

배기계의 배기압 감응형 제어 머플러 개발에 관한 실험적 연구

이해철* · 석동현** · 이준서*** · 차경옥****

An Experimental Study on the Development of Muffler with Controller Sensing Exhaust-gas Pressure in Exhaust System

Hae-Chul Lee, Dong-Hyun Seog, Joon-Seo Lee, Kyung-Ok Cha

Key Words: Elasticity(탄성), Exhaust-gas Pressure(배기가스압력), Noise Reduction(소음감소), Electric-control Muffler(전자제어머플러)

Abstract

This study is on the development of a new muffler composed of a valve system using an elasticity of spring. The valve system using the elasticity of spring is set along the exhaust-gas flow and designed to work itself alone the driving condition of a engine. By that reason, the engine capacity is so enlarged that a muffler with controller sensing exhaust-gas pressure is able to be satisfied to noise reduction and power enlargement more than conventional muffler. The purpose of this study is to develop the new muffler which has more noise reduction and power enlargement than conventional muffler and electric-control muffler.

1. 서 론

자동차 배기계는 최대 배기소음의 감소효과와 엔진성능 향상을 위한 최소배압 효과라는 상반되고 있는 기술을 하나의 시스템에 집약해야하는 어려운 점이 있다. 보통 배기소음을 낮추게 되면 배기계의 압력손실이 높아져서 동력성능의 저하를 야기하게 된다. 이와같은 상반된 성능을 동시에 만족시킬 수 있는 기술적 방법의 하나는 전자제어형 유로변환 머플러로써 주로 고급차의 정속성 향상 및 동력성능 향상을 목적으로 약 십여 년 전에 등장했다⁽¹⁾. 그 후에도 여러 가지 방식의 전자제어형 머플러를 시작으로 다양한 제어형 머플러가 개발되었지만, 극히 일부의 차량에만 적재할 수 밖에 없었다. 그러나 최근의 자동차 배기계는 환경문제를 비롯하여 저연비와 정속성 및 동력성능향상, 고출력의 확대에 대한 요구에 의해서 저소음화할 수 있는 고성능형태의 머플러가 제안되고 있다. 물론 기존차량의 하부구조의 레이아웃(lay-out)을 고려하여 현재 사용하는 머플러와 크기는 큰 차이가 없어야 하고, 차종에 관계없이 고출력, 저소음화에 대한 운전자의 요구를 만족시킬 수 있도록 어떠한 차종에도 적용이 가능한 호환성을 지녀야 한다. 배기압 감응형 제어 머플러는 기존의 불변형 머플러의 엔진 출력성능과 소음성능을 동시에 만족시킬 수 없는 배기시스템의 내부에 유로를 변환할 수 있도록 제작한 밸브를 설치하여 배기가스 압력이 낮은 저속회전 영역에서는 밸브가 닫힘으로서 상용머플러와 같은 구조로 배기가스가 배출되도록 한다. 또한 배기가스의 압력이 증가하는 고속회전 영역에서는

플러가 개발되었지만, 극히 일부의 차량에만 적재할 수 밖에 없었다. 그러나 최근의 자동차 배기계는 환경문제를 비롯하여 저연비와 정속성 및 동력성능향상, 고출력의 확대에 대한 요구에 의해서 저소음화할 수 있는 고성능형태의 머플러가 제안되고 있다. 물론 기존차량의 하부구조의 레이아웃(lay-out)을 고려하여 현재 사용하는 머플러와 크기는 큰 차이가 없어야 하고, 차종에 관계없이 고출력, 저소음화에 대한 운전자의 요구를 만족시킬 수 있도록 어떠한 차종에도 적용이 가능한 호환성을 지녀야 한다. 배기압 감응형 제어 머플러는 기존의 불변형 머플러의 엔진 출력성능과 소음성능을 동시에 만족시킬 수 없는 배기시스템의 내부에 유로를 변환할 수 있도록 제작한 밸브를 설치하여 배기가스 압력이 낮은 저속회전 영역에서는 밸브가 닫힘으로서 상용머플러와 같은 구조로 배기가스가 배출되도록 한다. 또한 배기가스의 압력이 증가하는 고속회전 영역에서는

