

자동차 배기성능개선을 위한 확장형 공동파이프에 관한 연구

손성만¹⁾ · 박경석²⁾

경희대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 경희대학교 공과대학 기계공학과²⁾

A Study on the Expansion Cavity Pipe for Performance Improvement of Exhaust System in Automotive

Sungman Son¹⁾ · Kyoungsuk Park^{*2)}

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Kyunghee University, Gyeonggi 446-701, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, College of Advanced Technology, Kyunghee University, Gyeonggi 446-701, Korea

(Received 8 October 2008 / Accepted 5 June 2009)

Abstract : The temperature of exhaust gas was raised by increasing of engine movement on developing engine. Thermal of high temperature and pressure reverse in bellows, because of increasing of engine movement and the thermal performance of converter in combustion. As a result, thermal loss is increased and thermal efficiency is decreased rapidly in bellows, it can occur to damage in mechanical structure.

In this study, it was necessary to analyze back pressure performance and thermal characteristic on driving condition in exhaust system. It was adapted braid type bellows and straight type exhaust pipe. It was compared with curve type exhaust pipe for lay-out on considering to design of exhaust system.

It was necessary to improve thermal characteristic and back pressure performance so that expansion cavity pipe(ECP) was installed between bellows and catalyst convert. Not only decreasing back pressure was solved but also thermal characteristic problems in exhaust pipe because of increasing capacity. According to this study, the basis of data is presented when new exhaust system is designed.

Key words : Bellows(벨로스), Expansion cavity pipe(ECP:확장형 공동파이프), Exhaust system(배기시스템), Back pressure(배압)

1. 서론

자동차용 엔진의 연소 시, 발생하는 배기가스가 배기시스템을 통하여 배출되면서 대기와의 압력차에 따라서 배기 소음이 발생하게 된다. 이러한 연소 소음들을 감소시키기 위하여 서브 머플러를 장착하거나 듀얼 머플러 등과 같은 것을 장착하기 시작하였으며, 더 나아가 저속과 고속구간에서 배압을 제어하여 엔진성능 및 배기시스템 성능을 향상시키는 EVV머플러도 일부 적용되었다.¹⁾ 이런 복잡한 배기

시스템 형상과 부속 저감 장치들로 인하여 소음은 저감되었지만, 배기시스템 내의 배압증가로 배기 유동을 방해하여 배기시스템 성능을 악화시키고 엔진 내 연소를 불안정하게 만들어 차량의 출력 저하를 초래하는 요인이 되고 있다.²⁾

자동차의 배기시스템 구성요소 중 배압을 증가시키는 원인은 주로 메인머플러의 복잡한 내부구조와 촉매컨버터의 담체에 의한 것인데 연소가스 배출 시, 촉매장치 내에서 배기가스와 화학적 발열반응으로 고온이 발생하여 배기파이프의 열 유동에 상당히 많은 영향을 미친다.²⁻⁵⁾ 이때 열과 함께 발생하

*Corresponding author, E-mail: thermal@khu.ac.kr

는 배압의 증가는 배기시스템 내구 성능에 큰 영향을 준다.⁶⁾

또한 급작스러운 부하변동과 급가속 운전으로 배기시스템 내에서는 배기가스의 불균일한 유동으로 배압의 상승과 고열을 수반하여 열응력 취약 부분의 손상이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 배기시스템의 열응력 취약 부분의 과손을 방지하고 배기가스를 대기로 원활하게 배출시키기 위한 방안의 일책으로 벨로스과 촉매컨버터 사이에 확장형 공동파이프 설치를 착안하고 그에 대한 배기성능 평가를 고찰 하고자 한다.

