

## 반능동형 머플러의 배기가변밸브 스프링 적정상수에 관한 연구

박세종\*, 박경석#, 서호철\*, 손성만\*\*

### A Study on the Suitable Number of the Exhaust Variable Valve Spring for Semi-active Muffler

Se Jong Park\*, Kyoung Suk Park#, Ho Chul Seo\* and Sung Man Son\*\*

#### ABSTRACT

The muffler which reduce the exhaust noise and vibration from engine influence on the engine performance. Recently, exhaust variable valve has set up in the muffler controls the backpressure in the exhaust system. And the backpressure variation according to the exhaust variable valve opening has developed the engine performance. First, the preceding of structural analysis is needed and simulation experiment is requested for the study on the design factor to influence on the operation of the exhaust variable valve. In this study, setting up the various variables according to each composition element needed for the structural analysis of the exhaust variable valve, it is experimented the analysis on the influence of each design factor with the calculation of stress distribution and the displacement to cause about the backpressure for the valve through parameter study.

**Key Words** : Exhaust system(배기시스템), Exhaust Variable Valve(배기 가변 밸브), Semi-active muffler(반능동형 소음기)

#### 1. 서론

반능동형 머플러에 장착된 배기 가변 밸브(Exhaust Variable Valve, EVV)는 배기시스템 내의 배압 증감량에 따라 밸브가 개폐되어 배기시스템 내의 배압을 조절하는 역할을 한다. 이때 조절되는 배압정도에 따라 엔진의 연소성능이 향상되는 효과<sup>1-5</sup>가 있다. 또한 EVV장착으로 인해 머플러 내의 격판을 줄여 구조를 간단하게 할 수 있으며, 생산

비용 저감효과도 있어 최근 많은 차량에 적용되고 있다.

EVV는 주로 플레이트 면의 형상과 스프링의 물성치에 따라 작동되는 영역이 달라지며, 저속, 중속, 고속 어떤 영역을 중점으로 소음과 동력성능을 향상시키냐에 따라 그 설계가 달라진다.<sup>6-7</sup> 그러나 밸브의 구조상 각 요소에 대한 조건이 많기 때문에 실험만을 통하여 EVV 작동에 영향을 미치는 설계인자의 분석은 불가능하다. 그러므로 밸브의

접수일: 2005년 11월 4일; 게재승인일: 2006년 3월 10일

\* 세종공업(주)

# 교신저자: 경희대학교 테크노공학대학

E-mail thermal@khu.ac.kr Tel. (031) 201-2871

\*\* 경희대학교 대학원 기계공학과

구성요소 변화에 따른 구조해석이 선행되어야 하고 도출된 데이터를 검증하기 위하여 유사 모의 실험을 할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 EVV의 구조해석에 필요한 각 구성요소에 따른 여러 가지 변수를 설정하고, 변수 검증을 거쳐 밸브에 작용하는 배압에 의해 발생하는 응력분포와 변위를 계산함으로써 각 설계 인자의 영향력을 분석하였다.

## 2. EVV의 구성 및 분석

### 2.1 EVV의 구성

EVV의 구조해석은 각 구성요소에 작용하는 배기압력에 따른 응력요소를 판단하기 위한 것이다. EVV에서는 유동압력에 따라 불균일한 유동분포를 가지며 특히 저속구간에서는 배압 성능을 높이기 위하여 밸브의 간극을 고려하여 제작하기 때문에 와류가 생긴다. 이때 생기는 와류 때문에 압력분포가 불균일하며, 밸브의 작동 설계 변수에 큰 영향을 끼친다. 따라서 유한요소법을 통하여 EVV 모델링을 수행하고 밸브 면에 작용하는 응력분석을 통하여 밸브 면의 설계 인자를 분석하였다.

