

排氣構成要素가 SI機關의 性能에 미치는 影響

박경석*, 박세종**, 손성만#

The Effect of Exhaust System Components on the SI Engine Performance

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

ABSTRACT

Recently, Automobile manufacturers regarding stability, economic environmental-friendly problems by the development of automobile. This reason is increasingly strict environmental regulations to lower fuel consumption and reduce emission. Designing more efficient and low emission control exhaust system results in more efficient performance, reduced back pressure and higher convert efficiency. Also to reduce the noise and the vibration of the automobile. According to develop variable type muffler, dual muffler and active intelligence exhaust system unit. Improvement in engine performance and fuel consumption rate, higher conversion efficiency demand information of pressure fraction and heat characteristics. To be able to determine these factor for we experiment on each case of exhaust system unit.

In this study, how back pressure is distributed in flow-through in exhaust system and how to design exhaust system flexibleness, efficiency, lower back pressure and optimal performance. This study furnish basic data for engineers, technicians.

Key Words : Back pressure(배압), Exhaust system(배기시스템), Engine performance(엔진 성능), Muffler(소음기)

1. 서론

최근 자동차의 급속적인 증가로 인하여 발생되는 대기오염이 사회적으로 큰 문제가 되고 있다. 특히 자동차의 배출가스저감 대책의 일환으로 사용되고 있는 후처리방식의 자동차 배기시스템은 다중 촉매컨버터, 복합구조컨버터, EHC 등이 개발되어 활용되고 있으며, 현재도 지속적인 연구¹⁻⁸가 활발

히 진행되고 있다. 또한 소음적인 측면을 고려하여 서브머플러등과 같은 소음장치들이 배기시스템에 부가적으로 장착되고 있다. 이에 따라 배기구성요소의 추가 장착으로 발생하는 배압증가와 배기의 열적 특성이 엔진성능에 크게 영향을 미치고 있다.

본 연구에서는 배기시스템의 각 구성요소로인해 발생하는 배압특성을 분석하고 연소특성 및 엔진성능에 어떤 영향을 미치는지 알아보려고 한다.

접수일: 2004년 12월 22일; 게재승인일: 2005년 4월 15일

* 경희대학교 테크노공학대학

** 경희대학교 대학원 기계공학과

교신저자: 경희대학교 대학원 기계공학과

E-mail thermal@khu.ac.kr Tel. (031) 201-2871

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 장치는 Fig. 1과 같이 실험용 기관, 동력계, 배기시스템, 연소해석장치, 실험데이터 수집장치 등으로 구성되어 있다.

실험에 사용된 기관은 Table 1과 같은 제원의 4기통 가솔린기관이며, 전자제어 연료분사장치가 장착되어 있고, 기관회전속도신호, 수온센서, TPS센서, 흡기온도센서, 흡입공기유량계에서 보내온 신호제어에 의해 연료 분사량이 조절되게 되어있다. 스로틀밸브 개도량은 직류서보모터로 제어하였으며, 스로틀포지션센서의 출력신호로 스로틀밸브 개도량을 정확하게 제어하였다.

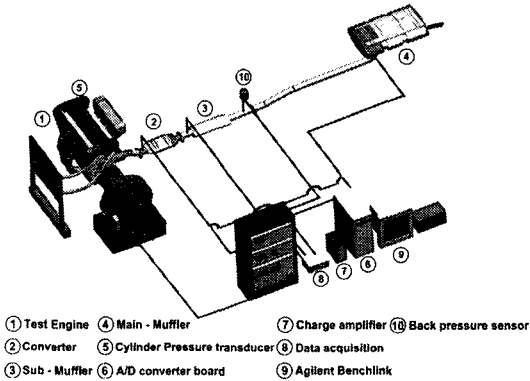


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

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 output	137/6,000
Maximum torque(km/rpm)	18.4/4,500

실린더내의 연소속도는 매우 고속으로 일어나므로 짧은 시간 내에 필요한 양의 데이터를 취득하기 위해서 본 연구에서는 고주파수의 응답성을 지닌 피에조타입의 압력변환기와 12bits A/D컨버터를 이용하였다. 연소압력센서는 압력에 대응하여 전하를 발생하는 전의소자를 이용하며, Fig. 2와 같이 4번 실린더에 압력센서를 장착하였다. 압력센서의 제원은 Table 2와 같고, 압력센서의 출력신호를 증폭하기 위하여 9,990pC/M.U. 전하증폭기를 사용하였다.

