

능동제어기법을 이용한 흡기계의 소음 저감에 관한 연구

이충휘(한양대 대학원 자동차공학과), 홍진석(한양대 대학원 정밀기계공학과),
오재응(한양대 기계공학부), 김영식(한양대 대학원 자동차공학과), 박동철(현대자동차)

The Study on the sound reduction of Intake System using Active Control Method

C.H. LEE (Automotive Eng. Dept., HYU), J.S. Hong (Mechanical Eng. Dept., HYU),
J.E. Oh (School of Mechanical Eng., HYU), Y.S. Kim(Automotive Eng. Dept., HYU),
D.C. Park (Hyundai Motor Company)

ABSTRACT

Engine noise is one of the major causes of the interior noise, and so has been studied in various ways in recent days. Recently air induction noise has been extensively studied to reduce the engine noise. Conventional method to reduce the noise is adding several resonators to the induction system. However this causes a reduction of engine output power and an increase of fuel consumption. Thus in this study, the feasibility of applying the active noise control to the induction system is studied to overcome the above disadvantage.

Key Words . Sound reduction(소음 저감), Intake System(흡기계), Active Noise Control(능동소음제어), Filtered-X LMS Algorithm

1. 서론

최근 차실 내의 소음이 자동차의 질에 대한 중요한 기준이 됨에 따라 차실 내의 소음을 저감하기 위한 다양한 연구와 개선이 진행되고 있다. 특히 차실 내 소음의 주된 원인이었던 엔진소음에 대한 연구가 다양하고 심도 있게 진행되어 최근에 만족할 만한 수준으로 차실 내의 소음이 저감되었다. 그 결과로 과거에는 엔진에 비해 상대적으로 작은 소음원이었던 흡기 소음(intake noise)이 주목할만한 소음원이 되었다.^{(1),(2)}

흡기 소음을 저감시키기 위한 기존의 방법은 흡기관에 공명기(resonator)를 설치하여 특정 주파수 성분의 소음을 저감시키는 수동적인 방식이었다. 그러나, 이러한 수동적인 방식은 500Hz 미만의 저주파수 대역의 소음을 저감 시키는데 있어서 큰 부피의 공명기를 필요로 하므로 엔진 룸의 공간적인 제약을 받는다는 단점과 시간에 따라 변하는 자동차의 흡기 소음을 줄이기 힘들다는 단점을 가지고 있다.⁽²⁾

따라서, 이 논문에서는 능동소음제어 기술을 이용하여 흡기 소음을 저감시키기 위한 연구의 기초 단계로서 능동소음제어 기술을 실제 차량의 흡기 시스템에 적용하여 제어 가능성을 확인하고자

Filtered-X LMS 알고리즘을 이용하여 제어를 수행하였다.

2. 이론

2.1 Filtered-X LMS Algorithm^{(4),(5)}

오차 센서에서 계측된 신호는 각각 주음원, 이차 음원으로 인한 소음은 두 부분으로 구성된다.

$$e_k = p_k + y_k \tag{1}$$

k 번째에 오차 센서에서 계측된 제어 신호는 액츄에이터의 특성 전달함수 A 에 의해 수정되어지고 액츄에이터와 오차 센서 사이의 한정된 거리로 인해 n 샘플이 지연되어 진다. 또한, 전체 오차 신호는 오차 마이크로폰 전달함수 M 에 의해 수정되어 진다.

$$e_k = p_k + (W_{k-n}^T X_{k-n} A) M \tag{2}$$

만약 신호가 정현파이면 오차 마이크로폰과 제어 액츄에이터의 부가경로 전달함수는 단순한 이득과 위상 이동으로, 광대역 소음의 경우에는 유한

임펄스 응답 필터 또는 벡터량으로 생각할 수 있다. 식(2)을 단순화하기 위해 k 번째의 필터링된 주음원 신호 G 그리고 필터링된 참조 신호 F 는 다음과 같이 정의한다

$$G_k = p_k M, F_k = X_{k-n} AM \quad (3)$$

순간 오차 신호에 근거한 경사 예측치는 다음과 같다.

$$\bar{\nabla}_k = \frac{\partial e_k^2}{\partial W_k} = 2e_k F_k \quad (4)$$

그러므로 최종적으로 적응 필터 계수 갱신은 다음과 같이 된다.

$$W_{k+1} = W_k - 2\mu e_k F_k \quad (5)$$

알고리즘 수행이 가능한 블록 선도는 Fig.1 에서 보여 준다.

