

# 자동차 흡기소음평가 시뮬레이터 개발 및 이를 이용한 소음저감 성능개선 (1) — 공명기 적정위치 선정 —

오재응\* · 한광희\*\* · 홍정혁\*\*

(1997년 7월 4일 접수)

## Development of the Simulator for Estimating Intake Noise of Vehicle and Its Improvement (Part I)

— Selection of Optimum Position of a Resonator —

Jae-Eung Oh, Kwang-Hee Han and Jeong-Hyuk Hong

**Key Words :** Intake Noise(흡기소음), Transmission Loss(전달손실), Transfer Matrix Method(전달행렬법), Acoustic Finite Element Analysis(음향 유한요소해석), NIT/SYSNOISE, Resonator(공명기)

### Abstract

The intake noise, a major source of vehicle noises, has rapidly become a noticeable, and has been studied to reduce the level. Traditionally, the intake system has been developed through the road test and the experiment using a engine dynamo, namely, the trial and error process. This approach require very high cost and long time consuming to develop the system. In this study, the simulator which had a speaker in the cylinder head was presented. It was easy to analyze the acoustic characteristic of the intake system in laboratory environment. This study presented a improvement to reduce the level of the intake noise using the Transfer Matrix Method and NIT/SYSNOISE, FE analysis commercial software. It was to select optimum position of a resonator and verified by the simulator. This simulator can be used early in the design stage of development of the intake system.

### 1. 서 론

최근 환경에 대한 인식과 생활 수준의 향상으로 자동차의 소음에 대해 규제가 국내외적으로 강화되고 있다. 특히 자동차의 보급이 일반화됨에 따라 자동차의 정숙성은 고품질차의 주요 요건이 되고 있다. 자동차 소음중 흡기소음은 일반적으로 600

Hz 이하의 저주파 소음으로 그 자체로서 뿐만 아니라 차음제를 통과하고 차실에 전달되어 승차감을 저해하는 요인으로 연구 대상이 되고 있다. 최근까지 흡기소음에 대한 대책은 엔진 룸 설계 후에 시행착오적인 방법을 통하여 이루어졌고 타 부품의 위치에 따른 공간적 제약에 따라 최적한 설계가 어려운 실정이었으며, 이는 공기단축과 경비절감 등에서 매우 불합리할 뿐만 아니라 엔진성능에까지 악영향을 미치기도 한다.

이에 최근에는 전달행렬법(transfer matrix me-

\*회원, 한양대학교 기계공학부

\*\*한양대학교 대학원 정밀기계공학과

thod)<sup>(4)</sup>을 기초하여 개발된 흡기소음의 전용 해석 소프트웨어와 NIT/SYSNOISE<sup>(3)</sup>와 같은 음향 유한요소해석 소프트웨어 등을 이용하여 흡기계의 초기 개념 설계 및 성능개선단계에서 상당히 유용한 결과를 얻고 있다.<sup>(9-12)</sup> 그러나, 이들 해석기법은 모델링에 있어서 한계성을 갖고 있고 실제 엔진 환경에 대한 소음특성에 있어서는 그 현실성이 부족하기 때문에 실험을 중심으로 한 시뮬레이터의 개발 및 그 해석기법이 점차 요구되고 있다. 기존의 자동차의 흡기소음에 대한 평가는 실제로 도로에서 행하는 주행시험이나 엔진 다이내모를 이용한 시험을 통하여 주로 이루어져 왔다. 그러나 이러한 방법은 시간 및 비용 소모가 크고 큰 하드웨어가 요구되며 배기가스 등의 문제점이 있었다. 이에 전기모터를 이용하여 크랭크축을 구동시키는 시뮬레이터가 제안되었다. 그러나 이는 동력이 큰 모터가 필요하며 모터 소음이 해석대상인 흡기소음 해석에 큰 영향을 미치는 단점이 있어 해석에 어려움이 있다.<sup>(1,2)</sup> 이에 좀 더 간편하게 실험실 내에서 활용이 가능하도록 스피커를 각 실린더 내에 설치한 시뮬레이터가 제안되기도 하였다.<sup>(1)</sup> 이는 밸브를 모두 열어 놓은 상태에서 컨트롤러를 통해 저주파 펄스를 실린더 별로 배분하여 흡기계를 가진시킴으로써 흡기밸브의 가진 특성을 스피커가 대신하게 하는 시뮬레이터이다. 그러나 엔진구동시 하나의 밸브가 열려있을 때 나머지 밸브는 닫혀 있으며, 이로 인한 나머지 메니폴드의 소음특성이 나타나지 않으므로 실제와는 다른 특성이 갖게 된다.

