

# 자동차용 환상형 소음기에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Annulus Muffler of Automobile

김병삼<sup>†</sup>, 송규근\*, 심상철\*\*, 정병국\*\*

Byoung Sam Kim, Kyu Keun Song, Sang Cherl Sim and Byeong Kuk Cheong

Key Words : Annulus(환상), baffle(칸막이), Exhaust Noise(배기소음), Muffler(머플러)

### ABSTRACT

Internal combustion engine is the main source of environmental pollutants and therefore advanced technology is required to reduce harmful elements from the exhaust gases all over the world. Especially, when the exhaust gas is released from the automotive muffler, exhaust noise has many bad influence on the surrounding environment. In order to reduce the exhaust noise, it is necessary that automotive muffler must be designed for best exhaust efficiency. The sound insulation room was installed for the analysis of an acoustics characteristics of the noise from automotive muffler, in this study. Exhaust gas noise, noise distribution characteristics, pressure and temperature of exhaust gas were investigated with the change of annulus temperature of air cooled annulus automotive muffler and cooled annulus automotive muffler. The following results were obtained with this study. From the frequency analysis of automotive muffler, high noise distribution was observed in the range 100~2000Hz. It means that the noise in this range has an dominate influence for the overall noise. Noise reduction of automotive muffler was affected by the temperature of annulus. It is caused the result that the high temperature and pressure of exhaust gas are changed lower by the drop of annulus temperature. The tendencies of noise, the temperature and pressure of exhaust gas are similar to the performance curve of engine. Exhaust gas pressure is determined by the r.p.m. of engine and affected by the cooling performance of automotive muffler.

### 1. 서론

배기소음에 의한 소음공해 대책이 절실히 요구되고 있으며, 세계 각국들이 이에 대한 규제를 시행하고 있다. 미국은 CFR 40 PART 205 소음규제, 유럽은 EEC 70/157, 84/424, 92/97, ECE R51-01, 일본은 도로운송차량법(도로 운송 차량 보안기준) 그리고 우리나라는 소음진동 규제법(환경부 고시)에 의해 자동차 소음에 대한 규제를 하고 있다.

자동차의 엔진 연소실에서 배출되는 연소가스는 약500℃, 1KPa정도의 고온·고압이므로 그대로 대기 중에 방출하면 급격한 팽창으로 인하여 큰 폭발음을 발생시킨다. 소음기는 이런 고온·고압의 배기가스를 파이프를 통과시켜 저온·저압상태로 냉각 유도하면서 배기 정확도와 배기소음을 정확시키는 것이다. 이와 같이 소음기는 배기가스를 서서히 팽창시켜 온도와 압력을 저하시키고 소음을 줄인 후 대기에 방출한다. 하지만 소음기에서 소음을 저감시키고자 복잡한 내부 구조를

하면 배기계에 저항이 생겨 출력이 저하한다. 소음기의 복잡한 구조로 인한 저항이 커지므로 출력이 저하한다. 그렇기 때문에 소음을 저감시키고, 동시에 출력을 향상시키기 위한 연구가 필요하다.

### 2. 환상형 소음기

본 연구에서는 온도변화에 따른 소음기의 소음특성과 배기압 및 엔진 성능 특성에 대하여 고찰하고자 종래의 소음기에 2차 공기 흐름 유도관을 설치하여 실험하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 환상형 소음기의 개략도이다. 환상형 소음기는 종래 개발된 소음기 주위에 공기를 불어 넣을 수 있도록 소음기 입구에 송풍장치를 설치하여, 2차 공기 흐름 유도관을 통해 2.5m<sup>3</sup>/min의 공기가 유입되도록 하였다. 2차 공기 흐름 유도관을 통하여 유입된 공기는 소음기를 균일하게 냉각시킨다. 소음기 끝단에서 유동변화를 일으키는 배기가스 온도 및 배기압을 측정하기 위하여 온도센서와 압력센서를 배기가스의 배출이 용이하도록 부착하였다.