Table 2 Specifications of combustion pressure transducer

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

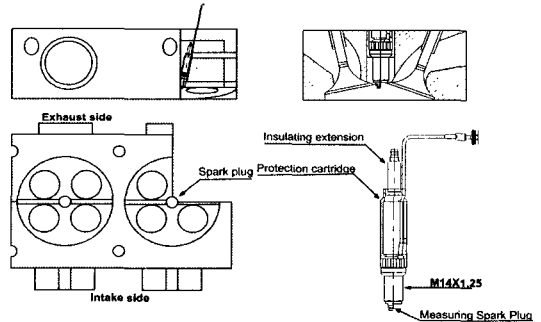


Fig. 2 Setting position of spark plug with integrated combustion pressure transducer

배기시스템의 배압측정을 위하여 Fig. 3과 같이 4개지점을 선정하여 배압센서를 장착하였다. 배압센서는 배출가스의 흐름에 수직방향으로 설치하였

고, 누수 등에 의한 압력센서의 급랭이나 전기절연도의 저하를 가져오지 않게 스테인레스 파이프를 사용하여 Fig. 4와 같이 장착하였다. 또한 엔진 연소시 발생하는 수분을 고려하여 서지탱크를 부착하였으며, Table 3과 같은 배압센서를 사용하였다.

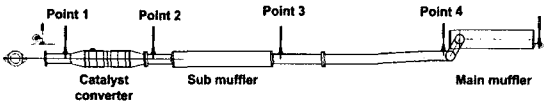


Fig. 3 Setting position of back pressure transducer in exhaust system

Table 3 Specifications of pressure transducer

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

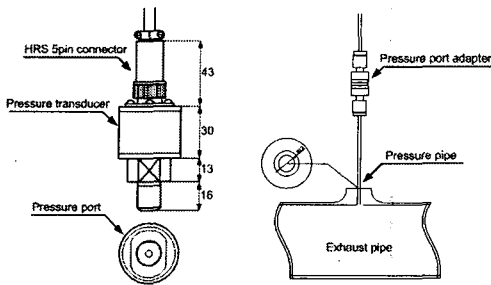


Fig. 4 Setting adaptor position of pressure transducer

2.2 실험방법 및 조건

배기시스템의 배압을 분석하기 위하여 배기시스템의 각 구성요소의 입구와 출구부분에 압력센서를 장착하였다. 각 구성요소인 촉매컨버터, 서브머플러, 메인머플러를 착탈하여 실험을 수행하였다. 그 조건은 Table 4와 같고, 실험시 운전조건은 Table 5와 같이 수행하였다. 또한 기관이 정상 작동

할 수 있도록 시동 후 약 10분간 워밍업하여 냉각수의 온도가 약 90°C ±2 에 도달한 후 실험을 수행하였다.

Table 4 Experimental conditions for the effects of the exhaust pipe parameters

No.	Catalytic Converter	Sub Muffler	Main Muffler
Condition 1	○	○	○
Condition 2	○	○	×
Condition 3	○	×	○
Condition 4	○	×	×

Table 5 Engine experimental conditions

	Condition
Engine rotation speed (rpm)	850, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000
TPS (%)	25, 50, 75, 100

3. 실험결과 및 고찰

3.1 배기시스템의 배압특성 해석

Fig. 5~ Fig. 8는 배기시스템의 구성요소의 배압을 기관회전수와 스로틀밸브 개도량에 따라 측정된 것이다. condition 1과 같이 모든 구성요소가 장착된 경우 전체배압분포가 가장 높았으며, 메인머플러만 장착된 경우, 서브머플러만 장착된 경우 순으로 전체배압이 높게 측정되었다. 전체 압력분포 상승률은 스로틀밸브 개도량이 50%이상에서 배압분포는 일정하게 상승하는 경향을 볼 수 있다.

Fig. 5는 메인머플러와 서브머플러가 장착된 condition 1의 상태로 촉매 컨버터 입구인 point 1의 배압이 가장 높게 측정되었다. point 1의 배압이 현저히 높게 측정된 것은 촉매컨버터의 담체로 인한 유동저항이 증가한 것을 알 수 있으며, 부가적으로 메인머플러의 장착유무에 따라 배기시스템의 전체 배압이 상승한 것으로 보인다. 그러나 촉매컨버터 입구의 배압을 제외하고, 다른 지점의 배압차는 큰

차이를 보이지 않는 것으로 확인하였다.