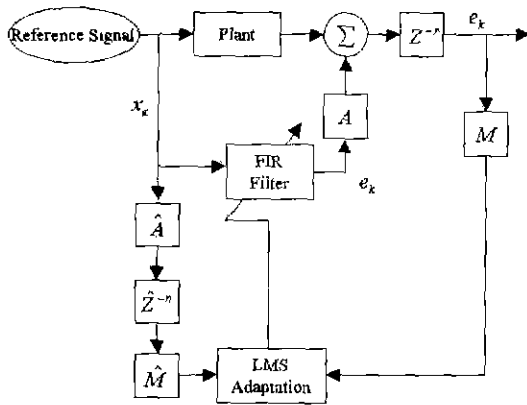


Fig.1 Block diagram of the practical implementation of a single error sensor active control system

참조 신호 X 는 적응 알고리즘에서 사용되기 이전에 맥추에이터와 오차 센서 특성 함수의 예측치에서 포함된 n 샘플의 예측치에 의해 지연된다.

$$\hat{F}_k = \hat{X}_{k-n} AM \quad (6)$$

그러므로 알고리즘의 실제적인 수행은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W_{k+1} &= W_k - 2\mu e_k F_k \\ &= W_k - 2\mu (F_k G_k + F_k F_k^T W_{k-n}) \end{aligned} \quad (7)$$

3. 실험

3.1 실험장치도

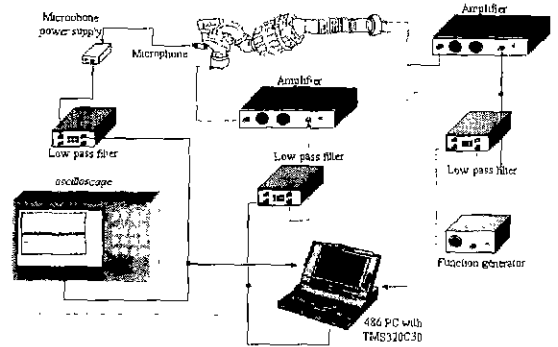


Fig 2 Scheme of Experimental Setup

Fig.2 는 실험 장치도를 나타내고 있다. 여기서 microphone 과 power supply 는 B&K type 4130 과 type 2810 을, Amplifier 는 Inkel MA-320 을 사용했고 Low pass filter 는 KROHN-HITE 사의 model 3944 를 사용했다. Low pass filter 의 cut off frequency 는 400Hz 로 하였다. 제어를 수행하는 컴퓨터 상에는 실시간 제어를 수행하기 위한 DSP 보드(TMS320c30)와 신호를 계측하기 위한 A/D 보드가 내장되어 있는데, 제어를 수행하는 어셈블리 실행 파일과 이것을 DSP 보드로 다운 로드(down-load)하고 실시간으로 제어 파라미터를 모니터링하기 위해 DSP 보드의 DPRAM(dual-port RAM)를 접근하여 데이터를 업로드(up-load)하는 Borland C 실행 파일을 작성하였다. 제어 실험은 입력으로 정현파와 10 초 동안 등속으로 변조 시킨 정현파를 사용하여 공명기가 있는 경우와 없는 경우에 흡기계에 대해 수행하였다.