* 명지대학교 대학원 기계공학과
** 명지대학교 대학원 기계공학과
*** 충청대학 기계설계과
**** 명지대학교 기계공학과

배기가스의 압력에 의하여 밸브가 열리도록 하였으며, 이때 두 개의 유로를 사용함으로써 머플러직경에 대한 미관(tail pipe)의 확장비를 확장시켜서 배압감소를 통한 엔진출력의 향상을 도모하고자 한다.

한편 스프링의 탄성을 이용한 밸브 시스템을 배기가스의 유동경로상에 장착하여 엔진의 운전상태에 따라 능동적으로 대처하면서 엔진성능을 극대화시킴으로써 기존 차량용 머플러의 이율배반적 성능인 저소음·저배압을 동시에 만족시킬 수 있는 정숙성과 출력성능향상을 위한 새로운 머플러개발에 목적을 두었다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 배기계 모의실험 장치

머플러의 다양한 형태변화에 따른 배기가스 맥동압력에 대한 실험에 있어서 배기맥동원은 디스크형태(disk type)의 로터리 디스크 밸브 시뮬레이터(rotary disk valve simulator)를 제작하여 사용하였다. 로터리 밸브는 실제기관과 마찬가지로 배기 파이프로 공기를 간헐적으로 유동시킬 수 있는 하나의 방법이며, 왕복형 엔진과 공기 압축기의 흡기시스템과 배기시스템에서 맥동류를 연구하는데 사용되어져 왔다.^{(2),(3)}

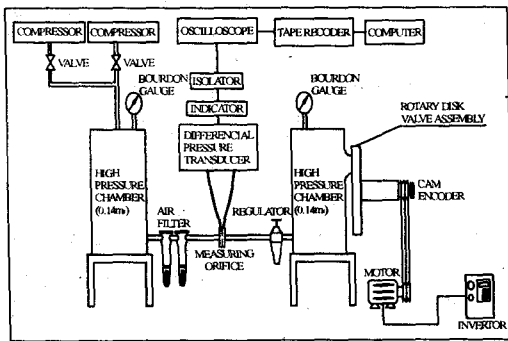


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for the characteristics of flow through rotary valves

실험에 사용된 로터리 밸브 시뮬레이터는 파형과 진폭에서 실제 엔진 배기시스템에서 발생하는 것과 같은 맥동파형을 발생시킨다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도이다. 그림에서

공기공급장치는 15마력과 5마력 왕복형 실린더 압축기(compressor)가 사용되었고, 압축기의 맥동성분을 제거하기 위하여 두 개의 고압챔버(high pressure chamber)를 사용하였다. 주 공기공급은 15마력의 압축기를 사용하여 공급하였고, 미세한 압력을 정확히 조절하기 위하여 5마력의 보조 압축기를 추가하여 공기의 압력을 조절하였다. 먼저 고압챔버 I에서 두 압축기에서 나오는 공기를 안정시키고, 두 압축기에서 나오는 공기의 수분을 제거하기 위하여 두 챔버 사이의 연결부에 2개의 공기필터(air filter)와 로터리 밸브가 작동될 때 고압챔버 II에서 일정한 압력이 유지되도록 공기 레귤레이터(regulator)를 장착하였다. 또한 실험적인 유량의 전체 범위를 측정하고, 디스크의 회전속도는 고속베어링(high speed bearing)에 5마력 3상모터(motor)를 풀리(fully)로 연결하고 SV0371S-2 밀폐형 인버터(inverter)로 조절하였으며, 로터리 밸브의 개방되는 회전각을 알기 위하여 로터리 밸브축에 캠엔코더(cam encoder)를 설치하여 측정하였다.

