특집

능동 소음 제어 기술의 현황 및 추이

남 현 도*, 정 찬 수**
(* 단국대 공대 전기공학과 교수, ** 숭실대 공대 전기공학과 교수)

1. 서 론

공업화 과정에서 생활 주변의 소음이 증가되는 추세이며 우리의 생활 환경을 편리하게 하기 위한 자동차, 냉장고 혹은 공조 시스템 까지도 소음 원이 되어 오히려 생활 환경을 나쁘게 하는 요인이 되기도 한다.

소음에 대한 연구는 소음을 소음 원으로부터 어떻게 하면 적게 방출할 수 있는가 하는 방법에 대한 연구와 흡음재 및 소음방지에 대한 연구 등 기계, 건축, 재료 공학적인 연구와 능동 소음 제어 (Active Noise Control; ANC) 등 전기, 전자 공학적인 연구로 분류할 수 있다.

수동적인 방법은 흡음재를 사용하는 방법으로 500 Hz가 넘는 고주파 소음에 대해서는 좋은 효과를 보이나 저주파 소음에 대해서는 흡음재의 크기가 커져야 하므로 비용을 증가시키고, 비행기나 자동차 등 중량을 주려야 하는 곳에서는 사용이 어려운 문제점이 있다. 이에 2차 source를 이용한 능동 소음 제어에 관한 연구는 70년대 이후 미국, 일본, 유럽 등지에서 활발히 이루어지고 있는데 회전기, 변압기, 자동차 엔진 등에서 발생하는 소음과 같은 저주파의 소음을 감쇠시키는데 있어서 종래의 수동적 방법보다 탁월한 효과를 보여주고 있다[1,2].

능동 소음 제어는 HVAC(central Heating, Ventilation and Air Conditioning) 시스템에서 사용되는 환풍 팬(fan)과 자동차 엔진 등과 같은 회전기에 의한 소음과 같이 500Hz 이하의 저주파의 소음을 감쇠시키는데 있어서 종래의 수동적 방법보다 탁월한 효과를 보여주고 있다. 효과적인 소음의 상쇄를 위해서는 1차 소음 source로부터 발생한 소음과 2차 source에서 발생한 2차음이 반주기의 차이를 가져야 한다. 그러므로 신호의 주파수와 크기 뿐 아니라 위상도 다루어야 하므로 여러 가지 어려운 문제가 생기게 된다.

능동 소음 제어의 개념은 1930년대 Lueg[3]에 의해 처음 발표되었는데 전자 소자의 미 발달로 인해 별로 주목을 받지 못하다가 최근에 반도체 소자의 발달과 디지털 신호처리(Digital Signal Processing: DSP) 기술의 발달로 ANC 기술이 비약적인 발전을 이룩하게 되었다.

능동 소음 제어는 소음 파를 평면파(plane wave)로 취급할 수 있는 1차원 음장에서의 소음 제어 문제와 평면파로 취급할 수 없는 3차원 공간에서의 소음 제어 문제로 나눌 수 있는데, 지금까지는 실시간 제어의 어려움 때문에 덕트, 엔진의 배기관(exhaust) 등 1차원 음장에서의 소음제어[4-6]가 주로 연구되어 왔으나 최근에는 DSP 기술의 발달로 자동차와 비행기의 내부에서와 같이 3차원 음향공간에서의 능동소음제어 문제[7-10]와 소음 신호 파의 특성 및 온도, 습도 등 주변환경이 변할 때도 잘 적응하는 1차원 및 3차원 음장에서의 적응 능동 소음 제어 기법에 대한 연구가 일본의 Tohoku University, 미국의 Bell Lab., Nelson Industry 및 Noise Cancellation Technologies (NCT), 영국의 Southampton 대학의 Institute of Sound and Vibration Research(ISVR) 등에서 활발히 연구되고 있으며, 이를 이용한 제품들로 1990년에는 Toshiba에서 냉장고가 시판되었고, 1991년에는 Nissan에서 자동차가 시판되기에 이르렀다.

본고에서는 능동 소음 제어 기법의 기본 개념을 소개하고, 1차원 음장에서의 능동 소음 제어에 관한 응용 예로 공조 시스템 및 엔진의 배기관(exhaust)에서의 능동 소음 제어 시스템과 3차원 공간에서의 응용 예로 자동차 내부에서의 능동 소음 제어에 관한 최근의 연구 결과를 소개하고, 현재의 연구 동향과 앞으로의 전망을 논하고자 한다.

