

소형 이륜자동차의 머플러 배기압력 특성에 관한 실험적 연구

이중섭[†] · 최석천^{*} · 배재영^{**} · 정한식^{***} · 정효민^{***} · 서정세^{***}

Experimental Study on the Exhaust Pressure Characteristics in the small motorcycle.

C. S Yi, S. C. Choi, J. Y. Bae, H. S. Chung, H. M. Jeong, J. S. Suh

Key Words: muffler(머플러), exhaust pressure(배기압력), sound pressure level(음압)

Abstract

In this study, a experiment has been developed for measuring the exhaust pressure of muffler at inlet and outlet. The main experimental parameters were a engine speed and sound absorbing material in the muffler. The muffler sound absorbing material tested a steel wool and glass wool. The exhaust pressure was measured with pressure sensor. The phase of exhaust pressure with high speed was moved according to increasing engine speed comparing with exhaust pressure with low speed. Also, the distribution of exhaust pressure at the model-1, 2 and 3 are similar with distribution of exhaust pressure at muffler inlet.

1. 서 론

이륜자동차는 오늘날 일반자동차에 비해 구조적인 한계, 특히 안전에 관한 문제점 때문에 외면 당하고 있는 것이 현실이다. 또한 도심에서는 대기오염물질에 대하여 무방비한 상태에 놓여져 있어 앞으로 더욱 외면 받을 가능성이 있다. 그러나 비교적 빠른 기동성과 경제성 및 기타 여러 가지 장점 때문에 꾸준히 발전하고 있는 것 또한 사실이다. 현재 이륜자동차의 배기량은 증가하고 있는 추세이며, 동적 성능은 점차 우수해지고 고성능화 되어가고 있다. 그러나 배기ガス 및 배기 소음 등과 같은 환경적인 측면에서는 일반자동차에 비해 법적규제가 가벼워 그 동안의 연구는 미흡한 실정이다. 특히 일반자동차에 비해 이륜자

동차의 경우 더욱 외면 당하고 있다. 최근 선진국을 중심으로 하여 환경에 대한 인식이 날로 높아짐에 따라 지구온난화나 오존층 파괴, 소음공해를 감소시키고자 하는 노력이 있었다. 특히 몇몇 선진국을 중심으로 하여 배기계에 대한 관심이 크게 증가하고 있으며, 접근방법으로 기존의 실험적인 연구와 수치 해석적 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁻⁴⁾

수치해석을 통한 접근방법은 실험적 방법에 비해 시간과 비용이 절감되는 장점과 가시화 및 재연성이 우수하여 많이 사용되고 있는 방법이다. 기존의 자동차 머플러에 대한 연구는 소음규제가 강화됨에 따라 음향학적 소음특성에 대한 연구가 많았으나 유동특성과 연계된 연구는 아주 미흡한 실정이다. 그러므로 배기계 설계에서 보다 큰 비중을 차지하고 있는 머플러의 소음특성과 함께 배기소기 효율 증대를 위한 배기압력 특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다.⁵⁻⁷⁾ 특히 배기량이 다소 적은 이륜자동차의 경우 일반자동차와 달리 엔진 출력과 회전력에 아주 민감한 반응을 보이게 된다. 더욱이 이륜자동차의 머플러에

† 경상대학교 대학원 기계공학과

E-mail : cs_yi@hanmail.net

TEL : (055)646-4766 FAX : (055)640-3188

* 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

** 대림자동차공업(주) R&D 센터

*** 경상대학교 기계항공공학부

대한 연구는 일반자동차에 비해 아주 빈약한 상태이므로 본 연구는 이륜자동차의 머플러 설계 시 최적의 배기ガ스 유동 경로를 확보하기 위한 선행적인 연구로서 머플러 개발에 대한 기술 축적 및 설계 대한을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 이륜 자동차 머플러