이에 본 연구에서는 하나의 스피커를 사용하여 좀 더 간편한 해석 실험이 가능한 시뮬레이터를 제안하고자 하였다. 이는 하나의 스피커를 소음특성이 가장 크게 기여하는 실린더 내에 설치하고 엔진회전수에 해당하는 가진주파수를 신호발생기를 이용하여 스피커를 가진시킨 것으로 실제 엔진과 비교하였을 때 유사한 특성을 보였다. 또한 실제 흡기계에 대하여 흡기소음의 개선을 위해 진달행렬법과 음향 유한요소해석 소프트웨어인 NIT/SYSNOISE를 이용하여 제안된 공명기의 위치의 개선안을 본 연구에서 제안한 시뮬레이터를 통해 검증함으로써 그 효용성을 확인하고자 하였다.<sup>(3,4)</sup>

## 2. 시뮬레이터를 이용한 흡기계 해석

자동차에 대한 흡기소음은 실제 엔진이나 전기

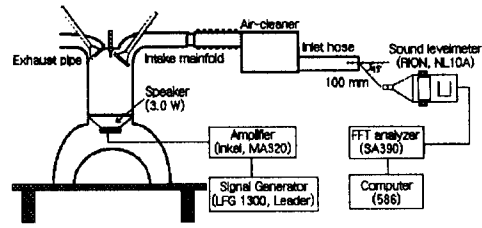


Fig. 1 Experimental configuration using acoustic excitation system with speaker.

모터로 크랭크축을 구동시켜 해석해 왔다. 그러나 이러한 방법은 사용되는 장비가 상당히 크고 불필요한 부가소음이 발생되어 흡기소음 해석에 있어서 어려움을 주어 왔다.

이에 본 연구에서는 실린더 내에 스피커를 설치하고 이미 여러 문헌에서 검증된 식 (1)<sup>(9)</sup>과 같은 엔진 폭발주파수로 소음을 발생시킴으로써 흡기계 자체의 소음특성을 해석할 수 있는 시뮬레이터를 제안하고자 하였다.

$$f = n \times rpm \times \frac{cyc}{2} \times \frac{1}{60} \quad (1)$$

여기서,  $f$ 는 나타나는 결과주파수이고,  $n$ 은 조화차수,  $rpm$ 은 엔진회전수,  $cyc$ 는 실린더갯수이다. 실제 엔진실린더 블록에서 피스톤과 커넥팅로드, 크랭크축을 제거하고 3 inch의 직경과 3 W의 파워를 갖는 스피커를 실린더 내의 하사점에 설치하였다.<sup>(1)</sup> 흡기밸브를 여닫는 캠은 캠축에 정해진 각도를 갖고 고정되어 있으므로 하나의 밸브가 열린 상태로 조정하였고 다른 밸브와의 관계성을 유지토록 하였으며, 배기밸브도 실제와 같은 조건이 되도록 캠축을 조정하였다. 흡기계에서는 저주파 특성이 중요하므로 완전히 열린 밸브는 공기 흡입부에서 가장 먼 실린더를 선택하였다. 해석조건으로 관심영역은 1000 rpm~5000 rpm(35 Hz~165 Hz)으로 하였고, 150 rpm(5Hz)씩 증가시키면서 각각의 주파수 특성 및 오버올 값(overall level)을 비교하였다. 가진은 신호발생기(signal generator; Leader, LFG 1300)를 통해 엔진 폭발주파수의 정현파를 발생시켜 이를 증폭기(amplifier; Inkel, MA 320)를 통해 증폭시켰다. 측정은 음압측정기(sound levelmeter; RION, NL 10A)를 흡기구 끝단에서 45도 각도로 100 mm 떨어진 위치에서 행하였고 사람의 귀에 중심을 두기 위해서 A가중치함수(A-weight function)를 취하였으며, 이것을 주파수분석기



Photo 1 Overview of the experiment.

