자동차 머플러 내의 가변밸브의 열림 각에 관한 해석적 연구

박 충 열¹⁾ · 김 권 세²⁾ · 김 종 일³⁾ · 최 두 석^{*4)}

공주대학교 기계자동차공학부 자동차공학전공¹⁾ · 공주대학교 대학원 기계공학과²⁾ ·
디젠스 기술연구소³⁾ · 공주대학교 기계자동차공학부⁴⁾

Study on Analytic of Opening Angles for Muffler Variable Valve of Automobile

Chungyeol Park¹⁾ · Kwonse Kim²⁾ · Jongil Kim³⁾ · Dooseuk Choi^{*4)}

¹⁾Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

²⁾Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

³⁾Dgenx Co. Ltd., R&D Center, 288-7 Yeonamyulgeum-ro, Eumbong-myeon, Asan-si, Chungnam 336-864, Korea

⁴⁾Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

(Received 10 December 2013 / Revised 14 January 2014 / Accepted 16 January 2014)

Abstract : Exhaust system by reinforcement of environment regulation came to the foe study necessity. And Exhaust system has necessary to increase the engine performance and silence. From this cause, Automobile has significantly considered production expense. this study makes process for checking the characteristics about Exhaust variable valve within muffler. Variable valve might reduce the baffle within muffler, It was possible to remove the front muffler. Therefor, To miniaturize a size of muffler might be increased by performance through cost-cutting effect and controlling of back pressure. Because the Study on Variable valve installed within muffler, to measure the real data was hardly resulted one of the assignments. From manufactured conduct device, might measure data one of piece which was up-graded of problem. Considering to these point, stressed pressure distribution has analyzed on cross section, floating characteristics about velocity distribution around variable valve using analysis as computational fluid dynamics of Ansys with completed measurement data.

Key words : Variable valve(가변밸브), Semi active muffler(반 능동형 머플러), Steady flow(정상유동), Fate device system(거동장치시스템), CFD (Computational Fluid Dynamics, 전산유동해석)

1. 서 론

최근 자동차 기술 개발 동향을 살펴보면 단순한 운송수단을 넘어 안락하고 성능이 좋은 자동차를 만들기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

그에 따라 엔진이나 편의장치 뿐만 아니라 배기 시스템에 대한 소음 저감과 성능 향상을 중요하게 인식하고 연구하고 있으며, Euro-VI나 PZEV (Partial Zero Emission Vehicle) 등의 환경규제 강화로 인하

여 배기시스템의 연구 필요성이 대두되고 있다.

또한 배기시스템의 정숙성 및 엔진 동력성능 향상을 필요로 하고 있으며, 자동차의 경량화를 통한 생산비용 절감을 중요하게 생각하고 있다.

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

이러한 효과를 가지고 있는 장치로써 머플러 내의 가변밸브(variable valve, VV)가 있으며, 최근 연

*Corresponding author, E-mail: dschoi@kongju.ac.kr

구가 진행되고 있다. 이 가변밸브는 머플러 내부에 발생하는 압력에 의해 밸브가 열리고 스프링에 의해 닫히는 원리를 가지고 있다.

종류에는 배기가스를 분산시켜 밸브를 여는 반능동형, 배기가스를 밀집시켜 밸브를 여는 압력 가변형, 두 가지의 기능을 복합시켜 만든 다중형과 ECU의 제어에 의해 밸브를 열고 닫는 전자형이 있다.

본 연구에서는 반능동형 머플러(semi active muffler) 시스템에 대해 연구를 진행할 것이다. 반 능동형 가변밸브는 머플러 내부에 장착함으로써 머플러 내부의 배플을 축소시킬 수 있으며, 프런트 머플러를 제거할 수 있다. 그에 따라 머플러 크기를 소형화시키며, 무게를 감소시키기 때문에 생산비용 절감효과를 가져온다.

또한 배압조절을 통한 성능 향상, 특정 주파수에서의 소음 저감 등 여러 효과를 가지고 있어 최근 자동차 머플러에 장착되고 있는 추세이다.¹⁾

그러나 반 능동형 가변밸브를 연구를 하는데 있어 머플러 내부에 설치되어 있기 때문에 엔진회전수에 따른 배기가스 유동이 가변밸브에 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 데이터를 측정하고 분석하기란 어려움이 있다.

