

자동차 배기계의 배기압 감응형 제어 머플러 개발에 관한 연구 (II) - 배기압 감응형 제어 머플러의 소음특성과 스프링 상수 · 최초 열림 압력의 관계 -

이 해 철¹⁾ · 이 민 호¹⁾ · 이 준 서²⁾ · 차 경 옥³⁾

명지대 대학원 기계공학과¹⁾ · 충청대 컴퓨터응용기계설계과²⁾ · 명지대 기계공학과³⁾

The Development of Muffler with Controller Sensing Exhaust-gas Pressure in Automotive Exhaust System (II)

Haechul Lee¹⁾ · Minho Lee¹⁾ · Joonseo Lee²⁾ · Kyung-ok Cha³⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Myongji University, Seoul 120-728, Korea

²⁾Department of Computer aided Machine Design, Chungcheong College, Chung-Buk 363-792, Korea

³⁾Department of Mechanical Engineering, Myongji University, Seoul 120-728, Korea

(Received 15 October 2001 / Accepted 30 December 2002)

Abstract : This study is focused on the development of a new muffler. A control valve installed in the exhaust system is operated by torsion springs, and its open angle is controlled automatically corresponding to the engine operating conditions. A control valve and a control muffler sensing exhaust-gas pressure are made for developing a new muffler. The experiments were done using an exhaust system simulator having the same pulsation wave frequency and similar pulsation propagation characteristics of a real exhaust system. The purpose of this study is to develop a new muffler system which has improved noise reduction quality and less power loss than conventional mufflers and electronic-control mufflers. Finally the characteristic of noise compared with conventional muffler and muffler sensing exhaust-gas pressure.

Key words : Exhaust system (배기계), Back pressure (배압), Noise reduction (소음감소), Exhaust Noise (토출음), Exhaust control valve (배기제어밸브)

1. 서론

자동차 배기계는 최대 배기소음의 감소효과와 엔진 성능향상을 위한 최소 배압 효과라는 상반된 기술을 하나의 시스템에 집약해야하는 설계상의 난점이 있다. 특히 자동차 배기 소음을 낮추게 하면 배기계의 압력손실이 높아져서 동력의 성능 저하를 가져오게 된다. 이처럼 상반된 성능을 가급적 동시에

만족시킬 수 있는 기술적 요소 중의 하나는 주로 전자제어형 유로변환 머플러를 사용함으로써 자동차의 정숙성과 동력성능 향상의 목적을 가져올 수 있게 몇 년전 부터 개발을 시도하기 시작하였다.¹⁾ 그 후에도 여러 가지 방식의 전자제어형 머플러를 시작으로 다양한 제어형 머플러가 개발되었지만, 극히 일부의 고급 차량에만 장착할 수밖에 없었다. 그러나 최근의 자동차 배기계는 환경문제를 비롯하여 저연비와 정숙성 및 동력성능향상, 고출력의 확대에 대한 요구에 의해서 저소음화시킬 수 있는 고

¹⁾To whom correspondence should be addressed.
Chako@mju.ac.kr

성능형태의 머플러를 제안하고 있다.²⁾ 물론 기존차량의 하부구조의 레이아웃(lay-out)을 고려할 경우에 현재 사용하는 머플러 크기와 큰 차이가 없어야 하며, 차종에 관계없이 고출력, 저소음화에 대한 운전자의 요구를 만족시킬 수 있도록 어떠한 차종에도 적용이 가능한 호환성을 지녀야 한다.

따라서 본 연구로부터 개발하고자 하는 배기압 감응형 제어 머플러는 배기시스템 내부에 유로를 변환할 수 있도록 제작한 밸브를 설치하므로 배기가스 압력이 낮은 저속회전 영역에서는 밸브가 닫히게 하여 배기가스가 바로 대기로 배출되도록 하였다. 또한 배기가스의 압력이 증가하는 고속회전 영역에서는 배기가스의 압력에 의하여 밸브가 열리도록 하여, 길어진 유로를 따라 대기로 방출하도록 하였다. 이때 두 개의 유로를 사용함으로써 머플러 직경에 대한 미관(tail pipe)의 확장비를 확장시켜 배압감소를 통한 엔진출력 향상을 도모하고자 하였다. 더욱이 엔진의 운전상태에 따라 능동적으로 대처하면서 기존 차량용 머플러의 이율배반적인 성능인 저소음·저배압을 동시에 만족할 수 있는 정숙성과 출력성능 향상을 얻고자 새로운 머플러를 개발하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험은 로터리 디스크 밸브를 이용한 배기계 모의 실험장치를 제작하여 사용하였다. 로터리 밸브는 실기관과 마찬가지로 배기 파이프로 공기를 간헐적으로 유동시킬 수 있는 하나의 방법이며, 왕복형 엔진과 공기 압축기의 흡기 및 배기 시스템에서 맥동류를 연구하는데 사용되어져 왔다.^{3,4)}

실험에 사용된 로터리 밸브 시뮬레이터는 Fig. 2와 같이 파형과 진폭에서 실제 엔진의 배기 시스템으로부터 발생하는 것과 같은 맥동파형을 일으키고 있다. 위의 실험을 위해 제작 및 구성된 실험 장치의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다.