2. 확장형 공동파이프

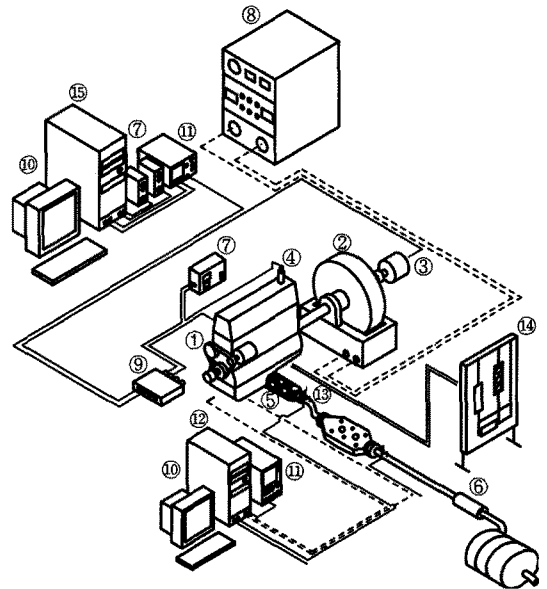
엔진 실린더 내에서 연소된 고온 가스는 배기시스템의 벨로스를 통과한 후 촉매컨버터를 거치게 된다. 이때 촉매컨버터 내부에서 산화된 연소 가스로 고열이 발생된다. 이때 발생된 고열이 촉매 컨버터 앞으로도 역류하여 촉매 컨버터 전단부에 설치되어 있는 벨로스의 양단 용접 부위가 열응력으로 손상되는 현상이 발생한다. 벨로스 출구와 배기파이프 입구에는 파이프 직경이 다르며, 커플링으로 결합된 돌연 수축(SC, Sudden contraction)으로 구성되어 있다. 이러한 돌연 수축에서는 박리유동에 의하여 실제 배기파이프 내에서 유류가 줄어들어 소위 축류부(Vena contracta)가 형성된다. 이때 이 축류부에 의해 벽면에서의 전후로 압력강하가 크게 변하는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 벨로스에서 축류부에 의해 발생하는 배압과 열 역류를 방지하기 위하여 배기가스 압력변화를 수용할 수 있는 용량 증대의 배기파이프 확장판 개념을 도입하였다.

3. 실험장치

3.1 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 실험 장치는 수냉식 4기통 스파크 점화 기관, 동력계, 연소압력 측정 장치, 실험용 배기시스템, 확장형 공동파이프 및 기타장치로 구성되어 있다. Fig. 1은 엔진성능실험 장치를 나타내었고, 실험용 기관의 제원은 Table 1과 같다.

실험은 기관이 정상 작동할 수 있도록 시동 후 약



① Test Engine ② Dynamometer ③ 360 Rotary Encoder
 ④ Combustion Pressure Transducer ⑤ Bellows ⑥ Exhaust System
 ⑦ Charge Amplifier ⑧ Dynamometer Controller ⑨ A/D Connector
 ⑩ Computer ⑪ Oscilloscope ⑫ Data Acquisition System
 ⑬ Back Pressure Transducer ⑭ Fuel consumption meter ⑮ A/D Converter

Fig. 1 Experimental setup for the engine dynamometer

Table 1 Specification of experimental engine

Item	Specification
Type	4 Cylinder SI Engine
Bore×Stroke (mm×mm)	85 × 88
Displacement volume (cc)	1997
Compression ratio	10 : 1
Spark timing (°/RPM)	11±5 / 800
Maximum Power (hp/rpm)	137 / 6,000
Maximum torque (kg · m/rpm)	18.4 / 4,500

10분간 워밍업하여 냉각수의 온도가 약 90°C±5에 도달한 후 실험을 수행하였다. 실제 차량에서 고속 운전 시 자연적으로 공기에 의해 실린더 블록과 프론트 냉각 모듈 그리고 배기시스템 하부가 냉각이 되어 문제가 발생하지 않는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 송풍기를 설치하였다. 실내에서의 엔진 실험은 엔진의 지속적인 운행으로 실내온도인 흡입 공기 온도가 높아질 염려가 있다. 이를 방지하기 위해서 일정한 흡입공기 조건을 유지하기 위하여 매 실험마다 엔진 주위에 대형 환풍기를 설치하여 엔진에서 발생하는 열에 의해 더워진 실내 공기를 외부로 방출시켰다.

3.2 확장형 공동파이프를 갖는 배기성능 해석장치

3.2.1 배기성능 측정장치

배기시스템의 배압 및 열적 특성을 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 벨로스와 촉매컨버터의 입·출구쪽 배기파이프의 온도(T3, T4, T5, T6)와 배압(P1, P2, P3, P4)을 측정하였다. 배기시스템의 배압을 측정하기 위한 압력측정 센서는 압력에 대응하는 전하를 발생시켜 배압을 측정하는 것으로써, 이 압력변환기는 배기파이프에 가공된 어댑터를 사용하여 장착하고, 배기파이프 내의 압력을 측정하였다.

