

# 자동차 속업소버의 피로 해석에 관한 연구

조재웅\*, 한문식<sup>+</sup>

(논문접수일 2007. 10. 5, 심사완료일 2007. 11. 5)

## A Study on Fatigue Analysis of Automotive Shock Absorber

Jae-Ung Cho\* and Moon-Sik Han<sup>+</sup>

### Abstract

The safety and the durability of the shock absorber as an automotive chassis part under the fatigue load can be predicted in this study. The fatigue life becomes constant from 0.5 to 0.75 at the change of load which is the amplitude load divided by average load. But its life is sharply decreased at the change of load from 0.75 to 1.5. The influence of fatigue life according to the change of load can be predicted by these results. As the value of maximum damage is 9.61 at the middle part of upper side on shock absorber under the concentrated load, there is the greatest possibility of destruction at this part. The spring of shock absorber becomes nearly the state of pure shear and the uniaxial or biaxial stress exists at the rest part of it under the fatigue load.

**Key Words** : safety(안전성), durability(내구성), shock absorber(속업소버), automotive chassis part(자동차 새시 부분), change of load(하중의 변화), fatigue life(피로 수명)

## 1. 서론

일반적으로 강도상에 있어서 충분한 허용응력으로 설계된 기계라 할지라도 의외로 항복응력보다 훨씬 낮은 응력 하에서도 파괴가 잘 일어난다. 따라서 이를 규명하기 위한 여러 가지 연구가 광범위하게 이루어져 왔으며 이들에 대하여는 피로나 충돌 파괴를 이용한 여러 가지 연구가 발표되고

있다<sup>(1)</sup>. 또한 자동차 차체나 새시에 있어서 파괴를 규명하기 위해서 피로 크랙 및 최적화 설계 등의 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>(2-4)</sup>. 특히 대부분의 피로 파괴는 불규칙적으로 일어나고 있어 이론 해석에 의하지 않고서는 그 예측이 불가능한 실정이다. 자동차의 새시 부품 중 속업소버는 주행 중 노면으로부터 받은 충격이나 진동을 완화해서 바퀴와 노면과의 밀착을 양호하게 하고 승차감을 향상시키며 스프링의 피

\* 공주대학교 기계·자동차공학부

++ 교신저자, 계명대학교 기계·자동차공학부 (sheffhan@kmu.ac.kr)

주소: 대구광역시 달서구 신당동 1000번지



그리고 구속 조건으로서 Fig. 3과 같이 속업소버의 아래 면을 고정하여 구속시킨다. 하중은 속업소버의 윗면에 집중 하중으로서 3000 N을 작용한다. 또한 Fig. 1에서도 보는 바와 같이, 속업소버의 아래 부분에 고정된 것은 현가 장치의 몸체 부분에 해당하므로 편의상 고정 시킨 것이다. 그리고 속업소버의 윗 부분이 스프링으로서 주된 역할을 하고 그 윗 부분이 현가 장치의 윗 부분에 있다고 하여도 스프링에 끝 부분으로서 하중이 주로 전달되기 때문에 위의 부분에 하중을 가하는 것으로 해석했다.

변형률에 대한 수명에 대하여 소성효과를 고려하였는데, 전변형률 진폭( $\epsilon_a$ ) 및 수명(Nf)과 관련된 방정식은 식 (1)과 같다<sup>(5)</sup>.

$$\epsilon_a = \frac{\sigma_f'}{E}(2N_f)^b + \epsilon_f'(2N_f)^c \quad (1)$$

여기서,

- $\sigma_f'$  는 피로 응력 계수(Fatigue Strength Coefficient)
- $b$  는 피로 응력 지수(Fatigue Strength Exponent)
- $\epsilon_f'$  는 피로 연성 계수(Fatigue Ductility Coefficient)
- $c$  는 피로 연성 지수(Fatigue Ductility Exponent)이다.

이 방정식을 도형으로 그리면 Fig. 4와 같이 log-scale로 나타낼 수 있다.