2.2 배기압 감응형 제어 머플러

Fig. 2은 로터리 밸브 시뮬레이터를 사용하여 미관의 개방단에서 토출되는 토출음(exhaust noise)과 제어밸브의 특성을 알기 위한 기류음의 측정을 수행하기 위한 장치를 나타내었다. 본 연구에서는 지름이 13mm인 2개의 오리피스가 있고 두께가 12mm이며 피치원의 지름이 200mm인 디스크 타입의 로터리 밸브를 사용하였다. 배기시스템의 미관(tail pipe)은 지면으로부터 115mm의 위치에 떨어진 곳에 위치하고, 마이크로폰은 미관으로부터 1.18m 떨어진 곳에서 미관의 수평면과 45°를 이루는 지점에 설치하였다. 마이크로폰은 Cirrus Co. Electret Type MK202B이다. 압축기의 조절밸브를 통해서 공급된 공기는 고압챔버 I에서 충분히 안정시킨 후 두 챔버사이의 연결관에 장착된 필터와 압력조절기를 통과한 후 고압챔버 II에서 로터리 밸브를 통하여 파이프 내로 유동하고 대기로 방출된다. 이때 토출음 특성은 로터리 밸브의 회전속도는 1000rpm, 2000rpm, 3000rpm의 세 가지 조건에서 실험하였으며, 챔버 II의 압력은 4.0 게이지 압력으로 일정하게 유지된다. 제어밸브의 열림에 의해 발생하는 기류음의 측정은 로터리 밸브의 완전 개방 시에 측정하

였다. 각 실험에서 마이크로폰으로부터 측정된 신호는 시간평균을 1초(sec)로 하고, 프로세스(process)평균을 50회로 주파수 영역에 대한 해석을 위하여 각 신호의 파워스펙트럼을 구하였다. 또한 배기압 감응형 제어 머플러와 제어밸브가 없는 기존의 머플러의 형태를 갖는 머플러를 제작하여 배기계 모의 실험 장치를 이용하여 소음 성능을 평가하였다.

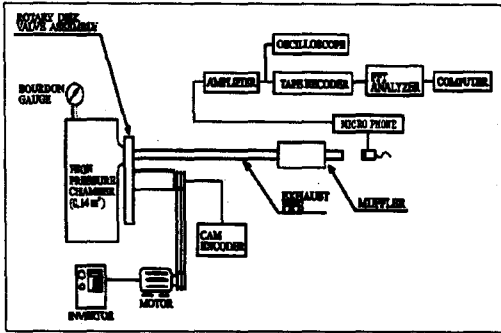
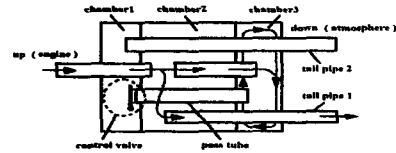


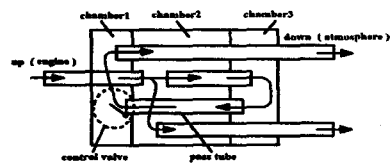
Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus for the noise in exhaust system