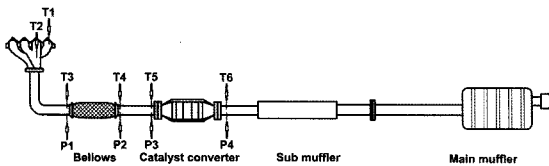


Fig. 2 Experimental setup of back pressure and temperature sensor positions

3.2.2 실험용 배기시스템 및 확장형 공동파이프

실험에 사용된 배기시스템은 싱글머플러 타입을 사용하였다. 배기성능을 비교분석하기 위해 직관타입 배기파이프와 굴곡타입 배기파이프 그리고 확장형 공동파이프타입의 3종류의 배기파이프에 대하여 실험을 수행하였으며 각 타입에 대한 실험 장치는 Fig. 3에 나타내었다.

실제 실험에 적용된 벨로스의 길이는 200 mm이다. 그리고 전·후단부와 각 구성요소에 연결되는 배기파이프는 외경이 50.8 mm이며, 두께는 1.5 mm

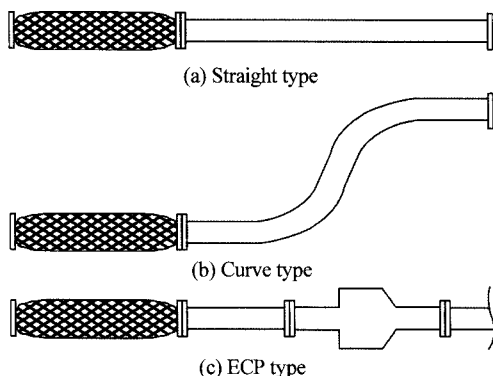


Fig. 3 Experimental setup of exhaust pipe

Table 2 Specifications of ECP, straight, and curve type exhaust pipe

Type	Specifications					
	$V(mm^3)$	ϕ	$\theta(^{\circ})$	$t(mm)$	$d(mm)$	$\ell(mm)$
I Straight	179,451	1	0	1.5	50.8	300
II ECP 1.2	193,532	1.2	26.6			
III ECP 1.4	233,681	1.4	45			
IV ECP 1.8	335,186	1.8	63.4			
V ECP 2.2	464,965	2.2	71.6			
VI Curve	253,615	·	·			

인 재질 STS-409L인 SUS파이프를 사용하였다. 그리고 본 실험에 사용된 각 타입의 배기파이프 재원은 Table 2와 같다. 여기서 V는 체적, ϕ 는 확장직경비, θ 는 공동부와 배기파이프와의 각도, t는 파이프의 두께, d는 파이프 내의 직경, ℓ 은 적용된 배기파이프의 길이이다.

배기시스템 설계 시에는 한정된 레이아웃에 의하여 배기파이프의 용량성능 증가 및 거리 설계인자를 우선적으로 고려하고, 배기시스템의 전반에 걸쳐 배압 특성과 온도 특성 그리고 가스유동 특성도 고려되어야 한다.

따라서 본 실험에 사용된 확장형 공동파이프는 촉매컨버터에서 발생하는 열 역류현상을 방지하기 위하여 Fig. 3과 같이 벨로스와 촉매컨버터 사이에 장착하였다. 그리고 본 실험에서는 벨로스와 촉매컨버터 사이의 거리를 300 mm로 설정하였다. 확장형 공동파이프는 배기시스템의 열적 특성과 전후의 유동을 원활히 하기 위하여 배기파이프의 직경을 동일하게 적용하였으며 재질도 동일하게 채택하였으며, 여기서 적용된 배기파이프의 두께(t)는 1.5 mm, 직경(d)은 50.8 mm, 길이(ℓ)는 100 mm이다. 공동은 확장된 공동파이프의 직경(D1)에 대하여 배기파이프 직경(D)의 비로 정의의 하였으며, 실험에 사용된 확대직경비(ϕ)는 각각 1.2, 1.4, 1.8, 2.2로 설정하였다. Fig. 5와 같이 공동 형상으로 제작을 하였다.