현재 이륜자동차의 머플러의 구조는 크게 2가지 방식으로 나눌 수 있다. 첫번째로 2행정 엔진과 4행정 엔진에 따라 그 구조가 달라진다. 그러나 일반적으로 이륜자동차 뿐만 아니라 일반자동차에서도 마찬가지로 머플러의 경우 가는 관에서 넓은 공간으로 확산시켜 소리를 작게 하는 팽창식과 가는 관의 많은 구멍에서 넓은 공명실로 확산시켜 서로 음을 상쇄시키는 공명식, 관에 타공한 타공식, 흡음재를 사용하여 배기음을 흡수시키는 흡수식, 앞의 세 가지 방식을 용용한 격벽식으로 크게 구분할 수 있다. 현재 4행정 이륜자동차에서는 격벽식을 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 배압이 많이 발생하는 단점을 가지고 있으며, 특히 소형 엔진일 경우 엔진 성능에 많은 영향을 미침으로 세심한 설계가 요구된다.

본 연구에서는 공명식과 흡수식을 결합한 모델을 선택하여 실험을 수행하였으며, 흡음재는 Fig.1과 같이 steel wool과 glass wool을 사용하였다. 실험에 사용된 머플러의 케이스는 스테인리스를 사용하였고, 머플러제작 기준(KSR-4037)에 따라 설계하였다. Fig.2는 본 연구에서 사용된 실험 변수중의 하나인 단순 타공식 머플러를 나



(a) steel wool (b) glass wool

Fig.1 Photographs of sound absorbing material.



Fig. 2 Photograph of experimental model.

타내고 있다. 이 모델을 기준으로 흡음재의 종류와 유무에 따른 배기 압력과 특성을 파악해보고자 한다.

2.2 실험장치

본 연구에 사용되는 실험의 개략도는 Fig.3과 같이 볼 수 있으며, 실험에 사용된 엔진은 국내 제조 메이커 D-사의 124.1cc 4행정 소형 가솔린 엔진을 사용하였다. Table.1은 실험 엔진의 제원을 나타내고 있다.

배기압력 측정은 머플러 입구와 출구에 압력센서를 사용하여 측정하였다. 배기ガ스의 온도가 고온인 것을 감안하여 센서를 냉각시킬 수 있는 쿨러를 설치하였고, 로터리 엔코더를 크랭크축에 연결하여 1행정이 마치는 지점인 크랭크 각도 0~720° 까지만 테이터를 취득하였다. 소음측정은 한국공업규격 KSC-1502에서 정한 보통소음계를 사용하여 엔진회전수에 따른 음압 수준을 측정하였다. 측정 방법 또한 한국산업규격 (KSR-1029)에 따라 머플러 끝단의 중심선에서

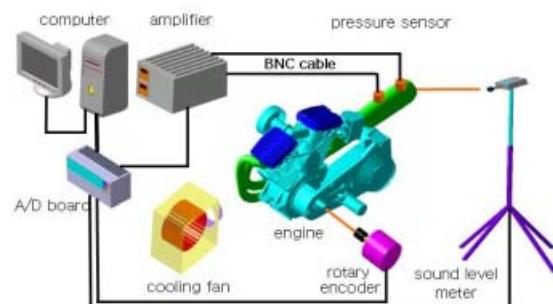


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus.

Table-1. Specifications of test engine

Engine type	4-stroke, 1-cylinder 4-valve, SOHC
Displacement	124.1cc
Bore×Stroke	56.5×49.5mm
Compression ratio	9.5 : 1
Max. Power	11.5PS/9,000rpm
Max. Torque	1.0kg-m/7,000rpm

45° ±10°의 각도를 이루는 연장선 방향으로 50cm 떨어진 지점에서 동시에 지상으로부터의 높이는 머플러 중심에서 ±5cm인 위치에서 측정하였다.

2.2 실험방법

위의 방법에 의해 2륜자동차의 머플러에 대한 압력측정을 위한 변수는 머플러 길이에 대한 압력특성을 연구하기 위해 머플러길이가 400m의 모델과, 머플러 내부의 흡음재 유무 그리고 머플러로 유입되는 입구단이 각도를 30°에 대하여 실험을 수행하였다.