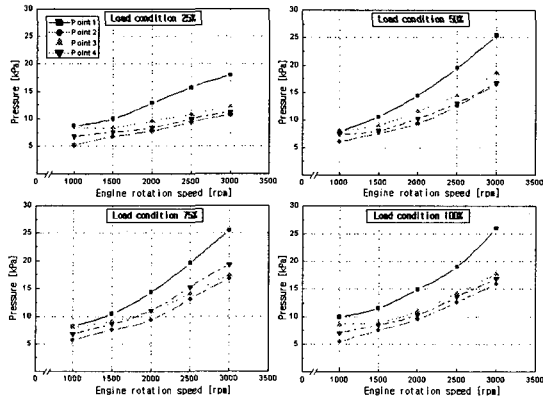


Fig. 5 Back pressure of exhaust system with engine rotation speed at Condition 1

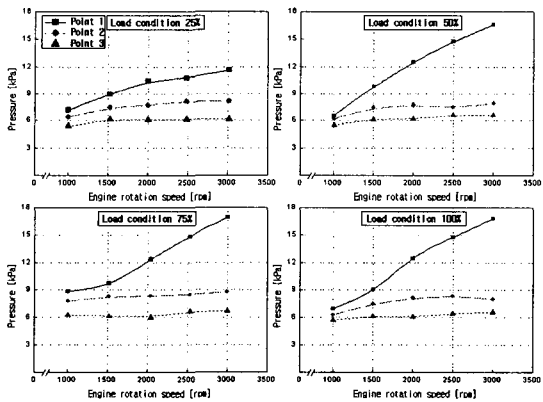


Fig. 6 Back pressure of exhaust system with engine rotation speed at Condition 2

각 실험조건의 배압분포 유형은 메인머플러와 서브머플러가 장착된 condition 1과 메인머플러만 있는 condition 3이 메인머플러가 없는 condition 2와 condition 4보다 최고배압이 10kPa정도 더 높은 결과를 보였다. 이는 메인머플러가 배압에 미치는 영향이 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 구성요소가 모두 장착된 condition 1의 배압이 메인머플러만 장착된 condition 3보다 기관회전수 2500rpm 이상의 영

역에서 더 높은 것을 알 수 있다. 그러나 기관회전수 2500rpm 미만의 영역에서는 메인머플러만 장착

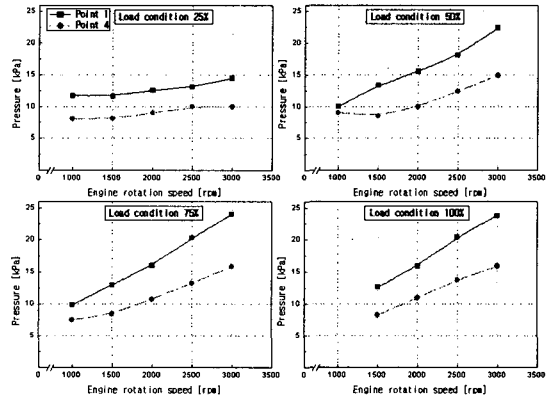


Fig. 7 Back pressure of exhaust system with engine rotation speed at Condition 3

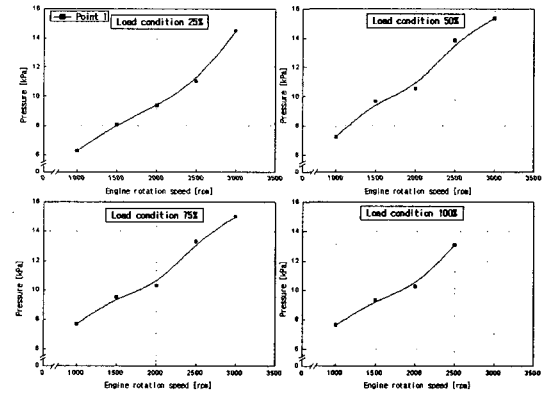


Fig. 8 Back pressure of exhaust system with engine rotation speed at Condition 4

된 조건의 배압이 더 높게 측정되었다. 여기서 초기 배압이 더 높은 이유는 서브머플러 장착유무와 메인머플러만 장착된 조건에서 길이를 고려하지 않은 결과로 사료된다.