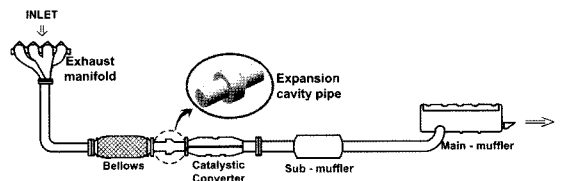


Fig. 4 Schematic diagram of exhaust system

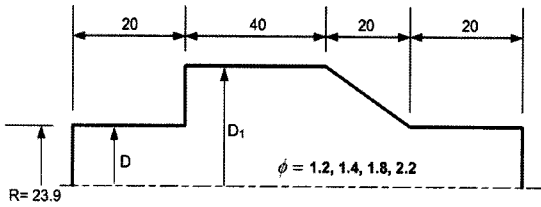


Fig. 5 Schematic diagram of expansion cavity pipe

4. 실험결과 및 고찰

4.1 열 유동 특성 해석

본 장에서는 배기시스템에 열적 특성의 영향을 받는 벨로스의 성능 및 배기시스템의 열적특성을 분석하기 위하여 벨로스와 촉매컨버터 간에 직관타입의 배기파이프를 장착하여 실험하였다.

Fig. 6은 전 부하 운전 시, 직관타입 배기파이프의 벨로스에서 엔진속도에 따라 벨로스의 출구와 촉매컨버터 입, 출구의 배기가스 온도와 벨로스의 입, 출구 및 촉매컨버터 입구의 배압분포를 나타낸 것이다. 벨로스와 촉매컨버터에서 배기가스 온도는 촉매의 발열반응에 의한 고열과 엔진에서 벨로스로 유입되는 고열에 의해 거의 일정하게 분포하는 경향을 볼 수 있는 반면 배압분포는 엔진속도에 따라 다르게 나타났다. 즉, 엔진회전속도가 2000 rpm 이하에서는 거의 동일한 배압분포를 보이지만 엔진속도가 2000 rpm 이상인 엔진 회전 구간에서는 벨로스 입구에 비해 출구에서 더 높게 나타난다. 엔진속도가 2000 rpm 이상인 구간에서의 평균배압은 약 15.3kPa 정도의 차이가 나며, 엔진속도가 2800 rpm에서는 최고 18.4 kPa로 벨로스 입구에 비해 출구에서 약 17.4% 정도 상승한다. 엔진속도가 증가할수록 벨로스와 촉매컨버터 간의 배압도 다른 영역에 비해 상당히 변화가 심하게 일어나며 엔진속도가 2000, 2400, 2800, 3200 rpm에서 엔진출력이 증가할수록 배압은 20.7, 32.6, 41.9, 48.3 kPa 정도 차이로 약 30~39% 정도 상승하는 것을 알 수 있다. 이것은 벨로스에서 배기가스의 유동저항과 후미에 장착되는 촉매에 의해 열 유동 저항이 발생하여 벨로스가 배기가스의 열적 특성뿐만 아니라 배압과도 관계가 있으며 상당히 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

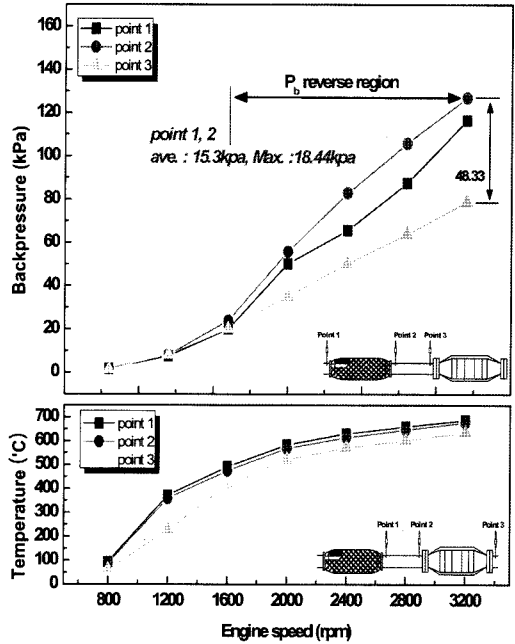


Fig. 6 Experimental results of back pressure and exhaust gas temperature in the straight type exhaust pipe

4.2 확장형 공동파이프 성능 해석

본 장에서는 배기시스템의 열적성능을 개선하기 위하여 확장형 공동파이프를 채택하였다. 이 확장형 공동파이프는 확장직경비(ϕ), 1.2, 1.4, 1.8, 2.2로 실험을 수행하였다. 확장직경비 2.6이상의 모델은 실제 차량에 적용하기에는 레이아웃 문제에 의해 장착이 어렵기 때문에 실험을 생략하였다. 그리고 실제 차량에 적용되는 기존의 머플러와 배기성능을 비교분석하였다.

