

배기압력이 배기가변밸브 면에 분포하는 압력과 속도에 관한 연구

김권세¹, 최두석^{2*}

¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

Study on distributing Pressure and Velocity on Exhaust Variable Valve Face of Back Pressure

Kwon-Se Kim¹ and Doo-Seuk Choi^{2*}

¹Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 최근 자동차에 대한 환경규제가 대폭 강화되고 있으며, 배기시스템은 빼놓을 수 없는 연구과제 중 하나이다. 본 연구의 목적은 배기가변밸브의 압력 위치에 따라 최대와 최소에 대한 영향 분포를 규명하는 것이다. 실험은 배기가변밸브가 열리는 측면부에 카메라를 이용하여 실시간 각도를 확인하고 내부유량, 압력, 밸브 열림 각의 데이터를 추출하여 유동해석을 통한 배기가변밸브의 압력과 속도에 대하여 위치별 특성을 분석하였다. 압력의 결과는 밸브의 최초 열림이 머플러 내부에 압력을 감소시키는 결과를 나타내었다. 속도는 압력과 반대되는 결과를 나타내었으며, 하단부의 빠른 속도로 인한 밸브의 떨림 현상이 발생된 것으로 확인되었다. 이 연구로부터 얻은 결론은 기관성능 향상을 위해서 속도의 위치가 하단부로 유인할 경우 밸브면의 압력 분포가 더욱 증가하여 최적의 배압조건을 만들 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract Environmental emission of recent automobile is drastically enhanced that it is one of the obvious assignments of exhaust system. This study is a purpose to establish of influence distribution on maxima and minima through the location of pressure on exhaust variable valve. The experiment are checked with real angles using camera which exhaust variable valve is opened side of point. Data has extracted to opening angles with internal flow, pressure. Exhaust variable valve through the floating analysis was analyzed the characteristic of location point about pressure and velocity. The pressures indicated the reduced results internal pressure within muffler. The velocity indicated an opposite results and vibration state of valve was verified to be operated as high speed from lower section. The conclusion to obtain from this study was found out the result to make the optimum back pressure condition as more increasing pressure distribution on valve face if the velocity location attracted by bottom point in order to improve for engine performance.

Key Words : Back pressure, Distribution, Exhaust variable valve, Engine performance, Floating analysis

1. 서론

최근 자동차에 대한 환경규제가 대폭 강화되고 있기 때문에 배기시스템은 빼놓을 수 없는 연구과제 중 하나이다. 배기시스템은 소음 감쇄에 따른 정숙성과 더불어 배압을 최대한 감소하고 엔진동력 성능을 향상시키는 것

이 매우 중요하다[1].

그러므로 자동차의 중량을 가볍게 함과 동시에 성능 향상을 시키는 다운사이징에 대한 연구가 진행되고 있다.

이러한 효과를 가지고 있는 장치로써 머플러 내의 배기가변밸브(Exhaust variable valve, EVV)가 있으며, 최근 연구가 활발히 진행되고 있다. 배기가변밸브에 대한

*Corresponding Author : Doo-Seuk Choi(Kongju National University)

Tel: +82-10-6405-0372 email: dschoi@kongju.ac.kr

Received December 9, 2013

Revised (1st January 16, 2014, 2nd March 3, 2014)

Accepted April 10, 2014

연구는 크게 4가지로 반 능동형, 다중형, 압력 가변형, 전 자형이 있으며, 대표적으로 상용화된 방식인 반 능동형 방식은 머플러 내부에 발생하는 압력에 의해서 밸브가 열리고 스프링의 장력에 의해 닫히게 되는 원리이다[2].

자동차에서 발생하는 배출 가스는 기관의 연소실로부터 배기매니폴드, 촉매변환기, 공명기, 배기파이프, DPF, 머플러 순으로 운반되며 최종적으로 머플러를 통해서 배 기소음을 감소시켜 준다[3,4].