<sup>†</sup> 원광대학교 공과대학 기계자동차공학부  
E-mail : anvkbs@wonkwang.ac.kr  
Tel : (063)850-6697, Fax : (063)850-6691

\* 전북대학교 자동차신기술연구소

\*\* 전북대학교 공과대학 정밀기계공학과

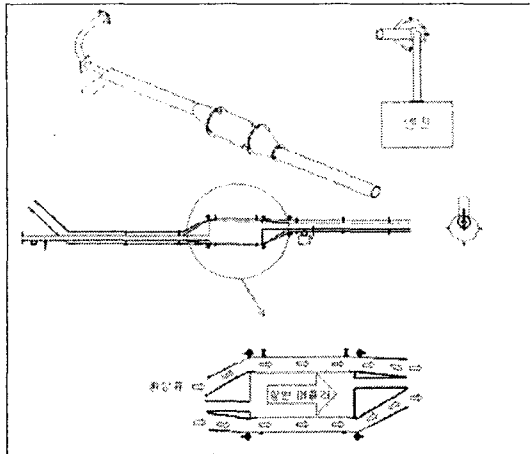


Fig. 1 Air cooled annulus muffler

Fig. 2는 환상형 소음기의 2차 공기 흐름 유도관을 나타낸 것으로, 테일 파이프와 유도관의 길이가 같은 것을 기준(Ⓐ Type 1)으로 하고, 이보다 50mm 길거나 짧게 하여 Ⓑtype 2와 Ⓒ type 3을 제작하였다. 본 연구에서는 유도관의 길이가 토출되는 환상형 공기에 의하여 소음기의 소음 및 엔진 성능에 미치는 영향에 대하여 실험하였다.

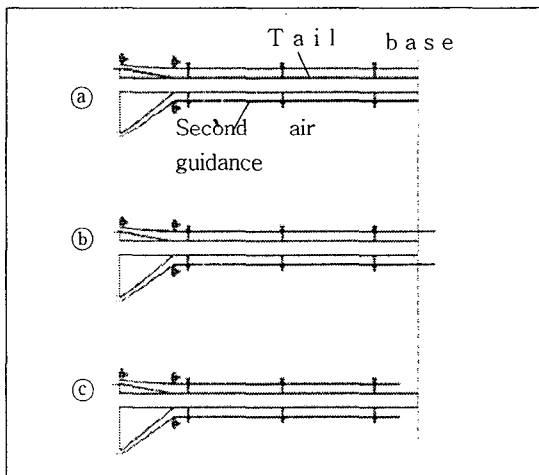


Fig. 2 The schematic diagram of second air guidance tube

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

실제 엔진에서 발생하는 소음 및 배기압을 분석하기 위하여 75KW급 엔진 다이내모미터(engine dynamometer)를 사용하여 엔진의 회전수를 변화시키며 토크를 측정하였다. 그리고 이에 따른 소음을 KS규격에 따른 소음 측정법에 의거 소음기의 끝단에서 소음을 측정하여 주파수 분석 장치를 이용하여 각 Hz

별 소음원을 분석하였다. 배기압 측정을 위해 소음기 입구와 출구에서 압력 센서를 이용하여 배기온도 구배에 따른 배기압을 비교 분석하였다. 또한 연소 해석 장치를 이용하여 엔진 연소실의 연소압력을 측정·분석 하였다.

본 연구에 사용된 엔진 및 엔진 다이내모미터는 컴퓨터를 이용한 자동화 옵션을 구비하여 연소해석 분야 및 동력시험에 적극 활용할 수 있는 70KW급 동력시험 계측장비이다. 엔진 다이내모미터 컨트롤러는 rpm과 축 토크를 조절할 수 있으며 그에 따른 축 출력 및 연료소비량을 측정할 수 있고, 엔진 실린더에 압력센서를 설치하여 A/D 변환기를 통해 컴퓨터에 연소압력을 측정·분석할 수 있다. 본 연구에 사용된 엔진은 직립 수냉식 4사륵 기관으로 여기에 소음기를 연결하여 배기소음 및 배기압을 측정하였다.

#### 3.2 실험방법

자동차 소음기를 설계하기 위해 우선 소음기의 주파수 특성을 분석해야 하며, 이를 위해 차음실을 설치하고 여기에 엔진소음을 스피커를 통하여 발생시켜 소음기의 입구와 출구에서의 소음을 측정하여 주파수 특성을 분석하였다. 환상형 소음기는 주파수 특성을 바탕으로 종래 개발된 소음기에 난류유동 인자 성분을 제거하고 소음기의 냉각효과를 증대시키기 위하여 소음기 주위에 환상형의 공기흐름을 형성하기 위한 2차 공기 유도관을 설치하였다. 소음기의 냉각효과를 증대시키기 위하여 환상형 소음기에 물 재킷을 설치하였다.