2. 능동 소음 제어 알고리즘

능동 소음 제어 기법은 귀환 제어 기법(feedback control)과 전향 제어 기법(feedforward control)으로 나눌 수 있는데, 귀환 제어 기법은 소음 원에서 발생한 소음을 포함한 모든 음향을 제거하므로 헤드폰 등에 주로 응용되고 전향 제어 기법은 원하지 않는 소음 성분만 선택적으로 제거할 수 있으므로 공조 시스템에서의 소음 제어 및 자동차 내부

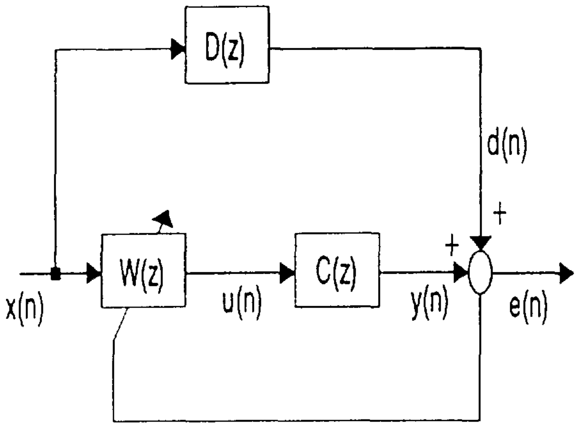


그림 1. 능동 소음 제어 시스템의 블록 선도

소음 제어 등에 많이 사용되고 있다.

그림 1은 전향 제어 기법을 이용한 능동 소음 제어 시스템의 블록 선도이다.

그림 1에서 W(z)는 제어 필터이고 C(z)는 스피커 입력과 마이크로폰의 출력 사이의 전달함수(2차 경로 전달함수)이며 D(z)는 1차 소음 원의 전달 경로의 전달함수(1차 경로 전달함수)이다.

W(z)는 FIR 혹은 IIR 필터구조가 모두 사용 될 수 있으나 음향궤환이 존재할 때나 이상적인 필터의 극점이 단위 원 근처에 있게 되면 이론적으로 FIR필터의 차수가 매우 커져야 하므로 IIR필터가 효과적이다[4].

e(n)을 최소로 만들기 위한 W(z)는 여러 가지 적응 필터 알고리즘들을 이용하여 추정할 수 있으나 LMS (least mean square) 알고리즘이 가장 많이 사용되고 있다. 또한 C(z)가 주어져야 filtered_x LMS 알고리즘을 적용하여 W(z)를 구할 수 있으므로 소음시스템이 시변이거나 C(z)가 미지인 경우에는 C(z)를 실시간 추정하여야 한다[4].

덕트 등 일차원 음장에서의 소음 제어 문제에는 C(z)를 실시간 추정한 후 W(z)를 계산하는 연속 추정 기법을 적용할 수 있으나, 3차원 공간의 소음제어에서는 C(z)를 실시간 추정할 경우 지나치게 계산 량이 많아져 하드웨어 실현이 어렵다. 기존의 연구에서는 C(z)를 off line으로 미리 추정하거나, 좁은 공간에서의 능동 소음 제어의 경우에는 1 로 두었으나 실시간 추정을 위한 새로운 기법들이 연구되고 있다.

3. 일차원 음장에서의 능동 소음 제어

3.1 공조 시스템에서의 능동 소음 제어

1936년 미국의 Paul Lueg가 능동 소음 제어에 관한 특허를 출원한 이후 공조 시스템에 능동 소음 제어 기법을 적용하는 연구가 많이 시도되었다. 특히 80 년대 이후 디지털 신호 처리 기술과 반도체 소자 기술의 발달에 힘입어 실용화에 큰 진전이 있어, 미국의 NCT, Nelson Industry, Digisonix, 일본의 히타치 플랜트 건설, Mitsubishi 중공업, 한국의 ANC Technologies 등의 회사에서 능동 소음 제어 기술을 이용한 공조 시스템을 발표하고 있다.

3.1.1 적응 제어 알고리즘

전 장에서 언급한 바와 같이 적응 필터 W(z)를 계산하려면 C(z)의 추정이 필요하므로 C(z)를 실시간 추정한 후 W(z)를 계산하는 연속 추정 기법(그림 2)이 Eriksson[4]에 의해 제안되어 대부분의 공조 시스템에서 사용되고 있으나 이 방법은 실시간 적응 필터의 구현에 많은 계산 양이 소요되므로 multi-pole system에는 사용이 곤란하므로, 마이크로 프로세서의 계산 부담을 줄이고 시스템 전체의 강인성을 보강하는 방법으로 다중 모델 적응 제어 (Multiple Model Adaptive Control; MMAC) 기법[5]이 제안되었다.