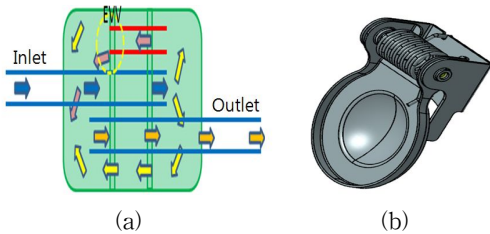
현재 거론된 연구들의 결과는 밸브 면의 변형, 압력, 기관 회전수에 대한 열림 영역, 저감된 소음 등 이들에 대한 필수 핵심 요소들에 대한 연구를 진행하여 왔다 [5,6].

하지만 배기 가변밸브에 대한 연구 중 밸브 열림 각에 대한 압력의 분포와 이때 통과되는 유속의 세부적인 연 구 결과는 현재까지 규명되지 않았다[7].

따라서 본 연구에서는 밸브 면에 작용하는 유속, 압력, 각도에 대한 실험 결과를 도출하고, 이때 유동해석으로 써 속도와 압력에 대한 위치별 최대와 최저 포인트를 규 명하여 설계 시 고려해야할 요인들을 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

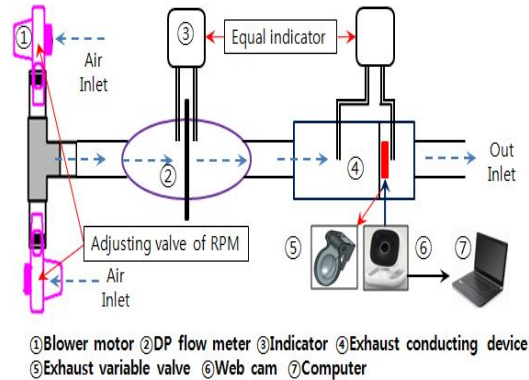
일반적인 머플러는 기관 연소실로부터 배출가스가 Fig. 1(a)와 같이 머플러의 입구를 통하여 출구로 운반되 는 단순한 형태로 설계되어 있으며, Fig. 1(b)는 실험에 사용된 배기가변밸브의 형상이다.



[Fig. 1] Model for experiment of exhaust conducting device
(a) Generally applied muffler system
(b) Exhaust variable valve for experiment

Fig. 2는 실험장치의 개략도를 나타낸 것이며, 각 장비 의 제원은 Table 1과 같다. 작동 순서는 ① 기관 연소실

로부터 발생하는 배출가스의 유량 및 압력을 가변 송풍 기라 가정하여 유량 및 압력을 발생시킨다. ② 검출되는 차압을 이용하여 유량으로 측정한다. ③ 측정되는 차압 을 인디케이터에서 실시간으로 확인하고 압력 단위 kPa 에서 Q/g/s 유량으로 환산한다. ④ 머플러의 구조를 가정 하여 제작된 배기거동장치내부에 유량 및 압력이 발생된 다. ⑤ 이때 압력발생으로 배기가변밸브는 반능동으로 열리게 된다. ⑥ 가변밸브의 각도를 측정을 위하여 카메라 를 이용하여 모니터링 한다. ⑦ 컴퓨터를 통하여 실시 간 열림 각을 측정한다. 이와 같은 순서로 실험을 약 10 회 반복하여 결과를 평균화 하였다.

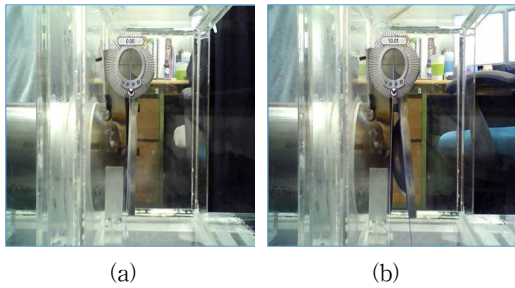


[Fig. 2] Schematic diagram of real experiment

[Table 1] Specification of Schematic diagram

Item.	Specification
Blow motor	16,000 rpm/ 4.5 m ³ /min
Flow meter	DP(pressure)/ Process
Indicator	RT: 0.1 %/ Response time: 16 ms
Web cam	Process connection: USB type

실험은 Fig. 3과 같이 유량, 내부압력, 각도를 측정할 수 있는 거동장치를 제작하였으며, 열림각은 최소 0°에서 12° 까지 측정하였다. 유량은 최소 8.327(g/s)에서 최대 29.50(g/s)까지 측정하였으며, 내부 압력은 최소 1.85kPa 에서 최대 3.35kPa까지 측정 하였다. 또한 재연성 및 반복성을 검증하기 위하여 동일한 조건으로 10회 이상 평 균화 실험 측정을 진행하였다.