소음기의 냉각방식이 배기소음과 배기압에 미치는 영향을 연구하고자 본 연구에서 설계한 소음기를 엔진 다이내모미터에 소음기를 연결하였고 기관소음을 배제하기 위하여 소음기의 출구를 실험실 밖에 나오게 하였다. 배기압에 대한 배기소음과 배기압을 측정하기 위하여 엔진 회전수 800 r.p.m.에서 2600 r.p.m.까지 200 r.p.m.간격으로 다이내모미터별 각 type에 대하여 소음을 측정하였다. 또한 소음기 입구와 출구에 압력 센서와 온도 센서를 부착하여 배기압과 배기온도를 측정하였다.

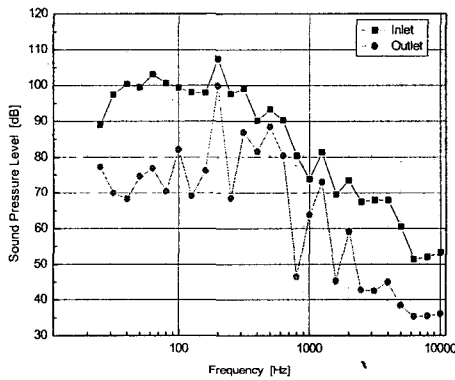
소음 측정의 정확성을 위하여 엔진은 실내에 설치하고, 엔진의 기관소음 및 실내에서 반사되는 소음을 차단하기 위하여 벽면에 차음재를 설치하고 소음기의 출구가 실외에 위치하도록 하여 실외에서 소음을 측정하였다. 소음 측정법은 KS규격(KS R 1045-1990)에 명시되어 있으며 소음계는 보통소음계(KS C 1502)를 사용하였다. 실험 장소는 되도록 배기음 이외의 소음에 영향을 받지 않은 장소에서 행하였으며 자동차용 기관출력 시험법(KS R 0071)에 의한 운전 상태에서 소음을 측정하였다. 그리고 소음기는 될 수 있는 한 실제 자동차에 사용하는 상태에 가깝게 설계하였고, 소음 측정 시 소음기 배기 출구에서 45°, 50cm의 거리에서 측정하였다.

#### 4. 측정결과 및 고찰

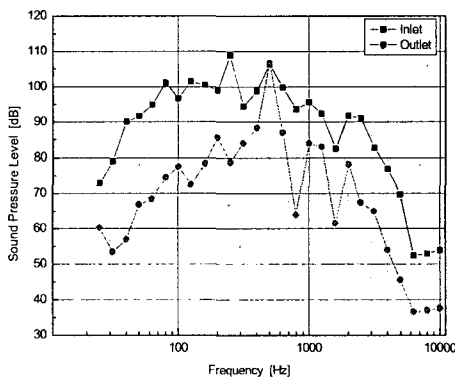
4.1 소음기의 입·출구에서의 음향학적 분석

본 연구에서는 실제 차량의 엔진소음을 기록하여 차음실에서 스피커를 통하여 소음기의 입구에 통과 시킨 후 소음기의 출구에서 소음을 측정하여 소음기의 음향학적인 특성을 분석하였다.

Fig. 3은 종래 소음기의 입구에서 소음원(a.엔진소음, b.주행소음)을 발생시켜 KS R 1045 규격으로 소음기 출구에서 소음을 측정·분석한 것이다. 실험에 사용한 엔진소음은 정지 상태에 있는 엔진에서 발생하는 소음을 녹음하여 사용하였고, 주행소음은 실제 차량의 주행상태에서 엔진의 소음을 녹음하여 사용하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 소음원이 외부로 방출될 때 소음기 내의 격벽을 통과하여 점차적으로 소음이 감소된다. 100Hz~2000Hz 대역의 주파수에서 순수 엔진소음이 나타나고, 다른 주파수에서의 소음은 엔진 소음이 아닌 기관의 회전으로 인한 마찰로 발생한 것이다.



