

능동배기소음제어용 능동형 머플러의 개발 동향

오재응* · 김홍섭** · 손동구**

(한양대학교 *자동차공학과 **정밀기계공학과)

1. 머리말

1980년대 이후로 신호 처리기술의 발달과 디지털 신호처리 프로세서(DSP)의 개발로 인하여 능동제어기술이 소음·진동 분야로 적용되는 사례가 급격히 증가하고 있다. 또한 최근의 자동차는 단순히 교통 수단으로서의 역할 뿐만 아니라 주거 공간으로서의 정숙한 승차감을 요구하고 있다. 자동차에 대한 능동소음제어 기술의 도입은 여러 분야에서 이루어지고 있는데, 일반적으로 엔진소음, 배기소음 그리고 노면소음 문제에 주로 적용되고 있다.

지금까지의 자동차 배기소음 대책은 수동형 소음기의 설계로 이루어져 왔는데, 수동형 소음기는 소음기 설치를 위하여 특별히 공간을 확보 해야하며 저주파 영역(500Hz 미만)에서는 작은 효율을 나타내고 있다. 특히 수동형 소음기의 설치로 인해 발생하는 배압은 자동차의 성능과 직접적으로 관계되어 소음 저감을 목적으로한 소음기 설계를 어렵게 한다.

능동형 머플러의 개발은 자동차 실내 소음제어에 비해 간단한 구조이며 수동형 소음기와의 조합을 통해 광대역 소음제어가 가능하게 한다. 또한 배압의 감소로 인하여 연

비를 향상시키고 출력의 증가를 가져온다.

지금까지의 능동형 머플러는 설치 비용의 고가로 인하여 산업용 대형 엔진을 대상으로 연구되어 왔으나 실시간 프로세서의 가격 하락과 배기소음 규제의 강화, 고출력의 요구 등의 문제점을 해결하기 위하여 개발의 필요성이 높아지고 있다.

2. 배기소음의 규제

국내외적으로 배기소음에 대한 규제는 강화되고 있는데, 근접배기소음의 규제치는 표 1과 같고 측정기준은 그림 1과 같다. 미국의 경우에는 연방 자체로는 특별히 배기소음 규제치를 두고 있지 않으나 주 단위로 규제치를 두고 있다.

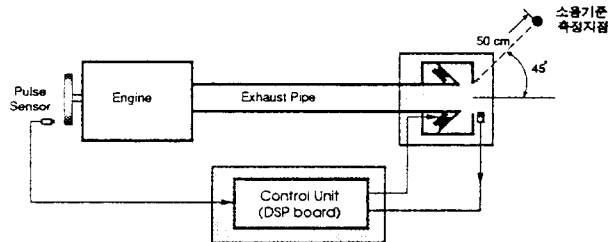
표 1 자동차 근접배기소음 규제치 (단위 : dB(A))

적용 년도 차 종	현재 기준	1996년 이후
승 용 차	103(103)	100(100)
상용소형차	105(107)	103(105)
상용대형차	107(107)	105(105)

* ()수치는 운행자동차에 적용함
* 유럽의 경우 배기소음규제는 없으나 시험시 명기 의무

3. 능동형 머플러 설계의 문제점

능동형 머플러는 액츄에이터(일반적으로 스피커 또는 기계식 실린더), 센서(마이크로폰) 그리고 제어기(DSP 보드)로 구성되어진다. 자동차 실내 소음제어와는 다르게 액츄에이터, 센서 등이 배기소음에



- * 각 측정점에서 3회 이상 측정(10초간 무부하 운전)
- * 마이크로폰의 위치: 노면으로부터 0.2m
- * 엔진 회전속도: Max. Power RPM의 3/4 (± 100RPM)
- * 결과산출: 결과치는 2dB(A) 이상 차이나지 않아야 하며 최고치를 취함.

