한국정밀공학회지 제23권 제7호 (2006년 7월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 23, No. 7, July 2006

배기 가변 밸브를 적용한 소음기의 배압특성 및 엔진 성능에 관한 연구

박경석*, 박세종**, 서호철**, 손성만#

A Study on the Back Pressure Characteristics and Engine Performance of Muffler with Exhaust Variable Valve

Kyoungsuk Park*, Sejong Park**, Hochul Suh** and Sungman Son#

ABSTRACT

Recently, Automobile manufactures have developing automotive exhaust system under consideration for improvement in engine performance. It thus develop many exhaust components. For example active muffler, semi-active muffler, electronic muffler etc. In this components consider enhanced back pressure and reduction noise. Especially, In recent years it develop the study of semi-active muffler. Semi-active muffler is simple structure and excel performance. Recently many forms semi-active muffler was developed and adopted to the actual use in consideration of cost and technical side for noise and vibration.

This study had main objects about the recently developed the semi-active muffler. It was to show its combustion performance as well as its enhanced back pressure characteristics in design. Therefore if the precise analysis of the combustion pressure according to the back pressure transmission was carried out, it was understood that this study would be utilized in the design of the exhaust system such as the semi-active muffler

Key Words : Semi-active muffler(반능동형 머플러), Exhaust variable valve(배기 가변 밸브), Combustion characteristics(연소특성), Engine performance(엔진 성능)

1. 서론

최근 자동차에 대한 환경 규제 법규가 강화되면서 자동차 배기시스템의 구성요소 설계 시 고려되는 변수들이 많아지고 있다. 이 중에서도 배기계의 기능인 소음저감에 따른 정숙성과 더불어 배압을 감쇠하여 동력성능을 향상시키는 것이 중요하게 인식되고 있다. 따라서 최근에는 능동형 머플러, 반능동형 머플러, 전자머플러 등에 대한 연구[1-5] 가 활발히 진행되고 있다. 이중 반능동형 머플러는 능동형

☞ 접수일: 2005년 7월 12일; 게재승인일: 2006년 6월 16 일
* 경희대학교 테크노공학대학
** (주)세종공업
\# 교신저자: 경희대학교 대학원 기계공학과
E-mail Thermal@khu.ac.kr Tel. (031) 201-2871

머플러와 거의 동등한 성능을 갖고 있으면서도 구조가 간단하여 생산성이 우수하기 때문에 가장 많이 채용되고 있다.

자동차 배기시스템의 연구는 주로 소음, 내구도, 환경적인 측면에서 고려되고 있으며 구성부품의 열유동해석은 중요한 과제중의 하나이다. 본 연구에서는 배기시스템 중 가장 중요한 머플러에 대하여 머플러 내부구성요소에 의한 배압특성을 고찰하고, 배압변화가 엔진연소특성에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치는 엔진, 동력계, 배기시스템, 연소해석장치, 실험데이터 수집장치 등으로 구성되어 있으며, Fig. 1과 같다.

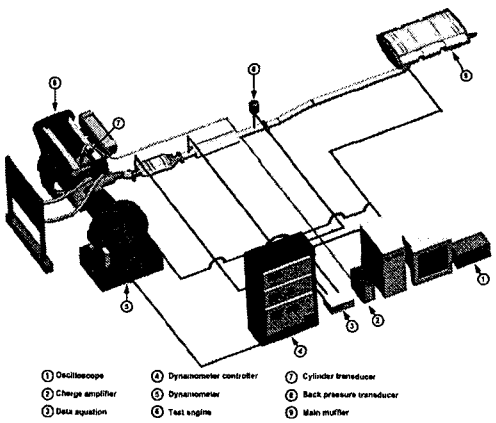

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

실험에 사용된 기관은 Table 1과 같은 제원의 4기통 가솔린기관이며, 엔진회전속도신호, 수온센서, TPS센서, 흡기온도센서, 흡입공기유량계에서 보내온 신호제어에 의해 전자제어방식으로 연료 분사량이 조절되게 되어있다.

스로틀밸브 개도량은 직류서보모터로 제어하였으며, 스로틀포지션센서의 출력신호에 의해 스로틀밸브 개도량을 정확하게 파악하였다.