Fig. 3는 배기압 감응형 제어 머플러의 내부구조와 배기가스의 흐름을 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 배기유량이 적은 저속영역에서는 테일파이프(tail pipe)의 확장비를 확보하여 저주파음을 효과적으로 소음할 수 있도록 제어밸브를 스프링의 힘으로 닫아서 막혀있는 상태로 유지하고, 배기를 제2실(chamber2)을 경유로 제1테일파이프(tail pipe1)만을 경유하여 배출하도록 만든 경우를 나타낸 것이다. 또한 제3실(chamber3)을 공명요소로서 작용시켜 더욱 저주파수대의 소음량을 확보했다. Fig. 3(b)는 배기 유량이 많은 고속영역에서는 압력손실 및 기류소음의 저감을 얻기 위해 배기유량에 따라 제어밸브를 열리게 하도록 하고 저속영역에서의 유로에 추가하여 제3실(chamber3)부터 패스튜브(pass tube), 제어 밸브 및 제1실(chamber1)을 경유해서 제2테일파이프(tail pipe2)에서도 배기가 흐르도록 만든 경우를 나타낸 것이다. 따라서 제3실(chamber3)은 공명 요소의 중·고주파수 영역에서 소음량이 큰 확장요소로 변화한다. Fig. 4은 음향학적 시스템(acoustic system)의 관점에서 배기압 감응형 제어 머플러를 도시하였다. 제어밸브가 작동하지 않을 때에는 제1테일파이프(tail

pipe1)만을 확장요소로 이용하고, 제어밸브의 작동 시에는 제1테일파이프(tail pipe1)뿐만 아니라 제어밸브를 경계로 확장요소와 확장요소의 결합으로 이루어져 있다.



(a) Control valve close



(b) Control valve open

Fig. 3 Flow pattern and inner lay-out of new muffler

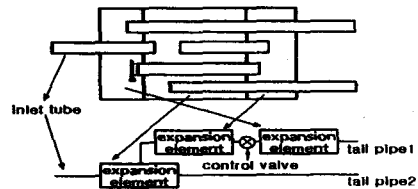


Fig. 4 Calculation model of control muffler sensing exhaust-gas pressure

Fig. 5은 배기압 감응형 제어 머플러에 장착된 제어밸브의 실제 형태와 주요 치수를 나타낸 것이다. 제어밸브는 실제 배기계에서 사용되어지고 있는 1.6mm연강으로 제작하였으며, 제어밸브에 사용되어진 스프링은 열처리된 $\phi=0.7\text{mm}$ 와 0.8mm 인 헬리컬 비틀림 스프링을 장착하여 실험에 사용하였다. 스프링의 재질은 SWP이다. Fig. 7은 실험에 사용된 배기압 감응형 제어 머플러의 형태와 주요 치수를 삼차원 모델링 그림으로 나타내었다. 배기압 감응형 제어 머플러는 총길이 800mm이며, 머플러 본체만의 길이는 450mm이고, 두 개의 테일파이프(tail pipe)의 길이는 각각 200mm이다.

3. 실험결과 및 고찰

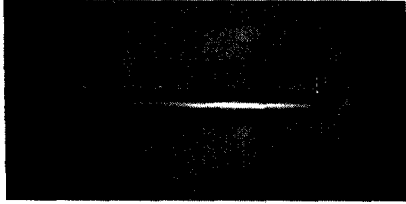


Fig. 5 The control valve using the muffer sensing exhaust-gas pressure

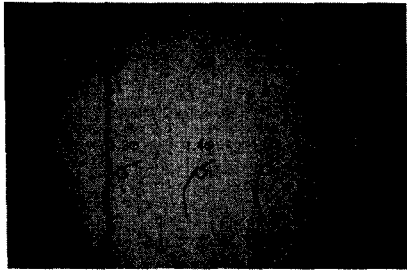
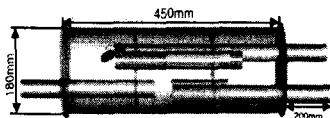


Fig. 6 The spring types using the muffer sensing exhaust-gas pressure



(a) 3-D Modeling of muffer with controller sensing exhaust-gas pressure



(b) Schematic diagram of muffer with controller sensing exhaust-gas pressure

Fig. 7 A muffer with controller sensing exhaust-gas pressure

3.1 제어밸브의 동특성

제어밸브의 동특성을 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 스프링 와이어의 지름(d)이 0.7을 사용하여 압력변화를 gauge압력으로 0기압에서부터 0.2기압씩 증가시키며 3기압까지 제어밸브의 열림각을 확인하였다. 또한 압력변화를 3기압에서부터 0.2기압씩 감소시키면서 0기압까지 제어밸브의 닫힘각을 확인하였다. 그 결과 제어밸브는 압력의 증가 또는 감소에 대하여 선형적으로 반응함을 알 수 있었다. 또한 선형적으로 반응하는 열림각과 닫힘각 추세선의 기울기 오차가 거의 없는 것은 제어밸브가 배기가스 압력의 증가 또는 감소에 대하여 같은 동특성을 갖음을 나타내고 있다.