Fig. 6과 Fig. 8은 메인머플러가 장착된 조건에 비해 서브머플러가 배압에 미치는 영향을 명확히 알 수 있다. 서브머플러가 장착된 경우를 살펴보면

스로틀밸브 개도량 25%일 때 point 1지점의 배압이 서브머플러를 장착하지 않은 경우보다 3kPa 정도 낮은 것을 알 수 있다. 또한 스로틀밸브 개도량 50% 이상의 영역에서는 서브머플러가 장착되지 않은 경우보다 배압의 최소값은 약간 더 낮게 나타나며, 최대값이 더 높아진 특성을 보인다. 이것으로 기관회전수 1500rpm이하, 스로틀밸브 개도량 25% 이하일 경우 서브머플러의 장착으로 인해 배압이 낮아지는 것을 알 수 있으나, 그 외의 조건에서는 배압이 더 높은 것을 확인할 수 있다. 따라서 서브머플러는 기관회전수와 스로틀밸브 개도량이 낮은 일부 영역의 배압성능에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

3.2 연소압력 해석

배기시스템의 배압특성이 엔진 연소특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 압력센서가 장착된 4번 실린더의 연소압력을 측정하였다. 정확한 Data sampling을 위하여 3600로터리 엔코더를 사용하여 A, Z펄스로 제어하였다. 엔진에서 측정한 연소압력을 이용해서 얻어진 데이터와 식 (1)을 사용하여 제동출력을 구하였다. 여기서 T: 토크, N: 기관회전수, P: 제동출력이다.

$$P = 2\pi N \cdot T \times 10^{-3} \quad (1)$$

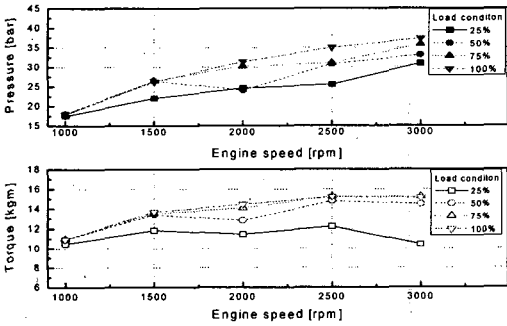


Fig. 9 Torque and combustion pressure on load condition and rpm at condition 1

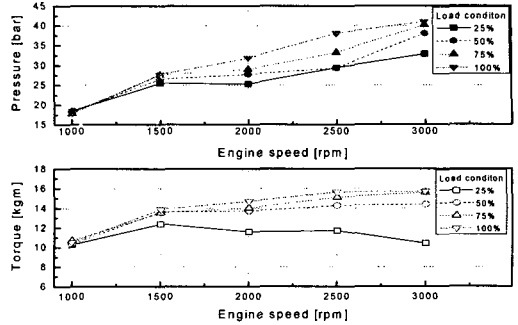


Fig. 10 Torque and combustion pressure on load condition and rpm at condition 2

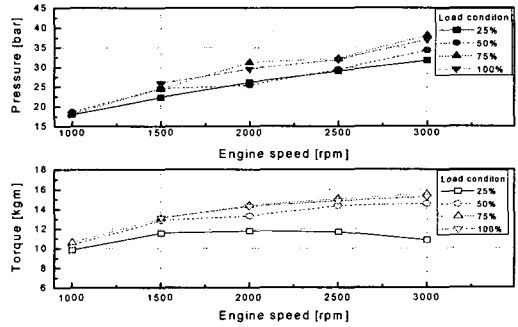


Fig. 11 Torque and combustion pressure on load condition and rpm at condition 3

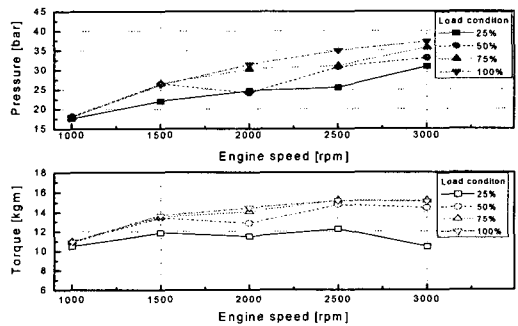


Fig. 12 Torque and combustion pressure on load condition and rpm at condition 4

Fig. 9~ Fig. 12는 각 실험조건에 따른 연소압력과 토크를 나타낸 것이다. condition 1과 condition 3의 연소압력 및 토크는 스로틀밸브개도량 50%이상에서 일정하게 상승하고 있다. 그러나 condition 2 및 condition 4와 같이 메인머플러가 미장착된 경우 2000rpm에서 연소압력 및 토크가 현저히 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이것은 메인 머플러장착으로 인해 일정수준이상 증가한 배압의 영향이 엔진 연소시에 영향을 끼치는 것으로 사료된다. 서브머플러 장착으로 인해 2000rpm이상 스로틀밸브 개도량 75%이상의 영역에서 연소 압력이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 서브머플러의 장착유무에 따라 일부영역의 연소특성에 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