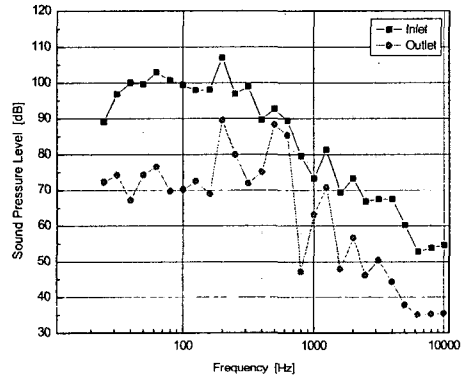
a. engine noise



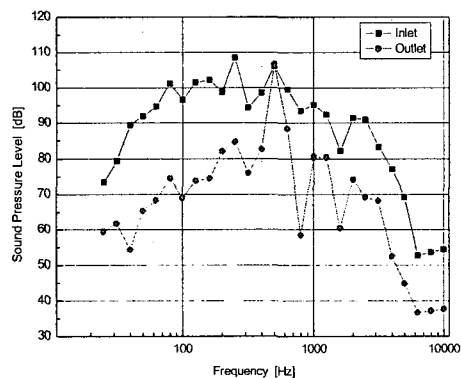
b. driving noise

Fig. 3 A noise characteristics comparison of the inlet and outlet in general automotive muffler

Fig. 4는 환상형 소음기의 입구에서 녹음한 엔진소음, 주행소음을 발생시켜 KS R 1045 규격으로 소음기 출구에서 소음을 측정·분석한 것으로 입구와 출구의 소음효과가 약 20~30dB의 차가 남을 볼 수 있다. 또한 엔진소음 및 주행소음의 소음의 저감 효과는 엔진 소음과 비교하여 소음의 차단 효과가 적으나 엔진소음은 차단효과가 큼을 a에서 볼 수 있다. 또한 종래 소음기보다 환상형 소음기의 소음 저감효과가 소음원의 종류에 관계없이 크게 나타나고 있음 알 수 있었다. 본 실험에서 소음기는 100Hz~2000Hz 대역에서 소음저감 효과가 가장 작은 것으로 나타났다. 즉 고주파 영역의 소음이 전체 소음에 영향을 미치므로 100Hz~2000Hz영역에서의 소음 저감이 필요하다. 또한 환상형 소음기의 음향학적인 특성은 종래 소음기보다 200Hz 대역에서 약 10dB의 저감효과가 있음을 알 수 있었다.



a. engine noise

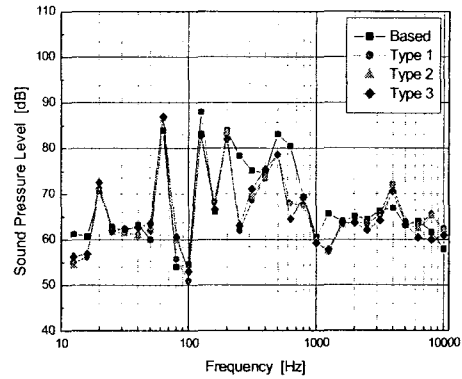


b. driving noise

Fig. 4. A noise characteristics comparison of the inlet /outlet in annulus automotive muffler

4.2 환상형 소음기의 소음특성

본 연구에서는 소음기의 주위에 공기(2ℓ/min)를 공급하여 소음기에서의 온도, 압력 및 소음 특성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 또한 배기관과 환상형 2차 공기와의 유동에 대한 영향을 밝히고자 소음기의 토출 부분의 길이를 달리 하여 소음특성을 분석하였다. 소음기 type 1은 환상류의 공기를 흐를 수 있도록 하는 2차 파이프의 길이를 테일 파이프와 같도록 하였고, type 2는 테일 파이프 보다 50mm 길게 하였으며, type 3은 테일 파이프보다 50mm 짧게 하여 실험 하였다. Fig. 5는 환상형 소음기의 소음특성을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 보여 바와 같이 낮은 r.p.m.영역에는 종래 소음기와 환상형 소음기의 소음저감이 많은 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 이는 낮은 r.p.m.영역에서는 배기압의 차이가 크지 않아 소음의 저감이 작음을 알 수 있다. 또한 중간 r.p.m.일 때 100Hz~2000Hz영역에서의 소음저감 효과가 두드러짐을 볼 수 있다. 그리고 환상형 소음기에서 공기 유도관의 길이가 짧을(type 3) 때 소음 저감이 미소하게 나타나는데, 공기 유도관으로 배출된 환상류가 배기가스에 유동을 일으켜 음향 전달에 영향을 미침을 알 수 있다.