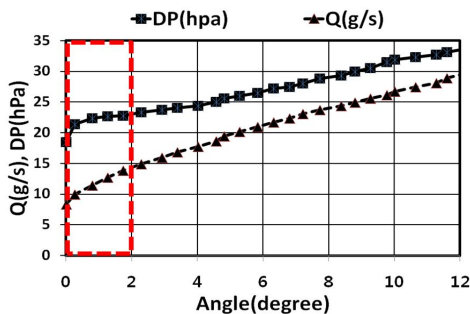
[Fig. 3] Conducting device of Exhaust Variable Valve
 (a) Flow 08.327g/s, DP 1.85 kPa, Angle 0°(min)
 (b) Flow 29.500g/s, DP 3.35 kPa, Angle 12.0°(max)

각 압력 포인트별 최대와 최소의 결과를 고찰하기 위해서 해석프로그램은 ANSYS를 이용하여 재질을 정상 유동과 속도를 활용하여 25 °C의 공기로 가정하였으며, 내부를 채워 격자를 생성하고 해석을 진행하였다.

또한 격자는 4면체 형상으로 부분적으로 나뉘었으며, 최대 구성요소 크기를 10mm, 최저 크기를 1mm 설정하였다. 격자에 대한 교점은 380,000개 이상, 구성요소의 수는 2,000,000 개 이상으로 모든 모델들에 대하여 비슷한 격자를 주어 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

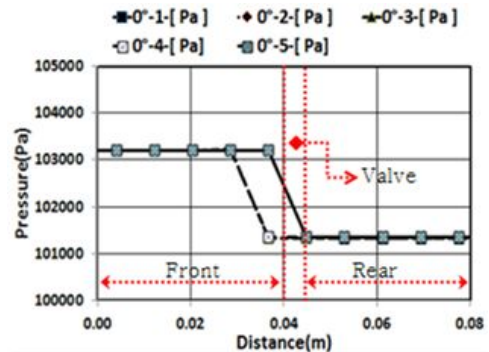
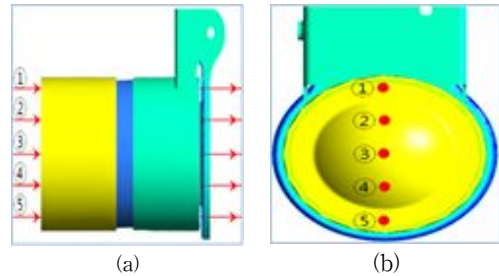
Fig. 4는 각도에 따른 유량과 내부압력의 변화 결과를 나타낸 것으로 유량은 기관 회전수 가변을 통하여 각도와 같은 선형적인 결과를 나타내었다. 내부압력은 약 2° 이내 부근(기관 회전수 2,300~2,500rpm)에서 발생하는 최초 벨브 열림 영역을 확인 할 수 있었다. 약 2° 이상으로는 유량이 증가하면서 내부압력 또한 증가되며 각도가 열리게 됨을 확인 할 수 있었다.



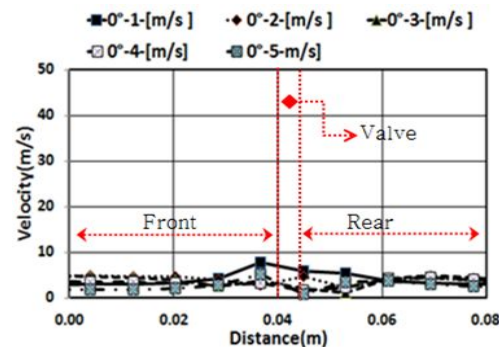
[Fig. 4] Result of exhaust conducting experiment

해석결과 0°에서 발생하는 압력은 Fig. 5(a), (b)와 같이 전체 면적에 동일하게 분포되었다. 최대 압력은 Fig. 5(c)와 같이 103,300Pa이며, 최소 압력은 101,300Pa로 대기 압력과 유사하다. 벨브가 닫힌 상태에서는 포인트별 위치에 대한 특이사항은 발견되지 않았다.

