

## 排氣시스템의 背壓과 燃燒特性에 관한 연구

박대언\* · 박경석\*\*† · 박세종\* · 손성만\*

### A Study on the combustion characteristics for backpressure of exhaust system in SI engine

Park Daiun\*, Park Kyoungsuk\*\*, Park Sejong\*, Son sungman\*

#### ABSTRACT

It is necessary to consider the stability, economic environmental-friendly problems by the development of the road, supply of the automobile, environmental problem as designing the exhaust system. To reduce the noise and the vibration of the automobile, it is needed to consider the pulsation noise, air current noise, vibration of air pipe which generate the intake and exhaust noise of the automobile. Moreover, the discharge sounds, intake sound, radiation sound, transmitted sound are occurred. To reduce this influence, the variable valve is needed and to control these factors, path transformation muffler and active type muffler are needed. While engine efficiency could be reduced with this transformation and resistance by the pressure, thermal property.

In this study, how to design exhaust systems yielding higher conversion efficiency, lower backpressure and optimize the performance. this study is recommended for exhaust system and designers and engineers involved in SI engine exhaust system and it will furnish information for you to design more efficient.

Key Words : exhaust system(배기시스템), combustion characteristics(연소특성), engine performance(엔진성능), back pressure(배압)

#### 1. 서 론

최근 자동차의 급속적인 차량증가로 인하여 발생하는 대기오염문제가 사회적으로 큰 문제가 되고 있다. 자동차로 인한 대기오염문제를 해결하기 위한 대책의 일환으로 후처리방식의 배기가스 저감기술을 적용한 다중촉매컨버터, 복합구조컨버터, EHC 등의 배기정화시스템이 개발되어

생산되고 있으며, 현재도 많은 연구가 활발히 진행되어 적용되고 있다. <sup>1~8)</sup> 또한 소음적인 측면을 고려하여 서브머플러등과 같은 소음장치들이 배기시스템에 부가적으로 장착되고 있다. 이에 따라 배기구성요소의 추가장착으로 발생하는 배압증가와 배기열적특성이 엔진의 큰 성능에 영향을 미치고 있다. 따라서 본 연구에서는 배기시스템의 각 구성요소가 갖는 기본적인 배압영향을 분석하고, 엔진연소특성에 미치는 인자를 찾아 엔진 성능 향상 대책의 기초자료로 제공하고자 한다.

\* 경희대학교 대학원 기계공학과

† ks2507@khu.ac.kr

\*\* 경희대학교 테크노공학대학

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

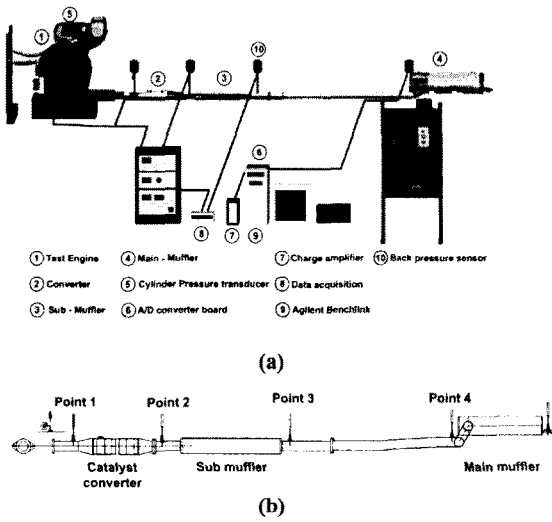


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of test engine

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

본 연구에서 사용된 실험장치의 전체 개요도는 Fig.1(a)와 같다. 실험용 엔진은 Table 1과 같은 제원을 가진 4기통 가솔린엔진을 사용하였다. 실험용 엔진에는 전자제어 연료분사장치가 장착되어있고, 기관회전속도신호, 수온센서, TPS센서, 흡기온도센서, 흡입공기유량계에서 보내온 신호 제어에 의해 연료 분사량이 조절되게 되어있다. 스로틀밸브 개도량은 직류서보모터로 제어하였고, 스로틀포지션센서의 출력신호로 스로틀밸브 개도량을 정확하게 제어하였다.

