

자동차 머플러용 EVV에 관한 연구

박대언*(경희대 기계공학과), 박경석(경희대 테크노공학대학), 박세종(세종공업),
손성만(경희대 기계공학과),

A Study on the Exhaust Variable Valve for Automobile Muffler

D. U. Park(Mech.Eng.Dept.,KHU), K. S. Park(Adv.Eng.Dept.,KHU), S. J. Park(Sejong Ind.),
S. M. Son(Mech.Eng.Dept.,KHU)

ABSTRACT

The muffler reducing the exhaust noise and vibration from the engine influence on the engine performance. Recently the semi-active muffler was developed and adopted to the actual use in consideration of the cost and technical side for noise and vibration. This study is about the recently developed semi-active muffler. This paper attempt to analyze the dynamic stress field on the gate plate by using the finite element methods. According to the analysis of the Exhaust Variable Valve, its spring has the most influence on its operation compare with effects of other components. The design parameters of the Exhaust Variable Valve such as the spring displacement, diameter, coil number, free angle and so forth were used.

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 배압 정도에 따라 엔진의 연소성능이 향상되는 효과(1~5)가 있다. 또한 EVV장착으로 인해 머플러 내의 격판을 줄여 구조를 간단하게 할 수 있으며, 생산 비용 저감효과도 있어 최근 많은 차량에 적용되고 있다.

이런 EVV는 주로 플레이트 면의 형상과 스프링의 물성치에 따라 작동되는 영역이 달라지며, 저속, 중속, 고속 어떤 영역을 중점으로 소음과 동력성능을 향상시키냐에 따라 그 설계가 달라진다(6~7). 그러나 밸브의 구조상 각 요소에 대한 조건이 많기 때문에 실험만을 통하여 EVV 작동에 영향을 미치는 설계인자의 분석은 불가능하다. 그러므로 밸브의 구성요소 변화에 따른 구조해석이 선행되어야 하고 도출된 데이터를 검증하기 위하여 유사 실험을 할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 배기 가변 밸브의 구조해석에 필요한 각 구성요소에 따른 여러 가지 변수를 설정하고, Parameter study를 거쳐 밸브에 작용하는 배압에 의해 발생하는 응력분포와 변위를 계산하여 각 인자의 영향력을 분석하였다.

2. EVV의 구성 및 분석

2.1 EVV의 구성

배기 가변 밸브의 구조해석은 각 구성요소에 작용하는 배기압력에 따른 응력요소를 판단하기 위한 것이다. 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 배기 가변 밸브 모델링을 수행하고 밸브 면에 작용하는 응력분석을 통하여 밸브 면의 설계 인자를 분석하였다.

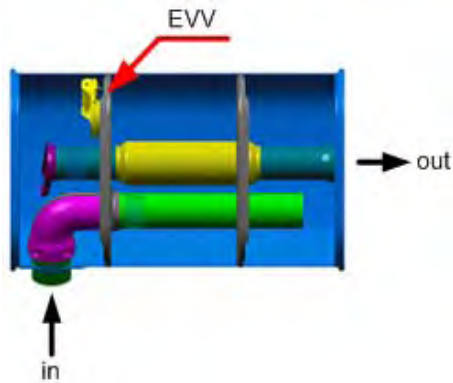


Fig. 1 Structure of Semi-active Muffler modelling

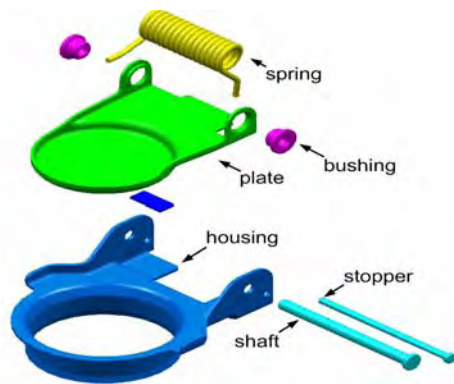
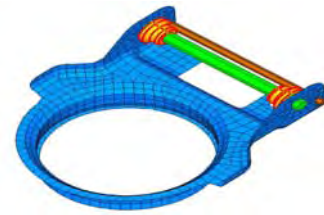


Fig. 2 The elements of Exhaust Variable Valve

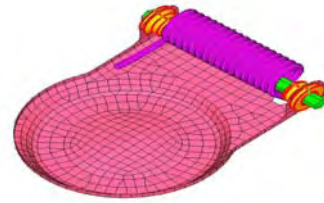
EVV를 장착한 반능동형 머플러의 구조는 Fig. 1과 같다. 반능동형 머플러는 일반 머플러에서 음향스크린의 타공부를 제거하고 배기 가변 밸브를 장착한 형태이다. 배기 가변 밸브의 각 부품요소의 구성도를 Fig. 2에 나타내었다.