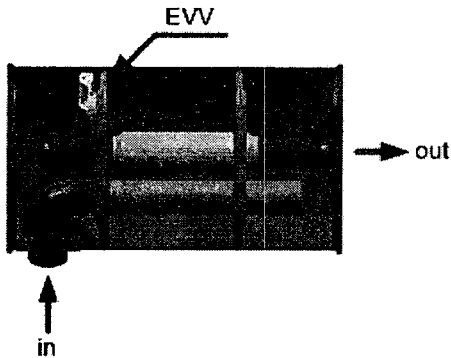


Fig. 1 Structure of Semi-active Muffler modelling

EVV를 장착한 반능동형 머플러의 구조는 Fig. 1과 같다. 반능동형 머플러는 일반 머플러에서 음향스크린의 타공부를 제거하고 EVV를 장착한 형태이다.

EVV의 각 부품요소의 구성도를 Fig. 2에 나타내었다.

EVV를 구성하고 있는 부품들은 다양한 결합 형태를 유지하고 있으며 각각의 결합 부위에 대한 강성과 감쇠 특성을 고려하기에 매우 난이하다. 따

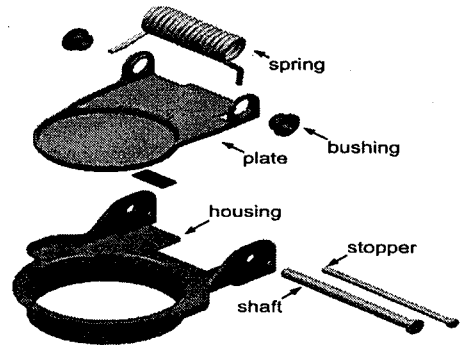
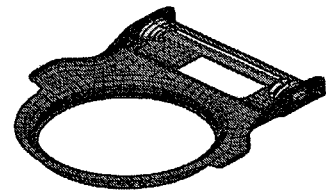
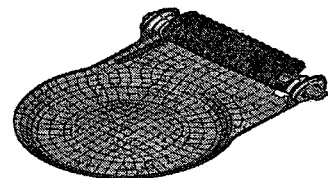


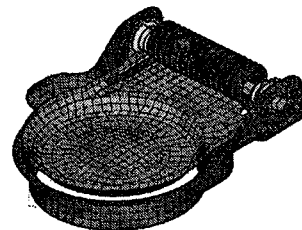
Fig. 2 Elements of EVV



(a) Housing



(b) Gate plate



(c) Valve A'ssy

Fig. 3 LS-DYNA finite element model for EVV

라서 다양한 재질로 구성된 부품들에 관한 정확한 물성값을 제공해야 신뢰성을 지니는 데이터를 도출할 수 있다. EVV의 구성 부품은 크게 플레이트, 부싱, 스프링, 스토퍼, 하우징, 샤프트로 구성되어 있다. 각각의 부품은 다양한 형상과 굴곡을 지

니고 있어 설계 변수가 바뀌면 다양한 모델링이 요구된다. 따라서 각각의 설계 변수 변동에 따른 삼차원 모델링 작업에 어려움이 따른다. 특히 플레이트와 스프링은 재질과 고려 요소가 많으며, 모델링 구성에 많은 시간이 소요된다. 그러나 최근에 유한요소해석 기법의 발전이 이루어지면서 격자 구성 및 동역학적 해석으로 유용한 해석결과를 도출할 수 있다. 솔리드 모델은 상용 소프트웨어인 Autocad와 Catia를 사용하였으며, Pre-post processor인 Hyper-Mesh를 이용하여 격자를 형성하고 검증하였다. 작성된 모델을 기초로 하여 ABAQUS와 LS-DYNA를 사용하여 계산하였다. 또한 각 부품별 기계적 성질을 정확히 분석하기 위하여 각 요소에 사용된 재료를 고찰하였으며, 스프링의 재료특성 데이터를 도입하여 해석을 하였다.

LS-DYNA를 사용하여 EVV 모델링의 격자 형성을 Fig. 3에 나타내었다.