그림 1 자동차 근접배기소음 측정 기준

표 2 액추에이터, 센서의 설계 조건

구성품	설계조건
액추에이터	온도 범위 : 100~600°C 출력 파워 : 100~120W
센서	온도 범위 : 100~600°C 유속 : 50~120m/s

* 액추에이터로 관성이 작은 기계식 실린더의 이용도 가능

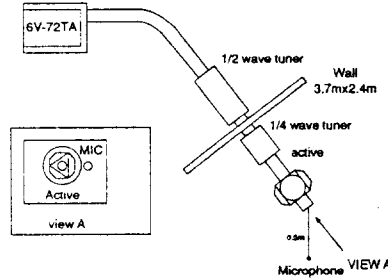


그림 2 능동형 머플러의 테스트 셋업 (test set up)

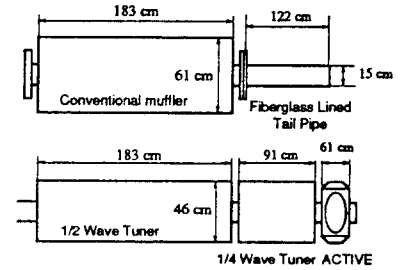


그림 3 기존 머플러와 조합형 머플러(튜너와 능동형 머플러)의 비교

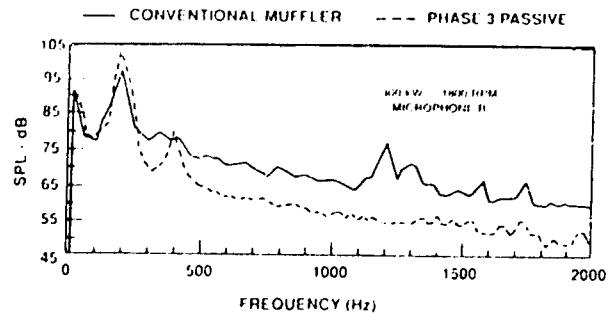
노출되어 있기 때문에 각각의 유닛들은 내구성, 내열성을 가지도록 설계되어야 한다. 표 2는 배기소음 제어에 사용되어지는 액추에이터(스피커), 센서(마이크로폰)가 보유했어야 하는 성능을 나타내고 있다.

액추에이터는 표 2의 조건에서 소형이면서도 평탄한 음압특성, 선형 위상, 작은 왜곡 등의 특성을 가져야 한다. M.E.C.(Mitsubishi Electric Corporation)에서는 200°C에서도 좋은 특성을 가지고 최고 100 dB/W·m의 출력을 내는 스피커를 제작하였고⁽¹⁾, A.N.V.T에서는 KEVLAR 합금을 이용하여 기존 스피커보다 2~3배 작은 소형 크기에서도 동일한 출력을 내는 스피커를 능동형 머플러에 적용하였다⁽²⁾.

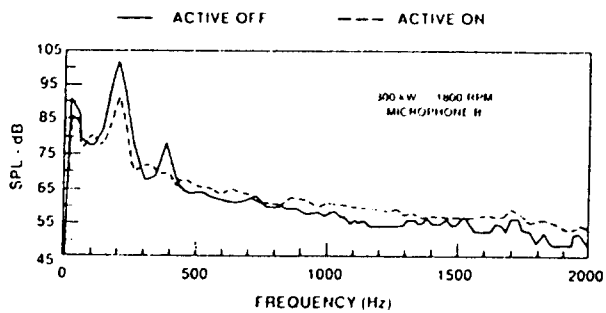
또한, 배기소음의 경우 엔진 회전수에 따라 주파수가 급격히 변화하고 관내의 고차 모드의 영향으로(가속시에는 엔진 주파수의 2, 3차 조화 주파수가 지배적인 상황이 발생) 정확한 참조 신호의 설정이 용이하지 않다. 따라서 비정상적인 입력 신호에도 강인한 수렴 성능을 가지는 알고리즘의 개발과 실시간 제어 기법이 요구된다.

