

능동소음제어기술의 현황과 전망

김홍식 / 대한주택공사
주택연구소
선임연구원

1. 머리말

건축에서의 소음문제는 외부와 내부로 대별할 수 있으며 건물외부에서는 자동차, 철도, 항공기 등의 교통소음과 향타, 발파 등의 건설작업소음이 주로 문제가 되고 있고 건물 내부에서는 상하층간의 바닥충격음, 급배수 설비음, 인접실간 소음과 기계실, 엘리베이터실의 소음 및 공조설비소음 등에 대한 문제가 점차 증가하고 있는 실정이다.

최근 이러한 소음을 감소시키는 새로운 방법으로서 능동소음제어(active noise control : ANC) 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이것은 원하지 않는 소음을 그 신호와 역위상을 갖는 부가음을 발생시켜 능동적으로 감쇄시키는 방법이다. 특히 저주파수 대역에서 소음저감효과가 좋기 때문에 이 주파수 대역에서 비효율적인 기존의 흡음과 차음을 주로하는 수동제어(passive noise control)방법에 대한 새로운 보완 기수로서 각광을 받고 있다.

능동소음제어기술은 1936년 미국의 Paul Leug가 관내의 능동소음제어에 대한 특허를 세계최초로 출원한 후 현

재까지 수많은 연구가 진행되어 매년 많은 논문과 특허가 출원되고 있다. 특히 1980년대 이후 디지털 신호처리기술 및 전자산업의 급격한 발전과 함께 능동소음 제어기술의 실용화가 급속히 진행되어 왔으며 지난 10연년 동안 경제적, 기술적인 문제로 종래의 수동제어방법으로는 어려웠던 소음 문제에 적용이 시도되어 왔다. 미국, 일본, 영국 등 선진국에서는 이미 공조덕트 소음제어장치, 자동차 실내소음제어장치 및 능동소음제어 귀보호구(headset) 등을 상품화하였고 최근에는 항공기, 우주선 등의 능동소음제어 기술개발을 적극적으로 추진하고 있다. 국내에서도 최근 활발한 연구가 진행되어 공조덕트용 능동소음장치가 상품화되었고 자동차, 가전 및 중공업 업계에서 이를 상품화하고자 하는 시도가 증가하고 있다.

이 기술은 건축분야에서도 금후 공조덕트의 능동소음제어장치 이외에 기계실과 제어실 등의 인접실간 소음제어와 건물실내의 음장조절 및 방음벽 등에 응용하는 연구가 진행되고 있다.

이 글에서는 구체적인 능동소음 제어기술은 생략하고 이

기술의 기본원리와 주요 적용 사례를 설명하고 앞으로의 전망에 대해서 알아보려고 한다.

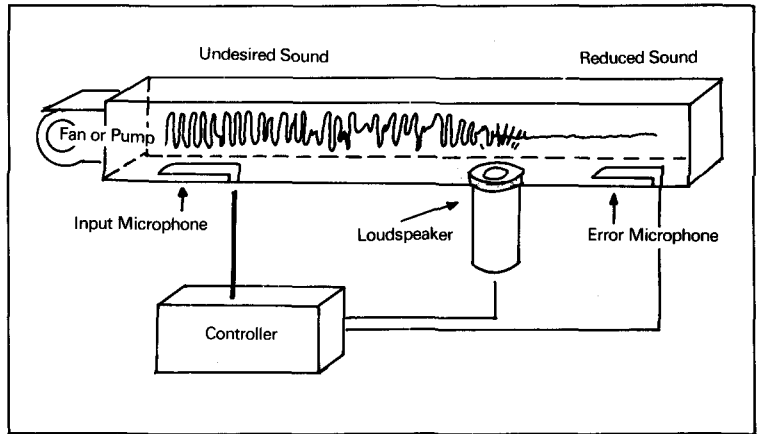
2. 능동소음제어기술의 원리

능동소음제어기술의 기본 원리는 알고리즘(algorithm)에 따라 피드포워드(feedforward)기법과 피드백(feedback)기법으로 크게 구분할 수 있다.