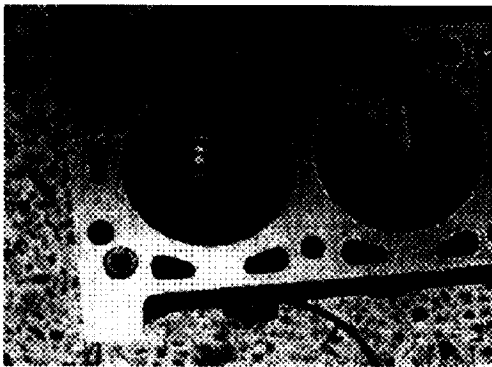


Photo 2 The speaker in a cylinder block.

(FFT analyzer ; SA390)를 통해 분석하였다. 이에 대한 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

Photo 1은 실제 시뮬레이터의 측정모습이고, Photo 2는 스피커의 설치모습을 보여주고 있다.

Fig. 2는 설치된 스피커의 특성을 보여 주고 있으며 관심영역에 대한 가진 성능은 만족스러움을 알 수 있다. Fig. 3은 시뮬레이터의 신뢰성을 검증하기 위하여 시뮬레이터와 같은 모델인 실차(D사 E차1500cc DOHC)의 흡기 소음과 시뮬레이터의 소음 특성을 최대음압을 기준으로 정규화하여 비교한 결과이다. 결과에서 알 수 있듯이, 전반적인 소음특성은 잘 일치하고 있음을 알 수 있으며, 따라서 시뮬레이터의 효용성을 검증할 수 있었다.

개발된 시뮬레이터를 통하여 기존의 흡기계의 특성을 파악하고자 하였다. 대상 흡기계에는 87 Hz (2610 rpm)의 주공명기와 75 Hz(2250 rpm)의 보조공명기가 설치되어 있다(Table 1). Fig. 4와 Fig. 5는 공명기가 없는 상태(a)와 주공명기만을 갖는 경우(b), 보조공명기까지 갖는 경우(c)의 흡기계

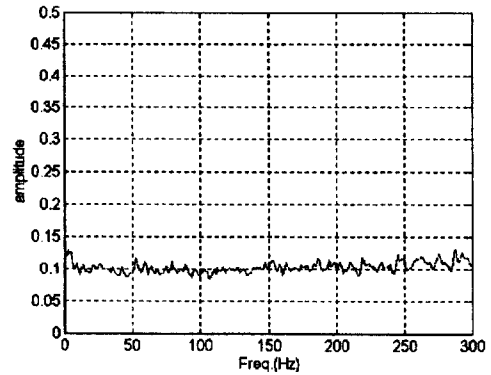


Fig. 2 Acoustic characteristic of speaker.

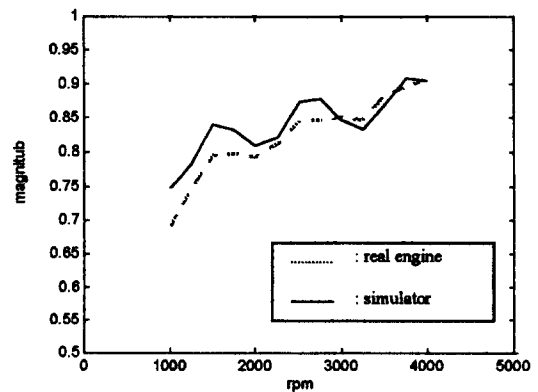


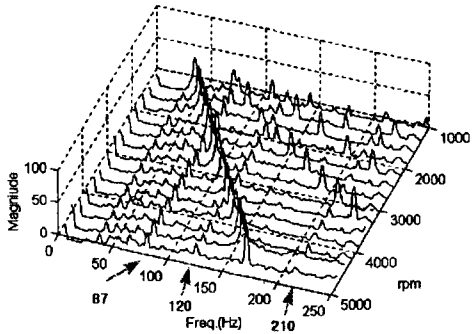
Fig. 3 Sound pressure levels of simulator and real engine.

Table 1 Specification of the resonators (unit : m)

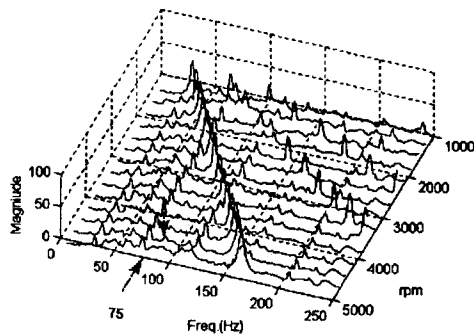
	Main	Auxiliary
Volume	3.101E-3	1.685E-3
Length of neck	0.200	0.214
Dia. of neck	0.045	0.028
Thickness of wall	0.002	0.028
Tuning freq.(Hz)	87.0	75.0

소음특성을 회전수 별로 비교한 것과 오버울 값의 비교이다.