배기 가변 밸브를 구성하고 있는 부품들은 다양한 결합 형태를 유지하고 있으며 각각의 결합 부위에 대한 강성과 감쇠 특성을 고려하기에 매우 난이하다. 따라서 다양한 재질로 구성된 부품들에 관한 정확한 물성값을 제공해야 신뢰성을 지니는 데이터를 도출할 수 있다. 배기 가변 밸브의 구성 부품은 크게 게이트 플레이트, 부싱, 스프링, 스톱퍼,하우징, 샤프트, 핀으로 구성되어 있다. 각각의 부품은 다양한 형상과 굴곡을 지니고 있어 설계 변수가 바뀌면 다양한 모델링이 요구된다. 따라서 각각의 설계 변수 변동에 따른 삼차원 모델링 작업에 어려움이 따른다. 특히 밸브 플레이트와 스프링은 재질과 고려 요소가 많으며, 모델링 구성에 많은 시간이 소요된다. 그러나 최근에 유한요소해석 기법의 발전이 이루어지면서 격자 구성 및 동역학적 해석이 쓰이며, 이를 기초로 유용한 해석결과를 도출할 수 있다. 솔리드 모델은 상용 소프트웨어인 Autocad와 Catia를 사용하였으며, Pre-post processor인 Hyper-Mesh를 이

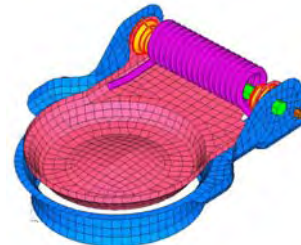
용하여 격자를 형성하고 검증하였다. 작성된 모델을 기초로 하여 ABAQUS와 LS-DYNA를 사용하여 계산하였다. 또한 각 부품별 기계적 성질을 정확히 분석하기 위하여 각 요소에 사용된 재료를 고찰하였으며, 스프링의 재료특성 데이터를 도입하여 해석을 하였다. LS-DYNA를 사용하여 배기 가변 밸브를 모델링하여 격자를 형성한 것을 Fig. 3에 나타내었다.



(a) Housing



(b) Gate plate



(c) Valve A'ssy

Fig. 3 Finite element of LS-DYNA model for EVV

2.2 EVV 설계 인자 분석

배기 가변 밸브 스프링의 적정상수를 결정하고 소음기 내부의 유동해석 및 배기 가변 밸브 주변의 유동압력 분포를 통해 반능동형 머플러의 설계인자를 분석하였다. 구조해석은 반능동형 머플러 내 배기 가변 밸브의 비선형 강성을 최적화하는데 있다. 최적화 방법에는 두가지 방법이 있으며, 첫 번째는 가변밸브의 적정 스프링 상수를 결정하는 것이고, 두 번째는 밸브 플레이트의 강성을 평가하는 것이다. 배기 가변 밸브의 스프링 적정상수는 Torsional spring의 특성과 비선형 거동 구현을 통하여 축방향

으로 하중부하가 작용할 때 지지력을 산출한다. 이 때 지지력을 평가하기 위하여 Parameter Trial이 필요하다. 상수는 스프링의 선경, 외경, 권수, 자유각도에 따라 결정되며, 비선형 강성 결과를 유동해석과 연계하여 평가할 수 있다.