이는 벨브가 닫힌 상태에서는 송풍기 발생압력이 낮으므로 벨브 전체면적에 분포된 결과로 추정된다.



(c)

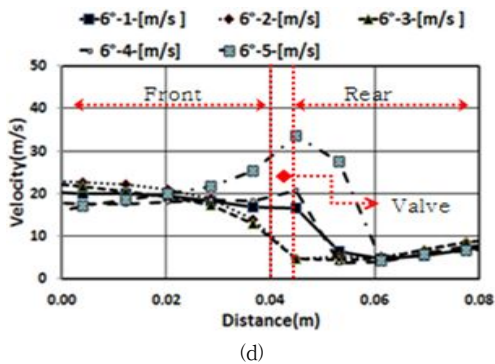
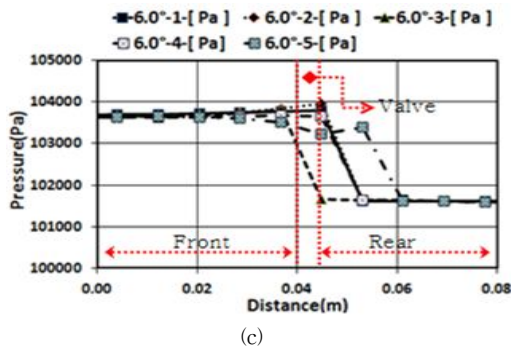
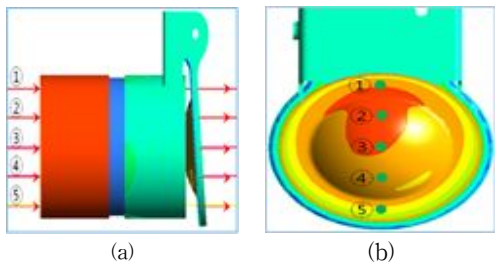


(d)

[Fig. 5] Result of location about 0°
 (a) Side view (b)Front view
 (c)Graph of Pressure (d)Graph of Velocity

속도에 대한 해석결과는 Fig. 5(d)와 같이 밸브면 중심을 5개의 포인트로 기준하여 상단부에서 하단부까지 발생하는 속도의 영향을 나타낸 것으로, 속도의 세기는 ④<②③⑤<① 순서로 나타났으며, 속도는 밸브면의 중앙부에서 가장 적은 세기로 영향을 주었고, 밸브면의 상단부근 보다 하단부근에서 다소 적은 8 m/s의 속도를 발생하였다.

이는 송풍기에서 발생된 일정한 압력이 밸브 면에 작용하였으며, 밸브면의 오목한 형상에 영향 받아 측면부로 이동된 속도의 영향이 보다 큰 것으로 추정된다.



[Fig. 6] Result of location about 6°
 (a)Side view (b)Front view
 (c)Graph of Pressure (d)Graph of Velocity

해석결과 6°에서 발생하는 압력은 Fig. 6(a), (b)와 같이 ⑤<④<①②<③ 순으로 분포되었다. 최대 압력은 Fig. 6(c)와 같이 103,900Pa이며, 최소 압력은 101,300Pa로 대기 압력과 유사하다. 밸브의 열림은 밸브면의 상단부에 대한 압력분포로 인하여 열림을 유지하는 것으로 확인되었다.

이는 밸브 전체면적에 일정한 압력이 분포되었지만, 밸브를 통과하는 유속에 의하여 하단부의 압력이 제거되고 상단부에만 영향 받은 결과로 분석된다.