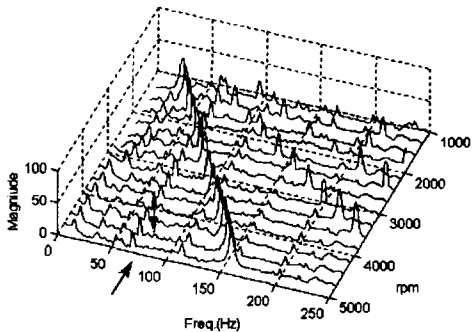
결과에서 알 수 있듯이 공명기가 없는 경우에는 가진주파수와 그 조화성분이 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이와는 무관하게 87 Hz(2610 rpm)와 120 Hz, 210 Hz에서 공명이 나타나고 있음을 알



(a) Without resonator



(b) With a main resonator



(c) With all resonators

Fig. 4 Frequency response of intake noises at each excitation rpm.

수 있다. 이는 오버올 값의 비교에서도 확인할 수 있다. 이를 제어하기 위해 주공명기가 설치된 경우에는 75 Hz에서 다시 가진주파수와 무관한 공명이 나타나고 있음을 알 수 있으며, 오버올 값의 비교에서도 2000 rpm 부근에서 오히려 높아지는 것을 볼 수 있다. 또한 이를 제어하기 위해 보조공명기를 설치한 경우는 70 Hz에서 공명이 일어남을 볼 수 있으며, 이는 엔진회전수 2100 rpm에 해당하는

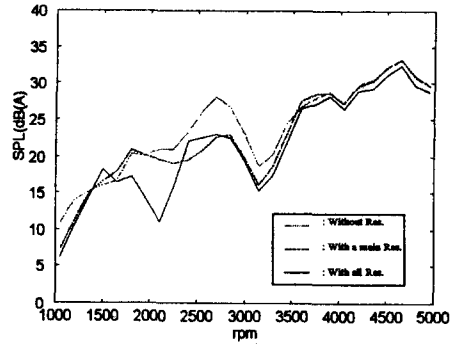


Fig. 5 Sound pressure overall levels of a simulator.

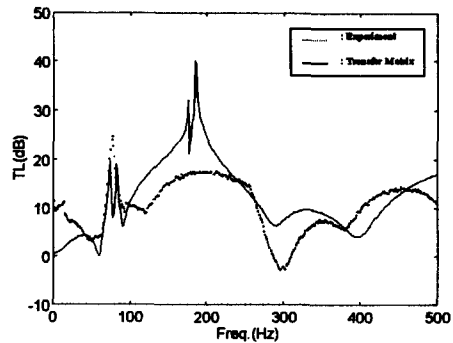


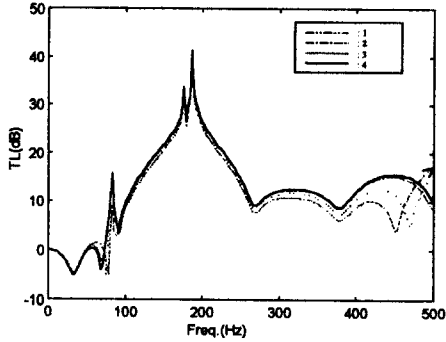
Fig. 6 Transmission loss of an intake system.

주파수로 실제 주행시 주로 사용되는 영역임을 감안할 때 대책이 요구된다. 오버올 값의 비교에서도 약 1700 rpm에서 상대적으로 높게 나타남을 알 수 있다. 오버올 값의 회전수와 주파수 분석과의 차이는 5 Hz(150 rpm)의 가진 분해능에서 비롯되는 결과이다. 앞서 제시된 결과를 통하여 소음저감 성능 개선을 위해서 공명기 위치를 변경시켜야 함을 알 수 있다.