실험에 사용된 공기 공급장치로는 15마력과 5마력 왕복형 실린더 압축기가 이용되었고, 압축기의 맥동성분을 제거하기 위하여 두 개의 확장챔버를 사용하였다. 주 공기 공급은 15마력의 압축기에 의하여 공급되었으며, 미세한 압력을 정확히 조절하

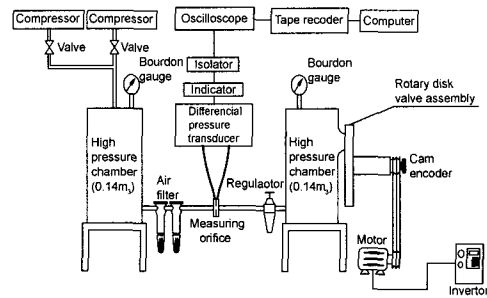


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for the characteristics of flow through rotary valves

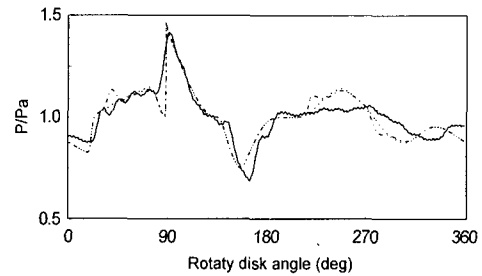


Fig. 2 The comparison of exhaust pressure characteristics generated engine and rotary valve experimental apparatus

기 위하여 5마력의 보조 압축기를 추가시켜 공기의 압력을 조절하였다. 또한 첫번째 확장챔버에서 두 압축기에서 나오는 공기를 안정시키고, 두 압축기에서 나오는 공기의 수분을 제거하기 위하여 두 챔버 사이의 연결부에 두개의 공기필터(air filter)와 로터리 밸브가 작동될 때 두 번째 확장챔버에서 일정한 압력이 유지되도록 공기 레귤레이터(regulator)를 장착하여 실험적인 유량의 전체 범위를 측정하였다. 한편 디스크의 회전 속도는 고속 베어링에 5마력 3상 모터(motor)를 풀리(fully)로 연결하여 인버터(inverter)로 조절하였으며, 로터리 밸브의 개방시에 회전각을 알아보기 위하여 로터리 밸브축에 엔코더(encoder)를 설치하여 측정하였다.

Fig. 3은 로터리 밸브 시뮬레이터를 사용하여 먼저 미관(tail pipe)의 개방단으로부터 토출음(exhaust noise)과 제어밸브의 특성을 파악하기 위한 기류음 측정 장치의 구성도를 보여주고 있다. 본 실험에서는 지름이 13mm인 2개의 오리피스와 두께가 12mm이며 피치원의 지름이 200mm인 디스크 타입의 로터리 밸브를 사용하였다. 배기시

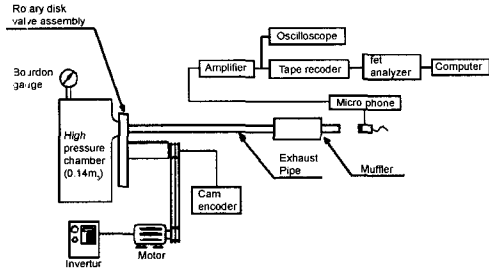


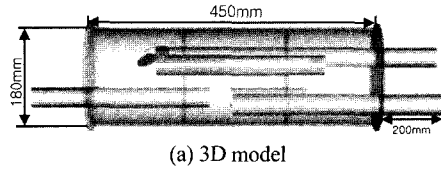
Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus for the noise in exhaust system

스텝의 미관은 지면으로부터 115mm 떨어진 곳에 위치하고, 마이크로폰은 미관으로부터 1.18m 떨어진 곳에서 미관의 수평면과 45°를 이루는 지점에 설치하였다. 마이크로폰은 Cirrus Co. Electret Type MK2.02B을 사용하였다. 토출음 측정에 대한 로터리 밸브의 회전속도는 1000, 2000, 3000 rpm의 세 가지 조건에서 실험하였으며, 두번째 확장챔버의 압력은 4.0 게이지 압력으로 일정하게 유지시켰다. 제어밸브의 열림에 의해 발생하는 기류음의 측정은 로터리 밸브의 완전 개방 시에 측정하였다. 각 실험에서 마이크로폰으로부터 측정된 신호는 시간평균을 1초(sec)로 하고, 프로세스(process)평균을 50회로 하였으며, 주파수 영역에 대한 해석을 위하여 각 신호의 파워스펙트럼을 구하였다. 또한 같은 크기와 모양을 가지는 배기압 감응형 제어 머플러와 제어밸브가 없는 머플러를 제작하여 소음 성능을 평가하였다.

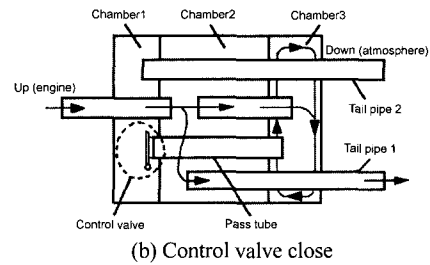
Fig. 4는 실험에 사용된 배기압 감응형 제어 머플러의 형태와 주요 치수를 삼차원 모델링으로 나타내었다. 배기압 감응형 제어 머플러의 길이는 450mm이고, 두 개의 테일파이프(tail pipe)의 길이는 각각 200mm이다.

Fig. 5는 배기압 감응형 제어 머플러에 장착된 제어밸브의 형태와 주요 치수이다. 제어밸브는 실제 배기계에서 사용되어지고 있는 두께 1.6mm 연강으로 제작하였으며, 실험에 사용된 제어밸브는 열처리된 스프링으로서 직경이 $\phi=0.7\text{mm}$ 와 1.0mm 인 헬리컬 비틀림 스프링을 장착하여 실험하였다. 스프링의 재질은 경강선(SWP)이다.