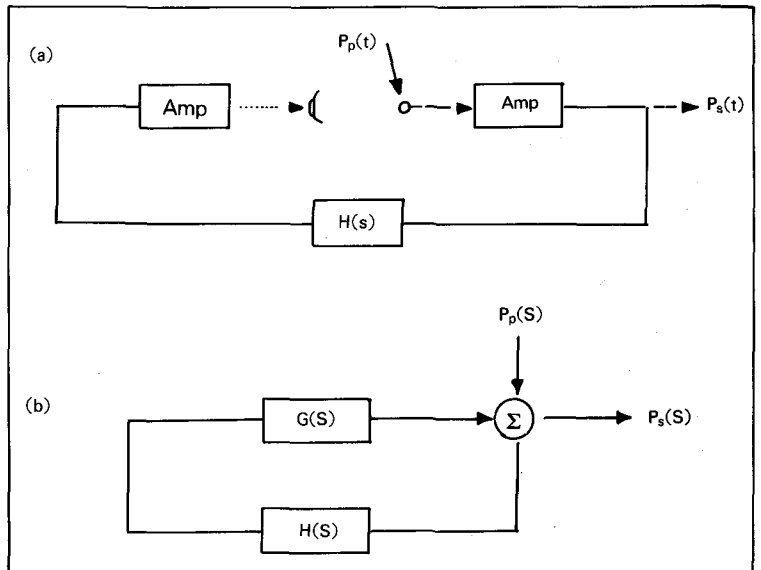
〈그림 1〉은 피드포워드 기법을 이용한 공조덕트용 능동소음제어장치의 기본구성도로서 탐지마이크로폰(Input Microphone), 에러마이크로폰(Error Microphone), 제어스피커(Loud Speaker)와 제어기(Controller)로 구성되어 있음을 보이고 있으며 구체적인 형상은 〈그림 2〉와 같다.



〈그림 2〉공조덕트용 능동소음제어장치의 구성요소 (제어기, 라우드스피커, 마이크로폰 등)



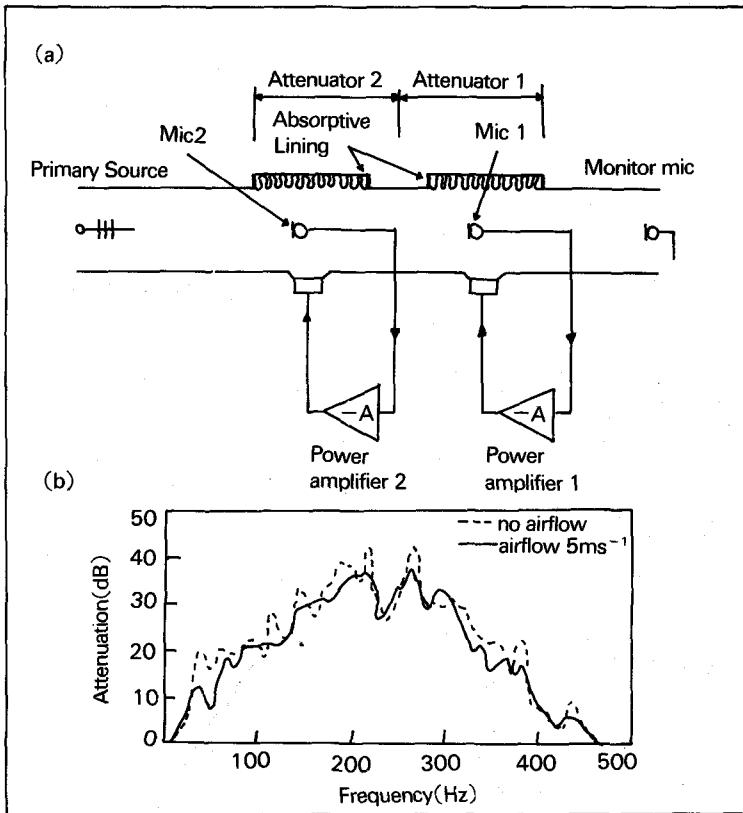
〈그림 1〉피드포워드기법을 이용한 공조덕트용 능동소음제어장치의 기본구성도



〈그림 3〉피드백 능동소음제어장치의 기본구성도 (a) 및 작동원리(b)