실린더 내의 연소압력 데이터를 취득하기 위해서 고주파수의 응답성을 지닌 피에조타입의 압력변

Table 1 Specifications of experimental engine

Description	Specifications
Type	4 cylinder SI engine
Bore × Stroke (mm× mm)	85 × 88
Displacement (cc)	1997
Compression ratio	10 : 1
Spark timing	11°±5° BTDC/800RPM idle
Maximum power (hp/rpm)	137/6,000
Maximum torque (kg · m/rpm)	18.4/4,500

Table 2 Specifications of combustion pressure transducer

Description	Specifications
Type	Piezo ceramic
Range	0 ~ 200 bar
Overload	250 bar
Sensitivity at 200℃	-15 pC/bar
Natural frequency spark plug with integrated sensor	130 kHz
Linearity	± 0.6 % FSO
Operating temperature range	≤ 350℃

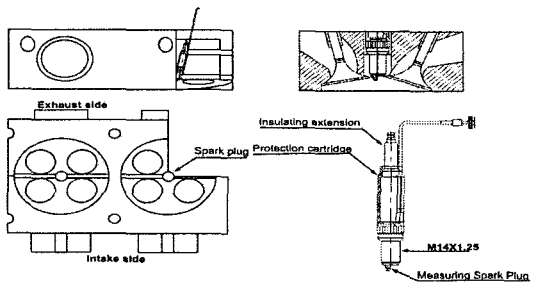

Fig. 2 Setting position of spark plug with integrated combustion pressure transducer

환기와 12bits A/D컨버터를 이용하였다. 연소압력센서는 압력에 대응하여 전하를 발생하는 전외소자 형식이며, Fig. 2와 같이 4번 실린더에 장착하였다. 압력센서의 제원은 Table 2와 같고, 실린더 압력센서의 출력신호를 증폭하기 위하여 9,990pC/M.U. 전하증폭기를 사용하였다.

배기시스템의 배압측정을 위하여 Fig. 3과 같이 4개 지점에 배압센서를 장착하였다. 배압센서는 배출가스의 흐름에 수직방향으로 설치하였고, 누수 등에 의한 압력센서의 급랭이나 전기절연도의 저하를 가져오지 않게 스테인리스 파이프를 사용하여

Fig. 4와 같이 장착하였다. 또한 엔진 연소 시 발생하는 수분을 고려하여 서지탱크를 부착하였으며, Table 3은 배압센서의 특성을 나타낸 것이다.

실험에 사용된 반능동형 머플러는 현재 상용화되어 있는 가솔린 차량의 능동형 머플러와 형상과 용적이 동일하다. Fig. 5는 능동형 머플러와 반능동형 머플러의 구조를 비교한 것이다. 본 실험에 사용한 반능동형 머플러는 가변밸브의 스프링 자유각도를 조절해서 가변밸브가 가동되는 기관 회전영역을 변화시킬 수 있게 하였다.

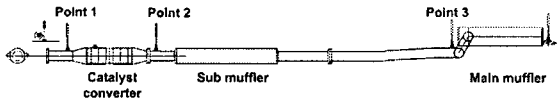

Fig. 3 Setting position of back pressure transducer in exhaust system

Table 3 Specifications of pressure transducer

Description	Specifications
Type	Piezo silicon cell
Measuring range	0 ~ 350 kgf/cm^2
Overload	2.5 bar
Sensitivity	1.0mV/ V:5,10 kgf/cm^2
Linearity	± 0.3 % FS(RSS)
Operating temperature range	-30 ~ 120℃

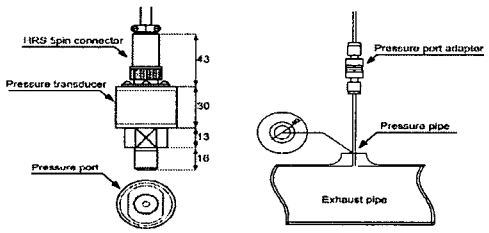

Fig. 4 Setting adaptor position of pressure transducer

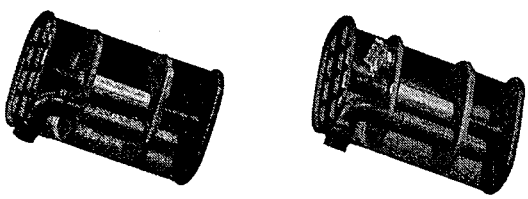

Fig. 5 Structure of Passive Muffler and Semi-active Muffler

2.2 실험방법 및 조건

배기시스템 성능을 분석하기 위하여 배기시스템의 각 구성요소의 입구와 출구부분에 압력센서를 장착하였으며, 반능동형 머플러에 장착된 가변밸브의 스프링 자유각도를 변수로 하여 실험을 수행하였다. 실험 조건은 Table 4와 같고, 실험 시 운전조건은 Table 5와 같이 수행하였다. 또한 기관이 정상작동할 수 있도록 시동 후 약 10분간 워밍업하여 냉각수의 온도가 약 90°C±2°C에 도달한 후 실험을 수행하였다.