소음측정의 경우 소음진동규제법 제32조(제작차에 대한 인증), 33조(제작차 소음허용 기준), 34조(제작차의 소음검사)에 의한 강제규정으로 되어있는 관계로 이를 충족시킬 필요성이 있다. 본 연구는 이러한 법적 규정과 한국공업규격에 맞추어 실험을 수행하여 실험에 대한 신뢰성을 높이고자 하였다.

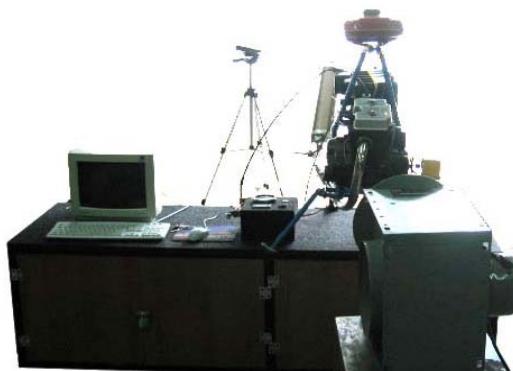


Fig.4 Photographs of experimental set up.

Table-2 Noise toleration of motorcycle

총배기량 175cc 초과	105dB 이하
총배기량 175cc 이하 80cc 초과	105dB 이하
총배기량 80cc 이하	102dB 이하

Table-2는 현재 적용되고 있는 소음허용 기준치를 나타내고 있다. Fig.5는 본 연구에 사용된 흡음재가 없을 경우 길이 400mm에 대한 변수를 나타내고 있다. 본 연구에 사용된 변수는 타공관이 없을 경우와 타공관이 있을 경우, 그리고 흡음재가 steel wool과 glass wool일 경우 4가지에 대하여 실험을 수행하였다.

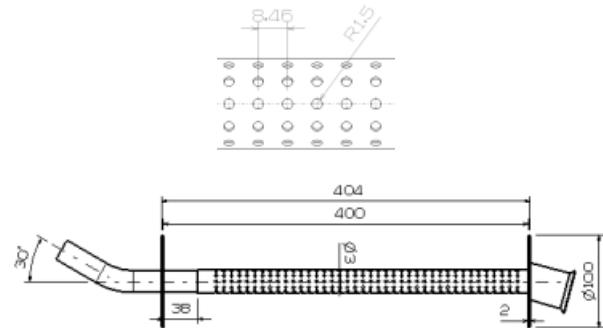


Fig.5 Geometry of present research model.

3. 결과 및 고찰

3.1 연소실 조건

Fig.7은 흡-배기밸브의 개폐 면적을 나타내고 있으며, 크랭크 각도가 약 138°에서 배기밸브는 열리기 시작하고, 342°에서 배기밸브가 완전히

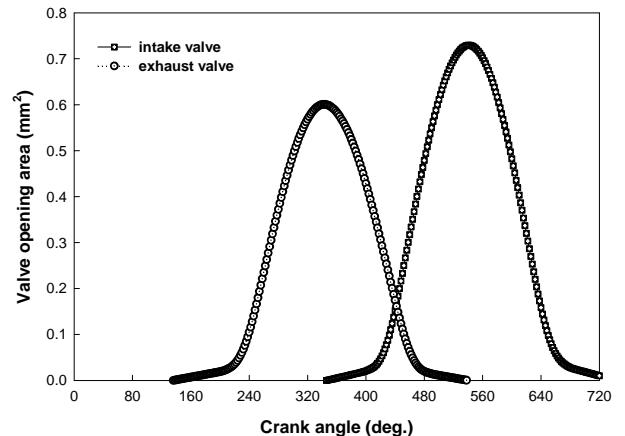


Fig.7 Intake and exhaust valve opening area according to crank angle.