Table 2 Specifications of cylinder pressure transducer

Type	Piezoceramic
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

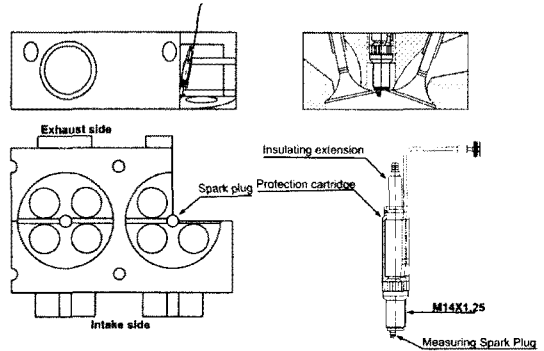


Fig. 2 Setting position of spark plug with integrated cylinder pressure transducer

실린더내의 연소속도는 매우 고속으로 일어나므로 짧은 시간 내에 필요한 양의 데이터를 취득하기 위해서 본 연구에서는 초고속의 응답성을 가진 피에조타입의 압력변환기와 12bits A/D컨버터를 이용하였다. 연소압력센서는 압력에 대응하는 전하를 발생하는 전외소자를 이용하고 있다. Fig.2와 같이 4번 실린더에 압력센서를 장착하였고, 압력센서의 제원은 Table 2와 같다. 그리고 압력센서의 출력신호를 증폭하기 위하여 9,990pC/M.U. 전하증폭기를 사용하였다.

Table 3 Specifications of pressure transducer

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

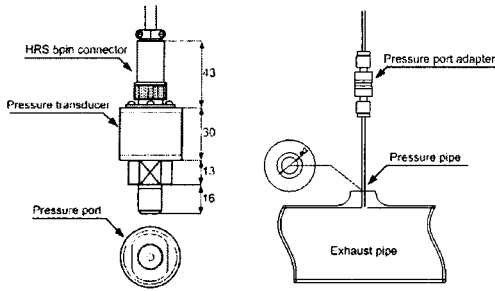


Fig. 3 Setting adaptor position of pressure transducer

배기시스템의 배압측정을 위하여 Fig.1(b)와 같이 4개의 포인트를 선정하여 설치하였다. 그리고 Fig.3은 배압측정 센서의 장착도이고, 제원은 Table 3과 같다.

2.2 실험방법 및 조건

배기시스템의 배압에 따른 엔진연소특성을 분석하기 위하여 배기관의 각 구성요소의 입구와 출구부분에 압력센서를 장착하였고, 각 조건에 다른 비교를 위해 구성요소별로 착탈하여 실험기관의 기관회전수와 스로틀밸브개도량 변화에 따른 연소압력과 배압을 측정하였다. 각 구성요소별 실험조건은 Table 4에 주어져 있다.

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

Condition 1	○	○	○
Condition 2	○	○	×
Condition 3	○	×	○
Condition 4	○	×	×

3. 실험결과 및 고찰

배기시스템의 배압이 엔진 연소특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 압력센서가 장착된 4번 실린더의 연소압력을 측정하였다. 정확한 Data sampling을 위하여 3600로터리 엔코더를 사용하여 A, Z펄스로 제어하였다.