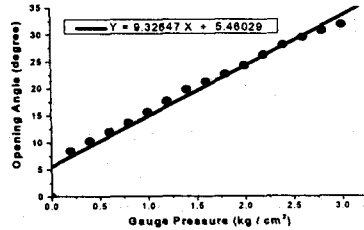


Fig. 8 Plot of pressure vs control valve opening angle & the trend line (spring $d = 0.7$, pressure increase = 0.2)

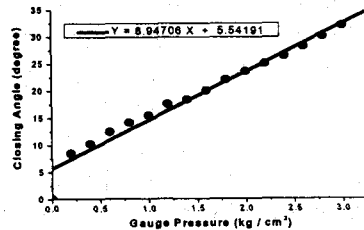


Fig. 9 Plot of pressure vs control valve closing angle & the trend line (spring $d = 0.7$, pressure decrease = 0.2)

3.2 스프링 상수-제어밸브의 최초 열림 압력

Fig. 6에 나타낸 스프링의 종류에 따른 스프링 상수를 구하였고, 각각의 스프링을 제어 밸브에 적용하였을 경우에 제어밸브가 반응하여 열리기 시작하는 최초 압력을 확인하였다. 그 결과를

Fig. 10에 도시하였다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 스프링상수가 증가함에 따라 제어밸브의 최초 열림 압력도 선형적인 증가를 보임을 알 수 있다. 또한 실험에 사용된 스프링 외에도 같은 재질의 스프링이면 같은 경향을 보일 것이다. 이것은 엔진 설계시에 결정되는 최대토크영역에서 적절한 스프링을 선택함으로써 제어 밸브가 최대토크영역에서 열리게 할 수 있다는 것을 나타내고 있다.

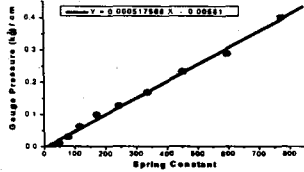


Fig. 10 Plot of spring constant vs the first opening pressure of control valve

3.3 제어밸브의 기류음특성

제어밸브의 소음 특성을 확인하기 위한 기류음을 측정하였다. 기류음은 배기가스압력에 반응하는 제어밸브의 유동면적변화에 의해 발생된다. Fig. 11은 실험실의 압소음 레벨을 나타내고 있다. 실험은 스프링 와이어의 지름(d)이 0.7과 1.0을 사용하여 압력의 변화를 gauge압력으로 0기압에서부터 0.2기압씩 증가시키며 3기압까지 제어밸브의 열림시에 기류음을 확인하였다. 또한 압력변화를 3기압에서부터 0.2기압씩 감소시키면서 0기압까지 제어밸브의 닫힘시에 기류음을 확인하였다. 실험에 사용된 스프링 와이어 지름 0.7과 1.0의 열림시 기류음 측정에서 최초 제어밸브가 압력에 반응하여 열리기 시작하였을 때에 유동면적이 작음으로 강한 기류소음이 발생하는 것을 알 수 있고 점차 압력이 증가되면서 그에 따른 유동면적의 증가로 인하여 강한 기류소음은 약간의 감소를 보인다. 특히 실험도중 1.2기압에서 사람의 청각에 상당한 자극을 주는 고주파음향을 확인하고 측정결과를 Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15에서 압력 1.2기압에 해당하는 그래프에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 피크(peak)값이 750Hz부근에서 발생함을 알 수 있었다. 또한 압력을 증가시켜 3기압까지는 유동면적이 확대됨으로 약 1kHz이상의 영역에서 주파수 성분들이 증가함을 알 수 있다. 제어 밸브의 닫힘시 기류음 측정시에는 열림시와 반대의 결과를 타나냄을 알

수 있다. 이것은 제어밸브의 동특성이 열림시와 닫힘시 같은 특성을 나타냄을 확인시켜준다.