열리게 된다. 또한 538° 에서 배기밸브는 닫히게 된다. 이때 밸브 오버랩은 $344\sim540^{\circ}$ 사이의 구간이 된다. 이때의 연소실 내부는 흡기와 배기가 동시에 진행되기 되고 흡기 밸브가 열리기 시작되는 구간에서는 연소실 내의 잔존 배기가스를 새로운 혼합기가 밀어내어 순간적인 압력상승이 발생한다. 그러나 배기밸브가 완전히 닫히게 되면 머플러로 배기가스의 유입이 차단되어 차츰 대기상태에 가까워진다.

3.2 머플러 압력 특성

머플러 입구단과 출구단의 압력 특성을 파악함으로서 배기가스가 머플러 내부에서 감소되는 압력을 통해 압력손실을 구함으로서 전체 성능을 판단할 수 있다. 물론 동력계를 사용하여 엔진에 미치는 영향을 파악하는 것도 중요하지만 그에 앞서 배기압력 특성을 파악하는 것이 선행되어야 된다. 따라서 추후 동력계를 통한 엔진 성능에 대한 연구를 수행하고자 한다. 본 연구에서 흡음재가 없는 경우를 model-1, 흡음재가 steel wool일 경우는 model-2, glass wool일 경우를 model-3으로 하였다. 실험시의 환경조건으로는 model-1일 경우 대기압이 756mmHg 였고, model-2일 경우 760mmHg, model-3일 경우 757mmHg였다.

Fig.8과 Fig.9는 엔진 회전수가 1000~6000rpm 까지 1000rpm씩 증가시켰을 때의 머플러 입구에서 발생하는 압력을 나타낸 것이다. 여기서 1000rpm은 아이들링 상태와 거의 비슷한 수준이다. 엔진회전수가 증가할수록 전반적인 압력상승이 발생하였으며, 머플러 구조상 배압이 최소화되는 타공식으로 흡음재를 사용하였더라도 압력이 급격하게 변화되지는 않았다. 엔진 회전수가 비교적 저속인 구간에서는 유사한 압력분포를 나타내고 있으며, 엔진회전수가 증가함에 따라 model-3인 glass wool을 사용한 모델에서 압력이 다소 높게 나타났다. 이러한 원인은 배기가스가 타공관으로 빠져나올 때 유동저항이 비교적 많이 발생하는 것으로 사료된다. glass wool을 사용한 모델의 경우 타공관으로부터 머플러로 배기가스가 유입될 때 glass wool이 일종을 저항체로 작용하여 porous media가 된다. 따라서 배기가스의 유입시 상대적으로 압력 상승이 발생하게