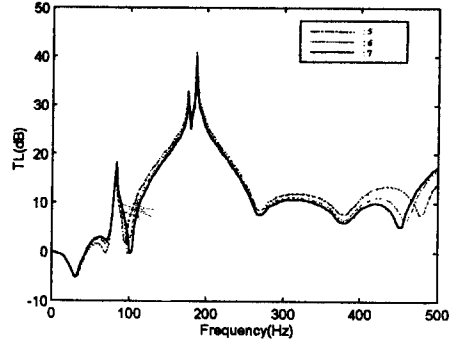
### 3. 공명기의 적정위치 선정<sup>(9~11, 13)</sup>

#### 3.1 전달행렬법에 의한 공명기 적정위치 선정

전달행렬법을 기초로 개발된 흡기소음 해석 소프트웨어를 이용하여 공명기의 적정위치를 선정하고자 하였다. 이는 주공명기 설치에 따른 제 2공명을 제어함으로써 공명기의 갯수를 줄이고 공명기의 효과를 극대화하고자 한 것이다. Fig. 6은 본 소프트웨어를 통해 해석된 전달손실(transmission loss) 결과이다. 결과에서 알 수 있듯이, 70 Hz에서 공명기 설치에 따른 제 2의 공명이 나타남을 알 수



(a) Position 1~4



(b) Position 5~7

Fig. 7 Transmission losses at each position of a main resonator.

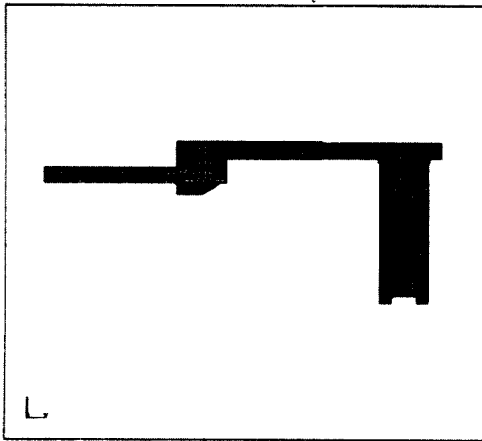


Fig. 8 FEM mesh model of an intake system.

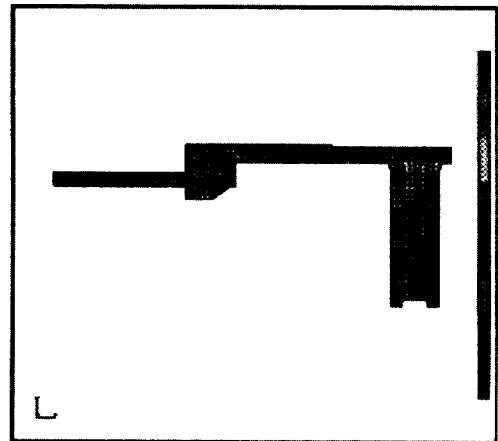


Fig. 9 Acoustic mode shape analysis (Freq.=87.0 Hz).

있으며, 이는 앞서 해석된 결과와 일치된 결과를 보이고 있다.

Fig. 7은 주공명기의 위치를 입력관에서 에어크리너 쪽으로 5 cm씩 이동시켰을 때의 전달손실의 변화이다. 주공명기의 위치가 에어크리너에 가까울수록 공명기의 효과가 좋아지며, 주공명기 설치에 따른 제 2공명도 110 Hz에서 나타남을 알 수 있으며 이는 3300 rpm에 해당하는 주파수이며, 주행 영역상 문제가 되지 않는 영역이다.

3.2 음향 유한요소해석(SYSNOISE)에 의한 공명기 적정위치 선정<sup>(10, 11, 13)</sup>

공명기의 위치는 해당주파수의 음압이 가장 높은 곳에 설치하였을 때 공명기의 효과를 극대화시킬 수 있으므로 Fig. 8과 같이 공명기를 없는 상태의 흡기계 기본 모델에 대해서 음향모드 해석을 행하

였다. Fig. 9는 이에 대한 해석결과이다. 결과에서 알 수 있듯이, 에어크리너에서 높은 음압을 나타내고 있으며, 이는 공명기가 에어크리너 위에 설치되어야 함을 알 수 있다. 이는 전달행렬법에 의한 예측결과와 일치된다.

3.3 공명기 위치선정에 대한 해석 및 평가

앞서 해석된 결과를 토대로 Fig. 10과 같이 주공명기를 에어크리너 위에 설치한 경우에 대하여 NIT/SYSNOISE를 이용하여 전달손실 값을 구하였다(Fig. 11). 또한 이를 근거로 Photo 3과 같이 간이 모형을 제작하여 실험을 행하였으며, Fig. 12는 전달행렬법에 의한 해석과의 비교 결과이다.