3.2 공명기가 없는 경우

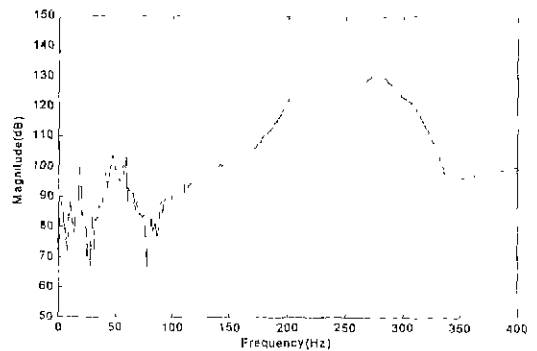


Fig 3 Transfer function of Intake system without resonator

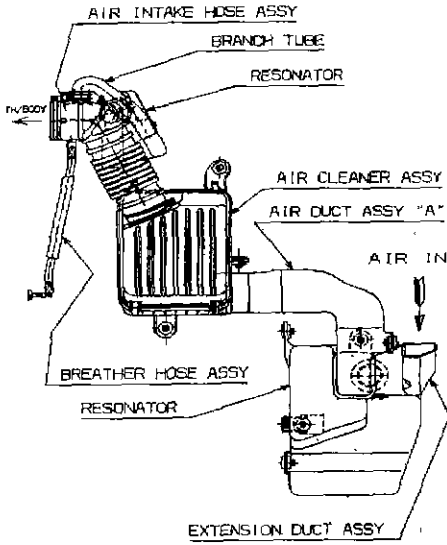


Fig.4 Scheme of Intake system

Fig.3 과 Fig.4 는 공명기가 없는 경우의 흡기계의 전달함수와 흡기계를 나타낸 것이다. 위에서 보듯이 210Hz, 280Hz 에서 공명주파수가 나타나며 100Hz 이하의 저주파 대역에서는 20dB 이상 차이가 나는 것으로 보아 100Hz 미만의 저주파는 제어성능이 효과적이지 못할 것으로 예상된다.

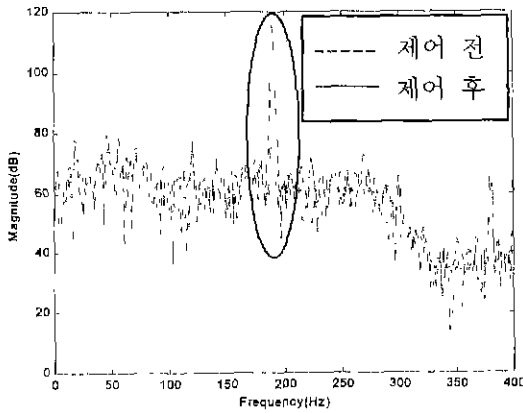


Fig.5 Control result at the sinusoidal 190Hz excitation in the case without resonator

Fig.5 는 190Hz 정현파를 흡기계의 입력으로 했을 때 제어 결과를 나타낸 것으로 약 32dB 정도가 감소한 것을 알 수 있다. Fig.6 과 Fig.7 은 10 초간 90Hz 에서 190Hz 까지 변조한 정현파를 흡기계의 입력으로 하여 제어결과를 waterfall 로 나타낸 것으로 입력이 시간에 따라 바뀌는 경우에도 제어가 되

는 것을 확인 할 수 있다.

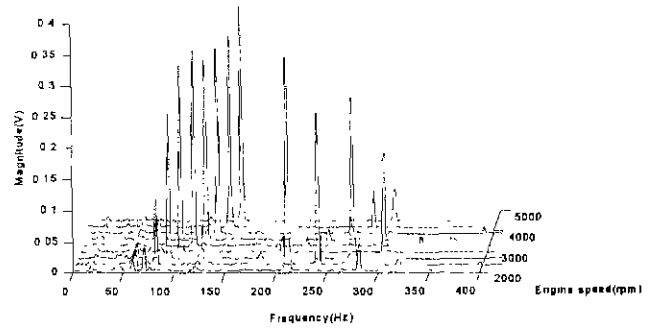


Fig.6 Before Control at the sinusoidal sweeping excitation

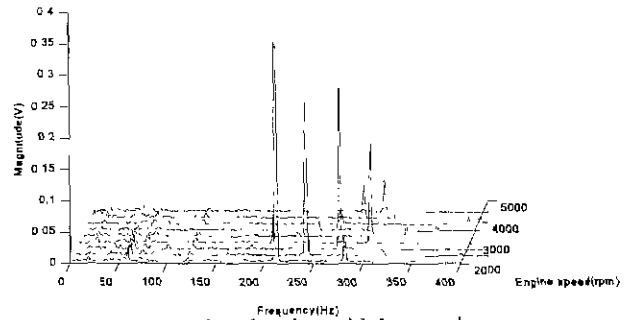


Fig.7 After Control at the sinusoidal sweeping excitation

3.3 공명기가 있는 경우

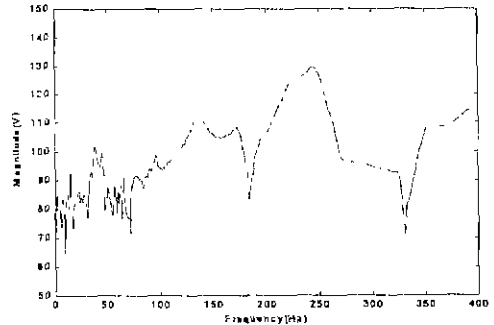


Fig.8 Transfer function of Intake system with resonator

Fig.8 은 공명기가 있는 경우의 흡기계의 전달함수를 나타낸 것으로 이 공명기는 200Hz 근처 성분을 줄이는 것을 알 수 있고 공명주파수는 170Hz, 250Hz 이다. Fig.9 는 170Hz 의 정현파를 흡기계의