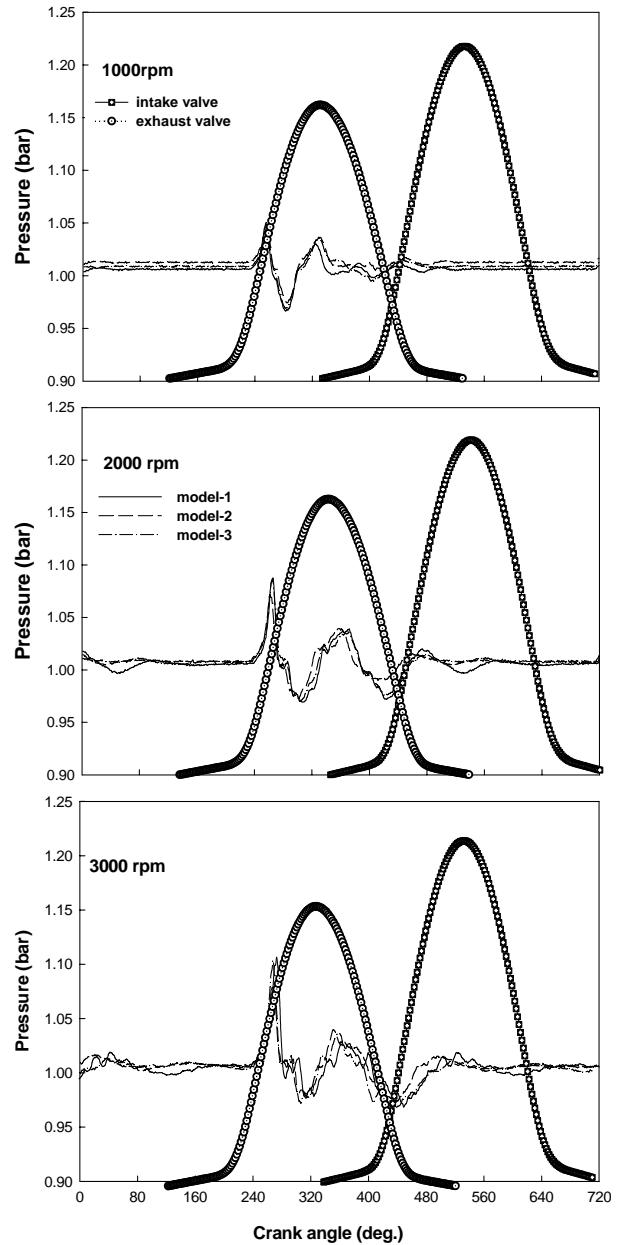


Fig.8 Distributions of exhaust pressure for various model at muffler inlet.

되어 머플러 입구단에서 다소 높은 압력값을 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 흡음재의 역할이 단순한 소음저감의 능력뿐만 아니라 배압에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 4000rpm까지의 결과로 볼 때 model-3은 크랭크 각도가 뒤로 밀려나는 것으로 보아 압력파가 정체하여 위상이 증가하였다. 그러나 5000rpm 이상에서는 3가지 변수모두 거의 같은 크랭크 각도에서 압력이 최대값을 나타내고

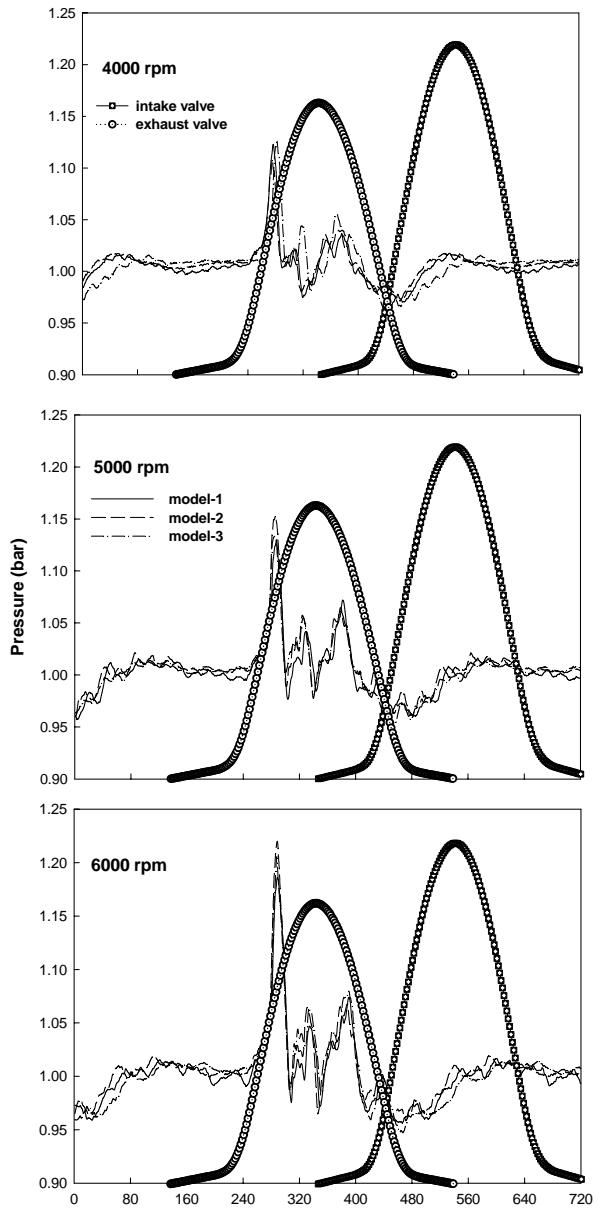


Fig.9 Distributions of exhaust pressure for various model at muffler inlet.