결과에서 알 수 있듯이, 예측대로 주공명기의 설치에 따른 75 Hz 공명은 없어지는 반면 110 Hz 이

상에서 공명이 나타나며 성능도 상당히 개선됨을 알 수 있다.

Fig. 13은 공명기의 위치를 변경한 간이 모형용 시뮬레이터에 설치한 경우의 각 회전수별 음압특성을 보여주고 있다. 결과에서 알 수 있듯이, 67 Hz와 110 Hz에서 가진 주파수와는 무관하게 공명이

나타나고 있으며, 이는 앞서 예측된 결과와 일치하고 있다.

또한, 각 회전수에서의 오버울 값을 기존의 주공명기의 위치에서와 개선된 위치에서의 결과를 비교하였고, 두개의 공명기를 모두 설치한 기존의 흡기계의 소음특성과 개선된 위치에 하나의 공명기를 설치한 경우를 비교하였다. 이에 대한 결과를 Fig. 14에 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이, 주공명기의 위치를 개선한 경우 기존의 2개의 공명기를 사용한 경우보다 특정회전수에서는 10 dB(A)의 소음저감 성능이 개선되는 등 전반적으로 소음저감 성능이 향상됨을 알 수 있으며, 예측한 바와 같이 3300 rpm(110 Hz)에서는 기존의 것보다 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러나, 회전수에 따른 유압의 증가 양상에서 볼 때, 110 Hz의 소음특성은 두드러진 문제가 되지않음을 알 수 있으며, 오히려 유전측면에서 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

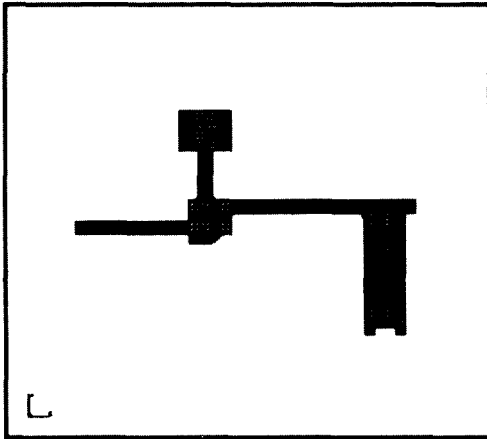


Fig. 10 FEM mesh modeling of the intake system with new resonator.

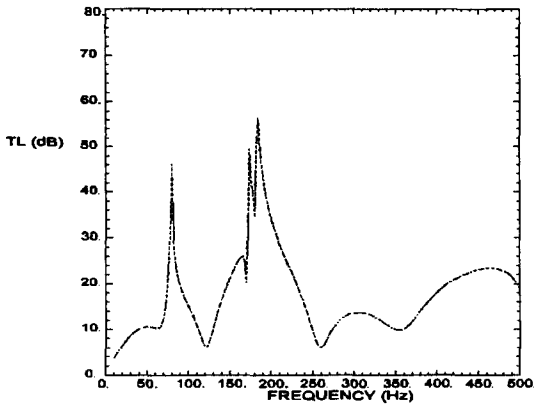


Fig. 11 Estimated TL of the modified position of a resonator by the SYSNOISE.



Photo 3 Overview of a prototype of an intake system.

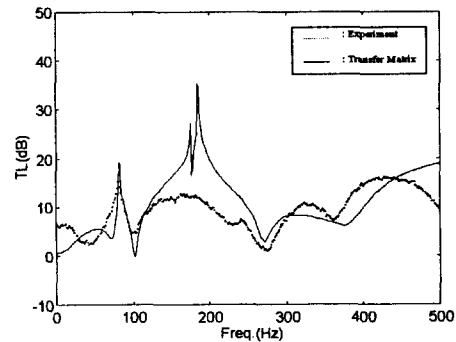


Fig. 12 Transmission loss of an intake system with modified position of a resonator.