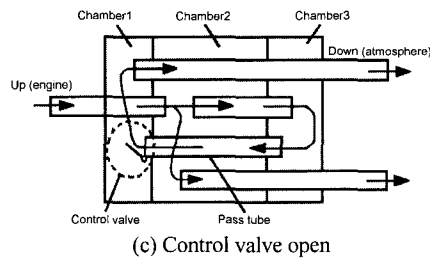
Fig. 6은 실험에 사용된 스프링의 형태를 보이고 있다.



(a) 3D model



(b) Control valve close



(c) Control valve open

Fig. 4 The 3D model and flow pattern and inner lay-out of a muffler with controller sensing exhaust-gas pressure

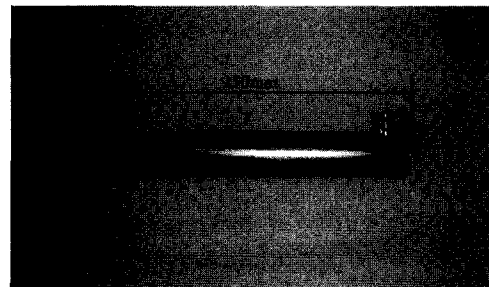


Fig. 5 The control valve using the muffler sensing exhaust-gas pressure

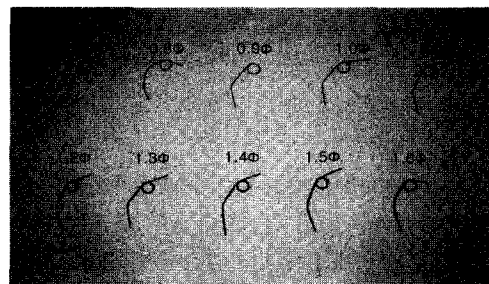


Fig. 6 The spring types using the muffler sensing exhaust-gas pressure

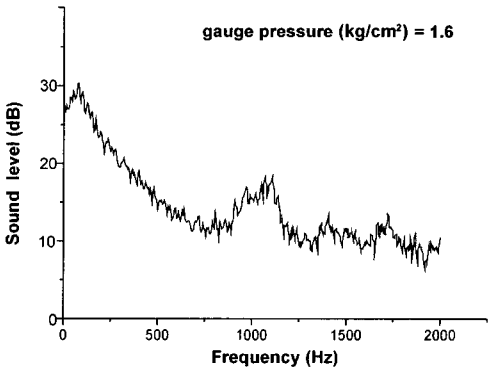
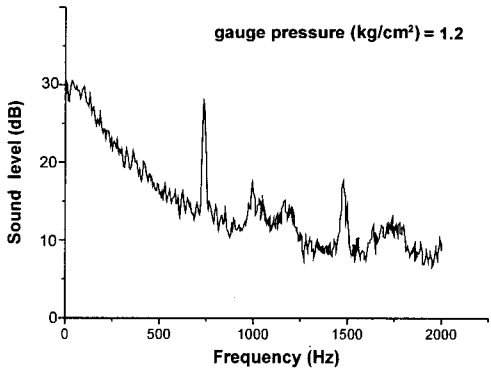
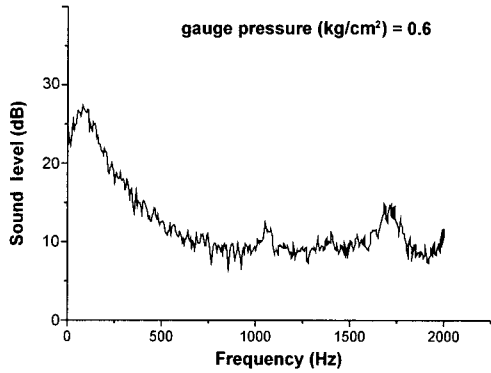
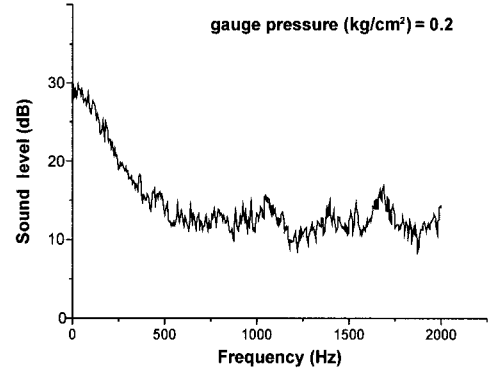
3. 실험결과 및 고찰

3.1 배기압 감응형 제어 머플러의 소음특성

제어밸브의 소음특성을 확인하기 위하여 기류음을 측정하였다. 기류음은 배기가스압력에 반응하는 제어밸브의 유동면적변화에 의해 발생된다. 실험은 스프링 와이어의 지름이 0.7mm와 1.0mm를 사용하여 압력의 변화를 게이지 압력으로 0기압(대기압 1기압)에서부터 0.2기압씩 증가시켜며 3기압까지 제어밸브의 열림시에 기류음을 확인하였다. 또한 압력변화를 3기압에서부터 0.2기압씩 감소시키면서 0기압까지 제어밸브의 닫힘시에 기류음을 확인하였다. 실험에 사용된 스프링 와이어 지름 0.7mm와 1.0mm의 열림시 기류음 측정에서 제어밸브가 압력에 최초로 반응하여 열리기 시작하였을 때에 유동면적이 작음으로 약 500Hz 이하에서 강한 기류소음이 발생하는 것을 알 수 있었다. 그러나 점차 압력이 증가되면서 그에 따른 제어밸브, 유동면적의 증가로 인하여 강한 기류소음은 약간의 감소를 보인다. 특히 실험도중 1.2기압에서 사람의 청각에 상당한 자극을 주는 고주파음향을 확인하고 그의 측정결과를 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10에 나타내었다. 1.2기압에서 나타나는 고주파음향의 강한 기류음은 나중에 제어머플러를 장착했을시 토출음과의 마스킹 효과(masking effect)에 의하여 감쇠하게 된다. Fig. 7, Fig. 9는 압력을 0기압에서 3기압으로 상승시킬때의 데이터이고, Fig. 8, Fig. 10은 압력을 3기압에서 0기압으로 감쇠시킬때의 데이터이다. 이때 최대(peak) 값이 750Hz부근에서 발생함을 알 수 있었다. 또한 압력을 증가시켜 3기압까지는 유동면적이 확대됨으로 약 1kHz 이상의 영역에서 주파수 성분들이 증가함을 알 수 있다.