있음을 알 수 있었다.

Fig. 10은 각 모델에 대하여 엔진회전수에 따라 나타나는 압력변화를 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있듯이 엔진회전수가 증가할수록 최고 압력이 발생하는 지점이 달라짐을 알 수 있었다. 이러한 결과는 엔진회전수가 증가함에 따라 배기 가스 압력파의 전달속도가 증가하게 된다. 따라서 압축성 유동인 배기ガ스가 배기관에서 정체하

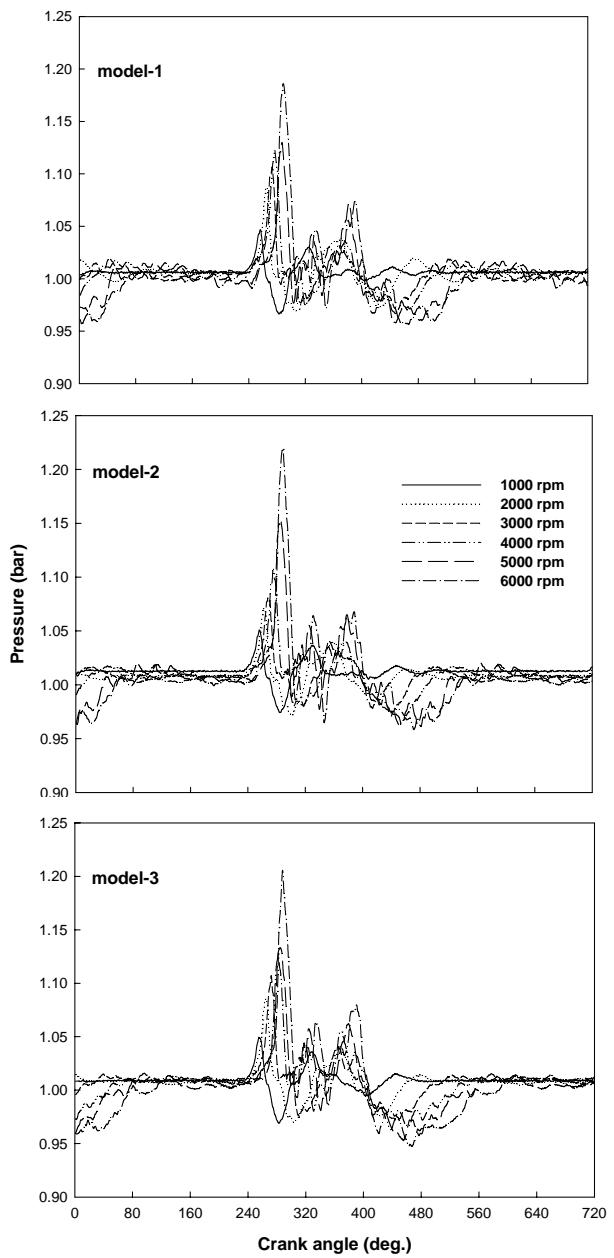


Fig.10 Distributions of exhaust pressure for various engine speed at muffler inlet.

게 되어 위상이 달라지는 것으로 사료된다.

Fig.11은 머플러에서 토출되는 소음을 측정한 것이다. 실험시 암소음 51dB였다. 실험을 통해 획득한 소음을 분석한 결과 흡음재를 사용한 모델에 대해서는 소음이 다소 낮게 나타나는데 이러한 현상은 흡음재 속에 배기ガ스가 음파로 진동하게되고, 그로 인해 생긴 마찰로 소리에너지가 열에너지로 바뀌어 흡수되는 특성을 가지고