피드포워드 능동소음제어 기법은 소음원에서 발생한 소음을 소음원 근처에서 탐지마이크로폰을 이용하여 측정하고 탐지된 소음이 탐지 마이크로폰으로부터 제어 스피커 설치 위치까지 진행되는 동안 능동소음제어기에서 원래의

소음과 위상차가 180도인 신호를 공급하여 소음을 상쇄시키는 기술이다. 이 경우 탐지마이크로폰에는 소음원에서의 발생소음뿐만 아니라 제어 스피커에서 방사된 음파도 동시에 측정되어 제어효과를 감소시키고 제어시스템을 불안



〈그림 4〉두개의 피드백 시스템을 이용한 공조덕트용 능동소음제어장치의 구성 (a) 및 소음감쇄효과 (b)

하게 하는데 이를 음향 피드백(Acoustic Feedback)현상이라고 한다. 이를 감소시키는 기술개발이 능동소음제어기술의 핵심이며 현재까지는 지향성 스피커 배열이나 음향 피드백 보상 필터 및 두 개의 탐지 마이크로폰을 이용하는 방법들이 이용되고 있다. 이 기법은 현재 공조덕트용 소음 제어 및 자동차, 항공기 분야 등에서의 능동소음제어에 널리 이용되고 있다.

〈그림 3〉은 피드백 능동소

음제어장치의 기본구성도 및 작동원리를 나타낸 것이다. 피드백 능동소음제어기법은 제어하고자 하는 소음에 대한 사전정보없이 마이크로폰에서 측정된 소음을 180도 위상 변화시켜 제어스피커에 공급하여 마이크로폰 주위에서의 음압을 최소화시키는 기술로서 아날로그회로로 구현할 수 있어 피드포워드 기법에 비해 경제적이고 작게 만들 수 있는 장점이 있다. 이 기법의 핵심은 제어기(Compensator)의

최적설계기술이며 마이크로폰을 가능한 제어스피커에 가깝게 위치시켜 음파전달시간에 의한 위상변화를 최소화시키는 것이 바람직하다. 이 기법은 Nelson과 Hong 등에 의해 덕트소음제어에 적용되었으며 Wheeler와 Carne 등에 의해 능동소음제어 귀보호구 등의 개발에 이용되었다.

3. 능동소음제어기술현황과 전망

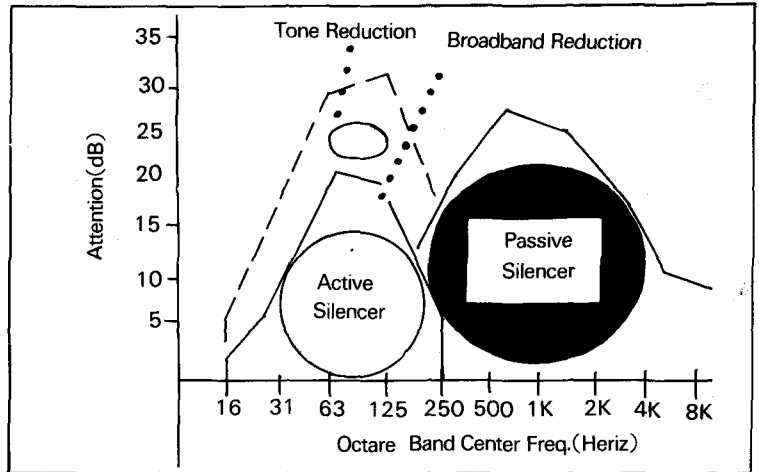
1) 건축분야

건축분야에서는 능동소음제어기술 중 최초로 상품화된 공조덕트 소음제어장치를 비롯하여 인접실간의 저주파소음 능동제어, 실내의 음장조절, 방음벽에의 응용방안 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

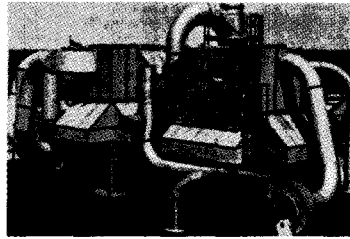
〈그림 4〉는 87년 Hong 등이 두개의 피드백 시스템을 이용하여 제작한 공조덕트용 능동소음제어장치의 구성도와 이 장치를 단면이 450mm×600mm이고 풍속이 0m/s, 5m/s인 건물용 덕트에서 실험한 덕트 소음감쇄 결과치를 나타낸 것이다. 400Hz이하의 주파수 대역에서 최대 30~35dB의 높은 감쇄가 있음을 보이고 있다. 그러나 현재까지 개발된 대부분의 공조덕트용 능동소음제