제어밸브의 닫힘시 기류음 측정시에는 열림시와 반대의 결과를 나타냄을 알 수 있다. 이것은 제어밸브의 동특성이 열림시와 닫힘시 같은 특성을 나타냄을 확인시켜준다.

배기압 감응형 제어 머플러의 토출은 측정시에는 스프링 와이어의 지름이 0.7mm와 1.0mm를 사용하여 두 번째 확장챔버의 압력을 4기압으로 고정하고 회전속도의 변화를 1000, 2000, 3000rpm으로 실험



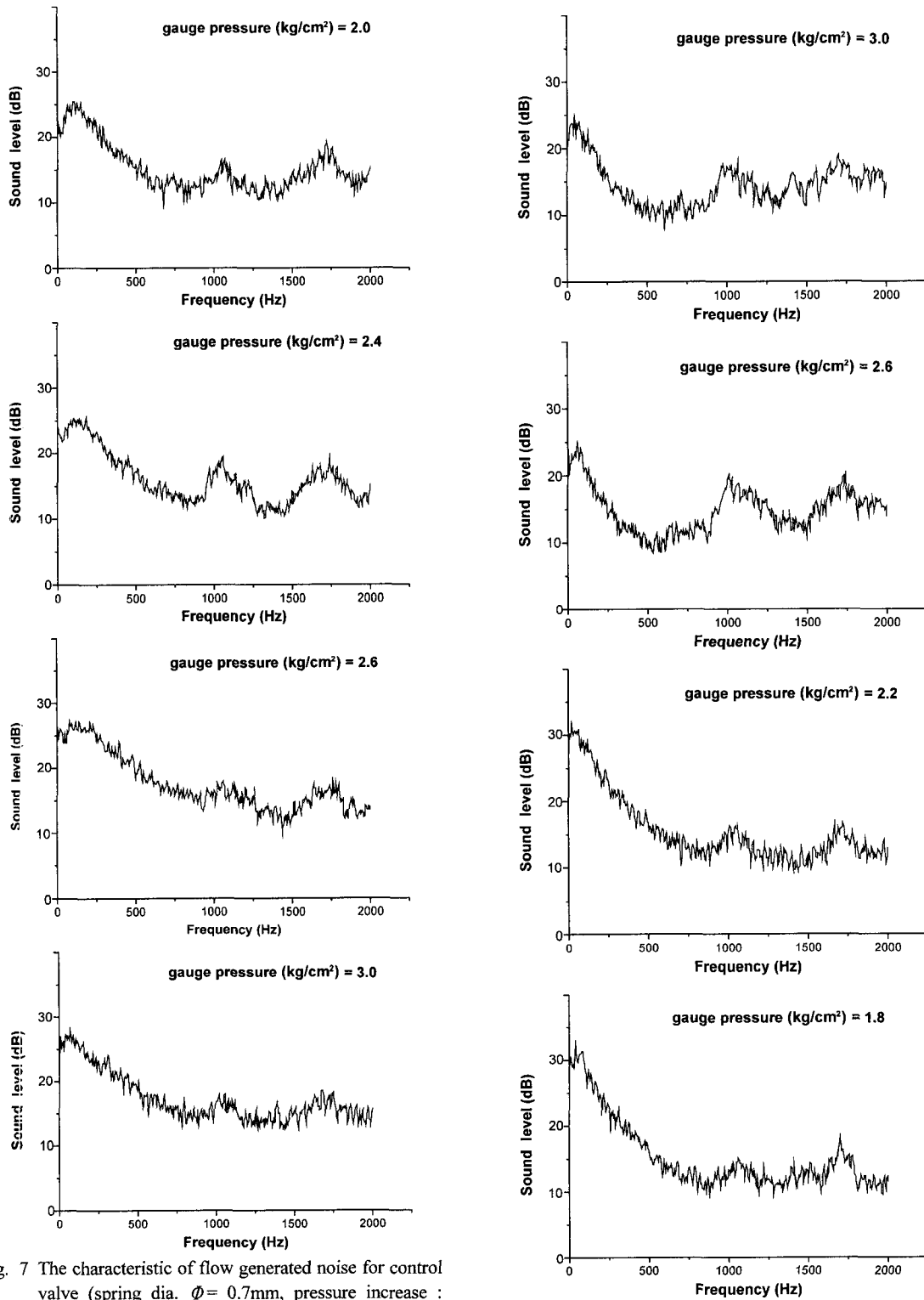


Fig. 7 The characteristic of flow generated noise for control valve (spring dia. $\Phi = 0.7\text{mm}$, pressure increase : 0.2atg)