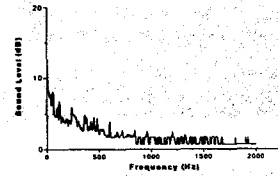


Fig. 11 The background noise

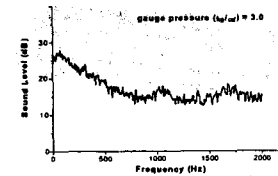
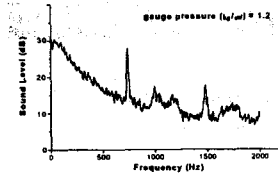
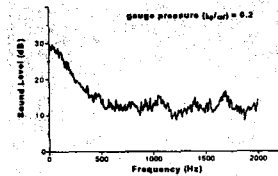
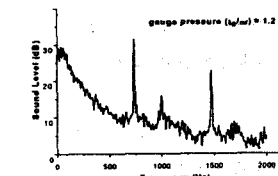
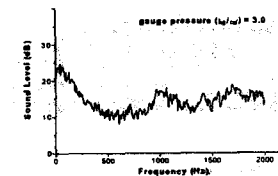


Fig. 12 The characteristic of flow generated noise for control valve (spring d = 0.7, pressure increase = 0.2)



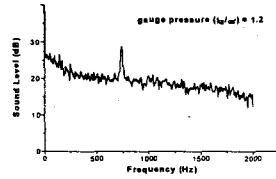
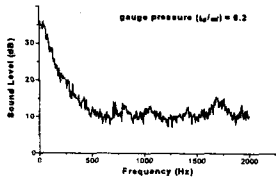


Fig. 13 The characteristic of flow generated noise for control valve (spring d = 0.7, pressure decrease = 0.2)

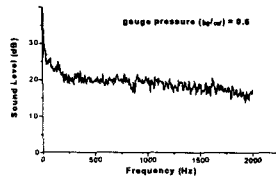
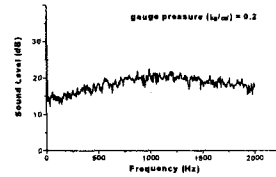
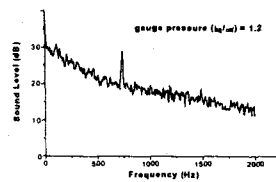


Fig. 15 The characteristic of flow generated noise for control valve (spring d = 1.0, pressure decrease = 0.2)



3.4 배기압 감응형 제어 머플러의 토출음

배기압 감응형 제어 머플러의 토출음 측정시에는 스프링 와이어의 지름(d)이 0.7과 1.0을 사용하여 챔버II의 압력을 4기압으로 고정하고 회전속도의 변화를 1000rpm, 2000rpm, 3000rpm으로 실험을 수행한 결과를 Fig. 16과 Fig. 17에 나타내었다. 각각의 실험 회전속도에서 본 연구에 사용된 실험장치의 점화주파수에 해당되는 주파수의 피크(peak)를 확인할 수 있었으며, 회전속도가 증가할수록 각 피크(peak)의 크기도 증가함을 알 수 있다.