어장치는 가격이 현재로서는 비싸고 평면파의 제어만이 가능하며 특정 저주파수 대역만의 감쇄효과 등 기술적인 한계를 갖고 있다. 즉, 평면파만의 제어에 의하여 단면적이 큰 덕트에서는 제어가능 주파수 대역이 좁아져 바람직한 효과를 얻을 수 없으며 단면적이 적은 덕트에서는 제어가능한 주파수 대역은 넓어지나 덕트내 풍속이 상대적으로 높아져서 기류의 난류현상으로 말미암아 바람직한 효과를 얻을 수 없게 되는 경우가 많다. <그림 5>는 능동소음제어용 덕트소음기와 흡음재를 사용하는 수동소음제어용 덕트소음기의 소음저감효과를 나타낸 것이다. 능동소음제어기의 소음감쇄효과는 주로 400Hz 이하의 저주파수 대역이고 흡음형 수동소음제어기는 중, 고주파수대역에서 소음저감효과가 현저히 나타나고 있음을 알 수 있다.

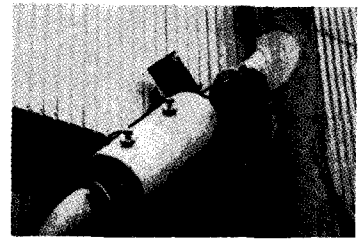
따라서 금후 공조덕트의 소음제어를 위해서는 풍속영향 제거기술 및 고차 모드 제어기술에 대한 지속적인 능동소음 제어기술의 연구와 함께 흡음형 소음기(Silencer)를 사용하는 종래의 수동제어기술이 공조적으로 활용되는 것이 절대적으로 필요하다고 생각



<그림 5> 공조덕트용 능동소음제어 기와 흡음형 수동소음 제어기의 소음 감쇄특성



<그림 6> 팬에 설치된 능동소음제어 장치

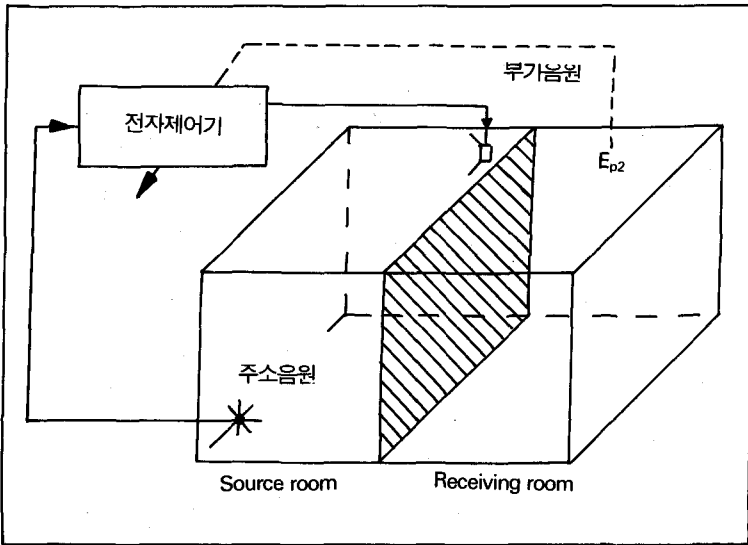


<그림 7> 펌프에 설치된 능동소음장치

된다. <그림 6>과 <그림 7>은 팬과 펌프의 소음원에 의한 덕트소음제어용 능동소음장치 설치현황을 나타낸 것이다.