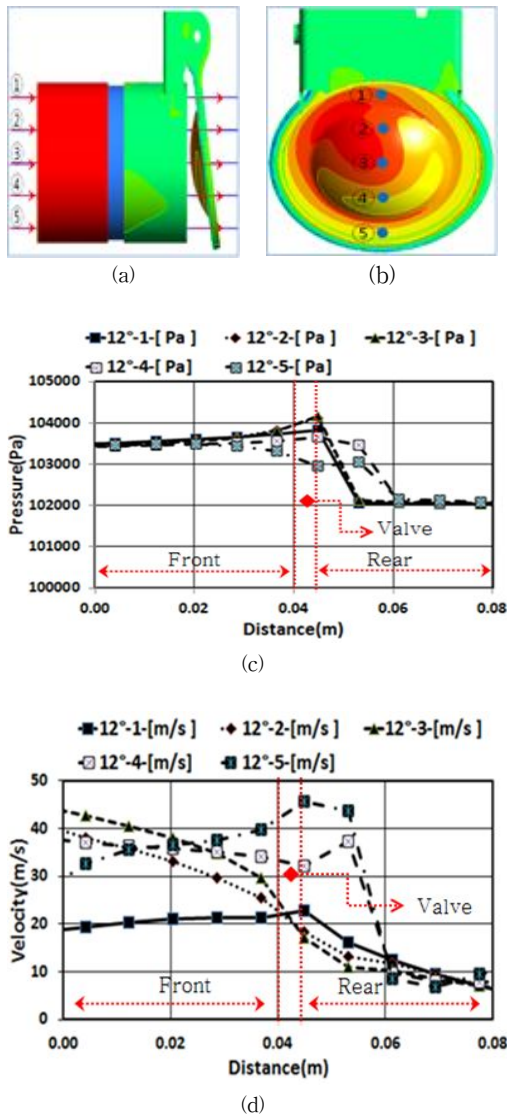
속도에 대한 해석결과는 Fig. 6(d)와 같이 밸브면 중심을 5개의 포인트로 기준하여 상단부에서 하단부까지 발생하는 속도의 영향을 나타낸 것이며, 속도의 세기는 ③<①②<④<⑤ 순서로 나타내었다. 속도는 밸브면 중앙부에 가장 적게 영향을 주었으며, 상단부와 하단부에서 큰 영향을 발생하였다. 속도는 압력과 반대되는 결과를 나타내었으며, 하단부의 빠른 속도로 인하여 밸브의 떨림 현상이 발생될 것이라 사료된다.

해석결과 12°에서 발생하는 압력은 Fig. 7(a), (b)와 같이 ⑤<④<①②③ 순으로 분포되었다. 최대 압력은 Fig. 7(c)와 같이 104,300Pa이며, 최소 압력은 103,000Pa로 나타내었다. 압력은 밸브면의 상단부에 가장 크고 넓게 분포되었으며, 이때 발생한 압력으로부터 밸브의 최대 열림을 유지시키는 결과를 나타내었다.

이는 송풍기에서 발생된 유량과 압력이 증가되었지만, 밸브 열림 각에 비해 제거되는 압력의 비중이 다소 적은 것으로 분석되었다.

속도에 대한 해석결과는 Fig. 7(d)와 같이 밸브면 중심을 5개의 포인트로 기준하여 상단부에서 하단부까지 발생하는 속도의 영향을 나타낸 것이며, 속도의 세기는 ②③<①<④<⑤ 순서로 나타내었다. 속도는 밸브면의 중앙부에서 가장 적게 영향을 나타냈으며, 하단부에서 가장 큰 영향을 발생하였다.

이는 밸브면 하단부에 빠른 속도로 이동될 때 밸브의 열림을 도와주고, 압력은 스프링의 탄성에만 의존하여 상단부에 가장 큰 압력이 발생된 것으로 분석되었다. 하단부의 가장 빠른 속도로부터 밸브의 최대 떨림 현상이 발생될 것으로 사료된다.