4. 각국의 능동형 머플러의 연구 동향

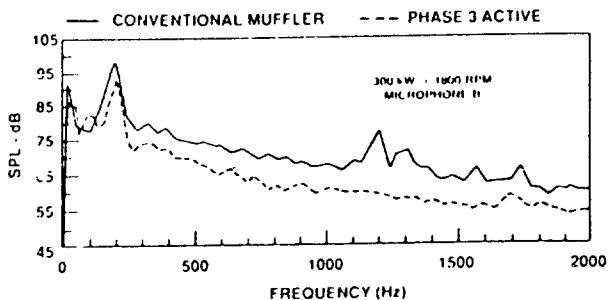
능동형 머플러의 개발은 엔진 폭발 주파수가 일정하고 큰 출력의



(a) 기존 머플러와 제작된 튜너만의 배기 소음 비교



(b) 기존 머플러와 능동형 머플러만의 배기 소음 비교



(c) 기존 머플러와 조합형 머플러의 배기 소음 비교

그림 4 제작된 능동형 머플러의 소음저감효과

제어 유닛을 필요로 하는 산업용 대형 디젤 엔진과 엔진 폭발 주파수의 변동이 심한 일반 자동차 엔

진에 대한 연구로 진행되고 있는데 미국의 경우 A.N.V.T, N.C.T를 중심으로 양산화 단계에 이르렀다.

4.1 미국의 연구동향^(2,3,4)

N.C.T(Noise Cancellation Technologies)사에서는 산업용 엔진(디티로이트 디젤 6V-92TA, 엔진 폭팔 주파수가 180 Hz)에 능동형 머플러를 적용하여 연비를 2% 증가시키고 가용 면적은 8% 감소시킨 사례를 발표하였다. N.C.T 연구의 특징은 3개의 제어 스피커 드라이버를 가진 능동형 머플러에 엔진 폭팔 주파수의 1/2, 1/4 파장에 해당하는 튜너(tuner)를 부착하여 광대역의 소음제어가 가능하게 한 결과이다. 1/2, 1/4 튜너는 엔진 폭팔 주파수와 500 Hz 이상의 소음 저감에 용이하도록 설계되어져 있다. 그림 2는 N.C.T에서 제작된 능동형 머플러의 테스트 셋업(setup)를 나타내고 그림 3은 기존 머플러와 제작된 조합형 머플러(1/2, 1/4 튜너와 능동형 머플러)를 나타낸다. 그림 4 (a), (b), (c)는 튜너만 부착한 경우, 능동형 머플러만 부착한 경우, 동시에 부착한 경우에 기존의 소음기와의 비교를 나타낸다. 표 3은 각각의 RPM에서 기존의 머플러와 능동형 머플러의 유속 저항치와 연비의 향상치를 나타내고 있다.

A.N.V.T(Active Noise and Vibration Techonogies)사에서는 각각의 RPM에서 미리 저장해 놓은 시스템과 배기소음 특성 데이터를 이용하여 능동형 머플러 시스템의 제어 파라미터의 시작점으로 이용하는 학습 기반 시스템을 개발하였다.

4.2 영국의 연구 동향^(5,6)

Essex 대학(G.B.B chaplin)과 TRRL(Transport and Road Reserch Laboratory)가 능동형 머플러 공동 프로젝트를 수행한 결과 대형 디젤 엔진(350hp)용 능동형 머플러 시스템을 개발하였다. 이

표 3 기존 머플러와 능동형 머플러의 유속 저항치와 연비의 비교

RPM	kW	Restriction mm H ₂ O		Fuel Consumption KG/HR	
		CONV ^A	ACTIVE ^B	CONV ^A	ACTIVE ^B
1800	300	518	<2.5	75.3	73.9
1800	228	345	<2.5	56.2	55.3
1500	251	380	<2.5	63.1	63.1
1500	190	276	<2.5	47.2	46.3

* A : 화이버 글라스(fiberglass) 테일 파이프를 가진 기존의 머플러
B : 능동형 머플러

시스템의 특징으로는 가장 큰 저감을 이룰 수 있는 4쌍극(quadrupole) 형태(Brown에 의해 제시)로 음원 형태를 이루기 위해 그림 5에서와 같이 2개의 제어 스피커를 이용하였다. 개발된 능동형 머플러의 성능 테스트를 위하여 사시 다이내모미터 위에 정속 주행시와 실차에서 최대 가속시에 소음저감 결과를 측정하여 그림 6과 그림 7에 나타내었다.