그림 3은 MMAC를 이용한 능동 소음 제어 기법의 블록 선도이다. 미리 선정된 2차 경로 전달 함수 모델 C_i 들 중에서 residual test를 이용하여 실제 2차 경로 전달 함수에

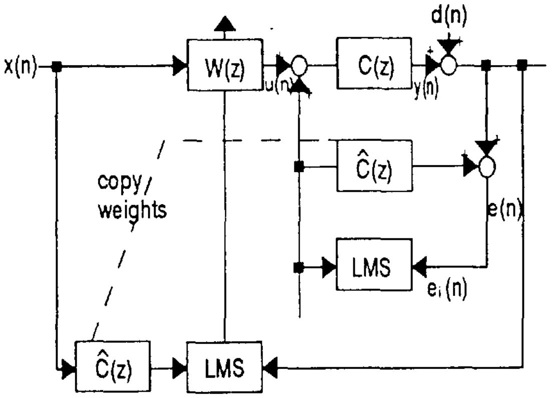


그림 2. 연속 추정 기법

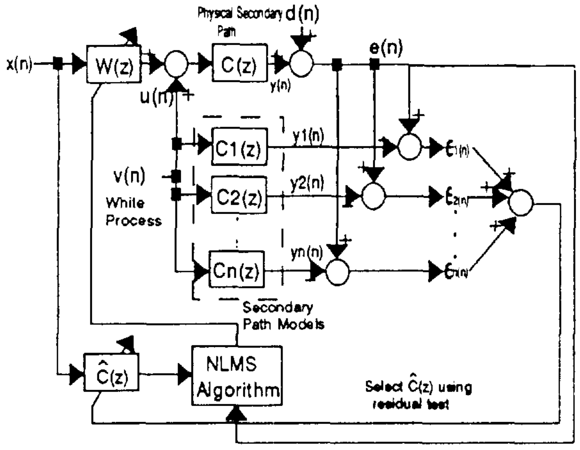


그림 3. 다중 모델 적응 제어 기법

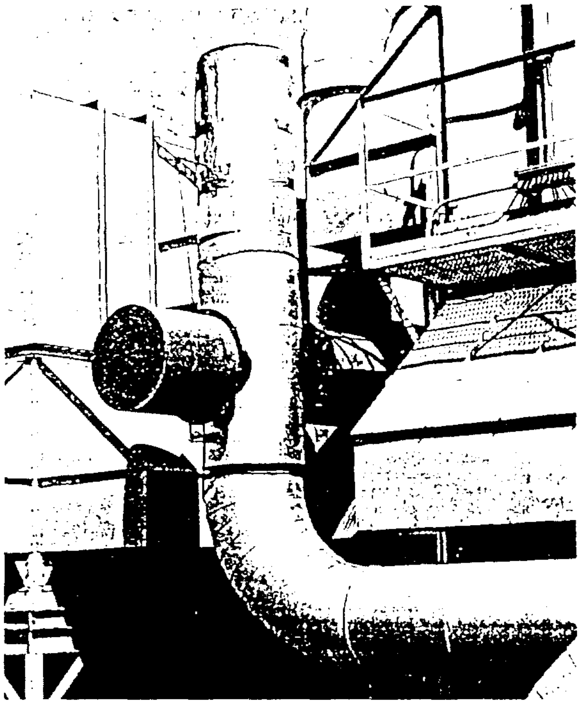


그림 4. Nelson/Digisonix dX-30 시스템의 외관

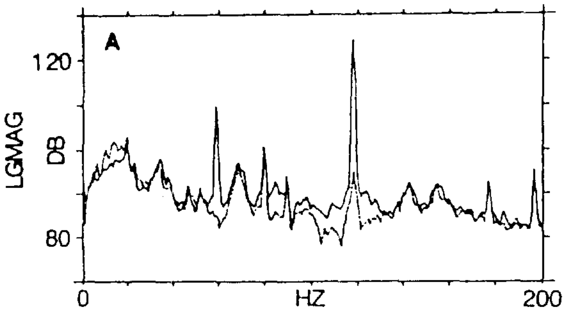
가장 가까운 것을 선정하게 함으로써 C(z)를 추정하는데 필요한 계산 양을 줄일 수 있고, 미리 안정된 모델을 선정함으로 해서 전체 시스템의 강인성을 증가시킬 수 있으나, 2차 경로 전달 함수 모델을 잘 선정하기 위해서는 전체 시스템에 관한 정보를 사전에 알아야 하는 약점이 있다.

3.1.2 적용례

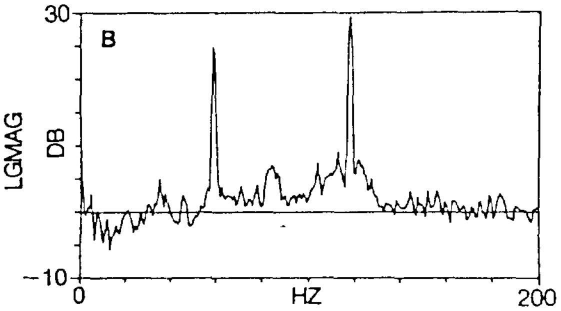
공조 시스템에 능동 소음 제어 기법을 적용한 예로서 Nelson Industries에서 개발한 Nelson/Digisonix dX-30 Digital Sound Controller를 소개한다[4].