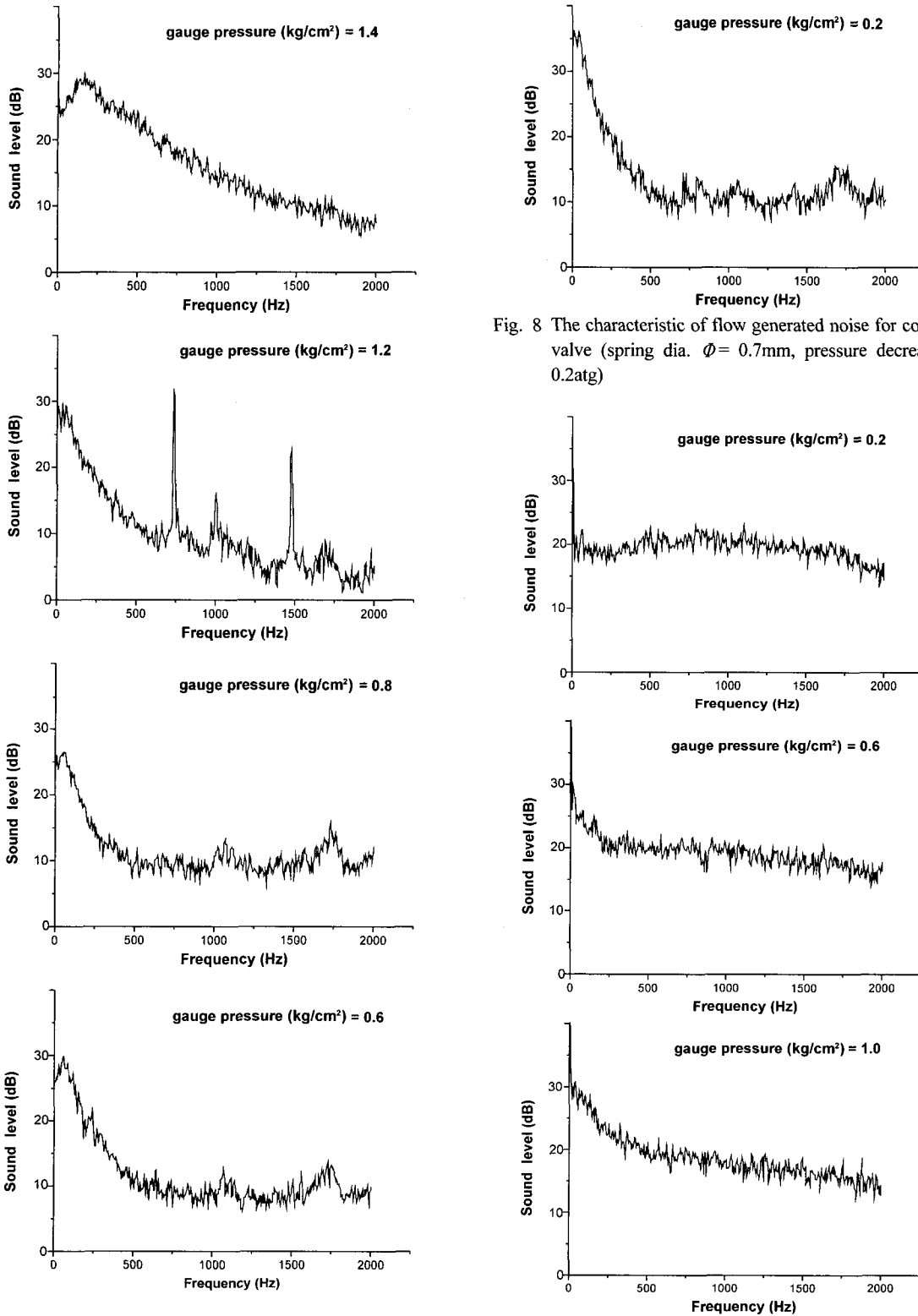


Fig. 8 The characteristic of flow generated noise for control valve (spring dia. $\Phi = 0.7\text{mm}$, pressure decrease : 0.2atg)

자동차 배기계의 배기압 감응형 제어 머플러 개발에 관한 연구 (II)