Fig. 7~Fig. 8은 벨로스의 출구부인 T4와 P2지점에서 확장형 공동파이프의 $\phi = 1.2, 1.4, 1.8, 2.2$ 에 대해 배압 및 배기가스 온도를 측정하였다. 전반적으로 배기가스 온도와 배압의 성능곡선은 엔진속도에 따라 일정한 상승곡선을 그리고 있다. 배기가스 온도분포는 엔진속도 2000 rpm 이상에서는 $\phi = 1.4$ 와 1.8에서 가장 낮은 분포를 보이고 있으며, 이때의 배기가스 온도는 $\phi = 1.2$ 는 $\phi = 1.8$ 에 비해 약 1% 정도, $\phi = 2.2$ 에 비해 약 2.3% 정도 낮은 분포를 보인다. 배압 성능곡선도 엔진속도에 따라 일정하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 엔진속도가 2400 rpm 이상에서 각각의 ECP타입에 따라 배압분포가 확연히 차이가

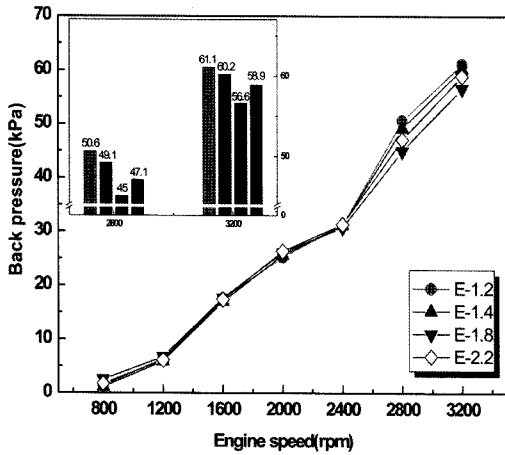


Fig. 7 Experimental results of the back pressure in the ECP type exhaust pipe (L.C. = 100%)

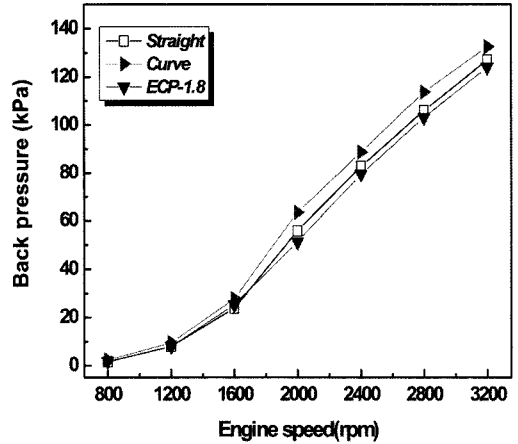


Fig. 9 Experimental results of the back pressure in the straight, curve, and ECP type exhaust pipe

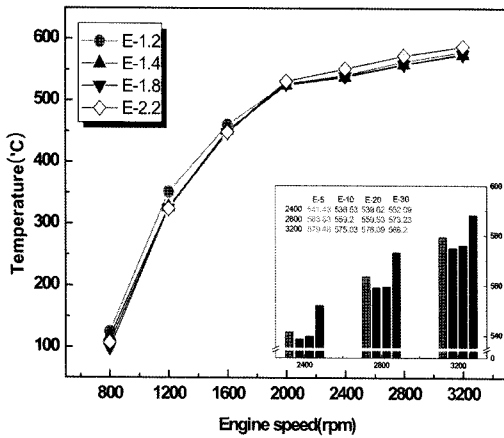


Fig. 8 Experimental results of the exhaust gas temperature in the ECP type exhaust pipe

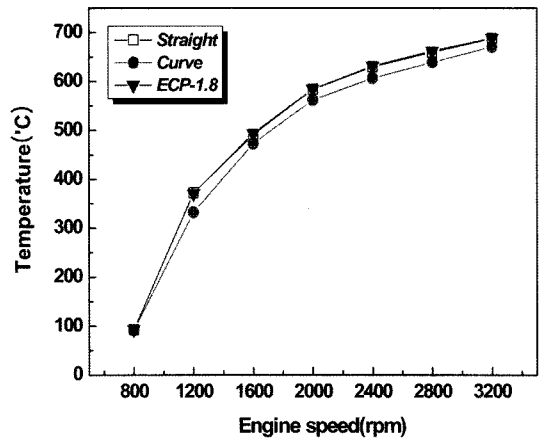


Fig. 10 Experimental results of the exhaust gas temperature in the straight, curve, and ECP type exhaust pipe

나타나며, 특히 $\phi = 1.8$ 부근에서의 배압이 가장 낮게 분포하고 있으며, $\phi = 1.2$ 에 비해 5.6 kPa로 약 12.4%이상 낮게 나타난다.