<그림 8>은 인접실간 칸막이벽이나 창문을 통해서 전달되는 소음을 능동적으로 제어하는 장치구성도이다. 음원실이나 수음실에 마이크로폰과 부가음원장치인 스피커를 설치하여 제어기를 통해 각실의 음장상태를 조절하고 전달되는 소음을 음원실 및 수음실

에서 감쇄시키는 방법을 나타내고 있다. 이 연구는 금후 기계실이나 공조실 등과 같이 평상시에는 재실자가 거의 상주하고 있지 않는 음원실내의 소음을 제어하거나 이를 능동진동제어기술과 연계시킨다면 경량 칸막이벽체의 저주파대역 음원의 차음성능 문제를 해결할 수 있는 획기적인 기술로서 그 전망이 기대된다. 아울러 이 기술을 더욱 발전시킨다면 오디오리움이나 각



〈그림 8〉 인접실간 능동소음제어장치 개념도

중 홀의 음장조절용으로도 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 〈그림 9〉는 능동진동제어 기술을 이용하여 칸막이 구조체의 차음성능 효과를 높이는 시스템의 기본 개념도와 차음 효과를 나타낸 것이다. 구조체의 공진주파수인 특정주파수에서의 차음성능 효과가 현저히 좋음을 보이고 있어서 금후 건축분야에서 경량 칸막이 벽체의 차음성능 문제를 해결하는 데 많은 응용이 될 것으로 기대된다.

〈그림 10〉의 (a)는 능동소음기술을 이용한 방음벽의 기본시스템을 나타낸 것으로서 기존의 방음벽 상단에 능동소음 제어장치를 설치하여 저주파수 대역에서의 소음 감쇄효과를 높이려는 시도를 하였다.

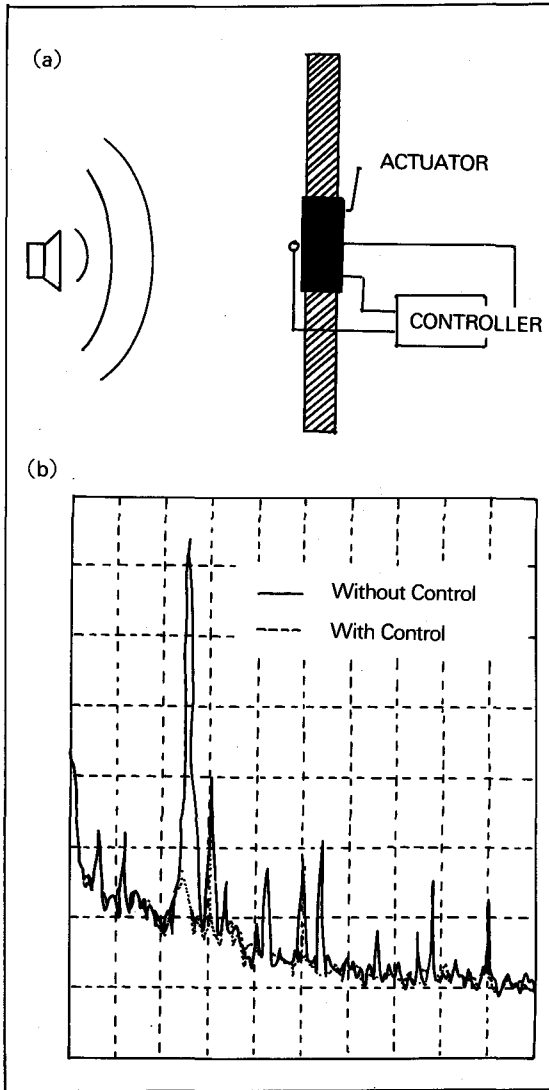
〈그림 10〉의 (b)와(c)는 시스템을 가동시켰을 때와 중단시켰을 때의 250Hz에서의 효과를 음향 인텐시티 벡터량으로 표시한 것이다. 소음원의 방향을 돌려주고 특정 저주파수 대역에서 약간의 소음저감효과가 있으나 효율적인 소음감쇄방법, 이동 음원시스템의 조절문제, 유체의 난류(turbulence)효과 해결 등 실용화를 위해서는 많은 어려움이 따르고 있다.