설치시 전체적인 외관은 그림 4와 같으며 적응 필터 설계를 위한 적응 알고리즘으로는 연속 추정 알고리즘을 사용했다. 적응 필터로는 음향 궤환의 영향을 상쇄시키기 위하여 IIR 필터를 사용했으며, Texas Instruments 사의 digital signal processor TMS32010을 이용하여 이를 실현했다.

적응 필터를 사용하였으므로 적용하는 곳에 따른 data calibration이나 parameter tuning이 필요 없으며 소음 신호의 특성이 변할 때도 잘 적응하는 특성을 가지고 있다. dX-30 시스템을 실제 적용하여 실험한 결과 flow가 없을 때, pure tone에 대해서는 50 dB, random noise의 경우는 30-35 dB의 소음 감쇠를 얻었다. 그림 4와 같이 실제 공장에 설치하여 운전을 한 경우에는 그림 5에서 보듯이 적용 공장에서 가장 문제가 되는 59Hz와 118Hz의 소음에 대해 각각 25 dB 및 30dB의 소음 감쇠를 얻었다.



(A) Sound pressure spectra, Solid line : ANC on, Dotted line : ANC off



(B) Noise reduction with dX-30

그림 5. dX-30 시스템의 소음 감쇠 효과

3.2 엔진 배기관에서의 능동 소음 제어

엔진 배기관 등의 소음은 대부분이 저주파이므로 능동 소음 기법을 쓰면 좋은 효과를 얻을 수 있다. 지금까지의 연구 결과에 따르면 자동차의 muffler를 active muffler로 대체할 경우 15 dB 정도의 소음 감쇠와 고속도로에서는 2-3 % 의 연료절약과 시내 주행에서는 5 % 의 연료가 절약되는 효과를 얻은 것으로 발표되었다[6].

표 1 에 미국의 Noise Cancellation Technologies, Inc. 에서 Canada의 Manitoba Hydro 및 BC Hydro의 대형 디젤 엔

표 1. Active Muffler와 Passive Muffler의 비교

ACTIVE INDUSTRIAL SILENCER REDUCTION OF PRIME POWER EXHAUST NOISE				
	Overall Exhaust Noise Reduction (dB)	Tonal Exhaust Noise Reduction (dB)	Fuel Savings (gallons/year)	CO2 Emissions Reduction (tons/year)
Manitoba Hydro 425 kw generator	12	17	5,256	61
BC Hydro 900 kw generator	7.5	20	9,894	270

표 2. B.C. Hydro(900kW Prime Power Diesel Generating Unit)에 NCT의 Active Muffler를 적용시킨 결과

Average amount of fuel used per year	369,726 gallons Imp.
Price of fuel (including shipping & storage	$1.33 CAD/gallon
Average year fuel costs	$491,736 CAD
Price of muffler (not installed)	$12,000 CAD
ANC average fuel savings	2.23 %
Average payback period for B.C. Hydro	13 months
Five year B.C. Hydro fuel savings	$54,829 CAD

CAD : Canada Dollar

진의 배기관에 ANC 기법을 적용한 결과를 보였다. 표 1 에서 보듯이 10 dB 내외의 overall noise reduction 및 17-20 dB의 tonal noise reduction을 얻을 수 있었으며 표 2 에서 보듯이 2% 내외의 에너지 절약 효과를 얻어 13 개월 만에 설치 비를 회수할 수 있었다. 뿐만 아니라 CO2 배출도 줄일 수 있어 환경 개선에도 크게 이바지할 수 있으리라 기대된다.

4.자동차 내부의 소음제어

1990년에 들어 환경문제가 심각해 짐에 따라 배기 가스의 양을 줄이기 위해 연료를 작게 소모하는 차에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 대한 해결책으로 차의 무게를 줄이고 엔진의 효율을 증가 시키는 연구가 진행되고 있는데 이와 같은 접근은 필연적으로 차량의 소음 및 진동에 나쁜 영향을 주고 있다. 한편 자동차 소비자들을 좀더 편안하고 조용한 차를 요구하고 있어 이와 같은 두 가지 문제를 동시에 해결해 줄 수 있는 방법으로 능동제어 기법이 각광을 받고 있다[8-10].

현재 가장 많이 사용되고 있는 4기통 엔진은 1회전당 두 번의 폭발 행정이 있으므로 초당 엔진 회전수의 2배의 주파수에 해당하는 소음 즉 2차 하모닉 성분의 소음이 주로 발생하게된다. 보통 차량엔진의 사용범위를 900 - 6000rpm 정도라고 할 때 진동소음의 주성분은 30Hz - 200Hz가 되어 차량내부의 음향모드의 주파수대역인 80 - 250Hz와 겹치게된다. 승용차의 경우 음향모드는 위 주파수대역에서 두개 혹은 세개가 존재하며 이에 따라 차량의 운행중 엔진이 음향모드를 가진하게 되어 이것이 차량소음의 가장 큰 성분인 booming소음이다.