또한 배압을 조절하며 데이터를 측정하는데 시간이 오래 걸리는 단점이 있으며, 자동차 엔진을 통한 데이터 측정 시 일정한 배압조절이 어렵기 때문에 데이터 측정에 오차가 발생할 수 있다.²⁻⁶⁾

그러므로 기 선행연구에서는 가변밸브에 장착되는 스프링에 대한 연구¹⁾나 가변밸브의 장착으로 인한 소음 감소에 대한 연구⁴⁾가 대부분이다.

따라서 본 연구에서는 거동장치시스템을 통해 가변밸브 단품에 대한 거동을 볼 수 있게 설계·제작하여 실험함으로써 데이터 측정에 대한 시간을 단축시키며, 거동이 보이지 않는 것에 대한 문제를 해결하고자 한다.

그리고 거동장치시스템을 의해 측정한 데이터를 이용하여 해석 소프트웨어인 Ansys(버전 13.0)를 이용한 유한요소해석을 통해 가변밸브의 열림에 따른 유동의 영향과 단면에 대해 유동이 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 가변밸브 및 거동장치 시스템

2.1.1 가변밸브 구성 및 모델링

본 연구에서 사용된 모델은 Fig. 1과 같으며, 배기량 1,600~2,000 cc의 승용차 머플러 내부에 장착되는 제품을 모델링하였다.

연구 모델의 구성부품을 나누면 Fig. 1에 나타난 것과 같이 플레이트, 부싱, 스프링, 하우징, 샤프트로 구성되어 있다. 그러나 본 연구에서는 모델의 단순화를 위해 스프링을 제외하고 모델링을 하여 해석을 하였다.²⁾

Fig. 1 Ansys model of VV

2.1.2 거동장치 시스템

가변밸브는 머플러 내부에 설치되어 있기 때문에 실질적인 데이터 측정이 어렵다. 또한 배압을 조절하며 데이터를 측정하는데 시간이 오래 걸리는 단점이 있으며, 자동차 엔진을 통한 데이터 측정 시 일정한 배압을 주는 것이 어렵기 때문에 오차가 발생할 수 있다.

그에 따라 본 연구에서는 이러한 문제를 보완하고자 가변밸브 단품에 대해 거동을 볼 수 있도록 거동장치 시스템을 설계·제작하여 실험을 진행하였다. 그 결과 데이터 측정에 대한 시간을 단축시키고 거동이 보이지 않았던 것에 대한 문제를 해결하였다.

거동장치 시스템의 구성은 Fig. 2와 같이 거동장치를 중심으로 양측에 송풍기를 각각 하나씩 위치시켰으며, 유량을 계산하는데 필요한 차압을 차압 유량계를 통해 측정하였다. 사용한 차압 유량계는 반복성이 0.1%이며, 응답시간이 16 ms인 것을 사용

Fig. 2 Schematic diagram of fate device system

하였다. 그리고 거동장치 제작 시 가변밸브를 중심으로 입구 면적과 출구 면적을 같게 하여 설계하였으며, 가변밸브 거동에 의한 차압을 측정할 수 있도록 하였다.

거동장치 시스템 내부의 유동흐름은 Fig. 2의 개략도에 나타나 있는 점선의 화살표 방향과 같이 공기가 흐르도록 하였고, 송풍기를 이용 바람의 세기를 조절하여 열림 각에 따른 차압 및 유량을 측정할 수 있게 하였다.

이때 측정값을 게이지를 통하여 확인하였으며, Photo. 1과 같이 실시간으로 카메라를 통한 촬영을 컴퓨터로 확인하여 거동을 보았다.

거동장치 시스템에 의해 측정하는데 있어 송풍기의 공기를 기관 연소실로부터 발생하는 배출가스라

Photo. 1 Angle measurement

고 가정을 하였다.

그리고 거동장치 내부에 각도를 측정할 수 있는 장치를 장착할 경우 거동에 저항이 되기 때문에 본 연구에서는 카메라를 이용 가변밸브의 각도를 측정하여 모니터링 하였다.

송풍기를 이용 바람세기를 조절하여 0°부터 최대 열림인 12°까지 각도별 차압 및 유량을 측정하였다. 이때 최대 열림을 12°로 제작한 이유는 본 모델을 가지고 엔진실험을 한 결과 최대 6,000 rpm에서 본 모델이 12°열렸기 때문에 거동장치 시스템 제작 시 6,000 rpm에 해당하는 12°까지 열리도록 제작하였다.