Table 4 Experimental conditions of exhaust system

No.	Condition
Condition 1	Passive Muffler
Condition 2	Semi- Muffler(Free angle 30%)
Condition 3	Semi- Muffler(Free angle 50%)
Condition 4	Semi- Muffler(Free angle 70%)
Condition 5	Semi- Muffler(Free angle 90%)

Table 5 Engine experimental conditions

Item	Condition
Engine rotation speed (rpm)	Idling, 1000, 2000, 3000 4000, 5000, 6000
TPS (%)	0, 50, 100

3. 실험결과 및 고찰

3.1 배기시스템의 배압성능 해석

Fig. 6과 Fig. 7은 엔진회전속도에 따라 배기시스템 촉매컨버터 입구의 배압을 측정한 것이다. 가변밸브가 작동되지 않는 엔진회전속도가 3000rpm 이하인 저속구간에서는 스로틀밸브 개도량 50%와 100%에서 측정하였다.

Fig. 6은 엔진회전속도에 따라 스로틀밸브 개도량 50%일 경우 촉매컨버터 입구의 배압을 측정한 것이다. 엔진회전속도에 관계없이 일반형 머플러를 장착한 경우가 배압이 가장 높고 각 조건에 따른 배압차가 엔진회전속도 2000rpm 경우 최고 2kPa 정도 차이나는 것을 볼 수 있으며, 엔진회전속도가 증가할수록 배압차가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 배압성능은 가변밸브 스프링 자유각도가 증가함에 따라 배압이 감소하는 것을 알 수 있다.

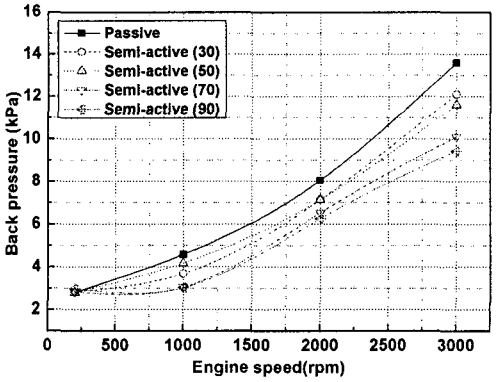

Fig. 6 Back pressure of point 1 on TPS 50%

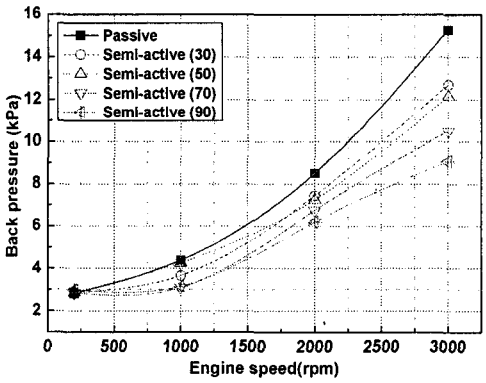

Fig. 7 Back pressure of point 1 on TPS 100%

Fig. 7은 엔진회전속도에 따라 스로틀밸브 개도량 100%일 때의 배압성능을 나타낸 것이다. 스로틀밸브 개도량 50%와 비교하여 배압값은 약 1kPa 내외의 차이를 보이고 있으며, 전반적인 배압특성은 거의 동일한 것을 알 수 있다. 그러나 엔진회전속도 2000rpm이상에서 가변밸브 스프링 자유각도 70°인 경우와 90°인 경우에서의 배압차이는 비교적 커지는 것을 알 수 있다.

3.2 연소압력 해석

반능동형 머플러를 장착한 배기시스템의 배압특성이 엔진 연소특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 연소압력과 토크값을 측정하여 비교분석하였다. 반능동형 머플러는 배압이 가장 낮은 자유각도 90°로 적용하였다.