Booming소음은 대부분의 4기통 중 소형차에서 발생하고 있는데 앞 좌석에서는 4000rpm 부근에서 뒤 좌석에서는 2000 - 3000rpm 부근에서 특히 문제가 된다. 또 booming 소음은 같은 종류의 차에서도 차마다 크기가 매우 다양해서 12dB 정도까지 차이가 나며 동일 차량에서도 날마다 변하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 기계적인 방법으로는 모든 차가 동시에 적용되는 해결책을 찾기가 매우 힘들며, 어떤 차에 소음을 줄이는 방법이 다른 차에서는 오히려 소음을 증가시키기도 한다. 자동차 내부의 승객의 귀의 위치에서 감지되는 소음은 여러 boundary source 에서 발생하는 소음의 벡터 합으로 나타난다. 이와 같은 벡터 합은 주변 소음 원들의 크기와 위상에 좌우되며 이것은 차량 구조물들의 구조적인 결합에 관계한다[8].

종래의 방법으로 이와 같은 소음을 줄이기 위해서는 소음 원의 수를 줄이는 방법을 생각할 수 있으나 이것은 frame의 변경을 어렵게 하고 비용을 증가 시킨다. 마이크로폰과 스피커를 사용하는 능동제어 기법은 엔진 속도의 변화나 차량의 음향특성의 변화에 빨리 적응할 수 있어 booming 소음 제어에 좋은 결과를 보여주고 있다. 차량소음은 이와 같은 엔진에서 발생하는 booming 소음 뿐 만이 아니라 타이어와 도로 표면의 마찰로 발생하는 도로소음도 큰 문제가 되고 있다. 도로소음은 엔진소음과 달리 도로 표면 조건의 변화가 완만하나 기준신호를 얻기가 힘들어 기준신호와 도로소음에 의한 차량내부 소음의 coherence의 크기가 소음제어기의 성능을 좌우하게 된다.

최근 Digital Signal Processor (DSP) 소자의 발달과 가격의 하락은 booming 소음과 도로소음의 제어를 가능하게 만들었다.

4.1. 엔진 소음 제어기

엔진에 의한 booming 소음을 제거하기 위해서는 엔진 점화 주기에 맞는 기준신호를 얻어 이에 맞는 제어신호를 스피커로 보내 소음을 상쇄시킨다. 기준신호는 tachometer로부터 얻을 수 있다. 엔진 소음의 변화가 없는 정상상태라면 look-up table 을 이용해서 제어가 가능 하겠지만 엔진 속도의 변화가 빈번한 일반적인 경우를 생각하면 적응필터의 도입이 필수적이다. 적응필터 알고리즘으로는 multi-channel LMS 알고리즘[7]이 많이 사용된다.

그림 6는 3차원 공간에 존재하는 소음으로 다중 채널을 이용한 능동 소음 제어 기법으로 제거하기 위한 블록 선도이다. 오차 마이크로폰들에서 측정한 오차 신호의 제곱의 합을 최소화하도록 multi- channel LMS 알고리즘을 이용하여 적응필터를 설계하고 이를 능동 소음 제어 시스템에

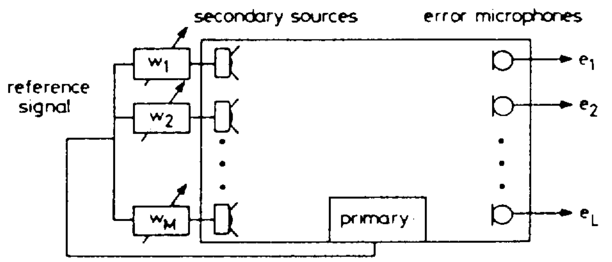


그림 6. 다중 채널 능동 소음 제어 시스템

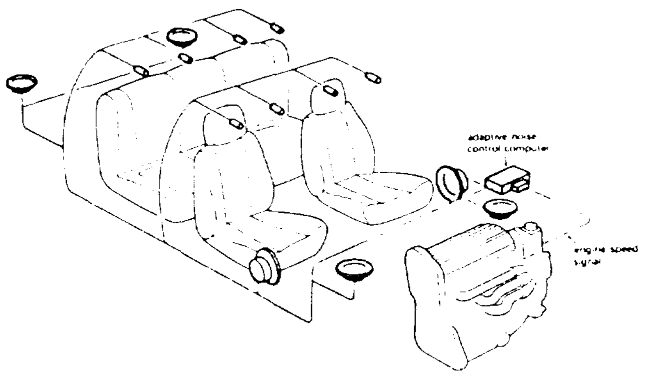


그림 7. 승용차에 적용된 6 x 8 ANC 제어기

적용하여 자동차 내부의 소음을 제거할 수 있다.

