하고 있으며, 이러한 필터들의 모델링 오차 및 음향환경 및 입력소음 특성의 시간에 따른 변화 등의 이유로 소음의 완전한 상쇄가 일어날 수 없으므로, 이러한 변화에 대처 할 수 있도록 입력소음중 상쇄음파에 의해 상쇄되지 않는 부분을 다시 에러마이크로폰으로 탐지하여 이 에러신호를 능동소음제어 프로그램에 피드백 시키는 적응필터기법¹⁾(adaptive filtering)을 사용한다.

음향피드백 보상필터(F)는 무방향성 제어스피커를 사용할 경우 발생하는 음향피드백현상, 즉 제어스피커에서 생성된 상쇄용 음파가 탐지마이크로폰에 다시 탐지되는 현상을 보상해 주기 위한 필터로서 피드백루프현상에 의한 능동소음제어장치의 발산을 방지해 주며, 에러경로 보상 필터(C)는 제어스피커로부터 에러마이크로폰 사이의 음향환경을 모델링하는 필터로서 적응필터의 안정성증대를 위하여 사용된다. 음향피드백 보상과정을 거친 소음신호는 주제어필터(W)에 입력되며 이주제어필터는 제어스피커에 상쇄 음파신호를 공급한다.

에러경로 보상필터 및 음향피드백 보상필터의 특성은 능동소음제어장치 설치전에 미리 구하여 능동소음제어프로그램에 저장시켜 사용할 수도 있으나, 능동소음제어장치 작동전후의 덕트내 음향환경의 변화 및 시간의 흐름에 따른 마이크로폰, 제어스피커 및 소음원등의 특성변화에 대처할 수 있도록 하기 위하여 그림 6에 보여진 것과 같이 능동소음제어장치 작동 중 덕트음향 특성추정과 능동소음제어를 동시에 수행하는 기법(synchronous control and identification)이 사용된다.

그림 7은 능동소음제어장치의 실제 구현을 위한 하드웨어 구성도를 보여주고 있다.

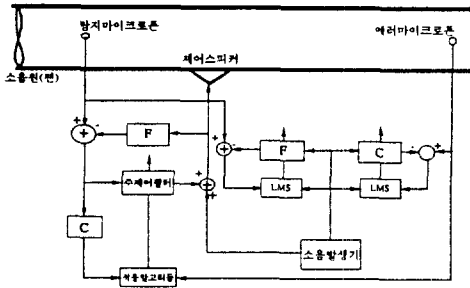


그림 6 동시 제어 및 추정기법을 이용한 능동 소음제어장치

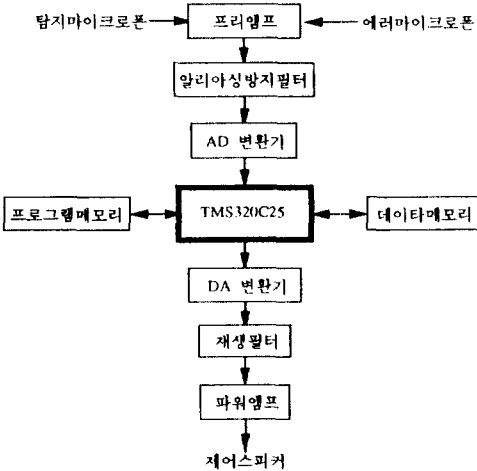


그림 7 능동소음제어장치의 하드웨어 구성도

덕트안에 설치되어 있는 마이크로폰에 감지된 소음은 전치앰프(pre-amp)와 A/D변환기를 이용하여 디지털 신호로 변환되어 디지털 중앙처리장치에 입력된다. 전치 앰프에서 출력된 아날로그 신호는 A/D변환기에 입력되기전에 알리아싱 방지필터(anti-aliasing filter)를 통과한다. 중앙처리장치에 입력된 디지털 신호는 중앙처리장치의 프로그램 메모리 및 데이터 메모리에 저장되어 있는 능동소음제어 프로그램에 의해 분석처리되며 중앙처리장치는 상쇄음과 발생을 위한 디지털 신호를 출력한다. 중앙처리장치에서 출력된 상쇄음과 디지털 신호는 D/A변환기에 의해 아날로그 신호로 변환되며, 디지털 신호의 아날로그 신호로의 변환시 발생

하는 불필요한 고주파 성분을 제거하기 위한 재생필터(reconstruction filter)를 통과하게 되며, 이 재생필터의 출력은 다시 출력앰프(power-amp)에 의해 제어스피커를 작동할 수 있도록 증폭된다.