3.1 배압 해석

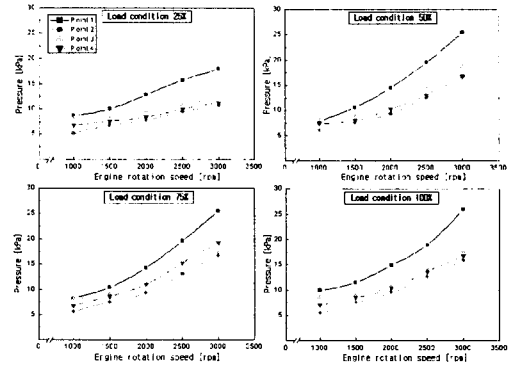


Fig.4 Back pressure of exhaust system with engine rotation speed in condition 1

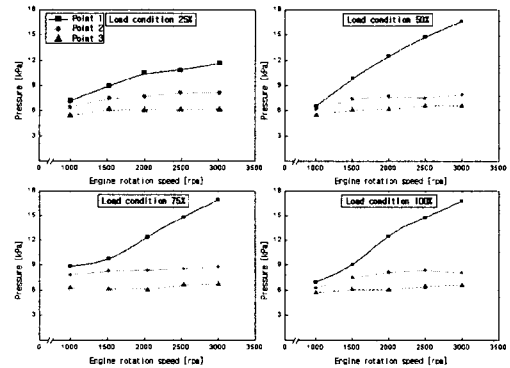


Fig.5 Back pressure of exhaust system with engine rotation speed in condition 2

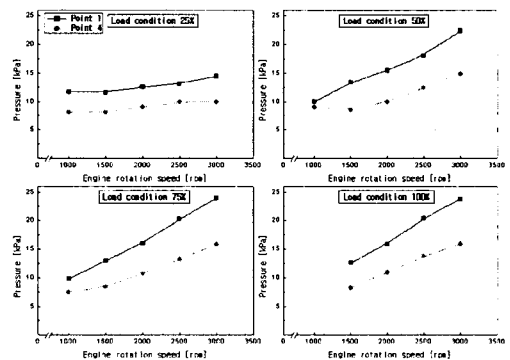


Fig.6 Back pressure of exhaust system with engine rotation speed in condition 3

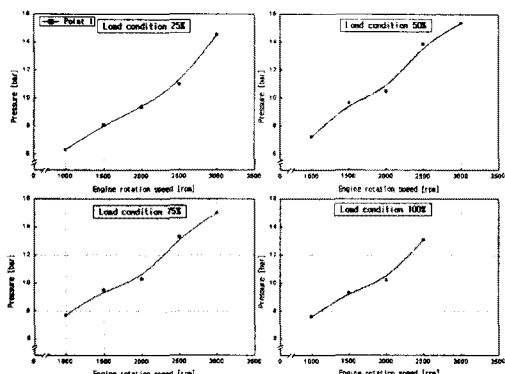


Fig.7 Back pressure of exhaust system with engine rotation speed in condition 4

Fig.4~7은 배기시스템의 배압을 나타낸것이다. 자동차배기시스템의 구성요소에 따른 배압변화를 측정한 결과 배압의 전체적인 평균측정치는 1-3-2-4 순으로 높게 측정되었고, 여기서 촉매컨버터가 장착된 point 1~2사이에 가장 높은 배압이 걸리는 것을 알 수 있고, 배압의 평균치외에 실린더 연소압력과 point별 특성과 비교분석 할 수 있다.

### 3.1 실린더 연소 해석

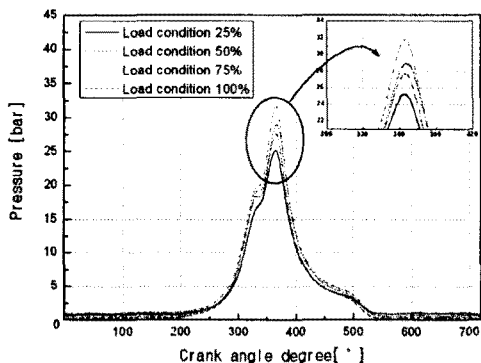


Fig.8 Pressure of cylinder with crank angle degree at 2000rpm in Condition 1

Fig.8은 condition 1에서 기관회전수 2000rpm 인 경우의 연소압력을 나타낸 것이다. 연소최고압력은 31.9bar을 보였고, 스로틀밸브 개도량이 25%일 때 연소압력은 25bar를 나타냈다. 스로틀밸브개도량 50%와 75%의 경우 1bar정도의 차이를 보였으나 거의 같은 유형의 압력분포곡선을 나타내는 것을 알 수 있다.