입력으로 한 경우의 제어 결과로서 27dB 의 감소가 있었다

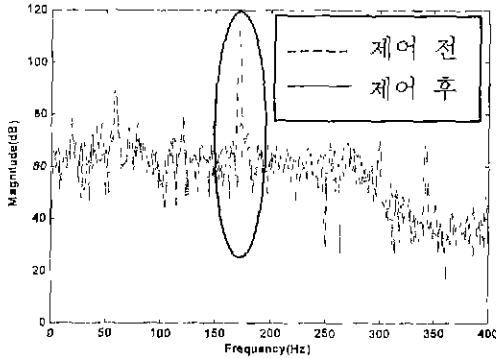


Fig.9 Control result at the sinusoidal 170Hz excitation

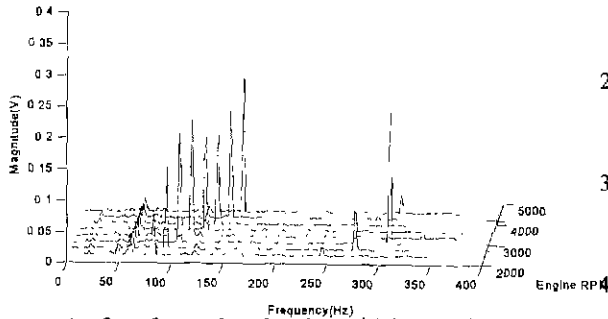


Fig.10 Before Control at the sinusoidal sweeping excitation

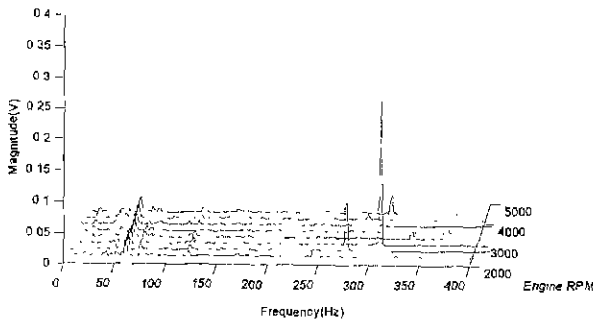


Fig.11 After Control at the sinusoidal sweeping excitation

Fig.10 과 Fig.11 은 공명기가 있는 경우에 10 초 간 일정 속도로 90Hz 에서 190Hz 까지 변조한 정현 파를 흡기계의 입력으로 하여 제어결과를 나타낸 것으로 역시 제어가 됨을 알 수 있다.

4. 결론

위의 결과들에서 본 것처럼 공명기가 없는 경우

와 있는 경우, 두 경우 모두에 대해서 엔진 rpm 이 문제가 되는 1000~4000rpm 에서 등속으로 가감속 하였을 때 만족할 만한 제어 결과를 얻을 수 있었고 흡기계에 능동소음제어 기술을 적용할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서, 이 후의 연구에서 공명기가 없고 엔진 출력과 연료소비를 개선시킬 수 있는 간단한 흡기계의 모델을 제안하고 능동소음제어 기술을 적용할 계획이다.

후 기

이 연구는 현대자동차의 지원을 받아 2000 년 5 월부터 2001 년 5 월 까지 수행하는 과제의 일부분 입니다..

참고문헌

1. Yoshitaka Nishio, Tokio Kohama, "New Approach to Low-Noise Air Intake System Development", SAE paper 911042, 1991.
2. Katsuyuki Tanaka, Yoshitaka Nishio, "Technological Development for Active Control of Air Induction Noise", SAE paper 951301, 1995.
3. 오재응, 김홍섭, 손동구, "능동 배기 소음 제어용 능동형 머플러의 개발 동향", 한국 소음 진동 공학회, 제 2 권, 4 호 pp23~29, 1995
4. 김홍섭, "온라인 적음 알고리즘을 이용한 자동차 배기계의 능동 소음 제어", 한양대학교, 1996
5. Sen M. Kuo, Dennis R. Morgan, "Active Noise Control Systems algorithms and DSP implementations", John Wiley & Sons, NewYork, 1996