이 방정식의 첫 번째 항은 탄성 부분으로서 점선으로 나타냈고  $b$ 는 기울기이고  $\frac{\sigma_f'}{E}$ 는 y축 절편이다. 그리고 두번째 항은 소성 부분으로서 일점 쇄선으로 나타냈고  $c$ 는 기울기이

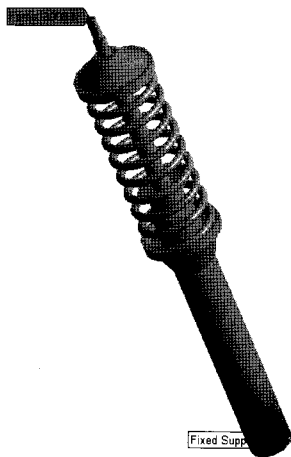


Fig. 3 Constraint Conditions of Model

고  $\epsilon_f'$ 는 y축 절편이다.

소성의 영향을 다음 식 (2)와 같은 Ramberg-Osgood 관계로서도 본 피로 해석에 있어 역시 이용한다.<sup>(5)</sup>

$$\epsilon_a = \frac{\sigma_a}{E} + \left[ \frac{\sigma_a}{H'} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

여기서,

- $H'$ : 주기적 응력 계수(Cyclic Strength Coefficient)
- $n'$ : 주기적 변형률 강화 지수(Cyclic Strain Hardening Coefficient)
- $\sigma_a$ : 응력 진폭(Stress Range)

이 관계식을 사용하여 변형률에 대한 응력 선도를 그리면 Fig. 5와 같다.

피로 하중은 천천히 진행되지만 구조물 자체는 변형을 반복하여 저 사이클 하에서도 파괴되려는 현상을 나타내는데

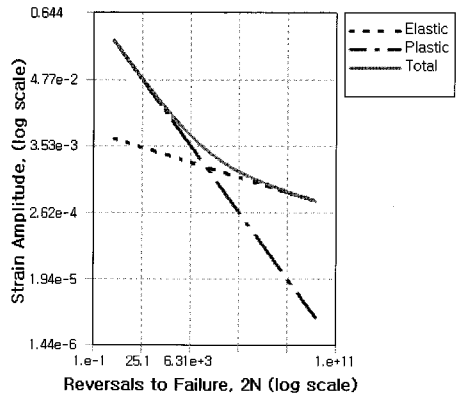


Fig. 4 Strain Amplitude according to Failure of Model

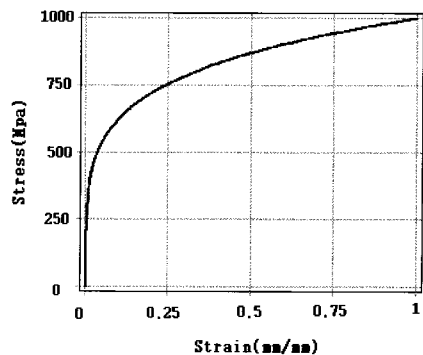
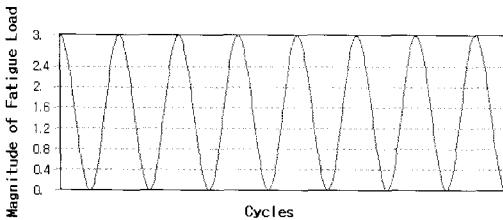


Fig. 5 Stress according to Strain of Model

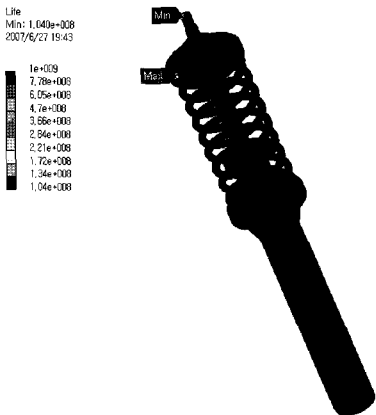
본 해석에 있어서는 Fig. 6과 같이 하중 내역으로서 시간에 따라 변동하는 균일 진폭하중의 방법을 택하고 기본 하중에 대하여는 그 배율을 적용할 수 있다. 이 배율은 3이고 하중이 시간에 따라 변동하게 된다. 기본 하중에 대하여는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 종좌표계에서 1.5인 값이 기본 하중이다. 기본 하중이 평균하중이 된다. 예를 들면 평균하중이 30kg으로 설정되면 그림에서 보시는 바와 같이 1.5의 값이 30kg이고 최대하중은 60kg이 작용된다는 의미이다.