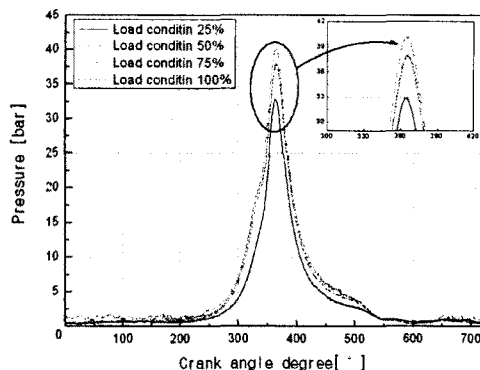


Fig.9 Pressure of cylinder with crank angle degree at 3000rpm in Condition 1

Fig.9는 condition 1의 조건하에 기관회전수 3000rpm일 때의 연소압력을 나타낸 그래프이다. 최고연소압력은 스로틀밸브개도량 100%일때 40 bar의 최고압력을 보였고, 25%일때는 33bar정도의 연소압력을 나타냈다. 또한 Fig.8과 같이 스로틀밸브 개도량 50%와 75%의 경우 압력분포도가 거의 일치하였고, 연소압력도 차이가 없었다. 3000rpm의 경우 스로틀밸브 25%와 50%이상의 경우 연소압력은 2000rpm보다 큰 차이를 보였으며, 25%와 50%의 경우 최고 5bar의 차이를 보였다.

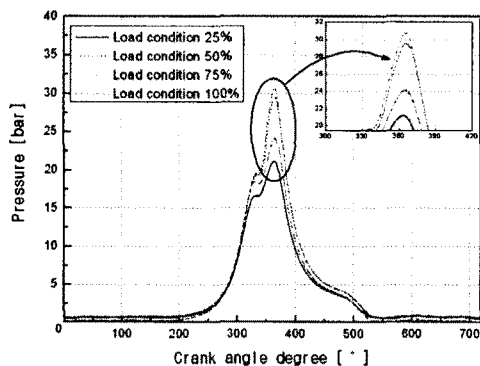
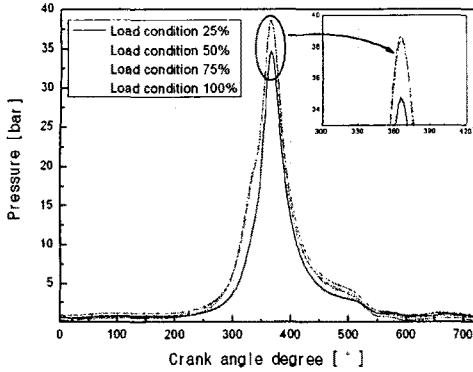


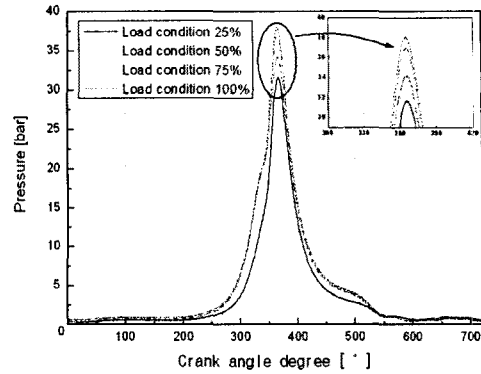
Fig.10 Pressure of cylinder with crank angle degree at 2000rpm in Condition 2

Fig.10의 경우는 condition 2에서 기관회전수 2000rpm의 경우를 나타낸 것이다. 스로틀밸브개도량 25%일 때 최소압력 24bar를 나타냈고, 100%에서 최고 31bar를 기록했다. Fig.10은 Fig. 9와는 다르게 스로틀밸브개도량 50%와 75%의 경우 연소압력분포 곡선의 유형이 일치하지 않았으며, 5bar의 차이를 보였다. 또한 스로틀밸브개도량 75%일 때와 100%일 때의 연소압력분포곡선이 거의 일치하였고, 최고연소압력부분만 1bar 정도 차이를 나타냈다.