2.2 해석조건

본 연구에서는 가변밸브의 열림 정도에 따라 유동과 가변밸브 단면에 가해지는 압력을 Ansys를 통하여 분석할 것이므로 디자인 변수를 열림 각도로 정하여 0°부터 최대 열림 각인 12°까지 3°씩 나누어 5개(0, 3, 6, 9, 12°)의 경우에 대해 분석하였다.

해석 시 5개의 모델에 대한 경계조건은 내부 재질을 정상유동 하는 298.15 K의 공기로 가정하여 격자를 생성하였다.

또한 공기가 들어가는 입력 값에는 거동장치 시스템으로 측정한 데이터를 이용하였고, 공기가 나가는 출력 값에는 대기압 101.325 kPa이라 가정한 후 해석을 진행하였다.

Table 1은 거동장치 시스템을 이용하여 측정한 경우 별 입력 값이다.

Table 1 Pressure of input

	0°	3°	6°	9°	12°
Pressure (kPa)	130.225	103.755	104.005	104.175	104.785

3. 측정 및 해석결과

3.1 거동장치 시스템 측정

Fig. 3은 가변밸브를 장착하지 않은 머플러와 가변밸브를 장착한 머플러에 대한 시간에 따른 차압을 나타낸 그래프이다.

그림에서 가변밸브를 장착하지 않은 머플러의 경우는 시간이 지남에 따라 차압이 일정하게 증가하

Fig. 3 Effect of flow and differential pressure according to time

Fig. 4 Effect of flow and differential pressure according to open angle

는 것을 볼 수 있지만 가변밸브를 장착한 머플러의 경우는 시간이 지남에 따라 차압이 증가하는 하나 가변밸브를 장착하지 않은 머플러에 비해 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 가변밸브에 의해 배압이 조절되는 것이라 판단할 수 있다.

그러므로 가변밸브의 단품을 거동장치 시스템에 장착하여 시험한 결과 Fig. 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 4를 보면 가변밸브의 열림 각이 커짐에 따라 유량 및 차압이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 열림 각이 증가하기 위해서는 송풍기의 파워가 증가해야하기 때문에 차압이 증가하는 것이고, 송풍기의 파워가 증가함에 따라 열리는 각도가 커지기 때문에 유량도 많아지는 것이라 판단되었다.

3.2 내부유동 특성분석

각 경우별로 해석을 진행한 결과 0° 일 때는 입력 값의 압력자체가 작기 때문에 관 내부의 유속 자체도 작은 것을 Fig. 5를 통해 볼 수 있다. 틈새로 나오는 유속 또한 크지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 가변밸브를 통해 나가는 유동이 가변밸브를 지난 머플러 내부에 영향을 거의 끼치지 않는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 6~9를 보면 가변밸브가 열리기 시작하면서 입력 값인 압력이 강해짐에 따라 유속이 빨라지는 것을 확인할 수 있다.

그리고 가변밸브와 관 사이의 틈새에서 빠른 유속이 발생하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 면적이 좁아짐에 따라 유속이 빨라지는 것이라 볼 수 있다.

또한 열리는 각도가 커짐에 따라 가변밸브를 지난 머플러 내부에 영향이 커지는데, 이는 유량자체도 많아지기 때문이라고 볼 수 있다.

(a) Seen on the side of the air movement velocity (b) Seen on the top of the air movement velocity

Fig. 5 Air movement velocity of VV 0°

(a) Seen on the side of the air movement velocity (b) Seen on the top of the air movement velocity

Fig. 6 Air movement velocity of VV 3°

Fig. 7 Air movement velocity of VV 6°

Fig. 8 Air movement velocity of VV 9°

Fig. 9 Air movement velocity of VV 12°

가변밸브의 열림 각도가 커짐에 따라 최대유속의 값도 커지며, 그림을 통해 머플러 내부의 유속이 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 유속증가로 난류강도가 증가하는 것이라 판단할 수 있다.

가변밸브의 열림 각도에 따른 최대 유속을 그래프로 확인해보면 Fig. 10과 같다.

그 결과 가변밸브의 열림 각도가 커짐에 따라 최대 유속의 값도 큰 것을 확인할 수 있으며, 이 또한

Fig. 10 Maximum velocity according to angle

들어가는 압력 값이 커지기 때문에 영향을 받는 것으로 판단된다.