**2.2 해석 결과**

본 연구의 모델에 대하여 사용 가능 수명에 대한 등고선 그림이 Fig. 7에 나타나 있다. 본 모델에 변동진폭의 하중으로 작용되어 어느 한 부분이 파괴될 때까지의 기간을 블록 수들로 나타내어 준다. Fig. 7에서 보면 속업소버의 스프링 부분에서 최대의 수명,  $10^9$ 을 나타내어 안전성이 가장 좋을 수 있다. 반면 집중 하중을 가장 많이 받는 속업소버 윗 면의 가운데 부분에서 최소의 수명,  $1.04 \times 10^8$ 을 보이고 있어 그 수명이 가장 짧아져서 안전성이 나빠짐을 알 수 있다. 따라서 속업소버 윗 면의 어느 한 부분에서 파괴가 될 때



**Fig. 6 History of Load(Zero-based Constant Amplitude Load)**

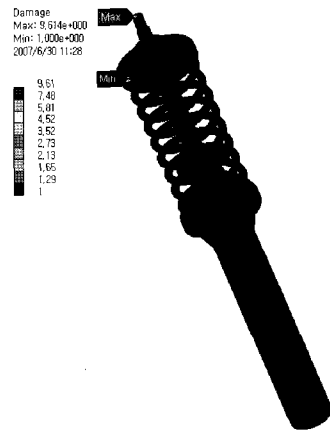


**Fig. 7 Contour Lines of Useful Life**

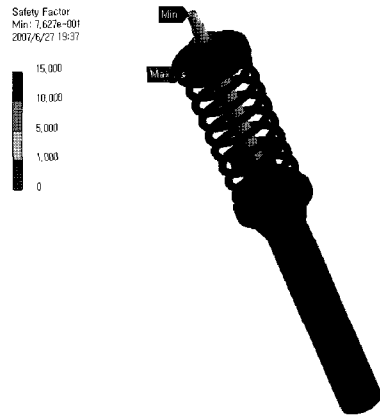
에  $1.04 \times 10^8$ 을 나타내게 되는데, 이 단위를 sec로 했다면  $1.04 \times 10^8 \text{sec}$ 에 파단이 되는 것이다. 이 때의 블록 단위는 sec가 되는 것이다.

Fig. 8에서는 등고선으로 된 피로 손상을 나타내었는데 손상은 사용 가능 수명으로 나누어진 설계 수명으로 정의되고 설계 수명은  $10^9$ 으로 정하고 있다. 역시 하중을 가장 많이 받는 속업소버 윗면의 가운데 부분에서 9.61을 보이고 있어 그 손상의 위험성이 가장 많아져 그 안전성이 가장 나빠짐을 알 수 있다. 그리고 속업소버의 가장자리 부분에서 최소의 손상인 1을 나타내어 손상의 가능성이 희박하여 안전성이 가장 좋을 수 있다.

Fig. 9에서는 주어진 설계 수명에서 피로 파손에 대한 안전 계수의 등고선을 그린 것이다. 최대한의 안전계수는 15로 정한다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 집중 하중이 가장 많



**Fig. 8 Contour Lines of Fatigue Damage**



**Fig. 9 Contour Lines of Safety Factor**

이 걸리는 속업소버 가운데 부분의 등근 봉에서 안전 계수가 5이상이 됨을 알 수 있어 이 부분에서 파손의 가능성이 높음을 알 수 있다.

Fig. 10은 평균하중에 대한 등가응력의 등고선을 보이고 있다. 집중 하중을 가장 많이 받는 속업소버 윗면의 가운데 부분에서 최대의 등가 응력, 60.15Mpa을 보이고 있다. 그리고 Fig. 9에서 설명한 바와 같이 설계시에 속업소버의 안전 계수는 5이상으로 고려하여 설계하는 것이 바람직하다고 사료된다. 따라서 차체의 진동을 많이 받는 윗부분에 항복 응력보다 큰 응력이 과도하게 걸리므로 그 안전성이 나빠짐을 볼 수 있다.