2) 자동차, 항공기 및 가전 기기 분야

자동차나 항공기 분야에서는 수동적인 종래의 소음제어 방법으로는 효과적인 저주파 소음의 제어가 어렵고 중량을 최소한으로 줄여야 하는 문제

의 발생 등으로 인하여 이를 해결하기 위한 방안으로서 능동소음제어기술에 대한 연구가 매우 활성화되어 왔다. 90년도에는 미국의 Noise Control Technology사가 능동소음 제어방식의 자동차 배기용 머플러를 개발하여 상품화하였으며 91년도에는 일본의 니산 자동차회사에서 능동소음제어 자동차를 개발하였다. 이 분야에 대한 연구는 유수의 세계적인 자동차 회사들을 중심으로 연구가 활발히 진행되고 있으며 엔진소음제어 이외에도 도로와 타이어의 마찰소음의 능동제어에 대한 연구가 시작 단계에 있고 국내에서도 각 자동차 회사에서 이 기술 개발에 큰 관심을 보이고 있다.

〈그림 11〉은 자동차내 저주파의 엔진소음을 감쇄하기 위해 설치한 능동소음 제어장치를 나타낸 것이며 이와 비슷한 장치를 설치했을 때 30Hz에서 자동차내에서 능동소음 장치 작동 전후의 효과를 3차원의 그래픽으로 나타낸 것이다. 장치를 작동시킴으로써 30Hz에서 현저한 소음 감쇄효과가 발생하고 있음을 보이고 있다. 자동차 내부소음 제어에 대한 연구결과는 금후 공장, 발전소, 방송국, 공연장 등 소



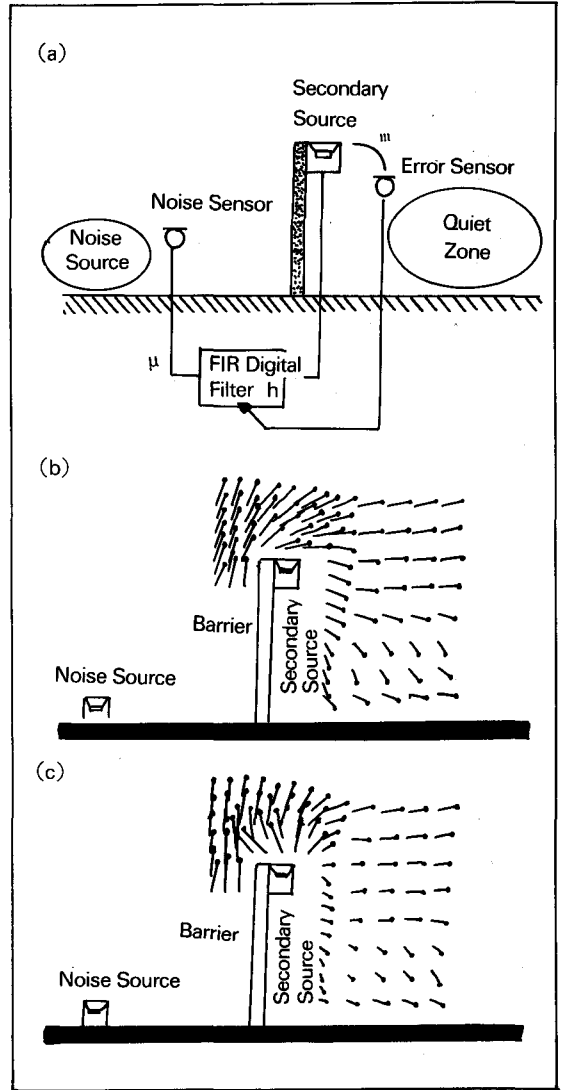
〈그림 9〉구조체의 능동진동제어장치 구성도(a) 및 구조체의 차음효과(b)

음이 많거나 조용함을 요구하는 공간의 소음제어에도 그 기술을 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