3.3 단면에 대한 유동 특성

5개의 경우에 대해서 배기가스가 가변밸브에 부딪히기 전인 단면 AA' 지점에서 측정한 결과 Fig. 11과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 11을 보면 열림 각이 커짐에 따라 속도가 빨라지는 것을 볼 수 있다. 또한 밸브의 열림 각이 커짐에 따라 유동이 명확해지며, 열림 각이 커짐에 따라 유동의 발달로 인해 중심부에 저압이 형성되는 것을 볼 수 있었다.

3.4 가변밸브 단면에 가해지는 압력

5개의 경우에 대해서 공기가 직접적으로 부딪히는 가변밸브에 대해 압력을 확인해보면 Fig. 12와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 12를 보면 가변밸브의 열리는 각이 커질수록 압력분포가 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 들어가는 압력이 커질수록 가변밸브 단면에 가해지는 압력이 커지는 것이라 판단된다.

본 연구의 모델은 가변밸브가 열릴 때 아랫부분이 열리는 모델이기 때문에 단면의 윗부분이 아랫부분보다 압력을 적게 받는 것을 볼 수 있다. 이는 가변밸브가 열리면서 속도에 의해 하단부의 압력이 제거되기 때문이며, 또한 유동의 흐름을 해석을 통해 확인한 결과 배기가스가 윗부분에 밀집되어 부딪히기 때문이라 볼 수 있었다.

Fig. 11 Characteristic of flow based on cross section

4. 결 론

본 연구에서는 가변밸브가 머플러 내부에 있어 연구하기에 어려움이 있던 점을 보완하고자 거동장치 시스템을 설계·제작하여 실험을 하였고, 그 데이터를 이용하여 Ansys를 통한 해석적 연구를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 가변밸브의 열림 각이 커짐에 따라 압력 및 유량

Fig. 12 Pressure about VV

이 증가하였고, 관을 나올 때의 최대속도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 가변밸브의 단면에 작용하는 유동이 증가하면 단면에 작용하는 최대 압력도 증가하는 것을 알 수 있었다.

2) 가변밸브의 열림 각이 커짐에 따라 유동이 명확해지며, 유동의 발달로 인해 중심부에 저압이 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

- 3) 열림 각이 커짐에 따라 머플러 내부의 유속이 증가하여 난류강도가 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 가변밸브의 열림에 따라 부딪히는 유동이 단면의 윗부분에 밀집되고, 속도에 의해 하단부의 압력이 제거되기 때문에 가변밸브의 윗부분에 압력이 크게 작용하는 것을 확인할 수 있었다.
- 4) 거동장치 시스템으로 측정한 데이터를 해석에 이용함으로써 제품의 특성을 파악할 수 있었고, 이로 인해 연구 시간 및 비용에서 저감 효과를 가져 올 것이라 판단된다.

후 기

본 연구는 2012년 ‘충청남도 지역산업 기술개발 사업’ (과제번호: 20125008)의 지원에 의한 것입니다.

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 the Korean Society of Precision Engineering, Vol.23, No.5, pp.137-142, 2006.
- 2) D. U. Park, K. S. Park, S. J. Park and S. M. Son, “A Study on the Dynamic Stress Field of the Exhaust Variable Valve for Automobile Muffler,” KSAE Fall Conference Proceedings, pp.180-185, 2005.
- 3) M. H. Kim, W. I. Jung and I. B. Chyun, “A Study on the Flow Characteristics of Steady State and Pressure Variation inside the Muffler with the Inflow of Pulsating Exhaust Gas,” Transactions of KSAE, Vol.8, No.4, pp.93-99, 2000.
- 4) S. W. Kwak and K. W. Yi, “Steady State Flow CFD Analysis of the Intake Port in Euro-3 Diesel Engine,” KSAE Fall Conference Proceedings, pp.423-428, 2006.
- 5) H. C. Lee, J. S. Lee, J. K. Yoon and K. O. Cha, “The Development of Muffler with Controller Sensing Exhaust Gas Pressure in Automobile Exhaust System(1)-The General Characteristics of Exhaust System and Characteristics of Control Valve,” Transactions of KSAE, Vol.9, No.1, pp.37-44, 2001.
- 6) H. C. Lee, M. H. Lee, J. S. Lee and K. O. Cha, “The Development of Muffler with Controller Sensing Exhaust-gas Pressure in Automotive Exhaust System(2), Transactions of KSAE, Vol.11, No.3, pp.167-176. 2003.