서는 N.C.T와 유사한 능동형 머플러 개발을 수행하였다. 정속 회전을 하는 산업용 디젤 엔진(S6U)의

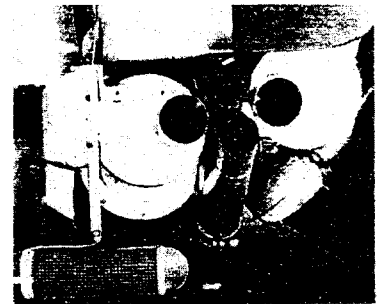


그림 5 실차에 부착된 제어 스피커 유닛과 마이크로폰

4.3 일본의 연구 동향⁽⁷⁾

M.H.I(Mitsubishi Heavy Inc.)에

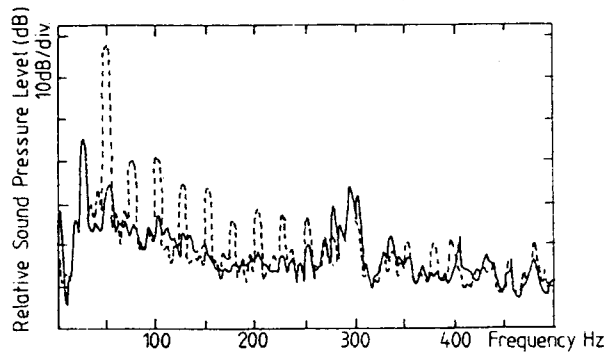


그림 6 다이내모미터 상에서의 정속시 제어결과

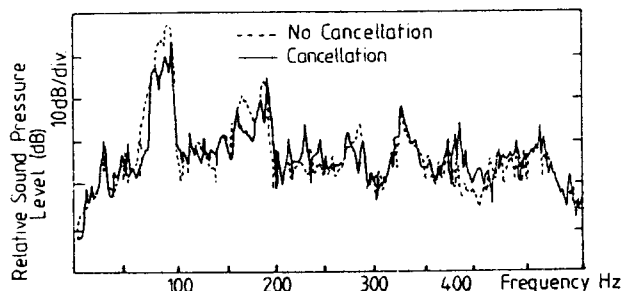


그림 7 실차 상에서 최대 가속시 제어결과

테일 파이프(지름 30cm)에 4개의 제어 스피커 드라이버(지름 40cm, 출력 100W)를 설치하였는데 배치 단면 형상은 그림 8과 같다.

오차 마이크로폰의 위치 결정을 위하여 테일 파이프에서 각각 0cm, 25cm, 50cm 씩 거리를 두면서 배기소음 제어를 수행하였다. 결과에 대한 평가는 모니터링 마이크로폰(테일 파이프에서 1m 떨어진 거리)에서 배기소음을 저감시킬

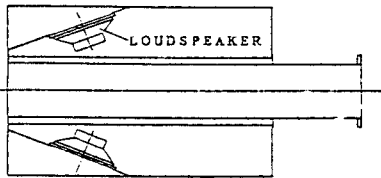


그림 8 테일 파이프와 제어 스피커 유닛의 배치 단면 형상

수 있는 오차 마이크로폰의 위치를 결정하고자 하였다.

위의 연구 결과 오차 마이크로폰 위치는 테일 파이프에서 멀리할수록 모니터링 마이크로 폰에서 큰 배기소음 저감을 가져온다는 사실을 알 수 있었다.

4.4 국내의 연구동향⁽⁸⁾

지금까지의 능동형 머플러의 국내 연구는 미비한 상태이나 최근에 G7 프로젝트 과제 내용으로 진행되어지고 있다. 연구되고 있는 내용으로는 능동형 머플러에 사용되는 액츄에이터, 센서를 표 2의 설계 조건들을 만족하고 소형으로 설계, 제작이다. 그리고 제작된 액츄에이터, 센서의 위치 선정과 실

험용 능동형 머플러 시뮬레이터의 제작하여 제어 실험이 수행되어지고 있다.

5. 맺음말

능동배기소음제어용 능동형 머플러의 개발은 자동차의 고출력 요구, 연비 향상 그리고 배기 소음 규제의 강화 등의 이유로 개발의 필요성이 높아지고 있다. 외국의 경우 N.C.T, TRRL, M.H.I에서는 능동형 머플러를 개발을 위해서는 배기 가스나 심한 충격에서 성능을 지속할 수 있는 액츄에이터와 센서의 설계, 개발을 전제로 하고 있다. 따라서 이러한 기술의 개발은 여러 능동제어기술의 발달을 촉진할 수 있다는 점에서 필수적이라고 할 수 있겠다.