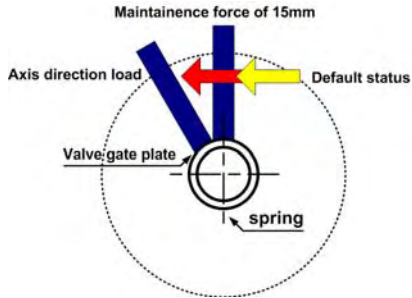


Fig. 4 Operating process of valve gate plate and spring

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

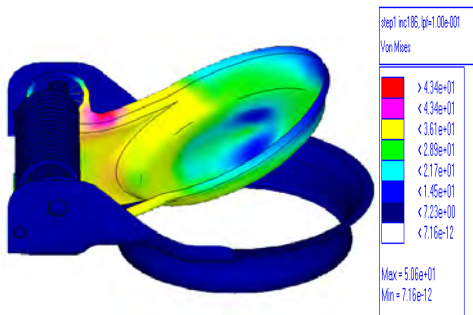


Fig. 5 Stress analysis data of Exhaust Variable Valve

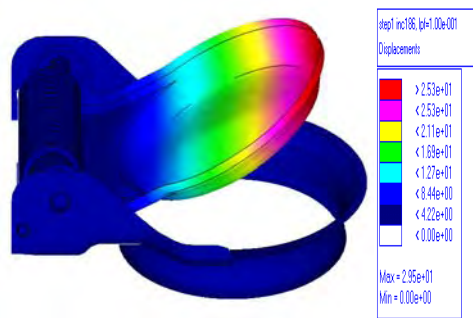


Fig. 6 Displacement analysis data of Exhaust Variable Valve

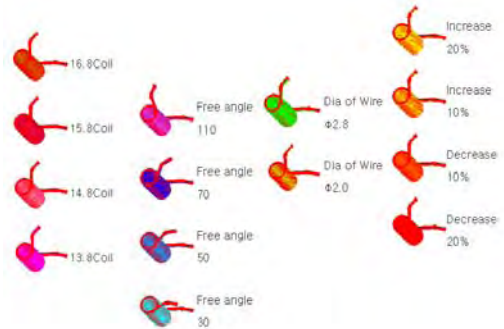
배기 가변 밸브의 응력분포도를 Fig. 5에 나타내었으며, 변위분포도는 Fig. 6에 나타내었다.

응력분포도와 변위분포도를 통해 상대적으로 지

지점의 반력하중이 상당히 높은 것을 알 수 있다. 또한 Gate plate의 자체변형 발생으로 인해 응력의 거동이 상이한 것을 알 수 있다. 그러나 Shaft와 Gate의 Revolute Joint에서는 거동이 없으며, Revolute Joint의 경계조건이 변화해도 결과값의 차이는 없었다.

3. EVV의 적정상수

배기 가변 밸브에 사용된 스프링의 적정상수를 구하기 위하여 재질과 스프링 권선수, 자유각도, 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 변화에 따른 가변밸브 플레이트의 거동 특성은 Table 1과 같다. 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

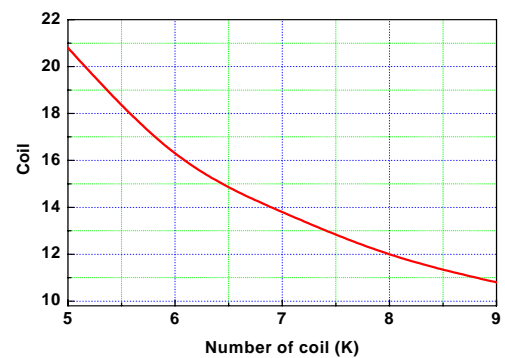


Fig. 8 Number of coil parameter

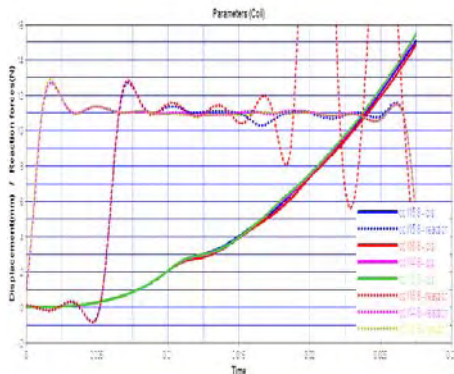


Fig. 9 Compare displacement and reaction force of coil number parameter

Table 1 Coil number parameter of spring

Coil	-	13.8 coil	14.8 coil	15.8 coil	16.8 coil	-
Free angle	30°	50°	70°	90°	110°	-
Diameter	-	-	Φ 2.0	Φ 2.4	Φ 2.8	-
Decrease Increase	-	-20%	-10%	0%	+10%	+20%

스프링 선경 변화에 따른 구조해석 결과를 Fig. 10에 나타낸 것으로 상관관계가 선형적인 관계를 알 수 있다. 스프링의 선경은 코일을 중심으로 코일의 직경을 나타낸 것이다. 실험에 적용된 스프링은 Φ 2.4를 기준으로 ± 0.4 차이를 두고 있으며, 구조해석에 사용된 K값을 구하는 해석식과 조건은 아래의 식(1)과 같다.