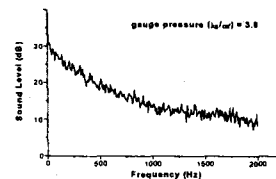


Fig. 14 The characteristic of flow generated noise for control valve (spring d = 1.0, pressure increase = 0.2)

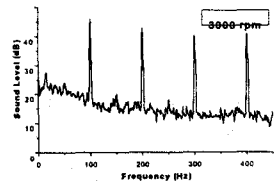
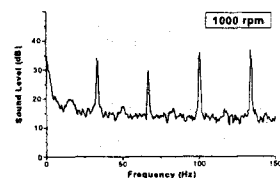
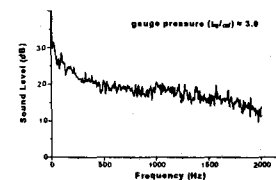


Fig. 16 The characteristic of exhaust-gas noise (spring d = 0.7)

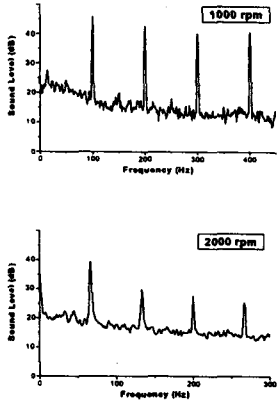


Fig. 17 The characteristic of exhaust-gas noise (spring d = 1.0)

3.5 배기압 감응형 제어 머플러의 소음성능평가

Fig. 18에 기존의 머플러와 배기압 감응형 제어 머플러의 소음성능을 비교하여 도시하였다. 배기압 감응형 제어 머플러와 기존의 머플러와의 소음성능 평가 시험시 모든 영역에서 배기압 감응형 제어 머플러의 소음성능이 우수함을 나타내었다.

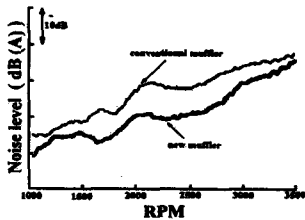


Fig. 18 The characteristic of exhaust-gas noise for control muffler sensing exhaust-gas pressure

4. 결론

배기압에 스스로 감응하는 제어 밸브를 통한 출력성능과 소음성능, 그리고 저배압화를 꾀할 수 있는 새로운 머플러의 개발을 위하여 제어 밸브와 머플러를 제작하고, 배기계의 맥동압력에 상응하는 맥동 주파수를 발생시키는 배기계 모의 실험장치를 사용하여 압력맥동의 전파특성과 배기압 감응형 제어 머플러에 장착된 제어밸브의

동특성, 기류소음 측정, 배기압 감응형 제어 머플러의 토출음 측정, 그리고 기존의 머플러와 배기압 감응형 제어 머플러의 소음성능 평가에 대한 실험을 수행하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1) 배기압 감응형 제어 머플러에 사용된 제어밸브는 그에 적용되는 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 이룰 수 있다.

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

3) 기존의 머플러보다 배기압 감응형 제어 머플러의 소음성능이 우수함을 실험에 의해 증명하였고, 배기압 감응형 제어 머플러는 스프링의 탄성을 이용한 밸브 시스템을 배기가스의 유동경로상에 장착하여 엔진의 운전상태에 따라 능동적으로 대처하면서 엔진성능을 극대화시키므로 배기압 감응형 제어 머플러로 내연 기관의 동력성능 향상과 소음감소 효과를 이용한 소음기로의 사용과 기존의 출시된 차량의 튠-업(turn-up)등이 가능하다.

참고문헌

- (1) 排氣壓의 低騒音·低背壓을 위한 制御技術, 自動車技術, Vol. 41, No. 13, p.1562-1567, 1987
- (2) Taylor. C. F., 'The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice', Vol. II, The MIT Press, 1968
- (3) Challen, B. J., 'Techniques for Engine Noise Control (Engine Noise)', Plenum Press, 1982, pp. 443~481
- (4) C. M. Harris, 'Handbook of Noise Control', McGraw-Hill, New York, 1957
- (5) B. L. Clarkson, 'The Social Consequences of Noise', Proc. I. M. E., No.186, p.97, 1972