## 2.2 EVV 설계 인자 분석

EVV 스프링의 적정상수를 결정하고 소음기 내부의 유동해석 및 EVV 주변의 유동압력 분포를 통해 반응동형 머플러의 설계인자를 분석하였다. 구조해석은 반응동형 머플러 내 EVV의 비선형 강성을 최적화하는데 있다. 최적화 방법에는 두가지 방법이 있으며, 첫 번째는 가변밸브의 적정 스프링 상수를 결정하는 것이고, 두 번째는 밸브 플레이트의 강성을 평가하는 것이다. EVV의 스프링 적정상수는 Torsional spring의 특성과 비선형 거동 구현을 통하여 축방향으로 하중부하가 작용할 때 지지력을 산출한다. 이때 지지력을 평가하기 위하여 변수 검증이 필요하다. 상수는 스프링의 선경, 외경, 권수, 자유각도에 따라 결정되며, 비선형 강성 결과를 유동해석과 연계하여 평가할 수 있다.

EVV에 축방향으로 하중부하가 작용할 때의 지지력을 산출하는 작동 과정을 Fig. 4에 나타내었으며, 실제 차량에서 가변밸브가 개폐되는 구간은 약 15mm 정도이다.

EVV의 응력분포도를 Fig. 5에 나타내었으며, 변위분포도는 Fig. 6에 나타내었다.

응력분포도와 변위분포도를 통해 상대적으로 지지점의 반력하중이 상당히 높은 것을 알 수 있다. 또한 플레이트의 자체변형 발생으로 인해 응력의 거동이 상이한 것을 알 수 있다. 그러나 Shaft와 Gate의 Revolute Joint에서는 거동이 없으며,

Revolute Joint의 경계조건이 변화해도 결과값의 차이는 없었다.

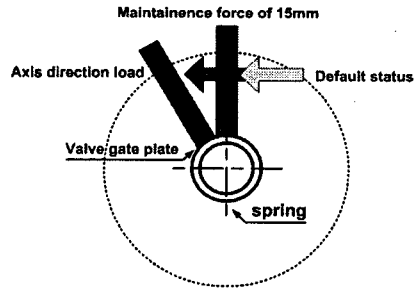


Fig. 4 Operating process of plate and spring

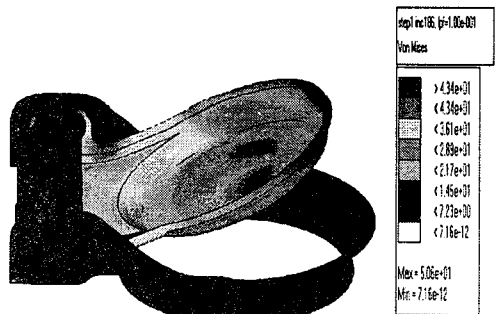


Fig. 5 Stress analysis data of EVV

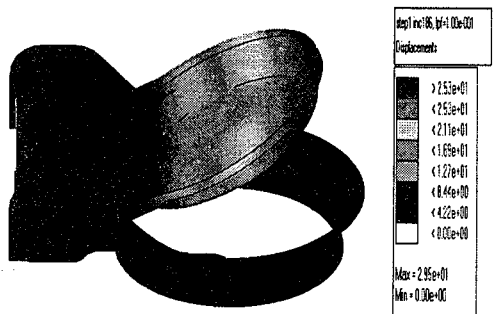


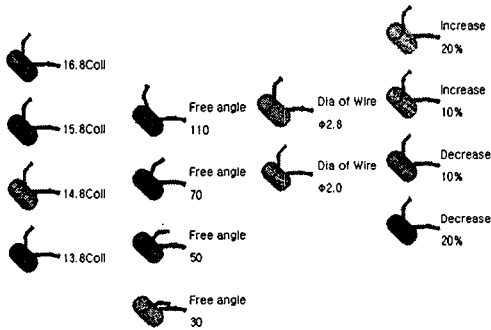
Fig. 6 Displacement analysis data of EVV

### 3. EVV의 적정상수

EVV에 사용된 스프링의 적정상수를 구하기 위하여 스프링 권선수, 선경, 간극 설정을 변화시켜 스프링의 강성변화를 해석하였다. 각 스프링 적정상수에 대한 조건은 Fig.7과 같다.