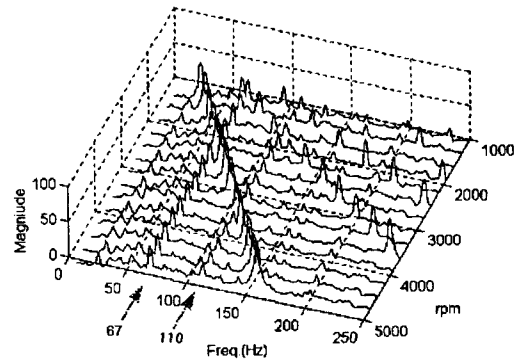
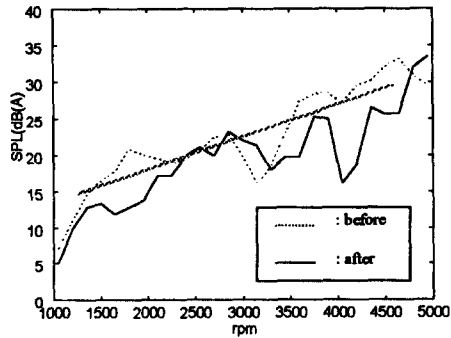
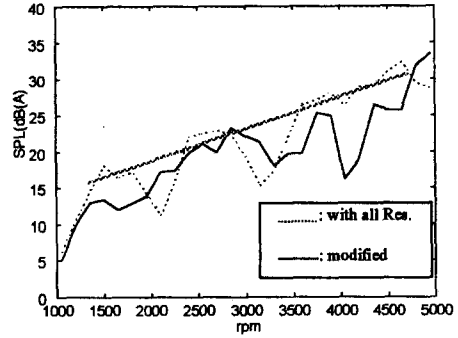


Fig. 13 Frequency response of intake noises at each excitation rpm after modify position of a main resonator.



(a) Old intake system with a main resonator and modified position of a resonator



(b) Old full system and modified position of a resonator

Fig. 14 Sound pressure level at each excitation rpm.

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 실제 엔진과 유사한 흡기소음 특성을 현시시킬 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다.
- (2) 기존의 흡기계에서 공명기 설치에 의해 나타나는 제 2공명을 개선하였고 성능을 개선하고자 주공명기의 적정위치를 제안하였다.
- (3) 시뮬레이터를 통해 두 개의 공명기를 갖는 기존의 흡기계보다 하나의 공명기가 적정위치를 갖는 경우의 소음저감 성능이 훨씬 향상됨을 확인하였다.

#### 참고문헌

- (1) Takeshi Toi and Nobuyuki Okubo, 1995, "Noise Prediction of Air Intake System for Vehicle and Its Application," Inter-Noise 95, pp. 131~134.
- (2) Yoshitaka Nishiro, Tokio Kohama, Osamu Kuroda, 1991, "New Approach to Low-noise Air Intake System Development," SAE911042, pp. 1388~1400.
- (3) SYSNOISE manual, NIT
- (4) Munjal, M.L., 1987, *Acoustics of Ducts and Mufflers*, John Willey & Sons
- (5) John. D. Kostunand J. S. Lin, 1994, "Effect of

Resonator Location on Resonator Effectiveness Using NASTRAN Mode Shape Prediction Analysis and LAMPS Acoustic Model," SAE940614, pp. 1~12.

- (6) Eizo Suyama, Takashi Ishida and Yasuo Nakamura, 1990, "The Optimum Setting Position of the Silencer," SAE900348, pp. 1~4.
- (7) Jon W. Parsons, 1993, "Reduction of Exhaust and Air Induction System Noise by a Predictive Method," SAE931338, pp. 611~618.
- (8) Mal P. Sacks and Steve Hackney, 1988, "Performance of Acoustic Components for Engine Induction Systems," SAE880081, pp. 1~11.
- (9) 오재응, 한광희, 1995, "승용차 흡기계 소음저감 성능개선에 관한 연구," 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 116~122.
- (10) 오재응, 한광희, 1996, "자동차 흡기 소음저감을 위한 설계기법에 관한 연구," 한국소음진동공학회, 춘계학술대회 논문집, pp. 41~46.
- (11) 오재응, 한광희, 손동연, 1996, "자동차의 저소음 흡기계 설계기법에 관한 연구," 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, pp. 317~322.
- (12) 오재응, 한광희, 손동연, 1997, "자동차의 흡기소음 평가시뮬레이터 개발 및 소음저감 성능개선," 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 397~402.
- (13) 오재응, 한광희, 이규태, 1997, "자동차 흡기 소음저감을 위한 설계기법에 관한 연구 (1) — 공

- 명기 적정위치 선정 —,” 대한기계학회논문집(A), 제21권, 제10호, pp. 1648~1655.
- (14) 오재응, 한광희, 김상현, 1997, “자동차 흡기 소음저감을 위한 설계기법에 관한 연구 (2) — 흡기계의 사양 개선 —,” 대한기계학회논문집(A), 제21권, 제10호, pp. 1656~1665.