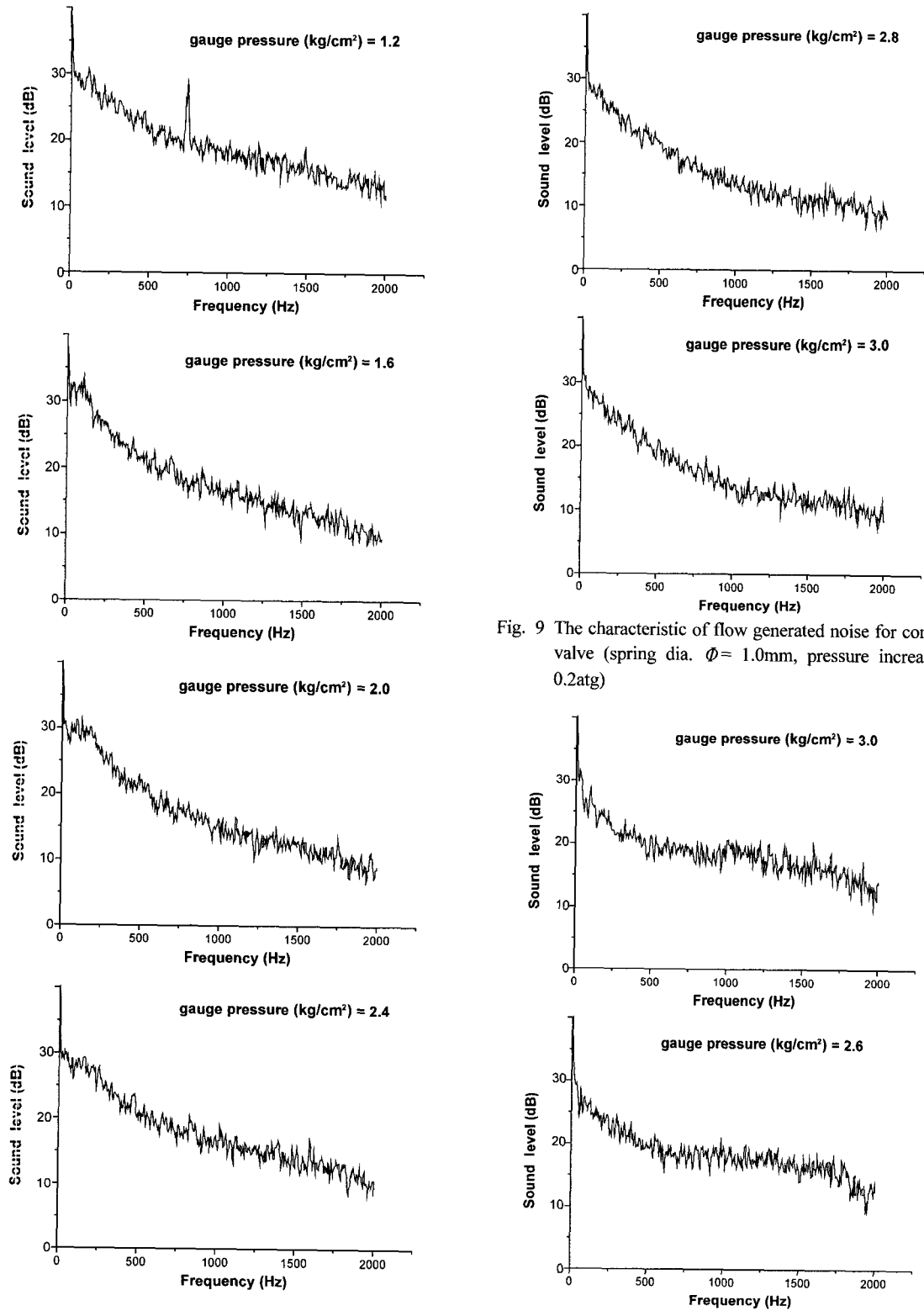


Fig. 9 The characteristic of flow generated noise for control valve (spring dia. $\phi = 1.0\text{mm}$, pressure increase : 0.2atg)