스프링의 권선수(Coil)에 따른 스프링 적정상수의 상관관계를 Fig. 8에 나타내었다. 권선수 변화에 따른 스프링의 반력과 변위는 Fig.9에 나타냈으며, 그 상관관계가 비선형적으로 변화하는 것을 알 수 있다.

권선수 15.8을 기준으로 권선수 13.8에서 16.8로 1씩 변화를 준 결과 최대 0.36 mm의 차이를 보이며 이는 권선수 15.8을 표준값으로 2.3%의 차이를 보임으로써 권선수가 응력에는 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.



(a) Coil (b) Free angle (c) Dia. of wire (d) Air gap

Fig. 7 Spring parameter of EVV

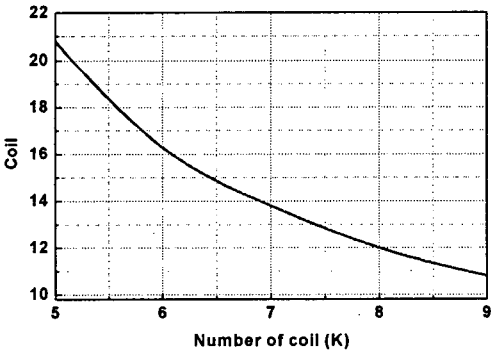


Fig. 8 Coil number parameter of EVV spring

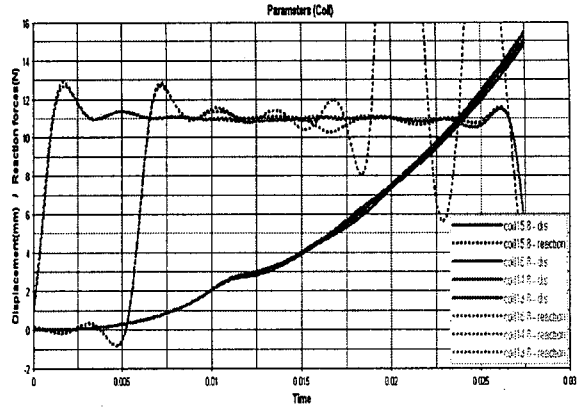


Fig. 9 Compare displacement and reaction force of coil number parameter in EVV

스프링 선경 변화에 따른 구조해석 결과를 Fig. 10에 나타낸 것으로 상관관계가 선형적인 관계인 것을 알 수 있다.

스프링의 선경은 코일을 중심으로 코일의 직경을 나타낸 것이다. 실험에 적용된 스프링은  $\Phi 2.4$ 를 기준으로  $\pm 0.4$  차이를 두고 있으며, 구조해석에 사용된 K값을 구하는 해석식과 조건은 아래의 식(1)과 같다.<sup>8</sup>

$$K_r = \frac{E\pi d^4}{64[\pi DN + \frac{1}{3}(a_1 + a_2)]} \tag{1}$$

$$K_{Td} = \frac{E\pi d^4}{64[\pi DN + \frac{1}{3}(a_1 + a_2)]} \cdot \frac{\pi}{180} = \frac{E\pi d^4}{3667DN + 389(a_1 + a_2)}$$

여기서,  $E=19000 \text{ kg/mm}^2$ ,  $d=\Phi 2.4$ (코일직경),  $D=\Phi 12.5$ (코일중심경),  $N=15.8$ (권선수),  $a_1=23\text{mm}$ ,  $a_2 = 21 \text{ mm}$  이다.

코일 직경에 따른 스프링의 반력과 거동을 Fig. 11에 나타낸 것으로 비선형적으로 변화하는 것을 알 수 있다. 해석 결과  $\Phi 2.0$ 에서 -23.4%,  $\Phi 2.8$ 에서 20.0%로 응력 변형값은 최대 23.4% 차이를 보였으

며, 코일 직경 변화에 따라 응력은  $\Phi 0.2$ 당 약 10%씩 발생하며 스프링의 강성에 미치는 영향은 권선수에 비하여 선경이 큰 것으로 판단된다. 스프링 적정상수에 대한 해석 결과 강성의 영향도 순서는 간극, 선경, 권수의 순으로 나타났다.