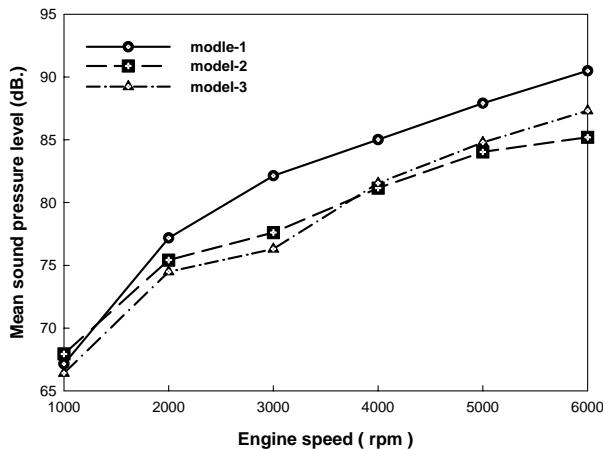


Fig.11 Distributions of mean sound pressure level.

있기 때문에 소음 감소하는 것으로 사료된다. 따라서 steel wool과 glass wool을 사용한 모델이 비교적 비슷한 음압수준차를 나타내고 있으며, 밀도가 비교적 높은 glass wool일 경우 3000rpm 까지 가장 우수한 소음저감 능력을 보여주었다. 그러나 4000rpm부터는 오히려 steel wool을 사용한 모델에 비해 오히려 음압이 증가하였다. Table-3은 model-1과 비교하였을 때 음압레벨의 저감율을 나타내고 있다.

Table-3 Comparative table of sound pressure level with sound absorbing material.

	sound absorbing material	
	steel wool (%)	glass wool (%)
1000rpm	-1.18	1.10
2000rpm	2.28	3.49
3000rpm	5.50	7.10
4000rpm	4.54	4.08
5000rpm	4.41	3.56
6000rpm	5.85	3.50

4. 결 론

엔진회전수가 증가함에 따라 배기ガ스의 압력파가 정체되어 위상이 증가함을 알 수 있었다. 또한 공명식 머플러를 채택할 경우 흡음재가 배기압력에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 그러나 소음저감 측면에서는 흡음재를 사용한 머플러가 그렇지 못한 모델에 비해 소음이 저

감됨을 알 수 있었다. 배압의 감소와 소음 저감의 측면에서 본 실험 모델 중 model-3이 가장 우수한 성능을 보여주고 있었다. 특히 소음저감의 경우 흡음재의 역할이 아주 중요함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 경상대학교 BK21 지역대학육성사업단과 대림자동차공업(주)의 지원에 의하여 연구한 내용이며 이에 관계자들께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) MinHo Kim, Wooin Chung, Inbum Chyun, 2000, "A Study on the Flow Characteristics and Pressure Loss of Muffler for the Variation of Volumetric Rate and Offset. KSAE paper, No.2000-03-0070
- (2) D.L.Hartsock, E.D. Stiles, W.C.Bable, and J. V.Kranig, 1994, "Analytical and Experimental Evaluation of a Thermally Insulated Automotive Exhaust System" SAE paper No. 940312
- (3) Yoshihiro Isshiki, 1996, "Simultaneous Prediction of Pressure losses and Acoustic Characteristics in Silencers by numerical simulation" SAE Technical paper No. 960637.
- (4) K. Yoshizawa, K. Mori, Y. Matayoshi, S. Kimura, 2003, "Development of an Exhaust Gas Recirculation Distribution Prediction Method Using Three-Dimensional Flow Analysis and Its Application." Transaction of the ASME, Vol.125
- (5) Kyoungsuk. Park, Hyungseok. Heo, 2001, "A Study on the Reduction of HC and Heat Characteristics of the Dual Pipe Exhaust Manifold" KASE paper Vol.9, No.6, pp.103-111
- (6) Seuk Cheun Choi, Kang. Yeul. Bae, Chung Seug. Yi, Han Shick Chung, Kyoung Young Lee, Hyo Min jeong, 2003 "A Numerical Analysis of Pulsating Pressure in Exhaust and Intake Pipe for Single Cylinder with 4-Stroke Cycle", FTEC, pp. 1-10(005)