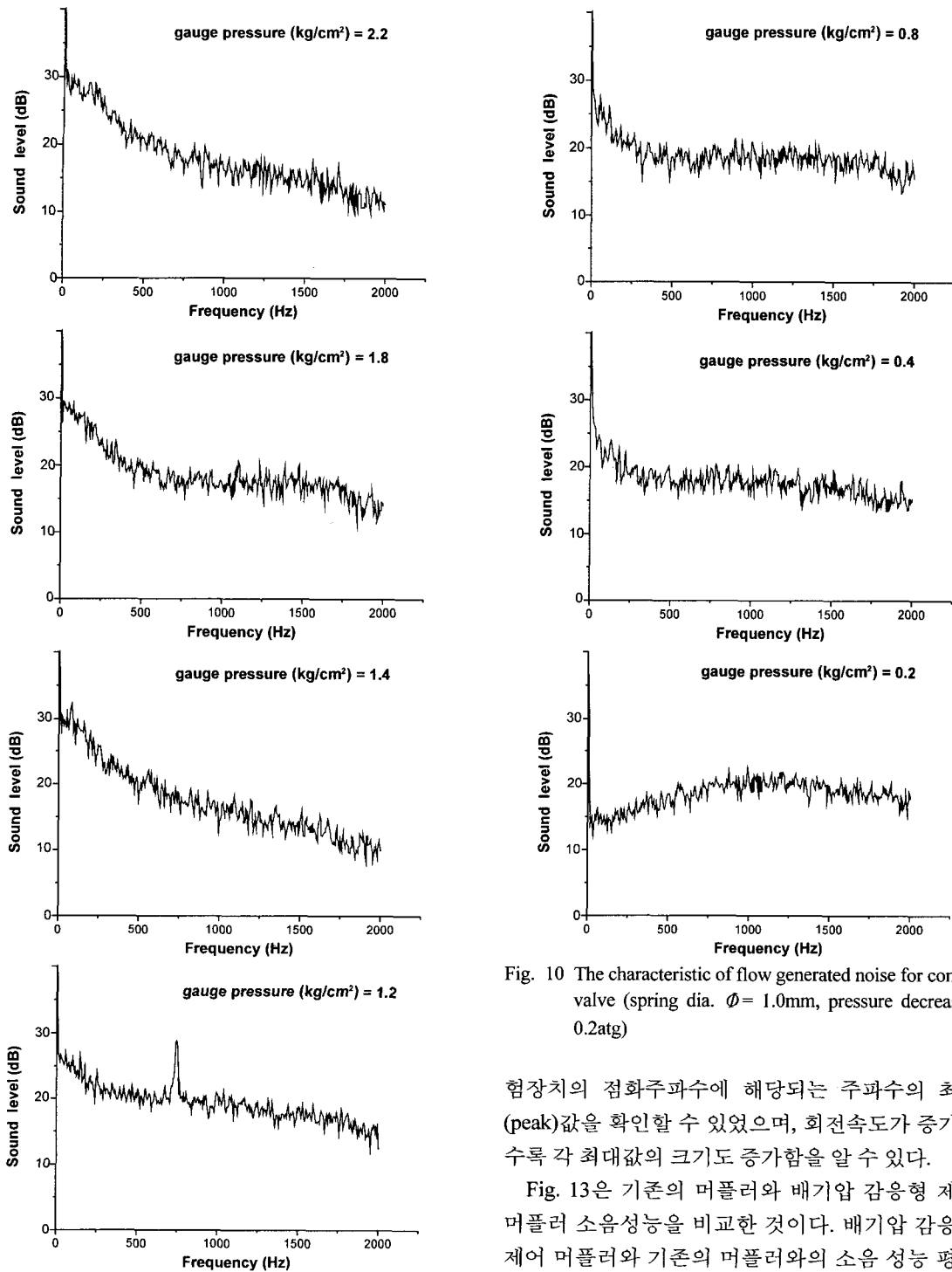


Fig. 10 The characteristic of flow generated noise for control valve (spring dia. $\Phi = 1.0\text{mm}$, pressure decrease : 0.2atg)

힘장치의 점화주파수에 해당되는 주파수의 최대 (peak)값을 확인할 수 있었으며, 회전속도가 증가할 수록 각 최대값의 크기도 증가함을 알 수 있다.

Fig. 13은 기존의 머플러와 배기압 감응형 제어 머플러 소음성능을 비교한 것이다. 배기압 감응형 제어 머플러와 기존의 머플러와의 소음 성능 평가 시험시 모든 영역에서 배기압 감응형 제어 머플러의 소음성능이 어느 정도 우수함을 확인할 수 있다. 3500rpm 이상의 부분에서 약간 저조되는 경향

을 수행한 결과를 Fig. 11과 Fig. 12에 나타내었다. 각각의 실험 회전속도에서 본 연구에 사용된 실

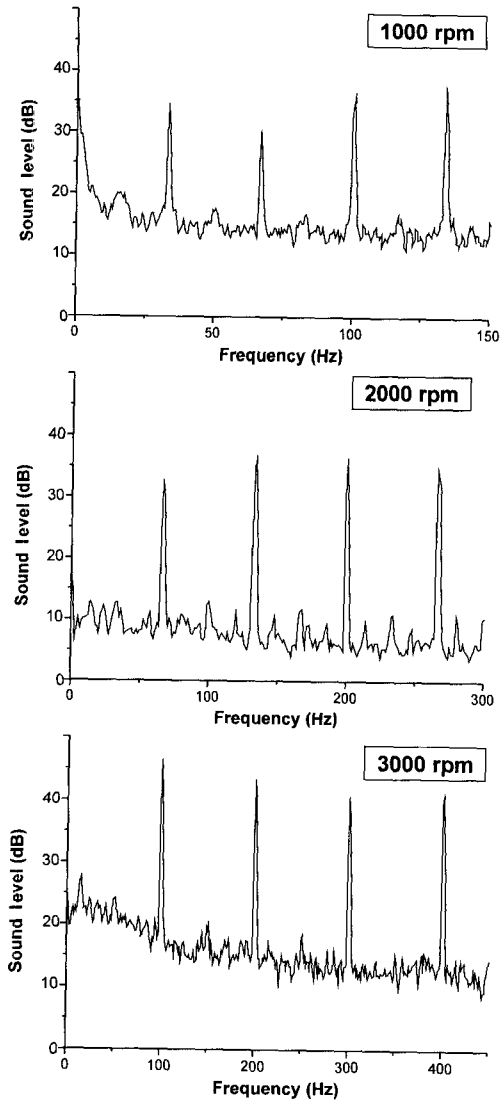


Fig. 11 The characteristic of exhaust-gas noise (spring dia. $\phi=0.7\text{mm}$)

이 있으나, 4500rpm 부분까지는 어느 정도 우수한 결과를 나타냈다.

3.2 스프링 상수 - 제어 밸브의 최초 열림 압력

스프링 상수는 Fig. 5에 나타낸 스프링의 종류에 따라 스프링 상수를 각각 구하였으며,⁵⁾ 이를 제어 밸브에 적용하였을 경우에 제어 밸브가 배기압력에 반응함으로써 밸브가 열리기 시작하는 최초 압력을

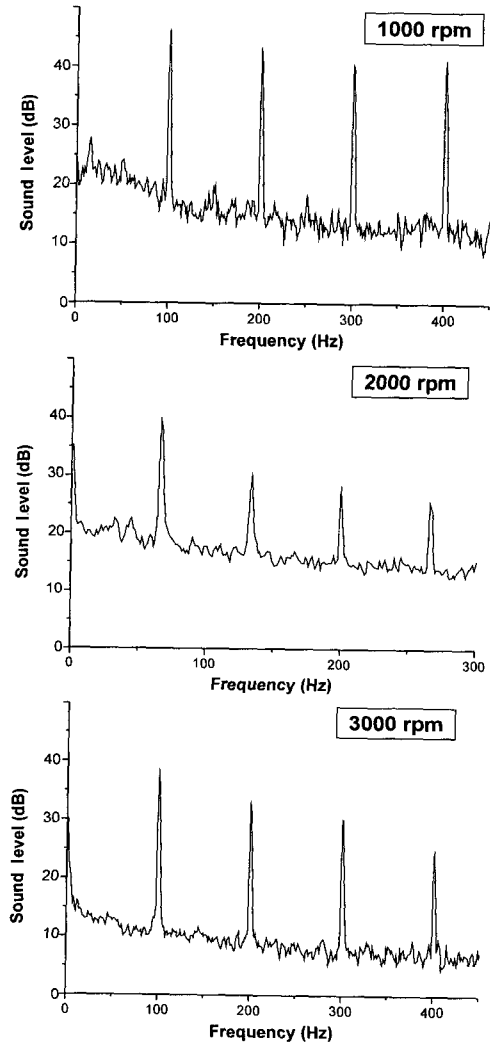


Fig. 12 The characteristic of exhaust-gas noise (spring dia. $\phi=1.0\text{atg}$)