Fig. 11은 평균 하중에 대한 전변형량을 보이고 있다. 속업소버 밑의 지지부분에서는 거의 변형이 없고 집중 하중을 가장 많이 받는 속업소버 윗면의 가운데 부분에서 변형량이

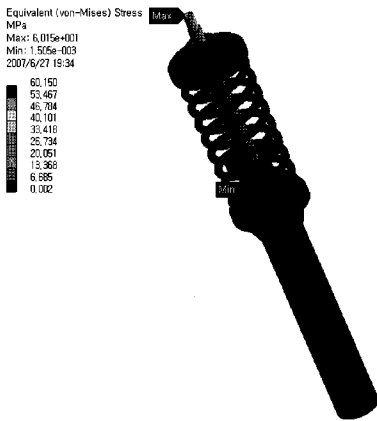


Fig. 10 Contour Lines of Equivalent Stress

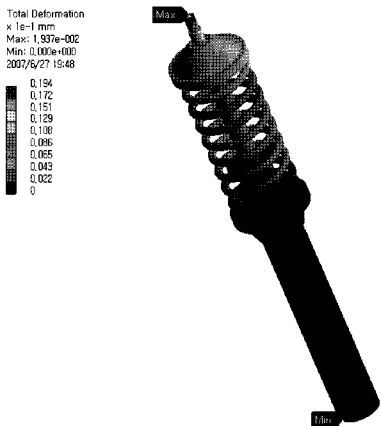


Fig. 11 Contour Lines of Total Deformation

0.0194mm나 됨을 알 수 있다. 따라서 이 부분에서 파단의 가능성이 가장 큼을 보이고 있다.

Fig. 12는 하중의 변화에 대하여 유용 가능한 피로 수명을 나타낸 것이다. 하중의 변화는 하중의 진폭을 평균 하중으로 나눈 값이다. 해석 모델내에서는 어떤 위치에서나 하중의 변화에 따른 다양한 수명을 갖게 된다. 따라서 이 그림은 어떤 위치에서나 그 부분이 받는 하중의 변화에 따라 그 수명이 이러한 곡선을 따라 간다는 의미이다. 하중의 변화가 0.5일 때는  $1 \times 10^9$ 인데, 0.75까지도  $1 \times 10^9$ 이 되어 일정하게 유지되다가 0.75보다 클 때는 그 수명이 급격하게 변화된다. 1.5일 때는  $5.31 \times 10^6$ 이 되어서 그 피로 수명이 완만하게 변화됨을 예측할 수 있어 이 범위 이상에서는 하중의 변화에 대한 피로 수명의 영향이 그리 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 13은 모델의 응력 분포에 대한 양축성의 지시도를 나

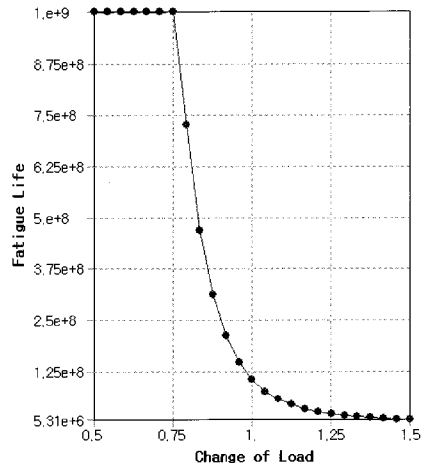


Fig. 12 Fatigue Life According to Change of Load

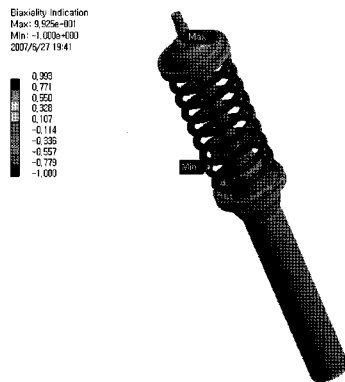


Fig. 13 Biaxiality Indication of Stress Distribution

타내는 것으로서 0의 값은 단일 축의 응력에 해당된다. 1의 값은 응력의 두 축 상태를 나타내고 -1의 값은 순수한 전단 상태에 해당된다. 통상의 피로시험은 시험편에 어떤 일정 방향의 하중이나 변위를 주기 때문에 이 그림의 정보를 봄으로써 시험편의 응력 상태가 어떠한 영역들에서 어떻게 달라지는가를 알 수 있다. Fig. 13에서 보는 바와 같이 속업소버의 위쪽과 아래쪽 덮개 부근이 0.993으로서 1에 가까운데 두 축방향의 응력들이 존재하는 것을 알 수 있고, 속업소버의 가운데에 있는 위쪽과 아래쪽의 봉에서는 0에 가까우므로서 단일 축의 응력만이 존재함을 알 수 있다.