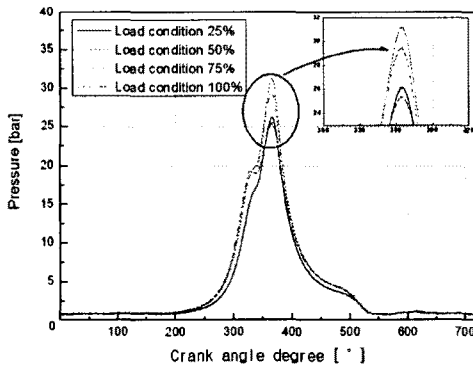
**Fig.11 Pressure of cylinder with crank angle degree at 3000rpm in Condition 2**

Fig.11의 경우 condition 2의 조건에서 기관회전수 3000rpm일 때의 연소압력분포곡선을 나타낸 것이다. 여기서 스로틀밸브개도량 25%일 때 연소압력이 35bar를 나타냈고, 75%와 100%일 때 연소최고압력은 39bar를 보였다. Fig.11의 압력분포곡선에서 보이듯이 기관회전수 2000rpm과는 달리 스로틀밸브개도량이 50%이상인 조건에서 연소압력분포곡선이 거의 일치하는 것을 알 수 있으며, Fig.10의 경우와 연소압력분포곡선의 유형이 다른 것을 알 수 있다.



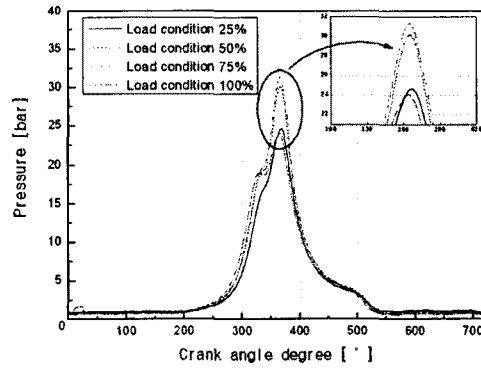
**Fig.13 Pressure of cylinder with crank angle degree at 3000rpm in Condition 3**

Fig.13은 condition 3의 조건에 기관회전수 3000rpm의 경우를 나타낸 것이다. 이 경우에는 스로틀밸브개도량 25%일 때 32bar의 연소압력을 나타냈고, Fig.12와 마찬가지로 연소최고압력은 스로틀밸브개도량 75%일 때 38bar를 기록하였다. Fig.13은 같은 조건에서 기관회전수가 낮은 Fig.12에 비해 스로틀밸브개도량 75%와 100%의 경우 최고연소압력이 1bar미만의 차이를 보이며, 압력분포곡선은 거의 일치하는 경향을 보였다.



**Fig.12 Pressure of cylinder with crank angle degree at 2000rpm in Condition 3**

Fig.12는 condition 3에서 기관회전수 2000rpm일 때의 연소압력분포곡선을 나타낸 것이다. 스로틀밸브개도량 25%일 때 25bar의 압력을 보였고, 75%일 때 연소압력은 최고 31bar를 나타냈다. Fig.12는 앞의 모든 경우와는 달리 스로틀밸브개도량 25%와 50%일 때 1bar미만의 차이를 보였고, 최고연소압력은 75%에서 나타났다.



**Fig.14 Pressure of cylinder with crank angle degree at 2000rpm in Condition 4**

Fig.14는 condition 4의 조건하에 기관회전수 2000rpm의 경우를 나타낸 것이다. 여기서 스로틀밸브개도량 25%인 경우와 0.3bar미만의 미소한 차이를 보이며, 연소압력은 스로틀밸브개도량 50%에서 최저수치의 연소압력인 24bar를 나타내었다. 그리고 최고연소압력은 스로틀밸브개도량 100%일 때 31.5bar를 기록하였다. Fig.14에서는 앞에서 거론된 모든 조건과는 달리 스로틀밸브개도량 50%의 최고연소압력이 25%보다 낮은 것을 볼 수 있으나 전체적인 압력분포는 스로틀밸브개도량 50% 일때가 더 높은 것을 알 수 있다.