Fig. 9~Fig. 10은 직관타입과 굴곡타입 그리고 ECP타입의 배기파이프에 대해 엔진속도에 대한 배압과 배기가스 온도를 측정하여 비교하였다. 배압은 ECP타입에서 가장 낮은 분포를 보이고 있으며, 엔진 출력증가에 따라 엔진속도가 2000 rpm 이상에서는 ECP타입의 배압성능은 직관타입에 비해 4.9 kPa로 약 8.9%정도, 굴곡타입에 비해 12.3 kPa로 약 24%정도 차이를 보인다. ECP타입과 직선타입의 배기파이프에서의 배기가스는 거의 동일한 온도분포

를 보이고 있으며 굴곡타입 배기파이프에 비해 약 30~50°C의 차이로 높게 분포한다. 이는 커브타입이 직선관타입에 비해 배기가스를 수용하는 용량은 크지만 직선관타입과 ECP타입과는 형상이 다르고 배기파이프의 굴곡이 크기 때문에 이 부분에서 상당히 많은 유동저항이 발생하여 배압 변화에도 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다. 그리고 온도는 커브타입은 대기와의 접촉면이 다른 타입에 비해 넓기 때문에 이러한 외부원인으로 온도가 더 낮게 나타나므로 배기가스 온도는 배기파이프의 용량성능보다는 배기파이프의 형상에 의해 열적 성능이 상승하는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 촉매컨버터와 벨로스 사이 배기파이프에 확장형 공동파이프 형상의 장치를 시작하여 장착하고 그 성능을 평가하기 위한 열 특성 영향을 분석하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

엔진 회전 속도가 2000 rpm 이상에서는 벨로스 입구보다 출구 쪽 배압이 높았으며, 벨로스 출구와 촉매컨버터 입구 사이에서 큰 배압차가 발생하는 것을 알 수 있었다. 벨로스와 촉매컨버터 간의 배기 가스 온도차는 배기시스템의 다른 영역에 비해 거의 비슷한 분포를 보이고 있다.

본 연구에서 시작한 각 타입의 확장형 공동파이프에 대하여 실험을 통하여 얻은 결과를 비교분석한 결과, 확장형 공동파이프의 확장 직경비가 약 1.5~2.1배 사이에서 배기성능 효과가 발생되고 있다.

따라서 확장형 공동파이프타입의 배기파이프는 배기시스템에서 발생하는 벨로스 양단의 열응력 파손의 방지에 효과가 있을 것으로 판단된다.

References

1) S. J. Park, K. S. Park, H. C. Seo and S. M. Son, "A Study on the Suitable Number of the

Exhaust Variable Valve Spring for Semi-active Muffler," Journal of KSPE, Vol.23, No.5, pp.137-142, 2006.

- 2) S. M. Son, K. S. Park, S. J. Park, Y. H. Byun and S. R. Choi, "The Effect of Exhaust Pipe Shape on the Back Pressure Characteristics and Engine Performance," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.77-82, 2005.
- 3) S. M. Son and K. S. Park, "A Study on the Exhaust Cavity Pipe for Performance Improvement of Exhaust System," Spring Conference Proceedings, Vol.1, KSAE, pp.139-144, 2008.
- 4) Witzemann Co., An Investigation on Vibration and Noise Characteristics with Flow and Temperature of Exhaust Gas in the Exhaust System and Bellows, Witzemann Co. Report, 2006.
- 5) J. Y. Ahn, J. H. Ku, J. K. Park and J. W. Kim, "A Study on the Pressure Drop and Flow Characteristics Depending upon the Inlet-Outlet Geometry of Catalytic Converter," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.81-86, 2007.
- 6) S. J. Park and H. C. Seo, "Fatigue Durability Analysis and Evaluation for Straight Type Exhaust System of Automobile," Transactions of KSAE, Vol.13, No.1, pp.147-152, 2005.