Fig. 8은 엔진회전속도 2000rpm일 때 연소압력을 나타낸 것이다. 연소압력은 반능동형 머플러가 장착된 경우가 능동형 머플러의 경우보다 약 0.8kPa 정도 높은 것을 볼 수 있다. 이는 앞에서 분석한 배압차에 의한 것으로 사료된다.

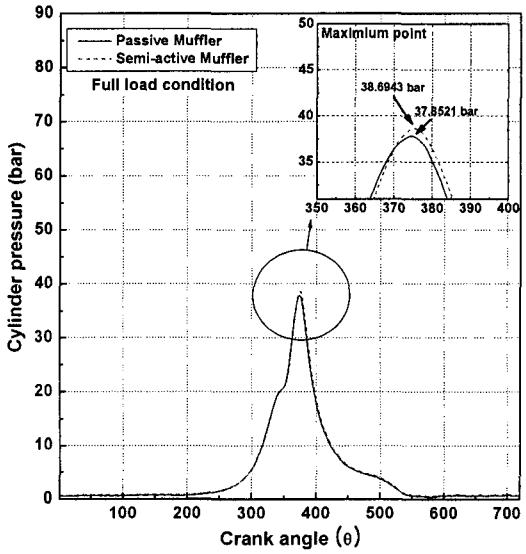

Fig. 8 Combustion pressure of cylinder with crank angle degree at 2000rpm

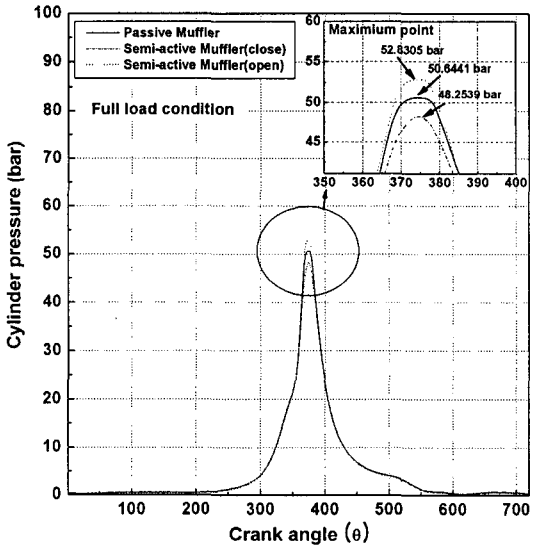

Fig. 9 Combustion pressure of cylinder with crank angle degree at 3000rpm

Fig. 9는 엔진회전속도 3000rpm에서 연소압력을 나타낸 것이다. 엔진회전속도 3000rpm인 경우 가변밸브가 작동된 경우와 작동되지 않은 경우로 분류해서 능동형 머플러의 연소압력값과 비교 분석하였다. 가변밸브가 작동되지 않는 경우 능동형 머플러가 장착된 경우보다 2bar정도 연소압력이 낮게 측정되었으며, 가변밸브가 작동된 경우 반대로 연소압력이 능동형 머플러를 장착한 경우보다 2bar정도 높게 나왔다. 따라서 엔진회전속도 2000rpm에서는 가변밸브가 작동되지 않아도 밸브의 간극으로 인하여 일반형 머플러보다 배압이 적게 발생되고 연소압력에도 큰 영향을 미치지 않으나, 엔진회전속도 3000rpm이상에서는 가변밸브가 작동되지 않으면 연소압력에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