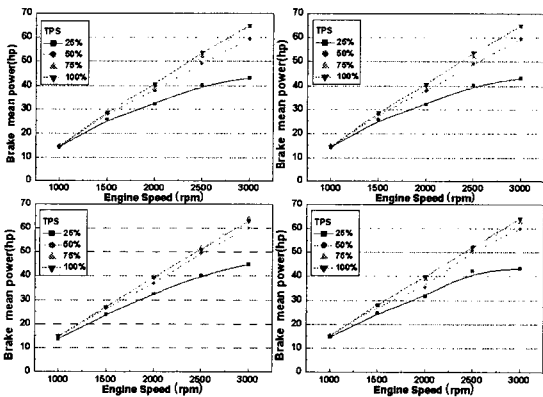


Fig. 13 Break mean power on load condition and rpm at each condition

Fig 13은 기관회전수와 토크 값을 이용하여 제동출력을 나타낸 것이다. 토크의 증가보다 기관회전수의 영향이 크기 때문에 각 조건에 따른 차이가 적은 것을 알 수 있다. 그러나 모든 구성요소마다 장착된 조건의 제동출력이 스로틀밸브 개도량 75% 이상일 때 다른 조건보다 최대 2hp정도 향상된 것으로 나타났다. 메인머플러만 장착된 경우 실린더 연소 압력특성과 같이 스로틀밸브 개도량 100%의 실험조건에서 출력 저하가 발생하였으며, 스로틀밸브 개도량 75%보다도 낮은 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 배기시스템의 각 구성요소가 갖는 기본적인 배압특성을 해석하고 엔진성능에 미치는 영향을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 전체배압분포는 condition 1-3-2-4순으로 높게 측정되었다. 또한 배기시스템의 배압특성에 가장 큰 영향을 주는 것은 촉매컨버터와 메인머플러인 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 그러나 메인머플러만 장착된 경우의 일부 구간의 배압이 모든 배기 구성요소를 장착한 경우보다 더 높은 것을 알 수 있으며, Fig. 6과 Fig. 8의 배압특성 변화를 통해 서브머플러가 일부 영역의 배압에 영향을 주는 것을 확인할 수 있다.
2. 메인머플러와 서브머플러의 장착으로 인해 발생하는 일부 영역의 배압상승이 연소압력 상승에 관계된 것을 확인할 수 있었으며, 배기시스템의 압력변화에 따라 엔진 연소특성 및 성능이 증가되는 것을 확인하였다. 그러나 연소특성 및 토크를 통해 얻어진 제동출력 차이값은 최고 2hp 미만이며 일부 영역의 성능만 개선된 것을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 에너지관리공단의 에너지기술학술진흥사업 지원에 의해 일부 이루어 졌음.

참고문헌

1. John, L. Lahti, John, Moskwa, J. "A Transient Test System for Single-Cylinder Research Engines With Real-Time Simulation of Multi-Cylinder Crankshaft and Intake Manifold Dynamics," SAE 2004 World Congress & Exhibition, 2004
2. Paul, Bowles, John, Batteh, "Multi-Cylinder Engine Model Using Modelica," SAE Powertrain & Fluid Systems Conference & Exhibition, 2003

3. Kim,H.S., Shon, D.G., Oh,J.E., "A Study on the Evaluation of Control Performance of Active Muffler for Exhaust Noise Control," KSME A 1998
4. 稻葉元宏 , "排氣系の低騒音,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
5. Masaya, Takasaki, Yuji, Yamamoto, Hideaki, Sugano, "Influence of gasoline compositions on engine performance: Research on MTBE influence on engine power and fuel consumption," pp. 205-208, JSAE Review, Vol 15, Issue 3, 1994
6. William, S. Gatley , Phillip, S. Geesky, "An Investigation of the Adjustable Element Concept for Design of Automotive Exhaust Mufflers," SAE Technical Papers
7. Hisashi, Natori, "Low noise muffler development by optimization of muffler internal structure study on muffler internal structure to use multivariate analysis," JSAE Review, Volume 19, Issue 1, pp. 103, 1998
8. Kim, D.H., Park, S.J., Son, S.M., Park, K,S, "The influence of exhaust system on heat efficiency and fuel consumption of S.I engine," Conference KSPE , 2004.