4.2 엔진 소음 제어기의 적용예

능동소음 제어 기법의 자동차에의 적용은 영국의 Lotus 사와 Southampton 대학의 ISVR 에서 최초로 실용화 하였고 그 후 많은 발전을 이룩하였다. 본 절에서는 ISVR 에서 개발해서 실제 자동차에 적용한 엔진 소음 제어 시스템을 살펴보기로 한다[8].

Multi-channel LMS 알고리즘을 사용했으며 적응 필터 실현을 위해 Texas Instrument 사의 TMS 320C25 Digital Signal Processor (DSP)를 사용했다. 500Hz 까지의 주파수를 제어 대상으로 했으며 AD 및 DA 변환기는 12bit 짜리를 사용했다.

그림 7에 세단형 승용차에 탑재된 ANC 제어기를 보여주고 있다. 좌우 dash board에 2개, 앞문에 1개씩 2개, 뒷 좌석 뒷부분 (rear palcel shelf)에 2개 모두 6개의 스피커를 사용 했으며 지붕의 lining에 8개의 마이크로폰을 설치했다. 즉 6x8 시스템을 사용했다. Tachometer에서 얻은 엔진 속도 신호를 기준 신호로 해서 컴퓨터에서 다중 채널 LMS 알고리즘을 이용해 적절한 신호를 각각의 스피커로 보내 소음을 제어했다.

상기 시스템을 1100cc, 4기통 엔진 승용차에 적용한 결과를 그림 8에 보였다. 앞, 뒤 좌석 모두 3000rpm 이상에서는 10 - 15dB 의 소음 감쇠를 보였고 뒷좌석에서는 2000 - 3000rpm 에서도 10dB 이상의 소음이 줄어들었다. 6x8 시스템을 사용해서 30Hz - 200Hz 의 소음을 줄일 수 있었으며 스피커는 4.5 inch 를 사용해서 30Hz 정도의 소음을 제어하는 것이 가능했다. 또 이 시스템은 car audio 등의 In-Car Entertainment (ICE) system에 결합하여 사용할 수 있으며 이때 ICE system의 성능에 영향을 주지 않는다. 전체적으로 1 watt 미만의 전력 밖에 소모하지 않아 매우 경제적이며 AD, DA 변환기 등을 싼 것을 사용하면 추가적인 비용도 크게 문제가 되지 않는다. 2인승 스포츠카나 밴 같은 경우에는 2 x 4 system 이면 가능할 것으로 생각되며 중형차인 경우도 4 x 8 system 을 사용하더라도 어느 정도 만족한 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다.

4.3. 능동 엔진 mounts

엔진에 의한 booming 소음의 추가적인 감쇠를 위해서는 engine mounts 의 진동을 제어해서 소음을 원천적으로 감소 시키는 것이 매우 효과적이다. 25Hz 이하의 저주파에서는 종