능동형 머플러와 기존의 수동형 머플러의 조합을 통해 광대역의 배기 소음을 저감할 수 있는 머플러의 개발은 언급한 장점 뿐만 아니라 독자적인 배기계 설계 기술을 확보한다는 점에서 연구 개발의 필요하다고 볼 수 있다.

참고문헌

- (1) "Loudspeaker for High Temperature Environment", Seiji Himori, Haruhisa Saito, International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, 1991.

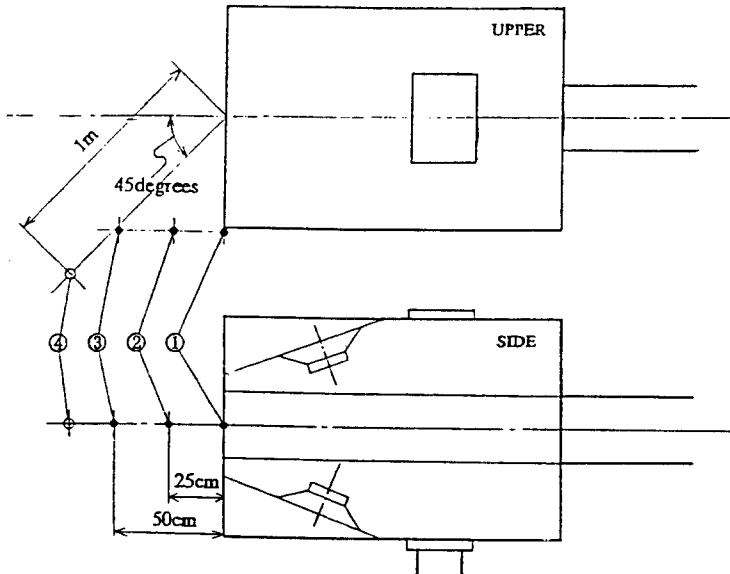
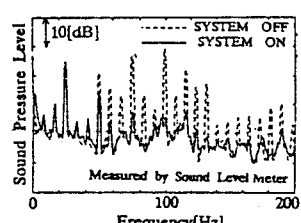
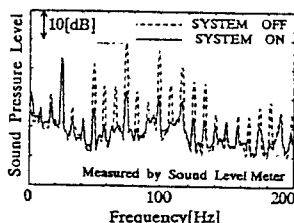
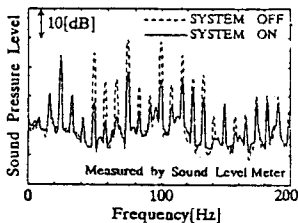


그림 9 오차 마이크로폰과 모니터링 마이크로폰의 위치



(a) ① 번에 오차 마이크로폰 배치

(b) ② 번에 오차 마이크로폰 배치

(c) ③ 번에 오차 마이크로폰 배치

그림 10 각각의 위치에 배치된 오차 마이크로폰을 이용하여 제어된 결과

- (2) "Commercial Considerations for the Implementation of Active Noise and Vibration Control," T.H. Hesse, International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, 1991.
- (3) "Development of a Prototype Active Muffler for the Detroit Diesel 6V-92 TA Industrial Engine", W.J.J. Hoge, Everett Arnold, SAE 911045.
- (4) "Design of Active Muffler for International Combustion Engines", Kh. Eghtesadi, J.W. Gardner, Proceedings of Inter-noise 1989, pp. 471~474, 1989.
- (5) "Active Control of Commercial Vehicle Exhaust Noise", M. C.J. Trinder, G.B.B. Chaplin, Proceedings of Inter-noise 1986, pp. 611~616, 1986.
- (6) Waveform Synthesis-the Essex Solution to Repetitive Noise and Vibration", G.B.B. Chaplin, R.A. Smith, Proceedings of Inter-noise 1983, pp. 399~402, 1983.
- (7) "Active Control of Exhaust Noise of Diesel Engine by Wave Synthesis Method", T. Ohnuma, J. Sugimura, International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, 1991.
- (8) "농동배기소음제어용 Controller 개발", 선도기술연구개발사업 위탁연구보고서, 한양대학교, 1995.