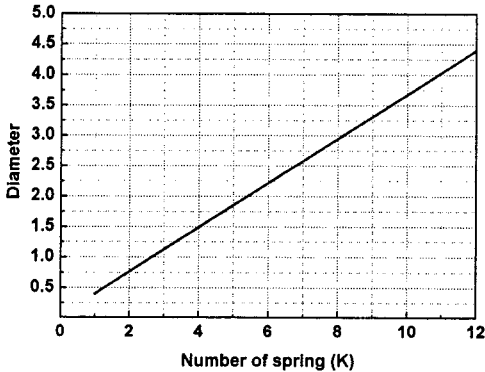


Fig. 10 Diameter parameter of EVV spring

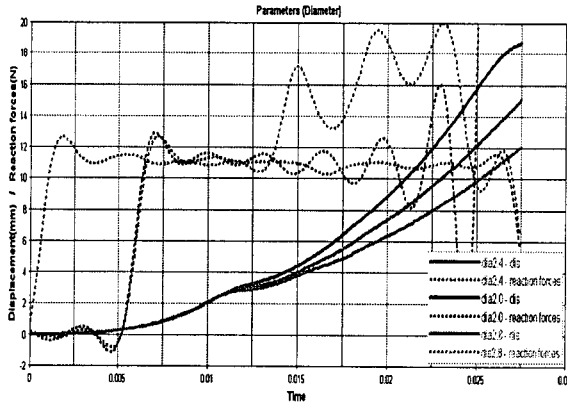


Fig. 11 Compare displacement and reaction force of diameter parameter in EVV

#### 4. 결 론

본 연구에서는 배기압력에 따른 응력요소를 판단하기 위하여 FEM을 통하여 EVV 모델링을 행하고 밸브 면에 작용하는 응력분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) EVV 설계 인자 중 스프링에 대한 상관관계는 설계기준과 비교 시 만족하는 것으로 나타났

다. 또한 부하하중에 따른 구조해석 결과에서 변위와 지지력의 상관관계를 나타냄으로써 영향력을 분석할 수 있었다.

2) 스프링 적정상수에 대한 해석 결과 권선수는 1개가 변화될 때마다 약 4%의 강성차이가 발생하였으며, 선경 변화가 0.4정도 차이 날 때 약 20%의 강성이 증감하였다. 간극은 10%일 때 강성에 미치는 영향이 미약하나, 간극이 20%일 때는 30% 이상으로 영향이 크다. 강성의 영향도 순서는 간극, 선경, 권수의 순으로 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 에너지관리공단의 에너지기술학술진흥사업에 의해 일부 이루어 졌으며, (주)세중공업의 협조에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Munjal, M. L., "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.
2. Eriksson, L., "Mean Value Models for Exhaust System Temperatures," SAE 2002-01-0374.
3. Oh, J. U. and Cha, K. J., "Noise Reduction of Muffler by Optimal Design," KSME International Journal, Vol. 14, No. 9, pp. 947-955, 2000.
4. Kim, M. H., Jung, W. I. and Cheon, I. B., "A Study on the Flow Characteristics and Pressure Loss of a Muffler for the Variation of Volumetric Rate and Offset," Transactions of KSAE, Vol. 8, No. 4, pp. 93-99, 2000.
5. Selamet, A., Denia, F. D. and Besa, A. J., "Acoustic Behavior of Circular Dual-Chamber Mufflers," Journal of Sound and Vibration, Vol. 265, No. 5, pp. 967-985, 2003.
6. Tanaka, T. and Li, K., "An active muffler for medium-duty diesel vehicles considering acceleration characteristics," JSAE, Vol. 21, No. 4, pp. 576-578, 2000.
7. Lee, J. M., Kim, K. M., Sohn, D. G., Lee, J. H., Lee, Y. H. and Hwang, Y. H., "A Research on

Characterisitcs of Semi-active Muffler Using  
Difference of Transmission Paths," KSNEV, Vol.  
11, No. 3, pp. 401-409, 2001.

8. Norton, R. L., "Machine Design," Prentice Hall, pp.  
1-984, 2000.