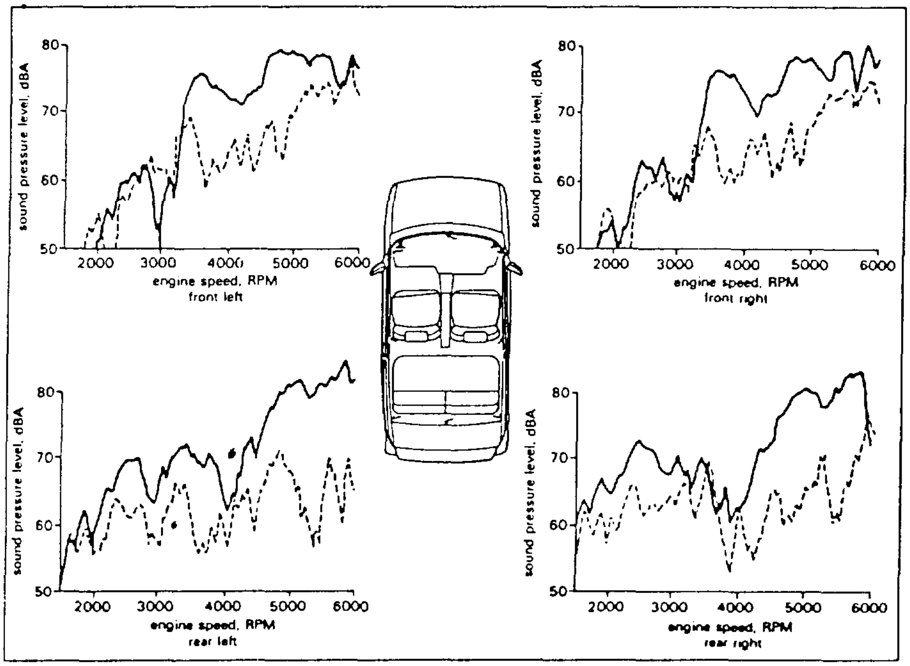


그림 8. ANC 제어기를 적용했을 때의 소음 감쇠효과

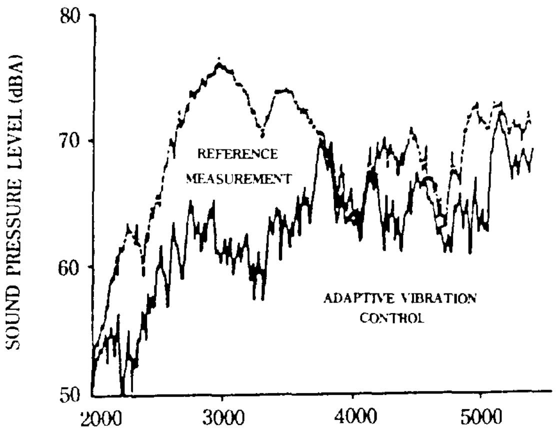


그림 9. Active mount를 사용한 경우의 소음감쇠

래의 hydramount로 동작하고 25Hz 이상의 주파수에서만 actuator에서 2차 force를 내보내 active mounts로 동작하도록 했다. multi-channel LMS 알고리즘을 사용해서 진동과 소음을 제어해서 그림 9에 보인 바와 같은 결과를 얻었다.

3000rpm 근처에서 매우 좋은 결과를 보였으며 4.2절의 system과 같이 사용할 경우 더욱 좋은 결과가 기대된다.

4.4 도로 소음 제어

도로 소음은 엔진 소음과 달리 거의 random noise에 가깝고 소음원이 하나가 아니기 때문에 여러개의 기준신호를 필요로 해서 제어기의 구성이 매우 어렵다. 기준 신호는 wheel hub나 boby의 진동을 측정해서 얻을 수 있는데 transducer의 최적위치 선정이 매우 어렵고 차종에 따라 최적 위치가 일정하지 않다. 도로소음 제어를 위한 제어 필터는 다중채널 LMS 알고리즘을 사용한 선형 제어 기법과 neural network 제어기를 사용한 비선형 제어 기법[10]이 소개되고 있는데 선형 제어 기법은 기준 신호의 coherence 문제와 time delay에 따른 성능 한계가 있어 좋은 결과를 기대하기 어렵다.

차체의 진동 sensor로 부터 측정된 기준 신호와 실제 차량 내부의 소음 신호사이의 coherence가 선형 제어기의 성능을 좌우하나 소음원으로 부터의 전달경로가 비선형이기 때문에 많은 경우 coherence가 30% 이하로 떨어져 제어기의 성능을 저하시킨다. 진동의 크기가 커질수록 coherence가 작아 지며 진동에 의한 소음의 전달경로가 비 선형이므로 비선형 제어 기법을 사용해야 좋은 결과를 얻을 수 있다.

Neural network을 사용하면 이와 같은 비 선형 성분을 modeling하면 coherence를 증가시킬 수 있다. Back propagation 알고리즘을 이용한 neural network 제어기의 유도가 참고문헌[10]에 나와 있으며 이를 이용한 실험 결과를 보면 100Hz 부근에서 6dB 정도의 소음이 감소했으며 32 point FIR 필터를 사용했을 때 보다 70Hz부근에서 다소 나은 결과를 보였다. 아직은 이부분의 연구가 시작 단계로 그렇게 좋은 결과를 보여주지 못했으나 비선형 제어기를 사용해서 coherence를 증가시키는 가능성을 보였으므로 앞으로 이에 대한 연구가 더 이루어져야 하리라 본다.

5. 결론 및 전망

앞으로의 세기는 환경 관련 기술이 산업화의 앞날을 좌우할 수 있는 핵심기술이 될 것이므로 능동 소음 제어에 관한 연구가 더욱 활발해지리라 예상된다.

공조 시스템에서의 능동 소음 제어 기술은 미국, 유럽 등지에서 상품화 된 지 10여 년이 지났고 국내에서도 수 년전에 ANC Technology 사에서 상품화를 하였으나, 아직은 가격이 비싸고 덕트의 크기나 소음 원의 특성 등에 따라 성능이 제한을 받고 있어 방송국, 공연장 등 소음에 민감한 곳에서 부분적으로 사용되고 있을 뿐이나 앞으로 프로세서의 가격이 싸지고 좀 더 강인성이 보장된 알고리즘을 개발하여 성능을 향상시킬 경우 많은 응용이 기대된다. 엔진의 배기관에의 응용은 이제 시작 단계에 있으며 발전소 등과 같은 대용량 엔진에서는 어느 정도 실용성이 입증되고 있으나 자동차 엔진 등과 같은 소용량 엔진에서는 시스템의 가격이 지나치게 비싸 아직은 적용하지 못하고 있어 저 가격화에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

3 차원 공간에서의 능동 소음 제어 기법의 적용에 관한 연구는 공장의 산업 근로자 들이나 군사용으로 사용하는 귀 보호용 헤드폰이나 가전 제품에 적용하여 좋은 결과를 얻었으며 최근에는 냉장고 등에 적용한 상품이 발표되었다.