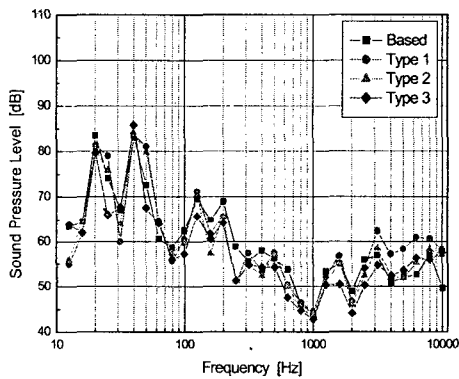


c. 2600 r. p. m.

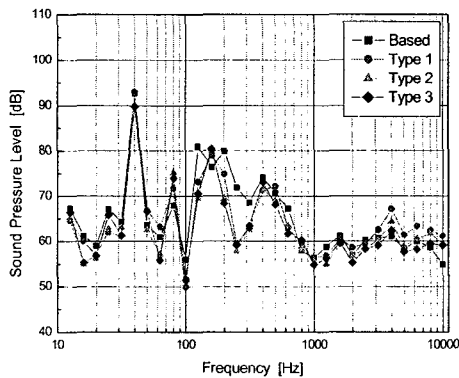
Fig. 5 A noise characteristics of an annulus automotive muffler

4.3 엔진 토크 특성

소음기는 배기가스를 서서히 팽창시켜 온도와 압력을 저하시켜 대기 중에 방출한다. 그러나 소음기의 복잡한 구조로 배기계에 저항이 발생하여 출력이 저하하는 것으로 알려지고 있다. 본 실험에서는 종래 소음기 및 환상형 소음기와 수냉 환상형 소음기를 엔진에 연결하여 1000 r.p.m.~2500 r.p.m.에 대한 토크를 측정였고, 이의 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 엔진의 토크는 r.p.m이 상승함에 따라 토크 역시 상승하며, 2000 r.p.m부터 점차 토크의 상승이 미비하게 된다. 엔진 출력이 2000 r.p.m일 때 가장 좋으며 2000 r.p.m 이상의 r.p.m에서는 엔진 출력이 떨어진다. 그리고 수냉 환상형 소음기의 토크 값이 다른 소음기에 대하여 미비하게 높은 값을 나타냈다.



a. 800 r. p. m.



b. 1600 r. p. m.

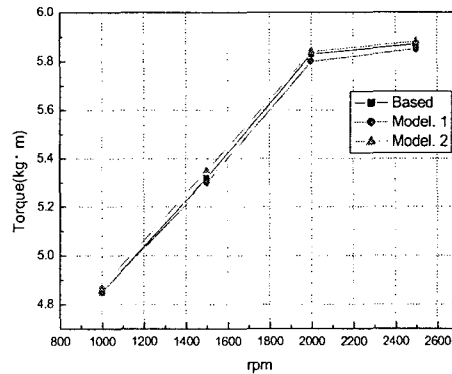


Fig. 6 The torque characteristics with automotive muffler

#### 4.4 배기 온도의 특성

내부 요소가 없는 단순 확장 소음기라도 입구와 출구사이에서 온도차이가 존재한다. 또한 소음기로 들어오기 직전의 배기온도와 직후의 배기온도 사이에도 온도차이가 있다. 온도차이의 원인으로는 단열팽창 및 압축에 의한 효과, 측벽을 통한 외부와의 열전달 등의 효과, 소음기 내부의 대류현상 등 다양하다. 본 연구에서 음향적으로 주된 관심이 되는 것은 온도 분포가 음향전달에 어떠한 영향을 미치는가 하는 것이다. 소음기 내부가 균일한 온도로 유지되고 있는 경우는 입·출구에 연결된 배기관과 온도 차이에 의해 음향 임피던스의 변화로 인한 소음 저감효과가 발생한다. 그러나 음장해석에 있어서 근본적인 차이는 없다. 챔버 내부를 지나는 배기가는 출구로 향하면서 냉각되는데 입구와 출구 사이의 온도가 감소함에 따른 배기속도 및 밀도의 변화를 초래한다. 이러한 변화로 배기소음의 저감과 배기압의 감소를 볼 수 있다.