중앙처리장치로 범용 마이크로프로세서를 사용할 경우 각종 디지털필터계산에 소요되는 엄청난 계산량을 요구되는 속도(실시간 처리속도 2000Hz 이상)로 처리할 수 없으므로, 디지털필터의 신속한 계산을 위한 디지털신호처리전문 마이크로프로세서(digital signal processor)를 사용하여야 한다.

능동소음제어장치의 성능, 안정성 및 신뢰성은 앞에서 언급한 능동소음제어 알고리즘외에 마이크로폰 및 제어스피커등의 각종 구성부품의 특성에 크게 좌우된다. 특히 공조덕트내 존재하는 유체의 흐름에의한 난류소음은 제어하고자 하는 송풍기소음의 탐지를 방해하여 능동소음제어장치의 성능을 급격히 감소시키므로, 이러한 난류소음의 영향을 제거하기 위하여 마이크로폰에 길이방향으로 긴 홈이 있는 튜브를 세우는 방법이 개발되어 사용되고 있다. 또한 덕트내 유동유체의 온도, 습도 및 화학성분에 노출되는 제어스피커는 이러한 환경에서 장기간 사용할 수 있도록 보호피막을 입히거나 별도의 덕트를 이용하여 스피커를 격리설치하는 방법을 사용하여야 한다.

그림 8은 단면이 120cm×50cm이고 풍속이 16m/s인 실제 건물용 덕트에서 실험한 결과로 얻

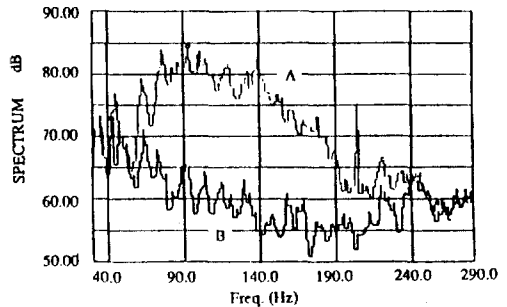


그림 8 능동소음제어장치의 성능예(풍속 16m/s, 덕트단면 120cm×50cm)

어진 능동소음제어장치의 소음감소성능을 보여 주고 있다. 그림에서 곡선 A는 소음제어 이전의 상태, 곡선 B는 소음제어 이후의 상태를 각각 나타낸다.

5. 맺음말

능동소음제어장치는 앞으로 고도의 청정, 정숙환경이 요구되는 반도체공장, 방송국등에의 폭넓은 적용이 기대되며, 기존의 흡음처리 대책보다 설치, 보수 및 유지가 간편하다. 특히 덕트내 주요소음원인 송풍기의 소음특성이 저주파 부근에 에너지가 집중되어 있음을 고려할 때 능동소음제어기술의 공조덕트내 소음제어에의 적용은 매우 효과적이며 경제적인 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Swinbanks, M.A., 1973, "The active control of sound propagation in long ducts" JSV, 27(3), p.411-436.
2. Eriksson, L.J., 1987, "Active sound attenuation system with on-line adaptive feedback cancellation", U.S. Patent No.4, 677, 677.
3. Kinichiro Asami and Minoru Takahashi, 1989, "공조덕트용 電子消音 시스템", 건축설비와 배관공사(일본), p.94-99.
4. Elliot, S.J. et al, 1987, "A multiple error LMS algorithm and its application to the active control of sound and vibration", Trans. IEEE ASSP-35(10), p.1423-1434.