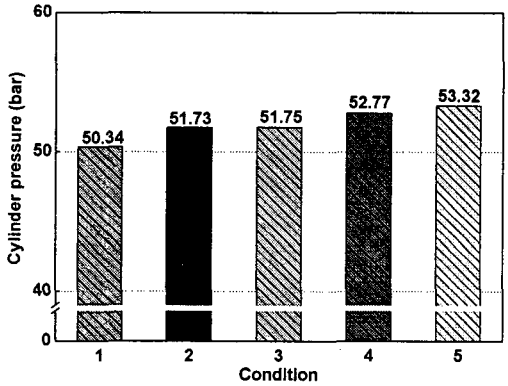

Fig. 10 Comparison cylinder pressure at 2000rpm on each condition

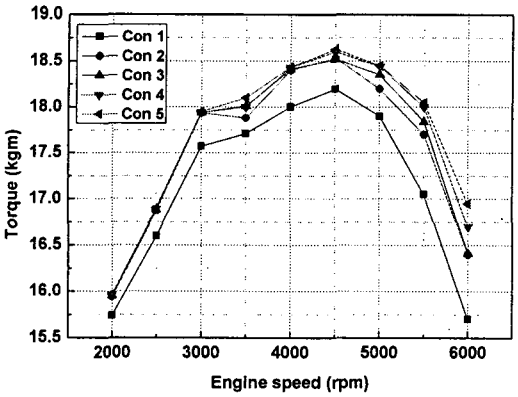

Fig. 11 Torque of each condition on TPS 100%

Fig. 10은 엔진회전속도 2000rpm에서 능동형 머플러와 반능동형 머플러의 실린더 내 연소 최고 압력을 나타낸 것이다. 배기시스템의 배압이 가장 높게 측정되었던 능동형 머플러의 경우 가장 낮은 연소압력이 측정되었다. 반능동형 머플러의 경우 스프링 자유각도가 증가하면서 연소압력도 증가하였다. 즉, 배기시스템의 배압이 낮아진 만큼 실린더 내 연소압력이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 11은 엔진회전속도에 따라 스로틀밸브 개도량 100%일 때의 토크값을 비교한 것이다. 반능동형 머플러를 장착한 경우 엔진회전속도 4500rpm까지는 토크값이 거의 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 능동형 머플러의 경우 2000rpm까지 토크차가 약 0.25kg·m로 일정하게 유지되나 가변밸브가 작동되는 구간이후부터 토크차가 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 6000rpm에서는 1kg·m정도 차이가 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 고회전영역으로 갈수록 배압차에 의한 엔진성능차가 커지는 것을 알 수 있으며, 가변밸브의 자유각도에 의한 동력성능은 가변밸브가 작동되는 일부구간을 제외하고 4000rpm까지 거의 동일한 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 머플러 내부구성요소에 의한 배기시스템의 배압성능을 고찰하고 배압성능이 엔진 연소특성에 미치는 영향을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 배압성능은 일반형 머플러의 배압이 가장 높게 나타났으며, 반능동형 머플러의 경우 가변밸브 스프링 자유각도가 클수록 배압이 낮은 것을 확인하였다. 또한 스프링 자유각도가 70°이상이 되면 배압특성이 거의 동일한 것을 알 수 있었다.
2. 엔진회전속도가 3000rpm이상에서 가변밸브가 작동되지 않은 경우 배압을 크게 증가시켜 엔진 연소성능에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.
3. 연소압력을 분석한 결과 배압이 낮아진 만큼 연소압력이 증가하였으며, 연소압력 변화에 따른 엔진 동력성능은 토크차로 확인하였다. 배압차에 의한 엔진 동력성능차는 3000rpm이상이 되면 현저하게 증가하는 것으로 나타났다.
4. 반능동형 머플러의 가변밸브 스프링 상수에 의한 엔진동력성능은 엔진회전속도 4500rpm이하

에서는 거의 동일하며 4500rpm이상의 영역에서 현저하게 동력성능차가 발생하는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구 수행에 도움을 준 (주)세종공업의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim, D. H., Park, S. J., Son, S. M. and Park, K. S., "The influence of exhaust system on heat efficiency and fuel consumption of S.I engine," Proceedings of the KSPE 2004 Autumn Annual Conference, pp. 1091-1096, 2004.
2. Kim, H. S., Shon, D. G. and Oh, J. E., "A Study on the Evaluation of Control Performance of Active Muffler for Exhaust Noise Control," KSME, Vol. 22, No. 2, pp. 251-257, 1998.
3. 稻葉元宏, "排氣系の低騷音,低背壓化のための制御技術," 自動車技術, Vol. 41 No. 13, pp. 1562-1567, 1987.
4. Takasaki, M., Yamamoto, Y. and Sugano, H., "Influence of gasoline compositions on engine performance: Research on MTBE influence on engine power and fuel consumption," JSAE Review, Vol. 15, No. 3, pp. 205-208, 1994.
5. Tearsdale, T., Sloss, J., James, H., Susan, C., Bossidis, S. and Monson, J., "Joint alternatives for dual inlet mufflers," SAE Technical Paper, SAE 962167.