〈그림 12〉는 1953년도에 Olson과 May에 의해서 제안된 전자 흡음장치의 기본 개념도에 대한 스케치로서 비록

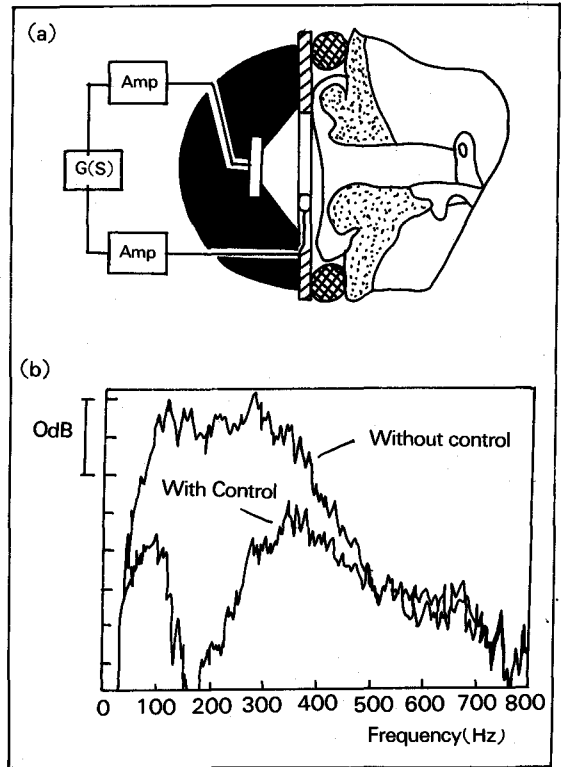
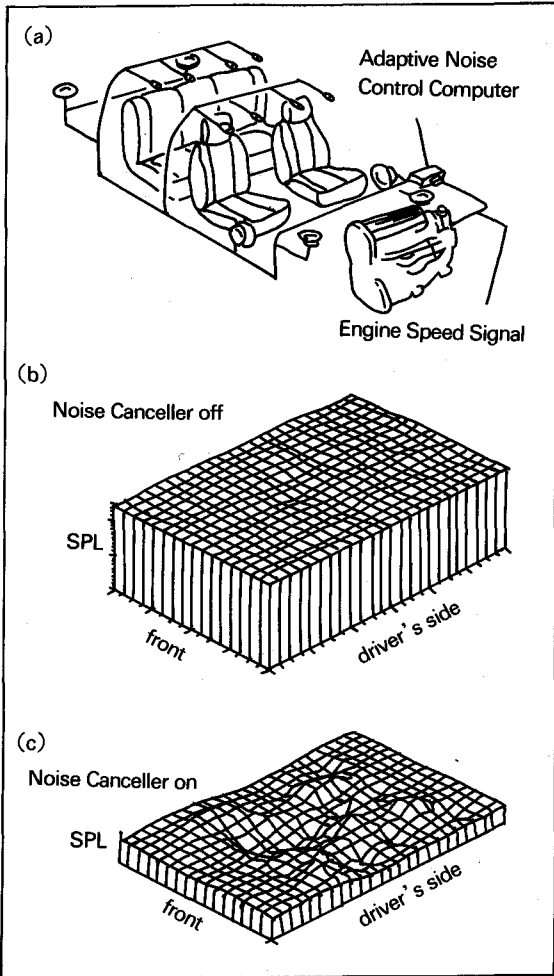
이 기술에 대한 연구가 완성되지는 못했지만 자동차나 항공기내 승객의 머리 근처에서 소음을 능동적으로 감쇄시키고자 했던 재미있는 아이디어로 평가받고 있다.

89년도에는 미구의 오디오 전문업체인 Bose 회사에서 비



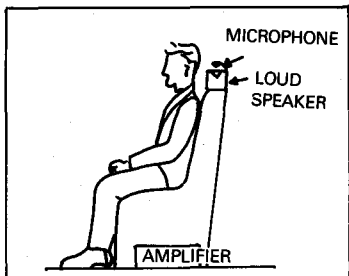
〈그림 10〉방음벽에 응용한 능동소음제어장치 구성도(a) 및 시스템작동 전, 후의 감쇄효과(b, c)

행기 조종사를 위한 능동소음 제어용 귀보호구를 개발하였다. 〈그림 13〉은 87년 Carme에 의해 제안된 귀보호구의 능동소음 제어장치 개념도와 작동 전후의 효과를 보이고 있다. 50Hz~400Hz의 주파수 대역에서 소음감쇄 효과가 크게



〈그림 13〉 Cramel이 제안한 귀 보호구의 능동소음 제어 장치 개념도 (a) 및 시스템 작동 전, 후의 감쇄효과 (b)

〈그림 11〉 자동차내부 능동소음제어 장치 구성도(a) 및 유사한 장치 작동 전, 후의 감쇄효과(b,c)



〈그림 12〉 Olson과 May가 제안한 자동차 및 항공기 내부전자흡음장치 개념도

나타나고 있음을 알 수 있다.