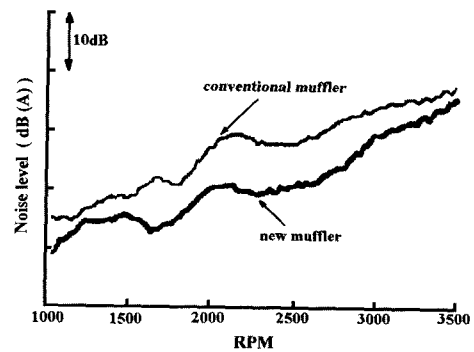


Fig. 13 The comparison of control muffler sensing exhaust-gas pressure to conventional muffler for exhaust noise

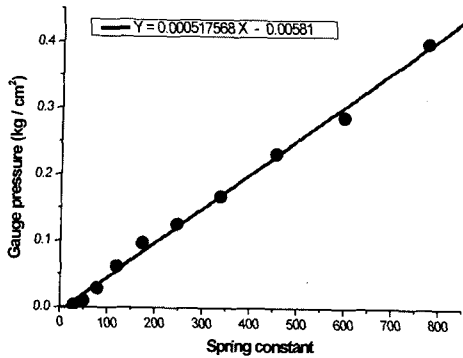


Fig. 14 Plot of spring constant vs the first opening pressure of control valve

확인하여 Fig. 14에 도시하였다.

그림에서 알 수 있듯이 스프링 상수가 증가함에 따라 제어밸브의 최초 열림 압력도 선형적인 증가를 나타내고 있다. 그러나 실험에서 사용된 스프링 외에도 제어밸브에 적용되는 스프링이 같은 재질이라면 같은 경향을 보임을 확인하였다. 이것은 엔진 설계시에 결정되는 최대토크영역에서 적절한 스프링을 선택함으로써 제어 밸브가 최대토크영역에서 열리게 할 수 있다는 것을 나타내고 있다.

4. 결론

자동차 배기계의 배기압 감응형 제어 머플러 개발에 관한 심험에 의하여 배기 제어 밸브의 소음특성과 스프링 상수 및 제어 밸브의 소음을 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 배기압 감응형 제어 머플러에 사용된 제어밸브는 스프링의 적절한 선택에 따라서 최소소음과 최대출력 성능의 향상을 꾀할 수 있다. 즉, 스프링 상수에 따라 엔진 설계시에 결정되는 최대토크영역에서 제어 밸브의 열림 시기를 조정함으로써 기관의 소음성능과 출력성능의 향상을 얻을 수 있다.

2) 제어밸브의 소음특성에서 밸브의 최초열림 시기와 밸브가 닫히기 전, 그리고 약 1.2기압에서 발생하는 강한 기류음에 의한 고주파음향은 배기압 감응형 제어 머플러의 장착시에는 토출음과의 마스킹 효과(masking effect)에 의해 감쇠함을 보였다.

3) 기존의 머플러보다 배기압 감응형 제어 머플러의 소음성능이 우수함을 실험에 의해 얻을 수 있었다.

References

- 1) "The Control Technology for Low Noise and Low Back Pressure of Exhaust Pressure," Automotive Technology, Vol.41, No.13, pp.1562-1567, 1987.
- 2) T. Konomi, Y. Hokazono, H. Nohira, "The Recent Technology of Noise Reduction and Fuel Economy Improvement in Exhaust System," Automotive Technology, Vol.44, No.12, 1990.
- 3) C. F. Taylor, "The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice," Vol.II, The MIT Press, 1968.
- 4) B. J. Challen, "Techniques for Engine Noise Control (Engine Noise)," Plenum Press, pp. 443-481, 1982.
- 5) H. C. R. Carlson, "Selection and Application of Spring Material," Mechanical Engineering, pp. 331-334, 1956.
- 6) D. Anderton, E. C. Grover, N. Lalor, T. Priede, "Origins of Reciprocating Engine Noise - its Characteristics, Prediction and Control," ASME 70/WA/DGP-3, 1970.
- 7) M. G. Prasad, "Acoustical Modelling of Automotive Exhaust Systems," Ph. D. Thesis, Purdue Univ., Aug. 1980.
- 8) C. M. Harris, Handbook of Noise Control, McGraw-Hill, New York, 1957.
- 9) C. W. S. To, A. G. Doige, "A Transient Testing Technique for the Determination of Acoustic Systems : I. Theory and Principles," J. Sound Vib., Vol.62, No.2, pp.207-222, 1979.
- 10) H. C. Lee, J. S. Lee, K. O. Cha, "The Development of Muffler sensing Exhaust-gas Pressure," Spring Conference of KSAE, Vol.1, pp.89-93, 1999.
- 11) H. C. Lee, J. S. Lee, J. K. Yun, K. O. Cha, "The Development of Muffler with Controller Sensing Exhaust Gas Pressure in Automobile Exhaust System(1) -The General Characteristics of Exhaust System and Characteristics of Control Valve-," Transactions of KSAE, Vol.9, No.1, pp.37-44, 2001.