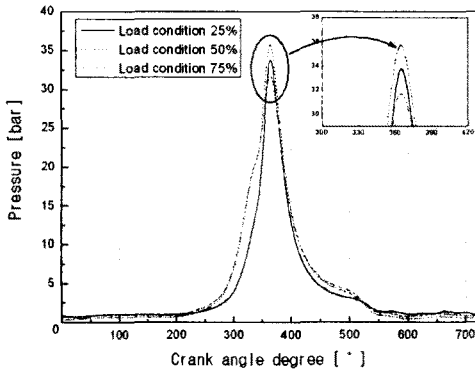


Fig.15 Pressure of cylinder with crank angle degree at 3000rpm in Condition 4

Fig.15는 condition 4에 기관회전수 3000rpm의 조건하의 연소압력분포그래프이다. 여기서 최소연소압력은 Fig.14에서 보인 것과 마찬가지로 스로틀밸브개도량 50%일때 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 34bar이다. 최고연소압력은 36bar이다. Fig.15에서는 Fig.14와 똑같이 스로틀밸브개도량 25%의 경우 연고최고압력이 50%보다 높았으며, Fig.15는 압력분포곡선의 형태가 같고 그 차이만 증가하여 2bar정도의 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

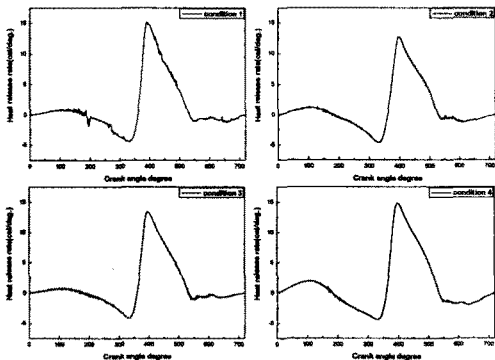


Fig.16 Heat release rate by each condition and 2000 rpm

Fig.16은 2000rpm 일때의 열발생율을 나타낸 것이다. 열발생율은 condition 4-1-2-3 순으로 나타났으며, 연소압력과 비교하여 상관관계가 있는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 배기시스템의 각 구성요소가 갖는 기본적인 배압특성을 분석하고 연소압력에 미

치는 영향을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 배기시스템의 구성요소에 따른 연소압력분포 그래프를 분석한 결과, 기관회전수 2000rpm인 경우 스로틀밸브개도량에 따른 연소압력의 차이를 보였으나, 스로틀밸브개도량 25%를 제외하고 기관회전수가 증가할수록 그 차이가 줄어들었다. 또한 각 조건별로 약간의 차이를 보였지만 기관회전수 3000rpm이고 75%일 때와 100%인 경우에는 연소분포곡선은 거의 일치하였고, 최고연소압력도 거의 차이가 없었다.
2. 연소압력은 배기시스템의 구성요소와 기관의 회전수 및 스로틀밸브개도량에 따라 차이가 나는 것을 알 수 있다. 배기시스템의 구성요소에 따른 연소압력은 기관회전수 3000rpm의 조건하에 1-3-2-4 순으로 나타났으며, 최고 10%의 차이를 보였다. 그러나 기관회전수 2000rpm에서는 최고압력이 1bar미만의 차이를 보임으로 구성요소별 최고연소압력차는 많이나지 않는 것을 알 수 있다.
3. 배압과 연소압력의 영향을 비교한 결과 배기시스템의 구성요소 유무에 따라 스로틀밸브개도량 100%인 경우에는 최고연소압력의 차이가 없었으나, 50%와 75%의 경우 구성요소의 유무에 따라서 압력분포곡선의 유형이 일치하였다.

#### 후 기

본 연구는 에너지관리공단의 2004년도 에너지 기술확산진흥사업 지원에 의해 일부 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] John L. Lahti, John J. Moskwa, "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] H.S.Kim, D.G.Shon, J.E.Oh, "A Study on the Evaluation of Control Performance of Active Muffler for Exhaust Noise Control ", KSME A 1998
- [4] 稻葉元宏ほか, "排氣系の低騒音,低背壓化のため"

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, Volume 15, Issue 3, July 1994

[6] William S. Gatley, Phillip S. Gegesky "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, Page 103, January 1998

[8] H.S.Kim, J.S.Hong, J.E.Oh, J.H.Song, "Exhaust Noise Control with the Active Muffler in Exhaust Exhaust System of Vehicle", KSAE 1998