그리고 속업소버의 스프링 부분에서는 -1로서 거의 순수한 전단 상태가 됨을 알 수 있다. 역설계적인 관점에서 보면 원시 데이터 대신에 직접 실제의 자동차의 속업소버를 보고 그 치수를 재었으며, Solid Works 3 차원 프로그램을 사용하여 3 차원 곡선으로 Solid Modelling을 하였다. 또한 Ansys 해석 프로그램을 이용하여 그 안전성과 내구성을 정량적으로 분석하였다. 따라서 이와 유사한 조건 및 모델의 형상을 가진 자동차의 속업소버 해석 설계에 있어서 그 응력 및 변형등을 고려하여 파손 방지를 할 수 있다. 그리고 이러한 응력 해석을 따로 하지 않고서도 본 연구 결과로서 이에 대한 안전성의 예측에 활용성이 클 것으로 사료된다.

### 3. 결론

본 연구를 통하여 상, 하 방향의 차량의 피로 하중을 받는 차량의 주행안전성에 큰 역할을 하는 직경이 80mm이고 길이가 501mm인 속업소버 부품에 대한 안전성과 내구성을 예측할 수 있었는데, 이러한 결과들을 이용하여 얻은 주요한 결론은 다음과 같다.

- (1) 하중의 진폭을 평균 하중으로 나눈 값으로서의 하중의 변화가 0.5부터 0.75에서는 피로 수명이 일정하게 된다. 그러나 하중의 변화가 0.75부터 1.5까지는 그 수명이 급격하게 감소된다. 이러한 결과들에 의하여 하중의 변화에 대한 피로 수명의 영향을 예측할 수 있다.
- (2) 집중 하중을 받는 속업소버 윗면의 가운데 부분에서 최대의 손상인 9.61을 보이고 있고 변형량도 0.0194mm나 됨을 알 수 있다. 따라서 이 윗면의 가운데 부분에서 파

단의 가능성이 가장 큼을 보이고 있다.

- (3) 속업소버의 위쪽과 아래쪽 덮개 부근에서는 두 축 방향의 응력이 존재하고 가운데 위쪽과 아래쪽 봉에서는 단일축의 응력이 존재한다. 또한 속업소버의 스프링 부분에서는 거의 순수한 전단 상태가 됨을 알 수 있다.
- (4) 본 연구와 유사한 조건 및 모델의 형상을 가진 자동차의 속업소버 해석 설계에 있어서 그 응력 및 변형 등을 고려하여 파손 방지를 할 수 있다. 그리고 이러한 응력 해석을 따로 하지 않고서도 본 연구 결과로서 이에 대한 안전성의 예측에 활용성이 클 것으로 사료된다.

### 참고 문헌

- (1) Tanaka, S., Ichikawa, M., and Akita, S., 1984, "A Probabilistic Investigation of Fatigue Life and Cumulative Cycle Ratio," *Eng. Frac. Mech.*, Vol. 20, No. 3, pp. 501-513.
- (2) Park, W. C., Huh, S. C., Jung, J. W., Lee, H. W., and Boo, M. H., 2003, "A Study on Fatigue Crack Behavior of Metal Matrix Composites for Automobile Engine," *Transactions of KSAE*, Vol. 11, No. 5, pp. 140-146.
- (3) Park, K. D., and Jung, C. G., 2003, "The Effect of Compressive Residual Stresses of Two-stage Shot Peening for Fatigue life of Vehicle Spring Steel," *Transactions of KSAE*, Vol. 11, No. 1, pp. 185-192.
- (4) Han, S. Y., and Song, S. Y., 2002, "Shape Optimization of Structures in Opening Mode," *Transactions of KSAE*, Vol. 10, No. 2, pp. 141-149.
- (5) John Swanson, 2005, *Ansys Workbench 10.0*, Ansys, Inc..
- (6) Hancq, D. A., Walters, A. J., and Beuth, J. L., 2000, "Development of an Object Oriented Fatigue Tool," *Engineering with Computers*, Vol. 16, pp. 131-144.
- (7) Bannantine, J., Comer, J., and Handrock, J. 1990, *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*, New Jersey, Prentice Hall.