Fig. 7은 종래 소음기 및 환상형 소음기(Model 1)와 수냉환상형 소음기의 type 3에서 소음기에 유입되는 배기가스 온도와 소음기를 지난 후의 배기가스의 온도를 나타낸 것이다. Fig. 7에서 type 3 소음기의 온도만을 나타낸 것은 연소 후 발생하여 소음기에 유입되는 배기가스 초기 온도는 모두 같고, 소음기를 지나 배출되는 배기가스 역시 각 type에서 같은 온도를 나타낸다.

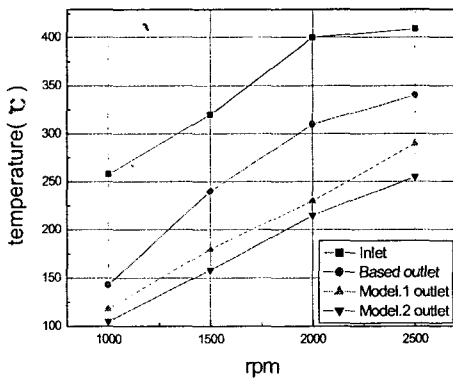


Fig. 7 The temperature Characteristics with automotive muffler

#### 4.5 배기압의 특성

자동차 소음기는 연소실에서 배출되는 고온고압의 배기가스를 냉각시켜 저온저압의 상태로 만들어 배기소음을 저감시키는 기능을 한다. Fig. 8, 9는 엔진 회전수에 따른 소음기 입·출구의 배기압을 측정된 결과이다. Fig. 8, 9에서 보는 바와 같이 입·출구 사이에서 약15~20KPa의 배기압 차가 나타나며 입·출구에서의 배기압이 2000 r.p.m이 가장 높은 값

을 보이고 있다. 이는 엔진성능이 2000 r.p.m일 때 가장 높은 성능을 나타내는 것과 연관성을 찾을 수 있다. 즉 2000 r.p.m일 때가 엔진성능이 가장 좋으며 2000 r.p.m 이상으로 갈수록 연료의 과다로 인한 불완전 연소를 하게 되어 오히려 연소를 방해 하고 그로 인하여 배기압 역시 2000 r.p.m 보다 작게 된다. 또한 배기압이 파형으로 나타남을 볼 수 있다. 이는 각각 실린더가 흡입·압축·팽창·배기 행정의 과정 중에 배기가스는 팽창 행정 말기에 배기 밸브를 통하여 배출된다. 이때의 배기가스는 피스톤이 하사점을 향해 하강하고 있기 때문에 배기가스 자체의 낮은 압력만으로 배출되며, 배기 행정에서 피스톤이 하사점을 지나서 상승하기 시작하면 배기가스가 가졌던 압력과 피스톤의 상승에 의한 압력이 하나의 합력을 형성하여 배출된다. 이때의 배기가스는 실린더내의 배기가스 압력과 피스톤의 상승 속도에 비례한 압력 파형의 크기를 갖는다. 한 사이클에서 배기기간 동안 형성되는 압력 파형은 각각의 실린더에서 발생하는 Blowdown에 의해 형성되는 1차 압력 파형과 Blowdown 후의 실린더 내 가스와 피스톤에 의해 형성된 2차 압력의 파형으로 형성 된다.