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

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

$$= \frac{E\pi d^4}{3667DN + 389(a_1 + a_2)}$$

여기서, E = 19000 kg/mm², d = Φ 2.4 (코일직경) D = Φ 12.5 (코일중심경), N = 15.8 (권선수), a₁ = 23 mm, a₂ = 21 mm 이다.

코일 직경에 따른 스프링의 반력과 거동을 Fig. 11에 나타낸 것으로 비선형적으로 변화하는 것을 알 수 있다. 해석 결과 Φ 2.0에서 -23.4%, Φ 2.8에서 20.0%로 응력 변형값은 최대 23.4% 차이를 보였으며, 코일 직경 변화에 따라 응력은 Φ 0.2당 약 10%

씩 발생하며 스프링의 강성에 미치는 영향은 권선수에 비하여 선경이 큰 것으로 판단된다. 스프링 적정상수에 대한 해석 결과 강성의 영향도 순서는 자유각도, 간극, 선경, 권수의 순으로 나타났다.

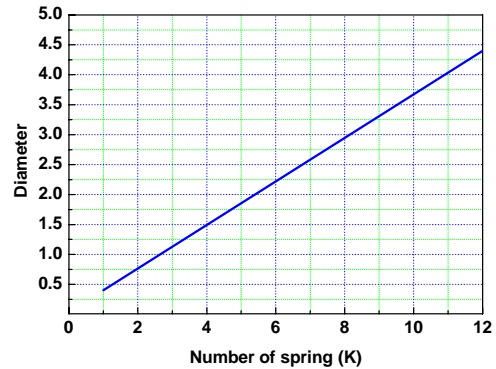


Fig. 10 Parameter of diameter

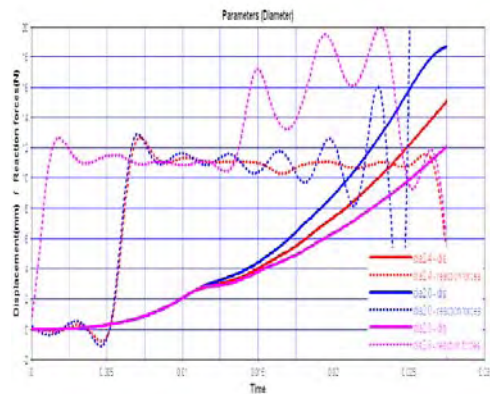


Fig. 11 Compare displacement and reaction force of diameter parameter

4. 결론

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

- 1) 배기 가변 밸브 설계 인자 중 스프링에 대한 Correlation은 설계기준과 비교 시 만족하는 것으로 나타났다. 또한 부하하중에 따른 구조해석 결과에서 변위와 지지력의 상관관계를 나타냄으로써 영향력을 분석할 수 있었다.
- 2) 스프링 적정상수에 대한 해석 결과 권선수, 자유각도, 간극이 스프링 강성에 미치는 영향은 미소

하며, 직경의 영향이 큰 것으로 분석되었다. 권선 수는 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 자유각도, 간극, 선경, 권선 순으로 나타났다.

후기

본 연구는 에너지 관리공단의 에너지기술학술진흥사업에 의해 일부 이루어졌으며, (주)세종공업의 서호철 연구 팀장님의 협조에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) M. L. Munjal, "Analysis and Design of Mufflers-An Overview of Research At the Indian Institute of Science", Journal of Sound and Vibration, Volume 211, Issue 3, pp.425~433,1998
- 2) Lars Eriksson, "Mean Value Models for Exhaust System Temperatures", SAE 2002-01-0374
- 3) J. U Oh, K. J. Cha, "Noise Reduction of Muffler by Optimal Design", KSME International Journal, Vol. 14, No. 9, pp. 947~955, 2000
- 4) 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, pp 93~99, 2000
- 5) A. Selamet, F. D. Denia, A. J. Besa, "Acoustic Behavior of Circular Dual-Chamber Mufflers", Journal of Sound and Vibration, Volume 265, Issue 5, pp. 967~985, 2003
- 6) Takeharu Tanaka, Keqiang Li, "An active muffler for medium-duty diesel vehicles considering acceleration characteristics", JSAE, Vol. 21, Issue 4, pp. 576~578, 2000
- 7) J.M. Lee, K.M. Kim, D.G. Sohn, J.H.Lee, Y.H. Lee, Y.H. Hwang, "A Research on Characteristics of Semi-active Muffler Using Difference of Transmission Paths", KSNEV Vol. 11, No. 3, pp401~409, 2001