[Fig. 7] Result of location about 12°
 (a)Side view (b)Front view
 (c)Graph of Pressure (d)Graph of Velocity

3. 결론

자동차 배기압력이 배기가변밸브에 미치는 영향을 분석하기 위해서 거동장치를 설계·제작하여 실험을 진행하였으며, 배기가변밸브에 대한 거동 실험과 유동해석 CFX를 활용한 압력과 속도에 대한 포인트별 해석에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 배기가변밸브는 약 2° 이하 구간에서 밸브의 최초 열림이 발생하였고, 밸브의 최초 열림은 머플러 내부에 압력을 감소시키는 결과를 나타내었으며, 감소된 압력의 영향은 기관 연소실로부터 발생하는 연료소비율을 향상시킬 수 있는 방안으로 사료된다.
- 2) 0°에서의 해석적 분석결과 밸브면 전체에 동일하게 발생되었다. 속도는 밸브면의 중앙부에서 가장 적은 영향을 주었으며, 밸브면의 측면부에서는 미세한 속도의 영향이 발생되었다. 밸브 측면부에 타공을 할 경우, 밸브의 최초 열림으로부터 발생하는 진동현상을 제거하고, 기관 출력성능을 향상시킬 수 있는 방안이라 사료된다.
- 3) 6°에서의 해석적 분석결과 상단부에서 발생된 압력 분포로 인하여 밸브의 열림을 유지하는 것으로 확인되었으며, 속도는 압력과 반대되는 결과를 나타내었다. 기관의 출력을 향상시키기 위하여 가변밸브를 설계할 경우 압력의 분포가 넓게 될 수 있도록 설계하면 최적의 밸브 열림각을 얻을 수 있다.
- 4) 12°에서의 해석적 분석결과 6°와 동일한 결과를 나타내었다. 또한 압력의 분포는 다소 증가 되었고, 기관성능 향상을 위해서 속도의 위치를 하단부로 유인할 경우 압력의 분포는 더욱 증가하여 최적의 배압을 만들 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.
- 5) 위와 같은 결론으로부터 실험적인 부분과 해석적인 부분을 세밀하게 추출하기 위한 체계적인 전문 기법을 활용한다면 좀 더 개선된 결과를 기대할 수 있을 것이라 사료됩니다. 앞으로 가변밸브의 스프링 상수를 고려하여 다양한 시료들에 대한 연구를 진행할 예정입니다.

References

- [1] L. H. Bell and D. H. Bell, "Industrial Noise Control", Marcel Dekker, 1994.
- [2] P. H. Smith and J. C. Morrison, "The Scientific Design of Exhaust and Intake Systems", Robert Bentley Inc., 1971.
- [3] J. F. Dowling and K. S. Peat, "An Algorithm for the Efficient acoustic analysis of Silencers of Any General Geometry", Journal of Sound and Vibration, Vol. 65,

pp.211-227, 2004.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2003.10.002>

- [4] R. Kirby, "Simplified Techniques for Predicting the Transmission Loss of a Circular Dissipative Silencer", Journal of Sound and Vibration, Vol. 243, No. 3, pp.403-426, 2001.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/jsvi.2000.3425>

- [5] M. L. Munjal, "Analysis and Design of Mufflers -An Overview of Research at the Indian Institute of Science", Journal of Sound and Vibration, Vol. 211, No. 3, pp.425-433, 1998.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/jsvi.1997.1309>

- [6] M. H. Kim, W. I. Jung, I. B. Cheon, "A Study of the Flow Characteristics and Pressure Loss of a Muffler for the Variation of Volumetric Rate and Offset" Transactions of KSAE Vol. 8, No. 4, pp93-99, 2000.
- [7] Lee. J. K, "Acoustic Analysis and Design of the Exhaust Silencer: II. Representation of Acoustic Performance", Transaction of KSAE, Vol. 16, No. 5, pp.10-19, 1994.

최 두 석(Doo-Seuk Choi)

[정회원]



- 1981년 2월 : 충남대학교 기계공학과(공학사)
- 1984년 2월 : 충남대학교 기계공학과(공학석사)
- 1996년 8월 : 충남대학교 기계공학과(공학박사)
- 2012년 6월 ~ 현재 : 공주대 테크노전략대학원장
- 2010년 2월 ~ 현재 : 공주대 그린카기술연구소장
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

클린디젤기관, 대체연료 및 자동차부품 재제조

김 권 세(Kwon-se Kim)

[준회원]



- 2011년 2월 : 공주대학교 자동차공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 기계공학과

<관심분야>

기계 및 자동차 내구성 평가, 클린디젤기관, 대체연료 및 자동차부품 재제조