능동 소음 제어 기법을 응용한 자동차 내부 소음 제어에 대해서는 영국의 Lotus, 독일의 Volkswagen, 스웨덴의 Saab, 일본의 Nissan 및 Toyota 등 많은 자동차 회사에서 활발하게 연구되고 있으며 1991년 세계 최초로 Nissan Bluebird에 장착되기에 이르렀다. 엔진 소음에 대해서는 대개 10 - 15 dB 정도의 감쇠 효과를 얻었으며 active mounts를 첨가하면 더 좋은 결과가 기대되고 있으며, 도로 소음에 대해서는 이제 막 연구가 시작되는 단계라 아직은 그렇게 좋은 결과들이 발표되지 않고 있으나 이 분야에 대한 연구도 활발히 전개되고 있다.

앞으로는 환경 오염을 줄이기 위해 배기 가스 규제가 점점 심해지는 추세에 있어 자동차의 경량화가 필수적이므로 흡음제에 의한 소음 제어 보다는 능동 제어 기법이 각광을 받을 것으로 보인다. ASIC 소자들을 사용하면 제어기의 가격을 더욱 낮출 수 있으며 궁극적으로는 엔진 소음 제어기, active mounts 및 도로 소음 제어기를 하나로 묶어 전체적인 가격을 떨어뜨릴 수 있으리라 생각된다. 또 car audio 등 In - Car Entertainment (ICE) 시스템이 점점 고급화되고 CD, DAT 등 디지탈화하는 추세에 있어 ICE에서 사용되는 DSP 소자에 약간의 software만 추가하면 적용이 가

능할 날도 오리라 생각된다.

능동 소음 제어 분야는 미국, 영국, 일본 등 선진국에서도 시작한지 10년 내외되는 신 기술 분야로 실제 plant에 응용되고 상용 제품을 생산하기 시작한 것은 불과 수년 밖에 안되었으므로 앞으로 연구가 진행되면 더욱 좋은 결과가 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 정 찬수, "능동 소음 제어 기술," 한국음향학회지, Vol. 11, No.6, pp.70-75, 1992.

[2] 남 현도, "능동 소음 제어 기법을 이용한 자동차 내부 소음 제어," 한국음향학회지, Vol.12, No.3, pp.76-82, 1993.

[3] P. Lueg, "Process of silencing sound oscillations," US Patent 2043 416 1934.

[4] L.J. Eriksson and M.C. Allie, "A practical system for active attenuation in ducts," Sound and Vibration, Vol.22, No.2, pp.30-34, 1988.

[5] 남 현도, S.J. Elliott, "Adaptive active attenuation of noise using multiple-model approaches," Journal of Mechanical Systems and Signal Processing, Vol.9, No.5, pp.555-567, 1995.

[6] J.N. Denenberg, "Anti-noise; Quieting the environment with avtive noise cancellation technology," IEEE Potentials, Vol.11, No.2, pp.36-40, 1992.

[7] S.J. Elliott, C.C. Boucher and P.A. Nelson, "The behavior of a mutiple channel active control system," IEEE Tr. Signal Processing, Vol.40, No.5, pp.1041-1052, 1992.

[8] S.J. Elliott, "DSP in the active control of sound and vibration," Proc. of AES UK, DSP Conference, pp.196-209, 1994

[9] A.M. Mcdonald, S.J. Elliott and M.A. Stokes, "Active noise and vibration control within the automobile", Proc. of Int. Symp. on Active Control of Sound and Vibration, pp.297-302, Tokyo, 1991.

[10] J.J. Sutton, S.J. Elliott and I. Moore, " Use of nonlinear controllers in the active attenuation of road noise inside cars", Proc. of the Conference on Recent Advances in Active Control of Sound and Vibration, pp.682-690, Virginia, U.S.A., 1991.

저 자 소 개

남현도(南炫道)

1956년 3월 27일생. 1979년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1991년 1월-1992년 1월 Visiting Fellow, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, U.K.. 1982년 3 월 - 현재 단국대 공대 전기공학과 교수.

정찬수(鄭讚壽)

1949년 8월 10일생. 1972년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1981년 3월-현재 숭실대 공대 전기공학과 교수