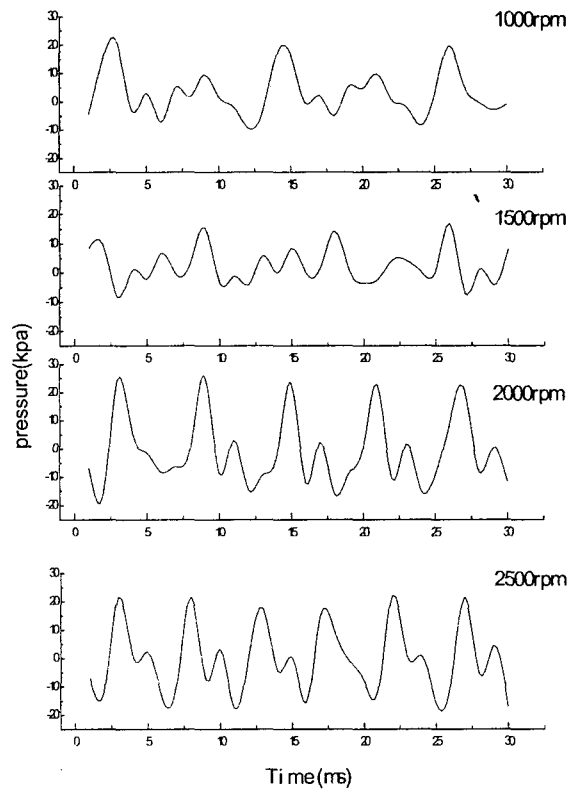


Fig. 8 The exhaust gas pressure of general automotive muffler inlet

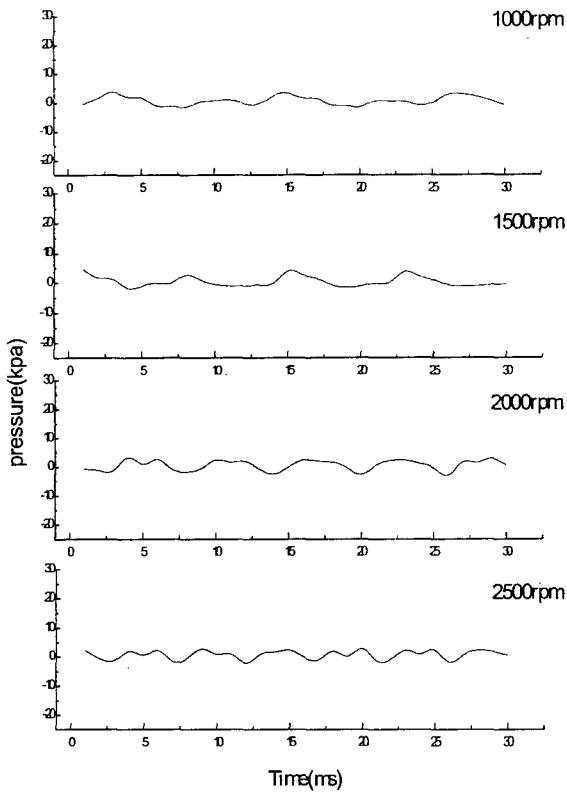


Fig. 9 The exhaust gas pressure of annulus automotive muffler type 3 outlet

### 5. 결론

2차 공기 흐름 유도관의 길이에 따른 배기소음 및 소음 분포 특성, 배기압, 배기온도 등에 대하여 실험적인 방법으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 구하였다.

1. 소음기의 소음저감은 온도에 지배적인 영향을 미침을 알 수 있다.
2. 2차 공기 흐름 유도관의 길이 변화에 따라 소음 감소가 있다.
3. 엔진 Torque와 소음 및 배기온도, 배기압은 같은 성향으로 r.p.m에 대하여 증가하며, 2000 r.p.m 이후에는 증가량이 감소한다.
4. 엔진 회전수에 따라 배기압이 결정되며 소음기의 냉각 성능에 따라 배기압에 영향을 미친다.

이러한 결과로부터 소음기의 온도를 낮추어 주는 것이 배기압을 낮게 형성하므로 저소음에 유리하다고 판단된다. 그

러나 실제 차량에서는 본 소음기를 장착할 때 배기계의 복잡한 구조로 인한 배기압 증가와 냉매제의 선택 및 순환 등이 최적의 상태로 되어야 한다.

### 참 고 문 헌

- (1) 이규철, 김정태, 1999, "도로소음의 예측모델에 대한 비교평가", 한국소음진동공학회지, 제9권, pp.1131~ 136.
- (2) 강대준 등, 2004, "道路交通騒音 현황과 예측", 한국소음진동공학회논문집 제14권, pp.1015-1020.
- (1) E. J. Wonnacott, 1974, "Lower Exhaust Noise from Better Silencer Design Technique", J. Sound Vib., Vol. 37, No. 1, pp. 17~26,
- (2) P.O.A.L. Davis and R. J. Alfredson, 1970, "The Radiation of Sound from an Engine Exhaust", J. Sound Vib., Vol.13, No.4, pp. 380,
- (3) 自動車技術, 1987, "排氣壓의 低騒音, 低背壓을 위한 制御技術", Vol. 41, No.13, pp. 1562~1567