가전제품 분야에서도 냉장

고, 세탁기 등 가전기기에서 나오는 저주파 소음을 감소시키기 위하여 91년 일본 도시바에서 이에 관한 연구를 시행하여 시제품을 제작하였으며 국내외 가전제품 제작업체들도 이 기술의 도입을 적극 추진하고 있으나 아직은 이 분야의 연구가 초기단계이고 기술적인 어려움이 있다. 앞으로 연구가 계속되면 보다 좋은 결과를 보일 수 있을 것으로

기대된다.

4. 맺음말

최근 음환경 분야에서 신기술로서 각광을 받고 있는 능동소음제어기술에 대한 기본 원리와 연구현황 및 제어기술은 최근 덕트내에서의 소음제어, 공장, 기계실, 사무실, 홀 등 3차원 공간에서의 소음제어, 방음벽의 설계, 자동차 및 항공기내의 소음제어, 세탁기,

냉장고 등 가전제품의 소음제어에 이르기까지 거의 모든 분야에서 상품화와 실용화추구를 목적으로 응용되고 있다. 이에 대한 연구는 미국의 펜실베니아 주립대학 음향연구소(Applied Research Lab : ARL)와 Bell Lab., 영국의 Southampton대학 음향연구소(Institute of sound and Vibration Research : ISVR), 일본의 Tohoku대학 등을 중심으로 활발히 진행되고 있으며 국내에서도 공조덕트와 자동차 분야를 중심으로 연구가 활성화되어 가고 있다. 현재로서는 비용과 기술적인 측면에서 어려움이 있지만 디지털신호처리기술과 전자기술의 급격한 발전과 더불어 빠른 시간내에 여러 분야에서 이 기술의 실용화가 가능할 것으로 기대된다. 특히 건축분야에서도 이 기술의 도입이 필연적일 것으로 예측된다.

능동소음제어기술은 새로운 진동제어기술인 능동진동제어기술과 함께 매우 효율적인 차세대의 유망한 소음제어 기술이고 연구 테마임에는 분명하지만 실질적으로 물리적인 한계를 갖고 있기 때문에 이 기술은 종래의 수동제어기술과 접목이 되었을 때만이 상호 보완적인 작용을 하면서

실용성이 높아진다는 것을 반드시 상기해야 할 것이다. 이러한 능동소음제어기술의 가능성과 한계를 이해하고 지속적인 연구개발이 이루어진다면 건축을 비롯한 모든 분야에서 반드시 좋은 결과물이 얻어질 것으로 확신한다.

A. Poole, Active Noise Reduction Systems in Ducts, The American Society of Mechanical Engineers, 1984.

* 10. D.A. Harris, Noise Control Manual, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.

참고문헌

1. P. A. Nelson and S.J. Elliott, Active Control of Sound, Academic Press, San Diego, 1992.
2. Shiro Ise, Hiroo Yano and Hideki Tachibana, Application of Active Control to Noise Barrier, International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, Tokyo, Japan, April, 1991.
3. D. Gucking, Active Noise Control Achievements, Problems and Perspectives, International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, Tokyo Japan, April, 1991.
4. Jiri Tichy and Robert Deuel, Active Reduction of Engine Noise in Automobile Cabins, Spring Workshop, Penn State University, 1992.
5. Jiri Tichy and T. Leishman, Active Control of Sound Transmission, Spring Workshop, Penn State University, April, 1992.
6. 이종식, 공조덕트용 능동소음제어의 응용, 93소음계측 및 제어 기술 강습회, 한국소음진동공학회, 1993.
7. 남현도, 능동소음제어기법을 이용한 자동차 내부소음제어, 한국음향학회지, Vol 12, No. 3, 1993.
8. 정천수, 가전기기의 소음제어 동향, 한국음향학회지, Vol.12, No. 3, 1993.
9. Jiri Tichy, G. E. Warnaka and L